

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยบูรพา
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากผลหนามแดงเพื่อส่งเสริมการผลิตอาหารสุขภาพ
Food products development from Carunda fruit (*Carissa carandas* L.)
for promotion of of healthy food Production

หัวหน้าโครงการวิจัย

ดร.วิชมณี ยืนยงพุทธกาล

ผู้ร่วมวิจัย

ดร. อุมพร ทาไธสง

ผู้ร่วมวิจัย

ผศ.ดร.พิชญูร ไหมสุทธิสกุล

โครงการวิจัยนี้ได้รับเงินอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ (เงินอุดหนุนจากรัฐบาล)
มหาวิทยาลัยบูรพา ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2555
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

#0156803
- 6 ส.ย. 2556

321219

เริ่มบริการ
- 5 ส.ค. 2556

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติเป็นอย่างสูงที่ได้สนับสนุนทุนวิจัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2555 และขอขอบคุณฝ่ายวิจัยส่งเสริมการวิจัย มหาวิทยาลัยบูรพา สำหรับการประสานงานอย่างดียิ่ง ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ และภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือเพื่อใช้ในการวิจัย ท้ายนี้ขอขอบคุณคณาจารย์ เจ้าหน้าที่ และนิสิตภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร รวมถึงผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่มีส่วนให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้

คณะผู้วิจัย
ตุลาคม 2555

บทคัดย่อ

ผลหมามแดงที่ใช้ในโครงการวิจัยมีสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ด้าน%Inhibition เท่ากับ 91.02 % และมีค่า IC_{50} เท่ากับ 195.21 mg/L ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 296.08 mg gallic acid/100g ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดเท่ากับ 568.12 mg/100g ปริมาณวิตามินซีเท่ากับ 8.92 mg/100g ผลมีรสเปรี้ยวอมหวานมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเท่ากับ 8.19% และปริมาณกรดทั้งหมดเท่ากับ 3.92% สำหรับกากผลหมามแดงที่เหลือจากการคั้นน้ำพบว่ายังคงมีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยมี% Inhibition เท่ากับ 88.11 และมีค่า IC_{50} เท่ากับ 119.70 mg/L ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 231.05 mg gallic acid/100 g ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดเท่ากับ 271.35 mg /100 g ปริมาณวิตามินซีเท่ากับ 1.94 mg /100 g กากผลหมามแดงยังคงมีรสหวานและเปรี้ยวโดยมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเท่ากับ 3.24% และปริมาณกรดทั้งหมดเท่ากับ 3.76% สามารถนำผลหมามแดงและกากผลหมามแดงมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหาร 3 ชนิด ได้แก่ ผลิตภัณฑ์กึ่งแข็งโดยใช้การเติมน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสร่วมกับการทำแห้งแบบสุญญากาศ ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำส้มสายชูหมักโดยการหมักด้วยเชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* และ *Acetobacter aceti* และผลิตภัณฑ์อัดเม็ดจากกากผลหมามแดงผสมกับน้ำตาลไอซิ่ง แป้งข้าวโพด และซิลิโคนไดออกไซด์ ผลการพัฒนาผลิตภัณฑ์พบว่าผลิตภัณฑ์ทั้งหมดได้รับความชอบในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง

Abstract

Karanda fruit in this study showed the antioxidant properties potential. It was found that %inhibition and IC_{50} were 91.02% and 195.21 mg/L, respectively. Total phenolic content was 296.08 mg gallic acid/100g and total anthocyanin content was 568.12 mg/100g. The content of ascorbic acid was 8.92 mg/100g. Sweet and sour taste of Karanda fruit caused 8.19% of total sugar and 3.92% of total acidity. For Karanda residues from juicing it remained the antioxidant properties in terms of %inhibition was 88.11% and IC_{50} was 119.70 mg/L. Total phenolic content was 231.05 mg gallic acid/100g and total anthocyanin content was 271.35 mg/100g. The content of ascorbic acid was 1.94 mg/100g. Karanda residues had sweet and sour taste contained total sugar of 3.24% and total acidity of 3.76%. The research was to develop three types of food products. Intermediate moisture product produced from the process of osmotic dehydration combined with vacuum drying. Vinegar beverage product fermented from *Saccharomyces cerevisiae* and *Acetobacter aceti*. Tablet product was made from Karanda residues powder mixed with icing sugar, corn starch and silicon dioxide. All final products were accepted from consumer panel which obtained the slightly like level.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
บทคัดย่อ.....	ง
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
2 การตรวจเอกสาร.....	5
3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	58
4 ผลการวิจัยและวิจารณ์.....	77
5 สรุปผลการวิจัย.....	147
รายการอ้างอิง.....	150
ภาคผนวก.....	165
ก อาหารเลี้ยงเชื้อ.....	166
ข การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี.....	168
ค การวิเคราะห์ทางกายภาพ.....	196
ง ข้อมูลดิบเกี่ยวกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำส้มสายชูหมัก.....	202
จ ผลการวิเคราะห์ คุณภาพด้านต่าง ๆ ในกระบวนการหมักน้ำส้มสายชู.....	211
ฉ แบบทดสอบความชอบวิธี 9-point Hedonic Scale.....	217
ช ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....	219
ช ภาพประกอบสำหรับโครงการวิจัย.....	239
ฉ การวิเคราะห์สมการ รีเกสชัน.....	250
ญ กราฟทำนายเวลาในการทำแห้งกากผลนามแดง.....	258
ฎ การวิเคราะห์คุณภาพทางด้านจุลินทรีย์.....	260

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2-1 ลักษณะของผลหนามแดง 5.....	5
ภาพที่ 2-2 กรรมวิธีการผลิตผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งด้วยวิธีออสโมซิสแบบvacuum impregnation .	9
ภาพที่ 2-3 การถ่ายเทมวลสารที่เกิดขึ้นในกระบวนการดองน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส	14
ภาพที่ 2-4 โครงสร้างโมเลกุลของ oligofructose 16.....	
ภาพที่ 2-5 สูตรโครงสร้างของ DPPH ที่เป็นอนุมูลอิสระ (A.) และไม่เป็นอนุมูลอิสระ (B.)	26
ภาพที่ 2-6 โครงสร้างพื้นฐานของแอนโทไซยานินดิน	29
ภาพที่ 2-7 สูตรโครงสร้างของแอนโทไซยานินจำนวน 6 ชนิด	30
ภาพที่ 2-8 ผลของโครงสร้างของแอนโทไซยานินที่มีต่อสีแอนโทไซยานิน	32
ภาพที่ 2-9 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแอนโทไซยานิน เมื่อ pH เปลี่ยน	33
ภาพที่ 2-10 สารประกอบระหว่างแอนโทไซยานินกับกรดแอสคอร์บิก	34
ภาพที่ 2-11 ปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดแอสคอร์บิก	37
ภาพที่ 2-12 การเคลื่อนที่ของความชื้นระหว่างการทำแห้ง	38
ภาพที่ 2-13 การไหลออกของน้ำด้วยแรงผ่านช่องแคบ	39
ภาพที่ 2-14 การไหลออกของน้ำแบบการแพร่ (สมบัติ ขอทวีวัฒนา,2529)	40
ภาพที่ 2-15 แผนภาพแสดงขั้นตอนในกระบวนการผลิตเม็ดอมแบบตอกเม็ด	43
ภาพที่ 3-1 ลักษณะของผลหนามแดงที่ใช้ในงานวิจัย	59
ภาพที่ 3-2 ลักษณะชุดเครื่องมือที่ใช้ในขั้นตอนการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศ	62
ภาพที่ 3-3 การแปรส่วนผสมของผลิตภัณฑ์อัดเม็ด	74
ภาพที่ 4-1 แสดงลักษณะผลหนามแดงหลังลวก.....	85
ภาพที่ 4-2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับระยะเวลาในการออสโมซิส ผลหนามแดง	89
ภาพที่ 4-3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่สูญเสียกับระยะเวลาในการออสโมซิส ผลหนามแดง.....	90
ภาพที่ 4-4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำหนักที่ลดลงกับระยะเวลาในการออสโมซิส ผลหนามแดง.....	90
ภาพที่ 4-5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นกับระยะเวลาในการออสโมซิส ผลหนามแดง	91

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 4-6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำหนักรีดที่ลดลงกับระยะเวลาในการออสโมซิสของผลหนามแดง	94
ภาพที่ 4-7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับระยะเวลาในการทำแห้งผลหนามแดงที่ผ่านการออสโมซิส 15 ชั่วโมง	96
ภาพที่ 4-8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับระยะเวลาในการทำแห้งผลหนามแดงที่ผ่านการออสโมซิส 9 ชั่วโมง 20 นาที	96
ภาพที่ 4-9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับระยะเวลาในการทำแห้งผลหนามแดงที่ผ่านการออสโมซิส 3 ชั่วโมง 40 นาที	97
ภาพที่ 4-10 แสดงลักษณะผลหนามแดงกิ่งแห้ง	97
ภาพที่ 4-11 ลักษณะน้ำคั้นของหนามแดง	103
ภาพที่ 4-12 ปริมาณแอลกอฮอล์และปริมาณน้ำตาลในระหว่างการหมักไวน์ด้วยหัวเชื้อ <i>S. cerevisiae</i> เริ่มต้น 5% (ก) 10% (ข) และ 15% (ค)	104
ภาพที่ 4-13 การเจริญของ <i>S. cerevisiae</i> ในระหว่างการหมักไวน์เป็นเวลา 20 วัน	105
ภาพที่ 4-14 ปริมาณแอลกอฮอล์และปริมาณกรดแอซิดิกในระหว่างการหมักเครื่องดื่มน้ำส้มสายชูโดยใช้ปริมาณหัวเชื้อ <i>A. aceti</i> เริ่มต้น 10% เป็นเวลา 19 วัน	105
ภาพที่ 4-15 ปริมาณแอลกอฮอล์และปริมาณกรดแอซิดิกในระหว่างการหมักเครื่องดื่มน้ำส้มสายชูโดยใช้ปริมาณหัวเชื้อ <i>A. aceti</i> เริ่มต้น 15% เป็นเวลา 13 วัน	107
ภาพที่ 4-16 การเจริญของ <i>A. aceti</i> ในระหว่างการหมักเครื่องดื่มน้ำส้มสายชูเป็นเวลา 13-19 วัน	107
ภาพที่ 4-17 ภาพผลหนามแดงที่ใช้ในโครงการวิจัย	108
ภาพที่ 4-17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับระยะเวลาในการทำแห้งภาพผลหนามแดงที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส	115
ภาพที่ 4-18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับระยะเวลาในการทำแห้งภาพผลหนามแดงที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	115
ภาพที่ 4-19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับระยะเวลาในการทำแห้งภาพผลหนามแดงที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส	116
ภาพที่ 4-20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับระยะเวลาในการทำแห้งภาพผลหนามแดงที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส	116

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 4-21 ผลิตรัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดทั้ง 5 สูตร	126
ภาพที่ 4-22 ลักษณะปรากฏผลิตรัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดทั้ง 5 สูตร	127
ภาพที่ 4-23 ค่า L^* ของผลิตรัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดเมื่อแปรส่วนผสมของกาก ผลหนามแดงผง(namdang) น้ำตาลไอซิ่ง (icing sugar) และแป้งข้าวโพด (corn starch) โดยจัดสิ่งทดลองแบบ Mixture Design	134
ภาพที่ 4-24 ค่า a^* ของผลิตรัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดเมื่อแปรส่วนผสมของกาก ผลหนามแดงผง (namdang) น้ำตาลไอซิ่ง (icing sugar) และแป้งข้าวโพด (corn starch) โดยจัดสิ่งทดลองแบบ Mixture Design	134
ภาพที่ 4-25 ค่าความแข็งของผลิตรัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดเมื่อแปรส่วนผสมของกาก ผลหนามแดงผง (namdang) น้ำตาลไอซิ่ง (icing sugar) และแป้งข้าวโพด (corn starch) โดยจัดสิ่งทดลองแบบ Mixture Design	135
ภาพที่ 4-26 ค่าการสึกกร่อนของผลิตรัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดเมื่อแปรส่วนผสมของกาก หนามแดงผง (namdang) น้ำตาลไอซิ่ง (icing sugar) และแป้งข้าวโพด (cornstarch) โดยจัดสิ่งทดลองแบบ Mixture Design	135
ภาพที่ 4-27 คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏของผลิตรัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ด เมื่อแปรส่วนผสมของกากผลหนามแดงผง (namdang) น้ำตาลไอซิ่ง (icing sugar) และแป้งข้าวโพด (corn starch) โดยจัดสิ่งทดลองแบบ Mixture Design	136
ภาพที่ 4-28 แนวโน้มคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสของผลิตรัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ด เมื่อแปรส่วนผสมของกากผลหนามแดงผง (namdang) น้ำตาลไอซิ่ง (icing sugar) และ แป้งข้าวโพด (corn starch) โดยจัดสิ่งทดลองแบบ Mixture Design	136
ภาพที่ 4-29 แนวโน้มคะแนนความชอบโดยรวมของผลิตรัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ด เมื่อแปรส่วนผสมของกากผลหนามแดงผง (namdang) น้ำตาลไอซิ่ง (icing sugar) และแป้งข้าวโพด (corn starch) โดยจัดสิ่งทดลองแบบ Mixture Design	137
ภาพที่ 4-32 ค่าความสว่าง (L^*) ของผลิตรัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดที่เคลือบและ ไม่เคลือบเจลาตินในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 3 สัปดาห์ (a b หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ระหว่างการเคลือบและ ไม่เคลือบเจลาติน)	140

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 4-33 ค่าความเป็นสีแดง (a^*) ของผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดที่เคลือบและไม่เคลือบเจลาตินในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 3 สัปดาห์	140
ภาพที่ 4-34 ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ของผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดที่เคลือบและไม่เคลือบเจลาตินในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 3 สัปดาห์ (a b หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ระหว่างการเคลือบและไม่เคลือบเจลาติน)	141
ภาพที่ 4-35 ค่า a_w ของผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดที่เคลือบและไม่เคลือบเจลาตินในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 3 สัปดาห์ (ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ระหว่างการเคลือบและไม่เคลือบเจลาติน)	142
ภาพที่ 4-36 ค่าปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดที่เคลือบและไม่เคลือบเจลาตินในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 3 สัปดาห์ (ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ระหว่างการเคลือบและไม่เคลือบเจลาติน)	143
ภาพที่ 4-37 คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดที่เคลือบ และไม่เคลือบเจลาตินในระหว่างการเก็บรักษา 3 สัปดาห์	144
ภาพที่ 4-38 คะแนนความชอบด้านสีของผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดที่เคลือบและไม่เคลือบเจลาตินในระหว่างการเก็บรักษา 3 สัปดาห์	145
ภาพที่ 4-39 คะแนนความชอบด้านรสชาติของผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดที่เคลือบและไม่เคลือบเจลาตินในระหว่างการเก็บรักษา 3 สัปดาห์	145
ภาพที่ 4-40 คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดที่เคลือบและไม่เคลือบเจลาตินในระหว่างการเก็บรักษา 3 สัปดาห์	146
ภาพที่ 4-41 คะแนนความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดที่เคลือบและไม่เคลือบเจลาตินในระหว่างการเก็บรักษา 3 สัปดาห์	146

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2-1 แอนโทไซยานินในผักและผลไม้บางชนิด	31
ตารางที่ 2-2 ปริมาณวิตามินซีในอาหารบางชนิด (มีผลลิกรัมต่อ 100 กรัม)	36
ตารางที่ 2-3 การใช้เจลาตินในผลิตภัณฑ์ลูกกวาดบางชนิด	47
ตารางที่ 3-1 สภาวะการเตรียมผลหนามแดงขึ้นต้นโดยวิธีการลวกก่อนการดึ่งน้ำออก ด้วยวิธีออสโมซิส	61
ตารางที่ 3-2 ปริมาณส่วนผสมของผลิตภัณฑ์อัดเม็ดที่ดำเนินการทดลอง	75
ตารางที่ 4-1 คุณภาพของผลหนามแดงที่ใช้ในโครงการวิจัย	77
ตารางที่ 4-3 ค่าสี L* a* และ b* ของผลหนามแดงหลังการลวกจากการแปร ชนิดของสารที่ใช้ลวกและเวลาในการลวก	82
ตารางที่ 4-4 ค่าความแน่นเนื้อ (กรัม) ของผลหนามแดงหลังการลวกจากการ แปรชนิดของสารที่ใช้ลวกและเวลาในการลวก	
ตารางที่ 4-5 ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL: เปอร์เซ็นต์) ของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG: เปอร์เซ็นต์) และน้ำหนักที่ลดลง (WR: เปอร์เซ็นต์) ของผลหนามแดงหลังการออสโมซิส จากการแปรชนิดของสารที่ใช้ลวกและเวลาในการลวก	84
ตารางที่ 4-6 ค่าสี L* a* และ b* ของผลหนามแดงหลังการออสโมซิสจากการแปร ชนิดของสารที่ใช้ลวกและเวลาในการลวก	85
ตารางที่ 4-7 ค่าความแน่นเนื้อ (กรัม) ของผลหนามแดงหลังการออสโมซิสจาก การแปรชนิดของสารที่ใช้ลวก และเวลาในการลวก	86
ตารางที่ 4-8 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของผลหนามแดงหลังการออสโมซิส จากการแปรชนิดของสารที่ใช้ลวกและเวลาในการลวก	87
ตารางที่ 4-9 ผลของชนิดของสารที่ใช้ลวกต่อคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมของผลหนามแดงหลังการออสโมซิส	87
ตารางที่ 4-10 ผลของเวลาในการลวก (นาที) ต่อคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสและ ความชอบโดยรวมของผลหนามแดงหลังการออสโมซิส	87
ตารางที่ 4-11 ข้อมูลการออสโมซิสผลหนามแดงให้ได้ปริมาณน้ำหนัที่ลดลงตามกำหนด จากการใช้สมการทำนายและการออสโมซิสจริงจากการทดลอง	94

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4-12 รายละเอียดเกี่ยวกับสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น (y) กับระยะเวลา (x) การอบแห้งในตู้อบแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ระดับความดัน 550 mmHg ปริมาณความชื้นสุดท้ายและค่า aw ที่ได้จากการทดลอง	98
ตารางที่ 4-13 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์หนามแดงกึ่งแห้งที่ผลิตจากผลหนามแดงที่ผ่านการออสโมซิสจนมีปริมาณน้ำหนักลดลง (WR) ระดับต่างๆ	99
ตารางที่ 4-14 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสด้านความชอบของผลิตภัณฑ์หนามแดงกึ่งแห้งที่ผลิตจากผลหนามแดงที่ผ่านการออสโมซิสจนมีปริมาณน้ำหนักลดลง (WR) ระดับต่างๆ	102
ตารางที่ 4-15 คะแนนความชอบเฉลี่ยด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ และความชอบโดยรวมด้วยวิธี 9-point hedonic scale ของน้ำส้มสายชูหมัก	108
ตารางที่ 4-16 คุณภาพกากผลหนามแดงที่ใช้ในโครงการวิจัย	109
ตารางที่ 4-17 สมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น (y) กับระยะเวลา (x) ในการทำแห้งกากผลหนามแดงที่อุณหภูมิ 40 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส	117
ตารางที่ 4-18 สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ รายงานเป็นค่า Inhibition (%) และ IC50 (mg/L) ของกากผลหนามแดงอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ	118
ตารางที่ 4-19 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg gallic /100 g) ของกากผลหนามแดงอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ	119
ตารางที่ 4-20 ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (mg /100 g) ของกากผลหนามแดงอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ	120
ตารางที่ 4-21 ปริมาณวิตามินซี (mg /100 g) ของกากผลหนามแดงอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ ..	121
ตารางที่ 4-22 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (%) ของกากผลหนามแดงอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ	122
ตารางที่ 4-23 ปริมาณกรดทั้งหมด (%) ของกากผลหนามแดงอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ	123
ตารางที่ 4-24 ค่าสี (L* a* และ b*) ของกากผลหนามแดงอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ	124

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4-25 ปริมาณความชื้น ค่าสี (L^* a^* และ b^*) เส้นผ่านศูนย์กลาง ความหนา น้ำหนักต่อเม็ด ค่าความแข็ง และค่าการสีกร่อนของผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดง ทั้ง 5 สูตร	129
ตารางที่ 4-26 คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบ โดยรวมของสูตรผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ด	131
ตารางที่ 4-27 สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าคุณภาพในด้านต่างๆของผลิตภัณฑ์กาก ผลหนามแดงอัดเม็ด	132
ตารางที่ 4-27 ปริมาณจุลินทรีย์ (CFU/g) ของผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดที่ เคลือบและไม่เคลือบเจลาตินในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	139
ตารางที่ 4-28 ปริมาณยีสต์และรา (CFU/g) ของผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดที่ เคลือบและไม่เคลือบเจลาตินในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	139

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

หนามแดง (*Carissa carandas* L.) มีชื่อสามัญว่า Carunda เป็นไม้ทรงพุ่ม มีถิ่นกำเนิดจากประเทศอินเดีย พบมากในประเทศไทย กัมพูชา เวียดนาม และแอฟริกา (Morton, 1987) สำหรับประเทศไทย หนามแดงมีชื่อเรียกอื่นได้แก่ มะนาวไม่รู้โห่ (ภาคกลาง), มะนาวโห่ (ภาคใต้), และหนามขี้แฮด (เชียงใหม่) เป็นต้น ผลหนามแดงมีลักษณะเป็นผลเดี่ยวออกรวมกันเป็นช่อ ผลอ่อนจะมีสีชมพูอ่อน และค่อยๆ เข้มขึ้นเป็นสีแดง กระทั่งสุกจึงกลายเป็นสีดำ มีรสเปรี้ยว คล้ายมะนาว มีรายงานว่า มีสรรพคุณ แก้ไอ แก้โรคลักปิดลักเปิด เลือดออกตามไรฟัน แก้เจ็บคอ และช่วยขับเสมหะ เนื่องจากมีวิตามินซีสูง นอกจากนี้ยังใช้รักษาอาการท้องเสีย และช่วยรักษาโรคหัวใจ โรคความดันโลหิตสูง เนื่องจากมีสารกลุ่มฟีนอลิก (Pal et al., 1975) ตามความรู้ภูมิปัญญาแพทย์พื้นบ้านไทยมีความเชื่อว่า ส่วนต่างๆของหนามแดงสามารถป้องกันและรักษาโรคต่างๆ ได้ โดยราก ทำให้เจริญอาหาร ขับพยาธิ รักษาบาดแผล ดับพิษร้อน และแก้คัน ส่วนใบ ใช้แก้ท้องเสีย แก้ไข้ เจ็บคอ และปวดหู เนื้อไม้ ช่วยบำรุงไขมันในร่างกาย แก้อ่อนเพลีย และบำรุงกำลัง (สำนักงานข้อมูลสมุนไพร, 2552; Morton, 1987) ในช่วงระยะที่ผ่านมา มีการส่งเสริมให้มีการท่องเที่ยวเชิงนิเวศกันมาก และมีการเผยแพร่วิถีชีวิตความเป็นอยู่ รวมถึงภูมิปัญญาไทยในการบริโภคอาหารที่มีสรรพคุณทางยา ให้ได้รับรู้กันมากขึ้น ชุมชนต่างๆในจังหวัดสมุทรสงคราม ก็เป็นอีกแห่งหนึ่งที่ได้มีการเปิดรับนักท่องเที่ยวมาเยี่ยมชมวิถีชีวิต เช่น ตลาดอัมพวา ตลาดบางนกแขวก ตลาดบางน้อย เป็นต้นโดยพบว่าผลหนามแดงเป็นวัตถุดิบทางการเกษตรพื้นบ้านชนิดสำคัญของชุมชน ซึ่งมีการบริโภคหนามแดงกันมานาน ปัจจุบันได้มีการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อจำหน่ายให้กับนักท่องเที่ยวในบางรูปแบบ ได้แก่ น้ำคั้นพร้อมดื่ม และแยม ซึ่งพบว่าได้รับการยอมรับจากนักท่องเที่ยวอย่างมากเนื่องจากปัจจุบันผู้บริโภคมีพฤติกรรมรักสุขภาพกันมาก จึงให้ความสนใจในการบริโภคอาหารสุขภาพมากขึ้น จากสาเหตุดังกล่าวผู้นำชุมชนประเมินว่าผลหนามแดงมีศักยภาพด้านการเป็นวัตถุดิบอาหารสุขภาพได้ อีกทั้งเป็นจุดขายที่สำคัญของชุมชน จึงได้พยายามส่งเสริมให้ชุมชนมีการปลูกหนามแดงกันมากขึ้น ซึ่งก็ได้รับการตอบสนองแนวคิดเป็นอย่างดี โดยพยายามปลูกเป็นวัตถุดิบเกษตรในเชิงพาณิชย์เพื่อนำมาจำหน่ายผลสดหรือแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่อไป

จากการค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับผลหนามแดง พบว่ามีงานวิจัยด้านคุณค่าทางอาหาร สรรพคุณทางยา และการนำมาแปรรูปไม่มากนัก อย่างไรก็ตามจากข้อมูลที่ตรวจพบ สามารถช่วยสนับสนุน

ความคิดว่าหนามแดงน่าจะมีศักยภาพในการส่งเสริมนำมาผลิตอาหารสุขภาพได้ ดังนี้ Pal et al. (1975) พบว่า ผลของพืชสกุล *Carissa carandas* มีสารกลุ่มฟีนอลิกปริมาณมาก โดยสารประกอบฟีนอลิกได้รับความสนใจอย่างมากในปัจจุบัน เนื่องจากมีความสามารถเป็นสารแอนติออกซิแดนท์ สารฆ่าเชื้อ สารต่อต้านมะเร็ง สารลดการอักเสบ (Anti-inflammation) และสารยับยั้งเอนไซม์ tyrosinase (Lupo, 2001; Auger et al., 2004) และจากการค้นคว้ารายงานการวิจัยและสิทธิบัตรพบว่า ใบและก้านของหนามแดงมีสารฟีนอลิกมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับพืช 15 ชนิดในสกุล Apocyanaceae, Asclepiadaceae, Convolvulaceae, Euphorbiaceae (Sekar and Francis, 1998) Subhadrabandhu (2001) รายงานว่าหนามแดงเป็นผลไม้ไทย 1 จาก 5 รายการที่มีการใช้ประโยชน์ทางสมุนไพรแต่ยังไม่มีการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้า Pino et al (2004) รายงานว่าผลหนามแดงสุกจากประเทศคิวบา มีองค์ประกอบของ Volatile Flavor อยู่ 55 ชนิด โดยสารให้กลิ่นรสสำคัญได้แก่ isoamyl alcohol, isobutanol และ beta-caryophyllene และพบว่าผลหนามแดงสุกจากประเทศอินเดียและฟิลิปปินส์ มีองค์ประกอบทางเคมีดังนี้คือ ความชื้น 83.17-83.24 % โปรตีน 0.39-0.66% ไขมัน 2.57-4.63% คาร์โบไฮเดรต 0.51-0.94% น้ำตาล 7.35-11.58% โยอาหาร 0.62-1.81% เถ้า 0.66-0.78% วิตามินซี 9-11 มิลลิกรัม/100 กรัม โดยมีรายงานว่าผลหนามแดงเป็นแหล่งสำคัญของธาตุเหล็ก วิตามินซี และยังมีปริมาณเพคตินซึ่งเป็นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ในปริมาณสูง (FAO, nd) ทั้งนี้มีการนำผลหนามแดงมาแปรรูปเป็นอาหารแบบต่างๆ ได้แก่ นำผลดิบมาดอง นำผลสุกมาเชื่อมกับน้ำตาลและอบเชย ผลิตแย้มและเยลลี่

จากที่กล่าวข้างต้นว่าในปัจจุบันพฤติกรรมการบริโภคของผู้บริโภคมีความใส่ใจในการดูแลสุขภาพกันมากขึ้น ให้ความสำคัญกับการเลือกบริโภคอาหารที่มีผลดีต่อสุขภาพ โดยอาหารที่มีคุณสมบัติเป็นยาหรือช่วยส่งเสริมสุขภาพให้ดีขึ้นหรือมีคุณสมบัติช่วยป้องกันการเกิดโรคต่างๆ จะได้รับความสนใจมากขึ้นเรื่อยๆ ผลหนามแดงจึงเป็นวัตถุดิบทางการเกษตรในประเทศอีกชนิดหนึ่งซึ่งมีสมบัติเฉพาะตัวที่น่าสนใจ มีสรรพคุณที่เอื้อต่อการนำมาเป็นส่วนประกอบของอาหารเพื่อสุขภาพได้ โดยการนำผลหนามแดงมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ มีปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงที่สำคัญคือการเปลี่ยนแปลงสารพฤกษเคมีสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารฟีนอลิกที่มีในหนามแดงอาจถูกทำลายหรือเปลี่ยนรูปไปบางส่วน เนื่องจากสารเหล่านี้มีความสามารถในการทนความร้อน ความเป็นกรดต่างแตกต่างกัน ประกอบกับสารต่างๆ เหล่านี้สามารถทำปฏิกิริยากับส่วนประกอบอื่นๆ ในอาหารและสารเจือปนอาหารที่เติมลงในผลิตภัณฑ์ได้ จากการค้นคว้ารายงานการวิจัยและสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของสารฟีนอลิกในระหว่างกระบวนการแปรรูป พบว่า ปริมาณฟีนอลิก (proanthocyanidin and flavan-3-ols, anthocyanins, ellagic acid, p-coumaric acid) ในสตอร์เบอร์ลดลง 4.5-33.6% ในระหว่างการเก็บรักษาแบบแช่แข็งก่อนการแปรรูป (Ski et al., 2009) นอกจากนี้ Shama et al. (2008) ได้รายงานว่าความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH ของชา

ต่ำลดลงเมื่อมีการเติมน้ำตาล และลดลงมากที่สุดเมื่อนำชาดำมาผสมกับนม แต่การเติมกรดซิตริกลงในน้ำมันมะกอกกลับทำให้อำนาจในการกำจัดอนุมูลอิสระสูงขึ้น (Aliakbarian et al., 2008) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดนำผลหนามแดงมาพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อส่งเสริมการผลิตอาหารสุขภาพนำผลหนามแดงมาศึกษารายละเอียดของสารพฤกษเคมีที่เป็นองค์ประกอบ โดยศึกษาองค์ประกอบทางเคมีโดยใช้ข้อมูลทางสเปกโทรสโกปีและเปรียบเทียบกับสารประกอบที่มีการรายงานแล้ว ศึกษาหาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณใยอาหาร และศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH เพื่อให้ทราบศักยภาพการเป็นวัตถุดิบเพื่ออาหารสุขภาพได้ละเอียดและชัดเจนขึ้น แล้วนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพชนิดต่างๆ ได้แก่ 1) ผลิตภัณฑ์กึ่งแห้ง 2) ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำส้มสายชูหมัก และ 3) ผลิตภัณฑ์อัดเม็ด โดยมุ่งเน้นการพัฒนาสูตรและกรรมวิธีการผลิตและติดตามการเปลี่ยนแปลงสารพฤกษเคมีที่สำคัญในผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ เพื่อเป็นแนวทางการเพิ่มมูลค่าให้วัตถุดิบ จัดเป็นการต่อยอดภูมิปัญญาให้เกิดประโยชน์เชิงพาณิชย์และสาธารณะ สร้างรายได้ให้กับชุมชน มีส่วนสนับสนุนการพัฒนาแหล่งท่องเที่ยว ทำให้ชุมชนมีความเข้มแข็ง และยังได้เป็นอาหารสุขภาพที่เป็นทางเลือกให้กับผู้บริโภคทั่วไปได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 1) ศึกษาองค์ประกอบทางพฤกษเคมี คุณค่าทางโภชนาการ และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของหนามแดง
- 2) เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพที่มีมูลค่าสูงและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคจากผลหนามแดง

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

ปัจจุบันผู้บริโภคให้ความสนใจอาหารสุขภาพกันมาก และมีแนวโน้มมากขึ้นเรื่อยๆ คิดเป็นมูลค่าทางการตลาดในสัดส่วนสูง ดังนั้นการนำวัตถุดิบที่มีศักยภาพทางโภชนาการสูงมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพที่สอดคล้องกับการเติบโตของธุรกิจอาหารสุขภาพและตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคที่ใส่ใจในสุขภาพซึ่งต้องการบริโภคอาหารสุขภาพที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจ ซึ่งเป็นการช่วยเพิ่มมูลค่าของวัตถุดิบได้อีกทางหนึ่ง โดยกรอบแนวคิดการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารที่สำคัญ คือ การแปรรูปเป็นอาหารสุขภาพที่สอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภคสามารถเป็นไปได้ในเชิงพาณิชย์ โดยไม่ต้องใช้เทคโนโลยีขั้นสูง ยุ่งยาก ซับซ้อนหรือลงทุนมาก โดยผลิตผลิตภัณฑ์ดังต่อไปนี้

ผลิตภัณฑ์กึ่งแห้ง ทำได้โดยการใช้หลักการออสโมซิสซึ่งมีผลให้มีการถ่ายเทมวลสารระหว่างผลไม้กับสารละลายออสโมติกที่ใช้แช่ชิ้นผลไม้ กล่าวได้ว่าเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถนำสารที่มีประโยชน์ต่อ

ร่างกายเข้าสู่ชั้นอาหารได้ และยังจัดเป็นการดึงน้ำบางส่วนออกจากชั้นผลไม้อย่างช้า ๆ ซึ่งเป็นการลดปริมาณน้ำในชั้นผลไม้ลง โดยชั้นผลไม้มีการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะด้านต่างๆ เพียงเล็กน้อย ผลิตภัณฑ์ยังคงมีสี เนื้อสัมผัส กลิ่นรส และรสชาติ คุณค่าทางอาหาร ใกล้เคียงของสด (Le Marguar, 1988; Erba, 1994) โดยงานวิจัยนี้จะใช้หลักการออสโมซิสซึ่งแตกต่างจากวิธีทั่วไปที่ใช้น้ำตาลซูโครส เป็นสารตัวกลางที่ทำให้เกิดการแพร่เข้าสู่ชั้นอาหาร กล่าวคืองานวิจัยนี้จะใช้สารละลายน้ำตาลโพลิโกฟรุคโตสซึ่งมีคุณสมบัติพรีไบโอติกที่ให้พลังงานต่ำกว่าน้ำตาลซูโครสประมาณร้อยละ 50 จึงเหมาะที่จะเป็นอาหารเพื่อสุขภาพสำหรับผู้ที่ต้องการลดความอ้วน กลุ่มคนที่มีความเสี่ยงต่อโรคเบาหวาน เป็นต้น อีกทั้งสภาวะในการออสโมซิสจะอยู่ภายใต้สภาวะลดความดันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการแพร่ทำให้สามารถลดระยะเวลาการออสโมซิส ลงได้มาก เป็นการลดโอกาสเสี่ยงต่อการเปลี่ยนแปลงที่อาจส่งผลต่อคุณค่าทางโภชนาการในระหว่างการออสโมซิสลงได้ นอกจากนี้สามารถนำผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาได้ไปประยุกต์ใช้เป็นส่วนผสมให้กับผลิตภัณฑ์อื่นๆ หลายชนิด เช่น ใส่ขนมประเภทเบเกอรี่ ใช้ตกแต่งหน้าขนม ส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์ชีเรียล ขนมอัดแท่งขึ้นรูป เป็นต้น

ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำส้มสายชูหมัก มีรายงานว่าเป็นเครื่องดื่มที่ได้รับความนิยมมากในหลายประเทศ เนื่องจากมีประโยชน์ต่อสุขภาพ ทำให้ระบบต่างๆ ดีขึ้น โดยเฉพาะทำให้สนับสนุนการย่อยอาหาร ทำลายเชื้อแบคทีเรีย รา ไวรัสในร่างกาย ป้องกันการติดเชื้อ ลดความดันโลหิต ช่วยขจัดเสมหะและน้ำมูก ลดการสะสมไขมันในร่างกาย เช่น ในหลอดเลือดและส่วนต่างๆ ของร่างกาย (ฉกา มาศ, 2551)

ผลิตภัณฑ์อัดเม็ด เป็นของขบเคี้ยวที่เป็นที่นิยมของคนทุกวัย โดยเฉพาะวัยเด็ก และวัยรุ่น สามารถพกพาได้สะดวก มีอายุการเก็บรักษานาน โดยปกติอาหารขบเคี้ยวลักษณะอัดเม็ดยังไม่ค่อยมีคุณค่าทางอาหาร หรือ ประโยชน์ต่อสุขภาพนัก ดังนั้นการนำวัตถุดิบที่มีศักยภาพด้านคุณค่าทางโภชนาการมาผลิตจึงน่าจะมีส่วนช่วยให้ขนมขบเคี้ยวแบบดังกล่าวมีประโยชน์กับผู้บริโภคมากขึ้น

งานวิจัยนี้มีแนวคิดนำผลหมักแดงมาพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อส่งเสริมการผลิตอาหารสุขภาพ แบ่งงานเป็น 2 ตอน

ตอนที่ 1 เป็นการศึกษารายละเอียดของสารพฤกษเคมีที่เป็นองค์ประกอบ เพื่อให้ทราบศักยภาพการเป็นวัตถุดิบเพื่ออาหารสุขภาพได้ละเอียดและชัดเจนขึ้น เป็นข้อมูลพื้นฐานของการนำวัตถุดิบมาใช้ประโยชน์ให้เต็มศักยภาพ

ตอนที่ 2 เป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร โดยนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพ ได้แก่ 1) ผลิตภัณฑ์กึ่งแห้ง 2) ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำส้มสายชูหมัก และ 3) ผลิตภัณฑ์อัดเม็ด โดยมุ่งเน้นการพัฒนาสูตรและกรรมวิธีการผลิตและติดตามการเปลี่ยนแปลงสารพฤกษเคมีที่สำคัญในผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้

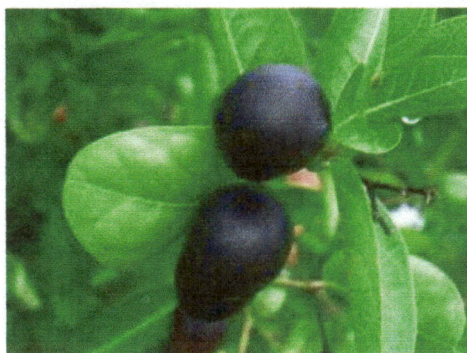
บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1 หนามแดง

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

หนามแดง รู้จักกันในชื่อพื้นเมืองอื่นๆ ตามแต่ละภาคเช่น ภาคกลางชื่อ มะนาวไม่รู้โห่ ภาคเหนือชื่อ หนามขี้แฮด และภาคใต้ชื่อ มะนาวโห่ มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Carissa carandas* L. วงศ์ *Apocynaceae* ชื่อสามัญว่า Karanda Carunda และ Christ's Thorn มีถิ่นกำเนิดในประเทศอินเดีย ในประเทศไทยพบได้ทั่วไปตามป่าเบญจพรรณ ออกดอกตลอดทั้งปี ลักษณะทางพฤกษศาสตร์คือ เป็นไม้พุ่มโบราณหรือเป็นไม้พุ่มยืนต้น สูงราว 2-3 เมตร ตามลำต้นและกิ่งก้านมียางสีขาว และมีหนามแหลมยาว ใบเป็นใบเดี่ยว รูปไข่กลับ เรียงตรงข้าม ขอบใบเรียบ ผิวใบมัน เนื้อใบเรียบ ดอกเล็กสีขาวออกเป็นช่อตามซอกใบและปลายกิ่ง โคนดอกมีสีชมพูหรือแดงอ่อน และมีกลิ่นหอมอ่อนๆ ผลเป็นผลเดี่ยวออกรวมกันเป็นช่อ ผลอ่อนจะมีสีชมพูอ่อน และค่อยๆ เข้มขึ้นเป็นสีแดง กระทั่งสุกจึงกลายเป็นสีม่วงดำ มีรสเปรี้ยวอมหวานและฝาดเล็กน้อย แสดงดังภาพที่ 2-1 (นิจศิริ เรืองรังสี และธวัชชัย มังคละคุปต์, 2547)



ภาพที่ 2-1 ลักษณะของผลหนามแดง ก) ผลแก่สีแดง ข) ผลสุกสีม่วงดำ

ที่มา : นิจศิริ เรืองรังสี และธวัชชัย มังคละคุปต์ (2547)

คุณค่าทางอาหารและสรรพคุณ

มีรายงานการวิเคราะห์ผลหนามแดงสุกในประเทศอินเดีย และประเทศฟิลิปปินส์ พบว่ามีคุณค่าทางอาหารดังนี้ ความชื้น 83.17-83.24% โปรตีน 0.39-0.66% ไขมัน 2.57-4.63% คาร์โบไฮเดรต 0.51-0.94% น้ำตาล 7.35-11.58% เส้นใย 0.62-1.81% เกลือ 0.66-0.78% ปริมาณวิตามินซี 9-11 มิลลิกรัม/100 กรัม (Morton, 1987)

กิตติมา กออารีพิทักษ์ (2552) ได้ศึกษาเปรียบเทียบการต้านอนุมูลอิสระของผลหนามแดงดิบและสุก โดยสกัดผลหนามแดงดิบและสุกด้วย 95% เอทานอล พบว่า ผลหนามแดงดิบให้เปอร์เซ็นต์สารสกัดหยาบ (7.463%) สูงกว่าผลหนามแดงสุก (1.001%) เมื่อนำสารสกัดมาทดสอบการต้านอนุมูลอิสระ 2 วิธี คือ การทดสอบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยสาร DPPH และการวิเคราะห์หาความสามารถในการรีดิวซ์เหล็กของสารสกัดจากผลหนามแดง พบว่า จากทั้ง 2 วิธี สารสกัดจากผลหนามแดงสุกต้านอนุมูลอิสระดีกว่าสารสกัดหยาบจากผลหนามแดงดิบ โดยเปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดจากผลหนามแดงดิบในเทอมของค่า IC_{50} มีค่ามากกว่าสารสกัดจากผลหนามแดงสุก คือ 400 และ 225 ppm ตามลำดับ จากนั้นนำผลหนามแดงสุกมาสกัดด้วยวิธีไล่ข้าวตัวทำละลาย ใช้ 80% เอทานอล ไดเอทิลอีเทอร์ เอทิลอะซิเตท และนอร์มอล-บิวทานอล เป็นตัวทำละลาย และนำสารสกัดหยาบที่ได้จากตัวทำละลายทั้ง 4 ส่วน มาทดสอบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีข้างต้นพบว่า สารสกัดหยาบส่วน 80% เอทานอลให้เปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด

รุ่งทิพา วงศ์ไพศาลฤทธิ์ และดวงทิพย์ ศรีตาแสน (2551) ศึกษากรรมวิธีการผลิตไวน์ลูกหนามแดง โดยทำการศึกษาคุณภาพของน้ำคั้นที่ได้จากผลหนามแดง อัตราส่วนระหว่างน้ำลูกหนามแดงที่เหมาะสมต่อการผลิตไวน์ลูกหนามแดง และวิเคราะห์สมบัติของไวน์ พบว่า น้ำลูกหนามแดงมี pH 2.8 ± 0.2 ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 8 ± 0.2 °Brix สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 38.439 ± 0.011 mg/100 ml และไม่พบปริมาณวิตามินซี จากนั้นนำลูกหนามแดงมาผลิตไวน์ โดยใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำกับลูกหนามแดงโดยแปรเป็น 3 ระดับ คือ น้ำลูกหนามแดง 20 25 และ 30 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักน้ำ ทำการหมักโดยหมักทั้งเปลือก หลังจากนั้นทำการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส นำตัวอย่างที่ได้คะแนนสูงสุดมาวิเคราะห์ ปริมาณแอลกอฮอล์ ความเข้มข้นของน้ำตาล ค่าความเป็นกรดต่ำ และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ทั้งหมด พบว่า ปริมาณน้ำลูกหนามแดง 25 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักน้ำ ผู้สอบชิมให้การยอมรับด้านความใส การอยู่ตัว รสชาติมากที่สุด แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และพบว่าไวน์ที่ผลิตได้ มีปริมาณแอลกอฮอล์ 12 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 14 °Brix มี pH เท่ากับ 2.5 และมีเปอร์เซ็นต์ Acidity (as citric acid) เท่ากับ 0.5

รุ่งทิพา วงศ์ไพฤทธิ์ เบญจมาภรณ์ ภัทรนาวิก และดวงทิพย์ ศรีตาแสน (2551) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพการเก็บรักษาน้ำลูกหนามแดงพาสเจอร์ไรส์พร้อมดื่ม 25% และศึกษาผลของความร้อนต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัสในลูกหนามแดงพาสเจอร์ไรส์พร้อมดื่ม 25% ผลการทดลองพบว่า น้ำคั้นมี pH 2.8 ± 0.2 ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 8 ± 0.4 °Brix สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 38.439 ± 0.011 mg/100 ml และตรวจไม่พบวิตามินซี เมื่อนำน้ำคั้นลูกหนามแดงมาผลิตเป็นน้ำลูกหนามแดงพาสเจอร์ไรส์ 25% พบว่า อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการฆ่าเชื้อน้ำลูกหนามแดง คือ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที หลังจากบรรจุน้ำลูกหนามแดงที่ได้ในขวดแก้วโปร่งแสง

ปิดด้วยจุกยางและฝาเกลียวอลูมิเนียม แล้วเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 สัปดาห์ และศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษา พบว่า ระยะเวลาในการเก็บรักษา ส่งผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมีปริมาณลดลง และผลของการให้ความร้อนในแต่ละระดับ ได้แก่ อุณหภูมิ 65 70 และ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที และ 80 85 และ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) และได้คะแนนความชอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านสี รสชาติ ความใส และความชอบโดยรวมอยู่ในช่วงชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง

วิไลพร ปองเพียร (2550) ได้ศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในสารสกัดที่ได้จากพืชพื้นบ้านที่มีสีม่วงแดงจำนวน 20 ชนิด โดยหาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระออกมาในรูปของ (%) Antioxidant activity ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า สารสกัดที่ได้จากพืชพื้นบ้านที่มีสีม่วงแดงมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระแตกต่างกันออกไป จากผลการวิจัยได้จัดกลุ่มพืชที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระแบ่งเป็น 3 กลุ่ม เพื่อให้ง่ายแก่การเปรียบเทียบ คือ พืชที่มีเปอร์เซ็นต์แอกติวิตีของสารต้านอนุมูลอิสระสูง ปานกลาง และต่ำ ซึ่งเกณฑ์ในการแบ่งกลุ่มเป็นไปตามข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ ซึ่งสรุปผลการวิเคราะห์ที่ได้ดังนี้ ตัวอย่างพืชที่มีค่าเปอร์เซ็นต์แอกติวิตีของสารต้านอนุมูลอิสระสูง ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 80% ขึ้นไป มี 9 ชนิด ได้แก่ ตะขบตาควาย มะนาวไม่รู้โห่ (ผลหนามแดง) ตีนเป็ด ดอกโพล กระเจตตัน อัญชัน ตะขบป่า ยอดใบจัน และข้าวกล่ำแก้ว ตัวอย่างพืชที่มีค่าเปอร์เซ็นต์แอกติวิตีของสารต้านอนุมูลอิสระปานกลาง ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 60-79% มี 4 ชนิด คือ ข้างกล่ำพื้นบ้าน มะเขือม่วงยาว เซอร์รี่ไทย และชิงแครง สุดท้ายตัวอย่างพืชที่มีค่าเปอร์เซ็นต์แอกติวิตีของสารต้านอนุมูลอิสระต่ำ ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1-59% ได้แก่ วานกาบหอย มะแขว่น ชมพู่ทับทิม มันเทศ มะเขือเปราะม่วง สีหูด

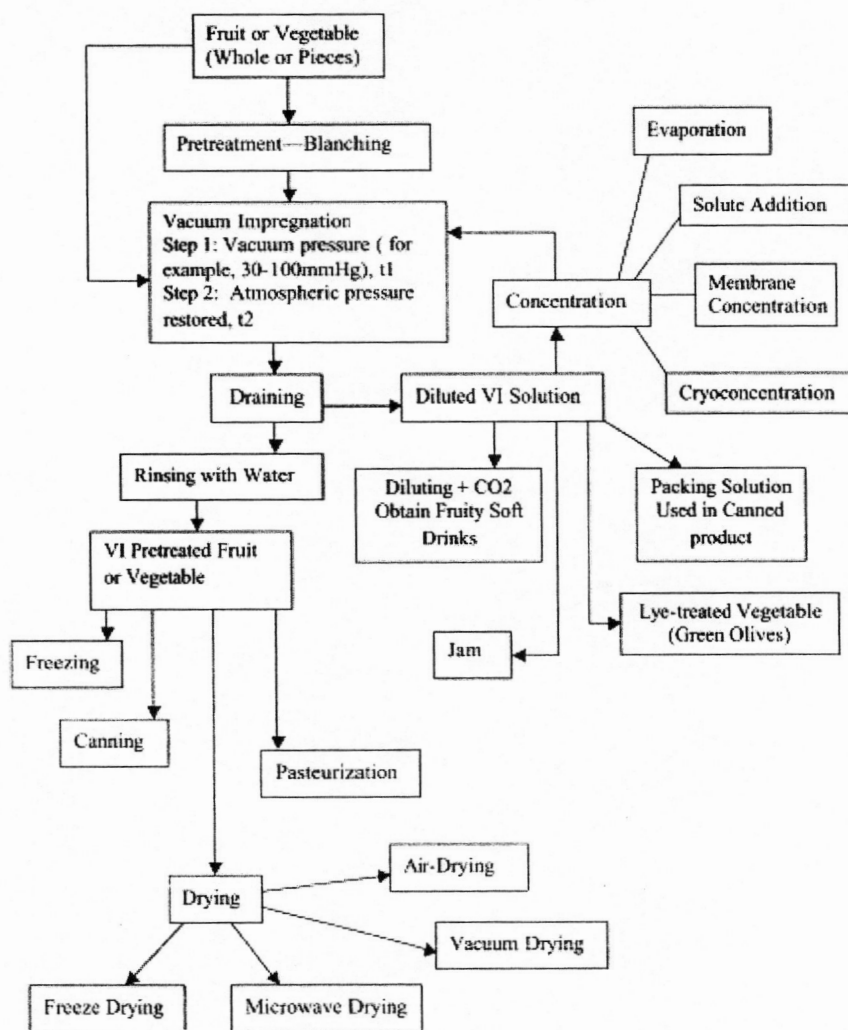
นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า หนามแดงเป็นสมุนไพรชนิดหนึ่งที่มีสรรพคุณดังนี้ ใบ ใช้ใบสดต้มเอาน้ำดื่ม แก้ท้องร่วง แก้ปวดหู แก้เจ็บคอ แก้เจ็บปาก แก้ไข้ เนื้อไม้ เป็นยาบำรุงธาตุ บำรุงกระเพาะอาหารในร่างกายให้แข็งแรง แก้อ่อนเพลีย ผล ทั้งผลสุกและผลดิบกินแก้โรคเลือดออกตามไรฟัน เป็นยาแก้ไอ แก้เจ็บคอและช่วยขับเสมหะ รากสด ต้มเอาน้ำดื่ม เป็นยาขับพยาธิ บำรุงธาตุ เจริญอาหาร บำรุงกระเพาะอาหาร ทำให้ละเอียดผสมกับสุรา นำมาทาและพอกแก้คัน ใช้พอกบาดแผล (นิจศิริ เรื่องรังสี และธวัชชัย มังคละคุปต์, 2547)

2.2 อาหารกึ่งแห้งและการออสโมซิส

ผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้ง (Intermediate Moisture Food: IMF) ซึ่งหมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่มีค่า Water activity อยู่ในช่วง 0.6 - 0.9 ซึ่งจะมีน้ำที่เป็นประโยชน์ในการทำปฏิกิริยาทางเคมีและเพื่อการ

เจริญเติบโตของจุลินทรีย์เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ฉะนั้นอาหารจึงมีคุณสมบัติในการคงตัวดีโดยที่ยังมีลักษณะเนื้อสัมผัส กลิ่นรส และรสชาติไม่แตกต่างจากของสดมากนัก (ไพโรจน์ วัระยะจาร์, 2539) โดยประยุกต์ใช้กรรมวิธีการทำแห้งแบบออสโมซิสร่วมกับการอบแห้งโดยใช้ความร้อน ซึ่งน่าจะเป็นแนวทางหนึ่งที่จะได้ผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้งที่มีคุณภาพดี เนื่องจากการทำแห้งแบบออสโมซิสเป็นการดึงน้ำบางส่วนออกจากชิ้นผลไม้อย่างช้า ๆ ซึ่งเป็นการลดปริมาณน้ำในชิ้นผลไม้ลง โดยชิ้นผลไม้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะด้านต่างๆ เพียงเล็กน้อย ก่อนนำไปอบแห้ง ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการออสโมซิสจะมีความชื้นลดลงจึงทำให้ลดเวลาในการอบแห้งโดยการให้ความร้อนลงได้ และจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสี เนื้อสัมผัส กลิ่นรส และรสชาติ คุณค่าทางอาหาร ใกล้เคียงของสด (Le Marguar, 1988; Erba, 1994)

การออสโมซิสหรือการแช่อิ่มเป็นการถนอมอาหารวิธีหนึ่งโดยใช้น้ำตาลในปริมาณมากกว่าร้อยละ 40 เข้าแทนที่น้ำซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในวัตถุดิบอาหาร เช่น ผัก ผลไม้ โดนอาศัยแรงดันออสโมติกที่เกิดจากความแตกต่างของระดับความเข้มข้นน้ำตาลระหว่างภายนอกและภายในอาหาร เรียกวิธีแช่อิ่มแบบนี้ว่า osmotic dehydration หรืออาศัยความแตกต่างของความดันโดยทำการออสโมซิสภายใต้สภาวะลดความดันที่ใกล้สภาวะสูญญากาศ เรียกวิธีการออสโมซิสแบบนี้ว่า vacuum impregnation (Zhao and Xie, 2004) วัตถุประสงค์โดยทั่วไปของการออสโมซิสคือการยืดอายุการเก็บรักษาและได้ผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งชนิดใหม่ที่มีรสชาติแตกต่างจากเดิม วัตถุดิบที่นิยมนำมาใช้ในการแช่อิ่ม ได้แก่ กระเทียม ขิง พุทรา มะเขือเทศ มะขาม ฝรั่ง มะละกอ มะม่วง มะดันและองุ่น (ธารธรรม แก้ว เชื้อเมือง, 2542) นอกจากนี้ยังมีการทำสมุนไพรรักษาแช่อิ่ม เช่น บอระเพ็ด มะระ มะกรูด มะนาว มะเขือเทศ ลูกตำลึง ขิง ข่า เขียวไข่กา มะตูม และมะยม (วิโรจน์ ยูรวงศ์และคณะ, 2546) อย่างไรก็ตามปัจจุบันมีการนำหลักการของการออสโมซิส มาใช้เพื่อวัตถุประสงค์พิเศษอื่น คือ การนำสารสำคัญที่มีคุณสมบัติเฉพาะ เช่น แร่ธาตุ วิตามิน เข้าสู่ชิ้นอาหารเพื่อให้ได้อาหารเพื่อสุขภาพ ซึ่งนิยมใช้วิธีแช่อิ่มแบบ vacuum impregnation เนื่องจากเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูง ลดระยะเวลาการแช่อิ่ม และลดโอกาสการเสื่อมสลายของสารสำคัญลงได้ โดยมีขั้นตอนต่อดังภาพที่ 2-2



ภาพที่ 2-2 กรรมวิธีการผลิตผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งด้วยวิธีออสโมซิสแบบ vacuum impregnation
ที่มา: Zhao and Xie (2004)

2.2.1 การเตรียมวัตถุดิบขั้นต้นก่อนการดองน้ำออสโมซิส

1) ลวกหรือต้ม

การลวกหรือการต้มเป็นขั้นตอนการให้ความร้อนแก่ชิ้นผลไม้ เนื่องจากผลไม้มีเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส (Peroxidases) และพอลิฟีนอลออกซิเดส (Polyphenol Oxidase) ซึ่งจะทำให้เกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ จึงจำเป็นต้องใช้ความร้อนเพื่อทำลายเอนไซม์ อีกทั้งการลวกจะทำให้โครงสร้างของผลไม้อ่อนตัวลง เนื้อเยื่อบางส่วนเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพ ทำให้อัตราการถ่ายเทมวลสารจากชิ้นผลไม้เกิดได้เร็วขึ้น (จินตนา ศรีบุญ, 2546; Moreno, Chiralt, Escrich, & Serra, 2000) ซึ่งระยะเวลาในการลวกผลไม้แต่ละชนิดจะแตกต่างกันไปตามความแข็งแรงของเนื้อเยื่อผลไม้ นอกจากนี้

ผลไม้บางชนิดอาจต้องลวกในสารละลายต่างกันเพื่อรักษาสีและเนื้อสัมผัสของผลไม้ให้คงอยู่ตามต้องการ หลังจากการลวกแล้วต้องทำให้เย็นลงทันที เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากความร้อนที่คงเหลือภายในผลไม้ (จินตนา ศรีผุย, 2546)

การลวกทำได้โดยการนำชิ้นผลไม้ไปให้ความร้อนอย่างรวดเร็วจนถึงอุณหภูมิที่กำหนดและให้อยู่ที่อุณหภูมินี้ระยะเวลาหนึ่ง จากนั้นทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็ว ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อระยะเวลาที่ใช้ในการลวก คือ ชนิดของผักและผลไม้ ขนาดของชิ้น อุณหภูมิและวิธีการให้ความร้อน (วิไล รังสาทอง, 2546)

การลวกเป็นการถ่ายเทความร้อน โดยการพาและการแผ่รังสีจากน้ำร้อนหรือน้ำไปยังวัตถุดิบทั้งนี้การลวกจะช่วยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ (Enzyme Inactivation) ในวัตถุดิบก่อนนำไปแปรรูปเพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสและคุณภาพทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษา (วิไล รังสาทอง, 2546; Moreno, J., Chiralt, A., Escriche, I., & Serra, J.A., 2000) ทั้งนี้ หากอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ลวกวัตถุดิบไม่เพียงพอต่อการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ อาจทำให้เกิดผลเสียต่อผลิตภัณฑ์มากกว่าวัตถุดิบที่ไม่ได้ผ่านการลวก เพราะความร้อนที่ใช้อาจทำลายเนื้อเยื่อแต่ไม่ได้ทำลายเอนไซม์ ทำให้เอนไซม์รวมตัวกับสับสเตรต (Substrate) โดยความร้อนส่งผลให้เอนไซม์บางชนิดถูกทำลาย แต่เอนไซม์บางชนิดอาจถูกกระตุ้นให้มีกิจกรรมมากขึ้น ซึ่งจะไปเร่งปฏิกิริยาการเสื่อมสลายให้เกิดเร็วขึ้น โดยพิจารณาความคงทนต่อความร้อนของเอนไซม์ได้จากค่า D-Value และ Z-Value เอนไซม์ที่มีความสำคัญที่มีผลกระทบต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสและคุณค่าทางโภชนาการของผักและผลไม้ ได้แก่ เอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส ไลพอกซิจีเนส (Lipoxygenase) คลอโรฟิลเลส (Chlorophyllase) และพอลิกลแลกทูโรเนส (Polygalacturonase) และมีเอนไซม์อีก 2 ชนิด ที่พบในผักหลายชนิดที่ทนต่อความร้อนได้ดี คือ เอนไซม์แคแทเลส (Catalase) และเพอร์ออกซิเดส เอนไซม์เหล่านี้ใช้เป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพของการลวก โดยเฉพาะเอนไซม์เพอร์ออกซิเดสมีความคงทนต่อความร้อนได้มากกว่าเอนไซม์แคแทเลส หากตรวจวัดกิจกรรมของเอนไซม์ในผักที่ผ่านการลวกแล้วไม่พบกิจกรรมของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส แสดงว่าเอนไซม์อื่นถูกทำลายหมดแล้ว (วิไล รังสาทอง, 2546) อีกทั้งการลวกยังช่วยทำลายและลดจำนวนจุลินทรีย์ปนเปื้อนอยู่บนผิวนอกของวัตถุดิบ ช่วยให้เก็บรักษาวัตถุดิบได้นานขึ้น ก่อนนำไปใช้แปรรูปในขั้นตอนต่อไป ซึ่งวัตถุดิบที่ไม่ได้ผ่านการลวกจะพบจำนวนจุลินทรีย์เพิ่มมากขึ้นระหว่างการนำอาหารแช่เยือกแข็งมาหั่นและละลายก่อนนำไปหุงต้ม เช่นเดียวกับการนำอาหารแห้งที่ไม่ได้ผ่านการลวกมาคั่วตัว (Rehydration) (จินตนา ศรีผุย, 2546; วิไล รังสาทอง, 2546; Moreno et al., 2000)

Vazquez-Gonzalez, Argaiz, and Lopez-Malo (1999) ศึกษาผลของการลวกก่อนดองน้ำออกแบบออสโมซิสของมะละกอก่อนการแช่เยือกแข็ง โดยใช้สารละลายน้ำตาลซูโครสความ

เข้มข้น 60 องศาบริกซ์ นาน 30 นาที ในสภาวะบรรยากาศปกติ (ODA) และภายใต้ความดันสุญญากาศที่ 50 มิลลิบาร์ (ODV) โดยศึกษาการลวก 2 วิธี คือ การลวกทางการค้าในน้ำอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 1 นาที เปรียบเทียบกับการลวกที่อุณหภูมิต่ำในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้นร้อยละ 0.4 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที จากผลการทดลอง พบว่า การลวกที่อุณหภูมิที่ต่ำทำให้มะละกามีปริมาณความชื้นและลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดีกว่าการลวกทางการค้า เนื่องจากการลวกที่อุณหภูมิต่ำจะช่วยเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์เพคตินเมทิลเอสเทอเรส (Pectinmethylesterases) ส่งเสริมให้เพคตินเกิดการสร้างโครงสร้างเป็นเพคเตท (Pectate) เมื่อนำมะละกอไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียสและนำมาละลายที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส พบว่า มะละกอที่ผ่านการลวกที่อุณหภูมิต่ำร่วมกับ ODA และ OVA มีค่าการซึมไหลของน้ำ (Drip Loss) น้อยกว่าร้อยละ 1 ขณะที่มะละกอที่ผ่านการลวกทางการค้าร่วมกับ ODA มีค่าร้อยละ 1-2 และเมื่อร่วมกับ ODV มีค่าร้อยละ 2-6 สำหรับลักษณะเนื้อสัมผัสของมะละกอที่ผ่านการลวกที่อุณหภูมิต่ำร่วมกับ ODA และการละลายที่ 5 องศาเซลเซียส มีค่าดีที่สุด

Escobar, Galindo, Wadso, Najera, and Sjoholm (2007) ศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บรักษาหลังการเก็บเกี่ยวและการลวกก่อนดองน้ำออกแบบออสโมซิสในแครอท โดยใช้สารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้นร้อยละ 50 กำหนดการกวนที่ความเร็วรอบ 260 รอบต่อนาทีที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส การลวกทำได้โดย ลวกแครอทในน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส แปรระยะเวลาการลวกเป็น 0 10 20 และ 30 วินาที จากผลการทดลองพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำและน้ำตาลซูโครสของแครอทมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการลวกเพิ่มขึ้น โดยที่การลวกนาน 30 วินาที มีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำและน้ำตาลสูงกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการลวกร้อยละ 90 และ 50 ตามลำดับ เนื่องจาก การเสียสภาพธรรมชาติ (การตาย) ของเซลล์เนื้อเยื่อแครอท อีกทั้ง การสูญเสียน้ำตาลกลูโคสและอะราบินโนสซึ่งเป็นองค์ประกอบของเพคตินที่ผนังเซลล์แครอท ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผนังเซลล์และความสูญเสียความสามารถในการควบคุมขนาดช่องเปิดของเซลล์

Fernandez, Norena, Silveira, and Brandelli (2007) ศึกษาผลของการลวกและความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกที่ใช้ในกระบวนการดองน้ำออกแบบออสโมซิสในแตงไทย (Muskmelon (*Cucumis melo*)) ก่อนการอบแห้งด้วยลมร้อนต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยศึกษาความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 40 50 และ 60 องศาบริกซ์ จากผลการทดลองพบว่า การลวกไม่ส่งผลต่อการเกิดสีน้ำตาลแต่ทำให้ปริมาณวิตามินซีลดลง โดยผลิตภัณฑ์เกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นเมื่อมีอายุการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส และปริมาณวิตามินซีลดลงประมาณร้อยละ 60 เมื่อผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บ 2 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

Kowalska, Lenart, and Leszczyk (2008) ศึกษาการเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกและการแช่แข็งก่อนการดองน้ำออกแบบออสโมซิสในฟักทอง ซึ่งการลวกทำได้โดย ลวกชิ้นฟักทองใน

น้ำอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 1 นาที แล้วแช่ในน้ำอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นาน 5 วินาที สำหรับการแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส นาน 16 ชั่วโมง นำผักทองหลังการลวกและการแช่แข็งมาแช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครส กลูโคสและสตาร์ชไซรัป ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 180 วินาที จากผลการทดลองพบว่า ผักทองที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นทั้งการลวกและการแช่แข็งก่อนการดองน้ำออกแบบออสโมซิสที่ใช้สารละลายออสโมติกชนิดเดียวกันมีค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียและปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นสูงกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้น ซึ่งการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกและการแช่แข็งมีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำและของแข็งระหว่างการดองน้ำออกแบบออสโมซิสไม่แตกต่างกัน และพบว่าตัวอย่างที่ผ่านการลวกทำให้ผักทองที่ออสโมซิสโดยการแช่ในสารละลายสตาร์ชไซรัปมีค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียสูงที่สุดที่เวลา 180 วินาที

2) การใช้สภาวะสุญญากาศ

การประยุกต์ในสภาวะสุญญากาศในกระบวนการดองน้ำออกแบบออสโมซิส แบ่งเป็น 2 แบบ คือ การดองน้ำออกแบบออสโมซิสในสภาวะความดันสุญญากาศ (Vacuum Osmotic Dehydration; VOD) และการใช้สภาวะความดันสุญญากาศแบบเป็นจังหวะ (Pulse Vacuum Osmotic Dehydration; PVOD) ทำได้โดยการแช่ชิ้นอาหารในสารละลายออสโมติกแล้วให้สภาวะสุญญากาศในภาชนะปิดสนิท ซึ่งเรียกสภาวะนี้ว่า Vacuum Impregnation; VI ซึ่งเป็นกระบวนการที่ประยุกต์ใช้แรงขับเคลื่อนในการแพร่กระจายของน้ำ (Hydrodynamic Mechanism; HDM) จากเนื้อเยื่อของชิ้นอาหารไปสู่ที่มีแรงดันออสโมซิสที่สูงกว่าผ่านเยื่อเลือกด้วยการใช้สภาวะสุญญากาศ กระบวนการนี้ทำได้โดยการลดความดันอากาศลง จนทำให้เกิดสภาวะความดันสุญญากาศในภาชนะที่ปิดสนิทเมื่อเริ่มต้นกระบวนการเป็นระยะเวลาหนึ่ง หลังจากนั้นจะปล่อยให้กลับคืนความดันบรรยากาศ ในขณะที่ให้ความดันสุญญากาศ ก๊าซที่อยู่ในโครงสร้างของชิ้นอาหารจะมีปริมาณของลดน้อยลง เนื่องจากก๊าซถูกบีบอัดจากความดันสุญญากาศ ทำให้ก๊าซเกิดการแผ่ขยายและเคลื่อนที่ออกนอกเนื้อเยื่ออาหาร หลังจากนั้น เมื่อความดันกลับสู่ความดันบรรยากาศ สารละลายออสโมติกจะแพร่กระจายเข้าภายในโครงสร้างของชิ้นอาหาร เนื่องจากก๊าซที่เหลือจากการถูกบีบอัดจะเป็นตัวนำสารละลายเข้าสู่เซลล์ทางช่องว่างระหว่างเซลล์ ทำให้การเคลื่อนย้ายมวลสารต่อพื้นที่เพิ่มมากขึ้น เป็นเหตุให้ปริมาณของตัวถูกละลายที่เข้าสู่ชิ้นอาหารมีปริมาณมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการแช่ชิ้นอาหารแบบดั้งเดิม

Fito, Barat, and Chiralt (1999) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเนื้อเยื่อแอปเปิ้ลขณะดองน้ำออกด้วยออสโมซิส พบว่า เนื้อเยื่อและปริมาตรของแอปเปิ้ลมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา โดยในช่วงแรกของกระบวนการ แรงขับที่เกิดขึ้นยังคงมีค่าสูง จึงมีการไหลออกของน้ำเป็นจำนวนมาก หลังจากนั้น พบว่า อากาศที่แทรกตามช่องว่างของเนื้อเยื่อน้อยลง ซึ่งทำให้ผลึกน้ำที่ได้ออกเกิดการหดตัวและมีปริมาณที่ลดลง

2.2.2 การดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส

การดึงน้ำออกจากอาหารโดยการแช่อาหารในของเหลวที่มีค่าออสโมติกต่ำกว่าอาหารนั้น จะทำให้เกิดกระบวนการออสโมซิสในอาหารขึ้น สารละลายที่นิยมใช้ในกระบวนการออสโมติกคือน้ำตาลหรือเกลือ การถ่ายเทมวลสารที่เกิดขึ้นในกระบวนการออสโมซิสจะมีลักษณะสวนทางกัน กล่าวคือ น้ำตาลหรือเกลือจะแพร่เข้าไปในอาหาร ในขณะที่เดียวกันน้ำก็จะแพร่ออกจากอาหาร การแพร่ของ ตัวถูกละลายจะเกิดขึ้นช้ากว่าการแพร่ของน้ำ ดังนั้นจึงสามารถควบคุมปริมาณน้ำตาลที่แพร่ได้ถ้าหากว่าเซลล์ของอาหารถูกทำลาย การแพร่ของน้ำตาลและของน้ำจะสมดุลได้เร็ว โดยสมดุลของน้ำและน้ำตาลระหว่างการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส (ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาลิก, 2532)

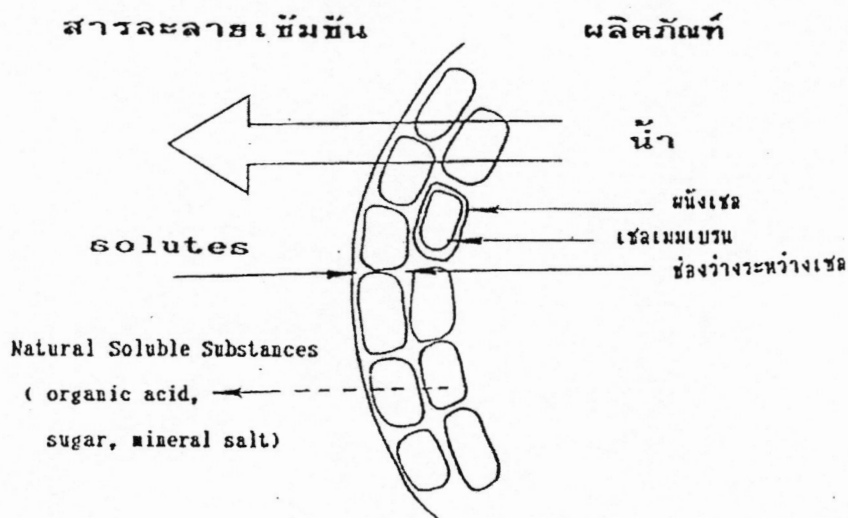
หลักการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส

การออสโมติกอาศัยการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของน้ำจากสารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำไปยังสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง โดยผ่านเยื่อบางๆ ที่เรียกว่า Semi-permeable membrane จนกระทั่งถึงสภาวะหรือจุดสมดุล ทำได้โดยแช่ผลไม้ในสารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นสูง ได้แก่ สารละลายน้ำตาล หรือเกลือ หรือส่วนผสมของน้ำตาลและเกลือ เป็นต้น การกระทำเช่นนี้ทำให้เกิดความแตกต่างของแรงดันออสโมติก(Osmotic pressure) ระหว่างภายในเซลล์ของผักผลไม้และสารละลายภายนอก เกิดเป็นแรงเคลื่อน (Driving force) ให้มีการถ่ายเทมวลสารระหว่างผลไม้และสารละลายภายนอกผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ หรือเซลล์เมมเบรนที่ทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่าน โดยการถ่ายเทมวลสารที่เกิดขึ้น จะมีทั้งการถ่ายเทมวลของน้ำและตัวถูกละลาย (Solute) ในเวลาเดียวกัน เป็นการเคลื่อนที่แบบสวนทางกัน (Counter-current mass transfer) ดังนี้ คือ

- 1) น้ำภายในเซลล์ของผักผลไม้ จะแพร่กระจายออกจากเซลล์สู่สารละลายภายนอก
- 2) ตัวถูกละลายภายนอกเช่น น้ำตาล หรือเกลือ จะแพร่กระจายเข้าสู่ภายในเซลล์ของผักผลไม้หรือเนื้อผักผลไม้

- 3) สารบางอย่างที่มีอยู่ในเซลล์ตามธรรมชาติ เช่น กรดอินทรีย์ น้ำตาล เกลือแร่ เป็นต้นจะแพร่กระจายออกนอกเซลล์ สู่สารละลายภายนอก (อ่อนรวี รัตนพันธุ์, 2533)

การถ่ายเทมวลสารที่เกิดขึ้นในกระบวนการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส แสดงได้ดังภาพที่ 2-3



ภาพที่ 2-3 การถ่ายเทมวลสารที่เกิดขึ้นในกระบวนการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส
ที่มา : อ่อนรวี รัตนพันธ์ (2533)

2.2.3 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส

การดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส จะทำให้เกิดการถ่ายเทมวลสารของน้ำในชั้นผักผลไม้และตัวถูกละลายในสารละลายที่ใช้แช่ ซึ่งอัตราการถ่ายเทมวลสารจะเกิดได้ช้าหรือเร็ว ขึ้นอยู่กับปัจจัยและสภาวะต่างๆที่ใช้ในกระบวนการออสโมติก ดังต่อไปนี้

1) ชนิดของสารละลายออสโมติก

สารละลายออสโมติกที่ใช้ในการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส ส่วนใหญ่จะเป็นสารละลายน้ำตาล น้ำเกลือ ซอร์บิทอล กลีเซอรอล เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีน้ำตาลกลูโคส ฟรุคโตส มอลโทส รวมทั้งน้ำเชื่อมข้าวโพดด้วย (อ่อนรวี รัตนพันธ์, 2533) โดยสารละลายออสโมติกที่นิยมใช้กับผลไม้ ได้แก่ น้ำเชื่อมซูโครส น้ำตาลแลกโตสผสมกับน้ำตาลซูโครส สารละลายออสโมติกที่ใช้อาจมีการเติมสารอื่นๆลงไปด้วย เช่น กรดซิตริก เกลือซัลไฟต์ แคลเซียมคลอไรด์

สารออสโมติกที่ใช้จะต้องมีค่า Water activity ต่ำ มีรสชาติเป็นที่ยอมรับ ในการใช้ต้องพิจารณาเพิ่มเติมอีก 3 ข้อ คือ

- ต้องไม่ทำให้ลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไป
- มีราคาต่อหน่วยถูก ไม่ส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตสูงขึ้นมาก
- สารละลายที่ใช้ควรมีน้ำหนักร้อยละสูง เพราะถ้ามีน้ำหนักร้อยละต่ำจะทำให้มี

แรงดันออสโมติกสูง เช่น น้ำตาลกลูโคสจะมีแรงดันออสโมติกสูงกว่าน้ำตาลซูโครส จึงทำให้มีปริมาณน้ำตาลซึมเข้าไปในเนื้อเยื่อได้มาก และเกิดการสูญเสียน้ำมากกว่าการใช้น้ำตาลซูโครส ซึ่งส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่แข็งกระด้างขึ้น (ศิริลักษณ์ สีนวลลัย, 2522)

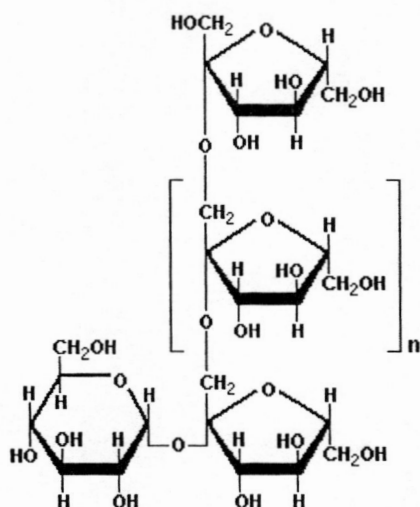
สำหรับสารละลายออสโมติกที่ใช้ในการทดลองนี้ คือ สารละลายน้ำตาลทราย (น้ำตาลซูโครส) และสารละลายน้ำตาลโอลิโกฟรุคโตส มีรายละเอียดต่างๆ ดังต่อไปนี้

น้ำตาลซูโครส เป็นสารที่นิยมนำมาใช้เป็นสารละลายออสโมติกมากที่สุดในการผลิตผลไม้อบแห้งด้วยการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส น้ำตาลในกระบวนการแปรรูปอาหารมักทำหน้าที่หลักได้แก่ ให้ความหวาน ช่วยถนอมอาหาร ช่วยดูดซับความชื้น เพิ่มความชื้นหนืด ลดค่า Water activity ทำให้เกิดน้ำหนึก ทำให้เกิดสี และน้ำตาลยังสามารถรวมตัวกับสารให้กลิ่นรส จึงช่วยเก็บรักษากลิ่นรสและป้องกันการสูญเสียกลิ่นรสที่ระเหยได้ (กล้าณรงค์ ศรีรอด, 2546) ในระหว่างการผลิตอบแห้งอีกด้วย น้ำตาลที่ใช้เป็นสารออสโมติกมีหลายชนิด แต่ที่นิยมใช้กันมากที่สุด คือ น้ำตาลซูโครส ซึ่งเป็นสารที่มีค่าเวอร์แอคติวิตีต่ำ ทำให้เกิดแรงดันออสโมติกที่เหมาะสม นอกจากนี้ยังมีราคาถูกกว่าน้ำตาลชนิดอื่นๆ เช่น กลูโคส ฟรุคโตส และแลคโตส น้ำตาลซูโครส มีสูตรโครงสร้างเป็น $C_{12}H_{22}O_{11}$ โมลโมเลกุล 342.30 g/mol ประกอบด้วยโมเลกุลของ glucose 1 โมเลกุล เชื่อมต่อกับโมเลกุลของ fructose 1 โมเลกุล เชื่อมกันด้วยพันธะ 1-2 glycosidic linkage น้ำตาลซูโครสมีลักษณะเป็นผลึก ละลายน้ำได้ดี นอกเหนือไปจากการให้ความหวานแล้วซูโครสยังมีสมบัติอีกอย่างหนึ่งคือ ทำหน้าที่ให้กลิ่นรสแก่อาหารได้แม้ว่าความหวานของอาหารอาจจะไม่เพิ่มขึ้น

ศิริลักษณ์ สีนธวาลัย (2522) กล่าวว่า สารละลายออสโมติกที่นิยมใช้กับผลไม้ ได้แก่ น้ำตาลซูโครส กลีเซอรอล แบะแซเหลว น้ำตาลกลูโคสผสมน้ำตาลซูโครส หรือผสมกับมอลโตเดกซ์ตริน เป็นต้น ส่วนสารละลายออสโมติกที่นิยมใช้กับผักได้แก่ เกลือ เกลือผสมกับน้ำตาลซูโครส กลีเซอรอล โพพิวลิโนไกลคอล เป็นต้น ในสารละลายออสโมติกยังอาจเติมสารอื่น ที่ใช้ในการผลิตลงไปด้วย เช่น กรดซิตริก เกลือซัลไฟต์และแคลเซียมคลอไรด์ เป็นต้น สารละลายออสโมติกที่ใช้จะต้องมีค่าเวอร์แอคติวิตีต่ำ เป็นสารที่ไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภคและมีรสชาติเป็นที่ยอมรับ ให้กลิ่นรสที่ดีต่อผลิตภัณฑ์สุดท้าย

โอลิโกฟรุคโตส (oligofructose) หรือ ฟรุคโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ (Fructo-oligosaccharide) เป็นโอลิโกแซ็กคาไรด์ (oligosaccharide) ซึ่งใช้เป็นสารให้ความหวาน (sweetener) แทนน้ำตาล (sugar substitute) มีรสชาติเหมือนกับน้ำตาล มีสมบัติเป็นพรีไบโอติก (prebiotic) ใช้เป็นสารให้ความหวานที่ให้พลังงานต่ำกว่าน้ำตาลทราย (relative sweetness 30-50% เมื่อเทียบกับน้ำตาล sucrose) และละลายน้ำได้ดี ใช้ในอาหารสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวานหรือผู้ที่ต้องการควบคุมน้ำหนัก เนื่องจากไม่สามารถย่อยได้ในร่างกายมนุษย์ เป็นสารที่แบคทีเรียในช่องปากไม่สามารถย่อยสลายให้เกิดกรดได้ จึงไม่เป็นสาเหตุให้เกิดฟันผุ และเป็นส่วนผสมของอาหารเสริมนมสำหรับเด็ก เป็นสารให้ความหวาน (sweetener) ในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด เช่น เครื่องดื่ม โมเลกุลของ oligofructose เกิดจาก น้ำตาลฟรุคโตส (fructose) น้อยกว่า 10 โมเลกุล โดยที่โมเลกุลที่ปลายสุดด้านหนึ่งเป็นน้ำตาลกลูโคส (glucose) แสดงดังภาพที่ 2-4 โดยโครงสร้างโมเลกุล

ของ Oligofructose เหมือนกับ inulin ซึ่งเป็น polysaccharide แต่ inulin เป็นโพลิเมอร์ที่มีสายยาวกว่า ไม่มีรสหวาน และละลายได้น้อย ในขณะที่ oligofructose มีขนาดโมเลกุลเล็กกว่า (Food wiki, n.d.)



ภาพที่ 2-4 โครงสร้างโมเลกุลของ oligofructose
ที่มา : Food wiki, (n.d.)

Marani, Agnelli, and Mascheroni (2007) ศึกษาผลของชนิดของสารละลายออสโมติกต่อการถ่ายเทมวลสาร พบว่า การใช้สารละลายที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำในระดับความเข้มข้นสูง ได้แก่ สารละลายฟรุคโตส สามารถเร่งการสูญเสียน้ำออกจากกีวได้ดี ขณะที่มีการเพิ่มขึ้นของของแข็งไม่สูงมาก เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารละลายกลูโคสความเข้มข้นต่ำ แต่การใช้สารละลายที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง จะมีการสูญเสียน้ำจากกีวอย่างช้าๆ ในช่วงแรกแต่มีอัตราเพิ่มขึ้นในช่วงท้ายของกระบวนการและมีการเพิ่มขึ้นของของแข็งต่ำตลอดกระบวนการที่ใช้ เวลานาน 25 ชั่วโมง

Saurel, Raoult-Wack, Rois, and Guilbert (1994) ศึกษาผลของน้ำหนักโมเลกุลของตัวถูกละลายเอทิลีนไกลคอล (Ethylene Glycol) โดยใช้สารละลายที่มีโมเลกุลตั้งแต่ 62-3,000 ดอลตัน พบว่า กระบวนการแช่ที่ใช้เวลาน้อยกว่า 30 นาที ปริมาณน้ำที่สูญเสียและปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นมีค่าสูงขึ้นทั้งนี้เนื่องจาก ตัวถูกละลายที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำมีความดันออสโมติกสูงจึงมีการกำจัดน้ำได้มากแต่อาจทำให้เนื้อเยื่ออาหารหดตัวได้ง่าย เนื่องจาก มีการสูญเสียน้ำในปริมาณมาก สำหรับ กระบวนการแช่ที่ใช้เวลานาน 390 นาที พบว่า การใช้สารละลายที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ทำให้ค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียสูง เนื่องจากเวลาที่นานขึ้นตัวถูกละลายที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ซึ่งถูกกักไว้ที่ผิวหน้าของชิ้นแอปเปิ้ลมีจำนวนมากทำให้ความแตกต่างของความเข้มข้นที่ผิวหน้าและภายในชิ้นแอปเปิ้ลมีค่าสูงขึ้นจึงเกิดการกำจัดน้ำได้สูง

2) ความเข้มข้นของสารละลายออสโมติก

ความเข้มข้นของสารละลายมีความสำคัญมาก เพราะมีส่วนช่วยในการดึงน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ โดยจะมีผลต่อค่า Water activity ถ้าความเข้มข้นยิ่งมากขึ้น ค่า Water activity ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีค่าน้อยลงและทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสูงขึ้น ซึ่งมีผลให้อัตราการออสโมซิสสูงขึ้นความเข้มข้นของสารละลายจะมีค่าสูงสุดค่าหนึ่ง ซึ่งเมื่อเลยค่านี้ไปแล้วจะไม่มีการสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้น และสารละลายชนิดเดียวกันเมื่อเพิ่มความเข้มข้นขึ้นจะทำให้ น้ำซึมออกได้เร็วขึ้น แต่ขณะเดียวกันน้ำตาลที่ซึมเข้าไปในผลไม้ก็มากขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้นจึงเป็นข้อด้อยหนึ่งของวิธีการนี้ คือทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่หวานจนเกินไป (อ่อนรวี รัตนพันธุ์ , 2533)

จุฑามาศ นิวัฒน์ (2542) ได้ศึกษาการทำแห้งสับประรดด้วยวิธีออสโมซิสระบบต่อเนื่อง โดยศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล 3 ระดับ คือ 45 50 และ 55 บริกซ์ พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลเพิ่มขึ้น ทำให้อัตราการถ่ายเทมวลสารระหว่างน้ำกับน้ำตาลเพิ่มขึ้นด้วย

3) อุณหภูมิ

อุณหภูมิของสารละลายออสโมติกเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงเพราะว่าจะมีผลต่ออัตราการถ่ายเทมวลสาร เมื่ออุณหภูมิที่ใช้สูงขึ้นจะมีผลทำให้โครงสร้างบางส่วนของอาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงไป คือ เยื่อหุ้มเซลล์อ่อนตัวลงจึงทำให้การซึมผ่านของน้ำและตัวถูกละลายง่ายกว่าการใช้อุณหภูมิต่ำ และการเพิ่มอุณหภูมิยังทำให้ความหนืดของน้ำเชื่อมลดลงทำให้การเคลื่อนที่ของน้ำและน้ำตาลสะดวกขึ้นเป็นผลให้อัตราการออสโมติกสูงขึ้นด้วย ถึงแม้ว่าการเพิ่มอุณหภูมิของสารละลายจะทำให้อัตราการถ่ายเทมวลสารเพิ่มขึ้นแต่มีข้อจำกัดคือ จะมีผลต่อการสูญเสียกลิ่นรสและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ (วันวิสาข์ กระแสร์คุปต์, 2535)

พรพรด พงษ์สมบุรณ์ (2550) ได้ศึกษาผลของสูตรสารละลายออสโมติก อุณหภูมิในการออสโมซิส และวิธีการอบแห้งต่อคุณภาพของแครอทอบแห้ง โดยเลือกใช้อุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิของสารละลายออสโมติก 40 องศาเซลเซียสให้ผลในการทดลองดีที่สุด เนื่องจากมีปริมาณความชื้นต่ำที่สุด

4) การคนหรือกวน

ในกระบวนการดึงน้ำออกแบบออสโมซิส ถ้าหากสารละลายมีการเคลื่อนที่ด้วยการคนหรือกวนจะทำให้อัตราการออสโมซิสสูงขึ้น ทำให้อัตราการสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้น เนื่องจากในขณะที่เกิดการออสโมซิสนั้น น้ำภายในชิ้นอาหารจะซึมผ่านออกมายังสารละลายภายนอก ทำให้บริเวณรอบๆ ชิ้นอาหารมีความเข้มข้นของสารละลายลดลง ส่งผลให้ความแตกต่างของแรงดันออสโมติกลดลงด้วย ดังนั้นการคนหรือกวนจะทำให้สารละลายเกิดการเคลื่อนที่ซึ่งจะช่วยกระจายสารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำรอบๆ ชิ้นอาหารออกไปให้มีความเข้มข้นสม่ำเสมอ (วันวิสาข์ กระแสร์คุปต์, 2535)

สุธีรา เลิศวุฒิชัยกุล (2540) ได้ศึกษาการลดเวลาในการผลิตสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง โดยการทำให้สารละลายเคลื่อนที่แบบจังหวะทุกๆ 30 นาที พบว่าสามารถช่วยลดระยะเวลาในการออสโมซิสได้

5) รูปร่างและขนาดของชิ้นอาหาร

รูปร่างและขนาดของชิ้นอาหารมีผลต่ออัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวสัมผัสต่อปริมาตร ถ้าอัตราส่วนนี้สูงน้ำจะแพร่กระจายออกสู่สารละลายที่ใช้แช่ได้เร็วขึ้น เนื่องจากมีพื้นที่ผิวสัมผัสกับสารละลายได้มากขึ้น ถ้าอาหารมีชิ้นใหญ่ น้ำจะซึมออกได้น้อย (อ่อนรวี รัตนพันธ์, 2533) หรือถ้าอาหารมีรูปร่างกลม น้ำจะซึมออกได้น้อยเช่นกัน เนื่องจากพื้นที่ผิวอาหารต่อปริมาตรมีค่าน้อย

Lerici, Pinnavaia, Dalla Rosa, & Bartolucci (1985) ได้ศึกษาผลของการออสโมซิสของผลไม้ พบว่าแอปเปิลชิ้นรูปแว่น มีอัตราการสูญเสีย น้ำมากที่สุด และแอปเปิลชิ้นลูกเต๋าจะมีอัตราการสูญเสีย น้ำรองลงมา

6) ชนิดของผลไม้ พันธุ์ และความสุก

ผลไม้บางชนิดสามารถทำการดองน้ำออกแบบออสโมซิสได้เร็ว บางชนิดทำได้ช้า เนื่องจากการถ่ายเทมวลสารระหว่างน้ำและตัวถูกละลายขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างของผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ พบว่า สับปะรดสามารถทำแห้งได้เร็วกว่ามะละกอและมะม่วง ผลไม้ชนิดเดียวกันแต่คนละพันธุ์กันมีอัตราในการทำแห้งต่างกันด้วย นอกจากนี้ความสุกก็มีผลด้วยซึ่งผลไม้สุกจะทำแห้งได้เร็วกว่าผลไม้ดิบ แต่ถ้าสุกเกินไปผลไม้จะเละไม่น่ารับประทาน (อ่อนรวี รัตนพันธ์, 2533)

7) อัตราส่วนระหว่างผลไม้และสารละลาย

การใช้อัตราส่วนของสารละลายออสโมติกในปริมาณมากจะทำให้อัตราการถ่ายเทมวลสารสูงกว่าการใช้สารละลายปริมาณน้อย ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณน้ำที่แพร่ออกจากเซลล์ผลไม้ในระหว่างการออสโมซิสนั้นจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายน้อยมาก ถ้าใช้สารละลายปริมาณมากจะมีแรงดันออสโมติกมาก ทำให้ความแตกต่างระหว่างปริมาณน้ำภายในเซลล์ผลไม้และสารละลายภายนอกเซลล์มีค่าสูงอยู่ตลอดเวลา แต่การใช้น้ำเชื่อมปริมาณมากจะทำให้ค่าใช้จ่ายสูงและมีปัญหาในด้านการจัดการสารละลายภายหลังการออสโมซิสด้วย จึงต้องใช้อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดระหว่างสารละลายออสโมติกและผลไม้เพื่อที่จะดองน้ำออกให้ได้มากที่สุด สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อย และผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพดี (วันวิสาข์ กระแสร์คุปต์, 2535)

จุฑามาศ นิวัฒน์ (2542) ได้ศึกษาการทำแห้งสับปะรดด้วยวิธีออสโมซิสระบบต่อเนื่อง โดยศึกษาอัตราส่วนระหว่างสับปะรดกับสารละลายน้ำตาล 3 ระดับ คือ 1:3 1:4 และ 1:5 พบว่า เมื่อใช้อัตราส่วนระหว่างสับปะรดกับสารละลายน้ำตาลเพิ่มขึ้น ทำให้อัตราการถ่ายเทมวลสารระหว่างน้ำกับน้ำตาลเพิ่มขึ้นด้วย

8) ตัวบ่งชี้สำหรับการดื่มน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส

ในการศึกษาการดื่มน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสอาจทำการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นโดยตัวบ่งชี้กระบวนการซึ่งอาจวัดเป็นเปอร์เซ็นต์การสูญเสีย น้ำ (Water loss; WL) เปอร์เซ็นต์การสูญเสีย น้ำหนัก (weight reduction; WR) และเปอร์เซ็นต์การซึมซับสารละลาย (solid gain; SG) (El-Aouar *et al.*, 2006)

$$\text{เปอร์เซ็นต์การสูญเสีย น้ำ (WL)} = \frac{\text{ปริมาณน้ำเริ่มต้น} - \text{ปริมาณน้ำที่เวลาต่างๆ} \times 100}{\text{ปริมาณน้ำหนักเริ่มต้น}}$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์การสูญเสีย น้ำหนัก (WR)} = \frac{\text{ปริมาณน้ำหนักเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักที่เวลาต่างๆ} \times 100}{\text{ปริมาณน้ำหนักเริ่มต้น}}$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์การซึมซับสารละลาย (SG)} = \frac{\text{น้ำหนักที่เวลาต่างๆ} - \text{น้ำหนักก่อนการออสโมซิส} \times 100}{\text{ปริมาณน้ำหนักเริ่มต้น}}$$

Correa, Pereira, Vieira, & Hubinger (2010) ศึกษาจุลศาสตร์ของน้ำหนักที่ลดลง (WR) ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) และ a_w ของชิ้นฝรั่งในระหว่างการดื่มน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส เมื่อใช้สารละลายซูโครส 40 50 และ 60 องศาบริกซ์ ร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศที่ความดัน 100 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 0 10 15 นาที พบว่า การใช้สารละลายที่มีความเข้มข้นสูงนั้นจะทำให้ มีปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) และปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) เพิ่มมากขึ้น โดยพบว่า การใช้สภาวะสุญญากาศเป็นเวลา 15 นาที จะทำให้ค่าดังกล่าวมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นสูงที่สุด และพบว่า เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นสูงขึ้นจะทำให้ค่า a_w ลดต่ำลง

2.3 น้ำส้มสายชูหมัก

น้ำส้มสายชู หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นของเหลวใสมีรสเปรี้ยวด้วยกรดแอซิติก (acetic acid) เป็นส่วนใหญ่ ใช้เป็นสารปรุงแต่งรสอาหารและช่วยในการถนอมอาหาร

น้ำส้มสายชูแบ่งออกเป็น 3 ประเภท

- 1) น้ำส้มสายชูเทียม น้ำส้มสายชูชนิดนี้ได้จากการนำกรดแอซิติกมาเจือจาง ให้มีความเข้มข้นประมาณ 4 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร จัดเป็นน้ำส้มสายชูราคาถูกแต่ขาดกลิ่นรสที่ดี
- 2) น้ำส้มสายชูกลั่น (Distilled vinegar) เป็นน้ำส้มสายชูที่ได้จากการนำสุราหรือเอทานอล (ethanol) มาหมักด้วยเชื้อน้ำส้ม โดยมีการเติมเกลือแร่ และอาหารเสริมที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของเชื้อ ได้แก่ แอมโมเนียม ไนโตรเจน ฟอสเฟต กลูโคส ออโตไลซ์ ยีสต์ เป็นต้น

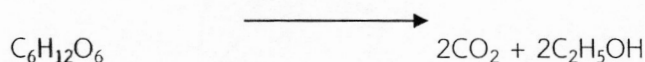
3) น้ำส้มสายชูหมัก (Fermented Vinegar) หมายถึงน้ำส้มสายชูที่ได้จากการหมักธัญพืช น้ำผลไม้ หรือน้ำตาล ด้วยเชื้อยีสต์ให้ได้แอลกอฮอล์ แล้วหมักต่อด้วยเชื่อน้ำส้มได้เป็นกรดแอซิติกออกมา ธัญพืชที่นิยมใช้ในการผลิตน้ำส้มสายชูได้แก่ ข้าวเหนียว ข้าวบาร์เลย์ โดยจะต้องเปลี่ยนสารจำพวกแป้งเป็นน้ำตาลก่อน ส่วนผลไม้ที่นิยมใช้ได้แก่ แอปเปิ้ล องุ่น และสับปะรด น้ำส้มสายชูหมักจัดเป็นน้ำส้มที่มีกลิ่นหอมรสชาติดี มีสีและรสชาติแตกต่างกันไปตามแหล่งของวัตถุดิบ กลิ่นหอมของน้ำส้มสายชูชนิดนี้ได้จากสารบางชนิดที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหมัก กลิ่นรสจะดียิ่งขึ้นเมื่อทำการเก็บหรือบ่มไว้นานๆ

มาตรฐานของสำนักงานอาหารและยาของสหรัฐอเมริกาได้แบ่งชนิดของน้ำส้มสายชูออกเป็นชนิดต่างๆดังนี้

- 1) Cider vinegar และ Apple vinegar เป็นน้ำส้มสายชูหมักที่ได้จากแอปเปิ้ลเป็นวัตถุดิบ และมีกรดน้ำส้มไม่น้อยกว่า 4 g/100 ml ที่ 30 องศาเซลเซียส
- 2) Wine vinegar และ Grape vinegar เป็นน้ำส้มสายชูได้จากองุ่นเป็นวัตถุดิบ มีกรดน้ำส้มไม่น้อยกว่า 4 g/100 ml ที่ 30 องศาเซลเซียส (จุฬามาศ มณีวงศ์, 2551)
- 3) Malt vinegar เป็นน้ำส้มสายชูที่ได้จากข้าวมอลต์หรือข้าวอื่นๆ ที่ถูกย่อยโดยข้าวมอลต์เป็นวัตถุดิบและมีกรดน้ำส้มไม่น้อยกว่า 4 g/100 ml ที่ 30 องศาเซลเซียส (จุฬามาศ มณีวงศ์, 2551)
- 4) Glucose vinegar คือน้ำส้มสายชูที่ได้จากการหมักสารละลายกลูโคส มีกรดน้ำส้มไม่น้อยกว่า 4 g/100 ml ที่ 30 องศาเซลเซียส (จุฬามาศ มณีวงศ์, 2551)
- 5) Spirit vinegar distilled vinegar และ Grain vinegar คือน้ำส้มสายชูที่ได้จากแอลกอฮอล์กลั่นและมีกรดน้ำส้มไม่น้อยกว่า 4 g/100 ml ที่ 30 องศาเซลเซียส (จุฬามาศ มณีวงศ์, 2551)

กระบวนการหมักของน้ำส้มสายชู แบ่งเป็น 2 ขั้นตอน

ขั้นตอนที่ 1 การหมักน้ำตาลให้เป็นเอทานอล ในช่วงนี้เป็นกระบวนการหมักแบบไม่ใช้อากาศ ดังสมการ



ในกรณีที่วัตถุดิบไม่ใช่น้ำตาล เช่น แป้ง จะต้องเปลี่ยนแป้งให้เป็นน้ำตาลเสียก่อน โดยอาจจะหมักโดยใช้เชื้อรา หรืออาจใช้กรดหรือเอนไซม์ย่อยก็ได้

ขั้นตอนที่ 2 การเปลี่ยนแปลงแอลกอฮอล์ให้เป็นกรดแอซิดิก (Acetification) โดยเชื้อน้ำส้ม (acetic acid bacteria) ทำการหมักในสภาพที่มีอากาศได้ผล ดังสมการ



ปฏิกิริยาการเปลี่ยนเอทิลแอลกอฮอล์เป็นกรดแอซิดิกหรือน้ำส้มสายชูนั้นเป็นปฏิกิริยา 2 ขั้นตอน โดยสรุปได้ดังนี้ ขั้นตอนแรกเป็นการเปลี่ยนเอทิลแอลกอฮอล์ให้เป็นอะซีตัลดีไฮด์ (acetaldehyde) โดยการทำงานของเอนไซม์แอลกอฮอล์ดีไฮโดรจีเนส แล้วขั้นตอนที่สองเป็นการเปลี่ยนอะซีตัลดีไฮด์ให้เป็นไฮดรอะซีตัลดีไฮด์ จากนั้นเป็นไฮดรอะซีตัลดีไฮด์ จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเปลี่ยนไปเป็นกรดแอซิดิก นอกจากนี้การเกิดกรดแอซิดิกอาจเกิดขึ้นภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจน โดยอะซีตัลดีไฮด์ 2 โมเลกุลจะทำปฏิกิริยากัน โดยเรียกปฏิกิริยานี้ว่า Cannizaro dismutation reaction ทำให้ได้กรดแอซิดิกและเอทานอลอย่างละ 1 โมเลกุล

ซึ่งในขั้นตอนที่ 2 นั้นนอกจากกรดแอซิดิกซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในน้ำส้มแล้วยังมีสารประกอบเกิดขึ้นมากมายหลายชนิด เช่น แอลกอฮอล์ กรดอินทรีย์ เอสเทอร์ สารประกอบคาร์บอนิล ซึ่งล้วนแล้วแต่ส่งผลต่อกลิ่นและรสชาติของน้ำส้มสายชูหมัก ซึ่งปกติน้ำส้มสายชูหมักที่ผลิตใหม่จะมีกลิ่นและรสชาติที่รุนแรง ดังนั้นการที่นำน้ำส้มสายชูหมักไปผ่านการบ่มจะทำให้กลิ่นรสของน้ำส้มสายชูหมักนุ่มขึ้น และน้ำส้มสายชูหมักจะมีลักษณะที่ใสขึ้นอีกด้วย ซึ่งคุณภาพของน้ำส้มสายชูหมักที่ผ่านการบ่มนั้น ขึ้นกับปัจจัยต่างๆ อาทิ เวลา อุณหภูมิ ภาชนะที่ใช้บ่ม

ประโยชน์ของน้ำส้มสายชูหมัก

ในปัจจุบันน้ำส้มสายชูเป็นสารอินทรีย์ที่มีความสำคัญในอุตสาหกรรม โดยมีการผลิตน้ำส้มสายชูเพื่อการบริโภคกันทั่วโลก ในระดับครัวเรือนมีการใช้น้ำส้มสายชูในการเตรียมอาหาร การปรุงรสและอื่นๆ แต่ส่วนใหญ่มักจะเป็นน้ำส้มสายชูกลั่นมากกว่าน้ำส้มสายชูหมัก น้ำส้มสายชูกลั่นจะผลิตจากแอลกอฮอล์ ส่วนน้ำส้มสายชูหมักจะผลิตจากวัตถุดิบทางการเกษตรต่างๆ ดังนั้นน้ำส้มสายชูหมักจะมีองค์ประกอบที่ซับซ้อนมากและองค์ประกอบที่ได้จะขึ้นกับวัตถุดิบด้วย ดังนั้นน้ำส้มสายชูหมักจะมีกลิ่นหอมกว่าน้ำส้มสายชูกลั่น นอกจากนี้ในปัจจุบันนี้มีการวิจัยมากมายที่บ่งชี้ว่าการรับประทานน้ำส้มสายชูหมักเป็นประจำจะมีผลดีต่อสุขภาพ เช่น ช่วยระบบการย่อยอาหารให้ดีขึ้น เนื่องจากน้ำส้มสายชูเป็นกรดดังนั้นเมื่อรับประทานเข้าไปจะทำให้กระเพาะอาหารและลำไส้มีสภาพเป็นกรดอ่อนการย่อยอาหารจะมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น หรือสามารถช่วยลดระดับน้ำตาลในเลือด (Liljeberg and Bjorck, 1998) ในกรณีของผู้ที่เป็นโรคเบาหวาน หรือ ช่วยในการลดความอ้วน เนื่องจากน้ำส้มสายชูมีโมเลกุลขนาดเล็กกว่าน้ำตาลทำให้ร่างกายสามารถดูดซึมได้ดี ผู้ที่บริโภคมักไม่ค่อยหิว จึงเหมาะสำหรับผู้ที่ต้องการลดความอ้วน

หรือผู้ที่ต้องการลดอาหาร (Ostman et al., 2005) และช่วยละลายไขมันในเส้นเลือด นอกจากนี้คุณค่าทางโภชนาการของน้ำส้มสายชูหมักจะแตกต่างกันตามแหล่งของวัตถุดิบ

2.4 รายละเอียดเกี่ยวกับจุลินทรีย์ที่ใช้ในการผลิตน้ำส้มสายชูหมัก

S. cerevisiae หรือยีสต์ คือ รากลุ่มหนึ่งที่มีส่วนใหญเป็นเซลล์เดี่ยว ยีสต์มีรูปร่างหลายแบบ เช่น รูปร่างกลม รี สามเหลี่ยม รูปร่างแบบมะนาว เป็นต้น และลักษณะโคโลนีมีสีขาวขุ่น ขอบเรียบ กลมและนูน ส่วนใหญ่มีการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ โดยวิธีการแตกหน่อ พบทั่วไปในธรรมชาติในดิน ในน้ำ และในกระเพาะของสัตว์บางชนิด แต่แหล่งที่พบยีสต์อยู่บ่อยๆ คือแหล่งที่มีน้ำตาลความเข้มข้นสูง เช่น น้ำผลไม้ที่มีรสหวาน ยีสต์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติมักจะปนลงไปในการเป็นเหตุให้อาหารเน่าเสียได้ (Alexopoulos, Mims, & Blackwell, 1996)

ยีสต์เป็นจุลินทรีย์ที่รู้จักกันมาตั้งแต่สมัยโบราณถึงกับมีผู้กล่าวว่า ยีสต์เป็นจุลินทรีย์ชนิดแรกที่มนุษย์นำมาใช้ รายงานแรกเกี่ยวกับการใช้ยีสต์ คือการผลิตเบียร์ชนิดหนึ่งที่เรียกว่า Boozah เมื่อประมาณ 6,000 ปีก่อนคริสต์ศักราช คนไทยรู้จักใช้ประโยชน์จากยีสต์มาเป็นเวลานาน เช่นในการทำอาหารหมักบางชนิด ได้แก่ ข้าวหมาก เครื่องดองของเมาหลายชนิด เช่น สาโท และกระแช่ เป็นต้น ปัจจุบันมีการนำยีสต์มาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมหลายประเภท โดยการผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ชนิดต่างๆ เช่น เบียร์ ไวน์ และวิสกี การผลิตเอทิลแอลกอฮอล์เพื่อใช้เป็นสารเคมีและเชื้อเพลิง การผลิตเซลล์ยีสต์ เพื่อใช้เป็นยีสต์ขนมปังและเป็นโปรตีนเซลล์เดี่ยว ยีสต์บางประเภทสามารถนำมาใช้ในการผลิตสุราได้ แต่ยีสต์บางชนิดที่เพาะมาเป็นพิเศษ ก็เป็นยีสต์ที่ผลิตมาเพื่อการค้าและมีลิขสิทธิ์เฉพาะ เช่น ยีสต์คาลสเบิร์กโนเจนซิส เป็นยีสต์ลิขสิทธิ์ที่ใช้ในการผลิตเบียร์คาลสเบิร์ก การผลิตยีสต์ที่ได้คุณภาพจะต้องผ่านการรับรองจากสถาบัน Leco ถึงจะสามารถบรรจุวางขายในซูเปอร์มาร์เก็ตของยุโรป เช่น ร้าน Hermes และ Struers ได้ ยีสต์มีคุณสมบัติในการเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และแอลกอฮอล์ได้ โดยหลักการทำงานของยีสต์ หรือ "เบเกอร์ยีสต์" (Baker yeast) ที่ใส่ให้ขนมปังฟู เนื่องมาจากยีสต์ที่ใส่ลงไปมีการใช้น้ำตาลในแป้งขนมปัง หรือที่เรียกกันว่า "โด" (Dough) เป็นอาหาร และระหว่างที่มันกินอาหารมันก็จะหายใจเอาออกซิเจนเข้าไป และหายใจเอาคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา และเมื่อเราเอาแป้งไปอบ ก๊าซที่มันคายออกมาก็พุดขึ้นมา ระหว่างเนื้อขนมปังทำให้เกิดรูพรุนจนฟูขึ้นมาส่วนพวก "บริวเวอร์ยีสต์" (Brewer yeast) ซึ่งเป็นยีสต์ที่นำมาหมักทำเบียร์และไวน์ มีรสชาติค่อนข้างรุนแรง ประกอบไปด้วยธาตุอาหารมากมีกรดอะมิโน 16 ชนิด เกลือแร่ 14 ชนิด วิตามิน 17 ชนิด นอกจากนี้ยังมีเกลือแร่สูง คือ โครเมียม สังกะสี เหล็ก ฟอสฟอรัส และเซลเลเนียม อีกทั้งบริวเวอร์ยีสต์ยังเป็นแหล่งสำคัญของโปรตีนถึง 16 g ยีสต์ 30 g มีมากถึง 50-55% ทั้งนี้โดยยีสต์ไม่ใช้ออกซิเจนในการหายใจ (Alexopoulos et al., 1996)

ยีสต์ที่ใช้หมักไวน์มีหลายสายพันธุ์ ได้แก่ Montrachet Champagne Sherry Ellipsoideus และ Burgundy เป็นต้น ยีสต์เหล่านี้สามารถหมักได้อย่างรวดเร็ว ให้ปริมาณแอลกอฮอล์สูงและทนทานต่อสภาวะแวดล้อม เช่น ดิกรีแอลกอฮอล์ อุณหภูมิ และกรดต่าง เป็นยีสต์ที่เจริญที่ก้นภาชนะ เพราะหลังหมักไวน์จะทำให้ไวน์ใส สามารถแยกตะกอนออกได้ง่าย ไม่ควรใช้ยีสต์ขนมปัง (Baker's yeast) มาใช้หมักไวน์ เพราะจะให้แอลกอฮอล์ต่ำและไวน์ขุ่น ยีสต์ขนมปังนั้นจะกินน้ำตาลมากแต่ให้แอลกอฮอล์ต่ำ ในขณะที่ยีสต์สำหรับทำไวน์สามารถให้แอลกอฮอล์สูงกว่าใช้น้ำตาลน้อยกว่า ไวน์ที่หมักด้วยยีสต์ขนมปังมักจะให้สารเจือปนมาก มีกลิ่นรสไม่กลมกล่อม มีสารตกค้างที่เป็นอันตรายต่อระบบตับ ไต และทำให้เกิดอาการปวดหัวและเมาค้าง (Alexopoulos et al., 1996)

ชนิดของยีสต์ที่ใช้

ยีสต์ที่จะนำมาใช้ควรเป็นยีสต์ที่มีความบริสุทธิ์ ทนต่อปริมาณแอลกอฮอล์สูง ใช้น้ำตาลได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถรวมตัวและตกตะกอนได้หลังสิ้นสุดการหมัก โดยทั่วไปนิยมใช้ 2 รูปแบบ คือ ยีสต์ผงและยีสต์สด

1) ยีสต์สด (Compressed yeast) เจริญเร็วเมื่อมีอาหารและสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมและทำให้ขนมมีกลิ่นรสดี ราคาไม่แพง แต่ต้องเก็บในที่อุณหภูมิต่ำ เพราะใช้ในปริมาณน้อยในการหมักแต่ละครั้ง และสามารถเก็บไว้ในตู้เย็นได้นาน 3-4 เดือน (ภาพที่ 6) ยีสต์สดมีสีครีมอ่อนถึงน้ำตาลอ่อนค่อนข้างขาว การทำงานของยีสต์จะช้าลงเมื่ออุณหภูมิต่ำ ดังนั้นยีสต์สดจึงควรเก็บในตู้เย็นถ้าจะเก็บไว้นานเกิน 1 วัน การแช่แข็งยีสต์สดจะทำให้ยีสต์มีคุณภาพอยู่ได้นานขึ้น แต่การแช่แข็งที่อุณหภูมิสูงยีสต์สดก็จะทำลายได้ภายใน 24 ชั่วโมง แต่การแช่แข็งที่อุณหภูมิต่ำกว่า 3 องศาเซลเซียส จะทำลายคุณภาพของยีสต์ทำให้ยีสต์ตายในที่สุด (ประเสริฐ สายสิทธิ์, 2524)

2) ยีสต์ผง (Active dry wine yeast หรือ ADY) การใช้ยีสต์ผงและยีสต์แห้งทำไวน์จะได้ไวน์ที่มีคุณภาพดี (ภาพที่ 7) มีกลิ่นหอมเนื่องจากเป็นยีสต์ที่ถูกคัดเลือกและผสมจากยีสต์หลายๆ สายพันธุ์จึงทำให้การหมักเป็นไปอย่างสมบูรณ์ ไม่เกิดการเน่าเสียง่าย ยีสต์ผงปัจจุบันในซองหรือกระป๋องที่สามารถเก็บไว้ได้นานนับปีในตู้เย็น (ประเสริฐ สายสิทธิ์, 2524)

รายละเอียดเกี่ยวกับ *Acetobacter* spp.

Acetobacter spp. เป็นแบคทีเรียแกรมลบ (Gram negative bacteria) รูปร่างท่อน (Rod shape) ไม่สร้างสปอร์ (Non spore forming bacteria) แบคทีเรียชนิดนี้สามารถเคลื่อนที่ได้โดยใช้แฟลกเจลลา (Peritrichous flagella) และเป็นแบคทีเรียที่ไม่ทำให้เกิดโรค เป็นแบคทีเรียที่สามารถพบได้ในธรรมชาติ เช่น ในดิน น้ำผิวดิน ดอกไม้ และน้ำผลไม้ เจริญได้ในที่มีอากาศ (Aerobic bacteria) อุณหภูมิสำหรับการเจริญอยู่ระหว่าง 25-30 องศาเซลเซียสและที่ดีที่สุดมีค่า pH ระหว่าง 5.4-6.3 (Deley, Swings, & Gossele, 1984) สามารถออกซิโดซ์เอทิลแอลกอฮอล์ให้

เป็นกรดแอซิติก (Acetic acid) ในภาวะที่มีออกซิเจน จึงจัดอยู่ในกลุ่ม acetic acid bacteria *A. aceti* มีความสำคัญทางอุตสาหกรรม เช่น ใช้ในการทำน้ำส้มสายชู ใช้ผลิตสารเคมี เป็นต้น (Edberg, 1991) และ *A. aceti* ยังสามารถปนเปื้อนและพบบ่อยในอุตสาหกรรมหมักเบียร์และไวน์เพราะจะทำให้เบียร์เปลี่ยนสีและรสชาติ (Kough, 1991)

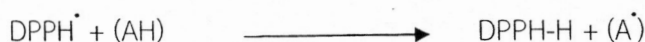
2.5 สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant)

อนุมูลอิสระเป็นสารหรือโมเลกุลที่มีอิเล็กตรอนโดดเดี่ยว (unpaired electron) อยู่รอบนอกเป็นโมเลกุลที่ไม่เสถียร และว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี ก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation reaction) แล้วกลายเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ต่อไป ส่วนมากแล้วเกิดกับโมเลกุลของออกซิเจน (โอภา วัชรคุปต์, 2550; จักรพงษ์ ไพบุลย์, 2542) เช่น superoxide anion radical (O_2^-) hydroxyl radical (HO) peroxide radical (ROO) hydrogen peroxide (H_2O_2) เป็นต้น อนุมูลอิสระเกิดจากกระบวนการเมตาบอลิซึมในร่างกายมนุษย์ และเกิดจากสิ่งแวดล้อมที่เป็นมลพิษ เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์จากเครื่องยนต์ควันบุหรี่ สารเคมีต่าง ๆ รังสี UV และจากการรับประทานอาหารปิ้งย่างที่ไหม้เกรียม ส่งผลให้เกิดการสะสมของอนุมูลอิสระในสิ่งมีชีวิตเพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดภาวะ ที่เรียกว่า oxidative stress ที่ส่งผลกระทบต่อเซลล์ เช่น เซลล์ถูกทำลาย เกิดการเสื่อมของเซลล์ ซึ่งเป็นสาเหตุของการแก่ (aging) และทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของดีเอ็นเอ ไขมัน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และเยื่อหุ้มเซลล์รุนแรงไปถึงการเกิดเป็นโรค เช่น โรคไขมันอุดตันในเส้นเลือด โรคหลอดเลือดหัวใจ โรคมะเร็ง โรคเบาหวาน เป็นต้น มนุษย์สามารถป้องกันการทำลายจากอนุมูลอิสระเหล่านี้ได้ (พรทิพย์ วิรัชวงศ์, 2546) โดยใช้เอนไซม์ที่สร้างในร่างกายกำจัด เช่น superoxide dismutase (SOD) และ Glutathione peroxidase (GPX) แต่การกำจัดอนุมูลอิสระด้วยเอนไซม์มักมีขีดจำกัด เช่น บางคนมีพันธุกรรมที่สามารถสร้างเอนไซม์ได้น้อยและเพิ่มความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระได้โดยรับประทานอาหาร ผัก ผลไม้ที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น วิตามินซี วิตามินอี เบต้าแคโรทีน และแอนโทไซยานิน (จักรพงษ์ ไพบุลย์, 2542)

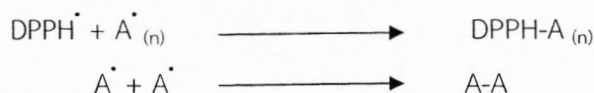
สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) คือโมเลกุลของสารที่สามารถจับกับตัวรับและสามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของโมเลกุลสารอื่นๆได้ ปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนจากสารหนึ่งไปยังตัวออกซิไดซ์ (โอภา วัชรคุปต์, 2550) ปฏิกิริยาดังกล่าวสามารถให้ผลิตภัณฑ์เป็นสารอนุมูลอิสระ (free radical) ซึ่งสารอนุมูลอิสระเหล่านี้จะเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่และทำลายเซลล์ของร่างกาย สารต้านอนุมูลอิสระจะเข้ายุติปฏิกิริยาลูกโซ่เหล่านี้ด้วยการเข้าจับกับสารอนุมูลอิสระและยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยถูกออกซิไดซ์ ดังนั้นสารต้านอนุมูลอิสระจึงถือเป็นตัววิเศษ สารต้านอนุมูลอิสระเป็นกลุ่มของสารอาหารที่มีมากมายหลายชนิด (พรทิพย์ วิรัชวงศ์, 2546) เช่น กลุ่มของวิตามินเอรวมถึงเบต้าแคโรทีน วิตามินซีและวิตามินอี รวมเรียกว่า แอนติออกซิแดนท์วิตามิน (antioxidant vitamins) กลีโกลและเอนไซม์ ซึ่งสารแอนติออกซิแดนท์ที่

พบในร่างกายและจัดเป็นเอนไซม์ ได้แก่ Superoxide dismutase (SOD) Catalase (CAT) Glutathione peroxidase (GPX) Glutathione reductase (GR) และ Glutathione S-transferase (GST) ส่วนสารแอนต้ออกซิแดนท์ที่พบในร่างกาย แต่ไม่จัดเป็นเอนไซม์ ได้แก่ Glutathione Lipoic acid Ceruloplasmin Albumin Transferrin Haptoglobin Hemopexin Uric acid Bilirubin Cysteine ส่วนสารแอนต้ออกซิแดนท์ที่พบในอาหารและไม่จัดเป็นเอนไซม์ ได้แก่ Tocopherols Carotenoids Ascorbic acid, Steroids, Ubiquinones, Thiols, Inosine, Taurine, Pyruvate Gallic acid, Flavonoids Trolox BHT BHA

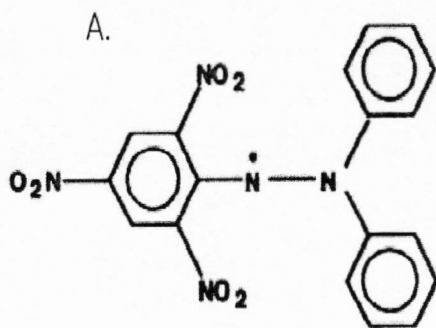
ในปัจจุบันสารต้านอนุมูลอิสระได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก ได้มีการนำสารต้านอนุมูลอิสระมาใช้ในการส่งเสริมสุขภาพ ป้องกันและรักษาโรคต่าง ๆ เพราะเชื่อว่าสามารถลดปฏิกิริยาออกซิเดชันและด้านการเกิดอนุมูลอิสระได้ (Molyneux, 2004) ในการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมีความสำคัญ เพื่อใช้บอกประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ หากฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมีค่าสูงแสดงว่ามีประสิทธิภาพในการต้านการเกิดอนุมูลอิสระสูงด้วยเช่นกัน วิธีที่นิยมใช้ในการทดสอบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมีหลายวิธี เช่น oxygen radical absorbance capacity (ORAC), 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging assay และ 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid) (ABTS) free radical decolorization assay เป็นต้น แต่ในโครงการวิจัยนี้จะใช้ 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging assay ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการวัดค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH นี้มีหลักการที่สารเคมี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) นี้เป็นอนุมูลอิสระสังเคราะห์ที่มีความคงตัว เมื่ออยู่ในรูปสารละลาย DPPH จะมีสีม่วง และสามารถดูดกลืนแสงได้ดีที่มีความยาวคลื่น 517 nm ทำการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้โดยผสม DPPH และสารต้านอนุมูลอิสระที่ต้องการทดสอบ (AH) ในหลอดทดลอง ซึ่งเกิดปฏิกิริยากันดังสมการนี้



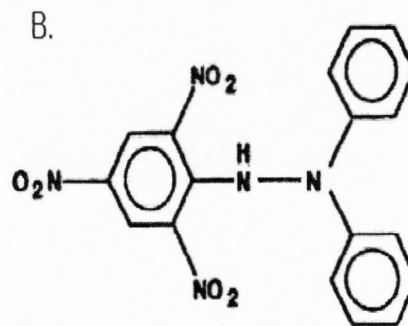
อนุมูลอิสระใหม่ที่เกิดขึ้น ($\text{A}^{\cdot}$) จะทำปฏิกิริยาต่อไป (radical-radical interaction) โดยกระบวนการ radical disproportionation จนกระทั่งได้เป็นโมเลกุลที่มีความคงตัว (A-A) ดังสมการนี้



เมื่ออนุมูลอิสระ $\text{DPPH}^{\cdot}$ ได้รับโปรตอนจากสารต้านอนุมูลอิสระที่นำมาทดสอบ สารละลาย DPPH ก็ จะเปลี่ยนสีจากสีม่วงเป็นสีเหลือง ส่งผลให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 nm ลดลง



1: Diphenylpicrylhydrazyl (free radical)



2: Diphenylpicrylhydrazine (nonradical)

ภาพที่ 2-5 สูตรโครงสร้างของ DPPH ที่เป็นอนุมูลอิสระ (A.) และไม่เป็นอนุมูลอิสระ (B.)
ที่มา : Molyneux (2004)

จากการตรวจเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการต้านอนุมูลอิสระในผลไม้บางชนิด ซึ่งเป็นผลไม้ที่สามารถพบได้ในประเทศไทย เช่น ลูกหม่อน ลูกหว้า มะหาด และลำตวน มีรายละเอียดดังนี้

Baea & Suh (2007) ได้ศึกษากิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระในลูกหม่อนที่มีพันธุ์แตกต่างกันในประเทศเกาหลี พบว่า การใช้สารละลายเอทานอลเป็นตัวทำละลายสามารถสกัดลูกหม่อนได้เร็ว และทำให้ระดับความเข้มข้นของกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระของลูกหม่อนพันธุ์ *Whazosipmunja* และพันธุ์ *Suwonnosang* มากกว่าพันธุ์อื่นที่ทำการศึกษา

นิตยา เขียวอ่อน (2550) ได้ศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดลูกหว้า (*Syzygium cumini* Skeels) โดยทำการศึกษาร่วมกับเปลือก และเมล็ดของลูกหว้าในระยะผลอ่อน ผลแก่ และผลสุก จากลูกหว้าสองลักษณะ คือ ลูกหว้าสดและอบแห้ง โดยใช้เมทานอลและเมทานอลที่เป็นกรดเล็กน้อย ได้เป็นสารสกัดหยาบ (crude extract) ทำการแยกแวนโทไซยานินจากสารสกัดหยาบของเนื้อกับเปลือกลูกหว้าสดในระยะสุก โดยอาศัยคอลัมน์ Amberlite XAD-7 และ Sephadex LH-20 นำสารสกัดหยาบและสารที่เก็บในคอลัมน์นี้มาทดสอบความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH วิเคราะห์หาปริมาณสารฟีนอลด้วยวิธี Folin-Ciocalteu และปริมาณแวนโทไซยานินด้วยวิธี pH differential พบว่าสารสกัดจากตัวอย่างสดให้ปริมาณสารสกัดหยาบมากกว่าตัวอย่างอบแห้ง เมื่อใช้เมทานอลที่มีความเป็นกรดเล็กน้อย จะได้ปริมาณสารสกัดหยาบปริมาณสารประกอบฟีนอล และปริมาณแวนโทไซยานินมากกว่าเมทานอล สารสกัดหยาบจากเมล็ดมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้ดีกว่าสารสกัดจากส่วนเนื้อกับเปลือกของลูกหว้า อีกทั้งมีปริมาณสารประกอบฟีนอลสูงกว่าด้วย จากการเปรียบเทียบลูกหว้าในระยะต่างๆ พบว่า สารสกัดหยาบจากผลอ่อนมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้ดีกว่าระยะผลแก่และผลสุก สารสกัด

หยาบจากเนื้อกับเปลือกลูกหว่าสดในระยะผลสุกที่สกัดด้วยเมทานอลที่มีความเป็นกรดเพียงเล็กน้อย มีปริมาณแอนโทไซยานินสูงกว่าเนื้อกับเปลือกลูกหว่าสดในระยะผลแก่และผลอ่อน (ที่สกัดด้วยตัวทำละลายเช่นเดียวกัน)

บัวใส ศรีไชย (2552) ได้ศึกษาสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) ของสารสกัดเอทานอลจากผลมะหวด สารสกัดเอทานอลจากผลลำตวน และไวน์ผลไม้ทั้งสองชนิดซึ่งบ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 เดือน จากผลการศึกษาพบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในสารสกัดเอทานอลจากผลลำตวนมีค่า 30.40 mg/L gallic acid equivalent สูงกว่าสารสกัดเอทานอลจากผลมะหวดซึ่งมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 24.96 mg/L gallic acid equivalent ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในไวน์ลำตวนสูงกว่าไวน์มะหวดทุกช่วงระยะเวลาบ่ม เวลาบ่มไวน์มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วนความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระพบว่า ทั้งสารสกัดเอทานอลและไวน์จากผลมะหวดและผลลำตวนแสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH โดยที่ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมีความสัมพันธ์กับ ปริมาณ ฟีนอลิก ทั้งหมดในตัวอย่าง โดยมีค่าสหสัมพันธ์ที่ระดับ 0.92

2.6 สารประกอบฟีนอล (Bravo, 1998)

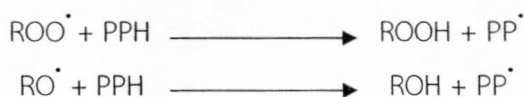
สารประกอบฟีนอลสามารถพบได้ในอาหาร เครื่องดื่มที่ได้จากพืช เช่น ผัก ผลไม้ ธัญชาติต่างๆ น้ำผลไม้ ไวน์ เบียร์ ชา กาแฟ เป็นต้น โดยมีปริมาณแตกต่างกันออกไปในพืชที่ต่างชนิดกัน หรือแม้แต่ในพืชชนิดเดียวกันแต่มาจากสถานที่ผลิตแตกต่างกัน เนื่องจาก การสร้างสารประกอบฟีนอลของพืชจะมีทั้งปัจจัยทางด้านพันธุกรรมและสิ่งแวดล้อมเข้ามาเกี่ยวข้อง นอกจากนี้ยังพบว่าวิธีการเพาะปลูก ระดับความสุก กระบวนการแปรรูป หรือแม้แต่วิธีการเก็บรักษาก็ล้วนมีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งสิ้น

สารประกอบฟีนอลมีบทบาททั้งต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสและคุณค่าทางโภชนาการของอาหารพืช เนื่องจากเป็นสารประกอบที่มีรสฝาดและขม และมีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในระหว่างกระบวนการแปรรูปและเก็บรักษา โดยจะทำให้อาหารเกิดสีน้ำตาล เกิดการพัฒนากลิ่นและมีการสูญเสียสารอาหารบางชนิดได้ ซึ่งลักษณะดังกล่าวนี้อาจเป็นสิ่งที่ต้องการในบางกรณี เช่น การผลิตชาดำหรือโกโก้ แต่อาจเป็นลักษณะที่ไม่ต้องการในบางกรณี เช่น การแปรรูปผักและผลไม้ เป็นต้น

คุณสมบัติในการเป็นสารต้านออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอล

คุณสมบัติที่ได้รับความสนใจอย่างมากในปัจจุบันของสารประกอบฟีนอลิก คือ การเป็นสารต้านออกซิเดชัน (Antioxidants) และสารต้านการกลายพันธุ์ (Antimutagens) ซึ่งเกิดจากอนุมูลอิสระ (free radical) และการใช้สารประกอบฟีนอลิกจะทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระและไอออนของ

โลหะที่สามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและโมเลกุลอื่นๆ ด้วยการให้อะตอมไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระอย่างรวดเร็ว ดังปฏิกิริยาต่อไปนี้



เมื่อสารประกอบฟีนอลิกให้อะตอมไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระไปแล้ว อนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิกจะค่อนข้างมีเสถียรภาพ ดังนั้นจึงไม่ทำปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่นต่อไป ยิ่งไปกว่านั้นอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิกบางชนิดยังคงสามารถรวมตัวกับอนุมูลอิสระอื่นๆ ได้อีกด้วย จึงทำให้สารประกอบฟีนอลิกเหล่านั้นสามารถลดอนุมูลอิสระได้มากถึง 2 เท่า แต่ความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิกยังขึ้นอยู่กับระบบด้วย ดังนั้นการศึกษาหรือเปรียบเทียบคุณสมบัติดังกล่าวจึงจำเป็นต้องระบุรายละเอียดของระบบให้ชัดเจน นอกจากนี้ยังพบว่า ในสภาวะที่มีสารประกอบฟีนอลิกเข้มข้นสูง พีเอชสูงและมีเหล็กอยู่ด้วยนั้น สารประกอบฟีนอลิกอาจจะเป็นตัวเริ่มต้นของกระบวนการออกซิเดชันได้ (Bravo, 1998)

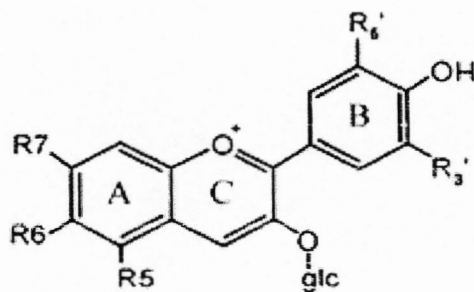
2.7 แอนโทไซยานิน (Anthocyanin) (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549)

แอนโทไซยานิน (Anthocyanins) เป็นรงควัตถุที่ละลายในน้ำและอยู่ในเซลล์น้ำหล่อเลี้ยงของพืช พบในผักผลไม้ และดอกไม้ เช่น กะหล่ำปลีสีม่วง กระเจี๊ยบแดง องุ่นแดง ดอกอัญชัน เป็นต้น การแทนที่ของหมู่ไฮดรอกซิลและหมู่เมทิลในตำแหน่ง R- ทำให้เกิดแอนโทไซยานินชนิดที่แตกต่างกันไป แอนโทไซยานินที่พบมากในธรรมชาติจะอยู่ในรูปไกลโคไซด์ (glycoside) ซึ่งจับน้ำตาลด้วยพันธะไกลโคซิดิกหรือเรียกว่า แอนโทไซยานิดิน (Anthocyanidin) มี 6 กลุ่ม คือ cyanidin, delphinidin, malvidin, pelargonidin, peonidin และ petunidin แอนโทไซยานินมีค่าการดูดกลืนแสงในช่วงคลื่น 510-540 nm สามารถละลายน้ำได้ มีสีช่วงสีแดงถึงสีน้ำเงิน

แอนโทไซยานินเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ มีโครงสร้างที่สามารถจับอิเล็กตรอนโดดเดี่ยวของอนุมูลอิสระ ทำให้ไม่สามารถก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และหยุดการเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ลดอัตราการผลิตโรคที่เกิดจากอนุมูลอิสระเป็นต้นเหตุ ในสมัยก่อนชาวกรีกได้นำผลไม้ที่มีสีม่วงมาพอกหน้าพอกตัว เพราะเชื่อว่าจะทำให้ผิวพรรณดูอ่อนกว่าวัย (Sullivan, 1998) การรับประทาน Bilberries (*Vaccinium myrtillus*) ทำให้มองเห็นในที่มืดได้ดีขึ้น (Lila, 2004) การดื่มไวน์แดง (red wine) ที่มี polyphenolic ต่าง ๆ รวมทั้งแอนโทไซยานิน สามารถลดความเสี่ยงของการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจ (Blando, Gerardi, & Nicoletti, 2004) การรับประทานผักและผลไม้ที่มีแอนโทไซยานินสามารถยับยั้งการลุกลามของเนื้องอก ป้องกันการเกิดโรคมะเร็ง และลดระดับไขมันในเลือดได้ (Ronald, & Wrolstad, 2001) แอนโทไซยานินสามารถป้องกันโรคเบาหวานได้ Nair (2004) รายงานว่า การนำแอนโทไซยานินที่สกัดได้จากผลเชอร์รี่ไปทดลองกับเซลล์ตับอ่อนของหนูทดลอง

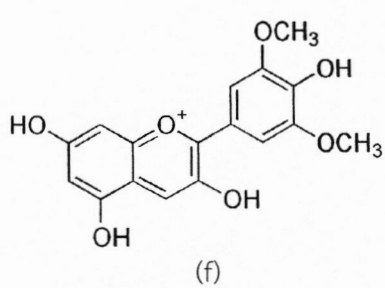
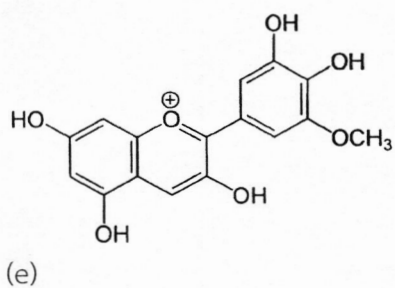
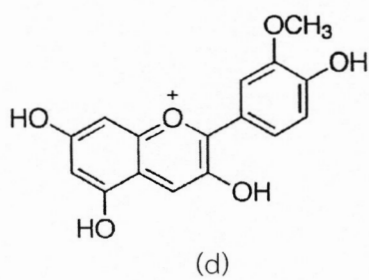
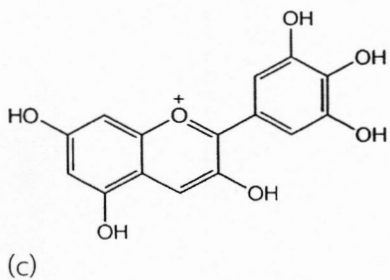
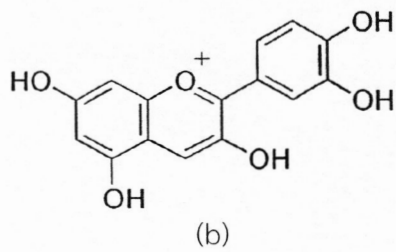
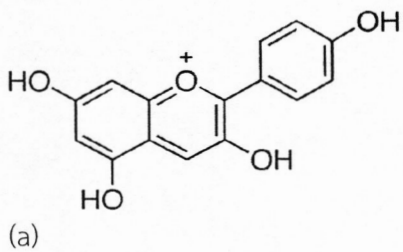
ทดลองในหลอดทดลอง พบว่า แอนโทไซยานินสามารถกระตุ้นให้เซลล์ตับอ่อนสร้างอินซูลิน (insulin) เพิ่มขึ้น ซึ่งอินซูลินทำหน้าที่ควบคุมระดับน้ำตาลในกระแสเลือด Duan, Jaing, Su, Zhang, & Shi (2007) รายงานว่าแอนโทไซยานินที่สกัดได้จากเปลือกของลิ้นจี่ (*Lichi chinensis* Sonn.) สามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของ linoleic acid ในหลอดทดลองได้ และ Rottmann *et al.* (2002) รายงานว่า แอนโทไซยานินที่มีในน้ำสกัดของผล ach (*Aristotelia chilensis*) ผล blackberry (*Rubus* spp.) ผล cranberry (*Vaccinium macrocarpon*) ผล blueberry (*Vaccinium corymbosum*) และผล raspberry (*Rubus idaeus*) สามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไลโปโปรตีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (low density lipoprotein oxidation; LDL oxidation) ในหลอดทดลองได้ (LDL ได้จากการสกัดจากเลือดของหนูทดลอง) ซึ่งเป็นแนวทางในการพัฒนาไปเป็นผลิตภัณฑ์ป้องกัน และรักษาภาวะไขมันอุดตันในเส้นเลือด และโรคหลอดเลือดหัวใจที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของ LDL ต่อไป

แอนโทไซยานินเป็น 2-ฟีนิลเบนโซไพริเลียม (2-phenylbenzopyrylium) หรือเกลือของฟลาวิเลียม (flavylium salt) ประกอบด้วยคาร์บอน 15 ตัว (C_{15}) และเป็นสารประกอบไกลโคไซด์ (glycoside) ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่เป็นน้ำตาลและส่วนที่เป็นแอนโทไซยานิดิน (anthocyanidins) เรียกว่า อะไกลโคโคน (aglycones) โครงสร้างพื้นฐานของแอนโทไซยานิดินประกอบด้วยวงแหวนเบนโซไพแรน (benzopyran) จำนวน 2 วงต่อกับวงแหวนฟีนิล (phenylring)



ภาพที่ 2-6 โครงสร้างพื้นฐานของแอนโทไซยานิดิน

ที่มา : นิธิยา รัตนปณนธ์ (2549)



ภาพที่ 2-7 สูตรโครงสร้างของแอนโทไซยานิดินจำนวน 6 ชนิด ที่พบมากในพืช ที่มา: Eskin (1979)

- (a) Pelargonidin (3,5,7,4'-tetrahydroxyflavylium cation)
- (b) Cyanidin (3,5,7,3',4'-pentahydroxyflavylium cation)
- (c) Delphinidin (3,5,7,3',4',5'-hexahydroxyflavylium cation)
- (d) Peonidin (3,5,7,4'-tetrahydroxy-3'-methoxyflavylium cation)
- (e) Petunidin (3,5,7,3',4'-pentahydroxy-5'-methoxyflavylium cation)
- (f) Malvidin (3,5,7,4'-tetrahydroxy-3',5'-dimethoxyflavylium cation)

ตัวอย่างของแอนโทไซยานิดินที่พบเป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของแอนโทไซยานินในผักและผลไม้บางชนิด ดังแสดงในตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 แอนโทไซยานิดินในผักและผลไม้บางชนิด

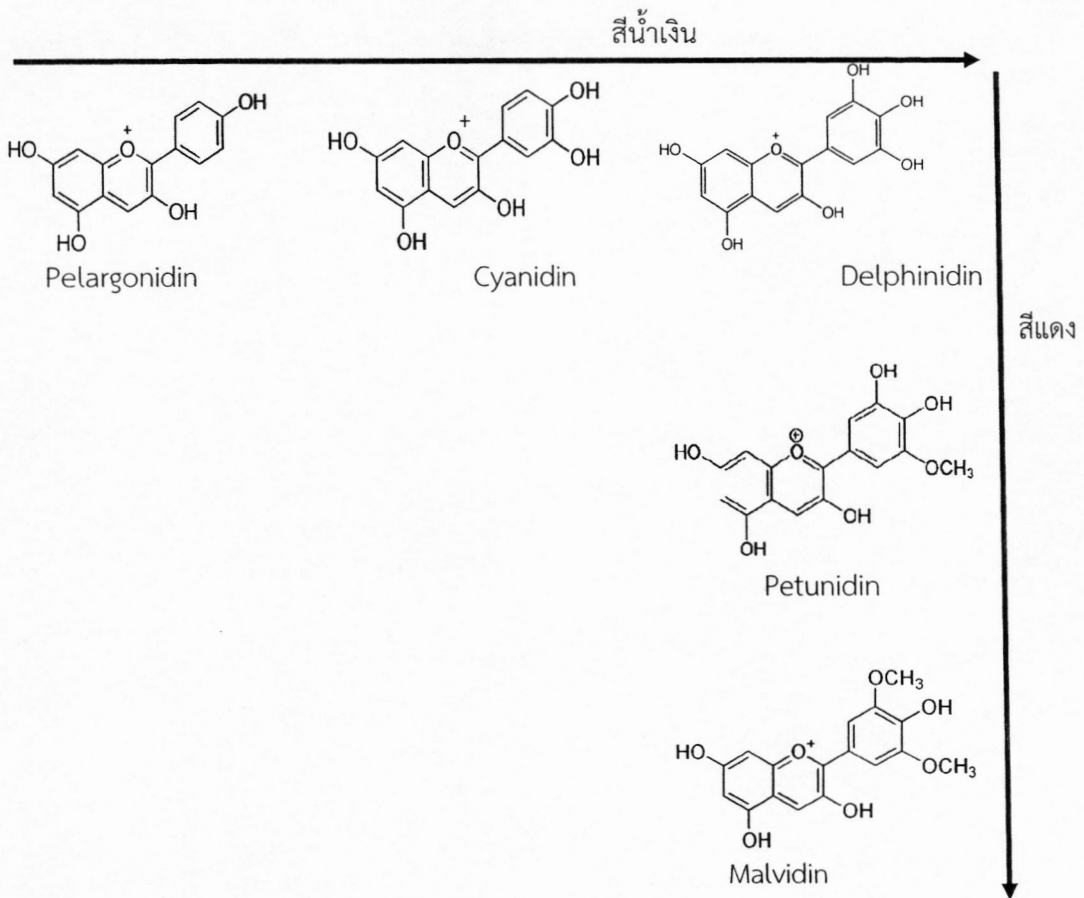
ชนิดของผักและผลไม้	แอนโทไซยานิดิน
แครนเบอร์รี่	Peonidin
แอปเปิล	Cyanidin
แบลคเคอร์แรนต์	Cyanidin, Delphinidin
บลูเบอร์รี่	Cyanidin, Delphinidin, Malvidin, Petunidin, Peonidin
กะหล่ำปลีแดง	Cyanidin
เชอร์รี่	Cyanidin, Peonidin
สั้ม	Cyanidin, Delphinidin
ท้อ	Cyanidin
พลัม	Cyanidin, Peonidin
เรดิช	Pelargonidin
ราสพ์เบอร์รี่	Cyanidin
สตอร์เบอร์รี่	Pelargonidin, Cyanidin เล็กน้อย
องุ่น	Cyanidin, Peonidin, Delphinidin, Malvidin, Petunidin, Pelargonidin
มะเขือม่วง	Delphinidin

ที่มา : นิธิยา รัตนปนนท์ (2549)

ปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของแอนโทไซยานิน

1) โครงสร้างของแอนโทไซยานิน

โครงสร้างในส่วนของวงแหวนฟีนอลมีจำนวนหมู่ไฮดรอกซิล หรือหมู่เมทอกซิลเพิ่มขึ้นจะมีผลต่อสีของแอนโทไซยานิน เช่น การเพิ่มหมู่ไฮดรอกซิลให้มากขึ้นจะทำให้มีสีเข้มขึ้น และสีจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินมากขึ้นด้วย และการเพิ่มหมู่เมทอกซิลแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง 3' และ 5' จะทำให้สีแดงเพิ่มขึ้นดังภาพที่ 2-8

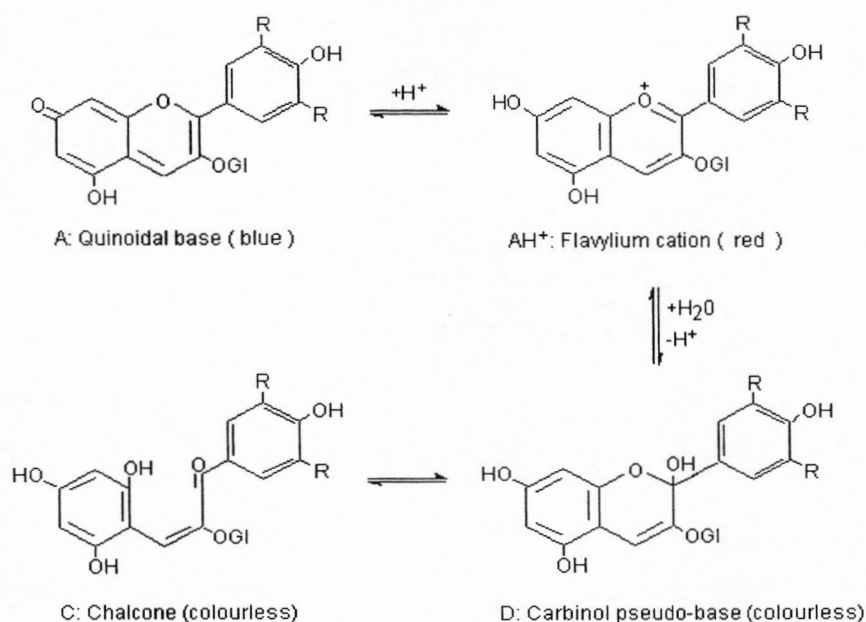


ภาพที่ 2-8 ผลของโครงสร้างของแอนโทไซยานิดินที่มีต่อสีแอนโทไซยานิน

ที่มา : นิธิยา รัตนাপนธ์ (2549)

1) ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

สีของแอนโทไซยานินเกิดขึ้นเนื่องจากอิทธิพลของ pH ในตัวกลั่นนั้นๆ เมื่อแอนโทไซยานินอยู่ในสภาพสมดุลในสารละลายที่เป็นกรดมาก ($\text{pH} < 0.5$) จะอยู่ในรูปของ flavylium cation (red) อยู่เพียงชนิดเดียว ซึ่งทำให้สารละลายมีสีแดง เมื่อ pH สูงขึ้นจนอยู่ในสภาวะที่เป็นกรดอ่อนหรือเป็นกลาง ปริมาณ flavylium cation จะเริ่มลดลงเนื่องจากการเกิด hydration ไปเป็น carbinol base ซึ่งไม่มีสี ส่วนสมดุลระหว่างแอนโทไซยานินที่อยู่ในรูปของ flavylium cation และ quinoidal base (anhydro base) จะเกิดสมดุลที่ $\text{pK} = 4.25$ ดังนั้นเมื่อแอนโทไซยานินอยู่ในสารละลายที่มี pH สูงกว่า 4.5 ขึ้นไป หรืออยู่ในสภาวะที่เป็นเบส จึงมีเฉพาะโครงสร้างของ carbinol base และ chalcone ซึ่งเป็นโครงสร้างที่ไม่มีสีและโครงสร้างของ quinoidal base ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีสีน้ำเงิน ทำให้สารละลายที่ได้มีสีน้ำเงินดังภาพที่ 2-9



ภาพที่ 2-9 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแอนโทไซยานิน เมื่อ pH เปลี่ยน

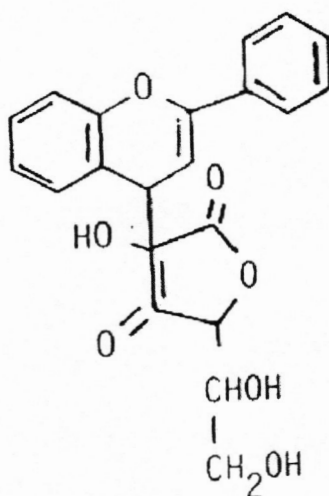
ที่มา : Brouillard และ Delaport (1977)

1) **อุณหภูมิ** มีการศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อความคงตัวของแอนโทไซยานินในผลิตภัณฑ์อาหาร โดยต่างให้ผลสรุปต่างๆไป คือ แอนโทไซยานินจะถูกทำลายด้วยความร้อนระหว่างผ่านกระบวนการต่างๆและการเก็บรักษา

2) **ออกซิเจน** ปริมาณออกซิเจนที่มีอยู่ในสารละลายแอนโทไซยานินมีแนวโน้มในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเพิ่มขึ้น โดยที่โมเลกุลของออกซิเจนจะทำปฏิกิริยากับแอนโทไซยานินในตำแหน่งที่ C-2 หรือที่หมู่ hydroxyl group ของ B-ring ได้เป็น carbinol base หรือ chalcone หรือ quinoidal base ซึ่งมีผลทำให้ flavylium cation ลดลงสีแดงของสารละลายจึงลดลงดังภาพที่ 2-6 ทั้งนี้อัตราของการเกิดออกซิเดชันยังขึ้นอยู่กับค่า pH ของสารละลาย อุณหภูมิ ความเข้มข้นของแอนโทไซยานิน

3) **แสง** แสงให้ผลตรงกันข้ามกันระหว่าง biosynthesis และการเสื่อมสลายของแอนโทไซยานิน โดยเฉพาะแอนโทไซยานินที่มีหมู่ hydroxyl group ที่ตำแหน่ง C-5 จะสามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบเนื่องจากแสงได้มากกว่าแอนโทไซยานินที่ไม่มีหมู่ hydroxyl group ที่ตำแหน่ง C-5 นอกจากนี้แสงยังเป็นตัวเร่งให้เกิดการเสื่อมสลายจากความร้อน และการเกิด photo-oxidation ของแอนโทไซยานินจะให้ผลเหมือนกันแอนโทไซยานินที่เสื่อมสลายด้วยความร้อนได้เป็น chalcone (เป็นโครงสร้างที่ไม่มีสี)

4) กรดแอสคอร์บิก โดยปกติกรดแอสคอร์บิกสามารถเกิดการ Oxidized ได้ในสภาวะที่มีออกซิเจน copper และ hydrogen peroxide ซึ่งเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดการจางลงของสีแอนโทไซยานิน ดังนั้นจึงถือได้ว่ากรดแอสคอร์บิกเป็นเหมือนตัวเหนียวน้ำ ทำให้เกิดการสูญเสียแอนโทไซยานินได้ นอกจากนี้กรดแอสคอร์บิกสามารถเกิดการ condensation กับแอนโทไซยานิน ได้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่คงตัว และเกิดเป็นสารประกอบที่ไม่มีสีต่อไปดังภาพที่ 2-10



ภาพที่ 2-10 สารประกอบระหว่างแอนโทไซยานินกับกรดแอสคอร์บิก
ที่มา : Markakis (1982)

5) การเกิด co-pigment กับสารประกอบต่างๆ เช่น flavone, flavonol, Aurone, flavonone, Flavan-3-ols, Alkaloids และ Amino acids เป็นต้น ทั้งนี้อัตราการเกิด Co-pigment ขึ้นอยู่กับชนิดของ Co-pigment ชนิดของแอนโทไซยานิน ความเข้มข้นของ Co-pigment และแอนโทไซยานินด้วย

2.8 วิตามินซี (Ascorbic acid) (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549)

วิตามินซี หรือกรดแอสคอร์บิก เป็นอนุพันธ์ของน้ำตาลเฮกโซส ละลายได้ดีในน้ำจึงถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายและกระจายตัวไปตามเนื้อเยื่อต่างๆ ทั่วร่างกาย พบมากที่ต่อมอะดีนาลินและต่อมพิทูอฮารี ร่างกายต้องการวิตามินซีประมาณวันละ 50 มิลลิกรัม

หน้าที่ของวิตามินซีในร่างกาย

1) ช่วยในการสังเคราะห์คอลลาเจน (Collagen) ซึ่งเป็นสารที่จำเป็นในการสร้างกระดูก เอ็น ผิวหนัง และเนื้อเยื่อ คอลลาเจนประกอบด้วยไฮดรอกซีโพรลีน (hydroxyproline) ซึ่งเปลี่ยนมาจากโพรลีน (proline) การขาดวิตามินจะทำให้ไม่มีการเปลี่ยนโพรลีนเป็นไฮดรอกซีโพรลีน ทำให้เกิดอาการของโรคกระดูกเปราะ และเกิดความผิดปกติของกระดูกและฟัน

2) ทำหน้าที่เป็นโคเอนไซม์ ซึ่งใช้เป็นตัวเร่งในปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้องกับการสร้างสารพวก คอลลาเจน

3) ทำให้ผนังเส้นเลือดแข็งแรง การขาดวิตามินซีจะทำให้ผนังเส้นเลือดเปราะแตกง่าย ทำให้เลือดออกง่าย

4) มีส่วนร่วมในปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับกรดอะมิโน เช่น ไทโรซีน (tyrosine) เป็นทริฟโตเฟน และวิตามินโฟลาซิน

5) ช่วยในการสังเคราะห์คาร์นิทีน (carnitene) เพื่อใช้ในการเผาผลาญกรดไขมัน ให้เกิดเป็นพลังงาน

6) ช่วยกระตุ้นการสร้างฮีโมโกลบิน และการสะสมเหล็กในตับ วิตามินซีช่วยในการกระตุ้น ขบวนการเมตาบอลิซึมของธาตุเหล็ก โดยไปส่งเสริมการดูดซึมของธาตุเหล็กดีขึ้น

7) ช่วยป้องกัน และสร้างภูมิคุ้มกันโรค นอกจากนี้ยังช่วยทำลายพิษของสารต่างๆ ที่เข้าสู่ร่างกาย

ผู้ที่ขาดวิตามินซีมักมีอาการอ่อนเพลีย เบื่ออาหาร ปวดตามข้อต่อของร่างกาย เลือดออกตามไรฟัน เจ็บกระดูก แผลหายช้า เนื่องจากวิตามินซีทำหน้าที่ต่อต้านการอักเสบและช่วยซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอของร่างกาย การได้รับวิตามินซีไม่เพียงพอจะทำให้เส้นเลือดในร่างกายอ่อนแอ และทำให้เกิดแผลที่เกิดขึ้นตามส่วนต่างๆ ของร่างกายหายช้ากว่าปกติ นอกจากนี้อาจเป็นโรคติดเชื้อได้ง่าย คุณสมบัติของวิตามินซี คือ เป็นตัวต่อต้านสารก่อมะเร็งและช่วยควบคุมระบบภูมิคุ้มกัน ถ้าร่างกายขาดวิตามินซีจะส่งผลให้ระบบภูมิคุ้มกันในร่างกายลดต่ำลงและทำให้ติดเชื้อไวรัสและแบคทีเรียได้ง่าย นอกจากนี้ยังเป็นโรคปากปูดปากเปื่อย ในกรณีของเด็กหรือผู้สูงอายุที่ได้รับวิตามินซีน้อยกว่าวันละ 10 มิลลิกรัม อาจทำให้เป็นโรคปากปูดปากเปื่อยได้ หากร่างกายขาดวิตามินซีมากเกินไปก็อาจทำให้มีลูกยาก เป็นโรคโลหิตจางและมีภาวะความผิดปกติทางจิตได้

แหล่งที่พบวิตามินซีมาก ได้แก่ ผลไม้จำพวกส้ม สตรอเบอร์รี่ มะเขือเทศ กะหล่ำดอก มะขามป้อม ฝรั่ง มะขามเทศ มะละกอสุก ผักคะน้า ผักชี และมะรุม เป็นต้น ดังตารางที่ 2-2

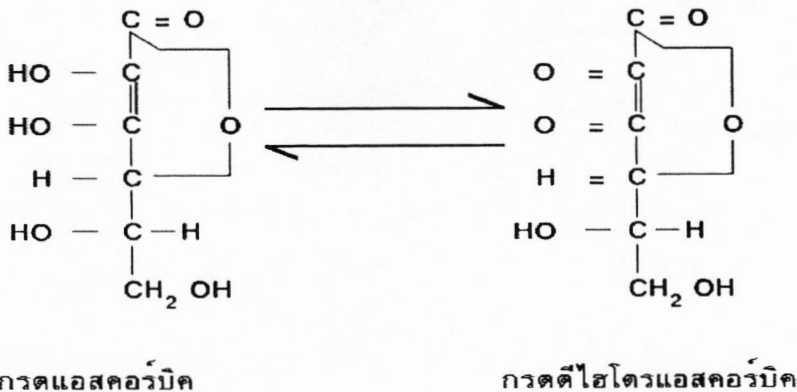
ตารางที่ 2-2 ปริมาณวิตามินซีในอาหารบางชนิด (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม)

อาหาร	ปริมาณ (มิลลิกรัม)
ฝักมะรุม	262
พริกหวาน	218
ยอดสะเดา	194
ฝรั่ง	187
บล็อกโคลี	183
ผักคะน้า	147
มะปรางสุก	100
มะละกอสุก	78
ส้มเกลี้ยง	71
ดอกกะหล่ำ	70
ผักโขมและกะหล่ำปลี	60
สตรอเบอร์รี่และส้มโอ	60
แตงไทย	56
ส้ม	50
มะนาว	50

ที่มา : นิธิยา รัตนานนท์ (2549)

วิตามินซีเป็นสารรีดิวซิงเอเจนต์อย่างแรง (strong reducing agent) ที่มีความคงตัวต่ำ สลายตัวได้ง่ายเมื่อถูกแสง อากาศ และความร้อน ส่วนโลหะหนัก เช่น ทองแดงไอออนและเหล็ก ไอออน จะเร่งการสลายตัวของวิตามินซีให้เกิดเร็วขึ้น วิตามินซีที่พบอยู่ในรูป L-ascorbic acid จะมีคุณค่าทางชีวภาพ แต่ถ้าเป็น D-ascorbic acid จะไม่มีคุณค่าทางชีวภาพหรือไม่มีประโยชน์ต่อร่างกาย

กรดแอสคอร์บิกเมื่อถูกออกซิไดซ์ ได้เป็นกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก (Dehydro-ascorbic acid) ปฏิกริยานี้สามารถเปลี่ยนกลับไปได้ ดังภาพที่ 2-11 แต่ถ้ากรดดีไฮโดรแอสคอร์บิกถูกออกซิไดส์ต่อเป็นกรดไดคิโดกูโลนิก จะไม่มีคุณค่าทางชีวภาพ



ภาพที่ 2-11 ปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดแอสคอร์บิก
ที่มา : นิธิยา รัตนাপนนท์ (2549)

การใช้วิตามินซีเป็นสารต้านออกซิเดชัน

กรดแอสคอร์บิก เกลือแอสคอร์บิกและไอโซเมอร์ของกรดแอสคอร์บิก อยู่ในกลุ่มของสารที่ปลอดภัย (Generally recognized as safe; GRSA) สามารถนำไปใช้เติมลงในอาหารได้ แต่กรดแอสคอร์บิกที่อยู่ในรูป L-stereoisomer เท่านั้นที่มีคุณค่าทางชีวภาพสูง เช่น D-ascorbic acid มีคุณค่าทางชีวภาพ 1/10 ของ L- ascorbic acid และ D- และ L- isoascorbic acid หรือกรดอีริทอร์บิก (Erythobic acid) คุณค่าทางชีวภาพเพียง 1/20 L- ascorbic acid เท่านั้น

2.9 การทำแห้ง (นิธิยา รัตนাপนนท์, 2544)

การทำแห้ง (Drying) เป็นการให้ความร้อนแก่อาหารภายใต้สภาวะควบคุม เพื่อลดปริมาณความชื้นของให้เหลืออยู่ปริมาณน้อยที่สุด จนถึงระดับที่สามารถระงับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ การทำแห้งทำได้หลายวิธี เช่น การตากแดด (Sun drying) การทำแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar drying) ตู้อบแห้งแบบใช้ลมร้อน (Hot air oven) ตู้อบแห้งแบบสุญญากาศ (Vacuum shelf drier) การทำแห้งแบบการระเหิด (Freeze drying) เป็นต้น ซึ่งจะลดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี (water activity, a_w) ในอาหารให้น้อยลง คือ ต่ำกว่า 0.7 ทำให้สามารถเก็บอาหารไว้ได้นาน โดยอาหารแห้งแต่ละชนิดจะมีความชื้นในระดับที่ปลอดภัยไม่เท่ากันแตกต่างกันออกไป เช่น ผลไม้แช่อิ่มเก็บได้ที่มีความชื้น 15-20% แต่ถ้าเป็นเมล็ดธัญพืชหากเก็บไว้ที่มีความชื้นนี้จะเกิดราได้ นอกจากนี้การทำแห้งยังช่วยลดน้ำหนัก ทำให้ลดค่าใช้จ่ายระหว่างการเก็บรักษาและการขนส่ง อย่างไรก็ตามการทำแห้งทำให้สูญเสียทั้งคุณภาพการบริโภคและคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร

การถ่ายเทความร้อนและมวลสาร (จิตธนา แจ่มเมฆ และองอนงค์ นัยวิกุล, 2540)

ในการทำแห้งจะต้องมีการให้พลังงานแก่อาหาร ทำให้น้ำในอาหารเปลี่ยนสถานะเป็นไอ แล้วเคลื่อนย้ายออกจากอาหาร เนื่องจากพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ให้อุณหภูมิไม่สูงนักและกระแสนลมธรรมชาติไม่สูงพอ ทำให้การตากแดดต้องใช้เวลาช้านาน ดังนั้นจึงมีการพัฒนาเครื่องอบที่มีการให้พลังงานความร้อนในปริมาณที่ควบคุมได้ และมีอุปกรณ์ในการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกจากผิวอาหาร การถ่ายเทความร้อนและมวลสารเกิดได้เร็ว อาหารจึงแห้งได้เร็วขึ้น การถ่ายเทความร้อนและมวลสารระหว่างการอบแห้งทำได้หลายวิธีคือ

1) การให้กระแสนลมร้อนเคลื่อนที่ผ่านอาหาร กระแสนลมร้อนทำหน้าที่ให้ความร้อนและเคลื่อนย้ายไอน้ำ การถ่ายเทความร้อนแบบนี้เป็นแบบการพาความร้อน (Convection)

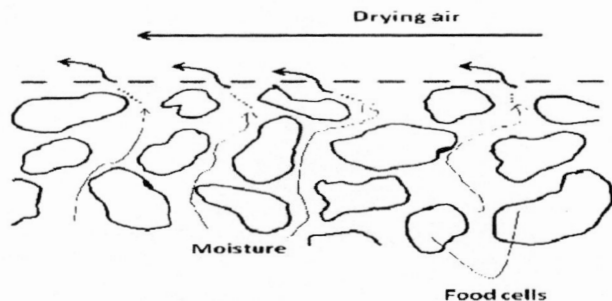
2) การแผ่อาหารเป็นชั้นบางๆ บนพื้นผิวที่ให้ความร้อน อาหารได้รับความร้อนแบบการนำความร้อน (Conduction) ทำให้อุณหภูมิกระจายตัวออกไปสู่บรรยากาศเหนืออาหาร อาหารที่ร้อนจัดทำให้อุณหภูมิกระจายตัวได้ดี อาหารจึงแห้งในเวลาสั้นๆ อาจมีระบบดูดอากาศออกจากผิวอาหาร ซึ่งทำให้สามารถลดความชื้นได้ต่ำลงอีก หรือไม่ต้องใช้อุณหภูมิอาหารที่สูงนัก

3) การให้ความร้อนแก่อาหารในเครื่องอบด้วยการนำความร้อน หรือการแผ่รังสีร่วมกับการดูดอากาศที่มีไอน้ำออกไปควบแน่นข้างนอก

4) การปรับสภาพความดันและอุณหภูมิให้น้ำในอาหารเป็นของแข็งที่ระดับต่ำกว่าจุดร่วมสามสถานะ (Triple point) แล้วให้พลังงานความร้อนหรือลดความดันลงทำให้เกิดการระเหิด น้ำเปลี่ยนสถานะจากของแข็งกลายเป็นไอโดยตรง วิธีการนี้เรียกว่า การทำแห้งด้วยการแช่เยือกแข็ง (freeze drying)

2.9.1 กลไกการทำแห้ง (วิลโลว์ รังสาดทอง, 2543)

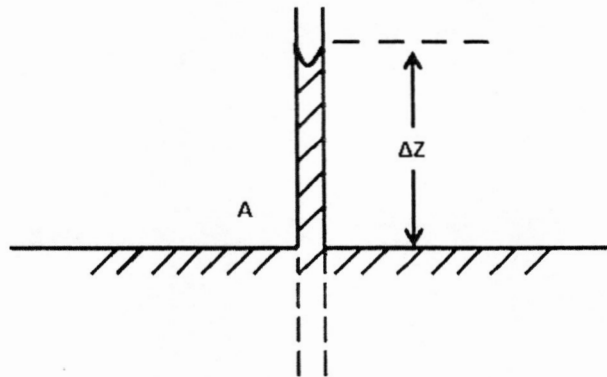
เมื่ออากาศหรือลมร้อนพัดผ่านผิวหน้าอาหารที่เปียก ความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังผิวของอาหาร และน้ำในอาหารจะระเหยออกมาด้วยความร้อนแฝงของการเกิดไอ ไอน้ำจะแพร่ผ่านฟิล์มอากาศ และถูกพัดพาไปโดยลมร้อนที่เคลื่อนที่ดังภาพที่ 2-12



ภาพที่ 2-12 การเคลื่อนที่ของความชื้นระหว่างการทำแห้ง
ที่มา : วิลโลว์ รังสาดทอง (2543)

สภาวะดังกล่าวจะทำให้ความดันไอที่ผิวหน้าของอาหารต่ำกว่าความดันไอด้านในของอาหาร เป็นผลให้เกิดความแตกต่างของความดันไอขึ้น อาหารชั้นด้านในจะมีความดันไอสูงและค่อยๆ ลดต่ำลง เมื่อชั้นอาหารเข้าใกล้อาหารแห้ง ความแตกต่างนี้ทำให้เกิดแรงดันเพื่อไล่น้ำออกจากอาหาร น้ำจะเคลื่อนที่ไปยังผิวหน้าด้วยกลไกดังต่อไปนี้ (จิตธนา แจ่มเมฆ และองอนงค์ นัยวิกุล, 2543)

1) การเคลื่อนที่ของของเหลวโดยแรงแคปิลารี เป็นการเคลื่อนที่ด้วยแรงผ่านช่องแคบ (Capillary Force) เป็นการเคลื่อนที่ในอาหารที่มีเซลล์โปร่งมีช่องว่างระหว่างเซลล์ต่อเนื่องกันเป็นทางแคบๆ เกิดแรงดันของน้ำขึ้นมาตามท่อ การเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นได้สะดวกรวดเร็ว แต่จะหยุดเมื่อน้ำในทางแคบๆ นั้นขาดตอนลง ดังภาพที่ 2-13

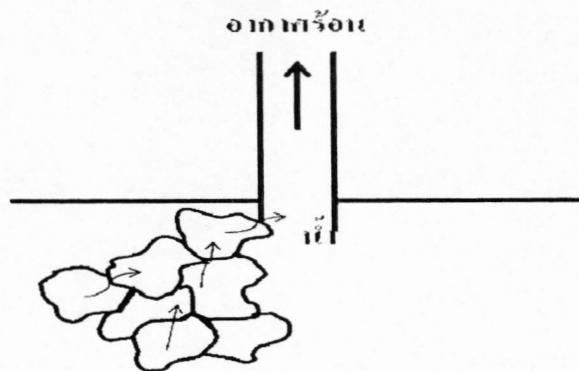


ภาพที่ 2-13 การไหลออกของน้ำด้วยแรงผ่านช่องแคบ

ที่มา : สมบัติ ขอทวีวัฒนา (2529)

1) การแพร่ของของเหลวซึ่งเกิดจากความแตกต่างของความเข้มข้นของตัวละลายในอาหารส่วนต่างๆ

2) การแพร่ของของเหลวซึ่งถูกดูดซับโดยผิวหน้าของของแข็งในอาหาร การเคลื่อนที่ด้วยการแพร่ (Diffusion) ผ่านเซลล์ สาเหตุส่วนใหญ่จะเกิดกับพวก Homogenous Solid คือ พวกสารอินทรีย์ทั้งหลาย สารอินทรีย์เหล่านี้ความเข้มข้นจะถูกกำจัดออกจาก Molecular Diffusion ซึ่งเกิดเนื่องจากความดันไอแตกต่างระหว่างภายในและภายนอกสาร (Vapor Pressure Diffusion) ถ้าความดันไอกายนอกต่ำกว่าความดันไอกายในเซลล์ของอาหารแล้ว จะทำให้น้ำในเซลล์อาหารซึมผ่านเยื่อผนังเซลล์ ซึ่งเป็นเยื่อที่ยอมให้น้ำซึมผ่านได้ เมื่อเซลล์ที่ติดอยู่กับรูมีน้ำไหลออก จะทำให้มันมีความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะเป็นแรงดึง (Drive Force) ทำให้น้ำในเซลล์ที่ติดกันซึมออกมาดังภาพที่ 2-14 การเคลื่อนที่ของน้ำแบบการแพร่กระจายตัวซึมผ่านนี้เกิดขึ้นค่อนข้างช้า ดังนั้นกราฟในอัตราการทำแห้งจึงมักไม่ค่อยพบช่วงที่อัตราการทำแห้งคงที่



ภาพที่ 2-14 การไหลออกของน้ำแบบการแพร่ (สมบัติ ขอทวีวัฒนา, 2529)

เมื่อเริ่มการทำแห้งพบว่า การเคลื่อนที่ของน้ำภายในเนื้อสารของอาหารนั้นจะเป็นแบบ Capillary Mechanism ทั้งนี้เนื่องจากในตอนเริ่มการให้ความร้อน น้ำในอาหารมีปริมาณมาก และนับว่าเป็นสารที่มีรูพรุนมากมาย ดังนั้นเมื่อได้รับความร้อนจะเกิดการขยายตัวของอากาศคล้ายกับว่ามีท่อเล็กๆ ติดอยู่ตรงรูนั้น เมื่ออากาศมีการขยายตัวมากขึ้นจะทำให้มีแรงดันในท่อสูงตามไปด้วย หลังจากนั้นน้ำที่อยู่ตามรูพรุนของอาหารนั้นหมดแล้ว การเคลื่อนที่ของน้ำภายในจะเปลี่ยนไปเป็น Diffusion Mechanism นั่นคือ การเคลื่อนที่ของน้ำภายในจะเป็นแบบ Molecular Diffusion ซึ่งเกิดจากการมีความแตกต่างของความดันไอ โดยจะเริ่มจากเซลล์ที่ติดอยู่กับรูพรุนหรือท่อเล็กก่อนเมื่อได้รับความร้อนทำให้อากาศขยายตัวทำให้น้ำเริ่มซึมออกจากเซลล์ขึ้นไปตามรูเล็กๆ จึงทำให้ภายในเซลล์นั้นมีความเข้มข้นมากขึ้น จึงเกิดแรงดึงดูดทำให้เกิดการซึมผ่านของน้ำจากเซลล์ที่อยู่ติดกันซึมเข้าไปในเซลล์ที่ติดกับรูพรุนแล้วจะระเหยออกไปทางรูพรุนนั้น ซึ่งจะเกิดแรงดึงดูดต่อเนื่องไปเรื่อยๆ จนทำให้อาหารนั้นแห้งขึ้น

3) การแพร่ของไอน้ำในช่องอากาศของอาหารเกิดจากความแตกต่างของความดันไอ

2.9.2 ปัจจัยที่ีผลต่อการทำแห้ง (จิตธนา แจ่มเมฆ และองอนงค์ นัยวิกุล, 2543)

การทำแห้ง คือ การเคลื่อนย้ายน้ำออกจากอาหาร ปัจจัยใดๆ ที่มีผลต่อการเคลื่อนย้ายนี้จึงมีผลต่ออัตราเร็วการทำแห้ง คือ

1) ธรรมชาติอาหาร

อาหารเนื้อโปร่งมีการเคลื่อนที่ของน้ำภายในอาหารแบบผ่านช่องแคบ ซึ่งเร็วกว่าการแพร่ในอาหารเนื้อแน่น ดังนั้นอาหารเนื้อโปร่งจึงแห้งได้เร็วกว่าอาหารเนื้อแน่น อาหารที่มีน้ำตาลสูงจะเหนียวเหนอะหนะกีดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำจึงแห้งช้า อาหารที่มีการลวก นวดคลึง ทำให้เซลล์แตก จึงแห้งได้เร็วขึ้น

2) ขนาดและรูปร่าง

ขนาดและรูปร่างมีผลต่อพื้นที่ผิวต่อน้ำหนัก เช่น รูปร่างเหมือนกัน ขนาดเล็ก จะมีพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักมากกว่าขนาดใหญ่จึงแห้งได้เร็วกว่า แต่ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงพื้นที่ผิวสัมผัส อากาศที่เกิดจากการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกไปได้ ถ้าชั้นเล็กมากหับถมกันการระเหยเกิดได้เฉพาะที่ผิวสัมผัสกับอากาศ จึงเกิดได้ช้าๆ ที่พื้นที่ต่อหน่วยน้ำหนักมาก

3) ตำแหน่งของอาหารในเตา

น้ำในอาหารที่สัมผัสกับลมร้อนได้ดีกว่า หรือสัมผัสกับลมร้อนที่มีความชื้นต่ำ ย่อมระเหยได้ดีกว่า

4) ปริมาณอาหารต่อถาด

ถ้าปริมาณอาหารต่อถาดมากเกินไป อาหารส่วนล่างไม่ได้สัมผัสกับอากาศร้อนหรือได้รับความร้อนจากถาดแล้ว แต่ไอน้ำไม่สามารถแพร่กระจายผ่านชั้นอาหารตอนบนออกมาได้ จึงแห้งช้า

5) ความสามารถในการรับไอน้ำ

อากาศร้อนที่มีไอน้ำอยู่มากแล้วจะรับไอน้ำได้น้อย จะมีผลในช่วงอัตราการทำแห้งคงที่

6) อุณหภูมิของอากาศร้อน

ถ้าอากาศมีความชื้นคงที่ การเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเพิ่มความสามารถในการรับไอน้ำ จึงมีผลต่อการทำแห้ง ในช่วงอัตราการทำแห้งคงที่และที่อุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้การแพร่กระจายของน้ำดีขึ้น จึงมีผลต่อการอบในช่วงอัตราการทำแห้งลดลงด้วย

7) ความเร็วของลมร้อน

ลมร้อนทำหน้าที่ในการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกไปด้วย เมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้นจึงเคลื่อนย้ายได้ดีขึ้น การเคลื่อนย้ายเกิดขึ้นเต็มที่ที่ความเร็วลม 244 เมตรต่อนาที นอกจากนั้นความเร็วลมทำให้เกิดกระแสนปั่นป่วนของอากาศในเตา อากาศจึงสัมผัสอาหารได้ดีขึ้น

2.9.3 การเก็บรักษาอาหารแห้ง (จิตธนา แจ่มเมฆ และองอนงค์ นัยวิกุล, 2543)

อาหารแห้งที่เก็บค่าวอเตอร์แอคทิวิตีต่ำกว่า 0.7 จะปลอดภัยจากเชื้อจากเชื้อจุลินทรีย์ แต่ทั้งนี้จะต้องรักษาวอเตอร์แอคทิวิตีไม่ให้เพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บ อย่างไรก็ตามยังมีการเสื่อมเสียอื่นๆ อีกทำให้ต้องเก็บอาหารแห้งที่ค่าวอเตอร์แอคทิวิตีต่ำกว่านี้มาก และหลีกเลี่ยงสภาวะที่ส่งเสริมการเสื่อมเสียของอาหารแห้ง การเสื่อมเสียของอาหารแห้งเกิดจากสาเหตุต่อไปนี้

1) การออกซิไดส์ (oxidation) เนื่องจากอากาศกับไขมันทำให้เหม็นหืนเกิดกับวิตามินซี ทำให้เสื่อมคุณค่าอาหาร เกิดกับคลอโรฟิลล์ แอนโทไซยานิน ทำให้สีซีด เกิดกับน้ำมันระเหยและสารให้กลิ่นเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นควรหลีกเลี่ยงปัจจัยที่เสริมปฏิกิริยา คือ แสงและอุณหภูมิ

2) เนื่องจากเอนไซม์ที่อยู่ในอาหารแต่แรกหรือมาจากแหล่งอื่นภายหลัง จึงต้องมีการทำลายเอนไซม์

3) การเปลี่ยนสี เนื่องจากอุณหภูมิ หลีกเลียงโดยไม่เก็บในที่ร้อนหรือเก็บในที่อากาศถ่ายเท

4) การเกาะจับตัวเป็นก้อน เนื่องจากดูความชื้นจากอากาศ หลีกเลียงโดยการเก็บในภาชนะปิดสนิท

2.10 ผลิตภัณฑ์อัดเม็ด (Tablet product)

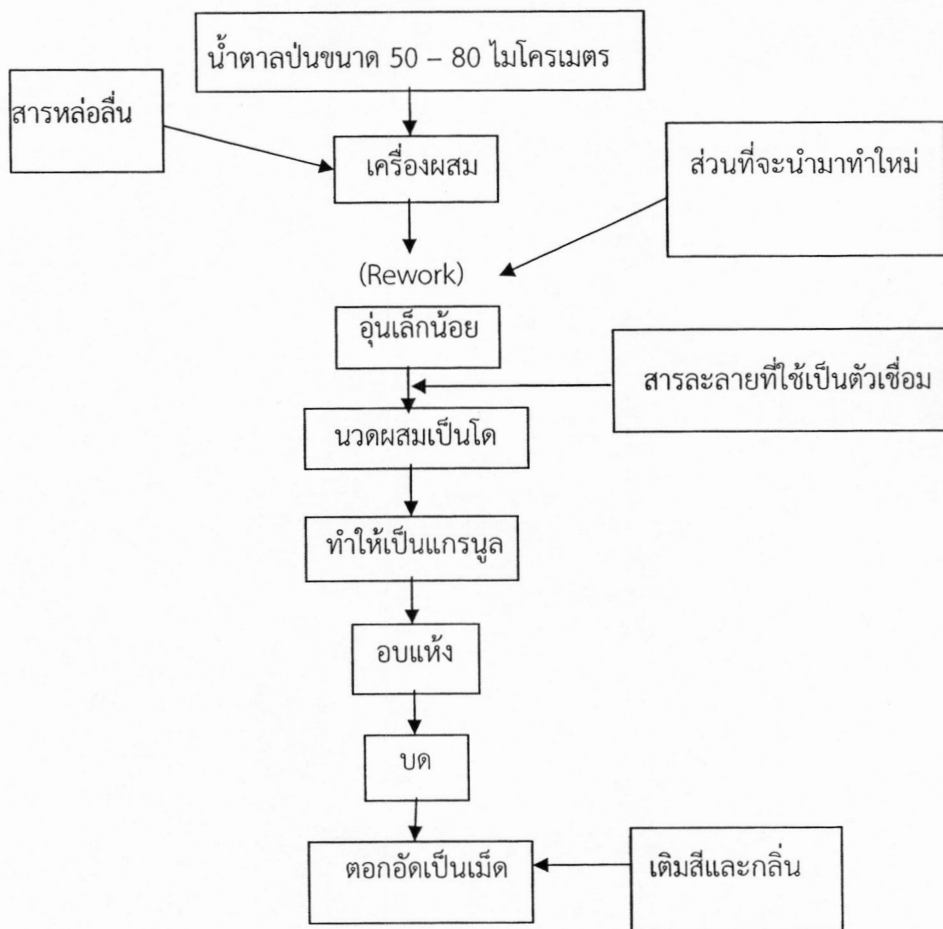
ผลิตภัณฑ์อัดเม็ดเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดแห้งที่อยู่ในรูปของแข็ง น้ำหนักเบา เป็นผลิตภัณฑ์พร้อมบริโภครับประทานได้สะดวกโดยการอมหรือเคี้ยวให้ละลายในปาก (อัจฉรา อุทิศวรรณกุล, 2536) ผลิตภัณฑ์อัดเม็ดส่วนใหญ่ประกอบด้วยสารที่มีสมบัติเป็นสารเจือจาง (Diluent) สารยึดเกาะ (Binder) และสารหล่อลื่น (Lubricant) โดยการผสมส่วนผสมทั้งหมด แล้วนำมาทำการอัดเม็ดด้วยแรงอัดสูงจนอนุภาคของน้ำตาลเกาะติดเชื่อมกัน ใช้เครื่องมือที่เรียกว่า tablet press แบบเดียวกับเครื่องที่ใช้ตอกเม็ดยา ตัวผลิตภัณฑ์จะมีเนื้อแข็งมาก ละลายได้ช้า ผิวเรียบลื่น ขอบคมชัดเจน แต่อาจเปราะ ตัวอย่างผลิตภัณฑ์นี้ได้แก่ วิตามิน นมอัดเม็ด เม็ดอมบางชนิด แม่พิมพ์ที่ใช้ทำเป็นเบ้าในการตอกอาจทำเป็นรูปต่างๆ เช่น เม็ดกลมแบนแบบยา (วิตามินซี) หรือเป็นวงแหวน (โพลีของเนสท์เล่) หรือเป็นลูกบาศก์ หรือเป็นสามเหลี่ยม (วิตามินบี 1-บี 6-บี 12 ขององค์การเภสัชกรรม) (สุวรรณา สุภิมารส, 2543)

2.10.1 การผลิตผลิตภัณฑ์อัดเม็ด

จากการตรวจสอบเอกสารผลิตภัณฑ์อัดเม็ดที่มีการผลิตมากได้แก่ เม็ดอม สุวรรณา สุภิมารส (2543) กล่าวว่า การผลิตเม็ดอมแบบตอกเม็ดมีขั้นตอนรายละเอียดดังภาพที่ 2-12 ซึ่งส่วนมากนิยมใช้น้ำตาลไอซิ่ง น้ำตาลไอซิ่ง คือ น้ำตาลทรายที่ผ่านกระบวนการบดละเอียด ลักษณะเป็นผงสีขาวละเอียดคล้ายแป้ง (Powder Form) มีส่วนผสมของแป้งข้าวโพด (Corn Starch) ประมาณ 3% ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารป้องกันการจับตัว (Anti Caking Agent) ในผงน้ำตาล มีลักษณะเฉพาะในการใช้งานแตกต่างจากน้ำตาลทรายทั่วไป กล่าวคือ น้ำตาลไอซิ่ง ซึ่งอยู่ในรูปของผง (Powder Form) สามารถละลายน้ำได้ดี ช่วยให้ไม่มีเหลือตกค้างในการทำละลาย แตกต่างจากน้ำตาลทราย ซึ่งอยู่ในรูปของผลึก (Crystal Form) จะละลายน้ำได้ไม่สิ้นก ต้องใช้ทั้งเวลา พลังงาน และความพยายามในการละลายที่มากกว่า น้ำตาลนี้ยังถ้ามีความละเอียดมาก จะยิ่งทำให้เนื้อผลิตภัณฑ์แข็งมากขึ้น ดังนั้นจึงสามารถใช้ขนาดของเม็ดน้ำตาลที่จะบดในการปรับลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ได้

ส่วนผสมที่เป็นสารหล่อลื่น นิยมใช้แมกนีเซียมสเตียเรต 0.5-5.0% ขึ้นกับกฎหมายของแต่ละประเทศ ตัวอื่นๆ ที่อาจใช้ได้ก็มี กรดสเตียริก (stearic acid) ผงแป้ง (talc powder) และแคลเซียมสเตียเรต (calcium stearate) สารหล่อลื่นจะทำให้เม็ดผลิตภัณฑ์ไม่ติดแน่นกับเครื่องตอก และยังช่วยทำให้เม็ดผลิตภัณฑ์หลุดออกจากเบ้าที่ตอกได้ง่ายขึ้นด้วย อาจเติมสารหล่อลื่นนี้ในระหว่างการบด

แกรนูลที่อบแห้งแล้ว ก่อนนำไปตอกรเม็ดก่อนก็ได้ สำหรับเศษที่เหลือจากกะที่ทำมาก่อน (scrap) สามารถนำมาใช้ใหม่ โดยใส่ผสมลงไปไม่เกิน 5%



ภาพที่ 2-15 แผนภาพแสดงขั้นตอนในกระบวนการผลิตเม็ดคอมแบบตอกรัด

ที่มา : สุวรรณ สุภิมารส, 2543

การเติมสารตัวเชื่อมลงไปในส่วนผสมที่เป็นของแห้ง ทำให้เกิดการสร้างสะพานเชื่อมระหว่างอนุภาคแห้งๆ นั้นด้วยของเหลวที่เติมลงไป โดยจะมีจำนวนและความแรงของตัวเชื่อมเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในขณะที่เกิดการผสม เพราะพื้นที่ผิวที่เปียกจะเพิ่มขึ้น ทำให้ส่วนผสมเหนียวหนากขึ้น จนกระทั่ง (ในกรณีที่มียตัวเชื่อมมากพอ) สามารถสร้างเป็นหยดทรงกลม (droplets) ได้ ของผสมนั้นก็กลับผสมได้ง่ายขึ้นอีก สารตัวเชื่อมที่นิยมใช้ คือ เจลาตินกับกลูโคสไซรัป หรือกัมอารบิก ปัจจุบันอาจเปลี่ยนไปใช้ แป้งดัดแปรหรือมอลโทเดกซ์ทรินแทนเจลาติน เพื่อประโยชน์ในการนำไปขอเครื่องหมายฮาลาล (halal) สำหรับจำหน่ายให้กับชาวมุสลิมได้ด้วย ส่วนผสมทั้งหมดจะนำไปนวดจนได้โด (dough) แล้วนำไปทำเป็นแกรนูล (granules) ซึ่งเป็นขั้นตอนที่สำคัญมาก เพราะเป็นการทำให้ส่วนผสมกลายเป็น

ของไหลได้โดยอิสระ (free flowing) สามารถนำไปกดอัดได้ วิธีทำให้เป็นแกรนูล (granulation) อาจใช้วิธีใดวิธีหนึ่งดังนี้

1) ทำให้อนุภาคจับตัวกันเป็นก้อนด้วยการทำให้เปียก (wet granulation) วิธีนี้เหมาะกับการใช้งานโดยทั่วไป แต่ค่อนข้างเปลืองพื้นที่ เวลา และพลังงานในการทำงาน โดยต้องร่อนอนุภาคที่จะนำไปทำแกรนูลให้ได้ขนาดเท่าๆ กันก่อน แล้วผสมกับสารละลายตัวเชื่อมจนได้โดแข็ง ปริมาณของสารตัวเชื่อมนี้จะต้องพอดีกับส่วนที่แห้ง ซึ่งสามารถทดสอบได้โดยการปั้นเป็นลูกกลมดู ถ้าปั้นแล้วแตกแสดงว่าส่วนผสมนั้นแห้งเกินไป ต้องเติมสารละลายตัวเชื่อมหรือพ่นน้ำลงไปบ้าง แต่ถ้าปั้นแล้วเป็นก้อนแข็ง แสดงว่าส่วนผสมเปียกเกินไป ต้องเติมน้ำตาลป่นลงอีก ทั้งนี้ผู้ทดสอบจะต้องเป็นผู้ที่มีความเชี่ยวชาญและมีประสบการณ์สูงเท่านั้นจึงจะบอกได้ การผสมจะใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง แล้วนำไปบดหยาบเพื่อจะช่วยให้ทำแห้งได้ง่ายขึ้น อบแกรนูลที่ได้ในตู้อบอุณหภูมิ 50-60 องศาเซลเซียส นาน 6-8 ชั่วโมงหรือมากกว่านั้น ต้องระวังไม่ให้อุณหภูมิสูงเกินไป เพราะแกรนูลจะแข็งกรอบ (เกิด case-hardening) และทำให้ภายในแกรนูลแต่ละเม็ดไม่แห้งพอ การอบอาจใช้วิธีอื่นก็ได้ เช่น ใช้เครื่องมือทำแห้งแบบหมุน (rotary dryer) ไมโครเวฟ หรือฟลูอิดไชน์เบด (fluidized bed) ซึ่งเป็นวิธีใหม่ที่มีประสิทธิภาพ

2) ใช้ fluid bed granulator เริ่มจากการฟลูอิดไชน์ส่วนผสมที่เป็นของแห้งด้วยลม พร้อมการฉีดพ่นสารละลายตัวเชื่อมลงไป ทำให้ส่วนผสมแห้งนั้นเกาะกันและจับตัวเป็นแกรนูล ทำให้แห้งด้วยลมอุ่น 40-80 องศาเซลเซียส ประมาณ 20-30 นาที เมื่อแกรนูลแห้ง เติมสารหล่อลื่น สีและกลิ่น ผสมให้เข้ากันโดยการฟลูอิดไชน์อีกครั้งหนึ่ง วิธีนี้ง่ายและทำได้รวดเร็วกว่าวิธีแรกมาก ภาชนะใดๆ จะใช้เวลาประมาณ 60-90 นาทีเท่านั้น

3) Slugging หรือบางทีเรียกว่า การบีบอัด 2 ครั้ง (double compression) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้เฉพาะกับส่วนผสมที่ไวต่อความชื้น เช่น เม็ดคอมที่อมแล้วมีรสชาจากคาร์บอนไดออกไซด์ (effervescent tablets) ทำได้โดยใส่ส่วนผสมที่เป็นของแห้งลงในเข้าพิมพ์ขนาดใหญ่ เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 2-5 เซนติเมตร ถ้าส่วนผสมนั้นไม่สามารถเคลื่อนที่ได้โดยอิสระ อาจจะต้องช่วยดันหรือกระทุ้ง อัดเป็นเม็ดด้วยหน้าแปลนที่แบนเรียบๆ เพื่อให้อากาศออกจากส่วนผสม จะได้เม็ดที่ค่อนข้างหยาบ นำไปบดให้ละเอียดแล้วตอกเป็นเม็ดใหม่ตามขนาดและรูปร่างที่ต้องการ วิธีนี้ใช้อุปกรณ์เพียงไม่กี่ชิ้น แต่ถ้าคำนึงถึงความเสี่ยงของอุปกรณ์และค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาแล้ว นับว่าแพงมาก โดยเฉพาะการทำเป็นเม็ด slug ในตอนต้องเลือกใช้ส่วนผสมที่มีสมบัติในการติดเชื่อมกันเองเท่านั้น สำหรับผลิตภัณฑ์นี้เนื่องจากไม่มีการใช้สารเชื่อม (เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาเรื่องความชื้นที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมีก่อนเวลาที่ต้องการ) จึงมีลักษณะอ่อนตัวกว่าผลิตภัณฑ์ที่ทำโดยสารเชื่อม

สำหรับความชื้นของแกรนูลไม่ว่าจะทำโดยวิธีใด ควรอยู่ระหว่าง 0.75-2.0% ขึ้นอยู่กับสูตรส่วนผสมและวิธีการตอกที่จะใช้แกรนูลที่มีความชื้นสูง เมื่อตอกเป็นเม็ดแล้วจะทำให้เม็ดที่ได้ค่อนข้าง

นํ้า ต้องนำไปฝั่งจนแห้งและแข็งขึ้น เมื่อแกรนูลแห้งแล้ว นำไปบดให้ละเอียดสำหรับนำไปตอกอัดเม็ด พร้อมกับเติมสีและกลีน ซึ่งปกติสีที่ใช้ส่วนใหญ่จะเป็นสีที่ละลายน้ำ แต่เนื่องจากผลิตภัณฑ์นี้นํ้าน้อยมาก จึงมักประสบปัญหาสีที่ใสไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกับตัวผลิตภัณฑ์นัก หรือหากเติมสีในขั้นตอนการทำแกรนูล สีก็จะเคลื่อนที่ไปยังบริเวณผิวหน้าในระหว่างการทำแห้ง ทำให้เกิดเป็นจุดต่าง (mottling) เมื่อตอกเม็ด ดังนั้นควรใช้สีที่เป็น lake colors ซึ่งมีอนุภาคละเอียดผสมกับแกรนูลที่อบแห้งแล้วในระหว่างการบด และเลือกใช้สีสังเคราะห์เพราะจะทนแสงได้ดีกว่า หากต้องการใช้สีธรรมชาติจะต้องระวังไม่ให้ผลิตภัณฑ์ถูกความร้อนและแสงด้วย

เมื่อกระบวนการผสมที่แห้งทั้งหมดให้เข้ากันดีแล้ว นำไปป้อนเข้าเครื่องตอก ซึ่งประกอบด้วยตัวตอกหรือตัวกระทุ้ง (punch) และเบ้าพิมพ์ (die) การกระจายตัวของขนาดอนุภาคในส่วนผสมจะมีความสำคัญต่อการตอกเม็ดมาก อนุภาคควรมีขนาดเท่าๆ กันเป็นจำนวนมาก ขณะที่ตอกเม็ด อนุภาคซึ่งส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นทรงกลมจะจัดเรียงตัวกันลงในเบ้า อนุภาคที่เล็กละเอียดจะแทรกตัวลงไปตามช่องว่าง (void) ทำให้รูพรุนๆ หายไป การที่อนุภาคมีลักษณะกลมทำให้แรงเสียดทานระหว่างอนุภาคลดลงและทำให้การตอกเม็ดทำได้เร็วขึ้น เมื่อใส่ส่วนผสมลงในเบ้าจนเต็มแล้ว เริ่มกดตัวตอก อนุภาคจะพยายามจัดเรียงตัวกันเพื่ออุดช่องว่างภายในเบ้า อากาศที่มีอยู่จะถูกรีดออก เมื่ออนุภาคอัดกันแน่นจนไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ แรงกดอัดที่สูงมากขนาด 6-10 ตัน จะทำให้อนุภาคแตกและสูญเสียสภาพอิลาสติก พอถึงจังหวะที่เป็น dwell time ซึ่งเป็นจังหวะที่อนุภาคได้รับแรงกดสูงสุดชั่วขณะหนึ่ง อนุภาคในเบ้าซึ่งแตกแล้วจะจับติดกันด้วยพันธะที่แข็งแรงมาก จนสามารถต้านทานต่อแรงที่ใช้ดัน (หรือกระทุ้ง) ผลิตภัณฑ์ออกจากเบ้าและทนต่อแรงกดเคี้ยวเมื่ออมอยู่ในปากได้ อุปกรณ์ตัวตอกจะถูกขัดถูให้มีผิวหน้าเรียบสนิท เพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์ตอกเม็ดมีผิวหน้าเรียบสนิทด้วยเช่นกัน จึงไม่เกาะติดกันง่าย ทั้งยังสามารถออกแบบลวดลายหรือเครื่องมือ เพื่อประทับลงบนเม็ดได้ด้วย แบบของเม็ดนิยมทำเป็นเม็ดนูนขอบเรียบความหนาแตกต่างกัน หรือทำเป็นเม็ดแบนทั้งที่ลบเหลี่ยมตรงขอบเล็กน้อยและลบเหลี่ยมมากจนมองด้านข้างเห็นเป็นรูปหกเหลี่ยม ที่ไม่นิยมทำเลย คือ เม็ดแบบผิวหน้าเว้าเข้าเพราะค่อนข้างจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ดียาก สิ่งที่ต้องระวังในการใช้เครื่องตอกนี้ คือ การตั้งตัวตอกกับเบ้าให้ตรงกัน มิเช่นนั้นอาจทำให้เกิดความเสียหายได้มากเนื่องจากการใช้แรงอัดที่สูงนั่นเอง

2.10.2 ส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์อัดเม็ด (Stephen K. R., 2008)

- 1) วัตถุดิบผงแห้ง
- 2) สารยึดเกาะ (Binder) ทำหน้าที่ยึดส่วนผสมต่างๆ เข้าด้วยกัน เพื่อให้เม็ดยาามีสมบัติทางกลอย่างที่ต้องการ สารยึดเกาะที่นิยมใช้เช่น แป้ง น้ำตาล หรือเซลลูโลสดัดแปลง เช่น ไฮดรอกซี โพรพิล เซลลูโลส (hydroxypropyl cellulose) โดยในโรงงานวิจัยนี้ใช้น้ำตาลไอซิ่งเป็นสาร

ยิดเกาะ โดยน้ำตาลไอซิ่ง (Icing sugar หรือ powdered sugar) คือ น้ำตาลทรายที่ผ่านกระบวนการบดละเอียด ลักษณะเป็นผงสีขาว ละเอียดคล้ายแป้ง (Powder Form)

3) สารเจือจาง (Diluents) หรือสารเพิ่มเนื้อ (fillers) นอกจากจะช่วยเพิ่มปริมาณ (bulk up) ให้แก่เม็ดยาหรือแคปซูลยาเพื่อให้สะดวกต่อการผลิตและบริโภค บางชนิดยังทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อม (binder) ส่วนประกอบต่างๆ เข้าด้วยกัน ตัวอย่างสารที่เป็นทั้งสารเพิ่มเนื้อและเป็นตัวเชื่อมบางชนิดที่นิยมใช้ เช่น แลคโตส (lactose) แมกนีเซียมสเตียเรต (magnesium stearate) แป้งข้าวโพด (corn starch) แคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate) สารประเภทเซลลูโลสดัดแปลง (modified cellulose) เช่น คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (carboxymethylcellulose) โดยในโครงการวิจัยนี้ใช้แป้งข้าวโพดเป็นสารเจือจาง โดยแป้งข้าวโพด (Corn starch) เป็นแป้งที่สกัดมาจากเมล็ดข้าวโพด มีลักษณะเป็นผงสีขาวเหลืองนวลจับแล้วผิวสัมผัสของแป้งเนียนลื่นมือเมื่อทำให้สุก จะมีลักษณะชื้นและใสไม่คืนตัวง่าย เมื่อเป็นตัวแป้งจะอยู่ตัวจับเป็นก้อนแข็งร่วนเป็นมันวาว ในชนมหวานไทย นิยมนำมาผสมกับอาหารเพื่อต้องการความชื้นอยู่ตัว เมื่อสัมผัสกับเนื้อแป้งเนียนละเอียดลื่น

4) สารหล่อลื่น (Lubricants) ใช้เพื่อป้องกันตัวยาจับตัวเป็นก้อน หรือเกาะติดกับเครื่องตอกยา สารที่นิยมใช้เป็นสารหล่อลื่นเช่น ซิลิกา (silica) หรือซิลิคอนไดออกไซด์ แมกนีเซียมสเตียเรต (magnesium stearate) กรดสเตียริก (stearic acid) โดยในงานวิจัยนี้ใช้ซิลิคอนไดออกไซด์เป็นสารหล่อลื่น เนื่องจากช่วยป้องกันการจับตัวกันเป็นก้อน หรือเกาะติดกับเครื่องตอกเม็ด

5) สารช่วยไหล (glidants) เป็นสารสำคัญอีกกลุ่มที่ใช้ในกระบวนการผลิตยา สารช่วยไหลใส่เพื่อให้ตัวยาทอยู่ในรูปผงหรือเม็ด (granules) มีสมบัติการไหลตัวดี ช่วยให้ผงยาไหลตัวเข้าแบบพิมพ์เพื่ออัดเม็ด หรือไหลเข้าไปในแคปซูลได้ดี

นอกจากนี้ยังมีการเติมสารอื่นๆ เช่น

- สารช่วยแตกกระจาย (Disintegrants) เป็นสารอีกกลุ่มที่มีบทบาทสำคัญในการผลิตยา เมื่อสารกลุ่มนี้เปียกน้ำ มันจะเกิดการขยายตัวและละลาย ทำให้เม็ดยาแตกตัวออก หากปราศจากสารกลุ่มนี้ เม็ดยาจะเคลื่อนตัวตามระบบย่อยอาหารในลักษณะเป็นเม็ด และตัวยาก็จะไม่ถูกดูดซึม หรือถูกดูดซึมน้อย นอกจากนี้สารยิดเกาะบางชนิดสามารถทำหน้าที่เป็นสารช่วยแตกตัวได้ด้วยเช่น แป้งข้าวโพด และสารเซลลูโลสดัดแปลง เป็นต้น
- สารแต่งกลิ่นและสี (Flavors and colors) ใช้เพื่อแต่งกลิ่น รส และแต่งเม็ดยา เนื่องจากตัวยาหลายชนิดมีกลิ่นเหม็นอย่างยาปฏิชีวนะ
- สารเคลือบ (Coating) สารเคลือบยานอกจากจะปกป้องตัวยานในแคปซูลหรือเม็ดยาจากความชื้น และแสงเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาแล้ว ยังช่วยกลบรสหรือกลิ่นเหม็นของตัวยาวัว ช่วยให้ง่ายขึ้น อีกทั้งยังช่วยให้สามารถพิมพ์ข้อมูลลงบนเม็ดยาได้ โดยทั่วไปการ

เคลือบยา มักใช้น้ำตาล แต่ปัจจุบันนอกจากจะใช้น้ำตาลแล้ว ยังมีการใช้สารเคลือบโพลีแซคคาไรด์ (polysaccharide) ร่วมกับสารพลาสติกไซเซอร์อย่างไตรเอทิลซิเตรท (triethyl citrate) และสีด้วย

สำหรับโครงการวิจัยนี้จะใช้เจลาติน (Gelatin) เป็นสารเคลือบผลิตภัณฑ์จากผลหนามแดงอัดเม็ด เนื่องจากเจลาตินสามารถทำหน้าที่ได้ทั้งเป็นสารทำให้เกิดเจล เป็นสารให้ความข้นหนืด เป็นสารช่วยให้เกิดความคงตัว รักษาสภาพคอลลอยด์ และยังทำให้สารละลายได้ ตัวอย่างการใช้เจลาตินในผลิตภัณฑ์ลูกกวาดบางชนิด ดังตารางที่ 2-3 โดยปัจจัยที่มีผลต่อความแข็งแรงของเจลาติน ได้แก่ เวลา ความเข้มข้น ค่าลุ่ม pH และอุณหภูมิ โดยมีอุณหภูมิในการเซตตัวเป็นเจล อยู่ระหว่าง 18 – 25 องศาเซลเซียส ขึ้นกับชนิดและความเข้มข้นของเจลาติน

ตารางที่ 2-3 การใช้เจลาตินในผลิตภัณฑ์ลูกกวาดบางชนิด

ตัวอย่างผลิตภัณฑ์	ตัวอย่างผลิตภัณฑ์	ปริมาณการใช้ (%)
ชนิดที่เป็นเจล	ไวน์กัม พาสติลล์ พวกกัมมี	3 – 9
ชนิดที่มีฟองอากาศ	มาร์ชแมลโลว์แบบต่างๆ	2 – 4 (ตามวิธีการผลิต)
ชนิดที่มีการดึง	ลูกกวาดที่เคี้ยวได้	0.5 – 1.5
ชนิดที่ขึ้นรูปด้วยการตอก		0.5 – 1
เม็ดหรือใช้พิมพ์กด		
ทอฟฟี่และคาราเมล		0.5 – 1
ลิกอร์ิช		0.5 – 1

ที่มา : สุวรรณา สุภิมารส (2543)

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับผลหนามแดง พบว่ามีงานวิจัยด้านคุณค่าทางอาหาร สรรพคุณทางยา ดังนี้

Pal et al. (1975) พบว่า ผลของพืชสกุล *Carissa carandas* มีกัมสารกลุ่มฟีนอลิกปริมาณมาก โดยสารประกอบฟีนอลิกได้รับความสนใจอย่างมากในปัจจุบัน เนื่องจากมีความสามารถเป็นสารแอนติออกซิแดนซ์ สารฆ่าเชื้อ สารต่อต้านมะเร็ง สารลดการอักเสบ (Anti-inflammation) และสารยับยั้งเอนไซม์ tyrosinase (Lupo, 2001; Auger et al., 2004) และจากการค้นคว้ารายงานการวิจัยและสิทธิบัตรพบว่า ใบและก้านของหนามแดงมีสารฟีนอลิกมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับพืช 15 ชนิดในสกุล Apocyanaceae, Asclepiadaceae, Convolvulaceae, Euphorbiaceae (Sekar and Francis, 1998) Subhadrabandhu (2001) รายงานว่าหนามแดงเป็นผลไม้ไทย 1 จาก 5 รายการ

ที่มีการใช้ประโยชน์ทางสมุนไพรแต่ยังไม่มีการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้า Pino et al (2004) รายงานว่า ผลหนามแดงสุกจากประเทศคิวบา มีองค์ประกอบของ Volatile Flavor อยู่ 55 ชนิด โดยสารให้กลิ่นรสสำคัญได้แก่ isoamyl alcohol, isobutanol และ beta-caryophyllene และพบว่าผลหนามแดงสุกจากประเทศอินเดียและฟิลิปปินส์ มีองค์ประกอบทางเคมีดังนี้คือ ความชื้น 83.17-83.24 % โปรตีน 0.39-0.66% ไขมัน 2.57-4.63% คาร์โบไฮเดรต 0.51-0.94% น้ำตาล 7.35-11.58% โยอาหาร 0.62-1.81% เถ้า 0.66-0.78% วิตามินซี 9-11 มิลลิกรัม/100 กรัม โดยมีรายงานว่าผลหนามแดงเป็นแหล่งสำคัญของธาตุเหล็ก วิตามินซี และยังมีปริมาณเพคตินซึ่งเป็นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ในปริมาณสูง (FAO, nd) ทั้งนี้มีการนำผลหนามแดงมาแปรรูปเป็นอาหารแบบต่างๆ ได้แก่ นำผลดิบมาดอง นำผลสุกมาเชื่อมกับน้ำตาลและอบเชย ผลิตแย้มและเยลลี่

การนำหนามแดงมาแปรรูปเพื่อทำผลิตภัณฑ์อาหาร ทำให้สารฟีนอลิกที่มีในหนามแดงถูกทำลายหรือเปลี่ยนรูปไปบางส่วน เนื่องจากสารเหล่านี้มีความสามารถในการทนความร้อน ความเป็นกรดต่างแตกต่างกัน ประกอบกับสารต่างๆเหล่านี้สามารถทำปฏิกิริยากับส่วนประกอบอื่นๆในอาหาร และสารเจือปนอาหารที่เติมลงในผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้จากการค้นคว้ารายงานการวิจัยและสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของสารฟีนอลิกในระหว่างกระบวนการแปรรูป พบว่า ปริมาณฟีนอลิก (proanthocyanidin and flavan-3-ols, anthocyanins, ellagic acid, p-coumaric acid) ในสตรอร์เบอร์ลดลง 4.5-33.6% ในระหว่างการเก็บรักษาแบบแช่แข็งก่อนการแปรรูป (Ski et al., 2009) นอกจากนี้ Shama et al. (2008) ได้รายงานว่าความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH ของชาดัลลดลงเมื่อมีการเติมน้ำตาล และลดลงมากที่สุดเมื่อนำชาดัลมาผสมกับนม แต่การเติมกรดซิตริกลงในน้ำมันมะกอกกลับทำให้อำนาจในการกำจัดอนุมูลอิสระสูงขึ้น (Aliakbarian et al., 2008)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอาหารกึ่งแห้งและการออสโมซิส มีดังนี้ Torregiani and Bertolo (2001) กล่าวว่า สารละลายออสโมติกหมายถึงสารละลายเข้มข้น ซึ่งมีค่าแรงดันสูงทำให้เกิดความแตกต่างของแรงดันออสโมติก ระหว่างภายในเซลล์ของชิ้นผักผลไม้และสารละลายภายนอก เกิดเป็นแรงขับ (driving force) ให้มีการถ่ายเทมวลสารระหว่างผักผลไม้ และสารละลายภายนอกผ่านเยื่อหุ้มเซลล์หรือเซลล์เมมเบรนที่ทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่านน้ำภายในเซลล์ของผักผลไม้ จะแพร่กระจายออกจากเซลล์สู่สารละลายภายนอกขณะเดียวกันตัวถูกละลายภายนอก เช่น น้ำตาลหรือเกลือจะแพร่กระจายเข้าสู่ภายในเซลล์ของผักผลไม้หรือเนื้อผักผลไม้ สารบางอย่างที่มีอยู่ในเซลล์ตามธรรมชาติ (natural soluble substance) เช่น กรดอินทรีย์ น้ำตาล และเกลือแร่ เป็นต้น จะแพร่กระจายออกนอกเซลล์สู่สารละลายภายนอก (Torregiani and Bertolo, 2001) ชนิดของสารละลายออสโมติกที่ใช้เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการออสโมซิส สารละลายออสโมติกที่นิยมใช้ คือ น้ำเชื่อมเตรียมจากน้ำตาลทราย ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่หาง่ายราคาถูก สอดคล้องกับการใช้งาน และมีรายงานว่าใช้น้ำคั้นจากผลไม้ชนิดเดียวกันกับผลไม้ที่ใช้ในการออสโมซิส

สามารถช่วยลดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการออสโมซิสได้ดี เนื่องจากในระหว่างการออสโมซิสจะมีการถ่ายเทมวลสารออกจากชั้นผักผลไม้ คือ เกิดการแพร่ของน้ำและอาจนำสารธรรมชาติ เช่น กรดอินทรีย์ วิตามิน สารที่ให้กลิ่นรสเฉพาะออกมาด้วย ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่เหมือนของสด ดังนั้นหากมีการใช้สารละลายออสโมติกที่มีลักษณะใกล้เคียงกับผักผลไม้ที่ออสโมซิส ในระหว่างการถ่ายเทมวลสารซึ่งเกิดการแพร่ของของแข็งจากสารละลายไปยังชั้นผักผลไม้ด้วยก็จะเป็นการถ่ายเทสารธรรมชาติเหล่านั้นกลับคืนมาได้ (Lerici et al, 1985)

Matussek, Czukor and Meresz (2008) เปรียบเทียบสารละลายออสโมติกระหว่าง Fructo-oligosaccharids (FOS) และ sucrose ในการออสโมซิสแอปเปิ้ล ทำโดยตัดแอปเปิ้ลเป็นทรงสี่เหลี่ยม (10×10×10 มิลลิเมตร) โดยใช้สารละลายออสโมติกความเข้มข้น 40-60 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/ปริมาตร) ที่อุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20-40 นาที พบว่าตัวถูกละลายของสารละลาย FOS จะแพร่กระจายเข้าไปในแอปเปิ้ลน้อยกว่าสารละลายน้ำตาลซูโครส ส่วนปริมาณน้ำที่สูญเสีย พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิและความเข้มข้นทำให้ปริมาณน้ำที่สูญเสียของสารละลาย FOS เพิ่มขึ้นมากกว่าสารละลายน้ำตาลซูโครส

Dermesonlouoglou, Stella and Taoukis (2008) ศึกษาผลของสารละลายออสโมติก Oligofructose และ High DE Maltodextrin ต่อคุณภาพทางด้านสี เนื้อสัมผัส และลักษณะทางประสาทสัมผัสของเนื้อเยื่อแตงกวาแช่แข็ง โดยใช้สารละลาย ความเข้มข้น 56 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 15, 35 และ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 360 300 และ 180 นาที กำหนดอัตราส่วนระหว่างแตงกวากับสารละลายเท่ากับ 1 : 5 (w/w) พบว่า มีค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียคล้ายกันทั้งสองตัวอย่าง แต่สารละลายออสโมติก oligofructose มีการดูดซึมของตัวถูกละลายมากกว่าสารละลายออสโมติก HDEM

Dermesonlouoglou, Giannakourou and Taoukis (2007) ได้ศึกษาผลของสารละลายออสโมติก คือ สารละลาย glucose, high DE maltodextrin (HDEM) oligofructose และ trehalose ต่อคุณภาพของเนื้อเยื่อมะเขือเทศแช่แข็ง โดยใช้สารละลายความเข้มข้น 56.5 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง อัตราส่วนระหว่างสารละลายต่อชิ้นมะเขือเทศเท่ากับ 5: 1 และทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -12 และ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 และ 12 เดือน พบว่า สารละลาย glucose ทำให้มีปริมาณความชื้นลดลงมากที่สุด เมื่อเวลาเพิ่มขึ้น รองลงมาคือ oligofructose, HDEM และ oligofructose/trehalose ตามลำดับ

Rico et al. (2007) ศึกษาการปรับปรุงเนื้อสัมผัสโดยใช้แคลเซียมแลคเตทและการ Heat shock สำหรับแครอทพร้อมบริโภค โดยเปรียบเทียบผลของการแช่ในสารละลายแคลเซียมแลคเตท ความเข้มข้น 1.5 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 25 และ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที กับสารละลาย

คลอรีน ความเข้มข้น 120 ppm พบว่า แคลเซียมแลคเตทช่วยลดค่า a_w และเพิ่มความแน่นเนื้อของชิ้นแครอทมากกว่าการแช่ในคลอรีน เนื่องจากเกิดแรงดันออสโมติก โดยเกิดการแพร่ของแคลเซียมเข้าสู่เนื้อเยื่อของแครอทสวนทางกับการแพร่ของน้ำออกจากเนื้อเยื่อ และยังพบว่า การใช้แคลเซียมแลคเตทร่วมกับการ Heat shock ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ทำให้เอนไซม์ pectin methyl esterase ทำงานได้มากขึ้น เนื่องจากเอนไซม์ pectin methyl esterase จะยึดเกาะกับกลุ่ม methoxyl ในสารประกอบเพคติก ทำให้เกิดกลุ่มเพคติกอิสระประกอบด้วยหมู่คาร์บอกซิล โดยเมื่อเติมแคลเซียม แคลเซียมจะสร้างพันธะกับกลุ่มคาร์บอกซิลเลสในเนื้อเยื่อของพืชทำให้เนื้อเยื่อมีความหนาแน่นมากขึ้นและสามารถป้องกันการอ่อนตัวของแครอทได้ ซึ่งเกิดจากการขยายตัวของอากาศภายในเซลล์ของแครอททำให้สารละลายแคลเซียมแลคเตทเกิดการซึมผ่านได้มากขึ้นที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสและได้รับคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสดีในทุกด้าน

Escobar, Galindo, Wadso, Najera and Sjöholm (2007) ศึกษาผลของการเตรียมชิ้นต้นด้วยการลวกต่อกลไกการดองน้ำออกจากแครอทด้วยวิธีออสโมซิส ทำได้โดยลวกชิ้นแครอทในน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 20 และ 30 วินาที แล้วนำไปแช่ในน้ำเย็นทันที เปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ผ่านการลวก การดองน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสทำโดยแช่ชิ้นตัวอย่างแครอทในสารละลายซูโครสความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส อัตราส่วนระหว่างสารละลายออสโมติกต่อชิ้นตัวอย่างเท่ากับ 1:45 กวนด้วยอัตราเร็ว 260 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 ชั่วโมง และอบแห้งในตู้อบสุญญากาศ ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ความดัน 100 Pa พบว่า ผลของการเตรียมชิ้นต้นด้วยการลวกต่อกลไกการดองน้ำออกจากแครอทด้วยวิธีออสโมซิสต่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำและสารละลายเพิ่มขึ้น เนื่องจากการลวกทำให้เซลล์และเนื้อเยื่อของแครอทอ่อนตัวลง ทำให้การซึมผ่านของน้ำและสารละลายออสโมติกเป็นไปได้ง่าย และพบว่า เมื่อลวกชิ้นตัวอย่างด้วยเวลานานขึ้นจะทำให้เนื้อเยื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงไปคือ อ่อนนุ่มมากขึ้นและโครงสร้างเซลล์ถูกทำลายมากขึ้น

Fernandes, Rodrigues, Gaspareto and Oliveira (2006) ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดองน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสมะละกอร่วมกับการอบแห้งโดยใช้ลมร้อน ทำได้โดยออสโมซิสขึ้นมะละกอในสารละลายซูโครสความเข้มข้น 50 และ 70 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 50 และ 70 องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราส่วนของสารละลาย ออสโมติกต่อชิ้นผลไม้เท่ากับ 4:1 เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8.5 ชั่วโมง พบว่า การดองน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสร่วมกับการอบแห้งโดยใช้ลมร้อนของชิ้นมะละกอ โดยใช้สารละลายซูโครสความเข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ช่วยลดระยะเวลาของกระบวนการทำแห้งลง 11.3 ชั่วโมง เมื่อเทียบกับสารละลายซูโครสความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสนั้นลดระยะเวลาของกระบวนการทำแห้งลงเพียง 6 ชั่วโมง 6 นาที การที่ความเข้มข้นของสารละลายซูโครส

เพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำจากผลไม้สู่สารละลายมากขึ้น ซึ่งผลของสารละลายออสโมติกจะมีผลต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารมากกว่าผลจากอุณหภูมิ โดยเฉพาะที่อุณหภูมิต่ำ

Denis, Lucena Barobosa, Graziella and Fernanda (2005) ได้ศึกษากระบวนการการดึงน้ำออกจากเชอร์รี่ด้วยวิธีออสโมซิส ที่อุณหภูมิ 25 และ 60 องศาเซลเซียส ด้วยการกวนคงที่ ทำโดยลวกเชอร์รี่แช่แข็งในน้ำ ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที และดึงน้ำออกโดยใช้สารละลาย binary (น้ำ + น้ำตาลซูโครส) และ ternary (น้ำ + น้ำตาลซูโครส + เกลือ) ความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสสำหรับ binary อยู่ระหว่าง 30 ถึง 60 เปอร์เซ็นต์ และสำหรับ ternary สารละลายซูโครสอยู่ระหว่าง 20 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ และเกลือ 10 เปอร์เซ็นต์ ตรวจสอบปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ปริมาณของแข็ง (SG) ปริมาณของแข็ง/ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (SG/WL) และ น้ำหนักที่ลดลง (WR) ซึ่งใช้ SG/WL เป็นพารามิเตอร์ในกระบวนการ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุด คือ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส สำหรับ binary สารละลายน้ำตาลซูโครส 60 เปอร์เซ็นต์ และสำหรับ ternary สารละลายน้ำตาลซูโครส 50 เปอร์เซ็นต์ ผสมเกลือ 10 เปอร์เซ็นต์

Luna-Guzman and Barrett (2000) ได้ศึกษาการใช้แคลเซียมคลอไรด์และแคลเซียมแลคเตทที่มีผลต่อความคงตัวและคุณภาพของขึ้นแคนตาลูปสดในระหว่างการเก็บรักษา ทำได้โดยนำขึ้นแคนตาลูปสดแช่ในน้ำ (ตัวอย่างควบคุม) สารละลายแคลเซียมคลอไรด์และสารละลายแคลเซียมแลคเตทความเข้มข้น 1 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์ นาน 1 นาที ที่อุณหภูมิ 25 และ 60 องศาเซลเซียส ทำการวิเคราะห์ค่าความชื้น ค่าความแน่นเนื้อและคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสในด้านกลิ่นรสระหว่างการเก็บรักษานาน 12 วัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่า สารละลายแคลเซียมทั้ง 2 ชนิด ทำให้ความแน่นเนื้อของขึ้นแคนตาลูปเพิ่มขึ้น 25-33 เปอร์เซ็นต์ จากตัวอย่างควบคุม การใช้สารละลายแคลเซียมแลคเตท ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ขึ้นแคนตาลูปมีค่าความชื้นลดลงจากขึ้นตัวอย่างสด ไม่เกิดริ้วรอย มีค่าความแน่นเนื้อน้อยกว่า และมีกลิ่นรสดีกว่าการใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ทั้งสองความเข้มข้น แต่การใช้สารละลายแคลเซียมแลคเตทความเข้มข้น 2.5 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นแคนตาลูปสดจะมีรสขม และมีกลิ่นรสเสียไป จากการทดลองความแน่นเนื้อของขึ้นแคนตาลูปเพิ่มขึ้นนั้น เกิดจากสารละลายแคลเซียมมีส่วน ทำให้ผนังเซลล์และมิตเดิลเลเมลลาของขึ้นผลไม้มีความแข็งแรงขึ้น เนื่องจากแคลเซียมจะช่วยเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเซลล์ทำให้เยื่อหุ้มเซลล์มีโครงสร้างที่แข็งแรง ส่งผลให้เนื้อเยื่อเปลี่ยนแปลงไปจากธรรมชาติของเนื้อผลไม้ปกติ และถ้าปริมาณแคลเซียมในเนื้อเยื่อเพิ่มขึ้น ขึ้นผลไม้จะมีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น และสามารถเก็บรักษาได้นานขึ้นอีกด้วย

ศรีวิกรม์ ดิษฐอดมโพธิ์ และ ชลธิชา ปิตตารเต (2550) ศึกษาผลของตัวถูกละลายออสโมติก (ซูโครส ซอร์บิทอล และมอลทิทอล) ที่มีต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างกระบวนการออสโมซิสมะเขือเทศ เมื่อแช่มะเขือเทศในสารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้น 65 องศาบริกซ์ พบว่า การใช้

มอลทิทอลทำให้มะเขือเทศมีการสูญเสีย น้ำมากที่สุดและการใช้ซอร์บิทอลทำให้มีของแข็งเพิ่มขึ้นมากที่สุด เนื่องจาก ซอร์บิทอลมีน้ำหนักโมเลกุลน้อย จึงทำให้มีของแข็งเพิ่มขึ้นมากและอัตราส่วนระหว่างการสูญเสียและการเพิ่มของแข็งน้อย ระยะเวลาในการแช่เย็นขึ้นทำให้มะเขือเทศสูญเสีย น้ำมากขึ้นและมีของแข็งเพิ่มขึ้น สามารถใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการทำนายถ่ายเทมวลสารได้โดยมีความเบี่ยงเบนสัมพัทธ์ ร้อยละ 4.33-6.98 พบว่าเมื่อระยะเวลาการแช่เย็นขึ้น มะเขือเทศสูญเสีย น้ำมากขึ้น และมีของแข็งเพิ่มขึ้น โดยช่วงแรกอัตราการสูญเสีย น้ำและอัตราการเพิ่มของของแข็งสูง เนื่องจากแรงดันออสโมติก ระหว่างเซลล์มะเขือเทศและสารละลายออสโมติกแตกต่างกันมาก ทำให้เกิดแรงขับให้มีการถ่ายเทมวลสารมาก และจะลดลงเมื่อเวลาแช่เย็นขึ้นเนื่องจากแรงดันออสโมติกมีความแตกต่างกันน้อยลง มะเขือเทศที่แช่ในสารละลายมอลทิทอลสูญเสีย น้ำมากที่สุด และมะเขือเทศที่แช่ในสารละลายซอร์บิทอล มีปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้นมากที่สุด เนื่องจากซอร์บิทอลมีน้ำหนักโมเลกุลน้อยที่สุด (MW=182) จึงสามารถซึมเข้า เนื้อเยื่อมะเขือเทศได้มากกว่าซูโครส (MW=342) และมอลทิทอล (MW=344)

วรัญญา คำชู (2549) ศึกษาการดองน้ำออกจากแตงไทยด้วยวิธีออสโมซิส โดยการแช่แตงไทยในสารละลายออสโมติก ซึ่งเป็นส่วนผสมระหว่างน้ำตาลทรายและเกลือ ความเข้มข้นของน้ำตาลทราย (30-50 กรัม/100กรัม) และความเข้มข้นของเกลือ (0-1 กรัม/100 กรัม) โดยวิเคราะห์อัตราการถ่ายเทมวลสารในระหว่างการออสโมซิส ได้แก่ ค่าการสูญเสีย น้ำ (WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) และน้ำหนักที่ลดลง (WR) พบว่า ที่เวลาในการออสโมซิส 9 ชั่วโมง ค่า WL SG และ WR อยู่ในช่วง 37-35 เปอร์เซ็นต์ 6-9 เปอร์เซ็นต์ และ 30-48 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และพบว่า การนำแตงไทยมาเตรียมขั้นต้นด้วยวิธีออสโมซิสก่อนการแช่แข็ง โดยแช่ในสารละลายผสมระหว่างน้ำตาลทรายความเข้มข้น 47.5 เปอร์เซ็นต์ และเกลือความเข้มข้น 0.7 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 4.5 ชั่วโมง ทำให้แตงไทยมีปริมาณความชื้นและค่า Dip loss ต่ำ นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์หลังการละลายได้รับคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นรส รสชาติ และความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบกับแตงไทยสด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.5$)

พนิดา เนตรวีระ (2548) ได้ศึกษาผลของซูโครสร่วมกับกลีเซอรอลต่อการทำแห้งมะละกอด้วยวิธีออสโมซิส โดยแปรปริมาณของซูโครสและกลีเซอรอลต่อการออสโมซิสมะละกอก เป็น 5 ระดับ คือ ซูโครสความเข้มข้น 55 เปอร์เซ็นต์ กลีเซอรอลความเข้มข้น 55 เปอร์เซ็นต์ ซูโครสความเข้มข้น 35 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับกลีเซอรอลความเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ ซูโครสความเข้มข้น 27.5 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับกลีเซอรอลความเข้มข้น 27.5 เปอร์เซ็นต์ และซูโครสความเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกลีเซอรอลความเข้มข้น 35 เปอร์เซ็นต์ ทำการออสโมซิสที่อุณหภูมิห้อง นาน 8 ชั่วโมง โดยกำหนดอัตราส่วนสารละลายต่อชิ้นตัวอย่างเท่ากับ 1:10 อัตราการกวนสารละลายเท่ากับ 100 รอบต่อนาที และอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 ± 2 องศาเซลเซียส จนมีความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 15 เปอร์เซ็นต์ พบว่า

คุณภาพของผลิตภัณฑ์มะละกอบแห้งที่แช่ในสารละลายซูโครสความเข้มข้น 35 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกลีเซอรอลความเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ มีเปอร์เซ็นต์ค่าการสูญเสีย น้ำสูงที่สุด และใช้เวลาในการออสโมซิสน้อยที่สุด นอกจากนี้มะละกอยังมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่นุ่มขึ้น มีรสหวาน โดยได้รับคะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัสไม่แตกต่างกันจากการแช่ในสารละลายซูโครส 55 เปอร์เซ็นต์ แต่ยังมีรสขมจากกลีเซอรอลเล็กน้อย

งานวิจัยเกี่ยวกับการใช้สภาวะสุญญากาศในการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสมีดังนี้

Deng and Zhao (2008) ศึกษาผลของการใช้สภาวะสุญญากาศและคลื่นอัลตราซาวด์ในการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสต่อเนื้อสัมผัส โครงสร้างทางจุลภาคและการดูดซึมแคลเซียมของแอปปเปิ้ล (ฟูจิ) กิ่งแห้ง ทำโดยการนำแอปปเปิ้ล (ฟูจิ) มาล้าง ปอกเปลือก ตัดให้เป็นรูปทรงกระบอก (15×15 mm) แช่ในสารละลาย ascorbic acid 1% + citric acid 0.2% เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำมาดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสโดยแช่ในสารละลาย HFCS เป็นเวลา 3 ชั่วโมงโดยแปรสภาวะที่ศึกษาเป็น 3 วิธี คือวิธีที่ 1 ออสโมซิสในสภาวะปกติรวมกับการกวนสารละลายตลอดเวลา วิธีที่ 2 ออสโมซิสโดยใช้คลื่นอัลตราซาวด์ วิธีที่ 3 ออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศแบบเป็นจังหวะที่ความดัน 13 MPa เป็นเวลา 5 นาที ต่อด้วยสภาวะปกติ 5 นาที สภาวะสุญญากาศ 5 นาที และต่อด้วยสภาวะปกติจนสิ้นสุดการออสโมซิส แล้วนำไปอบแห้งด้วยวิธีการอบแห้ง 2 วิธี คือ Freeze drying และ air drying จากผลการทดลอง พบว่า การออสโมซิสโดยใช้คลื่นอัลตราซาวด์ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ปริมาณวอเตอร์แอคทีวิตีลดลง รวมถึงปริมาณความชื้นและอัตราการหดตัวของโครงสร้าง อัตราการดูดซึมแคลเซียมเพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกับการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศ เมื่อเปรียบเทียบด้านวิธีการอบแห้งพบว่าทั้งสองวิธีให้ผลไม่แตกต่างกันคือ โครงสร้างเกิดรูพรุนและมีการหดตัวของเนื้อเยื่อน้อยจึงทำให้เนื้อสัมผัสอ่อนนุ่ม

Chafer, Gonzalez-Martinez, Fernandez, Perez and Chiralt (2003) ศึกษาผลของการลวกและการใช้สภาวะสุญญากาศแบบเป็นจังหวะ (PVOD) ก่อนการดึงน้ำออกแบบออสโมซิสในแพร์ (Pear) โดยใช้สารละลายน้ำตาลซูโครส ความเข้มข้น 65 องศาบริกซ์ ซึ่งระดับความดันสุญญากาศที่ใช้สำหรับสภาวะ PVOD เท่ากับ 50 มิลลิบาร์นาน 5 นาที จากผลการทดลองพบว่า การเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกและ PVOD ช่วยเพิ่มอัตราการถ่ายเทมวลสารของชิ้นแพร์ และพบว่า PVOD ทำให้เฉดสีและค่าความเข้มสีของแพร์มีค่าที่ดีกว่าชิ้นแพร์ที่ผ่านการลวกและชิ้นแพร์ที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้น แต่ชิ้นแพร์มีความทึบแสงมากขึ้นและมีความคล้ำ เนื่องจากการสูญเสียก๊าซในโครงสร้างของชิ้นแพร์

Wang, Chang and Chen (1999) ศึกษาการดึงน้ำออกแบบออสโมซิสในมะละกอและผักขึ้นฉ่าย (Celery) โดยแปรสภาวะเป็น 3 สภาวะ คือ การออสโมซิสในสภาวะความดันปกติ (OD) การใช้สภาวะความดันสุญญากาศ (VOD) และการใช้สภาวะความดันสุญญากาศแบบเป็นจังหวะ (PVOD) โดยใช้สารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 25 40 และ 55 องศาบริกซ์ ที่อุณหภูมิ 25 40

และ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ระดับความดันสุญญากาศที่ใช้เป็นสภาวะ VOD และ PVOD เท่ากับ 0 253 และ 506 มิลลิเมตรปรอท โดย PVOD จะลดความดันเป็นจังหวะ ตั้งแต่ 1 ถึง 5 ครั้งต่อนาที จากผลการทดลอง พบว่า ทั้งสภาวะ VOD และ PVOD สามารถเพิ่มอัตราการสูญเสียและค่าปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และสภาวะ PVOD จะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะของเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับวัตถุดิบเริ่มต้น ดังนั้น สภาวะ PVOD จะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีกว่าและใช้พลังงานน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สภาวะ VOD

พิมพ์ใจ มณีพันธ์ (2553) สภาวะที่ดีที่สุดสำหรับการเตรียมชิ้นมะพร้าวขึ้นต้นด้วยวิธีการใช้สภาวะสุญญากาศ คือ การใช้สภาวะสุญญากาศแบบ 50 WP ทำได้โดยแช่ชิ้นมะพร้าวในสารละลายออสโมติกแล้วให้ความดันสุญญากาศที่ 50 มิลลิบาร์ 10 นาที กลับสู่สภาวะบรรยากาศนาน 10 นาที และให้สภาวะสุญญากาศอีกครั้ง 10 นาที พบว่า ทำให้ชิ้นมะพร้าวมีค่าปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นและมีน้ำหนักที่ลดลง โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในระหว่างการออสโมซิส ช่วง 1-4 ชั่วโมงแรก เนื่องจากช่วงของการออสโมซิสจะเกิดความแตกต่างของแรงดันออสโมติกระหว่างภายในเซลล์มะพร้าวและสารละลายออสโมติกภายนอก ทำให้เกิดแรงขับให้มีการถ่ายเทมวลสารมาก โดยจะมีค่าสูงสุดเมื่อที่ระยะเวลาการออสโมซิส 8 ชั่วโมง

ทิพสุตา อาสาสรรพกิจ, นิพรพรรณ มุทุมม และสุทัศน์ สุระวัง (2550) ศึกษาผลของกระบวนการดึงน้ำออกด้วยวิธี ออสโมซิสที่มีผลต่อคุณภาพสตรอเบอร์รี่อบแห้ง โดยใช้ระบบสุญญากาศในช่วงแรกของกระบวนการ ทำได้โดยนำผลสตรอเบอร์รี่มาล้าง ทำความสะอาด เจาะรู แล้วนำไปแช่ในน้ำเชื่อมความเข้มข้นเริ่มต้น 65 องศาบริกซ์ ในสภาวะสุญญากาศโดยใช้ปั๊มสุญญากาศที่ความดัน 100 มิลลิบาร์ในช่วงแรกของกระบวนการออสโมติก เป็นเวลา 10 นาที พบว่า มีผลทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และสามารถลดระยะเวลาการออสโมซิสของ ผลสตรอเบอร์รี่ลงได้ และจากการศึกษาการออสโมติกที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส พบว่า อุณหภูมิไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของผลสตรอเบอร์รี่ และสตรอเบอร์รี่ที่ผ่านกระบวนการออสโมติกในสภาวะสุญญากาศร่วมกับการอบแห้งด้วยลมร้อน ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง มีคุณลักษณะในด้านต่างๆดีกว่าผลิตภัณฑ์ที่จำหน่ายทางการค้าทั่วไป

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการอบแห้งสภาวะสุญญากาศมีดังนี้

Arevalo-Pinedo and Murr (2007) ศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งสภาวะสุญญากาศของแครอทและฟักทอง โดยลวกในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที และแช่แข็งที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วจึงนำทั้ง 2 วิธีมาอบแห้งสภาวะสุญญากาศ ที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 5 และ 25 กิโลปาสกาล พบว่า เวลาที่อบแห้งตัวอย่างแครอทและฟักทองลดลงมากเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิและลดความดัน โดยเวลาในการลดปริมาณความชื้นเหลือ 0.05% สำหรับฟักทองที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความดัน 5 กิโลปาสกาล

เป็นเวลา 2.5 ชั่วโมง และความดัน 25 กิโลปาสคาล เป็นเวลา 5.2 ชั่วโมง สำหรับแครอท ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความดัน 5 กิโลปาสคาล เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

El-Aouar, Azoubel, Barbosa and Murr (2006) ศึกษาความแตกต่างของสารละลาย ออสโมติกที่มีผลต่อการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสของมะละกอร่วมกับการอบแห้งโดยใช้สุญญากาศ ทำได้โดยตัดชิ้นมะละกอให้มีขนาด $30 \times 50 \times 5$ มิลลิเมตร แล้วนำมาดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสโดยใช้สารละลายซูโครสและน้ำเชื่อมข้าวโพดที่ระดับความเข้มข้น 44-56 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/น้ำหนัก) ที่ อุณหภูมิ 34-46 องศาเซลเซียส ใช้อัตราส่วนระหว่างมะละกอต่อสารละลายเท่ากับ 1:10 กวนที่ อัตราเร็ว 80 รอบต่อนาที และเวลาในการออสโมซิสนาน 120-210 นาที จากนั้นนำไปอบแห้งในตู้อบ สุญญากาศที่ 635 มิลลิเมตรปรอท อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง จากผลการทดลอง พบว่า ค่าการสูญเสีย น้ำ ปริมาณของแข็ง และน้ำหนักที่ลดลงของชิ้นมะละกอที่ผ่านการออสโมซิสด้วย สารละลายซูโครสมีค่าสูงกว่าการใช้น้ำเชื่อมข้าวโพด เนื่องจากสารละลายซูโครสมีความหนืดและมีโพ ลีแซคคาไรด์มากกว่าน้ำเชื่อมข้าวโพด แต่เมื่อแช่เป็นเวลาผ่านไป 210 นาที พบว่า สารละลายซูโครส มีค่าการสูญเสียน้ำน้อยกว่าน้ำเชื่อมข้าวโพด 20 เปอร์เซ็นต์

วสันต์ กันธมูล, ศิระชา เจ็ญสุขสวัสดิ์ และมนตรี ขาวสุข (2549) ศึกษาคุณลักษณะการ อบแห้งขนุนโดยระบบสุญญากาศ โดยได้ทำการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งสุญญากาศเปรียบเทียบกับที่ สภาวะความดันบรรยากาศ อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง คือ 45 60 และ 80 องศาเซลเซียส มีความดัน สุญญากาศ 700 620 และ 420 mmHg ตามลำดับ การอบแห้งขนุนที่สภาวะความดันสุญญากาศมี อัตราความชื้นลดลงมากกว่าเมื่อเทียบกับที่สภาวะความดันบรรยากาศ ณ อุณหภูมิเดียวกัน และ พบว่า ความดันสุญญากาศการอบแห้งนั้นมีอัตราการอบแห้งที่สูงกว่าที่สภาวะความดันบรรยากาศ เนื่องจากที่สภาวะความดันสุญญากาศ น้ำจะมีจุดเดือดต่ำกว่าที่สภาวะความดันบรรยากาศ ความชื้น จึงระเหยจากตัวอย่างขนุนได้ง่ายกว่าที่สภาวะความดันบรรยากาศ

นพพล แก้วอาจ, อุดร มุทะระพัฒน์ และเอกวิทย์ เวียงยศ (2548) ศึกษาการอบแห้งวัตถุดิบ ทางการเกษตร ได้แก่ ลำไย และกระชายดำ ด้วยเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ โดยอบที่ความเร็วลม 1 เมตรต่อนาที ความดัน 0.2 บาร์ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส พบว่า เมื่อใช้อุณหภูมิสูงจะมีผลต่อ การเพิ่มอัตราการอบแห้ง โดยจะทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยลง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับน้ำส้มสายชูหมัก มีดังนี้ มีรายงานการวิจัยซึ่งบ่งชี้ว่าการบริโภค น้ำส้มสายชูหมักจากข้าวสามารถช่วยลดปริมาณน้ำตาลในเลือด (Liljeberg and Bjorck, 1998) นอกจากนี้มีรายงานว่าน้ำส้มสายชูหมักสามารถช่วยควบคุมน้ำหนักได้ (Ostman et al., 2005) เนื่องจากน้ำส้มสายชูมีโมเลกุลที่เล็กกว่าน้ำตาลจึงทำให้ร่างกายสามารถดูดซึมได้ดี จึงทำให้รู้สึกอิ่ม ทำให้บริโภคอาหารชนิดอื่นเข้าไปได้น้อยลง จึงเป็นการควบคุมน้ำหนักตัวได้ นอกจากนี้ประโยชน์ ด้านคุณค่าทางอาหารนั้นขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ เช่น การใช้ข้าวกล้องในการผลิตน้ำส้มสายชู

หมัก เป็นผลให้น้ำส้มสายชูหมักมีส่วนประกอบที่สำคัญคือ วิตามินบีหนึ่ง วิตามินบีสอง วิตามิน บีห้า และแร่ธาตุต่างอาทิ แคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก ซิลิเนียม แต่ปัญหาที่พบสำหรับ น้ำส้มสายชูที่หมักได้ใหม่นั้นคือ กลิ่นและรสชาติที่รุนแรง ซึ่งอาจไม่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค ซึ่งการบ่มสามารถทำให้เกิดกลิ่นรสที่ดีเพิ่มขึ้น (Morales et al., 2002)

Morales et al. (2002) พบว่า เมื่อทำการบ่มน้ำส้มสายชูหมักจาก sherry wine เป็นเวลา 6 เดือน มีการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบที่ระเหยได้ เช่น methyl acetate, ethyl acetate, diacetyl ซึ่งมีผลให้กลิ่นรสของน้ำส้มสายชูหมักมีการเปลี่ยนแปลง

Palacio et al. (2002) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของกรดอินทรีย์ และแร่ธาตุต่างๆใน น้ำส้มสายชูหมักจาก sherry wine ระหว่างการบ่มเป็นเวลา 2 ปี พบว่า tartaric acid, citric acid, gluconic acid เพิ่มขึ้น ในขณะที่ malic acid, succinic acid, lactic acid ลดลง ส่วน องค์ประกอบของแร่ธาตุ พบว่า เหล็ก โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียมเพิ่มขึ้น ในขณะที่ ทองแดง โซเดียม สังกะสีลดลง

การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบที่ระเหยได้ในระหว่างการบ่มนั้นมีผลจากปริมาณ แอลกอฮอล์ที่เหลือจากการหมักในขั้นที่ 2 เพราะแอลกอฮอล์สามารถเกิดปฏิกิริยากับกรดอินทรีย์ ต่างๆเกิดเป็นสารประกอบเอสเทอร์ที่สำคัญ คือ ethyl acetate นอกจากนี้แอลกอฮอล์สามารถ เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดเป็น acetyldehyde ซึ่งมีผลต่อกลิ่นรสของน้ำส้มสายชูหมัก โดย Tesfaye et al. (2004) ศึกษาผลของปริมาณแอลกอฮอล์ต่อการเกิดสารประกอบที่ระเหยได้ พบว่า ปริมาณแอลกอฮอล์ 1 % (v/v) เป็นปริมาณแอลกอฮอล์ที่เหมาะสมต่อการเกิด ethyl acetate

จักรพงศ์ ประเสริฐแสง, ปรัชญา วงษ์มา และสวรรยา เม้งเกร็ด (2550) ศึกษากระบวนการ ผลิตเครื่องดื่มน้ำส้มสายชูจากผลไม้ โดยการศึกษาอัตราส่วนระหว่างเนื้อผลไม้ต่อน้ำที่ 1:2 1:3 และ 1:4 พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมในการหมักไวน์ผลไม้ คือ 1:4 มีปริมาณแอลกอฮอล์เท่ากับ 10.4% เมื่อนำมาผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากผลไม้โดยทำการหมักในถาดสแตนเลส (Rapid tray method) ด้วย *A. aceti* สายพันธุ์ 102 เป็นเวลา 3 วัน น้ำส้มสายชูที่ได้มีปริมาณกรดแอซิติกเท่ากับ 5.67% จากนั้นนำมาผสมน้ำลูกหม่อนและทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส พบว่าน้ำส้มสายชูหมักจาก ผลไม้มีปริมาณกรดแอซิติก 5.67% ผสมน้ำผึ้ง 3% และ ฟรุคโตสไซรัป 8% ผู้บริโภคให้คะแนน ความชอบทางด้านสี รสชาติ กลิ่น ความเปรี้ยวของน้ำส้มสายชูหมักและความชอบโดยรวมมากที่สุด

ดวงกมล เดจาคำ, ดารุณี วงษ์สาร, วิรัชพัชร ปิ่นสุข, โสมศิริ สมถวิล และสิทธิสิน บวรสมบัติ (2551) ศึกษากระบวนการผลิตเครื่องดื่มน้ำส้มสายชูจากมะเขี๋ย โดยการผลิต 2 ขั้นตอน คือการ หมักไวน์ด้วย *S. cerevisiae* และการหมักกรดน้ำส้มสายชูด้วย *A. aceti* พบว่า เมื่อใช้ *S. cerevisiae* เป็นหัวเชื้อเริ่มต้นแตกต่างกันคือ 10% 13% และ 16% จะได้ไวน์ที่มีปริมาณแอลกอฮอล์

สูงสุด 6.32% 6.25% และ 6.10% ตามลำดับ ภายในระยะเวลา 5 วัน เมื่อนำไวน์ที่ได้มาหมักต่อด้วย *A. aceti* โดยมีปริมาณหัวเชื้อเริ่มต้นแตกต่างกันคือ 5% 10% และ 15% พบว่ามีปริมาณกรดแอสติค 0.42% 3.21% และ 3.29% ตามลำดับ ภายในระยะ 10 วัน

วรวิชมน์ นิลนนท์ และกุลพร พุทธิมี (2553) ศึกษาการหาสภาวะที่เหมาะสมของการหมักน้ำส้มสายชูจากเงาะแบบภาคโดยศึกษาสายพันธุ์ยีสต์ *Saccharomyces* และอัตราส่วนของเงาะที่เหมาะสมในขั้นตอนการผลิตแอลกอฮอล์ และศึกษาสายพันธุ์แบคทีเรีย *Acetobacter* ร่วมกับการใช้สาร KMS ระดับความสูงของน้ำหมัก และการใช้ $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$ เป็นสารอาหารเสริมในน้ำหมัก ผลการวิจัยพบว่า *S. cerevisiae* (TISTR 5606) ที่อัตราส่วนเงาะต่อน้ำ 1:1 ให้ปริมาณแอลกอฮอล์สูงสุด 16.17% โดยปริมาตร และให้ลักษณะทางกายภาพที่ดีขั้นตอนการผลิตกรดแอสติค และพบว่าสายพันธุ์ *A. aceti* (TISTR 103) ร่วมกับการใช้ KMS ในการหมักน้ำส้มสายชูจากเงาะให้ปริมาณกรดแอสติคสูงสุดเท่ากับ 3.58% โดยปริมาตร ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับการไม่ใช้สาร KMS ซึ่งผลการศึกษา *Acetobacter* ทั้งสองสายพันธุ์ (TISTR 102 และ TISTR 103) กับระดับความสูงของน้ำหมักที่ระดับความสูงของน้ำหมัก 1-3 นิ้ว พบว่าให้ปริมาณกรดแอสติคระหว่าง 3.33%-3.42%

ประวีณา ลาภา, เพ็ญขวัญ ชมปรีดา และวิชัย หฤทัยธนาสันต์ (2554) ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำส้มสายชูหมักจากข้าวเหนียวดากลอง พบว่าในการศึกษานี้ใช้โคจิจของเชื้อรา *Amylomyces rouxii* TISTR 3182 ปริมาณ 0.4% ของน้ำหนักข้าวเหนียวดำ ในการย่อยข้าวเหนียวดำ เพื่อให้ได้น้ำตาลกลูโคส 39.6% เมื่อนำสารละลายที่ได้มาผสมกับน้ำมะพร้าว และทำการหมักด้วย *S. cerevisiae* เป็นเวลา 8 วัน จะได้ไวน์ข้าวเหนียวดำที่มีปริมาณแอลกอฮอล์เท่ากับ 11.5% จากนั้นทำการปรับไวน์ข้าวเหนียวดำให้มีปริมาณแอลกอฮอล์เริ่มต้น 5% pH อยู่ในช่วง 5.5 แล้วหมักต่อด้วยเชื้อ *A. aceti* TISTR 354 ด้วยวิธีการเขย่าให้อากาศ เป็นเวลา 3 วัน จะได้น้ำส้มสายชูหมักจากข้าวเหนียวดำที่มีปริมาณกรดแอสติค 5.48% pH อยู่ในช่วง 3.38

Palacio, Valcarcel, Caro and Perez (2002) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของกรดอินทรีย์และแร่ธาตุต่างๆ ในน้ำส้มสายชูหมักจาก sherry wine ระหว่างการบ่มเป็นเวลา 2 ปี พบว่า tartaric acid citric acid และ gluconic acid เพิ่มขึ้น ในขณะที่ malic acid succinic acid และ lactic acid ลดลง ส่วนองค์ประกอบของแร่ธาตุ พบว่า เหล็ก โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมเพิ่มขึ้น ในขณะที่ทองแดง โซเดียม และสังกะสีลดลง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบที่ระเหยได้ในระหว่างการบ่มนั้นมีผลจากปริมาณแอลกอฮอล์ที่เหลือจากการหมักในขั้นที่ 2 เพราะแอลกอฮอล์สามารถเกิดปฏิกิริยากับกรดอินทรีย์ต่างๆ เกิดเป็นสารประกอบเอสเทอร์ที่สำคัญคือ ethyl acetate นอกจากนี้แอลกอฮอล์สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดเป็น acetaldehyde ซึ่งมีผลต่อกลิ่นรสของน้ำส้มสายชู

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การศึกษาคุณภาพของผลหนามแดง

จากการค้นคว้าข้อมูลพบว่า มีงานวิจัยด้านคุณค่าทางอาหาร องค์ประกอบทางเคมี ทางกายภาพและสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของผลหนามแดงอยู่บ้าง (วิไลพร ปองเพียร, 2550; รุ่งทิวา วงศ์ไพศาลฤทธิ์ และคณะ, 2551; กิตติมา ก่ออารีพิทักษ์, 2552; Morton, 1987; Suvarnakuta et al., 2011) แต่ยังไม่ละเอียดชัดเจน ในขั้นตอนนี้จึงต้องการวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆของผลหนามแดงที่จะนำมาใช้ในงานวิจัย เพื่อเป็นฐานข้อมูลสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนต่อไป

รับผลหนามแดงสดมาจากสวนใน ต. บางนกแขวก อ. บางคนที จ. สมุทรสงคราม มาคัดแยกขนาด และบรรจุในถุงพลาสติกถ่วงละ 500 กรัมนำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส ระหว่างรอการนำไปใช้ ก่อนนำมาใช้งานตั้งทิ้งไว้ให้น้ำแข็งละลายที่อุณหภูมิห้อง กำหนดคุณภาพของผลหนามแดงที่ใช้ในงานวิจัยดังนี้ คือ เลือกผลหนามแดงที่สุกสังเกตจากเปลือกมีสีม่วงเข้มทั้งผล ไม่มีรอยข้ำหรือตำหนิ มีขนาดเส้น รอบวงส่วนที่กว้างที่สุดของผล 1.0-1.5 เซนติเมตรและมีขนาดความยาวผล 2.0-2.5 เซนติเมตร ตัวอย่างลักษณะผลหนามแดงที่ใช้ในงานวิจัย แสดงดังภาพที่ 3-1 นำผลหนามแดงมาล้าง ตัดแต่งเอาหัวออก แล้ววางพักบนตะแกรงให้สะเด็ดน้ำ สำหรับนำไปใช้ในขั้นตอนต่อไป และสุ่มตัวอย่างผลหนามแดงมาวิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้

-สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระโดยการทดสอบประสิทธิภาพการจับกับอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (DPPH free radical scavenging activity test) (ดัดแปลงจากวิธีของ Karagozler, Erdag, Emek and Uygun., 2008)

-ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolics) (ดัดแปลงจากวิธีของ Dewanto, Wu, Adom and Liu, 2002)

-ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (Total antocyanin) (ดัดแปลงจากวิธีของ Sun et al., 2009)

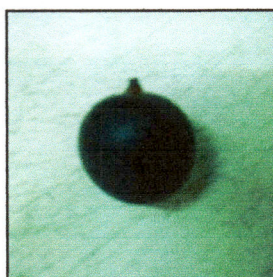
-ปริมาณวิตามินซี (Ascorbic acid) (AOAC, 1990)

-ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (Total sugar) (โดยวิธีของ Lane and Eynon, 1849)

-ปริมาณกรดทั้งหมด (Total titratable acidity)

-ปริมาณความชื้น (Moisture content) (AOAC, 1990)

-ค่าสีของเปลือก วัดด้วยเครื่องวัดสี รายงานเป็นค่า $L^* a^* b^*$



ภาพที่ 3-1 ลักษณะของผลหนามแดงที่ใช้ในงานวิจัย

3.2 การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากหนามแดง

ขั้นตอนนี้ต้องการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพที่มีมูลค่าสูง เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคและมีความเป็นไปได้ในเชิงพาณิชย์ โดยไม่ต้องใช้เทคโนโลยีขั้นสูง ยุ่งยาก ซับซ้อนหรือลงทุนมาก โดยผลิตเป็น 1) ผลิตภัณฑ์กึ่งแห้ง 2) ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำส้มสายชูหมัก และ 3) ผลิตภัณฑ์อัดเม็ด

3.2.1 การพัฒนาผลิตภัณฑ์กึ่งแห้ง

วัตถุดิบและสารเคมี

- 1) ผลหนามแดงสด รับจากสวนใน ต. บางนกแขวก อ. บางคนที จ. สมุทรสงคราม
- 2) น้ำตาลโกลิโกฟรุคโตส บริษัท ดีพีโอ จำกัด ประเทศไทย
- 3) แคลเซียมแล็กเตท บริษัท ทีทีเค ซายเอนซ์ จำกัด ประเทศไทย

อุปกรณ์และเครื่องมือ

- 1) ตู้อบลมร้อนแบบถาด (Tray dryer) ประเทศไทย
- 2) ตู้อบสุญญากาศ (Vacuum oven) ประเทศไทย
- 3) ปั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump) รุ่น Vacuum Controller V-800 ประเทศ

เยอรมนี

- 4) เครื่องวัดสี (Colorimeter) รุ่น Miniscan XP Plus ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 5) เครื่องวัดค่า Water Activity (a_w) Novasina รุ่น AWC water activity center

ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

- 6) เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture analyzer) Stable Micro Systems รุ่น TA-XT2

ประเทศอังกฤษ

- 7) เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) รุ่น SPECTRONIC

GENESYS™ 5 ประเทศสหรัฐอเมริกา

8) เครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Hand refractometer) Atago รุ่น

N-1E ประเทศญี่ปุ่น

9) เครื่องวัดความเป็นกรดต่าง (pH meter) รุ่น Lab 850 ประเทศเยอรมนี

10) เครื่องวัดค่าความนำไฟฟ้า (Conductimeter) HM รุ่น COM 100 ประเทศ

ญี่ปุ่น

11) เครื่องปั่นผสม (Vortex mixture) Heidolph รุ่น REAX 2000 ประเทศ

เยอรมนี

12) เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 2 ตำแหน่ง Sartorius รุ่น BA 610 ประเทศเยอรมนี

13) เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง Sartorius รุ่น BA 211S ประเทศเยอรมนี

14) อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath) Heto รุ่น TE214S ประเทศเดนมาร์ก

15) โถดูดความชื้น (Desiccator)

16) อลูมิเนียมฟอยด์

17) อุปกรณ์สำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัส

18) อุปกรณ์เครื่องแก้ว

19) อุปกรณ์งานครัว

3.2.1.1 การศึกษาผลของการลวกก่อนการคัมน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส

นำผลหนามแดงมาศึกษาการเตรียมขั้นต้นก่อนการคัมน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสด้วย

วิธีการลวก แปรปัจจัยที่ศึกษาเป็น 2 ปัจจัย ปัจจัยละ 2 ระดับ ดังนี้คือ

ปัจจัยที่ 1 ชนิดของสารที่ใช้ลวก คือ น้ำและสารละลายแคลเซียมแลคเตตความเข้มข้น

1.5 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/น้ำหนัก)

ปัจจัยที่ 2 เวลาในการลวก คือ 1 และ 3 นาที

จัดสิ่งทดลองแบบ Factorial (2x2) ได้ทั้งหมด 4 สิ่งทดลอง แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 3-1 กำหนดอุณหภูมิที่ใช้ในการลวกเป็น 80 องศาเซลเซียส น้ำหนักของสารที่ใช้ลวก: น้ำหนักผลหนามแดง เท่ากับ 2:1 เมื่อลวกครบตามเวลาแล้ว ลดอุณหภูมิของผลหนามแดงโดยนำมาแช่ในน้ำสะอาดเป็นเวลา 1 นาที แล้ววางพักบนตะแกรงให้สะเด็ดน้ำ เป็นเวลา 2 นาที

ตารางที่ 3-1 สภาวะการเตรียมผลหนามแดงขั้นต้นโดยวิธีการลวกก่อนการดึ่งน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส

สิ่งทดลอง	สารที่ใช้ลวก	เวลาในการลวก (นาที)
1	น้ำ	1
2	น้ำ	3
3	สารละลายแคลเซียมแลคเตท	1
4	สารละลายแคลเซียมแลคเตท	3

การวิเคราะห์คุณภาพ

- ค่าสีของเปลือกวัดด้วยเครื่องวัดสี รายงานเป็นค่า $L^*a^*b^*$
- ค่าความแน่นเนื้อ (firmness) ด้วยเครื่อง Texture analyzer

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ในการศึกษาอิทธิพลของปัจจัย (ชนิดของสารที่ใช้ลวก และเวลาในการลวก) จัดสิ่งทดลองแบบ Factorial (2×2) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD สำหรับ ค่าสี และค่าความแน่นเนื้อ ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Rang Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

นำผลหนามแดงที่ผ่านการลวกมาดึ่งน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส โดยแช่ผลหนามแดงในสารละลายโพลิฟรุทโตสความเข้มข้น 60 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/น้ำหนัก) ซึ่งบรรจุในบีกเกอร์แล้วปิดด้วยอลูมิเนียมฟอยด์ กำหนดอัตราส่วน น้ำหนักผลหนามแดง: สารละลายออสโมติก เท่ากับ 1:10 แช่ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาสุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ

การวิเคราะห์คุณภาพ

- ค่าการถ่ายเทมวลสาร

นำผลหนามแดงที่ผ่านการออสโมซิสตามเวลาที่กำหนดมาล้างน้ำ เพื่อกำจัดสารละลายส่วนเกินออกแล้ววางพักบนตะแกรงให้สะเด็ดน้ำ เป็นเวลา 2 นาที นำมาชั่งน้ำหนักวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 1990) และคำนวณหาค่าการถ่ายเทมวลสาร ได้แก่

- 1) ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (Water loss; WL) คำนวณได้จาก

$$WL (\%) = \frac{(W_i X_i - W_f X_f)}{W_i} \times 100$$

- 2) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (Solid gain ; SG) คำนวณได้จาก

$$SG (\%) = \frac{[(W_f(100 - X_f)/100) - (W_i(100 - X_i)/100)]}{W_i} \times 100$$

3) ปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (Weight reduction ; WR) คำนวณได้จาก

$$WR (\%) = \frac{(W_i - W_f)}{W_i} \times 100$$

เมื่อ W_i = น้ำหนักเริ่มต้นของตัวอย่าง (กรัม)

W_f = น้ำหนักตัวอย่างที่เวลาใดๆ (กรัม)

X_i = ปริมาณความชื้นเริ่มต้นของตัวอย่าง (กรัมของน้ำ/100 กรัมของน้ำหนักเริ่มต้น)

X_f = ปริมาณความชื้นของตัวอย่างที่เวลาใดๆ (กรัมของน้ำ/100 กรัมของน้ำหนักเริ่มต้น)

- ค่าสีของเปลือกวัดด้วยเครื่องวัดสี รายงานเป็นค่า $L^*a^*b^*$

- ค่าความแน่นเนื้อ (firmness) ด้วยเครื่อง Texture analyzer

- คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส ด้านความชอบ ลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวม ด้วยวิธี 9- Point Hedonic Scale กำหนดระดับความชอบดังนี้ 1 = ไม่ชอบมากที่สุด 5 = เฉยๆ 9 = ชอบมากที่สุด ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน

เกณฑ์ในการคัดเลือก

พิจารณาผลของวิธีในการเตรียมขั้นต้นต่อคุณภาพด้านต่างๆของผลหนามแดงโดยมีเกณฑ์ในการคัดเลือก คือ เลือกสิ่งทดลองที่ทำให้ ปริมาณน้ำที่สูญเสียสูง และได้คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมสูงที่สุด

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ในการศึกษาอิทธิพลของปัจจัย (ชนิดของสารที่ใช้ลวก และเวลาในการลวก) จัดสิ่งทดลองแบบ Factorial (2 x 2) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD สำหรับ ค่าการถ่ายเทมวลสาร ค่าสี และค่าความแน่นเนื้อ ยกเว้นการประเมินด้านประสาทสัมผัสวางแผนการทดลอง Factorial in RCBD ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Rang Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

3.2.1.2 การศึกษาผลของการใช้สภาวะสุญญากาศระหว่างการออสโมซิสต่อค่า

การถ่ายเทมวลสาร

การออสโมซิสโดยใช้สภาวะสุญญากาศนั้นจะช่วยทำให้เกิดการถ่ายเทมวลสารเพิ่มมากขึ้นและสามารถลดระยะเวลาในการออสโมซิสลงได้ เนื่องจากการลดความดันจนถึงสภาวะสุญญากาศจะช่วยทำให้ผนังเซลล์ของผลไม้อ่อนนุ่มลงและยอมให้มีการถ่ายเทมวลสารได้มากกว่าการออสโมซิสที่สภาวะปกติ (ทิพย์สุดา อาสาสรรพกิจ และคณะ, 2550; Chafer et al., 2003) ในขั้นตอนนี้มีความมุ่งหมายที่จะปรับปรุงกรรมวิธีออสโมซิสผลหนามแดงให้มีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น จึงต้องการศึกษาผลของการใช้สภาวะสุญญากาศในการดองน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสเปรียบเทียบกับ การออสโมซิสในสภาวะปกติที่มีต่อค่าการถ่ายเทมวลสาร

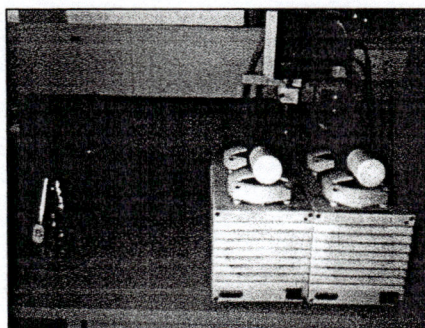
ดำเนินการโดยนำผลหนามแดงที่ผ่านการเตรียมการขั้นต้นตามวิธีที่เลือกได้มาต้มน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสโดยแช่ผลหนามแดงในสารละลายโอลิโกฟรุคโตสความเข้มข้น 60 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/น้ำหนัก) กำหนดอัตราส่วน น้ำหนักผลหนามแดง: สารละลายออสโมติกเท่ากับ 1: 10 เป็นเวลา 18 ชั่วโมง โดยแปรสภาวะที่ใช้ในการออสโมซิสเป็น 3 วิธี คือ

วิธีที่ 1 ออสโมซิสในสภาวะบรรยากาศปกติ (ตัวอย่างควบคุม)

วิธีที่ 2 ออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศ ทำได้โดยการออสโมซิสที่ความดัน 50 mbar เป็นเวลา 10 นาที และแช่ต่อที่สภาวะบรรยากาศปกติจนเสร็จสิ้นกระบวนการออสโมซิส

วิธีที่ 3 ออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศแบบเป็นจังหวะ ทำได้โดยการออสโมซิสที่ความดัน 50 mbar เป็นเวลา 10 นาที แช่ที่สภาวะบรรยากาศปกติเป็นเวลา 10 นาทีที่ออสโมซิสที่ความดัน 50 mbar อีก 10 นาที และแช่ต่อที่สภาวะบรรยากาศปกติจนเสร็จสิ้นกระบวนการออสโมซิส

โดยสำหรับขั้นตอนการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศ ทำได้โดยนำผลหนามแดงมาแช่ในสารละลายออสโมติกซึ่งบรรจุในขวดรูปชมพู่ (Suction flask) ปิดด้วยจุกยางและต่อเข้ากับปั๊มดูดอากาศโดยปรับความดันเป็น 50 mbar แสดงลักษณะชุดเครื่องมือที่ใช้ดังภาพที่ 3-2 ในการออสโมซิสทุกวิธีจะดำเนินการจนเสร็จสิ้นกระบวนการออสโมซิส หมายถึง ออสโมซิสจนเกิดสมดุลการถ่ายเทมวลสาร กล่าวคือไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น และปริมาณน้ำหนักรีดลง



ภาพที่ 3-2 ลักษณะชุดเครื่องมือที่ใช้ในขั้นตอนการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศ การสร้างกราฟอัตราการถ่ายเทมวลสาร

สุ่มตัวอย่างหนามแดงที่ผ่านการออสโมซิสทุก 1 ชั่วโมง มาล้างน้ำเพื่อกำจัดสารละลายส่วนเกินออกและวางพักบนตะแกรงให้สะเด็ดน้ำ เป็นเวลา 2 นาที นำมาชั่งน้ำหนัก วิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 1990) และคำนวณค่าการถ่ายเทมวลสาร ได้แก่ ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (Water loss; WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (Solid gain; SG) และปริมาณน้ำหนักรีดลง (Weight reduction; WR) แล้วนำข้อมูลค่าการถ่ายเทมวลสารมาสร้างกราฟความสัมพันธ์กับระยะเวลาในการออสโมซิส

เกณฑ์ในการคัดเลือก

พิจารณากราฟอัตราการถ่ายเทมวลสารแล้วเลือกวิธีการออสโมซิสที่ทำให้การถ่ายเทมวลสารมากและใช้เวลาในการออสโมซิน้อย

3.2.1.3 การศึกษาผลของปริมาณน้ำหนัที่ลดลงของผลหนามแดงจากการออสโมซิสต่อคุณภาพของผลหนามแดงกึ่งแห้ง

ในระหว่างการออสโมซิสมีการถ่ายเทมวลสารที่สำคัญคือ น้ำในวัตถุดิบแพร่ออกมาที่สารละลายออสโมติก ในขณะที่เดียวกันของแข็งที่อยู่ในสารละลายออสโมติกก็แพร่เข้ามาในวัตถุดิบด้วย (ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก, 2532; อ่อนรี รัตนพันธุ์, 2533) โดยปกติแล้วในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้งด้วยการดองน้ำออกแบบออสโมซิสรวมกับการอบแห้ง หากดำเนินการดองน้ำออกจากวัตถุดิบได้มากที่สุดในช่วงขั้นตอนการออสโมซิส จะเป็นการลดระยะเวลาในการอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิสูงลงได้ (Fernandes, 2006) อย่างไรก็ตามแม้มีแนวโน้มว่าเมื่อใช้เวลาในการออสโมซินานขึ้น ทำให้ปริมาณน้ำที่สูญเสียมากขึ้น แต่ขณะเดียวกัน ปริมาณของแข็งก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันแม้ในสัดส่วนที่น้อยกว่าก็ตาม (พิมพิใจ มณีพันธ์, 2553; Correa et al., 2010) จึงอาจมีผลทำให้คุณภาพของวัตถุดิบหลังการออสโมซิสแตกต่างกันไป เช่น ด้านลักษณะเนื้อสัมผัส รสชาติ และคุณค่าทางอาหาร โดยดัชนีที่ชี้วัดหนึ่งของการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิสที่สามารถแสดงผลสุทธิของการถ่ายเทมวลสาร คือ ปริมาณน้ำหนัที่ลดลง (Weight reduction; WR) หลังการออสโมซิส เนื่องจากเป็นน้ำหนัสุทธิของวัตถุดิบที่เกิดจากการนำปริมาณน้ำที่สูญเสีย หักออกด้วยปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (Solid gain; SG) (ศรีวิกรณ์ ดิษฐอุดมโพธิ์ และ ชลธิชา ปิตตารเต, 2550; El-Aouar et al., 2006)

แนวทางการกำหนดระดับปริมาณน้ำหนัที่ลดลง

ในขั้นตอนนี้ศึกษาถึงผลของปริมาณน้ำหนัที่ลดลงของผลหนามแดงจากการออสโมซิสต่อคุณภาพของผลหนามแดงกึ่งแห้ง โดยนำผลหนามแดงตามที่ผ่านมาการออสโมซิสตามวิธีที่เลือกได้ สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณน้ำหนัที่ลดลงกับ เวลาในการออสโมซิสแปรปริมาณน้ำหนัที่ลดลงเป็น 3 ระดับคือ ระดับสูง กลาง และต่ำ เพื่อทำนายเวลาในการออสโมซิส ทั้งนี้มีแนวทางการกำหนดระดับปริมาณน้ำหนัที่ลดลงของผลหนามแดงจากการออสโมซิส คือ

- ระดับสูง หมายถึง ปริมาณน้ำหนัที่ลดลงมากที่สุดจากการออสโมซิส
- ระดับกลาง หมายถึง ปริมาณน้ำหนัที่ลดลงกึ่งกลางระหว่างระดับต่ำและสูง
- ระดับต่ำ หมายถึง ปริมาณน้ำหนัที่ลดลงครึ่งหนึ่งของระดับสูง

นำผลหนามแดงที่ผ่านมาการออสโมซิสมาล้างน้ำเพื่อกำจัดสารละลายส่วนเกินออกและวางพักตะแกรงให้สะเด็ดน้ำ เป็นเวลา 2 นาที แล้วนำไปอบแห้งด้วยตู้อบแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 70 ± 2 องศาเซลเซียส ที่ระดับความดัน 550 ± 2 มิลลิเมตรปรอท เพื่อลดความชื้นและค่า a_w ลงให้เป็น

ผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้ง (Intermediate Moisture Food: IMF) คือมีปริมาณความชื้นเท่ากับ 15-40 เปอร์เซ็นต์ และมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.6-0.9 (ปริยา วิบูลเศรษฐ์, 2528; Smith and Norvell, 1975)

การสร้างกราฟการทำแห้งเพื่อทำนายเวลาการทำแห้ง

ทำนายเวลาในการทำแห้งจากกราฟการทำแห้ง โดยสุ่มตัวอย่างหนามแดงที่อบแห้งทุก 2 ชั่วโมง เริ่มจากชั่วโมงที่ 1 นำมาวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 1990) สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับระยะเวลาในการทำแห้ง พิจารณาความน่าเชื่อถือของสมการความสัมพันธ์ที่ได้โดยใช้เกณฑ์ในการพิจารณาจาก ค่า R^2 โดยหากมีค่ามากแสดงถึงสมการมีความน่าเชื่อถือค่อนข้างสูง แล้วทำนายเวลาในการทำแห้งจากสมการ นำผลหนามแดงที่ผ่านการอบแห้งมาอบแห้งตามเวลาที่ทำนายได้ และนำผลหนามแดงกึ่งแห้งที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพ ด้านต่างๆ

การวิเคราะห์คุณภาพ

-สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระโดยการทดสอบประสิทธิภาพการจับกับอนุมูลอิสระ ดีพีพีเอช (DPPH free radical scavenging activity test) (ดัดแปลงจากวิธีของ Karagozler et al., 2008)

-ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolics) (ดัดแปลงจากวิธีของ Dewanto et al., 2002)

-ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (Total antocyanin) (ดัดแปลงจากวิธีของ Sun et al., 2009)

-ปริมาณวิตามินซี (Ascorbic acid) (AOAC, 1990)

-ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (Total sugar) (โดยวิธีของ Lane and Eynon, 1849)

-ปริมาณกรดทั้งหมด (Total titratable acidity)

-ปริมาณความชื้น (Moisture content) (AOAC, 1990)

-ค่า Water activity (a_w) ด้วยเครื่องวัดค่า a_w

-ค่าสีของเปลือก $L^* a^* b^*$ ด้วยเครื่องวัดสี

-ทดสอบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสด้านความชอบ ลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ด้วยวิธี 9- Point Hedonic Scale กำหนดระดับความชอบดังนี้ 1 = ไม่ชอบมากที่สุด 5 = เฉยๆ 9 = ชอบมากที่สุด ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน

เกณฑ์ในการคัดเลือก

พิจารณาผลของปริมาณน้ำหนักรับที่ลดลงของผลหนามแดงอบแห้งเป็นผลิตภัณฑ์หนามแดงกึ่งแห้ง โดยมีเกณฑ์ในการคัดเลือก คือ เลือกสิ่งทดลองที่ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด มีการคงอยู่ขององค์ประกอบทางเคมีสูงและใช้เวลาในการผลิตต่ำ

การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD สำหรับค่าคุณภาพทุกค่า ยกเว้นการประเมินด้านประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ RCBD ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Rang Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

3.2.2 การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำส้มสายชูหมัก

วัตถุดิบและสารเคมี

- 1) ผลหมากแดงสด รับจากสวนใน ต. บางนกแขวก อ. บางคนที จ. สมุทรสงคราม
- 2) น้ำตาลทราย
- 3) Potassiummetabisulfide (KMS)
- 4) Sodium hydroxide (NaOH)
- 5) Phenolphthalein
- 6) NaCl 0.85%
- 7) Glycerol
- 8) Potassium hydrogen phthalate (KHP)

จุลินทรีย์และอาหารเลี้ยงเชื้อ

- 1) Saccharomyces cerevisiae TISTR 5918
- 2) Acetobacter aceti TISTR 103
- 3) Potato Dextrose agar (PDA)
- 4) Glucose Yeast extract agar (GYEA)
- 5) Yeast Malt agar (YMA)
- 6) Tyryptic Soy broth (TSB)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

- 1) เครื่อง Hand refractometer
- 2) เครื่อง Ebulliometer
- 3) เครื่อง Centrifuge
- 4) เครื่องนึ่งฆ่าเชื้อ (Autoclave)
- 5) เครื่องเขย่า (Shaker)
- 6) เครื่องปั่นน้ำผลไม้
- 7) ถาดสแตนเลส ขนาด กว้าง 22 cm^3 x ยาว 35 cm^3 x ลึก 5 cm^3
- 8) จานเพาะเชื้อ
- 9) ผ้าขาวบาง

- 10) ชุดไทเทรต 1 ชุด
- 11) flask ขนาด 2000 ml และ 1000 ml
- 12) เครื่องวัดพีเอช (pH meter)
- 13) กล้องจุลทรรศน์
- 14) Autopipett P 1000 และ P 200
- 15) Tip ขนาด 1 ml และ 0.1 ml
- 16) หลอดฝาเกลียว ขนาด 16x100 ml จำนวน 80 หลอด
- 17) ขวด Duran ขนาด 1000 ml จำนวน 3 ขวด

3.2.2.1 การศึกษาปริมาณหัวเชื้อ *S. cerevisiae* TISTR 5918 เริ่มต้นแตกต่างกันในกระบวนการหมักไวน์จากผลหมากแดง

1) การเตรียมวัตถุดิบ นำผลหมากแดงมาล้างด้วยน้ำสะอาด คัดแยกส่วนที่เน่าเสียออก จากนั้นล้างต่อด้วยน้ำสะอาดอีกครั้ง นำผลมาปั่นให้ละเอียด แล้วนำมาผสมกับน้ำสะอาดในอัตราส่วน (เนื้อ/น้ำ) ที่ 1:3 (ดวงกมล เตจาคำ และคณะ, 2551) ผสมให้เข้ากัน จากนั้นกรองเอากากออกด้วยผ้าขาวบางจะได้น้ำคั้น ซึ่งจะนำไปใช้ในขั้นตอนต่อไป

2) การเตรียมหัวเชื้อ *S. cerevisiae* TISTR 5918 เพาะเลี้ยง *S. cerevisiae* บนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3 วัน จากนั้นเชื้อโคโลนี *S. cerevisiae* ใส่ลงในน้ำคั้นของผลหมากแดงปริมาตร 1200 ml ที่ปราศจากเชื้อ แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิห้อง ในเครื่อง Shaker ความเร็วรอบ 150 rpm เพื่อให้อากาศเป็นเวลา 1 วัน

3) การหมักไวน์จากผลหมากแดง นำน้ำคั้นของผลหมากแดง ใส่ลงไปในพลาสติกจำนวน 3 พลาสติก ละ 1200 ml แล้วปรับค่า pH ให้ได้ประมาณ 3.0-3.5 และปรับปริมาณของแข็ง (น้ำตาล) 20 °Brix จากนั้นเติม KMS ความเข้มข้น 250 ppm ตั้งทิ้งไว้ 1 วัน แล้วเติมหัวเชื้อยีสต์ที่เตรียมไว้ จาก ข้อ 1.2 ลงในน้ำคั้นของผลหมากแดงในปริมาณหัวเชื้อเริ่มต้นแตกต่างกัน คือ 5% 10% และ 15% (ทำการทดลอง 3 ซ้ำ) และทำการหมักเป็นเวลา 20 วัน โดยทำการเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์ ปริมาณแอลกอฮอล์ ปริมาณน้ำตาล และทำการตรวจนับจำนวนเซลล์ *S. cerevisiae* ทุก 2 วัน

การวิเคราะห์คุณภาพ

- ปริมาณแอลกอฮอล์โดยใช้เครื่อง Ebulliometer โดย Ebulliometer เป็นเครื่องมือที่ใช้หาปริมาณแอลกอฮอล์ โดยการหาจุดเดือดและเปรียบเทียบกับแผ่นสเกล (Dujardin-salleron scale) ไว้สำหรับการคำนวณและเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ วิธีการวิเคราะห์มีดังนี้

- 1) หาจุดเดือดของน้ำกลั่น
- เติมน้ำกลั่นปริมาตร 30 ml ลงในช่องใส่ตัวอย่างแล้วเสียบเทอร์โมมิเตอร์ปิดไว้เพื่อวัดอุณหภูมิ

- เติมน้ำหล่อเย็นในช่อง Condenser จากนั้นจุดตะเกียงที่ช่อง Outlet tap
- เมื่อน้ำเดือดแล้วอ่านค่าอุณหภูมิคงที่
- นำค่าอุณหภูมิที่ได้ไปปรับสเกล โดยให้ขีดศูนย์ของสเกลวงนอกตรงกับค่าอุณหภูมิจุดเดือดของน้ำกลั่น

2) หาจุดเดือดของตัวอย่าง

เติมไวน์ปริมาตร 50 ml ลงในช่องใส่ตัวอย่างแล้วเสียบเทอร์โมมิเตอร์ปิดไว้ จากนั้นทำตามข้อ 1.4.1.1 เมื่อน้ำเดือด การอ่านค่าปริมาณแอลกอฮอล์จากวงนอกสเกลที่ตรงกับค่าอุณหภูมิจุดเดือดของสารละลายตัวอย่างที่ได้ หน่วยของปริมาณแอลกอฮอล์ที่ได้คือ ปริมาตร/ปริมาตร

- ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ โดยใช้เครื่อง Hand Refractometer

ใช้ Pasteur Pipette ดูดส่วนใสของไวน์ผลไม้แดงที่ได้จากการหมัก หยดลงส่วนของ Prism 1 หยด จากนั้นส่องดูสเกลตรงส่วน Eyepiece ของเครื่อง Hand refractometer อ่านค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในหน่วยของคาบริกซ์ ($^{\circ}$ Brix)

- นับจำนวนเชื้อ *S. cerevisiae*

1) ใช้ Autopipett ดูดไวน์ผลไม้แดงปริมาตร 1 ml จากนั้นทำการเจือจางด้วย NaCl 0.85% ให้ได้ระดับความเจือจาง 10^{-1} - 10^{-6}

2) ใช้ Autopipett ดูดตัวอย่างที่ระดับที่ 10^{-3} - 10^{-5} ความเจือจางละ 0.1 ml ใส่บนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA จากนั้นทำการ Spread plate จนผิวหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อแห้ง ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

3) จานเพาะเชื้อไปบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-3 วัน จากนั้นนับจำนวนโคโลนีและบันทึกผลการทดลอง

3.2.2.2 การศึกษาปริมาณหัวเชื้อ *A. aceti* TISTR 103 เริ่มต้นแตกต่างกันในกระบวนการหมักเครื่องดื่มน้ำส้มสายชูจากผลไม้แดง

1) การเตรียมหัวเชื้อ *A. aceti* TISTR 103

นำไวน์ผลไม้แดงซึ่งมีแอลกอฮอล์ประมาณ 6% ปริมาตร 700 ml ใส่ลงในภาตสแตนเลสส่วนที่เหลือเก็บไว้ที่อุณหภูมิตู้เย็น (4 องศาเซลเซียส) จากนั้นเชื้อเชื้อ *A. aceti* ลงไป คลุมภาตสแตนเลสด้วยแผ่นพลาสติกและเจาะรูให้ทั่วแผ่น ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 วัน

2) การหมักน้ำส้มสายชูจากผลไม้แดง

นำไวน์ผลไม้แดงซึ่งมีแอลกอฮอล์ประมาณ 6% ใส่ลงในภาตสแตนเลสจำนวน 3 ภาตๆ ละ 700 ml จากนั้นใส่หัวเชื้อ *A. aceti* จากข้อ 2.1 ให้มีปริมาณเชื้อเริ่มต้น 10% และ 15% และทำการหมักจนกระทั่งปริมาณแอลกอฮอล์ลดลงเป็น 0% เก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์ปริมาณแอลกอฮอล์ปริมาณกรดแอซิดิกปริมาณน้ำตาล และตรวจนับจำนวน *A. aceti* ทุก 2 วัน ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

การวิเคราะห์คุณภาพ

- ปริมาณแอลกอฮอล์โดยใช้เครื่อง Ebouillio meter
 - ปริมาณของแข็งที่ละลายได้โดยใช้เครื่อง Hand refractormer
 - ปริมาณกรดแอสติค (AOAC, 2000)
- 1) เจือจางตัวอย่างโดยนำตัวอย่างมา 5 ml แล้วเติมน้ำกลั่น จนถึงขีดบอกปริมาตร 100 ml
 - 2) นำตัวอย่างปริมาตร 25 ml ใส่ในฟลาสก์ หยดฟีนอล์ฟทาลีน 1-2 หยด จากนั้นไทเทรตตัวอย่างด้วยสารละลายมาตรฐาน NaOH จนถึงจุดยุติ คือ สารละลายจะเปลี่ยนจากใสไม่มีสีเป็นสีชมพู บันทึกปริมาตรของ NaOH ที่ใช้ในการไทเทรต แล้วคำนวณหาปริมาณกรดแอสติคในน้ำส้มสายชูหมักดังสูตรต่อไปนี้

$$\% \text{ กรดแอสติค} = \frac{N \text{ NaOH} \times \text{ml NaOH} \times \text{meq. wt. ของกรดแอสติค} \times 100\%}{\text{ปริมาตรของตัวอย่าง (ml)}}$$

หมายเหตุ : N NaOH = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน NaOH (Normal)

ml NaOH = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐาน NaOH ที่ใช้ในการไทเทรต (ml)

milliequivalent weight (meq. wt.) ของกรดแอสติค = 0.06005 (AOAC, 2000)

- จำนวนเชื้อ *A. aceti*

- 1) ใช้ Autopipett ดูดน้ำส้มสายชูหมักปริมาตร 1 ml จากนั้นทำการเจือจางด้วย NaCl 0.85% ให้ได้ระดับความเจือจาง 10^{-1} - 10^{-6}
- 2) ใช้ Autopipett ดูดตัวอย่างที่ระดับความเจือจาง 10^{-3} - 10^{-5} ความเจือจางละ 0.1 ml ใส่บนอาหารเลี้ยงเชื้อ GYEA จากนั้นทำการ Spread plate จนผิวหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อแห้ง ทำการทดลอง 3 ซ้ำ
- 3) นำจานเพาะเชื้อไปบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-2 วัน จากนั้นนับจำนวนโคโลนีและบันทึกผลการทดลอง

3.2.2.3 การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

นำน้ำส้มสายชูหมักจากผลหมักแดงที่ได้มาแยกตะกอนออกด้วยวิธีการกรองผ่านแผ่นกรอง และนำน้ำส้มสายชูหมักจากผลหมักแดงที่ได้มาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ให้ความร้อนปิดฝาภาชนะ เพื่อคงคุณภาพด้านกลิ่นและรสไว้ (จักรพงษ์ ประเสริฐแสง และคณะ, 2550) ปรับสูตรน้ำส้มสายชูหมักโดยเติมน้ำเชื่อมในอัตราส่วน คือ น้ำส้มสายชูหมัก/น้ำเชื่อม (20 °Brix) 1.5 : 2.0 จากนั้นทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้าน

ลักษณะปรากฏ ด้านสี กลิ่นรส รสชาติ และความชอบโดยรวมด้วยวิธี 9-point hedonic scale โดยผู้บริโภครวม 30 คน

3.2.3 การพัฒนาผลิตภัณฑ์อัดเม็ด

วัตถุดิบและสารเคมี

- 1) กาแฟผลหนามแดงแช่แข็ง รับจากผู้ประกอบการแปรรูปน้ำหนามแดง ต. บางนกแขวก อ. บางคนที จ. สมุทรสงคราม
- 2) แป้งข้าวโพด ตรามหิเมพณด้าคู่เหยียบโลก บริษัท เฟิร์ส สตาร์ช อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด
- 3) น้ำตาลไอซิ่ง ตราลิน บริษัท น้ำตาลไทยรุ่งเรืองอุตสาหกรรม จำกัด
- 4) ซิลิคอนไดออกไซด์ (Silicon Dioxide) หรือ แคปไซล (Cabosil) บริษัท Sigma ประเทศเยอรมัน
- 5) เอทานอล (Ethanol: $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$) 95% บริษัท Labscan ประเทศไทย
- 6) ดีพีพีเอช (2-diphenyl-1-picrylhydrazyl: $\text{C}_{18}\text{H}_{12}\text{N}_5\text{O}_6$) 90% บริษัท Sigma ประเทศเยอรมัน
- 7) ฟอลิน ซีโอแคลทู รีเอเจนต์ (Folin-Ciocalteu reagent) (Garlo ERBA) บริษัท Sigma ประเทศอังกฤษ
- 8) กรดแกลลิก (Gallic acid: $\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_5$) 98% บริษัท Fluka ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
- 9) โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate anhydrous: Na_2CO_3) บริษัท Ajax Finechem ประเทศออสเตรเลีย
- 10) โพแทสเซียมคลอไรด์ (Potassium chloride: KCl) บริษัท Sigma ประเทศเยอรมัน
- 11) โซเดียมอะซิเตท (Sodium acetate: $\text{NaC}_2\text{H}_3\text{O}_2$) บริษัท Sigma ประเทศเยอรมัน
- 12) กรดเมตาฟอสฟอริก (Metaphosphoric acid: HPO_3) บริษัท BDH Laboratory ประเทศอังกฤษ
- 13) กรดอะซิติก (Acetic acid: CH_3COOH) บริษัท LAB SCAN ประเทศไอร์แลนด์
- 14) กรดแอสคอร์บิก (L-Ascorbic acid: $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$) บริษัท BDH Laboratory ประเทศอังกฤษ
- 15) 2,6-ไดคลอโรอินโดฟีนอล (2,6-Dichloroindophenol: $\text{C}_6\text{H}_2\text{Cl}_2\text{NC}_6\text{H}_4\text{ONa}$) บริษัท Ajax Finechem ประเทศออสเตรเลีย
- 16) โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต (Sodium Hydrogen Carbonate: NaHCO_3) บริษัท Ajax Finechem ประเทศออสเตรเลีย
- 17) คอปเปอร์ซัลเฟต (Copper sulfate: CuSO_4) บริษัท Sigma ประเทศเยอรมัน
- 18) โซเดียมโปแตสเซียมตาร์เตรท (Sodium potassium tartrate: $\text{NaKC}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) บริษัท Sigma ประเทศเยอรมัน
- 19) Peptone water AR grade บริษัท Labscan ประเทศไทย

- 20) ซิงค์อะซิเตท ไดไฮเดรต (Zinc acetate dehydrate: $\text{Zn}(\text{O}_2\text{CCH}_3)_2(\text{H}_2\text{O})_2$) บริษัท Sigma ประเทศเยอรมัน
- 21) โพแทสเซียมเฟอร์โรไซยาไนด์ (Potassium ferrocyanide: $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) บริษัท Sigma ประเทศเยอรมัน
- 22) เมธิลีนบลู (Methylene Blue: $\text{C}_{16}\text{H}_{18}\text{N}_3\text{SCL}$) บริษัท Sigma ประเทศเยอรมัน
- 23) ฟีนอล์ฟทาเลอิน (Phenolphthalein: $\text{C}_{20}\text{H}_{14}\text{O}_4$) บริษัท Sigma ประเทศเยอรมัน
- 24) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide: NaOH) บริษัท Sigma ประเทศเยอรมัน
- 25) อาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูป Compact dry บริษัท NISSUI pharma ประเทศญี่ปุ่น

อุปกรณ์และเครื่องมือ

- 1) ตู้อบลมร้อนแบบถาด (Tray dryer) ประเทศไทย
- 2) ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) Mermert รุ่น ULE 500 ประเทศเยอรมนี
- 3) เครื่องวัดค่าสี HunterLab รุ่น Miniscan XP Plus ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 4) เครื่องวัดค่า Water Activity (a_w) Novasina รุ่น Thermo constanter TH 200 ประเทศสวีตเซอร์แลนด์
- 5) เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture analyzer) Stable Micro Systems รุ่น TA-XT2 ประเทศอังกฤษ
- 6) เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ SPECTRONIC, GENESYSTH 5 ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 7) เครื่องร่อน (Sieving machine) รุ่น VE 1000 ประเทศเยอรมนี
- 8) เครื่องตีผสม (Stomacher) Seaward Meduca Limited รุ่น Stomacher 400 ประเทศอังกฤษ
- 9) เครื่องปั่นผสม (vortex mixture) Heidolph รุ่น REAX 2000 ประเทศเยอรมนี
- 10) เครื่องชั่งน้ำหนักหยาบ Sartorius รุ่น BA 610 ประเทศเยอรมนี
- 11) เครื่องชั่งน้ำหนักละเอียด Sartorius รุ่น BA 211S ประเทศเยอรมนี
- 12) เครื่องตอกเมล็ดด้วยมือ
- 13) เครื่องบดอาหาร Waring รุ่น K55E ประเทศฝรั่งเศส
- 14) โถดูดความชื้น (Desicator) Indosaw ประเทศไทย
- 15) อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath) Heto รุ่น CB60BX ประเทศเดนมาร์ก
- 16) ไมโครมิเตอร์ (Micrometer) Insize รุ่น 3210-25 ประเทศไทย
- 17) ถุงอลูมิเนียมฟอยด์ บริษัทจิตรบรรจงภัณฑ์ ประเทศไทย
- 18) อุปกรณ์สำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัส
- 19) อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์จุลินทรีย์
- 20) อุปกรณ์เครื่องแก้ว
- 21) อุปกรณ์งานครัว

3.2.3.1 การศึกษาคุณภาพของกากผลหนามแดง

ในงานวิจัยนี้กากผลหนามแดง หมายถึง กากส่วนเหลือทิ้งจากการคั้นน้ำผลหนามแดง โดยกากประกอบด้วยส่วนเนื้อ เปลือก และเมล็ดของผลหนามแดง ทั้งนี้ได้รับกากผลหนามแดงจากกลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปน้ำหนามแดงในลักษณะกากผลหนามแดงแช่แข็งที่มีขึ้นกากขนาดเล็กละเอียดเพื่อทราบคุณภาพของกากผลหนามแดงโดยเฉพาะด้านสารพฤกษเคมีที่สำคัญรวมถึงคุณภาพในด้านอื่นๆ ขั้นตอนนี้จึงเป็นการศึกษาคุณภาพของกากผลหนามแดง ดำเนินการโดยการนำกากผลหนามแดงแช่แข็งมาทำละลายที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำมาวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ ดังนี้

- สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH radical scavenging assay (ดัดแปลงตามวิธีของ Karagozler, A.A. *et al.*, 2008)
- ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total Phenolics) (ดัดแปลงตามวิธีของ Dewanto *et al.*, 2002)
- ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (Total Anthocyanin) (ดัดแปลงตามวิธีของ Sun *et al.*, 2009)
- ปริมาณวิตามินซี (Ascorbic Acid) (AOAC, 1990)
- ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (Total Sugar) โดยวิธีของ Lane and Eynon
- ปริมาณกรดทั้งหมด (Total Titratable Acidity) (AOAC, 1990)
- ปริมาณความชื้น (Moisture Content) (AOAC, 1990)
- ค่าสี (L^* a^* และ b^*) ด้วยเครื่องวัดค่าสี

3.2.3.2 การศึกษาผลของสภาวะการทำแห้งต่อคุณภาพของกากผลหนามแดงอบแห้ง

ในการทดลองขั้นตอนนี้ต้องการหาสภาวะการอบแห้งกากผลหนามแดงที่เหมาะสมโดยสภาวะการทำแห้งที่ศึกษา คือ อุณหภูมิและเวลา เพื่อให้สามารถเก็บวัตถุดิบกากผลหนามแดงไว้ใช้ได้นานในรูปของแห้ง ทำให้เก็บรักษาง่ายไม่ต้องใช้การแช่แข็ง ซึ่งสิ้นเปลืองพลังงาน อีกทั้งสะดวกที่จะนำไปประยุกต์ใช้ทำผลิตภัณฑ์ในรูปแบบต่างๆ ได้อีกหลายชนิด เป็นการเพิ่มมูลค่ากากหนามแดงได้ในอนาคต

ในขั้นตอนนี้จึงดำเนินการโดยนำกากผลหนามแดงแช่แข็งมาทำละลายที่อุณหภูมิห้อง แล้วเกลี่ยลงบนถาดสำหรับอบแห้ง นำมาทำแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนแบบถาดโดยแปรอุณหภูมิการอบแห้งเป็น 40 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส อบแห้งจนทำให้มีความชื้นไม่เกิน 5% ทำนายเวลาในการอบแห้งโดยสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลาในการทำแห้ง โดยกำหนดความชื้นที่ต้องการ คือ 5% แล้วนำตัวอย่างกากผลหนามแดงอบแห้งที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ เหมือนข้อ 3.2.3.1

เกณฑ์ในการคัดเลือก

พิจารณาผลของสภาวะการทำแห้งต่อคุณภาพด้านต่างๆ ของกากผลหนามแดงอบแห้งโดยมีเกณฑ์ในการคัดเลือก คือ เลือกสภาวะที่ทำให้ได้กากผลหนามแดงที่ยังคงมีปริมาณสารพฤกษเคมีที่สำคัญต่างๆ อยู่ในปริมาณสูง โดยมีสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด

การวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomize Design: CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

3.2.3.3 การพัฒนาผลิตภัณฑ์อัดเม็ดจากกากผลหนามแดงอบแห้ง

ในการทดลองขั้นตอนนี้ต้องการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกากผลหนามแดงอบแห้งมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าของกากผลหนามแดงขึ้น จากการตรวจเอกสารพบว่า มีความเป็นไปได้ที่จะนำผักผลไม้อบแห้งมาทำเป็นผงแล้วผลิตเป็นผลิตภัณฑ์อัดเม็ด (สิขญา สิทธิพจน์ และคณะ, 2552; ทิพากร คำเกิด และธีรพร กงบังเกิด, 2550) และจากการทำการทดลองเบื้องต้นพบว่า มีความเป็นไปได้ที่จะนำกากผลหนามแดงอบแห้งมาขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์อัดเม็ดได้เช่นกัน อย่างไรก็ตามจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ปัจจัยที่สำคัญได้แก่ ปริมาณที่เหมาะสมของส่วนผสม นอกจากนี้การใช้เทคนิคการเคลือบด้วยสารเคลือบน่าจะสามารถปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพที่ดียิ่งขึ้น

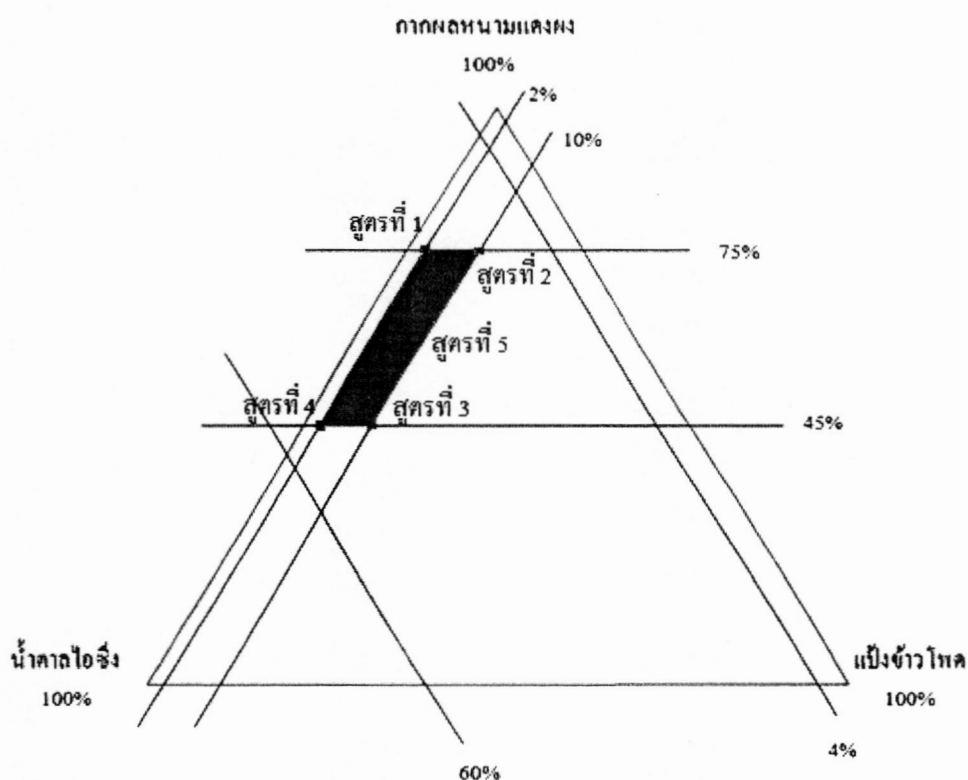
3.2.3.4 การศึกษาหาปริมาณที่เหมาะสมของส่วนผสมในการผลิตผลิตภัณฑ์อัดเม็ดจากกากผลหนามแดงอบแห้ง

ขั้นตอนนี้จึงเป็นการหาส่วนผสมที่เหมาะสมของการผลิตผลิตภัณฑ์อัดเม็ดจากกากผลหนามแดงอบแห้งที่ได้ โดยนำกากผลหนามแดงอบแห้งมาทำให้เป็นผงโดยนำมาบดด้วยเครื่องบดอาหาร จากนั้นนำไปร่อนด้วยเครื่องร่อน (Sieving machine) ขนาด 100 mesh เพื่อควบคุมให้กากผลหนามแดงมีลักษณะเป็นผงเหมือนกับส่วนผสมอื่น (ทิพากร คำเกิดและธีรพร กงบังเกิด, 2550) แล้วนำมาใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตผลิตภัณฑ์อัดเม็ดร่วมกับส่วนผสมต่างๆดังนี้

- แป้งข้าวโพด มีสมบัติเป็นสารเจือจาง (Diluent) หรือสารเพิ่มเนื้อ (Filler) นอกจากนี้สามารถใช้เป็นสารช่วยแตกกระจาย (Disintegrant) มีราคาถูกและหาได้ง่าย
- น้ำตาลไอซิ่ง มีสมบัติเป็นสารยึดเกาะ (Binder) มีราคาถูก และหาได้ง่าย
- ซิลิโคนไดออกไซด์ มีสมบัติเป็นสารหล่อลื่น (Lubricant) ช่วยป้องกันการจับตัวกันเป็นก้อน หรือเกาะติดกับเครื่องตอกเม็ด

จากการตรวจเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์อัดเม็ดพบว่า ปริมาณของส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์อัดเม็ดมีช่วงดังนี้ วัตถุดิบหลัก 25-76% สารเจือจาง

0.4–25% สารยึดเกาะ 4–60% และสารหล่อลื่น 0.4–2.2% (สิขญา สิทธิพจน์ และคณะ, 2552; ทิพากร คำเกิด และธีรพร กงบังเกิด, 2550; รุจิเรจ วังแจ่ม และคณะ, 2552; ดวงพร ชัยแก้ว และคณะ, 2552; นงสุตา บุณนาค และคณะ, 2545; เศรษฐการ นุชนิยม, 2553; อัจฉรา ศรีกุลสถานกุล และคณะ, 2550) ในโครงการวิจัยนี้จึงได้แปรปรमाणการใช้ส่วนผสมดังนี้ กากผลหนามแดงผง 45– 76% น้ำตาลไอซิ่ง 4-60% แป้งข้าวโพด 2-10% และซิลิคอนไดออกไซด์ 0.5% โดยน้ำหนัก ส่วนผสม จัดสิ่งทดลองแบบ Mixture Design สำหรับการใชัส่วนผสมกากหนามแดงผง น้ำตาลไอซิ่ง และแป้งข้าวโพดโดยใช้ปริมาณรวมกันเป็น 99.5% แสดงดังภาพที่ 3-3 ทำให้ได้ขอบเขตการใช้ส่วนผสมดังกล่าวที่สามารถดำเนินการได้ กำหนดสูตรของผลิตภัณฑ์อัดเม็ด จำนวน 5 สูตร เพื่อนำมา ศึกษาต่อไปรายละเอียดดังตารางที่ 3-2



ภาพที่ 3-3 การแปรส่วนผสมของผลิตภัณฑ์อัดเม็ด เมื่อกำหนดปริมาณ คือ กากผลหนามแดงผง 45-76 % น้ำตาลไอซิ่ง 4-60% และแป้งข้าวโพด 2-10% โดยจัดสิ่งทดลองแบบ Mixture Design พื้นที่ส่วนแรเงา คือ ขอบเขตของส่วนผสมที่สามารถดำเนินการได้

ตารางที่ 3-2 ปริมาณส่วนผสมของผลิตภัณฑ์อัดเม็ดที่ดำเนินการทดลอง

สูตร	ปริมาณของส่วนผสม (%)			
	กากผลหนามแดงผง	น้ำตาลไอซิ่ง	แป้งข้าวโพด	ซิลิโคนไดออกไซด์
1	75	23	2	0.5
2	75	15	10	0.5
3	45	45	10	0.5
4	45	53	2	0.5
5	60	34	6	0.5

ชั่งน้ำหนักส่วนผสมตามที่กำหนดแล้วผสมให้เข้ากัน เพื่อให้การอัดเม็ดได้ง่ายขึ้น ทำการเติมน้ำกลั่นลงไปในส่วนผสมทุกสูตร สูตรละ 20% (w/v) แล้วชั่งน้ำหนักส่วนผสมด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักชนิดละเอียด (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) กำหนดน้ำหนักเท่ากับ 0.7000 ± 0.1500 กรัมต่อ 1 เม็ด และนำไปอัดเม็ดโดยใช้เครื่องตอกเม็ดด้วยมือ จากนั้นฝังให้แห้งบนตะแกรงเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะได้ผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ด แล้วนำผลิตภัณฑ์อัดเม็ดที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพในด้านต่างๆ ดังนี้

- ปริมาณความชื้น (Moisture Content) (AOAC,1990)
- ค่าสี (L^* a^* และ b^*) ด้วยเครื่องวัดสี HunterLab
- เส้นผ่านศูนย์กลาง โดยใช้ไมโครมิเตอร์
- ความหนา โดยใช้ไมโครมิเตอร์
- น้ำหนักต่อเม็ด ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักละเอียด
- ค่าความแข็ง (Hardness) ด้วยเครื่อง Texture analyzer
- ค่าการสีกกร่อน (%)
- ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยทดสอบความชอบทางด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน ทดสอบโดยวิธี 9-point hedonic scale

การวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomize Design: CRD) สำหรับผลการวิเคราะห์คุณภาพทุกด้าน ยกเว้นการประเมินด้านประสาทสัมผัส วางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design; RCBD) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s New Multiple Range Test และหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร (Regression)โดยใช้

โปรแกรม SPSS version 13 แล้วนำมาสร้างกราฟ Response Surface Methodology (RSM) โดยใช้โปรแกรม STATISTICA version 5

เกณฑ์ในการคัดเลือก

เลือกสูตรที่ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์อัดเม็ดที่มีลักษณะดีเป็นเม็ดสมบูรณ์ มีความสึกกร่อนน้อย ได้รับความชอบด้านต่างๆ สูง และได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด

3.2.3.3 การศึกษาผลของการใช้เจลาตินเป็นสารเคลือบในการผลิตผลิตภัณฑ์อัดเม็ดจากกากफलหนามแดงอบแห้ง

ดำเนินการโดยเตรียมสารละลายเจลาตินความเข้มข้น 10% ทำได้โดยนำเจลาตินมาละลายกับน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส โดยกวนสารละลายให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำผลิตภัณฑ์กากफलหนามแดงอัดเม็ดมาจุ่มในสารละลายเจลาตินที่เตรียมไว้เป็นเวลา 10 วินาที แล้วนำไปวางผึ่งให้แห้งบนตะแกรงเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำซ้ำสองครั้งเพื่อให้เจลาตินเคลือบได้ทั่วถึง จากนั้นนำผลิตภัณฑ์อัดเม็ดที่ได้มาบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ ถุงละ 10 เม็ด เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 สัปดาห์ โดยกำหนดให้วันเริ่มต้นการเก็บรักษา คือ 0 สัปดาห์ และวันสุดท้ายของการเก็บรักษา คือ 3 สัปดาห์ สุ่มตัวอย่างทุกสัปดาห์แล้วนำมาวิเคราะห์คุณภาพเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์กากफलหนามแดงอัดเม็ดที่ไม่ได้ใช้สารเคลือบ โดยวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ ดังนี้

- ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา
- ค่าสี (L^* , a^* และ b^*) ด้วยเครื่องวัดสี
- ค่า Water activity (a_w) ด้วยเครื่องวัดค่า a_w
- ปริมาณความชื้น (AOAC, 1990)
- ประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส โดยทดสอบความชอบทางด้านลักษณะ

ปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน ทดสอบโดยวิธี 9-point hedonic scale

เกณฑ์ในการพิจารณา

พิจารณาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา ทั้งนี้เปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานด้านความปลอดภัยกับผลิตภัณฑ์ที่เทียบเคียง คือ นมถั่วเหลืองอัดเม็ด (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2550) ซึ่งกำหนดไว้ว่า ต้องมีค่า a_w ไม่เกิน 0.6 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องน้อยกว่า 1×10^6 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ปริมาณยีสต์และราต้องไม่เกิน 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม

การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ผลความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ใช้และไม่ใช้สารเคลือบ โดยวิธี T-test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิจารณ์

4.1 ผลการศึกษาคุณภาพของผลหนามแดง

จากการวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ ของผลหนามแดงที่จะนำมาใช้ในโครงการวิจัย ได้แก่ สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด ปริมาณวิตามินซี ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณกรดทั้งหมด และปริมาณความชื้น แสดงผลดังตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 คุณภาพของผลหนามแดงที่ใช้ในโครงการวิจัย

ค่าคุณภาพ	ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ	
inhibition (%)	91.02 $\pm$ 0.83
IC ₅₀ (mg/L)	195.2 $\pm$ 3.25
ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg gallic acid/100g extract)	296.08 $\pm$ 3.17
ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (mg/100g extract)	568.12 $\pm$ 0.00
ปริมาณวิตามินซี (mg/100g)	8.92 $\pm$ 0.67
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (%)	8.19 $\pm$ 0.09
ปริมาณกรดทั้งหมด (% citric acid)	3.92 $\pm$ 0.16
ปริมาณความชื้น (%)	85.69 $\pm$ 0.12
ค่าสีของเปลือก	
L*	15.86 $\pm$ 0.52
a*	13.28 $\pm$ 0.20
b*	3.04 $\pm$ 0.36

4.1.1 สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ

สารต้านอนุมูลอิสระ คือ โมเลกุลของสารที่สามารถจับกับอนุมูลอิสระ และสามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของโมเลกุลสารอื่นๆได้ ดังนั้นสารต้านอนุมูลอิสระจึงถือเป็นตัวรีดิวซ์ เพื่อหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ที่ทำลายเซลล์ของร่างกาย โดยสารต้านอนุมูลอิสระสามารถพบได้ในพืชรูปใบของ

สารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน วิตามินซี เป็นต้น ซึ่งจะพบมากน้อยแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของพืช (โอภา วัชรคุปต์, 2550; นันทน์ภัส เต็มวงษ์, 2551) ในโครงการวิจัยนี้ทดสอบสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical

scavenging assay ซึ่งมีหลักการคือ ใช้สาร 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) เป็นอนุมูลอิสระสังเคราะห์ที่มีความคงตัวเมื่อนำตัวอย่างที่มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระมาทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระในสารละลาย DPPH ที่มีสีม่วงเข้ม เมื่ออนุมูลอิสระได้รับอิเล็กตรอนสารละลาย DPPH ก็จะเปลี่ยนจากสีม่วงเข้มเป็นสารละลายสีเหลืองที่สามารถดูดกลืนแสงได้ดีที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ในการทดสอบสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ รายงานเป็นค่า %Inhibition และค่า IC50

ค่า %Inhibition หมายถึง ความสามารถในการต้านออกซิเดชัน หรือ ความสามารถของสารที่สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระ (ปริยนันท์ บัวสด, 2549) จากผลการวิเคราะห์พบว่า สารสกัดของผลหนามแดงมีค่า %Inhibition เท่ากับ 91.02% ทั้งนี้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ วิไลพร ปองเพียร (2550) ที่ได้ศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระจากพืชพื้นบ้านที่มีสีม่วงแดง จำนวน 20 ชนิด โดยพบว่าผลหนามแดงอยู่ในกลุ่มพืช ที่มี %Inhibition สูงตั้งแต่ 80% ขึ้นไป โดยมี %Inhibition เท่ากับ 93.01% ซึ่งสูงกว่าพืชพื้นบ้านบางชนิด เช่น เซอร์รี่ไทย มะเขือเปาะม่วง ตะขบป่า เป็นต้น ซึ่งมีค่า %Inhibition เท่ากับ 67.61 67.64 และ 85.67 ตามลำดับ และพบว่า ผลหนามแดงมีค่า %Inhibition ใกล้เคียงกับ ตะขบควายที่มีค่า %Inhibition เท่ากับ 93.77% ซึ่งมีค่าสูงที่สุดในผลไม้ทั้ง 20 ชนิด ทั้งนี้ผลหนามแดงสดมีค่า %Inhibition สูงกว่ากากผลหนามแดงที่มี %Inhibition เท่ากับ 88% (ปาริชาติ วีระแพทย์ และสุภาพรรณ คงสมเพ็ชร, 2553)

สำหรับค่า IC50 (Inhibition Concentration at 50%) หมายถึง ค่าความเข้มข้นของปริมาณสารที่สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระ ได้ครึ่งหนึ่ง หรือปริมาณสารต้านออกซิเดชันที่ทำให้ความเข้มข้นของ DPPH เหลืออยู่ 50% โดยถ้ามีค่าน้อยแสดงว่าสารสกัดนั้นมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระมาก (ปริยนันท์ บัวสด, 2549) สำหรับสารสกัดหยาบที่ได้จากผลหนามแดง พบว่ามีค่า IC50 เท่ากับ 195.21 mg/L เมื่อเปรียบเทียบค่า IC50 กับพืชชนิดอื่นที่มีการรายงานไว้พบว่า สารสกัดจากผลหนามแดง มีค่า IC50 สูงกว่าสารสกัดหยาบของ สารสกัดผลมะหาด และผลลำตวน ซึ่งเป็นผลไม้พื้นบ้านสีแดง ที่มีค่า IC50 เท่ากับ 19.32 และ 11.92 mg/L ตามลำดับ (นิตยา เขียวอ่อน, 2550) แต่อย่างไรก็ตามพบว่า ผลหนามแดงมีค่า IC50 ต่ำกว่า แบล็ก ราสเบอร์รี่ (black raspberry) ที่มีค่า IC50 เท่ากับ 241 mg/L (Hyun Jeong et al., 2010)

จากผลการวิเคราะห์ แสดงให้เห็นว่าผลหนามแดงเป็นผลไม้ชนิดหนึ่งที่มีศักยภาพเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ นอกจากนี้มี งานวิจัยสนับสนุนของ กิตติมา กออารีพิทักษ์ (2552) ที่พบว่าผลหนามแดงมีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้โดยรายงานว่ สารสกัดจากผลหนามแดงสุกมีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าสารสกัดจากผลหนามแดงดิบมีค่า IC50 เท่ากับ 225 และ 400 mg/L ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระระหว่างผลหนามแดงกับกากผลหนามแดงที่รายงานไว้โดย ปาริชาติ วีระแพทย์ และสุภาพรรณ คงสมเพ็ชร (2553) พบว่าผลหนามแดงมีความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระมากกว่ากากผลหนามแดง

4.1.2 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

สารประกอบฟีนอลิก พบได้ในพืชทั่วไป มีสูตรโครงสร้างทางเคมีเป็นวงแหวนที่มีหมู่ไฮดรอกซิลอย่างน้อยหนึ่งหมู่หรือมากกว่านั้น สามารถละลายน้ำได้ ที่พบในพืชมักจะรวมอยู่ในโมเลกุลของน้ำตาลในรูปไกลโคไซด์ (glycoside) และพบได้ในส่วนของช่องว่างภายในเซลล์ สารประกอบฟีนอลิกหลายชนิดมีสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชันได้ โดยทำหน้าที่ในการกำจัดอนุมูลอิสระและไอออนของโลหะต่างๆ (ยุวดี มานะเกษม และศุจิรัตน์ สงวนรังศิริกุล, 2553; อัญชนา, 2544) จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดพบว่า สารสกัดผลหนามแดงมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ 296.08 mg gallic acid /100g ทั้งนี้ค่าใกล้เคียงกับที่พบในเปลือกมังคุด แบล็กเคอร์เรนต์ (Black currant) และกากผลหนามแดงซึ่งมีค่า สารประกอบฟีนอลิก เท่ากับ 265.7 mg gallic acid /100g (Ryzard, 2009) 239 mg gallic acid /100 g (Denev et al., 2010) และ 231.05 mg gallic acid /100 g (ปาริชาติ วีระแพทย์ และสุภาพรรณ คงสมเพ็ชร, 2553) ตามลำดับ อย่างไรก็ตามผลหนามแดงมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมากกว่าในแครอทม่วง และผลองุ่นแดงซึ่งมีสารประกอบฟีนอลิกเท่ากับ 4.19 mg gallic acid /100 g (Alasalvar et al., 2005) และ 74.6 mg gallic acid /100 g (Aleksandra et al., 2010) ตามลำดับ

4.1.3 แอนโทไซยานิน

แอนโทไซยานิน เป็นรงควัตถุที่ละลายในน้ำได้ สลายตัวได้ง่ายด้วยความร้อน ออกซิเจน และแสง พบอยู่ในเซลล์น้ำหล่อเลี้ยงของพืช ในผักผลไม้ และดอกไม้ เช่น กะหล่ำปลีสีม่วง กระเจี๊ยบแดง องุ่นแดง ดอกอัญชัน เป็นต้น (นิธิยา รัตนูปนนท์, 2549) จากผลการวิเคราะห์พบว่า สารสกัดผลหนามแดงมีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดเท่ากับ 568.12 mg/100g ซึ่งมีค่าต่ำกว่ากากลูกหม่อนเล็กน้อยซึ่งมีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดเท่ากับ 619.54 mg/100 g (สิขญา สิทธิพจน์ และคณะ, 2552) แต่มีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดมากกว่าที่พบในผลไม้สีม่วงแดงชนิดอื่น เช่น บลูเบอร์รี่ แบล็กเบอร์รี่ และสตอเบอร์รี่ มีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดเท่ากับ 139 mg/100 g (Denve et al., 2010) และ 75 mg/100 g (Li Rui et al., 2011) ตามลำดับ

4.1.4 ปริมาณวิตามินซี

วิตามินซี หรือกรดแอสคอร์บิก เป็นอนุพันธ์ของน้ำตาลเฮกโซส ละลายได้ดีในน้ำ เป็นตัวรีดิวซ์ มีความคงตัวต่ำ สลายตัวได้ง่ายเมื่อถูกแสง อากาศ และความร้อน ในสภาวะที่มีโลหะหนัก เช่น ทองแดงไอออนและเหล็กไอออนจะเร่งการสลายตัวของวิตามินซี (นิธิยา รัตนูปนนท์, 2549) จากผลการทดลองพบว่า ผลหนามแดงมีปริมาณวิตามินซีเท่ากับ 8.92 mg/100g ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Morton (1987) ที่ได้รายงานการวิเคราะห์ผลหนามแดงสุกในประเทศอินเดีย และฟิลิปปินส์พบว่า มีปริมาณวิตามินซี เท่ากับ 9-11 mg/100g แต่น้อยกว่าลูกหม่อนแดง (*Morus nigra* L.) และองุ่น ซึ่ง มีปริมาณวิตามินซี เท่ากับ 15.10 mg/100g (Ercisli & Orhan, 2007) และ 23.6 mg/100g (รติยา

คุชเชตพิทักษ์วงศ์ และพรพิมพา เพชรพงษ์ไพศาล, 2553) ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ผลหนามแดงมีปริมาณวิตามินซีมากกว่า เซอร์รีคาร์เนเดียนที่มีปริมาณวิตามินซีเท่ากับ 0.53 mg/100g (Tural & Koca, 2008)

4.1.5 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด

ผลหนามแดงสุกโดยปกติแล้วจะมีรสเปรี้ยวอมหวานและฝาดเล็กน้อย (รุ่งทิพา วงศ์ไพศาล ฤทธิ์ และดวงทิพย์ ศรีตาแสน, 2551; นิจศิริ เรืองรังสี, 2547) จากผลการทดลองพบว่า ผลหนามแดงสดมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเท่ากับ 8.19% ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Morton (1987) ที่ได้รายงานการวิเคราะห์ผลหนามแดงสุกในประเทศอินเดียและฟิลิปปินส์ พบว่ามีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเท่ากับ 7.35-11.58%

4.1.6 ปริมาณกรดทั้งหมด

จากที่กล่าวไปข้างต้นว่า ผลหนามแดงสุกมีรสเปรี้ยวอมหวานและฝาดเล็กน้อย เมื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมด พบว่ามีปริมาณ เท่ากับ 3.92% ซึ่งมีปริมาณมากกว่า มะเขือเทศพันธุ์ Pitenza ที่มีปริมาณกรดทั้งหมด เท่ากับ 0.56% (Odriozola et al., 2008) แต่อย่างไรก็ตามก็ยังมีปริมาณน้อยกว่า ลูกหม่อนแดง (*Morus rubra*) ที่มีปริมาณกรดทั้งหมด เท่ากับ 11.37% (Ercisli & Orhan, 2008)

4.1.7 ปริมาณความชื้น

ปริมาณความชื้น เป็นปริมาณน้ำทั้งหมดที่มีอยู่ในอาหาร โดยน้ำมีความสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติต่างๆ ของอาหาร เนื่องจากน้ำเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและชีวเคมีของอาหารซึ่งทำให้เกิดผลทั้งในด้านที่เป็นประโยชน์หรือในด้านการไม่ต้องการ (นิยารัตนาพนนท์, 2549) จากการรายงานผลการวิเคราะห์ ผลหนามแดงสุกในประเทศอินเดียและฟิลิปปินส์ พบว่ามีปริมาณความชื้น เท่ากับ 83.17-83.24% (Morton, 1987) จากผลการทดลองพบว่า ผลหนามแดงมีปริมาณความชื้นเท่ากับ 85.69% จึงถือว่าเป็นผลไม้ที่มีปริมาณความชื้นสูงใกล้เคียงผลไม้ชนิดอื่นที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน เช่น มะเขือเทศเซอร์รี ที่มีปริมาณความชื้น เท่ากับ 91% (ธีระศักดิ์ หุตากร, 2552)

4.1.8 ค่าสี (L^* a^* และ b^*)

จากการมองด้วยตาเปล่าจะเห็นว่าผลหนามแดงสุกจะมีสีแดงอมม่วงเข้ม เมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าสี L^* a^* และ b^* ที่เปลือกของผลหนามแดง พบว่ามีค่าเท่ากับ 15.86 13.28 และ 3.04 ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับงานวิจัย ของ รุ่งทิพา วงศ์ไพศาลฤทธิ์ และคณะ (2551) ได้รายงานไว้ว่าผลหนามแดงสุกมีค่าสี L^* a^* และ b^* เท่ากับ 12.47 15.93 และ 3.03 ตามลำดับ

4.2 การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากหนามแดง

4.2.1 การพัฒนาผลิตภัณฑ์กึ่งแห้ง

4.2.1.1 ผลของการลวกก่อนการดองน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส

การทดลองนี้ทำโดยการนำผลหนามแดงมาเตรียมขั้นต้นก่อนการดองน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสด้วยวิธีการลวก แปรปัจจัยที่ศึกษาเป็น 2 ปัจจัย ปัจจัยละ 2 ระดับ ดังนี้ ปัจจัยที่ 1 ชนิดของสารที่ใช้ลวก คือ น้ำ และสารละลายแคลเซียมแลคเตท ความเข้มข้น 1.5 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/น้ำหนัก) ปัจจัยที่ 2 เวลาในการลวก คือ 1 และ 3 นาที โดยกำหนดอุณหภูมิที่ใช้ในการลวกเป็น 80 องศาเซลเซียส แล้วนำผลหนามแดงมาออสโมซิส โดยแช่ในสารละลายไฮโปโทนิก ความเข้มข้น 60 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/น้ำหนัก) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สุ่มตัวอย่างผลหนามแดงหลังการลวก และหลังการออสโมซิส มาวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) สรุปผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4-2 และรายละเอียดผลการวิเคราะห์ ANOVA แสดงดังตารางภาคผนวก

จากตารางที่ 4-2 ด้านคุณภาพของผลหนามแดงหลังการลวก พบว่า อิทธิพลร่วมของชนิดของสารที่ใช้ลวกและเวลาในการลวกมีผลต่อค่าความแน่นเนื้อ ($p < 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อค่าสี L^* a^* และ b^* ($p \geq 0.05$) ส่วนด้านคุณภาพของผลหนามแดงหลังการออสโมซิส พบว่า อิทธิพลร่วมของชนิดของสารที่ใช้ลวกและเวลาในการลวกมีผลต่อค่าความแน่นเนื้อ ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) และปริมาณน้ำหนักรีดลดลง (WR) ($p < 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อค่าสี L^* a^* และ b^* และคุณภาพทางประสาทสัมผัส ด้านความชอบลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวม ($p \geq 0.05$)

4.2.1.1.1 คุณภาพของผลหนามแดงหลังการลวก

1) ค่าสี

จากตารางที่ 4-3 พบว่า ค่าสี L^* a^* และ b^* ของผลหนามแดงหลังการลวกทั้ง 4 สิ่งทดลองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยมีค่าสี L^* อยู่ในช่วง 15.66-15.96 a^* อยู่ในช่วง 12.86-13.10 และ b^* อยู่ในช่วง 2.87-3.15 ทั้งนี้ค่าใกล้เคียงกับสีของผลหนามแดงก่อนลวกที่มีค่า L^* a^* และ b^* เท่ากับ 15.86 13.28 และ 3.04 ตามลำดับ เนื่องจากการวัดค่าสีเปลือกของผลหนามแดง ซึ่งเปลือกของผลหนามแดงมีลักษณะค่อนข้างหนาและมีไขเคลือบหนาด้วยการลวกในสภาวะทั้ง 4 จึงอาจไม่มีผลต่อรงควัตถุส่วนผิวเปลือกผลหนามแดง อย่างไรก็ตามผู้วิจัยสังเกตเห็นว่า ในระหว่างการลวก สารที่ใช้ลวกมีสีเปลี่ยนไปจากใสเป็นสีชมพูอ่อน เป็นผลจากรงควัตถุภายในผล ซึ่งเป็นสารจำพวกแอนโทไซยานินที่ละลายน้ำได้ละลายออกมาจากผลตรงรอยตัดส่วนที่ตัดแต่งบริเวณหัวผล

ตารางที่ 4-3 ค่าสี L* a* และ b* ของผลหนามแดงหลังการลวกจากการแปรชนิดของสารที่ใช้ลวก และเวลาในการลวก

ชนิดของสารที่ใช้ลวก	เวลาในการลวก (นาทึ)	ค่าสีเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
		L* ^{ns}	a* ^{ns}	b* ^{ns}
น้ำ	1	15.96 ± 0.27	12.89 ± 0.43	3.00 ± 0.30
น้ำ	3	15.88 ± 0.27	13.10 ± 0.42	3.15 ± 0.31
แคลเซียมแลคเตท	1	15.87 ± 0.38	12.90 ± 0.49	2.87 ± 0.30
แคลเซียมแลคเตท	3	15.66 ± 0.33	12.86 ± 0.61	2.97 ± 0.42

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≥ 0.05)

2) ค่าความแน่นเนื้อ (Firmness)

ค่าความแน่นเนื้อสามารถวัดได้โดยใช้เครื่อง Texture Analyzer ซึ่งหมายถึง แรงที่สูงที่สุดที่ใช้ในการกดลงบนชิ้นอาหารตามระยะทางที่กำหนด ซึ่งแสดงถึงความแข็งหรือความนุ่มของผลิตภัณฑ์อาหาร ถ้าอาหารที่มีความแข็งมากแรงที่ใช้กดลงบนอาหารก็จะมีค่ามาก (Alvarez, 1995)

ตารางที่ 4-4 ค่าความแน่นเนื้อ (กรัม) ของผลหนามแดงหลังการลวกจากการแปรชนิดของสารที่ใช้ลวกและเวลาในการลวก

ชนิดของสารที่ใช้ลวก	เวลาในการลวก (นาทึ)	ค่าความแน่นเนื้อเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน(กรัม)
น้ำ	1	291.21 ± 17.56 ^b
น้ำ	3	270.22 ± 10.42 ^c
แคลเซียมแลคเตท	1	295.63 ± 7.82 ^b
แคลเซียมแลคเตท	3	319.57 ± 6.96 ^a

^{a, b, c} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p< 0.05)

จากตารางที่ 4-4 พบว่า การลวกด้วยแคลเซียมแลคเตทเป็นเวลา 3 นาที่ ทำให้ค่าความแน่นเนื้อของผลหนามแดงมีค่ามากที่สุด อาจเนื่องมาจากในสภาวะนี้สามารถช่วยให้เซลล์เนื้อเยื่อของผล

หนามแดงรักษาแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเซลล์ ซึ่งเกิดจากสารประกอบเพคตินจับกับแคลเซียมไอออน เกิดเป็นแคลเซียมเพคเตตซึ่งไม่ละลายน้ำ แคลเซียมจะช่วยเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวทำให้เยื่อหุ้มเซลล์มี โครงสร้างที่แข็งแรงขึ้น จึงส่งผลทำให้ผนังเซลล์ยังคงมีความแข็งแรง (Luna-Guzman and Barrett, 2000) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Rico et al. (2007) ที่รายงานว่า การแช่ในสารละลายแคลเซียม แลคเตต ช่วยเพิ่มความแน่นเนื้อของชิ้นแครอทได้ โดยเกิดการแพร่ของแคลเซียมเข้าสู่เนื้อเยื่อของแครอทอย่างเพียงพอโดยเคลื่อนที่สวนทางกับการแพร่ของน้ำออกจากเนื้อเยื่อของแครอท และการแช่ เป็นเวลานาน 3 นาที เพียงพอที่ทำให้เกิดการแพร่ของแคลเซียมไอออนเข้าไปในเนื้อเยื่อผลหนามแดง อย่างทั่วถึง และพิมพ์ใจ มณีพันธ์ (2553) รายงานว่า การลวกด้วยสารละลายแคลเซียมแลคเตตเป็น เวลา 2 นาที ทำให้ค่าความแน่นเนื้อของมะพร้าวกะทิมีค่ามากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ การไม่ลวกและ ลวกในน้ำ ทั้งนี้เนื่องจากแคลเซียมแลคเตตช่วยให้เซลล์เนื้อเยื่อของมะพร้าวกะทียังคงรักษาแรงยึด เหนี่ยวระหว่างเซลล์ไว้ได้ มีผลทำให้ผนังเซลล์มีความแข็งแรงเช่นกัน นอกจากนี้ผลการทดลองแสดง ให้เห็นว่า การลวกด้วยน้ำ เป็นเวลา 3 นาที ทำให้ผลหนามแดงมีค่าความแน่นเนื้อน้อยที่สุด อาจ เนื่องมาจากที่สภาวะนี้ทำให้เซลล์เนื้อเยื่อของผลหนามแดงมีโอกาสถูกทำลายมากที่สุด โครงสร้างของ ผลหนามแดงเกิดการเปลี่ยนสภาพไปและไม่มีแคลเซียมไอออนที่จะเกิดเป็นแคลเซียมเพคเตตช่วย พยุงโครงสร้างของเซลล์ผลหนามแดงไว้ได้

4.2.1.1.2 คุณภาพของผลหนามแดงหลังการออสโมซิส

1) ค่าการถ่ายเทมวลสาร

ในการออสโมซิสอาศัยความแตกต่างของแรงดันออสโมติกระหว่างเซลล์ภายในของ ผลหนามแดงกับสารละลายน้ำตาลภายนอก ซึ่งในสารละลายน้ำตาลมีความเข้มข้นสูงจะมีแรงดัน ออสโมติกมากกว่าสารละลายภายในเซลล์ผลหนามแดง ส่งผลให้เกิดแรงขับให้มีการถ่ายเทมวลสาร โดยน้ำภายในเซลล์ผลหนามแดงจะแพร่ออกมา ในขณะที่เดียวกันสารละลายน้ำตาลจะแพร่เข้าไปในผล หนามแดง (Escobar, 2007) อัตราการถ่ายเทมวลสารที่เกิดขึ้นระหว่างการออสโมซิส เป็นผลที่สำคัญ ของการออสโมซิส โดยอัตราการถ่ายเทมวลสารจะเพิ่มขึ้น เมื่อเยื่อหุ้มเซลล์ของชิ้นอาหารนั้นถูก ทำลาย แต่อย่างไรก็ตามจะต้องไม่ถูกทำลายมากเกินไปจนทำให้อาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะจากของ สดไปมาก (ไพโรจน์ วิริยะจารี, 2539)

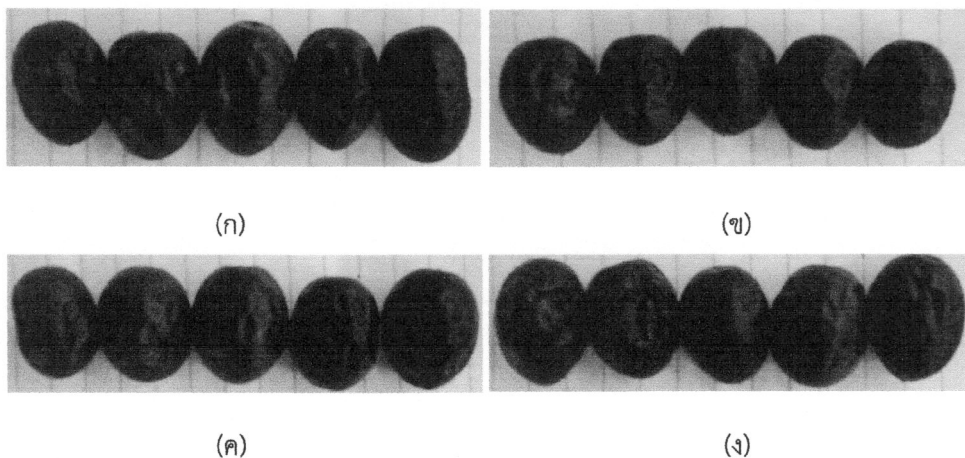
จากตารางที่ 4-5 แสดงผลของปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) และปริมาณน้ำหนักรีดลดลง (WR) ของผลหนามแดงหลังออสโมซิส 24 ชั่วโมง พบว่า ผลหนาม แดงที่ลวกในสารละลายแคลเซียมแลคเตต เป็นเวลา 3 นาที มีค่า WL สูงที่สุด คือ 7.04 เปอร์เซ็นต์ และค่า WR สูงที่สุด คือ 0.05 เปอร์เซ็นต์ อาจเนื่องมาจากที่สภาวะดังกล่าวมีการใช้เวลาในการลวก นาน 3 นาที ซึ่งอาจเป็นเวลาที่เหมาะสมในการทำให้เกิดการทำลายเซลล์ของผลหนามแดงเพียง พอที่จะช่วยให้เยื่อหุ้มเซลล์ทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่านที่ดี จึงช่วยให้มีการถ่ายเทมวลสารเกิดขึ้นได้เร็ว

และมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Denis et al. (2005) ที่รายงานว่า การลวกเซอร์รีเป็นเวลา 3 นาทีและนำไปออสโมซิส ทำให้มีปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ปริมาณของแข็ง (SG) และ น้ำหนักที่ลดลง (WR) มากที่สุด นอกจากนี้ที่สภาวะการลวกดังกล่าวมีการใช้แคลเซียมแลคเตท ซึ่งทำให้แคลเซียมไอออนสามารถไปสร้างพันธะกับกลุ่มคาร์บอกซิลิกของเพกตินจากเนื้อเยื่อของหนามแดง เกิดเป็นแคลเซียมเพคเตท ทำให้ลดโอกาสให้เพกตินของผลหนามแดงเกิดการละลายน้ำและพองตัว แล้วเกิดความหนืด (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549) ที่ไปขัดขวางการถ่ายเทมวลน้ำจากผลหนามแดง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Fazli and Fazli (2011) ที่รายงานว่า การแช่ผลไม้กีวในสารละลายออสโมติกที่มีการเติมแคลเซียม ทำให้มีปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งและน้ำหนักที่ลดลงเพิ่มขึ้นในผลไม้กีว และพิมพ์ใจ มณีพันธ์ (2553) ได้รายงานว่า การใช้แคลเซียมแลคเตทลวกมะพร้าวกะทิก่อนการออสโมซิส ช่วยให้มีการถ่ายเทมวลสารเกิดขึ้นได้เร็วและมากขึ้น โดยผลของค่า WL และ WR ของมะพร้าวกะทิที่ผ่านการลวกทุกสิ่งทดลองมีค่า WL และ WR มากกว่ามะพร้าวกะทิสดที่ไม่ผ่านการลวก ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4-5 ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL: เปอร์เซ็นต์) ของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG: เปอร์เซ็นต์) และน้ำหนักที่ลดลง (WR: เปอร์เซ็นต์) ของผลหนามแดงหลังการออสโมซิสจากการแปรชนิดของสารที่ใช้ลวกและเวลาในการลวก

ชนิดสาร	เวลา (นาที)	ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
		WL	SG	WR
น้ำ	1	6.68 ± 0.07^b	3.65 ± 0.02^c	0.03 ± 0.00^c
น้ำ	3	6.66 ± 0.06^b	3.82 ± 0.02^d	0.03 ± 0.00^d
แคลเซียมแลคเตท	1	4.97 ± 0.08^c	0.89 ± 0.03^a	0.04 ± 0.00^b
แคลเซียมแลคเตท	3	7.04 ± 0.09^a	1.95 ± 0.09^b	0.05 ± 0.01^a

^{a,b,c,d} หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



ภาพที่ 4-1 แสดงลักษณะผลหนามแดงหลังลวก (ก) ลวกด้วยน้ำเป็นเวลา 1 นาที (ข) ลวกด้วยน้ำเป็นเวลา 3 นาที (ค) ลวกด้วยแคลเซียมคลอไรด์เป็นเวลา 1 นาที (ง) ลวกด้วยแคลเซียมคลอไรด์เป็นเวลา 3 นาที

2) ค่าสี

จากตารางที่ 4-6 พบว่า ค่าสี L^* a^* และ b^* ของผลหนามแดงหลังการออสโมซิสทั้ง 4 สิ่งทดลองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยมีค่าสี L^* อยู่ในช่วง 15.04-15.88 a^* อยู่ในช่วง 12.33-13.27 และ b^* อยู่ในช่วง 2.85-3.22 ทั้งนี้มีค่าใกล้เคียงกับสีของผลหนามแดงหลังการลวกที่มีค่าสี L^* อยู่ในช่วง 15.66-15.96 a^* อยู่ในช่วง 12.86-13.10 และ b^* อยู่ในช่วง 2.87-3.15 ซึ่งสอดคล้องกับการสังเกตด้วยตาที่เห็นว่าผลหนามแดงหลังการออสโมซิสยังคงมีสีม่วงดำเข้มคล้ายหลังการลวก

ตารางที่ 4-6 ค่าสี L^* a^* และ b^* ของผลหนามแดงหลังการออสโมซิสจากการแปรชนิดของสารที่ใช้ลวกและเวลาในการลวก

ชนิดของสารที่ใช้ลวก	เวลาในการลวก (นาที)	ค่าสีเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
		L^* ^{ns}	a^* ^{ns}	b^* ^{ns}
น้ำ	1	15.42 $\pm$ 0.18	12.33 $\pm$ 0.22	3.03 $\pm$ 0.18
น้ำ	3	15.04 $\pm$ 0.38	12.68 $\pm$ 1.02	3.22 $\pm$ 0.44
แคลเซียมคลอไรด์	1	15.88 $\pm$ 0.46	13.27 $\pm$ 0.86	2.85 $\pm$ 0.41
แคลเซียมคลอไรด์	3	15.20 $\pm$ 0.76	12.83 $\pm$ 0.71	3.05 $\pm$ 0.42

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

($p < 0.05$) ซึ่งยังคงเป็นผลจากพันธะของแคลเซียมเพคเตทที่เกิดขึ้น สามารถช่วยรักษาโครงสร้างของผลหนามแดงให้แข็งแรงและพบว่าผลหนามแดงหลังการออสโมซิสที่ผ่านการลวกด้วยน้ำ เป็นเวลา 3 นาที ยังคงมีค่าความแน่นเนื้อต่ำที่สุดคือ 343.99 กรัม เนื่องจากเนื้อเยื่อผลหนามแดงไม่มีแคลเซียมเพคเตท ในการเพิ่มประสิทธิภาพในการผุยุให้เซลล์แข็งแรงเมื่อนำมาออสโมซิส จึงยังทำให้เนื้อเยื่อยังคงรูปอยู่ได้น้อยที่สุด

นอกจากนี้พบว่าค่าความแน่นเนื้อของผลหนามแดงหลังการออสโมซิส (343.99-392.49 กรัม) มีแนวโน้มสูงกว่าความแน่นเนื้อหลังการลวก (270.22-319.57 กรัม) เนื่องจากการออสโมซิสทำให้น้ำตาลแพร่เข้าไปในเนื้อเยื่อผลหนามแดงได้ ซึ่งเป็นการเพิ่มปริมาณของแข็ง และเกิดการสูญเสียน้ำออกจากผลหนามแดง จึงส่งผลให้ผลหนามแดงมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แข็งขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Karuarathna and Rathnayaka (2012) แสดงให้เห็นว่า การออสโมซิส ร่วมกับแคลเซียมแลคเตท ช่วยทำให้ชิ้นสับประดามีความแน่นเนื้อดีขึ้น

ตารางที่ 4-7 ค่าความแน่นเนื้อ (กรัม) ของผลหนามแดงหลังการออสโมซิสจากการแปรชนิดของสารที่ใช้ลวก และเวลาในการลวก

ชนิดสาร	เวลา (นาที)	ค่าความแน่นเนื้อเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (กรัม)
น้ำ	1	368.70 ± 3.46^c
น้ำ	3	343.99 ± 3.76^d
แคลเซียมแลคเตท	1	379.78 ± 6.53^b
แคลเซียมแลคเตท	3	392.49 ± 5.82^a

a,b,c,d หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

4) คุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากที่สรุปไว้ในตารางที่ 4-2 ที่แสดงว่าไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของสารที่ใช้ลวก และเวลาในการลวกต่อความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวมของผลหนามแดงหลังการออสโมซิส โดยคะแนนความชอบแต่ละด้านอยู่ในช่วง 6.28-6.88, 6.52-7.00, 5.84-6.68, 4.88-5.64 และ 5.28-5.92 ตามลำดับ รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4-8 เมื่อพิจารณาปัจจัยเดี่ยว ด้านชนิดของสารที่ใช้ลวก พบว่ามีผลต่อคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวม และปัจจัยเดี่ยวด้านเวลาในการลวกพบว่ามีผลต่อคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวม แสดงดังตารางที่ 4-9 และ 4-10 ตามลำดับ

ตารางที่ 4-8 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของผลหนามแดงหลังการออสโมซิสจากการแปรชนิดของสารที่ใช้ลวกและเวลาในการลวก

ชนิดของสารที่ใช้ลวก	เวลาในการลวก (นาที)	คะแนนความชอบเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				
		ลักษณะปรากฏ ^{ns}	สี ^{ns}	เนื้อสัมผัส ^{ns}	รสชาติ ^{ns}	ความชอบโดยรวม ^{ns}
น้ำ	1	6.28±1.04	6.52±0.94	5.84±0.78	4.88±1.07	5.28±1.04
น้ำ	3	6.48±1.06	6.72±0.92	6.28±1.00	5.20±1.13	5.72±0.87
แคลเซียมแลคเตท	1	6.72±0.78	6.84±1.05	6.24±0.95	5.00±1.02	5.72±1.08
แคลเซียมแลคเตท	3	6.88±1.18	7.00±1.17	6.68±1.09	5.64±1.29	5.92±1.03

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≥ 0.05)

ตารางที่ 4-9 ผลของชนิดของสารที่ใช้ลวกต่อคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมของผลหนามแดงหลังการออสโมซิส

ชนิดสาร	คะแนนความชอบเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	ลักษณะปรากฏ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
น้ำ	6.38 ± 0.10 ^b	6.06 ± 0.22 ^b	5.50 ± 0.22 ^b
แคลเซียมแลคเตท	6.80 ± 0.08 ^a	6.46 ± 0.22 ^a	5.82 ± 0.10 ^a

^{a,b} หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางที่ 4-10 ผลของเวลาในการลวก (นาที) ต่อคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมของผลหนามแดงหลังการออสโมซิส

เวลา (นาที)	คะแนนความชอบเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
1	6.04 ± 0.20 ^b	5.50 ± 0.22 ^b
3	6.48 ± 0.20 ^a	5.82 ± 0.10 ^a

^{a,b} หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

จากตารางที่ 4-9 และ 4-10 พบว่า การลวกด้วยแคลเซียมแลคเตทมีผลให้คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมของผลหนามแดงหลังการออสโมซิสสูงกว่าการลวกโดยใช้น้ำ และการใช้เวลาในการลวก 3 นาที มีผลให้คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมของผลหนามแดงหลังการออสโมซิสสูงกว่าการใช้เวลาในการลวก 1 นาที อาจให้เหตุผลได้ว่าการลวกด้วยแคลเซียมแลคเตท เป็นเวลา 3 นาที มีผลให้ผลหนามแดงหลังการออสโมซิ

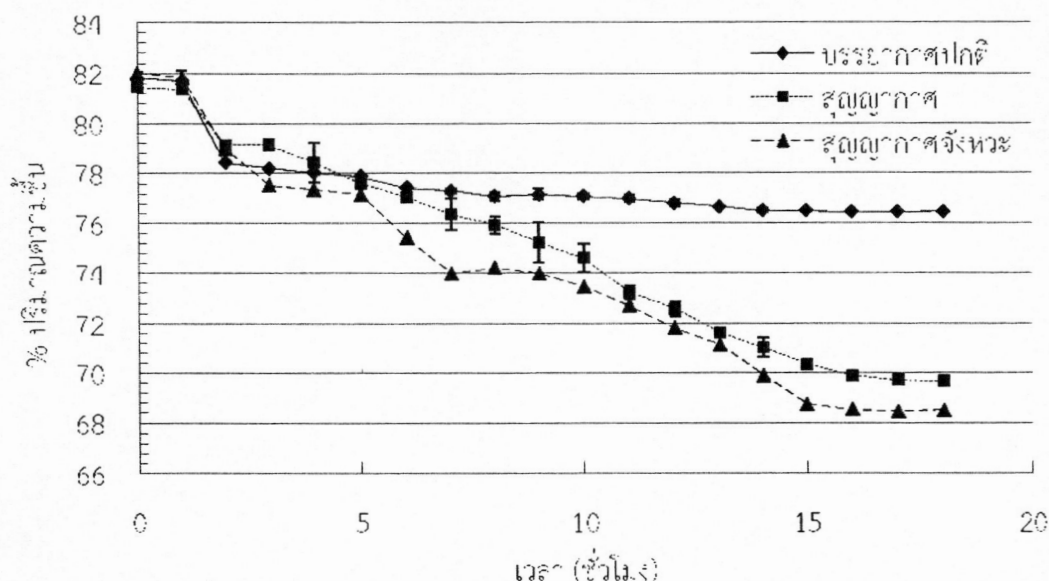
สมิลักษณะปรากฏดี คงรูป เนื้อสัมผัสไม่นิ่มและ ซึ่งสอดคล้องกับค่าความแน่นเนื้อที่วัดได้จากเครื่อง texture analyzer ในตารางที่ 4-7 ที่แสดงให้เห็นว่าสิ่งทดลองที่ผ่านการลวกด้วยแคลเซียมแลคเตทนาน 3 นาที มีค่าความแน่นเนื้อสูงที่สุด จึงทำให้ผู้ทดสอบชอบลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูง โดยผลหนามแดงหลังการออสโมซิสที่ผ่านการลวกในแคลเซียมแลคเตทนาน 3 นาที ได้รับคะแนนความชอบด้านต่างๆ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวม มีแนวโน้มสูงที่สุด โดยหมายถึงมีความชอบอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยจนถึงชอบปานกลาง

จากผลการทดลองทั้งหมดข้างต้น แสดงให้เห็นว่า การเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกก่อนการออสโมซิส ส่งผลให้ผลหนามแดงมีค่าความแน่นเนื้อ และอัตราการถ่ายเทมวลสาร ได้แก่ ปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณน้ำหนักที่ลดลง มีแนวโน้มสูง จากเกณฑ์ในการคัดเลือกที่กำหนดไว้คือ เลือกสิ่งทดลองที่ทำให้ปริมาณน้ำที่สูญเสียสูง และได้คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมสูงที่สุด ดังนั้นจึงเลือก สิ่งทดลองที่ลวกในสารละลายแคลเซียมแลคเตท เป็นเวลา 3 นาที มาเป็นวิธีการเตรียมขั้นต้นก่อนการออสโมซิส

4.2.1.2 ผลของการใช้สภาวะสุญญากาศระหว่างการออสโมซิสต่อค่าการถ่ายเทมวลสาร

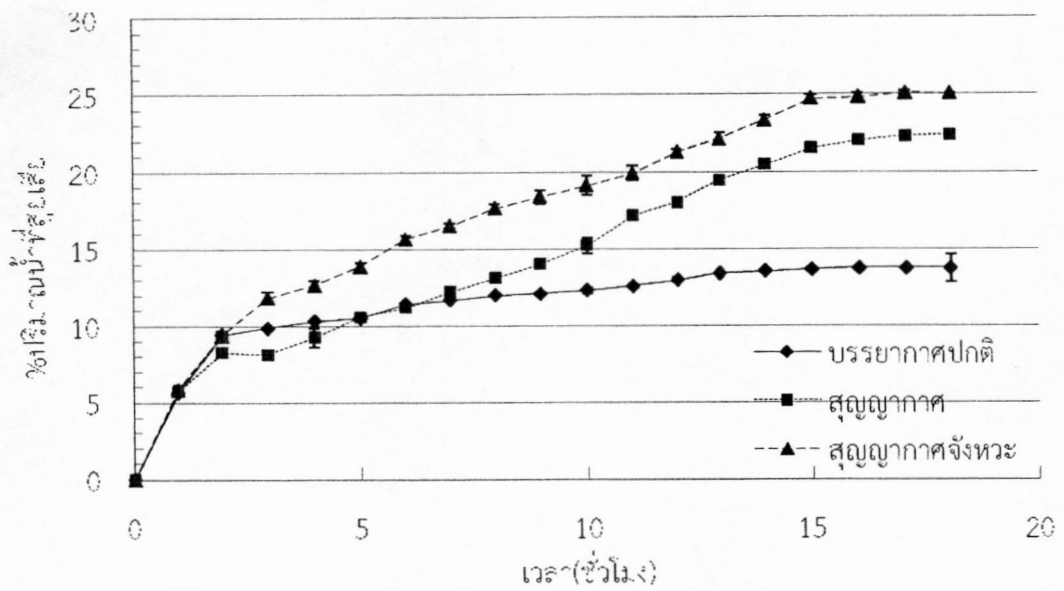
ในขั้นตอนนี้มีความมุ่งหมายที่จะปรับปรุงกรรมวิธีออสโมซิสผลหนามแดงให้มีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น จึงต้องการศึกษาผลของการใช้สภาวะสุญญากาศในการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสเปรียบเทียบกับวิธีการออสโมซิสในสภาวะปกติที่มีต่อค่าการถ่ายเทมวลสาร โดยแปรสภาวะที่ใช้ในการออสโมซิสเป็น 3 วิธี คือออสโมซิสที่สภาวะปกติ สภาวะสุญญากาศ และสภาวะสุญญากาศแบบเป็นจังหวะ

จากการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณน้ำหนักที่ลดลง และปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น กับระยะเวลาในการออสโมซิสแสดงดังภาพที่ 4-2 4-3 4-4 และ 4-5 ตามลำดับ

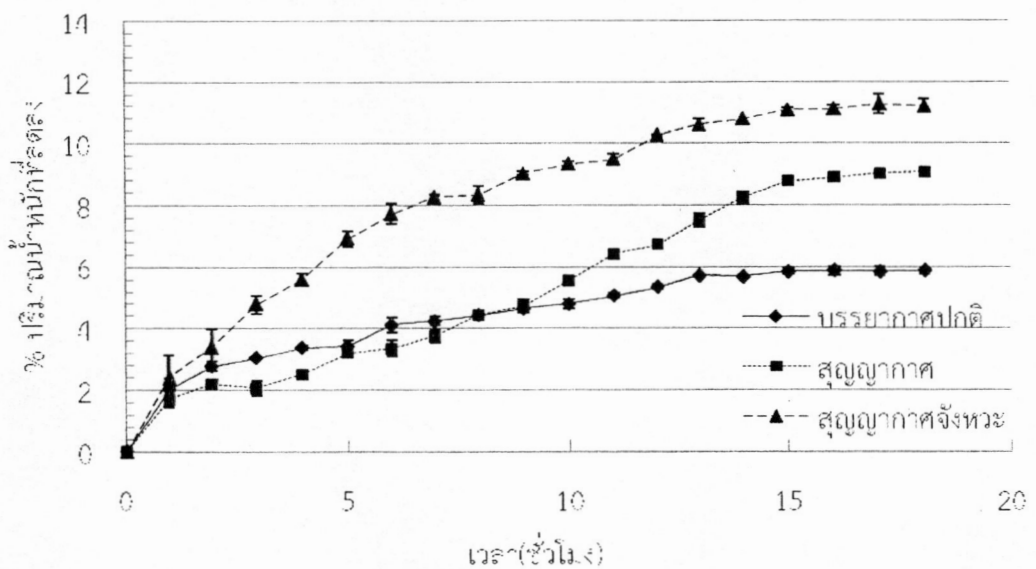


ภาพที่ 4-2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับระยะเวลาในการออสโมซิสผลหามแดงที่สภาวะต่างๆ

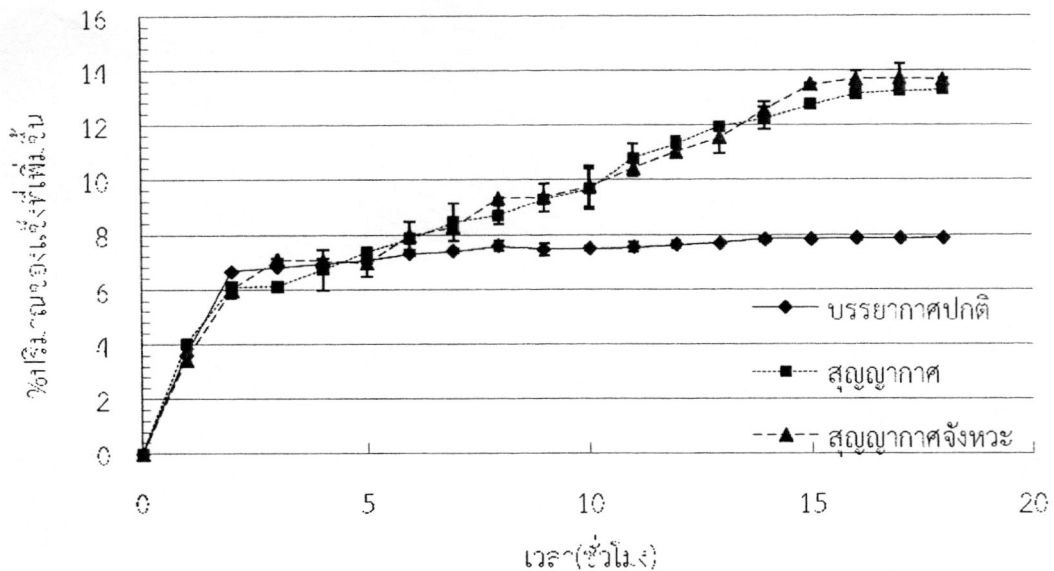
จากภาพที่ 4-2 พบว่า เมื่อระยะเวลาในการออสโมซิสเพิ่มขึ้นสำหรับการออสโมซิสทุกสภาวะมีแนวโน้มทำให้ความชื้นของผลหามแดงลดลง โดยในช่วงแรกของการออสโมซิสจะมีแนวโน้มให้ค่าความชื้นลดลงมาก การออสโมซิสที่สภาวะบรรยากาสปกติมีความชื้นลดลงอย่างมากในช่วง 6 ชั่วโมงแรกจากความชื้น 81.70% ลดลงเหลือ 77.89% แล้วค่อยๆลดลงในช่วงชั่วโมงที่ 6-14 หลังจากชั่วโมงที่ 14 ความชื้นจะเริ่มคงที่ จนความชื้นสุดท้ายเป็น 76.47% การออสโมซิสที่สภาวะสุญญากาศมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องและจะเริ่มคงที่หลังจากชั่วโมงที่ 16 จากความชื้น 81.36% ลดลงเหลือ 69.90% จนมีความชื้นสุดท้ายเป็น 69.66% การออสโมซิสที่สภาวะสุญญากาศแบบเป็นจิงหะมีแนวโน้มลดลงอย่างมากในช่วง 7 ชั่วโมงแรกจากความชื้น 81.82% ลดลงเหลือ 74.01% แล้วค่อยๆลดลงในช่วง 7-15 ชั่วโมง หลังจากชั่วโมงที่ 15 ความชื้นจะเริ่มคงที่จนมีความชื้นสุดท้ายเป็น 68.50%



ภาพที่ 4-3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่สูญเสียกับระยะเวลาในการออสโมซิสผลหนามแดงที่สภาวะต่างๆ



ภาพที่ 4-4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำหนักที่ลดลงกับระยะเวลาในการออสโมซิสผลหนามแดงที่สภาวะต่างๆ



ภาพที่ 4-5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นกับระยะเวลาในการออสโมซิสผลหามแดงที่สภาวะต่างๆ

จากภาพที่ 4-3 4-4 และ 4-5 พบว่า เมื่อระยะเวลาในการออสโมซิสเพิ่มขึ้นสำหรับการออสโมซิสทุกสภาวะมีแนวโน้มทำให้ค่าการถ่ายเทมวลสาร (ปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณน้ำหนักที่ลดลงและ ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น) เพิ่มขึ้นอย่างมาก ในช่วงแรกของการออสโมซิส (ประมาณ 2 ชั่วโมงแรก) และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยและคงที่เมื่อเวลานานมากขึ้น ทั้งนี้ เนื่องมาจากในช่วงแรกของการออสโมซิสเกิดความแตกต่างของแรงดันออสโมติก ระหว่างภายในผลหามแดงและสารละลายออสโมติกมากทำให้เกิดแรงขับ (driving force) ให้มีการถ่ายเทมวลสาร คือเกิดการแพร่ของน้ำออกจากเซลล์ผลหามแดงไปยังสารละลาย และตัวถูกละลายจากสารละลายแพร่เข้าสู่ผลหามแดงในปริมาณมาก และเมื่อเวลาในการออสโมซิสนานขึ้นจะเกิดการการสะสมของน้ำที่แพร่กระจายออกมารอบๆผลหามแดงมากยิ่งขึ้น สารละลายน้ำตาลที่สัมผัสกับผลหามแดงจึงมีความเข้มข้นน้อยลง จึงทำให้อัตราการถ่ายเทของน้ำระหว่างผลหามแดง กับสารละลายน้ำตาลภายนอกลดลงและมีแนวโน้มเริ่มคงที่ (Lazarides et al, 1995; Dermesonlouoglou et al., 2007)

สำหรับปริมาณน้ำที่สูญเสีย และปริมาณน้ำหนักที่ลดลงมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายคลึงกันคือ การออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศแบบเป็นจิ้งหะมีปริมาณน้ำที่สูญเสีย และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง มากที่สุดตลอดเวลาการออสโมซิส รองลงมาคือ การใช้สภาวะสุญญากาศและบรรยากาศปกติ ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องมาจากการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศเป็นการลดความดันจนถึงสภาวะสุญญากาศ จะช่วยทำให้น้ำเซลล์ของผลหามแดงอ่อนนุ่มลง และยอมให้มีการถ่ายเทมวลสารได้มากขึ้นหรือ อาจกล่าวได้ว่าการลดลงของความดันทำให้โครงสร้างภายในของผลไม้ถูกบีบ

อัด น้ำหรือสารต่างๆที่อยู่ระหว่างช่องว่างระหว่างเซลล์ผลไม้จะถูกดันออกมาทำให้ผนังเซลล์ค่อยๆขยายพองออกจนเกิดรูพรุน จึงทำให้มีการแลกเปลี่ยนถ่ายเทมวลสารดีขึ้น มากกว่าการออสโมซิสที่สภาวะปกติ (ทิพย์สุตา อาสาสรรพกิจ และคณะ, 2550; Chafer et al., 2003) จากการพิจารณาลักษณะของผลหนามแดงพบว่า เป็นผลไม้ที่มีไซเคิลือบที่ผิวค่อนข้างหนาจึงทำให้เกิดการถ่ายเทมวลสารค่อนข้างยากในสภาวะปกติและใช้เวลาในนาน ดังนั้นการใช้สภาวะสุญญากาศ มีส่วนช่วยเพิ่มการถ่ายเทมวลสารได้มากกว่า

โดยการใช้สภาวะสุญญากาศ คือ การลดความดันอากาศลง จนทำให้เกิดสภาวะความดันสุญญากาศในภาชนะปิดสนิทเพียงครั้งเดียว แต่การใช้สภาวะสุญญากาศแบบจังหวะคือ การลดความดันอากาศลง จนทำให้เกิดสภาวะความดันสุญญากาศในภาชนะปิดสนิทตามเวลาที่กำหนด หลังจากนั้นก็ปล่อยให้กลับคืนสู่ความดันบรรยากาศปกติ ทำซ้ำเช่นเดิม (Castello et al., 2006) จากผลการทดลองหากเปรียบเทียบผลของการถ่ายเทมวลสาร ทั้งแบบการใช้สภาวะสุญญากาศ และการใช้สภาวะสุญญากาศแบบเป็นจังหวะ แล้วพบว่า การออสโมซิสแบบ การใช้สภาวะสุญญากาศแบบเป็นจังหวะ ทำให้มีแนวโน้มของปริมาณน้ำที่สูญเสีย และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง เพิ่มขึ้นมากกว่าแบบ การใช้สภาวะสุญญากาศ อย่างเห็นได้ชัดที่เวลาเดียวกัน แสดงดังภาพที่ 4-5 และ 4-6 โดยการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศมีค่าการถ่ายเทมวลสารเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในช่วง 15 ชั่วโมงแรก จากปริมาณน้ำที่สูญเสีย และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง 5.73 และ 1.71% ตามลำดับ ค่อยๆเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องแล้วเริ่มคงที่หลังจากชั่วโมงที่ 16 จนมีค่าการถ่ายเทมวลสารสุดท้ายเป็น 22.35 และ 9.07% ตามลำดับ การออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศแบบจังหวะ มีค่าการถ่ายเทมวลสารเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในช่วง 14 ชั่วโมงแรก จาก ปริมาณน้ำที่สูญเสีย และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง 5.84 และ 2.40% ตามลำดับ ค่อยๆเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แล้วเริ่มคงที่หลังจากชั่วโมงที่ 15 จนมีค่าการถ่ายเทมวลสารสุดท้ายเป็น 25.06 และ 11.21% ตามลำดับ การใช้สภาวะสุญญากาศก่อนกลับคืนสู่ความดันบรรยากาศปกติมีส่วนช่วยการถ่ายเทมวลสารอย่างมาก เนื่องจากในขณะที่ทำให้ความดันสุญญากาศก๊าซที่อยู่ในโครงสร้างของผลไม้จะมีปริมาณลดน้อยลง เนื่องจากก๊าซถูกบีบอัดจากความดันสุญญากาศ ทำให้ก๊าซเกิดการแผ่ขยายและเคลื่อนที่ออกนอกเนื้อเยื่อผลไม้ หลังจากนั้นเมื่อความดันกลับสู่ความดันบรรยากาศสารละลายออสโมติกจะแพร่กระจายเข้าภายในโครงสร้างของเนื้อเยื่อผลไม้ เนื่องจากก๊าซที่เหลือจากการถูกบีบอัดจะเป็นตัวนำสารละลายเข้าสู่เซลล์ที่เกิดรูพรุนทางช่องว่างระหว่างเซลล์ ทำให้การเคลื่อนย้ายมวลสารต่อพื้นที่เพิ่มมากขึ้น (Welti-Chanes, Vlez-Ruiz, & Barbosa-Canovas, 2002) ดังนั้นการใช้สภาวะสุญญากาศซ้ำในแบบสภาวะสุญญากาศแบบเป็นจังหวะจึงเป็นการเพิ่มความรุนแรงของกลไกต่างๆที่กล่าวมา ซึ่งสำหรับการใช้กับผลหนามแดงนั้น พบว่าช่วยทำให้ค่าการถ่ายเทมวลสารมีค่าเพิ่มมากขึ้นมากกว่าการใช้สภาวะสุญญากาศครั้งเดียว ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Wang chang and chen (1999) ที่ศึกษาการดึงน้ำออกแบบออสโมซิสใน มะละกอ

โดยแปรสภาวะเป็น 3 สภาวะ คือ การออสโมซิสในสภาวะความดันปกติ การใช้ความดันสุญญากาศ และการใช้สภาวะความดันสุญญากาศแบบเป็นจังหวะจากผลการทดลองพบว่าทั้งสภาวะ VOD และ PVOD สามารถเพิ่มอัตราการสูญเสียน้ำ และค่าปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และงานวิจัยของ Chafer et al., (2003) ที่ศึกษาผลของการลวกและการใช้สภาวะสุญญากาศแบบเป็นจังหวะในการออสโมซิสลูกแพร์ จากผลการทดลองพบว่า การเตรียมชิ้นต้นด้วยการลวกและการใช้สภาวะสุญญากาศแบบเป็นจังหวะในการออสโมซิส ช่วยเพิ่มอัตราการถ่ายเทมวลสารของชิ้นลูกแพร์ได้ และงานวิจัยของ Corra et al., (2010) ที่ศึกษาผลของการใช้สภาวะสุญญากาศแบบเป็นจังหวะที่ระดับความดันต่างกันในการออสโมซิสฝรั่ง จากผลการทดลองพบว่าการใช้สภาวะสุญญากาศแบบเป็นจังหวะในการออสโมซิสที่ระดับความดันต่างๆ ช่วยเพิ่มอัตราการถ่ายเทมวลสารของชิ้นฝรั่งได้ดีกว่าการออสโมซิสในสภาวะบรรยากาศปกติ

ในระหว่างการถ่ายเทมวลสารนอกจากมีการถ่ายเทปริมาณน้ำแล้วยังมีการถ่ายเทปริมาณของแข็งด้วย แต่อย่างไรก็ตามของแข็งที่มีอยู่นั้นมีอยู่ในปริมาณน้อย และส่วนใหญ่มาจากน้ำตาลที่มีอยู่ในสารละลาย จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าในสภาวะสุญญากาศและสภาวะสุญญากาศแบบเป็นจังหวะการเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกันมากนัก แต่ยังมีค่ามากกว่าการใช้สภาวะบรรยากาศปกติ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Shi et al., (1995) ที่ศึกษาผลของการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศต่อค่าการถ่ายเทมวลสารในผลไม้ จากผลการทดลองพบว่า การออสโมซิสสตอเบอร์รี่ในสภาวะสุญญากาศและสภาวะสุญญากาศแบบเป็นจังหวะส่งผลให้มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกัน

ดังนั้นจากผลการทดลองข้างต้นสรุปได้ว่า เลือกวิธีการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศแบบเป็นจังหวะที่ทำให้มีการถ่ายเทมวลสารมากและใช้เวลาในการออสโมซิสน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการออสโมซิสในสภาวะบรรยากาศปกติ และสภาวะสุญญากาศ

โดยแปรสภาวะเป็น 3 สภาวะ คือ การออสโมซิสในสภาวะความดันปกติ การใช้ความดันสุญญากาศ และการใช้สภาวะความดันสุญญากาศแบบเป็นจังหวะจากผลการทดลองพบว่าทั้งสภาวะ VOD และ PVOD สามารถเพิ่มอัตราการสูญเสียน้ำ และค่าปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และงานวิจัยของ Chafer et al., (2003) ที่ศึกษาผลของการลวกและการใช้สภาวะสุญญากาศแบบเป็นจังหวะในการออสโมซิสลูกแพร์ จากผลการทดลองพบว่า การเตรียมชิ้นต้นด้วยการลวกและการใช้สภาวะสุญญากาศแบบเป็นจังหวะในการออสโมซิส ช่วยเพิ่มอัตราการถ่ายเทมวลสารของชิ้นลูกแพร์ได้ และงานวิจัยของ Corra et al., (2010) ที่ศึกษาผลของการใช้สภาวะสุญญากาศแบบเป็นจังหวะที่ระดับความดันต่างกันในการออสโมซิสฝรั่ง จากผลการทดลองพบว่าการใช้สภาวะสุญญากาศแบบเป็นจังหวะในการออสโมซิสที่ระดับความดันต่างๆ ช่วยเพิ่มอัตราการถ่ายเทมวลสารของชิ้นฝรั่งได้ดีกว่าการออสโมซิสในสภาวะบรรยากาศปกติ

ในระหว่างการถ่ายเทมวลสารนอกจากมีการถ่ายเทปริมาณน้ำแล้วยังมีการถ่ายเทปริมาณของแข็งด้วย แต่อย่างไรก็ตามของแข็งที่มีอยู่นั้นมีอยู่ในปริมาณน้อย และส่วนใหญ่มาจากน้ำตาลที่มีอยู่ในสารละลาย จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าในสภาวะสุญญากาศและสภาวะสุญญากาศแบบเป็นจังหวะการเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกันมากนัก แต่ยังมีค่ามากกว่าการใช้สภาวะบรรยากาศปกติ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Shi et al., (1995) ที่ศึกษาผลของการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศต่อค่าการถ่ายเทมวลสารในผลไม้ จากผลการทดลองพบว่า การออสโมซิสต่อเนื่องในสภาวะสุญญากาศและสภาวะสุญญากาศแบบเป็นจังหวะส่งผลให้มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกัน

ดังนั้นจากผลการทดลองข้างต้นสรุปได้ว่า เลือกวิธีการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศแบบเป็นจังหวะที่ทำให้มีการถ่ายเทมวลสารมากและใช้เวลาในการออสโมซิสน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการออสโมซิสในสภาวะบรรยากาศปกติ และสภาวะสุญญากาศ

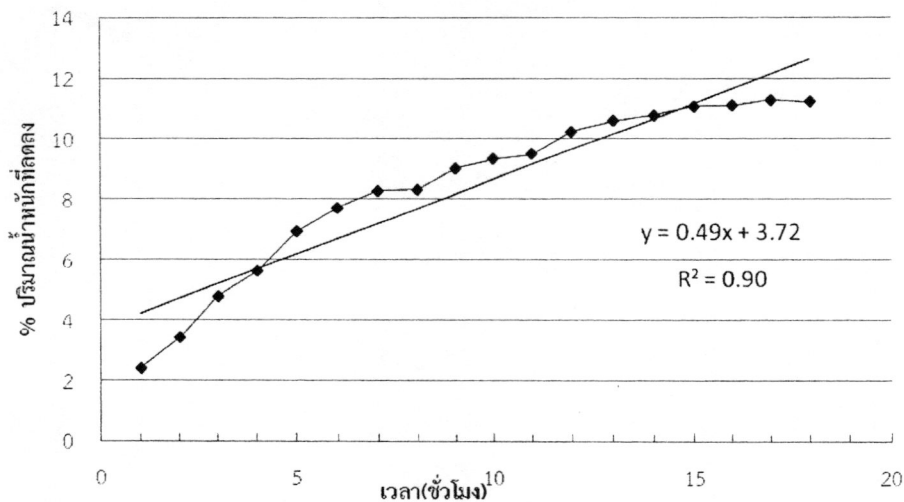
4.2.1.3 ผลของปริมาณน้ำหนัที่ลดลงของผลหนามแดงจากการออสโมซิสต่อคุณภาพของผลหนามแดงกึ่งแห้ง

4.2.1.3.1 ผลของระดับปริมาณน้ำหนัที่ลดลงของผลหนามแดงจากการออสโมซิส

นำผลหนามแดงที่ผ่านการออสโมซิสตามวิธีที่เลือก คือ เตรียมขั้นต้นโดยการลวกในแคลเซียมแลคเตทเป็นเวลา 3 นาที แล้วนำมาออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศแบบเป็นจังหวะ จากผลการทดลองข้อ 4.3 พบว่าการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศสามารถทำให้หนามแดงมีน้ำหนัที่ลดลงมากที่สุดเท่ากับ 11.08 % โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำหนัที่ลดลงกับระยะเวลาในการออสโมซิสของผลหนามแดง แสดงดังภาพที่ 4-6 เมื่อสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำหนัที่ลดลง (WR) กับเวลาในการออสโมซิส (t) โดยใช้วิธี Regression พบว่าสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นมีความน่าเชื่อถือโดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.90 และ p-value น้อยกว่า 0.05 โดยสมการความสัมพันธ์ที่ใช้คือ

$$WR = 0.49t + 3.72$$

แปรปริมาณน้ำหนัที่ลดลงของผลหนามแดงจากการออสโมซิสโดยแบ่งเป็น 3 ระดับ คือ ระดับสูง (WR = 11.08 %) ระดับกลาง (WR = 8.31 %) และระดับต่ำ (WR = 5.54 %) ตามแนวทางการกำหนดปริมาณน้ำหนัที่ลดลง สามารถทำนายเวลาในการออสโมซิสเพื่อให้ได้ผลหนามแดงที่มีปริมาณน้ำหนัที่ลดลงตามต้องการ ได้แก่ ปริมาณน้ำหนัที่ลดลงระดับสูง (WR = 11.08 %) ใช้เวลา 15 ชั่วโมง ปริมาณน้ำหนัที่ลดลงระดับกลาง (WR = 8.31 %) ใช้เวลา 9 ชั่วโมง 20 นาที และปริมาณน้ำหนัที่ลดลงระดับต่ำ (WR = 5.54 %) ใช้เวลา 3 ชั่วโมง 40 นาที แสดงดังตารางที่ 4-11



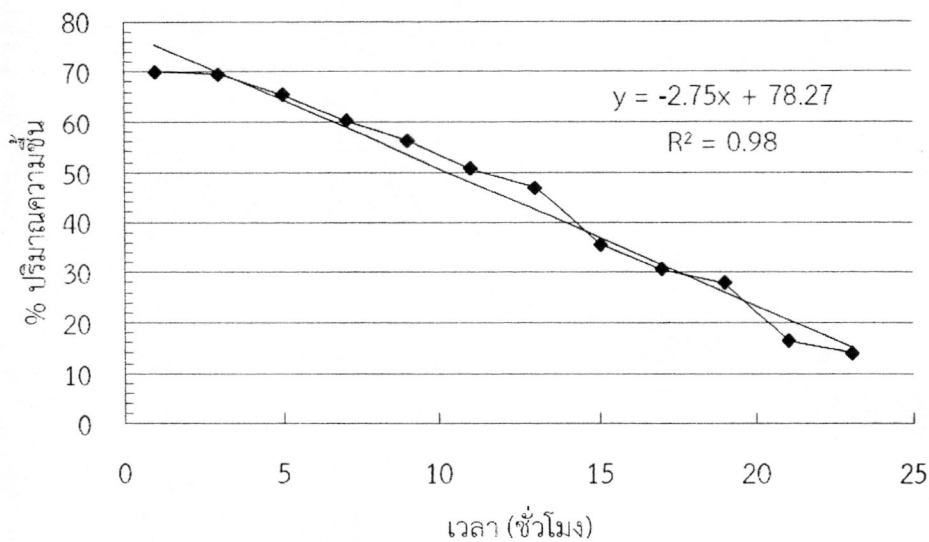
ภาพที่ 4-6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำหนักลดลงกับระยะเวลาในการออสโมซิสของผลหนามแดง

ตารางที่ 4-11 ข้อมูลการออสโมซิสผลหนามแดงให้ได้ปริมาณน้ำหนักลดลงตามกำหนดจากการใช้สมการทำนายและการออสโมซิสจริงจากการทดลอง

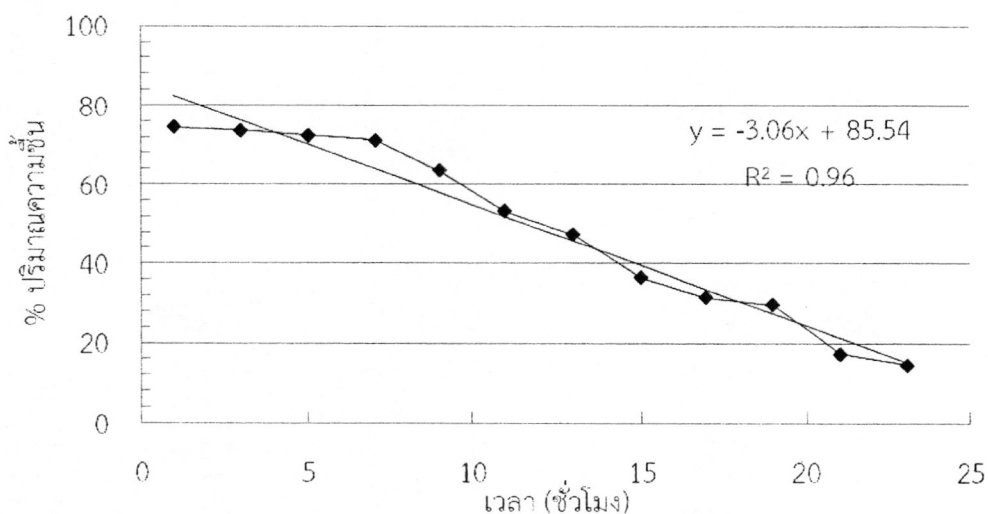
ระดับปริมาณ น้ำหนักลดลง	ปริมาณน้ำหนักลดลงที่กำหนด (%)	เวลาในการออสโมซิส จากสมการ	เวลาในการออสโมซิส ที่ใช้จริง	ปริมาณน้ำหนักลดลงที่ได้จากการทดลอง (%)
ระดับสูง	11.08	15 ชั่วโมง	15 ชั่วโมง	11.04 ± 0.03
ระดับกลาง	8.31	9 ชั่วโมง 21 นาที	9 ชั่วโมง 20 นาที	8.29 ± 0.02
ระดับต่ำ	5.54	3 ชั่วโมง 41 นาที	3 ชั่วโมง 40 นาที	5.53 ± 0.05

4.2.1.3.2 ผลของการสร้างกราฟการทำแห้งและทำนายเวลาในการทำแห้ง

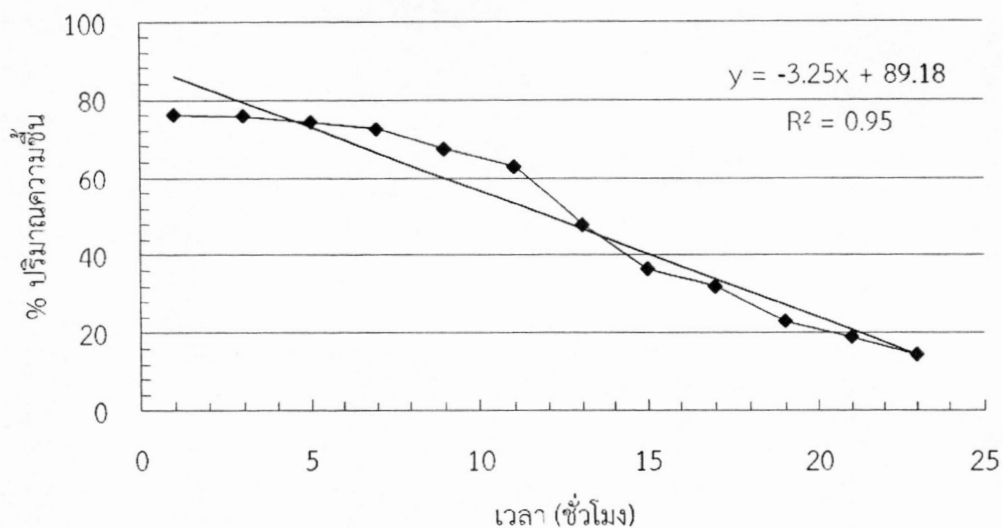
จากการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับระยะเวลาในการทำแห้งผลหนามแดงในตู้อบแบบสุญญากาศ เมื่อใช้ผลหนามแดงจากการออสโมซิสให้มีปริมาณน้ำหนักลดลง ระดับสูง กลาง และต่ำ แสดงดังภาพที่ 4-7 4-8 และ 4-9 ตามลำดับ



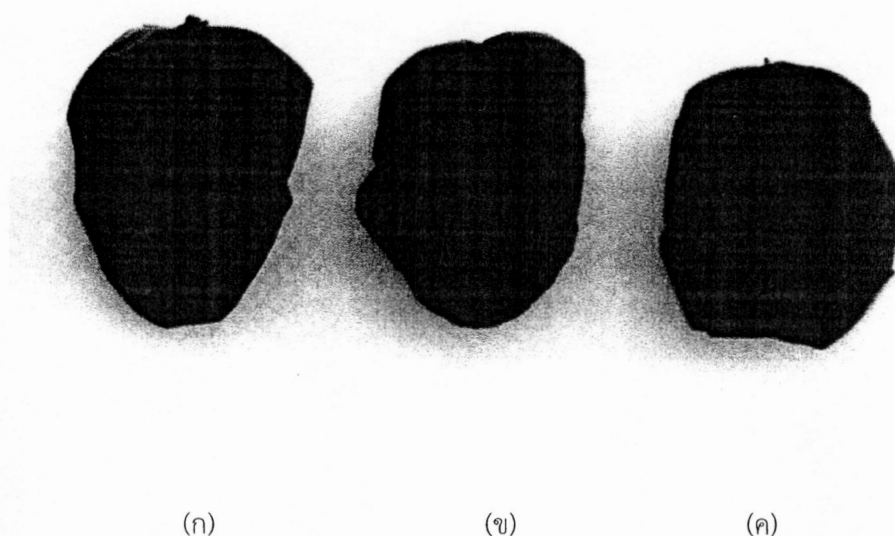
ภาพที่ 4-7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับระยะเวลาในการทำแห้งผลหนามแดงที่ผ่านการออสโมซิส 15 ชั่วโมง (มีปริมาณน้ำหนักรั้งที่ลดลง 11.08 %) โดยใช้ตู้อบแบบสุญญากาศ อุณหภูมิ 70 °C ความดัน 550 mmHg



ภาพที่ 4-8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับระยะเวลาในการทำแห้งผลหนามแดงที่ผ่านการออสโมซิส 9 ชั่วโมง 20 นาที (มีปริมาณน้ำหนักรั้งที่ลดลง 8.31 %) โดยใช้ตู้อบแบบสุญญากาศ อุณหภูมิ 70 °C ความดัน 550 mmHg



ภาพที่ 4-9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับระยะเวลาในการทำแห้งผลหนามแดงที่ผ่านการออสโมซิส 3 ชั่วโมง 40 นาที (มีปริมาณน้ำหนักรั้งลดลง 5.54 %) โดยใช้ตู้อบแบบ สูญญากาศ อุณหภูมิ 70 °C ความดัน 550 mmHg



ภาพที่ 4-10 แสดงลักษณะผลหนามแดงที่แห้ง (ก) ผลหนามแดงที่ผ่านการอบแห้งเป็นเวลา 15 ชั่วโมง 40 นาที (ข) ผลหนามแดงที่ผ่านการอบแห้งเป็นเวลา 16 ชั่วโมง 30 นาที (ค) ผลหนามแดงที่ผ่านการอบแห้งเป็นเวลา 16 ชั่วโมง 40 นาที

ระดับสูง	ระดับกลาง	ระดับต่ำ
(WR = 11.08 %)	(WR = 8.31 %)	(WR = 5.54 %)

ตารางที่ 4-12 รายละเอียดเกี่ยวกับสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น (y) กับระยะเวลา (x) การอบแห้งในตู้อบบแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ระดับความดัน 550 mmHg ปริมาณความชื้นสุดท้ายและค่า a_w ที่ได้จากการทดลอง

ระดับปริมาณน้ำหนัที่ลดลง	สมการ	R^2	เวลาในการอบแห้งจาก สมการ	เวลาในการอบแห้งจริง	ปริมาณความชื้น สุดท้ายที่ได้จากการ ทดลอง (%)	ค่า a_w ที่ได้จาก การทดลอง
ระดับสูง (WR = 11.08 %)	$y = -2.75x + 78.27$	0.96	15 ชั่วโมง 44 นาที	15 ชั่วโมง 40 นาที	35.70 ± 0.48	0.82 ± 0.04
ระดับกลาง (WR = 8.31 %)	$y = -3.06x + 85.54$	0.96	16 ชั่วโมง 31 นาที	16 ชั่วโมง 30 นาที	36.50 ± 0.62	0.73 ± 0.12
ระดับต่ำ (WR = 5.54 %)	$y = -3.25x + 89.18$	0.95	16 ชั่วโมง 40 นาที	16 ชั่วโมง 40 นาที	35.15 ± 0.04	0.82 ± 0.03

จากตารางที่ 4-12 สมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับระยะเวลาในการอบแห้ง ในตู้อบแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ระดับความดัน 550 mmHg พบว่ามีค่า R2 ซึ่งแสดงถึงค่าความน่าเชื่อถือของสมการค่อนข้างสูง โดยทั่วไปสมการที่มักนำมาใช้ ควรมีค่า R2 อย่างน้อย 0.75 หากสูงกว่า 0.90 สมการมีความน่าเชื่อถือมาก (Hu, 1999) ซึ่งจากสมการสามารถทำนายเวลาในการทำแห้งเพื่อให้ได้ความชื้น 35 ± 2 เปอร์เซ็นต์ ตามที่กำหนดไว้ ดังนี้ คือ หนามแดงที่ผ่านการออสโมซิสที่ระดับสูง กลาง และต่ำ ใช้เวลาในการอบแห้งเท่ากับ 15 ชั่วโมง 44 นาที 16 ชั่วโมง 31 นาที และ 16 ชั่วโมง 40 นาที ตามลำดับ แต่เพื่อให้สะดวกในการปฏิบัติการทดลองจริงจึงปรับเวลาในการอบแห้งจริง เท่ากับ 15 ชั่วโมง 40 นาที 16 ชั่วโมง 30 นาที และ 16 ชั่วโมง 40 นาที ตามลำดับ จากการอบแห้งที่เวลาดังกล่าวจะทำให้ผลิตภัณฑ์หนามแดงที่ได้มีปริมาณความชื้นสุดท้ายอยู่ในช่วง 35.15-36.50 เปอร์เซ็นต์ และมีค่า aw อยู่ในช่วง 0.727-0.817 แสดงดังภาพที่ 4-10 โดยจัดอยู่ในเกณฑ์กำหนดของผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้งที่กำหนดไว้ว่าต้องมีค่า aw อยู่ในช่วง 0.65-0.85 มีความชื้นประมาณร้อยละ 15-40 ซึ่งจะช่วยให้เชื้อจุลินทรีย์จำพวกแบคทีเรียไม่สามารถเจริญเติบโตได้ (ปริยา วิบูลย์เศรษฐ์, 2528; Smith & Norvell, 1975)

4.2.1.3.3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์หนามแดงกึ่งแห้ง

นำผลหนามแดงที่ผ่านการออสโมซิสที่ระดับต่างๆ คือ ระดับสูง ระดับกลาง และระดับต่ำ มาอบแห้งด้วยตู้อบแบบสุญญากาศ ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่ระดับความดัน 550 mmHg ตามเวลาที่กำหนดได้ข้างต้น แล้วนำผลิตภัณฑ์หนามแดงกึ่งแห้งนี้มาวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4-13

1) คุณภาพทางเคมีและกายภาพ

สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ผลิตภัณฑ์หนามแดงกึ่งแห้งที่ได้จากผลหนามแดงที่ผ่านการออสโมซิสจนมีระดับปริมาณน้ำหนักรีดลดลงต่างกัน มีสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระทั้ง %Inhibition และ IC_{50} ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยมีค่า Inhibition อยู่ในช่วง 87.46-89.07% และมีค่า IC_{50} อยู่ในช่วง 105.59-107.10 mg/L ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากทุกสิ่งทดลองผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและความดันในการอบที่สภาวะเดียวกัน ใช้เวลาใกล้เคียงกัน ทำให้สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระอาจมีโอกาสดลดลงเท่ากัน

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ผลิตภัณฑ์หนามแดงกึ่งแห้งที่ได้จากผลหนามแดงที่ผ่านการออสโมซิสจนมีระดับปริมาณน้ำหนักรีดลดลงต่างกัน มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 120.80-121.24 mg gallic /100 g ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากทุกสิ่งทดลองที่ผ่านการให้ความร้อนที่และความดันในการอบที่สภาวะเดียวกัน ใช้เวลาใกล้เคียงกัน ทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีโอกาสดลดลงใกล้เคียงกัน การให้ความร้อนเป็นเวลานานมีโอกาสดสูญเสียสารพฤกษเคมีต่างๆ รวมทั้งสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดได้ (นิธิยา รัตนาพนนท์, 2549)

ตารางที่ 4-13 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์หนามแดงกึ่งแห้งที่ผลิตจากผลหนามแดงที่ผ่านการออสโมซิสจนมีปริมาณน้ำหนักรีดลดลง (WR) ระดับต่างๆ

การวิเคราะห์คุณภาพ	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ^{ns}		
	ระดับสูง (WR = 11.08 %)	ระดับกลาง (WR = 8.31 %)	ระดับต่ำ (WR = 5.54 %)
สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ			
inhibition (%)	87.46 ± 1.55	87.75 ± 1.99	89.07 ± 0.79
IC ₅₀ (mg/L)	105.59 ± 1.19	106.61 ± 3.16	107.10 ± 3.75
ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg gallic acid/100g)	119.25 ± 0.76	120.80 ± 0.66	121.24 ± 1.38
ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (mg/100g)	371.10 ± 0.45	371.70 ± 0.20	372.24 ± 0.37
ปริมาณวิตามินซี (mg/100g)	1.73 ± 0.39	1.84 ± 0.00	1.82 ± 0.38
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (%)	13.16 ± 0.03	13.06 ± 0.06	13.04 ± 0.07
ปริมาณกรดทั้งหมด (%)	2.36 ± 0.16	2.44 ± 0.09	2.48 ± 0.13
ค่าสีของเปลือก			
L*	14.85 ± 0.72	14.48 ± 0.90	13.81 ± 0.75
a*	10.36 ± 0.91	10.52 ± 0.42	10.41 ± 0.74
b*	2.48 ± 0.33	2.26 ± 0.08	2.35 ± 0.44

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≥ 0.05)

ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด ผลิตภัณฑ์หนามแดงกึ่งแห้งที่ได้จากผลหนามแดงที่ผ่านการออสโมซิสจนมีระดับปริมาณน้ำหนักรีดลดลงต่างกัน มีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≥0.05) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 371.10-372.24 mg /100 g เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างสด พบว่าปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดลดลง เนื่องจากการให้ความร้อนนั้นมีผลเร่งอัตราเร็วของการสลายตัวของสารแอนโทไซยานินให้เกิดเร็วขึ้น ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยา Condensation ของแอนโทไซยานินกับสารประกอบอื่น เช่น น้ำตาล กรดแอสคอร์บิกหรือในภาวะที่มีออกซิเจน เป็นต้น (นิธิยา รัตนานนท์, 2549)

วิตามินซี เป็นสารที่มีความสามารถในการรีดิวซ์สูง และมีฤทธิ์ในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ แต่ไม่มีความคงตัวต่อความร้อน (นิธิยา รัตนานนท์, 2549) พบว่า ผลิตภัณฑ์หนามแดงกึ่งแห้งที่ได้จากผลหนามแดงที่ผ่านการออสโมซิสจนมีระดับปริมาณน้ำหนักรีดลดลงต่างกัน มีปริมาณวิตามินซีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≥0.05) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 1.73-1.84 mg /100 g ซึ่งมีค่าลดลงจากผลหนามแดงสดอย่างมาก ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากทุกสิ่งทดลองที่ผ่านการให้ความร้อนสูงเป็นเวลานาน

น้ำตาลเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ทำให้เกิดรสหวานในผักและผลไม้ โดยส่วนมากผักและผลไม้ประกอบด้วยน้ำตาลหลายชนิด เช่น กลูโคส ฟรุคโตส ซูโครส กาแลกโตส มอลโตส เป็นต้น ดังนั้นในการตรวจวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลในผักผลไม้ มักนิยมวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของผลหนามแดงอบแห้งที่ผ่านการออสโมซิสที่ระดับต่างๆ ผลิตภัณฑ์หนามแดงกึ่งแห้งที่ได้จากผลหนามแดงที่ผ่านการออสโมซิสจะมีปริมาณน้ำหนักรที่ลดลงระดับต่างๆ มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) เช่นกัน โดยมีค่าอยู่ในช่วง 13.06-13.16 % ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นจากในผลหนามแดงสด (8.19 %) อย่างมาก แสดงให้เห็นว่าในกระบวนการออสโมซิส ทำให้มีปริมาณน้ำตาลแพร่เข้ามาในผลิตภัณฑ์ได้

กรด คือ สารที่ละลายน้ำแล้วแตกตัวให้ไฮโดรเจนไอออน ในผักผลไม้ส่วนใหญ่มักพบกรดซิตริกซึ่งเป็นกรดอินทรีย์ประเภท Carboxylic เป็นองค์ประกอบ มีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดี (นิธิยา รัตนานนท์, 2549) พบว่า ผลิตภัณฑ์หนามแดงกึ่งแห้งที่ได้จากผลหนามแดงที่ผ่านการออสโมซิสที่จันมีปริมาณน้ำหนักรที่ลดลงระดับต่างๆ มีปริมาณกรดทั้งหมดไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 2.36-2.48 % ซึ่งลดลงจากผลสด (3.92 %) เล็กน้อย สังเกตได้ว่าผลิตภัณฑ์ยังมีรสเปรี้ยวตกค้างอยู่พอสมควร

ค่าสี ผลิตภัณฑ์หนามแดงกึ่งแห้งที่ได้จากผลหนามแดงที่ผ่านการออสโมซิสที่เวลาต่างกัน มีค่าสี L^* a^* และ b^* ไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยมีค่า L^* อยู่ในช่วง 13.81-14.85 ค่า a^* อยู่ในช่วง 10.36-10.52 และค่า b^* อยู่ในช่วง 2.26-2.48 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากทุกสิ่งทดลองที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและความดันในการอบที่สภาวะเดียวกัน ใช้เวลาใกล้เคียงกัน ทำให้ค่าสี L^* a^* และ b^* มีโอกาสลดลงใกล้เคียงกัน

2) คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส

จากตารางที่ 4-14 พบว่า คะแนนความชอบทุกด้าน ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี รสชาติ และความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์หนามแดงกึ่งแห้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ยกเว้นคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์หนามแดงกึ่งแห้ง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยเมื่อพิจารณาคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ และความชอบโดยรวม พบว่า ผลิตภัณฑ์หนามแดงกึ่งแห้งจากการใช้ผลหนามแดงที่ผ่านการออสโมซิสจันมีปริมาณน้ำหนักรที่ลดลงในระดับกลาง มีแนวโน้มได้รับคะแนนความชอบด้านดังกล่าวมากกว่าผลิตภัณฑ์หนามแดงกึ่งแห้งจากการใช้ผลหนามแดงที่ผ่านการออสโมซิสจันมีปริมาณน้ำหนักรที่ลดลงในระดับต่ำ และระดับสูง ตามลำดับ โดยได้รับความชอบอยู่ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก

ตารางที่ 4-14 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสด้านความชอบของผลิตภัณฑ์หนามแดงกึ่งแห้งที่ผลิตจากผลหนามแดงที่ผ่านการออสโมซิสจนมีปริมาณน้ำหนักลดลง (WR) ระดับต่างๆ

ระดับปริมาณน้ำหนักลดลง	คะแนนความชอบเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				
	ลักษณะปรากฏ	สี	เนื้อสัมผัส ^{ns}	รสชาติ	ความชอบโดยรวม
ระดับสูง (WR = 11.08 %)	6.55 ^a $\pm$ 1.00	6.38 ^a $\pm$ 1.16	6.45 $\pm$ 1.10	5.93 ^b $\pm$ 1.31	6.10 ^b $\pm$ 0.99
ระดับกลาง (WR = 8.31 %)	7.10 ^b $\pm$ 1.06	7.14 ^b $\pm$ 0.94	6.38 $\pm$ 1.40	6.76 ^a $\pm$ 1.22	6.86 ^a $\pm$ 1.22
ระดับต่ำ (WR = 5.54 %)	6.83 ^{ab} $\pm$ 0.99	6.62 ^{ab} $\pm$ 1.00	6.69 $\pm$ 1.05	6.24 ^{ab} $\pm$ 1.19	6.38 ^{ab} $\pm$ 1.00

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

จากผลการทดลองทั้งหมดข้างต้น แสดงให้เห็นว่า ผลิตภัณฑ์หนามแดงกึ่งแห้งที่ผลิตจากผลหนามแดงที่ผ่านการออสโมซิสจนมีปริมาณน้ำหนักลดลงในระดับสูง (WR = 11.08 %) ระดับกลาง (WR = 8.31 %) และระดับต่ำ (WR = 5.54 %) มีคุณภาพทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์

หนามแดงกึ่งแห้งให้ผลที่ไม่แตกต่างกัน ส่วนคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส พบว่าผลิตภัณฑ์หนามแดงกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสจนมีปริมาณน้ำหนักลดลงในระดับกลาง ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด จากเกณฑ์ในการคัดเลือกที่กำหนดไว้ คือ เลือกสิ่งทดลองที่ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด มีการคงอยู่ขององค์ประกอบทางเคมีสูงและใช้เวลาในการผลิตน้อย ดังนั้นจึงเลือกสิ่งทดลองผลิตภัณฑ์หนามแดงกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสจนมีปริมาณน้ำหนักลดลงในระดับกลาง (WR = 8.31 %) รวมใช้เวลาในการผลิตทั้งหมด 26 ชั่วโมง ในขณะที่สิ่งทดลองผลิตภัณฑ์หนามแดงกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสจนมีปริมาณน้ำหนักลดลงในระดับสูงและต่ำ รวมใช้เวลาในการผลิตทั้งหมด 30 ชั่วโมง 40 นาที และ 20 ชั่วโมง 20 นาที ตามลำดับ

4.2.2 ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำส้มสายชูหมัก

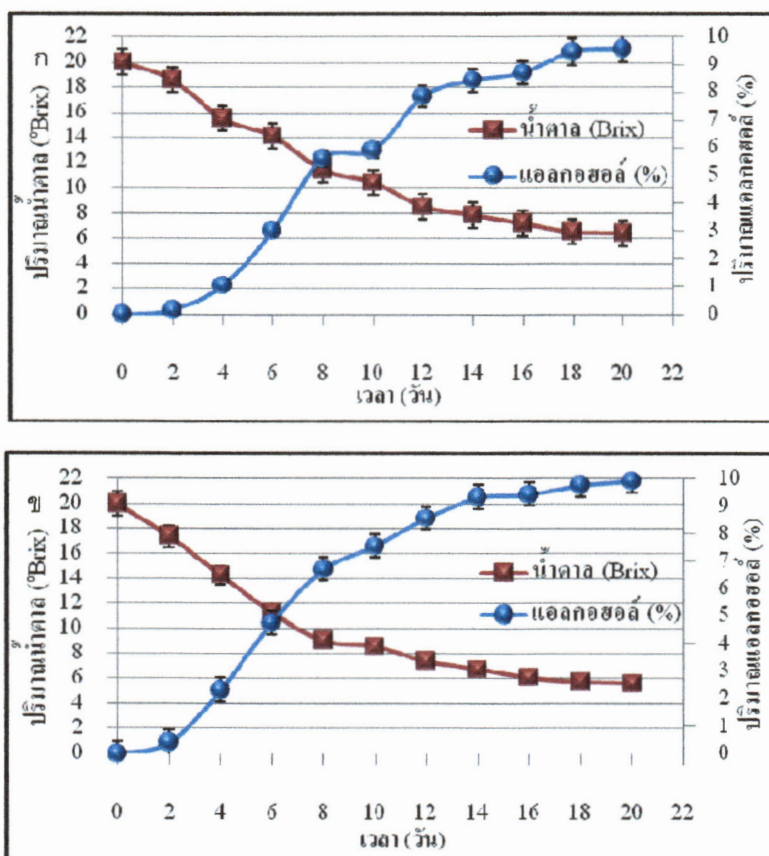
4.2.2.1 ผลของปริมาณหัวเชื้อ *S. cerevisiae* TISTR 5918 เริ่มต้นแตกต่างกันในกระบวนการหมักไวน์จากหนามแดง

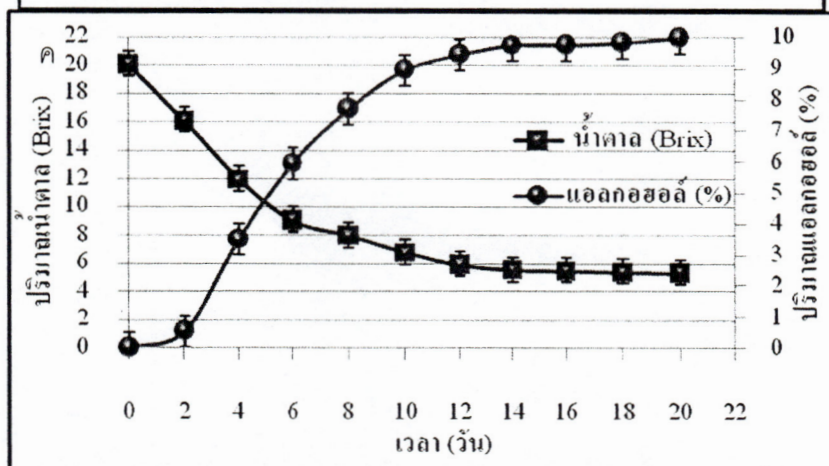
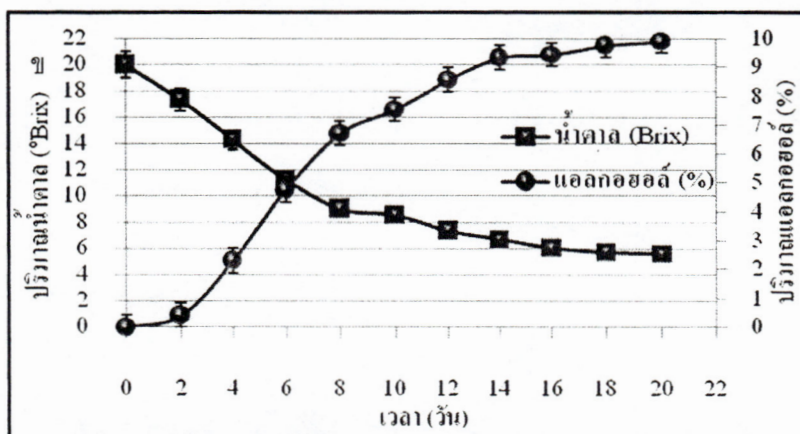
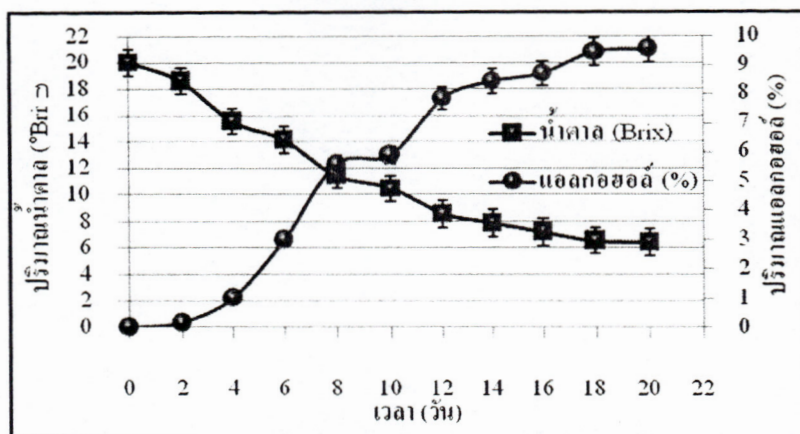
เมื่อนำผลของหนามแดง มาคั้นน้ำโดยใช้อัตราส่วน 1:3 จะได้น้ำคั้นสีแดง (ภาพที่ 4-11) และรสชาติเปรี้ยว จากนั้นนำน้ำที่ได้มาใช้เป็นวัตถุดิบเริ่มต้นในการผลิตไวน์ โดยปรับความหวานเริ่มต้นประมาณ 20 ° Brix ค่า pH อยู่ในช่วง 3.0-3.5 และเติมหัวเชื้อ *S. cerevisiae* ให้ได้ปริมาณหัวเชื้อเริ่มต้นแตกต่างกันคือ 5% 10% และ 15% แล้วทำการหมักเป็นเวลา 20 วัน โดยทำการตรวจ

วิเคราะห์ปริมาณแอลกอฮอล์ ปริมาณน้ำตาล และทำการตรวจนับจำนวน *S. cerevisiae* ทุก 2 วัน
ให้ผลดังภาพที่ 4-12



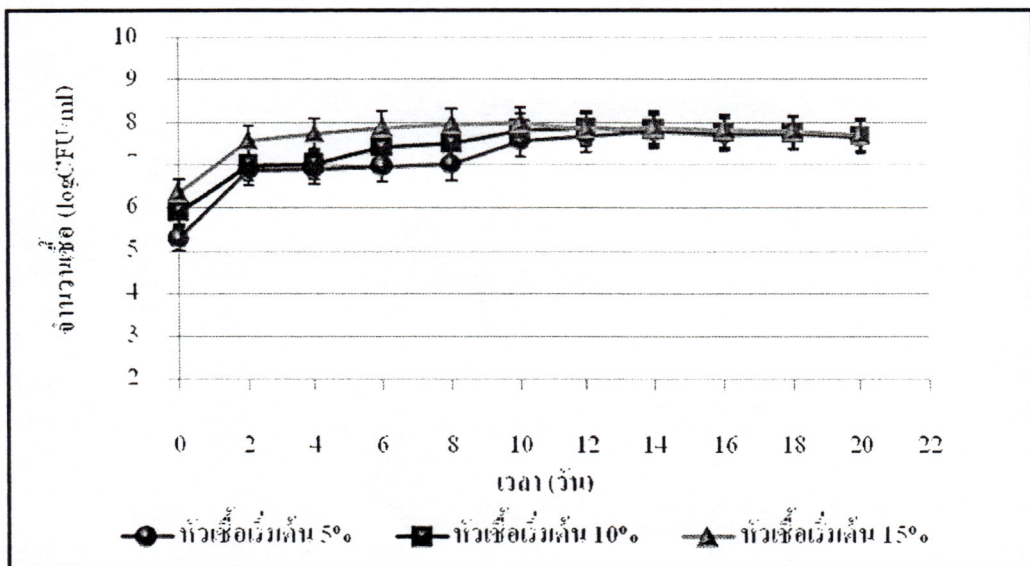
ภาพที่ 4-11 ลักษณะน้ำคั้นของหนามแดง





ภาพที่ 4-12 ปริมาณแอลกอฮอล์และปริมาณน้ำตาลในระหว่างการหมักไวน์ด้วยหัวเชื้อ *S. cerevisiae* เริ่มต้น 5% (ก) 10% (ข) และ 15% (ค)

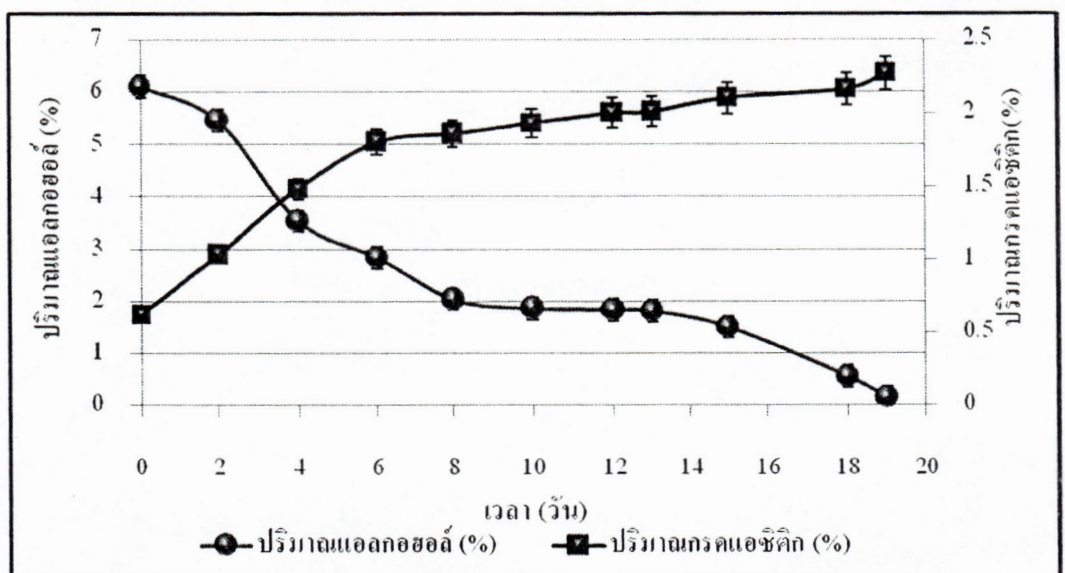
นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อใช้ปริมาณหัวเชื้อ *S. cerevisiae* เริ่มต้นแตกต่างกันคือ 5% 10% และ 15% ในการหมักไวน์ ซึ่งมีจำนวนเชื้อเริ่มต้นเท่ากับ 5.28 log CFU/ml 5.90 log CFU/ml และ 6.34 log CFU/ml ตามลำดับ ในวันที่ 2 ของกระบวนการหมัก เชื้อเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยมีจำนวนเท่ากับ 6.86 log CFU/ml 6.99 log CFU/ml และ 7.55 log CFU/ml ตามลำดับ จากนั้นเชื้อจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น โดยหัวเชื้อเริ่มต้น 5% และ 10% เชื้อมีจำนวนสูงสุดในวันที่ 14 ของการหมัก ซึ่งเท่ากับ 7.78 log CFU/ml และ 7.82 log CFU/ml ตามลำดับ หลังจากนั้นเชื้อจะลดจำนวนลงเล็กน้อยและในวันที่ 20 มีจำนวนเชื้อเท่ากับ 7.65 log CFU/ml และ 7.66 log CFU/ml ตามลำดับ ส่วนเมื่อใช้หัวเชื้อปริมาณเริ่มต้น 15% มีจำนวนสูงสุดในวันที่ 10 ของกระบวนการหมัก ซึ่งจำนวนเท่ากับ 7.97 log CFU/ml จากนั้นเชื้อจะลดจำนวนลงเรื่อยๆ และในวันที่ 20 มีจำนวนเชื้อเท่ากับ 7.71 log CFU/ml (ภาพที่ 4-13)



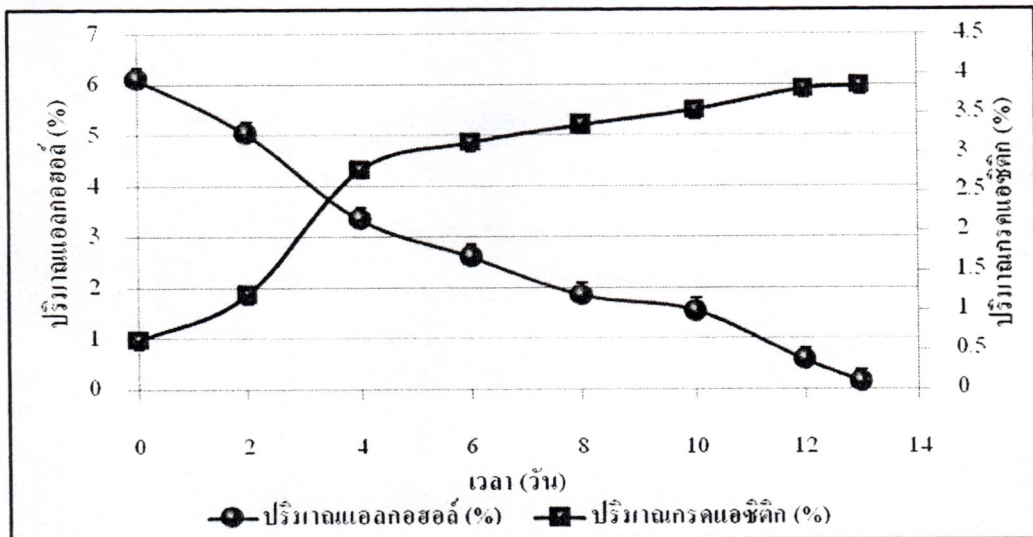
ภาพที่ 4-13 การเจริญของ *S. cerevisiae* ในระหว่างการหมักไวน์เป็นเวลา 20 วัน

4.2.2.2 ศึกษาปริมาณหัวเชื้อ A. aceti TISTR 103 เริ่มต้นแตกต่างกันในกระบวนการหมักเครื่องดื่มน้ำส้มสายชูจากหนามแดง

เมื่อนำไวน์หนามแดงซึ่งมีปริมาณแอลกอฮอล์ประมาณ 6% มาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเครื่องดื่มน้ำส้มสายชูหมัก ด้วยปริมาณหัวเชื้อ A. aceti เริ่มต้น 10% และ 15% แล้วทำการหมักเป็นเวลา 13-19 วัน โดยทำการตรวจวิเคราะห์ปริมาณแอลกอฮอล์ ปริมาณกรดแอสติค และตรวจนับจำนวนเซลล์ A. aceti ทุกๆ 2 วัน ให้ผลดังภาพที่ 4-14 และภาพที่ 4-15 ซึ่งพบว่าเมื่อใช้หัวเชื้อ A. aceti เริ่มต้น 10% ในกระบวนการหมักเครื่องดื่มน้ำส้มสายชู ปริมาณกรดแอสติคจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในวันที่ 2-6 โดยปริมาณกรดแอสติคในวันที่ 6 เท่ากับ 1.80% จากนั้นปริมาณกรดแอสติคจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนวันที่ 19 มีกรดแอสติคเท่ากับ 2.27% ส่วนปริมาณแอลกอฮอล์จะลดลงอย่างรวดเร็วในวันที่ 2-8 โดยวันที่ 8 มีปริมาณแอลกอฮอล์เท่ากับ 2.03% จากนั้นจะค่อยๆ ลดลงจนวันที่ 19 ของกระบวนการหมัก ซึ่งมีปริมาณแอลกอฮอล์คงเหลือเท่ากับ 0.15 % (ภาพที่ 4-14) ส่วนเมื่อใช้หัวเชื้อ A. aceti เริ่มต้น 15% พบว่าปริมาณกรดแอสติคจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในวันที่ 2-4 โดยวันที่ 4 มีปริมาณกรดแอสติคเท่ากับ 2.77% จากนั้นปริมาณกรดแอสติคเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนวันที่ 13 ซึ่งมีปริมาณกรดแอสติคเท่ากับ 4.01% ส่วนปริมาณแอลกอฮอล์ในกระบวนการหมักจะลดลงเรื่อยๆ จนถึงวันที่ 13 ของกระบวนการหมักซึ่งมีปริมาณแอลกอฮอล์คงเหลือเท่ากับ 0.13 % (ภาพที่ 4-15) ซึ่งปริมาณกรดแอสติคที่เกิดขึ้นจากการหมักเมื่อใช้ปริมาณหัวเชื้อเริ่มต้น 15% สูงกว่าหัวเชื้อเริ่มต้น 10% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

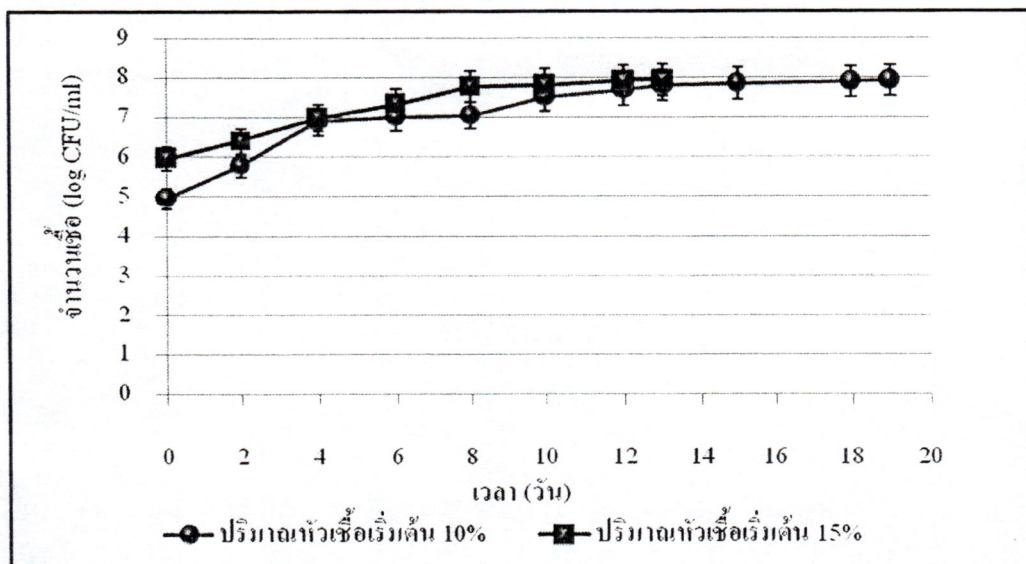


ภาพที่ 4-14 ปริมาณแอลกอฮอล์และปริมาณกรดแอสติคในระหว่างการหมักเครื่องดื่มน้ำส้มสายชู โดยใช้ปริมาณหัวเชื้อ A. aceti เริ่มต้น 10% เป็นเวลา 19 วัน



ภาพที่ 4-15 ปริมาณแอลกอฮอล์และปริมาณกรดแอซิติกในระหว่างการหมักเครื่องดื่มน้ำส้มสายชู โดยใช้ปริมาณหัวเชื้อ *A. aceti* เริ่มต้น 15% เป็นเวลา 13 วัน

นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อใช้หัวเชื้อ *A. aceti* เริ่มต้น 10% มีจำนวนเชื้อเริ่มต้นเท่ากับ 4.94 log CFU/ml เชื้อจะเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็วในวันที่ 2-4 โดยวันที่ 4 มีจำนวนเชื้อเท่ากับ 6.89 log CFU/ml จากนั้นจะค่อยๆ เพิ่มจำนวนขึ้น จนวันที่ 19 ซึ่งเป็นวันสุดท้ายของกระบวนการหมักมีจำนวนเชื้อเท่ากับ 7.92 log CFU/ml ส่วนเมื่อใช้หัวเชื้อ *A. aceti* เริ่มต้น 15% พบว่ามีจำนวนเชื้อเริ่มต้นเท่ากับ 5.97 log CFU/ml และเชื้อจะเพิ่มจำนวนขึ้นจนในวันที่ 8 ซึ่งมีจำนวนเท่ากับ 7.76 log CFU/ml จากนั้นจะค่อยๆ เพิ่มจำนวนขึ้นจนในวันที่ 13 ซึ่งเป็นวันสุดท้ายของกระบวนการหมักมีจำนวนเท่ากับ 7.94 log CFU/ml (ภาพที่ 4-16)

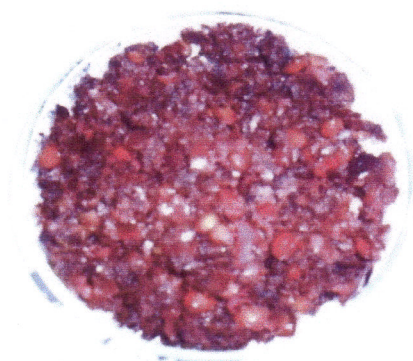


ภาพที่ 4-16 การเจริญของ *A. aceti* ในระหว่างการหมักเครื่องดื่มน้ำส้มสายชูเป็นเวลา 13-19 วัน

จากตารางที่ 4-15 พบว่าคะแนนความชอบเฉลี่ยจากการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ และความชอบโดยรวมของเครื่องดื่มน้ำส้มสายชูหมักที่ใช้ ปริมาณหัวเชื้อแบคทีเรียต่างกันมีคะแนนความชอบเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

4.2.3 ผลการศึกษาคุณภาพของกากผลหนามแดง

กากผลหนามแดงที่ใช้ในโครงการวิจัยนี้เป็นกากส่วนเหลือทิ้งจากการคั้นน้ำผลหนามแดง โดย กากประกอบด้วยส่วนเนื้อ เปลือก และเมล็ดของผลหนามแดง เนื้อและเปลือกมีลักษณะเป็นเป็นชิ้น กากขนาดเล็กสีแดงเข้มอมม่วง เมล็ดมีลักษณะแข็งและมีสีขาว โดยกากหนามแดงมีรสหวาน รสเปรี้ยวและมีความฝาดเล็กน้อย ลักษณะแสดงดังภาพที่ 4-17



ภาพที่ 4-17 กากผลหนามแดงที่ใช้ในโครงการวิจัย

จากการตรวจสอบเอกสาร พบว่า มีรายงานการศึกษาคุณภาพของผลหนามแดงอยู่บ้างแต่ไม่มากนัก (กิตติมา กออารีพิทักษ์, 2552; มาริสา แจ่มโนนคุณ, 2552; รุ่งทิพา วงศ์ไพฤทธิ์ และคณะ, 2551; วิไลพร ปองเพียร, 2550; Guo, 2010; Kubola *et al.*, 2011; Morton, 1987) จากการนำกากผลหนามแดงแช่แข็งมาทำละลายที่อุณหภูมิห้องแล้ววิเคราะห์คุณภาพในด้านต่างๆได้แก่ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณวิตามินซี ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณกรดทั้งหมด ปริมาณความชื้น และค่าสี ผลการวิเคราะห์คุณภาพแสดงดังตารางที่ 4-16

1) สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ

สารต้านอนุมูลอิสระ คือ โมเลกุลของสารที่สามารถจับกับอนุมูลอิสระ และสามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของโมเลกุลสารอื่นๆได้ ดังนั้นสารต้านอนุมูลอิสระจึงถือเป็นตัววัดชี้ เพื่อหยุดปฏิกิริยาถูกออกซิเดชันของเซลล์ของร่างกาย โดยสารต้านอนุมูลอิสระสามารถพบได้ในรูปของสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน วิตามินซี เป็นต้น ซึ่งสารเหล่านี้พบมากน้อยแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของพืช (นันท์นภัส เต็มวงษ์, 2551; โอภา วัชรคุปต์, 2550) ในการทดสอบสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ มีวิธีที่นิยมใช้ในการทดสอบหลายวิธี เช่น วิธี oxygen radical absorbance

หนามแดงแช่แข็งมาทำละลายที่อุณหภูมิห้องแล้ววิเคราะห์คุณภาพในด้านต่างๆได้แก่ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณวิตามินซี ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณกรดทั้งหมด ปริมาณความชื้น และค่าสี ผลการวิเคราะห์คุณภาพแสดงดังตารางที่ 4-16

ตารางที่ 4-16 คุณภาพกากผลหนามแดงที่ใช้ในโครงการวิจัย

ค่าคุณภาพ	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ	
Inhibition (%)	88.11 ± 1.40
IC ₅₀ (mg/L)	118.70 ± 0.06
ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg gallic acid/100 g)	231.05 ± 1.92
ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (mg /100 g)	271.35 ± 1.87
ปริมาณวิตามินซี (mg /100 g)	1.94 ± 0.02
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (%)	3.24 ± 0.02
ปริมาณกรดทั้งหมด (%)	3.76 ± 0.02
ปริมาณความชื้น (%)	80.98 ± 1.46
ค่าสี	
L*	21.34 ± 0.04
a*	19.87 ± 0.04
b*	8.47 ± 0.06

1) สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ

สารต้านอนุมูลอิสระ คือ โมเลกุลของสารที่สามารถจับกับอนุมูลอิสระ และสามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของโมเลกุลสารอื่นๆได้ ดังนั้นสารต้านอนุมูลอิสระจึงถือเป็นตัววิเศษ เพื่อหยุดปฏิกิริยาถูกโซ่ที่ทำลายเซลล์ของร่างกาย โดยสารต้านอนุมูลอิสระสามารถพบได้ในรูปของสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน วิตามินซี เป็นต้น ซึ่งสารเหล่านี้พบมากน้อยแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของพืช (นันทน์ภัส เต็มวงษ์, 2551; โอภา วัชรคุปต์, 2550) ในการทดสอบสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ มีวิธีที่นิยมใช้ในการทดสอบหลายวิธี เช่น วิธี oxygen radical absorbance capacity (ORAC), วิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging assay และวิธี 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid) (ABTS) เป็นต้น (Molyneux, 2004) โดยโครงการวิจัยนี้ใช้วิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging assay ซึ่งมีหลักการ คือ เมื่อ DPPH ทำปฏิกิริยากับตัวอย่างที่มีสมบัติต้านอนุมูลอิสระ สารละลาย

DPPH จะเปลี่ยนจากสีม่วงเป็นสารละลายสีเหลือง และสามารถดูดกลืนแสงได้ดีที่ความยาวคลื่น 517 nm (Molyneux, 2004) เมื่อนำสารสกัดหยาบที่ได้จากกากผลหนามแดงมาทดสอบสมบัติการเป็น สารต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH radical scavenging assay และรายงานค่าเป็นค่า % Inhibition และค่า IC₅₀ จากผลการวิเคราะห์ พบว่า กากผลหนามแดงมีค่า Inhibition เท่ากับ 88.11% ทั้งนี้ สอดคล้องกับงานวิจัยของวิไลพร ปองเพียร (2550) ที่ได้ศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระใน สารสกัดที่ได้จากพืชพื้นบ้านที่มีสีม่วงแดง โดยพบว่า ผลหนามแดงจัดอยู่ในกลุ่มที่มี % Inhibition สูง ที่มีค่าตั้งแต่ 80% ขึ้นไป โดยมี % Inhibition 93.01% สูงกว่าพืชพื้นบ้านบางชนิด เช่น ตะขบป่า เซอร์รี่ไทย เป็นต้น ซึ่งมีค่า % Inhibition เท่ากับ 85.67 67.64% ตามลำดับ และพบว่ากากผล หนามแดงสุกมีค่า % Inhibition สูงกว่ากากผลหนามแดงดิบ ที่มีค่า Inhibition เท่ากับ 73.86% (Kubola et al., 2011)

สำหรับค่า IC₅₀ (Inhibition Concentration at 50%) ซึ่งหมายถึง ค่าความเข้มข้นของ ปริมาณสารที่สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้ครึ่งหนึ่ง โดยค่าน้อยแสดงว่าสารสกัดนั้นมีประสิทธิภาพใน การต้านอนุมูลอิสระมาก (National Center for Genetic Engineering and Biotechnology, 2010) สำหรับสารสกัดหยาบที่ได้จากกากผลหนามแดงพบว่ามีค่า IC₅₀ เท่ากับ 118.70 mg/L ทั้งนี้ สามารถคำนวณให้อยู่ในหน่วย mg/g crude extracted ได้เท่ากับ 0.1187 mg/g crude extracted (แสดงการคำนวณในภาคผนวก) เมื่อเปรียบเทียบค่า IC₅₀ กับพืชชนิดอื่นๆ ที่มีการรายงานผลไว้ พบว่า กากผลหนามแดงมีค่า IC₅₀ ต่ำกว่ากว่าแบล็กราสเบอร์รี่ (black raspberry) ที่มีค่า IC₅₀ เท่ากับ 241 mg/L (Hyun Jeong et al., 2010) และต่ำกว่าแบล็กไทเกอร์ (back tiger) ซึ่งเป็นไม้ผล พื้นเมืองของประเทศจีน มีสีแดง และเป็นพืชตระกูลเบอร์รี่ที่มีค่า IC₅₀ เท่ากับ 759 mg/L (Jian Sun et al., 2009) อย่างไรก็ตาม พบว่า กากผลหนามแดงมีค่า IC₅₀ สูงกว่ามะหาด ที่พบว่า มีค่า IC₅₀ เท่ากับ 19.32 mg/L (บัวใส ศรีชัย, 2552) และในส่วนของเปลือกลูกหว้าสุกที่มีค่า IC₅₀ เท่ากับ 6.91± 0.59 mg/L (นิตยา เขียวอ่อน, 2550)

จากค่า % Inhibition และค่า IC₅₀ แสดงให้เห็นว่ากากผลหนามแดงเป็นแหล่งวัตถุดิบที่มี ศักยภาพ มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ทั้งนี้มีข้อมูลสนับสนุนจากงานวิจัยของกิตติมา กออาร์ พิทักษ์ (2552) ที่แสดงให้เห็นว่า สารสกัดจากผลหนามแดงมีความสามารถต้านอนุมูลอิสระได้ โดยให้ ข้อสังเกตไว้ว่า สารสกัดจากกากผลหนามแดงสุกมีสมบัติในการต้านสารอนุมูลอิสระสูงกว่าสารสกัด จากผลหนามแดงดิบ โดยสารสกัดจากผลหนามแดงสุกและสารสกัดจากผลหนามแดงดิบมีค่า IC₅₀ เท่ากับ 225 และ 400 ppm (mg/kg) ตามลำดับ

2) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก

สารประกอบฟีนอลิก มีโครงสร้างพื้นฐานเป็นวงแหวน (aromatic ring) ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) เข้ามาแทนที่ ซึ่งอาจเข้ามาแทนที่ 1 หมู่ หรือมากกว่า สารประกอบฟีนอลิก สามารถจำแนกเป็นกลุ่มได้จากการมีโครงสร้างที่แตกต่างกันตามจำนวนคาร์บอน และหมู่ที่เข้ามา แทนที่ในตำแหน่งต่างๆ โดยสามารถจำแนกเป็นกลุ่มๆ ได้แก่ กรดฟีนอลิก ลิกนิน แอนโทไซยานิน ฟลาโวนอยด์ เป็นต้น (วิวัฒน์ หวังเจริญ, 2545) สารประกอบฟีนอลิกแต่ละกลุ่มมีโครงสร้างและ องค์ประกอบที่แตกต่างกัน พบได้ในผักและผลไม้ต่างชนิดกัน สารประกอบฟีนอลิกมีคุณสมบัติเป็น สารต้านออกซิเดชันได้ โดยทำหน้าที่ในการกำจัดอนุมูลอิสระและไอออนของโลหะต่างๆ

(อธิยา เรื่องจักเพ็ชร, 2550; Bravo, 1998) จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดพบว่า กากผลหนามแดงมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 231.05 mg gallic acid/100 g ทั้งนี้มีค่าใกล้เคียงกับแบล็กเคอร์เรนต์ (Black currant) ที่มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 239 mg gallic acid /100 g (Denev *et al.*, 2010) และกากผลหนามแดงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงกว่า back tiger (*Kadsura cocconeae*) ที่มีสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 179 mg gallic acid/100 g (Jian Sun *et al.*, 2009) อย่างไรก็ตามกากผลหนามแดงมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกน้อยกว่ากากลูกหม่อนและส่วนของเปลือกอ่อนมังคุด ซึ่งมีสารประกอบฟีนอลิกเท่ากับ 1848.02 และ 3404.09 mg gallic acid/100 g ตามลำดับ

3) ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด

แอนโทไซยานินอยู่ในรูปไกลโคไซด์ (glycoside) ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่เป็นน้ำตาลและส่วนที่เป็นแอนโทไซยานิดิน (anthocyanidin) โดยแอนโทไซยานิดินมี 6 กลุ่ม คือ cyaniding, delphinidin, malvidin, pelargonidin, peonidin และ petunidin พบในผักผลไม้ที่มีสีแดง ม่วง น้ำเงิน เช่น องุ่น กระจับปี่ บลูเบอร์รี่ เป็นต้น โดยพบมากในส่วน เยื่อหุ้มชั้นนอกและในช่องเมล็ดพืชเปลือกหรือผิวของผักผลไม้ ทั้งนี้ลักษณะปรากฏ ความเข้มของสีแดงต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ ชนิดและปริมาณของรงควัตถุ รวมถึงความแตกต่างทางสายพันธุ์ การปลูก ความแก่อ่อน ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ล้วนมีผลต่อปริมาณรงควัตถุ และสารพฤกษเคมีอื่นๆ ที่สำคัญ (Adom & Liu, 2002; Hu *et al.*, 2003) แอนโทไซยานินเป็นสารต้านอนุมูลอิสระชนิดหนึ่ง มีโครงสร้างที่สามารถจับอิเล็กตรอนโดดเดี่ยวของอนุมูลอิสระ ทำให้ไม่สามารถก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน หยุดการเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ และลดอัตราการเกิดโรคที่เกิดจากอนุมูลอิสระได้ (นิธิยา รัตนานนท์, 2549) โดยปกติกากผลหนามแดงระยะสุกมีสีแดงเข้มอมม่วง ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ว่า มีสารแอนโทไซยานินเป็นองค์ประกอบ จากการทดลองพบว่า กากผลหนามแดงมีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดเท่ากับ 271.35 mg /100 g sample ทั้งนี้มีค่าใกล้เคียงกับเยื่อหุ้มเมล็ดทับทิมที่มีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดเท่ากับ 260.50 mg/100 g (Jaiswal, DerMarderosian & Porter, 2010) อย่างไรก็ตามกากผลหนามแดงมีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดสูงกว่าส่วนที่เป็นเปลือกแข็งของมังคุดซึ่งมีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดเท่ากับ 179.49 mg/100 g (อรุษา เขาวนลิขิต และอรัญญา มิ่งเมือง, 2551) อีกทั้งในมัลเบอร์รี่และบลูเบอร์รี่มีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดเท่ากับ 179.49 246 และ 139 mg/100 g ตามลำดับ (Denve *et al.*, 2010) แต่มีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดน้อยกว่ากากลูกหม่อนและมัลเบอร์รี่สายพันธุ์ *Pachungsipyung* ซึ่งมีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดเท่ากับ 619.54 และ 847.10 mg/100 g ตามลำดับ (สิขญา สิทธิพจน์ และคณะ, 2552; Bae & Suh, 2007)

4) ปริมาณวิตามินซี

วิตามินซีหรือกรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) เป็นอนุพันธ์ของน้ำตาลเฮกโซส ละลายน้ำได้ดี อีกทั้งมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยวิตามินซีที่พบอยู่ในรูป L-ascorbic acid พบว่ามีคุณค่าทางชีวภาพหรือมีประโยชน์ต่อร่างกาย โดยทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์เข้าจับกับสารอนุมูลอิสระและยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน (นิธิยา รัตนานนท์, 2549) จากการทดลองพบว่า กากผลหนามแดงมีปริมาณวิตามินซีเท่ากับ 1.94 mg/100 g ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Kobulat *et al.*

(2011) ที่รายงานว่า ผลหนามแดงมีปริมาณวิตามินซีเท่ากับ 1.32 mg/100 g อย่างไรก็ตามกากผลหนามแดงมีปริมาณวิตามินซีน้อยกว่าเชอร์รี่คาร์เนเดียน (cornelian cherry) ซึ่งเป็นไม้ผลพื้นเมืองของประเทศตุรกี มีลักษณะคล้ายเชอร์รี่ไทย ที่มีปริมาณวิตามินซีเท่ากับ 0.53 mg/100 g (Tural & Koca, 2008) และพืชพื้นบ้านบางชนิด เช่น ลูกหม่อนแดง (*Morus nigra* L.) ซึ่งมีปริมาณวิตามินซี 15.10 mg/100 g (Ercisli & Orhan, 2007) และขำมะเลียง (*Lepisanthes fruitcosa* Leenh.) ที่เป็นผลไม้พื้นบ้านมีสีแดงเข้มซึ่งมีปริมาณวิตามินซีเท่ากับ 30 mg/100 g (Subhadrabandul, 2001) การที่ปริมาณวิตามินซีที่ตรวจพบในกากผลหนามแดงมีปริมาณค่อนข้างต่ำ อาจเป็นผลเนื่องมาจากวัตถุดิบที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นส่วนของกากที่เหลือจากการคั้นน้ำ นอกจากนี้ยังผ่านการแช่แข็งแล้วนำมาทำละลายที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งมีผลให้วิตามินซีซึ่งมีคุณสมบัติละลายน้ำได้ สลายตัวได้ง่ายเมื่อถูกอากาศซึ่งไวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน จึงอาจถูกละลายน้ำและสลายตัวไปจนคงเหลืออยู่ในกากในปริมาณต่ำ

5) ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด

ผลหนามแดงเมื่อสุกจะมีรสเปรี้ยวอมหวานเล็กน้อย (นิจศิริ เรืองศิริ, 2547) และจากการสังเกตของผู้วิจัย พบว่า กากผลหนามแดงยังคงมีรสหวานอยู่บ้างเล็กน้อย จากผลการทดลอง พบว่า กากผลหนามแดงมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมด 3.24% ซึ่งมีค่าน้อยกว่าลูกหม่อน ที่รายงานว่า ในลูกหม่อนที่มีสีม่วงแดงมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเท่ากับ 5.1% (Aramwit, Bang & Srichana, 2010) และจากรายงานการวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารของผลหนามแดงสุกในประเทศอินเดียและฟิลิปปินส์ พบว่า ผลหนามแดงสุกมีปริมาณน้ำตาล 7.35-11.58% (Motron, 1987) ในกากผลหนามแดงมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดน้อยกว่าในผล เนื่องมาจากน้ำตาลส่วนใหญ่จะละลายออกไปพร้อมน้ำคั้นที่ได้ คงเหลืออยู่ในส่วนกากเพียงบางส่วนเท่านั้น

6) ปริมาณกรดทั้งหมด

จากที่กล่าวไว้ข้างต้นว่า ผลหนามแดงเมื่อสุกจะมีรสเปรี้ยวอมหวานเล็กน้อย (นิจศิริ เรืองศิริ, 2547) และจากการสังเกตของผู้วิจัย พบว่า กากผลหนามแดงยังคงมีรสเปรี้ยวอยู่ เมื่อนำมาตรวจสอบปริมาณกรดทั้งหมด พบว่า กากผลหนามแดงมีปริมาณกรดทั้งหมดเท่ากับ 3.76% และผลหนามแดงมีปริมาณกรดทั้งหมดเท่ากับ 2.8% (รุ่งทิพา วงศ์ไพศาลฤทธิ์ และคณะ, 2551) ในผลการทดลองนี้มีปริมาณกรดมากกว่าเล็กน้อย อาจเนื่องมาจาก ความแก่อ่อน ชนิด พันธุ์ และแหล่งที่ปลูก (Adom & Liu, 2002) แต่อย่างไรก็ตามถือว่ามีความใกล้เคียงกัน หากเปรียบเทียบกับพืชพื้นบ้านชนิดอื่น พบว่ากากผลหนามแดงมีปริมาณกรดน้อยกว่าพืชบางชนิด เช่น ลูกหม่อนแดง (*Morus rubra*) มีปริมาณกรดทั้งหมด 11.37% (Ercisli & Orhan, 2008)

7) ปริมาณความชื้น

ปริมาณความชื้น เป็นปริมาณน้ำทั้งหมดที่มีอยู่ในอาหาร โดยน้ำมีความสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติต่างๆ ของอาหาร เนื่องจากน้ำเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและชีวเคมีของอาหารซึ่งทำให้เกิดผลทั้งในด้านที่เป็นประโยชน์หรือในด้านการไม่ต้องการ เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาที่ทำให้คุณภาพของอาหารลดลง เช่น ทำให้เกิดสีและกลิ่นรสที่ไม่ต้องการ รวมทั้งทำให้

เกิดสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ (นิธิยา รัตนพานนท์, 2549) สำหรับกากผลหนามแดง แม้คั้นน้ำออกไปแล้วกากผลหนามแดงยังคงมีความชื้นสูงประมาณ 80% ซึ่งจัดเป็นวัตถุดิบประเภทที่มีความชื้นสูง

8) ค่าสี (L^* a^* และ b^*)

จากผลการทดลอง พบว่า ค่าสี (L^* a^* และ b^*) ของกากผลหนามแดงมีค่าเท่ากับ 21.34 19.87 และ 8.47 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า กากผลหนามมีสีแดงเข้มอมม่วง เมื่อเปรียบเทียบกับสีของผลหนามแดงที่ รุ่งทิวา วงศ์ไพศาลฤทธิ์ และคณะ (2551) ได้รายงานไว้ว่า มีค่าสี (L^* a^* และ b^*) 12.47 15.93 และ 3.03 ตามลำดับ ซึ่งสังเกตเห็นได้ว่าผลหนามแดงมีค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) น้อยกว่ากากผลหนามแดง

4.2.4 ผลของสภาวะการทำแห้งต่อคุณภาพของกากผลหนามแดงอบแห้ง

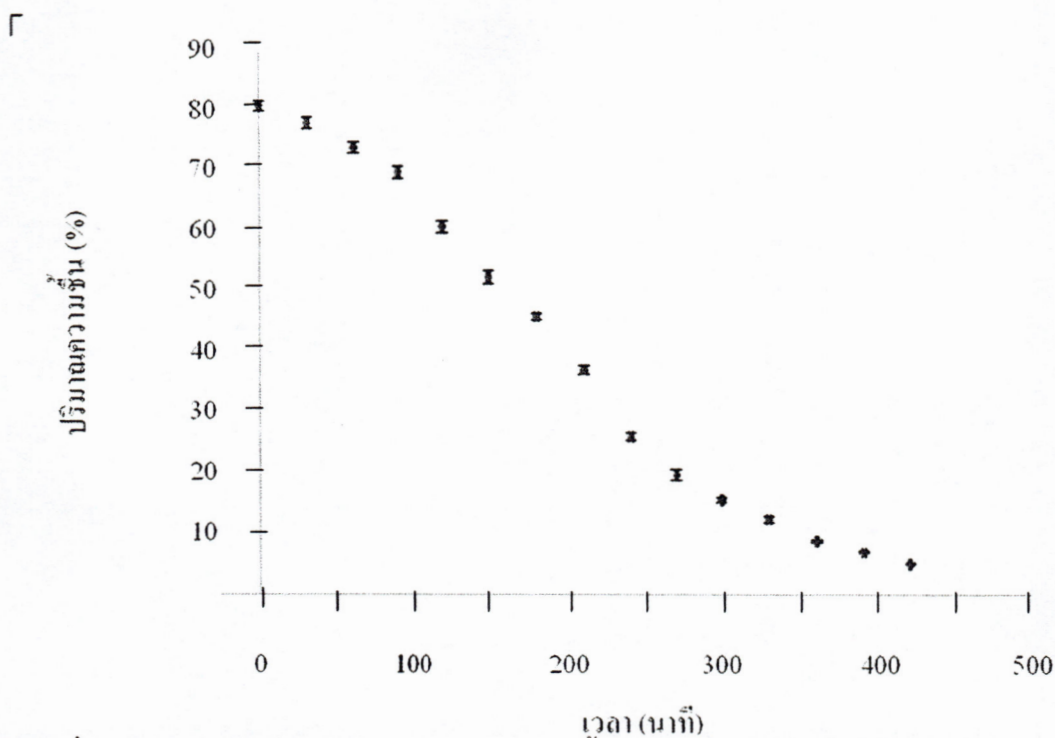
จากการตรวจสอบเอกสารพบว่า สภาวะการทำแห้งทั้งอุณหภูมิและเวลา มีผลต่อความคงตัวของสารพฤกษเคมี ซึ่งมีสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น สารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และวิตามินซี โดยมีแนวโน้มว่า การใช้อุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน จะมีผลทำให้สารดังกล่าวมีปริมาณลดลง จึงทำให้มีสมบัติการสารต้านอนุมูลอิสระน้อยลงด้วย (สิขญา สิทธิพจน์ และคณะ, 2552; สัจจมาศ ภูมิ, 2546; Katsube *et al.*, 2009; Kuljarachanan *et al.*, 2009; Vega-Galvez *et al.*, 2009; Suvarnakuta *et al.*, 2011) จากการพิจารณาลักษณะกากผลหนามแดง พบว่ามีขึ้นากขนาดเล็ก โดยกากผลหนามแดงมีความชื้น 80.98% สามารถระเหยน้ำออกได้ง่ายด้วยการอบในตูลมร้อน โดยมีแนวโน้มว่าไม่ต้องใช้อุณหภูมิสูงหรือใช้เวลานานมากในการอบแห้ง

4.2.4.1 ผลการสร้างกราฟการทำแห้งและทำนายเวลาในการทำแห้ง

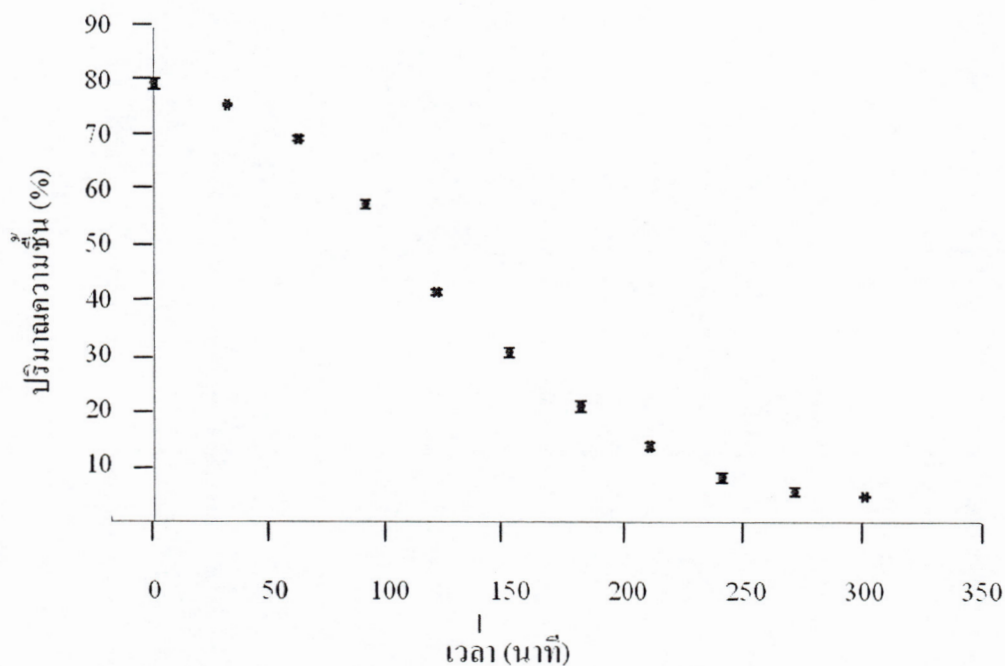
จากการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับระยะเวลาในการทำแห้งกากผลหนามแดงที่อุณหภูมิ 40 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส แสดงดังภาพที่ 4-17 4-18 4-19 และ 4-20 ตามลำดับ

การทำแห้งด้วยลมร้อนสามารถทำให้ความชื้นในอาหารลดลงได้ เนื่องจากความร้อนจากอากาศจะถูกถ่ายเทไปยังผิวอาหารและทำให้น้ำเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ ไอน้ำจะแพร่ผ่านชั้นของอากาศรอบๆ อาหารและถูกพาไปพร้อมกับการเคลื่อนที่ของอากาศร้อน ทำให้ความดันไอของอากาศที่ผิวลดลง เกิดความแตกต่างของความดันไอน้ำของความชื้นในอาหารกับอากาศร้อน ความแตกต่างนี้จะผลักดันให้น้ำภายในอาหารระเหยออกมาสู่ผิวหน้าอาหาร (นิธิยา รัตนพานนท์, 2544) ดังนั้นการนำกากผลหนามแดงมาอบแห้งจึงเป็นการลดความชื้นออกจากกากผลหนามแดงได้อีกทางหนึ่ง โดยพบว่า เมื่อเวลาในการอบแห้งเพิ่มขึ้นจะทำให้ความชื้นลดลงเรื่อยๆ ทั้งนี้ความชื้นมีการลดลงมากในช่วงแรกของการทำแห้ง (ของแต่ละอุณหภูมิ) ที่เวลา 0 – 300 นาที (อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส) 0 – 210 นาที (อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส) 0 – 150 นาที (อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส) และ 0 – 90 นาที (อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส) ซึ่งเกิดจากน้ำภายในเนื้อสารของอาหารนั้นมีการเคลื่อนที่แบบ Capillary Mechanism กล่าวคือ ในการให้ความร้อนเริ่มแรก น้ำในอาหารมีปริมาณมากและนับว่าเป็นสารที่มีรูปพรุนมากมาย และเมื่อได้รับความร้อนจะเกิดการขยายตัวของอากาศคล้ายกับว่ามีท่อเล็กๆ ติดอยู่ตรงรูนั้น เมื่ออากาศมีการขยายตัวมากขึ้นจะทำให้มีแรงดันในท่อสูงตามไปด้วย หลังจากนั้นที่อยู่ตามรูปพรุนของอากาศนั้นหมดแล้ว การเคลื่อนที่ของน้ำภายในจะ

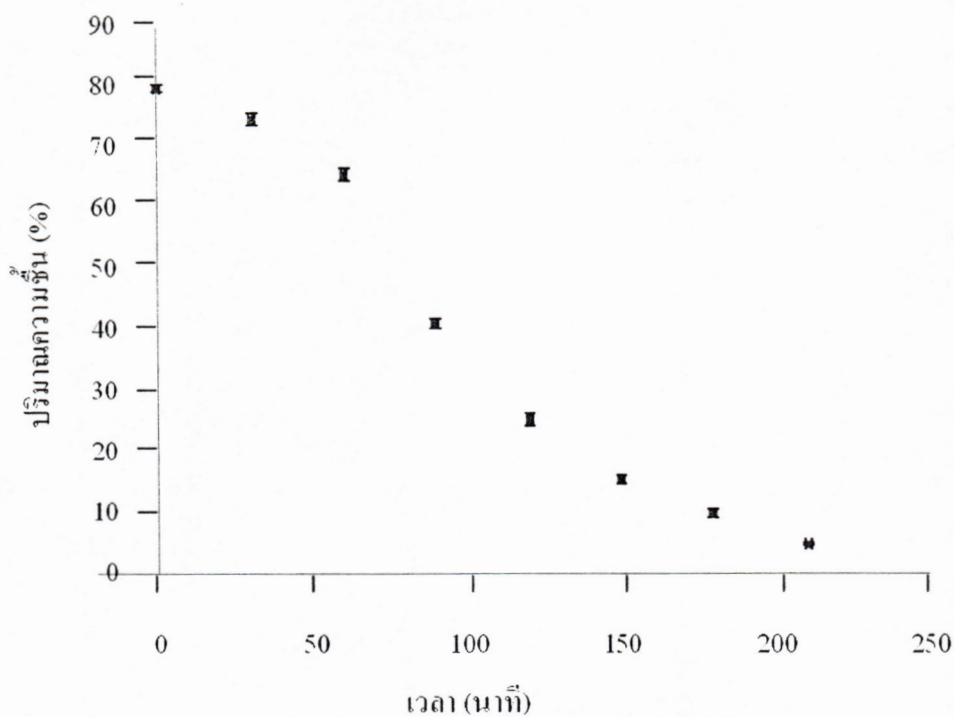
เปลี่ยนเป็น Diffusion Mechanism นั่นคือ การเคลื่อนที่ของน้ำภายในจะเป็นแบบ Molecular Diffusionซึ่งเกิดจากความแตกต่างของความดันไอ โดยเริ่มจากเซลล์ที่ติดอยู่กับรูพรุนก่อน เมื่อได้รับความร้อนจะทำให้อากาศขยายตัว น้ำเริ่มซึมออกจากเซลล์ขึ้นไปตามรูเล็กๆ ทำให้ภายในเซลล์นั้นมีความเข้มข้นมากขึ้น จึงเกิดแรงดึงดูดทำให้เกิดการซึมผ่านของน้ำจากเซลล์ที่อยู่ติดกันซึมเข้าไปในเซลล์ที่ติดอยู่กับรูพรุนแล้วระเหยออกไปทางรูนั้น (วิไล รังสาดทอง, 2543) จึงทำให้ความชื้นเริ่มคงที่เมื่อเวลานานขึ้น คือ หลัง 300 นาที (อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส) หลัง 210 นาที (อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส) หลัง 150 นาที (อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส) และหลัง 90 นาที (อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส)



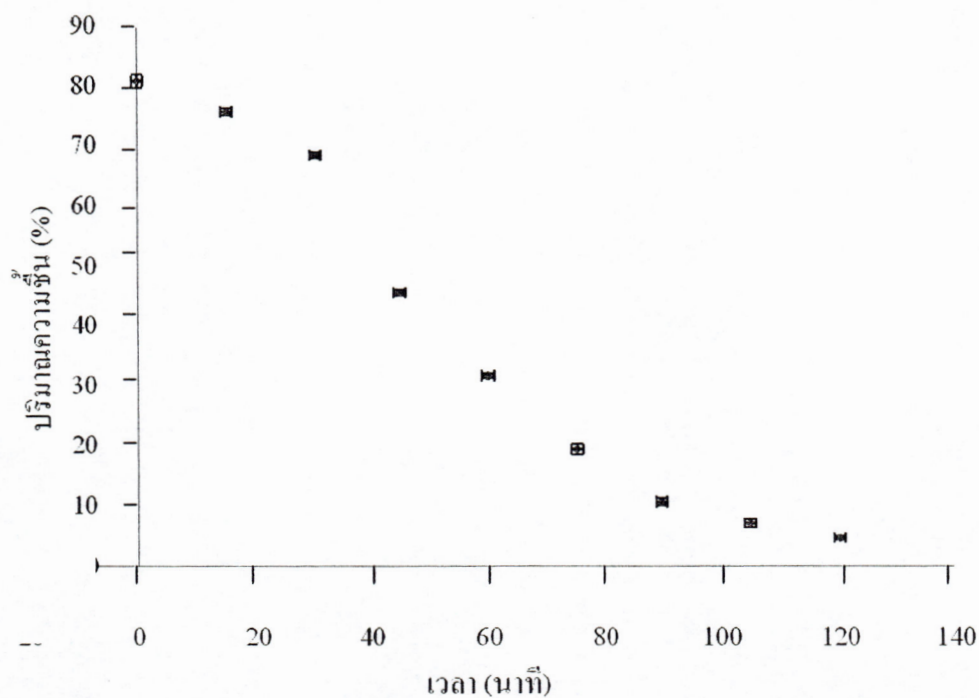
ภาพที่ 4-17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับระยะเวลาในการทำแห้งกากผลหนามแดงที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4-18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับระยะเวลาในการทำแห้งกากผลหนามแดงที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4-19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับระยะเวลาในการทำแห้งกากผลหนามแดงที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4-20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับระยะเวลาในการทำแห้งกากผลหนามแดงที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

สำหรับผลการสร้างกราฟการทำนายเวลาในการทำแห้งที่อุณหภูมิ 40 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส แสดงดังภาพในภาคผนวก และสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลาในการทำแห้ง แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4-17

ตารางที่ 4-17 สมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น (y) กับระยะเวลา (x) ในการทำแห้งกากผลหนามแดงที่อุณหภูมิ 40 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	สมการ	R ²	เวลาในการ ทำแห้ง ตามการ ทำนาย (นาท)	เวลาในการ ทำแห้งจริง (นาท)	ความชื้น สุดท้ายที่ ได้ (%)
40	$y = -0.2063x + 82.875$	0.97	377	380	4.97±0.02
50	$y = -0.2876x + 80.314$	0.96	262	265	4.69±0.02
60	$y = -0.4034x + 81.987$	0.96	191	195	4.76±0.02
70	$y = -0.724x + 81.871$	0.95	106	110	4.89±0.02

จากตารางที่ 4-17 แสดงสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับระยะเวลาในการทำแห้งกากผลหนามแดงอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส พบว่า มีค่า R² ซึ่งแสดงถึงค่าความน่าเชื่อถือของสมการค่อนข้างสูง โดยทั่วไปสมการที่มักนำมาใช้ควรมีค่า R² อย่างน้อย 0.75 หากสูงกว่า 0.90 สมการมีความน่าเชื่อถือมาก (Haaland, 1998; Hu, 1999) ซึ่งจากสมการสามารถทำนายเวลาในการทำแห้งเพื่อให้ได้ความชื้น 5% ดังนี้ คือ การทำแห้งที่อุณหภูมิ 40 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ได้เวลาในการทำแห้งเท่ากับ 389 276 198 และ 106 นาท ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการปฏิบัติการจริงจึงได้ปรับเวลาการทำแห้งสำหรับการอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส เท่ากับ 390 280 200 และ 110 นาท ตามลำดับ โดยจากการทำแห้งที่เวลาดังกล่าวทำให้กากผลหนามแดงอบแห้งที่ได้มีปริมาณความชื้นสุดท้ายอยู่ในช่วง 4.69–4.97% ซึ่งไม่เกิน 5% ตามที่ได้กำหนดไว้

4.2.4.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพกากผลหนามแดงอบแห้ง

นำกากผลหนามแดงที่ผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิ 40 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส มาวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ ได้แก่ สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด ปริมาณวิตามินซี ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณกรดทั้งหมด ปริมาณความชื้น และค่าสี ผลการวิเคราะห์มีรายละเอียดดังนี้

1)สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ

จากการวิเคราะห์คุณภาพสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของกากผลหนามแดงเมื่อผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ รายงานเป็นค่า Inhibition (%) และ IC₅₀ (mg/L) ได้ผลการวิเคราะห์คุณภาพแสดงดังตารางที่ 4-18

ตารางที่ 4-18 สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ รายงานเป็นค่า Inhibition (%) และ IC₅₀ (mg/L) ของกากผลหนามแดงอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ

ตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	Inhibition (%)	IC ₅₀ (mg/L)
กากผลหนามแดงอบแห้งอุณหภูมิ 40 °C	44.45±0.11 ^d	188.68±1.11 ^d
กากผลหนามแดงอบแห้งอุณหภูมิ 50 °C	59.59±0.14 ^c	165.80±1.18 ^c
กากผลหนามแดงอบแห้งอุณหภูมิ 60 °C	75.77±0.12 ^a	135.12±1.15 ^a
กากผลหนามแดงอบแห้งอุณหภูมิ 70 °C	66.46±0.12 ^b	151.06±1.13 ^b

a,b,c,d หมายถึง ค่าในแนวดิ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

® มิลลิกรัมของสารสกัดต่อปริมาณเอทานอล 1 ลิตร

จากตารางที่ 4-18 พบว่า สภาวะการทำแห้งมีผลต่อสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของกากผลหนามแดงอบแห้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) โดยสภาวะที่ยังคงรักษาสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระไว้ได้มากที่สุด คือ การทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (200 นาที) รองลงมาคือ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส (110 นาที) อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส (280 นาที) และอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (390 นาที) ตามลำดับ จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า สภาวะการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำ (40 องศาเซลเซียส) แต่ใช้เวลานาน มีแนวโน้มทำให้สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระคงเหลืออยู่น้อยกว่าการทำแห้งในสภาวะอื่น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการให้ความร้อนนานในการทำแห้งทำให้สารต้านอนุมูลอิสระต่างๆ เช่น สารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และวิตามินซี เป็นต้น ที่มีอยู่ในกากผลหนามแดงมีโอกาสสูญเสียไปกับความร้อนได้มาก โดยความร้อนเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในการทำให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดเร็วขึ้น (นันทน์ภัส เต็มวงษ์, 2551; โสภา วัชรคุปต์, 2550) และทำให้สมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระลดลง เนื่องจากสารพฤษเคมีต่างๆ ที่มี aromatic ring และ hydroxyl group เป็นองค์ประกอบ ซึ่งมีลักษณะเป็นโมเลกุลเล็กๆ สามารถระเหยกลายเป็นไอและถูกพาไปกับอากาศร้อนระเหยออกมาสู่อากาศได้ (นิธิยา รัตนานนท์, 2549; Bravo, 1998) อย่างไรก็ตามการใช้อุณหภูมิสูงขึ้น (70 องศาเซลเซียส) แม้ใช้เวลาสั้น มีแนวโน้มทำให้สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก อุณหภูมิสูงมีโอกาทำให้สารพฤษเคมีที่สำคัญต่างๆ เช่น สารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และวิตามินซี เกิดการสูญเสียไปได้มาก จึงทำให้สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระในการกำจัดอนุมูลอิสระลดลง (วัลลภ วิชะรังสรรค์ และ ประณีต โอปะณะโสภิต, 2547) ดังนั้นการใช้สภาวะที่เหมาะสมทำให้รักษาการมีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระไว้ได้มาก จากผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Katsube *et al.* (2009) ที่รายงานว่า อุณหภูมิในการทำแห้งมีผลต่อความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระในใบหม่อน โดยการทำแห้งใบหม่อนที่อุณหภูมิ 40 และ 60 องศาเซลเซียส มีผลทำให้กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระในใบหม่อนลดลงน้อยกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิ 70 80 และ 110 องศาเซลเซียส แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) Vega-Galvez *et al.* (2009) รายงานว่า การทำแห้งพริกแดงเพื่อให้ได้ความชื้นต่ำกว่า 10% ที่อุณหภูมิสูง 80 และ 90 องศาเซลเซียส มีผลทำให้กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระมีค่าสูงกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ซึ่งแสดงให้เห็นถึง

ความสำคัญว่า การทำแห้งเป็นเวลานานก็มีผลทำให้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระลดลงด้วย Suvaarnakuta *et al.* (2011) รายงานว่า การทำแห้งเปลือกมังคุดด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส สามารถรักษากิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ ในรูปของ xanthones ในเปลือกมังคุดได้มากกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 และ 95 องศาเซลเซียส โดยมีผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยการใช้เวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมสามารถช่วยยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์ PPO และทำให้ช่วยลดปริมาณความร้อนที่ใช้ในการทำแห้งด้วย

2) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

สารประกอบฟีนอลิก มีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยเป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างเป็นวงแหวนปิดที่มีหมู่ OH (วิวัฒน์ หวังเจริญ, 2545) จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของกากผลหนามแดงอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ โดยใช้กรดแกลลิกเป็นสารละลายมาตรฐาน ผลการวิเคราะห์คุณภาพแสดงดังตารางที่ 4-19

ตารางที่ 4-19 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg gallic /100 g) ของกากผลหนามแดงอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ

ตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
กากผลหนามแดงอบแห้งอุณหภูมิ 40 °C	64.22 $\pm$ 1.98 ^d
กากผลหนามแดงอบแห้งอุณหภูมิ 50 °C	97.50 $\pm$ 1.61 ^c
กากผลหนามแดงอบแห้งอุณหภูมิ 60 °C	162.14 $\pm$ 1.33 ^a
กากผลหนามแดงอบแห้งอุณหภูมิ 70 °C	123.32 $\pm$ 1.98 ^b

^{ab,c,d} หมายถึง ค่าในแนวดิ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากตารางที่ 4-19 พบว่า สภาวะในการทำแห้งมีผลต่อปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในกากผลหนามแดงอบแห้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยสภาวะที่ยังคงรักษาสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดไว้ได้มากที่สุด คือ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (200 นาที) รองลงมาคืออุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส (110 นาที) อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส (280 นาที) และอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (390 นาที) ตามลำดับ ซึ่งให้ผลการทดลองในทำนองเดียวกับสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยสภาวะการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำ (40 องศาเซลเซียส) แต่ใช้เวลานาน มีแนวโน้มทำให้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเปลี่ยนแปลงได้มากกว่าการทำแห้งในสภาวะอื่น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสารประกอบฟีนอลิกไม่คงตัวต่อความร้อน สามารถสลายตัวได้ด้วยความร้อน เมื่อให้ความร้อนเป็นเวลานานทำให้มีโอกาสสูญเสียสารพฤษเคมีต่างๆ รวมทั้งสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดได้มาก และการทำแห้งที่อุณหภูมิสูงเกินไปมีผลให้เกิดการเสื่อมเสียหรือการระเหยของสารต่างๆ ได้ง่ายขึ้น (นิธิยารัตนาพนนท์, 2549; Bravo, 1998) จากผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ สัจจมาศ ภูมิ (2546) ที่รายงานว่าการทำแห้งเปลือกแก้วมังกรด้วยวิธีลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส สามารถรักษากิจกรรมของสารประกอบฟีนอลิกได้มากกว่าที่อุณหภูมิ 50 และ 70 องศาเซลเซียส แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) สิขญา สิทธิพจน์ และคณะ (2552) รายงานว่าการทำแห้งกากลูกหม่อนที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานานสามารถรักษากิจกรรมของสารพฤษเคมีไว้ได้มากกว่าการทำ

แห้งที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลานาน และ Kuljarachanan *et al.* (2009) ที่รายงานว่า การทำแห้งกากมะนาวด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส สามารถรักษาสารประกอบฟีนอลิกได้สูงกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิ 80 100 และ 120 องศาเซลเซียส แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

3) ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด

จากการวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดของกากผลหนามแดงอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ ผลการวิเคราะห์คุณภาพแสดงดังตารางที่ 4-20

ตารางที่ 4-20 ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (mg /100 g) ของกากผลหนามแดงอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ

ตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
กากผลหนามแดงอบแห้งอุณหภูมิ 40 °C	83.49 $\pm$ 1.07 ^b
กากผลหนามแดงอบแห้งอุณหภูมิ 50 °C	111.33 $\pm$ 1.08 ^b
กากผลหนามแดงอบแห้งอุณหภูมิ 60 °C	180.90 $\pm$ 1.04 ^a
กากผลหนามแดงอบแห้งอุณหภูมิ 70 °C	139.16 $\pm$ 1.03 ^{ab}

^{a,b} หมายถึง ค่าในแนวดังแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากตารางที่ 4-5 พบว่า สภาวะในการทำแห้งมีผลต่อปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดในกากผลหนามแดงอบแห้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยสภาวะที่ยังคงรักษาสารแอนโทไซยานินทั้งหมดไว้ได้มากที่สุด คือ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (200 นาที) และ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส (110 นาที) จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า สภาวะการทำแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (390 นาที) และอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส (280 นาที) เป็นการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำและใช้เวลานาน ซึ่งมีแนวโน้มทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินสูญเสียไปได้มาก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารแอนโทไซยานินที่ทำให้สารเม็ดสีแอนโทไซยานินซีดจาง (Lazzec *et al.*, 2004) อย่างไรก็ตามการใช้อุณหภูมิสูงขึ้น (70 องศาเซลเซียส) ก็มีผลเร่งอัตราเร็วของการสลายตัวของสารแอนโทไซยานินให้เกิดเร็วขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยา Condensation ของแอนโทไซยานินกับสารประกอบอื่น เช่น น้ำตาล กรดแอสคอร์บิกหรือในภาวะที่มีออกซิเจน เป็นต้น (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549) ทั้งนี้การทำแห้งที่อุณหภูมิสูงหรือระยะเวลาในการทำแห้งมากขึ้นจะทำให้เกิดการสูญเสียสารประกอบทางเคมีจำนวนมาก (Kim & Pratt, 1992) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ รุ่งทิวา วงศ์ไพศาลฤทธิ์ และคณะ (2551) ที่รายงานว่า การให้ความร้อนกับน้ำลูกหนามแดงที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลานานทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินคงเหลือในน้ำลูกหนามแดงลดลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) สีชญา สิทธิพจน์ และคณะ (2552) และ Suvaarnakuta *et al.* (2011) รายงานว่าการใช้อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการทำแห้งมีแนวโน้มสามารถรักษาสารแอนโทไซยานินไว้ได้มากเมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งที่ใช้อุณหภูมิสูงหรือการใช้เวลานาน

4) ปริมาณวิตามินซี

วิตามินซีเป็นสารที่มีความสามารถในการรีดิวซ์สูง และมีฤทธิ์ในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (นิธิยา รัตนานนท์, 2549) จากการวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซีในกากผลหนามแดงอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ ผลการวิเคราะห์คุณภาพแสดงดังตารางที่ 4-21

ตารางที่ 4-21 ปริมาณวิตามินซี (mg /100 g) ของกากผลหนามแดงอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ

ตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
กากผลหนามแดงอบแห้งอุณหภูมิ 40 °C	1.30 $\pm$ 0.01 ^a
กากผลหนามแดงอบแห้งอุณหภูมิ 50 °C	1.33 $\pm$ 0.02 ^a
กากผลหนามแดงอบแห้งอุณหภูมิ 60 °C	0.68 $\pm$ 0.01 ^b
กากผลหนามแดงอบแห้งอุณหภูมิ 70 °C	0.48 $\pm$ 0.01 ^b

a,b, หมายถึง ค่าในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากตารางที่ 4-21 พบว่า สภาวะในการทำแห้งมีผลต่อปริมาณวิตามินซีในกากผลหนามแดงอบแห้งลดลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยพบว่า สภาวะที่ยังคงรักษาสารปริมาณวิตามินซีไว้ได้มากที่สุด คือ อุณหภูมิ 40 (390 นาที) และ 50 องศาเซลเซียส (280 นาที) ซึ่งเป็นการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำและเป็นเวลานาน ซึ่งแสดงให้เห็นว่า สภาวะในการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำมีแนวโน้มทำให้ปริมาณวิตามินซีในกากผลหนามแดงเหลืออยู่มากกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิสูง ทั้งนี้เนื่องมาจากวิตามินซีหรือกรดแอสคอร์บิกสามารถถูกออกซิไดส์ไปเป็น dehydroascorbic acid และ ascorbate free-radical ที่เรียกว่า monodehydroascorbic acid ที่มีความคงตัวต่ำ สลายตัวได้ง่ายเมื่อถูกความร้อน และไวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน (นิธิยา รัตนานนท์, 2549; สมทรง เลขะกุล, 2542) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Antonio Vega-Galvez *et al.* (2009) ที่รายงานไว้ว่า เมื่ออุณหภูมิในการทำแห้งพริกแดงเพิ่มสูงขึ้นทำให้ผลทำให้ปริมาณวิตามินซีลดลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยการทำแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ทำให้สูญเสียปริมาณวิตามินซีถึง 98.20% นอกจากนี้นงานวิจัยของ Kuljarachanan *et al.* (2009) รายงานว่า ปริมาณวิตามินซีของกากมะนาวลดลงแบบเอกซ์โพเนนเชียลเมื่อทำแห้งเป็นเวลานาน สำหรับการทำให้แห้งที่อุณหภูมิสูง 100 และ 120 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ปริมาณวิตามินซีลดลงอย่างเห็นได้ชัดและไม่สามารถตรวจพบได้เมื่อใช้เวลาในการทำแห้งถึง 1 ชั่วโมง 30 นาที ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปริมาณวิตามินซีในกากมะนาวลดลงเมื่ออุณหภูมิในการทำแห้งเพิ่มสูงขึ้น

5) ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด

น้ำตาลเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ทำให้เกิดรสหวานในผักและผลไม้ โดยส่วนมากผักและผลไม้ประกอบด้วยน้ำตาลหลายชนิด เช่น กลูโคส ฟรุคโตส ซูโครส กาแลกโตส มอลโตส เป็นต้น ดังนั้นในการตรวจวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลในผักผลไม้ มักนิยมวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดสำหรับในการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของกากผลหนามแดงอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ ผลการวิเคราะห์คุณภาพแสดงดังตารางที่ 4-22

ตารางที่ 4-22 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (%) ของกากผลหนามแดงอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ

ตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ^{ns}
กากผลหนามแดงอบแห้งอุณหภูมิ 40 °C	2.96±0.01
กากผลหนามแดงอบแห้งอุณหภูมิ 50 °C	3.04±0.01
กากผลหนามแดงอบแห้งอุณหภูมิ 60 °C	3.05±0.01
กากผลหนามแดงอบแห้งอุณหภูมิ 70 °C	2.94±0.01

^{ns} หมายถึง ค่าในแนวดิ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≥0.05)

จากตารางที่ 4-22 พบว่า สภาวะในการทำแห้งที่อุณหภูมิ 40 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ไม่มีผลทำให้ปริมาณน้ำตาลในกากผลหนามแดงอบแห้งลดลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≥0.05) โดยปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในกากผลหนามแดงอบแห้ง มีค่าประมาณ 2.94-3.05% ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากในการทำแห้งกากผลหนามแดงอบแห้งใช้อุณหภูมิไม่สูง (40-70 องศาเซลเซียส) จึงมี โอกาสเกิดการเปลี่ยนแปลงหรือสลายตัวของน้ำตาลได้ไม่มากนัก ทั้งนี้ปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงหรือ สลายตัวของน้ำตาลมักเกิดจาก ปฏิกิริยาการเกิดน้ำตาลไหม้ (Caramel) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการเกิดสี น้ำตาลของคาร์โบไฮเดรต โดยเฉพาะน้ำตาลเมื่อได้รับความร้อนสูงจนเกินจุดหลอมเหลวและอยู่ใน ภาวะที่ไม่มีหมู่เอมีน การเกิดน้ำตาลไหม้มีปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องสองปฏิกิริยา คือ ปฏิกิริยาการสูญเสีย น้ำ และปฏิกิริยาออกซิเดชันรีดักชัน โดยที่ปฏิกิริยาการสูญเสียจะให้ผลผลิตเป็นอนุพันธ์ของสารเฟอฟู ราล (Furfural) ในขณะที่ปฏิกิริยาออกซิเดชันรีดักชันมีผลทำให้การเกิดการแตกตัวของโมเลกุลขนาด ใหญ่เป็นโมเลกุลขนาดเล็ก (อัญชลินทร์ สิงห์คำ และทศพร นามโสง, 2546)

6) ปริมาณกรดทั้งหมด

กรด คือสารที่ละลายน้ำแล้วแตกตัวให้ไฮโดรเจนไอออน ในผักผลไม้ส่วนใหญ่มักพบกรดชิ ตริกซึ่งเป็นกรดอินทรีย์ประเภท Carboxylic เป็นองค์ประกอบ มีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดี (นิธิยา รัตนাপนนท์, 2549) จากการวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมดในกากผลหนามแดงอบแห้งที่ อุณหภูมิต่างๆ ผลการวิเคราะห์คุณภาพแสดงดังตารางที่ 4-23

ตารางที่ 4-23 ปริมาณกรดทั้งหมด (%) ของกากผลหนามแดงอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ

ตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
กากผลหนามแดงอบแห้งอุณหภูมิ 40 °C	3.37±0.04 ^a
กากผลหนามแดงอบแห้งอุณหภูมิ 50 °C	3.08±0.02 ^a
กากผลหนามแดงอบแห้งอุณหภูมิ 60 °C	2.49±0.01 ^b
กากผลหนามแดงอบแห้งอุณหภูมิ 70 °C	2.50±0.02 ^b

^{a,b} หมายถึง ค่าในแนวดิ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากตารางที่ 4-23 พบว่า สภาวะในการทำแห้งมีผลต่อปริมาณกรดทั้งหมดในกากผลหนามแดงอบแห้งลดลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบว่าสภาวะที่ยังคงรักษาปริมาณกรดทั้งหมดไว้ได้มากที่สุด คือ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (390 นาที) และ 50 องศาเซลเซียส (280 นาที) ซึ่งเป็นการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำและใช้เวลานาน ซึ่งให้ผลการทดลองสอดคล้องกับปริมาณวิตามินซี ที่แสดงให้เห็นว่า การทำแห้งที่สภาวะต่ำมีแนวโน้มทำให้ปริมาณกรดทั้งหมดในกากผลหนามแดงเหลืออยู่มากกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิสูง ทั้งนี้เนื่องจาก กรดมีความคงตัวต่ำสลายตัวได้ง่ายเมื่อถูกความร้อน และไวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน (นิธิยา รัตนাপนนท์, 2549) ทั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Vega-Galvez *et al.* (2009) ที่รายงานว่า การทำแห้งพริกแดงที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส สามารถรักษาปริมาณกรดทั้งหมดได้น้อยกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจาก ความร้อนที่ใช้ในการทำแห้งที่อุณหภูมิสูงทำให้เกิดการสลายตัวของสารประกอบอินทรีย์ โดยเฉพาะกรดที่อยู่ในพริกแดง

7) ค่าสี (L^* a^* และ b^*)

รงควัตถุที่ต่างกันทำให้สีในผักผลไม้มีความแตกต่างกัน สำหรับการให้ความร้อนนั้นทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของรงควัตถุที่อาจมีผลทำให้มีสีของอาหารเปลี่ยนแปลงไป (นิธิยา รัตนูปนนท์, 2549) จากการวิเคราะห์ค่าสี (L^* a^* และ b^*) ในกากผลหนามแดงอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ ผลการวิเคราะห์คุณภาพแสดงดังตารางที่ 4-24

ตารางที่ 4-24 ค่าสี (L* a* และ b*) ของกากผลหนามแดงอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ

ตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	L*	a*	b*
กากผลหนามแดงอบแห้งที่อุณหภูมิ 40°C	27.21±0.04 ^a	16.10±0.08 ^a	7.42±0.04 ^a
กากผลหนามแดงอบแห้งที่อุณหภูมิ 50°C	30.74±0.01 ^b	15.55±0.02 ^b	6.95±0.09 ^b
กากผลหนามแดงอบแห้งที่อุณหภูมิ 60°C	32.63±0.05 ^c	14.81±0.04 ^c	5.56±0.06 ^d
กากผลหนามแดงอบแห้งที่อุณหภูมิ 70°C	35.84±0.04 ^d	12.53±0.09 ^d	5.98±0.08 ^c

a,b,c,d หมายถึง ค่าในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

จากตารางที่ 4-24 พบว่า สภาวะในการทำแห้งมีผลต่อค่าสี (L* a* และ b*) ในกากผลหนามแดงอบแห้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) โดยพบว่า ยิ่งอุณหภูมิในการทำแห้งสูงทำให้ค่าความสว่าง (L*) เพิ่มขึ้น แต่ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) และค่าความเป็นสีแดง (a*) ของกากผลหนามแดงอบแห้งลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการทำแห้งที่อุณหภูมิสูงมีผลให้เร่งการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยไม่ใช้เอนไซม์ (non-enzymatic browning reaction) เช่น ปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) และคาราเมลไรเซชัน (Caramelization) เป็นต้น (Jamradloedluk *et al.*, 2007) ทั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Garau, Simal, Rossello & Femenia (2007) ที่รายงานว่า การทำแห้งด้วยลมร้อนของเปลือกส้ม (*Citrus aurantium* v. *Canoneta*) เพื่อให้ได้ความชื้น 0.12 g H₂O/g DM โดยการทำแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ทำให้ค่าความสว่าง (L*) เพิ่มขึ้น แต่ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) และค่าความเป็นสีแดง (a*) ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำ 50 องศาเซลเซียส มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) กอบพัชรกุล เป็นบุญ, รัตนา อุตตปัญโญ และ สายลม สัมพันธ์เวชโสภา (2550) รายงานว่า เมื่ออุณหภูมิหรือระยะเวลาในการทำแห้งนานขึ้น มีผลทำให้ค่าสี L* และ ค่า b* ลดลง ในขณะที่ค่าสี a* เพิ่มมากขึ้น เนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ คือ ปฏิกิริยาเมลลาร์ด นอกจากนี้ค่าสีของผลิตภัณฑ์ขึ้นอยู่กับเวลาการทำแห้งด้วย โดย ปิยะวรรณ และ ยუნวารี (2550) รายงานว่า ค่าสีเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาการทำแห้ง เมื่อเวลาการทำแห้งนานขึ้นทำให้ค่าความสว่างลดลง

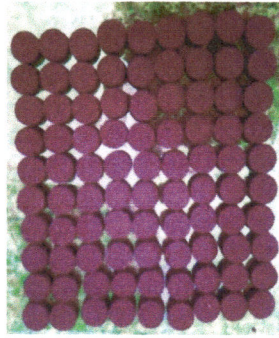
4.2.4.3 การเลือกสภาวะการทำแห้งที่เหมาะสม

เกณฑ์ในการคัดเลือกที่กำหนดไว้ว่าจะพิจารณาผลจากสภาวะการทำแห้งต่อคุณภาพด้านต่างๆ ของกากผลหนามแดงอบแห้งโดยเลือกสภาวะที่ทำให้ได้กากผลหนามแดงที่ยังคงมีปริมาณสารพฤกษเคมีที่สำคัญต่างๆ อยู่ในปริมาณสูง คือ มีสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสูง และพบว่า การทำแห้งกากผลหนามแดงอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 200 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดที่ยังคงรักษาสารพฤกษเคมีในการเป็นสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดโดยมีค่า % Inhibition มากที่สุด และค่า IC₅₀ ต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งที่สภาวะอื่นๆ และเมื่อพิจารณาค่าคุณภาพด้านอื่นๆ ของกากผลหนามแดงอบแห้งประกอบการตัดสินใจ คือ ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารต้าน

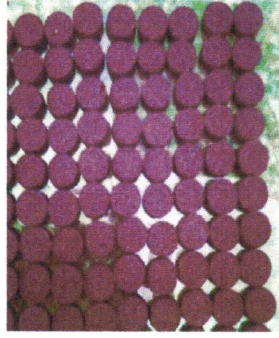
อนุบลีสระ พบว่า การทำแห้งกากผลหนามแดงอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 200 นาที สามารถรักษาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดได้มากที่สุด อีกทั้งเป็นการประหยัดเวลาและพลังงานในการทำแห้ง

4.2.5 การพัฒนาผลิตภัณฑ์อัดเม็ดจากกากผลหนามแดงอบแห้ง

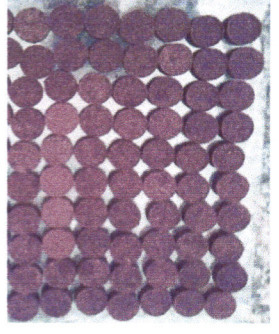
เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกากผลหนามแดงอบแห้งมาใช้ประโยชน์โดยนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์อาหาร เพื่อเพิ่มมูลค่าของกากผลหนามแดงโดยผลิตเป็นผลิตภัณฑ์อัดเม็ด การศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของส่วนผสมในการผลิตผลิตภัณฑ์อัดเม็ดจากกากผลหนามแดงอบแห้งและผลการศึกษาการใช้เจลาตินเป็นสารเคลือบในการผลิตผลิตภัณฑ์อัดเม็ดจากกากผลหนามแดงอบแห้ง มีรายละเอียดดังต่อไปนี้



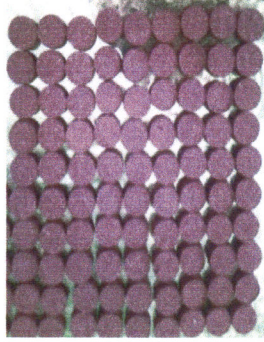
(a) ผลิตรักษ์กักफलนามแดงอัดเม็ดสูตรที่ 1



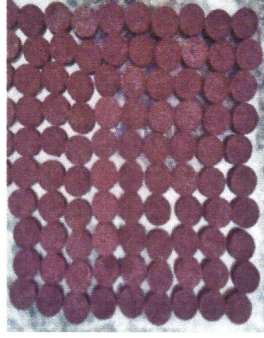
(b) ผลิตรักษ์กักफलนามแดงอัดเม็ดสูตรที่ 2



(c) ผลิตรักษ์กักफलนามแดงอัดเม็ดสูตรที่ 3



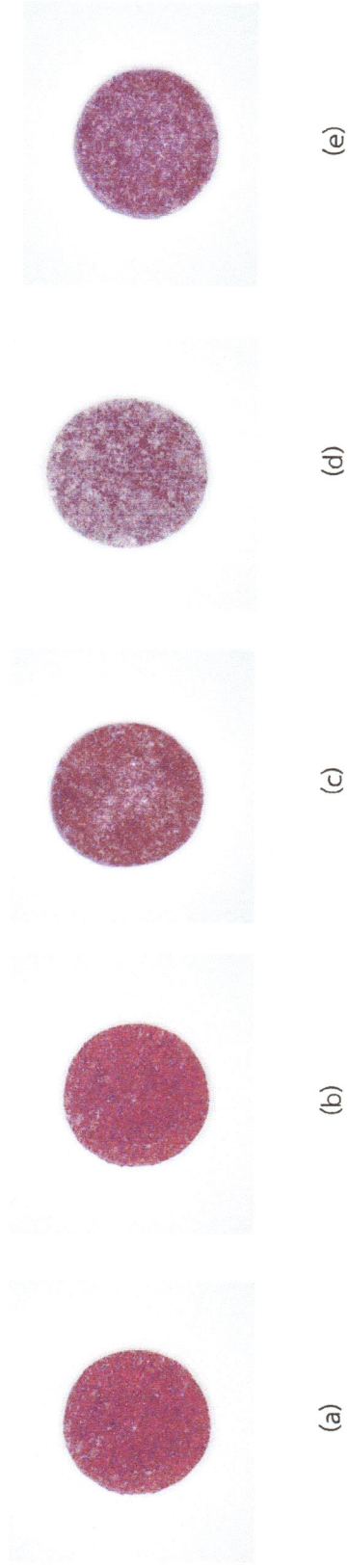
(d) ผลิตรักษ์กักफलนามแดงอัดเม็ดสูตรที่ 4



(e) ผลิตรักษ์กักफलนามแดงอัดเม็ดสูตรที่ 5

ภาพที่ 4-21 ผลิตรักษ์กักफलนามแดงอัดเม็ดทั้ง 5 สูตร เมื่อ

- (a) ผลิตรักษ์กักफलนามแดงอัดเม็ดสูตรที่ 1 (กากफलนามแดงผง: น้ำตาลไอซิ่ง: แป้งข้าวโพด: จีลิกอนไดออกไซด์ = 75: 23: 2: 0.5)
- (b) ผลิตรักษ์กักफलนามแดงอัดเม็ดสูตรที่ 2 (กากफलนามแดงผง: น้ำตาลไอซิ่ง: แป้งข้าวโพด: จีลิกอนไดออกไซด์ = 75: 15: 10: 0.5)
- (c) ผลิตรักษ์กักफलนามแดงอัดเม็ดสูตรที่ 3 (กากफलนามแดงผง: น้ำตาลไอซิ่ง: แป้งข้าวโพด: จีลิกอนไดออกไซด์ = 45: 45: 10: 0.5)
- (d) ผลิตรักษ์กักफलนามแดงอัดเม็ดสูตรที่ 4 (กากफलนามแดงผง: น้ำตาลไอซิ่ง: แป้งข้าวโพด: จีลิกอนไดออกไซด์ = 45: 53: 2: 0.5)
- (e) ผลิตรักษ์กักफलนามแดงอัดเม็ดสูตรที่ 5 (กากफलนามแดงผง: น้ำตาลไอซิ่ง: แป้งข้าวโพด: จีลิกอนไดออกไซด์ = 60: 34: 6: 0.5)



ภาพที่ 4-22 ลักษณะปรากฏผลิตภัณฑ์กากผลนามแดงอัดเม็ดทั้ง 5 สูตร เมื่อ

- (a) ผลิตภัณฑ์กากผลนามแดงอัดเม็ดสูตรที่ 1 (กากผลนามแดงผง: น้ำตาลไอซิ่ง: แป้งข้าวโพด: ซิลิคอนไดออกไซด์ = 75: 23: 2: 0.5)
- (b) ผลิตภัณฑ์กากผลนามแดงอัดเม็ดสูตรที่ 2 (กากผลนามแดงผง: น้ำตาลไอซิ่ง: แป้งข้าวโพด: ซิลิคอนไดออกไซด์ = 75: 15: 10: 0.5)
- (c) ผลิตภัณฑ์กากผลนามแดงอัดเม็ดสูตรที่ 3 (กากผลนามแดงผง: น้ำตาลไอซิ่ง: แป้งข้าวโพด: ซิลิคอนไดออกไซด์ = 45: 45: 10: 0.5)
- (d) ผลิตภัณฑ์กากผลนามแดงอัดเม็ดสูตรที่ 4 (กากผลนามแดงผง: น้ำตาลไอซิ่ง: แป้งข้าวโพด: ซิลิคอนไดออกไซด์ = 45: 53: 2: 0.5)
- (e) ผลิตภัณฑ์กากผลนามแดงอัดเม็ดสูตรที่ 5 (กากผลนามแดงผง: น้ำตาลไอซิ่ง: แป้งข้าวโพด: ซิลิคอนไดออกไซด์ = 60: 34: 6: 0.5)

4.2.5.1 ผลการศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของส่วนผสมในการผลิตผลิตภัณฑ์อัดเม็ดจากกากผลหนามแดงอบแห้ง

ผลิตภัณฑ์อัดเม็ดเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดแข็งที่อยู่ในรูปของแข็ง น้ำหนักเบา เป็นผลิตภัณฑ์พร้อมบริโภครับประทานได้สะดวกโดยการอมหรือเคี้ยวให้ละลายในปาก (อัจฉรา อุทิศวรรณกุล, 2536) ผลิตภัณฑ์อัดเม็ดส่วนใหญ่ประกอบด้วยสารที่มีสมบัติเป็นสารเจือจาง (Diluent) สารยึดเกาะ (Binder) และสารหล่อลื่น (Lubricant) (Lees & Jackson, 1975) สำหรับในงานวิจัยนี้ใช้วัตถุดิบหลักในการผลิตผลิตภัณฑ์คือ กากผลหนามแดงอบแห้งผง โดยนำมาอัดเม็ดร่วมกับส่วนผสมต่างๆ ได้แก่ น้ำตาลไอซิ่ง แป้งข้าวโพดและซิลิโคนไดออกไซด์ ตามปริมาณที่กำหนดไว้ ซึ่งได้จากการจัดสิ่งทดลองแบบ Mixture Design ได้สูตรผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ด 5 สูตร และเมื่อดำเนินการผลิตได้ผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงแสดงดังภาพที่ 4-21 และ 4-22 ซึ่งพบว่าทุกสูตรสามารถขึ้นรูปเป็นเม็ดได้ ส่วนผลการวิเคราะห์คุณภาพด้านปริมาณความชื้น ค่าสี (L^* a^* และ b^*) เส้นผ่านศูนย์กลาง ความหนา น้ำหนักต่อเม็ด ค่าความแข็ง (Hardness) ค่าการสีกร่อน (%) และการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส แสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4-25 ปริมาณความชื้น ค่าสี (L* a* และ b*) เส้นผ่านศูนย์กลาง ความหนา น้ำหนักต่อเม็ด ค่าความแข็ง และค่าการสึกกร่อนของผลิตภัณฑ์กาก
फलनामแดงทง 5 สูตร

สูตร ^๑	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน						
	ปริมาณ ความชื้น ^{ns} (%)	เส้นผ่าน ศูนย์กลาง ^{ns} (mm)	ความหนา ^{ns} (mm)	น้ำหนักต่อ เม็ด ^{ns} (g)	ค่าสี		ค่าการสึก กร่อน (%)
					L*	a* b*	
1	4.93±0.02	12.54±0.05	4.54±0.03	0.56±0.01	35.71 ^c	19.85 ^a ±0.07 6.26 ^d ±0.08	26.17 ^d ±2.41 0.52 ^d ±0.01
2	4.92±0.04	12.52±0.02	4.54±0.03	0.55±0.01	±0.13	19.78 ^a ±0.08 6.17 ^d ±0.07	18.30 ^e ±2.56 0.57 ^e ±0.02
3	4.91±0.03	12.52±0.02	4.55±0.02	0.55±0.01	35.60 ^c ±0.18	16.50 ^c ±0.10 7.53 ^b ±0.11	46.78 ^b ±2.31 0.26 ^b ±0.02
4	4.92±0.03	12.51±0.02	4.55±0.04	0.56±0.02	41.12 ^a ±0.19	16.40 ^c ±0.12 7.80 ^a ±0.10	55.75 ^a ±2.56 0.19 ^a ±0.01
5	4.92±0.02	12.50±0.03	4.54±0.02	0.56±0.02	40.98 ^a ±0.19	16.96 ^b ±0.12 6.39 ^c ±0.08	32.74 ^c ±2.43 0.43 ^c ±0.03
					36.66 ^b ±0.23		

๑ สูตรที่ 1 ใช้กากफलนามแดงผง: น้ำตาลไอซิ่ง: แป้งข้าวโพด: ซิลิโคนไดออกไซด์ = 75: 23: 2: 0.5

สูตรที่ 2 ใช้กากफलนามแดงผง: น้ำตาลไอซิ่ง: แป้งข้าวโพด: ซิลิโคนไดออกไซด์ = 75: 15: 10: 0.5

สูตรที่ 3 ใช้กากफलนามแดงผง: น้ำตาลไอซิ่ง: แป้งข้าวโพด: ซิลิโคนไดออกไซด์ = 45: 45: 10: 0.5

สูตรที่ 4 ใช้กากफलนามแดงผง: น้ำตาลไอซิ่ง: แป้งข้าวโพด: ซิลิโคนไดออกไซด์ = 45: 53: 2: 0.5

สูตรที่ 5 ใช้กากफलนามแดงผง: น้ำตาลไอซิ่ง: แป้งข้าวโพด: ซิลิโคนไดออกไซด์ = 60: 34: 6: 0.5

a,b,c,... หมายถึง ค่าในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ns หมายถึง ค่าในแนวตั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≥0.05)

1) ค่าปริมาณความชื้น เส้นผ่านศูนย์กลาง ความหนา และน้ำหนักต่อเมตร

จากตารางที่ 4-25 พบว่า ผลผลิตกัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดทั้ง 5 สูตร มีปริมาณความชื้น เส้นผ่านศูนย์กลาง ความหนา และน้ำหนักต่อเมตร ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยพบว่า ผลผลิตกัณฑ์อัดเม็ดทั้ง 5 สูตร มีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 4.91 – 4.93% ทั้งนี้เนื่องจากการควบคุมปริมาณความชื้นสุดท้าย โดยการฝังผลผลิตกัณฑ์ให้แห้ง สำหรับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความหนาถูกควบคุมด้วยขนาดของแม่พิมพ์และใช้แรงในการอัดเม็ดเท่าๆ กัน และทำการควบคุมน้ำหนักของส่วนผสมให้มีน้ำหนักต่อเม็ดเท่ากับ 0.7000 ± 0.1500 กรัมต่อ 1 เม็ด

2) ค่าสี (L^* a^* และ b^*)

จากตารางที่ 4-25 เมื่อพิจารณาค่าสี (L^* a^* และ b^*) พบว่า ค่าสีของผลผลิตกัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดทั้ง 5 สูตร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยผลผลิตกัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดสูตรที่ 1 2 และ 5 มีค่าสีแดง (a^*) มากกว่าผลผลิตกัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดสูตรที่ 3 และ 4 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก ผลผลิตกัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดสูตรดังกล่าว มีการเติมกากหนามแดงผงซึ่งมีสีออกแดงในปริมาณมาก (60 - 75%) จึงทำให้ผลผลิตกัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดมีค่าความเป็นสีแดงมากกว่าสูตรที่ 3 และ 4 ในขณะเดียวกันผลผลิตกัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดสูตรที่ 3 และ 4 มีค่าความสว่าง (L^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) สูงกว่าผลผลิตกัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดสูตรที่ 1 2 และ 5 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการใช้กากผลหนามแดงในปริมาณน้อยแต่มีการใช้น้ำตาลไอซิ่ง แป้งข้าวโพด ซึ่งมีสีขาว ในปริมาณมากกว่าจึงทำให้ผลผลิตกัณฑ์อัดเม็ดสูตรที่ 3 และ 4 มีความสว่างมากกว่าและมีสีอ่อนกว่า

3) ค่าความแข็ง (Hardness)

จากตารางที่ 4-25 พบว่า ค่าความแข็งของผลผลิตกัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดทั้ง 5 สูตร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยผลผลิตกัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดสูตรที่ 4 มีค่าความแข็งมากที่สุด คือ 55.75 นิวตัน ทั้งนี้อาจเนื่องจากในสูตรดังกล่าวมีการใช้น้ำตาลไอซิ่ง ซึ่งมีสมบัติเป็นสารยึดเกาะในปริมาณมากที่สุด (53%) จึงสามารถยึดเกาะกับส่วนผสมอื่นๆ ได้ดีส่งผลให้มีความแข็งมาก ในทางตรงกันข้ามผลผลิตกัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดสูตรที่ 2 มีค่าความแข็งต่ำที่สุด คือ 18.30 นิวตัน เนื่องจากในสูตรดังกล่าวมีการใช้น้ำตาลไอซิ่งปริมาณน้อยที่สุด (15%) และใช้กากผลหนามแดงผงปริมาณมากที่สุด (75%)

4) ค่าการสึกกร่อน

จากตารางที่ 4-25 พบว่า ค่าการสึกกร่อนของผลผลิตกัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดทั้ง 5 สูตร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยผลผลิตกัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดสูตรที่ 4 มีค่าการสึกกร่อนต่ำที่สุด คือ 0.19% และผลผลิตกัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดสูตรที่ 2 มีค่าการสึกกร่อนมากที่สุด คือ 0.57% ทั้งนี้สอดคล้องกับผลด้านค่าความแข็งที่สามารถอธิบายได้ว่า

เมื่อผลิตภัณฑ์มีการยึดเกาะกันได้ดีจึงมีความแข็งแรงมากและมีโอกาสสึกกร่อนได้น้อย ซึ่งเป็นผลมาจากการใช้น้ำตาลไอซิ่งปริมาณมาก มีผลทำให้ส่วนผสมต่างๆ สามารถยึดเกาะได้ดีขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดมีลักษณะเป็นเม็ดสมบูรณ์ดี และมีความสึกกร่อนน้อยนั่นเอง

5) คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวม ลักษณะปรากฏ สี รสชาติ และเนื้อสัมผัส ด้วยวิธี 9 point hedonic scale

จากตารางที่ 4-26 พบว่า คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ของผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดทั้ง 5 สูตร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่คะแนนความชอบด้านสีและรสชาติของผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดทั้ง 5 สูตร ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) โดยเมื่อพิจารณาคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม พบว่า ผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดในสูตรที่ 3 4 และ 5 มีแนวโน้มได้รับคะแนนความชอบด้านดังกล่าวมากกว่าผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดในสูตรที่ 1 และ 2 สำหรับคะแนนความชอบด้านสีและรสชาติพบว่า ทุกสูตรมีคะแนนความชอบอยู่ในช่วง 4.63 – 5.23 และ 5.50 – 6.23 ซึ่งอยู่ในระดับไม่ความชอบเล็กน้อยถึงเฉยๆ และระดับเฉยๆ ถึงชอบเล็กน้อย ตามลำดับ

ตารางที่ 4-26 คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของสูตรผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ด

สูตร ^a	คะแนนความชอบ $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				
	ลักษณะปรากฏ	สี ^{ns}	รสชาติ ^{ns}	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
1	6.47 ^b $\pm$ 0.03	6.37 $\pm$ 0.03	4.80 $\pm$ 0.02	5.67 ^{ab} $\pm$ 0.04	5.53 ^{cb} $\pm$ 0.02
2	6.33 ^b $\pm$ 0.03	6.30 $\pm$ 0.05	4.63 $\pm$ 0.02	5.50 ^b $\pm$ 0.05	5.20 ^c $\pm$ 0.02
3	6.53 ^{ab} $\pm$ 0.05	6.47 $\pm$ 0.05	5.23 $\pm$ 0.03	5.87 ^{ab} $\pm$ 0.03	5.80 ^{ab} $\pm$ 0.03
4	6.83 ^a $\pm$ 0.02	6.50 $\pm$ 0.04	5.10 $\pm$ 0.04	6.27 ^a $\pm$ 0.04	6.13 ^a $\pm$ 0.04
5	6.60 ^{ab} $\pm$ 0.06	6.37 $\pm$ 0.04	5.03 $\pm$ 0.02	5.93 ^{ab} $\pm$ 0.03	5.90 ^{ab} $\pm$ 0.03

^a สูตรที่ 1 ใช้กากผลหนามแดงผง: น้ำตาลไอซิ่ง: แป้งข้าวโพด: ซิลิคอนไดออกไซด์ = 75: 23: 2: 0.5
สูตรที่ 2 ใช้กากผลหนามแดงผง: น้ำตาลไอซิ่ง: แป้งข้าวโพด: ซิลิคอนไดออกไซด์ = 75: 15: 10: 0.5
สูตรที่ 3 ใช้กากผลหนามแดงผง: น้ำตาลไอซิ่ง: แป้งข้าวโพด: ซิลิคอนไดออกไซด์ = 45: 45: 10: 0.5
สูตรที่ 4 ใช้กากผลหนามแดงผง: น้ำตาลไอซิ่ง: แป้งข้าวโพด: ซิลิคอนไดออกไซด์ = 45: 53: 2: 0.5
สูตรที่ 5 ใช้กากผลหนามแดงผง: น้ำตาลไอซิ่ง: แป้งข้าวโพด: ซิลิคอนไดออกไซด์ = 60: 34: 6: 0.5

a,b,c,... หมายถึง ค่าในแนวดิ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ns หมายถึง ค่าในแนวดิ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

เพื่อให้อธิบายแนวโน้มผลของส่วนผสมที่ใช้ต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ด ให้ชัดเจนขึ้นจึงนำข้อมูลค่าคุณภาพด้านต่างๆ ที่วิเคราะห์มาหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ ส่วนผสมที่แปรกับคุณภาพที่วัดได้โดยใช้วิธี Regression Analysis โดยใช้สมการลำดับที่ 1 คือ $y = b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3$ โดยที่ค่า $y_1 - y_8$ คือ ค่าคุณภาพที่วิเคราะห์โดยเลือกเฉพาะค่าคุณภาพที่ปริมาณ ส่วนผสมมีผลกระทบ (significance) ได้แก่ ค่าสี L^* ค่าสี a^* และ ค่าสี b^* ค่าความแข็ง ค่าการสีกร่อน ความชอบด้านลักษณะปรากฏ ความชอบด้านเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยที่ค่า $b_1 b_2 b_3$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร และ $x_1 x_2 x_3$ คือปริมาณของกากผลหนามแดง น้ำตาลไอซิ่ง และแป้งข้าวโพดที่ใช้ในผลิตภัณฑ์อัดเม็ด ตามลำดับ

ตารางที่ 4-27 สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าคุณภาพในด้านต่างๆของผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ด ($y_1 - y_8$) ต่อปริมาณกากผลหนามแดง (x_1) น้ำตาลไอซิ่ง (x_2) และแป้งข้าวโพด (x_3)

คุณภาพด้านต่างๆ	สมการ	R^2	Model significance
ค่าสี			
L^*	$y_1 = 30.809x_1 + 48.793x_2 + 48.98x_3$	0.927	0.07
a^*	$y_2 = 22.373x_1 + 11.157x_2 + 11.344x_3$	0.911	0.09
b^*	$y_3 = 5.032 x_1 + 9.865x_2 + 7.615x_3$	0.895	0.11
ความแข็ง	$y_4 = 3.556x_1 + 100.323x_2 - 4.927x_3$	0.986	0.01
การสีกร่อน	$y_5 = 0.776x_1 + 0.291x_2 + 0.459x_3$	0.984	0.02
คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส			
ความชอบด้านลักษณะปรากฏ	$y_6 = 6.344x_1 + 7.277x_2 + 4.527x_3$	0.932	0.07
ความชอบด้านเนื้อสัมผัส	$y_8 = 5.415x_1 + 7.032x_2 + 3.469x_3$	0.936	0.06
ความชอบด้านความชอบโดยรวม	$y_9 = 5.159x_1 + 7.16x_2 + 3.034x_3$	0.914	0.09

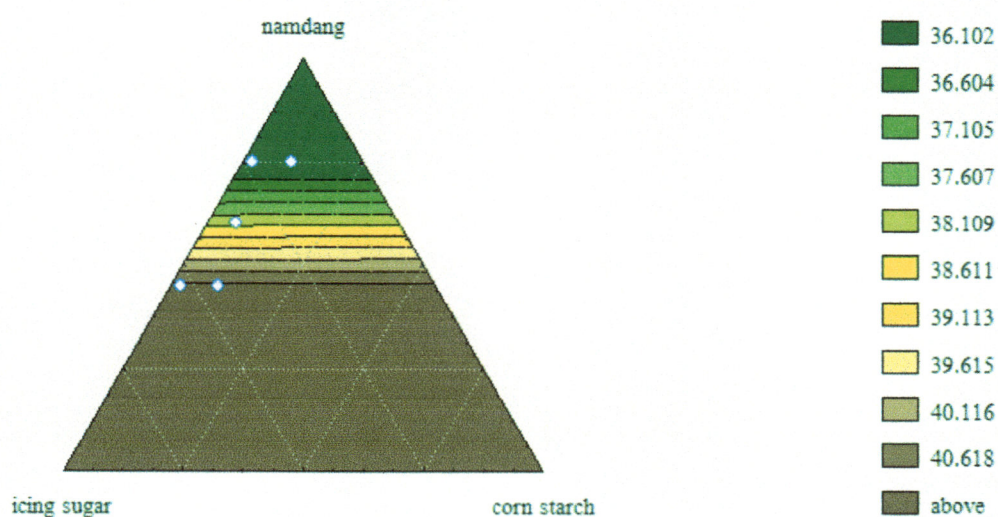
สมการสามารถใช้ได้เมื่อ x_1 อยู่ในช่วง 45-76 x_2 อยู่ในช่วง 4-60 และ x_3 อยู่ในช่วง 2-10 ตามสัดส่วนที่กำหนดไว้ จากตารางที่ 4-27 แสดงสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าคุณภาพในด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ด ($y_1 - y_8$) กับปริมาณกากผลหนามแดง (x_1) และน้ำตาลไอซิ่ง (x_2) และแป้งข้าวโพด (x_3) ในการพิจารณาความน่าเชื่อถือของสมการและความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรมักพิจารณาจากค่า R^2 ซึ่งแสดงถึงความน่าเชื่อถือของสมการ โดยทั่วไปสมการที่มักนำไปใช้ควรมีค่า R^2 อย่างน้อย 0.75 (Haaland, 1998; Hu, 1999) นอกจากนี้ยังพิจารณาจากค่า Model significance หากมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ หมายถึง ตัวแปรในสมการมีความสัมพันธ์กันที่ระดับนัยสำคัญ ดังกล่าวนั้น เมื่อพิจารณาจากเกณฑ์ดังกล่าวพบว่า สมการของค่าสี L^* ค่าสี a^* ค่าความแข็ง ค่าการสีกร่อน ความชอบด้านลักษณะปรากฏ ความชอบด้านเนื้อสัมผัส และความชอบด้าน

ความชอบโดยรวม มีค่า R^2 มากกว่า 0.75 และมีค่า Model significance น้อยกว่า 0.10 แสดงว่าสมการมีความน่าเชื่อถือและตัวแปรในสมการมีความสัมพันธ์กันที่ระดับนัยสำคัญ 0.10 จึงนำสมการเหล่านี้มาสร้างกราฟโดยวิธี Response Surface Methodology เพื่อแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าคุณภาพต่างๆตามปริมาณส่วนผสมที่ใช้ แสดงดังภาพที่ 4-23 ถึง 4-31

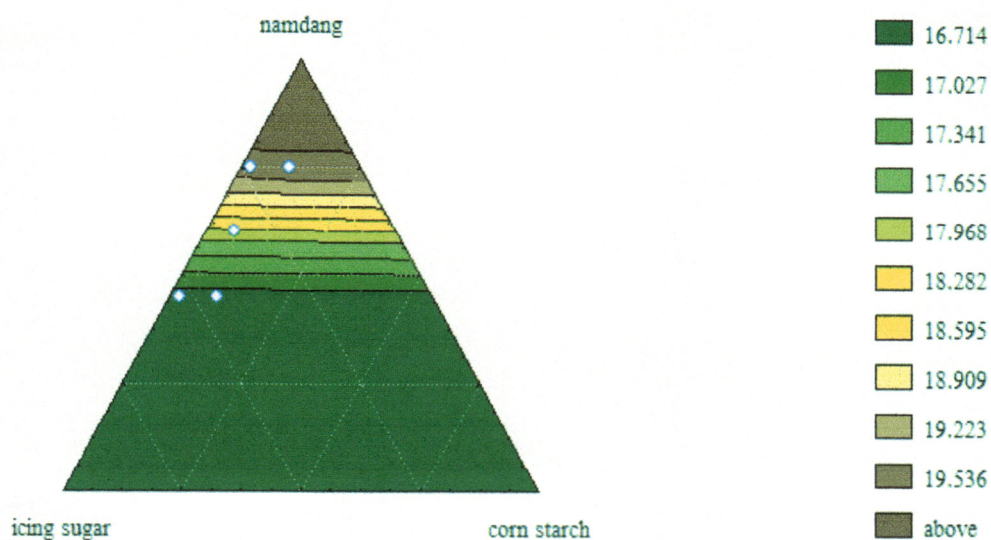
สำหรับค่า L^* และ a^* ของผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดแสดงดังภาพที่ 4-23 และ 4-24 โดยเมื่อพิจารณาภาพที่ 4-23 พบว่า ค่า L^* มีแนวโน้มลดลงเมื่อเติมกากผลหนามแดงในปริมาณมากขึ้น และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเติมน้ำตาลไอซิ่งและแป้งข้าวโพดในปริมาณมาก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกากผลหนามแดงมีสีแดงเข้มอมม่วง ในขณะที่น้ำตาลไอซิ่งและแป้งข้าวโพดมีสีค่อนข้างขาวออกเหลือง การเติมกากผลหนามแดงจึงมีแนวโน้มให้ค่า L^* ลดลง ในขณะที่การเติมน้ำตาลไอซิ่งและแป้งข้าวโพดมีแนวโน้มให้ค่า L^* เพิ่มขึ้นนั่นเอง และเมื่อพิจารณาภาพที่ 4-24 พบว่า ค่า a^* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเติมกากผลหนามแดงในปริมาณมากขึ้น และมีแนวโน้มลดลงเมื่อเติมน้ำตาลไอซิ่งและแป้งข้าวโพดในปริมาณมากขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกากผลหนามแดงมีสีแดงเข้มอมม่วงดังที่กล่าวไว้เมื่อเติมในปริมาณมากขึ้นจึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีแดงเข้มขึ้นนั่นเอง ส่วนการเพิ่มปริมาณน้ำตาลไอซิ่งและแป้งข้าวโพดจึงเป็นการทำให้สีแดงอ่อนลง

เมื่อพิจารณาภาพที่ 4-25 พบว่า ค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเติมน้ำตาลไอซิ่งในปริมาณมาก ทั้งนี้เนื่องมาจากน้ำตาลไอซิ่งมีสมบัติในการเพิ่มความสามารถในการยึดเกาะกับส่วนผสมอื่นๆ การเติมน้ำตาลไอซิ่งมากจึงช่วยให้เกิดการยึดเกาะกันแน่นมีผลให้ผลิตภัณฑ์อัดเม็ดมีความแข็งแรงสูง

เมื่อพิจารณาภาพที่ 4-26 พบว่า ค่าการสึกกร่อนของผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเติมกากผลหนามแดงปริมาณมาก และมีแนวโน้มลดลงเมื่อเติมน้ำตาลไอซิ่งปริมาณมาก เนื่องจากน้ำตาลไอซิ่งมีคุณสมบัติช่วยในการยึดเกาะกับส่วนผสมอื่นๆ นั่นคือ ปริมาณน้ำตาลไอซิ่งที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ส่วนผสมต่างๆสามารถยึดเกาะได้ดีขึ้น จึงเป็นผลให้ค่าการสึกกร่อนของผลิตภัณฑ์อัดเม็ดจากกากผลหนามแดงลดลง



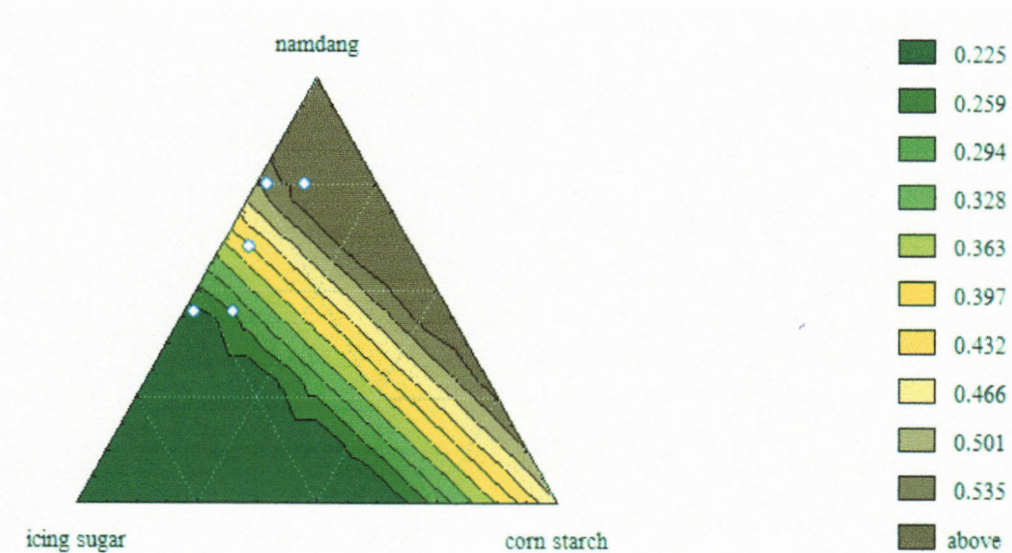
ภาพที่ 4-23 ค่า L^* ของผลิตภัณฑ์กากफलนามแดงอัดเม็ดเมื่อแปรส่วนผสมของกากफलนามแดง ผง (namdang) น้ำตาลไอซิ่ง (icing sugar) และแป้งข้าวโพด (corn starch) โดยจัดสิ่งทดลองแบบ Mixture Design



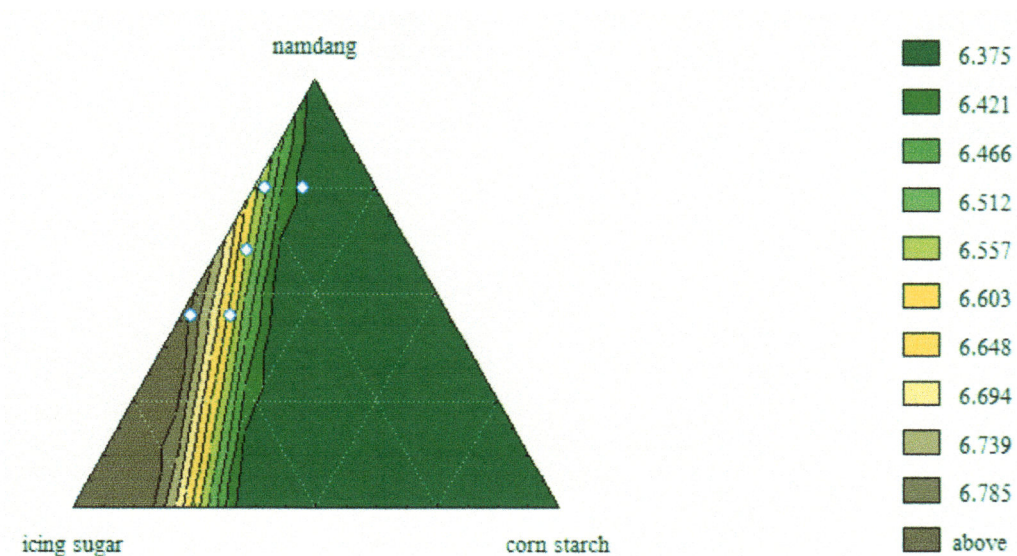
ภาพที่ 4-24 ค่า a^* ของผลิตภัณฑ์กากफलนามแดงอัดเม็ดเมื่อแปรส่วนผสมของกากफलนามแดง ผง (namdang) น้ำตาลไอซิ่ง (icing sugar) และแป้งข้าวโพด (corn starch) โดยจัดสิ่งทดลองแบบ Mixture Design



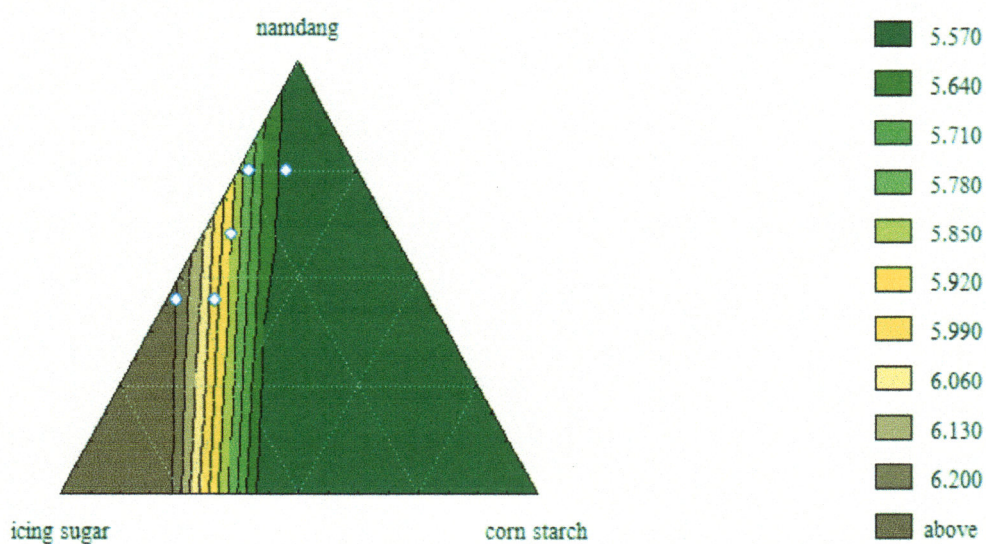
ภาพที่ 4-25 ค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดเมื่อแปรส่วนผสมของกากผลหนามแดงผง (namdang) น้ำตาลไอซิ่ง (icing sugar) และแป้งข้าวโพด (corn starch) โดยจัดสิ่งทดลองแบบ Mixture Design



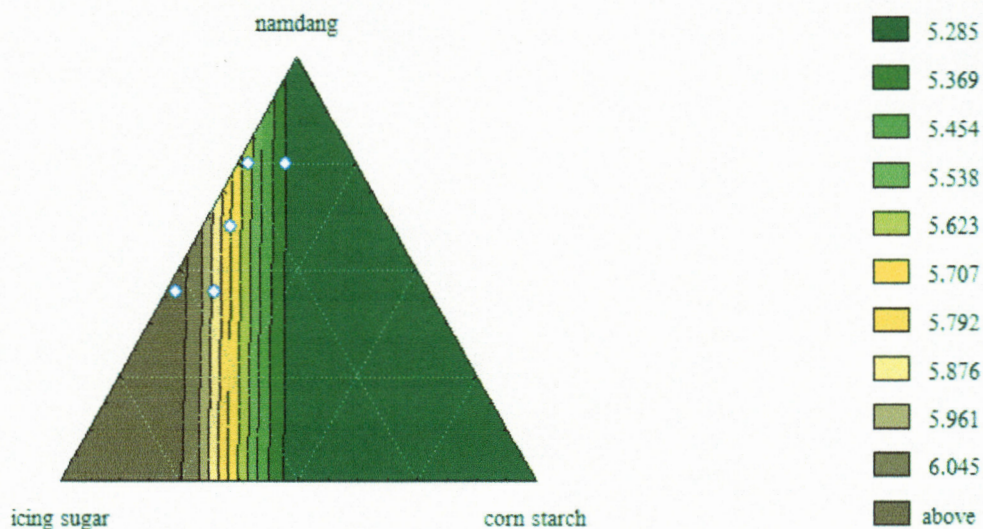
ภาพที่ 4-26 ค่าการสีกร่อนของผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดเมื่อแปรส่วนผสมของกากผลหนามแดงผง (namdang) น้ำตาลไอซิ่ง (icing sugar) และแป้งข้าวโพด (cornstarch) โดยจัดสิ่งทดลองแบบ Mixture Design



ภาพที่ 4-27 คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์กากफलนามแดงอัดเม็ดเมื่อแปรส่วนผสมของกากफलนามแดงผง (namdang) น้ำตาลไอซิ่ง (icing sugar) และแป้งข้าวโพด (corn starch) โดยจัดสิ่งทดลองแบบ Mixture Design



ภาพที่ 4-28 แนวโน้มคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์กากफलนามแดงอัดเม็ดเมื่อแปรส่วนผสมของกากफलนามแดงผง (namdang) น้ำตาลไอซิ่ง (icing sugar) และแป้งข้าวโพด (corn starch) โดยจัดสิ่งทดลองแบบ Mixture Design



ภาพที่ 4-29 แนวโน้มคะแนนความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์กากफलหนามแดงอัดเม็ดเมื่อแปรส่วนผสมของกากफलหนามแดงผง (namdang) น้ำตาลไอซิ่ง (icing sugar) และแป้งข้าวโพด (corn starch) โดยจัดสิ่งทดลองแบบ Mixture Design

สำหรับคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ของผลิตภัณฑ์กากफलหนามแดงอัดเม็ด แสดงดังภาพที่ 4-27 4-28 และ 4-29 ตามลำดับ โดยพบว่า คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์กากफलหนามแดงอัดเม็ด มีแนวโน้มคล้ายกัน กล่าวคือ เมื่อเติมน้ำตาลไอซิ่งในปริมาณมากขึ้นทำให้คะแนนความชอบมาก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากน้ำตาลไอซิ่งมีลักษณะสีขาว ทำให้ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์อัดเม็ดมีสีอ่อน อีกทั้งน้ำตาลไอซิ่งมีคุณสมบัติช่วยในการยึดเกาะกับส่วนผสมอื่นๆ ได้ดี ทำให้ได้ลักษณะเนื้อสัมผัสดี จึงส่งผลให้ได้คะแนนความชอบโดยรวมมากกว่าสูตรที่ใช้น้ำตาลไอซิ่งน้อย

4.2.5.2 การเลือกสูตรที่เหมาะสม

เกณฑ์ในการคัดเลือก กำหนดไว้ว่าจะเลือกสูตรที่ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์อัดเม็ดที่มีลักษณะดีเป็นเม็ดสมบูรณ์ มีความสึกกร่อนน้อย ได้รับความชอบด้านต่างๆ สูง และได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด ดังนั้นสูตรที่เหมาะสม คือ สูตรที่ 4 มีการใช้ปริมาณส่วนผสม ดังนี้ คือ กากफलหนามแดงผง 45% น้ำตาลไอซิ่ง 53% แป้งข้าวโพด 2% และซิลิคอนไดออกไซด์ 0.5% พบว่า ผลิตภัณฑ์กากफलหนามแดงอัดเม็ดสูตรที่ 4 ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์อัดเม็ดที่มีลักษณะดี เป็นเม็ดสมบูรณ์ มีค่าความแข็งแรงมากที่สุดและมีการสึกกร่อนน้อยที่สุด คือ 55.75 นิวตัน และ 0.19% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์กากफलหนามแดงอัดเม็ดสูตรอื่นๆ ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ในการคัดเลือกที่กำหนดไว้ และเมื่อพิจารณาคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านความชอบ ลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม พบว่า ผลิตภัณฑ์กากफलหนามแดงอัดเม็ดสูตรที่ 4 ได้รับคะแนนความชอบด้านดังกล่าวมากที่สุด ($p < 0.05$) โดยมีความชอบอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย ส่วนคะแนนความชอบในด้านสี และรสชาติ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ด้านดังกล่าวมากที่สุด ($p < 0.05$) โดยมีความชอบอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย ส่วนคะแนนความชอบในด้านสี และรสชาติ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

4.2.6 ผลการศึกษาการใช้เจลลาตินเป็นสารเคลือบในการผลิตผลิตภัณฑ์อัดเม็ดจากกากผลหนามแดงอบแห้ง

สารเคลือบ (Coating Agent) สามารถป้องกันผลิตภัณฑ์อัดเม็ดจากความชื้นและแสง เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา และช่วยให้กลืนได้ง่ายขึ้น (Stephen K.R., 2008) โดยในโครงการวิจัยนี้ได้เลือกใช้เจลลาตินในการเคลือบผลิตภัณฑ์อัดเม็ด เนื่องจากสามารถหาได้ง่าย ราคาถูก และมีการแนะนำให้ใช้ได้ ในผลิตภัณฑ์อัดเม็ดที่ขึ้นรูปด้วยการตอกเม็ด โดยเตรียมสารละลายเจลลาตินความเข้มข้น 10% แล้วนำผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดมาจุ่มในสารละลายเจลลาตินที่เตรียมไว้เป็นเวลา 10 วินาที แล้วนำไปวางผึ่งให้แห้งบนตะแกรง เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำซ้ำสองครั้งเพื่อให้เจลลาตินเคลือบได้ทั่วถึง จากนั้นนำผลิตภัณฑ์อัดเม็ดที่ได้มาบรรจุในถุงอะลูมิเนียมพอยล์ ถุงละ 10 เม็ด เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 สัปดาห์ โดยกำหนดให้วันเริ่มต้นการเก็บรักษา คือ 0 สัปดาห์ และวันสุดท้ายของการเก็บรักษา คือ 3 สัปดาห์ สุ่มตัวอย่างทุกสัปดาห์แล้วนำมาวิเคราะห์คุณภาพในด้านต่างๆ ผลการวิเคราะห์มีรายละเอียดดังนี้

1) ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา

จุลินทรีย์สามารถทำให้อาหารเสื่อมเสียได้ โดยปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา ได้แก่ ปริมาณความชื้นของอาหาร สารเคมีในอาหาร ปริมาณออกซิเจน อุณหภูมิในการเก็บ สภาพความเป็นกรดด่าง เป็นต้น (นิธิยา รัตนานนท์, 2549) โดยปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา สามารถใช้เป็นตัวชี้วัดคุณภาพอาหารเพื่อยืนยันความปลอดภัยต่อการบริโภคอาหารได้

จากตารางที่ 4-27 และตารางที่ 4-28 พบว่า การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดที่มีการเคลือบและไม่เคลือบเจลลาตินเป็นระยะเวลา 3 สัปดาห์ ยังคงมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ในผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน คือ ในผลิตภัณฑ์นมถั่วเหลืองอัดเม็ด ที่กำหนดไว้ว่า ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องน้อยกว่า 1.0×10^6 CFU/g และปริมาณยีสต์และราต้องน้อยกว่า 100 CFU/g (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2550) อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา ของผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดที่ไม่เคลือบเจลลาตินมีมากกว่าผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดที่เคลือบเจลลาติน ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การเคลือบเจลลาตินมีแนวโน้มที่สามารถลดการเกิดจุลินทรีย์ทั้งหมดในผลิตภัณฑ์ได้ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการใช้สารเคลือบสามารถลดการสูญเสียน้ำของผลิตภัณฑ์ และปกป้องผิวหน้าของผลิตภัณฑ์จากเชื้อจุลินทรีย์ได้ (ไศรดา กนกพานนท์ และอภิตา บุญศิริ, 2553)

ตารางที่ 4-27 ปริมาณจุลินทรีย์ (CFU/g) ของผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดที่เคลือบและไม่เคลือบเจลาตินในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ระยะเวลาในการเก็บรักษา (สัปดาห์)	เคลือบ	ไม่เคลือบ
0	ไม่พบ	ไม่พบ
1	ไม่พบ	ไม่พบ
2	2.0×10^2 est.	$<1.0 \times 10^2$ est.
3	1.0×10^3 est.	1.67×10^3 est.

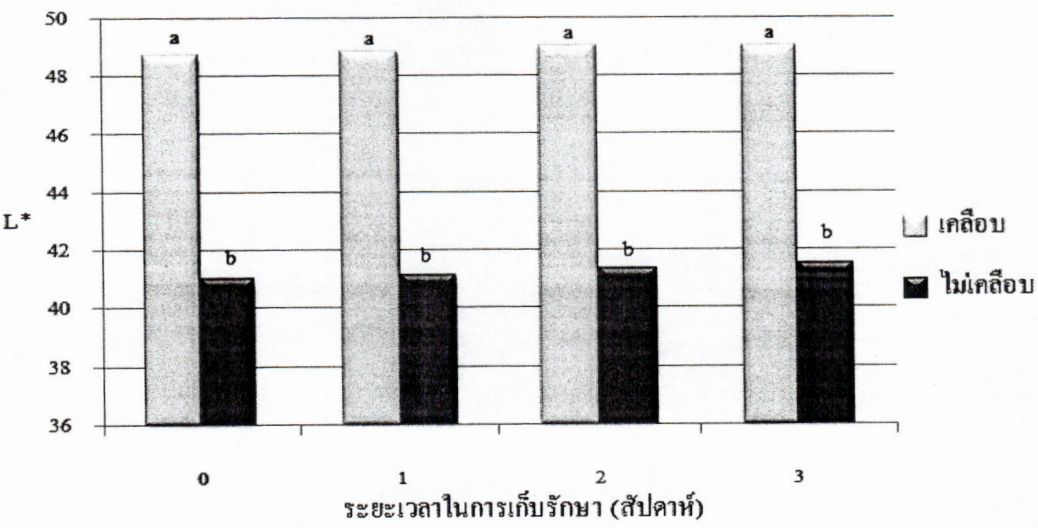
ตารางที่ 4-28 ปริมาณยีสต์และรา (CFU/g) ของผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดที่เคลือบและไม่เคลือบเจลาตินในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ระยะเวลาในการเก็บรักษา (สัปดาห์)	เคลือบ	ไม่เคลือบ
0	ไม่พบ	ไม่พบ
1	ไม่พบ	ไม่พบ
2	ไม่พบ	$<1.0 \times 10^1$ est.
3	ไม่พบ	$<1.0 \times 10^1$ est.

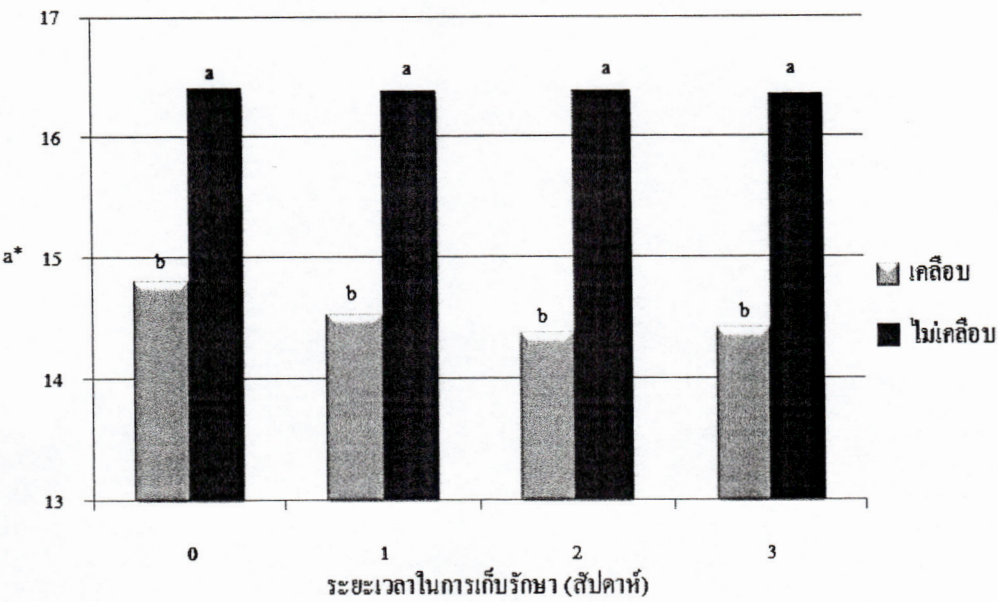
2) ค่าสี

จากภาพที่ 4-32 4-33 และ 4-34 พบว่า ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 3 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิห้อง ค่าสี (L^* a^* และ b^*) ของผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดที่เคลือบเจลาตินมีค่าอยู่ในช่วง 48.69-48.97 14.37-14.80 และ 8.80-8.91 ตามลำดับ และค่าสี L^* a^* และ b^* ของผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดที่ไม่เคลือบเจลาตินมีค่าอยู่ในช่วง 40.98-41.52 16.34-16.40 และ 7.79-7.83 ตามลำดับ จากภาพที่ 4-32 และ 4-34 มีแนวโน้มเหมือนกันคือ ค่าสี L^* และ b^* ของผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดที่เคลือบเจลาตินมีค่ามากกว่าผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดที่ไม่เคลือบเจลาติน ในขณะที่ค่าสี a^* ของผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดที่เคลือบเจลาตินมีค่าน้อยกว่าผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดที่ไม่เคลือบเจลาติน ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องจากสารละลายเจลาตินที่ใช้เคลือบผลิตภัณฑ์อัดเม็ด มีลักษณะใส ไม่มีสี จึงทำให้ผลิตภัณฑ์อัดเม็ดที่เคลือบเจลาตินมีความสว่างและจางกว่าผลิตภัณฑ์อัดเม็ดที่ไม่เคลือบเจลาติน และจากการสังเกตข้อมูลพบว่า ในระหว่างการเก็บรักษา ค่าสี (L^* a^* และ b^*) ไม่มีการ

เปลี่ยนแปลงค่าสีมากนั้ก ทั้งนี้เนื่องมาจากการบรรจุผลิตภัณฑ์ไว้ในถุงอะลูมิเนียมฟอยด์ปิดสนิท จึงสามารถป้องกันอากาศ ความชื้น และแสง ที่จะมาทำให้สีของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไป

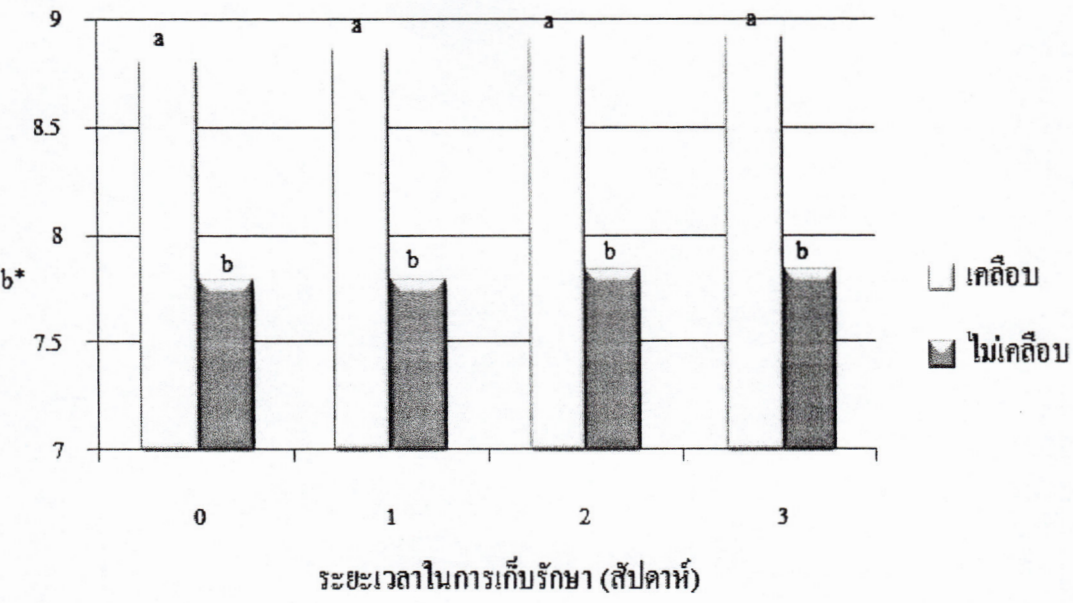


ภาพที่ 4-32 ค่าความสว่าง (L*) ของผลิตภัณฑ์จากผลหนามแดงอัดเม็ดที่เคลือบและไม่เคลือบ เจริญเติบโตในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 3 สัปดาห์ (^{a b} หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) ระหว่างการเคลือบและไม่เคลือบเจริญเติบโต)



ภาพที่ 4-33 ค่าความเป็นสีแดง (a*) ของผลิตภัณฑ์จากผลหนามแดงอัดเม็ดที่เคลือบและไม่เคลือบ เจริญเติบโตในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 3 สัปดาห์ (^{a b} หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) ระหว่างการเคลือบและไม่เคลือบเจริญเติบโต)

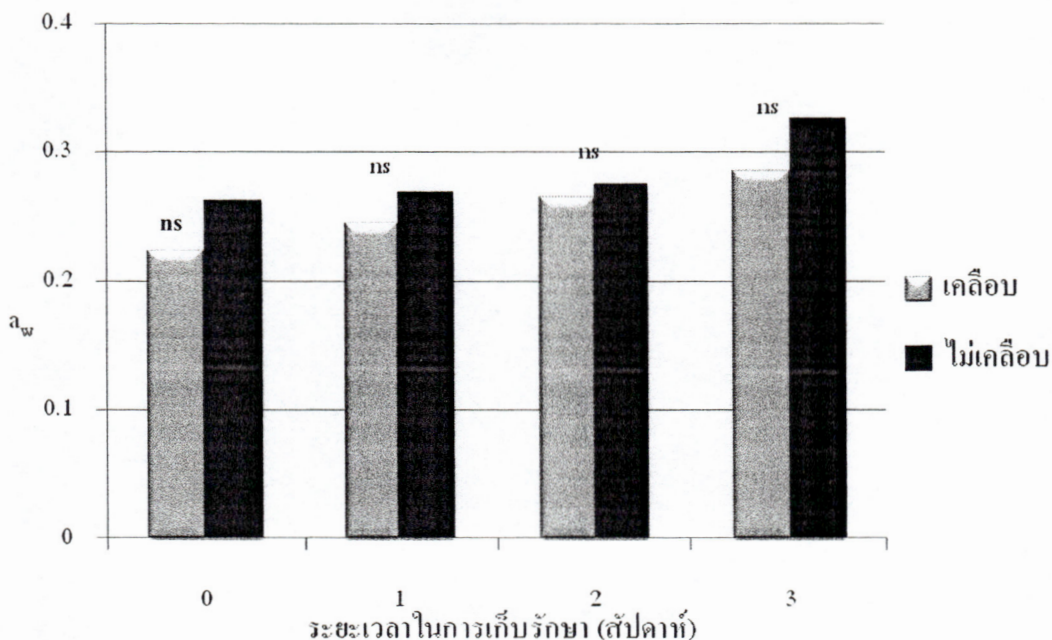
ทางสถิติ ($p < 0.05$) ระหว่างการเคลือบและไม่เคลือบเงาติน)



ภาพที่ 4-34 ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ของผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดที่เคลือบและไม่เคลือบเงาตินในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 3 สัปดาห์ (^a ^b หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ระหว่างการเคลือบและไม่เคลือบเงาติน)

3) ค่า a_w และปริมาณความชื้น

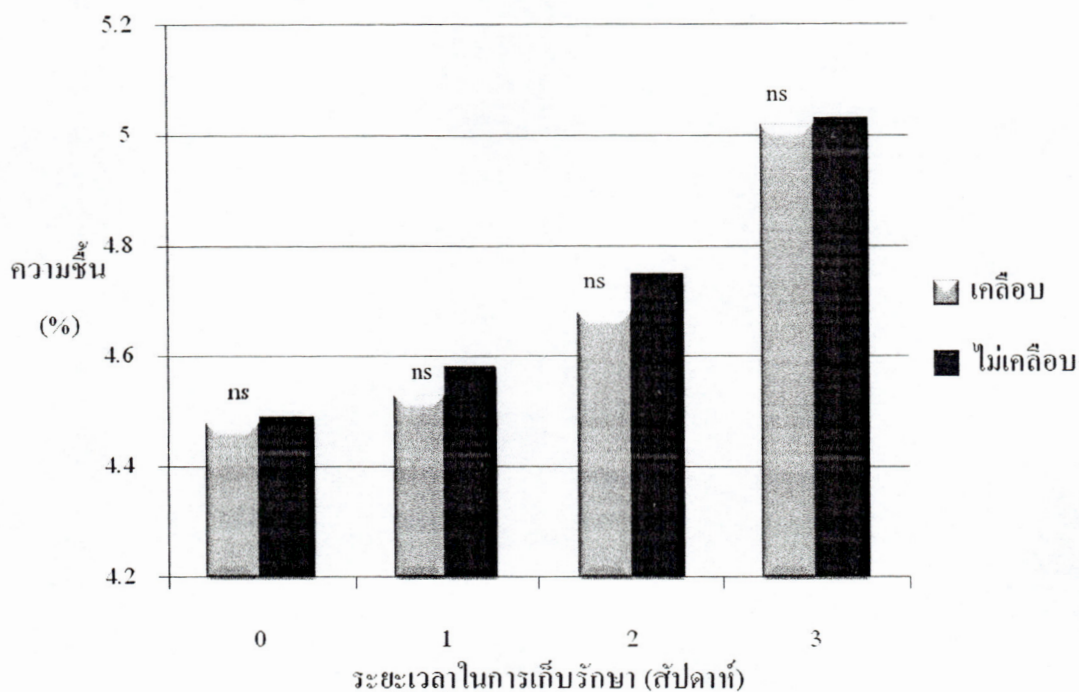
ค่า a_w มีบทบาทสำคัญมากสำหรับการแปรรูปอาหารและการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหาร เนื่องจากค่า a_w เป็นปัจจัยที่ชี้ระดับปริมาณน้ำต่ำสุดในอาหารที่เชื้อจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและใช้ในการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่างๆ โดยแบคทีเรียส่วนใหญ่ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ที่ค่า a_w ต่ำกว่า 0.9 และราส่วนใหญ่จะไม่เจริญเติบโตที่ค่า a_w ต่ำกว่า 0.7 (รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต และไพศาล วุฒิจำนงค์, 2545) เมื่อพิจารณาผลการทดลองจากภาพที่ 4-35 พบว่า ตลอดการเก็บรักษา 3 สัปดาห์ ผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดที่เคลือบเงาตินและไม่เคลือบเงาตินมีค่า a_w ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.223-0.326 ซึ่งยังคงมีค่า a_w ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ในผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน คือ ในผลิตภัณฑ์นมถั่วเหลืองอัดเม็ดที่กำหนดไว้ว่า ค่า a_w ต้องไม่เกิน 0.6 (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2550)



ภาพที่ 4-35 ค่า a_w ของผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดที่เคลือบและไม่เคลือบเจลาตินในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 3 สัปดาห์ (^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ระหว่างการเคลือบและไม่เคลือบเจลาติน)

จากภาพที่ 4-36 สำหรับปริมาณความชื้น พบว่า ตลอดการเก็บรักษา 3 สัปดาห์ผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดที่เคลือบและไม่เคลือบเจลาตินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อมีการเก็บรักษานานขึ้น โดยมีค่าปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 4.48-5.03%

โดยปกติค่า a_w และปริมาณความชื้นมักมีความสัมพันธ์กัน โดยเมื่อค่า a_w เพิ่มขึ้น ค่าปริมาณความชื้นก็เพิ่มขึ้นด้วย แต่เป็นการเพิ่มแบบไม่เป็นเส้นตรง (รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต และไพศาล วุฒิจำนงค์, 2545) อย่างไรก็ตาม การที่ค่า a_w และปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไปไม่แตกต่างกันมากนักสำหรับการเคลือบและไม่เคลือบเจลาติน อาจเป็นผลดีจากการบรรจุผลิตภัณฑ์ในถุงอะลูมิเนียมฟอยด์ ซึ่งมีคุณสมบัติสามารถช่วยป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ (รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต และไพศาล วุฒิจำนงค์, 2545)



ภาพที่ 4-36 ค่าปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดที่เคลือบและไม่เคลือบเจลาตินในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 3 สัปดาห์ (^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ระหว่างการเคลือบและไม่เคลือบเจลาติน)

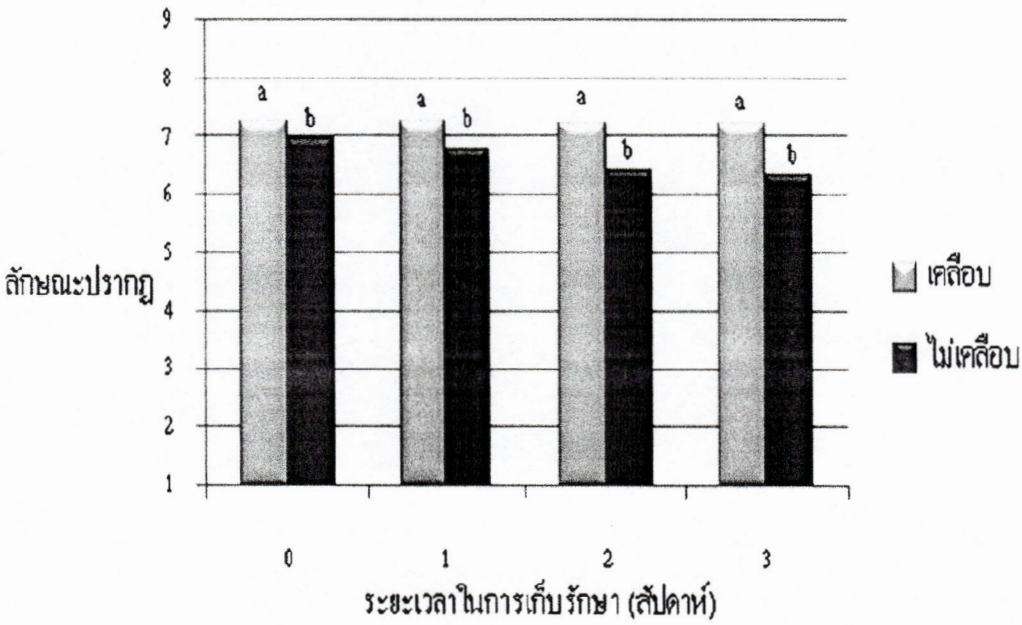
4) คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส

จากการนำตัวอย่างผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดที่เคลือบและไม่เคลือบเจลาตินมาทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านความชอบ คือ ลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4-37 4-38 4-39 4-40 และ 4-41 ตามลำดับ

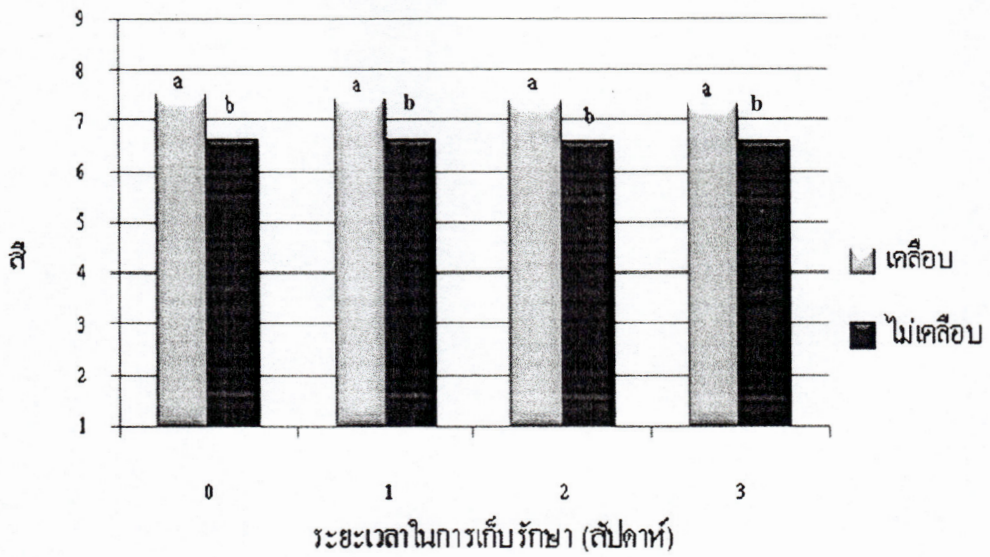
ผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดที่เคลือบเจลาตินระหว่างการเก็บรักษา 3 สัปดาห์ ได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ (7.22-7.28) คะแนนความชอบด้านสี (7.31- 7.52) อยู่ในระดับชอบปานกลาง คะแนนความชอบด้านรสชาติ (5.08-5.18) อยู่ในระดับเฉยๆ คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัส (6.15-6.17) และคะแนนความชอบโดยรวม (6.18-6.25) อยู่ในระดับชอบเล็กน้อย สำหรับผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดที่ไม่เคลือบเจลาตินระหว่างการเก็บรักษา 3 สัปดาห์ ได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ (6.33-6.96) และคะแนนความชอบด้านสี (6.55-6.61) อยู่ในระดับชอบเล็กน้อย ความชอบด้านรสชาติ (4.95-5.03) อยู่ในระดับชอบเฉยๆ คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัส (6.22-6.30) และคะแนนความชอบโดยรวม (6.18-6.22) อยู่ในระดับชอบเล็กน้อย

ทั้งนี้คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัส และรสชาติ ของผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดที่เคลือบและไม่เคลือบเจลาตินมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

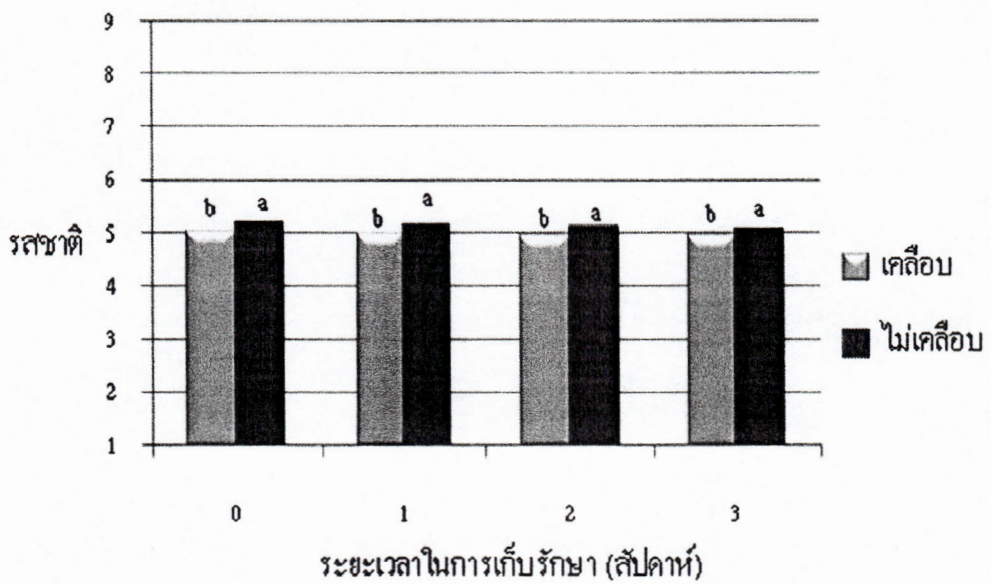
($p < 0.05$) ตลอดการเก็บรักษา 3 สัปดาห์ ในขณะที่คะแนนความชอบด้านความชอบโดยรวมไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดที่เคลือบเจลาตินมีแนวโน้มได้รับคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ และสี มากกว่าผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดที่ไม่เคลือบเจลาติน ในทางตรงกันข้ามผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดที่ไม่เคลือบเจลาตินมีแนวโน้มได้รับคะแนนความชอบในด้านรสชาติ และเนื้อสัมผัส มากกว่าผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดที่เคลือบเจลาติน สำหรับคะแนนความชอบโดยรวมมีแนวโน้มได้รับคะแนนความชอบอยู่ในระดับเดียวกัน ทั้งนี้จากการสังเกตข้อมูล พบว่า ระยะเวลาการเก็บรักษามีแนวโน้มทำให้คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมลดลงเล็กน้อย



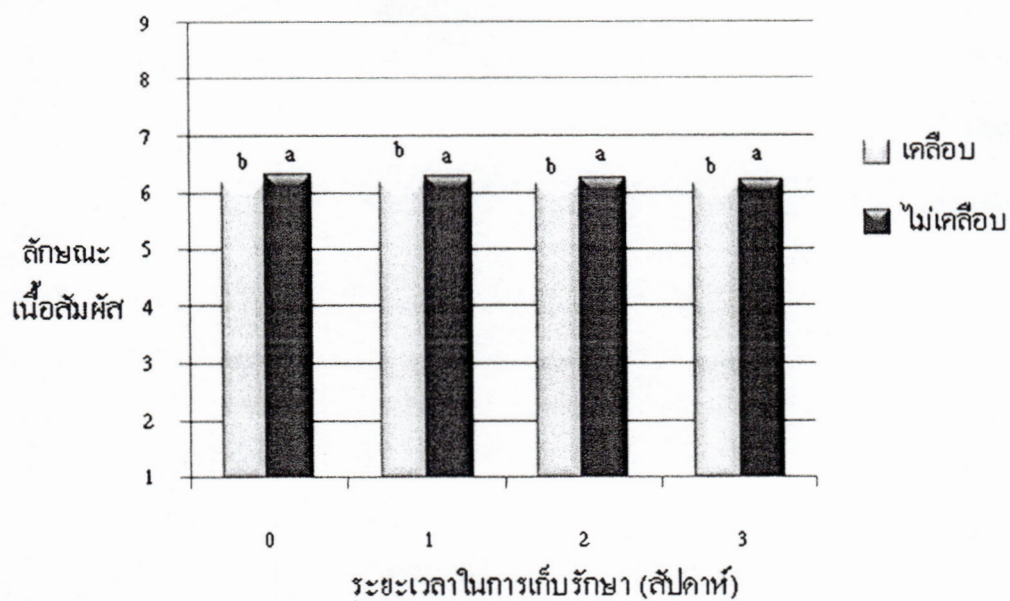
ภาพที่ 4-37 คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดที่เคลือบและไม่เคลือบเจลาตินในระหว่างการเก็บรักษา 3 สัปดาห์



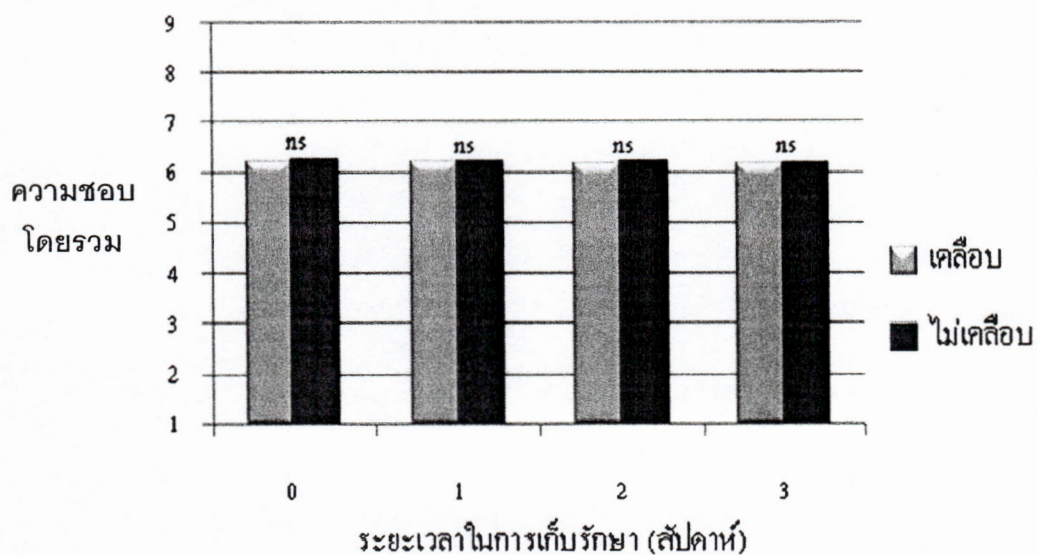
ภาพที่ 4-38 คะแนนความชอบด้านสีของผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดที่เคลือบและไม่เคลือบ
เจลาตินในระหว่างการเก็บรักษา 3 สัปดาห์



ภาพที่ 4-39 คะแนนความชอบด้านรสชาติของผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดที่เคลือบและไม่
เคลือบเจลาตินในระหว่างการเก็บรักษา 3 สัปดาห์



ภาพที่ 4-40 คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดที่เคลือบและไม่เคลือบเจลาตินในระหว่างการเก็บรักษา 3 สัปดาห์



ภาพที่ 4-41 คะแนนความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดที่เคลือบและไม่เคลือบเจลาตินในระหว่างการเก็บรักษา 3 สัปดาห์

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

5.1 การศึกษาองค์ประกอบทางพฤกษเคมี คุณค่าทางโภชนาการ และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของหนามแดงและกากหนามแดง

5.1.1 จากการศึกษาคุณภาพของผลหนามแดงที่ใช้ในโครงการวิจัยพบว่า มีสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระด้าน %Inhibition เท่ากับ 91.02 % และมีค่า IC_{50} เท่ากับ 195.21 mg/L ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 296.08 mg gallic acid/100g ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดเท่ากับ 568.12 mg/100g ปริมาณวิตามินซีเท่ากับ 8.92 mg/100g ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเท่ากับ 8.19% ปริมาณกรดทั้งหมดเท่ากับ 3.92% ปริมาณความชื้น 85.69% และผลมีสีม่วงเข้มมีค่าสี L^* เท่ากับ 15.86 a^* เท่ากับ 13.28 และ b^* เท่ากับ 3.04

5.1.2 จากการศึกษาคุณภาพของกากผลหนามแดง พบว่า มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระด้าน % Inhibition เท่ากับ 88.11 และมีค่า IC_{50} เท่ากับ 119.70 mg/L ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 231.05 mg gallic acid/100 g ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดเท่ากับ 271.35 mg /100 g ปริมาณวิตามินซีเท่ากับ 1.94 mg /100 g ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเท่ากับ 3.24% ปริมาณกรดทั้งหมดเท่ากับ 3.76% ปริมาณความชื้นเท่ากับ 80.98% และค่าสี โดยค่าความสว่าง (L^*) เท่ากับ 21.34 ค่าความเป็นสีแดง (a^*) เท่ากับ 19.97 และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) เท่ากับ 8.47

5.2 การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพที่มีมูลค่าสูงและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคจากผลหนามแดง

5.2.1 การพัฒนาผลิตภัณฑ์กึ่งแข็ง

จากการศึกษาผลของการลวกก่อนการดองน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส เมื่อแปรปัจจัยด้านชนิดของสารที่ใช้ลวก (น้ำ และ แคลเซียมแล็กเตท) ร่วมกับ เวลาในการลวก (1 และ 3 นาที) พบว่าหลังการลวก ปัจจัยร่วมไม่มีผลต่อค่าสีที่เปลือก ($p \geq 0.05$) แต่มีผลต่อค่าความแน่นเนื้อของผลหนามแดง ($p < 0.05$) และหลังการออสโมซิส พบว่าปัจจัยร่วมไม่มีผลต่อ ค่าสีที่เปลือกและคะแนนความชอบโดยรวม ($p \geq 0.05$) แต่มีผลต่อค่าการถ่ายเทมวลสารของผลหนามแดง ($p < 0.05$) และเมื่อลวกด้วยแคลเซียมแล็กเตทที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที ทำให้ปริมาณน้ำที่สูญเสียมีค่ามากที่สุดและมีคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด ($p < 0.05$)

จากการศึกษาผลของการใช้สภาวะสุญญากาศระหว่างการออสโมซิสต่อค่าการถ่ายเทมวลสาร พบว่าสภาวะการใช้สุญญากาศแบบเป็นจังหวะคือ การออสโมซิสที่ความดัน 50 มิลลิบาร์ เป็น

เวลา 10 นาที แช่ที่สภาวะบรรยากาศปกติเป็นเวลา 10 นาที ออสโมซิสที่ความดัน 50 มิลลิบาร์ อีก 10 นาที และแช่ต่อที่สภาวะบรรยากาศปกติจนเสร็จสิ้นกระบวนการออสโมซิส ส่งผลต่อค่า ปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณน้ำหนักที่ลดลง และปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น มีค่ามากที่สุด เมื่อ เปรียบเทียบกับวิธีการใช้สภาวะสุญญากาศ และสภาวะบรรยากาศปกติ

จากการศึกษาผลของปริมาณน้ำหนักที่ลดลงของผลหนามแดงจากการออสโมซิสต่อคุณภาพ ของผลหนามแดงกิ่งแห้ง พบว่า ผลหนามแดงที่มีปริมาณน้ำหนักที่ลดลงระดับ สูง (WR เท่ากับ 11.08%) กลาง (WR เท่ากับ 8.31%) ต่ำ (WR เท่ากับ 5.54%) อบแห้งในตู้อบแบบสุญญากาศที่ อุณหภูมิ 70 ± 2 องศาเซลเซียส ที่ระดับความดัน 550 ± 2 มิลลิเมตรปรอท โดยผลิตภัณฑ์กิ่งแห้งที่ได้ มี ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด ปริมาณวิตามินซี ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณกรดทั้งหมด และค่าสี หลังการอบแห้งในสภาวะ สุญญากาศ ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) แต่ที่ปริมาณน้ำหนักที่ลดลงของผลหนามแดงระดับกลางให้ คะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด ($p < 0.05$)

5.2.2 ผลผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำส้มสายชูหมัก

จากการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำส้มสายชูหมักจากผลหนามแดงโดยในขั้นตอนแรกได้ทำ การหมักไวน์จากผลหนามแดงซึ่งมีน้ำตาลปริมาณเริ่มต้น 20°Brix ด้วยปริมาณหัวเชื้อ *S. cerevisiae* เริ่มต้นแตกต่างกันคือ 5% 10% และ 15% และทำการหมักเป็นเวลาประมาณ 20 วัน พบว่าในวันที่ 12 ซึ่งเป็นวันที่ปริมาณแอลกอฮอล์เริ่มคงที่ เมื่อใช้หัวเชื้อเริ่มต้น 15% มีปริมาณ แอลกอฮอล์สูงกว่าหัวเชื้อเริ่มต้น 5% และ 10% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) อย่างไรก็ตาม พบว่าในวันที่ 20 ซึ่งเป็นวันสุดท้ายของกระบวนการหมักไวน์มีปริมาณแอลกอฮอล์สูงสุดเท่ากับ 9.56% 9.90% และ 9.97% ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณน้ำตาลคงเหลือเท่ากับ 6.40°Brix 5.60°Brix และ 5.25°Brix ตามลำดับ โดยจำนวนเชื้อในหัวเชื้อเริ่มต้น 5% 10% และ 15% เท่ากับ $5.28 \log \text{CFU/ml}$ $5.90 \log \text{CFU/ml}$ และ $6.34 \log \text{CFU/ml}$ ตามลำดับ และในวันสุดท้ายของการหมักไวน์มีจำนวน เพิ่มขึ้นเป็น $7.65 \log \text{CFU/ml}$ $7.66 \log \text{CFU/ml}$ และ $7.71 \log \text{CFU/ml}$ ตามลำดับ เมื่อนำไวน์ จากผลหนามแดงซึ่งมีปริมาณแอลกอฮอล์ประมาณ 6% มาหมักเครื่องดื่มน้ำส้มสายชูโดยใช้หัวเชื้อ *A. aceti* เริ่มต้นแตกต่างกัน คือ 10% และ 15% พบว่าเมื่อใช้หัวเชื้อเริ่มต้น 15% ในวันสุดท้ายของ กระบวนการหมักมีปริมาณกรดแอซิดิกสูงกว่าหัวเชื้อเริ่มต้น 10% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยจำนวน *A. aceti* ในหัวเชื้อเริ่มต้น 10% และ 15% เท่ากับ $4.94 \log \text{CFU/ml}$ และ $5.97 \log \text{CFU/ml}$ ตามลำดับ และเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักน้ำส้มสายชูมีจำนวนเพิ่มขึ้นเป็น $7.92 \log \text{CFU/ml}$ และ $7.94 \log \text{CFU/ml}$ ตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อทำการทดสอบประสาทสัมผัสโดย ผู้บริโภค 18 คน พบว่าน้ำส้มสายชูหมักซึ่งมีปริมาณกรดแอซิดิก 2.27% และ 4.01% ให้

คะแนนเฉลี่ยด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ และความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

5.2.3 ผลผลิตภัณฑัดเม็ด

จากการศึกษาผลของสภาวะการทำแห้งต่อคุณภาพของกากผลหนามแดงอบแห้ง พบว่า อุณหภูมิและเวลาในการทำแห้งเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อปริมาณสารพฤกษเคมีที่สำคัญต่างๆในกากผลหนามแดงอบแห้ง โดยสภาวะในการทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 200 นาที เพื่อให้กากผลหนามแดงมีปริมาณความชื้นสุดท้ายไม่เกิน 5% ยังคงมีสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด แอนโทไซยานินทั้งหมด อยู่ในปริมาณสูงที่สุดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับสภาวะการทำแห้งอื่น ($p<0.05$)

จากการพัฒนาผลผลิตภัณฑัดเม็ดจากกากผลหนามแดงอบแห้ง พบว่า ปริมาณที่เหมาะสมของส่วนผสมในการผลิตผลผลิตภัณฑัดเม็ดจากกากผลหนามแดงอบแห้ง คือ ใช้กากผลหนามแดงผง 45% น้ำตาลไอซิ่ง 53% แป้งข้าวโพด 2% และซิลิคอนไดออกไซด์ 0.5% โดยได้ผลผลิตภัณฑที่มีลักษณะเม็ดที่สมบูรณ์ดี มีค่าความแข็งมากที่สุด ค่าการสึกกร่อนน้อยที่สุด และเมื่อพิจารณาคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านสี และรสชาติ พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ส่วนผสมในสูตรอื่นๆ แต่ลักษณะคุณภาพในด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม พบว่า ได้รับคะแนนความชอบมากที่สุด คือ อยู่ในระดับชอบเล็กน้อย แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับส่วนผสมอื่น ($p<0.05$)

การใช้เจลาตินเป็นสารเคลือบในการผลิตผลผลิตภัณฑัดเม็ดจากกากผลหนามแดงอบแห้ง และทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 สัปดาห์ ในถุงอะลูมิเนียมฟอยด์ที่ปิดสนิท พบว่า การใช้เจลาตินเป็นสารเคลือบมีแนวโน้มที่สามารถลดการเกิดจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และราในผลผลิตภัณฑัดเม็ดเมื่อเปรียบเทียบกับผลผลิตภัณฑากผลหนามแดงอัดเม็ดที่ไม่ได้เคลือบเจลาติน อีกทั้งสามารถรักษาปริมาณความชื้นและค่า a_w ให้อยู่ในปริมาณที่เหมาะสมที่ไม่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียของจุลินทรีย์ สำหรับค่าสี พบว่า ค่าความสว่าง (L^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ของผลผลิตภัณฑากผลหนามแดงอัดเม็ดที่เคลือบเจลาตินมีค่ามากกว่าผลผลิตภัณฑากผลหนามแดงอัดเม็ดที่ไม่เคลือบเจลาติน ในขณะที่ค่าความเป็นสีแดง (a^*) ของผลผลิตภัณฑากผลหนามแดงอัดเม็ดที่เคลือบเจลาตินมีค่าน้อยกว่าผลผลิตภัณฑากผลหนามแดงอัดเม็ดที่ไม่เคลือบเจลาตินความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และเมื่อพิจารณาคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส พบว่า คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ และเนื้อสัมผัสของผลผลิตภัณฑากผลหนามแดงอัดเม็ดที่เคลือบและไม่เคลือบเจลาตินมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ตลอดการเก็บรักษา 3 สัปดาห์ ในขณะที่ความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq 0.05$)

เอกสารอ้างอิง

- กล้าณรงค์ ศรีรอด.(2546). เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- กิตติมา กออารีพิทักษ์. (2552). การศึกษาเปรียบเทียบการต้านอนุมูลอิสระของผลหนามแดงดิบและสุก. วิทยาศาสตร์บัณฑิต, ภาควิชาเคมี, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน.
- คมสัน หุตะแพทย์. 2548. น้ำส้มสายชูหมักจากข้าว. เกษตรธรรมชาติ. 11 , 35.
- จินตนา ศรีมุข. (2546). การแปรรูปผักและผลไม้แช่อิ่ม. วารสารศูนย์บริการวิชาการ, 11(1), 58-64.
- จิตธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล. (2546). วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. (พิมพ์ครั้งที่ 2) กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- จักรพงษ์ ไพบูลย์. (2542). สารต้านอนุมูลอิสระ Antioxidant. วันที่สืบค้น 1 พฤศจิกายน 2554 เข้าถึงได้จาก <http://www.thaiclinic.com/antioxidant.html>.
- จักรพงษ์ ประเสริฐแสง, ปรัชญา วงษ์มา และสรวรยา เม้งเกร็ด. (2550). การผลิตเครื่องดื่มน้ำส้มสายชูหมักจากมะขาม. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง.
- จุฬามาศ นิวัฒน์. (2542). การทำแห้งสับปะรดด้วยวิธีออสโมซิสระบบต่อเนื่อง. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- จุฬามาศ มณีวงศ์. (2551). การผลิตน้ำส้มสายชูจากสาโท. ภาควิชาชีววิทยา, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- ชมรมผู้ผลิตไวน์ผลไม้ไทย. (2547). ไวน์ผลไม้. กรุงเทพฯ: โอ.เอส. พรินติ้ง เฮาส์.
- ชมพู่ ยิ้มโต. (2550). การถนอมอาหาร. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- ดวงกมล เตจาคำ, ดารุณี วังเสาร์, วิรัชพัชร ปิ่นสุข และสิทธิสิน บวรสมบัติ. (2551). การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำส้มสายชูหมักจากมะเขือเทศ. ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร, คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- ทิพรัตน์ หงษ์ทศศิริ. (2546). การศึกษาการใช้พืชสมุนไพรและเครื่องเทศเพื่อเสริมกิจกรรมการกำจัดอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ไวน์ผลไม้เมืองร้อน. ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพอุตสาหกรรม, คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ทิพสุดา อาสาสรรพกิจ, นิพรพรรณ มุทุมม และสุทัศน์ สุระวัง. (2550). การปรับปรุงคุณภาพสตรอเบอร์รี่อบแห้งโดยกระบวนการออสโมซิสดีไฮเดรชันสภาวะสุญญากาศ. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 38(5), 317-320.

- ธีระศักดิ์ หุดาการ. (2552). การศึกษาสมรรถนะของตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์แผ่ราบแบบร่องรูปตัววี สำหรับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์: การประชุมวิชาการเครือข่าย วิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 23. คณะวิศวกรรมศาสตร์เทคโนโลยี อุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- นิจศิริ เรืองรังสี และธวัชชัย มังคละคุปต์. (2547). สมุนไพรไทย. กรุงเทพฯ: บี เฮลท์ตี้.
- นิตยา เขียวอ่อน. (2550). การศึกษาสารต้านอนุมูลอิสระในลูกหว้า. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต ภาควิชาเคมี, มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- นิตยา รัตนাপนนท์. (2544). หลักการแปรรูปอาหารเบื้องต้น. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- _____. (2549). เคมีอาหาร. (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- นันทน์ภัส เต็มวงศ์. (2551). ปริมาณรวมของสารต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบฟีนอลิก และวิตามินซี ในผักและสมุนไพร. วารสารก้าวหน้าโลกวิทยาศาสตร์, 8(1), 41-48.
- นภดล แก้วอาจ, อุดร มุทะระพัฒน์ และเอกวิทย์ เวียงยศ. (2548). การอบแห้งลำไยและกระชายดำ ในสภาวะสุญญากาศ. วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- บงกชกมล กำแหงมิตร, ปิยวรรณ ไทรงามเอี่ยม และวรรณพร แซ่มเมือง. (2554). การศึกษาผลดิบ และสุกของมะม่วงหาวมะนาวโห่ในการทำลูกอมให้เป็นที่พึงพอใจของผู้บริโภค. ภาควิชา เทคโนโลยีอาหาร, วิทยาลัยอาชีวศึกษาสิงห์บุรี.
- บัวใส ศรีไชย. (2552). การศึกษาสารต้านอนุมูลอิสระจากไวน์มะหาดและไวน์ลำตวน. วิทยานิพนธ์ มหาบัณฑิต, สาขาวิทยาศาสตร์การศึกษา, มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี.
- ประกาศกระทรวงสาธารณสุข. (2543). น้ำส้มสายชู (ฉบับที่ 204). วันที่ค้นข้อมูล 6 มกราคม 2555, เข้าถึงได้จาก http://www.fda.moph.go.th/fda-net/html/product/food/ntfmoph/ntf_204.htm
- ประวีณา ลาภา, เพ็ญขวัญ ชมปรีดา และวิชัย หุทัยธนาสันต์. (2554). การพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำส้มสายชูหมักจากข้าวเหนียวดำกล้อง. วิทยานิพนธ์ ปริญญาการศึกษาวิทยาศาสตร์ มหาบัณฑิต, สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์, คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ประเสริฐ สายสิทธิ์. (2524). ไวน์. ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ปรียา วิบูลย์เศรษฐ์. (2528). จุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์อาหาร. กรุงเทพฯ : ภาควิชา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ปิยะรัชต์ กุลเมธี และมีชัย ลัดดี. (2550). การศึกษาผลิตไวน์ผลไม้ด้วย *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5049. สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตรและการจัดการ, คณะ

อุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือวิทยาเขต
ปราชินบุรี.

พรทิพย์ วิรัชวงศ์. (2546). *อนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระ*. วันที่สืบค้น 1 พฤศจิกายน 2554

เข้าถึงได้จาก <http://202.129.59.198/rdi/html/antioxidants.html>.

พรพุด พงษ์สมบูรณ์. (2550). *ผลของสูตรสารละลายออสโมติก อุณหภูมิในการทำออสโมซิส
และวิธีการอบแห้งต่อคุณภาพของแครอทอบแห้ง*. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต,
สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

พินดา เนตรวีระ. (2548). *ผลของการใช้ซูโครสร่วมกับกลีเซอรอลต่อการทำแห้งมะละกอด้วยวิธี
ออสโมซิส*. ปัญหาพิเศษ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาวิทยาศาสตร์การ
อาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

พิมพ์ใจ มณีพันธ์. (2553). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์มะพร้าวแห้งด้วยวิธีการดองน้ำออสโมซิส
ร่วมกับการอบแห้งโดยใช้ลมร้อน*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขา
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

ไพบุลย์ ธรรมรัตน์วาลิก. (2532). *กรรมวิธีการแปรรูปอาหาร*. กรุงเทพฯ: โอ. เอส. พริ้นติ้ง เฮ้าส์.

ไพโรจน์ วิริยะจารี. (2539). *อาหารกึ่งแห้ง*. ภาควิชาเทคโนโลยีการพัฒนาลิขสิทธิ์,
คณะอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

วรัญญา คำชู. (2549). *ผลของการเตรียมขั้นต้นด้วยวิธีออสโมซิสต่อคุณภาพแห้งไทยแช่แข็ง*.
ปัญหาพิเศษ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร,
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.

วสันต์ กันธะมูล, ศิระชา เจ็ญสุขสวัสดิ์ และมนตรี ขาวสุข. (2549). *การศึกษาคุณลักษณะการอบแห้ง
โดยระบบสุญญากาศ: การออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งสุญญากาศเพื่อศึกษา
พฤติกรรมการอบแห้งขนุน*. รายงานการวิจัย คณะเทคโนโลยีและการจัดการ
อุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

วันวิสาข์ กระแสคุปต์. (2535). *การปรับปรุงคุณภาพของผลไม้อบแห้งด้วยการเคลือบก่อนการทำแห้ง
แบบออสโมซิส*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิไล รัชดาทอง. (2546). *เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร*. กรุงเทพฯ: เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น.

วิไลพร ปองเพียร. (2550). *การศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของพืชพื้นบ้านที่มีสีม่วง*.
รายงานการวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์.

เยวพา สุวัตติ. (2552). *เกร็ดความรู้เกี่ยวกับไวน์*. กลุ่มวิจัยอุตสาหกรรมเทคโนโลยีชีวภาพ.

- ยุวดี มานะเกษม แลศุจิรัตน์ สงวนรังศิริกุล.(2553). *พันธุ์สารออกฤทธิ์สำคัญและผลของสารสำคัญใน
กราวเครือขาว*. วิทยาศาสตร์บัณฑิต, ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช,
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- รติยา คุณเขตพิทักษ์วงศ์ และพรพิมพา เพชรพงษ์ไพศาล. (2553) บทบาทของวิตามินซีต่อการเสริมสร้าง
คอลลาเจน, *นิตยสาร สสวท*, 37, 42-45.
- รุ่งทิwa วงศ์ไพศาลฤทธิ์, เบญจมาภรณ์ ภัทรนาวิก และดวงทิพย์ ศรีตาแสน. (2551). *น้ำลูกหมามแดง
พร้อมดื่ม*. โครงการวิจัยวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, คณะเทคโนโลยีคหกรรม
ศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ.
- รุ่งทิwa วงศ์ไพฤทธิ์ และดวงทิพย์ ศรีตาแสน. (2551). *ไวน์ลูกหมามแดง*. โครงการวิจัย
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ.
- ศรีวิกรณ์ ดิษฐอดมโพธิ์ และ ชลธิชา ปิตตาระเต. (2550). การถ่ายเทมวลสารระหว่างการทำแห้งด้วย
วิธีการออสโมซิสแบบแช่โดยใช้น้ำตาลซูโครส ซอร์บิทอล และ มอลทิทอล.
วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 38(6), 115-118.
- ศิริลักษณ์ สีนาวลัย. (2522). *ทฤษฎีอาหาร เล่ม 2 หลักการถนอมอาหารและการควบคุม
คุณภาพ*. (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: บำรุงนุกุลกิจ.
- ศุภาวิชัยฐา สุวรรณแพทย์. (2551). *การผลิตน้ำส้มสายชูหมักแบบต่อเนื่องจากไวน์สับปะรด*.
วิทยานิพนธ์, ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สมบัติ ขอทวีวัฒนา. (2529). *กรรมวิธีการทำแห้ง*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สมณฑา วัฒนสินธุ์. (2549). *จุลชีววิทยาทางอาหาร*. (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
- สุธีรา เลิศวุฒิชัยกุล. (2540). *การลดเวลาในการผลิตสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง*.วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์
มหาบัณฑิต, สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร, ภาควิชาวิทยาศาสตร์
และเทคโนโลยีการอาหาร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สิขญา สิทธิพจน์, สุภาณี อิศรานุกรณ์ และวรรณิ จิรภาคย์กุล. (2552). *ผลิตภัณฑ์อัดเม็ดจากกากลูก
หม่อน*. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, คณะอุตสาหกรรมเกษตร,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ฤทธิไกร งามชุ่ม. (2547). *การอบแห้งกล้วยหอมหั่นบางด้วยเครื่องอบแห้งสุญญากาศร่วมกับรังสี
อินฟราเรดไกล*. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน, คณะ
พลังงานและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

- หน่วยบริการฐานข้อมูลสมุนไพร. (2552). *สมุนไพร*. สำนักงานข้อมูลสมุนไพร, คณะเภสัชศาสตร์, มหาวิทยาลัยมหิดล.
- อ่อนรวี รัตนพันธุ์. (2533). หลักการทำแห้งผลไม้ด้วยวิธีออสโมซิส. *อาหาร*. 20(4), 240-245.
- อัญญา เจนวิศิษฐ์. (2544). *การตรวจหาและบ่งชี้ชนิดสารต้านอนุมูลอิสระจากผักพื้นบ้านและสมุนไพรไทย*. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- โอภา วัชรคุปต์. (2550). *สารต้านอนุมูลอิสระ*. กรุงเทพฯ: นิเวศมิตรการพิมพ์.
- Alexopoulos, C. J., Mims, C. W., and Blackwell, M. (1996). *Introductory mycology*, 4th ed. John Wiley and Sons, New York, New York, USA. Retrieved January 25, 2012, from <http://www.mykoweb.com/biblio/bibliography.html>
- AOAC. (2000). *Official methods of analysis. Association of official analytical chemists*. 17th ed. Washington, D.C. Retrieved January 25, 2012, from <http://www.foragelab.com/resources/labProcedures.cfm>
- AOAC. (1990). *Official Method of Analysis (15th ed.)*. Arlington, Viyginia, USA: The Association of official Analysis Chemists.
- AOAC. (2000). *Official Method of Analysis of A.O.A.C. International (17th ed.)*. The Association of official Analysis Chemists: Gaithersburg.
- Aleksandra Rzek a, Jos V. Garca-Prez b, Francisco Lpez a, Carme Gell a, Montserrat Ferrando a,* . (2010). Infusion of grape phenolics into fruits and vegetables by osmotic treatment: Phenolic stability during air drying. *Food Engineering*, 99, 142–150.
- Alvarez, C. A. et al. (1995). Air Dehydration of Strawberries: Effects of Blanching and Osmotic Pretreatments on the Kinetics of Moisture Transport. *Journal of Food Engineering*, 25, 167-178.
- Arevalo-Pinedo, A., and Murr, F.E.X. (2007). Influence of pre-treatments on the drying kinetics during vacuum drying of carrot and pumpkin. *Journal of Food Engineering*, 80, 152-156.
- Azoubel, P.M. and F.E.X. Murr. (2003). Effect of pretreatment on the drying kinetics of cherry tomato (*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*). In *Transport Phenomena in Food Processing*, Retrieved March 22, 2012, from <http://www.crcnetbase.com/doi/abs/10.1201/9781420006261.ch9>

- Barbosa-Cánovas, G.V., and H. Vega-Mercado. (1996). *Dehydration of Foods*. Retrieved March 22, 2012, from <http://www.google.co.th/books?hl=th&lr=&id=nWbm>
- Balakrishnan, N., and Bhaskar, V. H. (2009). Karaunda (*Carissa Carandas* Linn). *Phytomedicine*. 8 (22), 6453-6456.
- Benkouider, C. (2004). Functional foods: A global overview. *International Food Ingredients*, 5, 66–68.
- Benzie, I.F.F. and Strain, J.J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: the FRAP assay. *Anal Biochem*, 239, 70–76.
- Bousova, I., Martin, J., Jahodar, L., Dusek, J., Palicka, V., and Drsata, J. Evaluation of in vitro effects of natural substances of plant origin using a model of protein glycooxidation. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 2005, 37 (5), 957-962.
- Brennan, J.G. (1994). *Food dehydration A Ddictionary and Guide*. Oxford: Butterworth Heinemann.
- Brockmann, M.C. (1969). *Microbiology of Meat and Meat Product in High and Intermediate Ranges*. New York : Academic Press.
- Brouillard, R., and B. Delaporte. (1977). Chemistry of anthocyanin pigments 2 Kinetic and thermodynamic study of proton transfer, hydration, and tautomeric reactions of malvidin 3-glucoside. *Journal Chemistry*, 99, 8461-8468.
- Cai, Y., Luo, Q., Sun, M., and Corke, H. Antioxidant activity and phenolic compounds of 112 traditional Chinese medicinal plants associated with anticancer. *Life Sciences*, 2004, 74(17), 2157-2184.
- Campanella, L., Bonanni, A., and Tomassetti, M. Determination of the antioxidant capacity of samples of different types of tea, or of beverages based on tea or other herbal products, using a superoxide dismutase biosensor. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 2003, 32(4-5), 725-736.
- Chien, P., Sheu, F. and Lin, H. (2007). Quality assessment of low molecular weight chitosan coating on sliced ed pitayas. *Journal of Food Engineering*, 79, 736-740.

- China, Y., Junga, H., Chaia, H., William J. K., and Kinghorna, A. D. Xanthones with quinone reductase-inducing activity from the fruits of *Garcinia mangostana* (Mangosteen). *Phytochemistry* 2008, 69 (3), 754-758.
- Chafer, m., Gonzalez-Martinez, C., Fernandez, B., Perez, L., & Chiralt, A. (2003). Effect of Blanching /and Vacuum Pluse Application on Osmotiv Dehydration of Pear. *Food Science and Technology/International*, 9 (5), 321-328.
- Cocchi, M., Bro, R., Durnte, C., Manzini, D., Marchetti, A., Sacconi, F., Sighinolfi, S., and Ulrici, A. 2006. Analysis of sensory data of Aceto Balsamico Tradizionale di ModenaZABTMX of different ageing by application of PARAFAC models. *Food Quality and Preference*, 17, 419-428.
- Correa, J.L.G., Pereira, L.M., Vieira, G.S., & Hubinger, M.D. (2010). Mass transfer kinetics of pulsed vacuum osmotic dehydration of guavas. *Journal of Food Engineering*, 96, 498-504.
- C. Alasalvar a, M. Al-Farsi a, P.C. Quantick a, F. Shahidi b, R. Wiktorowicz. (2005). Effect of chill storage and modified atmosphere packaging(MAP) on antioxidant activity, anthocyanins, carotenoids,phenolics and sensory quality of ready-to-eat shredded orange and purple carrots. *Food Chemistry*, 89, 69–76.
- Deley, J., Swings, J., and Gossele, F. (1984). Genus I *Acetobacter* Bergey's Manual of Systematic Bacteriology. Williams and Wilkins Co., Baltimore, M. D, 268-274.
- Denev, P., Ciz, M., Ambrozova, G., Lojek, A., Yanakieva I., & Kratchanova, M. (2010). Solid-phase extraction of berries' anthocyanins and evaluation of their antioxidative properties. *Food Chemistry*, 123, 1055-1061.
- Denis, G.A., Lucena Barbosa Jr., Graziella, C.A., Fernanda, E.X.M. (2005). Osmotic dehydration of acerola fruit (*Malpighia punicifolia* L.). *Journal of Food Engineering*, 68, 99-103.
- Deng, Y., and Zhao, Y. (2008). Effect of pulsed vacuum and ultrasound osmopretreatments on glass transition temperature, texture, microstructure and calcium penetration of dried apples (Fuji). *LWT-Food Science and Technology*, 41, 1575-1585.

- Dewanto, V., Wu, X., Adom, K.K. & Liu, R.H. (2002). Thermal Processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. *Agricultural and Food Chemistry*, 50, 3010-3014.
- Desrosier, N.W. (1970). *The Technology of Food Preservation* (3rd ed.). Westport Connecticut: The AVI Publishing.
- Dermesonlouoglou, E.K., Stella. & Taoukis, P.S. (2008). Kinetic study of the effect of the osmotic dehydration pre-treatment to the shelf of frozen cucumber. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 9, 542-549.
- Dermesonlouoglou, E.K., Giannakourou, M.C. & Taoukis, P.S. (2007). Kinetic modeling of the degradation of quality of osmo-dehydrofrozen tomatoes during storage. *Food Chemistry*, 103, 985-993.
- Duan, X., Jaing, Y., Su, X., Zhang, Z. & Shi, J. (2007). Antioxidant properties of anthocyanin extracted from lichi (*Lichi chinensis* Sonn.) fruit pericarp tissue in relation to their role in pericarp browning. *Food Chemistry*. 101, 1365-1371.
- Edberg, S. C. (1992). Human health assessment: *Acetobacter aceti*. *Environmental Protection Agency*, 30(5), 1357-1360.
- Ercisli, S., & Orhan, E. (2007). Chemical composition of white (*Morus alba*), red (*Morus rubra*) and black (*Morus nigra*) mulberry fruits. *Food Chemistry*, 103, 1380-1384.
- Escobar, M.P., Galindo, G.F., Wadso, L., Najera, J.R., and Sjöholm, I. (2007). Effect of long-term storage and blanching pre-treatments on the osmotic dehydration kinetics of carrots (*Daucus carota* L. Nerac). *Journal of engineering*, 81, 313-317.
- El-Aouar, A.A., azoubel, P.M., Jr Barbosa, J.L. and Murr, F.E.X. (2006). Influence of osmotic agent on the osmotic dehydration of papaya. *Journal of Food Engineering*, 75, 267-274.
- Fazli, F.A. and Fazli, F.A. (2011). Mass Transfer of Fruit Slices in Hypertonic Solution. *Food Science and Technology Department of Islamic Azad University, Soofian Branch, Iran*.
- Fernandes, F.A.N., Rodrigues, S., Gaspareto, O.C.P., & Oliveira, E. L.(2006).

- Optimization of osmotic dehydration of papaya followed by air-drying.
Food Research International, 39, 492-498.
- Fernandez, R.M., Norena, C.P.Z., Silveira, S.T., & Brandelli, A. (2007). Osmotic dehydration of muskmelon (*Cucumis melo*): Influence of blanching and syrup concentration. *Journal of Food Processing and Preservation*, 31, 392-405.
- Fito, P., Barat, J.M., & Chiralt, A. (1999). *Structural change Kinetics in Osmotic Dehydration of Apples Tissue*. Department of food Technology. University of Politecnica de Valencia.
- Food Wiki. (n.d.). *fructo-oligosaccharide*. Retrieved October 24, 2010, from Web site: <http://foodnetworksolution/vocab/word/1213>
- Fukuda, T.; Ito, H.; Yoshida, T. Antioxidative polyphenols from walnuts (*Juglans regia* L.). *Phytochemistry* 2003, 63, 795-801.
- Lau, H. L. N., Choo, Y. M., Ma, A. N. and Chuah, C. H. Selective extraction of palm carotene and vitamin E from fresh palm-pressed mesocarp fiber (*Elaeis guineensis*) using supercritical CO₂. *Journal of Food Engineering* 2008, 84(2), 289-296.
- Leeman, M., Ostman, E., and Bjorck, I. (2005). Vinegar dressing and cold storage of potatoes lowers postprandial glycemic and insulinemic responses in healthy subjects. *European Journal of Clinical Nutrition*, 59, 1266-1271.
- Le Marguer, M., (1988). Osmotic dehydration: review and future directions. Proceedings of the symposium in food preservation process (vol. 1, pp. 283-309). Brussels: CERFCL.
- Liljeberg, H., and Bjorck, I. (1998). Delayed gastric emptying rate may explain improved glycemia in healthy subjects to a starchy meal with added vinegar. *European Journal of Clinical Nutrition*, 64, 886-893.
- Lipp, M., Radovic, B. S., and Anklam, E. (1998). Characterization of vinegar by pyrolysis-mass spectrometry. *Food Control*, 9, 349-355.
- Hu. (1999). Study on rough rice fissuring during intermittent drying. *Drying Technology An International Journal*, 17, 1779-1793.

- Jeong, J.H., Jung, H., Lee, S.R., Lee, H.J., Hwang, K.T., & Kim, T.Y. (2010). Anti-oxidant, anti-proliferative and anti-inflammatory activities of the extracts from black raspberry fruits and wine. *Food Chemistry*, 123, 338-344.
- Johnston, C., Kim, C., and Buller, A. (2004). Vinegar improves insulin sensitivity to a high carbohydrate meal in subjects with insulin resistance or type 2 diabetes mellitus. *Diabetes Care*, 27, 281-282.
- Karagozler, A.A., Erdag, B., Emek Y.C., & Uygun D. A. (2008). Antioxidant activity and proline content of leaf extracts from *Dorystoechas hastate*. *Food Chemistry*, 111, 400-407.
- Karunarathna, E.J.C.N. and Rathnayaka, R.M.U.S.K. (2012). Influence of the calcium on microbial stability and texture of osmotic dehydrated pineapple slices. *The Journal of Agricultural Science*, 7, 33-42.
- Kowalska, H., Lenart, A., & Leszczyk, D. (2008). The effect of blanching and freezing on osmotic dehydration of pumpkin. *Journal of Food Engineering*, 86, 30-38.
- Lane & Eynon. (1849). Determination of Reducing sugar by Lane-Eynon Method. Retrieved November 11, 2010, from [e-book.ram.edu/e-book/f/FT332\(L/FT332-13-20.pdf](http://e-book.ram.edu/e-book/f/FT332(L/FT332-13-20.pdf)
- Lazarades, H. N., Katsanidis, E. and Nickolaidis, A., (1995). Mass transfer kinetics during osmotic preconcentration aiming at minimal solid uptake, *Journal of Food Engineering*, 25(2), 151-166.
- Lerici, C.R., Pinnavaia, G., Dalla Rosa, M., & Bartolucci, L. (1985). Osmotic dehydration of fruit: influence of osmotic agents on drying behaviour and product quality. *Journal of Food Science*, 50, 1217-1219.
- Li Rui, Wang Ping, Guo Qing-qi, Wang Zhen-yu. (2011). Anthocyanin composition and content of the *Vaccinium uliginosum* berry. *Food Chemistry*, 125, 116-120.
- Luna-Guzma, I. and Barrett, D.M. (2000). Comparison of calcium chloride and calcium lactate effectiveness in maintaining shelf stability and quality of fresh-cut cantaloupes. *Postharvest Biology and Technology* .19 , 61-72.

- Kalra, S.K., Tandon, D.K., and Singh, B.P. Handbook of Fruit Science and Technology- Production, Composition, Storage and Processing. New York: Marcel Dekker, Inc. 1995. pp 123-169.
- Kough, J. L. (1991). Environmental hazard assessment of *Acetobacter aceti* for 5(h)(4) exemption. Unpublished, U.S. *Environmental Protection Agency*, Washington, D.C. Retrieved January 25, 2012, from http://epa.gov/biotech_rule/pubs/fra/fra001.htm
- Madigan, M., and Martinko, J. (2005). *Acetobacter Aceti*. Retrieved January 25, 2012, from <http://www.sciencephoto.com/media/79516/enlarge>
- Masuda, T., Yonemori, S., Oyama, Y., Takeda, Y., Tanaka, T., Andoh, T. Evaluation of the antioxidant activity of environmental plants: activity of leaf extracts from seashore plants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1999, 47, 1749–1754.
- Morales, M. L., Tesfaye, W., Garcia-Parrilla, M. C., Casas, J. A., and Troncoso, A. M. (2002). Evolution of the Aroma profile of sherry wine vinegars during an experimental aging in wood. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 3173-3178.
- Morales, M.L., Benitez Bellido, B., Tesfaya,W., Callejon Fernandez, R.M., Villano Valencia,D.,Fernandez-pachon,F.S.,Carmen Garia-Parrilla,M.D. and Troncoso Gonzalez,A.M. 2006. Sensory evaluation of sherry vinegar: traditional compared to accelerated aging with oak chips. *Journal of Food Science*, 71, 238-242.
- Morton, J. (1987). Karanda. *Fruits of Warm Climates*, 135, 422-424.
- Ostman, E., Granfeldt, Y., Persson, L., and Bjorck, I. (2005). Vinegar supplementation lower glucose and insulin responses and increase satiety after a bread meal in healthy subjects. *Journal of Clinical Nutrition*, 59, 983-988.
- Matusek, A., Czukor, B. & Meresz, P. (2008). Comparison of sucrose and fructo-oligosaccharides as osmotic agents in apple. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 9, 365-373.
- Marani, C.M., Agnelli, M.E., & Mascheroni, R.H. (2007). Osmo-frozen fruits : mass transfer and quality evaluation. *Journal of Food Engineering*, 79, 1122-1130.

- Martin-Esparza, M.E., Martínez-Navarrete, N., Chiralt, A., and Fito, P. (2006). Dielectric behavior of apple (var. Granny Smith) at different moisture contents Effect of vacuum impregnation. *Journal of Food Engineering*, 77, 51-56.
- Mujica-Paz, H., Valdez-Fragoso, A., López-Malo, A., Palou, E. and Welti-Chanes, J. (2003). Impregnation and osmotic dehydration of some fruits: effect of the vacuum pressure and syrup concentration. *Journal of Food Engineering*, 57, 305-314.
- Pal, R., Kulshreshtha, D. K., and Rastogi, R. P. (1975). A new lignan from *Carissa carandas*. *Phytochemistry*, 14, 2302-2303.
- Palacio, V., Valcarcel, M., Caro, I., and Perez, L. (2002). Chemical and biochemical transformation during the industrial process of sherry vinegar aging. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 4221-4225.
- Pino, J. A., Marbot, R., and Vazquez, C. (2004). Volatile flavor constituents of Karanda (*Carissa carandas* L.) fruit. *Journal of Essential Oil Research*, 16, 430-433.
- Ponting, J.D. (1973). Osmotic dehydration of fruits: recent modifications and applications. *Process Biochemistry*, 8, 18-20.
- Ponting, J.D., Walters, G.G., Forrey, R.R., Jackson, R. and Stanley, W.L. (1966). Osmotic dehydration of fruits. *Food Technology*, 20, 125-128.
- Rachel, M. S. (2011). *Saccharomyces cerevisiae*. Retrieved January 25, 2012, from http://www.uwyo.edu/virtual_edge/lab13/fungi_results.htm
- Raganna, S. (1986). *Handbook of analysis and quality control for fruit and vegetable products*. New Delhi: Tata McGraw-Hill. 2nd ed, 106-107.
- Rico, D., Martín-Diana, A.B., D., Frias, J., Hennehan, G.T.M., Barat, J.M. and Barry-Ryan, C. (2007). Improvement in texture using calcium lactate and heat-shock treatments for stored ready-to-eat carrot. *Journal of Food Engineering*, 79, 1196-1206.
- Robert, B., and Eric, Y. (1990). *Russetting of apples*. Retrieved January 25, 2012, from <http://www.appleman.ca/korchard/russetg.htm>
- Ryszard Zadernowski, Sylwester Czaplicki, Marian Naczek. (2009). Phenolic acid profiles of mangosteen fruits (*Garcinia mangostana*). *Food Chemistry*, 112, 685-689.
- Sacchetti, G., Gianotti, A., and Dalla Rosa, M. (2001). Sucrose-salt combined effect on

- mass transfer kinetics and product acceptability. Study on apple osmotic treatments. *Journal of Food Engineering*, 49, 163-173.
- Saurel, R., Raoult-Wack, A.L., Rois, G., & Guillbert, S. (1994). Mass transfer phenomena during osmotic dehydration of apple I. Fresh plant tissue. *International Journal of Food Science and Technology*, 29, 531-542.
- Sereno, A.M., Moreira, R., and Martinez, E. (2001). Mass transfer coefficients during osmotic dehydration of apple in single and combined aqueous solutions of sugar and salt. *Journal of Food Engineering*, 47, 43-49.
- Siddhuraju, P. (2007). Antioxidant activity of polyphenolic compounds extracted from defatted raw and dry heated Tamarindus indica seed coat. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, 40, 982-990
- Singh, R. P., Chidambara Murthy, K. N. and Jayaprakasha, G. K. (2002). Studies on the antioxidant activity of pomegranate (Punica granatum) peel and seed extracts using in Vito models. *J. Agric. Food Chem*, 50, 81-86.
- Smith, R.E., & Norvell, M.A. (1975). Nutrition overview of the pet food industry. *Cereal Food World*, 20(1), 8-11.
- Solieri, L., and Giudici, P. (2007). Yeasts associated to traditional balsamic vinegar: Ecological and technological features. *International Journal of Food Microbiology*. Retrieved January 25, 2012, from <http://www.springerlink.com/content/k52jgk64n4046461>
- Subhadrabndhu, S. (2001). Under-Utilized Tropical Fruits of Thailand. *Department of Horticulture Faculty of Agriculture*, Kasetsart University.
- Sullivan, J. (1998). *Anthocyanin*. Retrieved November 3, 2011, from International Carnivorous Plant Society Web site: <http://www.carnivorousplants.org/cpn/samples/Science273anthocyanin.htm>
- Sun, J., Yao, J., Huang, S., Long, X., Wang J., & Garcia, E. (2009). Antioxidant activity of polyphenol and anthocyanin extracts from fruits of *Kadsura coccinea* (Lem.) A.C. Smith. *Food Chemistry*, 117, 276-281
- Suvarnakuta, P., Chaweerungrat, C., & Devahastin, S. (2011). Effects of drying methods on assay and antioxidant activity of xanthones in mangosteen rind. *Food Chemistry*, 125, 240-247.

- Sylvester, L.S. (1984). *Cereal chemistry Seminar: The Commercial Value of Live Grain*. Department of Cereal Chemistry North Dakota State University.
- Tesfaye, W., Morales, M. L., Benítez, B., Garcia-Parrilla, M. C., and Troncoso, A. M. (2004). Evolution of wine vinegar composition during accelerated aging with oak chips. *Analytica Chimica Acta*, 513, 239-245.
- Torreeggiani, D. (1993). Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. *Journal of Food Research International*, 26, 59-68.
- Torreeggiani, D., and Bertolo, G. (2001). Osmotic pre- treatments in fruit processing: Chemical, physical and structural effects. *Journal of Food Engineering*, 49, 247-253.
- Tural, S., & Koca, I. (2008). Physico-chemical and antioxidant properties of cornelian cherry fruits (*Cornus mas* L.) grown in Turkey. *Scientia Horticulturae*, 116, 362-366.
- Ugochukwu, N. H., and Babady, N. E. Antioxidant effects of *Gongronema latifolium* in hepatocytes of rat models of non-insulin dependent diabetes mellitus. *Fitoterapia*, 2002, 73(7-8), 612-618.
- Van, K. C., Abeele, P. V., Swings, J., Gossele, F., and Deley, J. (1981). Acetic acid bacteria as causal agents of browning and rot in apples and pears. *Hygiene*, 2, 197-204.
- Vazquez-Gonzalez, C., Argaiz, A., & Lopez-Malo, A. (1990). Low-temperature blanching and osmotic dehydration effects on frozen-thawed papaya. *IFT Annual meeting*, 83D-3. Departamento de Ingenieria Quimica y Alimentos, Mexico.
- Wang, W.C., Chang, C.C., & Chen, H.C. (1999). Study of physical properties and process variables of selected vegetables in osmotic dehydration., *IFT Annual meeting*, 22D-47. Department of Food Technology. Dayeh University, Taiwan.
- X.Q. Shi, P. Fito, A. Chiralt. (1995). Influence of vacuum treatment on mass transfer during osmotic dehydration of fruits. *Food Research international*, 28, 445-454.
- Yen, G.C. (2000). Effect of alkaline and Heat Treatment on Antioxidative Activity and Total Phenolics of Extracts from Hsian-tsao (*Mesona procumbens* Hemsl.).

Food Research International, 33, 487-492.

Zhao, Y. and Xie, J. (2004). Practical applications of vacuum impregnation in fruit and vegetable Processing. *Trends in Food Science & Technology*, 15, 434-451.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
อาหารเลี้ยงเชื้อ

1. Glucose yeast extract agar (GYEA)

สูตรประกอบดังนี้

Glucose	10	g
Yeast extract	10	g
Agar	15	g
Distilled water	1	L

ละลายส่วนประกอบทั้งหมดให้เข้ากันลงในขวดดูแรน จากนั้นนำไปต้มเพื่อให้วันละลาย แล้วไปฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที พีเอชสุดท้ายเท่ากับ 7.2 ± 0.2 ตั้งทิ้งไว้ให้อุณหภูมิลดลงประมาณ 55 องศาเซลเซียส แล้วเทลงบนจานเพาะเชื้อปริมาณ 15-20 ml

2. Trypticase (Tryptic) soy broth (TSB) (Difco TM, France)

ละลายส่วนประกอบของอาหารสำเร็จรูป TSB ปริมาณ 40 g ในน้ำกลั่น 1 L แบ่งใส่หลอดขนาด 13x100 ml หลอดละ 3 ml นำไปฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

3. Potato Dextrose agar (PDA) (Difco TM, France)

ละลายส่วนประกอบของอาหารสำเร็จรูป PDA ปริมาณ 39 g ในน้ำกลั่น 1 L ใส่ขวดดูแรน แล้วนำไปต้มเพื่อให้วันละลาย นำไปฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที พีเอชสุดท้ายเท่ากับ 5.6 ± 0.2 ตั้งทิ้งไว้ให้อุณหภูมิลดลงประมาณ 55 องศาเซลเซียส แล้วเทลงบนจานเพาะเชื้อปริมาณ 15-20 ml

4. Yeast Malt agar (YMA)

สูตรประกอบดังนี้

Yeast extract	3	g
Peptone	5	g
Malt extract	3	g
Dextrose	10	g
Agar	20	g
Distilled water	1	L

ละลายส่วนประกอบทั้งหมดให้เข้ากันลงในขวดดูแรน จากนั้นนำไปต้มเพื่อให้มันละลาย แล้วไปฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที พีเอชสุดท้ายเท่ากับ 6.2 ± 0.2 ตั้งทิ้งไว้ให้อุณหภูมิลดลงประมาณ 55 องศาเซลเซียส แล้วเทลงบนจานเพาะเชื้อปริมาณ 15-20 ml

ภาคผนวก ข
การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

การเตรียมสารเคมี

1. การเตรียมสารละลายมาตรฐาน 0.1 mol/dm^3 NaOH ปริมาตร 500 ml

ชั่ง NaOH (น้ำหนักโมเลกุล 40 g/mol) 2 g ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 1000 ml เติมน้ำกลั่น ปริมาตร 500 ml คนจนละลาย จะได้สารละลาย NaOH ความเข้มข้น 0.1 mol/dm^3

2. การเตรียมสารละลายมาตรฐานที่แน่นอน NaOH โดยใช้สาร KHP

- ชั่ง KHP 0.1072 g (น้ำหนักโมเลกุล 204.23 g/mol) ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 ml เติมน้ำกลั่น 25 ml เขย่าให้ละลาย แล้วหยดฟีนอล์ฟทาลีน 1-2 หยด

- นำไปไทเทรตกับ NaOH ความเข้มข้น 0.1 mol/dm^3

- KHP จะทำปฏิกิริยาพอดีกับ NaOH ปริมาตรเท่ากับ 5.2 ml พอดี

3. วิธีการคำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐาน NaOH

จำนวนโมลของ KHP ที่เข้าทำปฏิกิริยากับ NaOH เท่ากับ $\frac{0.1072 \text{ g}}{204.23 \text{ g/mol}} = 5.248 \times 10^{-4} \text{ mol}$

KHP ทำปฏิกิริยากับ NaOH ดังสมการ



KHP $5.248 \times 10^{-4} \text{ mol}$ ทำปฏิกิริยาพอดีกับ NaOH $5.248 \times 10^{-4} \text{ mol}$

สารละลาย NaOH 5.2 ml จะมี NaOH เท่ากับ $5.248 \times 10^{-4} \text{ mol}$

สารละลาย NaOH 1000 ml

$$\text{จะมี NaOH เท่ากับ } \frac{5.248 \times 10^{-4} \times 1000 \text{ ml}}{5.2 \text{ ml}} = 0.1009 \text{ mol/dm}^3$$

ดังนั้น ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐาน NaOH เท่ากับ 0.1009 mol/dm^3

4. การเตรียมสารละลายฟีนอล์ฟทาลีน (phenolphthalein)

ชั่งฟีนอล์ฟทาลีน 1 g ใส่ลงในขวดสีชา แล้วเติมแอลกอฮอล์ 95% ปริมาณ 100 ml ละลายให้เข้ากัน

การเตรียมตัวอย่างผลหนามแดงสำหรับการวิเคราะห์คุณภาพด้านสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (ดัดแปลงมาจากวิธีการของ Karagozler et al., 2008)

ซังผลหนามแดง 100 กรัม นำมาปั่นให้เป็นเนื้อเดียวกัน ทำการสกัดด้วยเอทานอล 95% ปริมาตร 250 มิลลิลิตร ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้แท่งแก้วคนเป็นเวลา 3 นาที และตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 4 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำสารสกัดมากรองผ่านกระดาษกรอง Whatman No.1 และล้างสารสกัดผ่านกระดาษกรองด้วยเอทานอล 50 มิลลิลิตร จากนั้นนำสารที่สกัดได้มาระเหยตัวให้ละลายออกโดยใช้ water bath ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมงหรือจนกระทั่งได้สารสกัดที่เป็นของแข็ง และเก็บสารสกัดที่ได้ในขวดแก้วสีชาและเก็บที่สภาวะแช่แข็ง (อุณหภูมิประมาณ -20 องศาเซลเซียส) จนกว่าจะนำมาวิเคราะห์สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณสารประกอบ ฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด

การวิเคราะห์สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH radical scavenging assay (ดัดแปลงมาจากวิธีการของ Karagozler et al., 2008)

อุปกรณ์และสารเคมี

- ปีเปต ชนิด Measuring ขนาด 1 มิลลิลิตร
- ขวดปรับปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร
- หลอดทดลอง
- เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (SPECTRONIC GENESYSTM 5, USA)
- ดีพีพีเอช (2-diphenyl-1-picrylhydrazyl: $C_{18}H_{12}N_5O_6$) 90 % บริษัท Sigma ประเทศเยอรมัน
- เอทานอล (Ethanol: CH_3CH_2OH) บริษัท Labscan ประเทศไทย

การเตรียมสารเคมี

เตรียมสารละลาย DPPH ทันทีก่อนใช้ ให้มีความเข้มข้น 0.1 mM ปริมาตร 50 มิลลิลิตร โดยชั่ง DPPH 0.004 กรัม ละลายในเอทานอล 95% แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตรด้วยเอทานอล เก็บในภาชนะปิดสนิทป้องกันแสงจนกว่าจะนำมาวิเคราะห์

การวิเคราะห์

1. การหาค่า % Inhibition

1.1 ใช้สารสกัดตัวอย่างที่ได้จากภาคผนวก ก-1 โดยชั่งสารสกัดมา 0.1 กรัม จากนั้นนำมาละลายในเอทานอล 95% แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตรด้วยเอทานอล

1.2 ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 3 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมล 1 มิลลิลิตร ในหลอดทดลองให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้ในที่มืดประมาณ 30 นาที สำหรับตัวอย่าง blank โดยทำเช่นเดียวกัน แต่ใช้เอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ แทนสารละลายตัวอย่าง

1.3 นำหลอดทดลองที่เป็นสารละลายตัวอย่างและน้ำ blank ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

1.4 คำนวณหา % Inhibition จากสมการ

$$\% \text{ Inhibition} = [(A_0 - A_1) / A_0] \times 100$$

กำหนดให้ A_0 คือ ค่าการดูดกลืนแสงของblank

A_1 คือ ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง

2. การหาค่า IC_{50}

2.1 นำสารละลายตัวอย่างในข้อที่ 1.1 มาผสมกับเอทานอล 95% ให้มีความเข้มข้น 100 150 200 250 และ 300 $\mu\text{g}/\text{ml}$

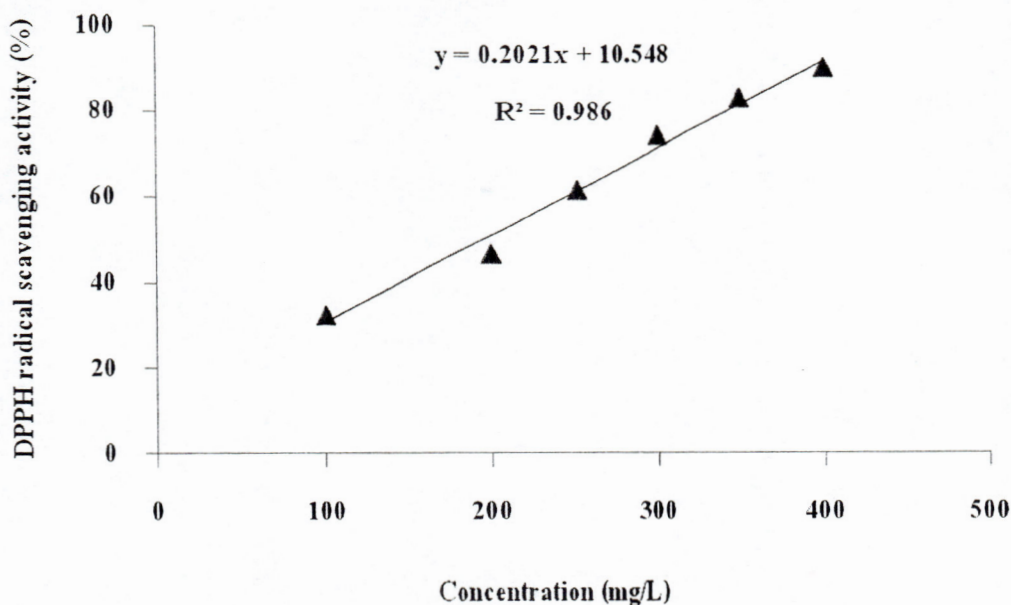
2.2 จากนั้นทำเช่นเดียวกันกับข้อที่ 1.2 1.3 และ 1.4

2.3 พล็อตกราฟค่าความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารตัวอย่าง (แกน X) และ % Inhibition ที่ได้ในแต่ละความเข้มข้น (แกน Y)

2.4 หาค่า IC_{50} ได้จากสมการเส้นตรงในข้อที่ 2.3 เพื่อหาค่าความเข้มข้นของปริมาณสารตัวอย่างที่สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้ครึ่งหนึ่ง

2.5 เพื่อความสะดวกในการเปรียบเทียบผลกับงานวิจัยของคนอื่นๆ ที่นิยมรายงานค่า IC_{50} ในหน่วยของ mg/L ดังนั้นในโครงการวิจัยนี้จึงรายงานค่า IC_{50} ในหน่วยของ mg/L อย่างไรก็ตามสามารถคำนวณค่า IC_{50} ให้อยู่ในหน่วยของ mg/g crude extracted ได้

ตัวอย่าง การคำนวณหาค่า IC₅₀ ของตัวอย่างผลหนามแดง ในหน่วย mg/L



สารละลายตัวอย่างผลหนามแดง 100 ml มีสารสกัดตัวอย่างอยู่ 0.1011 g

ถ้าใช้สารละลายตัวอย่างผลหนามแดง 3 ml จะมีสารสกัดตัวอย่าง $(0.1011 \text{ g} \times 3 \text{ ml})/100 = 3.0 \times 10^{-3} \text{ g}$

จากกราฟได้สมการ $y = 0.2021x + 10.548$

(Inhibition Concentration at 50%)

$$50 = 0.2021x + 10.548$$

$$x = 195.21$$

ดังนั้นผลหนามแดงมีค่า IC₅₀ เท่ากับ 195.21 mg/L

ตัวอย่าง การคำนวณหาค่า IC₅₀ ของตัวอย่างผลหนามแดง ในหน่วย mg/g crude extracted

หาก 1 L=Kg

ดังนั้น

$$\begin{aligned} \text{mg/L} &= \text{mg/ kg} \\ &= \frac{\text{mg} \times 1 \text{ kg}}{\text{kg} \quad 1000 \text{ g}} \end{aligned}$$

$$\text{mg/L} = \text{mg/ 1000 g}$$

นั่นคือ

$$\begin{aligned} 195.21 \text{ mg/L} &= 195.21 \text{ mg/ 1000 g} \\ &= 0.1952 \text{ mg/g} \end{aligned}$$

ดังนั้น ตัวอย่างผลหนามแดงมีค่า IC_{50} เท่ากับ 0.1952 mg/g crude extracted หรือ 0.1952 mg/3.0×10⁻³ g

การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (ดัดแปลงมาจากวิธีการของ Dewanto et al., 2002)

อุปกรณ์และสารเคมี

- เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (SPECTRONIC GENESYS™ 5, USA)
- เครื่องผสมสาร (Vortex mixer) (Heidolph, REAX 2000, Germany)
- ปิเปต ชนิด Measuring ขนาด และ 5 มิลลิลิตร
- ขวดปรับปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร
- หลอดทดลอง
- ฟอลิน ซีโอแคลทู รีเอเจนต์ (Folin-Ciocalteu reagent) (Garlo ERBA) (Sigma; USA)
- กรดแกลลิก (Gallic acid: C₇H₆O₅) 98% (Fluka, Switzerland)
- เอทานอล (Ethanol: CH₃CH₂OH) บริษัท Labscan ประเทศไทย
- โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate anhydrous: Na₂CO₃) (Ajax Finechem, Australia)

การเตรียมสารเคมี

1. เตรียมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 7 เปอร์เซ็นต์ โดยชั่งโซเดียมคาร์บอเนต 7 กรัม ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น
2. การเตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก ชั่งกรดแกลลิก 0.01 กรัม นำมาละลายด้วยเอทานอลเล็กน้อยและปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น

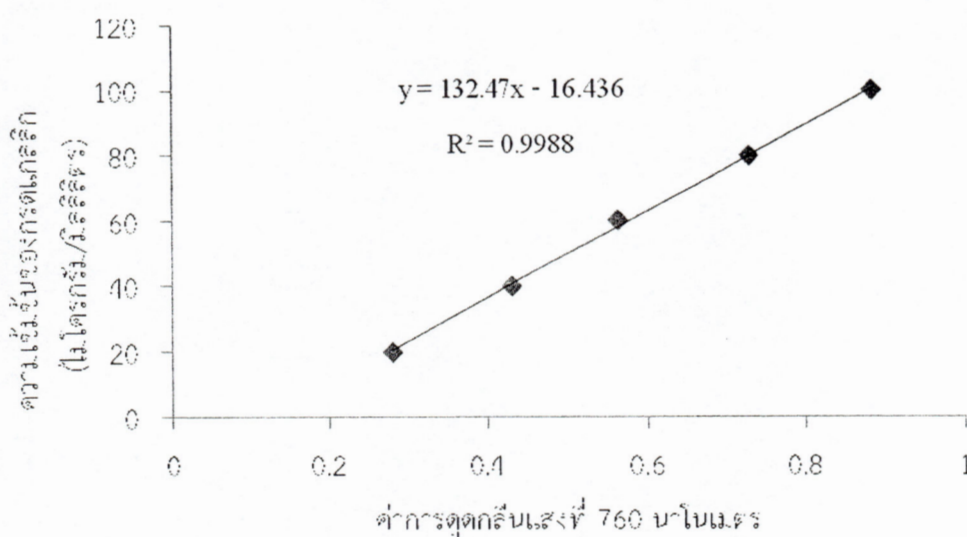
การทำกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก

เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกโดยผสมกรดแกลลิกและน้ำกลั่นให้มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 5 ระดับ คือ 20, 40, 60, 80 และ 100 µg/ml ดังนี้

1. ปิเปตสารละลายกรดแกลลิกแต่ละความเข้มข้นมา 0.125 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลายฟอลิน ซีโอแคลทูลอดละ 1.25 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วย vortex เป็นเวลา 3 วินาที และตั้งทิ้งไว้ 6 นาที
3. เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 7% 1.25 มิลลิลิตร โดยสารละลายจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำเงิน และเติมน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ 90 นาที

4. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

5. พล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (แกน X) และค่าความเข้มข้นของกรดแกลลิก (แกน Y)



ภาพภาคผนวกที่ ข-1 กราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก

การวิเคราะห์

1. ใช้สารสกัดตัวอย่างที่ได้จากภาคผนวก ก-1 โดยชั่งสารสกัดมา 0.1 กรัม จากนั้นนำมาละลายในเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตรด้วยเอทานอล
2. ปิเปตสารละลายตัวอย่างมา 0.1 มิลลิลิตร ผสมกับเอทานอล 9.9 มิลลิลิตร ในหลอดทดลอง ให้เข้ากัน
3. จากนั้นปิเปตสารละลายในข้อที่ 2 มา 0.125 มิลลิลิตร และเติมน้ำกลั่นลงไป 0.5 มิลลิลิตร
4. จากนั้นทำเช่นเดียวกันกับข้อที่ 2 3 และ 4
5. คำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดได้จากจากสมการเส้นตรง

การวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (ดัดแปลงมาจากวิธีของ Sun *et al.*, 2009)

อุปกรณ์และสารเคมี

- เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (SPECTRONIC GENESYS™ 5, USA)
- เครื่องผสมสาร (Vortex mixer) (Heidolph, REAX 2000, Germany)
- ปิเปต ชนิด Measuring ขนาด และ 5 มิลลิลิตร
- ขวดปรับปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร
- หลอดทดลอง
- สารละลายบัฟเฟอร์โพแทสเซียมคลอไรด์ (0.025 M, pH 1.0)
- สารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมอะซิเตท (0.4 M, pH 4.5)

การวิเคราะห์

1. ใช้สารสกัดตัวอย่างที่ได้จากภาคผนวก ก-1 โดยชั่งสารสกัดมา 0.1 กรัม จากนั้นนำมาละลายในเอทานอล 95% แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตรด้วยเอทานอล
2. ปิเปตสารละลายตัวอย่างใส่หลอดทดลอง หลอดละ 0.2 มิลลิลิตร
3. หลอดที่ 1 เติมสารละลายบัฟเฟอร์โพแทสเซียมคลอไรด์ (0.025 M, pH 1.0) 3 มิลลิลิตร
4. หลอดที่ 2 เติมสารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมอะซิเตท (0.4 M, pH 4.5) 3 มิลลิลิตร
5. เตรียมสารละลาย bank โดยใช้ น้ำกลั่นแทนสารละลายบัฟเฟอร์
6. นำหลอดทดลองทั้ง 2 หลอด และ bank ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 และ 700 นาโนเมตร
7. คำนวณปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด จากสมการ

$$\text{Total Anthocyanin (mg/100 g)} = \frac{A \times \text{MW} \times \text{DF} \times 1000}{(\epsilon \times 1)}$$

กำหนดให้ A คือ ค่าการดูดกลืนแสง เท่ากับ $[(A_{520}-A_{700})_{\text{pH } 1.0} - (A_{520}-A_{700})_{\text{pH } 4.5}]$

MW คือ น้ำหนักโมเลกุลของ cyanidin-3-glucoside เท่ากับ 449.2

DF คือ dilution factor

ϵ คือ molar extinction coefficient ของ cyanidin-3-glucoside เท่ากับ

29,600

การวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซี (Ascorbic acid) (AOAC, 1990)

อุปกรณ์และสารเคมี

- ปิเปต ชนิด Mohr ขนาด 1 มิลลิลิตร
- บิวเรต ขนาด 50 มิลลิลิตร
- ขวดปรับปริมาตรขนาด 50 200 และ 250 500 มิลลิลิตร
- กระบอกตวง ขนาด 10 และ 100 มิลลิลิตร
- ขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร
- กระดาษกรอง Whatman No. 1
- กรดเมตาฟอสฟอริก (Metaphosphoric acid; HPO_3) (BDH Laboratory Supplies, England)
- กรดอะซิติก (Acetic acid; CH_3COOH) (LAB SCAN, Ireland)
- กรดแอสคอร์บิก (L-Ascorbic acid; $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$) (BDH Laboratory Supplies, England)
- 2,6-ไดคลอโรอินโดฟินอล (2,6-Dichloroindophenol; $\text{O}:\text{C}_6\text{H}_2\text{Cl}_2:\text{N}:\text{C}_6\text{H}_4.\text{ONa}$) (Ajax Finechem, Australia)
- โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต (sodium Hydrogen Carbonate; NaHCO_3) (AR grade, Ajax Finechem, Australia)

วิธีการเตรียมสารเคมี

1. สารละลายกรดเมตาฟอสฟอริก-กรดอะซิติก (metaphosphoric acid - acetic acid)
ชั่งกรดเมตาฟอสฟอริก (HPO_3) มา 15 กรัม ละลายในกรดอะซิติก 40 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 500 มิลลิลิตร แล้วกรองด้วยกระดาษกรอง whatman No.1 (ถ้าเก็บรักษาไว้ในตู้เย็น สามารถใช้ได้ภายใน 10 วัน)
2. สารละลายวิตามินซีมาตรฐาน (ความเข้มข้น เท่ากับ 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)
ชั่งกรดแอสคอร์บิก 0.05 กรัม ลงในขวดวัดปริมาตร 50 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยสารละลายกรดเมตาฟอสฟอริก-กรดอะซิติกให้ได้ปริมาตร 50 มิลลิลิตร (ระวังอย่าให้ถูกแสง)
3. สารละลายอินโดฟินอลมาตรฐาน (standardization of dye solution)
ชั่ง 2,6-ไดคลอโรอินโดฟินอล 0.05 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร ที่มีโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต (NaHCO_3) อยู่ 0.042 กรัม จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 200 มิลลิลิตร แล้วกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No. 1 (เก็บรักษาไว้ในตู้เย็นใช้ได้ 2-3 สัปดาห์ ระวังอย่าให้ถูกแสง)

วิธีการวิเคราะห์

การปรับมาตรฐานของ Dye solution

1. ปิเปตสารละลายกรดแอสคอร์บิกมาตรฐาน 2.0 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร ซึ่งมีสารละลายกรดเมตาฟอสฟอริก-กรดอะซิติก 5.0 มิลลิลิตร
2. นำไปไทเทรตกับ Dye solution จนกระทั่งถึงจุดยุติ (สีชมพูอ่อน) บันทึกปริมาตรที่ใช้
3. ทำแบงค์ (Blank) โดยใช้ น้ำกลั่นแทนสารละลายกรดแอสคอร์บิกมาตรฐาน จากนั้นคำนวณหา Dye Fractor

$$\text{Dry factor} = \frac{2 \text{ mg ascorbic acid}}{(\text{titre of dye solution} - \text{titre of blank}) \text{ ml}}$$

การทดสอบ

1. ชั่งตัวอย่าง 10 กรัม แล้วเติมสารละลายกรดเมตาฟอสฟอริก-กรดอะซิติก 100 กรัม จากนั้นกรองสารละลายด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 แล้วปรับปริมาตรด้วยกรดเมตาฟอสฟอริก-กรดอะซิติกให้ได้ 50 มิลลิลิตร
2. ปิเปตสารละลายตัวอย่างจากข้อ 1 มา 10 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 125 มิลลิลิตร
3. ไทเทรตด้วย Dye solution จนกระทั่งได้สีชมพูอ่อน (จุดยุติ) บันทึกปริมาตรที่ใช้ในการไทเทรต ทำการทดลอง 3 ซ้ำ
4. ทำ blank โดยใช้สารละลายกรดเมตาฟอสฟอริก-กรดอะซิติก 7 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำกลั่น โดยใช้ปริมาตรเท่ากับปริมาตรของ dye solution ที่ใช้ในการไทเทรต
5. คำนวณปริมาณวิตามินซีจากสมการ

$$\text{Vitamin C (mg / 100 g)} = \frac{((X-B) \times F \times E)/W \times Y \times 100}{1}$$

กำหนดให้ X = Average ml. for sample titration

B = Average ml. for sample back titration

F = Dye factor

E = vol. made up

W = wt (g) of sample

Y = aliquot of extract taken for estimate

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (Total Sugar) (Lane and Eynon, 1849)

เครื่องมือที่ใช้

ปิเรตขนาด 50 มิลลิลิตร ที่ด้านปลายต่ออยู่กับแท่งแก้วอ เพื่อทำให้ปลายปิเรตสามารถใส่เข้าไปในฟาสต์ที่ตั้งอยู่บนเตาอบจนได้สะดวก

สารเคมีที่ใช้

1. สารละลาย Fehling reagent ซึ่งประกอบด้วย Fehling 's solution no.1 และ no.2
2. สารละลาย 1% Methylene blue ในน้ำกลั่น
3. สารละลาย Zinc ferrocyanide : ประกอบด้วยสารละลาย Carrez I & II
4. สารละลายเมธิลีนบลู ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์

การเตรียมสารเคมี

1. Fehling 's solution no.1 เตรียมโดยละลายคอปเปอร์ซัลเฟต ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 69.278 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 1 ลิตร โดยใช้ volumetric flask
2. Fehling 's solution no.2 เตรียมโดยละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จำนวน 100 กรัม และโซเดียมโปแตสเซียมเตตระเรท ($\text{NaKC}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) Rochelle salt 346 กรัมในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรให้ครบ 1 ลิตร โดยใช้ volumetric flask

หมายเหตุ : สารละลายทั้งสองนี้ต้องเตรียมแยกจากกันและเก็บใส่ในขวดสีน้ำตาล เมื่อต้องการใช้ให้ผสมสารละลายทั้งสองนี้ด้วยปริมาตรเท่ากันทันทีก่อนใช้

3. สารละลาย Carrez I เตรียมโดยละลาย zinc acetate dihydrate 21.9 กรัมในน้ำกลั่นที่มีกรดอะซิติก (glacial acetic) 3 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นใน volumetric flask

5. สารละลาย Carrez II เตรียมโดยละลายโปแตสเซียมเฟอร์โรไซยาไนด์ 10.6 กรัมในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นใน volumetric flask

การเตรียมตัวอย่าง

ชั่งตัวอย่างอาหารมาจำนวนหนึ่ง เติมน้ำกลั่นลงไปพอประมาณ (อาจจำเป็นต้องใช้เครื่องปั่นเพื่อให้อาหารเป็นเนื้อเดียวกัน) คนให้สารละลายเข้ากัน ทำให้ใสโดยใช้สารละลาย zinc ferrocyanide ซึ่งประกอบด้วยสารละลาย Carrez I & II อย่างละ 5 มิลลิลิตร เพื่อให้สามารถสังเกตจุดยุติได้ง่ายขณะไทเทรชัน โดยเติมสารละลาย Carrez I จำนวน 5 มิลลิลิตร ลงในตัวอย่าง เขย่าให้เข้ากันแล้วเติมสารละลาย Carrez II ลงไปอีก 5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันอีกครั้งแล้วจึงปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร หรือ 250 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นใน volumetric flask ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 20

นาที่ แล้วกรอง เก็บสารละลายที่กรองได้ไว้ใช้วิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ก่อนอินเวอร์ชัน ซึ่งค่าที่ได้เป็นปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ทั้งหมดที่มีอยู่ในตัวอย่างอาหารที่ไม่รวมน้ำตาลซูโครส

การวิเคราะห์ แบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ

1. Preliminary titration

นำสารละลายที่กรองได้ใส่ในบิวเรตชนิดปลายจ่อที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์หาน้ำตาลขนาด 50 มิลลิลิตร ไล่ฟองอากาศออกให้หมด โดยเฉพาะบริเวณที่ปลายแท่งแก้วจ่อ ปิเปตสารละลาย Mixed Fehling reagent มา 10 มิลลิลิตร (ใช้อย่างละ 5 มิลลิลิตร) หรือ 25 มิลลิลิตร ใส่ในฟาสต์ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมลูกแก้วเล็กๆ ลงไป 8-10 เม็ด เพื่อกันการล้นออกมาของสารละลาย นำไปต้มให้เดือดบนเตาบุนเซนจนเดือด แล้วจึงไทเทรตกับสารละลายน้ำตาลตัวอย่างจนมีสีน้ำเงินจางลงหยุดสารละลายเมสีนบลลงไป 1-2 หยด ไทเทรตจนสีฟ้าหายไปหมด เหลือตะกอนสีส้มแดงของคิวปรัสออกไซด์ จดปริมาตรของสารละลายน้ำตาลที่ใช้ ความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายน้ำตาลจะต้องสามารถรีดิวซ์สารละลาย Mixed Fehling reagent 10 หรือ 25 มิลลิลิตร ได้ด้วยปริมาตรของสารละลายน้ำตาลตัวอย่างอยู่ในช่วง 15-50 มิลลิลิตร ทำซ้ำ 2 ซ้ำ เพื่อให้ได้ปริมาตรที่แน่นอน แล้วหาค่าเฉลี่ยของสารละลายที่ใช้ หากปริมาตรของสารละลายน้ำตาลที่ใช้ไทเทรตน้อยกว่า 15 มิลลิลิตร ควรเจือจางสารละลายน้ำตาลดังกล่าวลงอีก แล้วทำการไทเทรตใหม่ ในทางตรงกันข้ามหากปริมาตรของสารละลายที่ใช้มากกว่า 50 มิลลิลิตร แสดงว่าสารละลายน้ำตาลนั้นเจือจางเกินไปต้องเตรียมสารละลายน้ำตาลใหม่ ให้มีความเข้มข้นมากกว่าเดิม หากสารละลายมีความเข้มข้นที่เหมาะสมแล้วจะต้องทำการไทเทรตเพื่อให้รู้ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลที่แน่นอนในขั้นตอน Accurate titration

2. Accurate titration

ปิเปตสารละลาย Mixed Fehling reagent มา 10 หรือ 25 มิลลิลิตร ใส่ในฟาสต์ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมลูกแก้วลงไป 8-10 เม็ด เติมสารละลายน้ำตาลจากบิวเรตไปทันที โดยใช้ปริมาตรน้อยกว่าที่ใช้ในการทำ Preliminary titration ประมาณ 1-2 มิลลิลิตร แล้วต้มบนเตาบุนเซนจนเดือด หยุดสารละลายเมสีนบลลงไป 1-2 หยด แล้วไทเทรตต่อ ใช้อัตราเร็ว 0.25 มิลลิลิตรต่อวินาที พยายามไทเทรตให้เสร็จสิ้นภายในเวลา 3 นาที ตั้งแต่เริ่มเดือดจนสีฟ้าจางหายไปหมด เหลือตะกอนสีส้มแดงของคิวปรัสออกไซด์ จดปริมาตรของสารละลายน้ำตาลที่ใช้ทำซ้ำอีก 2 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย ปริมาตรของสารละลายน้ำตาลที่ใช้ นำไปเทียบหาปริมาณน้ำตาลในสารละลายตัวอย่างโดยใช้ตารางภาคผนวกที่ 1 หรือ 2 แล้วคำนวณหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ก่อนการอินเวอร์ชัน (D_1)

วิเคราะห์ตามขั้นตอนที่ได้อธิบายไว้ข้างต้น

การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์หลังการอินเวอร์ชัน (D₂)

การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์หลังการอินเวอร์ชันนั้น อาจใช้สารละลายน้ำตาลเดิมที่เหลือจากการไทเทรตหาค่า D₁ แล้ว โดยแบ่งมาจำนวนหนึ่งให้ทราบปริมาตรที่แน่นอน เพื่อใช้ประโยชน์ในการคำนวณกลับ ใส่ใน volumetric flask ขนาด 100 หรือ 250 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลายกรดเกลือเข้มข้น 6.43 N จำนวน 10 มิลลิลิตร หรืออาจใช้กรดเกลือเข้มข้นจำนวน 5 มิลลิลิตร แทนก็ได้ แล้วนำไปอุ่นใน water bath ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นานประมาณ 10 นาที ทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็ว แล้วปรับให้ส่วนผสมทั้งหมดเป็นกลางด้วยสารละลายต่าง (ควรใช้ความเข้มข้นของต่างประมาณ 5 M) เมื่อได้สารละลายที่เป็นกลางแล้ว นำไปปรับปริมาตรให้ครบ 100 หรือ 250 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นใน volumetric flask ผสมให้เข้ากันแล้วนำไปใส่ในบิวเรตเพื่อไทเทรตกับสารละลาย Mixed Fehling reagent 10 หรือ 25 มิลลิลิตร ทำเช่นเดียวกันกับการวิเคราะห์หาค่า D₁ บันทึกปริมาตรสารละลายน้ำตาลที่ใช้โดยทำซ้ำ 2-3 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ย นำค่าที่ได้ไปเทียบหาปริมาณน้ำตาลในสารละลายตัวอย่าง โดยใช้ตารางที่ 1 หรือ 2 แล้วคำนวณหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์หลังอินเวอร์ชัน

การคำนวณ

$$\% \text{ ของน้ำตาลซูโครส (S) } = \% \text{ ของผลต่าง (D}_2 - \text{D}_1) \times 0.95$$

$$\text{และ \% ของน้ำตาลทั้งหมด} = \text{D}_1 + \text{S}$$

กำหนดให้ S คือ % ของน้ำตาลซูโครส

D₁ คือ % ของน้ำตาลรีดิวซ์ทั้งหมดก่อนการอินเวอร์ชัน

D₂ คือ % ของน้ำตาลรีดิวซ์ทั้งหมดหลังการอินเวอร์ชัน

การวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมด (Total Titratable Acidity; TTA) (AOAC, 1990)

อุปกรณ์และสารเคมี

- บิวเรต ขนาด 50 มิลลิลิตร
- ปิเปต ขนาด 10 มิลลิลิตร
- กระดาษกรอง Whatman No. 1
- ขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร
- ขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 มิลลิลิตร
- Phenolphthalein 1% ในน้ำกลั่น
- สารละลายต่างมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล

การวิเคราะห์

1. นำซังตัวอย่าง 10 กรัม ใส่ลงในขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น
2. กรองตัวอย่างเอากากออก
3. ปิเปตของเหลวที่กรองได้มา 10 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 มิลลิลิตร (ถ้ามีสีเข้มให้เติมน้ำกลั่นที่ต้มเดือดและเย็นลงไปเพื่อให้สีจางลง)
4. หยด Phenolphthalein 2-3 หยด นำไปไทเทรตกับ 0.1 N NaOH จนถึงจุดยุติ จะได้สารละลายสีชมพูอ่อน บันทึกปริมาตรของด่างที่ใช้ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ
5. หาค่าเฉลี่ยของด่างที่ใช้แล้วคำนวณหา % ปริมาณกรดทั้งหมด (ในรูปของ Citric acid) จากสมการ

$$\text{TTA \%} = \frac{\text{NaOH (N)} \times \text{Vol. NaOH ที่ใช้ (ml)} \times \text{Vol. made up} \times \text{eq.wt of acid}}{\text{Vol. of sample ที่ใช้ในการไทเทรต (ml)} \times \text{wt. of sample ที่ใช้ (g)} \times 1000} \times 100$$

ตารางภาคผนวกที่ ข-1 Factors by which to multiply the number of milliliters of tenth normal alkaline to obtain the Percentage of various acid when titrating 10.0 ml or 10.0 g sample

Acid	Chemical Formula	Molecular Weight	Acid (H ⁺) Ion per Molecular	Equivalent Weight	Factor for 0.1N Alkali
Citric (anhydrous)	H ₃ C ₆ H ₅ O ₇	192.12	3	64.04	0.06404
Citric (hydrous)	H ₃ C ₆ H ₅ O ₇ ·H ₂ O	210.14	3	70.05	0.07005
Acetic	HC ₂ H ₃ O ₂	60.05	1	60.05	0.06005
Lactic	HC ₃ H ₅ O ₃	90.08	1	90.08	0.09008
Malic	H ₂ C ₄ H ₄ O ₅	134.09	2	67.05	0.06705
Tartaric	H ₂ C ₄ H ₄ O ₆	150.09	2	75.05	0.07505

Hydrochloric	HCl	36.47	1	36.47	0.03647
Sulfuric	H ₂ SO ₄	98.08	2	49.04	0.04904
Phosphoric	H ₃ PO ₄	98.00	3	32.67	0.03267
Potassium acid phthalate	KHC ₄ H ₄ O ₄	204.22	1	204.22	0.20422

ที่มา: นิธิยา รัตนูปนันท (2549)

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 1990)

อุปกรณ์

- ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) (Memmert, ULE 560, Germany)
- โถดูดความชื้น (Desiccator)
- ภาชนะอลูมิเนียมสำหรับหาความชื้น (Moisture can)

การวิเคราะห์

1. อบภาชนะอลูมิเนียมสำหรับหาความชื้นในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วนำออกจากตู้อบ ทิ้งให้เย็นจนกระทั่งอุณหภูมิของภาชนะลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้องในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนัก (เทคนิค 4 ตำแหน่ง)
2. นำภาชนะอลูมิเนียมไปอบซ้ำ ชั่งหาน้ำหนักที่แน่นอน (แตกต่างกันไม่เกิน 0.05 กรัม)
3. ชั่งตัวอย่างอาหารที่ต้องการหาความชื้นให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 5 กรัม บันทึกน้ำหนักของตัวอย่างอาหารที่ชั่งได้ ใส่ตัวอย่างอาหารลงในภาชนะอลูมิเนียม จนได้น้ำหนักที่คงที่แล้วนำไปอบในตู้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 5-6 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบ ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนักของภาชนะพร้อมตัวอย่าง จากนั้นนำไปอบซ้ำในตู้อบลมร้อนจนได้น้ำหนักคงที่ โดยผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งไม่เกิน 0.05 กรัม (ทำการทดลอง 3 ซ้ำ)

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณความชื้น (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}-\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ} \text{ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)}} \times 100$$

การวิเคราะห์ค่า Water activity (a_w)

วิเคราะห์ค่า Water activity (a_w) ด้วยเครื่อง NOVASINA รุ่น AWC water activity center โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ ขั้นตอนการวิเคราะห์ค่า a_w มีดังนี้

วิธี Set – up Calibration

1. กรณีรู้ค่า a_w ของตัวอย่างที่จะทดสอบโดยประมาณ ให้ Calibrate ด้วยสารละลายความเข้มข้นมาตรฐาน 2 ตัว ที่มีค่า a_w มากกว่า และน้อยกว่า a_w โดยประมาณของตัวอย่าง
2. กรณีไม่รู้ค่า a_w ของตัวอย่างที่จะทดสอบโดยประมาณ ให้ Calibrate ด้วยสารละลายความเข้มข้นมาตรฐานทั้ง 6 ตัว
3. เสียบปลั๊กเครื่อง เปิดสวิตช์ที่ด้านหลังเครื่อง ปรับสวิตช์ Temperature preselector เป็นหมายเลข 90
4. เปิด cover และ Measurement head ตามลำดับ นำตลับสารความเข้มข้นมาตรฐานใส่ใน Measurement head ตามลำดับ ตลับสารความเข้มข้นมาตรฐานใส่ใน Measuring bowl ให้เริ่มต้นด้วยสารความเข้มข้นมาตรฐานที่มีค่าสูง ปิด Measurement head และ cover ตามลำดับ
5. หมุนปุ่มสี่เหลี่ยมไปยังหมายเลข 2 รอจนอุณหภูมิและค่า a_w ใกล้เคียงกับที่จะ Calibrate
6. กดปุ่มสี่เหลี่ยมค้างไว้จนกระทั่งบนจอกระพริบ ถ้านบนจอกระพริบเป็นคำว่า NO CAL รอจนกว่าบนจอแสดงข้อความที่เป็นตัวเลขของสารความเข้มข้นมาตรฐานที่กำลัง Calibrate พร้อมกับคำว่า CAL แล้วข้อความกระพริบด้วย แล้วจึงปล่อยมือ
7. กดปุ่มสี่เหลี่ยมอีกครั้ง จนกระทั่งข้อความบนจอหยุดกระพริบและแสดงค่าอุณหภูมิ และค่า a_w
8. หลังจากเสร็จสิ้นการ Calibrate แล้ว เครื่องจะคืนสู่สภาพปกติ คือพร้อมที่จะวัด และแสดงค่าอุณหภูมิ และ %ERC ($a_w = ERH/100$) ของตัวอย่าง

วิธีการใช้เครื่องเพื่อทำการวัดสารตัวอย่าง

1. ตั้งอุณหภูมิในการอ่านค่าตามที่ต้องการ
2. ปรับปุ่มสี่เหลี่ยมให้อยู่หมายเลข 1
3. นำตัวอย่างบรรจุลงในถ้วยตัวอย่าง (sample cup) ปริมาณของตัวอย่าง 3 ใน 4 ของความจุของถ้วย และตัวอย่างต้องไม่สูงเกินขอบภาชนะโดดเด่นขาด
4. เปิดฝาเครื่อง Novasina แล้วหมุนฝาครอบทองเหลืองทวนเข็มนาฬิกา ยกขึ้น
5. เปิดฝาดตัวอย่างออก แล้ววางลงใน Chamber ปิดด้วยฝาครอบทองเหลือง พร้อมหมุนตามเข็มนาฬิกา ปิดฝาเครื่อง Novasina

6. รอนกระทั้งหน้าจอแสดงค่าอุณหภูมิที่ต้องการ และเครื่องหมายสามเหลี่ยมด้านล่าง กระปรียบพร้อมกัน 4 อัน เมื่อเครื่องหมายสามเหลี่ยมด้านล่างกระปรียบพร้อมกัน 4 อัน เริ่มจับเวลา ประมาณ 10 นาที จึงบันทึกค่า a_w และอุณหภูมิ

7. เปิดฝาเครื่อง Novasina แล้วหมุนฝาครอบทองเหลืองทวนเข็มนาฬิกา ยกขึ้น นำภาชนะบรรจุออกจาก Chamber

8. เมื่อเลิกใช้งาน ให้วางถ้วยตัวอย่างที่บรรจุ silica gel ลงใน Chamber แล้วจึงปิดฝาเครื่อง Novasina

9. เปิด cover และ Measurement head ตามลำดับ นำตลับสารความชื้นมาตรฐานใส่ใน Measurement head ตามลำดับ ตลับสารความชื้นมาตรฐานใส่ใน Measuring bowl ให้เริ่มต้นด้วยสารความชื้นมาตรฐานที่มีค่าสูง ปิด Measurement head และ cover ตามลำดับ

10. หมุนปุ่มสี่เหลี่ยมไปยังหมายเลข 2 รอนอุณหภูมิและค่า a_w ใกล้เคียงกับที่จะ Calibrate

11. กดปุ่มสี่เหลี่ยมค้างไว้จนกระทั่งบนจอกระปรียบ ถ้าบนจอกระปรียบเป็นคำว่า NO CAL รอนกว่าบนจอแสดงข้อความที่เป็นตัวเลขของสารความชื้นมาตรฐานที่กำลัง Calibrate พร้อมกับคำว่า CAL แล้วข้อความกระปรียบด้วย แล้วจึงปล่อยมือ

12. กดปุ่มสี่เหลี่ยมอีกครั้ง จนกระทั่งข้อความบนจอหยุดกระปรียบและแสดงค่าอุณหภูมิและค่า a_w

13. หลังจากเสร็จสิ้นการ Calibrate แล้ว เครื่องจะคืนสู่สภาพปกติ คือพร้อมที่จะวัด และแสดงค่าอุณหภูมิ และ %ERC ($a_w = ERH/100$) ของตัวอย่าง

วิธีการใช้เครื่องเพื่อทำการวัดสารตัวอย่าง

9. ตั้งอุณหภูมิในการอ่านค่าตามที่ต้องการ

10. ปรับปุ่มสี่เหลี่ยมให้อยู่หมายเลข 1

11. นำตัวอย่างบรรจุลงในถ้วยตัวอย่าง (sample cup) ปริมาณของตัวอย่าง 3 ใน 4 ของความจุของถ้วย และตัวอย่างต้องไม่สูงเกินขอบภาชนะโดตเด็ดขาด

12. เปิดฝาเครื่อง Novasina แล้วหมุนฝาครอบทองเหลืองทวนเข็มนาฬิกา ยกขึ้น

13. เปิดฝาด้วยอย่างออก แล้ววางลงใน Chamber ปิดด้วยฝาครอบทองเหลือง พร้อมหมุนตามเข็มนาฬิกา ปิดฝาเครื่อง Novasina

14. รอนกระทั้งหน้าจอแสดงค่าอุณหภูมิที่ต้องการ และเครื่องหมายสามเหลี่ยมด้านล่าง กระปรียบพร้อมกัน 4 อัน เมื่อเครื่องหมายสามเหลี่ยมด้านล่างกระปรียบพร้อมกัน 4 อัน เริ่มจับเวลา ประมาณ 10 นาที จึงบันทึกค่า a_w และอุณหภูมิ

15. เปิดฝาเครื่อง Novasina แล้วหมุนฝาครอบทองเหลืองทวนเข็มนาฬิกา ยกขึ้น นำภาชนะบรรจุออกจาก Chamber

16. เมื่อเลิกใช้งาน ให้วางถ้วยตัวอย่างที่บรรจุ siliga gel ลงใน Chamber แล้วจึงปิดฝาเครื่อง Novasina

ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์ทางกายภาพ

การวัดค่าสี (L^* , a^* และ b^*)

การวัดค่าสี (L^* , a^* และ b^*) โดยใช้เครื่อง (Miniscan XP Plus, USA) ต้องดำเนินการเทียบมาตรฐานของเครื่องวัดสี (Calibration) ก่อนวัด สุ่มตัวอย่างผลหนามแดงประมาณ 15 กรัมจัดเรียงใส่ถ้วยสำหรับใส่ตัวอย่างให้เต็มถ้วย โดยแต่ละสิ่งทดลองจะวัด 3 ครั้ง ซึ่งค่าที่วัดได้ในระบบ CIE จะอยู่ในหน่วยดังนี้

ทั้งนี้ ค่าสี L^* หมายถึง ค่าความสว่าง (Lightness) มีช่วงตั้งแต่ 0 (สีดำ) จนถึง 100 (สีขาว)

ค่าสี a^* หมายถึง ค่าสีเขียว-แดง มีค่าเป็นลบ หมายถึง สีเขียว ถ้าเป็นบวก หมายถึง สีแดง

ค่าสี b^* หมายถึง ค่าน้ำเงิน-เหลือง มีค่าเป็นลบ หมายถึง สีนํ้าเงิน ถ้ามีค่าเป็นบวก หมายถึง สีเหลือง

การวัดลักษณะเนื้อสัมผัส

วัดลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer รุ่น TA-XT2) โดยเตรียมตัวอย่างผลหนามแดงมาวางบนแท่นกดครึ่งละ 1 ผล วัดโดยใช้แรงกด (compression) โดยใช้หัววัดรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร (P/2) กดลงตรงกลางผลหนามแดง โดยแต่ละสิ่งทดลองจะวัด 10 ครั้ง (ใช้ตัวอย่าง 10 ผล/ 1 สิ่งทดลอง) และหาค่าเฉลี่ยจากแรงที่สูงที่สุด รายงานเป็นค่าความแข็ง (hardness)

1. การใช้งาน

- เปิดคอมพิวเตอร์และเครื่อง Texture Analyzer รุ่น TA-XT2
- คลิกที่ start → program → texture expert → จะปรากฏหน้าต่าง user selection คลิกที่ OK
- จากนั้นไปที่ file → new project จะปรากฏหน้าต่างของ project (ถ้าใช้เป็นครั้งแรก) หรือถ้าไม่ต้องการตั้ง project → restart → จะปรากฏหน้าต่างของกราฟ
- กรณีที่มีข้อมูลแล้วให้คลิกที่ open icon จะปรากฏหน้าต่างของ open แล้วเมื่อเรียกชื่อไฟล์ตามต้องการโดยเปลี่ยนชนิดของไฟล์ที่ได้ list first of type เมื่อ

*.ARC

คือ ไฟล์ที่เป็นกราฟ

*.RES	คือ ไฟล์ที่เป็นตารางข้อมูล
*.RPJ	คือ ไฟล์ที่เป็น project
Document MAC	คือ ไฟล์ที่เป็น Macro
*.LIS	คือ ไฟล์ที่เป็นข้อมูลดิบ

2. การเปรียบเทียบ (caribration)

- จะต้องทำการ calibrate force ทุกครั้งที่ทำการทดสอบ โดยไปที่ T.A. บน menu bar calibrate force จะปรากฏหน้าต่างของ force calibration ให้วางตุ้มน้ำหนัก 5 กิโลกรัม บน calibration platform แล้วคลิก OK
- เมื่อหน้าจอปรากฏข้อความ “calibration successful” ให้ยกตุ้มน้ำหนักลงแล้วคลิก OK

3. การทำ T.A. setting

- ไปที่ T.A. → T.A. setting (หรือ FA) จะปรากฏหน้าต่างของ Texture Analyzer setting ทำการตั้งค่าพารามิเตอร์ดังนี้

Option:	Measure Force in compression
Pre-Test Speed:	1.5 mm/s
Test Speed:	1.5 mm/s
Post-Test Speed:	10.0 mm/s
Distance:	4 mm
Trigger Type:	Auto-5g
Data-Acquisition Rate:	200 pps

- ถ้าต้องการบันทึกข้อมูลให้คลิก save กรณีจะเรียกข้อมูลให้คลิก Load
- เมื่อจะทำการขึ้นต่อไปให้คลิก update

4. การทำ Run a Test

- เมื่อวางตัวอย่างบนแท่นทดสอบ เลือก T.A. บน menu bar → Run a Test (หรือ F2) จะปรากฏหน้าต่างของ Run a Test โดยพารามิเตอร์ต่างๆมีความหมายดังนี้

Autosave: บันทึกข้อมูลโดยอัตโนมัติตาม dive หรือ path ที่ตั้งไว้

File ID: ตั้งชื่อไฟล์ สำหรับกราฟแสดงผล (5 ตัวอักษร)

File No: ตั้งหมายเลขไฟล์ (จำเป็นในครั้งแรกเพราะจะเพิ่มขึ้นเองโดยอัตโนมัติหลังจากที่แต่ละไฟล์ถูบันทึก)

Drive: ตำแหน่งที่จะให้บันทึกข้อมูลไว้

Title: ตั้งชื่อกราฟแสดงผล

Note: บันทึกรายละเอียดของตัวอย่างที่นำมาทดสอบ

Probe and Product Data: เลือกชนิดของ probe ให้ตรงกับที่นำมาใช้

Configure: ใส่ Production dimension

Delay Start: เมื่อต้องการเลื่อนเวลาในการเริ่มการวัดออกไป

Clear Previous Graph: เมื่อต้องการให้การทดสอบแต่ละครั้งปรากฏกราฟเพียงเส้นเดียว (เป็นการลบ ARC file เดิมออกเพื่อให้ ARC file ใหม่เข้ามาแทน)

Run Macro: เมื่อต้องการให้วิเคราะห์ผลโดยอัตโนมัติ

PPS: อัตราเร็วในการบันทึกข้อมูลลงในหน่วยความจำของเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยทั่วไปใช้ 200 pps

- เมื่อตั้งค่าต่างๆเรียบร้อยแล้ว ให้คลิก OK เครื่องจะเริ่มทำการทดสอบพร้อมกับการปรากฏเส้นกราฟ ส่วนการทดสอบขั้นตอนต่อไปให้เลือก T.A. บน menu bar Quick Test Run (หรือ Ctrl+Q)
- การอ่านค่าที่ได้จากกราฟเลือก Go to บน menu bar → max force → OK

การวัดค่าสี (L^* , a^* และ b^*)

วัดค่าสีโดยใช้เครื่อง (HunterLab, Miniscan XP Plus, USA) นำตัวอย่างกากผลหนามแดงและกากผลหนามแดงอบแห้งมาบรรจุให้เต็มตลับพลาสติกทรงกลมใส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 15 เซนติเมตรวัดค่า (L^* , a^* และ b^*) ทุกตัวอย่างทำ 3 ซ้ำ โดยแต่ละซ้ำที่วัดค่าจะหมุนตัวอย่างครั้งละ 90°C เพื่อเปลี่ยนตำแหน่งในการวัด

ทั้งนี้ ค่าสี L^* หมายถึง ค่าความสว่าง (Lightness) มีช่วงตั้งแต่ 0 (สีดำ) จนถึง 100 (สีขาว)

ค่าสี a^* หมายถึง ค่าสีเขียว-แดง มีค่าเป็นลบ หมายถึง สีเขียว ถ้าเป็นบวก หมายถึง สีแดง

ค่าสี b^* หมายถึง ค่าสีน้ำเงิน-เหลือง มีค่าเป็นลบ หมายถึง สีน้ำเงิน ถ้ามีค่าเป็นบวก หมายถึง สีเหลือง

มีขั้นตอนการใช้เครื่องวัดค่าสีมีดังนี้

1. ขั้นตอนการต่อเครื่องให้เรียบร้อย
 - 1.1 เสียบสายอุปกรณ์ต่อกับเครื่องให้เรียบร้อย ก่อนที่จะทำการเสียบปลั๊กไฟ
 - 1.2 เข้าโปรแกรม Universal
2. ทำการ Standardize

2.1 เข้า Menu Bar Standardize (CAL)

2.2 เลือก Port Size เป็น 1.25 นิ้ว กด OK

2.3 เครื่องจากถาหมหาแผ่น Black Glass ให้วาง Black Glass ที่ Sample Port กด OK

2.4 เครื่องจากถาหมหาแผ่น White Glass ให้วาง Black Glass ที่ Sample Port กด OK

2.5 กด OK อีกครั้ง

2.6 ทำการวัดค่าเทียบกับแผ่นขาว โดยใช้ Scale X Y Z วัดเทียบกับค่ากับ Scale ด้านหลังแผ่นความแตกต่าง Delta X Y Z ต้องมีความต่างไม่เกิน ± 0.3 Units ถ้าเกินให้ทำความสะอาดแผ่น Black Glass และ White Glass แล้วทำการ Standardize ใหม่อีกครั้ง

3. การวัดค่า

3.1 เราสามารถทำการวัดค่าได้เลย โดยเลือกเข้าหน้าจอ Master Color Data

3.2 ถ้าต้องการวัดค่า Standard กด Read Sam ที่ Menu Bar เครื่องจะทำการวัดและแสดงค่า Standard

3.3 ถ้าต้องการวัดค่า Sample กด Read Sam ที่ Menu Bar เครื่องจะทำการวัดและแสดงค่า Sample

การวัดลักษณะเนื้อสัมผัส

วัดลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer รุ่น TA-XT2) โดยเตรียมตัวอย่างผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดมาวางบนแท่นกดครั้งละ 1 เม็ด วัดโดยใช้แรงเจาะทะลุ (breaking force) โดยใช้หัววัด ขนาด 25 มิลลิเมตร (P/25) กดลงตรงกลางขึ้นผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดโดยแต่ละสิ่งทดสอบจะวัด 10 ครั้ง (ใช้ตัวอย่าง 10 เม็ดต่อ 1 สิ่งทดสอบ) และหาค่าเฉลี่ยจากแรงที่สูงที่สุด รายงานเป็นค่าความแข็ง (hardness)

5. การใช้งาน

- เปิดคอมพิวเตอร์และเครื่อง Texture Analyzer รุ่น TA-XT2
- คลิกที่ start → program → texture expert → จะปรากฏหน้าต่าง user selection คลิกที่ OK
- จากนั้นไปที่ file → new project จะปรากฏหน้าต่างของ project (ถ้าใช้ครั้งแรก) หรือถ้าไม่ต้องการตั้ง project → restart → จะปรากฏหน้าต่างของกราฟ
- กรณีที่มีข้อมูลแล้วให้คลิกที่ open icon จะปรากฏหน้าต่างของ open แล้วเมื่อเรียกชื่อไฟล์ตามต้องการโดยเปลี่ยนชนิดของไฟล์ที่ได้ list first of type เมื่อ

*.ARC	คือ ไฟล์ที่เป็นกราฟ
*.RES	คือ ไฟล์ที่เป็นตารางข้อมูล
*.RPJ	คือ ไฟล์ที่เป็น project
Document MAC	คือ ไฟล์ที่เป็น Macro
*.LIS	คือ ไฟล์ที่เป็นข้อมูลดิบ

6. การเปรียบเทียบ (caribration)

- จะต้องทำการ calibrate force ทุกครั้งที่ทำการทดสอบ โดยไปที่ T.A. บน menu bar calibrate force จะปรากฏหน้าต่างของ force calibration ให้วางตุ่มน้ำหนัก 5 กิโลกรัม บน calibration platform แล้วคลิก OK
- เมื่อหน้าจอปรากฏข้อความ “calibration successful” ให้ยกตุ่มน้ำหนักลงแล้วคลิก OK

7. การทำ T.A. setting

- ไปที่ T.A. → T.A. setting (หรือ FA) จะปรากฏหน้าต่างของ Texture Analyzer setting ทำการตั้งค่าพารามิเตอร์ดังนี้

Option:	Measure Force in compression
Pre-Test Speed:	1.5 mm/s
Test Speed:	1.5 mm/s
Post-Test Speed:	10.0 mm/s
Distance:	4 mm
Trigger Type:	Auto-5g
Data-Acquisition Rate:	200 pps

- ถ้าต้องการบันทึกข้อมูลให้คลิก save กรณีจะเรียกข้อมูลให้คลิก Load
- เมื่อจะทำการขึ้นต่อไปให้คลิก update

8. การทำ Run a Test

- เมื่อวางตัวอย่างบนแท่นทดสอบ เลือก T.A. บน menu bar → Run a Test (หรือ F2) จะปรากฏหน้าต่างของ Run a Test โดยพารามิเตอร์ต่างๆมีความหมายดังนี้

Autosave: บันทึกข้อมูลโดยอัตโนมัติตาม dive หรือ path ที่ตั้งไว้
File ID: ตั้งชื่อไฟล์ สำหรับกราฟแสดงผล (5 ตัวอักษร)

File No: ตั้งหมายเลขไฟล์ (จำเป็นในครั้งแรกเพราะจะเพิ่มขึ้นเองโดยอัตโนมัติหลังจากที่แต่ละไฟล์ถูกบันทึก)

Drive: ตำแหน่งที่จะให้บันทึกข้อมูลไว้

Title: ตั้งชื่อกราฟแสดงผล

Note: บันทึกรายละเอียดของตัวอย่างที่นำมาทดสอบ

Probe and Product Data: เลือกชนิดของ probe ให้ตรงกับที่นำมาใช้

Configure: ใส่ Production dimension

Delay Start: เมื่อต้องการเลื่อนเวลาในการเริ่มการวัดออกไป

Clear Previous Graph: เมื่อต้องการให้การทดสอบแต่ละครั้งปรากฏกราฟเพียงเส้นเดียว (เป็นการลบ ARC file เดิมออกเพื่อให้ ARC file ใหม่เข้ามาแทน)

Run Macro: เมื่อต้องการให้วิเคราะห์ผลโดยอัตโนมัติ

PPS: อัตราเร็วในการบันทึกข้อมูลลงในหน่วยความจำของเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยทั่วไปใช้ 200 pps

- เมื่อดังค่าต่างๆเรียบร้อยแล้ว ให้คลิก OK เครื่องจะเริ่มทำการทดสอบพร้อมกับการปรากฏเส้นกราฟ ส่วนการทดสอบขั้นตอนต่อไปให้เลือก T.A. บน menu bar Quick Test Run (หรือ Ctrl+Q)
- การอ่านค่าที่ได้จากกราฟเลือก Go to บน menu bar → max force → OK

ค่าการสึกกร่อน (%) (ดัดแปลงจากวิธีการของ พรหมเพ็ญ อวเจนพงษ์ เยาวเรศ จีระเรืองรัตน และศิริศักดิ์ ดำรงพิศุทธิกุล, ม.ป.ป.)

อุปกรณ์

- เครื่องเขย่าผสมสาร (Vortex mixture) Heidolph รุ่น REAX 2000 ประเทศเยอรมนี
- เครื่องชั่งน้ำหนักละเอียด Sartorius รุ่น BA 211S ประเทศเยอรมนี
- หลอดทดลอง

การวิเคราะห์

ทำการทดสอบโดยสุมตัวอย่างผลิตภัณฑ์อัดเม็ดสูตรละ 10 เม็ด นำผลิตภัณฑ์อัดเม็ดใส่หลอดทดลองทำการชั่งน้ำหนักก่อน แล้วนำไปใส่ในเครื่องเขย่าผสมสาร (Vortex mixture) (ดัดแปลงหลักการทำงานของเครื่องวัดค่าความสึกกร่อน) โดยเปิดเครื่องให้มีอัตราเร็วที่ speed 2 นาน 4 นาที หลังจาก

เขย่าครบ 4 นาที นำตัวอย่างผลิตภัณฑ์อัดเม็ดที่ยังคงเป็นเม็ดดีมาชั่งน้ำหนักอีกครั้ง แล้วนำมา
คำนวณหาค่าการสึกกร่อนของผลิตภัณฑ์อัดเม็ด ดังสมการ

$$\% = \frac{\text{initial weight} - \text{final weight}}{\text{Initial weight}} \times 100$$

หมายเหตุ: ในมาตรฐานตำรับยา ระบุไว้ว่าค่าการสึกกร่อน (%) ต้องไม่มากกว่า 0.6 %
(นิพล ธนธัญญา, 2541)

ภาคผนวก ง

ข้อมูลดิบเกี่ยวกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำส้มสายชูหมัก

ตารางภาคผนวกที่ ง-1 ปริมาณแอลกอฮอล์ในการหมักไวน์จากหนามแดงที่ใช้ ปริมาณหัวเชื้อ

S. Cerevisiae เริ่มต้น 5% 10% และ 15%

วันที่	การทดลองครั้งที่	ปริมาณแอลกอฮอล์ (%)		
		ปริมาณหัวเชื้อ 5%	ปริมาณหัวเชื้อ 10%	ปริมาณหัวเชื้อ 15%
0	1	0	0	0
	2	0	0	0
	3	0	0	0
	เฉลี่ย±SD	0±0	0±0	0±0
2	1	0.2	0.4	0.6
	2	0.1	0.4	0.5
	3	0.2	0.4	0.5
	เฉลี่ย±SD	0.16±0.05	0.40±0	0.53±0.05
4	1	1.4	1.8	3.7
	2	0.5	2.6	3.5
	3	1.2	2.6	3.3
	เฉลี่ย±SD	1.03±0.46	2.30±0.46	3.50±0.20
6	1	3.2	4.5	6.0
	2	2.8	4.7	5.9
	3	3.0	5.1	5.9
	เฉลี่ย±SD	3.0±0.06	4.76±0.30	5.93±0.05

ตารางภาคผนวกที่ ง-1 (ต่อ)

วันที่	การทดลอง ครั้งที่	ปริมาณแอลกอฮอล์ (%)		
		ปริมาณหัวเชื้อ 5%	ปริมาณหัวเชื้อ 10%	ปริมาณหัวเชื้อ 15%
8	1	5.9	6.7	7.7
	2	5.2	6.6	7.6
	3	5.7	6.8	7.8
	เฉลี่ย±SD	5.50±0.36	6.60±0.10	7.70±0.10
10	1	6.1	7.6	8.9
	2	5.6	7.4	9.0
	3	6.0	7.6	8.9
	เฉลี่ย±SD	5.90±0.26	7.53±0.11	8.93±0.05
12	1	8.2	8.4	9.4
	2	7.6	8.4	9.5
	3	7.8	8.9	9.4
	เฉลี่ย±SD	7.86±0.30	8.56±0.28	9.43±0.05
14	1	9.1	9.4	9.6
	2	7.7	9.4	9.8
	3	8.5	9.2	9.8
	เฉลี่ย±SD	8.43±0.70	9.33±0.11	9.73±0.11
16	1	9.4	9.4	9.6
	2	7.8	9.5	9.8
	3	8.9	9.4	9.8
	เฉลี่ย±SD	8.90±0.70	9.43±0.05	9.75±0.11
18	1	9.4	9.8	9.7
	2	9.0	9.7	9.8
	3	10.0	9.8	9.9
	เฉลี่ย±SD	9.46±0.50	9.76±0.05	9.83±0.11
20	1	9.5	9.9	9.9
	2	9.2	9.9	10.0
	3	10.0	9.9	10.0
	เฉลี่ย±SD	9.56±0.40	9.90±0	9.97±0.05

ตารางภาคผนวกที่ ง-2 ปริมาณน้ำตาลในการหมักไวน์จากหนามแดงที่ใช้ปริมาณหัวเชื้อ *S. cerevisiae* เริ่มต้น 5% 10% และ 15%

วันที่	การทดลอง ครั้งที่	ปริมาณน้ำตาล (°Brix)		
		ปริมาณหัวเชื้อ 5%	ปริมาณหัวเชื้อ 10%	ปริมาณหัวเชื้อ 15%
0	1	20	20	20
	2	20	20	20
	3	20	20	20
	เฉลี่ย±SD	20±0	20±0	20±0
2	1	18.6	18.0	16.2
	2	19.0	17.2	16.0
	3	18.2	17.0	16.0
	เฉลี่ย±SD	18.16±0.40	17.04±0.52	16.06±0.11
4	1	16.4	14.4	12.0
	2	17.0	14.2	12.0
	3	16.2	14.4	11.8
	เฉลี่ย±SD	16.53±0.41	14.30±0.11	11.93±0.11
6	1	12.8	11.0	9.0
	2	15.6	11.0	9.0
	3	14	11.8	9.0
	เฉลี่ย±SD	14.13±1.40	11.26±0.11	9.00±0
8	1	11.0	9.0	8.0
	2	12.0	9.2	8.0
	3	11.4	9.0	7.8
	เฉลี่ย±SD	11.46±0.50	9.06±0.14	7.93±0.11
10	1	10.0	8.6	6.8
	2	11.2	8.6	6.6
	3	10.2	8.6	6.8
	เฉลี่ย±SD	10.46±0.64	8.60±0	6.73±0.11
12	1	8.0	7.6	6.0
	2	8.6	7.6	5.8
	3	9.0	7.0	5.8
	เฉลี่ย±SD	8.53±0.50	7.40±0.34	5.86±0.11

ตารางภาคผนวกที่ ง-2 (ต่อ)

วันที่	การทดลอง ครั้งที่	ปริมาณน้ำตาล (°Brix)		
		ปริมาณหัวเชื้อ 5%	ปริมาณหัวเชื้อ 10%	ปริมาณหัวเชื้อ 15%
14	1	7.0	6.8	5.6
	2	8.6	6.4	5.4
	3	8.0	7.0	5.4
	เฉลี่ย±SD	7.86±0.50	6.73±0.30	5.46±0.11
16	1	6.0	6.0	5.6
	2	8.6	6.0	5.4
	3	7.0	6.2	5.2
	เฉลี่ย±SD	7.2±0.50	6.06±0.11	5.40±0.20
18	1	6.0	5.6	5.4
	2	8.0	5.8	5.4
	3	5.6	5.8	5.1
	เฉลี่ย±SD	6.53±0.80	5.73±0.11	5.32±0.17
20	1	5.8	5.6	5.3
	2	7.7	5.6	5.3
	3	5.6	5.6	5.1
	เฉลี่ย±SD	6.40±0.81	5.60±0	5.25±0.11

ตารางภาคผนวกที่ ง-3 จำนวน *S. cerevisiae* ในระหว่างการหมักไวน์ด้วยปริมาณหัวเชื้อเริ่มต้น 5%

วันที่	การทดลอง ครั้งที่	จำนวนโคโลนี (CFU/ml)	จำนวนโคโลนี (log CFU/ml)	ค่าเฉลี่ยจำนวนโคโลนี (log CFU/ml ± SD)
0	1	2.60×10 ⁵	5.41	5.39±0.04
	2	2.60×10 ⁵	5.41	
	3	2.20×10 ⁵	5.34	
2	1	7.10×10 ⁶	6.85	6.86±0.03
	2	6.75×10 ⁶	6.82	
	3	7.85×10 ⁶	6.89	
4	1	7.45×10 ⁶	6.87	6.89±0.06
	2	8.80×10 ⁶	6.94	
	3	6.65×10 ⁶	6.82	

ตารางภาคผนวกที่ ง-3 (ต่อ)

วันที่	การทดลอง ครั้งที่	จำนวนโคโลนี (CFU/ml)	จำนวนโคโลนี (log CFU/ml)	ค่าเฉลี่ยจำนวนโคโลนี (log CFU/ml $\pm$ SD)
6	1	8.40×10^6	6.92	6.96 ± 0.61
	2	9.90×10^6	6.99	
	3	8.65×10^6	6.93	
8	1	8.80×10^6	6.94	7.01 ± 0.04
	2	1.09×10^7	7.03	
	3	9.95×10^6	6.99	
10	1	3.50×10^7	7.54	7.55 ± 0.01
	2	3.65×10^7	7.56	
	3	3.60×10^7	7.55	
12	1	4.95×10^7	7.69	7.68 ± 0.06
	2	4.20×10^7	7.62	
	3	5.50×10^7	7.74	
14	1	6.65×10^7	7.82	7.78 ± 0.06
	2	6.50×10^7	7.81	
	3	5.05×10^7	7.70	
16	1	5.95×10^7	7.77	7.70 ± 0.03
	2	5.10×10^7	7.70	
	3	5.75×10^7	7.75	
18	1	4.0×10^7	7.60	7.73 ± 0.01
	2	6.1×10^7	7.78	
	3	5.40×10^7	7.73	
20	1	4.15×10^7	7.60	7.64 ± 0.05
	2	4.60×10^7	7.66	
	3	5.20×10^7	7.71	

ตารางภาคผนวกที่ ง-4 จำนวน *S. cerevisiae* ในระหว่างการหมักไวน์ด้วยปริมาณหัวเชื้อเริ่มต้น 10%

วันที่	การทดลอง ครั้งที่	จำนวนโคโลนี (CFU/ml)	จำนวนโคโลนี (log CFU/ml)	ค่าเฉลี่ยจำนวนโคโลนี (log CFU/ml ± SD)
0	1	7.70×10^5	5.88	5.89±0.02
	2	8.50×10^5	5.92	
	3	7.45×10^5	5.87	
2	1	9.94×10^6	6.99	6.86±0.03
	2	9.95×10^6	6.98	
	3	9.99×10^6	6.99	
4	1	1.03×10^7	7.01	7.02±0.01
	2	1.06×10^7	7.02	
	3	0	0	
6	1	2.25×10^7	7.35	7.41±0.02
	2	2.15×10^7	7.33	
	3	3.10×10^7	7.49	
8	1	2.90×10^7	7.46	7.50±0.01
	2	3.15×10^7	7.49	
	3	3.65×10^7	7.56	
10	1	6.10×10^7	7.78	7.82±0.01
	2	7.50×10^7	7.87	
	3	6.55×10^7	7.81	
12	1	7.30×10^7	7.86	7.87±0.01
	2	7.35×10^7	7.87	
	3	7.75×10^7	7.88	
14	1	6.55×10^7	7.81	7.82±0.01
	2	6.95×10^7	7.84	
	3	6.90×10^7	7.83	
16	1	5.60×10^7	7.74	7.75±0.01
	2	5.70×10^7	7.75	
	3	6.30×10^7	7.79	

ตารางภาคผนวกที่ ง-4 (ต่อ)

วันที่	การทดลอง ครั้งที่	จำนวนโคโลนี (CFU/ml)	จำนวนโคโลนี (log CFU/ml)	ค่าเฉลี่ยจำนวนโคโลนี (log CFU/ml ± SD)
18	1	5.40×10^7	7.72	7.73±0.01
	2	5.80×10^7	7.76	
	3	5.20×10^7	7.71	
20	1	5.15×10^7	7.71	7.66±0.01
	2	4.15×10^7	7.61	
	3	4.25×10^7	7.62	

หมายเหตุ : เครื่องหมาย 0 หมายถึง Contaminate

ตารางภาคผนวกที่ ง-5 จำนวน *S. cerevisiae* ในระหว่างการหมักไวน์ด้วยปริมาณหัวเชื้อเริ่มต้น 15%

วันที่	การทดลอง ครั้งที่	จำนวนโคโลนี (CFU/ml)	จำนวนโคโลนี (log CFU/ml)	ค่าเฉลี่ยจำนวนโคโลนี (log CFU/ml ± SD)
0	1	2.05×10^6	6.31	6.34±0.03
	2	2.40×10^6	6.35	
	3	0	0	
2	1	3.95×10^7	7.59	7.55±0.02
	2	3.90×10^7	7.58	
	3	3.60×10^7	7.55	
4	1	5.50×10^7	7.74	7.72±0.01
	2	5.20×10^7	7.71	
	3	5.05×10^7	7.70	
6	1	7.70×10^7	7.88	7.87±0.01
	2	6.50×10^7	7.81	
	3	7.90×10^7	7.89	
8	1	8.90×10^7	7.94	7.94±0.01
	2	9.00×10^7	7.95	
	3	8.55×10^7	7.93	

หมายเหตุ : เครื่องหมาย 0 หมายถึง Contaminate

ตารางภาคผนวกที่ ง-5 (ต่อ)

วันที่	การทดลอง ครั้งที่	จำนวนโคโลนี (CFU/ml)	จำนวนโคโลนี (log CFU/ml)	ค่าเฉลี่ยจำนวนโคโลนี (log CFU/ml $\pm$ SD)
10	1	9.35×10^7	7.97	7.97 $\pm$ 0.01
	2	9.60×10^7	7.98	
	3	9.25×10^7	7.96	
12	1	9.25×10^7	7.96	7.93 $\pm$ 0.01
	2	8.05×10^7	7.90	
	3	8.35×10^7	7.92	
14	1	7.80×10^7	7.89	7.88 $\pm$ 0.01
	2	8.25×10^7	7.91	
	3	7.30×10^7	7.86	
16	1	6.55×10^7	7.81	7.80 $\pm$ 0.01
	2	6.70×10^7	7.82	
	3	7.05×10^7	7.84	
18	1	6.65×10^7	7.81	7.77 $\pm$ 0.01
	2	6.50×10^7	7.80	
	3	5.05×10^7	7.70	
20	1	5.65×10^7	7.74	7.71 $\pm$ 0.01
	2	5.10×10^7	7.70	
	3	5.75×10^7	7.75	

ตารางภาคผนวกที่ ง-6 เปรียบเทียบปริมาณแอลกอฮอล์ที่เกิดขึ้นในกระบวนการหมักไวน์ในวันที่ 12 ทางสถิติ

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: y

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	3.696 ^a	2	1.848	30.796	.001
Intercept	669.084	1	669.084	11151.407	.000
trt	3.696	2	1.848	30.796	.001
Error	.360	6	.060		
Total	673.140	9			
Corrected Total	4.056	8			

a. R Squared = .911 (Adjusted R Squared = .882)

หมายเหตุ : นัยสำคัญทางสถิติ 0.05

ตารางภาคผนวกที่ ง-7 เปรียบเทียบปริมาณแอลกอฮอล์ที่เกิดขึ้นในกระบวนการหมักไวน์ในวันที่ 20 ทางสถิติ

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: y

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.276 ^a	2	.138	2.480	.164
Intercept	866.321	1	866.321	15593.780	.000
trt	.276	2	.138	2.480	.164
Error	.333	6	.056		
Total	866.930	9			
Corrected Total	.609	8			

a. R Squared = .453 (Adjusted R Squared = .270)

หมายเหตุ : นัยสำคัญทางสถิติ 0.05

ภาคผนวก จ

ผลการวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ ในกระบวนการหมักน้ำส้มสายชู

เมื่อนำไวน์จากผลหมากแดงซึ่งมีปริมาณแอลกอฮอล์ประมาณ 6% มาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเครื่องดื่มน้ำส้มสายชูหมัก โดยใช้ปริมาณหัวเชื้อ *A. aceti* เริ่มต้น 5% และ 10% แล้วทำการหมักเป็นเวลา 13-19 วัน โดยทำการตรวจวิเคราะห์ปริมาณแอลกอฮอล์ ปริมาณกรดแอซิดิก และทำการตรวจนับจำนวน *A. aceti* ทุกๆ 2 วัน ให้ผลดังตารางที่ 10-13

ตารางภาคผนวกที่ จ-1 ปริมาณแอลกอฮอล์ในระหว่างกระบวนการหมักเครื่องดื่มน้ำส้มสายชูด้วยปริมาณ หัวเชื้อ *A. aceti* เริ่มต้น 10% และ 15%

วันที่	การทดลองครั้งที่	ปริมาณแอลกอฮอล์ (%)	
		ปริมาณหัวเชื้อ 10%	ปริมาณหัวเชื้อ 15%
0	1	6.1	6.1
	2	6.1	6.1
	3	6.1	6.1
	เฉลี่ย±SD	6.1±0	6.1±0
2	1	5.5	5.2
	2	5.5	4.9
	3	5.4	5.0
	เฉลี่ย±SD	5.46±0.05	5.03±0.15
4	1	3.5	3.7
	2	3.7	3.0
	3	3.4	3.0
	เฉลี่ย±SD	3.53±0.15	3.33±0.40
6	1	2.9	2.6
	2	2.6	2.7
	3	3.0	2.5
	เฉลี่ย±SD	2.83±0.40	2.60±0.10

ตารางภาคผนวกที่ จ-1 (ต่อ)

วันที่	การทดลองครั้งที่	ปริมาณแอลกอฮอล์ (%)	
		ปริมาณหัวเชื้อ 10%	ปริมาณหัวเชื้อ 15%
8	1	2.2	1.9
	2	1.7	1.7
	3	2.2	1.9
	เฉลี่ย±SD	2.03±0.28	1.83±0.11
10	1	2.0	1.1
	2	1.6	1.2
	3	2.0	1.1
	เฉลี่ย±SD	1.86±0.40	1.53±0.10
12	1	1.9	0.7
	2	1.6	0.5
	3	2.0	0.4
	เฉลี่ย±SD	1.83±0.80	0.56±0.88
13	1	1.9	0.2
	2	1.6	0.1
	3	1.9	0.1
	เฉลี่ย±SD	1.80±0.11	0.13±0.11
15	1	1.5	-
	2	1.4	-
	3	1.6	-
	เฉลี่ย±SD	1.40±0.88	-
18	1	0.7	-
	2	0.5	-
	3	0.4	-
	เฉลี่ย±SD	0.55±0.80	-
19	1	0.2	-
	2	0.1	-
	3	-	-
	เฉลี่ย±SD	0.15±0.05	-

หมายเหตุ : เครื่องหมาย - หมายถึง ไม่ได้ทำการทดลอง

ตารางภาคผนวกที่ จ-2 ปริมาณกรดแอสติคในระหว่างกระบวนการหมักเครื่องดื่มน้ำส้มสายชูด้วย
 ปริมาณหัวเชื้อ *A. aceti* เริ่มต้น 10% และ 15%

วันที่	การทดลองครั้งที่	ปริมาณกรดแอสติค (%)	
		ปริมาณหัวเชื้อ 10%	ปริมาณหัวเชื้อ 15%
0	1	0.62	0.62
	2	0.62	0.62
	3	0.62	0.62
	เฉลี่ย±SD	0.62±0	0.62±0
2	1	0.96	1.26
	2	1.06	1.06
	3	1.06	1.26
	เฉลี่ย±SD	1.03±0.05	1.10±0.11
4	1	1.26	2.66
	2	1.50	2.76
	3	1.69	2.90
	เฉลี่ย±SD	1.48±0.21	2.77±0.15
6	1	1.69	3.10
	2	1.74	3.10
	3	1.98	3.15
	เฉลี่ย±SD	1.80±0.15	3.13±0.02
8	1	1.79	3.34
	2	1.89	3.39
	3	1.97	3.53
	เฉลี่ย±SD	1.87±0.09	3.42±0.09
10	1	1.97	3.63
	2	1.84	3.58
	3	2.03	3.82
	เฉลี่ย±SD	1.94±0.09	3.73±0.12
12	1	2.00	3.73
	2	1.92	3.73
	3	2.08	3.87
	เฉลี่ย±SD	2.00±0.08	3.82±0.08

ตารางภาคผนวกที่ จ-2 (ต่อ)

วันที่	การทดลองครั้งที่	ปริมาณกรดแอสซิดิก (%)	
		ปริมาณหัวเชื้อ 10%	ปริมาณหัวเชื้อ 15%
13	1	2.07	4.02
	2	1.90	4.02
	3	2.08	3.98
	เฉลี่ย±SD	2.01±0.10	4.01±0.15
15	1	2.08	-
	2	2.03	-
	3	2.18	-
	เฉลี่ย±SD	2.10±0.07	-
18	1	-	-
	2	2.13	-
	3	2.23	-
	เฉลี่ย±SD	2.16±0.15	-
19	1	-	-
	2	2.23	-
	3	2.32	-
	เฉลี่ย±SD	2.27±0.15	-

หมายเหตุ : เครื่องหมาย - หมายถึง ไม่ได้ทำการทดลอง

ตารางภาคผนวกที่ จ-3 จำนวน *A. aceti* ในระหว่างกระบวนการหมักเครื่องดื่มน้ำส้มสายชูด้วยปริมาณ หัวเชื้อเริ่มต้น 10%

วันที่	การทดลองครั้งที่	จำนวนโคโลนี (CFU/ml)	จำนวนโคโลนี (log CFU/ml)	ค่าเฉลี่ยจำนวนโคโลนี (log CFU/ml ± SD)
0	1	7.65×10 ⁴	4.88	4.94±0.02
	2	7.05×10 ⁴	4.84	
	3	7.45×10 ⁴	4.86	
2	1	6.00×10 ⁵	5.77	5.77±0.05
	2	5.90×10 ⁵	5.69	
	3	6.25×10 ⁵	5.79	

ตารางภาคผนวกที่ จ-3 (ต่อ)

วันที่	การทดลอง ครั้งที่	จำนวนโคโลนี (CFU/ml)	จำนวนโคโลนี (log CFU/ml)	ค่าเฉลี่ยจำนวนโคโลนี (log CFU/ml ± SD)
4	1	7.85×10^6	6.89	6.89±0.02
	2	8.10×10^6	6.90	
	3	7.15×10^6	6.85	
6	1	8.60×10^6	6.83	6.99±0.02
	2	9.15×10^6	6.96	
	3	9.30×10^6	6.97	
8	1	1.01×10^7	7.01	7.04±0.01
	2	1.02×10^7	7.05	
	3	1.01×10^7	7.01	
10	1	3.10×10^7	7.49	7.51±0.02
	2	3.65×10^7	7.56	
	3	3.00×10^7	7.47	
12	1	4.80×10^7	7.67	7.63±0.01
	2	4.35×10^7	7.64	
	3	3.70×10^7	7.56	
13	1	6.20×10^7	7.79	7.80±0.01
	2	6.05×10^7	7.78	
	3	6.50×10^7	7.81	
15	1	6.85×10^7	7.83	7.83±0.01
	2	6.65×10^7	7.82	
	3	6.95×10^7	7.84	
18	1	0	0	7.84±0.01
	2	7.05×10^7	7.84	
	3	7.10×10^7	7.85	
19	1	0	0	7.92±0.01
	2	8.45×10^7	7.91	
	3	8.55×10^7	7.93	

หมายเหตุ : เครื่องหมาย 0 หมายถึง Contaminate

ตารางภาคผนวกที่ จ-4 จำนวน *A. aceti* ในระหว่างกระบวนการหมักเครื่องดื่มน้ำส้มสายชูด้วยปริมาณ หัวเชื้อเริ่มต้น 15%

วันที่	การทดลอง ครั้งที่	จำนวนโคโลนี (CFU/ml)	จำนวนโคโลนี (log CFU/ml)	ค่าเฉลี่ยจำนวนโคโลนี (log CFU/ml $\pm$ SD)
0	1	7.05×10^5	5.84	5.97 ± 0.03
	2	6.65×10^5	5.82	
	3	7.55×10^5	5.87	
2	1	2.55×10^6	6.40	6.39 ± 0.02
	2	2.72×10^6	6.43	
	3	2.50×10^5	6.39	
4	1	9.25×10^6	6.96	6.98 ± 0.01
	2	9.85×10^6	6.99	
	3	9.75×10^6	6.98	
6	1	2.40×10^7	7.38	7.33 ± 0.01
	2	2.05×10^7	7.31	
	3	2.05×10^7	7.31	
8	1	6.10×10^7	7.78	7.76 ± 0.01
	2	5.55×10^7	7.74	
	3	5.85×10^7	7.76	
10	1	7.80×10^7	7.83	7.81 ± 0.01
	2	8.45×10^7	7.80	
	3	7.70×10^7	7.81	
12	1	8.30×10^7	7.92	7.92 ± 0.02
	2	8.51×10^7	7.94	
	3	8.25×10^7	7.91	
13	1	8.15×10^7	7.91	7.94 ± 0.01
	2	8.80×10^7	7.94	
	3	9.00×10^7	7.96	

ภาคผนวก ฉ

แบบทดสอบความชอบวิธี 9-point Hedonic Scale

แบบทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์กากพลหนามแดงอัดเม็ดทั้ง 5 สูตร

ชื่อผู้ทดสอบ.....วันที่.....

คำแนะนำ : กรุณาชิมตัวอย่างจากซ้ายไปขวาตามลำดับ แล้วให้คะแนนความชอบที่มีต่อผลิตภัณฑ์
โดยกรูณาบ้วนปาก และกินขนมปังชนิดจืดตามก่อนชิมทุกครั้ง

1= ไม่ชอบมากที่สุด

2= ไม่ชอบมาก

3= ไม่ชอบปานกลาง

4= ไม่ชอบเล็กน้อย

5= เฉยๆ

6= ชอบเล็กน้อย

7= ชอบปานกลาง

8= ชอบมาก

9= ชอบมากที่สุด

รหัสตัวอย่าง	.....	.....	.....	.....	.....
ลักษณะปรากฏ	.....	.....	.....	.....	.....
สี	.....	.....	.....	.....	.....
รสชาติ	.....	.....	.....	.....	.....
เนื้อสัมผัส	.....	.....	.....	.....	.....
ความชอบโดยรวม	.....	.....	.....	.....	.....

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

แบบทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์กากพลหนามแดงอัดเม็ดที่ไม่ใช้สารเคลือบ
และที่ใช้สารเคลือบเจลาติน

ชื่อผู้ทดสอบ..... วันที่.....

คำแนะนำ : กรุณาชิมตัวอย่างจากซ้ายไปขวาตามลำดับ แล้วให้คะแนนความชอบที่มีต่อผลิตภัณฑ์
โดยกรูณาบ้วนปาก และกินขนมปังชนิดจืดตามก่อนชิมทุกครั้ง

1= ไม่ชอบมากที่สุด	2= ไม่ชอบมาก	3= ไม่ชอบปานกลาง
4= ไม่ชอบเล็กน้อย	5= เฉยๆ	6= ชอบเล็กน้อย
7= ชอบปานกลาง	8= ชอบมาก	9= ชอบมากที่สุด

รหัสตัวอย่าง	.....	.....
ลักษณะปรากฏ	.....	.....
สี	.....	.....
รสชาติ	.....	.....
เนื้อสัมผัส	.....	.....
ความชอบโดยรวม	.....	.....

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

ภาคผนวก ข
ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ ข-1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า L* ของผลหนามแดงหลังการลวกก่อน
การดองน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Significance ^{ns}
ชนิด	0.075	1	0.075	0.766	0.407
เวลา	0.060	1	0.060	0.613	0.456
ชนิด*เวลา	0.013	1	0.013	0.129	0.729
Error	0.786	8	0.098		
Total	3012.751	12			

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ ข-2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า a* ของผลหนามแดงหลังการลวกก่อน
การดองน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Significance ^{ns}
ชนิด	0.039	1	0.039	0.159	0.701
เวลา	0.024	1	0.024	0.100	0.760
ชนิด*เวลา	0.048	1	0.048	0.199	0.668
Error	1.939	8	0.242		
Total	2010.856	12			

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ ข-3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า b* ของผลหนามแดงหลังการลวกก่อน
การดองน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Significance ^{ns}
ชนิด	0.069	1	0.069	0.610	0.457
เวลา	0.047	1	0.047	0.414	0.538
ชนิด*เวลา	0.002	1	0.002	0.021	0.888
Error	0.905	8	0.113		
Total	108.843	12			

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ ข-4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแน่นเนื้อ (กรัม) ของผลหนามแดง
หลังการลวกก่อนการดองน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Significance
ชนิด	3613.398	1	3613.398	41.999	0.000 ^{sig}
เวลา	10.868	1	10.868	0.126	0.727 ^{ns}
ชนิด*เวลา	2522.730	1	2522.730	29.322	0.000 ^{sig}
Error	1376.576	16	86.036		
Total	1738079.207	20			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ ข-5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณน้ำที่สูญเสีย (เปอร์เซ็นต์) ของผล
หนามแดงหลังการออสโมซิส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Significance
ชนิด	1.319	1	1.319	162.533	0.000 ^{sig}
เวลา	3.176	1	3.176	391.382	0.000 ^{sig}
ชนิด*เวลา	3.271	1	3.271	403.133	0.000 ^{sig}
Error	0.065	8	0.008		
Total	489.591	12			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ ข-6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (เปอร์เซ็นต์) ของ
ผลหนามแดงหลังการออสโมซิส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Significance
ชนิด	16.164	1	16.164	4141.579	0.000 ^{sig}
เวลา	1.143	1	1.143	292.803	0.000 ^{sig}
ชนิด*เวลา	0.589	1	0.589	151.001	0.000 ^{sig}
Error	0.031	8	0.004		
Total	97.556	12			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ ข-7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณน้ำหนักรากที่ลดลง (เปอร์เซ็นต์) ของผล
หนามแดงหลังการออสโมซิส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Significance
ชนิด	0.001	1	0.001	74.380	0.000 ^{sig}
เวลา	5.590E-05	1	5.590E-05	4.483	0.000 ^{sig}
ชนิด*เวลา	8.480E-05	1	8.480E-05	6.800	0.000 ^{sig}
Error	9.976E-05	8	1.247E-05		
Total	0.019	12			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ ข-8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า L* ของผลหนามแดงหลังการออสโมซิส
เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Significance ^{ns}
ชนิด	0.288	1	0.288	1.197	0.306
เวลา	0.843	1	0.843	3.499	0.098
ชนิด*เวลา	0.067	1	0.067	0.280	0.611
Error	1.927	8	0.241		
Total	2844.735	12			

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ ข-9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า a* ของผลหนามแดงหลังการออสโมซิส
เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Significance ^{ns}
ชนิด	0.886	1	0.886	1.526	0.252
เวลา	0.007	1	0.007	0.011	0.918
ชนิด*เวลา	0.456	1	0.456	0.796	0.401
Error	4.642	8	0.580		
Total	1964.909	12			

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ ข-10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า b* ของผลหนามแดงหลังการออสโมซิส
เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Significance ^{ns}
ชนิด	0.095	1	0.095	0.676	0.435
เวลา	0.110	1	0.110	0.781	0.403
ชนิด*เวลา	7.500E-05	1	7.500E-05	0.001	0.982
Error	1.129	8	0.141		
Total	112.052	12			

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางภาคผนวกที่ ข-11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแน่นเนื้อ (กรัม) ของผลหนามแดง
หลังการออสโมซิส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Significance
ชนิด	4438.293	1	4438.293	138.577	0.000 ^{sig}
เวลา	129.928	1	129.928	5.618	0.031 ^{sig}
ชนิด*เวลา	1749.984	1	1749.984	54.640	0.000 ^{sig}
Error	512.443	16	32.028		
Total	2763255.975	20			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางภาคผนวกที่ ข-12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการยอมรับทางประสาทสัมผัสทางด้าน
ลักษณะปรากฏของการลวกผลหนามแดงก่อนการดึ่งน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Significance
ชนิด	4.410	1	4.410	4.290	0.042 ^{sig}
เวลา	0.810	1	0.810	0.788	0.378
ชนิด*เวลา	0.010	1	0.010	0.010	0.922
Block	30.940	24	1.289	1.254	0.229
Error	74.020	72	1.028		
Total	4453.000	100			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางภาคผนวกที่ ข-13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการยอมรับทางประสาทสัมผัสทางด้าน
สีของการลวกผลหนามแดงก่อนการดองน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Significance
ชนิด	2.250	1	2.250	2.761	0.101
เวลา	0.810	1	0.810	0.994	0.322
ชนิด*เวลา	0.010	1	0.010	0.012	0.912
Block	45.960	24	1.915	2.350	0.003 ^{sig}
Error	58.680	72	0.815		
Total	4691.000	100			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ ข-14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการยอมรับทางประสาทสัมผัสทางด้าน
เนื้อสัมผัสของการลวกผลหนามแดงก่อนการดองน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Significance
ชนิด	4.000	1	4.000	4.257	0.043 ^{sig}
เวลา	4.840	1	4.840	5.150	0.026 ^{sig}
ชนิด*เวลา	0.000	1	0.000	0.000	1.000
Block	24.740	24	1.031	1.097	0.369
Error	67.660	72	0.940		
Total	4020.000	100			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ ข-15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการยอมรับทางประสาทสัมผัสทางด้าน
รสชาติของการลวกผลหนามแดงก่อนการดองน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Significance ^{ns}
ชนิด	1.960	1	1.960	1.395	0.241
เวลา	5.760	1	5.760	4.100	0.047
ชนิด*เวลา	0.640	1	0.640	0.456	0.502
Block	27.260	24	1.136	0.809	0.714
Error	101.140	72	1.405		
Total	2820.000	100			

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ ข-16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการยอมรับทางประสาทสัมผัสทางด้าน
ความชอบโดยรวมของการลวกผลหนามแดงก่อนการดองน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Significance
ชนิด	4.840	1	4.840	5.521	0.022 ^{sig}
เวลา	4.000	1	4.000	4.563	0.036 ^{sig}
ชนิด*เวลา	0.040	1	0.040	0.046	0.831
Block	40.160	24	1.673	1.909	0.019
Error	63.120	72	0.877		
Total	3384.000	100			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ ข-17 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่
รายงานเป็นค่า Inhibition (%) ของผลหนามแดงอบแห้งที่ผ่านการออสโม
ซิสที่ระดับต่างๆ

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Significance
Treatment	4.406	2	2.203	0.637	0.561 ^{ns}
Error	20.764	6	3.461		
Total	69865.565	9			

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ ข-18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่
รายงานเป็นค่า IC₅₀ (mg/L) ของผลหนามแดงอบแห้งที่ผ่านการออสโมซิสที่
ระดับต่างๆ

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Significance
Treatment	0.262	2	0.131	0.010	0.990 ^{ns}
Error	76.293	6	12.716		
Total	103335.394	9			

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ ข-19 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของผลหนามแดง
อบแห้งที่ผ่านการออสโมซิสที่ระดับต่างๆ

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Significance
Treatment	6.549	2	3.274	0.244	0.187 ^{ns}
Error	8.754	6	1.459		
Total	130550.584	9			

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ ข-20 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดของผล
หนามแดงอบแห้งที่ผ่านการออสโมซิสที่ระดับต่างๆ

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Significance
Treatment	5.540	2	3.180	0.323	0.430 ^{ns}
Error	9.585	6	1.198		
Total	130550.584	9			

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ ข-21 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณวิตามินซีของผลหนาม
แดงอบแห้งที่ผ่านการออสโมซิสที่ระดับต่างๆ

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Significance
Treatment	0.422	2	0.211	1.423	0.312 ^{ns}
Error	0.891	6	0.148		
Total	130550.584	9			

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ ช-22 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของผลหนาม
 แดงอบแห้งที่ผ่านการออสโมซิสที่ระดับต่างๆ

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Significance
Treatment	0.025	2	0.012	2.531	0.160 ^{ns}
Error	0.029	6	0.005		
Total	1542.187	9			

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางภาคผนวกที่ ช-23 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณกรดทั้งหมดของผลหนาม
 แดงอบแห้งที่ผ่านการออสโมซิสที่ระดับต่างๆ

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Significance
Treatment	0.023	2	0.011	0.436	0.666 ^{ns}
Error	0.156	6	0.026		
Total	53.226	9			

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางภาคผนวกที่ ช-24 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า L* ของผลหนามแดงอบแห้ง
 ที่ผ่านการออสโมซิสที่ระดับต่างๆ

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Significance
Treatment	1.647	2	0.823	1.307	0.338 ^{ns}
Error	3.778	6	0.630		
Total	1866.485	9			

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางภาคผนวกที่ ข-25 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า a* ของผลหนามแดงอบแห้ง
 ที่ผ่านการออสโมซิสที่ระดับต่างๆ

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Significance
Treatment	0.042	2	0.021	0.041	0.961 ^{ns}
Error	3.112	6	0.519		
Total	981.801	9			

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางภาคผนวกที่ ข-26 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า b* ของผลหนามแดงอบแห้ง
 ที่ผ่านการออสโมซิสที่ระดับต่างๆ

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Significance
Treatment	0.075	2	0.038	0.369	0.706 ^{ns}
Error	0.613	6	0.102		
Total	50.956	9			

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางภาคผนวกที่ ข-27 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ
 ของผลหนามแดงอบแห้งที่ผ่านการออสโมซิสที่ระดับต่างๆ

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Significance
Treatment	4.414	2	2.207	3.409	0.040 ^{sig}
Block	53.747	28	1.920	2.965	0.000
Error	36.253	56	0.647		
Total	4150.000	87			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางภาคผนวกที่ ข-28 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าคะแนนความชอบด้านสีของ
ผลหนามแดงอบแห้งที่ผ่านการออสโมซิสที่ระดับต่างๆ

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Significance
Treatment	8.713	2	4.356	4.209	0.020 ^{sig}
Block	35.149	28	1.255	1.213	0.265
Error	57.954	56	1.035		
Total	4022.000	87			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางภาคผนวกที่ ข-29 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสของ
ผลหนามแดงอบแห้งที่ผ่านการออสโมซิสที่ระดับต่างๆ

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Significance
Treatment	1.540	2	0.770	0.713	0.494 ^{ns}
Block	63.747	28	2.277	2.109	0.009
Error	60.460	56	1.080		
Total	3808.000	87			

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางภาคผนวกที่ ข-30 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าคะแนนความชอบด้านรสชาติของ
ผลหนามแดงอบแห้งที่ผ่านการออสโมซิสที่ระดับต่างๆ

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Significance
Treatment	10.138	2	5.069	3.525	0.036 ^{sig}
Block	53.954	28	1.927	1.340	0.174
Error	80.529	56	1.438		
Total	3411.000	87			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางภาคผนวกที่ ข-31 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าคะแนนความชอบด้านความชอบ
โดยรวมของผลหนามแดงอบแห้งที่ผ่านการออสโมซิสที่ระดับต่างๆ

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Significance
Treatment	8.552	2	4.276	3.696	0.031 ^{sig}
Block	36.184	28	1.292	1.117	0.354
Error	64.782	56	1.157		
Total	3861.000	87			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางภาคผนวกที่ ข-32 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่
รายงานเป็นค่า Inhibition (%) ของกากผลหนามแดงอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 50 60 และ 70 องศา
เซลเซียส

Source	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Significance
Treatment	3	1567.398	522.466	2173.62	0.000 ^{sig}
Error	8	1.923	0.240		
Total	11	1569.321			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางภาคผนวกที่ ข-33 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่
รายงานเป็นค่า
IC₅₀ (mg/L) ของกากผลหนามแดงอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 50 60 และ 70 องศา
เซลเซียส

Source	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Significance
Treatment	3	4750.448	1583.483	636.824	0.000 ^{sig}
Error	8	19.892	2.487		
Total	11	4770.341			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางภาคผนวกที่ ข-34 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของกากผลหนาม
แดงอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส

Source	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Significance
Treatment	3	15405.056	5135.019	3270.435	0.000 ^{sig}
Error	8	12.561	1.570		
Total	11	15417.617			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางภาคผนวกที่ ข-35 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดของกากผล
หนามแดงอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส

Source	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Significance
Treatment	3	15540.232	5180.077	4.323	0.043 ^{ig}
Error	8	9585.563	1198.195		
Total	11	25125.795			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางภาคผนวกที่ ข-36 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณวิตามินซีของกากผลหนามแดง
อบแห้งที่อุณหภูมิ 40 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส

Source	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Significance
Treatment	3	1.654	0.551	21.612	0.000 ^{sig}
Error	8	0.204	0.026		
Total	11	1.858			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางภาคผนวกที่ ข-37 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของกากผลหนาม
แดงอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส

Source	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Significance
Treatment	3	0.031	0.010	0.733	0.561 ^{ns}
Error	8	0.114	0.014		
Total	11	0.146			

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ ข-38 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณกรดทั้งหมดของกากผลหนามแดง
อบแห้งที่
อุณหภูมิ 40 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส

Source	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Significance
Treatment	3	1.715	0.572	12.474	0.002 ^{sig}
Error	8	0.367	0.046		
Total	11	2.081			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ ข-39 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า L* ของกากผลหนามแดงอบแห้งที่
อุณหภูมิ 40 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส

Source	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Significance
Treatment	3	117.083	39.028	26609.758	0.000 ^{sig}
Error	8	0.012	0.001		
Total	11	117.095			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ ข-40 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า a* ของกากผลหนามแดงอบแห้งที่
อุณหภูมิ 40 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส

Source	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Significance
Treatment	3	22.210	7.403	1850.875	0.000 ^{sig}
Error	8	0.032	0.004		
Total	11	22.242			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางภาคผนวกที่ ข-41 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า b* ของกากผลหนามแดงอบแห้งที่
อุณหภูมิ 40 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส

Source	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Significance
Treatment	3	6.622	2.207	451.980	0.000 ^{sig}
Error	8	0.039	0.005		
Total	11	6.661			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางภาคผนวกที่ ข-42 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์กากผล
หนามแดงอัดเม็ดทั้ง 5 สูตร

Source	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Significance
Treatment	4	0.003	0.001	0.949	0.446 ^{ns}
Error	40	0.032	0.001		
Total	44	0.035			

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≥0.05)

ตารางภาคผนวกที่ ข-43 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า L* ของผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดง
อัดเม็ดทั้ง 5 สูตร

Source	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Significance
Treatment	4	313.823	78.456	1451.134	0.000 ^{sig}
Error	45	2.433	0.054		
Total	49	316.256			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ ข-44 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า a* ของผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดง
อัดเม็ดทั้ง 5 สูตร

Source	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Significance
Treatment	4	123.795	30.949	2400.164	0.000 ^{sig}
Error	45	0.580	0.013		
Total	49	124.375			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ ข-45 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า b* ของผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดง
อัดเม็ดทั้ง 5 สูตร

Source	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Significance
Treatment	4	23.651	5.913	400.090	0.000 ^{sig}
Error	45	0.665	0.015		
Total	49	24.316			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ ข-46 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของผลิตภัณฑ์กากผล
 หนามแดงอัดเม็ดทั้ง 5 สูตร

Source	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Significance
Treatment	4	0.009	0.002	1.825	0.141 ^{ns}
Error	45	0.054	0.001		
Total	49	0.063			

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≥0.05)

ตารางภาคผนวกที่ ข-47 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหนาของผลิตภัณฑ์กากผลหนาม
 แดงอัดเม็ดทั้ง 5 สูตร

Source	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Significance
Treatment	4	0.045	0.011	0.083	0.987 ^{ns}
Error	45	6.160	0.137		
Total	49	6.206			

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≥0.05)

ตารางภาคผนวกที่ ข-48 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าน้ำหนักต่อเม็ดของผลิตภัณฑ์กากผลหนาม
 แดงอัดเม็ดทั้ง 5 สูตร

Source	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Significance
Treatment	4	0.001	0.000	1.123	0.358 ^{ns}
Error	45	0.012	0.000		
Total	49	0.013			

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≥0.05)

ตารางภาคผนวกที่ ข-49 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแข็ง (Hardness) ของผลิตภัณฑ์
กากผลหนามแดงอัดเม็ดทั้ง 5 สูตร

Source	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Significance
Treatment	4	9289.873	2322.468	72.628	0.000 ^{sig}
Error	45	1438.995	31.978		
Total	49	10728.867			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ ข-50 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการสีกร่อนของผลิตภัณฑ์กากผล
หนามแดงอัดเม็ดทั้ง 5 สูตร

Source	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Significance
Treatment	4	1.153	0.288	219.908	0.000 ^{sig}
Error	45	0.059	0.001		
Total	49	1.211			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ ข-51 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ
ของผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดทั้ง 5 สูตร

Source	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Significance
Treatment	4	4.107	1.027	2.790	0.030
Block	29	106.273	3.665	9.957	0.000 ^{sig}
Error	116	42.693	0.368		
Total	150	6595.000			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ ข-52 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าคะแนนความชอบด้านสีของผลิตภัณฑ์
กากผล หนามแดงอัดเม็ดทั้ง 5 สูตร

Source	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Significance
Treatment	4	0.800	0.200	0.450	0.772
Block	29	147.600	5.090	11.442	0.000 ^{sig}
Error	116	51.600	0.445		
Total	150	6344.000			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ ข-53 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าคะแนนความชอบด้านรสชาติของ
ผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดทั้ง 5 สูตร

Source	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Significance
Treatment	4	6.960	1.740	1.315	0.268
Block	29	145.360	5.012	3.789	0.000 ^{sig}
Error	116	153.440	1.323		
Total	150	3996.000			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ ข-54 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าคะแนนความชอบด้านลักษณะเนื้อ
สัมผัสของ

ผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดทั้ง 5 สูตร

Source	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Significance
Treatment	4	10.107	2.527	2.800	0.029
Block	29	122.673	4.230	4.687	0.000 ^{sig}
Error	116	104.693	0.903		
Total	150	5365.000			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ ข-55 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าคะแนนความชอบด้านความชอบ
โดยรวมของ

ผลิตภัณฑ์กากफलนามแดงอัดเม็ดทั้ง 5 สูตร

Source	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Significance
Treatment	4	15.440	3.860	6.727	0.000
Block	29	170.673	5.885	10.257	0.000 ^{sig}
Error	116	66.560	0.574		
Total	150	5149.000			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ ข-56 การวิเคราะห์การเปรียบเทียบค่าความสว่าง (L*) ระหว่างผลิตภัณฑ์กากफलนามแดง
อัดเม็ดที่เคลือบและไม่เคลือบเจลาติน

	t	df	Sig (2-tailed)
เคลือบ- ไม่เคลือบ (เจลาติน)	121.880	3	0.000 ^{sig}

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ ข-57 การวิเคราะห์การเปรียบเทียบค่าสีแดง (a*) ระหว่างผลิตภัณฑ์กากफलนามแดงอัดเม็ดที่เคลือบและไม่เคลือบเจลาติน

	t	df	Sig (2-tailed)
เคลือบ- ไม่เคลือบ (เจลาติน)	-21.316	3	0.000 ^{sig}

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ ข-58 การวิเคราะห์การเปรียบเทียบค่าสีเหลือง (b*) ระหว่างผลิตภัณฑ์กากफलนามแดงอัดเม็ดที่เคลือบและไม่เคลือบเจลาติน

	t	df	Sig (2-tailed)
เคลือบ- ไม่เคลือบ (เจลาติน)	62.973	3	0.000 ^{sig}

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ ช-59 การวิเคราะห์การเปรียบเทียบค่า a_w ระหว่างผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดง
 อัดเม็ดที่เคลือบและไม่เคลือบเจลาติน

	t	df	Sig (2-tailed)
เคลือบ- ไม่เคลือบ (เจลาติน)	-0.703	3	0.533 ^{ns}

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางภาคผนวกที่ ช-60 การวิเคราะห์การเปรียบเทียบค่าปริมาณความชื้นระหว่างผลิตภัณฑ์กากผล
 หนามแดง
 อัดเม็ดที่เคลือบและไม่เคลือบเจลาติน

	t	df	Sig (2-tailed)
เคลือบ- ไม่เคลือบ (เจลาติน)	-1.713	3	0.185 ^{ns}

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางภาคผนวกที่ ช-61 การวิเคราะห์การเปรียบเทียบค่าคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ
 ระหว่างผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดที่เคลือบและไม่เคลือบเจลาติน

	t	df	Sig (2-tailed)
เคลือบ- ไม่เคลือบ (เจลาติน)	4.800	3	0.017 ^{sig}

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางภาคผนวกที่ ช-62 การวิเคราะห์การเปรียบเทียบค่าคะแนนความชอบด้านสีระหว่างผลิตภัณฑ์
 กากผลหนามแดงอัดเม็ดที่เคลือบและไม่เคลือบเจลาติน

	t	df	Sig (2-tailed)
เคลือบ- ไม่เคลือบ (เจลาติน)	27.083	3	0.000 ^{sig}

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางภาคผนวกที่ ช-63 การวิเคราะห์การเปรียบเทียบค่าคะแนนความชอบด้านรสชาติระหว่าง
 ผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดที่เคลือบและไม่เคลือบเจลาติน

	t	df	Sig (2-tailed)
เคลือบ- ไม่เคลือบ (เจลาติน)	-27.000	3	0.000 ^{sig}

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางภาคผนวกที่ ข-64 การวิเคราะห์การเปรียบเทียบค่าคะแนนความชอบด้านลักษณะเนื้อสัมผัส
ระหว่าง

ผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดที่เคลือบและไม่เคลือบเจลาติน

	t	df	Sig (2-tailed)
เคลือบ- ไม่เคลือบ (เจลาติน)	-6.441	3	0.008 ^{sig}

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ ข-65 การวิเคราะห์การเปรียบเทียบค่าคะแนนความชอบด้านความชอบโดยรวม
ระหว่าง

ผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ดที่เคลือบและไม่เคลือบเจลาติน

	t	df	Sig (2-tailed)
เคลือบ- ไม่เคลือบ (เจลาติน)	-2.324	3	0.103 ^{sig}

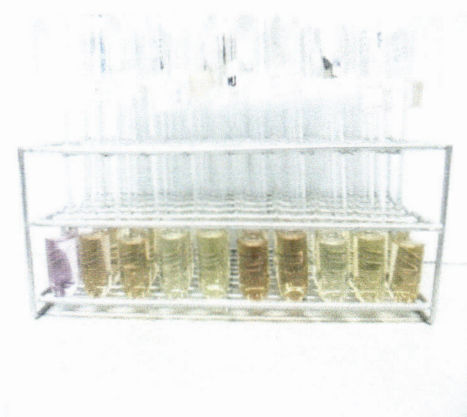
^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



(a) นำกากผลหนามแดงบดมาร่อนด้วยเครื่องร่อน
ที่มีตะแกรงขนาด 100 mesh

(b) กากผลหนามแดงผงหลังผ่านการร่อน

ภาพภาคผนวกที่ ซ-3 ขั้นตอนการร่อนกากผลหนามแดง (a) และลักษณะของกากผงหนามแดงผง
หลังผ่านการร่อน (b)



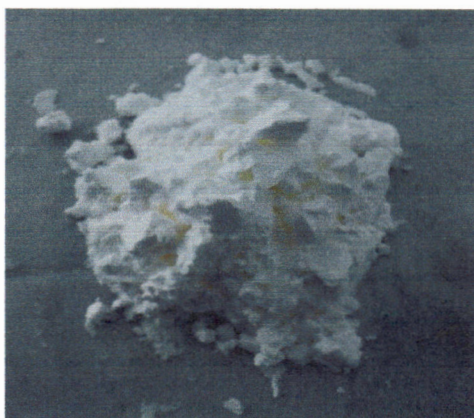
(a) การวัดสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ
ด้วยวิธี DPPH

(b) การวัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิก
ทั้งหมด

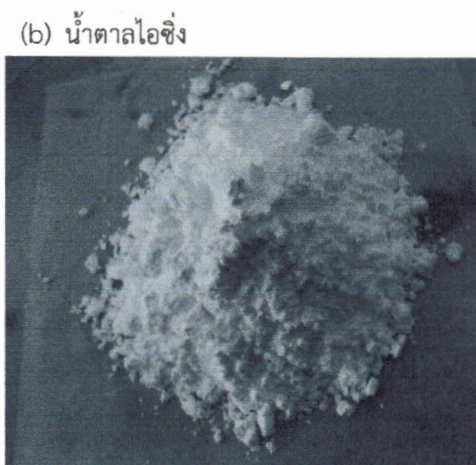
ภาพภาคผนวกที่ ซ-4 การวัดสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH (a) และการวัด
ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (b)



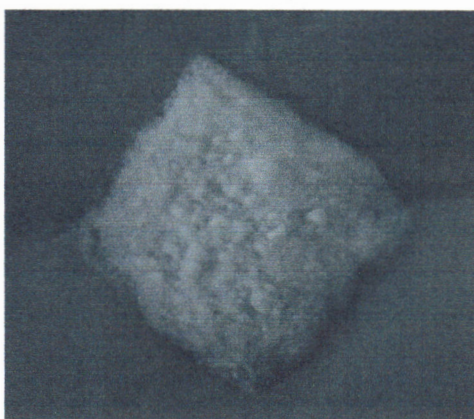
(a) กากผลหนามแดงผง



(c) แป้งข้าวโพด

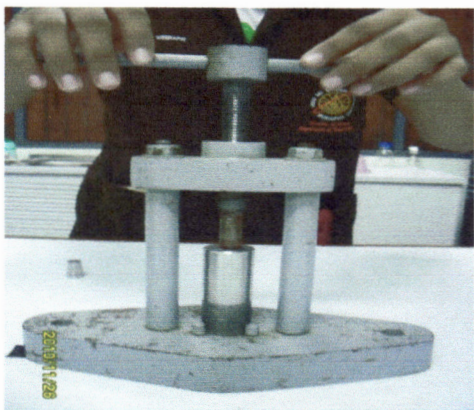


(b) น้ำตาลไอซิ่ง



(d) ซิลิคอนไดออกไซด์

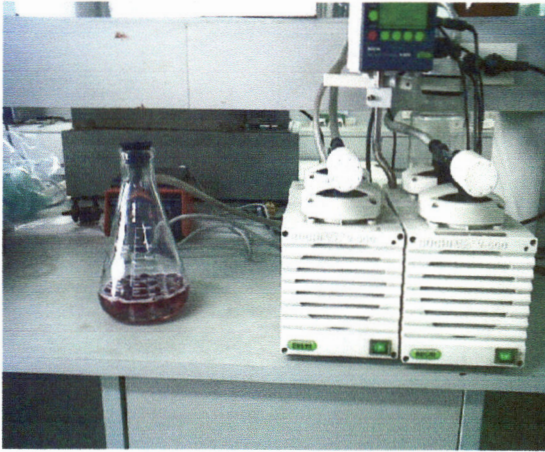
ภาพภาคผนวกที่ ข-5 ส่วนผสมสำหรับผลิตภัณฑ์อัดเม็ด กากผลหนามแดงผง (a) น้ำตาลไอซิ่ง (b) แป้งข้าวโพด (c) และซิลิคอนไดออกไซด์ (d)



a) นำส่วนผสมต่างๆ มาอัดเม็ดด้วยเครื่องตอกเม็ดด้วยมือ (b) ผลิตรัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ด
ภาพภาคผนวกที่ ช-6 การผลิตผลิตรัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ด (a) และตัวอย่างผลิตรัณฑ์กากผล
หนามแดงอัดเม็ด (b)



ภาพภาคผนวกที่ ช-7 ผลหนามแดงหลังการเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกในสารละลายแคลเซียมแลค
เตทที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที



ก)



ข)

ภาพภาคผนวกที่ ซ-8 การออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศ ก) ที่ความดัน 50 mbar นาน 10 นาที
 แช่ที่สภาวะบรรยากาศปกติเป็นเวลา 10 นาที ออสโมซิสที่ความดัน 50
 mbar อีก 10 นาที และแช่ที่สภาวะบรรยากาศปกติจนเสร็จกระบวนการ
 ข) ลักษณะการ ออสโมซิสของผลหนามแดงในสภาวะสุญญากาศ



ก)



ข)

ภาพภาคผนวกที่ ซ-9 ก) เครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ ข) การอบแห้งผลหนามแดงด้วยตู้อบแบบ
 สุญญากาศ ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 550 mmHg



ภาพภาคผนวกที่ ซ-10 ลักษณะผลิตภัณฑ์หนามแดงกิ่งแห้ง

ภาคผนวก ณ
การวิเคราะห์สมการรีเกรสชัน

ตารางภาคผนวกที่ ณ-1 การวิเคราะห์สมการความสัมพันธ์ค่า L* ของผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดง
อัดเม็ด

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.963 ^a	.927	.853	1.07407

a. Predictors: (Constant), x3, x2, x1

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	29.106	2	14.553	12.615	.073 ^a
	Residual	2.307	2	1.154		
	Total	31.414	4			

a. Predictors: (Constant), x3, x2, x1

b. Dependent Variable: L

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	x1	30.809	1.524	-7.96	27.153	.000
	x2	48.793	.053	-5.794	-20.361	.002
	x3	48.980	.000	4.839	17.005	.003

a. Dependent Variable: L

ตารางภาคผนวกที่ ฅ-2 การวิเคราะห์สมการความสัมพันธ์ค่า a* ของผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดง
อัดเม็ด

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.954 ^a	.911	.822	.74399

a. Predictors: (Constant), x3, x2, x1

ANOVA ^b						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	11.323	2	5.662	10.229	.089 ^a
	Residual	1.107	2	.554		
	Total	12.430	4			

a. Predictors: (Constant), x3, x2, x1

b. Dependent Variable: a

Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	x1	22.373	1.045	12.98	27.749	.001
	x2	11.157	.000	5.329	17.183	.003
	x3	11.344	.036	-4.367	-14.079	.005

a. Dependent Variable: a

ตารางภาคผนวกที่ ฅ-3 การวิเคราะห์สมการความสัมพันธ์ค่า b* ของผลิตภัณฑ์กากพลหนามแดง
อัดเม็ด

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.946 ^a	.895	.790	.35362

a. Predictors: (Constant), x3, x2, x1

ANOVA ^b						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	2.135	2	1.067	8.536	.105 ^a
	Residual	.250	2	.125		
	Total	2.385	4			

a. Predictors: (Constant), x3, x2, x1

b. Dependent Variable: b

Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	x1	5.032	.772	.720	12.783	.003
	x2	9.865	.012	-.939	-4.100	.074
	x3	7.615	.044	-.117	-.509	.151

a. Dependent Variable: b

ตารางภาคผนวกที่ ฅ-4 การวิเคราะห์สมการความสัมพันธ์ค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์กากผลนาม
แดงอัดเม็ด

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.993 ^a	.986	.972	2.56579

a. Predictors: (Constant), x3, x2, x1

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	913.637	2	456.819	69.391	.014 ^a
	Residual	13.167	2	6.583		
	Total	926.804	4			

a. Predictors: (Constant), x3, x2, x1

b. Dependent Variable: Hardness

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	x1	3.556	1.045	.25	25.189	.002
	x2	100.323	.000	5.329	6.856	.003
	x3	-4.927	.036	-4.367	-.005	.004

a. Dependent Variable: Hardness

ตารางภาคผนวกที่ ฅ-5 การวิเคราะห์สมการความสัมพันธ์ค่าการสีกร่อนของผลิตภัณฑ์กากผล
 หนามแดงอัดเม็ด

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.992 ^a	.984	.968	.02933

a. Predictors: (Constant), x3, x2, x1

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.106	2	.053	61.628	.016 ^a
	Residual	.002	2	.001		
	Total	.108	4			

a. Predictors: (Constant), x3, x2, x1

b. Dependent Variable: Friability

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	x1	.776	.145	1.26	5.299	.001
	x2	.291	.010	3.526	.459	.004
	x3	.459	.006	-.557	-.118	.005

a. Dependent Variable: Friability

ตารางภาคผนวกที่ ฅ-6 การวิเคราะห์สมการความสัมพันธ์ของคะแนนด้านลักษณะปรากฏของของ
ผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ด

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.965 ^a	.932	.864	.06812

a. Predictors: (Constant), x3, x2, x1

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.127	2	.063	13.664	.068 ^a
	Residual	.009	2	.005		
	Total	.136	4			

a. Predictors: (Constant), x3, x2, x1

b. Dependent Variable: prakod

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	x1	6.344	.150	2.43	5.299	.000
	x2	7.277	.002	7.116	.459	.003
	x3	4.527	.009	-.596	-.118	.004

a. Dependent Variable: prakod

ตารางภาคผนวกที่ ฅ-7 การวิเคราะห์สมการความสัมพันธ์คะแนนด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์กาก
 ผลหมามแดงอัดเม็ด

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.967 ^a	.936	.872	.10400

a. Predictors: (Constant), x3, x2, x1

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.316	2	.158	14.630	.064 ^a
	Residual	.022	2	.011		
	Total	.338	4			

a. Predictors: (Constant), x3, x2, x1

b. Dependent Variable: texture

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	x1	5.415	.417	3.46	1.184	.000
	x2	7.032	.023	1.125	.589	.001
	x3	3.469	.014	.066	.008	.006

a. Dependent Variable: texture

ตารางภาคผนวกที่ ฅ-8 การวิเคราะห์สมการความสัมพันธ์คะแนนด้านความชอบโดยรวมของ
ผลิตภัณฑ์กากผลหนามแดงอัดเม็ด

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.956 ^a	.914	.828	.14863

a. Predictors: (Constant), x3, x2, x1

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.469	2	.234	10.613	.086 ^a
	Residual	.044	2	.022		
	Total	.513	4			

a. Predictors: (Constant), x3, x2, x1

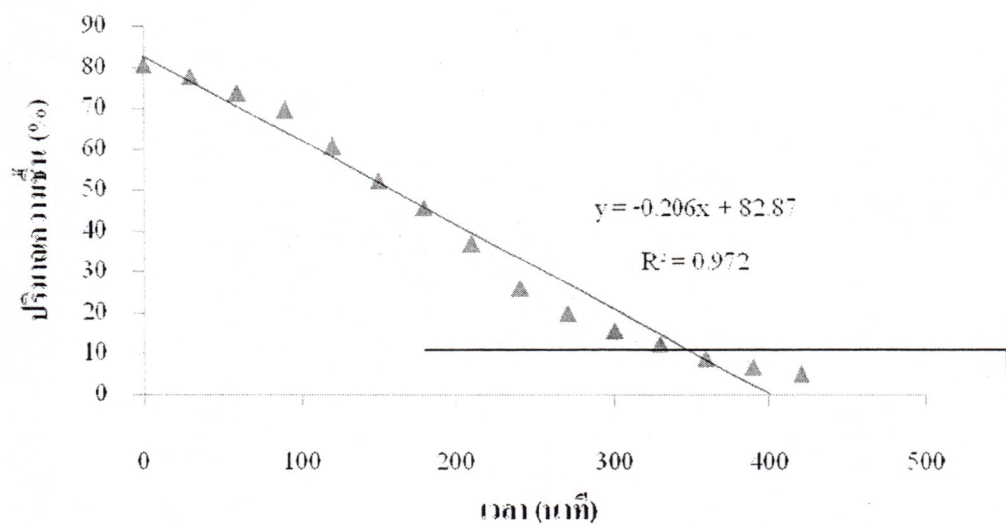
b. Dependent Variable: rom

Coefficients^a

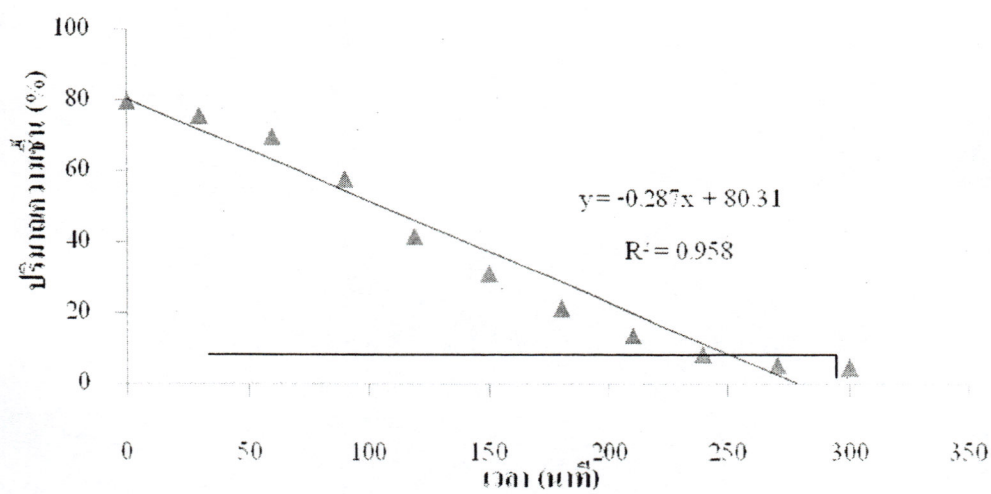
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	x1	5.159	1.713	5.96	5.434	.001
	x2	7.160	.327	2.539	2.613	.004
	x3	3.034	-1.851	-.126	-.067	.005

a. Dependent Variable: rom

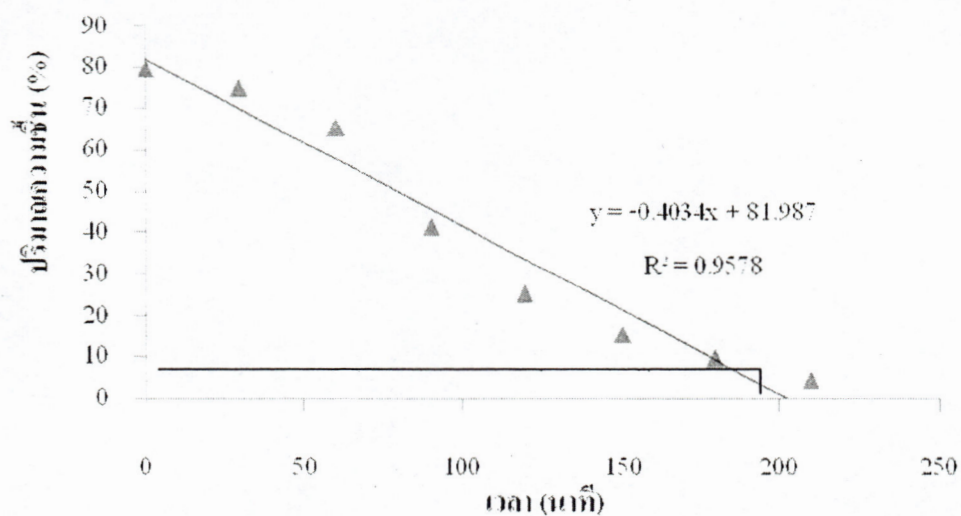
ภาคผนวก ญ
 ภาพประกอบกราฟทำแห้งของงานวิจัย



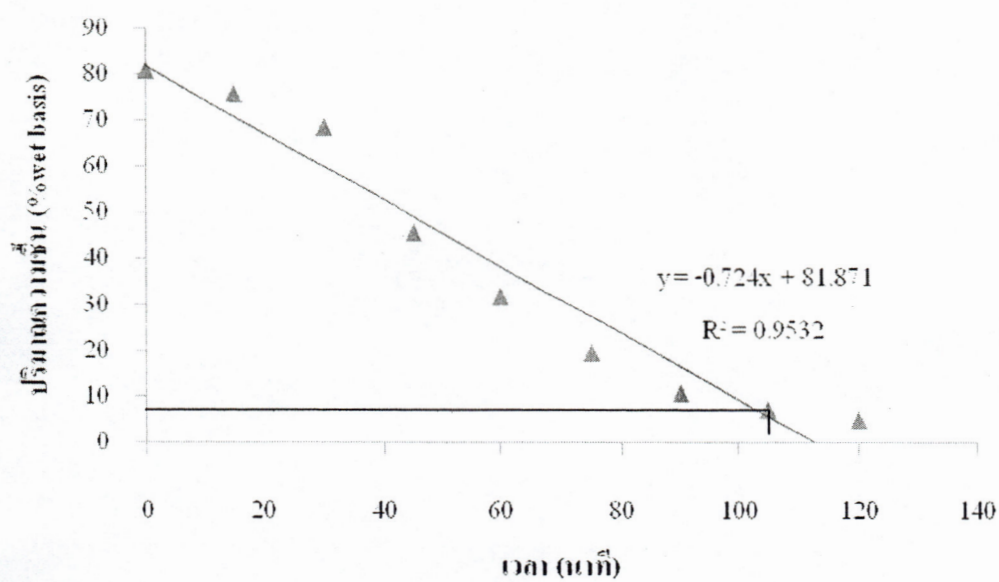
ภาพภาคผนวกที่ ญ-1 กราฟการทำนายเวลาในการทำแห้งกากผลหนามแดงที่อุณหภูมิ 40 °C



ภาพภาคผนวกที่ ๒-2 กราฟการทำนายเวลาในการทำแห้งกากผลหนามแดงที่อุณหภูมิ 50 °C



ภาพภาคผนวกที่ ๒-3 กราฟการทำนายเวลาในการทำแห้งกากผลหนามแดงที่อุณหภูมิ 60 °C



ภาพภาคผนวกที่ ๒-4 กราฟการทำนายเวลาในการทำแห้งกากผลหนามแดงที่อุณหภูมิ 70 °C

ภาคผนวก ก
การวิเคราะห์คุณภาพทางด้านจุลินทรีย์

การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดโดยวิธีนับจำนวนโคโลนีบนอาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูป (Compact dry) (บริษัท NISSUI pharma ประเทศญี่ปุ่น, 2553)

1. ชั่งตัวอย่าง 10 กรัม ใส่ลงในถุงพลาสติกที่ปลอดเชื้อ แล้วเติม peptone water 90 มิลลิลิตร นำเข้าเครื่องตีผสมอาหาร นาน 1 นาที จะได้ตัวอย่างที่มีความเจือจาง 10^{-1}
2. ปิเปตตัวอย่างจากข้อ 1. มา 1 มิลลิลิตร ลงในหลอดที่บรรจุสารละลาย peptone water 9 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันจะได้ตัวอย่างที่มีความเจือจาง 10^{-2}
3. เจือจางตัวอย่างเช่นเดียวกับข้อ 2. เป็นลำดับ จนได้ความเจือจาง 10^{-3} 10^{-4} และ 10^{-5} ตามลำดับ
4. วางภาดาอาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูปสำหรับจุลินทรีย์ทั้งหมดบนพื้นราบ เปิดฝาครอบภาดาอาหารเลี้ยงเชื้อออก
5. ปิเปตตัวอย่างความเจือจางที่ 10^{-3} 10^{-4} และ 10^{-5} โดยปิเปตภาดละ 1 มิลลิลิตรต่อ 1 dilution แล้วปิดฝาภาดาอาหารเลี้ยงเชื้อ ทำ 3 ซ้ำ
6. นำไปบ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 – 48 ชั่วโมง
7. การนับจำนวนโคโลนีจากภาดาอาหารเลี้ยงเชื้อ ทำได้โดยหาค่าเฉลี่ยจำนวนโคโลนีในแต่ละภาดาที่มีจำนวนโคโลนีอยู่ในช่วง 25 – 250 โคโลนี และคำนวณค่า cfu ต่อกรัมของตัวอย่าง ทั้งนี้ หากจำนวนโคโลนีอยู่ในช่วง 1 – 25 โคโลนี ให้เขียนคำว่า estimated หรือ est. ต่อท้าย แต่หากตรวจพบจำนวนโคโลนีเพียง 1 โคโลนีในจำนวน 3 ซ้ำ ให้เขียนคำว่า $<1.0 \times$ (dilution ที่ตรวจพบ) และเขียน est. ต่อท้ายไว้ด้วย ค่า cfu ต่อกรัมตัวอย่าง คำนวณได้จากความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$\text{cfu ต่อ 1 กรัม} = n \times \text{df}$$

เมื่อ n คือ จำนวนโคโลนีที่นับได้

df คือ Dilution factor หรือ ส่วนกลับของความเจือจางของตัวอย่างที่นำมาเพาะในภาดาที่หาค่า n ได้

การวิเคราะห์ปริมาณยีสต์และราโดยวิธีการนับ จำนวนโคโลนีบนอาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูป (Compact dry) (บริษัท NISSUI pharma ประเทศญี่ปุ่น, 2553)

1. ชั่งตัวอย่าง 10 กรัม ใส่ลงในถุงพลาสติกที่ปลอดเชื้อ แล้วเติม peptone water 90 มิลลิตร นำเข้าเครื่องตีผสมอาหาร นาน 1 นาที ทำวิธีเดียวกับ ง-1 จนได้ความเจือจางของตัวอย่าง เป็น 10^{-2} 10^{-3} และ 10^{-4} ตามลำดับ

2. จากนั้นวางภาดาอาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูปสำหรับจุลินทรีย์ทั้งหมดบนพื้นราบ เปิดฝาครอบภาดาอาหารเลี้ยงเชื้อออก

3. ปิเปิดตัวอย่างความเจือจางที่ 10^{-2} 10^{-3} และ 10^{-4} โดยปิเปิดภาดละ 1 มิลลิตรต่อ 1 dilution แล้วปิดฝาภาดาอาหารเลี้ยงเชื้อ ทำ 3 ซ้ำ

4. นำไปบ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 – 5 วัน

5. การนับจำนวนโคโลนีจากภาดาอาหารเลี้ยงเชื้อ ทำได้โดยหาค่าเฉลี่ยจำนวนโคโลนีในแต่ละภาดที่มีจำนวนโคโลนีอยู่ในช่วง 25 – 250 โคโลนี และคำนวณค่า cfu ต่อกรัมของตัวอย่าง ทั้งนี้ หากจำนวนโคโลนีอยู่ในช่วง 1 – 25 โคโลนี ให้เขียนคำว่า estimated หรือ est. ต่อท้าย แต่หากตรวจพบจำนวนโคโลนีเพียง 1 โคโลนีในจำนวน 3 ซ้ำ ให้เขียนคำว่า $<1.0 \times$ (dilution ที่ตรวจพบ) และเขียน est. ต่อท้ายไว้ด้วย ค่า cfu ต่อกรัมตัวอย่าง คำนวณได้จากความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

ค่า cfu ต่อกรัมตัวอย่าง คำนวณได้จากความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$\text{cfu ต่อ 1 กรัม} = n \times \text{df}$$

เมื่อ n คือ จำนวนโคโลนีที่นับได้

df คือ Dilution factor หรือ ส่วนกลับของความเจือจางของตัวอย่างที่นำมาเพาะ ในภาดที่หาค่า n ได้