รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การพัฒนากรรมวิธีการผลิตขลู่ผงพร้อมใช้งาน

Process Development of Ready to Use Indian Marsh Fleabane Powder

หัวหน้าโครงการ นางสิริมา ชินสาร

ผู้ร่วมโครงการ นางสาววิชมณี ยืนยงพุทธกาล

นางสาวนิสานารถ กระแสร์ชล

มหาวิทยาลัยบูรพา

165090

- 2 เม.ย. 2557

334194

เรียนบริการ

23 ก.ค. 2557

โครงการวิจัยนี้ได้รับเงินอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ (เงินอุดหนุนจากรัฐบาล)
มหาวิทยาลัยบูรพา ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2556
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติเป็นอย่างสูงที่ได้สนับสนุนทุนวิจัยประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2556 ขอขอบคุณฝ่ายส่งเสริมการวิจัย มหาวิทยาลัยบูรพา สำหรับการประสานงานอย่างดียิ่ง ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ และภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหารที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือเพื่อใช้ในการวิจัย ท้ายนี้ขอขอบคุณคณาจารย์ เจ้าหน้าที่และนิสิตภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร รวมถึงผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่มีส่วนให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้

คณะผู้วิจัย
พฤศจิกายน 2556

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้น วิธีการในการทำแห้ง ขนาดอนุภาค และชนิดของบรรจุภัณฑ์ต่อคุณภาพของขลู่ผง ขั้นตอนแรก เป็นการศึกษาผลของวิธีการเตรียมขั้นต้นที่แตกต่างกัน 3 วิธี คือ ไม่มีการเตรียมขั้นต้น (ตัวอย่างควบคุม) การลวกในน้ำ และการลวกในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 0.06% ต่อคุณภาพของขลู่ผง พบว่า วิธีการเตรียมขั้นต้นมีผลต่อค่าสี (ค่า a* และ b*) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และคะแนนความเข้มด้านสีเขียวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ไม่มีผลต่อคะแนนความเข้มด้านกลิ่นรส ($p\geq0.05$) โดยวิธีการเตรียมขั้นต้นที่เหมาะสมที่สุดคือ การลวกใบขลู่ในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต ซึ่งทำให้ขลู่ผงมีค่าความแตกต่างของสี (ΔE) ต่ำที่สุด และได้รับคะแนนความเข้มด้านสีเขียวสูงที่สุด ($p<0.05$) ขั้นตอนที่ 2 เป็นการศึกษาผลของวิธีการทำแห้งต่อคุณภาพของขลู่ผง โดยแปรวิธีการในการทำแห้ง 4 วิธี คือ การอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศ การอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน การคั่วใบขลู่ร่วมกับการอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศ และการคั่วใบขลู่ร่วมกับการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ผลการทดลองพบว่า การคั่วใบขลู่ร่วมกับการอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ขลู่ผงที่มีคุณภาพดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่นๆ โดยมีค่า ΔE (7.18) ต่ำที่สุด แต่มีค่าความเป็นสีเขียว (-4.72) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (121.80 mg GAE/g dry matter) และเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ (88.58%) สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) น้ำชาที่ได้ได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสสูงที่สุดในระดับชอบปานกลาง ขั้นตอนที่ 3 ศึกษาผลของขนาดอนุภาค (50 60 70 และ 80 เมช) ต่อคุณภาพของขลู่ผง พบว่า ขนาดอนุภาคมีผลต่อค่าสี (L* และ b*) ความสามารถในการละลาย และคะแนนความชอบด้านสีและกลิ่นรสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ไม่มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และคะแนนความชอบด้านกลิ่นและความชอบโดยรวม ($p\geq0.05$) โดยขนาดอนุภาคที่เหมาะสมคือ อนุภาคขนาด 80 เมช ซึ่งทำให้ขลู่ผงมีความสามารถในการละลายสูงที่สุด ($p<0.05$) ขั้นตอนสุดท้าย เป็นการศึกษาผลของชนิดของบรรจุภัณฑ์ต่อคุณภาพของขลู่ผงระหว่างการเก็บรักษา โดยการเก็บรักษาขลู่ผงในบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด คือ ถุงพลาสติกใสชนิดโพลิโพรพิลีนแบบหนาปิดผนึก และถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนตปิดผนึก ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า ชนิดของบรรจุภัณฑ์มีผลต่อปริมาณความชื้น ค่าสี L* a* และ b* และค่า Water activity (a_w) ของขลู่ผงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 2 สัปดาห์ โดยถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนต สามารถรักษาคุณภาพของขลู่ผงได้ดีกว่าถุงพลาสติกใสชนิดโพลิโพรพิลีน

ABSTRACT

This research was to study the effect of pretreatment, drying method, particle size and type of package on qualities of indian marsh fleabane powder. First step, the effect of 3 pretreatment methods, no pretreatment (control), water blanching and 0.06% magnesium carbonate solution blanching, on qualities of indian marsh fleabane powder was investigated. Results showed that pretreatment method affected in color value (a* and b*), total phenolic compound content, free radical inhibition and attribute intensity in term of green color with significant difference ($p<0.05$). But there was no significant difference on the attribute intensity in term of flavor ($p\geq 0.05$). The appropriated pretreatment method was magnesium carbonate solution blanching. The powder obtained from this method had the lowest ΔE and highest score for the attribute intensity in term of green color ($p<0.05$). Second step, the effect of drying methods on qualities of indian marsh fleabane powder was studied. There were 4 drying methods for this experiment, vacuum drying, hot air drying, leaf roasting combined with vacuum drying and leaf roasting combined with hot air drying. Results revealed that the leaf roasting combined with vacuum drying method gave the best quality for indian marsh fleabane powder as compared with other methods. This powder had the lowest ΔE (7.18) but highest in greenness (-4.72), phenolic compound content (121.80 mg GAE/g dry matter) and free radical inhibition (88.58% inhibition) with significant difference ($p<0.05$). The obtained tea had the highest liking score in term of flavor at the level of moderately like. Third step, the effect of particle size (50 60 70 and 80 mesh) on qualities of indian marsh fleabane powder was studied. Results revealed that the particle size affected in color value (L* and b*), solubility and liking score in term of color and flavor with significant difference ($p<0.05$). But there was no significant difference on total phenolic compound content, free radical inhibition and liking score in term of odor and overall liking ($p\geq 0.05$). The 80 mesh powder was an appropriated particle size with highest solubility ($p<0.05$). Final step, the effect of type of package on qualities of indian marsh fleabane powder during storage was studied. Indian marsh fleabane powder was kept in 2 types of package, polypropylene bag and aluminum foil laminated bag, at room temperature for 8 weeks. Results demonstrated that type of package affected in moisture content, color value (L*, a* and b*), and a_w of indian marsh fleabane powder with significant difference ($p<0.05$) after the second week of storage time. The aluminum foil laminated bag could retain the better quality of indian marsh fleabane powder than polypropylene bag.

สารบัญเรื่อง

หน้า

กิตติกรรมประกาศ..... ค
บทคัดย่อภาษาไทย..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ
สารบัญเรื่อง..... ฉ
สารบัญตาราง..... ช
สารบัญภาพ..... ญ
บทที่
1 บทนำ..... 1
ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย..... 1
วัตถุประสงค์..... 2
ขอบเขตของโครงการวิจัย..... 3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 3
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 4
ขลู่..... 4
กระบวนการผลิตชาใบขลู่..... 6
การลวก..... 6
คลอโรฟิลล์..... 10
การทำแห้ง..... 18
การลดขนาด..... 20
อนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระ..... 24
สารประกอบฟีนอล..... 29
การเก็บรักษาอาหารแห้ง..... 33
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 43
3 วิธีดำเนินการทดลอง..... 46
วัตถุดิบ สารเคมีและอุปกรณ์..... 46
วิธีดำเนินการทดลอง..... 47
4 ผลการทดลองและวิจารณ์..... 52
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ..... 79
สรุปผลการทดลอง..... 79
ข้อเสนอแนะ..... 80
รายการอ้างอิง..... 81

สารบัญเรื่อง (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก	87
ก การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี	88
ข การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ	92
ค แบบทดสอบการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส	94
ง ภาพประกอบ	97

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	การเปลี่ยนแปลงปริมาณของคลอโรฟิลล์และอนุพันธ์ระหว่างการลวกและการแปรรูปผักโขมด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลาต่างๆกัน	14
2-2	สมบัติและการประยุกต์ใช้เครื่องลดขนาดชนิดต่างๆ	22
2-3	ตารางจำแนกหน้าที่ของภาชนะบรรจุผลิตภัณฑ์ตามด้านต่างๆ	39
4-1	ปริมาณความชื้น (%) ของขลู่ผงที่เตรียมขั้นต้นด้วยวิธีต่างๆ	52
4-2	ค่าสี (L* a* และ b*) และค่าความแตกต่างของสี (ΔE) เปรียบเทียบกับใบขลู่สดของขลู่ผงที่เตรียมขั้นต้นด้วยวิธีต่างๆ	53
4-3	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/g) ของขลู่ผงที่เตรียมขั้นต้นด้วยวิธีต่างๆ	55
4-4	สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ รายงานเป็นค่า radical scavenging (%) ของขลู่ผงที่เตรียมขั้นต้นด้วยวิธีต่างๆ	56
4-5	คะแนนความเข้มด้านสีเขียวและกลิ่นรสของขลู่ผงที่เตรียมขั้นต้นด้วยวิธีต่างๆ	57
4-6	ค่าสี L*, a*, b* และค่า ΔE ของขลู่ผงที่ผ่านการทำแห้งแบบต่างๆ	58
4-7	คะแนนความชอบด้านสี กลิ่น กลิ่นรส และความชอบโดยรวมของน้ำชาจากใบขลู่ผงที่ผ่านการทำแห้งแบบต่างๆ	60
4-8	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและเปอร์เซ็นต์การยับยั้งสารต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากขลู่ผงที่ผ่านการทำแห้งแบบต่างๆ	62
4-9	ค่าสี (L* a* และ b*) ของขลู่ผงที่มีอนุภาคขนาด 50 60 70 และ 80 เมช	64
4-10	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/g) ของขลู่ผงที่มีอนุภาคขนาด50 60 70 และ 80 เมช	65
4-11	สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระรายงานเป็นค่า radical scavenging (%) ของขลู่ผงที่มีอนุภาคขนาด 50 60 70 และ 80 เมช	66
4-12	ความสามารถในการละลาย (Solubility) (%) ของขลู่ผงที่มีอนุภาคขนาด 50 60 70 และ 80 เมช	67
4-13	คะแนนความชอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของน้ำสกัดจากขลู่ผงที่มีอนุภาคขนาด 50 60 70 และ 80 เมช	68
4-14	ปริมาณความชื้น (%) ของขลู่ผงที่เก็บรักษาในถุงพลาสติกใสชนิดโพลีโพรพิลีน (PP) และถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนต (ALU) ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 8 สัปดาห์	70
4-15	ค่าความสว่าง (L*) ของขลู่ผงที่เก็บรักษาในถุงพลาสติกใสชนิดโพลีโพรพิลีน (PP) และถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนต (ALU) ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 8 สัปดาห์	71
4-16	ค่า a* ของใบขลู่ผงที่เก็บรักษาในถุงพลาสติกใสชนิดโพลีโพรพิลีน (PP) และถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนต (ALU) ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 8 สัปดาห์	71

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4-17 ค่า b* ของขลู่ผงที่เก็บรักษาในถุงพลาสติกใสชนิดโพลีโพรพิลีน (PP) และถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนต (ALU) ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 8 สัปดาห์..... 72

4-18 ค่า Water activity (a_w) ของขลู่ผงที่เก็บรักษาในถุงพลาสติกใสชนิดโพลีโพรพิลีน (PP) และถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนต (ALU) ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 8 สัปดาห์..... 74

4-19 คะแนนความชอบด้านสีของน้ำสกัดจากขลู่ผงที่เก็บรักษาในถุงพลาสติกใสชนิดโพลีโพรพิลีน (PP) และถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนต (ALU) ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 8 สัปดาห์..... 75

4-20 คะแนนความชอบด้านกลิ่นของน้ำสกัดจากขลู่ผงที่เก็บรักษาในถุงพลาสติกใสชนิดโพลีโพรพิลีน (PP) และถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนต (ALU) ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 8 สัปดาห์..... 76

4-21 คะแนนความชอบด้านกลิ่นรสของน้ำสกัดจากขลู่ผงที่เก็บรักษาในถุงพลาสติกใสชนิดโพลีโพรพิลีน(PP) และถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนต (ALU) ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 8 สัปดาห์..... 76

4-22 คะแนนความชอบด้านความชอบโดยรวมของน้ำสกัดจากขลู่ผงที่เก็บรักษาในถุงพลาสติกใสชนิดโพลีโพรพิลีน (PP) และถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนต (ALU) ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 8 สัปดาห์..... 77

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2-1	การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเซลล์พืชระหว่างการลวก	9
2-2	สูตรโครงสร้างของ ก) คลอโรฟีลล์เอ ข) คลอโรฟีลล์บี	11
2-3	แผนภูมิการสลายตัวของคลอโรฟีลล์	12
2-4	การเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์	13
2-5	การเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์เมื่อได้รับความร้อนในภาวะที่มีสังกะสีไอออน	17
2-6	โครงสร้างทางเคมีของสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์	27

บทที่ 1

บทนำ

ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ต้นขลู่ถือเป็นพืชประจำถิ่นของจังหวัดจันทบุรี พบมากบริเวณป่าชายเลนบริเวณที่มีน้ำกร่อย ในอดีตชาวบ้านนิยมนำใบขลู่มารับประทานกับน้ำพริก หรือนำมาเป็นวัตถุดิบในการทำอาหาร หรือทำเป็นยารักษาโรค เนื่องจากมีสรรพคุณที่ช่วยในการปรับสมดุลของร่างกาย ช่วยบำรุงไต ขับปัสสาวะ บำรุงระบบประสาท เป็นต้น และในระยะหลายปีที่ผ่านมาจะพบผลิตภัณฑ์ชาใบขลู่วางจำหน่ายเพิ่มมากขึ้น โดยชาวชุมชนตำบลบ่อก็เป็นอีกชุมชนหนึ่งที่ได้มีการผลิตชาใบขลู่ออกจำหน่าย โดยเฉพาะการจำหน่ายตามงาน OTOP ต่างๆ เนื่องจากพื้นที่ของชุมชนเป็นพื้นที่ป่าชายเลนที่มีต้นขลู่เป็นจำนวนมาก อีกทั้งยังอยู่ในเขตที่มีการส่งเสริมการปลูกและอนุรักษ์พันธุ์พืชป่าชายเลนในส่วนของสถานีพัฒนาทรัพยากรป่าชายเลนที่ 2 บ้านท่าสอน อำเภอขลุง จังหวัดจันทบุรี ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของศูนย์ศึกษาการพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบนที่ได้พยายามหาแนวทางเพิ่มมูลค่าของพืชป่าชายเลนโดยการส่งเสริมให้ชาวบ้านนำส่วนต่างๆ ของพืชเหล่านี้กลับมาใช้ประโยชน์ทั้งในทางยาและอาหารอย่างเช่นในอดีตที่ผ่านมา โดยผลิตภัณฑ์หนึ่งที่ทางสถานีได้ทำการส่งเสริมให้ชาวชุมชนผลิตและนำออกขายเป็นสินค้าหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ และได้รับความสนใจและนิยมซื้อจากผู้บริโภคเป็นอย่างมาก ได้แก่ ผลิตภัณฑ์จากใบขลู่ โดยเฉพาะชาใบขลู่ ซึ่งได้รับการตอบรับอย่างมากจากนักท่องเที่ยวที่มาเยี่ยมชมสถานีพัฒนาทรัพยากรป่าชายเลน และนักท่องเที่ยวที่มาเที่ยวในงานสินค้า OTOP แต่อย่างไรก็ตาม ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตยังไม่มีความหลากหลาย จะผลิตเพียงแค่ใบชาแห้งสำหรับนำไปต้มดื่มเท่านั้น โดยใบชาที่ผลิตได้ก็ยังคงมีคุณภาพที่ไม่สม่ำเสมอ อีกทั้งสีของใบชาค่อนข้างคล้ำมาก ดังนั้นการนำใบชาแห้งไปใช้ประโยชน์ในการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นๆ จึงทำได้ยาก ทางกลุ่มชุมชนจึงมีความต้องการให้คณะผู้วิจัยหาแนวทางการปรับปรุงกรรมวิธีการผลิตใบชาแห้งให้มีคุณภาพที่ดีขึ้นและอยู่ในรูปแบบที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ ได้ง่ายขึ้น เพื่อเพิ่มความหลากหลายในการใช้ประโยชน์จากใบขลู่ และความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ชุมชน (เกษมจ่าพันดุง, 2554) อีกทั้งยังเป็นแรงจูงใจอีกทางหนึ่งที่จะให้ชาวบ้านเห็นประโยชน์ของการอนุรักษ์และปลูกป่าชายเลน ซึ่งจะทำให้ป่าชายเลนสามารถอยู่คู่กับชุมชนได้อย่างยั่งยืน

ในการนี้คณะผู้วิจัยเห็นความสำคัญของการยึดปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง การพัฒนาที่สมดุลและยั่งยืน การใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า การนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์การอาหารมาใช้ให้เกิดการ

พัฒนาอย่างเหมาะสม เพื่อขับเคลื่อนเศรษฐกิจฐานราก โดยมีความตั้งใจจะยกระดับและเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ในท้องถิ่นให้ดีขึ้น และจากวิทยานิพนธ์ของ Anchalee Traithip (2005) พบว่า สารสกัดของใบขลู่มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันได้ดี โดยมีค่า EC_{50} เท่ากับ 6.92 ไมโครกรัม/ มิลลิลิตร จึงมีความต้องการปรับปรุงคุณภาพและถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์ขลู่ผงพร้อมใช้งาน โดยครอบคลุมถึงการพัฒนากรรมวิธีการผลิตให้สามารถแก้ปัญหาที่พบโดยทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพสม่ำเสมอ มีการตรวจวิเคราะห์สารประกอบที่มีฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชัน รวมทั้งศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษา และถ่ายทอดเทคโนโลยีที่ได้จากงานวิจัยสู่ชุมชนในท้องถิ่น เพื่อสามารถนำวัตถุดิบที่มีมากในท้องถิ่นมาแปรรูปได้ตามศักยภาพ

ในการพัฒนากรรมวิธีการผลิตจะนำวิธีการเตรียมวัตถุดิบอย่างง่ายมาประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับวัตถุดิบ เพื่อคงคุณภาพในด้านสีของผลิตภัณฑ์ และมีการเพิ่มขั้นตอนของการคัดเลือกวัตถุดิบเพื่อให้สามารถควบคุมกระบวนการผลิตได้ และให้คุณภาพของผลิตผลที่สม่ำเสมอ มีการนำเทคโนโลยีการอบแห้งมาใช้ร่วมกับวิธีการผลิตชาแบบดั้งเดิมเพื่อรักษาคุณภาพของขลู่ผงในระหว่างการเก็บรักษาให้ยาวนานขึ้น และศึกษาการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์แบบต่างๆ เพื่อหาแนวทางในการรักษาคุณภาพของขลู่ผง ป้องกันการเปลี่ยนสี กลิ่นรส และรสชาติ เมื่อเก็บไว้นาน

ผลงานวิจัยจากโครงงานวิจัยนี้จะได้กรรมวิธีการผลิตขลู่ผงพร้อมใช้งาน ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค มีคุณภาพตามมาตรฐานการผลิตอาหาร และสามารถเก็บรักษาได้นาน รวมถึงทราบสมบัติในการเป็นสารต้านออกซิเดชันที่เป็นประโยชน์ของผลิตภัณฑ์จากใบขลู่ และใบขลู่ผงที่ได้ยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ หรือเป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์อื่นได้ง่ายขึ้น สามารถนำความรู้ไปถ่ายทอดสู่ชุมชนเพื่อให้ชุมชนนำไปขยายผลสู่การจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ได้ เนื่องจากเป็นกระบวนการที่ไม่ได้ใช้เทคโนโลยีซับซ้อน ชั้นสูง หรือต้องการการลงทุนเพิ่มเติมมาก ทำให้ชุมชนสามารถผลิตผลิตภัณฑ์อาหารที่มีมาตรฐาน สร้างผลิตภัณฑ์ที่เป็นเอกลักษณ์ให้ชุมชน สอดคล้องกับการส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศน์ของท้องถิ่นและสามารถสร้างเป็นอาชีพเสริมหรืออาชีพหลักให้กับชุมชนได้

วัตถุประสงค์

1) ศึกษาวิธีการเตรียมวัตถุดิบขั้นต้นต่อคุณภาพของขลู่ผง
2) พัฒนากรรมวิธีในการทำแห้งเพื่อรักษาคุณภาพของใบขลู่ผง
3) ศึกษาขนาดอนุภาคของขลู่ผงที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน
4) เพื่อตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ใบขลู่ผงที่พัฒนาได้ระหว่างการเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์รูปแบบต่างๆ

ขอบเขตของโครงการวิจัย

เพื่อเป็นการลดปัญหาด้านการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ และความไม่สม่ำเสมอของผลิตภัณฑ์ ขั้นตอนนี้จึงศึกษากรรมวิธีในการเตรียมขั้นต้นวัตถุดิบก่อนการทำแห้ง ขั้นตอนแรก เป็นการคัดเลือกใบขลู่ให้มีความสม่ำเสมอกันทั้งขนาดและความแก่-อ่อนของใบ จากนั้นจึงศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้นเพื่อลดการเปลี่ยนแปลงของสีเขียวในระหว่างกระบวนการผลิต และการทำแห้ง โดยเปรียบเทียบการลวกในสภาวะต่างๆ กัน นำตัวอย่างที่ได้มาผลิตเป็นใบชาขลู่ตามกรรมวิธีดั้งเดิมของชุมชน จากนั้นนำมาทำเป็นผงแห้งและเปรียบเทียบสีของขลู่ผงกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้น ด้วยการวัดค่าสี และคำนวณหาค่าความแตกต่างของสีของแต่ละทรีทเมนต์เปรียบเทียบกับใบขลู่สด รวมทั้งการทดสอบทางประสาทสัมผัสเพื่อคัดเลือกวิธีการเตรียมวัตถุดิบขั้นต้นที่ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ขลู่ผงที่มีสีเขียวใกล้เคียงกับใบสดและได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค

ศึกษาและพัฒนากรรมวิธีการผลิตขลู่ผง โดยเปรียบเทียบวิธีการในการทำแห้ง 4 วิธี ได้แก่ การคั่วร่วมกับการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน การคั่วร่วมกับการอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศ การใช้ตู้อบลมร้อนเพียงอย่างเดียว และการใช้ตู้อบสุญญากาศเพียงอย่างเดียว จากนั้นนำขลู่ผงที่ผลิตได้มาทดสอบคุณสมบัติด้านสี ฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชัน และการทดสอบทางประสาทสัมผัส รวมทั้งศึกษาหาขนาดอนุภาคของขลู่ผงที่เหมาะสมต่อการใช้งาน เพื่อให้มั่นใจว่าผลิตภัณฑ์ขลู่ผงที่ผลิตขึ้นมีคุณภาพดีทั้งทางกายภาพ เคมี และยังเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค นอกจากนั้นขลู่ผงที่ผลิตขึ้นยังสามารถใช้เป็นวัตถุดิบหรือส่วนประกอบในการประยุกต์ใช้สำหรับผลิตผลิตภัณฑ์อาหารชนิดอื่นๆ ได้ง่ายขึ้น เป็นการเพิ่มทางเลือกให้กับผู้บริโภคอีกทางหนึ่ง และเพิ่มช่องทางการจำหน่ายผลิตภัณฑ์ให้มากขึ้น

ขั้นตอนสุดท้ายเมื่อได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีแล้วจะทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในบรรจุภัณฑ์แบบต่างๆ เพื่อเป็นข้อมูลให้ชาวชุมชนในการเลือกใช้บรรจุภัณฑ์และสภาวะการเก็บให้เหมาะสมในช่วงของการวางจำหน่ายต่อไป

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบถึงกรรมวิธีการผลิตขลู่ผงที่เหมะสม
2. เป็นการเพิ่มมูลค่า และการใช้ประโยชน์ของผลิตภัณฑ์จากใบขลู่

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ขลู่ (ลักษณา เจริญใจ, ม.ป.ป.)

ขลู่มีชื่อท้องถิ่น เช่น หนวดงั่ว หนวดงิ้ว หนาดงัว หนาดวัว (อุดรธานี) ขี้ป้าน (แม่ฮ่องสอน) คลู ขลู (ภาคใต้) ชื่อภาษาอังกฤษคือ Indian Marsh Fleabane ชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Pluchea indica* (L.) Less. จัดอยู่ในวงศ์ Asteraceae (Compositae)

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ ขลู่เป็นไม้พุ่มมีความสูงประมาณ 1-2.5 เมตร ชอบขึ้นในดินชื้นแฉะ ลำต้นและกิ่งก้านมีขนละเอียดปกคลุม ใบเป็นใบเดี่ยว เรียงสลับ รูปรี ปลายใบเรียวแหลม โคนใบสอบ กว้าง 1-5 ซม. ยาว 2.5-10 ซม. ขอบใบหยักเป็นฟันเลื่อย ดอกช่อ ออกที่ยอดและซอกใบ กลีบดอกสีม่วง ดอกย่อยมี 2 แบบ ตรงกลางเป็นดอกสมบูรณ์เพศดอกที่เหลืออยู่รอบๆ เป็นดอกเพศเมีย ผลเป็นผลแห้งรูปทรงกระบอกสีขาว

สรรพคุณของขลู่

ขลู่เป็นพืชที่อาจจะไม่คุ้นหูคนทั่วไป แต่ในระยะเวลาหลายปีที่ผ่านมาจะพบผลิตภัณฑ์ชาใบขลู่วางจำหน่ายโดยแสดงสรรพคุณช่วยขับปัสสาวะ ฝาดสมาน แก้ไข้ ต้นขลู่ถือเป็นพืชประจำท้องถิ่นของจังหวัดจันทบุรี พบมากบริเวณป่าโกงกาง หรือบริเวณที่มีน้ำกร่อย ซึ่งชาวบ้านนิยมนำใบขลู่มารับประทานกับน้ำพริก หรือนำมาเป็นส่วนหนึ่งของวัตถุดิบในการทำอาหาร หรือใช้เป็นยารักษาโรค จากสรรพคุณที่ช่วยปรับสมดุลของร่างกาย ช่วยบำรุงไต ขับปัสสาวะ บำรุงระบบประสาท ในตำรายาไทยใช้ทั้งต้นต้มกินเป็นยาขับปัสสาวะ แก้เบาหวาน ต้มน้ำอาบแก้ผื่นคัน น้ำคั้นใบสดรักษาริดสีดวงทวาร

ทั้งต้นสด หรือแห้ง เตรียมเป็นยาต้มรับประทานขับปัสสาวะ แก้โรคนิ่วในไต แก้ปัสสาวะพิการ เป็นยาช่วยย่อย แก้ริดสีดวงทวารหนัก ริดสีดวงจมูก แก้เบาหวาน แก้ประดง แก้เลือดลม และผื่นคันตามผิวหนัง

เปลือกต้น เมล็ด แก้ริดสีดวงทวาร แก้กระษัย เป็นยาอายุวัฒนะ โดยนำมาต้มน้ำรับประทาน หรือต้มน้ำแล้วใช้ไอ รมทวารหนัก แก้ริดสีดวงจมูก โดยตากแห้งแล้วเตรียมเป็นยาสูบ

ใบ มีกลิ่นหอม ต้มน้ำดื่ม แทนเป็นน้ำชา ฝาดสมาน แก้ไข้ ขับปัสสาวะ ขับเหงื่อ แก้กระหายน้ำ แก้บิด แก้ประดง แก้เลือดลม แก้ริดสีดวงทวาร แก้แผลอักเสบอาจใช้ใบสดตำพอกบริเวณที่เป็นและต้มน้ำอาบบำรุงประสาท

ราก รับประทานเป็นยาฝาดสมาน แก้บิด แก้ไข้ ขับเหงื่อ แก้แผลอักเสบ ใช้รากสดตำพอกบริเวณที่เป็น

รายงานการวิจัย

สารเคมีที่พบในต้นขลู่เป็นสารประกอบกลุ่ม terpene และ lignin glycosides เช่น citrucin C, hedyotisol A, hedyotisol B, plucheoside C, plucheoside E, plucheosides D1, D2, D3, plucheol A, plucheol B สารประกอบกลุ่ม polyphenol และ 3-(2',3'-diacetoxy-2'-methyl butyryl)-cuauhtemone ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของ eudesmane

ผลการศึกษาฤทธิ์ขับปัสสาวะในหนูและในคนปกติพบว่า สารสกัดจากต้นขลู่ 5 % เตรียมในรูปของเหลวให้ดื่มในคนปกติและฉีดในสัตว์ทดลอง มีฤทธิ์ขับปัสสาวะสูงกว่ายาขับปัสสาวะ hydrochlorothiazide ขนาด 50 มก. ประมาณ 1.9 เท่า และมีข้อดีคือ สูญเสียเกลือแร่น้อยกว่าแต่มีอีกรายงานซึ่งเตรียมในรูปยาชงและแคปซูลจากใบและกิ่งของต้นขลู่ตากแห้งทดลองในอาสาสมัครและผู้ป่วย พบว่า ไม่มีฤทธิ์ขับปัสสาวะที่ชัดเจนเมื่อเทียบกับยาขับปัสสาวะ furosemide 40 มก. ในการศึกษานี้มีทั้งกลุ่มที่ได้ผลและไม่ได้ผลซึ่งอาจเนื่องมาจากขนาดยาที่ได้รับ วัตถุดิบต้นขลู่ที่นำมาศึกษา และอายุการเก็บสมุนไพร

การศึกษาฤทธิ์ลดน้ำตาลในเลือดในหนูขาวปกติและหนูขาวที่เหนี่ยวนำให้เป็นเบาหวานด้วยสาร streptozotocin พบว่า สารสกัดเมทานอลจากรากขลู่ขนาด 2 มก.ต่อกก. สามารถลดระดับน้ำตาลในพลาสมาได้ภายในเวลา 90 และ 120 นาที หลังการป้อนน้ำตาลในหนูปกติและหนูที่เป็นเบาหวานตามลำดับ อาจจัดว่าขลู่มีฤทธิ์อย่างอ่อนในการลดน้ำตาล

การศึกษาสมุนไพรชนิดนี้ของประเทศอินโดนีเซีย พบว่า น้ำคั้นจากใบมีฤทธิ์ tonic ใช้ลดอาการซึมเศร้า สารสกัดจากใบและลำต้นนำมาใช้รักษาอาการท้องเสียและมีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อ *Staphylococcus aureas* ปานกลาง มีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อ*Escherichia coli* และ*Fusarium oxysporum* อย่างอ่อน รายงานการศึกษาสารสกัดเมทานอลจากรากของต้นขลู่พบสาร R/J/3 เมื่อใช้ในขนาด 50 มคก./มล. มีฤทธิ์ anti-amoebic ต่อเชื้อ *Entamoeba histolytica* HM1 โดยลดจำนวนเชื้อลงได้ภายใน 2 ชั่วโมง ใกล้เคียงกับยา metronidazole ขนาด 5 มคก./มล.

สารสกัดจากรากของต้นขลู่มีฤทธิ์ลดอาการอักเสบ (anti-inflammatory) และ antiulcer โดยสามารถลดอาการบวมของอุ้งเท้าหนูทดลอง และสามารถยับยั้งฤทธิ์ของสาร carrageenin, histamine, serotonin, hyaluronidase และ sodium urate ในการกระตุ้นให้เกิดการอักเสบ รวมถึงยับยั้งฤทธิ์ของ arachidonic acid จึงคาดว่าอาจเกี่ยวข้องกับ 5-lipoxygenase pathway สำหรับฤทธิ์ antiulcer พบว่าสารสกัดเมทานอลของรากขลู่มีฤทธิ์ปกป้อง (protective) ulceration ในหนูที่ได้รับการกระตุ้นจากยา indomethacin และแอลกอฮอล์โดยสามารถลดปริมาณกรด และ gastric volume ลงได้ นอกจากนี้ยังพบว่าสารสกัดจากใบของต้นขลู่มีฤทธิ์ hypoglycemic

การศึกษาทางพิษวิทยาพบว่า สารสกัดจากต้นขลู่ที่ทำให้เกิดพิษแบบเฉียบพลันมีค่า LD_{50} มากกว่า 5 กรัม/กิโลกรัม อีกรายงานพบว่าสารสกัดเมทานอลของรากขลู่มีค่า LD_{50} มากกว่า 10 กรัม/กิโลกรัม

กระบวนการผลิตชาใบขลู่ (เกษม จ่าพันธ์ดุง, 2554)

เนื่องจากการผลิตใบขลู่ผงในงานวิจัยนี้ได้ทำการผลิตตามกรรมวิธีการผลิตชาใบขลู่ของชาวชุมชนตำบลบ่อ อำเภอขลุง จังหวัดจันทบุรี ก่อนที่จะนำใบขลู่มาบดเป็นผงแห้ง โดยรายละเอียดของการผลิตชาใบขลู่มีดังนี้

1. เก็บใบอ่อนขลู่ในตอนเช้า นำมาล้างให้สะอาดและอย่าให้ช้ำ จากนั้นใส่ลงในตะกร้าพลาสติก

2. หั่นด้วยมีดคมๆ เป็นเส้นหนา 0.5 เซนติเมตร

3. คั่วในกระทะอะลูมิเนียม ใช้ไฟเบาถึงไฟกลาง โดยใช้มือคนที่ใส่ถุงมือผ้าแทนตะหลิว คั่วให้แห้งนาน 30 นาที

4. เมื่อคั่วเสร็จแล้ว ใส่สงในตะแกรงหรือตะกร้าพลาสติก ใช้มือฉีกใบชาที่กอดกันเป็นก้อนให้กระจายออกให้หมด แล้วนำเข้าตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ หรือตู้อบแก๊สให้แห้ง

5. หลังจากอบเสร็จแล้วนำมาบรรจุใส่ถุงพลาสติก และซีลปิดปากถุงให้สนิท

การลวก (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2544)

การลวกวัตถุดิบประเภทผักและผลไม้ก่อนการแปรรูปมีวัตถุประสงค์เพื่อทำลายกิจกรรมของเอนไซม์ในผักและผลไม้บางชนิดก่อนที่จะนำไปแปรรูปในขั้นตอนต่อไป การลวกจัดเป็นขั้นตอนหนึ่งที่ใช้ในการเตรียมวัตถุดิบ ขั้นตอนนี้อาจทำร่วมกับการทำความสะอาดวัตถุดิบและการปอกเปลือก เพื่อลดการใช้พลังงาน พื้นที่และอุปกรณ์ การลวกทำโดยการนำวัตถุดิบไปให้ความร้อนอย่างรวดเร็วจนถึงอุณหภูมิที่กำหนด (Pre-set temperature) และให้อยู่ที่อุณหภูมินี้ระยะเวลาหนึ่ง (Pre-set time) หลังจากนั้นทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วจนถึงอุณหภูมิห้อง ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อระยะเวลาที่ใช้ในการลวก (Blanching time) คือ

1. ชนิดของผักและผลไม้

2. ขนาดของชิ้น

3. อุณหภูมิ

4. วิธีการให้ความร้อน

ทฤษฎีและวัตถุประสงค์ของการลวก

การลวกเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการพาและการแผ่รังสีจากน้ำร้อนหรือไอน้ำไปยังวัตถุดิบ และใช้คำนวณหาระยะเวลาที่ใช้ในการลวก วัตถุประสงค์ของการลวก คือ

1. **ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ (Enzyme inactivation)** วัตถุดิบก่อนนำไปอบแห้งหรือแช่เยือกแข็งต้องนำมาลวกเสียก่อน เพราะอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งและแช่เยือกแข็งไม่สูงพอที่จะทำลายเอนไซม์ได้ หากวัตถุดิบไม่ผ่านการลวกจะเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะทางด้านประสาทสัมผัส (Sensory characteristic) และคุณภาพทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษา

อย่างไรก็ตาม หากอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ลวกไม่เพียงพอ (Under blanching) อาจทำให้เกิดผลเสียต่อผลิตภัณฑ์มากกว่าวัตถุดิบที่ไม่ได้ผ่านการลวก เพราะความร้อนที่ใช้อาจทำลายเนื้อเยื่อแต่ไม่ได้ทำลายเอนไซม์ ทำให้เอนไซม์มาผสมรวมกับสับสเตรต เอนไซม์บางชนิดอาจถูกทำลาย แต่เอนไซม์บางชนิดอาจถูกกระตุ้นให้มี activity มากขึ้น ซึ่งจะไปเร่งปฏิกิริยาการเสื่อมสลายให้เกิดเร็วขึ้น ส่วนเอนไซม์ที่ทนความร้อนจะพิจารณาได้จาก D-value และ Z-value เอนไซม์สำคัญที่มีผลกระทบต่อคุณภาพด้านการบริโภคและคุณค่าทางโภชนาการของผักและผลไม้ ได้แก่ เอนไซม์ไลพอกซิจิเนส (Lipoxygenase) พอลิฟีนอลออกซิเดส (Polyphenoloxidase) พอลิกาแล็กตูโรเนส (Polygalacturonase) และคลอโรฟิลเลส (Chlorophyllase) และมีเอนไซม์อีก 2 ชนิดที่พบในผักหลายชนิดที่ทนต่อความร้อนได้ดี คือ เอนไซม์แคแทเลสและเพอร์ออกซิเดส เอนไซม์เหล่านี้ใช้เป็นตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพของการลวก โดยเฉพาะเอนไซม์เพอร์ออกซิเดสมีความคงตัวมากกว่าเอนไซม์แคแทเลส หากตรวจวัดเอนไซม์ activity ในผักที่ผ่านการลวกแล้วไม่พบ activity ของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส แสดงว่าเอนไซม์อื่นๆ ถูกทำลายหมดแล้ว การทำให้เอนไซม์เพอร์ออกซิเดสถูกทำลายอย่างสมบูรณ์ และมีการสูญเสียคุณภาพที่ระดับต่ำที่สุด คือ ทำให้มีปริมาณวิตามินซีเหลืออยู่ได้สูงถึง 76-85%

2. **หน้าที่อื่นๆ** ผลของการลวกยังช่วยทำลายและลดจำนวนจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่บนผิวนอกของอาหาร ช่วยให้เก็บรักษาอาหารได้นานขึ้นก่อนนำไปใช้แปรรูปในขั้นตอนต่อไป โดยเฉพาะในการทำสเตอริไลเซชันด้วยความร้อน ซึ่งเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ต้องลดจำนวนจุลินทรีย์ลงถึงระดับต่ำสุด หากขั้นตอนการลวกไม่ดีจะทำให้มีจำนวนจุลินทรีย์เหลืออยู่ในวัตถุดิบมาก จะต้องใช้เวลาในการฆ่าเชื้อนานขึ้น มิฉะนั้นจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้เน่าเสียระหว่างการเก็บรักษาได้เร็วขึ้น

การลวกยังทำให้เนื้อเยื่อของผักนิ่มลง ช่วยให้สามารถบรรจุลงในภาชนะบรรจุได้ง่าย และช่วยไล่อากาศออกจากช่องว่างระหว่างเซลล์ของเนื้อเยื่อ ซึ่งจะช่วยลดการเกิด Headspace vacuum ขึ้นภายในกระป๋องให้น้อยลงได้ และลดปริมาณออกซิเจนภายในภาชนะบรรจุด้วย

วิธีการลวก (นิธิยา รัตนาปนนท์ และครูผู้น้อย, ม.ป.ป.)

การลวกที่ใช้กันโดยทั่วไปมี 2 วิธีคือ

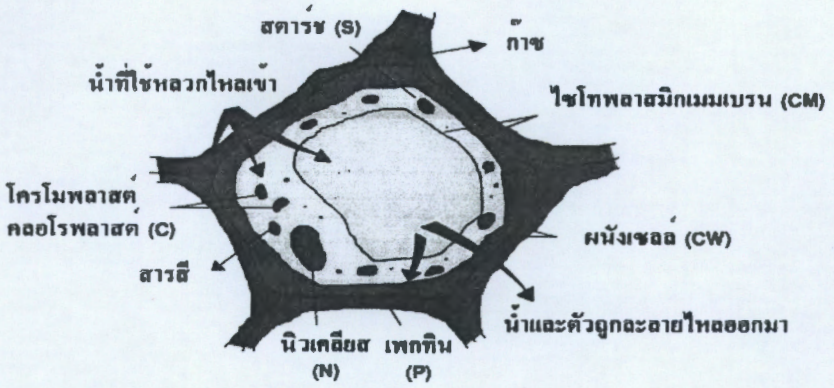
1. การลวกด้วยน้ำร้อน (water blanching) ทำได้ทั้งแบบกะ โดยจุ่มวัตถุดิบลงในอ่างน้ำร้อน เมื่อครบกำหนดเวลาก็ยกขึ้นแช่น้ำเย็น หรือแบบต่อเนื่อง โดยปล่อยให้วัตถุดิบเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องลงในอ่างน้ำร้อนที่มีการควบคุมอุณหภูมิตามต้องการในช่วง 75-100 °C การลวกวิธีนี้ก่อให้เกิดการสูญเสียสารอาหารที่ละลายน้ำได้ นอกจากนี้ยังต้องระวังการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่ชอบความร้อน (Thermophile)

2. การลวกด้วยไอน้ำ (steam blanching) ทำได้โดยการผ่านผักและผลไม้เข้าไปในอุโมงค์ที่มีไอน้ำที่ความดันบรรยากาศ วิธีนี้ทำให้เกิดการสูญเสียสารอาหารน้อยกว่าวิธีแรก แต่ไม่ได้ทำความสะอาดวัตถุดิบเหมือนกับวิธีแรก

ผลของการลวกต่ออาหาร (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2544)

ความร้อนจากการลวกมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสและคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร แต่ความร้อนที่ใช้ในการลวกจะต่ำกว่าการทำสเตอริไลเซชันจึงมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นไม่มากนัก วัตถุประสงค์หลักของการลวกเพื่อทำลายเอนไซม์ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ร่วมกัน และต้องมั่นใจว่าไม่ได้ใช้ความร้อนมากเกินไปจนทำให้ลักษณะเนื้อนิ่มลงและสูญเสียรสชาติของอาหาร

ผลของการลวกต่อเนื้อเยื่อพืชแสดงดังภาพที่ 2-1 โดยมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น เช่น ผนังเซลล์เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย (CW) มีการเปลี่ยนแปลงที่เมมเบรนของไซโทพลาซึม (CM) สตาร์ชเกิดเจลาติไนเซชัน (S) โครงสร้างโมเลกุลของเพคตินเปลี่ยนไป (P) โปรตีนในนิวเคลียสและไซโทพลาซึมเสียสภาพธรรมชาติ (N) คลอโรพลาสต์และโครโมพลาสต์มีรูปร่างเปลี่ยนไป (C) เป็นต้น



ภาพที่ 2-1 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเซลล์พืชระหว่างการลวก
ที่มา : Fellow (1997) อ้างถึงใน นิธิยา รัตนาปนนท์ (2544)

1. **การสูญเสียสารอาหาร** แร่ธาตุและวิตามินที่ละลายได้ในน้ำ และส่วนประกอบอื่นๆ ที่ละลายได้ในน้ำจะหายไปในขั้นตอนการลวก ซึ่งจะสูญเสียเนื่องจากการชะล้างออกไป และถูกทำลายด้วยความร้อน อาจเกิดออกซิเดชันบ้างเล็กน้อย การสูญเสียวิตามินจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่

- ความแก่ – อ่อน และพันธุ์ของวัตถุดิบที่ใช้
- วิธีการเตรียม การหั่นชิ้น รูปร่างและขนาดชิ้นวัตถุดิบ
- อัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของชิ้นวัตถุดิบ
- วิธีการลวกที่ใช้
- อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ลวก เช่น วิตามินจะสูญเสียลดน้อยลง ถ้าใช้อุณหภูมิสูงและระยะเวลาในการลวกสั้นลง
- วิธีการทำให้เย็น
- อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อวัตถุดิบที่ใช้ทั้งขั้นตอนการลวกและการทำให้เย็น

2. **สีและกลิ่นรสอาหาร** การลวกจะทำให้สีของวัตถุดิบบางชนิดดีขึ้น เพราะเป็นการกำจัดอากาศและฝุ่นละอองที่ผิวนอกออกไป ทำให้ความยาวคลื่นของแสงสะท้อนเปลี่ยนไป เวลาและอุณหภูมิที่ใช้ก็มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของสารสีในวัตถุดิบซึ่งขึ้นอยู่กับ D-value การเติม

โซเดียมไบคาร์บอเนตความเข้มข้น 0.125% โดยน้ำหนัก หรือแคลเซียมออกไซด์ลงไปในน้ำที่ใช้ลวก จะช่วยป้องกันไม่ให้คลอโรฟิลล์ถูกทำลายทำให้ผักยังคงมีสีเขียวเช่นเดิม

3. **ลักษณะเนื้อสัมผัส** การลวกมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัส ทำให้ผักและผลไม้มีเนื้อนิ่มลง เพื่อช่วยให้บรรจุลงในภาชนะบรรจุได้ง่าย แต่สำหรับอาหารอบแห้งและแช่เยือกแข็ง การลวกทำให้สูญเสียลักษณะเนื้อสัมผัสไปด้วย วัตถุดิบบางชนิดอาจรักษาลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อเยื่อให้ยังคงแข็งอยู่ได้โดยการเติมแคลเซียมคลอไรด์ลงในน้ำที่ใช้ลวก เพื่อให้แคลเซียมไอออนรวมตัวกับสารประกอบเพคติน เป็นเกลือแคลเซียมเพคเตตที่ไม่ละลายน้ำ แต่ผลไม้ที่นำไปแช่เยือกแข็งจะไม่ผ่านการลวก

คลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549)

คลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุสีเขียวที่พบอยู่ในพืช โดยเฉพาะผักใบเขียวและผลไม้ดิบบางชนิด คลอโรฟิลล์มีหน้าที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสง ซึ่งเป็นกระบวนการที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตของพืช

คลอโรฟิลล์ที่พบในพืชมี 2 ชนิด คือ คลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์บี และยังมีคลอโรฟิลล์อีก 3 ชนิดที่พบในแบคทีเรียและสาหร่าย เช่น คลอโรฟิลล์ซีและคลอโรฟิลล์ดี สำหรับคลอโรฟิลล์ที่พบในพืชสีเขียวชั้นสูงจะมีอัตราส่วนของคลอโรฟิลล์เอต่อคลอโรฟิลล์บีประมาณ 3 : 1 และพบอยู่ในพลาสติด เรียกว่า คลอโรพลาสต์ ซึ่งประกอบด้วยหน่วยย่อยเล็กๆ เรียกว่า กรานา (grana) และโครงสร้างของกรานาจะประกอบด้วยลาเมลลา (lamellae) โดยมีคลอโรฟิลล์โมเลกุลฝังตัวอยู่ที่ลาเมลลา และเกาะตัวอยู่กับลิพิด โปรตีน และไลโพโปรตีน

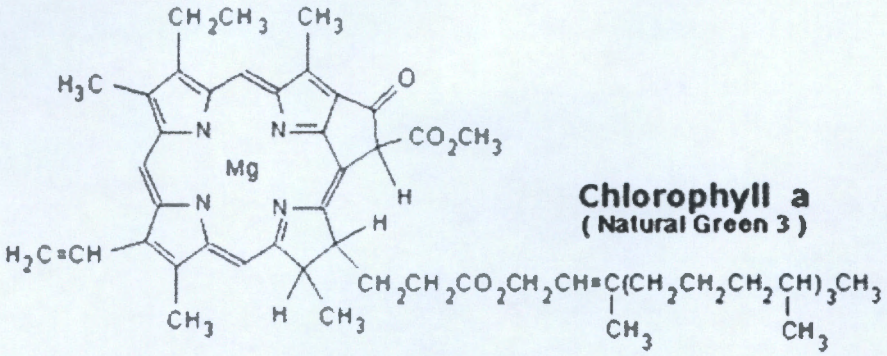
คลอฟิลล์เอมีสูตรโครงสร้างเป็นเตตระไพโรล ซึ่งวงแหวนพอร์ไฟรินอยู่ในรูปไดไฮโดรและมีแมกนีเซียมอะตอมอยู่ตรงกลางโมเลกุล มีหมู่เมทิลที่ตำแหน่ง 1, 3, 5 และ 8 มีหมู่ไวนิล (vinyl) ที่ตำแหน่ง 2 หมู่เอทิลที่ตำแหน่ง 4 หมู่โพรพิโอเนต (propionate) ที่ตำแหน่งที่ 7 ถูกเอสเทอริไฟด์ด้วยแอลกอฮอล์ (phytyl alcohol) มีหมู่คีโต (keto) ที่ตำแหน่ง 9 และมีหมู่คาร์โบเมทอกซี (carbomethoxy) ที่ตำแหน่ง 10 ทำให้คลอโรฟิลล์เอมีสูตรโมเลกุล $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$

คลอโรฟิลล์บีมีโครงสร้างโมเลกุลคล้ายคลอโรฟิลล์เอมาก ยกเว้นที่ตำแหน่ง 3 ซึ่งในคลอโรฟิลล์เอเป็นหมู่เมทิล แต่คลอโรฟิลล์บีเป็นหมู่ฟอร์มิล (formyl) และมีสูตรโมเลกุลเป็น $C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$

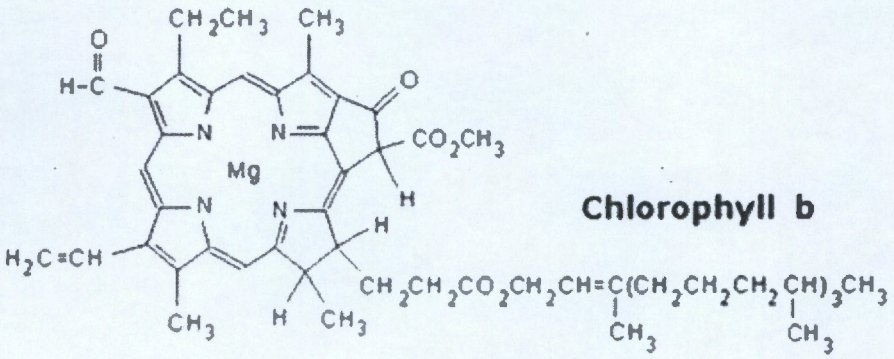
สำหรับไฟติลแอลกอฮอล์หรือไฟตอล (phytol) เป็นแอลกอฮอล์ชนิดหนึ่งที่มีจำนวนคาร์บอน 20 อะตอม มีโครงสร้างเป็นไอโซพรีนอยด์ (isoprenoid) สูตรโครงสร้างของคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี ดังรูปที่ 2-2

ในระหว่างกระบวนการแปรรูปพืชผักที่มีสีเขียวโดยใช้ความร้อน จะมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยา pheophytinization คือ แมกนีเซียมไอออนจะถูกแทนที่ด้วยไฮโดรเจนอะตอม

ทำให้คลอโรฟีลล์ถูกเปลี่ยนเป็นฟีโอไฟติน (pheophytin) จึงเป็นการสูญเสียแร่ธาตุแมกนีเซียมออกไป จากโมเลกุลของคลอโรฟีลล์ สีเขียวของพืชจะเปลี่ยนเป็นน้ำตาล (olive-brown) ของฟีโอไฟติน



ก) สูตรโครงสร้างของคลอโรฟิลล์เอ

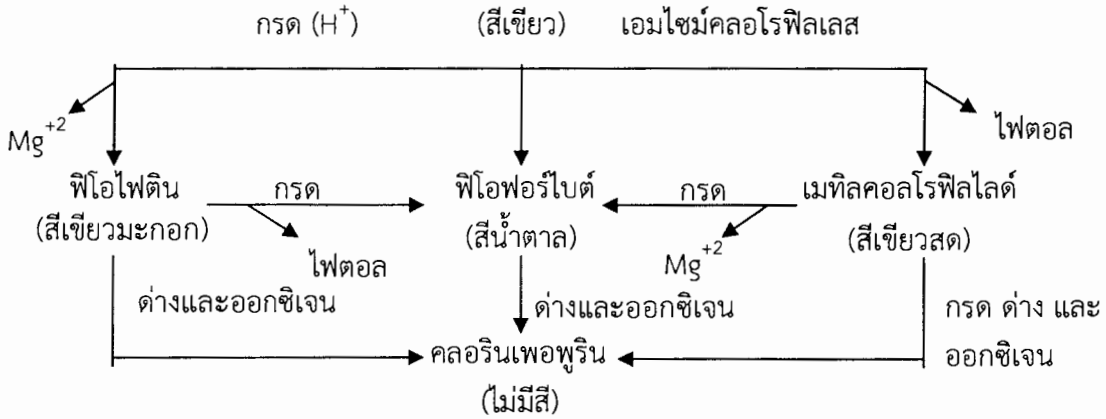


ข) สูตรโครงสร้างของคลอโรฟิลล์บี

ภาพที่ 2-2 สูตรโครงสร้างของ ก) คลอโรฟีลล์เอ ข) คลอโรฟีลล์บี
ที่มา : Palermos in health (2007)

นอกจากนั้นคลอโรฟีลล์ยังอาจเปลี่ยนเป็นคลอโรฟีลไลด์ (chlorophyllide) ได้โดยอาศัยเอนไซม์คลอโรฟีลเลส เกิดการสูญเสียหมู่ไฟติลออกไปจากโมเลกุลของคลอโรฟีลล์ทำให้คลอฟีลไลด์ละลายในน้ำได้ดีกว่าคลอโรฟีลล์ แผนภูมิการสลายตัวของคลอโรฟีลล์มีดังนี้

คลอโรฟิลล์



ภาพที่ 2-3 แผนภูมิการสลายตัวของคลอโรฟีลล์

ที่มา : Deman (1990) อ้างถึงใน นิธิยา รัตนาปนนท์ (2549)

ฟีโอไฟตินเอ คือ คลอโรฟีลล์เอที่ไม่มีแมกนิเซียม

ฟีโอไฟตินบี คือ คลอโรฟีลล์บีที่ไม่มีแมกนิเซียม

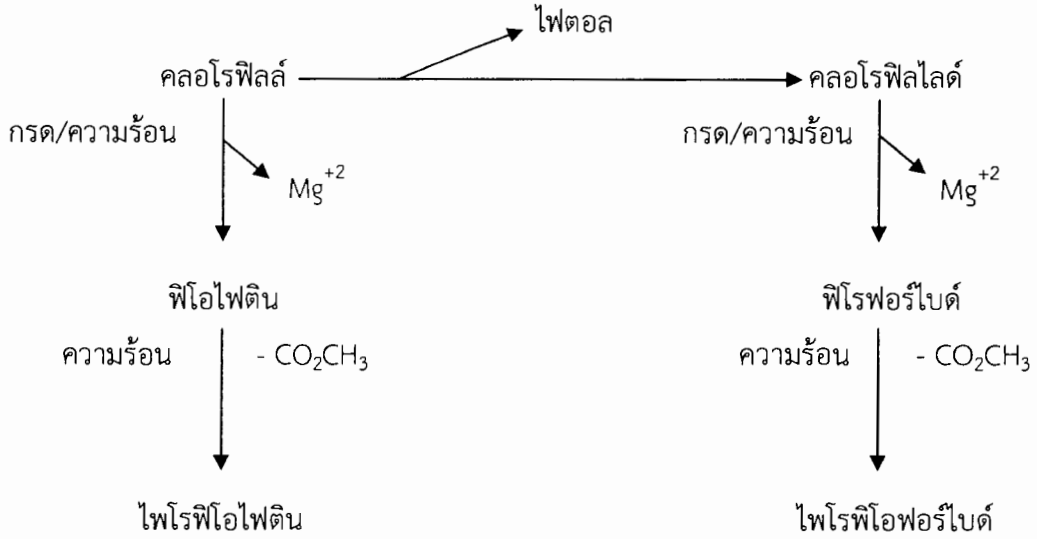
คอลโรฟีลไลด์เอ คือ คลอโรฟีลล์เอที่ไม่มีหมู่ไฟตอล

คอลโรฟีลไลด์บี คือ คลอโรฟีลล์บีที่ไม่มีหมู่ไฟตอล

ฟีโอฟอร์ไบด์เอ คือ คลอโรฟีลไลด์เอที่ไม่มีแมกนิเซียม

ฟีโอฟอร์ไบด์บี คือ คลอโรฟีลไลด์บีที่ไม่มีแมกนิเซียม

ไพโรฟีโอไฟตินเอหรือบี คือ ฟีโอไฟตินที่ไม่มีหมู่คาร์โบเมทอกซี ($-CO_2CH_3$)
ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 10



ภาพที่ 2-4 การเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์
ที่มา : Elbe and Schwartz (1996) อ้างถึงใน นิธิยา รัตนาปนนท์ (2549)

คลอโรฟิลล์เอและฟีโอไฟตินเอไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ดีในแอลกอฮอล์ อีเทอร์ เบนซิน และแอซีโตน ถ้าสารทั้งสองเป็นสารบริสุทธิ์จะละลายได้เล็กน้อยในปิโตรเลียมอีเทอร์

คลอโรฟิลล์บีและฟีโอไฟตินบี ละลายในแอลกอฮอล์ อีเทอร์ แอซีโตน และเบนซิน ถ้าเป็นสารบริสุทธิ์จะไม่ละลายในน้ำและปิโตรเลียมอีเทอร์ สำหรับคลอโรฟิลไลด์และฟีโอฟอร์ไบด์ซึ่งไม่มีหมู่ไฟตอลจะละลายได้ในน้ำ แต่ไม่ละลายในน้ำมัน

ในธรรมชาติคลอโรฟิลล์จะสลายตัวหายไปเมื่อใบไม้แก่และเริ่มร่วงหล่น ทำให้ใบไม้เปลี่ยนเป็นสีเหลือง เช่นเดียวกับผลไม้บางชนิดขณะที่ผลดิบมีสีเขียว และเมื่อผลไม้เริ่มสุกสีเขียวของคลอโรฟิลล์จะค่อยๆ สลายตัวจางหายไป และมีการสังเคราะห์สีเหลืองและสีแดงของแคโรทีนอยด์หรือแอนโทไซยานินขึ้นมาแทนที่

ปฏิกิริยาของกรดต่อคลอโรฟิลล์มีความสำคัญมาก โดยเฉพาะในผลไม้ที่มีความเป็นกรดสูง อย่างไรก็ตาม คลอโรฟิลล์ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติในเนื้อเยื่อพืชจะรวมอยู่กับลิโพโปรตีนทำให้ช่วยป้องกันการถูกทำลายด้วยกรดได้ แต่การใช้ความร้อนจะทำให้โปรตีนเสียสภาพธรรมชาติและความสามารถในการป้องกันปฏิกิริยาจากกรดจะลดลงด้วย

ผลของกระบวนการแปรรูปและการเก็บรักษา

ผักและผลไม้ที่มีสีเขียว เมื่อผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยความร้อน สีเขียวของคลอโรฟีลล์จะเปลี่ยนเป็นสีเขียวอมน้ำตาลของฟีโอไฟตินอย่างรวดเร็ว และเมื่อนำไปเก็บรักษาสีจะเปลี่ยนแปลงมากขึ้น อัตราเร็วของการเปลี่ยนสีของคลอโรฟีลล์ ขึ้นอยู่กับปริมาณกรดที่เกิดขึ้นในกระบวนการแปรรูปอาหารด้วย และคลอโรฟีลล์เอจะเปลี่ยนไปเป็นฟีโอไฟติเอได้รวดเร็วกว่าคลอโรฟีลล์บีเปลี่ยนไปเป็นฟีโอไฟตินบีประมาณ 5-10 เท่า

คลอโรฟีลล์ ⟶ ฟีโอไฟติน ⟶ ไพโรฟีโอไฟติน

การแช่เยือกแข็งก็มีผลต่อการเปลี่ยนสีของพืชผักสีเขียว ปัจจัยที่สำคัญ คือ ระยะเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการลวก ควรใช้ความร้อนสูงและระยะเวลาสั้น

ตารางที่ 2-1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของคลอโรฟีลล์และอนุพันธ์ระหว่างการลวกและการแปรรูปผักโขมด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลาต่างๆกัน (มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง)

ผักโขม	คลอโรฟิลล์		ฟีโอไฟติน		ไพโรฟีโอไฟติน		พีเอช
	เอ	บี	เอ	บี	เอ	บี	
ผักโขมสด	6.98	2.49					7.06
การลวก	6.78	2.47					
การได้รับความร้อน (นาที)							
2	5.72	2.46	1.36	0.13			6.90
4	4.59	2.21	2.20	0.29	0.12		6.77
7	2.81	1.75	3.12	0.57	0.35		6.60
30		0.24	2.45	0.66	1.74	0.57	6.00
60			1.01	0.66	3.62	1.24	5.62

ที่มา : Elbe and Schwartz (1996) อ้างถึงใน นิธิยา รัตนาปนนท์ (2549)

จากตารางที่ 2-1 แสดงถึงความเข้มข้นของคลอโรฟีลล์เอและบี ฟีโอไฟตินเอและบี และไพโรฟีโอไฟตินเอ และบีในผักโขมสด ที่ผ่านการลวกและการแปรรูปด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส โดยใช้ระยะเวลาต่างๆ กัน ซึ่งจากตารางจะเห็นได้ว่า มีเพียงผักโขมสดและผักโขมลวกเท่านั้นที่มีคอลโรฟีลล์เอและบี และมีค่าพีเอชไม่เปลี่ยนแปลง แต่เมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส พบว่าคลอโรฟีลล์จะสลายตัวมากขึ้นและมีค่าพีเอชลดลง

ในระหว่างกระบวนการทำผักแห้ง คลอโรฟีลล์จะเปลี่ยนเป็นฟีโอไฟตินได้เช่นเดียวกันและการเปลี่ยนแปลงนี้ยังขึ้นอยู่กับ degree of blanching ก่อนที่จะนำผักไปทำแห้งด้วย

การเก็บรักษาก็มีผลทำให้เกิดการสลายตัวของคลอโรฟีลล์ ตัวอย่างเช่น ผักแห้งที่บรรจุในภาชนะใสจะเกิดโฟโตออกซิเตชัน (Photooxidation) และมีการสูญเสียรงควัตถุทำให้สีเปลี่ยนไปได้ ถ้าผักแห้งมีค่า a_w ต่ำกว่า 0.32 จะทำให้คลอโรฟีลล์ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงเป็นฟีโอไฟตินได้

การรักษาสีเขียวของพืชผัก

1.) การใช้ด่าง

เนื่องจากคลอโรฟีลล์มีความคงตัวในด่าง การเติมเกลือของด่างลงในน้ำที่ใช้ลวกผักเพื่อปรับไม่ให้ค่าพีเอชของน้ำที่ลวกผักลดลง จะช่วยรักษาสีเขียวของผักไว้ได้ เพราะการเติมด่าง หรือการใช้ alkalizing agent จะช่วยปรับค่าพีเอชของน้ำให้สูงขึ้นประมาณพีเอช 7 จะสามารถยับยั้งการเกิดฟีโอไฟตินได้ เกลือของด่างที่นิยมใช้ คือ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ หรือ แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ หรือโซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต หรืออาจใช้แมกนีเซียมคาร์บอเนต เรียกกระบวนการที่ใช้ด่างนี้ว่า Blair process ผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากผ่านกระบวนการแปรรูปจะยังคงมีสีเขียวอยู่ แต่จะไม่คงตัวในระหว่างการเก็บรักษา และการเติมด่างเพื่อเพิ่มพีเอชของน้ำจะมีผลเสียต่อลักษณะเนื้อสัมผัสด้วย คือทำให้ผักนิ่มลง

2.) การใช้อุณหภูมิสูงและระยะเวลาสั้น

การใช้อุณหภูมิสูงและระยะเวลาสั้นในการลวกผักก็ให้ผลดีเช่นเดียวกัน จะช่วยรักษาวิตามิน กลิ่น รสชาติและสีเขียวไว้ได้ ดังนั้นการใช้อุณหภูมิสูงและระยะเวลาสั้นจึงช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์ผักรักษาสีเขียวหรือปริมาณคลอโรฟีลล์ไว้ได้นาน แต่จะสูญเสียได้ในระหว่างการเก็บรักษา ตัวอย่างเช่น ภายหลังการเก็บรักษานาน 3 เดือน สีของคลอโรฟีลล์จะเหมือนกันไม่ว่าจะใช้กระบวนการแปรรูปที่อุณหภูมิสูงหรือต่ำก็ตาม เพราะระหว่างการเก็บรักษาจะมีกรดอินทรีย์เกิดขึ้น เช่น กรดไพโรลิโดนคาร์บอกซิลิก ซึ่งจะเร่งการสลายตัวของคลอโรฟีลล์ได้ กระบวนการแปรรูปที่ใช้ความร้อนสูงและระยะเวลาสั้นจะทำให้เกิดกรดอินทรีย์ในระหว่างการเก็บรักษามากกว่าวิธีอื่น จึงไม่มีผลดีต่อคุณภาพของคลอโรฟีลล์เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานาน

3.) การใช้เอนไซม์คลอโรฟีลเลส

การเปลี่ยนคลอโรฟีลล์ให้เป็นคลอโรฟีลไลด์ โดยอาศัยเอนไซม์คลอโรฟีลเลส หรือเอสเทอเรส ซึ่งมีอยู่ในพืชตามธรรมชาติจะเกิดการไฮโดรไลซิสแยกเอาหมู่ไฟตอลออก ส่วนที่เหลือ คือ เมทิลคลอโรฟีลไลด์ซึ่งจะละลายได้ในน้ำ และจะมีความคงตัวมากกว่าคลอโรฟีลล์ เอนไซม์คลอโรฟีลเลสจะทำงานได้ดีในภาวะที่ตัวกลางเป็นน้ำ ที่อุณหภูมิ

ระหว่าง 65-75 องศาเซลเซียส และ activity จะหายไปอย่างสมบูรณ์เมื่อได้รับอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสนาน 10 นาที

การลวกที่อุณหภูมิ 71 องศาเซลเซียส (160 องศาฟาเรนไฮต์) นานถึง 20 นาทีก็ยังรักษาสีเขียวไว้ได้ การลวกควรใช้อุณหภูมิประมาณ 54-76 องศาเซลเซียส โดยเฉพาะผักโขมการลวกที่อุณหภูมิต่ำ 65 องศาเซลเซียส นาน 45 นาที จึงทำให้คลอโรฟีลล์เปลี่ยนเป็นคลอโรฟีลล์ไลด์โดยเอนไซม์คลอโรฟีลเลส

ในเนื้อเยื่อพืชสีเขียวยังมีเอนไซม์ไลพอกซิจิเนส ซึ่งจะเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของคลอโรฟีลล์ได้ทำให้สีเขียวซีดลง ปฏิกิริยานี้ยับยั้งได้ด้วยการใช้สารต้านออกซิเดชัน หรือโดยการลวกก่อนนำไปแปรรูป

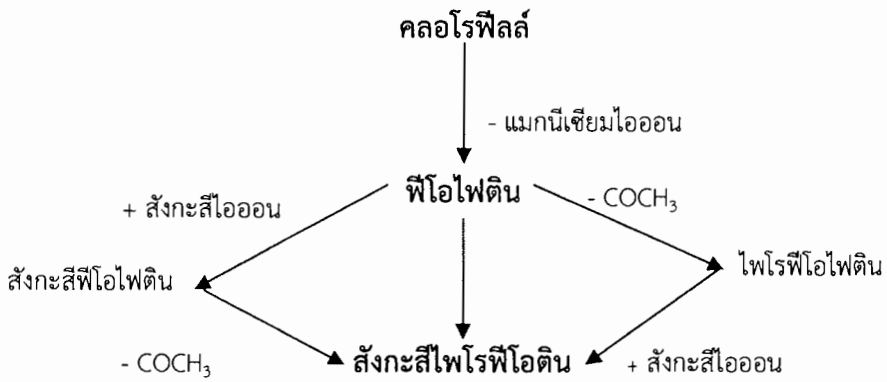
4.) การทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะ (metallo complex)

ทองแดงไอออน(Cu^{+2}) หรือสังกะสีไอออน(Zn^{+2}) สามารถเข้าไปแทนที่แมกนีเซียมไอออนในโมเลกุลของคลอโรฟีลล์ได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีความคงตัวมาก ดังนั้นการทำให้ สีเขียวของผักใบคงอยู่หรือกลับคืนมาระหว่างการเก็บรักษา จะต้องทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนของทองแดงหรือสังกะสีกับฟีโอไฟติน แต่วิธีนี้ยังไม่อนุญาตให้ใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกา

สารประกอบเชิงซ้อนของทองแดงกับฟีโอไฟตินและฟีโอฟอร์ไบด์ มีจำหน่ายเป็นการค้ามีชื่อว่า copper chlorophyll และ copper chlorophyllin ตามลำดับ สารนี้ไม่อนุญาตให้ใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกาแต่มีการใช้ในประเทศยุโรปโดยใช้เติมลงไปในอาหารกระป๋องประเภทซุป ลูกกวาด และผลิตภัณฑ์นม ปริมาณที่กำหนดต้องไม่เกิน 200 ส่วนต่อล้านส่วนของทองแดงไอออนอิสระ

การแปรรูปกระเจี๊ยบฝักบรรจุกระป๋องในน้ำเกลือ จะใช้สังกะสีคลอไรด์เติมลงไปเพื่อรักษาสีเขียวหรืออาจเติมลงในน้ำที่ใช้ลวก ปริมาณที่อนุญาตให้ใช้อยู่ในช่วง 100 – 200 ส่วนต่อล้านส่วน การใช้สังกะสีคลอไรด์เติมลงในน้ำเกลือสำหรับใช้แปรรูปถั่วเมล็ดและถั่วฝักไม่สามารถรักษาสีเขียวไว้ได้

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อผักสีเขียวได้รับความร้อนในภาวะที่มีสังกะสีไอออน มีดังนี้



ภาพที่ 2-5 การเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์เมื่อได้รับความร้อนในภาวะที่มีสังกะสีไอออน
ที่มา : Clydesdale & Francis (1976) อ้างถึงใน นิธิยา รัตนาปนนท์ (2549)

การสลายตัวของคลอโรฟีลล์เนื่องจากแสง

เมื่อคลอโรฟีลล์ถูกแสงและออกซิเจน สีจะจางลงและทำให้คืนกลับไม่ได้ ไม่ว่าจะอยู่ในใบพืช หรืออยู่ในสารละลาย และคลอโรฟีลล์เอจะสลายตัวได้รวดเร็วกว่าคลอโรฟีลล์บี

ความคงตัวของคลอโรฟีลล์ในอาหารอบแห้ง

ค่า a_w ในอาหารแห้งมีผลต่อการสลายตัวของคลอโรฟีลล์ ที่ภาวะ a_w สูงจะทำให้จุลินทรีย์เจริญและเกิดปฏิกิริยาที่เร่งด้วยเอนไซม์ได้ง่าย หากอาหารแห้งมีค่า a_w ต่ำ จะทำให้ไม่มีน้ำเพียงพอในปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงคลอโรฟีลล์ให้เป็นสารฟีโอไฟติน ผลการศึกษาการสลายตัวของคลอโรฟีลล์ในผักโขม พบว่าเมื่อ a_w อยู่ในช่วง 0 – 0.32 คลอโรฟีลล์จะมีความคงตัวดีระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เมื่อ a_w เพิ่มขึ้นเป็น 0.52 – 0.75 จะมีฟีโอไฟตินเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว

การเพิ่มก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้สูงขึ้นในระยะเวลาสั้นๆ พบว่าช่วยชะลอการสลายตัวของคลอโรฟีลล์ได้ระหว่างเก็บรักษาผักและผลไม้บางชนิด เช่น การเก็บรักษาบรอคโคลีไม่ให้ดอกเปลี่ยนเป็นสีเหลือง แต่ถ้าสัมผัสกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นระยะเวลานานจะทำให้เกิดกลิ่นและรสชาติผิดปกติ บรอคโคลีสามารถเก็บรักษาในภาวะที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 20 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ได้นาน 3-6 วัน หลังจากนั้นต้องเก็บรักษาไว้ในบรรยากาศปกติที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะช่วยชะลอการสลายตัวของคลอโรฟีลล์ และลดการเกิดก๊าซเอทิลีน รวมทั้งชะลอการสูญเสียวิตามินซีได้ด้วย

การทำแห้ง

ในการผลิตใบชานั้นขั้นตอนการทำแห้งเป็นอีกขั้นตอนที่จำเป็น เพราะเป็นวิธีการที่ทำให้ใบชาอยู่ในรูปที่เก็บรักษาได้ง่าย และมีอายุการเก็บรักษานานขึ้น วิธีการในการทำแห้งที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้มี 2 วิธี คือ การทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน และการใช้ตู้อบแบบสุญญากาศ

การทำแห้ง (Drying) หมายถึง การให้ความร้อนภายใต้สภาวะการควบคุมเพื่อกำจัดน้ำที่มีอยู่ในอาหารโดยการระเหยน้ำ วัตถุประสงค์ของการกำจัดน้ำ คือ การยืดอายุการเก็บรักษาอาหารโดยการลดค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w) ซึ่งมีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ และการทำงานของเอนไซม์ นอกจากนั้น การลดน้ำหนักและปริมาณของอาหารยังช่วยลดค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาและการขนส่ง เพิ่มความหลากหลายและความสะดวกให้แก่ผู้บริโภค

การอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากในการผลิตผักและผลไม้อบแห้ง เพราะมีราคาและค่าบำรุงรักษาเครื่องค่อนข้างต่ำ โดยการอบแห้งในเครื่องอบแห้งชนิดนี้จะอาศัยลมร้อนจากแหล่งความร้อน ซึ่งอาจจะเป็น ฮีทเตอร์ คอล์ยไอน้ำ ก๊าซหุงต้ม หรือน้ำมันเตา ลมร้อนจะไหลผ่านอาหารที่วางเป็นชั้นบางๆ (ประมาณ 2-6 ซม.) ในชั้นของถาดที่อาจจะมีรูพรุนหรือไม่มีก็ได้ ความเร็วลมที่ไหลเวียนอยู่ในช่วง 0.5-5 เมตร/วินาที มีระบบบังคับทิศทางการไหลของลมร้อนภายในเครื่องโดยใช้แผ่นเหล็กบางๆ กั้น เพื่อให้ลมร้อนไหลอย่างสม่ำเสมอและทั่วถึงทุกส่วน

การอบแห้งแบบสุญญากาศ เป็นเครื่องอบแห้งที่เหมาะสำหรับการอบแห้งพวกเครื่องเทศ ผัก หรือผลไม้ ความดันที่ใช้ในการอบแห้งอยู่ที่ประมาณ 5 mmHg ถึง 60 mmHg ซึ่งจะทำให้น้ำเดือดที่ประมาณ 2°C ถึง 40°C การให้พลังงานความร้อนในที่เครื่องอบแห้งสุญญากาศ มีหลายวิธี ที่นิยมกันมากจะเป็น แผ่นถาดความร้อน Heater คลื่นไมโครเวฟ หรือคลื่นอินฟาเลท การใช้คลื่นไมโครเวฟหรือคลื่นอินฟาเลท จะทำให้วัตถุดิบแห้งเร็ว เนื่องจากในภาวะสุญญากาศ มีค่าสัมประสิทธิ์ การนำและการพาความร้อนต่ำ ผลผลิตที่ได้จะมีสีสัน สวยงามเหมือนของสด กลิ่นหอม มีคุณค่าสารอาหารสูง การอบแห้งใช้เวลาประมาณ 3-8 ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับชนิดและความหนาบางของวัตถุดิบ

ข้อดีของเครื่องอบแห้งสุญญากาศ

1. ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบ จะมีคุณค่าทางอาหารสูง มีรูปลักษณะเหมือนของสด
2. สามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน
3. ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่า การอบแห้งแบบธรรมดามาก

(โปรเทรด คอมเมอร์เชียล, 2554)

ปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้งของอาหาร

1. ธรรมชาติของอาหาร อาหารที่มีเนื้อโปร่งจะมีอัตราการทำแห้งที่เร็วกว่าอาหารที่มีเนื้อแน่น เนื่องจากมีการเคลื่อนที่แบบผ่านช่องแคบ อาหารที่มีน้ำตาลสูงจะมีอัตราการทำแห้งช้าเนื่องจากน้ำตาลทำให้เกิดความเหนียวเหนอะหนะกีดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำ การลวก การนวดคลึง จะทำให้เซลล์แตกจึงช่วยให้ทำแห้งได้เร็วขึ้น

2. ขนาดและรูปร่าง มีผลต่อพื้นที่ผิวต่อน้ำหนัก ขนาดเล็กจะมีผลต่อพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักมากกว่าขนาดใหญ่จึงแห้งได้เร็วกว่า

3. ตำแหน่งของอาหารในเตา น้ำในอาหารที่สามารถสัมผัสกับลมร้อนได้เร็วกว่าหรือสัมผัสกับลมร้อนที่มีความชื้นต่ำจะระเหยได้ดีกว่า

4. ปริมาณอาหารต่อถาด ปริมาณอาหารต่อถาดที่มากเกินไปจะทำให้อาหารที่อยู่ส่วนล่างไม่ได้สัมผัสกับอากาศร้อนหรือได้รับลมร้อนแต่ไอน้ำไม่สามารถแพร่กระจายผ่านอาหารที่อยู่ชั้นบนออกมาได้จึงทำให้การทำแห้งช้า

5. ความสามารถในการรับไอน้ำของอากาศร้อน อากาศร้อนที่มีไอน้ำอยู่มากแล้วจะรับไอน้ำได้น้อยมีผลทำให้อัตราการทำแห้งคงที่

6. อุณหภูมิของอากาศร้อน การเพิ่มอุณหภูมิในขณะที่อากาศมีความชื้นคงที่จะเป็นการเพิ่มความสามารถในการรับไอน้ำของอากาศร้อนมีต่อการทำแห้งในช่วงอัตราการทำแห้งคงที่

7. ความเร็วของลมร้อน เมื่อความเร็วของลมเพิ่มขึ้นทำให้การเคลื่อนย้ายของไอน้ำดีขึ้น นอกจากนั้นความเร็วลมทำให้เกิดกระแสปั่นป่วนของอากาศในเตาอากาศจึงสัมผัสกับอาหารได้ดีขึ้น

ภูมิศักดิ์ อินทนนท์และคณะ (ม.ป.ป.) ได้ศึกษาอุณหภูมิอบแห้งที่เหมาะสมกับพืชที่เป็นเครื่องปรุงแต่ละชนิด ซึ่งพืชที่ใช้ทดสอบทั้งหมด 6 ชนิดได้แก่ กะเพรา พริก ข่า ใบมะกรูด โหระพาและ ตะไคร้ ในแต่ละชนิดพืชเครื่องปรุงอาหารได้วางแผนการทดลองแบบ RCBD ประกอบด้วย 13 กรรมวิธี จำนวน 4 ซ้ำ โดยกรรมวิธีหรือชุดเทคโนโลยีประกอบด้วย การอบที่อุณหภูมิ 50,60,70 และ 80 องศาเซลเซียส ในระยะเวลาการอบที่ 12, 18 และ24 ชั่วโมงเปรียบเทียบกับวิธีของเกษตรกรคือ การตากแดดซึ่งเป็นกรรมวิธีควบคุม(Control) โดยทำการเปรียบเทียบความแห้งสนิท(ความชื้นต่ำกว่า 10 %) และการคงสภาพความสวยงามของสีของวัตถุดิบ (พืชเครื่องปรุง) ผลการศึกษาพบว่า กะเพรา พริก ข่าสไลด์ ใบมะกรูด โหระพา การอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยใช้ถุงกระดาษบรรจุก่อนอบ ให้ความแห้งสนิท (ความชื้นต่ำกว่า 10 %) และการคงสภาพความสวยงามของสีดีที่สุด ส่วน ตะไคร้ การอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยการหั่นและใช้ถุงกระดาษบรรจุก่อนอบ ให้ความแห้งสนิท (ความชื้นต่ำกว่า 10 %) และการคงสภาพความสวยงามของสีดีที่สุด ส่วนกรรมวิธีการตากแดดแบบชาวบ้านกรรมวิธีควบคุม (Control) นั้น การแห้งของวัตถุดิบไม่สม่ำเสมอ และสีจางซีดต้องใช้เวลาตากถึง 3 แดด จึงจะมีความแห้งเท่ากับการอบแห้ง

การเปลี่ยนแปลงของอาหารเนื่องจากการทำแห้ง

1. การหดตัว เกิดขึ้นเนื่องจากการสูญเสียน้ำส่วนที่แข็งจะคงสภาพได้ส่วนที่อ่อนกว่าจะเว้าลงไป การทำแห้งอย่างรวดเร็วจะทำให้อาหารหดตัวน้อยกว่าการทำแห้งแบบช้า

2. การเปลี่ยนแปลงสี อาหารที่ผ่านการทำแห้งมักจะมีสีที่เข้มขึ้นเนื่องจากความร้อนหรือเกิดจากปฏิกิริยาเคมี

3. การเกิดเปลือกแข็ง เป็นลักษณะที่ผิวอาหารแข็งเป็นเปลือกหุ้มส่วนที่ยังไม่แห้งไว้ เนื่องจากช่วงแรกให้น้ำระเหยเร็วเกินไปทำให้น้ำด้านในเคลื่อนที่มาที่ผิวหน้าไม่ทันหรือมีสารละลายของน้ำตาล โปรตีน เคลื่อนที่มาแข็งตัวที่ผิว สามารแก้ไขได้โดยไม่ใช้อุณหภูมิที่สูงและใช้อากาศที่มีความชื้นสูงเพื่อไม่ให้ผิวหน้าแห้งเร็วเกินไป

4. ความสามารถในการคืนสภาพ อาหารบางชนิดต้องนำมาคืนสภาพก่อนบริโภค การคืนสภาพโดยการเติมน้ำจะไม่ได้อาหารที่มีลักษณะเหมือนเดิมเนื่องจากเซลล์เสียความยืดหยุ่นของผนังเซลล์ สตาร์ชและโปรตีนเสียความสามารถในการดูดน้ำ

5. การสูญเสียคุณค่าอาหารและสารระเหย เช่นเกิดการเสื่อมสลายของวิตามินซีและแคโรทีนจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ถ้ายิ่งใช้เวลาในการทำแห้งมากการสูญเสียก็จะยิ่งมาก การสูญเสียสารระเหยเนื่องจากความร้อนทำให้กลิ่นรสของอาหารแห้งลดลงหรือแตกต่างไปจากเดิม (จิตธนา แจ่มเมฆและคณะ, 2540)

การลดขนาด (Size Reduction) (วิไล รังสาดทอง, 2546)

การลดขนาดเป็นปฏิบัติการเฉพาะหน่วยในการลดขนาดชิ้นอาหารซึ่งเป็นของแข็งให้เล็กลงโดยวิธีการบด กดอัด หรือใช้แรงกระแทก การผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีความละเอียดขนาดแป้งหรืออนุภาคเล็ก เรียกว่าการบดละเอียด (comminution)

ประโยชน์ของการลดขนาดในกระบวนการแปรรูปอาหาร

1. เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของอาหารซึ่งมีผลในการเพิ่มอัตราการทำแห้ง การให้ความร้อนหรือการทำให้เย็น ทั้งยังเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพและอัตราการสกัดสารที่ละลายได้ในน้ำ เช่น การสกัดน้ำผลไม้จากผลไม้บด

2. การลดขนาดและการร่อนคัดแยกจะทำให้ได้อาหารซึ่งมีขนาดตามต้องการ เช่น น้ำตาลไอซิ่ง เครื่องเทศ และแป้งข้าวโพด การลดขนาดช่วยให้สมบัติการทำงานหรือกระบวนการแปรรูปขั้นต่อไปง่ายขึ้น

3. ขนาดอนุภาคของอาหารที่ใกล้เคียงกันจะช่วยให้การผสมส่วนผสมต่างๆ ทำได้ดียิ่งขึ้น เช่น ชุปแห้งและส่วนผสมของขนมเค้ก

การลดขนาดหรืออิมัลซิฟิเคชันมีผลในการยืดอายุการเก็บรักษาอาหารน้อยมาก แต่เป็นวิธีที่ช่วยพัฒนาคุณภาพการบริโภคและเพิ่มความเหมาะสมของอาหารสำหรับกระบวนการแปรรูปขั้นต่อไป

รวมทั้งช่วยเพิ่มความหลากหลายในการนำผลิตภัณฑ์ไปใช้ อย่างไรก็ตามกรรมวิธีดังกล่าวอาจไปเร่งการเสื่อมเสียของอาหารเนื่องจากมีเอนไซม์บางชนิดที่ถูกปล่อยออกจากเนื้อเยื่อที่ฉีกขาดหรือเร่งกิจกรรมของจุลินทรีย์และปฏิกิริยาออกซิเดชันเพราะมีพื้นที่ผิวมากขึ้นทำให้เกิดการสัมผัสกับอากาศมากขึ้น การป้องกันการเสื่อมเสียดังกล่าวอาจทำได้โดยการจัดการหรือทรีทเมนต์ (treatment) หรือเติมสารบางชนิด

กระบวนการลดขนาดมีหลายรูปแบบขึ้นกับขนาดของอาหารที่ต้องการผลิตดังต่อไปนี้

1. การสับ การตัด การหั่นเป็นชิ้นบาง และการตัดเป็นลูกเต๋า

ก. ขนาดใหญ่ถึงกลาง เช่น เนื้อสเต็คสำหรับทำสตู เนยแข็ง ผลไม้ชิ้นบางๆ สำหรับบรรจุกระป๋อง

ข. ขนาดกลางถึงเล็ก เช่น เบคอน ถั่วฝานบาง และแครอทรูปลูกเต๋า

ค. ขนาดเล็กถึงขนาดเม็ดละเอียด เช่น เนื้อบด ปลาบด ถั่วป่น ผักชิ้นเล็กๆ

2. การโม่จนเป็นแป้งหรือเพส (paste) เพื่อเพิ่มความละเอียด (เรียงขนาดได้ดังต่อไปนี้ ผลิตภัณฑ์ชิ้นเล็กๆ > เครื่องเทศ > แป้ง > แป้งหรือน้ำตาลบดละเอียดจนเป็นแป้ง > เพสละเอียด)

3. อิมัลซิฟิเคชันและโฮโมจิไนเซชัน เช่น มายองเนส นม น้ำมันหอมระเหย เนย ไอศกรีม และมาการีน

1. การลดขนาดอาหารแข็ง (ศศิมน ปรีดา และโชคชัย ธีรกุลเกียรติ, 2550, หน้า 68)

การเตรียมวัตถุดิบที่อยู่ในสภาพของแข็ง เช่น เมล็ดธัญพืช ผัก ผลไม้ และอื่นๆ การลดขนาดจะใช้แรงกลเพื่อทำให้วัตถุดิบมีขนาดเล็กลง ตามปรกติแรงที่เกี่ยวข้องกับการลดขนาดได้แก่ แรงกดหรือแรงบีบ (compressive force) แรงกระแทกหรือแรงทุบ (impact force) และแรงเฉือน หรือแรงเสียดสี (shear force) โดยแรงเฉือนนี้จะเป็นแรงที่สามารถบดวัตถุให้มีขนาดเล็กจนเป็นผงขนาดเล็กมาก

1.1 เครื่องมือในการลดขนาดของอาหารแห้ง (วิไล รังสาดทอง, 2546)

เครื่องบดมีหลายประเภทขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารที่จะบด สรุปคุณสมบัติและการประยุกต์ใช้เครื่องเหล่านี้ในตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 สมบัติและการประยุกต์ใช้เครื่องลดขนาดชนิดต่างๆ

เครื่อง	ประเภทของแรงที่ใช้	ความเร็วรอบนอก (m/s)	ตัวอย่างผลิตภัณฑ์
Pin-and-disc mill	แรงกระแทก	80-160	น้ำตาล แป้ง ผงโกโก้ ผงกระวาน พริกไทย ถั่วอบ กานพลู
Wing-beater mill	แรงกระแทกและแรงเฉือน	50-70	แอลจิเนท พริกไทย เพคติน ปาปริกา มันอบแห้ง
Disc-beater mill	แรงกระแทกและแรงเฉือน	70-90	นมผง แล็คโตส ซีเรียล เวย์ผง
Vertical toothed disc mill	แรงเฉือน	4-8 17	กาแฟสกัดแช่แข็ง วัตถุดิบพลาสติก เมล็ดไรน์บดหยาบ ข้าวโพด ข้าวสาลี พริกไทย
Cutting granulator	แรงกระแทกและแรงเฉือน	5-18	อาหารปลา เพคติน ผักและผลไม้แห้ง
Hammer mill	แรงกระแทก	40-50	น้ำตาล มันสำปะหลัง ผักแห้ง นมอบแห้ง เครื่องเทศ พริกไทย
Ball mill	แรงกระแทกและแรงเฉือน	-	สีผสมอาหาร
Roller mill	แรงบีบและแรงเฉือน	-	อ้อย ข้าวสาลี

ที่มา : Loncin and Merson (1979) อ้างถึงใน วิไล รังสาดทอง (2546)

1.1.1 บอลมิลล์ (Ball mills) เครื่องบดชนิดนี้ประกอบด้วยกระบอกโลหะวางในแนวนอน ซึ่งหมุนอย่างช้าๆ ภายในกระบอกบรรจุลูกบอลโลหะที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5-15 เซนติเมตรประมาณครึ่งหนึ่งของปริมาตรเครื่อง เมื่อใช้ลูกบอลขนาดเล็กหรือใช้ความเร็วต่ำแรงเฉือนจะมีความสำคัญมากกว่าการใช้ลูกบอลขนาดใหญ่หรือใช้ความเร็วสูงซึ่งแรงกระทบจะสำคัญกว่า รอดมิลล์ (rod mill)

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

เป็นการดัดแปลงเครื่องบอลมิลล์โดยใช้แท่งวัตถุแทนลูกบอลเพื่อขจัดปัญหาลูกบอลไปติดกับอาหารที่มีความหนืดเหนียว

1.1.2 ดิสก์มิลล์ (Disc mills) เครื่องบดแบบจานดิสก์มีหลายชนิด แต่ละชนิดจะใช้แรงเฉือนสำหรับการบดละเอียดและแรงกระทบสำหรับการบดหยาบ เช่น

ก. เครื่องบดแบบจานเดียว (single disc mills) อาหารจะเคลื่อนที่ผ่านช่องว่างซึ่งสามารถปรับขนาดได้ระหว่างผนังด้านในกับแผ่นจานที่หมุนด้วยความเร็วสูง

ข. เครื่องบดแบบจานคู่ (double disc mills) จานทั้งคู่ของเครื่องจะหมุนในทิศทางตรงกันข้ามกันเพื่อให้เกิดแรงเฉือนสูงขึ้น

ค. เครื่องบดแบบใช้เข็มและจาน (pin-and-disc mills) ประกอบด้วยเข็มจำนวนมากติดอยู่กับจานเดี่ยวหรือกับจานคู่และที่โครงของเครื่อง

1.1.3 แฮมเมอร์มิลล์หรือเครื่องบดแบบใช้ค้อน (Hammer mills) แฮมเมอร์มิลล์หรือเครื่องบดแบบใช้ค้อนเป็นตู้ทรงกระบอกซึ่งภายในมีแผ่นเบรกเกอร์โลหะติดเป็นช่วงๆ มีแกนหมุนด้วยความเร็วสูง ภายในจะติดตั้งค้อนไว้ตามแนวยาวของแกน อาหารจะแหลกละเอียดเมื่อถูกอัดด้วยค้อนกับผนังด้วยแรงกระแทกเป็นหลัก เครื่องบางแบบจะมีที่ร่อนติดอยู่ตรงทางออกและอาหารนี้จะถูกบดให้ละเอียดจนกว่าจะลอดผ่านรูของตะแกรงนี้ได้ แรงเฉือนมีความสำคัญในการทำงานของเครื่องชนิดนี้

1.1.4 เครื่องบดแบบลูกกลิ้ง (Roller mills) ลูกกลิ้งโลหะ 2 ลูกหรือมากกว่านั้นจะหมุนเข้าหากันและดึงอาหารเข้าไปอยู่ในระหว่างช่องว่าของลูกกลิ้ง แรงกระทำที่สำคัญเมื่อลูกกลิ้งหมุนด้วยความเร็วต่างกันคือ แรงบีบอัดและจะมีแรงเฉือนด้วยถ้าลูกกลิ้งมีช่องแคบๆ ตามยาวสามารถปรับระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งให้เหมาะสมกับอาหารแต่ละชนิดได้ เครื่องมีสปริงเพื่อป้องกันการใช้งานหนักเกินไป เนื่องจากอาจมีหินหรือโลหะปะปนอยู่ซึ่งจะทำให้เครื่องเกิดความเสียหายได้

2. ผลกระทบต่ออาหาร

การลดขนาดของอาหารเป็นขั้นตอนที่ช่วยควบคุมคุณสมบัติของอาหารและช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพในการผสมอาหารและการถ่ายเทความร้อน สามารถควบคุมเนื้อสัมผัสของอาหารหลายชนิดได้โดยการควบคุมสภาวะในการลดขนาดอาหาร เช่น ขนมปัง แฮมเบอร์เกอร์ และน้ำผลไม้ การลดขนาดทำให้เกิดผลกระทบทางอ้อมต่อกลิ่นและรสของอาหาร การที่เซลล์แตกและมีพื้นที่ผิวมากขึ้นทำให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันและกิจกรรมของเชื้อจุลินทรีย์หรือเอนไซม์เพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นการลดขนาดจึงมีผลช่วยเรื่องการถนอมรักษาอาหารน้อยมาก อย่างไรก็ตามอาหารแห้ง เช่น เมล็ดข้าว ถั่ว มีค่า a_w ต่ำทำให้สามารถเก็บรักษาได้นานหลายเดือนหลังการโม่โดยคุณค่าทางโภชนาการและคุณภาพการบริโภคแทบไม่เปลี่ยนแปลงเลย อย่างไรก็ตามอาหารที่มีความชื้นสูงจะเสื่อมเสียอย่าง

633.88
334194
ส ร32 ก
ฉ.3

รวดเร็วถ้าไม่รีบนำเข้าสู่กระบวนการแปรรูปขั้นต่อไป เช่น การแช่เย็น การแช่เยือกแข็ง หรือการให้ความร้อน

2.1 คุณสมบัติทางประสาทสัมผัส อาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในเรื่องสี กลิ่น และรส การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารแคโรทีนในระหว่างการลดขนาดของอาหารจะทำให้แป้งมีสีเหมือนถูกฟอกและคุณค่าทางโภชนาการลดลง การสูญเสียองค์ประกอบประเภทสารระเหยในเครื่องเทศและถั่วบางชนิดจะสูงขึ้นถ้าอุณหภูมิที่ใช้ระหว่างการโม่สูง การลดหรือลดขนาดเซลล์ในอาหารที่มีความชื้นสูงจะทำให้เอนไซม์และสารตั้งต้นที่ออกมาจากเซลล์แตกและผสมกันได้ดีขึ้นจึงทำให้สี กลิ่น รสของอาหารเสื่อมเสียเร็วขึ้น นอกจากนั้นการทำให้องค์ประกอบภายในเซลล์หลุดออกมาภายนอกยังเป็นการเร่งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ทำให้กลิ่นรสเสียไป ดังนั้นจึงควรควบคุมอุณหภูมิของอาหารไว้ที่ 2-5 องศาเซลเซียส เพื่อลดกิจกรรมของเชื้อจุลินทรีย์และเอนไซม์

ลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารจะเปลี่ยนไปมากหลังการลดขนาด ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะทางกายภาพคือ ขนาดของอาหารเล็กลงและมีการปล่อยเอนไซม์ไฮโดรไลซิสออกมา ความเร็วและระยะเวลาในการลดขนาดและระยะเวลาก่อนการเข้าสู่กระบวนการขั้นต่อไปเป็นปัจจัยควบคุมลักษณะเนื้อสัมผัสที่ต้องการ

2.2 คุณค่าทางโภชนาการ การที่ผิวหน้าของอาหารเพิ่มมากขึ้นจะทำให้คุณค่าทางโภชนาการเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันและวิตามินเอในระหว่างการ ลดขนาด ผลไม้หรือผักสับหรือฝานบางจะสูญเสียวิตามินซีและไทอามีนในปริมาณที่สูง การสูญเสียสารอาหารในระหว่างการเก็บรักษาขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ปริมาณความชื้นของอาหารและความเข้มข้นของออกซิเจนที่สภาวะการเก็บรักษา การสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการในอาหารแห้งส่วนใหญ่เกิดจากการร่อนแยกผลิตภัณฑ์หลังขั้นตอนการลดขนาด เช่น การแยกรำออกจากข้าวเจ้า ข้าวสาลี หรือข้าวโพด

อนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระ (เจนจิรา จิรัมย์ และประสงค์ สีหานาม, 2554)

จากงานวิจัยหลายฉบับพบว่า ใบขลู่มีสารต้านอนุมูลอิสระอยู่ ซึ่งสารต้านอนุมูลอิสระนี้กำลังได้รับความสนใจมากขึ้น เนื่องจากมีงานวิจัยที่สนับสนุนว่า สารต้านอนุมูลอิสระสามารถช่วยป้องกันการเกิดโรคมะเร็งได้

โดยอนุมูลอิสระ (free radical หรือ oxidant) คือ โมเลกุล หรือไอออนที่มีอิเล็คตรอนโดดเดี่ยวอยู่รอบนอกเป็นโมเลกุลที่ไม่เสถียรและมีความว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมีในลักษณะเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับสารชีวโมเลกุลต่างๆ ที่อยู่รอบข้างในทันทีที่ถูกสร้างขึ้น ส่งผลให้เกิดความเสียหายแก่องค์ประกอบต่างๆ ของเซลล์ภายในร่างกาย ไม่ว่าจะเป็นการทำลาย

โครงสร้างดีเอ็นเอ (DNA) การเปลี่ยนสภาพโปรตีนและไขมันของเยื่อหุ้มเซลล์ หรือการสร้างพันธะโควาเลนต์ (covalent bond) กับโปรตีนหรือเอนไซม์บางชนิดจนทำให้การทำงานของโปรตีนหรือเอนไซม์เหล่านั้นผิดปกติ เป็นสาเหตุสำคัญของโรคหลายชนิด

อนุมูลอิสระเกิดจากผลพลอยได้จากการใช้ออกซิเจนของกระบวนการเมทาบอลิซึม (metabolism) ของเซลล์ รวมทั้งปัจจัยจากสิ่งแวดล้อมภายนอก ได้แก่ มลพิษ การติดเชื้อโรค รังสียูวี (UV-ray) โอโซน (ozone) ควันจากท่อไอเสียรถยนต์ และควันบุหรี่ อนุมูลอิสระเหล่านี้สามารถถูกกำจัดหรือลดความรุนแรงด้วยสารที่เรียกว่า สารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidants) ที่สามารถจับกับอนุมูลอิสระ แล้วเกิดเป็นอนุมูลอิสระตัวใหม่ที่เสถียรกว่า ส่งผลให้หยุดวงจรการเกิดอนุมูลอิสระตัวใหม่ได้

1. สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant)

สารต้านอนุมูลอิสระ คือสารปริมาณน้อยที่สามารถป้องกันหรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของอนุมูลอิสระได้ สารเหล่านี้มีกลไกในการต้านอนุมูลอิสระหลายแบบ เช่น ดักจับ (scavenge) อนุมูลอิสระโดยตรง ยับยั้งการสร้างอนุมูลอิสระหรือเข้าจับ (chelate) กับโลหะ เพื่อป้องกันการสร้างอนุมูลอิสระ

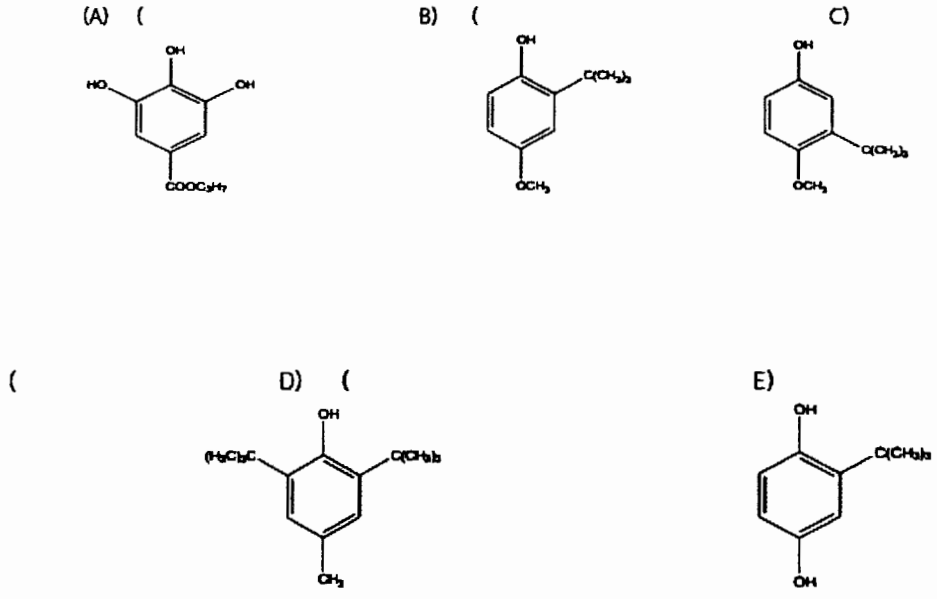
สารต้านอนุมูลอิสระ เป็นสารประกอบที่ทนต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในเซลล์โดยทั่วไป สารต้านอนุมูลอิสระสามารถพบได้ในธรรมชาติจากสารหลายชนิด เช่น สารประกอบฟีนอลิค (phenolic compounds) สารประกอบไนโตรเจน (nitrogen compounds) และแคโรทีนอยด์ (catotinoid) บทบาทสำคัญของสารต้านอนุมูลอิสระคือ ป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในร่างกาย ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดโรคต่างๆของมนุษย์ ป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันที่เป็นสาเหตุหลักของการเสื่อมคุณภาพในอาหาร ปัจจุบันองค์กรที่เกี่ยวข้องในอุตสาหกรรมอาหารและยา ได้พยายามพัฒนาสารต้านอนุมูลอิสระที่มาจากธรรมชาติ เช่น สาหร่ายทะเล แบคทีเรีย เชื้อรา และพืชชั้นสูง อย่างไรก็ตามในภาวะปกติ ร่างกายของคนเราจะมีการป้องกันการสะสมสารอนุมูลอิสระอยู่แล้วซึ่งแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนแรกเกิดจากร่างกายสร้างเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระขึ้นมาควบคุมปริมาณอนุมูลอิสระให้อยู่ในภาวะที่สมดุล และส่วนที่สองคือ กลุ่มของสารต้านอนุมูลอิสระที่มาจากวิตามินเอ ซี อี หรือ เบต้าแคโรทีน (β-carotinoid) รวมทั้งสารประกอบโพลีฟีนอล ซึ่งเป็นพฤษเคมีที่สามารถพบได้ในพืชผักและผลไม้ เพื่อเข้าไปช่วยเสริมสร้างระบบการต่อต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในร่างกายให้มีประสิทธิภาพในการทำลายอนุมูลอิสระได้ดียิ่งขึ้น ตัวอย่างสารต้านอนุมูลอิสระที่พบในร่างกาย เช่น เอนไซม์คะตะเลส (catalase) กลูตาไธโอนเพอรอกซิเดส (glutathione peroxidase) และซุปเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเทส (superoxide dismutase) หรือสารประกอบ/โปรตีนบางอย่าง เช่น อัลบูมิน(albumin) บิลิรูบิน (bilirubin) เซอรูโลพลาสมิน

(ceruloplasmin) กลูตาไธโอน (glutathione) ทรานสเฟอริน (transferrin) ยูบิควินอล (ubiquinol) และยูเรต (urate) เป็นต้น สารเหล่านี้มีหน้าที่คอยควบคุมอนุมูลอิสระต่างๆ ให้อยู่ในระดับพอเหมาะ แต่ถ้าเมื่อใดที่มีอนุมูลอิสระเกิดขึ้นในปริมาณมากเกินกว่าที่ระบบป้องกันจะยับยั้งได้หมด จะทำให้เกิดสภาวะที่เรียกว่า “oxidative stress” ขึ้นภายใต้สภาวะดังกล่าวอนุมูลอิสระจะทำอันตรายต่ออวัยวะและเนื้อเยื่อต่าง ๆ ของร่างกาย ซึ่งถ้าสะสมมากๆ อาจนำไปสู่ความผิดปกติหรือพยาธิสภาพหลายอย่าง

2. แหล่งที่มาของสารต้านอนุมูลอิสระ

ปัจจุบันสารต้านอนุมูลอิสระโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ได้มาจากพืชผัก เครื่องเทศ องุ่น และสมุนไพรได้รับความสนใจ และศึกษากันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากกระแสเรื่องความปลอดภัยของสารสกัดจากธรรมชาติ สารต้านอนุมูลอิสระแบ่งตามแหล่งที่มาได้ 2 ชนิดได้แก่

2.1 สารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ (Synthetic antioxidants) สารประกอบฟีนอลิคสังเคราะห์ 5 ชนิดได้แก่propyl gallate, 2-butylated hydroxyanisole, 3-butylate hydroxyanisole, BHT (butylated hydroxytoluene) และ tertiary butylhydroquinone ซึ่งมีสูตรโครงสร้างดังภาพที่ 2-7 เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันอันเป็นสาเหตุให้อาหารมีกลิ่น สี และรสชาติที่เปลี่ยนไป สารสังเคราะห์เหล่านี้มีประสิทธิภาพและความคงตัวสูงกว่าสารสกัดจากธรรมชาติ แต่มีข้อจำกัดของการใช้เนื่องจากปัญหาด้านความปลอดภัยในการบริโภค

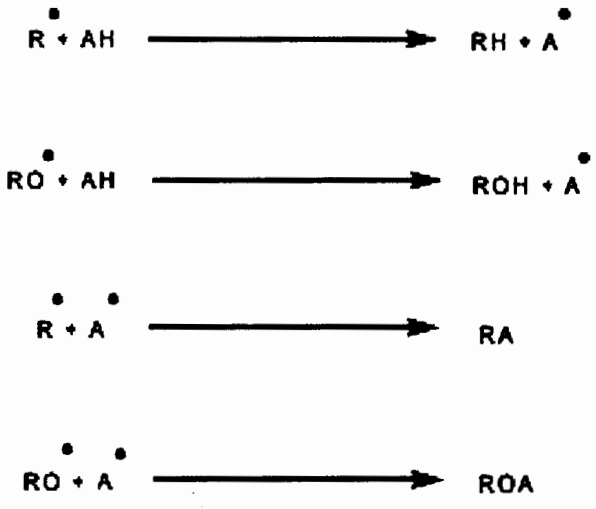


ภาพที่ 2-6 โครงสร้างทางเคมีของสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ (A) Propyl gallate,
(B) 3-Butylated hydroxyanisole, (C) 2-Butylated hydroxyanisole,
(D) Butylated hydroxytoluene, (E) Tertiary butyl hydroquinone
ที่มา : Howell and Saeed (1999) อ้างถึงใน เจนจิรา จิรัมย์ และประสงค์ สีหานาม (2554)

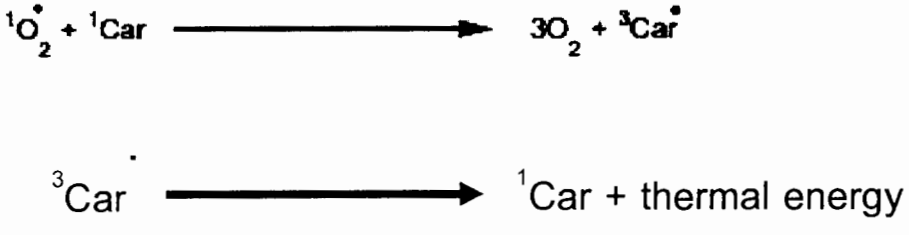
2.2 สารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ (Natural antioxidants) สารกลุ่มนี้ได้รับความสนใจและมีการค้นคว้าอย่างมากในปัจจุบันเนื่องจากความเชื่อมั่นว่ามีความปลอดภัยในการบริโภคมากกว่าสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ สารต้านอนุมูลอิสระเหล่านี้ พบได้ทั้งในจุลชีพ สัตว์ และพืช ซึ่งมีทั้งที่เป็นวิตามิน เช่น วิตามินซี วิตามินอี เบต้าแคโรทีน และสารที่ไม่ให้คุณค่าทางโภชนาการ (nonnutrient) ซึ่งมีโครงสร้างเป็นสารประกอบฟีนอลิค โดยเฉพาะกลุ่มโพลีฟีนอล (polyphenols) เช่น แซนโธน (xanthone) และฟลาโวนอยด์ (flavonoids) ซึ่งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลที่เกาะบนวงเบนซีน (aromatic hydroxyl) ตั้งแต่ 2 หมู่ขึ้นไป หมู่ฟังก์ชั่น (functional group) เหล่านี้มีบทบาทสำคัญในการดักจับอนุมูลอิสระไม่ให้ไปกระตุ้น หรือก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ โดยการให้อนุมูล H• แก่อนุมูลอิสระเหล่านั้น นอกจากนี้สารประกอบโพลีฟีนอล ที่มีโครงสร้างของ ortho-dihydroxyl phenol อยู่ในโมเลกุลยังสามารถยับยั้งการเกิดอนุมูล OH• ในปฏิกิริยาที่มีอนุมูลโลหะทรานซิชัน คือ Fe^{2+} และ Cu^{2+} เป็นตัวเหนี่ยวนำได้โดยการเข้าจับกับโลหะดังกล่าวเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน สารประกอบกลุ่มโพลีฟีนอล ซึ่งพบในพืชพรรณธรรมชาตินานาชนิด สามารถต้านอนุมูลอิสระได้ดีทั้งในห้องปฏิบัติการ (in vitro) และในสิ่งมีชีวิต

3. กลไกการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระ

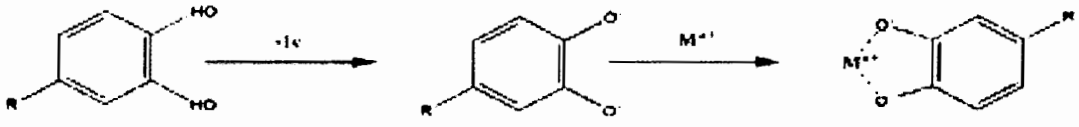
ดักจับอนุมูลอิสระ (radical scavenging) เป็นที่ทราบดีว่า สารต้านอนุมูลอิสระสามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้โดยการทำให้โมเลกุลของอนุมูลอิสระมีความเสถียรขึ้นซึ่งกลไกของปฏิกิริยาเกิดโดยการให้ไฮโดรเจนหรืออิเล็คตรอนแก่อนุมูลอิสระดังสมการ



ยับยั้งการทำงานของซิงเกล็ทออกซิเจน (Singlet oxygen quenching, 1O2*) สารกลุ่มแคโรทีนอยด์ (carotenoids) สามารถยับยั้งการทำงานของซิงเกล็ทออกซิเจน โดยการเปลี่ยน (1O2*) ให้อยู่ในรูปทริปเปร็ท (triplet oxygen (3O2)) และ ปล่อยพลังงานที่ได้รับออกไปในรูปความร้อน โดยที่แคโรทีนอยด์ (Car) จำนวน 1 โมเลกุล สามารถทำปฏิกิริยากับซิงเกล็ทออกซิเจนได้ถึง 1,000 โมเลกุล



ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (metal chelation) โลหะที่มีผลต่อการเกิดอนุมูลอิสระคือ Fe^{2+}และ Cu^{2+} ฟลาโวนอยด์ (flavonoids) ฟอสฟอริกแอซิด (phosphoric acid)และ ซิตริกแอซิด (citric acid) เป็นต้น สำหรับกลไกการจับโลหะของสารประกอบ ฟลาโวนอยด์ แสดงดังสมการ



หยุดปฏิกิริยาการสร้างอนุมูลอิสระ (chainbreaking) วิตามินอี (α-tocopherol; Toc-OH) สามารถป้องกันเยื่อหุ้มเซลล์ไม่ให้ถูกทำลาย จากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (lipid autooxidation) โดยทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็คตรอน (electron-acceptor antioxidants) จากอนุมูล peroxyl (ROO•) เสริมฤทธิ์ (synergism) สารชนิดนี้จะช่วยสนับสนุนให้สารต้านอนุมูลอิสระทำงานได้ดีขึ้น เช่น การทำงานร่วมกันระหว่าง วิตามินอี (α-tocopherol) กับ วิตามินซี (ascorbic acid) โดยที่วิตามินซีไม่สามารถทำงานในในสภาวะไม่มีขั้ว (hydrophobic condition) ได้เหมือนกับวิตามินอี แต่จะให้ไฮโดรเจนอะตอมแก่ อนุมูลแอลฟ่า-โทโคฟีรอลเปอร์ออกซิล (α-tocopherol peroxyl) ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่าง แอลฟ่า-โทโคฟีรอล กับอนุมูลเปอร์ออกซิล (ROO•) เพื่อเปลี่ยนรูปกลับไปเป็น แอลฟ่า-โทโคฟีรอล ที่สามารถทำงานได้

ยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาอนุมูลอิสระ (enzyme inhibition) สารประกอบฟีนอลิก บางชนิด เช่น ฟลาโวนอยด์ กรดฟีนอลิก (phenolic acid) และแกลเลต (gallates) สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ลิโพออกซีจีเนส (lipoxygenase) โดยสามารถเข้าจับกับไอออนของเหล็กซึ่งเป็นโคแฟกเตอร์ (cofactor) ส่งผลให้เอ็นไซม์ดังกล่าวไม่สามารถทำงานได้

สารประกอบฟีนอล (วิวัฒน์ หวังเจริญ, 2545)

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสารประกอบฟีนอล

สารประกอบฟีนอล (phenolic compounds) เป็นสารในกลุ่ม secondary metabolite ที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อประโยชน์ในกระบวนการเจริญเติบโต และการขยายพันธุ์ของพืชแต่ละชนิด ดังนั้นรูปแบบของสารประกอบฟีนอลในพืชแต่ละชนิดจึงมีความแตกต่างกันออกไป ในปัจจุบันพบว่ามีสารประกอบฟีนอลที่ทราบโครงสร้างแน่นอนแล้วมากกว่า 8,000 ชนิด ตั้งแต่กลุ่มที่มีโครงสร้างอย่างง่าย เช่น กรดฟีนอลิก (phenolic acids) ไปจนถึงกลุ่มที่มีโครงสร้างเป็นโพลิเมอร์ เช่น แทนนิน

(tannins) โครงสร้างพื้นฐานของสารประกอบฟีนอลจะเกิดจากการรวมตัวของโมเลกุลน้ำตาลตั้งแต่ 1 โมเลกุลขึ้นไปกับหมู่ไฮดรอกซิล (OH-group) โดยน้ำตาลดังกล่าวอาจจะเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (monosaccharides) น้ำตาลโมเลกุลคู่ (disaccharides) หรือโอลิโกแซคคาไรด์ (oligosaccharides) ก็ได้แต่น้ำตาลชนิดที่พบมากที่สุดในโมเลกุลของสารประกอบฟีนอล คือ กลูโคส (glucose) ส่วนน้ำตาลชนิดอื่นที่พบ ได้แก่ กาแลกโตส (galactose) แรโนส (rhamnose) ไซโรส (xylose) อะราบิโนส (arabinose) แลอนุพันธ์ของน้ำตาลเหล่านี้ เช่น กรดกลูโคโรนิก (glucoronic acid) กรดกาแลกตูโรนิก (galacturonic acid) และอื่นๆ นอกจากนี้ยังพบว่าอาจมีการรวมตัวกันระหว่างสารประกอบฟีนอลกับสารประกอบฟีนอลด้วยกันเองหรือสารประกอบฟีนอลกับสารประกอบอื่นๆ เช่น กรดคาร์บอกซิลิก (carboxylic acids) กรดอินทรีย์ (organic acids) อะมีน (amines) และไขมันอีกด้วย

ความสนใจของนักวิทยาศาสตร์ต่อการศึกษาเกี่ยวกับสารประกอบฟีนอลจากพืชมีมานานแล้ว ดังจะเห็นได้จากการนำสารประกอบฟีนอลประเภทต่างๆมาใช้ประโยชน์ในลักษณะของสารฟอกสี (tanning agents) ในกระบวนการผลิตกระดาษ สี และเครื่องสำอาง ตลอดจนการใช้ในลักษณะของสีธรรมชาติ (natural colorants) หรือสารป้องกันการเสื่อมเสีย (preservatives) ในอุตสาหกรรมอาหาร แต่ในปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์ส่วนใหญ่กำลังหันมาให้ความสนใจกับคุณสมบัติในการเป็นสารต้านออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลมากเป็นพิเศษ

สารประกอบฟีนอลที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำซึ่งสามารถพบได้โดยทั่วไปและมีความสำคัญประกอบด้วย ฟีนอล (phenols, C_6) กรดฟีนอลิก (phenolic acids , C_6-C_1) ฟีนิลโพรพานอยด์ (phenylpropanoids, C_6-C_3) และฟลาโวนอยด์ (flavonoids) ตัวอย่างของฟีนอลได้แก่ phenol, cresol, thymol, resocinol, orcinol และอื่นๆซึ่งสามารถพบได้ทั่วไปในพืชที่ถูกนำมาใช้เป็นเครื่องเทศ รวมทั้ง hydroquinone และอนุพันธ์ (เช่น arbutine และ sesamol) และ phloroglucinol ด้วย สำหรับตัวอย่างของกรดฟีนอลิก ได้แก่ gallic acid, vanilic acid, syringic acid, p-hydroxybenzoic acid และอัลดีไฮด์ของกรดฟีนอลิก ซึ่งสามารถพบได้ทั่วไปในพืชชั้นสูงและเฟิร์น

ตัวอย่างของฟีนิลโพรพานอยด์ ได้แก่ hydroxycinnamic acids และอนุพันธ์, coumarins ซึ่งเป็นสารพวกกลัยโคไซด์ (glycosides), cinamyl alcohols ซึ่งเป็นส่วนประกอบพื้นฐานของลิกนิน (lignins) โดยมักจะเกิดพันธะเชื่อมกับน้ำตาลอะราบิโนสในส่วนของเฮมิเซลลูโลสของผนังเซลล์พืช

ส่วนฟลาโวนอยด์ซึ่งเป็นสารประกอบฟีนอลที่กำลังได้รับความสนใจมากที่สุดในขณะนี้นั้นจัดเป็นกลุ่มของสารประกอบฟีนอลที่ถูกพบมากที่สุดในบรรดาสารประกอบฟีนอลจากพืชทั้งหมด เนื่องจากมีการค้นพบฟลาโวนอยด์แล้วมากกว่า 5,000 ชนิด และมีการจำแนกออกเป็นกลุ่มตามลักษณะโครงสร้างได้ถึง 13 กลุ่ม โดยมีโครงสร้างพื้นฐานเป็นแบบ diphenylpropanes (C_6-C_3-C_6)

ประกอบด้วยวงแหวน 2 วงที่เชื่อมกันด้วยคาร์บอนสามอะตอมซึ่งมักจะอยู่ในลักษณะของ oxygenated heterocycle และมีระบบที่ใช้ในการระบุตำแหน่งของคาร์บอนอะตอมในโมเลกุลของฟลาโวนอยด์ โดยทั่วไปฟลาโวนอยด์มักจะถูกพบในลักษณะของอนุพันธ์ของกลัยโคไซด์ โดยอยู่ในส่วนของ aglycone ในโมเลกุลกลัยโคไซด์

สารประกอบในกลุ่มฟลาโวนอยด์ที่ถูกพบมากที่สุดในขณะนี้ คือ ฟลาโวน (flavones เช่น apigenin, luteolin, diosmetin) และฟลาโวนอล (flavonols เช่น quercetin, myricetin, kaemferol) รวมทั้งกลัยโคไซด์ของทั้งสองชนิด เนื่องจากสามารถพบได้ในพืชเกือบทุกชนิด ยกเว้นในสาหร่ายและฟังไจ สำหรับฟลาโวนอยด์ในกลุ่มอื่นๆ ที่น่าสนใจ ได้แก่ ฟลาโวโนน (flavonones เช่น naringenin, hesperidin) ซึ่งพบมากเฉพาะในพืชตระกูลส้มและพรุน ไอโซฟลาโวน (isoflavones เช่น genistein, daiazein) ซึ่งพบมากในพืชตระกูลถั่วที่มีลักษณะเป็นฝัก (legumes) ฟลาวานอล (flavanals เช่น catechin, epicatechin, gallocatechin) ซึ่งสามารถพบได้ทั้งในรูปอิสระและเป็นโมโนเมอร์ของ condensed tannin ในชา และแอนโธไซยานิน (anthocyanin) รงควัตถุที่สามารถละลายน้ำได้ในพืชมีความสำคัญมาก เพราะเป็นสารที่แสดงสีของดอกไม้และผลไม้ของพืชชั้นสูงทั่วไป

สารประกอบฟีนอลในอาหาร

สารประกอบฟีนอลสามารถถูกพบได้ในอาหารและเครื่องดื่มที่ได้มาจากพืช เช่น ผัก ผลไม้ ธัญชาติต่างๆ น้ำผลไม้ ไวน์ เบียร์ ชา และกาแฟ เป็นต้น แต่จะพบในปริมาณที่แตกต่างกันออกไปในพืชต่างชนิดกัน หรือแม้แต่ในพืชชนิดเดียวกันแต่มาจากสถานที่ผลิตที่แตกต่างกัน เนื่องจากการสร้างสารประกอบฟีนอลของพืชจะมีทั้งปัจจัยทางด้านพันธุกรรมและสิ่งแวดล้อมเข้ามาเกี่ยวข้อง นอกจากนี้ยังพบว่า วิธีการเพาะปลูก ระดับความสุก กระบวนการแปรรูป หรือแม้แต่วิธีการเก็บรักษาก็ล้วนมีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งสิ้น

สารประกอบฟีนอลมีบทบาททั้งต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสและคุณค่าทางโภชนาการของอาหารจากพืช เนื่องจากเป็นสารประกอบที่มีรสฝาดและขม และมีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในระหว่างกระบวนการแปรรูปและการเก็บรักษา โดยจะทำให้อาหารเกิดสีน้ำตาล เกิดการพัฒนากลิ่น และมีการสูญเสียสารอาหารบางชนิดได้ ซึ่งลักษณะดังกล่าวนี้อาจเป็นสิ่งที่ต้องการในบางกรณี เช่น การผลิตชาดำหรือโกโก้ แต่อาจเป็นลักษณะที่ไม่ต้องการในบางกรณี เช่น การแปรรูปผักผลไม้ เป็นต้น

คุณสมบัติการเป็นสารต้านออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอล

คุณสมบัติที่ได้รับความสนใจอย่างมากในปัจจุบันของสารประกอบฟีนอลคือ การเป็นสารต้านออกซิเดชัน (antioxidants) และสารต้านการกลายพันธุ์ (antimutagens) ซึ่งเกิดจากอนุมูลอิสระ (free radicals) และการใช้สารประกอบฟีนอลในการป้องกันโรคต่างๆ โดยเฉพาะโรคหัวใจขาดเลือด

และมะเร็ง โดยสารประกอบฟีนอลจะทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระและไอออนของโลหะที่สามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและโมเลกุลอื่นๆ ด้วยการให้อะตอมไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระอย่างรวดเร็ว เมื่อสารประกอบฟีนอลให้อะตอมไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระไปแล้ว อนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลจะค่อนข้างมีเสถียรภาพ ดังนั้นจึงไม่ทำปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่นต่อไป ยิ่งไปกว่านั้นอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลบางชนิดยังคงสามารถรวมตัวกับอนุมูลอิสระอื่นได้อีกด้วย จึงทำให้สารประกอบฟีนอลเหล่านั้นสามารถลดจำนวนอนุมูลลงได้ถึง 2 เท่า

สารประกอบฟีนอลที่ถูกพบว่ามีคุณสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชันนั้น สามารถพบได้ในส่วนต่างๆ ของพืช เช่น เมล็ด (ได้แก่ ถั่วเหลือง ถั่วลิสง เมล็ดฝ้าย มัสตาร์ด ข้าว และงา) ผล (ได้แก่ องุ่น ส้ม พริกไทยดำ และโอลีฟ) ใบ (ได้แก่ ชา และเครื่องเทศต่างๆ) และส่วนอื่นๆ (ได้แก่ มันเทศ และหัวหอม)

หลักการวิเคราะห์คุณสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (พรรณธิชา, 2547; โอภา วัชระคุปต์, ปรีชา บุญจูง, จันทนา บุณยะรัตน์ และมาลีรักษ์ อัตต์สินทอง, 2550)

· การวิเคราะห์คุณสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ มีหลักการสำคัญที่ใช้ในการวิเคราะห์ 2 หลักการคือ

1. การวิเคราะห์จากการส่งผ่านอะตอมไฮโดรเจน (Hydrogen atom transfer, HAT) เป็นการหาพลังงานที่ทำให้พันธะของหมู่ที่จะทำให้อะตอมไฮโดรเจนแตกออก ซึ่งวิธีที่ใช้หลักการนี้ได้แก่ วิธีORAC (Oxygen radical absorbance capacity) TRAP (Total radical trapping antioxidant parameter) เป็นต้น

2. การวิเคราะห์จากการส่งผ่านอิเลคตรอนเดี่ยว (Electron transfer reaction, ET หรือ SET) โดยเป็นการหาความสามารถในการส่งผ่านอิเลคตรอนไปรีดิวซ์สารอื่นได้แก่ โลหะ และอนุมูลซึ่งวิธีที่ใช้หลักการนี้ได้แก่ วิธี FRAP (Ferric ion reducing antioxidant parameter) DPPH (Diphenyl-1-picrylhydrazyl) Total phenols assay by Folin-Ciocalteu reagent และ TEAC (Trolox equivalent antioxidant capacity) เป็นต้น

ในการทดลองนี้จะใช้หลักการวิเคราะห์จากการส่งผ่านอิเลคตรอนเดี่ยว โดยวิธี DPPH (diphenyl-1-picrylhydrazyl) ซึ่งวิธี DPPH มีหลักการในการวิเคราะห์คือ DPPH เป็นอนุภาคอิสระที่ไม่เสถียร และสามารถรับอิเลคตรอนได้อีก เพื่อเปลี่ยนเป็นโมเลกุลที่เสถียร และเมื่อได้รับอะตอมไฮโดรเจนจากโมเลกุลอื่น จะทำให้สารดังกล่าวไม่เป็นอนุมูลอิสระ ดังนั้นความสามารถของสารแอนติออกซิแดนซ์ที่ศึกษาวิธีนี้ จะเป็นการศึกษาประสิทธิภาพของสารแอนติออกซิแดนซ์ในการรวมตัวกับ DPPH ที่อยู่ในรูปอนุมูลอิสระที่อยู่ในสารละลาย โดยในการวิเคราะห์นี้จะให้ DPPH (มีสีม่วงเข้ม) ทำปฏิกิริยากับสารแอนติออกซิแดนซ์ในระยะเวลาที่กำหนด ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ที่

ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร จะแปรผันกับความเข้มข้นของ DPPH ดังนั้นการลดลงของความเข้มข้นของ DPPH (สีอ่อนลง) บ่งบอกถึงความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระของสารแอนติออกซิแดนซ์ โดยอาจมีการรายงานผลในรูปของ ค่า EC_{50} (efficiency concentration) ซึ่งหมายถึงค่าความเข้มข้นของสารทดสอบ ที่สามารถลดปริมาณอนุมูลอิสระเริ่มต้นลงได้ร้อยละ 50

การหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม (total phenolics content) โดยวิธี Folin-Ciocalteu

สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารต้านอนุมูลอิสระชนิดหนึ่ง การศึกษาถึงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมจึงมีความสัมพันธ์กับความจุของสารต้านการเกิดออกซิเดชัน (antioxidant capacity) และมักทำควบคู่กับการทดสอบหาฤทธิ์การต้านการเกิดออกซิเดชัน ปริมาณรวมสารประกอบฟีนอลิกรวมนี้สามารถหาได้โดยวิธี Folin-Ciocalteu ซึ่งอาศัยการเกิดสีจากปฏิกิริยาออกซิเดชันสารประกอบฟีนอลิกจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในสารละลายคาร์บอเนต และสาร Folin-Ciocalteu จะถูกรีดิวซ์กลายเป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีเขียวอมเหลือง จากนั้นจึงนำไปวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงที่เปลี่ยนแปลงไปโดยวิธีสเปกโตรโฟโตรเมตรีที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตรเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานกรดแกลลิก (gallic acid)

การเก็บรักษาอาหารแห้ง (โชคชัย ธีรกุลเกียรติ, 2550, หน้า 31-33)

อาหารที่ผ่านกระบวนการถนอมและแปรรูปด้วยการทำแห้งมาแล้ว จำเป็นต้องมีการเก็บรักษาไว้ก่อนที่จะนำมาบริโภค ซึ่งในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารแห้งไว้นั้น อาหารแห้งสามารถเกิดการเสื่อมเสีย เช่น การเสื่อมเสียคุณภาพของสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส คุณค่าทางอาหารและการเน่าเสีย ซึ่งการเสื่อมเสียเหล่านี้เป็นผลมาจากปฏิกิริยาทางเคมีและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ต่างๆ ที่สามารถเกิดขึ้นได้ในระหว่างเก็บรักษา ดังนั้นจึงควรทราบถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่ออายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง และวิธีการควบคุมปัจจัยต่างๆ ดังกล่าวเพื่อทำให้อายุการเก็บรักษาอาหารแห้งดังกล่าวยาวนานขึ้น

1. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออายุการเก็บรักษาอาหารแห้ง

อาหารแห้งจะอยู่ในสภาพที่มีคุณภาพดี ปลอดภัยตามความต้องการของผู้บริโภค เป็นระยะเวลานานเท่าใดในระหว่างการเก็บรักษานั้น จะขึ้นกับปัจจัยต่างๆ โดยปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่ออายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์นั้นได้แก่

1.1 ชนิดและคุณสมบัติของอาหารแห้ง อาหารแห้งแต่ละชนิดที่มีโครงสร้างองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติที่แตกต่างกันนั้น จะมีอิทธิพลต่ออายุการเก็บรักษาของอาหารแห้งกล่าวคือ อาหารแห้งต่างชนิดที่มีองค์ประกอบทางเคมีต่างกัน สารที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีที่ต่างกันนั้นจะมีผลต่ออายุการเก็บรักษาของอาหารแห้ง ตัวอย่างเช่น อาหารแห้งประเภทที่มีไขมันสูง โดยเฉพาะไขมันไม่อิ่มตัวจะมีโอกาสเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันดังกล่าวได้ง่าย โดยเฉพาะเมื่อเก็บไว้ในสภาวะแวดล้อมที่มีออกซิเจนมากพอและตัวเร่งการเกิดออกซิเดชัน เช่น แสง ความร้อน เป็นต้น ซึ่งผลของการเกิดออกซิเดชันของไขมันในอาหารแห้งนั้นจะทำให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่ดี เช่น กลิ่นหืน นอกจากนี้สารประกอบพวกเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการเกิดออกซิเดชันยังสามารถทำให้เกิดผลเสียต่ออาหารแห้งในแง่อื่นๆ เช่น ทำให้สีซีดจาง ทำลายวิตามินต่างๆ ได้แก่ วิตามินซี วิตามินอี วิตามินเอ และยังสามารถก่อให้เกิดอนุมูลอิสระซึ่งมีผลต่อเนื่องที่สามารถก่อให้เกิดความผิดปกติของร่างกาย เช่น โรคมะเร็ง นอกจากนี้ อาหารแห้งประเภทที่ประกอบด้วยน้ำตาล และกรดอะมิโนหรือโปรตีนอยู่สูงจะทำให้อาหารแห้งดังกล่าวมีโอกาสเสื่อมเสียคุณภาพได้มาก เนื่องจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดสีน้ำตาลและมีการสูญเสียคุณค่าทางอาหารด้วย

นอกจากนี้ อาหารแห้งยังสามารถมีคุณสมบัติในการดูดน้ำ (Hygroscopic property) ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวของอาหารแห้งแต่ละชนิดอาจต่างกันไป ขึ้นกับปัจจัยต่างๆ เช่น ความชื้นของอาหารแห้ง องค์ประกอบทางเคมี และโครงสร้างของอาหารแห้ง เป็นต้น ในแง่ความชื้น และองค์ประกอบทางเคมีของอาหารแห้งนั้น โดยทั่วไปอาหารแห้งทั้งที่ลักษณะเป็นชิ้น และอาหารผงจะมีความชื้นต่ำ เมื่อเก็บไว้ในสภาวะแวดล้อมปกติ ซึ่งมีความชื้นในบรรยากาศสูงกว่าในอาหารแห้ง จึงทำให้น้ำจากภายนอกดูดซึมเข้าไปในอาหารได้ โดยเฉพาะอาหารแห้งประเภทที่มีสารที่เป็นองค์ประกอบที่มีความสามารถในการดูดน้ำได้ดี เช่น น้ำตาล ซึ่งจากผลของการดูดซึมของน้ำเข้าไปในอาหารแห้งจะทำให้อาหารสามารถเกิดการเสื่อมเสียคุณภาพในแง่ต่างๆ เช่น เนื้อสัมผัสไม่กรอบ รูปร่างหดเหี่ยว เกิดการเกาะกลุ่มเป็นก้อนของอาหารผงประเภทต่างๆ ได้แก่ นมผง กาแฟผง เป็นต้น เมื่ออาหารผงดังกล่าวดูดซึมน้ำเข้าไปมาก จะทำให้อาหารผงเหนียว สูญเสียสภาพความเป็นอาหารผงได้ นอกจากนี้โครงสร้างของอาหารแห้งยังเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้คุณสมบัติในการดูดน้ำของอาหารแห้งแต่ละชนิดต่างกันไป โดยพบว่า อาหารแห้งที่ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่แข็ง อาหารแห้งที่ได้มักมีโครงสร้างเป็นรูพรุนมาก ซึ่งเอื้ออำนวยต่อการดูดน้ำจากความชื้นในบรรยากาศโดยรอบอีกด้วย ดังนั้นเมื่ออาหารผ่านกระบวนการทำแห้งเรียบร้อยแล้ว ควรมีการบรรจุโดยเร็วที่สุด เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการดูดซึมของน้ำเข้าไปในอาหารแห้ง ซึ่งจะมีผลต่ออายุการเก็บรักษาของอาหารแห้งดังกล่าว

2. สภาวะแวดล้อมในการเก็บรักษาอาหารแห้ง

สภาวะแวดล้อมในการเก็บรักษาอาหารที่ผ่านการถนอมและแปรรูปด้วยการทำแห้งเป็นปัจจัยหลักที่สำคัญอีกประการหนึ่งที่มีอิทธิพลต่ออายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง ซึ่งสภาวะแวดล้อมที่ควรคำนึงถึงในการเก็บรักษาอาหารแห้ง ได้แก่

2.1 ความชื้นสัมพัทธ์และออกซิเจนในบรรยากาศ อาหารที่ได้จากการทำแห้งนั้นจะมีปริมาณความชื้นต่ำ ดังนั้น ถ้าเก็บไว้ในสภาพแวดล้อมที่ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศปกติ หรือในบรรยากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ยิ่งสูง จะเป็นผลให้อาหารแห้งดูดความชื้นจากบรรยากาศโดยรอบ ซึ่งก่อให้เกิดการเสื่อมเสียคุณภาพของอาหารดังกล่าวแล้วข้างต้น นอกจากนี้ก๊าซออกซิเจนในบรรยากาศของสภาวะแวดล้อมที่เก็บรักษาอาหารแห้ง ก็มีผลต่ออายุการเก็บรักษา เนื่องจากออกซิเจนเป็นปัจจัยที่สำคัญประการหนึ่งที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารอาหารในอาหารแห้ง เช่น การเกิดออกซิเดชันของไขมัน ซึ่งทำให้เกิดกลิ่นหืน เกิดการทำลายของคุณค่าทางอาหาร เช่น วิตามินบางชนิด เป็นต้น

2.2 อุณหภูมิและแสงในขณะเก็บรักษา โดยทั่วไปถ้าเก็บอาหารแห้งไว้ที่อุณหภูมิสูงจะทำให้คุณภาพของอาหารแห้งเกิดการเสื่อมเสียได้ง่ายขึ้น ทำให้อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์สั้นลง เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียคุณภาพของอาหารแห้งนั้นเกิดได้เร็วขึ้น เช่น ปฏิกิริยาออกซิเดชัน ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล เป็นต้น นอกจากนี้แสงก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหารแห้ง โดยแสงจะมีผลในการเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเช่นกัน

2.3 สัตว์ แมลง จุลินทรีย์ และสิ่งปนเปื้อนต่างๆ ในสภาพที่เก็บรักษาอาหารแห้งสัตว์ เช่น หนู และแมลงต่างๆ ชอบไปแทะกัดกินอาหารแห้ง ทำให้เกิดความเสียหายแก่อาหารแห้งได้ จุลินทรีย์ในสภาวะที่เก็บรักษาก็สามารถปนเปื้อนไปในอาหารแห้งได้ และเมื่อสภาวะเหมาะสมจุลินทรีย์ดังกล่าวสามารถเจริญเติบโต ก่อให้เกิดการเสื่อมเสียคุณภาพ หรือเน่าเสียของอาหารได้ นอกจากนี้สิ่งปนเปื้อนต่างๆ ในบรรยากาศที่เก็บรักษาอาหารแห้ง เช่น ฝุ่นละอองต่างๆ ยังสามารถปนเปื้อนลงในอาหารแห้ง ทำให้คุณภาพของอาหารแห้งด้อยลงได้

3. การยืดอายุการเก็บรักษาอาหารแห้ง

อาหารแห้งที่ผลิตได้นั้น สามารถเกิดการเสื่อมเสียและเน่าเสียได้ในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่ออายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหารแห้งนั้น ได้แก่ ชนิดและคุณสมบัติของอาหารแห้ง และสภาวะแวดล้อมในขณะเก็บรักษา ได้แก่ ความชื้นสัมพัทธ์ ออกซิเจน อุณหภูมิ แสง สัตว์ แมลง จุลินทรีย์ และสิ่งปนเปื้อนต่างๆ ดังนั้น เพื่อทำให้อายุการเก็บรักษาของ

อาหารแห้งยาวนานขึ้น จำเป็นต้องควบคุมปัจจัยต่างๆ โดยเฉพาะในเรื่องของสภาวะแวดล้อมในขณะเก็บรักษา ซึ่งการควบคุมปัจจัยดังกล่าวนั้น สามารถปฏิบัติได้ดังนี้

3.1 การใช้ภาชนะบรรจุที่เหมาะสม ภาชนะบรรจุที่ใช้บรรจุอาหารแห้งนั้น มีความสำคัญมากต่อการทำให้อายุการเก็บรักษาอาหารแห้งยาวนานขึ้น เนื่องจากภาชนะบรรจุนี้จะทำหน้าที่ป้องกันสภาวะแวดล้อมต่างๆ ที่มีผลต่อการเสื่อมเสียและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษา สภาวะดังกล่าว ได้แก่ ความชื้น ออกซิเจน แสง สัตว์ แมลง จุลินทรีย์ และสิ่งปนเปื้อน ดังนั้น ภาชนะบรรจุอาหารแห้ง ควรจะสามารถป้องกันสิ่งต่างๆ ดังกล่าวได้ และควรมีความคงทน ไม่เป็นพิษ และมีราคาพอเหมาะ ภาชนะบรรจุอาจเป็นกล่อง กระเบื้อง ขวด หรือถุง แล้วแต่ประเภทของอาหารแห้ง และปัจจัยอื่นๆ เช่น มูลค่าของอาหารแห้ง ขนาดบรรจุ เป็นต้น วัสดุที่ใช้ในการทำเป็นภาชนะบรรจุนั้นได้แก่ กระดาษ พลาสติก แก้ว โลหะต่างๆ ตัวอย่างกรณีกล่องทำด้วยกระดาษ ซึ่งเคลือบด้วยวัสดุที่ป้องกันความชื้นได้ เช่น กระดาษเคลือบไข กระป๋องทำด้วยโลหะ เช่น ดีบุก ขวดทำด้วยแก้ว ถุงทำด้วยพลาสติก ซึ่งมีหลายประเภท ต้องเลือกใช้ให้เหมาะสม

3.2 การใช้ก๊าซในการบรรจุ ก๊าซบางชนิดนิยมใช้ร่วมในการบรรจุอาหารแห้งที่ค่อนข้างไวต่อการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากผลของออกซิเจน เช่น อาหารแห้งที่มีไขมันไม่อิ่มตัวอยู่สูง มักมีการเติมก๊าซ เช่น ก๊าซไนโตรเจน บรรจุลงในภาชนะบรรจุ ทำให้สภาวะแวดล้อมของอาหารภายในภาชนะบรรจุนั้นเป็นสภาวะที่มีออกซิเจนต่ำ จึงเกิดการเสื่อมเสียคุณภาพจากผลของออกซิเดชันได้ยาก จึงเป็นการยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ดังกล่าว

3.3 การใช้ระบบสุญญากาศในการบรรจุ การบรรจุผลิตภัณฑ์อาหารแห้งที่ค่อนข้างไวต่อการเปลี่ยนแปลงจากผลของออกซิเจน นอกจากการใช้ก๊าซแล้วในขณะบรรจุอาจใช้วิธีการดูดอากาศออก โดยใช้เครื่องบรรจุระบบสุญญากาศ ซึ่งภาชนะบรรจุที่ใช้ต้องสามารถทนต่อความดันที่แตกต่างกันระหว่างสภาวะภายนอกและภายในภาชนะบรรจุ

3.4 การใช้สารกำจัดออกซิเจน อาหารแห้งบางประเภทอาจใช้สารกำจัดออกซิเจน (deoxidizer) ซึ่งบรรจุอยู่ในภาชนะที่อากาศสามารถผ่านเข้าออกได้ โดยสารในภาชนะบรรจุดังกล่าวจะใส่ลงไปในภาชนะบรรจุอาหารแห้ง ซึ่งควรเป็นภาชนะปิดสนิท ก๊าซไม่สามารถผ่านได้ สารดังกล่าวจะทำหน้าที่ดึงออกซิเจนในภาชนะบรรจุ ช่วยลดปริมาณออกซิเจนที่จะทำปฏิกิริยาต่างๆ ในการบรรจุอาหารแห้ง

3.5 การใช้สารดูดความชื้น การใช้สารดูดความชื้นบางชนิด เช่น แคลเซียมออกไซด์ (ซิลิกาเจล) ใส่ลงในภาชนะบรรจุเล็กๆ ที่ทำด้วยวัสดุที่ความชื้นสามารถผ่านเข้าออกได้ แล้วจึงใส่ภาชนะบรรจุที่มีสารดูดความชื้นดังกล่าวลงในภาชนะบรรจุที่บรรจุอาหารอีกทีหนึ่ง สารพวกซิลิกาเจลนี้จะช่วยในการดูดความชื้นในระหว่างเก็บรักษาอาหารแห้งดังกล่าว นอกจากนี้ ยังมีการใช้สารที่ช่วย

ป้องกันการเกาะตัวของอาหารผงเนื่องจากความชื้น เช่น แคลเซียมสเทียเรต ซึ่งใช้ใส่ลงในอาหารผง เป็นต้น

ความหมายของภาชนะบรรจุ (งามทิพย์ ภู่วโรดม, 2550)

ภาชนะบรรจุ (Package) หมายความว่า ภาชนะหรือโครงสร้างใดๆที่ใช้เพื่อบรรจุ ห่อหุ้ม และรวบรวมผลิตภัณฑ์ให้เป็นหน่วย เพื่อนำส่งผลิตภัณฑ์ถึงผู้บริโภคในสภาพที่สมบูรณ์ นอกจากนี้ยังรวมถึงฉลากและอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการมัดหรือปิดผนึกภาชนะบรรจุด้วย

1. ความสำคัญของภาชนะบรรจุ (ดวงฤทัย ธำรงโชติ, 2550)

ในปัจจุบันเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปว่า ภาชนะบรรจุสินค้ามีความสำคัญไม่ยิ่งหย่อนไปกว่าตัวผลิตภัณฑ์ จนแทบจะเรียกได้ว่าตัวผลิตภัณฑ์ และภาชนะบรรจุต้องเป็นสิ่งที่ต้องอยู่คู่กัน เนื่องจากภาชนะบรรจุเป็นตัวแปรอย่างหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค และจากความหมายของภาชนะบรรจุ จะเห็นว่าภาชนะบรรจุมีความสำคัญในหลายด้าน ได้แก่

1.1 ด้านการปกป้องคุ้มครองผลิตภัณฑ์

ในด้านการปกป้องคุ้มครองผลิตภัณฑ์ ภาชนะบรรจุมีความสำคัญมากในการปกป้องผลิตภัณฑ์ที่อยู่ภายในให้ปลอดภัยจากแรงกระแทก และแรงกดทับที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการขนส่งหรือระยะเวลาการเก็บรักษาในโกดัง และการเก็บรักษาในร้านค้าปลีก รวมถึงการคุ้มครองการลักขโมย แสงแดด ความชื้น และความร้อน จนกระทั่งสินค้าถึงมือผู้บริโภคอย่างปลอดภัย

1.2 ด้านการรองรับ รวบรวม และห่อหุ้มผลิตภัณฑ์

ในด้านการรองรับ รวมรวม และห่อหุ้มผลิตภัณฑ์ ภาชนะบรรจุมีความสำคัญในการรองรับผลิตภัณฑ์ และรวบรวมผลิตภัณฑ์ เพื่อให้เกิดความสะดวกในการขนส่งผลิตภัณฑ์จากผู้ผลิตไปยังผู้บริโภค

1.3 ด้านการให้ข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์

ในด้านการให้ข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ ภาชนะบรรจุมีความสำคัญในการแสดงให้ผู้บริโภคเห็นตัวผลิตภัณฑ์ หรือบ่งบอกว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุอยู่ภายในคืออะไร ใครเป็นผู้ผลิต มีวิธีการใช้และการเก็บรักษาอย่างไร ผลิตและหมดอายุเมื่อใด โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ถ้าผลิตภัณฑ์ข้างในเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทยา หรืออาหาร เวลาหมดอายุ เป็นเรื่องที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง

1.4 ด้านการให้ความสะดวกกับผู้ผลิตและผู้บริโภค

ในด้านการให้ความสะดวกกับผู้ผลิตและผู้บริโภค ภาชนะบรรจุมีความสำคัญในการอำนวยความสะดวกในการบรรจุผลิตภัณฑ์ลงไป อำนวยความสะดวกในระหว่างการเก็บรักษาการขนส่ง และเมื่อถึงมือผู้บริโภค ภาชนะบรรจุควรจะอำนวยความสะดวกในการจับถือพกพาสะดวก รวมทั้งควรจะเปิดและนำผลิตภัณฑ์ออกมาใช้โดยสะดวก ถ้าใช้ไม่หมดสามารถปิดฝาเก็บไว้ใช้ในครั้งต่อไปได้อีก หรือภาชนะบรรจุหลังจากใช้งานแล้ว สามารถนำกลับไปใช้ใหม่หรือนำไปใช้งานอย่างอื่นได้ เป็นต้น

2. หน้าที่ของภาชนะบรรจุ

ภาชนะบรรจุ (Packaging) มีหน้าที่หลากหลายแปรเปลี่ยนไปตามยุคตามสมัย จากประวัติการพัฒนาภาชนะบรรจุ แสดงให้เห็นว่า หน้าที่เริ่มแรกของภาชนะบรรจุ คือ การรวมหน่วยผลิตภัณฑ์และช่วยในการขนส่งลำเลียงผลิตภัณฑ์ ต่อมาได้รับการพัฒนาและเพิ่มหน้าที่การปกป้องรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ จนกระทั่งถึงปัจจุบันภาชนะบรรจุผลิตภัณฑ์ต้องมีหน้าที่อำนวยความสะดวกในการบริโภค และโฆษณาผลิตภัณฑ์ไปในตัว นอกจากนั้นภาชนะบรรจุยังมีส่วนสำคัญในการช่วยรักษาสภาพสิ่งแวดล้อมอีกด้วย ดังนั้นภาชนะบรรจุในปัจจุบันสามารถจำแนกหน้าที่ได้เป็น 3 ด้าน คือ ด้านหน้าที่หลัก ด้านการตลาด และด้านหน้าที่อื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-3 ตารางจำแนกหน้าที่ของภาชนะบรรจุผลิตภัณฑ์ตามด้านต่างๆ

ด้านหน้าที่หลัก	ด้านการตลาด	ด้านหน้าที่อื่นๆ
1. การปกป้องคุ้มครองผลิตภัณฑ์ที่อยู่ภายใน ให้อยู่ในสภาพดีไม่เกิดการเสียหาย	1. การส่งเสริมการขาย	1. สะดวกในการใช้ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุอยู่ภายใน
2. การหีบห่อสะดวกต่อการขนส่ง ลำเลียง จับ ถือ พกพา	2. การแสดงข้อมูลรายละเอียดของผลิตภัณฑ์	2. สามารถตั้งวางโชว์ผลิตภัณฑ์ได้สะดวกทั้งผู้ขายและผู้ซื้อ
3. การให้ข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ลูกค้าทราบ	3. การตั้งราคาขายได้สูงขึ้น	3. แสดงขนาดหรือลักษณะของสินค้าให้ลูกค้าทราบ เพื่อจะได้ตัดสินใจซื้อได้ถูกต้อง
4. ดึงดูดให้ลูกค้าเกิดความสนใจอยากซื้อ เช่น รูปทรง สัณฐาน สี และกราฟิก	4. การเพิ่มปริมาณขาย	4. ช่วยให้ลูกค้าสามารถบริการตนเอง เป็นการลดภาระของผู้ขาย
	5. ให้ความถูกต้องรวดเร็วในการขาย	5. การซื้อขายปลอดภัย ถูกอนามัย ไม่เลอะเทอะเปรอะเปื้อนมือ
	6. การรณรงค์ในเรื่องต่างๆ เช่น สัญลักษณ์รีไซเคิล ฉลากเขียวกินของไทย ใช้ของไทย	6. ช่วยให้ขายผลิตภัณฑ์ได้ราคาสูงขึ้น

ที่มา : ดวงฤทัย ธำรงโชติ (2550)

3. ความหมายของพลาสติก

พลาสติกเป็นวัสดุที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมภาชนะบรรจุเพื่อการหีบห่อ และการบรรจุสินค้า พลาสติกเป็นสารสังเคราะห์ที่มนุษย์คิดค้นขึ้นมา ประเภทพอลิเมอร์ (Polymer) ซึ่งมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน คลอรีน เป็นต้น ที่ได้มาจากปฏิกิริยาเคมีที่เกิดจากการเชื่อมโยงโมเลกุลของสารที่มีขนาดเล็กๆ (Monomer) หลายๆโมเลกุลจนกลายเป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ที่เรียกว่า พอลิเมอร์ และปฏิกิริยาเคมีที่ใช้ในการเชื่อมโยงนี้เรียกว่า ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ (Polymerization) โดย พลาสติก คือ วัสดุที่ประกอบด้วยสารหลายอย่าง มีน้ำหนัก โมเลกุลสูง คงรูปเมื่อผ่านกรรมวิธีการผลิต ลักษณะอ่อนตัวเมื่อทำการผลิตซึ่งโดยมากใช้กรรมวิธีการผลิตด้วยความร้อน หรือแรงอัด หรือทั้งสองอย่าง

4 พลาสติกที่นิยมใช้ในการบรรจุผลิตภัณฑ์อาหาร (งามทิพย์ ภู่วโรดม, 2549, หน้า 205-208)

ก. พอลิเอทิลีน (Polyethylene หรือ PE) เป็นพลาสติกที่นิยมใช้มากที่สุดในอุตสาหกรรมการบรรจุเนื่องจากความหลากหลายของ PE ที่มีคุณสมบัติแตกต่างกันไป และส่วนใหญ่ราคาค่อนข้างต่ำ

พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene หรือ LDPE) นิยมใช้ในรูปของฟิล์ม ถุง หรือ ใช้เคลือบกระดาษ แผ่นเปลวอะลูมิเนียม หรือพลาสติก ใช้ผลิตขวดพลาสติก เช่น ขวดบรรจุน้ำดื่มชนิดขาวขุ่น และฝาชนิดต่างๆ LDPE ไม่สามารถทนความร้อนที่อุณหภูมิน้ำเดือดได้ จึงไม่ควรใช้บรรจุอาหารร้อน สามารถป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี แต่ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซได้ต่ำนอกจากนี้ LDPE ยังไม่เหมาะกับการบรรจุอาหารที่มีไขมันมาก เนื่องจากไขมันจะซึมผ่านพลาสติกนี้ออกมาได้ LDPE นิยมใช้เป็นชั้นฟิล์มสำหรับปิดผนึกด้วยความร้อน จึงมักใช้เคลือบวัสดุที่ปิดผนึกด้วยความร้อนไม่ได้ เช่น กระดาษ และแผ่นเปลวอะลูมิเนียม หรือใช้เคลือบพลาสติกที่ปิดผนึกด้วยความร้อนได้ยาก เช่น ไนลอน (Nylon) และ เพต (PET หรือ Polyethelene Terephthalate)

พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเป็นเส้นตรง (Linear Low Density Polyethylene หรือ LLDPE) มีคุณสมบัติทั่วไปคล้าย LDPE แต่จะแข็งแรงกว่า และนิยมใช้สำหรับเป็นชั้นฟิล์มสำหรับปิดผนึกด้วยความร้อน และใช้เป็นฟิล์มยืดสำหรับห่ออาหาร

พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene หรือ HDPE) สามารถทนความร้อนได้สูงกว่า LDPE จึงใช้บรรจุอาหารร้อนได้ โดยทั่วไปจะสามารถป้องกันการซึมผ่านของก๊าซ ไอน้ำ และไขมันได้ดีกว่า LDPE และมีความแข็งแรงสูงกว่า นิยมใช้ทำถึงบรรจุอาหารร้อน (ถุงร้อนมีลักษณะขาวขุ่น) ขวดนมพาสเจอร์ไรส์ และนมเปรี้ยวถังขนาดใหญ่หรือเครื่องใช้ในครัว เช่น ตะกร้า กะละมัง ถาด กระปุกชนิดต่างๆ เป็นต้น

ข. พอลิโพรพิลีน (Polypropylene หรือ PP) เป็นพลาสติกที่นิยมใช้มากอีกชนิดหนึ่ง มีความแข็งแรงกว่า PE และความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านของก๊าซ ไอน้ำ และไขมันดีกว่า PE ทนทานความร้อนได้สูง สามารถใช้บรรจุอาหารที่ต้องผ่านการฆ่าเชื้อในหม้อฆ่าเชื้อ (Retort) ได้ PP มีความใสดีมากจึงนิยมใช้ผลิตฟิล์มสำหรับห่ออาหารถุงบรรจุอาหาร ถุงร้อน (ชนิดใส) ขวด ถาด นอกจากนี้ฟิล์ม PP มีความใสดีมากจึงนิยมใช้ผลิตฟิล์มสำหรับห่ออาหาร ถุงบรรจุอาหาร ถุงร้อน (ชนิดใส) ขวด ถาด นอกจากนี้ฟิล์ม PP ที่มีการจัดเรียงโมเลกุลให้เป็นระเบียบในระหว่างการผลิตซึ่งจะเรียกว่า OPP (Oriented Polypropylene) จะมีความใสและความแข็งแรงเพิ่มขึ้น และเป็นวัสดุสำหรับการพิมพ์ที่ดีจึงนิยมใช้ทำซองบรรจุอาหารแห้ง ขนมขบเคี้ยว และใช้เป็นฟิล์มหดรัดได้ด้วย

ค. พอลิสทีรีน (Polystyrene หรือ PS) เป็นพลาสติกที่นิยมใช้ในรูปของภาชนะคงรูปและกึ่งคงรูปมาก เนื่องจากสามารถขึ้นรูปได้ง่ายและสามารถออกแบบให้มีลวดลายสวยงามได้ รูปแบบภาชนะบรรจุที่พบมากได้แก่ ถ้วย ชาม แก้วน้ำ ถาดอาหารขนาดเล็กๆ ขวดนมเปรี้ยว เป็นต้น อย่างไรก็ตามฟิล์ม PS ก็มีการใช้สำหรับบรรจุอาหารมากพอสมควร เช่น ใช้ห่อผักสด เนื่องจาก PS ยอมให้ก๊าซและไอน้ำผ่านได้ดี สำหรับฟิล์ม OPS (Oriented Polystyrene) จะมีความใสและแข็งแรงกว่าฟิล์ม PS ธรรมดา นิยมใช้เป็นแผ่นปิดช่องหน้าต่างของกล่องกระดาษ และฟิล์มหดรัดสำหรับห่อสินค้าหรือรวบรวมสินค้าหลายชิ้นไว้ด้วยกัน

PS โดยทั่วไปจะกรอบเปราะ ใส ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซ ไอน้ำ และไขมันได้ต่ำ ทนทานความร้อนได้ต่ำ ไม่ควรใช้บรรจุอาหารที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 90 องศาเซลเซียส

ง. พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl Chloride หรือ PVC) นิยมใช้ในการบรรจุอาหารทั้งรูปแบบคงรูปและภาชนะอ่อนตัว คุณสมบัติเด่นของ PVC คือ ความใสและสามารถป้องกันการซึมผ่านของไขมันได้ดีมาก

จ. พอลิเอทีลีนเทเรพทาเลท (Polyethylene Terephthalate หรือ PET) เป็นพลาสติกที่มีการใช้มากในอุตสาหกรรมอาหาร ที่ต้องการความแข็งแรงของภาชนะ ความทนทานต่อความร้อนสูง และเหมาะสมกับอาหารที่ต้องการเก็บรักษาเป็นเวลานาน PET ที่ใช้มากในอุตสาหกรรมอาหาร มีทั้งในรูปของฟิล์ม ขวด และถาดอาหาร ฟิล์ม PET จะต้องผ่านกระบวนการจัดเรียงโมเลกุลให้เป็นระเบียบ เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและความใส เนื่องจาก PET ปิดผนึกด้วยความร้อนได้ยาก จึงนิยมประกบติดกับ PE ด้านในเพื่อทำหน้าที่เป็นชั้นปิดผนึกด้วยความร้อน ฟิล์ม PET นี้นิยมใช้ผลิตถุงหรือซองบรรจุอาหาร อาหารที่ไวต่อความชื้น และก๊าซออกซิเจน อาหารที่ต้องบรรจุภายใต้สุญญากาศหรือภายใต้บรรยากาศพิเศษ เช่น กาแฟ ขนมปังกรอบ ขนมขบเคี้ยว ผลิตภัณฑ์เนื้อ ผลไม้แห้ง เป็นต้น เนื่องจาก PET สามารถทนอุณหภูมิสูงได้ดีจึงนิยมใช้บรรจุอาหารที่ปรุงสุกหรืออุ่นภายในถุงได้

ฉ. ไนลอน (Nylon หรือ Polyamide) เป็นพลาสติกอีกชนิดหนึ่ง ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเนื่องจากคุณสมบัติด้านความแข็งแรง ทนทานต่อความร้อนสูง ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซกลิ่น และไขมันได้ดี แม้ว่าไนลอนจะดูดซับความชื้นได้ง่าย และทำให้คุณสมบัติด้านการบรรจุลดลง แต่เมื่อนำไปทำให้แห้งก็จะกลับมามีคุณสมบัติเหมือนเดิม การใช้งานของฟิล์มไนลอนคล้ายกับฟิล์ม PET และต้องประกอบติดกับชั้นของ PE เพื่อให้ปิดผนึกด้วยความร้อนได้

5. แผ่นเปลวอะลูมิเนียม (Aluminium Foil) (วิทยา ตั้งก่อสกุล, 2543)

อะลูมิเนียมฟอยล์ หรือแผ่นเปลวอะลูมิเนียม เป็นวัสดุประเภทหนึ่งสำหรับทำภาชนะบรรจุ แผ่นเปลว-อะลูมิเนียม คืออะลูมิเนียมที่มีความหนา 0.15 มิลลิเมตรหรือน้อยกว่า การนำไปใช้งานแบ่ง

ได้เป็น 3 ลักษณะคือแผ่นเปลวอะลูมิเนียมธรรมดา แผ่นเปลวอะลูมิเนียมที่มีการเคลือบด้วยสารที่ทำให้สามารถปิดผนึกได้ด้วยความร้อน แผ่นเปลวอะลูมิเนียมที่มีการเคลือบหรือประกบกับกระดาษหรือฟิล์มพลาสติก โดยทั่วไปไม่นิยมใช้แผ่นเปลวอะลูมิเนียมแต่เพียงอย่างเดียวสำหรับทำเป็นภาชนะบรรจุ เนื่องจากพับแล้วจะเป็นรอย แตกได้ง่าย ดังนั้นจึงได้มีการใช้วัสดุที่อ่อนตัวอื่นๆ เคลือบหรือประกบแผ่นเปลวอะลูมิเนียม แผ่นเปลวอะลูมิเนียมลักษณะนี้ได้นำไปใช้ในการยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ได้อีกทั้งช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเด่นดูสวยงามขึ้นด้วย

คุณสมบัติของแผ่นเปลวอะลูมิเนียม

1. ไม่มีกลิ่นและรส ไม่เป็นพิษจึงเหมาะสำหรับใช้เป็นภาชนะบรรจุอาหารยา และเครื่องสำอาง

2. ทึบแสงจึงใช้เป็นภาชนะบรรจุเพื่อป้องกันแสงสำหรับผลิตภัณฑ์ที่เสื่อมคุณภาพได้ง่ายเมื่อได้รับแสง

3. สะท้อนรังสีความร้อน เนื่องจากผิวหน้าทั้ง 2 ด้านต่างกันคือ มันและด้าน จึงสามารถสะท้อนรังสีความร้อนได้ 95 เปอร์เซ็นต์ ใช้เป็นฉนวนป้องกันความร้อนสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ต้องรักษาอุณหภูมิให้ต่ำหรือสูงตามที่ต้องการเช่น อาหารแช่แข็งที่บรรจุในภาชนะแผ่นเปลวอะลูมิเนียมจะเกิดการสะท้อนรังสีความร้อนทำให้การละลายเกิดขึ้นช้าลง

4. เป็นตัวนำความร้อน กล่าวคือ แผ่นเปลวอะลูมิเนียมร้อนและเย็นได้อย่างรวดเร็วทำให้เหมาะกับการใช้เป็นภาชนะในการแช่แข็งหรืออบด้วยความร้อนและยังทำให้การปิดผนึกด้วยความร้อนเป็นไปอย่างรวดเร็วและมีคุณภาพ

5. มีเสถียรภาพในช่วงอุณหภูมิกว้าง ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในแผ่นเปลวอะลูมิเนียมจึงสามารถนำไปให้ความร้อนแล้วนำมาแช่แข็งและให้ความร้อนอีกครั้งหนึ่งได้โดยไม่ต้องเปลี่ยนถ่ายภาชนะ

6. ไม่ดูดความชื้นและของเหลวจึงไม่หดตัวย่นหรืออ่อนตัว

7. โค้งงอได้ สามารถพับ จีบ หรือขึ้นรูปได้อยู่ตัวดี จึงนำมาใช้ได้กับผลิตภัณฑ์หลายประเภท เช่น ใช้เป็นฝาปิดขวดนมเครื่องดื่มและใช้ห่อเนย ขนมปัง ช็อกโกเลต ลูกกวาด บุหรี่

8. ป้องกันการซึมผ่านของไขมันได้ดี จึงเหมาะกับการใช้ห่ออาหารประเภทที่มีน้ำมัน เนย และเนยแข็ง

จากคุณสมบัติต่างๆ ของแผ่นเปลวอะลูมิเนียมดังกล่าวมานี้จึงทำให้นิยมนำมาใช้เป็นภาชนะบรรจุกันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับผลิตภัณฑ์อาหารดังเห็นได้จากภาชนะบรรจุผลิตภัณฑ์จำพวกขนมขบเคี้ยว อาหารสำเร็จรูปต่างๆซึ่งเปลี่ยนจากการใช้ถุงพลาสติกธรรมดาเป็นถุงพลาสติกประกบกับแผ่นเปลวอะลูมิเนียม

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Traithip (2005) ศึกษาพฤกษเคมีและฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของขลู่ โดยเมื่อนำสารสกัดเอานอลของใบขลู่ มาแยกสาระสำคัญโดยวิธี Diaion HP20 คอลัมน์ ได้ fraction ต่างๆ ซึ่งแสดงฤทธิ์การต้านออกซิเดชันดังนี้ fraction น้ำ (EC_{50} = 16.02 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร) fraction น้ำ-เมทานอล (EC_{50} = 2.65 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร) fraction เมทานอล (EC_{50} = 1.89 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร) และ fraction เอทิลอะซีเตท (EC_{50} = 12.08 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร) นำ fraction เมทานอลซึ่งแสดงฤทธิ์ต้านออกซิเดชันที่ดีที่สุด มาแยกต่อด้วยซิลิกาเจลคอลัมน์โครมาโทกราฟฟี สามารถแยกได้สาร A1 ซึ่งพิสูจน์โครงสร้างโดยวิธีสเปคโตรสโคปีพบว่าเป็น quercetin (5,7,3',4', tetrahydroxyflavonol) สาร A1 เป็นสาระสำคัญชนิดหนึ่งในสารสกัดเมทานอลที่แสดงฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดยมีค่า EC_{50} = 1.69 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร

Andarwulan et al. (2010) ศึกษาปริมาณฟลาโวนอยด์และสารต้านอนุมูลอิสระของพืชในประเทศอินโดนีเซีย โดยนำสารสกัดของพืช 11 ชนิดจากประเทศอินโดนีเซียมาวิเคราะห์สารฟลาโวนอยด์ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสารต้านอนุมูลอิสระ พบว่า พืชทั้ง 11 ชนิดมีปริมาณฟลาโวนอยด์ในหน่วย มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด ดังนี้ *Cosmos caudatus* H.B.K. (52.19), *Polyscias pinnata* (52.19), *Pluchea indica* Less. (6.39), *Nothopanax scutellarius* (Burm.f.) Merr (5.43), *Talinum triangulare* (Jacq.) Willd. (3.93), *Pilea melastomoides* (Poir.) Bl. (2.27) และ *Etlingera elatior* (Jack) R.M.Sm (1.18) และยังพบว่า *P. indica* Less. และ *C. caudatus* H.B.K. มีกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด ซึ่งวัดโดยวิธี ferric cyanide reducing power, DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) และ ABTS (2,20-azino-bis-(3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid) scavenging และการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรด linoleic

เศรษฐการ นุชนิยม (2554) ศึกษาวิธีการเตรียมตำลึงในการผลิตน้ำตำลึงผงโดยการทำแห้งแบบเยือกแข็ง ในขั้นตอนแรกได้ศึกษาวิธีการเตรียมโดยการแปรระดับอุณหภูมิและเวลาในการลวกเพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส ผลการศึกษาพบว่าการลวกผักตำลึงที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที เพียงพอที่จะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสได้

กัญจน์พัชร์ อุปลศิลป์ (2553) ศึกษาผลของอุณหภูมิ และระยะเวลาในการลวกใบเตยสดที่เหมาะสมที่สุด โดยทำการลวกด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 80 90 และ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 3 และ 5 นาที ตามลำดับ จากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง แล้วนำผลิตภัณฑ์ใบเตยอบแห้งมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ คือ ค่าสี ค่าวอเตอร์แอกติวิตี (A_w) วิเคราะห์ทางด้านเคมี คือ ปริมาณความชื้น รวมทั้งการวิเคราะห์ทางด้านจุลินทรีย์ คือ ปริมาณ

จุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์ รา และปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรีย จากการศึกษาพบว่าการลวกใบเตยสด ณ อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 นาที เหมาะสมที่สุด ผู้บริโภคให้การยอมรับมากที่สุดจากวิธีการทดสอบแบบ 9-Point Hedonic Scale และมีค่าสี L a b เท่ากับ 51.08, -9.18 และ 13.74 ตามลำดับ ค่า A_w เท่ากับ 0.45 ปริมาณความชื้นร้อยละ 4.10 โดยมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดปริมาณยีสต์ รา และปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสมุนไพรแห้ง (มผช. 480/2547) อีกทั้งมีอายุการเก็บได้อย่างน้อย 2 เดือนขึ้นไป โดยคุณสมบัติทางด้านกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ไม่เปลี่ยนแปลงมาก เป็นที่ยอมรับได้ และมีคุณภาพในระดับมาตรฐานอีกด้วย

วิศนี สุประดิษฐอาภรณ์ และประมวล ศรีกาหลง (2554) ศึกษาการผลิตและการเก็บรักษาข้าวคั่วสมุนไพร การศึกษาการเก็บรักษาข้าวคั่ว โดยนำผลิตภัณฑ์ข้าวคั่วที่ผ่านการคั่วโดยใช้เครื่องคั่วที่สร้างขึ้น ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ซึ่งได้คะแนนรวมเฉลี่ยจากการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคมากที่สุด มาศึกษาบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษาข้าวคั่ว โดยเก็บในบรรจุภัณฑ์ต่างชนิดได้แก่ โพลิเอทธิลีน โพลิโพรพิลีน อะลูมิเนียมฟอยด์ และถุงสุญญากาศ ที่อุณหภูมิห้อง (28-32 องศาเซลเซียส) เก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นทุก 3 วัน เป็นระยะเวลา 30 วัน พบว่า ผลิตภัณฑ์ข้าวคั่วในบรรจุภัณฑ์แต่ละชนิดมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยความชื้นเริ่มต้น มีค่าเฉลี่ย 1.50 เปอร์เซ็นต์ พบว่าผลิตภัณฑ์ข้าวคั่วที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยด์ และถุงสุญญากาศเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการเก็บรักษาข้าวคั่ว โดยมีปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ข้าวคั่วหลังจากเก็บรักษานาน 30 วันให้ผลไม่แตกต่างกัน ผลิตภัณฑ์ข้าวคั่วที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยด์และถุงสุญญากาศ มีปริมาณความชื้นในวันสุดท้ายของการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ข้าวคั่วน้อย เท่ากับ 3.16 และ3.21 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากการวิเคราะห์คุณลักษณะทั่วไป สีและกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ข้าวคั่วในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์วันที่ 30 ในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 4 ชนิด ทดสอบโดยใช้ผู้บริโภคที่มีความชำนาญในการผลิตข้าวคั่วจำนวน 30 คน พบว่า ด้านคุณลักษณะทั่วไปของผลิตภัณฑ์ข้าวคั่วในบรรจุภัณฑ์ชนิดโพลิเอทธิลีน โพลิโพรพิลีน อะลูมิเนียมฟอยด์ และถุงสุญญากาศ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยด้านสีของผลิตภัณฑ์ข้าวคั่วในบรรจุภัณฑ์ชนิดโพลิเอทธิลีน โพลิโพรพิลีน อะลูมิเนียมฟอยด์ และถุงสุญญากาศ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ในถุงอะลูมิเนียมฟอยด์มีคะแนนค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.10 ด้านกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ข้าวคั่วในบรรจุภัณฑ์ชนิดโพลิเอทธิลีน โพลิโพรพิลีน อะลูมิเนียมฟอยด์ และถุงสุญญากาศ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยที่ในถุงอะลูมิเนียมฟอยด์มีคะแนนค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.20 ส่วนข้าวคั่วที่เก็บในถุงสุญญากาศ โพลิโพรพิลีน และโพลิเอทธิลีน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.13 3.03 และ 2.36 ตามลำดับ

กฤษณา รักษ์วงศ์ และคณะ (2549) ศึกษาผลของชนิดบรรจุภัณฑ์ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ชาข้าวหอมมะลิใบหม่อน (ชาใบหม่อน : ข้าวหอมมะลิคั่ว อัตราส่วน 10 กรัม : 25 กรัม) บรรจุในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ คือ โพลิโพรพิลีน อะลูมิเนียมฟอยล์ และถุงสุญญากาศ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ติดตามการเปลี่ยนแปลงทางด้านกายภาพ เคมีชีวภาพและประเมินผลทางประสาทสัมผัสทุก 30 วัน พบว่าในระหว่างการเก็บรักษาค่าปริมาณน้ำอิสระของผลิตภัณฑ์มีค่าสูงขึ้นและปริมาณ catechin มีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p< 0.05$) และพบว่าค่าปริมาณน้ำอิสระผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงจากตัวอย่างเริ่มต้นที่เก็บในบรรจุภัณฑ์อะลูมิเนียมฟอยล์น้อยกว่าที่เก็บในถุงสุญญากาศ และโพลิโพรพิลีน ตามลำดับ จากการวัดค่าสีพบว่า ความแตกต่างของสีผลิตภัณฑ์ที่เก็บในบรรจุภัณฑ์อะลูมิเนียมฟอยล์แตกต่างจากตัวอย่างเริ่มต้นน้อยที่สุด จากการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสโดยวิธี difference from control test โดยใช้ผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบกึ่งฝึกฝน พบว่าผลิตภัณฑ์ที่เก็บในบรรจุภัณฑ์อะลูมิเนียมฟอยล์มีคะแนนแตกต่างจากตัวอย่างเริ่มต้นน้อยที่สุด ทั้งด้านรสชาติ ความขม กลิ่น และสี แม้ภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 90 วัน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ในขณะที่การเก็บรักษาในถุงสุญญากาศ และโพลิโพรพิลีนเก็บรักษาได้นาน 60 วัน

สรวิศ แจ่มจำรูญ และคณะ (2552) ศึกษาผลของการอบแห้งและภาชนะบรรจุในการยืดอายุการเก็บรักษา กะเพราแดง (*Ocimum sanctum* Linn.) โดยศึกษาอุณหภูมิการอบแห้งกะเพราแดงที่ระดับ 40 50 และ60 องศาเซลเซียส และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องโดยบรรจุใส่ถุงอะลูมิเนียมฟอยล์และถุงพลาสติกใส พบว่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 12 เดือน ถุงพลาสติกใสมีความชื้นสูงกว่าถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ ส่วนค่า (L) ไม่แตกต่างกัน และปริมาณสาร Ursolic acid มีปริมาณลดลง

บทที่ 3

วิธีดำเนินการทดลอง

วัตถุดิบ

1. ใบขลู่ จากสถานีพัฒนาทรัพยากรป่าชายเลนที่ 2 บ้านท่าสอน อำเภอขลุง จังหวัดจันทบุรี

สารเคมี

1. เอทานอล (Methanol; CH_3OH) 95% บริษัท Labscan ประเทศไทย
2. ดีพีพีเอช (2-diphenyl-1-picrylhydrazyl: $C_{18}H_{12}N_5O_6$) 90% บริษัท Sigma ประเทศเยอรมัน
3. ฟอลิน ซิโอแคลทู รีเอเจนต์ (Folin-ciocalteu reagent) (Garlo ERBA) บริษัท Sigma ประเทศอังกฤษ
4. โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate anhydrous : Na_2CO_3) บริษัท Ajax Finechem ประเทศออสเตรเลีย
5. กรดแกลลิค (Gallic acid : $C_7H_6O_5$) 98% บริษัท Fluka ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) Memmert รุ่น ULE 600 ประเทศเยอรมนี
2. ตู้อบแห้งสุญญากาศ (Vacuum oven) บริษัทอีเคฟู้ดเท็ค ประเทศไทย
3. เครื่อง Spectrophotometer Spectronic genesys รุ่น 1001 PLUS ประเทศเยอรมนี
4. เครื่องวัดค่า Water Activity Novasina รุ่น Thermo constanter TH 200 ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
5. เครื่องวัดค่าสี (Colorimeter) Hunter lab รุ่น Mini Scan XE Plus
6. เครื่องร่อน Sieving machine รุ่น VE1000 ประเทศเยอรมนี
7. เครื่องปั่นผสม (Vortex mixer) Heidolph รุ่น REAX 2000 ประเทศเยอรมนี
8. เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 2 ตำแหน่ง Sartorius รุ่น BA 610 ประเทศเยอรมนี
9. เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง Sartorius รุ่น AC 2115 ประเทศเยอรมนี
10. เครื่องปิดผนึก ประเทศไทย
11. ปั๊มสุญญากาศ
12. Infrared thermometer

13. ตะแกรงร่อน ขนาด 50 60 70 และ 80 เมช Retsch ประเทศเยอรมนี
14. อุปกรณ์สำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัส
15. อุปกรณ์งานครัว
16. อุปกรณ์เครื่องแก้ว
17. โถดูดความชื้น (Desiccator) Indosaw ประเทศไทย
18. ภาชนะอะลูมิเนียมสำหรับหาความชื้น (Moisture can)
19. คิวเวตต์
20. แท่งแม่เหล็ก (magnetic stirrer bar)
21. ถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนตขนาด 4"x 6"
22. ถุงพลาสติกใสชนิดโพลิโพรพิลีนแบบหนาขนาด 4"x 5"
23. กระดาษกรอง Whatman no. 1 และ no. 4

วิธีดำเนินการทดลอง

ตอนที่ 1 ศึกษาผลของวิธีการและสภาวะในการเตรียมวัตถุดิบก่อนการทำแห้งที่มีต่อคุณภาพของใบขลู่ผง

วัตถุดิบ คือ ใบขลู่สด

เพื่อเป็นการควบคุมคุณภาพของขลูผงให้มีคุณภาพที่สม่ำเสมอภายหลังการผลิต จึงต้องมีการคัดเลือกวัตถุดิบที่จะนำมาผลิตให้มีความแก่อ่อนของใบที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงนำใบขลู่มาทำการคัดเลือกเอาเฉพาะใบอ่อน ที่มีขนาดความกว้างของใบประมาณ 3-5 เซนติเมตร และความยาวของใบประมาณ 5-7 เซนติเมตร จากนั้นหั่นเป็นเส้นตามขวางกว้างประมาณ 0.5 เซนติเมตร ยาวประมาณ 1 เซนติเมตร ล้างให้สะอาด และผึ่งลมให้แห้ง

เนื่องจากการนำขลู่ผงไปใช้เพื่อให้เกิดกลิ่นรสในผลิตภัณฑ์อาหารจะอาศัยการสกัดกลิ่นรสเช่นเดียวกับการชงชา ดังนั้น จึงใช้กระบวนการผลิตต้นแบบจากการผลิตชาแบบดั้งเดิมของชาวชุมชน เมื่อพิจารณาคุณภาพของชาใบขลู่ที่ผลิตด้วยวิธีดั้งเดิมของชุมชน พบว่า มักจะมีสีค่อนข้างดำคล้ำ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงศึกษาถึงวิธีการเตรียมวัตถุดิบก่อนการนำไปทำแห้ง เพื่อปรับปรุงคุณภาพของสีและคงความเขียวของใบขลู่ไว้ให้ได้มากที่สุด ขั้นตอนนี้จึงศึกษาเปรียบเทียบวิธีการและสภาวะในการเตรียมวัตถุดิบ โดยแบ่งการเตรียมเป็น 3 วิธี คือ

1. ไม่มีการเตรียมขั้นต้น

2. การลวกในน้ำ โดยลวกใบขลู่ที่อุณหภูมิน้ำเดือด เป็นเวลา 1 นาที อัตราส่วนของใบขลู่: น้ำที่ใช้ลวก คือ 1: 12 แล้วแช่ในน้ำเย็น (อุณหภูมิประมาณ 4°C) ทันทีเป็นเวลา 1 นาที

3. การลวกในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต โดยลวกใบขลู่ในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 0.06% (Maharaj & Sankat, 1996) ที่อุณหภูมิน้ำเดือด เป็นเวลา 1 นาที อัตราส่วนของใบขลู่ : น้ำที่ใช้ลวก คือ 1 : 12 แล้วแช่ในน้ำเย็น (อุณหภูมิประมาณ 4°C) ทันทีเป็นเวลา 1 นาที

จากนั้นนำใบขลู่ที่ผ่านการเตรียมในสภาวะต่างๆ ไปทำแห้งตามวิธีการดั้งเดิมของชาวบ้าน คือ คั่วในกระทะอะลูมิเนียมด้วยไฟอ่อนโดยใช้มือที่สวมถุงมือผ้าแทนตะหลิวนาน 30 นาที จากนั้นเกลี่ยลงบนถาดนำเข้าตู้อบลมร้อน อบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อได้ใบชาหรือใบขลู่แห้งมาแล้ว จะนำมาบดเป็นผงละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 50 เมช ได้เป็นขลู่ผง

นำตัวอย่างขลู่ผงที่ผลิตได้ไปวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ ได้แก่

1. ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)

2. ค่าสี วัดค่าสีของใบขลู่ผงด้วยเครื่อง colorimeter รายงานผลเป็นค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) และคำนวณหาค่าความแตกต่างของสี (ΔE) เปรียบเทียบกับใบขลู่สด

3. ปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมด (Total Phenolics compound) โดยวิธี Folin-Ciocalteus method (Zhou and Yu, 2006)

4. สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH radical scavenging (DPPH assay) ดัดแปลงจากวิธีของ Brand-Williams, Cuvelier และ Berset. (1995)

5. การทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค ด้วยวิธี Scoring test ประเมินความเข้มของคุณลักษณะด้านสีเขียวของขลู่ผง โดย 1 หมายถึง สีเขียวเข้มน้อยที่สุด และ 5 หมายถึง สีเขียวเข้มมากที่สุด และประเมินความเข้มของคุณลักษณะด้านกลิ่นรสของน้ำสกัดจากขลู่ผง โดย 1 หมายถึง กลิ่นรสของน้ำสกัดมีความเข้มน้อยที่สุด และ 5 หมายถึง กลิ่นรสของน้ำสกัดมีความเข้มมากที่สุด ใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 15 คน

การเตรียมน้ำสกัดจากขลู่ผง โดยนำขลู่ผงปริมาณ 1 กรัม ชงกับน้ำกลั่นต้มเดือดปริมาณ 75 มิลลิลิตร เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman no. 1 จะได้สารละลายที่สกัดจากใบขลู่ผงสำหรับนำไปวิเคราะห์

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ส่วนการ

ทดสอบทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design: RCBD)

คัดเลือกสภาวะในการเตรียมใบขลู่สำหรับการทำขลู่ผงที่มีค่า ΔE ต่ำ และได้รับคะแนนความเข้มของคุณลักษณะด้านสีเขียวของขลู่ผง และคุณลักษณะด้านกลิ่นรสของน้ำสกัดจากขลู่ผงสูงสำหรับใช้ในการทำการทดลองขั้นต่อไป

ตอนที่ 2 ศึกษาผลของวิธีการในการทำแห้งต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ใบขลู่ผง

เตรียมวัตถุดิบสำหรับการทำขลู่ผงตามวิธีที่เลือกได้จากตอนที่ 1 จากนั้นแปรวิธีการในการทำแห้งเป็น 4 วิธี คือ

1. การคั่วใบชาร่วมกับการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน
2. การคั่วใบชาร่วมกับการอบแห้งด้วยตู้อบแบบสุญญากาศ
3. การอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน
4. การอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศ

ในการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนใช้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 25 นาทีสำหรับวิธีที่มีการคั่วใบชาร่วมด้วย และอบแห้งเป็นเวลา 82 นาที สำหรับวิธีการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน จนกระทั่งตัวอย่างมีความชื้นสุดท้ายไม่เกินร้อยละ 7± 1 และสำหรับการอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศ สภาวะที่ใช้ในการอบแห้งใบขลู่ คือ อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 40 เซนติเมตรปรอท เป็นเวลา 57 นาที สำหรับวิธีทีมีการคั่วใบชาร่วมด้วย และอบแห้งเป็นเวลา 108 นาที สำหรับวิธีการอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศ จนกระทั่งตัวอย่างมีความชื้นสุดท้ายไม่เกินร้อยละ 7± 1 เช่นเดียวกัน จากนั้นนำตัวอย่างภายหลังการทำแห้งไปบดเป็นผง ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 50 เมช จนได้เป็นขลู่ผง ทำการทดลอง 3 ซ้ำ และนำขลู่ผงมาตรวจสอบคุณภาพด้านต่างๆดังนี้

1. ค่าสีในระบบ L*, a*, b*

2. การทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคด้วยวิธี 9-point Hedonic Scale โดยมีวิธีการเตรียมน้ำชาขลู่เพื่อทำการทดสอบ ดังนี้

นำขลู่ผงปริมาณ 1 กรัม ชงกับน้ำกลั่นต้มเดือดปริมาณ 75 มิลลิลิตร เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman no.1 จะได้เป็นน้ำชาขลู่ และนำมาทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคจำนวน 30 คน เพื่อประเมินความชอบของคุณลักษณะด้านสี, กลิ่น, กลิ่นรส และความชอบโดยรวมของน้ำชาขลูโดย

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

5 หมายถึง เฉยๆ

3. วัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสารต้านอนุมูลอิสระ DPPH โดยมีวิธีการเตรียมน้ำสกัดจากขลู่ผงสำหรับวัดปริมาณสารตัวอย่าง ดังนี้

นำขลู่ผงปริมาณ 1 กรัม ชงกับน้ำกลั่นต้มเดือดปริมาณ 75 มิลลิลิตร เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman no.1 จะได้สารละลายที่สกัดจากใบขลู่ผง นำสารสกัดที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสารต้านอนุมูลอิสระ DPPH

ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design : CRD) สำหรับการทดสอบค่าสีในระบบ L*, a*, b* วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design ; RCBD หรือ RBD) สำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-Point Hedonic scale วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

คัดเลือกวิธีการที่เหมาะสมในการทำแห้งขลู่ผงโดยพิจารณาจากค่า ΔE ต่ำ และได้รับคะแนนความชอบทางด้านประสาทสัมผัสสูง

ตอนที่ 3 การศึกษาผลของขนาดอนุภาคต่อสมบัติของขลู่ผง

นำใบขลู่แห้งที่เตรียมได้มาทำการบดลดขนาดให้มีขนาดอนุภาคแตกต่างกัน 4 ขนาด โดยใช้ตะแกรงร่อนขนาด 50 60 70 และ 80 เมช แล้วนำขลู่ผงมาวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ ดังนี้

1. ค่าสี วัดค่าสีของผงขลู่ด้วยเครื่อง colorimeter รายงานผลเป็นค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*)

2. ปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมด (Total Phenolics compound) โดยวิธี Folin-Ciocalteus method (Zhou and Yu, 2006)

3. สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH radical scavenging (DPPH assay) ดัดแปลงจากวิธีของ Brand-Williams, Cuvelier และ Berset. (1995)

4. ความสามารถในการละลาย (Solubility) (Sanphakdee, 2007)

5. การทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค โดยเตรียมน้ำสกัดจากขลู่ผงตามวิธีการเตรียมน้ำสกัดจากขลู่ผง แล้วนำมาทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคด้วยวิธี 9-point hedonic scale ทดสอบความชอบด้านสี กลิ่น กลิ่นรส และความชอบโดยรวม โดย 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด ใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ส่วนการทดสอบทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design: RCBD)

คัดเลือกขนาดของขลู่ผงที่เหมาะสมจากสมบัติด้านการละลาย ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และความชอบโดยรวม สำหรับการทดลองในขั้นต่อไป

ตอนที่ 4 การศึกษาชนิดของบรรจุภัณฑ์ต่อคุณภาพของขลู่ผงระหว่างการเก็บรักษา

เนื่องจากโดยทั่วไปบรรจุภัณฑ์ที่ใช้บรรจุชาใบขลู่ส่วนใหญ่นั้นเป็นบรรจุภัณฑ์ชนิดถุงพลาสติกใสชนิดโพลิโพรพิลีนแบบหนา แต่เนื่องจากพบปัญหาว่า ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ภายในมักเกิดการเสื่อมเสียได้ง่ายทั้งจากแสง ออกซิเจน และความชื้น ซึ่งจากการตรวจเอกสารพบว่า ถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนตเป็นบรรจุภัณฑ์ชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติป้องกันแสง ออกซิเจน และความชื้นได้ดี จึงมีแนวคิดที่จะทดลองนำเอาถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนตมาใช้ในการบรรจุและเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ขลู่ผงเปรียบเทียบกับการใช้ถุงพลาสติกใสชนิดโพลิโพรพิลีนแบบหนา

โดยนำขลู่ผงที่คัดเลือกได้จากตอนที่ 2 มาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 8 สัปดาห์ในบรรจุภัณฑ์ที่แตกต่างกัน 2 ชนิด คือ ถุงพลาสติกใสชนิดโพลีโพรพิลีนแบบหนาปิดผนึกและถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนตปิดผนึก สุ่มตัวอย่างมาตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาทุก 2 สัปดาห์ โดยวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ ดังนี้

1. ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000) ตามวิธีในภาคผนวก ก-1

2. ค่าสี วัดค่าสีของใบผงขลู่ด้วยเครื่อง colorimeter ตามวิธีในภาคผนวก ข-1 รายงานผลเป็นค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*)

3. ค่า Water activity โดยเครื่องวิเคราะห์ค่า Water Activity ตามวิธีในภาคผนวก ก-4

4. การทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค โดยเตรียมน้ำสกัดจากขลู่ผงตามวิธีการเตรียมน้ำสกัดจากขลู่ผง แล้วนำมาทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคด้วยวิธี 9-point hedonic scale ทดสอบความชอบด้านสี กลิ่น กลิ่นรส และความชอบโดยรวม โดย 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด ใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ และ เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี t-test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลของวิธีการและสภาวะในการเตรียมวัตถุดิบก่อนการทำแห้งที่มีต่อคุณภาพของใบขลู่ผง

การลวกเป็นขั้นตอนหนึ่งที่ใช้ในการเตรียมวัตถุดิบ โดยจะทำให้สีของวัตถุดิบบางชนิดดีขึ้น และการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตความเข้มข้น 0.125% โดยน้ำหนัก หรือแคลเซียมออกไซด์ลงไปในน้ำที่ใช้ลวก จะช่วยป้องกันไม่ให้คลอโรฟีลล์ถูกทำลายทำให้ผักยังคงมีสีเขียวเช่นเดิม (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2544)

นำขลู่ผงที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นที่แตกต่างกัน 3 วิธี คือ ไม่มีการเตรียมขั้นต้น ลวกในน้ำ และลวกในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 0.06% มาวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ ได้แก่ ปริมาณความชื้น ค่าสี ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคด้านความเข้มของสีเขียวและกลิ่นรสด้วยวิธี Scoring test ผลการวิเคราะห์มีรายละเอียดดังนี้

1) ปริมาณความชื้น

จากการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของขลู่ผงที่เตรียมขั้นต้นด้วยวิธีต่างๆ ผลการวิเคราะห์คุณภาพแสดงดังตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 ปริมาณความชื้น (%) ของขลู่ผงที่เตรียมขั้นต้นด้วยวิธีต่างๆ

วิธีเตรียมขั้นต้น	ปริมาณความชื้น (%)
ไม่มีการเตรียมขั้นต้น (ตัวอย่างควบคุม)	7.02 ± 0.54
ลวกในน้ำ	7.15 ± 0.70
ลวกในสารละลาย แมกนีเซียมคาร์บอเนต 0.06%	5.85 ± 0.59

จากตารางที่ 4-1 พบว่า ขลู่ผงมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 7±1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของขลู่แห้งที่กำหนดให้ต้องมีความชื้นไม่เกิน 14 เปอร์เซ็นต์ (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนขลู่แห้ง, 2548)

2) ค่าสี (L* a* และ b*)

สีเป็นหนึ่งในคุณลักษณะที่สำคัญของอาหาร โดยสิ่งที่ทำให้อาหารมีสีแตกต่างกันคือ สารสี หรือ รงควัตถุ ซึ่งมีอยู่ในอาหารตามธรรมชาติ เช่น สีเขียวของผักใบเขียวเนื่องจากมีคลอโรฟิลล์ หรือ สีเหลือง สีส้ม และสีแดง เนื่องจากสีของแคโรทีนอยด์ เป็นต้น (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549) ซึ่งสีเขียวของใบขลู่นั้นเกิดจากคลอโรฟิลล์ โดยการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในพืชที่มีสีเขียวในระหว่างกระบวนการให้ความร้อนคือ การเปลี่ยนจากคลอโรฟิลล์ไปเป็นฟีโอไฟติน ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงจากสีเขียว (bright green) ไปเป็นสีน้ำตาล (olive-brown) โดยการเตรียมขั้นต้นก่อนการทำแห้งนั้นสามารถช่วยรักษาคลอโรฟิลล์ในระหว่างการทำแห้งได้ (Schwartz & Von-Elbe, 1983 ; Ihl, Monslaves, & Bifani, 1998) จากการวิเคราะห์ค่าสี (L* a* และ b*) และค่าความแตกต่างของสี (ΔE) เปรียบเทียบกับใบขลู่สดในขลู่ผงที่เตรียมขั้นต้นด้วยวิธีต่างๆ ผลการวิเคราะห์คุณภาพแสดงดังตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 ค่าสี (L* a* และ b*) และค่าความแตกต่างของสี (ΔE) เปรียบเทียบกับใบขลู่สดของขลู่ผงที่เตรียมขั้นต้นด้วยวิธีต่างๆ

วิธีเตรียมขั้นต้น	L* ^{ns}	a*	b*	ΔE
ไม่มีการเตรียมขั้นต้น (ตัวอย่างควบคุม)	31.57 ± 1.07	0.77 ± 0.57^{a}	14.30 ± 0.24^{b}	15.86 ± 0.38^{a}
ลวกในน้ำ	34.04 ± 0.19	-3.27 ± 0.25^{b}	18.85 ± 0.59^{a}	9.61 ± 0.29^{b}
ลวกในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต 0.06%	33.80 ± 1.66	-3.06 ± 0.05^{b}	18.77 ± 1.22^{a}	9.19 ± 1.07^{b}

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

^{ns} หมายถึง ค่าในแนวตั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

จากตารางที่ 4-2 พบว่า วิธีการเตรียมขั้นต้นมีผลต่อค่าความเป็นสีเขียว (a*) ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) และ ค่าความแตกต่างของสี (ΔE) ในขลู่ผงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ไม่มีผลต่อค่าความสว่าง (L*) ($p\geq0.05$) โดยพบว่าวิธีการเตรียมขั้นต้นที่สามารถรักษาสีเขียวของขลู่ผงไว้ได้มากที่สุดคือ การลวกในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต 0.06% และการลวก

ในน้ำ โดยพิจารณาจากค่าความแตกต่างของสี (ΔE) เปรียบเทียบกับใบขลู่สด ซึ่งค่า ΔE หมายถึง ค่าความแตกต่างของสีทั้งหมดเมื่อเทียบกับใบขลู่สด ซึ่งคำนวณได้จากสูตรในภาคผนวก ข-1 โดยเมื่อค่าΔE ยิ่งมีค่าต่ำแสดงว่าตัวอย่างขลู่ผงนั้นมีสีที่ใกล้เคียงกับใบขลู่สดมาก จากผลการทดลองจะเห็นว่าขลู่ผงที่ผ่านการลวกในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต 0.06% และการลวกในน้ำมีค่าความแตกต่างของสี (ΔE) ต่ำกว่าขลู่ผงที่ไม่มีการเตรียมขั้นต้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Nilnakara (2006) ที่รายงานว่า ผงใยอาหารที่ผลิตจากกาบใบกะหล่ำปลีที่ผ่านการลวกและไม่ผ่านการลวกมีค่าสี (L* a* และ b*) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และตัวอย่างที่ผ่านการลวกมีค่าความแตกต่างของสี (ΔE) ต่ำกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการลวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก การลวกนั้นไปยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ซึ่งช่วยป้องกันการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ (Brewer, Begum, & Bozeman, 1995; Heaton, Yada, & Marangoni, 1996; Lisiewska et al., 2004) และการลวกยังช่วยกำจัดออกซิเจนออกจากเนื้อเยื่อพืช ซึ่งการลดลงของปริมาณออกซิเจนนั้นทำให้สามารถรักษาสีของพืชได้ดีขึ้นด้วย โดยทำให้ความยาวคลื่นของแสงสะท้อนเปลี่ยนไป (Lisiewska et al., 2004; Toivonen, 1997; Yamauchi, Yoshimura, Shono, & Kozukue, 1995) นอกจากนี้ Lioutas (1989) ได้รายงานว่า บร็อคโคลีที่ผ่านการลวกในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต และทำแห้งที่อุณหภูมิ 110°F (44°C) มีความคงตัวของสีเขียวที่ดี และ Lioutas ได้ยืนยันว่าที่ค่า pH 7-9 สามารถรักษาคลอโรฟิลล์ได้ดี เนื่องจากเกลือของด่าง (alkali salts) ช่วยป้องกันหรือลดการเกิดฟีโอไฟติน โดยการสะเทินกรดที่ถูกปลดปล่อยจากพืชหรือที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการให้ความร้อน

3) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

โครงสร้างพื้นฐานของสารประกอบฟีนอลิกเกิดจากการรวมตัวของโมเลกุลน้ำตาลตั้งแต่ 1 โมเลกุลขึ้นไปกับหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) สารประกอบฟีนอลิกมีคุณสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชันได้ โดยทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระและไอออนของโลหะที่สามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและโมเลกุลอื่นๆ ด้วยการให้อะตอมไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระอย่างรวดเร็ว (วิวัฒน์ หวังเจริญ, 2545) จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของขลู่ผงที่เตรียมขั้นต้นด้วยวิธีต่างๆ โดยใช้กรดแกลลิกเป็นสารละลายมาตรฐาน ผลการวิเคราะห์คุณภาพแสดงดังตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/g) ของขลู่ผงที่เตรียมขั้นต้นด้วยวิธีต่างๆ

วิธีเตรียมขั้นต้น	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/g)
ไม่มีการเตรียมขั้นต้น (ตัวอย่างควบคุม)	47.88 ± 2.45^{b}
ลวกในน้ำ	92.50 ± 0.82^{a}
ลวกในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต 0.06%	96.54 ± 1.09^{a}

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

จากตารางที่ 4-3 พบว่า วิธีการเตรียมขั้นต้นมีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในขลู่ผงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยวิธีการเตรียมขั้นต้นที่ยังคงรักษาสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดไว้ได้มากที่สุดคือ การลวกในน้ำและการลวกในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต 0.06% ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Oboh (2005) ที่รายงานว่า การลวกผัก (Ocimum gratissimum, Telfairia occidentalis, Baselia alba, Corchorus olitorus Structium sparejanophora และ Solanum macrocarpon) สามารถรักษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดได้มากกว่าการไม่ลวกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) Dewanto, Wu, Adom and Liu (2002) รายงานว่า การหุงต้ม (cooking) หรือ การให้ความร้อนแบบเปียก (wet heating) ทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในมะเขือเทศเพิ่มขึ้น และ Puupponen-Pimia et al. (2003) รายงานว่า กะหล่ำปลีขาวที่ผ่านการลวกมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้น 21% จากกะหล่ำปลีสด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก การลวกไปทำลายผนังเซลล์และส่วนอื่นๆของเซลล์ ส่งผลให้เกิดการปลดปล่อยและสกัดสารประกอบฟีนอลิกออกมาได้มากขึ้น (Jimnez-Monreal, Garca-Diz, Martnez-Tom, Mariscal, & Murcia, 2009). และการลวกยังช่วยรักษาสารประกอบฟีนอลิกได้เนื่องจากการลวกไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ polyphenoloxidases ที่อยู่ในพืช ทำให้สารประกอบฟีนอลิกไม่ถูกทำลายโดยเอนไซม์ (Giovanelli, Brambilla, Rizzolo, & Sinelli, 2012)

4) สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ

สารต้านอนุมูลอิสระ คือ โมเลกุลของสารที่สามารถจับกับตัวรับและสามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของโมเลกุลสารอื่นๆได้ (โอภา วัชระคุปต์, 2550) โดยทั่วไป สารต้านอนุมูลอิสระสามารถพบได้ในธรรมชาติจากสารหลายชนิด เช่น สารประกอบฟีนอลิก สารประกอบ และแคโรทีนอยด์ เป็นต้น (เจนจิรา จิรัมย์ และประสงค์ สีหานาม, 2554) 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 โดยโครงงานวิจัยนี้ใช้วิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging assay ซึ่งมีหลักการ คือ DPPH เป็นอนุภาคอิสระที่ไม่เสถียร และสามารถรับอิเล็คตรอนได้อีก เพื่อเปลี่ยนเป็นโมเลกุลที่เสถียรเมื่อ DPPH ทำปฏิกิริยากับตัวอย่างที่มีสมบัติต้านอนุมูลอิสระ สารละลาย DPPH จะเปลี่ยนจากสีม่วงเป็นสารละลายสีเหลือง และสามารถดูดกลืนแสงได้ดีที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร (Molyneux, 2004)

จากการวิเคราะห์คุณภาพสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของขลู่ผงที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยวิธีต่างๆ รายงานเป็นค่า radical scavenging (%) ได้ผลการวิเคราะห์คุณภาพแสดงดังตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ รายงานเป็นค่า radical scavenging (%) ของขลู่ผงที่เตรียมขั้นต้นด้วยวิธีต่างๆ

วิธีเตรียมขั้นต้น	radical scavenging (%)
ไม่มีการเตรียมขั้นต้น (ตัวอย่างควบคุม)	83.35 ± 0.30^{c}
ลวกในน้ำ	85.15 ± 0.12^{a}
ลวกในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต 0.06%	84.44 ± 0.20^{b}

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

จากตารางที่ 4-4 พบว่า วิธีการเตรียมขั้นต้นมีผลต่อสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของขลู่ผงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยวิธีการเตรียมขั้นต้นที่ยังคงรักษาสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระไว้ได้มากที่สุด คือ การลวกในน้ำ รองลงมาคือ การลวกในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต 0.06% และ ไม่มีการเตรียมขั้นต้น ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Dewanto et al. (2002) ที่รายงานว่า มะเขือเทศที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนมีสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) Yamaguchi et al. (2001) รายงานว่า หน่อไม้ฝรั่ง ต้นหญ้าเบอร์ดอก แครอท มะเขือยาว และพริกหยวกที่ผ่านการต้มเป็นเวลา 5 นาที มีสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน ($p<0.05$) Turkmen, Sari, and Velioglu (2005) ได้ศึกษาผลของวิธีการปรุงสุกต่อสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของผักสีเขียว ได้แก่ พริก ถั่วเขียว บร็อคโคลี และผักโขม พบว่า การต้ม (5 นาที) การให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ (1000 W เป็นเวลา 1-1.5 นาที) และการนึ่ง (7.5 นาที) ทำให้สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น (วิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH radical scavenging) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของสารประกอบฟีนอลิกเนื่องจากการลวก ซึ่งสารประกอบฟีนอลิกเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญที่มีผลต่อสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยมีเหตุผล 3 ประการที่อาจเป็นสาเหตุของการเพิ่มขึ้น

ของสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของพืชหลังจากการให้ความร้อน คือ 1) การที่สารต้านอนุมูลอิสระจำนวนมากถูกปลดปล่อยออกมาจากเซลล์พืช เนื่องจากความร้อนไปทำลายผนังเซลล์และส่วนประกอบภายในเซลล์ของพืช 2) เกิดการสร้างสารที่สามารถกำจัดอนุมูลอิสระได้โดยปฏิกิริยาเคมีและความร้อน (thermal chemical reaction) 3) การยับยั้งการออกซิเดชันของสารต้านอนุมูลอิสระเนื่องจากเอนไซม์ประเภท oxidative enzymes ถูกยับยั้งด้วยความร้อน (Yamaguchi et al.,2001)

5) การยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค

การทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคด้วยวิธี Scoring test ใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 15 คน ให้ผู้ทดสอบให้คะแนนความเข้มด้านสีเขียวของขลู่ผงและความเข้มด้านกลิ่นรสของน้ำสกัดจากขลู่ผง โดยใช้คะแนน 1-5 ซึ่ง 1 หมายถึง สีเขียวหรือกลิ่นรสเข้มน้อยที่สุด และ 5 หมายถึง สีเขียวหรือกลิ่นรสเข้มมากที่สุด ได้ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5 คะแนนความเข้มด้านสีเขียวและกลิ่นรสของขลู่ผงที่เตรียมขั้นต้นด้วยวิธีต่างๆ

วิธีเตรียมขั้นต้น	สีเขียว	กลิ่นรส^{ns}
ไม่มีการเตรียมขั้นต้น (ตัวอย่างควบคุม)	1.20 ± 0.56^{c}	3.33 ± 0.82
ลวกในน้ำ	3.67 ± 0.62^{b}	2.93 ± 1.33
ลวกในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต 0.06%	4.37 ± 0.46^{a}	3.93 ± 1.27

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

^{ns} หมายถึง ค่าในแนวตั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

จากตารางที่ 4-5 พบว่า วิธีการเตรียมขั้นต้นมีผลต่อคะแนนความเข้มด้านสีเขียวของขลู่ผงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ไม่มีผลต่อคะแนนความเข้มด้านกลิ่นรสของน้ำสกัดจากขลู่ผง ($p\geq0.05$) โดยวิธีการเตรียมขั้นต้นที่ได้รับคะแนนความเข้มด้านสีเขียวมากที่สุดคือ การลวกในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต รองลงมาคือ การลวกในน้ำ และไม่มีการเตรียมขั้นต้นตามลำดับ

โดยจากผลการทดลอง พบว่า คะแนนความเข้มด้านสีเขียว ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส สอดคล้องกับค่าที่ได้จากการใช้เครื่องมือวัดคือ ค่า a* และ ค่า ΔE กล่าวคือ ตัวอย่างขลู่ผงที่ลวกในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนตได้รับคะแนนความเข้มด้านสีเขียวสูงที่สุด รองลงมาคือ ตัวอย่างขลู่ผงที่ลวกในน้ำ และไม่มีการเตรียมขั้นต้นตามลำดับ ซึ่งมีแนวโน้มที่สอดคล้องกับค่า a* และค่า ΔE คือ ตัวอย่างขลู่ผงที่ลวกในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนตและลวกในน้ำมีความเป็นสีเขียว และมีสีที่ใกล้เคียงกับใบขลู่สดมากกว่าตัวอย่างที่ไม่มีการเตรียมขั้นต้น

การเลือกวิธีการเตรียมขั้นต้นที่เหมาะสม

เกณฑ์ในการคัดเลือกที่กำหนดไว้ว่าจะพิจารณาผลจากวิธีการเตรียมขั้นต้นต่อค่าความแตกต่างของสี (ΔE) และคะแนนความเข้มด้านสีเขียวของขลู่ผง และคะแนนความเข้มด้านกลิ่นรสของน้ำสกัดจากขลู่ผงโดยเลือกวิธีการเตรียมขั้นต้นที่ทำให้ได้ขลู่ผงที่ยังคงสีเขียว และกลิ่นรสไว้ได้มากที่สุด คือ มีค่าความแตกต่างของสี (ΔE) ต่ำ และได้รับคะแนนความเข้มด้านสีเขียวและกลิ่นรสสูง พบว่าการลวกใบขลู่ในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต 0.06% เป็นวิธีการเตรียมขั้นต้นที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจาก ทำให้ได้ขลู่ผงที่มีค่าความแตกต่างของสี (ΔE) ต่ำที่สุด และได้รับคะแนนความเข้มด้านสีเขียวสูงที่สุด สำหรับความเข้มด้านกลิ่นรสนั้นการเตรียมขั้นต้นทั้งสามวิธีได้รับคะแนนที่ไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) จึงไม่ใช้ในการพิจารณา

4.2 ผลของวิธีการในการทำแห้งต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ใบขลู่ผง

ขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาผลของวิธีการทำแห้งต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขลู่ผง โดยแปรวิธีการทำแห้งเป็น 4 วิธี คือ การอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศ การอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน การคั่วใบขลู่ร่วมกับการอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศ และการคั่วใบขลู่ร่วมกับการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ซึ่งเมื่อนำมาวัดค่าสี L*, a*, b* และคำนวณหาค่า ΔE เปรียบเทียบกับใบขลู่สด แสดงผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4-6

ตารางที่ 4-6 ค่าสี L*, a*, b* และค่า ΔE ของขลู่ผงที่ผ่านการทำแห้งแบบต่างๆ

วิธีการทำแห้ง	L*	a*	b*	ΔE
การอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศ	39.69 ± 1.04^{c}	-3.74 ± 0.03^{d}	26.33 ± 0.91^{b}	8.97 ± 0.83^{b}
การอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน	37.50 ± 0.26^{b}	-4.56 ± 0.04^{b}	26.88 ± 0.41^{b}	9.47 ± 0.31^{b}
การคั่วใบขลู่ร่วมกับการอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศ	41.53 ± 0.41^{d}	-4.72 ± 0.10^{a}	26.67 ± 0.38^{b}	7.18 ± 0.40^{a}
การคั่วใบขลู่ร่วมกับการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน	34.57 ± 0.54^{a}	-3.90 ± 0.07^{c}	22.59 ± 0.22^{a}	13.27 ± 1.05^{c}

หมายเหตุ $^{a-d}$ หมายถึง ค่าในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากตารางข้างต้นแสดงถึงข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าสีในระบบ L*, a*, b* โดยที่ L* หมายถึง ค่าความสว่าง มีค่าตั้งแต่ 0 (ดำ) จนถึง 100 (ขาว) +a* หมายถึง ค่าความเป็นสีแดงและ -a* หมายถึง ค่าความเป็นสีเขียว +b* หมายถึง ค่าความเป็นสีเหลือง และ -b* หมายถึง ค่าความเป็นสีน้ำเงิน และค่าความแตกต่างของสี (ΔE) เปรียบเทียบกับใบขลู่สดพบว่า ตัวอย่างที่ผ่านการคั่วร่วมกับการอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศมีค่า ΔE ต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple range test พบว่า ตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศและตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน มีค่า ΔE ไม่แตกต่างกันซึ่งมีความแตกต่างจากการคั่วใบขลู่ร่วมกับการอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศและการคั่วใบขลู่ร่วมกับการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ดังนั้น การคั่วจึงเป็นปัจจัยสำคัญในการเกิดสีของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดและเป็นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล ชนิดที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (non enzymatic browning reaction) ที่เกิดจากน้ำตาลรีดิวซ์และกรดอะมิโน เมื่อได้รับความร้อนจะเกิดการรวมตัวกันของหมู่คาร์บอนิลและหมู่อะมิโน จึงทำให้เกิดกลิ่นและสีน้ำตาลในอาหารโดยสภาวะของปฏิกิริยาเมลลาร์ดนี้จะเกิดขึ้นในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงและมีความชื้นต่ำ ดังเช่นกระบวนการคั่วในขั้นตอนก่อนการอบแห้ง (Fennema, 1996) จากข้อมูลค่าเฉลี่ยข้างต้น จึงทำให้สามารถพิจารณาได้ว่า ตัวอย่างที่ผ่านการคั่วร่วมกับการอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศมีค่า ΔE ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับใบขลู่สด

จากการวิเคราะห์ค่าสีในระบบ L*, a*, b* ข้างต้น ยังไม่สามารถสรุปได้ว่าวิธีการคั่วร่วมกับการอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศเป็นวิธีที่เหมาะสมในการทำแห้งต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ใบขลู่ผง จึงต้องพิจารณาร่วมกับการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของผู้บริโภคร่วมด้วย โดยใช้คะแนนความชอบด้านสี กลิ่น กลิ่นรส และความชอบโดยรวมของน้ำชาจากขลู่ผงที่ผ่านการทำแห้งแบบต่างด้วยวิธี 9-point hedonic scale ดังแสดงในตารางที่ 4-7

ตารางที่ 4-7 คะแนนความชอบด้านสี กลิ่น กลิ่นรส และความชอบโดยรวมของน้ำชาจากใบขลู่ผงที่ผ่านการทำแห้งแบบต่างๆ

วิธีการทำแห้ง	สี	กลิ่น^{ns}	กลิ่นรส	ความชอบโดยรวม^{ns}
การอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศ	5.87 ± 1.41^{a}	6.10 ± 1.47	5.27 ± 0.78^{a}	5.63 ± 1.37
การอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน	6.60 ± 1.22^{b}	6.57 ± 1.28	5.73 ± 0.94^{b}	6.13 ± 1.45
การคั่วใบขลู่ร่วมกับการอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศ	6.50 ± 1.43^{b}	6.57 ± 1.14	7.50 ± 0.51^{d}	5.67 ± 1.60
การคั่วใบขลู่ร่วมกับการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน	6.37 ± 1.38^{ab}	6.43 ± 1.14	6.80 ± 0.80^{c}	5.53 ± 1.76

หมายเหตุ $^{a-d}$ หมายถึง ค่าในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

^{ns} หมายถึง ค่าในแนวตั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

จากตารางที่ 4-7 เมื่อพิจารณาผลการประเมินความชอบด้านสีของน้ำชาจากใบขลู่ที่ผ่านการอบแห้งวิธีต่างๆด้วยวิธี 9-point hedonic scale พบว่า น้ำชาจากใบขลู่ที่ผ่านการอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศได้รับคะแนนความชอบด้านสีน้อยที่สุดในระดับเฉยๆ ถึงชอบเล็กน้อย แต่ความชอบไม่แตกต่างจากน้ำชาจากใบขลู่ที่ผ่านการคั่วและอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ส่วนน้ำชาจากใบขลู่ที่ผ่านการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน การคั่วและอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศ และการคั่วร่วมกับการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนได้รับคะแนนความชอบด้านสีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) โดยได้รับคะแนนความชอบในระดับชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง ทั้งนี้เนื่องจากการชงขลู่ผงให้อยู่ในรูปของชาร้อน สีของน้ำชาที่สังเกตเห็นจึงค่อนข้างใกล้เคียงกัน ส่งผลให้คะแนนเฉลี่ยความชอบด้านสีใกล้เคียงกันด้วย

เมื่อพิจารณาผลการประเมินความชอบด้านกลิ่นของน้ำชาจากใบขลู่ที่ผ่านการอบแห้งวิธีต่างๆด้วยวิธี 9-point hedonic scale พบว่า น้ำชาจากใบขลู่ที่ได้จากการอบแห้งทั้ง 4 วิธีได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากชาชงร้อนที่จัดเตรียมสำหรับการทดสอบมีกลิ่นค่อนข้างอ่อน ผู้ทดสอบจึงไม่สามารถแยกแยะความแตกต่างของกลิ่นได้ชัดเจน

จากผลการประเมินความชอบด้านกลิ่นรสด้วยวิธี 9-point hedonic scale พบว่า ทุกตัวอย่างได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยตัวอย่างที่ผ่านการคั่วได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสสูงกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการคั่ว เนื่องจากการคั่วใบชาจะทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด ซึ่งเป็นกลไกสำคัญที่ทำให้เกิดกลิ่นรสของใบชา โดยเมื่อใบชาได้รับความร้อนจะเกิดการรวมตัวกันของหมู่คาร์บอนิลและหมู่อะมิโน จึงทำให้เกิดกลิ่นรสหอมเฉพาะตัวของใบชาได้มากกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการคั่ว แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาวิธีการอบแห้งที่นำมาใช้ร่วมด้วย พบว่า การอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศภายหลังการคั่วจะทำให้น้ำชาได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสสูงกว่าการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน โดยได้รับคะแนนความชอบในระดับชอบปานกลาง เนื่องจากการคั่วร่วมกับการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนทำให้ใบชาและน้ำชาที่ได้มีกลิ่นฉุนเกินไปผู้ทดสอบจึงให้คะแนนความชอบในระดับต่ำกว่าตัวอย่างที่ผ่านการคั่วร่วมกับการอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศ แต่เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบด้านความชอบโดยรวม พบว่า น้ำชาทุกตัวอย่างได้รับคะแนนความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

โดยธรรมชาติในพืชทั่วไปสามารถพบสารประกอบจำพวกฟีนอลิก ซึ่งมีสูตรโครงสร้างทางเคมีเป็นวงแหวนที่มีหมู่ไฮดรอกซิลอย่างน้อยหนึ่งหมู่หรือมากกว่านั้น สามารถละลายน้ำได้ มักรวมอยู่ในโมเลกุลของน้ำตาลในรูปไกลโคไซด์และพบได้ในส่วนของช่องว่างภายในเซลล์ สารประกอบฟีนอลิกหลายชนิดมีสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชันได้ โดยทำหน้าที่ในการกำจัดอนุมูลอิสระและไอออนของโลหะต่างๆ (ยุวดี มานะเกษม และ ศุจิรัตน์ สงวนรังศิริกุล, 2553) ในโครงงานวิจัยนี้จึงได้มีการทดสอบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกด้วยวิธี Folin- Ciocalteus method โดยรายงานผลในหน่วยมิลลิกรัมของกรดแกลลิคต่อกรัมน้ำหนักแห้ง (mg GAE/g) เทียบจากกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของกรดแกลลิคและค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตรนอกจากนี้เมื่อทดสอบขลู่ผงและตรวจพบว่า ในขลู่ผงมีองค์ประกอบของสารจำพวกฟีนอลิกจึงต้องทดสอบสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging assay ร่วมด้วย โดยใช้สาร 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) เป็นอนุมูลอิสระสังเคราะห์ที่มีความคงตัว เมื่อนำตัวอย่างที่มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระมาทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระในสารละลาย DPPH ที่มีสีม่วงเข้ม เมื่ออนุมูลอิสระได้รับอิเล็กตรอน สารละลาย DPPH จะเปลี่ยนจากสีม่วงเข้มเป็นสารละลายสีเหลืองที่สามารถดูดกลืนแสงได้ดีที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ในการทดสอบความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระรายงานเป็นค่า %inhibition แสดงผลดังตารางที่ 4-8

ตารางที่ 4-8 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและเปอร์เซ็นต์การยับยั้งสารต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากขลู่ผงที่ผ่านการทำแห้งแบบต่างๆ

วิธีการทำแห้ง	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (mg GAE/g dry matter)	เปอร์เซ็นต์การยับยั้ง (% inhibition)
การอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศ	126.94 ± 6.68[b]	88.75 ± 0.52[b]
การอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน	93.59 ± 2.22[a]	81.57 ± 0.07[a]
การคั่วใบขลู่ร่วมกับการอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศ	121.80 ± 2.22[b]	88.58 ± 0.03[b]
การคั่วใบขลู่ร่วมกับการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน	94.87 ± 2.22[a]	81.50 ± 1.38[a]

หมายเหตุ [a-b] หมายถึง ค่าในแนวตั้งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากผลการทดลองในการนำสารสกัดจากขลู่ผงมาวิเคราะห์เพื่อทดสอบหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกด้วยวิธี Folin- Ciocalteus method ซึ่งวิเคราะห์จากตัวอย่างขลู่ผงที่ใช้วิธีการทำแห้งที่แตกต่างกันคือ วิธีอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศ วิธีอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน วิธีคั่วใบขลู่ร่วมกับการอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศและวิธีคั่วใบขลู่ร่วมกับการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน พบว่า วิธีอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศและวิธีคั่วใบขลู่ร่วมกับการอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากที่สุดโดยมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) คือ 126.94 และ 121.80 mg GAE/g dry matter ตามลำดับ ดังนั้น ตัวอย่างขลู่ผงที่ผ่านการอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศจึงมีความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุด เมื่อพิจารณาจากตู้อบซึ่งมีอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบแตกต่างกัน พบว่า ตัวอย่างที่อบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศมีความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้ดีกว่าตัวอย่างที่อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนซึ่งใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่สูงกว่า ที่เป็นเช่นนี้อาจกล่าวได้ว่า วิธีทำแห้งด้วยลมร้อนซึ่งอบตัวอย่างที่อุณหภูมิ 80 °C เกิดการสูญเสียสารต้านอนุมูลอิสระมากกว่าวิธีทำแห้งด้วยสุญญากาศที่อุณหภูมิ 60 °C ซึ่งพบว่า มีรายงานจากงานวิจัยที่ได้ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราการทำแห้งด้วยลมร้อนและการรักษาสารต้านอนุมูลอิสระในแอปเปิ้ลแผ่น สรุปไว้ว่า วิธีทำแห้งด้วยลมร้อนเป็นเทคโนโลยีการทำแห้งที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมที่มีอิทธิพลทำให้เกิดการสูญเสียของสารต้านอนุมูลอิสระอย่างมาก (Demarchi et al., 2012) ซึ่งโดยธรรมชาติสารต้านอนุมูลอิสระจำพวกสารประกอบฟีนอลิกที่พบในพืชหลายชนิด สามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณได้ในระหว่างการทำแห้ง (Guan, Cenkowski and Hydamaka, 2005) อีกทั้งยังมีความไวต่อความร้อนสูง แม้ผ่านการให้ความร้อนในช่วงเวลาสั้นๆ (Ismail et al., 2004) ซึ่งเมื่อคำนวณค่าเฉลี่ยของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่มีในขลู่ผงจากการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและตู้อบสุญญากาศ พบว่า ขลู่ผงที่ผ่านการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและขลู่ผง

ที่ผ่านการอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศมีสารประกอบฟีนอลิกเฉลี่ยอยู่ประมาณ 94.23 และ 124.37 mg GAE/g dry matter ตามลำดับ จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ขลู่ผงที่ผ่านการอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศซึ่งใช้อุณหภูมิในการทำแห้งที่ต่ำกว่า มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระมากกว่าขลู่ผงที่ผ่านการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนซึ่งใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่สูงกว่า

สำหรับการรายงานค่าของสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH radical scavenging assay รายงานในหน่วยของ %inhibition ซึ่งหมายถึง ความสามารถในการต้านออกซิเดชัน หรือความสามารถของสารที่สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระ จากผลการทดลองในการนำสารสกัดจากขลู่ผงมาวิเคราะห์เพื่อทดสอบความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ซึ่งวิเคราะห์จากตัวอย่างขลู่ผงที่ใช้วิธีการทำแห้งที่แตกต่างกัน พบว่า ขลู่ผงที่ผ่านการอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศและขลู่ผงที่ผ่านการคั่วร่วมกับการอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศมีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งสารต้านอนุมูลอิสระมากที่สุดโดยมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) คือ 88.75% และ 88.58% ตามลำดับ ดังนั้น ขลู่ผงที่ผ่านการอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศจึงมีความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุด

Choi and Hwang (2005) รายงานในงานวิจัยเรื่องการศึกษาพืชที่มีฤทธิ์ทางการแพทย์ว่าใบขลู่มีความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดในปริมาณมาก นอกจากนี้ Bolling et al (2010) ได้ทำการศึกษากิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระที่มีในผักชนิดต่างๆของประเทศอินโดนีเซีย พบว่า สารสกัดจากใบขลู่มีความสามารถในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของกรดไลโนเลอิกซึ่งเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดหนึ่งและมีคุณสมบัติเป็นกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย มีประโยชน์และมีความสำคัญต่อสุขภาพ การเจริญเติบโต พัฒนาการและการทำงานของสมอง และการสืบพันธุ์ อีกทั้งยังมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระจากการทดสอบด้วยวิธี DPPH มากที่สุดเมื่อเทียบกับสมุนไพรอื่นๆในงานวิจัย ได้แก่ ผักหวาน ผักก้านก่อง ครุฑทองคำ ใบบัวบก แมงลัก ครุฑตีนตะพาบน้ำ โสมเกาหลี ขมหินสามทางดีปลี และคุณนายตื่นสาย จากข้อมูลนี้ทำให้ทราบว่าใบขลู่มีคุณสมบัติที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย เหมาะสมต่อการนำมาแปรรูปและพัฒนาให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ และเมื่อนำข้อมูลจากการทดลองมาเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกจากการสกัดด้วยน้ำกับใบชาชนิดอื่น ได้แก่ ชาแดง ชาเขียว ชาดำ ชาโรสแมรี่ ชาตะไคร้ ชาเขียวใบหม่อน ชาใบไผ่ ชาใบบัว ชาเปปเปอร์มินท์ และชาใบลูกพลับ พบว่า ขลู่ผงมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากกว่าชาชนิดอื่นๆ ในขลู่ผงมีสารประกอบฟีนอลิกประมาณ 94-124 mg GAE/g dry matter ขณะที่ในชาเขียวและชาดำซึ่งมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกอยู่มากที่สุดในปริมาณที่ไม่แตกต่างกัน มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกอยู่เท่ากับ 82.21 และ 82.86 mg GAE/g dry matter ตามลำดับ (Ah Reum Cho et al, 2013)

การเลือกวิธีในการทำแห้งใบขลู่ที่เหมาะสม

จากผลการทดลองสามารถหาวิธีการในการทำแห้งใบขลู่ที่เหมาะสมสำหรับการทดลองในขั้นต่อไป ได้แก่ การคั่วใบขลู่เป็นเวลา 20 นาที ร่วมกับการอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความดัน 40 เซนติเมตรปรอท เป็นเวลา 57 นาที

4.3 ผลของขนาดอนุภาคต่อสมบัติของขลู่ผง

ขนาดอนุภาคเป็นคุณสมบัติหนึ่งที่มีความสำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผง โดยพบว่าเมื่ออนุภาคมีขนาดที่แตกต่างกันอาจส่งผลกับคุณภาพของ สี กลิ่น รส และองค์ประกอบที่สำคัญของน้ำสกัดจากขลู่ผงนั้นแตกต่างกันไปด้วย (อารี ธนบุญสมบัติ, 2545)

นำขลู่ผงที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต 0.06% มาบดลดขนาด แล้วร่อนผ่านตะแกรงที่มีขนาดแตกต่างกัน 4 ขนาด คือ ขนาด 50 60 70 และ 80 เมช มาวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ ได้แก่ ค่าสี (L* a* และ b*) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ความสามารถในการละลาย (Solubility) และทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคด้าน สี กลิ่น กลิ่นรส และความชอบโดยรวมด้วยวิธี 9-point hedonic scale ผลการวิเคราะห์มีรายละเอียดดังนี้

1) ค่าสี (L* a* และ b*)

เมื่อนำขลู่ผงที่มีอนุภาคขนาด 50 60 70 และ 80 เมช มาวิเคราะห์คุณภาพด้านสี (L* a* และ b*) ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4-9

ตารางที่ 4-9 ค่าสี (L* a* และ b*) ของขลู่ผงที่มีอนุภาคขนาด 50 60 70 และ 80 เมช

ขนาดอนุภาค (เมช)	L*	a^{*ns}	b*
50	36.69 ± 0.14^{b}	-2.13±0.07	18.75 ± 0.64^{b}
60	35.29 ± 0.59^{c}	-2.22±0.12	18.54 ± 0.79^{b}
70	34.58 ± 0.57^{c}	-2.19±0.05	17.68 ± 0.13^{b}
80	40.58 ± 0.79^{a}	-2.24±0.25	25.68 ± 0.14^{a}

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

^{ns}หมายถึง ค่าในแนวตั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

จากตารางที่ 4-9 พบว่าขนาดอนุภาคมีผลต่อค่าความสว่าง (L*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ของขลู่ผงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ไม่มีผลต่อค่าความเป็นเขียว (a*)

($p \geq 0.05$) โดยค่าความสว่าง (L*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ของขลู่ผงมีแนวโน้มลดลงเมื่อขนาดอนุภาคเล็กลงจนถึง 70 เมช และเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดอนุภาคเล็กลงเป็น 80 เมช นั่นคือ ขลู่ผงมีความสว่าง และมีสีเหลืองลดลง เมื่อขนาดอนุภาคเล็กลง จนกระทั่งขนาดอนุภาคเล็กลงถึง 80 เมช ขลู่ผงจึงมีความสว่างและมีสีเหลืองเพิ่มขึ้นซึ่งจากภาพที่ จ-7 จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าขลู่ผงที่มีอนุภาคขนาด 80 เมช มีความสว่างและมีสีเหลืองมากกว่าอนุภาคขนาด 50 60 และ 70 เมช สำหรับค่าความเป็นสีเขียวนั้น พบว่า สีเขียวของขลู่ผงไม่มีการเปลี่ยนแปลง ทั้งนี้การที่ขลู่ผงมีสีต่างกันอาจเนื่องมาจากขนาดอนุภาคที่แตกต่างกัน ส่งผลให้การสะท้อนของแสงต่างกันไปด้วย โดยอนุภาคขนาดเล็กมีการสะท้อนแสงมากกว่าอนุภาคขนาดใหญ่ จึงทำให้ขลู่ผงอนุภาคขนาด 80 เมช มีความสว่างมากที่สุด ซึ่งส่งผลให้สีเหลืองเพิ่มมากขึ้นด้วย ซึ่งจากผลการทดลองสอดคล้องกับ Chen, Koh, and Park (1999) ที่รายงานว่า ขนาดอนุภาคมีผลต่อค่าความสว่าง (L*) ของพริกแดงผงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ขณะที่ Hu, Chen, and Ni (2012) รายงานว่า เมื่อขนาดอนุภาคของชาเขียวผงลดลง ส่งผลให้ค่า L* และค่า b* เพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่า a* ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) นอกจากนี้ มุกดา เจริญสินทรัพย์, กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์, พัลลภ มนเดชา และอาภัสรา แสงนาค (2548) ยังได้รายงานว่า เมื่อเซลลูโลสผงมีขนาดอนุภาคเล็กลง ค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) มีแนวโน้มลดลง ส่วนค่าความสว่าง (L*) มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดอนุภาคเล็กลง ($p<0.05$)

2) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total Phenolic Compound) ของขลู่ผงที่มีอนุภาคขนาด 50 60 70 และ 80 เมช ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4-10

ตารางที่ 4-10 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/g) ของขลู่ผงที่มีอนุภาคขนาด 50 60 70 และ 80 เมช

ขนาดอนุภาค (เมช)	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/g) [ns]
50	113.66±1.14
60	114.72±0.88
70	114.53±0.22
80	115.85±2.18

[ns] หมายถึง ค่าในแนวตั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

จากตารางที่ 4-10 พบว่า ขนาดอนุภาคไม่มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของขลู่ผงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของขลู่ผงมี

แนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่ออนุภาคมีขนาดเล็กลง แต่ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการแปรระดับขนาดอนุภาคของขลู่ผงอยู่ในช่วงที่แคบ ทำให้อนุภาคมีขนาดที่ใกล้เคียงกัน จึงทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้มีค่าที่ไม่แตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามเป็นที่ทราบกันดีว่าขนาดอนุภาคที่เล็กลง ทำให้สารประกอบหลายชนิดถูกสกัดออกมาได้มากขึ้น เนื่องจากอนุภาคขนาดเล็กมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากกว่าอนุภาคขนาดใหญ่ จึงทำให้สัมผัสกับตัวทำละลายได้มากกว่า และสกัดเอาสารประกอบต่างๆออกมาได้มากกว่า (Sari & Velioglu, 2011)

3) สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ

เมื่อนำขลู่ผงที่มีอนุภาคขนาด 50 60 70 และ 80 เมช มาวิเคราะห์คุณภาพด้านสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยรายงานเป็นค่า radical scavenging (%) ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4-11

ตารางที่ 4-11 สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระรายงานเป็นค่า radical scavenging (%) ของขลู่ผงที่มีอนุภาคขนาด 50 60 70 และ 80 เมช

ขนาดของอนุภาค (เมช)	radical scavenging (%)^{ns}
50	83.13 ±0.07
60	83.43 ±0.22
70	83.22 ±0.20
80	83.68 ±0.20

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

จากตารางที่ 4-11 พบว่าขนาดอนุภาคไม่มีผลต่อสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของขลู่ผงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยทุกตัวอย่างมีค่า radical scavenging อยู่ในช่วง 83.02-83.88% โดยสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ที่พบว่าขนาดอนุภาคไม่มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญ ที่มีผลต่อสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ทั้งนี้สาเหตุที่ขลู่ผงมีสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ไม่แตกต่างกันอาจเนื่องมาจากขลู่ผงมีขนาดอนุภาคที่ใกล้เคียงกันเช่นเดียวกับกรณีของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

4) ความสามารถในการละลายของขลู่ผง

ความสามารถในการละลายถือว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ผงเพราะเป็นตัวบ่งชี้ขนาดและองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ผง ถ้าขนาดอนุภาคของผลิตภัณฑ์ผงมีขนาดใหญ่มีผลทำให้ความสามารถในการละลายน้อยเนื่องจากระยะเวลาการแทรกซึมของอนุภาคนั้นสูงเพราะขนาดอนุภาคที่มีความหนาแน่นมาก ในขณะที่อนุภาคของผลิตภัณฑ์ผงนั้นมีขนาดเล็กความสามารถในการละลายก็จะสูง (อารี ธนบุญสมบัติ, 2545) เมื่อความสามารถในการละลายมีค่าสูงมีผลให้ยังสามารถรักษาสภาพของ สี กลิ่น และรสชาติได้ ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการละลายของขลู่ผงที่มีอนุภาคขนาด 50 60 70 และ 80 เมช แสดงดังตารางที่ 4-12

ตารางที่ 4-12 ความสามารถในการละลาย (Solubility) (%) ของขลู่ผงที่มีอนุภาคขนาด 50 60 70 และ 80 เมช

ขนาดอนุภาคของขลู่ผง (เมช)	ความสามารถในการละลาย (%)
50	34.64 ± 0.84^{c}
60	36.86 ± 1.04^{bc}
70	38.93 ± 1.24^{b}
80	41.93 ± 0.95^{a}

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

จากตารางที่ 4-12 พบว่า ขนาดอนุภาคมีผลต่อความสามารถในการละลายของขลู่ผงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยเมื่ออนุภาคของขลู่ผงมีขนาดเล็กลงมีผลทำให้ค่าความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น โดยขลู่ผงที่มีขนาดอนุภาค 80 เมช มีค่าความสามารถในการละลายสูงที่สุด รองลงมาคือ อนุภาคขนาด 70 60 และ 50 เมช ตามลำดับ ซึ่งขลู่ผงอนุภาคขนาด 80 เมช มีค่าความสามารถในการละลายแตกต่างจากขลู่ผงอนุภาคขนาด 70 60 และ 50 เมชอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก อนุภาคขนาดเล็กมีพื้นที่ผิวสัมผัสที่สัมผัสกับน้ำมากกว่าอนุภาคขนาดใหญ่ จึงสามารถละลายได้มากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับของ Zhao et al. (2009) ที่กล่าวว่าขนาดอนุภาคเป็นคุณสมบัติหนึ่งที่มีความสำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผง โดยพบว่า เมื่ออนุภาคผงมีขนาดเล็กลงทำให้การดูดซับน้ำและการละลายน้ำเพิ่มขึ้นอีกทั้งขลู่ผงยังมีองค์ประกอบของใยอาหารที่ละลายน้ำและใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ เมื่อขลู่ผงมีอนุภาคขนาดเล็กลงจึงสามารถลดปริมาณของใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำลงได้ ซึ่งมีผลทำให้ความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2540)

5) การยอมรับทางประสาทสัมผัส

เมื่อนำขลู่ผงที่มีอนุภาคขนาด 50 60 70 และ 80 เมช ต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 5 นาทีแล้ว กรองผ่านกระดาษกรอง ได้เป็นน้ำสกัดจากขลู่ผง แล้วนำมาทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส พบว่า ขนาดอนุภาคของขลู่ผงมีผลต่อคะแนนความชอบด้านสีและด้านกลิ่นรส ($p<0.05$) แต่ไม่มีผลต่อคะแนนความชอบด้านกลิ่นและด้านความชอบโดยรวม ($p\geq0.05$) แสดงดังตารางที่ 4-13

ตารางที่ 4-13 คะแนนความชอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของน้ำสกัดจากขลู่ผงที่มีอนุภาค ขนาด 50 60 70 และ 80 เมช

ขนาดอนุภาค (เมช)	สี	กลิ่น^{ns}	กลิ่นรส	ความชอบโดยรวม^{ns}
50	6.37 ± 0.61^{d}	6.87 ± 0.68	5.03 ± 1.75^{b}	6.27 ± 1.01
60	7.33 ± 0.71^{a}	6.93 ± 0.98	5.27 ± 1.70^{b}	6.33 ± 0.88
70	6.57 ± 0.77^{c}	6.90 ± 0.88	5.17 ± 1.56^{b}	6.40 ± 1.32
80	7.11 ± 0.66^{b}	6.90 ± 1.21	5.80 ± 1.58^{a}	6.37 ± 1.07

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

^{ns} หมายถึง ค่าในแนวตั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

จากตาราง 4-13 พบว่า ขนาดอนุภาคมีผลต่อคะแนนความชอบด้านสีและด้านกลิ่นรสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ไม่มีผลต่อคะแนนความชอบด้านกลิ่นและด้านความชอบโดยรวม ($p\geq0.05$) เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบด้านสีพบว่า ขลู่ผงที่มีอนุภาคขนาด 60 เมช ได้รับคะแนนความชอบด้านสีสูงสุด (6.62-8.04) ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบมาก โดยที่ขลู่ผงที่มีอนุภาคขนาด 80 70 และ 50 เมช ได้รับคะแนนความชอบรองลงมา ตามลำดับ สำหรับความชอบด้านกลิ่นรส พบว่า ขลู่ผงที่มีอนุภาคขนาด 80 เมช ได้รับคะแนนความชอบมากที่สุด (4.22-7.38) ในระดับไม่ชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง ในขณะที่ขลู่ผงที่มีอนุภาคขนาด 50 60 และ 70 เมช ได้รับคะแนนความชอบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) สำหรับคะแนนความชอบด้านกลิ่นและความชอบโดยรวมของขลู่ผง พบว่า ทุกสิ่งทดลองได้รับคะแนนความชอบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) โดยได้รับคะแนนความชอบในระดับชอบเล็กน้อย ถึงชอบปานกลาง โดยที่ความชอบด้านกลิ่นได้รับคะแนน 6.87-6.93 และความชอบโดยรวมได้รับคะแนน 6.27-6.40

การเลือกขนาดอนุภาคที่เหมาะสม

เกณฑ์ในการคัดเลือกที่กำหนดไว้ว่าจะพิจารณาผลของขนาดของอนุภาคต่อความสามารถในการละลาย ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของขลู่ผง

และคะแนนความชอบด้านความชอบโดยรวมของน้ำสกัดจากขลู่ผง โดยเลือกขนาดอนุภาคที่ทำให้ขลู่ผงมีความสามารถในการละลาย ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และได้รับคะแนนความชอบด้านความชอบโดยรวมสูงที่สุด พบว่า อนุภาคขนาด 80 เมช เป็นขนาดที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจาก ทำให้ได้ขลู่ผงที่มีความสามารถในการละลายสูงที่สุด สำหรับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และคะแนนความชอบด้านความชอบโดยรวม พบว่าอนุภาคทั้ง 4 ขนาดมีค่าเหล่านี้ไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) จึงไม่ใช้ในการพิจารณา

4.4 ผลของชนิดของบรรจุภัณฑ์ต่อคุณภาพของขลู่ผงระหว่างการเก็บรักษา

การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารหลังจากกระบวนการแปรรูปเป็นสิ่งที่สำคัญ โดยต้องเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม เพื่อรักษาคุณภาพและคุณสมบัติที่ดีของผลิตภัณฑ์อาหารเอาไว้ โดยบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ควรที่จะสามารถป้องกันความชื้น แสง อากาศ ฝุ่นละออง จุลินทรีย์ แมลง และสิ่งปนเปื้อนอื่นๆได้ ซึ่งบรรจุภัณฑ์มีหลายชนิด ได้แก่ บรรจุภัณฑ์ที่ผลิตจากพลาสติก โลหะ แก้ว และกระดาษ เป็นต้น โดยบรรจุภัณฑ์แต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันไป ซึ่งต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับชนิดของผลิตภัณฑ์อาหารนั้นๆ (โชคชัย ธีรกุลเกียรติ, 2550)

นำขลู่ผงที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 0.06% และร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 80 เมช มาศึกษาชนิดของบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษา โดยเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ที่แตกต่างกัน 2 ชนิด ได้แก่ ถุงพลาสติกใสชนิดโพลีโพรพิลีนแบบหนาปิดผนึก (PP) และถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนตปิดผนึก (ALU) ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 8 สัปดาห์ โดยกำหนดให้วันเริ่มต้นการเก็บรักษาคือ 0 สัปดาห์ และวันสุดท้ายของการเก็บรักษาคือ 8 สัปดาห์ สุ่มตัวอย่างทุก 2 สัปดาห์แล้วนำมาวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ ได้แก่ ปริมาณความชื้น ค่าสี ค่า Water activity (a_w) และทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคด้าน สี กลิ่น กลิ่นรส และความชอบโดยรวมด้วยวิธี 9-point hedonic scale ผลการวิเคราะห์มีรายละเอียดดังนี้

1) ปริมาณความชื้น

ขลู่ผงเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นต่ำ เมื่อเก็บไว้ในสภาวะแวดล้อมปกติ ซึ่งมีความชื้นในบรรยากาศสูงกว่าในอาหาร จึงทำให้น้ำจากภายนอกดูดซึมเข้าไปในอาหารได้ ส่งผลให้อาหารเกิดการเสื่อมเสียคุณภาพ (โชคชัย ธีรกุลเกียรติ, 2550) จากการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของขลู่ผงที่เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ที่แตกต่างกัน 2 ชนิด ได้แก่ ถุงพลาสติกใสชนิดโพลีโพรพิลีนแบบหนาปิดผนึก

(PP) และถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนตปิดผนึก (ALU) ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ โดยสุ่มตัวอย่างทุก 2 สัปดาห์ ผลการวิเคราะห์คุณภาพแสดงดังตารางที่ 4-14

ตารางที่ 4-14 ปริมาณความชื้น (%) ของขลู่ผงที่เก็บรักษาในถุงพลาสติกใสชนิดโพลีโพรพิลีน (PP) และถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนต (ALU) ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 8 สัปดาห์

ระยะเวลาการเก็บรักษา	ปริมาณความชื้น (%)	
(สัปดาห์)	PP	ALU
0^{ns}	6.90±0.09	6.81±0.04
2^{ns}	8.29±0.09	7.64±0.21
4	$8.98±0.04^{a}$	$7.79±0.19^{b}$
6	$9.80±0.11^{a}$	$8.30±0.81^{b}$
8	$9.44±0.40^{a}$	$7.35±0.19^{b}$

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

^{ns} หมายถึง ค่าในแนวนอนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

จากตารางที่ 4-14 พบว่า ขลู่ผงที่เก็บรักษาในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนตมีปริมาณความชื้นต่ำกว่าขลู่ผงที่เก็บรักษาในถุงพลาสติกใสชนิดโพลิโพรพิลีนตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 4 สัปดาห์เป็นต้นไป โดยปริมาณความชื้นของขลู่ผงที่เก็บรักษาในถุงพลาสติกใสชนิดโพลีโพรพิลีนและถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Pua et al. (2008) ที่รายงานว่า ขนุนผงที่เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ชนิด ALP และ BOPP/MCPP มีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น เมื่อเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น เนื่องจากการเคลื่อนที่ของไอน้ำจากสภาพแวดล้อมเข้าไปในบรรจุภัณฑ์ และ Kumar and Mishra (2004) ได้รายงานว่า โยเกิร์ตผงเสริมถั่วเหลืองและมะม่วงที่เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ชนิด High-density polypropylene (HDPP) และ ALP ในสภาวะเร่ง (38±1°C และ 90±1%RH) มีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น เมื่อเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น โดยพบว่าโยเกิร์ตผงเสริมถั่วเหลืองและมะม่วงที่เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ชนิด High-density polypropylene (HDPP) มีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นสูงกว่าโยเกิร์ตผงเสริมถั่วเหลืองและมะม่วงที่เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ ALP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการที่ถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนตสามารถป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซต่าง ๆ ได้ดีกว่าถุงโพลีโพรพิลีน โดยถุงอะลูมิเนียมฟอยดล์ลามิเนตมีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำเท่ากับ 0.1 กรัม/ตารางเมตร/วัน ที่ 38 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90% ส่วนถุงโพลีโพรพิลีนมีอัตราการซึมผ่านของไอ

น้ำเท่ากับ 0.7 กรัม/ตารางเมตร/วัน ที่ 38 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90% (ปุ่น คงเจริญเกียรติ และ สมพร คงเจริญเกียรติ, 2541)

2) ค่าสี (L* a* และ b*)

จากการวิเคราะห์ค่าสี (L* a* และ b*) ของขลู่ผงที่เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ที่แตกต่างกัน 2 ชนิด ได้แก่ ถุงพลาสติกใสชนิดโพลีโพรพิลีนแบบหนาปิดผนึก (PP) และถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนตปิดผนึก (ALU) ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ โดยสุ่มตัวอย่างทุก 2 สัปดาห์ ผลการวิเคราะห์คุณภาพแสดงดังตารางที่ 4-15 ถึง 4-17

ตารางที่ 4-15 ค่าความสว่าง (L*) ของขลู่ผงที่เก็บรักษาในถุงพลาสติกใสชนิดโพลีโพรพิลีน (PP) และถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนต (ALU) ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 8 สัปดาห์

ระยะเวลาการเก็บรักษา	L*	
(สัปดาห์)	PP	ALU
0^{ns}	36.80±1.53	36.32±1.87
2^{ns}	37.68±1.40	37.49±0.59
4^{ns}	39.94±0.60	37.90±0.64
6	40.92±0.36^{a}	39.04±0.44^{b}
8	43.30±0.16^{a}	41.39±0.15^{b}

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

^{ns} หมายถึง ค่าในแนวนอนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ตารางที่ 4-16 ค่า a* ของใบขลู่ผงที่เก็บรักษาในถุงพลาสติกใสชนิดโพลีโพรพิลีน (PP) และถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนต (ALU) ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 8 สัปดาห์

ระยะเวลาการเก็บรักษา	a*	
(สัปดาห์)	PP	ALU
0^{ns}	-2.60±0.48	-2.58±0.42
2^{ns}	-1.39±0.13	-1.61±0.04
4	-0.24±0.04^{a}	-0.60±0.07^{b}
6	0.43±0.07^{a}	-0.28±0.07^{b}
8	1.15±0.07^{a}	0.47±0.04^{b}

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

^{ns} หมายถึง ค่าในแนวนอนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ตารางที่ 4-17 ค่า b* ของขลู่ผงที่เก็บรักษาในถุงพลาสติกใสชนิดโพลีโพรพิลีน (PP) และถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนต (ALU) ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 8 สัปดาห์

ระยะเวลาการเก็บรักษา	b*	
(สัปดาห์)	PP	ALU
0[ns]	19.36±0.12	19.16±0.08
2[ns]	20.60±0.26	20.34±0.20
4[ns]	22.74±0.14	22.76±0.11
6	24.05±0.28[a]	23.04±0.43[b]
8	25.41±0.03[a]	24.18±0.09[b]

[a,b,c] หมายถึง ค่าในแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

[ns] หมายถึง ค่าในแนวนอนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

จากตารางที่ 4-15 พบว่า ค่าความสว่าง (L*) ของขลู่ผงที่เก็บรักษาในถุงพลาสติกใสชนิดโพลีโพรพิลีนและถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลิเนตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น โดยขลู่ผงที่เก็บรักษาในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนตมีค่าความสว่าง (L*) ต่ำกว่าขลู่ผงที่เก็บรักษาในถุงพลาสติกใสชนิดโพลิโพรพิลีนตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 6 สัปดาห์เป็นต้นไป

สำหรับค่า a* หมายถึง ค่าที่แสดงความเป็นสีแดงหรือสีเขียว โดย +a หมายถึง แสดงความเป็นสีแดง และ -a หมายถึง แสดงความเป็นสีเขียว จากตาราง 4-16 พบว่า ค่า a* ของขลู่ผงที่เก็บรักษาในถุงพลาสติกใสชนิดโพลีโพรพิลีนและถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น หมายถึง ขลู่ผงมีสีเขียวซีดจางลง เมื่อเก็บรักษานานขึ้น โดยขลู่ผงที่เก็บรักษาในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนตมีค่า a* ต่ำกว่าขลู่ผงที่เก็บรักษาในถุงพลาสติกใสชนิดโพลิโพรพิลีนตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 4 สัปดาห์เป็นต้นไป นั่นคือ ขลู่ผงที่เก็บรักษาในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนตมีสีเขียวมากกว่า

สำหรับค่าความเป็นสีเหลือง (b*) จากตาราง 4-17 พบว่า ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ของขลู่ผงที่เก็บรักษาในถุงพลาสติกใสชนิดโพลีโพรพิลีนและถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น นั่นคือ ขลู่ผงมีสีเหลืองมากขึ้น เมื่อเก็บรักษานานขึ้น โดยขลู่ผงที่เก็บรักษาในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนตมีค่าค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ต่ำกว่าขลู่ผงที่เก็บรักษาในถุงพลาสติกใสชนิดโพลิโพรพิลีนตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 6 สัปดาห์เป็นต้นไป นั่นคือ ขลู่ผงที่เก็บรักษาในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนตมีสีเหลืองน้อยกว่าขลู่ผงที่เก็บรักษาในถุงพลาสติกใสชนิดโพลิโพรพิลีน

แสดงว่า ขลู่ผงที่เก็บรักษาในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนตยังคงมีสีเขียวอยู่มากกว่านั่นเอง ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Kumar and Mishra (2004) ที่รายงานว่า ชนิดของบรรจุภัณฑ์มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีของโยเกิร์ตผงเสริมถั่วเหลืองและมะม่วงที่เก็บรักษาในสภาวะเร่ง (38±1°C และ 90±1%RH) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) โดยค่าสี L a b ของโยเกิร์ตผงเสริมถั่วเหลืองและมะม่วงมีค่าลดลงในระหว่างการเก็บรักษา โดยโยเกิร์ตผงเสริมถั่วเหลืองและมะม่วงที่เก็บรักษาในถุง HDPP มีการเปลี่ยนแปลงสีมากกว่าโยเกิร์ตผงเสริมถั่วเหลืองและมะม่วงที่เก็บรักษาในถุง ALP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) และ Pua et al. (2008) รายงานว่า ขนุนผงที่เก็บรักษาในถุง ALP มีการเปลี่ยนแปลงสีน้อยกว่าขนุนผงที่เก็บรักษาในถุง BOPP/MAPP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เนื่องจากความสามารถในการยอมให้ออกซิเจนและไอน้ำซึมผ่านของบรรจุภัณฑ์แตกต่างกัน นอกจากนี้ อากาศที่เหลืออยู่ในบรรจุภัณฑ์อาจจะทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีของขนุนผงในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งสอดคล้องกับ ปุ่น คงเจริญเกียรติ และ สมพร คงเจริญเกียรติ (2541) ที่กล่าวว่าปัจจัยหลักที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของอาหารในระหว่างการเก็บรักษาคือ แสงและออกซิเจน โดยทั้งสองปัจจัยนี้จะไปเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีในระหว่างการเก็บรักษา โดยการที่ตัวอย่างขลู่ผงมีความสว่างมากขึ้นและมีสีซีดจางลง (ค่า L* และ a* เพิ่มขึ้น) ในระหว่างการเก็บรักษา อาจจะเกิดจาก การเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์ที่เรียกว่า chlorophyll bleaching โดยสีเขียวของคลอโรฟิลล์จะซีดลงจนถึงขั้นจางหายไป ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยมีแสงเป็นปัจจัยสำคัญในการทำให้เกิด chlorophyll bleaching ข้ออธิบายของการเปลี่ยนแปลงนี้อาจเกิดได้จากการที่เซลล์พืชแห้งลงเป็นผลให้ตัวสี (plastid) หดตัวลง ผนังโดยรอบหมดความคงตัวจึงไม่สามารถคงความเป็นสีไว้ได้

นอกจากนี้ค่า a_w ยังมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของอาหารในระหว่างการเก็บรักษาโดยค่า a_w ในอาหารแห้งมีผลต่อการสลายตัวของคลอโรฟีลล์ ที่ภาวะ a_w สูงจะทำให้จุลินทรีย์เจริญและเกิดปฏิกิริยาที่เร่งด้วยเอนไซม์ได้ง่าย หากอาหารแห้งมีค่า a_w ต่ำ จะทำให้ไม่มีน้ำเพียงพอในปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงคลอโรฟีลล์ให้เป็นสารฟีโอไฟติน ผลการศึกษาการสลายตัวของคลอโรฟีลล์ในผักโขมพบว่าเมื่อ a_w อยู่ในช่วง 0 – 0.32 คลอโรฟีลล์จะมีความคงตัวดีระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เมื่อ a_w เพิ่มขึ้นเป็น 0.52 – 0.75 จะมีฟีโอไฟตินเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้โดย ขลู่ผงที่เก็บรักษานานขึ้น จะมีค่า a_w เพิ่มขึ้น และมีการเปลี่ยนแปลงของสีเกิดขึ้นด้วย ซึ่งจากการทดลองพบว่า ขลู่ผงที่เก็บรักษาในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนต มีการเปลี่ยนแปลงของสีน้อยกว่าขลู่ผงที่เก็บรักษาในถุงพลาสติกใสชนิดโพลิโพรพิลีน เนื่องจากถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนตเป็นวัสดุทึบแสงซึ่งไม่ยอมให้แสงผ่าน สำหรับถุงพลาสติกใสชนิดโพลิโพรพิลีนเป็นวัสดุโปร่งใส ซึ่งยอมให้แสงผ่านไปได้ ฉะนั้น ขลู่ผงที่เก็บรักษาในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนตจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงของสีเนื่องจากแสงน้อยกว่าขลู่ผงที่เก็บรักษาใน

ถุงพลาสติกใสชนิดโพลิโพรพิลีน ซึ่งนิธิยา รัตนาปนนท์ (2549) กล่าวว่า ผักแห้งที่บรรจุในภาชนะใสจะเกิดโฟโตออกซิเดชัน (photooxidation) และมีการสูญเสียรงควัตุทำให้สีเปลี่ยนไปได้ นอกจากแสงแล้ว ออกซิเจนก็ยังมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีในระหว่างการเก็บรักษา โดยทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งเป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงสี โดยถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนต มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน 0.09 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร/วัน ที่ 23 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 0% ซึ่งต่ำกว่าถุงพลาสติกใสชนิดโพลิโพรพิลีนที่มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน 240 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร/วัน ที่ 23 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 0% (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์, ม.ป.ป.) ขลู่ผงที่เก็บรักษาในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนตจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงของสีเนื่องจากออกซิเจนน้อยกว่าขลู่ผงที่เก็บรักษาในถุงพลาสติกใสชนิดโพลิโพรพิลีน

3) ค่า Water activity (a_w)

ค่า Water Activity เป็นปัจจัยที่สำคัญในการควบคุมและป้องกันการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์อาหาร จึงมีผลโดยตรงต่อการกำหนดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหาร เนื่องจากค่า Water Activity เป็นปัจจัยที่ชี้ระดับปริมาณน้ำต่ำสุดในอาหารที่เชื้อจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและใช้ในการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ (รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต และไพศาล วุฒิจำนงค์, 2545) จากการวิเคราะห์ค่า Water activity (a_w) ของขลู่ผงที่เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ที่แตกต่างกัน 2 ชนิด ได้แก่ ถุงพลาสติกใสชนิดโพลีโพรพิลีนแบบหนาปิดผนึก (PP) และถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนตปิดผนึก (ALU) ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ โดยสุ่มตัวอย่างทุก 2 สัปดาห์ ผลการวิเคราะห์คุณภาพแสดงดังตารางที่ 4-18

ตารางที่ 4-18 ค่า Water activity (a_w) ของขลู่ผงที่เก็บรักษาในถุงพลาสติกใสชนิดโพลีโพรพิลีน (PP) และถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนต (ALU) ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 8 สัปดาห์

ระยะเวลาการเก็บรักษา	a_w	
(สัปดาห์)	PP	ALU
0^{ns}	0.29±0.10	0.28±0.10
2	$0.48±0.00^{a}$	$0.41±0.00^{b}$
4	$0.52±0.00^{a}$	$0.42±0.00^{b}$
6	$0.53±0.01^{a}$	$0.43±0.02^{b}$
8	$0.56±0.01^{a}$	$0.41±0.00^{b}$

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

^{ns} หมายถึง ค่าในแนวนอนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

จากตารางที่ 4-18 พบว่า ค่า Water activity (a_w) ของขลู่ผงที่เก็บรักษาในถุงพลาสติกใสชนิดโพลีโพรพิลีนและถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น โดยขลู่ผงที่เก็บรักษาในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนตมีค่า Water activity (a_w) ต่ำกว่าขลู่ผงที่เก็บรักษาในถุงพลาสติกใสชนิดโพลิโพรพิลีนตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 2 สัปดาห์เป็นต้นไป ซึ่งโดยปกติค่า Water activity (a_w) และปริมาณความชื้นมักมีความสัมพันธ์กัน โดยเมื่อค่า Water activity (a_w) เพิ่มขึ้น ปริมาณความชื้นก็เพิ่มขึ้นด้วย แต่เป็นการเพิ่มแบบไม่เป็นเส้นตรง (รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต และไพศาล วุฒิจำนงค์, 2545) โดยสาเหตุที่ขลู่ผงที่เก็บรักษาในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนตมีค่า Water activity (a_w) ต่ำกว่าขลู่ผงที่เก็บรักษาในถุงพลาสติกใสชนิดโพลิโพรพิลีน คือถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนตสามารถป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซต่าง ๆ ได้ดีกว่าถุงพลาสติกใสชนิดโพลีโพรพิลีน เช่นเดียวกับปริมาณความชื้นนั่นเอง (ปุ่น คงเจริญเกียรติ และสมพร คงเจริญเกียรติ, 2541)

4) การยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค

การทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคด้วยวิธี 9-point hedonic scale ใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน ให้ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบด้านสี กลิ่น กลิ่นรส และความชอบโดยรวมของน้ำสกัดจากขลู่ผง โดยให้คะแนน 1-9 ซึ่ง 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด ได้ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4-19 ถึง 4-22

ตารางที่ 4-19 คะแนนความชอบด้านสีของน้ำสกัดจากขลู่ผงที่เก็บรักษาในถุงพลาสติกใสชนิดโพลีโพรพิลีน (PP) และถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนต (ALU) ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 8 สัปดาห์

ระยะเวลาการเก็บรักษา	คะแนนความชอบด้านสี	
(สัปดาห์)	PP	ALU
0 ^{ns}	7.27±1.14	6.87±1.36
2 ^{ns}	7.00±1.05	7.13±0.94
4 ^{ns}	7.47±0.86	7.37±0.93
6 ^{ns}	6.57±1.43	6.90±0.88
8 ^{ns}	7.03±1.07	7.27±0.74

^{ns} หมายถึง ค่าในแนวตั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ตารางที่ 4-20 คะแนนความชอบด้านกลิ่นของน้ำสกัดจากขลู่ผงที่เก็บรักษาในถุงพลาสติกใสชนิดโพลีโพรพิลีน (PP) และถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนต (ALU) ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 8 สัปดาห์

ระยะเวลาการเก็บรักษา	คะแนนความชอบด้านกลิ่น	
(สัปดาห์)	PP	ALU
0 ns	6.33±1.82	6.73±1.62
2 ns	7.10±0.88	7.10±1.12
4 ns	6.80±1.10	6.90±1.06
6 ns	6.67±1.09	6.83±1.66
8 ns	6.90±1.12	7.10±1.06

ns หมายถึง ค่าในแนวตั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ 4-21 คะแนนความชอบด้านกลิ่นรสของน้ำสกัดจากขลู่ผงที่เก็บรักษาในถุงพลาสติกใสชนิดโพลีโพรพิลีน(PP) และถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนต (ALU) ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 8 สัปดาห์

ระยะเวลาการเก็บรักษา	คะแนนความชอบด้านกลิ่นรส	
(สัปดาห์)	PP	ALU
0 ns	6.17±1.88	5.73±1.82
2 ns	6.40±1.38	6.47±1.28
4 ns	6.00±1.84	6.37±1.97
6 ns	5.90±1.88	6.00±1.93
8 ns	6.10±1.47	6.67±1.58

ns หมายถึง ค่าในแนวตั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ 4-22 คะแนนความชอบด้านความชอบโดยรวมของน้ำสกัดจากขลู่ผงที่เก็บรักษาในถุงพลาสติกใสชนิดโพลีโพรพิลีน (PP) และถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนต (ALU) ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 8 สัปดาห์

ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)	คะแนนความชอบด้านความชอบโดยรวม	
	PP	ALU
0^{ns}	6.40±1.63	6.23±1.50
2^{ns}	6.37±1.55	6.53±1.36
4^{ns}	6.40±1.33	6.70±1.42
6^{ns}	5.97±1.73	6.20±1.95
8^{ns}	6.63±1.19	7.03±1.19

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

จากตารางที่ 4-19 ถึง 4-22 พบว่า คะแนนความชอบด้านสี กลิ่น กลิ่นรส และความชอบโดยรวมของน้ำสกัดจากขลู่ผงที่เก็บรักษาในถุงพลาสติกใสชนิดโพลิโพรพิลีนและถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนตไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ โดยพบว่าคะแนนความชอบด้านสี กลิ่น กลิ่นรส และความชอบโดยรวมของขลู่ผงที่เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ทั้งสองชนิดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น ซึ่งจากข้อเสนอแนะของผู้ทดสอบ พบว่า ผู้ทดสอบส่วนมากชอบน้ำสกัดจากขลู่ผงที่มีอายุการเก็บรักษานานมากกว่าน้ำสกัดจากขลู่ผงที่มีอายุการเก็บรักษาน้อย เพราะมีกลิ่นรสที่อ่อนมากกว่า เนื่องจากขลู่ผงที่มีอายุการเก็บรักษาน้อยมีความเข้มของกลิ่นรสมากจึงไม่เป็นที่ชื่นชอบของกลุ่มผู้ทดสอบส่วนใหญ่ และสาเหตุที่ขลู่ผงที่เก็บรักษาในถุงพลาสติกใสชนิดโพลิโพรพิลีนและถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนตได้รับคะแนนความชอบในทุกด้านไม่แตกต่างกัน ตลอดการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ เนื่องจากเป็นการทดสอบความชอบ ซึ่งความชอบของแต่ละบุคคลนั้นมีความแตกต่างกันไป ผู้ทดสอบบางคนก็ชอบน้ำสกัดจากขลู่ผงที่มีความเข้มมาก หรือบางคนก็ชอบน้ำสกัดจากขลู่ผงที่มีความเข้มน้อย ซึ่งแน่นอนว่าขลู่ผงที่เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ทั้งสองชนิดย่อมมีความแตกต่างกัน คะแนนความชอบที่ได้รับนั้นจึงขึ้นอยู่กับความชอบของผู้ทดสอบแต่ละคน

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับการบรรจุและเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ขลู่ผงคือ ถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนต เนื่องจากสามารถป้องกันแสง ออกซิเจน และความชื้นได้ดีกว่าถุงพลาสติกใสชนิดโพลิโพรพิลีน โดยตัวอย่างขลู่ผงที่เก็บรักษาในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนตมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้น ค่า a_w และค่าสีน้อยกว่าถุงพลาสติกใสชนิดโพลิโพรพิลีนและมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบในด้านราคา

แล้วพบว่าถุงพลาสติกใสชนิดโพลิโพรพิลีนมีราคาถูกกว่าถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนต ซึ่งหากเปลี่ยนมาใช้ถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนตอาจทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น แต่เมื่อเปรียบเทียบกันในด้านคุณภาพแล้วพบว่าถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนตสามารถรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่าถุงพลาสติกใสชนิดโพลิโพรพิลีน ป้องกันการเสื่อมเสียเนื่องจากแสง ออกซิเจน และความชื้นได้ดีกว่า จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษานานกว่า นอกจากนี้ยังสามารถพิมพ์ลวดลายลงไปบนถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนตได้ ทำให้เป็นที่ดึงดูดต่อผู้บริโภค และสามารถเพิ่มมูลค่าและราคาขายของผลิตภัณฑ์ให้มากขึ้นอีกด้วย

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาผลของวิธีการเตรียมขั้นต้นก่อนการทำแห้งต่อคุณลักษณะด้านสีเขียวและกลิ่นรสของขลู่ผง พบว่า วิธีการเตรียมขั้นต้นเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณลักษณะด้านสีเขียวของขลู่ผง และไม่มีผลต่อกลิ่นรสของขลู่ผง โดยวิธีการเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 0.06% ช่วยรักษาสีเขียวของขลู่ผงไว้ได้มากที่สุด โดยขลู่ผงมีค่าความแตกต่างของสี (ΔE) ต่ำที่สุด และได้รับคะแนนความเข้มด้านสีเขียวสูงที่สุดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับวิธีการเตรียมขั้นต้นอื่น ($p<0.05$)

วิธีการในการทำแห้งใบขลู่ที่เหมาะสม ได้แก่ การคั่วใบขลู่เป็นเวลา 20 นาที ร่วมกับการอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความดัน 40 เซนติเมตรปรอท เป็นเวลา 57 นาที ซึ่งจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ขลู่ผงที่มีความแตกต่างของสี (ΔE) ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับใบขลู่สด น้ำชาที่ได้ได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสสูงที่สุดในระดับชอบปานกลาง และสารสกัดจากขลู่ผงมีปริมาณฟีนอลิก 121.80 mg GAE/g dry matter และมีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งสารต้านอนุมูลอิสระ 88.58 %

จากการศึกษาผลของขนาดอนุภาคต่อสมบัติของขลู่ผง พบว่า ขนาดอนุภาคเป็นปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการละลายของขลู่ผง โดยขลู่ผงที่มีอนุภาคขนาด 80 เมช มีความสามารถในการละลายสูงที่สุดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับอนุภาคขนาดอื่น ($p<0.05$)

จากการศึกษาผลของชนิดของบรรจุภัณฑ์ต่อคุณภาพของขลู่ผงระหว่างการเก็บรักษา พบว่า ชนิดของบรรจุภัณฑ์มีผลต่อคุณภาพของขลู่ผงในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 8 สัปดาห์ โดยถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนตสามารถรักษาคุณภาพของขลู่ผงในระหว่างการเก็บรักษาไว้ได้มากกว่าถุงพลาสติกใสชนิดโพลิโพรพิลีน คือ ขลู่ผงที่เก็บรักษาในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนตมีปริมาณความชื้น ค่า Water activity (a_w) ต่ำกว่าขลู่ผงที่เก็บรักษาในถุงพลาสติกใสชนิดโพลิโพรพิลีนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) สำหรับค่าสี พบว่า ขลู่ผงที่เก็บรักษาในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนตมีค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีเขียว (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ต่ำกว่าขลู่ผงที่เก็บรักษาในถุงพลาสติกใสชนิดโพลิโพรพิลีนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และเมื่อพิจารณาคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส พบว่า คะแนนความชอบด้านสี กลิ่น กลิ่นรส และ

ความชอบโดยรวมของขลู่ผงที่เก็บรักษาในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนตและถุงพลาสติกใสชนิดโพลิโพรพิลีนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการนำขลู่ผงไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารอื่น หรือนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทอื่น เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าขลู่ผง เช่น ไอศกรีม เค้ก และบะหมี่ เป็นต้น

5.2.2 ควรมีการศึกษาเกี่ยวกับสารที่ให้กลิ่นรสในใบขลู่ให้ละเอียดมากขึ้น เพื่อรักษาสารเหล่านี้ให้คงอยู่หากนำใบขลู่มาผ่านกระบวนการแปรรูป

5.2.3 ควรมีการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของสารที่สำคัญในใบขลู่ ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ในระหว่างการเก็บรักษาด้วย

รายการอ้างอิง

กฤษณา รักษ์วงศ์, กนกวรรณ พุฒิสกุลวงศ์, สุภาพร สุทธิธรรม และอุบลรัตน์ สิริภัทราวรรณ. (2549). *ผลของชนิดบรรจุภัณฑ์ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ชาข้าวหอมมะลิใบหม่อน.* ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

กัญจน์พัชร์ อุปลศิลป์. (2553). *การพัฒนากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ใบเตยอบแห้ง.* สาขาอุตสาหกรรมเกษตร, คณะเทคโนโลยีการเกษตร, มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่.

เกษม จ่าพันธ์ดุง. (2554). สัมภาษณ์.

ขลู่. (ม.ป.ป.). วันที่ค้นข้อมูล 15 พฤศจิกายน 2555, เข้าถึงได้จาก http:// www.phargarden.com/main.php?action=viewpage&pid=24

งามทิพย์ ภู่วโรดม. (2549). หน่วยที่ 13 การบรรจุผลิตภัณฑ์อาหาร. ใน, *เอกสารการสอนชุดวิชาการถนอมและการแปรรูปอาหาร หน่วยที่ 8-15.* (หน้า 205-208). นนทบุรี: มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

_____. (2550). *การบรรจุอาหาร.* กรุงเทพฯ: บริษัท เอส พี เอ็ม การพิมพ์ จำกัด.

เจนจิรา จิรัมย์ และประสงค์ สีหานาม. (2554). อนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระ: แหล่งที่มาและกลไกการเกิดปฏิกิริยา. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏกาฬสินธุ์, 1*(1), 59-70.

โชคชัย ธีรกุลเกียรติ. (2550). หน่วยที่ 8 การถนอมและแปรรูปอาหารด้วยการทำแห้ง. ใน, *เอกสารการสอนชุดวิชาการถนอมและการแปรรูปอาหาร หน่วยที่ 8-15.* (หน้า 31-33). นนทบุรี: มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

ดวงฤทัย ธำรงโชติ. (2550). *เทคโนโลยีภาชนะบรรจุ.* กรุงเทพฯ: โอ. เอส. พริ้นติ้งเฮ้าส์.

นิธิยา รัตนาปนนท์. (2544). *หลักการแปรรูปอาหารเบื้องต้น.* กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

_____. (2549). *เคมีอาหาร* (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

นิธิยา รัตนาปนนท์ และครูผู้น้อย. (ม.ป.ป.). การลวก. วันที่ค้นข้อมูล 10 พฤศจิกายน 2555, เข้าถึงได้จาก http://www.foodnetworksolution.com/vocab/word/797/blanching

ปุ่น คงเจริญเกียรติ และ สมพร คงเจริญเกียรติ. (2541). *บรรจุภัณฑ์อาหาร.* กรุงเทพฯ : แพคเมทส์.

พรรณธิชา ดวงนาค. (2547). *การวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระ.* วันที่ค้นข้อมูล 15 พฤศจิกายน 2555, เข้าถึงได้จาก http://pirun.ku.ac.th/~b4755242/7.htm

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนาปนนท์. (ม.ป.ป.). อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ.วันที่ค้นข้อมูล 26 เมษายน 2556, เข้าถึงได้จากhttp://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0463/water-vapor-transmission-rate-อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ

มุกดา เจริญสินทรัพย์, กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์, พัลลภ มนเดชา และอาภัสรา แสงนาค. (2548). ผลของขนาดอนุภาคต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของเซลลูโลสผงจากฟางข้าว. *วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ, 8* (1), 47-59.

รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต และไพศาล วุฒิจำนง. (2545). การประเมินอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร. *วารสารจาร์พา, 9* (68).

ลักษณา เจริญใจ. (ม.ป.ป.). *ขลู่*. วันที่ค้นข้อมูล 25 ตุลาคม 2555, เข้าถึงได้จาก www.phargarden.com/.../article-20110302101013

วิทยา ตั้งก่อสกุล. (2543). *พลาสติกเพื่อการเกษตร.* กรุงเทพฯ: ศิริวัฒนาอินเตอร์พริ้นต์จำกัด.

วิศนี สุประดิษฐอาภรณ์ และประมวล ศรีกาหลง. (2554). *ศึกษาการผลิตและการเก็บรักษาข้าวคั่วสมุนไพรในระดับอุตสาหกรรมท้องถิ่นเพื่อเพิ่มมูลค่าและถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชนในจังหวัดเชียงใหม่*. มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่.

วิวัฒน์ หวังเจริญ. (2545). บทบาทของสารประกอบฟีนอลต่อสุขภาพ. *วารสารอาหาร, 32* (4), 245-253.

วิไล รังสาดทอง. (2546). *เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร* (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: บริษัท เท็กซ์แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชัน จำกัด.

ศศิมน ปรีดา และโชคชัย ธีรกุลเกียรติ. (2550). หน่วยที่ 2 การเตรียมวัตถุดิบสำหรับการแปรรูปอาหาร. ใน, *เอกสารการสอนชุดวิชาการถนอมและการแปรรูปอาหาร หน่วยที่ 8-15.* (หน้า 68). นนทบุรี: มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

เศรษฐการ นุชนิยม. (2554). การผลิตน้ำตำลึงผงโดยการทำแห้งแบบเยือกแข็ง. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 19* (2), 51-63.

สรวิศ แจ่มจำรูญ, จิตตา สาตร์เพ็ชร์, สุพัตรา เปี่ยมวารี, พรพรรณ จันเนียม, ธัญวรัตน์ กาจสงคราม และพนิดา บุญฤทธิ์ธงไชย. (2552). ผลของการอบแห้งและภาชนะบรรจุในการยืดอายุการเก็บรักษากะเพราแดง. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 40* (3)(พิเศษ), 249-252.

อารี ธนบุญสมบัติ. (2545). *เทคนิคสำหรับการวิเคราะห์ขนาดของอนุภาค*. ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของผง, ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC), สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.)

อรอนงค์ นัยวิกุล. (2540). *ข้าวสาลี : วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี* (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

โอภา วัชระคุปต์, ปรีชา บุญจูง, จันทนา บุณยะรัตน์, มาลีรักษ์ อัตต์สินทอง. (2550). *สารต้านอนุมูลอิสระ.* กรุงเทพฯ: นิวไทยมิตรการพิมพ์.

Ahmed, J., Shivhare, U.S., & Singh, G. (2001). Drying characteristics and product quality of coriander leaves. *Institution of Chemical Engineers, 79*, Part C.

Andarwulan, N., Batari, R., Sandrasari, D.A., Bolling, B., & Wijaya, H. (2010). Flavonoid content and antioxidant activity of vegetables from Indonesia. *Food Chemistry, 121*, 1231–1235.

Association of Official Analytical Chemists.(2000). Chemicals Analytical Manual. Arlingtion, VA: AOAC International.

Brewer, M. S., Begum, S., & Bozeman, A. (1995). Microwave and conventional blanching effects on chemical, sensory and color characteristics of frozen broccoli. *Journal of Food Quality, 18*, 479–493.

Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E., & Berset, C. (1995). Use of a Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity. *Lebensmittel-Wissenschaft and Technologie,28*, 25-30.

Chen, Q., Koh, H. K., and Park, J. B. (1999). Color evaluation of red pepper powder. *Transactions of The Asae 42,* 749-752.

Dewanto, V., Wu, X., Adom, K., & Liu, R.H. (2002). Thermal Processing Enhances the Nutritional Value of Tomatoes by Increasing Total Antioxidant Activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 50,* 3010-3014.

George, O. A., Michael, W. O., Jasper, K. I., and Jackson, N. K. (2011). Effect of Packaging and Storage Temperature on the Shelf Life of Crisps from four Kenyan Potato Cultivars. *American Journal of Food Technology, 6* (10), 882-892.

Giovanelli, G., Brambilla, A., Rizzolo, A., & Sinelli, N. (2012). Effects of blanching pre-treatment and sugar composition of the osmotic solution on physico-chemical, morphological and antioxidant characteristics of osmodehydrated blueberries (Vaccinium corymbosum L.). *Food Research International, 49,* 263-271.

Heaton, J. W., Yada, R. Y., & Marangoni, A. G. (1996). Discoloration of coleslaw is caused by chlorophyll degradation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 44,* 395–398.

Hu, J., Chen, Y., & Ni, D. (2012). Effect of superfine grinding on- quality and antioxidant property offine green tea powders. *LWT - Food Science and Technology 45,* 8-12.

Ihl, M., Monslaves, M. & Bifani, V. (1998), Chlorophyllase inactivation as a measure of blanching efficacy and colour retention of Artichokes (*Cynara scolymus L.*). *Lebensm-Wiss U-Technol, 31*, 50–56.

Jimnez-Monreal, A. M., Garca-Diz, L., Martnez-Tom, M., Mariscal, M., & Murcia, M. A. (2009). Influence of cooking methods on antioxidant activity of vegetables. *Journal of Food Science, 74,* H97–H103.

Kumar, P. & Mishra, H.N. (2004). Storage stability of mango soy fortified yoghurt powder in two different packaging materials: HDPP and ALP. *Journal of Food Engineering, 65*, 569–576.

Lioutas, T. S. (1989). Dried green vegetable and method of preparation. US Patent No. 4,832,969.

Lisiewska, Z., Kmiecik, W., & Slupski, J. (2004). Contents of chlorophylls and carotenoids in frozen dill: effect of usable part and pre-treatment on the content of chlorophylls and carotenoids in frozen dill (Anethum graveolens L.), depending on the time and temperature of storage. *Food Chemistry, 84,* 511–518.

Maharaj, V. & Sankat, C. K. (1996). Quality changes in dehydrated dasheen leaves: effects of blanching pre-treatments and drying conditions. *Food Research International, 29* (5-6), 563-568.

Molyneux, P. (2004). The use of the stable freeradical diphenylpicryl hydrazul (DPPH) for estimating antioxidant activity. *Food chemistry, 26,* (2), 211-219.

Nilnakara, S. (2006). *Effect of Blanching and Drying on Physicochemical Properties of High Dietary Fiber Powder Produced from Cabbage Residues*. Master's thesis, Department of Food Engineering, Faculty of Engineering, King Mingkut's University of Technology Thonburi.

Oboh, G. (2005). Effect of blanching on the antioxidant properties of some tropical green leafy vegetables. *LWT, 38,* 513-517

Plaermos in health. (ม.ป.ป.). อาหารเสริมคลอโรฟิลล์กินไม่รู้เรื่อง ระวังจะเป็นเรื่อง. วันที่ค้นข้อมูล 26 เมษายน 2556, เข้าถึงได้จาก http://palermos.exteen.com/20071026/entry-1

Pua, C.K., Hamid, N. S. Abd., Tan, C.P., Mirhosseini, H., Rahman, R. Abd.,& Rusul, G. (2008). Storage stability of jackfruit (Artocarpus heterophyllus) powder packaged in aluminium laminated polyethylene and metallized co-extruded biaxially oriented polypropylene during storage. *Journal of Food Engineering, 89*, 419-428.

Puupponen-Pimia, R., Hakkinen, S. T., Aarni, M., Suortti, T., Lampi, A.-M., Eurola, M., et al. (2003). Blanching and long-term freezing affect various bioactive compounds of vegetables in different ways. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 83*(14), 1389–1402.

Sanphakdee, T. (2007). *Optimization of spray drying for pineapple juice*. KingMongkut's University of Technology Thonburi: Bangkok.

Sari F ,& Velioglu, Y. S. (2011). Effects of particle size, extraction time and temperature, and derivatization time on determination of theanine in tea. *Journal of Food Composition and Analysis, 24,* 1130-1135.

Schwartz, S. J. & von-Elbe, J. H. (1983). Kinetics of chlorophyll degradation to pyropheophytin in vegetables, *J. Food Sci, 48,* 1303–1306.

Toivonen, P. M. A. (1997). The effects of storage temperature, storage duration, hydro-cooling and micro-perforated wrap on shelf-life of broccoli (Brassica oleracea L. italica group). *Postharvest Biology and Technology, 10,* 59–65.

Traithip, A. (2005). *Phytochemistry and antioxidant activity of Pluchea indica.* Master's thesis, Department of Pharmacognosy, Faculty of Graduate studies, Mahidol University.

Turkmen, N., Sari, F., & Velioglu, Y. S. (2005). The effect of cooking methods on total phenolics and antioxidant activity of selected green vegetables. *Food Chemistry, 93*, 713–718.

Yamauchi, N., Yoshimura, M., Shono, Y., & Kozukue, N. (1995). The mechanism of chlorophyll degradation in harvested leafy vegetables. 9. Chlorophyll degradation in mitsuba leaves during storage. *Journal of Japanese Society of Food Science and Technology, 42*, 709–714.

Yamaguchi, T., Mizobuchi, T., Kajikawa, R., Kawashima, H., Miyabe, F., Terao, J., Takamura, H., & Matoba, T. (2001). Radical-Scavenging Activity of Vegetables and the Effect of Cooking on Their Activity. *Food Sci. Technol. Res., 7* (3), 250–257.

Zhou, K. & Yu, L. (2006). Total Phenolic Contents and Antioxidant Properties of Commonly Consumed Vegetables Grown in Colorado. *Lebensmittel Wissenschaftund-Technologie.,39* ,1155–1162

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

ก-1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1. ตู้อบลมร้อนปรับอุณหภูมิได้ (Hot air oven)

2. ภาชนะอะลูมิเนียมสำหรับหาความชื้น (Moisture can)

3. โถดูดความชื้น (Desiccator)

4. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

วิธีการ

1. อบภาชนะอลูมิเนียมสำหรับหาความชื้นในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 2-3 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถดูดความชื้นปล่อยทิ้งไว้จนกระทั่งอุณหภูมิของภาชนะลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้อง แล้วชั่งน้ำหนัก

2. กระทำเช่นเดียวกับข้อ 1 ซ้ำ จนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

3. ชั่งตัวอย่างอาหารที่ต้องการหาความชื้นให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน 1-3 กรัม ใส่ลงในภาชนะอลูมิเนียมสำหรับหาความชื้นซึ่งทราบน้ำหนักดีแล้ว นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 5-6 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักภาชนะพร้อมตัวอย่างนั้น จากนั้นนำกลับไปเข้าตู้อบอีก และกระทำเช่นเดิมจนได้ผลต่างของน้ำหนักแห้งที่ชั่งทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

การคำนวณ

$$M = \frac{(W_1 - W_2)}{W_1} \times 100$$

โดยที่ M = ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)

W_1 = น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ

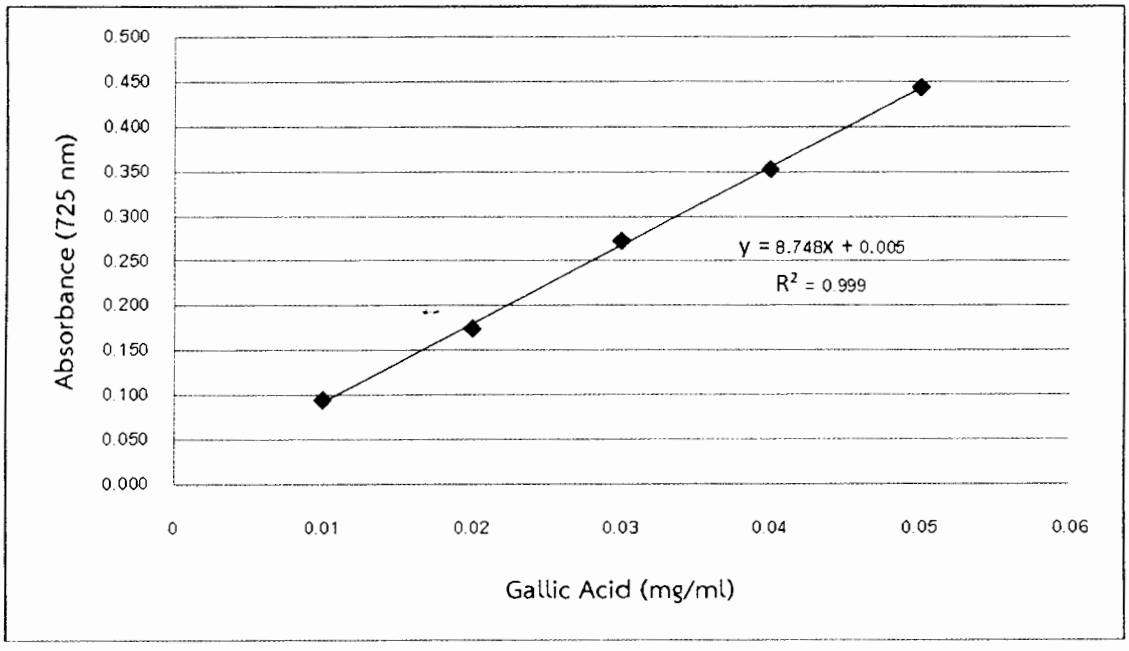
W_2 = น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ

ก-2 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมด (Total Phenolics compound)

โดยวิธี Folin- Ciocalteus method (Zhou and Yu, 2006)

1. ปิเปตสารละลาย Gallic acid มาตรฐานในแต่ละความเข้มข้นอย่างละ 1 มิลลิลิตร ผสมกับสารมาตรฐาน Folin-Ciocalteus reagent 0.5 ml ใส่หลอดทดลองแต่ละหลอดผสมให้เข้ากัน แล้วตั้งทิ้งไว้ 30 นาที จากนั้นเติมสารละลาย sodium carbonate 20% (w/v) 3 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 15 นาที แล้วเติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 725 นาโนเมตร แล้วนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาสร้างกราฟมาตรฐาน Gallic acid แสดงดังภาพที่ ก-1

2. ปิเปตสารสกัดตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร ผสมกับสารมาตรฐาน Folin- Ciocalteus reagent 0.5 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลองแต่ละหลอด ผสมให้เข้ากัน แล้วตั้งทิ้งไว้ 30 นาที จากนั้นนำมาเติมสารละลาย sodium carbonate 20% (w/v) 3 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 15 นาทีแล้วเติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 725 นาโนเมตร แล้วนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาเทียบกับกราฟมาตรฐาน gallic acid เพื่อหาความเข้มข้นของ phenolic compound ในสารสกัดขากขลู่ผง



ภาพที่ ก-1 กราฟมาตรฐานกรดแกลลิก

ก-3 วิธีการวิเคราะห์สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging (DPPH assay) ดัดแปลงจากวิธีของ Brand-Williams, Cuvelier และ Berset. (1995)

1. เตรียม 2,2 diphemyl-1-picrylhydrazyl radical (DPPH) ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมล โดย 0.004% DPPH ใน Ethanol แล้วนำไปผสมด้วยเครื่อง Vortex ปิดด้วยฟอยล์เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4°C

2. ทดสอบตัวอย่างสารสกัดโดยดูดสารสกัด 0.1 มิลลิลิตรในหลอดทดลอง อย่างละ 3 หลอด จากนั้นปิเปตสารละลาย DPPH ที่เตรียมไว้ใส่หลอดที่ใส่สารสกัดตัวอย่างไปแล้วหลอดละ 3 ml เพื่อให้ทำปฏิกิริยากัน แล้วทำการเขย่า ทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร

3. คำนวณค่าเฉลี่ยของค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ในแต่ละตัวอย่าง แล้วนำมาแทนค่าในสูตรหาประสิทธิภาพฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในตัวอย่างที่นำมาทดสอบ

$$\% \text{ radical scavenging} = \frac{(A_{DPPH} - A_{SAMPLE})x100}{A_{DPPH}}$$

เมื่อ A_{DPPH} = ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH ที่ไม่มีตัวอย่าง

A_{SAMPLE} = ค่าการดูดกลืนแสงของสารตัวอย่าง

ก-4 การวัดค่า Water Activity โดยเครื่องหาค่า Water Activity ยี่ห้อ NOVASINA

วิธี Set-up Calibration

1. นำตลับ Salt Standard SAL-98 (98%ERH)
2. ปิดฝาครอบให้เรียบร้อย
3. ให้หมุนปุ่มสีเหลืองตรงด้านซ้ายมือของเครื่องไปยังหมายเลข 2
4. รอจนอุณหภูมิใกล้เคียงกับที่จะวัดและค่า a_w ใกล้เคียงกับที่จะ Calibrate แล้วจึงค่อย กดปุ่มสีฟ้า ENTER แช่จน 98 CAL กระพริบแล้วปล่อย
5. กดปุ่มสีฟ้า ENTER อีกครั้งจนกระทั่งข้อความบนจอหยุดกระพริบ
6. เครื่องจะทำการ Calibrate จนเสร็จสิ้นกระบวนการ
7. หลังจากเสร็จสิ้นการ Calibrate แล้ว เครื่องจะคืนสู่สภาพปรกติคือพร้อมที่จะวัดและแสดงค่าอุณหภูมิและ %ERH (a_w = ERH/100) ของตัวอย่าง
8. สำหรับค่าอื่นๆ ให้ทำการ Calibrate ในทำนองเดียวกับค่า 98 ดังกล่าวข้างต้น

วิธีการใช้เครื่องเพื่อทำการวัดสารตัวอย่าง

1. หมุนปุ่มสีเหลืองของเครื่อง AWC ในตำแหน่งที่ 2
2. นำตลับพลาสติก มาใส่สารตัวอย่างให้ได้ปริมาตรประมาณ 80-90%
3. นำตลับตัวอย่างมาใส่ไว้ใน Measuring Chamber
4. ปิดฝาให้เรียบร้อย
5. ตั้งอุณหภูมิตามที่ต้องการ เช่น ถ้าต้องการควบคุมตัวอย่างให้ได้ 25 องศาเซลเซียส ก็ให้ตั้งปุ่มสีดำตรงขวามือให้ได้หมายเลข 190 เป็นต้น
6. จากนั้นรอจนกระทั่งอ่านอุณหภูมิได้ตามที่ตั้งไว้ และ Relative Humidity ของอากาศที่วัดได้อยู่ในสภาวะที่สมดุลกับสารตัวอย่าง สภาวะนี้เราเรียกว่า Equilibrium Relative Humidity (REH) เมื่อหารด้วย 100 ก็จะได้ค่า a_w (Water Activity) ตามต้องการ

ภาคผนวก ข
การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

ข-1 การวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี Hunter Lab รุ่น Mini Scan XE Plus (ใช้ร่วมกับโปรแกรม Universal)

ขั้นตอนการต่อเครื่อง

1. เสียบสายอุปกรณ์ต่อกับเครื่องให้เรียบร้อย ก่อนที่จะทำการเสียบสายเข้ากับปลั๊กไฟ
2. เข้าโปรแกรม

ทำการ Standardize เครื่อง

1. เข้า Menu Bar Standardize (Cal)
2. เลือก Port Size เป็น 1.25 นิ้ว กด OK
3. เครื่องจะถามหาแผ่น Black Glass ให้วางแผ่น Black Glass ที่ Sample Port กด OK
4. เครื่องจะถามหาแผ่น White Tile ให้วางแผ่น White Tile ที่ Sample Port กด OK
5. กด OK อีกครั้ง
6. ทำการวัดค่าเทียบกับแผ่นขาว โดยใช้ Scale XYZ วัดเทียบค่ากับ Scale ด้านหลังแผ่นค่าความต่าง Delta XYZ ต้องมีความต่างไม่เกิน ±0.3 Units ถ้าเกินให้ทำความสะอาดแผ่น Black Glass และแผ่น White Tile แล้วทำการ Standardize ใหม่อีกครั้ง

หน้าจอของโปรแกรม Universal

หน้าจอของโปรแกรม Universal มีทั้งหมด 9 หน้าจอ แต่หน้าจอที่ใช้ดู Scale คือ Master Color Data

การวัดค่า

1. เราสามารถทำการวัดค่าได้เลยโดยเลือกเข้าหน้าจอ Master Color Date
2. ถ้าต้องการวัดค่า Standard กด Read Std ที่ Menu Bar เครื่องจะทำการวัดและแสดงค่า Standard
3. ถ้าต้องการวัดค่า Sample กด Read Sam ที่ Menu Bar เครื่องจะทำการวัดและแสดงค่า Sample

การเปลี่ยน Scale

1. ในหน้าจอ Master Color Data ให้กด Active View ที่ Menu Bar
2. ทำการแก้ไข Scale ในช่อง Scale แล้วกด OK
3. โปรแกรมจะทำการเปลี่ยนค่า Scale ให้

การ Upload ข้อมูล

1. เข้า Menu Bar เลือก Upload Mini Scan Sample
2. ทำการ Mark ข้อมูลที่จะใช้หรือเลือก Select All ถ้าต้องการทั้งหมด
3. เลือก Save ถ้าต้องการเก็บค่า เลือก Display ถ้าต้องการโชว์ข้อมูลและเก็บค่าทีหลัง

การคำนวณค่าความแตกต่างของสี (ΔE)

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}}$$

โดย $\Delta L^* = L^*_{\text{ใบชลู่สด}} - L^*_{\text{ชลู่ผง}}$

$\Delta a^* = a^*_{\text{ใบชลู่สด}} - a^*_{\text{ชลู่ผง}}$

$\Delta b^* = b^*_{\text{ใบชลู่สด}} - b^*_{\text{ชลู่ผง}}$

ข-2 การวัดความสามารถในการละลาย (Sanphakdee, 2007)

ชั่งตัวอย่างผง 0.5 กรัม และผสมกับน้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร (25 องศาเซลเซียส) ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร จากนั้นกวนโดยใช้แท่งแม่เหล็ก (magnetic stirrer) (ขนาด 2 มม.x 7 มม.) ที่ความเร็ว 600 rpm เป็นเวลา 5 นาที กรองส่วนที่ไม่ละลายบนกระดาษกรองเบอร์ 4 โดยใช้ปั๊มสุญญากาศ แล้วนำกระดาษกรองพร้อมส่วนที่ไม่ละลายไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 102 ± 2 °C จนน้ำหนักคงที่ คำนวณ % solubility ดังสมการ

$$\text{Solubility (\%)} = \left(1 - \frac{m1 - m2}{m}\right) \times 100$$

โดย m1 คือ น้ำหนักของกระดาษกรองและส่วนที่ไม่ละลายหลังจากการอบแห้ง

m2 คือ น้ำหนักของกระดาษกรองแห้ง

m คือ น้ำหนักของตัวอย่างผง

ภาคผนวก ค

แบบทดสอบการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ค-1 แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส วิธี Scoring test

ชื่อผู้ทดสอบ.....วันที่ทดสอบ..... หมายเลขผู้ทดสอบ.....

ผลิตภัณฑ์ ขลู่ผง

คำชี้แจง : กรุณาพิจารณาสีของผลิตภัณฑ์และให้คะแนนความเข้มด้านสีเขียว ตามเกณฑ์ให้คะแนนดังนี้

1 = สีเขียวเข้มน้อยที่สุด
2 = สีเขียวเข้มน้อย
3 = สีเขียวเข้มปานกลาง
4 = สีเขียวเข้มมาก
5 = สีเขียวเข้มมากที่สุด

.....	.....	.....

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

ขอขอบคุณที่ให้ความร่วมมือ

ค-2 แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส วิธี Scoring test

ชื่อผู้ทดสอบ.....วันที่ทดสอบ..... หมายเลขผู้ทดสอบ.....

ผลิตภัณฑ์ น้ำสกัดจากขลู่ผง

คำชี้แจง : กรุณาทดสอบผลิตภัณฑ์และให้คะแนนความเข้มด้านกลิ่นรส ตามเกณฑ์ให้คะแนนดังนี้ (กรุณาบ้วนปากก่อนชิมทุกครั้ง)

1 = มีความเข้มของกลิ่นรสน้อยที่สุด

2 = มีความเข้มของกลิ่นรสน้อย

3 = มีความเข้มของกลิ่นรสปานกลาง

4 = มีความเข้มของกลิ่นรสมาก

5 = มีความเข้มของกลิ่นรสมากที่สุด

.....	.....	.....

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

ขอขอบคุณที่ให้ความร่วมมือ

ค-3 แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส วิธี 9-point hedonic scale

ชื่อผู้ทดสอบ.....วันที่ทดสอบ..... หมายเลขผู้ทดสอบ.....

ผลิตภัณฑ์ น้ำสกัดจากขลู่ผง

ตอนที่ 1 กรุณาตอบคำถามตามความเป็นจริง

ปกติท่านชอบดื่มชาร้อนหรือไม่

- ○ ชอบ
- ○ ไม่ชอบ

ตอนที่ 2 คำชี้แจง กรุณาทดสอบผลิตภัณฑ์จากซ้ายไปขวาและให้คะแนนความชอบในด้าน สี กลิ่น กลิ่นรส และความชอบโดยรวม ตามเกณฑ์ให้คะแนนดังนี้ (กรุณาบ้วนปากก่อนชิมทุกครั้ง)

กำหนดให้

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

รหัสตัวอย่าง	สี	กลิ่น	กลิ่นรส	ความชอบโดยรวม
.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

ขอขอบคุณที่ให้ความร่วมมือ

ภาคผนวก ง
ภาพประกอบ

ภาพที่ ง-1 ลักษณะของใบขลู่สด

ภาพที่ ง-2 ลักษณะของใบขลู่สดที่ผ่านการตัด

ก) Control ข) ลวกในน้ำ ค) ลวกในสารสารละลาย $MgCO_3$ 0.06%

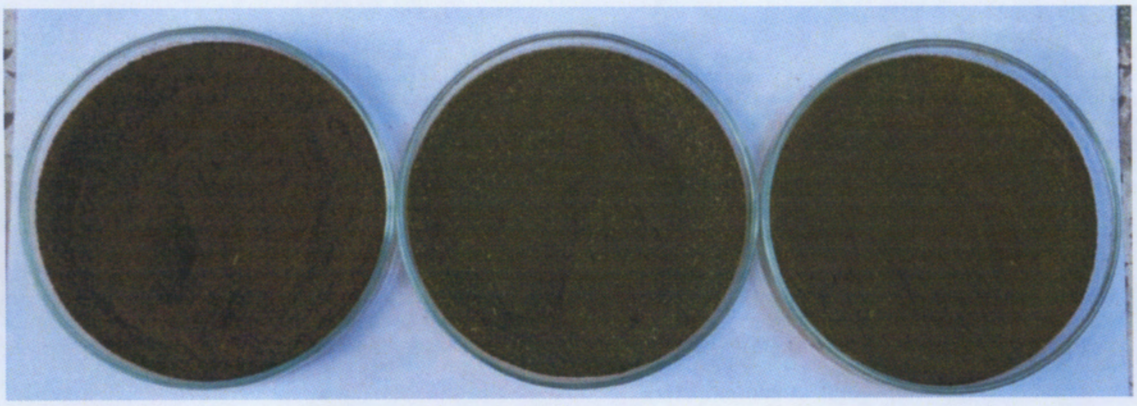
ภาพที่ ง-3 ลักษณะของใบขลู่ที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้น (control) (ก) ลวกในน้ำ (ข) และลวกในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต 0.06% (ค)

Control + คั่ว | ลวกในน้ำ + คั่ว | ลวกในสารสารละลาย $MgCO_3$ 0.06% + คั่ว

ภาพที่ ง-4 ลักษณะของใบขลู่ที่ผ่านการคั่ว

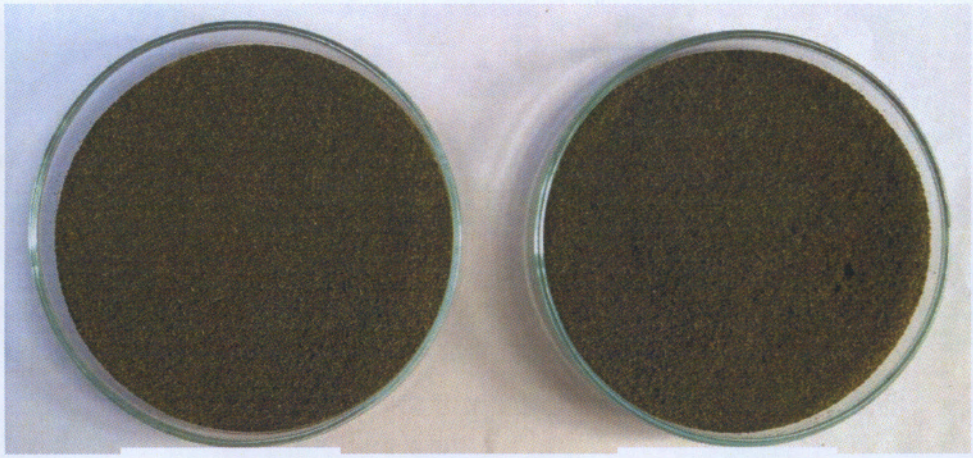
Control	ลวกในน้ำ	ลวกในสารสารละลาย $MgCO_3$ 0.06%

ภาพที่ ง-5 ลักษณะของใบขลู่ที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งสุญญากาศ

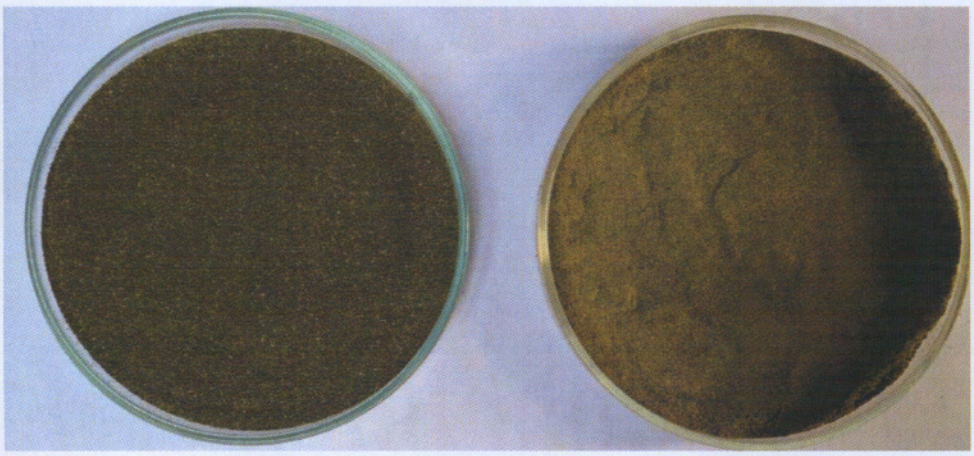


Control	ลวกในน้ำ	ลวกในสารสารละลาย $MgCO_3$ 0.06%

ภาพที่ ง-6 ลักษณะของขลู่ผงที่ผ่านการบดลดขนาด



ก) 50 เมช ข) 60 เมช

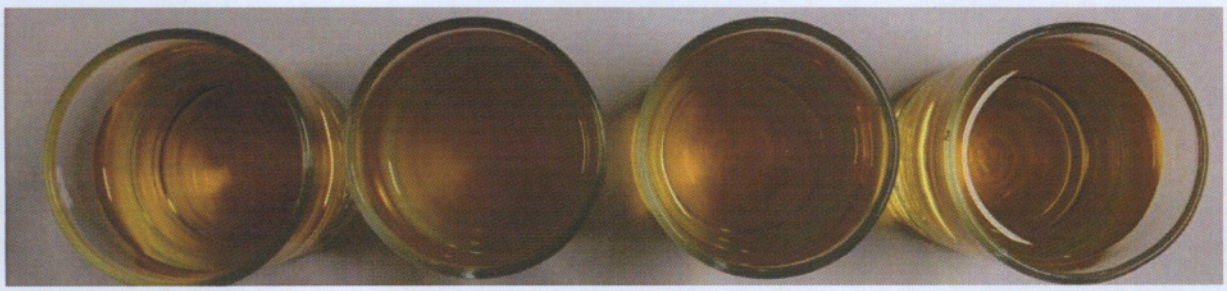


ค) 70 เมช ง) 80 เมช

ภาพที่ ง-7 ลักษณะของขลู่ผงที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 50 เมช (ก) 60 เมช (ข) 70 เมช (ค) และ 80 เมช (ง)

ก) Control ข) ลวกในน้ำ ค) ลวกในสารสารละลาย $MgCO_3$ 0.06%

ภาพที่ ง-8 ลักษณะของน้ำสกัดจากขลู่ผงที่ไม่มีการเตรียมขั้นต้น (Control) (ก) ลวกในน้ำ (ข) และ ลวกในสารสารละลาแมกนีเซียมคาร์บอเนต 0.06% (ค)



ก) 50 เมช ข) 60 เมช ค) 70 เมช ง) 80 เมช

ภาพที่ ง-9 ลักษณะของน้ำสกัดจากขลู่ผงที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 50 เมช (ก) 60 เมช (ข) 70 เมช (ค) และ 80 เมช (ง)

ก) ถุงพลาสติกใสชนิดโพลิโพรพิลีนแบบ

ข) ถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนต

ภาพที่ ง-10 บรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในการเก็บรักษาขลู่ผง ก) ถุงพลาสติกใสชนิดโพลิโพรพิลีนแบบหนา ข) ถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนต

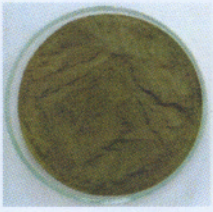
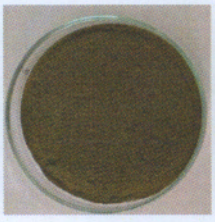
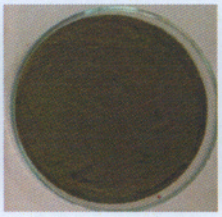
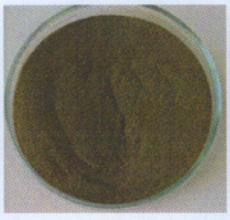
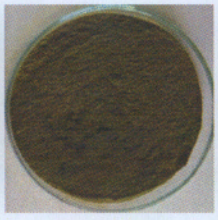
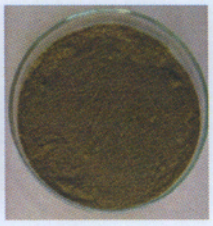
ภาพที่ ง-11 ลักษณะของการบรรจุขลู่ผง

ภาพที่ ง-12 ขั้นตอนการคั่วใบขลู่

ภาพที่ ง-13 เครื่องอบแห้งสุญญากาศ (Vacuum oven)

3341954

ตารางที่ ง-1 ลักษณะของขลู่ผงและน้ำสกัดจากขลู่ผงที่เก็บรักษาในถุงพลาสติกใสชนิดโพลิโพรพิลีน (PP) และถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนต (ALU) ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 8 สัปดาห์

ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)	ขลู่ผง		น้ำสกัดจากขลู่ผง	
	PP	ALU	PP	ALU
0				
2				
4				
6				

ตารางที่ ง-1 (ต่อ)

ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)	ขลู่ผง		น้ำสกัดจากขลู่ผง	
	PP	ALU	PP	ALU
8