การพัฒนาเทคโนโลยีการแปรรูปกล้วยหอมทองเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ

Development of processing technology of banana for healthy products

ดร.สวรักษ์ จันทรเทพธิมากุล

ดร.ดิเรก บุญธรรม

ดร.นฤมล จอมมาก

อาจารย์อาฒยา สันตะกุล

ผศ.ดร. กิติศาสตร์ กระบวน

ชุดโครงการการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตของกล้วยเศรษฐกิจเพื่อเพิ่มมูลค่าเป็นผลิตภัณฑ์และเพิ่มมูลค่าทางการตลาดกล้วยหอมทองเพื่อยกระดับคุณภาพชีวิตเกษตรกร อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี

สนับสนุนโดยกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (กสว.)

งบประมาณด้าน ววน. ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2564

การพัฒนาเทคโนโลยีการแปรรูปกล้วยหอมทองเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ
Development of processing technology of banana for healthy products

ดร.สวรักษ์ จันทรเทพธิมากุล
ดร.ดิเรก บุญธรรม
ดร.นฤมล จอมมาก
อาจารย์อาฒยา สันตะกุล
ผศ.ดร. กิติศาสตร์ กระบวน

ชุดโครงการการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตของกล้วยเศรษฐกิจเพื่อเพิ่มมูลค่าเป็นผลิตภัณฑ์และเพิ่มมูลค่าทางการตลาดกล้วยหอมทองเพื่อยกระดับคุณภาพชีวิตเกษตรกร อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี

สนับสนุนโดยกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (กสว.)
งบประมาณด้าน ววน. ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2564

กิตติกรรมประกาศ

กิตติกรรมประกาศนี้จัดทำขึ้นเพื่อแสดงความขอบคุณแก่กองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (กสว.) งบประมาณด้าน ววน. ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2564 ในการสนับสนุนการทำวิจัยเรื่อง การพัฒนาเทคโนโลยีการแปรรูปกล้วยหอมทองเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ ภายใต้ชุดโครงการการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตของกล้วยเศรษฐกิจเพื่อเพิ่มมูลค่าเป็นผลิตภัณฑ์และเพิ่มมูลค่าทางการตลาดกล้วยหอมทองเพื่อยกระดับคุณภาพชีวิตเกษตรกร อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพในการใช้สถานที่ ห้องปฏิบัติการ เครื่องมือ อุปกรณ์และตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองในงานวิจัยนี้

และขอขอบคุณกลุ่มวิสาหกิจชุมชนวัยหวาน อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี ในการเอื้อเฟื้อวัตถุดิบ สถานที่ และบุคลากร รวมถึงความร่วมมือในการทำงานวิจัยในครั้งนี้

คณะผู้วิจัย

2564

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
สารบัญ	ข
สารบัญตาราง	ง
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 กรอบการวิจัย	3
1.4 แผนการดำเนินโครงงาน	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 กล้วยหอมทอง	7
2.2 กระบวนการทำแห้ง	11
2.3 วัตถุเจือปนที่นิยมใช้ในการทำแห้งแบบโฟมแมทและการประยุกต์ใช้	19
2.4 ขบวนการอัดเม็ด (Tableting)	26
2.5 สารที่ช่วยในการยึดเกาะในขบวนการอัดเม็ด	27
2.6 การใช้เอนไซม์กับน้ำผลไม้	34
2.7 ชนิดของไซรัปหรือน้ำเชื่อม	35
บทที่ 3 วิธีดำเนินการ	
3.1 การออกแบบและพัฒนาโดมพลังงานแสงอาทิตย์	36
3.2 การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากกล้วยหอมทองโดยใช้โดมพลังงานแสงอาทิตย์	38
บทที่ 4 ผลการดำเนินโครงการ	
4.1 การออกแบบและพัฒนาโดมพลังงานแสงอาทิตย์	57
4.2 การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากกล้วยหอมทองโดยใช้โดมพลังงานแสงอาทิตย์	62
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 บทสรุป	98
5.2 ข้อเสนอแนะ	98
บรรณานุกรม	99

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวกที่

ก การถ่ายทอดเทคโนโลยีโครงการการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตของกล้วยเศรษฐกิจเพื่อเพิ่มมูลค่าเป็นผลิตภัณฑ์และเพิ่มมูลค่าทางการตลาดกล้วยหอมทองเพื่อยกระดับคุณภาพชีวิตเกษตรกร 108

ข แบบประเมินความพึงพอใจ 112

ค การพัฒนากำลังคนระดับปริญญาตรี 115

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	แผนการดำเนินงาน	4
2.1	คุณค่าทางโภชนาการของกล้วยหอมทองสุก ส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม	10
2.2	องค์ประกอบแป้งแต่ละชนิด	32
2.3	กำลังการพองตัวและการละลายในแป้งแต่ละชนิดที่ 95 องศาเซลเซียส	33
3.1	อัตราส่วนของกล้วยหอมทองผง:แป้งมันสำปะหลัง และส่วนผสมอื่น ๆ ในสูตกล้วยหอมทองอัดเม็ด	44
3.2	กล้วยหอมทองผง และ แป้งข้าวโพด ในอัตราส่วน 96:4 และส่วนผสมอื่น ๆ และแป้งกล้วยหอมทองในสูตรของกล้วยหอมทองอัดเม็ด	46
3.3	ร้อยละของส่วนผสมในการผลิตกล้วยหอมทองอบกรอบ	52
4.1	ค่าอุณหภูมิภายในโดมพลังงานแสงอาทิตย์ ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และค่าเฉลี่ยระหว่างเวลา 11:37 น ถึง 16:24 น	61
4.2	การขึ้นฟูของโฟม ความหนาแน่น และร้อยละผลผลิต	63
4.3	การวิเคราะห์ความชื้น ปริมาณน้ำอิสระในอาหาร และ Hygroscopicity	64
4.4	อัตราการดูดซับน้ำ	65
4.5	การวัดค่าสี	66
4.6	สี (L*, a* และ b*) ความชื้น และปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของกล้วยหอมทองผง และ แป้งกล้วยหอมทอง	69
4.7	น้ำหนัก เส้นผ่านศูนย์กลาง และ ความหนาของกล้วยหอมทองอัดเม็ดที่ผลิตจากกล้วยหอมทองผง และ สารยึดเกาะ ได้แก่ แป้งมันสำปะลัง หรือ แป้งข้าวโพด ในอัตราส่วน 100:0, 98:2 และ 96:4	70
4.8	ค่าสี (L*, a* และ b*) ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ความแข็ง (Hardness) ของกล้วยหอมทองอัดเม็ดที่ผลิตจากกล้วยหอมทองผง และ สารยึดเกาะ ได้แก่ แป้งมันสำปะลัง หรือ แป้งข้าวโพด ในอัตราส่วน 100:0, 98:2 และ 96:4	73
4.9	คุณภาพทางประสาทสัมผัสของกล้วยหอมทองอัดเม็ดที่ผลิตจากกล้วยหอมทองผง และ สารยึดเกาะ ได้แก่ แป้งมันสำปะลัง หรือ แป้งข้าวโพด ในอัตราส่วน 100:0, 98:2 และ 96:4	74

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.10	น้ำหนัก เส้นผ่านศูนย์กลาง และ ความหนาของกล้วยหอมทองอัดเม็ดที่ผสมแป้งกล้วยหอมทอง 5-15%	75
4.11	ค่าสี (L*, a* และ b*) ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ความแข็ง (Hardness) ของกล้วยหอมทองอัดเม็ดที่ผสมแป้งกล้วยหอมทอง 5-15%	77
4.12	คุณภาพทางประสาทสัมผัสของกล้วยหอมทองอัดเม็ดที่ผสมแป้งกล้วยหอมทอง 5-15%	80
4.13	ค่าสี (L*, a* และ b*) ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ความแข็ง (Hardness) ของกล้วยหอมทองอัดเม็ดที่บรรจุใน PET/Al/LLDPE นำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3 เดือน	82
4.14	ปริมาณยีสต์และรา และ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของกล้วยหอมทองอัดเม็ดที่บรรจุในPET/Al/LLDPE นำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3 เดือน	82
4.15	คุณภาพทางประสาทสัมผัสของกล้วยหอมทองอัดเม็ดที่ผสมแป้งกล้วยหอมทอง 5-15%	83
4.16	การวิเคราะห์ค่าสี (L*, a* และ b*) ของขนมกล้วยหอมทองอบกรอบ	87
4.17	คะแนนความชอบต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบที่ใช้ไข่ขาวและซีเอ็มซีเป็นสารให้ความคงตัว	96

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	กรอบการวิจัย	3
2.1	กล้วยหอมทอง	7
2.2	ระยะการสุกของกล้วยหอม	9
2.3	หลักการทำงานของโดมพลังงานแสงอาทิตย์	13
2.4	ลักษณะการเกิดโฟม	15
2.5	ส่วนประกอบของไข่ขาว	19
2.6	แป้งทนย่อย	27
2.7	ประเภทของแป้งทนย่อย: RS1, RS2, RS3, RS4	29
2.8	แป้งมันสำปะหลัง	31
3.1	โครงท่อกัลวาไนซ์ของโดมพลังงานแสงอาทิย์	37
3.2	โครงสร้างทั้งหมดของโดมพลังงานแสงอาทิตย์	37
3.3	ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างกล้วยหอมทอง	38
3.4	ขั้นตอนการทำแห้งกล้วยหอมทองแบบโฟมแมท	39
3.5	ขั้นตอนการทำแห้งแบบโฟมแมท	40
3.6	การขึ้นฟูของโฟม	41
3.7	การวัดค่าสีผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองชงพร้อมดื่ม	43
3.8	กระบวนการแปรรูปกล้วยหอมทองอัดเม็ด	45
3.9	กระบวนการแปรรูปกล้วยหอมทองอัดเม็ด	46
3.10	ขั้นตอนการผลิตขนมกล้วยหอมทองอบกรอบโดยวิธีการทำแห้งแบบโฟมแมท	51
3.11	การติดตั้งหัววัด HDP/3PB และการวิเคราะห์ค่าความแข็ง (hardness) และค่าความแตกเปราะ (fractulability) ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส	53
3.12	การเตรียมตัวอย่างกล้วมหอมทองตากโดยการต้ม	55
3.13	การปั่นละเอียดกล้วมหอมทองตาก	55
3.14	ตัวอย่างกล้วยหอมทองที่ผ่านกานย่อยด้วยเอนไซม์	56
4.1	การประกอบโครงสร้างของโดมพลังงานแสงอาทิตย์	57
4.2	การปูหลังคาและผนังของโดมพลังงานแสงอาทิตย์	58
4.3	ติดตั้งพัดลมระบายอากาศและแผ่นโซล่าเซลล์	59
4.4	ติดตั้งพัดลมความร้อนช่วยเสริมพลังงานจากแสงอาทิตย์	59

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.5	ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น	60
4.6	การอบแห้งกล้วยหอมทอง	61
4.7	กราฟอุณหภูมิภายในโดมพลังงานแสงอาทิตย์	62
4.8	กราฟอัตราการดูดซับน้ำ	65
4.9	กล้วยหอมทองผงชนิดหยาบ	66
4.10	การวัดสี L* ของกล้วยหอมทองผง	67
4.11	การวัดสี a* ของกล้วยหอมทองผง	67
4.12	การวัดสี b* ของกล้วยหอมทองผง	68
4.13	กล้วยหอมทองอัดเม็ดที่ผลิตจากกล้วยหอมทองผง และ สารยึดเกาะ ได้แก่ แป้งมันสำ-ปะลัง หรือ แป้งข้าวโพด ในอัตราส่วน 100:0, 98:2 และ 96:4	71
4.14	กล้วยหอมทองอัดเม็ดที่ผสมแป้งกล้วยหอมทอง 5-15%	76
4.15	ปริมาณแป้งทั้งหมด แป้งทนย่อย และ แป้งที่ย่อยได้ของกล้วยหอมทองอัดเม็ดที่ผสมแป้งกล้วยหอมทอง 5-15%	79
4.16	ค่าร้อยละการขึ้นฟูของโฟมกล้วยหอมทองที่ใช้ไข่ขาวและซีเอ็มซีเป็นสารให้ความคงตัว	85
4.17	ค่าความหนาแน่นของโฟมกล้วยหอมทองที่ใช้ไข่ขาวและซีเอ็มซีเป็นสารให้ความคงตัว	86
4.18	ผลิตภัณฑ์ขนมกล้วยหอมทองอบกรอบโดยวิธีการทำแห้งแบบโฟมแมท	88
4.19	ผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสค่าความแข็ง (hardness) ของผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบ	90
4.20	ผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสค่าความเปราะ (fracturability) ของผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบ	91
4.21	ผลการวัดปริมาณน้ำอิสระ (Aw) ในผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบ	92
4.22	ร้อยละผลผลิตที่ได้ (%yield) ของผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบ	93
4.23	ค่าปริมาณความชื้น (Moisture Content) ของผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบ	94

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

4.24 น้ำเชื่อมกล้วยหอมทอง ก) หลังการย่อยด้วยเอนไซม์ ข) หลังการระเหยจนเข้มข้น 97

ภาพผนวกที่

ก ภาพกิจกรรมการถ่ายทอดเทคโนโลยี 110

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

กล้วยหอมทองเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจสูง จังหวัดเพชรบุรีเป็นอีกจังหวัดหนึ่งที่มีการส่งเสริมให้มีการเพาะปลูกกล้วยหอมทอง โดยมีพื้นที่ปลูกกล้วยหอม 2,025 ไร่ มีผลผลิตกล้วยหอมทองเฉลี่ย 3,973 กิโลกรัมต่อไร่ คิดเป็นผลผลิตโดยรวมประมาณ 5,800.58 ตัน (สำนักงานเกษตรจังหวัดเพชรบุรี, 2559) ซึ่งโดยมากกล้วยหอมทองจะถูกส่งออกไปขายยังต่างประเทศ แต่มีผลผลิตจำนวนไม่น้อยที่ไม่ได้มาตรฐานในการส่งออกและถูกคัดทิ้งแม้คุณภาพของเนื้อยังดีอยู่ จะเห็นได้ว่ามีกล้วยหอมที่เหลือจำนวนมากที่ใช้บริโภคภายในประเทศ อีกทั้งกล้วยหอมทองมีลักษณะเปลือกบางสุกเร็ว เนื้อนิ่ม ผิวเปลือกดำเร็ว ทำให้มีอายุการเก็บรักษาและการวางจำหน่ายในตลาดสั้น และเน่าเสียในที่สุด แนวทางหนึ่งในการเพิ่มมูลค่าของกล้วยหอมที่สุกเกินรับประทานสด คือ นำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ (Kashyap *et al*., 2001) โดยปัจจุบันได้มีการนำกล้วยหอมทองมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์กล้วยตากโดยใช้โดมพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานได้สนับสนุนให้มีติดตั้งใช้งานระบบอบแห้งด้วยโดมพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ทั้งในภาคอุตสาหกรรม และภาคเกษตรกรรมอย่างแพร่หลายเพื่อลดการใช้พลังงานจากน้ำมัน แก๊ส และไฟฟ้าในกระบวนการอบแห้ง และเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์จากการอบแห้ง แต่อย่างไรก็ตาม การใช้โดมพลังงานแสงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ ซึ่งมีผลต่ออุณหภูมิภายในโดม ดังนั้นการออกแบบและพัฒนาโดยพลังงานแสงอาทิตย์ให้สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นได้นั้น ถือเป็นการสร้างมาตรฐานให้กับกระบวนการผลิต และต่อยอดไปถึงการพัฒนาผลิตภัณฑ์อื่น ๆ จากกล้วยหอมทองได้อย่างหลากหลายมากยิ่งขึ้น

จากการลงพื้นที่วิสาหกิจชุมชนวัยหวาน อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรีเพื่อแลกเปลี่ยนความรู้กับแม่บ้านและเกษตรกรที่เพาะปลูกและแปรรูปกล้วย พบว่าในปัจจุบันได้มีการนำกล้วยหอมมาแปรรูปเป็นกล้วยหอมตาก เนื่องจากราคาของกล้วยหอมสดค่อนข้างต่ำและไม่คุ้มทุนในการส่งขายในรูปผลสด โดยการแปรรูปได้มีการใช้โดมพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้รับการสนับสนุนจากกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน แต่อย่างไรก็ตามกล้วยหอมตากยังไม่ได้รับความนิยม และเป็นผลิตภัณฑ์

ที่มีการแข็งขันทางการตลาดค่อนข้างสูง ขณะเดียวกันนั้นก็มีข้อจำกัดทางด้านเทคโนโลยี คือการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของการตากแห้ง ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพไม่สม่ำเสมอ นอกจากนี้การแปรรูปผลิตภัณฑ์จากกล้วยหอมของชุมชนและเกษตรกรยังทำได้ไม่หลากหลาย ทำให้มีผู้บริโภคเฉพาะกลุ่ม และไม่สามารถแข่งขันในตลาดสากลได้

ดังนั้นเพื่อเป็นการแก้ปัญหาดังกล่าวในแผนงานบูรณาการนี้จึงมีแนวคิดในการการพัฒนาและปรับปรุงระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของโดมพลังงานแสงอาทิตย์ รวมถึงพัฒนาในส่วนของผลิตภัณฑ์ให้สามารถประยุกต์ใช้ร่วมกับโดมพลังแสงอาทิตย์ได้ เพื่อให้ชุมชนสามารถผลิตสินค้าที่หลากหลาย ขยายช่องทางทางธุรกิจตลอดจนสร้างความเข้มแข็งและพึ่งพาตนเองได้อย่างยั่งยืน ทั้งนี้มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ซึ่งเป็นสถาบันการศึกษาที่มีหน้าที่ในการสร้างงานวิจัย สิ่งประดิษฐ์ นวัตกรรม บริการวิชาการและถ่ายทอดความรู้สู่ชุมชน ได้ร่วมมือกันเข้ามาเสริมบทบาทของภาครัฐซึ่งเป็นผู้สนับสนุนการพัฒนาเดิม ในการพัฒนาและนำไปสู่ความเข้มแข็งของชุมชนและท้องถิ่นอย่างยั่งยืน จึงทำให้เกิดแผนบูรณาการวิจัยและนวัตกรรมนี้ขึ้นมา

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อออกแบบและพัฒนาโดมพลังงานแสงอาทิตย์

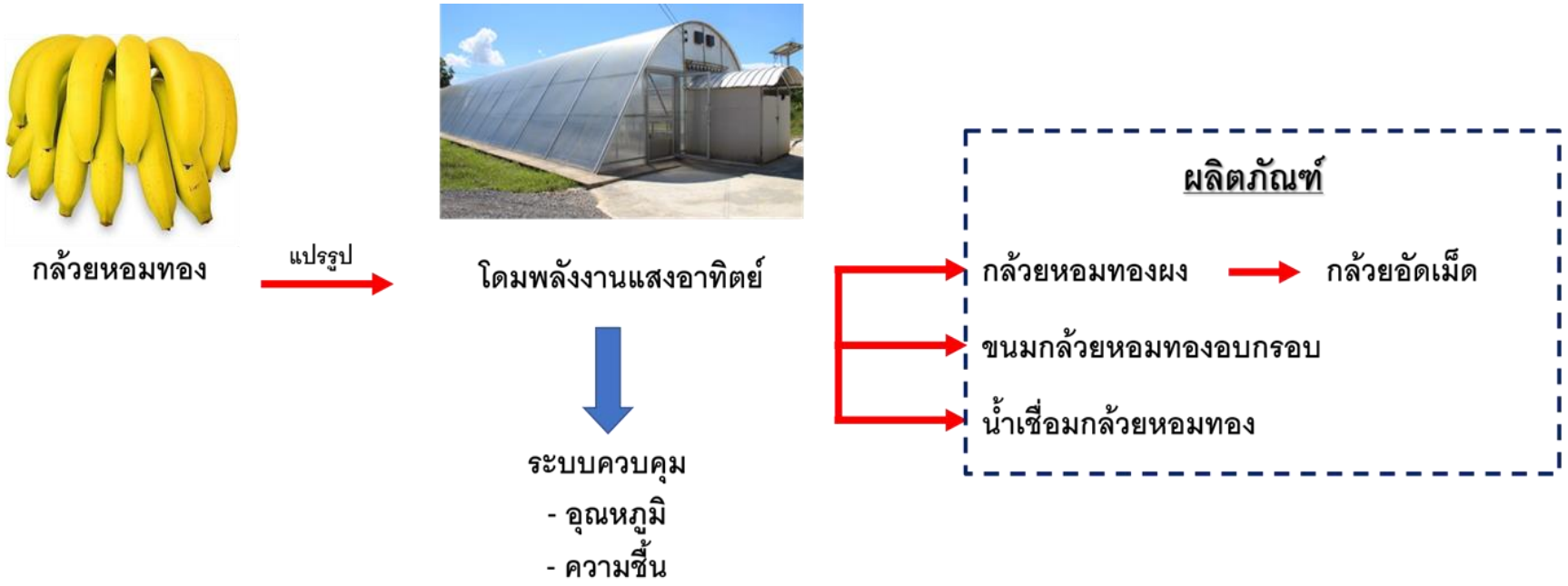
1.2.2 เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองผงโดยวิธีทำแห้งแบบโฟมแมทด้วยโดมพลังงานแสงอาทิตย์

1.2.3 เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมกล้วยหอมทองอบกรอบโดยใช้โดมพลังงานแสงอาทิตย์

1.2.4 เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำเชื่อมกล้วยหอมทองโดยใช้โดมพลังงานแสงอาทิตย์

1.2.5 เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอัดเม็ด

1.3 กรอบการวิจัย (ภาพที่ 1.1)



ภาพที่ 1.1 กรอบการวิจัย

1.4 แผนการดำเนินโครงงาน

ระยะเวลาดำเนินโครงงาน 2 ปี เริ่มตั้งแต่เดือนเดือนตุลาคม 2563 ถึงเดือนกันยายน 2565 รวมเป็นระยะเวลา 24 เดือน แสดงดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 2.1 แผนการดำเนินงาน

กิจกรรม	ปีที่ 1 (ตุลาคม 2563 ถึงเดือนกันยายน 2564)												ปีที่ 1 (ตุลาคม 2564 ถึงเดือนกันยายน 2565)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1. การออกแบบและพัฒนาโดมพลังงานแสงอาทิตย์																								
1.1) ศึกษาหลักการทำงานของโดมพลังงานแสงอาทิตย์																								
1.2) วิเคราะห์ปัญหาของโดมพลังงานแสงอาทิตย์																								
1.3) พัฒนา ปรังปรุง และแก้ไขโดมพลังงานแสงอาทิตย์																								
2. พัฒนาผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองผงโดยวิธีทำแห้งแบบโฟมแมทด้วยโดมพลังงานแสงอาทิตย์																								
2.1) ศึกษาระยะการสุกของกล้วยหอมทองโฟมต่อการทำแห้งแบบโฟมแมท																								
2.2) ศึกษาชนิดและปริมาณสารที่ทำให้ขึ้นโฟมต่อการทำแห้งแบบโฟมแมท																								

ตารางที่ 3.1 แผนการดำเนินงาน (ต่อ)

กิจกรรม	ปีที่ 1 (ตุลาคม 2563 ถึงเดือนกันยายน 2564)												ปีที่ 1 (ตุลาคม 2564 ถึงเดือนกันยายน 2565)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2.3) ศึกษาอุณหภูมิและเวลาในการทำแห้งด้วยโดมแสงอาทิตย์																								
3. พัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมกล้วยหอมทองอบกรอบโดยใช้โดมพลังงานแสงอาทิตย์																								
3.1) ศึกษาชนิดและปริมาณสารให้ความคงตัวในการผลิตขนมกล้วยหอมทองอบกรอบ																								
3.2) ศึกษาอุณหภูมิและเวลาในการอบกรอบขนมกล้วยหอมทอง																								
3.3) ศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์																								
4. พัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำเชื่อมกล้วยหอมทองโดยใช้โดมพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเอนไซม์																								
4.1) ศึกษาอุณหภูมิและเวลาในการหมักบ่มน้ำเชื่อมกล้วยหอมทองโดยใช้โดมพลังงานแสงอาทิตย์																								
4.2) ศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของน้ำเชื่อกล้วยหอมทอง																								

ตารางที่ 4.1 แผนการดำเนินงาน (ต่อ)

กิจกรรม	ปีที่ 1 (ตุลาคม 2563 ถึงเดือนกันยายน 2564)												ปีที่ 1 (ตุลาคม 2564 ถึงเดือนกันยายน 2565)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
5. พัฒนาผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอัดเม็ด																								
5.1) ศึกษาชนิดและอัตราของกล้วยหอมทองผงและสารขึ้นรูป																								
5.2) ศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์กล้วยอัดเม็ด																								
6. สรุปและเขียนรายงาน																								

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล้วยหอมทอง

กล้วยหอมทองมีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Musa acuminate* (AAA Group) 'Gros Michel' และมีชื่อสามัญคือ Hom Thong Banana เป็นพืชในวงศ์ Musaceae แสดงดังภาพที่ 2.1

ภาพที่ 2.1 กล้วยหอมทอง (เบญจมาศ, 2545)

2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของกล้วยหอมทองประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้ (เบญจมาศ, 2545)

2.1.1.1 ราก เป็นรากแบบ adventitious root ที่แตกออกจากหน่อ ซึ่งหน่อจะแตกออกจากเหง้า รากมีความยาวได้มากกว่า 5 เมตร แทงลึกลงดินได้ถึง 5-7.5 เมตร

2.1.1.2 ลำต้น เป็นลำต้นจริงที่เป็นหัวหรือเหง้าอยู่ใต้ดิน มีลำต้นเทียมที่อยู่เหนือดินสูงประมาณ 2.5-3.5 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 20 เซนติเมตร กาบลำต้นด้านนอกมีสีเขียว และมีแถบประสีดำ ด้านในสีเขียวอ่อน และมีเส้นลายสีชมพู

2.1.1.3 ใบ เป็นใบเดี่ยวแบบขนาน มีก้านใบที่มีร่องค่อนข้างกว้าง และมีปีก เส้นกลางใบมีสีเขียว ใบยาวได้มากถึง 3 เมตร

2.1.1.4 ดอก/ปลี จะแทงออกจากหยวกตรงกลางปลายยอด เมื่อแทงออกช่วงแรกจะตั้งตรง และค่อยๆโค้งงอลงด้านล่าง ก้านเครือมีขนอ่อนปกคลุม ปลีมีรูปไข่ ค่อนข้างแหลมยาว และมีปลายแหลม มีกาบหุ้มด้านนอกสีแดงอมม่วง ด้านในสีแดงซีด ปลีกล้วยหอมทองมีความยาวประมาณ 1-1.5 เมตร

2.1.1.5 ผล กล้วยหอมทองหนึ่งเครือจะมีผลประมาณ 6–10 หวี แต่ละหวีมี 10–16 ผลหรือมากกว่าหากดินมีความสมบูรณ์ ผลแตะลพผลจะมีขนาดกว้าง 3–4 เซนติเมตร และยาว 21–25 เซนติเมตร ปลายผลมีจุก เปลือกบางแต่หนากว่ากล้วยไข่ ผลดิบมีสีเขียว ผลสุกมีสีเหลืองทอง แต่จุกที่ปลายผลยังเป็นสีเขียว แล้วค่อยเปลี่ยนสีเป็นสีเหลืองเมื่อสุกมาก เนื้อสีเหลืองเข้ม มีรสหวาน และมีกลิ่นหอมแรง

2.1.2 สรรพคุณของกล้วยหอมทอง (เบญจมาศ, 2545)

กล้วยหอมทองมีสาร Tryptophan ซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่ร่างกายแปลงเป็น serotonin ได้ ซึ่งเป็นสารกระตุ้นทำให้ร่างกายรู้สึกผ่อนคลาย อารมณ์สดใสและมีความสุข ลดอารมณ์หงุดหงิด อาการปวดหัว และอาการปวดท้องของผู้หญิงในช่วงก่อนหรือระหว่างมีประจำเดือน และอุดมไปด้วยวิตามินบี โดยจะช่วยบำรุงระบบประสาทให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีความสมดุลมากขึ้น ช่วยเพิ่มพลังสมอง โดยสารอาหารที่อยู่ในกล้วยหอมทองสามารถกระตุ้นความตื่นตัวให้กับสมองได้ การทานกล้วยหอมทองเป็นอาหารเช้าช่วยให้สมองทำงานได้อย่างเต็มที่ และทานอีกในช่วงกลางวันจะทำให้รู้สึกสดชื่นและตื่นตัวได้

กล้วยหอมอุดมไปด้วยธาตุเหล็ก โดยมีส่วนในการกระตุ้นให้ร่างกายสร้างฮีโมโกลบินให้กับเม็ดเลือดแดง จึงช่วยป้องกันการเกิดโรคโลหิตจางได้ และมีโพแทสเซียม ช่วยลดความดันโลหิตได้ จึงมีส่วนช่วยลดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคหลอดเลือดสมองจากความดันโลหิตสูงได้ รวมถึงลดการเกิดตะคริวซึ่งเกิดจากการขาดหรือมีโพแทสเซียมในร่างกายต่ำ

2.1.3 ระยะการสุกของกล้วยหอมทอง (เบญจมาศ, 2545)

การสุกของกล้วยหอมทอง แบ่งออกได้เป็น 7 ระยะ (ภาพที่ 2.2) ดังนี้

1) ระยะที่ 1 เปลือกเขียว ผลแข็ง ไม่มีการสุก

2) ระยะที่ 2 เริ่มเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นเหลืองนิดๆ

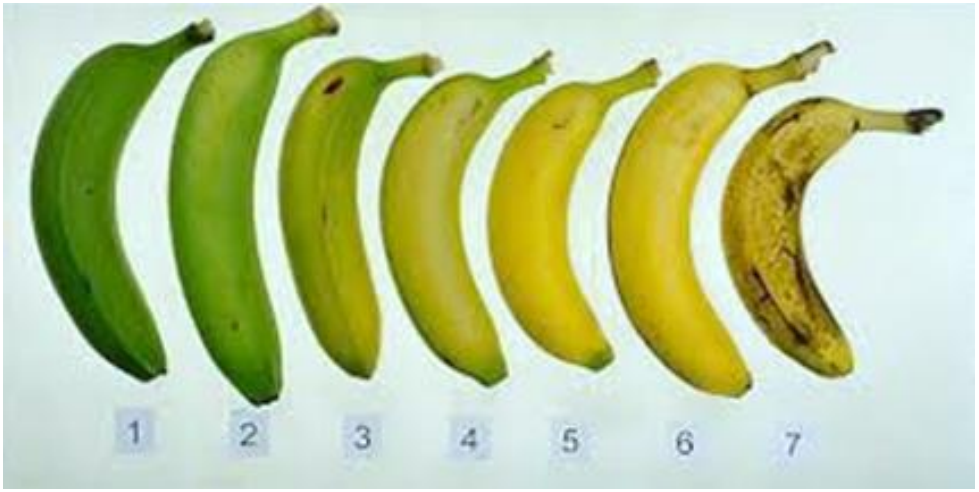
3) ระยะที่ 3 เปลี่ยนจากเขียวเป็นเหลือง แต่มีสีเขียวมากกว่าเหลือง

4) ระยะที่ 4 เปลือกมีสีเหลืองมากกว่าเขียว

5) ระยะที่ 5 เปลือกเปลี่ยนสีเหลืองแต่ปลายยังเป็นสีเขียวอยู่

6) ระยะที่ 6 มีสีเหลืองทั้งผล (ผลสุก)

7) ระยะที่ 7 ผิวสีเหลืองมีจุดกระสีน้ำตาล (สุกเต็มที่มีกลิ่นหอม)



ภาพที่ 2.2 ระยะการสุกของกล้วยหอม (เบญจมาศ, 2545)

2.1.4 คุณสมบัติของแป้งกล้วยหอมทอง

แป้งกล้วยจะมีกลิ่นเฉพาะตัว มีคุณสมบัติทางกายภาพที่ดีรวมตัวกับน้ำได้ดี คือ เมื่อได้รับความร้อน จะพองตัวใส เมื่อปล่อยให้เย็นจะเกิดลักษณะคล้ายวุ้น เนื่องจากเป็นแป้งที่มีอะไมโลสสูงอยู่ระหว่าง 38.33-44.67% ส่วนกำลังการพองตัวและการละลายของแป้งกล้วยหอมทองมีค่ากำลังการพองตัวสูงสุด เท่ากับ 7.92 เท่า ช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนซันเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 95-121 องศาเซลเซียส กล้วยหอมทองดิบจะมีปริมาณแป้งและแทนนินสูง ปริมาณน้ำตาลน้อย การสุกของกล้วยทำให้คุณค่าทางอาหารเปลี่ยนแปลงไป โดยเฉพาะแป้ง แป้งกล้วยที่ผลิตโดยกรรมวิธีอบแห้งหรือผึ่ง แดดจนแห้งที่อุณหภูมิ 55–60 องศาเซลเซียส สีของแป้งที่ได้จะไม่ขาวเหมือนแป้งจากธัญพืชประเภทหัว เนื่องจากไม่ได้ผ่านกระบวนการฟอกสี เมื่อนำไปเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ขนมอบหรือขนมไทย ผลิตภัณฑ์ อาหารที่ได้จะมีสีค่อนข้างคล้ำ ซึ่งผู้บริโภคจะพึงพอใจมากกว่าใช้แป้งกล้วยที่ผ่านกระบวนการฟอกสี ผลิตภัณฑ์อาหารที่ได้มีลักษณะทางกายภาพดี จัดเป็นอาหารสุขภาพ (วลัย และดวงแข, 2557)

2.1.5 สารพฤกษเคมีในกล้วยหอมทองดิบและกล้วยหอมทองสุก

ผลกล้วยดิบที่นิยมรับประทานนั้น อุดมไปด้วยวิตามินและแร่ธาตุต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งโพแตสเซียม วิตามิน เอ บี6 ซี และ ดี (Kumar และคณะ, 2012) เนื้อกล้วยมีปริมาณฟีโนลิกรวมเท่ากับ 744-1,190 มิลลิกรัมสมมูลย์เคอเซตินต่อกรัมของน้ำนักเนื้อกล้วยแห้ง (mg QE g^{-1} sample) โดยปริมาณฟีโนลิกรวมจะพบในกล้วยดิบ (เปลือกกล้วยมีสีเขียวทั้งใบ) มากกว่ากล้วยสุก (เปลือกกล้วยมีสีเหลืองทั้งใบแต่ยังไม่พบจุดสีน้ำตาล) และพบในเปลือกมากกว่าในเนื้อกล้วย (ตารางที่ 2.1) (Fatemeh และคณะ, 2012)

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางโภชนาการของกล้วยหอมทองสุก ส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม

คุณค่าทางโภชนาการ	ปริมาณ
พลังงาน	140.0 กิโลแคลอรี่
น้ำ	62.8 กรัม
โปรตีน	14.5 กรัม
ไขมัน	0.2 กรัม
คาร์โบไฮเดรต	32.9 กรัม
กากอาหาร	0.4 กรัม
ใยอาหาร	1.9 กรัม
เถ้า	0.7 กรัม
แคลเซียม	4.0 มิลลิกรัม
ฟอสฟอรัส	23.0 มิลลิกรัม
เหล็ก	1.0 มิลลิกรัม
เบต้า-แคโรทีน (โปรวิตามินเอ)	792.0 ไมโครกรัม
ไทอะมีน (วิตามินบี 1)	0.03 มิลลิกรัม
ไรโบฟลาวิน (วิตามิน 2)	0.05 มิลลิกรัม
ไนอะซีน	1.40 มิลลิกรัม
วิตามินซี	2.0 มิลลิกรัม

ที่มา: Englyst และคณะ (1992)

2.1.6 ปริมาณของแป้งทนย่อยในวัตถุดิบแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับกล้วยหอมทองดิบ

Fatemeh และคณะ (2012) ได้ศึกษา resistant starch (RS) ในอาหารจำพวกแป้งกลุ่มต่าง 29 ชนิด ได้แก่ ข้าวและผลิตภัณฑ์ข้าว ผลิตภัณฑ์เส้น ถั่วและเม็ดพืช รวมทั้ง กล้วย 11 สายพันธุ์ ได้ทำการตรวจสอบปริมาณ RS สตาร์ชทั้งหมด และ สตาร์ชทนย่อย ด้วยวิธีการทางเอนไซม์ pepsin, α-amylase และ amyl glucosidase ภายใต้อุณหภูมิและระยะเวลาที่ควบคุม พบว่า ปริมาณ RS ในกลุ่มถั่ว มีระหว่าง 10.3-22.9% กลุ่มผลิตภัณฑ์วุ้นเส้น มีค่าระหว่าง 9.1-11.3% สำหรับ กลุ่มข้าวเมื่อเปรียบเทียบขนมจีนกับข้าวหุงสุก พบว่า การแปรรูปผลิตภัณฑ์ข้าวด้วยวิธีหมักมีผลทำให้ปริมาณ RS สูงขึ้น โดยที่ขนมจีนมีค่า 8.5% ขณะที่ข้าวหุงสุกมีค่า 7.1% สำหรับข้าวตังข้าว

เกรียบและข้าวเกรียบว่าวพร้อมรับทานมี RS 2-3% และ สแน็คข้าวที่ผลิตด้วยกระบวนการเอ็กซทรูชันมีปริมาณต่ำสุด ในขณะที่กลุ่มผลิตภัณฑ์เส้นจากข้าว พบว่าเส้นหมี่มี RS สูงกว่าเส้นเล็กและแผ่นแป้ง

สำหรับปริมาณ RS จากแป้งกล้วยดิบสายพันธุ์ ที่นิยมรับทาน เช่น กล้วยน้ำว้า กล้วยไข่ กล้วยหอมทอง กล้วยเล็บมือนาง และกล้วยหักมุก มีปริมาณอยู่ในช่วง 52.2-61.4% ในขณะที่กล้วยน้ำว้า กล้วยไข่ และกล้วยหอมทอง มีปริมาณ RS ไม่แตกต่างกันอยู่ในช่วง 52.2-57.7% โดยกลุ่ม กล้วยมีอัตราการย่อยช้า และข้าวเหนียวและแป้งมันสำปะหลังมีอัตราการย่อยเร็วมากกว่า

อภิญญาและคณะ (2554) ศึกษาปริมาณและคุณค่าทางโภชนาการของแป้งกล้วยที่ใช้แทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมสาลี่กรอบ พบว่า ให้พลังงานน้อยกว่าสาลี่กรอบสูตรพื้นฐาน แต่มีปริมาณกากใยอาหาร เถ้าที่มากกว่าแสดงให้เห็นว่าแป้งกล้วยมีปริมาณแร่ธาตุที่มากกว่า ซึ่งแร่ธาตุที่พบมากในกล้วย ได้แก่ โปแทสเซียม แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส และแคลเซียม

2.1.7 วิธีการผลิตแป้งกล้วยหอมทอง

นำกล้วยหอมทองดิบมาทำความสะอาดด้วยน้ำสะอาด จากนั้นทำการใส่น้ำลงในหม้อนำขึ้นตั้งบนเตาจนน้ำเดือด นำกล้วยที่ทำความสะอาดแล้วลงไปลวกในน้ำเดือดเป็นเวลา 45 วินาที และนำไปแช่ในน้ำเย็นทันที หลังจากนั้นนำกล้วยมาปลอกเปลือก และหั่นเป็นชิ้น นำไปแช่ในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ความเข้มข้น 0.1% พึ่งให้สะเด็ดน้ำ แล้วนำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 55–60 องศาเซลเซียส จนแห้ง เมื่อได้กล้วยที่อบจนแห้งแล้วนำมาบดเป็นผงและนำไปร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 80 เมช และนำไปบรรจุในภาชนะปิดสนิท (เบญจมาศ, 2545)

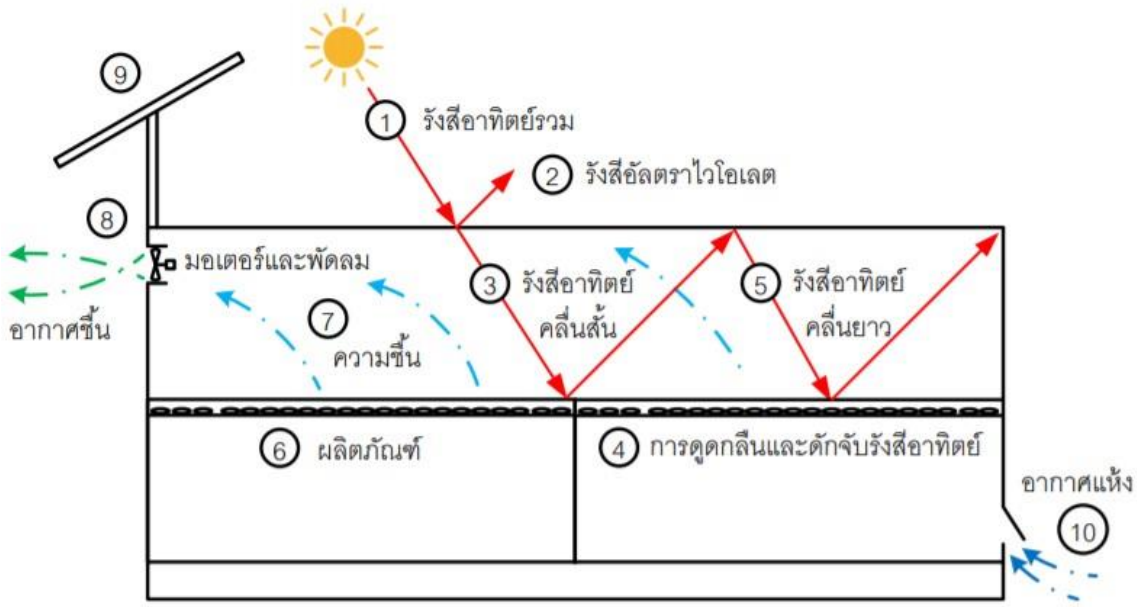
2.2 กระบวนการทำแห้ง

การทำแห้งเป็นกระบวนการดั้งเดิมที่ใช้ในการถนอมอาหารที่นิยมใช้มาช้านาน ในอดีตนิยมใช้วิธีการตากแดดหรือการนำไปคั่วกับกระทะ เช่น การคั่วเมล็ดกาแฟหรือใบชา ในการทำแห้งความชื้น (Moisture content) ที่อยู่ในอาหารจะลดลงเนื่องจากการระเหยของน้ำ การระเหยของน้ำระหว่างกระบวนการทำแห้ง ณ อุณหภูมิต่างๆ จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี กายภาพ และชีวภาพของอาหาร ทำให้ความเข้มข้นของอาหารเพิ่มขึ้น ซึ่งจะช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ทุกชนิด เช่น รา (mold) ยีสต์ (yeast) แบคทีเรีย (bacteria) ที่เป็นสาเหตุให้อาหารเสื่อมเสีย รวมถึงยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์ (enzyme) หรือชะลอปฏิกิริยาต่างๆ ทั้งทางเคมีและทางชีวเคมีซึ่งมีน้ำเป็นส่วนร่วมและเป็นเหตุให้อาหารเสื่อมเสีย (food spoilage) นอกจากนี้การทำแห้งยังทำให้อาหารมีน้ำหนักเบาและลดปริมาตรลง ส่งผลให้สะดวกต่อการขนส่ง การบริโภค หรือการนำไปเป็นวัตถุดิบในการแปรรูปต่อเนื่องด้วยวิธีอื่น ทั้งยังเป็นการสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่ที่เป็นทางเลือกของผู้บริโภคมากขึ้นอีกด้วย อย่างไรก็ตาม ในการทำแห้งอาหาร น้ำที่เคลื่อนที่ออกจากอาหารจะถูกแทนที่ด้วยอากาศหรือ

แก๊สออกซิเจน ทำให้เกิดการหดตัวหรือการเปลี่ยนแปลงของรูปร่าง สี กลิ่นรส และลักษณะเนื้อสัมผัส รวมถึงความสามารถในการคืนรูปและการลดลงของคุณค่าทางอาหารของผลิตภัณฑ์แห้ง ดังนั้นความเหมาะสมของอุปกรณ์ เครื่องมือ ขั้นตอน วิธีการในการทำแห้งอาหารจึงยังต้องมีการศึกษา ค้นคว้าและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ในระหว่างการทำแห้งจะเกิดกระบวนการถ่ายเทพลังงานความร้อนจากสิ่งแวดล้อม เพื่อระเหยความชื้นบริเวณผิวนอกทำให้เกิดความแตกต่างของความดันไอของน้ำระหว่างอากาศภายนอกกับความชื้นภายในชิ้นอาหาร เกิดเป็นแรงขับให้น้ำจากภายในจะเคลื่อนย้ายออกมาที่ผิวนอกของอาหาร (Mujumdar, 2007) ด้วยแรงคาปิลารี (capillary force) และการแพร่ของน้ำผ่านชั้นของตัวถูกละลายมายังผิวหน้าของอาหารและระเหยออกไป (นิธิยา, 2544) การทำแห้งมีหลายวิธี เช่น เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray drier) ตู้อบแห้ง (cabinet drier) เครื่องทำแห้งแบบสุญญากาศ (vacuum drier) เครื่องอบแห้งด้วยอินฟราเรด (infrared drier) เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (drum drier) เครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์ (solar drier) และการทำแห้งแบบโฟม (foam mat drying) ซึ่งกระบวนการทำแห้งที่จะกล่าวถึงในรายงานฉบับนี้จะหมายถึงกระบวนการทำแห้งแบบโฟมแมท

2.2.1 การทำแห้งโดยโดมพลังงานแสงอาทิตย

จากภาพที่ 2.3 โดมพลังงานแสงอาทิตย์ จะใช้หลักการคล้าย ๆ กับปรากฏการณ์เรือนกระจก กล่าวคือ เมื่อแสงอาทิตย์ส่องซึ่งมีหลายความยาวคลื่นเคลื่อนที่ผ่านหลังคาที่ทำจากแผ่นโพลีคาร์บอเนต หมายเลขที่ 1 รังสีอัลตราไวโอเลตซึ่งเป็นรังสีคลื่นยาวถูกสะท้อนออกไปในหมายเลขที่ 2 เหลือเพียงรังสีคลื่นสั้นที่สามารถทะลุเข้าสู่ภายในโรงเรือนได้ในหมายเลขที่ 3 วัสดุจะดูดกลืนรังสีแสงอาทิตย์นี้ไว้ในตำแหน่งที่ 4 ทำให้รังสีอาทิตย์มีพลังงานลดลงกลายเป็นรังสีคลื่นยาว และกลายเป็นรังสีความร้อนหรือรังสีอินฟาเรด ซึ่งไม่สามารถเดินทางผ่านแผ่นโพลีคาร์บอเนต ออกมาสู่ภายนอกได้ในตำแหน่งที่ 5 ทำให้อากาศภายในร้อนขึ้นและถ่ายเทความร้อนไปยังผลิตภัณฑ์ในตำแหน่งที่ 6 และเกิดการระเหยของน้ำในตัวผลิตภัณฑ์ออกสู่อากาศในตำแหน่งที่ 7 โดยอากาศชื้นจะถูกถูกดูดออกภายนอกโดมด้วยพัดลมดูดอากาศในตำแหน่งที่ 8 ซึ่งพัดลมดูดอากาศนี้ใช้พลังงานไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์ในตำแหน่งที่ 9 และอากาศที่มีอุณหภูมิและความชื้นต่ำจากภายนอกจะถูกดูดเข้าไปยังโรงอบแห้งแทนที่อากาศชื้นในตำแหน่งที่ 10



ภาพที่ 2.3 หลักการทำงานของโดมพลังงานแสงอาทิตย์

2.2.2 กระบวนการทำแห้งแบบโฟมแมท (Foam mat drying)

เทคนิคการทำแห้งแบบโฟมแมท (Foam Mat drying) เป็นการทำแห้ง (dehydration) ที่ใช้กับอาหารเหลว ซึ่งขั้นตอนสำคัญคือทำให้อาหารที่ต้องการทำแห้งให้เป็นโฟม (foam) ก่อนแล้วจึงนำมาทำแห้งด้วยวิธีการต่างๆ เช่น อบแห้งในตู้อบแห้ง (cabinet drier) การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying) จากนั้นอาจนำมาบดละเอียดให้เป็นผง ใช้ได้ดีกับไข่ขาว ผลิตภัณฑ์น้ำผัก น้ำผลไม้หลายชนิด เช่น น้ำแอปเปิ้ล น้ำส้ม น้ำสับปะรด น้ำองุ่น และข้อดีของการทำให้อาหารเป็นโฟมก่อนคือเพิ่มอัตราการทำแห้งของอาหารให้เร็วขึ้น เพราะโครงสร้างของโฟมซึ่งมีรูพรุน ทำให้พื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นมากซึ่งส่งผลให้น้ำระเหยได้ง่ายและเร็วขึ้นอาหารสัมผัสกับความร้อนในระยะเวลาสั้น ช่วยลดการสูญเสียคุณภาพอาหาร โดยเฉพาะกลิ่นรส

การทำแห้งแบบโฟมแมท เป็นกระบวนการที่ทำให้อาหารเหลว หรืออาหารที่มีลักษณะข้นเกิดเป็นโฟมที่มีความคงตัว จากนั้นนำไปเกลี่ยบนถาดหรือเสื่อ แล้วนำไปทำแห้งด้วยลมร้อนภายใต้ความดันบรรยากาศ ฟองอากาศขนาดเล็กที่กระจายอยู่ทั่ว จะไปเพิ่มพื้นที่ผิวสำหรับการเคลื่อนที่และการระเหยของน้ำ ส่งผลให้สามารถทำแห้งในระยะเวลาสั้น โดยใช้อุณหภูมิในการทำแห้งไม่สูง สิ่งสำคัญของกระบวนการนี้คือความคงตัวของโฟมตลอดระยะเวลาในระหว่างกระบวนการทำแห้ง หากเกิดการยุบตัวของโฟมระหว่างการทำแห้งจะทำให้อัตราการทำแห้งลดลง และส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้าย อาหารที่มีโปรตีนหรือโมโนกลีเซอไรด์ โดยธรรมชาติจะสามารถทำให้เกิดโฟมได้ แต่

โฟมที่เกิดขึ้นอาจจะมีความคงตัวต่ำ ไม่สามารถคงอยู่ตลอดการทำแห้งได้ สำหรับอาหารที่ไม่มีโปรตีนจำเป็นต้องใช้สารช่วยให้เกิดโฟมและสารรักษาความคงตัวของโฟม ซึ่งที่นิยมให้คือกลีเซอรอลโมโนสเตียเรต (Glyceral monostearate; GMS) ซอยโปรตีนไอโซเลต (Soy proteinisolate; SP) โปรตีนไข่ขาว (egg albumin) (สมบัติ, 2549)

กระบวนการทำแห้งแบบโฟมแมท มีความเหมาะสมกับวัตถุดิบหลายชนิดโดยเฉพาะวัตถุดิบที่ไวต่อความร้อน มีความหนืดหรือเหนียว หรือมีปริมาณน้ำตาลสูง เช่น น้ำผลไม้ หรือเนื้อผลไม้ขัน (puree) (Labella, 1984) เช่น น้ำแอบเปิ้ล เชอรี่ พีช ส้ม มะนาว เกรฟฟรุต สับปะรด หรือองุ่น เป็นต้น การทำแห้งแบบโฟมแมทจะสามารถลด เวลาในการทำแห้งของอาหารลงได้ Rajkumar *et al* (2007) พบว่าทำแห้งมะม่วงด้วยกระบวนการโฟมแมท ใช้เวลาในการทำแห้ง 35 นาที โดยการใช้โปรตีนไข่ขาว (egg albumin) 10% ร่วมกับเมททิลเซลลูโลส (MC) 0.5% ปรับให้ตัวอย่างมีความหนาเป็น 1 มิลลิเมตร แล้วนำไปอบที่ 60 ºC ในขณะที่ การอบแห้งแบบถาดโดยไม่ทำเป็นโฟมก่อนจะให้เวลาในการทำแห้งถึง 75 นาที ที่อุณหภูมิในการอบแห้งและความหนาเดียวกันนอกจากนี้ เวลาที่ใช้ในการทำแห้งที่ลดลง ยังส่งผลดีกับสีของผลิตภัณฑ์อีกด้วย เช่น กล้วย ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่มีความหนืดและน้ำตาลสูง ไม่เอื้อต่อการเคลื่อนที่ของน้ำภายในวัตถุดิบ

เมื่อทำแห้งด้วยวิธีปกติ จะใช้เวลาในการทำแห้งนาน และเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (Browning reaction) ได้ง่าย ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เป็นสีน้ำตาล และไม่เป็นที่ต้องการ Sanket and Castaigne (2004) พบว่า การทำแห้งแบบโฟมแมทจะสามารถลดการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลลงได้ เนื่องจากลดระยะเวลาในการทำแห้งลง รวมถึงกระบวนการทำแห้งแบบโฟมแมท ยังสามารถลดการเกิดขอบแข็ง (case hardening) ซึ่งขอบแข็งที่เกิดขึ้นจะไปขัดขวางการระเหยของน้ำ ทำให้อัตราการทำแห้งลดลง การทำแห้งผลไม้ที่มีน้ำตาลสูงซึ่งมีลักษณะเป็นชิ้นเมื่อทำแห้งที่อุณหภูมิ 75-90 ºC จะเกิดขอบแข็ง ในขณะที่การทำแห้งแบบโฟมแมทที่อุณหภูมิเดียวกันจะไม่เกิดขอบแข็งดังกล่าว ทำให้อัตราการทำแห้งและค่าคงที่ของการทำแห้งค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการทำแห้ง

โฟมเป็นฟองอากาศขนาดเล็กที่แขวนลอยอยู่ในของเหลว หรือของแข็ง โดยมีฟิล์มบาง ๆ ล้อมรอบอากาศไว้ เกิดจากการตีหรือปั่น (beating or whipping) อย่างรุนแรง ดังภาพที่ 2.4

ภาพที่ 2.4 ลักษณะการเกิดโฟม (วราภรณ์, 2556)

การเกิดโฟมของโปรตีนจะเกิดได้ดี โปรตีนต้องมีความยืดหยุ่นสูง และสามารถเกิดเป็นแผ่นฟิล์มบาง ๆ ที่แข็งแรงสามารถกักเก็บอากาศได้ โปรตีนที่มีความหยืดหยุ่นนั้นสามารถเกิดโฟมได้ดีต้องมี surface hydrophobicity สูง ๆ ซึ่งในระหว่างการตีหรือการทำให้เกิดโฟม เช่น โปรตีนในไข่ขาว และโปรตีนในน้ำนม เป็นสารที่ทำให้เกิดโฟม (foaming agent) แรงกลจากการตี หรือปั่นอย่างรุนแรง ทำให้พันธะระหว่างโมเลกุลของโปรตีนเกิดการเสียสภาพทางธรรมชาติ (protein denaturation) เกิดการคลายตัว (unfolding) ของโครงสร้างโปรตีน เกิดเป็นฟิล์ม และจับกับน้ำซึ่งอยู่รอบ ๆ ได้ โดยหันด้านที่เป็น hydrophobic ที่อยู่ด้านในโครงสร้าง ออกมาด้านนอก ซึ่งเป็นส่วนที่ทำให้เกิดโครงสร้างของโฟมโดยเกิดเป็นแผ่นฟิล์มบาง ๆ ที่สามารถกักเก็บอากาศไว้ได้ (การเกิดโฟม, ม.ป.ป.)

2.2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทำแห้ง

คุ้มเกล้า และพนิดา (2551) ได้ทำการศึกษาอุณหภูมิและเวลาในการอบแห้งที่เหมาะสมการผลิตน้ำกระเทียมดองผงโดยวิธีการอบแห้งแบบโฟมแมท โดยอุณหภูมิที่ใช้ศึกษาได้แก่ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการอบแห้งคือ 6, 2 และ 1.50 ชั่วโมงเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เมื่อคืนตัวแล้วมีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำกระเทียมดองสดมากที่สุด โดยใช้น้ำกระเทียมดอง 2 สูตรคือ สูตรหวานและสูตรเค็มโดยน้ำกระเทียมดองสูตรหวานมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 11.10–13.20 °Brix ค่าความเป็นกรดด่างร้อยละ 3.69–4.20 ปริมาณเกลือร้อยละ 5.34–6.04 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด 3.83–4.17 กรัมต่อมิลลิลิตร สูตรเค็มปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 22.30 °Brix ค่าความเป็นกรดด่าง 4.37 ปริมาณเกลือร้อยละ 10.35 ปริมาณน้ำตาลทั้ง 3.86 กรัมต่อมิลลิลิตร ผลการศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการผลิตพบว่าผลิตภัณฑ์ที่อบแห้ง ณ อุณหภูมิ 50 องศา

เซลเซียส เวลา 6 ชั่วโมง มีคะแนนการทดสอบทาง ประสาทสัมผัสด้านกลิ่นและความชอบโดยรวมใกล้เคียงกับน้ำกระเทียมดองสดมากที่สุด

จิตตะวัน และคณะ (2561) ได้ทำการศึกษาการผลิตเนื้อตาลสุกผง ด้วยวิธีทำแห้งแบบโฟมแมทโดยใช้สาร ก่อโฟม 2 ชนิด คือ เอสพี และโปรตีนถั่วเหลือง อัตราส่วนไข่ขาวผง 3 ระดับ คือ 1:10, 1.5:10 และ 2:10 โดยน้ำหนัก และปริมาณของไข่ขาวผงร้อยละ 3 ระดับ คือ 2.5, 5 และ 10 โดยน้ำหนัก พบว่าอัตราที่เหมาะสมในการผลิต เนื้อลูกตาลสุกผงคือ ปริมาณไข่ขาวผง เอสพีต่อโปรตีนถั่วเหลืองที่อัตราส่วน 1:10 ปริมาณไข่ขาวผงร้อยละ 5 สูงที่สุดเมื่อเทียบกับตัวอย่างอื่น การทดสอบคุณภาพ ทางประสาทสัมผัสของขนมตาล พบว่าในด้านคุณภาพของสี กลิ่น และ รสชาติ ผู้บริโภคให้คะแนนขนมตาลที่ทำจากเนื้อตาลผง ในระดับคะแนนที่เท่ากันกับขนมตาลที่ทำจากเนื้อตาลสดนั้น แสดงให้เห็นว่าเนื้อตาลผงสุกที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธีทำแห้งแบบโฟมแมท สามารถนำมาทดแทนเนื้อตาลสดในการทำขนมตาล

พรียา และคณะ (2563) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของชนิด และความเข้มข้นของสารทำให้เกิดโฟมที่มีต่อคุณสมบัติทางกายภาพ และ การยอมรับทางประสาทสัมผัส ใช้สารทำให้เกิดโฟมได้แก่ มอลโทเดกซ์ทริน (Mal) ร้อยละ 10 และ 15 และโซเดียมเคซีเนต (NaCas) ร้อยละ 5 และ 10 (โดยน้ำหนักของน้ำมันแกว) พบว่าการใช้ Mal ได้โฟมที่มีการขยายตัวที่น้อยกว่าการใช้ NaCas แต่มีความคงตัวสูงกว่าการใช้ NaCas และ ผงที่ได้มีคุณภาพด้านสี และ การละลายที่ดีกว่าการใช้ NaCas แต่ปริมาณผลผลิตที่ได้ ไม่แตกต่างกัน เมื่อใช้สารทำให้เกิดโฟมที่มีความเข้มข้นเท่ากัน ผลิตภัณฑ์ผงชงดื่มที่ได้ ได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัส ใกล้เคียงกัน แต่จุดเด่นของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ คือ มีคะแนนรสชาติ และ การละลายสูงกว่าตัวอย่างที่ใช้ NaCas ดังนั้นการทำแห้งแบบโฟมแมตโดยใช้ Mal จึงมีความน่าสนใจในการผลิตเชิงพานิชย์แบบ ต้นทุนต่ำสำหรับผลิตภัณฑ์ผงชงดื่ม

วราภรณ์ (2556) ศึกษาอุณหภูมิและความหนาแน่นของโฟมในการทำแห้งแบบโฟมแมท โดยการเตรียมกล้วยให้เป็นโฟมด้วยโปรตีนไข่ขาว จนมีความหนาแน่นของโฟมเป็น 0.3, 0.5, และ 0.7 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วเทใส่ถาดสแตนเลสให้มีความหนา 5 มิลลิเมตร นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส พบว่าโครงสร้างที่ประกอบด้วยรูพรุนของโฟมจะมีความหนาแน่นต่ำ จะมีค่าทำแห้งและความกรอบต่ำกว่า แต่ทั้งนี้อุณหภูมิที่ใช้และความเข้มข้นของไข่ขาวไม่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์สุดท้าย ซึ่งการทำโฟมกล้วยให้มีความหนาแน่น 0.5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ให้ผลดีที่สุด

วริศชนม ประมวล และ กุลพร (ม.ป.ป.) ได้ทำการศึกษาผลของไข่ขาวผงและมอลโตเด็กซ์ตรินที่มีต่อลักษณะของซุปผงหมูเลียงด้วยวิธีการทำแห้งโฟมแมท โดยใช้ไข่ขาวผง 2 ชนิด คือไข่ขาวผง (EAP) และกลีเซอรอลโมโนสเตียเรต (GMS) ในระดับความเข้มข้นร้อยละ 0–25 น้ำหนักต่อปริมาตร และมอลโตเด็กซ์ตรินที่ความเข้มข้นร้อยละ 0–50 น้ำหนักต่อปริมาตร พบว่าไข่ขาวให้สมบัติ

ด้านความคงตัวของโฟมมากกว่า GMS ที่ความเข้มข้นร้อยละ 15–20 โดยค่าความหนาแน่นของโฟมเท่ากับ 0.15–0.18 กรัมต่อมิลลิลิตร และค่าความคงตัว 5.42–5.50 มิลิลิตรต่อนาที ในขณะที่ GMS มีค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ค่าความคงตัวลดลงเมื่อความเข้มข้นมากขึ้น

สรศักดิ์ ณัฏฐา และอรพิน (2558) ศึกษาความเข้มข้นของไข่ขาวผงต่อสมบัติของโฟมกล้วยหอมทอง โดยผสมไข่ขาวผง คือ คาร์บอกซิลเมทิลเซลลูโลส ที่เตรียมในรูปสารละลายความเข้มข้นร้อยละเริ่มต้น 2 ลงในสารสกัดกล้วยหอม ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 ตามลำดับ เติมมอลโตเด็กซ์ทรินร้อยละ 10 เพื่อเพิ่มความคงตัวของโฟม ตีให้เกิดโฟมด้วยเครื่องผสมอาหาร ความเร็วสูงสุดเป็นเวลา 20, 25 และ 30 นาที ศึกษาสมบัติของโฟมกล้วยพบว่าความเข้นข้นของไข่ขาวผงและเวลาในการตีปั่นมีอิทธิพลร่วมกันต่อความหนาแน่นและอัตราการขึ้นฟูโฟมกล้วย–หอมทองที่ใช้คาร์บอกซิลเมทิลเซลลูโลสความเข้มข้นร้อยละ 0.3 เวลาในการตีปั่น 25 นาที มีค่าความหนาแน่นของโฟมกล้วยต่ำ แต่อัตราการขึ้นฟูสูงสุดเท่ากับ 0.30 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ให้ผลดีที่สุด และศึกษาเวลาในการอบแห้งต่อคุณลักษณะทางเคมีกายภาพของโฟมกล้วยหอมทอง โดยนำโฟมกล้วยหอมทองที่ใช้คาร์บอกซิลเมทิลเซลลูโลสความเข้มข้นร้อยละ 0.3 เวลาในการตีปั่น 25 นาที มีค่าความหนาแน่นของโฟมกล้วยต่ำ แต่อัตราการขึ้นฟูสูงสุดเท่ากับ 0.30 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีคุณสมบัติเหมาะที่สุด เทลงในถาดสแตนเลสให้มีความหนา 5 มิลลิเมตร นำเข้าอบ โดยควบคุมอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1.5, 3, และ 4.5 ชั่วโมง นำโฟมกล้วยอบแห้งที่ได้มาบดและวิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมีกายภาพ พบว่าเวลาในการอบแห้งมีอิทธิพลต่อค่าสีและปริมาณความชื้น มีปริมาณความชื้นอยู่ระหว่างร้อยละ 3.45–5.68 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ทั่วไปของผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง (Potter, 1978) แต่ไม่มีอิทธิพลต่อดัชนีการละลายและดัชนีการอุ้มน้ำ มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 80.71–83.05 และ 0.18–0.19 ตามลำดับ ($p>0.05$) โดยโฟมกล้วยที่ผ่านการอบแห้งนาน 1.5 ชั่วโมง มีลักษณะทางเคมีกายภาพเหมาะสมที่สุด ให้ผลที่มีสีเหลือง มีค่า L*, b*, c* และ h° เท่ากับ 68.45, 36.12, 37.26 และ 75.50 ตามลำดับ

สุภาวิณี (ม.ป.ป.) ได้ทำการเพื่อศึกษาการผลิตน้ำมะขามป้อมผงกึ่งสำเร็จรูปโดยการทำแห้งแบบโฟมแมท โดยทำการศึกษาสารก่อให้เกิดโฟมจำนวน 6 ชนิดได้แก่ Methocel 65 HG, Egg albumin, Glyceryl monostearate (GMS), Carboxy methyl cellulose (CMC), Methocel 65 HG และนำมาผสมกันคือ Methocel 65 HG ผสมกับ GMS, Methocel 65 HG ผสมกับ CMC, Egg albumin ผสมกับ GMS, Egg albumin ผสมกับ CMC และ GMS ผสมกับ CMC โดยอัตราส่วนที่ผสมสาร 2 ชนิดคือ ร้อยละ 1 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก พบว่าการใช้ Egg aldumin ความเข้มข้นร้อยละ 1 ของน้ำหนัก อุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำแห้งคือ 70 องศาเซลเซียส ซึ่งผลที่ได้มีปริมาณความชื้นสุดท้ายร้อยละ 1.78 ปริมาณน้ำอิสระเท่ากับร้อยละ 0.17 ความสามารถในการละลายร้อยละ 79.20

หทัยทิพย์ (2561) ได้ศึกษาผลของไข่ขาวผงต่อสมบัติของซุปฝักทองผงกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตโดยวิธีอบแห้งแบบโฟมแมท โดยไข่ขาวผงที่ใช้คือไข่ขาวที่ความเข้มข้นร้อยละ 1, 2 และ 3 ร่วมกับ glyceryl monostearte (GMS) และอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งคือ 70 องศาเซลเซียส พบว่าการใช้ไข่ขาวร้อยละ 3 ให้ผลที่ดีที่สุดในด้านมีค่าความชื้นอยู่ที่ร้อยละ 4.47 ค่าปริมาณน้ำอิสระร้อยละ 0.38 และค่าการละลายอยู่ที่ร้อยละ 63.83

ไชยภร ลลิตา และ อินทิรา (2562) ได้ทำการศึกษาผลของไข่ขาวผง 2 ชนิด ได้แก่ Egg albumin (EA) และ Methocel (MC) ในปริมาณร้อยละ 2.5, 3.0 และ 3.5 ต่อสมบัติภาพทางกายภาพ เคมี และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ชงพร้อมดื่มสำเร็จรูปและปริมาณของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ไข่ขาวผง พบวามีเพียงสารก่อเกิดโฟมไข่ขาว ที่ทำให้น้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เกิดโฟมที่คงตัว และมีความสามารถในการคืนตัว ดีกวาไข่ขาวผงชนิดอื่น

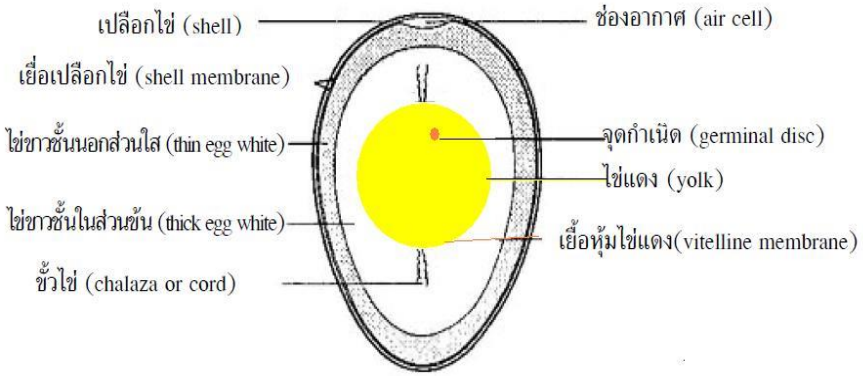
Mei and Sulaiman (2018) ศึกษากระบวนการทำแห้งแบบโฟมแมท โดยใช้ไข่ขาวผงเป็นไข่ขาวผง ที่ระดับความเข้มข้น 5 กรัมต่อ 100 กรัม และ 10 กรัมต่อ 100 กรัม (อัตราส่วนต่อไข่ขาวผงต่อบีทรูท) พบว่าการใช้ไข่ขาวที่อัตราส่วน 10 กรัมต่อ 100 กรัม ให้ผลทางเคมีกายภาพดีที่สุด เนื่องจากมีการขึ้นฟูของโฟมสูงที่ระดับร้อยละ 64.31 และความหนาแน่นของโฟม 0.60 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ขณะที่ค่า hygroscopicity 16.33 กรัมต่อ 100 ต่ำ ให้ผงที่มีสีแดง ซึ่งการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของไข่ขาวผงจะส่งผลต่อปริมาณโฟม ในขณะที่ความหนาแน่นของโฟมนั้นลดลง ค่า pH, ค่าปริมาณน้ำอิสระในอาหาร และการละลายน้ำเพิ่มขึ้น

ชินานาฏ วิษณุ และนภัสนันท์ (2563) ได้ศึกษาการยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทองโดยอาศัยเทคโนโลยีฟองอากาศขนาดเล็กหรือ เทคโนโลยีไมโครนาโนบับเบิ้ล (Micro/Nano Bubbles technology, MNBs) โดยทำการศึกษาน้ำในกระบวนการแช่ล้างกล้วย หอมทอง 5 ประเภท ได้แก่ 1) น้ำประปา (TW) 2) น้ำแอร์ไมโครนาโนบับเบิ้ล (Air MNBs) 3) น้ำแอร์นาโนบับเบิ้ล (Air NBs) 4) น้ำโอโซนไมโครนาโนบับเบิ้ล (O3 MNBs) และ 5) น้ำโอโซนนาโนบับเบิ้ล (O3 NBs) โดยกำหนดระยะเวลาการแช่ล้างนาน 20 นาที จากผลการทดลองพบว่าการใช้น้ำที่มีฟองอากาศขนาดเล็กที่ผลิตจากเทคโนโลยีไมโครนาโนบับเบิ้ลสามารถช่วยยืดอายุ การเก็บรักษากล้วยหอมทองได้ โดยช่วยป้องกันการสูญเสียน้ำหนักและชะลอการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อของกล้วยอย่าง เห็นได้ชัด รวมทั้งช่วยลดปริมาณเชื้อราอันเป็นสาเหตุของโรคขั้วหวีเน่าได้ โดยพบว่าเมื่อใช้เทคโนโลยีไมโครนาโนบับเบิ้ล ร่วมกับแก๊สโอโซนทำให้ประสิทธิภาพของการลดปริมาณเชื้อราที่ขั้วกล้วยสูงขึ้น

2.3 วัตถุเจือปนที่นิยมใช้ในการทำแห้งแบบโฟมแมทและการประยุกต์ใช้

2.3.1 ไข่ขาว

ไข่ขาว (egg white) เป็น ส่วนประกอบภายในไข่มีอยู่ประมาณร้อยละ 58 ของน้ำหนักไข่ทั้งฟอง ไข่ขาวเป็นส่วนของเหลวข้นหนืด (firm) ล้อมรอบไข่แดง ไข่ขาวชั้นนอกส่วนใส (thin egg white) เป็นไข่ขาวที่เป็นของเหลวใส (clear) โปร่งแสง (transparent) ล้อมรอบไข่ขาวชั้นนอกส่วนข้น (thick egg white) ส่วนของเหลวข้นหนืดอีกชั้นหนึ่ง (ภาพที่ 2.5) (พิมพ์เพ็ญ, ม.ป.ป.)



ภาพที่ 2.5 ส่วนประกอบของไข่ขาว (พิมพ์เพ็ญ, ม.ป.ป.)

ไข่ขาว มีส่วนประกอบหลักคือน้ำ ไข่ขาวมีความชื้นร้อยละ 87–89 และ มีโปรตีนซึ่งเป็นโปรตีนคุณภาพดีที่สุด มีกรดแอมิโนที่จำเป็น (essential amino acid) ครบทุกชนิด โปรตีนในไข่ขาวเป็นแอลบูมิน (albumin) ประกอบด้วย

- โอแวลบูมิน (ovalbumin) เป็นโปรตีนที่มีมากที่สุดในไข่ขาว มีอยู่ประมาณร้อยละ 54 ของน้ำหนักโปรตีนในไข่ขาวจัดเป็น ฟอสโฟไกลโคโปรตีน (phospoglycoprotein) มีโครงสร้างเป็นสายพอลิเพปไทด์ที่มีหมู่ฟอสเฟตและคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนประกอบ มีจุดไอโซอิเล็กตริก (isoelectric point) ที่ pH 4.6 และจะตกตะกอนที่ pH 4.6–4.8 ทนความร้อนได้ดี

- คอนแอลบูมิน (conalbumin) มีประมาณร้อยละ 13 ของโปรตีนในไข่ขาว มีจุดไอโซอิเล็กตริก (isoelectric point) ที่ pH 6.6 เป็นโปรตีนที่ทนต่อความร้อนได้น้อยกว่าโอแวลบูมิน แต่สูญเสียสภาพธรรมชาติ (protein denaturation) ได้เร็วกว่าโอแวลบูมิน

- โอโวมิวคอยด์ (ovomucoid) พบประมาณร้อยละ 1.2 ของโปรตีนในไข่ขาว มีจุดไอโซอิเล็กตริก (isoelectric point) ที่ pH 3.9–4.3 ในสภาวะที่เป็นกรดจะทนความร้อนได้ดีแต่ จะสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนอย่างรวดเร็วถ้าอยู่ในสารละลายด่าง ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

เป็นไกลโคโปรตีนที่มีความเฉพาะเจาะจงกับเอนไซม์ทริพซิน สามารถยับยั้งเอนไซม์ทริพซิน (trypsin inhibitor) ซึ่งเป็นเอนไซม์โปรตีgอส (protease) มีหน้าที่ไฮโดรไลซ์โปรตีน

- ไลโซโซม (lysosome) พบประมาณ ร้อยละ 3.5 ของโปรตีนในไข่ขาว มีจุดไอโซอิเล็กตริก (isoelectric point) ที่ pH 10.7 เป็นเอนไซม์ ที่สามารถทำลายผนังเซลล์ของแบคทีเรียที่มีการปนเปื้อนเข้ามาในฟองไข่ได้ มีสมบัติเป็นสารกันเสีย (preservative) แต่จะถูกทำลายได้ด้วยความร้อนจากการหุงต้ม (cooking) หรือ การพาสเจอไรซ์ ที่อุณหภูมิ 63.5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที

- โอโวอินฮิบิเตอร์ (ovoinhibitor) มีความเฉพาะเจาะจงกับเอนไซม์ทริพซิน ไคโมทริพซิน ซับทิลิซิน และเอนไซม์โปรตีเอสจาก Aspergillus Oryza

- ซิสตาติน (cystatin) หรือสารยับยั้งเอนไซม์ปาเปน มีความเฉพาะเจาะจงต่อเอนไซม์ปาเปน และฟีซิน

สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนจากไข่ขาว (functional properties of protein) ที่สำคัญคือ การเกิดโฟม (foaming) ซึ่งมีบทบาทสำคัญในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ (bakery) การตีไข่ขาว ทำให้โปรตีนไข่ขาวสูญเสียสภาพธรรมชาติ (protein denaturation) เพราะแรงกลทำให้โปรตีนคลายตัวและกักอากาศไว้ภายใน มีลักษณะเป็นโฟมโปร่งฟู ไข่ขาวใสตีได้ปริมาตรมากกว่าไข่ขาวข้น การผสมครีมออฟทาร์ทาร์ (cream of tartar) จะช่วยให้โฟมไข่ที่ขึ้นฟูอยู่ตัวและมีปริมาณมากขึ้น และการทำให้เกิดเจล (gel) โดยโปรตีนไข่ขาวสามารถรวมกับน้ำเกิดเป็นเจล (gel) ซึ่งเป็นโครงสร้างตาข่ายจับกับน้ำได้ดี มีลักษณะเป็นของกึ่งแข็ง ยืดหยุ่น (พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, ม.ป.ป)

2.3.2 คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl cellulose) หรือ ซีเอ็มซี (CMC) หรือโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (sodium carboxymethylcellulose) เป็นไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloid) คือพอลิเมอร์ชนิดชอบน้ำ (hydrophilic) ที่เป็นคาร์โบไฮเดรตซึ่งเป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลส ไฮโดรคอลลอยด์ชนิดนี้เป็นไฮโดรคอลลอยด์ที่ดัดแปรจากสารที่ได้จากธรรมชาติ (modified natural hydrocolloids) เกิดจากการแปรหรือปรับปรุงคุณสมบัติของเซลลูโลสซึ่งเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืชให้เกิดการแทนที่โครงสร้างเดิม ด้วยหมู่เมธิลและหมู่คาร์บอกซิเมทิล (ดุษฎี และน้องนุช, 2555)

CMC ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆอย่างแพร่หลาย อาทิ อุตสาหกรรมการซักฟอก สี กาว สิ่งทอ กระดาษ เซรามิก อาหารและยา เนื่องจาก CMC มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาวไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่เป็นอันตราย ไม่มีผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม ละลายน้ำได้ดี มีคุณสมบัติเป็นสารเพิ่มความหนืดที่ช่วยในการยึดเกาะและเป็นสารคงสภาพ สำหรับการใช้ประโยชน์ CMC ในอุตสาหกรรมอาหาร จะใช้

เป็นสารให้ความหนืดในไอศกรีม ใช้เป็นสารเคลือบผิวแคปซูลยาหรือเป็นสารก่อให้เกิดการเป็นเจล ทางด้านเภสัชกรรม เป็นต้น (สุนทร, 2555)

การใช้ CMC ในอุตสาหกรรมอาหาร

1) ใช้ในการผลิตไอศกรีม เนื่องจาก CMC สามารถใช้ได้ในการผลิตไอศกรีมที่ไม่ต้องมีการปั่นหรือมีอุณหภูมิต่ำมาก ทำให้จำเป็นต้องใช้เครื่องปั่นหรือเครื่องผสมที่ใช้เกลือและน้ำแข็ง (salt ice mixes) แบบเก่า

2) ใช้ในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่อย่าง เช่น ขนมปังและเค้ก โดย CMC จะช่วยเพิ่มขนาดและคุณภาพของแป้งโดทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิตได้

3) ใช้เป็นอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) ในการผลิตบิสกิต เนื่องจาก CMC จะช่วยกระจายโมเลกุลไขมันในแป้งโด ทำให้แป้งหลุดจากแม่พิมพ์ได้ง่ายและสามารถตัดหรือขึ้นรูปง่ายขึ้นไม่เกิดรูปร่างบิดเบี้ยว และยังช่วยลดต้นทุนการผลิต เพราะสามารถใช้ CMC ทดแทนไข่แดงและไขมันซึ่งเป็นวัตถุดิบสำคัญที่ใช้ในการผลิตบิสกิต

4) ใช้ในการผลิตลูกอม โดย CMC จะช่วยทำให้น้ำมันของวัตถุแต่งกลิ่นรสกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ทำให้ลูกอมมีเนื้อสัมผัสและคุณภาพดีขึ้น

5) ใช้เป็นอิมัลซิไฟเออร์ในอาหารอื่นๆ อีก เช่น หมากฝรั่ง มาร์การีน เนยถั่ว

2.3.3.6 ไฮดรอกซีโพรพิล เมทิลเซลลูโลส หรือ เอชพีเอ็มซี (Hydroxypropyl Methylcellulose, HPMC)

HPMC เป็น nonionic polymer ซึ่งมีหลายเกรด ที่ให้ความหนืดแตกต่างกัน สารละลายสามารถเกิดเป็นเจลได้ที่อุณหภูมิสูงขึ้นเช่นเดียวกับ MC และสามารถฆ่าเชื้อได้โดยวิธีหม้อนึ่งไอน้ำ (autoclave) โดยไม่สูญเสียความหนืด HPMC เป็นสารเพิ่มความหนืดที่มีคุณสมบัติลดแรงตึงผิวได้ด้วย นอกจากนั้นยังใช้เป็นสารก่อฟิล์ม (film former) ในการเคลือบยาเม็ด (สถาพร, 2548) แต่ HPMC มีข้อจำกัดคือ มีราคาแพง หาซื้อยาก

2.3.3 การประยุกต์ใช้วัตถเจือปนในผลิตภัณฑ์อาหาร

ขวัญชนก (2560) ได้ศึกษาการพัฒนาขนมเมอแรงค์เพื่อสุขภาพที่สามารถตอบสนองต่อความ พึงพอใจของผู้บริโภคได้ซึ่งงานวิจัยนี้ได้นำเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพมาประยุกต์ใช้ โดยเริ่ม จากค้นหาปัจจัยความต้องการของลูกค้าที่มีต่อขนมเมอแรงค์โดยการสัมภาษณ์นักเรียนนักศึกษาที่มีอายุ ระหว่าง 13-22 ปี ในอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา เมื่อทราบปัจจัยความต้องการของลูกค้า จึงสำรวจ คะแนนน้ำหนักความสำคัญของความต้องการแต่ละปัจจัยในการเลือกซื้อขนมเมอแรงค์โดยให้ผู้บริโภค กลุ่มเป้าหมายทำแบบสอบถาม น าข้อมูลที่ได้ไปสร้างบ้านคุณภาพ เพื่อพิจารณาข้อกำ หนดเชิงเทคนิค แล้วแปลงให้เป็นเป้าหมายผลิตภัณฑ์สุดท้าย เพื่อนำไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ จากนั้น ศึกษาสูตรทั่วไปของขนมเมอแรงค์ พบว่า ขนมเมอแรงค์ส่วนใหญ่จะ

มีส่วนผสมของไข่ขาว 1 ส่วน ต่อปริมาณน้ำตาล 2 ส่วน จึงทำการทดลองลดปริมาณน้ำตาลลงจากสูตรทั่วไป แล้วนำไปประเมินความ พึงพอใจจากผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมาย พบว่า สูตรที่มีการลดปริมาณน้ำตาลลง 50% จากสูตรทั่วไป ได้รับ คะแนนความพึงพอใจสูงที่สุด จากนั้นจึงทำการทดลองเติมผงสตรอเบอรี่และผงมันม่วงลงไปในส่วนผสม ของขนมเมอแรงค์ พบว่า สูตรที่มีส่วนผสมของ ไข่ขาว 41.49% น้ำตาลทราย 41.49% ครีมออฟทาร์ทาร์ 0.34% ผงสตรอเบอรี่ 6.92% ผงมันม่วง 6.92% กลิ่นสตรอเบอรี่ 2.77% และสีแดงสตรอเบอรี่ 0.07% ได้รับคะแนนความพึงพอใจในด้านกลิ่น ความหวาน อัตราการละลาย และความชอบโดยรวมสูงที่สุด ซึ่งได้รับคะแนนความชอบโดยรวม 7.51±1.07 คะแนน จึงนำตัวอย่างที่พัฒนาได้มาประเมินคะแนนความ พึงพอใจของผู้บริโภคเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์คู่แข่ง 1 ยี่ห้อ พบว่า ขนมเมอแรงค์เพื่อสุขภาพได้คะแนน ความพึงพอใจจากผู้บริโภคในด้านสี ความหวาน ความกรอบ และความชอบโดยรวม สูงกว่าคะแนนของ ขนมเมอแรงค์คู่แข่ง และให้พลังงาน 75 Kcal/20 g ซึ่งน้อยกว่าผลิตภัณฑ์ของคู่แข่ง (80 Kcal/20 g)

สุภาพร และคณะ (2562) ได้ศึกษาผลของคาร์ราจีแนนที่มีต่อไข่ขาวผงอบแห้ง โดยนำไข่ขาวเค็มดิบ (ได้จากไข่ เป็ด) ซึ่งเป็นวัสดุเศษเหลือมาลดปริมาณเกลือโดยการทำไดอะไลซีส จากนั้นนำมาผสมกับคาร์ราจีแนนในระดับ ร้อยละ 0, 0.4 และ 0.8 (น.น./น.น.) อบให้แห้งแล้วบดให้เป็นผง พบว่าไข่ขาวผงที่เติมคาร์ราจีแนนร้อยละ 0.4 ให้โฟมเมอแรงค์ที่มีค่าความหนาแน่นต่ำสุด ในขณะที่ความสามารถในการเกิดโฟมสูงสุดและยังมีความคงตัวโดยไม่ละลายเป็นของเหลวแม้เวลาผ่านไป 180 นาทีไข่ขาวผงอบแห้งมีค่าสี L*, a* และ b* เท่ากับ 82.74, -0.33 และ 17.19 ตามลำดับ มีค่า pH เท่ากับ 7.26 เกลือร้อยละ 3.59 และความชื้นร้อยละ 4.80 สามารถนำมาใช้ใน ผลิตภัณฑ์เมอแรงค์ได้ พบว่าเมอแรงค์ที่มีการแต่งกลิ่นรสได้รับคะแนนความชอบโดยรวมจากผู้ทดสอบชิมที่ไม่ ผ่านการฝึกฝนในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก และเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน พบว่าความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความแข็งและความกรอบมีค่าลดลง

อริสรา ชนินทร์ และศิริพร (2554) ศึกษาชนิดไข่ขาวผงที่มีผลต่อลักษณะคุณภาพของเม่าผงชงละลายเปรียบเทียบกับน้ำเม่าเข้มข้น โดยไข่ขาวผงที่ศึกษา คือ เมทโทเซล (FM) อัลบูมินจากไข่ (FA) และคาร์บอกซีลเมธิลเซลลูโลส (FC) วัตถุดิบที่ใช้ คือน้ำเม่าเข้มข้นร้อยละ 25 และใช้ไข่ขาวผงที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 เติม ลงไปร้อยละ 60 ของปริมาตรทั้งหมด ปริมาตรต่อปริมาตร พบว่า FM และ FA เกิดโฟม ส่วน FC ไม่เกิดโฟม ปริมาณความหนาแน่นของโฟม FM และ FA มีค่าเท่ากับ 0.12 และ 0.14 กรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ค่าการขึ้นฟู (% Overrun) พบว่า FM และ FA มีค่าเท่ากับ 87.28 และ 85.85 ตามลำดับ จากนั้นนำโฟมที่ได้จากการตีผสม (FM และ FA) ไปอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส นาน 32 นาที นำมาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมีเทียบกับน้ำเม่าเข้มข้นร้อยละ 25 (MC) พบว่าลักษณะคุณภาพของเม่าผงชงละลายโดยวิธีการอบแห้งแบบโฟมแมท โดยใช้อัลบู–มินจากไข่ขาวเป็นสารก่อให้เกิดโฟม มีความสามารถในการละลายได้ดีกว่าการใช้เมโทเซล และเมื่อ

เปรียบเทียบ ลักษณะคุณภาพของเม่าผงชงละลายคืนรูปกับน้ำเม่าเข้มข้นคืนรูป พบว่าน้ำเม่าผงคืนรูปมีปริมาณสารแอนโทชัยยานินส์และสารฟีนอลิคสูงกว่า ซึ่งสารทั้งสองชนิดมีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ

จันทิมา และคณะ (2558) ได้ศึกษาชนิดและปริมาณของสารเพิ่มความคงตัวที่มีผลต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมี และลักษณะทางประสาทสัมผัส ของไอศกรีมน้ำนมข้าวโพด ซึ่งสารเพิ่มความคงตัวที่ใช้ คือ Locust bean gum, Guar gum และ Carrageenan ปริมาณ 0-0.3% w/w ตามแผนการทดลองวิธี Mixture design แบบ Simplex axial design โดยใช้ค่าความหนืด อัตราการละลาย อัตราการขึ้นฟู ค่าสี ปริมาณของแข็งทั้งหมด ความเป็นเนื้อเดียวกัน ความนุ่ม การละลายในปาก กลิ่นรสข้าวโพด และความชอบโดยรวม เป็นพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา ผลการทดลองพบว่าสารเพิ่มความคงตัวแต่ละชนิด มีผลต่อคุณภาพในด้านต่างๆ ของไอศกรีมน้ำนมข้าวโพด เมื่อใช้สารเพิ่มความคงตัวเพียงชนิดเดียว พบว่า โลกัสบีนกัมและกัวร์กัมให้ความหนืดและอัตราการขึ้นฟูที่สูงกว่าคาร์ราจีแนน แต่คาร์ราจีแนนมีคุณสมบัติต้านทานการละลายได้ดีกว่าโลกัสบีนกัมและกัวร์กัม แต่เมื่อนำสารเพิ่มความคงตัวมาผสมกัน 2 ชนิด พบว่าโลกัสบีนกัมและกัวร์กัมช่วยเสริมความสามารถซึ่งกันและกันโดยให้ค่าความหนืด และอัตราการขึ้นฟูที่สูงขึ้น เมื่อนำโลกัสบีนกัมหรือกัวร์กัมผสมกับคาร์ราจีแนน พบว่าความหนืด ลดลงและสามารถต้านการละลายได้ดีขึ้น และเมื่อนำสารเพิ่มความคงตัวมาผสมกัน 3 ชนิด พบว่า ทั้งความหนืด อัตราการขึ้นฟู และสามารถต้านทานการละลายได้ดีขึ้นเมื่อเทียบกับการใช้สารเพิ่มความคงตัวชนิดเดียว และ 2 ชนิด สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไอตกรีมน้ำนมข้าวโพดพิจารณาจากวิธี Response surface คือ เติมโลกัสบีนกัมเข้มข้น 0.105% กัวร์กัมเข้มข้น 0.09% และคาร์ราจีแนนเข้มขัน 0.105% ลงในน้ำนมข้าวโพด

พวงชมพู และวันวิสา (2558) ได้ศึกษาชนิดของสารให้ความคงตัวต่อสมบัติทางกายภาพเคมีของไอศกรีมน้ำนมถั่วเหลือง โดยใช้สารให้ความคงตัว 3 ชนิด ได้แก่ แซนแทนกัม โซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC) และคาราจีแนน ความเข้มข้น 0.2% เติมในสูตรของไอศกรีมน้ำนมถั่วเหลือง แล้วทดสอบสมบัติทางกายภาพ พบว่า ค่าสี L*, a* และ b* และความหนืดของส่วนผสมไอศกรีมทั้ง 4 สูตร มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) โดยสูตรที่เติมแซนแทนกัม มีความหนืดสูงสุด 915±053 เซนติพอยส์ ทั้งสูตรที่เติมซีเอ็มซีและคาราจีแนน มีค่าร้อยละการขึ้นฟูของโฟมสูงสุด 39.88±0.30 และ 40.47±0.36 ตามลำดับ หลังจากนั้นวัดอัตราการละลายของไอศกรีม พบว่าสูตรที่เติมซีเอ็มซีและคาราจีแนน มีอัตราการละลายน้อยกว่าสูตรมาตรฐาน เมื่อนำไอศกรีมน้ำนมถั่วเหลืองมาทดสอบสมบัติทางเคมีและด้านประสาทสัมผัส พบว่าค่า pH และปริมาณของแข็งทั้งหมดไม่มีความแตกต่างกัน ($p\geq0.05$) และผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับรวมสูงสุดในสูตรที่มีการเติมแซนแทนกัมเท่ากับ 7.75±0.78

นุจรี และคณะ (2560) ได้ศึกษาปริมาณสารให้ความคงตัวและสภาวะการฆ่าเชื้อในผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าว ศึกษาปริมาณสารให้ความคงตัว 0.3%, 0.5% และ 0.7% และสภาวะการฆ่าเชื้อโดยการต้มในน้ำร้อนและการฆ่าเชื้อสภาวะภายใต้หม้อนึ่งความดัน การทดลองพบว่าการเติมกัวร์กัมในน้ำนมข้าว ปริมาณเพิ่มมากขึ้นจะมีผลทำให้ค่าความหนืดและค่าพีเอช (pH) ของผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวเพิ่มขึ้น โดยที่ระดับการเติมกัวร์กัม 0.7% มีค่าความหนืดสูงสุด 82.90 เซนติพอยท์ ($p<0.05$) ค่า pH เท่ากับ 5.52 ($p<0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่าผลของการใช้สภาวะในการฆ่าเชื้อจะมีผลทำให้สีของน้ำนมข้าวมีการเปลี่ยนแปลงซึ่งสภาวะการใช้หม้อนึ่งความดัน จะทำให้สีของน้ำนมข้าวจากสีเขียวเปลี่ยนเป็นสีเขียวอมเหลือง (10Y, 5/8) แต่พบว่า การใช้สภาวะการฆ่าเชื้อด้วยการต้มน้ำเดือดยังคงสีเขียวผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่า การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าว พบว่าการเติมกัวร์กัมในปริมาณที่มากจะมีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภคมากที่สุด ซึ่งการเติมกัวร์กัมที่ระดับ 0.7% ทำให้ผู้บริโภคให้การยอมรับผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวทางด้านเนื้อสัมผัสมากที่สุด (7.20) ($p<0.05$) ดังนั้น การเติมสารให้ความคงตัว (กัวร์กัม) ร่วมกับสภาวะการให้ความร้อนที่อุณหภูมิน้ำเดือด สามารถช่วยให้ผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวมีเนื้อสัมผัสและยังคงสีเขียวของข้าวได้ดี ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคและสามารถนำไปพัฒนาเพื่อผลิตและจำหน่ายซึ่งเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรได้

ณัฏฐิกา และคณะ (2562) ได้ศึกษาการปรับปรุงคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งผสมระหว่างแป้ง ข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง ด้วยการใช้สารให้ความคงตัว นั่นคือคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC) เพื่อลดการเกิดรีโทรเกรเดชันของผลิตภัณฑ์ โดยผันแปรปริมาณซีเอ็มซีทุกชุดการทดลอง 0% (ควบคุม) 0.3% 0.4% 0.5% 0.6% และ 0.7% ของน้ำหนักแป้งผสม (แป้งข้าว:แป้งมันสาปะหลัง, 65:35) จากนั้นนำไปทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 60 °C ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าแป้งผสมที่เติมซีเอ็มซี 0.3%, 0.4% และ 0.7% มีค่าการคืนตัว (Setback) ต่ำกว่าแป้งผสมที่ไม่มีการเติมซีเอ็มซี ซึ่งชี้ให้เห็นถึงการเกิดรีโทรเกรเดชันที่น้อยลงและสอดคล้องกับค่าความแข็ง (Hardness) ที่ลดลงของเจลแป้งเมื่อทิ้งให้เกิดรีโทรเกรเดชัน และเมื่อนำแป้งผสมที่ได้มาขึ้นรูปเส้นก๋วยเตี๋ยวพบว่า เส้นก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งที่มีการเติมซีเอ็มซี มีลักษณะเนื้อสัมผัสเหนียว นุ่ม ยืดหยุ่น และไม่ขาดง่าย เมื่อเทียบกับเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ไม่มีการเติมซีเอ็มซี แป้งผสมชุดควบคุมที่ไม่มีการเติมซีเอ็มซีมีค่าแรงดึง (Tensile strength) ต่ำกว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งผสมที่มีการเติมซีเอ็มซี 0.4% ที่ผ่านกระบวนการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนด้วยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าการเติมซีเอ็มซี 0.4% จะช่วยให้เส้นก๋วยเตี๋ยวที่ได้มีเนื้อสัมผัสที่ดี มีความนุ่มและยืดหยุ่นดีมากที่สุด

วรลักษณ์ และจุฑามาศ (2559) ได้ศึกษาการใช้เนื้อตาลสุกทดแทนแป้งสาลีในการผลิตขนมปังทำให้ขนมปังมีสีเหลืองอมส้มและมีกลิ่นรสที่เป็นลักษณะเด่นเฉพาะของเนื้อตาลสุก แต่มีผลทำให้คุณภาพทางกายภาพของขนมปังลดลงจึงศึกษาการเติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC) ในขนมปัง

ที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยเนื้อตาลสุก 35% ของน้ำหนักแป้งสาลี 4 ระดับคือ 0% 2.0% 2.5% และ 3.0% ของน้ำหนักแป้งสาลี พบว่าการเติมซีเอ็มซีในส่วนผสมของการผลิตขนมปังมีผลทำให้ขนมปังมีปริมาตรจำเพาะและมีปริมาณความชื้นสูงขึ้น แต่มีความหนาแน่นลดลง การเพิ่มขึ้นของปริมาตรจำเพาะของขนมปัง ส่งผลให้ค่าความแข็งและค่าความเคี้ยวได้ของขนมปังลดลงเมื่อระดับของซีเอ็มซีเพิ่มขึ้น โดยผู้ทดสอบชิมให้คะแนนการยอมรับโดยรวมของขนมปังที่ใช้เนื้อตาลสุก 35% ของน้ำหนักแป้งสาลีที่มีการเติมซีเอ็มซีที่ระดับต่างๆ ไม่ต่างจากสูตรพื้นฐานขนมปังที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยเนื้อตาลสุก 35% ของน้ำหนักแป้งสาลีแต่การเติมซีเอ็มซีทำให้ปริมาณโปรตีนลดลง มีปริมาณความชื้นและมีใยอาหารสูงขึ้น และสามารถเก็บรักษาขนมปังในถุงพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีนปิดผนึกด้วยความร้อนที่อุณหภูมิห้องได้อย่างน้อย 5 วัน

จิตรา (2562) ได้ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งแก่นตะวัน ซึ่งพบว่ามีความชื้น เถ้า เยื่อใยหยาบ โปรตีน ไขมันและอะไมโลส 7.52%, 3.40%, 3.10%, 4.10%, 2.51% และ 0.04% ตามลำดับ โดยมีองค์ประกอบส่วนใหญ่คือ คาร์โบไฮเดรต 82.36% ประกอบด้วยใยอาหารที่ละลายน้ำ 40.07% ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ 13.04% และใยอาหารทั้งหมด 53.11% สำหรับค่าความหนืดพบว่าเมื่อเพิ่มสัดส่วนของแป้งแก่นตะวันจะทำให้ค่า peak viscosity, final viscosity, breakdown และ setback ของแป้งขนมปังมีแนวโน้มลดลง แต่เมื่อทำการเติมแซนแทนกัม 0.5% ส่งผลให้ค่าดังกล่าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อนำแป้ง แก่นตะวันมาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมปังที่ระดับ 0%, 5%, 10%, 15% และ 20% พบว่าระดับที่เพิ่มมากขึ้นทำให้ปริมาตรและปริมาตรจำเพาะลดลง เนื้อสัมผัสแข็งขึ้น ค่าการเกาะตัวและความยืดหยุ่นลดลง ความยากในการเคี้ยวมากขึ้น แต่เมื่อทำการเติมแซนแทนกัม 0.5% ส่งผลให้ปริมาตรจำเพาะของขนมปังเพิ่มขึ้น เนื้อสัมผัสนุ่มขึ้น ค่าการเกาะตัวและความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น เมื่อทำการประเมินการ ยอมรับทางประสาทสัมผัสพบว่าขนมปังที่มีการเติมแป้งแก่นตะวันที่ระดับ 5% ผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม

จันทิมา และคณะ (2558) ได้ศึกษาชนิดและปริมาณของสารเพิ่มความคงตัวที่มีผลต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมี และลักษณะทางประสาทสัมผัส ของไอศกรีมน้ำนมข้าวโพด ซึ่งสารเพิ่มความคงตัวที่ใช้ คือ Locust bean gum, Guar gum และ Carrageenan ปริมาณ 0-0.3% w/w ตามแผนการทดลองวิธี Mixture design แบบ Simplex axial design โดยใช้ค่าความหนืด อัตราการละลาย อัตราการขึ้นฟู ค่าสี ปริมาณของแข็งทั้งหมด ความเป็นเนื้อเดียวกัน ความนุ่ม การละลายในปาก กลิ่นรสข้าวโพด และความชอบโดยรวม เป็นพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา ผลการทดลองพบว่าสารเพิ่มความคงตัวแต่ละชนิด มีผลต่อคุณภาพในด้านต่างๆ ของไอศกรีมน้ำนมข้าวโพด เมื่อใช้สารเพิ่มความคงตัวเพียงชนิดเดียว พบว่า โลกัสบีนกัมและกัวร์กัมให้ความหนืดและอัตราการขึ้นฟูที่สูงกว่าคาร์ราจีแนน แต่คาร์ราจีแนนมีคุณสมบัติต้านทานการละลายได้ดีกว่าโลกัสบีนกัมและกัวร์กัม แต่เมื่อนำสารเพิ่มความคงตัวมาผสมกัน 2 ชนิด พบว่าโลกัสบีนกัมและกัวร์กัมช่วยเสริมความสามารถซึ่งกัน

และกันโดยให้ค่าความหนืด และอัตราการขึ้นฟูที่สูงขึ้น เมื่อนำโลกัสบีนกัมหรือกัวร์กัมผสมกับคาร์ราจีแนน พบว่าความหนืด ลดลงและสามารถต้านการละลายได้ดีขึ้น และเมื่อนำสารเพิ่มความคงตัวมาผสมกัน 3 ชนิด พบว่า ทั้งความหนืด อัตราการขึ้นฟู และสามารถต้านทานการละลายได้ดีขึ้นเมื่อเทียบกับการใช้สารเพิ่มความคงตัวชนิดเดียว และ 2 ชนิด สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไอตกรีมน้ำนมข้าวโพดพิจารณาจากวิธี Response surface คือ เติมโลกัสบีนกัมเข้มข้น 0.105% กัวร์กัมเข้มข้น 0.09% และคาร์ราจีแนนเข้มขัน 0.105% ลงในน้ำนมข้าวโพด

2.4 ขบวนการอัดเม็ด (Tableting)

อัดเม็ด (Tableting) หมายถึง การนำเอาวัตถุดิบอาหารที่บดแล้วหรือผสมตามต้องการ มาคลุกรวมกันแล้วอัดผ่านเครื่องอัดเม็ด หรือรูตะแกรง ขนาดของเม็ดอาหารมีขนาดเล็กหรือขนาดใหญ่ขึ้นกับ ความสัมพันธ์ของตัวพิมพ์อัด และแรงอัดให้มีความแน่น กรรมวิธีนี้ไม่สามารถลดหรือกำจัดอันตรายทั้งกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ในอาหารลงได้ ดังนั้นกรรมวิธีนี้จึงใช้ได้กับอาหารที่มีความเสี่ยงต่ำเท่านั้น มีค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w) ของวัตถุดิบหรือส่วนผสม น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.85 (นรินทร์, 2563)

สารที่ช่วยในการยึดเกาะ (Binder) ในขบวนการอัดเม็ด สารในกลุ่มนี้ช่วยเพิ่มการเกาะตัวของวัตถุดิบที่เป็นผง หรืออีกนัยหนึ่งคือ สารยึดเกาะเป็นสารที่ทำให้วัตถุต่าง ๆ ซึ่งเป็นผงรวมกันเป็นเม็ดได้ สารที่มีการใช้บ่อยที่สุดคือ มอลโตเดกซ์ทริน เซลลูโลส เอทิลเซลลูโลส แป้งข้าวโพด แป้งมันสำปะหลัง น้ำตาล และ แป้งอื่น ๆ เซลลูโลส เป็นส่วนประกอบหลักของเส้นใยในพืช บางครั้งอาจมีการใช้ เลซิทิน หรือซอร์บิทอลแทน สารยึดเกาะอีกตัวที่อาจมีการนำมาใช้ แต่คุณควรดูให้ดีแหละหลีกเลี่ยงคือ อะเคเซีย (Acacia และ Gum arabic) ซึ่งเป็นยางจากพืชที่ผ่านมาตรฐานว่าปลอดภัยระดับหนึ่ง หรือจีอาร์เอเอส (GRAS: Generally Recognized As Safe) จากองค์การอาหารและยาของอเมริกา แต่อาจทำให้เกิดอาการหอบหืดกำเริบ และผื่นแพ้ในผู้ที่เป็นหืด หญิงตั้งครรภ์ และผู้ที่มีแนวโน้มจะแพ้ได้ง่าย (นรินทร์, 2563)

ชื่นกมล และ พุทธดี (2563) ได้ศึกษาพัฒนาน้ำนมเม็ดมะม่วงหิมพานต์อัดเม็ด โดยอัดเม็ดด้วยเครื่องอัดเม็ดนมผงมะม่วงหิมพานต์ใช้แรงกดมือ ด้วยแรงกดสูงสุด (Maximum Force) 15 กิโลนิวตัน ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 มิลลิเมตร มีความหนาเฉลี่ย 2.37 มิลลิเมตร ทำการศึกษาความชอบของผู้บริโภค โดยให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9- Point Hedonic Scale Test) ผลการศึกษาพบว่า ที่ประกอบไปด้วยผงน้ำนมเม็ดมะม่วงหิมพานต์ 50% น้ำตาลไอซิ่ง 33.33% และแป้งข้าวโพด 16.67% มีค่าเฉลี่ยความชอบโดยรวมมาก ที่สุด ในด้านสี กลิ่น และรสชาติ

ชมพูนุช (2563) รายงานว่า กล้วยน้ำว้าดิบและคะน้า นำมาทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที บดให้เป็นผงขนาด 80 เมช แล้วนำมาอัดเม็ด โดยสูตรที่เหมาะสมคือ

แป้งกล้วย 25% คะน้าผง 37% น้ำตาลทรายขาวบดละเอียด 32% (เป็นสารที่ช่วยในการยึดเกาะ) พบว่า ผู้ทดสอบให้การยอมรับมากที่สุด โดยมีความหนาของเม็ดอยู่ที่ 1.5 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร และมีน้ำหนักเฉลี่ยต่อเม็ด เท่ากับ 2.6 กรัม/เม็ด

อัจฉรา และคณะ (2550) ได้พัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวโพดอัดเม็ดเสริมแครอท ฟักทอง เมล็ดบัว ถั่วแดงหลวง และถั่วซีก (ถั่วเขียวกะเทาะเปลือก) โดยในการอัดเม็ดจะผสมตัวอย่างข้างต้น 48.4% น้ำตาลไอซิง 24.1% แป้ง Era-Tab SP 25% แอโรซิล 2% และ แมกนีเซียมสเตียเรท 0.5% พบว่ามีผลิตภัณฑ์เพียง 3 ชนิดที่สามารถอัดเม็ดได้อย่างสมบูรณ์ ได้แก่แครอท 100% ฟักทอง 100% และเมล็ดบัว 100% ส่วนอีก 4 ชนิดอัดเป็นเม็ดได้แต่ให้ลักษณะเม็ดโดยรวมที่ไม่สมบูรณ์ ได้แก่ ผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวโพด 100% สรุปได้ว่าการอัดเม็ดสำหรับผลิตภัณฑ์ผงน้ำนมข้าวโพดควรใช้วิธีทำแกรนูลแบบเปียก (wet granulation method) มากกว่าวิธีการอัดเม็ดโดยตรง (direct compression)

2.5 สารที่ช่วยในการยึดเกาะในขบวนการอัดเม็ด

2.5.1 แป้งทนย่อย (resistant starch) (ภาพที่ 2.6)

ภาพที่ 2.6 แป้งทนย่อย (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2564)

แป้งทนย่อย หรือ resistant starch (RS) แป้งทนทานต่อการย่อย (resistant starch, RS) เป็นแป้งที่ไม่ถูกไฮโดรไลซ์เป็น D-glucose ในลำไส้เล็ก ภายใน 120 นาทีภายหลังจากบริโภค แต่จะผ่านและถูกหมักในลำไส้ใหญ่อาหารที่มีปริมาณ RS มากจะถูกย่อยอย่างช้าหรือไม่ถูกย่อยซึ่ง ช่วยควบคุมการปลดปล่อยน้ำตาลกลูโคสเข้าสู่กระแสเลือด ลดการตอบสนองของอินซูลิน ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อผู้ป่วย โรคเบาหวาน RS ทำหน้าที่เหมือนกากใยอาหาร ช่วยระบบ ขับถ่าย ทำให้รู้สึกอิ่ม สามารถควบคุมน้ำหนักและโรคอ้วน และ RS เป็นอาหารสำหรับจุลินทรีย์ที่อยู่ในลำไส้ใหญ่ สร้างกรดไขมัน สายสั้นที่ยับยั้งการเติบโตของเซลล์มะเร็ง ลดการเกิดมะเร็งลำไส้ (Fuller, 1989) ดังนั้นแป้งทน

ย่อยจึงถูกนำมาใช้ในการดัดแปรเป็นผลิตภัณฑ์สุขภาพในหลากหลายรูปแบบ โดยเฉพาะอาหารเสริมเพื่อสุขภาพที่มีเส้นใยอาหารสูงออกมาจำหน่ายในรูปแป้งทางการค้า เช่น แป้งข้าวโพดที่มีอะมิโลสสูง (high amylose corn starch หรือ Hi-maize) ในรูปแบบ NOVELOSE 240 (RS_2) และ NOVELOSE 330 (RS_3) (Sajilata และคณะ, 2006) ทำให้สะดวกต่อผู้บริโภคที่สามารถหาแหล่งอาหารที่มีแป้งทนย่อยเป็นส่วนประกอบมาบริโภคกันได้มากขึ้น เนื่องจากกระบวนการหมักแป้งทนย่อยโดยจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์คือ กรดไขมันชนิดสายสั้นที่มีประโยชน์ต่อร่างกายหลายประการ โดยเฉพาะผลต่อระบบ ทางเดินอาหาร (Wong และคณะ, 2006; Gibson และคณะ, 2005) ซึ่งแป้งทนย่อยสามารถแบ่งออกได้ตามโครงสร้างทางกายภาพ หรือความแตกต่างในการต้านทานการย่อยได้ 4 ประเภท

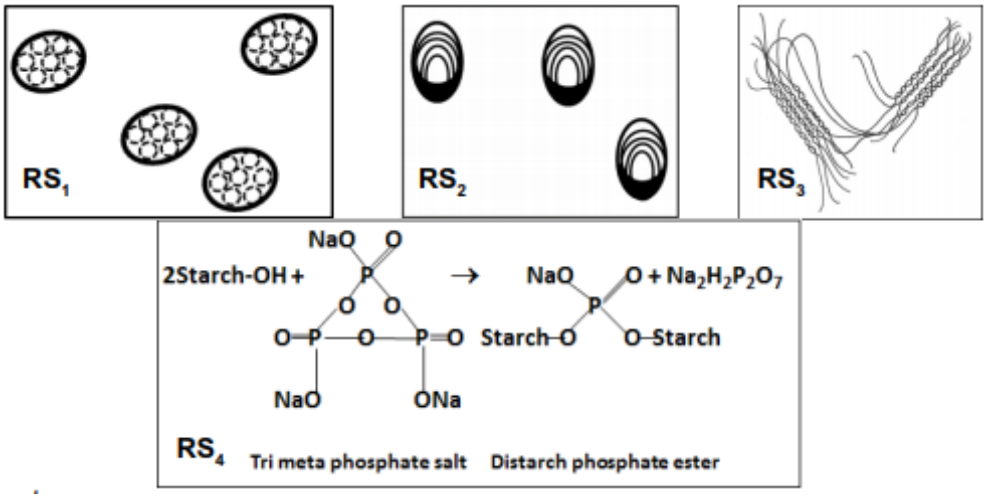
2.5.1.1 ประเภทของแป้งทนย่อย แบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท ดังนี้

ประเภทที่ 1 Physically indigestible/Physically trapped starch แป้งที่มีโครงสร้างทางกายภาพเป็นแบบปิด เม็ดแป้ง (starch granule) จะถูกห่อหุ้มอยู่ภายในผนังเซลล์ที่แข็งแรงทำให้เอนไซม์ไม่สามารถเข้าไปย่อยแป้งได้ เช่น แป้งที่อยู่ในเมล็ดธัญพืชหรือพืชตระกูลถั่ว แต่ถ้าผนังเซลล์ถูกทำลายโดยกระบวนการย่อยเชิงกล เช่น การบด การเคี้ยว จะทำให้เอนไซม์สามารถเข้าไปย่อยแป้งได้ (Sajilata และคณะ, 2006)

ประเภทที่ 2 Native starch/Ungelatinized granule โดยธรรมชาติแป้งดิบจะเก็บแป้งอยู่ในรูปเม็ดแป้ง ที่แสดงสมบัติของการบิดระนาบแสงโพลาไรซ์ (birefringence) ทำให้มองเห็นเม็ดแป้งในลักษณะที่เป็นรูปกากบาท (maltese cross) ซึ่งเกิดจากโครงสร้างที่เป็นระเบียบของเม็ดแป้งที่มีการเรียงตัวของโครงสร้างผลึก (crystalline) ที่ทำให้เม็ดแป้งถูกย่อยด้วยกรดหรือเอนไซม์ได้น้อยกว่าบริเวณอสัณฐาน (amorphous) จึงมีความต้านทานต่อการถูกย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะมิเลส (α-amylase) (Kerr, 1950) แป้งประเภทนี้พบได้มากในกล้วยดิบ มันฝรั่งดิบ และแป้งข้าวโพดที่มีอะมิโลสสูง เป็นต้น (Englyst และคณะ, 1992)

ประเภทที่ 3 Retrograded starch แป้งคืนตัว (retrograded starch) จากกระบวนการคืนตัวของแป้ง (retrogradation) ที่เกิดขึ้นหลังจากการเพิ่มอุณหภูมิให้แป้งดิบโดยผ่านกระบวนการเจลาติไนเซชัน (gelatinization) (Yook และคณะ, 1993) ความร้อนมีผลทำให้พันธะไฮโดรเจนในเม็ดแป้งถูกทำลาย ความเป็นผลึกและโครงสร้างที่เป็นระเบียบของอะมิโลสและอะมิโลเพกตินเกิดการเสียโครงร่างปกติเอนไซม์จึงเข้าไปย่อยแป้งได้มากขึ้น เม็ดแป้งสูญเสียสมบัติของการบิดระนาบแสงโพลาไรซ์ ทำให้ลักษณะรูปกากบาทในเม็ดแป้งจะลดลงหรือหายไป (Collison, 1968) หลังจากนั้น เมื่อปล่อยให้แป้งสุกเย็นตัวลง ทำให้อะมิโลสที่ออก มาจากเม็ดแป้ง กลับมาจัดเรียงตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนแบบเกลียวคู่ ซึ่งเป็นผลึกที่มีความหนาแน่นยิ่งขึ้น (Whistler & Bemiller, 1999) ส่งผลให้แป้งคืนตัวมีความทนทานต่อการถูกย่อยโดยเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหาร เช่น แป้ง

ในมันฝรั่งต้ม ขนมปัง คอร์นเฟลก (cornflakes) และพาสตา (pasta) เป็นต้น (Champ และคณะ, 1999)



ภาพที่ 2.7 ประเภทของแป้งทนย่อย: RS_1 , RS_2 , RS_3 , RS_4 (ดัดแปลงจาก Sajilata และคณะ, 2006)

ประเภทที่ 4 Chemically modified starch แป้งที่มีการดัดแปรโครงสร้างโมเลกุลของเม็ดแป้งโดยการใช้สารเคมี เพื่อให้แป้งมีความทนทานต่อการถูกย่อยโดยเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหาร เช่น สตาร์ชแอซีเตท (starch acetate) ที่มีการดัดแปรโครงสร้างโมเลกุลของเม็ดแป้งด้วยปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน (esterification) โดยการแทนที่ด้วยสารที่มีหมู่ฟังก์ชันเพียง 1 หมู่คือ แอซีทิล (acetyl) ทำให้ได้แป้งที่สามารถยับยั้งการคืนตัวของอะมิโลสและอะมิโลเพกติน หลังการเกิดกระบวนการเจลาติไนเซชัน หรือด้วยวิธีการแทนที่สารที่มีหมู่ฟังก์ชันมากกว่า 1 หมู่ เพื่อสร้างพันธะเชื่อมไขว้ (cross linking) ระหว่างโมเลกุลของแป้ง เช่น ไดสตาร์ชฟอสเฟตเอสเทอร์ (distarch phosphate ester) ที่เกิดจากการนำแป้งมาทำปฏิกิริยากับสารครอสลิงค์ เช่น โซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต (sodium trimetaphosphate; $Na_3P_3O_9$) ที่ช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับพันธะไฮโดรเจนในโมเลกุลแป้งทำให้แป้งครอสลิงค์มีความทนต่ออุณหภูมิและกรดสูง (Yook และคณะ, 1993; Englyst และคณะ, 1992)

2.5.1.2 คุณสมบัติของแป้งทนย่อย

แป้งทนการย่อยนี้มีคุณสมบัติเทียบเท่ากับเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ งานวิจัยหลายชิ้นพบว่า แป้งที่ทนการย่อยซึ่ง มีค่า Glycemic Index (GI) ต่ำ นั้นมีประโยชน์อย่างมากต่อสุขภาพ โดยจะช่วยสร้างความแข็งแรงให้แก่เซลล์ผนังลำไส้ใหญ่ ผลจากการย่อยที่เกิดขึ้นอย่างช้า ๆ (ประมาณ 5-7 ชั่วโมงหลังการรับประทาน) จะทำให้ร่างกายได้รับปริมาณพลังงานในระดับต่ำ

กว่าปกติ ซึ่งทำหน้าที่คล้ายกับใยอาหาร ทำให้ร่างกายอิ่มนานในขณะที่ให้พลังงานต่ำ ลดความอยากอาหาร ร่างกายมีความไวต่ออินซูลินดีขึ้น ทำให้ร่างกายนำน้ำตาลไปใช้ได้ดีขึ้น จึงช่วยลดระดับน้ำตาลในเลือด ลดน้ำหนัก ซึ่งหากบริโภคเป็นประจำจะช่วยลดความเสี่ยงต่อโรคเรื้อรังที่ไม่ติดต่อชนิดต่าง ๆ เช่น โรคอ้วน โรคเบาหวาน โรคหัวใจ และโรคมะเร็ง เป็นต้น

นอกจากนี้แป้งทนการย่อยมีประโยชน์ต่อระบบทางเดินอาหารและระบบย่อยอาหารเป็นอย่างมาก เนื่องจากกระบวนการหมักแป้งทนย่อยโดยจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่ที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย ทำให้ได้กรดไขมันสายสั้นที่สำคัญ ได้แก่ แอซีเตท โพรพิโอเนต และบิวไทเรต ที่สามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานที่ดีสำหรับเซลล์บริเวณลำไส้ใหญ่ (colonocytes) โดยกรดไขมันชนิดสายสั้นที่มีประโยชน์มากที่สุด คือ บิวไทเรต มีผลในการช่วยทำให้เลือดมาเลี้ยงบริเวณเยื่อบุลำไส้ใหญ่มากขึ้น จึงช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตและการแบ่งตัวของเยื่อบุลำไส้ใหญ่ ลดอาการอักเสบ (inflammation) ช่วยเสริมสร้างภูมิคุ้มกันให้กับระบบทางเดินอาหาร ช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งลำไส้ใหญ่ โดยช่วยป้องกันและยับยั้งการเปลี่ยนแปลงของเซลล์ลำไส้ที่ผิดปกติ นอกจากนี้ แป้งทนการย่อยยังเป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ตัวที่ดีหรือโพรไบโอติกในลำไส้ ซึ่งจะมีผลช่วยเรื่องขับถ่ายได้ดีอีกด้วย

2.5.1.3 ประโยชน์ของแป้งทนย่อย

1) ช่วยทำให้มีเลือดมาเลี้ยงบริเวณเยื่อบุลำไส้ใหญ่มากขึ้น

2) ช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตและการแบ่งตัวของเยื่อบุลำไส้ใหญ่

3) ช่วยเสริมสร้างภูมิคุ้มกันให้กับระบบทางเดินอาหาร

4) ช่วยกระตุ้นการขับถ่าย

5) ช่วยป้องกันและลดอัตราการเกิดมะเร็งลำไส้ใหญ่

6) ช่วยลดปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ที่เป็นหนึ่งในสาเหตุที่ทำให้เกิดการทำลายสารพันธุกรรม (DNA)

7) เพิ่มการดูดซึมแร่ธาตุเข้าสู่ลำไส้

8) ช่วยควบคุมให้ระดับน้ำตาลเข้าสู่กระแสเลือดอย่างช้า ๆ และสม่ำเสมอทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดอยู่ในระดับปกติได้ ระดับอินซูลินลดลงส่งผลต่อการลดระดับไขมัน ควบคุมระดับโคเลสเตอรอล ลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจ และโรคเบาหวาน

9) ช่วยทำให้รู้สึกอิ่มและลดความอยากอาหาร

2.5.1.4 ความปลอดภัยของแป้งทนย่อย

แป้งที่ถูกทำให้ร้อนและเกิดการสุกจะถูกย่อยทันทีหลังรับประทาน ทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดและอินซูลินเพิ่มขึ้นหลังการรับประทาน การบริโภคแป้งทนย่อยในปริมาณที่มากเกินไปหรือเร่งในการเพิ่มปริมาณในการรับประทานจะทำให้ร่างกายย่อยอาหารได้แย่ลงอาจทำให้มีอาการท้องอืดท้องเฟ้อ

2.5.1.5 การประยุกต์ใช้แป้งทนย่อย

จิรนาถและคณะ (2558) ศึกษาผลการใช้แป้งกล้วยหอมทองที่มีสมบัติต้านทานการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ในผลิตภัณฑ์พาสต้า พบว่า พาสต้าจากแป้งกล้วยหอมทองทดแทนเซโมลินา มีปริมาณเส้นใย และเถ้าเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบ กับสูตรควบคุม พาสต้าจากแป้งกล้วยหอมทองทดแทน เซโมลินาบางส่วนทุกสูตร มีปริมาณกลูโคสที่ได้จากการย่อย สลายด้วยเอนไซม์ต่ำกว่าสูตรควบคุม โดยพาสต้าจากแป้งกล้วยหอมทองสูตรทดแทน 45% ถูกย่อยสลายได้ กลูโคสปริมาณต่ำที่สุด

2.5.2 แป้งมันสำปะหลัง

ภาพที่ 2.8 แป้งมันสำปะหลัง (Benazir, 1999)

แป้งมันสำปะหลังหรือแป้งมันหรือเรียกอีกชื่อว่า แป้งมันสิงคโปร์ ทำมาจาก หัวมันสำปะหลัง เป็นผงสีขาว เนื้อแป้งมีความละเอียด ลื่นมือ เมื่อถูกทำให้สุกแล้วตัวแป้งจะเหนียวหนืด มีสีใส เหมาะกับการนำไปทำอาหารที่มีความเหนียวแต่ใสและดูขึ้นเงา แต่ข้อเสียของแป้งมันสำปะหลังคือเมื่อถูกทำให้เย็นลงจะคืนตัวง่ายมาก จึงมีการนำแป้งชนิดอื่นมาผสมเพื่อทำให้ขนมมีความเหนียวนุ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์หรืออาหารที่ใช้แป้งมันสำปะหลังมีทั้งที่นำไปประกอบอาหารโดยตรงและนำไปแปรรูป ได้แก่ ข้าวเกรียบ ก๋วยเตี๋ยว วุ้นเส้น ซอสปรุงรสต่าง ๆ ผงชูรส ผลิตกรดมะนาว และใช้เป็นสารให้ความหวานในเครื่องดื่ม

2.5.2.1 คุณสมบัติของแป้งมันสำปะหลัง

โดยแป้งมันสำปะหลังมีคุณสมบัติและองค์ประกอบแตกต่างจากแป้งชนิดอื่น (ตารางที่ 2.2 และ 2.3) แป้งมันสำปะหลังจัดเป็นแป้งที่มีปริมาณอะไมโลสค่อนข้างต่ำมีปริมาณอยู่ที่ 17.9-23.6 % (Defloor และคณะ, 1998) พองตัวได้ตั้งแต่อุณหภูมิ 55-95 องศาเซลเซียส พบว่ากำลังการพองตัวจะสูงขึ้นเมื่ออุณภูมิเพิ่มมากขึ้น (Li และ Yeh, 2001) เมื่อเกิดการเจลาติไนเซชัน ทำให้โมเลกุลของแป้งมีความสามารถในการจับกับน้ำสูงขึ้น ซึ่งกำลังการพองตัวของแป้งจะขึ้นอยู่กับ

ปริมาณอะไมโลเพคติน โดยค่าจะลดลงเมื่อปริมาณอะไมโลสเพิ่มขึ้น (Sasaki และ Matsuki, 1998) หากนำไปวิเคราะห์การเจลาติไนซันด้วยเครื่อง DSC จะพบว่าแป้งมันสำปะหลังมีค่าอุณหภูมิเริ่มต้นของการเจลาติไนซันเท่ากับ 63.8 องศาเซลเซียส ช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนซันเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 61.5-82.2 องศาเซลเซียส (Kasemsuwan และคณะ, 1998) และจากการศึกษาของ Gunaratne และ Hoover (2002) รายงานว่า อุณหภูมิของการเกิดเจลาติไนซันของแป้งมันสำปะหลังจะมีค่าอยู่ในช่วง 63-81.5 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบแป้งแต่ละชนิด

ชนิดแป้ง	กำลังการพองตัว (เท่า)	การละลาย (%)
แป้งมันฝรั่ง	> 1,000	82
แป้งมันสำปะหลัง	71	48
แป้งท้าวยายม่อม	54	28
แป้งมันเทศ	46	18
แป้งข้าวโพด	24	25
แป้งข้าวสาลี	21	41
แป้งข้าวเจ้า	19	18

ที่มา: Swinkels (1985)

2.5.2.2 ประโยชน์ของแป้งมันสำปะหลัง

1) เป็นสารเพิ่มความหนืด
2) ช่วยรักษาความชื้นของผลิตภัณฑ์บางชนิด
3) เป็นสารทดแทนไขมันกลุ่มคาร์โบไฮเดรต
4) เป็นสารเคลือบเงา
5) ทำให้เกิดเจล
6) ช่วยเชื่อมส่วนผสมต่างๆในผลิตภัณฑ์บางชนิด
7) เป็นสารห่อหุ้ม

ตารางที่ 2.3 กำลังการพองตัวและการละลายในแป้งแต่ละชนิดที่ 95 องศาเซลเซียส

ชนิดแป้ง	อะไมโลส (%)	อะไมโลเพกทิน (%)	ความชื้น (ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 65% และอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส)	ไขมัน (%)	โปรตีน (%)	เถ้า (%)	ฟอส-ฟอรัส (%)
แป้งมันฝรั่ง	21	79	19	0.05	0.06	0.4	0.08
แป้งข้าวโพด	28	72	13	0.7	0.35	0.1	0.02
แป้งสาลี	28	72	13	0.8	0.4	0.2	0.06
แป้งมันสำปะหลัง	17	83	13	0.1	9.1	0.2	0.01
แป้งข้าวโพดเหนียว	0	100	13	0.15	0.25	0.1	0.01
แป้งข้าวเจ้า	17	83	ไม่มีรายงาน	0.8	0.45	0.5	0.1

ที่มา: กล้าณรงค์และเกื้อกูล (2550)

2.5.3 แป้งข้าวโพด (corn flour)

แป้งข้าวโพดได้จากเอนโดสเปิร์มในเมล็ด แป้งที่ได้จากการโม่เมล็ดข้าวโพดแบบแห้ง เรียกว่า คอร์นมีล (cornmeal) เมื่อร่อนแยกขนาดและแยกเอ็มบริโอออก เรียกว่า คอร์นฟลาวร์ (corn flour) มีโปรตีน และแร่ธาตุสูง เหมาะที่จะใช้ประกอบอาหาร คอร์นสตาร์ช (cornstarch) ได้จากการโม่เปียก โดยต้องแช่เมล็ดข้าวโพดในน้ำที่มีส่วนผสมของกำมะถันเผา ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 36-50 ชั่วโมง เพื่อให้เปลือกนุ่ม แล้วนำเมล็ดไปบดหยาบเพื่อแยกเปลือกชั้นนอกออก แล้วผ่านไปยังถังแช่น้ำเพื่อแยกเอ็มบริโอออก จะได้แป้งและโปรตีนกลูเต็น (gluten) เป็นเม็ดขนาดเล็ก จากนั้นนำไปผ่านเครื่องเหวี่ยง จะได้แป้งในรูปสารแขวนลอยเข้มข้นที่มีโปรตีนกลูเต็นปนอยู่เล็กน้อย เมื่อนำสารแขวนลอยมาปั่นแยกอีกครั้งด้วยเครื่องเหวี่ยงแรงสูง ล้างแป้ง แล้วทำให้แห้ง จะได้คอร์นสตาร์ช แป้งข้าวโพดมีปริมาณอะไมโลสปานกลางมีปริมาณอยู่ที่ 28% พองตัวได้ตั้งแต่อุณหภูมิ 55-95 องศาเซลเซียส โดยมีอัตราการพองตัวอยู่ที่ 24% คอร์นสตาร์ชช่วยทำให้อาหารข้น

(thickener) ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตเบียร์ ซอส ใช้เป็นแป้งรีดผ้าและใช้ในอุตสาหกรรมการทอผ้า และผลิตเด็กซ์ตริน คอร์นไซรัป (corn syrup) เป็นฟรักโทสไซรัป (fructose syrup) ได้จากการเปลี่ยนคอร์นสตาร์ชเป็นน้ำตาลฟรักโทสด้วยกรดและเอนไซม์ เป็นน้ำตาลที่มีความหวานมากกว่าน้ำตาลจากอ้อย ไม่ให้พลังงาน และมีราคาแพง ใช้ผสมในอาหารพวกเนยถั่ว ซอสมะเขือเทศ น้ำอัดลม น้ำผลไม้ และเครื่องดื่มต่างๆ นอกจากผลิตจากคอร์นสตาร์ชแล้ว ฟรักโทสไซรัปอาจผลิตจากแป้งมันสำปะหลังได้เช่นกัน (Defloor และคณะ., 1998)

2.6 การใช้เอนไซม์กับน้ำผลไม้

การใส่เอนไซม์เพื่อทำให้น้ำผลไม้มีความหนืดลดลงและมีความใสเพิ่มขึ้น เนื่องจากองค์ประกอบหลักโดยทั่วไปของผลไม้คือสารประกอบเพคติน ซึ่งถูกห่อหุ้มด้วยเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ผลไม้ในระยะที่ดิบและแข็งเพคตินส่วนใหญ่จะไม่ละลายน้ำ ต่อมาเมื่อผลไม้สุก และมีลักษณะนิ่ม เพคตินจะเปลี่ยนอยู่ในรูปที่ละลายออกมากับน้ำในบางส่วน ในระหว่างกระบวนการผลิตน้ำผลไม้นั้นเมื่อเนื้อเยื่อของผลไม้ถูกทำลาย สารประกอบเพคติน เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส บางส่วนก็จะละลายน้ำออกมา ซึ่งเพคติน เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ที่ผ่านกระบวนการการผลิตน้ำผลไม้จะมีมากหรือน้อยล้วนแต่มีผลต่อคุณภาพของน้ำผลไม้ทั้งสิ้น ดังนั้นจึงต้องมีการกำจัดสารเหล่านี้ออกไปให้มากที่สุด

กระบวนการผลิตน้ำผลไม้ใสต้องผ่านขั้นตอนที่สำคัญคือ หลังจากคั้นน้ำผลไม้จะคั้นแยกตะกอนแขวนลอยของเพคตินและเซลลูโลสออกไป ถ้าเป็นตะกอนแข็งเรียกเซลล์หิน (stone cell) หรือเซลล์แขวนลอยของคาร์โบไฮเดรตเป็นได้ทั้งเพคติน เซลลูโลส ซึ่งอาจจะรวมตัวกับโปรตีน ก็จะแยกออกยากด้วยวิธีกรองทั่วไป จึงต้องใช้เอนไซม์ เพกติเนสย่อยสลายสารเพคตินให้เปิดออก เพื่อให้โมเลกุลโปรตีนในคอลลอยด์และเพคตินมารวมกันเกิดเป็นโมเลกุลใหญ่ขึ้น จะได้มีโอกาสตกตะกอนได้ง่ายขึ้น

2.6.1 เอนไซม์เพคติเนส (Pectinase)

เอนไซม์เพคติเนส (Pectinase) หรือ เอนไซม์เพคติก (Pectic enzymes) เป็นกลุ่มเอนไซม์ที่มีความสามารถในการตัดย่อยสารประกอบเพคติน กรดเพคติก หรือสารประกอบ Oligo-D-galacturonate พบได้ทั้งในพืชชั้นสูง และในจุลินทรีย์ ได้แก่ แบคทีเรีย ยีสต์ และรา

2.6.2 เอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (α-Amylase)

α-Amylase มีชื่อตามระบบว่า α-1,4-glucan 4-glucanohydrolase ลักษณะที่สำคัญของเอนไซม์ในการย่อยสลายคือเจาะจงต่อการย่อยสลายพันธะไกลโคซิสของแป้งที่ α-1,4 ในลักษณะตัดภายในสายโพลิเมอร์อย่างอิสระ (endo-splitting amylase) ได้ผลผลิตเป็น glucan

และ limit dextrin ที่มีหน่วยกลูโคสประมาณ 2-6 หน่วย และยังคงมี configuration เดิม (**α**-configuration)

2.7 ชนิดของไซรัปหรือน้ำเชื่อม

2.7.1 ไซรัปธรรมดา (Simple Syrup)

เป็นน้ำเชื่อมที่ผ่านการเคี่ยวจากน้ำตาลผสมน้ำ โดยใช้ไฟปานกลางทำอย่างใจเย็นจนได้ออกมาเป็นสีใส มีความเหนียวและหนืด ส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้ราดหรือเป็นส่วนผสมกับขนมไทย รวมถึงเพิ่มความหวานให้กับชากาแฟ บางครั้งยังผสมกับเครื่องดื่มค็อกเทลบางประเภทอีกด้วย

2.7.2 ไซรัปผลไม้ (Fruit syrup)

เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำน้ำผลไม้ที่ผลิตจากผลไม้สดมาทำให้เข้มข้น มีลักษณะเป็นน้ำตาลตาลเหลว ข้นหนืด มีกลิ่นรสผลไม้ สามารถเก็บรักษาไว้ได้นานเนื่องจากมีความเข้มข้นของน้ำตาลสูง

2.7.3 กากน้ำตาล (Molasees)

เป็นน้ำเชื่อมที่มีลักษณะสีน้ำตาล เหนียวข้น เพราะเป็นของเหลือที่มาจากการผลิตน้ำตาลทรายจากอ้อย ถึงแม้ว่าจะเป็นของเหลือจากการผลิตน้ำตาล แต่คุณค่าจากแร่ธาตุ และความหวานมีไม่น้อยเลยทีเดียว โดยส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้ทำ ลูกอม, ซอสปรุงรส รวมไปถึงคุกกี้ นอกจากนี้ยังถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร และเครื่องดื่มอีกมากมาย ไม่ว่าจะเป็น อาหารสัตว์ ปุ๋ย และยีนสต์

2.7.4 คอร์นไซรัป (Corn syrup / Glucose syrup)

เป็นน้ำเชื่อมที่ทำมาจากมันสำปะหลัง ซึ่งมีส่วนผสมของน้ำตาลกลูโคสในตัว จนได้ออกมาเป็นน้ำเชื่อมที่มีลักษณะเหนียวใสหรือสีเหลือน้ำตาล ถูกนำไปใช้กับอาหารหรือขนมที่ต้องการให้น้ำตาลรัดตัวกันเร็วมากขึ้น และไม่ตกผลึกเหมือนน้ำตาลประเภทอื่นๆ และถูกนำไปใช้กับการทำซอสมะเขือเทศ และน้ำจิ้ม

2.7.5 น้ำเชื่อมช็อกโกแลต (Chocolate Syrup)

หรือที่เรียกกันว่า “ซอสช็อกโกแลต” ที่มาจากการผสมระหว่างโกโก้ กับคอร์นไซรัป สารให้ความหวาน จนได้ออกมาเป็นน้ำเชื่อมช็อกโกแลตที่นิยมนำไปราดบน ไอศครีม และขนมเค้กอีกด้วย

บทที่ 3

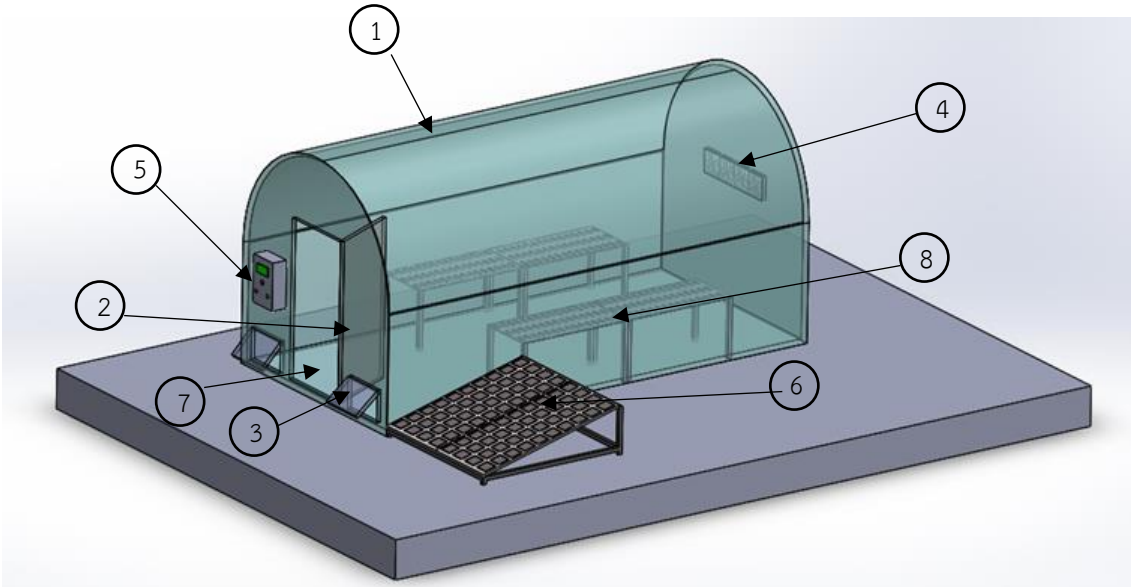
วิธีดำเนินการ

3.1 การออกแบบและพัฒนาโดมพลังงานแสงอาทิตย์

2.2.2 การออกแบบระบบโดมพลังงานแสงอาทิตย์

สำหรับโครงสร้างของโดมพลังงานแสงอาทิตย์ทำมาจากเหล็กท่อกัลวาไนซ์นำมาดัดโค้งเป็นหลังงคารูปพาราโบล่าแล้วเชื่อมต่อเป็นโครงของโดมดังภาพที่ 3.1 ซึ่งมีขนาดกว้าง 3 เมตร ยาว 6 เมตรและสูง 3 เมตร โดยพื้นของโดมยกสูงจากพื้น 20 เซนติเมตรเพื่อป้องกันน้ำท่วม หลังจากนั้นคุมโครงเหล็กด้วยแผ่นโพลีคาร์บอเนต (หมายเลขที่ 1) โดยรอบ เพื่อทำหน้าที่รับแสงและกักเก็บความร้อนที่เกิดขึ้นในโดมดังภาพที่ 3.2 โดยมีประตูทางเข้า 1 ช่องทาง (หมายเลขที่ 2) พร้อมเจาะช่องให้อากาศเข้าทางด้านล่างซ้ายและขวา (หมายเลขที่ 3) เพื่อควบคุมอุณหภูมิและความชื้น ในส่วนของด้านหลังของโดมเจาะช่อง 4 ช่องสำหรับติดพัดลมระบายอากาศ (หมายเลขที่ 4) เพื่อดูดความชื้นที่ระเหยจากผลิตภัณฑ์ออกภายนอก โดยการทำงานของพัดนี้จะถูกควบคุมด้วยชุดอ่านเซ็นเซอร์วัดอุณภูมิและความชื้น (หมายเลขที่ 5) ซึ่งพัดลมจะใช้แหล่งพลังงานของทั้งหมดมาจากแผงโซล่าเซลล์แสงอาทิตย์ (หมายเลขที่ 6) สำหรับพื้นของโดมจะปูด้วยแผ่นซีเมนต์บอร์ดหนา 1.5 เซนติเมตร (หมายเลขที่ 7) และภายในโดมจะมีโต๊ะตาแกรงสะแตนเลสความถี่ 1 เซนติเมตร (หมายเลขที่ 8) วางอยู่โดยรอบ สำหรับเป็นที่ตากแห้งผลิตภัณฑ์

ภาพที่ 3.1 โครงท่อกัลวาไนซ์ของโดมพลังงานแสงอาทิย์



ภาพที่ 3.2 โครงสร้างทั้งหมดของโดมพลังงานแสงอาทิตย์

3.2 การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากกล้วยหอมทองโดยใช้โดมพลังงานแสงอาทิตย์

3.2.1 ผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองผง

3.2.1.1 การศึกษาความเข้มข้นของไข่ขาวผงต่อการทำแห้งแบบโฟมแมทของกล้วยหอมทองผง

1) การเตรียมตัวอย่างกล้วยหอมทอง

กล้วยหอมทองระยะสุกระยะที่ 5 (เปลือกมีสีเหลืองปลายยังเป็นสีเขียว) ดังภาพที่ 3.3ก นำมาชั่งน้ำหนักก่อนปอกเปลือกและหลังปอกเปลือกหั่นเป็นแว่นความหนาประมาณ 1–3 มิลลิเมตร นำกล้วยที่หั่นแว่นแช่ในสารละลายกรดซิตริกร้อยละ 2 เป็นเวลา 15 นาที ดังภาพที่ 3.3ข จากนั้นนำไปลวกในน้ำร้อนอุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 5 นาที

ก.

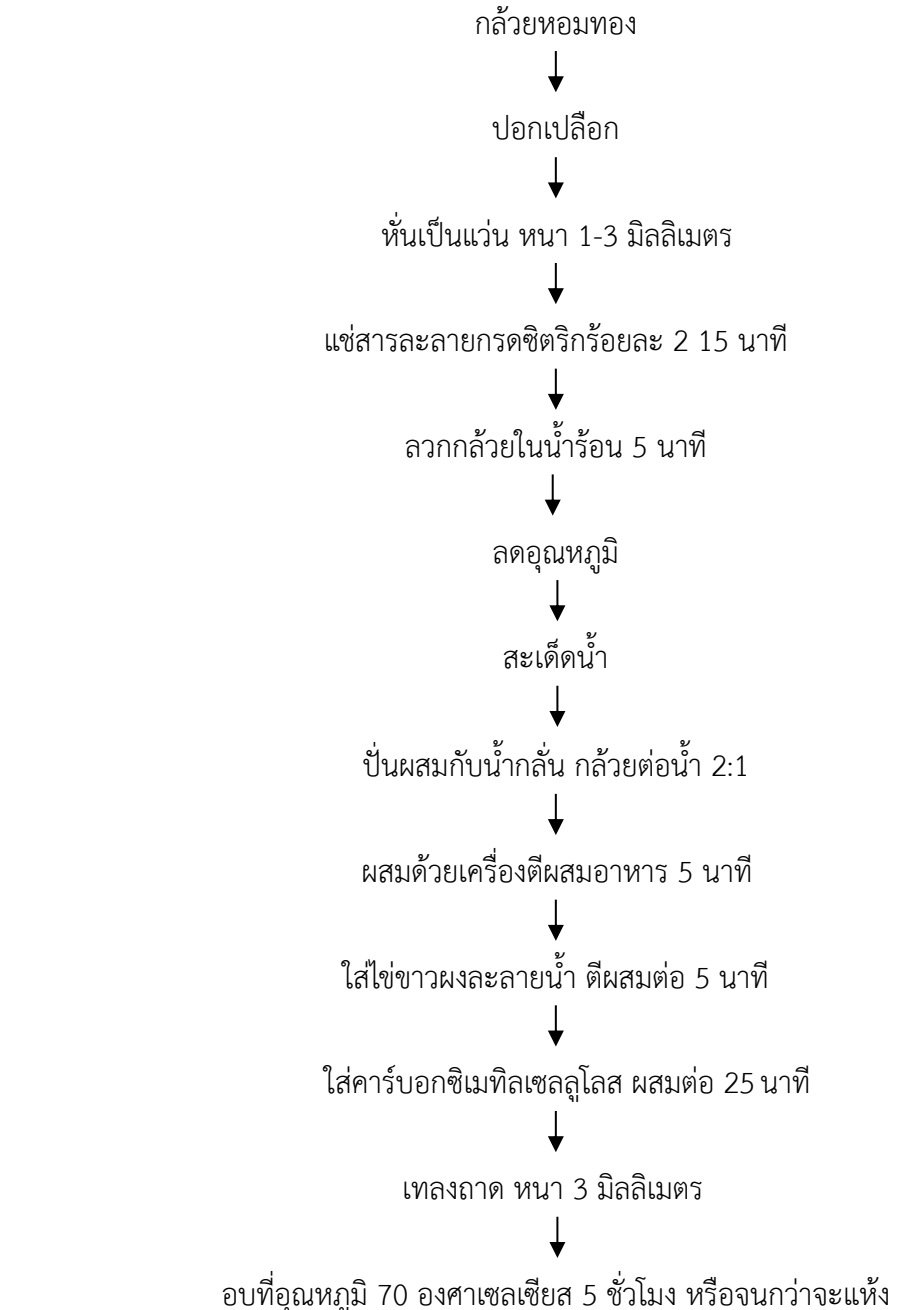
ข.

ภาพที่ 3.3 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างกล้วยหอมทอง ก) กล้วยหอมทอง ข) ตัวอย่างกล้วยหอมทองหั่นแว่น

2) การศึกษาระดับความเข้มข้นของไข่ขาวผงโดยการทำแห้งแบบโฟมแมท

นำกล้วยจากขั้นตอนที่ 3.2.1.1 มาลดอุณหภูมิโดยแช่ในน้ำเย็นประมาณ 2 นาที จากนั้นทำการสะเด็ดน้ำเป็นเวลา 5 นาที นำไปชั่งน้ำหนัก และปั่นในเครื่องปั่นผสมอาหาร โดยปั่นกล้วยหอมทองผสมกับน้ำกลั่นในอัตราส่วนกล้วย 2 ส่วนต่อน้ำกลั่น 1 ส่วน ปั่นจนน้ำและเนื้อกล้วยเป็นเนื้อเดียวกัน และนำไปตีเพื่อขึ้นโฟมในเครื่องตีผสมอาหาร ตีผสมเป็นเวลา 5 นาที หลังจากนั้นใส่ไข่ขาวผงที่ละลายน้ำ (อัตราส่วน 1ต่อ1) ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1, 2 และ 3 ทำการตีผสมต่ออีก 5 นาที เติมคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส (CMC) ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.2 ตีผสมต่อจนครบระยะเวลา 25 นาที ดังภาพที่ 3.4 จากนั้นจะได้เนื้อโฟม ดังภาพที่ 3.5ก นำโฟมที่ได้ปาดลงถาดความหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 3.5ข นำไปอบในโดมพลังงานแสงอาทิตย์ ใช้อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง หรือจนกว่าโฟมกล้วยจะแห้ง เมื่อครบกำหนดเวลานำออกจากโดม

พลังงานแสงอาทิตย์พักไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นทำการขูดโฟมกล้วยที่แห้งแล้วออกจากถาด จะได้กล้วยผงชนิดหยาบนำไปชั่งน้ำหนัก



ภาพที่ 3.4 ขั้นตอนการทำแห้งกล้วยหอมทองแบบโฟมแมท

ก. ข.

ภาพที่ 3.5 ขั้นตอนการทำแห้งแบบโฟมแมท ก) ขั้นตอนการตีโฟมกล้วยหอม ข) ขั้นตอนการปาด - โฟมกล้วยลงถาด

3.2.1.2 การศึกษาคุณภาพผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองผง จากกระบวนการทำแห้งแบบโฟมแมท

1) การศึกษาคุณสมบัติทางเคมี และกายภาพ

1.1) การขึ้นฟูของโฟม (Overrun) (ดังภาพที่ 3.6)

นำตัวอย่างกล้วยที่เป็นของเหลวตวงใส่ภาชนะนำไม้บรรทัดวัดจากก้นภาชนะจนถึงขอบของตัวอย่างเพื่อนำไปหาหาปริมาตร โดยการแทนที่น้ำปริมาตรอีกครั้งและจดบันทึก ร้อยละการขึ้นฟูของโฟมสามารถคำนวนได้ตามสมการที่ 1

$$\text{ร้อยละการขึ้นฟูของโฟม} = \frac{\text{ปริมาตรของโฟมหลังการขึ้นฟู-ปริมาตรของโฟมก่อนการขึ้นฟู}}{\text{ปริมาตรของโฟมก่อนการขึ้นฟู}} \times 100 \qquad (1)$$

1.2) การวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น (Density)

นำโฟมบรรจุลงในถ้วยพลาสติกที่ชั่งน้ำหนักแล้วให้เต็ม โดยที่ตัวอย่างในถ้วยพลาสติกปราศจากโพรงอากาศภายใน เกลี่ยโฟมที่ล้นบริเวณปากถ้วยด้วยพายยาง เช็ดบริเวณรอบนอกถ้วยไม่ให้มีเศษโฟมเหลืออยู่ จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักและนำมาคำนวณดังสมการที่ 2

$$\text{ความหนาแน่นของโฟม} = \frac{\text{น้ำหนักโฟม (g)}}{\text{ปริมาตรของถ้วย (cm}^3\text{)}} \qquad (2)$$

1.3) ร้อยละของผลผลิต

การคำนวณร้อยละของผลผลิต นำมาคำนวณดังสมการที่ 3

$$\text{ร้อยละผลผลิต} = \frac{\text{น้ำหนักผลผลิตสุดท้าย (g)}}{\text{น้ำหนักผลผลิตเริ่มต้น (g)}} \times 100 \quad (3)$$

ภาพที่ 3.6 การขึ้นฟูของโฟม

1.4) การวิเคราะห์ความชื้น (AOAC, 2000)

อบภาชนะสำหรับหาความชื้นในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ใช้เวลาอบ 2–3 ชั่วโมง จากนั้นนำไปใส่ไว้ในโถดูดความชื้น แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก ทำซ้ำจนน้ำหนักของภาชนะคงที่ ชั่งตัวอย่าง 3 กรัม ใส่ในภาชนะหาความชื้น นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ใช้เวลาอบประมาณ 2–3 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักและอบซ้ำ 3 ครั้ง หรือจนกว่าน้ำนักคงที่ได้ผลต่างของน้ำหนักไม่เกิน 1–3 มิลลิกรัม แล้วนำมาคำนวณดังสมการที่ 4

$$\text{ร้อยละปริมาณความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (g)-น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (g)}}{\text{น้ำหนังตัวอย่างก่อนอบ (g)}} \times 100 \quad (4)$$

1.5) ปริมาณน้ำอิสระในอาหาร

วัดโดยใช้เครื่องวัดปริมาณค่าน้ำอิสระในอาหารแบบดิจิตอลที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (Aqua lab Per, Valid price, Japan) นำตัวอย่างบดให้ละเอียด บรรจุ

ตัวอย่างปริมาณครึ่งหนึ่งของภาชนะบรรจุตัวอย่าง เกลี่ยผิวตัวอย่างให้เรียบแล้วนำภาชนะบรรจุตัวอย่าง ใส่ลงในเครื่อง ทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ

1.6) การดูดความชื้นกลับ (Hygroscopicity) (Bazaria and Kunar, 2017)

วัดความชื้นของกล้วยหอมทองผง นำกล้วยหอมทองผง 1 กรัม ใส่ภาชนะบรรจุตัวอย่าง ที่ผ่านการอบอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 4 ชั่วโมง นำมาใส่โถดูดความชื้นที่มีซิลิก้าเจล (Silicon Dioxide) ดังภาพที่ 3.8 เก็บที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 สัปดาห์นำมาชั่งน้ำหนักดังสมการที่ (5)

$$\text{ร้อยละ Hygroscopicity} = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100 \quad (5)$$

W_1 = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

W_2 = น้ำหนักตัวอย่างหลังเข้าสู่สมดุล (กรัม)

1.7) อัตราการดูดซับน้ำ

นำกล้วยหอมทองผง 1 กรัม ผสมน้ำ 11 กรัม ทำการละลาย 10 นาที ที่ระดับอุณหภูมิน้ำแตกต่างกัน 28, 40, 60, 80 และ 100 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เทลงบนกระดาษกรอง ทิ้งไว้สักพัก แล้วนำน้ำหนักตัวอย่างกล้วยหอมทองผงไปหาน้ำหนักตัวอย่างการคืนรูป

$$\text{อัตราการดูดซับน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักของการคืนรูป (g)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้งเริ่มต้น (g)}} \quad (6)$$

1.8) การวิเคราะห์สีกล้วยหอมทองชงพร้อมดื่ม ตามวิธีของ AOAC, 2000

การวิเคราะห์ค่าสีของกล้วยหอมทองผง โดยวัดด้วยเครื่องวัดสี Grating spectrophotometer ใช้การวิเคราะห์สี วัดค่า L*, a* และ b* ทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง ดังภาพที่ 3.7

ก. ข.

ภาพที่ 3.7 การวัดค่าสีผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองชงพร้อมดื่ม ก) นำควอตซ์ที่บรรจุกล้วยหอมทองผงใส่ในเครื่องวัดค่าสี ข) ค่าแสดงผลการวิเคราะห์สี L* a* และ b*

1.9) การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลหาค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One–way ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยใช้โปรแกรมการทดสอบ SPSS Duncan's Method ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์สถิติ

3.2.2 ผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอัดเม็ด

3.2.2.1 ศึกษาคุณสมบัติบางประการของแป้งกล้วยหอมทอง

นำแป้งกล้วยหอมทองมาวัดคุณสมบัติบางประการ ได้แก่ สี (L*, a* และ b*) ความชื้น และปริมาณน้ำอิสระ (a_w)

3.2.2.2 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของแป้งมันสำปะหลังและข้าวโพดต่อกล้วยหอมทองผงต่อคุณภาพของกล้วยหอมทองอัดเม็ด

ชั่ง กล้วยหอมทองผง และ สารยึดเกาะ เช่น แป้งมันสำปะลัง หรือ แป้งข้าวโพด ในอัตราส่วน 100:0, 98:2 และ 96:4 และส่วนผสมอื่น ๆ ตามสูตรในตาราง 3.1 นำมาร่อนด้วยตะแกรงร่อนแป้งขนาด 80 เมช แล้วนำไปเข้าเครื่องตอกเม็ดยาแบบสากเดี่ยว รุ่น ZP-series โดยใช้ขนาดแรงกดเท่ากับ 60 กิโลนิวตัน โดยตอกเม็ดออกมาให้แต่ละเม็ดมีขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร ความหนา 0.6 มิลลิเมตร กล้วยหอมทองอัดเม็ดที่ผลิตออกมาได้นำไปเก็บใส่ภาชนะบรรจุปิด PET/Al/LLDPE ขนาด 10x15 เซนติเมตร และนำเข้าโถดูดความชื้น (นรินทร์, 2563) เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณภาพของกล้วยหอมทองอัดเม็ดต่อไป การวิเคราะห์คุณภาพของกล้วยหอมทองอัดเม็ด ได้แก่ น้ำหนักเฉลี่ย เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย ความหนาเฉลี่ย ค่าสี (L*,a* และ b*) ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ความแข็ง (Hardness) และ คุณภาพประสาทสัมผัส

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนของกล้วยหอมทองผง:แป้งมันสำปะหลัง และส่วนผสมอื่น ๆ ในสูตรกล้วยหอมทองอัดเม็ด

สูตร	กล้วยหอมทองผง (กรัม)	แป้งมันสำปะหลัง (กรัม)	แป้งข้าวโพด (กรัม)	มอลโตเดกซ์ตริน (กรัม)	น้ำตาล (กรัม)	แมกนีเซียมสเตียเรต (กรัม)	รวม (กรัม)
กล้วยหอมทองผง: สารยึดเกาะ 100:0 (ควบคุม)	50	-	-	28	20	2	100
กล้วยหอมทองผง:แป้งมันสำปะหลัง (98:2)	46	4	-	28	20	2	100
กล้วยหอมทองผง:แป้งมันสำปะหลัง (98:4)	42	8	-	28	20	2	100
กล้วยหอมทองผง:แป้งข้าวโพด (98:2)	46	-	4	28	20	2	100
กล้วยหอมทองผง:แป้งข้าวโพด (98:4)	42	-	8	28	20	2	100

ชั่ง กล้วยหอมทองผง และ สารยึดเกาะ เช่น แป้งมันสำปะลัง หรือ แป้งข้าวโพด ในอัตราส่วน 100:0, 98:2 และ 96:4 และ ส่วนผสมอื่น ๆ ตามสูตรในตาราง 3.1 นำมาร่อนด้วยตะแกรงร่อนแป้งขนาด 80 เมช

↓

แล้วนำไปเข้าเครื่อง automatic tablet press machine รุ่น ZP-series โดยใช้ขนาดแรงกดเท่ากับ 60 กิโลนิวตัน

↓

โดยตอกเม็ดออกมาให้แต่ละเม็ดมีขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร ความหนา 0.6 มิลลิเมตร

↓

บรรจุใน PET/Al/LLDPE ขนาด 10x15 เซนติเมตร และนำเข้าโถดูดความชื้น

ภาพที่ 3.8 กระบวนการแปรรูปกล้วยหอมทองอัดเม็ด

3.2.2.3 ปริมาณที่เหมาะสมของแป้งกล้วยหอมทองต่อปริมาณของแป้งทนย่อยของกล้วยหอมทองอัดเม็ด

นำส่วนผสมดังต่อไปนี้ ได้แก่ กล้วยหอมทองผง และ แป้งข้าวโพด ในอัตราส่วน 96:4 และส่วนผสมอื่น ๆ มาผสมกับแป้งกล้วยหอมทอง 5, 10 และ 15 % นำมาร่อนด้วยตะแกรงร่อนแป้งขนาด 80 เมช แล้วนำไปเข้าเครื่องตอกเม็ดยาแบบสากเดี่ยว รุ่น ZP-series โดยใช้ขนาดแรงกดเท่ากับ 60 กิโลนิวตัน โดยตอกเม็ดออกมาให้แต่ละเม็ดมีขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร ความหนา 0.6 มิลลิเมตร กล้วยหอมทองอัดเม็ดที่ผลิตออกมาได้นำไปเก็บใส่ภาชนะบรรจุปิด PET/Al/LLDPE ขนาด 10x15 เซนติเมตร และนำเข้าโถดูดความชื้น (นรินทร์, 2563) เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณภาพของกล้วยหอมทองอัดเม็ดต่อไป การวิเคราะห์คุณภาพของกล้วยหอมทองอัดเม็ด ได้แก่ น้ำหนักเฉลี่ย เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย ความหนาเฉลี่ย ค่าสี (L*,a* และ b*) ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ความแข็ง (Hardness) ปริมาณแป้งทนย่อย และ คุณภาพประสาทสัมผัส

3.2.2.4 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของกล้วยหอมทองอัดเม็ด เป็นเวลา 3 เดือน ที่อุณหภูมิห้อง

นำกล้วยหอมทองอัดเม็ดที่ผสมแป้งกล้วยหอมทอง 10% มาศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของกล้วยหอมทองอัดเม็ดบรรจุใน PET/Al/LLDPE ขนาด 10x15 เซนติเมตร เป็นเวลา 3 เดือน ที่อุณหภูมิห้องและนำมาวัดคุณสมบัติของกล้วยหอมทองอัดเม็ด ทุกเดือน ได้แก่ ค่าสี (L*,a* และ b*) ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ความแข็ง (Hardness) ปริมาณยีสต์และรา ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และ คุณภาพประสาทสัมผัส

ตารางที่ 3.2 กล้วยหอมทองผง และ แป้งข้าวโพด ในอัตราส่วน 96:4 และส่วนผสมอื่น ๆ และ แป้งกล้วยหอมทองในสูตรของกล้วยหอมทองอัดเม็ด

สูตร	กล้วยหอมทองผง และ แป้งข้าวโพด ในอัตราส่วน 96:4 และส่วนผสมอื่น ๆ (กรัม)	แป้งกล้วยหอมทอง (กรัม)	รวม (กรัม)
ควบคุม (ไม่ใส่แป้งกล้วยหอมทอง)	100	0	100
แป้งกล้วยหอมทอง 5%	95	5	100
แป้งกล้วยหอมทอง 10%	90	10	100
แป้งกล้วยหอมทอง 15%	85	15	100

นำส่วนผสมดังต่อไปนี้ ได้แก่ กล้วยหอมทองผง และ แป้งข้าวโพด ในอัตราส่วน 96:4 และส่วนผสมอื่น ๆ มาผสมกับแป้งกล้วยหอมทอง 5, 10 และ 15 % นำมาร่อนด้วยตะแกรงร่อนแป้งขนาด 80 เมช

↓

แล้วนำไปเข้าเครื่อง automatic tablet press machine รุ่น ZP-series โดยใช้ขนาดแรงกดเท่ากับ 60 กิโลนิวตัน

↓

โดยตอกเม็ดออกมาให้แต่ละเม็ดมีขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร ความหนา 0.6 มิลลิเมตร

↓

บรรจุใน PET/Al/LLDPE ขนาด 10x15 เซนติเมตร และนำเข้าโถดูดความชื้น

ภาพที่ 3.9 กระบวนการแปรรูปกล้วยหอมทองอัดเม็ด

3.2.2.5 ประเมินคุณลักษณะทางเคมี กายภาพ และประสาทสัมผัส

1) น้ำหนักเฉลี่ย เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย และ ความหนาเฉลี่ย

นำตัวอย่างกล้วยหอมทองอัดเม็ด จำนวน 30 เม็ด นำมาชั่งบนเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง ทำการวัดจำนวน 3 ซ้ำ และหาค่าเฉลี่ย (นรินทร์, 2563)

วัดเส้นผ่านศูนย์กลางของกล้วยหอมทองอัดเม็ด นำตัวอย่างกล้วยหอมทองอัดเม็ด จำนวน 30 เม็ด โดยการนำเวอร์เนียคาลิปเปอร์ขนาด 0-150 มิลลิเมตร มาวัดขนาดเส้นผ่านสูนย์กลางของผลิตภัณฑ์อัดเม็ดทำการวัดจำนวน 3 ซ้ำ และหาค่าเฉลี่ย

วัดความหนาของกล้วยหอมทองอัดเม็ด นำตัวอย่างกล้วยหอมทองอัดเม็ด จำนวน 30 เม็ด โดยการนำเวอร์เนียคาลิปเปอร์ขนาด 0-150 มิลลิเมตร มาวัดความหนาของผลิตภัณฑ์อัดเม็ดทำการวัดจำนวน 3 ซ้ำ และหาค่าเฉลี่ย

2) ค่าสี (L*, a* และ b*)

ทำการวัดสีโดยเครื่องวัดสี (Hunter Lab) ซึ่งแสดงค่าสีในค่าความสว่าง (lightness, L*) ค่าความเป็นสีแดง (redness, a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (yellowness, b*) และนำค่าสี (L*, a* และ b*) ที่วัดได้มาวิเคราะห์ข้อมูลความแปรปรวนของลักษณะที่ศึกษาตามแผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design) จำนวน 3 ซ้ำ (Salvador et al., 2007)

3) ปริมาณความชื้น

นำไปวัดปริมาณความชื้น ตามวิธี AOAC โดยแต่ละสูตรทำการวิเคราะห์สูตรละ 3 ซ้ำ โดยเริ่มจาก อบภาชนะสำหรับหาความชื้นในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 2-3 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบ ใส่ไว้ในโถดูดความชื้น หลังจากนั้นชั่งน้ำหนัก จนได้ผลต่างของน้ำหนักทั้ง 2 ครั้ง ติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนอย่างละเอียดประมาณ 1-2 กรัม ใส่ใน ภาชนะหาความชื้นที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว นำไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 5-6 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่โถดูดความชื้น หลังจากนั้นชั่งหาน้ำหนัก อบซ้ำอีกครั้ง ประมาณ 30 นาทีและทำเช่นเดิมจนได้ผลต่างของน้ำหนักทั้ง 2 ครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม จากนั้น คำนวณหาปริมาณความชื้นจากสูตรต่อไปนี้ (AOAC, 2000)

$$\text{ปริมาณความชื้น (\%)} = \frac{(M1 - M2) \times 100}{M1}$$

เมื่อ M1 คือ น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ

M2 คือ น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ

4) ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)

วัดค่า a_w โดยควบคุมอุณหภูมิที่ 25±2 องศาเซลเซียส วัดตัวอย่าง ๆ ละ 3 ซ้ำ คำนวณค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนของแต่ละตัวอย่างตามวิธีการของ AOAC (2000)

5) ความแข็ง (Hardness)

นำกล้วยหอมทองอัดเม็ดนำมาวัดเนื้อสัมผัสโดยใช้เครื่อง texture analyzer และหัว Probe P/0.25s ตั้งค่า pre – test speed และ test speed 1.0 mm/s, 1.0 mm/s ตามลาดับ อ่านค่า Fmax จากกราฟ ซึ่งเป็นค่าความแข็ง (hardness) ของเนื้อคุกกี้ ใช้คุกกี้ 20 ชิ้นต่อ 1 ซ้าการทดลอง (Huttner et al., 2010) ทำการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้วยเม็ดด้านค่าความแข็ง (Hardness) เป็นหน่วย กิโลปอนด์ (Kp)

6) ปริมาณแป้งทนย่อย (Resistant Starch)

การหาปริมาณแป้งทนย่อยโดยวิธี Goni et al. (1997) ตัวอย่าง 100 มิลลิกรัม นำมาผสมกับ pepsin solution (เตรียมจาก 20 มิลลิกรัมของเปปซิน) บ่มไว้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที เพื่อกำจัดโปรตีนออก หลังจากนั้นเติมสารละลาย α-amylase ปริมาณ 40 มิลลิกรัม (เตรียมโดยใช้ porcine pancreatic α-amylase 20 มิลลิกรัม ผสมกับ 0.2 mM phosphate buffer (pH 6.9) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร) และบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที รอให้ตกตะกอนและนำส่วนใสนำมาไปวัดหาปริมาณของน้ำตาลรีดิวซ์ โดยใช้เครื่องวัดการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร โดยกราฟมาตรฐานของกลูโคสจะใช้ ความเข้มข้นของกลูโคส 0.02 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ถึง 0.1 มิลลิกรัม/มิลลิลิตรหลังจากนั้นนำค่าที่ได้มา คูณ 0.9 จะได้ % ของปริมาณแป้งที่ย่อยได้ digestible starch (DS) และนำตะกอนนำมาระเหยตัวทำละลายออกด้วยตู้อบลมร้อน ที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง หรือ จนกว่า ระเหยตัวทำละลายออกหมด แล้วคำนวณดังสูตรด้านล่างจะได้ % ปริมาณแป้งทนย่อย (resistant starch) ดังนั้น นำค่าที่ได้นำมาคำนวนดังต่อไปนี้

% ปริมาณแป้งทั้งหมด (total starch) = % ปริมาณแป้งที่ย่อยได้ หรือ digestible starch (DS) +
% ปริมาณแป้งทนย่อย (resistant starch)

$$\% \text{ ปริมาณแป้งทนย่อย (resistant starch)} = \frac{\text{ตะกอนแป้งที่ได้จากการย่อย (g)}}{0.1\ \text{g}} \times 100$$

7) ปริมาณยีสต์และรา

การตรวจหาปริมาณเชื้อยีสต์และราโดยวิธี Aerobic plate count ตามวิธีมาตรฐานของ BAM มีวิธีการดังนี้โดยทำการชั่งตัวอย่างอาหาร 25 กรัม ใส่ในถุงพลาสติกที่ปราศจากเชื้อ เติมน้ำกลั่น ปริมาตร 225 มิลลิลิตร ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องตีป่นอาหาร เจือจางตัวอย่างที่ระดับ 10^{-1}-10^{-3} ปิเปตตัวอย่างอาหารจาก dilution 10^{-1}-10^{-3} จำนวน 1 มิลลิลิตร ลง

ใน sterile petri dish ความเจือจางละ 2 ซ้ำ เท melted PDA ปริมาตร 15-20 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ในให้อาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง incubate ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 วันนับจำนวนโคโลนีของยีสต์และราที่เกิดขึ้นในช่วง 30-300 โคโลนี ตรวจนับจำนวนและคำนวณปริมาณยีสต์และราใน หน่วยโคโลนีต่อกรัม (CFU/g)

8) ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด

การตรวจนับปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ตามวิธีมาตรฐานของ BAM โดยทำการชั่งตัวอย่างอาหาร 25 กรัม ใส่ในถุงพลาสติกที่ปราศจากเชื้อ เติมน้ำกลั่น ปริมาตร 225 มิลลิลิตร ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องตีป่นอาหาร เจือจางตัวอย่างที่ระดับ 10^{-1}-10^{-5} วิเคราะห์จุลินทรีย์ในตัวอย่าง โดยใช้วิธีเทเพลท (pour plate method) บนอาหาร PCA นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง ตรวจนับจำนวนและคำนวณปริมาณจุลินทรีย์ใน หน่วยโคโลนีต่อกรัม (CFU/g)

9) การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ทำการประเมินความชอบทางประสาทสัมผัสของกล้วยหอมทองอัดเม็ดได้แก่ ลักษณะทั่วไป สี กลิ่นรส ลักษณะเนื้อสัมผัส คุณภาพโดยรวม ด้วยวิธี 9-Point Hedonic scale กำหนดให้มีคะแนนตั้งแต่ 1 ถึง 9 โดยมี 1 คะแนน คือ ไม่ชอบมากที่สุดและ 9 คะแนน คือ ชอบมากที่สุด โดยผู้ทดสอบเป็นนักศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 30 คนผู้ทดสอบจำนวน 30 คน ทั้งเพศชายและเพศหญิง เตรียมตัวอย่างกล้วยหอมทองอัดเม็ดทั้ง 4 สูตร บรรจุลงในถ้วยพลาสติกที่มีรหัสกำกับตัวอย่างโดยใช้เลขสุ่ม 3 หลัก หลังจากนั้นยกเสิร์ฟตัวอย่างให้ผู้บริโภคทำแบบทดสอบความชอบแสดงดังภาคผนวกในด้าน ลักษณะทั่วไป สี กลิ่นรส ลักษณะเนื้อสัมผัส คุณภาพโดยรวม

10) การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

สำหรับน้ำหนักเฉลี่ย เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย ความหนาเฉลี่ย สี (L*,a* และ b*), ปริมาณความชื้น, ปริมาณน้ำอิสระ (a_w), ความแข็ง (Hardness), ปริมาณแป้งทนย่อย, ปริมาณจุลินทรีย์และรา และปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด มีการวางแผนการทดลองแบบ Complete Randomized Design (CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ สำหรับการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD)

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS โดยวิเคราะห์ความ แปรปรวน (Analysis of Variance ; ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple's Range test (DMRD) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

3.2.3 ผลิตภัณฑ์ขนมกล้วยหอมทองอบกรอบ

3.2.3.1 การเตรียมกล้วยหอมทองบด

นำกล้วยหอมทองที่มีระยะการสุกระยะ 7 (เปลือกมีสีเหลือง สุกเต็มที่ มีกลิ่นหอม) ตามมาตรฐาน CSIRO (Cantwell, 2016) จากนั้นปอกเปลือกแล้วหั่นเป็นชิ้น นำกล้วยหอมทองที่หั่นแล้วไปแช่ในสารละลายกรดแอสคอบิกความเข้มข้น 1% โดยใช้อัตราส่วนกล้วย 500 กรัมต่อสารละลายกรดแอสคอร์บิก 1 ลิตร เป็นเวลา 15 นาที แล้วนำไปลวกในน้ำอุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 5 นาที เพื่อทำลายเอนไซม์ที่ทำให้เกิดสีน้ำตาลในกล้วยหอมทอง จากนั้นนำกล้วยที่ผ่านการลวกแล้วแช่ในน้ำเย็นทันที และสะเด็ดน้ำให้แห้งแล้วนำไปปั่นในเครื่องปั่นอาหาร (สมฤดี และปราณี, 2556) ดังขั้นตอนในภาพที่ 3.10

3.2.3.2 การเตรียมโฟมกล้วยหอมทอง

นำกล้วยหอมทองบดที่ได้จากข้อ 3.2.3.1 มาผสมสารให้ความคงตัวโดยเติมไข่ขาวผงปริมาณ 5%, 7.5%, 10% และซีเอมซี ที่ความเข้มข้น 0.1% เพื่อเพิ่มความคงตัวของโฟม โดยสูตรที่ใช้ในการผลิตแสดงดังตารางที่ 3.3 จากนั้นตีให้เกิดโฟมด้วยเครื่องผสมอาหาร (kitchenaid mixer) ความเร็วสูงสุดเป็นเวลา 25 นาที นำโฟมกล้วยหอมทองไปศึกษาคุณสมบัติด้านความคงตัว ได้แก่ ร้อยละการขึ้นฟู ความหนาแน่น และความคงตัวของโฟม และนำโฟมอีกส่วนไปอบแห้งด้วยกระบวนการโฟมแมท โดยนำโฟมบีบลงในถาดให้เป็นทรงกลม ให้มีความหนาของโฟม 3 เซนติเมตร นำไปอบที่อุณหภูมิ 75 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง หรือจนกว่าโฟมกล้วยจะแห้งหมด แล้วนำมาขูดออกจากถาดและนำไปชั่งน้ำหนัก (ภาพที่ 3.10)

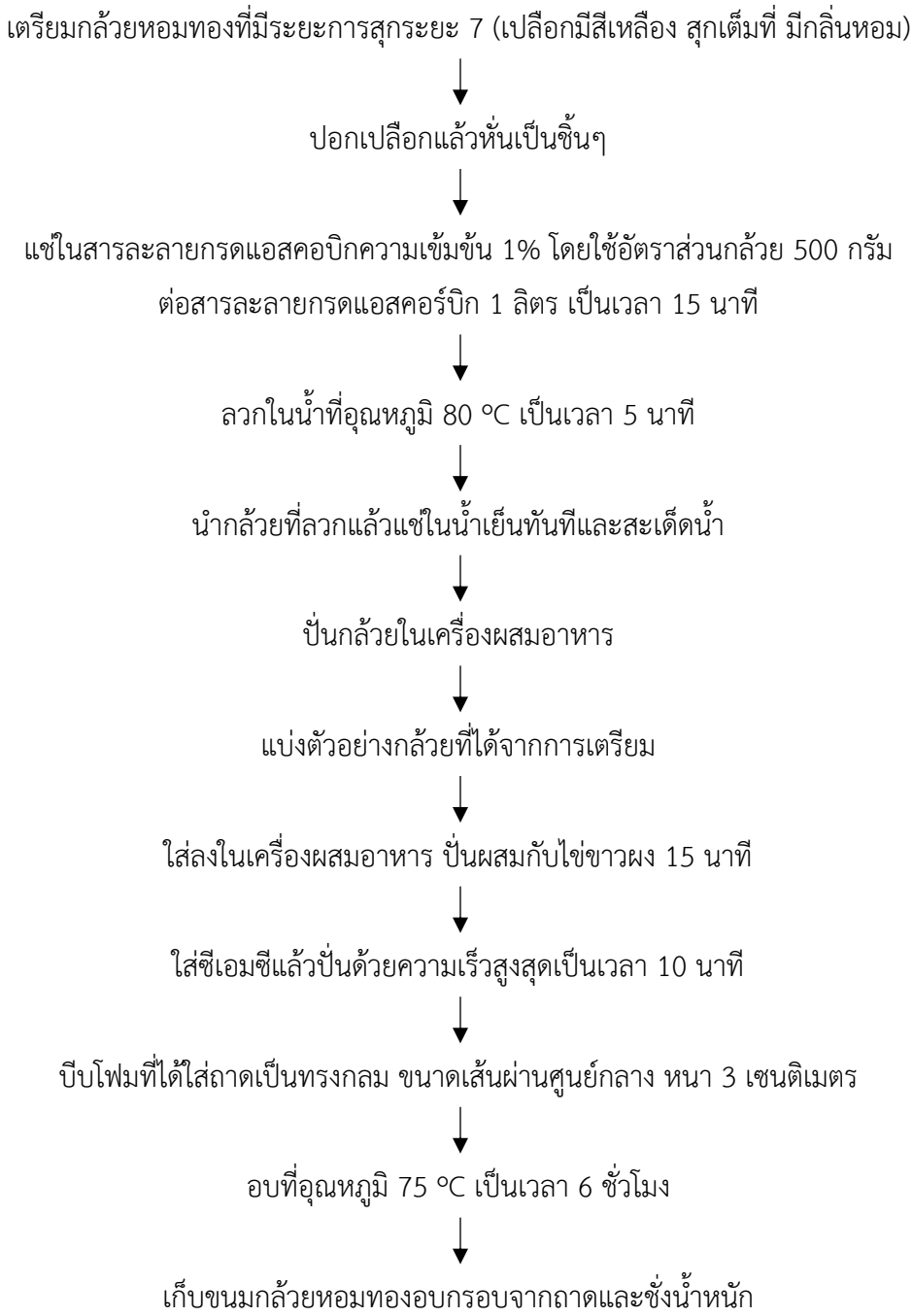
3.2.3.3 การศึกษาผลของสารให้ความคงตัวต่อคุณภาพของกล้วยหอมทองอบกรอบในกระบวนการทำแห้งแบบโฟมแมท (foam-mat drying)

1) ศึกษาผลของสารให้ความคงตัวต่อคุณภาพด้านกายภาพของโฟมกล้วยหอมทอง

นำโฟมที่ได้จากข้อ 3.3.2 มาวิเคราะห์คุณภาพด้านกายภาพ ได้แก่ ร้อยละการขึ้นฟู ความหนาแน่น และความคงตัวของโฟม ดังนี้

1.1) ร้อยละการขึ้นฟูของโฟม (% overrun) ตามวิธีการของกฤต (2548) โดยชั่งน้ำหนักของตัวอย่างในถ้วยที่ทราบปริมาตรแน่นอน จากนั้นนำตัวอย่างที่เตรียมไว้ไปตีปั่นกับสารก่อโฟม และชั่งน้ำหนักของโฟมในถ้วยเดิม โดยร้อยละการขึ้นฟู คำนวณจาก

$$\text{ร้อยละการขึ้นฟู} = \frac{(\text{ปริมาตรของโฟม} - \text{ปริมาตรของส่วนผสม})}{\text{ปริมาตรองส่วนผสม}} \times 100$$



ภาพที่ 3.10 ขั้นตอนการผลิตขนมกล้วยหอมทองอบกรอบโดยวิธีการทำแห้งแบบโฟมแมท
ที่มา : ดัดแปลงจาก สมฤดี และปราณี (2556)

ตารางที่ 3.3 ร้อยละของส่วนผสมในการผลิตกล้วยหอมทองอบกรอบ

วัตถุดิบ (%)	สูตร					
	1	2	3	4	5	6
เนื้อกล้วยหอมทอง	95	90	92.5	87.5	90	85
น้ำเปล่า	0	4.9	0	4.9	0	4.9
ไข่ขาวผง	5	5	7.5	7.5	10	10
ซีเอ็มซี	0	0.1	0	0.1	0	0.1
รวม	100	100	100	100	100	100

1.2) ความคงตัว ตามวิธีของกฤต (2548) โดยนำโฟมที่ได้จากการตีปั่นใส่ในกรวยกรองซึ่งวางอยู่บนกระบอกตวงขนาด 25 มิลลิลิตร จากนั้นบันทึกปริมาตรของเหลวที่แยกตัวออกมาจากโฟม เมื่อเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมง เพื่อหาอัตราการแยกตัวของของเหลวออกจากโฟม

1.3) ความหนาแน่นของโฟม ตามวิธีของกฤต (2548) โดยชั่งน้ำหนักโฟมที่ได้จากการตีปั่นในถ้วยที่ทราบปริมาตรแน่นอน บรรจุให้เต็ม ระวังไม่ให้มีฟองอากาศในถ้วย และเกลี่ยโฟมที่ล้นบริเวณปากถ้วยด้วยพายยาง ความหนาแน่นของโฟม คำนวณจาก

ค่าความหนาแน่นของโฟม = (น้ำหนักของถ้วยเมื่อบรรจุโฟม - น้ำหนักของถ้วย) ÷ ปริมาตรของถ้วย

2) ผลของสารให้ความคงตัวต่อคุณภาพด้านกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสของกล้วยหอมทองอบกรอบ

นำผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบที่ได้รับจากกระบวนการทำแห้งแบบโฟมแมทมาทดสอบคุณภาพด้านกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัส ดังนี้

2.1) การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

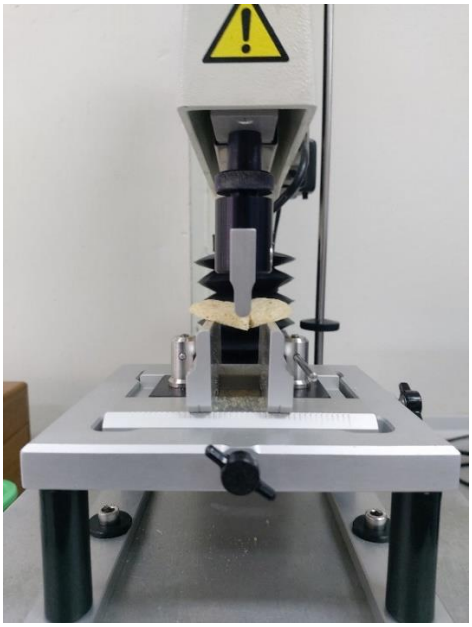
2.1.1) ค่าสี

2.1.2) ลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyzer)

วัดค่าความแข็ง (hardness) และความเปราะ (fracturability) ของตัวอย่างด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัสยี่ห้อ Stable Micro Systems รุ่น TA.XT.plus โดยใช้หัววัด Three Point Bending Rig (HDP/3BP) ทดสอบแรงกดโดยกดที่บริเวณกึ่งกลางของชิ้นกล้วยหอมทองอบกรอบ ค่าความแข็งที่วัดได้รายงานในหน่วยของกรัม (g) และค่าความเปราะที่วัดได้รายงานในหน่วยกรัม (g)

ทำการเตรียมตัวอย่างกล้วยหอมทองอบกรอบ ขนาดความกว้าง×ยาว เท่ากับ 4×1 ตารางเซนติเมตร การวัดจะวางตัวอย่างบนแท่นกดครั้งละ 1 ชิ้น ใช้หัววัด HDP/3BP โดยต่อเข้ากับแขนสำหรับต่อหัววัดของเครื่อง (ภาพที่ 3.11) ในการทดลองทำการวัดค่าตัวอย่างจำนวน 5 ชิ้นต่อ 1 ซ้ำ ตั้งค่าพารามิเตอร์ ต่างๆ ดังนี้

Option	Measure force in compression
Pre-Test speed	2.0 mm/s
Test speed	2.0 mm/s
Post-Test speed	10.0 mm/s
Distance	10 mm
Trigger Type	Auto-5



ภาพที่ 3.11 การติดตั้งหัววัด HDP/3PB และการวิเคราะห์ค่าความแข็ง (hardness) และค่าความแตกเปราะ (fractulability) ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส

2.1.3) ปริมาณน้ำอิสระ (A_w) โดยใช้เครื่องวัดค่าปริมาณน้ำอิสระในอาหาร ยี่ห้อ AQUA LAB รุ่น CX2 ประเทศสหรัฐอเมริกา

2.1.4) ร้อยละผลผลิตที่ได้ (%yield)

การคำนวณร้อยละของผลผลิตคำนวณได้จากสูตร

$$\text{ร้อยละผลผลิตที่ได้ } (\%\text{yield}) = \frac{\text{น้ำหนักของผลิตภัฑ์ที่อบได้ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักของโฟม } (\text{กรัม})} \times 100$$

2.2) การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

ทำการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของตัวอย่างกล้วยหอมทองอบกรอบ ตามวิธี Hot Air oven method ของ AOAC (2000)

2.3) การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของกล้วยหอมทองอบกรอบ

เตรียมตัวอย่างกล้วยหอมทองอบกรอบ จากนั้นบรรจุลงในถุงซิปล็อคที่มีรหัสกำกับตัวอย่างโดยใช้เลขสุ่ม 3 หลัก จากนั้นเสิร์ฟตัวอย่างให้ผู้ทดสอบทำการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของกล้วยหอมทองอบกรอบที่ศึกษาโดยใช้แบบทดสอบความชอบด้วยวิธี 9-point hedonic scale คะแนนตั้งแต่ 1-9 คะแนน (1 = ไม่ชอบมากที่สุด ถึง 9 = ชอบมากที่สุด) ในคุณลักษณะต่าง ๆ คือลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส (ความกรอบ, การเกาะติดเพดานปาก) และความชอบโดยรวม โดยผู้ทดสอบเป็นนักศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวนอย่างน้อย 30 คน ทั้งเพศชาย และเพศหญิง

3) การวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ 3x2 แฟกทอเรียล 2 ปัจจัยในสุ่มสมบูรณ์ (3x2 factorial in completely randomized design) สำหรับสมบัติทางกายภาพและเคมี โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ และวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อค (Randomized complete block design) สำหรับการประเมินทางประสาทสัมผัส แล้ววิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) โดยเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3.2.4 ผลิตภัณฑ์น้ำเชื่อมกล้วยหอมทอง

3.2.4.1 การเตรียมตัวอย่างกล้วยหอมทองสุกและกล้วยหอมทองตาก

1) กล้วยหอมทองสุก

นำกล้วยหอมทองสุกจัด (ระยะที่ 7) มาทำการปอกเปลือก และนำไปนึ่งด้วยไอน้ำเป็นเวลา 15 นาที เพื่อยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล จากนั้นทำการลดอุณหภูมิอย่างรวดเร็วจนได้อุณหภูมิห้อง นำไปปั่นละเอียดในเครื่องปั่นผสมอาหารด้วยความเร็วสูง จากนั้นแบ่งบรรจุถุง PE ให้ได้น้ำหนัก 500 กรัมต่อถุง นำไปแช่แข็งเพื่อเตรียมใช้ในขั้นตอนต่อไป

2) กล้วยหอมทองตาก

นำกล้วยหอมทองตากมาหั่นเป็นชิ้นขนาดความกว้างไม่เกิน 3 เซนติเมตร นำไปต้มในน้ำ อัตราส่วนกล้วยต่อน้ำเป็น 1 ต่อ 5 ต้มที่อุณหภูมิ 90 องสาสเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 นาที ดังภาพที่ 3.12 จากนั้นทำการลดอุณหภูมิอย่างรวดเร็วจนได้อุณหภูมิห้อง นำไปปั่นละเอียดในเครื่องปั่นผสมอาหารด้วยความเร็วสูงดังภาพที่ 3.13 จากนั้นแบ่งบรรจุถุง PE ให้ได้น้ำหนัก 500 กรัมต่อถุง นำไปแช่แข็งเพื่อเตรียมใช้ในขั้นตอนต่อไป

ภาพที่ 3.12 การเตรียมตัวอย่างกล้วมหอมทองตากโดยการต้ม

ภาพที่ 3.13 การปั่นละเอียดกล้วมหอมทองตาก

3.2.4.2 การเตรียมตัวอย่างน้ำเชื่อมกล้วยหอมทอง

นำตัวอย่างกล้วยหอมทองที่เตรียมได้จากข้อ 3.2.4.1 ทั้งสองชนิด มาทำการละลายในตู้เย็นเป็นระยะเวลา 1 คืน จากนั้นนำมาอุ่นในอ่างควบคุมอุณหภูมิจนได้อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จากนั้นเติมเอนไซม์เพคติเนส 0.06% โดยน้ำหนัก และ เอนไซม์เซลลูเลส 0.13% โดยน้ำหนัก บ่มในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 120 นาที จากนั้นเติมเอนไซม์แอลฟาอะมัยเลส 0.02% โดยน้ำหนัก และเอนไซม์กลูโคอะมัยเลส 0.6% โดยน้ำหนัก บ่มในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 180 นาที (ภาพที่ 3.14) หยุดการทำงานของเอนไซม์โดยการเพิ่มอุณหภูมิเป็น 95 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 นาที ลดอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว

ให้ตัวอย่างมีอุณหภูมิถึงอุณหภูมิห้อง จากนั้นนำตัวอย่างที่ผ่านการย่อยแล้วมากรองด้วยระบบสุญญากาศ จนได้น้ำเชื่อม

น้ำเชื่อมที่ได้นำไปทำการระเหยภายใต้สภาวะสุญญากาศที่ความดัน 68 มิลลิบาร์จนมีความเข้มข้นสุดท้ายเท่ากับ 68 °Brix

ภาพที่ 3.14 ตัวอย่างกล้วยหอมทองที่ผ่านกานย่อยด้วยเอนไซม์

บทที่ 4

ผลการดำเนินโครงการ

4.1 การออกแบบและพัฒนาโดมพลังงานแสงอาทิตย์

4.1.1 ประกอบระบบโดมพลังงานแสงอาทิตย์

การประกอบโครงของโดมพลังงานแสงอาทิตย์จะใช้การประกอบด้วยการเชื่อมเหล็กเป็นโครงสร้างตามแบบที่ได้ออกแบบไว้ โดยเริ่มจากการประกอบฐานของโดม หลังคาของโดม ประตูทางเข้า และช่องสำหรับติดพัดลม แล้วทาสีโครงเหล็กตามจุดลอยเชื่อมเพื่อป้องกันการเกิดสนิมและปูพื้นด้วยแผ่นซีเมนต์บอร์ดดังภาพที่ 4.1 หลังจากนั้นปูหลังคาโดมและผนังของโดมโดยรอบด้วยแผ่นโพลีคาร์บอเนต ดังภาพที่ 4.2

ภาพที่ 4.1 การประกอบโครงสร้างของโดมพลังงานแสงอาทิตย์

สำหรับการติดตั้งพัดลมระบายอากาศจะใช้พัดลมกระสลับทั้งหมด 4 ตัว ติดสูงจากพื้นประมาณ 1.5 เมตร ดังแสดงในภาพที่ 4.3 โดยใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานให้กับพัดลม เนื่องจากการอบแห้งผลิตภัณฑ์ด้วยโดมพลังงานแสงอาทิตย์ อุณหภูมิภายในจะผันแปรตามพลังงงานของแสงอาทิตย์ซึ่งในแต่ละวันจะมีพลังงานไม่เท่ากัน ซึ่งการอบแห้งผลิตภัณฑ์บางอย่างชนิดต้องการอุณหภูมิสม่ำเสมอและต่อเนื่อง ดังนั้นในการออกแบบโดมจึงจำเป็นต้องใช้แหล่งพลังงานอื่นมาช่วยเสริม โดยใช้พลังงานความร้อนที่เกิดจากพัดลมความร้อนจำนวน 2 ตัว ดังภาพที่ 4.4 มาช่วยเสริมเพื่อให้เกิดความร้อนภายในโดมคงที่และสม่ำเสมอ

ภาพที่ 4.2 การปูหลังคาและผนังของโดมพลังงานแสงอาทิตย์

สำหรับการติดตั้งพัดลมระบายอากาศจะใช้พัดลมกระสลับทั้งหมด 4 ตัว ติดสูงจากพื้นประมาณ 1.5 เมตร ดังแสดงในภาพที่ 3.3 โดยใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานให้กับพัดลม เนื่องจากการอบแห้งผลิตภัณฑ์ด้วยโดมพลังงานแสงอาทิตย์ อุณหภูมิภายในจะผันแปรตามพลังงงานของแสงอาทิตย์ซึ่งในแต่ละวันจะมีพลังงานไม่เท่ากัน ซึ่งการอบแห้งผลิตภัณฑ์บางอย่างชนิดต้องการ

อุณหภูมิสม่ำเสมอและต่อเนื่อง ดังนั้นในการออกแบบโดมจึงจำเป็นต้องใช้แหล่งพลังงานอื่นมาช่วยเสริม โดยใช้พลังงานความร้อนที่เกิดจากพัดลมความร้อนจำนวน 2 ตัว ดังภาพที่ 4.4 มาช่วยเสริมเพื่อให้เกิดความร้อนภายในโดมคงที่และสม่ำเสมอ

ภาพที่ 4.3 ติดตั้งพัดลมระบายอากาศและแผ่นโซล่าเซลล์

ภาพที่ 4.4 ติดตั้งพัดลมความร้อนช่วยเสริมพลังงานจากแสงอาทิตย์

สำหรับการทำงานของพัดลมดูดอากาศและพัดลมความร้อนจะทำงานผ่านการควบคุมแบบอัตโนมัติ ผ่านเซนเซอร์วัดอุณภูมิและความชื้น ที่คอยตรวจสอบอุณหภูมิและความชื้นภายในโดมไม่ให้เกินหรือต่ำกว่าค่าที่กำหนดดังแสดงในภาพที่ 4.5 โดยถ้าอุณหภูมิและความชื้นเกินพัดลมระบายอากาศจะทำงาน ขณะที่อุณหภูมิต่ำกว่าค่าที่กำหนดพัดลมความร้อนจะทำงาน โดยระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นจะสามารถตั้งค่าได้ตามความต้องการของผู้ใช้

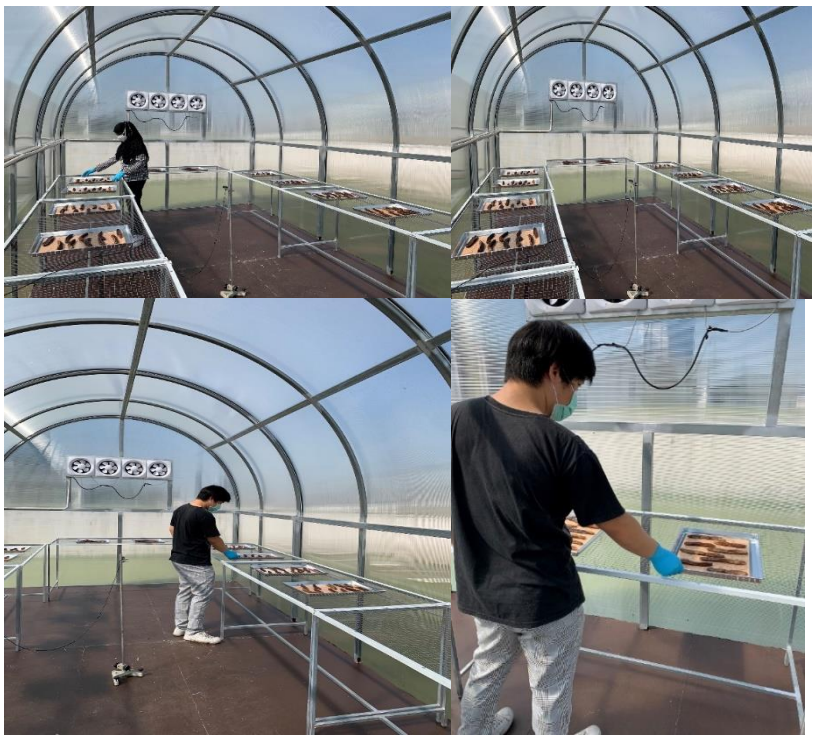
ก. ข.

ภาพที่ 4.5 ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น ก) ชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้น ข) เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น

จากภาพที่ 4.6 เป็นการทดลองอบแห้งกล้วยหอมทองในโดมพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งกล้วยหอมทอง

4.1.2 การทดสอบประสิทธิภาพของโดมพลังงานแสงอาทิตย์

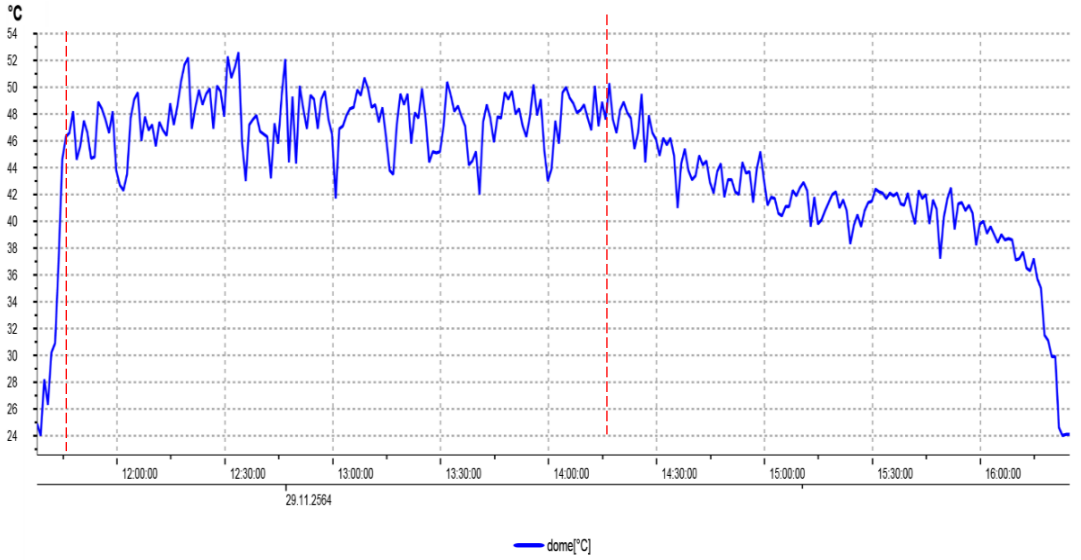
หลังจากประกอบโครงสร้างโดมพลังงานเสร็จ ได้มีการตรวจสอบประสิทธภาพการทำงานของโดม โดยวัดอุณหภูมิในแต่ละช่วงเวลา เพื่อเก็บเป็นฐานข้อมูลสำหรับใช้ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ประเภทต่างๆ ซึ่งพบว่าอุณหภูมิภายในโดมมีการเปลี่ยนแปลงดังกราฟในภาพที่ 4.7 โดยการวัดอุณหภูมิในช่วงเวลา 11:37 น ถึง 16:24 น พบว่าอุณหภูมิจะเริ่มมีค่าสูงขึ้นตั้งแต่เวลา 11.41 น โดยมีค่าอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 52.6 องศาเซลเซียส ต่ำสุดอยู่ที่ 24.0 องศาเซลเซียส คิดเป็นอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 44.2 องศาเซลเซียส ดังตารางที่ 4.1 และอุณหภูมิจะเริ่มลดลงหลังจากเวลา 14:30 น เป็นต้นไป



ภาพที่ 4.6 การอบแห้งกล้วยหอมทอง

ตารางที่ 4.1 ค่าอุณหภูมิภายในโดมพลังงานแสงอาทิตย์ ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และค่าเฉลี่ย ระหว่างเวลา 11:37 น ถึง 16:24 น

Start time: 29/11/2564 11:37:48		Minimum	Maximum	Mean value
End time: 29/11/2564 16:24:48	dome (℃)	24	52.6	44.212



ภาพที่ 4.7 กราฟอุณหภูมิภายในโดมพลังงานแสงอาทิตย์ระหว่างเวลา 11:37 น ถึง 16:24 น

4.2 การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากกล้วยหอมทองโดยใช้โดมพลังงานแสงอาทิตย์

4.2.1 ผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองผง

4.2.1.1 ผลการศึกษาคุณภาพกล้วยหอมทอง

ในการทดลองนี้ได้ใช้กล้วยหอมทองในระยะความสุขที่ 5 เมื่อนำมาวัดปริมาณของแข็งทั้งหมด พบว่ามีค่าเท่ากับ 24.58 °Brix แล้วนำมาหาปริมาณร้อยละผลผลิตหลังจากปอกเปลือก โดยที่คิดเป็นร้อยละผลผลิตเท่ากับ 74.6203 และนำมาคำนวณต้นทุนการผลิตของน้ำหนักกล้วยได้ 0.08 บาทต่อกรัมกล้วยหอมทองสุก

4.2.1.2 ผลการศึกษาคุณสมบัติทางเคมี และกายภาพ

1) การขึ้นฟูของโฟม (Overrun)

จากการศึกษาการขึ้นฟูของโฟม ตัวอย่างไข่ขาวผงที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1, 2 และ 3 ดังตารางที่ 4.2 การเพิ่มระดับความเข้มข้นของไข่ขาวผง ทำให้ปริมาณการขึ้นฟูของโฟมเพิ่มขึ้น เมื่อการขึ้นฟูของโฟมเพิ่มขึ้นจะทำให้มีความหนาแน่นลดลง โดยความเข้มข้นของไข่ขาวผงที่มีปริมาณการขึ้นฟูมากที่ความเข้มข้นร้อยละ 3 ดีที่สุดคือ 257.9922±49.2661

2) การวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น (Density)

จากการศึกษาความหนาแน่นของโฟม ตัวอย่างไข่ขาวผงที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1, 2 และ 3 ดังตารางที่ 4.2 การเพิ่มความเข้มข้นของไข่ขาวผง จะทำให้ความหนาแน่นของ โฟมลดลงเนื่องจากการขึ้นฟูของโฟมเพิ่มขึ้น และความหนาแน่นของโฟมสูงที่ความเข้มข้นต่ำไข่ขาวผงร้อยละ 1 มีค่าความหนาแน่นคือ 0.2253±0.0002 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

3) ร้อยละผลผลิต

ร้อยละผลผลิตของกล้วยหอมทองผง โดยการทำแห้งแบบโฟมแมท ดังตารางที่ 4.2 ตัวอย่างไข่ขาวผงที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1, 2 และ 3 น้ำหนักของผลผลิตมีค่าเท่ากับ 84.18±17.923, 89.17±8.4323 และ 94.5750±13.6544 ตามลำดับ นำค่าที่ได้มาหาร้อยละผลผลิตของกล้วยหอมทองผง พบว่าร้อยละผลผลิตของกล้วยหอมทองผง มีค่าเท่ากับ13.3235 ±1.814 14.2750±0.9072 และ 15.0759±1.1897 ตามลำดับ จากการเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของไข่ขาวผง ทำให้ได้ปริมาณของผลผลิตที่มากขึ้น

ตารางที่ 4.2 การขึ้นฟูของโฟม ความหนาแน่น และร้อยละผลผลิต

ไข่ขาวผง	การขึ้นฟูของโฟม (%)	ความหนาแน่น (g/cm^3) ^{ns}	ผลผลิต (%)^{ns}
1%	120.4120±19.5016 ^{a}	0.2253±0.0002	13.3235±1.8145
2%	196.7025±41.6421 ^{b}	0.2231±0.0040	14.2750±0.9072
3%	257.9922±49.2661 ^{b}	0.2199±0.0002	15.0759±1.1897

หมายเหตุ: ตัวอักษร $^{a, b}$ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
ตัวอักษร^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4) การวิเคราะห์ความชื้น (AOAC, 2000)

จากการศึกษาวิเคราะห์ความชื้นในกล้วยหอมทองผง ดังตารางที่ 4.3 ที่ใช้ปริมาณไข่ขาวผงร้อยละ 1, 2 และ 3 มีปริมาณความชื้นเท่ากับ 0.7083±0.236, 0.4213±0.2559 และ 0.4816±0.2562 ตามลำดับ โดยไข่ขาวผงไข่ขาวผงร้อยละ 1 มีปริมาณความชื้นมากที่สุด 0.7083±0.236 โดยที่ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ผงต่ำกว่าร้อยละ 3 ทำให้ผลิตภัณฑ์ผงมีแนวโน้มที่จะมีคุณสมบัติการไหลที่ดี ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ผงมีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 10 แสดงว่ามีความปลอดภัยทางด้านจุลินทรีย์ (Wong et al., 2017) ซึ่งช่วยในด้านอายุการเก็บรักษาได้ดี

5) ปริมาณน้ำอิสระในอาหาร

จากการศึกษาวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระในกล้วยหอมทองผง ดังตารางที่ 4.3 ที่ใช้ปริมาณไข่ขาวผงร้อยละ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ มีค่าปริมาณน้ำอิสระในอาหารเท่ากับ 0.2553±0.0093, 0.2107±0.0047 และ 0.2083±0.0102 ตามลำดับ พบว่ายิ่งมีการเพิ่มปริมาณ

ความเข้มข้นของไข่ขาวผงจะทำให้ปริมาณน้ำอิสระในอาหารน้อยลง นอกจากนี้ค่าปริมาณน้ำอิสระในอาหารปกติต่ำกว่า 0.60 จะไม่มีการแพร่กระจายของจุลินทรีย์

6) Hygroscopicity

จากการศึกษาวิเคราะห์ค่า Hygroscopicity ในกล้วยหอมทองผง ดังตารางที่ 4.3 ใช้ปริมาณไข่ขาวผงร้อยละ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ มีค่า Hygroscopicity ร้อยละเท่ากับ 22.4477±0.7548, 23.0304±0.3247 และ 22.4881±0.4381 ตามลำดับ พบว่าค่า Hygroscopicity ยิ่งมากขึ้นจะทำให้สามารถดูดความชื้นได้ง่ายและเร็ว ซึ่งทำให้กล้วยหอมทองผงเกิดความเหนียวและจับตัวกันเป็นก้อนง่ายขึ้น โดยค่า Hygroscopicity ที่ได้อยู่ระหว่าง 22.4477–23.0304

ตารางที่ 4.3 การวิเคราะห์ความชื้น ปริมาณน้ำอิสระในอาหาร และ Hygroscopicity

ไข่ขาวผง	ค่าความชื้น (%) ^{ns}	ปริมาณน้ำอิสระในอาหาร	Hygroscopicity (%) ^{ns}
1%	0.7050±0.2360	0.2389±0.0093 ^{a}	22.4477±0.7548
2%	0.4200±0.2559	0.2152±0.0047 ^{b}	23.0304±0.3247
3%	0.4800±0.2562	0.2156±0.0102 ^{b}	22.488±0.4381

หมายเหตุ: ตัวอักษร $^{a, b}$ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

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

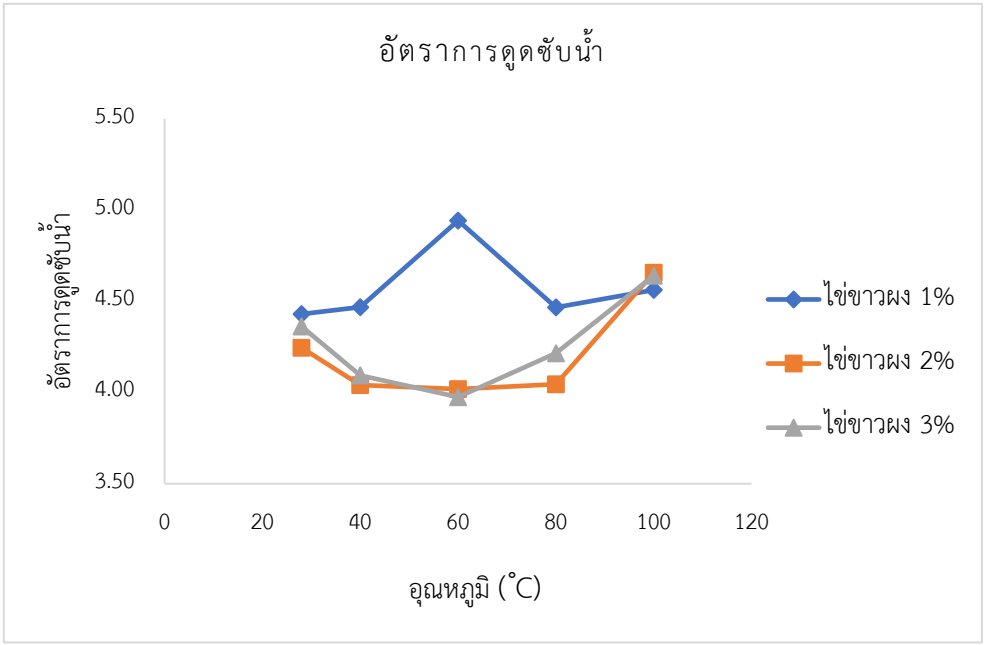
7) อัตราการดูดซับน้ำ

อัตราการดูดซับน้ำเป็นตัวชี้วัดที่ดีอย่างหนึ่งถึงคุณภาพของอาหารแห้ง เป็นค่าที่มีความเชื่อมโยงกับการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมี อัตราการดูดซับน้ำของกล้วยหอมทองผงในการศึกษานี้มีค่าเท่ากับ 3.9749–4.9424 กรัม ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 4.4 ผลการศึกษาที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Doymaz (2010) การทำแห้งแบบโฟมแมทผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นผง เกิดการหดตัวและมีผิวชั้นนอกที่แข็ง ทำให้การดูดซับน้ำเกิดขึ้นได้ยาก ดังภาพที่ 4.8

ตารางที่ 4.4 อัตราการดูดซับน้ำ

อุณหภูมิ °C	ปริมาณความเข้มข้นไข่ขาวผง		
	1% ns	2% ns	3% ns
28	4.4297±0.6696	4.2447±0.3449	4.3622±0.3202
40	4.4677±0.5097	4.0405±0.3581	4.0934±0.7961
60	4.9424±0.7629	4.0186±0.4691	3.9749±0.4818
80	4.4665±0.4565	4.0448±0.3745	4.2152±0.2428
100	4.5623±0.4359	4.6562±0.3714	4.6404±0.4110

หมายเหตุ: ตัวอักษร^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 4.8 กราฟอัตราการดูดซับน้ำ

8) การวิเคราะห์สีของกล้วยหอมทองผง (Mei and Sulaiman, 2018)

การวิเคราะห์สีของกล้วยหอมทองผงด้วยเครื่องวัดสี Grating spectrophotometer ดังตารางที่ 4.5 พบว่ากล้วยหอมทองผงมีค่าความสว่าง L* ที่เพิ่มขึ้นอาจเกิดจากปริมาณความเข้มข้นของไข่ขาวผง โดยค่าของความสว่าง L* ที่ความเข้มข้นของไข่ขาวผงร้อยละ 3 มีค่าความสว่างมากที่สุดคือ 67.4311±0.5692 ค่าสีแดง a* ที่ความเข้มข้นของไข่ขาวผงร้อยละ 1 มีค่าเข้าใกล้สีแดงมากที่สุดคือ 4.7967±0.1741 ค่าสีเหลือง b* มีความเข้มข้นของไข่ขาวผงร้อย 1 มีค่าเข้าใกล้สีเหลืองมากที่สุดคือ 27.1978±0.5173 ดังภาพที่ 4.10-4.12 โดยที่การวัดค่าสีอาจจะมีการคลาดเคลื่อนได้เนื่องจากในกล้วยหอมทองผงมีเม็ดกล้วยปะปนอยู่ ดังภาพที่ 4.9

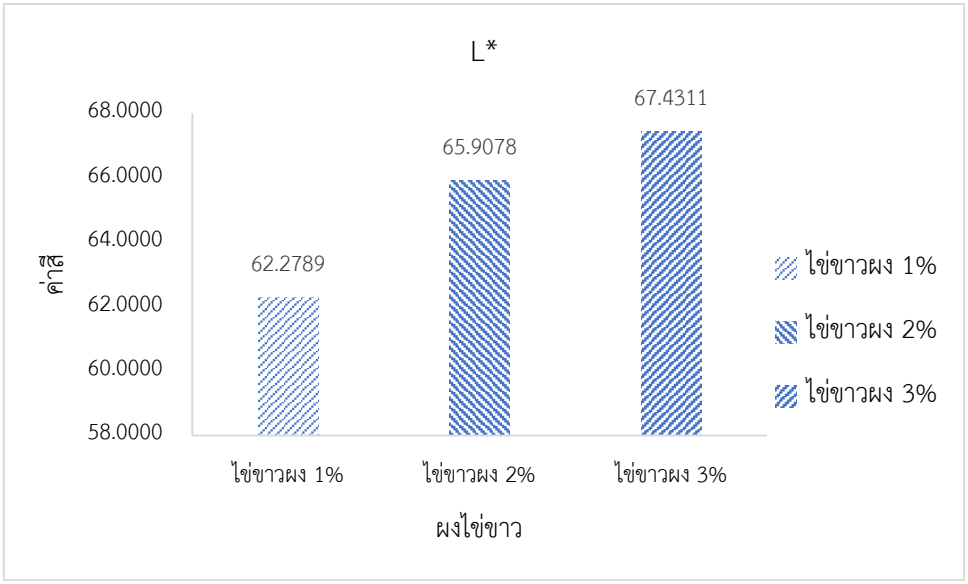
ก. ข. ค.

ภาพที่ 4.9 กล้วยหอมทองผงชนิดหยาบ ก) ตัวอย่างจากไข่ขาวผงร้อยละ 1 ข) ตัวอย่างจากไข่ขาวผงร้อยละ 2 ค) ตัวอย่างจากไข่ขาวผงร้อยละ 3

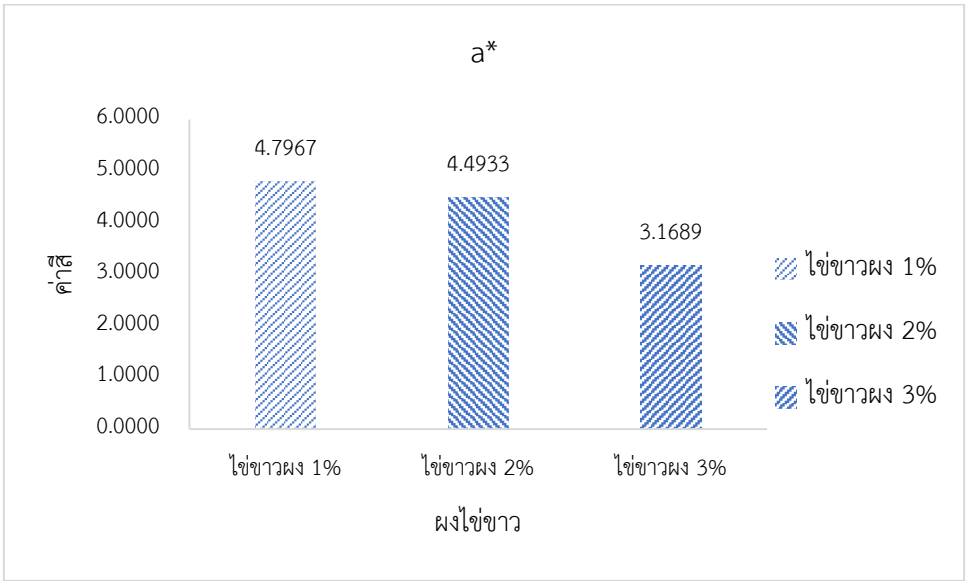
ตารางที่ 4.5 การวัดค่าสี

ไข่ขาวผง	ค่าสี		
	L*	a*	b*
1%	61.0683±0.2312 [a]	4.9616±0.7870 [a]	26.9666±0.5173 [a]
2%	65.1233±0.3755 [b]	4.0666±1.0400 [b]	25.4458±0.5101 [b]
3%	66.8991±0.5692 [b]	3.3358±0.4990 [c]	23.9550±0.4113 [c]

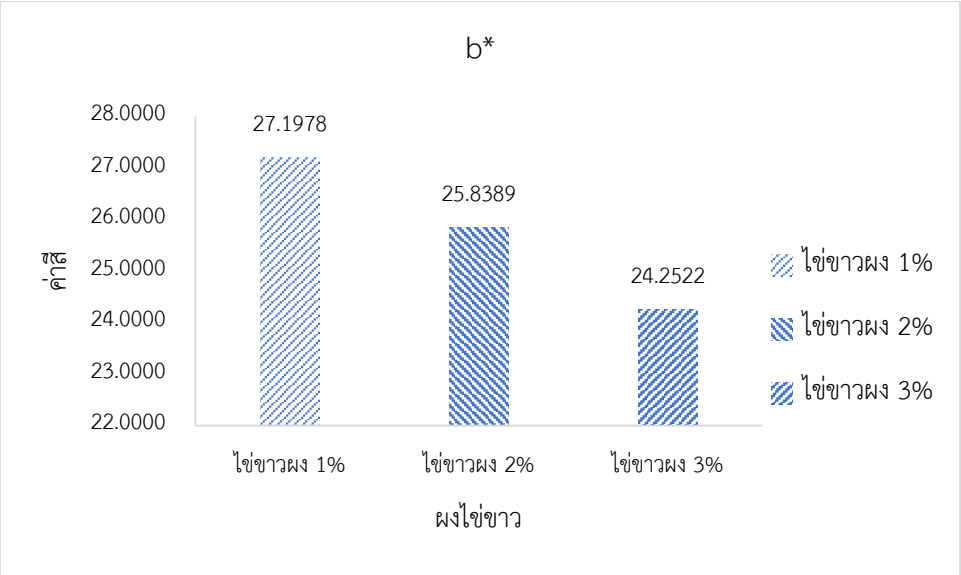
หมายเหตุ: ตัวอักษร [a,b,c] หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 4.10 การวัดสี L* ของกล้วยหอมทองผง



ภาพที่ 4.11 การวัดสี a* ของกล้วยหอมทองผง



ภาพที่ 4.12 การวัดสี b* ของกล้วยหอมทองผง

4.2.2 ผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอัดเม็ด

4.2.2.1 ศึกษาคุณสมบัติบางประการของกล้วยหอมทองผง และ แป้งกล้วยหอมทอง

กล้วยหอมทองผง และ แป้งกล้วยหอมทองนำมาวัดคุณสมบัติบางประการ ได้แก่ สี (L*, a* และ b*) ความชื้น และปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.6 พบว่า ค่าสี L* a* และ b* และ ความชื้น ของกล้วยหอมทองผง มีค่าสูงกว่า แป้งกล้วยหอมทอง แต่ปริมาณน้ำอิสระต่ำกว่า เนื่องจากกล้วยหอมทองผงผลิตจากกล้วยหอมทองสุกซึ่งกล้วยหอมทองสุกมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (10.25 mg GAE/g) น้อยกว่าในกล้วยหอมทองดิบ (20.17 mg GAE/g) ที่นำมาผลิตแป้งกล้วยหอมทอง จะเห็นได้ว่าในกล้วยหอมทองสุกมีซับสเตรทที่น้อยกว่าในการปฏิกริยากับ Polyphenol oxidase (PPO) ในขั้นตอนการเกิดสีน้ำตาลในปฏิกริยา Maillard reaction จึงมีผลต่อคุณภาพของสีในผลิตภัณฑ์ดังกล่าวได้ (Chuenchom และคณะ, 2016) ผลการวิเคราะห์จากตาราง 4.6 จะเป็นข้อมูลเบื้องต้น และนำไปใช้ในการวิจารณ์ในการทดลองของกล้วยหอมทองอัดเม็ด

ตารางที่ 4.6 สี (L*, a* และ b*) ความชื้น และปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของกล้วยหอมทองผง และ แป้งกล้วยหอมทอง

วัตถุดิบ	L*	a*	b*	ความชื้น (%)	ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)
กล้วยหอมทองผง	90.25±3.25	4.52+0.35	6.22±0.07	4.56±0.12	0.75±0.01
แป้งกล้วยหอมทอง	56.39±6.56	-1.25+0.04	-3.65±0.05	3.28+0.01	0.87±0.03

4.2.2.2 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของแป้งมันสำปะหลังและข้าวโพดต่อกล้วยหอมทองผงต่อคุณภาพของกล้วยหอมทองอัดเม็ด

กล้วยหอมทองผง และ สารยึดเกาะ ได้แก่ แป้งมันสำปะลัง หรือ แป้งข้าวโพด ในอัตราส่วน 100:0, 98:2 และ 96:4 และ ส่วนผสมอื่น ๆ ตามสูตรในตารางที่ 3.1 โดยนำส่วนผสมไปตอกเม็ด และ นำไปวิเคราะห์คุณภาพของกล้วยหอมทองอัดเม็ด

1) น้ำหนัก เส้นผ่านศูนย์กลาง และ ความหนา

น้ำหนัก เส้นผ่านศูนย์กลาง และ ความหนาของกล้วยหอมทองอัดเม็ดที่ผสมกล้วยหอมทองผงต่อแป้งมันสำปะหลัง หรือ แป้งข้าวโพดเป็นสารยึดเกาะ ในอัตราส่วน 100:0, 98:2 และ 96:4 แสดงในตารางที่ 4.7 พบว่า น้ำหนัก เส้นผ่านศูนย์กลาง และ ความหนาของกล้วยหอมทองอัดเม็ดในทุกสูตร มีค่าอยู่ระหว่าง 5.04-5.47 กรัม, 4.21-4.85 มิลลิเมตร และ 0.62-0.65 มิลลิเมตรตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แสดงให้เห็นว่าการใช้เครื่องตอกเม็ดแบบสากเดี่ยว สามารถตอกให้แต่ละเม็ดมีน้ำหนัก เส้นผ่านศูนย์กลาง และความหนาไม่แตกต่างกัน และสามารถใช้สภาวะการตอกเม็ดดังกล่าวนำไปผลิตในปริมาณมาก ๆ ได้ ซึ่งจะมีผลต่อความสม่ำเสมอด้านคุณภาพทางกายภาพดังกล่าว

ตารางที่ 4.7 น้ำหนัก เส้นผ่านศูนย์กลาง และ ความหนาของกล้วยหอมทองอัดเม็ดที่ผลิตจากกล้วยหอมทองผง และ สารยึดเกาะ ได้แก่ แป้งมันสำปะลัง หรือ แป้งข้าวโพด ในอัตราส่วน 100:0, 98:2 และ 96:4

สูตร	น้ำหนัก (กรัม) ^{ns}	เส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)^{ns}	ความหนา (มิลลิเมตร) ^{ns}
กล้วยหอมทองผง: สารยึดเกาะ 100:0 (ควบคุม)	5.04±0.15	4.25±0.14	0.65±0.05
กล้วยหอมทองผง:แป้งมันสำปะหลัง (98:2)	5.27±0.75	4.33±0.75	0.65±0.02
กล้วยหอมทองผง:แป้งมันสำปะหลัง (98:4)	5.24±0.48	4.21±0.58	0.64±0.05
กล้วยหอมทองผง:แป้งข้าวโพด (98:2)	5.26±0.58	4.36±0.25	0.65±0.01
กล้วยหอมทองผง:แป้งข้าวโพด (98:4)	5.47±0.12	4.85±0.85	0.62±0.05

^{ns}ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

2) ค่าสี (L*, a* และ b*) ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ความแข็ง (Hardness)

ค่าสี (L*,a* และ b*) ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ความแข็ง (Hardness) ของกล้วยหอมทองอัดเม็ดที่ผสมกล้วยหอมทองผงต่อแป้งมันสำปะหลัง หรือ แป้งข้าวโพด ในอัตราส่วน 100:0, 98:2 และ 96:4 แสดงในตารางที่ 4.8 ค่าสี (L*,a* และ b*) ของทุกสูตรของกล้วยหอมทองอัดเม็ดมีค่าอยู่ระหว่าง 89.25-91.25, 4.98-5.47 และ 6.25-6.89 ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) สอดคล้องกับ ภาพที่ 4.13 แสดงให้ว่าสีของกล้วยหอมทองอัดเม็ดในทุกสูตรไม่แตกต่างกันเมื่อพิจารณาจากการมองเห็น อย่างไรก็ตาม การเติมแป้งมันสำปะหลังหรือแป้งข้าวโพด 2% หรือ 4% เข้าไปในสูตรกล้วยหอมทองอัดเม็ดมีผลให้ ความปริมาณความชื้นลดลงในขณะที่ความแข็ง (Hardness) สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม (ไม่เติมแป้งมันสำปะหลังหรือแป้งข้าวโพด) อย่างไรก็ตาม ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของกล้วยหอมทองอัดเม็ดทุกสูตรไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

การเพิ่มปริมาณแป้งมันสำปะหลัง หรือ แป้งข้าวโพดจะมีผลให้ความแข็งสูงขึ้นเนื่องจาก แป้งข้าวโพด หรือ แป้งมันสำปะหลังจะมีคุณสมบัติเป็น สารยึดเกาะ (Binder) การเพิ่มปริมาณสารยึดเกาะที่สูงขึ้นซึ่งมีผลทำให้อนุภาคของกล้วยหอมทองผลชิดกันแน่นมากขึ้นเมื่อนำไปเข้าสู่ขั้นตอนการอัดเม็ด (นงสุดา และคณะ, 2546) อีกทั้งในส่วนผสมของการอัดเม็ดของกล้วยหอม

ทองผงมีการผสมสารช่วยอื่นๆ เช่น มอลโตเดกซ์ตริน และน้ำตาลเพื่อช่วยในการยึดเกาะของวัตถุดิบ (นรินทร์, 2563) สอดคล้องกับอัจฉรา และคณะ (2550) พบว่า เมื่อปริมาณจากฟกทอง หรือ ปริมาณแป้ง เพิ่มขึ้นจาก 25, 50 และ 75% จะทำให่เปอรเซ็นตความสมบูรณของเม็ดเพิ่มขึ้น เปน 6, 8 และ 26% ตามลำดับ ชื่นกมล และ พุทธดี (2563) รายงานว่า ใช้น้ำตาลไอซิ่ง และแป้งข้าวโพด สำหรับเป็นตัวประสานเพื่อให้การอัดเม็ดนมเป็นไปได้ด้วยดีในการอัดเม็ดน้ำนมเม็ดมะม่วงหิมพานต์

ควบคุม ข้าวโพด (ไม่เติมสารยึดเกาะ)	กล้วย:แป้งมัน (98:2)	กล้วย:แป้งมัน (98:4)	กล้วย:แป้งข้าวโพด (98:2)	กล้วย:แป้ง (98:4)

ภาพที่ 4.13 กล้วยหอมทองอัดเม็ดที่ผลิตจากกล้วยหอมทองผง และ สารยึดเกาะ ได้แก่ แป้งมันสำปะลัง หรือ แป้งข้าวโพด ในอัตราส่วน 100:0, 98:2 และ 96:4

3) คุณภาพประสาทสัมผัส

คุณภาพประสาทสัมผัสของกล้วยหอมทองอัดเม็ดที่ผสมกล้วยหอมทองผงต่อแป้งมันสำปะหลัง หรือ แป้งข้าวโพด ในอัตราส่วน 100:0, 98:2 และ 96:4 แสดงในตารางที่ 4.9 พบว่า คะแนนของลักษณะที่ปรากฏ และ สี ของกล้วยหอมทองอัดเม็ด อยู่ระหว่าง 8.64-8.89 และ 9.02-9.58 ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) การไม่ใช่แป้ง (สูตรควบคุม) การใช้แป้งข้าวโพด หรือ แป้งมันสำปะหลัง 2% ไม่มีผลต่อคะแนนกลิ่นรสของกล้วยหอมทองอัดเม็ด ($p>0.05$) และการเพิ่มปริมาณแป้งข้าวโพด หรือ แป้งมันสำปะหลัง 4% จะมีผลให้คะแนนกลิ่นรสสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม ($p\leq0.05$) เนื่องจาก กล้วยหอมทองผงที่นำมาผลิตกล้วยหอมทองอัดเม็ดมีกลิ่นไหม้ ดังนั้นการผสมแป้งข้าวโพดหรือ แป้งมันสำปะหลังเข้าไปมีผลทำให้ไปเจือจางกลิ่นไหม้ให้ลดลงซึ่งมีผลให้ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบ การผสมแป้งข้าวโพด หรือ แป้งมันสำปะหลัง 2% และ 4% พบว่า สูตรที่ผสมแป้งข้าวโพด หรือ แป้งมันสำปะหลัง

4% มีผลทำให้คะแนนเนื้อสัมผัสของกล้วยหอมทองอัดเม็ด สูงกว่า สูตรที่ผสมแป้งข้าวโพด หรือ แป้งมันสำปะหลัง 2% และ เมื่อเปรียบเทียบการผสมแป้งข้าวโพด หรือ แป้งมันสำปะหลัง 4% พบว่า คะแนนของกล้วยหอมทองอัดเม็ดในสูตรที่ผสมแป้งข้าวโพด มีคะแนนเนื้อสัมผัสสูงกว่าสูตรที่ผสมแป้งมันสำปะหลัง เนื่องจาก กล้วยหอมทองอัดเม็ดในสูตรที่ผสมแป้งข้าวโพดมีค่าความแข็งที่สูงกว่าในสูตรที่ผสมแป้งมันสำปะหลัง (ตารางที่ 4.8) จึงมีผลให้ผู้ทดสอบชิมชอบมากกว่า เมื่อเปรียบเทียบคะแนนความชอบโดยรวม สูตรที่ผสมแป้งข้าวโพดที่ 4% มีคะแนนความชอบโดยรวมสูงกว่าทุกสูตร ($p \leq 0.05$)

สูตรที่เหมาะสมคือ กล้วยหอมทองผง และ แป้งข้าวโพด ในอัตราส่วน 96:4 สำหรับการผลิตกล้วยหอมทองอัดเม็ด เนื่องจากมีคะแนนกลิ่นรส เนื้อสัมผัส ความชอบโดยรวม และ ความแข็ง (Hardness) มากกว่าสูตรอื่น ๆ ในขณะที่ คะแนนลักษณะที่ปรากฏและสี ไม่แตกต่างจากสูตรอื่น ๆ อีกทั้งความชื้น และ ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ต่ำกว่าสูตรควบคุมอีกด้วย

4.2.2.3 ปริมาณที่เหมาะสมของแป้งกล้วยหอมทองต่อปริมาณของแป้งทนย่อยของกล้วยหอมทองอัดเม็ด

นำส่วนผสมดังต่อไปนี้ ได้แก่ กล้วยหอมทองผง และสารยึดเกาะ ในอัตราส่วน 96:4 และส่วนผสมอื่น ๆ มาผสมกับแป้งกล้วยหอมทอง 5, 10 และ 15 % แล้วนำไปเข้าเครื่องตอกเม็ดยาแบบสากเดี่ยว กล้วยหอมทองอัดเม็ดที่ผลิตออกมาได้นำไปเก็บใส่ภาชนะบรรจุปิด PET/Al/LLDPE ขนาด 10x15 เซนติเมตร และนำเข้าโถดูดความชื้น เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณภาพของกล้วยหอมทองอัดเม็ด

1) น้ำหนัก เส้นผ่านศูนย์กลาง และ ความหนา

น้ำหนัก เส้นผ่านศูนย์กลาง และ ความหนาของกล้วยหอมทองอัดเม็ดที่ผสมแป้งกล้วยหอมทอง 5-15 % แสดงในตารางที่ 4.10 พบว่า น้ำหนัก เส้นผ่านศูนย์กลาง และความหนาของกล้วยหอมทองอัดเม็ดในทุกสูตร มีค่าอยู่ระหว่าง 5.19-5.93 กรัม, 4.47-4.79 มิลลิเมตร และ 0.61-0.69 มิลลิเมตร ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าใกล้เคียงกับการตอกในครั้งแรก (ตารางที่ 4.8) แสดงให้เห็นว่าการใช้เครื่องตอกเม็ดแบบสากเดี่ยว สามารถตอกให้แต่ละเม็ดมีน้ำหนัก เส้นผ่านศูนย์กลาง และความหนาไม่แตกต่างกันในครั้งแรกและครั้งที่ 2 ซึ่งสภาวะการตอกเม็ดดังกล่าวมีผลเกิดความสม่ำเสมอในขบวนการการตอกเม็ด อีกทั้งผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าการผสมแป้งกล้วยหอมทองไม่มีผลต่อ น้ำหนัก เส้นผ่านศูนย์กลาง และความหนาของกล้วยหอมทองอัดเม็ด

ตารางที่ 4.8 ค่าสี (L*, a* และ b*) ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ความแข็ง (Hardness) ของกล้วยหอมทองอัดเม็ดที่ผลิตจากกล้วยหอมทองผง และสารยึดเกาะ ได้แก่ แป้งมันสำปะลัง หรือ แป้งข้าวโพด ในอัตราส่วน 100:0, 98:2 และ 96:4

สูตร	L*^{ns}	a*^{ns}	b*^{ns}	ความชื้น (%)	ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)^{ns}	ความแข็ง (Kp)
กล้วยหอมทองผง: สารยึดเกาะ 100:0 (ควบคุม)	89.25±0.25	5.25±0.14	6.79±1.24	5.98±0.29^{b}	0.56±0.01	3.25±0.14^{a}
กล้วยหอมทองผง:แป้งมันสำปะหลัง (98:2)	91.25±0.58	5.32±0.32	6.45±0.52	5.12±0.58^{a}	0.52±0.02	4.56±0.29^{b}
กล้วยหอมทองผง:แป้งมันสำปะหลัง (98:4)	90.12±0.35	5.47±0.25	6.25±0.74	4.75±0.25^{a}	0.48±0.03	5.29±0.47^{c}
กล้วยหอมทองผง:แป้งข้าวโพด (98:2)	91.22±0.26	4.98±0.22	6.89±0.88	5.28±0.55^{a}	0.53±0.01	4.47±0.85^{b}
กล้วยหอมทองผง:แป้งข้าวโพด (98:4)	90.55±0.35	5.14±0.38	6.44±0.51	4.85±0.17^{a}	0.57±0.02	6.59±0.44^{d}

^{ns}ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตารางที่ 4.9 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของกล้วยหอมทองอัดเม็ดที่ผลิตจากกล้วยหอมทองผง และ สารยึดเกาะ ได้แก่ แป้งมันสำปะลัง หรือ แป้งข้าวโพด ในอัตราส่วน 100:0, 98:2 และ 96:4

สูตร	ลักษณะปรากฏ^{ns}	สี^{ns}	กลิ่นรส	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
กล้วยหอมทองผง: สารยึดเกาะ 100:0 (ควบคุม)	8.85±1.33	9.29±1.11	7.17±0.55^{a}	6.28±0.41^{a}	7.56±1.23^{a}
กล้วยหอมทองผง:แป้งมันสำปะหลัง (98:2)	8.89±1.11	9.02±0.74	7.65±1.58^{a}	7.23±0.52^{b}	8.44±0.14^{b}
กล้วยหอมทองผง:แป้งมันสำปะหลัง (98:4)	8.64±0.52	9.22±0.88	8.95±0.47^{b}	8.67±0.14^{c}	8.79±0.55^{b}
กล้วยหอมทองผง:แป้งข้าวโพด (98:2)	8.74±1.05	9.58±1.22	7.88±1.41^{a}	7.52±0.44^{b}	8.57±0.41^{b}
กล้วยหอมทองผง:แป้งข้าวโพด (98:4)	8.78±1.22	9.34±1.07	9.85±0.12^{c}	9.45±1.75^{d}	9.74±0.29^{c}

^{ns}ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตารางที่ 4.10 น้ำหนัก เส้นผ่านศูนย์กลาง และ ความหนาของกล้วยหอมทองอัดเม็ดที่ผสมแป้งกล้วยหอมทอง 5-15%

สูตร	น้ำหนัก (กรัม)^{ns}	เส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)^{ns}	ความหนา (มิลลิเมตร)^{ns}
ควบคุม (ไม่ใส่แป้งกล้วยหอมทอง)	5.77±0.22	4.47±1.43	0.68±0.11
แป้งกล้วยหอมทอง 5%	5.93±0.74	4.50±0.54	0.69±0.18
แป้งกล้วยหอมทอง 10%	5.48±0.40	4.58±0.44	0.68±0.47
แป้งกล้วยหอมทอง 15%	5.19±0.64	4.79±0.28	0.61±0.32

^{ns}ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

2) ค่าสี (L*, a* และ b*) ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ความแข็ง (Hardness)

ค่าสี (L*,a* และ b*) ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ความแข็ง (Hardness) ของกล้วยหอมทองอัดเม็ดที่ผสมแป้งกล้วยหอมทอง 5-15% แสดงในตารางที่ 4.6 ค่าสี (L*,a* และ b*) ลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งกล้วยหอมทอง สอดคล้องกับ ภาพที่ 4.14 จะเห็นได้ว่าการผสมแป้งกล้วยหอมทองในปริมาณสูงขึ้นจะมีผลให้สีของกล้วยหอมอัดเม็ดมีสีที่คล้ำมากขึ้น เนื่องจาก แป้งกล้วยหอมทอง มีสีที่คล้ำมากกว่ากล้วยหอมทองผง (ตารางที่ 4.11) ดังนั้นการผสมแป้งกล้วยหอมทองในปริมาณมากขึ้นจะไปทำให้ความสว่าง หรือ L* ลดลง อีกทั้งยังมีผลให้ a* และ b* ลดลงด้วยเช่นกัน อย่างไรก็ตาม การเพิ่มปริมาณแป้งกล้วยหอมทองในปริมาณ 0-10% มีผลทำให้กล้วยหอมทองอัดเม็ดมีความปริมาณความชื้น ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) และเมื่อเพิ่มแป้งกล้วยหอมทองที่ 15% จะทำให้ กล้วยหอมทองอัดเม็ดมีความชื้น เท่ากับ 4.29% ซึ่งมีค่าต่ำกว่าสูตรอื่น ($p\leq$0.05) ในขณะที่การเพิ่มปริมาณแป้งกล้วยหอมทองไม่มีผลต่อปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของกล้วยหอมทองอัดเม็ด

ความแข็ง (Hardness) ของกล้วยหอมทองอัดเม็ดมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งกล้วยหอมทอง และการเพิ่มปริมาณแป้งกล้วยหอมทอง ที่ 15% จะมีผลให้กล้วยหอมทองอัดเม็ดมีค่าความแข็งสูงกว่าสูตรอื่น ซึ่งเท่ากับ 7.89Kp ($p \leq 0.05$) แป้งกล้วยหอมทองมีคุณสมบัติเป็นสารยึดเกาะ (Binder) อีกทั้งในส่วนผสมของการอัดเม็ดของกล้วยหอมทองผงมีการผสมสารช่วยอื่นๆ เช่น มอลโตเดกซ์ตริน และน้ำตาลเพื่อช่วยในการยึดเกาะของวัตถุดิบ ดังนั้นจึงการเพิ่มปริมาณสารยึดเกาะที่สูงขึ้นซึ่งมีผลทำให้อนุภาคของกล้วยหอมทองผลชิดกันแน่นมากขึ้นเมื่อนำไปเข้าสู่ขั้นตอนการอัดเม็ด (ชมภูนุช, 2552)

ควบคุม ทอง **แป้งกล้วยหอมทอง** **แป้งกล้วยหอมทอง** **แป้งกล้วยหอม**

(ไม่ใส่แป้งกล้วย **5%** **10%**

15%

ภาพที่ 4.14 กล้วยหอมทองอัดเม็ดที่ผสมแป้งกล้วยหอมทอง 5-15%

ตารางที่ 4.11 ค่าสี (L*, a* และ b*) ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ความแข็ง (Hardness) ของกล้วยหอมทองอัดเม็ดที่ผสมแป้งกล้วยหอมทอง 5-15%

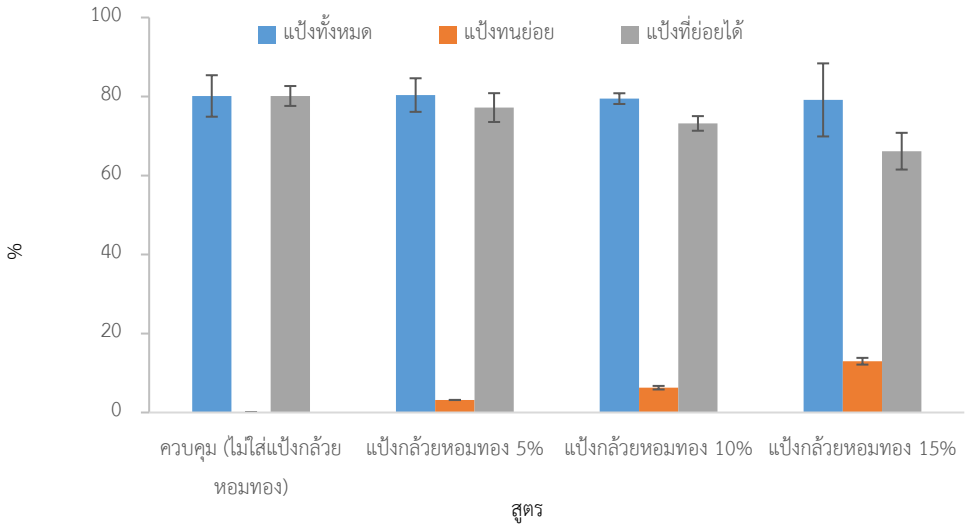
สูตร	L*	a*	b*	ความชื้น (%)	ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)^{ns}	ความแข็ง (Kp)
ควบคุม (ไม่ใส่แป้งกล้วยหอมทอง)	90.75±1.74^{d}	5.49±0.05^{d}	6.50±1.11^{d}	5.54±0.07^{b}	0.54±0.05	5.54±0.09^{a}
แป้งกล้วยหอมทอง 5%	85.37±1.47^{c}	3.85±0.02^{c}	5.29±1.29^{c}	5.47±0.05^{b}	0.52±0.06	5.47±0.02^{a}
แป้งกล้วยหอมทอง 10%	75.14±2.75^{b}	2.97±0.01^{b}	4.62±0.08^{b}	5.58±0.14^{b}	0.47±0.01	6.56±0.04^{b}
แป้งกล้วยหอมทอง 15%	70.19±3.45^{a}	1.25±0.20^{a}	2.89±0.06^{a}	4.29±0.17^{a}	0.55±0.03	7.89±0.02^{c}

^{ns}ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

3) ปริมาณแป้งทั้งหมด แป้งทนย่อย และ แป้งที่ย่อยได้

ปริมาณแป้งทั้งหมด แป้งทนย่อย และ แป้งที่ย่อยได้ของกล้วยหอมทองอัดเม็ดที่ผสมแป้งกล้วยหอมทอง 5-15% แสดงในภาพที่ 4.15 พบว่า การใช้ปริมาณแป้งกล้วยหอมทองมากขึ้นมีผลให้มีปริมาณแป้งทนย่อยมากขึ้น โดยการเติมแป้งกล้วยหอมทอง 5, 10 และ 15% มีผลให้กล้วยหอมทองอัดเม็ดมีแป้งทนย่อยดังนี้ 3.17, 6.28 และ 12.98% ตามลำดับ ในขณะที่ กล้วยหอมทองอัดเม็ดที่ไม่ผสมแป้งกล้วยหอมทอง จะไม่ปรากฏแป้งทนย่อยเลย โดยแป้งทั้งหมด และ แป้งที่ย่อยได้ในกล้วยหอมทองอัดเม็ดในทุกสูตรอยู่ระหว่าง 79.14-80.37% และ 66.16-80.14% โดยปกติแล้วแป้งทนย่อยชนิดที่ 2 มีอยู่ในอาหารดังนี้ มันฝรั่งดิบ กล้วยดิบ และ แป้งที่มีปริมาณอะไมโลสสูง โดยแป้งทนย่อยไม่สามารถถูกย่อยโดยเอนไซม์ได้ (Englyst และคณะ, 1992) สอดคล้องกับ Bhatawale และคณะ (2012) รายงานว่า การเพิ่มปริมาณแป้งกล้วยจะสัมพันธ์กับปริมาณแป้งทนย่อย ในขณะที่ Barine และ Yorte (2016) รายงานว่า การใช้แป้งกล้วย Plantain (*Musa paradisaca*) ปริมาณ 20-85% ในผลิตภัณฑ์ขนมอบ จะมีผลให้มีแป้งทนย่อยในผลิตภัณฑ์ขนมอบอยู่ระหว่าง 0.94-5.22% เท่านั้น ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้านี้พบว่า กล้วหอมทองอัดเม็ดที่ผสมแป้งกล้วยหอมทองมีปริมาณแป้งทนย่อยที่สูงกว่าซึ่งจะสัมพันธ์กับค่าดัชนีน้ำตาลหรือดัชนีไกลซิมิก (Glycaemic Index ;GI) ที่ต่ำกว่า กุหลาบ (2553) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ resistant starch กับ Glycaemic Index พบว่า มีความ ผกผันกัน หมายความว่า resistant starch สามารถช่วยลดการตอบสนองต่อระดับน้ำตาลและระดับฮอร์โมน อินซูลิน ใน กระแสเลือดได้ ดังนั้น อาหารที่มีค่า Glycaemic Index ต่ำจะมีปริมาณ resistant starch สูง นั่นเอง โดยค่าดัชนีน้ำตาลหรือดัชนีไกลซิมิก (Glycaemic Index ;GI) คือ ดัชนีที่ใช้ตรวจวัดคุณภาพของอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต ซึ่งหลังจากการรับประทานและ เข้าสู่ระบบการย่อยและดูดซึมของร่างกายสามารถเพิ่มระดับน้ำตาลในเลือดได้มากหรือน้อยโดยเปรียบเทียบ กับสารมาตรฐาน คือ น้ำตาลกลูโคส ซึ่งการรับประทาน อาหารที่มีค่า Glycaemic Index สูงจะมีผลต่อการ เปลี่ยนแปลงของน้ำตาลกลูโคสในกระแสเลือดอย่างรวดเร็วและสูงมาก ในขณะที่การรับประทานอาหารที่มี ค่า Glycaemic Index ต่ำจะมีน้ำตาลเข้าสู่กระแสเลือด อย่างช้าๆ และสม่ำเสมอ ทำให้ร่างกายสามารถควบคุม ปริมาณน้ำตาลในเลือดให้อยู่ในระดับปกติได้ง่าย ประเภทของอาหารที่มีค่า Glycaemic Index สูง ได้แก่ ขนมปังขาว ข้าวเมล็ดสั้น มันฝรั่ง ลูกเกด ผลไม้ อบแห้ง กล้วยสุก แครอท ผลไม้ที่มีรสหวาน ส่วนอาหาร ที่มีค่า Glycaemic Index ปาน กลางได้แก่ อาหาร ประเภทเส้น ถั่วคั่ว ถั่วฝักเขียว ไอศกรีม มันเทศ น้ำส้มคั้น บลูเบอรี่ ข้าวโพดหวาน ข้าวโพดคั่ว ซุปถั่ว และข้าวกล้อง และอาหารที่มีค่า Glycaemic Index ต่ำ ได้แก่ ถั่ว ชนิดต่างๆ ผักและอาหารที่มีเส้นใยสูง กล้วยดิบ มะเขือเทศ แอปเปิ้ล ธัญพืชที่มีน้ำตาลต่ำ และโยเกิร์ตไขมันต่ำ (กุลยา และคณะ, 2560)



ภาพที่ 4.15 ปริมาณแป้งทั้งหมด แป้งทนย่อย และ แป้งที่ย่อยได้ของกล้วยหอมทองอัดเม็ดที่ผสมแป้งกล้วยหอมทอง 5-15%

4) คุณภาพทางประสาทสัมผัส

คุณภาพประสาทสัมผัสของกล้วยหอมทองอัดเม็ดที่ผสมแป้งมันสำปะหลังหรือ แป้งข้าวโพดเป็นสารยึดเกาะ 2-4% แสดงในตารางที่ 4.12 พบว่า การเพิ่มปริมาณแป้งกล้วยหอมมีผลให้ คะแนนของลักษณะที่ปรากฏ สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และ ความชอบโดยรวม ของกล้วยหอมทองอัดเม็ด ลดลง โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 4.49-9.02, 4.28-9.37, 3.24-9.07, 4.24-9.34 และ 4.52-9.16 ตามลำดับ โดยการเพิ่มปริมาณแป้งกล้วยหอมทองที่มากขึ้นจะมีผลให้กล้วยหอมทองอัดเม็ดมีสีคล้ำมากขึ้นเนื่องจากแป้งกล้วยมีสีที่คล้ำมากกว่ากล้วยหอมทองผง (ตารางที่ 4.6 และ ภาพที่ 4.7) ซึ่งจะส่งผลให้คะแนนลักษณะปรากฏ และ สี มีค่าน้อยลงเมื่อมีการเพิ่มปริมาณแป้งกล้วยหอมทอง และในขณะเดียวกัน การเพิ่มปริมาณแป้งกล้วยหอมทองมากขึ้นจะมีผลให้มีความแข็งมากขึ้นเช่นเดียวกัน (ตารางที่ 4.11) จึงมีผลให้คะแนนเนื้อสัมผัสของกล้วยหอมทองอัดเม็ดที่เพิ่มปริมาณแป้งกล้วยหอมทองน้อยลง อย่างไรก็ตาม สูตรที่ผสมแป้งกล้วยหอมทองที่ปริมาณ 15% มีผลให้คะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัสทุกคุณลักษณะ มีคะแนนน้อยกว่า 5 ดังนั้นสูตรที่ผสมแป้งกล้วยหอมทอง 15% จะไม่นำมาพิจารณาในการคัดเลือกนำไปศึกษาต่อ

ตารางที่ 4.12 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของกล้วยหอมทองอัดเม็ดที่ผสมแป้งกล้วยหอมทอง 5-15%

สูตร	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่นรส	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
ควบคุม(ไม่ใส่แป้งกล้วยหอมทอง)แป้งกล้วย	9.02±0.58^{d}	9.37±0.91^{d}	9.07±0.44^{d}	9.34±0.57^{d}	9.16±0.83^{c}
หอมทอง 5%	8.21±0.65^{c}	8.11±0.54^{c}	7.55±0.98^{c}	7.98±0.39^{c}	7.56±0.69^{b}
แป้งกล้วยหอมทอง 10%	6.21±0.41^{b}	7.71±0.11^{b}	6.34±0.29^{b}	6.28±0.27^{b}	7.09±0.14^{b}
แป้งกล้วยหอมทอง 15%	4.49±0.14^{a}	4.28±0.70^{a}	3.24±0.52^{a}	4.24±0.63^{a}	4.52±0.29^{a}

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

สูตรที่เหมาะสมคือ การใช้แป้งกล้วยหอมทอง 10% สำหรับการผลิตกล้วยหอมทองอัดเม็ด เนื่องจากมีคะแนนลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และ ความชอบโดยรวม มากกว่า 5 ได้แก่ 6.21, 7.71, 6.34, 6.28 และ 7.09 ตามลำดับ และ มีปริมาณแป้งทนย่อย เท่ากับ 6.28% ในขณะที่ กล้วยหอมทองอัดเม็ดสูตรที่ผสมแป้งกล้วยหอมทอง 15% มีปริมาณแป้งทนย่อยมากกว่า แต่มีคะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัสทุกคุณลักษณะน้อยกว่า 5 จึงไม่นำมาพิจารณา

4.2.2.4 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของกล้วยหอมทองอัดเม็ด เป็นเวลา 3 เดือน ที่อุณหภูมิห้อง

นำกล้วยหอมทองอัดเม็ดที่ผสมแป้งกล้วยหอมทอง 10% มาศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของกล้วยหอมทองอัดเม็ดบรรจุใน PET/Al/LLDPE ขนาด 10x15 เซนติเมตร เป็นเวลา 3 เดือน ที่อุณหภูมิห้องและนำมาวัดคุณภาพของกล้วยหอมทองอัดเม็ด ทุกเดือน

1) ค่าสี (L*, a* และ b*) ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ความแข็ง (Hardness)

ค่าสี (L*,a* และ b*) ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ความแข็ง (Hardness) ของกล้วยหอมทองอัดเม็ดที่บรรจุใน PET/Al/LLDPE เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 3 เดือน ที่อุณหภูมิห้อง แสดงในตารางที่ 4.13 พบว่า ค่าสี (L*,a* และ b*) และ ปริมาณน้ำอิสระ ของกล้วยหอมทอดอัดเม็ดไม่แตกต่างกันตลอดระยะเวลาที่เก็บเป็นเวลา 3 เดือน ที่อุณหภูมิห้อง (p>0.05) ในขณะที่ ปริมาณความชื้นของกล้วยหอมทองอัดเม็ด เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา ส่งผลให้ความแข็งของกล้วยหอมทองอัดเม็ดลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาเช่นเดียวกัน เนื่องจากสภาวะการเก็บรักษาดังกล่าวยังมีอากาศอยู่ภายในบรรจุภัณฑ์จึงทำให้กล้วยหอมทองอัดเม็ดที่มีปริมาณความชื้นต่ำจึงดูดความชื้นจากอากาศที่มีในบรรจุภัณฑ์ทำให้ความชื้นของกล้วยหอมทอดอัดเม็ดสูงขึ้น ส่งผลให้กล้วยหอมทอดอัดเม็ดมีความแข็งลดลงเนื่องจากปริมาณความชื้นที่สูงขึ้นในตัวผลิตภัณฑ์ (ชมภูนุช, 2552) สอดคล้องกับ ทิพากร และ ธีรพร (2550) ได้ศึกษาอายุการเก็บรักษาฟักทองอัดเม็ดที่บรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ ที่อุณหภูมิห้อง พบว่า ความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ และความแข็ง สูงขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา เนื่องจากบรรจุภัณฑ์ประเภทอลูมิเนียมฟอยล์มีการซึมผ่านของความชื้นและอากาศอยู่ประมาณ น้อยกว่า 0.01 กรัมน้ำ/ตารางเมตร/วัน และ น้อยกว่า 0.05 มิลลิลิตร/ตารางเมตร/วัน และอากาศและความชื้นอาจจะซึมผ่านบริเวณซิปล็อคได้ จึงทำให้น้ำตาลที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์เหนียวส่งผลให้อนุภาคของน้ำตาลเกาะติดกันแน่นมากขึ้น จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งมากขึ้น

2) ปริมาณยีสต์และรา และ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด

ปริมาณยีสต์และรา และ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของกล้วยหอมทองอัดเม็ดที่บรรจุใน PET/Al/LLDPE เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 3 เดือน ที่อุณหภูมิห้อง แสดงในตารางที่ 4.14 พบว่า จำนวนยีสต์และราของกล้วยหอมทองอัดเม็ด น้อยกว่า 10 โคโลนีต่อกรัม ตลอดอายุการเก็บรักษา ในขณะที่ จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของกล้วยหอมทองอัดเม็ดเดือนที่ 0-3 อยู่ระหว่าง $3.64x10^2$ - $5.32x10^2$ โคโลนีต่อกรัม เพิ่มขึ้นในเดือนที่ 3 เป็น $4.4x10^3$ โคโลนีต่อกรัม ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณความชื้น และ ปริมาณน้ำอิสระ (ตารางที่ 4) ที่มีปริมาณน้อยกว่าที่จะมีผลให้จุลินทรีย์เจริญได้ โดยจำนวนยีสต์และรา และ จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของกล้วยหอมทองอัดเม็ดอยู่ในมาตรฐานกล้วยผงชงดื่ม ซึ่งกำหนดจำนวนยีสต์และราน้อยกว่า 100 โคโลนีต่อกรัม และ จำนวน

จุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า $1x10^4$ โคโลนีต่อกรัม และปริมาณน้ำอิสระ น้อยกว่า 0.6 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2562) ทั้งนี้เป็นเพราะเชื้อจุลินทรีย์จะเจริญได้ภายใต้ค่าปริมาณน้ำอิสระที่จำกัด โดยจะทำให้อาหารที่มีค่าปริมาณน้ำอิสระต่ำกว่าที่เชื้อจุลินทรีย์จะเจริญได้ ตัวอย่างเช่น แบคทีเรียเกือบทุกชนิดไม่สามารถเจริญเติบโตได้ที่ค่าปริมาณน้ำอิสระต่ำกว่า 0.9 และราส่วนใหญ่จะไม่เจริญที่ค่าปริมาณน้ำอิสระต่ำกว่า 0.6 ซึ่งเป็นค่าที่ไม่เหมาะสม ต่อการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ (นรินทร์, 2563)

ตารางที่ 4.13 ค่าสี (L*, a* และ b*) ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ความแข็ง (Hardness) ของกล้วยหอมทองอัดเม็ดที่บรรจุใน PET/Al/LLDPE นำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3 เดือน

	อายุการเก็บรักษา (เดือน)			
	0	1	2	3
L^{*ns}	75.25±0.35	76.95±1.01	75.44±2.95	77.10±2.55
a^{*ns}	3.64±0.11	3.82±0.29	3.14±0.68	3.54±0.19
b^{*ns}	4.69±0.22	4.31±0.17	4.11±0.02	4.44±0.09
ความชื้น (%)	$5.11±0.29^a$	$5.19±0.55^a$	$6.27±0.38^b$	$7.49±0.17^c$
ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)^{ns}	0.54±0.08	0.55±0.49	0.53±0.08	0.56±0.27
ความแข็ง (Kp)	$6.51±0.39^a$	$6.49±0.45^a$	$7.18±0.03^b$	$8.56±0.04^c$

^{ns}ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$

ตารางที่ 4.14 ปริมาณยีสต์และรา และ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของกล้วยหอมทองอัดเม็ดที่บรรจุใน PET/Al/LLDPE นำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3 เดือน

	อายุการเก็บรักษา (เดือน)			
	0	1	2	3
ยีสต์และรา (โคโลนีต่อกรัม)	<10	<10	<10	<10
จุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนีต่อกรัม)	$5.32 x10^2$	$4.66x10^2$	$3.64x10^2$	$4.47x10^3$

3) คุณภาพทางประสาทสัมผัส

คุณภาพทางประสาทสัมผัสทองอัดเม็ดที่บรรจุใน PET/Al/LLDPE เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 3 เดือน ที่อุณหภูมิห้อง แสดงในตารางที่ 4.15 พบว่า คะแนนของลักษณะปรากฏและสีของกล้วยหอมทองอัดเม็ดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) ในขณะที่ คะแนนของกลิ่นรส เนื้อสัมผัส และ ความชอบโดยรวม ของกล้วยหอมทองอัดเม็ดในเดือนที่ 0-1 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) และตั้งแต่เดือนที่ 2 เป็นต้นไป คะแนนของกลิ่นรส เนื้อสัมผัส และ ความชอบโดยรวมของกล้วยหอมทองอัดเม็ดลดลงอย่างมีสัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq$0.05) ซึ่งในเดือนที่ 3 คะแนนของกลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมดังนี้ 3.14, 3.58 และ 4.52 ตามลำดับ เนื่องจากปริมาณความชื้นที่สูงขึ้นในผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่เดือนที่ 2 จะส่งผลให้มีความแข็งของผลิตภัณฑ์ที่สูงขึ้น(ตารางที่ 4.8) จึงมีผลให้คะแนนของกลิ่นรส เนื้อสัมผัส และ ความชอบโดยรวมของกล้วยหอมทองอัดเม็ดลดลง

ตารางที่ 4.15 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของกล้วยหอมทองอัดเม็ดที่ผสมแป้งกล้วยหอมทอง 5-15%

	อายุการเก็บรักษา (เดือน)			
	0	**1**	**2**	**3**
ลักษณะปรากฏ^{ns}	7.31±0.14	7.52±0.17	7.65±0.23	7.34±0.08
สี^{ns}	7.51±0.39	6.89±0.55	7.42±0.13	7.56±0.08
กลิ่นรส	7.99±0.65^{a}	7.29±0.65^{a}	6.54±0.19^{b}	3.14±0.59^{c}
เนื้อสัมผัส	6.89±0.59^{a}	7.55±0.24^{a}	5.28±0.14^{b}	3.58±0.17^{c}
ความชอบโดยรวม	7.48±0.85^{a}	7.41±0.21^{a}	6.09±0.27^{b}	4.52±0.11^{c}

^{ns}ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq$0.05)

จะเห็นได้ว่าอายุการเก็บรักษาของกล้วยหอมทองอัดเม็ดมากกว่า 3 เดือน เนื่องจากจำนวนยีสต์และรา และ จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ดังนี้ <10 โคโลนีต่อกรัม และ 3.64×10^{2} - 5.32×10^{2} โคโลนีต่อกรัม ตามลำดับ และปริมาณน้ำอิสระ 0.53-0.56 ตลอดอายุการรักษา ซึ่งอยู่ในมาตรฐานกล้วยผงชงดื่ม ซึ่งกำหนดจำนวนยีสต์และราน้อยกว่า 100 โคโลนีต่อกรัม และ จำนวน

จุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า $1x10^4$ โคโลนีต่อกรัม และปริมาณน้ำอิสระ น้อยกว่า 0.6 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2562)

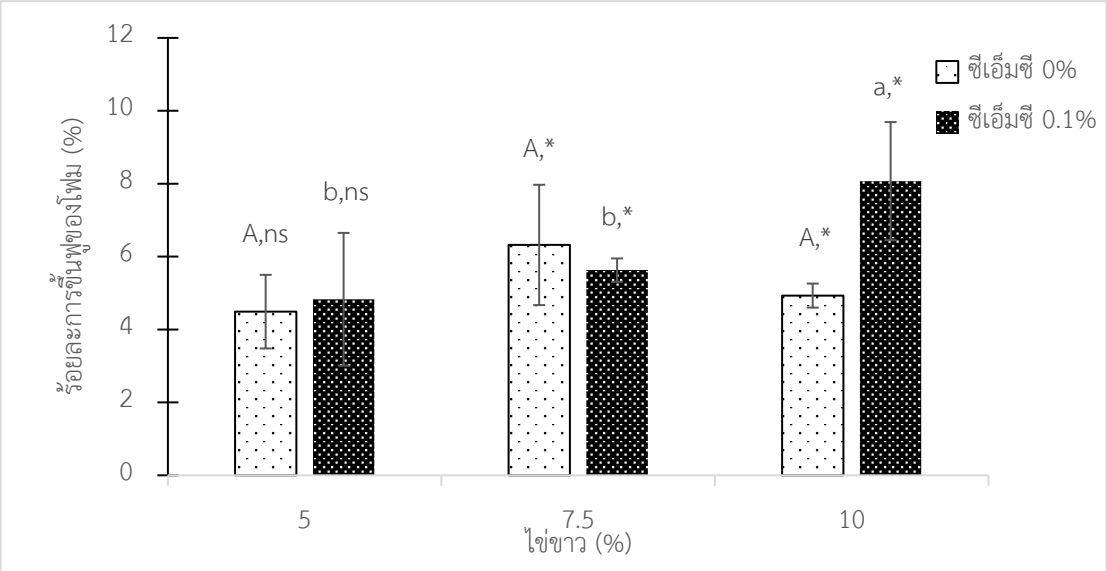
4.2.3 ผลิตภัณฑ์ขนมกล้วยหอมทองอบกรอบ

4.2.3.1 ผลของสารให้ความคงตัวต่อคุณภาพด้านกายภาพของโฟมกล้วยหอมทอง

ในการศึกษาผลของการใช้สารให้ความคงตัวในการผลิตขนมกล้วยหอมทองอบกรอบ โดยการใช้สารให้ความคงตัว 2 ชนิด ได้แก่ ไข่ขาวผง ปริมาณ 5, 7.5 และ 10% ร่วมกับซีเอ็มซีระดับ 0 และ 0.1% ในส่วนผสมทั้งหมดของโฟมกล้วยหอมทอง (โดยน้ำหนัก) เบื้องต้นผู้วิจัยได้ทำการตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของโฟมที่ได้ก่อนนำไปอบด้วยลมร้อนโดยใช้เทคนิคการทำแห้งแบบโฟมแมทและผลการศึกษามีดังนี้

1) ผลวิเคราะห์ร้อยละการขึ้นฟูและความคงตัวของโฟมกล้วยหอมทอง

จากการวิเคราะห์ร้อยละการขึ้นฟูของโฟมกล้วยหอมทอง พบว่าการใช้ไข่ขาวเป็นสารให้ความคงตัวที่ระดับต่างๆ ได้แก่ 5%, 7.5% และ 10% เพียงอย่างเดียว (ซีเอ็มซี 0%) มีผลทำให้ทั้งสามตัวอย่างมีค่าร้อยละการขึ้นฟูของโฟมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) แต่ในชุดการทดลองที่มีการเติมซีเอ็มซี 0.1% ร่วมด้วยพบว่าร้อยละการขึ้นฟูของโฟมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยตัวอย่างที่มีการเติมไข่ขาว 10% ร่วมกับซีเอ็มซี 0.1% มีค่าร้อยละการขึ้นฟูของโฟมสูงที่สุดเท่ากับ 8.07% และเมื่อเปรียบเทียบการไม่เติมและเติมซีเอ็มซี พบว่า การเติมซีเอ็มซี 0.1% ขณะที่มีการใช้ไข่ขาว 10% มีผลทำให้ค่าร้อยละการขึ้นฟูของโฟมสูงกว่าตัวอย่างที่ใช้ไข่ขาวเพียงอย่างเดียว ($p<0.05$) แสดงให้เห็นว่าการเติมซีเอ็มซีส่งผลให้ร้อยละการขึ้นฟูของโฟมมีค่าที่สูงขึ้น เมื่อมีการใช้ไข่ขาวเพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 4.16 แต่เมื่อมีการใช้ไข่ขาวระดับต่ำลงมาคือ 5% และ 7.5% การเติมซีเอ็มซีจะไม่มีผลต่อค่าร้อยละการขึ้นฟูของตัวอย่าง ทั้งนี้เนื่องจากไข่ขาวมีสมบัติการเกิดโฟม โดยดรุณี (2550) กล่าวว่า ปริมาณสารก่อโฟมจะมีอิทธิพลต่อร้อยละการขึ้นฟูและความหนาแน่นของโฟม เมื่อใช้ในปริมาณที่มากจะมีค่าความหนาแน่นของโฟมต่ำ โดยโฟมที่มีความหนาแน่นต่ำจะมีฟิล์มที่มีความสามารถอุ้มอากาศไว้ได้มาก ทำให้ปริมาณการแยกตัวของของเหลวต่ำ โฟมจึงมีความคงตัวสูงและมีค่าร้อยละการขึ้นฟูสูง และจากการวิเคราะห์ความคงตัวของโฟมกล้วยหอมทอง โดยการหาปริมาตรน้ำที่แยกตัวออกมาจากโฟมเมื่อเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมง ผลปรากฏว่าไม่มีน้ำไหลแยกตัวออกมาจากโฟมในทุกชุดการทดลอง ทั้งนี้เนื่องจากฟิล์มของโฟมกล้วยหอมทองที่ใช้ไข่ขาวผง ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นทั้งสารให้ความคงตัวและสารก่อโฟมผสมผสานกับซีเอ็มซีจึงทำให้ฟิล์มที่ห่อหุ้มอากาศมีความแข็งแรง สามารถกักเก็บอากาศได้ดี มีฟองอากาศที่ละเอียดสม่ำเสมอ และช่วยพยุงโครงสร้างของโฟมไม่ให้เกิดการยุบตัว (Karim and Wai, 1999)



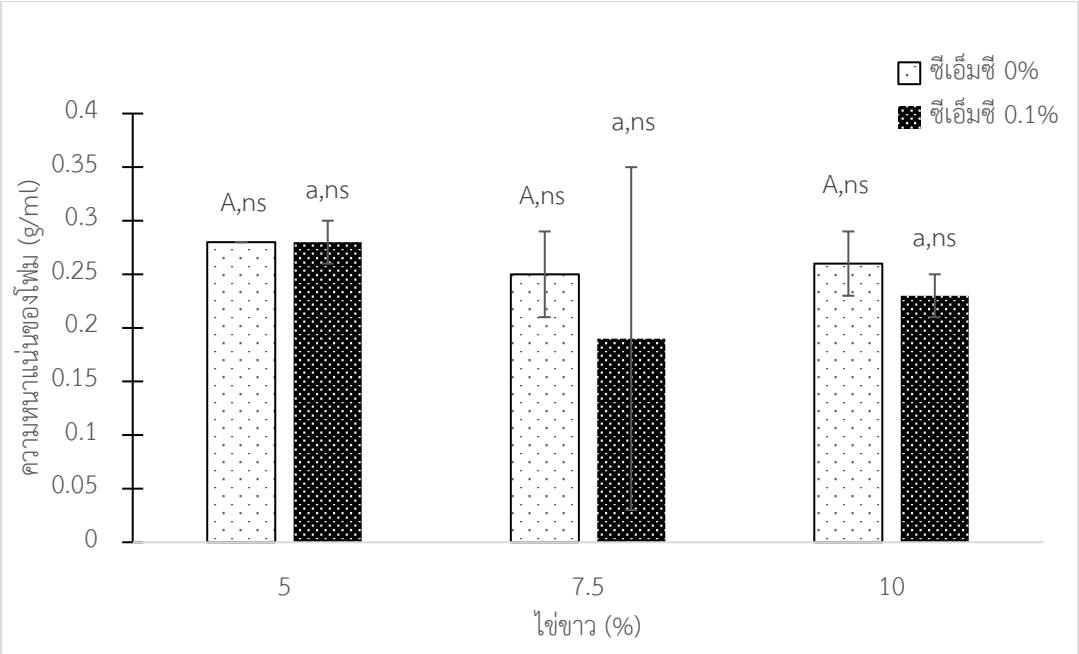
ภาพที่ 4.16 ค่าร้อยละการขึ้นฟูของโฟมกล้วยหอมทองที่ใช้ไข่ขาวและซีเอ็มซีเป็นสารให้ความคงตัว
หมายเหตุ : ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

: ค่าที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่หรือพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแต่ละระดับไข่ขาว หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

: ค่าที่กำกับด้วย ns และ * ระหว่างระดับซีเอ็มซี หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกัน (p≥0.05) และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) ตามลำดับ

2) ผลวิเคราะห์ความหนาแน่นของโฟมกล้วยหอมทอง

จากการวิเคราะห์ความหนาแน่นของโฟมกล้วยหอมทอง พบว่าการใช้สารให้ความคงตัวปริมาณ 5%, 7.5% และ 10% เพียงอย่างเดียว (ซีเอ็มซี 0%) ค่าความหนาแน่นไม่มีความแตกต่างกัน (p≥0.05) อย่างไรก็ตามการเพิ่มปริมาณไข่ขาว มีผลทำให้ความหนาแน่นของโฟมกล้วยหอมทองมีแนวโน้มลดลงแม้ว่าจะมีการใช้ร่วมกับซีเอ็มซีหรือไม่ก็ตาม อาจเนื่องจากมีการใช้ซีเอ็มซีระดับต่ำเพียง 0.1% (ภาพที่ 4.17) ซึ่งสอดคล้องกับ รติยา และคณะ (2551) ที่กล่าวว่าความเข้มข้นของสารก่อโฟมสูงเกินไปทำให้ความสามารถของโฟมในการดักจับอากาศลดลงค่าความหนาแน่นจึงต่ำ



ภาพที่ 4.17 ค่าความหนาแน่นของโฟมกล้วยหอมทองที่ใช้ไข่ขาวและซีเอ็มซีเป็นสารให้ความคงตัว
หมายเหตุ : ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

: ค่าที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่หรือพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแต่ละระดับไข่ขาว หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

: ค่าที่กำกับด้วย ns และ * ระหว่างระดับซีเอ็มซี หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกัน (p≥0.05) และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) ตามลำดับ

4.2.3.2 ผลของสารให้ความคงตัวต่อคุณภาพด้านกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสของกล้วยหอมทองอบกรอบ

หลังจากศึกษาผลของการใช้สารให้ความคงตัว ซึ่งได้แก่ ไข่ขาวผง ปริมาณ 5%, 7.5% และ 10% ร่วมกับซีเอ็มซี ที่ระดับ 0 และ 0.1% ต่อคุณภาพของโฟมกล้วยหอมทองแล้ว ผู้วิจัยจึงนำโฟมกล้วยหอมทองไปผลิตเป็นขนมกล้วยหอมทองอบกรอบและได้ทำการตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมกล้วยหอมทองอบกรอบหลังจากการอบด้วยลมร้อนโดยใช้เทคนิคการทำแห้งแบบโฟมแมท ซึ่งผลการวิเคราะห์มีดังนี้

1) ผลวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ขนมกล้วยหอมทองอบกรอบ

1.1) ผลวิเคราะห์ค่าสี (L*, a* และ b*) ของขนมกล้วยหอมทองอบกรอบ

จากการวิเคราะห์ค่าสี ได้แก่ ค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) ของผลิตภัณฑ์ขนมกล้วยหอมทองอบกรอบ แสดงดังตารางที่ 4.16 พบว่าการเพิ่มปริมาณไข่ขาวทั้งในขณะที่ใช้สารให้ความคงตัวเพียงอย่างเดียว (ซีเอ็มซี 0%) และใช้ร่วมกับซีเอ็มซี 0.1% ทำให้ตัวอย่างทดลองมีค่าความสว่าง (L*) ลดลง (p<0.05) แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการไม่ใช้และใช้ซีเอ็มซีร่วมด้วย พบว่าซีเอ็มซีมีผลต่อการเพิ่มค่าความสว่างของตัวอย่าง ซึ่งเห็นได้จากค่า L* ของตัวอย่างขณะที่ใช้ไข่ขาวเพียงอย่างเดียว มีค่าอยู่ในช่วง 65.11-69.39 ส่วนการใช้ซีเอ็มซีร่วมด้วยค่า L* จะอยู่ในช่วง 66.40-71.02 โดยที่ระดับไข่ขาว 10% มีค่าความสว่างต่ำที่สุดในชุดที่ไม่ใช้ซีเอ็มซี แต่ในชุดการทดลองที่ใช้ซีเอ็มซี 0.1% ร่วมด้วยพบว่าการเติมไข่ขาว 7.5% และ 10% ไม่มีความแตกต่างกัน (p≥0.05) ในขณะที่ไข่ขาว 5% มีค่าความสว่างมากที่สุด คือเท่ากับ 71.02 ส่วนค่าสีแดง (a*) การเพิ่มปริมาณไข่ขาวไม่มีผลต่อค่า a* ของตัวอย่างทุกตัวอย่าง แต่การใช้ร่วมกับซีเอ็มซี 0.1% จะทำให้ค่า a* ต่ำลงในทุกระดับของไข่ขาว ซึ่งผลจากค่า L* ข้างต้น จะเห็นว่าซีเอ็มซีไปเพิ่มค่าความสว่างจึงเป็นไปได้ความเข้มของสีอ่อนลง ดังนั้นค่าสีเหลืองจึงต่ำในตัวอย่างที่ใช้ซีเอ็มซี ทำนองเดียวกันสำหรับค่าสีเหลือง (b*) ที่การเพิ่มปริมาณไข่ขาวไม่มีผลต่อค่า b* (p≥0.05) ยกเว้นการใช้ซีเอ็มซีที่ระดับไข่ขาว 10% และเมื่อเปรียบเทียบการไม่เติมและเติมซีเอ็มซี พบว่า การเติมซีเอ็มซี 0.1% มีผลทำให้ค่าสีเหลือง (b*) มีค่าน้อยกว่าตัวอย่างที่ใช้ไข่ขาวเพียงอย่างเดียว (p<0.05) แสดงดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 การวิเคราะห์ค่าสี (L*, a* และ b*) ของขนมกล้วยหอมทองอบกรอบ

ไข่ขาว	ซีเอ็มซี 0%			ซีเอ็มซี 0.1%		
(%)	L*	a*	b*	L*	a*	b*
5	69.39±0.40^{b}	4.26±0.10^{a}	23.89±0.44^{a}	71.02±0.30^{b}	3.07±0.30^{a}	21.72±0.48^{a}
7.5	68.57±0.63^{b}	4.24±0.18^{a}	23.79±0.37^{a}	64.41±1.99^{a}	2.66±0.06^{a}	20.83±0.20^{a}
10	65.11±0.47^{a}	4.15±0.22^{a}	25.69±0.99^{a}	66.40±1.44^{a}	2.82±0.08^{a}	24.74±0.87^{b}

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

: ค่าที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่หรือพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแต่ละระดับไข่ขาว หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

: ค่าที่กำกับด้วย ns และ * ระหว่างระดับซีเอ็มซี หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกัน (p≥0.05) และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) ตามลำดับ

ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์ขนมกล้วยหอมทองหลังอบมีลักษณะสีเหลืองอมทอง (ภาพที่ 4.18) โดยหลังจากใช้เวลาในการอบเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 75 ºC โดยวิธีการทำแห้งแบบโฟมแมท ทำให้ขนมกล้วยหอมทองอบกรอบมีสีเหลืองเข้มขึ้น เนื่องจากเนื้อกล้วยหอมทองสุกมีปริมาณน้ำตาลสูงเมื่อผ่านความร้อนที่อุณหภูมิสูงและเวลานานเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (maillard reaction) ซึ่งเกิดจากหมู่คาร์บอนิลในโครงสร้างน้ำตาลทำปฏิกิริยากับหมู่อะมิโนจนเกิดสีน้ำตาล (Fennema, 1996)

ภาพที่ 4.18 ผลิตภัณฑ์ขนมกล้วยหอมทองอบกรอบโดยวิธีการทำแห้งแบบโฟมแมท

1.2) ผลวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyzer)

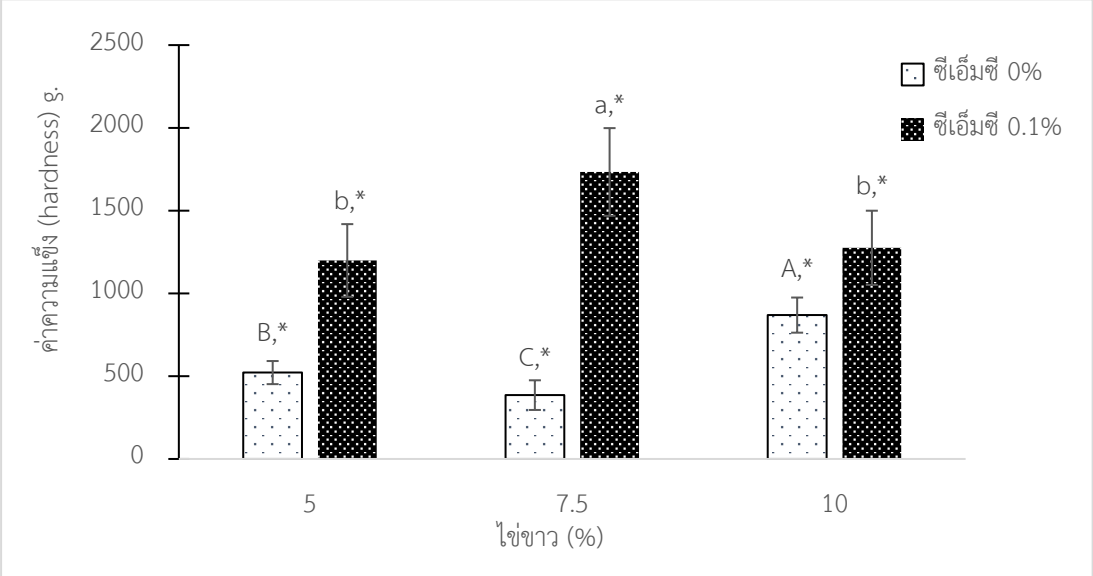
ผลการศึกษาลักษณะเนื้อสัมผัสจะอธิบายด้วยผลการวัดค่าความแข็ง (hardness) และความเปราะหรือความกรอบ (fracturability) ของผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบ ซึ่ง Steffe (1996) และสันตกิจ (2554) ได้อธิบายลักษณะเนื้อสัมผัสในด้านความแข็ง (hardness) และความเปราะหรือความกรอบ (fracturability) ไว้ว่า hardness คือแรงที่มีค่ามากที่สุดในช่วงการกดครั้งแรก ซึ่งนิยมอธิบายความแข็งเป็นระดับ นิ่ม เหนียว แน่น แข็งแรง ส่วน fracturability คือ ค่าแรงจุดแรกที่ทำให้โครงสร้างภายในชิ้นอาหารเสียหายแต่ไม่แตกออกจากกัน นิยมอธิบายความ

เปราะเป็นระดับแตกง่าย กรอบ และเปราะ จากการศึกษาครั้งนี้ พบว่า การใช้ไข่ขาวเป็นสารให้ความคงตัวที่ระดับต่างๆ ได้แก่ 5%, 7.5% และ 10% เพียงอย่างเดียว (ซีเอ็มซี 0%) มีผลทำให้ตัวอย่างมีค่าความแข็ง (hardness) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) ทำนองเดียวกันกับชุดที่มีการใช้ซีเอ็มซี 0.1% ร่วมด้วย แต่ชุดตัวอย่างที่มีการเติมไข่ขาวเพียงอย่างเดียวจะมีค่าความแข็งน้อยกว่าชุดตัวอย่างที่ใช้ซีเอ็มซีร่วมด้วย (p<0.05) โดยภายในชุดตัวอย่างที่ใช้ไข่ขาวเพียงอย่างเดียว พบว่าตัวอย่างที่ใช้ไข่ขาว 10% มีค่าความแข็งสูงที่สุด เท่ากับ 869 กรัมขณะที่ภายในชุดตัวอย่างที่มีการเติมไข่ขาวร่วมกับซีเอ็มซี 0.1% พบว่าตัวอย่างที่เติมไข่ขาวเพียง 7.5% ร่วมกับซีเอ็มซี 0.1% จะมีค่าความแข็งสูงที่สุดเท่ากับ 1,733 กรัม แสดงให้เห็นว่าการเติมซีเอ็มซีส่งผลให้ค่าความแข็งมีค่าสูงขึ้น ดังภาพที่ 4.19 ส่วนค่าความเปราะหรือความกรอบ (fracturability) การใช้ไข่ขาวปริมาณ 5% และ 10% เพียงอย่างเดียว (ซีเอ็มซี 0%) ทำให้ค่าความเปราะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p≥0.05) แต่การใช้ไข่ขาวที่ระดับ 7.5% มีค่าความเปราะน้อยที่สุด ในขณะที่ชุดการทดลองที่มีการเติมซีเอ็มซี 0.1% พบว่าการเพิ่มปริมาณไข่ขาว 7.5% และ 10% ส่งผลทำให้ค่าความเปราะลดลง (p≥0.05) เมื่อเทียบกับที่ไข่ขาว 5% ร่วมกับซีเอ็มซี 0.1% ซึ่งพบว่ามีค่าความเปราะมากที่สุด คือเท่ากับ 836.05 กรัม แสดงให้เห็นว่าการเติมซีเอ็มซีส่งผลให้ค่าความเปราะมีค่าสูงขึ้นที่ระดับไข่ขาวเท่ากับ 5% และ 7.5% ดังภาพที่ 4.20 ซึ่งจากผลการศึกษาอาจกล่าวได้ว่ากล้วยหอมทองอบกรอบที่มีการเติมซีเอ็มซี 0.1% มีค่าความแข็งและค่าความเปราะสูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมซีเอ็มซี

1.3) ปริมาณน้ำอิสระ (A_w) ในผลิตภัณฑ์ขนมกล้วยหอมทองอบกรอบ

ผลการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำอิสระ (A_w) ของผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบ พบว่าในชุดการทดลองที่มีการใช้สารให้ความคงตัว ได้แก่ ไข่ขาวผง 5%, 7.5% และ 10% เพียงอย่างเดียว (ซีเอมซี 0%) มีผลทำให้ตัวอย่างมีค่าปริมาณน้ำอิสระไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p≥0.05) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.20-0.24 แต่ในชุดการทดลองที่มีการเติมซีเอ็มซี 0.1% ร่วมด้วยพบว่าปริมาณน้ำอิสระมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) ระหว่างตัวอย่างที่ใช้ซีเอมซีร่วมด้วย โดยตัวอย่างที่มีการเติมไข่ขาวยิ่งสูงขึ้นเป็น 7.5% และ 10% ในขณะที่ใช้ร่วมกับซีเอมซี 0.1% นั้น จะพบว่าปริมาณน้ำอิสระจะสูงกว่าการใช้ไข่ขาวเพียง 5% (p<0.05) และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการไม่เติมและเติมซีเอมซี พบว่าการเติมซีเอมซี 0.1% ขณะที่มีการใช้ไข่ขาว 7.5% และ10% มีผลทำให้มีค่าปริมาณน้ำอิสระที่สูงกว่าตัวอย่างที่มีการใช้ไข่ขาวเพียงอย่างเดียว (p<0.05) แต่เมื่อมีการใช้ไข่ขาวที่ระดับต่ำลงมาคือ 5% แสดงให้เห็นว่าการเติมซีเอมซีจะมีผลต่อปริมาณน้ำอิสระในผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบเมื่อใช้ปริมาณไข่ขาวระดับ 7.5% ขึ้นไป ดังภาพที่ 4.21 ทั้งนี้เนื่องจากการใช้สารให้ความคงตัวมีผลต่อปริมาณน้ำอิสระ โดยอริสราและคณะ (2554) กล่าวว่าการเพิ่มสารก่อโฟมในระดับที่สูงขึ้นส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณน้ำอิสระที่มากขึ้น โฟมที่ได้มีลักษณะเป็นฟองละเอียดและรูพรุนจำนวนมาก เมื่อนำออกจากเตาอบสู่บรรยากาศภายนอกที่มี

ความชื้นสูง ส่งผลให้อากาศแทรกเข้าไปในโมเลกุลของน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ผง เกิดการดูดความชื้นกลับรวมถึงปริมาณน้ำอิสระในอาหาร ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระในผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบ

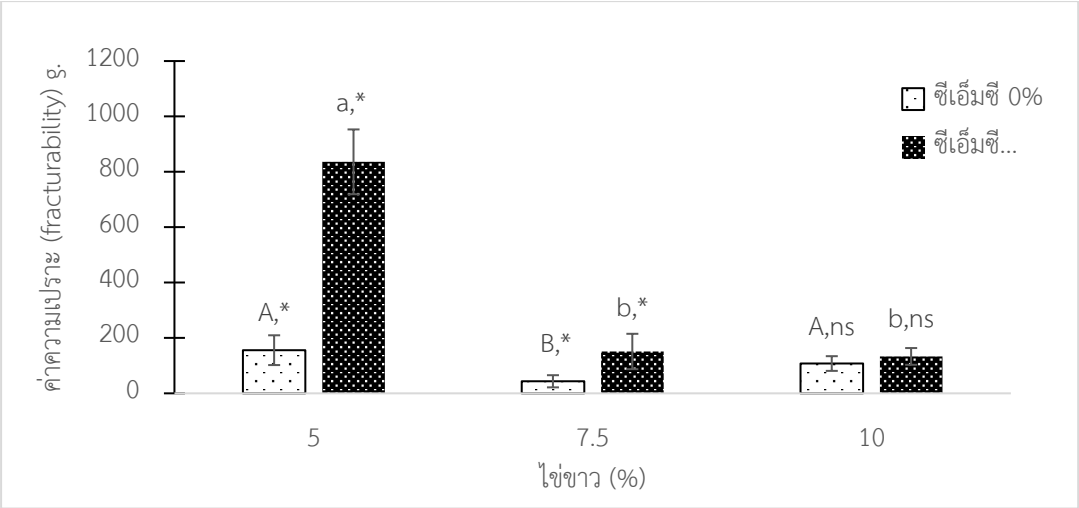


ภาพที่ 4.19 ผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสค่าความแข็ง (hardness) ของผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบ

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

: ค่าที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่หรือพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแต่ละระดับไข่ขาว หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

: ค่าที่กำกับด้วย ns และ * ระหว่างระดับซีเอ็มซี หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกัน ($p\geq0.05$) และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ตามลำดับ



ภาพที่ 4.20 ผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสค่าความเปราะ (fracturability) ของผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบ

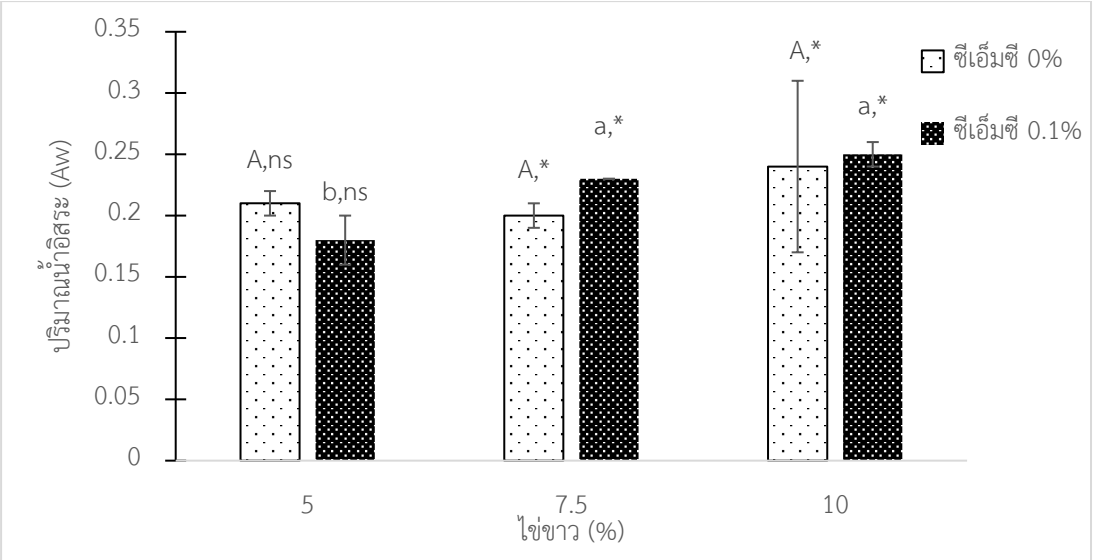
หมายเหตุ : ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

: ค่าที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่หรือพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแต่ละระดับไข่ขาว หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

: ค่าที่กำกับด้วย ns และ * ระหว่างระดับซีเอ็มซี หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกัน (p≥0.05) และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) ตามลำดับ

1.4) ร้อยละผลผลิตที่ได้ (%yield) ของผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบ

จากการหาร้อยละผลผลิตที่ได้ในผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบ พบว่าการใช้ไข่ขาวเป็นสารให้ความคงตัวที่ระดับต่างๆได้แก่ 5%, 7.5% และ 10% ร่วมกับซีเอมซี 0% และ 0.1% มีผลทำให้ตัวอย่างการทดลองมีค่าร้อยละผลผลิตที่ได้ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(p≥0.05) แต่เมื่อเปรียบเทียบการเติมซีเอ็มซีและไม่เติมซีเอ็มซีพบว่า การใช้ไข่ขาวที่ระดับ 5% และ 7.5% การเติมซีเอ็มซีทำให้ร้อยละผลผลิตที่ได้แสดงแนวโน้มลดลง ดังภาพที่ 4.22



ภาพที่ 4.21 ผลการวัดปริมาณน้ำอิสระ (A_w) ในผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบ

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

: ค่าที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่หรือพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแต่ละระดับไข่ขาว หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

: ค่าที่กำกับด้วย ns และ * ระหว่างระดับซีเอ็มซี หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกัน (p≥0.05) และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) ตามลำดับ

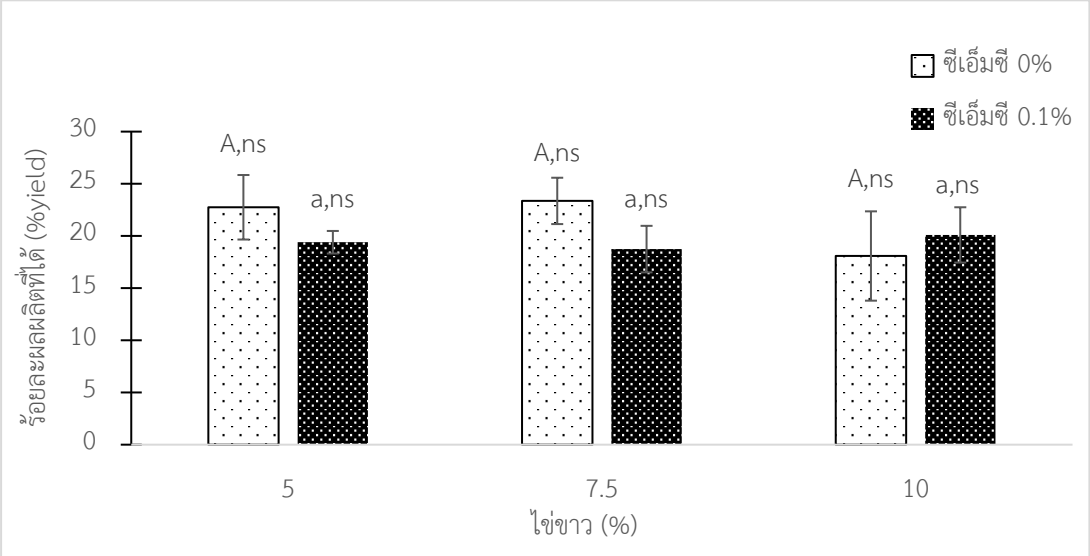
4.2.3.3 ผลวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์ขนมกล้วยหอมทองอบกรอบ

1) ผลวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์

ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ขนมกล้วยหอมทองอบกรอบ แสดงในภาพที่ 4.23 พบว่าการใช้ไข่ขาวเป็นสารให้ความคงตัวที่ระดับต่างๆ ได้แก่ 5% 7.5% และ 10% เพียงอย่างเดียว (ซีเอ็มซี 0%) มีผลทำให้ตัวอย่างมีความชื้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) โดยเมื่อใช้ปริมาณไข่ขาวเพิ่มขึ้น จาก 5% เป็น 7.5% และ 10% ความชื้นจะลดลงจาก 7.84% เป็น 6.50% และ 5.08% ตามลำดับ แต่ในชุดการทดลองที่มีการเติมซีเอ็มซี 0.1% ร่วมด้วย พบว่าปริมาณความชื้นของตัวอย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) โดยพบว่าตัวอย่างที่มีการเติมไข่ขาว 7.5% ร่วมกับซีเอ็มซี 0.1% มีค่าความชื้นต่ำสุด และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการไม่เติมและเติมซีเอ็มซี พบว่า การเติมซีเอ็มซี 0.1% ขณะที่มีการใช้ไข่ขาว 5% และ 7.5% มีผลทำให้ค่าปริมาณความชื้นน้อยกว่าตัวอย่างที่ใช้ไข่ขาวเพียงอย่างเดียว (p<0.05) แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณไข่ขาวส่งผลให้ปริมาณความชื้นลดลง ทำนองนองเดียวกันกับการเติมซีเอมซี ยกเว้นเมื่อมีการ

ใช้ไข่ขาวระดับที่สูงขึ้นคือ 10% การเติมซีเอ็มซีจะมีผลทำให้ค่าความชื้นของตัวอย่างสูงกว่าไม่เติมซีเอมซี

เนื่องจากซีเอมซีสามารถดูดความชื้นได้ไว ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่เติมซีเอมซีมีค่าความชื้นที่สูง โดยวรลักษณ์และจุฑามาศ (2559) ได้กล่าวว่าการเติมซีเอ็มซี มีผลทำให้ความชื้นของขนมปังสูงขึ้นเนื่องจากซีเอ็มซี สามารถอุ้มน้ำได้ดีทำให้เกิดโครงสร้างร่างแห 3 มิติที่แข็งแรงสามารถอุ้มน้ำไว้ในโครงสร้าง โดยเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างน้ำและหมู่ไฮดรอกซิลของซีเอ็มซี ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองการวัดปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์ขนมกล้วยหอมทองอบกรอบ

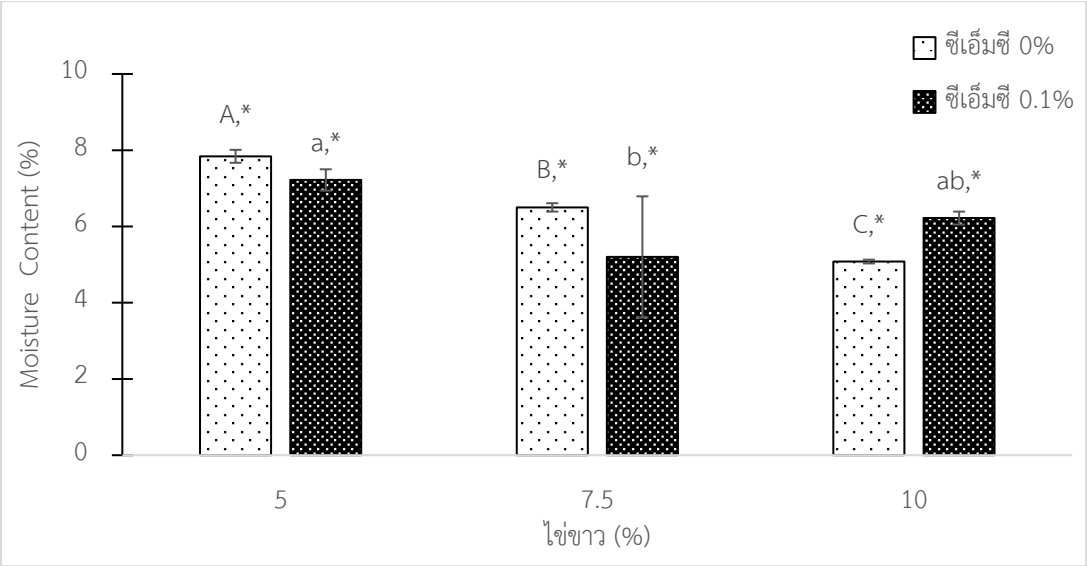


ภาพที่ 4.22 ร้อยละผลผลิตที่ได้ (%yield) ของผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบ

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

: ค่าที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่หรือพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแต่ละระดับไข่ขาว หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

: ค่าที่กำกับด้วย ns และ * ระหว่างระดับซีเอ็มซี หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกัน (p≥0.05) และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) ตามลำดับ



ภาพที่ 4.23 ค่าปริมาณความชื้น (Moisture Content) ของผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบ

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

: ค่าที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่หรือพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแต่ละระดับไข่ขาว หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

: ค่าที่กำกับด้วย ns และ * ระหว่างระดับซีเอ็มซี หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกัน (p≥0.05) และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) ตามลำดับ

4.2.3.4 การประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส

ผลการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบด้วยวิธี 9-point hedonic scale ในคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส (ความกรอบ) การเกาะติดเพดานปาก และความชอบโดยรวม โดยผู้ทดสอบที่ไม่ได้รับการฝึกฝนจำนวน 30 คน แสดงดังตารางที่ 4.17 พบว่าการใช้ไข่ขาวเป็นสารให้ความคงตัวเพียงอย่างเดียวส่งผลให้ตัวอย่างได้รับคะแนนความชอบในคุณลักษณะด้านต่างๆส่วนใหญ่อยู่ในระดับคะแนน 6 ถึง 7 คือชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง ยกเว้นด้านเนื้อสัมผัส (ความกรอบ) ของตัวอย่างที่ใช้ไข่ขาวปริมาณต่ำ 5% และ 7.5% ซึ่งได้รับคะแนนอยู่ในช่วงบอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบไปจนถึงชอบเล็กน้อย แต่การใช้ไข่ขาวเพียงอย่างเดียวที่ระดับสูง 10% ผลที่พบแสดงแนวโน้มว่าคะแนนความชอบในด้านต่างๆสูงขึ้น (p≥0.05) โดยเฉพาะด้านเนื้อสัมผัส (ความกรอบ) และความชอบโดยรวมซึ่งได้คะแนนความชอบสูงกว่าตัวอย่างอื่นโดยมีคะแนน 7.46 และ 7.30 คะแนนตามลำดับ (p<0.05) ทั้งนี้เนื่องจากไข่ขาวมีคุณสมบัติทำให้ส่วนผสมเกาะตัวกัน (Binder) โดยโปรตีนในไข่เมื่อเจอความร้อนจะแข็งตัวทำให้ส่วนผสมอื่นๆ เกาะกัน และยังมีคุณสมบัติช่วยเพิ่มความกรอบให้กับขนม

ส่วนการใช้ไข่ขาวร่วมกับซีเอมซี ผลคะแนนความชอบในคุณลักษณะด้านต่างๆ ส่วนใหญ่อยู่ในช่วงชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง ยกเว้นด้านการเกาะติดเพดานปาก เมื่อเติมซีเอมซี 0.1% ร่วมด้วยในกรณีที่ใช้ไข่ขาวปริมาณสูง 7.5% และ 10% จะได้รับคะแนนความชอบอยู่ในช่วงต่ำกว่าคือช่วงระดับบอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบไปจนถึงชอบเล็กน้อยเท่านั้น และพบว่าเมื่อมีการใช้ไข่ขาวปริมาณน้อยคือ 5% การเติมซีเอมซี 0.1% ร่วมด้วย มีแนวโน้มว่าคุณลักษณะด้านต่างๆ จะได้รับคะแนนสูงกว่าตัวอย่างอื่นๆ ($p \geq 0.05$)

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างไม่เติมและเติมซีเอมซี จากผลการทดสอบพบว่าการใช้ซีเอมซี 0.1% ร่วมกับไข่ขาวปริมาณต่ำโดยเฉพาะ 5% จะส่งผลดีต่อคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัส (ความกรอบ) และความชอบโดยรวมโดยทำให้ได้รับความชอบสูงขึ้นจากการใช้ไข่ขาวเพียงอย่างเดียว แต่อย่างไรก็ตามหากใช้ซีเอมซี 0.1% ร่วมกับไข่ขาวที่ปริมาณสูง 10% จะเกิดผลเสียต่อคุณลักษณะด้านกลิ่นและรสชาติโดยทำให้ได้รับคะแนนต่ำลงจากที่ไม่ใช้ซีเอมซี

จากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าแนวทางการใช้สารให้ความคงตัวเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ขนมกล้วยหอมทองอบกรอบที่มีความคงตัวและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ควรใช้สารให้ความคงตัวเป็นไข่ขาวเพียงอย่างเดียวที่ปริมาณ 10% หรือใช้ไข่ขาวในปริมาณต่ำแต่ใช้ร่วมกับซีเอมซี คือไข่ขาว 5% ร่วมกับซีเอมซี 0.1%

4.2.4 ผลิตภัณฑ์น้ำเชื่อมกล้วยหอมทอง

น้ำเชื่อมกล้วยหอมทองที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์พบว่าได้ร้อยละผลผลิตเท่ากับ 76.8 โดยมีปริมาณของแข็งทั้งหมดเท่ากับ 20.63±0.71 $^{\circ}$Brix (ภาพที่ 4.24ก) ขณะที่น้ำเชื่อมกล้วยหอมทองตากที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์พบว่าได้ร้อยละผลผลิตเท่ากับ 55 โดยมีปริมาณของแข็งทั้งหมดเท่ากับ 26.3±0.82 $^{\circ}$Brix และเมื่อนำไประเหยจนมีความเข้มข้นสุดท้ายเท่ากับ 68 $^{\circ}$Brix (ภาพที่ 4.24ข) พบว่าต้นทุนในการผลิตน้ำเชื่อมกล้วยหอมทองอยู่ที่ประมาณ 3 บาทต่อมิลลิลิตร

ตารางที่ 4.17 คะแนนความชอบต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบที่ใช้ไข่ขาวและซีเอ็มซีเป็นสารให้ความคงตัว

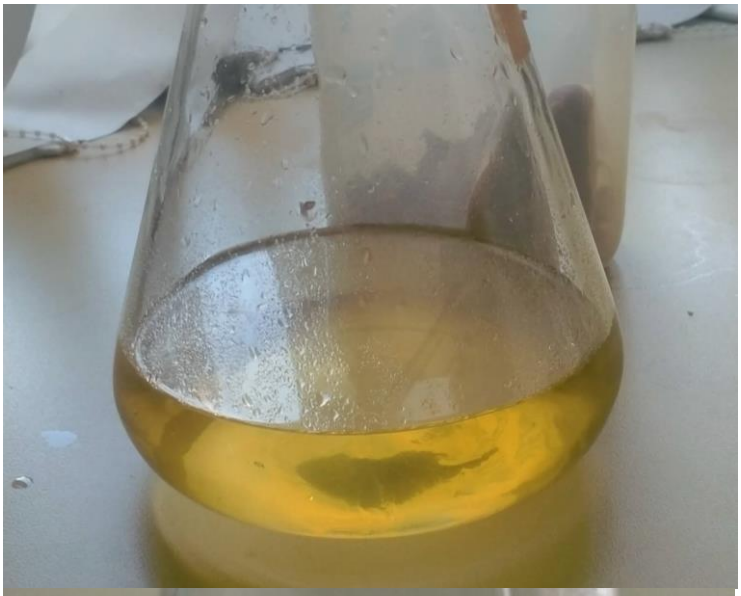
คุณลักษณะ	ไข่ขาว (%)	ซีเอ็มซี (%)	
		0	0.1
ลักษณะปรากฏ	5^{ns}	6.56±1.47^{A}	7.13±1.13^{a}
	7.5^{ns}	6.40±1.81^{A}	6.70±1.39^{a}
	10^{ns}	6.96±1.06^{A}	7.13±1.04^{a}
สี	5^{ns}	6.50±1.33^{A}	6.73±1.22^{a}
	7.5^{ns}	6.16±1.68^{A}	6.43±1.67^{a}
	10^{ns}	6.73±1.17^{A}	7.06±1.25^{a}
กลิ่น	5^{ns}	6.46±1.33^{AB}	6.83±1.14^{a}
	7.5^{ns}	6.30±1.48^{A}	6.30±1.55^{a}
	10*	7.06±1.08^{B}	6.36±1.35^{a}
รสชาติ	5^{ns}	6.60±1.40^{AB}	6.90±1.15^{a}
	7.5^{ns}	6.16±1.62^{A}	6.46±1.65^{a}
	10*	7.26±1.14^{B}	6.53±1.63^{a}
เนื้อสัมผัส (ความกรอบ)	5*	5.23±1.65^{A}	6.83±1.17^{a}
	7.5*	5.63±1.93^{A}	6.73±1.79^{a}
	10^{ns}	7.46±1.13^{B}	6.96±1.18^{a}
การเกาะติดเพดานปาก	5^{ns}	6.16±1.64^{A}	6.26±1.38^{a}
	7.5^{ns}	6.00±1.87^{A}	5.83±1.66^{a}
	10^{ns}	6.66±1.74^{A}	5.96±1.80^{a}
ความชอบโดยรวม	5*	6.06±1.77^{A}	7.10±0.88^{a}
	7.5^{ns}	6.16±1.76^{A}	6.86±1.50^{a}
	10^{ns}	7.30±1.11^{B}	6.73±1.14^{a}

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=30)

: ค่าในแต่ละคุณลักษณะที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่หรือพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ค่าระหว่างระดับไข่ขาวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ ($p<0.05$)

: ค่าในแต่ละคุณลักษณะที่กำกับด้วย ns หรือ * หมายถึง ค่าระหว่างระดับซีเอ็มซีไม่มีความแตกต่างกัน ($p\geq0.05$) และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ก.



ข.

ภาพที่ 4.24 น้ำเชื่อมกล้วยหอมทอง ก) หลังการย่อยด้วยเอนไซม์ ข) หลังการระเหยจนเข้มข้น

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

โดมพลังงานแสงอาทิตย์สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นให้ได้เหมาะสมสำหรับการตากหรือทำแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร โดยช่วงอุณหภูมิที่สามารถทำได้อยู่ในช่วง 60 - 80 องศาเซลเซียส และความชื้นในช่วง 40 - 70%

การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากกล้วยทองทองจากโดมพลังงานแสงอาทิตย์ ได้เป็น 4 ผลิตภัณฑ์ คือ กล้วยหอมทองผง ขนมกล้วยหอมทองอบกรอบ น้ำเชื่อมกล้วยหอมทอง และกล้วยหอมทองอัดเม็ด โดยกล้วยหอมทองผงที่ผลิตได้นั้นนำมาเป็นวัตถุดิบที่สามารถนำไปใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ชงพร้อมดื่ม และกล้วยหอมทองอัดเม็ด ขณะที่ผลิตภัณฑ์ขนมกล้วยอบกรอบและน้ำเชื่อมกล้วยหอมทองได้รับการยอมจากผู้บริโภคและสามารถต่อยอดในเชิงการค้าเพื่อเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 โดมพลังงานแสงอาทิตย์ยังต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของการออกแบบเพื่อการกักเก็บความร้อนให้สูงขึ้นกว่าปัจจุบัน

5.2.2 ควรมีการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการและด้านอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ของผลิตภัณฑ์จากกล้วยหอมทองเพื่อต่อยอดในเชิงการค้า

บรรณานุกรม

กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. (2550). **เทคโนโลยีของแป้ง.** สืบค้น 5 พฤษภาคม 2564**,** สืบค้นจาก: https://kukr2.lib.ku.ac.th/kukr_es/index.php

กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน, อโนชา สุขสมบูรณ และ อาภัสรา แสงนาค. (2560). **การพัฒนาผลิตภัณฑ์พาสต้าข้าวเจ้าเพื่อสุขภาพเสริมแป้งถั่ว.** มหาวิทยาลัยบูรพา.

กัญญา กอแก้ว รัฐธิญา มาลี และดวงหทัย รัตนสัจธรรม (2561).4ST-P06: ศึกษาการปนเปื้อนแบคทีเรีย และการดื้อต่อยาปฏิชีวนะของแบคทีเรีย ที่คัดแยกจากอาหารพร้อมบริโภคในเขตอำเภอพระนครศรีอยุธยา. **การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิครั้งที่ 4**. 15-16 กรกฎาคม. พระนครศรีอยุธยา : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ.

กุหลาบ สิทธิสวนจิ. (2553). แป้งทนต่อการย่อด้วยเอนไซม์: แป้งเพื่อสุขภาพ. **ก้าวทันโลกวิทยาศาสตร์**, 10, 70 -77.

กองวิจัยและพัฒนาข้าว. (ม.ป.ป). **ผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากข้าว**. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: http://www.ricethailand.go.th (วันที่สืบค้น 23 สิงหาคม 2563).

กฤติยา เขื่อนเพชร, เปี่ยมสุข สุวรรณกูฏ, รวิพร พลพืช, และรวิภา จารุอารยนันท์. (2561). **การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มกล้วยหอมทองผงเพื่อสุขภาพ(รายงานผลการวิจัย)**.ปทุมธานี: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

คุ้มเกล้า ตุลาดิลก, และพนิดา รัตน์ปิติกรณ์. (2551). **น้ำกระเทียมดองชนิดผงโดยการอบแห้งแบบโฟมแมท**. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 39(3): 515–518.

จินตนา อินภักดี. (2559). **การพัฒนาผลิตภัณฑ์เส้นใยกล้วยหอมทองย้อมสีธรรมชาติ สำหรับการนำไปใช้ประโยชน์ด้านการจักสาน เพื่อส่งเสริมอาชีพให้แก่ผู้สูงอายุบ้านช่อแล ตำบลช่อแล อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่**. มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่.

จิตตะวัน กุโบลา, ชุลีพร บุ้งทอง, เทวิกา กีรติบูรณะ, เพียรพรรณ สุภะโคตร, จตุพัฒน์ สมัปปิโต, และ กมลพร. (2561). **การผลิตเนื้อลูกตาลสุกผงโดยการทำแห้งแบบโฟมแมทและการประยุกต์ใช้ (รายงายผลวิจัย)**. บุรีรัมย์: มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์.

จิรนาถ บุญคง, ทิพวรรณ บุญมี และ พัชราวรรณ เรือนแก้ว. (2558). การใช้แป้งกล้วยหอมทองดิบที่มีสมบัติ ต้านทานการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ในผลิตภัณฑ์พาสต้า. **วารสารเทคโนโลยีการอาหารมหาวิทยาลัยสยาม**, 10(1), 19-29.

จันทิมา ภูงามเงิน, ณัฐธยาน์ ชูสุข, นฤมล นามชุย และสุวรรณา ไชโย. 2558. ผลของสารเพิ่มความคงตัวบางชนิดต่อคุณภาพของไอศกรีมน้ำนมข้าวโพด. **วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)**, 7(13), 1-14.

จุฑามาศ พีรพัชระ และ วรลักษณ์ ปัญญาธิติพงศ์. (2559). การทดสอบปริมาตรจำเพาะและความหนาแน่น การทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัส. **วารสารวิชาการและวิจัย มหาวิทยาลัยราชมงคลพระนคร**, 10, 169-178.

ชมภูนุช เผื่อนพิภพ. (2552). การพัฒนาผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้อัดเม็ด. **วารสารวิชาการและวิจัยมหาวิทยาลัยราชมงคลพระนคร**, 10, 109-114.

ชื่นกมล ปัญญายง และ พุทธดี อุบลศุข. (2563). การพัฒนาน้ำนมเม็ดมะม่วงหิมพานต์อัดเม็ด. **วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ประยุกต์**, 2, 1 – 13

ชินานาฏ วิทยาประภากร, วิษณุ ทองเล็ก, และนภัสนันท์ ไชยเลิศ. (2563). **การยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทองด้วยใช้เทคโนโลยีไมโครนาโนบับเบิ้ล(รายงานผลการวิจัย)**. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา. หน่วยงานรับรองทางเลือกสุขภาพ. เกณฑ์สารอาหารหรือคุณค่าทางโภชนาการ**.** [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: http://healthierlogo.com (วันทีสืบค้น 12 สิงหาคม 2563).

ชุติกาญจน์ อิ่นแก้ว, ธเนศ แก้วกำเนิด, ชนันท์ภัสร์ ราษฎร์นิยม และ กรผลา อรรคนิตย์. (2558). **ผลของอัตราส่วนของเนื้ออินทผลัมต่อน้ำและสารก่อให้เกิดให้เกิดโฟมต่อคุณภาพการเกิดโฟมสำหรับการทำแห้งแบบโฟม–แมท**. รายงานประชุมวิชาการ. สาขาวิทยาศาสตร์และทศโนโลยีการอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร. มหาลัยแม่โจ้

นรินทร์ เจริญพันธ์. (2563). การใช้ประโยชน์จากแป้งปลายข้าวในการผลิตขนมผิงสูตรสมุนไพร. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์**, 28, 1595-1607.

นงสุดา บุนนาค, กมลวรรณ แจ้งชัด และอนุวัตร แจ้งชัด. (2546). การพัฒนาถั่วแดงหลวงอัดเม็ดสำหรับเด็ก และวัยรุ่น. **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 41** (น.156-165). 3-7 กุมภาพันธ์. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พนิดา รัตนปิติกรณ์. (2555). สมบัติการเกิดโฟมและการใช้ประโยชน์ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหาร ตอนที่1. **วารสารอาหาร,** 42(3),199-204.

พบแพทย์. (ม.ป.ป). **ประโยชน์ของกล้วยหอม**. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก : https://www.pobpad.com (วันที่สืบค้น 24 พฤษภาคม 2564)

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. **ไข่ขาว.** [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2997/egg–white (วันทีสืบค้น 12 สิงหาคม 2563).

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. **Carboxymethyl cellulose**. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/4612/carboxymethyl–cellulose–cmc (วันที่สืบค้น 12 สิงหาคม 2563).

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. **มอลโทเดกซ์ทริน**. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1914/maltodextrin (วันที่สืบค้น 24 พฤษภาคม 2564).

พรียา โชตถินอม, มนันยา นันทสาร, ศรินทร สุวรรณรงค์, เกษสุณีย์ เฉื่อยกลาง, กัณทริกา เหมทานนท์, วนิดา ชื่นตา, และศรีนวล จันทไทย. (2563). **การผลิตมันแกวผงโดยการทำแห้งแบบโฟมแมท: คุณสมบัติทางกายภาพและการยอมรับทางประสาทสัมผัส (รายงานผลการวิจัย)**. มหาสารคาม: มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

มยุรี ชมภูงาม. 2559.**การใช้ประโยชน์จากแป้งกล้วยเพื่อใช้ทำแป้งกล้วยในการทำขนมท้องถิ่นบ้านข่อแล อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่**. มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่.

ยาว ตลาดไท**. วิธีการปลูกกล้วย**. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: https://www.xn–12cm1cbt7aec0au9byac1n2j.com (วันที่สืบค้น 12 สิงหาคม 2563).

สิทธิไตรย์. (2561). **การผลิตเนื้อลูกตาลสุกผงโดยการทำแห้งแบบโฟมแมท และการประยุกต์ใช้ในขนมไทย(รายงานผลการวิจัย)**. บุรีรัมย์: มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์.

วลัย หุตะโกวิท และดวงแข สุขโข.(2558). **แป้งกล้วย ผลงานวิจัยเพื่อสนองพระราชดำริโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืช**. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

วิจิตรา เหลียวตระกูล, วชิรญา เหลียวตระกูล และ วรรภา วงศ์แสงธรรม. (2563). **ผลของระดับความสุก และสภาวะการทำแห้งต่อคุณภาพของแป้งกล้วย หอมเขียวและการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมปังจากแป้ง**

วราภรณ์ ประเสริฐ. (2556). **เทคนิคการทำแห้งแบบโฟมแมท**. ฝ่ายกระบวนการผลิตและแปรรูป สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วริศชนม นิลนนท, ประมวล ศรีกาหลง, และกุลพร พุทธมี. (ม.ป.ป. ข.). **ผลของไข่ขาวผงและมอลโตเด็กซ์ตรินที่มีต่อคุณลักษณะของซุปผงหมูเลียงด้วยวิธีการทำแห้งโฟมแมท**. การประชุมวิชาการและการนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 10.

ศิริพร ตันจอ, ตรีรัตน์ สายวรรณ และคณะ. (2558). **วิเคราะห์ปริมาณเถ้า**. วารสารวิทยาศาตร์และเทคโนโลยี. 23(4):652–666.

ศิริพร สอนสมบูรณ์สุข. (2561). **ความสามรถในการดูดความชื้นกลับ**. วิทยานิพนธ์การพัฒนาผลิตภัณฑ์มะตูมผงสำเร็จรูปด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย. คณะวิศวกรรมเครื่องกลและระบบกระบวนการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์ และคณะผู้วิจัยภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. (2560). **การพัฒนาผลิตภัณฑ์นมมะพร้าวอัดเม็ด**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีน. **การเกิดโฟม**. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: https://sites.google.com/site/pornthidawtsss/home/kar–keid–fom–foaming–ability (วันทีสืบค้น 12 สิงหาคม 2563).

สมศักดิ์ แก้วพลอย. (2557) **การพัฒนาสูตรที่เหมาะสมสำหรับลูกชิ้นเอ็นไก่ผสมผักพื้นบ้านโดยวิธีการออกแบบการทดลอง**. การประชุมวิชาการ การพัฒนาชนบทที่ยั่งยืน ครั้งที่ 4. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 3 กันยายน พ.ศ. 2558

สรศักดิ์ งามสง่า, ณัฏฐา เลาหกุลจิตต์, และอรพิน เกิดชูชื่น. (2558). **ผลของไข่ขาวผงต่อคุณลักษณะของกล้วยหอมทองอบแห้งแบบโฟมแมท**. คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สุภาวิณี แสนทวีสุข. (ม.ป.ป). **การผลิตน้ำมะขามป้อมผงกึ่งสำเร็จรูปโดยการทำแห้งแบบโฟม–แมท**. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2562). กล้วยผงชงดื่ม มผช.๑๕๒๕/๒๕๖๒. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน. กระทรวงอุตสาหกรรม.

สำนักเศรษฐกิจการเกษตร. (2559). **การปลูกกล้วยหอมในประเทศไทย.** สืบค้น 30 มีนาคม 2564, จาก http://oae.go.th/view/1/%E0E0%B8%A3/29959/TH-TH

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2563). **รายละเอียดภาวะเศรษฐกิจ** สืบค้น 10 เมษายน 2564, จาก http://oae.go.th/view/1/รายละเอียดภาวะเศรษฐกิจการเกษตร/33679/TH-TH

สุปรียา ยืนยงสวัสดิ์ และสุดใจ คงทอง. (2537). **การศึกษาคุณสมบัติของสารสกัดโพลีแซกคาไรด์จากเปลือกกล้วยไข่ กล้วยน้ำว้า และกล้วยหอม**. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สุนิสา ภาษิตรักษ์, หนึ่งฤทัย ถนอมธีระนันท์, วรัญญา โนนม่วง และกรรณิการ์ เจริญสุข. (2558). การพัฒนา ผลิตภัณฑ์นมชนิดเม็ดผสมมังคุด. **วารสารวิจัยรำไพพรรณี**, 9(2), 31-38.

หทัยทิพย์ นิมิตเกียรติไกล. (2561). **ผลของไข่ขาวผงต่อสมบัติของซุปฝักทองผงกึ่งสำเร็จรูป**. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 28 (25): 790–798.

อภิญญา มานะโรจน์, ปรัศนีย์ ทับใบแย้ม, วาสนา ขวยเขิน และบุญยนุช ภู่ระหงษ์. (2561). **การใช้แป้งกล้วยทดแทนแป้งสาลีบางส่วนในผลิตภัณฑ์ขนมสาลี่กรอบ**. มหาวิทยาลัยราชมงคลพระนคร.

อัจฉรา ศรีกุศลานุกูล, ปกขวัญ หุตางกูร และเบญจวรรณ ธรรมธนารักษ์. (2550). การพัฒนา

อัตราส่วนของส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์ผงน้ำนมข้าวโพดอัดเม็ดเพื่อการเสริมคุณค่าทางอาหาร. **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร**, 38, 107-110.

อภิรดา รินพล, เนตรชนก หลวงแสน, และพิมพร ดอนมูล. (ม.ป.ป.) **การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากธัญพืช**. สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ เชียงใหม่.

อริสรา โพธิ์สนาม, ชนินทร์ น้อยอามาตย์, และศิริพร แก้วสอาด. (2554). **คุณภาพของเม่าผงชงละลายที่ผลิตโดยวิธีการอบแห้งโฟมแมท**. การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยขอนแก่นประจำปี 2554 "การพัฒนาอนาคตชนบทไทย: ฐานรากที่มั่นคงเพื่อการพัฒนาประเทศอย่างยั่งยืน" 27–29 มกราคม 2554.

อุตสาหกรรมพัฒนามูลนิธิเพื่อสถาบันอาหาร. (2562). **อาหารเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพในประเทศไทย**. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: http://fic.nfi.or.th/MarketOverviewDomesticDetail.php?id=271 (วันที่สืบค้น 23 สิงหาคม 2563).

อาภัสสร ศิริจริยวัตร, ชาติสยาม ผลวิลัย, และโก้ ยาลัย. (2560). อัตราการดูดซับน้ำ. **ผลของวิธีการทำแห้งต่อสมบัติทางกายภาพของต้นหอม**. สกลนคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร.

ฮานานี มะดาโอะ, ยารีซา ซากา, นูรีซัน แวมะแซ, และกมลทิพย์ กรรไพเราะ. (2561). **การพัฒนาผลิตภัณฑ์ชาเจ๊ะเหมผงชงพร้อมดื่มสำเร็จรูป (รายงานผลการวิจัย)**. ยะลา: มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา.

เบญจมาศ ศิลาย้อย. (2545). **กล้วย** (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บุญเลี้ยง สุพิมพ์,ปิยะพงษ์ ชุมศรี และอรทัย ปานเพชร (2560).คุณภาพด้านจุลชีววิทยาของอาหารปรุงสาเร็จในโรงอาหารมหาวิทยาลัยราชภัฏเลย. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัย อุบลราชธานี**, 19(1), 72-81.

เย็นหทัย แนนหนา. (2555). **การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน**. ก้าวทันโลกวิทยาศาสตร์. สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตรและเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา. 12(1)

เว็บให้ความรู้สุขภาพ. (2017). **อินูลิน**. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: https://www.disthai.com (วันที่สืบค้น 23 สิงหาคม 2563).

ไชยภร เก็บเงิน, ลลิตา ศิริวัฒนานนท, และอินทิรา ลิจันทร์พร. (2562). **ผลของไข่ขาวผงต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมี และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ชงพร้อมดื่มสำเร็จรูปและปริมาณของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ**. การประชุมวิชาการเสนองานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่20. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

Association of Official Chemists (AOAC). (2000). **Official method of analysis of**

analysis of Association of Official Analytical Chemists. **17th ed.**, Gaitherburg: Association of Official Analytical Chemists.

Barine, K.K.D. and Yorte, S.G. (2016). *In vitro* starch hydrolysis and prediction of glycemic index (pgi) in "Amala"and plantain based baked products. **Journal of Food Research**, 5, 73-80.

Bhatawale, S.P., Mohammad, U.I.A., Mirza, R.S.S., Mohammed Zafar, I.M., Siddiqui, A.N. and Mehraj Fatema, Z.M. (2012). Effect of unripe banana flour incorporation on resistance starch content of rice papad. **Nutrition Food Science**, 2, 1-3.

Champ, M., Marti, L., Noah, I. and Gratas, M. (1999). **Analytical methods for resistant starch. Complex Carbohydrates in Food** (p.169-187). New York: Marcel Dekker.

Chuenchom, P., Swatsitang, P., Senawong, T., Jogloy, S. (2016). Antioxidant capacity and phenolic content evaluation on peanut skins from 3 peanut types. **Chiang Mai Journal of Science**, 43, 123-137.

Collison, R. (1968). **Starch and its derivatives** (p.168-193). London-Chapman: Hall Ltd. Defloor, I., Dehing, I. and Delcour, J.A. (1998). Physio-chemicalproperties of cassava starch. **Stach/Starke**, 50, 58-64.

Englyst, H.N., Kingman, S.M. and Cummings, J.H. (1992). Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. **European Journal of Clinical Nutrition**, 46, 33-50.

Fatemeh, S.R., Saifullah, R., Abbas, F.M.A. and Azhar, M.E., (2012). Total phenolics, flavonoids and antioxidant activity of banana pulp and peel flours: influence of variety and stage of ripeness. **International Food Research Journal**, 19(3), 1041-1046.

Fulle, R. (1989). A review probiotic in man and animals. **AFRC Institute of Food Research**, 66(5), 365-378.

Gibson, G.R., Mccartney, A.L. and Rastall, R.A. (2005). Prebiotics and resistance to gastrointestinal infections. **British Journal of Nutrition**, 93, S31-34.

Goñi, I., Garcia-Alonso, A., Saura-Calixto, F. (1997). A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. **Nutrition Research**, 17(3), 427-437.

Gunaratne, A. and Hoover, R. (2002). Effect of heat-moisture treatment on the structure

and physicochemical properties of tuber and root starch. **Carbohydrate Polymers**, 49, 425-437.

Kasemsuwan T., Bailey T. and Jane J. (1998). Preparation of clear noodles with mixtures of tapioca and high-amylose starches. **Carbohydrate Polymers**, 32, 301-312.

Khampo. (2563). **ประโยชน์ของกล้วยหอมทอง**. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: https://www.khampo.com/articles/7/17/atricle.html (วันที่สืบค้น 23 สิงหาคม 2563).

Kerr, R. W. (1950). **Chemistry and Industry of Starch. 2nd ed.** (p. 791). New York: Academic Press. Kumar, S., Bhowmilk, D., Duraivel, S., and Umadevi, M. Traditional and Medicinal Uses of Banana. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, 1(3),51-63**.**

Mei L. N., & Sulaiman, R. 2017. **Development of beetroot (Beta vulgaris) powder using foam mat drying**. LWT – Food Science and Technology, 88(2018), 80–86.

Puechkaset. **กล้วยหอม และการปลูกกล้วยหอม**. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: https://puechkaset.com (วันที่สืบค้น 9 สิงหาคม 2563).

Sajilata, M.G., Rekha S. Singhal and Pushpa R. Kulkarni. (2006). Resistant starch A Review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, 5(1), 1-17.

Sasaki, T. and Matsuki, J., (1998). Effect of wheat starch structure on swelling power. **Cereal Chemistry**, 75, 525-529.

Swinkels, J.M. (1985). Sources of Starch, Its Chemistry and Physics. In Van Beynum, G.M. and Roel, J.A., Eds., **Starch Conversion Technology**. New York: Marcel Dekker Inc. Whistler, R. L. and Bemiller, J.N. (1999). **Carbohydrate chemistry for food scientist American association of cereal chemists**. St. Paul: Minnesota.

TCS MART. **คาร์บอกซิลเมธิล เซลลูโลส (Carboxymethyl cellulose, CMC)**. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: https://www.tcs-mart.com/product/cmc (วันที่สืบค้น 23 สิงหาคม 2563).

Unifychemical. **สารให้ความหวานแทนน้ำตาล.** [ออนไลน์]. สืบค้นจาก : https://www.unifychemical.com (วันที่สืบค้น 25 พฤษภาคม 2564

Wong, J.M.W., Souza, R.D., Kendall, C.W.C., Emam, A. and Jenkins, D.J. (2006). Colonic health: fermentation and short chain fatty acids. **Journal of Clinical Gastroenterology**, 40, 235-243.

Yook, C., Pek, U.H. and Park, K.H. (1993). Gelatinization and retrogradation characteristics of hydroxypropylated and cross-linked rice. **Journal of Food Science**, 58, 405-407.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
การถ่ายทอดเทคโนโลยีโครงการการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตของกล้วยเศรษฐกิจเพื่อเพิ่มมูลค่าเป็นผลิตภัณฑ์และเพิ่มมูลค่าทางการตลาดกล้วยหอมทองเพื่อยกระดับคุณภาพชีวิตเกษตรกร

ก1. ตารางการอบรม

การถ่ายทอดเทคโนโลยีโครงการการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตของกล้วยเศรษฐกิจเพื่อเพิ่มมูลค่าเป็นผลิตภัณฑ์และเพิ่มมูลค่าทางการตลาดกล้วยหอมทอง เพื่อยกระดับคุณภาพชีวิตเกษตรกร อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี

จัดอบรมระหว่าง วันที่ ๑๖ - ๑๘ กันยายน ๒๕๖๕

วัน/เวลา	ลงทะเบียน	10.00 - 12.00 น.	12.00 – 13.00 น. พักรับประทานอาหารกลางวัน	13.00 - 16.00 น.
16 ก.ย. 65	09.30 - 10.00 น.	**ทฤษฎี**: การถ่ายทอดการออกแบบและพัฒนาโดมพลังงานแสงอาทิตย์ คณะวิทยากร*		**ทฤษฎี:** การถ่ายทอดพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำเชื่อมกล้วยหอมทองโดยใช้โดมพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเอนไซม์ **ปฏิบัติ:** น้ำเชื่อมกล้วยหอมทอง คณะวิทยากร*
17 ก.ย. 65	08.30 - 09.00 น.	**09.00 - 12.00 น.**		**13.00 - 16.00 น.**
		ทฤษฎี: การถ่ายทอดพัฒนาผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองผงโดยวิธีทำแห้งแบบโฟมแมทด้วยโดมพลังงานแสงอาทิตย์ **ปฏิบัติ:** กล้วยหอมทองผงโดยวิธีทำแห้งแบบโฟมแมท คณะวิทยากร*		**ทฤษฎี:** การถ่ายทอดพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมกล้วยหอมทองอบกรอบโดยใช้โดมพลังงานแสงอาทิตย์ **ปฏิบัติ:** ขนมกล้วยหอมทองอบกรอบ คณะวิทยากร*
18 ก.ย. 65	08.30 - 09.00 น.	**09.00 - 12.00 น.**		**13.00 - 15.00 น.**
		ทฤษฎี: การถ่ายทอดพัฒนาผลิตภัณฑ์ผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอัดเม็ด คณะวิทยากร*		แบ่งกลุ่มเก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์จากการปฏิบัติ ได้แก่ น้ำเชื่อมกล้วยหอมทอง กล้วยหอมทองผงโดยวิธีทำแห้งแบบโฟมแมท และขนมกล้วยหอมทองอบกรอบ คณะวิทยากร*

หมายเหตุ: *คณะวิทยากร ได้แก่ ๑. นางสาวสวรักษ์ จันทรเทพธิมากุล ๒. นายดิเรก บุญธรรม ๓. นางสาวนฤมล จอมมาก ๔. นางสาวอาฒยา สันตะกุล

**พักรับประทานอาหารว่างในเวลา ๑๐.๓๐ - ๑๐.๔๕ น. และเวลา ๑๔.๓๐ - ๑๔.๔๕ น.

ก2. การถ่ายทอดเทคโนโลยีโครงการการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตของกล้วยเศรษฐกิจเพื่อเพิ่มมูลค่าเป็นผลิตภัณฑ์และเพิ่มมูลค่าทางการตลาดกล้วยหอมทองเพื่อยกระดับคุณภาพชีวิตเกษตรกร (ภาพผนวกที่ ก1)

ภาพผนวกที่ ก1 ภาพกิจกรรมการถ่ายทอดเทคโนโลยี ระหว่างวันที่ 16 - 18 กันยายน 2565

ภาพผนวกที่ ก1 (ต่อ)

ภาคผนวก ข
แบบประเมินความพึงพอใจ

ข1. แบบประเมินความพึงพอใจ

โครงการการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตของกล้วยเศรษฐกิจเพื่อเพิ่มมูลค่าเป็นผลิตภัณฑ์และเพิ่มมูลค่าทางการตลาดกล้วยหอมทองเพื่อยกระดับคุณภาพชีวิตเกษตรกร
อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี
วันที่ ๑๖ - ๑๘ กันยายน ๒๕๖๕

เพศ ☐ ชาย ☐ หญิง
อายุ ☐ ๒๐-๓๐ ปี ☐ ๓๐-๔๐ ปี ☐ ๔๐-๕๐ ปี ☐ มากกว่า ๕๐ ปีขึ้นไป

ประเด็นที่พิจารณา/กลุ่มตัวอย่าง	ระดับความพึงพอใจ				
๑. ด้านความพึงพอใจต่อการให้บริการและสถานที่	**(๕)**	**(๔)**	**(๓)**	**(๒)**	**(๑)**
๑.๑ วิทยากรให้บริการด้วยความสุภาพ เป็นมิตร					
๑.๒ วิทยากรมีความสามารถในการถ่ายทอดความรู้ให้คำแนะนำตอบคำถามและช่วยแก้ปัญหาได้					
๑.๓ เอกสารประกอบการอบรมมีความชัดเจนในเนื้อหา มีความเข้าใจง่าย					
๑.๔ ระยะเวลา อาหาร และสถานที่ ในการอบรมมีความเหมาะสม					
๒. ด้านความรู้ความเข้าใจ					
๒.๑ ได้รับความรู้ตรงตามความต้องการ					
๒.๒ ความรู้ ความเข้าใจในเรื่องนี้ ก่อนการอบรม					
๒.๓ ความรู้ ความเข้าใจในเรื่องนี้ หลังการอบรม					
๓. ด้านการนำความรู้ไปใช้					
๓.๑ สามารถนำความรู้ที่ได้รับไปใช้ในชีวิตประจำวัน					
๓.๒ สามารถนำความรู้ที่ได้รับไปใช้ให้เกิดประโยชน์และคุ้มค่า					
๓.๓ สามารถนำความรู้ไปเผยแพร่และถ่ายทอดได้					
๔. โดยภาพรวมแล้วท่านมีความพึงพอใจต่อการอบรมครั้งนี้					

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

.....

ข2. ผลการประเมินความพึงพอใจ

โครงการการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตของกล้วยเศรษฐกิจเพื่อเพิ่มมูลค่าเป็นผลิตภัณฑ์และเพิ่มมูลค่าทางการตลาดกล้วยหอมทองเพื่อยกระดับคุณภาพชีวิตเกษตรกร

อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี

วันที่ ๑๖ - ๑๘ กันยายน ๒๕๖๕

แบ่งเป็น เพศชาย ๕ คน เพศหญิง ๓๕ คน

ช่วงอายุ ๒๐ - ๓๐ ปี จำนวน ๑๒ คน อายุ ๓๐ - ๔๐ ปี จำนวน ๙ คน อายุ ๔๐ - ๕๐ ปี จำนวน ๑๕ คน อายุ ๕๐ ปีขึ้นไป จำนวน ๔ คน

ประเด็นที่พิจารณา/กลุ่มตัวอย่าง	ระดับความพึงพอใจ					รวม	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน
	(๕)	(๔)	(๓)	(๒)	(๑)			
๑. ด้านความพึงพอใจต่อการให้บริการและสถานที่								
๑.๑ วิทยากรให้บริการด้วยความสุภาพเป็นมิตร	๔๐					๔๐	๕.๐๐	๐.๐๐
๑.๒ วิทยากรมีความสามารถในการถ่ายทอดความรู้ให้คำแนะนำ ตอบคำถามและช่วยแก้ปัญหาได้	๓๓	๗				๔๐	๔.๘๓	๐.๓๘
๑.๓ เอกสารประกอบการอบรมมีความชัดเจนในเนื้อหา มีความเข้าใจง่าย	๒๗	๑๓				๔๐	๔.๖๘	๐.๔๗
๑.๔ ระยะเวลา อาหาร และสถานที่ ในการอบรมมีความเหมาะสม	๓๓	๖	๑			๔๐	๔.๐๕	๐.๕๐
๒. ด้านความรู้ความเข้าใจ								
๒.๑ ได้รับความรู้ตรงตามความต้องการ	๓๘	๒				๔๐	๔.๙๕	๐.๒๒
๒.๒ ความรู้ ความเข้าใจในเรื่องนี้ ก่อน การอบรม		๘	๑๔	๘	๑๐	๔๐	๒.๕๐	๑.๐๙
๒.๓ ความรู้ ความเข้าใจในเรื่องนี้ หลัง การอบรม	๒๙	๑๑				๔๐	๔.๗๓	๐.๔๕
๓. ด้านการนำความรู้ไปใช้								
๓.๑ สามารถนำความรู้ที่ได้รับไปใช้ในชีวิตประจำวัน	๓๖	๔				๔๐	๔.๙๐	๐.๓๐
๓.๒ สามารถนำความรู้ที่ได้รับไปใช้ให้เกิดประโยชน์และคุ้มค่า	๒๖	๑๔				๔๐	๔.๖๕	๐.๔๘
๓.๓ สามารถนำความรู้ไปเผยแพร่และถ่ายทอดได้	๑๘	๑๘	๔			๔๐	๔.๓๕	๐.๖๖
๔. โดยภาพรวมแล้วท่านมีความพึงพอใจต่อการอบรมครั้งนี้	๔๐					๔๐	๕.๐๐	๐.๐๐

ภาคผนวก ค
การพัฒนากำลังคนระดับปริญญาตรี

ค. การพัฒนากำลังคนระดับปริญญาตรี

จากโครงงานวิจัยนี้ได้พัฒนาทักษะและความรู้ของนักศึกษาระดับปริญญาตรีสาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการความปลอดภัยของอาหารในระหว่างปีการศึกษา 2563 – 2564 จำนวน 20 คน รายชื่อดังนี้

1. นางสาวปิยธิดา นะรานรัมย์
2. นางสาวณัฐฌา สิทธิไพโรจน์สกุล
3. นางสาวปิยธิดา โตอุส่าห์
4. นางสาวดรุษกร ประดิษฐ์โสภา
5. นางสาววัลดา โต๊ะอาดัม
6. นายกฤษวสันต์พงษ์ พวงขจร
7. นางสาววรรษยา ริมปิรังษี
8. นางสาวพรปวีณ์ เลิศสุวรรณ
9. นางสาวนุสรา ปิณฑรัตนวิบูลย์
10. นางสาวเกศลิน แน่นอุดร
11. นางสาวสาวิตรี รุ่งมงคล
12. นางสาวณัฏฐธิดา สีกาลัง
13. นางสาวปาริชาติ พูลแก้ว
14. นางสาววรการณ์ มูลบ้านดง
15. นางสาวศรินธร สวนใจ
16. นายศุภกร สถิรแพทย์
17. นางสาวอริสรา เป็ดทอง
18. นายณัฐพล ศรเดช
19. นางสาววาสิตา เผือกผกา
20. นายปรัชญา โพธารส