



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต(คหกรรมศาสตร์)

ปริญญา

คหกรรมศาสตร์

คหกรรมศาสตร์

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การเปรียบเทียบการทำมันสำปะหลังและมันฝรั่งบดคั้นรูปโดยวิธีทำแห้งแบบ
ตุกกึ่ง

The Comparison between Dehydrated Mashed Cassava and Potato by Drum Dryer

نامผู้วิจัย นายณัฐพงศ์ ทับทิม

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์น้อยนุช ศิริวงศ์, ประ.ด.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์ศิริพร เรียบร้อย, ประ.ด.)

หัวหน้าภาควิชา

(อาจารย์สาวิตรี พังงา, ศษ.ม.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

สิงสิงห์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การเปรียบเทียบการทำมันสำปะหลังและมันฝรั่งบดคั้นรูปโดยวิธีทำแห้งแบบดูลูกกลิ้ง

The Comparison between Dehydrated Mashed Cassava and Potato by Drum Dryer

โดย

นายณัฐพงศ์ ทับทิม

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สหกรรมศาสตร์)

พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ณัฐพงศ์ ทับทิม 2557: การเปรียบเทียบการทำมันสำปะหลังและมันฝรั่งบดคั้นรูปโดยวิธี
ทำแห้งแบบลูกกลิ้ง ปรินญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)
สาขาเกษตรศาสตร์ ภาควิชาเกษตรศาสตร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
อาจารย์น้องนุช ศิริวงศ์, ปร.ด. 78 หน้า

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณลักษณะของมันสำปะหลังบด เพื่อนำมันสำปะหลังบดมา
ทดแทนมันฝรั่งบางส่วนในมันบด พบว่ามันสำปะหลังได้ผลผลิตคิดเป็นร้อยละ 48.05 ของ
น้ำหนักมันสำปะหลังดิบทั้งหมด ซึ่งต่ำกว่าเมื่อเทียบกับผลผลิตมันฝรั่งบด (ร้อยละ 70.45 ของ
น้ำหนักมันฝรั่งดิบทั้งหมด) มันสำปะหลังบดที่ได้มีเนื้อสีขาวนวล เนื้อสัมผัสจะเหนียวและหยาบ
กว่ามันฝรั่ง จากนั้นเมื่อนำมันสำปะหลังบดมาทดแทนมันฝรั่งในการผลิตมันบด พบว่าเมื่อ
ทดแทนด้วยมันสำปะหลังบดในปริมาณมากขึ้น ค่า L^* a^* และ b^* มีแนวโน้มลดลง ($p < 0.05$) ส่วน
ค่าความแข็ง ค่าความแน่นเนื้อ ค่าความเหนียว และค่าการเกาะติดของมันบดมีค่าสูงขึ้นด้วย
($p < 0.05$) และคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านสี ความฉ่ำน้ำ ความเรียบเนียน ความแน่นเนื้อ
และความเหนียว มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณมันสำปะหลังที่เพิ่มสูงขึ้น ($p < 0.05$) ดังนั้นในการ
ผลิตมันบดโดยใช้มันสำปะหลังทดแทนมันฝรั่งในอัตราส่วนมันสำปะหลังต่อมันฝรั่งบดที่ 2:8
จึงเป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากมีคุณภาพทางกายภาพและทางประสาทสัมผัสใกล้เคียง
มันฝรั่งบด จากนั้นนำมันสำปะหลังบดและมันฝรั่งบดมาศึกษาสภาวะการทำแห้งด้วยเครื่องทำ
แห้งแบบลูกกลิ้ง พบว่าสภาวะที่เหมาะสมการผลิตมันสำปะหลังบดแห้งและมันฝรั่งบดแห้ง คือ
ปริมาณของแข็งร้อยละ 22 และอุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง 125 องศาเซลเซียส และการเพิ่มอุณหภูมิผิว
ลูกกลิ้งร่วมกับปริมาณของแข็งที่ระดับต่างๆ จะทำให้ปริมาณความชื้นมันบดแห้งทั้งสองชนิด
ลดลง และไม่มีผลต่อค่าความแข็ง และค่าการเกาะติด แต่จะส่งผลต่อความเหนียวและความแน่น
เนื้อของมันสำปะหลังบดและมันฝรั่งคั้นรูป และผลการทดสอบการยอมรับของมันสำปะหลังบด
คั้นรูปพบว่า ผู้ทดสอบชอบมันสำปะหลังบดคั้นรูปน้อยกว่ามันฝรั่งบดคั้นรูปในทุกคุณลักษณะ
($p < 0.05$) และอยู่ในระดับชอบปานกลาง

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Nathapong Tabtim 2014: The Comparison between Dehydrated Mashed Cassava and Potato by Drum Dryer. Master of Science (Home Economics), Major Field: Home Economics, Department of Home Economics. Thesis Advisor: Mrs. Nongnuch Siriwong, Ph.D. 78 pages.

This work was aimed to characterize mashed cassava which is required for replace potato and produced the mashed potato. The effect of physical property and ratio of cassava (C) and potato (P) was investigated. The results indicated that only 48.05 % of fresh weight yields can make mashed cassava compare to mashed potato (70.45% of fresh weight). In addition, mashed cassava provided off-white color, higher sticky and coarse texture compare to mashed potato. The ratios of cassava (C) and potato (P) also suggested that higher cassava proportion affected the lower L^* , a^* and b^* of mashed potato ($p < 0.05$). Consistently, increase of mashed cassava ratio affected hardness, work of penetration, stickiness and adhesiveness of mashed potato ($p < 0.05$). This also affected sensory quality of color, watery, smooth, firmness and sticky when increased a proportion of mashed cassava ($p < 0.05$). From this study, the ratio of 2:8 of C:P has been shown similar to mashed potato both physical and sensory.

Then, dehydrated mashed cassava and potato flakes production using drum dryer were studied. Twenty two percent of total solid content and roller surface temperature at $125\text{ }^{\circ}\text{C}$ were optimal condition. However, the higher roller surface temperature with different of total solid content decreased moisture content of dehydrated mashed cassava and potato flakes. Although these conditions could not be influenced hardness and adhesiveness, they affected stickiness and work of penetration of reconstituted cassava and potato flakes. The reconstituted cassava flakes showed less acceptance than potato flakes in all attributes ($p < 0.05$).

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จด้วยดี ต้องขอกราบขอบพระคุณ ดร.น้องนุช ศิริวงศ์ อาจารย์ที่
ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ดร.ศิริพร เรียบร้อย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ผศ. ดร.อัญชนีย์
อุทัยพัฒนาชีพ ประธานกรรมการสอบปากเปล่าขั้นสุดท้าย และผศ. ดร. อภัสรา แสงนาค
ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จสมบูรณ์
ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ทุกท่าน
ที่ได้อบรมสั่งสอนและให้ความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ขอขอบคุณบุคลากร เจ้าหน้าที่ และนิสิต
ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำต่างๆ

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ผู้ให้การสนับสนุนทางการศึกษา พร้อมทั้งมอบความรัก
ความห่วงใย กำลังใจ และขอขอบคุณนิสิตปริญญาโทภาควิชาคหกรรมศาสตร์ ตลอดจนผู้ที่ทดสอบ
ทางประสาทสัมผัสทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและให้ความร่วมมือด้วยดีเสมอมา จนงานวิจัยสำเร็จ
ได้ด้วยดี

ณัฐพงศ์ ทับทิม

มิถุนายน 2557

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	22
อุปกรณ์	22
วิธีการ	24
ผลและวิจารณ์	29
สรุปและข้อเสนอแนะ	53
สรุป	53
ข้อเสนอแนะ	54
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	55
ภาคผนวก	61
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและทางกายภาพ	62
ภาคผนวก ข แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส	72
ภาคผนวก ค การคำนวณโดยใช้สีเหลี่ยมของเพียร์สัน	75
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	78

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	คุณค่าทางอาหารของมันเป็นค่าเฉลี่ยในส่วนที่เป็นเนื้อน้ำหนักรวม 100 กรัม	5
2	คุณค่าทางโภชนาการของมันฝรั่งในส่วนที่เป็นเนื้อน้ำหนักรวม 100 กรัม	12
3	คุณภาพทางเคมีของมันสำปะหลังบดสดและมันฝรั่งบดสด	30
4	คุณภาพทางกายภาพของมันสำปะหลังบดสดและมันฝรั่งบดสด	31
5	ทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมันสำปะหลังบดสดและมันฝรั่งบดสดด้วยวิธี QDA	32
6	คุณภาพทางกายภาพของมันสำปะหลังบดสดพร้อมรับประทานและมันฝรั่งบดสดพร้อมรับประทาน	34
7	คุณภาพทางประสาทสัมผัสของมันสำปะหลังบดสดพร้อมรับประทานและมันฝรั่งบดสดพร้อมรับประทานด้วยวิธี QDA	35
8	คุณภาพทางกายภาพของมันฝรั่งบดพร้อมรับประทาน (P) มันสำปะหลังบดพร้อมรับประทาน (C) และมันสำปะหลังทดแทนมันฝรั่งในมันบดพร้อมรับประทานในอัตราส่วนต่างๆ	37
9	คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสโดยวิธี QDA มันฝรั่งบดพร้อมรับประทาน (P) มันสำปะหลังบดพร้อมรับประทาน (C) และมันสำปะหลังทดแทนมันฝรั่งในมันบดพร้อมรับประทานในอัตราส่วนต่างๆ	39
10	คุณภาพทางกายภาพของมันสำปะหลังบด โดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งที่อุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง และปริมาณของแข็งที่ระดับต่างๆ	40
11	ค่าเนื้อสัมผัสของมันสำปะหลังบดแห้งที่อุณหภูมิผิวลูกกลิ้งและปริมาณของแข็งที่ระดับต่างๆหลังคืนรูป	41
12	ปัจจัยหลักด้านระดับอุณหภูมิผิวลูกกลิ้งในการทำแห้งมันสำปะหลังที่มีผลต่อค่าความเหนียว	43
13	ปัจจัยหลักด้านปริมาณของแข็งในการทำแห้งมันสำปะหลังที่มีผลต่อค่าความเหนียว	43

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
14	คุณภาพทางกายภาพของน้ำมันฝรั่งบดแห้งที่อุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง และปริมาณของแข็งที่ระดับต่างๆหลังคั้นรูป	44
15	ค่าเนื้อสัมผัสของน้ำมันสำปะหลังบดแห้งที่อุณหภูมิผิวลูกกลิ้งและปริมาณของแข็งที่ระดับต่างๆหลังคั้นรูป	45
16	ปัจจัยหลักด้านระดับอุณหภูมิผิวลูกกลิ้งในการทำแห้งน้ำมันฝรั่งที่มีผลต่อค่าความสว่าง (L^*) และค่า Work of Penetration	46
17	ปัจจัยหลักด้านปริมาณของแข็งในการทำแห้งน้ำมันฝรั่งที่มีผลต่อค่าความสว่าง (L^*) และค่า Work of Penetration	46
18	คะแนนความชอบเฉลี่ยของน้ำมันสำปะหลังบดคั้นรูปและน้ำมันฝรั่งบดคั้นรูปพร้อมรับประทาน	47

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งชนิดต่างๆ	19
2	ภาพตัดขวางของการจัดเรียงตัวของเซลล์ที่มีเม็ดสีตั้งอยู่ภายในเซลล์ใน น้ำมันฝรั่งดิบและน้ำมันสำปะหลังดิบที่กำลังขยาย 200 เท่า	49
3	ภาพตัดขวางของการจัดเรียงตัวของเซลล์ที่มีเม็ดสีตั้งอยู่ภายในเซลล์ใน น้ำมันฝรั่งนึ่งสุกและน้ำมันสำปะหลังนึ่งสุกที่กำลังขยาย 200 เท่า	49
4	ภาพการกระจายตัวของเซลล์ที่มีเม็ดแป้งอยู่ภายในเซลล์ ในมันฝรั่งบดสด และ มันสำปะหลังบดสด ที่กำลังขยาย 200 เท่า	51
5	ภาพเซลล์ที่มีเม็ดแป้งอยู่ภายในเซลล์ในมันฝรั่งบดและมันสำปะหลังบด หลังคั้นรูปที่กำลังขยาย 200 เท่า	51

การเปรียบเทียบการทำมันสำปะหลัง และมันฝรั่งบดคั้นรูปโดยวิธีทำแห้งแบบลูกกลิ้ง

The Comparison between Dehydrated Mashed Cassava and Potato

by Drum Dryer

คำนำ

มันสำปะหลัง (*Manihot esculenta* Crantz) เป็นพืชสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย ซึ่งประเทศไทย เป็นประเทศที่ผลิตมันสำปะหลังรายใหญ่ของโลก และเป็นผู้ส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังอันดับที่ 1 ของโลก โดยในปี ค.ศ. 2009 ส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังทั้งหมดจำนวน 4-6 ล้านเมตริกตัน (TTTA, 2009) ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่จะเป็นมันเส้นและมันอัดเม็ด นอกจากนี้ยังมีการผลิตทั้งในรูปของแป้งดิบ (Native starch) และแป้งดัดแปร (Modified starch) เพื่อนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมที่ไม่ใช่อาหาร (วายุทธ, 2553) มันสำปะหลังดังกล่าวจะเป็นสายพันธุ์ประเภทขม (Bitter type) ซึ่งมีปริมาณไซยาไนด์สูงจึงนิยมนำไปแปรรูปเพื่อใช้ในอุตสาหกรรม ส่วนมันสำปะหลังอีกประเภทหนึ่ง คือมันสำปะหลังประเภทหวาน (Sweet type) ซึ่งมันสำปะหลังชนิดนี้จะมีปริมาณไซยาไนด์ต่ำ (Charoenkul *et al.*, 2011) ส่วนใหญ่นำมาแปรรูปเป็นวัตถุดิบในการประกอบอาหารหวาน เช่น มันเชื่อม มันปิ้ง ขนมัน เป็นต้น (จิณฉกร์, 2537) โดยเฉพาะสายพันธุ์มันหวานที่ ที่มีลักษณะเด่นคือลักษณะเนื้อสัมผัสเมื่อสุก แล้วจะร่วนซุยคล้ายกับมันฝรั่ง แต่จะมีลักษณะของเนื้อที่มีเส้นใยมากกว่าจึงทำให้เมื่อรับประทานจะรู้สึกสากลิ้น และยังมีสมบัติที่เด่นกว่ามันฝรั่ง คือไม่มีกลิ่นไม่มีรส ทำให้สามารถปรุงแต่งรสได้ตามต้องการโดยไม่มีกลิ่นพื้นฐานของวัตถุดิบเหมือนกับมันฝรั่ง ถ้าสามารถนำมันสำปะหลังชนิดหวานมาแปรรูปให้เป็นมันบดคั้นรูป และมีคุณภาพใกล้เคียงกับมันฝรั่งบดจะทำให้เกิดผลิตภัณฑ์จากมันสำปะหลังรูปแบบใหม่ๆ ที่สามารถผลิตออกมาในเชิงการค้าขายได้ เป็นทางเลือกให้แก่ผู้บริโภคที่จะได้รับประทานผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ รวมทั้งระดับอุตสาหกรรมสามารถนำวัตถุดิบที่ได้มาแปรรูปเป็นอาหารชนิดต่างๆ เป็นการลดต้นทุนการนำเข้ามันฝรั่งแปรรูป ซึ่งมีราคาต้นทุนสูง นอกจากนี้เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับมันสำปะหลังซึ่งมีราคาถูกและยังเป็นการเผยแพร่เทคโนโลยีในการแปรรูปผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังในรูปแบบอื่นๆ ที่ประเทศไทยยังมีจำกัดอยู่ให้กับเกษตรกร หรือผู้ผลิต เพื่อให้หันมาสนใจปลูกหรือลงทุนเกี่ยวกับมันสำปะหลังสายพันธุ์ที่ใช้เพื่อการบริโภคได้ในช่วงราคามันสำปะหลังที่ใช้ในการผลิตแป้งตกต่ำ ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงศึกษาคุณลักษณะทางเคมีกายภาพ และประสาทสัมผัสของมันสำปะหลังบด และมันฝรั่งบดพร้อมรับประทาน รวมทั้งศึกษากระบวนการผลิตมันสำปะหลังบดคั้นรูปเพื่อให้มีคุณภาพใกล้เคียงกับมันฝรั่งบด และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบคุณลักษณะทางเคมีกายภาพ และประสาทสัมผัสของน้ำมันรำข้าวและน้ำมันรำข้าวคั่วและพร้อมรับประทาน
2. เพื่อศึกษาการทดแทนน้ำมันรำข้าวด้วยน้ำมันรำข้าวคั่วต่อคุณลักษณะทางกายภาพ และประสาทสัมผัสของน้ำมันรำข้าวคั่วพร้อมรับประทาน
3. เพื่อศึกษาปริมาณของแข็ง และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำแห้งน้ำมันรำข้าวคั่ว และน้ำมันรำข้าวคั่วแบบลูกกลิ้ง

การตรวจเอกสาร

1. มันสำปะหลัง

มันสำปะหลัง (*Manihot esculenta* Crantz) เป็นพืชที่มีต้นกำเนิดอยู่ในเขตร้อนทวีปอเมริกา โดยเฉพาะในอเมริกาใต้แถบประเทศเม็กซิโก เปรู กัวเตมาลา และฮอนดูรัส ซึ่งสันนิษฐานว่ามีการปลูกมันสำปะหลังประมาณ 3,000-7,000 ปีมาแล้ว ต่อมาก็ขยายไปทั่วเขตร้อนของทวีปอเมริกา และได้ขยายไปสู่แหล่งอื่นๆของโลกสำหรับการนำเข้ามาปลูกในประเทศไทยไม่ปรากฏหลักฐานแน่ชัด แต่มีรายงานการผลิตตั้งแต่คริสต์ศตวรรษที่ 18 พันธุ์ที่นำมาครั้งแรกเชื่อว่าเป็นชนิดหวานที่เรียกว่า มันห่านาที่ ส่วนพันธุ์ชนิดขมที่ปลูกเป็นการค้าเชื่อนำมาจากประเทศมาเลเซีย ภายหลังได้กระจายไปบริเวณอื่นๆของประเทศ เช่น ทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคตะวันออก เนื่องจากมันสำปะหลังเป็นพืชที่ปลูกง่าย ทนทานต่อความแห้งแล้ง สามารถเจริญเติบโตได้ในพื้นที่ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำปลูกได้ตลอดปี และสามารถเก็บเกี่ยวได้หลังจากเพาะปลูก 8-12 เดือน (คนัย, 2537)

1.1 ชนิดของมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังที่ปลูกกันทั่วไปสามารถแบ่งออกเป็นประเภทใหญ่ ๆ ได้ 2 ประเภท คือ ประเภทที่ใช้เพื่อการบริโภค หรือ มันสำปะหลังประเภทหวาน (Sweet type) และประเภทใช้ในอุตสาหกรรม หรือ มันสำปะหลังประเภทขม (Bitter type) ซึ่งมันสำปะหลังทั้งสองประเภทนี้จะแตกต่างกันที่ปริมาณไฮโดรเจนไซยาไนด์ พันธุ์ประเภทที่ใช้เพื่อการบริโภคเป็นสายพันธุ์ที่มีปริมาณไฮโดรเจนไซยาไนด์ต่ำ (น้อยกว่า 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมหัวสด) และพันธุ์ประเภทใช้ในอุตสาหกรรมเป็นสายพันธุ์ที่มีปริมาณไฮโดรเจนไซยาไนด์สูง (สูงถึง 250 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมหัวสด หรือมากกว่า) (จิณณจาร์, 2537) ในประเทศไทยมีมันสำปะหลังประเภทที่ใช้เพื่อการบริโภคที่ได้รับการรับรองสายพันธุ์จากกรมวิชาการเกษตรมีอยู่ 2 สายพันธุ์คือพันธุ์ห่านาที่ และระยอง 2 พันธุ์ห่านาที่ส่วนใหญ่ใช้ทำขนมต่าง ๆ ด้วยการต้ม ปิ้ง หรือทำให้สุกด้วยวิธีอื่น ส่วนพันธุ์ระยอง 2 เป็นพันธุ์ที่ใช้ในการผลิตมันทอด (Chip) สำหรับมันสำปะหลังประเภทใช้ในอุตสาหกรรมเป็นกลุ่มที่ให้ผลผลิตสูงส่วนใหญ่ใช้ผลิตเป็นแป้งมันและใช้ในการเลี้ยงสัตว์ ได้แก่พันธุ์ระยอง 1, ระยอง 3, ระยอง 5, ระยอง 60, ระยอง 90 และเกษตรศาสตร์ 50 มันสำปะหลังประเภทนี้เมื่อผ่านกระบวนการสกัด แป้ง เช่น การล้าง หรือการให้ความร้อน ปริมาณไฮโดรเจนไซยาไนด์จะลดลงจนเป็นที่ยอมรับ (จิณณจาร์, 2537)

มันสำปะหลังสายพันธุ์ห่านาที เป็นพันธุ์ที่ปลูกในประเทศไทยมานานประมาณกว่า 200 ปีมาแล้ว หรือเรียกอีกชื่อว่า พันธุ์ยอดแดง หรือ พันธุ์มันญวน ส่วนใหญ่ใช้ทำขนมต่าง ๆ เช่น มันปิ้ง และมันเชื่อม ปริมาณที่ปลูกจึงไม่ค่อยมากนักจัดเป็นประเภทที่ใช้หัวสำหรับรับประทาน (sweet or cooking or table type) ด้วยการต้ม เผาหรือทำให้สุกด้วยวิธีอื่น มีลำต้นตั้งตรง สูงประมาณ 2.5-3.0 เมตร แตกแขนงที่ยอดประมาณ 1-2 แขนง ลำต้นมีสีน้ำตาลอมเขียว ใบมีประมาณ 5-9 แฉกแต่ละแฉกมีลักษณะป้อม แฉกกลางกว้างประมาณ 2.6-4.8 เซนติเมตร ยาวประมาณ 17 เซนติเมตร ใบมีสีเขียวอ่อน ก้านใบสีแดง สีเปลือกของหัวมีสีน้ำตาลเข้ม สีเนื้อของหัวเป็นสีขาว ให้ผลผลิตหัวสดประมาณ 2-3 ตัน ต่อไร่ในสภาพไร่และ 5 ตัน ต่อไร่ในสภาพสวน

1.2 ประโยชน์ของมันสำปะหลัง

ประเทศไทยมีการปลูกมันสำปะหลังเป็นจำนวนมาก และมีการส่งออกเป็นสินค้าในรูปแบบต่างๆ โดยมีการแปรรูปในอุตสาหกรรมแป้ง และอาหารสัตว์เป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้ยังนำมารับประทานในรูปอาหารชนิดต่างๆ มันสำปะหลังเป็นพืชที่สามารถจะนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวาง ทั้งด้านอุตสาหกรรม และเป็นอาหารของมนุษย์และสัตว์ ทุกส่วนของต้นมันสำปะหลังสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ทั้งสิ้น ไม่ว่าจะเป็นใบ ลำต้น ตลอดจนถึงหัวซึ่งเป็นส่วนของราก การนำมันสำปะหลังมาใช้ประโยชน์ภายในประเทศค่อนข้างแคบมักจำกัดอยู่เพียงอุตสาหกรรมแป้ง และอาหารสัตว์ ส่วนที่นำมารับประทานก็เพียงเป็นอาหารว่างประเภทขนมหวานเล็กน้อยเท่านั้น มันสำปะหลังถูกนำไปใช้เป็นอาหารหลักของมนุษย์อย่างมากและเป็นเวลาช้านานมาแล้ว โดยเฉพาะในประเทศแถบแอฟริกา และอเมริกาใต้ตลอดจนบางประเทศในเอเชีย (พวงเพชร, 2537)

1.3 คุณค่าทางโภชนาการของมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังถือเป็นอาหารที่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูง และมีวิตามินซี โพแทสเซียม แมงกานีส และฟอสฟอรัสสูง ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณค่าทางอาหารของมันสำปะหลังในส่วนที่เป็นเนื้อน้ำหนัก 100 กรัม

คุณค่าทางโภชนาการ	มันสำปะหลัง	หน่วยวัด
คาร์โบไฮเดรต (carbohydrate)	38.1	กรัม
เส้นใยอาหาร (dietary fiber)	1.8	กรัม
น้ำตาล (sugar)	1.7	กรัม
ไขมัน (fat)	0.3	กรัม
โปรตีน (protein)	1.4	กรัม
วิตามิน (vitamin)		
เบต้าแคโรทีน (beta carotene)	8.0	ไมโครกรัม
วิตามิน ซี (vitamin C)	20.6	มิลลิกรัม
วิตามิน อี (vitamin E)	0.2	มิลลิกรัม
เกลือแร่ (mineral)		
แคลเซียม (calcium)	16.0	มิลลิกรัม
เหล็ก (iron)	0.3	มิลลิกรัม
แมงกานีส (magnesium)	21.0	มิลลิกรัม
ฟอสฟอรัส (phosphorus)	27.0	มิลลิกรัม
โพแทสเซียม (potassium)	271.0	มิลลิกรัม
โซเดียม (sodium)	14.0	มิลลิกรัม
สังกะสี (zinc)	0.3	มิลลิกรัม
ทองแดง (copper)	0.1	มิลลิกรัม
แมงกานีส (manganese)	0.4	มิลลิกรัม

ที่มา: คัดแปลงจาก USDA (2014)

1.4 ชนิดและการแปรรูปมันสำปะหลัง

1.4.1 หัวสด, มันเส้นและกากมัน

ก. ใช้เป็นอาหารมนุษย์ โดยทั่วไปจะมีการนำมันสำปะหลังมาหมัก แล้วเติมเนื้อสัตว์ น้ำมัน ผัก เครื่องเทศและน้ำปรุงรสซึ่งแต่ละประเทศจะมีรูปแบบและวัฒนธรรม ในการรับประทานที่แตกต่างกัน (Onwueme, 1978) ตัวอย่างเช่น

1) Gari นิยมบริโภคกันมากทางแอฟริกาตะวันตก โดยนำหัวมัน สำปะหลังมาปอกเปลือก ล้าง และบด นำส่วนที่บดได้ใส่ลงในถุงผ้า และนำวัสดุที่มีน้ำหนักมากๆ มากดไว้ 2-4 วัน น้ำก็จะถูกบีบออก ในช่วงนี้ก็จะเกิดการหมักเล็กน้อย หลังจากนั้นจึงนำออกจากถุง ผ้าและร่อนผ่านตะแกรง แล้วจึงนำมาใส่ในหม้อหรือกระทะก้นตื้นเพื่อให้ความร้อนและคน ตลอดเวลาพร้อมกับเติมน้ำมันลงไปเล็กน้อยเพื่อป้องกันการไหม้ และช่วยให้มีสีนํ้ารับประทาน เมื่อ แห้งพอแล้วจึงนำมาแผ่นภาชนะเพื่อให้เย็นลง ซึ่งในขั้นนี้ก็พร้อมที่จะนำมารับประทานได้ แต่ บางครั้งอาจจะนำมาร่อนคัดขนาดอีกครั้ง และวิธีนี้สามารถทำได้ในครัวเรือน แต่ในปัจจุบันมีการ นำเครื่องจักรมาใช้ในการผลิตจึงช่วยลดระยะเวลาในการผลิตโดยการกดเพื่อบีบน้ำออกจะนำเครื่อง Hydraulic press ซึ่งใช้ระยะเวลาสั้นกว่า และการกดแบบนี้จะเกิดการหมักได้น้อยกว่าแบบดั้งเดิม Gari ที่แห้งแล้วสามารถเก็บได้นานที่อุณหภูมิห้อง อาจจะรับประทานเป็นรูปขนมขบเคี้ยว (Snack) ได้โดยตรง หรืออาจจะเติมนํ้าเย็นและคนให้พองตัวแล้วรับประทานได้ทันทีเช่นกัน แต่ส่วนใหญ่ วิธีการรับประทานจะเติมนํ้าร้อนและคนให้เป็นลักษณะแป้งเปียก (Paste) คล้าย Pound yam เวลา รับประทานจะปั้นเป็นก้อนกลม และจุ่มลงใน stew หรือ soup

2) Farinha de mandioca มันสำปะหลังในรูปแบบนี้นิยมบริโภคใน บราซิล และในบางส่วนของอเมริกาใต้ เตรียมได้โดยนำหัวมันสดมาล้าง ปอกเปลือก บด และบีบน้ำ ออก 2-3 ชั่วโมง หลังจากนั้นจึงนำมาร่อนผ่านตะแกรง แล้วให้ความร้อนบนหม้อแบนโดยให้ความ ร้อนต่ำๆ วิธีการเตรียม Farinha จะเหมือนกับ Gari มากแต่แตกต่างกันตรงการบีบกดและหมักจะใช้ เวลาสั้นกว่า ส่วนวิธีการรับประทานจะเหมือนกับ Gari การผลิตในบราซิลใช้เครื่องจักรมาหลายสิบ ปีแล้ว ทำให้มีกำลังการผลิตต่อวันสูงถึง 30 ตันหัวสด และในหัวสด 1 ตันสามารถผลิต Farinha ได้ 0.35-0.40 ตัน

3) Meal of retted cassava การผลิตทำโดยแช่หัวมันสดในน้ำหลายวันจนกระทั่งหัวมันสำปะหลังนิ่ม แล้วจึงนำมาบดในน้ำและร่อนผ่านตะแกรงหยาบ หลังจากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนในถุงผ้า เพื่อจะได้บีบน้ำส่วนที่เหลือออกก็จะได้ก้อนแป้งสีขาว ส่วนใหญ่บริโภคกันในชนบทของแอฟริกาตะวันตก และลุ่มแม่น้ำคองโก Meal of retted cassava จะต้องทำให้สุกก่อนรับประทาน โดยอาจจะปั้นเป็นก้อนกลมๆ ต้มในน้ำเดือด และบด แล้วรับประทานแบบ pound yam แต่ประชาชนในลุ่มแม่น้ำคองโกจะรับประทานโดยนำหัวมันที่แช่น้ำมาต้มและบดซึ่งเรียกว่า Chikwangue ขณะบดจะดึงเส้นใยตรงกลางออก และนำส่วนที่บดได้มาห่อด้วยใบไม้แล้วจึงนำไปนึ่งจนสุก สามารถเก็บไว้ในห่อใบไม้ได้นานถึงสัปดาห์

4) Cassaripo หรือ Tucupay เตรียมจากน้ำที่ได้จากการบีบน้ำมันสับหรือบด ส่วนใหญ่น้ำเหล่านี้อาจทิ้ง แต่ในอเมริกาใต้เชื่อว่าน้ำส่วนนี้มีคุณค่าทางโภชนาการ จึงนำมาทำการระเหยเพื่อทำให้เข้มข้นโดยเติมเครื่องเทศชนิดต่างๆ รวมทั้งพริกด้วย ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับซอสถั่วเหลือง ในอินเดียตะวันตกเรียกว่า Cassaripo ส่วนในประเทศบราซิลเรียกว่า Tucupay และชาวอินเดียจะใช้ Cassaripo ในการถนอมอาหาร เช่น ปลา หรือเนื้อสัตว์ ซึ่งสามารถเก็บได้เป็นปี (Grace, 1977)

ข. ใช้เลี้ยงสัตว์โดยตรง มันสำปะหลังเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตสำหรับการนำมาผสมกับหัวอาหารเพื่อเป็นอาหารสัตว์ แต่ต้องเพิ่มวิตามิน เกลือแร่ และกรดอะมิโนบางตัว เช่น อาหารสำหรับเลี้ยงไก่

ค. ใช้เป็นแหล่งในการผลิตเอทานอลเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง

ง. เปลือกมันใช้ในการเตรียม activated carbons ซึ่งมีประสิทธิภาพในการดูดซับสีและโลหะได้

1.4.2 ฟลาวล์ (Flour)

ฟลาวล์เตรียมได้โดยนำหัวมันสำปะหลังสดมาปอกเปลือก ล้าง หั่นเป็นเส้นตามยาว ตากแดด บดและเก็บในภาชนะปิดสนิท ซึ่งฟลาวล์ที่ได้จะมีเส้นใยและองค์ประกอบอื่น ๆ อยู่ครบถ้วน เส้นใยนี้จะมีคุณค่าทางอาหารและเป็นประโยชน์ต่อร่างกายในปัจจุบันได้มีการผลิตฟลาวล์เพื่อนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมอบ โดยเตรียมได้จากการนำหัวมันสดมาปอกเปลือก หั่นเป็นชิ้นเล็กๆ ตากแห้ง บดให้ละเอียด แล้วร่อนด้วยตะแกรงร่อนแป้ง จะได้ฟลาวล์ที่สามารถนำมาใช้ในขนมอบชนิดต่างๆ ได้คล้ายแป้งสาลี เช่น ขนมปัง บิสกิต เค้ก แพนเค้ก คุกกี้ พาย เป็นต้น สามารถนำมาทดแทนแป้งสาลี แป้งข้าวเจ้าได้บางส่วนในอาหารบางชนิด ในประเทศไทยที่ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยองประสบความสำเร็จในการผลิตฟลาวล์จากมันสำปะหลังเพื่อใช้ทดแทนแป้งสาลีที่จะต้องนำเข้าจากต่างประเทศ สำหรับผู้ที่ต้องใช้ฟลาวล์ในการทำขนมแทนแป้งสาลีนั้นสามารถผลิตขึ้นได้เองโดยใช้เทคโนโลยีที่ไม่ซับซ้อนซึ่งขณะนี้ยังไม่มีการผลิตในเชิงอุตสาหกรรม สมบัติของฟลาวล์จากมันสำปะหลังเมื่อใช้ทดแทนแป้งสาลีในการทำขนมอบ (จิณณจาร์, 2537) คือ

ก. ในการใช้แป้งปริมาณเท่ากันในขนมบางชนิดจะได้เนื้อขนมน้อยกว่าแป้งสาลี ต้องเพิ่มปริมาณแป้งในสูตรขนมลงไปอีกประมาณร้อยละ 10-15

ข. ขนมบางชนิดเมื่อใช้ฟลาวล์จากมันสำปะหลังทั้งหมดจะมีกลิ่นของมันสำปะหลังแก้ไข้ได้โดยผสมแป้งสาลีหรือใช้สารแต่งกลิ่น เช่น กาแฟ ช็อกโกแลต เป็นต้น

ค. ขนมที่ทำจากฟลาวล์สำปะหลังจะมีเนื้อขนมที่เหนียวกว่าแป้งสาลี

ง. ขนมบางชนิดที่ต้องการนวดให้เกิดกลูเตนที่ได้จากโปรตีนฟลาวล์จากมันสำปะหลังแต่เพียงอย่างเดียวไม่สามารถทำได้เพราะมีโปรตีนน้อยต้องมีแป้งสาลีช่วยในปริมาณที่ค่อนข้างมาก เช่น การทำขนมปัง

1.4.3 สตาร์ช (Starch)

ส่วนใหญ่จะมีการทำสตาร์ชเป็นระดับอุตสาหกรรมทั้งขนาดเล็กและใหญ่ ซึ่งเตรียมได้โดยนำหัวมันสำปะหลังสดมาเข้าเครื่องล้าง ขูดผิวเปลือกด้านนอก แล้วจึงเข้าเครื่องบด หลังจากนั้นจึงผ่านเข้าเครื่องกรองกากออก และแป้งจะตกตะกอนเป็นชั้นๆ อยู่ด้านล่าง แล้วจึงเข้าเครื่อง Centrifugal separator เพื่อเอาน้ำออกจากแป้ง แล้วจึงนำแป้งชั้นที่ได้ไปทำแห้งด้วยความชื้นสุดท้ายอยู่ในช่วงร้อยละ 10-14 แป้งที่ได้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ดังนี้

ก. ใช้เป็นอาหารมนุษย์ อาหารทารก เป็นสารทำให้เกิดความข้นหนืด (Thickening agent) ในอาหารต่างๆ ใช้ในพวก Extruded snack ใช้ผลิตสาเกใช้แป้งเป็นวัตถุดิบเริ่มต้นในการผลิตสารปรุงแต่งรสในอาหาร เช่น ผงชูรส ใช้ผลิตสารให้ความหวานเช่นน้ำเชื่อม กลูโคสน้ำเชื่อมฟรุตโทสและอื่นๆที่ได้จากการย่อยแป้งให้เล็กลงเป็นหน่วยของน้ำตาลต่างๆ มีความจำเป็นต้องใช้ในอุตสาหกรรมขนมหวาน ลูกกวาดยาสีฟันและยา

ข. ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เป็นวัตถุดิบหลักในผลิตกาว (Glue) และอุตสาหกรรมสารยึดติด (Adhesive) ส่วนในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางค์ ใช้แป้งเป็นสารช่วยให้เป็นผงฝุ่น และอุตสาหกรรมแป้งตัดแปรรูปแป้งที่ผลิตได้ส่วนใหญ่จะถูกนำมาเป็นดัดแปรด้วยปฏิกิริยาเคมีเพื่อให้แป้งมีคุณสมบัติพิเศษเช่นเหนียวขึ้นทนความร้อนทนกรดดีขึ้นเพื่อนำมาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ

2. มันฝรั่ง

มันฝรั่ง (*Solanum tuberosum* L) เป็นพืชที่ใช้บริโภคส่วนที่เป็นลำต้นที่มีหน้าที่สะสมอาหารอยู่ใต้ดิน จัดเป็นอาหารจำพวกแป้งที่สำคัญอันดับสี่ของโลก รองมาจาก ข้าว ข้าวสาลี และ ข้าวโพด (International Year of the Potato, 2008) มันฝรั่งจัดเป็นอาหารหลักชนิดหนึ่งของประชาชนในแถบยุโรปและอเมริกา นอกจากเป็นอาหารหลักแล้ว ยังแปรรูปเป็นอาหารชนิดต่างๆ เช่น มันฝรั่งทอด มันฝรั่งอบ และมันฝรั่งบด (วรกาญจน์, 2542)

มันฝรั่งจัดเป็นพืชเศรษฐกิจ ที่สำคัญในภาคเหนือของประเทศไทยให้ผลตอบแทนสูงเมื่อเปรียบเทียบกับพืชอื่น ๆ หลายชนิดโดยจะมีกำไรอยู่ระหว่าง 6,000 – 9,000 บาทต่อไร่ แหล่งปลูกที่สำคัญอยู่ในจังหวัดเชียงใหม่ และตาก ซึ่งมีผลผลิตรวมกันประมาณร้อยละ 90 ของผลผลิตทั้งหมด นอกจากนี้ยังมีการผลิตมันฝรั่งในจังหวัดลำพูน เชียงราย สกลนคร และเลย การปลูกมันฝรั่งในประเทศไทยมี 2 ประเภท คือ มันฝรั่งสำหรับบริโภคสดและมันฝรั่งแปรรูปส่งโรงงาน พื้นที่ปลูกรวมทั้งประเทศในปี 2557 ประมาณ 70,000 ไร่ และ ร้อยละ 90 เป็นการผลิตมันฝรั่งเพื่อเป็นวัตถุดิบสำหรับแปรรูปส่งโรงงาน (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2557)

ปัจจุบันคนไทยได้นิยมบริโภคอาหาร แบบตะวันตกเพิ่มมากขึ้นทั้งอาหารประเภทจานด่วน และอาหารว่างประเภทขนมเค้ก ซึ่งใช้มันฝรั่งซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตอาหารดังกล่าว ปริมาณความต้องการบริโภคเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปมันฝรั่งทอดแผ่นบาง ได้ขยายตัวอย่างรวดเร็วและมีความต้องการมันฝรั่งเพื่อเป็นวัตถุดิบประมาณ ปีละ 170,000 ตัน (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2557)

2.1 ประเภทของมันฝรั่ง

มันฝรั่งที่ปลูกในประเทศไทยนั้น มี 2 ประเภทคือ มันฝรั่งบริโภคสดและมันฝรั่งส่งโรงงานแปรรูป ดังนั้นพันธุ์ที่ใช้ปลูกจึงแตกต่างกันตามวัตถุประสงค์ของการใช้ประโยชน์ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2557) พันธุ์มันฝรั่งที่มีการปลูกมากในปัจจุบันมี 3 พันธุ์ คือ

2.1.1 พันธุ์สปุนต้า (Spunta)

เป็นพันธุ์สำหรับการบริโภคสดจัดเป็นพันธุ์ที่เพาะปลูกง่ายมีอายุเก็บเกี่ยวประมาณ 100-120 วัน เจริญเติบโตเร็ว ทรงต้นสูงทรงพุ่มแน่น ใบเล็ก ทนแล้งได้ดี โคนต้นสีม่วง ดอกขาวหัวรูปร่างยาวและมีขนาดใหญ่ ผิวเรียบสีเหลือง เนื้อสีเหลืองให้ผลผลิตสูง

2.1.2 พันธุ์เคนเนเบค (Kennebec)

เป็นพันธุ์สำหรับแปรรูปเป็นมันทอดแผ่นบาง (potato chip) จัดเป็นพันธุ์เบาปานกลาง มีอายุเก็บเกี่ยวประมาณ 100-120 วัน ใบใหญ่ทนแล้ง ได้ดี ลักษณะหัวกลมรีรูปไข่ ผิวเรียบสีเหลืองอ่อน เนื้อในสีขาว ให้ผลผลิตสูงปานกลาง

2.1.3 พันธุ์แอตแลนติก (Atlantic)

เป็นพันธุ์สำหรับการแปรรูปเช่นเดียวกับพันธุ์ เคนเนเบค มีอายุเก็บเกี่ยวประมาณ 100-120 วัน ทรงต้นตั้งตรง พุ่มหนาใบใหญ่สีเขียวเข้มหัวกลมขนาดกลางถึงเล็ก ผิวสีเหลืองอ่อน เป็นร่างแหเล็กน้อย เนื้อสีขาวครีมให้ผลผลิตสูง

2.2 คุณค่าทางโภชนาการของมันฝรั่ง

มันฝรั่งถือเป็นอาหารที่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูง นอกจากนี้ยังมีวิตามินซี เบต้าแคโรทีน และโพแทสเซียมสูง ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณค่าทางโภชนาการของมันฝรั่งในส่วนที่เป็นเนื้อน้ำหนัก 100 กรัม

คุณค่าทางโภชนาการ	มันฝรั่ง	หน่วยวัด
คาร์โบไฮเดรต (carbohydrate)	12.4	กรัม
เส้นใยอาหาร (dietary fiber)	2.5	กรัม
น้ำตาล (sugar)	-	กรัม
ไขมัน (fat)	0.1	กรัม
โปรตีน (protein)	2.6	กรัม
วิตามิน (vitamin)		
เบต้าแคโรทีน (beta carotene)	11.4	ไมโครกรัม
วิตามิน ซี (vitamin C)	30.0	มิลลิกรัม
วิตามิน อี (vitamin E)	-	มิลลิกรัม
เกลือแร่ (mineral)		
แคลเซียม (calcium)	30.0	มิลลิกรัม
เหล็ก (iron)	3.2	มิลลิกรัม
แมกนีเซียม (magnesium)	23.0	มิลลิกรัม
ฟอสฟอรัส (phosphorus)	28.0	มิลลิกรัม
โพแทสเซียม (potassium)	413.0	มิลลิกรัม
โซเดียม (sodium)	10.0	มิลลิกรัม
สังกะสี (zinc)	0.4	มิลลิกรัม
ทองแดง (copper)	0.4	มิลลิกรัม
แมกนีเซียม (manganese)	0.6	มิลลิกรัม

ที่มา: คัดแปลงจาก USDA (2014)

2.3 อาหารที่ผลิตจากมันฝรั่ง

การประกอบอาหารจากมันฝรั่งมีหลากหลายวิธีการ ตั้งแต่กรรมวิธีการปรุงแบบการเอาเปลือกออก หรือไม่เอาเปลือกออก อาจจะปรุงรสหรือไม่ปรุงรส ก็ได้ ส่วนมากอาหารที่ทำมาจากมันฝรั่งจะเสิร์ฟแบบร้อนเช่น มันบด มันอบ และมันฝรั่งทอด แต่บางครั้งก็เสิร์ฟแบบเย็น เช่น สลัดมันฝรั่ง เป็นต้น (Janet, 1987)

2.3.1 Fish and chips นิยมบริโภคกันมากในประเทศอังกฤษ ซึ่งเตรียมโดยนำมันฝรั่งมาปอกเปลือกหรือไม่ปอกเปลือกก็ได้ ล้าง หั่นเป็นแท่งหนา แล้วจึงนำไปทอดในน้ำมันท่วม เมื่อสุกแล้วนำมาจัดเสิร์ฟคู่กันกับปลาหั่นเป็นชิ้นยาวชุบเกล็ดขนมปังทอด นิยมรับประทานเป็นอาหารว่าง วิธีนี้สามารถทำได้ในครัวเรือน แต่ในปัจจุบันมีการนำเครื่องจักรมาใช้ในการผลิตจึงสะดวกกับผู้บริโภคในการประกอบอาหารชนิดนี้ได้อีกทางหนึ่ง (Janet, 1987)

2.3.2 Hashed browned potatoes เป็นอาหารที่นิยมเสิร์ฟคู่กับอาหารจานด่วน ในประเทศสหรัฐอเมริกา ประกอบด้วยมันฝรั่งชุบเป็นเส้นสั้นๆ หรือหั่นเป็นทรงสี่เหลี่ยมเล็กๆ ผสมกับกะเทียม เกลือ พริกไทย ปั่นเป็นก้อนแล้วนำไปทอดแบบน้ำมันท่วมชิ้นอาหารทอดพอสีเหลืองทองแล้วจึงนำมาพักไว้ (Janet, 1987)

2.3.3 Samosa เป็นอาหารว่างที่นิยมในแถบทวีปเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เอเชียใต้ ประเทศแถบเมดิเตอร์เรเนียน และประเทศอินเดียตอนเหนือ วิธีการปรุงโดยใช้มันฝรั่งบดมาผสมกับหอมหัวใหญ่สับ เมล็ดถั่วลันเตา และผสมเนื้อสัตว์ เช่น เนื้อวัวบด หรือไก่บดปรุงรส ห่อด้วยแผ่นแป้ง ห่อให้เป็นรูปทรงสามเหลี่ยม แล้วจึงนำไปทอดในน้ำมันท่วม (Solomon, 1996)

3. การผลิตมันบดคั้นรูป

วัตถุดิบหลักในการผลิตมันบด คือ มันฝรั่ง และปัจจัยหลักในการควบคุมผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ดีขึ้นกับสายพันธุ์ที่เหมาะสมในการผลิต สายพันธุ์ที่นิยมนำมาทำมันฝรั่งบด คือ พันธุ์ Russet Burbank (Mcomber *et al.*, 1988) เนื่องจากพันธุ์นี้เมื่อทำเป็นมันบดแล้วจะทำให้เนื้อสัมผัสเรียบเนียน ลื่นลิ้น ซึ่งเป็นลักษณะเนื้อสัมผัสที่ผู้บริโภคต้องการ

ในการศึกษาวิธีการผลิตมันสำปะหลังบดคั้นรูปเบื้องต้นได้ศึกษาจากการผลิตมันฝรั่งบดคั้นรูป Lambert *et al.* (2004) และดัดแปลงมาจากสิทธิบัตรของ O'Neil *et al.* (1980), Villagran *et al.* (2003), Villagran *et al.* (2004) และ Villagran *et al.* (2006), ซึ่งการผลิตมีขั้นตอนดังนี้

3.1 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง (Preparation)

นำหัวมันฝรั่งสดมาล้างดินและสิ่งสกปรกออก แล้วจึงนำมาปอกเปลือกซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การขัดสี (Abrasion peeling), แช่ในด่าง (Lye peeling) หรือใช้ไอน้ำ (Steam peeling) การปอกเปลือกนี้เป็นการปรับปรุงกลิ่นรส โดยการลดสารประกอบพวก Prooxidant และสารตั้งต้นในการเกิดสีน้ำตาล (Browning precursors) หลังจากนั้นจึงหั่นมันฝรั่งเป็นชิ้นหนา 3/8-1/2 นิ้ว

3.2 ขั้นตอนของการลวก (Precooking)

โดยนำหัวมันมาลวกในน้ำซึ่งสามารถเติมสารประเภทลดการเปลี่ยนแปลงสี (Anti-discolorant chemicals) เช่น Sodium bisulfite และ Sodium acid pyrophosphate อุณหภูมิที่ใช้ในการลวกประมาณ 71 ± 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 ± 5 นาที ซึ่งการลวกนี้จะทำให้คุณภาพของเนื้อสัมผัสและลดการเกิดลักษณะเนื้อสัมผัสแบบ pastiness ในผลิตภัณฑ์สุดท้าย (O'Neil *et al.*, 1980)

3.3 ขั้นตอนทำให้เย็น (Cooling)

นำห้วมันที่ผ่านการลวกแล้วมาทำให้เย็นโดยจุ่มลงในน้ำเย็นอุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส (O'Neil *et al.*, 1980) หรืออาจใช้วิธีให้น้ำเย็นไหลผ่านห้วมันจนอุณหภูมิของห้วมันลดลงถึงอุณหภูมิห้องและต้องทำให้เย็นเร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้ ซึ่งการทำให้เย็นนี้เป็นการทำให้เกิดลักษณะของฟิล์มที่ผิวของห้วมัน และจะทำให้มีความทนทานต่อการนำไปทำให้สุกในขั้นตอนต่อไป

3.4 ขั้นตอนการทำให้สุก (Cooking)

นํามันฝรั่งที่ผ่านการทำให้เย็นแล้วมาให้ความร้อนต่อเพื่อให้สุก อาจจะใช้วิธีต้มในน้ำเดือด หรือนึ่งด้วยไอน้ำ ซึ่งวิธีที่ใช้กันมากคือการให้ความร้อนแบบนึ่ง (Steam cooking) ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสความดัน 14.7 psi และการให้ความร้อนแบบนี้สามารถลดการเกิดลักษณะ pastiness (O'Neil *et al.*, 1980) และช่วยให้เกิดลักษณะเนื้อสัมผัสส่ว (graininess) สำหรับระยะเวลาในการทำให้สุกจะวัดได้จากเนื้อสัมผัสของมันฝรั่งจะค่อยๆ นุ่มลง โดยวัดค่า hardness ที่เนื้อตรงกลางของชิ้นมันฝรั่งด้วยเครื่อง Texture analyzer ซึ่งความค่า hardness นี้จะลดลงอยู่ในช่วง 130-150 กรัม นอกจากนี้ Villagran *et al.* (2004) ได้ให้รายละเอียดในสิทธิบัตรของกระบวนการผลิต dehydrated potato products ว่าอุณหภูมิและระยะเวลาขึ้นอยู่กับขนาดของชิ้นมันฝรั่งที่หั่นและวิธีการทำให้สุก เช่น ห้วมันที่หั่นขนาดความหนา 3/8-1/2 นิ้ว ใช้อุณหภูมิ 93-121 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 14-18 นาที โดยทำให้สุกด้วยวิธีนึ่งไอน้ำ แต่ถ้าหั่นเล็กกว่านี้จะใช้เวลาลดลงเป็น 9-12 นาที

3.5 ขั้นตอนการบด (Mashing)

นํามันที่สุกแล้วมาบดโดยการบดจะมีหลายวิธีด้วยกัน อาศัยหลักการของ ricing, mashing และ shredding หรือผสมกันระหว่าง mashing และ shredding ซึ่งในทางการค้าจะมีเครื่องมือที่ใช้ในการบด เช่น เครื่อง Conventional potato shredder (Villagran *et al.*, 2006)

3.6 ขั้นตอนการเตรียมมันบดผสมกับสารปรับปรุงคุณภาพ

สารปรับปรุงคุณภาพนี้สามารถนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพในด้านต่างๆ ของมันบดคั้นรูป คือ ด้านเนื้อสัมผัสหลังจากนำมาเติมน้ำแล้วต้องให้ลักษณะเนื้อสัมผัสที่ใกล้เคียงกับแบบที่ทำสด กลิ่นรสต้องดี ไม่มีกลิ่นไหม้ หรือปรับปรุงในด้านสี ด้านกลิ่นรส เป็นต้น สารปรับปรุงคุณภาพของมันบดได้แก่

3.6.1 อิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier)

อิมัลซิไฟเออร์สามารถเติมในช่วงการบดได้เช่นกัน (Villagran, 2004) โดยปกติจะเติมประมาณ 0.1-0.5 % ในมันบด อิมัลซิไฟเออร์ที่นิยมเติมได้แก่ Distilled monoglyceride และ Diglyceride ของ partially-hydrogenated soybean oil นอกจากนี้ยังมีอิมัลซิไฟเออร์อื่นๆ ที่สามารถใช้ได้เช่น lactylate esters, sorbitan esters, polyglycerol ester และ lecithins ซึ่งอิมัลซิไฟเออร์เหล่านี้มีประโยชน์ในการช่วยเคลือบ free starch ไว้ ทำให้ลดการเกิด stickiness และ adhesiveness ของมันบดในช่วงการทำแห้งและยังเป็นเหมือนการหล่อลื่น (Lubrication) ลดความเสียหายของเซลล์มันฝรั่ง (Potato cell) ระหว่างกระบวนการผลิต

3.6.2 สารปรับปรุงคุณภาพอื่นๆ

สารปรับปรุงคุณภาพอื่นๆที่สามารถนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพมันฝรั่งบดคั้นรูป (Villagran, 2004) ได้แก่

สารช่วยคงตัว (Stabilizer) และสารกันเสีย (Preservative) จะช่วยปรับปรุงด้านการคงตัวและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์มันบดคั้นรูป เช่น สารประเภท Sulfite สามารถเติมในรูปของ Sodiumsulfite หรือ Sodiumbisulfite ลงในมันบดสดเพื่อใช้ผลิตเป็นมันบดคั้นรูปและมีปริมาณ sulfite ประมาณ 100-200 ppm ซึ่งสารเหล่านี้จะช่วยป้องกันการเปลี่ยนแปลงสีระหว่างกระบวนการผลิตและการเก็บรักษา

สารแอนติออกซิแดนท์ (Antioxidant) เช่น Propyl gallate, BHA (2 and 3-tert-butyl-4-hydroxy-anisole), BHT (3,5-di-tert-butyl-4-hydroxytoluene) และสารแอนติออกซิแดนท์ธรรมชาติ เช่น Rosemary, Thyme, Marjoran และ Sage ซึ่งสารแอนติออกซิแดนท์เหล่านี้สามารถเติมได้ในปริมาณ 10 ppm ของผลิตภัณฑ์มันบดคั้นรูป เพื่อป้องกันการเสียหายจากปฏิกิริยา Oxidation

น้ำเป็นสารปรับปรุงคุณภาพอีกชนิดหนึ่งที่เติมลงในมันบดสด เพื่อให้ง่ายต่อการป้อนตัวอย่างมันบดลงสู่ เครื่องทำแห้ง Drum dryer และยังช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อนระหว่างการทำแห้งอีกด้วย (Villagran *et al.*, 2003)

Citric acid สามารถเติมได้ในปริมาณ 200 ppm ของผลิตภัณฑ์มันบดคั้นรูป เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงสีจากเหล็ก (Iron ion) (Villagran *et al.*, 2005)

สารปรับปรุงด้านความแข็งแรงให้กับเซลล์ของมันฝรั่งขณะบดได้ เช่น Calcium carbonate, Calcium chloride, Calcium hydroxide หรือแหล่งอื่นๆ ของ Calcium หรือสารปรับปรุงลักษณะ elasticity ของมันบด เช่น Gum, Protein, Fiber หรือ สารเคมี (Succinic acid, Acetylated acid, Phosphoric acid และ Propylene oxide) (Villagran *et al.*, 2005)

Ascorbic acid เพื่อทดแทนการสูญเสียวิตามินซีในระหว่างกระบวนการผลิต

สารเพิ่มกลิ่นรส โดยทั่วไปกลิ่นรสอาจสูญเสียได้เนื่องจากความร้อนในการผลิตทั้งการทำให้สุกและการทำแห้ง ได้แก่ สารตั้งต้นของกลิ่นรส เช่น Amino acid (Methionine), สารประเภท Flavor encapsulation agent เช่น Cyclodextrins, Sweeteners, Dairy product (Nonfat dry milk, Whey products และ Butter milk) หรืออาจเติมเครื่องเทศ (Spice) และสี (Color) ได้ด้วยเช่นกัน (Villagran *et al.*, 2005)

3.7 ขั้นตอนการทำแห้ง (Drying)

มันฝรั่งบดคั้นรูปอาจมีหลายรูปแบบ (Form) ได้แก่ Flakes, Flanules, Granules, Agglomerates, Sheet, Pieces, Bits, Flours หรือ Paticulates ซึ่งวิธีการให้ได้มาซึ่งรูปแบบผลิตภัณฑ์ต่างๆ เหล่านี้จะขึ้นอยู่กับวิธีการทำแห้ง ได้แก่ Drum drying, Fluidized bed drying, Air lift drying, Freeze drying และ Scraped wall heat exchangers เป็นต้น แต่วิธี Drum drying เป็นที่นิยมมากในการผลิตมันบดคั้นรูปสำหรับ Drum dryer ที่ถูกนำมาใช้ในการผลิตมันบดคั้นรูปในสิทธิบัตรของ Villagran *et al.* (2005) จะเป็นชนิด Double Drum dryer โดยอุณหภูมิที่ใช้คือ 165.5-180 องศาเซลเซียส ความดันไอน้ำของ Drum dryer 100-132 psig ความเร็วรอบของการหมุนเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 5-10 คือ 2.0-4.5 rpm ซึ่งความหนาของแผ่นจะอยู่ในช่วง 0.007-0.01 นิ้ว สำหรับในสิทธิบัตรของ Villagran *et al.* (2004) จะใช้ Single Drum dryer โดยจะใช้ อุณหภูมิ 160-167 องศาเซลเซียส ความดันไอน้ำ 70-140 psig ความเร็วรอบ 3.0-5.5 rpm ความหนาของแผ่นจะหนา 0.01 นิ้ว และผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความชื้นประมาณร้อยละ 5-12

3.8 ขั้นตอนการบดตัวอย่างและคัดขนาด

เมื่อได้แผ่นของมันฝรั่งบดที่แห้งแล้วจากเครื่องทำแห้งจะต้องมีการบดหรือตีให้แตกเป็นชิ้นเล็กๆ ซึ่งในสิทธิบัตรของ Villagran *et al.* (2003) จะใช้ Conventional hammer mill และร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด Mesh No. 16

3.9 การบรรจุและเก็บรักษา

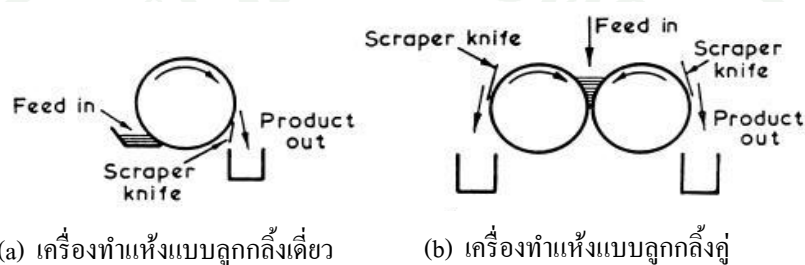
ผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นต่ำ ซึ่งอาจสูญเสียกลิ่นรสได้ง่ายจากปฏิกิริยา Oxidation ซึ่งสามารถป้องกันการเกิดได้ด้วยการเติมสารแอนติออกซิแดนท์ ดังนั้นการใช้บรรจุภัณฑ์ที่ดีป้องกันความชื้นและแสงจะช่วยลดการเกิดการหืน (Rancidity) ได้ (Talbert, 1967)

4. การทำแห้งแบบลูกกลิ้งทรงกระบอก (Drum drying)

การอบแห้งแบบลูกกลิ้งทรงกระบอก (Drum drying) เป็นวิธีที่ดีวิธีหนึ่ง ซึ่งเป็นที่นิยมใช้ในการทำแห้งอาหารหลายชนิด โดยเฉพาะอาหารประเภทที่สามารถอยู่ในสารละลายได้มีความชื้นหนืด และสามารถจับเป็นฟิล์มบางๆ รอบลูกกลิ้งได้ จะได้ผลิตภัณฑ์ออกมาลักษณะเป็นแผ่นหรือผง เครื่องทำแห้งชนิดนี้ อาจจะใช้ทำอาหารแห้งได้ในสภาพบรรยากาศธรรมดา หรืออาจจะอยู่ในสภาพสุญญากาศ สามารถทำแห้งอาหารประเภทที่ทนความร้อนสูงๆ ได้ และยังช่วยรักษาคุณภาพของอาหารไว้ การทำแห้งโดยวิธีนี้ค่าดำเนินการไม่สูงมากนัก เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งทรงกระบอกเป็นเครื่องมือที่เหมาะสมจะใช้ทำอาหารแห้งเมื่ออาหารนั้นอยู่ในสภาพของเหลวที่มีความหนืดสูงซึ่งอยู่ในรูปของ paste (วิไล, 2545)

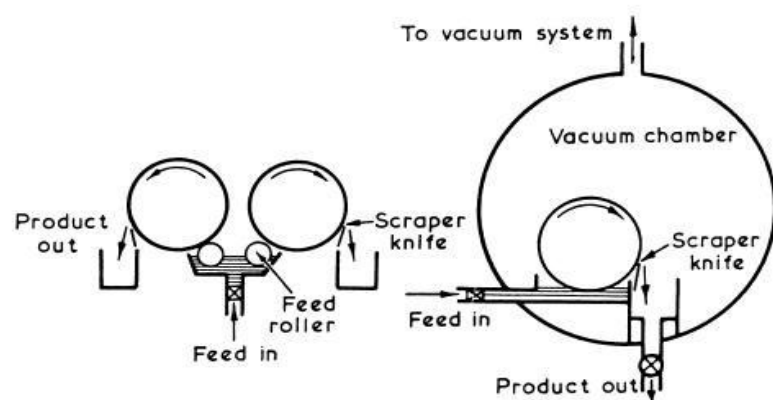
เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งทรงกระบอก มีการให้ความร้อนแก่ลูกกลิ้งที่ทำจากโลหะเหล็กทรงกระบอกกลางซึ่งหมุนอย่างช้าๆ โดยใช้ไอน้ำความดันสูงที่อุณหภูมิ 120-170 องศาเซลเซียส อาหารจะแผ่เป็นชั้นบางๆ อย่างสม่ำเสมอบนผิวของลูกกลิ้ง อาหารแห้งบนผิวลูกกลิ้งจะถูกขูดออกโดยใบมีดซึ่งสัมผัสกับผิวของลูกกลิ้งก่อนที่ลูกกลิ้งจะหมุนครบ 1 รอบภายใน 20-30 วินาที เครื่องทำแห้งนี้อาจประกอบด้วยลูกกลิ้ง 1 หรือ 2 ลูกกลิ้งก็ได้ ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยปกตินิยมใช้ลูกกลิ้งเดี่ยวมากกว่า เพราะมีความยืดหยุ่นในการใช้งานมากกว่าแบบลูกกลิ้งคู่ เนื่องจากมีพื้นที่ผิวของลูกกลิ้งที่ใช้ในการทำแห้งสูงกว่า ดูแลรักษาง่าย (วิไล, 2545)

เครื่องอบแห้งชนิดลูกกลิ้งทรงกระบอกร้อนจะหมุนในแนวนอนเพื่ออบแห้งผลิตภัณฑ์ที่เป็นสารละลายหรือของเหลวชั้นหนืดอย่างต่อเนื่อง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะแห้งขณะที่ติดกับลูกกลิ้งและจะถูกขูดออกโดยใช้ใบมีด การหมุนของลูกกลิ้งคู่ (double-drum) จะหมุนเข้าหากัน แต่ในกรณีของลูกกลิ้งคู่แบบทวิน (twin-drum) การหมุนของลูกกลิ้งร้อนทั้งสองจะหมุนในทิศทางตรงกันข้าม ภายในลูกกลิ้งจะมีไอน้ำเป็นตัวให้ความร้อน และการป้อนผลิตภัณฑ์จะทำให้ได้โดยจุ่มลงในผลิตภัณฑ์เหลวเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งนี้อาจทำงานภายใต้บรรยากาศธรรมดา หรือภายใต้สุญญากาศ



(a) เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งเดี่ยว

(b) เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่



(c) เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่แบบทวิน

(d) เครื่องทำแห้งชนิดลูกกลิ้งแบบสุญญากาศ

ภาพที่ 1 เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งชนิดต่างๆ

- (a) เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งเดี่ยว
- (b) เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่
- (c) เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่แบบทวิน
- (d) เครื่องทำแห้งชนิดลูกกลิ้งแบบสุญญากาศ

ที่มา: อภิขญา (2548)

5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Mcomber *et al.* (1994) ศึกษาความแตกต่างของสายพันธุ์มันฝรั่งที่ให้เนื้อสัมผัสแบบร่วนซุย (mealy) ได้แก่ สายพันธุ์ Russet Burbank และ Norchip และแบบเนื้อแน่น เหนียว (waxy) ได้แก่ สายพันธุ์ Pontiac และ LaSoda พบว่าสายพันธุ์ Russet Burbank มีเนื้อสัมผัสที่แห้ง ร่วนซุยกว่า มีค่า specific gravity ปริมาณสตาร์ช (starch content) ปริมาณแร่ธาตุแคลเซียมและแมกนีเซียมสูงกว่า สายพันธุ์ Pontiac ซึ่งแร่ธาตุดังกล่าวมีส่วนเกี่ยวข้องกับการเพิ่มความหนืดและการเชื่อมต่อระหว่าง เซลล์ (intercellular adhesion) โดยเป็น salt linkage ในสารพอลิเมอร์ polyuronide ในเซลล์มันฝรั่ง และเมื่อนำมันฝรั่งไปทำให้สุกด้วยการนึ่ง พบว่า สายพันธุ์ Russet Burbank มีขนาดเซลล์ใหญ่กว่า มี สตาร์ชที่สุกเต็มเซลล์ และยังคงรูปร่างเซลล์ได้ดีเมื่ออบ

Peksa *et al.* (2002) ศึกษาการเติมโปรตีนเข้มข้นที่ถูกสกัดจากมันฝรั่ง (potato protein concentrate; PPC) ทั้งเจ็ดสายพันธุ์ คือ Snogg, Laila, Brage, Satuna, Beate, Denva และ Pimpernel กับการเติมมันฝรั่งแบบผง (dry potato powder; DPP) ลงในมันฝรั่งบด เพื่อปรับปรุงด้านเนื้อสัมผัส ของมันบด พบว่าทุกสายพันธุ์เมื่อเติม PPC และ DPP จะทำให้ปริมาณของแข็งของมันบดสูงขึ้น ตามปริมาณที่เติม และการเติมที่ปริมาณที่สูงขึ้น (ร้อยละ 5 ของน้ำหนักมันบด) จะส่งผลต่อค่าความ แข็งของมันบดมากกว่าการเติมในปริมาณที่น้อยกว่า โดยเฉพาะการเติม PPC จะทำให้ค่าความแข็ง สูงขึ้นกว่ามันบดที่ไม่ได้เติมถึงมากกว่า 2.5 เท่า ในขณะที่การเติม DPP จะทำให้มันบดมีค่าความ แข็งสูงขึ้นเพียง 1.5 เท่า ทั้งนี้เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีและความสามารถในการดูดน้ำของสาร ที่เติมที่แตกต่างกัน

Lamberti *et al.* (2004) ได้ติดตามการเปลี่ยนแปลงของเซลล์และเม็ดสตาร์ชมันฝรั่งใน ระหว่างกระบวนการผลิตมันบดคืนรูปด้วยการส่องกล้องจุลทรรศน์ พบว่า เซลล์เนื้อเยื่อของมันฝรั่ง ดิบที่ตัดตามขวางจะมีลักษณะทรงหลายเหลี่ยม ภายในบรรจุด้วยเม็ดสตาร์ชรูปร่างกลม หรือรูปไข่ ที่มีลักษณะเป็นแบบ compound คือ หนึ่งเซลล์จะประกอบไปด้วยเม็ดสตาร์ชหลายเม็ดอยู่ภายใน เซลล์ เมื่อนำไปลวก (preheat) ที่อุณหภูมิ 68-73 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ระหว่างการลวก สตาร์ชจะพองเต็มเซลล์ เมื่อเพิ่มกำลังขยายของกล้องจุลทรรศน์ให้สูงขึ้นจะเห็นการติดสีของ ไอโอดีนที่ไม่สม่ำเสมอโดยจะเกิดการแยกเฟสระหว่างอะไมโลสและอะมิโลเพคติน อะมิโลสจะติด สีน้ำเงินและสะสมอยู่ตรงกลางเม็ดสตาร์ช ในขณะที่อะมิโลเพคตินจะติดสีม่วงอยู่รอบๆ อะมิโลส และขอบของเม็ดสตาร์ช ระหว่างการลวกและทำให้เย็นที่ 15-17 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที รูปร่างของเซลล์จะไม่เปลี่ยนแปลง หลังจากทำให้สุกที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 35 นาที

รูปร่างของเซลล์เปลี่ยนเป็นกลมขึ้น เมื่อนำมาบดจะสังเกตเห็นช่องว่างระหว่างเซลล์มีมากขึ้น และมีสตาร์ชที่หลุดออกมานอกเซลล์ แล้วเมื่อนำไปทำแห้งและกินรูปเป็นมันบดจะพบว่าส่วนใหญ่จะแยกเป็นเซลล์เดี่ยว บางเซลล์ก็แตก หรือผนังเซลล์นิ่มและรวมอยู่ในเฟสของสตาร์ชภายนอกเซลล์ ขนาดของเซลล์เท่ากับก่อนทำแห้ง

Villagran *et al.* (2006) ได้ศึกษาวิธีการทำมันฝรั่งบดแห้ง โดยการนำมันฝรั่งมาล้าง ปอกเปลือก หั่นตามแนวขวางของลูกให้ได้นขนาด 0.25-0.75 นิ้ว จากนั้นนำมาล้างโดยใช้หม้อความดันที่อุณหภูมิไอน้ำ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วจึงนำมาบด และเติมสารปรับปรุงคุณภาพ เช่น distill monoglyceride และ diglyceride of partially-hydrogenated soy bean oil เพื่อไม่ทำให้เกิดเนื้อสัมผัสที่เหนียวมากเกินไปของมันฝรั่งบด และเติมสารให้ความคงตัวชนิดอื่นๆ เช่น BHA หรือ BHT จากนั้นจึงนำมันฝรั่งบดที่ได้มาทำแห้งโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบสองลูกกลิ้ง โดยปรับให้มีปริมาณของแข็งร้อยละ 19-27 เพื่อให้ได้มันฝรั่งบดแห้งที่มีค่าความชื้นร้อยละ 5-10

Alvarez *et al.* (2011) ศึกษาผลของการเติมน้ำมันมะกอกบริสุทธิ์ในมันบดแช่แข็งที่มีการผสมและไม่ผสมสารต้านทานการแช่แข็ง (cryoprotectants) ได้แก่ kappa-carrageenan กับ xanthan gum ต่อคุณภาพด้านเนื้อสัมผัส ประสาทสัมผัส และการเปลี่ยนแปลงของเซลล์มันฝรั่งในระดับจุลภาค พบว่าน้ำมันมะกอกบริสุทธิ์จะทำให้มันบดมีเนื้อสัมผัสที่นุ่มขึ้น ในขณะที่การเติมสารต้านทานการแช่แข็งจะส่งผลให้มีความคงตัวต่อการแช่แข็งของมันบดมากกว่าที่ไม่เติม ตัวอย่างที่เติมน้ำมันมะกอกบริสุทธิ์จะได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสในด้านความนุ่มและความเรียบเนียนมากกว่าตัวอย่างที่ไม่ได้เติม ส่วนตัวอย่างที่เติมสารต้านทานการแช่แข็งจะได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสในด้านความแน่นเนื้อและความเรียบเนียนมากกว่าตัวอย่างที่ไม่ได้เติม

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัตถุดิบ

- 1.1 มันสำปะหลังสายพันธุ์ห่านาที อายุ 8-10 เดือน จากตลาดสี่มุมเมือง กรุงเทพฯ
- 1.2 มันฝรั่งสายพันธุ์ สปุ่นต้า จากตลาดพระโขนง กรุงเทพฯ
- 1.3 เปลือกป่น ตราปรุngthิพย์
- 1.4 พริกไทยป่น ตรามือ
- 1.5 เนยสดรสจืดชนิดก้อน ตรากล้วยไม้

2. เครื่องมือและอุปกรณ์

2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับทำมันสำปะหลังบด

- 2.1.1 เครื่องชั่งดิจิตอล แบบสองตำแหน่ง
- 2.2.2 อ่างผสมสแตนเลส
- 2.2.3 นาฬิกาจับเวลา
- 2.2.4 เทอร์โมมิเตอร์
- 2.2.5 เครื่องบดอาหาร (Food mill) ยี่ห้อ Norpro เส้นผ่านศูนย์กลาง 30

เซนติเมตร รูตะแกรงขนาด 2.2 มิลลิเมตร

- 2.2.6 พายพลาสติก
- 2.2.7 ลังถึง
- 2.2.8 มีด
- 2.2.9 เขียง

2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

2.2.1 เครื่องวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส (Stable Micro Systems Texture analyzer รุ่น TA.XT plus) ใช้หัววัด Conical Probes ขนาดมุมแหลม 30 องศา (P/30C)

2.2.2 ภาชนะทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร สำหรับบรรจุมันนวด

2.2.3 เครื่องชั่งดิจิตอลแบบสแตนด์ออล

2.2.4 เครื่อง Colorimeter รุ่น Color Flex ยี่ห้อ Hunter Lab

2.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำแห้ง

2.3.1 เครื่อง Drum dry จาก บริษัทยูนิคูร์ จำกัด

2.3.2 นาฬิกาจับเวลา

2.4 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบทางประสาทสัมผัส

2.4.1 ตัวอย่างมันนวด

2.4.2 ถาดใส่อาหาร

2.4.3 แก้วน้ำ

2.4.4 ปากกา

วิธีการ

1. การเตรียมมันฝรั่งบดสด และมันสำปะหลังบดสด

1.1 การเตรียมมันบดสด

การเตรียมมันฝรั่งบดสด ดัดแปลงวิธีการเตรียมจากการผลิตมันฝรั่งบดขึ้นรูปตามวิธีการของ Lamberti *et al.* (2004) โดยนำหัวมันฝรั่งสายพันธุ์สปูนด้า มาล้างสิ่งสกปรกออกให้สะอาด ปอกเปลือก หั่นตามขวางเป็นท่อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 ± 2 เซนติเมตรหนา 2 เซนติเมตร เรียงมันฝรั่งลงในลังถึง (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลังถึง 30 เซนติเมตร) แล้วจึงนำไปนึ่ง ที่อุณหภูมิน้ำเดือด เป็นเวลา 10 นาที (อุณหภูมิใจกลางของมันฝรั่ง 95 ± 2 องศาเซลเซียส) หลังจากนั้นจึงนำมาบดขณะร้อนด้วยเครื่องบดอาหาร โดยบด 10 ± 3 รอบต่อครั้ง ครั้งละ 8-10 ชั้น น้ำหนักประมาณ 250 กรัม และบันทึกน้ำหนักมันฝรั่งบดสดที่ได้ ส่วนการเตรียมมันสำปะหลังบดสด ดัดแปลงวิธีการเตรียมเหมือนกับมันฝรั่งบดขึ้นรูป โดยนำหัวมันสำปะหลังสดสายพันธุ์ห่านาที่ มาล้างสิ่งสกปรกออกให้สะอาด ปอกเปลือก หั่นตามขวางเป็นท่อน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 ± 2 เซนติเมตรหนา 2 นำไปนึ่งเป็นเวลา 15 นาที (อุณหภูมิใจกลางของมันสำปะหลัง 95 ± 2 องศาเซลเซียส) หลังจากนั้นจึงนำมาบดขณะร้อนด้วยเครื่องบดอาหาร โดยบด 20 ± 5 รอบ ต่อครั้ง ครั้งละ 7-8 ชั้น น้ำหนักประมาณ 250 กรัม และบันทึกน้ำหนักมันสำปะหลังบดสดที่ได้

จากนั้นนำมันฝรั่งบดสดและมันสำปะหลังบดสด ไปวิเคราะห์คุณภาพดังนี้

1.1.1 องค์ประกอบทางเคมี

วิเคราะห์ปริมาณ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และคาร์โบไฮเดรต ตามวิธีการของ AOAC. (2000) ในภาคผนวก ก1.

1.1.2 คุณภาพทางกายภาพ

ก. ค่าสี

วิเคราะห์ค่าสีด้วยเครื่อง Colorimeter แสดงค่า L^* , a^* และ b^* โดย L^*

หมายถึง ค่าความสว่าง a^* หมายถึง ความเป็นสีแดง หรือเขียว a^* เป็น + หมายถึง ความเป็นสีแดง a^* เป็น - หมายถึง ความเป็นสีเขียว b^* หมายถึง ความเป็นสีเหลือง หรือน้ำเงิน b^* เป็น + หมายถึง ความเป็นสีเหลือง b^* เป็น - หมายถึง ความเป็นสีน้ำเงิน ตามวิธีการในภาคผนวก ก2.

ข. ลักษณะเนื้อสัมผัส

นำมันบดทั้งสองชนิดวิเคราะห์เนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture Analyzer

ดัดแปลงวิธีการของ Alvarez *et al.* (2011) ใช้หัววัดแบบ Conical Probes ขนาดมุมแหลม 30 องศา (P/30C) กดลงบนตัวอย่างมันบดที่บรรจุลงในภาชนะทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร สูง 6 เซนติเมตร บรรจุมันบดน้ำหนัก 200 กรัมจะได้มันบดที่บรรจุมีความสูง 4 เซนติเมตรวัดค่าความแข็ง (Hardness) Work of Penetration ความเหนียว (Stickiness) และการเกาะติด (Adhesiveness) ตามวิธีการภาคผนวก ก3.

ค. คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส

วิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยนำตัวอย่างมันสำปะหลังบดและมันฝรั่งบดที่ได้ มาทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัส ตามวิธี Quantitative Descriptive Analysis (QDA) โดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 12 คน ประเมินด้านลักษณะสี (Color) ความฉ่ำน้ำ (Watery) ความเรียบเนียน (Smooth) ความแน่นเนื้อ (Firmness) และความเหนียว (Sticky) โดยวิธีให้คะแนน (Scoring Scale) ตามแบบสอบถามในภาคผนวก ข1.

นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ห่อหุ้มประกอบทางเคมี คุณภาพทางกายภาพ และประสาทสัมผัสมาทดสอบด้วยสถิติ t-test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

1.2 การเตรียมมันบดพร้อมรับประทาน

นำมันสำปะหลังบดและมันฝรั่งบดจากข้อที่ 1 มาทำเป็นมันบดพร้อมรับประทานตามสูตรการทำมันบดพร้อมรับประทาน ดัดแปลงวิธีการเตรียมมันฝรั่งบดพร้อมรับประทานจาก Janet (1987) ตามสูตรดังนี้ มันบด เนยสดชนิดจืด เกลือ และพริกไทย ปริมาณร้อยละ 87, 12.50, 0.25 และ 0.25 ตามลำดับ โดยคนส่วนผสมทุกอย่างให้เข้ากัน แล้วนำมาทดสอบคุณภาพดังนี้

1.2.1 ค่าสี

วิเคราะห์ค่าสีด้วยเครื่อง Colorimeter ตามวิธีการในข้อ 1.1.2 ก

1.2.2 ลักษณะเนื้อสัมผัส

วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture Analyzer ตามวิธีการในข้อ

1.1.2 ข

1.2.3 คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส

วิเคราะห์คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสตามวิธีการในข้อ 1.1.2 ค

นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของ มันฝรั่งบดและมันสำปะหลังบดพร้อมรับประทานมาทดสอบด้วยสถิติ t-test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

2. ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของมันสำปะหลังบดที่ทดแทนในมันฝรั่งบดพร้อมรับประทาน

นำมันสำปะหลังบดสด (C) และมันฝรั่งบดสด (P) มาผสมในอัตราส่วนมันสำปะหลังต่อ มันฝรั่ง เป็น 2:8, 4:6, 6:4 และ 8:2 มาทำเป็นมันบดพร้อมรับประทานตามวิธีการในข้อที่ 1.2 แล้วนำ ตัวอย่างมันบดพร้อมรับประทานไปวิเคราะห์คุณภาพดังนี้

2.1 ค่าสี

วิเคราะห์ค่าสีด้วยเครื่อง Colorimeter ตามวิธีการในข้อ 1.1.2 ก

2.2 ลักษณะเนื้อสัมผัส

วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture Analyzer ตามวิธีการในข้อ 1.1.2 ข

2.3 คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส

วิเคราะห์คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสตามวิธีการในข้อ 1.1.2 ค

นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของ มันบดพร้อมรับประทาน ในอัตราส่วนมันสำปะหลังต่อมันฝรั่ง เป็น 2:8, 4:6, 6:4 และ 8:2 มา วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนด้วยวิธี ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี DMRT (Duncan's New Multiple Range Test) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. ศึกษาปริมาณของแข็งและอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำแห้งมันสำปะหลังบดและมันฝรั่งบด คั้นรูป

นำมันสำปะหลังบดและมันฝรั่งบดจากข้อ 1 ทำแห้งด้วยเครื่อง Double Drum dryer ความเร็วรอบเป็น 1 รอบต่อ 45 วินาที ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งอยู่ที่ 0.38 มิลลิเมตร โดยสิ่งทดลองแบบ Factorial in CRD ศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง 3 ระดับคือ 120, 125 และ 130 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนปริมาณของแข็ง 2 ระดับ คือ ร้อยละ 20 และร้อยละ 22 โดยน้ำหนัก คัดแปลงวิธีการของ Jame *et al.* (1956) จะได้มันบดแห้งที่มีความชื้นประมาณ ร้อยละ 4-18 นำมันบดแห้งที่ได้บดให้แตกเป็นชิ้นเล็กๆ และร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด Mesh No. 16 บรรจุในถุงพลาสติกโพลิโพรพิลีน จากนั้นนำมันบดแห้งที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพดังนี้

3.1 มันบดแห้ง

นำมันมันสำปะหลังบดแห้งและมันฝรั่งบดแห้งที่ได้วิเคราะห์คุณภาพดังนี้

3.1.1 ปริมาณความชื้น

วิเคราะห์ปริมาณความชื้น ตามวิธีการของ AOAC, 2000 ในภาคผนวก ก1.

3.1.2 ค่าสี

วิเคราะห์ค่าสีด้วยเครื่อง Colorimeter ตามวิธีการในข้อ 1.1.2 ก

3.2 มันบดคั้นรูป

นำมันบดแห้งที่ได้จากข้อ 3.1 มาคั้นรูป โดยผสมกับน้ำในอัตราส่วนที่ได้จากการคำนวณตามวิธี Pearson's square (ภาคผนวก ค) กำหนดให้มันบดคั้นรูปทั้งสองชนิด มีปริมาณความชื้นเท่ากับปริมาณความชื้นของมันบดที่ได้จากข้อที่ 1 โดยใช้น้ำร้อนอุณหภูมิ 95 ± 2 องศาเซลเซียส ผสมให้เข้ากันคนไปในทางเดียวกันเดียวกันเป็นเวลา 15 วินาที แล้วจึงนำมันบดคั้นรูปทั้งสองชนิด มาวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture Analyzer ตามวิธีการในข้อ 1.1.2 ข

นำข้อมูลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของมันบดแห้ง และมันบดคั้นรูปที่ได้มาทดสอบสถิติตามแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เพื่อคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งมันบดคั้นรูป แล้วนำไปทดสอบทางประสาทสัมผัส

น้ำมันสำปะหลังบดแห้งที่ผ่านการคัดเลือกแล้ว มาคั้นรูป และผสมกับส่วนผสมอื่นตามข้อ 1.2 เพื่อเป็นมันบดพร้อมรับประทาน ประเมินการยอมรับในด้านลักษณะปรากฏ กลิ่นรส เนื้อสัมผัสและความชอบรวม โดยใช้สเกลความชอบ 9 คะแนน (9 - point hedonic scaling ช่วงคะแนน 1 ไม่ชอบมากที่สุด ถึงคะแนน 9 ชอบมากที่สุด) ในความชอบด้านสี ความฉ่ำน้ำ ความลื่นลิ้น ความแน่นเนื้อ และความเหนียว และความชอบรวมกับผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน ตามแบบสอบถามในภาคผนวก ข2. แล้วนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์ตามแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (randomized complete block design, RCBD)

4. ศึกษาลักษณะการเปลี่ยนแปลงของเซลล์ที่สะสมแป้งระหว่างการผลิตมันบดคั้นรูป ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM)

น้ำมันสำปะหลังและมันฝรั่งในแต่ละขั้นตอนของการทำมันบดคั้นรูปได้แก่ ขั้นตอนการเตรียมมันดิบ การทำให้สุก การทำมันบด การทำแห้ง และการคั้นรูป มาศึกษาลักษณะการเปลี่ยนแปลงของเซลล์ที่สะสมแป้งระหว่างการผลิตมันบดคั้นรูป ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) ตามวิธีการในภาคผนวก ก4.

5. สถานที่ทำการวิจัย

ห้องปฏิบัติการภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ห้องปฏิบัติการแปรรูปผลิตภัณฑ์ อาคารอุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6. ระยะเวลาทำการวิจัย

เดือน สิงหาคม 2554 ถึง เดือนพฤษภาคม 2556

ผลและวิจารณ์

1. คุณลักษณะทางกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสของมันสำปะหลังสด และมันฝรั่งสด

จากการเตรียมมันสำปะหลังสดและมันฝรั่งสดได้ผลผลิตและองค์ประกอบทางเคมี ดังนี้

ปริมาณผลผลิตมันบดจากมันสำปะหลังสด และมันฝรั่งสด

มันฝรั่งดิบที่นำมาผลิตมันบดมีปริมาณเนื้อคิดเป็นร้อยละ 76.12 และเปลือกร้อยละ 23.88 ของน้ำหนักมันฝรั่งสดทั้งหมด และเมื่อนำไปผลิตเป็นมันบดได้มันฝรั่งบดคิดเป็นร้อยละ 70.45 ของน้ำหนักมันฝรั่งสดทั้งหมด โดยมันบดที่ได้จะมีลักษณะเนื้อสัมผัสเรียบเนียนละเอียด มีสีเหลือง และมีกลิ่นของมันฝรั่ง ส่วนมันสำปะหลังดิบที่นำมาผลิตมันบดมีปริมาณเนื้อคิดเป็นร้อยละ 51.45 และเปลือกร้อยละ 48.55 ของน้ำหนักมันสำปะหลังสดทั้งหมดและเมื่อนำไปผลิตเป็นมันบดได้มันสำปะหลังบดคิดเป็นร้อยละ 48.05 ของน้ำหนักมันสำปะหลังสดทั้งหมด โดยมันบดที่ได้จะมีลักษณะเนื้อสีขาวออกเหลืองนวล มีเส้นใยหยาบ และมีกลิ่นหอมของมันสำปะหลัง ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณผลผลิตของมันสำปะหลังสดน้อยกว่ามันฝรั่งสดประมาณถึงร้อยละ 25 เนื่องจากคาร์โบไฮเดรตบางส่วนในหัวมันสำปะหลังจะเปลี่ยนเป็นเส้นใย (จิณณจาร์, 2537) ทำให้เกิดความยุ่งยากในกระบวนการผลิตมันสำปะหลังบด และได้ผลผลิตปริมาณน้อย

องค์ประกอบทางเคมีของมันสำปะหลังสดและมันฝรั่งสด

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของมันสำปะหลังสดและมันฝรั่งสด (ตารางที่ 3) พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของมันสำปะหลังสดและมันฝรั่งสดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมันสำปะหลังสดมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงกว่ามันฝรั่งสด แต่มันฝรั่งสดจะมีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมันและเถ้า สูงกว่ามันสำปะหลังสดสอดคล้องกับ USDA (2014) ที่พบว่ามันสำปะหลังสด มีปริมาณ คาร์โบไฮเดรตสูง แต่โปรตีน ไขมัน และเถ้าต่ำกว่ามันฝรั่งสด

ตารางที่ 3 คุณภาพทางเคมีของน้ำมันรำปะหลังบดสดและมันฝรั่งบดสด

องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ โดยน้ำหนักสด)	มันสำปะหลัง	มันฝรั่ง
ความชื้น	66.47±0.60 ^b	79.50±0.70 ^a
คาร์โบไฮเดรต	29.33±0.44 ^a	15.84±0.53 ^b
โปรตีน	1.61±0.66 ^b	3.27±0.48 ^a
ไขมัน	0.11±0.01 ^b	0.30±0.01 ^a
เถ้า	2.48±0.15 ^b	1.09±0.24 ^a

หมายเหตุ a,b,... หมายถึงตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

เมื่อนำมันฝรั่งบดสด และมันสำปะหลังบดสดมาวัดค่าสี (ตารางที่ 4) พบว่า มันฝรั่งบดสด และมันสำปะหลังบดสด มีค่าความสว่าง (L^*) ค่าที่แสดงความเป็นสีแดงหรือสีเขียว (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมันสำปะหลังบด จะมีค่าความสว่างสูงกว่ามันฝรั่งบด เนื่องจากลักษณะของมันสำปะหลังบดจะมีสีขาวนวลกว่ามันฝรั่งบดสดสำหรับมันฝรั่งบด จะมีค่าความเป็นสีเหลืองสูงกว่ามันสำปะหลังบด เนื่องจากสีของมันฝรั่งบดจะมีสีเหลืองสูงกว่ามันสำปะหลังบด

ค่าเนื้อสัมผัส ของมันฝรั่งบดสดและมันสำปะหลังบดสด มีค่าความแข็ง และ Work of Penetration แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมันสำปะหลังบดสด มีค่าความแข็ง และ Work of Penetration สูงกว่ามันฝรั่งบดถึง 2.3 เท่า และ 1.8 เท่า ตามลำดับ เนื่องจากปริมาณคาร์โบไฮเดรตในมันสำปะหลังบดสดมีมากกว่ามันฝรั่งบดสดถึง 1.8 เท่า และปริมาณความชื้นของมันสำปะหลังที่น้อยกว่า จึงทำให้เนื้อสัมผัสของมันสำปะหลังบดสดนั้นมีค่าความแข็ง และค่าความแน่นเนื้อมีมากกว่ามันฝรั่งบดสด (Dijk *et al.*, 2002)

ส่วนค่าความเหนียว (Stickiness) และค่าการเกาะติด (Adhesiveness) ของมันฝรั่งบดสด และมันสำปะหลังบดสด มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมันสำปะหลังบดสดมีค่าความเหนียว และค่าการเกาะติดสูงกว่ามันฝรั่งบดสดถึง 2 เท่า และ 4.32 เท่าตามลำดับ เนื่องจากการบดส่งผลให้เม็ดสตาร์ชของมันสำปะหลังไหลออกมาจาก เม็ดสตาร์ชบางส่วนที่สุกจะหลุดออกมานอกเซลล์ที่บรรจุเม็ดสตาร์ช จึงเป็นเสมือนกาวที่ยึดเชื่อมเซลล์แต่ละเซลล์ให้ติดกันด้วย จึงส่งผลทำให้เนื้อสัมผัสของมันสำปะหลังบดสดนั้นมีความเหนียว และมีค่าการเกาะติดมากกว่ามันฝรั่งบดสด (Van Marle *et al.*, 1997)

ตารางที่ 4 คุณภาพทางกายภาพของมันสำปะหลังบดสดและมันฝรั่งบดสด

คุณภาพทางกายภาพ	มันสำปะหลัง	มันฝรั่ง
ค่าสี		
L*	82.64±0.08 ^a	75.13±0.21 ^b
a*	1.02±0.01 ^b	-2.91±0.01 ^a
b*	23.65±0.07 ^b	27.75±0.09 ^a
ค่าเนื้อสัมผัส		
Hardness (g)	1,101.06±55.84 ^a	469.97±8.64 ^b
Work of Penetration (g.sec)	5,709.48±154.50 ^a	3,170.75±140.82 ^b
Stickiness (g)	-516.80±26.02 ^a	-246.68±3.13 ^b
Adhesiveness (g.sec)	-1,687.51±20.54 ^a	-390.21±8.13 ^b

หมายเหตุ a,b,... หมายถึงตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

เมื่อนำมันฝรั่งและมันสำปะหลังบดสดมาทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 5) พบว่า มันฝรั่งบดและมันสำปะหลังบด มีค่าสี (color) ความฉ่ำน้ำ (watery) ความเรียบเนียน (smooth) ความแน่นเนื้อ (firmness) และความเหนียว (sticky) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านสี พบว่าสีมันฝรั่งบดจะมีสีเหลือง มากกว่าสีของมันสำปะหลังบดซึ่งสอดคล้องกับคุณลักษณะด้านกายภาพในด้านค่าสีที่วัดด้วยเครื่องมือ (ตารางที่ 4) ความเรียบเนียนมันสำปะหลังบดจะมีค่าน้อยกว่ามันฝรั่งบดสดเนื่องจากในมันสำปะหลังมีเส้นใยหยาบอยู่ในปริมาณมากกว่ามันฝรั่งบดสด (USDA, 2014) จึงทำให้ลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความเรียบเนียนมีค่าน้อยกว่าอย่างเห็นได้ชัด ความแน่นเนื้อและความเหนียวของมันสำปะหลังบดสด มีค่าคะแนนน้อยกว่ามันฝรั่งบดสด ($p < 0.05$) คือมีลักษณะที่เนื้อสัมผัสที่แน่นและเหนียว เหนือกว่ามันฝรั่ง ซึ่งสอดคล้องกับคุณลักษณะกายภาพในด้านความแข็ง (Hardness) และความเหนียว (Stickiness) ที่วัดจากเครื่องมือ จะเห็นได้ว่าผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส ของมันสำปะหลังบดและมันฝรั่งบดสด จะมีค่าแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดเจน รวมทั้งองค์ประกอบทางเคมี และคุณภาพทางด้านกายภาพด้วย ดังนั้นจึงนำมันฝรั่งบดสดและมันสำปะหลังบดสดมาผลิตเป็นมันบดพร้อมรับประทานตามสูตร พบว่าคุณภาพทางกายภาพและประสาทสัมผัสเปลี่ยนแปลงไปจากมันบดสด ดังตารางที่ 6 และ 7 ตามลำดับ

ตารางที่ 5 ทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมันสำปะหลังบดสดและมันฝรั่งบดสดวัดด้วยวิธี QDA

คุณภาพประสาทสัมผัส	มันสำปะหลัง	มันฝรั่ง
สี	2.90±0.55 ^b	9.87±0.22 ^a
ความฉ่ำน้ำ	3.30±0.73 ^b	9.87±0.19 ^a
ความเรียบเนียน	3.40±0.75 ^b	9.89±0.11 ^a
ความแน่นเนื้อ	2.85±0.58 ^b	9.81±0.23 ^a
ความเหนียว	3.85±0.48 ^b	9.80±0.32 ^a

หมายเหตุ a,b,... หมายถึงตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

เมื่อมันฝรั่งบดสดและมันสำปะหลังบดสดมาทำเป็นมันบดพร้อมรับประทาน พบว่ามันบดพร้อมรับประทานทั้งสองชนิดมีค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีเขียว และค่าความเป็นสีเหลืองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยค่าความสว่างของมันสำปะหลังจะลดลงจากมันสำปะหลังบดสด ในขณะที่มันฝรั่งจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากมันฝรั่งบดสด (ตารางที่ 4) สำหรับค่าความเป็นสีเขียวของมันสำปะหลังพร้อมรับประทานจะมีค่ามากขึ้นจากมันสำปะหลังบดสด ส่วนมันฝรั่งจะลดลงเล็กน้อย และค่าความเป็นสีเหลืองในมันสำปะหลังพร้อมรับประทานจะสูงขึ้นจากมันบดสด เนื่องจากสูตรในการผลิตมันบดพร้อมรับประทานจะใช้เนยเป็นส่วนผสม สีเหลืองของเนยจึงมีอิทธิพลทำให้ค่าสีของมันบดพร้อมรับประทานทั้งสองชนิดมีสีเข้มขึ้นไปในทิศทางเดียวกัน นอกจากนี้เนยยังส่งผลต่อค่าเนื้อสัมผัสของมันสำปะหลังบดพร้อมรับประทาน และมันฝรั่งบดพร้อมรับประทานโดยด้านความแข็ง Work of Penetration ความเหนียว และค่าการเกาะติด แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังแสดงใน ตารางที่ 4 โดยมันสำปะหลังบดพร้อมรับประทาน มีค่าความแข็ง และ Work of Penetration สูงกว่ามันฝรั่งบดพร้อมรับประทานถึง 1.98 เท่า และ 1.63 เท่า ตามลำดับ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับมันสำปะหลังบดสด และมันฝรั่งบดสด (ตารางที่ 4) พบว่ามันบดพร้อมรับประทานทั้งสองชนิดให้ค่าความแข็ง และความแน่นเนื้อลดลงจากมันบดสด เนื่องจากมันบดพร้อมรับประทาน มีส่วนผสมของเนยซึ่งเป็นไขมัน เมื่อนำไปผสมกับมันมันสำปะหลังบดสด และฝรั่งบดสดจะทำให้เนื้อเนียนลื่น ซึ่งมีผลต่อความนุ่มของผลิตภัณฑ์ (นิธิยา, 2548)

ส่วนค่าความเหนียว และค่าการเกาะติด พบว่ามันสำปะหลังบดพร้อมรับประทานมีค่าความเหนียวและค่าการเกาะติดสูงกว่ามันฝรั่งบดพร้อมรับประทานถึง 3.2 เท่า และ 5.7 เท่า ตามลำดับ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับมันสำปะหลังบดสด และมันฝรั่งบดสด พบว่าค่าความเหนียว และค่าการเกาะติดลดลง เพราะว่าไขมันจากเนยที่ผสมในมันบดยังเป็นเหมือนสารหล่อลื่น (lubrication) (นิธิยา, 2548; De wijk *et al.*, 2003; Alvarez *et al.*, 2005) จึงทำให้ลดความเหนียวของมันบดลงได้

เมื่อนำมันสำปะหลังและมันฝรั่งบดพร้อมรับประทาน มาทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัส พบว่า ค่าสี ความฉ่ำน้ำ ความเรียบเนียน ความแน่นเนื้อ และความเหนียว มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยค่าคะแนนลักษณะทางประสาทสัมผัสในทุกด้านของมันฝรั่งบดพร้อมรับประทานมีคะแนนสูงกว่ามันสำปะหลังบดพร้อมรับประทาน ($p < 0.05$) และยังพบว่ามันสำปะหลังบดพร้อมรับประทานมีคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสในทุกด้านสูงกว่ามันสำปะหลังบดสด (ตารางที่ 5) โดยเฉพาะคุณลักษณะในด้านสีและความแข็งจะเห็นได้ชัดเจนคือ มีสีและความแข็งของมันบดที่ใกล้เคียงกับมันฝรั่งบดพร้อมรับประทาน แต่คุณลักษณะด้านความเรียบเนียน และความเหนียวจะต้องปรับปรุงเพิ่มเติม เนื่องจากโดยลักษณะพื้นฐานของมันสำปะหลังจะมีเนื้อสัมผัสที่หยาบ และเหนียวกว่ามันฝรั่ง จึงทำให้เมื่อนำมาทำเป็นมันสำปะหลังบดพร้อมรับประทานจึงยังมีคุณลักษณะที่ด้อยกว่ามันฝรั่ง

ดังนั้นแนวทางในการผลิตมันสำปะหลังบดพร้อมรับประทานจึงสามารถทำได้โดยการนำมันสำปะหลังบดสดไปผสมกับมันฝรั่งบด เพื่อให้ได้คุณลักษณะทางกายภาพและประสาทสัมผัสใกล้เคียงกับมันฝรั่งบดพร้อมรับประทาน

ตารางที่ 6 คุณภาพทางกายภาพของมันสำปะหลังบดสดพร้อมรับประทานและมันฝรั่งบดสดพร้อมรับประทาน

ค่าคุณภาพ	มันสำปะหลัง	มันฝรั่ง
ค่าสี		
L*	75.64±0.71 ^b	81.38±0.10 ^a
a*	-1.51±0.89 ^b	-2.51±0.03 ^a
b*	30.81±0.20 ^b	34.12±0.04 ^a
ค่าเนื้อสัมผัส		
Hardness (g)	634.97±16.83 ^a	320.98±12.10 ^b
Work of Penetration (g.sec)	3,743.48±125.68 ^a	2,289.50±129.21 ^b
Stickiness (g)	-538.72±15.96 ^a	-166.47±16.48 ^b
Adhesiveness (g.sec)	-1,890.45±89.12 ^a	-326.73±17.72 ^b

หมายเหตุ a,b,... หมายถึงตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 7 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของมันสำปะหลังบดสดพร้อมรับประทาน
และมันฝรั่งบดสดพร้อมรับประทานด้วยวิธี QDA

คุณภาพประสาทสัมผัส	มันสำปะหลัง	มันฝรั่ง
สี	7.79±0.41 ^b	9.94±0.00 ^a
ความฉ่ำน้ำ	7.65±0.07 ^b	9.92±0.05 ^a
ความเรียบเนียน	7.25±0.35 ^b	9.94±0.00 ^a
ความแน่นเนื้อ	7.30±0.56 ^b	9.91±0.00 ^a
ความเหนียว	7.45±0.49 ^b	9.95±0.01 ^a

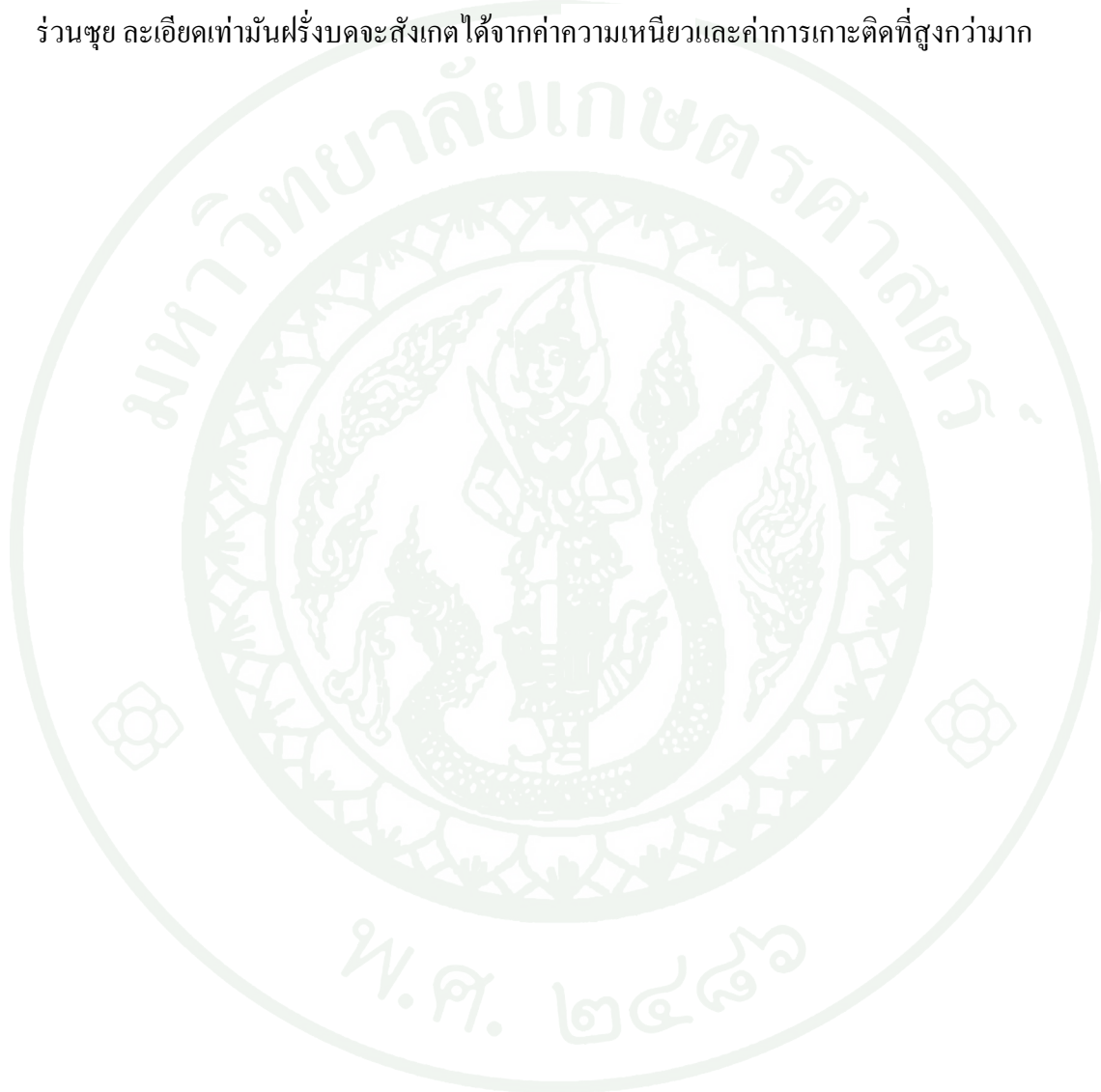
หมายเหตุ a,b,... หมายถึงตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

2. ผลการทดสอบคุณภาพด้านกายภาพ และประสาทสัมผัส ของมันสำปะหลังบดพร้อมรับประทาน (C) มันฝรั่งบดพร้อมรับประทาน (P) และส่วนผสมของมันบดพร้อมรับประทานในอัตราส่วน 2:8, 4:6, 6:4, และ 8:2 ตามลำดับ

จากการผสมมันสำปะหลังบดกับมันฝรั่งบดในอัตราส่วน 2:8, 4:6, 6:4, และ 8:2 (ตารางที่ 8) พบว่าความสว่าง ค่าความเป็นสีเขียว และค่าความเป็นสีเหลืองของมันบด มีค่าลดลงตามปริมาณมันสำปะหลังบดที่เพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) เนื่องจากสีของเนยในส่วนผสมและสีเหลืองของมันฝรั่ง มีอิทธิพลทำให้ค่าความสว่างลดลง ดังนั้นคุณภาพด้านสีของมันบดจากมันสำปะหลังทดแทนมันฝรั่งในอัตราส่วน 2:8 มีค่าสีใกล้เคียงกับมันฝรั่งบดมากที่สุด

สำหรับคุณภาพด้านเนื้อสัมผัส (ตารางที่ 8) พบว่าอัตราส่วนมันสำปะหลังต่อมันฝรั่งอัตราส่วนที่ 2:8 และ 4:6 มีค่าความแข็งและ Work of Penetration ไม่แตกต่างจากมันฝรั่งบดพร้อมรับประทานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และอัตราส่วนมันสำปะหลังต่อมันฝรั่งที่ 4:6 มีค่าความเหนียวไม่แตกต่างกับมันฝรั่งบดพร้อมรับประทาน ($p < 0.05$) ส่วนค่าการเกาะติดพบว่า ยิ่งเพิ่มสัดส่วนของมันสำปะหลังมากขึ้นค่าการเกาะติดจะสูงขึ้นและสูงกว่ามันฝรั่งบดถึง 2.94 เท่า เนื่องจากโดยธรรมชาติลักษณะเนื้อสัมผัสมันสำปะหลังบดจะมีค่าการเกาะติดมากกว่ามันฝรั่งบดมากอยู่แล้ว

จะเห็นได้ว่าในกระบวนการผลิตมันบดมีการให้ความร้อนจากการนึ่ง และการบดจะส่งผลให้ผนังเซลล์ของมันทั้งสองชนิดจะมีลักษณะอ่อนนุ่มลงทำให้ผนังเกิดการนิยาดได้ง่าย เมื่อดูดน้ำมันบางส่วนที่สุกจะหลุดออกมานอกเซลล์ที่บรรจุเม็ดสตาร์ช จึงเป็นเสมือนกาวที่ยึดเชื่อมเซลล์แต่ละเซลล์ให้ติดกันด้วย (Van Marle *et al.*, 1997) โดยเฉพาะในมันสำปะหลังจะมีสตาร์ชหลุดออกมามากกว่ามันฝรั่ง จึงทำให้เนื้อสัมผัสของมันสำปะหลังบดจะมีลักษณะที่เหนียวกว่า ไม่ร่วนซุย ละเอียดเท่ามันฝรั่งบดจะสังเกตได้จากค่าความเหนียวและค่าการเกาะติดที่สูงกว่ามาก



ตารางที่ 8 คุณภาพทางกายภาพของมันฝรั่งบดพร้อมรับประทาน (P) มันสำปะหลังบดพร้อมรับประทาน (C) และมันสำปะหลังทดแทนมันฝรั่งในมันบดพร้อมรับประทานในอัตราส่วนต่างๆ

ตัวอย่าง	คุณภาพทางกายภาพ						
	ค่าสี			ค่าเนื้อสัมผัส			
	L*	a*	b*	Hardness	Work of Penetration	Stickiness	Adhesiveness
				(g)	(g.sec)	(g)	(g.sec)
P	81.96±0.92 ^a	-2.51±0.20 ^a	35.19±0.19 ^a	362.07±1.41 ^c	2,282.96±53.59 ^b	-270.21±17.82 ^c	-342.70±9.06 ^f
C:P = 2:8	77.48±0.04 ^b	-2.04±0.03 ^b	34.70±0.06 ^b	358.21±2.94 ^c	2,235.97±75.14 ^b	-210.79±37.91 ^d	-580.21±32.11 ^e
C:P = 4:6	76.52±0.02 ^c	-1.85±0.00 ^c	30.32±0.11 ^c	372.58±4.57 ^c	2,225.22±54.00 ^b	-226.42±16.83 ^{cd}	-712.06±64.16 ^d
C:P = 6:4	73.48±0.08 ^d	-1.81±0.01 ^c	30.48±0.18 ^d	425.79±2.19 ^b	2,285.59±32.72 ^b	-413.83±25.91 ^b	-841.32±31.40 ^c
C:P = 8:2	71.96±0.18 ^c	-1.66±0.02 ^{cd}	27.48±0.55 ^e	491.80±4.08 ^a	2,483.97±47.04 ^a	-584.39±23.38 ^a	-1,007.81±23.24 ^b
C	75.87±0.39 ^c	-1.48±0.06 ^d	19.53±0.23 ^f	507.82±1.16 ^a	2,494.94±28.52 ^a	-588.78±7.56 ^a	-1,769.21±9.01 ^a

หมายเหตุ a,b,... หมายถึง ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมันบดที่ทดแทนมันฝรั่งด้วยมันสำปะหลังในอัตราส่วนต่างๆ (ตารางที่ 9) พบว่า คุณลักษณะด้านสี ความฉ่ำน้ำ ความลื่นลิ้น ความแน่นเนื้อ และความเหนียวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมันบดที่ทดแทนด้วยมันสำปะหลังที่อัตราส่วน C:P เป็น 2:8 ได้รับคะแนนด้านสีและความฉ่ำน้ำไม่แตกต่างกับมันฝรั่งบดล้วน ($p > 0.05$) และการทดแทนมันฝรั่งด้วยมันสำปะหลังในปริมาณเพิ่มมากขึ้นทำให้คุณลักษณะด้านสีและความฉ่ำน้ำมีแนวโน้มลดลงทั้งนี้เนื่องจากสีของมันสำปะหลังบดจะมีสีออกขาวนวลมีเนื้อสัมผัสค่อนข้างแข็งและมีความชื้นต่ำกว่ามันฝรั่ง (ตารางที่ 4) เมื่อนำมาผสมในมันฝรั่งบดซึ่งมีสีเหลือง และมีเนื้อสัมผัสที่นุ่มกว่า จึงทำให้มันบดมีสีจางลง และมีเนื้อสัมผัสที่ค่อนข้างแข็งตามปริมาณมันสำปะหลังบดที่เพิ่มสูงขึ้น ส่วนคุณลักษณะด้านความเรียบเนียน ความแน่นเนื้อ และความเหนียวมีแนวโน้มของคะแนนลดลงตามปริมาณมันสำปะหลังที่เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเนื้อสัมผัสของมันสำปะหลังบดล้วนมีความเรียบเนียนน้อย มีความแน่นเนื้อ ความเหนียวมากกว่ามันฝรั่งบดมาก และยังมีลักษณะของเส้นใยขนาดเล็กอยู่บ้างทำผู้ทดสอบรู้สึกสากลิ้น ซึ่งได้มีการวิจัยปรับปรุงคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของมันฝรั่งบดเพื่อลดลักษณะความเหนียว(sticky) ด้วยการเติมอิมัลซิไฟเออร์ เช่น glyceryl monostearate และ sodium steroyl lactylate (Numfor *et al.*, 1998; Muzanila *et al.*, 2001).

ดังนั้นปริมาณการทดแทนมันฝรั่งด้วยมันสำปะหลังในมันบดในอัตราส่วน C:P ที่ 2:8 เป็นปริมาณที่เหมาะสมเนื่องจากคุณภาพทางกายภาพและคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสใกล้เคียงกับมันฝรั่งบด

ตารางที่ 9 คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสโดยวิธี QDA มั่นฝรั่งบดพร้อมรับประทาน (P) มั่นสำปะหลังบดพร้อมรับประทาน (C) และมั่นสำปะหลังทดแทนมั่นฝรั่งในมันบดพร้อมรับประทานในอัตราส่วนต่างๆ

ตัวอย่าง	คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส				
	สี	ความฉ่ำน้ำ	ความเรียบเนียน	ความแน่นเนื้อ	ความเหนียว
P	9.96±0.03 ^a	9.90±0.13 ^a	9.95±0.01 ^a	9.85±0.01 ^a	9.92±0.08 ^a
C:P = 2:8	9.80±0.28 ^a	9.67±0.24 ^a	9.36±0.22 ^b	9.38±0.12 ^b	9.82±0.10 ^b
C:P = 4:6	8.38±0.26 ^b	8.46±0.21 ^b	8.25±0.08 ^c	8.00±0.35 ^c	8.18±0.08 ^c
C:P = 6:4	8.08±0.21 ^b	8.36±0.10 ^b	7.77±0.15 ^d	7.79±0.05 ^c	7.38±0.10 ^d
C:P = 8:2	6.87±0.09 ^c	7.20±0.04 ^c	6.39±0.12 ^c	6.38±0.04 ^d	6.56±0.31 ^c
C	6.53±0.54 ^c	6.62±0.56 ^d	6.09±0.04 ^c	6.36±0.05 ^d	6.16±0.03 ^f

หมายเหตุ a,b,... หมายถึงตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

3. ศึกษาปริมาณของแข็งและสถานะที่เหมาะสมต่อการทำเหม้งมันสำปะหลังบดและมั่นฝรั่งบดคั้นรูป

เมื่อนำมันสำปะหลังบด และมั่นฝรั่งบดมาศึกษาการทำเหม้งด้วยเครื่อง Double Drum dryer โดยศึกษา 2 ปัจจัย คือปริมาณของแข็ง 2 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 20 และร้อยละ 22 และอุณหภูมิทำเหม้งแปรรูปอุณหภูมิผิวลูกกลิ้งเป็น 3 ระดับ ได้แก่ 120, 125 และ 130 องศาเซลเซียส

จากการวิเคราะห์ทางสถิติ ปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิผิวลูกกลิ้งของเครื่องทำเหม้งแบบลูกกลิ้งกับปริมาณของแข็งของมันสำปะหลังบดก่อนลงเครื่องทำเหม้ง (ตารางที่ 10 และตารางที่ 11) มีผลต่อค่าสี ความชื้น และค่าเนื้อสัมผัสหลังนำมันสำปะหลังบดเหม้งไปคั้นรูปเป็นมันบดพร้อมรับประทาน ($p < 0.05$) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิผิวลูกกลิ้งโดยเฉพาะที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ร่วมกับปริมาณของแข็งร้อยละ 22 ให้ค่าความสว่างต่ำที่สุด ค่าความเป็นสีแดง และค่าความเป็นสีเหลืองสูงที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงของผิวลูกกลิ้ง ทำให้เกิดสีที่ไม่พึงประสงค์ คือ เกิดสีน้ำตาล (ปฏิกิริยาเมลลาร์ด) จากโปรตีนและน้ำตาลที่มีในมันสำปะหลังบด (นิธิยา, 2543; Berk, 1975)

ตารางที่ 10 คุณภาพทางกายภาพของน้ำมันสำปะหลังบด โดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งที่อุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง และปริมาณของแข็งที่ระดับต่างๆ

คุณภาพทางกายภาพ						
อุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง (C°)	อัตราส่วนของแข็ง (ร้อยละ)	ลักษณะปรากฏ	ค่าสี			ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)
			L*	a*	b*	
120	20	จับตัวเป็นก้อน	70.20±0.40 ^a	0.41±0.29 ^c	19.48±0.30 ^d	18.36±0.53 ^a
	22	จับตัวเป็นก้อน	68.49±0.56 ^b	0.34±0.55 ^c	19.70±0.39 ^d	15.57±0.34 ^b
125	20	เป็นแผ่นและบางส่วนจับตัวเป็นก้อน	68.61±0.95 ^b	0.66±0.38 ^d	20.06±0.27 ^c	9.06±0.31 ^c
	22	เป็นแผ่น	65.66±0.38 ^c	1.45±0.63 ^b	20.60±0.46 ^c	4.07±0.67 ^d
130	20	เป็นแผ่น	65.74±0.31 ^c	1.25±0.15 ^c	21.63±0.21 ^b	4.04±0.24 ^d
	22	เป็นแผ่นมีกลิ่นไหม้	60.35±0.56 ^d	1.68±.094 ^a	25.72±0.86 ^a	4.07±0.64 ^d

หมายเหตุ a,b,... หมายถึง ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางที่ 11 ค่าเนื้อสัมผัสของมันสำปะหลังบดแห้งที่อุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง และปริมาณของแข็งที่ระดับต่างๆหลังคืนรูป

อุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง (C°)	อัตราส่วนของแข็ง (ร้อยละ)	ค่าเนื้อสัมผัส			
		Hardness (g)	Work of Penetration (g.sec)	Stickiness (g) ^{ns}	Adhesiveness (g.sec)
120	20	1,702.58±46.14 ^a	7,831.89±27.95 ^a	-2,181.25±30.23	-2,491.65±50.74 ^a
	22	1,694.32±99.00 ^a	7,642.21±70.17 ^b	-1,975.13±14.26	-2,403.33±26.61 ^a
125	20	1,485.88±47.88 ^b	6,788.56±67.94 ^c	-1,995.28±06.05	-2,483.71±16.43 ^a
	22	1,446.69±59.56 ^{bc}	6,032.45±46.23 ^d	-1,854.79±16.52	-2,311.02±14.07 ^b
130	20	1,395.36±59.44 ^c	5,937.03±69.56 ^d	-1,875.13±87.39	-2,223.97±11.68 ^c
	22	1,241.57±53.11 ^c	5,024.77±29.37 ^c	-1733.81±18.32	-2,281.78±50.64 ^c

หมายเหตุ a,b,... หมายถึง ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

นอกจากนี้ยังมีผลต่อปริมาณความชื้นของมันบดแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิผิวลูกกลิ้งร่วมกับปริมาณของแข็งที่ระดับสูงขึ้น จะทำให้ปริมาณความชื้นลดลง แต่ที่อุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง 130 องศาเซลเซียส จะมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) เนื่องจากความร้อนที่ผิวลูกกลิ้งที่ระดับสูงมากพอจึงจะเพียงพอต่อการทำแห้งมันบด แต่ถ้าความร้อนที่ผิวลูกกลิ้งต่ำเกินไปไม่เพียงพอต่อการระเหยของน้ำที่มีอยู่ในมันบดจึงทำให้มันบดไม่แห้ง สำหรับค่าเนื้อสัมผัส พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิผิวลูกกลิ้งร่วมกับปริมาณของแข็งที่ระดับต่างๆ จะมีผลต่อค่าความแข็ง Work of Penetration และค่าการเกาะติด ลดลง ($p < 0.05$) แต่จะไม่ส่งผลกระทบต่อความเหนียว ($p > 0.05$) และเมื่อพิจารณาจากปัจจัยหลักพบว่าทั้งอุณหภูมิผิวลูกกลิ้งและปริมาณของแข็งมีผลต่อค่าความเหนียวของมันสำปะหลังบดคั้นรูป (ตารางที่ 12 และ 13) โดยเมื่ออุณหภูมิผิวลูกกลิ้งสูงขึ้นค่าความเหนียวจะลดลง และปริมาณของแข็งสูงขึ้นค่าความเหนียวก็ลดลงเช่นกัน

จากการศึกษาภาวะการทำแห้งที่เหมาะสมของมันสำปะหลังบดด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง พบว่า การทำแห้งที่อุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง 120 และ 125 องศาเซลเซียส มันบดแห้งที่ได้มีลักษณะเป็นแผ่นแห้งบางส่วน แต่ส่วนมากจับตัวเป็นก้อนเนื่องจากมีปริมาณความชื้นสูง แต่เมื่อใช้อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส มันบดแห้งที่ได้จะมีลักษณะเป็นแผ่นแห้งทั้งหมด และเมื่อพิจารณาคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสหลังนำมันสำปะหลังบดแห้งไปคั้นรูปเป็นมันบดพร้อมรับประทาน จะมีค่าเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับมันสำปะหลังบดสดมากที่สุด พบว่า ที่อุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง 125 องศาเซลเซียส ปริมาณของแข็งเท่ากับ 22 กับอุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ปริมาณของแข็งเท่ากับ 20 มีคุณภาพไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังนั้นอุณหภูมิผิวลูกกลิ้งและปริมาณของแข็งที่เหมาะสมในการผลิตมันสำปะหลังบดคั้นรูปแบบลูกกลิ้ง คือ อุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง 125 องศาเซลเซียส ปริมาณของแข็ง 22 เนื่องจากใช้อุณหภูมิในการทำแห้งต่ำกว่า จึงลดการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลและเป็นการประหยัดพลังงานในการทำแห้ง

ตารางที่ 12 ปัจจัยหลักด้านระดับอุณหภูมิผิวลูกกลิ้งในการทำแท้งมันสำปะหลังที่มีผลต่อค่าความเหนียว

อุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง (C°)	Stickiness (g)
120	2,078.19±18.53 ^a
125	1,925.03±21.08 ^b
130	1,804.47±70.92 ^c

หมายเหตุ a,b,... หมายถึง ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 13 ปัจจัยหลักด้านปริมาณของแข็งในการทำแท้งมันสำปะหลังที่มีผลต่อค่าความเหนียว

อัตราส่วนของแข็ง (ร้อยละ)	Stickiness (g)
20	2,017.22±38.09 ^a
22	1,854.57±15.93 ^b

หมายเหตุ a,b,... หมายถึง ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากการวิเคราะห์ทางสถิติของปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิผิวลูกกลิ้งของเครื่องทำแท้งแบบลูกกลิ้งกับปริมาณของแข็งของมันฝรั่งบดก่อนลงเครื่องทำแท้ง (ตารางที่ 14 และตารางที่ 15) พบว่ามีผลต่อค่าความเป็นสีแดง ค่าความเป็นสีเหลือง ความชื้น และค่าเนื้อสัมผัส (ความแข็ง ความเหนียว และค่าการเกาะติด) หลังนำมันสำปะหลังบดแห้งไปกินรูปเป็นมันบดพร้อมรับประทาน ($p < 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อค่าความสว่างและ Work of Penetration โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิผิวลูกกลิ้งร่วมกับปริมาณของแข็งที่สูงขึ้นจะทำให้ค่าความเป็นสีแดงและค่าความเป็นสีเหลืองสูงขึ้น แต่ค่าความสว่างจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลัก (ตารางที่ 16 และ 17) แสดงให้เห็นว่า มันฝรั่งบดแห้งก็เกิดสีน้ำตาล (ปฏิกิริยาเมลลาร์ด) เช่นเดียวกับในมันสำปะหลังบด และยังมีผลต่อปริมาณความชื้นของมันฝรั่งบดแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิผิวลูกกลิ้งร่วมกับปริมาณ

ของแข็งที่ระดับสูงขึ้น จะทำให้ปริมาณความชื้นลดลง แต่ที่อุณหภูมิผิวถูกกลิ้ง 130 องศาเซลเซียส จะมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) เช่นเดียวกับที่พบในมันสำปะหลังบด



ตารางที่ 14 คุณภาพทางกายภาพของมันฝรั่งบดแห้งที่อุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง และปริมาณของแข็งที่ระดับต่างๆหลังคั้นรูป

ค่าคุณภาพ						
อุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง (C°)	อัตราส่วนของแข็ง (ร้อยละ)	ลักษณะปรากฏ	ค่าสี			ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)
			L* ^{ns}	a*	b*	
120	20	จับตัวเป็นก้อน	65.07±0.54	1.37±0.33 ^d	33.58±0.34 ^c	17.76±0.30 ^a
	22	จับตัวเป็นก้อน	62.39±0.42	1.53±0.35 ^d	34.48±0.49 ^d	15.25±0.28 ^b
125	20	เป็นแผ่นและบางส่วนจับตัวเป็นก้อน	61.63±0.32	3.19±0.34 ^c	35.23±0.53 ^c	9.56±0.38 ^c
	22	เป็นแผ่น	60.52±0.32	3.87±0.15 ^b	36.41±0.26 ^b	4.03±0.96 ^d
130	20	เป็นผง	60.42±0.57	6.58±0.32 ^a	36.13±0.79 ^b	4.05±0.06 ^d
	22	เป็นผงมีกลิ่นไหม้	58.27±0.59	6.65±0.30 ^a	37.35±0.02 ^a	4.09±0.39 ^d

หมายเหตุ a,b,... หมายถึง ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวดิ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

ตารางที่ 15 ค่าเนื้อสัมผัสของมันสำปะหลังบดแห้งที่อุณหภูมิผิวลูกกลิ้งและปริมาณของแข็งที่ระดับต่างๆหลังคืนรูป

อุณหภูมิ ผิวลูกกลิ้ง (C°)	อัตราส่วน ของแข็ง (ร้อยละ)	ค่าเนื้อสัมผัส			
		Hardness (g)	Work of Penetration (g.sec) ^{ns}	Stickiness (g)	Adhesiveness (g.sec)
120	20	709.84±32.58 ^a	3,739.21±69.32	-935.91±23.83 ^a	-780.05±14.85 ^a
	22	692.25±34.99 ^a	3,698.73±24.71	-875.76±20.93 ^b	-765.34±16.08 ^a
125	20	657.48±30.94 ^b	3,503.77±96.29	-797.32±14.59 ^c	-654.63±22.55 ^b
	22	621.23±31.86 ^c	3,498.25±40.43	-685.83±18.34 ^d	-572.43±19.08 ^c
130	20	642.85±18.30 ^{bc}	3,475.32±22.60	-693.21±25.41 ^d	-565.73±21.75 ^c
	22	658.77±20.40 ^b	3,463.21±51.58	-675.58±18.05 ^d	-575.91±21.14 ^c

หมายเหตุ a,b,... หมายถึง ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

สำหรับค่าเนื้อสัมผัส พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิผิวลูกกลิ้งร่วมกับปริมาณของแข็งที่ระดับต่างๆ จะมีผลต่อค่าความแข็ง ความเหนียว และค่าการเกาะติด ลดลง ($p < 0.05$) แต่จะไม่ส่งผลต่อ Work of Penetration ($p > 0.05$) และเมื่อพิจารณาจากปัจจัยหลักพบว่าทั้งอุณหภูมิผิวลูกกลิ้งและปริมาณของแข็งมีผลต่อค่า Work of Penetration ของมันฝรั่งบดคืนรูป (ตารางที่ 16 และ 17) โดยเมื่ออุณหภูมิผิวลูกกลิ้งสูงขึ้นค่า Work of Penetration จะลดลง และปริมาณของแข็งสูงขึ้นค่าความ Work of Penetration ก็ลดลงเช่นกัน

จากการศึกษาสภาวะการทำแห้งที่เหมาะสมของมันฝรั่งบดด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง พบว่า การทำแห้งที่อุณหภูมิบนผิวลูกกลิ้ง 125 องศาเซลเซียส ปริมาณของแข็งเท่ากับ 22 กับ อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ปริมาณของแข็งเท่ากับ 20 ปริมาณความชื้นอยู่ในเกณฑ์ แต่ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ปริมาณของแข็งเท่ากับ 22 มันบดแห้งที่ได้จะมีกลิ่นไหม้มากกว่า และเมื่อ พิจารณาคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสหลังนำมันฝรั่งบดแห้งไปคืนรูปเป็นมันบดพร้อมรับประทาน พบว่า ที่อุณหภูมิบนผิวลูกกลิ้ง 125 องศาเซลเซียส ปริมาณของแข็งเท่ากับ 22 จะมีค่าเนื้อสัมผัสใกล้เคียง กับมันฝรั่งบดสดมากที่สุด กับอุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ดังนั้นอุณหภูมิผิวลูกกลิ้งและปริมาณ ของแข็งที่เหมาะสมในการผลิตฝรั่งบดคืนรูปแบบลูกกลิ้ง คือ อุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง 125 องศา เซลเซียส ปริมาณของแข็ง 22 เนื่องจากใช้อุณหภูมิในการทำแห้งต่ำกว่า จึงลดการเกิดปฏิกิริยาสี น้ำตาล และกลิ่นไหม้

ตารางที่ 16 ปัจจัยหลักด้านระดับอุณหภูมิผิวลูกกลิ้งในการทำแห้งมันฝรั่งที่มีผลต่อค่าความสว่าง (L*) และค่า Work of Penetration

อุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง (C°)	L*	Work of Penetration (g.sec)
120	63.73±1.45 ^a	3,718.97±46.22 ^a
125	61.08±0.68 ^b	3,501.07±66.13 ^b
130	59.34±1.24 ^c	3,469.26±77.78 ^b

หมายเหตุ a,b,... หมายถึง ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวดิ่งมีความแตกต่าง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางที่ 17 ปัจจัยหลักด้านอัตราส่วนของแข็งในการทำแห้งมันฝรั่ง มีผลต่อค่าความสว่าง (L*) และค่า Work of Penetration

อัตราส่วนของแข็ง (ร้อยละ)	L*	Work of Penetration (g.sec)
20	62.37±2.06 ^a	3,572.76±21.08 ^a
22	60.39±1.76 ^b	3,553.39±70.92 ^b

หมายเหตุ a,b,... หมายถึง ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวดิ่งมีความแตกต่างอย่าง มีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

หลังจากได้สภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งของมันเป็นสำคัญแล้ว คือนำมาคั้นรูปเป็นมันบดพร้อมรับประทาน แล้วนำมาทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัส ในด้านสี ความฉ่ำน้ำ ความเรียบเนียน ความแน่นเนื้อ ความเหนียวและความชอบรวมชอบ ดังตารางที่ 18 พบว่า คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านสี ความฉ่ำน้ำ ความเรียบเนียน ความแน่นเนื้อ ความเหนียวและความชอบรวมของมันเป็นสำคัญมากกว่ามันเป็นสำคัญในทุกลักษณะ ($p < 0.05$) โดยมันเป็นสำคัญบดคั้นรูปจะมีคะแนนความชอบทางด้านสี ความฉ่ำน้ำ ความเรียบเนียน ความแน่นเนื้อ ความเหนียวและความชอบรวม อยู่ในระดับความชอบปานกลาง เนื่องจากลักษณะเนื้อสัมผัสของมันเป็นสำคัญบดคั้นรูปยังมีลักษณะแน่นเนื้อ และเหนียวกว่ามันเป็นสำคัญ เมื่อนำมาทำแห้งเนื้อสัมผัสดังกล่าวยังมีค่ามากขึ้นกว่ามันเป็นสำคัญทำให้ผู้ทดสอบให้คะแนนระดับความชอบปานกลาง ส่วนในมันเป็นสำคัญบดคั้นรูปถึงแม้จะมีคุณลักษณะทางกายภาพเปลี่ยนแปลงไปมันเป็นสำคัญบดคั้นรูป แต่ผู้ทดสอบยังให้คะแนนความชอบ อยู่ในระดับชอบมาก ทั้งนี้เนื่องจากผู้ทดสอบคุ้นเคยกับมันเป็นสำคัญมากกว่ามันเป็นสำคัญ

ตารางที่ 18 คะแนนความชอบเฉลี่ยของมันเป็นสำคัญบดคั้นรูปและมันเป็นสำคัญบดคั้นรูปพร้อมรับประทาน

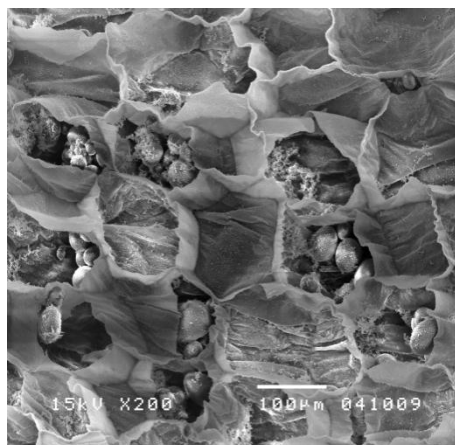
ลักษณะปรากฏ	คะแนนความชอบ	
	มันเป็นสำคัญบดคั้นรูป	มันเป็นสำคัญบดคั้นรูป
สี	7.8±0.97 ^b	8.8±0.40 ^a
ความฉ่ำน้ำ	8.1±0.94 ^b	8.6±0.48 ^a
ความเรียบเนียน	7.4±0.48 ^b	8.9±0.30 ^a
ความแน่นเนื้อ	7.4±0.48 ^b	8.8±0.40 ^a
ความเหนียว	7.6±0.91 ^b	8.9±0.30 ^a
ความชอบโดยรวม	7.7±0.64 ^b	8.6±0.48 ^a

หมายเหตุ a,b,... หมายถึงตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแต่ละแถวมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

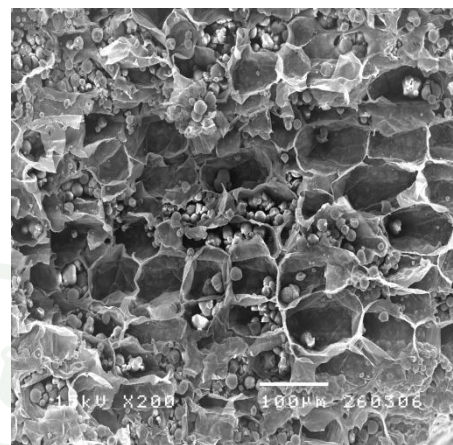
3. ผลการศึกษาลักษณะการเปลี่ยนแปลงของเซลล์ที่สะสมแป้งระหว่างการผลิตมันบดคั้นรูปด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM)

ในการผลิตมันบดคั้นรูปจะมีการติดตามการเปลี่ยนแปลงของเซลล์ที่สะสมแป้งซึ่งจะส่งผลกระทบต่อเนื้อสัมผัสของมันบด โดยนำมันสำปะหลังและมันฝรั่งในแต่ละขั้นตอนของการเตรียมมันบดสดจนถึงการคั้นรูป มาศึกษาลักษณะการเปลี่ยนแปลงของเซลล์ที่สะสมแป้งด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด

เมื่อนำมันสำปะหลังดิบและมันฝรั่งดิบมาศึกษาการจัดเรียงตัวของเซลล์ที่มีเม็ดสตาร์ชอยู่ภายในเซลล์ (รูปที่ 2) พบว่าเนื้อเยื่อของมันฝรั่งดิบที่ตัดตามขวางจะพบเซลล์มีลักษณะทรงหลายเหลี่ยม ภายในบรรจุด้วยเม็ดสตาร์ชรูปร่างกลมรี หรือรูปไข่ (Singh *et al.*, 2005) ที่มีลักษณะเป็นแบบ compound คือ หนึ่งเซลล์จะประกอบไปด้วยเม็ดสตาร์ชหลายเม็ดอยู่ภายในเซลล์ (Lambertiet *al.*, 2004) ส่วนมันสำปะหลังจะพบเซลล์มีลักษณะยาว และเป็นรูปหลายเหลี่ยม ภายในบรรจุด้วยเม็ดสตาร์ชรูปร่างเป็นทรงกลมปลายตัดคล้ายครึ่งวงกลมหรือรูปเกือบม้า และมีลักษณะเป็นแบบ compound คล้ายกับมันฝรั่ง (Bank and Greenwood, 1975; Shanon and Garwood, 1984)

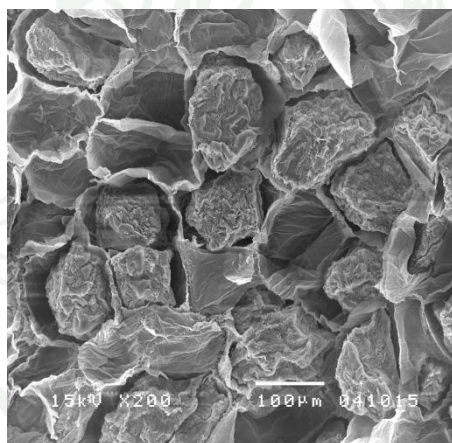


มันฝรั่ง

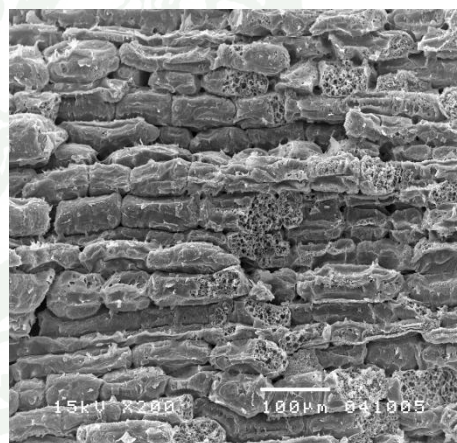


มันสำปะหลัง

ภาพที่ 2 ภาพตัดขวางของการจัดเรียงตัวของเซลล์ที่มีเม็ดสตาร์ชอยู่ภายในเซลล์ในหัวมันฝรั่งดิบ และหัวมันสำปะหลังดิบ ที่กำลังขยาย 200 เท่า



มันฝรั่ง



มันสำปะหลัง

ภาพที่ 3 ภาพตัดขวางของการจัดเรียงตัวของเซลล์ที่มีเม็ดสตาร์ชอยู่ภายในเซลล์ในหัวมันฝรั่งนึ่งสุก และหัวมันสำปะหลังนึ่งสุก ที่กำลังขยาย 200 เท่า

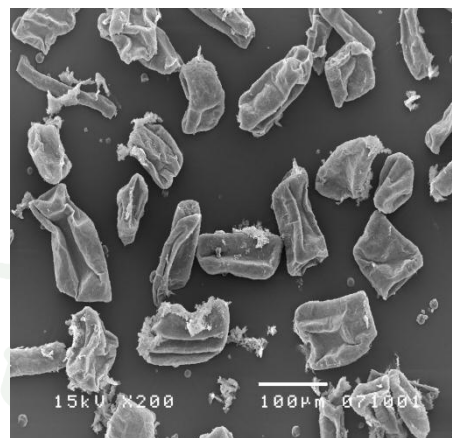
เมื่อนำมันทั้งสองชนิดมานึ่งให้สุกแล้วตัดเนื้อเยื่อตามขวาง (รูปที่ 3) พบว่าเมื่อดูส่วนของมันฝรั่งจะพบตัวของเต็มเซลล์ (Lambertiet *al.*, 2004) ผนังเซลล์บางเซลล์ถูกเปิดออก บริเวณช่องว่างระหว่างเซลล์ (Middle lamella) ของมันฝรั่งไม่ค่อยแยกออกจากกัน เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Singh *et al.*, 2005 ส่วนมันสำปะหลังจะพบการพบตัวของสตาโรสเต็มเซลล์ และมีช่องว่างระหว่างเซลล์มากกว่ามันฝรั่ง จากลักษณะปรากฏของมันสุกทั้งสองชนิด เป็นดัชนีบ่งชี้ด้านเนื้อสัมผัสด้านความแข็ง และความแน่นเนื้อได้ (Jarvis and Duncan, 1992; Anderson *et al.*, 1994; Singh *et al.*, 2005)

เมื่อนำมันทั้งสองชนิดมาบด (รูปที่ 4) พบว่า เซลล์แต่ละเซลล์แยกออกจากกัน ผนังเซลล์บางเซลล์ถูกฉีกขาด เมื่อดูสตาโรสบางส่วนได้หลุดออกมา (Lambertiet *al.*, 2004) และทำให้สตาโรสไหลออก เมื่อสตาโรสไหลออกมามาก จะจับตัวรวมกันคล้ายกาวทำให้มันบดนั้นมีลักษณะที่เหนียว (Van Marleet *et al.*, 1997) ส่งผลด้านเนื้อสัมผัส ทำให้เกิดคุณลักษณะด้านความเหนียว และค่าการเกาะติด

นำมันบดทั้งสองชนิดมาผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง พบว่า เซลล์และเมื่อดูสตาโรสที่อยู่ภายใน และภายนอกเซลล์สุกอย่างสมบูรณ์ และไม่สามารถเห็นเป็นเซลล์แต่ละเซลล์แล้ว จะสุกและเป็นแผ่นติดกัน (ไม่ได้แสดงภาพ) แต่เมื่อนำมันทั้งสองชนิดมาคืนรูปโดยให้มีปริมาณความชื้นเท่ากับมันบดสด พบว่าเซลล์มีลักษณะเหี่ยว (shrink) ดังรูปที่ 5 เนื่องจากการทำแห้ง จะพบสตาโรสที่สุกเกาะรวมตัวกับเซลล์ แต่ยังคงมีรูปร่างของเซลล์ใกล้เคียงกับมันบดสดก่อนทำแห้ง (Lambertiet *al.*, 2004; Villagran and Beverly, 2006)

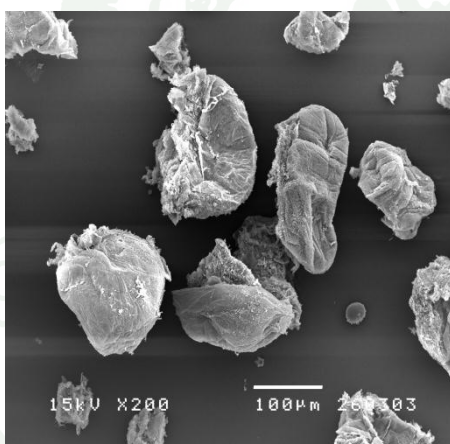


น้ำมันปาล์ม

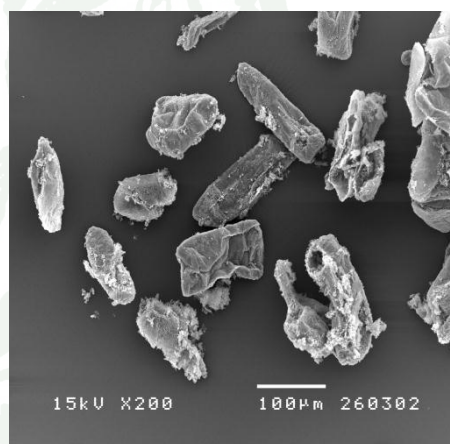


น้ำมันปาล์ม

ภาพที่ 4 ภาพการกระจายตัวของเซลล์ที่มีเม็ดแป้งอยู่ในเซลล์ ในน้ำมันปาล์มบดสด และน้ำมันปาล์มบดสด ที่กำลังขยาย 200 เท่า



น้ำมันปาล์ม



น้ำมันปาล์ม

ภาพที่ 5 ภาพเซลล์ที่มีเม็ดแป้งอยู่ในเซลล์ในน้ำมันปาล์มบดและน้ำมันปาล์มบดหลังคืนรูป ที่กำลังขยาย 200 เท่า

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

มันสำปะหลังดิบที่นำมาผลิตมันบดมีปริมาณเนื้อคิดเป็นร้อยละ 51.45 และเปลือกร้อยละ 48.55 ของน้ำหนักมันสำปะหลังสดทั้งหมด และเมื่อนำไปผลิตเป็นมันบดได้มันสำปะหลังบดคิดเป็นร้อยละ 48.05 ของน้ำหนักมันสำปะหลังสดทั้งหมด โดยมันบดที่ได้จะมีลักษณะเนื้อมีสีขาวออกเหลืองนวล มีเส้นใยหยาบ และมีกลิ่นหอมของมันสำปะหลังเมื่อทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่ามันสำปะหลังบดสดมีคะแนนด้านสีความฉ่ำน้ำ ความเรียบเนียน ความแน่นเนื้อ และความเหนียว ค่อนข้างกว่ามันฝรั่งบดสด แต่เมื่อนำมันสำปะหลังบดมาทำเป็นมันบดพร้อมรับประทาน พบว่าสีและความแข็งของมันสำปะหลังบดพร้อมรับประทานมีคะแนนใกล้เคียงกับมันฝรั่งบดพร้อมรับประทานแต่คุณลักษณะด้านความเรียบเนียนและความเหนียวจะต้องปรับปรุงเพิ่มเติม เนื่องจากโดยลักษณะพื้นฐานของมันสำปะหลังจะมีเนื้อสัมผัสที่หยาบและเหนียวกว่ามันฝรั่ง จึงทำให้เมื่อนำมาทำเป็นมันสำปะหลังบดพร้อมรับประทาน จึงยังมีคุณลักษณะที่ค้ำกว่ามันฝรั่ง แต่เมื่อนำมา มันสำปะหลังทดแทนมันฝรั่งในการผลิตมันบด โดยการทดแทนมันสำปะหลังบดในมันฝรั่งบดพบว่า มันสำปะหลังที่ทดแทนมันฝรั่งในอัตราส่วน 2:8 ได้รับคะแนนด้านสีและความฉ่ำน้ำไม่แตกต่างกับมันฝรั่งบดล้วน ส่วนคุณลักษณะด้านความเรียบเนียน ความแน่นเนื้อ และความเหนียว มีแนวโน้มของคะแนนลดลงตามปริมาณมันสำปะหลังที่เพิ่มสูงขึ้น จะเห็นได้ว่าการนำมันสำปะหลังบดมาผสมเพื่อทำมันบดพร้อมรับประทานจะให้คุณภาพทางประสาทสัมผัสดีขึ้นกว่าใช้มันสำปะหลังล้วน หลังจากนั้นเมื่อนำมันบดที่ได้มาทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตมันสำปะหลังบดแห้งและมันฝรั่งบด คือ อุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง 125 องศาเซลเซียส ปริมาณของแข็งร้อยละ 22 ที่ความเร็วรอบเป็น 1 รอบต่อ 45 วินาที และระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งอยู่ที่ 0.38 มิลลิเมตร แล้วเมื่อนำมันบดแห้งทั้งสองที่ได้มาคั้นรูป และทดสอบการยอมรับพบว่าผู้ทดสอบชอบมันสำปะหลังบดคั้นรูปน้อยกว่ามันฝรั่งบดคั้นรูปในทุกคุณลักษณะ ($p < 0.05$)

ข้อเสนอแนะ

1. มันสำปะหลังบดที่ผลิตเป็นมันบดพร้อมรับประทานมีกลิ่นเนยเล็กน้อย จึงไม่เป็นที่ดึงดูดแก่ผู้บริโภค ดังนั้นจึงควรเติมส่วนผสมอื่นๆรับประทานเคียงคู่ด้วย เช่น เกรวี่ หรือเนื้อมะพร้าว เป็นต้น เพื่อดึงดูดความสนใจแก่ผู้บริโภค
2. เนื้อสัมผัสของมันสำปะหลังบดคั้นรูป ยังมีความเหนียว แน่นเนื้อและไม่ลื่นลิ้น ซึ่งได้มีการวิจัยปรับปรุงคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของมันฝรั่งบดคั้นรูปเพื่อลดลักษณะความเหนียวด้วยการเติมอิมัลซิไฟเออร์ เช่น glyceryl monostearate และ sodium sterylactylate ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาการเติมสารปรับปรุงคุณภาพในมันสำปะหลังบดคั้นรูป เพื่อให้มีค่าเนื้อสัมผัสที่ใกล้เคียงกับมันฝรั่งบด
3. จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา ยังไม่มีการศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังบดแห้ง จึงควรมีการศึกษา การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ และประสาทสัมผัสของมันสำปะหลังบดแห้งระหว่างการเก็บรักษา เพื่อที่จะทราบอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังบดแห้ง

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กรมส่งเสริมการเกษตร. 2557. การส่งเสริมการปลูกมันฝรั่งพันธุ์โรงงาน. สหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.
- จิณณจาร์ เศรษฐสุข. 2537. คุณสมบัติและประโยชน์ของหัวและแป้งมันสำปะหลัง. เอกสารวิชาการมันสำปะหลัง ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง. สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตรกระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- คณัย สุภาพาร. 2537. พฤกษศาสตร์และพันธุศาสตร์ของมันสำปะหลัง. เอกสารวิชาการมันสำปะหลัง ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง. สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตรกระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- นิธิยา รัตนานนท์. 2543. เคมีอาหาร. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. คณะอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- นิธิยา รัตนานนท์. 2548. วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.
- พวงเพชร นรินทรพร. 2537. การใช้ประโยชน์จากหัวมันสำปะหลัง. เอกสารวิชาการมันสำปะหลัง ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง. สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตรกระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- วรกาญจน์ โกศลพิศิษฐ์กุล. 2542. มันฝรั่งพืชเศรษฐกิจมีอนาคต. วารสารส่งเสริมการลงทุน. 10 (7): 27-31.
- วรยุทธ ปฏิภาณวัฒน์. 2553. การเพิ่มผลผลิตหัวมันสำปะหลังต่อหน่วยพื้นที่. 30: 37-39.

วิไล รัตตาทอง. 2545. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
พระนครเหนือ, กรุงเทพฯ.

อภิษฐา ทองทับ. 2548. เทคโนโลยีการอบแห้งและผลิตภัณฑ์. คณะเทคโนโลยีการเกษตร
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่, เชียงใหม่

A.O.A.C. 2000. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 17th ed. The Association
of Official Analytical Chemists. Gaithersburg, Maryland.

Aguilera, J.M., L. Cadoche, C.L. Pez and G. Gutierrez. 2001. Microstructural changes of potato
cells and starch granules heated in oil. **Food Research International**. 34: 939-947.

Alvarez, M.D., C. Fernandez and W.Canet. 2005. Effect of freezing/thawing conditions and
long-term frozen storage on the quality of mashed potatoes. **Emirates Journal of Food
and Agriculture**. 85:2327-2340.

Alvarez, M.D., M.J. Jimenez and W. Canet, 2011. Texture of extra virgin
olive oil-enriched mashed potatoes: sensory, instrumental and structural relationships.
Journal of Texture Studies. 42: 413-429.

Andersson, A., V. Gekas, I. Lind, F. Oliveira and R. Öste. 1994. Effect of preheating on potato
texture. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**. 34 (3): 229-251.

Banks, W. and C.T. Greenwood 1975. **Starch and its components**. Edinburgh University
Press, England.

Berk, Z. 1976. Braverman's introduction to the biochemistry of foods. **Elsevier Scientific**.
Amsterdam, New York.

De Wijk, R.A., L.J. Vangemert, M.E.J. Terpstra, and C.L. Wilkison. 2003. Texture of semi-solids; sensory and instrumental measurements on vanilla custard desserts.

Food Quality and Preference. 14: 305-317.

Dijk, C.V., J.G. Beekhuizen, T. Gibcens, C. Boeriu, M. Fischer and T.S. Smits. 2002. Texture of cooked potatoes (*Solanum tuberosum*) 2. Changes in pectin composition during storage of potatoes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry.** 50: 5089-5097.

Freeman, M., M.C. Jarvis and H.J. Duncan, 1992. The textural analysis of cooked potato. 3. Simple methods for determining texture. **Potato Research.** 35: 103-109.

Grace, M.R. FAO plant production and Protection series no.3. 1977. Available from Internet: <http://www.fao.org/inpho/vlibrary/x0032e/x0032E00.html>.

International Year of the Potato 2008. 2008. Available Source: <http://www.potato2008.org/en/potato/origins.html>. October 21, 2012.

James, C. and M.J. Willard Jr. 1956. **Drum Drying of Cook Mashed Potatoes.** United States of America as represented by the Secretary of Agriculture. United States Patent. No. 2,759,832.

Janet, R. 1987. **Potato Cookbook.** Pelican publishing company Co .Inc. United States of America.

Jarvis, M.C. and H.J. Duncan. 1992. The textural analysis of cooked potato 1. Physical principles of the separate measurement of softness and dryness. **Potato Research.** 35: 83-91.

- Julie, A.M., R.D. Christopher and A.T. Sherry. 2009. Nutritional value of cassava for use as a staple food and recent advances for improvement. **Comprehensive Review in food Science and food safety**. 8: 181-194.
- Lamberti, M., A. Geiselmann, B. Conde-Petit and F. Escher. 2004. Starch transformation and Structure development in production and reconstitution of potato flakes. **LWT - Science and Technology**. 37 (4): 417-427.
- Mcomber, D.R., H.T. Horner., M.A. Chamberlin. and D.F. Cox. 1994. Potato Cultivar Diffences Associated with Mealiness. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 42: 2433-2439.
- Muzanila, Y.C., J.G. Brennan, R.D. King and D.B. Macdougall. 2001. Texture of reconstituted cassava flakes. **Tropic Science**. 41: 55-59.
- Numfor, F.A., W.M.J. Walter and S.J. Schwartz. 1998. Emulsifiers affect the texture of pastes made from fermented and non-fermented cassava flours. **International Journal of Food Science and Technology**. 33: 455-460.
- Charoenkul, N., D. Uttapap, W. Pathipanawat and Y. Takeda. 2011. Physicochemical characteristics of starches and flours from cassava varieties having different cooked root textures. **LWT-Food Science and Technology**. 44(8): 1774-1781.
- O'Neil, J.D., G.M. Granum, E.M. Kiploks. and N. Charles.1980. **Potato dehydration**. United States of America. Patent No. 4,241,094: 1-17.
- Onwueme, I.C. 1978. The tropical tuber crops: yam, cassava, sweet potato, cocoyams. **John Wiley and Sons Ltd**. London. England.

- Peksa., A., J. Apeland, S. Gronnerod and E.M. Magnus. 2002. Comparison of the consistencies of cooked mashed potato prepared from seven varieties of potatoes. **Food Chemistry** 76: 311-317.
- Singh, N., L.Kaur, R. Ezekiel and H.S. Gurraya. 2005. Microstructural, cooking and textural characteristics of potato (*Solanum tuberosum* L.) tuber in relation to physico-chemical and functional properties of their flours. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. 85: 1275-1284.
- Shannon, J.C. and D.L. Garwood. 1984. Genetics and physiology of starch development. In R.L. Whistler, J.N. Be-Miller, E.F. Paschell., eds. **Starch: Chemistry and Technology**. Academic Press. Orlando. 25.
- Solomon, C. 1996. **Charmaine Solomon's Encyclopedia of Asian Food**. William Heinemann Australia.
- Talbut, W.F. 1967. **Potato processing**. Westport: AVI Publishing company, Inc.
- The Thai Tapioca Trade Association (TTTA). 2009. Annual Report 2009.
- Thybo, A.K., H.J. Marten and O.B. Lyshede. 1998. Texture and microstructure of steam cooked, vacuum packed potatoes. **Journal of food science**. 63: 692-695.
- USDA National Nutrient Database for Standard Reference Release 26. Available source: <http://ndb.nal.usda.gov/>. April 13, 2014.
- Van Marle, J.T., T. Stollensmits, J. Donkers, C.V. Dijk, A.G.J. Voragen and K. Recourt. 1997. Chemical and microscopic characterization of potato (*Solanum tuberosum* L.) cell walls during cooking. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 45:50-58.

Villagran Martinez-Serna, M.D. and D.J. Beverly. 2003. **Dehydrated Potato Flakes.**

United States Patent. No. US 6,544,580 B1: 1-24.

Villagran Martinez-Serna, M.D. 2004. **Potato dough.** United States Patent.

No.. 6,808,734:, 1-57.

Villagran Martinez-Serna, M.D., E.M. Boyle., J. Li., M. Stojanovic., D.K. Yang., D.R. Patton.

and H.A. Soini. 2004. **Potato Flakes.** United States Patent. No. US 6,777,020 B2: 1-36.

Villagran Martinez-Serna, M.D., Wooten, J.C., Li, J., Patton, D.R., and Boyle, E.M. 2005.

Method for preparing dehydrated starch products United States Patent

No. 6,890,580:, 1-67.

Villagran Martinez-Serna, M.D., D.J. Beverly.2006. **Dehydrated Potato Flakes.**

United States Patent. No. US 7,060,317 B2: 1-24.





ก.1 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1. ตู้อบอุณหภูมิปรับอุณหภูมิได้
2. ภาชนะหาคความชื้น (ถ้วยอะลูมิเนียมพร้อมฝา)
3. โถดูดความชื้น
4. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

วิธีวิเคราะห์

1. นำถ้วยหาคความชื้น อบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6-8 ชั่วโมง ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น ทิ้งไว้ประมาณ 20-25 นาที ชั่งน้ำหนักถ้วยที่แน่นอน
2. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่แน่นอน 2 กรัม ใส่ถ้วยแล้วนำไปอบอุณหภูมิที่ 105 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง
3. นำออกจากตู้อบไปใส่ในโถดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนัก
4. นำตัวอย่างไปอบซ้ำอีกครั้ง ครั้งละประมาณ 2 ชั่วโมง และทำซ้ำเช่นเดิมจนกระทั่งได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัมหรือจนกว่าน้ำหนักจะคงที่
5. คำนวณหาปริมาณความชื้นจากสูตร

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{\text{ผลต่างของน้ำหนักตัวอย่างก่อนอบและหลังอบ (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}}$$

การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1. ขวดย่อยโปรตีน (kjeldahl flask) ขนาด 250-300 มิลลิลิตร
2. ชุดกลั่นโปรตีน (semi-microdistillation apparatus)
3. ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร (volumetric flask)
4. ขวดรูปชมพู่ขนาด 50 มิลลิลิตร (erlenmeyer flask)
5. ปิเปตขนาด 5 และ 10 มิลลิลิตร (volumetric pipette)
6. บิวเรตขนาด 25 และ 50 มิลลิลิตร
7. ลูกแก้ว

สารเคมี

1. กรดซัลฟูริกเข้มข้น
2. สารเร่งปฏิกิริยาใช้คอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO_4) 1 ส่วนต่อโปแตสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) 9

ส่วน

3. สารละลายของโซเดียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมไฮโอซัลเฟตเข้มข้นร้อยละ 60 โดยชั่งสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ 60 กรัม และโซเดียมไฮโอซัลเฟต 5 กรัมละลายในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร
4. สารละลายกรดบอริกเข้มข้น ร้อยละ 4 โดยละลายกรดบอริก 40 กรัมด้วยน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร
5. สารละลายกรดเกลือเข้มข้น 0.02 นอร์มอล
6. อินดิเคเตอร์ใช้ fashiro indicator เตรียมเป็น stock solution ซึ่งเมทิลีนบลู (methylene blue) 0.2 กรัมละลายในเอทิลแอลกอฮอล์ 200 มิลลิลิตรและชั่งเมทิลเรด (methyl red) 0.05 กรัมละลายในเอทิลแอลกอฮอล์ 50 มิลลิลิตรเวลาใช้นำมาผสมในอัตราส่วน stock solution 1 ส่วนต่อเอทิลแอลกอฮอล์ 1 ส่วนต่อน้ำกลั่น 2 ส่วน

วิธีวิเคราะห์

ขั้นตอนการย่อย

1. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 0.5-1 กรัม ใส่ลงในหลอดย่อยโปรตีน และทำ blank

2. ชั่งสารผสมระหว่าง $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ และ K_2SO_4 อัตราส่วน 1:10 ปริมาณ 5 กรัม ใส่ลงในหลอดย่อย

3. เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น ปริมาณ 10-15 มิลลิลิตร

4. วางหลอดในเตาย่อยแล้วปิดฝาครอบที่ต่อเข้าเครื่องดักจับไอกรด

5. เปิดสวิตช์เครื่องดักจับไอกรดและเตาย่อย แล้วตั้งอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที จากนั้นปรับอุณหภูมิเป็น 350 องศาเซลเซียส ย่อยต่ออีก 60 นาที หรือจนตัวอย่างใส

6. ปลดทิ้งให้เย็นในตู้ดูดควันและนำไปกลั่นต่อไป

ขั้นตอนการกลั่น

1. จัดอุปกรณ์การกลั่น เปิดสวิตช์ให้ความร้อนและเปิดน้ำหล่อเย็น

2. เตรียมขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ที่มีสารละลายกรดบอริกความเข้มข้นร้อยละ 4 ปริมาณ 25 มิลลิลิตร หยดอินดิเคเตอร์ 3-4 หยด นำไปรองรับของเหลวที่กลั่นโดยให้ส่วนปลายของอุปกรณ์ควมแน่นจุ่มลงในสารละลาย

3. นำหลอดย่อยโปรตีนที่บรรจุตัวอย่างที่ผ่านการย่อยแล้วมาต่อกับเครื่องกลั่นโปรตีน ตรวจเช็คสายยาง น้ำกลั่น ขวดค้าง (สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น ร้อยละ 40)

4. ตั้งโปรแกรมการกลั่น ดังนี้

การกลั่นตัวอย่าง

Step 1 (การเติมค้าง) = 12 วินาที

Step 2 (Reaction time) = 5 วินาที

Step 3 (Distillation time) = 210 วินาที

Step 4 (Power) = 100

กลับเข้าสู่การเริ่มกลั่นล่าง โดยกด Prog หน้าจอปรากฏตัว “P” และกด Run

การกลั่นล้าง

เติมน้ำกลั่นในหลอดย่อยประมาณ $\frac{1}{2}$ ของหลอด

Step 1 (การเติมต่าง) = 0 วินาที

Step 2 (Reaction time) = 0 วินาที

Step 3 (Distillation time) = 180 วินาที

Step 4 (Power) = 100

กลับเข้าสู่การเริ่มกลั่นล้าง โดยกด Prog หน้าจอปรากฏตัว “P” และกด Run

5. หลังจากกลั่นตัวอย่างเรียบร้อยแล้วล้างปลายอุปกรณ์ความแน่นด้วยน้ำกลั่นลงในขวดรองรับ

6. ไตเตรทสารละลายที่กลั่นได้ด้วยกรดเกลือที่มีความเข้มข้น 0.02 นอร์มัล สีของสารละลายจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วงบันทึกปริมาตรที่ไตเตรทได้

7. คำนวณปริมาณโปรตีนจากสูตร

$$\text{ปริมาณโปรตีน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)} = \frac{(A-B) \times (N) \times (14.007) \times (F)}{W \times 1000}$$

A = ปริมาตรกรดที่ใช้ไตเตรทกับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

B = ปริมาตรกรดที่ใช้ไตเตรทกับ Blank (มิลลิลิตร)

N = ความเข้มข้นของกรด (นอร์มัล)

F = แฟคเตอร์ 6.25

W = น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)

การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (AOAC, 2000)

อุปกรณ์และสารเคมี

1. ตู้อบอุณหภูมิปรับอุณหภูมิได้
2. ภาชนะหาไขมัน (Extraction cup)
3. โถดูดความชื้น
4. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง
5. กระดาษกรอง No.1
6. สำลีที่ปราศจากไขมัน (Defatted cotton wool)
7. เครื่องสกัดไขมัน
8. ปิโตรเลียมอีเทอร์

วิธีวิเคราะห์

1. อบ Extraction cup สำหรับหาปริมาณไขมัน ที่อุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบ ทิ้งไว้ในโถดูดความชื้น แล้วนำมาชั่งน้ำหนักที่แน่นอน
 2. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน 1 กรัม โดยใช้กระดาษกรอง No.1 ที่ทราบน้ำหนักห่อตัวอย่างให้มิดชิดแล้วใส่ลงใน Extraction cup คลุมด้วยสำลีที่ปราศจากไขมัน (Defatted cotton wool) เพื่อให้การกระจายตัวของตัวทำละลายสม่ำเสมอ
 3. นำ Extraction thimble ประกอบเข้ากับเครื่องสกัดไขมันเติมปิโตรเลียมอีเทอร์ ประมาณ 60 มิลลิลิตรลงใน Extraction cup แล้วประกอบเข้าเครื่องสกัดไขมัน
 4. สกัดไขมันโดยเลือกอุณหภูมิในการสกัด 100 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการสกัด (Extraction time) 30 นาที เวลาสำหรับการชะ (Washing time) 30 นาที และเวลาสำหรับการระเหยตัวทำละลาย 20 นาที
 5. นำ Extraction cup ออกจากสกัดไขมันแล้วระเหยตัวทำละลายออกจาก extraction cup ให้หมดในตู้ควั่น
 6. นำ Extraction cup ที่มีไขมันสกัดได้อบที่อุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที หรืออบจนแห้ง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น
 7. ชั่งน้ำหนัก แล้วอบตัวอย่างต่อ ครั้งละ 1 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งน้ำหนักคงที่
 8. คำนวณหาปริมาณไขมันจากสูตร
- $$\text{ไขมัน (ร้อยละ)} = \frac{\text{ปริมาณไขมันที่สกัดได้ (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}}$$

การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1. เตาเผา (Muffle furnace)
2. ถ้วยกระเบื้องเคลือบ (Porcelain crucible)
3. โถดูดความชื้น
4. เครื่องชั่งไฟฟ้าอย่างละเอียด

วิธีวิเคราะห์

1. เเผาถ้วยกระเบื้องในเตาเผา(Muffle furnace) ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ปิดสวิตช์เตาเผาประมาณ 30-45 นาที เพื่อให้อุณหภูมิภายในเตาตกลงก่อนแล้วจึงนำถ้วยออกจากเตาเผาไปใส่ในโถดูดความชื้นให้เย็น แล้วชั่งน้ำหนัก
2. เเผาซ้ำอีกครั้งประมาณ 30 นาที และกระทำเช่นข้อ 1 จนได้ผลต่างของน้ำหนักทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม
3. ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนปริมาณ 1-2 กรัม ใส่ในถ้วยกระเบื้องที่ทราบน้ำหนัก แล้วนำไปเผาบนเตาไฟฟ้าในตู้ควันจนกระทั่งตัวอย่างไม่มีควัน แล้วจึงนำไปเผาในเตาเผา ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส จนกระทั่งได้เถ้าสีขาวหรือสีเทาอ่อน นำออกจากเตาเผาลอยทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักที่ได้
4. คำนวณหาปริมาณเถ้าจากสูตร

$$\text{ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}}$$

การวิเคราะห์คำนวณปริมาณคาร์โบไฮเดรต(AOAC, 2000)

ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดคำนวณหาได้คือ ส่วนที่เหลือของผลต่างของปริมาณองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆดังนี้

ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด=100-(ร้อยละความชื้น+ร้อยละโปรตีน+ร้อยละไขมัน+ร้อยละเถ้า)

ก2. การวิเคราะห์ค่าสี ด้วยเครื่อง Colorimeter

อุปกรณ์

1. เครื่อง Colorimeter
2. ถ้วยแก้วสำหรับวัดค่าสี
3. วางแผ่นสีมาตรฐานสีดำ สีขาว และสีเขียว

วิธีวิเคราะห์

1. ขั้นตอนการ Calibration ด้วยแผ่นสีมาตรฐาน
 - 1.1 เปิดเครื่องวิเคราะห์ค่าสี และกดเลือก Standardization แล้วกด enter
 - 1.2 วางแผ่นสีมาตรฐานสีดำ เครื่องจะ calibrate อัตโนมัติ และจะให้วางแผ่นสีมาตรฐานสีต่อไป
 - 1.3 วางแผ่นสีมาตรฐานสีขาว เครื่องจะ calibrate อัตโนมัติเช่นกัน
 - 1.4 ทดสอบค่าสีด้วยวางแผ่นสีมาตรฐานสีเขียว แล้วกด enter จากนั้นเปรียบเทียบค่า L^* a^* และ b^* ที่อ่านได้จากเครื่องและค่ามาตรฐาน
2. การวัดค่าสีของตัวอย่าง
 - 2.1 บรรจุตัวอย่างในภาชนะ และนำไปวางในตำแหน่งของการวัดค่าสี
 - 2.2 ปิดภาชนะบรรจุตัวอย่างด้วยฝาครอบสีดำ
 - 2.3 กด enter เพื่อวัดค่าสี
 - 2.4 จดบันทึกค่าที่แสดงความสว่าง ความสว่าง L^* หมายถึง ค่าความสว่าง มีค่า $0 - 100$ $L^*=0$ สีมืดที่สุด $L^*=100$ สว่างที่สุด a^* หมายถึง ค่าที่แสดงความเป็นสีแดง หรือเขียว a^* เป็น + หมายถึง แสดงความเป็นสีแดง a^* เป็น - หมายถึง แสดงความเป็นสีเขียว b^* หมายถึง ค่าที่แสดงความเป็นสีเหลือง หรือน้ำเงิน b^* เป็น + หมายถึง แสดงความเป็นสีเหลือง b^* เป็น - หมายถึง แสดงความเป็นสีน้ำเงิน
 - 2.5 กด enter อีกครั้งเพื่อเคลียร์หน้าจอ กลับเข้าสู่การวัดค่าสีตัวอย่างต่อไป

ก3. การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส(ดัดแปลงจาก Alvarez *et al.*, 2004)

อุปกรณ์

1. เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture analyzer) รุ่น TA-XT.Plus
2. หัววัดConical Probes ขนาดมุมแหลม 30 องศา
3. ภาชนะกักเก็บทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร สูง 6 เซนติเมตร

วิธีวิเคราะห์

1. ก่อนการใช้งานเครื่องวัดเนื้อสัมผัส จำเป็นต้องมีการทดสอบการทำงานของเครื่องทั้งหมด 2 ขั้นตอน

1.1 Force calibration

- 1.1.1 เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์เปิดเครื่องวัดเนื้อสัมผัส
- 1.1.2 เลือก T.A. บนแถบคำสั่งแล้วเลือก Calibration force หน้าต่างใหม่จะเตือนให้ผู้ใช้ตรวจสอบว่ามีวัตถุใดกีดขวางหัววัดหรือไม่ถ้าไม่มีสิ่งกีดขวางตอบตกลง
- 1.1.3 หน้าต่างใหม่ที่เกิดขึ้นจะแจ้งให้ผู้ใช้กดปุ่มน้ำหนักรางบนคานวัด จากนั้นตอบตกลง
- 1.1.4 เมื่อหน้าจอปรากฏข้อความ Calibration successful จึงตอบตกลงและเอาค้อนน้ำหนักลง

1.2 Probe calibration

- 1.2.1 สวมหัววัด (probe) เลือก T.A. Calibration probe กำหนดระยะทางให้มีความสูงกว่าตัวอย่าง จากนั้นตอบตกลง
- 1.2.2 หัววัดจะเคลื่อนลงมาแตะกับฐานและกลับไปยังตำแหน่งที่กำหนด ซึ่ง Texture expert จะอ่านตำแหน่งดังกล่าวเป็นศูนย์

2. เลือก T.A. setting เพื่อกำหนดค่า parameter ต่างๆ ดังนี้

Pre-test speed	5.0	mm/s
Test speed	10	mm/s
Post-test speed	5.0	mm/s
Distance	30	mm
Trigger Type	(Auto Force)	

3. เลือก T.A. run a test เพื่อวัดตัวอย่าง ตั้งชื่อ file เลือก directory ที่ต้องการ save ข้อมูล จากนั้นตอบตกลง หัววัดจะเลื่อนลงมาเพื่อวัดตัวอย่าง
4. ข้อมูลที่ได้จะแสดงในรูปกราฟ และรายงานค่าความแข็ง(Hardness)ความแน่นเนื้อ (Work of Penetration)ความเหนียว (Stickiness) และการเกาะติด(Adhesiveness)

ก4. การวิเคราะห์เปลี่ยนแปลงของเซลล์สะสมแป้งโดยใช้กล้อง Scanning Electron Microscope

อุปกรณ์

1. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM)
2. เครื่องฉาบทอง (Ion sputter)
3. Ethanol ที่ความเข้มข้นต่างระดับต่างๆ ได้แก่ร้อยละ 30, 50, 70, 90, และ 100 ตามลำดับ
4. เครื่องทำแห้ง (Critical Point Dried sample; CPD)

วิธีวิเคราะห์

1. นำตัวอย่างมันดิบ สุก มาหั่นเป็นชิ้นทรงกระบอกหน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยมขนาด 1 x 1 x 5 มิลลิเมตร ส่วนมันบด กับมันบดคั้นรูป ให้เตรียมไว้ประมาณ 0.5 กรัม
2. นำตัวอย่างมันดิบ มันบดสด และมันบดแห้งคั้นรูปมาทำการ Dehydrate ตัวอย่างด้วย ethanol
3. นำตัวอย่างแช่ใน Ethanol ร้อยละ 30 ก่อน เป็นเวลา 30 นาที ระหว่างแช่ให้เขย่าตัวอย่างเบาๆด้วยเครื่องเขย่าตัวอย่าง (Shaker)
4. หลังจากนั้นถ่ายตัวอย่าง ลงใน Ethanol ที่มีความเข้มข้นระดับต่างๆ คือร้อยละ 50, 70, 90, และ 100 ตามลำดับ แช่ระดับละ 20 นาทีต่อครั้ง
5. นำตัวอย่างไปทำแห้งต่อด้วยเครื่อง CPD
6. นำตัวอย่างออกจากเครื่อง CPD แล้ว มาหักตัวอย่างตามขวาง เพื่อติดบน stub และฉาบด้วยทองคำหนา 20-30 มิลลิเมตร ด้วยเครื่อง Ion sputter โดยใช้เทคนิค Hammer V sputter coater
7. นำตัวอย่างที่เตรียมเรียบร้อยแล้วมาส่องด้วยกล้อง SEM ความดันที่ 20 kV ใช้กำลังขยายขนาดต่างๆ เช่น 200, 500 และ 1,000 เท่า



ข1. แบบทดสอบคุณลักษณะของมันบดโดยวิธี Quantitative Descriptive Analysis

ชื่อผู้ทดสอบชิม.....วันที่.....ชุดที่.....



ข.2แบบสอบถามการยอมรับโดยวิธี 9 Point-Hedonic Scale test

ใบรายงานผลการทดลอง 9 Point-Hedonic Scale test

ชื่อผู้ทดสอบ.....วันที่.....

ตัวอย่าง มันสำปะหลังบดคั้นรูป และมันฝรั่งบดคั้นรูป

คำแนะนำ: กรุณาทดสอบตัวอย่างอาหารแล้วให้คะแนนความชอบของตัวอย่างตามความรู้สึกของท่านให้มากที่สุด และกรุณาเขียนปกระหว่างตัวอย่าง โดยมีการให้คะแนน ดังนี้

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

คุณลักษณะ	คะแนนความชอบของตัวอย่าง	
สี		
ความฉ่ำน้ำ		
ความเรียบเนียน		
ความแน่นเนื้อ		
การเกาะตัว		
ความชอบโดยรวม		

ข้อเสนอแนะ.....



ค. การคำนวณโดยใช้สี่เหลี่ยมของเพียร์สัน (Pearson's square method)

วิธีการคำนวณปริมาณมันบดแห้งสำหรับการทำมันบดคั้นรูป การคำนวณโดยใช้สี่เหลี่ยมของเพียร์สัน (Pearson's square method) เป็นวิธีการคำนวณโดยอาศัยรูปสี่เหลี่ยมปริมาณที่ต้องการคำนวณจะต้องมีหน่วยในรูปร้อยละเท่านั้น

ขั้นตอนการคำนวณมีดังนี้

1. เขียนปริมาณความชื้นที่ต้องการเป็นร้อยละไว้ตรงกึ่งกลางของรูปสี่เหลี่ยม
2. เขียนปริมาณความชื้น ที่ต้องการใช้ทั้งสองชนิดเป็นร้อยละไว้ตรงมุมซ้ายทั้งบนและล่างของรูปสี่เหลี่ยม
3. หาผลต่างระหว่างตัวเลขที่มุมซ้ายกับตัวเลขกึ่งกลางของรูปสี่เหลี่ยมคำนวณแล้วใส่ผลต่างไว้ทางมุมขวาตามแนวเส้นทแยงมุมของตัวเลขที่ใช้หาผลต่าง
4. ตัวเลขที่ได้ทางมุมขวาเป็นปริมาณหรือสัดส่วนของตัวอย่าง ที่เมื่อผสมทั้งสองชนิดตามสัดส่วนที่ได้นี้จะได้มันบดคั้นรูปที่มีความชื้นตรงกับความต้องการที่กำหนดไว้

วิธีการคำนวณมันสำปะหลังบดคั้นรูป

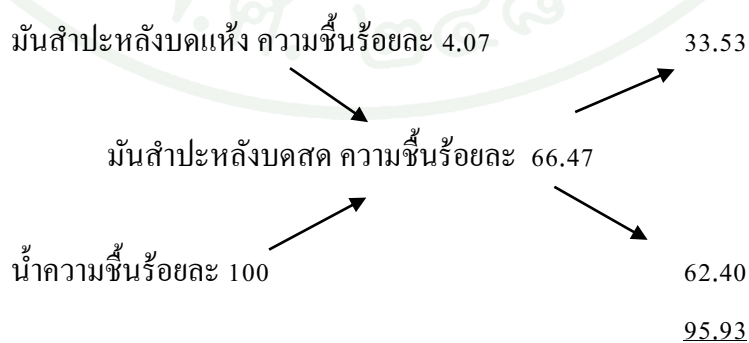
ต้องการมันสำปะหลังบดคั้นรูป ที่มีความชื้นร้อยละ 66.47 จำนวน 100 กรัม

มันสำปะหลังบดสดมีความชื้น ร้อยละ 66.47

มันสำปะหลังบดแห้งมีความชื้น ร้อยละ 4.07

น้ำมีความชื้นร้อยละ 100

ทำการเทียบแบบ Pearson' Square จะได้



ใช้มันสำปะหลังแห้ง $33.53/95.93$ หรือเท่ากับร้อยละ $(33.53/95.93) \times 100 = 34.95$

ใช้น้ำ $62.40/95.93$ หรือเท่ากับร้อยละ $(62.40/95.93) \times 100 = 65.04$

วิธีการคำนวณมันฝรั่งบดคั้นรูป

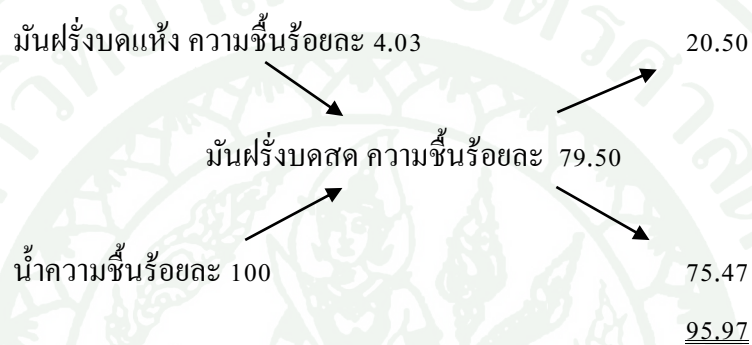
ต้องการมันฝรั่งบดคั้นรูป ที่มีความชื้นร้อยละ 79.50 จำนวน 100 กรัม

มันฝรั่งบดสดมีความชื้น ร้อยละ 79.50

มันฝรั่งบดแห้งมีความชื้น ร้อยละ 4.03

น้ำมีปริมาณความชื้น ร้อยละ 100

ทำการเทียบแบบ Pearson' Square จะได้



ใช้มันฝรั่งแห้ง $20.50/95.97$ หรือเท่ากับร้อยละ $(20.50/95.97) \times 100 = 21.36$

ใช้น้ำ $75.47/95.97$ หรือเท่ากับร้อยละ $(75.47/95.97) \times 100 = 78.63$

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ	นายณัฐพงศ์ ทับทิม
เกิดวันที่	3 กรกฎาคม 2528
สถานที่เกิด	อำเภอปทุมวัน จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	บธ.บ. (อุตสาหกรรมบริการ) วิทยาลัยดุสิตธานี
ตำแหน่งปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-