รายงานการวิจัย

เรื่อง

การพัฒนาผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองเพื่อเพิ่มมูลค่า

The Product Development of Hom thong Banana (*Musa acuminata* (AAA group) 'Gross Michel') for value added products

กรณีศึกษา : พัฒนาและออกแบบผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ

The Development and Design of Dehydrated Hom thong Banana Crispy Products by Freeze Drying Vacuum Sublimation Process

ประกาศ ชมภู่ทอง

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

ประจำปีงบประมาณ 2562

งานวิจัยฉบับนี้เป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการเพิ่มมูลค่ากล้วยหอมทองที่มีคุณภาพไม่ได้ตามเกณฑ์มาตรฐานหรือมีตำหนิ มาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบแห้งด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ โดยมีการศึกษาระยะการสุกของกล้วยหอมทองระยะที่ 4 5 และ 6 และศึกษาสภาวะอุณหภูมิและเวลาของการทำแห้งกล้วยหอมทอง 2 ระดับ คือ การทำแห้งขั้นต้นที่อุณหภูมิ -15 องศาเซลเซียส และ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 14 และ 16 ชั่วโมง ตามลำดับ และเข้าสู่การทำแห้งขั้นที่สองที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 16 และ 18 ชั่วโมง พบว่า คุณภาพด้านกายภาพและเคมีของกล้วยหอมทองทำแห้งที่ระยะการสุกต่าง ๆ มีค่าความสว่าง (L*) ค่าสีเหลือง (b*) และค่าความแข็งกรอบไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) ส่วนค่าสีแดง (a*) การสุกระยะที่ 6 มีค่าสูงที่สุดแตกต่างกับระยะที่ 4 และ 5 ($p \leq 0.05$) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด การสุกระยะที่ 6 มีค่าสูงที่สุดแต่ไม่แตกต่างกันระยะที่ 5 ($p \geq 0.05$) ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณกรดซิตริก และปริมาณน้ำอิสระไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) การทดสอบคุณภาพด้านประสาทสัมผัสของกล้วยหอมทองทำแห้ง พบว่าระยะการสุกที่ 5 ผู้บริโภคให้คะแนนด้านคุณลักษณะที่ปรากฏ และความชอบโดยรวมสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) แต่ด้านสี รสชาติ และเนื้อสัมผัส ไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) จากการศึกษาอุณหภูมิและเวลาการทำแห้งกล้วยหอมทองด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ พบว่า คุณภาพด้านกายภาพและเคมีของกล้วยหอมทองทำแห้งทั้ง 2 สภาวะไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) การทดสอบคุณภาพด้านประสาทสัมผัสที่อุณหภูมิการทำแห้งขั้นต้นที่ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมงและอุณหภูมิการทำแห้งขั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง ผู้ทดสอบให้คะแนนด้านรสชาติ เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมมากที่สุด ($p \leq 0.05$) ส่วนด้านลักษณะที่ปรากฏและสีไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) ผลการตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของกล้วยหอมทองทำแห้งด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ มีปริมาณความชื้นร้อยละ 6.76 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 82.29 โปรตีนร้อยละ 5.72 ไขมันร้อยละ 0.13 เส้นใยร้อยละ 1.54 และเถ้าร้อยละ 3.56 มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเฉลี่ย 10.60 องศาบริกซ์ ค่าความเป็นกรด-ด่าง 4.32 ปริมาณกรดทั้งหมด (กรดซิตริก) เฉลี่ยร้อยละ 2.67 และปริมาณน้ำอิสระ 0.15 สำหรับคุณภาพด้านเชื้อจุลินทรีย์พบว่ามีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า $1x10^3$ โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ตรวจไม่พบเชื้อยีสต์และรา และเชื้อเอสเชอริเชียผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองทำแห้งด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ มีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผักและผลไม้แห้ง (มผช.136/2558)

คำสำคัญ : กล้วยหอมทอง สภาวะการทำแห้ง การทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ

Abstract

This research aims to the value added of Hom thong banana quality is not standard and defect to process of banana dried product with vacuum freeze drying process. The study of condition ripe banana on 4 5 and 6 state and study condition of temperature and time in vacuum freeze drying to primary drying at temperature -15 and -20 °c in time 12, 14 and 16 hours. and secondary drying at temperature 50 °c in time 14, 16 and 18 hours. The result showed physical and chemical quality banana dried the ripening on state 4 5 and 6 to parameter brightness value (L*) yellowness value (b*) and hardness value that there was no statistical difference ($p \geq 0.05$) but redness value (a*) ripening on state 6 the highest value different the ripening on state 4 and 5 ($p \leq 0.05$). The amount of total soluble solid banana dried the ripening on state 6 the highest value but not different on ripening state 5 ($p \geq 0.05$). The amount of acidity, citric acid and free water (a_w) that there was no statistical difference ($p \geq 0.05$). The sensory evaluation in appearance and overall liking highest ($p \leq 0.05$) but that there was no statistical difference ($p \geq 0.05$) in color, flavor and texture. The result to study two condition of temperature and time in vacuum freeze drying showed that the physical and chemical quality banana dried that there was no statistical difference ($p \geq 0.05$). The sensory evaluation to the primary drying at temperature -20 °c for 16 hours and secondary drying at temperature 50 °c for 18 hours the result showed panelists recognized the feature in flavor, texture and overall liking highest ($p \leq 0.05$) but but that there was no statistical difference ($p \geq 0.05$) in appearance and color. The banana dried to parameter of chemical quality of moisture content 6.76%, carbohydrate 82.29%, protein 5.72%, fat 0.13%, fiber 1.57% and ash 3.56% and total soluble solids 10.60 brix, acidity (pH) 4.32, citric acid 2.67% and a_w 0.15. The result showed that microbiological quality of banana dried product had total plate count less than $1x10^3$ colony/g. no yeast and mold and no *E. coli*. The banana dried product with vacuum freeze drying process on the Thai community product standard (136/2558).

****Key words :** Hom thong banana, Condition drying, Vacuum freeze drying process

กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัยฉบับนี้ เป็นการศึกษาเพื่อค้นหาแนวทางในการแก้ไขปัญหากล้วยหอมทองที่มีคุณภาพไม่ได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน โดยได้ทำการศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองเพื่อเพิ่มมูลค่า (The product development of homthong banana (*Musa acuminata* (AAA group) 'Gross Michel') for value added products) กรณีศึกษา : พัฒนาและออกแบบผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ (The development and design of dehydrated Homthong banana crispy products by freeze drying vacuum sublimation process) โดยใช้กล้วยหอมทองที่มีคุณภาพไม่ได้ตามเกณฑ์มาตรฐานการส่งออก ซึ่งมีราคาถูก ซึ่งนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับกล้วยหอมทอง โดยผลิตเป็นผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ จึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการพัฒนาสินค้าให้กับชุมชนท้องถิ่นของจังหวัดเพชรบุรี

งานการวิจัยฉบับนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณแผ่นดินปี พ.ศ. 2562 ของมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี โดยการพิจารณาของสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

รายงานการวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบคุณ คณาจารย์ เจ้าหน้าที่และนักศึกษาของสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร ทุกท่านที่ได้ช่วยให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ตลอดจนผู้ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูล ผู้ทดสอบทดสอบผลิตภัณฑ์ตลอดช่วงของการวิจัย ผู้วิจัยจึงขอขอบคุณทุกท่านเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ประกาศ ชมภู่ทอง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ซ
บทที่ 1 บทนำ	
ความเป็นมาของโครงการ	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
ขอบเขตของการวิจัย	3
คำนิยามศัพท์เฉพาะ	4
กรอบแนวคิดในการวิจัย	4
ประโยชน์ของการวิจัย	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
แนวความคิดทางทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
ความรู้ทั่วไปของกล้วยหอมทอง	6
องค์ประกอบทางเคมีของกล้วยหอมทอง	7
การทำแห้งอาหาร	9
ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล	12
การควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล	14
บรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแห้ง	15
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	17
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	
วัสดุ อุปกรณ์	20
แบบแผนการดำเนินงานวิจัย	21
การวิเคราะห์ข้อมูล	26
เครื่องมือในการวิจัย	26
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปราย	
ผลการทดลอง	27

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง

สรุปผลการทดลอง 47

บรรณานุกรม 51

ภาคผนวก

ก. แบบประเมินทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

(1) ศึกษาระยะการสุกของกล้วยหอมทองที่เหมาะสมต่อการทำแห้งกล้วยหอมทองอบกรอบด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ 55

(2) ศึกษาการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลของเอนไซม์ในกล้วยหอมทองอบกรอบด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ 56

(3) ศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในกระบวนการทำแห้งกล้วยหอมทองอบกรอบด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ 57

(4) ศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ 58

ข. การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ 59

ค. การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี 60

ง. การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์ 64

จ. กรรมวิธีการผลิตกล้วยหอมทองอบกรอบด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ 67

ประวัติผู้วิจัย 70

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของกล้วยหอมทองที่ระยะการสุกต่าง ๆ (ร้อยละ)	8
2.2	คุณค่าทางโภชนาการของผลกล้วยหอมทองสุก 100 กรัม	9
2.3	ชนิดของสารเคมีที่ใช้เพื่อป้องกันการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์	15
4.1	คุณภาพด้านกายภาพของกล้วยหอมทองที่ระยะการสุกต่าง ๆ	27
4.2	คุณภาพด้านกายภาพของกล้วยหอมทองทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่ระยะการสุกต่าง ๆ	28
4.3	คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของกล้วยหอมทองหลังการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ	29
4.4	คุณภาพทางด้านเคมีของกล้วยหอมทองที่ระยะการสุกต่าง ๆ ก่อนทำแห้ง	29
4.5	คุณภาพทางด้านเคมีของของกล้วยหอมทองอบกรอบหลังทำแห้งด้วยกระบวนเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศที่ระยะการสุกต่าง ๆ	30
4.6	คุณภาพทางด้านกายภาพของของกล้วยหอมทองอบกรอบทำแห้งด้วยกระบวนเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศที่แช่ในสารละลายกรดเป็นเวลานาน 2 นาที	32
4.7	คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของกล้วยหอมทองอบกรอบทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศที่แช่ในสารละลายกรด	33
4.8	คุณภาพทางด้านเคมีของของกล้วยหอมทองอบกรอบทำแห้งด้วยกระบวนเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศที่แช่ในสารละลายกรด	34
4.9	คุณภาพทางด้านกายภาพของของกล้วยหอมทองอบกรอบทำแห้งด้วยกระบวนเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศที่ระดับอุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ	36
4.10	คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของของกล้วยหอมทองอบกรอบทำแห้งด้วยกระบวนเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศที่ระดับอุณหภูมิการทำแห้งขั้นต้นที่ -15 องศาเซลเซียส และการทำแห้งขั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียสที่ระยะเวลาต่าง ๆ	37
4.11	คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของของกล้วยหอมทองอบกรอบทำแห้งด้วยกระบวนเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศที่ระดับอุณหภูมิการทำแห้งขั้นต้นที่ -20 องศาเซลเซียส และการทำแห้งขั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียสที่ระยะเวลาต่าง ๆ	37
4.12	คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของกล้วยหอมทองอบกรอบทำแห้งด้วยกระบวนเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศที่ระดับอุณหภูมิการทำแห้งขั้นต้นที่-15 และ -20 องศาเซลเซียส และการทำแห้งขั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียสที่ระยะเวลาต่าง ๆ	38

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.13	คุณภาพทางด้านเคมีของของกล้วยหอมทองอบกรอบทำแห้งด้วยกระบวนเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศที่ระดับอุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ	39
4.14	คุณภาพทางด้านเคมีปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระของกล้วยหอมทองอบกรอบทำแห้งด้วยกระบวนเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศที่ระดับอุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ	40
4.15	คุณภาพทางด้านกายภาพของกล้วยหอมทองอบกรอบทำแห้งด้วยกระบวนเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์	41
4.16	คุณภาพทางด้านเคมีของกล้วยหอมทองอบกรอบทำแห้งด้วยกระบวนเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์	42
4.17	คุณภาพทางด้านเคมีของกล้วยหอมทองอบกรอบทำแห้งด้วยกระบวนเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์	43
4.18	องค์ประกอบทางเคมีของกล้วยหอมทองอบกรอบด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ	43
4.19	คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของกล้วยหอมทองอบกรอบด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์	44
4.20	ปริมาณจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์	45

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	กรอบแนวความคิดในการวิจัย	4
2.1	ระยะการสุกของกล้วยหอมทอง	7
2.2	กระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง	11
2.3	ขั้นตอนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง	11
3.1	ระยะการสุกของกล้วยหอมทอง	21

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการ

สถานการณ์ของตลาดขนมขบเคี้ยวในประเทศไทยนั้น พบว่ามูลค่าตลาดของขนมขบเคี้ยวก็มีอัตราการเติบโตขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปี โดยเฉลี่ยเติบโตร้อยละ 9.5 ซึ่งพบว่า การเติบโตของตลาดขนมขบเคี้ยวในระยะหลัง ๆ เกิดจากการเข้ามาของขนมขบเคี้ยวทางเลือกใหม่ ๆ ที่ผลิตโดยใช้วัตถุดิบหลักที่มาจากธรรมชาติสอดคล้องกับพฤติกรรมผู้บริโภคที่มีกระแสของการ รับประทานอาหารเพื่อสุขภาพ ส่งผลทำให้ผู้บริโภคระมัดระวังในการเลือกรับประทานขนมขบเคี้ยวมากขึ้นด้วย โดยผู้บริโภคจำนวนไม่น้อยหันมาเลือกรับประทานขนมขบเคี้ยวที่ทำจากผักและผลไม้แทนเพื่อให้ตนเองได้ลิ้มรสความอร่อยในแบบที่รู้สึกดีต่อจิตใจและดีต่อสุขภาพ (ศูนย์อัจฉริยะเพื่ออุตสาหกรรมอาหาร, 2559)

สังคมไทยยังคงนิยมรับประทานผลไม้สดมากกว่าผลไม้แปรรูป แต่ด้วยวิถีชีวิตที่วุ่นวายและการพร้อมเปิดรับสินค้าใหม่ของผู้บริโภคสมัยใหม่ ประกอบกับการดำเนินกลยุทธ์ของผู้ประกอบการ โดยเฉพาะรายใหม่ด้วยการคิดค้นผลิตภัณฑ์แปลกใหม่และสร้างความแตกต่าง ทำให้ในปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ มากมาย เช่น ขนมขบเคี้ยวจากผลไม้ เยลลีผลไม้ ผลไม้เคลือบช็อคโกแลต ทอฟฟี่ผลไม้ เป็นต้น ในปี 2560 มีมูลค่าทางการตลาดอยู่ที่ 832.2 ล้านบาท นอกจากจะตอบโจทย์ผู้บริโภคทั่วไปแล้ว ยังเป็นการขยายตลาดไปสู่ผู้บริโภควัยเด็กที่มักรับประทานผลไม้ในปริมาณน้อย (ศูนย์วิจัยกสิกรไทย, 2560)

ผลจากการวิเคราะห์ถึงแนวโน้มตลาดสินค้าผักและผลไม้แปรรูป การดำเนินธุรกิจของการแปรรูปผักและผลไม้ และสภาวะการแข่งขันของในปัจจุบัน สินค้าที่น่าสนใจและต่อยอดธุรกิจได้คือขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพจากผักและผลไม้ ตัวอย่างสินค้า ได้แก่ ผักและผลไม้อบแห้ง อบกรอบ ผักผลไม้ทอดกรอบ ผักผลไม้ตากแห้ง และรวมไปถึงสแน็กบาร์ เป็นต้น เนื่องจากขนมขบเคี้ยวได้รับความนิยมจากผู้บริโภคสูง โดยนิยมทานเป็นอาหารทานเล่นยามว่างหรือระหว่างการทำกิจกรรมต่าง ๆ นอกจากนี้วิถีการดำเนินชีวิตของผู้บริโภคที่เร่งรีบมากขึ้น ส่งผลให้บทบาทของขนมขบเคี้ยวในปัจจุบันมีแนวโน้มเป็นมากกว่าของทานเล่น แต่ได้เข้ามาทดแทนมื้ออาหารหลักในบางครั้ง (ศูนย์วิจัยกสิกรไทย , 2560)

การสร้างสรรค์มูลค่าเพิ่มให้กับอาหาร (Value added) และมูลค่าเพิ่มนั้นจำต้องส่งไปถึงผู้บริโภคได้สำเร็จอีกด้วย (Consumer communication) การเพิ่มมูลค่าเพิ่มให้อาหารที่ผลิตนั้นไม่จำเป็นเฉพาะในเรื่องของ “คุณประโยชน์เพื่อสุขภาพ” เท่านั้นหากแต่ครอบคลุมไปในด้านอื่น ๆ ที่คำนึงถึงผู้บริโภคเป็นหลักไม่ว่าจะเป็นด้านคุณภาพ มาตรฐานในการผลิต รสชาติที่หลากหลาย ความ

สะดวกในการบริโภค เพื่อเพิ่มความสามารถในการแข่งขันในอุตสาหกรรมอาหารให้เท่าทันต่อการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมผู้บริโภคและเศรษฐกิจโลกในอนาคต (ศูนย์วิจัยกสิกรไทย, 2560)

สำหรับจังหวัดเพชรบุรี มีการปลูกพืชผักผลไม้หลายชนิดด้วยกัน เช่น ข้าว มะพร้าว อ้อย มะม่วง ถั่วเหลือง ถั่วเขียว ข้าวโพด ชมพู่ กระท้อน มะนาว สับปะรด กล้วยน้ำว้า กล้วยไข่ และกล้วยหอม เป็นต้น โดยมีกล้วยหอมทองเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจสูง จึงมีการปลูกกล้วยหอมทองกันมาก ในปี 2558 มีพื้นที่ปลูกกล้วยหอม 2,025 ไร่ โดยแบ่งพื้นที่ให้ผลผลิต 1,460 ไร่ พื้นที่ที่ยังไม่ให้ผลผลิต 565 ไร่ มีผลผลิตกล้วยหอมทองเฉลี่ย 3,973 กิโลกรัมต่อไร่ คิดเป็นผลผลิตโดยรวมประมาณ 5,800.58 ตัน (สำนักงานเกษตรจังหวัดเพชรบุรี, 2561)

กล้วยหอมทอง เป็นพืชเศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่มีศักยภาพในการส่งออก โดยเฉพาะตลาดญี่ปุ่นมีความต้องการสูง แต่ด้วยคุณลักษณะของกล้วยหอมทอง ที่มีน้ำหนัก แต่ละลูกเรียงกันอยู่ในหวีอย่างสวยงาม สีผิวของกล้วยเมื่อสุกจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองทอง รสชาติดี มีกลิ่นหอม น่ารับประทาน อีกทั้งผลผลิตมีความปลอดภัย ไม่มีสารเคมีตกค้างปนเปื้อน ทำให้กล้วยหอมทองของไทยได้รับความนิยม เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคในตลาดญี่ปุ่น ซึ่งนับวันแนวโน้มความต้องการของตลาดยิ่งเพิ่มมากขึ้น (สำนักงานสหกรณ์จังหวัดเพชรบุรี, 2561)

กล้วยหอมทอง (*Musa acuminate* (AAA group) 'Gross Michel') เป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางอาหาร มีรสชาติหอมหวานและมีกลิ่นหอมเฉพาะตัวซึ่งในยุคปัจจุบันผู้บริโภคให้ความสำคัญต่อการรับประทานผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ (healthy foods) กันมากขึ้น หรือกลุ่มของผลิตภัณฑ์อาหารฟังก์ชั่น (function foods) (ปิยนุสร์ น้อยด้วง และปัทมา คล้ายจันทร์, 2548) โดยคุณค่าทางโภชนาการของกล้วยหอมทองต่อ 100 กรัม มีดังนี้ พลังงาน 132 กิโลแคลอรี่ น้ำร้อยละ 66.3 โปรตีนร้อยละ 0.9 ไขมันร้อยละ 0.2 กรัม คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 31.7 ใยอาหารร้อยละ 1.9 เถ้าร้อยละ 0.8 แคลเซียม 26 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส 46 มิลลิกรัม เหล็ก 0.8 มิลลิกรัม วิตามินซี 27 มิลลิกรัม เบต้า- แคโรทีน 99 ไมโครกรัม และวิตามินเอ 17 ไมโครกรัม (กรมอนามัย, 2544)

ปัจจุบันประเทศไทยได้มีปริมาณผลผลิตและการส่งออกกล้วยหอมเพิ่มมากขึ้น แต่มีผลผลิตจำนวนไม่น้อยที่ไม่ได้มาตรฐานในการส่งออกและถูกคัดทิ้งแม้คุณภาพของเนื้อยังดีอยู่ จึงไม่สามารถส่งออกไปจำหน่ายยังตลาดต่างประเทศได้ และถ้าจำหน่ายในประเทศจะมีราคาถูกทำให้เกษตรกรผู้ปลูกกล้วยหอมทองขาดรายได้ในส่วนนี้ จึงได้ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับแนวทางการเพิ่มมูลค่าของกล้วยหอมทอง ด้วยการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองทอดกรอบด้วยระบบสุญญากาศเพื่อเพิ่มมูลค่าและนำไปสู่แนวทางการจัดการการผลิตในเชิงพาณิชย์ที่เหมาะสม เพื่อให้มีการใช้ประโยชน์ได้อย่างยั่งยืน เป็นการช่วยพัฒนาเศรษฐกิจของท้องถิ่น และความเป็นอยู่ของประชาชนได้ต่อไป

จากพฤติกรรมการบริโภคของผู้บริโภคที่เปลี่ยนแปลงไปและแนวโน้มการเติบโตทางบวกในตลาดข้างต้นนั้น จึงเป็นที่มาการศึกษาวิจัยศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในกระบวนการผลิตกล้วย

หอมทองทอด ด้วยเครื่องทอดแบบสุญญากาศเพื่อเป็นการแปรรูปกล้วยหอมทองที่ขนาดไม่ได้มาตรฐาน เน่าเสียและเป็นการเพิ่มมูลค่าและความหลากหลายของผลิตภัณฑ์จากกล้วยหอมทอง

จากการศึกษาเบื้องต้นปัจจุบัน พบว่ามีกล้วยหอมทองเป็นจำนวนมากที่มีคุณลักษณะด้อยไม่ได้คุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐาน ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงได้ศึกษาพัฒนาและออกแบบผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ เพื่อเป็นการแปรรูปกล้วยหอมทองที่ขนาดไม่ได้มาตรฐาน เน่าเสียและเป็นการเพิ่มมูลค่าและความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ตลอดจนเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญนำไปสู่แนวทางการจัดการการผลิตในเชิงพาณิชย์ที่เหมาะสม เพื่อให้มีการใช้ประโยชน์ได้อย่างยั่งยืน เป็นการช่วยพัฒนาเศรษฐกิจของท้องถิ่น และความเป็นอยู่ของประชาชนในชุมชนท้องถิ่นกลุ่มเป้าได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย โครงการวิจัยนี้เป็นโครงการวิจัย 1 ปี เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาระยะการสุกของกล้วยหอมทองที่มีคุณลักษณะไม่ได้คุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐานเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ

1.2.2 เพื่อศึกษาการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลของเอนไซม์ในกล้วยหอมทองที่ทำแห้งด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ

1.2.**3** เพื่อศึกษาสภาวะการทำแห้งผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ

1.2.4 ศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.3.1 ตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

กล้วยหอมทองจากสหกรณ์การเกษตรบ้านลาด และสหกรณ์การเกษตรท่ายาง ที่ไม่ได้คุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐาน

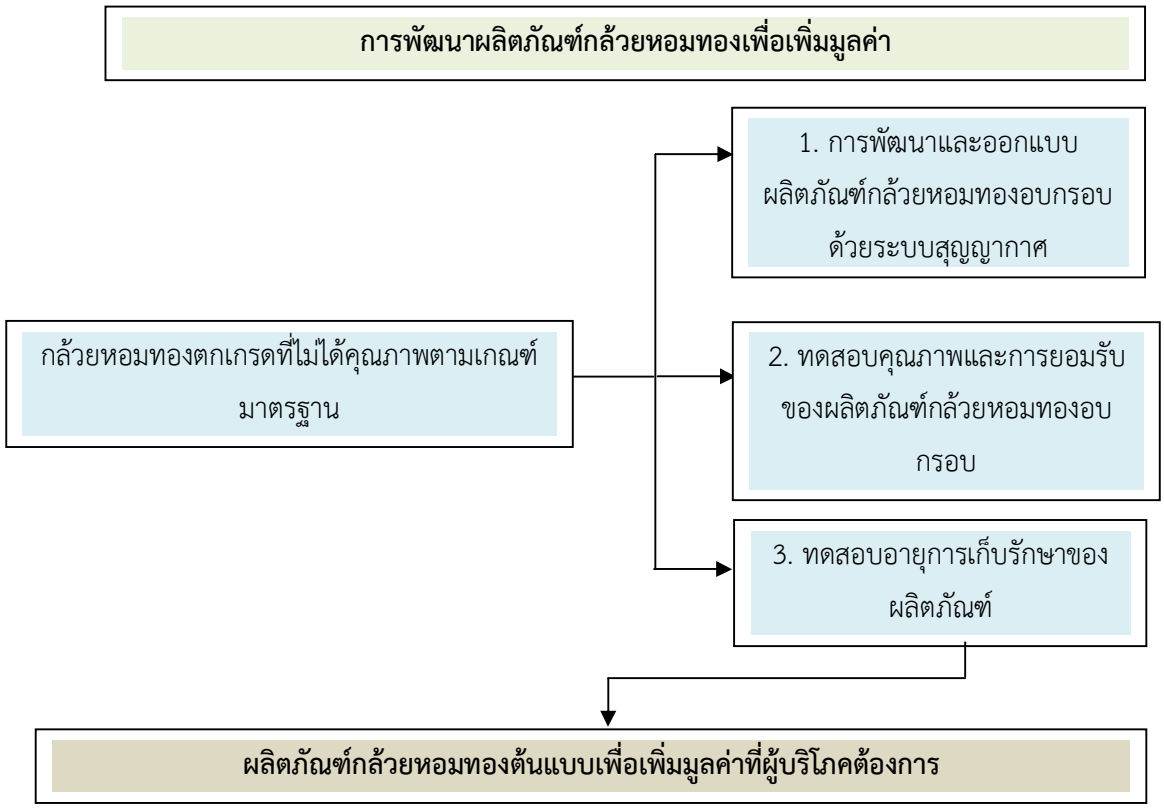
1.3.2 สถานที่ทดลอง

ห้องปฏิบัติการสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

1.4 คำนิยามศัพท์เฉพาะ

กล้วยหอมทอง หมายถึง ผลไม้ชนิดหนึ่งที่จัดอยู่ในสายพันธุ์ที่เป็นทริปพลอยด์ของกลุ่มกล้วยป่า *Musa acuminate* จัดอยู่ในกลุ่ม AAA เป็นกล้วยราคาแพง ผลขนาดกลางถึงใหญ่ เปลือกหนามีสีเหลือง เนื้อละเอียดมีสีครีม รสหวาน กลิ่นหอม เรียกอีกชื่อหนึ่งว่าว่า กล้วยหอมกรอสมิเชล (Gross Michel)

1.5 กรอบแนวคิดในการวิจัย



ภาพที่ 1.1 กรอบแนวความคิดในการวิจัย

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพิ่มมูลค่าและใช้ประโยชน์จากกล้วยหอมทอง
2. ได้ผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศเพื่อเป็นทางเลือกให้แก่ผู้บริโภค

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวความคิดทางทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

กล้วยหอมทองที่มีการปลูกในประเทศไทย ลักษณะทั่วไปจะมีลำต้นสูงประมาณ 3 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 20 เซนติเมตร กาบล้าต้นด้านนอกมีประดำ ด้านในสีเขียวอ่อน มีลายเส้นสีชมพู ก้านใบมีร่องค่อนข้างกว้าง เส้นกลางใบสีเขียว ส่วนของดอก ก้านเครือมีขน ปลีรูปไข่ค่อนข้างยาว ปลายแหลม ด้านบนมีสีแดงอมม่วง กล้วยเครือหนึ่งมี 5-6 หวี หวีหนึ่งมี 12-16 ผล ปลายผลมีจุกเห็นชัด เปลือกบาง เมื่อสุกเปลี่ยนเป็นสีเหลืองทอง เนื้อสีเหลืองเข้ม กลิ่นหอม รสหวานน่ารับประทาน (สำนักงานสหกรณ์จังหวัดเพชรบุรี, 2561)

กล้วยหอมทองที่ปลูกในประเทศไทย เป็นกล้วยหอมสายพันธุ์กรอสมิเชลที่ต่างจากทั่วไปที่ต้นไม่สูงใหญ่ ให้ผลผลิตต่ำ มี 4-6 หวี ต้นไม่แข็งแรง แต่คุณภาพเนื้อเป็นที่ชอบของคนไทยทั่วไป กล้วยหอมทองส่วนใหญ่ปลูกในแถบภาคกลางโดยเฉพาะปทุมธานีและกรุงเทพฯหรือจังหวัดใกล้เคียง กล้วยหอมทองปลูกเป็นสินค้าเพื่อการส่งออกมานาน และปริมาณการส่งออกได้ลดลงไปอย่างมาก (เบญจมาศ ศิลาย้อย, 2545) แต่ตั้งแต่ปี 2536 ที่มีการส่งออกประเทศญี่ปุ่นซึ่งเน้นกล้วยปลอดสารพิษ ทำให้ตลาดกล้วยหอมของไทยในประเทศญี่ปุ่นมีปริมาณการส่งออกเพิ่มขึ้น ในรูปกล้วยดิบเนื่องจากมีบางประเทศที่มีมาตรการการนำเข้าที่เข้มงวดเช่น สหรัฐอเมริกา ออสเตรเลียนิวซีแลนด์ ไต้หวัน โดยการห้ามนำผลกล้วยสดเข้าประเทศเนื่องจากเป็นพืชอาศัยของแมลงวันทองอย่างไรก็ตามโอกาสที่จะเปิดตลาดกล้วยไปยังประเทศเหล่านี้ก็มีมากขึ้น โดยการเจรจาต่อรองในเรื่องความเสี่ยงของศัตรูพืชใช้ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ สนับสนุนว่ากล้วยดิบไม่ได้เป็นพืชอาศัยของแมลงวันทอง (พวงผกา คมสัน, 2545) มีการปลูกกล้วยหอมทองที่ไม่ใช้สารเคมีที่จังหวัดเพชรบุรีและจังหวัดชุมพร เพื่อการส่งออกขายที่ประเทศญี่ปุ่นเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งนับเป็นประเทศที่มีการรับซื้อกล้วยหอมทองมากที่สุด ในปี 2543 จำนวน 1,327 ตัน ส่วนปี 2545 เพิ่มขึ้นเป็น 1,836 ตัน (สำนักงานสหกรณ์จังหวัดเพชรบุรี, 2561)

ในการผลิตกล้วยเพื่อการส่งออกนั้น จะต้องควบคุมคุณภาพให้ได้ตามมาตรฐานการส่งออก ดังเช่นเงื่อนไขในการผลิตกล้วยหอมทองของสหกรณ์ผู้บริโภคโตโต้ประเทศญี่ปุ่น กำหนดกล้วยหอมทองที่ส่งออกจะต้องเป็นการผลิตที่ไม่ใส่ปุ๋ยเคมีและไม่ฉีดพ่นสารเคมีโดยเด็ดขาด ขนาดของผลกล้วยหอมทองจะต้องมีน้ำหนักไม่ต่ำกว่า 100 กรัม สีผิวของกล้วยไม่ช้ำ กล้วยหอมทองที่ส่งออกต้องไม่สุกก่อนที่จะไปถึงประเทศญี่ปุ่น ถ้ากล้วยสุกจะถูกห้ามนำเข้าและต้องนำไปทิ้ง โดยกล้วยหอมต้องมีความแก่ประมาณร้อยละ 70 ต้องปราศจากศัตรูพืชโรคและแมลง (กรมส่งเสริมสหกรณ์, 2560)

กล้วยหอมทองที่ไม่ได้มาตรฐานการส่งออก โดยทั่วไปจะมีปริมาณร้อยละ 10 - 20 ของปริมาณกล้วยส่งออก เมื่อปริมาณการส่งออกเพิ่มมากขึ้น ปริมาณกล้วยตกเกรดก็จะมากขึ้นด้วย ซึ่งกล้วยที่ไม่ได้มาตรฐานการส่งออกที่ถูกคัดทิ้งนี้ บางครั้งคุณภาพของเนื้อยังดีอยู่เพียงแต่ผิวและรูปร่างไม่สวย ขนาดเล็กเกินไป ดังนั้นจึงควรนำกล้วยเหล่านี้มาแปรรูป ซึ่งการแปรรูปกล้วยหอมทองในประเทศไทยนั้นไม่หลากหลายเนื่องจาก ส่วนใหญ่ใช้รับประทานสดและอาจรับประทานร่วมกับไอศกรีม ฟรุตสลัดและเป็นส่วนผสมในเค้ก ซึ่งกล้วยเหล่านี้หากรู้ปริมาณที่ชัดเจนแน่นอน จะสามารถกำหนดได้ว่าเพียงพอสำหรับการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการแปรรูปในระดับอุตสาหกรรมต่อไป ในหลายประเทศที่เป็นผู้ส่งออกกล้วยหอมจะนำกล้วยหอมทองที่ไม่ได้มาตรฐานมาแปรรูป เช่น ประเทศคอสตาริกา (เบญจมาศ ศิลาย้อย, 2545)

2.2 ความรู้ทั่วไปของกล้วยหอมทอง

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของกล้วยหอมทอง เป็นสายพันธุ์ที่มาจากกล้วยป่ามีถิ่นกำเนิดในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และมีการกระจายพันธุ์ไปสู่ประเทศละตินอเมริกา เป็นผลไม้ที่มีการปลูกกันมาก เนื่องจากเป็นผลไม้ที่นิยมนำมารับประทานกันเป็นประจำ อีกทั้งยังสามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารได้หลากหลายชนิด และมีคุณค่าทางโภชนาการสูง กล้วยหอมทองที่มีการปลูกกันประเทศไทย เป็นสายพันธุ์ที่มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Musa acuminata* (AAA Group) กลุ่มย่อย Gross Michel สามารถพบกล้วยชนิดนี้ได้ทางภาคกลางและภาคใต้ ได้แก่จังหวัดปทุมธานี นนทบุรี เพชรบุรี และสุราษฎร์ธานี เป็นต้น ปัจจุบันมีการปลูกเป็นการค้ากันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีรสชาติดี ผลสวยงาม และมีกลิ่นหอม เป็นที่ต้องการของตลาดต่างประเทศ ราคาค่อนข้างแพง กล้วยหอมทองลำต้นมีความสูงประมาณ 2.5 - 3.5 เมตร ลำต้นภายนอกจะมีกาบเป็นรอยประสีดำเล็กน้อย ส่วนภายในจะเป็นสีเขียว ผลมีลักษณะเป็นเครือยาวแยกออกเป็นหวี ๆ ในเครือหนึ่งจะมีอยู่ประมาณ 4 - 6 หวี และในหวีหนึ่ง ๆ จะมีผลอยู่ประมาณ 12 - 16 ผล เปลือกผลหนาเมื่อยังอ่อนอยู่จะมีเปลือกสีเขียว และจะกลายเป็นสีเหลืองทองเมื่อสุกแต่ปลายจุกยังมีสีเขียว ส่วนภายในผลจะมีเนื้อที่ละเอียดเป็นสีครีม สีเหลือง หรือสีส้มอ่อน ๆ มีกลิ่นหอม รสหวาน ไม่มีเมล็ด ความกว้างของผลมีประมาณ 3 - 4 เซนติเมตร ยาวประมาณ 18 - 25 เซนติเมตร (เบญจมาศ ศิลาย้อย, 2545)

การสุกของกล้วยหอมทอง กล้วยหอมทองจัดเป็นผลไม้ประเภทตามการเปลี่ยนแปลงของอัตราการหายใจที่แตกต่างกัน เมื่อผลสุกจะมีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้น และมีการสังเคราะห์เอทิลีนเพิ่มขึ้นเช่นกัน ซึ่งเอทิลีนจะเป็นตัวช่วยกระตุ้นและเร่งการสุกของกล้วยให้สุกได้เร็วขึ้น ระยะการสุกของกล้วยสังเกตได้จากการเปลี่ยนสีของเปลือกกล้วย การอ่อนตัวของเนื้อเยื่อ การสังเคราะห์น้ำตาล ก๊าซเอทิลีน และอัตราการหายใจที่เปลี่ยนไป ผลไม้สุกจะมีการเปลี่ยนแปลงของโมเลกุลต่าง ๆ ภายในเซลล์โดยเฉพาะเพคติน และมีการเปลี่ยนแปลงของแป้งไปเป็นน้ำตาล

การแบ่งระยะการสุกของกล้วยภายหลังจากตัด สามารถแบ่งออกได้เป็น 7 ระยะ ดังนี้ (เบญจมาศ ศิลาย้อย, 2545)

ระยะที่ 1 เปลือกเขียว ผลแข็ง ไม่มีการสุก

ระยะที่ 2 เริ่มเปลี่ยนจากสีเขียวออกเหลืองเล็กน้อย

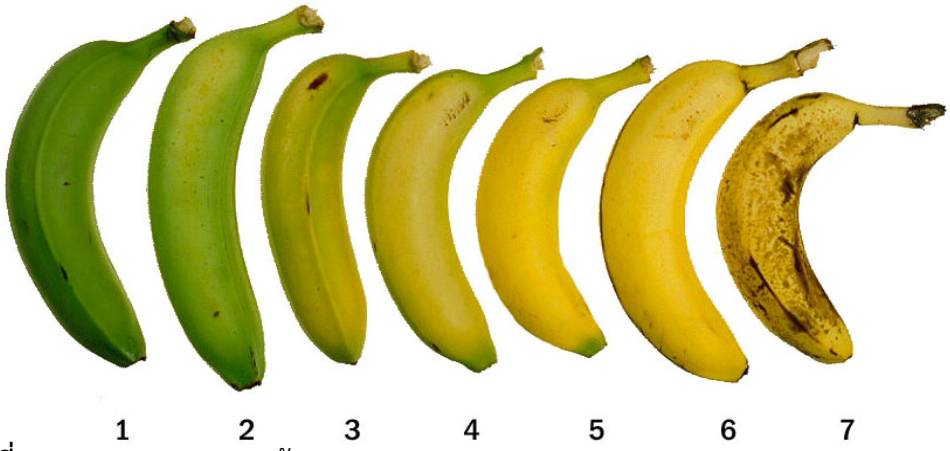
ระยะที่ 3 เริ่มเปลี่ยนจากเขียวออกเหลืองมากขึ้น แต่ยังมีสีเขียวมากกว่าสีเหลือง

ระยะที่ 4 เริ่มเปลี่ยนจากเขียวออกเหลือง แต่มีสีเหลืองมากกว่าสีเขียว

ระยะที่ 5 เปลือกเป็นสีเหลือง แต่ปลายจุกยังเป็นสีเขียว

ระยะที่ 6 ทั้งผลมีสีเหลือง

ระยะที่ 7 ผิวสีเหลือง และเริ่มมีจุดสีน้ำตาล



ภาพที่ 2.1 ระยะการสุกของกล้วยหอมทอง

ที่มา : เบญจมาศ ศิลาย้อย (2545)

2.3 องค์ประกอบทางเคมีของกล้วยหอมทอง

กล้วยดิบมีองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตส่วนใหญ่เป็นแป้ง เมื่อสุกจะถูกเปลี่ยนเป็นน้ำตาล ดังนั้นกล้วยจึงเป็นแหล่งพลังงานที่ดี จะเห็นได้ว่ากล้วยเป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางอาหารสูงใกล้เคียงกับมันฝรั่ง แต่มีไขมัน โคเลสเตอรอลและเกลือแร่ต่ำ จึงเหมาะสำหรับเป็นอาหารของผู้ที่ต้องการลดความอ้วน กล้วยมีเกลือโซเดียมเพียงเล็กน้อย แต่เป็นแหล่งที่สำคัญของโปแตสเซียม แมกนีเซียม และฟอสฟอรัส (358.2 27.02 และ 22.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ) ซึ่งสามารถช่วยลดความดันโลหิตได้ นอกจากนี้มีการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีกล้วยหอมทองผลสุกแสดงในตารางที่ 2.1 พบว่ามีความชื้น ร้อยละ 77.19 ไขมัน ร้อยละ 0.73 โปรตีน ร้อยละ 1.82 คาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 18.42 และเถ้า ร้อยละ 0.65 นอกจากนั้นในกล้วยหอมยังจัดเป็นผลไม้ที่มีแร่ธาตุสูงได้แก่แคลเซียม 14.27 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส 21.09 มิลลิกรัม เหล็ก 8.71 มิลลิกรัม ยังพบว่ามี บีตา-คาโรทีน (beta-carotene) 589.40 มิลลิกรัม และกรดแอสคอบิค 11.06 มิลลิกรัม (เบญจมาศ ศิลาย้อย, 2545)

ตารางที่ 2.1 ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของกล้วยหอมทองที่ระยะการสุกต่าง ๆ (ร้อยละ)

ระยะการสุก	น้ำตาลรีดิวซ์	ซูโครส	โปรตีน	ไขมัน	เส้นใย	สตาร์ช	เถ้า
1	1.30	6.01	5.62	0.80	0.49	58.58	3.31
2	10.76	18.42	4.88	0.75	0.60	42.42	3.53
3	11.45	21.35	4.93	0.73	0.62	39.78	3.54
4	12.39	27.88	5.38	0.74	0.68	37.59	3.58
5	25.00	53.07	5.77	0.76	0.78	9.70	3.90
6	31.22	51.89	5.65	0.71	0.49	6.30	3.73
7	33.82	51.98	5.60	0.83	0.30	3.33	4.05

ที่มา : (Kotecha and Desai, 1995)

องค์ประกอบทางเคมีของกล้วยหอมทองที่ระยะการสุก 7 ระยะ (ตารางที่ 2.1) ระยะการสุกที่ 7 จะมีปริมาณน้ำตาลรีดวซ์สูงสุดคือ ร้อยละ 33.82 น้ำตาลซูโครสที่ระยะการสุกที่ 6 และ 7 มีปริมาณใกล้เคียงกันที่ร้อยละ 51.89 และ 51.98 โปรตีนระยะการสุกที่ 5 มีปริมาณสูงสุดที่ร้อยละ 5.77 ไขมันระยะการสุกทั้ง 7 ระยะมีปริมาณใกล้เคียงกันเฉลี่ยที่ร้อยละ 0.76 เส้นใยที่ระยะการสุกที่ 5 มีปริมาณสูงสุดที่ร้อยละ 0.78 สตาร์ช ระยะการสุกที่ 1 – 4 จะมีปริมาณสตาร์ชมากกว่าระยะการสุกที่ 5 – 7 ส่วนเถ้าระยะการสุกที่ 7 จะมีปริมาณสูงสุดที่ร้อยละ 4.05

คาร์โบไฮเดรตในกล้วยมีอยู่ทั้งในรูปอาหารสะสมและในโครงสร้างได้แก่ แป้งมีสะสมในกล้วยมากเช่นเดียวกับมะม่วงและทุเรียน ในกล้วยผลดิบมีแป้งประมาณร้อยละ 20-25 โดยเมื่อกล้วยสุกแป้งเกือบทั้งหมดจะถูกเปลี่ยนเป็นน้ำตาลจะเหลือแป้งประมาณร้อยละ 1-2 น้ำตาล ในกล้วยประกอบด้วย ซูโครส กลูโคส และฟรุกโตส ในอัตราส่วนของซูโครสร้อยละ 66 กลูโคสร้อยละ 22 และฟรุกโตสร้อยละ 14 ตามลำดับ ซึ่งน้ำตาลทั้ง 3 ชนิดจะมีการเปลี่ยนแปลงรูปกันได้ ด้วยเอนไซม์หลายชนิด เช่น อินเวอร์เตส (invertase) ซึ่งจะเร่งปฏิกิริยาการเปลี่ยนน้ำตาลซูโครสเป็นน้ำตาลกลูโคสและฟรุคโตส (Kotecha และคณะ, 2008)

นอกจากแป้งและน้ำตาลที่มีความสำคัญด้านรสชาติแล้ว ยังมีคาร์โบไฮเดรตชนิดอื่นที่เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ คือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และเพคติน ซึ่งมีส่วนสำคัญต่อเนื้อสัมผัส เซลลูโลสเป็นโพลีแซคคาไรด์ ประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคส เกาะกันด้วยพันธะไกลโคซิดิกที่ตำแหน่งบีตา 1,4 เป็นลูกโซ่ยาวประมาณ 2,000 โมเลกุลใน primary cell wall และอย่างน้อย 14,000 โมเลกุลใน secondary cell wall ทำหน้าที่ให้ความแข็งแรงกับผนังเซลล์ของพืช สำหรับกล้วยจะมีปริมาณเพคตินมาก ซึ่งจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงเมื่อสุก เพคตินเป็นโพลีเมอร์ของกรดกาแลกตูโคนิกและอาจมีหมู่เมธิลมาเกาะอยู่ด้วยโมเลกุลของเพคตินจะแทรกอยู่ระหว่างเซลลูโลส

ในทำนองเดียวกับเฮมิเซลลูโลส แต่ส่วนมากจะอยู่บริเวณมิดเดิลลาเมลล่า (middle lamella) เพคติน ในรูปโปรโตเพคตินจะไม่ละลายน้ำเนื่องจากมีหมู่เมธิลอยู่มาก เมื่อกล้วยสุกจะเปลี่ยนเป็นรูปที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้น (เบญจมาศ ศิลาย้อย, 2545)

ตารางที่ 2.2 คุณค่าทางโภชนาการของผลกล้วยหอมทองสุก 100 กรัม

คุณค่าทางโภชนาการ	ปริมาณ	
พลังงาน	88.0	แคลอรี่
น้ำ	74.80	กรัม
โปรตีน	1.20	กรัม
ไขมัน	0.20	กรัม
น้ำตาล	20.40	กรัม
แป้ง	1.20	กรัม
ขี้เถ้า	0.80	กรัม
วิตามินเอ	430.0	หน่วยสากล
ไทอามีน (วิตามินบี 1)	0.04	มิลลิกรัม
พลังงาน	88.0	แคลอรี่
น้ำ	74.80	กรัม
โปรตีน	1.20	กรัม
ไขมัน	0.20	กรัม
น้ำตาล	20.40	กรัม
แป้ง	1.20	กรัม
ขี้เถ้า	0.80	กรัม
วิตามินเอ	430.0	หน่วยสากล
ไทอามีน (วิตามินบี 1)	0.04	มิลลิกรัม

ที่มา : (วิจิตร วังใน, 2530)

2.4 การทำแห้งอาหาร (Dehydration)

การทำแห้ง คือ การทำแห้ง หรือการดึงน้ำออก อาจเรียกว่า การอบแห้ง (drying) การทำแห้งเป็นวิธีการถนอมอาหาร (food preservation) ที่นิยมใช้มานาน โดยลดความชื้น (moisture content) ของอาหารด้วยการระเหยน้ำ ด้วยการอบแห้ง (dehydration) การทอด (frying) หรือการระเหิดน้ำส่วนใหญ่ในอาหารออก การทำแห้งอาหารที่มีประสิทธิภาพสูง ต้องคำนึงถึงคุณภาพของ

อาหารที่ได้ภายหลังการทำแห้งแล้ว เช่น การคืนตัว (rehydration) ด้วยการดูดน้ำกลับเข้าไปใหม่ คุณค่าทางโภชนาการ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และรูปทรง (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์, 2559)

2.4.1 วัตถุประสงค์ของการทำแห้งอาหาร

1) ยืดอายุการเก็บรักษา การทำแห้งเป็นการลดปริมาณน้ำในอาหาร เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ทุกชนิด เช่น รา (mold) ยีสต์ (yeast) แบคทีเรีย (bacteria) ที่เป็นสาเหตุให้อาหารเสื่อมเสีย (microbial spoilage) ยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์ (enzyme) หรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ ทั้งทางเคมีและทางชีวเคมี ซึ่งมีน้ำเป็นส่วนร่วมและเป็นสาเหตุให้อาหารเสื่อมเสีย (food spoilage)

2) ทำให้อาหารปลอดภัย การลดปริมาณน้ำในอาหารโดยการทำแห้ง ทำให้อาหารมีค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (water activity) น้อยกว่า 0.6 ซึ่งเป็นระดับที่ปลอดภัยจากจุลินทรีย์ก่อโรค (pathogen) รวมทั้งยับยั้งการสร้างสารพิษของเชื้อรา (mycotoxin) เช่น อะฟลาทอกซิน (Aflatoxin)

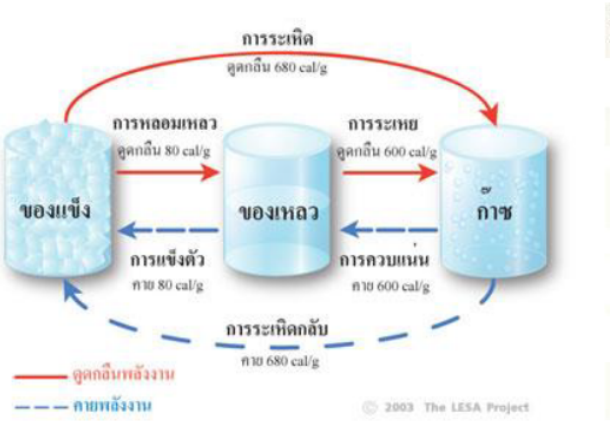
3) เพื่อทำให้อาหารมีน้ำหนักเบา ลดปริมาตร ทำให้สะดวกต่อการขนส่ง การบริโภค หรือการนำไปเป็นวัตถุดิบในการแปรรูปต่อเนื่องด้วยวิธีอื่น ๆ

4) สร้างผลิตภัณฑ์ใหม่ที่เป็นทางเลือกของผู้บริโภคมากขึ้น

2.4.2 กระบวนการทำแห้งอาหาร

การอบแห้งเป็นกระบวนการลดความชื้นหรือกำจัดน้ำออกจากผลิตภัณฑ์โดยใช้ความร้อนภายใต้สภาวะควบคุม ซึ่งจะมีการถ่ายโอนความร้อนและถ่ายเทมวลสารเกิดขึ้นพร้อม ๆ กัน ช่วยลดค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ในผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีผลยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์และการทำงานของเอนไซม์ ลดน้ำหนัก และปริมาณของผลิตภัณฑ์ทำให้สะดวกในการขนส่ง และเก็บรักษา ช่วยรักษาคุณภาพให้ได้ยาวนานขึ้น การพัฒนาวิธีการอบแห้งจะใช้เทคนิคและหลักวิชาทางวิศวกรรมโดยอาศัยหลักการส่งผ่านความร้อนเข้าไปในชิ้นผลิตภัณฑ์ทำให้น้ำหรือความชื้นกลายเป็นไอระเหยออกไปจากผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ ความร้อนที่ส่งเข้าไปอาจจะเป็นการนำความร้อน การพาความร้อน หรือการแผ่รังสีทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งเร็วขึ้น คุณภาพดี มีความชื้นต่ำได้คุณภาพตามที่ต้องการ และสามารถควบคุมอัตราการอบแห้งได้ นอกจากนี้การอบแห้งยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เคมี และโภชนาการเกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการอบแห้งโดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่มีความไวต่อความร้อน เช่น อาหารและชีวผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ทำให้ สี คุณค่าทางอาหาร รสชาติ และโครงสร้างมีการสูญเสียเกิดขึ้น การอบแห้งสามารถทำได้หลายวิธีซึ่งแต่ละวิธีมีทั้งข้อดี และข้อเสียที่แตกต่างกันไป การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze dehydration หรือ lyophilization) หมายถึงการทำแห้ง (dehydration) ด้วยการแช่เยือกแข็ง (freezing) ทำให้น้ำเปลี่ยนสถานะเป็นผลึกน้ำแข็งก่อน แล้วจึงลดความดันเพื่อให้

ผลึกน้ำแข็งระเหิด (sublimation) เป็นไอ ด้วยการลดความดันให้ต่ำกว่าบรรยากาศปกติ ขณะควบคุมให้อุณหภูมิต่ำ (ที่อุณหภูมิ เท่ากับ หรือ ต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส น้ำแข็งระเหิดที่ความดันเท่ากับ 4.7 มิลลิเมตรปรอทหรือต่ำกว่า) (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์, 2559)

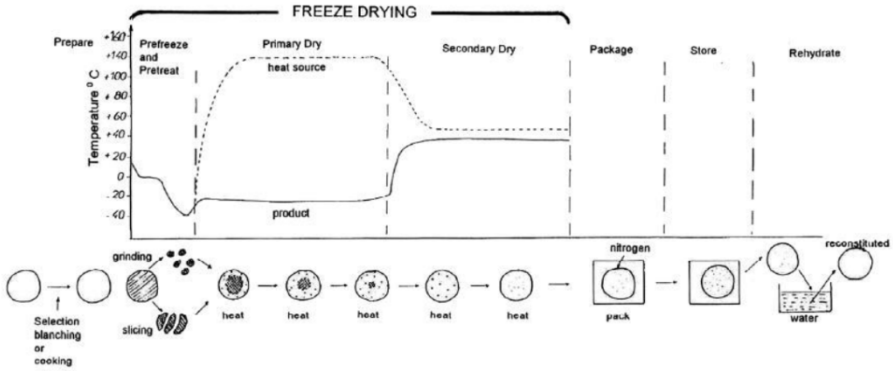


ภาพที่ 2.2 กระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

ที่มา : (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์, 2559)

ขั้นตอนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์, 2559)

ขั้นตอนเบื้องต้นสำหรับการผลิตอาหารด้วยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งก็เหมือนกับการผลิตอาหารแห้งโดยทั่วไปคือเริ่มจากการเตรียมวัตถุดิบให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสมเช่น การล้างการปอกเปลือกการลดขนาดจากนั้นจึงเข้าสู่กระบวนการหลักซึ่งประกอบด้วย 3 ขั้นตอนคือ



ภาพที่ 2.3 ขั้นตอนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

ที่มา : (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์, 2559)

ขั้นตอนที่ 1 การแช่เยือกแข็ง (freezing) เป็นการลดอุณหภูมิของอาหารให้ต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง (freezing point) เพื่อให้เกิดผลึกน้ำแข็ง (ice crystal formation) อัตราเร็วของ

การแช่เยือกแข็ง (freezing rate) ควรเป็นการแช่เยือกแข็งแบบเร็วเพื่อให้เกิดผลึกและผลึกที่เกิดขึ้นจะมีขนาดเล็กการแช่เยือกแข็งแบบเร็วที่นิยมใช้กันมีหลายวิธีเช่นการแช่เยือกแข็งแบบใช้ลมเย็นเป่า (air blast freezing) การแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจน (cryogenic freezing) และการแช่เยือกแข็งแบบจุ่มในของเหลวเย็นจัด (immersion freezing) เป็นต้น

ขั้นตอนที่ 2 การทำแห้งขั้นต้น (primary drying) เป็นการลดปริมาณน้ำ (dehydration) โดยการระเหิดน้ำแข็งให้เป็นไอโดยการลดความดันบรรยากาศเพื่อให้ผลึกน้ำแข็งที่อยู่ภายในเกิดการระเหิดเป็นไอออกไปจากผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ระดับของสุญญากาศ (vacuum) ควรอยู่ต่ำกว่า 132 ปาสคาล (Pa) และ 132 มิลลิปาสคาล (mPa) ตามลำดับการระเหิดของผลึกน้ำแข็งจึงเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์การระเหิดของชั้นน้ำแข็ง (ice layer) จะเริ่มจากชั้นน้ำแข็งบริเวณผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ระเหิดไปเป็นไอทำให้บริเวณนี้กลายเป็นชั้นแห้ง (dry layer) จากนั้นเป็นการระเหิดของชั้นน้ำแข็งที่อยู่ภายในผลิตภัณฑ์ระเหิดผ่านชั้นแห้งออกไปสู่ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ระยะเวลาการระเหิดขึ้นอยู่กับขนาดรูปร่างและโครงสร้างของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด

ขั้นตอนที่ 3 การทำแห้งขั้นที่สอง (secondary drying) เมื่อการทำแห้งขั้นต้นเสร็จสมบูรณ์น้ำแข็งจะระเหิดไปหมดจะมีน้ำเกาะติดหลงเหลืออยู่ (Bound Water) จึงต้องมีการทำแห้งด้วยการเพื่ออุณหภูมิให้สูงขึ้นเพื่อดึงเอาความชื้นที่เหลืออยู่ออกถึงระดับความชื้นที่ปลอดภัยสำหรับการเก็บรักษา

ข้อดีการการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเป็นการทำแห้งขณะที่อาหารมีอุณหภูมิต่ำจึงลดการสูญเสียของอาหารเนื่องจากความร้อน ลดการทำลายเนื้อเยื่อและโครงสร้างของอาหารทำให้ได้อาหารแห้งที่มีคุณภาพสูง มีการคืนตัว (rehydration) ที่ดี สามารถรักษาคุณภาพอาหาร เช่น สี กลิ่น รสชาติ และลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารได้ดีเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการทำแห้งแบบอื่น แต่มีข้อเสียคือค่าใช้จ่ายสูง (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์, 2559)

การประยุกต์การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งในอาหาร

การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเหมาะกับอาหารที่ไวต่อการสูญเสียคุณภาพและคุณค่าทางโภชนาการด้วยความร้อนเช่นผักผลไม้สมุนไพรอาหารทะเลอาหารที่ต้องการรักษาและมีสมบัติในการคืนสภาพได้ดี (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์, 2559)

2.5 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Browning reaction)

ผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิดมักจะเกิดการเปลี่ยนสีเป็นสีเข้มหรือคล้ำมากขึ้น หรือกลายเป็นสีน้ำตาลในระหว่างกระบวนการผลิตทั้งแบบที่มีเอ็นไซม์และไม่มีเอ็นไซม์การเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวมีความสำคัญต่อคุณภาพอาหารซึ่งอาจทำให้อาหารมีคุณภาพดีขึ้น หรือเลวลงได้ดังนั้นการ

เปลี่ยนแปลงสีจึงมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมการแปรรูปอาหาร ดังนั้นจึงต้องมีระบบที่ใช้ในการวัดสี ปัจจัยหลักที่ใช้ในการวัดสีได้แก่แหล่งกำเนิดแสงตามนุษย์และช่วงคลื่นแสงที่ตามนุษย์สามารถมองเห็นได้อยู่ในช่วง 380-770 นาโนเมตรโดยระบบที่นิยมใช้มี 3 ระบบ ได้แก่ ระบบ Munsell ระบบ CIE และระบบ Hunter การเปลี่ยนแปลงของสีของอาหารเกิดจากปฏิกิริยาสีน้ำตาลมักเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิตเช่นปอกแอปเปิลหรือกล้วยแล้ววางทิ้งไว้จะเกิดการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลบริเวณที่ปอกเรียกปฏิกิริยานี้ว่าปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลซึ่งการเกิดสีน้ำตาลในอาหารส่วนใหญ่ไม่เป็นที่ต้องการเพราะบางครั้งอาจทำให้รสชาติไม่ดีและทำให้ลักษณะภายนอกของอาหารไม่น่าดูและไม่น่ารับประทานการเกิดสีน้ำตาลในอาหารมี 2 แบบ คือปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่อาศัยเอนไซม์ และปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2557)

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล มี 2 ประเภท ได้แก่

1) ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่อาศัยด้วยเอนไซม์ (Enzymatic browning reaction) ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์เป็นการเปลี่ยนสีของอาหารที่เป็นผลมาจากสารประกอบจำพวกโมโนฟีนอลในเซลล์พืชในรูปที่มีออกซิเจนและเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส ถูกเติมหมู่ไฮดรอกซิลทำให้เกิดเป็นสารออร์โท-ไดฟีนอล (*O*-diphenol) และสารนี้จะถูกออกซิไดซ์ต่อไปเป็นออร์โท-ควิโนน (*O*-quinones) ค่าพีเอชที่เหมาะสมของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส คือระหว่าง 5-7 เอนไซม์นี้ค่อนข้างจะไม่ทนความร้อนและสามารถถูกยับยั้งด้วยกรดเฮไลด์ (halides) ฟีนอลแอซิค (phenol acids) ซัลไฟด์สารที่จับกับโลหะ สารรีดิวซ์ เช่น กรดแอสคอร์บิก สารจับควิโนน (quinine couplers) เช่น ซีสเตอีนและสารประกอบอื่น ๆ ที่สามารถจับกับสารที่เป็นสับสเตรทได้สารควิโนนจะเปลี่ยนแปลง และจับรวมตัวกันทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดกับสารประกอบฟีนอลอื่น ๆ หรือกับกรดอะมิโนได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำตาล (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2557)

2) ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ (Non - enzymatic browning reaction) ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์จะเกิดขึ้นเมื่ออาหารได้รับความร้อนจะมีการรวมตัวกันของหมู่อะมิโนกับสารประกอบรีดิวซิงซึ่งสามารถพัฒนาเป็นสารเชิงซ้อนสีเหลืองจนกระทั่งเป็นสีน้ำตาลแดงทำให้อาหารมีกลิ่นและรสชาติที่เฉพาะซึ่งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์สามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ

1. ปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) การเปลี่ยนสีเป็นผลมาจากปฏิกิริยาของหมู่คาร์บอนิล (carbonyl group) และหมู่อะมิโนที่เป็นอิสระซึ่งนำไปสู่การเกิดเม็ดสีน้ำตาลของเมลานอยดิน (melanoidin) การเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดเป็นการจำกัดอายุการเก็บรักษาของน้ำผักและผลไม้ ผักและผลไม้แห้ง และผลิตภัณฑ์จากส้ม นอกจากนี้การเกิดสีน้ำตาลที่เป็นผลมาจากการเสื่อมเสียของน้ำตาลเองหรือเกิดจากการออกซิเดชันของกรดแอสคอร์บิกจะเกิดปฏิกิริยาของสารประกอบคาร์บอนิล โดยผ่านขบวนการอัลโดลคอนเดนเซชัน (aldol condensation) หรือเกิดปฏิกิริยากับ

หมู่อะมิโนให้ผลลัพธ์เป็นสารสีน้ำตาล การเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ในอาหารนั้นจะเกิดได้มากน้อยขึ้นอยู่กับสารตั้งต้นของการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (maillard precursor) เช่น วิตามินซี ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ ปริมาณออกซิเจน อุณหภูมิและเวลาของการเก็บรักษา (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2557)

2. ปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชัน (Caramelization reactions) การเกิดสีน้ำตาลที่เกิดจากน้ำตาลที่อยู่ในสภาวะอุณหภูมิสูงและเกิดการสูญเสียน้ำโดยไม่มีสารประกอบพวกอะมิโนหรือโปรตีน น้ำตาลบริสุทธิ์จะเกิดคาราเมลไลเซชันอย่างเร็วที่อุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส ตัวเร่งปฏิกิริยา คือ ฟอสเฟตอัลคาไลน์ กรด และเกลือของกรดคาร์บอกซิลิค เช่น ซิเตรทฟูมาเรตและมาเลต สำหรับกลไกในการเกิดปฏิกิริยาเป็นที่ทราบกันว่าคล้ายกับการเกิดสีน้ำตาลระหว่างน้ำตาลและกรดอะมิโนเปลี่ยนเป็นปฏิกิริยาการสูญเสียน้ำออกจากโมเลกุล (enolization dehydration) และแตกตัวเป็นไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟิวรัล (hydroxymethylfurfural) (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2557)

2.6 การควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล

สารเคมีหลายชนิดมีประสิทธิภาพในการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล แต่มีเพียงไม่กี่ชนิดที่สามารถนำมาใช้ในผักและผลไม้ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2557) ได้แก่การควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลทางเคมี

การควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลทางเคมี สามารถทำได้ดังนี้

1. การปรับให้เป็นกรด เนื่องจากค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์ฟีนอเลส อยู่ระหว่าง 5-7 และเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงเอนไซม์จะถูกยับยั้งการทำงานเพราะสูญเสียสภาพธรรมชาติ (protein denaturation) เช่น เมื่อมีค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 3 หรือต่ำกว่า ดังนั้นการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างด้วยการใช้กรดอินทรีย์ เช่น กรดซิตริก (citric acid) กรดมาลิก (malic acid) กรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) ทำให้มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับหรือต่ำกว่า 3 เป็นการช่วยยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้ (Buedo และคณะ, 2001)

2. การใช้สารคีเลต (chelating agents) เช่น กรดเอทิลีนไดอามีนเตตราอาเซติก (Ethylene diamine tetraacetic acid : EDTA) เพื่อจับกับโลหะที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของเอนไซม์เกิดเป็นสารคีเลต ซึ่งเป็นการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ (Belitz และ Groseh, 1999)

3. การใช้สารรีดิว์ซซิงเอเจนต์ (reducing agent) เพื่อรีดิวซ์ o-quinone กลับเป็นสารประกอบฟีนอล ซึ่งเป้นสารไม่มีสี สารรีดิว์ซซิงเอเจนต์ที่ใช้ได้แก่

3.1 สารประกอบซัลไฟต์ (sulfites agent) การใช้สารประกอบพวกซัลไฟต์เป็นสารที่รู้จักกันทั่วไปสามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในผักและผลไม้ระหว่างขั้นตอนการแปรรูปและในการเก็บรักษา มีการใช้ในรูปเกลือต่าง ๆ เช่น โซเดียมซัลไฟต์ (Na_2SO_3) โซเดียมไบซัลไฟต์ ($NaHSO_3$)

โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ($Na_2S_2O_3$) รวมทั้งเกลือในรูปของโพแทสเซียมด้วย สารเหล่านี้จะช่วยยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้ทั้งที่เกิดจากเอนไซม์และไม่อาศัยเอนไซม์ นอกจากนี้ยังสามารถใช้แทนสารต้านอนุมูลอิสระซึ่งซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทำหน้าที่เป็นตัวยับยั้งเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสและทำปฏิกิริยากับสารตัวกลางได้เป็น Quinine-sulfur complexs ซึ่งสามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลได้ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2557)

3.2 กรดอิริทอร์เบต และเกลือของกรดอิริทอร์เบต เช่น โซเดียมอิริทอร์เบต (sodium erythorbate) (Belitz และ Groseh, 1999)

4. การป้องกันไม่ให้สัมผัสกับออกซิเจน เช่น การจุ่มผักผลไม้ในน้ำเชื่อมหรือน้ำเกลือ หรือใช้การบรรจุแบบสุญญากาศ (vacuum packaging) หรือการดัดแปรสภาพบรรยากาศ (modified atmosphere packaging, MAP) (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์, 2559)

ตารางที่ 2.3 ชนิดของสารเคมีที่ใช้เพื่อป้องกันการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์

Carboxylic acid	Ascorbic acid and its derivatives	sulfur dioxide	Phenolic acid	Others
Acetic acid	Ascorbic acid	Sulfites	Caffeic acid	4-Hexyl
Citric acid	Ascorbate	Sulfur dioxide	Chlorogenic acid	resorcinol
Formic acid	Erythorbic acid	Cysteine	Cinnamic acid	Honey
Lactic acid	Erythorbate	Methionine	Coumatic acid	Salt (NaCl)
Malic acid		Glutathione	Feruric acid	
		Histidine		

ที่มา : (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์, 2559)

2.7 บรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแห้ง (Packaging for dried foods)

บรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแห้ง (packaging for dried foods) วัตถุประสงค์เพื่อให้อาหารแห้ง (dried food) ซึ่งผ่านการทำแห้ง (dehydration) และอาจจะมีลักษณะเป็นผง เป็นก้อน หรือเป็นชิ้น มีค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (water activity) น้อยกว่า 0.6 (เจิมขวัญ สังข์สุวรรณ, 2541)

2.7.1 สมบัติของบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแห้ง

1. สามารถป้องกันความชื้น (moisture barrier) บรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแห้งจะต้องป้องกันการดูดซึมกลับความชื้นจากบรรยากาศ อากาศรอบ ๆ คือควรมีค่าอัตราการดูดซึมกลับ

ความชื้น (water vapor transmission rate) ต่ำ ซึ่งค่านี้ขึ้นอยู่กับ ชนิด และคุณภาพตลอดจนความหนาของวัสดุที่ใช้ผลิตบรรจุภัณฑ์ อาหารแห้งที่มีส่วนประกอบที่ดูดน้ำได้ดี (hydroscopic) เช่น น้ำตาล โดยเฉพาะน้ำตาลฟรักโทส (fructose) ความชื้นจะเป็นเหตุสำคัญที่ทำให้อาหารแห้งเน่าเสีย (food spoilage) ได้ดังนี้

1.1 การเสื่อมเสียทางกายภาพ เช่น การเกาะกันเป็นก้อนสำหรับอาหารผง ทำให้ไม่สามารถไหลได้อย่างเป็นอิสระ หรือมีการเยิ้มของน้ำตาล

1.2 การเสื่อมเสียทางเคมี เช่น การเกิดกลิ่นหืน (rancidity) เพราะน้ำเป็นสาเหตุเริ่มต้นของการเกิดปฏิกิริยาไฮดรีไลซีส (hydrolysis) ทำให้ไตรกลีเซอไรด์ในโมเลกุลของน้ำมันและไขมันสลายตัวเป็นกรดไขมันอิสระ โดยเฉพาะกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของการเกิดปฏิกิริยาลิพิดออกซิเดชั่น (lipid oxidation)

1.3 การเสื่อมเสียทางจุลินทรีย์ น้ำที่ดูดกลับไปในอาหารทำให้มีค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (water activity) เพิ่มขึ้นซึ่งค่าจุลินทรีย์แต่ละประเภทจะมีค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ต่ำที่สุดที่จุลินทรีย์เจริญได้แตกต่างกันไป แต่โดยทั่วไปแล้วหากมีการลดค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ลงให้ต่ำกว่า 0.6 จะไม่มีจุลินทรีย์ชนิดใดสามารถเจริญเติบโตได้

2. สามารถป้องกันอากาศ อากาศโดยเฉพาะออกซิเจน เป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี เช่น ปฏิกิริยาลิพิดออกซิเดชั่น (lipid oxidation) ซึ่งทำให้อาหารเกิดกลิ่นหืนและยังเป็นผลให้อาหารสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ โดยเฉพาะกรดไขมันที่จำเป็น (essential fatty acid) บรรจุภัณฑ์อาหารแห้งที่ดีจะต้องสามารถป้องกันก๊าซออกซิเจนจากสภาวะอากาศรอบ ๆ ผ่านเข้าไปในภาชนะบรรจุ นอกจากนี้อาจใช้สารดูดซับออกซิเจน (oxygen absorber) เพื่อช่วยดูดซับออกซิเจนที่มีอยู่แล้วในบรรจุภัณฑ์ก่อนปิดผนึกและจะซึมผ่านบรรจุภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษา

3. มีความทนทานต่อการกดหรือการกระแทก บรรจุภัณฑ์อาหารแห้งที่ดีจะต้องทนต่อการกดและการกระแทกได้ดี ทั้งนี้เนื่องจากเนื้ออาหารแห้งมักแข็ง เปราะ แตกง่าย และมีส่วนแหลมคมสามารถทิ่มแทงภาชนะบรรจุได้

2.7.2 วัสดุบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแห้ง วัสดุบรรจุภัณฑ์ (packaging material) ที่เหมาะสมสำหรับอาหารแห้ง (เจิมขวัญ สังข์สุวรรณ, 2541) ได้แก่

1. ถุงกระดาษคราฟท์ (Kraft Paper)

กระดาษคราฟท์ (Kraft Paper) คือ กระดาษที่ผลิตจากเยื่อเคมี (chemical pulp) ที่ได้จากกระบวนการคราฟท์ (kraft process) เป็นการใช้เทคโนโลยีในการแปลงสภาพจากเนื้อไม้เป็นเยื่อกระดาษไม้ (wood pulp) โดยใช้สารเคมีและความร้อนในการแยกเยื่อ และขจัดลิกนินเยื่อกระดาษที่ได้จากกระบวนการคราฟท์นี้ จะได้กระดาษที่มีความแข็งแรงหรือเหนียวกว่ากระดาษ

ชนิดอื่น โดยปกติกระดาษคราฟท์จะมีสีน้ำตาล ตามสีของเนื้อไม้ที่นำมาผลิต แต่สามารถนำมาฟอกสีให้มีเนื้อสีขาวได้

กระดาษคราฟท์เป็นกระดาษที่มีความเหนียวและแข็งแรงกว่ากระดาษธรรมดา สามารถป้องกันแรงอัดและการทิ่มแทงจากการกระทบกระแทกจากภายนอกได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติในการต้านทานการเปียกน้ำ ต้านทานการเปรอะน้ำมัน ต้านทานการเสียดสี มีน้ำหนักกระดาษมีความหนา และมีความเรียบสม่ำเสมอ สามารถติดกาวได้ดี และเหมาะสำหรับการพิมพ์ จากคุณลักษณะที่ดีเด่นของกระดาษคราฟท์ชนิดต่าง ๆ ดังกล่าว แล้วทำให้สามารถนำมาแปรรูปเป็นบรรจุภัณฑ์และภาชนะหีบห่อได้อย่างเหมาะสม ทั้งด้านการผลิต การบรรจุและการขนส่ง นอกจากนี้ยังสามารถนำกลับมาหมุนเวียนใช้เป็นวัตถุดิบ ในการผลิตกระดาษได้อีก ช่วยให้ลดปัญหามลพิษด้านสภาวะแวดล้อมลงได้ระดับหนึ่งดังนั้น กระดาษคราฟท์จึงเป็นวัสดุบรรจุภัณฑ์ที่นิยมใช้กันมากในวงการอุตสาหกรรม

2. ถุงอลูมิเนียมฟอยล์

ถุงฟอยล์ที่มีฟิล์มพลาสติกอยู่หลายชั้น ได้แก่ พอลีเอทิลีน (polyethylene) ฟิล์มนี้จะอยู่ชั้นสุดของถุงฟอยล์ เพราะปลอดภัยเมื่อสัมผัสกับอาหาร สามารถยืดหยุ่นได้ดี ทนต่อความชื้น และสารเคมีพอลีเอสเตอร์ (polyester) มีคุณสมบัติที่ความใส เรียบ ทนความร้อนได้สูงจึงเหมาะกับการบรรจุของที่มีความร้อน

ถุงฟอยล์มีประโยชน์ที่เป็นถุงที่ไม่มีกลิ่นเหม็น มีรสและไม่เป็นพิษ ถุงฟอยล์จึงนิยมและเหมาะสำหรับใช้เป็นถุงเก็บหรือบรรจุอาหาร ถุงฟอยล์ยังมีข้อเด่นที่มีความทึบแสง ช่วยให้ยืดอายุผลิตภัณฑ์ได้ นอกจากนี้ถุงฟอยล์ยังมีความสามารถสะท้อนความร้อน จึงช่วยลดความร้อนภายในถุงและสินค้าถุงฟอยล์เป็นฉนวนป้องกันความร้อนชั้นดี ถุงฟอยล์จึงเหมาะกับใส่บรรจุอาหารที่ต้องการรักษาอุณหภูมิให้คงที่ ทั้งเย็นและร้อนในกรณีผลิตภัณฑ์ที่ต้องรักษาความเย็นถุงฟอยล์ช่วยรักษาอุณหภูมิให้เย็นได้นานขึ้น เพราะในถุงฟอยล์มีแผ่นเปลวอะลูมิเนียมที่สะท้อนรังสีความร้อนได้ จึงทำให้ความเย็นอยู่นานขึ้น ละลายช้าลง หากเป็นผลิตภัณฑ์ ที่ต้องรักษาความร้อนให้คงที่แผ่นเปลวอะลูมิเนียมในถุงฟอยล์จะเก็บความร้อนได้มิดชิดนอกจากการเก็บรักษาอุณหภูมิแล้วถุงฟอยล์ยังมีความยืดหยุ่นมาก เวลาโดนความร้อนจะไม่ย่น โดนความเย็นก็ไม่หดตัว เปลี่ยนรูปได้จึงสะดวกในการเคลื่อนย้าย การขนส่ง เพราะโค้งงอและเข้าสู่สภาพเดิมได้เร็ว สำหรับอาหารที่นิยมใช้ถุงฟอยล์เช่น อาหารพร้อมทาน อาหารที่ต้องนำเข้าเตาอบ เป็นต้น

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทองจวน วิพัฒน์เจริญลาภ และคณะ (2558) ได้ทำการศึกษากรรมวิธีสละอบแห้งแบบระเหิดพร้อมบริโภค ศึกษาระยะเวลาในการอบที่เหมาะสมของสละแช่อิ่มอบแห้งโดยกรรมวิธี Freeze Drying โดยได้ศึกษาระยะเวลาในการอบที่ต่างกัน 5 ระดับใช้ความเข้มข้นของน้ำเชื่อมที่ 40 องศาบริกซ์ ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสทางด้านความชอบรวมของสละแช่อิ่มอบแห้งโดยกรรมวิธีอบแห้งแบบระเหิด พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนความชอบที่ระยะเวลา 20 ชั่วโมงมากที่สุดและศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพ เคมีและจุลินทรีย์ของสละแช่อิ่มอบแห้งโดยกรรมวิธี Freeze Drying ผลการตรวจสอบทางด้านกายภาพด้านค่าสีพบว่ามีค่า L a b คือ 68.78 8.78 และ 26.47 ตามลำดับ ด้านเนื้อสัมผัส 134.56 นิวตัน จากการตรวจสอบทางด้านเคมี พบว่ามีปริมาณความชื้นร้อยละ 4.30 ไขมันร้อยละ 0.08 โปรตีนร้อยละ 0.19 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 86.59 เส้นใยร้อยละ 8.02 เถ้าร้อยละ 0.82 และปริมาณน้ำอิสระ (aw) ร้อยละ 0.34 การตรวจสอบทางด้านจุลินทรีย์ พบว่าปริมาณราและยีสต์ในสละแช่อิ่มอบแห้ง มีน้อยกว่า 300 โคโลนีต่อมิลลิกรัม และไม่พบเชื้อ *Escherichia coli*

พนิดา เมฆทัพ และมยุรี กระจายกลาง (2558) ได้ทำการศึกษาผลของกรดแอสคอร์บิกต่อคุณภาพการเก็บรักษาสับปะรดห้วยมุ่นตัดแต่ง โดยวิธีการลดเกิดสีน้ำตาลภายหลังการตัดแต่งและชะลอการเสื่อมสภาพของสับปะรดตัดแต่งพร้อมบริโภคโดยการแช่กรดแอสคอร์บิกร้อยละ 0 (น้ำกลั่นชุดควบคุม) ร้อยละ 0.5 หรือร้อยละ 1.0 นาน 2 นาที ตามลำดับ ผึ่งให้แห้ง บรรจุในกล่องพลาสติกที่มีฝาปิด เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 วัน พบว่าสารละลายแอสคอร์บิกที่ร้อยละ 0.5 ชะลอการเสื่อมสภาพของสับปะรดตัดแต่งได้ดีที่สุด โดยประเมินจากลักษณะที่ปรากฏและให้คะแนนการยอมรับสูงสุดเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ส่งผลให้มีอายุการเก็บรักษานานสุด 8.5 วันที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม และสารละลายแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 ซึ่งให้อายุการเก็บรักษา 7.5 และ 7 วัน ตามลำดับ

ธีรนุช เร่งวัฒนะชัย และคณะ (2554) ได้ทำการศึกษาผลของกรดแอสคอร์บิกและการลวกต่อการเกิดสีน้ำตาลของกล้วยหอมแช่เยือกแข็ง และศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกล้วยหอมแช่เยือกแข็งมาผลิตเป็นสมูตตี้ ในการทดลองใช้กล้วยหอมพันธุ์หอมทอง มาผ่านทรีตเมนต์ต่าง ๆ คือ ตัวอย่างควบคุม ตัวอย่างที่แช่กรดแอสคอร์บิก ร้อยละ 2 ร้อยละ 3 เป็นเวลา 5 นาที และลวกน้ำร้อนอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที แล้วนำมาแช่เยือกแข็งด้วยสารไครโอเจน (Cryogenic Freezer) และนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 วัน จากนั้นนำตัวอย่างไปทำละลาย และตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพด้านค่าสี และคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่ากล้วยหอมที่ผ่านการแช่กรดแอสคอร์บิก ร้อยละ1 ร้อยละ 2 และร้อยละ 3 มีค่าความสว่างมากกว่าตัวอย่างควบคุม และการลวก ส่วนผู้ทดสอบชอบสีของตัวอย่างที่แช่กรดแอสคอร์บิก ร้อยละ 3 มากที่สุด ($p<0.05$) ผู้วิจัยจึงเลือกตัวอย่างที่แช่กรดแอสคอร์บิก ร้อยละ 2 และร้อยละ 3 และแช่เยือกแข็งมา

ผลิตสมูตตี้ พบว่าผู้ทดสอบชอบตัวอย่างที่มีการแช่กรดแอสคอร์บิก ร้อยละ 2 มากกว่าตัวอย่างที่แช่กรดแอสคอร์บิก ร้อยละ 3 และตัวอย่างควบคุม เพราะผู้บริโภคไม่ชอบรสชาติที่เปรี้ยวเกินไปของตัวอย่างที่แช่กรดแอสคอร์บิก ร้อยละ 3 ดังนั้นตัวอย่างกล้วยหอมที่แช่กรดแอสคอร์บิก ร้อยละ 2 เป็นเวลา 5 นาที ก่อนการแช่เยือกแข็ง จึงมีความเหมาะสมที่นำมาผลิตเป็นสมูตตี้กล้วยหอม

สุริยัณห์ สุภาพวานิช และคณะ (2543) ได้ทำการศึกษาการเกิดสีน้ำตาลที่เป็นผลของกรดแอสคอร์บิก การลวก และการลวกร่วมกับกรดแอสคอร์บิกต่อคุณภาพและการยับยั้งสีน้ำตาลในไซรัปกล้วยไข่ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มที่ 1 ชุดควบคุม กลุ่มที่ 2 กรดแอสคอร์บิกร้อยละ 1 โดยการผสมลงไปในน้ำตาล กลุ่มที่ 3 การลวกที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 6 นาที และกลุ่มที่ 4 การลวกร่วมกับกรดแอสคอร์บิกร้อยละ 1 ผลการทดลองพบว่าการลวกร่วมกับกรดแอสคอร์บิกสามารถเพิ่มปริมาตรไซรัปกล้วย มากกว่าทุกชุดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญ ($p< 0.05$) และพบว่าการลวกร่วมกับกรดแอสคอร์บิกให้ค่าความใสในไซรัปกล้วยสูงสรุปได้ว่าการใช้การลวกร่วมกับกรดแอสคอร์บิกเป็นวิธีที่เหมาะสมในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลและปรับปรุงคุณภาพของไซรัปกล้วยไข่

Chokri Hammami และ Frederic Rene (1997) ได้ทำการศึกษากระบวนการผลิตชิ้นสตรอเบอร์รี่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งโดยศึกษาวิธีพื้นผิวตอบสนอง (ตัวแบบกำลังสอง) การทำงานของความดัน (P) และอุณหภูมิแผ่นให้ความร้อน (T) เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบของเกณฑ์คุณภาพผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย (ลักษณะปรากฏ รูปร่าง สี เนื้อสัมผัส อัตราการคืนน้ำ) โดยการทดลองการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่เกี่ยวข้องกับชั้นความหนาของชิ้นสตรอเบอร์รี่ มีการดำเนินงานที่สอดคล้องกับสองปัจจัย (P,T) พบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือ ความดัน 30 ปาสคาล และอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งอยู่ระหว่าง 60 ถึง 65 ชั่วโมงเป็นเงื่อนไขที่ดีที่สุด

กรกช ใจวรรณ และคณะ (2551) ได้ทำการศึกษาผลิตภัณฑ์ลูกเดือยอบพองปรุงแต่งรสบาร์บีคิว รูปแบบการบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ (Al_Nor) และบรรจุแบบเติมก๊าซไนโตรเจนในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ (Al_N_2) เป็นวิธีการที่สามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ชนิดนี้ได้นานถึง 3 เดือน ไม่ว่าจะเก็บรักษาที่สภาวะอุณหภูมิใด ลักษณะคุณภาพทางกายภาพและทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ยังคงใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่เตรียมใหม่ มีแนวโน้มที่ยังคงคุณภาพอยู่ในระดับการยอมรับได้ ดังนั้นรูปแบบการบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ (Al_Nor) เป็นรูปแบบที่เหมาะสมที่สุดในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ชนิดนี้เนื่องจากมีต้นทุนในการบรรจุต่ำกว่ารูปแบบการบรรจุแบบเติมก๊าซไนโตรเจนในบรรจุภัณฑ์อะลูมิเนียมฟอยล์ (Al_N_2)

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุ และอุปกรณ์

3.1.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตกล้วยหอมทองอบกรอบด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ

1) อุปกรณ์เครื่องครัว

3.1.2 เครื่องมือสำหรับวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

1) วัดค่าสี L* a* b* โดยใช้เครื่องวัดค่าสี ยี่ห้อ HunterLab รุ่น Ultrascan VIS (U.S.A.) ระบบ CIE L*a*b*

2) วัดเนื้อสัมผัส ใช้เครื่อง Texture Analyzer (Stable micro systems รุ่น TA-XT plus, England) หัววัด HDP/CFS

3.1.3 เครื่องมือสำหรับวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

1) เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) ยี่ห้อ Satorius รุ่น PB-11(Germany)

2) เครื่องวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (Extraction system) รุ่น B 811

3) ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) ยี่ห้อ Memmert รุ่น UE 600 (Germany)

4) เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Satorius รุ่น BP 210S (Germany)

5) เครื่องวัดความหวาน (Refractrometer) ยี่ห้อ ATAGO รุ่น RX5000α (Japan)

3.1.4 เครื่องมือสำหรับวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยา

1) หม้อนึ่งความดัน (Autoclave) ยี่ห้อ Rexmed รุ่น RAU-530D (Taiwan)

2) ตู้บ่มเพาะเชื้อ (Incubator) ยี่ห้อ Selecta (Spain) รุ่น 2000237 (Spain)

3.1.5 เครื่องมือสำหรับวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

1) อุปกรณ์ในการทดสอบทางประสาทสัมผัส เช่น ถ้วย ช้อน ถาดแก้วน้ำ

2) แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

3.1.6 วัตถุดิบ

1) กล้วยหอมทอง

2) ถุงอลูมิเนียมฟอยด์ ถุงกระดาษคราฟท์ และถุงพลาสติกโพลีโพรพิลีน

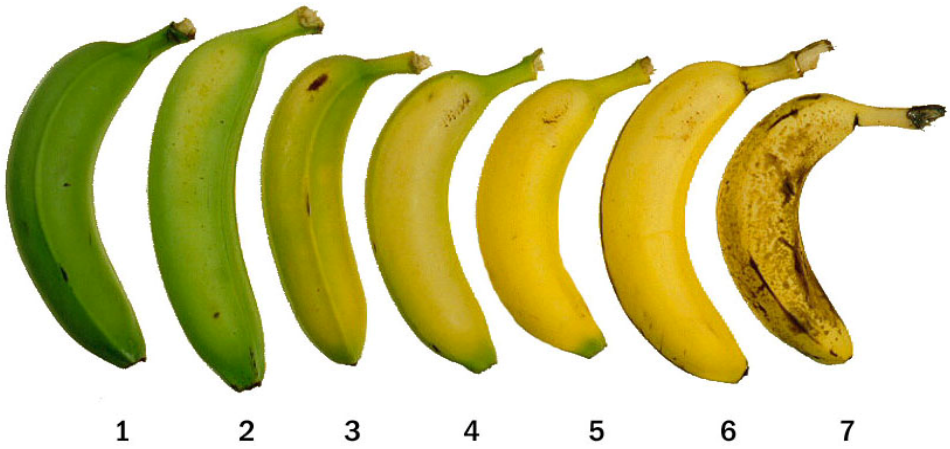
3.2 แบบแผนการดำเนินงานวิจัย วิธีการดำเนินการวิจัย มีดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาและพัฒนาการออกแบบผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบแห้งด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ และทดสอบการยอมรับของผลิตภัณฑ์ให้เป็นไปตามความต้องการของผู้บริโภค มีขั้นตอนย่อย 3 ขั้นตอนดังนี้

ตอนที่ 1.1 ศึกษาระยะการสุกของกล้วยหอมทองที่เหมาะสมต่อการทำแห้งกล้วยหอมทองอบกรอบด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ

โดยนำกล้วยหอมทองที่มีคุณลักษณะไม่ได้คุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐานมาบ่มให้มีระยะสุกตามดัชนีสีเปลือกที่อยู่ในระยะการสุกที่ 4 5 และ 6 มาปอกเปลือกชั่งน้ำหนักเนื้อ และเปลือกนำกล้วยมาหั่นเป็นชิ้นตามขวางให้มีความหนาประมาณ 0.5 เซนติเมตร เพื่อคัดเลือกระยะการสุกของกล้วยหอมทองที่เหมาะสมต่อการทำแห้งด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศที่ผู้ทดสอบยอมรับมากที่สุดสำหรับใช้ในการทดลองขั้นตอนที่ 2

ระยะสุกตามดัชนีสีเปลือกของกล้วยหอมทอง โดยมีการจำแนกระยะการสุกของกล้วยจากสีผิวออกเป็น 7 ระยะ (ดังภาพที่ 3.1) คือ ระยะที่ 1 Green เปลือกเขียว ผลแข็งไม่มีการสุก ระยะที่ 2 Green with a trace of yellow เริ่มเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นเหลืองนิด ๆ ระยะที่ 3 More green than yellow เปลี่ยนจากเขียวเป็นเหลืองมากขึ้น แต่ยังมีสีเขียวมากกว่าเหลือง ระยะที่ 4 More yellow than เปลือกมีสีเหลืองมากกว่าเขียว ระยะที่ 5 Green tip เปลือกเป็นสีเหลืองแต่ปลายยังเขียวอยู่ ระยะที่ 6 All yellow มีสีเหลืองทั้งผล (ผลสุก) และระยะที่ 7 Yellow flecked with brown ผิวสีเหลืองมีจุดกระสีน้ำตาล (สุกเต็มที่มีกลิ่นหอม) (เบญจมาศ ศิลาย้อย, 2545)



ภาพที่ 3.1 ระยะการสุกของกล้วยหอมทอง
ที่มา : เบญจมาศ ศิลาย้อย (2545)

นำมาทดสอบค่าปัจจัยคุณภาพก่อนและหลังการทำแห้ง ได้แก่

1.1.1 การตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ

1.1.1.1 การวัดค่าลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความแน่นเนื้อของกล้วยหอมทองด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture analyzer) ยี่ห้อ Stable micro systems รุ่น TA-XT plus (England) โดยสุ่มวัดผลกล้วยที่ยังไม่ปอกเปลือก และปอกเปลือกแล้ว ใช้หัววัดแบบ P/6 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 5 มิลลิเมตร กดลึกลงไปในเนื้อกล้วย 5 มิลลิเมตร ความเร็วในการกด 1 มิลลิเมตรต่อวินาที ระยะห่างระหว่างหัวกดกับแท่นรองผลเท่ากับ 50 มิลลิเมตร ค่าความแน่นเนื้อที่ได้บันทึกผลหน่วยเป็นหน่วยนิวตัน (Newton : N/mm)

1.1.1.2 การวัดค่าสี ระบบ L* a* และ b* โดยใช้เครื่องวัดค่าสี ยี่ห้อ HunterLab รุ่น Ultrascan VIS (U.S.A.) ใช้โปรแกรม Universal ดัดแปลงวิธีของ Fernandez (2003) ปรับมาตรฐานสีสำหรับการวัดแบบ Reflectance จากนั้นวัดค่าสีของตัวอย่างโดย ค่า L* หมายถึง ค่าความสว่างของสีจาก 0 – 100 (สีดำ – สีขาว) ค่า a* หมายถึง ค่าสี เขียวไปจนถึงสีแดง (ค่า a* เป็นบวก) หมายถึง สีแดง ค่า a* เป็นลบ หมายถึง สีเขียว) ค่า b* หมายถึง ค่าสีน้ำเงินไป จนถึงสีเหลือง (ค่า b* เป็นลบ หมายถึง สีน้ำเงิน ค่า b* เป็นบวก หมายถึง สีเหลือง) (วัชรี เทพโยธิน และคณะ, 2556) โดยสุ่มวัดผลกล้วยที่ยังไม่ปอกเปลือก และปอกเปลือกแล้ว โดยวัดส่วนของผิวนอกผล จำนวน 3 จุดต่อผลเพื่อหาค่าเฉลี่ยต่อผล

1.1.2 คุณภาพทางประสาท โดยใช้การทดสอบแบบ 9-Point hedonic scale ให้คะแนนการยอมรับ 9 ระดับ (1 = ไม่ชอบมากที่สุด 5 = บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ 9 = ชอบมากที่สุด) โดยการทำประเมินคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ ความกรอบ และความชอบโดยรวมของกล้วยหอมทองอบกรอบด้วยด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศจากผู้ทดสอบชิมจำนวน 50 คน โดยผู้ทดสอบชิมที่ไม่ได้ผ่านการฝึกฝน

1.1.3 การตรวจสอบคุณภาพทางเคมี มีดังนี้

1.1.3.1 การวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยใช้เครื่อง pH meter รุ่น PB-11 Sartorius (Germany) ตามวิธี (AOAC, 2000)

1.1.3.2 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solid) โดยใช้เครื่อง Automatic digital refractometer ยี่ห้อ ATAGO รุ่น RX5000α (Japan) ตามวิธี AOAC (2000)

1.1.3.3 ปริมาณความชื้น ตามวิธี AOAC (2000)

1.1.3.4 ปริมาณกรดซิตริก ตามวิธี (AOAC, 2000)

1.1.3.5 ปริมาณน้ำอิสระ (Aw) ตามวิธี (AOAC, 2000)

ตอนที่ 1.2 ศึกษาการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลของเอนไซม์ในกล้วยหอมทองที่ทำแห้งด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ ทำการศึกษาโดยการนำกล้วยหอมทองที่มีระยะการสุกที่ 5 จากการคัดเลือกในขั้นตอนที่ 1 มาศึกษาชนิดและปริมาณของสารละลายกรดในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลจากเอนไซม์ของกล้วยหอมทอง โดยนำกล้วยหอมทองมาหั่นตามขวางมีความหนา 0.5 เซนติเมตร แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ 1) นำแช่ไปในสารละลายกรดแอสคอร์บิก ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0 1.0 และ 2.0 เป็นเวลา 2 นาที และ 2) นำไปแช่ในสารละลายกรดซิตริก ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0 1.0 และ 2.0 เป็นเวลา 2 นาที เพื่อให้ได้ระดับอุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมต่อการทำแห้งกล้วยหอมทองด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ ผลิตภัณฑ์ที่ได้ทำการตรวจสอบคุณภาพ ดังนี้

1.2.1 การตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ

1.2.1.1 การวัดค่าลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความแข็งกรอบด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture analyzer) ยี่ห้อ Stable micro systems รุ่น TA-XT plus (England) โดยสุ่มวัดชิ้นกล้วยอบกรอบมาทำการวัดแบบหาค่าเฉลี่ยต่อชิ้น ใช้หัววัดแบบ HDP/CFS กดลึกลงผ่านชิ้นกล้วย 5 มิลลิเมตร ความเร็วในการกด 1 มิลลิเมตรต่อวินาที ระยะห่างระหว่างหัวกดกับแท่นรองผลเท่ากับ 50 มิลลิเมตร ค่าความแน่นเนื้อที่ได้บันทึกผลหน่วยเป็นหน่วยนิวตัน (Newton : N/mm)

1.2.1.2 การวัดค่าสี ระบบ L* a* และ b* โดยใช้เครื่องวัดค่าสี ยี่ห้อ HunterLab รุ่น Ultrascan VIS (U.S.A.)

1.2.2 การประเมินคุณภาพทางประสาท โดยใช้การทดสอบแบบ 9-Point hedonic scale ใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 50 คน โดยผู้ทดสอบชิมที่ไม่ได้ผ่านการฝึกฝน

1.2.3 การตรวจสอบคุณภาพทางเคมี มีดังนี้

1.2.3.1 การวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยใช้เครื่อง pH meter รุ่น PB-11 Sartorius (Germany) ตามวิธี (AOAC, 2000)

1.2.3.2 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solid) โดยใช้เครื่อง Automatic digital refractometer ยี่ห้อ ATAGO รุ่น RX5000α (Japan) ตามวิธี AOAC (2000)

1.2.3.3 ปริมาณความชื้น ตามวิธี AOAC (2000)

1.2.3.4 ปริมาณกรดซิตริก ตามวิธี (AOAC, 2000)

1.2.3.5 ปริมาณน้ำอิสระ (Aw) ตามวิธี (AOAC, 2000)

เพื่อคัดเลือกชนิดและปริมาณความเข้มข้นของสารละลายกรดที่มีผลต่อการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลจากเอนไซม์ในกล้วยหอมทองที่เหมาะสมต่อการทำแห้งกล้วยหอมทองอบกรอบด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศที่ผู้ทดสอบยอมรับมากที่สุดสำหรับใช้ในการทดลองขั้นตอนที่ 3

ตอนที่ 1.3 ศึกษาสภาวะการทำแห้งโดยศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในกระบวนการทำแห้งกล้วยหอมทองอบกรอบด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ โดยการนำกล้วยหอมทองที่ได้การคัดเลือกจากขั้นตอนที่ 1 และ 2 นำไปแช่เยือกแข็งด้วยเครื่องแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที และนำไปเข้าสู่กระบวนการทำแห้งขั้นต้น (primary dry temp) ที่อุณหภูมิ 2 ระดับ คือ อุณหภูมิ -15 และ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 14 และ 16 ชั่วโมง ตามลำดับ และเข้าสู่การทำแห้งขั้นที่สอง (secondary dry temp) ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 16 และ 18 ชั่วโมง ตามลำดับ เพื่อศึกษาระดับอุณหภูมิ และเวลาการทำแห้งที่เหมาะสมต่อการทำแห้งกล้วยหอมทองอบกรอบด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ ผลิตภัณฑ์ที่ได้ทำการตรวจสอบคุณภาพ ดังนี้

1.3.1 การตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ

1.3.1.1 การวัดค่าลักษณะเนื้อสัมผัสด้านค่าความแข็งกรอบ ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture analyzer) ยี่ห้อ Stable micro systems รุ่น TA-XT plus (England) โดยสุ่มวัดชิ้นกล้วยอบกรอบทำการวัดแบบหาค่าเฉลี่ยต่อชิ้น ใช้หัววัดแบบ HDP/CFS กดลึกลงผ่านชิ้นกล้วย 5 มิลลิเมตร ความเร็วในการกด 1 มิลลิเมตรต่อวินาที ระยะห่างระหว่างหัวกดกับแท่นรองผลเท่ากับ 50 มิลลิเมตร ค่าความแน่นเนื้อที่ได้บันทึกผลหน่วยเป็นหน่วยนิวตัน (Newton : N/mm)

1.3.1.2 การวัดค่าสี ระบบ L* a* และ b* โดยใช้เครื่องวัดค่าสี ยี่ห้อ HunterLab รุ่น Ultrascan VIS (U.S.A.)

1.3.2 การประเมินคุณภาพทางประสาท โดยใช้การทดสอบแบบ 9-Point hedonic scale ใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 50 คน โดยผู้ทดสอบชิมที่ไม่ได้ผ่านการฝึกฝน

1.3.3 การตรวจสอบคุณภาพทางเคมี มีดังนี้

1.3.3.1 การวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง วัดด้วยเครื่อง pH meter รุ่น PB-11 Sartorius (Germany) ตามวิธี (AOAC, 2000)

1.3.3.2 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solid) โดยใช้เครื่อง Automatic digital refractometer ยี่ห้อ ATAGO รุ่น RX5000α (Japan) ตามวิธี AOAC (2000)

1.3.3.3 ปริมาณความชื้น ตามวิธี AOAC (2000)

1.3.3.4 ปริมาณกรดซิตริก ตามวิธี (AOAC, 2000)

1.3.3.5 ปริมาณน้ำอิสระ (Aw) ตามวิธี (AOAC, 2000)

ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ โดยศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการยอมรับจากขั้นตอนที่ 3 มาบรรจุในบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด คือ ถุงกระดาษคราฟท์เคลือบด้วย

พลาสติกพอลีไพรไพลีน (PP) และถุงอะลูมิเนียมฟอยด์เคลือบด้วยพลาสติกพอลีไพรไพลีน (PP) เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ประมาณ 32-35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 สัปดาห์ เพื่อหาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ โดยทำการสุ่มตัวอย่างมาทดสอบทุก 4 สัปดาห์ ทำการตรวจสอบคุณภาพ ดังนี้

2.1 การตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ

2.1.1 การวัดค่าสี L* a* b* โดยใช้เครื่องวัดค่าสี ยี่ห้อ HunterLab รุ่น Ultrascan VIS (U.S.A.)

2.1.2 การวัดค่าลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความแข็งกรอบ โดยใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture analyzer) ยี่ห้อ Stable micro systems รุ่น TA-XT plus (England) หัววัด HDP/CFS

2.2 การตรวจสอบคุณภาพทางเคมี

2.2.1 การวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยใช้เครื่องวัด pH meter รุ่น PB-11 Sartorius (Germany) ตามวิธี (AOAC, 2000)

2.2.2 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solid) โดยใช้เครื่อง Automatic digital refractometer ยี่ห้อ ATAGO รุ่น RX5000α (Japan) ตามวิธี AOAC (2000)

2.2.3 ปริมาณความชื้น ตามวิธี AOAC (2000)

2.2.4 ปริมาณกรดซิตริก ตามวิธี (AOAC, 2000)

2.2.5 ปริมาณน้ำอิสระ (Aw) ตามวิธี (AOAC, 2000)

2.2.6 ปริมาณโปรตีน ตามวิธี (AOAC, 2000)

2.2.7 ปริมาณไขมันตามวิธี (AOAC, 2000)

2.2.8 ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ตามวิธี (AOAC, 2000))

2.2.9 ปริมาณเยื่อใยตามวิธี (AOAC, 2000)

2.2.10 ปริมาณเถ้า ตามวิธี (AOAC, 2000)

2.3. การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยใช้การทดสอบแบบ 9-Point hedonic scale ให้คะแนนการยอมรับ 9 ระดับ (1 = ไม่ชอบมากที่สุด 5 = บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ 9 = ชอบมากที่สุด) โดยการทำประเมินคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ ความกรอบและความชอบโดยรวมของกล้วยหอมทองทอดสุญญากาศ จากผู้ทดสอบชิมจำนวน 50 คน โดยผู้ทดสอบชิมที่ไม่ได้ผ่านการฝึกฝน

2.4 การตรวจสอบคุณภาพทางจุลินทรีย์

2.4.1 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ตามวิธี (AOAC, 2000)

2.4.2 ยีสต์และรา ตามวิธี (AOAC, 2000)

2.4.3 เอสเชอริเชีย โคไล ตามวิธี (AOAC, 2000)

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

1. การวิเคราะห์ผลทางสถิติในการทดสอบคุณภาพทางกายภาพ และเคมี ทำการวัดจำนวน 3 ซ้ำเพื่อหาค่าเฉลี่ย ใช้แผนการทดลองแบบ Complete Randomized Design (CRD) และเปรียบเทียบความแตกต่างโดยวิธี Duncan new multiple range teat (DMRT) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติในการวิเคราะห์ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสใช้การวางแผนการทดลองแบบ Randomized complete block design (RCBD) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan new multiple range teat (DMRT) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติในการวิเคราะห์ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. การวิเคราะห์ผลทางสถิติในการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสใช้แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลในสุ่มสมบูรณ์ (Factorial in CBD) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan new multiple range teat (DMRT) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติในการวิเคราะห์ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3.4 เครื่องมือในการวิจัย

ใช้แบบการประเมินคุณภาพการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัส (ภาคผนวก ก)

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปราย

จากการวิจัยเรื่องพัฒนาและออกแบบผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ ผลการวิจัยมีดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ผลการศึกษาและพัฒนาการออกแบบผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบแห้งด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ **และ**ทดสอบการยอมรับของผลิตภัณฑ์ให้เป็นไปตามความต้องการของผู้บริโภค

ตอนที่ 1.1 ผลการศึกษาระยะการสุกของกล้วยหอมทองที่เหมาะสมต่อการทำแห้งกล้วยหอมทองอบกรอบด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ โดยผลการทดลองมีดังนี้

1.1.1 การตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ นำกล้วยหอมทองที่อยู่ในระยะการสุกที่ 4 5 และ 6 ทั้งก่อนและหลังการทำแห้ง มาตรวจวัดค่าสีและค่าเนื้อสัมผัสด้านความแข็ง มีผลดังนี้

ตารางที่ 4.1 คุณภาพด้านกายภาพของกล้วยหอมทองที่ระยะการสุกต่าง ๆ

ระยะการสุก (ก่อนทำแห้ง)	ค่าสี			ค่าความแน่นเนื้อ (นิวตัน/ตร.ซม.)[ns]
	L*[ns]	a*[ns]	b*	
4	72.56±1.92	2.90±0.53	28.98±0.49[b]	1.84±0.60
5	70.96±8.05	2.05±1.16	30.01±2.83[ab]	2.01±0.63
6	70.80±1.04	3.19±0.28	33.79±2.09[a]	1.75±0.59

หมายเหตุ : อักษรที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

[ns]หมายถึง ตัวอย่างในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบคุณภาพทางด้านกายภาพของกล้วยหอมทองระยะการสุกที่ 4 ระยะที่ 5 และระยะที่ 6 พบว่า ค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) และค่าความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ส่วนค่าสีเหลือง (b*) พบว่า ระยะการสุกของกล้วยหอมทองในระยะที่ 6 จะมีค่าความเป็นสีเหลืองสูงที่สุด ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กับระยะที่ 5 และระยะที่ 4 มีค่าเท่ากับ 33.79±2.09 30.01±2.83 และ 28.98±0.49 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ชิดชัย ปัญญาสวรรค์ (2547) กล้วยหอมเป็นผลไม้ประเภทไคลแมคเทอริก (climacteric fruit) จะมีอัตราการหายใจสูงมากในช่วงที่ผลไม้สุก และยังพบว่าในช่วงนี้จะมีเอทิลีนสร้างขึ้นภายในผลเป็นจำนวนมากเช่นกัน ดังนั้นอัตราการหายใจและปริมาณเอทิลีนจึงมีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิด เมื่อปริมาณเอทิลีนสูงจะเร่งให้มีการหายใจมากขึ้น ซึ่งจะเร่งให้มี

การเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสุกเกิดขึ้นโดยสมบูรณ์ ส่งผลให้กล้วยสุกและมีค่าสีเหลืองเพิ่มขึ้นตามระยะการสุกของกล้วย

จากตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบคุณภาพด้านกายภาพของกล้วยกล้วยหอมทองอบกรอบด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศที่ระยะการสุกที่ 4 5 และ 6 พบว่า ค่าความสว่าง (L*) ค่าสีเหลือง (b*) และค่าความแข็งกรอบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ส่วนค่าสีแดง (a*) พบว่า ในระยะการสุกของกล้วยระยะที่ 6 มีค่าสีแดงสูงสุดที่ 2.68±0.65 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) กับระยะที่ 5 และระยะที่ 4 แต่ทั้ง 2 ระยะการสุกไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) มีค่าที่ 1.71±0.32 และ 1.04±0.55 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 คุณภาพด้านกายภาพของกล้วยหอมทองทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่ระยะการสุกต่าง ๆ

ระยะการสุก (หลังทำแห้ง)	ค่าสี			ค่าความแข็งกรอบ (นิวตัน/ตร.ซม.)^{ns}
	L*^{ns}	a*	b*^{ns}	
4	74.69±1.19	1.04±0.55^{b}	28.36±0.14	23.21±3.23
5	75.64±3.09	1.71±0.32^{b}	27.67±1.12	19.45±1.26
6	78.03±0.35	2.68±0.65^{a}	28.17±0.77	20.83±7.00

หมายเหตุ : อักษรที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

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

1.1.2 การทดสอบการยอมรับคุณภาพทางประสาทสัมผัส นำกล้วยหอมทองอบกรอบด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศมาทำการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสเพื่อคัดเลือกหาระยะการสุกของกล้วยหอมทองที่เหมาะสมต่อการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ มีผลดังนี้

จากตารางที่ 4.3 ผลการประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของกล้วยหอมทองหลังการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ พบว่า ระยะการสุกของกล้วยหอมทองระยะที่ 4 5 และ 6 ผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับลักษณะคุณภาพด้านด้านสี รสชาติ และเนื้อสัมผัส ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ด้านสี มีคะแนนเท่ากับ 6.82±1.15 6.92±1.31 และ 6.55±1.29 คะแนน ตามลำดับ ด้านรสชาติ มีคะแนนเท่ากับ 7.50±1.20 7.32±1.31 และ 7.07±1.33 คะแนน ตามลำดับ และด้านเนื้อสัมผัส มีคะแนนเท่ากับ 7.37±1.03 7.57±0.96 และ 7.25±1.29 คะแนน ตามลำดับ ส่วนด้านลักษณะปรากฏ พบว่าที่ระยะการสุกที่ 4 และระยะที่ 5 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) แต่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) กับระยะที่ 6 ซึ่งมีคะแนนด้านลักษณะปรากฏ เท่ากับ 6.95±1.08 7.07±1.07 และ 6.55±1.17 คะแนน ตามลำดับ และด้านความชอบโดยรวม พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนระยะการสุกที่ 4 และ 5 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

แต่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กับระยะที่ 6 ซึ่งมีคะแนนที่ 7.62±0.84 7.95±0.75 และ 7.30±1.22 คะแนนตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของกล้วยหอมทองหลังการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ

คุณลักษณะ	ระยะการสุก		
	ระยะที่ 4	ระยะที่ 5	ระยะที่ 6
ลักษณะปรากฏ	6.95±1.07^{a}	7.07±1.08^{a}	6.55±1.17^{b}
สี^{ns}	6.82±1.15	6.92±1.31	6.55±1.29
รสชาติ^{ns}	7.50±1.20	7.32±1.31	7.07±1.33
เนื้อสัมผัส^{ns}	7.37±1.03	7.57±0.96	7.25±1.29
ความชอบโดยรวม	7.62±0.84^{ab}	7.95±0.75^{a}	7.30±1.22^{b}

หมายเหตุ : อักษรที่ต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

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

1.1.3 การตรวจสอบคุณภาพทางเคมี นำกล้วยหอมทองก่อนและหลังการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ ที่ระยะการสุกทั้ง 3 ระยะ ได้แก่ ระยะที่ 4 ระยะที่ 5 และระยะที่ 6 มาตรวจสอบปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total Soluble Solid) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ปริมาณกรดทั้งหมด (กรดซิตริก) ปริมาณความชื้น (Moiture content) และปริมาณน้ำอิสระ (a_w) มีผลดังนี้

ตารางที่ 4.4 คุณภาพทางด้านเคมีของกล้วยหอมทองที่ระยะการสุกต่าง ๆ ก่อนทำแห้ง

ระยะการสุก	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์)	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	ปริมาณกรดซิตริก (ร้อยละ)	ปริมาณความชื้น^{ns} (ร้อยละ)
4	10.18±0.15^{c}	4.37±0.02^{b}	1.41±0.23^{a}	75.96±0.51
5	10.64±0.14^{b}	4.39±0.02^{b}	1.08±0.19^{a}	77.54±0.95
6	12.03±0.15^{a}	4.60±0.01^{a}	0.99±0.07^{ab}	76.96±1.86

หมายเหตุ : อักษรที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

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

จากตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบคุณภาพด้านเคมีของกล้วยหอมทองระยะที่ 4 ระยะที่ 5 และระยะที่ 6 พบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของกล้วยระยะที่ 6 สูงที่สุดเท่ากับ 12.03±0.15 องศาบริกซ์ เนื่องจากเมื่อผลไม้สุกจะเปลี่ยนแป้งที่มีโครงสร้างโมเลกุลขนาดใหญ่ไปเป็น

น้ำตาลที่มีโมเลกุลขนาดเล็กลง และสามารถละลายได้มากขึ้น ทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้เพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้ผลไม้มีรสหวานเพิ่มมากขึ้น (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549)

ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) พบว่า ระยะที่ 4 มีค่าความเป็นกรดสูงที่สุด แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กับระยะที่ 5 และระยะที่ 6 มีค่าเท่ากับ 4.37±0.02 4.39±0.02 และ 4.60±0.01 ตามลำดับ

ปริมาณกรดซิตริกในกล้วยหอมทองระยะที่ 4 มีปริมาณกรดซิตริกมากที่สุด แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กับระยะที่ 5 และระยะที่ 6 ที่ร้อยละ 1.41±0.23 1.08±0.19 และ 0.99±0.07 ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัย (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549) หลังการเก็บเกี่ยวหรือในระหว่างการเก็บรักษาและระยะการสุก ปริมาณความเข้มข้นของกรดซิตริกมีแนวโน้มที่จะลดลง ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับ ชนิดของกรด ชนิดของเนื้อเยื่อ สภาพการเก็บรักษา (storage conditions) เป็นต้น

ปริมาณความชื้นของกล้วยหอมทองระยะการสุกที่ 4 5 และ 6 มีปริมาณความชื้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) มีค่าที่ ร้อยละ 75.96±0.5177.54±0.95 และ 76.96±1.86 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5 คุณภาพทางด้านเคมีของของกล้วยหอมทองอบกรอบหลังทำแห้งด้วยกระบวนเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศที่ระยะการสุกต่าง ๆ

ระยะการสุก	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์)	ค่าความเป็นกรด-ด่าง^{ns} (pH)	ปริมาณกรดซิตริก^{ns} (ร้อยละ)	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	ปริมาณน้ำอิสระ^{ns} (a_w)
4	12.62±0.31^{c}	4.73±0.01	1.79±0.03	10.60±0.59^{a}	0.19±0.03
5	13.74±0.21^{ab}	4.73±0.01	1.94±0.08	7.34±0.49^{b}	0.16±0.00
6	14.62±0.19^{a}	4.73±0.01	1.96±0.01	6.69±1.54^{b}	0.17±0.00

หมายเหตุ : อักษรที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

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

จากตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบคุณภาพด้านเคมีของกล้วยหอมทองทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ พบว่าระยะการสุกที่ 5 และ 6 มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ซึ่งการสุกระยะที่ 6 มีค่ามากที่สุดที่ 14.62±0.19 องศาบริกซ์ ส่วนการสุกระยะที่ 5 มีค่าที่ 13.74±0.21 องศาบริกซ์ แต่ระยะการสุกของกล้วยหอมทองทั้ง 2 ระยะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กับระยะการสุกที่ 4 มีค่าน้อยที่สุดที่ 12.62±0.31 องศาบริกซ์ เนื่องจากผลไม้เมื่อเข้าสู่ระยะการสุกจะมีการเปลี่ยนแป้งที่มีโครงสร้างโมเลกุลขนาดใหญ่ไปเป็นน้ำตาลที่

มีโมเลกุลขนาดเล็กลง และสามารถละลายได้มากขึ้น ทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้เพิ่มสูงขึ้น ส่งผลทำให้ผลไม้มีรสหวานเพิ่มขึ้น (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549)

ปริมาณความชื้น พบว่า ระยะที่ 4 มีปริมาณความชื้นสูงที่สุดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับระยะที่ 5 และระยะที่ 6 เท่ากับ ร้อยละ 10.60±0.59 7.34±0.49 และ 6.69±1.54 ตามลำดับ

ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ปริมาณกรดทั้งหมด (กรดซิตริก) และปริมาณน้ำอิสระ (a_w) พบว่าระยะการสุกที่ 4 5 และ 6 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) โดยค่าความเป็นกรด-ด่าง มีค่าที่ 4.73±0.01 4.73±0.01 และ 4.73±0.01 ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณกรดทั้งหมด (กรดซิตริก) ที่ระยะการสุกที่ 4 5 และ 6 มีค่าที่ร้อยละ 1.79±0.03 1.94±0.08 และ 1.96±0.01 ตามลำดับ และปริมาณน้ำอิสระ (a_w) มีค่าที่ 0.19±0.03 0.16±0.00 และ 0.17±0.00 ตามลำดับ

ดังนั้นจากการศึกษาระยะการสุกของกล้วยหอมทองที่เหมาะสมต่อการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ ผู้วิจัยจึงคัดเลือกกล้วยหอมทองระยะการสุกที่ 5 เป็นระยะที่เหมาะสมต่อการทำแห้งกล้วยหอมทองเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ สำหรับนำไปใช้ในการศึกษาขั้นตอนที่ 2

ตอนที่ 1.2 ผลการศึกษาการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลของเอนไซม์ในกล้วยหอมทองที่ทำแห้งด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ โดยมีผลการทดลอง มีดังนี้

1.2.1 การตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ จากการนำกล้วยหอมทองที่ผ่านการแช่สารละลายกรดซิตริก และสารละลายกรดแอสคอร์บิก นำเข้าสู่กระบวนทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ แล้วนำมาวัดคุณภาพทางกายภาพ ด้านค่าสีและเนื้อสัมผัส มีผลดังนี้

จากตารางที่ 4.6 พบว่า ค่าความสว่าง (L*) ของกล้วยหอมทองแช่สารละลายกรดกรดซิตริกและกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 และ 2.0 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 82.24±1.36 82.52±1.42 84.56±0.24 และ 84.48±0.93 ตามลำดับ แต่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กับกล้วยหอมทองที่ไม่ได้ผ่านการแช่สารละลายกรดซึ่งมีค่าอยู่ที่ 79.50±0.67 สอดคล้องกับงานวิจัยของธีรนุช เร่งวัฒนะชัย (2554) โดยได้ทำการศึกษาผลของกรดแอสคอร์บิกและการลวกต่อการเกิดสีน้ำตาลของกล้วยหอมแช่เยือกแข็งพบว่ากล้วยหอมที่ผ่านการแช่กรดสารละลายกรดซิตริกและกรดแอสคอร์บิก ร้อยละ 1 และร้อยละ 2 มีค่าความสว่างมากกว่าตัวอย่างควบคุม

ค่าสีแดง (a*) พบว่ากล้วยหอมทองที่ไม่ผ่านการแช่สารละลายกรดมีค่ามากที่สุดที่ 3.19±0.47 ส่วนกล้วยหอมทองที่ผ่านการแช่สารละลายกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 และ 2.0 และที่แช่สารละลายกรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 1.0 เท่ากับ 2.28±0.70 1.98±0.12 และ 2.04±0.21 ตามลำดับไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ส่วนกล้วยหอมทองที่แช่สารละลาย

กรดซิตริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 และ 2.0 กับกล้วยหอมทองที่แช่สารละลายกรดแอสคอร์บิก ความเข้มข้นร้อยละ 2.0 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

ตารางที่ 4.6 คุณภาพทางด้านกายภาพของของกล้วยหอมทองอบกรอบทำแห้งด้วยกระบวนเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศที่แช่ในสารละลายกรดเป็นเวลานาน 2 นาที

ชนิดของสารละลายกรด	ความเข้มข้น (ร้อยละ)	ค่าสี			ค่าความแข็งกรอบ (นิวตัน/ตร.ซม.)^{ns}
		L*	a*	b*^{ns}	
ไม่ใส่กรด	0	79.50±0.67^{b}	3.19±0.47^{a}	26.81±2.77	19.63±0.87
กรดซิตริก	1.0	82.24±1.36^{a}	2.04±0.21^{bc}	26.91±2.89	19.37±1.45
	2.0	82.52±1.42^{a}	1.90±0.47^{c}	25.91±2.51	18.22±1.01
กรดแอสคอร์บิก	1.0	84.56±0.24^{a}	2.28±0.70^{b}	25.93±1.75	20.96±3.10
	2.0	84.48±0.93^{a}	1.98±0.12^{bc}	30.39±2.18	20.66±1.93

หมายเหตุ : อักษรที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

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

ค่าสีเหลือง (b*) พบว่ากล้วยหอมทองที่ไม่แช่สารละลายกรด กับที่แช่สารละลายกรดซิตริก และแช่สารละลายกรดแอสคอร์บิก ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) มีค่าที่ 26.81±2.77 26.91±2.89 25.91±2.51 25.93±1.75 และ 30.39±2.18 ตามลำดับ

จากการทดลองพบว่า เมื่อนำกล้วยหอมทองไปแช่ในสารละลายกรดซิตริกและสารละลายกรดแอสคอร์บิก สามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล เมื่อเปรียบเทียบกับกล้วยหอมทองที่ไม่แช่สารละลายกรดซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของสมฤดี ไทพาณิชย์ และปราณี อ่านเปรื่อง (2556) กรดซิตริก และกรดแอสคอร์บิก สามารถช่วยชะลอปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้เนื่องจากกรดซิตริกเป็นสารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในกลุ่มสารเพิ่มความเป็นกรดในอาหาร (acidulant) ซึ่งจะทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง โดยเมื่อลดค่าความเป็นกรด-ด่างให้ต่ำกว่าค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมของพอลิฟีนอลออกซิเดส (Polyphenol oxidase) จะทำให้กิจกรรมของพอลิฟีนอลออกซิเดสลดลง นอกจากนี้กรดซิตริกยังเป็นสารคีเลทจับกับทองแดงที่บริเวณเร่งของพอลิฟีนอลออกซิเดส เมื่อทองแดงถูกดึงออกไปจะทำให้ไม่สามารถทำงานได้ เนื่องจากทองแดงเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เอนไซม์ทำงานได้เป็นปกติ สำหรับกรดแอสคอร์บิกจะทำหน้าที่เป็นสารรีดิวซ์กับสารโอ-ควิโนนกลับมาอยู่ในรูปของสารประกอบฟีนอลก่อนที่โอ-ควิโนนจะทำปฏิกิริยาต่อไปจนกลายเป็นสารที่ให้สีน้ำตาล ทำให้สามารถช่วยชะลอการเกิดสีน้ำตาลได้ แต่เมื่อกรดแอสคอร์บิกถูกใช้หมดแล้ว สารโอ-ควิโนนจะเกิดการสะสมมากขึ้น และเกิดปฏิกิริยาต่อไปเป็นสารที่ให้สีน้ำตาลได้

ค่าความแข็งกรอบ (นิวตัน) ของกล้วยหอมทองที่ไม่ผ่านการแช่สารละลายกรดมีค่าที่ 19.63±0.87 นิวตัน/ตร.ซม. ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) กับกล้วยหอมทองที่ผ่านการแช่สารละลายกรดซิตริกและสารละลายกรดแอสคอร์บิก กล้วยหอมทองที่แช่สารละลายกรดซิตริก ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 และ 2.0 มีค่าที่ 19.37±1.45 และ 18.22±1.01 นิวตัน/ตร.ซม. และกล้วยหอมทองที่แช่สารละลายกรดแอสคอร์บิก ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 และ 2.0 มีค่าที่ 20.96±3.10 และ 20.66±1.93 นิวตัน/ตร.ซม. ตามลำดับ

1.2.2 การทดสอบการยอมรับคุณภาพทางประสาทสัมผัส นำกล้วยหอมทองระยะการสุกที่ 5 มาคัดเลือกหาระดับความเข้มข้นของสารละลายกรดที่สามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลของเอนไซม์ในกล้วยหอมทองให้เหมาะสมต่อการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ มีผลดังนี้

ตารางที่ 4.7 คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของกล้วยหอมทองอบกรอบทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศที่แช่ในสารละลายกรด

คุณลักษณะ	ระดับความเข้มข้นของกรด				
	ไม่ใส่กรด	สารละลายกรดซิตริก		สารละลายกรดแอสคอร์บิก	
	ร้อยละ 0	ร้อยละ 1	ร้อยละ 2	ร้อยละ 1	ร้อยละ 2
ลักษณะปรากฏ^{ns}	7.02±0.91	7.52±0.96	7.25±1.23	7.15±1.41	7.07±1.23
สี	6.67±1.36^{b}	7.55±1.06^{a}	7.25±1.15^{a}	7.32±1.14^{a}	7.17±1.08^{a}
รสชาติ	7.05±1.38^{ab}	7.42±0.98^{a}	6.80±1.26^{b}	7.57±1.22^{a}	7.05±1.11^{ab}
ความกรอบ	7.25±1.15^{ab}	7.55±0.87^{a}	7.02±1.13^{b}	7.54±0.87^{a}	7.15±1.12^{ab}
ความชอบโดยรวม	7.22±1.29^{bc}	7.65±0.80^{ab}	6.77±1.25^{c}	7.80±0.99^{a}	6.97±0.99^{c}

หมายเหตุ : อักษรที่ต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

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

จากตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของกล้วยหอมทองทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศที่ไม่ผ่านการแช่สารละลายกรด และผ่านการแช่สารละลายกรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 1.0 และ 2.0 สารละลายกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้นร้อยละ 1.0 และ 2.0 จากตารางที่ 4.7 พบว่าคุณลักษณะด้านสี รสชาติ ความกรอบและความชอบโดยรวม ของกล้วยหอมทองทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศที่ทำการยับยั้งและไม่ทำการยับยั้งเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลของเอนไซม์ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) โดยผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับด้านสีของกล้วยหอมทองที่ผ่านการแช่สารละลายกรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 1.0 มีคะแนนสูงที่สุด

เท่ากับ 7.55±1.06 คะแนน คะแนนการยอมรับคุณภาพด้านรสชาติของกล้วยหอมทองที่ผ่านการแช่สารละลายกรดแอสคอร์บิก ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 มีคะแนนสูงที่สุด เท่ากับ 7.57±1.22 คะแนน คะแนนการยอมรับด้านความกรอบของกล้วยหอมทองที่ผ่านการแช่สารละลายกรดซิตริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 มีคะแนนสูงสุดเท่ากับ 7.55 และคะแนนการยอมรับด้านความชอบโดยรวมของสารละลายกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 มีคะแนนสูงที่สุด เท่ากับ 7.80±0.99 คะแนน

1.2.3 การตรวจสอบคุณภาพทางเคมี นำกล้วยหอมทองที่ผ่านการแช่สารละลายกรดซิตริกและสารละลายกรดแอสคอร์บิกไปทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศมาวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณกรดทั้งหมด (กรดซิตริก) มีผลดังนี้

ตารางที่ 4.8 คุณภาพทางด้านเคมีของของกล้วยหอมทองอบกรอบทำแห้งด้วยกระบวนเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศที่แช่ในสารละลายกรด

ชนิดของสารละลายกรด	ความเข้มข้น (ร้อยละ)	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์)	ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	ปริมาณกรดซิตริก (ร้อยละ)
ไม่ใส่กรด	0	10.88±0.12^{a}	4.48±0.03^{a}	1.97±0.16^{d}
กรดซิตริก	1.0	10.59±0.14^{b}	4.32±0.02^{b}	2.60±0.17^{b}
	2.0	10.36±0.14^{b}	4.03±0.01^{c}	3.47±0.12^{a}
กรดแอสคอร์บิก	1.0	10.87±0.10^{a}	4.44±0.01^{a}	2.35±0.04^{c}
	2.0	10.51±0.23^{b}	4.41±0.16^{a}	2.30±0.36^{c}

หมายเหตุ : อักษรที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

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

จากตารางที่ 4.8 พบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของกล้วยหอมทองที่ไม่แช่สารละลายกรด และแช่สารละลายกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) มีค่าที่ 10.88±0.12 และ 10.87±0.10 องศาบริกซ์ ตามลำดับ แต่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กับกล้วยหอมทองที่แช่สารละลายกรดซิตริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 และ 2.0 มีค่าที่ 10.59±0.14 และ 10.36±0.14 องศาบริกซ์ ตามลำดับ และที่แช่สารละลายกรดแอสคอร์บิก ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.0 มีค่าที่ 10.51±0.23 องศาบริกซ์

ค่าความเป็นกรด-ด่าง พบว่า กล้วยหอมทองที่ไม่แช่กรด เท่ากับ 4.48±0.03 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) กับกล้วยหอมทองแช่สารละลายกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้นร้อยละ 1.0 และ 2.0 มีค่าที่ 4.44±0.01 และ 4.41±0.16 แต่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

กับกล้วยหอมทองที่แช่สารละลายกรดซิตริกความเข้มข้น ร้อยละ 1.0 และ 2.0 มีค่าที่ 4.32±0.02 และ 4.03±0.01 ตามลำดับ

ปริมาณกรดทั้งหมด (กรดซิตริก) พบว่า กล้วยหอมทองที่แช่สารละลายกรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 2.0 มีค่าที่ร้อยละ 3.47±0.12 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กับกล้วยหอมทองแช่สารละลายกรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 1.0 มีค่าที่ร้อยละ 2.60±0.17 กล้วยหอมทองแช่สารละลายกรดแอสคอร์บิก มีค่าที่ร้อยละ 2.35±0.04 และ 2.30±0.36 ตามลำดับ และกล้วยหอมทองที่ไม่แช่สารละลายกรดมีค่าที่ร้อยละ 1.97±0.16

ผลจากการศึกษาการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลของเอนไซม์ในกล้วยหอมทอง พบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับกล้วยหอมทองที่ทำการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลด้วยสารละลายกรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 1.0 และสารละสายกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้นร้อยละ 1.0 ไม่แตกต่างกัน เนื่องจากมีความสามารถในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลของเอนไซม์ในกล้วยหอมทองได้เช่นกัน

ดังนั้นจึงเลือกวิธีการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลของเอนไซม์โดยนำกล้วยหอมทองแช่ในสารละลายกรดซิตริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 ซึ่งมีต้นทุนในการผลิตที่ต่ำกว่าและยังสามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลของกล้วยหอมทองทำแห้งด้วยกระบวนการแช่เยือกแข็งได้มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน เพื่อนำไปใช้สำหรับการศึกษาในขั้นตอนที่ 3

ตอนที่ 1.3 ศึกษาสภาวะการทำแห้งโดยศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในกระบวนการทำแห้งกล้วยหอมทองอบกรอบด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ โดยมีผลการทดลองดังนี้

1.3.1 การตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ นำกล้วยหอมทองหลังการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ ที่ระดับอุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ มาวัดค่าสีและค่าเนื้อสัมผัส มีผลดังนี้

จากตารางที่ 4.9 พบว่าค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) ของกล้วยหอมทองทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศที่ระดับอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทำแห้งนั้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ส่วนค่าความแข็งกรอบพบว่าที่สภาวะการทำแห้งขั้นต้นที่อุณหภูมิ -15 องศาเซลเซียส เวลา 12 ชั่วโมงและการทำแห้งขั้นที่สองที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชั่วโมงมีค่าสูงที่สุดที่ 32.56$\pm$0.75 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กับสภาวะการทำแห้งอื่น ๆ ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากการใช้ระยะเวลาในการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศน้อยเกินไป ความสามารถดึงความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์ก็จะเกิดขึ้นได้น้อยกว่าการใช้ระยะเวลาในการทำแห้งที่นานกว่า จึงส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของชิ้นกล้วยอบกรอบนั้นทำให้มีความเหนียวต้องใช้แรงในการกดสูง จึงทำให้ค่าความแข็งกรอบมีค่าสูงกว่าระยะเวลาที่ใช้ในการทำแห้งแบบแช่แช่เยือกแข็งมากกว่า (ทนงค์ ฉายาวัฒนะ, 2559)

ตารางที่ 4.9 คุณภาพทางด้านกายภาพของของกล้วยหอมทองอบกรอบทำแห้งด้วยกระบวนเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศที่ระดับอุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ

ระดับอุณหภูมิและเวลาในการทำแห้ง		ค่าสี			ค่าความแข็งกรอบ (นิวตัน/ตร.ซม.)
		L^{*ns}	a^{*ns}	b^{*ns}	
ทำแห้งขั้นต้นที่ -15°c ทำแห้งขั้นที่สองที่ 50°c	(12/14)	83.27±1.34	2.28±0.09	17.85±0.34	32.56 ± 0.75^{a}
	(14/16)	80.08±1.44	2.39±0.31	18.17±2.01	24.55 ± 0.40^{c}
	(16/18)	81.72±2.09	2.28±0.22	18.40±1.20	19.38 ± 0.35^{d}
ทำแห้งขั้นต้นที่ -20°c ทำแห้งขั้นที่สองที่ 50°c	(12/14)	81.23±1.02	2.32±0.10	17.60±0.12	28.46 ± 0.30^{b}
	(14/16)	80.65±1.44	2.31±0.22	17.88±0.10	24.18 ± 2.22^{c}
	(16/18)	81.28±0.08	2.30±0.12	18.01±0.02	16.01 ± 1.61^{e}

หมายเหตุ : อักษรที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

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

(1) เวลาที่ใช้ในการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่ขั้นต้น 12 ชั่วโมงและขั้นที่สอง 14 ชั่วโมง

(2) เวลาที่ใช้ในการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่ขั้นต้น 14 ชั่วโมงและขั้นที่สอง 16 ชั่วโมง

(3) เวลาที่ใช้ในการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่ขั้นต้น 16 ชั่วโมงและขั้นที่สอง 18 ชั่วโมง

1.3.2 การทดสอบการยอมรับคุณภาพทางประสาทสัมผัส นำกล้วยหอมทองทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศที่ระดับอุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ มาทำการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสเพื่อคัดเลือกหาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในกระบวนการทำแห้งกล้วยหอมทองแบบแช่เยือกแข็ง มีผลดังนี้

จากตารางที่ 4.10 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของกล้วยหอมทองหลังการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ ความกรอบ และความชอบโดยรวม ที่อุณหภูมิการทำแห้งขั้นต้นที่ -15 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมงและอุณหภูมิการทำแห้งขั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมงมากที่สุดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) กับอุณหภูมิการทำแห้งขั้นต้นที่ -15 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 ชั่วโมง อุณหภูมิการทำแห้งขั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง และอุณหภูมิการทำแห้งขั้นต้นที่ -15 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง อุณหภูมิการทำแห้งขั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 ชั่วโมง ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกอุณหภูมิการทำแห้งขั้นต้นที่-15 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมงและอุณหภูมิการทำแห้งขั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง เนื่องจากมีค่าคะแนนด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติความกรอบ และคะแนนความชอบ

โดยรวมสูงที่สุด มีคะแนนที่ 7.45±1.26 7.22±1.21 8.12±1.10 7.70±1.47 และ 8.15±1.03 คะแนน ตามลำดับ

ตารางที่ 4.10 คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของของกล้วยหอมทองอบกรอบทำแห้งด้วยกระบวนเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศที่ระดับอุณหภูมิการทำแห้งขั้นต้นที่ -15 องศาเซลเซียส และการทำแห้งขั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียสที่ระยะเวลาต่าง ๆ

คุณลักษณะ	อุณหภูมิและเวลาการทำแห้ง		
	การทำแห้งขั้นต้นที่ -15 °c / การทำแห้งขั้นที่สองที่ 50 °c		
	(12/14)	(14/16)	(16/18)
ลักษณะปรากฏ	6.70±1.53^{b}	7.00±1.34^{b}	7.45±1.26^{a}
สี	6.57±1.63^{b}	7.02±1.56^{a}	7.22±1.21^{a}
รสชาติ	6.80±1.54^{c}	7.50±1.10^{b}	8.12±1.10^{a}
ความกรอบ	6.92±1.51^{c}	7.32±1.37^{b}	7.70±1.47^{a}
ความชอบโดยรวม	6.90±1.50^{c}	7.40±1.48^{b}	8.15±1.03^{a}

หมายเหตุ : อักษรที่ต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

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

ตารางที่ 4.11 คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของของกล้วยหอมทองอบกรอบทำแห้งด้วยกระบวนเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศที่ระดับอุณหภูมิการทำแห้งขั้นต้นที่ -20 องศาเซลเซียส และการทำแห้งขั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียสที่ระยะเวลาต่าง ๆ

คุณลักษณะ	อุณหภูมิและเวลาการทำแห้ง		
	การทำแห้งขั้นต้น -20 °c / การทำแห้งขั้นที่สอง 50 °c		
	(12/14)	(14/16)	(16/18)
ลักษณะปรากฏ^{ns}	7.20±1.32	7.20±1.38	7.37±1.51
สี	6.90±1.28^{b}	7.02±1.34^{ab}	7.35±1.33^{a}
รสชาติ^{ns}	7.40±1.46	7.20±1.71	7.70±1.22
ความกรอบ	7.25±1.06^{c}	7.70±0.97^{b}	8.27±0.78^{a}
ความชอบโดยรวม^{ns}	7.62±1.12	7.67±1.19	7.97±0.94

หมายเหตุ : อักษรที่ต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

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

จากตารางที่ 4.11 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของกล้วยหอมทองหลังการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับด้านสีและความกรอบของอุณหภูมิการทำแห้งขั้นต้นที่ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมงและที่อุณหภูมิการทำแห้งขั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมงมีคะแนนมากที่สุด แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กับอุณหภูมิการทำแห้งขั้นต้นที่ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 ชั่วโมง อุณหภูมิการทำแห้งขั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมงและอุณหภูมิการทำแห้งขั้นต้นที่ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง อุณหภูมิการทำแห้งขั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 ชั่วโมง ส่วนคุณภาพด้านลักษณะปรากฏ รสชาติ และความชอบโดยรวม ผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) จึงเลือกอุณหภูมิการทำแห้งขั้นต้นที่ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง และอุณหภูมิการทำแห้งขั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 18 ชั่วโมง เนื่องจากมีค่าคะแนนการยอมรับคุณภาพด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ ความกรอบ และคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด มีคะแนนที่ 7.37±1.51 7.35±1.33 7.70±1.22 8.27±0.78 และ 7.97±0.94 คะแนน ตามลำดับ

ตารางที่ 4.12 คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของกล้วยหอมทองอบกรอบทำแห้งด้วยกระบวนเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศที่ระดับอุณหภูมิการทำแห้งขั้นต้นที่ -15 และ -20 องศาเซลเซียส และการทำแห้งขั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียสที่ระยะเวลาต่าง ๆ

คุณลักษณะ	อุณหภูมิและเวลาการทำแห้ง	
	การทำแห้งขั้นต้น -15 °c การทำแห้งขั้นที่สอง 50 °c (16/18)	การทำแห้งขั้นต้น -20 °c การทำแห้งขั้นที่สอง 50 °c (16/18)
ลักษณะปรากฏ^{ns}	7.20±0.97	7.47±0.71
สี^{ns}	7.07±0.94	7.40±0.87
รสชาติ	7.35±0.92^{b}	7.92±0.76^{a}
ความกรอบ	7.37±0.87^{b}	7.90±0.74^{a}
ความชอบโดยรวม	7.42±0.87^{b}	8.15±0.73^{a}

หมายเหตุ : อักษรที่ต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

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

จากตารางที่ 4.12 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของกล้วยหอมทองหลังการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับคุณลักษณะปรากฏ และสีของกล้วยหอมทองทั้งสองสภาวะการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ ไม่

แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p>0.05) แต่การทำแห้งทั้งสองสภาวะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p≤0.05) พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนทางด้านรสชาติ ความกรอบ และความชอบโดยรวมสภาวะการทำแห้งขั้นต้นที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมงและการทำแห้งขั้นที่สองที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมงมีคะแนนมากที่สุดมีค่าคะแนนที่ 7.92±0.76 7.90±0.74 และ 8.15±0.73 ตามลำดับ

1.3.3 การตรวจสอบคุณภาพทางเคมี นำกล้วยหอมทองทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ ที่ระดับอุณหภูมิและเวลาต่างๆ มาวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total Soluble Solid) ความเป็นกรด-ด่าง (pH) และปริมาณกรดทั้งหมด (กรดซิตริก) มีผลดังนี้

ตารางที่ 4.13 คุณภาพทางด้านเคมีของของกล้วยหอมทองอบกรอบทำแห้งด้วยกระบวนเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศที่ระดับอุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ

ระดับอุณหภูมิและเวลาในการทำแห้ง		ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด[ns]	ค่าความเป็นกรด-ด่าง[ns]	ปริมาณกรดทั้งหมด[ns] (กรดซิตริก)
การทำแห้งขั้นต้นที่ -15 °c	(12/14)	12.38±2.78	4.34±0.01	2.07±0.07
การทำแห้งขั้นที่สองที่ 50°c	(14/16)	10.62±0.02	4.32±0.02	2.06±0.02
	(16/18)	10.63±0.06	4.36±0.01	2.08±0.02
การทำแห้งขั้นต้นที่ -20°c	(12/14)	10.41±0.20	4.32±0.03	2.06±0.09
การทำแห้งขั้นที่สองที่ 50°c	(14/16)	10.42±0.31	4.32±0.02	2.07±0.06
	(16/18)	10.21±0.19	4.36±0.01	2.09±0.02

หมายเหตุ : อักษรที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

[ns]หมายถึง ตัวอย่างในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

จากตารางที่ 4.13 พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดอยู่ในช่วง 10.21-12.38 องศาบริกซ์ ค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 4.32-4.36 และปริมาณกรดทั้งหมด (กรดซิตริก) อยู่ในช่วงร้อยละ 2.00 ถึงร้อยละ 2.09 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p>0.05)

จากตารางที่ 4.14 พบว่าผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศที่ระดับอุณหภูมิและเวลาที่ใช้นั้นมีปริมาณความชื้นที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p≤0.05) การทำแห้งขั้นต้นที่อุณหภูมิ -15 องศาเซลเซียส เวลา 12 ชั่วโมง และการทำแห้งขั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 14 ชั่วโมง กับการทำแห้งขั้นต้นที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เวลา 12 ชั่วโมง และการทำแห้งขั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 14 ชั่วโมง ผลิตภัณฑ์ยังคงมีปริมาณความชื้นสูงที่สุด แต่ปริมาณน้ำอิสระการทำแห้งที่ระดับอุณหภูมิและเวลาที่ใช้นั้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p>0.05) ซึ่งปริมาณน้ำอิสระดังกล่าวนั้นมีปริมาณอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของผลิตภัณฑ์ผลไม้อบแห้งที่กำหนดไว้ไม่เกินร้อยละ 0.5 (มผช.1207/2549)

ตารางที่ 4.14 คุณภาพทางด้านเคมีปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระของกล้วยหอมทองอบกรอบทำแห้งด้วยกระบวนเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศที่ระดับอุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ

อุณหภูมิและเวลาการทำแห้ง		ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	ปริมาณน้ำอิสระ[ns] (ร้อยละ)
ขั้นต้นที่ -15 °c ขั้นสองที่ 50 °c	12/14	10.60±0.59[a]	0.21±0.03
	14/16	7.34±0.49[b]	0.17±0.00
	16/18	6.69±1.54[b]	0.14±0.00
ขั้นต้นที่ -20 °c ขั้นสองที่ 50 °c	12/14	10.41±0.20[a]	0.19±0.03
	14/16	7.02±0.31[b]	0.16±0.02
	16/18	6.38±0.19[b]	0.14±0.01

หมายเหตุ : อักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

[ns]หมายถึง ตัวอย่างในแนวตั้งที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกสภาวะการทำแห้งที่ใช้อุณหภูมิการทำแห้งขั้นต้นที่ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมงและอุณหภูมิการทำแห้งขั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง เนื่องจากผู้ทดสอบชิมให้คะแนนการยอมรับด้านความชอบโดยรวมมากที่สุด เป็นระดับอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการทำแห้งกล้วยหอมทองทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ

ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ โดยมีผลการทดลองดังนี้

2.1 การตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ นำผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด คือ ถุงกระดาษคราฟท์เคลือบด้วยพลาสติกพอลีไพรไพลีน (PP) และถุงอะลูเนียมฟอยด์เคลือบด้วยพลาสติกพอลีไพรไพลีน (PP) มาศึกษาคุณภาพทางด้านสีและค่าความแข็งกรอบ มีผลดังนี้

จากตารางที่ 4.15 การตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพด้านค่าสี พบว่า ผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศมีค่าความสว่าง (L*) และค่า b* ลดลง ส่วนค่า a* มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากสารละลายกรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 0.5 มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลต่ำลง รวมถึงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้นด้วย จึงมีผลทำให้อบกรอบด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศมีสีแดงเพิ่มมากขึ้นและมีสีเหลืองลดลง

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลนี้เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ซึ่งเป็นผลมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) จะเกิดขึ้นเมื่อออกซิเจนเข้ามาสัมผัสกับสารโมโนฟีนอล (monophenol)

ถูกออกซิไดซ์ได้เป็นสารไดฟีนอล (diphenol) ซึ่งเป็นสารไม่มีสี และถูกออกซิไดซ์ต่อไปจะเป็นโอ-ควิโนนซึ่งจะทำปฏิกิริยากับกรดแอมิโนหรือโปรตีนได้เป็นสารสีน้ำตาล (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2557) ส่งผลทำให้ค่า L* และค่า b* ของผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศที่บรรจุถุงกระดาษคราฟท์ มีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว ในขณะที่ค่า a* กับเพิ่มขึ้นเมื่อการเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 8 สัปดาห์

ตารางที่ 4.15 คุณภาพทางด้านกายภาพของกล้วยหอมทองอบกรอบทำแห้งด้วยกระบวนเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์

ระยะเวลาการเก็บรักษา	ชนิดการบรรจุ	ค่าสี			ค่าความแข็งกรอบ (นิวตัน/ตร.ซม.)
		L*	a*	b*^{ns}	
สัปดาห์ที่ 0	ถุงกระดาษคราฟท์	85.11±3.07^{ns}	1.69±0.37^{ns}	20.77±2.80	29.36±1.41^{ns}
	ถุงอลูมิเนียมฟอยล์	84.50±0.11^{ns}	2.01±0.23^{ns}	22.59±2.03	30.84±3.13^{ns}
สัปดาห์ที่ 4	ถุงกระดาษคราฟท์	78.95±1.30^{ns}	3.27±0.23^{a}	20.66±1.91	43.58±2.62^{a}
	ถุงอลูมิเนียมฟอยล์	79.07±2.71^{ns}	2.57±0.27^{b}	22.51±1.06	30.31±2.40^{b}
สัปดาห์ที่ 8	ถุงกระดาษคราฟท์	74.28±0.48^{b}	3.39±0.16^{ns}	20.59±0.82	45.70±4.84^{a}
	ถุงอลูมิเนียมฟอยล์	76.17±0.59^{a}	3.32±0.09^{ns}	22.40±0.87	30.21±2.64^{b}

หมายเหตุ : อักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

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

ส่วนค่าความแข็งกรอบของกล้วยหอมทองอบกรอบด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศเมื่อการเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่ากล้วยหอมทองทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่บรรจุในถุงกระดาษคราฟท์ มีการเพิ่มขึ้นของค่าความแข็งกรอบมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ที่บรรจุในถุงกระดาษคราฟท์ สัปดาห์ที่ 0 มีค่าที่ 29.36±1.41 นิวตัน/ตร.ซม. ส่วนสัปดาห์ที่ 8 ค่าที่ 45.70±4.84 นิวตัน/ตร.ซม. เมื่อเทียบกับที่บรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ สัปดาห์ที่ 0 มีค่าที่ 30.84±3.13 นิวตัน/ตร.ซม. และสัปดาห์ที่ 8 มีค่าที่ 30.21±2.64 นิวตัน/ตร.ซม.

จากกรณีดังกล่าว พบว่ากล้วยหอมทองอบกรอบด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศที่บรรจุด้วยถุงอลูมิเนียมฟอยล์ สามารถคงรักษาความกรอบของผลิตภัณฑ์ไว้ได้มากที่สุดตลอดอายุการเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 8 สัปดาห์ เนื่องจากค่าความแข็งกรอบที่ได้มีค่าน้อยกว่าส่วนที่บรรจุในถุงกระดาษคราฟท์ พบว่าถุงกระดาษคราฟท์มีอัตราการยอมให้ไอน้ำซึมผ่านได้มากกว่าถุงอลูมิเนียมฟอยล์ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ มีการดูดซับความชื้นที่ซึมผ่านถุงกระดาษคราฟท์จนทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความ

กรอบลดลง สอดคล้องกับการวัดค่าความแข็งกรอบที่ได้ ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่มากขึ้น

2.2 การตรวจสอบคุณภาพทางเคมี นำผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด ได้แก่ ถุงกระดาษคราฟท์ และถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ มาศึกษาคุณภาพทางด้านปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณกรดทั้งหมด (กรดซิตริก) และปริมาณน้ำอิสระ มีผลดังนี้

ตารางที่ 4.16 คุณภาพทางด้านเคมีของกล้วยหอมทองอบกรอบทำแห้งด้วยกระบวนเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์

ระยะเวลาการเก็บรักษา	ชนิดการบรรจุ	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์)^{ns}	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)^{ns}	ปริมาณกรดซิตริก (ร้อยละ)^{ns}
สัปดาห์ที่ 0	ถุงกระดาษคราฟท์	10.61±0.48	4.32±0.01	2.69±0.04
	ถุงอลูมิเนียมฟอยล์	10.59±0.34	4.32±0.05	2.64±0.07
สัปดาห์ที่ 4	ถุงกระดาษคราฟท์	10.33±0.10	4.49±0.01	2.38±0.07
	ถุงอลูมิเนียมฟอยล์	10.53±0.25	4.47±0.02	2.68±0.61
สัปดาห์ที่ 8	ถุงกระดาษคราฟท์	10.33±0.19	4.43±0.01	2.57±0.13
	ถุงอลูมิเนียมฟอยล์	10.50±0.55	4.42±0.02	2.66±0.06

หมายเหตุ : อักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

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

จากตารางที่ 4.16 คุณภาพทางด้านเคมีของผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศที่บรรจุถุงกระดาษคราฟท์และถุงอลูมิเนียมฟอยล์ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) โดยปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด มีค่าอยู่ระหว่าง 10.33±0.10 - 10.61±0.48 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) มีค่าอยู่ระหว่าง 4.32±0.01 - 4.49±0.01 และปริมาณกรดทั้งหมด (กรดซิตริก) มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 2.38±0.07 - 2.69±0.04 ตามลำดับ ส่วนปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระของกล้วยหอมทองอบกรอบด้วยกระบวนการทำ

แห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ ดังตารางที่ 4.17 พบว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุด้วยถุงกระดาษคราฟท์เมื่อเปรียบเทียบกับที่บรรจุด้วยถุงอลูมิเนียมฟอยล์ จะมีปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) จากการเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 8 สัปดาห์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของกรกช ใจวรรณ และคณะ (2551) ทำการศึกษาผลิตภัณฑ์ลูกเดือยอบพองปรุงแต่งรสบาร์บีคิว รูปแบบการบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ พบว่าถุงอลูมิเนียมฟอยล์ สามารถป้องกันการแพร่ผ่านของความชื้นและก๊าซออกซิเจนได้ดีกว่าที่สุดถุงกระดาษคราฟท์

ตารางที่ 4.17 คุณภาพทางด้านเคมีของกล้วยหอมทองอบกรอบทำแห้งด้วยกระบวนเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์

ระยะเวลาการเก็บรักษา	สภาวะการบรรจุ	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)
สัปดาห์ที่ 0	ถุงกระดาษคราฟท์	6.76 ± 0.04^{ns}	0.14 ± 0.01^{ns}
	ถุงอลูมิเนียมฟอยล์	6.76 ± 0.07^{ns}	0.14 ± 0.00^{ns}
สัปดาห์ที่ 4	ถุงกระดาษคราฟท์	10.41 ± 0.20^{a}	0.19 ± 0.00^{a}
	ถุงอลูมิเนียมฟอยล์	7.02 ± 0.31^{b}	0.16 ± 0.00^{b}
สัปดาห์ที่ 8	ถุงกระดาษคราฟท์	12.57 ± 0.13^{a}	0.22 ± 0.01^{a}
	ถุงอลูมิเนียมฟอยล์	7.34 ± 0.49^{b}	0.17 ± 0.00^{b}

หมายเหตุ : อักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

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

การตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของกล้วยหอมทองอบกรอบด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ มีดังนี้

ตารางที่ 4.18 องค์ประกอบทางเคมีของกล้วยหอมทองอบกรอบด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ (ร้อยละ)
ความชื้น	6.76
คาร์โบไฮเดรต	82.29
โปรตีน	5.72
ไขมัน	0.13
เยื่อใย	1.54
เถ้า	3.56

จากตารางที่ 4.18 พบว่า กล้วยหอมทองอบกรอบด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ ผลิตภัณฑ์มีปริมาณความชื้น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เส้นใย และเถ้า เท่ากับร้อยละ 6.76 82.29 5.72 0.13 1.54 และ 3.56 ตามลำดับ ดังนั้นผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบจึงเป็นผลิตภัณฑ์ที่อุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการที่เหมาะสมสำหรับผู้บริโภคทุกเพศทุกวัย

2.3 การทดสอบการยอมรับคุณภาพทางประสาทสัมผัส นำผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด ได้แก่ ถุงกระดาษคราฟท์ และถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ การเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ มีผลดังนี้

ตารางที่ 4.19 คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของกล้วยหอมทองอบกรอบด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์

ระยะเวลาการเก็บรักษา	สภาวะการบรรจุ	คุณลักษณะ				
		ลักษณะปรากฏ^{ns}	สี^{ns}	รสชาติ^{ns}	ความกรอบ	ความชอบโดยรวม^{ns}
สัปดาห์ที่ 0	ถุงกระดาษคราฟท์	7.02±1.39	7.10±1.24	7.55±1.38	7.62±0.98^{ns}	7.87±0.79
	ถุงอลูมิเนียมฟอยล์	7.05±1.30	6.92±1.35	7.47±1.34	7.75±1.17^{ns}	7.70±0.85
สัปดาห์ที่ 4	ถุงกระดาษคราฟท์	6.95±1.30	6.80±1.22	7.20±1.11	7.50±1.09^{ns}	7.37±1.03
	ถุงอลูมิเนียมฟอยล์	6.95±1.13	6.92±1.22	7.40±1.12	7.75±0.90^{ns}	7.65±0.92
สัปดาห์ที่ 8	ถุงกระดาษคราฟท์	6.40±0.89	6.25±0.93	7.27±1.15	6.57±1.17^{b}	6.97±0.97
	ถุงอลูมิเนียมฟอยล์	6.45±0.74	6.55±0.75	7.34±0.88	7.74±0.86^{a}	7.60±0.88

หมายเหตุ : อักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

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

จากตารางที่ 4.19 ผลการทดสอบการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าบรรจุภัณฑ์ ทั้ง 2 ชนิด ถุงกระดาษคราฟท์ และถุงอลูมิเนียมฟอยล์ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ในด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ และความชอบโดยรวม กล้วยหอมทองอบกรอบที่บรรจุถุงกระดาษคราฟท์ มีคะแนนที่ 6.40±0.89 6.25±0.93 7.27±1.15 และ 6.97±0.97 ตามลำดับ และที่บรรจุถุงอลูมิเนียมฟอยล์ มีคะแนนที่ 6.45±0.74 6.55±0.75 7.34±0.88 และ 7.60±0.88 ตามลำดับ โดยคะแนนการยอมรับด้านคุณลักษณะต่าง ๆ มีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น สำหรับคุณลักษณะด้านความกรอบของผลิตภัณฑ์พบว่าการบรรจุทั้ง 2 ชนิดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบที่บรรจุถุงกระดาษคราฟท์ มีคะแนนด้านความกรอบลดลงเนื่องจาก

ถุงกระดาษคราฟท์จะมีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำและออกซิเจนได้สูง ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาไว้มีความกรอบลดลง โดยมีคะแนนการยอมรับด้านความกรอบอยู่ที่ 6.57±1.17 คะแนนเป็นระดับคะแนนอยู่ในช่วงที่ผู้บริโภคชอบเล็กน้อย ส่วนการเก็บรักษาที่บรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ พบว่าผลิตภัณฑ์มีคะแนนการยอมรับด้านความกรอบอยู่ที่ 7.74±0.86 คะแนน ซึ่งมีคะแนนมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงกระดาษคราฟท์ เป็นระดับที่ผู้บริโภคชอบปานกลาง ผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบที่บรรจุถุงทั้ง 2 ชนิด สามารถเก็บรักษาไว้ได้เป็น เวลา 8 สัปดาห์

ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ชนิดถุงอลูมิเนียมฟอยล์ ซึ่งมีความเหมาะสมสำหรับการบรรจุผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ

2.4 การตรวจสอบคุณภาพทางจุลินทรีย์ นำผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด ได้แก่ ถุงกระดาษคราฟท์ และถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ มาศึกษาระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ โดยมีการตรวจหาปริมาณจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์ รา และเอสเชอริเชีย ทุก 4 สัปดาห์ มีผลดังนี้

ตารางที่ 4.20 ปริมาณจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์

ระยะเวลาการเก็บรักษา	สภาวะการบรรจุ	จุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนี/กรัม)	ยีสต์และรา (โคโลนี/กรัม)	เอสเชอริเชีย โคไล (โคโลนี/กรัม)
สัปดาห์ที่ 0[ns]	ถุงกระดาษคราฟท์	5	ไม่พบ	ไม่พบ
	ถุงอลูมิเนียมฟอยล์	4	ไม่พบ	ไม่พบ
สัปดาห์ที่ 4	ถุงกระดาษคราฟท์	8[a]	ไม่พบ	ไม่พบ
	ถุงอลูมิเนียมฟอยล์	5[b]	ไม่พบ	ไม่พบ
สัปดาห์ที่ 8	ถุงกระดาษคราฟท์	10[a]	ไม่พบ	ไม่พบ
	ถุงอลูมิเนียมฟอยล์	5[b]	ไม่พบ	ไม่พบ

หมายเหตุ : อักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

[ns]หมายถึง ตัวอย่างในแนวตั้งที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากการศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ เป็นเวลา 8 สัปดาห์ ดังตารางที่ 4.20 พบว่าผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบที่บรรจุถุงกระดาษคราฟท์ มีปริมาณจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด 10 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ซึ่งมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กับที่บรรจุถุงอลูมิเนียมฟอยล์ มีปริมาณจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ 5 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม และบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิด

ตรวจไม่พบเชื้อยีสต์ และรา และเชื้อเอสเชอริเชีย โคไล ตลอดอายุการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ซึ่งผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบมีคุณภาพด้านเชื้อจุลินทรีย์อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผลไม้แห้ง (มผช.136/2558) คือ มีปริมาณจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องไม่เกิน 1×10^4 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม มีเชื้อยีสต์และราต้องไม่เกิน 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม และมีเชื้อเอสเชอริเชีย โคไล โดยวิธีเอ็มพีเอ็นต้องน้อยกว่า 3 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม

ดังนั้นผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ จึงเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพทั้งทางด้านคุณค่าทางโภชนาการ มีความปลอดภัยจากเชื้อจุลินทรีย์ และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคจากการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส สามารถพัฒนาไปเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่นำไปสู่การผลิตในเชิงพาณิชย์ได้

บทที่ 5
สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองเพื่อเพิ่มมูลค่าด้วยการพัฒนาและออกแบบผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ เพื่อเป็นแนวทางในการใช้ประโยชน์จากกล้วยหอมทองที่มีคุณลักษณะคุณภาพไม่ได้ตามเกณฑ์มาตรฐานเพื่อเป็นการช่วยเพิ่มมูลค่าและใช้ประโยชน์จากกล้วยหอมทอง มีข้อสรุปได้ดังนี้

1. ศึกษาและพัฒนาการออกแบบผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบแห้งด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ และทดสอบการยอมรับของผลิตภัณฑ์ให้เป็นไปตามความต้องการของผู้บริโภค มีขั้นตอนย่อย 3 ขั้นตอนสรุปได้ดังนี้

1.1 การศึกษาระยะการสุกของกล้วยหอมทองที่เหมาะสมต่อการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ โดยใช้กล้วยหอมทองที่มีระยะการสุก 3 ระยะคือ ระยะที่ 4 ระยะที่ 5 และระยะที่ 6 โดยผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับกล้วยหอมทองทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศที่มีการสุกในระยะที่ 5 มากที่สุดในด้านลักษณะปรากฏ เท่ากับ 7.07±1.08 คะแนน ด้านสี เท่ากับ 6.92±1.31 คะแนน ด้านเนื้อสัมผัส เท่ากับ 7.57±0.96คะแนน และความชอบโดยรวม เท่ากับ 7.95±0.75 คะแนน การตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพและทางเคมี กล้วยหอมทองอบกรอบที่สุกระยะที่ 5 มีค่าความสว่าง (L*) ที่ 75.64±3.09 เมื่อระยะการสุกของกล้วยเพิ่มขึ้นค่าของความสว่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (ปิยะทิพย์ สัมพันธ์ประทีป, 2550) ศึกษาระดับความสุกต่อคุณภาพกล้วยหอมทองแว่นอบกรอบสุญญากาศ พบว่าค่าความสว่างของตัวอย่างเพิ่มขึ้นเมื่อการสุกเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากระหว่างการสุกของกล้วยจะมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นซึ่งเป็นสับเตรทของปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่อาศัยเอนไซม์ ซึ่งจะเกิดกับอาหารที่ได้รับความร้อน และมีการสูญเสียน้ำ ดังนั้นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่อาศัยเอนไซม์จะเกิดมากขึ้นเมื่อกล้วยมีระดับความสุกมากขึ้น และมีค่าความแข็งกรอบ เท่ากับ 19.45±1.26 นิวตัน/ตร.ซม. และมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ เท่ากับ 13.74±0.21 องศาบริกซ์ มีค่าความเป็นกรด-ด่างที่ 4.73±0.01 ปริมาณกรดซิตริก ร้อยละ 1.94±0.08 ปริมาณความชื้น ร้อยละ 7.34±0.49 และปริมาณน้ำอิสระ 0.16±0.00

1.2 การศึกษาการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลของเอนไซม์ในกล้วยหอมทองที่ทำแห้งด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ โดยนำกล้วยหอมทองมาแช่ไปในสารละลายกรดแอสคอร์บิก และสารละลายกรดซิตริก ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0 1.0 และ 2.0 เป็นเวลา 2 นาที โดยค่าสีของกล้วยหอมทองที่แช่สารละลายกรดซิตริก และสารละสายกรดแอสคอร์บิก ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 มีค่า L* ที่ 82.24±1.36 และ 84.56±0.24 ค่า a* มีค่าที่ 2.04±0.21 และ

2.28±0.70 และค่า b* มีค่าที่ 26.91±2.89 และ 25.93±1.75 ซึ่งให้ประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลใกล้เคียงกัน เนื่องจากมีความสามารถในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลของเอนไซม์ในกล้วยหอมทอง ซึ่งไม่มีผลต่อค่าความแข็งกรอบของกล้วยหอมทอง เมื่อมีการแช่ด้วยสารละลายกรด จึงทำให้กล้วยหอมทองมีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง ซึ่งสอดคล้องกับกล้วยหอมทองเมื่อแช่สารละลายกรดซิตริก ค่าพีเอชจะลดลง โดยเมื่อลดค่าพีเอชให้ต่ำกว่าค่าพีเอชที่เหมาะสมของพอลิฟีนอลออกซิเดส จะทำให้กิจกรรมของพอลิฟีนอลออกซิเดสลดลงด้วย (สมฤดี ไทพาณิชย์ และปราณี อ่านเปรื่อง, 2556)

การยอมรับคุณภาพทางประสาทสัมผัส ผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับกล้วยหอมทองทำแห้งที่แช่ด้วยสารละลายกรดซิตริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 ในด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ ความกรอบ และความชอบโดยรวม ซึ่งผู้ทดสอบให้ค่าคะแนนที่ 7.52±0.96 7.55±1.06 7.42±0.98 7.55±0.87 และ 7.65±0.80 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระดับที่ผู้บริโภคชอบปานกลาง และที่แช่สารละสายกรดแอสคอร์บิก ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 ผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับในด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ ความกรอบ และความชอบโดยรวม ผู้ทดสอบให้ค่าคะแนนที่ 7.15±1.41 7.32±1.14 7.57±1.22 7.54±0.87 และ 7.80±0.99 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระดับที่ผู้บริโภคชอบปานกลาง ดังนั้นการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลของเอนไซม์โดยการแช่กล้วยหอมทองในสารละลายกรดซิตริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 ซึ่งมีความเหมาะสมเนื่องจากมีต้นทุนในการผลิตที่ต่ำกว่า และยังสามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลของกล้วยหอมทองทำแห้งด้วยกระบวนการแช่เยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ ซึ่งมีประสิทธิภาพในระดับใกล้เคียงกัน

1.3 การศึกษาสภาวะการทำแห้งโดยศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในกระบวนการทำแห้งกล้วยหอมทองอบกรอบด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ โดยการนำกล้วยหอมทองที่มีการสุกในระยะที่ 5 และที่แช่สารละลายกรดซิตริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 นาน 2 นาทีไปแช่แข็งด้วยเครื่องแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที และนำไปเข้าสู่กระบวนการทำแห้งขั้นต้น (primary dry temp) ที่อุณหภูมิ 2 ระดับ คือ อุณหภูมิ -15 และ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 14 และ 16 ชั่วโมง ตามลำดับ และเข้าสู่การทำแห้งขั้นที่สอง (secondary dry temp) ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 16 และ 18 ชั่วโมง ตามลำดับ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าความสว่าง (L*) มีค่าอยู่ระหว่าง 80.08±1.44 - 83.27±1.34 ค่าสีแดง (a*) มีค่าอยู่ระหว่าง 2.28±0.09 - 2.39±0.31 และค่าสีเหลือง (b*) มีค่าอยู่ระหว่าง 17.60±0.12 - 18.40±1.20 ซึ่งกระบวนการทำแห้งอาหาร อากาศร้อนมีบทบาทหน้าที่ในการนำความร้อนเข้าสู่ชิ้นอาหารทำให้ปริมาณน้ำในชิ้นอาหารมีปริมาณลดลง (เชิญพร จันทร์สนาม, 2555) นอกจากนี้เมื่ออุณหภูมิและเวลาในการทำแห้งนานขึ้น พบว่าค่าความสว่าง (L*) มีแนวโน้มลดลง ส่วนค่าสีแดง (a*)

และสีเหลือง (b*) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งการเกิดสีน้ำตาลเป็นผลจากปฏิกิริยาเมล์ลาร์ด (mailard reaction) ที่เกิดจากกรดอะมิโนทำปฏิกิริยากับน้ำตาลรีดิวซ์ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2557)

การยอมรับคุณภาพทางประสาทสัมผัสผู้ทดสอบให้คะแนนทางด้านรสชาติ ความกรอบ และความชอบโดยรวมของสภาวะการทำแห้งขั้นต้นที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมงและการทำแห้งขั้นที่สองที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมงมีระดับคะแนนความชอบมากที่สุด มีค่าคะแนนที่ 7.92±0.76 7.90±0.74 และ 8.15±0.73 ตามลำดับ ซึ่งเป็นสภาวะการทำแห้งที่เหมาะสมสำหรับการทำผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ

ส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดอยู่ในช่วง 10.21-12.38 องศาบริกซ์ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ในช่วง 4.32-4.36 และปริมาณกรดทั้งหมด (กรดซิตริก) อยู่ในช่วงร้อยละ 2.00 ถึงร้อยละ 2.09 ปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 6.38±0.19 - 10.60±0.59 และปริมาณน้ำอิสระอยู่ในช่วง 0.14±0.00 - 0.21±0.03

2. การศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศบรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยด์ และถุงกระดาษคราฟท์ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 8 สัปดาห์ สรุปได้ดังนี้ กล้วยหอมทองที่บรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยด์ สามารถคงรักษาความกรอบของผลิตภัณฑ์ไว้ได้มากที่สุดตลอดอายุการเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 8 สัปดาห์ เนื่องจากมีค่าสีค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) เท่ากับ 76.17±0.59 3.32±0.09 และ 22.40±0.87 ตามลำดับ และถุงกระดาษคราฟท์ โดยมีค่าสีค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) เท่ากับ 74.28±0.48 3.39±0.16 และ 20.59±0.82 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อมีการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ค่าความสว่าง (L*) มีแนวโน้มลดลง ซึ่งการเปลี่ยนนี้เป็นผลมาจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษา ระยะเวลาเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้นน้ำตาลรีดิวซ์จะทำปฏิกิริยากับหมู่อะมิโนได้เป็นไกลโคซิลเอมีน และเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องจนได้สารสีน้ำตาลโดยมีความชื้นก็เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อปฏิกิริยาเมลลาร์ด (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2557)

ส่วนค่าความแข็งกรอบมีค่าอยู่ในช่วง 30.21±2.64 - 30.84±3.13 นิวตัน/ตร.ซม. ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดอยู่ในช่วง 10.50±0.55 - 10.59±0.34 องศาบริกซ์ ค่าความเป็นกรด – ด่าง อยู่ระหว่าง 4.32±0.05 - 4.42±0.02 ปริมาณกรดทั้งหมด (กรดซิตริก) มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 2.38±0.07 - 2.69±0.04 มีปริมาณน้ำอิสระที่ 0.17±0.00 และผลิตภัณฑ์มีปริมาณความชื้น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เส้นใย และเถ้า เท่ากับร้อยละ 6.76 82.29 5.72 0.13 1.54 และ 3.56 ตามลำดับ

การทดสอบการยอมรับคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสระหว่างการเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิดได้แก่ ถุงกระดาษคราฟท์ และถุงอลูมิเนียมฟอยล์ ในด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ และความชอบโดยรวมมีคะแนนไม่แตกต่างกัน ส่วนคุณลักษณะด้านความกรอบของผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบที่บรรจุถุงกระดาษคราฟท์ มีคะแนนด้านความกรอบลดลงเป็นระดับคะแนนอยู่ในช่วงที่ผู้บริโภคชอบเล็กน้อยเนื่องจากถุงกระดาษคราฟท์จะมีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำและออกซิเจนได้สูง ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาไว้มีความกรอบลดลง ส่วนการเก็บรักษาที่บรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ มีคะแนนการยอมรับด้านความกรอบอยู่ที่ 7.74$\pm$0.86 คะแนน เป็นระดับที่ผู้บริโภคชอบปานกลาง ซึ่งผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบที่บรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิด สามารถเก็บรักษาไว้ได้เป็น เวลา 8 สัปดาห์

สำหรับคุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบที่บรรจุถุงกระดาษคราฟท์ มีปริมาณจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด 10 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1กรัม ส่วนถุงอลูมิเนียมฟอยด์ มีปริมาณจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ 5 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม และที่บรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิด ตรวจไม่พบเชื้อยีสต์ และรา และเชื้อเอสเชอริเชีย โคไล ตลอดอายุการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด (มผช.136/2558) ดังนั้นถุงอลูมิเนียมฟอยด์ จึงเป็นบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในการบรรจุผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ ซึ่งสามารถเก็บรักษาได้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 8 สัปดาห์ โดยที่ผลิตภัณฑ์ยังคงมีคุณภาพทางด้านความปลอดภัยจากเชื้อจุลินทรีย์ และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

ข้อเสนอแนะ

ในการเก็บรักษาควรศึกษาชนิด และปริมาณสารดูดความชื้น เพื่อเป็นการปรับสภาวะภายในบรรจุภัณฑ์ให้แตกต่างจากสภาพบรรยากาศปกติ เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาให้นานขึ้น

บรรณานุกรม

กรกช ใจวรรณ ณัชพล อยู่เย็น และ นิภารัตน์ แก้ววิเชียร์. (2551). **ผลของรูปแบบการบรรจุและอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อคุณภาพของลูกเดือยอบพองปรุงแต่งรสบาร์บีคิวที่ผลิตจากการอบพองด้วยไมโครเวฟ.** เชียงใหม่ : เอกสารรายงานการวิจัยภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. หน้า 1-16.

กรมส่งเสริมสหกรณ์. (2560). **กล้วยหอมทองปลอดสารพิษ หนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์**. กรุงเทพฯ : กรมส่งเสริมสหกรณ์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กรมอนามัย. 2544. **ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการของไทย** (พิมพ์ครั้งที่ 1). นนทบุรี : โรงพิมพ์ทหารผ่านศึก.

จริงแท้ ศิริพานิช. (2549). **ชีววิทยาหลังการเก็บเกี่ยวและการวายของพืช.** นครปฐม : โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน 453 หน้า.

เจิมขวัญ สังข์สุวรรณ . (2541). **บรรจุภัณฑ์และอายุการเก็บรักษาของอาหารแห้ง** . พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.

ทองจวน วิพัฒน์เจริญลาภ นฤศันส์ วาสิกดิลก และนิภาพร คังคะวิสุทธ. (2558). **ศึกษากรรมวิธีสละอบแห้งแบบระเหิดพร้อมบริโภค**. กรุงเทพมหานคร : สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

ธีรนุช เร่งวัฒนะชัย. (2554). **การลดการเกิดสีน้ำตาลในกล้วยหอมแช่เยือกแข็งเพื่อผลิตสมูตตี้.** กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นิธิยา รัตนาปนนท์. (2557). **เคมีอาหาร** (พิมพ์ครั้งที่ 5). กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์

เบญจมาศ ศิลาย้อย. (2545). **กล้วย**. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ประสาท สวัสดิ์ชิตัง. (2538). **การเกิดสีน้ำตาลของอาหารและการควบคุมป้องกัน.** วารสารอาหาร. 25 (3) : 160-169.

พวงผกา คมสัน. (2545). **ขั้นตอนและปัญหาเกี่ยวข้องกับการส่งออกกล้วย**. กรุงเทพฯ : เอกสารประกอบการบรรยายการสัมมนาเชิงปฏิบัติการเรื่อง “Banana production for export” 3-5 กรกฎาคม 2545 สถาบันเทคโนโลยีเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

พนิดา เมฆทัพ และมยุรี กระจายกลาง. (2558). **ผลของกรดแอสคอร์บิกต่อคุณภาพการเก็บรักษาสับปะรดห้วยมุ่นตัดแต่ง**. ขอนแก่น : วารสารแก่นเกษตร 43 ฉบับพิเศษ 1. 836 - 841

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. (2559). **Dehydration / การทำแห้ง.** [ออนไลน์] [เข้าถึงได้จาก]: http://www.foodnetworksolution.com/dehydration-การทำแห้ง. วันที่เข้าถึง 12 สิงหาคม 2562.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. (2559). **Freeze drier / เครื่องทำแห้งแบบระเหิด.** [ออนไลน์] [เข้าถึงได้จาก]: http://www.foodnetworksolution.com/ Freeze drier. วันที่เข้าถึง 20 กันยายน 2562.

วิจิตร วังใน. (2530). **กล้วย**. กรุงเทพฯ : ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน. 339 น.

ศูนย์วิจัยกสิกรไทย. (2560). **อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม**. [ออนไลน์] [เข้าถึงได้จาก] http://www.kasikornbank.com/SME/Documents/KSMEAnalysis/ IndustrySolution_FoodsAndB everages_2015.pdf/ วันที่เข้าถึง 17 ตุลาคม 2562

ศูนย์อัจฉริยะเพื่ออุตสาหกรรมอาหาร. (2559). **ส่วนแบ่งตลาดขนมขบเคี้ยว ปี 2559**. [ออนไลน์] [เข้าถึงได้จาก] http://www.fic.nfi.or.th/marketOverviewDomestic.php./ วันที่เข้าถึง 20 กันยายน 2562.

สถาบันอาหาร. (2558). **ตลาดขนมขบเคี้ยวในประเทศไทย**. [ออนไลน์] [เข้าถึงได้จาก] http://fic.nfi.or.th/MarketOverviewDomesticDetail.php?id=116/ วันที่เข้าถึง 27 ตุลาคม 2561

สมฤดี ไทพาณิชย์ และปราณี อ่านเปรื่อง. (2556). **การป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในกล้วยหอมตีป่นพาสเจอร์ไรซ์.** กรุงเทพฯ : วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม ปีที่9 ฉบับที่1 มิถุนายน 2556- พฤษภาคม 2557. 39.

สุริยัณห์ สุภาพวานิช พัชรี บุญมี และ วาสนา ทองวัดเพ็ง. (2543). **ผลของการใช้กรดแอสคอร์บิกและการลวกต่อการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในไซรัปกล้วยไข่.** กรุงเทพฯ : วารสารเกษตรพระจอมเกล้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ฉบับที่ 32:2 หน้า 32-40.

สำนักงานเกษตรจังหวัดเพชรบุรี. (2561). **พืชเศรษฐกิจจังหวัดเพชรบุรี**. [ออนไลน์] [เข้าถึงได้จาก] http://www.phetchaburi.doae.go.th/ วันที่เข้าถึง 17 ตุลาคม 2562.

สำนักงานสหกรณ์จังหวัดเพชรบุรี. (2561). **การผลิตกล้วยหอมทองเพื่อการส่งออก.** [ออนไลน์] [เข้าถึงได้จาก] http://webhost.cpd.go.th/petchburi/index.html/ วันที่เข้าถึง 7 ตุลาคม 2562.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2558). **มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผักและผลไม้แห้ง** (มผช.136/2558). กรุงเทพฯ : กระทรวงอุตสาหกรรม. 6 น.

Belitz, H.D. and W. Groseh. (1999). **Food Chemistry** 2nd ed.Springer, Berlin.

Beveridge, T., K. Franz. and J.E. Harrison. (1986). **Clarified natural apple juice: Production and storage stability of juice and concentrate**. journal of Food Sci. 51 (2): 411-414.

Buedo, A.P., M.P. Elustondo and M.J. Urbicain. (2001). **Nonenzymatic browning of peach Juice concentrate during storage**. Innov. Food Sci. Emerg. Tecnol. 1: 255-260.

Chokri, H.P., and Frederic, R. (1997). **Determination of Freeze-drying Process Variables for Strawberries**. journal of Food Engineering 32, (133-154).

Fellow, P.J. (1990). **Food Processing Technology Principle and Practice.** Ellis HorwoodLimited. 505 p.

Garayo, J. and Moreira, R. (2002).**Vacuum Frying of Potato Chips**. Journal of Food Engineering. 55 : 181–191.

Kotecha, S. A., D. W. Eley, and R. W. (2008). **Vacuum Frying of High-quality Fruit and Vegetable-based Snacks**. LWT - Food Science and Technology. 41: 1758-1767.

Lawson, H.W. (1985). **Standards for Fats and Oils.** AVI Publishing Co. Westport, Connecticut.

Moyano, P. C., Rıoseco, V. K., and Gonzalez, P. A. (2002). **Kinetics of Crust Color Changes during Deep-fat Frying of Impregnated French Fries**. Journal of Food Engineering. 54 : 249–255

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ใบรายงานผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส แบบ 9-Point hedonic scaling test

ศึกษาระยะการสุกของกล้วยหอมทองที่เหมาะสมต่อการทำแห้งกล้วยหอมทองอบกรอบด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ

ชื่อ.....วันที่.....เวลา.....

คำแนะนำ : กรุณาชิมตัวอย่างจากซ้ายไปขวาพร้อมให้คะแนนความชอบในแต่ละคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ โดยกำหนดให้

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

รหัสตัวอย่าง	.....	.....
ลักษณะปรากฏ	.....	.....
สี	.....	.....
รสชาติ	.....	.....
ความกรอบ	.....	.....
ความชอบโดยรวม	.....	.....

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ใบรายงานผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส แบบ 9-Point hedonic scaling test

ศึกษาการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลของเอนไซม์ในกล้วยหอมทองอบกรอบทำแห้งด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ

ชื่อ.....วันที่.....เวลา.....

คำแนะนำ : กรุณาชิมตัวอย่างจากซ้ายไปขวาพร้อมให้คะแนนความชอบในแต่ละคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ โดยกำหนดให้

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

รหัสตัวอย่าง	.....	.....	.....
ลักษณะปรากฏ	.....	.....	.....
สี	.....	.....	.....
รสชาติ	.....	.....	.....
ความกรอบ	.....	.....	.....
ความชอบโดยรวม	.....	.....	.....

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ใบรายงานผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส แบบ 9-Point hedonic scaling test

ศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในกระบวนการทำแห้งกล้วยหอมทองอบกรอบด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ

ชื่อ.....วันที่.....เวลา.....

คำแนะนำ : กรุณาชิมตัวอย่างจากซ้ายไปขวาพร้อมให้คะแนนความชอบในแต่ละคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ โดยกำหนดให้

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

รหัสตัวอย่าง	.....	.....	.....
ลักษณะปรากฏ	.....	.....	.....
สี	.....	.....	.....
รสชาติ	.....	.....	.....
ความกรอบ	.....	.....	.....
ความชอบโดยรวม	.....	.....	.....

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ใบรายงานผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส แบบ 9-Point hedonic scaling test

ศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ

ชื่อ.....วันที่.....เวลา.....

คำแนะนำ : กรุณาชิมตัวอย่างจากซ้ายไปขวาพร้อมให้คะแนนความชอบในแต่ละคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ โดยกำหนดให้

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

รหัสตัวอย่าง	.....	.....	.....
ลักษณะปรากฏ	.....	.....	.....
สี	.....	.....	.....
รสชาติ	.....	.....	.....
ความกรอบ	.....	.....	.....
กลิ่นหืน	.....	.....	.....
ความชอบโดยรวม	.....	.....	.....

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

ภาคผนวก ข.
การวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ

1. การวัดค่าสี

1.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

เครื่องวัดค่าสียี่ห้อ Hunterlab รุ่น Ultrascan VIS (U.S.A.) ระบบ CIE L*a*b*

1.2 วิธีการ

1. เปิดเครื่องวัดสี เปลี่ยนพอตที่ตัวเครื่องให้เป็นพอตที่มีกระจก พร้อมทั้งเปิดคอมพิวเตอร์ที่หน้าจอ Windows เลือก Double click ที่ Icon EasyMatchQC
2. ที่หน้าจอของโปรแกรม EasyMatchQC เข้า Menu sensor แล้วกดคลิกที่ Standardize
3. โปรแกรมจะถามหา Light trap ให้วาง Light trap ที่ Reflectance port กด Next
4. โปรแกรมจะถามหาWhite tile ให้วาง White tile ที่ Reflectance port กด Next
5. เสร็จสิ้นขั้นตอนการ Standardize กด Finish แล้วกด OK พร้อมสำหรับวัดตัวอย่าง
6. นำตัวอย่างไปแนบที่ Reflectance port แล้วกด Read sample ที่หน้าจอคอมพิวเตอร์
7. ปรากฏหน้าต่าง Read sample ใส่ชื่อตัวอย่างที่ช่อง Sample ID แล้วคลิกที่ OK
8. ปรากฏหน้าต่าง Save job file as ใส่ชื่อไฟล์ที่ช่อง File name แล้วคลิกที่ Save
9. จะปรากฏหน้าต่างใหม่ให้คลิก Yes
10. จะปรากฏหน้าต่างแสดงผลของการวัดค่าสี

2. การวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (วัดค่าความแข็งกรอบ : Hardness)

2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่อง Texture Analyzer (Stable micro systems รุ่น TA-XT plus, England)
2. หัววัดแบบหัวเข็มรูปวงกลม (หัววัด HDP/CFS)

2.2 วิธีการ

1. เลือกโปรแกรม Texture exponent
2. ใช้หัววัดแบบหัวเข็มรูปวงกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร (หัววัด HDP/CFS)
3. ติดฐานวางตัวอย่างลงบนฐานรองทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร
4. ทำการวัดโดยใช้หัววัดกดลงบนตัวอย่าง (ตัวอย่างต้องแตก) กำหนดความเร็วของหัววัดในการทดสอบ 1 มิลลิเมตรต่อวินาที ความเร็วของหัววัดหลังการทดสอบ 10 มิลลิเมตรต่อวินาทีและให้หัววัดกดลงบนตัวอย่างเป็นระยะทาง 3 มิลิลิเมตร ทดสอบจำนวน 3 ครั้ง
5. อ่านค่าแรงกดสูงสุดของตัวอย่างที่วัดได้จากค่า Hardness

ภาคผนวก ค.
การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

1. การวิเคราะห์หาปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก ตามวิธี AOAC (2000)

1.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. บิวเรต
2. ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
3. โถดูดความชื้น (Desicator)

1.2 สารเคมี

1.ฟีนอล์ฟทาลีนความเข้มข้นร้อยละ 1

2. สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล

1.3 การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล

1. นำโพแทสเซียมแอซิดพาทาเลท ($KHC_8H_4O_4$) ใส่กระจกนาฬิกาไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส นาน 1-2 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น นาน 30 นาที

2. ชั่งน้ำหนักให้ได้แน่นอน 0.8 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

3. เติมน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร (ทำซ้ำ 3 ขวด)

4. ไตเตรทกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล ใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์

1.4 วิธีการ

1. ชั่งน้ำหนักกล้วยหอมทองให้ได้ 25 กรัม

2. นำกล้วยมาปั่นให้ละเอียด ตวงน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตรใส่ในเครื่องปั่น

3. นำน้ำกล้วยที่ได้กรองผ่านผ้าขาวบาง

4. ใช้ปิเปตดูดส่วนที่เป็นสารละลายน้ำกล้วยที่ได้ปริมาตร 5 มิลลิลิตรใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตรและหยดฟีนอล์ฟทาลีน 1-3 หยด เขย่าให้เข้ากัน

5. นำไปไตเตรทกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล จนได้จุดยุติเป็นสีชมพูอ่อน

1.5 การคำนวณ

$$\text{ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก (ร้อยละ)} = \frac{\text{NaOH} \times N \times n \times 100}{25}$$

เมื่อ NaOH = ปริมาณที่ใช้

N = ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มอล)

n = มิลลิอิควิวาเลนท์ 0.07 (กรดซิตริก)

2. การวัดความเป็นกรด-ด่าง

2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องพีเอชมิเตอร์ (pH meter) ยี่ห้อ Satorius รุ่น PB-11 (Germany)
2. บีกเกอร์ ขนาด 50 มิลลิลิตร

2.2 วิธีการ

1. นำส่วนที่เป็นสารละลายน้ำกล้วยที่ได้ปริมาตร 50 มล.
2. วัดความเป็นกรดด่างโดยใช้พีเอชมิเตอร์ที่ผ่านการปรับด้วยสารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐานพีเอช 4.0 และ 7.0
3. ทำการวัดซ้ำจำนวน 3 ครั้ง

3. การวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดโดยเครื่องหาค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่อง Automatic digital refractometer (ATAGO รุ่น RX5000α) ตามวิธี AOAC (2000)

3.2 วิธีการ

1. ทำการทดสอบความแม่นยำของเครื่องมือ Calibration โดยการหยดน้ำกลั่นลงบนเลนส์วัด ปิดฝาครอบ
2. เลือกปุ่ม Start
3. อ่านค่าจากหน้าจอ ต้องเท่ากับร้อยละ 0.00
4. นำส่วนที่เป็นสารละลายน้ำกล้วยหยดลงบนเลนส์วัด ปิดฝาครอบ
5. เลือกปุ่ม Start
6. อ่านค่าที่ได้ จากหน้าจอ
7. ทำการวัดซ้ำจำนวน 3 ครั้ง

4. การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น ตามวิธี AOAC (2000)

4.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ตู้อบไฟฟ้า
2. ภาชนะอะลูมิเนียมสำหรับหาความชื้น
3. โถดูดความชื้น (Desicator)
4. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

4.2 วิธีการ

1. อบภาชนะสำหรับหาความชื้นในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 2-3 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถดูดความชื้น นาน 30 นาที แล้วชั่งน้ำหนัก

2. กระทำเช่นเดียวกับข้อ 1 ซ้ำจนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

3. ชั่งตัวอย่างอาหาร (บดตัวอย่าง) ที่ต้องการหาความชื้นให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน 1-3 กรัม ใส่ลงในภาชนะหาความชื้นซึ่งทราบน้ำหนักดีแล้ว

4. นำไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 5-6 ชั่วโมง

5. นำออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถดูดความชื้น นาน 30 นาที ชั่งน้ำหนักภาชนะพร้อมตัวอย่างนั้น

6. จากนั้นนำกลับไปเข้าตู้อบอีก และกระทำเช่นเดิมจนได้ผลต่างของน้ำหนักแห้งที่ชั่งทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

4.3 การคำนวณ

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100$$

โดยที่ W_1 คือ น้ำหนักตัวอย่างก่อนการทำแห้ง (กรัม)

W_2 คือ น้ำหนักตัวอย่างหลังการทำแห้ง (กรัม)

5. การวิเคราะห์หาปริมาณไขมัน ตามวิธี AOAC (2000)

5.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. Soxhlet apparatus
2. หลอดใส่ตัวอย่าง
3. สำลี
4. ตู้อบไฟฟ้า
5. เครื่องชั่งไฟฟ้า
6. โถดูดความชื้น (Desicator)

5.2 สารเคมี

ปิโตรเลียมอีเทอร์หรือเฮกเซน

5.3 วิธีการ

1. ใส่ขวดกลมสำหรับการหาปริมาณไขมัน ซึ่งมีขนาดบรรจุ 250 มิลลิลิตร ในตู้อบไฟฟ้า ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น นาน 30 นาที และชั่งน้ำหนักที่แน่นอน

2. ชั่งตัวอย่างบนกระดาษกรองที่ทราบน้ำหนัก 3-5 กรัม ห่อให้มิดชิดใส่ลงในหลอดสำหรับใส่ตัวอย่าง ปิดด้วยสำลี ชั่งน้ำหนักอีกครั้ง บันทึกน้ำหนัก

3. นำหลอดตัวอย่างใส่ลงใน Soxhlet เติมตัวทำละลายปิโตรเลียมอีเทอร์ ลงในขวดหาไขมันประมาณ 150 มิลลิลิตร แล้ววางบนเตา

4. ประกอบอุปกรณ์ชุดกลั่นไขมัน พร้อมทั้งเปิดน้ำหล่ออุปกรณ์ควบแน่นและเปิดสวิทซ์ให้ความร้อน

5. ปรับความร้อนให้หยดของสารทำละลายกลั่นตัวด้วยอัตรา 150 หยด ต่อนาที

6. เมื่อครบ 6 ชั่วโมงแล้ว นำหลอดใส่ตัวอย่างออกจาก Soxhlet ทิ้งให้ตัวทำละลายไหลจาก Soxhlet ลงในขวดก้นกลมจนหมด

7. ระเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยแบบสุญญากาศ

8. นำขวดหาไขมันไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสจนแห้ง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น

9. ชั่งน้ำหนักแล้วอบซ้ำนานครั้งละ 30 นาที จนกระทั่งผลต่างของน้ำหนักทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

5.4 การคำนวณ

$$\text{ปริมาณไขมันโดยน้ำหนัก} = \frac{\text{น้ำหนักไขมันหลังอบ} \times 100}{\text{น้ำหนักของตัวอย่างแห้งก่อนอบ}}$$

ภาคผนวก ง.
การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์

1. การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total plate count) โดยวิธี Pour plate ตามวิธี AOAC (2000)

1.1 อาหารเลี้ยงเชื้อ

1. Plate count agar (PCA)
2. สารละลายเปปโตนร้อยละ 0.1 (0.1% peptone solution)

1.2 วิธีการทดสอบ

1. ชั่งตัวอย่างอาหาร 25 กรัม ใส่ในถุงปั่นอาหารพร้อม peptone water ร้อยละ 0.1 จำนวน 225 มิลลิลิตร แล้วทำให้เข้ากันโดยใช้เครื่องตีปั่นนาน 1-2 นาที

2. ทำการเจือจางตัวอย่างอาหาร โดยปิเปตตัวอย่าง 10 มิลลิลิตร ใส่ในสารละลายสำหรับเจือจาง 90 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน จะได้ตัวอย่างเจือจาง 1:10 และปิเปตตัวอย่างที่เจือจาง 1:10 มา 10 มิลลิลิตร ใส่ในสารละลายสำหรับเจือจาง 90 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน จะได้ตัวอย่างเจือจาง 1:100 ทำเช่นนี้ต่อไปจนตัวอย่างที่เจือจางตามต้องการ

3. ใช้ปิเปตดูโตัวอย่างที่ทำการเจือจางที่ระดับต่าง ๆ จำนวน 1 มิลลิลิตร ลงในจานเพาะเชื้อ ระดับความเจือจางละ 2 จานเพาะเชื้อ

4. เทอาหารเลี้ยงเชื้อ PCA ประมาณ 12-15 มิลลิลิตร ลงในจานเพาะเชื้อ หมุนจานเพาะเชื้อเบา ๆ เป็นวงกลม แล้วตั้งไว้ให้วุ้นแข็งตัวประมาณ 15 นาที

5. บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 24-48 ชั่วโมง

6. ตรวจนับจำนวนโคโลนีที่อยู่ในช่วง 25-250 โคโลนี

7. หาค่าเฉลี่ยของจำนวนโคโลนีที่นับได้ แล้วคูณด้วยค่า Dilution factor ของความเจือจางที่นับได้ คำนวณเป็นจำนวนโคโลนีที่พบในตัวอย่าง 1 กรัม

2. การวิเคราะห์ปริมาณยีสต์และรา โดยวิธี Pour plate ตามวิธี AOAC (2000)

2.2 อาหารเลี้ยงเชื้อ

1. Potato dextrose agar (PDA) ที่ผ่านการปรับพีเอช (3.5) ด้วยกรดทาร์ทาริกร้อยละ 10
2. สารละลายเปปโตนร้อยละ 0.1 (0.1% peptone solution)

2.3 วิธีการทดสอบ

1. ชั่งตัวอย่างอาหาร 25 กรัม ใส่ในถุงปั่นอาหารพร้อม peptone water ร้อยละ 0.1 จำนวน 225 มิลลิลิตร แล้วทำให้เข้ากันโดยใช้เครื่องตีปั่นนาน 1-2 นาที

2. ทำการเจือจางตัวอย่างอาหาร โดยใช้ดูดปิเปตตัวอย่าง 10 มิลลิลิตร ใส่ในสารละลายสำหรับเจือจาง 90 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน จะได้ตัวอย่างเจือจาง 1:10 และปิเปตตัวอย่างที่เจือจาง 1:10 มา 10 มิลลิลิตร ใส่ในสารละลายสำหรับเจือจาง 90 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน จะได้ตัวอย่างเจือจาง 1:100 ทำเช่นนี้ต่อไปจนตัวอย่างที่เจือจางตามต้องการ

3. ปิเปตตัวอย่างที่ทำการเจือจางที่ระดับต่าง ๆ จำนวน 1 มิลลิลิตร ลงในจานเพาะเชื้อระดับความเจือจางละ 2 จานเพาะเชื้อ

4. เทอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ประมาณ 12-15 มิลลิลิตร ลงในจานเพาะเชื้อ หมุนจานเพาะเชื้อเบา ๆ เป็นวงกลม แล้วตั้งไว้ให้วุ้นแข็งตัวประมาณ 15 นาที

5. บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 24-48 ชั่วโมง

6. ตรวจนับจำนวนโคโลนีที่อยู่ในช่วง 25-250 โคโลนี

7. หาค่าเฉลี่ยของจำนวนโคโลนีที่นับได้ แล้วคูณด้วยค่า Dilution factor ของความเจือจางที่นับได้ คำนวณเป็นจำนวนโคโลนีที่พบในตัวอย่าง 1 กรัม

3. การวิเคราะห์ปริมาณ *Escherichi coli* โดยวิธี MPN (Most probable number method) ตามวิธี AOAC (2000)

3.1 อาหารเลี้ยงเชื้อ

1. Lauryl sulfate tryptose broth (LST)
2. Brilliant gree lactose 2% Blie broth (BGLB)
3. EC broth
4. L-EMB ager
5. สารละลายเปปโตน ร้อยละ 0.1 (0.1% peptone solution)

3.2 วิธีการทดสอบ

1. ชั่งตัวอย่างอาหาร 25 กรัม ใส่ในถุงปั่นอาหารพร้อม peptone water ร้อยละ 0.1 จำนวน 225 มิลลิลิตร แล้วทำให้เข้ากันโดยใช้เครื่องตีปั่นนาน 1-2 นาที

2. ทำการเจือจางตัวอย่างอาหาร 1:10 ด้วย peptone dilution ร้อยละ0.1 จนได้ความเจือจางที่ต้องการ ปิเปตตัวอย่างที่เจือจางในระดับต่าง ๆ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ LST broth ที่มีหลอดดักก๊าซ โดยใส่ระดับความเจือจางละ 3 หลอด ๆ ละ 1 มิลลิลิตร

3. นำไปเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง

4. ตรวจผลโดยสังเกตการเกิดก๊าซในหลอดดักก๊าซ Confirm test

5. นำ loop เขี่ยเชื้อจากหลอดบรรจุอาหาร LST ที่ให้ผลบวก ใส่ลงในอาหาร BGLB

6. นำไปเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ตรวจการเกิดกรดและก๊าซภายใน 24 ชั่วโมง

และ 48 ชั่วโมง ตามลำดับ คำนวณค่า Coliform bacteria จากตาราง MPN Confirm test สำหรับ *E.coli*

7. ถ่ายเชื้อจากหลอดที่บรรจุอาหาร LST ให้ผลบวกด้วย loop เขี่ยลงในอาหาร EC broth

8. นำไปเพาะที่อุณหภูมิ 44.5 องศาเซลเซียส ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ นาน 24 ชั่วโมง และ 48 ชั่วโมงตามลำดับ บันทึกผลการเกิดก๊าซในหลอดดักก๊าซ

9. เขี่ยเชื้อจากหลอดบรรจุอาหาร EC broth ให้ผลบวก streak ลงบนอาหาร L-EMB เพื่อแยกเชื้อนำไปเพาะเชื้อที่ 35 องศาเซลเซียส นาน 18-24 ชั่วโมง

10. ถ่ายเชื้อจากโคโลนีที่สงสัย ซึ่งมีจุดดำตรงกลาง มีหรือไม่มี Metallic sheen นำไปทดสอบปฏิกิริยาทางเคมี IMVic test แล้วนำผลที่ได้มาหาค่า MPN (Most probable number) จากตารางดัชนีค่า MPN ที่ได้ถือเป็น *Escherichi coli* มีหน่วยเป็น MPN *E.coli* / กรัม

4. การวิเคราะห์ปริมาณ *Staphylococcus aurous* ตามวิธี AOAC (2000)

4.1 อาหารเลี้ยงเชื้อ

1. Baird-parker medium
2. Trypticase (tryptic) soy agar (TSA)
3. Potassium tellurite solution
4. Egg yolk emulsion (20%)
5. Brain heart infusion (BHI) broth
6. Rabbit plasma with EDTA
7. Mannitol salt agar
8. Voges-proskauer (VP) salt medium

4.2 วิธีการทดสอบ

1. ใช้ปิเปตดูดตัวอย่างอาหารเหลว 25 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ที่บรรจุ peptone water ร้อยละ 0.1 ปริมาตร 225 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันเพื่อในการตรวจสอบเชื้อต่อไป

2. นำตัวอย่างอาหารที่เตรียมแล้ว 50 มิลลิลิตร ใส่ลงใน LSB + Nacl 10% ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ที่มีความเข้มข้น 2 เท่านำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35-37 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง

3. ถ่ายเชื้อ TSB ไป steak บนผิวหน้า MS-EY นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35-37 องศาเซลเซียส นาน 24-48 ชั่วโมงเชื้อ*Staphylococcus aurous* จะให้โคโลนีสีเหลืองขุ่นขนาดประมาณ 1 มิลลิลิตร และอาหารเลี้ยงเชื้อรอบๆโคโลนีจะมีลักษณะทึบแสง เนื่องจากมีการตกตะกอนของ Lecithin ในไข่แดงโดยเอนไซม์ Lecithinase

4. นำโคโลนีที่มีลักษณะสีเหลืองขุ่นจากข้อ 3 มาเลี้ยงในอาหาร BHI นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เพื่อสังเกตการณ์เกิด coagulation ที่เกิดภายใน 1-6 ชั่วโมง

ภาคผนวก จ.

กรรมวิธีการผลิตกล้วยหอมทองอบกรอบด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ มีขั้นตอนดังนี้

1. ส่วนประกอบ

1.1 กล้วยหอมทอง

1.2 กรดซิตริก

2. วิธีการ

2.1 คัดเลือกกล้วยหอมทองที่มีระยะการสุกอยู่ในระยะที่ 5

2.2 ปอกเปลือกกล้วย และหั่นกล้วยตามแนวขวาง ลักษณะเป็นแว่น ขนาด 0.5 เซนติเมตร

2.3 แช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิก ความเข้มข้นร้อยละ 0 1.0 และ 2.0 เป็นเวลา 2 นาที และสารละลายกรดซิตริก ความเข้มข้นร้อยละ 0 1.0 และ 2.0 เป็นเวลา 2 นาที

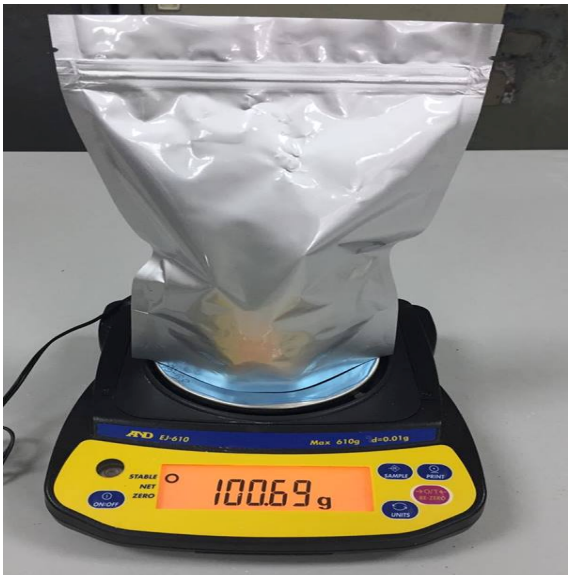
2.4 ล้างน้ำให้สะอาดและทิ้งให้สะเด็ดน้ำ 3 นาที

2.5 นำไปแช่เยือกแข็งด้วยเครื่องแช่เยือกแข็งแบบอากาศเย็นที่อุณหภูมิ -65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที

2.6 นำไปทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศที่สภาวะการทำแห้งขั้นต้น (primary dry temp.) อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมงและการทำแห้งขั้นที่สอง (secondary dry temp.) ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง

2.7 ผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบด้วยกระบวนการทำแห้งเยือกแข็งแบบระเหิดสุญญากาศ

2.8 บรรจุลงในถุงบรรจุภัณฑ์ ชั่งน้ำหนัก



ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – นามสกุล นายประกาศ ชมภู่ทอง

วัน เดือน ปี เกิด 14 กรกฎาคม 2511

ประวัติการศึกษา พ.ศ. 2535 เทคโนโลยีการเกษตรบัณฑิต (ทษ.บ.)
สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีการเกษตรแม่โจ้
พ.ศ. 2558 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วท.ม.) สาขาเกษตรและอุตสาหกรรม
เกษตรเพื่อการพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

ประวัติการทำงาน พ.ศ. 2535 ตำแหน่ง หัวหน้าฝ่ายการผลิต บริษัท อุตสาหกรรมสับปะรด
กระป๋องไทย จำกัด ตำบลเขาน้อย อำเภอปราณบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์
พ.ศ. 2535 ตำแหน่ง อาจารย์ 1 สังกัดภาควิชาอุตสาหกรรมการเกษตร
คณะวิชาเกษตรและอุตสาหกรรม วิทยาลัยครูเพชรบุรี ตำบลนาวุ้ง อำเภอเมือง
จังหวัดเพชรบุรี
พ.ศ. 2550 ตำแหน่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สังกัดสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และ
เทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ตำบลนาวุ้ง อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี

สถานที่ติดต่อ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร
คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี
เลขที่ 38 หมู่ที่ 8 ตำบลนาวุ้ง อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี 76000
โทรศัพท์-โทรสาร 0-3249-3270