



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร)
ปริญญา

พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร

พัฒนาผลิตภัณฑ์

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การพัฒนาขนมจีนแปรรูปโดยใช้ *Lactobacillus plantarum*

Development of Fermented Kanom-jeen by *Lactobacillus plantarum*

นามผู้วิจัย นางอรวัลภ์ อุปถัมภานนท์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ธงชัย สุวรรณสิขินน์, Ph.D.)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์วิชัย หฤทัยชนาสันต์, M.Sc.)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์เพ็ญขวัญ ชมปรีดา, Ph.D.)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วัลย์รัตน์ จันทรปานนท์, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์อนุวัตร แจ่มชัด, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญจนา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

สิขสิงห์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนาขนมจีนแป้งหมักโดยใช้ *Lactobacillus plantarum*

Development of Fermented Kanom-jeen by *Lactobacillus plantarum*

โดย

นางอรวิทย์ อุปถัมภ์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร)

พ.ศ. 2553

อรวรรณ อุดมการณ์ 2553: การพัฒนาขนมจีนแป้งหมักโดยใช้ *Lactobacillus plantarum* ปรินญา
ปรัชญาคุณูปบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร) สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์ อุตสาหกรรม
เกษตร ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ ประชานกรรมการที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์ ชัย สุวรรณสินธุ์
Ph.D. 210 หน้า

การแยกและจัดจำแนกแบคทีเรียกรดแลคติกในข้าวหมัก แป้งนอมน้ำ และแป้งทึบน้ำจากโรงงาน
ขนมจีนในจังหวัดฉะเชิงเทรา และปทุมธานี พบว่าแบคทีเรียกรดแลคติกที่มีรูปร่างแท่ง และมีวิธีการสร้างกรด
แบบโฮโมเฟอร์เมนเทอที่มีจำนวนมากที่สุด เมื่อนำแบคทีเรียในกลุ่มนี้มาตรวจสอบความสามารถในการผลิต
กรดแลคติกและการย่อยแป้ง พบว่ามี 2 ไอโซเลตที่อยู่ในกลุ่มที่มีความสามารถในการผลิตกรดแลคติกและการ
ย่อยแป้งได้สูง คือ A1 และ A39 หลังจากทำการตรวจสอบสายพันธุ์ (API System) โดยการเทียบเคียงลักษณะการ
ใช้น้ำตาลชนิดต่างๆในการสร้างกรด พบว่าใกล้เคียงกับ *Lactobacillus plantarum* และเมื่อทำการคัดเลือกโดย
ศึกษาระยะเวลาในการหมักและคุณภาพของขนมจีน พบว่า *L. plantarum* A1 ใช้ระยะเวลาในการหมักสั้นที่สุด
เท่ากับ 24 ชั่วโมง และสามารถผลิตขนมจีนที่มีคุณภาพใกล้เคียงกับขนมจีนทางการค้า เมื่อทำการศึกษารูป
แบบการผสมเซลล์ของกล้าเชื้อสองรูปแบบคือ แบบผงโดยผสมเซลล์ *L. plantarum* A1 กับแป้งข้าวที่ผ่านการฆ่า
เชื้อแล้ว และแบบเหลวโดยผสมเซลล์ *L. plantarum* A1 ในสารละลายบัฟเฟอร์ พบว่ากล้าเชื้อเหลวใช้ระยะเวลา
ในการหมักสั้น และสามารถคงจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกไว้ได้มากที่สุดคือ 10^9 - 10^{10} cfu/ml และให้คุณภาพ
ของแป้งหมักและขนมจีนไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บ 4 สัปดาห์ จากการศึกษาการ
เปลี่ยนแปลงทางเคมี-กายภาพของแป้งหมักจากทุกๆ 6 ชั่วโมงตลอด 24 ชั่วโมง พบว่าแป้งหมักที่ได้มีการเปลี่ยน
แปลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) คุณภาพของแป้งข้าวหมักที่ได้ ที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมง สำหรับการผลิตขนมจีน
มีคุณภาพดังนี้ pH เท่ากับ 3.49 ปริมาณกรดแลคติก ปริมาณแอมิโลส น้ำตาลรีดิวซ์ และโปรตีน เท่ากับร้อยละ
1.01, 33.54, 0.39 และ 6.44 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 95°C มีค่าการพองตัว และความสามารถ
ในการละลาย เท่ากับ 15.00 (g/g) และร้อยละ 27.94 อุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลลิตีในซัฟฟัดได้จากเครื่อง
Differential Scanning Calorimetry เท่ากับ 71.19°C มีค่าความหนืดสูงสุด ค่าความหนืดสุดท้ายที่วัดได้จาก
เครื่อง Rapid Visco Analyzer เท่ากับ 285.04 และ 373.00 RVU แป้งหมักที่ได้จะมีการเปลี่ยนแปลงด้านกลิ่นที่วัด
ได้จากเครื่อง Electronic Nose โดยจะมีสารระเหยในกลุ่มแอลกอฮอล์, อัลดีไฮด์, คีโตน และเอสเทอร์ เพิ่มขึ้น
เมื่อนำแป้งหมักที่ได้มาผลิตขนมจีนและนำมาทดสอบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาโดยใช้ผู้
ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน 10 คน ประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของขนมจีนได้แก่ ลักษณะปรากฏ กลิ่น
กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความรู้สึกลิ้น รส รวม 33 คุณลักษณะเปรียบเทียบกับขนมจีนทางการค้า พบว่าไม่มีความ
แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อทำการขยายกำลังการผลิตขนมจีนจากห้องปฏิบัติการ 5 กก. เป็น 50 กก. พบว่า
ขนมจีนที่ผลิตได้ไม่มีความแตกต่างกัน ผลการทดสอบการยอมรับทางด้านการบริโภคการผลิตขนมจีนแป้งหมักที่
ผลิตจากกล้าเชื้อที่พัฒนาได้กับผู้ประกอบการทั้งหมด 15 โรงงาน พบว่าทุกโรงงานให้การยอมรับและเมื่อนำ
ขนมจีนที่ได้ไปทดสอบผู้บริโภค 200 คน พบว่าได้คะแนนความชอบเฉลี่ย 8.12 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ชอบมาก

Orawan Oupathunpanont 2010: Development of Fermented Kanom-jeen by *Lactobacillus plantarum*. Doctor of Philosophy (Agro-Industrial Product Development), Major Field: Agro-Industrial Product Development, Department of Product Development. Thesis Advisor: Associate Professor Thongchai Suwonsichon, Ph.D. 210 pages.

Fermented rice, sedimented starch and drained wet starch from Kanom-jeen manufacture in Pathum Thani and Chachoengsao provinces were used to screen and classify lactic acid bacteria. Majority of the strains was homofermentative rods. Two strains, A1 and A39, were classified into a group of high acid productivity and starch hydrolysis activity. Based on identification of API system with respect to utilization of various sugar for acid production, the strain A1 and A39 were identified as *Lactobacillus plantarum*. Only *L. plantarum* A1 was selected to develop a good starter culture having fermentation time within 24 h and providing Kanom-jeen like commercial one. Afterwards, two methods of mixing starter cultures were investigated. One was a solid form that mixed *L. plantarum* A1 with sterilized rice flour and the other was liquid form that mixed *L. plantarum* A1 with buffer solution. Results showed that the liquid form yielded minimum fermentation time within 24 h and could be kept the number of cells highest at $10^9 - 10^{10}$ cfu/ml. It was selected as a suitable method for producing starter culture and could be kept in refrigerator at 4°C up to 4-weeks. When this liquid form of starter culture was used to ferment rice flour, after fermentation for 24 h, the fermented rice flour contained 1.01% lactic acid content, 33.54% amylose content, 0.39% reducing sugar content 6.44% protein content and pH 3.49. At 95°C , its swelling power and solubility were 15.00 g/g and 27.94 %. Its onset temperature measured by the differential scanning calorimetry was 71.19°C . Its Peaking viscosity and final viscosity measured by the rapid visco analyzer were 285.04 and 373.00 RVU, respectively. Results of electronic nose showed that volatile compounds such as alcohol, aldehyde, ketone and ester of the fermented rice flour were increased when compared with rice flour without fermentation. Sensory descriptive analysis of Kanom-jeen produced from the liquid starter of *L. plantarum* A1 was investigated using ten highly trained panelists. Result showed that all 33 sensory attributes were not significant difference from the commercial Kanom-jeen ($p > 0.05$). In addition to pilot scale study, scaling production up from 5 kg in a laboratory to 50 kg in a manufacture did not significantly ($p \geq 0.05$) change any quality of Kanom-jeen. Process acceptance test of 15 manufacturers demonstrated that they all accepted this new developed process with a liquid form starter culture of mixed *L. plantarum* A1. Moreover, results of acceptance test of 200 consumers, confirmed that they mostly like this Kanom-jeen and its overall liking score was 8.12.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย สุวรรณสิขณณ์ ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ วิชัย หฤทัยธนาสันต์ รองศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญขวัญ ชมปรีดา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วลัยรัตน์ จันทรปานนท์ กรรมการสาขาวิชาเอก ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำในระหว่างดำเนินการวิจัย ตลอดจนตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.กล้าณรงค์ ศรีรอด อาจารย์ผู้แทนบัณฑิตที่กรุณาตรวจแก้ไข และให้คำแนะนำเพิ่มเติมเพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่สนับสนุนทุนอุดหนุนการศึกษา และขอขอบพระคุณ โรงงานขนมจิ้นรัตนพร และ โรงงานขนมจิ้นคลองห้า ให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บตัวอย่างและทดสอบผลิต รวมทั้งพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ทุกท่าน ที่ช่วยเหลือในการปฏิบัติงาน ให้คำแนะนำ คำปรึกษา กำลังใจ และความอนุเคราะห์ในด้านต่างๆจนสำเร็จอย่างสมบูรณ์

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา น้องชาย น้องสาว และลูกชายอันเป็นที่รัก รวมทั้งผู้มีพระคุณที่ได้เฝ้าเฝ้าฉันไว้ ณ ที่นี้ทุกท่าน สำหรับ ทุนทรัพย์ ความรัก ความห่วงใย ความเข้าใจ ความอบอุ่น และกำลังใจที่มีให้มาตลอดจนสำเร็จการศึกษา ขอขอบคุณผู้ที่ให้บทเรียนที่ทำให้จิตใจมีความเข้มแข็งอดทนต่อความทุกข์ได้มากขึ้น และสุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบส่วนที่ดีของวิทยานิพนธ์ให้แก่ รองศาสตราจารย์ณฤตม บุษย-หลง ครูบาอาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน หากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความผิดพลาดประการใด ข้าพเจ้าขออภัยและขอน้อมรับไว้แต่เพียงผู้เดียว

อรวัลภ์ อุปถัมภานนท์
มีนาคม 2553

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(6)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	42
อุปกรณ์	42
วิธีการ	44
ผลและวิจารณ์	62
สรุป	155
ข้อเสนอแนะ	158
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	159
ภาคผนวก	173
ภาคผนวก ก วิธีวิเคราะห์คุณภาพ	174
ภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์	186
ภาคผนวก ค การประเมินคุณภาพทางประสามสัมผัส และ แบบสอบถาม	196
ภาคผนวก ง รายชื่อโรงงานขนมจีนที่ทำการสำรวจ	208
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	210

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	องค์ประกอบทางเคมีของข้าวหักที่ใช้ในการผลิตขนมจีน	4
2	ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมีและคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวในระหว่างการเก็บรักษา	5
3	แบคทีเรียกรดแลคติกที่มีบทบาทสำคัญในผลิตภัณฑ์หมักจากธัญชาติประเทศต่างๆ	30
4	ปริมาณกลูโคสและยีสต์ แอ็คเทร็กซ์ (Yeast Extract) ที่ระดับต่างๆที่ใช้ในการพัฒนากลิ่นเชื้อเหลว	53
5	จำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกที่พบในตัวอย่างข้าวหมัก แป้งนอมน้ำ และแป้งทับน้ำที่ได้จากโรงงานอุตสาหกรรมในจังหวัดปทุมธานี และในจังหวัดฉะเชิงเทรา	64
6	จำนวนไอโซเลตของแบคทีเรียกรดแลคติกที่แยกได้จากตัวอย่างข้าวหมัก , แป้งนอมน้ำและแป้งทับน้ำจากแต่ละโรงงานอุตสาหกรรม ในจังหวัดปทุมธานี (A) และจังหวัดฉะเชิงเทรา (B)	65
7	จำนวนและร้อยละแบคทีเรียกรดแลคติกตามลักษณะทางสัณฐานวิทยาและวิธีการสร้างกรด	66
8	รูปแบบการใช้น้ำตาลจากการวิเคราะห์ด้วยวิธี API 50 CHL	71
9	ปริมาณกรดแลคติกในแป้งหมักที่หมักโดยเชื้อบริสุทธิ์ <i>L. plantarum</i> A1 และ A39 ที่เวลาในการหมัก ต่างๆกัน	74
10	ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ในแป้งหมักที่หมักโดยเชื้อบริสุทธิ์ <i>L. plantarum</i> A1 และ A39 ที่เวลาในการหมักต่างๆกัน	75
11	ค่าความเค้น ณ แรงสูงสุด, ค่าร้อยละการยืดตัว ณ แรงสูงสุด, ค่างานทั้งหมด และค่า Young's Modulus ของขนมจีนที่ผลิตจากเชื้อบริสุทธิ์ <i>L. plantarum</i> A1 และ A39 เปรียบเทียบกับขนมจีนทางการค้า	77
12	จำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกในเชื้อผง และเหลว ที่ระยะเวลาเริ่มต้น (0) สัปดาห์ และที่ระยะในการเก็บต่างๆกันถึง 4 สัปดาห์	78

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
13	ปริมาณกรดแลกติกที่ผลิตโดยเชื้อบริสุทธิ์ <i>L. plantarum</i> A1 แบบผงและแบบเหลว ที่มีจำนวนหัวเชื้อเริ่มต้นเป็น 10^8 และ 10^{10} cfu/ml. ที่เวลาในการหมักต่างๆกัน	80
14	ระยะเวลาในการหมักของเชื้อบริสุทธิ์ <i>L. plantarum</i> A1 แบบผง และเหลวที่มีปริมาณเชื้อเริ่มต้น 10^8 และ 10^{10} cfu/ml.	81
15	จำนวนแบคทีเรียกรดแลกติก <i>L. plantarum</i> A1 ที่ระยะเวลาในการเก็บ 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 สัปดาห์ใน Buffer solution ที่มีปริมาณกลูโคส และ Yeast Extract ที่ระดับต่างๆกัน	83
16	จำนวนแบคทีเรียกรดแลกติก และระยะเวลาในการหมักของของหัวเชื้อ A1 ที่ระยะเวลาในการเก็บ 0 – 5 สัปดาห์	85
17	คุณสมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวหมักจาก กล้าเชื้อ <i>L. plantarum</i> A1 ที่อายุการเก็บต่างๆกันเมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA)	88
18	คุณสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของเส้นขนมจีนที่ผลิตจากกล้าเชื้อ A1 ที่อายุการเก็บต่างๆกันที่ได้จากการวัดแรงดึง	90
19	องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวหมักโดยเชื้อ <i>L. plantarum</i> A1 ทุกๆ 6 ชั่วโมง เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง	93
20	ค่า L^* a^* b^* ของแป้งข้าวที่เวลาในการหมัก 0, 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง	92
21	กำลังการพองตัว และความสามารถในการละลายที่อุณหภูมิต่างๆ คือ 55 65 75 85 และ 95 องศาเซลเซียสของแป้งข้าวที่หมักที่เวลาต่างๆ	96
22	ค่าเทอร์โมไดนามิกส์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเจลลิตไนซ์ของแป้งข้าวหมักที่เวลาต่างๆ เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimetry (DSC)	98
23	คุณสมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวหมักที่เวลาต่างๆ เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA)	101

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
24	คุณสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของเส้นขนมจีนที่ผลิตจากแป้งหมักที่เวลาในการหมักต่างกันเปรียบเทียบกับขนมจีนทางการค้า	110
25	คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส คำนิยาม วิธีการประเมิน และตัวอย่างอ้างอิงของการประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสของขนมจีน	113
26	คะแนนความเข้มของลักษณะทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างขนมจีนตัวอย่าง	8 118
27	น้ำหนักของปัจจัย (Factor loading) ด้านสมบัติทางประสาทสัมผัส ของตัวอย่างขนมจีนจำนวน 8 ตัวอย่าง	121
28	น้ำหนักของปัจจัย (Factor loading) ด้านสมบัติทางเคมี กายภาพ และ ประสาทสัมผัส ของตัวอย่าง ขนมจีนจำนวน 8 ตัวอย่าง	126
29	ความแตกต่างระหว่างกระบวนการผลิตขนมจีนโดยใช้กล้าเชื้อเหลว <i>L. plantarum</i> A1 กับกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม ที่มีกำลังการผลิต 50 กิโลกรัม	135
30	คุณภาพทางกายภาพ, เคมี, และจุลินทรีย์ ของเส้นขนมจีนที่ผลิตโดยใช้กล้าเชื้อเหลว <i>L. plantarum</i> A1 ในระดับอุตสาหกรรมเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างขนมจีนอ้างอิง	136
31	คะแนนความเข้มของลักษณะทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างขนมจีนที่ผลิตโดยใช้ กล้าเชื้อเหลว <i>L. plantarum</i> A1และผลิตจากโรงงานอุตสาหกรรม	139
32	ข้อมูลทางประชากรศาสตร์ของผู้ประกอบการกลุ่มเป้าหมายจำนวน 15 โรงงาน	140
33	ข้อมูลเกี่ยวกับการผลิตของโรงงานจำนวน 15 โรงงาน	141
34	ข้อมูลกระบวนการผลิตของโรงงานจำนวน 15 โรงงาน	145
35	ข้อมูลทางประชากรศาสตร์ของผู้บริโภคทั่วไปที่ทำการสัมภาษณ์	144

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
36	คะแนนความชอบของผู้บริโภคที่มีต่อขนมจีนที่ผลิตโดยใช้กล้าเชื้อเห็ด <i>L. plantarum</i> A1 และขนมจีนที่ผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม	146
37	ข้อมูลเกี่ยวกับความคิดเห็นเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ขนมจีนของผู้บริโภค (n=200)	147
38	ค่าแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรกับ Factor ทั้ง 5 Factor (Factor loading) ของ ปัจจัยทั้งหมด 19 ตัวแปร	151
 ตารางผนวกที่		
ข1	ปริมาณกรด และ เส้นผ่านศูนย์กลางของ clear zone ที่เกิดจากการย่อยแป้งของเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกในกลุ่ม Homofermentative-rod แต่ละสายพันธุ์ในตัวอย่างข้าวหมักจากโรงงาน A ในจังหวัดปทุมธานี	188
ข2	ปริมาณกรด และ เส้นผ่านศูนย์กลางของ clear zone ที่เกิดจากการย่อยแป้งของเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกในกลุ่ม Homofermentative-rod แต่ละสายพันธุ์ในตัวอย่างข้าวหมักจากโรงงาน B ในจังหวัดฉะเชิงเทรา	191
ง1	ชื่อ และ ที่อยู่ของโรงงานขนมจีนที่ไปทดสอบการยอมรับ	209

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	กรรมวิธีการผลิตขนมจีนแป้งหมัก	10
2	โครงสร้างภายในเม็ดแป้งที่ผ่านการย่อยด้วยกรดแสดงให้เห็นถึงการกำจัดส่วนกิ่งก้าน(branching region) ของสายอะไมโลเพคตินซึ่งเป็นส่วนของชั้นออสติฐาน(amorphous lamellae) คงเหลือไว้แต่เพียงชั้นผลึก (crystalline lamellae) ที่เป็นส่วนแขนงข้างภายในสายอะไมโลเพคติน ก. แป้งธรรมชาติ ข. แป้งที่ผ่านการย่อยด้วยกรด	21
3	การเจริญเติบโตของแบคทีเรียกรดแลกติก	26
4	การเปรียบเทียบระหว่างระบบการเรียนรู้กลั่นของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมกับจุ่มอิเล็กทรอนิกส์	37
5	เครื่องจุ่มอิเล็กทรอนิกส์ (Alpha MOS รุ่น Sensor Array System 3000)	40
6	แสดงขั้นตอนการทำงานของเครื่องจุ่มอิเล็กทรอนิกส์ (Alpha MOS รุ่น Sensor Array System 3000)	41
7	กระบวนการผลิตขนมจีนแป้งหมักโดยเชื้อบริสุทธิ์	49
8	ขั้นตอนการผลิตขนมจีนแป้งหมักโดยใช้กล้าเชื้อแบคทีเรียกรดแลกติกเหลว และการศึกษาคุณภาพแป้งระหว่างการหมักและขนมจีน	56
9	กระบวนการผลิตขนมจีนของ (a) โรงงาน A ในจังหวัดปทุมธานี (b) โรงงาน B ในจังหวัดฉะเชิงเทรา	63
10	รูปร่างของเชื้อแบคทีเรีย กรดแลกติกกลุ่มที่มีรูปร่างแท่ง ที่แยกได้จากตัวอย่างข้าวหมัก แป้งนอนน้ำ และแป้งทับน้ำ (กำลังขยาย 1000 เท่า)	67
11	แผนผังการจัดกลุ่มแบคทีเรียกรดแลกติกในกลุ่มโฮโมเฟอเมนเททีฟ รูปร่างแท่ง (Homofermentative-rod) ที่แยกได้ทั้งหมด 221 ไอโซเลตด้วยวิธีการจัดกลุ่มตัวแปร (Cluster Analysis) โดยใช้การประเมินความสามารถในการผลิตกรดและการย่อยแป้ง	69
12	การเปลี่ยนแปลงของกลิ่นแป้งข้าวหมักโดยกล้าเชื้อ <i>L. plantarum</i> A1 ที่มีอายุการเก็บ 0, 1, 2, 3 และ 4 สัปดาห์	86

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า	
13	ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ (a) เม็ดแป้งข้าวที่ไม่ผ่านการหมัก (b)เม็ดแป้งข้าวหมักที่เวลา 6 ชม. (c) เม็ดแป้งข้าวหมักที่เวลา 12 ชม. (d)เม็ดแป้งข้าวหมักที่เวลา 18 ชม. (e)เม็ดแป้งข้าวหมักที่เวลา 24 ชม. เมื่อศึกษาด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope (SEM)	95
14	พฤติกรรมด้านความหนืดของแป้งข้าวหมักที่เวลาต่างๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA)	100
15	ค่า Storage Modulus (G') ของแป้งที่ระยะเลาในการหมัก 0, 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง	104
16	ค่า Loss Modulus (G'') ของแป้งที่ระยะเลาในการหมัก 0, 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง	104
17	ค่า $\tan \delta$ ของแป้งหมักที่ระยะเลาในการหมัก 0, 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง	105
18	การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของกลั่นแป้งข้าวระหว่างการหมักที่เวลา 0, 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมงโดยกล้าเชื้อ <i>L. plantarum</i> A1	107
19	กราฟ biplot ของความสัมพันธ์ระหว่างแป้งข้าวที่เวลาในการหมัก 0, 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับเซนเซอร์ (sensor) เพื่ออธิบายการเปลี่ยนแปลงข้อมูลรูปแบบกลั่นในแป้งข้าวหมัก	108
20	กราฟ biplot ของความสัมพันธ์ระหว่างตัวอย่างขนมจีน 8 ตัวอย่างกับลักษณะทางประสาทสัมผัสเพื่ออธิบายการเปลี่ยนแปลงลักษณะ ทางประสาทสัมผัสของขนมจีนแป้งหมัก	123
21	แผนภาพเดนโดแกรมการจำแนกกลุ่มสิ่งทดลองของขนมจีนแป้งหมักที่ระยะเวลาในการหมักต่างๆกัน และขนมจีนทางการค้าตามลักษณะทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการจำแนกกลุ่มแบบ Hierarchical เทคนิคการจำแนกกลุ่มข้อมูล	125
22	Principal Component Analysis (PCA) Bi-plot ของตัวอย่างแป้งหมักที่เวลาต่างๆกันกับลักษณะทางเคมี ทางกายภาพ และทางประสาทสัมผัสของแกนองค์ประกอบที่ 1 (PC1) และ 2 (PC2)	129

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
23	กระบวนการผลิตขนมจีน โดยใช้กล้าเชื้อเห็ด <i>L. plantarum</i> A1 ในโรงงาน อุตสาหกรรม	131
24	ปริมาณกรด และค่าความเป็นกรด-ด่าง ระหว่างกระบวนการหมักขนมจีนโดยใช้ หัวเชื้อ <i>L. plantarum</i> A1	133
ภาพผนวกที่		
ก1	กราฟระหว่างค่าปริมาณอะมิโนส และค่า absorbance ของสารละลายมาตรฐาน	183
ก2	กราฟระหว่างค่าปริมาณน้ำตาล และค่า absorbance ของสารละลายมาตรฐาน	185

การพัฒนาขนมจีนแป้งหมักโดยใช้ *Lactobacillus plantarum*

Development of Fermented Kanom-jeen Noodle by *Lactobacillus plantarum*

คำนำ

ขนมจีนเป็นผลิตภัณฑ์แปรรูปจากข้าวที่นิยมบริโภคกันทั่วทุกภาคในประเทศไทยมีทั้งขนมจีนแป้งสดและแป้งหมัก แต่โรงงานขนมจีนส่วนใหญ่เป็นอุตสาหกรรมในครัวเรือน มีขั้นตอนของการแช่ข้าวในน้ำก่อนการนำไปไม่เป็นการหมักโดยอาศัยจุลินทรีย์จากธรรมชาติ เพื่อเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบในข้าวให้เหมาะสมกับการนำมาแปรรูปเป็นเส้น และเพื่อทำให้เกิดกลิ่นรสเฉพาะตัวของผลิตภัณฑ์ โดยอาศัยจุลินทรีย์จากธรรมชาติที่ติดมากับวัตถุดิบ เช่น ข้าว, น้ำ หรือติดมากับภาชนะเดิมที่ใช้หมัก เป็นตัวดำเนินกิจกรรม ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้มักมีคุณภาพไม่แน่นอนไม่สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพการหมัก หรือขยายกำลังการผลิตให้สูงขึ้นกว่าที่เป็นอยู่ได้ การหมักในลักษณะนี้เป็นการเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของเชื้อโรค หรือจุลินทรีย์ที่สร้างสารพิษ และไม่สามารถควบคุมคุณภาพกระบวนการผลิตและผลิตภัณฑ์สุดท้ายได้ รวมไปถึงไม่สามารถจัดการคุณลักษณะของกระบวนการผลิต (GMP) ได้ แนวทางในการแก้ปัญหาดังกล่าวจึงควรมีการพัฒนากระบวนการผลิตขนมจีนโดยใช้กล้าเชื้อ ดังนั้นจึงต้องคัดแยกจุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญในการหมัก ซึ่งแหล่งของเชื้อที่เหมาะสมควรเป็นเชื้อที่แยกจากผลิตภัณฑ์นั้นๆ และจำเป็นต้องมีการศึกษาให้เข้าใจเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงทางเคมี, กายภาพ และทางชีวเคมีระหว่างการหมัก และต้องบ่งชี้ให้ได้ว่าจุลินทรีย์ใดมีบทบาทต่อการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ เพื่อนำไปใช้ในการผลิตหัวเชื้อ ในปัจจุบันการพัฒนากล้าเชื้อเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมอาหารหลายชนิด เช่น ในอุตสาหกรรมชีส, เบียร์ และไวน์ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยเกี่ยวกับการคัดแยกสายพันธุ์ที่เหมาะสม เพื่อนำมาผลิตเป็นกล้าเชื้อด้วยเทคโนโลยีที่เหมาะสม เช่น ปิ่นมณี (2546) ได้ศึกษาการแยกเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกจากตัวอย่างหมกของประเทศไทยเพื่อใช้เป็นกล้าเชื้อ และ Berdague *et al.*, (1993) ได้ศึกษาผลของกล้าเชื้อต่อการเกิดกลิ่นรสในไส้กรอกแห้ง เป็นต้น ดังนั้นเพื่อเป็นการพัฒนาอุตสาหกรรมการผลิตขนมจีนให้มีคุณภาพและสามารถแข่งขันในตลาดอนาคตได้จึงจำเป็นต้องนำเทคโนโลยีการผลิตกล้าเชื้อมาใช้ และมีความเป็นไปได้ที่จะพัฒนาเป็นอุตสาหกรรมผลิตกล้าเชื้อสำเร็จรูปเพื่อป้อนให้กับโรงงานตลอดจนประชาชนทั่วไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อคัดแยกและจำแนกเฉพาะแบคทีเรียกรดแลกติกจากตัวอย่างข้าวหมัก แป้งนอนน้ำ และแป้งทับน้ำจากโรงงานผลิตขนมจีนแป้งหมักในจังหวัดปทุมธานี และฉะเชิงเทรา
2. เพื่อคัดเลือกหาแบคทีเรียกรดแลกติกที่จำแนกได้ซึ่งมีความสามารถในการผลิตกรดแลกติกและย่อยแป้งได้สูง
3. เพื่อตรวจสอบสายพันธุ์แบคทีเรียกรดแลกติกที่คัดเลือกได้ด้วยวิธี API 50 CHL รวมทั้งเลือกไอโซเลตที่ใช้ระยะเวลาในการหมักสั้น และมีคุณภาพของขนมจีนใกล้เคียงกับขนมจีนทางการค้า
4. เพื่อศึกษารูปแบบที่เหมาะสมในการผลิตกล้าเชื้อ และการพัฒนากล้าเชื้อที่ได้
5. เพื่อศึกษาอายุการเก็บของกล้าเชื้อรูปแบบที่พัฒนาได้
6. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางเคมี-กายภาพของแป้งข้าวระหว่างหมักด้วยกล้าเชื้อรูปแบบที่พัฒนาได้เพื่อใช้เป็นข้อกำหนดในกระบวนการผลิต
7. เพื่อศึกษาคุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนมจีนที่ผลิตได้จากกล้าเชื้อรูปแบบที่พัฒนาได้
8. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการขยายกำลังการผลิตขนมจีนในระดับอุตสาหกรรมโดยใช้กล้าเชื้อรูปแบบที่พัฒนาได้
9. เพื่อทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อกระบวนการผลิตขนมจีนและคุณภาพของขนมจีนที่ผลิตโดยใช้กล้ารูปแบบที่พัฒนาได้

การตรวจเอกสาร

การพัฒนากระบวนการผลิตขนมจีนโดยใช้หัวเชื้อ ต้องอาศัยความรู้เกี่ยวกับ ขนมจีนแป้งหมัก แบบที่เรียกรดแลคติก และข้อมูลต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนา ดังนั้นในบทนี้จึงขอกล่าวถึง ขนมจีนแป้งหมัก แบบที่เรียกรดแลคติก และทฤษฎีของแป้ง

1. ขนมจีนแป้งหมัก

ขนมจีนแป้งหมัก (Fermented rice noodle) เป็นผลิตภัณฑ์แปรรูปจากข้าวหรือปลายข้าวประเภทเส้น ที่มีการผลิตในทุกภาค และเป็นที่ยอมรับกันทั่วประเทศ และเป็นอาหารหมักดองจากแป้งที่คนไทยทั่วไปรู้จักกัน ขนมจีนแป้งหมักผลิตโดยหมักข้าวเจ้าหรือปลายข้าว โดยการแช่น้ำไว้ 2-3 วันก่อนนำไปโม่แล้วทำขนมจีน ขนมจีนชนิดนี้มีความเหนียวนุ่ม มีกลิ่นหมักเป็นเอกลักษณ์และสามารถเก็บไว้ได้นาน การผลิตขนมจีนแป้งหมัก แบ่งเป็น 3 ระดับคือ การผลิตระดับอุตสาหกรรม การผลิตระดับอุตสาหกรรมครัวเรือน และการผลิตระดับพื้นบ้าน การผลิตทั้ง 3 ระดับ นี้ส่วนใหญ่เป็นการผลิตขนมจีนแป้งหมัก ซึ่งมีความหลากหลายของการผลิตในแต่ละท้องถิ่น ความแตกต่างขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว, แหล่งน้ำ, การใช้อุปกรณ์เครื่องทุ่นแรงมาช่วยในการผลิต และระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างของแต่ละแหล่งผลิต (สุรางค์รัตน์, 2526)

1.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตขนมจีน

1.1.1 ข้าว

ข้าวที่ใช้ในการผลิตขนมจีนนิยมใช้ข้าวหักซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมี ดังแสดงในตารางที่ 1 ข้าวที่เหมาะสมในการนำมาทำขนมจีนคือข้าวที่มีแอมิโลสสูง (ร้อยละ 27-33) ซึ่งปริมาณแอมิโลสจะมีผลต่อความสามารถในการดูดน้ำของเม็ดสตาร์ช ช่วยในการพองตัวและสามารถให้ความคงตัวต่อการแตกของเม็ดแป้งที่อุณหภูมิสูงได้ เมื่อแป้งสุกแล้วทำให้เย็นจะเกิดการคืนตัวและจับตัวเชื่อมต่อกัน ทำให้ขนมจีนที่มีลักษณะเหนียวนุ่ม ไม่แฉะและเหนียวติดกัน ถ้ามีปริมาณแอมิโลสต่ำ ทำให้เส้นขาดง่าย ไม่คงตัว และข้าวที่ใช้ควรเป็นข้าวเก่ามีอายุการเก็บนานกว่า 6 เดือนแต่ไม่เกิน 1 ปี เนื่องจากข้าวจะมีความสามารถในการดูดน้ำและพองตัวได้มาก และให้ความคงตัวของแป้งสุกดี การใช้ข้าวใหม่ที่มีอายุการเก็บรักษาน้อยกว่า 6 เดือน ทำให้เส้นขนมจีนที่

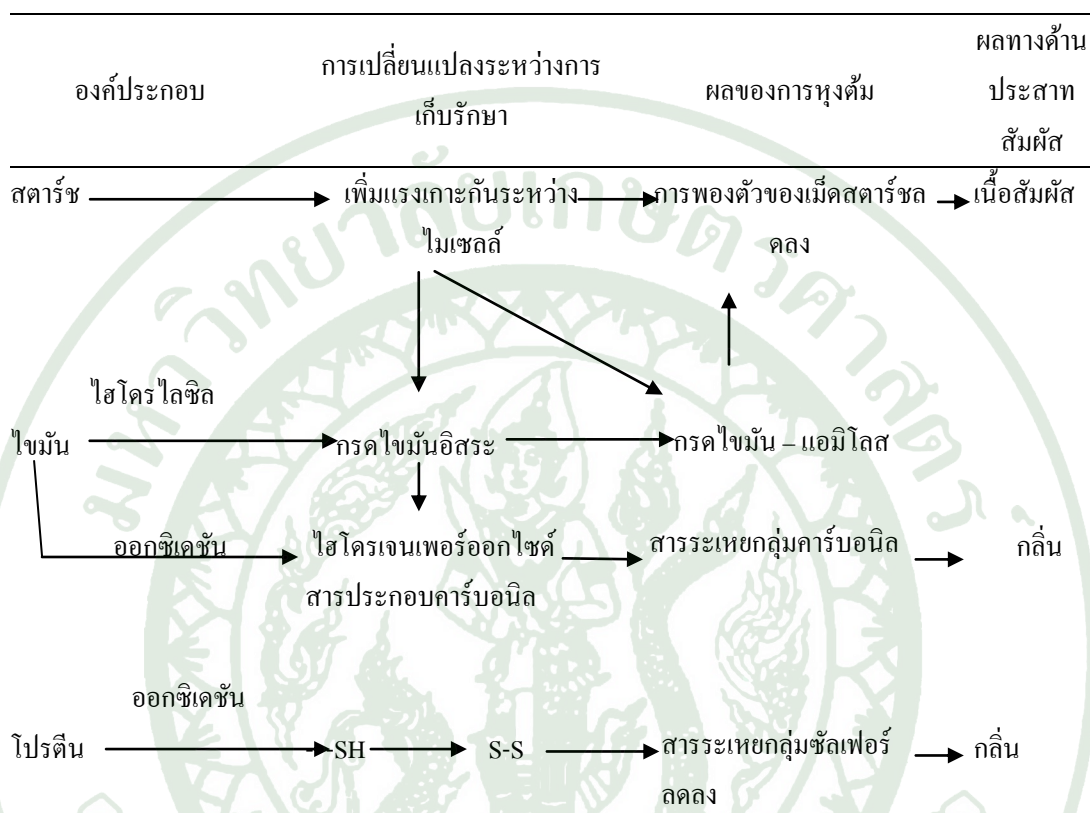
ได้นิ่มและติดกันและได้ปริมาณการผลิตน้อย แต่ถ้าใช้ข้าวเก่าเกิน 1 ปี ขนมนินที่ได้จะมีสีคล้ำ เส้นแข็งกระด้าง ไม่มีความมันเงา (งามชื่น, 2541) ในระหว่างการเก็บรักษาข้าวทำให้เมล็ดสารถเกิด การเกาะติดกันระหว่างไมเซลล์มากขึ้น และกรดไขมันจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไขมันจะเกิด สารประกอบเชิงซ้อนกับแอมิโลสมีผลต่อการพองตัวของเมล็ดสารถลดลง ทำให้มีผลต่อเนื้อ สัมผัสของข้าว ส่วนไขมันเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้เกิดสารประกอบคาร์บอนิลมากขึ้นและ โปรตีนเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้หมู่ซัลไฟดริล (Sulphydryl groups) เปลี่ยนเป็นพันธะ ไดซัลไฟด์ (disulphide linkages) สารระเหยกลุ่มซัลเฟอร์จึงลดลง มีผลต่อกลิ่นของข้าวดังตารางที่ 2 ส่วนปริมาณโปรตีนถ้าสูงจะทำให้ขนมนินที่ได้มีสีคล้ำ ไม่เป็นเงา ความเหนียวของเส้นลดลง ขาดได้ง่าย และลักษณะเนื้อสัมผัสค่อนข้างกระด้าง (งามชื่น, 2541) เนื่องจากไม่มีคุณสมบัติในการ จับตัวเชื่อมต่อกันและยังขัดขวางการดูดน้ำของเมล็ดแป้ง (Juliano, 1971) พันธุ์ข้าวที่นิยมนำมาใช้ ทำขนมนิน เช่น เหลืองประทิว 123, ปทุมธานี 60, สุพรรณบุรี 90, ชัยนาท 1 และปราจีนบุรี 1 เป็น ต้น (งามชื่น, 2541) ข้าวเป็นวัตถุดิบที่สำคัญของจุลินทรีย์เพื่อใช้ในการเจริญเติบโต และย่อยสลาย สารประกอบอินทรีย์ในระเหยให้กลิ่นต่างๆจึงได้ขนมนินแป้งหมักที่มีกลิ่นรสเกิดขึ้นซึ่งเป็น ลักษณะเฉพาะ เช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์หมักพื้นบ้านจากข้าวของท้องถิ่นต่างๆ เช่น ข้าวหมาก, การี ของประเทศแอฟริกา เป็นต้น (Steinkraus, 1996)

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวหักที่ใช้ในการผลิตขนมนิน

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณในข้าวหักเฉลี่ย(ร้อยละ โดยน้ำหนักแห้ง)
ความชื้น	9.57 - 14.88
ปริมาณแอมิโลส	27.25 - 33.33
สารถ	87.49 - 92.06
โปรตีน	5.99 - 8.69
ไขมัน	0.04 - 1.74
เยื่อใย	0.33 - 1.79
เถ้า	0.26 - 0.66

ที่มา: พัชร และคณะ (2534)

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมีและคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวในระหว่างการเก็บรักษา



ที่มา: ดัดแปลงจาก Zhou *et al.* (2002)

1.1.2 น้ำ

น้ำที่ใช้ในการผลิตขนมจีนควรใช้น้ำที่สะอาดปราศจากสิ่งแขวนลอยมีความกระด้างต่ำถ้าเป็นน้ำบาดาลควรสูบขึ้นมาพักไว้เพื่อให้ไอออนเหล็กตกตะกอนเสียก่อนแล้วจึงนำไปกรองผ่านทรายและผ่านเครื่องกำจัดความกระด้าง ถ้าเป็นน้ำประปาไม่ควรมีคลอรีนมากเกินไปจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นผิดปกติ ถ้าใช้น้ำขุ่นจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีคล้ำ นอกจากนี้ความเป็นกรดเบส (pH) ของน้ำที่ใช้ยังมีผลต่อสี ของขนมจีน ได้แก่ น้ำที่มีค่าความเป็นกรด-เบส 6.4 ทำให้ขนมจีนมีสีผิดปกติ คือสีออกเหลือง ถ้ามีค่าความเป็นกรด-เบสต่ำกว่า 5.5 ทำให้ขนมจีนมีสีขาวเหลืองและสีคล้ำออกแดง ถ้ามีค่าความเป็นกรด-เบสสูงกว่า 7.4 ขนมจีนที่ได้จะมีสีขาวเหลืองออก

เจียว ส่วนเรื่องลักษณะของความสว่าง (value) และความเข้มของสี (chroma) ไม่มีความแตกต่างกัน (ณรงค์, 2528)

1.1.3 จุลินทรีย์

จุลินทรีย์เป็นแหล่งของเอนไซม์ต่างๆ ซึ่งใช้ในการย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ได้ผลิตภัณฑ์ต่างๆ จึงมีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการหมักของขนมจีนแป้งหมักตามธรรมชาติในด้านกลิ่นรส และสี ได้แก่ แบคทีเรียกรดแลคติกแบคทีเรียกรดแลคติกที่เกี่ยวข้องในการผลิตขนมจีนแป้งหมัก ปราโมทย์ และคณะ (2534) ได้ศึกษาจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการหมักขนมจีนแป้งหมักพบว่า เป็นจุลินทรีย์จากธรรมชาติซึ่งอาจติดมากับวัตถุดิบได้แก่ปลายข้าว น้ำ เครื่องมือ ภาชนะบรรจุ เช่น ใบตอง การเปลี่ยนแปลงแป้งข้าวในระหว่างกระบวนการหมัก อรอนงค์ และคณะ (2534) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะทางกายภาพของขนมจีนในกระบวนการหมักพบว่า ในขั้นตอนการหมักข้าวจะทำให้แป้งมีความหนืดลดลง ความสัมพันธ์ของสีขนมจีนและค่า pH ของน้ำที่ใช้พบว่า น้ำที่มี pH 6.4 จะให้ขนมจีนที่มีสีขาวปกติขาวออกเหลือง ถ้ามากกว่า 7.4 จะให้ขนมจีนสีออกเขียว ถ้าต่ำกว่า 5.5 จะให้ขนมจีนที่มีสีออกแดง

Zhan-Hui *et al.* (2003) ศึกษาผลของการหมักแบบธรรมชาติต่อคุณสมบัติทางเคมี-กายภาพของ Rice noodle พบว่าการหมักไม่มีผลต่อปริมาณแป้ง และเอมิโลสของเม็ดแป้ง ส่วนปริมาณโปรตีน, ไขมัน และเถ้าจะลดลง ส่วนปริมาณกรดไขมันอิสระจะเพิ่มขึ้น เส้นก๋วยเตี๋ยวที่ทำจากแป้งหมักจะมีค่า maximum stress ต่ำกว่า เส้นก๋วยเตี๋ยวที่ทำจากแป้งไม่หมัก แต่มีค่า maximum strain สูงกว่า ก๋วยเตี๋ยวที่ทำจากแป้งไม่หมัก ส่วนลักษณะทางประสาทสัมผัสพบว่า เส้นก๋วยเตี๋ยวที่ทำจากแป้งหมักมีความนุ่มและ เหนียว ไม่กระด้าง สำหรับเชื้อจุลินทรีย์ที่ช่วยให้เกิดการหมักในขนมจีนแป้งหมักนั้น จากการศึกษาวิจัยมีรายงานว่า พบว่าเป็นแบคทีเรียกรดแลคติกที่พบปริมาณมากได้แก่พวก *Lactobacillus sp.* และ *Streptococcus sp.* ซึ่งเป็นแบคทีเรียชนิดสร้างกรด (Toyoda *et al.*, 1979) นิตยา (2532) ได้ทำการศึกษาจุลินทรีย์ในขนมจีนแป้งหมัก พบว่าแบคทีเรียกรดแลคติก *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus fermentum*, *Streptococcus lactis*, *Streptococcus faecalis*, *Streptococcus cremoris* และ *Pediococcus pentosaceus* มีบทบาทในการหมักทั้งย่อยแป้งและผลิตกรด นอกจากนี้ *Lactobacillus plantarum* ยังมีคุณสมบัติในการยับยั้งจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคได้ (สุพรรณิการ์, 2548) คุณสมบัติที่สำคัญของแบคทีเรียกรดแลคติกในกระบวนการผลิตขนมจีนแป้งหมัก คือความสามารถในการย่อยแป้ง แบคทีเรียกรดแลคติกในสกุล *Lactobacillus* บางสายพันธุ์ และ สกุล *Streptococcus* สามารถย่อยสตาร์ชได้ดี (Toyoda *et al.*,

1979) และความสามารถในการผลิตกรด ส่วนใหญ่แบคทีเรียกรดแลคติกสกุล *Lactobacillus* โดยเฉพาะ *Lactobacillus plantarum* จะสามารถสร้างกรดได้สูง (สุพรรณิกา, 2548 และนิตยา, 2532) นอกจากนี้ยังพบยีสต์ ซึ่งทำให้เกิดสารระเหยให้กลิ่นต่างๆ เช่น ไดแอซีทิล กรดแอซีติก กรดบิวทิริก เป็นต้น (Keatkrai *et al.*, 2004) ส่วน *Bacillus subtilis* ทำให้ข้าวหมักที่มีค่าความเป็นกรด-เบสสูง มีสีเหลืองคล้ำ และเกิดกลิ่นแอมโมเนียขึ้น (นิตยา, 2532) *Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli* พบในขั้นตอนของการหมักข้าวทำให้ข้าวหมักก็เหม็นและมีสีคล้ำ (สุพรรณิการ์, 2548) ซึ่งเป็นลักษณะที่ไม่ต้องการของการผลิตขนมจีนการหมักข้าวทำให้ข้าวเปียกชุ่ม สามารถใช้มือบีบได้ง่าย มีสีเหลือง กลิ่นหมักแรงเนื่องจากการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่อาจมาจากวัตถุดิบ ภาชนะและอุปกรณ์ หรือมาจากการปนเปื้อนของผู้ผลิตหรือสภาพแวดล้อมในอากาศ ทำให้การหมักตามธรรมชาติในแต่ละแหล่งผลิตมีชนิดและปริมาณของจุลินทรีย์แตกต่างกันไป ไม่สามารถควบคุมได้ หรืออาจมีจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการสามารถเจริญได้ดี และเร็วกว่าในระหว่างการหมักในช่วงแรก (Kraidej *et al.*, 1977) จึงทำให้พบจุลินทรีย์หลายชนิดเกิดขึ้น และอาจเป็นชนิดที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียหรือก่อให้เกิดโรคได้

1.1.4 เกลือ

เกลือที่ใช้เป็นเกลือป่นหรือเกลือเม็ดใส่ในขณะโม่แป้งหรือนอนน้ำแป้งเกลือจะช่วยป้องกันการบูดของแป้ง นอกจากนี้เกลียยังทำหน้าที่ในการคัดเลือกให้เฉพาะเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกที่มีประโยชน์ต่อกระบวนการหมักเจริญได้ดีเนื่องจากแบคทีเรียกรดแลคติกเป็นแบคทีเรียที่สามารถทนเกลือได้ และยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นอันตรายและทำให้เกิดการเน่าเสีย (สุรางค์รัตน์, 2526)

1.2 กระบวนการผลิตขนมจีนแป้งหมัก

กระบวนการผลิตขนมจีนแป้งหมัก ดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งมีขั้นตอนที่สำคัญ ดังนี้

1.2.1 การแช่ข้าว

การแช่ข้าวเป็นขั้นตอนแรกของการผลิตขนมจีน โดยการนำข้าวมาล้างให้

สะอาดเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกและลดการปนเปื้อนต่างๆ แล้วแช่ข้าวในน้ำเพื่อให้เอนโดสเปิร์มของเมล็ดข้าวอ่อนตัวลง ช่วยเพิ่มความชื้นในข้าว นอกจากนี้ยังมีผลต่อการแตกตัวของเม็ดแป้งได้ดีในขั้นตอนของการโม่ข้าว ทำให้ง่ายต่อการบด (Charalampopoulus *et al.*, 2002) ถ้าการล้างข้าวไม่สะอาดหรือใช้น้ำที่มีสารแขวนลอยอยู่มาก ทำให้ขนมจีนที่ได้มีสีคล้ำ (อรพิน, 2533)

1.2.2 การหมักข้าว

การหมักข้าวเป็นขั้นตอนที่สำคัญของการผลิต การหมักข้าวมีหลายวิธีเช่น หมักข้าวในสภาพแห้งหรือหมักข้าวในน้ำ เป็นต้น ระยะเวลาในการหมักแตกต่างกันตามแต่ละวิธี โดยทั่วไปนิยมหมักข้าวในสภาพแห้ง (solid state fermentation) เป็นเวลา 2-3 วัน ขณะหมักข้าวตามธรรมชาติมีการ เจริญของจุลินทรีย์เกิดขึ้นหลายชนิด ได้แก่ แบคทีเรียกรดแลคติก ยีสต์ รา และโคลิฟอร์ม (นิตยา, 2532 ; สุพรรณิการ์, 2548) การหมักเป็นกระบวนการทางชีวเคมีที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบอินทรีย์โดยการทำงานของเอนไซม์ที่ถูกสร้างขึ้นจากเชื้อจุลินทรีย์ จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสารอาหารต่างๆ ในข้าวหมัก ได้แก่ ความชื้นเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 30-32 ปริมาณแอมิโลสเพิ่มขึ้นร้อยละ 1-4 ปริมาณโปรตีนลดลงและองค์ประกอบอื่นๆ เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย รวมทั้งมีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงเป็น 3.3-4.5 และอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 34-40 องศาเซลเซียส (สุภรัตน์ และคณะ, 2534) นอกจากนี้ยังเกิดสารระเหยกลิ่นต่างๆ ในข้าวหมัก เช่น เอทานอล เอทิลแอซีเตต ไดแอซีทิล และกรดแอซีติก เป็นต้น (Keatkrai *et al.*, 2004)

1.2.3 การนึ่งน้ำแป้ง

การนึ่งน้ำแป้งเป็นขั้นตอนหลังจากการนำข้าวหมักมาโม่เปียกแล้วปล่อยทิ้งไว้ให้แป้งตกตะกอนประมาณ 1-2 วัน เทน้ำส่วนบนทิ้ง การโม่ข้าวเป็นการแยกส่วนเปลือกนอกออกจากส่วนของเอนโดสเปิร์ม จึงทำให้เกิดการตกตะกอนของสตาร์ช (Salovaara, 1998) การนึ่งน้ำแป้งช่วยให้เม็ดแป้งคูดน้ำได้มากขึ้น มีผลทำให้เม็ดแป้งมีการกระจายตัวมากขึ้น พองตัวดีขึ้น และมีปริมาณแอมิโลส ออกมาได้มากเมื่อได้รับความร้อนในขั้นตอนการโรยเส้นขนมจีน ซึ่งมีผลต่อที่เกิดเจลเพิ่มขึ้น (งามชื่น, 2541; ณรงค์, 2528) นอกจากนี้ขั้นตอนการโม่ข้าวทำให้มีขนาดโมเลกุลข้าวเล็กลง ซึ่งจุลินทรีย์สามารถนำสารอาหารต่างๆ มาใช้ในการเจริญได้ดี จึงเกิดการสร้างกรดได้มากด้วย

1.2.4 การทับน้ำ

การทับน้ำเป็นการนำแป้งที่ตกตะกอนมาถ่ายใส่ถุงผ้าแล้วทับด้วยของหนักประมาณ 1 วัน เพื่อให้ความชื้นลดลงเหลือประมาณร้อยละ 42-44

1.2.5 การนวดผสมแป้ง

การนวดผสมแป้งก่อนการนวดผสมแป้งต้องผ่านการทำให้แป้งสุกบางส่วน โดยนำก้อนแป้งที่ได้มาคัมหรือนึ่งในน้ำเดือดให้แป้งสุกเฉพาะผิวรอบนอกประมาณร้อยละ 27-34 ของแป้งทั้งหมด จากนั้นนำมาผสมกับแป้งดิบที่อยู่ด้านในให้เข้ากัน ซึ่งต้องใช้ระยะเวลาในการนวดแป้งให้เหมาะสมประมาณ 30 นาที เพื่อให้เป็นเนื้อเดียวกันและมีความหนืด ถ้าใช้เวลาน้อยเกินไปอาจทำให้แป้งผสมกันไม่สม่ำเสมอ หรือเส้นขนมจีนเปื่อยยุ่ยได้ ขณะนวดผสมมีการเติมน้ำอุ่นจนได้แป้งที่มีความหนืดและเนียนพอดี แล้วนำมากรองเพื่อให้ได้แป้งที่เนียนละเอียด (อรพิน, 2533; ศันสนีย์, 2543)

1.2.6 การทำเส้น

การทำเส้นเป็นการโรยแป้งลงในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 90-95 องศาเซลเซียส ซึ่งทำให้แป้งเกิดการพองตัวมากจนสุก และมีความหนืดสูงขึ้นจากปริมาณแอมิโลสที่ละลายได้ไม่ควรใช้อุณหภูมิสูงมากจะทำให้เส้นขนมจีนนิ่มและสุกจนเกินไป ถ้าใช้อุณหภูมิต่ำเกินไปจะใช้เวลานานในการทำให้เส้นขนมจีนสุก ระยะเวลาที่เส้นขนมจีนลอยอยู่ในน้ำประมาณ 60 วินาที ถ้าใช้เวลานานเกินไป ขนมจีนจะดูดน้ำมากทำให้ได้เส้นค่อนข้างนิ่มและขาดง่าย แต่ถ้าใช้เวลาน้อยเกินไปทำให้เส้นขนมจีนค่อนข้างขุ่น (ศันสนีย์, 2543) หลังจากนั้นนำขนมจีนที่ได้มาผ่านน้ำเย็นเพื่อแอมิโลสเกิดการจับตัวและเรียงตัวกันอย่างหนาแน่นด้วยพันธะไฮโดรเจน เกิดเป็นเจล และมีสีขาวขุ่น (Daviddek *et al.*, 1990) กรรมวิธีการผลิตขนมจีนแป้งหมัก แสดงในภาพที่ 1

	อุณหภูมิ	ความเป็นกรด-ด่าง
ข้าวหัก ↓ แช่- ล้างให้สะอาด ปล่อยน้ำทิ้ง ข้าวหมัก 1-2 คืน	34 – 40 ° ซ	pH 3.3 – 4.5
↓ ล้าง- ปล่อยน้ำทิ้ง ข้าวหมัก + เกลือ ร้อยละ 2 ↓ โม่ละเอียด – กรอง น้ำแป้ง	27 – 30 ° ซ	pH 3.9 – 4.2
↓ นอนน้ำแป้ง 1 คืน น้ำแป้งตกตะกอน	27 – 30 ° ซ	pH 3.0 – 3.8
↓ ใส่ถุงผ้าทบน้ำ 1 คืน ก้อนแป้งสะอาดน้ำ ↓ นึ่ง 20 นาที หรือ ↓ ผิวนอกสุกประมาณ 0.5 นิ้ว ก้อนแป้งภายหลังนึ่งแล้ว	60 – 70 ° ซ	
↓ นวดด้วยเครื่องจนเหนียว แป้งนวด	40 – 50 ° ซ	pH 3.0 – 3.3
↓ ผ่านเครื่องกรองแป้ง แป้งก่อนโรยเส้น	45 ° ซ	pH 3.0 – 3.3
↓ ผ่านเครื่องโรยเป็นเส้น ↓ ต้มในน้ำเดือด ขนมจีนสุก	90 – 95 ° ซ	pH 4.5
↓ แช่น้ำเย็น - จับเส้น ขนมจีนแป้งหมัก		

ภาพที่ 1 กรรมวิธีการผลิตขนมจีนแป้งหมัก

ที่มา: สุภรัตน์ และคณะ (2534)

ขนมจีนแป้งหมักมีองค์ประกอบทางเคมีคือ ความชื้นร้อยละ 69.27-73.69 ปริมาณแอมิโลสร้อยละ 29.92-31.87 สตาร์ชร้อยละ 89.56-91.04 โปรตีนร้อยละ 4.42-5.59 ไขมันร้อยละ 0.60-1.20 เยื่อใยร้อยละ 0.79-1.31 และเถ้าร้อยละ 0.21-0.70 (สุภรัตน์ และคณะ, 2534) ส่วนคุณภาพทางจุลินทรีย์ ลาวัลย์และคณะ (2534) พบว่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด 4.6×10^3 - 5.15×10^3 cfu โดยเกณฑ์คุณภาพทางจุลินทรีย์ของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหารสำหรับอาหารปรุงสุกทั่วไป ได้แก่อาหารปรุงสำเร็จรวมทั้งขนมจีน กำหนดให้มีจำนวนจุลินทรีย์น้อยกว่า 1×10^6 cfu ต่อกรัม (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2536) ดังนั้นขนมจีนแป้งหมักที่ได้มีปริมาณจุลินทรีย์อยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยต่อการบริโภค เนื่องจากขั้นตอนสุดท้ายของการผลิตขนมจีนมีการผ่านความร้อนสูงจึงสามารถทำลายจุลินทรีย์ได้ ส่วนคุณภาพด้านลักษณะทั่วไปของขนมจีนแป้งหมักคือ ขนมจีนมีขนาดความหนาของเส้นใกล้เคียงกัน นุ่มและเหนียว ไม่เกาะติดกัน ไม่เกาะ มีสีขาวนวลสม่ำเสมอ มีกลิ่นรสหมักตามธรรมชาติ ไม่มีกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ บรรจุในภาชนะที่สะอาด ป้องกันการปนเปื้อน มีการเติมโซเดียมเบนโซเอตได้ไม่เกิน 1,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนอายุการเก็บรักษาของขนมจีนได้ไม่เกิน 3 วัน ที่อุณหภูมิห้อง

1.3 การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมจีน

ลลิตา (2532) ผลิตขนมจีนโดยใช้แป้งพรีเจล ร้อยละ 15-20 ที่ผลิตจากน้ำแป้งข้าวเจ้าเข้มข้นร้อยละ 40 แล้วทำแห้งโดยใช้เครื่องทำแห้งลูกกลิ้งคู่ (drum dryer) ผสมกับแป้งข้าวเจ้าและใช้น้ำร้อยละ 140-150 ของน้ำหนักแป้งพรีเจลรวมกับแป้งข้าวเจ้า พบว่าขนมจีนที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับขนมจีนทั่วไป อรอนงค์ และคณะ (2534) ศึกษาการผลิตแป้งข้าวผสมเพื่อใช้ในการผลิตขนมจีน พบว่าการผสมแป้งข้าวเจ้าพรีเจลาคิโนซ์กับแป้งข้าวเจ้าธรรมดา 15:85 และแป้งข้าวเจ้าพรีเจลาคิโนซ์กับสตาร์ชเข้ากับสตาร์ชและแป้งข้าวเจ้าธรรมดา 15:30:35 จะช่วยลดระยะเวลาในการผลิตลง รักชนก (2545) ได้ทำการพัฒนาแป้งขนมจีนหมักสำเร็จรูปโดยมีกรรมวิธีการผลิตดังนี้แช่ปลายข้าวเหลืองประทิวในน้ำ 2 วัน นอนน้ำแป้ง ทับน้ำแป้ง นำก้อนแป้งหมักที่ได้แบ่งเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกนำไปตีให้ละเอียด ส่วนที่เหลือนำไปผลิตแป้งพรีเจล โดยนำไปผสมน้ำจนมีความเข้มข้นร้อยละ 40 โดยน้ำหนักแห้ง ทำแห้งผ่านลูกกลิ้งคู่ที่ความดันไอน้ำ 30 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (130°C) ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งคู่ 0.004 นิ้ว ความเร็วรอบ 28 รอบต่อนาที บดผ่านตะแกรงรูเปิด 1.0 มิลลิเมตร การผลิตแป้งสำเร็จรูปประกอบด้วยแป้งข้าวเจ้าหมักร้อยละ 94 และแป้งพรีเจลดร้อยละ 6 นำแป้งผสมมาผสมน้ำในอัตราส่วนแป้งต่อน้ำ เท่ากับ 1 : 1 นวดแป้งนาน 25 นาที โรยเส้น เมื่อเปรียบเทียบขนมจีนจากแป้ง

สำเร็จรูป และขนมจีนที่ผลิตแบบดั้งเดิม พบว่ามีคุณภาพทุกๆด้านใกล้เคียงกัน ยกเว้นกลิ่นหมักจะน้อยกว่า สิริชัย (2543) ได้พัฒนาขนมจีนแห้งกึ่งสำเร็จรูป นวรัตน์ และคณะ (2547) ได้เปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพ และชนิดของสารระเหยในขนมจีนแป้งหมักทางการค้า พบว่าแหล่งผลิตที่ต่างกัน จะมีผลต่อคุณภาพทั้งทางกายภาพและชนิดของสารระเหยของขนมจีนแป้งหมักทางการค้า

1.4 ปัญหาที่พบในการผลิตขนมจีน

ปัญหาของผู้ประกอบการที่พบคือปริมาณข้าวพันธุ์ที่นำมาใช้ไม่เพียงพอ และมีราคาสูงขึ้น นอกจากนี้ปัจจุบันการผลิตขนมจีนยังเป็นเทคโนโลยีพื้นบ้าน ความปลอดภัยด้านสุขอนามัยยังมีน้อย เนื่องจากการหมักแบบธรรมชาติ ทำให้คุณภาพของขนมจีนที่ได้ไม่คงที่ เช่น มีกลิ่นหมักแรงเกินไป เนื่องจากหมักนานเกินไป , เส้นเปื่อยยุ่ยเนื่องจากการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ชนิดอื่น และทำให้ท้องเสีย รวมไปถึงไม่สามารถจัดการคุณลักษณะของกระบวนการผลิต (GMP) ได้ นอกจากนี้ยังทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมคือเกิดน้ำเสียจำนวนมาก เนื่องจาขั้นตอนการผลิตขนมจีนต้องใช้น้ำแทบทุกขั้นตอน ซึ่งผู้ประกอบการส่วนใหญ่ไม่มีระบบบำบัดน้ำทิ้ง

2. แป้งข้าวเจ้า

แป้งข้าวเจ้ามีเม็ดแป้งที่มีขนาดเล็กเพียง 3-5 ไมครอน โดยมีรูปร่างเป็นทรงกลม หรือหลายเหลี่ยม(Blanshard, 1987) องค์ประกอบทางเคมีของเม็ดแป้งข้าวเป็นคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 90 นอกจากนี้ประกอบด้วยโปรตีนร้อยละ 7 ไขมันร้อยละ 1.5 และ เป็นวิตามิน เกลือแร่ และสารอาหารอื่นๆอีกร้อยละ 1.5 โดยในเม็ดแป้งข้าวประกอบด้วยเอมิโลส(Amylose) และเอมิโลแพคติน (Amylopectin) ซึ่งเป็นสายกลูโคสต่อกันเป็นเส้นยาว ต่างกันที่สายโซ่เอมิโลสไม่แตกแขนงเป็นกิ่งก้านสาขาเหมือนเอมิโลแพคติน โดยขนาดและน้ำหนักโมเลกุลของเอมิโลสจะน้อยกว่าเอมิโลแพคติน และสัดส่วนของเอมิโลสต่อเอมิโลแพคตินจะขึ้นอยู่กับชนิดของแป้งนั้นๆ (อรอนงค์, 2540) โดยแป้งข้าวสามารถจำแนกประเภทออกได้ตามปริมาณเอมิโลสออกเป็น 3 กลุ่มคือ แป้งข้าวเจ้าเอมิโลสต่ำ (ร้อยละ 10-19) แป้งข้าวเจ้าเอมิโลสปานกลาง (ร้อยละ 20-25) และแป้งข้าวเจ้าเอมิโลสสูง (ร้อยละ 26-34) (งามชื่น, 2541)

แป้งข้าวเจ้าที่ใช้ผลิตผลิตภัณฑ์เส้นมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์มาก ปกติแล้วแป้งข้าวที่ใช้จะในการผลิตผลิตภัณฑ์เส้น จะผลิตจากข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสสูงระหว่างร้อยละ 27-33 เป็นข้าวเก่าที่เก็บไว้อย่างน้อย 4 เดือน และต้องผ่านการขัดสีสูงเป็นข้าวขาวพิเศษ (อรอนงค์, 2540) เมื่อนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทเส้น จะต้องผ่านกรรมวิธีการผลิตให้อยู่ในรูปของแป้งข้าวเจ้าโดยการม่ แป้งข้าวที่ใช้ในการผลิตขนมจีนจะเป็นการม่ น้ำ ซึ่งวิธีการนี้จะให้แป้งที่มีคุณภาพดี มีความละเอียด และสิ่งเจือปนน้อย ทำให้เมื่อนำไปผลิตทำให้เส้นที่ได้มีความเหนียว เนื่องจากเม็ดแป้งบางส่วนเกิดการแตกตัว ทำให้ดูน้ำได้ดี และเกิดเจลได้ดีเมื่อนำไปทำผลิตภัณฑ์

2.1 คุณสมบัติที่สำคัญของแป้งข้าวเจ้าที่มีผลต่อคุณภาพของขนมจีน

2.1.1 การดูดซับน้ำและการละลาย

น้ำที่อยู่ในเม็ดแป้งมีอยู่ด้วยกัน 3 รูปแบบ คือ น้ำในผลึก น้ำในรูปน้ำที่มีพันธะ (Bound Water) และน้ำในรูปอิสระ โดยมีการจับกับแป้งได้แน่นตามลำดับ น้ำหรือของเหลวชนิดอื่นสามารถแพร่และผ่านเข้าไปในร่างแหโมเลกุลในเม็ดแป้งได้อย่างอิสระ เม็ดแป้งประกอบด้วยรูพรุนจำนวนมากซึ่งจะทำหน้าที่เป็น Molecular sieve รูพรุนเหล่านี้อาจเกิดขึ้นในขั้นตอนการทำแห้งในกระบวนการทำแป้ง หรืออาจมีอยู่แล้วตามธรรมชาติแต่มีขนาดขยายใหญ่ขึ้นในขั้นตอนการทำแห้งในกระบวนการทำแป้ง

แป้งดิบจะไม่ละลายน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลาคีไนซ์ เนื่องจากมีพันธะไฮโดรเจน หรือ Water bridges เมื่ออุณหภูมิของสารผสมสูงกว่าอุณหภูมิในการเกิดเจลาคีไนซ์พันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลาย โมเลกุลของน้ำจะเข้ามาจับกับหมู่ไฮดรอกซิลอิสระ เม็ดแป้งเกิดการพองตัว ทำให้การละลาย ความหนืด และความในเพิ่มขึ้น ปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัวและความสามารถในการละลายของแป้งมีหลายประการ (Leach *et al.*, 1959) ได้แก่

ก. ชนิดของแป้ง

แป้งจากธัญพืช มีรูปแบบการพองตัวและการละลาย 2 ชั้นเนื่องจากพันธะบริเวณผลึก และบริเวณออสฐานของเม็ดแป้ง แป้งจำพวกนี้มีพันธะสูงสุด แต่มีกำลังการพองตัวและการละลายต่ำสุด เนื่องจากมีปริมาณแอมิโลสสูง ซึ่งแอมิโลสจะทำให้โครงสร้างร่างแหภายใน

เมื่อดึงแข็งแรงขึ้น ทำให้พองตัวได้ต่ำ แป้งข้าวเจ้ามีกำลังการพองตัวเท่ากับ 19 เท่า และร้อยละของการละลาย 18 (Leach *et al.*, 1959) นอกจากนี้ปริมาณแอมิโลสสูงจะเกิดพันธะระหว่างโมเลกุลแป้งมากขึ้น ทำให้มีการดูดน้ำได้มากขึ้นเป็น 3.0 – 4.0 เท่าของน้ำหนักแห้ง (Juliano, 1971; Webb and Stermer, 1972) จึงพบว่าปริมาณแอมิโลสมีผลต่อการดูดน้ำของเม็ดแป้งข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสสูงไม่เกินร้อยละ 30 จะดูดน้ำและพองตัวได้มากขึ้น แต่ถ้ามีปริมาณแอมิโลสสูงมากกว่านี้ การละลายจะน้อยลง เนื่องจากโมเลกุลจับกันอย่างหนาแน่น (Halick and Keneaster, 1956; Juliano, 1971)

ข. ความแข็งแรงและลักษณะของร่างแหภายในเม็ดแป้ง

ความแข็งแรงและลักษณะของร่างแหภายในเม็ดแป้ง หรืออีกนัยหนึ่งคือจำนวนและชนิดของพันธะภายในเม็ดแป้ง ในระดับโมเลกุลมีปัจจัยหลายปัจจัยที่มีผลต่อจำนวนพันธะได้แก่ ขนาด รูปร่าง ส่วนประกอบ และการกระจายตัวของร่างแหภายในเม็ดแป้งอัตราส่วนแอมิโลส และแอมิโลเพคติน น้ำหนักโมเลกุล การกระจายตัวของโมเลกุล จำนวนกิ่งก้านสาขา การจัดเรียงตัว และความยาวของสาขาในอะไมโลเพคติน

ค. สิ่งเจือปนในเม็ดแป้งที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต

สิ่งเจือปนเป็นสิ่งสำคัญต่อการพองตัวของเม็ดแป้ง เช่นกรดไขมันในธรรมชาติของแป้งข้าวโพด จะยับยั้งการพองตัวของเม็ดแป้งโดยเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับอะไมโลส การใส่สารลดแรงตึงผิวในแป้งจะส่งผลต่อกำลังการพองตัวของเม็ดแป้ง

ง. สมบัติหลังการดัดแปรทางเคมี

การดัดแปรด้วยกรด หรือการเกิดออกซิเดชันด้วยไฮโปคลอไรต์ (Hypochlorite) จะทำให้เกิดการแตกออกของพันธะภายในร่างแห ทำให้เม็ดแป้งแตกออกเป็นชิ้นเล็กๆ การละลายและการพองตัวสูงขึ้น การดัดแปรด้วยปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันหรืออีเทอร์ิฟิเคชัน จะเกิดการแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลในโมเลกุลของแป้งทำให้พันธะภายในเม็ดแป้งอ่อนแอลง การพองตัวเพิ่มขึ้น การทำครอสลิงจะทำให้ความแข็งแรงของพันธะภายในเม็ดแป้งเพิ่มขึ้น ความสามารถในการละลายและพองตัวลดลง

จ. ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในสภาวะที่เกิดการพองตัว

สารละลายที่มีปริมาณแป้งต่ำกว่า 20% ค่าการละลายจะสูงกว่าเมื่อมีแป้งสูงกว่าร้อยละ 20 การพองตัวอย่างอิสระและการละลายที่สูงขึ้นจะถูกยับยั้งในสภาพที่มีปริมาณน้ำน้อยสารประกอบอื่น เช่น เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของซูโครส ความสามารถในการละลายของแป้งจะเพิ่มขึ้น

2.1.2 อุณหภูมิแป้งสุก (Gelatinization temperature)

เมื่อนำแป้งละลายในน้ำที่อุณหภูมิห้อง เม็ดแป้งจะดูดน้ำ และพองตัวขึ้นเล็กน้อย การดูดน้ำของเม็ดแป้ง (Water up capacity) น้ำจะเข้าไปอยู่รอบๆ เม็ดแป้งก่อน หลังจากนั้นจึงค่อยๆ ผ่านเข้าสู่ศูนย์กลางของเม็ดแป้ง เมื่อให้ความร้อนกับสารละลายแป้ง พันธะไฮโดรเจนจะคลายตัวลง เม็ดแป้งจะดูดน้ำและพองตัว เมื่อการให้ความร้อนยังคงดำเนินต่อไปจนกระทั่งมีอุณหภูมิสูงกว่า 60 องศาเซลเซียส เม็ดแป้งจะพองตัว และแตกออกมากขึ้น ส่วนที่เป็นอสัณฐาน (Amorphous) จะรับน้ำได้มากขึ้น และการจับตัวกันของโมเลกุลในส่วนผลึก (crystallite) จะคลายความหนาแน่นลงจนเกิดปฏิกิริยาการรับน้ำ ส่วนเม็ดแป้งที่พองตัวจะไม่สามารถผันกลับได้ (Irreversible) ถ้ามีน้ำอย่างเพียงพอโมเลกุลในส่วนผลึก (crystallite) จะหายไป และไบรีฟรินเจนซ์ (birefringence) จะหายไป น้ำแป้งจะใสขึ้น ซึ่งเรียกจุดนี้ว่า จุดแป้งสุก (Gelatinization point) และเรียกอุณหภูมินี้ว่า อุณหภูมิแป้งสุก (Gelatinization temperature) การสุกของเม็ดแป้งจะเริ่มจากรอยบวมของเม็ดแป้ง โดยไบรีฟรินเจนซ์ (birefringence) ที่จุดนี้จะหายไป และเม็ดแป้งจะพองตัวมากขึ้นจนถึงจุดสูงสุด (Leach, 1965; Osman, 1967; Collison, 1968; Swinkels, 1985a) การสุกของแป้งจะเกิดขึ้นไม่สม่ำเสมอ เม็ดแป้งที่มีขนาดใหญ่จะพองตัว และสุกก่อนเม็ดแป้งที่มีขนาดเล็ก ซึ่งอุณหภูมิแป้งสุกจะไม่เกิดขึ้นที่อุณหภูมิใดอุณหภูมิหนึ่ง แต่จะเกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิประมาณ 8-12 องศาเซลเซียส ซึ่งในเม็ดแป้งข้าวเจ้าจะมีอุณหภูมิแป้งสุกในช่วง 62-76 องศาเซลเซียส (Leach, 1965; Redley, 1953) ส่วนแป้งข้าวเจ้าที่ได้จากการไม่เปียก ซึ่งมีขายทั่วไปในประเทศไทย มีอุณหภูมิแป้งสุกในช่วง 65.5 – 77.0 องศาเซลเซียส (อรรณพ, 2529) สำหรับรูปแบบการพองตัวของเม็ดแป้งขึ้นอยู่กับกำลังการพองตัว วิธีการจับตัวกันของโมเลกุลแอมิโลส และแอมิโลเพคตินในเม็ดแป้ง โมเลกุลที่จับกันเป็นเส้นตรงจะมีโครงสร้างที่แข็งแรง การพองตัวจึงเกิดได้น้อย (ณรงค์, 2535)

2.1.3 การเกิดเจลาตินในเซชัน (Gelatinization)

โมเลกุลของแป้งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxy group) จำนวนมาก ยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน มีสมบัติที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) แต่เนื่องจากเม็ดแป้งอยู่ในรูปร่างแหไมเซลล์ ดังนั้นการจัดเรียงตัวลักษณะนี้ทำให้เม็ดแป้งละลายในน้ำเย็นได้ยาก ดังนั้นในขณะที่แป้งอยู่ในน้ำเย็น เม็ดแป้งจะดูดน้ำเล็กน้อย แต่เมื่อให้ความร้อนกับสารละลายน้ำแป้ง พันธะไฮโดรเจนจะคลายตัวลง เม็ดแป้งจะดูดน้ำและพองตัว ส่วนผสมของน้ำแป้งจะมีความหนืดเพิ่มมากขึ้นและใสขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของน้ำอิสระที่เหลืออยู่รอบๆ เม็ดแป้งเหลือน้อยลง เม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยากขึ้น ทำให้เกิดความหนืด เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิดเจลาตินในเซชัน (Gelatinization) อุณหภูมิที่สารละลายเริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (Pasting temperature) หรือ เวลาที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (Pasting time): ซึ่งจะแตกต่างกันในแป้งแต่ละชนิด (กล้าณรงค์, 2542)

การเกิดเจลาตินในเซชันของเม็ดแป้งแบ่งได้ 3 ระยะ (Sanders, 1996) คือ ระยะแรกเม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำเย็นได้อย่างจำกัด และเกิดการพองตัวแบบผันกลับได้ เนื่องจากร่างแหระหว่าง Micelles ยึดหยุ่นได้จำกัด ความหนืดของสารแขวนลอยจะไม่เพิ่มขึ้นจนเห็นได้ชัด เม็ดแป้งยังคงรักษารูปร่าง และโครงสร้างแบบ Birefringence ได้ เมื่อมีการใส่สารเคมี หรือเพิ่มอุณหภูมิกับสารละลายน้ำแป้งจนถึง 65 องศาเซลเซียส เมื่อเข้าสู่ระยะที่ 2 เม็ดแป้งจะพองตัวอย่างรวดเร็ว ร่างแหระหว่าง Micelles ภายในเม็ดแป้งอ่อนแอลง เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนถูกทำลาย เม็ดแป้งจะดูดน้ำซึมเข้ามามาก และเกิดการพองตัวแบบผันกลับไม่ได้ เรียกว่าการเกิดเจลาตินในเซชัน เม็ดแป้งมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง และโครงสร้างไบรีฟรินเจนซ์ (birefringence) ความหนืดของสารละลายน้ำแป้งจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แป้งที่ละลายได้จะเริ่มละลายออกมา ซึ่งถ้าเหวี่ยงแยกส่วนใส และหยดสารละลายไอโอดีนลงในส่วนใสจะเกิดสีน้ำเงิน เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจะเข้าสู่ระยะที่ 3 รูปร่างเม็ดแป้งจะไม่แน่นอน การละลายของแป้งจะเพิ่มขึ้น เมื่อนำไปทำให้เย็นจะเกิดเจล การเกิดเจลาตินในเซชันของแป้งจะทำให้หมู่ไฮดรอกซิลของแป้งทำปฏิกิริยากับสารอื่นๆ ได้ดีขึ้น รวมทั้งพร้อมที่จะถูกย่อยด้วยน้ำย่อยต่างๆ ได้ดีกว่า

การจับตัวกันของโมเลกุลแอมิโลสนอกเมล็ดแป้งจะมีความสำคัญต่อกำลังความเหนียวของเจล ถ้ามีการจับกันของโมเลกุลอย่างหนาแน่น เจลจะมีความเหนียวดีเนื่องจากเป็นส่วนที่ต้องใช้พลังงานมากในการแยกโมเลกุลออกจากกัน ซึ่งในทางตรงกันข้ามถ้าโมเลกุลแอมิโลสจับกันน้อย เจลจะมีความเหนียวน้อย และการจับตัวกันของโมเลกุลแอมิโลสภายในเมล็ดแป้งที่ยังไม่แตกตัวจะมีความสำคัญต่อความแข็งของเจล ซึ่งหมายถึงความสามารถของเจลที่จะทนต่อแรงกดได้ ซึ่งไม่แตกโดยขึ้นอยู่กับปริมาณ และ ความสามารถในการดูดน้ำของเมล็ดแป้งที่ยังไม่แตกตัวนี้ ถ้ามีเมล็ดแป้งเหลืออยู่มาก และสามารถดูดน้ำได้มาก เจลจะหยุ่นตัวมาก และมีลักษณะนุ่ม ในทางตรงกันข้ามถ้ามีเมล็ดแป้งเหลืออยู่น้อย และดูดน้ำได้น้อย เจลจะหยุ่นตัวน้อยและมีลักษณะแข็ง (ณรงค์, 2535) และยังพบว่าขนาดของ โมเลกุลแอมิโลสจะมีผลต่อการเกิดเจล คือ โมเลกุลแอมิโลสที่มีขนาดใหญ่ น้ำสามารถแทรกเข้าไปในเมล็ดแป้งได้มาก โดยโมเลกุลไม่แตกออกมาเนื่องจากมีพันธะไฮโดรเจนเกิดขึ้นหลายตำแหน่ง และโมเลกุลแอมิโลส ที่มีขนาดใหญ่ก็ไม่สามารถผ่านผนังเซลล์ของเมล็ดแป้งออกมาได้ เมื่ออุณหภูมิลดลงต่ำลงจะเกิดเจลภายในเมล็ดแป้ง และเมล็ดแป้งแต่ละเมล็ดจะไม่หั่นมาจับกัน เนื่องจากไม่มีโมเลกุลแอมิโลสมาเชื่อมระหว่างกันไว้ เจลที่เกิดขึ้นมีลักษณะแข็ง สากลิ้น ส่วนโมเลกุลแอมิโลสที่มีขนาดเล็ก น้ำเพียงเล็กน้อยก็สามารถทำให้หลุดออกมาจากกันได้ง่าย และยังสามารถหลุดออกมาจากเมล็ดแป้งได้ในขณะที่เมล็ดแป้งยังไม่แตกตัว โดยที่เมล็ดแป้งจะแตกตัวเมื่อได้รับน้ำและความร้อนอย่างเพียงพอ เมื่ออุณหภูมิลดต่ำลง โมเลกุล แอมิโลสที่หลุดออกมาได้จะหั่นมาจับกันและกัน และเชื่อมเมล็ดแป้งไว้ เจลที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะนุ่ม ถ้าเมล็ดแป้งมีปริมาณแอมิโลสสูง น้ำแป้งก็จะมีปริมาณแอมิโลสสูงด้วย ซึ่งจะทำให้เกิดเจลได้ดี ถึงแม้จะมีความเข้มข้นของน้ำแป้งต่ำ แต่ถ้ามีปริมาณแอมิโลสมากเกินไป การดูดน้ำจะช้า และเมล็ดแป้งแตกตัวได้ยาก เนื่องจากโมเลกุลแอมิโลสมีการจับกันอย่างหนาแน่น ทำให้น้ำแทรกตัวเข้าไปได้ยาก เจลที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะกรอบตักขาดได้ง่าย นอกจากนี้ยังพบว่า การใช้ปริมาณแอมิโลสเป็นตัวชี้การละลายของแป้ง และขนาดโมเลกุลแอมิโลสเป็นตัวชี้ความนุ่ม ความแข็งของเจล ซึ่งยังไม่เพียงพอควรใช้ค่าความคงตัวของน้ำแป้งเปียก (Gel consistency) พิจารณาประกอบด้วย ลักษณะความคงตัวของน้ำแป้งเปียกเป็นการหาระยะทางที่น้ำแป้งสามารถไหลไปได้ ซึ่งมักทดสอบกับข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสสูงกว่าร้อยละ 25 ขึ้นไป เนื่องจากข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสสูงจะให้เจลที่ลักษณะแข็ง มีค่าความคงตัวของน้ำแป้งเปียกสูงทนต่อการสลายตัวด้วยความร้อนในขณะหุงต้ม และเป็นแผ่นดีมากจึงเหมาะสำหรับอุตสาหกรรมก๋วยเตี๋ยว และพบว่าอายุการเก็บของข้าว และปริมาณโปรตีนที่มีความแตกต่างกันไม่เกินร้อยละ 5 จะมีผลต่อค่าความคงตัวของน้ำแป้งเพียงเล็กน้อย นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณแอมิโลสและโปรตีนในข้าว จะมีความสัมพันธ์ในทางตรงกันข้ามกับระยะทางการไหลของเจล ส่วนปริมาณเส้นใย ไขมัน และเถ้า ไม่มีความสัมพันธ์กับระยะ

ทางการไหลของเจล อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ละม้ายมาศ, 2525) ถ้าน้ำแข็งมีความเข้มข้นต่ำ การจัดเรียงตัวกันของโมเลกุลแอมิโลสจะไม่ทำให้เกิดเจล แต่จะเกิดลักษณะเป็นตะกอนขาวขุ่น แต่ถ้าน้ำแข็งมีความเข้มข้นสูงจะมีการจัดเรียงตัวกันใหม่ของโมเลกุลแอมิโลสได้มาก และสามารถเก็บกักน้ำไว้ได้อีก ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นจนเกิดเป็นเจล (Wurzburg, 1986; Swinkels, 1985a)

ในสภาพปกติถ้าน้ำแข็งมี pH อยู่ระหว่าง 4.0-7.0 จะไม่มีผลต่อความคงตัวของน้ำแข็งเปือกมากนัก แต่ถ้า pH ต่ำกว่า 4.0 หรือสูงกว่า 7.0 จะทำให้ค่าความคงตัวของน้ำแข็งเปือกลดลง มีผลทำให้เจลมีความเหนียวลดลง เนื่องจากกรดหรือด่างจะทำให้โมเลกุลของเม็ดแป้งแตกตัวมีขนาดเล็กลง เม็ดแป้งสามารถดูดน้ำได้ดีที่อุณหภูมิต่ำลงจากเดิมทำให้อุณหภูมิแป้งสูงจึงเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำกว่าปกติ สำหรับกรดอินทรีย์ เช่น กรดแลคติก จะมีผลต่อค่าความคงตัวของน้ำแข็งเปือกเล็กน้อย (ณรงค์ และอัญชัย, 2528)

2.1.4 การเกิดรีโทรเกรเดชัน (Retrogradation)

เมื่อแป้งได้รับความร้อนจนกระทั่งถึงจุดอุณหภูมิแป้งสุก แล้วยังให้ความร้อนต่อไปอีกจนทำให้เม็ดแป้งพองตัวจนแตก ความหนืดที่เพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุดและลดลง (Blandshard, 1987, Miller, 1958) เมื่อปล่อยให้แป้งเปือกเย็นลง โมเลกุลแอมิโลสจะหันมาจับกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนในรูปผลึกยึดเหนี่ยวกันเป็นโครงสร้างร่างแหสามมิติโครงสร้างใหม่ที่สามารถอุ้มน้ำ และไม่มีการดูดน้ำเข้ามาอีก การจับตัวกันของโมเลกุลแอมิโลสจะเกิดขึ้นทั้งในเม็ดแป้งที่ยังไม่แตกตัว และนอกเม็ดแป้งจึงทำให้เกิดความข้นหนืดที่คงตัวมากขึ้น เกิดลักษณะเจลเหนียวคล้ายฟิล์มหรือผลึก เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิดรีโทรเกรเดชัน (Retrogradation) หรือ การคืนตัว หรือ Setback (Smith, 1979) เมื่อลดอุณหภูมิให้ต่ำลงไปอีก ลักษณะการเรียงตัวจะแน่นมากขึ้น โมเลกุลของน้ำที่อยู่ภายในจะถูกบีบมานอกเจล (syneresis) ปรากฏการณ์ทั้ง 2 นี้จะทำให้เจลมีลักษณะขาวขุ่นและมีความหนืดมากขึ้น (Fruton and Simmonds, 1958)

ปริมาณและขนาดของแอมิโลสมีความสำคัญต่อการคืนตัวของแป้ง แป้งที่มีปริมาณแอมิโลสสูงจะเกิดการคืนตัวได้มาก และเร็วกว่าแป้งที่มีปริมาณแอมิโล-เพคตินสูง ในการทำให้แอมิโลสที่คืนตัวกลับมาละลายได้อีกครั้งหนึ่งต้องใช้อุณหภูมิสูงถึง 100 – 160 องศาเซลเซียส แอมิโลเพคตินจะมีผลทำให้เกิดการคืนตัวได้น้อยมาก ด้วยเหตุนี้การคืนสภาพจึงเกิดขึ้นกับโมเลกุลของแอมิโลสทั้งสิ้น (Whistler *et al.*, 1984; Collison, 1968) ถ้าโมเลกุลของแอมิโล

สมีขนาดใหญ่การเคลื่อนไหวยจะช้าลง ทำให้การจับตัวด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลเกิดขึ้นได้ง่ายขึ้น แต่ถ้าโมเลกุลมีขนาดใหญ่มากเกินไป การเคลื่อนที่ของโมเลกุลจะช้าลงอีก ทำให้การจับตัวเกิดอย่างเชื่องช้าด้วย ฉะนั้น โมเลกุลของแอมิโอสที่มีขนาดพอลิเมอร์มีขนาดในช่วง 100-200 หน่วยกลูโคส (Leach *et al.*, 1959; Swinkle, 1985a) อัตราในการจับตัวจะสูงสุด หรือการละลายต่ำที่สุด

2.2 การย่อยเม็ดแป้งด้วยกรด

เมื่อนำเม็ดแป้งมาย่อยด้วยกรดเป็นระยะเวลาานที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่ทำให้เกิดเจลาติไนเซชัน กรดจะแทรกตัวเข้าไปทำปฏิกิริยาภายในเม็ดแป้งโดยเฉพาะในส่วนออสติฐาน อัตราการย่อยจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว กรดจะเข้าทำลายพันธะภายในเม็ดแป้งและปลดปล่อยสายกลูโคสและและโมเลกุลกลูโคสออกมา เมื่อทำปฏิกิริยากับกรดนานขึ้น กรดจะเริ่มแทรกตัวผ่านชั้นโครงสร้างผลึกและย่อยโครงสร้างดังกล่าวได้ในอัตราที่ช้าลง ภายหลังจากการย่อย เม็ดแป้งยังสามารถคงความเป็นเม็ดอยู่ได้ (Kainuma and French, 1972; Robin *et al.*, 1974; Biliaderis *et al.*, 1981)

ในการย่อยแป้งด้วยกรดนั้น อัตราการย่อยและผลิตภัณฑ์ที่ได้ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ความเข้มข้นของแป้งและกรด อุณหภูมิและระยะเวลาในการย่อย เป็นต้น เมื่อความเข้มข้นของแป้งที่นำมาย่อยเพิ่มขึ้น อัตราการย่อย (Degree of hydrolysis) จะเกิดน้อยลง เนื่องจากการที่มีจำนวนเม็ดแป้งเพิ่มขึ้นขณะที่มีปริมาณกรดคงที่ จะทำให้กรดที่มีอยู่แทรกตัวเข้าไปย่อยภายในเม็ดแป้งได้เป็นสัดส่วนที่น้อยลง ในทางกลับกันหากเพิ่มความเข้มข้นกรดที่ใช้ย่อยมากขึ้นจะทำให้ได้แป้งที่มีค่าระดับของพอลิเมอร์ไรเซชัน (Degree of polymerization, DP) ต่ำลง และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการย่อยมากขึ้น จะได้แป้งที่มีค่า DP ต่ำลงเช่นกัน อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้แป้งจะถูกย่อยได้มากขึ้น โดยอุณหภูมิสูงจะไปกระตุ้นให้พันธะไฮโดรเจนและพันธะในส่วนที่ไม่ชอบน้ำของสายเกลียวคู่ในส่วนโครงสร้างผลึกถูกทำลาย ทำให้นี้เปลี่ยนไปเป็นส่วนโครงสร้างออสติฐานที่ง่ายต่อการถูกย่อยด้วยกรด นอกจากนี้ ขณะทำการย่อยเม็ดแป้งด้วยกรดภายใต้อุณหภูมิสูง โปรตรอน (H^+) จากกรดที่ทำหน้าที่เป็นสารชอบอิเล็กตรอน (electrophilic) จะเข้าทำลายพันธะแอลฟา-1, 4 ไกลโคสิดิกระหว่างตำแหน่ง C_1 และ O ของสายแอมิโอสภายในโมเลกุลแป้งให้แตกออก กลไกดังกล่าวจะต้องอาศัยอุณหภูมิสูงเป็นตัวกระตุ้นให้การทำลายพันธะเกิดได้ง่ายและรวดเร็วขึ้น (Zherebtsov *et al.*, 1995)

2.2.1 โมเลกุลที่เป็นองค์ประกอบภายในเม็ดแป้งที่ผ่านการย่อยด้วยกรด

Robin *et al.* (1974) ศึกษาการย่อยแป้งด้วยกรดที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 วัน เมื่อศึกษาโมเลกุลที่เป็นองค์ประกอบภายในเม็ดแป้งด้วย Gel Permeation Chromatography พบว่า เม็ดแป้งที่ได้จากการย่อยประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนที่มีโครงสร้างเป็นกิ่งก้านที่มีขนาด DP เท่ากับ 25 ที่เกิดจากการถูกย่อย และส่วนที่มีโครงสร้างเป็นสายยาวที่มีขนาด DP เท่ากับ 15 ซึ่งเป็นส่วนของโครงสร้างผลึกที่มีความทนต่อการถูกย่อยด้วยกรด

เมื่อทำการย่อยเม็ดแป้งจากแหล่งต่างๆ ด้วยกรดที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาด้าน พบว่า ให้ผลเช่นเดียวกับการย่อยกรดที่อุณหภูมิห้องและใช้เวลานาน โดยสามารถแยกส่วนประกอบภายในเม็ดแป้งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำและสูง การย่อยด้วยกรดจะเป็นการเพิ่มปริมาณกลุ่มที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เห็นได้ชัดเจนที่สุดในแป้งจากธัญพืช (Singh and Ali, 2000)

2.2.2 โครงสร้างผลึกภายในเม็ดแป้งที่ผ่านการย่อยด้วยกรด

Robin *et al.*, (1974) ทำการจำลองภาพกลไกการย่อยเม็ดแป้งด้วยกรด พบว่า ภายหลังจากการย่อย เม็ดแป้งมีโครงสร้างภายในประกอบด้วยชั้นโครงสร้างผลึกที่มีความหนาประมาณ 60 อังสตรอม ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 โครงสร้างภายในเม็ดแป้งที่ผ่านการย่อยด้วยกรดแสดงให้เห็นถึงการกำจัดส่วนกิ่งก้าน (branching region) ของสายเอมิโลเพคตินซึ่งเป็นส่วนของชั้นอสัณฐาน (amorphous lamellae) คงเหลือไว้แต่เพียงชั้นผลึก (crystalline lamellae) ที่เป็นส่วนแขนงข้างภายในสายเอมิโลเพคติน ก. แป้งธรรมชาติ ข. แป้งที่ผ่านการย่อยด้วยกรด

ที่มา: Robin *et al.*, (1974)

Kainuma and French (1971) ศึกษาโครงสร้างของเม็ดแป้งที่ผ่านการย่อยด้วยกรด โดยศึกษาการย่อยเม็ดแป้งชนิดต่างๆ ด้วยกรดซัลฟูริกที่อุณหภูมิ 22-25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 เดือน พบว่า บริเวณโครงสร้างผลึกเป็นส่วนที่ทนทานต่อการย่อยด้วยกรดที่อุณหภูมิดังกล่าว เพราะมีโครงสร้างที่แน่นหนาและอาจมีโครงสร้างบางอย่างที่ช่วยให้ทนต่อกรด เช่น โครงสร้างมีลักษณะเป็นเกลียวคู่ พันธะไกลโคสิติกถูกหันเข้าด้านในของเกลียวคู่ซึ่งจะทำให้ไม่สามารถสัมผัสกับโปรตรอนของกรดได้ นอกจากนี้ ในการทำปฏิกิริยากับกรดหน่วยกลูโคสอาจต้องเปลี่ยนลักษณะการเรียงตัว (conformation) จากรูปแบบเก้าอี้ (chair) เป็นกึ่งเก้าอี้ (half chair) เสียก่อนซึ่งต้องใช้พลังงานจำนวนมากในการกระตุ้นการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว

Kainuma and French (1971) ศึกษาการทำแห้งที่มีผลต่อลักษณะ โครงสร้าง ผลึกของเม็ดแป้งมันฝรั่งที่ผ่านและไม่ผ่านการย่อยด้วยกรด พบว่า X-Ray diffraction pattern ของเม็ดแป้งที่ผ่านการย่อยด้วยกรดมีการเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับเม็ดแป้งปกติ ทั้งนี้ เนื่องจากในเม็ดแป้งปกติขณะทำแห้ง โมเลกุลน้ำถูกขับออกจากบริเวณระหว่างชั้น โครงสร้างผลึก ทำให้เกิดลักษณะของการบิดเบี้ยวภายในโครงสร้างเม็ดแป้ง ในทางกลับกันแป้งที่ผ่านการย่อยด้วยกรด ส่วนออสันฐานที่ไวต่อการทำปฏิกิริยากับน้ำถูกกำจัดออกไปก่อน ทำให้ผลของการที่โมเลกุลน้ำถูกขับออกจากบริเวณระหว่างชั้น โครงสร้างผลึกมีน้อย การบิดเบี้ยวภายในโครงสร้างเม็ดแป้งจึงเกิดน้อยกว่าเม็ดแป้งปกติ อย่างไรก็ตาม ภายหลังจากทำแห้งสนิทแล้ว ระหว่างชั้นของโครงสร้างผลึกภายในเม็ดแป้งที่ผ่านการย่อยด้วยกรดจะเป็นบริเวณที่มีหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระจากพันธะไฮโดรเจนอยู่จำนวนมาก เพื่อเป็นการปรับสร้างพันธะไฮโดรเจนให้มากขึ้น ชั้นของโครงสร้างผลึกแต่ละชั้นจะเคลื่อนที่เข้าหากัน ทำให้เกิดการบิดเบี้ยวขึ้นบ้างเล็กน้อย

2.2.3 สมบัติของเม็ดแป้งที่ผ่านการย่อยด้วยกรดเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำ

เม็ดแป้งที่ผ่านการย่อยด้วยกรดจะมีสมบัติที่แตกต่างจากแป้งปกติ เช่น มีค่าความหนืดต่ำเนื่องจากเม็ดแป้งมีการพองตัวลดลง ความสามารถในการเกิดรีโทรเกรเดชั่นต่ำลง และค่าการละลายในน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่เริ่มต้นในการเกิดเจลลิตในเซชันจะเพิ่มขึ้น เป็นต้น (Rohwer and Klem, 1984; Betancur and Chel, 1997)

การย่อยเม็ดแป้งมันฝรั่ง แป้งสาลี และแป้งข้าวโพดด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส พบว่า อุณหภูมิที่เริ่มต้นในการเกิดเจลลิตในเซชันลดต่ำลง ทำให้ช่วงการเกิดเจลลิตในเซชันกว้างขึ้น เนื่องจากกรดเข้าทำปฏิกิริยาที่ส่วนออสันฐาน ทำให้น้ำเข้าถึงส่วนโครงสร้างผลึกได้ง่ายขึ้น ค่าอุณหภูมิที่เริ่มต้นในการเกิดเจลลิตในเซชันจึงลดต่ำลง นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อเม็ดแป้งถูกย่อยด้วยกรดมากขึ้น การเกิดเจลลิตในเซชันจะมีช่วงกว้างขึ้นตามไปด้วย (Morrison *et al.*, 1993)

Chun *et al.*, (1997) ศึกษาการผลิต amylopectin จากแป้งข้าวโดยการย่อยแป้งด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกในเอทิลแอลกอฮอล์ ที่อุณหภูมิสูงเป็นระยะเวลา 5 ชั่วโมง พบว่า ได้เม็ดแป้งที่มีค่าความเป็นผลึกสูงกว่าเม็ดแป้งธรรมชาติ เมื่อศึกษาลักษณะการเกิดเจลลิตในเซชันด้วยเครื่อง DSC พบว่า แป้งที่ถูกย่อยด้วยกรดจะมีอุณหภูมิเริ่มต้นที่ใช้ในการเกิดเจลลิตในเซ

ชั้นต่ำลง แสดงให้เห็นว่า สามารถใช้พลังงานน้อยลงในการทำให้โครงสร้างภายในเม็ดแป้งเริ่มเกิดการหลอมละลาย

Jane (1992) ศึกษาการย่อยเม็ดแป้งข้าวโพดด้วยกรด และทำการลดขนาดเม็ดแป้งที่ได้ด้วยเครื่อง Ball milling พบว่า สามารถผลิตเม็ดแป้งข้าวโพดที่มีขนาดเล็กใกล้เคียงกับเม็ดแป้งข้าว และเม็ดแป้งเฟืองและที่มีค่าความเป็นผลึกสูง มีรูปแบบ x-ray pattern และไบรีฟรินเจนซ์ (birefringence) คงเดิม เมื่อตรวจสอบองค์ประกอบภายในด้วยเครื่อง Gel Permeation Chromatography จะไม่พบโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่เหลืออยู่เลย นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณของเม็ดแป้งขนาดเล็กที่ผลิตได้จะขึ้นกับสภาวะต่างๆ ที่ใช้ในการย่อยแป้ง เช่น ความเข้มข้นกรด อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการย่อยแป้ง เป็นต้น

3. กล้าเชื้อบริสุทธิ์

การผลิตอาหารหมักเป็นการแปรรูปอาหารโดยอาศัยกิจกรรมของจุลินทรีย์ ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีคุณภาพดีเพียงใด ตลอดจนการควบคุมการผลิตจะยากหรือง่ายขึ้นกับปัจจัยหลายประการ ด้วยเหตุนี้กรรมวิธีการผลิตแบบดั้งเดิมโดยใช้จุลินทรีย์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติจึงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพไม่แน่นอนและไม่สามารถคาดคะเนกำลังการผลิตได้อย่างแท้จริง การพัฒนาคุณภาพอาหารหมักจึงได้มีการคัดเลือกจุลินทรีย์ที่เหมาะสม จึงเป็นการผลิตโดยใช้เชื้อบริสุทธิ์ อย่างไรก็ตามการใช้สายพันธุ์เหล่านี้ให้ได้ประโยชน์ในระดับอุตสาหกรรม จำเป็นต้องผลิตเป็นกล้าเชื้อด้วยเทคโนโลยีที่เหมาะสม เพื่อให้ได้กล้าที่อยู่ในรูปแบบที่ใช้ได้สะดวกและสามารถควบคุมคุณภาพได้ (นภา, 2535)

การถนอมอาหารโดยใช้แบคทีเรียกรดแลคติกได้เกิดขึ้นมาเป็นเวลานานพร้อมกับการพัฒนาของมนุษยชาติ แต่ระยะนั้นการศึกษาคุณสมบัติของแบคทีเรียกรดแลคติกยังไม่แพร่หลายมากนัก ปัจจุบันในโลกของจุลินทรีย์โดยเฉพาะจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับอาหารได้รับการสนใจและพัฒนามากขึ้นแบคทีเรียกรดแลคติกได้ถูกนำมาใช้เป็นกล้าเชื้อ (starter culture) ในการผลิตอาหารหมักหลายชนิด เช่น ผลิตภัณฑ์นมหมัก ผลิตภัณฑ์เนื้อหมักในแถบยุโรป ส่วนในประเทศไทยมีการใช้กล้าเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกในแฮมบางยี่ห้อ เช่น แฮมบาโอเทล และแฮมป้าย่น นอกจากนี้ยังมีผลิตภัณฑ์อาหารหมักจากผลิตผลทางการเกษตรหลายชนิดที่มีการหมักแบบ

ธรรมชาติ (natural fermentation) และเกี่ยวข้องกับแบคทีเรียกรดแลคติกทั้งสิ้น เช่น ขนมหิน ปลา ส้ม ส้มผัก หอยคอง หน่อไม้คอง เป็นต้น

3.1 ชนิดของกล้าเชื้อ

การผลิตกล้าเชื้อแบคทีเรียแลคติกเป็นตัวอย่างที่เห็นได้ชัดเจนตัวอย่างหนึ่งที่ได้มีการพัฒนาจนมีการผลิตในระดับอุตสาหกรรม ซึ่งนอกจากจะแบ่งชนิดกล้าเชื้อออกตามความเหมาะสมที่จะใช้ในผลิตภัณฑ์ที่ต่างกันแล้ว ยังแบ่งกล้าเชื้อออกเป็น 2 ชนิดคือ (Porubcan and Sellers, 1979)

3.1.1 กล้าเชื้อที่นำไปใช้ได้เลยโดยไม่ต้องเพิ่มปริมาณเชื้อ (direct set) เช่น กล้าที่ใช้ในการผลิตเนยแข็งเชดดา (chedda cheese) คอตเตจชีส (cottage cheeses) และโยเกิร์ต ผลิตภัณฑ์เนื้อหมัก ผักและผลไม้คอง เป็นต้น

3.1.2 กล้าเชื้อที่ต้องนำไปเพิ่มปริมาณเชื้อก่อนใช้ (bulk set) กล้าชนิดนี้ก่อนนำไปใช้โรงงานอาหารหมักแต่ละแห่งจะต้องนำไปเพาะเลี้ยงเพื่อเพิ่มปริมาณให้มากพอ กล้าที่เพิ่มปริมาณเชื้อแล้วนี้เรียก bulk starter ซึ่งเฉพาะโรงงานอุตสาหกรรมหมักเท่านั้นที่นิยมผลิต bulk starter

กล้าเชื้อทั้งสองชนิดนี้มีทั้งที่เป็นกล้าเชื้อเข้มข้น (concentreat starter) และกล้าเชื้อที่ไม่เข้มข้น(unconcentreat starter) ในรูปแบบต่างๆกัน เช่น เป็นกล้าที่อยู่ในรูปแช่แข็ง (frozen culture) ไลโอไฟไลส์ (freez-dried culture) และเชื้อผงแห้ง (dried culture)

การหมักที่มีการเติมเชื้อบริสุทธิ์ลงไปในส่วนผสม หรือที่เรียกว่า fermentation with starter culture เป็นการหมักที่มีการเติมกล้าเชื้อบริสุทธิ์เข้าไป กล้าเชื้อที่เติมต้องเป็นสายพันธุ์ที่ได้รับการคัดเลือกแล้วว่ามีความสมบัติเหมาะสมต่อการหมัก เจริญเติบโตได้เร็ว สร้างกรดได้ในปริมาณสูง และมีความสามารถในการผลิตสารเพื่อยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์อื่นๆที่ไม่ต้องการได้เป็นอย่างดี และสารประกอบอื่นๆที่มีผลในการเพิ่มคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการแข่งขันของกล้าเชื้อต่อจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ ได้แก่ จำนวนของกล้าเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกที่เติมลงไปในส่วนผสมกับแบคทีเรียกรดแลคติกที่มีอยู่แล้วในส่วนผสม

สภาพทางสรีรวิทยาของกล้าเชื้อ และสูตรผสมในการผลิตว่ามีแหล่งพลังงานที่เหมาะสมต่อการเจริญของกล้าเชื้อหรือไม่ (Montel *et al.*, 1993)

3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อกิจกรรมและการรอดชีวิตในการผลิตกล้าเชื้อ

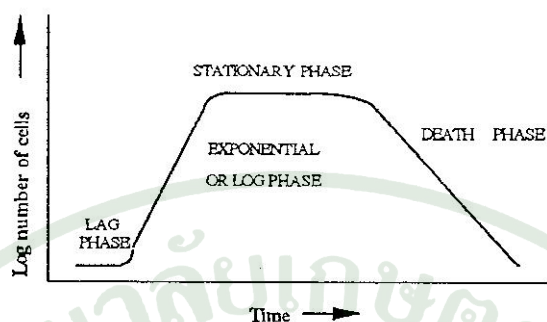
ปัจจัยในกระบวนการผลิตและการเก็บรักษาที่มีผลต่อกิจกรรมและการรอดชีวิตของแบคทีเรียกรดแลคติก (Pederson, 1979) สรุปได้ดังนี้

3.1.1 อาหารเลี้ยงเชื้อ

โดยทั่วไปนิยมใช้น้ำนม เว้ย และหางนมผง 10-12 เปอร์เซ็นต์ เป็นอาหารในการเพาะเลี้ยงแบคทีเรียกรดแลคติก อย่างไรก็ตามน้ำนมไม่ใช่อาหารเลี้ยงเชื้อที่เหมาะสม เนื่องจากองค์ประกอบของน้ำนมค่อนข้างผันแปรตามระยะการให้นมและฤดูกาล เพื่อให้ได้เซลล์ในปริมาณสูงอาจมีการเติมยีสต์สกัด เพื่อเป็นแหล่งวิตามินและเปปไทด์ หรือการเติมสารอาหารที่จำเป็นชนิดอื่นขึ้นกับสายพันธุ์จุลินทรีย์

3.1.2 ระยะการเจริญเติบโต

การเจริญเติบโตของแบคทีเรียเป็นผลมาจากการแบ่งเซลล์เพิ่มจำนวนจนถึงระดับหนึ่ง และหลังจากนั้นเริ่มตายเนื่องจากสภาวะที่ไม่เหมาะสมและขาดสารอาหาร ดังแสดงในภาพที่ 3 พบว่ากิจกรรมของจุลินทรีย์มีความสัมพันธ์โดยตรงกับอายุ โดยเชื้อที่อยู่ระหว่างช่วงกลางของระยะเติบโตทวีคูณ (exponential phase) และเริ่มเข้าสู่ระยะคงที่ (stationary phase) มีอัตราการผลิตกรดได้รวดเร็ว มีปริมาณเซลล์ที่มีชีวิตมากกว่า 10^8 เซลล์ต่อมิลลิลิตร และด้านทานต่อกระบวนการผลิตและการเก็บรักษา เป็นผลให้กล้าเชื้อมีปริมาณเซลล์ที่รอดชีวิตสูงกว่าจุลินทรีย์ในระยะอื่น



ภาพที่ 3 การเจริญเติบโตของแบคทีเรียกรดแลคติก

ที่มา: Pederson (1979)

3.1.3 สภาวะทางกายภาพ

สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเจริญของแบคทีเรียกรดแลคติกแต่ละสายพันธุ์แตกต่างกัน ดังนั้นการควบคุมปัจจัยกายภาพเป็นสิ่งสำคัญในการเพาะเลี้ยงเพื่อให้ได้ปริมาณเซลล์สูงสุด ได้แก่ อุณหภูมิ ระดับความเป็นกรดต่าง และออกซิเจน เนื่องจากกรดแลคติกที่แบคทีเรียกรดแลคติกผลิตขึ้นมีผลยับยั้งการเจริญเติบโต จึงต้องมีการควบคุมระดับความเป็นกรดต่างโดยการทำให้เป็นกลาง (Neutralization) ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ส่วนปริมาณออกซิเจนนั้นแบคทีเรียกรดแลคติกต้องการในปริมาณน้อยมากและอาจเป็นพิษต่อแบคทีเรียกรดแลคติกบางสายพันธุ์ที่ไม่ทนต่อออกซิเจน Ward and Somkuti (1995) พบว่า การให้ออกซิเจนไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของ *Strep. thermophilus* ที่เพาะเลี้ยงในอาหาร Man Rogosa and Sharpe (MRS)

3.1.4 สารประกอบจากเมแทบอลิซึม

สารประกอบที่เกิดจากเมแทบอลิซึมของแบคทีเรียกรดแลคติกมีผลในการยับยั้งการเจริญ ได้แก่ กรดแลคติก สารประกอบคาร์บอนิล ดังนั้นในกระบวนการผลิตถั่วเหลืองจำเป็นต้องกำจัดสารเหล่านี้โดยวิธีทางกลหรือวิธีทางเคมี (Pederson, 1979)

3.1.5 กระบวนการเก็บเกี่ยวเซลล์

วิธีการเก็บเกี่ยวเซลล์หลังการเพาะเลี้ยงเพื่อเก็บรักษาสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ การเหวี่ยง การใช้สารเคมี และการแช่ วิธีการเหล่านี้มีผลทำให้เซลล์ได้รับความเสียหายได้แตกต่างกัน และส่งผลให้การมีชีวิตรอดของแบคทีเรียกรดแลกติกในกระบวนการเก็บรักษาลดลง

3.1.6 วิธีการเก็บรักษา

การเก็บรักษาแต่ละวิธีมีผลในการทำลายเซลล์ได้ต่างกัน ดังนั้นการเติมสารป้องกันเซลล์ ได้แก่ Tween 80 กรดแอสคอร์บิก โมโนโซเดียมกลูตาเมต และสารป้องกันความเย็น (cryoprotectant) ได้แก่ กลีเซอรอล วิตามิน แมนนิทอล ซูโครส ช่วยให้การรอดชีวิตของแบคทีเรียเพิ่มขึ้น ดังนั้นการเก็บรักษากล้าเชื้อให้ยังคงมีชีวิตและสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ทันทีจึงเป็นสิ่งจำเป็น วิธีการเก็บรักษาเชื้อต้องเป็นวิธีที่สามารถรักษ้อัตราการรอดชีวิตของเชื้อได้มากที่สุด มีการเสียหายของเซลล์น้อยที่สุด กล้าเชื้อที่เก็บรักษาอาจอยู่ในรูปของของเหลว กล้าเชื้อแห้งและกล้าเชื้อแช่แข็ง

ก. กล้าเชื้อเหลว (Liquid starter)

การเก็บรักษากล้าเชื้อในรูปของเหลวเป็นวิธีการที่ใช้อย่างกว้างขวางสำหรับกล้าเชื้อที่มีปริมาณน้อยและค่อยๆ ขยายขนาดเมื่อต้องการผลิตผลิตภัณฑ์ในปริมาณมาก โดยการเตรียม Stock culture และถ่ายเชื้อทุกอาทิตย์หรือทุกวัน

ข. กล้าเชื้อแห้ง (Dried Starter)

การเก็บรักษากล้าเชื้อโดยวิธีทำแห้งเป็นวิธีที่สามารถยืดอายุการเก็บได้นานขึ้นโดยปราศจากการสูญเสียกิจกรรมของกล้าเชื้อ และมีความสะดวกในการส่ง วิธีทำแห้งที่ใช้ได้แก่ การใช้สุญญากาศ (Vacuum drying) การทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray drying) การแช่เยือกแข็งแห้ง (Lyophilization) และการแช่เยือกแข็งแบบเข้มข้น (Concentrated freeze drying)

กล้ำเชื้อที่ดีต้องเป็นจุลินทรีย์ที่จำเป็นต่อกระบวนการหมักของผลิตภัณฑ์นั้นๆ ส่วนจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการไม่สามารถเปลี่ยนหรือเจริญได้ อีกทั้งต้องมีปริมาณเพียงพอหรือมากพอที่แข่งขันกับเชื้อที่อยู่ในธรรมชาติได้ และทำให้คุณลักษณะและคุณภาพของผลิตภัณฑ์หมักไม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ประโยชน์ของการใช้กล้ำเชื้อในการหมักเพื่อเพิ่มผลผลิตให้ได้มากเพียงพอต่อการบริโภค ใช้เวลาในการผลิตรวดเร็วขึ้น เพิ่มคุณค่าทางโภชนาการทำให้ได้สารอาหารที่สามารถย่อยได้ง่ายขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพดีสม่ำเสมอ มีอายุการเก็บรักษาได้นาน และให้ผลิตภัณฑ์ที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค (นภ, 2535) แบคทีเรียกรดแลคติกมีบทบาทสำคัญในผลิตภัณฑ์อาหารหมักหลายชนิด เช่น เนย โยเกิร์ต ผัก ผลไม้ดอง ไข่กรอกเปรี้ยว แหนม รวมถึงอาหารหมักพื้นบ้านของประเทศต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3 ปัจจุบันมีการใช้แบคทีเรียกรดแลคติกเป็นกล้ำเชื้อในการหมักอาหารกันอย่างต่อเนื่องเพื่อควบคุมกระบวนการหมักและให้คุณภาพผลิตภัณฑ์สม่ำเสมอ สามารถลดระยะเวลาการหมักให้ได้สารอาหารและเกิดกลิ่นรสเฉพาะของผลิตภัณฑ์ ช่วยในการถนอมอาหาร เนื่องจากแบคทีเรียกรดแลคติกบางชนิดมีความสามารถในการยับยั้งจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียและผลิตสารยับยั้งจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค (bacteriocins) ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกล้ำเชื้อต่างๆ ได้แก่ กรดอินทรีย์ คาร์บอน ไดออกไซด์ ไดแอซิติก ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และสารต้านจุลินทรีย์ โดยผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดมีคุณสมบัติต่างๆ เช่น กรดแลคติก กรดแอซิติก กรดโพลิโอนิกทำให้ค่าความเป็นกรดต่ำ สามารถยับยั้งยีสต์ รา และแบคทีเรียได้ คาร์บอน ไดออกไซด์มีผลต่อการเจริญได้น้อยของจุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศ ส่วนไดแอซิติกมีผลต่อแบคทีเรียแกรมลบ ยีสต์และรา เป็นต้น นอกจากนี้แบคทีเรียบางชนิดสามารถลดสารพิษในวัตถุดิบได้ เช่น การผลิตกัริ (Gari) ด้วยกล้ำเชื้อ แบคทีเรียกรดแลคติกสามารถลดปริมาณไซยาไนด์ของมันสำปะหลังลงได้ในระหว่างการหมัก (Caplic and Fitzgerald, 1999) นอกจากนี้แบคทีเรียกรดแลคติกบางชนิดมีคุณสมบัติเป็นโปรไบโอติก (probiotic) ซึ่งสามารถทนต่อสภาวะต่างๆ เช่น ค่าความเป็นกรดต่ำที่ต่ำของน้ำย่อยในกระเพาะและลำไส้ของมนุษย์ จึงช่วยในการปรับสมดุลของจุลินทรีย์ในลำไส้ ทำให้มีระบบการขับถ่ายที่ดี ป้องกันการเกิดโรคเมะเร็งในลำไส้ (Mattila-Sandholm *et al.*, 2002)

การคัดเลือกจุลินทรีย์เพื่อใช้เป็นกล้ำเชื้อ นอกจากคำนึงถึงลักษณะที่สำคัญแล้วยังต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติสำคัญของเชื้อจุลินทรีย์ที่มีต่อผลิตภัณฑ์อาหารหมัก ดังเช่นกล้ำเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกที่ใช้ในการผลิต Gari ทำให้เมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตเร็วขึ้น สามารถผลิตกรดอินทรีย์ได้สูง ลดระยะเวลาในการหมักลงจาก 72 ชั่วโมงของการหมักตามธรรมชาติเป็น 48 ชั่วโมง และให้ผลิตภัณฑ์ที่ดี (Ofuya and Nnaji, 1989) สำหรับคุณสมบัติของกล้ำเชื้อ

แบคทีเรียกรดแลคติกในการผลิตขนมจีนแป้งหมักมีปัจจัยการพิจารณาลำยคลึงกับกล้าเชื้ออื่นๆ ในผลิตภัณฑ์อาหารหมักจากธัญชาติอื่นๆ คือ การผลิตกรดแลคติก การย่อยสลาย เพื่อให้เกิด สารอาหารโมเลกุลเล็กซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการเกิดสารระเหยต่าง ๆ เช่น ไดแอซีทิล แอซีโทอิน กรดอินทรีย์โมเลกุลเล็ก เป็นต้น รวมถึงความสามารถในการยับยั้งจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคได้ (จิสดา, 2547; สุพรรณิการ์, 2548) ในการวิจัยเกี่ยวข้องกับขนมจีนแป้งหมักที่ผ่านมา มีเพียงการศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของจุลินทรีย์ที่มีบทบาทต่อกระบวนการหมักและการคัดแยกแบคทีเรีย กรดแลคติกที่มีคุณสมบัติสำคัญในการคัดเลือกมาใช้เป็นกล้าเชื้อ และการทดลองใช้กล้าเชื้อหมัก เฉพาะในปลายข้าวเท่านั้น ยังไม่มีผู้ศึกษาถึงการนำกล้าเชื้อมาใช้ผลิตขนมจีนแป้งหมักเพื่อหา ความเป็นไปได้ในการผลิต ดังเช่นผลิตภัณฑ์หมักต่างๆ เช่น แหนม ไส้กรอกเปรี้ยว โยเกิร์ต อาหารหมักพื้นบ้านของต่างประเทศ เป็นต้น

ตารางที่ 3 แบคทีเรียกรดแลคติกที่มีบทบาทสำคัญในผลิตภัณฑ์หมักจากธัญชาติประเทศต่างๆ

ผลิตภัณฑ์	แหล่งผลิต	วัตถุดิบ	แบคทีเรียกรดแลคติกที่สำคัญ
Busa	ตุรกี	ข้าวเจ้า ข้าวฟ่าง	<i>Lactobacillus</i> sp.
Bussa	เคนยา	ข้าวโพด	<i>L. heveticus</i> , <i>L. salivarius</i> ,
		ข้าวฟ่าง	<i>L. plantarum</i>
Fufu	แอฟริกาตะวันตก	มันสำปะหลัง	<i>Lactobacillus</i> และ <i>Leuconostoc</i>
Gari	ไนจีเรีย	มันสำปะหลัง	<i>Streptococcus faecalis</i> , <i>Lb. plantarum</i> , <i>Leuconostoc</i> sp.
Idli	อินเดีย	ข้าวเจ้า และถั่วดำ	<i>Leu. mesenteroids</i> , <i>S. faecalis</i>
Koko	กานา	ข้าวโพด	<i>Pediococcus cerevisiae</i> <i>Leu. Mesenteroids</i> , <i>Lb. fermenti</i>
Mahew	แอฟริกาใต้	ข้าวโพด	<i>Lactobacillus</i> sp.
Me	เวียดนาม	ข้าวเจ้า	Lactic acid bacteria
Nan	อินเดีย	แป้งสาลี	<i>Lactobacillus</i> sp.
Ogi	ไนจีเรีย	ข้าวโพด หรือข้าวฟ่าง	<i>Lb. planarum</i> , <i>Lb. fermentum</i> , <i>S. lactis</i>
Pozol	เม็กซิโก	ข้าวโพด	Lactic acid bacteria
Puto	ฟิลิปปินส์	ข้าวเจ้า	<i>Leu. mesenteroids</i> , <i>S. faecalis</i>
Soda cracker	ยุโรป อเมริกา	แป้งสาลี	<i>L. plantarum</i>
Sourdough	ยุโรป อเมริกา	ข้าวไรน์	<i>L. plantarum</i> , <i>L. fermentum</i> <i>L. brevis</i> , <i>L. rButivorans</i> ,
Sourdough	ฝรั่งเศส	ข้าวสาลี	<i>L. plantarum</i> , <i>L. sanrancisco</i>
Takju	เกาหลี	ข้าวเจ้า ข้าวสาลี	Lactic acid bacteria
Uji	เคนยา	ข้าวโพด หรือข้าวฟ่าง	<i>L. plantarum</i> , <i>L. buchneri</i> , <i>L. fermentum</i> , <i>L. cellobiosus</i>

ที่มา: รวบรวมจาก Wood (1985); Steinkraus (1996); Lee (1997)

3.3 การศึกษาการใช้เชื้อแบคทีเรียบริสุทธิ์ในประเทศไทย

นาถสุตา (2522) ได้ศึกษาการเติมเชื้อ *Pediococcus cerevisiae* ในการหมักปลาเจ้าพบว่า จะช่วยลดระยะเวลาในการหมักลงจากการหมักโดยธรรมชาติ 10 วันเหลือ 5 วัน นภา (2535) ได้ศึกษาการผลิตแบคทีเรียกรดแลคติกในรูปเชื้อผงเพื่อใช้เสริมอาหารสุกร พบว่าสามารถใช้เสริมอาหารสุกรแทนสารปฏิชีวนะได้ดี โดยเชื้อผงนี้จะมีอายุการเก็บ 3 เดือน อรุณ (2530) ได้คัดเลือกแบคทีเรียซึ่งสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อซัลโมเนลลา และการผลิตกรดไขมันเพื่อใช้ในการหมักเห็ด พบว่า วิธีการที่เหมาะสมในการผลิตกรดไขมันคือต้องเพิ่มปริมาณเซลล์ในอาหารปริมาณที่ต้องการก่อนแล้วนำไปปั่นแยกเซลล์ หลังจากนั้นจึงนำเซลล์ที่ได้ไปลดความชื้นลงให้เหลือ ร้อยละ 19 โดยการผสมกับแป้งข้าวเจ้าหั่วกลิ้งที่มีอายุการเก็บนาน 8 สัปดาห์ในตู้เย็น อติสร (2533) ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพและกรรมวิธีการหมักเห็ดโดยเติมกรดไขมัน *Lactobacillus spp.* และ *Pediococcus spp.* พบว่าผู้บริโภคมองรับเห็ดที่หมักโดยใช้เชื้อผสมมากที่สุด เนื่องจากมีรสเปรี้ยวและ เนื้อสัมผัสดีกว่าเห็ดที่หมักโดยธรรมชาติ น้อมจิตต์ (2542) ได้คัดเลือกแบคทีเรียกรดแลคติกจากน้ำนมดิบเพื่อใช้เป็นกรดไขมันโยเกิร์ต พบว่า เมื่อใช้เชื้อบริสุทธิ์ที่ผ่านการคัดเลือกจากน้ำนมดิบมาเป็นกรดไขมันในการหมักโยเกิร์ต คุณภาพของโยเกิร์ตที่ได้ไม่แตกต่างจากโยเกิร์ตที่หมักจากกรดไขมันทางการค้า ปิ่นมณี (2546) ได้ศึกษาการแยกเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกจากตัวอย่างเห็ดของประเทศไทยเพื่อใช้เป็นกรดไขมัน พบว่า ในการผลิตกรดไขมันจะใช้เชื้อสองสกุลที่ผ่านการคัดเลือกเป็นกรดไขมันผสมคือ *Lactobacillus* และ *Pediococcus* และเห็ดที่ผลิตโดยใช้กรดไขมันจะมีคะแนนการยอมรับสูงกว่าตัวอย่างเห็ดที่ผลิตตามกระบวนการผลิตแบบเดิม

4. เทคนิคทางสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

เทคนิคทางสถิติที่ใช้ในงานวิจัยลักษณะทางเคมี กายภาพ ประสาทสัมผัส ของจุลินทรีย์ แป้งหมัก และขนมจีน ได้แก่ เทคนิคการจัดจำแนกกลุ่มข้อมูล (Cluster analysis) การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principle Component Analysis; PCA)

4.1 เทคนิคการจัดจำแนกกลุ่มข้อมูล (Cluster analysis) เทคนิคนี้เป็นเทคนิคการจัดจำแนกหรือแบ่งตัวแปรออกเป็นกลุ่มย่อยๆตั้งแต่ 2 กลุ่มขึ้นไปตัวแปรที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันจะมีลักษณะที่คล้ายกัน ส่วนตัวแปรที่อยู่ต่างกลุ่มกันจะมีลักษณะที่แตกต่างกัน ดังนั้นการพิจารณาเลือกลักษณะ

หรือตัวแปรที่จะนำมาใช้ในการแบ่งกลุ่มตัวแปรจึงมีความสำคัญ นอกจากตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งจะต้องอยู่ในกลุ่มหนึ่งเพียงกลุ่มเดียว สำหรับการจำแนกกลุ่มตัวแปรจะแบ่งกลุ่มโดยให้ตัวแปรอยู่ในกลุ่มเดียวกันมีความสัมพันธ์กันมากกว่าตัวแปรที่อยู่ต่างกลุ่มกัน ตัวแปรที่อยู่ต่างกลุ่มกันมีความสัมพันธ์กันน้อย หรือไม่มีความสัมพันธ์กันเลย เทคนิคการจัดจำแนกกลุ่มข้อมูล (Cluster analysis) แบ่งออกเป็น 2 เทคนิคย่อยคือ

4.1.1 Hierarchical Cluster Analysis เป็นเทคนิคที่นิยมใช้กันมากในการแบ่งกลุ่มหรือแบ่งกลุ่มตัวแปร จะใช้ในกรณีที่จำนวนตัวแปรต้องไม่มากนัก (< 200) ไม่จำเป็นต้องทราบจำนวนกลุ่มมาก่อน และไม่จำเป็นต้องทราบว่าตัวแปรใดอยู่กลุ่มใดก่อน การตัดสินใจหาจำนวนกลุ่มที่เหมาะสม ผู้วิเคราะห์จะต้องพิจารณาความเหมาะสมเอง โดยอาจใช้ระยะห่าง หรือความคล้าย โดยใช้เดนโดแกรม (dendrogram) โดยกำหนดตัวเลขระยะห่าง หรือความคล้ายเป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจ

4.1.2 K-Means Clustering เป็นเทคนิคการจำแนกตัวแปรออกเป็นกลุ่มย่อยๆ จะใช้เมื่อมีจำนวนตัวแปรมากโดยจะต้อง > 200 โดยจะต้องกำหนดกลุ่มที่ต้องการที่แน่นอนไว้ล่วงหน้า เทคนิคนี้จะมีการทำงานหลายรอบ โดยในแต่ละรอบจะมีการรวมตัวแปรให้ไปอยู่ในกลุ่มใดกลุ่มหนึ่ง โดยเลือกกลุ่มที่ตัวแปรนั้นมีระยะห่างจากค่ากลางของกลุ่มน้อยที่สุด แล้วคำนวณค่ากลางของกลุ่มใหม่ จะทำเช่นนี้จนกระทั่งค่ากลางของกลุ่มไม่มีการเปลี่ยนแปลง หรือครบจำนวนรอบที่กำหนดไว้ (กัลยา, 2544)

มีงานวิจัยที่ด้านจุลินทรีย์หลายเรื่องที่น่าเอาเทคนิคการจัดจำแนกกลุ่มข้อมูล (Cluster analysis) Kun-Lin *et al.*, (2006) ศึกษาลำดับนิวคลีโอไทด์ (nucleotide) ของแบคทีเรียแล้วใช้เทคนิคการจัดจำแนกกลุ่มข้อมูล (Cluster analysis) ในการจัดจำแนกแบคทีเรียตามลักษณะลำดับนิวคลีโอไทด์ และใช้ข้อมูลที่ได้จากกาวิเคราะห์เป็นต้นแบบในจัดจำแนกแบคทีเรีย Loebis (1981) ศึกษาคุณสมบัติทางชีวเคมี และทางคลินิกแล้วใช้เทคนิคการจัดจำแนกกลุ่มข้อมูล (Cluster analysis) ในการจัดจำแนกแบคทีเรียตามคุณสมบัติทางคลินิก จากผลการทดลองพบว่าเดนโดแกรม(dendrogram) ที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มสอดคล้องกับการจัดจำแนกแบคทีเรียตามวิธี API

4.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principle Component Analysis; PCA) เป็นวิธีการทางสถิติที่สกัดหรือเอาโครงสร้างหรือสิ่งที่เหมือนกันออกจากเมตริกซ์ของความแปรปรวนและ

ความแปรปรวนร่วม (variance-covariance matrix) หรือเมตริกซ์ของความสัมพันธ์ (correlation matrix) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะแสดงผลของความสัมพันธ์ของข้อมูล PCA สร้างความสัมพันธ์เชิงเส้นของข้อมูลเดิมโดยอธิบายความแปรปรวนได้สูงสุดและให้มีการสูญเสียข้อมูลน้อยที่สุด การแสดงข้อมูลแสดงได้ทั้งในรูปของตารางความสัมพันธ์ของตัวแปรใหม่ (component) ที่สร้างขึ้นมากับตัวแปรเดิม หรือแสดงในรูปของแผนภาพ (อนุวัตร, 2549) การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักเป็นเทคนิคที่ใช้ในการจัดตัวแปรที่มีจำนวนมากๆ มาไว้เป็นกลุ่มของตัวแปรองค์ประกอบหลัก (Principle Component; PC) ที่ลดจำนวนตัวแปรให้น้อยลง ซึ่งพิจารณารายละเอียดทั้งหมดจากแต่ละตัวแปร เทคนิคนี้ไม่จำเป็นต้องทราบจำนวนกลุ่มย่อยมาก่อนว่าควรแบ่งเป็นกี่กลุ่ม และไม่ต้องทราบว่าตัวอย่างใดอยู่กลุ่มไหนมาก่อน โดยจะรวมตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันไว้ในกลุ่มเดียวกันหรือ PC เดียวกัน ซึ่งจะเป็น Linear Combination ของตัวแปรเดิม ตัวแปรที่อยู่ใน PC เดียวกันจะมีค่าสหสัมพันธ์กันมาก ความสัมพันธ์อาจจะเป็นในเชิงบวกหรือเชิงลบก็ได้ และแต่ละ PC จะไม่มีความสัมพันธ์กัน จึงเป็นการแก้ปัญหาตัวแปรที่มีความแปรปรวนร่วม Multicollinearity ทำให้สามารถนำไปวิเคราะห์สถิติต่อไปเช่น การวิเคราะห์ความถดถอย และสหสัมพันธ์ (Regression and Correlation Analysis) การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) การทดสอบสมมติฐาน (t-test, Z-test) การวิเคราะห์จำแนกกลุ่ม (Discrimination Analysis) พร้อมทั้งช่วยให้สามารถอธิบายความหมายของแต่ละองค์ประกอบได้ตามความหมายของตัวแปรต่างๆ ที่อยู่ในแต่ละองค์ประกอบนั้นด้วย (กัลยา, 2548; วิไลศนา, 2546) โดยองค์ประกอบแรกจะประกอบไปด้วยตัวแปรที่สามารถอธิบายความแปรปรวนของตัวแปร (Explained variable) ได้มากที่สุด และมีองค์ประกอบที่สองที่อธิบายความแปรปรวนที่เหลือให้ได้มากที่สุดเช่นเดียวกับองค์ประกอบลำดับต่อมา

5. การสัมภาษณ์เชิงลึก

การสร้างแนวความคิดบางครั้งไม่สามารถเกิดขึ้นได้จากการสนทนากลุ่ม เนื่องจากผู้ตอบสนองอาจไม่สะดวกที่จะแสดงความคิดเห็น จึงจำเป็นต้องใช้การสัมภาษณ์แบบเจาะลึก เพื่อที่จะสามารถกระตุ้นความรู้สึกของผู้ประเมินได้ในการสัมภาษณ์เชิงลึก ผู้ประเมินสามารถใช้เวลาในการคิดหาเหตุผลและตอบคำถามได้นานถึง 45 นาที ต่อคำถาม ซึ่งคำตอบที่ได้จะละเอียดและเฉพาะเจาะจงมากกว่าการสนทนากลุ่มที่ผู้ประเมินมีเวลาในการตอบคำถามเพียง 5-8 นาทีต่อคำถาม

การสัมภาษณ์เชิงลึก มักใช้ในกรณีที่มีขอบเขตของการสร้างแนวความคิดไม่ค่อยชัดเจน นัก หรือผลิตภัณฑ์ที่ต้องการทดสอบมีการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบเพียงเล็กน้อย หรือต้องการตรวจสอบความจำเพาะของผลิตภัณฑ์ที่จะบรรยายได้ วิธีการสัมภาษณ์จะเป็นการสนทนาระหว่างบุคคล 2 คน ซึ่งคือผู้สัมภาษณ์ที่มีความชำนาญ และผู้ถูกสัมภาษณ์ที่ได้รับการคัดเลือกอย่างเจาะจง การสนทนาจะใช้เวลาประมาณ 30-90 นาที ขึ้นอยู่กับหัวข้อการสนทนาซึ่งกำหนดไว้ล่วงหน้า เช่นเดียวกับวิธีการสนทนากลุ่ม

อย่างไรก็ตาม การสัมภาษณ์เชิงลึกมักถูกนำมาใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารค่อนข้างน้อย เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายสูง ใช้เวลานาน การแปลและสรุปค่อนข้างยุ่งยาก วิธีนี้นิยมนำไปใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้เป็นส่วนตัวมากกว่าเนื่องจากสามารถเจาะลึกในรายละเอียดของหัวข้อการสนทนาซึ่งบางหัวข้อไม่อาจพุดคุยได้ในการสนทนาเป็นกลุ่ม (เพ็ญขวัญ, 2550)

6. การทดสอบความชอบ และการยอมรับกับผู้บริโภค

ลักษณะทางประสาทสัมผัสจะเป็นตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อพฤติกรรมการเลือกซื้อของผู้บริโภค (Francis, 1995) ด้วยเหตุนี้จึงจะต้องมีการทดสอบความชอบ/การยอมรับของผู้บริโภค โดยการประเมินความรู้สึกส่วนบุคคลที่มีต่อผลิตภัณฑ์ทางด้านคุณลักษณะต่างๆ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ (Appearance) รสชาติ (Taste) กลิ่น (Smell) การสัมผัส (Touch) และการได้ยิน (Hearing) ในผลิตภัณฑ์ขนมจิ้นกลั่น เป็นลักษณะทางประสาทสัมผัส ที่มีผลต่อการยอมรับ เช่นเดียวกับลักษณะเนื้อสัมผัส ดังนั้นการทดสอบผู้บริโภคจึงเป็นวิธีการที่สำคัญที่นำมาใช้ในกระบวนการพัฒนาผลิตภัณฑ์ ทำให้สามารถตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค ได้ถูกต้อง การทดสอบผู้บริโภคควรต้องทดสอบในสภาพที่ควรจะเป็นปกติ เพื่อเป็นเครื่องชี้วัดความเหมาะสมของผู้บริโภคในตลาดจริง (ไพโรจน์, 3539)

การทดสอบผู้บริโภคนี้สามารถทำได้หลายแบบ โดยจะพิจารณาจากสถานที่ทดสอบ (Test Location) เป็นสิ่งที่สำคัญ สถานที่ทดสอบแต่ละที่จะให้ผลการทดสอบที่แตกต่างกันแม้จะทดสอบตัวอย่างชนิดเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจากปัจจัยหลายประการ ได้แก่ ระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบ วิธีการเตรียมตัวอย่าง และการนำเสนอตัวอย่าง รวมไปถึงความยาว และความซับซ้อนของแบบสอบถาม (เพ็ญขวัญ, 2536) สถานที่ทดสอบสามารถแบ่งได้ดังนี้

6.1 ห้องปฏิบัติการ (Laboratory Test, LT) มีข้อดีคือสามารถควบคุมตัวอย่างในการเตรียม และการนำเสนอได้ดี แต่เป็นการทดสอบที่ไม่เป็นไปตามการบริโภคปกติ จึงอาจทำให้ได้ผลการทดสอบที่มีความเอนเอียง (Bias)

6.2 การทดสอบผู้บริโภคตามแหล่งชุมชน (Central Location Test, CLT) ส่วนมากเป็นสถานที่ที่ผู้ซื้อส่วนมากอยู่ร่วมกันเช่น งานแสดงสินค้า ศูนย์การค้า การประชุมวิชาการในสาขาอาชีพต่างๆ โรงอาหารของโรงเรียน หรือสถานที่ในการทำ CLT ปกติจะเลือกตามผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมาย หรืออาจเชิญให้มาทดสอบ โดยมีโทรศัพท์นัดไว้ล่วงหน้า จำนวนผู้ทดสอบประมาณ 50-300 คน ต่อสถานที่ โดยให้ผู้ทดสอบทดสอบตัวอย่างที่มีรหัส 3 ตัว ซึ่งได้เตรียมไว้ล่วงหน้าแต่อาจได้รับการรบกวนจากสิ่งแวดล้อมมากดังนั้น คำถามในแบบสอบถามควรชัดเจน

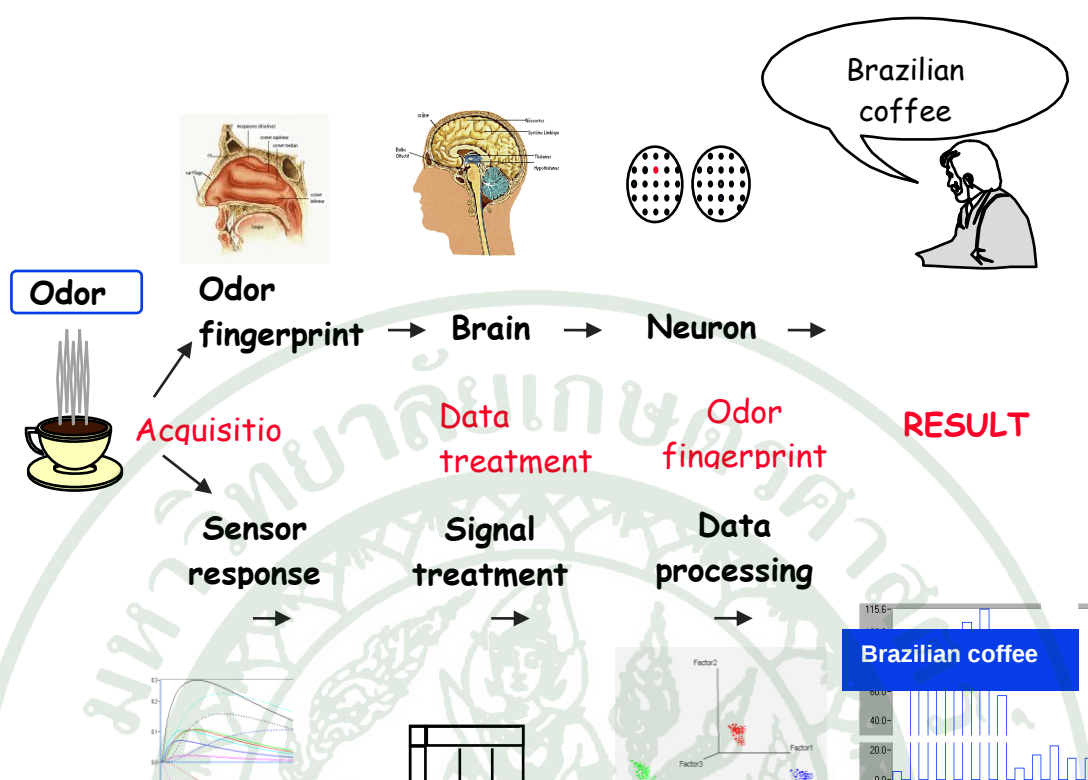
6.3 การทดสอบผลิตภัณฑ์ตามบ้าน (Home Use Test, HUT) วิธีนี้ให้ผู้บริโภคได้ทดสอบตัวอย่างที่บ้าน หรือในลักษณะที่ใช้ หรือบริโภคอยู่เป็นประจำซึ่งทำให้ผู้บริโภคมีโอกาสสัมผัสกับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ระหว่างการใช้จริงๆ แต่ผู้บริโภคมีเวลาการทดสอบที่นานขึ้น และมีข้อเสียคือค่าใช้จ่ายสูง ใช้เวลานาน และทำได้กับผลิตภัณฑ์น้อยชนิด

7. จมูกอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic nose; e-nose)

ธีรเกียรติ์ (2548) ได้กล่าวว่าจมูกอิเล็กทรอนิกส์ เป็นอุปกรณ์ที่เรียกว่าเลียนแบบการทำงานของจมูกมนุษย์จริงๆ ก่อนอื่นต้องมาทำความรู้จักการทำงานของจมูกมนุษย์กันก่อน เมื่อคนเราสูดดมอากาศเข้าไป อากาศก็จะนำพาไอของโมเลกุลซึ่งอาจมีกลิ่นเข้าไปในโพรงจมูกของเรา ซึ่งจะกระแสมแปรปรวน (Turbulence) ในโพรงจมูกจะช่วยทำให้ไอโมเลกุลนั้นเกิดการสัมผัสกับต่อมรับกลิ่นซึ่งอยู่บนเซลล์ประสาทรับกลิ่น โดยปลายข้างหนึ่งของเซลล์นี้จะไปรวมกันที่ต่อมรวมประสาท (Glomeruli) ซึ่งมันจะทำหน้าที่ขยายสัญญาณ (Amplifier) แล้วนำสัญญาณประสาทส่งไปสู่สมองส่วนที่เรียกว่า Olfactory Cortex เซลล์ประสาทรับกลิ่นแต่ละเซลล์นั้นจะมีโมเลกุลรับกลิ่นเพียงชนิดเดียวเท่านั้นจากเป็นพันชนิด เซลล์รับกลิ่นที่มีโมเลกุลรับกลิ่นชนิดเดียวกันจะส่งสัญญาณไปที่ต่อมรวมประสาทแบบเดียวกัน ทำให้สมองแยกแยะได้ว่าสัญญาณที่เข้ามานั้นมาจากเซลล์ที่มีโมเลกุลรับกลิ่นแบบไหน ซึ่งสมองก็ต้องทำการประมวลผลอย่างหนักเหมือนกัน เพราะมีประเภทของโมเลกุลรับกลิ่น (ยีน) เป็นพันชนิด มีเซลล์รับกลิ่นเป็นล้านเซลล์ ที่ส่งสัญญาณมายังต่อมรวมสัญญาณนับหมื่นเส้น กล่าวโดยสรุป ระบบรับรู้กลิ่นของสัตว์เลี้ยงลูกด้วย

นมประกอบด้วย (1) ส่วนรับกลิ่นซึ่งรวมถึงตัวรับกลิ่นและระบบนำกลิ่นเข้ามา (2) ระบบนำสัญญาณประสาทซึ่งรวมถึงระบบส่งและขยายสัญญาณ (3) ระบบประมวลผลซึ่งจะสามารถแยกแยะและจดจำกลิ่นได้

จมูกอิเล็กทรอนิกส์ก็จะมีลักษณะที่เลียนแบบระบบรับรู้กลิ่นในธรรมชาติดังนี้ (1) ส่วนรับกลิ่นประกอบไปด้วยตัวนำกลิ่นเข้ามาซึ่งอาจมีมอเตอร์ดูดอากาศ มีท่อรวบรวมกลิ่น (Concentrator) เพื่อให้กลิ่นมีความเข้มข้นสูงขึ้นและที่สำคัญที่สุดก็คือ เซ็นเซอร์รับกลิ่นจำนวนมาก ตั้งแต่ 4 ตัวไปจนถึงนับพันตัว ซึ่งหากจะเปรียบเทียบกับธรรมชาติก็ถือว่าน้อยมาก เซ็นเซอร์รับกลิ่นของจมูกอิเล็กทรอนิกส์มีหลักการง่ายๆคือเกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติซึ่งอาจเป็น สมบัติทางแสง สมบัติทางไฟฟ้า เมื่อมีโมเลกุลกลิ่นมาเกาะ (2) ส่วนรวบรวมสัญญาณ ซึ่งจะทำให้การแปรสัญญาณจากเซ็นเซอร์ (Transducing) และทำการจัดการสัญญาณ (Signal Conditioning) เช่น ลดสัญญาณรบกวน จากนั้นก็จะแปลงสัญญาณจากอนาล็อกให้เป็นดิจิตอล (A/D Converter) (3) ส่วนประมวลผลซึ่งจะนำสัญญาณที่ได้รับมาทำการเปรียบเทียบเชิงสถิติกับฐานข้อมูลที่มีอยู่เดิม ซึ่งอาจจะใช้วิธีการระบบประสาทเทียม (Artificial Neural Networks) เพื่อทำการแยกแยะกลิ่น ซึ่งสามารถแสดงการเปรียบเทียบระหว่างระบบการรับรู้กลิ่นของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมกับจมูกอิเล็กทรอนิกส์ ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การเปรียบเทียบระหว่างระบบการรับรู้กลิ่นของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมกับจมูกอิเล็กทรอนิกส์

ที่มา: Meszaros and Boilot (2004)

7.1 การประยุกต์ใช้จมูกอิเล็กทรอนิกส์

7.1.1 การตรวจวิเคราะห์คุณภาพ การจำแนกชนิด (เช่น ของแท้/ของปลอม) ของอาหารและเครื่องดื่ม ซึ่งถือเป็นงานประยุกต์ที่ใช้กันมากที่สุดในขณะนี้ โดยมีผลงานตีพิมพ์ในวารสารนานาชาติจำนวนมากที่ระบุการนำจมูกประดิษฐ์ไปใช้ในงานต่อไปนี้: การวัดความสดของปลาและเนื้อ การตรวจสิ่งปนเปื้อนในเนื้อไก่ การวัดความสุกและตรวจคุณภาพของมะเขือเทศแอปเปิล กล้วย สตรอเบอรี่ พืช บลูเบอร์รี่ การตรวจคุณภาพของน้ำมันพืช การตรวจคุณภาพไวน์ การวิเคราะห์รสชาติไวน์ปีต่างๆ การตรวจคุณภาพนม การวิเคราะห์กาแฟ และเครื่องดื่ม

7.1.2 การติดตามควบคุมคุณภาพระบบผลิตอาหาร โดยจมูกอิเล็กทรอนิกส์สามารถนำไปติดตั้งในกระบวนการผลิต เช่น ถังหมัก ถังผสม เป็นต้น ซึ่งจะทำให้สามารถควบคุมคุณภาพแบบออนไลน์ โดยขณะนี้อุตสาหกรรมอาหารในยุโรปเริ่มมีการนำไปใช้แล้ว US Food and Drug Administration(FDA) ใช้ E-nose ในการ บ่งบอกความสดของปลาโดยวัดจากปริมาณของสารเอมีน(amines) ในตัวอย่างปลา นอกจากนั้น E-nose ยังใช้แยกความแตกต่างของคุณภาพของเนยสด(cheese)โดยสามารถบอกระยะเวลาและรสชาติของเนยสดได้ ในอุตสาหกรรมกาแฟหากมีการปนเปื้อนของแมลงหรือราในกาแฟ E-nose สามารถที่จะวัดได้จากกลิ่นที่วัดได้ในขั้นตอนการคั่วและบดเมล็ดกาแฟ และมีการใช้ E-nose กับเครื่องไมโครเวฟโดยหากอาหารที่อุ่นสุกแล้วเครื่องจะหยุดทำงานโดยอัตโนมัติ

7.1.3 การควบคุมคุณภาพน้ำหอม ปัจจุบันเริ่มมีการนำจมูกอิเล็กทรอนิกส์เข้ามาใช้ควบคู่กับนักดมน้ำหอมเพื่อควบคุมสูตรและกระบวนการผลิตน้ำหอมของบริษัทในยุโรปแล้ว

7.1.4 การวินิจฉัยโรค เช่นการใช้จมูกอิเล็กทรอนิกส์วิเคราะห์กลิ่นปัสสาวะของผู้ป่วยโดยตรง หรืออาจใช้ดมกลิ่นลมหายใจ นอกจากนั้นยังสามารถทำเป็นเครื่องช่วยเฝ้าระวังเชื้อโรคในฟาร์มปศุสัตว์ขนาดใหญ่

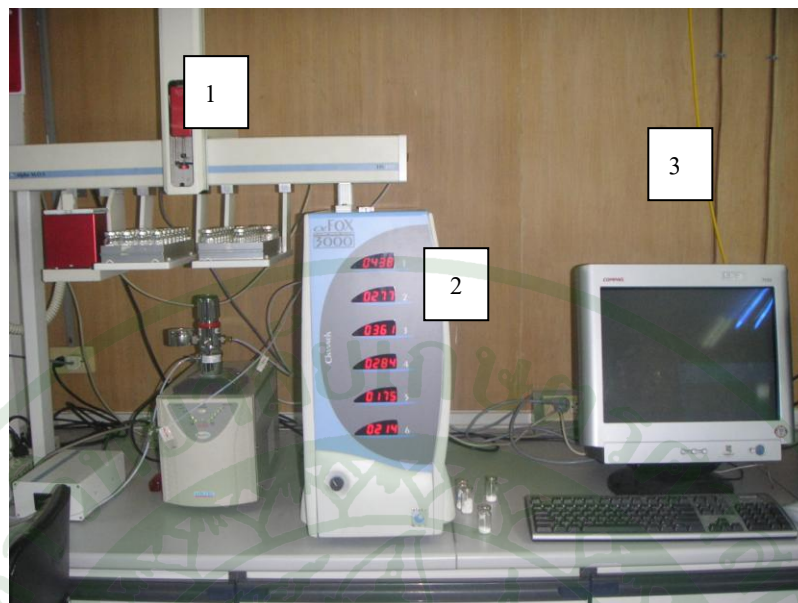
7.1.5 การตรวจสอบสิ่งแวดล้อม โดยการติดตั้งจมูกอิเล็กทรอนิกส์เป็นเครื่องช่วยในอาคารเพื่อตรวจวัดคุณภาพอากาศ การติดตั้งใกล้แหล่งขยะและฟาร์มปศุสัตว์เพื่อควบคุมกลิ่นหรือใช้เป็นเครื่องช่วยเซ็นเซอร์ตรวจวัดคุณภาพแหล่งน้ำ

ในปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้จมูกอิเล็กทรอนิกส์ในงานด้านจุลินทรีย์ โดยส่วนใหญ่มีวัตถุประสงค์เพื่อการควบคุมคุณภาพระหว่างกระบวนการหมัก หรือศึกษากลิ่นผิดปกติที่เกิดจากการผลิตของจุลินทรีย์ที่เป็นโทษ เช่น Gutierrez-Mendez *et al.*, (2008) ใช้จมูกอิเล็กทรอนิกส์ในการวัดค่ากลิ่นที่เกิดจากการหมักโดยเชื้อ *Lactococcus lactis* ที่แยกได้จากแหล่งต่างกันเทียบกับกลิ่นเชื้อทางการค้าพบว่า กลิ่นเชื้อทางการค้าสามารถหมักน้ำตาลแลคโตส (lactose) ได้เร็วกว่าสายพันธุ์ที่แยกได้จากโยเกิร์ต และชีส และพบว่าสามารถจำแนกเชื้อที่แยกได้จากแหล่งต่างๆออกเป็น 4 กลุ่มตามความแตกต่างของเค้าโครงกลิ่น (aroma profiles) หลังจากนั้นจึงนำเค้าโครงกลิ่น (aroma profiles) ที่ได้มาใช้ประโยชน์ในการคัดเลือกเชื้อเพื่อใช้เป็นกลิ่นผสมที่จะให้กลิ่นที่เหมาะสมสำหรับการผลิตนมหมัก Benedetti *et al.*, (2005) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นใน

ระหว่างการเก็บรักษาของชีสที่หมักโดยใช้ *Streptococcus thermophilus* โดยใช้จมูกอิเล็กทรอนิกส์และนำผลที่ได้มาวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principle Component Analysis; PCA) และนำผลการวิเคราะห์ที่ได้ไปใช้ในการทำนายอายุการเก็บรักษาของชีสที่ผลิตได้

ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของกลิ่นในระหว่างการหมัก และการศึกษาประสิทธิภาพในการหมักของหัวเชื้อที่มีอายุต่างกันด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ของ Alpha MOS รุ่น Sensor Array System 3000 (ภาพที่ 5) ซึ่งเครื่องดังกล่าวจะอาศัยการเปลี่ยนแปลงความต้านทานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละเซนเซอร์ (sensor) เพื่อเก็บข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของสารระเหยที่ได้จากช่วงระยะเวลาในการหมักแปรรูปต่างกัน โดยเซนเซอร์ (sensor) แต่ละชนิดมีความไวต่อสารต่างๆ ดังนี้

- LY2/LG	มีความสัมพันธ์ต่อสัญญาณตอบสนองของสาร Nitrogendioxide และ Ozone
- LY2/G	มีความสัมพันธ์ต่อสัญญาณตอบสนองของสาร Ethanol
- LY2/AA	มีความสัมพันธ์ต่อสัญญาณตอบสนองของสาร Acetone
- LY2/Gh	มีความสัมพันธ์ต่อสัญญาณตอบสนองของสาร Ethanol
- LY2/gCTi	มีความสัมพันธ์ต่อสัญญาณตอบสนองของสาร Hydrogen Sulphide
- LY2/gCT	มีความสัมพันธ์ต่อสัญญาณตอบสนองของสาร Ethanol
- T30/1	มีความสัมพันธ์ต่อสัญญาณตอบสนองของสาร Cabon monoxide
- P10/1	มีความสัมพันธ์ต่อสัญญาณตอบสนองของสาร Ammonia
- P10/2	มีความสัมพันธ์ต่อสัญญาณตอบสนองของสาร Ammonia
- P40/1	มีความสัมพันธ์ต่อสัญญาณตอบสนองของสาร Hydrogen Sulphide
- T70/2	มีความสัมพันธ์ต่อสัญญาณตอบสนองของสาร Cabon monoxide
- PA/2	มีความสัมพันธ์ต่อสัญญาณตอบสนองของสาร Hydrogen Sulphide



ภาพที่ 5 เครื่องจุ่มกือเล็กทรอนิกส์ (Alpha MOS รุ่น Sensor Array System 3000)

หมายเหตุ ส่วนที่ 1 คือ เซนเซอร์ (MOS, QCM or CP) ทำหน้าที่ในการรับกลิ่น

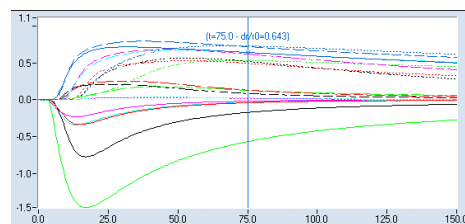
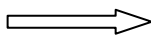
ส่วนที่ 2 คือ แขนกลอัตโนมัติ (A headspace auto-sampler) ทำหน้าที่เป็นตัวนำกลิ่น

ส่วนที่ 3 คือ ส่วนประมวลผลซึ่งจะนำสัญญาณที่ได้รับมาทำการเปรียบเทียบเชิงสถิติ
กับฐานข้อมูลที่มีอยู่เดิม

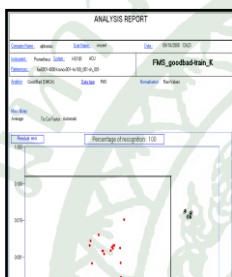
หลักการทำงานของเครื่องคล้ายกับการทำงานของ E – NOSE โดยทั่วไปโดยเริ่มจาก การนำตัวอย่างใส่ลงใน vial หรือขวดแก้วขนาดเล็กแล้วทำการปั๊มตัวอย่างให้สารระเหยหรือกลิ่นที่มีในตัวอย่างระเหยออกมาอยู่ในสถานะแก๊ส หลังจากนั้นจึงทำการดูดเอาสารระเหยที่ได้นี้เข้าสู่ส่วนที่เรียกว่า sensor array system หลังจากนั้น sensor แต่ละตัวจะทำการวัดค่าของกลิ่นที่ได้จากตัวอย่างโดยทำการวัดในรูปของความต้านทานไฟฟ้า (Raw Signal) หลังจากนั้นข้อมูลที่ได้จะผ่านการแปรเป็นข้อมูลแล้วจึงผ่านจะการประมวลผลด้วยโปรแกรมทางสถิติต่างๆ แล้วจึงได้เป็นค่าต่างๆที่ต้องการทำการทดสอบ ดังแสดงในภาพที่ 6



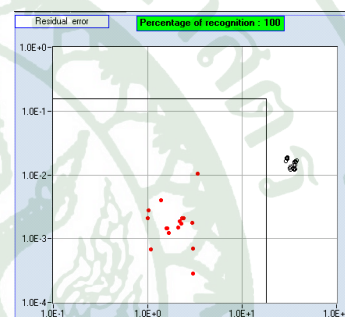
Sampler for volatil analysis



Fingerprint measurement



Printing the report



Multivariate analysis

ภาพที่ 6 แสดงขั้นตอนการทำงานของเครื่องจุลอิเล็กทรอนิกส์ (Alpha MOS รุ่น Sensor Array System 3000)

ที่มา: Meszaros and Boilot (2004)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัตถุดิบ

ข้าวหักพันธุ์ชัญนาท 1 จากโรงงานผลิตขนมจีนรัตนพร นิคมอุตสาหกรรมขนมจีน
ฉะเชิงเทรา

2. สารเคมี

- 2.1 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Merck, ประเทศเยอรมัน)
- 2.2 น้ำตาลแลคโตส (lactose) (Fluka, ญี่ปุ่น)
- 2.3 น้ำตาลราฟิโนส (raffinose) (Fluka, ญี่ปุ่น)
- 2.4 น้ำตาลซอร์บิทอล (sorbitol) (Fluka, ญี่ปุ่น)
- 2.5 น้ำตาลแมนนิทอล (manitol) (Fluka, ญี่ปุ่น)
- 2.6 น้ำตาลเมล (meleitose) (Fluka, ญี่ปุ่น)
- 2.7 bromcresol purple (MeBck, ประเทศเยอรมัน)
- 2.8 เปปโตน (Merck, ประเทศเยอรมัน)
- 2.9 แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) (Merck, ประเทศเยอรมัน)
- 2.10 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) (Merck, ประเทศเยอรมัน)

3. อาหารเลี้ยงเชื้อ

- 3.1 MRS (Merk, ประเทศเยอรมัน)

4. อุปกรณ์ในการผลิตขนมจีน

- 4.1 เครื่องโม่หินไฟฟ้า
- 4.2 เครื่องบด Hammer mill รุ่น AP-S บริษัท Hosckawa Micron Corp. ประเทศญี่ปุ่น
- 4.3 เครื่องนวดไฟฟ้า Kitchen Aid รุ่น K5SS
- 4.4 หัวโรยเส้นขนมจีน
- 4.5 เครื่องทำแห้งแบบแช่แข็ง (Heto รุ่น LyoLab 3000, ประเทศ)

5. อุปกรณ์วิเคราะห์คุณภาพ

5.1 อุปกรณ์วิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ

- เครื่องชั่งวิเคราะห์อย่างละเอียด (Model AC211 SO Sartorius, ประเทศเยอรมัน)
- เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (Model 210A Orion, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- เครื่องวัดสี (Minolta Spectrophotometer CM – 3500D, ประเทศญี่ปุ่น)
- เครื่อง Differential Scanning Calorimeter (Mettler Toledo STABe System

DSC823° Module

- เครื่องวัดค่าเนื้อสัมผัสโดยเครื่อง Texture analyzer (รุ่น TA500, Lloyd)
- กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกราดลำแสง (Scanning Electron Microscope,

JEOL รุ่น JSM 5600, ประเทศอังกฤษ)

- เครื่องวัดความหนืด Rapid Visco Analyzer (RVA 4D, Newport Scientific, Australia)

- เครื่องจุ่มก๊อส์อิเล็กตรอนิกส์ (Alpha MOS รุ่น Sensor Array System 3000)
- เครื่องแก้วชนิดต่างๆที่จำเป็นในการวิเคราะห์
- ชุดวิเคราะห์กำลังการพองตัวและร้อยละการละลายของแป้ง
- อ่างนำไฟฟ้าแบบควบคุมอุณหภูมิได้
- ตู้อบไฟฟ้าแบบควบคุมอุณหภูมิได้

5.2 อุปกรณ์วิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมี

- ชุดวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลส
- ชุดวิเคราะห์ปริมาณกรดโดยการไทเทรต
- ชุดวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

5.3 อุปกรณ์วิเคราะห์คุณภาพทางด้านจุลินทรีย์

- ตู้ถ่ายเชื้อ
- ตู้บ่มเชื้อควบคุมอุณหภูมิได้
- วอร์เท็กซ์เชอร์
- Hot Plate
- หม้อนึ่งความดัน
- เครื่องวัดความปั่นกรด-ด่าง
- กล้องจุลทรรศน์ Olympus กำลังขยาย 100x

วิธีการ

1. การแยกและการจำแนกเชื้อแบคทีเรียกรดแลกติก

1.1 การคัดแยกเชื้อแบคทีเรียกรดแลกติก

1.1.1 การเก็บตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างข้าวหมกก่อนการโม้, แป้งหมักในชั้นการนึ่งน้ำแป้ง และแป้งหมักที่ผ่านการทับน้ำแล้วจากโรงงานขนมจีนในจังหวัดปทุมธานี และจังหวัดฉะเชิงเทรา รวม 2 โรงงาน โดยในแต่ละโรงงานเก็บตัวอย่างทั้งหมด 3 ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ ตัวอย่างละ 500 กรัมในขวดฝาปิดสนิทที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว บรรจุลงในถังน้ำแข็ง และเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 4 °C ระหว่างรอการวิเคราะห์ไม่เกิน 6 ชั่วโมง

1.1.2 การคัดแยกเชื้อแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลกติก

ชั่งตัวอย่าง จากข้อ 1.1.1 ใส่ถุงผสมตัวอย่าง (stomacher bag) จำนวน 10 กรัม เติมน้ำตาลละลายเปปโตนความเข้มข้นร้อยละ 0.1 จำนวน 90 มิลลิลิตร ผสมสารละลายเปปโตนกับตัวอย่างโดยใช้ stomacher ความเร็วระดับกลาง เป็นเวลา 1 นาที จะได้ตัวอย่างที่มีความเจือจาง 10 เท่า ทำการเจือจางตัวอย่างในสารละลาย เปปโตน จนได้จำนวนโคโลนีต่อเพลต อยู่ระหว่าง 25-250 โคโลนี ใช้ปิเปตที่ปลอดเชื้อดูดสารละลายตัวอย่างที่เตรียมได้จำนวน 1.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในจานเลี้ยงเชื้อที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว โดยใช้ความเข้มข้นละ 3 ซ้ำ จากนั้นเททับด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อแข็งสูตร MRS ที่เติม bromocresol purple ร้อยละ 0.004 ที่ผ่านการหลอมไว้ที่อุณหภูมิ 50 - 55 องศาเซลเซียส ประมาณ 15 มิลลิลิตร เขย่าจนอาหารเลี้ยงเชื้อเบาๆ เพื่อให้อาหารเลี้ยงเชื้อและสารละลายตัวอย่างผสมกันอย่างทั่วถึง ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจนอาหารแข็งตัว นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นับจำนวนโคโลนีที่เกิดจากการเปลี่ยนสีม่วง (bromocresol purple) เป็นสีเหลือง (ดัดแปลงจาก Casla *et. al*, 1996) หลังจากนั้นจำนวนแบคทีเรียกรดแลกติกในจานอาหารเลี้ยงเชื้อแล้ว เลือกลูกเชื้อที่แยกเป็นโคโลนีเดี่ยวมาเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง MRS บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (ทำประมาณ โคโลนีละ 2 ครั้ง) จากนั้นใช้เข็มเย็บเชื้อเย็บโคโลนีที่อยู่เดี่ยวๆ มาแทง (stab) ลงในหลอดทดลอง

อาหารเลี้ยงเชื้อแข็งเยือก MRS ที่มีแคลเซียมคาร์บอเนต(CaCO_3) ความเข้มข้นร้อยละ 1 ผสมอยู่ นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เก็บแช่ตู้เย็นและทำการถ่ายเชื้อลงสู่อาหารใหม่ทุกๆ 1 เดือน

1.2 การจำแนกแบคทีเรียกรดแลกติก

นำเชื้อบริสุทธิ์ที่แยกได้จากข้อ 1.1.2 มาเลี้ยงในอาหารแข็ง MRS บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการตรวจสอบการสร้างเอนไซม์คาตาเลส, คุณสมบัติทางสัณฐานวิทยา และการผลิตแก๊สของเชื้อแบคทีเรียกรดแลกติก โดยคัดเลือกเฉพาะแบคทีเรียที่ไม่สร้างเอนไซม์อะตาเลส, แกรมบวก, มีรูปร่างแบบแท่ง (rod) และไม่สร้างแก๊ส ซึ่งมีวิธีการดังต่อไปนี้

1.2.1 การทดสอบคาตาเลส (catalase)

ใช้ห้วงเชื้อแต่ละโคโลนีบริสุทธิ์ที่เตรียมไว้มาหยดบนแผ่นสไลด์ หยดสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ความเข้มข้นร้อยละ 3 ประมาณ 1-2 หยด ถ้ามีฟองอากาศเกิดขึ้นแสดงว่าการทดสอบแบคทีเรียกรดแลกติกชนิดนั้นให้ผลเป็นบวก หรือสร้างคาตาเลส ถ้าไม่มีฟองอากาศเกิดขึ้นแสดงว่าให้ผลเป็นลบ หรือไม่สร้างคาตาเลส (Harigon and Mc Cane, 1976) คัดเลือกเฉพาะแบคทีเรียที่ไม่สร้างคาตาเลสไปทดสอบในขั้นตอนต่อไป

1.2.2 การตรวจสอบทางสัณฐานวิทยา

เชื้อเชื้อบริสุทธิ์ลงบนแผ่นสไลด์ที่แห้งและสะอาด ซึ่งมีหยดน้ำกลั่น 1 หยด สเมียร์เชื้อให้เป็นวง ปล่อยให้รอยสเมียร์แห้ง และตรึงเซลล์โดยนำแผ่นสไลด์ผ่านเปลวไฟจนแห้ง นำมาข้อมด้วยสารละลายคริสตัลไวโอเลตเป็นเวลา 1 นาที เทสารละลายส่วนเกินทิ้ง พร้อมทั้งหยดสารละลายไอโอดีนให้ท่วมทิ้งไว้เป็นเวลา 1 นาที เทสารละลายไอโอดีนทิ้ง ล้างรอยสเมียร์เพื่อกำจัดคริสตัลไวโอเลตส่วนเกินด้วยแอลกอฮอล์เข้มข้นร้อยละ 95 จากนั้นล้างแผ่นสไลด์ด้วยน้ำกลั่น หยดสารละลาย safranin O ทิ้งไว้เป็นเวลา 1 นาที ล้างสารละลายส่วนเกินด้วยน้ำกลั่น ปล่อยให้แผ่นสไลด์แห้ง นำไปศึกษารูปร่าง และ การจัดเรียงตัวของเซลล์ และลักษณะการติดสีด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Garbutt, 1997)

1.2.3 การทดสอบวิธีการในการสร้างแก๊ส

เจียเชื้อที่เจริญในอาหารแข็ง MRS เป็นเวลา 24 ชั่วโมง มาเลี้ยงในหลอดทดลองที่มีอาหารเหลว MRS และหลอดดักก๊าซจำนวน 1 หลบ จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สังเกตดูการเจริญของเชื้อในหลอดทดลอง ถ้ามีฟองอากาศเกิดขึ้นในหลอดดักก๊าซแสดงว่ามีการสร้างกรดเป็นแบบเฮเทอโรเฟอร์เมนเททิฟ (heterofermentative) ถ้าไม่มีฟองอากาศเกิดขึ้นในหลอดดักก๊าซแสดงว่ามีการสร้างกรดเป็นแบบโฮโมเฟอร์เมนเททิฟ (homofermentative) บันทิกผล (Harigon and Mc Cane, 1976) ทำการคัดเลือกเฉพาะเชื้อแบคทีเรียกรดแลกติกที่มีวิธีการในการสร้างกรดแบบโฮโมเฟอร์เมนเททิฟ (homofermentative)

2. การศึกษาคุณสมบัติของเชื้อแบคทีเรียกรดแลกติกในกลุ่มที่มีรูปร่างแท่งและไม่สร้างแก๊ส

นำเชื้อบริสุทธิ์ที่เตรียมได้จากข้อ 1.2 มาเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง MRS บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการตรวจสอบดังนี้

2.1 การทดสอบความสามารถในการผลิตกรดแลกติก

เจียเชื้อที่ผ่านการเตรียมมาจำนวน 1 หลบ (loop) มาเลี้ยงในอาหารเหลว MRS จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นำไปเหวี่ยงแยกเซลล์ที่ความเร็วรอบ 8000 rpm นาน 15 นาที แล้วจึงนำอาหารเหลว MRS ที่ปั่นแยกเซลล์แล้วไปหาปริมาณกรดแลกติกโดยวิธีไทเทรต (AOAC, 2000)

2.2 การทดสอบความสามารถในการย่อยแป้ง

เจียเชื้อที่ผ่านการเตรียมจำนวน 1 หลบ (loop) มา streak บนอาหาร starch agar จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 – 5 วัน แล้วใช้สารละลายไอโอดีนราดลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ ตรวจวัดบริเวณสีที่เกิดขึ้นรอบๆ โคลโลนี (Wistreich and Lechtman, 1980)

ทำการจัดกลุ่มเชื้อแบคทีเรีย ตามความสามารถในการผลิตกรดแลคติกและการย่อยแป้งโดยวิธี cluster analysis แบบ k – Means Clusters (KMO) โดยกำหนดจำนวนกลุ่มเป็น 3 กลุ่ม โดยมีเป้าหมายในกลุ่มเดียวกันมีความคล้ายกันในปัจจุบันหรือตัวแปร 2 ตัวคือ ความสามารถในการผลิตกรดแลคติกและการย่อยแป้ง และคัดเลือกเฉพาะแบคทีเรียกลุ่มที่มีการสร้างกรดแลคติกและย่อยแป้งได้สูงที่สุดเพื่อนำไปใช้ในการศึกษาขั้นต่อไป

2.3 การตรวจสอบสายพันธุ์แบคทีเรียกรดแลคติก

นำแบคทีเรียกรดแลคติกที่อยู่ในกลุ่มที่สามารถผลิตกรดแลคติกและย่อยแป้งได้สูงจากการจัดกลุ่มด้วยวิธี Cluster analysis มาตรวจสอบสายพันธุ์อีกครั้งด้วยวิธีการทดสอบคุณสมบัติทางชีวเคมี และอ่านผลทดสอบที่ 24 และ 48 ชั่วโมง ตามวิธีของ API 50 CHL (ภาคผนวก ก) โดยอาศัยความแตกต่างในการใช้น้ำตาลเทียบกับรูปแบบการใช้น้ำตาลมาตรฐานเพื่อยืนยันถึงสายพันธุ์ของแบคทีเรียกรดแลคติก

3. การคัดเลือกเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกที่เหมาะสมในการนำมาผลิตเป็นก๊อแล้เชื้อ

การคัดเลือกเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกที่เหมาะสมในการนำมาผลิตเป็นก๊อแล้เชื้อโดยการศึกษาระยะเวลาในการหมักและคุณภาพของเส้นขนมจีนโดยใช้เชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกที่อยู่ในกลุ่มที่สามารถผลิตกรดแลคติกและย่อยแป้งได้สูง และผ่านการตรวจสอบสายพันธุ์แล้วจากข้อ 2.3 มีขั้นตอนดังนี้

3.1 การเตรียมก๊อแล้เชื้อ

นำเชื้อบริสุทธิ์ที่ผ่านการคัดเลือกรวมกลุ่มที่มีการสร้างกรดแลคติกและย่อยแป้งได้สูงที่สุด และผ่านการตรวจสอบสายพันธุ์แล้วมาเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อแข็งเอียง MRS และนำไปบ่มที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นถ่ายเชื้อลงในอาหารเหลวสูตร MRS และนำไปบ่มที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการเก็บเซลล์โดยถ่ายอาหารเหลวลงในหลอด centrifuge นำไปเหวี่ยงแยกที่ความเร็วรอบ 8000 rpm นาน 15 นาที จากนั้นล้างตะกอนเซลล์ด้วยน้ำกลั่นที่ฆ่าเชื้อแล้ว จำนวน 2 ครั้ง ชั่งตะกอนเซลล์ที่เตรียมได้ 1 กรัม ลงในสารละลาย

บัพเฟอร์ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วอย่างละ 100 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน กล้าเชื้อที่ได้จะมีจำนวนเซลล์เท่ากับ 10^{10} cfu/มิลลิลิตร นำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4°C ตลอดเวลาที่ทำการศึกษาทดลอง

3.2 การผลิตขนมจีนแป้งหมักโดยใช้เชื้อบริสุทธิ์

นำกล้าเชื้อจากข้อ 3.1 มาการศึกษาระยะเวลาในการหมักที่เชื้อบริสุทธิ์แต่ละตัวสามารถผลิตกรดแลกติกในระหว่างการหมักแป้งข้าวเจ้าได้ปริมาณ ร้อยละ 0.95 – 1.00 และหลังจากนั้นจึงนำแป้งข้าวที่ได้มาผลิตขนมจีนและศึกษาคุณภาพของเส้นขนมจีน ดังรายละเอียดตามภาพที่ 7

นำแป้งหมักที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณกรดแลกติก และค่าความเป็นกรด-ด่าง เพื่อหาระยะเวลาในการหมักดังข้อ 3.3 และนำขนมจีนที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพทางเนื้อสัมผัสดังข้อ 3.4

3.3 ศึกษาระยะเวลาในการหมัก โดยทำการสุ่มตัวอย่างแป้งหมัก 100 กรัมทุกๆ 4 ชม. เพื่อวิเคราะห์ปริมาณค่าความเป็นกรด-ด่าง (A.O.A.C., 2000) และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้เป็นร้อยละ (% Titratable acidity) คิดในรูปของกรดแลกติกจนกระทั่งแป้งหมักมีปริมาณกรดแลกติกเท่ากับปริมาณกรดแลกติกในแป้งท้าน้ำที่หมักโดยวิธีธรรมชาติ (ร้อยละ 0.95 – 1.00) จึงหยุดการหมัก แล้วบันทึกจำนวนชั่วโมงสูงสุดที่เชื้อบริสุทธิ์ผลิตกรดแลกติกจนได้ปริมาณร้อยละ 0.95 – 1.00

3.4 ศึกษาคุณภาพทางเนื้อสัมผัส โดยนำขนมจีนที่ได้จากการผลิต มาวิเคราะห์แรงดึง (tensile test) โดยนำเส้นขนมจีนมาพันกับแกนวัดแรงดึง โดยใช้เครื่องวัดค่าเนื้อสัมผัส Lloyd TA50 โดยใช้หัวดึงยึดตัวอย่างในแนวดิ่งโดยระยะห่างระหว่างแกนบนและแกนล่างเท่ากับ 5 เซนติเมตร ยึดให้ปลายด้านล่างอยู่กับที่โดยจะเคลื่อนที่เฉพาะตัวยึดด้านบนที่ยึดตัวอย่าง อัตราการเคลื่อนที่เท่ากับ 3 มิลลิเมตรต่อนาที ทำการดึงตัวอย่างจนตัวอย่างขาด บันทึกค่าความเค้น ณ แรงสูงสุด (stress at maximum load), ค่าร้อยละการยืดตัว ณ แรงสูงสุด (% Elongation), และค่างานสูงสุด ณ แรงสูงสุด (Work at maximum load) ทำการประมวลผลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Nexygen version 4.0 โดยทำการทดลองทำ 5 ซ้ำ และเทียบกับตัวอย่างขนมจีนอ้างอิงจากโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งเป็นการหมักแบบธรรมชาติ



ภาพที่ 7 กระบวนการผลิตขนมจีนแบ่งหมักโดยใช้เชื้อบริสุทธิ์

ที่มา: ดัดแปลงจาก งามชื่น (2541)

3.5 การคัดเลือกเชื้อแบคทีเรียกรดแลกติกที่เหมาะสมในการนำมาผลิตเป็นหัวเชื้อ โดยพิจารณาคัดเลือกเชื้อแบคทีเรียกรดแลกติกที่ใช้เวลาในการหมักจนแป้งข้าวมีปริมาณกรดแลกติกร้อยละ 0.95 – 1.00 สั้นที่สุดและมีลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นขนมจีนที่ได้ไม่แตกต่างกับขนมจีนอ้างอิง โดยทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน(ANOVA) และถ้าพบนัยสำคัญทางสถิติจะคำนวณค่า Duncan's new multiple Range test (DMRT) เพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย หลังจากนั้นเชื้อแบคทีเรียกรดแลกติกบริสุทธิ์ที่ผ่านการคัดเลือกแล้วมาทำการศึกษารูปแบบของกล้าเชื้อแบคทีเรียกรดแลกติกที่เหมาะสมในขั้นตอนต่อไป

4. การศึกษารูปแบบของกล้าเชื้อแบคทีเรียกรดแลกติกเพื่อใช้ในการผลิตขนมจีน

จากข้อ 3.5 เมื่อได้เชื้อแบคทีเรียกรดแลกติกที่เหมาะสมในการนำไปใช้เป็นเชื้อบริสุทธิ์แล้วจึงนำเชื้อบริสุทธิ์ที่ได้มาศึกษารูปแบบและปริมาณเชื้อเริ่มต้นของกล้าเชื้อแบคทีเรียกรดแลกติกบริสุทธิ์ดังนี้

4.1 การศึกษารูปแบบการผสมเซลล์และปริมาณเชื้อเริ่มต้นของกล้าเชื้อแบคทีเรียกรดแลกติกบริสุทธิ์

ปัจจัยที่ทำการศึกษาคือจำนวนเชื้อตั้งต้น (Inoculums size) ที่เหมาะสม และรูปแบบการผสมเซลล์ของกล้าเชื้อ โดยศึกษาจำนวนเชื้อตั้งต้น เป็น 2 ระดับ คือ 10^8 และ 10^{10} และศึกษารูปแบบการผสมเซลล์ของกล้าเชื้อบริสุทธิ์เป็น 2 แบบ คือ แบบผง และแบบเหลว โดยมีขั้นตอนในการศึกษาดังนี้

4.1.1 การเตรียมกล้าเชื้อ

ก. การเตรียมเซลล์สำหรับผลิตกล้าเชื้อแบบผงและกล้าเชื้อแบบเหลว

แบคทีเรียกรดแลกติกที่ผ่านการคัดเลือกที่ผ่านการคัดเลือกมาสดัก (streak) บนอาหารเลี้ยงเชื้อแข็งเยือก MRS และนำไปบ่มที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นถ่ายเชื้อลงในอาหารเหลว MRS และนำไปบ่มที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำ

การเก็บเซลล์โดยถ่ายอาหารเหลวลงในหลอดสำหรับเหวี่ยงแยกเซลล์ (centrifuge) ขนาด 100 มิลลิลิตร นำไปเหวี่ยงแยกที่ความเร็วรอบ 8000 rpm นาน 15 นาที จากนั้นล้างตะกอนเซลล์ด้วยน้ำกลั่นที่ฆ่าเชื้อแล้ว จำนวน 2 ครั้ง จะได้ตะกอนเซลล์ที่พร้อมใช้งาน

ข. การเตรียมกล้าเชื้อแบบผง

บรรจุ แป้งข้าวเจ้า 100 กรัมในถุงพลาสติกชนิดทนร้อน นำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 °ซ เป็นเวลา 15 นาที ปลอ่ยให้เย็น เติม 0.1% ยีสต์เปปโตน ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว 50 มิลลิลิตร หลังจากนั้นเติมเซลล์ของเชื้อแบคทีเรียกรดแลกติกจากข้อ 4.1.1 ก. จำนวน 0.8 และ 1 กรัมปรับความชื้นให้เป็นร้อยละ 80 ผสมให้เข้ากัน นำไปบ่มที่ 37°ซ เป็นเวลา 48 ชม. เติมแป้งข้าวเจ้า ซึ่งอบฆ่าเชื้อแล้ว ในอัตราส่วนของเชื้อ : แป้งข้าวเจ้า เท่ากับ 1 : 1 กล้าเชื้อผงที่ได้จะมีความชื้นร้อยละ 13 (คัดแปลงจาก เพิ่มพงษ์, 2524) เก็บรักษากล้าเชื้อดังกล่าวที่อุณหภูมิ 4°C

ค. การเตรียมกล้าเชื้อเหลว

เตรียมสารละลายบัฟเฟอร์โดยผสมไดโปตัสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (K_2HPO_4) 0.82 กรัม, โพตัสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) 0.18 กรัม, โซเดียมซิเตรท ($Na-citBate$) 0.59 กรัม, แมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4$) 0.25 กรัม, tween 80 1 กรัมในน้ำ 1 ลิตร ซึ่งตะกอนเซลล์ที่เตรียมได้จากข้อ 4.1.1 ก. มา 0.8 และ 1 กรัม ลงในสารละลายบัฟเฟอร์ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วอย่างละ 100 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน กล้าเชื้อที่ได้จะมีจำนวนเซลล์เท่ากับ 10^8 และ 10^{10} cfu/ml ตามลำดับ นำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4°C

4.1.2 ศึกษาคุณภาพของกล้าเชื้อผงและเหลว

โดยทำการสุ่มตัวอย่างกล้าเชื้อผงและกล้าเชื้อเหลวจากข้อ 4.1.1 ข และ 4.1.1 ค ที่เก็บไว้ 0, 1, 2, 3 และ 4 สัปดาห์ มาศึกษาคุณภาพดังนี้

ก. ระยะเวลาในการหมัก โดยนำข้าวหักจำนวน 1 กิโลกรัม ล้างให้สะอาด แช่น้ำเป็นเวลา 6 ชั่วโมง เติมเกลือร้อยละ 7 ไม่เปียก โดยใช้อัตราส่วนของข้าวต่อน้ำเป็น 1 ต่อ 2 กรองผ่านตะแกรง เติมกล้าเชื้อ ปริมาณร้อยละ 1 ของน้ำหนักข้าว ผสมให้เข้ากัน หมักที่

อุณหภูมิห้อง สุ่มตัวอย่างแป้งหมักทุก 6 ชั่วโมง มาวิเคราะห์ปริมาณกรดแลกติกจนแป้งหมักที่ได้มีปริมาณกรดแลกติกร้อยละ 0.95 -1.10 (สุกรีรัตน์ และคณะ, 2534) จึงหยุดการหมัก

ข. จำนวนแบคทีเรียกรดแลกติก ทำการเจือจางเชื้อในสารละลายเปปโตน ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 จนได้ความเข้มข้นที่ต้องการ ใช้ปิเปตที่ปลอดเชื้อดูดสารละลายตัวอย่างที่เตรียมได้จำนวน 1.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในจานเลี้ยงเชื้อที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว โดยใช้ความเข้มข้นละ 3 ซ้ำ จากนั้นเททับด้วยอาหารแข็งสูตร MRS ที่เติม bromocresol purple ร้อยละ 0.004 ที่ผ่านการหลอมไว้ที่อุณหภูมิ 50 -55 องศาเซลเซียส ประมาณ 15 มิลลิลิตร เขย่าจานอาหารเลี้ยงเชื้อเบาๆ เพื่อให้อาหารเลี้ยงเชื้อและสารละลายตัวอย่างผสมกันอย่างทั่วถึง ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจนอาหารแข็งตัว นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นับจำนวนโคโลนีที่เกิดจากการเปลี่ยนสีม่วง(bromocresol purple) เป็นสีเหลือง

หลังจากนั้นทำการคัดเลือกรูปแบบและปริมาณเชื้อเริ่มต้นที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากรูปแบบและปริมาณเชื้อเริ่มต้นที่ทำให้ระยะเวลาหมักจนกระทั่งแป้งหมักที่ได้มีปริมาณกรดแลกติกร้อยละ 0.95 -1.10 สั้นที่สุด และปริมาณเชื้อแบคทีเรียกรดแลกติกที่คงอยู่มากที่สุดตลอดระยะเวลา 4 สัปดาห์ โดยข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิเคราะห์ความแตกต่างของระยะเวลาหมักนมจืด และปริมาณเชื้อแบคทีเรียกรดแลกติกที่คงอยู่ของแต่ละตัวอย่างด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน(ANOVA) และถ้าพบนัยสำคัญทางสถิติจะคำนวณค่า Duncan's new multiple Range test (DMRT) เพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย

4.2 การพัฒนากล้าเชื้อเหลว

จากข้อ 4.1 รูปแบบของกล้าเชื้อที่เหมาะสมคือกล้าเชื้อเหลว จึงนำกล้าเชื้อเหลวที่ได้มาพัฒนาต่อโดยศึกษาปริมาณกลูโคส และ Yeast Extract ที่เหมาะสมในการเติมลงในสารละลายบัฟเฟอร์ ที่ใช้ในการเก็บรักษาเชื้อ โดยทำการเตรียมเซลล์เช่นเดียวกับข้อ 4.1.1 ก. หลังจากนั้นนำเซลล์ที่เตรียมได้มา 1 กรัม เติมนลงในสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีแปรปริมาณกลูโคสเป็น 3 ระดับ คือ 0, 2.5 และ 5 กรัม/ลิตร และ Yeast Extract เป็น 3 ระดับ คือ 0, 0.5 และ 1 กรัม/ลิตร ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว ได้สิ่งทดลองทั้งหมด 9 สิ่งทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4 ผสมให้เข้ากัน กล้าเชื้อเหลวที่ได้จะมีจำนวนเซลล์เท่ากับ 10^{10} cfu/ml นำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4°C ตลอดเวลาที่ทำการทดลอง

ตารางที่ 4 ปริมาณกลูโคส และ Yeast Extract ที่ระดับต่างๆที่ใช้ในการพัฒนา กล้าเชื้อเห็ด

สิ่งทดลองที่	ปริมาณกลูโคส (กรัม/ลิตร)	ปริมาณ Yeast Extract (กรัม/ลิตร)
1	0	0
2	2.5	0
3	5	0
4	0	0.5
5	2.5	0.5
6	5	0.5
7	0	1
8	2.5	1
9	5	1

การศึกษาคุณภาพของกล้าเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกเห็ด โดยสุ่มตัวอย่างกล้าเชื้อเห็ดที่เก็บไว้ 0, 1, 2, 3 และ 4 สัปดาห์ มาศึกษาจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติก ดังข้อ 4.1.2 ข. และศึกษาระยะเวลาในการหมัก ดังข้อ 4.1.2 ก. นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และถ้าพบนัยสำคัญทางสถิติจะคำนวณค่า Duncan's new multiple Range test (DMRT) เพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย เพื่อคัดเลือกกล้าเชื้อเห็ดที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากปริมาณกลูโคส และ Yeast Extract ที่ทำให้ปริมาณเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกคงอยู่มากที่สุด และระยะเวลาในการหมักสั้นที่สุด ตลอดระยะเวลาอย่างน้อย 4 สัปดาห์

5. การศึกษาอายุการเก็บของกล้าเชื้อเห็ด

นำกล้าเชื้อเห็ดที่ผ่านการพัฒนาแล้วจากข้อ 4.2 มาศึกษาอายุการเก็บรักษาโดยแบ่งการศึกษออกเป็น 2 ส่วน คือ การศึกษาคุณภาพของกล้าเชื้อ และประสิทธิภาพในการหมัก มีรายละเอียดดังนี้

5.1 คุณภาพของกล้าเชื้อ

โดยเก็บตัวอย่างกล้าเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกที่มีอายุการเก็บ 0, 1, 2, 3 และ 4 สัปดาห์ มาศึกษาระยะเวลาในการหมัก ดังข้อ 4.1.2 ก. และศึกษาจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติก ตามข้อ 4.1.2 ข.

5.2 การศึกษาประสิทธิภาพในการหมัก

ทำการผลิตขนมจีนแป้งหมักตามภาพที่ 4 โดยใช้กล้าเชื้อที่มีอายุการเก็บ 0, 1, 2, 3 และ 4 สัปดาห์มาใช้เป็นกล้าเชื้อในการผลิต นำแป้งหมักที่ได้มาศึกษาคุณภาพดังนี้ ศึกษาพฤติกรรมทางด้านความหนืด โดยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) ตามวิธีการของ Newport Scientific (1995) (ดังภาคผนวก ก) และการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของกลิ่น โดยเครื่องจมูก อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Nose) (Alpha MOS, Sensor Array System, 3000) (ดังภาคผนวก ก) และนำขนมจีนที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพด้านเนื้อสัมผัสดังข้อ 3.4

ทำการวิเคราะห์อายุการเก็บรักษาของกล้าเชื้อ โดยพิจารณาจากระยะเวลาในการหมัก คุณภาพของแป้งหมัก และคุณภาพของขนมจีนที่ได้ต้องไม่แตกต่างจากกล้าเชื้อตั้งต้น (อายุการเก็บ 0 สัปดาห์) โดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และถ้าพบนัยสำคัญทางสถิติจะคำนวณค่า Duncan's new multiple Range test (DMRT) เพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย

6. การศึกษาผลของกล้าเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกชนิดเหลวต่อคุณสมบัติทางเคมี-กายภาพของแป้งหมัก

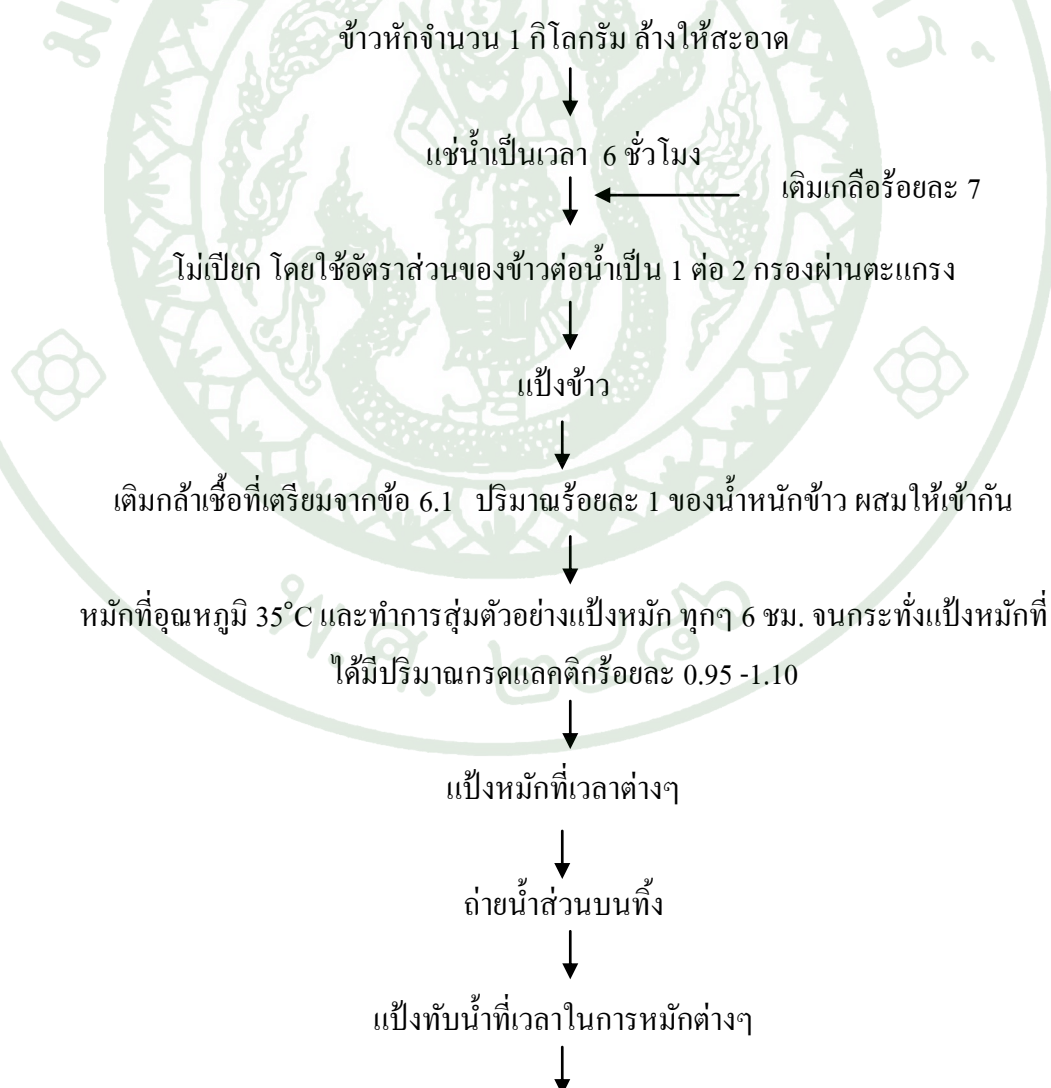
นำกล้าเชื้อเหลวที่ผ่านการพัฒนาแล้วจากข้อ 4.2 มาใช้ในการศึกษาผลของเชื้อดังกล่าวต่อ คุณสมบัติทางเคมี-กายภาพของแป้งหมัก และคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยวิธีทดสอบเชิงพรรณนาของ เส้นขนมจีน เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ประโยชน์ในการควบคุมคุณภาพต่อไป

6.1 การเตรียมกล้าเชื้อแบคทีเรียกรดแลกติกเหลว

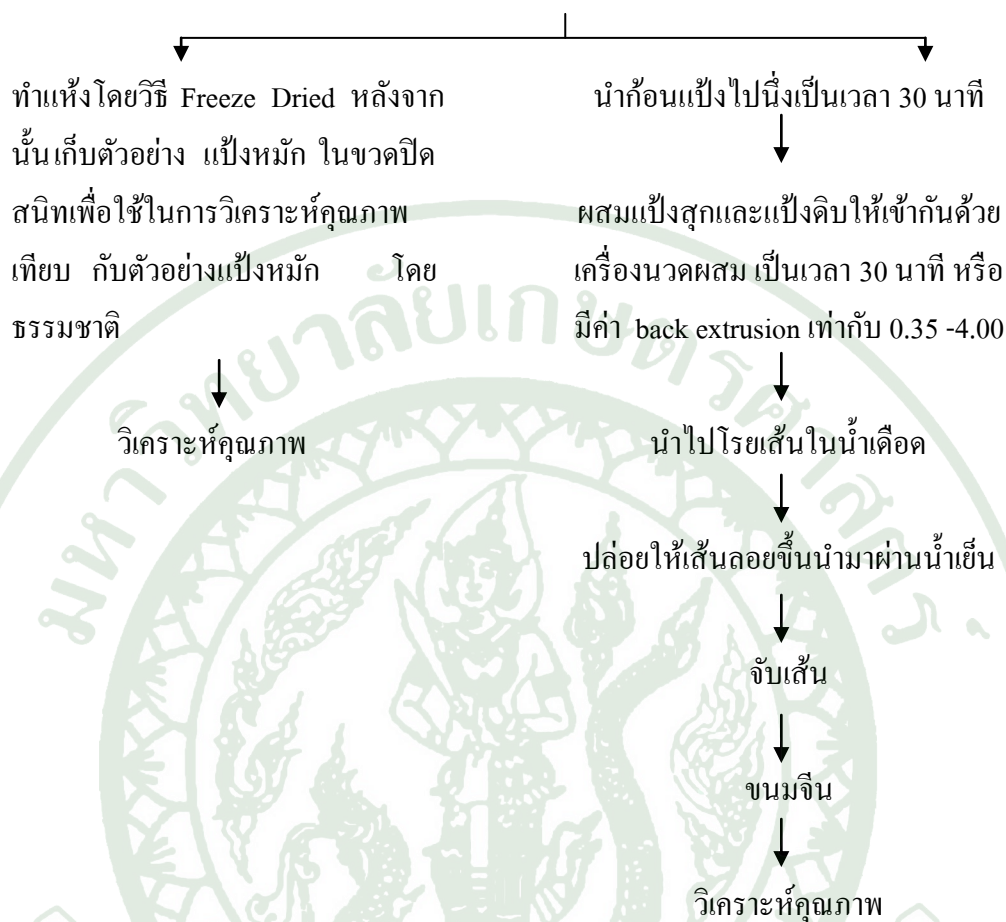
ทำการเตรียมเซลล์แบคทีเรียกรดแลกติกดังข้อ 4.1.1 ก. แล้วชั่งตะกอนเซลล์ที่เตรียมมา 1 กรัม ลงในสารละลายบัฟเฟอร์ผสมให้เข้ากัน จะได้กล้าเชื้อที่มีจำนวนเซลล์เท่ากับ 10^{10} cfu/ml นำไปเก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4°C ตลอดเวลาทำการทดลอง

6.2 การผลิตขนมจีนแป้งหมักโดยใช้กล้าเชื้อกล้าแบคทีเรียกรดแลกติกเหลว

นำกล้าเชื้อเหลวจากข้อ 6.1 มาใช้ในการผลิตขนมจีนแป้งหมักตามกระบวนการในภาพที่ 8



ถ่ายแป้งส่วนที่นอนน้ำลงในถุงผ้าแล้วทับด้วยของหนักจนมีความชื้นร้อยละ 52-55



ภาพที่ 8 ขั้นตอนการผลิตขนมจีนแป้งหมักโดยใช้กล้าเชื้อกล้าแบคทีเรียกรดแลคติกเหลว และ
การศึกษาคุณภาพแป้งข้าวระหว่างการหมัก และขนมจีน

6.2 การวิเคราะห์คุณภาพแป้งหมัก

นำตัวอย่างแป้งหมักที่เวลาในการหมักเป็น 0, 6, 12, 18, และ 24 ชั่วโมงที่ผ่านการทำ
แห้งด้วยวิธีระเหิดในอุณหภูมิต่ำ (Freeze Dried) ทั้งหมด มาศึกษาคุณภาพดังนี้

6.2.1 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ปริมาณแอมิโลสที่มีอยู่ในแป้ง โดยวิธีการทำปฏิกิริยาของไอโอดีน ตามวิธีของ Juliano (1971), ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้เป็นร้อยละ (% Titratable acidity) คิดในรูปของกรดแกล็กติก, ค่าความเป็นกรด-ด่าง (AOAC, 2000), น้ำตาลรีดิวซิง ตามวิธีของ Somogi Neison (1951), และปริมาณโปรตีน

6.2.2 การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ นำแป้งข้าวที่ผ่านการหมักที่เวลาต่าง ๆ กัน มาศึกษาคุณภาพทางกายภาพดังนี้

ก. ลักษณะทางสัณฐานวิทยาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกราดลำแสง (Scanning Electron Microscope, Joel JSM 5310, England) ตามวิธีการของ Sahai and Jackson (1996) (ดังแสดงในภาคผนวก ก.)

ข. กำลังการพองตัวและร้อยละการละลายของแป้ง คัดแปลงจากวิธีการของ Scohoch (1964) (ดังแสดงในภาคผนวก ก.)

ค. สมบัติทางด้านความร้อนของแป้งด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) ตามวิธีของ Kim *et al.*, (1995) (ดังแสดงในภาคผนวก ก.)

ง. พฤติกรรมทางด้านความหนืด โดยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) ตามวิธีการของ Newport Scientific (1995) (ดังแสดงในภาคผนวก ก.)

จ. สมบัติทางด้าน rheological โดยใช้เครื่อง Rheometer

ฉ. กลิ่น โดยเครื่องเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Nose) (Alpha MOS, Sensor Array System, 3000) (ดังแสดงในภาคผนวก ก.)

6.2.2 การวิเคราะห์คุณภาพขนมจีน

นำตัวอย่างแป้งหมักที่เวลาในการหมักเป็น 0, 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมงมาทำการผลิตขนมจีน และนำขนมจีนที่ได้มาศึกษาคุณภาพดังนี้

ก. การศึกษาคุณภาพทางเนื้อสัมผัส โดยการวิเคราะห์ค่าเนื้อสัมผัส ดังข้อ 3.4 ของตัวอย่างขนมจีนที่ได้จากการนำแป้งหมักที่เวลาในการหมักต่าง ๆ กันที่เตรียมได้เทียบกับ ตัวอย่างขนมจีนแป้งหมักโดยวิธีธรรมชาติ

ข. การศึกษาคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยวิธีการวิเคราะห์ลักษณะทางประสาทสัมผัสแบบพรรณนาเชิงปริมาณ (Quantitative Descriptive Analysis – QDA) เพื่อหา ลักษณะที่สำคัญ และความเข้มของลักษณะนั้นๆ ใช้ผู้ชิมที่ผ่านการฝึกฝนของศูนย์ทดสอบทางประสาทสัมผัส มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (Kasetsart University Sensory and Consumer Research Center (KUSCR)) จำนวน 10 คน ขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

- การพัฒนาคำศัพท์ คำจำกัดความ และตัวอย่างอ้างอิงที่ใช้ในการประเมิน ลักษณะทางประสาทสัมผัสของขนมจีน โดยมีคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสครอบคลุมด้าน ลักษณะปรากฏ (Appearance) กลิ่น/รส/กลิ่นรส (Aroma/Taste/Flavor) เนื้อสัมผัส (Texture) และ สิ่งตกค้าง(Aftertest) และฝึกฝนผู้ทดสอบ ที่ละคุณลักษณะรวมไปถึงการสร้างความรู้คุ้นเคย และความเข้าใจกับลักษณะทางประสาทสัมผัสต่างๆ ที่ได้พัฒนาขึ้น จนกระทั่งผู้ทดสอบสามารถใช้ สเกลของแต่ละคุณลักษณะได้อย่างถูกต้อง และฝึกฝนให้ผู้ทดสอบคุ้นเคยกับการใช้สเกลตัวเลข 0-15 (ไม่มี/น้อย- มากที่สุด) การฝึกฝนผู้ทดสอบใช้เวลาประมาณ 2-3 ชั่วโมงต่อวัน และ 3-4 ครั้งต่อสัปดาห์เป็นระยะเวลา 1 เดือน

- สภาวะในการเสิร์ฟตัวอย่าง ตัวอย่างที่น่าเสนอต้องมีอุณหภูมิเท่ากับ อุณหภูมิห้อง จากนั้นจึงตัดให้เป็นเส้นยาว 10 เซนติเมตร บรรจุใส่ถ้วยพลาสติกที่มีฝาปิด ถ้วยละ ประมาณ 30 กรัม เพื่อใช้ในการทดสอบ

- การประเมินตัวอย่าง ตัวอย่างขนมจีนทางการค้า 3 ตัวอย่างและขนมจีน ที่ผลิตจากแป้งหมัก 0, 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง รวมทั้งหมด 8 ตัวอย่างนำเสนอโดยการสุ่ม ติดรหัสเลข 3 หลัก และนำเสนอให้ผู้ทดสอบประเมินหาความเข้มของลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ พบในตัวอย่างขนมจีนตัวอย่างละ 2 ชั่วโมง ผู้ทดสอบจะได้รับที่ละตัวอย่าง และทำการประเมิน ตัวอย่างดังแบบสอบถามในภาคผนวก ค. ซึ่งในการประเมินจะประเมินตามลำดับการเกิด โดยเริ่ม จากการประเมินลักษณะปรากฏด้วยสายตา การประเมิน ทดสอบกลิ่น กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และการ

ตกค้างภายในปาก จากนั้นประเมินความเข้มข้นครบทุกคุณลักษณะ ในการทดสอบตัวอย่างใหม่ ผู้ทดสอบจะต้องทำการคั่นน้ำ

6.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลสมบัติทางเคมี กายภาพ และทางประสาทสัมผัสที่ได้จากการวิเคราะห์คุณภาพ ขนมนมจืด ดังข้อ 6.2.1-6.2.2 นำมาวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิเคราะห์ความแตกต่างของขนมนมจืดแต่ละ ตัวอย่างด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน(ANOVA) และถ้าพบนัยสำคัญทางสถิติจะคำนวณค่า Duncan's new multiple Range test (DMRT) เพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย นอกจากนี้ นำข้อมูลค่าเฉลี่ยลักษณะทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างขนมนมจืดที่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนมาวิเคราะห์สถิติด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ตัวแปรหลายตัวด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principle Component Analysis, PCA) ต้องผ่านการปรับค่า (Standardized) เพื่อสร้างแผนภาพความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้น โดยเลือกพล็อตแบบร่วม (Bi-plot) ระหว่างค่า Score และ Loading ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์จะทำให้ทราบถึงอิทธิพลของการหมักต่อคุณภาพของเส้นขนมนมจืด

7. การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตในระดับอุตสาหกรรม

นำกล้าเชื้อที่ได้ไปใช้ในการผลิตขนมนมจืดในโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งเป็นการขยายกำลังการผลิตในโรงงานผลิตขนมนมจืดที่มีกำลังการผลิต 50 กิโลกรัม โดยเตรียมกล้าเชื้อเหลวปริมาณครึ่งลิตร นำไปทดสอบการผลิตในโรงงานขนมนมจืดในจังหวัดฉะเชิงเทรา ทดลองผลิตขนมนมจืดตามกระบวนการที่ทำการศึกษา เพื่อทดสอบว่ากล้าเชื้อสามารถนำไปใช้ผลิตในระดับโรงงานได้จริง และเพื่อประเมินคุณภาพขนมนมจืดที่ผลิตโดยใช้กล้าเชื้อ เปรียบเทียบกับขนมนมจืดที่ผลิตจากโรงงานอุตสาหกรรม ดังนี้

7.1 คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ สี โดยใช้เครื่อง Spectrophotometer ยี่ห้อ Monolta รุ่น CM-3500d โดยใช้แหล่งกำเนิดแสง D_{65} และเนื้อสัมผัสโดยทำการวัดแรงดึง (tensile test) ดังข้อ 3.4

7.2 คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ด้วยเครื่อง pH meter, ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้เป็นร้อยละ (% Titratable acidity) กัดในรูปของกรดแลคติก, ความชื้น, ปริมาณโปรตีน, ปริมาณไขมัน, ปริมาณเถ้า และปริมาณเยื่อใย (AOAC, 2000)

7.3 คุณภาพทางจุลชีววิทยา ได้แก่ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด, ยีสต์และรา, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus* และ *E. coli* (AOAC, 2000)

7.4 คุณภาพทางประสาทสัมผัส ใช้วิธีการวิเคราะห์ลักษณะทางประสาทสัมผัสแบบพรรณนาเชิงปริมาณ (Quantitative Descriptive Analysis – QDA) เพื่อหาความเข้มของลักษณะต่างๆ โดยใช้ผู้ชิมที่ผ่านการฝึกฝนของศูนย์ทดสอบทางประสาทสัมผัส มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (KUSCR) จำนวน 10 คน

8. การทดสอบการยอมรับ

การทดสอบการยอมรับจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การทดสอบการยอมรับกระบวนการผลิตโดยใช้กล้าเชื้อโดยผู้ประกอบการ และ การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อขนมจีนที่ผลิตโดยใช้กล้าเชื้อ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

8.1 การทดสอบการยอมรับกระบวนการผลิตที่ใช้กล้าเชื้อโดยผู้ประกอบการ

ทำการทดสอบการยอมรับกระบวนการผลิตที่ใช้กล้าเชื้อ โดยผู้ประกอบการทั้งหมด 15 โรงงาน ประกอบด้วยโรงงานในจังหวัดปทุมธานี ฉะเชิงเทรา นครพนม และแพร่ จำนวน 3, 7, 2 และ 3 โรงงาน ตามลำดับ โดยวิธี Indept interview มีหัวข้อการสัมภาษณ์ดังนี้ พฤติกรรมการผลิต, ทัศนคติ และการยอมรับของผู้ประกอบการต่อกระบวนการผลิตที่ใช้กล้าเชื้อ โดยการแสดงแผ่นภาพกระบวนการผลิต พร้อมทั้งอธิบายรายละเอียดในแต่ละขั้นตอน วันที่ทำการสำรวจคือ ช่วงเดือนสิงหาคม 2550

8.2 การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อขนมจิ้นที่ผลิตโดยใช้กล้วยข้าว

ทำการทดสอบขนมจิ้นอ้างอิงและขนมจิ้นที่ผลิตจากกล้วยข้าว กับน้ำยา ใช้ผู้บริโภคทั่วไปจำนวน 200 คน ด้วยวิธีให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9 point Hedonic scale) โดยวิธี Central Location Test (CLT) สถานที่ทำการทดสอบ ได้แก่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ปทุมธานี และโรงเรียนโสมภานุสรณ์ โดยทำการให้รหัส 3 หลัก แก่ตัวอย่าง พร้อมทั้งสุ่มลำดับการเสิร์ฟ เสิร์ฟตัวอย่างขนมจิ้นอ้างอิงและขนมจิ้นที่ผลิตจากกล้วยข้าว ตามลำดับ โดยให้ผู้บริโภคทดสอบโดยใช้การดู การดมกลิ่น และการชิม ตามลำดับ ในระหว่างการชิมตัวอย่างก่อนจะชิมตัวอย่างถัดไปจะเสิร์ฟขนมปังกรอบให้ผู้บริโภครับประทานก่อนชิมตัวอย่างถัดไป วันที่ทำการสำรวจคือช่วงเดือนสิงหาคม 2550 ตัวอย่างแบบสอบถาม แสดงในภาคผนวก ค ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนา

9. สถานที่ทำการวิจัย

ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

โรงงานขนมจิ้นรัตน์พร นิคมขนมจิ้นชะเชิงเตรา

โรงงานขนมจิ้นคลองห้า ตำบลคลองห้า อำเภอดุสิต จังหวัดปทุมธานี

โรงเรียนโสมภานุสรณ์ เขตสะพานสูง แขวงสะพานสูง กรุงเทพฯ

10. ระยะเวลาทำการวิจัย

เริ่มตั้งแต่เดือน พฤษภาคม 2548 สิ้นสุดเดือน พฤษภาคม 2551

ผลและวิจารณ์

1. การแยกและการจำแนกเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกจากแป้งหมัก

จากการสำรวจกระบวนการผลิตของโรงงาน 2 โรงงานคือโรงงานทำขนมจีน A ในจังหวัดปทุมธานี และ B ในจังหวัดฉะเชิงเทรา พบว่าทั้งสองโรงงานมีกระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน ดังแสดงในภาพที่ 9 จะเห็นได้ว่าในขั้นตอนการหมักปลายข้าว โรงงาน B ในจังหวัดฉะเชิงเทราใช้ระยะเวลาในการหมักนานกว่า (24-25 ชม.) โรงงาน A ในจังหวัดปทุมธานี (12 ชม.) จึงทำให้ปริมาณจุลินทรีย์ที่พบในตัวอย่างจาก โรงงาน B ในจังหวัดฉะเชิงเทรามากกว่าตัวอย่างจากโรงงาน A ในจังหวัดปทุมธานี นอกจากนี้อาจเกี่ยวข้องกับปัจจัยการผลิตหลายประการ เช่น แหล่งของวัตถุดิบ ได้แก่ น้ำ และ ข้าวหัก ตลอดจนความสะอาดในการผลิต การหมักตามธรรมชาติในแต่ละแหล่งการผลิตมีปริมาณของจุลินทรีย์แตกต่างกันไป ไม่สามารถควบคุมได้ (Kraidej *et al.*, 1977) จากผลการทดลอง ตัวอย่างข้าวหมักจะมีจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกอยู่ระหว่าง $2.5 - 14.0 \times 10^8$ cfu/กรัม สอดคล้องกับ Uchimura *et al.*, (1988) และ Kraide (1977) พบว่าปลายข้าวหมักมีจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกตั้งแต่ $10^8 - 10^9$ cfu/กรัม ส่วนจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกในแป้งนอมน้ำอยู่ระหว่าง $9.4 - 57.0 \times 10^7$ cfu/กรัม และจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกในแป้งนอมน้ำอยู่ระหว่าง $8.9 - 77.0 \times 10^7$ cfu/กรัม สอดคล้องกับผลการทดลองของนิคยา (2532) และสุพรรณิกา (2548) พบว่าในขั้นตอนการนอมน้ำและการทับน้ำมีจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกอยู่ระหว่าง $10^7 - 10^9$ cfu/กรัม สาเหตุที่พบจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกในขั้นตอนการนอมน้ำและการทับน้ำเนื่องจากในกระบวนการผลิตหลังจากหมักตามเวลาที่กำหนดแล้วจะต้องทำการล้างข้าวก่อนนำไปไม่จึงทำให้จำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาจำนวนจุลินทรีย์กรดแลคติก



ภาพที่ 9 กระบวนการผลิตขนมจีนของ (a) โรงงาน A ในจังหวัดปทุมธานี (b) โรงงาน B ใน จังหวัดฉะเชิงเทรา

หมายเหตุ ตัวอักษรทึบ หมายถึง ขั้นตอนที่มีการหมัก

1.1 การศึกษาจำนวนจุลินทรีย์กรดแลกติก

การศึกษากการแยกแบคทีเรียกรดแลกติกจากตัวอย่างข้าวหมก, แป้งนอมน้ำ และแป้งท๊บน้ำ จากโรงงานทำขนมจีน A ในจังหวัดปทุมธานี และ B ในจังหวัดฉะเชิงเทรา โดยนำตัวอย่างที่รวบรวมได้มาแยกแบคทีเรียกรดแลกติก และตรวจนับจำนวนโคโลนีของแบคทีเรียกรดแลกติก ผลการตรวจนับจำนวนแบคทีเรียกรดแลกติกจากตัวอย่างทั้งหมดแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 จำนวนแบคทีเรียกรดแลกติกที่พบในตัวอย่างข้าวหมก แป้งนอมน้ำ และแป้งท๊บน้ำ ที่ได้จากโรงงานอุตสาหกรรมในจังหวัดปทุมธานี (A) และในจังหวัดฉะเชิงเทรา (B)

ตัวอย่าง	จำนวนของแบคทีเรียกรดแลกติกที่พบในตัวอย่าง (cfu/g)	
	โรงงาน A	โรงงาน B
ข้าวหมก	2.5×10^8	1.4×10^9
แป้งนอมน้ำ	9.4×10^7	5.7×10^8
แป้งท๊บน้ำ	8.9×10^7	7.7×10^8

จากตารางที่ 5 พบว่า ตัวอย่างที่ได้จากทั้ง 2 โรงงานมีจำนวนแบคทีเรียกรดแลกติกแตกต่างกัน โดยในทุกตัวอย่างที่ได้จากโรงงาน B ในจังหวัดฉะเชิงเทราจะมากกว่าตัวอย่างทั้งหมดที่ได้จากโรงงาน A ในจังหวัดปทุมธานี ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกระบวนการผลิตที่แตกต่างกันของทั้งสองโรงงาน

หลังจากนับจำนวนแบคทีเรียกรดแลกติกแล้ว จะทำการแยกโคโลนีให้บริสุทธิ์โดยเลือกเชื้อที่แยกเป็นโคโลนีเดี่ยวที่อยู่ห่างกันเป็นเซลล์เดี่ยวๆ มาทำให้เป็นโคโลนีบริสุทธิ์เพื่อเก็บไว้ทดสอบต่อไปจำนวนแบคทีเรียกรดแลกติกที่แยกแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 จำนวนไอโซเลตของแบคทีเรียกรดแลกติกที่แยกได้จากตัวอย่างข้าวหมัก, แป้งนอนน้ำและแป้งทับน้ำจากแต่ละโรงงานอุตสาหกรรมในจังหวัดปทุมธานี (A) และในจังหวัดฉะเชิงเทรา (B)

ตัวอย่าง	โรงงาน A	โรงงาน B
ข้าวหมัก	58	59
แป้งนอนน้ำ	54	51
แป้งทับน้ำ	51	57
รวม	163	167

จากตารางที่ 6 แบคทีเรียกรดแลกติกที่แยกได้จากโรงงาน A ในจังหวัดปทุมธานี รวมทั้งสิ้น จำนวน 163 ไอโซเลต มาจากตัวอย่างข้าวหมัก 58 ไอโซเลต ให้รหัสตัวอย่างเป็น A1-A58, แป้งนอนน้ำ 54 ไอโซเลต ให้รหัสตัวอย่างเป็น A59-A112 และแป้งทับน้ำ 51 ไอโซเลต ให้รหัสตัวอย่างเป็น A113-A163 ส่วนแบคทีเรียกรดแลกติกที่แยกได้จากโรงงาน B ในจังหวัดฉะเชิงเทรา จำนวน 167 ไอโซเลต มาจากตัวอย่างข้าวหมัก 59 ไอโซเลต ให้รหัสตัวอย่างเป็น B1-B59, แป้งนอนน้ำ 51 ไอโซเลต ให้รหัสตัวอย่างเป็น B60-B110 และแป้งทับน้ำ 57 ไอโซเลต ให้รหัสตัวอย่างเป็น B111 - B167 รวมแบคทีเรียกรดแลกติกที่แยกได้จากทั้งสองโรงงานเป็น 330 ไอโซเลต

1.2 การจำแนกแบคทีเรียกรดแลกติก

หลังจากนำแบคทีเรียกรดแลกติกทั้ง 330 ไอโซเลต ซึ่งมาจากโรงงาน A ในจังหวัดปทุมธานี 163 ไอโซเลต และโรงงาน B ในจังหวัดฉะเชิงเทรา 167 ไอโซเลต การทดสอบคาตาเลสและคัดเลือกเฉพาะแบคทีเรียที่ไม่สร้างคาตาเลส พบว่ามีแบคทีเรียกรดแลกติกจำนวน 287 ไอโซเลต เป็นแบคทีเรียสายพันธุ์ที่ไม่สร้างคาตาเลส จึงนำเชื้อสายพันธุ์ดังกล่าวมาศึกษาสัณฐานวิทยาและวิธีการสร้างกรด แสดงผลในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 จำนวนและร้อยละแบคทีเรียกรดแลกติกตามลักษณะทางสัณฐานวิทยาและวิธีการสร้างกรด

ตัวอย่าง	ชนิดของแบคทีเรียกรดแลกติกจากตัวอย่าง							
	Homofermentative				Heterofermentative			
	rod		cocci		rod		cocci	
	A	B	A	B	A	B	A	B
ข้าวหมัก	37 (74.0%)	39 (76.5%)	6 (12.00%)	8 (15.7%)	0 (0%)	1 (2.0%)	7 (14.0%)	3 (5.88%)
แป้งนอ น้ำ	35 (74.5%)	36 (80.0%)	9 (19.15%)	2 (4.4%)	0 (0%)	0 (0%)	3 (6.4%)	7 (15.6%)
แป้งท้าน้ำ	34 (76.7%)	40 (78.4%)	2 (4.65%)	6 (11.8%)	0 (0%)	0 (0%)	8 (18.6%)	5 (9.8%)
รวม	105 (75.2%)	116 (78.2%)	17 (12.1%)	16 (10.9%)	0 (0%)	1 (0.68%)	18 (12.86%)	15 (10.2%)

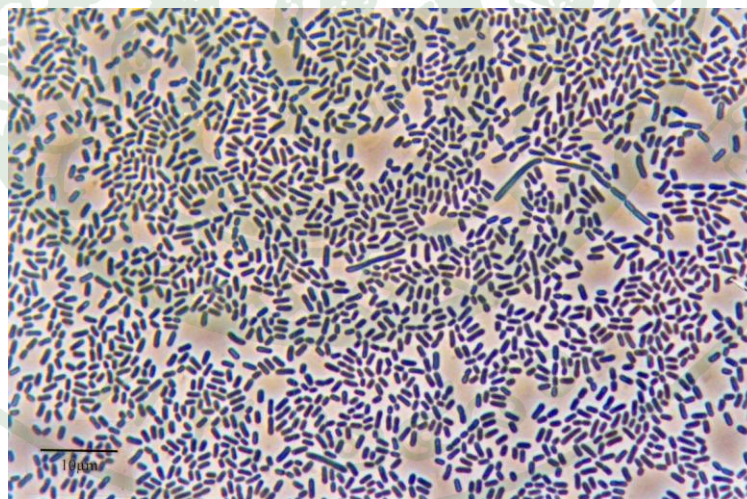
หมายเหตุ A หมายถึง ตัวอย่างจากโรงงานในจังหวัดปทุมธานี

B หมายถึง ตัวอย่างจากโรงงานในจังหวัดฉะเชิงเทรา

() หมายถึง จำนวนแบคทีเรียกรดแลกติกคิดเป็นร้อยละ

จากตารางที่ 7 พบว่าในตัวอย่างข้าวหมักจากโรงงาน A ในจังหวัดปทุมธานี และโรงงาน B จังหวัดฉะเชิงเทรา พบแบคทีเรียกรดแลกติกในกลุ่มโฮโมเฟอเมนเททีฟ รูปร่างแท่ง (Homofermentative-Rod) มากที่สุด คือ 37 ไอโซเลต (ร้อยละ 74.00) และ 39 ไอโซเลต (ร้อยละ 76.47) ในตัวอย่างแป้งนอ น้ำจากโรงงาน A ในจังหวัดปทุมธานี และโรงงาน B ในจังหวัดฉะเชิงเทรา พบแบคทีเรียกรดแลกติกในกลุ่ม Homofermentative-Rod มากที่สุด คือ 35 ไอโซเลต (ร้อยละ 74.46) และ 36 ไอโซเลต (ร้อยละ 80.00) และในตัวอย่างแป้งท้าน้ำจากโรงงานในจังหวัดปทุมธานี และจังหวัดฉะเชิงเทรา พบแบคทีเรียกรดแลกติกในกลุ่มโฮโมเฟอเมนเททีฟ รูปร่างแท่ง (Homofermentative-Rod) มากที่สุด คือ 34 ไอโซเลต (ร้อยละ 77.28) และ 40 ไอโซเลต (ร้อยละ 78.43) รวมแบคทีเรียกรดแลกติกจากโรงงาน A ในจังหวัดปทุมธานี และโรงงาน B ในจังหวัดฉะเชิงเทรา ในกลุ่มโฮโมเฟอเมนเททีฟ รูปร่างแท่ง (Homofermentative-Rod) คือ 106 ไอโซเลต (ร้อยละ 75.18) และ 116 ไอโซเลต (ร้อยละ 78.23)

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า แบคทีเรียกรดแลคติกกลุ่มที่มีรูปร่างแท่ง (Rod) ที่แยกได้จากตัวอย่างข้าวหมัก แป้งนอนน้ำ แป้งทับน้ำ ดังแสดงในภาพที่ 10 มีวิธีการสร้างกรดเป็นแบบ homofermentative เป็นกลุ่มที่มีจำนวนมากที่สุด และพบในจำนวนใกล้เคียงกันในทุกตัวอย่าง แสดงให้เห็นว่า แบคทีเรียกรดแลคติกในกลุ่มนี้น่าจะมีบทบาทในกระบวนการหมักขนมจีนมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับ นิธยา (2532) และ Toyoda *et al.*, (1979) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของแบคทีเรียกรดแลคติกในระหว่างการผลิตหมักขนมจีน พบว่าร้อยละ 60 ของจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกคือแบคทีเรียกรดแลคติกกลุ่มที่มีรูปร่างแท่ง วิธีการสร้างกรดเป็นแบบโฮโมเฟอเมนเททีฟ (Homofermentative-rod) ซึ่ง แบคทีเรียกรดแลคติกกลุ่มที่มีการสร้างกรดแบบนี้เป็นคุณลักษณะที่ต้องการอย่างหนึ่งของแบคทีเรียกรดแลคติกที่เหมาะสมแก่การพัฒนาเป็นกล้าเชื้อในอุตสาหกรรมอาหาร เพราะกล้าเชื้อในกลุ่มของจุลินทรีย์ที่มีการสร้างกรดแบบโฮโมเฟอเมนเททีฟ (homofermentative) จะหมักน้ำตาลไปเป็นกรดแลคติกเพียงอย่างเดียว จึงจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพดี ส่วนกลุ่มที่มีการสร้างกรดแบบเฮเทอโรโรเฟอเมนเททีฟ (heterofermentative) จะมีผลิตภัณฑ์อื่นๆ นอกเหนือจากกรดแลคติก แล้วยังที่แก๊สเกิดขึ้นทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะที่ไม่เหมาะสม (Smith และ Palumbo, 1983)



ภาพที่ 10 รูปร่างของเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกกลุ่มที่มีรูปร่างแท่งที่แยกได้จากตัวอย่างข้าวหมัก แป้งนอนน้ำ แป้งทับน้ำ (กำลังขยาย 1000 เท่า)

2. การศึกษาคุณสมบัติของเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกในกลุ่มที่มีรูปร่างแท่ง และไม่มีการสร้างแก๊ส

หลังจากทำการคัดเลือกเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกเฉพาะในกลุ่มที่มีรูปร่างแท่ง และไม่มีการสร้างแก๊สแล้ว นำแบคทีเรียกรดแลคติกในกลุ่มดังกล่าว มาศึกษาคุณสมบัติบางประการ ได้แก่ ความสามารถในการผลิตกรดและการย่อยแป้งเพื่อคัดเลือกเชื้อในกลุ่มดังกล่าวมาใช้ในการทำกล้ำเชื้อต่อไป

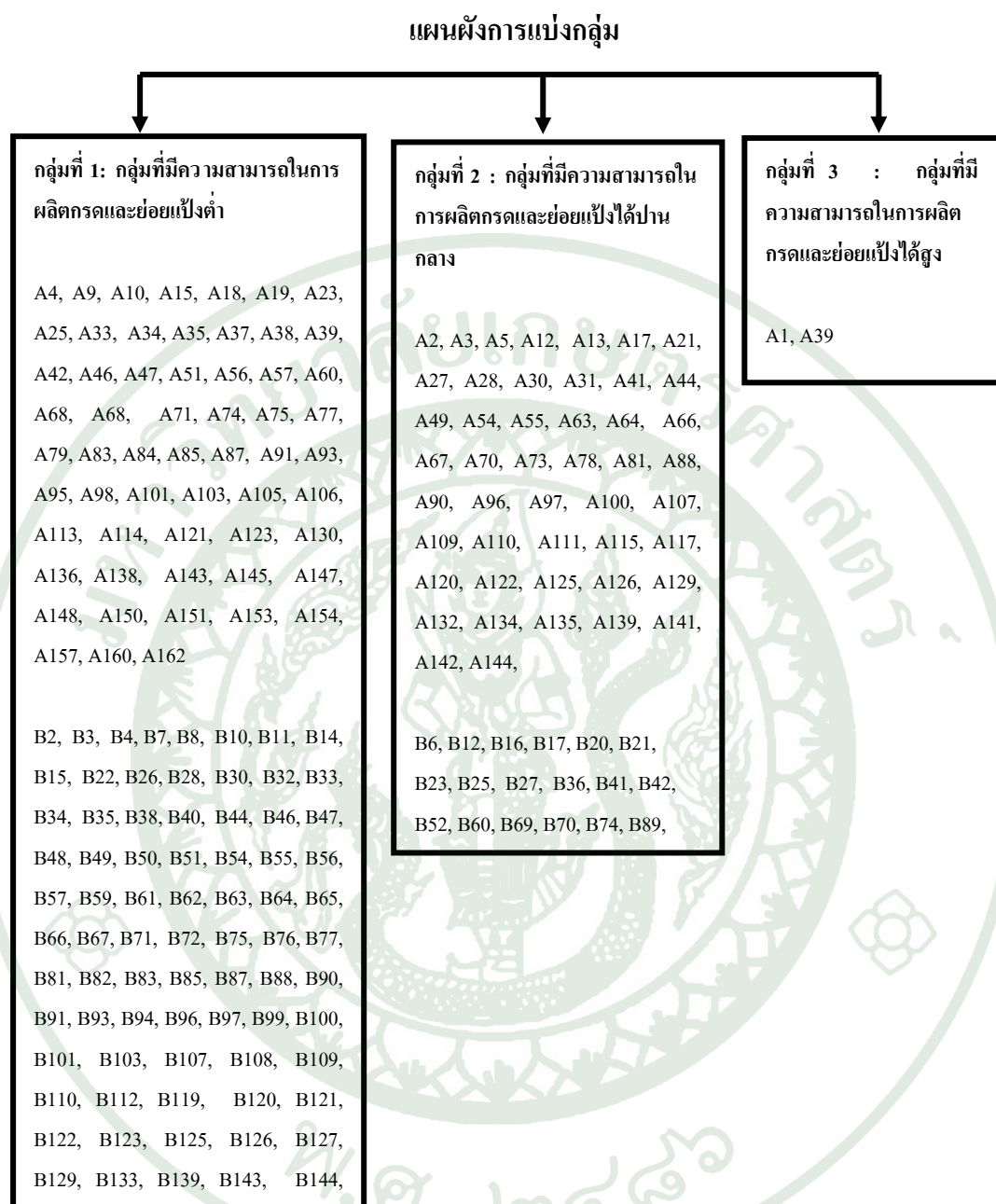
2.1 การทดสอบความสามารถในการผลิตกรดและการย่อยแป้ง

การศึกษาศักยภาพในการผลิตกรดแลคติก และการย่อยแป้งของแบคทีเรียกรดแลคติกในกลุ่มโฮโมเฟอเมนเททีฟ รูปร่างแท่ง (Homofermentative-rod) ไอโซเลตที่แยกได้ทั้งหมด 221 ไอโซเลต แสดงผลปริมาณกรดแลคติก (ร้อยละ) และความสามารถในการย่อยแป้ง โดยวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของ clear zone (มิลลิเมตร) ในตารางภาพผนวก ข ที่ 1 และ 2

จากตารางภาพผนวก ข ที่ 1 และ 2 พบว่า เชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกในกลุ่มโฮโมเฟอเมนเททีฟ รูปร่างแท่ง (Homofermentative-rod) ที่แยกจากโรงงาน A ในจังหวัดปทุมธานี จำนวน 105 ไอโซเลต สามารถผลิตกรดแลคติกได้ระหว่างร้อยละ 0.1-1.4 และความสามารถในการย่อยแป้ง โดยการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของ clear zone ถ้ามีความค่ามากแสดงว่ามีการย่อยแป้งได้ดี จากผลการทดลองพบว่า เส้นผ่านศูนย์กลางของ clear zone อยู่ระหว่าง 0.03-0.91 มิลลิเมตร และเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกในกลุ่มโฮโมเฟอเมนเททีฟ รูปร่างแท่ง (Homofermentative-rod) ที่แยกจากโรงงาน B ในจังหวัดฉะเชิงเทรา 116 ไอโซเลต สามารถผลิตกรดแลคติกได้ระหว่างร้อยละ 0.1-0.85 และความสามารถในการย่อยแป้ง โดยการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของ clear zone อยู่ระหว่าง 0.04-0.70 มิลลิเมตร

2.2 จัดกลุ่มแบคทีเรียตามความสามารถในการผลิตกรดและย่อยแป้ง

นำผลปริมาณกรดแลคติก (ร้อยละ) และความสามารถในการย่อยแป้งโดยวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของ clear zone (มิลลิเมตร) ในตารางภาพผนวก ข ที่ 1 และ 2 มาทำการแบ่งกลุ่มตามความสามารถในการผลิตกรดและการย่อยแป้งโดยวิธี cluster analysis แบบ k – Means Clusters (KMO) ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 11



ภาพที่ 11 แผนผังการจัดกลุ่มแบคทีเรียกรดแลคติกในกลุ่มโฮโมเฟอเมนเททีฟ รูปร่างแท่ง (Homofermentative-rod) ที่แยกได้ทั้งหมด 221 ไอโซเลตด้วยวิธีการจัดกลุ่มตัวแปร (Cluster Analysis) โดยใช้การประเมินความสามารถในการผลิตกรดและการย่อยแป้ง

หมายเหตุ A: แบคทีเรียกรดแลคติกที่แยกได้จากโรงงานขนมจีนเป็งหมักในจังหวัดปทุมธานี
 B: แบคทีเรียกรดแลคติกที่แยกได้จากโรงงานขนมจีนเป็งหมักในจังหวัดฉะเชิงเทรา

จากภาพที่ 11 จากเชื้อ แบคทีเรียกรดแลกติกในกลุ่ม Homofermentative-rod ที่แยกได้จำนวน 221 ไอโซเลต พบว่าสามารถแบ่งแบคทีเรียออกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีความสามารถในการย่อยแป้ง (0.86 – 0.91 ซม.) และสร้างกรด (ร้อยละ 1.2 – 1.4) ได้สูง มีจำนวนสมาชิก 2 ไอโซเลต กลุ่มที่มีความสามารถในการย่อยแป้ง (0.23 – 0.43 ซม.) และสร้างกรด (ร้อยละ 0.5 – 0.8) ปานกลาง มีจำนวนสมาชิก 74 ไอโซเลต และกลุ่มที่มีความสามารถในการย่อยแป้ง (0.1 – 0.4 ซม.) และสร้างกรด (ร้อยละ 0.04 – 0.19) ได้ต่ำ มีจำนวนสมาชิก 145 ไอโซเลต โดยกลุ่มที่เราสนใจคือกลุ่มที่มีความสามารถในการย่อยแป้งและสร้างกรดได้สูง ซึ่งมีอยู่ 2 ไอโซเลต คือ A1 และ A39 ร้อยละของกรดแลกติกที่ผลิตได้คือ 1.4 และ 1.2 ตามลำดับ และความกว้างของ clear zone ที่เกิดจากการย่อยแป้ง คือ 0.91 และ 0.86 เซนติเมตร ตามลำดับ สุพรรณิการ์ (2548) พบว่าแบคทีเรียกรดแลกติกที่มีความสามารถในการผลิตกรดแลกติกได้สูงจะได้ร้อยละของกรดแลกติกอยู่ระหว่าง 0.7–1.5 ส่วนแบคทีเรียกรดแลกติกที่มีความสามารถในการย่อยแป้งได้สูง จะได้ความกว้างของ clear zone ที่เกิดจากการย่อยแป้งอยู่ระหว่าง 0.8 – 1.0 เซนติเมตร

2.3 การตรวจสอบสายพันธุ์แบคทีเรียกรดแลกติก

หลังจากได้แบคทีเรียกรดแลกติกในกลุ่ม Homofermentative-rod ที่มีความสามารถในการย่อยแป้งและสร้างกรดแลกติกได้สูงแล้ว จึงนำแบคทีเรียกรดแลกติกในกลุ่มดังกล่าวมาทำการตรวจสอบสายพันธุ์ ด้วยวิธี API 50 CHL

ผลการศึกษาการจัดจำแนกแบคทีเรียกรดแลกติกในกลุ่ม Homofermentative-rod ที่สามารถผลิตกรดและย่อยแป้งได้สูง คือ A1 และ A39 โดยวิธี API 50 CHL แสดงผลในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 รูปแบบการใช้น้ำตาลจาก การวิเคราะห์ด้วยวิธี API 50 CHL

ชนิดของน้ำตาล	A1	A39
Glycerol	-	-
EBythritol	-	-
D-arabinose	-	-
L-arabinose	-	-
Ribose	+	+
D-xylose	-	-
L-xylose	-	-
Adonitol	-	-
β -methyl-D-xyloside	-	-
Galactose	+	+
D-glucose	+	+
D-fructose	+	+
D-mannose	+	+
L-sorbose	-	-
Rhamnose	-	-
Dulcitol	-	-
Inositol	-	-
Mannital	+	+
Sorbital	+	+
α -methyl-D-mannoside	-	-
α -methyl-D-glucoside	-	-
N-acetyl-glucosamine	+	+
Amygdaline	+	+
Arbutine	+	+
Esculine	+	+
Salicine	+	+
Cellobiose	+	+

ตารางที่ 8 (ต่อ)

ชนิดของน้ำตาล	A1	A39
Maltose	+	+
Lactose	+	+
Melibiose	+	+
Sucrose	+	+
Trehalose	+	+
Inuline	-	-
Melezitose	+	+
D-Baffinose	+	+
Starch	-	-
Glycogene	-	-
Xylitol	-	-
β -gentiobiose	+	+
D-turanose	-	-
D-lyxose	-	-
D-tagatose	-	-
D-fucose	-	-
L-fucose	-	-
D-arabitol	-	-
L-arabitol	-	-
Gluconate	-	-
2-keto-gluconate	-	-
5-keto-gluconate	-	-

หมายเหตุ + สามารถใช้น้ำตาลได้, - ไม่สามารถใช้น้ำตาลได้

จากตารางที่ 8 เมื่อพิจารณารูปแบบการใช้น้ำตาลของแบคทีเรียกรดแลคติกในกลุ่มที่สามารถผลิตกรดและย่อยแป้งได้สูง คือ A1 และ A39 พบว่า รูปแบบการใช้น้ำตาลของ A1 และ A39 เป็นรูปแบบเดียวกับ *L. plantarum* คือสามารถใช้น้ำตาล หรือให้ผลเป็นบวกับน้ำตาล L-arabinose, Galactose, D-glucose, D-fructose, D-mannose, Mannital, Sorbitol, N-acetyl-glucosamine, Amygdaline, Arbutine, Esculine, Salicine, Cellobiose, Maltose, Lactose, Melibiose, Sucrose, Trehalose, Melezitose, D-Baffinose และ β -gentiobiose จากผลการทดลองจึงยืนยันได้ว่า A1 และ A39 คือ *L. plantarum* นิตยา (2532) ได้ทำการศึกษาจุลินทรีย์ในขนมจีนแป้งหมัก พบว่าแบคทีเรียกรดแลคติก ได้แก่ *Lactobacillus plantarum* มีบทบาทในการหมักทั้งย่อยแป้งและผลิตกรด นอกจากนี้ *Lactobacillus plantarum* ยังมีคุณสมบัติในการยับยั้งจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคได้ (สุพรรณิการ์, 2548)

2.4 การศึกษาระยะเวลาในการหมัก และคุณภาพของเส้นขนมจีนโดยใช้กล้าเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติก

หลังจากได้เชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกในกลุ่ม Homofermentative-rod ที่สามารถผลิตกรดและย่อยแป้งได้สูง คือ A1 และ A39 และผ่านการตรวจสอบสายพันธุ์แล้วว่าเป็น *Lactobacillus plantarum* ในขั้นตอนต่อไปจะนำ *Lactobacillus plantarum* A1 และ A39 มาทำการคัดเลือกเฉพาะตัวที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการหมักโดยศึกษาระยะเวลาในการหมัก และคุณภาพของเส้นขนมจีนที่ผลิตได้โดยเชื้อแต่ละชนิด ดังนี้

2.4.1 การศึกษาระยะเวลาในการหมัก

เมื่อนำตัวอย่างแป้งข้าวหมักโดยกล้าเชื้อบริสุทธิ์ *L. plantarum* A1 และ A39 ที่เวลาในการหมัก 0 4 8 12 16 20 24 และ 28 ชั่วโมงมาวิเคราะห์ปริมาณกรดแลคติกโดยการไตเตรท และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 9 และตารางที่ 10 ตามลำดับ

ตารางที่ 9 ปริมาณกรดแลกติกในแป้งหมักที่หมักโดยเชื้อบริสุทธิ์ *L. plantarum* A1 และ A39 ที่เวลาในการหมัก ต่างๆกัน

เวลาในการหมัก (ชม.)	ปริมาณกรดแลกติกในแป้งหมัก (ร้อยละ)	
	หมักโดยเชื้อ A1	หมักโดยเชื้อ A39
0	0.080	0.079
4	0.276	0.270
8	0.412	0.400
12*	0.608	0.500
16*	0.800	0.724
20*	0.924	0.863
24*	1.023	0.980
28	-	1.102

หมายเหตุ * หมายถึงค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวบนเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

- ไม่ได้ทำการวิเคราะห์ เนื่องจากมีปริมาณกรดแลกติกอยู่ในช่วงร้อยละ 0.95-1.10 แล้ว

ตารางที่ 10 ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ในแป้งหมักที่หมักโดยเชื้อบริสุทธิ์ *L.plantarum* A1 และ A39 ที่เวลาในการหมักต่าง ๆ กัน

เวลาในการหมัก (ชม.)	ค่า pH ในแป้งหมัก	
	หมักโดยเชื้อ A1	หมักโดยเชื้อ A39
0	6.24	6.25
4	5.41	5.42
8	4.38	4.40
12*	3.90	4.00
16*	3.68	3.86
20*	3.54	3.64
24*	3.31	3.50
28	-	3.28

หมายเหตุ * หมายถึงค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

- ไม่ได้ทำการวิเคราะห์เนื่องจากมีปริมาณกรดแลกติกอยู่ในช่วงร้อยละ 0.95-1.10 แล้ว

การศึกษาระยะเวลาในการหมักได้ผลดังแสดงในตารางที่ 9 และ 10 พบว่าการวิเคราะห์ระยะเวลาที่แป้งหมักมีปริมาณกรด และค่าความเป็นกรดต่าง (pH) เท่ากับแป้งท้าน้ำจากโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งหมักตามวิธีธรรมชาติ และใช้เวลาในการหมัก 48 ชั่วโมง คืออยู่ในช่วงร้อยละ 0.95-1.10 และ 3.0-3.3 ตามลำดับ (สุภรัตน์ และคณะ, 2534) จากผลการทดลองพบว่าแป้งข้าวหมักจากเชื้อบริสุทธิ์ *L. plantarum* A1 ที่ชั่วโมงที่ 24 จะมีปริมาณกรดแลกติก และค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วงที่กำหนด ส่วนแป้งหมักจากเชื้อ *L. plantarum* A39 จะมีปริมาณกรดแลกติก และค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วงที่กำหนดที่ชั่วโมงที่ 28 และจากตารางที่ 9 พบว่าปริมาณกรดแลกติกที่หัวเชื้อ *L. plantarum* A1 ผลิตได้มีความแตกต่าง ($p \leq 0.05$) กับปริมาณกรดแลกติกที่เชื้อบริสุทธิ์ *L. plantarum* A39 ผลิตได้ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 12 ของการหมัก เช่นเดียวกับค่าความเป็นกรด-ด่าง (ตารางที่ 10) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเชื้อบริสุทธิ์ *L. plantarum* A1 สามารถผลิตกรดได้เร็วกว่าเชื้อบริสุทธิ์ *L. plantarum* A39

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อเติมเชื้อบริสุทธิ์ *L. plantarum* A1 และ A39 สามารถทำให้ปริมาณกรดแลกติกในแป้งหมักเพียงพอตามที่กำหนดภายในเวลา 24 และ 28 ชั่วโมง ซึ่งต่างจากตัวอย่างอ้างอิง แป้งหมักจะมีปริมาณกรดแลกติกตามที่กำหนดต้องใช้เวลาในการหมักถึง 48 ชั่วโมง ดังนั้นการเติมหัวเชื้อจึงเป็นการช่วยลดระยะเวลาในการหมักลง การที่กล้าเชื้อสามารถลดระยะเวลาในการหมักลงได้เนื่องจากเชื้อสามารถเจริญเติบโตได้เร็ว และสร้างกรดได้ปริมาณสูง ซึ่งเมื่อผลิตกรดได้มากและเร็วจะเป็นการช่วยยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์อื่นๆที่ไม่ต้องการได้เป็นอย่างดี จึงเป็นข้อดีอีกอย่างหนึ่งของการใช้เชื้อบริสุทธิ์ (Montel *et al.*, 1993) ดังตัวอย่างผลิตภัณฑ์หมักพื้นบ้านของชาวแอฟริกาคือการที่ผลิตจากมันสำปะหลังหมักโดยเชื้อ *Lactobacillus* sp. เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความต้องการของผู้บริโภคสูงจึงมีการพัฒนาการผลิตเพื่อให้ผลิตภัณฑ์เพียงพอต่อความต้องการ, มีคุณภาพสม่ำเสมอ และสามารถควบคุมได้ โดยการพัฒนาเชื้อบริสุทธิ์ในรูปของซัสเพนชัน (suspension) การที่ผลิตจากการใช้หัวเชื้อจะสามารถลดการหมักลงเหลือ 48 ชั่วโมงจากเดิม 96 ชั่วโมง (Ofuya and Nnaji, 1989) และ Zorba *et al.*, (2003) ได้ใช้กล้าเชื้อในเครื่องดัดขึ้นหน้าหมักจากข้าวโพด ข้าวเจ้า และแป้งสาลี พบว่า การหมักตามธรรมชาติไม่สามารถควบคุมจุลินทรีย์ได้ทำให้เกิดความผันแปรต่อคุณภาพและความคงตัวของผลิตภัณฑ์ เมื่อทำการหมักโดยใช้เชื้อบริสุทธิ์สามารถลดเวลาการหมักจาก 40 ชั่วโมงเป็น 24 ชั่วโมง

2.4.2 การศึกษาคุณภาพขนมจีนโดยใช้เชื้อแบคทีเรียกรดแลกติกที่คัดแยกได้

เมื่อหมักแป้งข้าวโดยเชื้อบริสุทธิ์ *L. plantarum* A1 จะมีปริมาณกรดแลกติก และค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วงที่กำหนดคือร้อยละ 0.95-1.10 และ 3.0-3.3 ตามลำดับ (24 ชม.) และหมักแป้งข้าวโดยเชื้อบริสุทธิ์ *L. plantarum* A39 จะมีปริมาณกรดแลกติก และค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วงที่กำหนด (28 ชม.) จึงนำแป้งหมักที่ได้มาผลิตขนมจีน และศึกษาคุณภาพขนมจีนที่ได้โดยวัดค่าแรงดึง (Tensile properties) เปรียบเทียบกับขนมจีนอ้างอิง ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ค่าความเค้น ณ แรงสูงสุด, ค่าร้อยละการยืดตัว ณ แรงสูงสุด, ค่างานทั้งหมด และค่า Young's Modulus ของขนมเงินที่ผลิตจากเชื้อบริสุทธิ์ *L. plantarum* A1 และ A39 เปรียบเทียบกับขนมเงินทางการค้า

Culture	ค่าแรงดึง			
	ความเค้น ณ แรงสูงสุด ^{ns} (Pa)	ค่าร้อยละการยืดตัว ณ แรงสูงสุด ^{ns}	ค่างานทั้งหมด ^{ns} (mJ)	Young's Modulus ^{ns} (Mpa)
A1	2.31	47.97	2.80	1.40
A39	2.30	48.00	2.76	1.38
ขนมเงินทางการค้า	2.34	47.83	2.81	1.46

หมายเหตุ^{ns} หมายถึงค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากตารางที่ 11 เมื่อพิจารณาค่าแรงดึงของเส้นขนมเงินจากแป้งหมักสถานะต่างๆ พบว่าขนมเงินที่ผลิตโดยใช้เชื้อบริสุทธิ์ *L. plantarum* A1, A39 และขนมเงินอ้างอิงไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) ซึ่งค่าความเค้น ณ แรงสูงสุด (Stress at Maximum Load), ค่างาน ณ แรงสูงสุด (Work at Maximum Load), และค่า Young's modulus แสดงถึงความเหนียวของเส้น

จากการศึกษาระยะเวลาในการหมัก (ข้อ 2.4.1) และคุณภาพของเส้นขนมเงิน (ข้อ 2.4.2) แสดงให้เห็นว่าการใช้เชื้อบริสุทธิ์ในการหมักจะช่วยลดระยะเวลาในการหมัก และให้คุณภาพของเส้นขนมเงินที่ไม่แตกต่าง ($p > 0.05$) กับตัวอย่างอ้างอิง แต่เชื้อบริสุทธิ์ *L. plantarum* A1 ใช้ระยะเวลาในการหมักน้อยกว่าเชื้อบริสุทธิ์ *L. plantarum* A39 และการหมักในโรงงานอุตสาหกรรม หรือการหมักแบบธรรมชาติ ซึ่งจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้เชื้อบริสุทธิ์เป็นการหมักเพื่อเพิ่มผลผลิตให้ได้มากเพียงพอและใช้เวลาในการผลิตรวดเร็ว ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพสม่ำเสมอ (นภ, 2535) แต่การเติมกล้าเชื้อบริสุทธิ์ กล้าเชื้อที่เดิมต้องเป็นสายพันธุ์ที่ได้รับการคัดเลือกแล้วว่ามีคุณสมบัติเหมาะสมต่อการหมัก ดังนั้นจึงเลือกเชื้อบริสุทธิ์ *L. plantarum* A1 เพื่อใช้ในการพัฒนาเป็นเชื้อบริสุทธิ์สำหรับผลิตขนมเงินแป้งหมักต่อไป

3. การศึกษารูปแบบเชื้อแบคทีเรียกรดแลกติกบริสุทธิ์เพื่อใช้ในการผลิตนมจืด

เมื่อได้เชื้อบริสุทธิ์ที่ผ่านการคัดเลือกและตรวจสอบสายพันธุ์แล้วจากข้อ 2 ได้แก่ *L. plantarum* A1 แล้ว จึงนำเชื้อบริสุทธิ์ดังกล่าวมาศึกษารูปแบบของกล้าเชื้อที่เหมาะสม โดย การศึกษารูปแบบของกล้าเชื้อ และจำนวนเชื้อตั้งต้นดังมีขั้นตอนในการศึกษาในข้อ 3.1

3.1 การศึกษารูปแบบและจำนวนเชื้อตั้งต้น

โดยศึกษาจำนวนเชื้อเริ่มต้น(Inoculums size)ที่เหมาะสมจะแปรจำนวนเชื้อตั้งต้นเป็น 2 ระดับ คือ 10^8 และ 10^{10} cfu/ml. และรูปแบบของการผสมเล็ โดยจะแปรรูปแบบของการผสมเล็เป็น 2 แบบ คือ แบบผง และแบบเหลว จะได้สิ่งทดลองทั้งหมด 4 สิ่งทดลอง และเมื่อนำมาวิเคราะห์คุณภาพได้แก่ จำนวนแบคทีเรียกรดแลกติกของเชื้อบริสุทธิ์แบบผงและเหลวเมื่อเก็บหัวเชื้อ 0 1 2 3 และ 4 สัปดาห์ ดังแสดงผลในตารางที่ 12 และระยะเวลาในการหมัก ดังแสดงผลในตารางที่ 13

ตารางที่ 12 จำนวนแบคทีเรียกรดแลกติกในเชื้อผง และเหลว ที่ระยะเวลาเริ่มต้น (0 สัปดาห์) และที่ระยะเวลาในการเก็บต่างๆกันถึง 4 สัปดาห์

รูปแบบของหัวเชื้อ	จำนวนเชื้อเริ่มต้น (cfu/ml)	จำนวนแบคทีเรียกรดแลกติก (cfu/g, cfu/ml) ที่ระยะเวลากัน (สัปดาห์)				
		0	1	2	3	4
หัวเชื้อผง	10^8	5.17×10^8	9.75×10^7	6.10×10^7	1.08×10^7	4.18×10^6
	10^{10}	1.10×10^{10}	8.14×10^9	5.22×10^9	2.20×10^9	8.66×10^8
หัวเชื้อเหลว	10^8	9.12×10^8	8.51×10^8	6.29×10^8	5.61×10^8	4.18×10^8
	10^{10}	1.26×10^{10}	9.75×10^{10}	6.06×10^{10}	4.11×10^{10}	1.66×10^{10}

จากตารางที่ 12 แสดงจำนวนแบคทีเรียกรดแลกติกในเชื้อผง และเหลว ที่ระยะเวลาในการเก็บ 0, 1, 2, 3 และ 4 สัปดาห์ พบว่า เชื้อผง ที่มีจำนวนเชื้อเริ่มต้น 5.17×10^8 และ 1.10×10^{10} cfu/ml. เมื่อเก็บหัวเชื้อไว้ 4 สัปดาห์ จำนวนเชื้อจะลดลงเหลือ 4.18×10^6 และ 8.66×10^8 cfu/ml.

ตามลำดับ ส่วนเชื้อเหลวที่มีจำนวนเชื้อเริ่มต้น 10^8 และ 10^{10} cfu/ml. เมื่อเก็บเชื้อไว้ 4 สัปดาห์ จำนวนเชื้อจะยังคงเป็น 4.18×10^8 และ 1.66×10^{10} cfu/ml. ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาการลดลงของ *L. plantarum* A1 พบว่าเชื้อชนิดผงจำนวนจุลินทรีย์จะลดลงเร็วกว่าเชื้อแบบเหลว ทั้งที่มีจำนวนเชื้อเริ่มต้นเป็น 10^8 และ 10^{10} cfu/ml ทั้งนี้อาจเนื่องจากการทำแห้งจะทำให้เซลล์ของจุลินทรีย์บางส่วนอาจถูกทำลาย แต่ในเชื้อแบบเหลวเซลล์ของจุลินทรีย์ยังคงสภาพเดิม นอกจากนี้ในเชื้อเหลวยังมี tween 80 เป็นองค์ประกอบอยู่ในสารละลายบัฟเฟอร์ซึ่ง tween 80 เป็นสารเพิ่มคงตัวของเซลล์จุลินทรีย์ จึงทำให้เซลล์ของแบคทีเรียที่การรอดชีวิตสูงกว่าในหัวเชื้อผง (นภา, 2535)

ในการหมักโดยใช้เชื้อบริสุทธิ์นั้นต้องแน่ใจว่ามีจำนวนเชื้อเริ่มต้นมากพอและเหมาะสมต่อการหมัก ดังนั้นจึงต้องศึกษาระยะเวลาในการหมักของเชื้อบริสุทธิ์แต่ละชนิดด้วย

จากการศึกษาระยะเวลาในการหมักโดยวิเคราะห์ปริมาณกรดแลกติกที่ระยะเวลาในการหมักทุกๆ 6 ชั่วโมง การวิเคราะห์ระยะเวลาในการหมัก จะหมายถึง ระยะเวลาที่เชื้อบริสุทธิ์หมักแป้งข้าวเหนียวมีปริมาณกรดแลกติก และค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับแป้งท้าน้ำจากโรงงานอุตสาหกรรมหรือหมักตามวิธีธรรมชาติ ซึ่งใช้เวลาในการหมัก 48 ชั่วโมงจะมี ปริมาณกรดแลกติกค่าความเป็นกรด-ด่างของแป้งท้าน้ำจะอยู่ในช่วงร้อยละ 0.95-1.10 และ 3.0-3.3 ตามลำดับ (สุกรัตน์ และคณะ, 2534) แสดงผลใน ตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ปริมาณกรดแลกติกที่ผลิตโดยเชื้อบริสุทธิ์ *L.plantarum* A1 แบบผงและแบบเหลว ที่มีจำนวนหัวเชื้อเริ่มต้นเป็น 10^8 และ 10^{10} cfu/ml. ที่เวลาในการหมักต่างๆกัน

รูปแบบของหัวเชื้อ	จำนวนเชื้อ	สัปดาห์ที่	ปริมาณกรดที่เวลาในการหมักต่างๆ (ร้อยละ)							
			0	6	12	18	24	30	36	42
หัวเชื้อผง	10 ⁸	0	0.04	0.11	0.24	0.44	0.67	0.88	1.12	
	10 ¹⁰		0.05	0.14	0.31	0.56	0.78	1.08		
หัวเชื้อเหลว	10 ⁸		0.05	0.13	0.28	0.57	0.74	0.98		
	10 ¹⁰		0.04	0.21	0.45	0.75	1.07			
หัวเชื้อผง	10 ⁸	1	0.02	0.09	0.18	0.40	0.65	0.83	1.1	
	10 ¹⁰		0.03	0.15	0.30	0.52	0.81	1.10		
หัวเชื้อเหลว	10 ⁸		0.03	0.12	0.27	0.54	0.80	0.98		
	10 ¹⁰		0.03	0.22	0.50	0.80	1.11			
หัวเชื้อผง	10 ⁸	2	0.03	0.09	0.24	0.39	0.57	0.87	0.97	
	10 ¹⁰		0.02	0.15	0.32	0.50	0.83	1.06		
หัวเชื้อเหลว	10 ⁸		0.03	0.14	0.25	0.43	0.77	0.95		
	10 ¹⁰		0.03	0.24	0.52	0.87	1.04			
หัวเชื้อผง	10 ⁸	3	0.02	0.08	0.17	0.35	0.59	0.80	0.95	
	10 ¹⁰		0.02	0.14b	0.34	0.51	0.81	1.05		
หัวเชื้อเหลว	10 ⁸		0.02	0.11	0.26	0.50	0.79	0.95		
	10 ¹⁰		0.02	0.25	0.48	0.76	0.98			
หัวเชื้อผง	10 ⁸	4	0.04	0.05	0.1	0.35	0.58	0.74	0.9	1.04
	10 ¹⁰		0.03	0.10	0.37	0.68	0.79	0.90	1.27	
หัวเชื้อเหลว	10 ⁸		0.04	0.08	0.27	0.55	0.71	0.87	1.14	
	10 ¹⁰		0.04	0.18	0.49	0.87	1.00			

จากตารางที่ 13 พบว่าการเพิ่มปริมาณกรดแลกติกที่ผลิตโดยเชื้อเหลวจะสามารถผลิตกรดแลกติกได้เร็วกว่าเชื้อผงเมื่อมีปริมาณเชื้อเริ่มต้นเท่ากัน และเชื้อรูปแบบเดียวกันแต่จำนวนเชื้อเริ่มต้นต่างกันจะผลิตกรดแลกติกได้ในปริมาณที่แตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบที่เวลาใน

การหมักเดียวกัน โดยเชื้อที่มีจำนวนเชื้อเริ่มต้นเป็น 10^{10} cfu/มิลลิลิตร จะสามารถผลิตกรดได้เร็วกว่าเชื้อที่มีจำนวนเชื้อเริ่มต้นเป็น 10^8 cfu/มิลลิลิตร จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า หัวเชื้อเหลวจำนวนเชื้อเริ่มต้นเป็น 10^{10} cfu/มิลลิลิตร สามารถผลิตกรดแลกติกได้ปริมาณที่กำหนด(ร้อยละ 0.95-1.10) ภายในเวลา 24 ชั่วโมงจนกระทั่งอายุการเก็บเป็น 4 สัปดาห์ ส่วนเชื้อเหลว จำนวนเชื้อเริ่มต้นเป็น 10^8 cfu/มิลลิลิตรและเชื้อผง เชื้อเริ่มต้นเป็น 10^{10} cfu/มิลลิลิตร สามารถผลิตกรดแลกติกได้ปริมาณที่กำหนด (ร้อยละ 0.95-1.10) ภายในเวลา 30 ชั่วโมงจนกระทั่งอายุการเก็บเป็น 3 สัปดาห์ ส่วนในสัปดาห์ที่ 4 ใช้เวลาในการหมักเป็น 36 ชั่วโมง และเชื้อผงจำนวนเชื้อเริ่มต้นเป็น 10^8 cfu/มิลลิลิตร สามารถผลิตกรดแลกติกได้ปริมาณที่กำหนด (ร้อยละ 0.95-1.10) ภายในเวลา 36 ชั่วโมงจนกระทั่งอายุการเก็บเป็น 3 สัปดาห์ ส่วนในสัปดาห์ที่ 4 ใช้เวลาในการหมักเป็น 42 ชั่วโมง

ตารางที่ 14 ระยะเวลาในการหมักของเชื้อบริสุทธิ์ *L.plantarum* A1 แบบผง และเหลวที่มีปริมาณเชื้อเริ่มต้น 10^8 และ 10^{10} cfu/ml.

ชนิดของหัวเชื้อ	จำนวนเชื้อ (cfu/ml.)	ระยะเวลาในการหมัก (ชม.)ของหัวเชื้อที่มีอายุการเก็บสัปดาห์ที่				
		0	1	2	3	4
หัวเชื้อผง	10^8	36	36	36	36	42
	10^{10}	30	30	30	30	36
หัวเชื้อเหลว	10^8	30	30	30	30	30
	10^{10}	24	24	24	24	24

จากตารางที่ 14 พบว่าเชื้อผง ที่มีจำนวนเชื้อเริ่มต้น 10^8 และ 10^{10} cfu/ml. จะสามารถหมักแป้งจนมีปริมาณกรดแลกติกตามกำหนด คือ ร้อยละ 0.95 – 1.10 ภายในระยะเวลา 36 และ 30 ชั่วโมง ตามลำดับ ส่วนเชื้อเหลว ที่มีจำนวนเชื้อเริ่มต้น 10^8 และ 10^{10} cfu/ml. จะสามารถหมักแป้งจนมีปริมาณกรดแลกติกตามกำหนด ภายในระยะเวลา 30 และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า เชื้อเหลวสามารถหมักแป้งให้ได้ปริมาณกรดแลกติกตามที่กำหนดได้เร็วกว่าเชื้อผงที่จำนวนเชื้อเริ่มต้นที่เท่ากันทั้งนี้เพราะเชื้อที่เป็นผงจะเริ่มต้นการหมักช้ากว่า เนื่องจากเมื่อเติมเชื้อผงลงไป เชื้อจุลินทรีย์ต้องใช้ระยะเวลาในการฟื้นตัวนานกว่า จึงทำให้ใช้ระยะเวลาในการหมักนานกว่าเชื้อเหลวที่เชื้อไม่ต้องใช้ระยะเวลาในการฟื้นตัว ดังนั้น โดยทั่วไปการใช้เชื้อผงจะมีการเพิ่มขึ้นตอนฟื้นตัวของจุลินทรีย์ก่อนเติมลงไป

substrate ซึ่งจะเป็นการเพิ่มระยะเวลาในกระบวนการผลิตเช่นกัน นอกจากนี้เชื้อเหล่านี้ยังอยู่ในรูปที่ให้ง่ายและเหมาะสมกับกรรมวิธีการหมักน้ำแป้งในการผลิตขนมจีน ซึ่งรูปแบบของเชื้อที่เหมาะสมกับแต่ละผลิตภัณฑ์หมักจะแตกต่างกันไป เพื่อให้อยู่ในรูปแบบที่สะดวกในการใช้และเหมาะสมกับกรรมวิธีการผลิต (นภา, 2535)

เมื่อพิจารณาจำนวนเชื้อเริ่มต้นระหว่าง 10^8 และ 10^{10} cfu/ml. พบว่าที่จำนวนเซลล์เริ่มต้น 10^{10} cfu/ml. สามารถหมักได้เร็วกว่าที่มีจำนวนเชื้อเริ่มต้น 10^8 cfu/ml. ทั้งนี้เนื่องจากปัจจัยที่มีผลในการแข่งขันของเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติก ได้แก่ จำนวนเชื้อเริ่มต้น (Hammer and Knauf, 1994) ถ้ามีจำนวนเชื้อเริ่มต้นที่เหมาะสม เมื่อนำไปใช้ในการหมักจะทำให้เจริญเติบโตได้รวดเร็ว และดำเนินกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่มีบทบาทจะขัดขวางกิจกรรมของจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ ที่ก่อให้เกิดผลเสียต่อกระบวนการนั้น นอกจากนี้ยังจะช่วยลดระยะเวลาในการหมักลงด้วย จำนวนจุลินทรีย์เพื่อใช้เป็นตัวเริ่มต้น (starter) ในกระบวนการหมักเริ่มต้นอย่างน้อยควรเป็น 10^6 cfu cfu/ml. (Frank, 1992) ปิ่นมณี (2546) ได้ศึกษาการแยกเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกจากตัวอย่างหมกของประเทศไทย เพื่อใช้เป็นก้ำเชื้อ โดยจำนวนเชื้อเริ่มต้นของก้ำเชื้อที่ใช้หมักหมกที่เหมาะสมเท่ากับ 10^{10} cfu cfu/ml. ดังนั้นจากผลการทดลองจึงเลือกรูปแบบของเชื้อเป็นแบบเหลวที่มีจำนวนเชื้อเริ่มต้น 10^{10} cfu/ml. ใช้ในการศึกษาขั้นต่อไป

3.2 การศึกษาปริมาณกลูโคส และ Yeast Extract ที่เหมาะสมในสารละลายบัฟเฟอร์

เมื่อได้รูปแบบของก้ำเชื้อที่เหมาะสมแล้วคือแบบเหลว และมีปริมาณเชื้อตั้งต้นเป็น 10^{10} cfu cfu/ml. แล้วจึงทำการศึกษ ปริมาณกลูโคส และ Yeast Extract ในสารละลายบัฟเฟอร์ที่ใช้ในการเก็บเชื้อบริสุทธิ์ โดยจะแปรปริมาณกลูโคส เป็น 3 ระดับ คือ 0, 2.5 และ 5 กรัม/ลิตร และ Yeast Extract เป็น 3 ระดับ คือ 0, 0.5 และ 1 กรัม/ลิตร จะได้จำนวนสิ่งทดลองทั้งหมด 9 สิ่งทดลอง หลังจากนั้นสุ่มตัวอย่างก้ำเชื้อที่เก็บไว้ 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 สัปดาห์มาวิเคราะห์ปริมาณแบคทีเรียกรดแลคติก และศึกษาระยะเวลาในการหมัก ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 15

ตารางที่ 15 จำนวนแบคทีเรียกรดแลคติก *L. plantarum* A1 ที่ระยะเวลาในการเก็บ 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 สัปดาห์ในสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีปริมาณกลูโคส และ Yeast Extract ที่ระดับต่าง ๆ กัน

กลูโคส (กรัม/ลิตร)	Yeast Extract (กรัม/ลิตร)	จำนวนแบคทีเรียกรดแลคติก <i>L. plantarum</i> A1 ระยะเวลาในการเก็บ ต่าง ๆ กัน ($\times 10^{10}$ cfu/ml.)					
		0	1	2	3	4	5
0	0	7.00	7.30	6.50	5.10	2.20	0.43
2.5	0	6.91	46.0	67.7	8.03	9.73	0.42
5	0	6.84	84.4	70.9	7.35	3.61	0.70
0	0.5	6.78	7.13	4.22	4.03	1.14	0.74
2.5	0.5	6.85	41.1	70.7	8.25	0.98	0.36
5	0.5	6.70	55.9	90.2	8.13	0.85	0.57
0	1	6.90	7.58	7.00	5.66	1.04	0.99
2.5	1	6.81	50.5	89.9	8.66	0.81	0.31
5	1	6.83	70.1	93.6	9.31	0.85	0.50

จากตารางที่ 15 พบว่า ในสารละลายบัฟเฟอร์จำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกมีแนวโน้มคงที่ และไม่มี ความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) คืออยู่ระหว่าง 2.20×10^{10} - 7.00×10^{10} cfu/ml. ในสัปดาห์ที่ 0 – 4 แต่จะแตกต่างกันในสัปดาห์ที่ 5 โดยจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกจะลดลงเหลือ 4.30×10^9 cfu/ml.

ส่วนในสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีการเติมน้ำตาลเพียงอย่างเดียวทั้งปริมาณ 2.5 และ 5.0 กรัมต่อลิตร จำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกจะมีความแตกต่างกัน โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 1 และ 2 และจะลดลงในสัปดาห์ที่ 3 ถึง 5

ส่วนในสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีการเติม Yeast Extract เพียงอย่างเดียวทั้งปริมาณ 0.5 และ 1.0 กรัมต่อลิตรจำนวนแบคทีเรียกรดแลกติกมีแนวโน้มคงที่ และไม่มี ความแตกต่างกัน ในสัปดาห์ที่ 0 – 4 แต่จะแตกต่างกันในสัปดาห์ที่ 5 โดยจำนวนแบคทีเรียกรดแลกติกจะลดลง

ส่วนในสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีการเติม น้ำตาล และ Yeast Extract พบว่ามีแนวโน้ม เช่นเดียวกับการเติมน้ำตาลเพียงอย่างเดียว คือจำนวนแบคทีเรียกรดแลกติกจะมีความแตกต่างกัน โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 1 และ 2 และจะลดลงในสัปดาห์ที่ 3 ถึง 5

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า น้ำตาลมีผลต่อการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ แต่ การเก็บรักษาจุลินทรีย์ในรูปของก้ำเชื้อจะเป็นการรักษาจำนวนของจุลินทรีย์ให้มีจำนวนคงที่ให้นานที่สุด ซึ่งการเติมแหล่งอาหารลงไป บางครั้งวัตถุดิบเหล่านี้อาจจะไปมีผลเสีย โดยจุลินทรีย์ จะใช้แหล่งอาหารเหล่านี้เพื่อการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็ว และจะคงปริมาณนี้ ได้เพียงระยะหนึ่งแต่หลังจากนั้นปริมาณจุลินทรีย์จะลดลงทันที เมื่อจุลินทรีย์เพิ่มจำนวนมากขึ้น จะแย่งกันใช้อาหาร และผลิตของเสีย เมื่ออาหารหมด และของเสียมากขึ้นจุลินทรีย์จึงมีจำนวน ลดลง (นภา, 2535) นอกจากนี้การที่ไม่ต้องเติมน้ำตาล และ Yeast Extract ยังช่วยลดต้นทุนในการ ผลิตก้ำเชื้ออีกด้วย ดังนั้นจากผลการทดลองจึงเลือกสารละลายบัฟเฟอร์ที่ไม่มีการเติม น้ำตาล และ Yeast Extract เป็นสารละลายที่ใช้ในการเก็บรักษาเซลล์ที่ใช้เป็นก้ำเชื้อบริสุทธิ์เพื่อใช้ในการ ทดลองต่อไป

4. การศึกษาอายุการเก็บรักษาของหัวเชื้อ

ในช่วงการหมัก สิ่งที่สำคัญประการหนึ่งคือก้ำเชื้อ ซึ่งก้ำเชื้อที่ใช้ในการหมักจะต้องมี ปริมาณจุลินทรีย์มากเพียงพอต่อการหมักในเวลาที่กำหนด ประโยชน์ที่สำคัญข้อหนึ่งของการใช้ ก้ำเชื้อคือ การลดระยะเวลาในการหมัก สาเหตุที่ก้ำเชื้อสามารถลดระยะเวลาในการหมักได้ เนื่องจากก้ำเชื้อมีการเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์ที่ต้องการมากเพียงพอโดยไม่จำเป็นต้องมีการผลิตเซลล์ เพิ่มขึ้นอีก (วารุณี, 2529) ดังนั้นการศึกษาอายุการเก็บก้ำเชื้อเพื่อให้ปริมาณจุลินทรีย์ในก้ำเชื้อ เหมาะสม โดยใช้ระยะเวลาในการหมัก (fermentation time) ยังเท่าเดิมจึงเป็นสิ่งสำคัญ ในการ ศึกษาครั้งนี้จึงศึกษาอายุการเก็บรักษาของก้ำเชื้อ ที่ทำให้ระยะเวลาในการหมักยังคงเท่ากับ 24 ชั่วโมง โดยทำการศึกษาปริมาณแบคทีเรียกรดแลกติก และระยะเวลาในการหมัก, เปลี่ยนแปลง

ของกลิ่นในแป้งหมัก, คุณสมบัติด้านความหนืด และคุณสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของเส้นขนมจีน แสดงผลดังต่อไปนี้

4.1 การหาปริมาณแบคทีเรียกรดแลคติก และระยะเวลาในการหมัก

ผลการศึกษาปริมาณแบคทีเรียกรดแลคติก และระยะเวลาในการหมักโดยวิเคราะห์ปริมาณกรดแลคติกที่ระยะเวลาในการหมักทุกๆ 6 ชั่วโมง จนกระทั่งปริมาณกรดแลคติกในแป้งหมักเท่ากับแป้งท้าน้ำจากโรงงานอุตสาหกรรมหรือหมักตามวิธีธรรมชาติซึ่งจะอยู่ในช่วงร้อยละ 0.95-1.10 (สุภรัตน์ และคณะ, 2534) ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 16

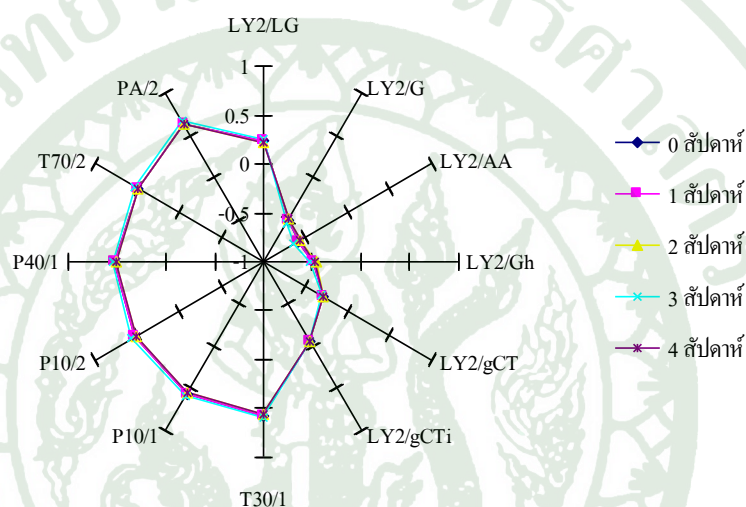
ตารางที่ 16 จำนวนแบคทีเรียกรดแลคติก และระยะเวลาในการหมักของของหัวเชื้อ *L. plantarum* A1 ที่ระยะเวลาในการเก็บ 0 – 5 สัปดาห์

ระยะเวลาในการเก็บ (สัปดาห์)	จำนวนแบคทีเรียกรดแลคติก (cfu/ml)	ระยะเวลาในการหมัก (ชั่วโมง)
0	4.21×10^{10}	24
1	3.53×10^{10}	24
2	1.63×10^{10}	24
3	8.59×10^9	24
4	6.97×10^9	24
5	7.47×10^8	28

จากตารางที่ 16 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติก และระยะเวลาในการหมัก ของกล้าเชื้อที่อายุการเก็บรักษาต่างกัน พบว่า จำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกของกล้าเชื้อที่มีอายุการเก็บรักษาตั้งแต่ 0-4 สัปดาห์ อยู่ในช่วง 10^9 - 10^{10} cfu/ml และระยะเวลาในการหมักแป้งข้าวเหนียวมีปริมาณกรดแลคติกในแป้งข้าวร้อยละ 0.95-1.10 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แต่เมื่อสัปดาห์ที่ 5 ของการเก็บรักษากล้าเชื้อ จำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกจะเป็น 10^8 cfu/ml ระยะเวลาในการหมักเป็น 28 ชั่วโมง จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ากล้าเชื้อที่มีอายุการเก็บรักษา 0-4 สัปดาห์ ยังสามารถหมักแป้งข้าวเหนียวมีปริมาณกรดแลคติกในแป้งข้าวร้อยละ 0.95-1.10 ภายในเวลา 24 ชั่วโมง ดังนั้นถ้าต้องการควบคุมระยะเวลาในการหมักไว้ที่ 24 ชั่วโมง กล้าเชื้อ *L. plantarum* A1 จะมีอายุการเก็บรักษาประมาณ 4 สัปดาห์

4.2 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นในแป้งหมัก

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นในแป้งหมักที่หมักกล้าเชื้อ *L. plantarum* A1 ที่อายุการเก็บรักษาต่างกัน คือ 0, 1, 2, 3, และ 4 สัปดาห์ โดยเครื่อง Electronic Nose (e-Nose) เพื่อยืนยันว่ากล้าเชื้อที่เก็บไว้ตลอด 4 สัปดาห์ เมื่อนำมาใช้ในการหมักจะมีประสิทธิภาพในการหมักเหมือนเดิมโดยพิจารณากลิ่นของแป้งหมัก ให้ผลดังแสดงผลในภาพที่ 12



ภาพที่ 12 การเปลี่ยนแปลงของกลิ่นแป้งข้าวหมักโดยกล้าเชื้อ *L. plantarum* A1 ที่มีอายุการเก็บ 0, 1, 2, 3 และ 4 สัปดาห์

หมายเหตุ LY2/LG	มีความสัมพันธ์ต่อสัญญาณตอบสนองของสาร Nitrogen dioxide และ Ozone
LY2/G	มีความสัมพันธ์ต่อสัญญาณตอบสนองของสาร Ethanol
LY2/AA	มีความสัมพันธ์ต่อสัญญาณตอบสนองของสาร Acetone
LY2/Gh	มีความสัมพันธ์ต่อสัญญาณตอบสนองของสาร Ethanol
LY2/gCTi	มีความสัมพันธ์ต่อสัญญาณตอบสนองของสาร Hydrogen Sulphide
LY2/gCT	มีความสัมพันธ์ต่อสัญญาณตอบสนองของสาร Ethanol
T30/1	มีความสัมพันธ์ต่อสัญญาณตอบสนองของสาร Carbon monoxide
P10/1	มีความสัมพันธ์ต่อสัญญาณตอบสนองของสาร Ammonia
P10/2	มีความสัมพันธ์ต่อสัญญาณตอบสนองของสาร Ammonia
P40/1	มีความสัมพันธ์ต่อสัญญาณตอบสนองของสาร Hydrogen Sulphide
T70/2	มีความสัมพันธ์ต่อสัญญาณตอบสนองของสาร Carbon monoxide
PA/2	มีความสัมพันธ์ต่อสัญญาณตอบสนองของสาร Hydrogen Sulphide

จากภาพที่ 12 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงกลั่นของแป้งหมักที่หมักโดยกล้าเชื้อ *L. plantarum* A1 ที่มีอายุการเก็บ 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 สัปดาห์ พบว่า กลั่นของแป้งหมักไม่แตกต่างกันในทุกตัวอย่าง

4.3 คุณสมบัติด้านความหนืด

นำแป้งหมักที่หมักโดยกล้าเชื้อ *L. plantarum* A1 ที่มีอายุการเก็บต่าง ๆ กันมาศึกษาคุณภาพด้านความหนืด โดยเครื่อง RVA ได้ผลดังแสดงผลในตารางที่ 17

ตารางที่ 17 คุณสมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวหมักจากกล้าเชื้อ *L. plantarum* A1 ที่อายุการเก็บต่างกันเมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA)

ระยะเวลาในการเก็บ (สัปดาห์)	Paste characteristic				
	Pasting temp. (°C)	Peak viscosity (RVA)	Final Viscosity (RVA)	Breakdown (RVA)	Setback (RVA)
0	81.70 ^a	285.54 ^a	374.21 ^a	72.84 ^a	156.29 ^a
1	82.00 ^a	284.38 ^a	374.75 ^a	72.75 ^a	155.83 ^a
2	81.84 ^a	284.21 ^a	373.92 ^a	72.67 ^a	155.98 ^a
3	82.40 ^a	284.81 ^a	375.30 ^a	73.01 ^a	156.17 ^a
4	81.42 ^a	285.04 ^a	374.00 ^a	72.87 ^a	156.03 ^a
5	80.65 ^b	287.11 ^b	371.84 ^b	70.85 ^b	158.77 ^b

หมายเหตุ a-b หมายถึงค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวเดียวกันที่มีตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 17 พบว่า เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบพฤติกรรมทางด้านความหนืดของแป้งหมักที่หมักโดยกล้าเชื้อที่มีอายุการเก็บรักษา 0, 1, 2, 3 และ 4 สัปดาห์ พบว่า พฤติกรรมทางด้านความหนืดไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) แสดงว่า กล้าเชื้อ *L. plantarum* A1 ที่มีอายุ

การเก็บจนกระทั่ง 4 สัปดาห์เมื่อนำไปหมักเป้งจะทำให้เป้งที่ได้มีคุณสมบัติด้านความหนืดที่เหมาะสมในการนำมาผลิตขนมจีนเป้งหมัก

4.4 คุณสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของเส้นขนมจีน

ผลการทดลองคุณสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของเส้นขนมจีนที่ผลิตจากเป้งหมักโดยกล้าเชื้อ *L.plantarum* A1 ที่อายุการเก็บรักษาต่าง ๆ กัน คือ 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 สัปดาห์ โดยการวัดแรงดึงด้วยเครื่อง Texture analyzer แสดงผลในตารางที่ 18

ตารางที่ 18 คุณสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของเส้นขนมจีนที่ผลิตจากกล้าเชื้อ *L.plantarum* A1 ที่อายุการเก็บต่าง ๆ กันที่ได้จากการวัดแรงดึง

ระยะเวลาในการเก็บ (สัปดาห์)	ค่าแรงดึง			
	ความเค้น ณ แรง สูงสุด (Pa)	ค่าร้อยละการยืดตัว ณ แรงสูงสุด	ค่างานทั้งหมด (mJ)	ค่าโมดูลัส (Mpa)
0	2.31 ^a	47.97 ^a	2.80 ^a	1.40 ^a
1	2.30 ^a	48.00 ^a	2.76 ^a	1.38 ^a
2	2.34 ^a	47.83 ^a	2.81 ^a	1.46 ^a
3	2.28 ^a	47.81 ^a	2.77 ^a	1.43 ^a
4	2.30 ^a	47.65 ^a	2.73 ^a	1.40 ^a
5	2.14 ^b	47.74 ^a	2.34 ^b	1.23 ^b

หมายเหตุ a-b หมายถึงค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวตั้งเดียวกันที่มีตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 18 เมื่อพิจารณาค่าแรงดึงของเส้นขนมจีนที่ผลิตโดยกล้าเชื้อ *L. plantarum* A1 ที่อายุการเก็บรักษาต่าง ๆ กัน คือ 0, 1, 2, 3, และ 4 สัปดาห์ พบว่า ค่าแรงดึงไม่มีความแตกต่าง ($p > 0.05$)

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ากล้าเชื้อที่มีอายุการเก็บรักษา 0 – 4 สัปดาห์ จะมีระยะเวลาในการหมักเป็น 24 ชั่วโมง มีจำนวนแบคทีเรียกรดแลกติก คุณภาพของแป้งหมัก ได้แก่ ความหนืด, กลิ่น และคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัสของขนมจีนที่ไม่มีความแตกต่าง ($p > 0.05$) ดังนั้นถ้าต้องการควบคุมระยะเวลาในการหมักไว้ที่ 24 ชั่วโมง อายุการเก็บของกล้าเชื้อจะเป็น 4 สัปดาห์

5. การศึกษาผลของเชื้อแบคทีเรียกรดแลกติกบริสุทธิ์ต่อคุณสมบัติทางเคมี-กายภาพของแป้งหมัก และ คุณภาพของเส้นขนมจีน

เมื่อได้เชื้อบริสุทธิ์ ที่ทราบสายพันธุ์และรูปแบบของกล้าเชื้อที่เหมาะสมในการนำมาใช้ผลิตขนมจีนแป้งหมักแล้วจึงทำการศึกษาผลของเชื้อดังกล่าวต่อคุณสมบัติทางเคมี-กายภาพของแป้งหมัก และคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยวิธีทดสอบเชิงพรรณนาของเส้นขนมจีน เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาใช้ในการกำหนดคุณภาพของแป้งข้าวที่ผ่านการหมักเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

5.1 คุณภาพทางเคมีของแป้งหมัก

จากการศึกษาคุณภาพทางเคมีของแป้งข้าวโดยเชื้อ *L. plantarum* A1 ระหว่างการหมักที่เวลา 0, 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง โดยการศึกษาปริมาณกรดแลกติก, ค่าความเป็นกรด-ด่าง, ปริมาณแอมิโลส, ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และปริมาณโปรตีน แสดงผลในตารางที่ 19

ตารางที่ 19 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวหมักโดยเชื้อ *L. plantarum* A1 ทุกๆ 6 ชั่วโมงเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง

ระยะเวลาในการหมัก (ชั่วโมง)	องค์ประกอบทางเคมี (% น้ำหนักแห้ง)				
	ปริมาณกรดแลคติก	pH	ปริมาณแอมิโลส	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์	ปริมาณโปรตีน
0	0.03e	6.24a	30.89b	0.07d	7.88a
6	0.40d	5.12b	31.18b	0.15c	7.63b
12	0.61c	3.92c	31.21b	0.24b	7.11c
18	0.90b	3.60d	31.43b	0.28b	6.68d
24	1.01a	3.49e	33.64a	0.39a	6.44e

หมายเหตุ a-e หมายถึงค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวตั้งเดียวกันที่มีตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

5.1.1 ปริมาณกรดแลคติก และ ค่าความเป็นกรด-ด่าง

เมื่อนำกล้าเชื้อ *L. plantarum* A1 มาทำการหมักแป้งข้าวตามภาพที่ 5 และทำการสุ่มตัวอย่างแป้งหมักที่ทุกๆ 6 ชั่วโมง จนกระทั่งหมักเป็น 24 ชั่วโมง มาทำการวิเคราะห์ปริมาณกรดแลคติก และ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 19 ซึ่งเมื่อพิจารณาปริมาณกรดแลคติก พบว่าร้อยละของกรดแลคติกของแป้งข้าวที่ไม่ผ่านการหมัก (0 ชั่วโมง) เท่ากับ 0.03 และเมื่อหมักแป้งข้าวเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ร้อยละของกรดแลคติกเพิ่มขึ้นเป็น 1.01 ซึ่งสอดคล้องกับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) คือ pH ของแป้งข้าวหมักจะลดลงจาก 6.24 เป็น 3.49 เมื่อเพิ่มเวลาในการหมัก การที่ค่า pH ลดลงเนื่องจากปริมาณกรดแลคติกที่เพิ่มขึ้น การเพิ่มของปริมาณกรดเกิดจากเชื้อแบคทีเรียผลิตเอนไซม์แอมิโลสย่อยแอมิโลส และแอมิโลเพกทินทำให้ได้กลูโคสและมอลโทส และจากการย่อยสลายของแอมิโลเพกทินยังทำให้ได้เดกซ์ทริน ซึ่งถูกย่อยสลายต่อด้วยเอนไซม์กลูโคมัยเลสได้กลูโคส หลังจากนั้นกลูโคสถูกเปลี่ยนแปลงในสภาพที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน จากกระบวนการเอนเดนมัยเออร์ซอฟ พาร์เวย์ ทำให้ได้กรดแลคติก และเมื่อหมักครบ 24 ชั่วโมง ปริมาณกรดแลคติกอยู่ในช่วงเดียวกับปริมาณกรดแลคติกในแป้งท้าน้ำที่หมักตามธรรมชาติคือ ร้อยละ 0.95 – 1.10 (ณรงค์, 2535)

5.1.2 ปริมาณแอมิโลส

จากตารางที่ 19 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบปริมาณแอมิโลส (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง) โดยวิธี พบว่า ปริมาณแอมิโลสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วง 30.89 – 33.64 หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.75 โดยปริมาณแอมิโลสในแป้งข้าวที่หมักเป็นเวลา 24 ชั่วโมงจะมีความแตกต่าง ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวหมักที่เวลาหมักอื่นๆ ทั้งนี้ปริมาณแอมิโลสที่เพิ่มขึ้นเกิดจาก *L. plantarum* A1 ผลิตเอนไซม์อัลฟาแอมิเลสและกลูโคสแอมิเลส ซึ่งจะย่อยแป้งที่ตำแหน่ง α - D, 1-4 แบบสุ่ม จึงทำให้โมเลกุลของแป้งเล็กลง จึงทำให้ปริมาณแอมิโลสเพิ่มขึ้นระหว่างการหมัก และอาจได้เด็กซ์ทริน มอลโตส และกลูโคส ซึ่งสอดคล้องกับ Reed (1975) ที่รายงานว่า *L. plantarum* สามารถผลิตเอนไซม์อัลฟาแอมิเลสและกลูโคสแอมิเลสเพื่อย่อยแป้งได้

5.1.3 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

จากตารางที่ 21 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง) โดยวิธี พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วง 0.07-0.39 เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการหมัก โดยปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของแป้งหมักในแต่ละช่วงเวลาหมักข้าวมีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) ปราโมทย์ และคณะ (2534) ศึกษาปริมาณน้ำตาลที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมักขนมจีน พบว่า มีน้ำตาลเหลืออยู่น้อยมากสันนิษฐานว่าจุลินทรีย์ใช้น้ำตาลรีดิวซ์ที่เกิดขึ้นเป็นแหล่งพลังงาน และแหล่งคาร์บอน เพื่อใช้ในการเจริญและสร้างกรดแลกติก

5.1.4 ปริมาณโปรตีน

จากตารางที่ 19 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบปริมาณโปรตีน (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง) พบว่าร้อยละของโปรตีนในแป้งข้าวที่ไม่ผ่านการหมัก (0 ชั่วโมง) เท่ากับ 7.88 และเมื่อหมักแป้งข้าวเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ร้อยละของโปรตีนลดลงเป็น 6.44 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปริมาณโปรตีนมีแนวโน้มลดลง (ร้อยละ 7.88-6.44) เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการหมัก โดยปริมาณโปรตีนของแป้งหมักในแต่ละช่วงเวลาหมักข้าวมีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) สอดคล้องกับพัชรี และคณะ (2534) ได้ศึกษาคุณภาพแป้งข้าวระหว่างการหมักจนถึงแป้งก่อนทับน้ำ พบว่าปริมาณโปรตีนมีแนวโน้มลดลงประมาณร้อยละ 2.09 จะเห็นได้ว่าปริมาณโปรตีนจะลดลงระหว่างการหมัก ทั้งนี้เนื่องจากในระหว่างการหมักจุลินทรีย์นำโปรตีนบางส่วนที่มีอยู่ในปลายข้าวไปใช้เป็น

แหล่งไนโตรเจน เพื่อการเจริญเติบโต นอกจากนี้โปรตีนบางส่วนยังสูญเสียไปในระหว่างการแช่น้ำ ปริมาณโปรตีนมีผลต่อความใสและความเหนียวของเส้นคือการที่ปริมาณโปรตีนลดลงจะทำให้ขนมจีนที่ได้มีลักษณะใสและเหนียวขึ้น (ลาววัลย์ และคณะ, 2534)

5.2 คุณภาพทางกายภาพของแป้งหมัก

จากการศึกษาคุณภาพทางกายภาพของแป้งข้าว ระหว่างการหมักโดยกล้ำเชื้อ *L.plantarum* A1 ที่เวลา 0 6 12 18 และ 24 ชั่วโมง โดยการศึกษาสี ลักษณะทางสัณฐานวิทยา กำลังการพองตัวและร้อยละการละลายของแป้ง การเกิดเจลติในเซชัน พฤติกรรมทางด้านความหนืด และกลิ่น แสดงผลดังนี้

5.2.1 สี

การศึกษการเปลี่ยนแปลงสีของแป้งข้าวระหว่างการหมักโดยกล้ำเชื้อ *L.plantarum* A1 ที่เวลา 0, 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง โดยใช้เครื่อง Spectrophotometer แสดงผลในตารางที่ 20

จากตารางที่ 20 พบว่า ค่าความสว่าง (L^*) มีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่อเวลาในการหมักนานขึ้น โดยที่เวลาในการหมักเป็น 0 ชั่วโมง (ไม่ผ่านการหมัก) ค่า L^* เป็น 87.38 และเมื่อเวลาในการหมักเป็น 24 ชั่วโมง ค่า L^* เป็น 88.01 จะได้เห็นว่าแป้งที่ผ่านการหมักจะทำให้สีของแป้งสว่างขึ้น เนื่องจากมีค่าความสว่างใกล้เคียง 100

ค่าเข้าใกล้สีแดง (a^*) มีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่อเวลาในการหมักนานขึ้น โดยที่เวลาในการหมักเป็น 0 ชั่วโมง (ไม่ผ่านการหมัก) ค่า a^* เป็น -0.0215 และเมื่อเวลาในการหมักเป็น 24 ชั่วโมง ค่า a^* เป็น -0.2425

ตารางที่ 20 ค่า L^* a^* b^* ของแป้งข้าวที่เวลาในการหมัก 0, 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง

เวลาในการหมัก (ชม.)	ค่าสี			ΔE^*
	L^*	a^*	b^*	
0	87.38e	-0.0215e	6.99e	0.00e
6	87.50d	-0.0323d	7.48d	0.51d
12	87.74c	-0.0946c	7.67c	0.77c
18	87.91b	-0.1248b	7.92b	1.08b
24	88.01a	-0.2425a	8.08a	1.28a

หมายเหตุ a-e หมายถึงค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวตั้งเดียวกันที่มีตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

_____ ค่าเฉลี่ยสูงสุด

ค่าเข้าใกล้สีเหลือง (b^*) มีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่อเวลาในการหมักนานขึ้น โดยที่เวลาในการหมักเป็น 0 ชั่วโมง (ไม่ผ่านการหมัก) ค่า b^* เป็น 6.99 และเมื่อเวลาในการหมักเป็น 24 ชั่วโมง ค่า b^* เป็น 8.08

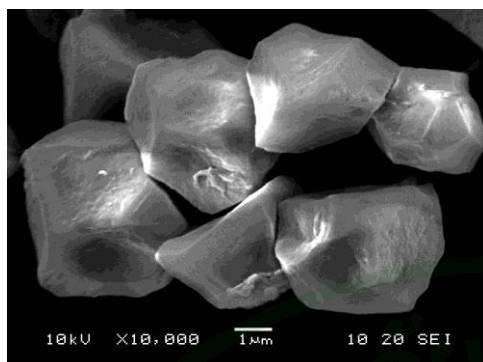
ค่าความแตกต่างของสีทั้งหมด (ΔE^*) ซึ่งใช้แทนค่าความแตกต่างของสีระหว่างแป้งหมักที่เวลา 6 12 18 และ 24 กับ แป้งที่ไม่ผ่านการหมัก พบว่ามีแนวโน้มสูงขึ้น (0.00 – 1.28) และมีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) เมื่อเวลาในการหมักนานขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่า แป้งที่หมักนานขึ้นจะแตกต่างจากสีของแป้งที่ไม่ผ่านการหมักมากขึ้น

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า แป้งที่หมักนานขึ้นจะมีความสว่างมากขึ้น (ค่า L^* เพิ่มขึ้น) ปัจจัยหนึ่งที่มีความสัมพันธ์กับสีของผลิตภัณฑ์เส้น ได้แก่ ปริมาณโปรตีน คือถ้ามีปริมาณโปรตีนสูงแป้งจะมีสีคล้ำ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาปริมาณโปรตีนของแป้งระหว่างการหมักที่พบว่าปริมาณโปรตีนจะลดลงระหว่างการหมัก ดังนั้นจึงทำให้สีของแป้งที่หมักนานขึ้นมีความสว่างมากขึ้น (งามชื่น, 2541)

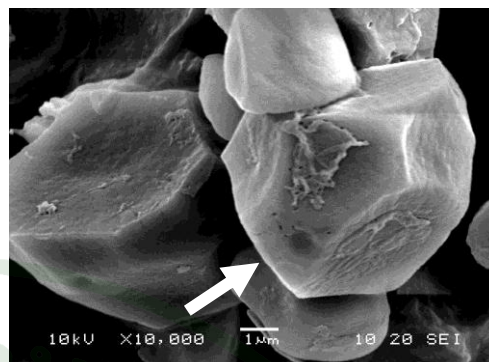
5.2.2 ลักษณะทางสัณฐานวิทยา

การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเม็ดแป้งข้าวที่เวลาในการหมัก 0, 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมงด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกราดลำแสง (Scanning Electron Microscope) ได้แสดงผลในภาพที่ 13

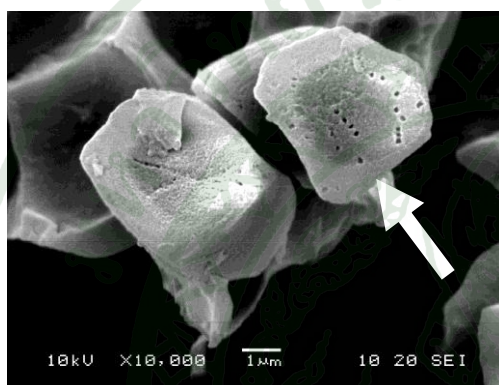
เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบลักษณะทาง สัณฐานวิทยาของเม็ดแป้ง (ภาพที่ 13) บริเวณที่ถูกครีจะพบว่า มีรูพรุนเกิดขึ้นที่ผิวของเม็ดแป้ง โดยเม็ดแป้งที่ ไม่ผ่านการหมัก (0 ชั่วโมง) (ภาพที่ 13a) จะไม่พบรูพรุน แต่ที่ เวลาในการหมักเป็น 24 ชั่วโมง จะพบรูพรุนที่บริเวณผิวของเม็ดแป้งมากที่สุด (ภาพที่ 13e) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าจำนวนรูพรุนจะเพิ่มมากขึ้น เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการหมัก เม็ดแป้งมีโครงสร้างเป็น semi-crystalline มีส่วนที่เป็นผลึก (crystallite) ส่วนที่เป็นชั้น ผลึกนี้เกิดจากเอมิโลเพกทินแต่ละโมเลกุลในหลายๆ ไมเซลล์ (micelles) เชื่อมต่อกันเป็นร่างแหสามมิติด้วยพันธะ ไฮโดรเจน เป็นส่วนที่ทำให้เม็ดแป้งมีความแข็งแรงคงรูปร่างของเม็ดแป้งไว้ และส่วน ออสันฐาน (amorphous) จะเป็นส่วนที่ยึดเกาะชั้นผลึกไว้ด้วยกัน และเป็นส่วนที่สร้างคามยืดหยุ่นให้กับเม็ดแป้ง และเป็นส่วนที่มีความไวต่อการทำปฏิกิริยากับน้ำและกรด (Morrison *et al.*, 1993) ดังนั้นเมื่อแป้งมีการถูกย่อยสลายเนื่องจากกรดที่ผลิตขึ้นจากจุลินทรีย์ในระหว่างการหมักจึงน่าจะมีผล ต่อลักษณะทางโครงสร้างของแป้ง การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาจึงสามารถใช้ออกลักษณะการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวได้ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ Zhan-Hui (2005) ที่ศึกษาผลของการหมักแบบธรรมชาติต่อคุณภาพทางเคมี กายภาพของแป้งข้าว พบว่า การหมักมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานของเม็ดแป้งโดยจะพบหลุมตื้นๆที่บริเวณผิวของเม็ดแป้ง ซึ่งรูพรุนนี้เกิดจากการย่อยแป้งของจุลินทรีย์โดยกรดที่จุลินทรีย์ผลิตขึ้น นอกจากนี้ การเกิดรูพรุนจะทำให้เม็ดแป้งมีการเปลี่ยนแปลงโดยแรงจับตัวระหว่างผลึกกับออสันฐาน (amorphous matrix) จะเปลี่ยนไปซึ่งจะมีผลต่อกำลังการพองตัวและความสามารถในการละลาย, คุณสมบัติทางด้านความหนืด, อุณหภูมิเจลาไทไนเซชัน และการเปลี่ยนแปลงรูปแบบความร้อน (Thermogram) (Jacob *et al.*, 1996)



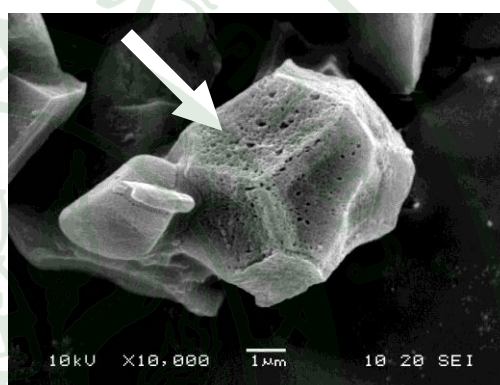
(a) เม็ดแป้งข้าวที่ไม่ผ่านการหมัก



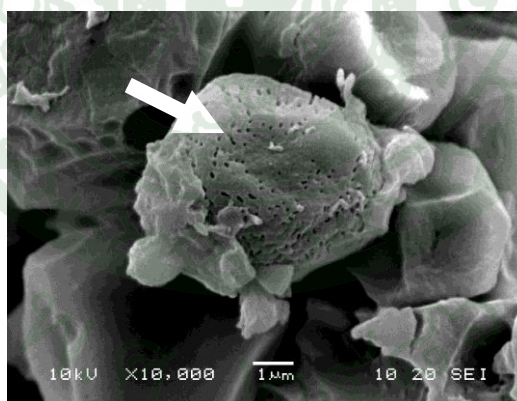
(b) เม็ดแป้งข้าวหมักที่เวลา 6 ชม.



(c) เม็ดแป้งข้าวหมักที่เวลา 12 ชม.



(d) เม็ดแป้งข้าวหมักที่เวลา 18 ชม.



(e) เม็ดแป้งข้าวหมักที่เวลา 24 ชม.

ภาพที่ 13 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแป้งข้าวโดยกล้าเชื้อ *L. plantarum* A1 ที่เวลาในการหมักต่าง ๆ กันเมื่อศึกษาด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope (SEM) กำลังขยาย 100000 เท่า

หมายเหตุ ลูกศรชี้ หมายถึงรูพรุนที่ผิวของเม็ดแป้งข้าวที่เกิดจากการย่อยของกรด

5.2.3 กำลังการพองตัวและร้อยละการละลายของแป้ง

ผลการวิเคราะห์ค่ากำลังการพองตัวและร้อยละการละลายของแป้งหมัก โดยกล้าเชื้อ A1 ระหว่างการหมักที่เวลา 0 6 12 18 และ 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิต่างๆ คือ 55 65 75 85 และ 95 องศาเซลเซียส โดยดัดแปลงวิธีของ Schoch (1964) แสดงผลดังตารางที่ 21

ตารางที่ 21 กำลังการพองตัว และความสามารถในการละลายที่อุณหภูมิต่างๆ คือ 55 65 75 85 และ 95 องศาเซลเซียสของแป้งข้าวที่หมักที่เวลาในการหมักต่างๆ

เวลาในการหมัก (ชั่วโมง)	กำลังการพองตัว (g/g)					ความสามารถในการละลาย (%)				
	55°C	65°C	75°C	85°C	95°C	55°C	65°C	75°C	85°C	95°C
0	3.74a	6.88a	10.91a	16.81a	16.65a	1.01e	1.50e	2.61e	8.16e	13.00e
6	3.41b	6.45b	10.78b	16.25b	16.30b	1.80d	2.59d	4.70d	9.44d	18.30d
12	3.01c	6.38c	10.59c	15.71c	15.41c	2.14c	4.98c	6.50c	21.87c	26.35c
18	2.71d	6.21d	10.34d	15.23d	15.13d	2.41b	5.83b	8.64b	23.43b	27.36b
24	2.65e	6.09e	10.14e	15.00e	15.00e	3.64a	6.90a	15.12a	26.94a	27.94a

หมายเหตุ a-e หมายถึงค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวอนเดียวกันที่มีตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

_____ ค่าเฉลี่ยสูงสุด

จากตารางที่ 21 เมื่อพิจารณาค่ากำลังการพองตัวของแป้งข้าวหมักจากเวลาในการหมักเดียวกันที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นแป้งข้าวจากเวลาในการหมักเดียวกันมีค่ากำลังการพองตัวสูงขึ้น เนื่องจากความร้อนไปทำลายพันธะไฮโดรเจนที่เกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแป้งที่อยู่ใกล้ๆ กัน โมเลกุลของน้ำจึงสามารถเข้ามาจับกับหมู่หมู่ไฮดรอกซิลอิสระ เม็ดแป้งจึงเกิดการพองตัวเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้น (กล้าณรงค์, 2542) เมื่อพิจารณาค่ากำลังการพองตัวของแป้งข้าวหมักจากเวลาต่างๆ ที่อุณหภูมิเดียวกัน พบว่าเมื่อเวลาหมักนานขึ้นค่ากำลังการพองตัวจะลดลง ทั้งนี้เป็นเพราะการย่อยเม็ดแป้งด้วยกรดจะทำให้โครงสร้างส่วนอัดแน่นที่เป็นส่วนที่ยึดหยุ่นและทำปฏิกิริยากับน้ำได้ดีถูกกำจัดออกไป ทำให้เม็ดแป้งพองตัวได้น้อยลงค่ากำลังการพองตัวจึงลดลง

เมื่อพิจารณาความสามารถในการละลายของแป้งข้าวหมักจากเวลาในการ

หมักเดียวกันที่อุณหภูมิต่างๆ ดังตารางที่ 21 จะมีแนวโน้มคล้ายคลึงกับค่ากำลังการพองตัวนั้นคือ เมื่ออุณหภูมิของน้ำแป้งเพิ่มขึ้นร้อยละการละลายมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย แต่เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบร้อยละการละลายของแป้งข้าวมักจากเวลาต่างๆ ที่อุณหภูมิเดียวกัน พบว่า เมื่อเวลาหมักนานขึ้นค่าร้อยละการละลายของแป้งจะเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะเม็ดแป้งที่ผ่านการย่อยด้วยกรดจะมีโครงสร้างเป็นแอมิโลสแตกหักสายสั้นๆ ซึ่งละลายน้ำได้ดีเมื่อให้ความร้อน ทั้งนี้ค่ากำลังการพองตัวและร้อยละการละลายของแป้งมีผลต่อการเกิดเจลลิตในซังของเม็ดแป้ง

5.2.4 การวิเคราะห์การเกิดเจลลิตในเซชัน

การศึกษาลักษณะการเกิดเจลลิตในเซชันของแป้งข้าวมักที่เวลาต่างๆ ด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimetry (DSC) ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสต่อ นาที ค่าเทอร์โมไดนามิกส์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเจลลิตในซังของแป้ง ค่าอุณหภูมิเริ่มต้น (T_o) อุณหภูมิที่จุดสูงสุด (T_p) อุณหภูมิสุดท้าย (T_c) ในการเกิดเจลลิตในเซชัน และค่าพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลลิตในเซชัน (ΔH) แสดงดังตารางที่ 22

ตารางที่ 22 ค่าเทอร์โมไดนามิกส์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเจลไดโนซ์ของแป้งข้าวหมักที่เวลาต่างๆ
เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimetry (DSC)

ระยะเวลาในการหมัก (ชม.)	อุณหภูมิในการเกิดเจลไดโนซ์ (°C)			ΔH (Jg ⁻¹ , db)
	To	Tp	Tc	
0	71.70a	74.05d	77.58e	17.78c
6	71.66a	74.14d	78.24d	17.81c
12	71.36b	74.88c	78.43c	18.51b
18	71.25c	75.03b	78.72b	18.44b
24	71.19d	75.38a	79.20a	18.81a

หมายเหตุ To คืออุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลไดโนซ์ (Onset temperature)

Tp คืออุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลไดโนซ์ (Peak temperature)

Tc คืออุณหภูมิสุดท้ายในการเกิดเจลไดโนซ์ (Conclusion temperature)

ΔH คือพลังงานที่เปลี่ยนแปลงระหว่างการเกิดเจลไดโนซ์ (Enthalpy)

a-e หมายถึงค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวเดียวกันที่มีตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

— ค่าเฉลี่ยสูงสุด

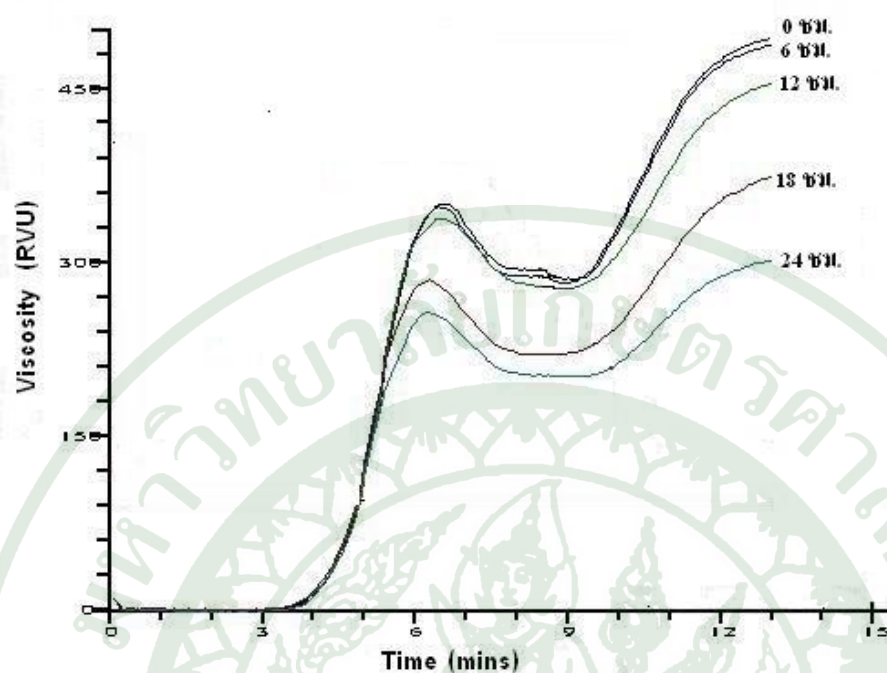
จากตารางที่ 22 ค่าอุณหภูมิเริ่มต้น (To) อุณหภูมิสุดท้าย (Tc) อุณหภูมิที่จุดสูงสุด (Tp) ในการเกิดเจลไดโนซ์ของแป้งข้าวที่ไม่ผ่านการหมักมีค่าเท่ากับ 71.70, 74.05 และ 79.48 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เมื่อเม็ดแป้งผ่านการหมัก ค่าอุณหภูมิเริ่มต้นจะต่ำลง และค่าอุณหภูมิสุดท้าย ในการเกิดเจลไดโนซ์จะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยค่าอุณหภูมิเริ่มต้นลดลงเหลือ 71.19 องศาเซลเซียส และค่าอุณหภูมิสุดท้ายในการเกิดเจลไดโนซ์จะเพิ่มขึ้นเป็น 79.48 องศาเซลเซียส เมื่อทำการหมักแป้งข้าวเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำให้ช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลไดโนซ์ ($T_c - T_o$) มีลักษณะกว้างขึ้น นอกจากนี้ ค่าพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลไดโนซ์ของแป้งที่ผ่านการหมักจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เช่นกัน โดยเพิ่มจาก 17.78 จูลต่อกรัมในแป้งที่ไม่ผ่านการหมักเป็น 19.06 จูลต่อกรัมในแป้งข้าวที่ผ่านการหมักเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

นอกจากนี้ยังพบว่าค่าอุณหภูมิเริ่มต้นที่ใช้ในการเกิดเจลลาติโนเซชันจะลดลงเมื่อเวลาในการหมักนานขึ้น ซึ่งในระหว่างการหมักจะมีปริมาณกรดเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน จากผลดังกล่าวจึงแสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมาจากการที่แป้งถูกย่อยด้วยกรดในระหว่างการหมัก ในการย่อยแป้งด้วยกรด ส่วนออสถูฐานจะถูกกำจัดออกจากเม็ดแป้งก่อนซึ่งจะทำให้เกิดช่องว่างภายในระหว่างชั้นโครงสร้างผลึก ดังผลการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาโดยเครื่อง SEM จึงทำให้น้ำสามารถแทรกตัวผ่านเข้าทำปฏิกิริยากับสายเกลียวคู่ในโครงสร้างผลึกได้ง่ายขึ้น ทำให้ค่าอุณหภูมิเริ่มต้นที่ใช้ในการเกิดเจลลาติโนเซชันลดลง (Donovan *et al.*, 1983 ; Waigh *et al.*, 2000)

จากผลการทดลอง แสดงให้เห็นว่าค่าพลังงานและค่าอุณหภูมิสุดท้ายที่ใช้ในการเกิดเจลลาติโนเซชันของแป้งข้าวที่ผ่านการหมักจะเพิ่มขึ้น ทำให้ทราบว่าการหมักสามารถเพิ่มสัดส่วนโครงสร้างที่เป็นระเบียบภายในเม็ดแป้งให้มากขึ้นได้ เนื่องจากกรดได้กำจัดส่วนออสถูฐานที่ทำปฏิกิริยากับน้ำได้ดีออกไป เหลือส่วนโครงสร้างผลึกที่เป็นระเบียบซึ่งทำปฏิกิริยาได้ยากกว่าไว้ กระบวนการเจลลาติโนเซชันเป็นกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงหลายขั้นตอน โดยเริ่มจากส่วน ออสถูฐานจะเริ่มดูดน้ำและพองตัวขึ้นเมื่อให้ความร้อน การพองตัวหรือขยายตัวที่เพิ่มขึ้นจะทำให้โครงสร้างผลึกที่เป็นระเบียบภายในเม็ดแป้งถูกทำลาย (Svensson and Eliasson, 1995) ดังนั้นการกำจัดส่วนออสถูฐานนี้ออกไป จึงทำให้ต้องใช้พลังงานและอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในการทำโครงสร้างที่เป็นระเบียบทั้งหมดหลอมละลาย

5.2.5 พฤติกรรมทางด้านการหนืด

เมื่อนำแป้งข้าวหมักที่เวลาต่างๆ มาวิเคราะห์พฤติกรรมทางด้านการหนืด โดยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) ผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 14 และตารางที่ 23



ภาพที่ 14 พฤติกรรมด้านความหนืดของแป้งข้าวหมักที่เวลาต่างๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย
เครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA)

ตารางที่ 23 คุณสมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวหมักที่เวลาต่างๆ เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง
Rapid Visco Analyzer (RVA)

Fermented Time(h)	Paste characteristic				
	Pasting temperature (°C)	Peak viscosity (RVU)	Final Viscosity (RVU)	Breakdown (RVU)	Setback (RVU)
0	82.75a	354.54a	492.21a	63.84e	207.63a
6	82.63ab	343.38b	487.75b	64.75d	201.29b
12	82.48ab	340.21c	453.92c	65.67c	179.38c
18	82.30b	305.21d	402.30d	69.09b	172.17d
24	81.35c	285.04e	373.00e	71.17a	155.13e

หมายเหตุ a-e หมายถึงค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวตั้งเดียวกันที่มีตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

_____ ค่าเฉลี่ยสูงสุด

จากภาพที่ 14 และตารางที่ 23 สามารถอธิบายคุณสมบัติทางด้านการขึ้นหนืดได้ดังนี้

(1) อุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด (Pasting temperature)

อุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงความหนืดหรืออุณหภูมิต่ำสุดที่ต้องใช้ในการทำให้แป้งสุก (Newport Scientific, 1995) ของแป้งข้าวหมักที่เวลาต่างๆมีค่าแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบอุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA พบว่ามีแนวโน้มต่ำลงเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการหมัก โดยแป้งข้าวที่ไม่ผ่านการหมัก (0 ชั่วโมง) อุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดเท่ากับ 82.75 °C และเมื่อเวลาหมักเป็น 24 ชั่วโมง อุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดเท่ากับ 81.35 °C เช่นเดียวกับช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลไดโนซ์เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC (จากผลการทดลองข้อ 4.2.2) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ากรดอะซิโตรีโกลของแป้งทำให้ขนาดโมเลกุลเล็กลง เมื่อเทียบกับแป้งดิบ แป้งที่ผ่านการไฮโดรไลสด้วยกรดจะสุกและเริ่มเกิดเจลที่อุณหภูมิต่ำกว่าเดิม จึงทำให้ความหนืดต่ำลงที่อุณหภูมิสูง และความหนืดสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิต่ำลง

(2) ค่าความหนืดสูงสุด (Peak viscosity)

เมื่อพิจารณาค่าความหนืดสูงสุด พบว่า เมื่อเปรียบเทียบความหนืดสูงสุดแนวโน้มน้ำค่าความหนืดสูงสุดจะลดต่ำลงเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการหมัก โดยแป้งข้าวที่ไม่ผ่านการหมัก (0 ชั่วโมง) ค่าความหนืดสูงสุดเท่ากับ 354.54 RVU และเมื่อเวลาหมักเป็น 24 ชั่วโมง ค่าความหนืดสูงสุดเท่ากับ 285.04 RVU เมื่อกรดอะซิโตรีโกล์ของแป้งทำให้ขนาดโมเลกุลเล็กลง จึงทำให้ความหนืดต่ำลงที่อุณหภูมิสูง และความหนืดสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลง เมื่อเทียบกับแป้งดิบ (นิตี, 2543)

(3) ค่าความหนืดสุดท้าย (Final viscosity)

เมื่อพิจารณาค่าความหนืดสุดท้าย พบว่า เมื่อเปรียบเทียบค่าความหนืดสุดท้ายแนวโน้มน้ำค่าความหนืดสุดท้ายจะลดต่ำลงเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการหมัก โดยแป้งข้าวที่ไม่ผ่านการหมัก (0 ชั่วโมง) ค่าความหนืดสุดท้ายเท่ากับ 492.21 RVU และเมื่อเวลาหมักเป็น 24 ชั่วโมง ค่าความหนืดสุดท้ายเท่ากับ 373.00 RVU ปริมาณแอมิโลสที่มากเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ค่าความหนืดสุดท้ายสูง (กล้าณรงค์, 2542) เนื่องจากเจลแป้งเมื่อผ่านการให้ความร้อนและทำให้เย็นจะเกิดการจับเรียงตัวใหม่ของแอมิโลสที่อยู่ใกล้กันด้วยพันธะไฮโดรเจนมีผลทำให้น้ำแป้งมีความหนืดมากขึ้น และเกิดได้เร็วเมื่อแอมิโลสมีโมเลกุลสูง (นิตี, 2543)

(4) ค่าการคืนตัว (Setback)

เมื่อพิจารณาค่าการคืนตัว พบว่า เมื่อเปรียบเทียบค่าการคืนตัว แนวโน้มน้ำค่าการคืนตัวจะลดต่ำลงเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการหมัก โดยแป้งข้าวที่ไม่ผ่านการหมัก (0 ชั่วโมง) ค่าการคืนตัวเท่ากับ 207.63 RVU และเมื่อเวลาหมักเป็น 24 ชั่วโมง ค่าการคืนตัว เท่ากับ 155.135 RVU การคืนตัวของแป้งนั้นเป็นกระบวนการที่ซับซ้อนและขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการคืนตัวคือ ค่า pH ถ้าค่า pH สูงกว่า 10 หรือต่ำกว่า 2 การคืนตัวของแป้งจะลดลง นอกจากนี้ยังขึ้นกับ โมเลกุลของแอมิโลส การคืนตัวของแป้งจะเกิดได้ดีเมื่อสายของแอมิโลสที่มีกลูโคสต่อกันระหว่าง 100-200 หน่วยกลูโคส แต่จะลดลงเมื่อโมเลกุลของแอมิโลสยาวหรือสั้น

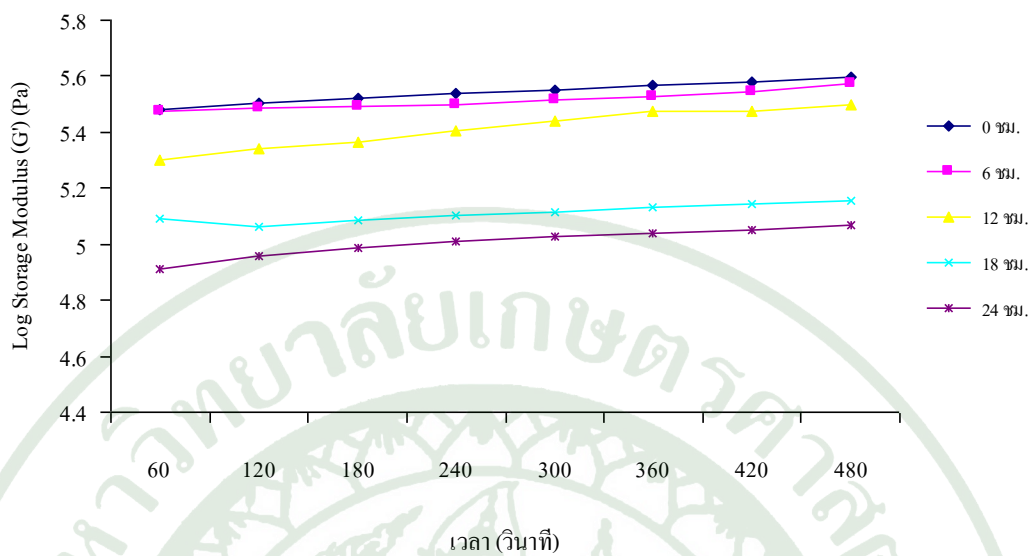
กว่านี้ (อรพิน, 2533) ซึ่งจากผลการทดลองเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการหมักนานขึ้นจุลินทรีย์จะผลิตกรดแลกติกเพิ่มขึ้นทำให้ค่า pH ของแป้งจะลดลงจึงทำให้ค่า การคืนตัวลดลง เมื่อหมักนานขึ้น และกรดที่เพิ่มขึ้นนี้จะย่อยโมเลกุลของแป้งให้สั้นลงมีผลให้ค่าการคืนตัวลดลง

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า แป้งที่ผ่านการไฮโดรไลส์ด้วยกรด แป้งจะสุกและเริ่มเกิดเจลที่อุณหภูมิต่ำกว่าเดิมเมื่อเกิดการคืนตัวจะได้เจลที่มีความสามารถในการยึดเกาะได้ดีขึ้น สะดวกในการเทลงแบบพิมพ์ และเจลที่ได้มีลักษณะแข็ง และใสกว่าแป้งดิบ (Imeson, 1992) สอดคล้องกับ อรอนงค์ และคณะ (2534) ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงความหนืดของข้าวหัก, ข้าวหักแช่น้ำ 1-2 คืน, แป้งหมัก, แป้งก่อนโรยเส้น โดยใช้เครื่องวัดความหนืดแบบบราเบนเดอร์ พบว่า ลักษณะของความหนืดในทุกจุดที่เปรียบเทียบลดต่ำลง

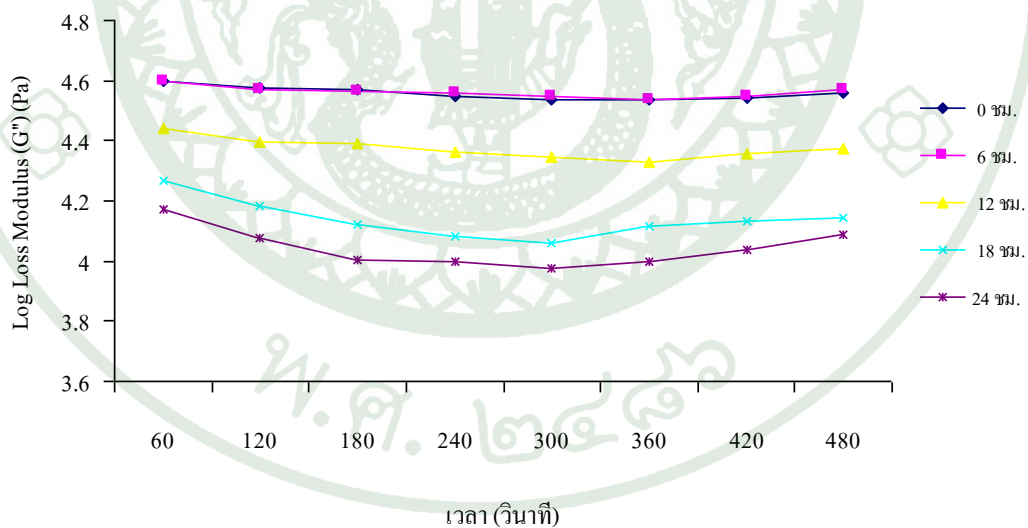
ทั้งนี้วิธีการวัดการเปลี่ยนแปลงทางด้านความหนืดโดยเครื่อง RVA ไม่สามารถบอกได้ว่าผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีลักษณะเจลที่แข็งแบบใด จึงต้องทำการตรวจวัดการกลับคืนตัวของแป้ง ด้วยวิธีการวัดค่าลักษณะเนื้อสัมผัสทางกลได้แก่ แรงดึง ซึ่งน่าจะเป็นวิธีการวัดที่สามารถนำมาใช้อธิบายถึงพฤติกรรมของเจลแป้งได้ ทั้งนี้วิธีการวัดค่าแรงดึงจะทำการศึกษาในหัวข้อต่อไป

5.2.6 สมบัติทางด้าน Rheological

เมื่อนำแป้งข้าวหมักที่เวลาต่างๆ มาวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้าน Rheological โดยเครื่อง Rheometer แสดงผลในภาพที่ 15 - ภาพที่ 16

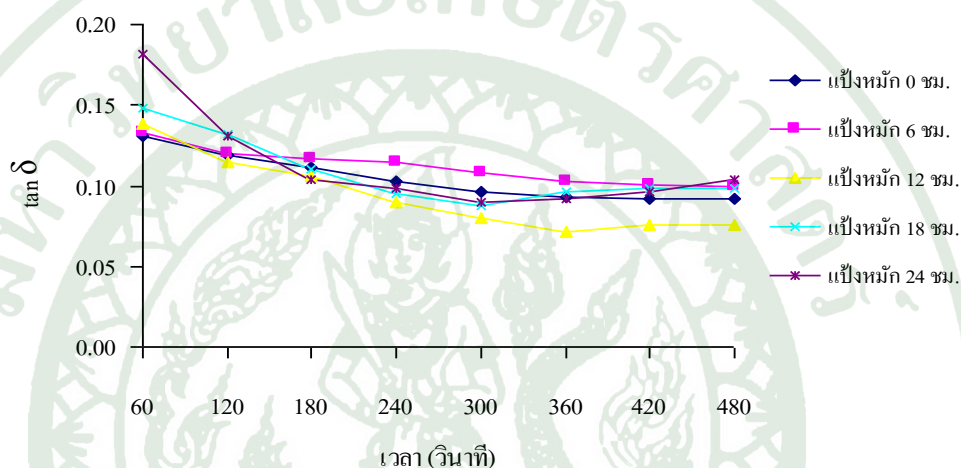


ภาพที่ 15 ค่า Storage Modulus (G') ของแป้งหมักที่ระยะเวลาในการหมัก 0 6 12 18 และ 24 ชั่วโมง



ภาพที่ 16 ค่า Loss Modulus (G'') ของแป้งที่ระยะเวลาในการหมัก 0 6 12 18 และ 24 ชั่วโมง

จากภาพที่ 14 - 15 เมื่อเปรียบเทียบ ค่า Storage Modulus (G') และค่า Loss Modulus (G'') ของแป้งที่ระยะเวลาในการหมัก 0, 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง แสดงให้เห็นว่า ค่า Storage Modulus (G') ของแป้งที่ระยะเวลาในการหมัก 0, 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง มีค่าสูงกว่า ค่า Loss Modulus (G'') แสดงให้เห็นว่า ลักษณะของเจลที่ได้จะมีลักษณะเป็นเจลที่แข็ง (solid like properties) (Whistler และ BeMiller, 1999)



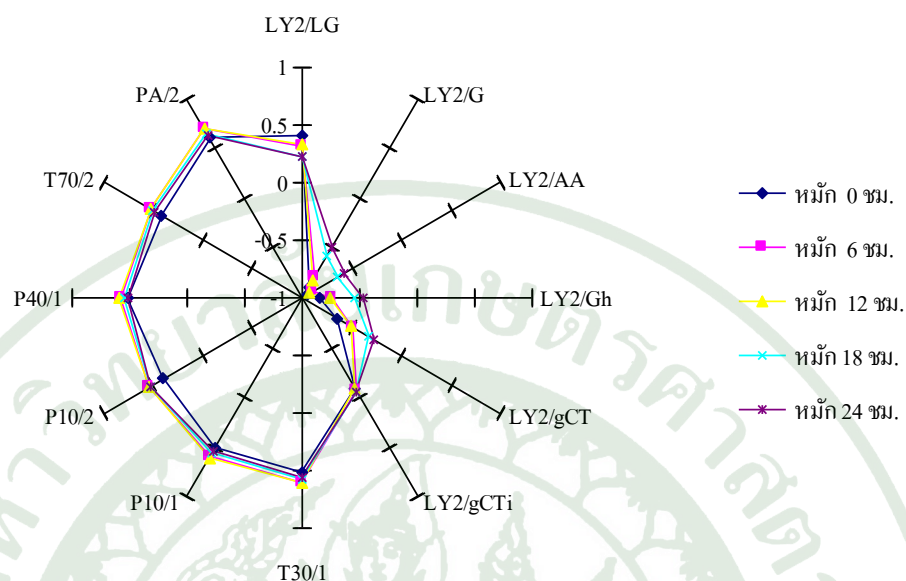
ภาพที่ 17 ค่า $\tan \delta$ ของแป้งหมักที่ระยะเวลาในการหมัก 0 6 12 18 และ 24 ชั่วโมง

จากภาพที่ 15 - 17 แสดงให้เห็นว่าค่า Storage Modulus (G') ค่า Loss Modulus (G'') และ ค่า $\tan \delta$ ของแป้งที่ระยะเวลาในการหมัก 0, 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง จะลดลงเมื่อเวลาในการหมักนานขึ้น แสดงให้เห็นว่าการหมักมีผลต่อค่า Viscoelastic properties ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อหมักนานขึ้นเจลที่ได้จะแสดงสมบัติเป็น solid like ลดลง หรือ แสดงสมบัติเป็น liquid like มากขึ้น ซึ่งเมื่อค่า G' ลดลงจะมีผลต่อความหนืดของแป้งคือจะทำให้ความหนืดของแป้งลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA พบว่ามีแนวโน้มต่ำลงเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการหมัก นอกจากนี้การที่แป้งหมักมีค่า G' และ $\tan \delta$ ลดลง เจลแป้งที่ได้จะมีความนุ่ม แต่จะเหนียวมากขึ้น (Lee and Campanella, 2003)

5.2.7 การเปลี่ยนแปลงสารให้กลิ่น

เมื่อนำแป้งข้าวหมักโดยกล้าเชื้อ *L.plantarum* A1 ที่เวลาต่างๆ คือ 0, 6, 12, 18, และ 24 ชั่วโมง มาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสารให้กลิ่น โดยเครื่อง Electronic Nose ผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 18

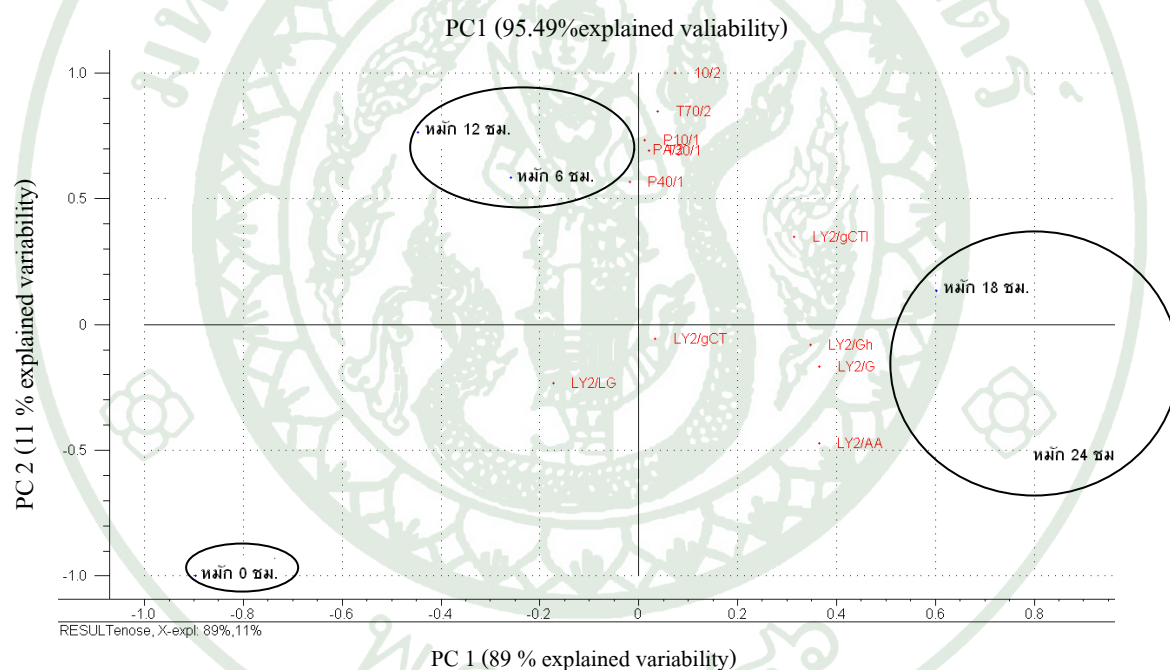
จากผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic nose หรือ e-nose) (ภาพที่ 18) ได้แสดงให้เห็นว่าเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ดังกล่าวสามารถแยกความแตกต่างของการประกอบระเหยที่เกิดขึ้นในแป้งข้าวที่ระยะเวลาในการหมักต่างๆ ได้อย่างชัดเจนซึ่งจากภาพที่ 11 พบว่า sensor ชุด LY ได้แก่ LY2/LG มีความสัมพันธ์ต่อสัญญาณตอบสนองของสาร Nitrogendioxide , LY2/G, LY2/Gh และ LY2/gCT จะมีความสัมพันธ์ต่อสัญญาณตอบสนองของสาร เอทานอล และอัลดีไฮด์ และ LY2/AA จะมีความสัมพันธ์ต่อสัญญาณตอบสนองของสาร Acetone ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับนวัตน์ (2547) ได้วิเคราะห์สารระเหยในขนมจีนแป้งหมักทางการค้า 4 แหล่ง โดยเครื่อง GC-MS พบว่า กลุ่มสารระเหยที่สำคัญคล้ายกันขนมจีนแป้งหมัก คือกลุ่มแอลกอฮอล์, กลุ่มอัลดีไฮด์, กลุ่มคีโตน และกลุ่มเอสเทอร์



ภาพที่ 18 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของกลิ่นแป้งข้าวระหว่างหมักที่เวลา 0 6 12 18 และ 24 ชั่วโมงโดยกล้ำเชื้อ *L. plantarum* A1

หมายเหตุ LY2/LG	มีความสัมพันธ์ต่อสัญญาณตอบสนองของสาร Nitrogen dioxide และ Ozone
LY2/G	มีความสัมพันธ์ต่อสัญญาณตอบสนองของสาร Ethanol
LY2/AA	มีความสัมพันธ์ต่อสัญญาณตอบสนองของสาร Acetone
LY2/Gh	มีความสัมพันธ์ต่อสัญญาณตอบสนองของสาร Ethanol
LY2/gCTi	มีความสัมพันธ์ต่อสัญญาณตอบสนองของสาร Hydrogen Sulphide
LY2/gCT	มีความสัมพันธ์ต่อสัญญาณตอบสนองของสาร Ethanol
T30/1	มีความสัมพันธ์ต่อสัญญาณตอบสนองของสาร Carbon monoxide
P10/1	มีความสัมพันธ์ต่อสัญญาณตอบสนองของสาร Ammonia
P10/2	มีความสัมพันธ์ต่อสัญญาณตอบสนองของสาร Ammonia
P40/1	มีความสัมพันธ์ต่อสัญญาณตอบสนองของสาร Hydrogen Sulphide
T70/2	มีความสัมพันธ์ต่อสัญญาณตอบสนองของสาร Carbon monoxide
PA/2	มีความสัมพันธ์ต่อสัญญาณตอบสนองของสาร Hydrogen Sulphide

จากภาพที่ 19 แผนภาพที่ถูกวิเคราะห์แสดงในอันดับของ PC score ที่ 2 อันดับแรก (PC score 1 และ PC score 2) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบที่ (PC1) และ องค์ประกอบที่ 2 (PC2) มีระดับของความผันแปรสูงถึงร้อยละ 89.00 และ 11.00 ตามลำดับ นั้น แสดงให้เห็นว่าอันดับ PC score ที่ 1 สามารถเป็นตัวแทนในการอธิบายการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล รูปแบบกลิ่นในผลิตภัณฑ์โดยรวมได้อย่างครอบคลุม โดย PC1 จะประกอบด้วย sensor LY2/G, LY2/AA, LY2/Gh และ LY2/gCT sensor ทั้ง 4 ตัวนี้มีความไวต่อสารในกลุ่ม alcohol, ketone, aldehydes, solvents และ aromatic compounds ซึ่ง PC1 นี้สามารถแยกความแตกต่างของตัวอย่าง แป้งหมักทั้ง 6 ตัวอย่างได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่คือ 1) กลุ่มแป้งที่ไม่ผ่านการหมัก (0 ชม.) 2) กลุ่มแป้ง หมักที่เวลา 6 และ 12 ชั่วโมง และ 3) กลุ่มแป้งหมักที่เวลา 18, 24 และแป้งทับน้ำ ดังแสดงในภาพ ที่ 21



ภาพที่ 19 กราฟ biplot ของความสัมพันธ์ระหว่างแป้งข้าวที่เวลาในการหมัก 0, 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมงกับเซนเซอร์เพื่ออธิบายการเปลี่ยนแปลงข้อมูลรูปแบบกลิ่นในแป้งข้าวหมัก

จากการแยกความแตกต่างของสารประกอบด้วยเครื่องจุ่มกิโลกรัมอิเล็กทรอนิกส์ ดังกล่าว สา รระเหยต่างๆเกิดจากการทำงานของเอนไซม์ที่ถูกสร้างขึ้นจากจุลินทรีย์ใน กระบวนการหมัก และการทำปฏิกิริยาของกรดแลคติกกับสารประกอบต่างๆ ทำให้มีการ เปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของสารอาหารต่างๆ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เป็นต้น ใน

ขนมจีนแป้งหมัก สารระเหยในกลุ่มคี โตน จะให้กลิ่นลักษณะคล้ายตัวทำละลาย (characteristic solvent odor) (Flavorbase, 1998) จึงอาจมีผลต่อลักษณะกลิ่นโดยรวมของข้าวหมัก สารระเหยในกลุ่มคีโตน เช่น propanone, diacetyl และ acetoin เป็นต้น ส่วนสารระเหยในกลุ่มแอลกอฮอล์ ส่วนใหญ่จะเป็นเอทานอล จิสูดา (2547) ทำการวิเคราะห์สารให้กลิ่นที่สำคัญของขนมจีนแป้งหมัก ด้วยเครื่อง GC-MS พบว่า สารระเหยกลุ่มแอลกอฮอล์เป็นสารให้กลิ่นที่สำคัญ และจะมีบทบาทเป็นสารตั้งต้นให้เกิดสารให้กลิ่นอื่นๆของขนมจีนแป้งหมัก นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงของโปรตีนในการหมักทำให้ได้กรดอะมิโน หรือ เปปไทด์ แล้วผ่านปฏิกิริยาทรานส์อะมิเนชัน (transamination) ปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน (decarboxylation) ปฏิกิริยาดีอะมิเนชัน (deamination) ทำให้เกิดสารระเหยกลุ่มเอสเทอร์ แอลกอฮอล์ กรดอินทรีย์ และกลุ่มคาร์บอนิล ซึ่งสารระเหยกลุ่มกรดอะมิโน มีบทบาทในการให้กลิ่นเปรี้ยวของขนมจีนแป้งหมัก

5.3 การวิเคราะห์ค่าเนื้อสัมผัสของตัวอย่างขนมจีน

ผลการศึกษาคุณสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของเส้นขนมจีนที่ผลิตแป้งหมักที่เวลาในการหมักต่างกัน โดยวัดค่าแรงดึง แสดงผลในตารางที่ 24

ตารางที่ 24 สมบัติด้านเนื้อสัมผัสของเส้นขนมจีนที่ผลิตจากแป้งหมักที่เวลาในการหมักต่างกัน
เปรียบเทียบกับขนมจีนแป้งหมักทางการค้า

เวลาในการหมัก (ชม.)	ค่าความเค้น ณ แรง	ค่าร้อยละการยืดตัว	ค่างานทั้งหมด	Young's Modulus
	สูงสุด (kPa)	ณ แรงสูงสุด	(mJ)	(Mpa)
0	0.78d	59.81a	1.37d	0.56d
6	0.90cd	58.11b	1.47d	0.61cd
12	1.51c	50.81c	1.80c	0.89c
18	2.02b	46.00d	2.05b	1.15b
24	<u>2.31a</u>	47.51e	<u>2.73a</u>	<u>1.39a</u>
ขนมจีนทางการค้า	<u>2.39a</u>	48.00f	<u>2.80a</u>	<u>1.41a</u>

หมายเหตุ a-d หมายถึงค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวอนเดียวกันที่มีตัวอักษรต่างกันมีความ
แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ค่าเฉลี่ยสูงสุด

จากตารางที่ 24 พบว่า

5.3.1 ค่าความเค้น ณ แรงสูงสุด (kPa)

เมื่อพิจารณาผลของการหมักที่เวลาในการหมักต่าง ๆ กันที่มีต่อค่าความเค้น ณ
แรงสูงสุด (Stress at Maximum Load) พบว่าความเค้น ณ แรงสูงสุด ของขนมจีนที่ผลิตจากแป้ง
หมักที่เวลาในการหมักต่าง ๆ กันมีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) โดยขนมจีนที่ผลิตจากแป้งที่ไม่ผ่าน
การหมักจะมีค่าความเค้น ณ แรงสูงสุด เป็น 0.78 kPa และมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเวลาในการหมัก
เพิ่มขึ้น (ดังภาพที่ 46) จนเวลาในการหมักเป็น 24 ชั่วโมง ค่าความเค้น ณ แรงสูงสุด ของขนมจีน
เป็น 2.31 kPa และที่เวลาในการหมัก 24 ชั่วโมง ขนมจีนที่ผลิตได้มีค่าความเค้น ณ แรงสูงสุด ไม่
แตกต่าง ($p > 0.05$) กับ ขนมจีนอ้างอิง (2.39 kPa)

5.3.2 ค่าร้อยละของการยืดตัว

เมื่อพิจารณาผลของการหมักที่เวลาในการหมักต่างๆกันที่มีต่อค่าร้อยละของการยืดตัวพบว่าค่าร้อยละของการยืดตัวของขนมจีนที่ผลิตจากแป้งที่เวลาในการหมักต่างกันมีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) โดยขนมจีนที่ผลิตจากแป้งที่ไม่ผ่านการหมักจะมีค่าร้อยละของการยืดตัว เป็น 59.81 และมีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาในการหมักเพิ่มขึ้น จนเวลาในการหมักเป็น 24 ชั่วโมง ค่าร้อยละของการยืดตัวของขนมจีนเป็น 47.51

5.3.3 ค่างาน ณ แรงสูงสุด

เมื่อพิจารณาผลของการหมักที่เวลาในการหมักต่างๆกันที่มีต่อค่างาน ณ แรงสูงสุด (Work to Maximum Load) พบว่าค่างาน ณ แรงสูงสุด ของขนมจีนที่ผลิตจากแป้งหมักที่เวลาในการหมักต่างกันมีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) โดยขนมจีนที่ผลิตจากแป้งที่ไม่ผ่านการหมักจะมีค่างาน ณ แรงสูงสุด เป็น 1.37 mJ และมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเวลาในการหมักเพิ่มขึ้น (ดังภาพที่ 46)จนเวลาในการหมักเป็น 24 ชั่วโมง ค่างาน ณ แรงสูงสุด ของขนมจีนเป็น 2.73 mJ และที่เวลาในการหมัก 24 ชั่วโมง ขนมจีนที่ผลิตได้มีค่างาน ณ แรงสูงสุด ไม่แตกต่าง($p \leq 0.05$) กับขนมจีนอ้างอิง (2.80 mJ)

5.3.4 ค่า Young's Modulus

เมื่อพิจารณาผลของการหมักที่เวลาในการหมักต่างๆกันที่มีต่อค่า Young's Modulus พบว่าค่า Young's Modulus ของขนมจีนที่ผลิตจากแป้งหมักที่เวลาในการหมักต่างกันมีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) โดยขนมจีนที่ผลิตจากแป้งที่ไม่ผ่านการหมักจะมีค่า Young's Modulus เป็น 0.56 Mpa และมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเวลาในการหมักเพิ่มขึ้น (ดังภาพที่ 46) จนเวลาในการหมักเป็น 24 ชั่วโมง ค่า Young's Modulus ของขนมจีนเป็น 1.39 Mpa และที่เวลาในการหมัก 24 ชั่วโมง ขนมจีนที่ผลิตได้มีค่างาน ณ แรงสูงสุด ไม่แตกต่าง($p \leq 0.05$) กับขนมจีนอ้างอิง (1.41 Mpa)

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อเวลาหมักนานขึ้นจะทำให้ค่า Stress at Maximum Load, Work to Maximum Load และค่า Young's Modulus สูงขึ้นแสดงว่าขนมจีนมีความแข็งแรงและ

เหนียวขึ้น ทั้งนี้เพราะเมื่อหมักนานขึ้นปริมาณกรดจะมากขึ้น กรดที่มากขึ้นจะย่อยแป้งทำให้เกิดรูปพรุนที่ผิวหน้าของเม็ดแป้ง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้ส่งผลต่อคุณภาพด้านความเหนียวของแป้งทำให้แป้งเมื่อเกิดการคั้นตัวได้เจลที่แข็งและเหนียวขึ้น นอกจากนี้ความเหนียวของเส้นยังขึ้นกับปริมาณโปรตีน ถ้าปริมาณโปรตีนสูงความเหนียวของเส้นจะลดลง ขาดได้ง่าย และลักษณะเนื้อสัมผัสจะค่อนข้างหยาบ เนื่องจากโปรตีนไม่มีคุณสมบัติในการจับตัวเชื่อมต่อกัน และยังขัดขวางการดูดน้ำของแป้งด้วย (Juliano, 1971) แต่จากผลการทดลองปริมาณโปรตีนจะลดลงในระหว่างการหมัก ดังนั้นจึงเป็นเหตุผลหนึ่งที่ทำให้ขนมจีนแป้งหมักมีความเหนียวขึ้นเมื่อระยะเวลาในการหมักนาน

5.4 การศึกษาสมบัติทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา (Descriptive Analysis)

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา (Descriptive Analysis) โดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 12 คน และมีการใช้ตัวอย่างอ้างอิงในแต่ละคุณลักษณะ มีสเกลความเข้ม 0-15 คะแนน ลักษณะของขนมจีนที่รวบรวมได้ทั้งหมดมี 33 คุณลักษณะ ซึ่งประกอบด้วยลักษณะปรากฏ กลิ่น กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความรู้สึกลิ้น 5, 9, 4, 3, 9 และ 3 คุณลักษณะ ตามลำดับ ซึ่งสามารถให้คำอธิบายและวิธีประเมินแต่ละคุณลักษณะ ดังแสดงในตารางที่ 25

ตารางที่ 25 คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส คำนิยาม วิธีการประเมิน และตัวอย่างอ้างอิงของการประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสของขนมจีน

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	นิยาม/วิธีการประเมิน	ตัวอย่างอ้างอิง
ลักษณะปรากฏ		
ขาว (Whiteness)	สีขาวของตัวอย่างที่ปรากฏ วิธีประเมิน เทียบกับมาตรฐาน ตัวอย่าง	กระดาษถ่ายเอกสาร ทรายอันเบิ้ล $เอ = 5$ ถาดชิมตัวอย่าง = 9
ขนาดเส้น (Noodle size)	ขนาดของเส้น วัดจากด้าน ตัดขวาง วิธีประเมิน พิจารณาขนาดของ เส้นผ่านศูนย์กลาง	เส้นสปาเกตตี้ดิบ ทราย best food (เบอร์ 3) = 7
การเกาะตัว (Attachment)	ระดับการเกาะติดกันของ ตัวอย่าง วิธีประเมิน ใช้ช้อนตักตัวอย่าง ขึ้นแล้วคุณลักษณะการเกาะตัว ของตัวอย่าง	เส้นหมี่ ทรายไวไว ¹ = 6.5 วุ้นเส้น ทรายสิงห์เดียว ² = 10
ความมันวาว (Shininess)	ความมันวาวของตัวอย่าง (น้อย → มาก)	เส้นหมี่ ทรายไวไว = 2
ความโปร่งแสง (Transparency)	ความโปร่งแสง (น้อย → มาก)	เส้นหมี่ ทรายไวไว = 5
กลิ่น		
กลิ่นหมัก (Fermentation)	กลิ่นเปรี้ยวที่เกิดจากการหมัก ของแป้งข้าวเจ้า	ขนมจีน ทรายดาว = 6.5
กลิ่นแป้งข้าวเจ้าสุก (Boiled Rice flour)	กลิ่นของแป้งข้าวเจ้าที่ทำให้สุก โดยการต้ม	แป้งข้าว ³ = 7
กลิ่นน้ำซาวข้าว	กลิ่นของน้ำซาวข้าวสาร (มี ลักษณะคิบ เป็นแป้ง)	น้ำล้างข้าว = 3
กลิ่นพริกแห้ง (Dried chili)	กลิ่นของน้ำที่ได้จากการต้มข้าว พริกชี้ฟ้าแห้ง ⁴	พริกชี้ฟ้าแห้ง ⁴ = 6.5

ตารางที่ 25 (ต่อ)

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	นิยาม/วิธีการประเมิน	ตัวอย่างอ้างอิง
กลิ่นอับ (Dusty Musty)	กลิ่นที่เกิดจากการเก็บไว้นานไว้ในที่ที่ไม่มีอากาศถ่ายเท	Rice Ban = 5.0 (Kellogg's)
กลิ่นกล่องกระดาษ (Cardboard)	กลิ่นอับกล่องกระดาษ (ไม่ฟอกขาว)	กล่องกระดาษ = 4.0
กลิ่นรส		
กลิ่นหมัก (Fermentation)	กลิ่นเปรี้ยวที่เกิดจากการหมักของแป้งข้าวเจ้า	ขนมจีน ตราดาว = 6
กลิ่นแป้งข้าวเจ้าสุก (Boiled Rice flour)	กลิ่นของแป้งข้าวเจ้าที่ทำให้สุกโดยการต้ม	แป้งข้าว = 7
กลิ่นคลอรีน (Chlorine)	กลิ่นจุน คลอรีนที่เป็นลักษณะเฉพาะของน้ำก๊อก	น้ำก๊อก = 7.5
รสชาติ		
รสหวาน (Sweet)	รสพื้นฐานที่รับได้จากกลิ่นที่เกิดจากชูโครส	สารละลายชูโครส (ความเข้มข้น 2% w/v) = 2
รสเปรี้ยว (Sour)	รสพื้นฐานที่รับได้จากกลิ่นที่เกิดจากกรดซิตริก	สารละลายซิตริก (ความเข้มข้น 0.05% w/v) = 2
รสเค็ม (Salt)	รสพื้นฐานที่รับได้จากกลิ่นที่เกิดจากโซเดียมคลอไรด์	สารละลายโซเดียมคลอไรด์ (ความเข้มข้น 0.20% w/v) = 2.5
เนื้อสัมผัส		
การทดสอบด้วยมือ (Manual Testing)		
การติดมือ (Stickiness)	ปริมาณการเกาะติดมือของตัวอย่างเส้นหมี่ ตราไวไว วิธีการประเมิน ประเมินตัวอย่าง โดยหยิบขนมจีนด้วยนิ้วโป้งและนิ้วชี้ จากนั้นจึงวางตัวอย่าง แล้วประเมินปริมาณการเกาะติดมือ ประเมิน 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย (ล้างมือให้สะอาดก่อนทุกครั้ง)	= 2 = 5

ตารางที่ 25 (ต่อ)

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	นิยาม/วิธีการประเมิน	ตัวอย่างอ้างอิง
การยืดหยุ่น (Springiness)	ระดับการคืนตัวกลับรูปร่างเดิม ของตัวอย่าง (น้อย-มาก) <u>วิธีการประเมิน</u> สังเกตแรงที่ใช้ใน การกดตัวอย่าง	วุ้นเส้น ตราสิงห์เดียว = 5
ความรู้สึกบริเวณริมฝีปาก (Lips Feel)	การติดริมฝีปากของตัวอย่าง เมื่อ ถูกวางไว้บนริมฝีปาก	เส้นหมี่ ตราไวไว = 5
การติดริมฝีปาก (Adhesive to lips)	<u>วิธีการประเมิน</u> คำนวณปริมาณ เล็กน้อย จากนั้นซับริมฝีปาก จากนั้นจึงตัดตัวอย่าง ½ ซ้อนชา ใช้ริมฝีปากกดตัวอย่าง ปล่อย และ ประเมินปริมาณตัวอย่างที่เกาะติด ริมฝีปาก (น้อย-มาก)	วุ้นเส้น ตราสิงห์เดียว = 7 เกี่ยมอี ตราเจ้าควิก = 11
การกัดครั้งแรก (First Bite)		
ความแน่นเนื้อ (Firmness)	แรงต้านในการกดตัวอย่างด้วยฟัน กราม <u>วิธีการประเมิน</u> ใช้ฟันกรามกัด ตัวอย่างปริมาณ ½ ซ้อน 1 ครั้ง (น้อย-มาก)	เกี่ยมอี ตราเจ้าควิก = 6
ความแข็ง (Hardness)	ระดับของแรงที่ก่อให้เกิดการ เปลี่ยนแปลงรูปร่างของตัวอย่าง <u>วิธีการประเมิน</u> ใช้ฟันกรามกด ตัวอย่าง 1 ครั้งให้แยกออกจาก กัน โดยใช้แรงอย่างสม่ำเสมอ (นุ่ม-แข็ง)	เกี่ยมอี ตราเจ้าควิก (3 ตัว) = 5

ตารางที่ 25 (ต่อ)

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	นิยาม/วิธีการประเมิน	ตัวอย่างอ้างอิง
การเคี้ยว (Chew down)		
ความชุ่มชื้น (Moistness of mass)	ความรู้สึกถึงปริมาณน้ำใน ตัวอย่างระหว่างการเคี้ยว <u>วิธีการประเมิน</u> เคี้ยวตัวอย่าง ปริมาณ ½ ช้อน ด้วยฟันกราม 5 ครั้ง (น้อย-มาก)	เกี่ยมอี ตราเจ้าควิก (3 ตัว) = 3 เส้นหมี่ ตราไวไว (ครึ่งช้อน) = 5
ความเป็นแป้ง (Starchy)	ความรู้สึกเป็นแป้งของตัวอย่าง เมื่อเคี้ยวให้ละเอียด <u>วิธีการประเมิน</u> เคี้ยวตัวอย่าง ปริมาณ ½ ช้อน ด้วยฟันกรามจน ละเอียด (น้อย-มาก)	เส้นหมี่ ตราไวไว (ครึ่งช้อน) = 3 เกี่ยมอี ตราเจ้าควิก (3 ตัว) = 8
การรวมตัวของตัวอย่าง (Cohesive of mass)	ระดับการรวมตัวของตัวอย่าง ระหว่างการเคี้ยว <u>วิธีการประเมิน</u> เคี้ยวตัวอย่าง ปริมาณ ½ ช้อน ด้วยฟันกราม 10 ครั้ง (น้อย-มาก)	เส้นหมี่ ตราไวไว (ครึ่งช้อน) = 3 เกี่ยมอี ตราเจ้าควิก (3 ตัว) = 9
จำนวนครั้งในการเคี้ยว (Chew count)	จำนวนครั้งในการเคี้ยวตัวอย่าง จนพร้อมสำหรับกลืน <u>วิธีการประเมิน</u> จำนวนครั้งใน การเคี้ยวด้วยอัตราคงที่ (1 ครั้ง/ วินาที) ด้วยฟันกรามข้างเดียว จนตัวอย่างนั้นสามารถกลืนได้ (น้อย-มาก)	เกี่ยมอี ตราเจ้าควิก (3 ตัว) = 6 เส้นหมี่ ตราไวไว (ครึ่งช้อน) = 9

ตารางที่ 25 (ต่อ)

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	นิยาม/วิธีการประเมิน	ตัวอย่างอ้างอิง
การกลืน (Swallow)		
ความรู้สึกเป็นผงตกค้าง (Particle)	ปริมาณของตัวอย่างที่หลงเหลือ อยู่ในปาก (ยกเว้นที่ฟัน) หลังการกลืน	เก๋ยมอี ตราเจ้ควิก (3 ตัว) = 4 เส้นหมี่ (ครึ่งช้อน) = 7
วิธีการประเมิน ประเมินปริมาณ		
ตัวอย่างที่เหลือภายในปากหลังการกลืน (น้อย-มาก)		
ความฝืด (Astringent)	ความรู้สึกฝืดที่ได้จากอลัม	สารละลายอลัม (ความเข้มข้น 0.10% w/v) = 7.5
การเป็นแป้งเคลือบ (Coating)		เส้นหมี่ (ครึ่งช้อน) = 2 เก๋ยมอี (3 ตัว) = 6

- หมายเหตุ ¹เส้นหมี่ ตราไวไว เตรียมโดยลวกเส้นในหม้อในน้ำร้อน 3 นาที แล้วตักขึ้นแช่น้ำเย็น 5 นาที
- ²วุ้นเส้น ตราเสือเดี่ยว เตรียมโดยลวกวุ้นเส้นในน้ำร้อน 3 นาที แล้วตักขึ้นแช่น้ำเย็น 5 นาที
- ³แป้งข้าวเจ้า เตรียมโดยละลายแป้งข้าวเจ้าในน้ำเดือด โดยอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวต่อน้ำ เป็น 1 ช้อนชา : 100 มิลลิลิตร
- ⁴พริกชี้ฟ้าแห้ง เตรียมโดยหั่นพริกชี้ฟ้าแห้งเป็นแว่นๆตามขวาง ให้แต่ละชิ้นหนาประมาณ 0.5 ซม. ในการทดสอบใช้พริก 1 ชิ้นในการทดสอบ
- ⁵เก๋ยมอี ตราเจ้ควิก เตรียมโดยลวกวุ้นเส้นในน้ำร้อน 3 นาที แล้วตักขึ้นแช่น้ำเย็น 5 นาที

และเมื่อทำการประเมินหาความเข้มของลักษณะทางประสาทสัมผัสที่พบในตัวอย่างขนมจีน 8 ตัวอย่าง ได้แก่ ขนมจีนแป้งสด, ขนมจีนแป้งหมักทางการค้า 2 ตัวอย่าง, ขนมจีนที่ผลิตจากแป้งหมักโดยใช้ *L. plantarum* A1 ที่เวลาต่างๆ คือ 0, 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ตัวอย่างละ 2 ซ้ำ ผู้ทดสอบจะได้รับตัวอย่างทีละตัวอย่าง และทำการประเมินตัวอย่างตามลำดับโดยเริ่มจากการ

ประเมินลักษณะปรากฏด้วยสายตา ทดสอบกลิ่น และกลิ่นรส การทดสอบเนื้อสัมผัสด้วยมือ
ความรู้สึกลบบริเวณริมฝีปาก การกัดครั้งแรก การเคี้ยว การกลืน แสดงผลดังตารางที่ 26

ตารางที่ 26 คะแนนความเข้มของลักษณะทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างขนมจีน 8 ตัวอย่าง

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	คะแนนความเข้มของตัวอย่างขนมจีน				แบ่งหมักที่เวลา				
	ขนมจีน	ขนมจีน	ขนมจีน	แป้งสด					
	ทางการค้า	ทางการค้า	ทางการค้า		0 ชม.	6 ชม.	12 ชม.	18 ชม.	24 ชม.
1	2								
ลักษณะปรากฏ									
สีขาว (Whiteness)	7.5	8.5	6.0	6.5	7.5	5.5	6.5	6.5	
ขนาดเส้น (Noodle size)	7.0	7.5	7.0	6.5	6.5	8.0	7.5	7.0	
การเกาะตัว (Attachment)	8.0	7.0	11.5	12	11	5	8	8.5	
ความมันวาว (Shininess)	6.0	5.0	5.5	5.5	7.0	4.0	8.0	7.0	
ความโปร่งแสง (Transparency)	5.5	5.5	7.0	7.0	7.0	4.5	6.0	6.0	
กลิ่น									
กลิ่นหมัก (Fermentation)	5.5	5.0	3.0	2.5	3.0	3.0	4.0	4.0	
กลิ่นแป้งข้าวเจ้าสุก (Boiled Rice flour)	4.0	4.5	6.5	6.0	6.0	5.5	5.0	5.0	
กลิ่นน้ำข้าวข้าว	1.5	1.0	0	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0	
กลิ่นคลอรีน (Chlorine)	0	1.0	0	0	1.0	0.5	0.5	0.5	
กลิ่นพริกแห้ง (Dried chili)	0.5	0.5	1.5	2.5	2.0	0	0.5	0.5	
กลิ่นอับ (Dusty Musty)	1.0	0.5	2.0	1.5	3.5	2.5	2.0	2.0	

ตารางที่ 26 (ต่อ)

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	คะแนนความเข้มของตัวอย่างขนมจีน				แป้งหมักที่เวลา				
	ขนมจีน	ขนมจีน	ขนมจีน	แป้งสด					
	สัมผัส	ทางการค้า	ทางการค้า		0 ชม.	6 ชม.	12 ชม.	18 ชม.	24 ชม.
	1	2							
กลิ่นรส									
กลิ่นรสหมัก (Fermentation)	4.0	4.5	2.5		2.5	3.0	3.0	3.5	3.5
กลิ่นรสแป้งข้าวเจ้า	3.5	3.5	5.5		5.5	5.0	4.5	4.0	3.5
สุก (Boiled Bice flour)									
กลิ่นรสคลอรีน (Chlorine)	0.5	1.0	1.0		0.5	1.5	1.5	1.0	1.0
รสชาติ									
รสหวาน (Sweet)	0.5	0.5	0.5		1.0	1.0	1.0	1.0	0.5
รสเปรี้ยว (Sour)	1.0	1.5	0.5		0.5	0.5	0.5	1.0	1.5
รสเค็ม (Salt)	0.5	0.5	0.5		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
เนื้อสัมผัส									
การทดสอบด้วยมือ (Manual Testing)									
การติดมือ (Stickiness)	4.5	3.5	6.5		7.0	7.0	6.5	5.0	4.5
การยืดหยุ่น (Springiness)	4.5	5.0	4.0		3.5	4.0	4.0	4.5	5.0
ความรู้สึกบริเวณริมฝีปาก (Lips Feel)									
การติดริมฝีปาก (Adhesive to lips)	6.5	6.5	12		12	11.5	9.0	8.0	7.0
การกัดครั้งแรก (First Bite)									
ความแน่นเนื้อ (Firmness)	7.0	6.5	5.0		5.0	5.5	6.0	6.5	6.5

ตารางที่ 26 (ต่อ)

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	คะแนนความเข้มของตัวอย่างขนมจีน							
	ขนมจีน			แป้งหมัก				
	ขนมจีน ทางการค้า	ขนมจีน ทางการค้า	ขนมจีน แป้งสด	0 ซม.	6 ซม.	12 ซม.	18 ซม.	24 ซม.
	1	2						
ความแข็ง(Hardness)	6.0	6.5	4.0	4.0	4.0	5.0	5.5	5.5
ความชุ่มชื้น (Moistness of mass)	6.0	5.5	7	7.5	6.5	6.0	6.0	5.5
ความเป็นแป้ง (Starchy)	4.5	5.0	6.5	6.5	5.5	5.5	5.0	5.0
การรวมตัวของ ตัวอย่าง (Cohesive of mass)	4.0	3.5	5.5	6.0	6.0	5.0	4.5	4.5
จำนวนครั้งในการเคี้ยว (Chew count)	8.0	8.5	6.5	6.5	6.5	7.0	7.5	8.0
การกลืน (Swallow)								
ความรู้สึกเป็นผง	4.5	5.0	3.5	3.5	4.0	4.0	4.5	4.5
ตกค้าง (Particle)								
ความฝืด (Astringent)	2.5	1.5	2.0	2.0	2.0	2.5	3.0	3.0
การเป็นแป้งเคลือบ (Coating)	4.0	3.0	5.5	5.5	5.0	5.0	4.5	4.0

เมื่อนำค่าเฉลี่ยของสมบัติทางประสาทสัมผัสมาหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวอย่างขนมจีน โดยใช้เทคนิคแผนภาพวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis - PCA) (ดังแสดงในภาพที่ 34 และ 35) พบว่าสามารถอธิบายความแปรปรวนที่เกิดขึ้นได้ทั้งสิ้นร้อยละ 71 สำหรับ 2 องค์ประกอบแรก โดยแต่ละองค์ประกอบมีความสัมพันธ์กับสมบัติทางประสาทสัมผัสต่างกันตามน้ำหนักของปัจจัยที่วิเคราะห์ได้ของสมบัติทางประสาทสัมผัสแต่ละด้าน ดังแสดงในตารางที่ 27

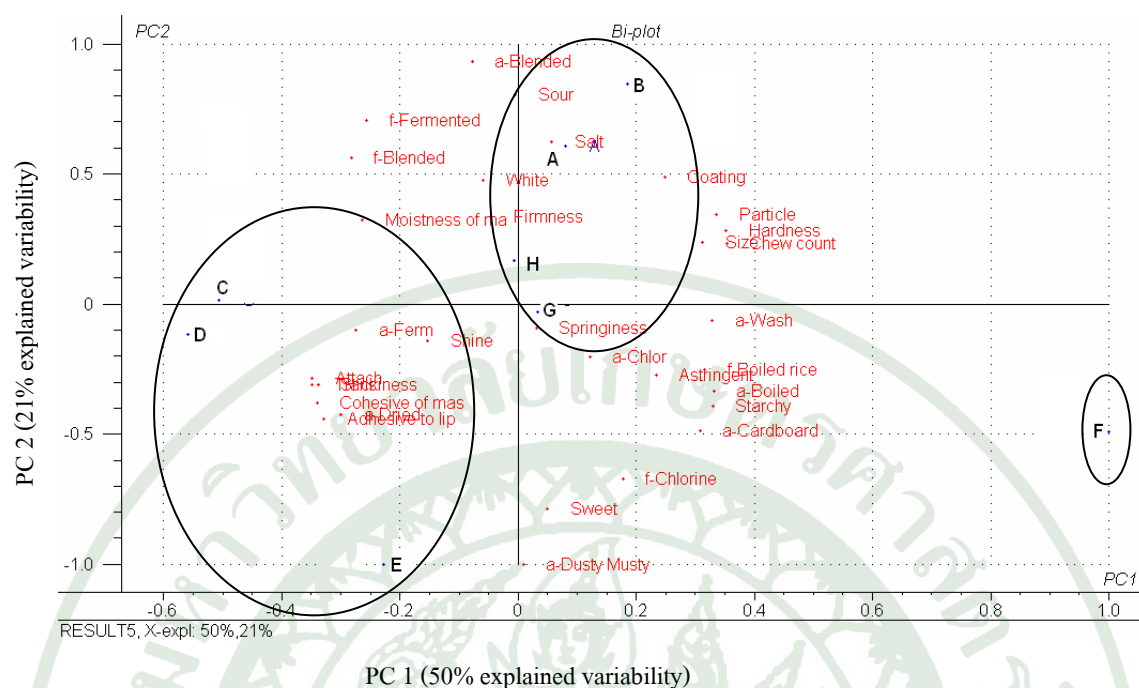
ตารางที่ 27 น้ำหนักของปัจจัย (Factor loading) ด้านสมบัติทางประสาทสัมผัส ของตัวอย่าง
ขนมจีนจำนวน 8 ตัวอย่าง

สมบัติทางประสาทสัมผัส	น้ำหนักปัจจัย	
	องค์ประกอบที่ 1	องค์ประกอบที่ 2
จำนวนครั้งในการเคี้ยว (chew count)	0.963	0.223
ความแข็ง (Hardness)	0.960	0.272
ความรู้สึกเป็นผงตกค้าง (particle)	0.915	0.329
กลิ่นแป้งข้าวเจ้าสุก (boiled rice flour aroma)	0.903	-0.322
ความเป็นแป้ง (starchy)	0.898	-0.375
กลิ่นน้ำข้าวข้าว	0.895	-0.059
กลิ่นรสแป้งข้าวเจ้าสุก (boiled rice flour flavor)	0.860	-0.241
ขนาดเส้น (noodle size)	0.851	0.226
กลิ่นกล่องกระดาษ (cardboard aroma)	0.839	-0.465
การเป็นแป้งเคลือบ (coating)	0.676	0.466
ความฝืด (astringent)	0.637	-0.260
กลิ่นคลอรีน (chlorine aroma)	0.331	-0.194
ความมันวาว (shininess)	-0.416	-0.136
กลิ่นรสหมัก (fermented flavor)	-0.698	0.675
ความชุ่มชื้น (moistness of mass)	-0.719	0.309
กลิ่นหมัก (fermented aroma)	-0.748	-0.097
ความกลมกลืนของกลิ่นรส (blended flavor)	-0.769	0.535
กลิ่นพริกแห้ง (dried chili aroma)	-0.816	-0.407
การติดริมฝีปาก (adhesive to lips)	-0.896	-0.421
การติดมือ (stickiness)	-0.922	-0.296
การรวมตัวของตัวอย่าง (cohesive of mass)	-0.927	-0.363
ความโปร่งแสง (transparency)	-0.949	-0.297
การเกาะตัว (attachment)	-0.950	-0.273
ความกลมกลืนของกลิ่น (blended aroma)	-0.211	0.890

ตารางที่ 27 (ต่อ)

สมบัติทางประสาทสัมผัส	น้ำหนักปัจจัย	
	องค์ประกอบที่ 1	องค์ประกอบที่ 2
รสเปรี้ยว (sour)	-0.011	0.771
รสเค็ม (salt)	0.155	0.595
สีขาว (whiteness)	-0.160	0.456
ความแน่นเนื้อ (firmness)	-0.125	0.321
ความยืดหยุ่น (springiness)	0.083	-0.088
กลิ่นรสคลอรีน (chlorine aroma)	0.485	-0.644
ความหวาน(sweet)	0.135	-0.752
กลิ่นอับ (dusty musty)	0.025	-0.956
ความแปรปรวนที่สามารถอธิบายได้ (ร้อยละ)	50.000	21.000
ความแปรปรวนทั้งหมดที่สามารถอธิบายได้ (ร้อยละ)	71.000	

หมายเหตุ ตัวเลขเข้มหมายถึงค่าน้ำหนักของปัจจัย (Factor Loading) ที่จัดอยู่ในตัวแปรใหม่ใน องค์ประกอบที่ 1 และ องค์ประกอบที่ 2



ภาพที่ 20 กราฟ biplot ของความสัมพันธ์ระหว่างตัวอย่างขนมจีน 8 ตัวอย่างกับลักษณะทางประสาทสัมผัสเพื่ออธิบายการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางประสาทสัมผัสของขนมจีนแป้งหมัก

หมายเหตุ A, B = ขนมจีนแป้งหมักจากห้องตลาด

C = ขนมจีนที่ผลิตจากแป้งหมัก 0 ชม. โดยใช้หัวเชื้อบริสุทธิ์

D = ขนมจีนแป้งสดจากห้องตลาด

E = ขนมจีนที่ผลิตจากแป้งหมัก 6 ชม. โดยใช้หัวเชื้อบริสุทธิ์

F = ขนมจีนที่ผลิตจากแป้งหมัก 12 ชม. โดยใช้หัวเชื้อบริสุทธิ์

G = ขนมจีนที่ผลิตจากแป้งหมัก 18 ชม. โดยใช้หัวเชื้อบริสุทธิ์

H = ขนมจีนที่ผลิตจากแป้งหมัก 24 ชม. โดยใช้หัวเชื้อบริสุทธิ์

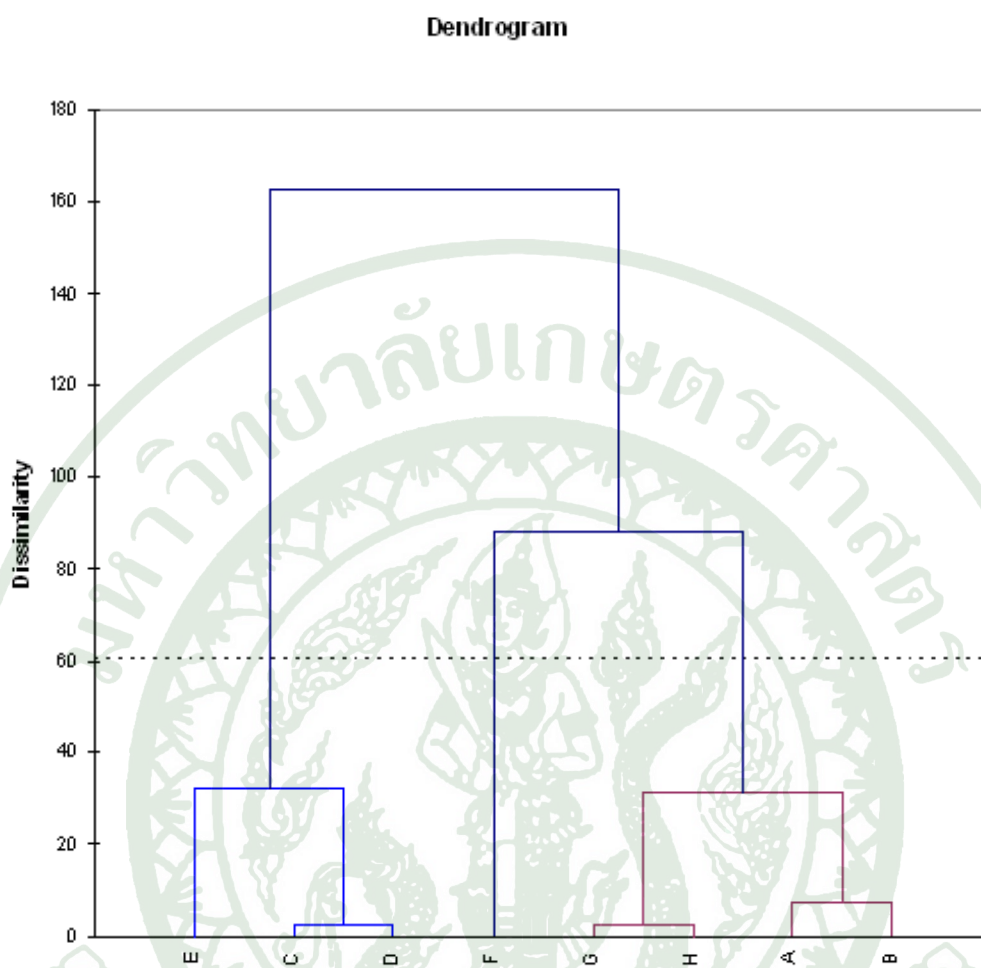
จากภาพที่ 20 องค์ประกอบที่ 1 (PC1) สามารถอธิบายความแปรปรวนได้ร้อยละ 50 ประกอบไปด้วย จำนวนครั้งในการเคี้ยว ความแข็ง ความรู้สึกเป็นผงตกค้าง กลิ่นแป้งข้าวสุก ความเป็นแป้ง กลิ่นน้ำข้าวข้าว กลิ่นรสแป้งข้าวสุก ขนาดเส้น กลิ่นกล่องกระดาษ การเป็นแป้ง เกลือบ ความเนียน กลิ่นคลอรีน ความมันวาว กลิ่นรสหมัก ความชุ่มชื้น กลิ่นหมัก ความกลมกลื่น

ของกลิ่นรส กลิ่นพริกแห้ง การติดริมฝีปาก การติดมือ การรวมตัวของตัวอย่าง ความโปร่งแสง และการเกาะตัว

องค์ประกอบที่ 2 (PC2) สามารถอธิบายความแปรปรวนได้ร้อยละ 21 ประกอบไปด้วยความกลมกลืนของกลิ่น รสเปรี้ยว รสเค็ม สีขาว ความแน่นเนื้อ ความยืดหยุ่น กลิ่นรสคลอรีน ความหวาน และกลิ่นอับ

จากภาพที่ 20 เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์โดยรวมของทั้ง 2 องค์ประกอบ ของสมบัติทางประสาทสัมผัสของขนมจีนจำนวน 8 ตัวอย่าง ร่วมกับเทคนิคการจัดกลุ่มตัวแปรด้วยวิธี Cluster analysis โดยพิจารณาจากระยะห่างของการรวมกลุ่มถ้าระยะห่างน้อยที่สุดหมายถึงสิ่งทดลองนั้นจะอยู่กลุ่มเดียวกัน ดังแสดงในภาพที่ 21 พบว่าสามารถแยกความแตกต่างของตัวอย่างขนมจีนออกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ (1) กลุ่มตัวอย่างขนมจีน A และ B ซึ่งเป็นขนมจีนแป้งหมักในท้องตลาด ตัวอย่าง G และ H ซึ่งเป็นขนมจีนแป้งหมักโดยใช้เชื้อบริสุทธิ์ที่เวลาในการหมักเป็น 18 และ 24 ชั่วโมงตามลำดับ (2) ตัวอย่าง F เป็นขนมจีนแป้งหมักโดยใช้เชื้อบริสุทธิ์ที่เวลาในการหมักเป็น 12 ชั่วโมง (3) กลุ่มตัวอย่าง D เป็นขนมจีนแป้งสดในท้องตลาด และตัวอย่าง C และ E ซึ่งเป็นขนมจีนแป้งหมักโดยใช้เชื้อบริสุทธิ์ที่เวลาในการหมักเป็น 0 และ 6 ชั่วโมงตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับการวิเคราะห์กลิ่นของแป้งหมักที่เวลาในการหมักต่างกันด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic nose หรือ e-nose)

และเมื่อนำค่าเฉลี่ยปัจจัยคุณภาพค่าเฉลี่ยของสมบัติทางเคมี กายภาพ และทางประสาทสัมผัส มาปรับค่า (standardize) เพื่อหาความสัมพันธ์โดยใช้เทคนิคแผนภาพด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบ (Principle Component Analysis (PCA) (ดังภาพที่ 21) ผลที่ได้พบว่าสามารถอธิบายความแปรปรวนที่เกิดขึ้นได้ทั้งสิ้นร้อยละ 82 สำหรับ 2 องค์ประกอบแรก โดยแต่ละองค์ประกอบมีความสัมพันธ์กับคุณภาพทางเคมี กายภาพ และทางประสาทสัมผัสต่างกันตามน้ำหนักของปัจจัยที่วิเคราะห์ได้ของสมบัติทางคุณภาพทางเคมี กายภาพ และทางประสาทสัมผัสแต่ละด้าน ดังแสดงในตารางที่ 28



ภาพที่ 21 แผนภาพเดนโดแกรมการจำแนกกลุ่มสิ่งทดลองของขนมจีนแป้งหมักที่ระยะเวลาในการหมักต่างกันและขนมจีนทางการค้าตามลักษณะทางประสามสัมพันธ์ด้วยวิธีการจำแนกกลุ่มแบบ Hierarchical เทคนิคการจำแนกกลุ่มข้อมูล

หมายเหตุ A, B = ขนมจีนแป้งหมักทางการค้า

- C = ขนมจีนที่ผลิตจากแป้งหมัก 0 ชม. โดยใช้หัวเชื้อบริสุทธิ์
- D = ขนมจีนแป้งสดจากท้องตลาด
- E = ขนมจีนที่ผลิตจากแป้งหมัก 6 ชม. โดยใช้หัวเชื้อบริสุทธิ์
- F = ขนมจีนที่ผลิตจากแป้งหมัก 12 ชม. โดยใช้หัวเชื้อบริสุทธิ์
- G = ขนมจีนที่ผลิตจากแป้งหมัก 18 ชม. โดยใช้หัวเชื้อบริสุทธิ์
- H = ขนมจีนที่ผลิตจากแป้งหมัก 24 ชม. โดยใช้หัวเชื้อบริสุทธิ์

ตารางที่ 28 น้ำหนักของปัจจัย (Factor loading) ด้านสมบัติทางเคมี กายภาพ ทางประสาทสัมผัส
ของตัวอย่างขนมจีนจำนวน 8 ตัวอย่าง

ค่าคุณภาพ	องค์ประกอบ	
	1	2
กลิ่นหมัก (a-fermentation)	0.154	0.107
กลิ่นแป้งข้าวเจ้าสุก (a-Boiled Rice Flour)	-0.158	-0.030
กลิ่นน้ำข้าวข้าว	0.123	-0.117
กลิ่นรสหมัก (Fermentation)	0.159	0.034
กลิ่นรสแป้งข้าวเจ้าสุก (Boiled Rice Flour)	-0.167	0.020
รสเปรี้ยว (Sour)	0.148	0.094
การติดมือ (Stickness)	-0.160	-0.098
การยืดหยุ่น (Springiness)	0.154	0.029
การติดริมฝีปาก (Adhesive to lips)	-0.167	0.019
ความแข็ง (Hardness)	0.165	0.010
ความชุ่มชื้น (Moistness of mass)	-0.154	0.128
ความเป็นแป้ง (Starchy)	-0.153	0.070
การรวมตัวของตัวอย่าง (Cohesive of mass)	-0.162	-0.037
จำนวนครั้งในการเคี้ยว (Chew count)	0.165	0.055
ความรู้สึกรับสัมผัส (Particle)	0.160	-0.018
การเป็นแป้งเคลือบ (Coating)	-0.158	-0.046
ปริมาณกรด	0.167	-0.093
ค่า pH	-0.161	0.109
ปริมาณแอมิโลส	0.149	0.098
ปริมาณโปรตีน	-0.167	0.001
แรงดึง	0.167	0.014

ตารางที่ 28 (ต่อ)

สมบัติทางประสาทสัมผัส	องค์ประกอบ	
	1	2
L*	0.168	0.006
a*	-0.164	-0.057
b*	0.161	-0.081
ΔE	0.159	-0.039
ค่ากำลังการพองตัว	-0.164	0.072
ร้อยละการละลาย	0.158	-0.115
ค่าอุณหภูมิเริ่มต้น (To)	-0.165	-0.022
อุณหภูมิที่จุดสูงสุด (Tp)	0.167	0.013
อุณหภูมิสุดท้าย (Tc)	0.166	-0.005
ค่าพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลลิตีในเซชัน (ΔH)	0.165	-0.009
อุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด	-0.157	-0.104
ค่าความหนืดสูงสุด	-0.164	-0.074
ค่าความหนืดสุดท้าย	-0.166	-0.046
ค่าการคืนตัว	-0.167	0.004
สีขาว (Whiteness)	0.083	0.156
ขนาดเส้น (Noodle size)	0.080	-0.231
การเกาะตัว (Attachment)	-0.119	0.240
ความมันวาว (Shininess)	0.017	0.063
ความโปร่งแสง (Transparency)	-0.111	0.222
ความกลมกลืนของกลิ่น (Blended)	0.112	0.267
กลิ่นคลอรีน (a-Chlorine)	0.050	-0.178
กลิ่นพริกแห้ง (a-Dried chili)	-0.134	0.174
กลิ่นอับ (a-Dusty Musty)	-0.093	-0.238
กลิ่นกล่อกกระดาศ	0.030	-0.367
ความกลมกลืนของกลิ่นรส (Blended)	-0.021	0.367

ตารางที่ 28 (ต่อ)

สมบัติทางประสาทสัมผัส	องค์ประกอบ	
	1	2
กลิ่นรสคลอรีน(Chlorine)	-0.022	0.322
รสหวาน (sweet)	-0.089	-0.223
ความแน่นเนื้อ (Firmness)	0.069	0.134
ความฝืด (Astringent)	0.044	-0.124
ปริมาณน้ำตาล	-0.015	0.135
ความแปรปรวนที่สามารถอธิบายได้ (ร้อยละ)	69.000	13.000
ความแปรปรวนทั้งหมดที่สามารถอธิบายได้ (ร้อยละ)	82.000	

หมายเหตุ ตัวเลขเข้มหมายถึงค่าน้ำหนักของปัจจัย(Factor Loading) ที่จัดอยู่ในตัวแปรใหม่ใน PC1 และ PC2

จากตารางที่ 28 พบว่า องค์ประกอบที่ 1 (PC1) สามารถอธิบายความแปรปรวนได้ ร้อยละ 69.00 โดยที่องค์ประกอบมีความสัมพันธ์กับ กลิ่นหมัก กลิ่นแป้งข้าวเจ้าสุก กลิ่นน้ำข้าว ข้าว กลิ่นรสหมัก กลิ่นรสแป้งข้าวเจ้าสุก รสเปรี้ยว การติดมือ การยืดหยุ่น การติดริมฝีปาก ความแข็ง ความชุ่มชื้น ความเป็นแป้ง การรวมตัวของตัวอย่าง จำนวนครั้งในการเคี้ยว ความรู้สึกเป็นผง ตกค้าง การเป็นแป้งเคลือบ ปริมาณกรด ค่า pH ปริมาณแอมิโลส ปริมาณโปรตีน แรงดึง ค่า L ค่าa ค่าb ΔE ค่ากำลังการพองตัว ร้อยละการละลาย ค่าอุณหภูมิเริ่มต้น (T_0) อุณหภูมิที่จุดสูงสุด (T_p) อุณหภูมิสุดท้าย (T_c) ในการเกิดเจลลิตีในเซชัน ค่าพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลลิตีในเซชัน (ΔH) อุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด ค่าความหนืดสูงสุด ค่าความหนืดสุดท้าย ค่าการคืนตัว

องค์ประกอบที่ 2 (PC2) สามารถอธิบายความแปรปรวนได้ร้อยละ 13.00 โดยที่ องค์ประกอบมีความสัมพันธ์กับ สีขาว ขนาดเส้น การเกาะตัว ความเป็นมันวาว ความโปร่งแสง ความกลมกลื่นของกลิ่น กลิ่นคลอรีน กลิ่นพริกแห้ง กลิ่นอับ กลิ่นกล่องกระดาษ ความกลมกลื่นของกลิ่นรส กลิ่นรสคลอรีน รสหวาน ความแน่นเนื้อ ความฝืด และปริมาณน้ำตาล

ที่ปรากฏให้เห็น (appearance) และกลิ่นรส (flavour) โดยอาหารที่ผ่านกระบวนการหมักแล้วมักเป็นที่ยอมรับว่ามีกลิ่นรสดี ซึ่งเป็นลักษณะพิเศษของแต่ละผลิตภัณฑ์ (Hirayama, 1982) ซึ่งในการผลิตอาหารหมักเหล่านี้มีการศึกษาถึงสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการหมัก จุลินทรีย์ที่จำเป็นในกระบวนการหมัก การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ คุณค่าทางอาหาร กลิ่นรสที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการหมัก การศึกษาสภาวะต่างๆเหล่านี้จึงจำเป็นต้องทำเพื่อเป็นประโยชน์ต่อการขยายปริมาณการผลิตมาเป็นระดับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ขึ้น (Steinkraus, 1996)

6. การศึกษาความเป็นไปได้ในการขยายกำลังการผลิตในระดับอุตสาหกรรม

การทดสอบกระบวนการผลิตโดยใช้กล้าเชื้อเหลว *L. plantarum* A1 ไปทดสอบผลิตที่โรงงานควบคุมซึ่งทำการขยายกำลังการผลิตจาก 5 กิโลกรัมเป็น 50 กิโลกรัม ตามกระบวนการผลิตดังแสดงในภาพที่ 23 และทำการประเมินผลการวิจัย

เมื่อเปรียบเทียบกระบวนการผลิตโดยใช้กล้าเชื้อเหลว *L. plantarum* A1 กับกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมสามารถสรุปความแตกต่างได้ ดังแสดงในตารางที่ 29



(ก) การแช่ข้าว



(ข) การโม่แป้ง



(ค) การเติมหัวเชื้อ



(ง) การทับน้ำ



(จ) การนึ่งก้อนแป้ง



(ฉ) การนวดแป้ง



(ช) การผสมแป้ง



(ซ) การโรยเส้น



(ณ) การตักเส้น



(ญ) การจับเส้น



(ฎ) ขนมหุ้น

ภาพที่ 23 กระบวนการผลิตขนมจีนโดยใช้กล้าเชื้อเห็ด *L. plantarum* A1 ในโรงงาน
อุตสาหกรรม

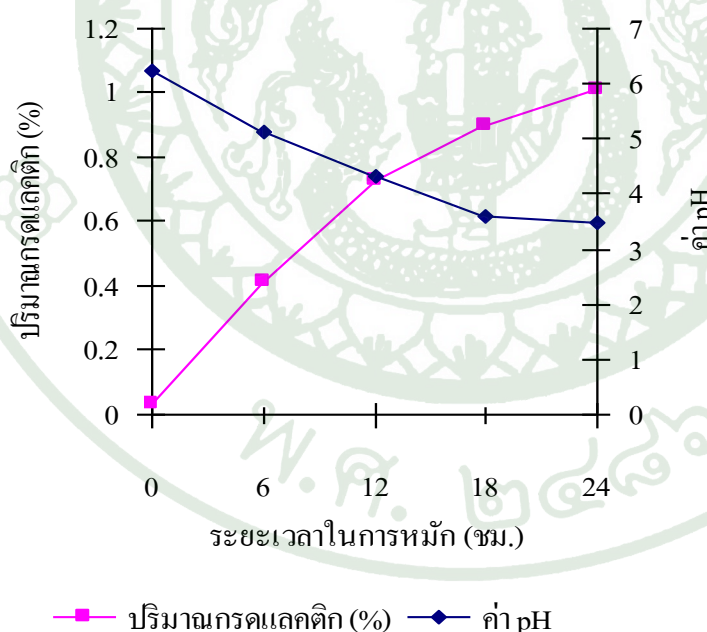
ตารางที่ 29 ความแตกต่างระหว่างกระบวนการผลิตขนมจีนโดยใช้กล้าเชื้อเหลว *L. plantarum* A1 กับกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีกำลังการผลิต 50 กิโลกรัม

ขั้นตอน	การผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม(ไม่ใช่ การผลิตขนมจีนโดยใช้กล้าเชื้อเหลวกล้าเชื้อ)	<i>L. plantarum</i> A1
1.การแช่ข้าว	- ระยะเวลาในการแช่ 12 – 24 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดการหมักระหว่างการแช่ - pH ของข้าว เท่ากับ 4.0 – 4.5	- ระยะเวลาในการแช่ 6 ชั่วโมง เพื่อให้เมล็ดข้าวนุ่ม ทำให้สะดวกในการโม่ - pH ของข้าวเท่ากับ 6.0
2.การล้างข้าว	- ก่อนนำไปโม่ต้องทำการล้างข้าว อย่างน้อย 1-2 ครั้ง ทำให้เกิดน้ำเสีย ที่มีความเป็นกรด (pH = 4.0-4.5)	- ก่อนนำไปโม่ต้องทำการล้างข้าว อย่างน้อย 1 ครั้ง น้ำเสียจากการล้างข้าวจะไม่เป็นกรด (pH = 6.0)
3.การเติมหัวเชื้อ	- ไม่มีการเติมหัวเชื้อ เป็นการหมักตามธรรมชาติ	- เติมหหัวเชื้อที่ผ่านการคัดเลือกแล้ว
4. การนอนน้ำ แป้ง	- ใช้เวลาในการนอนน้ำแป้ง 24 ชั่วโมง ในขั้นตอนนี้จะเกิดการหมัก เพื่อให้จุลินทรีย์สร้างกรดแลคติก แต่ปริมาณกรดที่ได้ไม่สามารถควบคุมได้ และให้แป้งเกิดการตกตะกอน - pH 3.5 – 4.0	-หมัก และนอนน้ำแป้ง 24 ชั่วโมง เนื่องจากเป็นการหมักโดยใช้หัวเชื้อที่ผ่าน การคัดเลือกแล้วจึงทำให้ปริมาณกรดที่ได้และระยะเวลาในการหมักสามารถควบคุมได้ - pH 3.5 – 4.0
4.การทับน้ำ	- ทับน้ำเป็นเวลา 12 ชั่วโมง โดยนำ ก้อนแป้งใส่ถุงผ้าและตั้งทับๆกัน โดยในขั้นตอนนี้ยังเกิดการหมักต่อ - pH 3.0 – 3.5	- ทับน้ำได้ทันที โดยใช้เครื่องไฮโดลิกส์ - pH 3.0 – 3.5
5.รวมระยะเวลา ตลอดกระบวนการ การผลิต	72 ชม.	48 ชม.

จากตารางที่ 29 จะเห็นได้ว่ากระบวนการผลิตโดยใช้กล้าเชื้อเห็ด *L.plantarum* A1 จะใช้ระยะเวลาในการผลิตน้อยกว่า (48 ชม.) แบบไม่ใช้กล้าเชื้อ (72 ชม.) ทั้งนี้เพราะกระบวนการผลิตโดยใช้กล้าเชื้อสามารถลดระยะเวลาในขั้นตอนการแช่ข้าว, การนึ่งน้ำแป้ง และการทับน้ำแป้งลงได้ นอกจากนี้ระยะเวลาในการผลิตยังแน่นอนและสามารถควบคุมได้

6.1 การประเมินการผลิต

จากการประเมินประสิทธิภาพในการหมักของกล้าเชื้อเห็ด *L.plantarum* A1 โดยทำการผลิตจริงในโรงงานอุตสาหกรรม แล้วทำการตรวจสอบระยะเวลาที่ใช้ในการหมัก โดยการวิเคราะห์ปริมาณกรดแลคติกและค่าความเป็นกรด-ด่างในระหว่างการหมัก ผลการศึกษาปริมาณกรดแลคติกและค่าความเป็นกรด-ด่าง ในตัวอย่างแป้งหมักระหว่างกระบวนการผลิตขนมจีนโดยใช้หัวเชื้อ A1 ที่ 0, 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมงแสดงผลในภาพที่ 24



ภาพที่ 24 ปริมาณกรด และค่าความเป็นกรด-ด่าง ระหว่างกระบวนการหมักขนมจีนโดยใช้กล้าเชื้อ *L.plantarum* A1

จากภาพที่ 24 พบว่าที่เวลาในการหมัก 24 ชั่วโมง ร้อยละของกรดแลกติกในแป้งหมักเป็น 1.00 จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการขยายการผลิตเป็นระดับอุตสาหกรรมระยะเวลาในการหมักยังเท่ากับ 24 ชั่วโมง

6.2 การศึกษาคุณภาพของขนมจีนที่ผลิตโดยใช้กล้าเชื้อ เปรียบเทียบกับขนมจีนอ้างอิง

หลังจากทดลองกระบวนการผลิตโดยกล้าเชื้อ *L. plantarum* A1 ในโรงงานควบคุมแล้ว นำขนมจีนที่ได้จากการผลิตมาทำการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ, เคมี, จุลินทรีย์ และประสาทสัมผัสเปรียบเทียบกับตัวอย่างขนมจีนทางการค้าที่มีการหมักแบบธรรมชาติ ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 30 และ 31

ตารางที่ 30 คุณภาพทางกายภาพ, เคมี, และจุลินทรีย์ ของเส้นขนมจีนที่ผลิตโดยใช้กล้าเชื้อเหลว
L. plantarum A1 ในระดับอุตสาหกรรมเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างขนมจีนทาง
 การค้า

คุณภาพ	ขนมจีนที่ผลิตโดยใช้กล้าเชื้อเหลว <i>L. plantarum</i> A1	ขนมจีน ทางการค้า
คุณภาพทางกายภาพ		
ค่าสีในระบบ CIELAB* (L*a*b*)	81.09, -1.01, 5.11	79.68, -0.51, 6.10
แรงดึง ^{ns}		
- ความเค้น ณ แรงสูงสุด (Pa)	2.37 ± 0.61	2.50 ± 1.61
- ค่าร้อยละการยืดตัว ณ แรงสูงสุด	47.72 ± 7.74	46.37 ± 2.74
- ค่างานทั้งหมด (mJ)	2.71 ± 1.25	2.85 ± 2.45
- Young's Modulus (Mpa)	1.45 ± 1.71	1.57 ± 2.85
คุณภาพทางเคมี (ร้อยละ)		
ค่าความเป็นกรด-ด่าง ^{ns}	4.2	4.1
ปริมาณกรดแลกติก ^{ns}	0.47	0.52
ปริมาณโปรตีน ^{ns} (%N x 5.95)	5.33	5.12
ความชื้น ^{ns}	72.53	71.47
ไขมัน ^{ns}	0.62	0.70
เถ้า ^{ns}	0.37	0.40
เส้นใย ^{ns}	0.84	0.79
คุณภาพทางจุลินทรีย์		
ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ^{ns} (cfu/กรัม)	8.3 x 10 ⁴	9.4 x 10 ⁴
<i>Staphelococcus aureus</i> ^{ns} (cfu/กรัม)	ไม่พบ	ไม่พบ
<i>Bacillus cereus</i> ^{ns} (cfu/กรัม)	ไม่พบ	ไม่พบ
<i>E. coli</i> ^{ns} (MPN)	ไม่พบ	ไม่พบ

หมายเหตุ ^{ns} หมายถึงค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมี
 นัยสำคัญทางสถิติ (p > 0.05)

ตารางที่ 31 คะแนนความเข้มของลักษณะทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างขนมจีนที่ผลิตโดยใช้
กล้าเชื้อเห็ด *L. plantarum* A1 และผลิตจากโรงงานอุตสาหกรรม

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	คะแนนความเข้มของตัวอย่างขนมจีน	
	โรงงานอุตสาหกรรม	ใช้กล้าเชื้อเห็ด <i>L. plantarum</i> A1
ลักษณะปรากฏ		
สีขาว* (Whiteness)	6.5	7.5
ขนาดเส้น ^{ns} (Noodle size)	7.0	7.0
การเกาะตัว ^{ns} (Attachment)	8.0	8.2
ความมันวาว ^{ns} (Shininess)	6.3	7.0
ความโปร่งแสง ^{ns} (Transparency)	5.7	6.2
กลิ่น		
ความกลมกลืนของกลิ่น ^{ns} (Blended)	8.7	8.5
กลิ่นหมัก* (Fermentation)	5.5	4.0
กลิ่นแป้งข้าวเจ้าสุก ^{ns} (Boiled Bice flour)	4.0	5.0
กลิ่นน้ำข้าวข้าว ^{ns}	1.0	1.5
กลิ่นคลอรีน ^{ns} (Chlorine)	0	0.5
กลิ่นพริกแห้ง ^{ns} (Dried chili)	0.5	0.5
กลิ่นอับ ^{ns} (Dusty Musty)	1.5	2.0
กลิ่นกล่องกระดาษ ^{ns} (Cardboard)	1.0	1.0
กลิ่นรส		
ความกลมกลืนของกลิ่นรส ^{ns} (Blended)	4.5	4.5
กลิ่นรสหมัก (Fermentation)	4.0a	3.5b
กลิ่นรสแป้งข้าวเจ้าสุก ^{ns} (Boiled rice flour)	3.5	3.5
กลิ่นรสคลอรีน ^{ns} (Chlorine)	0.9	1.0
รสชาติ		
รสหวาน ^{ns} (Sweet)	0.5	0.5
รสเปรี้ยว ^{ns} (Sour)	1.2	1.0
รสเค็ม ^{ns} (Salt)	0.5	0.5

ตารางที่ 31 (ต่อ)

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	คะแนนความเข้มของตัวอย่างขนมจีน	
	โรงงาน อุตสาหกรรม	ใช้กล้าเชื้อเหลว <i>L. plantarum</i> A1
เนื้อสัมผัส		
การทดสอบด้วยมือ (Manual Testing)		
การติดมือ ^{ns} (Stickiness)	4.5	4.5
การยืดหยุ่น ^{ns} (Springiness)	5.2	5.0
ความแข็ง ^{ns} (Hardness)	6.0	5.5
การเคี้ยว (Chew down)		
ความชุ่มชื้น ^{ns} (Moistness of mass)	6.0	6.0
ความเป็นแป้ง ^{ns} (Starchy)	4.0	4.5
การรวมตัวของตัวอย่าง ^{ns} (Cohesive of mass)	4.0	4.5
จำนวนครั้งในการเคี้ยว (Chew count)	8.0	8.0
การกลืน (Swallow)		
ความรู้สึกรุนเป็นผงตกค้าง ^{ns} (Particle)	4.5	4.5
ความฝืด ^{ns} (Astringent)	2.5	2.5
การเป็นแป้งเคลือบ ^{ns} (Coating)	3.5	3.

หมายเหตุ a-b หมายถึงค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวเดียวกันที่มีตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 31) พบว่า คะแนนความเข้มในปัจจัยสี และกลิ่นหมักของตัวอย่างขนมจีนที่ผลิตโดยกล้าเชื้อเหลว *L. plantarum* A1 และการผลิตแบบดั้งเดิมมีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากการหมักทางการค้าเป็นการหมักแบบธรรมชาติทำให้มีจุลินทรีย์หลายชนิดเจริญเติบโตทำให้กลิ่นหมักในขนมจีนทางการค้ามีความเข้มมากกว่า

หลังจากนั้นจึงนำกระบวนการผลิตโดยใช้กล้าเชื้อเหหลวง *L. plantarum* A1 ไปทดสอบการยอมรับจากผู้ประกอบการรายอื่นๆ และขนมจีนที่ผลิตโดยใช้กล้าเชื้อเหหลวง *L. plantarum* A1 ไปทดสอบชอบกับผู้บริโภคต่อไป

7. การทดสอบการยอมรับ

7.1 การทดสอบการยอมรับกระบวนการผลิตโดยใช้กล้าเชื้อเหหลวง *L. plantarum* A1

ผลการสำรวจพฤติกรรมการผลิต, ทักษะคิด และการยอมรับของผู้ประกอบการจำนวน 15 โรงงานต่อการพัฒนากระบวนการผลิตขนมจีนโดยใช้หัวเชื้อ โดยวิธีการสัมภาษณ์เชิงลึก (Indept interview) แสดงผลในตารางที่ 32

ตารางที่ 32 ข้อมูลทางประชากรศาสตร์ของผู้ประกอบการกลุ่มเป้าหมายจำนวน 15 โรงงาน

	ลักษณะทางประชากรศาสตร์	ความถี่	ร้อยละ
7.1.1 ผู้ตอบแบบสอบถาม			
เพศ	ชาย	14	93.33
	หญิง	1	6.67
อายุ	31-40 ปี	1	6.67
	41-50 ปี	3	20.00
	> 50 ปี	11	73.33
ตำแหน่ง	เจ้าของกิจการ	13	86.67
	ผู้จัดการโรงงาน	2	13.33
การศึกษา	ต่ำกว่ามัธยมศึกษา	13	86.67
	อนุปริญญา	2	13.33
ประสบการณ์การทำงาน	5-10 ปี	1	6.67
	11-20 ปี	5	33.33
	> 20 ปี	9	60.00
7.1.2 โรงงาน			
จำนวนคนงาน	< 10 คน	3	20.00
	10-20 คน	12	80.00
กำลังการผลิตต่อวัน	< 500 กก./วัน	1	6.67
	1,001-1,500 กก./วัน	2	13.33
	> 1,500 กก./วัน	12	80.00
ปริมาณการจำหน่ายต่อวัน	< 500 กก./วัน	1	6.67
	1,001-1,500 กก./วัน	2	13.33
	> 1,500 กก./วัน	12	80.00

จากข้อมูลทางประชากรศาสตร์ (ตารางที่ 32) พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามเป็นส่วนใหญ่เป็นเพศชาย อายุส่วนใหญ่ มากกว่า 50 ปี และส่วนใหญ่มีตำแหน่งเป็นเจ้าของกิจการ การศึกษาส่วนใหญ่อยู่ในระดับต่ำกว่ามัธยม แต่ส่วนใหญ่มีประสบการณ์ในการทำงานมากกว่า 20 ปี

ส่วนข้อมูลเกี่ยวกับโรงงานที่ทำการสำรวจ (ตารางที่ 35) พบว่า ส่วนใหญ่มีจำนวน
คนงานจำนวน 10-20 คน กำลังการผลิตและปริมาณการจำหน่ายต่อวันส่วนใหญ่ มากกว่า 1,500
กิโลกรัม

ตารางที่ 33 ข้อมูลเกี่ยวกับการผลิตของโรงงานจำนวน 15 โรงงาน

หัวข้อ	รายละเอียด	จำนวนโรงงาน
ชนิดของเครื่องจักรที่มี ในโรงงาน	1. เครื่องโม่เปียก	15
	2. เครื่องนวดแป้ง	15
	3. ถังหมัก	15
	4. เครื่องโรยเส้นอัดโนมตี,	15
	5. หม้อต้ม	15
	6. เครื่องผสม	15
ปัญหาที่พบในการผลิต ขนมจีน ที่พบมากที่สุด	1. คุณภาพข้าวไม่สามารถควบคุมได้	15
	2. ราคาข้าวสูงขึ้นแต่ราคาขนมจีนยังคงเดิม	12
	3. คุณภาพขนมจีน ไม่สม่ำเสมอ และไม่สามารถ ควบคุมได้	12
พันธุ์ข้าวที่ใช้ในการ ผลิต	1. ชัยนาท 1	8
	2. สุพรรณบุรี 1	11
	3. ปทุมธานี 60	6
	4. เหลืองสุรินทร์	1
	5. ขาว 500	4
	6. เหลืองประทิว	3
	7. ข้าวเจ้าแดง	1
	8. เหลือง 11	5
แหล่งน้ำที่ใช้	1. น้ำคลอง	10
	2. น้ำบาดาล	5

จากตารางที่ 33 พบว่าเครื่องจักรที่มีในโรงงานขนมจีน ได้แก่ เครื่องโมเป๊ก, เครื่องนวดแป้ง, เครื่องโรยเส้นอัตโนมัติ, หม้อต้ม และเครื่องผสม ปัญหาที่พบบ่อยที่สุดในการผลิตขนมจีนได้แก่ คุณภาพข้าวไม่สามารถควบคุมได้, ราคาข้าวสูงขึ้นแต่ราคาขนมจีนยังคงเดิม และคุณภาพขนมจีนไม่สม่ำเสมอและไม่สามารถควบคุมได้ พันธุ์ข้าวที่ใช้ในการผลิต เช่น ชัยนาท 1 สุพรรณบุรี 1 และปทุมธานี 60 เป็นต้น แหล่งน้ำที่ใช้ส่วนใหญ่ใช้แหล่งน้ำจากคลอง

ตารางที่ 34 ข้อมูลกระบวนการผลิตของโรงงานจำนวน 15 โรงงาน

ขั้นตอน	รายละเอียด	ปัญหาที่พบ	จำนวนโรงงาน
1.การแช่ข้าว	- ระยะเวลาในการแช่ 1 วัน (14 โรงงาน) หรือ 2 วัน (1 โรงงาน) - อุปกรณ์ที่ใช้ในการแช่ข้าว : อ่างซีเมนต์, ถังพลาสติก	- ใช้น้ำปริมาณมาก	15
2.การล้างข้าว	- จำนวนครั้งในการล้าง 1-2 ครั้ง	- มีน้ำเสียที่ค่าความกรดจำนวนมาก	15
3.การโมข้าว	- วิธีการโมเป็นแบบโมเป๊ก	- ใช้น้ำจำนวนมาก - มีน้ำทิ้งที่มีเนื้อแป้งปน - สูญเสียเนื้อแป้งบางส่วน	15
4.การนอนน้ำแป้ง	- ระยะเวลาในการนอนน้ำแป้ง 1 วัน (14 โรงงาน) หรือ 2 วัน (1 โรงงาน) - อุปกรณ์ที่ใช้ในการนอนน้ำแป้ง : ถังพลาสติก, ตะกร้าพลาสติก, อ่างซีเมนต์, โถงดินเผา และอ่างไม้	- มีน้ำเสียที่ค่าความกรดจำนวนมาก - ใช้เวลานาน	15

ตารางที่ 34 (ต่อ)

ขั้นตอน	รายละเอียด	ปัญหาที่พบ	จำนวนโรงงาน
5. การทบน้ำ	- ระยะเวลาในการนอนน้ำแป้ง 12 ชั่วโมง (14 โรงงาน), 30 นาที (1 โรงงาน) - อุปกรณ์ที่ใช้ในการทบน้ำ : ไซลิ่งที่ใส่แป้งทับซ้อนกัน, ใช้เครื่องไฮโดรลิกส์	- มีน้ำเสียที่ค่าความกรดจำนวนมาก - เวลาในการทบน้ำไม่แน่นอน	15
6. การนึ่งก้อนแป้ง	- อุปกรณ์ที่ใช้ : หม้อนึ่งไอน้ำ โดยแหล่งพลังงานที่ใช้คือ ฟืน หรือ แก๊ส - ระยะเวลาในการนึ่งก้อนแป้ง 20-30 นาที - ลักษณะของก้อนแป้งที่เหมาะสมเมื่อนึ่งแล้ว : ก้อนแป้งจะต้องสุกจากผิวนอกลงไปประมาณ 2 เซนติเมตร หรือ 1 นิ้ว	- ฟืนหายากขึ้น	13
7. การนวดผสม	- อุปกรณ์ที่ใช้ : เครื่องนวดแป้ง - ระยะเวลาในการนวดผสม 30-45 นาที - ลักษณะของก้อนแป้งที่เหมาะสมเมื่อนวดได้ที่แล้ว : เมื่อใช้มือตักแป้งขึ้นมา แป้งจะต้องต้งยอดได้	- ไม่พบปัญหา	15

ตารางที่ 34 (ต่อ)

ขั้นตอน	รายละเอียด	ปัญหาที่พบ	จำนวนโรงงาน
8.การโรยเส้น	- อุปกรณ์ที่ใช้ : หัวโรยเส้นอัตโนมัติ - ลักษณะเส้นขนมจีนที่สุก : เส้นจะลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ หรือ หลังจากเส้นจะลอยขึ้น สู่ผิวน้ำแล้ว 5 นาที	- ใช้น้ำมาก	10
9. การแช่น้ำเย็น	- อุปกรณ์ที่ใช้ : อ่างสแตนเลส หรือ อ่างซีเมนต์ - ระยะเวลาในการแช่ประมาณ 5-10 นาที	- ใช้น้ำมาก	13
10. การจับเส้น	- ใช้แรงงานคน และต้องอาศัยความชำนาญ - รูปร่าง : รังนก, เป็นเส้นยาว	- ใช้แรงงานมาก จึงทำให้ขาดแคลนแรงงานในบางช่วงเวลา	15

ส่วนข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการผลิต แสดงผลในตารางที่ 34 พบว่า ขั้นตอนในการผลิตทุกโรงงานจะมีขั้นตอนในการผลิตคล้ายคลึงกัน โดยมีรายละเอียดในการผลิตดังนี้ การแช่ข้าว ใช้ระยะเวลา 1-2 วัน หลังจากนั้นจึงทำการล้างข้าว 1-2 ครั้ง ในขั้นตอนนี้จะมีน้ำเสียที่มีค่าความเป็นกรดสูง หลังจากนั้นนำข้าวที่ได้มาไม่ ซึ่งทุกทุกโรงงานที่ทำการสำรวจใช้การไม่แบบไม่เปียก น้ำแป้งที่ได้จะผ่านการกรองเพื่อให้ได้แป้งที่มีอนุภาคละเอียด แล้วจึงนำน้ำแป้งมานอนน้ำ ระยะเวลาในการนอนน้ำแป้งอยู่ในช่วง 1-2 วัน ภาชนะที่ใช้ในการนอนน้ำแป้ง เช่น ถังพลาสติก, ตระกร้าพลาสติก หรืออ่างซีเมนต์ เป็นต้น ต่อจากนั้นนำตะกอนแป้งที่ตกตะกอนมาถ่ายใส่ถุงผ้า แล้วทับด้วยของหนัก ระยะเวลาที่ใช้ประมาณ 12 ชั่วโมง หลังจากนั้นจึงนำก้อนแป้งที่ได้ไปนึ่ง ระยะเวลาในการนึ่งประมาณ 20-30 นาที เพื่อให้แป้งสุกเฉพาะผิวนอก จากนั้นนำมานวดผสมกับ แป้งดิบที่อยู่ด้านในให้เข้ากัน ซึ่งจากการสำรวจต้องใช้ระยะเวลาในการนวดผสมประมาณ 30 นาที การโรยเส้นจะโรยแป้งลงในน้ำร้อนอุณหภูมิประมาณ 90-95 องศาเซลเซียส โดยจะดักเส้นขึ้น หลังจากเส้นลอยขึ้นมา 1-2 นาที จึงดักเส้นขึ้นแช่ในน้ำเย็นเป็นเวลา 5-10 นาที จึงทำการจับเส้น เป็นรูปแบบต่างๆโดยใช้แรงงานคนที่มีความชำนาญ จากการสำรวจพบว่า ขั้นตอนการผลิตของทุกโรงงานจะคล้ายคลึงกันจะต่างกันบ้างที่ระยะเวลาในการใช้ของแต่ละขั้นตอน, ความทันสมัย

ของอุปกรณ์ที่ใช้, การผลิตส่วนใหญ่จะใช้ความชำนาญของผู้ประกอบการ และไม่มีการควบคุมกระบวนการผลิต

จากการทดสอบการยอมรับของผู้ประกอบการต่อกระบวนการผลิตโดยใช้กล้าเชื้อเหหลวง *L. plantarum* A1 โดยแบ่งผู้ประกอบการที่ทำการสำรวจเป็น 2 ประเภทคือ โรงงานที่ได้เคยทดสอบผลิต และโรงงานที่ไม่เคยทดสอบผลิต พบว่า ผู้ประกอบการที่ทำการสำรวจทั้ง 2 ประเภทคือ โรงงานที่ได้เคยทดสอบผลิต (1 โรงงาน) และโรงงานที่ไม่เคยทดสอบผลิต (14 โรงงาน) ให้การยอมรับต่อกระบวนการผลิตโดยใช้กล้าเชื้อ ทั้ง 15 โรงงาน (ร้อยละ 100) เนื่องจากการผลิตโดยใช้กล้าเชื้อสามารถช่วยลดระยะเวลาในการผลิตลง, และคาดว่าจะสามารถควบคุมกระบวนการผลิต และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้สม่ำเสมอได้

7.2 การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อขนมจีนที่ผลิตโดยใช้กล้าเชื้อเหหลวง

L. plantarum A1

ผลการทดสอบการยอมรับโดยนำขนมจีนที่ผลิตโดยใช้กล้าเชื้อเหหลวง

L. plantarum A1เปรียบเทียบกับขนมจีนที่ผลิตโดยไม่ใช้กล้าเชื้อโดยให้ผู้บริโภคชิมขนมจีนร่วมกับน้ำยาอะทิ โดยให้ผู้บริโภคที่รับประทานขนมจีนแพ่งหมักจำนวน 200 คน โดยวิธี Central Location Test (CLT)การทดสอบเป็นแบบให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (Hedonic scale 9 point) สถานที่ทำการทดสอบ ได้แก่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และโรงเรียนโสมภาพูนสุรินทร์ แสดงผลดังในตารางที่ 36 และ 37

ตารางที่ 35 ข้อมูลทางประชากรศาสตร์ของผู้บริโภคทั่วไปที่ทำการสัมภาษณ์

รายละเอียด	ลักษณะทางประชากรศาสตร์	ความถี่	ร้อยละ
เพศ	ชาย	71	35.5
	หญิง	129	64.5
อายุ	< 20 ปี	41	20.5
	20-29 ปี	65	32.5
	30-39 ปี	41	20.5
	40-49 ปี	34	17.0
	> 50 ปี	19	9.5
วุฒิการศึกษาปัจจุบัน	มัธยมศึกษา หรือเทียบเท่า	18	9.0
	อนุปริญญา หรือเทียบเท่า	38	19.0
	ปริญญาตรี	128	64.0
	สูงกว่าปริญญาตรี	16	8.0
อาชีพ	นิสิต/นักศึกษา	46	23.0
	ค้าขาย/ธุรกิจส่วนตัว	22	11.0
	แม่บ้าน	40	20.0
	ข้าราชการ/รัฐวิสาหกิจ	32	16.0
	พนักงานเอกชน	40	20.0
	รับจ้าง	20	10.0
รายได้ต่อเดือน	< 5,000 บาท	5	2.5
	5,001-10,000 บาท	34	17.0
	10,001-15,000 บาท	50	25.0
	15,001-20,000 บาท	61	30.5
	> 20,000 บาท	50	25.0

จากตารางที่ 35 พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง อายุอยู่ในช่วง 20 – 29 ปี การศึกษาส่วนใหญ่อยู่ในระดับปริญญาตรี สำหรับอาชีพ พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นนิสิต/นักศึกษา รายได้เฉลี่ยส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 1,500 – 2,000 บาทต่อเดือน

เมื่อทดสอบการยอมรับโดยนำขนมจีนที่ผลิตโดยใช้กล้าเชื้อเหหลวง *L. plantarum* A1 เปรียบเทียบกับขนมจีนอ้างอิง โดยให้ผู้บริโภคมชิมขนมจีนร่วมกับน้ำยา จำนวนผู้บริโภครวมที่ใช้ในการทดสอบ 200 คน โดยวิธี Central Location Test (CLT) การทดสอบเป็นแบบให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (Hedonic scale 9 point) ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 36

ตารางที่ 36 คะแนนความชอบ การยอมรับ และการซื้อของผู้บริโภคที่มีต่อขนมจีนที่ผลิตโดยใช้กล้าเชื้อเหหลวง *L. plantarum* A1 และขนมจีนที่ผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม

ปัจจัย	คะแนนความชอบ	
	ขนมจีนตัวอย่างที่ผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม	ขนมจีนที่ผลิตโดยใช้กล้าเชื้อเหหลวง <i>L. plantarum</i> A1
สีข้าว	8.04	8.23
กลิ่นโดยรวม*	7.64	8.09
ความเหนียว	8.17	7.90
ความชอบโดยรวม	8.02	8.12
การยอมรับ (ร้อยละ)	100	100
การซื้อ (ร้อยละ)	100	100

หมายเหตุ * หมายถึงค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวอนเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ผลการทดสอบด้านการยอมรับของผลิตภัณฑ์โดยทำการทดสอบเปรียบเทียบกับขนมจีนตัวอย่างที่ผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม (ตารางที่ 36) พบว่า ขนมจีนอ้างอิง ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบเฉลี่ยคุณลักษณะด้านสี, กลิ่นหมัก, ความเหนียว, ความชอบรวม เท่ากับ 8.04, 7.64, 8.17 และ 8.02 ตามลำดับ ส่วนขนมจีนที่ผลิตโดยใช้หัวเชื้อผู้บริโภครวมให้คะแนนความชอบเฉลี่ยคุณลักษณะด้านสี, กลิ่นหมัก, ความเหนียว และความชอบรวม เท่ากับ 8.23, 8.08, 7.90 และ 8.12 ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าขนมจีนอ้างอิงและขนมจีนที่ผลิตโดยใช้กล้าเชื้อคะแนนความชอบไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) ในคุณลักษณะด้านสี, ความเหนียว และความชอบรวม แต่มีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) ในคุณลักษณะด้านกลิ่นหมัก

ตารางที่ 37 ข้อมูลเกี่ยวกับความคิดเห็นเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ขนมจีนของผู้บริโภค (n = 200)

หัวข้อ	รายละเอียด	ความถี่	ร้อยละ
ชนิดของขนมจีนที่ท่านรับประทานบ่อยที่สุด	ขนมจีนแป้งสด	5	2.5
	ขนมจีนแป้งหมัก	195	97.5
สถานที่ที่ซื้อขนมจีนบ่อยที่สุด	ตลาดสด	66	33.00
	ซูเปอร์มาเก็ต	92	46.00
	รถกับข้าว	42	21.00
ความถี่ในการรับประทานขนมจีน	ทุกวัน	0	0.00
	สัปดาห์ละ 3-5 ครั้ง	87	43.5
	สัปดาห์ละครั้ง	100	50.00
	เดือนละ 1-2 ครั้ง	13	6.5
	น้อยกว่าเดือนละครั้ง	0	0.00
ภาชนะบรรจุขนมจีนที่ท่านชอบมากที่สุด	ถุงพลาสติก	12	6.00
	ถาดโฟม	104	52.00
	ตะกร้าพลาสติก	84	42.00
ปริมาณขนมจีนที่ซื้อบ่อยที่สุด	ครึ่งกิโลกรัม	111	55.50
	1 กิโลกรัม	84	42.00
	5 กิโลกรัม	5	2.50
	10 กิโลกรัม	0	0.00
อาหารที่รับประทานคู่กับขนมจีนบ่อยที่สุด	น้ำพริก/น้ำยา	70	35.00
	แกงเขียวหวาน	62	31.00
	ส้มตำ	47	23.50
	แกงไตปลา	9	4.50
	น้ำเงี้ยว	12	6.00
	ทอ้งเสี้ย		73.40
ปัญหาที่ท่านพบบ่อยที่สุด 3 เมื่อซื้อขนมจีนหมัก	มีกลิ่นบูด		20.00
	เส้นแฉะ		6.60

ตารางที่ 37 (ต่อ)

หัวข้อ	รายละเอียด	ความถี่	ร้อยละ
ท่านรู้หรือไม่ว่าการผลิตขนมจีนเป็นการหมักแบบธรรมชาติ คือการหมักโดยใช้จุลินทรีย์จากธรรมชาติซึ่งติดมากับวัตถุดิบหรือจากสภาพแวดล้อม ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้มักมีคุณภาพไม่แน่นอน , ไม่สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพการหมักได้ และเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของเชื้อโรค หรือจุลินทรีย์ที่สร้างสารพิษ	รู้จัก	118	59.0
	ไม่รู้จัก	82	31.50
ถ้ามีการผลิตขนมจีนหมักผลิตโดยใช้กล้าเชื้อจุลินทรีย์บริสุทธิ์ที่ได้ทำการคัดเลือกแล้ว ซึ่งทำให้สามารถควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และลดการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์ที่ก่อโรคได้ ทำให้มีความปลอดภัยในการบริโภค ท่านคิดว่าจะซื้อหรือไม่	ไม่รู้จัก	82	31.50
	ไม่แน่ใจ	26	13.00
	ไม่ซื้อ	3	1.50

ผลการทดสอบความคิดเห็นเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ขนมจีน ดังแสดงในตารางที่ 37 พบว่าขนมจีนที่ผู้บริโภคนิยมรับประทานมากที่สุดคือ ขนมจีนเป้งหมัก สุราษฎร์ธานี (2526) ได้กล่าวว่าผู้บริโภคในภาคกลาง, เหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือนิยมรับประทานขนมจีนเป้งหมักมากกว่า เพราะขนมจีนเป้งหมักมีความเหนียว และเก็บรักษาได้นานกว่าขนมจีนเป้งสด และนอกจากนี้โรงงานผลิตขนมจีนทั้งหมดเป็นการผลิตขนมจีนเป้งหมัก มีเพียงภาคใต้เท่านั้นที่นิยมรับประทานขนมจีนเป้งสดมากกว่า ส่วนสถานที่ที่ผู้บริโภคซื้อขนมจีนบ่อยที่สุดคือซูเปอร์มาร์เกต ผู้บริโภคส่วนใหญ่รับประทานขนมจีนสัปดาห์ละครั้ง ภาชนะที่ใช้บรรจุขนมจีนที่ผู้บริโภคชอบมากที่สุด คือ ถาดโฟม ปริมาณที่ซื้อบ่อยครั้งที่มากที่สุดคือ ครึ่งกิโลกรัมต่อครั้ง อาหารที่ผู้บริโภครับประทานกับขนมจีนบ่อยที่สุดคือ น้ำพริก/น้ำยา การบริโภคขนมจีนของคนไทยแต่ละภาคนั้น นิยมบริโภคกับอาหารประเภทแกง โดยภาคกลางผู้บริโภคนิยมรับประทานขนมจีนร่วมกับน้ำพริกและน้ำยา เช่นเดียวกับภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ส่วนภาคเหนือนิยมรับประทานขนมจีนกับน้ำเงี้ยว เป็นต้น (ทักษิณ, 2522) ปัญหาที่ผู้บริโภคพบบ่อยที่สุดในการรับประทานขนมจีนคือ มีอาการ

ห้องเสี้ย กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ (2536) ได้รายงานว่า จากการวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ขนมหินแป้งหมักที่ได้ มีปริมาณจุลินทรีย์อยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยต่อการบริโภค เนื่องจากขั้นตอนสุดท้ายของการผลิตขนมหินมีการผ่านความร้อนสูง จึงสามารถทำลายจุลินทรีย์ได้ อย่างไรก็ตามขนมหินหลังจากการผลิตอาจมีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์จากแหล่งต่างๆ ได้ เช่น ผู้ผลิต ภาชนะบรรจุ สถานที่ผลิต การเก็บรักษาการขนส่ง ผู้จำหน่ายตลอดจนผู้บริโภค จึงทำให้ขนมหินอาจมีคุณภาพไม่อยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยต่อการบริโภคได้ ผู้บริโภคส่วนใหญ่ทราบว่า การผลิตขนมหินเป็นการหมักแบบธรรมชาติ คือการหมักโดยใช้จุลินทรีย์จากธรรมชาติที่ติดมากับวัตถุดิบ หรือจากสภาพแวดล้อม ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้มักมีคุณภาพไม่แน่นอน ไม่สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพการหมักได้ และเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของเชื้อโรคหรือจุลินทรีย์ที่สร้างสารพิษ ดังนั้นถ้ามีการผลิตขนมหินแป้งหมักโดยใช้กล้าเชื้อจุลินทรีย์บริสุทธิ์ที่ได้ทำการคัดเลือกแล้ว ซึ่งสามารถควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และลดการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคได้ ทำให้มีความปลอดภัยในการบริโภค ผู้บริโภคจึงให้ความสนใจ

สำหรับการวิเคราะห์ความสำคัญของปัจจัยในการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ขนมหินแป้งหมักของผู้บริโภค โดยใช้เทคนิค Factor Analysis พบว่าการวิเคราะห์ปัจจัยโดยใช้การจำแนกกลุ่มตัวแปรด้วยเทคนิค Factor Analysis เพื่อทำการจับกลุ่มหรือรวมตัวแปรของปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อขนมหินทั้งหมด 19 ปัจจัย จากการตรวจสอบว่าตัวแปรต่างๆ มีความสัมพันธ์กันหรือไม่ โดยใช้สถิติ Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) พบว่า ค่า KMO จากการวิเคราะห์เท่ากับ 0.757 ซึ่งมีค่ามากหรือมากกว่า 0.5 และเข้าสู่ 1 จึงสรุปได้ว่าข้อมูลที่มีอยู่เหมาะสมที่จะใช้เทคนิค Factor Analysis (กัลยา, 2544) และเมื่อผ่านการสกัดปัจจัย (Factor Extraction) เพื่อหาจำนวนปัจจัยที่สามารถใช้แทนตัวแปรทั้งหมดทุกตัวได้หรือเป็นการดึงรายละเอียดตัวแปรมาไว้ในปัจจัยโดยวิธี Principle Component Analysis (PCA) โดยกำหนดค่า Eigenvalues ≥ 1 พบว่าเหลือปัจจัยของการจับกลุ่มเพียง 5 ปัจจัยเท่านั้น ประกอบด้วย ปัจจัยด้านความปลอดภัยและการตลาด, ปัจจัยด้านลักษณะทางประสาทสัมผัส, ปัจจัยด้านการเพิ่มมูลค่า, ปัจจัยด้านการส่งเสริมการขาย และปัจจัยด้านอายุการเก็บรักษา ซึ่งมีโมเดลแสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนประกอบในแต่ละปัจจัย (The relation model of each component ดังนี้

PC 1 = ปัจจัยด้านความปลอดภัยและการตลาด : 0.905 ความปลอดภัยในการบริโภค + 0.895 น้ำหนักบรรจุ + 0.867 ความสดใหม่ของผลิตภัณฑ์ + 0.792 การรับรองจาก อย. + 0.779 การใส่สารกันบูด + 0.648 ราคาต่อหน่วย + 0.625 ความสะอาดของผลิตภัณฑ์

PC 2 = ปัจจัยด้านลักษณะทางประสาทสัมผัส : 0.742 สี + 0.730 ขนาดของเส้น + 0.705 กลิ่น + 0.704 เนื้อสัมผัส

PC 3 = ปัจจัยด้านการเพิ่มมูลค่า : 0.754 ความสะดวกในการซื้อ + 0.739 การเสริมคุณค่าทางโภชนาการ + 0.704 ความสะอาดของสถานที่ซื้อ + 0.670 ภาชนะบรรจุ

PC 4 = ปัจจัยด้านการส่งเสริมการขาย : 0.844 คราวหื้อ + 0.749 การโฆษณา + 0.749 การรับรองจากผู้เชี่ยวชาญทางอาหาร/สื่อ

PC 5 = ปัจจัยด้านอายุการเก็บรักษา : 0.822 อายุการเก็บรักษา

จากการวิเคราะห์ปัจจัยทั้งหมด 19 ตัวแปร ที่มีผลต่อพฤติกรรมการบริโภคขนมจีนของผู้บริโภค และทำการจัดกลุ่มตัวแปรได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 38

ตารางที่ 38 ค่าแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรกับ Factor ทั้ง 5 Factor (Factor loading) ของ
ปัจจัยทั้งหมด 19 ตัวแปร

ตัวแปร	น้ำหนักปัจจัย				
	PC 1	PC 2	PC 3	PC 4	PC 5
ความปลอดภัยในการบริโภค	0.905	0.214	0.088	0.070	-0.095
น้ำหนักบรรจุ	0.895	0.238	0.089	0.074	-0.172
ความสดใหม่ของผลิตภัณฑ์	0.867	0.244	0.107	0.064	-0.173
การรับรองจาก อย.	0.792	0.238	0.106	0.105	-0.068
การใส่สารกันบูด	0.779	0.228	0.078	0.074	-0.073
ราคา	0.648	0.133	0.014	-0.211	0.295
ความสะอาดของผลิตภัณฑ์	0.625	0.073	-0.038	-0.067	0.430
สี	-0.351	0.742	0.531	0.000	0.019
ขนาดของเส้น	-0.260	0.730	0.488	-0.038	0.002
กลิ่นหมัก	-0.334	0.705	0.532	0.022	0.009
เนื้อสัมผัส	-0.332	0.704	0.472	-0.030	0.052
ความสะดวกในการซื้อ	0.102	-0.494	0.754	0.015	0.031
การเสริมคุณค่าทางโภชนาการ	0.117	-0.555	0.739	-0.001	0.110
ความสะอาดของสถานที่ซื้อ	0.105	-0.594	0.704	-0.016	-0.033
ภาชนะบรรจุ	0.029	-0.539	0.670	0.076	-0.110
ตราชี้หือ	-0.098	0.034	-0.057	0.844	0.033
การโฆษณา	-0.007	-0.054	0.002	0.749	0.208
การรับรองจากผู้เชี่ยวชาญทางอาหาร/สื่อ	-0.099	0.034	-0.027	0.749	-0.067
อายุการเก็บ	0.069	0.020	0.023	0.011	0.822

การพิจารณาว่าตัวแปรใดควรอยู่ใน factor ใดนั้นจะพิจารณาจากค่า factor loading ถ้า
ค่า factor loading ของตัวแปรใน factor ใดมีค่ามาก (เข้าสู่ +1 หรือ -1) และของ factor อื่นๆมี ค่า
factor loading ต่ำ (เข้าสู่ศูนย์) จะจัดตัวแปรให้อยู่ใน factor ที่มีค่า factor loading สูง

สำหรับตารางที่ 38 ค่าในตารางเป็นค่า factor loading แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปร ทั้ง 19 ตัวแปร กับปัจจัยใหม่ ทั้ง 5 ปัจจัย โดยปัจจัยที่ 1 คือ ปัจจัยด้านความปลอดภัยและการตลาด ประกอบด้วย 7 ตัวแปร คือ ความปลอดภัยในการบริโภค, น้ำหนักบรรจุ, ความสดใหม่ของผลิตภัณฑ์, การรับรองจากสำนักงานอาหารและยา (อย.), การใส่สารกันบูด, ราคา และความสะอาดของผลิตภัณฑ์ ปัจจัยที่ 2 คือ ปัจจัยด้านคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส ประกอบด้วย 4 ตัวแปร คือ สี, ขนาดของเส้น, กลิ่นหมัก และเนื้อสัมผัส ปัจจัยที่ 3 ปัจจัยด้านการเพิ่มมูลค่า ประกอบด้วย 4 ตัวแปร คือ ความสะดวกในการซื้อ, การเสริมคุณค่าทางโภชนาการ, ความสะอาดของสถานที่ซื้อ และภาชนะบรรจุ ปัจจัยที่ 4 ปัจจัยด้านการส่งเสริมการขาย ประกอบด้วย 3 ตัวแปร คือ ตรีพีหื้อ, การโฆษณา และการรับรองจากผู้เชี่ยวชาญทางอาหาร/สื่อ และปัจจัยที่ 5 อายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วย 1 ตัวแปร คือ อายุการเก็บ

- ปัจจัยด้านความปลอดภัยและการตลาด เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญมากที่สุดต่อพฤติกรรมการบริโภคขนมจีนของผู้บริโภคโดยมีตัวแปรที่เป็นปัจจัยของความสำคัญทั้งหมด 6 ตัวแปร คือความปลอดภัยในการบริโภค, น้ำหนักบรรจุ, ความสดใหม่ของผลิตภัณฑ์, การรับรองจากสำนักงานอาหารและยา (อย.), การใส่สารกันบูด, ราคา และความสะอาดของผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าสำหรับผู้บริโภคให้ความสำคัญเกี่ยวกับความปลอดภัยในการบริโภคมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการสำรวจผู้บริโภคเกี่ยวกับปัญหาที่ผู้บริโภคพบบ่อยที่สุดในการบริโภคขนมจีน (ตารางที่ 26) พบว่าปัญหาที่ผู้บริโภคพบบ่อยที่สุดคือเกิดการท้องเสียเมื่อรับประทานขนมจีน ดังนั้นผู้บริโภคจึงให้ความสำคัญด้านความปลอดภัยในการบริโภคเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดต่อพฤติกรรมการบริโภค นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับปัจจัยด้านการตลาดเกี่ยวกับน้ำหนักบรรจุและราคาซึ่งหมายถึงผู้บริโภคจะเลือกซื้อในราคาและปริมาณที่เหมาะสม และเพียงพอต่อการบริโภคในแต่ละมื้อเท่านั้น

- ปัจจัยด้านลักษณะทางประสาทสัมผัส ซึ่งเกิดจากกระบวนการผลิตที่ดีก็จะทำให้คุณลักษณะ สี, ขนาดของเส้น, กลิ่นหมัก และเนื้อสัมผัส ของผลิตภัณฑ์เป็นสิ่งที่ต้องการของผู้บริโภค (Pangborn, 1967) จากการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์ขนมจีนอาจจะแตกต่างจากผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่ให้ความสำคัญกับปัจจัยด้านลักษณะทางประสาทสัมผัสเป็นอันดับแรก ทั้งนี้การที่ผู้บริโภคให้ความสำคัญกับปัจจัยด้านลักษณะทางประสาทสัมผัส เป็นอันดับสอง อาจเนื่องจากขนมจีนเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคคุ้นเคยกับผลิตภัณฑ์มานาน นอกจากนี้พฤติกรรมการบริโภคขนมจีนของ

ผู้บริโภคก็จะรับประทานขนมจิ้นร่วมกับเครื่องปรุงอื่นๆหลายแบบประกอบกัน เช่น น้ำยา น้ำพริก แกงต่างๆ เป็นต้น

- ปัจจัยที่ 3 ปัจจัยด้านการเพิ่มมูลค่า จากผลการวิเคราะห์พบว่า ปัจจัยด้านการเพิ่มมูลค่า ได้แก่ ความสะดวกในการซื้อ, การเสริมคุณค่าทางโภชนาการ, ความสะอาดของสถานที่ซื้อ และภาชนะบรรจุ สำหรับผลิตภัณฑ์ขนมจิ้นผู้บริโภคจะไม่ยึดติดกับตรายี่ห้อ ดังนั้นจึงทำให้ผู้ผลิตต้องกระจายสินค้าให้กว้างขึ้น โดยเพิ่มสถานที่ในการจัดจำหน่ายซึ่งเห็นได้จากในอดีตขนมจิ้นส่วนใหญ่จะจำหน่ายกันตามตลาด แต่ในปัจจุบันผู้ผลิตจึงมีการปรับตัวโดยมีการวางขายขนมจิ้นในซูเปอร์มาร์เกต เพื่ออำนวยความสะดวกในการซื้อของผู้บริโภคให้มากที่สุด นอกจากนี้ในปัจจุบันผู้บริโภคหันมาสนใจอาหารเพื่อสุขภาพมากยิ่งขึ้นผู้ผลิตบางรายจึงมีการพัฒนาขนมจิ้นโดยการใส่สีที่ผลิตจากธรรมชาติ เช่น สีเหลืองจากขมิ้น, สีน้ำเงินจากดอกอัญชัน เป็นต้น

- ปัจจัยที่ 4 ปัจจัยด้านการส่งเสริมการขาย จากการวิเคราะห์ พบว่า ปัจจัยด้านการส่งเสริมการขายสำคัญ ได้แก่ ตรายี่ห้อ, การโฆษณา และการรับรองจากผู้เชี่ยวชาญทางอาหาร/สื่อ ไม่มีความมากนักต่อผลิตภัณฑ์ขนมจิ้น อาจเนื่องจากขนมจิ้นเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีราคาต่ำ จึงไม่คุ้มค่ากับการลงทุนเพื่อการส่งเสริมการขาย และโดยทั่วไปผู้บริโภคมักไม่ติดกับตรายี่ห้อ นอกจากนี้ขนมจิ้นเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคคุ้นเคยกับผลิตภัณฑ์มานานเช่นเดียวกับข้าว หรือก๋วยเตี๋ยว จัดเป็นสินค้าสะดวกซื้อ (Convenience goods) เป็นสินค้าที่ผู้ซื้อใช้ความพยายามน้อยที่สุดในการเลือกซื้อ ลักษณะของสินค้าชนิดนี้คือ ราคาต่อหน่วยต่ำ, มีความคุ้นเคยกับคุณภาพสินค้านั้นเป็นอย่างดี ถ้าตราสินค้าที่ต้องการไม่มีก็เลือกตราสินค้าอื่นๆทดแทนได้โดยให้ความพอใจใกล้เคียงกันกับตราสินค้าที่ต้องการหา นอกจากนี้ขนมจิ้นยังเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคมักจะคำนึงถึงตัวผลิตภัณฑ์หลักมากโดยไม่สนใจหรือสนใจน้อยมากในเรื่องรูปลักษณ์ภายนอก และการโฆษณา

- ปัจจัยที่ 5 อายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ จากการวิเคราะห์ พบว่า ผู้บริโภคให้ความสำคัญกับอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์น้อยที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากโดยทั่วไปอายุการเก็บของขนมจิ้นจะประมาณ 2-3 วัน ซึ่งมีระยะเวลาสั้น ทำให้ผู้บริโภคจะซื้อขนมจิ้นปริมาณน้อยหรือแค่พอรับประทานในหนึ่งมื้อเท่านั้น นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับปัจจัยด้านความปลอดภัยในการบริโภคที่ผู้บริโภคให้ความสำคัญมากที่สุด ทำให้ผู้บริโภคซื้อขนมจิ้นในแต่ละครั้งในปริมาณน้อย และรับประทานให้หมดในหนึ่งมื้อไม่มีการเก็บไว้รับประทานในมื้อถัดๆไป ซึ่งจะไม่ก่อให้เกิดปัญหาด้านความปลอดภัยในการบริโภค

สำหรับค่า Variance Explained เป็นค่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการอธิบายของปัจจัยนั้น บ่งบอกถึงความสำคัญของแต่ละปัจจัยที่มีต่อพฤติกรรมของการบริโภคขนมจีนของผู้บริโภค โดยรวมทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 76.97 จำแนกเป็น ปัจจัยด้านความปลอดภัยและการตลาด ร้อยละ 25.73 ปัจจัยด้านลักษณะทางประสาทสัมผัส ร้อยละ 18.80 ปัจจัยด้านการเพิ่มมูลค่า ร้อยละ 16.51 ปัจจัยด้านการส่งเสริมการขาย ร้อยละ 10.12 และอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ ร้อยละ 5.81 ดังนั้นถ้าหากต้องการที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมจีน สิ่งสำคัญที่สุดที่ต้องพิจารณาและคำนึงถึงมากที่สุดคือ ปัจจัยด้านความปลอดภัยและการตลาด จะเห็นได้ว่าการพัฒนากระบวนการผลิตโดยใช้กล้าเชื้อเป็นวิธีการหนึ่งที่จะทำให้การผลิตขนมจีนมีความปลอดภัยในการบริโภค และทำให้กระบวนการผลิตสามารถควบคุมได้ ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพสม่ำเสมอ ซึ่งส่งผลต่อปัจจัยด้านคุณภาพทางประสาทสัมผัสซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญรองลงมา

สรุป

การพัฒนากระบวนการผลิตขนมจีน โดยใช้กล้าเชื้อบริสุทธิ์เพื่อยกระดับมาตรฐานการผลิตขนมจีน สรุปผลได้ดังนี้

1. การแยกและนับจำนวนเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกจากแป้งหมัก แป้งนอมน้ำและ แป้งทับน้ำจากโรงงานผลิตขนมจีนในจังหวัดปทุมธานี และจะเชิงเตราพบว่าตัวอย่างข้าวหมักมีจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกมากที่สุดในอยู่ระหว่าง 10^8 - 10^{10} cfu และแบคทีเรียดังกล่าวจัดเป็นแบคทีเรียกรดแลคติกในกลุ่ม homofermentative-rod มากที่สุด (ร้อยละ 70.72)

2. เมื่อนำเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกในกลุ่ม homofermentative-rod ที่แยกได้มาศึกษาคุณสมบัติโดยใช้ความสามารถในการผลิตกรดแลคติกและย่อยแป้งและทำการจัดกลุ่มตามความสามารถในการผลิตกรดแลคติกและย่อยแป้งโดยวิธี Cluster analysis พบว่า มี 2 ไอโซเลต คือ A1 และ A39 ที่จัดอยู่ในกลุ่มที่มีความสามารถผลิตกรดแลคติกและย่อยแป้งได้สูงที่สุด คือ ปริมาณกรดแลคติกและเส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนีจากการย่อยแป้งของ A1 และ A39 มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 0.91 - 0.86 และ 1.2 - 1.4 เซนติเมตร ตามลำดับ และเมื่อจัดจำแนกแบคทีเรียกรดแลคติกกรดแลคติกตามรูปแบบการใช้น้ำตาลในการสร้างกรด ตามวิธี API 50 CHL พบว่ารูปแบบการใช้น้ำตาลของ A1 และ A39 เป็นรูปแบบเดียวกับ *L. plantarum*

ส่วนการศึกษาระยะเวลาในการหมัก โดยการวิเคราะห์ระยะเวลาที่แป้งหมักมีปริมาณกรดและค่าความเป็นกรดต่าง (pH) เท่ากับแป้งทับน้ำจากโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งหมักตามวิธีธรรมชาติ และใช้เวลาในการหมัก 48 ชั่วโมง ก็อยู่ในช่วงร้อยละ 0.95-1.10 และ 3.0-3.3 ตามลำดับ จากผลการทดลอง พบว่าแป้งข้าวหมักจากเชื้อบริสุทธิ์ *L. plantarum* A1 ที่ชั่วโมงที่ 24 จะมีปริมาณกรดแลคติก และค่าความเป็นกรด- ด่างอยู่ในช่วงที่กำหนด ส่วนแป้งหมักจากเชื้อ *L. plantarum* A39 จะมีปริมาณกรดแลคติก และค่าความเป็นกรด- ด่างอยู่ในช่วงที่กำหนดที่ชั่วโมงที่ 28 และเมื่อพิจารณาคุณภาพของเส้นที่ผลิตจากแป้งหมักที่หมักโดย *L. plantarum* A1, A39 และขนมจีนอ้างอิงไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) ดังนั้นจึงเลือกเชื้อบริสุทธิ์ *L. plantarum* A1 เพื่อใช้ในการพัฒนาเป็นกล้าเชื้อสำหรับผลิตขนมจีนแป้งหมักต่อไป

3. การพัฒนากล้าเชื้อโดยการศึกษารูปแบบในการผสมเซลล์ *L. plantarum* A1 ที่เหมาะสมในการผลิตกล้าเชื้อสำหรับผลิตขนมจีนแป้งหมัก พบว่าตลอดระยะเวลาในการเก็บ 4 สัปดาห์ กล้าเชื้อเหลว หรือการผสมเซลล์ *L. plantarum* A1 ในสารละลายบัฟเฟอร์ และมีจำนวน *L. plantarum* A1 เริ่มต้น เป็น 10^{10} cfu สามารถคงจำนวนเซลล์อยู่ระหว่าง 10^9 - 10^{10} cfu/ml. และมีระยะเวลาในการหมักเป็น 24 ชั่วโมง

4. หลังจากนั้นทำการศึกษาคูสมบัติทางเคมี-กายภาพของแป้งข้าวระหว่างหมักโดย *L. plantarum* A1 0-24 ชั่วโมงพบว่า คุณภาพทางเคมีของแป้งระหว่างหมักมีการเปลี่ยนแปลง คือ ปริมาณกรดแลคติก, ปริมาณแอมิโลส และน้ำตาลรีดิวซ์ จะเพิ่มขึ้นจาก ร้อยละ 0.03, 30.89 และ 0.07 ตามลำดับ เป็นร้อยละ 1.01, 33.64 และ 0.39 ตามลำดับ ส่วนค่า pH และปริมาณโปรตีน จะลดลงจาก 6.24 และร้อยละ 7.88 เป็น 3.49 และร้อยละ 6.44 ตามลำดับ

คุณภาพทางกายภาพของแป้งระหว่างหมักมีการเปลี่ยนแปลง ดังนี้ เกิดรูพรุนที่ผิวของเม็ดแป้ง ซึ่งปริมาณรูพรุนจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการหมัก, กำลังการพองตัว (g/g) จะลดลงจาก 16.65 เป็น 15.00, ความสามารถในการละลาย (%) จะเพิ่มขึ้นจาก 13.00 เป็น 27.94, การเกิดเจลลิตีในเซชัน พบว่า อุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลลิตีในซ์ (Onset temperature) จะลดลงจาก 71.70 เป็น 71.19 °C อุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลลิตีในซ์ (Peak temperature) จะเพิ่มขึ้นจาก 74.05 เป็น 75.38 °C อุณหภูมิสุดท้ายในการเกิดเจลลิตีในซ์ (Conclusion temperature) จะเพิ่มขึ้นจาก 77.58 เป็น 79.20 °C และพลังงานที่เปลี่ยนแปลงระหว่างเกิดเจลลิตีในซ์ (Enthalpy) จะเพิ่มขึ้นจาก 17.78 เป็น 18.81 (Jg⁻¹, db), คุณสมบัติทางด้านความหนืด พบว่า อุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด (Pasting temperature) จะลดลงจาก 82.75 เป็น 81.35 °C ค่าความหนืดสูงสุด (Peak viscosity) จะลดลงจาก 354.54 RVU เป็น 285.04 RVU, ค่าความหนืดสุดท้าย (Final viscosity) จะลดลงจาก 492.21 RVU เป็น 373.00 RVU และค่าการคืนตัว (setback) จะลดลงจาก 207.63 RVU เป็น 155.13 RVU, คุณสมบัติด้าน Rheological พบว่า ค่า Storage Modulus (G') และค่า Loss Modulus (G'') ของแป้งหมักจะลดลงเมื่อเวลาในการหมักนานขึ้น, การเปลี่ยนแปลงกลิ่น พบว่า สารระเหยกลุ่มแอลกอฮอล์, กลุ่มอัลดีไฮด์, กลุ่มคีโตน และกลุ่มเอสเทอร์ จะเพิ่มขึ้น และคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของขนมจีนที่ผลิตจากแป้งหมักที่เวลาต่าง ๆ กัน เมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าแรงดึง พบว่า ค่าความเค้น ณ แรงสูงสุด (Stress at Maximum Load) จะเพิ่มขึ้นจาก 0.78 เป็น 2.31 kPa ค่าร้อยละของการยืดตัว (% Elongation) จะลดลงจาก 59.81 เป็น 47.51 ค่างาน ณ แรงสูงสุด (Work to Maximum Load) จะเพิ่มขึ้นจาก 1.37 เป็น 2.73 mJ และค่า Young's Modulus จะเพิ่มขึ้น

จาก 0.56 เป็น 1.39 MPa แสดงว่าการหมักมีผลต่อค่าแรงดึงคือเมื่อหมักนานขึ้นค่าแรงดึงจะมากขึ้นแสดงว่า ขนมจีนมีความเหนียวขึ้น

การศึกษาคุณภาพทางกายภาพและทางประสาทสัมผัสของขนมจีนที่ผลิตโดยใช้แป้งข้าวระหว่างหมักโดย *L. plantarum* A1 0-24 ชั่วโมง พบว่า เมื่อหมักแป้งข้าวนานขึ้นเส้นขนมจีนที่ได้จะเหนียวขึ้นคือมีค่า Stress at Maximum Load, Work to Maximum Load และค่า Young's Modulus สูงขึ้น

คุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่า การศึกษาสมบัติทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา (Descriptive Analysis) โดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 10 คน และมีการใช้ตัวอย่างอ้างอิงในแต่ละคุณลักษณะ มีสเกลความเข้ม 0-15 คะแนน ลักษณะของขนมจีนที่รวบรวมได้ทั้งหมดมี 33 คุณลักษณะ ซึ่งประกอบด้วย ลักษณะปรากฏ กลิ่น กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความรู้สึกตกค้าง 5, 9, 4, 3, 9 และ 3 คุณลักษณะตามลำดับ

5. การทดสอบกระบวนการผลิต โดยใช้กล้าเชื้อเห็ด *L. plantarum* A1 ไปทดสอบผลิตที่โรงงานควบคุมเพื่อทำการประเมินผลการวิจัย พบว่าที่เวลาในการหมัก 24 ชั่วโมง ร้อยละของกรดแลคติกในแป้งหมักเป็น 1.00 นอกจากนี้ขนมจีนที่ผลิตได้ยังมีคุณภาพทางเคมี, จุลินทรีย์ อยู่ในเกณฑ์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.) (2547) ส่วนคุณภาพทางด้านกายภาพ ได้แก่ สี และค่าเนื้อสัมผัส รวมถึงคุณภาพทางประสาทสัมผัส ได้แก่ กลิ่นรสหมัก ความเหนียว ความแข็ง ความยืดหยุ่น และการเกาะติดฟันขนมจีนที่ผลิตโดยใช้กล้าเชื้อ มีค่าใกล้เคียงกับขนมจีนอ้างอิง ยกเว้นค่ากลิ่นหมักที่มีค่าน้อยกว่าขนมจีนอ้างอิง และอายุการเก็บของขนมจีนที่ผลิตที่อุณหภูมิห้องได้เป็น 2 วัน

6. การทดสอบการยอมรับของผู้ประกอบการต่อกระบวนการผลิตที่ใช้กล้าเชื้อเห็ด *L. plantarum* A1 พบว่าผู้ประกอบการทั้งหมดยอมรับกระบวนการผลิตโดยใช้กล้าเชื้อ เพราะสามารถลดระยะเวลาในการผลิตลงได้ และคาดว่าจะสามารถควบคุมคุณภาพกระบวนการผลิตและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้สม่ำเสมอได้

7. การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อขนมจีนที่ผลิตโดยใช้กล้าเชื้อ *L. plantarum* A1 พบว่า คะแนนความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์อยู่ที่ 8.12 หรืออยู่ในระดับชอบมาก

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยครั้งนี้ได้ข้อมูลเบื้องต้นที่สามารถนำไปศึกษาเพิ่มเติมในอนาคตได้อีกหลายแนวทาง ดังนี้

1. หลังจากที่มีการตรวจสอบสายพันธุ์ของแบคทีเรียกรดแลคติกในกลุ่มที่มีความสามารถในการผลิตกรดแลคติกและย่อยแป้งได้สูงแล้วด้วยวิธี API แล้วควรมีการตรวจสอบเพื่อยืนยันสายพันธุ์ของแบคทีเรียกรดแลคติกอีกครั้งด้วยวิธีการตรวจสอบในระดับดีเอ็นเอ (DNA) เพื่อยืนยันให้แน่นอนว่าเป็นสายพันธุ์ *L. plantarum*
2. ในงานวิจัยครั้งนี้ให้ความสนใจแบคทีเรียกรดแลคติกในกลุ่ม Homofermentative เท่านั้น ดังนั้นควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของกล้าเชื้อโดยทำเป็นกล้าเชื้อแบบผสม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการหมักให้มากขึ้นโดยอาจมีการคัดเลือกเชื้อในกลุ่ม Heterofermentative เพื่อเป็นการพัฒนากลิ่นรสของขนมจีนแป้งหมักต่อไป

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, ศูนย์ประสานงานวิชาการ. 2536. **เกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร**. ประกาศกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, กระทรวงสาธารณสุข, กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, กรุงเทพฯ.

กัลยา วาณิชบัญชา. 2544. **การวิเคราะห์ตัวแปรหลายตัวด้วย SPSS for Windows**. ภาควิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

กล้าณรงค์ ศรีรอด. 2542. **เทคโนโลยีแป้ง**. ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

งามชื่น คงเสรี. 2541. **ผลิตภัณฑ์ข้าว**, น. 45-90. ใน เอกสารการสอนวิชาผลิตภัณฑ์อาหาร หน่วยที่ 1-7. สาขาวิชาคหกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, นนทบุรี.

จีสุดา เกตุกราย. 2547. **สารระเหยให้กลิ่นในขนมจีนแป้งหมัก**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ณรงค์ นิยมวิทย์ และ อัญชนีย์ อุทัยพัฒนาชีพ. 2528. **วิทยาศาสตร์การประกอบอาหาร**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ณรงค์ มีะนันท์. 2535. **แผนการผลิตข้าว. สรุปผลการสัมมนาข้าวไทยในทศวรรษหน้า กรมส่งเสริมพืชไร่ กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์**, กรุงเทพฯ.

ทัศนีย์ โรจนไพบูรณ์. 2522. **ขนมจีน**. ว. อาหาร. 15(3) : 123-129.

ธีรเกียรติ์ เกิดเจริญ. 2548. **จมูกอิเล็กทรอนิกส์**. แหล่งที่มา: <http://nanotech.sc.mahidol.ac.th/>, , มิถุนายน 2548

นวัฒน์ สุพิชญานุกร และวรรณิ จิรภาคย์กุล. 2547. การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพ และชนิดของสารระเหยในขนมจีนแป้งหมักทางการค้า, น. 125-132. ใน รายงานการประชุมทางวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 42 (สาขาอุตสาหกรรมเกษตร). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นภา โล่ห์ทอง. 2535. กล้าเชื้ออาหารหมัก และเทคโนโลยีการผลิต. หจก.พินนี้ พับบลิชซิง, กรุงเทพฯ.

นิตยา บุญมี. 2532. จุลินทรีย์ในการผลิตขนมจีนแป้งหมัก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นิติ เต็มเวชชยานนท์. 2543. การดัดแปรแป้งมันสำปะหลังด้วยวิธี Ball-Mill และการศึกษาสมบัติของแป้งดัดแปร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นาถสุดา วิสววงศ์. 2522. การศึกษาจุลชีววิทยาของอาหารหมักพื้นเมือง ปลาเฒ่า ปลาต้ม และส้มผัก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

น้อมจิตต์ แก้วไทย. 2542. การคัดเลือกแบคทีเรียกรดแลคติกจากน้ำนมดิบเพื่อใช้เป็นกล้าเชื้อโยเกิร์ต. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปิ่นมณี ขวัญเมือง. 2546. การแยกเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกจากตัวอย่างเหนมของประเทศไทย เพื่อใช้เป็นกล้าเชื้อ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปราโมทย์ ศิริโรจน์, ลาวัลย์ ไกรเดช, อรอนงค์ นัยวิกุล, สุภรัตน์ ชวนะ, พัทธี โสธนาสมบุรณ์ และพรเทพ พัฒนานุรักษ์. 2534. การเปลี่ยนแปลงของปริมาณจุลินทรีย์และความสัมพันธ์ต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลและกรดในกระบวนการหมักขนมจีน, น. 365-384. ใน รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 29 (สาขาอุตสาหกรรมเกษตร). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

พัชร โสธนาสมบุญ, อรอนงค์ นัยวิกุล, สุภรัตน์ ชวนะ, มาลี สุวรรณอรรถ, ลาวัณย์ ไกรเดช, ปราโมทย์ ศิริโรจน์, และพรเทพ พัฒนานุรักษ์. 2534. คุณลักษณะทางเคมี กายภาพของ ข้าวหักที่ใช้ในการทำขนมจีน, น. 357-364. ใน รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 29 (สาขาอุตสาหกรรมเกษตร). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เพ็ญขวัญ ชมปรีดา. 2536. การประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัส. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เพ็ญขวัญ ชมปรีดา. 2550. การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส และการยอมรับของผู้บริโภค. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ไพโรจน์ วิริยะจารี. 2539. หลักการเทคโนโลยีการพัฒนาผลิตภัณฑ์. ภาควิชาเทคโนโลยีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

รักษนก จัควงษ์. 2545. การพัฒนาแป้งขนมจีนหมักสำเร็จรูป. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ลาวัณย์ ไกรเดช, ปราโมทย์ ศิริโรจน์, อรอนงค์ นัยวิกุล, สุภรัตน์ ชวนะ, พัชร โสธนาสมบุญ, พรเทพ พัฒนานุรักษ์, มาลี สุวรรณอรรถ และผู้ผลิตจากนิคมอุตสาหกรรมขนมจีน ฉะเชิงเทรา. 2534. การศึกษาแบคทีเรียจากกระบวนการผลิตขนมจีนที่สร้างสารยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียชนิดอื่นๆ, น 383-398 ใน รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 29 (สาขาอุตสาหกรรมเกษตร). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ละม้ายมาศ ขาวไข่มหา. 2525. การเปรียบเทียบองค์ประกอบ และสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการของข้าว กข. บางพันธุ์ที่ปลูกในแหล่งต่างกัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ลัดดา ยังประสิทธิพร. 2532. การใช้แป้งพรีเจลาตินในชั้นขนมจีน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วราวุฒิ ครุส่ง. 2529. เทคโนโลยีชีวภาพ. คณะเทคโนโลยีการเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.

วราทัศน์ วงศ์สุรไกร. 2537. ผลผลิตพันธุ์ข้าว, น. 97-100. ใน รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 29 (สาขาอุตสาหกรรมเกษตร). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

คันสนีย์ เนียมเปรม. 2543. การพัฒนาแป้งข้าวหอมมะลิผสมแป้งบุกสำหรับผลิตภัณฑ์ขนมจีน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุรางค์รัตน์ คัมภีรยส. 2526. ขนมจีน, น. 50-121. ใน ผลิตภัณฑ์จากธัญพืชและพืชหัว เล่มที่ 1. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.

สุภรัตน์ ชวนะ, พันธ์ ตั้งตระกูล, อรอนงค์ นัยวิกุล, มาลี สุวรรณอัคร์, ลาวัณย์ ไกรเดช, ปราโมทย์ ศิริโรจน์ และพรเทพ พัฒนานุรักษ์. 2534. การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของแป้งขนมจีนในกระบวนการผลิต, น.417-425. ใน รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 29 (สาขาอุตสาหกรรมเกษตร). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุพรรณิการ์ ศรีบัวทอง. 2548. การคัดเลือกแบคทีเรียกรดแลคติกจากข้าวหมักเพื่อใช้เป็นกล่าเชื้อขนมจีนแป้งหมัก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สิริชัย ส่งเสริมพงษ์. 2543. โครงการวิจัยและพัฒนาขนมจีนถึงสำเร็จรูปเพื่อการส่งออก.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน. 2547. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนขนมจีน. มผช. 500/2547.

อรรวรรณ เกษุขเจริญ. 2529. สมบัติบางประการในการนำไปใช้ประโยชน์ของแป้งต่างๆ.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อรนุช อุดรภิชาดิ. 2530. การคัดเลือกแบคทีเรียแลคติกที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อซัลโมเนลลาและการผลิตกลิ่นเหม็นในการหมักเห็ด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อรพิน ภูมิภมร. 2533. เทคโนโลยีแป้ง : เคมีของแป้งและเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์จากแป้งบางชนิดที่ผลิตในประเทศไทย. ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ. คณะอุตสาหกรรมเกษตร,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

อรอนงค์ นัยวิกุล, สุภรัตน์ ชวนะ, มาลี สุวรรณอรรถ, ลาวัณย์ ไกรเดช, ปราโมทย์ ศิริโรจน์, พรเทพ พัฒนานุรักษ์ และผู้ผลิตจากนิคมอุตสาหกรรมขนมนมจิ้นจะเชิงเตรา. 2534. การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของนมจิ้นในกระบวนการผลิต, น. 375-384. ในรายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 29 (สาขาอุตสาหกรรมเกษตร). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2540. เทคโนโลยีการผลิตและการพัฒนาผลิตภัณฑ์กัววเตียสดและอบแห้ง. ว. อุตสาหกรรมเกษตร. 8(3): 18, 58-66.

อดิศร เสวตวิวัฒน์. 2533. ผลของการใช้กลิ่นเชื้อแบคทีเรียต่อซาลโมเนลลาในการหมักเห็ด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

AOAC 2000. **Official Methods of Analysis of AOAC International**, 17th edn.

Gaithersburg, MD, USA: official Method

Benedetti, S., N. Sinelli, S. Buratti and M. Riva. 2005. Shelf Life of Crescenza Cheese as Measured by Electronic Nose. **J. Dairy Sci.** 88: 3044-3051.

- Berdague, J. L., P. Monteil, M. C. Montel and R. Talon. 1993. Effect of starter culture on the formation of flavour compound in dry sausage. **Meat Sci.** 35: 275-287.
- Betancur, A.D. and G.L. Chel. 1997. Acid hydrolysis and characterization of *Canacalia ensiformis* starch. **J. Agr. Food Chem.** 45 : 4237-4241.
- Biliaderis, C.G., D.R. Grant and J.R. Vose. 1981. Structural characterization of legume starches. II. study on acid-treated starches. **Cereal Chem.** 58 : 502-507.
- Blanshard, J.M.V. 1987. **Starch granule structure and function: A physicochemical approach.** In T. Gailliard (Ed.). Starch: Properties and Potential. John Wiley and Sons., New York.
- Casla, D., T. Requena and R. Gomez. 1996. Antimicrobial activity of lactic acid bacteria from goat's milk and artisanal cheeses : characteristics of a bacteriocin produced by *Lactobacillus curvatus* IFPL105. **J.Appl. Bacteriol.** 81 : 35-41.
- Charalamppopoulos, D., R. Wang, S.S. Pandiella and C. Webb. 2002. Application of cereals and cereal components in functional foods : a review. **Int. J. Food Microbiol.** 79: 131-141.
- Chun, J., S. Lim, Y. Takeda and M. Shoki. 1997. Properties of high-crystalline rice amylopectins prepared in acid-alcohol media as fat replacers. **Cereal Foods World.** 42 : 813-819.
- Collison, R. 1968. Willing and Gelation of Starch, pp. 168-193. *In* **J.A. Radley(ed.).** Starch and Its Derivatives. Chapman and Hall Ltd., London.
- Daviddek, J., J. Velisek and J. Pokorny. 1990. **Chemical Changes During Food Processing.** Elsevier Science Publishers, New York. 448p.

Donovan, J.W., K. Lorenz and K. Kulp. 1983. Differential scanning calorimetry of heat moisture treated wheat and potato starches. **Cereal Chem.** 60 : 381-387.

Frank, H.K. 1992. **Bacteriocin. Dictionary of Food Microbiology.** Technomic Publishing. Co Inc., USA. P43

Fruton, I. S. and Simmonds. 1958. **General Biochemistry 2nd ed.** John Wiley and Sons, New York.

Garbutt, J. 1997. **Essentials of Food Microbiology.** Arnold, London, England.

Gutierrez-Mendez, N., B. Vallejo-Cordoba, A. F. Gonzalez-Cordova, G.V.

Nevarez-Moorillon, T and B. Rivera-Chavirat. 2008. Evaluation of Aroma Generation of *Lactococcus lactis* with an Electronic Nose and Sensory Analysis. **J. Dairy Sci.** 91: 49-57.

Halick, J.V. and K.K. Keneaster. 1956. The use of a starch iodine blue test as a quality indicator of white milled rice. **Cereal Chem.** 33: 315-321.

Hammer, W.P and H.J. Knauf. 1994. Starter in the processing of meat product. **Meat Sci.** 36:155-168.

Harrigan, W.F. and M.E. McCane. 1976. Identification of lactic acid bacteria. *In*

W.F. Harrigan and M.E. McCane (eds.). **Laboratory Methods in Foods and Dairy Microbiology.** Academic Press Ltd, New York.

Hirayama, T. 1982. **Relationship of soybean paste soup intake to gastric cancer risk.** Nutr. Cancer 3:223-233

- Imeson, A. 1992. **Thickening and Gelling Agents for Food**. Blackie Academic & Profesional, Bishopbriggs., Glasgow. 258p.
- Jacobs, H., R.C. Eerlingen, and J.A. Delcour. 1996. Factors affecting the visco-amylograph and rapid visco-analyzer evaluation of the impact of annealing on starch pasting properties. **Starch/Stärke**. 48: 266-270.
- Jane, J.L. 1992. Preparation and food applications of physically modified starches. **Trends Food Sci. Technol.** 3 : 145 -148.
- Juliano, B.O. 1971. A simplified assay for milled rice amylose. **Cereal Sci. Today** 16(10) : 334-340.
- Kainuma, K. and D. French. 1971. Nageli amylopectin and its relationship to starch granule structure. I. preparation and properties of amylopectins from various starch type. **Biopolymers** 10 : 1673 – 1680.
- Kainuma, K. and D. French. 1972. Nageli amylopectin and its relationship to starch granule structure. II. role of water in crystallization of B-starch. **Biopolymers** 11 : 2241 – 2250.
- Keatkrai, J., S. Sriboathong, W. Jirapakkul, S. Trevanich and A. Naivikul. 2004. **Microbial populations and volatile compounds of fermented knanomjeen and their changes during process**. Proceedings of the 6th Agro-Industrial Conference. 28-29 May 2004. Bangkok, Thailand.
- Kim, Y.S., D.P. Wiesenborn, P.H. Orr and L.A. Grant. 1995. Differential scanning calorimetry. **J. Food Sci.** 60(5) : 1060-1065.

Kraidej, L., C. Wongkhalaung, M. Mouangnoi, P. Watana, P. Patarakulpong, P.

Chimaneg, S. Phoopat and W. Yongmanitchai. 1977. **Khanom-chin**. The fifth international conference on global impacts of applied microbiology. November 21-26, 1977. Bangkok.

Kun-Lin Hsieh, Cheng-Chang Jeng, I-Ching Yang, Chun-Nan Lin. 2006. Intergrated Cluster Analysis of Microorganism Classification. First International Conference on Innovative Computing, Information and Control, vol. 3 : 194-195.

Leach, M.W., L.D. McCowen and T.G. Schoch. 1959. Structure of the starch granule. I. Swelling and solubility patterns of various starches. **Cereal Chem.** 36:534

Leach, H.W. 1965. Gelatinization of starch, pp. 289-307. In R.L. Whistler, E.F. Paschall, J.N. BeMiller and H.J. Roberts(eds.). **Starch: Chemistry and Technology Vol I**. Academic Press, New York.

Lee, C.H. 1997. Lactic acid fermented foods and their benefits in Asia. **Food Control**. 8(5/6): 259-260.

Lee, S., O.H. Campanella. 2003. Measuring extensional properties of dough during fermentation using a new technique in food rheology. http://ift.confex.com/ift/2003/techprogram/paper_18838.htm.

Loebis, L.H. 1981. Cluster-analysis as a method to attain a uniform classification of bacteria. *Antonie van Leeuwenhoek* 47 : 82.

Mattila-Sandholm, T., P. Myllarinen, R. Crittenden, G. Mogensen, R. Fonden and M. Saarela. 2002. Technological challenges for future probiotic foods. **Int. Dairy J.** 12: 173-182.

Meszaros, P. and P.Boilot. 2004. **Assessment of coffee taste by means of the ASTREE**

electronic tongue. Faculty of Food Science, Physics and Control Department,
Budapest, Hungary

Miller, D.F. 1958. **Composition of cereal grains and forages.** N.A.S./N.R.C. Pub. No.
585, Washington D.C.

Montel., M.C., R. Talon, J.L. Berdageu and M. Cantonnet. 1993. Effects of starter
culture on the biochemical characteristics of French dry sausage. **Meat Sci.** 35:229-
240.

Morrison, W.R., R.F. Tester and M.J. Gidley and J. Karkalas. 1993. Resistance to acid
hydrolysis of lipid-complexed amylose and lipid-free amylose in lintnerised waxy and
non-waxy barley starches. **Cereal Chem.** 45 : 162 – 171.

Nelson, N.J. 1994. A photometric adaptation of the Somogyi method for the determination of
glucose. **J.Biol. Chem.** 153: 375-380.

Newport Scientific. 1995. **Operation Manual for The Series 4 Rapid Visco Analyser.**
Warriewood, New South Wales.

Ofuya, C.D. and C. Nnaji. 1989. Development and evaluation of starter culture for
the industrial production of gari. **J. Appl. Bacteriol.** 66:37-42.

Osman, E.M. 1967. **Starch in the food industry**, pp 163-215. In R.L. Whistler and E.F,
Paschall (eds.). Starch Chemistry and Technology Vol II. Academic Press, New
York.

Pederson, C.S. 1979. **Microbiology of Food Fermentations.** 2nd ed., West port. Ct. Avi.
Publishing Co., New York.

Porubcan, R.S. and R.L. Sellers. 1979. Spray drying of yogurt and related compound.

J. Dairy Sci. 58 : 787.

Redley, J.A. 1953. **The reaction of starch with iodine.** In Tripp, E. H. Starch and Its Derivaives Vol. II. 3rd ed. Chapman and hall, London.

Robin, J.P., C.Mercier, R. Charbonniere and A. Guilbot. 1974. Lintnerized starches : gel filtration and enzymatic studies of insoluble residues from prolonged acid treatment of potato starch. **Cereal Chem.** 51 : 389-406.

Rohwer, R.G. and R.E. Klem. 1984. Acid-modified starch : production and uses, pp. 529 – 541. In R.L. Whistler, J.N. BeMiller and E.F. Paschall (eds.). **Starch : Chemical and Technology.** 2nd ed., Academic Press, Inc., new York.

Reed, G. 1975. **Enzymes in Food Processing.** 2nd ed., Academic Press, New York.

Salovaara, H. 1998. Lactic acid bacteria in cereal- based products, pp. 115-133. In Salminen, S. and A.V. Wright. **Lactic Acid Bacteria : Microbiology and Functional Aspects** 2nd ed. Markcel Dekker, Inc., New York.

Sahai, D. and D.S. Jackson. 1996. Structure and chemical properties of native corn starch granules. **Starch/Starke** 48 : 249-255.

Sanders, J.P.M. 1996. Starch manufacturing in the world, pp19-23, *In* **Advanced Post Academic Course on Tapioca Starch Technology.** 22-26& Feb. 1996. AIT Center, Bangkok.

Schoch, T.J. 1964. Swelling power and solubility of granular starches, pp.106-108. *In* R.L. Whistler, R.J. Smith and J.N. BeMiller(eds.). **Methods in Carbohydrates Chemistry, Vol. IV,** Academic Press, New York.

Singh, V. and S.Z. Ali. 2000. Acid degradation of starch. The effect of acid and starch type. **Carbohydr. Polym.** 41 : 191 – 195.

Smith, R.J. 1979. **Food Carbohydrate**. The AVI Publishing Co., Westport, Connecticut. 416p.

Smith, J. L. and S.A. Palumbo. 1983. Use of starter culture in meats. **J. Food Protect.** 46 (11): 997-1009.

Somogyi, M. 1951. **Notes on sugar determination**. Available source: www.jbe.org. November 25, 2006.

Steinkraus, K. 1996. **Handbook of Indigenous fermented foods**, 2nd ed. Markcel Dekker, Inc., New York.

Svenson, E. and A.C. Eliasson. 1995. Crystalline changes in native wheat and potato starches at intermediate water levels during gelatinization. **Carbohydr. Polym.** 26 : 171-176.

Swinkels, J.J.M. 1985a. Composition and properties of commercial native starches. **Starch/Starke.** 37: 1-5.

Toyoda, T., W. Daengsubha, P. Saisithi, and M. Kozaki. 1979. **Acid Forming Bacteria from Fermented Rice Noodle**. Annual Reports of International Center of Cooperative Research and Development in Microbial Engineering. Osaka Univ. Japan. (2):273p.

Uchimura, T., W. Daengsubha, S. Okada, Y. Nimura, N. Ohara and M. Kozaki. 1988. **Microorganisms and its role on fermented rice noodle (Kha-nom-jeen) of Thailand**. JSPS-NRST Symposium at Chaingmai University. November, 1988. Chaingmai, Thailand.

- Waigh, T.A., M.J. Gidley, B.U. Komanshet and A.M. Donald. 2000. The phase transformations in starch during gelatinization : a liquid crystalline approach. **Carbohydr. Res.** 328 : 165-176.
- Ward, D.J. and G.A. Somkuti. 1995. Characterization of a bacterocin produced by *Streptococcus thermophilus* ST134. **Appl. Microbiol. Biotechnol.** 43: 330-335.
- Webb, B.D. and A.A. Stermer. 1972. Criteria of Rice Quality, pp. 102-139. In **D.F. Houston(ed.). Rice Chemistry and Technology.** American Association of Cereal Chemistry, Minnesota.
- Whiter, A.G., and L.Kung, Jr. 2001. The effect of a dry or liquid application of alfalfa silage. **J. Dairy Sci.** 84 : 2195-2202.
- Wistreich, G.A. and M.D. Lechtman. 1980. **Laboratory Exercises in microbiology.** 4th ed. Macmillan Publishing Co., Inc. New York. 420p.
- Whistler, R.L., J.N. Bemiller, and E.F. Paschall. 1984. **Starch: Chemistry and Technology.** 2nd Ed. Academic Press Inc., Florida. 718p.
- Whistler, R.L., J.N. Bemiller. 1999. **Carbohydrate Chemistry for Food Scientists.** American Association of Cereal Chemist. 241p.
- Wood, B. J.B. 1985. **Microbiology of Fermented Foods.** Elsevier Applied Science Publishers, New York.
- Wurzburg, O.B. 1986. **Modified Starches: Properties and Uses.** CBC Press Inc., Florida.

Zhan-Hui , Li-Te Li , Wei Cao, Zai-Gui Li and Eizo Tatsumi. 2003. Influence of natural fermentation on physico-chemical characteristics of rice noodles. **International Journal of Food Science and Technology**. 38 : 505-510.

Zhan-Hui, Li-Te Li, Wei Cao, Zai-Guili and Eizo Tatsumi. 2005. The effects of natural fermentation on the physical properties of rice flour and the rheological characteristics of rice noodles. *Int. J. Food Sci. Technol.* 40, 985-992.

Zherebtsov, N.A., I.D. Ruadze and A.N. Yakovlev. 1995. Mechanism of acid-catalyzed and enzymatic hydrolysis of starch. **Appl. Biochem. Microb.** 31 : 511 – 514.

Zhou, Z., K. Robards, S. Helliwell and C. Blanchard. 2002. Aging of stored rice: changes in chemical and physical attributes. **J. Cereal Sci.** 35: 65-78.

Zorba, M., O. Hancioglu, M. Karapinar and G. Ova. 2003. **The use of starter cultures in the fermentation of boza, a traditional Turkish beverage.** **J. Process Biochem.** 38:1405-1411.





1. การจำแนกแลคติกแอซิกแบคที่เรียด้วยชุดตรวจสำเร็จรูป API 50 CHL

API 50 CHL เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้ร่วมกับชุดทดสอบ API 50 CHL strip ในการศึกษากระบวนการหมักคาร์โบไฮเดรต 49 ชนิด โดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ API 50 CHL ในการเตรียมเชื้อแบคทีเรีย แล้วจึงถ่ายลงในแต่ละ microtubes บน strip ระหว่างการบ่ม เชื้อจะหมักคาร์โบไฮเดรตได้ผลิตภัณฑ์เป็นกรดมีผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่างในอาหารเลี้ยงเชื้อลดลง โดยสังเกตได้จากการเปลี่ยนสีของอาหารเลี้ยงเชื้อ เนื่องจากการเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์ ผลการทดสอบจะขึ้นกับรูปแบบของแต่ละสายพันธุ์ ซึ่งวิธีทดสอบทำได้โดย เชื้อเชื้อ 2-3 โคโลนี ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ API 50 CHL ปรับความขุ่นให้เท่ากับ 2 McFarland ถ่ายเชื้อที่เตรียมลงในหลอดบน API 50 CHL strip และหยดทับด้วย mineral oil ปิดหลอดเชื้อ และบ่มที่อุณหภูมิ 30 หรือ 37 องศาเซลเซียส อ่านผลหลังบ่ม 24 หรือ 48 ชั่วโมง ผลบวกเกิดจากการสร้างกรดทำให้อาหารเลี้ยงเชื้อเปลี่ยนเป็นสีเหลือง หลังจากนั้นวิเคราะห์ผลโดยใช้โปรแกรม APILAB Plus

2. ค่าสี

วัดค่าสี $L^*a^*b^*$ ระบบ CIELAB ด้วยเครื่องวัดสี (Minolta Spectrophotometer CM-3500D) ใช้แหล่งกำเนิดแสงเป็นค่าของแสงในช่วงเวลากลางวัน daylight 6500 kelvin observers ที่ค่ามุม 10 องศา ทำการ calibrated ด้วย Zero Calibration Box CM-A12 และ White Calibration Plate CM-A120 เลือกแผ่น Target Mask ที่มีรูขนาดเล็ก นำตัวอย่างขนมจีนมาวัดค่าสีเฉลี่ย 5 ตำแหน่งต่อตัวอย่าง ทำการวัด 2 ซ้ำ โดย

ค่า L หมายถึง ค่าความสว่าง (lightness) ค่า L = 0 แสดงสีดำ ถ้าค่า L = 100 แสดงสีขาว

ค่า a เป็นบวก (+) แสดงสีแดง ถ้าค่า a เป็นลบ (-) แสดงสีเขียว

ค่า b เป็นบวก (+) แสดงสีเหลือง ถ้าค่า b เป็นลบ (-) แสดงสีน้ำเงิน

3. การศึกษาลักษณะเกรนูลแบ่งด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope

(Sahai and Jackson, 1996)

เครื่องมือ

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน อีเล็กตรอนแบบกราดลำแสง (Joel JSM 5310, England)

แท่ง Aluminium Stub

เทปกาวสองหน้า ชนิดบาง

วิธีวิเคราะห์

1. นำแป้งตัวอย่างปริมาณเล็กน้อยมากระจายจุ่มบนเทปกาวสองหน้า ที่ติดอยู่บนแท่ง Aluminium Stub
2. นำแท่ง Aluminium Stub ที่ติดแป้งตัวอย่างแล้วเข้าเครื่องเคลือบทอง (Coating gold) ที่ผิวของแป้งตัวอย่าง เพื่อช่วยในการนำประจุอิเล็กตรอน
3. นำแท่ง Aluminium Stub ที่ผ่านการเคลือบทองแล้ว เข้าสู่ช่องใส่แท่ง Aluminium Stub ภายในตัวกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน โดยควบคุมสภาวะการทดลองที่ค่าอัตราเร่งของความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ 10 หรือ 15 kV และใช้กำลังขยายที่ 1,000 หรือ 4,000 เท่า
4. เลือก Field ของเกรนูลแบ่งที่ต้องการ และบันทึกภาพเกรนูลแบ่งดังกล่าว

4. วัดการเปลี่ยนแปลงความหนืดด้วยเครื่อง RVA รุ่น 4D

(Newrort Scientific Rty, Ltd., 1995)

เครื่องมือ

เครื่อง RVA (Rapid Visco Analyzer) รุ่น 4D พร้อม แคน (can) และพาย

เครื่องแฮมเมอร์มิลล์

ตะแกรงละเอียดขนาด 0.8 มิลลิเมตร

วิธีวิเคราะห์

1. กรณีที่ตัวอย่างแป้งมีค่าความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์ ให้ตวงน้ำกลั่นปริมาตร 25.00 ± 0.05 มิลลิเมตร ใส่ลงในแคนของเครื่อง RVA
2. ชั่งตัวอย่างแป้งมาจำนวนหนึ่งใส่ลงในแคนที่มีน้ำอยู่ โดยจำนวนของตัวอย่างแป้งขึ้นอยู่กับชนิดของตัวอย่าง (หมายเหตุ ถ้าตัวอย่างไม่ละเอียด ให้บดตัวอย่างด้วยเครื่องแฮมเมอร์มิลล์ แล้วร่อนด้วยตะแกรงละเอียดขนาด 0.8 มิลลิเมตร)
3. ใส่พาย (Baddle) ลงในแคน หมุนไปมาแรงๆ และดึงขึ้นลงเพื่อกวนตัวอย่างไม่ให้จับเป็นก้อนที่ผิวน้ำหรือติดอยู่ที่พาย
4. นำแคนที่ใส่พายเข้าเครื่อง RVA กดมอนิเตอร์ลงเพื่อให้เครื่อง RVA ทำงาน
5. จากกราฟการเปลี่ยนแปลงความหนืดต่อเวลาที่ได้ เราสามารถหาค่าของ Pasting temperature (อุณหภูมิที่เปลี่ยนเป็นเพสต์), Peak viscosity (ความหนืดสูงสุด), setback และ final viscosity (ความหนืดสุดท้าย)

ข้อสังเกต

ในการชั่งตัวอย่างและตวงวัดปริมาณน้ำ เพื่อที่จะให้ได้ผลถูกต้องควรค่าความชื้น (moisture content) ของตัวอย่างมาคิดด้วย ซึ่งจะทำให้เมื่อคือน้ำหนักของตัวอย่างเมื่อแห้งแล้วมีจำนวนเท่ากัน ปกติค่าความชื้นจะอยู่ที่ 14 เปอร์เซ็นต์ และมีสูตรที่ใช้ในการคำนวณสำหรับความชื้นที่ 14 เปอร์เซ็นต์

$$M_2 = \frac{(100 - 14) \times M_1}{(100 - M_1)}$$

$$W_2 = 25.0 + M_1 - M_2$$

เมื่อ M_1 = น้ำหนักตัวอย่างตามที่แนะนำไว้ในคู่มือ

M_2 = น้ำหนักที่ถูกต้อง

W_2 = ปริมาณน้ำที่ถูกต้อง

5. การวัดค่ากำลังการพองตัวและร้อยละการละลายของแป้งตัวอย่าง

(ดัดแปลงจากวิธีของ Schoch, 1964)

เครื่องมือ

เครื่องปั่นเหวี่ยงพร้อมหลอดแก้วปริมาตร 30 มิลลิลิตร

อ่างน้ำไฟฟ้าที่ปรับและควบคุมอุณหภูมิได้

ตุ้มน้ำไฟฟ้าที่ปรับและควบคุมอุณหภูมิได้

วิธีวิเคราะห์

1. อบหลอดแก้วที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง นำออกมาใส่ในเดลิเคเตอร์ ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปชั่ง
2. ตรวจวัดความชื้นแป้งก่อน แล้วชั่งตัวอย่างแป้ง 0.1000 กรัม (น้ำหนักแห้ง, dry basis weight) แล้วใส่ลงในหลอดแก้ว
3. เติมน้ำกลั่นปริมาตร 15 มิลลิลิตร ลงในหลอดแล้วและกวนให้เข้ากัน
4. นำไปต้มในอ่างน้ำไฟฟ้าที่ปรับ และควบคุมอุณหภูมิได้ ทดสอบที่อุณหภูมิ 55, 65, 75, 85 และ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที โดยกวนตลอดเวลา อย่าให้แป้งตกตะกอนเป็นก้อน
5. นำหลอดแก้วออกมาแล้วทิ้งให้เย็นสักครู่ ปรับน้ำหนักของแต่ละหลอดให้เท่ากัน ชั่งน้ำหนักหลอดแก้ว
6. นำเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงโดยตั้งความเร็วรอบ 2,200 รอบต่อนาที นาน 15 นาที
7. แยกส่วนใสที่เหลือออกจากหลอดแก้วให้หมด ใสลงในจานอลูมิเนียมอบแห้งที่ทราบน้ำหนักแล้ว นำไปอบในตุ้มน้ำไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ชั่งน้ำหนักเพื่อหาปริมาณแป้งที่ละลายน้ำ
8. นำหลอดแก้วที่เหลือแต่ส่วนของเจลแป้ง มาชั่งน้ำหนักส่วนที่เหลือ จะทราบน้ำหนักแป้งเปียกที่ตกตะกอน (น้ำหนักที่ชั่งได้ลบด้วยน้ำหนักหลอดแก้ว)

วิธีคำนวณ

น้ำหนักส่วนที่ละลายน้ำ = (น้ำหนักงานอลูมิเนียม + ส่วนใสหลังอบแห้ง) - น้ำหนักงานอลูมิเนียม

$$\text{ค่าร้อยละของการละลาย} = \frac{\text{น้ำหนักส่วนที่ละลายน้ำ} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง (dry basis)}}$$

$$\text{ค่ากำลังการพองตัว} = \frac{\text{น้ำหนักเจลแห้งที่พองตัวภายหลังแยกส่วนใส} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง (dry basis)} \times (100 - \text{ร้อยละการละลาย})}$$

6. การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของแป้งตัวอย่างด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (Kim *et al.*, 1995)

เครื่องมือ

เครื่อง Differential Scanning Calorimeter

Aluminium Can

เครื่องปั๊มสุญญากาศ Aluminium Can

วิธีวิเคราะห์

1. เตรียมตัวอย่างแป้งที่ทราบความชื้น โดยละลายด้วยน้ำกลั่นให้มีความเข้มข้นร้อยละ 30 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) เขย่าให้เข้ากัน
หมายเหตุ ในกรณีที่แป้งมีการดูดซับน้ำได้ดี (เช่นแป้งที่ผ่านการทำ Ball-Mill) จะทำตามวิธีข้อ 1 ไม่ได้ จึงต้องใช้วิธีนำแป้งร้อยละ 30 (dry basis weight) ใส่ลงใน Aluminium Can แล้วจึงใส่น้ำกลั่นลงไปอีกร้อยละ 70 (น้ำหนัก/น้ำหนัก)]
2. ดูดสารละลายแป้งขึ้นมา โดยให้มีปริมาณแป้ง (น้ำหนักแห้ง) ประมาณ 3.5 ถึง 4.0 มิลลิกรัม ใส่ลงใน Aluminium Can ของเครื่อง DSC บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 ชั่วโมงครึ่ง

3. นำ Aluminium Can เข้าเครื่อง DSC และใส่อินเดียม (indium) ในการเปรียบเทียบ และตั้งค่าของเครื่องที่ช่วงอุณหภูมิ 25 ถึง 100 องศาเซลเซียส โดยมีอัตราการเพิ่มอุณหภูมิเป็น 10 องศาเซลเซียสต่อนาที
4. ตรวจวัดค่าเทอร์โมไดนามิกที่ได้จากการวิเคราะห์ของเครื่องดังนี้
 To คืออุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลาตินไนซ์ (Onset temperature)
 TB คืออุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลาตินไนซ์ (Beak temperature)
 Tc คืออุณหภูมิต่ำสุดท้ายในการเกิดเจลาตินไนซ์ (Conclusion temperature)
 ΔH คือพลังงานที่เปลี่ยนแปลงระหว่างการเกิดเจลาตินไนซ์ (Enthalpy)

7. การวิเคราะห์ด้วยเครื่องจุ่มกิโลอิเล็กทรอนิกส์

เครื่องมือ

เครื่องจุ่มกิโลอิเล็กทรอนิกส์

Glass vial

วิธีวิเคราะห์

เครื่องจุ่มกิโลอิเล็กทรอนิกส์ (Alpha M.O.S. รุ่น FOX 3000) ประกอบด้วย MOS sensoB 12 ตัว ได้แก่ LY2/LG, LY2/G, LY2/AA, LY2/Gh, LY2/gCT1, LY2/gCT, T30/1, P10/1, P10/2, P40/1, T70/2 และ PA/2

การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์

ซึ่งตัวอย่างแป้งหมักที่ บดให้ละเอียด อย่างสม่ำเสมอ 1 กรัมใส่ในขวดแก้ว (Glass vial) ขนาด 5 มิลลิตร แล้วปิดด้วยฝาให้สนิทเพื่อป้องกันความแปรปรวนจากการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นรสก่อนการวิเคราะห์ แล้วจึงนำขวดแก้วแต่ละขวดมาวางลงในถาดบรรจุเพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการบ่มผลิตภัณฑ์ก่อนการวิเคราะห์คือ 80 °C เป็นระยะเวลา 30 นาที จากนั้นข้อมูลที่ได้จะถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PCA เพื่อแยกความแตกต่างของกลิ่นรสในผลิตภัณฑ์ที่ได้ในแต่ละช่วงเวลาในการหมัก

ทั้งนี้เครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนิกส์ดังกล่าวจะอาศัยการเปลี่ยนแปลงความต้านทานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละ sensor เพื่อเก็บข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของสารระเหยที่ได้จากช่วงระยะเวลาในการหมักแป้งต่างๆกัน โดย sensor แต่ละชนิดมีความไวต่อสารต่างๆ ดังนี้

LY2/LG	มีความสัมพันธ์ต่อสัญญาณตอบสนองของสาร Nitrogendioxide และ Ozone
LY2/G	มีความสัมพันธ์ต่อสัญญาณตอบสนองของสาร Ethanol
LY2/AA	มีความสัมพันธ์ต่อสัญญาณตอบสนองของสาร Acetone
LY2/Gh	มีความสัมพันธ์ต่อสัญญาณตอบสนองของสาร Ethanol
LY2/gCTi	มีความสัมพันธ์ต่อสัญญาณตอบสนองของสาร Hydrogen Sulphide
LY2/gCT	มีความสัมพันธ์ต่อสัญญาณตอบสนองของสาร Ethanol
T30/1	มีความสัมพันธ์ต่อสัญญาณตอบสนองของสาร Cabon monoxide
P10/1	มีความสัมพันธ์ต่อสัญญาณตอบสนองของสาร Ammonia
P10/2	มีความสัมพันธ์ต่อสัญญาณตอบสนองของสาร Ammonia
P40/1	มีความสัมพันธ์ต่อสัญญาณตอบสนองของสาร Hydrogen Sulphide
T70/2	มีความสัมพันธ์ต่อสัญญาณตอบสนองของสาร Cabon monoxide
PA/2	มีความสัมพันธ์ต่อสัญญาณตอบสนองของสาร Hydrogen Sulphide

8. การวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนีย (Juliano, 1971)

เครื่องมือ

ขวดแก้วพร้อมจุก (Volumetric flask) ขนาด 100 มิลลิเมตร

สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer)

เครื่องชั่งละเอียด ถึง 0.0001 กรัม

อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath)

สารละลายที่ใช้และวิธีการเตรียม

เอทิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol) 95 %

สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 1 นอร์มัล (NaOH 40 กรัมในน้ำ 1 ลิตร)

กรดกลีเซอลอะซิติก (glacial acetic acid) 1 นอร์มัล (กรดกลีเซอลอะซิติก 60 มล./ลิตร)

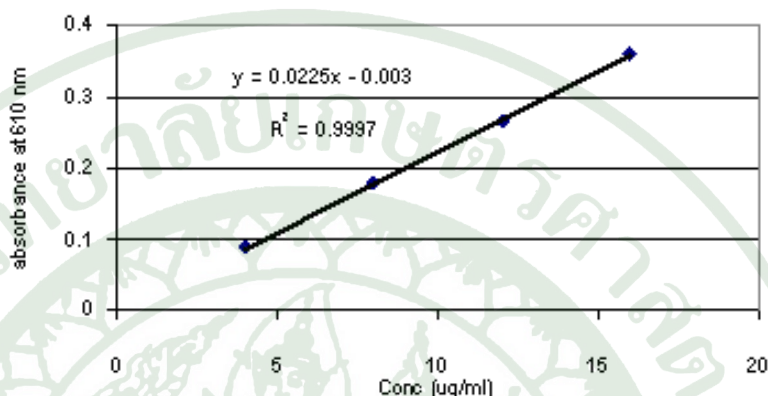
Potato amylase

สารละลายไอโอดีน ชั่ง 0.2 กรัม ไอโอดีน (I) และ 2.0 กรัม โพแตสเซียมไอโอไดด์ (KI) ละลายในน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 100 มล.

วิธีวิเคราะห์

1. การละลายแป้ง ชั่งแป้ง 0.1000 กรัม ใส่ในขวดแก้วมีจุลขนาด 100 มล. ปิเปตเอทิลแอลกอฮอล์ 1 มล. เติมน้ำตัวอย่าง เขย่าเบาๆ เพื่อเกลี่ยแป้งให้กระจายออก ระวังอย่าให้แป้งขึ้นมาเกาะตามผนังขวด ปิเปตแบ่งสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มัล เติมลงใน 9 มล. พร้อมทั้งล้างแป้งที่เกาะอยู่ตามผนังขวดด้วยน้ำใน water bath นาน 10 นาที เติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 100 มล. เขย่าขวด ตั้งทิ้งไว้ค้างคืน
2. ปิเปตแบ่งสารละลายแป้ง จำนวน 5 มล. ลงในขวดแก้วขนาด 100 มล. เติมน้ำกลั่นประมาณ 70 มล. เติมกรดกลีเซอลอะซิติก 1 นอร์มัล 1 มล. เติมสารละลายไอโอดีน 2 มล. เติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 100 มล. เขย่าและตั้งทิ้งไว้ 10 นาที
3. ทำเช่นเดียวกับข้อ 2 แต่ไม่ใส่สารตัวอย่าง เพื่อใช้เป็นแบลนค์ (blank)
4. วัดความเข้มของสีสารละลาย โดยใช้สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่คลื่นแสง 610 นาโนเมตร (nm) อ่านค่า การดูดกลืนแสง (absorbance) โดยปรับค่าของแบลนค์เป็น 0
5. การเขียนกราฟมาตรฐาน (standard curve)
 - ชั่ง Potato amylose 0.0400 กรัม ใส่ในขวดแก้วมีจุลขนาด 100 มล. และดำเนินการเช่นเดียวกับข้อ 1 เป็นสารละลายมาตรฐาน
 - ปิเปตสารละลายมาตรฐาน 1, 2, 3 และ 4 ใส่ในขวดแก้วมีจุลขนาด 100 มล. เติมน้ำกลั่นประมาณ 70 มล. เติมกรดกลีเซอลอะซิติก 1 นอร์มัล 1 มล. ปริมาณ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 มล. ลงในขวดแก้วที่มีสารละลายมาตรฐาน ตามลำดับ แล้วเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 100 มล.

- วัดค่า absorbance ตามข้อ 4
- เขียนกราฟระหว่างค่าปริมาณอะมิโลส และค่า absorbance และหาสมการความสัมพันธ์ ระหว่าง absorbance ดังภาพผนวกที่ ก2



ภาพผนวกที่ ก1 กราฟระหว่างค่าปริมาณอะมิโลส และค่า absorbance ของสารละลายมาตรฐาน

9.การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (Nelson-Somogyi, 1944)

เครื่องมือ

ขวดสีชา

สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer)

เครื่องชั่งละเอียด ถึง 0.0001 กรัม

อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath)

สารละลายที่ใช้และวิธีการเตรียม

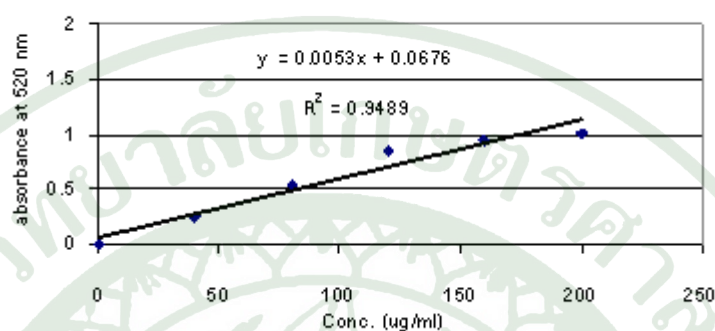
1. Coppep Reagent ละลาย $\text{Na}_2\text{HBO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 71 กรัม และ Nar tartrate 40 กรัม ในน้ำกลั่น 700 กรัม เติม 0.1 N NaOH 100 มิลลิลิตร ลงไปผสมให้เข้ากัน เติม $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 8 กรัม ที่ละลายในน้ำกลั่น 80 มิลลิลิตร ลงไป คนให้เข้ากัน แล้วทำให้ร้อน เติม Na_2SO_4 180 กรัม ละลายให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 1-2 วัน

2. Nelson Reagent ละลายเกลือแอมโมเนียมโมลิบเดต 50 กรัม ด้วยน้ำกลั่น 900 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟิวริก ช้อนลงลงไป 21 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน เก็บในขวดสีชา ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ถ้ามีตะกอนให้กรองออก

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่าง 100 กรัม ใส่ในหลอดทดลอง เติม ethanol 95 % เขย่าหลอดทุกครั้ง ชั่วโมงเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น
2. ดูดสารละลายตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร เติมสารละลาย Copper Reagent ปริมาตร 1 มิลลิลิตร นำไปต้มในน้ำเดือด 15 นาที โดยปิดปากหลอดทดลองด้วยลูกแก้ว เมื่อครบเวลาจึงนำไปแช่ในอ่างน้ำแข็ง เพื่อหยุดปฏิกิริยา
3. เติมสารละลาย Nelson Reagent ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในหลอดผสมให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที และเขย่าหลอดผสมให้เข้ากัน
4. เติมน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร
5. ทำเช่นเดียวกับข้อ 2 แต่ไม่ใส่สารตัวอย่าง เพื่อใช้ปิ่นแบดจ์ (blank)
6. การเขียนกราฟมาตรฐาน (standard curve)
 - ดูดสารละลายตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร ที่มีความเข้มข้นของน้ำตาล D-Glucose ระหว่าง 0-200 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร
 - เติมสารละลาย Copper Reagent ปริมาตร 1 มิลลิลิตร นำไปต้มในน้ำเดือด 15 นาที โดยปิดปากหลอดทดลองด้วยลูกแก้ว เมื่อครบเวลาจึงนำไปแช่ในอ่างน้ำแข็ง เพื่อหยุดปฏิกิริยา
 - เติมสารละลาย Nelson Reagent ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในหลอดผสมให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที และเขย่าหลอดผสมให้เข้ากัน
 - เติมน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร

- เขียนกราฟระหว่างค่าปริมาณน้ำตาลและค่า absorbance และหาสมการความสัมพันธ์ ระหว่าง absorbance ดังภาพผนวกที่ ก3



ภาพผนวกที่ ก2 กราฟระหว่างค่าปริมาณน้ำตาล และค่า absorbance ของสารละลายมาตรฐาน



ตารางผนวกที่ ข1 ปริมาณกรดแลกติกและ เส้นผ่านศูนย์กลางของ clear zone ที่เกิดจากการย่อย
แป้งของเชื้อแบคทีเรียกรดแลกติกในกลุ่ม Homofermentative-Rod แต่ละสาย
พันธุ์ ในตัวอย่างข้าวหมกจากโรงงาน A ในจังหวัดปทุมธานี

ไอโซเลต	เส้นผ่านศูนย์กลางของ clear zone (ซม.)	ปริมาณกรดแลกติก (%)
A1	1.4	0.91
A2	0.6	0.35
A3	0.5	0.23
A4	0.2	0.08
A5	0.6	0.3
A9	0.4	0.24
A10	0.2	0.18
A12	0.7	0.41
A13	0.6	0.23
A15	0.3	0.19
A17	0.5	0.29
A18	0.3	0.17
A19	0.4	0.21
A21	0.6	0.34
A23	0.3	0.13
A25	0.2	0.1
A27	0.5	0.27
A28	0.5	0.28
A30	0.7	0.34
A31	0.6	0.26
A33	0.4	0.19
A34	0.3	0.14
A35	0.2	0.1
A37	0.2	0.09
A38	0.2	0.08

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

ไอโซเลต	เส้นผ่านศูนย์กลางของ clear zone (ซม.)	ปริมาณกรดแลกติก (%)
A39	1.2	0.86
A41	0.6	0.32
A42	0.4	0.23
A44	0.7	0.22
A46	0.3	0.14
A47	0.4	0.21
A49	0.7	0.37
A51	0.2	0.13
A54	0.6	0.34
A55	0.5	0.29
A56	0.3	0.17
A57	0.3	0.16
A60	0.3	0.16
A63	0.8	0.43
A64	0.7	0.39
A66	0.6	0.33
A67	0.5	0.29
A68	0.4	0.24
A69	0.4	0.22
A70	0.6	0.33
A71	0.3	0.17
A73	0.5	0.27
A74	0.2	0.11
A75	0.1	0.06
A77	0.1	0.05
A78	0.6	0.32
A79	0.2	0.11

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

ไอโซเลต	เส้นผ่านศูนย์กลางของ clear zone (ซม.)	ปริมาณกรดแลคติก (%)
A81	0.7	0.36
A83	0.3	0.15
A84	0.2	0.1
A85	0.1	0.03
A87	0.1	0.05
A88	0.6	0.23
A90	0.5	0.27
A91	0.3	0.16
A93	0.3	0.19
A95	0.2	0.12
A96	0.6	0.32
A97	0.5	0.28
A98	0.4	0.23
A100	0.7	0.37
A101	0.2	0.11
A103	0.2	0.12
A105	0.1	0.06
A106	0.2	0.12
A107	0.7	0.16
A109	0.6	0.21
A110	0.6	0.23
A111	0.7	0.16
A113	0.1	0.04
A114	0.3	0.15
A115	0.5	0.25
A117	0.5	0.26
A118	0.1	0.08

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

ไอโซเลต	เส้นผ่านศูนย์กลางของ clear zone (ซม.)	ปริมาณกรดแลคติก (%)
A120	0.6	0.34
A121	0.3	0.17
A122	0.6	0.32
A123	0.4	0.2
A125	0.5	0.19
A126	0.7	0.16
A128	0.2	0.11
A129	0.6	0.15
A130	0.4	0.21
A132	0.5	0.27
A134	0.6	0.35
A135	0.5	0.28
A136	0.2	0.11
A138	0.3	0.15
A139	0.6	0.16
A141	0.6	0.24
A142	0.7	0.21
A143	0.4	0.23
A144	0.5	0.27
A145	0.1	0.04
A147	0.4	0.23
A148	0.4	0.21
A150	0.3	0.15
A151	0.2	0.12
A153	0.3	0.18
A154	0.1	0.05
A157	0.3	0.09

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

ไอโซเลต	เส้นผ่านศูนย์กลางของ clear zone (ซม.)	ปริมาณกรดแลกติก (%)
A160	0.4	0.07
A162	0.2	0.05

ตารางผนวกที่ ข2 ปริมาณกรดแลกติกและ เส้นผ่านศูนย์กลางของ clear zone ที่เกิดจากการย่อยแป้งของเชื้อแบคทีเรียกรดแลกติกในกลุ่ม Homofermentative-Rod แต่ละสายพันธุ์ ในตัวอย่างข้าวหมกจากโรงงานB จังหวัดฉะเชิงเทรา

ไอโซเลต	เส้นผ่านศูนย์กลางของ clear zone (ซม.)	ปริมาณกรดแลกติก (%)
B2	0.2	0.12
B3	0.3	0.16
B4	0.3	0.17
B6	0.6	0.34
B7	0.4	0.21
B8	0.4	0.23
B10	0.4	0.21
B11	0.2	0.12
B12	0.85	0.70
B14	0.2	0.11
B15	0.3	0.15
B16	0.5	0.27
B17	0.5	0.28
B20	0.6	0.33
B21	0.5	0.27
B22	0.4	0.23
B23	0.7	0.36
B25	0.5	0.27
B26	0.4	0.22

ตารางผนวกที่ ข2 (ต่อ)

ไอโซเลต	เส้นผ่านศูนย์กลางของ clear zone (ซม.)	ปริมาณกรดแลคติก (%)
B27	0.80	0.70
B28	0.3	0.16
B30	0.3	0.16
B32	0.1	0.04
B33	0.1	0.06
B34	0.2	0.1
B35	0.2	0.11
B36	0.5	0.27
B38	0.4	0.23
B40	0.4	0.21
B41	0.7	0.37
B42	0.6	0.32
B44	0.2	0.12
B46	0.2	0.11
B47	0.2	0.14
B48	0.1	0.08
B49	0.1	0.05
B51	0.3	0.13
B52	0.6	0.32
B54	0.4	0.21
B55	0.4	0.24
B56	0.2	0.12
B57	0.2	0.1
B59	0.2	0.13
B60	0.7	0.36
B61	0.3	0.17
B62	0.3	0.14

ตารางผนวกที่ ข2 (ต่อ)

ไอโซเลต	เส้นผ่านศูนย์กลางของ clear zone (ซม.)	ปริมาณกรดแลคติก (%)
B63	0.1	0.05
B65	0.1	0.05
B66	0.2	0.12
B67	0.2	0.12
B69	0.6	0.34
B70	0.5	0.27
B71	0.1	0.04
B72	0.3	0.16
B74	0.7	0.38
B75	0.1	0.03
B76	0.1	0.05
B77	0.4	0.23
B79	0.4	0.26
B81	0.3	0.14
B82	0.3	0.16
B83	0.2	0.12
B85	0.2	0.11
B87	0.1	0.04
B88	0.1	0.05
B89	0.6	0.34
B90	0.4	0.21
B91	0.3	0.17
B93	0.4	0.23
B94	0.4	0.3
B96	0.3	0.24
B97	0.3	0.21
B99	0.3	0.16

ตารางผนวกที่ ข2 (ต่อ)

ไอโซเลต	เส้นผ่านศูนย์กลางของ clear zone (ซม.)	ปริมาณกรดแลคติก (%)
B100	0.1	0.08
B101	0.1	0.08
B103	0.1	0.07
B104	0.5	0.31
B105	0.5	0.28
B107	0.4	0.24
B108	0.3	0.2
B109	0.3	0.16
B110	0.2	0.12
B112	0.2	0.16
B113	0.6	0.41
B114	0.6	0.37
B116	0.5	0.27
B118	0.5	0.34
B119	0.3	0.21
B120	0.3	0.23
B121	0.2	0.09
B122	0.2	0.14
B123	0.2	0.11
B125	0.1	0.08
B126	0.1	0.04
B127	0.1	0.06
B129	0.2	0.16
B133	0.3	0.12
B136	0.6	0.38
B139	0.4	0.21
B143	0.4	0.25

ตารางผนวกที่ ข2 (ต่อ)

ไอโซเลต	เส้นผ่านศูนย์กลางของ clear zone (ซม.)	ปริมาณกรดแลคติก (%)
B144	0.3	0.18
B148	0.3	0.18
B149	0.2	0.11
B150	0.2	0.1
B151	0.2	0.14
B157	0.2	0.12
B159	0.2	0.15
B160	0.4	0.23
B162	0.2	0.11
B163	0.2	0.11
B165	0.6	0.35
B166	0.5	0.29



ภาคผนวก ค

การประเมินคุณภาพทางประสามสัมผัส และ แบบสอบถาม

Panelist _____

Sample _____

Date _____

APPEARANCE

สีขาว (Whiteness)	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	<u>5</u>	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	<u>9</u>	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15
ขนาดเส้น (Noodle size)	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	<u>7</u>	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15
การเกาะตัว (Attachment)	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	<u>6.5</u>	7	7.5	8	8.5	9	9.5	<u>10</u>	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15
ความมันวาว (Shininess)	0	0.5	1	1.5	<u>2</u>	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15
ความโปร่งแสง (Transparency)	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	<u>5</u>	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15

AROMA

ความกลมกลืนของกลิ่น (Blended)	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	<u>6.5</u>	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15
กลิ่นหมัก (Fermentation)	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	<u>6.5</u>	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15
กลิ่นแป้งข้าวเจ้าสุก (Boiled rice flour)	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	<u>7</u>	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15
กลิ่นน้ำข้าวข้าว	0	0.5	1	1.5	2	2.5	<u>3</u>	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15

Panelist _____

Sample _____

Date _____

กลิ่นคลอรีน (Chlorine) 0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5 5 5.5 6 6.5 7 7.5 8 8.5 9 9.5 10 10.5 11 11.5 12 12.5 13 13.5 14 14.5 15

กลิ่นคลอรีน (Chlorine) 0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5 5 5.5 6 6.5 7 7.5 8 8.5 9 9.5 10 10.5 11 11.5 12 12.5 13 13.5 14 14.5 15

กลิ่นพริกแห้ง (Dried chili) 0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5 5 5.5 6 6.5 7 7.5 8 8.5 9 9.5 10 10.5 11 11.5 12 12.5 13 13.5 14 14.5 15

กลิ่นอับ (Dusty Musty) 0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5 5 5.5 6 6.5 7 7.5 8 8.5 9 9.5 10 10.5 11 11.5 12 12.5 13 13.5 14 14.5 15

กลิ่นกล่องกระดาษ (Cardboard) 0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5 5 5.5 6 6.5 7 7.5 8 8.5 9 9.5 10 10.5 11 11.5 12 12.5 13 13.5 14 14.5 15

กลิ่นเค็ม คาว (Salty-Fishy) 0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5 5 5.5 6 6.5 7 7.5 8 8.5 9 9.5 10 10.5 11 11.5 12 12.5 13 13.5 14 14.5 15

FLAVOR

ความกลมกลืนของกลิ่นรส 0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5 5 5.5 6 6.5 7 7.5 8 8.5 9 9.5 10 10.5 11 11.5 12 12.5 13 13.5 14 14.5 15

(Blended)

กลิ่นรสหมัก (Fermentation) 0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5 5 5.5 6 6.5 7 7.5 8 8.5 9 9.5 10 10.5 11 11.5 12 12.5 13 13.5 14 14.5 15

กลิ่นรสแป้งข้าวเจ้าสุก 0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5 5 5.5 6 6.5 7 7.5 8 8.5 9 9.5 10 10.5 11 11.5 12 12.5 13 13.5 14 14.5 15

(Boiled rice flour)

Panelist _____

Sample _____

Date _____

กลิ่นรสคลอรีน (Chlorine)

0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5 5 5.5 6 6.5 7 7.5 8 8.5 9 9.5 10 10.5 11 11.5 12 12.5 13 13.5 14 14.5 15

TASTE

รสหวาน (Sweet)

0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5 5 5.5 6 6.5 7 7.5 8 8.5 9 9.5 10 10.5 11 11.5 12 12.5 13 13.5 14 14.5 15

รสเปรี้ยว (Sour)

0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5 5 5.5 6 6.5 7 7.5 8 8.5 9 9.5 10 10.5 11 11.5 12 12.5 13 13.5 14 14.5 15

รสเค็ม (Salt)

0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5 5 5.5 6 6.5 7 7.5 8 8.5 9 9.5 10 10.5 11 11.5 12 12.5 13 13.5 14 14.5 15

TEXTURE

การติดมือ (Stickiness)

0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5 5 5.5 6 6.5 7 7.5 8 8.5 9 9.5 10 10.5 11 11.5 12 12.5 13 13.5 14 14.5 15

ความยืดหยุ่น (Springiness)

0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5 5 5.5 6 6.5 7 7.5 8 8.5 9 9.5 10 10.5 11 11.5 12 12.5 13 13.5 14 14.5 15

การติดริมฝีปาก (Adhesive to lips)

0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5 5 5.5 6 6.5 7 7.5 8 8.5 9 9.5 10 10.5 11 11.5 12 12.5 13 13.5 14 14.5 15

ความแน่นเนื้อ (Firmness)

0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5 5 5.5 6 6.5 7 7.5 8 8.5 9 9.5 10 10.5 11 11.5 12 12.5 13 13.5 14 14.5 15

ที่.....

แบบสอบถาม

การสำรวจความคิดเห็น และการยอมรับของผู้บริโภคต่อขนมจีนที่ผลิตจากหัวเชื้อบริสุทธิ์

เรียน ท่านผู้ตอบแบบสอบถาม

เรื่อง การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ขนมจีนที่ผลิตจากหัวเชื้อบริสุทธิ์

คำชี้แจง แบบสอบถามชุดนี้เป็นการวิจัยเพื่อประกอบวิทยานิพนธ์ของนางอรวัลภ์ อุปถัมภ์านนท์ นิสิตปริญญาเอก สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในหัวข้อ “การพัฒนากระบวนการผลิตขนมจีนโดยใช้หัวเชื้อบริสุทธิ์” จึงใคร่ขอความร่วมมือจากท่าน กรุณาทดสอบผลิตภัณฑ์ และตอบแบบสอบถามให้ครบถ้วน ข้อมูลทั้งหมดที่ท่านตอบจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับงานวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณทุกท่านที่ให้ความร่วมมืออย่างดีมา ณ โอกาสนี้

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทางประชากรศาสตร์

คำแนะนำ : กรุณาใส่เครื่องหมาย / ในวงเล็บ () หน้าคำตอบที่ตรงกับคุณสมบัติของท่าน

1. เพศ

- () 1. หญิง () 2. ชาย

2. อายุ

- () 1. ต่ำกว่า 20 ปี () 2. 21 – 30
() 3. 31 – 40 ปี () 3. 41 – 45 ปี
() 4. 45 ปีขึ้นไป

3. วุฒิการศึกษาปัจจุบัน

- () 1. ประถมศึกษา () 2. มัธยมศึกษาหรือเทียบเท่า
() 3. อนุปริญญา หรือเทียบเท่า () 4. ปริญญาตรี
() 5. สูงกว่าปริญญาตรี

4. อาชีพ

- () 1. นิสิต/นักศึกษา () 2. ค้าขาย/ธุรกิจส่วนตัว
() 3. แม่บ้าน () 4. ข้าราชการ/รัฐวิสาหกิจ
() 5. พนักงานเอกชน () 5. รับจ้าง
() 6. อื่นๆ โปรดระบุ.....

5. รายได้ต่อเดือน

- () 1. น้อยกว่า 1,000 บาท () 2. 1,000 – 5,000 บาท
() 3. 5,001 – 10,000 บาท () 4. 10,001 – 15,000 บาท
() 4. 15,001 – 20,000 บาท () 5. มากกว่า 20,000 บาท

รหัสตัวอย่าง : _____

ส่วนที่ 2 ข้อมูลด้านการยอมรับผลิตภัณฑ์ขนมจีนจากหัวเชื้อบริสุทธิ์

คำแนะนำ กรุณาพิจารณา ทดสอบดม และทดสอบชิมผลิตภัณฑ์ จากนั้นให้คะแนนให้ตรงกับความรู้สึกของท่านมากที่สุด โดยใส่เครื่องหมาย ✓ ในช่องว่างที่ตรงกับความรู้สึกของท่านมากที่สุด

6.ท่านมีความชอบอย่างไรในด้าน สีขาว

ไม่ชอบมากที่สุด	ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบปานกลาง	ไม่ชอบเล็กน้อย	บอกไม่ได้ว่าชอบ/ไม่ชอบ	ชอบเล็กน้อย	ชอบปานกลาง	ชอบมาก	ชอบมากที่สุด
[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]

7.ท่านมีความชอบอย่างไรในด้าน กลิ่นโดยรวม ของตัวอย่าง (ดม)

ไม่ชอบมากที่สุด	ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบปานกลาง	ไม่ชอบเล็กน้อย	บอกไม่ได้ว่าชอบ/ไม่ชอบ	ชอบเล็กน้อย	ชอบปานกลาง	ชอบมาก	ชอบมากที่สุด
[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]

8.ท่านมีความชอบอย่างไรในด้าน ความเหนียว ของตัวอย่าง (รับประทาน)

ไม่ชอบมากที่สุด	ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบปานกลาง	ไม่ชอบเล็กน้อย	บอกไม่ได้ว่าชอบ/ไม่ชอบ	ชอบเล็กน้อย	ชอบปานกลาง	ชอบมาก	ชอบมากที่สุด
[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]

9.ท่านมี ความชอบโดยรวม อย่างไรต่อตัวอย่าง

ไม่ชอบมากที่สุด	ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบปานกลาง	ไม่ชอบเล็กน้อย	บอกไม่ได้ว่าชอบ/ไม่ชอบ	ชอบเล็กน้อย	ชอบปานกลาง	ชอบมาก	ชอบมากที่สุด
[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]

10. ท่านยอมรับผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่ชิมนี้หรือไม่

() 1. ยอมรับ

() 2. ไม่ยอมรับ

11. หากมีผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่ได้รับวางขายในท้องตลาดท่านจะซื้อหรือไม่

() 1. ซื้อ

() 2. ไม่แน่ใจ เพราะ.....

() 3. ไม่ซื้อ เพราะ.....

รหัสตัวอย่าง : _____

ส่วนที่ 2 ข้อมูลด้านการยอมรับผลิตภัณฑ์ขนมจิ้นจากหัวเขือบรัฐ

คำแนะนำ กรุณาพิจารณา ทดสอบดม และทดสอบชิมผลิตภัณฑ์ จากนั้นให้คะแนนให้ตรงกับความรู้สึกของท่านมากที่สุด โดยใส่เครื่องหมาย ✓ ในช่องว่างที่ตรงกับความรู้สึกของท่านมากที่สุด

12. ท่านมีความชอบอย่างไรในด้าน สีขาว

ไม่ชอบมากที่สุด	ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบปานกลาง	ไม่ชอบเล็กน้อย	บอกไม่ได้ว่าชอบ/ไม่ชอบ	ชอบเล็กน้อย	ชอบปานกลาง	ชอบมาก	ชอบมากที่สุด
[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]

13. ท่านมีความชอบอย่างไรในด้าน กลิ่นรสหมัก ของตัวอย่าง (ดม)

ไม่ชอบมากที่สุด	ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบปานกลาง	ไม่ชอบเล็กน้อย	บอกไม่ได้ว่าชอบ/ไม่ชอบ	ชอบเล็กน้อย	ชอบปานกลาง	ชอบมาก	ชอบมากที่สุด
[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]

14. ท่านมีความชอบอย่างไรในด้าน ความเหนียว ของตัวอย่าง (รับประทาน)

ไม่ชอบมากที่สุด	ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบปานกลาง	ไม่ชอบเล็กน้อย	บอกไม่ได้ว่าชอบ/ไม่ชอบ	ชอบเล็กน้อย	ชอบปานกลาง	ชอบมาก	ชอบมากที่สุด
[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]

15.ท่านมี ความชอบโดยรวม อย่างไรต่อตัวอย่าง

ไม่ชอบ มากที่สุด	ไม่ชอบ มาก	ไม่ชอบ ปานกลาง	ไม่ชอบ เล็กน้อย	บอก ไม่ได้ว่า ชอบ/ไม่ ชอบ	ชอบ เล็กน้อย	ชอบ ปาน กลาง	ชอบมาก	ชอบมาก ที่สุด
---------------------	---------------	-------------------	--------------------	------------------------------------	-----------------	--------------------	--------	------------------

[] [] [] [] [] [] [] [] []

16.ท่านยอมรับผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่ชิมนี้หรือไม่

() 1. ยอมรับ () 2. ไม่ยอมรับ

17.หากมีผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่ได้รับวางขายในท้องตลาดท่านจะซื้อหรือไม่

() 1. ซื้อ
() 2. ไม่แน่ใจ เพราะ.....
() 3. ไม่ซื้อ เพราะ.....

ส่วนที่ 3 ข้อมูลเกี่ยวกับความคิดเห็นเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ขนมจีน

คำแนะนำ : กรุณาใส่เครื่องหมาย / ในวงเล็บ () หน้าคำตอบที่ท่านเห็นว่าเหมาะสมมากที่สุด

18.ท่านหรือคนในครอบครัวซื้อขนมจีนในสถานที่ใดบ่อยที่สุด

() 1. ตลาดสด () 2. ซูเปอร์มาร์เกต เช่น ท็อปส์ บิ๊กซี โลตัส
() 3. อื่นๆ โปรดระบุ.....

19.ท่านรับประทานขนมจีนบ่อยเพียงใด

() 1. ทุกวัน () 2. สัปดาห์ละ 3—5 ครั้ง
() 3. สัปดาห์ละครั้ง () 4. เดือนละ 1—2 ครั้ง
() 5. น้อยกว่าเดือนละครั้ง () 6. อื่นๆ โปรดระบุ.....

20.ท่านชอบให้ขนมจีนบรรจุในภาชนะแบบใดมากที่สุด

() 1. ถูพลาสติก () 2. ถาดโฟม
() 3. ตะกร้าพลาสติก

21.ขนมจีนขนาดใดที่ท่านซื้อบ่อยที่สุด

- () 1. ครึ่งกิโลกรัม () 2. 1 กิโลกรัม
() 3. 5 กิโลกรัม () 3. 10 กิโลกรัม
() 4. อื่นๆ โปรดระบุ.....

22.ท่านรับประทานขนมจีนกับอาหารประเภทใด (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)

- () 1. น้ำพริก หรือน้ำยา () 2. แกงเขียวหวาน
() 3. ส้มตำ () 3. แกงไตปลา
() 4. น้ำเงี้ยว () 5. อื่นๆ โปรดระบุ.....

23.ปัญหาที่ท่านพบเมื่อซื้อขนมจีนหมักมารับประทาน (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)

- () 1. อายุการเก็บสั้น () 2. กลิ่นหมักแรง
() 3. เส้นไม่เหนียว () 4. ท้องเสีย
() 5. มีสิ่งปนเปื้อน () 6. คุณภาพไม่สม่ำเสมอ
() 7. อื่นๆ โปรดระบุ.....

24.ท่านรู้หรือไม่ว่าการผลิตขนมจีนเป็นการหมักแบบธรรมชาติ คือการหมักโดยใช้จุลินทรีย์จากธรรมชาติซึ่งติดมากับวัตถุดิบหรือจากสภาพแวดล้อม ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้มักมีคุณภาพไม่แน่นอน , ไม่สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพการหมักได้ และเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของเชื้อโรค หรือจุลินทรีย์ที่สร้างสารพิษ

- () 1. รู้ () 2. ไม่รู้จัก

25.ถ้ามีการผลิตขนมจีนหมักผลิตโดยใช้กล้าเชื้อจุลินทรีย์บริสุทธิ์ที่ได้ ทำการคัดเลือกแล้ว ซึ่งทำให้สามารถควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และลดการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์ที่ก่อโรคได้ ทำให้มีความปลอดภัยในการบริโภค ท่านคิดว่าจะซื้อหรือไม่

- () 1. ซื้อ เหตุผลที่ซื้อเพราะ () 1. ปลอดภัยในการบริโภค
() 2. มีคุณภาพสม่ำเสมอ
() 3. รสชาติน่าจะดีกว่าเดิม
() 4. อื่นๆ โปรดระบุ.....

- () 2. ไม่แน่ใจ

- () 3. ไม่ซื้อ เหตุผลที่ไม่ซื้อเพราะ () 1. ราคาน่าจะแพงขึ้น
() 2. คิดว่าไม่จำเป็นที่มีอยู่ดีอยู่แล้ว
() 3. อื่นๆ โปรดระบุ.....

26.หากท่านเป็นผู้ซื้อ ท่านให้ความสำคัญกับปัจจัยในการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ขนมจีนหมกอย่างไรบ้าง (กรุณาใส่เครื่องหมาย / ในช่องคะแนนตามความคิดเห็นของท่าน) ความหมายของระดับคะแนนเป็นดังนี้
5 = สำคัญมากที่สุด, 4 = สำคัญมาก 3 = สำคัญปานกลาง 2 = สำคัญน้อย 1 = สำคัญน้อยที่สุด

ปัจจัย	ระดับความสำคัญ				
	5	4	3	2	1
26.1 สี					
26.2 กลิ่น					
26.3 เนื้อสัมผัส					
26.4 ราคาที่เหมาะสมเมื่อเทียบกับน้ำหนัก					
26.5 อายุการเก็บรักษา					
26.6 ภาชนะบรรจุ					
26.7 ความสะอาดของผลิตภัณฑ์					
26.8 ความสะอาดของสถานที่ซื้อ					
26.9 ขนาดของเส้นขนมจีน					
26.10 ตรายี่ห้อ					
26.11 ความสดใหม่ของผลิตภัณฑ์ (ดูจากวันผลิต)					
26.12 น้ำหนักบรรจุ					
26.13 ความสะดวกในการซื้อ					
26.14 คุณค่าทางโภชนาการ					
26.15 ความปลอดภัยในการบริโภค					
26.16 การรับรองจากผู้เชี่ยวชาญทางอาหารหรือสื่อต่างๆ					
26.17 เครื่องหมาย อย.					
26.18 การใส่สารกันบูด					

ข้อเสนอแนะ (ถ้ามี)

ขอบพระคุณที่ให้ความร่วมมือค่ะ



ตารางผนวกที่ ง1 ชื่อ และที่อยู่ของโรงงานขนมจีนที่ไปทดสอบการยอมรับ

ชื่อโรงงาน	ที่อยู่
1. โรงงานขนมจีนปทุม	56/2 หมู่ 9 ต.เหมืองหม้อ อ.เมือง จ.แพร่
2. โรงงานขนมจีนวินัท	290 หมู่ 4 ต.เหมืองหม้อ อ.เมือง จ.แพร่
3. โรงงานขนมจีนพูนผล	92 หมู่ 6 บ้านชะโงน อ.เมือง จ.นครพนม
4. โรงงานขนมจีนวัชรารักษ์	14/1 ถ.กลางเมือง ต.หนองแสง อ.เมือง จ.นครพนม
5. บริษัท พ.ศ.ธ กรุป จำกัด	จ.นครพนม
6. โรงงานขนมจีนคลองห้า	63 ถ.รังสิต-นครนายก ต.คลองห้า อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี
7. โรงงานขนมจีนคลองแปด	147 ถ.รังสิต-นครนายก ต.คลองแปด อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี
8. โรงงานขนมจีนแดง	23 หมู่ ต.ลำลูกกา จ.ปทุมธานี
9. โรงงานขนมจีนเอี	22/2 นิคมอุตสาหกรรมขนมจีนจะเชิงเตา จ.ฉะเชิงเทรา
10. โรงงานขนมจีนแดน	22/3 นิคมอุตสาหกรรมขนมจีนจะเชิงเตา จ.ฉะเชิงเทรา
11. โรงงานขนมจีนรัตนพร	22/4 นิคมอุตสาหกรรมขนมจีนจะเชิงเตา จ.ฉะเชิงเทรา
12. โรงงานขนมจีนแมว	22/5 นิคมอุตสาหกรรมขนมจีนจะเชิงเตา จ.ฉะเชิงเทรา
13. โรงงานขนมจีนยินดี	22/6 นิคมอุตสาหกรรมขนมจีนจะเชิงเตา จ.ฉะเชิงเทรา
14. โรงงานขนมจีนตัน	22/8 นิคมอุตสาหกรรมขนมจีนจะเชิงเตา จ.ฉะเชิงเทรา
15. โรงงานขนมจีนเก่ง	22/9 นิคมอุตสาหกรรมขนมจีนจะเชิงเตา จ.ฉะเชิงเทรา

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ	นางอรวัลภ์ อุปถัมภานนท์
เกิดวันที่	8 พฤษภาคม พ.ศ. 2513
สถานที่เกิด	กรุงเทพฯ
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (เทคโนโลยีชีวภาพ) มหาวิทยาลัยรังสิต วท.ม. (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งปัจจุบัน	อาจารย์ ระดับ 7
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-