



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การพัฒนากรรมวิธีการผลิตผักแผ่นและการจำลองลักษณะไอโซเทอม
การดูดซับความชื้น

Process Development of Vegetable Leather and Modeling on
Moisture Adsorption Isotherm

หัวหน้าโครงการ นางสิริมา ชินสาร

ผู้ร่วมโครงการ นายกฤษณะ ชินสาร

โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้
จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน)
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560
มหาวิทยาลัยบูรพา

รหัสโครงการ 2560A10802048
สัญญาเลขที่ 90/2560

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การพัฒนากรรมวิธีการผลิตผักแผ่นและการจำลอง
ลักษณะไอโซเทอมการดูดซับความชื้น

Process Development of Vegetable Leather and Modeling on
Moisture Adsorption Isotherm

หัวหน้าโครงการ นางสิริมา ชินสาร
ผู้ร่วมโครงการ นายกฤษณะ ชินสาร

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยบูรพา

มีนาคม 2561

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 90/2560

คณะผู้วิจัย
มีนาคม 2561

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากรรมวิธีการผลิตผักแผ่นและจำลองลักษณะไอโซเทอมการดูดซับความชื้น ขั้นตอนแรกเป็นการศึกษาผลของการlovakต่อคุณภาพด้านสีของใบบัวบก ใบชะพลู และผักแพว พบว่า สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการlovakผักทั้ง 3 ชนิด คือ ใบบัวบก ลวกในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.5% เป็นเวลา 60 วินาที ใบชะพลู ลวกในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 0.09% เป็นเวลา 90 วินาที ผักแพว ลวกในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 0.09% เป็นเวลา 60 วินาที ขั้นที่สอง ศึกษากรรมวิธีการผลิตผักแผ่นที่เหมาะสม โดยศึกษาชนิดของไฮโดรคอลลอยด์ 3 ชนิดได้แก่ CMC กวักัม และเพคตินที่ช่วยในการลดการดูดซับน้ำมันของใบผัก พบว่า การใช้ CMC 0.1% เติมลงในส่วนผสมทำให้ผักแผ่นมีปริมาณน้ำมันหลังทอด (28.23%) และค่าแรงดึง (6.64 kPa) ต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากนั้นเมื่อศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบเพื่อกำจัดน้ำมัน พบว่า เมื่อนำผักแผ่นที่ผ่านการทอดมาทำการอบที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 30 นาที มีปริมาณน้ำมันต่ำ (26.43%) และมีค่าสีใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์สำหรับทอดทางการค้ามากที่สุด ขั้นที่สาม ศึกษาแบบจำลองลักษณะไอโซเทอมการดูดซับความชื้นของผลิตภัณฑ์ผักแผ่น พบว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ GAB สามารถใช้ทำนายปริมาณความชื้นสมดุลของผักแผ่นที่อุณหภูมิ 29 35 และ 45°C ได้ใกล้เคียงกับข้อมูลจากการทดลอง โดยมีค่า SEE เท่ากับ 0.10 0.05 และ 0.05 และค่า R^2 เท่ากับ 0.95 0.98 และ 0.99 ตามลำดับ ขั้นตอนสุดท้าย เป็นการศึกษการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ผักแผ่นในถุงอลูมิเนียมฟอยด์ลามิเนตที่อุณหภูมิห้อง พบว่า ผลิตภัณฑ์ยังคงมีคุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์สำหรับอบตลอดอายุการเก็บรักษา 2 เดือน คือ มีค่า a_w ไม่เกิน 0.6 และจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 1×10^4 cfu/g

ABSTRACT

This research was to develop the process of vegetable leather and modeling on moisture adsorption isotherm. First step was to study the effect of blanching on color of indian pennywort, wildbetal leafbush and bietnamese coriander. The appropriated blanching conditions for indian pennywort, wildbetal leafbush and bietnamese coriander were 0.5% sodium chloride solution for 60 seconds, 0.09% magnecium carbonate solution for 90 seconds and 0.09% magnecium carbonate solution for 60 seconds, respectively. Second step, the suitable process of vegetable leather was investigated. Then, the effect of CMC guargum and pectin on reduction of oil uptake was observed. Results showed that 0.1% CMC added resulted in lowest oil (28.23%) and stress value (6.64 kPa) with significantly difference ($p \leq 0.05$). Subsequently, the effect of drying temperature and time to reduce oil in vegetable leather after frying was studied. Results revealed that drying at 80°C for 30 minutes, the product had low oil content (26.43%) and its color closed to that of fried seaweed product. Third step, modeling on moisture adsorption isotherm was studied. GAB model was able to predict the equilibrium moisture content of vegetable leather at 29, 35 and 45°C in good agreement with the experimental data with the SEE of 0.10, 0.05 and 0.05 and the R^2 of 0.95, 0.98 and 0.99, respectively. Finally, quality change of product during storage in aluminium foil laminated bags at room temperature was investigated. Results showed that the product quality was on the standard of dried seaweed along 2 months. There were a_w less than 0.6 and total plate count less than 1×10^4 cfu/g.

สารบัญเรื่อง

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
สารบัญเรื่อง.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ซ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
วัตถุประสงค์.....	2
ขอบเขตการวิจัย.....	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
ฝึกแผ่น.....	3
การเตรียมขั้นต้น.....	4
การทำแห้ง.....	5
การทอด.....	7
Moisture Sorption Isotherm.....	9
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	16
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	19
วัตถุดิบ วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี.....	19
วิธีดำเนินการวิจัย.....	20
4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	24
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	36
สรุปผลการทดลอง.....	36
ข้อเสนอแนะ.....	36
รายการอ้างอิง.....	37
ประวัตินักวิจัย.....	40

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1 รูปแบบของเส้นพฤติกรรมการดูดความชื้น.....	10
3-1 ปริมาณส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ผักแผ่นปรุงรส.....	21
4-1 ผลการทดสอบเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสในใบบัวบกที่ผ่านการลวกในสภาวะต่างๆ.....	24
4-2 ผลการทดสอบเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสในใบชะพลูที่ผ่านการลวกในสภาวะต่างๆ.....	25
4-3 ผลการทดสอบเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสในใบผักแพวที่ผ่านการลวกในสภาวะต่างๆ.....	25
4-4 ค่าสีของใบบัวบกที่ผ่านการลวกเป็นเวลา 60 วินาที.....	26
4-5 ค่าสีของใบชะพลูที่ผ่านการลวกเป็นเวลา 90 วินาที.....	27
4-6 ค่าสีของผักแพวที่ผ่านการลวกเป็นเวลา 60 วินาที.....	27
4-7 ปริมาณน้ำมัน ค่าสีเขียว ความหนา และค่าแรงดึงของผักแผ่นทอดที่เติมสารไฮโดร คอลลอยด์ชนิดต่างๆ.....	28
4-8 ปริมาณไขมันและความชื้นของผักแผ่นที่ผ่านการอบไล่น้ำมันเทียบกับตัวอย่างทางการค้า.....	29
4-9 ค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ของผักแผ่นที่ผ่านการ อบไล่น้ำมัน.....	30
4-10 ค่าคงที่, ค่า SEE และค่า R^2 ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ GAB ของผักแผ่นที่ อุณหภูมิต่าง ๆ.....	33
4-11 ปริมาณความชื้น a_w และจุลินทรีย์ทั้งหมดของผักแผ่นที่บรรจุในถุงอูมิเนียมพอยด์ลามิเนต เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 8 สัปดาห์.....	35

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2-1 รูปแบบของเส้นพฤติกรรมการดูดความชื้น.....	10
4-1 ซอร์พชันไอโซเทอร์มของผักแผ่นระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนาย ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ GAB ที่อุณหภูมิห้อง (29°C).....	32
4-2 ซอร์พชันไอโซเทอร์มของผักแผ่นระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนาย ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ GAB ที่อุณหภูมิ 35°C.....	32
4-3 ซอร์พชันไอโซเทอร์มของผักแผ่นระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนาย ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ GAB ที่อุณหภูมิ 45°C.....	33

บทที่ 1

บทนำ

ผักพื้นบ้านของไทยมีคุณค่าทางโภชนาการที่หลากหลาย สารอาหารที่พบในผักพื้นบ้านที่สำคัญ ได้แก่ แร่ธาตุ และวิตามิน นอกจากนี้ยังมีสารอาหารอื่นๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย แต่ให้พลังงานต่ำ เช่น โปรตีน และใยอาหาร การนำผักพื้นบ้านมาแปรรูปเป็นอาหารชนิดอื่น ถือเป็น การถนอมอาหารและเพิ่มมูลค่าให้กับผักพื้นบ้านของไทย ประกอบกับในสังคมปัจจุบันพฤติกรรม การรับประทานอาหารของคนไทยได้เปลี่ยนไปเนื่องจากสภาพสังคมที่มีความเร่งรีบ ทำให้ส่งผลต่อปัญหาสุขภาพ โดยเฉพาะในเด็กวัยเรียนที่มักเลือกซื้อขนมขบเคี้ยวหรืออาหารรับประทานเอง โดยเลือกเฉพาะแบบที่ตนชอบ และโดยส่วนใหญ่แล้วขนมขบเคี้ยวหรืออาหารที่เลือกเหล่านี้มักมีคุณค่าทางโภชนาการต่ำ จากสถานการณ์ภาวะโภชนาการของประเทศไทย ช่วงแผนพัฒนาฉบับที่ 10 พ.ศ. 2550-2554 พบว่า เด็กไทยนิยมบริโภคขนมขบเคี้ยวที่มีน้ำตาล ไขมัน และโซเดียมสูง ทำให้เด็กบางส่วนประสบปัญหาโรคอ้วน จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้นผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดที่จะแปรรูปผักพื้นบ้านที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงให้เป็นอาหารว่างหรือขนมขบเคี้ยวที่เรียกว่า ผักแผ่น โดยวัตถุดิบที่เลือกใช้ในการผลิตคือ ใบชะพลู ผักแพ้ว และใบบัวบก ซึ่งผักทั้ง 3 ชนิดเป็นผักที่มีปริมาณแคลเซียม และใยอาหารสูง นอกจากนั้นยังมีองค์ประกอบที่เป็นประโยชน์อื่นๆ เช่น เกลือแร่ และวิตามิน ซึ่งช่วยในการทำงานร่วมกับสารอาหารอื่นๆ ในร่างกาย ทำให้ร่างกายแข็งแรง โดยเป็นที่ทราบกันดีว่า แคลเซียมนั้นจะถูกสะสมอยู่ในกระดูกและฟันช่วยทำให้กระดูกและฟันแข็งแรง ช่วยควบคุมการทำงานของหัวใจ ระบบประสาทและกล้ามเนื้อ เป็นธาตุที่จำเป็นในการแข็งตัวของเลือด แต่หากร่างกายขาดแคลเซียมเพราะรับประทานเข้าไปไม่เพียงพอก็จะไปดึงแคลเซียมมาจากกระดูกส่งผลให้กระดูกบางลงและเกิดภาวะกระดูกพรุน ในส่วนของใยอาหารนั้น พบว่า ใยอาหารมีประโยชน์ในการช่วยลดความเสี่ยงการดูดซึมไขมันและคอเลสเตอรอล ลดอัตราเสี่ยงจากไขมันอุดตันหลอดเลือด ช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด ช่วยป้องกันหรือลดความเสี่ยงจากโรคมะเร็งลำไส้ ทำให้การเคลื่อนไหวของลำไส้เป็นปกติ และลดการเกิดอาการท้องผูก เป็นต้น ดังนั้น การนำผักพื้นบ้านที่มีปริมาณแคลเซียมและใยอาหารสูงมาแปรรูปเป็นขนมขบเคี้ยวที่มีประโยชน์ต่อร่างกายหลายๆด้าน จะทำให้ผู้บริโภคโดยเฉพาะเด็กในวัยเรียนมีทางเลือกในการดูแลสุขภาพตนเองให้ดียิ่งขึ้น

ในการพัฒนากรรมวิธีการผลิตจะนำวิธีการเตรียมวัตถุดิบอย่างง่ายมาประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับวัตถุดิบ เพื่อคงคุณภาพในด้านสีและลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ และมีการเพิ่มขั้นตอนของการคัดเลือกว่าวัตถุดิบเพื่อให้สามารถควบคุมกระบวนการผลิตได้ และให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์สม่ำเสมอ มีการนำเทคโนโลยีการอบแห้งมาใช้ร่วมกับวิธีการทอดเพื่อรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผัก

แผ่นในระหว่างการเก็บรักษาให้ยาวนานขึ้น และศึกษาความสัมพันธ์ของความชื้นกับ a_w ซึ่งเป็นการหาลักษณะไอโซเทอมการดูดซับความชื้นของผลิตภัณฑ์ผักแผ่นที่พัฒนาได้ ซึ่งเป็นข้อมูลด้านความคงตัวของผลิตภัณฑ์ภายหลังการผลิต เพื่อได้ข้อมูลสำหรับการพัฒนาในด้านการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์และได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ให้แก่อุตสาหกรรม สามารถนำผลจากโครงการวิจัยไปขยายผลสู่การพัฒนาเพื่อการบริโภคภายในประเทศหรือเป็นสินค้าส่งออกคุณภาพสูงต่อไป

วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อพัฒนาระบบวิธีการผลิตผลิตภัณฑ์ผักแผ่นที่มีคุณภาพที่ดีทั้งลักษณะทางกายภาพและคุณค่าทางโภชนาการ
- 2) เพื่อศึกษาแบบจำลองไอโซเทอมของการดูดซับความชื้นของผลิตภัณฑ์ผักแผ่นเพื่อเป็นข้อมูลการออกแบบบรรจุภัณฑ์และการศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา

ขอบเขตการวิจัย

ดำเนินการวิจัยโดย 1) ศึกษากรรมวิธีในการเตรียมชิ้นต้นใบชะพลู ผักแพว และใบบัวบก โดยเริ่มจากการคัดเลือกใบผักให้มีความสม่ำเสมอทั้งขนาดและความแก่-อ่อนของใบ จากนั้นจึงศึกษาผลของการเตรียมชิ้นต้นเพื่อลดการเปลี่ยนแปลงของสีเขียวในระหว่างกระบวนการผลิตและการทำแห้ง

- 2) ศึกษากรรมวิธีการผลิตผลิตภัณฑ์ผักแผ่นที่เหมาะสม ซึ่งประกอบด้วยการศึกษาสารที่ช่วยลดการดูดซับน้ำมันระหว่างการทำแห้ง แล้วจึงศึกษาการใช้การอบด้วยลมร้อนเพื่อลดปริมาณน้ำมันในผลิตภัณฑ์หลังการทำแห้ง ทำให้ผลิตภัณฑ์ผักแผ่นที่ได้มีความกรอบ แห้ง และไม่อมน้ำมัน
- 3) เมื่อได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีแล้ว จะทำการศึกษาถึงลักษณะไอโซเทอมการดูดซับความชื้นของผลิตภัณฑ์ผักแผ่น เพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบบรรจุภัณฑ์และ
- 4) ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบกระบวนการในการผลิตผักแผ่นที่มีคุณภาพและคุณค่าทางโภชนาการสูง
2. เป็นการเพิ่มมูลค่าของผักพื้นบ้าน และสามารถนำประโยชน์จากผักพื้นบ้านมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ในรูปแบบใหม่ได้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผักแผ่น

ผลิตภัณฑ์ผักแผ่น คือ ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากผักตีปั่นให้เป็นเนื้อเดียวกัน อาจใช้ผักชนิดเดียวหรือหลายๆ ชนิดผสมกันก็ได้ แล้วปรุงรสด้วยเครื่องปรุงรสและเครื่องเทศตามต้องการ จากนั้นขึ้นรูปให้เป็นแผ่นบางแล้วนำไปผ่านกระบวนการทำแห้งและทอด หรืออาจจะไม่ผ่านกระบวนการทอดก็ได้ได้เป็นผลิตภัณฑ์ผักแผ่นปรุงรสตามต้องการ (วัฒนา ดำรงรัตน์กุล และอนุวัตร แจ่มชัด, 2549)

สำหรับงานวิจัยนี้สนใจการพัฒนาผลิตภัณฑ์ผักแผ่นจากผักพื้นบ้านของไทยที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง 3 ชนิด ได้แก่ ใบชะพลู ผักแพว และใบบัวบก

ชะพลู

ชะพลูมีชื่อวิทยาศาสตร์ คือ *Piper sarmentosum* Roxb ชื่อวงศ์ Piperaceae สรรพคุณ ใบและลำต้นช่วยละลายเสมหะ ขับลม แก้อาเจียน ท้องเฟ้อ ช่วยบำรุงน้ำดี ผลช่วยขับเสมหะ ทำให้ชุ่มคอ รากช่วยขับเสมหะที่อยู่ในทรวงอกและทำให้เจริญอาหาร ใบชะพลูมีใยอาหารสูง สารอาหารส่วนใหญ่ที่พบในใบชะพลู ได้แก่ แคลเซียม ฟอสฟอรัส วิตามินซี โดยมีปริมาณแคลเซียมสูงถึง 601 มิลลิกรัม ต่อใบชะพลู 100 กรัม

ผักแพว

ผักแพวมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Polygonum odoratum* Lour. มีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีปริมาณวิตามินเอ วิตามินซี แคลเซียม และธาตุเหล็กสูง อีกทั้งยังมีสรรพคุณทางยาที่ช่วยเพิ่มการเผาผลาญไขมันในเลือด สามารถช่วยบำรุงและรักษาสายตา ทั้งยังช่วยบำรุงกระดูกและฟันให้แข็งแรง และที่สำคัญนั้นจะช่วยในการขับถ่าย ป้องกันและแก้อาการท้องผูก นอกจากนี้ยังช่วยป้องกันมะเร็งลำไส้ใหญ่ เพราะเป็นผักที่มีไฟเบอร์สูงถึง 9.7 กรัม ซึ่งจัดอยู่ในผักที่มีเส้นใยอาหารมากที่สุด 10 อันดับของผักพื้นบ้านไทย (ThaiHerbal.org, มปป)

บัวบก

บัวบกมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Centella asiatica* (L.) Urban. เป็นพืชล้มลุก ลำต้นเป็นไหลทอดเลื้อยไปตามดินที่ขึ้นแฉะ ใบ เป็นใบเดี่ยว ออกเรียงสลับ รูปไข่ ขนาดกว้างและยาว 2-5 ซม.

ปลายใบกลม โคนใบเว้า ขอบใบหยัก แผ่นใบสีเขียวมีขนเล็กน้อย ก้านใบยาว ดอก ออกเป็นช่อแบบซี่ร่มตามซอกใบ มีดอกย่อย 2-3 ดอก กลีบดอกมี 5 กลีบ สีม่วงอมแดงกลับกัน ผล เป็นผลแห้งแตกแบน เมล็ดสีดำ สรรพคุณ เป็นยาบำรุงกำลัง บำรุงหัวใจ แก้ไข้ใน แก้เจ็บคอ และลดความดัน (สรรพคุณสมุนไพร, มปป) สำหรับคุณค่าทางโภชนาการของใบบับก 100 กรัม จะให้พลังงานต่อร่างกาย 44 กิโลแคลอรี มีแคลเซียม 146 มิลลิกรัม วิตามิน เอ 10.96 IU และเส้นใย 2.6 กรัม (ปีติพูนไชยศรี, 2554)

การเตรียมขั้นต้น

การเตรียมวัตถุดิบขั้นต้นก่อนการผลิตสามารถทำได้หลายวิธี แต่สำหรับงานวิจัยนี้สนใจที่จะใช้วิธีการลวกวัตถุดิบก่อนการแปรรูป โดยการลวกเป็นขั้นตอนการให้ความร้อนแก่ชิ้นผลไม้หรือผัก เนื่องจากผลไม้หรือผักมีเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส และโพลีฟีนอลออกซิเดส ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ผลไม้สูญเสียคุณภาพ เช่น การเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่ทำให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่ต้องการ ทำให้เกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ จึงจำเป็นต้องใช้ความร้อนทำลายเอนไซม์นี้ นอกจากนี้ระยะเวลาในการลวกและอุณหภูมิในการลวกขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของผลไม้แต่ละชนิด นอกจากนั้น การลวกรยังมีส่วนต่อการถายเทมวลสารของวัตถุดิบในระหว่างการทอดและการอบแห้งอีกด้วย เนื่องจากความร้อนในระหว่างการลวกจะทำให้เยื่อหุ้มเซลล์อ่อนตัวลง ทำให้อัตราการถายเทมวลสารของน้ำในวัตถุดิบสูงขึ้น (วิล รังสาทอง, 2546)

การลวกในสารละลายโซเดียมคลอไรด์

โซเดียมคลอไรด์มีสมบัติเป็นสาร Oxidizing agent มีสมบัติในการยับยั้งปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้ โดยพบว่า การใช้โซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นต่ำ (0.1 g/L) สามารถยับยั้งปฏิกิริยาสีน้ำตาลในชั้นแอปเปิ้ลได้ และการใช้โซเดียมคลอไรด์ร่วมกับแคลเซียมคลอไรด์สามารถยับยั้งเอนไซม์ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้ เนื่องจากคลอไรด์ไอออนอาจเกิดปฏิกิริยาร่วมกับกรดแลคติก (Lu et al, 2007; Severini et al, 2003)

การลวกในสารละลายต่าง

คลอโรฟิลล์มีความคงตัวในต่าง การเติมเกลือของต่างลงในน้ำลวกผักเพื่อปรับไม่ให้ค่า pH ของน้ำลวกลดลง จะสามารถยับยั้งการเกิดฟิโอฟิตินได้ จึงช่วยรักษาสีเขียวของผักเอาไว้ได้ เกลือของต่างที่นิยมใช้ คือ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ และ แมกนีเซียมคาร์บอเนต (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549)

การทำแห้ง

การทำแห้ง (Drying) หมายถึง การให้ความร้อนภายใต้สภาวะการควบคุมเพื่อกำจัดน้ำที่มีอยู่ในอาหารโดยการระเหยน้ำ วัตถุประสงค์ของการกำจัดน้ำ คือ การยืดอายุการเก็บรักษาอาหารโดยการลดค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้ (a_w) ซึ่งมีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ และการทำงานของเอนไซม์ นอกจากนี้ การลดน้ำหนักและปริมาณของอาหารยังช่วยลดค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาและการขนส่ง เพิ่มความหลากหลายและความสะดวกให้แก่ผู้บริโภค

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

ปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้งของอาหาร

1. ธรรมชาติของอาหาร อาหารที่มีเนื้อโปร่งจะมีอัตราการทำแห้งที่เร็วกว่าอาหารที่มีเนื้อแน่นเนื่องจากการเคลื่อนที่แบบผ่านช่องแคบ 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 โหระพา และ ตะไคร้ ในแต่ละชนิดพืชเครื่องปรุงอาหารได้วางแผนการทดลองแบบ RCBD ประกอบด้วย 13 กรรมวิธี จำนวน 4 ซ้ำ โดยกรรมวิธีหรือชุดเทคโนโลยีประกอบด้วย การอบที่อุณหภูมิ 50,60,70 และ 80 องศาเซลเซียส ในระยะเวลาการอบที่ 12, 18 และ 24 ชั่วโมงเปรียบเทียบกับวิธีของเกษตรกรคือการตากแดดซึ่งเป็นกรรมวิธีควบคุม (Control) โดยทำการเปรียบเทียบความแห้งสนิท (ความชื้นต่ำกว่า 10 %) และการคงสภาพความสวยงามของสีของวัตถุดิบ (พืชเครื่องปรุง) ผลการศึกษาพบว่า กะเพรา พริก ข่าสไลด์ ใบมะกรูด โหระพา การอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยใช้ถุงกระดาษบรรจุก่อนอบ ให้ความแห้งสนิท (ความชื้นต่ำกว่า 10 %) และการคงสภาพความสวยงามของสีที่ดีที่สุด ส่วน ตะไคร้ การอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยการหั่นและใช้ถุงกระดาษบรรจุก่อนอบ ให้ความแห้งสนิท (ความชื้นต่ำกว่า 10 %) และการคงสภาพความสวยงามของสีที่ดีที่สุด ส่วนกรรมวิธีการตากแดดแบบชาวบ้านกรรมวิธีควบคุม (Control) นั้น การแห้งของวัตถุดิบไม่สม่ำเสมอ และสีจางซีดต้องใช้เวลาตากถึง 3 แดด จึงจะมีความแห้งเท่ากับการอบแห้ง

การเปลี่ยนแปลงของอาหารเนื่องจากการทำแห้ง

1. การหดตัว เกิดขึ้นเนื่องจากการสูญเสียน้ำส่วนที่แข็งจะคงสภาพได้ส่วนที่อ่อนกว่าจะยุบลงไป การทำแห้งอย่างรวดเร็วจะทำให้อาหารหดตัวน้อยกว่าการทำแห้งแบบช้า

2. การเปลี่ยนแปลงสี อาหารที่ผ่านการทำแห้งมักจะมีสีที่เข้มขึ้นเนื่องจากความร้อนหรือเกิดจากปฏิกิริยาเคมี

3. การเกิดเปลือกแข็ง เป็นลักษณะที่ผิวอาหารแข็งเป็นเปลือกหุ้มส่วนที่ยังไม่แห้งไว้ เนื่องจากช่วงแรกให้น้ำระเหยเร็วเกินไปทำให้น้ำด้านในเคลื่อนที่มาที่ผิวหน้าไม่ทันหรือมีสารละลายของน้ำตาล โปรตีน เคลื่อนที่มาแข็งตัวที่ผิว สามารถแก้ไขได้โดยไม่ใช้อุณหภูมิที่สูงและใช้อากาศที่มีความชื้นสูงเพื่อไม่ให้ผิวหน้าแห้งเร็วเกินไป

4. ความสามารถในการคั้นสภาพ อาหารบางชนิดต้องนำมาคั้นสภาพก่อนบริโภค การคั้นสภาพโดยการเติมน้ำจะไม่ได้อาหารที่มีลักษณะเหมือนเดิมเนื่องจากเซลล์เสียความยืดหยุ่นของผนังเซลล์ สตาร์ชและโปรตีนเสียความสามารถในการดูดน้ำ

5. การสูญเสียคุณค่าอาหารและสารระเหย เช่นเกิดการเสื่อมสลายของวิตามินซีและแคโรทีนจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ถ้ายิ่งใช้เวลาในการทำแห้งมากการสูญเสียก็จะยิ่งมาก การสูญเสียสารระเหยเนื่องจากความร้อนทำให้กลิ่นรสของอาหารแห้งลดลงหรือแตกต่างไปจากเดิม (จิตธนา แจ่มเมฆ และคณะ, 2540)

การทอด

เมื่อวางอาหารลงในน้ำมันร้อน อุณหภูมิที่ผิวหน้าของอาหารจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและน้ำเกิดการระเหยกลายเป็นไอ ผิวหน้าจึงเริ่มแห้ง แนวระนาบการระเหยจะเคลื่อนที่เข้าไปในอาหารและเกิดเปลือกนอกขึ้น อุณหภูมิที่ผิวอาหารจะเพิ่มขึ้นจนเท่ากับอุณหภูมิของน้ำมันร้อน และอุณหภูมิภายในจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆถึง 100 องศาเซลเซียส ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของน้ำมันร้อนและอาหารและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผิวจะเป็นตัวควบคุมการถ่ายเทความร้อน ค่าการนำความร้อนของอาหารเป็นตัวควบคุมอัตราการส่งผ่านความร้อนเข้าไปในอาหาร

เปลือกนอกของอาหารทอดมีลักษณะเป็นรูพรุนซึ่งประกอบด้วยท่อคาปิลารีขนาดต่างๆ น้ำและไอน้ำจะเคลื่อนที่ออกจากคาปิลารีช่องใหญ่ก่อนและถูกแทนที่ด้วยน้ำมันในระหว่างการทอด ความชื้นจะเคลื่อนที่ผ่านผิวอาหารและฟิล์มบางๆ ของน้ำมัน ความหนืดและความเร็วของการเคลื่อนที่ของน้ำมันเป็นตัวกำหนดความหนาของฟิล์มซึ่งมีผลต่ออัตราการถ่ายเทมวลและความร้อน ความแตกต่างของความดันไอระหว่างความชื้นภายในอาหารและน้ำมันจะเป็นตัวขับเคลื่อนความชื้นคล้ายกับในกรณีทำแห้งด้วยลมร้อน

กลไกการดูดซับน้ำมัน (Mellema, 2003)

ในระหว่างการทอด น้ำในอาหารจะเคลื่อนที่มาที่เปลือกนอก (crust) ของอาหารและเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอแล้วเคลื่อนที่ออกจากอาหาร ทำให้เกิดช่องว่างซึ่งน้ำมันสามารถผ่านเข้าไปในอาหารได้ ดังนั้นการดูดซับน้ำมันของอาหารส่วนมากจึงพิจารณาจากปริมาณความชื้นในอาหาร (Lamberg, Hallstrom, & Olesson, 1990; Saguy & Pinthus, 1995) และเพราะว่าน้ำมันจะซึมผ่านอาหารได้ในบริเวณที่มีการระเหยของน้ำนั่นคือที่เปลือกนอก การเกิดเปลือกนอกจึงเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดการดูดซับน้ำมัน (Pinthus, Weinberg, & Saguy, 1995) ในขณะเดียวกันเราสามารถศึกษาการดูดซับน้ำมันโดยทางอ้อมจากค่าความเป็นรูพรุน (porosity) ซึ่งระหว่างการทอด

การดูดซับน้ำมันจะแปรผันตรงกับค่าการเป็นรูพรุนและปริมาณความชื้นในอาหาร (moreira, Sun, and Chen, 1997) นอกจากนี้การดูดซับน้ำมันยังเกิดได้ที่บริเวณผิวหน้า (surface) ของอาหาร โดยขึ้นอยู่กับคุณภาพของน้ำมันที่ใช้ทอด หากน้ำมันนั้นมีปริมาณไขมันที่เป็นของแข็ง (solid fat) มากจะทำให้กำจัดออกจากผิวอาหารได้ยาก จากที่กล่าวมาอาจสรุปได้ว่าการดูดซับน้ำมันของอาหารเกิดได้ 2 ส่วนคือที่บริเวณผิวเปลือกนอก และที่ผิวหน้าอาหาร

การลดการดูดซับน้ำมัน

เทคนิคการทอด

เนื่องจากการดูดซับไขมันส่วนใหญ่ของอาหารทอดเกิดขึ้นหลังจากการนำอาหารขึ้นจากน้ำมันที่ใช้ทอด การควบคุมสภาวะหลังการทอดจึงมีความสำคัญ การทอดอาหารในอุณหภูมิการทอดที่เหมาะสม พฤติกรรมของผู้บริโภคโดยทั่วไปที่มีการเขย่าและซับน้ำมันส่วนเกินที่ผิวอาหารออกไปหลังจากที่นำอาหารขึ้นจากน้ำมัน ล้วนเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยลดการดูดซับน้ำมันของอาหารหลังการทอด

ตัวกลางที่ใช้ในการทอด

ถึงแม้ว่าชนิดของตัวกลางที่ใช้ในการทอดจะมีผลต่อการดูดซับน้ำมันของอาหารทอดน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับเกิดการดูดซับน้ำมันจากกลไกการควบแน่น และการเกิดเปลือกนอก แต่คุณสมบัติของตัวกลาง (เช่น ความหนืด) ที่ใช้ในการทอดก็มีผลต่อกลไกการเกิดแรงดันแบบคาปิลารี และมีผลต่อคุณภาพของอาหารทอด เช่น เนื้อสัมผัสและลักษณะปรากฏ

การเคลือบ (coating and batters)

สารที่ใช้เคลือบอาหารจะทำให้อาหารมีคุณสมบัติต่างๆ ได้แก่ มีปริมาณความชื้นต่ำ มีการเคลื่อนที่ของความชื้นต่ำ สามารถเกิดเจลได้ที่อุณหภูมิสูง (thermogelling) หรือมีการเกิดพันธะเชื่อมข้าม (crosslinks) ซึ่งล้วนเป็นคุณสมบัติหลักในการลดการดูดซับน้ำมันโดยการลดการสูญเสียความชื้นและ/หรือการปรับปรุงโครงสร้างที่ผิวหน้าในระหว่างการทอด ทำให้สารเคลือบที่เป็นโพลีเมอร์ชีวภาพที่นิยมใช้ในทางการค้าคือสารประกอบโพลีแซคคาไรด์ ซึ่งสามารถลดการสูญเสียน้ำออกจากอาหารในระหว่างการทอด จึงช่วยลดการดูดซับน้ำมันได้ สารเคลือบบางชนิดทำให้เกิดความแข็งแรง (firm) โดยทำให้เกิดเจลที่อุณหภูมิสูงหรือการเกิดพันธะเชื่อมข้าม มีผลให้เกิดการระเหยและการแพร่ผ่านของน้ำลดลง และยังทำให้เกิดรูที่มีขนาดใหญ่ จึงช่วยลดการดูดซับน้ำมันเนื่องจากการเกิดแรงดันคาปิลารีได้ ส่วนการเคลือบแบบหนา (thick coating or batter) สามารถทำได้ง่ายและลดปัญหาการเกิดรูรั่วที่มักพบในการเคลือบแบบบาง (thin coatings)

Moisture Sorption Isotherm

สำหรับขนมขบเคี้ยวคุณภาพในด้านความกรอบเป็นสิ่งสำคัญ เป็นที่ทราบกันดีว่าภายหลังการผลิต ขนมขบเคี้ยวจะสามารถดูดซับน้ำเข้าไปในตัวมันได้ง่าย และรวดเร็ว ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเหนียว ซึ่งการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์ทำให้ค่า Water activity (a_w) ในผลิตภัณฑ์สูงขึ้นด้วย Sorption isotherm ของอาหารเป็นสมบัติหนึ่งของผลิตภัณฑ์ที่สามารถเชื่อมโยงไปถึงการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างกายภาพของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษาได้

มอยเจอร์ซอร์พชันไอโซเทอร์ม (Moisture Sorption Isotherms) หรือซอร์พชันไอโซเทอร์ม (Sorption Isotherms) เป็นการเคลื่อนที่ของไอน้ำจากอาหารไปยังอากาศรอบ ๆ ขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นและองค์ประกอบของอาหารรวมทั้งอุณหภูมิและความชื้นของอากาศ ที่อุณหภูมิคงที่ปริมาณความชื้นของอาหารจะเปลี่ยนไปจนกว่าความชื้นในอาหารจะสมดุลกับไอน้ำในอากาศ รอบ ๆ นั่นคืออาหารจะไม่มีน้ำหนักเพิ่มหรือลดลงภายใต้การเก็บรักษาในสภาวะดังกล่าว เราเรียกปริมาณความชื้นดังกล่าวว่า ปริมาณความชื้นสมดุลของอาหาร และเรียกความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศการเก็บรักษาว่าความชื้นสัมพัทธ์ที่จุดสมดุล เมื่อนำค่าปริมาณความชื้นสมดุลมาพลอตกับความชื้นสัมพัทธ์จะได้กราฟที่เรียกว่า ซอร์พชันไอโซเทอร์ม (Sorption Isotherms) หรือเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำของอาหาร (g Water/g Dry Matter) กับค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ ที่อุณหภูมิคงที่ ซอร์พชันไอโซเทอร์มของน้ำ แสดงถึงค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ ที่อาหารจะมีความคงตัวและทำให้สามารถคาดคะเนการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นต่อค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ และต่อความคงตัวในระหว่างการเก็บรักษาได้ กราฟนี้มีประโยชน์ในการกำหนดอัตราและปริมาณการอบแห้ง (วิลโลว์ รังสาตทอง, 2543)

ซอร์พชันไอโซเทอร์มมี 2 ลักษณะ คือ กระบวนการคายความชื้น (Desorption) และการดูดความชื้น (Adsorption) ทั้ง 2 กระบวนการไม่ได้เกิดขึ้นพร้อมกัน หรือเป็นการเปลี่ยนกลับไปมา แต่มีความแตกต่างกันระหว่างแอดซอร์พชัน และดีซอร์พชันไอโซเทอร์ม ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า ฮิสเทอรีซิส (Hysteresis) ขนาด รูปร่างจุดเริ่มหรือจุดปลายของเส้นแตกต่างกัน ขึ้นกับธรรมชาติของอาหาร อุณหภูมิ ปริมาณและอัตราเร็วของการดูดน้ำหรือคายน้ำ ที่ความชื้นหนึ่ง ๆ ของอาหารค่า วอเตอร์แอกติวิตี้ ของดีซอร์พชันจะต่ำกว่าแอดซอร์พชัน หรือที่ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้หนึ่ง ๆ ปริมาณความชื้นของดีซอร์พชันจะมากกว่าแอดซอร์พชันเสมอ อาหารแต่ละชนิดจะมีซอร์พชันไอโซเทอร์มของน้ำ ต่างกันขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางกายภาพองค์ประกอบทางเคมีและปริมาณของน้ำที่ถูกยึดอยู่ในอาหาร อย่างไรก็ตามรูปร่างกราฟของซอร์พชันไอโซเทอร์มโดยทั่วไปจะเป็นรูปซิกมอยด์ (Sigmoid) และแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน ซึ่งจะแตกต่างกันตามปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในอาหาร

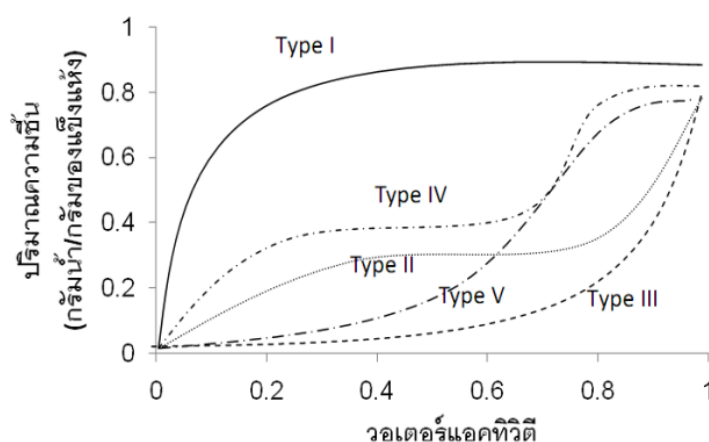
ระยะที่ 1 ของไอโซเทอร์ม เส้นกราฟค่อนข้างชัน จะสอดคล้องกับโมนโมเลกุลาร์เลเยอร์ (Monomolecular Layer) ของน้ำ ซึ่งเป็นน้ำที่เกาะอยู่กับสารประกอบในอาหารอย่างเหนียวแน่น และมีค่าวอเตอร์แอกติวิตี อยู่ในช่วง 0-0.25 หรือ 0.3

ระยะที่ 2 เส้นกราฟค่อนข้างราบ สอดคล้องกับน้ำในท่อเล็ก ๆ (Capillary Water) ที่มีอยู่ในอาหาร ซึ่งเป็นน้ำที่กำจัดออกได้แต่ค่อนข้างยาก ถ้าปริมาณน้ำส่วนนี้ลดลงจะทำให้ค่าวอเตอร์ แอกติวิตีลดลง และยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ และปฏิกิริยาทางเคมีส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นในอาหารได้ด้วย ปริมาณความชื้นจะลดลงเหลือประมาณ 3-7 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารและอุณหภูมิค่าวอเตอร์แอกติวิตีอยู่ในช่วง 0.3-0.8

ระยะที่ 3 เป็นน้ำอิสระที่มีอยู่ในเนื้อเยื่ออาหารทั้งจากพืชและสัตว์ สามารถกำจัดออกได้ง่าย น้ำเหล่านี้จะทำหน้าที่เป็นตัวทำละลาย และใช้สำหรับการเจริญของจุลินทรีย์และการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี อาหารจะมีน้ำประมาณ 12-25 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าวอเตอร์แอกติวิตี สูงถึง 0.8 - 1.0 (นิธิยา รัตนานนท์, 2545)

รูปแบบไอโซเทอมการดูด-คายซั้บความชื้น

ลักษณะของ MSI มีทั้งหมด 5 แบบ (ภาพที่ 2-1) คือ Langmuir isotherm (Type I), Sigmoid isotherm (Type II), Flory-Higgins isotherm (Type III), Type IV และ BET multilayer adsorption isotherm (Type V) โดยทั่วไปลักษณะของ MSI ที่พบในอาหารมี 3 แบบ คือ Type I, Type II และ Type III ลักษณะ ของ MSI ขึ้นอยู่กับโครงสร้างและองค์ประกอบของอาหาร (Labuza and Altunakar, 2007 ; Mathlouthi and Roge, 2003)



ภาพที่ 2-1 รูปแบบของเส้นพฤติกรรมการดูดความชื้น (Labuza and Altunakar, 2007 ; Mathlouthi and Roge, 2003)

รูปแบบ Type I พบมากในสารกันการรวมตัวเป็นก้อน (anticaking agent) เช่น อลูมิเนียมซิลิเกตซึ่งเป็นสารที่สามารถดูดความชื้นได้ดีตั้งแต่ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ ดังนั้นปริมาณความชื้นของสารที่ภาวะสมดุลจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อความชื้นในระบบสูงขึ้น

รูปแบบ Type II มีลักษณะกราฟแบบ sigmoidal shape พบในอาหารสวนใหญ่ ซึ่งมีทั้งสารพอลิเมอร์ชีวภาพที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน รวมอยู่กับตัวถูกละลาย เช่น เกลือ น้ำตาล

รูปแบบ Type III มีลักษณะกราฟแบบ J shape พบในน้ำตาล เกลือ และอาหารที่มีน้ำตาลหรือเกลือในปริมาณสูง แต่มีพอลิเมอร์ชีวภาพที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ในปริมาณต่ำ พบได้ในผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง ลูกกวาด แยม เป็นต้น เมื่อความชื้นในภาวะแวดล้อมมีค่าต่ำ อาหารกลุ่มนี้จะดูดความชื้นได้ช้า แต่เมื่อความชื้นในภาวะแวดล้อมมีค่าสูงถึงค่าหนึ่ง อาหารกลุ่มนี้จะสามารถดูดความชื้นเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ลักษณะทางกายภาพของอาหารเปลี่ยนแปลงจนก่อให้เกิดการไมยอัมรับของผู้บริโภค หรือเกิดการเน่าเสียเนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ (สิทธิโชค เถลิงนวชาติ และเกียรติศักดิ์ ดวงมัลย์, 2557)

วิธีการสร้างไอโซเทอมการดูด - คายซ์ความชื้น

วิธีการสร้าง MSI ที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป เรียกว่า “The static desiccator method” หรือที่เรียกว่า “The standard saturated salt slurry method” ซึ่งสามารถทำได้โดยการเก็บตัวอย่างอาหารที่ทราบน้ำหนักแน่นอนในภาชนะปิดที่ภาวะความชื้นสัมพัทธ์ต่าง ๆ ในช่วงความชื้นสัมพัทธ์ 10-90% ที่อุณหภูมิหนึ่ง ๆ บันทึกน้ำหนักของตัวอย่างทุกวัน ระหว่างการเก็บตัวอย่างอาหารเกิดการเคลื่อนย้ายความชื้นระหว่างอาหารกับอากาศภายในภาชนะปิดจนเข้าสู่ภาวะสมดุล ซึ่งจะใช้เวลานานในทางปฏิบัติจะรองจนกว่าน้ำหนักของตัวอย่างอาหารคงที่ นำน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงกับปริมาณความชื้นเริ่มต้นไปคำนวณปริมาณความชื้นที่ภาวะสมดุล เพื่อนำไปใช้ในการสร้าง MSI ที่อุณหภูมินั้น ๆ การแปรระดับความชื้นสัมพัทธ์ เพื่อสร้าง MSI สามารถทำได้โดยแปรชนิดของสารละลายเกลืออิ่มตัวที่อุณหภูมิกงที่ ดังแสดงในตารางที่ 2-1 (สิทธิโชค เถลิงนวชาติ และ เกียรติศักดิ์ ดวงมัลย์, 2557)

ตารางที่ 2-1 ความชื้นสัมพัทธ์ของสารละลายเกลืออิมิตัวที่ 25 องศาเซลเซียส (Spiess and Wolf, 1987)

เกลือ	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	เกลือ	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)
LiCl	11.15	NaBr	57.70
CH ₃ COOK	22.60	SrCl ₂	70.83
MgCl ₂	32.73	NaCl	75.32
K ₂ CO ₃	43.80	KCl	84.32
Mg(NO ₃) ₂	52.86	BaCl ₂	90.26

ความสำคัญของไอโซเทอมการดูดซับความชื้นต่อเสถียรภาพของอาหาร

ไอโซเทอมการดูดซับความชื้นเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการทำนายความคงตัวของอาหารดังนี้

1. ปฏิกิริยาทางเคมีและเอนไซม์ในอาหาร

ปฏิกิริยาทางเคมีของอาหาร เช่น การเกิดสีน้ำตาลจากปฏิกิริยาที่ไม่ใช่เอนไซม์ การเกิดออกซิเดชันของไขมัน การเสื่อมสลายของวิตามิน กิจกรรมของเอนไซม์ การเสถียรภาพของโปรตีน การเกิดเจลลาตินในเซชัน (gelatinization) ของแป้ง และการเกิดรีโทรกราเดชัน (retrogradation) ของแป้ง ความชื้นชั้นเดียวในอาหารสามารถทำนายได้จากข้อมูล Brunauer Emmett Teller isotherm (BET isotherm) ซึ่งนิยมใช้ในการพิจารณาเสถียรภาพของอาหารแห่งที่ระดับความชื้นดังกล่าว อัตราการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี เช่น การเกิดออกซิเดชันของไขมัน การเกิดสีน้ำตาลเนื่องมาจากปฏิกิริยาที่ไม่ใช่เอนไซม์จะเกิดขึ้นน้อยมาก

ความชื้นชั้นเดียวในอาหารจะทำให้มีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.2-0.4 ถ้าความชื้นชั้นเดียวสูงกว่านี้ผลิตภัณฑ์อาหารจะสูญเสียคุณภาพได้ เนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นเมื่อ a_w มากกว่า 0.3 โดยน้ำจะมีอิทธิพลต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมีดังต่อไปนี้

- เป็นสารที่เข้าร่วมทำปฏิกิริยา (reactant) เช่น การไฮโดรไลซิสของซูโครส
- น้ำทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่ของสารที่เข้าร่วมทำปฏิกิริยา โดยส่งผลต่อความหนืดของอาหาร

- น้ำทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนหรืออาจเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับสารตัวอื่นๆ เช่น ส่งผลให้เกิดการออกซิเดชันของไขมันโดยการเข้าล้อมรอบโลหะที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาหรือเกิดพันธะไฮโดรเจนของไฮโดรเพอรอกไซด์ (hydroperoxides) กับน้ำ

- อาจก่อให้เกิดการรวมตัวของโปรตีนและการเปลี่ยนแปลงสภาพของน้ำตาลและแป้งจาก amorphous ไปเป็น crystalline ปฏิกิริยาทางเคมีเกี่ยวข้องกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำอิสระ เนื่องจากจะเพิ่มการเคลื่อนที่ของสารตั้งต้นที่เข้าทำปฏิกิริยา ยกเว้นปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน อัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ต่ำที่สุดในอาหารจะมีค่า a_w ในช่วง 0.2-0.4

2.เสถียรภาพของรงควัตถุในอาหาร

เสถียรภาพของรงควัตถุในอาหารขึ้นอยู่กับปริมาณออกซิเจน แสง ปฏิกิริยาออกซิเดชัน ปริมาณโลหะหนักค่า a_w ความเป็นกรด-ด่างและอุณหภูมิเป็นต้น โดยรงควัตถุที่มีผลต่อสีของอาหาร เช่น คลอโรฟิลล์แคโรทีนอยด์แอนโทไซยานิน และบีตาเลน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสีหรือการเกิดสีน้ำตาลของอาหารแห่งในระหว่างการเก็บรักษาจะขึ้นอยู่กับค่า a_w และอุณหภูมิในการเก็บรักษา โดยอัตราการเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อมีค่า a_w เพิ่มขึ้นหรือความชื้นสูง การควบคุมค่า a_w ในอาหารและอุณหภูมิการเก็บรักษาจึงเป็นวิธีที่ดีในการควบคุมปัญหาการเปลี่ยนแปลงของรงควัตถุและการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction)

3.ลักษณะดานเนื้อสัมผัสของอาหาร

เนื้อสัมผัสของอาหารสัมพันธ์กับไอโซเทอมการดูดซับความชื้น คือ สวนที่มีค่า a_w ต่ำ อาหารจะมีลักษณะแห้ง แข็ง กรอบและหดตัว ส่วนมีค่า a_w ปานกลาง อาหารจะมีลักษณะแห้ง แน่นเนื้อ และยืดหยุ่น ส่วนที่มีค่า a_w สูง อาหารจะมีลักษณะค่อนข้างชื้น อ่อนตัว ฉ่ำน้ำ (juicy) บวมน้ำ (swollen) และเกาะตัวกัน การเกาะตัวกันของอาหารเกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพจากกลาส (amorphous glass) ไปเป็นของเหลวหนืด (amorphous rubber) ปริมาณความชื้นหรือค่า a_w มีผลต่อการเกาะติดกันของอนุภาค โดยทั่วไปอาหารที่มีปริมาณน้ำตาลสูงหากมีความชื้นเพิ่มขึ้นจนกระทั่งมีค่า a_w มากกว่า 0.4 การเชื่อมโยงระหว่างอนุภาคจะเกิดขึ้นเป็นผลทำให้เกิดการเกาะตัวกันของอนุภาค ดังนั้นเพื่อป้องกันปัญหาการเกาะตัวกันจึงต้องมีการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับความชื้นของส่วนผสมของอาหาร และควบคุมค่า a_w ของอาหารให้ต่ำกว่าระดับที่มีการเกาะติดของอนุภาคของอาหาร

4. การเจริญของจุลินทรีย์และการผลิตสารพิษในอาหาร

อาหารโดยส่วนใหญ่จะมี ค่า a_w อยู่ในช่วง 0.6-0.7 โดยแบคทีเรียส่วนใหญ่ ยีสต์และราจะเจริญเมื่อค่า a_w ของอาหารอยู่ในช่วง 0.9 ดังนั้นไอโซเทอมการดูดซับความชื้นสามารถทำนายปริมาณความชื้นระดับสูงสุดของอาหารที่สามารถเก็บรักษา ได้โดยไม่เกิดการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์โดยค่า a_w ของอาหารควรจะต้องต่ำพอที่จะยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์

ประโยชน์ของไอโซเทอมการดูดซับความชื้น

ไอโซเทอมแบบดูดความชื้น สามารถนำมาอธิบายการดูดน้ำกลับของผลิตภัณฑ์อาหารแต่ละชนิด โดยเฉพาะอาหารประเภทไวต่อความชื้น เช่น ขนมขบเคี้ยว ชาสมุนไพร อาหารแห้ง เป็นต้น จะเกิดการเสื่อมคุณภาพทางเคมีและกายภาพได้เร็ว จนไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค จึงได้นำกราฟไอโซเทอมการดูดซับความชื้น มาวิเคราะห์ทำนายอายุการเก็บผลิตภัณฑ์อาหารในบรรจุภัณฑ์ที่ปิดสนิท (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนาทิป รัตนภาสกร, 2555) การสร้างไอโซเทอมการดูดซับความชื้น ที่อุณหภูมิต่าง ๆ นอกจากจะมีประโยชน์ในการหาสภาวะที่เหมาะสมของการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารแล้ว ยังมีประโยชน์อีกหลายด้าน เช่น การเลือกบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมเพื่อลดการเคลื่อนย้ายความชื้นระหว่างอาหารกับภาวะแวดล้อม การคัดเลือกส่วนผสมของอาหารเพื่อหลีกเลี่ยงการเคลื่อนย้ายความชื้นระหว่างส่วนผสม การทำนายการเปลี่ยนแปลงด้านเคมีและจุลินทรีย์ของอาหารอันเนื่องมาจากปริมาณความชื้นสำหรับอาหารแห้งและอาหารกึ่งแห้ง และยังช่วยในการเลือกปริมาณความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งที่เหมาะสม เพื่อยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าการสร้างไอโซเทอมการดูดซับความชื้น ที่อุณหภูมิต่าง ๆ เป็นเครื่องมือที่สำคัญสำหรับนักวิทยาศาสตร์ทางอาหาร (สิทธิโชค เถลิงนวชาติ และเกียรติศักดิ์ ดวงมาลย์, 2557)

การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับความชื้นนั้นเป็นกระบวนการที่ค่อนข้างซับซ้อนและใช้เวลานาน ดังนั้นจึงมีนักวิจัยคิดค้นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ อย่างแบบจำลอง Guggenheim-Anderson-DeBoer (GAB) ที่สามารถใช้อธิบายผลของอุณหภูมิที่มีต่อการดูดและคายความชื้นของอาหารได้หลายชนิดที่มีค่า a_w อยู่ในช่วงกว้าง เพื่อใช้ในการทำนายไอโซเทอมการดูดซับความชื้น ซึ่งจะทำให้มีการประหยัดเวลา และนำไปใช้ในการทำนายและควบคุมการเก็บรักษาของอาหารได้อย่างเหมาะสมต่อไป (ธัญนิชา ไร่นากิจ, 2552)

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของความชื้นสมดุล

ได้มีผู้นำทฤษฎีเทอร์โมไดนามิกส์ มาอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นสมดุล อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศหรือความดันไอของผลิตภัณฑ์หลายชนิดในรูปของสมการหรือแบบจำลองทางทฤษฎี กึ่งทฤษฎี และจากการทดลอง พบว่าแบบจำลองทางทฤษฎีส่วนใหญ่ไม่

สามารถอธิบายความชื้นสมดุลของผลิตภัณฑ์ได้อย่างถูกต้อง จึงเบนความสนใจมาศึกษาแบบจำลองที่สร้างขึ้นจากผลการทดลองมากกว่าแบบจำลองทางทฤษฎีและกึ่งทฤษฎี

1. แบบจำลองของ Brunauer-Emmet-Teller (BET)

Brunauer et al.(1995) ได้สร้างสมการที่เรียกว่า BET สำหรับอธิบายความชื้นสมดุลที่อุณหภูมิคงที่โดยสมมติว่าการจับตัวของความชื้นมีมากกว่าความหนาของโมเลกุล 1 ชั้น (Pedro, Enrique, & Gustavo, 1997; Yrjo Roos, 1995) โดยสมการนี้สามารถอธิบายข้อมูลได้ดีสำหรับอาหารหลายชนิดในช่วงค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ 0.1-0.5 เท่านั้น (Park, Vohnikova, & Brod, 2002; Prachayawarakorn et al., 2002) สามารถเขียนสมการได้ว่า

$$Me = \frac{M_{bm} C a_w}{(1 - a_w)(1 - a_w + C a_w)}$$

2. แบบจำลองของ Guggenheim-Anderson-deBoer (GAB)

สมการสำหรับอธิบายความชื้นสมดุลที่อุณหภูมิคงที่ ที่ใช้ทำนายได้ดีกับผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด สามารถอธิบายข้อมูลได้ดีสำหรับอาหารทุกชนิดในช่วงค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ 0.1-0.9 (Pedro, Enrique, & Gustavo, 1997; Yrjo Roos, 1995) นั่นคือสมการของ Guggenheim-Anderson-deBoer (1995) หรือสมการของ GAB

$$Me = \frac{M_{gm} C K a_w}{(1 - K a_w)(1 - K a_w + C K a_w)}$$

เมื่อ Me คือ ปริมาณความชื้นสมดุล (เปอร์เซ็นต์ มาตรฐานแห้ง)

a_w คือ ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้

M_{bm} คือ ความชื้นสูงสุดใน 1 ชั้นโมโนโมเลกุลาร์เลเยอร์ของ BET

M_{gm} คือ ความชื้นสูงสุดใน 1 ชั้นโมโนโมเลกุลาร์เลเยอร์ของ GAB

K, C คือ ค่าคงที่ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ

โดยข้อมูลที่ได้จากการทดลองจะเหมาะสมกับแบบจำลองใด จะใช้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination, R^2) และใช้ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการทำนาย (Standard error of estimate, SEE) สามารถหาค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการทำนายได้ดังนี้

$$SEE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (M_m - M_p)^2}{df}}$$

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Saencom et al. (2011) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตตำลึงแผ่นอบแห้ง โดยมีการเตรียมชิ้นต้นด้วยการนำไปลวกในน้ำร้อนและในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ที่ความเข้มข้น 1% 2% และ 3% w/v พบว่า การลวกใบตำลึงในสารละลาย NaCl 1% ก่อนนำไปทำแห้งแบบสุญญากาศ โดยใช้ความดัน 70 kPa ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ทำให้ตำลึงแผ่นอบแห้งมีสีและเนื้อสัมผัสดี

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

กัญจน์พัชร 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 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด 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) อีกทั้งมีอายุการเก็บได้น้อยกว่า 2 เดือนขึ้นไป โดยคุณสมบัติ

ทางด้านกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ไม่เปลี่ยนแปลงมาก เป็นที่ยอมรับได้ และมีคุณภาพในระดับมาตรฐานอีกด้วย

กุลยา จันทอรุณ (2538) ได้ศึกษากรรมวิธีการผลิตสมุนไพรแห้ง สรุปขั้นตอนการทำสมุนไพรแห้งได้ดังนี้ ทำความสะอาดและหั่นสมุนไพรให้มีขนาดเล็กลง จากนั้นนำไปทำแห้งด้วยเครื่อง heat pump dryer และตู้อบลมร้อน ใช้อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส สำหรับการอบสมุนไพรที่เป็นใบช่อ และกลีบ และอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสสำหรับสมุนไพรที่ใช้ราก เปลือก และลำต้น

อนุวัตร แจ้งชัด สุจิตังอร เข้มทอง สุกัญญา วงวาท และรัชนิกร กิติศิริมงคล (2548) ทำการพัฒนาผักแผ่นจากผักคะน้า ผักตำลึง และผักบุ้ง พบว่า ผลิตภัณฑ์ผักแผ่นจากผักคะน้าได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคจึงคัดเลือกมาทำการพัฒนาต่อโดยการบด ปูรุกรส ขึ้นรูปเป็นแผ่น และอบแห้งผลิตภัณฑ์ที่ได้ มีความหนา 0.25 มิลลิเมตร ค่า a_w 0.26 ปริมาณความชื้น ไขมัน เส้นใย โปรตีน แล็ก และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 5.46 3.23 15.97 16.54 10.31 และ 48.49 ตามลำดับ

ฉันทนา นันทิวัฒน์วงศ์ (2537) ศึกษาการลดการอมน้ำมันในแป้งชูบทอดและโดนัท โดยใช้เซลลูโลสจากกากอ้อยและเซลลูโลสทางการค้า (Solka flocR และ MethocelR) โดยเลือกชนิดและปริมาณเซลลูโลสที่เหมาะสมที่สุด และหาสภาวะที่เหมาะสมของแต่ละผลิตภัณฑ์ จากผลการทดลองพบว่า ผลิตภัณฑ์แป้งชูบทอดที่ใช้ Methocel ร้อยละ 2 โดยน้ำหนักแป้งผสมทั้งหมด ทอดที่อุณหภูมิ 195 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1.5 นาที สามารถลดการอมน้ำมันได้ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักแห้ง เมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

Akdeniz et al. (2006) ศึกษาการใช้กัมประเภทต่างๆ เช่น hydroxylpropyl methylcellulose กัวร์กัม และแซนแทนกัม เพื่อลดการอมน้ำมันของแป้งชูบทอด พบว่า กัมทั้ง 3 ชนิด สามารถลดการอมน้ำมันได้ โดยการใช้กัมผสมระหว่างกัวร์กัมและแซนแทนกัมในอัตราส่วน 1: 1 ทำให้แป้งชูบทอดเกาะติดผิวผลิตภัณฑ์ได้ดีที่สุด และส่งผลให้การดูดซับน้ำมันของผลิตภัณฑ์ลดลงมากที่สุด

วัฒนา ดำรงรัตน์กุล และอนุวัตร แจ้งชัด (2549) ศึกษาแบบจำลองการดูดซับความชื้นและการอบแห้งของผักแผ่นปูรุกรส พบว่า สมการ GAB มีความเหมาะสมในการใช้ทำนายลักษณะไอโซเทอมการดูดซับความชื้น โดยมีค่า $R^2 = 0.97$ ในส่วนของแบบจำลองการอบแห้งด้วยเครื่องอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส พบว่า สมการ PAGE สามารถใช้ทำนายความชื้นของผลิตภัณฑ์ได้ดี โดยมีค่า $R^2 = 0.98$ 0.997 และ 0.993 ตามลำดับ

Paakkonen and Roos (1990) ได้ศึกษาเกี่ยวกับ sorption isotherm สำหรับ horseradish roots และการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนที่ผิวหน้าตัวอย่างในขณะที่ทำแห้งแบบแช่

เยือกแข็ง โดยพบว่าอุณหภูมิที่ผิวหน้าตัวอย่างจะเพิ่มขึ้นจาก 20 องศาเซลเซียสเป็น 60 องศาเซลเซียสในขณะที่ทำแห้ง ทั้งข้อมูลจาก sorption isotherm และการเปลี่ยนแปลงทางความร้อน แสดงให้เห็นว่าการทำแห้งโดยที่ตัวอย่างมีอุณหภูมิที่ผิวหน้าสูงส่งผลต่อโครงสร้างทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีการดูดซับน้ำเพิ่มมากขึ้น Tg ลดลง และปริมาณน้ำที่ไม่แข็งตัวมากขึ้น ซึ่งข้อมูลจาก sorption isotherm และการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความร้อนในผลิตภัณฑ์ สามารถใช้ในการหาสภาวะในการทำแห้งและการเก็บที่เหมาะสมสำหรับ horseradish root ได้

Lateef *et al.* (1997) ได้ศึกษา moisture sorption characteristics ของผลิตภัณฑ์จากมันสำปะหลัง ที่เรียกว่า Fufu และ Tapioca ที่ 25, 32 และ 45 องศาเซลเซียส a_w ช่วง 0.1-0.9 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ปริมาณความชื้นของทั้งสองผลิตภัณฑ์ลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ และมีการเปรียบเทียบผลจากการทดลองกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 8 แบบ พบว่า แบบจำลองของ GAB สอดคล้องกับผลการทดลองมากที่สุด ในขณะที่แบบจำลองของ BET มีความสอดคล้องกับผลการทดลองน้อยที่สุด

Khalloufi *et al.* (2000) ได้วัดค่า Tg และความชื้นสมดุลของผงเบอร์รี่ 4 ชนิด และใช้แบบจำลองของ GAB ในการทำนายค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ นำความสัมพันธ์ระหว่างค่า Tg และ a_w มาสร้างสมการคณิตศาสตร์แสดงความสัมพันธ์ได้เป็นแบบจำลองใหม่ ซึ่งสามารถใช้ในการทำนายผลของความชื้นสัมพัทธ์ในระหว่างการเก็บรักษาต่อ Tg ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการประเมินความคงตัวของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษาต่อไป

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

วัตถุดิบ

1. ใบชะพลู ผักแพว และใบบัวบกจากกลุ่มวิสาหกิจชุมชนพัฒนาทรัพยากรชีวภาพ จังหวัดจันทบุรี

วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

1. เฮกเซน (Hexanes; $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}_3$)บริษัท GAMMAGO จังหวัดนนทบุรี
2. สารละลาย Seleniummixtureบริษัท GAMMAGO จังหวัดนนทบุรี
3. กรดซัลฟูริกเข้มข้น 15 มิลลิกรัมบริษัท LAB SCAN ประเทศไอร์แลนด์
4. สารละลายกรดบอริกเข้มข้น 2%บริษัท LAB SCAN ประเทศไอร์แลนด์
5. methylredบริษัท GAMMAGO จังหวัดนนทบุรี
6. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 32%บริษัท Merk Thailand
7. สารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 นอร์มัลบริษัท RCI LAB จังหวัดสมุทรปราการ
8. สารละลายปิโตรเลียมอีเทอร์บริษัท RCI LAB จังหวัดสมุทรปราการ
9. สารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.1275 โมลาร์บริษัท LAB SCAN ประเทศไอร์แลนด์
10. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.313 โมลาร์บริษัท Merk Thailand
12. สารละลายไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1%บริษัท Merk Thailand
13. เอทานอลความเข้มข้น 95 %บริษัท RCI LAB จังหวัดสมุทรปราการ
14. ตู้อบมรؤون Binder รุ่น FD-53 ประเทศสหรัฐอเมริกา
15. เครื่องชั่งน้ำหนักละเอียด Satoriusรุ่น BA 2115 ประเทศเยอรมนี
16. เครื่องปั่นเอนกประสงค์ ยี่ห้อ Electrolux รุ่น CRUZO ประเทศจีน
17. เครื่องบดของแห้ง
18. เครื่องเขย่าควบคุมอุณหภูมิ Incubator shaker รุ่น INNOVA ประเทศไทย
19. ตู้แช่แข็ง Sanyoรุ่น NFT-4208 ประเทศไทย
20. โถดูดความชื้น (Desiccator)
21. ถังอลูมิเนียมฟอยด์
22. อุปกรณ์งานครัว
23. อุปกรณ์เครื่องแก้ว เช่น ปีกเกอร์ กระบอกตวงขวดรูปชมพู่ ขวดปรับปริมาตร

วิธีดำเนินการวิจัย

1) ศึกษาผลของการเตรียมวัตถุดิบขั้นต้นที่มีต่อคุณภาพด้านสีของใบผัก

วัตถุดิบ คือ ใบชะพลู ผักแพว และใบบัวบก

เพื่อเป็นการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพที่สม่ำเสมอภายหลังการผลิต จึงต้องมีการคัดเลือกวัตถุดิบที่จะนำมาผลิตให้มีความแก่อ่อนของใบที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงนำใบผักทั้ง 3 ชนิดมาทำการคัดเลือกเอาเฉพาะใบที่มีสีเขียวสม่ำเสมอทั่วทั้งใบ มีความแก่อ่อนใกล้เคียงกัน นำมาล้างทำความสะอาด แล้วผึ่งลมให้แห้ง

เนื่องจากใบผักทั้ง 3 ชนิดมีองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ซึ่งให้สีเขียวแก่ผลิตภัณฑ์ และกระบวนการผลิตที่ต้องผ่านความร้อนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์และส่งผลกระทบต่อสีของผลิตภัณฑ์สุดท้าย ขั้นตอนนี้ จึงสนใจศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกในสารละลายชนิดต่างๆ ต่อคุณภาพของใบชะพลู ผักแพว และใบบัวบก โดยเฉพาะด้านค่าสี โดยแปรชนิดของสารละลายที่ใช้ในการลวกดังนี้

- 1) ใบผักสด (ตัวอย่างควบคุม)
- 2) การลวกในน้ำ
- 3) การลวกในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.5 1 และ 1.5% (w/w)
- 4) การลวกในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต 0.03 0.06 และ 0.09% (w/w)

โดยนำใบผักแต่ละชนิดมาลวกในสารละลายดังกล่าวที่อุณหภูมิสารละลายเดือด เป็นเวลา 10-90 วินาที กำหนดอัตราส่วนใบผัก: สารละลายที่ใช้ลวกเท่ากับ 1: 12 หลังการลวกแช่ในน้ำเย็นทันทีเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำขึ้นมาพักบนตะแกรง 1 นาที ซับด้วยกระดาษ ทดสอบกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสของทุกตัวอย่าง คัดเลือกเวลาน้อยที่สุดที่สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสของแต่ละวัตถุดิบได้ แล้วนำตัวอย่างที่ถูกคัดเลือกไปวิเคราะห์ค่าสี วัดด้วยเครื่องวัดสี และรายงานเป็นค่า L^* , a^* , b^*

เกณฑ์การเลือก

พิจารณาเลือกสารละลายที่ใช้ในการลวกที่ทำให้ได้ผักที่มีค่าสีเขียวสูงที่สุด

2) การศึกษากิจกรรมวิธีการผลิตผักแผ่นที่เหมาะสม

2.1) การศึกษาชนิดของสารที่ช่วยลดการดูดซับน้ำมันของใบผักขณะทอด

ในการทอดใบผักขึ้นรูปนั้นจำเป็นต้องใช้สารช่วยลดการดูดซับน้ำมันเพื่อให้ผลิตภัณฑ์หลังการทอดมีการอมน้ำมันน้อยที่สุด อีกทั้งสารที่ใช้ซึ่งมักเป็นกลุ่มสารไฮโดรคอลลอยด์นั้นยังสามารถช่วยให้ใบผักขึ้นรูปได้ง่าย และใบผักภายหลังการขึ้นรูปมีความเหนียว คงทน ไม่ฉีกขาดง่าย และสามารถรีด

ให้แผ่นผักมีความเรียบสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น ขั้นตอนนี้จึงสนใจศึกษาชนิดของสารไฮโดรคอลลอยด์ที่ช่วยในการลดการดูดซับน้ำมันของใบผัก

การทดลองเริ่มจากการเตรียมน้ำผักของผักที่ใช้เป็นวัตถุดิบแต่ละชนิด ด้วยการปั่นผสมใบผักกับน้ำในอัตราส่วน 1: 2 ปั่นผสมให้เข้ากันและใบผักเล็กละเอียด จากนั้นนำน้ำผักทั้งสามชนิดมาผสมกันในอัตราส่วน บวบก:ชะพลู:ผักแพว เท่ากับ 1 : 0.4 : 0.2 เติมสารปรุงรส ได้แก่ น้ำตาล เกลือ และซอสถั่วเหลือง รายละเอียดตามตารางที่ 3-1 เติมสารไฮโดรคอลลอยด์ ได้แก่ คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (0.1%) กวักัม (0.1%) และเพคติน (0.2%) แล้วปั่นผสมให้เข้ากันอีกครั้ง จากนั้นเทลงถาดอบอุณหภูมิ 60 °C จนมีความชื้นสุดท้ายไม่เกิน 10% จากนั้นนำมาทอดแบบน้ำมันท่วมอุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส แล้วซับด้วยกระดาษซับน้ำมัน นำผักแผ่นที่ได้ไปวิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้

- 1) ปริมาณน้ำมัน (AOAC, 2000)
- 2) ค่าสี วัดด้วยเครื่องวัดสี และรายงานเป็นค่า L*, a*, b*
- 3) วัดความหนา ด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์
- 4) แรงดึง ด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส

ตารางที่ 3-1 ปริมาณส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ผักแผ่นปรุงรส

ส่วนผสม	ปริมาณ(ร้อยละ)
น้ำผัก 3 ชนิด (บวบก ชะพลู และผักแพว)	85
น้ำตาล	8.75
ซีอิ้วขาว	5.50
เกลือ	0.60
พริกป่น	0.05
พริกไทย	0.10

เกณฑ์การเลือก

พิจารณาเลือกสารที่ช่วยในการลดการดูดซับน้ำมันของใบผักที่ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์หลังทอดที่มีปริมาณน้ำมันน้อย

2.2) การศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบไล่ไขมันภายหลังการทอดเพื่อลดปริมาณน้ำมันในผลิตภัณฑ์ผักแผ่น

เนื่องจากกรรมวิธีในการผลิตใช้วิธีการทอดในการทำให้ผลิตภัณฑ์สุก จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีการดูดซับน้ำมันเข้าไปในระหว่างการทอด ซึ่งอาจส่งผลต่อสุขภาพและอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ที่อาจจะเกิดการออกซิเดชันของน้ำมันทำให้เกิดกลิ่นหืนได้ง่าย ดังนั้น เพื่อเป็นการกำจัดน้ำมันบางส่วนออก

จากผลิตภัณฑ์สุดท้าย ขั้นตอนนี้จึงสนใจศึกษาอุณหภูมิและระยะเวลาในการอบเพื่อไล่น้ำมันออกจากผลิตภัณฑ์ภายหลังการทอด โดยนำผลิตภัณฑ์ที่คัดเลือกได้จากข้อ 2.1 มาทำการอบในตู้อบลมร้อนแบบลาดภายหลังการทอดโดยแปรอุณหภูมิเป็น 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส แปรเวลาในการอบ 30 และ 60 นาที จากนั้นนำผลิตภัณฑ์มาวิเคราะห์คุณภาพดังนี้

- 1) ค่าสี วัดด้วยเครื่องวัดสี และรายงานเป็นค่า L^* , a^* , b^*
- 2) ปริมาณน้ำมัน (AOAC, 2000)
- 3) ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)

เกณฑ์การเลือก

พิจารณาเลือกอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบไล่น้ำมันที่ช่วยลดปริมาณน้ำมันได้มากที่สุด

2.3) การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ผักแผ่น

นำผลิตภัณฑ์ผักแผ่นที่คัดเลือกได้จากข้อ 2.2 มาวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ ได้แก่ ปริมาณไขมัน โปรตีน เถ้าใยอาหาร และแคลเซียม

3) การศึกษาแบบจำลองลักษณะไอโซเทอมการดูดซับความชื้นของผลิตภัณฑ์ผักแผ่น

เนื่องจากผลิตภัณฑ์ผักแผ่นเป็นผลิตภัณฑ์อาหารแห้งซึ่งมีความไวต่อการดูดความชื้นและส่งผลกระทบต่ออายุการเก็บรักษาลง ดังนั้น การศึกษาลักษณะไอโซเทอมของการดูดซับความชื้นจะช่วยให้สามารถคำนวณหาค่าความชื้นวิกฤตของผลิตภัณฑ์ และเป็นแนวทางที่ช่วยให้ประเมินอายุการเก็บรักษา และการเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมได้ ดังนั้น ขั้นตอนนี้จึงสนใจศึกษาแบบจำลองลักษณะไอโซเทอมของการดูดซับความชื้นของผลิตภัณฑ์ผักแผ่นที่ผลิตได้

นำผลิตภัณฑ์ผักแผ่นที่คัดเลือกได้จากข้อ 2.2 มาหาลักษณะไอโซเทอมการดูดซับความชื้น โดยตัดแผ่นผักให้เป็นชิ้นขนาด 2×2 เซนติเมตร ซึ่งตัวอย่าง 2 กรัม ใส่ในภาชนะเปิดและเก็บไว้ในโถแก้วควบคุมความชื้นที่อ้อมตัวด้วยสารละลายเกลือ ดังนี้ เกลือโพแทสเซียมอะซิเตด แมกนีเซียมคลอไรด์ โพแทสเซียมคาร์บอเนต โซเดียมโบรไมด์ โซเดียมคลอไรด์ โพแทสเซียมคลอไรด์ และแบเรียมคลอไรด์ ซึ่งมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.2-0.9 ที่อุณหภูมิ 35 และ 45 องศาเซลเซียส ชั่งน้ำหนักตัวอย่างทุกวันจนกว่าน้ำหนักจะคงที่ (Bianco et al., 1997) แล้วคำนวณหาความชื้นสมดุล ตามวิธีหาความชื้นของ AOAC (2000) นำรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Guggenheim-Anderson-deBoer (GAB) มาทำนายความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นของตัวอย่างที่ระดับ a_w ต่างๆ นำผลการทำนายมาคำนวณค่า Coefficient of determination (R^2) และ ค่า Standard error of estimate (SEE)

เกณฑ์การเลือก

พิจารณาเลือกแบบจำลองที่เหมาะสมจากค่า R^2 ที่สูงที่สุด และ SEE ต่ำ

4) การศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการรักษาผลิตภัณฑ์

เมื่อทราบลักษณะไอโซเทอมการดูดซับความชื้นของผลิตภัณฑ์ผักแผ่นแล้ว ขั้นตอนนี้จะนำความรู้ดังกล่าวมาหาค่าความชื้นวิกฤติของผลิตภัณฑ์ผักแผ่น เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการคัดเลือกบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์ผักแผ่น จากนั้น บรรจุผักแผ่นลงในบรรจุภัณฑ์ที่คัดเลือกได้ เก็บรักษาผลิตภัณฑ์ดังกล่าวไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 เดือน สุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์ทุก 2 สัปดาห์ เพื่อวิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้

- 1) ความชื้น (AOAC, 2000)
- 2) ค่า a_w ด้วยเครื่องวัดค่า water activity
- 3) ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด

วิธีการประเมินผล / สังเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS โดยวิเคราะห์ความแปรปรวนตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (analysis of variance) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างที่ทรีเมนต์แบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1) ศึกษาผลของการเตรียมวัตถุดิบขั้นต้นที่มีต่อคุณภาพด้านสีของใบผัก

เนื่องจากใบบวบก ใบชะพลู และผักแพวมีองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ซึ่งให้สีเขียวแก่ผลิตภัณฑ์ และกระบวนการผลิตที่ต้องผ่านความร้อนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์และส่งผลกระทบต่อสีของผลิตภัณฑ์สุดท้าย ขั้นตอนนี้ จึงสนใจศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกในสารละลายชนิดต่างๆ ต่อคุณภาพของใบผัก ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4-1 ถึง 4-6

ตารางที่ 4-1 ผลการทดสอบเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสในใบบวบกที่ผ่านการลวกในสภาวะต่างๆ

ตัวอย่าง	%	เวลา (วินาที)		
		30	60	90
ผักสด	-	+		
น้ำ	-	+	-	-
สารละลายโซเดียมคลอไรด์	0.5	-	-	-
	1	-	-	-
	1.5	-	-	-
สารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต	0.03	-	-	-
	0.06	-	-	-
	0.09	-	-	-

+ หมายถึง ตรวจพบปฏิกิริยาของเอนไซม์ - หมายถึง ตรวจไม่พบปฏิกิริยาของเอนไซม์

ตารางที่ 4-2 ผลการทดสอบเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสในใบชะพลูที่ผ่านการลวกในสภาวะต่างๆ

ตัวอย่าง	%	เวลา (วินาที)		
		30	60	90
ผักสด	-	+		
น้ำ	-	+	+	-
สารละลายโซเดียมคลอไรด์	0.5	+	-	-
	1	-	-	-
	1.5	-	-	-
สารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต	0.03	+	-	-
	0.06	-	-	-
	0.09	-	-	-

+ หมายถึง ตรวจพบปฏิกิริยาของเอนไซม์ - หมายถึง ตรวจไม่พบปฏิกิริยาของเอนไซม์

ตารางที่ 4-3 ผลการทดสอบเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสในใบผักแพวที่ผ่านการลวกในสภาวะต่างๆ

ตัวอย่าง	%	เวลา (วินาที)		
		30	60	90
ผักสด	-	+		
น้ำ	-	+	-	-
สารละลายโซเดียมคลอไรด์	0.5	-	-	-
	1	-	-	-
	1.5	-	-	-
สารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต	0.03	-	-	-
	0.06	-	-	-
	0.09	-	-	-

+ หมายถึง ตรวจพบปฏิกิริยาของเอนไซม์ - หมายถึง ตรวจไม่พบปฏิกิริยาของเอนไซม์

จากตารางที่ 4-1 ถึง 4-3 สามารถเลือกเวลาที่ใช้ในการลวกผักทั้ง 3 ชนิด โดยพิจารณาจากเวลาที่สามารถยับยั้งเอนไซม์ได้ในทุกทรีทเมนต์ คือ ใบบัวบก เวลาที่เหมาะสมในการลวก คือ 60 วินาที ใบชะพลูเวลาที่เหมาะสม คือ 90 วินาที ผักแพว เวลาที่เหมาะสม คือ 60 วินาที จากนั้นนำผักที่ผ่านการลวกไปวิเคราะห์ค่าสี ได้ผลดังตารางที่ 4-4 ถึง 4-6

ตารางที่ 4-4 ค่าสีของใบบัวบกที่ผ่านการลวกเป็นเวลา 60 วินาที

สารละลายที่ใช้ในการ ลวก	%	L^*	a^*	b^*
ผักสด	-	35.34±0.27	-8.50±0.05	18.07±0.06
น้ำ	-	23.11±0.63	-10.82±0.12	16.44±0.21
สารละลายโซเดียมคลอไรด์	0.5	24.10±0.08	-11.48±0.07	17.95±0.23
	1	26.96±0.37	-10.52±0.28	16.96±0.52
	1.5	26.16±0.07	-11.60±0.19	19.31±0.24
สารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต	0.03	23.68±0.63	-10.59±0.12	15.93±0.12
	0.06	27.67±0.08	-10.60±0.08	17.73±0.29
	0.09	26.59±0.26	-10.32±0.28	16.04±0.75

ตารางที่ 4-5 ค่าสีของใบชะพลูที่ผ่านการลวกเป็นเวลา 90 วินาที

สารละลายที่ใช้ในการ ลวก	%	L^*	a^*	b^*
ผักสด	-	27.29±0.24	-7.36±0.07	8.91±0.22
น้ำ	-	19.22±0.08	-11.04±0.31	15.68±0.36
สารละลายโซเดียมคลอไรด์	0.5	23.95±0.43	-11.18±0.35	13.01±0.65
	1	21.85±0.02	-9.59±0.12	11.20±0.06
	1.5	19.32±0.05	-9.67±0.16	11.29±0.20
สารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต	0.03	19.81±0.28	-10.67±0.08	15.10±0.27
	0.06	23.31±0.08	-7.73±0.22	12.42±0.26
	0.09	19.23±0.07	-11.88±0.28	14.78±0.54

ตารางที่ 4-6 ค่าสีของผักแพวที่ผ่านการลวกเป็นเวลา 60 วินาที

สารละลายที่ใช้ในการ ลวก	%	L^*	a^*	b^*
ผักสด	-	36.00±0.05	-8.29±0.09	17.01±0.18
น้ำ	-	31.68±0.04	-8.10±0.21	22.39±0.12
สารละลายโซเดียมคลอไรด์	0.5	30.90±0.02	-7.62±0.14	23.38±0.19
	1	33.44±0.07	-8.78±0.11	21.19±0.12
	1.5	34.89±0.46	-7.60±0.19	24.42±0.34
สารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต	0.03	31.33±0.11	-8.52±0.05	17.26±0.21
	0.06	32.06±0.55	-8.83±0.25	21.23±0.47
	0.09	31.29±0.22	-9.37±0.19	18.72±0.29

จากตารางที่ 4-4 ถึง 4-6 เมื่อพิจารณาค่าสีเขียว (a^*) สามารถสรุปได้สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการลวกผักทั้ง 3 ชนิด คือ ใบบัวบก ลวกในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.5% เป็นเวลา 60 วินาที ใบชะพลู ลวกในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 0.09% เป็น

เวลา 90 วินาที ผักแพว ลวกในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 0.09% เป็นเวลา 60 วินาที

4.2) การศึกษากรรมวิธีการผลิตผักแผ่นที่เหมาะสม

ในการทอดผักแผ่นนั้นจำเป็นต้องใช้สารช่วยลดการดูดซับน้ำมันเพื่อให้ผลิตภัณฑ์หลังการทอดมีการอมน้ำมันน้อยที่สุด อีกทั้งสารที่ใช้ซึ่งมักเป็นกลุ่มสารไฮโดรคอลลอยด์นั้นยังสามารถช่วยให้ใบผักขึ้นรูปได้ง่าย และใบผักภายหลังการขึ้นรูปมีความเหนียว คงทน ไม่ฉีกขาดง่าย และสามารถรีดให้แผ่นผักมีความเรียบสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น ขั้นตอนนี้จึงสนใจศึกษาชนิดของสารไฮโดรคอลลอยด์ 3 ชนิด ได้แก่ CMC กวักัม และเพคตินที่ช่วยลดการดูดซับน้ำมันของใบผัก เมื่อนำผักแผ่นทอดที่ได้ไปวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4-7 ปริมาณน้ำมัน ค่าสีเขียว ความหนา และค่าแรงดึงของผักแผ่นทอดที่เติมสารไฮโดรคอลลอยด์ชนิดต่างๆ

ไฮโดรคอลลอยด์	*ปริมาณน้ำมัน (%)	ค่าสีเขียว ^{ns}	ความหนา (mm) ^{ns}	ค่าแรงดึง (kPa)
CMC	28.23±0.59 ^c	-12.42 ± 0.07	2.5 ± 0.01	6.64 ± 0.08 ^c
กวักัม	30.19±0.22 ^b	-12.54 ± 0.03	2.5 ± 0.01	7.02 ± 0.04 ^b
เพคติน	34.26±0.25 ^a	-12.50 ± 0.05	2.5 ± 0.02	8.70 ± 0.05 ^a

a, b, c หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

*ปริมาณน้ำมันของผักแผ่นที่ไม่เติมสารไฮโดรคอลลอยด์ (ตัวอย่างควบคุม) คือ 43.40±0.10%

จากผลการทดลองในตารางที่ 4-7 พบว่า การใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ส่งผลต่อปริมาณการดูดซับน้ำมันและความเหนียวของผลิตภัณฑ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยผลิตภัณฑ์ที่ใช้ CMC จะมีปริมาณการดูดซับน้ำมันต่ำที่สุด เนื่องจาก CMC สามารถเกิดเป็นเจลได้เมื่อจับกับความชื้นในผลิตภัณฑ์และได้รับความร้อนในขณะทอด ทำให้ผลิตภัณฑ์มีการสูญเสียน้ำระหว่างการทอดไปน้อย น้ำมันจึงถูกดูดซับเข้ามาได้น้อยเช่นกัน อีกประการหนึ่งคือ การที่ CMC เปลี่ยนเป็นเจลทำให้ผิวนอกของผลิตภัณฑ์มีความเรียบน้ำมันจึงเกาะติดที่ผิวของผลิตภัณฑ์ได้น้อย ทำให้การใช้ CMC สามารถช่วยลดการดูดซับน้ำมันของผลิตภัณฑ์ได้ ส่วนในด้านแรงดึงนั้น พบว่า การใช้เพคตินทำให้ค่าแรงดึงเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับ Ratphitagsanti, et al. (2004) ที่กล่าวว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเพคตินขึ้นจะมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีความเหนียวเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าแรงดึงมีค่ามากขึ้นตามไป

ด้วย จากผลการทดลองดังกล่าว แสดงให้เห็นว่า CMC เหมาะที่จะใช้เป็นสารช่วยลดการดูดซับน้ำมันในผลิตภัณฑ์ผักแผ่นทอดมากที่สุด จึงเลือกวิธีที่เมตต์นี้สำหรับการทดลองในขั้นต่อไป

ขั้นตอนต่อมาเป็นการศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบไล่น้ำมันภายหลังการทอดเพื่อลดปริมาณน้ำมันในผลิตภัณฑ์ผักแผ่นซึ่งอาจส่งผลต่อสุขภาพและอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ที่อาจจะเกิดการออกซิเดชันของน้ำมันทำให้เกิดกลิ่นหืนได้ง่าย โดยแปรอุณหภูมิในการอบไล่น้ำมันเป็น 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส แปรเวลาในการอบ 30 และ 60 นาที จากนั้นนำผลิตภัณฑ์มาวิเคราะห์คุณภาพได้ผลดังตารางที่ 4-8 ถึง 4-9

ตารางที่ 4-8 ปริมาณไขมันและความชื้นของผักแผ่นที่ผ่านการอบไล่น้ำมันเทียบกับตัวอย่างทางการค้า

ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	ปริมาณไขมัน (%)	ความชื้น (%)
สาหร่ายทางการค้า	-	-	39.82±0.27 ^a	5.49±0.06 ^a
ผักแผ่น	60	30	26.53±0.02 ^b	3.96±0.03 ^b
		60	26.51±0.01 ^{bc}	3.84±0.03 ^c
	70	30	26.48±0.02 ^c	3.95±0.05 ^b
		60	26.45±0.02 ^d	3.55±0.04 ^d
	80	30	26.43±0.01 ^d	3.82±0.02 ^c
		60	26.42±0.04 ^d	3.46±0.02 ^e

^{a-e} ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงค่าความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ $p \leq 0.05$

ตารางที่ 4-9 ค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ของผักแผ่นที่ผ่านการอบไล่น้ำมัน

ตัวอย่าง	อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)	เวลา (นาที)	ค่าสี		
			L^*	a^*	b^*
สำหรับรายการค้า		-	20.32±0.58 ^a	0.24±0.36 ^b	7.22±2.09 ^a
ผักแผ่น	60	30	18.48±3.98 ^b	-0.18±0.26 ^c	6.33±1.02 ^b
		60	18.53±1.35 ^b	-0.19±0.74 ^c	6.35±4.09 ^b
	70	30	18.45±0.82 ^b	-0.16±0.15 ^c	6.41±3.22 ^b
		60	18.58±1.84 ^b	-0.18±0.27 ^c	6.45±2.27 ^b
	80	30	19.64±0.97 ^{ab}	0.25±1.47 ^b	6.81±4.27 ^{ab}
		60	18.87±1.03 ^b	0.31±1.01 ^a	6.55±0.80 ^b

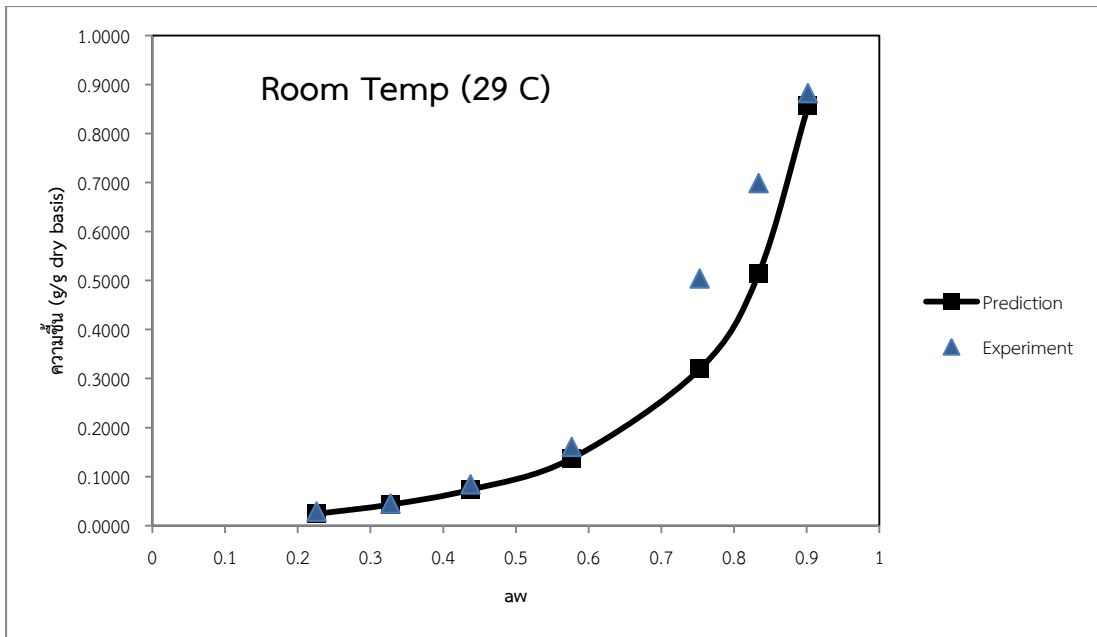
^{a-c} ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงค่าความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ $p \leq 0.05$

จากการวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์ผักแผ่นที่ผ่านการอบไล่น้ำมันในระดับต่างๆ พบว่า การใช้อุณหภูมิสูงขึ้นและระยะเวลาในการอบนานขึ้นทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ มีแนวโน้มของปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำมัน และค่าสีโดยเฉพาะค่าความสว่างลดลง อีกทั้งปริมาณความชื้นที่ลดลงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความกรอบมากขึ้น ส่วนปริมาณน้ำมันที่ลดลงเกิดจากความร้อนในการอบทำให้ความหนืดของน้ำมันที่เกาะที่ผิวผลิตภัณฑ์สามารถหยดออกจากผิวของผลิตภัณฑ์ได้ง่าย จึงทำให้ปริมาณน้ำมันโดยรวมมีค่าลดลง (สิริมา ชินสาร, 2552) แต่เมื่อวิเคราะห์ค่าสี L^* a^* b^* พบว่าตัวอย่างที่ทำการอบที่อุณหภูมิ 80 $^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 30 นาที มีค่าสีใกล้เคียงกับสำหรับรายการค้ามากที่สุด จึงเลือกสถานะนี้ในการทำการทดลองต่อไป

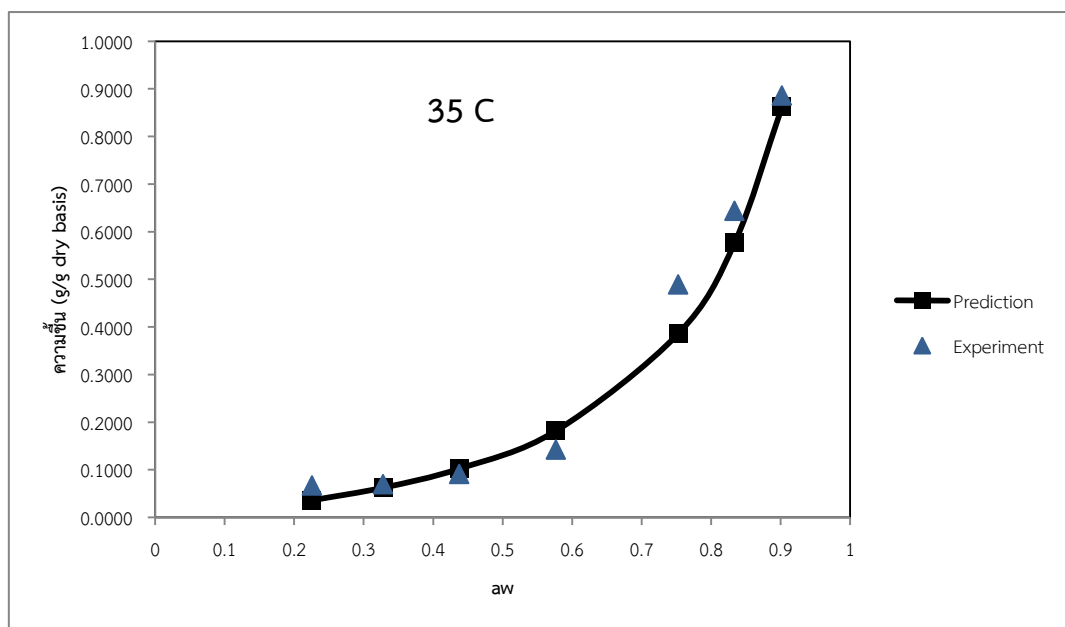
เมื่อนำผักแผ่นทอดกรอบมาวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ พบว่า ผักแผ่นมีปริมาณไขมัน 26.41% โปรตีน 3.81% เกลือ 8.53% ความชื้น 3.81% ปริมาณใยอาหารรวม 1330.70 mg/100 g และแคลเซียม 195.32 mg/100 g

4.3) การศึกษาแบบจำลองลักษณะไอโซเทอมการดูดซับความชื้นของผลิตภัณฑ์ผักแผ่น

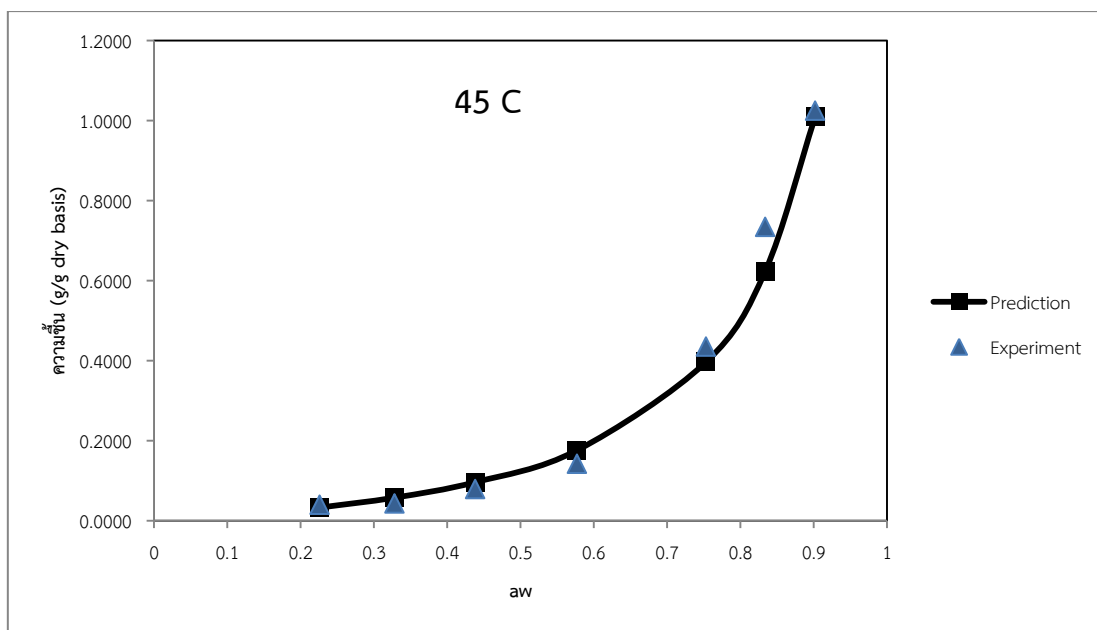
จากการทดลองหาปริมาณความชื้นสมดุลของผักแผ่น ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง (29°C) 35°C และ 45°C และค่า a_w 0.2-0.9 ด้วยสารละลายเกลือมาตรฐาน เป็นสารควบคุมค่า a_w และใช้ตู้อบเป็นส่วนควบคุมอุณหภูมิ สามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นสมดุลของผักแผ่นกับค่า a_w ดังแสดงในภาพที่ 4-1 4-2 และ 4-3 โดยความสัมพันธ์มีลักษณะเป็นรูป J shape ซึ่งลักษณะความสัมพันธ์แบบนี้มักพบในน้ำตาล เกลือ และอาหารที่มีน้ำตาลหรือเกลือในปริมาณสูง แต่มีพอลิเมอร์ชีวภาพที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ในปริมาณต่ำ เช่น ผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง ลูกกวาด แยม เป็นต้น เมื่อความชื้นในสภาวะแวดล้อมมีค่าต่ำ อาหารกลุ่มนี้จะดูดความชื้นได้ช้า แต่เมื่อความชื้นในสภาวะแวดล้อมมีค่าสูงถึงค่าหนึ่ง อาหารกลุ่มนี้จะสามารถดูดความชื้นเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ลักษณะทางกายภาพของอาหารเปลี่ยนแปลงจนก่อให้เกิดการไมยอัมรับของผู้บริโภค หรือเกิดการเน่าเสียเนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ (สิทธิโชค เถลิงนวชาติ และเกียรติศักดิ์ ดวงมัลย์, 2557) และการที่ผลิตภัณฑ์ผักแผ่นมีลักษณะความสัมพันธ์ในรูป J shape นั้นก็เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีการเติมสาร CMC ซึ่งมีคุณสมบัติเกิดเจลได้เมื่อได้รับความร้อนในขณะอบและทอด ซึ่งเจลที่เกิดขึ้นจะเคลือบบริเวณผิวนอกของแผ่นผักรวมทั้งแทรกอยู่ภายในเนื้อเยื่อของแผ่นผัก ทำให้แผ่นผักมีการดูดความชื้นได้ช้าในช่วงแรกที่สภาวะแวดล้อมมีความชื้นต่ำ เนื่องจากพันธะที่แข็งแรงของเจล CMC แต่เมื่อสภาวะแวดล้อมมีความชื้นสูงจนถึงระดับความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 70% ขึ้นไป (a_w ประมาณ 0.7) จะทำให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อทดลองแทนค่าปริมาณความชื้นสมดุล (M_e) และค่าวอเตอร์แอกติวิตี (a_w) ลงในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ GAB สามารถหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้แก่ ค่าความชื้นสมดุลใน 1 ชั้นโมเลกุลของ GAB (M_{gm}) ค่าคงที่ K และ C ได้ดังตารางที่ 4-10



ภาพที่ 4-1 ซอร์พชันไอโซเทอร์มของผักแผ่นระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนาย ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ GAB ที่อุณหภูมิห้อง (29°C)



ภาพที่ 4-2 ซอร์พชันไอโซเทอร์มของผักแผ่นระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนาย ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ GAB ที่อุณหภูมิ 35°C



ภาพที่ 4-3 ซอร์พชันไอโซเทอร์มของผักแผ่นระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนาย ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ GAB ที่อุณหภูมิ 45°C

ตารางที่ 4-10 ค่าคงที่, ค่า SEE และค่า R^2 ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ GAB ของผักแผ่นที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิ (°C)	ค่าคงที่				
	M_{gm} (เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง)	C	K	SEE	R^2
29	0.035	1.99	0.96	0.10	0.95
35	0.074	1.65	0.91	0.05	0.98
45	0.058	1.75	0.95	0.05	0.99

จากภาพที่ 4-1 และ 4-2 พบว่า ที่อุณหภูมิเดียวกัน ค่าความชื้นของผักแผ่นมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่า a_w สูงขึ้น ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ GAB สามารถทำนายปริมาณความชื้นสมดุลในช่วงค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ 0.2 – 0.9 ได้ดี โดยที่อุณหภูมิห้อง 35 และ 45°C มี ค่า SEE เท่ากับ 0.10, 0.05 และ 0.05 ตามลำดับ และค่า R^2 เท่ากับ 0.95, 0.98 และ 0.99 ตามลำดับ โดยค่ากำลังสองของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient of Square, R^2) เป็นพารามิเตอร์ทางสถิติที่

บ่งชี้ให้ทราบถึงความสอดคล้องระหว่างสมการและข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ซึ่งค่า R^2 มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 โดยหากค่า R^2 เข้าใกล้ 1 แสดงว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้มีความสอดคล้องกับข้อมูลผลการทดลองมาก ซึ่งเกณฑ์ในการยอมรับได้คือค่า R^2 มากกว่าหรือเท่ากับ 0.95 นอกจากนี้ยังใช้พารามิเตอร์ทางสถิติในการเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลจากการทดลองกับข้อมูลที่ได้จากการคำนวณในรูปของค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการทำนาย (Standard Error of Estimate, SEE) ซึ่งหากสมการที่ได้ให้ค่า SEE ต่ำ แสดงว่าสมการนั้นสามารถนำมาอธิบายผลการทดลองได้ดี นอกจากนี้ยังมีนักวิจัย นำแบบจำลองของ GAB ใช้ในการทำนายวัตถุดิบทางการเกษตรอื่น ๆ อีก จากการรายงานของ McLaughlin and Magee. (1998) ได้ศึกษาซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของมันฝรั่งที่อุณหภูมิ 30 45 และ 50 °C ในช่วงค่าวอเตอร์แอกติวิตี 0.10 – 0.95 พบว่าแบบจำลอง GAB สามารถอธิบายผลการทดลองได้ดีในทุกอุณหภูมิ โดยค่า P อยู่ระหว่าง 3.7 – 4.43 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการทดลองของ Jamali, Kouhila, Mohamed, Idlimam, and Lamharrar. (2007) ได้ศึกษาดีซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของใบชาเม็กซิกกัน (*Chenopodium ambrosioides*) ที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50 °C และค่าวอเตอร์แอกติวิตี 0.5 – 0.9 พบว่าแบบจำลองของ GAB สามารถอธิบายผลการทดลองได้ดีทุกอุณหภูมิ ซึ่งมีค่า P เท่ากับ 4.59 เปอร์เซ็นต์ และ SEE 0.791

4.4) การศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการรักษาผลิตภัณฑ์

เมื่อทราบลักษณะไอโซเทอมการดูดซับความชื้นของผลิตภัณฑ์ผักแผ่นแล้ว ขั้นตอนนี้จะนำความรู้ดังกล่าวมาหาค่าความชื้นวิกฤติของผลิตภัณฑ์ผักแผ่น เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการคัดเลือกบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์ผักแผ่น โดยบรรจุภัณฑ์ที่คัดเลือกมาใช้ในการบรรจุผักแผ่น คือ ถุงอลูมิเนียมพอยด์ลามิเนต ซึ่งมีสมบัติในการป้องกันอากาศและไอน้ำซึมผ่าน เนื่องจากรูปแบบไอโซเทอมของผักแผ่นเป็นแบบ J shape ซึ่งจะดูดซับความชื้นได้ช้าหากสภาวะแวดล้อมมีความชื้นต่ำแต่จะดูดซับความชื้นอย่างรวดเร็วเมื่อความชื้นในอากาศสูง ซึ่งลักษณะของการวางขายของผักแผ่นนั้นจะวางขายในสภาวะอากาศปกติไม่มีการควบคุมสภาวะบรรยากาศ ดังนั้น สภาวะอากาศหรือความชื้นจะแปรผันไปในแต่ละวัน หากวันที่อากาศชื้นมากจะส่งผลต่อการดูดซับความชื้นของผลิตภัณฑ์และส่งผลให้ผลิตภัณฑ์สูญเสียความกรอบ และคุณภาพไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคได้ จึงเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ที่สามารถป้องกันหรือลดการสัมผัสความชื้นของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ถุงอลูมิเนียมพอยด์ลามิเนตดังกล่าว จากนั้น บรรจุผักแผ่นลงในบรรจุภัณฑ์ที่คัดเลือกได้ เก็บรักษาผลิตภัณฑ์ดังกล่าวไว้ที่อุณหภูมิห้อง สุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์ทุก 2 สัปดาห์ เพื่อวิเคราะห์คุณภาพ ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4-11 ปริมาณความชื้น a_w และจุลินทรีย์ทั้งหมดของผักแผ่นที่บรรจุในถุงออลูมิเนียมฟอยด์ ลามิเนตเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 8 สัปดาห์

เวลาในการเก็บรักษา (สัปดาห์)	ความชื้น (%)	a_w	จำนวนจุลินทรีย์ ทั้งหมด (cfu/g)
0	2.51±0.28	0.33±0.002	26.6×10 ¹
2	2.92±0.11	0.35±0.005	27.9 ×10 ¹
4	3.01±0.14	0.36±0.001	29.2 ×10 ¹
6	3.06±0.21	0.36±0.003	3.5 ×10 ²
8	3.11±0.13	0.38±0.005	4.8 ×10 ²

จากผลการทดลองในตารางที่ 4-11 พบว่า ผลิตภัณฑ์ผักแผ่นที่บรรจุในถุงออลูมิเนียมฟอยด์ ลามิเนตมีอายุการเก็บได้อย่างน้อย 4 สัปดาห์ โดยผลิตภัณฑ์ยังคงมีค่า a_w และจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสำหรับทะเลอบซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์เทียบเคียง โดยตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์สำหรับเยอบกำหนดว่าผลิตภัณฑ์ต้องมีค่า a_w ไม่เกิน 0.6 และจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 1×10^4 cfu/g

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมผักแผ่น คือ การลวกผักก่อนการขึ้นรูปและทำแห้ง โดยใบบัวบก ลวกในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.5% เป็นเวลา 60 วินาที ใบชะพลู ลวกในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 0.09% เป็นเวลา 90 วินาที ผักแพ้ว ลวกในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 0.09% เป็นเวลา 60 วินาที การใช้ CMC 0.1% เติมลงในส่วนผสม และการอบที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 30 นาที ภายหลังจากทอดสามารถลดปริมาณน้ำมันในผลิตภัณฑ์ผักแผ่นได้

การศึกษาดีซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของผักแผ่น แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ GAB สามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้ดี โดยค่า R^2 มีค่าสูงและค่า SEE ต่ำ สามารถนำมาอธิบายผลการทดลองได้ดีที่อุณหภูมิ 29 35 และ 45 °C และค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ 0.2 - 0.9 และการเก็บผักแผ่นในถุงอลูมิเนียมพอยด์ลามิเนตซึ่งสามารถป้องกันความชื้นและออกซิเจนได้ทำให้สามารถเก็บรักษาผักแผ่นได้เป็นเวลาอย่างน้อย 2 เดือน โดยผลิตภัณฑ์ยังมีคุณภาพเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์สาหร่ายอบ คือ มีค่า a_w ไม่เกิน 0.6 และจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 1×10^4 cfu/g

ข้อเสนอแนะ

ผลิตภัณฑ์ผักแผ่นจากผักพื้นบ้านเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง แต่อาจมีปัญหาด้านกลิ่นรสเฉพาะตัวของผักที่นำมาเป็นส่วนผสมที่ส่งผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค โดยเฉพาะในกลุ่มของเด็ก จึงควรมีการศึกษาหากรรมวิธีเพื่อปรับปรุงคุณภาพด้านกลิ่นรสให้เป็นที่ยอมรับสำหรับผู้บริโภคทุกวัย

รายการอ้างอิง

- กัญจน์พัชร อุปลศิลป์. (2553). การพัฒนากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ใบเตยอบแห้ง. สาขา
อุตสาหกรรมเกษตร, คณะเทคโนโลยีการเกษตร, มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่.
- กุลยา จันทร์อรุณ. (2538). กรรมวิธีการผลิตสมุนไพรแห้ง. รายงานการวิจัย. สถาบันราชภัฏพิบูล
สงคราม.
- จิตธนา แจ่มเมฆ. (2540). วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ:
สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ฉันทนา นันทิวัฒนวงศ์ (2537) การเปรียบเทียบการใช้เซลล์โลสผงจากกากอ้อยกับเซลล์โลสอื่นในแป้ง
ชูบทอดและโดนัทเพื่อลดการอมน้ำมัน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยี
ทางอาหาร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นิธิยา รัตนาปนนท์. (2549). หลักการแปรรูปอาหารเบื้องต้น. กรุงเทพฯ:โอเดียนสโตร์.
- ปิติ พูนไชยศรี. (2554). มุมสุขภาพ. จุลสารสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพออนไลน์. สาขาวิชา
วิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.
- ภูมิศักดิ์ อินทนนท์. (ม.ป.ป.). การวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี การผลิตพืชเครื่องปรุงอาหารไทย เพื่อ
การส่งออก. [http:// www.thaifoodtoworld.com](http://www.thaifoodtoworld.com) เข้าถึงเมื่อ 19 กันยายน 2554.
- วัฒนา ดำรงรัตน์กุล และอนุวัตร แจ่มชัด. (2549). แบบจำลองของการดูดซับความชื้นและการอบแห้ง
ของผักแผ่นปรุงรส. เรื่องเต็มการประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 44,
สาขาอุตสาหกรรมเกษตร, หน้า 534-540.
- วิไล รัชสาดทอง. (2546).เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพมหานคร: เท็กซ์
แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น.
- สรรพคุณสมุนไพร. (มปป). http://www.rspg.or.th/plants_data/herbs/herbs_16_2.htm
เข้าถึงเมื่อ 21 กันยายน 2558.
- สิริมา ชินสาร. (2552). การดูดซับน้ำมันในกระบวนการทอดแบบน้ำมันท่วม. *Burapha Sci. J.*, 2,
138-146.
- สิทธิโชค เถลิงนงชาติ และเกียรติศักดิ์ ดวงมาลัย. (2557). ไอโซเทอร์มการดูด-คายซับความชื้นของ
ผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง. วารสารวิทยาศาสตร์ มข., 42(1), 25-37.
- อนุวัตร แจ่มชัด สุจีบงอร เข้มทอง สุกัญญา วงวาท และรัชนิกร กิติศิริมงคล. (2548). เรื่องเต็มการ
ประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 43, สาขาอุตสาหกรรมเกษตร, หน้า
602-609.

- Akdeniz, N., Sahin, S. and Summu, G. (2006) Funtionality of batters containing different gums for deep-fat frying of carrot slices. *J. Food Eng.* 75: 522-526.
- AOAC. (1990). *Official Method of Analysis (15th ed)*. Arlington, Virginia, USA: The Association of official Analysis Chemists.
- AOAC. 2000. *Official Methods of Analysis*. Association of Official Analytical Chemists.17th ed. Washington,D.C.
- Khalloufi, S., Maslouhi, Y. F. I. and Ratti, C. (2000) . Mathematic model for prediction of glass transition temperature of fruit powders. *J. Food Sci.*, 65(5): 842- 848.
- Lamberg, I., Hallstrom, B., & Olsson, H. (1990). Fat uptake in a potato drying/ frying process. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technology*, 23, 295-300.
- Lateef O. S., Charles, A. and Ayoade, K. (1997) .Moisture sorption isotherms of fufu and tapioca at different temperatures. *J. Food Eng.* 34: 203-212.
- McLaughlin, C.P., & Magee, T.R.A. (1998). The determination of sorption isotherm and the isosteric heat of sorption for potatoes. *Journal of Food Engineering*, 35,267-280.
- Mellema, M. (2003). Mechanism and reduction of fat uptake in deep-fat fried food. *Trends in Food Science & Technology*, 14, 364-373.
- Moreira, R.G., X. Sun & y. Chen. 1997. Factor effecting oil uptake in tortilla chip in deep-fat frying. *Journal of Food Engineering*. 31(4), 485 - 498.
- Paakkonen, K. and Roos, Y. (1990). Effects of drying conditions on water sorption and phase transitions of freeze-dried horseradish roots. *J. Food Sci.*, 55: 206-209.
- Pedro Fito, Enrique Ortega-Rodriguez, & Gustavo V. Barbosa-Canovas. (1997). *Food Engineering 2000*. New York: Chapman & Hall.
- Pinthus, E.J., Weinberg, P., & Saguy, I.S. (1992). Gel-strength in restructured potato product affects oil uptake during deep-fat frying. *Journal of Food Science*, 57(6), 1359-1360.
- Ratphitagsanti, W., Hsieh, F. & Huff, H.E. (2004) Physical properties of strawberry leather. Session 83D, Fruit and vegetable products: Processed fruit. In: IFT. Annual Meeting, July 12–16, 2004, Las Vegas,. Nevada.
- Roos,Y. 1987. Effect of moisture on the thermal behavior of strawberries studied using Differential Scanning Calorimetry. *J. Food Sci.*, 52: 146-149.

- Saencom Suwajee, Chiewchan Naphaporn and Devahastin Sakamon. (2011).
Production of dried ivy gourd sheet as a health snack. *Food and Bioproducts processing*. 4, 414-421.
- Saguy, I.S., & Pinthus, E.J. (1995). Oil uptake during deep-fat frying: factors and mechanism. *Food Technology*, 49, 142-145.
- ThaiHerbal.org. (มปป). ผักแพ้ว. <http://thaiherbal.org/1512/1512>. เข้าถึงเมื่อ 21 กันยายน 2558.