



วิทยานิพนธ์

การปรับปรุงเส้นขนมจีนเพื่อพัฒนาเป็นขนมจีนหมัก
พร้อมบริโภคแช่เยือกแข็ง

IMPROVEMENT OF FERMENTED KANOMJEEN NOODLE
FOR DEVELOPED FROZEN READY-TO-EAT
FERMENTED KANOMJEEN PRODUCT

นายมนต์ราม อินทศิริ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2550



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร)

ปริญญญา

วิทยาศาสตร์การอาหาร

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการ

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง

การปรับปรุงเส้นขนมจีนเพื่อพัฒนาเป็นขนมจีนหมักพร้อมบริโภคแช่เยือกแข็ง

Improvement of Fermented Kanomjeen Noodle for Developed Frozen

Ready-To-Eat Fermented Kanomjeen Product

นามผู้วิจัย นายมนต์รามา อินทศิริ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์อรอนงค์ นัยวิกุล, Ph.D.)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์สงวนศรี เจริญเหรียญ, Ph.D.)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อนุวัตร แจ่มชัด, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธนบูลย์ สัจจานันตกุล, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

()

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การปรับปรุงเส้นขนมจีนเพื่อพัฒนาเป็นขนมจีนหมัก
พร้อมบริโภคแช่เยือกแข็ง

Improvement of Fermented Kanomjeen Noodle for Developed Frozen Ready-To-Eat
Fermented Kanomjeen Product

โดย

นายมนต์ราม อินทศิริ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรการอาหาร)

พ.ศ. 2550

มนต์ราม อินทศิริ 2550: การปรับปรุงเส้นขนมเงินเพื่อพัฒนาเป็นขนมเงินหมักพร้อมบริโภคน้ำแข็ง
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร) สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร
ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร ภาควิชาการที่ปรึกษา:
ศาสตราจารย์อรอนงค์ นววิกุล, Ph. D. 281 หน้า

การเกิดรีโทรเกรดในอาหารที่มีสตาร์ชเป็นองค์ประกอบหลักทำให้อาหารมีความกระด้าง เปราะ และแตกหักหลังคืนรูปจากเยือกแข็ง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคัดแปรแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 หมัก ด้วยวิธีอบผานเนื้อ และตรวจสอบสมบัติของแป้งหมักผสมกับ เพื่อนำมาใช้กับผลิตภัณฑ์ขนมเงินแกงเขียวหวานไก่พร้อมบริโภคน้ำแข็ง ผลการคัดแปรแป้งข้าวเจ้าหมักวิธีอบผานเนื้อด้วยอัตราส่วนระหว่างแป้งหมักแห้งต่อน้ำ 1:2 อุณหภูมิ 55 °ซ 24 และ 48 ชม ปรากฏว่า การอบผานเนื้อ 48 ชม ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติของสตาร์ชแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักปกติ ดังนี้ ความเป็นผลึกเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 22.36 เป็น 25.39 อุณหภูมิการเกิดเจลที่ไนซ์ และค่าพลังงานสลายพันธะเพิ่มขึ้นจาก 74.58 °ซ และ 10.30 จูล/ก เป็น 76.53 °ซ และ 12.68 จูล/ก ตามลำดับ สมบัติความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งของเจลแป้ง รอบที่ 5 ค่าพลังงานการเกิดรีโทรเกรดลดลงจาก 4.18 เป็น 2.94 จูล/ก เจลแป้งสูญเสีย น้ำลดลงจากร้อยละ 66.40 เป็น 51.43 เมื่อผลิตขนมเงิน และทดสอบคืนรูปจากเยือกแข็ง ขนมเงินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อร้อยละ 10-50 ได้ผลว่าขนมเงินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม ร้อยละ 40 แช่เยือกแข็งแบบโครโอเจนิคได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบมากกว่าขนมเงินแป้งหมักปกติ ส่วนการผสมกันในแป้งหมัก แป้งหมักผสมกับซีเอ็มซีมีสมบัติเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักปกติดังนี้ สมบัติด้านความหนืด เมื่อปริมาณกัมเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 แป้งหมักผสมกับซีเอ็มซีมีความหนืดสูงสุด และเซตแบคเพิ่มขึ้นจากแป้งหมักปกติ ค่าพลังงานการเกิดเจลที่ไนซ์ 8.60 จูล/ก น้อยกว่าแป้งหมักปกติ (10.83 จูล/ก) ความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งของเจลแป้ง รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5 เจลแป้งหมักผสมกับซีเอ็มซีมีค่าพลังงานการเกิดรีโทรเกรด (0.030 จูล/ก) น้อยกว่าเจลแป้งหมักปกติ (0.892 จูล/ก) โดยเจลแป้งหมักผสมกับซีเอ็มซีร้อยละ 0.5 สูญเสียน้ำลดลงจากเจลแป้งหมักปกติ (56.76) เป็นร้อยละ 29.02 เมื่อผลิตขนมเงินแป้งหมักผสมกับ ขนมเงินแป้งหมักผสมกับซีเอ็มซีร้อยละ 0.3 เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบ รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5 ขนมเงินแป้งหมักผสมกับซีเอ็มซีแช่เยือกแข็งแบบโครโอเจนิคได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบมากกว่าขนมเงินแป้งหมักปกติ เมื่อเก็บรักษาขนมเงินแกงเขียวหวานไก่พร้อมบริโภคน้ำแข็งผ่านการแช่เยือกแข็งวิธีโครโอเจนิคที่อุณหภูมิ 4 °ซ และ -18 °ซ ตรวจสอบทางประสาทสัมผัสขนมเงินแยกกับแกงเขียวหวานไก่ ขนมเงินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อมีอายุการเก็บไม่เกิน 8 วัน และมากกว่า 56 วันตามลำดับ ขนมเงินแป้งหมักผสมกับซีเอ็มซีมีอายุการเก็บไม่เกิน 10 วัน และมากกว่า 56 วัน ตามลำดับ ขณะที่ขนมเงินแป้งหมักปกติมีอายุการเก็บไม่เกิน 4 วัน และไม่เกิน 49 วัน ตามลำดับ ส่วนแกงเขียวหวานไก่มีอายุการเก็บไม่เกิน 12 วัน และมากกว่า 56 วัน ตามลำดับ โดยขนมเงินแกงเขียวหวานไก่พร้อมบริโภคน้ำแข็งยังคงมีจุลินทรีย์ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

Monrarm Intarasiri 2007: Improvement of Fermented Kanomjeen Noodle for Developed Frozen Ready-To-Eat Fermented Kanomjeen Product. Master of Science (Food Science), Major Field: Food Science, Department of Food Science and Technology. Thesis Advisor: Professor Onanong Naivikul, Ph.D. 281 pages.

The retrogradation in food which contained mainly starch causes the increase in hardness and brittleness and the decrease in adhesiveness after a freeze-thaw treatment. This research aimed to modify fermented rice flour by an annealing treatment and to select an additive hydrocolloid in order to reduce the retrogradation and increase shelf life of frozen ready-to-eat Kanomjeen with chicken green curry. The 1:2 flour to water (w/w) fermented Chai Nat 1 rice flour (FRF) was subjected to annealing treatment at 55 °C for 24 h (ANF24) and 48 h (ANF48). The crystallinity, gelatinization and retrogradation properties and freeze-thaw stability of annealed flour were investigated. When compared to FRF, the crystallinity of ANF48 was significantly ($p \leq 0.05$) increased from 22.36 to 25.39%. The gelatinization temperature and enthalpy of ANF48 was significantly ($p \leq 0.05$) increased from 74.58 °C and 10.30 J/g to 76.53 °C and 12.68 J/g, respectively. At the fifth freeze-thaw cycle, the retrogradation enthalpy of ANF48 gel was significantly ($p \leq 0.05$) decreased from 2.94 to 4.18 J/g. The syneresis percentage of ANF48 gel (51.43%) was lower than FRF gel (66.40%). Judged by panelists, Kanomjeen which was made from 40% ANF48 in FRF, was more favorable than the original Kanomjeen. The pasting property, gelatinization enthalpy, retrogradation enthalpy and freeze-thaw stability was investigated after the addition of CMC in the FRF. It was found that the peak viscosity and the setback was significantly ($p \leq 0.05$) increased when the hydrocolloid concentration was increased. At the fifth freeze-thaw cycle, the gelatinization enthalpy and gel retrogradation of the CMC-added FRF significantly ($p \leq 0.05$) decreased from 10.83 and 0.892 J/g to 8.60 and 0.030 J/g, respectively. The syneresis percentage of the CMC-added FRF gel (29.02%) was lower than FRF gel (56.76%). After a freeze-thaw process, the panelists preferred the Kanomjeen with 0.3% CMC over the original Kanomjeen. When the shelf life of Kanomjeen and chicken green curry was separately investigate, the shelf life of the original Kanomjeen was less than 5 days when stored at 4 °C and less than 49 days when stored at -18 °C, respectively. For 40% ANF48 in Kanomjeen, it could be stored less than 8 days at 4 °C and more than 56 days at -18 °C. For the Kanomjeen with 0.3% CMC, it could be stored less than 10 days at 4 °C and more than 56 days at -18 °C. All frozen sample stored at 4 and -18 °C did not significantly change texture ($p > 0.05$) during storage. The chicken green curry was still accepted by panelist when stored less than 12 at 4 °C and more than 56 days at -18 °C. The microbiological property of ready-to-eat frozen Kanomjeen, stored at 4 and -18 °C for 12 and 56 days, met the requirement of the standard regulation for safety.

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ศ. ดร. อรอนงค์ นัยวิกุล ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำข้อคิดเห็น แนวทางการแก้ปัญหา ตลอดจนการจัดหาทุนสำหรับการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วง

ขอกราบขอบพระคุณ รศ. ดร. สงวนศรี เจริญเหรียญ กรรมการที่ปรึกษาวิชาเอก ผศ. ดร. อนุวัตร แจ่มชัด กรรมการที่ปรึกษาวิชารอง ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ และให้ข้อคิดเห็นในการทำวิทยานิพนธ์ด้วยดีเสมอมา ตลอดจน ผศ. ดร. วิรัตน์ วาณิชศรีรัตน ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ซึ่งกรุณาตรวจสอบ และแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ทุนสนับสนุนบางส่วนสำหรับการทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณบริษัทบางกอกอินดัสเทรียลแก๊สจำกัด ที่สนับสนุนในโตรเจนเหลวสำหรับการแช่เยือกแข็ง ขอขอบคุณกลุ่มแม่บ้านบ้านประโดกที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการหมักแป้งข้าว ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ในภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร และศูนย์เครื่องมือกลางทุกท่านที่แนะนำ และช่วยเหลือในการใช้เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ ดร.น้ำฝน ศิระจิตต์ คุณอโนชา สุขสมบูรณ์ คุณพัลลภ ไพพงษ์ คุณกรกช หล่อโลหการ คุณกิตติญาณ์ เชี่ยวเชิงคำ คุณไพลาภา นิมสังข์ คุณโสภิดา สืบวงษา รวมทั้งพี่ เพื่อน และน้อง ๆ ร่วมสถาบันทุกท่านที่ได้เอื้อนามในที่นี้ ซึ่งให้ความช่วยเหลือตลอดการทำวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดี

สุดท้ายขอกราบขอบคุณคุณพ่อ คุณแม่ คุณลุงนิคม และคุณป้าลัดดา ศรีสุวรรณที่ให้ความช่วยเหลือ สนับสนุน ส่งเสริมและให้โอกาสด้านการศึกษาด้วยดีเสมอมา ตลอดจนพี่ชาย และน้องชายซึ่งเป็นกำลังใจที่สำคัญในการทำวิทยานิพนธ์

มนต์ราม อินทศิริ

เมษายน 2550

สารบัญ

หน้า

สารบัญ.....	(1)
สารบัญตาราง.....	(2)
สารบัญภาพ.....	(9)
คำนำ.....	1
วัตถุประสงค์.....	2
การตรวจเอกสาร.....	3
อุปกรณ์และวิธีการ.....	39
อุปกรณ์.....	39
วิธีการทดลอง.....	42
ผลและวิจารณ์.....	65
สรุปและข้อเสนอแนะ.....	207
สรุป.....	207
ข้อเสนอแนะ.....	216
เอกสารและสิ่งอ้างอิง.....	217
ภาคผนวก.....	226
ภาคผนวก ก.....	227
ภาคผนวก ข.....	229
ภาคผนวก ค.....	240
ภาคผนวก ง.....	244

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	สมบัติที่แตกต่างกันของเอมิไลส และเอมิไลเพกทิน.....	5
2	สภาวะการอบผานเนื้อสัตว์แต่ละชนิด.....	24
3	สมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของสสารผสมกัม.....	34
4	ข้อกำหนดทางจุลชีววิทยาของอาหารปรุงสุกแล้วแช่เย็น หรือแช่เยือกแข็ง.....	37
5	สัดส่วนระหว่างแป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผานเนื้อ.....	50
6	เปรียบเทียบขนาดของเม็ดสสารในแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชยันนาท 1 ลักษณะต่างกัน 4 ตัวอย่าง.....	66
7	เปรียบเทียบสีแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชยันนาท 1 ลักษณะต่างกัน 4 ตัวอย่าง.....	70
8	เปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชยันนาท 1 ลักษณะต่างกัน 4 ตัวอย่าง.....	72
9	เปรียบเทียบสมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชยันนาท 1 ลักษณะต่างกัน 4 ตัวอย่าง.....	74
10	เปรียบเทียบกำลังการพองตัวของแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชยันนาท 1 ลักษณะต่างกัน 4 ตัวอย่าง.....	78
11	เปรียบเทียบการละลายของแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชยันนาท 1 ลักษณะต่างกัน 4 ตัวอย่าง.....	81
12	เปรียบเทียบสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชยันนาท 1 ลักษณะต่างกัน 3 ตัวอย่าง.....	85
13	เปรียบเทียบสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของเจลแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชยันนาท 1 ลักษณะต่างกัน 3 ตัวอย่าง.....	88
14	เปรียบเทียบการสูญเสียไอน้ำก่อน และหลังการคืนรูปจากเยือกแข็งแบบอากาศเย็นจัดของเจลแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชยันนาท 1 ลักษณะต่างกัน 3 ตัวอย่าง.....	91
15	เปรียบเทียบค่าความแน่นเนื้อ (กรัม) และค่าความยืดหยุ่นก่อน และหลังการคืนรูปจากเยือกแข็งแบบอากาศเย็นจัดของเจลแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชยันนาท 1 ลักษณะต่างกัน 3 ตัวอย่าง.....	94

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
16	เปรียบเทียบสมบัติด้านความหนืดของแป้งหมักปกติ และแป้งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 10, 20 , 30, 40 และ 50.....	102
17	เปรียบเทียบปริมาณจับของขนมจีนลักษณะแตกต่างกัน 6 สูตร.....	105
18	เปรียบเทียบค่าความแน่นเนื้อขนมจีนลักษณะแตกต่างกัน 6 สูตร แซ่เอี๊ยกแห้งแบบโคร โอเจนิค และแบบสั้มผัสด่วนโลหะเย็นจัด.....	107
19	เปรียบเทียบค่าความยืดหยุ่นขนมจีนลักษณะแตกต่างกัน 6 สูตร แซ่เอี๊ยกแห้งแบบโคร โอเจนิค และแบบสั้มผัสด่วนโลหะเย็นจัด.....	112
20	เปรียบเทียบคะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัสขนมจีนลักษณะแตกต่างกัน 6 สูตร ก่อนการแซ่เอี๊ยกแห้ง.....	116
21	เปรียบเทียบคะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัสขนมจีนลักษณะแตกต่างกัน 6 สูตร แซ่เอี๊ยกแห้งแบบโคร โอเจนิค และแบบสั้มผัสด่วนโลหะเย็นจัด รอบการคืนรูปจากเอี๊ยกแห้งที่ 1, 3 และ 5.....	119
22	เปรียบเทียบจำนวนผู้ทดสอบที่ให้คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสขนมจีนลักษณะต่างกัน 6 สูตรแซ่เอี๊ยกแห้งแบบโคร โอเจนิค และแบบสั้มผัสด่วนโลหะเย็นจัด รอบการคืนรูปจากเอี๊ยกแห้งที่ 1 และ 5.....	126
23	เปรียบเทียบสมบัติด้านความหนืดของแป้งหมักปกติ และแป้งหมักผสมกัมร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5.....	133
24	เปรียบเทียบการสูญเสียน้ำก่อน และหลังจากคืนรูปจากเอี๊ยกแห้งของเจลแป้งหมักปกติ และแป้งหมักปกติผสมกัมร้อยละ 0.5.....	142
25	เปรียบเทียบสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของแป้งหมักปกติ แป้งหมักผสมกัมร้อยละ 0.5 เจลแป้งหมักปกติ และเจลแป้งหมักผสมกัมร้อยละ 0.5 หลังคืนรูปจากเอี๊ยกแห้งรอบที่ 5.....	144
26	เปรียบเทียบค่าความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นเจลแป้งหมักปกติ และเจลแป้งหมักผสมกัมร้อยละ 0.5 แซ่เอี๊ยกแห้งแบบอากาศเย็นจัด และคืนรูปจากเอี๊ยกแห้งรอบที่ 1, 3 และ 5.....	147

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
27	เปรียบเทียบค่าความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นขนมจีนลักษณะแตกต่างกัน 15 สูตร ร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5.....	153
28	เปรียบเทียบจำนวนผู้ทดสอบที่ให้คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัส ขนมจีนลักษณะต่างกัน 6 สูตร.....	155
29	เปรียบเทียบค่าความแน่นเนื้อขนมจีนลักษณะต่างกัน 4 สูตร แซ่เอี๊ยกแข็งแบบ ไคร้โอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด.....	158
30	เปรียบเทียบค่าความยืดหยุ่นขนมจีนลักษณะต่างกัน 4 สูตร แซ่เอี๊ยกแข็งแบบ ไคร้โอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด.....	162
31	เปรียบเทียบคะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัสขนมจีนลักษณะแตกต่างกัน 4 สูตร ก่อนการแซ่เอี๊ยกแข็ง.....	166
32	เปรียบเทียบคะแนนความเข้มประสาทสัมผัสขนมจีนลักษณะแตกต่างกัน 4 สูตร แซ่เอี๊ยกแข็งแบบไคร้โอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด รอบการคืนรูป จากเอี๊ยกแข็งที่ 1, 3 และ 5	168
33	เปรียบเทียบจำนวนผู้ทดสอบที่ให้คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัส ขนมจีนลักษณะแตกต่างกัน 4 สูตร แซ่เอี๊ยกแข็งแบบไคร้โอเจนิค และแบบ สัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด รอบการคืนรูปจากเอี๊ยกแข็งที่ 1 และ 5.....	174
34	เปรียบเทียบค่าความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นขนมจีนแตกต่างกัน 3 สูตร แซ่เอี๊ยกแข็งแบบไคร้โอเจนิค ระหว่างการเก็บรักษาอุณหภูมิ 4 °ซ วัน เริ่มต้น, วันที่ 2, 4, 6, 8, 10 และ 12.....	182
35	เปรียบเทียบคะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัสขนมจีนแตกต่างกัน 3 สูตร แซ่เอี๊ยกแข็งแบบไคร้โอเจนิค ระหว่างการเก็บรักษาอุณหภูมิ 4 °ซ วันเริ่มต้น, วันที่ 2, 4, 6, 8, 10 และ 12.....	184
36	เปรียบเทียบการยอมรับทางประสาทสัมผัสขนมจีนลักษณะแตกต่างกัน 3 สูตร ระหว่างการเก็บรักษาอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส วันเริ่มต้น, วันที่ 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 ¹	189

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
37	เปรียบเทียบการยอมรับทางประสาทสัมผัสแรงแจ้วหวานไ้ระหว่างการเก็บรักษา 4 องศาเซลเซียสวันเริ่มต้น, วันที่ 2, 4, 6, 8, 10 และ 12	190
38	เปรียบเทียบค่าความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นขนมจีนลักษณะแตกต่างกัน 3 สูตร แซ่เอี๊ยกแข็งแบบโคร โอเจนิค ระหว่างการเก็บรักษาอุณหภูมิ-18 °ซ วันเริ่มต้น, วันที่ 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49 และ 56.....	194
39	เปรียบเทียบคะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัสขนมจีนลักษณะแตกต่างกัน 3 สูตร แซ่เอี๊ยกแข็งแบบโคร โอเจนิค ระหว่างการเก็บรักษาอุณหภูมิ -18 °ซ วันเริ่มต้น, วันที่ 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49 และ 56.....	196
40	เปรียบเทียบการยอมรับทางประสาทสัมผัสขนมจีนลักษณะแตกต่างกัน 3 สูตร ระหว่าง การเก็บรักษาอุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส วันเริ่มต้น วันที่ 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49 และ 56.....	201
41	เปรียบเทียบการยอมรับทางประสาทสัมผัสแรงแจ้วหวานไ้ระหว่างเก็บรักษา-18 องศาเซลเซียส.....	202
42	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ขนมจีนแซ่เอี๊ยกแข็งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °ซ เป็นเวลา 14 วัน และ -18 °ซ เป็นเวลา 63 วัน	204
43	ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ขนมจีนพร้อมบริโภคแซ่เอี๊ยกแข็งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °ซ เป็นเวลา 14 วัน และ -18 °ซ เป็นเวลา 63 วัน.....	206

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ข1	ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานเอมิโลส..... 233
ง1	การวิเคราะห์ความแปรปรวนขนาดของเม็ดสตาร์ชในแป้ง..... 245
ง2	การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าสีแป้งปกติ แป้งหมัก แป้งหมักอบผสานเนื้อ 24 และ 48 ชม..... 245
ง3	การวิเคราะห์ความแปรปรวนสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของสตาร์ช..... 245
ง4	การวิเคราะห์ความแปรปรวนสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของเจลแป้งหมักคั้นรูปจากแซ่เยือกแข็งรอบที่ 1, 3 และ 5..... 246
ง5	การวิเคราะห์ความแปรปรวนสมบัติด้านความหนืดของแป้งปกติ แป้งหมัก และ แป้งอบผสานเนื้อ..... 248
ง6	การวิเคราะห์ความแปรปรวนกำลังการพองตัวแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และ แป้งหมักอบผสานเนื้อ..... 248
ง7	การวิเคราะห์ความแปรปรวนร้อยละการละลายแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และ แป้งหมักอบผสานเนื้อ..... 249
ง8	การวิเคราะห์ความแปรปรวนองค์ประกอบทางเคมีของแป้งปกติ แป้งหมัก และแป้งอบผสานเนื้อ..... 249
ง9	การวิเคราะห์ความแปรปรวนร้อยละการสูญเสียน้ำหลังการคั้นรูปจากเยือกแข็งของเจลแป้ง..... 250
ง10	การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความแน่นเนื้อของเจลจากแป้งผ่านการคั้นรูปจากเยือกแข็งแบบอากาศเย็นจัด..... 251
ง11	การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความยืดหยุ่นของเจลแป้งผ่านการคั้นรูปจากเยือกแข็งแบบอากาศเย็นจัด..... 251
ง12	การวิเคราะห์ความแปรปรวนสมบัติด้านความหนืดของแป้งหมักทดแทนด้วย แป้งหมักอบผสานเนื้อ..... 252
ง13	การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความแน่นเนื้อขนมจีนแซ่เยือกแข็งแบบ ไครโอเจนิค..... 252

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ง14	การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความยืดหยุ่นขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบ ไครโอเจนิค.....	253
ง15	การวิเคราะห์ความแปรปรวนคะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัส ขนมจีนแช่ เยือกแข็งแบบ ไครโอเจนิค.....	253
ง16	การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าแน่นเนื้อขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่น โลหะเย็นจัด.....	256
ง17	การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่ายืดหยุ่นขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่น โลหะเย็นจัด.....	256
ง18	การวิเคราะห์ความแปรปรวนคะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัสขนมจีนแช่ เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด.....	257
ง19	การวิเคราะห์ความแปรปรวนสมบัติด้านความหนืดของแป้งหมักผสมกัม 7 ชนิดร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5.....	260
ง20	การวิเคราะห์ความแปรปรวนการสูญเสีย น้ำหลังจากคืนรูปจากเยือกแข็งของเจล แป้งหมักปกติผสมกัม.....	264
ง21	การวิเคราะห์ความแปรปรวนสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของแป้งหมัก ผสมกัม และเจลแป้งหมักผสมกัมก่อนแช่ เยือกแข็ง และหลังคืนรูปจากเยือก แข็งรอบที่ 5.....	264
ง22	การวิเคราะห์ความแปรปรวนความแน่นเนื้อเจลแป้งหมักหลังจากคืนรูปจาก เยือกแข็ง.....	265
ง23	การวิเคราะห์ความแปรปรวนความยืดหยุ่นเจลแป้งหมักหลังจากคืนรูปจาก เยือกแข็ง.....	266
ง24	การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นขนมจีน ผสมกัมแซนแทน, ซีเอ็มซี และกัวร์ ร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5.....	267

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ง25	การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความแน่นเนื้อขนมจีนผสมกัมแซ่เยือกแข็งแบบโคร โอเจนิค.....	267
ง26	การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความยืดหยุ่นขนมจีนผสมกัมแซ่เยือกแข็งแบบโคร โอเจนิค.....	268
ง27	การวิเคราะห์ความแปรปรวนคะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัสขนมจีนผสมกัมแซ่เยือกแข็งแบบโคร โอเจนิค.....	269
ง28	การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความแน่นเนื้อขนมจีนผสมกัมแซ่เยือกแข็งวิธีสัมผัสแผ่น โลหะเย็นจัด.....	271
ง29	การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความยืดหยุ่นขนมจีนผสมกัมแซ่เยือกแข็งแบบโคร โอเจนิค.....	272
ง30	การวิเคราะห์ความแปรปรวนความเข้มทางประสาทสัมผัสขนมจีนผสมกัมแซ่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่น โลหะเย็นจัด.....	272
ง31	การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นขนมจีนแป้งหมักแซ่เยือกแข็ง ระหว่างเก็บรักษา อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส วันเริ่มต้น, วันที่ 2, 4, 6, 8, 10 และ 12.....	275
ง32	การวิเคราะห์ความแปรปรวนคะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัสขนมจีนแป้งหมักแซ่เยือกแข็ง ระหว่างเก็บรักษาอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส วันเริ่มต้น, วันที่ 2, 4, 6, 8, 10 และ 12.....	276
ง33	การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นขนมจีนแป้งหมักแซ่เยือกแข็ง ระหว่างเก็บรักษาอุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส วันเริ่มต้น, วันที่ 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49 และ 56.....	278
ง34	การวิเคราะห์ความแปรปรวนคะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัสขนมจีนแป้งหมักแซ่เยือกแข็ง ระหว่างเก็บรักษาอุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส วันเริ่มต้น, วันที่ 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49 และ 56.....	278

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	โมเลกุลของแอมิโลส และแอมิโลเพกทิน.....	4
2	กระบวนการผลิตขนมจีน	8
3	เครื่องแช่เยือกแข็งแบบอากาศเย็นจัดชนิดต่าง ๆ.....	14
4	เครื่องแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด.....	15
5	เครื่องแช่เยือกแข็งแบบจุ่มในของเหลวเย็นจัด.....	16
6	แบบจำลองการแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิก.....	17
7	กลไกการคั้่นรูปของเจลแป้ง.....	19
8	การจับกันของโมเลกุลสตาร์ชภายหลังการเกิดรีโทรเกรด.....	20
9	เจลแป้งผ่านการคั้่นรูปจากเยือกแข็ง รอบที่ 5.....	22
10	สภาวะการตัดแปรสตาร์ชทางเคมีเชิงฟิสิกส์ด้วยความร้อน.....	23
11	สมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ และความเป็นผลึกของสตาร์ชข้าว.....	27
12	เม็ดสตาร์ชข้าวฟ่างเกอร์ มิลเลตสองด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กำลังขยาย 3,000 เท่า.....	27
13	ผลของการอบผานเนื้อต่อการจัดเรียงตัวของแอมิโลเพกทินในเม็ดสตาร์ช.....	29
14	การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งสาลี และแป้งข้าวโพดผสมกัน.....	33
15	ค่าร้อยละการสูญเสีย น้ำของเจลจากสตาร์ชที่ผสมกับร้อยละ 0.3 และ 0.6.....	34
16	กระบวนการผลิตแป้งหมักปกติ และแป้งหมักฟรีเจลาทีนซ์.....	43
17	กระบวนการผลิตแป้งหมักอบผานเนื้อ.....	44
18	ลักษณะหลอดที่ใช้ในการหาค่าการสูญเสีย น้ำของเจลแป้งก่อน และหลังหเวียงแยกน้ำ	48
19	กระบวนการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตขนมจีนทดแทนแป้งหมัก ด้วยแป้งอบผานเนื้อ และขนมจีนผสมกับแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิก และ แบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด.....	57
20	กระบวนการทดลองรวมทั้งหมด.....	63
21	ขนาดเม็ดสตาร์ชแป้งปกติ (NRF) แป้งหมักปกติ (FRF) และแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 (ANF24) และ 48 ชม (ANF48) ผ่านกล้องจุลทรรศน์แบบแสงส่องผ่านกำลังขยาย 1,000 เท่า.....	66

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
22	ขนาด และรูปร่างเมื่อดูดซับแก๊ส (NRF) แก๊สหนักปกติ (FRF) และแก๊สหนัก อบผสมเนื้อ 24 (ANF24) และ 48 ซม. (ANF48) ผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แบบส่องกราดกำลังขยาย 1,500, 5,000 และ 10,000 เท่า.....	68
23	สมบัติด้านความเหนียวของแก๊สปกติ (NRF), แก๊สหนักปกติ (FRF) และแก๊สหนักอบ ผสมเนื้อ 24 (ANF24) และ 48 ซม. (ANF48) ด้วยเครื่องวิเคราะห์ความเหนียว อย่างรวดเร็ว.....	75
24	ระดับความเป็นผลึกของแก๊สปกติ แก๊สหนัก และแก๊สหนักอบผสมเนื้อ 24 และ 48 ซม.....	83
25	การเปลี่ยนแปลงค่าเอนโดเทอร์มของแก๊สหนักปกติ (FRF) และแก๊สหนักอบผสม เนื้อ 24 (ANF24) และ 48 (ANF48) ซม.....	85
26	โครงสร้างของเจลแก๊สหนักปกติ (FRF) และเจลแก๊สหนักอบผสมเนื้อ 24 (ANF24) และ 48 ซม (ANF48) ก่อนการแช่เยือกแข็ง และรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งแบบ อากาศเย็นจัดที่ 5 กำลังขยาย 50 เท่า.....	99
27	โครงสร้างขมจีนแก๊สหนักปกติ (สูตรที่ 1) และขมจีนทดแทนแก๊สหนักปกติ ด้วยแก๊สหนักอบผสมเนื้อร้อยละ 20 (สูตรที่ 3) และ 40 (สูตรที่ 5) กำลังขยาย 50 เท่า ก่อนการแช่เยือกแข็ง และรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5.....	130
28	โครงสร้างเจลแก๊สหนักปกติ (FRF) ความเข้มข้นร้อยละ 8 เจลแก๊สหนักผสมกัม แซนแทน (XANF) กัมซีเอ็มซี (CMCF) และกัมกัวร์ (GUAF) ร้อยละ 0.5 ก่อน การแช่เยือกแข็ง กำลังขยาย 500 เท่า หลังคืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 5 กำลังขยาย 100 และ 500 เท่า.....	150
29	โครงสร้างขมจีนแก๊สหนักปกติ (สูตรที่ 1) และขมจีนแก๊สหนักผสมกัมร้อยละ 0.3 คือ กัมแซนแทน (สูตรที่ 8) และกัมซีเอ็มซี (สูตรที่ 11) และกัมกัวร์ (สูตรที่ 14) กำลังขยาย 50 เท่า ก่อนการแช่เยือกแข็ง และการคืนรูปจากเยือกแข็งแบบ อากาศเย็นจัดรอบที่ 5.....	178

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ก1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิขนมเงินระหว่างการแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค.....	228
ก2 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิขนมเงินระหว่างการแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่น โลหะเย็นจัด.....	228
ข1 กราฟมาตรฐานแอมิโลส.....	233
ข2 ลักษณะเส้นความหนืดที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็ว.....	236
ข3 ลักษณะเส้นเนื้อสัมผัสของเจล วัดด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส.....	234
ข4 ลักษณะเส้นเนื้อสัมผัสของเส้นขนมเงินวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส.....	239

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

NRF	=	แป้งปกติ
FRF	=	แป้งหมักปกติ
ANF24	=	แป้งหมักอบผาสนเนื้อ 24 ชม.
ANF48	=	แป้งหมักอบผาสนเนื้อ 48 ชม.
ANF10	=	แป้งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผาสนเนื้อ 48 ชม. ร้อยละ 10
ANF20	=	แป้งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผาสนเนื้อ 48 ชม. ร้อยละ 20
ANF30	=	แป้งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผาสนเนื้อ 48 ชม. ร้อยละ 30
ANF40	=	แป้งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผาสนเนื้อ 48 ชม. ร้อยละ 40
ANF50	=	แป้งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผาสนเนื้อ 48 ชม. ร้อยละ 50
XANF	=	แป้งหมักผสมกัมแซนแทน
CMCF	=	แป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซี
GUAF	=	แป้งหมักผสมกัมกัวร์
สูตรที่ 1	=	ขนมจีนแป้งหมักปกติ
สูตรที่ 2	=	ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผาสนเนื้อ ร้อยละ 10
สูตรที่ 3	=	ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผาสนเนื้อ ร้อยละ 20
สูตรที่ 4	=	ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผาสนเนื้อ ร้อยละ 30
สูตรที่ 5	=	ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผาสนเนื้อ ร้อยละ 40
สูตรที่ 6	=	ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผาสนเนื้อ ร้อยละ 50
สูตรที่ 7	=	ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมแซนแทน ร้อยละ 0.1
สูตรที่ 8	=	ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมแซนแทน ร้อยละ 0.3
สูตรที่ 9	=	ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมแซนแทน ร้อยละ 0.5
สูตรที่ 10	=	ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซี ร้อยละ 0.1
สูตรที่ 11	=	ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซี ร้อยละ 0.3
สูตรที่ 12	=	ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซี ร้อยละ 0.5
สูตรที่ 13	=	ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมกัวร์ ร้อยละ 0.1
สูตรที่ 14	=	ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมกัวร์ ร้อยละ 0.3
สูตรที่ 15	=	ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมกัวร์ ร้อยละ 0.5

การปรับปรุงเส้นขนมจีนเพื่อพัฒนาเป็นขนมจีนหมักพร้อมบริโภคแช่เยือกแข็ง

Improvement of Fermented Kanomjeen Noodle for Developed Frozen Ready-To-Eat Fermented Kanomjeen Product

คำนำ

สังคมในสภาวะปัจจุบันมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เช่น พฤติกรรมการบริโภคที่ต้องการความสะดวกมากขึ้น ในสภาวะเร่งรีบ อาหารพร้อมบริโภคแช่เยือกแข็งจึงได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้น ผลิตภัณฑ์ขนมจีนแช่เยือกแข็งเป็นทางเลือกหนึ่งของผู้บริโภค เป็นอาหารเส้นจากแป้งข้าวหมักที่ได้รับความนิยมมาช้านาน ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน (อรอนงค์, 2547) การเก็บรักษาขนมจีนให้มีอายุการเก็บนานขึ้น มีสมบัติด้านสี และกลิ่นรสเหมือนเดิมหลังจากผลิตเสร็จใหม่ จำเป็นต้องใช้กระบวนการแปรรูปด้วยวิธีการแช่เยือกแข็ง ซึ่งกระบวนการดังกล่าวมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสผลิตภัณฑ์อาหารเส้นจากแป้ง คือ การเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า ริโทรเกรเดชันภายในผลิตภัณฑ์ เกิดจากโมเลกุลเอมิโลส และเอมิโลเพกทินของสตาร์ชในแป้งที่ผ่านการเกิดเจลลาไทไนซ์ เคลื่อนที่มาจับตัวกันด้วยพันธะไฮโดรเจน โมเลกุลสตาร์ชเกิดการตกตะกอน ทำให้มีน้ำอิสระเพิ่มขึ้น ปรากฏการณ์ดังกล่าวทำให้เส้นมีความแข็งเปราะ ขาดความยืดหยุ่น และนิ่มขาดได้ง่าย ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค การยับยั้งริโทรเกรเดชันสามารถทำได้โดยการขัดขวางการเคลื่อนที่มาจับกันของสายเอมิโลส และเอมิโลเพกทิน การใช้แป้งดัดแปรสตาร์ชทางเคมีเชิงฟิสิกส์วิธีอบผานเนื้อ (Annealing) ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติของเม็ดสตาร์ช สตาร์ชมีความเป็นผลึกเพิ่มขึ้น มีความคงทนต่อการเกิดเจลลาไทไนซ์ การพองตัว และการละลายลดลง (Waduge *et al.* 2006) มีสมบัติด้านความหนืดเปลี่ยนแปลง ความหนืดสูงสุด ความหนืดลดลง ความหนืดสุดท้าย และเซตแบคลดลง (Chiewcherngka and Naivikul, 2005) อาจส่งผลให้สตาร์ชมีความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งเพิ่มขึ้น หรือการผสมกัน ซึ่งมีโครงสร้างโมเลกุลขนาดใหญ่ และสามารถจับกับน้ำได้ดี เป็นอีกทางเลือกหนึ่ง ในการยับยั้งการเกิดริโทรเกรเดชัน (Lee *et al.*, 2002) สามารถคงสภาพที่ดีของเนื้อสัมผัสขนมจีนให้คงเดิมหลังคืนรูปจากเยือกแข็งได้ ส่งผลให้สามารถผลิตขนมจีนพร้อมบริโภคแช่เยือกแข็งที่มีคุณภาพ มีอายุการเก็บรักษายาวนาน เพื่อจำหน่ายทั้งในและต่างประเทศได้ต่อไป

วัตถุประสงค์

1. ตรวจสอบสมบัติทางฟิสิกส์ ทางเคมี ทางเคมีเชิงฟิสิกส์ และความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งของแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบพาสานเนื้อ
2. หาสัดส่วนแป้งหมักปกติต่อแป้งหมักอบพาสานเนื้อที่เหมาะสมต่อการผลิตขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิก และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด
3. ตรวจสอบผลของการผสมกัมต่อสมบัติด้านความหนืด การเกิดเจลลาทีไนซ์ การเกิดรีโทรเกรด และเปรียบเทียบความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งของแป้งหมักปกติ และแป้งหมักผสมกัม
4. หาปริมาณ และชนิดกัมที่เหมาะสมต่อการผลิตขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิก และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด
5. ตรวจสอบอายุการเก็บรักษาของขนมจีนแกงเขียวหวานไก่พร้อมบริโภคแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิก

การตรวจเอกสาร

1. ขนมหุ้น

ขนมหุ้น (Kanomjeen) เป็นผลิตภัณฑ์อาหารเส้นเก่าแก่ของประชาชนชาวไทย บริโภคกันมาช้านานตั้งแต่สมัยอยุธยา และมีการผลิตเพื่อบริโภคในทุกภาคของประเทศ บริโภคแทนข้าวได้ในทุกมื้ออาหาร เป็นส่วนหนึ่งของวัฒนธรรม และประเพณีของประชาชนชาวไทย ในทุกงานเทศกาลตั้งแต่งานบุญ ขึ้นบ้านใหม่ แต่งงาน งานพิธีต่างๆ ทำกันในระดับครัวเรือน หมู่บ้าน ชนบท หรือเป็นอุตสาหกรรมครัวเรือน อุตสาหกรรมขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ (อรอนงค์, 2547) ปัจจุบันขนมหุ้นมี 3 รูปแบบ (อรอนงค์, 2547) คือ

1.1 ขนมหุ้นแป้งหมัก เป็นขนมหุ้นที่มีผู้นิยมบริโภคกันมาก ผลิตจากข้าวที่มีการหมักไว้ 2-3 วัน มีเนื้อเหนียวนุ่ม สีเหลืองเล็กน้อย และกลิ่นหมัก

1.2 ขนมหุ้นแป้งสด เป็นขนมหุ้นที่ไม่ค่อยมีผู้บริโภคกันมากนัก ผลิตจากแป้งสดไม่ผ่านการหมัก มีเนื้อค่อนข้างขาว กระจ่าง ไม่มีกลิ่นหมัก

1.3 ขนมหุ้นแห้งกึ่งสำเร็จรูป ผลิตโดยการทำความสะดวก ปลายข้าวหรือเมล็ดข้าว แช่และหมักข้าว บดพร้อมน้ำ กรองแยกแป้ง นึ่งให้สุก นำมานวดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดเส้นให้ได้ขนาดของเส้นประมาณ 1.3 มิลลิเมตร ตัด และจัดรูปเส้นอบแห้งด้วยเครื่องอบลมร้อน ได้เส้นขนมหุ้นที่สามารถขึ้นรูปด้วยการต้มภายใน 5-10 นาที

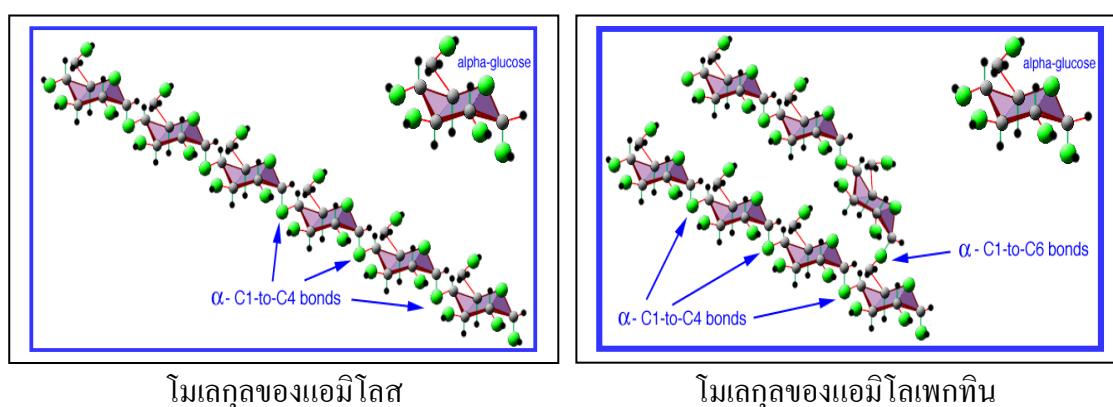
2 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต

2.1 ข้าว มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Oryza sativa* L. มีองค์ประกอบทางเคมี และลักษณะที่แตกต่างกันมาก เมื่อเปรียบเทียบกับธัญชาติชนิดอื่นๆ (อรอนงค์, 2547) ลักษณะทั่วไปของโครงสร้างเมล็ดข้าวประกอบด้วยเปลือกหุ้มผล เปลือกหุ้มเมล็ด เนื้อเมล็ด และคัพภะในส่วนของเนื้อเมล็ดมีปริมาณมากที่สุด เมื่อผ่านกระบวนการขัดสีเอาเปลือกออก ได้เมล็ดสีขาว เรียกว่าข้าวสาร ซึ่งประกอบด้วยสตาrchเป็นองค์ประกอบหลัก คือมีอยู่ประมาณร้อยละ 90 สะสมอยู่ใน

รูปเม็ดสตาร์ช (Starch granule) เม็ดสตาร์ชข้าวมีขนาดเล็กที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเม็ดสตาร์ชจากธัญชาติชนิดอื่น (อรอนงค์, 2547) คือมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 4-6 ไมโครเมตร มีรูปร่างหลายเหลี่ยม และมีการเกาะตัวกัน (Compound starch) (Juliano, 1972) องค์ประกอบทางเคมีภายในข้าวมีความสำคัญต่อคุณภาพของขนมจีน ดังนี้

2.1.1 ปริมาณแอมิโลส

ในเมล็ดข้าวสารมีสตาร์ชประมาณร้อยละ 90 โดยน้ำหนัก อยู่ในรูปเม็ดสตาร์ช ภายในเม็ดประกอบด้วยโมเลกุล 2 ชนิด คือ แอมิโลส เกิดจากโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสต่อกันด้วยพันธะ α -1, 4 กลูโคซิดิกเป็นสายยาว มีกิ่งน้อยมาก (ภาพที่ 1) และแอมิโลเพกทินเกิดจากโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสต่อกันด้วยพันธะ α -1, 4 กลูโคซิดิก เป็นสายยาว มีกิ่งที่เชื่อมต่อกับพันธะ α -1, 6 กลูโคซิดิก (ภาพที่ 1) ทั้งสองจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบในเม็ดสตาร์ช (อรอนงค์, 2547)



ภาพที่ 1 โมเลกุลของแอมิโลส และแอมิโลเพกทิน

ที่มา : Blamire (2004)

ข้าวที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ประเภทนี้คือ ข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสสูง เนื่องจากหลังจากที่แป้งสุกตามกระบวนการผลิต และทำให้เย็นลง แป้งสุกเกิดภาวะการคืนรูป และจับตัวเชื่อมต่อกันเป็นแผ่นมีลักษณะเหนียวหยุ่น ไม่แฉะติดกัน (งามชื่น, 2541) โดยสมบัติของแอมิโลส และแอมิโลเพกทินมีความแตกต่างกันแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สมบัติที่แตกต่างกันของแอมิโลส และแอมิโลเพกทิน

สมบัติ	แอมิโลส	แอมิโลเพกทิน
ลักษณะโครงสร้าง	สารประกอบของน้ำตาลกลูโคส เกาะกันเป็นเส้นตรง	สารประกอบของน้ำตาลกลูโคส เกาะกันเป็นเส้นกิ่ง
พันธะที่จับ	แอลฟา-(1,4)	แอลฟา-(1,4) และแอลฟา-(1,6)
ขนาด	200-2,000 หน่วยกลูโคส	มากกว่า 10,000 หน่วยกลูโคส
การละลาย	ละลายน้ำได้น้อย	ละลายน้ำได้ดี
การทำปฏิกิริยากับไอโอดีน	สีน้ำเงิน	สีม่วงแดง
การจับตัว	เมื่อให้ความร้อนแล้วทิ้งไว้ เกิด การจับตัวเป็นวุ้น และแผ่นแข็ง	ไม่จับตัวเป็นแผ่นแข็ง

ที่มา : Juliano (1971)

2.1.2 โปรตีน

โปรตีนเป็นองค์ประกอบที่มีอยู่ปริมาณมากเป็นอันดับที่สองรองจากคาร์โบไฮเดรต โปรตีนมีความแตกต่างกันตามพันธุ์ข้าว และสามารถแบ่งตามความสามารถในการละลายได้เป็นแอลบูมิน (albumin) ซึ่งละลายได้ในน้ำ โกลบูลิน (globulin) ละลายได้ในเกลือ โปรลามิน (prolamin) ละลายได้ในแอลกอฮอล์ และกลูเทลิน (glutelin) หรือออริซานิน (oryzenin) ละลายได้ในสารละลายที่มีความเป็นกรดเบสต่ำกว่า 3 และสูงกว่า 10 โปรตีนส่วนใหญ่ของข้าว คือ ออริซานิน มีอยู่ในปริมาณร้อยละ 80 ของโปรตีนทั้งหมด และโปรตีนในข้าวมีไลซีน (lysine) ซึ่งเป็นกรดแอมิโนจำเป็น (essential amino acid) ในปริมาณมากที่สุด ไลซีนมีอยู่มากในส่วน of แอลบูมิน (albumin) รองลงไปคือ ในส่วนของออริซานิน (Juliano, 1972) โปรตีนเกาะอยู่บริเวณผิวของเมล็ดข้าว ทำให้เกิดประจุอยู่บนพื้นผิวเมล็ดข้าว มีผลต่อการกระจายตัว ส่งผลให้อัตราการพองตัวและอัตราการเกิดเจลลาที่ในซึ่เปลี่ยนแปลงไป ทำให้เกิดสีน้ำตาลขึ้น (maillard reaction) ระหว่างการทำปฏิกิริยาของกรดแอมิโนกับน้ำตาลรีดิวซิง ซี และกลีเซอรอลของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไป (อรอนงค์, 2547)

2.1.3 ไชมัน

ไชมันที่อยู่ภายในเม็ดศตวรรษส่งผลต่อลักษณะของศตวรรษ โดยลดความสามารถในการพองตัว การละลาย และการจับตัวของน้ำกับศตวรรษ เมื่อแปรงเกิดเจลาตินไนซ์ ไชมันรวมตัวกับแอมิโลส หรือรวมตัวกับสารประกอบเชิงซ้อนเลื่อย ทำให้มีลักษณะทึบแสงหรือขุ่น ส่งผลต่อเนื้อสัมผัส และลักษณะปรากฏของขนมจีน นอกจากนี้กรดไชมันไม่อิ่มตัวซึ่งอยู่บริเวณพื้นผิวเม็ดศตวรรษยังทำให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ เนื่องมาจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน แต่สำหรับไชมันที่รวมตัวเชิงซ้อนกับแอมิโลสไม่ก่อให้เกิดกลิ่น เนื่องจากสามารถต้านทานการเกิดออกซิเดชันของไชมันได้ (อรอนงค์, 2547)

2.2 น้ำ มีความสำคัญมากในขั้นตอนการผลิต เป็นตัวช่วยให้แป้งเกิดเจลาตินไนซ์ และทำให้เกิดลักษณะที่ดีแก่ผลิตภัณฑ์ น้ำที่ไม่สะอาดส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีในผลิตภัณฑ์ โดยทำให้ขนมจีนมีสีคล้ำมากขึ้น ดังนั้นน้ำที่ใช้ควรเป็นน้ำสะอาดมีความกระด้างต่ำ ไม่มีสารแขวนลอย (ณรงค์, 2538)

2.3 เกลือ นิยมใช้เกลือเม็ดสีขาว สะอาด เพื่อใช้ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมักแป้ง ไม่ทำให้แป้งเกิดรส และกลิ่นเหม็นเปรี้ยวจนเกินไป (ณรงค์, 2538)

3. กระบวนการผลิตขนมจีน

กระบวนการผลิตขนมจีน แตกต่างไปตามแต่ละท้องถิ่น โดยมีหลักการที่คล้ายคลึงกัน ดังนี้ (อรอนงค์, 2547)

3.1 การทำความสะอาด เป็นการกำจัดเอาสิ่งสกปรกออกจากเมล็ดข้าว เช่น กรวด หิน ทราย การทำความสะอาดข้าว มีจุดประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการไม่

3.2 การหมักข้าว ในระดับพื้นบ้าน มีการแช่ข้าวในน้ำ ประมาณ 2-3 วัน เพื่อให้เกิดการหมักของจุลินทรีย์ ทำให้เส้นขนมจีนมีความเหนียวนุ่มมากยิ่งขึ้น มีกลิ่นหมักแป้ง

ในขั้นตอนการผลิตขนมจีนแบบหมักต้องควบคุมอุณหภูมิของข้าวระหว่างกระบวนการหมักให้อยู่ระหว่าง 34 – 40 องศาเซลเซียสโดยการล้างข้าวทุกวันเพื่อลดอุณหภูมิ และจุลินทรีย์ของการหมักจะไม่ให้เกิดการบูดเน่า และการล้างข้าวเป็นการควบคุมความเป็นกรด-เบสของข้าวระหว่างการหมักให้อยู่ระหว่าง 3.3-4.5

3.3 การโม่ และการกำจัดน้ำออกจากแป้ง ใช้โม่หินในการโม่ และใช้เครื่องกรองแบบใช้ความดันในการกำจัดน้ำ ในระดับพื้นบ้าน การกำจัดน้ำเรียกว่า ทับน้ำ โดยนำน้ำแป้งบรรจุในถุงผ้า เช่นถุงผ้าดิบ และใช้ของหนักทับค้างคืนไว้ อุณหภูมิของแป้งทับน้ำแล้วประมาณ 27-30 °ซ แป้งที่กำจัดน้ำออกแล้วมีลักษณะเป็นก้อน มีความชื้นประมาณร้อยละ 35-40 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับน้ำหนัก และเวลาที่ใช้ทับน้ำด้วย

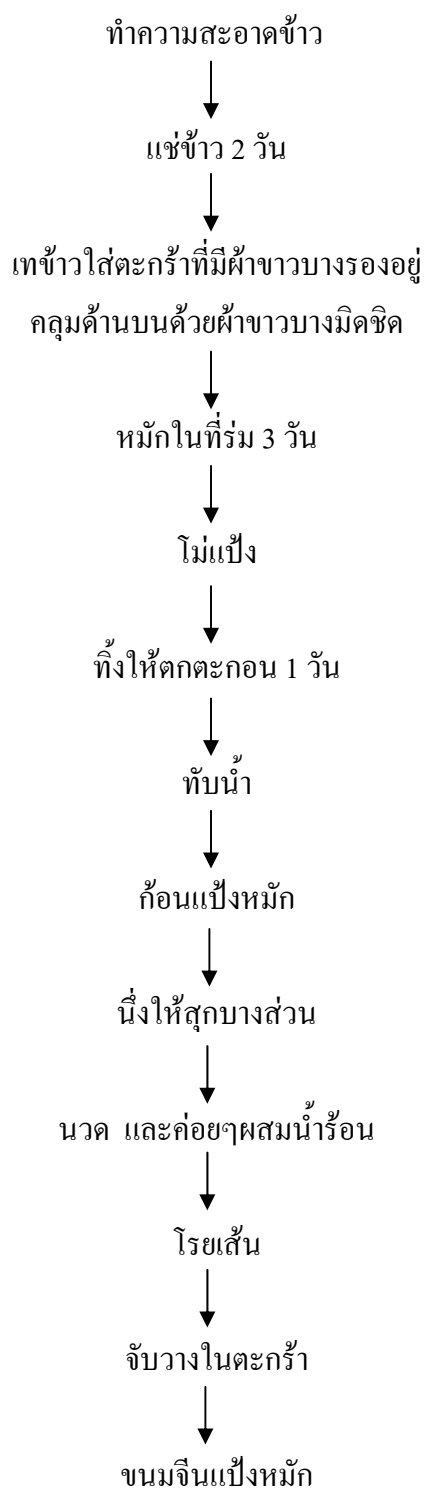
3.4 การตีผสม และการดัมแป้ง หรือการนึ่งแป้งเป็นการทำให้แป้งสุกบางส่วน มีกรรมวิธีโดยปั้นแป้งเป็นก้อนให้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 20-25 เซนติเมตร แต่ถ้าเป็นการทำในโรงงาน นิยมใช้วิธีนึ่งแป้งแทนการดัม ใช้เวลาประมาณ 1-2 ชม หรือให้แป้งสุกบางส่วนคือ ให้แป้งสุกเข้าไปประมาณ 27-37 % ของก้อนแป้งทั้งหมด ไม่ควรให้แป้งสุกมากเกินไป เพราะแป้งอาจเหนียวมากจนยากต่อการโรยเป็นเส้น

3.5 การนวดแป้ง เป็นการนำเอาก้อนแป้งที่ดัมหรือนึ่งให้สุกบางส่วนมานวดให้ส่วนที่สุกประสานกับส่วนดิบเป็นเนื้อเดียวกัน ในขณะนวดมีการผสมน้ำให้แป้งมีความชื้นประมาณร้อยละ 47-50 เพื่อช่วยในการนวด

3.6 การกรองแป้ง แป้งที่นวดเสร็จแล้ว นำมากรองเพื่อกำจัดแป้งสุกที่จับตัวเป็นก้อน ไม่สามารถนวดให้แตกได้ อาจทำให้เส้นขนมจีนมีเนื้อสัมผัสไม่สม่ำเสมอ

3.7 การโรยเส้น นำแป้งที่ผ่านการกรองแล้วใส่ถุงผ้าที่มีหน้าแวนเป็นรูเล็กๆ ค่อยๆบีบให้เส้นตกลงไปในน้ำเดือดอุณหภูมิประมาณ 95-98 °ซ รอจนกระทั่งเส้นขนมจีนลอยจึงตักออก

3.8 การทำให้เย็น และการจับเส้น เมื่อตักเส้นขนมจีนออกแล้ว นำไปแช่ในน้ำที่อุณหภูมิต่ำลง ซึ่งทำให้เส้นหยุดการดูดน้ำ และขณะเดียวกันทำการจับเส้นขนมจีนเป็นจับๆวางในตะแกรง แล้วทิ้งให้เย็น เส้นขนมจีนหดตัวแห้ง และเหนียวขึ้น



ภาพที่ 2 กระบวนการผลิตขนมจีน

ที่มา : ภาควัตถน์ (2547)

นอกจากวิธีดังกล่าวแล้ว ได้มีการนำเอาแป้งคัดแปรวิธีพรีเจลาทีไนซ์ โดยการให้ความร้อนในสถานะที่มีน้ำมากเกินไป จนสตาร์ชเกิดเจลาทีไนซ์ และทำให้แห้งด้วยเครื่องทำแห้ง อาจใช้เครื่องทำแห้งแบบสเปรย์ (spray drier) หรืออาจใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูด หลังจากนั้นบดให้ละเอียด ก่อนนำไปใช้ ซึ่งแป้งพรีเจลาทีไนซ์ที่ได้สามารถกระจายตัวในน้ำเย็นในอุณหภูมิปกติ และให้ความข้นหนืดได้ทันที (Whistler *et al*, 1984) แล้วจึงนำมาทดแทนแป้งส่วนสูงในกระบวนการผลิตขนมจีน ทำให้ในกระบวนการผลิตสั้นลง มีความสะดวกขึ้น โดยไม่ต้องนำก้อนแป้งมาต้มให้สุกบางส่วนอีก สามารถนำแป้งหมัก แป้งพรีเจลาทีไนซ์ และน้ำผสมในอัตราส่วนที่พอเหมาะ นวดผสม บีบออกมาเป็นเส้นโรยในน้ำเดือดได้ทันที (ภควัฒน์, 2547)

อรอนงค์ และคณะ (2533) ผลิตเส้นขนมจีนจากแป้งข้าวพรีเจลาทีไนซ์ และทดลองหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างแป้งข้าวพรีเจลาทีไนซ์กับแป้งข้าวปกติ พบว่าใช้อัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวพรีเจลาทีไนซ์ต่อแป้งข้าวปกติเป็นร้อยละ 15:85 และอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวพรีเจลาทีไนซ์สตาร์ชข้าวเจ้า และแป้งข้าวเจ้า 15:30:55 เป็นสูตรที่เหมาะสม ให้ขนมจีนที่มีลักษณะที่ดีเหมือนขนมจีนสด และเมื่อเปรียบเทียบทั้ง 2 สูตร ปรากฏว่า ได้ปริมาณจับขนมจีนไม่แตกต่างกัน แต่ทั้งสองมีค่าการต้านแรงกดแตกต่างกัน ดังนั้นการผลิตขนมจีนจากการผสมแป้งข้าวพรีเจลาทีไนซ์ ทำให้ได้ขนมจีนลักษณะที่ดี เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัส

4. น้ำแกงขนมจีน

การรับประทานขนมจีนมีหลากหลายรูปแบบเช่น รับประทานกับน้ำแกงซึ่งแตกต่างกันไปในแต่ละภูมิภาคของประเทศ นอกจากนี้ยังรับประทานร่วมกับผักสด ผักลวก และผักดองต่างๆ น้ำแกงขนมจีนที่ได้รับความนิยมในปัจจุบันมีดังต่อไปนี้ (นิรนาม, 2550) คือ

4.1 น้ำยาปลา นิยมกันมากที่สุด น้ำยาข้น มีหอมกลิ่นเครื่องแกง มีรสหวานมันกะทิ ใช้ปลาช่อนสดทำให้เนื้อปลามีรสหวาน ไม่มีกลิ่นคาว เมื่อสุกแล้วเนื้อปลามีสีขาวฟู นิยมใช้กะทิคั้นสดเติมเครื่องแกงโขลกร่วมกับเนื้อปลา เติมน้ำตาลปี๊ป น้ำปลาตามต้องการ ส่วนน้ำยาปักษ์ใต้เป็นน้ำยาปลาอีกชนิดหนึ่ง ใช้เนื้อปลาทะเลสดมาทำ เช่น ปลาน้ำดอกไม้ ปลาแดง เพราะเป็นปลาที่มีเนื้อมาก ใส่ขมิ้นในเครื่องแกงเพิ่มเพื่อบดกลิ่นคาว และให้สีเหลืองน่ารับประทาน รับประทานกับผักสด ผักดองนานาชนิด

4.2 น้ำพริก มี 3 รสคือเปรี้ยว หวาน เค็มมีมันสีแดงลอยหน้า น้ำแกงข้นด้วยเนื้อกุ้งและถั่วเขียวคั่วปั่น ใช้น้ำมันมะขามเปียกที่นำมาคั้นน้ำใหม่ เติมน้ำตาลปีบช่วยเพิ่มกลิ่นหอม ตามด้วยน้ำปลา กะทิ และพริกแกง รับประทานกับผักสด และผักผัดน้ำมัน รวมทั้งผักชุบแป้งทอดกรอบ

4.3 แจงลอน เป็นน้ำกะทิข้นใส่เนื้อปลาทรายสด และลูกชิ้น เพิ่มกลิ่นหอมด้วยรากผักชี กระเทียม และพริกไทย รับประทานร่วมกับสับปะรดรสหวานอมเปรี้ยว กุ้งแห้ง น้ำมันงา น้ำปลา

4.4 น้ำเงี้ยว เป็นน้ำยาของทางภาคเหนือ รสชาติออกเปรี้ยวจากมะเขือเทศ เค็ม และหวานจากกระดูกหมู เนื้อหมู เลือกใช้มะเขือส้มลูกกลมเล็ก มีรสเปรี้ยวเป็นพิเศษ หอมแดงเจียว และกระเทียมเจียวต้องเจียวใหม่ๆ ส่วนขนมจีนน้ำเงี้ยวของเชียงใหม่ใส่ดอกจี่ด้วย เพื่อเพิ่มความหอมและกรุบเวลาเคี้ยว

4.5 ขนมจีนน้ำยาปลาร้า หรือน้ำยาป่า มีรสเค็ม เผ็ด หอมกลิ่นปลาร้า และกระชาย ข้นด้วยเครื่องแกง และเนื้อปลาที่โขลก เลือกใช้ปลาร้าที่มีกลิ่นหอม กระชายคั่นอวบสด คล้ายน้ำยาปลา แต่ไม่ใส่กะทิ

4.6 แกงเขียวหวาน เป็นแกงกะทิชนิดหนึ่ง ใส่พริกแกงที่มีสีเขียวจากใบพริก หรือใบผักชี โขลก ใส่เนื้อสัตว์ เช่น ไก่ หมู เนื้อวัว และเนื้อปลาสด เป็นต้น

นอกจากนี้ยังอื่นๆอีกเช่น แกงไตปลา แกงกะทิไก่ เป็นต้น

5. อาหารพร้อมบริโภคแช่เยือกแข็ง

อาหารพร้อมบริโภคแช่เยือกแข็งมีชื่อเรียกหลายชื่อเช่น precooked food, TV dinner, Ready-to-Eat เป็นต้น เป็นลักษณะอาหารที่ผ่านการปรุงเรียบร้อยแล้วพร้อมบริโภคได้ทันที ผ่านการแช่เยือกแข็งเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหารให้ยาวนานขึ้น และบรรจุลงในภาชนะเป็นกล่องกระดาษเคลือบด้วยพอลิเอทิลีน (polyethylene) เนื่องจากกล่องกระดาษประเภทนี้สามารถป้องกันความชื้นได้ดี และสามารถนำผลิตภัณฑ์ไปอบในเตาไมโครเวฟ เพื่อทำการอุ่นอาหารได้ (Stoll *et al.*, 1977)

ในปัจจุบันมีการผลิตอาหารพร้อมบริโภคแช่เยือกแข็งออกมาจำหน่ายหลายรูปแบบ ทั้งในลักษณะอาหารคาว อาหารหวาน และอาหารว่าง

5.1 ประเภทของอาหารพร้อมบริโภคแช่เยือกแข็ง

อาหารพร้อมบริโภคแช่เยือกแข็งแบ่งตามวิธีการปรุงทั้งอาหารสำเร็จรูป และกึ่งสำเร็จรูปได้ดังนี้ (สุวรรณ, 2533)

5.1.1 อาหารประเภททอด (Deep fried) อาหารประเภทนี้เป็นอาหารกึ่งสำเร็จรูปแบบดิบหรือกึ่งสุกดิบ เช่น กุ้งชุบเกล็ดขนมปัง ปอเปี๊ยะ ไก่คลุกแป้งชุบเกล็ดขนมปัง เป็นต้น วิธีการปรุงโดยทอดในน้ำมันอุณหภูมิปานกลาง จนกระทั่งสุกทั้งภายนอก และภายใน ตามอุณหภูมิ และเวลาที่แนะนำจากโรงงานหรือวิธีการข้างาษณะ

5.1.2 อาหารประเภทนึ่ง (Steamed) อาหารประเภทนี้เป็นอาหารสำเร็จรูปเพราะจำเป็นต้องผ่านความร้อน เพื่อให้เกิดรูปร่างก่อนการแช่เยือกแข็ง เช่น ซาลาเปา ขนมจีบ และ สะเก๋า หรือ อาจเป็นอาหารกึ่งสุกดิบ เช่น แป้งสะเก๋า

5.1.3 อาหารประเภทย่างสัมผัสเปลวไฟ (Grilled) ส่วนมากเป็นอาหารสำเร็จรูป เช่น ยากิโทริ ไก่เสียบไม้ย่างแบบญี่ปุ่น หรืออาจเป็นของดิบเช่น บาร์บีคิวไก่ หรือกุ้ง

5.1.4 อาหารประเภทย่างภายใต้แสงอินฟราเรด (Roasted with infrared) เป็นอาหารสุก เช่น สะโปกไก่ย่าง (เนื้ออกไก่สัเต็ก) เช่น ไก่อบ น้ำแดงพร้อมข้าว หรือกับข้าวเพียงอย่างเดียว

5.1.5 อาหารประเภทต้ม (Boiled) เป็นของสุกเพราะเป็นการผ่านการต้มโดยตรง เช่น อาหารประเภทผักห่อเนื้อสัตว์ ไข่ทำแกงจืด

5.1.6 อาหารประเภทผัด (Pan fry) เป็นของสุก เช่น ข้าวผัด ซึ่งการแช่เยือกแข็งจำเป็นต้องแช่เยือกแข็งแบบแชกเมล็ด เพื่อป้องกันการติดกันของเมล็ด

5.2 รูปแบบของอาหารพร้อมบริโภคแช่เยือกแข็ง

วิบูลย์เกียรติ (2538) ได้แบ่งรูปแบบอาหารพร้อมบริโภคแช่เยือกแข็งออกเป็น 2 ลักษณะดังนี้

5.2.1 ผลิตภัณฑ์เสนอบริการแก่ผู้บริโภคโดยตรง ได้แก่ อาหารที่จำหน่ายในร้านอาหารจานด่วนหรือโรงแรม มีลักษณะเป็นอาหารกึ่งสำเร็จรูป กล่าวคือ เป็นอาหารที่ผ่านการปรุงแต่งมาบ้างแล้ว สามารถทำให้สุกด้วยวิธีการง่ายๆ ภายในระยะเวลาสั้นก่อนการบริโภค ตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหารประเภทนี้ได้แก่ ไก่ ปลา กุ้งหุบแป้ง และเกล็ดขนมปังป่น

5.2.2 ผลิตภัณฑ์อาหารพร้อมบริโภคสำเร็จรูป (Ready-to-serve meal) หรืออาหารสะดวกซื้อ (Convenience food) เช่น คิมฉัม ปอเปี๊ยะ ซูริมิ ข้าวผัด และแกง ซึ่งศูนย์พาณิชยกรรมแฟรงก์เฟิร์ต (2536) รายงานว่า อาหารสำเร็จรูปแช่เยือกแข็งนี้ เป็นที่นิยมในประเทศแถบยุโรป และจากการตรวจสอบ พบว่า มีผลิตภัณฑ์อาหารพร้อมบริโภคแช่เยือกแข็งที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับอาหารไทยสามารถเรียบเรียงได้ดังนี้

ก. อาหารทะเล เช่น กุ้งหุบแป้ง และเกล็ดขนมปังป่น ทอดมันปลา ปูอัด

ข. ข้าวผัดสำเร็จรูปแบบที่เรียกว่า ข้าวผัดสเปน (Spanish rice with seafood) เป็นอาหารเข้าผัดใส่อาหารทะเลหลายชนิด ได้แก่ ปลา หมึก หอยแมลงภู่ กุ้ง ปู หอยแครงผัดใส่ผงกะหรี่หอมใหญ่ พริกกระดิ่ง (Bell pepper) เกลือ น้ำ และน้ำมันมะกอก บรรจุขนาด 9 ออนซ์ เมื่อรับประทานต้องแช่ในน้ำร้อนประมาณ 10 นาที

ค. กว๊ายเต็ยราดน้ำซอส ประกอบด้วยเนื้อหมูหั่นขนาดเล็กๆ ทำสุกแล้วมีน้ำราดซึ่งประกอบด้วยเห็ดแชมปิญอง และแครอทหั่นบรรจุแยกเส้นก๊วยเต็ย เนื้อหมู และน้ำราดออกจากกัน ขนาดบรรจุประมาณ 400 กรัม เมื่อรับประทานต้องอุ่นในไมโครเวฟ

ง. ข้าวรับประทานกับไก่ผัดผงกะหรี่ (Huhnerfleisch) โดยมีข้าวสุกและไก่ผัด

ผงกะหรี่แยกออกจากกัน ผักแก่ลัมเป็นผักดองทำด้วยถั่วงอกผสมพริกกระดิ่งสีแดง และแครอทดองรวมกัน สามารถเตรียมก่อนรับประทานโดยอุ่นด้วยเตาไมโครเวฟ ผลิตภัณฑ์มีลักษณะคล้ายข้าวผัดสเปนสำเร็จรูปแช่เยือกแข็ง

จ. ซึ้นปลาสดน้ำซอสปรุงรสพร้อมแครอทและข้าวเรียกว่า Kabeljau-filet ซึ่งเป็นชื่อของปลา แต่ผู้ผลิตในประเทศไทยสามารถประยุกต์ใช้เนื้อปลาที่ส่งออกของไทยได้ การบรรจุคล้ายข้าวผัดสเปนสำเร็จรูปแช่เยือกแข็ง

ฉ. ลูกชิ้นเนื้อสับปรุงรสด้วยซอสพร้อมข้าว และผักแก่ลัมเรียกว่า Rinerrouclach

ช. เนื้อสัตว์เป็นชิ้นปรุงรสด้วยซอส รับประทานกับเส้นก๋วยเตี๋ยวและกะหล่ำปลีสีม่วงผัด

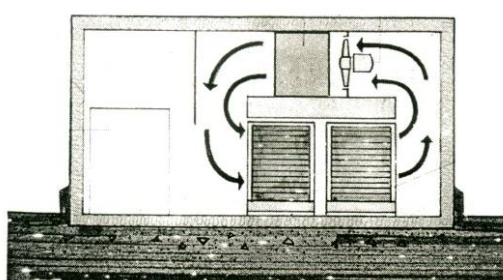
5.3 เทคโนโลยีการแช่เยือกแข็ง

การแช่เยือกแข็งเป็นการทำให้อุณหภูมิของอาหารลดต่ำลงมากๆ เพื่อให้ น้ำที่มีอยู่ภายในอาหารกลายเป็นผลึกน้ำแข็งโดยมีการกำจัดความร้อนออกจากอาหาร ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการเกิดนิวเคลียสผลึก (Nucleation phase) และขั้นตอนการเกิดการเติบโตของผลึก (Crystal growth phase) การเก็บรักษาแบบแช่เยือกแข็งทำให้มีอายุการเก็บรักษานานและยังมีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าการเก็บอาหารวิธีการแช่เย็น โดยเฉพาะการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการเพิ่มขนาดผลึกน้ำแข็งในอาหารคือ อัตราการดึงความร้อนออกจากอาหาร ซึ่งหากเป็นไปอย่างรวดเร็วทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดเล็ก แต่เมื่อมีการดึงความร้อนออกจากอาหารอย่างช้าๆ อาจเกิดผลึกขนาดใหญ่ ส่งผลให้คุณภาพอาหารเปลี่ยนแปลงไปสามารถแบ่งกระบวนการแช่เยือกแข็งได้ 4 วิธีดังนี้ (สายสนม และคณะ, 2546)

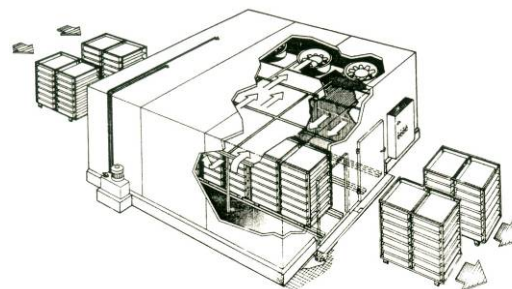
5.3.1 การแช่เยือกแข็งแบบอากาศเย็นจัด (Air Brast Freezing)

เป็นวิธีการแรกที่ใช้ในทางการค้า โดยเริ่มตั้งแต่ปี พ.ศ. 2504 ทำได้โดยการนำอาหารที่อาจห่อหุ้มด้วยภาชนะบรรจุหรือไม่ก็ได้ วางในห้องเย็นจัดที่ระดับอุณหภูมิ -18 ถึง -40 องศาเซลเซียส บางครั้งเรียก การแช่เยือกแข็งแบบพัดลมเป่าอากาศเย็น (Sharp Freezing)

ซึ่งเป็นการหมุนเวียนอากาศภายในห้องเย็นเป็นแบบการพา (convection) ผลิตภัณฑ์เย็นตัวลงเป็นแบบการพาตามธรรมชาติ ทำให้อัตราการแช่เยือกแข็งเป็นไปอย่างช้ามากใช้เวลาในการแช่เยือกแข็งชิ้นอาหารให้ทั่วถึง ประมาณ 3-72 ชม การเพิ่มความเร็วของอากาศสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการแช่เยือกแข็งได้ การบรรจุอาหารในบรรจุภัณฑ์ชนิดที่สามารถกักเก็บอากาศไว้ภายในบรรจุภัณฑ์อาจส่งผลให้อัตราการแช่เยือกแข็งช้าลง เนื่องจากอากาศขัดขวางการถ่ายโอนความร้อนออกจากชิ้นอาหารในบรรจุภัณฑ์ดังกล่าว แต่อย่างไรก็ตาม การบรรจุภายใต้สภาวะสุญญากาศหรือการห่อหุ้มชิ้นอาหารด้วยฟิล์มพลาสติกสามารถลดปัญหาดังกล่าวลงได้ โดยทั่วไปชนิดของเครื่องมือแช่เยือกแข็งประเภทนี้ แบ่งออกเป็น แบบไม่ต่อเนื่อง (batch freezer) ได้แก่ เครื่องแช่เยือกแข็งแบบห้องเดินเข้าได้ (walk-in cold room), เครื่องแช่เยือกแข็งแบบอุโมงค์คงที่ (stationary tunnel) และเครื่องแช่เยือกแข็งแบบเลื่อนผ่านอุโมงค์ทีละชุด (push-trough tunnel) (Karel and Lund, 2003) แสดงดังภาพที่ 3



(ก) แบบอุโมงค์คงที่



(ข) แบบเลื่อนผ่านอุโมงค์ทีละชุด

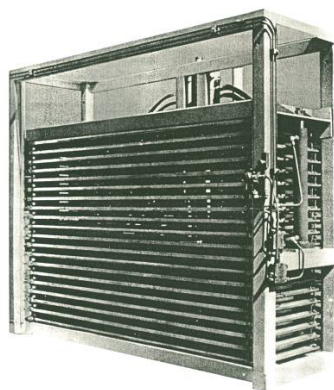
ภาพที่ 3 เครื่องแช่เยือกแข็งแบบอากาศเย็นจัดชนิดต่าง ๆ

ที่มา: ดัดแปลงจาก Mallett (1993) และ Heldman and Hartel (1997)

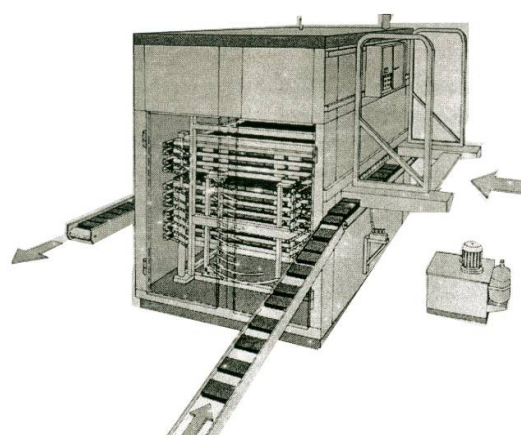
5.3.2 การแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด (Contact Plate Freezing)

เป็นวิธีการแช่เยือกแข็งโดยการนำชิ้นอาหาร มาวางบนแผ่นโลหะกลวง อาจวางเฉยๆ หรือใช้แรงกดช่วย ระหว่างแผ่นโลหะ 2 ชั้น ภายในช่องว่างของแผ่นโลหะทำให้เย็นโดยใช้สารทำความเย็นที่ถูกเปลี่ยนจากไอเป็นของเหลว โดยการอัดด้วยความดันผ่านเครื่องคอมเพรสเซอร์ (compressor) (ภาพที่ 4) ของเหลวที่ได้ผ่านเครื่องควบแน่น เพื่อลดอุณหภูมิให้อยู่ในสภาพของเหลวเย็นจัด ไหลผ่านเข้าไปในช่องว่างของแผ่นโลหะ ทำหน้าที่ดูดความร้อนจากชิ้นอาหารที่วางสัมผัสแผ่นโลหะ สารทำความเย็นที่ใช้ได้แก่ ฟรอน-12 ฟรอน-22 และแอมโมเนีย (สายสนม และคณะ, 2546) เครื่องแช่เยือกแข็งชนิดนี้นิยมใช้ในการแช่เยือกแข็งอาหาร

เพียงบางส่วนก่อนการเข้าสู่กระบวนการแช่เยือกแข็งแบบอื่นต่อไป เช่น การแช่เยือกแข็งไอศกรีม นิยมใช้การแช่เยือกแข็งบางส่วนด้วยเครื่องแช่เยือกแข็งแบบท่อแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดมีใบพัด ขูด (scraped surface heat exchanger) ก่อนการบรรจุ และแช่เยือกแข็งต่อด้วยเครื่องแช่เยือกแข็ง แบบลมเป่า (Karel and Lund, 2003)



(ก) แบบแผ่นสัมผัสแนวนอน



(ข) แบบแผ่นสัมผัสอย่างต่อเนื่อง

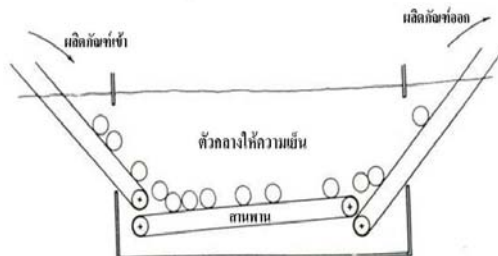
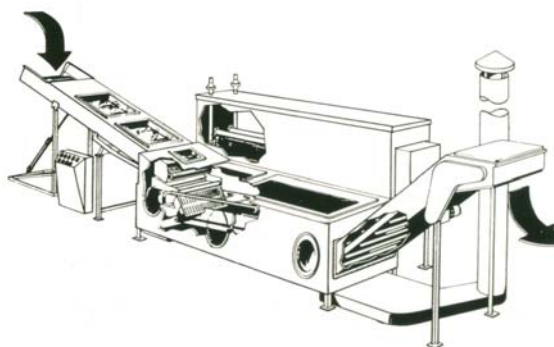
ภาพที่ 4 เครื่องแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด

ที่มา : ดัดแปลงจาก Mallett (1993)

5.3.3 การแช่เยือกแข็งแบบจุ่มในของเหลวเย็นจัด (Liquid-Immersion Freezing)

การแช่เยือกแข็งแบบนี้ทำได้โดยนำผลิตภัณฑ์ที่ต้องการแช่เยือกแข็งมาห่อหุ้มด้วยบรรจุภัณฑ์ หรืออาจไม่มีการห่อหุ้มเลย จุ่มลงในถังของเหลวที่คงสภาพเป็นของเหลวอยู่ได้ อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียสหรือต่ำกว่านั้น และต้องไม่เป็นพิษ ไม่มีกลิ่น ไม่มีผลกระทบต่อ องค์ประกอบ และคุณลักษณะของอาหาร แต่ข้อเสียของวิธีการนี้คือ การทำให้สารทำความเย็น สัมผัสกับอาหารโดยตรง อาจส่งผลให้คุณภาพของอาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ เช่น เกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรส เป็นต้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องบรรจุอาหารลงในบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมก่อน ซึ่ง อาจเป็นผลให้การถ่ายโอนความร้อนออกจากอาหารเกิดขึ้นได้ช้า เนื่องจากบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ขัดขวาง การถ่ายโอนความร้อน และนอกจากนี้บรรจุภัณฑ์จำพวกโลหะอาจถูกกัดกร่อนจากตัวกลางให้ความ เย็นได้อีกด้วย (Karel and Lund, 2003) ของเหลวที่ใช้เพื่อการนี้เรียกว่า สารเยือกแข็ง (freezant) หรืออาจทำได้โดยการฉีดพ่นสารเยือกแข็งลงในอาหารนั้น หรืออาจกระทำได้ 2 แบบคือจุ่มและพ่น ในขณะเดียวกัน (ภาพที่ 5) และการกระทำดังกล่าวอาจทำแบบต่อเนื่องตลอดกระบวนการ สารเยือก

แข็งที่นิยมใช้ได้แก่ สารละลายของกลีโคไซด์มัลโตไรด์ แกลเซียมมัลโตไรด์ กลีเซอรอล น้ำตาล กลีโค เป็นต้น (สายสนม และคณะ, 2546)



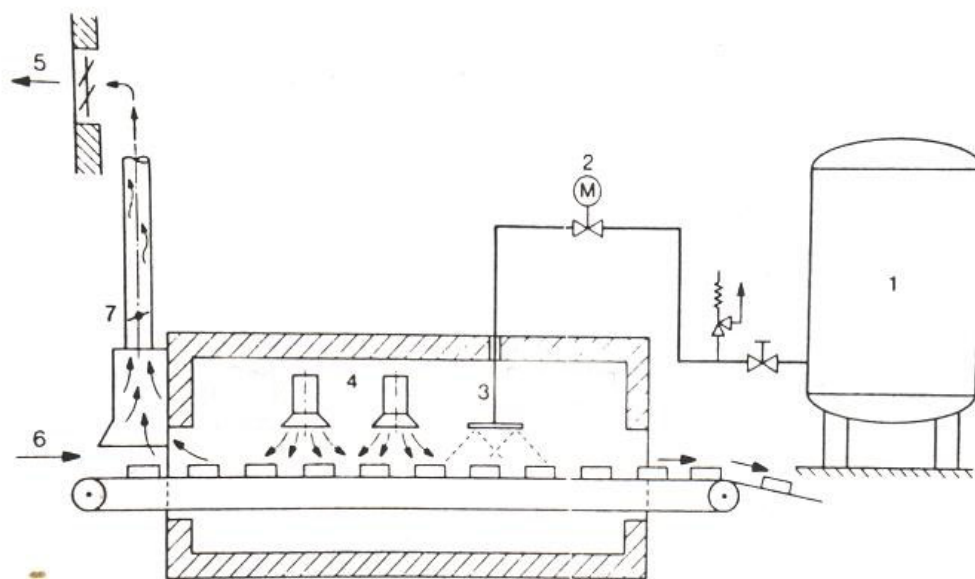
(ก) เครื่องแช่เยือกแข็งแบบจุ่มขึ้นอาหารลงในตัวกลางให้ความเย็น (ข) แบบจำลองของเครื่องแช่เยือกแข็งแบบจุ่มขึ้นอาหารลงในตัวกลางให้ความเย็น

ภาพที่ 5 เครื่องแช่เยือกแข็งแบบจุ่มในของเหลวเย็นจัด

ที่มา : Singh and Heldman (1993)

5.3.4 การแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค (Cryogenic Freezing)

เป็นการแช่เยือกแข็งที่มีอัตราเร็วยิ่งยวด (ultra rapid freezing rate) ทำได้โดยการนำเอาสิ่งที่ต้องการแช่เยือกแข็งโดยมีการห่อหุ้มด้วยพลาสติกชนิดบาง หรืออาจไม่ห่อหุ้ม มาลดอุณหภูมิลงบางส่วน (precooling) หลังจากนั้นทำการจุ่มลงไนโตรเจนเหลว แสดงดังภาพที่ 6 ซึ่งสามารถทำให้อาหารมีอุณหภูมิลดลงได้อย่างรวดเร็ว ข้อเสียของวิธีนี้คือ การดึงความร้อนออกจากอาหารอย่างรวดเร็วอาจทำให้ชั้นอาหารแตกออก เกิดความเสียหายได้ (สายสนม และคณะ, 2546)



1 = ถังไนโตรเจนเหลว, 2 = วาล์วปิดเปิด, 3 = เข็มสเปรย์, 4 = พัดลม,
5 = ช่องปล่อยไนโตรเจนออก, 6 = ทางเข้าตัวอย่าง และ 7 = วาล์วผีเสื้อควบคุม

ภาพที่ 6 แบบจำลองการแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิก

ที่มา : ดัดแปลงจาก Mallett (1993)

การลดอุณหภูมิของชิ้นอาหารลงบางส่วน อาจช่วยลดการแตกของอาหารได้ การดึงความร้อนออกจากผลิตภัณฑ์โดยการแช่เยือกแข็งวิธีนี้เป็นไประหว่างการเปลี่ยนสถานะของสารทำความเย็นไครโอเจนิกจากของเหลวเป็นก๊าซ ซึ่งเป็นจุดที่ต่างจากวิธีการแช่เยือกแข็งแบบจุ่มไครโอเจนิกที่นิยมใช้ได้แก่ ไนโตรเจนเหลวคาร์บอนไดออกไซด์เหลว คาร์บอนไดออกไซด์แข็ง และไนตรัสออกไซด์ ฯลฯ (Mallett, 1993)

5.4. การคืนรูปผลิตภัณฑ์อาหารแช่เยือกแข็ง

การคืนรูปผลิตภัณฑ์อาหารแช่เยือกแข็ง หมายถึง กระบวนการที่ตรงข้ามกับการแช่เยือกแข็ง จัดเป็นกระบวนการให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์อาหารแช่เยือกแข็ง เพื่อให้ผลิตภัณฑ์น้ำแข็งละลายกลับคืนสู่สภาพเดิม โดยเวลาที่ใช้ในการคืนรูปอาหารแช่เยือกแข็งเป็นเวลาที่เริ่มจากจุดที่อาหารมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิการเก็บรักษา จนถึงจุดที่ไม่มีผลึกน้ำแข็งคงเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์ หรืออาจอธิบายได้ว่า เป็นเวลาที่อุณหภูมิใจกลางของผลิตภัณฑ์มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 1 หรือ 0 องศาเซลเซียส การคืนรูปของอาหารแช่เยือกแข็งสามารถทำได้หลายวิธี ดังต่อไปนี้คือ (สายสนม และคณะ, 2546)

5.4.1 การหมุนเวียนของน้ำเย็น

กระทำได้โดยการนำผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง มาแช่ลงในภาชนะที่มีน้ำเย็นอุณหภูมิประมาณ 20 °ซ โดยให้น้ำนั้นหมุนเวียนตลอดเวลา เพื่อช่วยให้การถ่ายเทความร้อนเป็นไปได้ดีขึ้น และช่วยรักษาอุณหภูมิของผิวหนังอาหารไม่ให้สูงเกินไป แต่วิธีนี้อาจทำให้เกิดการสูญเสียสารอาหารบางชนิดที่ละลายน้ำได้ อย่างไรก็ตามวิธีนี้เป็นวิธีที่ประหยัดค่าใช้จ่าย และยังเป็นที่ยอมรับใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร

5.4.2 การใช้เตาอบ

วิธีนี้นิยมใช้กับผลิตภัณฑ์ที่ต้องผ่านวิธีการหุงต้มโดยการอบให้สุกไปพร้อมกันกับการคืนรูป แล้วนำไปรับประทาน

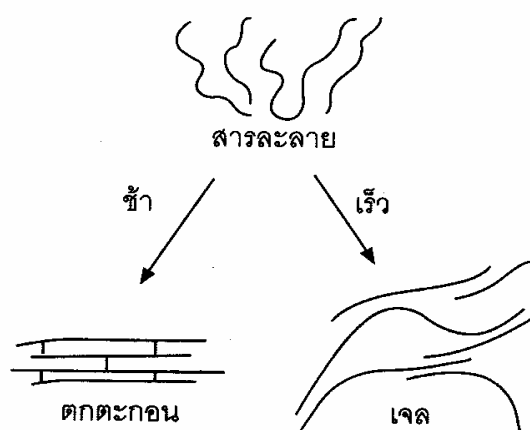
5.4.3 การใช้ไมโครเวฟ

เป็นการอาศัยความร้อนที่เกิดขึ้นจากช่วงความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าระดับไมโครเวฟ วิธีนี้ประหยัดเวลา และเนื้อที่ได้มาก สามารถจัดทำเป็นกระบวนการแบบต่อเนื่องได้ การสูญเสีย น้ำที่ไหลเยิ้มออกมาจากอาหารน้อยที่สุด ผลิตภัณฑ์อาหาร ไม่ต้องสัมผัสกับของเหลวอื่นที่ทำให้สูญเสียคุณค่า แต่เป็นวิธีที่ต้องลงทุนสูง

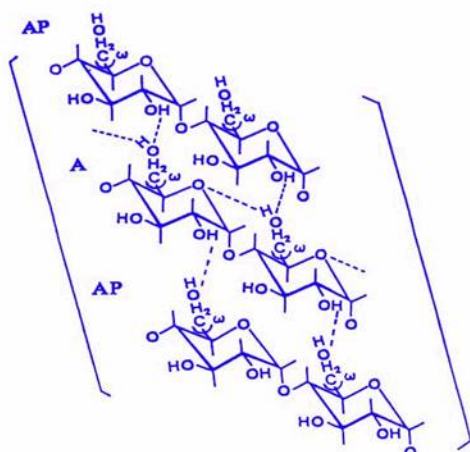
6. การเสื่อมเสียสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ของอาหารที่มีสตาร์ชเป็นองค์ประกอบหลัก

อาหารที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น ก๋วยเตี๋ยว ขนมจีน เส้นหมี่ และขนมปัง เป็นต้น ประกอบด้วยสารอาหารต่างๆ เช่น โปรตีน ไขมัน และสารอาหารที่มีปริมาณมากที่สุด คือ คาร์โบไฮเดรต ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของเม็ดสตาร์ช ภายในประกอบด้วยโมเลกุลขนาดใหญ่สองชนิด คือ แอมิโลส เกิดจากโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสต่อกันด้วยพันธะ α -1, 4 กลูโคซิดิก เป็นสายยาว มีกิ่งน้อยมาก และแอมิโลเพกทิน แสดงดังภาพที่ 1 เกิดจากโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสต่อกันด้วยพันธะ α -1, 4 กลูโคซิดิก เป็นสายยาว มีกิ่งที่เชื่อมต่อด้วยพันธะ α -1, 6 กลูโคซิดิก ทั้งสองจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบในเม็ดสตาร์ช เมื่อให้ความร้อนกับอาหารประเภทสตาร์ช และน้ำเป็นองค์ประกอบ เม็ดสตาร์ชเกิดการพองตัวทำให้ความหนืดของระบบเพิ่มขึ้น โมเลกุลของ

แอมิโลสค่อยๆซึมผ่านเมล็ดสตาร์ชออกมา เมื่อเมล็ดสตาร์ชพองตัวสูงสุด และเกิดการแตกออก เรียกกระบวนการนี้ว่า การเกิดเจลาทีไนเซชัน ทำให้แป้งสุก ภายในเจลแป้งมีแอมิโลส และแอมิโลเพกทินกระจายอยู่ทั่ว หลังจากนั้น เมื่ออุณหภูมิลดลงเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า การเกิดรีโทรเกรเดชัน (อรอนงค์, 2547) แสดงดังภาพที่ 7 โมเลกุลที่อยู่ใกล้กัน เกิดการจัดเรียงตัวใหม่ จับกันด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแอมิโลส แสดงดังภาพที่ 8 เกิดเป็นร่างแหสามมิติโครงสร้างใหม่ที่สามารอุ้มน้ำ และไม่มีการดูดน้ำเข้ามาอีก มีความหนืดที่คงตัวมากขึ้น เป็นภาวะที่เรียกว่าเจลเลชัน เมื่อลดอุณหภูมิให้ต่ำลงอีก ลักษณะของโครงสร้างแน่นมากขึ้น โมเลกุลของน้ำที่อยู่ภายในถูกบีบออกมาจากเจล ซึ่งเรียกว่า การสูญเสียน้ำของเจล (syneresis) ปรากฏการณ์ทั้งสองนี้ทำให้เจลมีลักษณะขาวขุ่น และมีความหนืดเพิ่มขึ้น (อรอนงค์, 2547)



ภาพที่ 7 กลไกการคืนรูปของเจลแป้ง
ที่มา : Anuntavuttikul (2001)



ภาพที่ 8 การจับกันของโมเลกุลสตาร์ชภายหลังการเกิดรีโทรเกรด
ที่มา : Shirley (1982)

การเกิดรีโทรเกรดของอาหารประเภทแป้ง ทำให้มีความหนืดเพิ่มขึ้น มีลักษณะขุ่นและทึบแสง ขึ้นส่วนอนุภาคที่ไม่ละลายในเจลที่ร้อนเกิดการตกตะกอน ทำให้โมเลกุลน้ำถูกบีบออกมาจากเจล การเกิดรีโทรเกรดของอาหารประเภทแป้ง เมื่อเกิดขึ้นช้าเกิดการตกตะกอน เมื่อเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้เกิดเจลขุ่น (อรอนงค์, 2547)

ปัจจัยที่เป็นสาเหตุให้เจลเกิดรีโทรเกรดขึ้นขึ้นอยู่กับ ชนิดของแป้ง ความเข้มข้นของแป้ง กระบวนการให้ความร้อน กระบวนการลดความร้อน อุณหภูมิ ระยะเวลา ความเป็นกรด-เบสของสารละลาย ปริมาณแอมิโลส-แอมิโลเพกทิน และองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆของแป้ง ในสภาวะที่อุณหภูมิต่ำ เจลแป้งความเข้มข้นสูงสามารถเกิดรีโทรเกรดได้ดีในช่วงความเป็นกรดเบส 5-7 สำหรับในช่วงความเป็นกรดเบสสูง หรือต่ำกว่านี้ เจลแป้งคืนรูปได้ช้าลง ในการชะลอการคืนรูปของเจลแป้งอาจใช้เกลือที่มีประจุลบ หรือบวก (monovalent anion และ cation), เช่น แคลเซียม ไนเตรต และยูเรีย เป็นต้น (กล้าณรงค์ และ เกื้อกูล, 2546)

ปริมาณ และขนาดของแอมิโลสมีความสำคัญต่อการเกิดรีโทรเกรดของเจลแป้ง แป้งที่มีปริมาณแอมิโลสสูงเกิดรีโทรเกรดชันมาก และมีอัตราการเกิดรีโทรเกรดสูงสุด (การละลายต่ำที่สุด) ส่วนแป้งที่มีปริมาณแอมิโลเพกทินสูง มีผลให้เกิดรีโทรเกรดได้น้อยมาก แสดงดังภาพที่ 9 ซึ่งจากสาเหตุดังกล่าวส่งผลให้อาหารประเภทแป้งที่ผ่านการคืนรูปจากเยือกแข็งมีลักษณะผิดปกติไปจากเดิม เช่น ข้าวแช่เยือกแข็ง หลังการคืนรูปแล้วข้าวอาจมีความแข็งกระด้างมากขึ้น ในอาหารเส้น นอกจากทำให้เส้นแข็งกระด้างแล้ว ยังส่งผลให้ความเหนียวนุ่มของเส้นลดลง เส้นมีความกระด้าง

และขาดได้ง่าย (อรอนงค์, 2547) นอกจากนี้อัตราความเร็วในการแช่เยือกแข็งยังมีผลต่อการเกิดรีโทรเกรดอัตราเร็วของการแช่เยือกแข็งเพิ่มขึ้น การเกิดรีโทรเกรดมีน้อยลง เกิดจากเมื่ออัตราเร็วในการลดอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ระยะเวลาที่สายโมเลกุลของเอมิโลสจับกันเกิดเป็นร่างแหน้อยลง จึงทำให้การเกิดรีโทรเกรดลดลงด้วย (Varavinit, 2002)

7. การยับยั้งการเกิดรีโทรเกรด

การเกิดรีโทรเกรดเกิดจาก หลังการเกิดเจลลาทีไนซ์ เมื่ออุณหภูมิของเจลแข็งลดลง เอมิโลสที่กระจายทั่วเจล เกิดการเคลื่อนที่มาใกล้กัน และเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซีของโมเลกุล เกิดเป็นโครงร่างตาข่าย เมื่อสายโมเลกุลเอมิโลส หรือเอมิโลเพกทินใกล้กันมากขึ้น น้ำถูกบีบออกมา ส่งผลให้อาหารประเภทแข็งมีเนื้อสัมผัสเปลี่ยนแปลงไป (อรอนงค์, 2547) การยับยั้งการเกิดรีโทรเกรดสามารถทำได้โดยการขัดขวางการเกิดปฏิสัมพันธ์กันระหว่างโมเลกุลเอมิโลส หรือเอมิโลเพกทิน การดัดแปรสตาร์ชีวธิ์อบผสานเนื้อเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่สามารถลดการเกิดรีโทรเกรดได้ Gomes *et al.* (2005) ทดลองอบผสานเนื้อเป้งมันสำปะหลัง พบว่า เป้งมีความเป็นผลึกเพิ่มขึ้น คงทนต่อการเกิดเจลลาทีไนซ์มากขึ้น มีความเป็นไปได้ในการนำมาใช้ลดการเกิดรีโทรเกรดได้ในเจลจากเป้งหลังการเกิดเจลลาทีไนซ์ได้ นอกจากนี้การใช้กัมซึ่งมีขนาดโมเลกุลใหญ่ สามารถจับกับน้ำได้ดี อาจสามารถลดการเกิดรีโทรเกรด และการสูญเสียน้ำของเจลเป้งได้ Lee *et al.* (2002) ทดลองนำกัมโซเดียมแอลจิเนต (sodium alginate), คาร์บอกซีเมทิล เซลลูโลส (carboxymethyl cellulose), เคิร์ดแลน (curdian), เจลแลน (gellan), กัมถั่ว (guar gum), กัมอารบิก (arabic gum), โพลีแซคคาไรด์ คาร์ราจีแนน (k-carrageenan), กัมโลกัสปีน (locust bean gum) และกัมแซนแทน (xanthan gum) มาใช้ในการลดการเกิดรีโทรเกรดในเจลสตาร์ชีที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 7 ปรากฏว่า กัมถั่วสามารถลดการสูญเสีย (syneresis) ซึ่งเป็นผลจากการเกิดรีโทรเกรดของเจลเป้งแช่เยือกแข็งได้ดีที่สุด รองลงมาเป็น โซเดียมแอลจิเนต และกัมแซนแทนตามลำดับ

ก่อนการแช่เยือกแข็ง

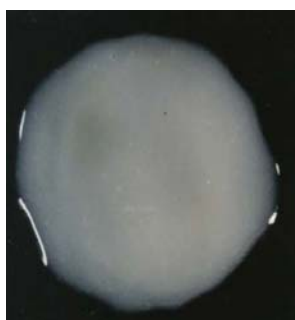


เจลแป้งข้าวเจ้า

หลังคืนรูปจากเยือกแข็ง



เจลแป้งข้าวเจ้า



เจลแป้งข้าวหอมดอกมะลิ



เจลแป้งข้าวหอมดอกมะลิ



เจลแป้งข้าวเหนียว



เจลแป้งข้าวเหนียว

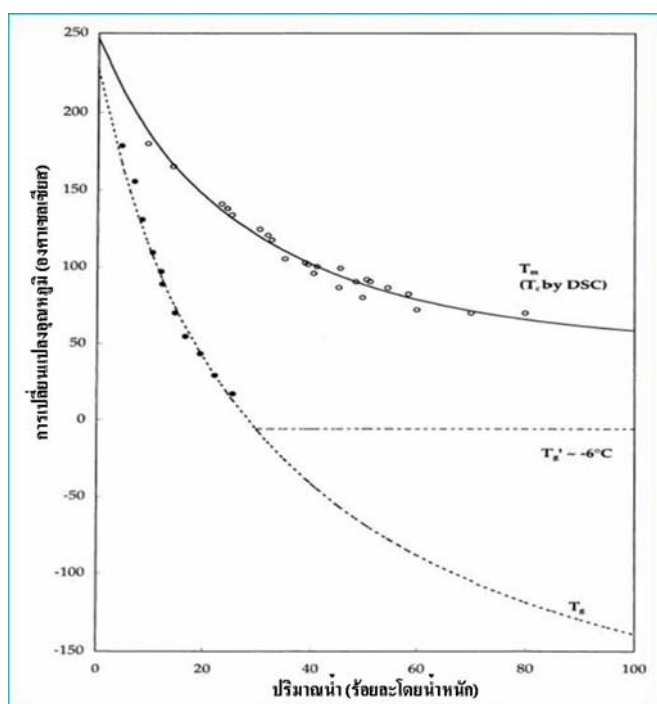
ภาพที่ 9 เจลแป้งผ่านการคืนรูปจากเยือกแข็ง รอบที่ 5
ที่มา : Anuntavuttikul (2001)

8. การดัดแปรสสารในแป้งวิธอบผานเนื้อ

การอบผานเนื้อเป็นการดัดแปรสสารในแป้งทางฟิสิกส์ โดยมีการควบคุมปริมาณแป้ง น้ำ อุณหภูมิ และเวลาในการดัดแปร มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของเม็ดสสาร (Jacob and Delcour, 1998)

8.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการอบผานเนื้อมีดังนี้

8.1.1 อุณหภูมิ ในการอบผานเนื้อขึ้นอยู่กับชนิดของสสาร โดยอุณหภูมิการอบต้องสูงกว่าอุณหภูมิของสสารสถานะ (glass transition) ของสสารแต่ละชนิด เม็ดสสารสถานะที่กระจายในน้ำเปลี่ยนแปลงไปอยู่ในสภาวะออสถาน (rubbery) องค์ประกอบภายในเม็ดสสารสามารถเคลื่อนที่ได้ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบภายในขึ้น และอุณหภูมิต้องไม่สูงกว่าอุณหภูมิการเกิดเจลในน้ำของเม็ดสสาร แสดงดังภาพที่ 10 ซึ่งขึ้นอยู่กับสสารแต่ละชนิดเช่นกัน หากสูงกว่าอุณหภูมิการเกิดเจลในน้ำ ทำให้เม็ดสสารแตก และเสียสภาพไป อุณหภูมิการอบผานเนื้อที่เหมาะสมกับสสารแต่ละชนิดแสดงดังตารางที่ 2 (Tester and Debon, 2000)



ภาพที่ 10 สภาวะการดัดแปรสสารทางเคมีเชิงฟิสิกส์ด้วยความร้อน

ที่มา : Tester and Debon (2000)

ตารางที่ 2 สภาวะการอบผานเนื้อสัตว์แต่ละชนิด

สัตว์	อุณหภูมิ (°ซ)	เวลา (ชม)	ปริมาณน้ำ (ร้อยละ)
แอมารันท์ (Amaranth)	45-55	2/12	มากเกินไป
ข้าวบาร์เลย์ปกติ	25-50	24/72	มากเกินไป
ข้าวบาร์เลย์เหนียว	45/55	72	มากเกินไป
ข้าวบาร์เลย์แอมิโลสสูง	52	2/48	มากเกินไป
ข้าวโพดปกติ	50/55	2-48	มากเกินไป
ข้าวโพดเหนียว	50	48	มากเกินไป
ข้าวโพดแอมิโลสสูง	50-70	2-72	มากเกินไป
	30-50	24	50
เลนทิล (Lentil), โอต	50	0.5-72	มากเกินไป
ถั่ว	50-56	24	มากเกินไป
มันฝรั่ง	52	0.5	มากเกินไป
	50-60	72	
ข้าวปกติ	40	114	มากเกินไป
ข้าวเหนียว	55-65	72	มากเกินไป
	50	1 (สัปดาห์)	40 – มากเกินไป
	55	2-24	มากเกินไป
	50	15-24	มากเกินไป
ข้าวไรย์	45	16	มากเกินไป
	50	1	มากเกินไป
ข้าวสาลี	50	72	มากเกินไป
	40/50	24/72	55
	40		มากเกินไป
	45-53		มากเกินไป

ที่มา : Jacob and Delcour (1998)

Tsutsui *et al.* (2005) ตรวจสอบผลของอุณหภูมิการอบผานเนื้อ 25, 48, 55, 58, 60, 62, 65, 68, 70 และ 73°ซ ต่ออุณหภูมิการเกิดเจลลาตินในซังของสัตว์ข้าว ได้ผลว่าเมื่ออุณหภูมิ

การอบผานเนื้อสูงขึ้น ค่าอุณหภูมิการเกิดเจลที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่เดียวกันอุณหภูมิการอบผานเนื้อที่สูงขึ้นยังส่งผลให้ฟลักของกราฟเอนทัลปีกว้างออก แสดงว่าความสม่ำเสมอของฟลักสตาร์ชลดลง อุณหภูมิ 45 และ 55 °ซ มีค่าปริมาณการซึมผ่านของแอมิโลสใกล้เคียงกับแป้งปกติในทุกอุณหภูมิ ขณะที่อุณหภูมิการอบผานเนื้อ 58-73 °ซ มีค่าปริมาณการซึมผ่านของแอมิโลสและค่ากำลังการพองตัวมากกว่าแป้งปกติในทุกอุณหภูมิ

สุภาวดี และปริศนา (2550) ตรวจสอบอุณหภูมิสถานะสัณฐาน (glass transition) ของสตาร์ชข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ ปรากฏว่า สตาร์ชข้าวมีอุณหภูมิสถานะสัณฐานเริ่มต้น 41.12 °ซ อุณหภูมิสถานะสัณฐานจุดกลาง 50.43 °ซ ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ทำให้เม็ดสตาร์ชข้าวอยู่ในสถานะอสัณฐาน (rubbery) จึงใช้อุณหภูมิดังกล่าวในการอบผานเนื้อสตาร์ชข้าว

8.1.2 ปริมาณน้ำ ต้องอยู่ในช่วง 40-50 % โดยน้ำหนัก น้ำเป็นสารตัวพาในการทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของสายโมเลกุลแอมิโลส และแอมิโลเพกทินเป็นตัวรับอิเล็กตรอนของหมู่ไฮดรอกไซด์ของโมเลกุลกลูโคสทำให้พันธะไฮโดรเจนเกิดการเสื่อมสภาพ ช่วยให้เม็ดสตาร์ชอยู่ในสถานะอสัณฐาน เกิดการเปลี่ยนแปลงภายในเม็ดสตาร์ชได้มากขึ้น (Jacob and Delcour, 1998)

8.1.3 เวลา ในการอบผานเนื้อ เวลาที่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับความเป็นผลึกของเม็ดสตาร์ช Kiseleva *et al.* (2004) ได้ทดลองเปรียบเทียบเวลาในการอบผานเนื้อ (0, 0.5 และ 4 ชม) ข้าวบาร์เลย์ปริมาณแอมิโลสสูง และต่ำ ตรวจสอบความเป็นผลึกด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ ได้ผลว่า เมื่อระยะเวลาในการอบผานเนื้อสูงขึ้น ความเป็นผลึกของเม็ดสตาร์ชเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับ Gomes *et al.* (2004) ตรวจสอบความเป็นผลึกของสตาร์ชมันสำปะหลังอบผานเนื้อเวลา 24, 48, 96 และ 120 ชม ได้ว่าเมื่อระยะเวลาในการอบผานเนื้อเพิ่มขึ้น ความเป็นผลึกของเม็ดสตาร์ชอบผานเนื้อเพิ่มขึ้น

8.1.4 ชนิดของสตาร์ช มีผลต่อความเป็นผลึก เช่น สตาร์ชที่มีลักษณะความเป็นผลึกจากการตรวจสอบด้วยเครื่องเอกซ์-เรย์ ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ ชนิด A, ชนิด B ชนิด C และชนิด V แต่ละชนิดมีความแข็งแรงของผลึกสตาร์ชแตกต่างกัน Jacob *et al.* (1995) ได้ทดลองเปรียบเทียบผลของการอบผานเนื้อสตาร์ชถั่ว สตาร์ชมันสำปะหลัง สตาร์ชข้าวสาลี และสตาร์ชข้าว ที่ 50°ซ เป็นเวลา 24 ชม ตรวจสอบการซึมผ่านของแอมิโลส สภาวะมีน้ำมากเกินไป อุณหภูมิ 50-90 °ซ

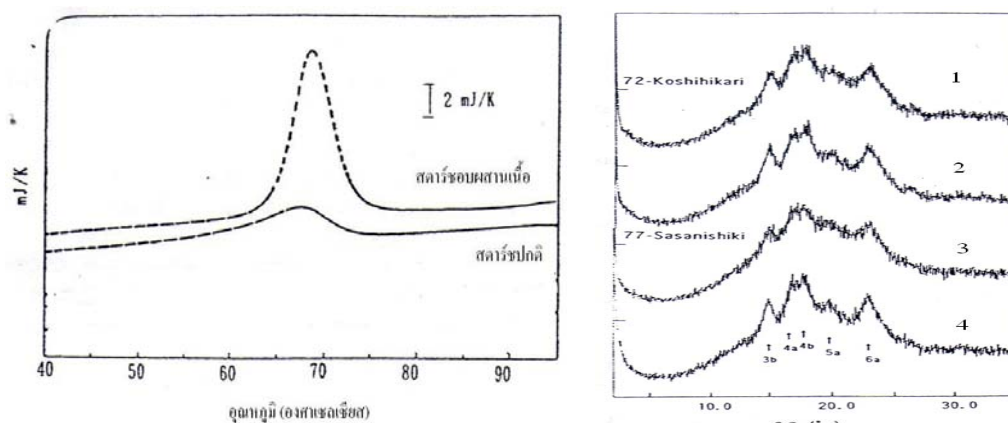
ปรากฏว่า ดาวฤกษ์ตัว และดาวที่มันฝังที่ผ่านการอบผานเนื้อที่มีปริมาณการซึมผ่านของแอมิไลต์ น้อยกว่าดาวฤกษ์ปกติ ในขณะที่ดาวฤกษ์ขาวสี และดาวที่ขาวอบผานเนื้อที่มีปริมาณการซึมผ่านของแอมิไลต์ใกล้เคียงกับดาวฤกษ์ปกติ เมื่อเปรียบเทียบค่าพลังงานการสลายพันธุ์ด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ ได้ผลว่า ดาวที่อบผานเนื้อจากแก้ว มันสำปะหลัง ขาวสี และขาวมีค่าพลังงานในการสลายพันธุ์(ΔH) มากกว่าดาวฤกษ์ปกติของแต่ละชนิด

8.2 ผลของการอบผานเนื้อต่อสมบัติของเม็ดดาวฤกษ์

การอบผานเนื้อนี้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดาวฤกษ์ เช่น สมบัติด้านความหนืด เทอร์โมไดนามิกส์ ความเป็นผลึกของดาวฤกษ์ กำลังการพองตัว และร้อยละการสลายของดาวฤกษ์ โดยมีงานวิจัยดังนี้

Jacob *et al.* (1995) ทดลองอบผานเนื้อดาวฤกษ์ตัว มันฝรั่ง ขาวสี และขาว อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ปริมาณความชื้นร้อยละ 66 เป็นเวลา 24 ชม การอบผานเนื้อทำให้อุณหภูมิการเกิดเจลทีไนซ์ของดาวฤกษ์เพิ่มขึ้น ค่าพลังงานสลายพันธุ์เพิ่มขึ้นจากดาวฤกษ์ปกติ การซึมผ่านของแอมิไลต์ออกจากเม็ดดาวฤกษ์ระหว่างการให้ความร้อนในสภาวะมีน้ำมากเกินไปมีค่าลดลงจากดาวฤกษ์ปกติ

Yamamoto and Shirakawa (1999) อบผานเนื้อดาวฤกษ์ขาวจาปอนิกา และอินดิกา อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส 24 ชม. ปริมาณความชื้นร้อยละ 60 ตรวจสอบค่าพลังงานสลายพันธุ์ และความเป็นผลึก ปรากฏว่า ดาวฤกษ์ขาวทั้ง 2 พันธุ์มีอุณหภูมิเริ่มต้น อุณหภูมิสูงสุด ค่าพลังงานสลายพันธุ์ และความเป็นผลึกเพิ่มขึ้นจากดาวฤกษ์ปกติ แสดงดังภาพที่ 11



สมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์

ความเป็นผลึกของสตาร์ช

ภาพที่ 11 สมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ และความเป็นผลึกของสตาร์ชข้าว

1 = สตาร์ชจาปอนิกาปกติ 2 = สตาร์ชจาปอนิกาอบผานเนื้อ

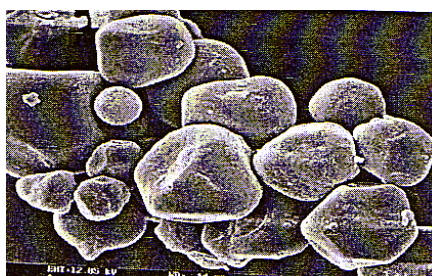
3 = สตาร์ชอินดิกาปกติ 4 = สตาร์ชอินดิกาอบผานเนื้อ

ที่มา : Yamamoto and Shirakawa (1999)

Adebowale *et al.* (2005) ทดลองอบผานเนื้อสตาร์ชข้าวฟิงเกอร์มิลเลต (Finger millet) อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส 48 ชม ปรากฏว่า การอบผานเนื้อทำให้สตาร์ชข้าวฟิงเกอร์มิลเลตมีสมบัติด้านความหนืดลดลงจากสตาร์ชปกติ อุณหภูมิเจลาติไนซ์ และค่าพลังงานสลายพันธะเพิ่มขึ้น เมื่อส่องดูขนาดเม็ดสตาร์ชอบผานเนื้อเปรียบเทียบกับสตาร์ชปกติด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กำลังขยาย 3,000 เท่า ได้ผลว่าเม็ดสตาร์ชอบผานเนื้อยังคงมีขนาด และรูปร่างเหมือนเดิม แสดงดังภาพที่ 12



สตาร์ชอบผานเนื้อ



สตาร์ชปกติ

ภาพที่ 12 เม็ดสตาร์ชข้าวฟิงเกอร์ มิลเลตส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

กำลังขยาย 3,000 เท่า

ที่มา : Adebowale *et al.* (2005)

Chiewcherngka and Naivikul (2005) ทดลองอบผสานเนื้อแป้งข้าวพันธุ์เหลือง 11 เวลา 4, 12, 24 และ 48 ชม อุณหภูมิ 55 °ซ ปริมาณความชื้นร้อยละ 66 ตรวจสอบสมบัติด้านความหนืดของแป้ง ปรากฏว่า เมื่อระยะเวลาการอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้นค่าความหนืดสูงสุด ความหนืดต่ำสุด ความหนืดลดลง ความหนืดสุดท้าย และเซตแบคลดลงจากเจลแป้งปกติ

สอดคล้องกับการอบผสานเนื้อสตาร์ชในพืชหัว งานวิจัยของ Gomes *et al.* (2005) ตรวจสอบสมบัติต่างๆของสตาร์ชมันสำปะหลังหมัก ผ่านการอบผสานเนื้อที่ 50 °ซ เป็นเวลา 0, 72, 96, 144 และ 240 ชม ปริมาณความชื้นร้อยละ 80 เปรียบเทียบกับสตาร์ชหมักปกติได้ผลว่า เมื่อเวลาในการอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้น สตาร์ชหมักอบผสานเนื้อมีการก่อตัวของเม็ด และร้อยละการละลายลดลง ตรวจสอบค่าพลังงานในการสลายพันธะด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ อุณหภูมิการเกิดเจลที่ในซ์ และค่าพลังงานในการสลายพันธะมีค่าเพิ่มขึ้น และตรวจสอบความเป็นผลึกของเม็ดสตาร์ชด้วยเครื่องเอกซ์-เรย์ ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ ให้ค่าความเป็นผลึกเพิ่มขึ้นจากสตาร์ชหมักปกติ

สกวาดี และปริศนา (2550) ตรวจสอบสมบัติด้านความหนืดด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว และสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของสตาร์ชข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 อบผสานเนื้ออุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 24, 48 และ 72 ชม ปริมาณความชื้นร้อยละ 60 ปรากฏว่า เมื่อเปรียบเทียบกับสตาร์ชปกติ เวลาการอบผสานเนื้อนานขึ้น ค่าความหนืดสูงสุด ความหนืดลดลง ความหนืดสุดท้าย และเซตแบคของสตาร์ชข้าวอบผสานเนื้อลดลงมากขึ้น และอุณหภูมิเริ่มต้น อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิสุดท้าย และค่าพลังงานสลายพันธะของสตาร์ชข้าวอบผสานเนื้อสูงกว่าสตาร์ชข้าวปกติ

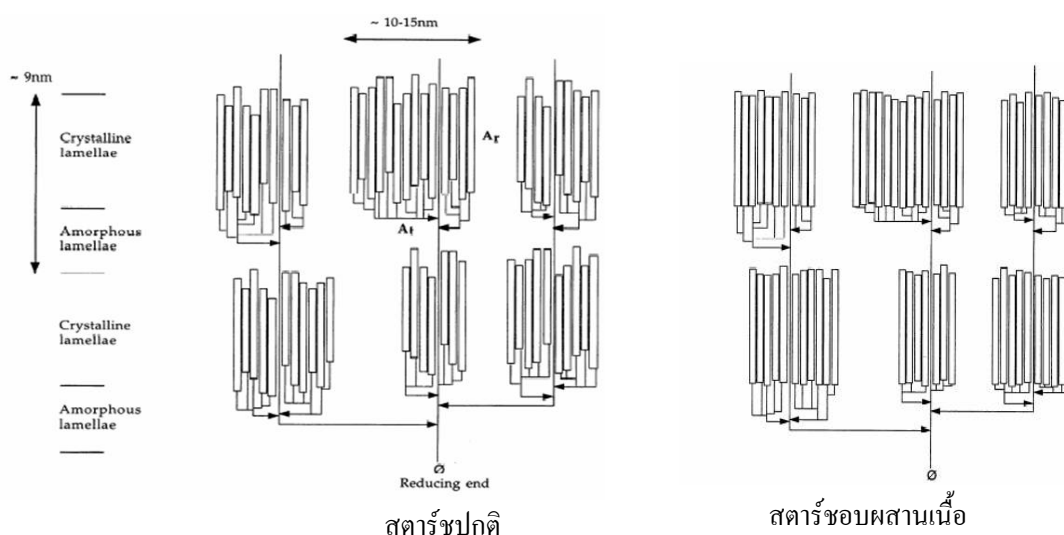
Jacob and Delcour (1998) สรุปผลของการอบผสานเนื้อต่อเม็ดสตาร์ชดังนี้

มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงในเม็ดสตาร์ชส่วนของสัณฐาน (crystalline zone) โดยมีการเคลื่อนที่ของสายแอมิโลส หรือแอมิโลเพกทินที่ใกล้เคียงกันเกิดพันธะไฮโดรเจนจับกัน ทำให้โมเลกุลสตาร์ชเป็นระเบียบมากขึ้น เม็ดสตาร์ชจึงแข็งแรงเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับ Kohyama and Sasaki (2006) ตรวจสอบโครงสร้างโมเลกุลของแอมิโลส และแอมิโลเพกทินในสตาร์ชผ่านการอบผสานเนื้อ 20°ซ และ 50 °ซ ปรากฏว่า ไม่พบการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสายกลูโคสในช่วง DP 6-12, DP 13-24, DP 25-35 และตั้งแต่ DP 36 ขึ้นไป แสดงให้เห็นว่าไม่เกิดพันธะโควาเลนต์ขึ้นกับ

แอมิโลเพกทิน (ภาพที่ 13) การที่สตาร์ชอบพसानเนื้อีมีค่าพลังงานการสลายพันธะสูงขึ้นอาจเกิดจากการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโมเลกุลเท่านั้น

เกิดการเปลี่ยนแปลงในเม็ดสตาร์ส่วนของสัณฐาน และอสัณฐาน อาจมีการเคลื่อนที่ของสายแอมิโลส และแอมิโลเพกทินจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจนเกิดความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้นในเม็ดสตาร์ และเกิดสารประกอบเชิงซ้อนแอมิโลสกับลิพิด ทำให้เพิ่มความเป็นผลึกในเม็ดสตาร์

ดังนั้นการดัดแปรสตาร์วิธีการอบพसानเนื้อีจึงมีความเป็นไปได้ว่า อาจช่วยลดการเกิดรีโทรเกรดในเจลแป้งข้าวผ่านการแช่เยือกแข็ง



ภาพที่ 13 ผลของการอบพसानเนื้อีต่อการจัดเรียงตัวของแอมิโลเพกทินในเม็ดสตาร์

ที่มา : Tester and Debon (2000)

9. การผสมกัมในแป้ง

กัม เป็นสารประกอบไฮโดรคอลลอยด์ ประกอบด้วยพอลิแซ็กคาไรด์ มีสายโมเลกุลของน้ำตาล เช่น น้ำตาลแมนโนส กลูโคส ดี-กาแล็กโทส เป็นต้น หรือกรด เช่น กลูคูโรนิก เชื่อมต่อกันเป็นสายยาว มีความสามารถในการจับกับน้ำได้ดี เพิ่มความหนืด และความคงตัว บางชนิดเซตเป็นเจลได้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมได้หลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมอาหาร เซรามิก สิ่งทอ และเครื่องสำอาง เป็นต้น (Nussinovitch, 1997)

9.1 สามารถแบ่งประเภทตามที่มาของวัตถุดิบ (Nussinovitch, 1997) คือ

9.1.1 สารสกัดจากสาหร่าย เช่น อาการ์ (agar) แอลจีเนต (alginate) คาร์ราจีแนน (carrageenan)

9.1.2 สารสกัดจากเชื้อจุลินทรีย์ เช่น เจลแลน (gellan) แซนแทน (xanthan) ไอโอต้า (iota)

9.1.3 ได้จากยางไม้ เช่น กัมอารบิก (arabic) กัมทรากาแคนต์ (tragacanth) กัมคารายา (karaya)

9.1.4 ได้จากเมล็ดพืช เช่น กัวร์ (guar) โลกัสบีน (locust bean) ทารา (tara)

9.1.5 สารสังเคราะห์ เช่น ซีเอ็มซี (carboxymethylcellulose, cmc) ไฮโดรโพรพิลเซลลูโลส (hydropropylcellulose)

9.1.6 สกัดจากผลไม้ พืช เช่น เพกทิน เป็นต้น

9.2 กัมชนิดต่างๆที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมี (Nussinovitch, 1997) ดังนี้

9.2.1 กัมกัวร์ ประกอบด้วยน้ำตาล ดี-แมนโนส เป็นสายหลัก และมีน้ำตาล ดี-กาแล็กโทสต่อเป็นสายยาวทุกๆ 2 โมเลกุลของน้ำตาลแมนโนส เป็นกัมที่สามารถดูดน้ำได้อย่างรวดเร็ว ให้ความหนืดสูง มีความคงตัวช่วงความเป็นกรดเบสค่อนข้างกว้างคือ 4.0-10.5 และมีสมบัติเป็นบัฟเฟอร์เล็กน้อย นิยมใช้ในเนยแข็ง ไอศกรีม น้ำสลัด และขนมอบ เป็นต้น

9.2.2 แอลจีเนต เป็นกัมที่ได้จากสาหร่าย ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของเกลือโซเดียม หรือ โพแทสเซียม ประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกรดแมนนูโรนิก และกรดกลูคูโรนิก สามารถละลายได้ทั้งในน้ำร้อนและน้ำเย็น สามารถเกิดเจลได้เมื่อผสมเกลือของแคลเซียม ความหนืดของสารละลายขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความเป็นกรดเบส ความเข้มข้น และขนาดโมเลกุล ใช้มากในไอศกรีม เบียร์ และน้ำสลัด เป็นต้น

9.2.3 กัมโลกัสปีน ประกอบด้วยน้ำตาล ดี-แมนโนส เป็นสายหลัก และมีน้ำตาล ดี-กาแล็กโทสต่อเป็นสายยาวทุกๆ 4 โมเลกุลของน้ำตาลดี-แมนโนส เป็นกัมที่จะละลายได้ในน้ำเย็น สามารถละลายได้ดียิ่งขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น สารละลายจะมีสีขุ่นเนื่องจากมีโปรตีน และ เซลลูโลสเป็นส่วนประกอบ นิยมใช้ในขนมอบ และใช้ควบคุมขนาดผลึกน้ำแข็งในไอศกรีม และ เนยแข็ง เป็นต้น

9.2.4 กัมซีเอ็มซี ประกอบด้วยโมเลกุลของ บีตา-แอนไฮโดรกลูโคส เป็นกัมที่มีการใช้แพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหาร ละลายได้ดีทั้งในน้ำร้อนและน้ำเย็น ส่วนใหญ่ใช้เพื่อช่วยให้เกิดความคงตัว และป้องกันการเกิดผลึกน้ำแข็ง ช่วยปรับปรุงความคงตัวในน้ำสลัด

9.2.5 กัมแซนแทน เป็นกัมที่ได้จากการสังเคราะห์จากจุลินทรีย์ กลุ่ม *Xanthomonas campestris* ประกอบด้วยน้ำตาลดี-กลูโคสเป็นสายหลัก มีกิ่งเป็นน้ำตาล แมนโนส 2 โมเลกุล และ กรดกลูคูโรนิก ต่อกัน เป็นพอลิแซ็กคาไรด์โมเลกุลใหญ่ ละลายได้ดีทั้งในน้ำร้อนและน้ำเย็น ให้สารละลายที่ขุ่น ค่อนข้างคงตัว

9.2.6 กัมคาร์ราจีแนน เป็นกัมจากสาหร่ายทะเลที่ประกอบด้วยน้ำตาลดี-กาแล็กโทส โดยมีกลุ่มของเอสเทอร์-ซัลเฟตจับอยู่กับพอลิเมอร์ด้วย สามารถละลายน้ำได้ดี นิยมใช้เพื่อช่วยให้เกิดเจลในผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ ใช้เพื่อช่วยควบคุมขนาดของผลึกน้ำแข็ง และควบคุมการตกตะกอนของโปรตีนในไอศกรีม

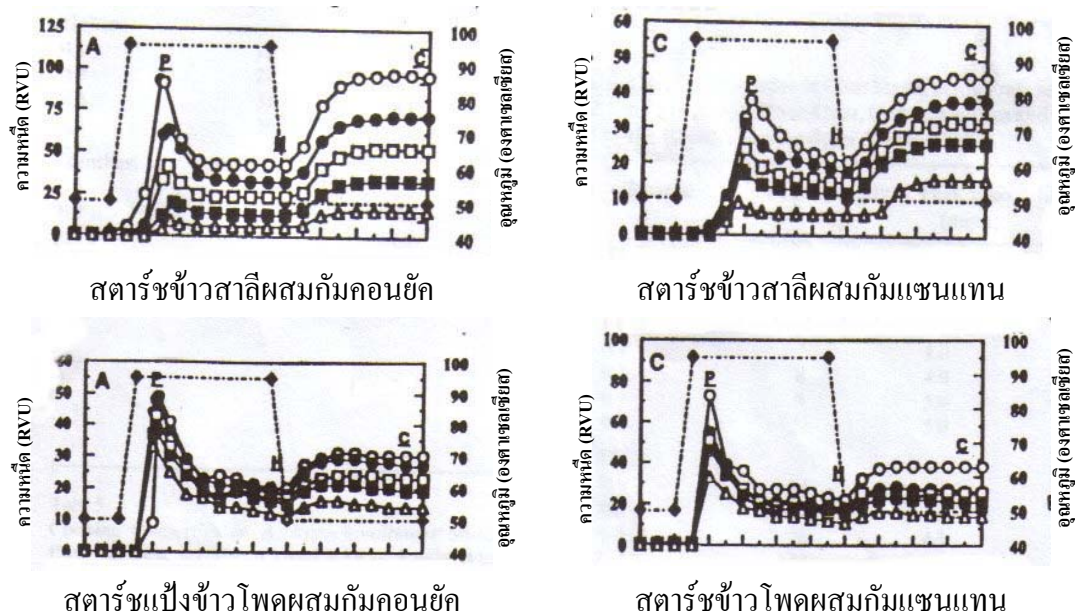
9.2.7 กัมอารบิก เป็นยางไม้ที่ได้จากต้นอาคาเซีย พบมากในทะเลทรายซาฮารา ใช้ในอุตสาหกรรมเบียร์ ป้องกันการเกิดฟอง ใช้ลดการเกิดผลึกน้ำตาลในอุตสาหกรรมลูกกวาด และ ช็อกโกแลต

เนื่องจากกัมประกอบด้วยพอลิแซ็กคาไรด์ มีขนาดโมเลกุลใหญ่ จับกับน้ำได้ดี เกิดอันตรกิริยากับองค์ประกอบทางเคมีต่างๆ และช่วยเพิ่มความคงตัวภายในอาหาร สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการลดการเกิดริ้วรอยในอาหารจากแป้งแซ่เอือกแข็งได้ (Lee *et al.*, 2002)

9.3 สมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งผสมกัม

เมื่อแป้งผสมกัมได้รับความร้อนในสถานะที่มีน้ำมากเกินไป สตาร์ชในแป้งค่อยๆ ดูดน้ำ และพองตัวออก แอมิโลสซึมออกมาจนรอบนอกเมล็ดสตาร์ชซึ่งเรียกว่า เนื้อเดียวกัน (continuous phase) เกิดอันตรกิริยากับกัมที่ผสมลงไป หากเกิดอันตรกิริยากันมาก มีแรงดันใบพัดในการกวนมากขึ้น ค่าการเปลี่ยนแปลงความหนืดเพิ่มมากขึ้นด้วย และเมล็ดสตาร์ชที่แตกออกแล้ว (starch remnant) กระจายอยู่ในส่วนไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (disperst phase) ส่วนนี้เกิดอันตรกิริยากับกัมที่ผสมลงไปได้น้อยกว่าในส่วนเป็นเนื้อเดียวกัน (continuous phase) (Bahnassey and Breene, 1994)

Bahnassey and Breene (1994) ทดลองผสมกัมแซนแทน และกัมคอนยัค ความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 ในสตาร์ชข้าวโพดแอมิโลเพกทินสูง และสตาร์ชข้าวสาลีแอมิโลสสูง ได้ผลว่า การผสมกัมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสตาร์ชที่มีปริมาณแอมิโลสสูงมากกว่า สตาร์ชที่มีปริมาณแอมิโลเพกทินสูง แสดงดังภาพที่ 14 เนื่องจากเมื่อให้ความร้อนสตาร์ชในสถานะที่มีน้ำมากเกินไป แอมิโลสซึมออกมาจากเมล็ดสตาร์ช และเกิดอันตรกิริยากับสายโมเลกุลของกัมทำให้เกิดการต้านแรงกวนของใบพัด ค่าความหนืดจึงเพิ่มขึ้น และเมื่ออุณหภูมิลดลง แอมิโลสเกิดการเซตตัวเป็นเจลพร้อมๆ กับกัม จึงส่งผลให้ค่าความหนืดสุดท้ายมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ขณะที่สตาร์ชข้าวโพด และสตาร์ชแอมาร์ตซึ่งมีปริมาณแอมิโลสต่ำเกิดการเปลี่ยนแปลงความหนืดน้อย เนื่องจากมีปริมาณแอมิโลสซึมออกมาน้อย การเกิดอันตรกิริยากับกัมจึงเกิดได้น้อย ค่าการเปลี่ยนแปลงความหนืดสตาร์ชแอมิโลสต่ำจึงน้อยกว่าสตาร์ชแอมิโลสสูง



○ ไม่ผสมผสมกับร้อยละ ● = 0.1, □ = 0.2, ■ = 0.3 และ △ = 0.4

ภาพที่ 14 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของสตาร์ชสาลี และสตาร์ชข้าวโพดผสมกับ

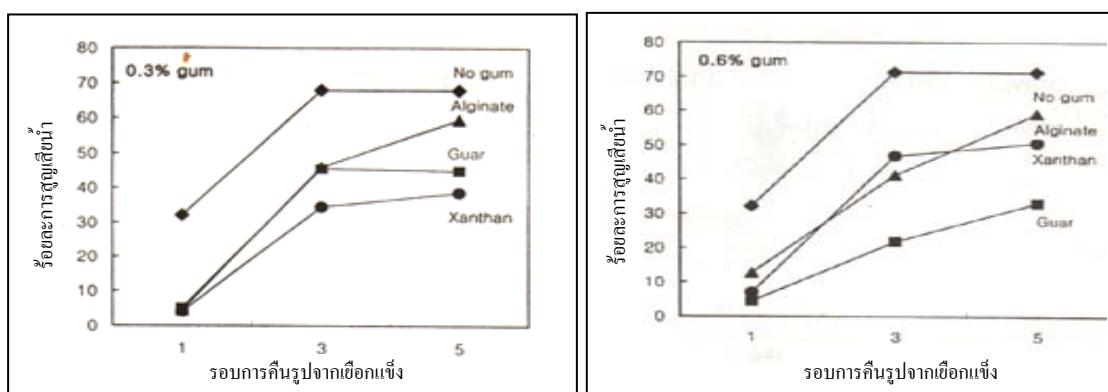
ที่ มา : Bahnassey and Breene (1994)

Rojas *et al.* (1999) ตรวจสอบผลของการผสมกับกัวร์ กัมเพกทิน กัมคาราจีแนน กัมแซนแทน และกัมเอชพีเอ็มซี ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 และ 1.0 ต่อสมบัติด้านความหนืดของระบบแป้งสาลีกับน้ำ ปรากฏว่าการผสมกับแอลจินตร้อยละ 1.0 ในแป้งสาลีมีผลต่อการเพิ่มความหนืดสูงสุดมากที่สุด รองลงมาเป็นกัมกัวร์ กัมคาราจีแนน กัมแซนแทน กัมเอชพีเอ็มซี และกัมเพกทิน ขณะที่ค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส การผสมกับแอลจินตในแป้งสาลีให้ความหนืดสูงสุด รองลงมาเป็นกัมแซนแทน และกัมเอชพีเอ็มซี ทั้งนี้เกิดจากการเกิดอันตรกิริยาระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของเอมิโลส หรือเอมิโลเพกทินกับกัมที่ผสมลงไปทำให้เกิดการต้านแรงกวน ค่าดังกล่าวจึงสูงขึ้น

9.4 สมบัติความคงตัวของแป้งผสมกับหลังการคั้นรูปจากเยือกแข็ง

Lee *et al.* (2002) ทดลองผสมกับแซนแทน กัมแอลจินต และกัมกัวร์ ร้อยละ 0.3 ในสตาร์ชมันฝรั่ง ทำให้เกิดเจลที่ไนซ์ แช่เยือกแข็ง และคั้นรูปจากเยือกแข็ง ปรากฏว่าการผสมกับช่วยเพิ่มความคงตัวของเจล ลดการสูญเสียของเจลหลังคั้นรูปจากเยือกแข็ง เมื่อเปรียบเทียบกับสตาร์ชปกติ (ภาพที่ 15) เมื่อตรวจสอบค่าพลังงานในการสลายพันธะด้วยเครื่องคิฟเฟอเรลเซียล

สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ การผสมกัมสามารถลดการเกิดรีโทรเกรเดชันได้ เนื่องจากค่าพลังงานในการสลายพันธะ เมื่อผสมกัมกัวร์ และกัมแซนแทน ร้อยละ 0.3 ค่าพลังงานในการสลายพันธะลดลงเป็น 11.9 และ 11.1 จูล/กรัม ตามลำดับ จากสตาร์ชปกติ 13.5 จูล/กรัม เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกัมขึ้นเป็นร้อยละ 0.6 ค่าพลังงานในการสลายพันธะลดลงเป็น 6.7 จูล/กรัม และ 9.1 จูล/กรัม ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 3



ภาพที่ 15 ค่าร้อยละการสูญเสีย น้ำของเจลจากสตาร์ชที่ผสมกัมร้อยละ 0.3 และ 0.6

ที่มา : Lee *et al.* (2002)

ตารางที่ 3 สมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของสตาร์ชผสมกัม

ตัวอย่าง	การเกิดเจลที่ไนซ์			
	อุณหภูมิเริ่มต้น (°ซ)	อุณหภูมิสูงสุด (°ซ)	อุณหภูมิสุดท้าย (°ซ)	ค่าพลังงานสลายพันธะ จูล/กรัม
ปกติ	48.5	56.2	63.6	13.5
กัมกัวร์ 0.3%	46.1	52.8	61.0	11.9
กัมกัวร์ 0.6%	48.8	54.2	58.6	6.7
กัมแซนแทน 0.3%	48.3	57.1	66.1	11.1
กัมแซนแทน 0.6%	47.5	52.8	59.9	9.1

ที่มา : Lee *et al.* (2002)

Funami *et al.* (2005) ทดลองผสมกัมกัวร์ขนาดโมเลกุลใหญ่ และเล็กในแป้งข้าวโพด ทำให้เกิดเจลที่ไนซ์ แซ่เย็น 4 °ซ เป็นเวลา 24 ชม ปรากฏว่า การผสมกัมกัวร์โมเลกุลใหญ่ช่วยลดการเกิดรีโทรเกรเดชันได้ดีกว่าโมเลกุลขนาดเล็ก Sadhakar *et al.* (1996) ได้ทดลองผสมกัมกัวร์ และกัม

โลกัสปีนลงในแป้งข้าวโพด และแป้งแอมาร์ตร้อยละ 0.05, 0.1 และ 0.2 ทำให้เกิดเจลาทีไนซ์ แซ่เยือกแข็ง และคืนรูปจากเยือกแข็ง รอบที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 ตรวจสอบค่าการสูญเสีย น้ำของเจล ได้ผลว่า ในทุกรอบการคืนรูปจากเยือกแข็ง เมื่อความเข้มข้นของกัมในเจลแป้งข้าวโพด และเจลแป้งแอมาร์ต เพิ่มขึ้นร้อยละการสูญเสีย น้ำลดลง

จากสมบัติของกัม ซึ่งมีโมเลกุลขนาดใหญ่ มีความสามารถในการจับกับน้ำได้ดี ช่วยเพิ่มความคงตัวของเจลแป้ง จึงอาจช่วยลดการเกิดรีโทรเกรด และเพิ่มความคงทนต่อเจลจากแป้ง หลังการคืนรูปจากเยือกแข็ง (Sadhakar *et al.*, 1996)

10. จุลินทรีย์ที่พบในอาหารพร้อมบริโภคแช่เยือกแข็ง

อาหารพร้อมบริโภคแช่เยือกแข็งเป็นอาหารที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็ง ความร้อนที่ใช้ขึ้นอยู่กับชนิด และประเภทอาหารที่ต้องการผลิต ซึ่งความร้อนที่ใช้ อาจไม่พอทำลายเชื้อจุลินทรีย์ในวัตถุดิบให้หมดไปได้จึงต้องกำหนดคุณภาพของวัตถุดิบ, การควบคุมการผลิต และสุขลักษณะที่ดีของการผลิต ซึ่งเป็นปัจจัยที่กำหนดการเพิ่มจำนวนของเชื้อจุลินทรีย์ หรือการปนเปื้อนกลับ (Cross-contamination) ของเชื้อจุลินทรีย์ภายหลังการให้ความร้อน โดยจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ที่เกี่ยวข้องในอาหารแช่เยือกแข็งแบ่งได้ดังนี้ (อดิศร, 2538)

10.1 จุลินทรีย์ในกลุ่มที่ทำให้อาหารเน่าเสีย

จุลินทรีย์ในกลุ่มนี้ส่วนใหญ่เป็นเชื้อจุลินทรีย์ชอบเย็น (Psychrophiles) สำคัญ ได้แก่ แบคทีเรียสกุล ชูโดโมแนส (*Pseudomonas*) เมื่อเจริญในอาหารเกิดสารในกระบวนการสร้างและสลาย (metabolite) กรดแอมิโนในอาหาร แล้วให้สารประกอบพวกมาโลโดรัส (Malodorus) ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดกลิ่นไม่ดีในอาหาร โดยปกติถ้าควบคุมอุณหภูมิในการแช่เยือกแข็งอย่างมีประสิทธิภาพแล้วเชื้อจุลินทรีย์ในกลุ่มนี้ไม่สามารถเจริญได้ แต่ถ้าอุณหภูมิการเก็บผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 0 °C เป็นเวลานาน จุลินทรีย์ดังกล่าวอาจเป็นสาเหตุให้เกิดการเสื่อมเสียได้

10.2 จุลินทรีย์ที่เป็นดัชนีบ่งชี้ถึงสุขลักษณะ

โดยทั่วไปการตรวจหาจุลินทรีย์ในกลุ่มนี้ตามมาตรฐานสากลคือการตรวจหาโคลิฟอร์ม (coliforms) และ เอสเชอริเชีย โคลิ (*Escherichia coli*) ซึ่งเชื้อจุลินทรีย์ดังกล่าวมีแหล่งสะสมอยู่ในลำไส้ของมนุษย์และสัตว์เลื้อยคลาน การปนเปื้อนของเชื้อกลุ่มนี้ในอาหารแสดงถึงสุขลักษณะของการผลิตที่ไม่ดี เนื่องจากเป็นเชื้อที่ไม่ทนความร้อน ดังนั้นเมื่อตรวจพบเชื้อกลุ่มนี้ในอาหารพร้อมบริโภคแช่เยือกแข็ง แสดงให้เห็นว่ามีการปนเปื้อนภายหลังการให้ความร้อน หรือความร้อนที่ใช้ในกระบวนการผลิตไม่เพียงพอที่ทำลายเชื้อในกลุ่มดังกล่าวได้

10.3 จุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค

การตรวจพบเชื้อจุลินทรีย์ในกลุ่มนี้แสดงให้เห็นว่า วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตมีคุณภาพไม่ดี หรือสุขลักษณะของแหล่งผลิตไม่ดี เชื้อในกลุ่มนี้ถ้าเจริญในผลิตภัณฑ์เป็นปริมาณมาก และผู้บริโภคใช้ความร้อนในการอุ่นไม่เพียงพอ อาจก่อให้เกิดอันตรายได้ เชื้อที่สำคัญได้แก่ สตาฟีโลคอคคัส ออเรียส (*Staphylococcus aureus*), ซัลโมเนลลา (*Salmonellae*), คลอสทริเดียม เพอร์ฟริงเจนส์ (*Clostridium perfringens*), บาซิลลัส ซีเรียส (*Bacillus cereus*), วิบริโอ พาราฮีโมไลติคัส (*Vibrio parahaemolyticus*) และลิสเทอเรีย โมโนไซโตเจเนส (*Listeria monocytogenes*) เป็นต้น

11. การเก็บรักษาอาหารแช่เยือกแข็ง

อุณหภูมิการเก็บรักษาอาหารแช่เยือกมีผลต่ออัตราการเปลี่ยนแปลง โดยอุณหภูมิต่ำทำให้จุลินทรีย์และปฏิกิริยาทางชีวเคมีลดลง แต่กระบวนการแช่เยือกแข็ง และการเก็บรักษาไม่ได้ทำลายกิจกรรมของเอนไซม์ และผลจากจุลินทรีย์นี้ผันแปรไปตามอุณหภูมิด้วย การเก็บรักษาที่อุณหภูมิระหว่าง -4 ถึง -10 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดผลกระทบถึงตาย (lethal effect) ต่อจุลินทรีย์มากกว่า การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ระหว่าง -15 ถึง -30 องศาเซลเซียส (นิธิยา, 2544)

นอกจากนี้ยังมีจุลินทรีย์บางชนิดที่ทนต่ออุณหภูมิต่ำ ยกเว้นจุลินทรีย์ประเภทยีสต์ รา แบคทีเรียแกรมลบ เช่น คอลิฟอร์ม (*Coliform*) และซัลโมเนลลาสปีชีส์ (*Salmonella species*) ส่วนใหญ่ถูกทำลายได้เกือบทั้งหมด ส่วนแบคทีเรียแกรมบวก เช่น สตาฟีโลคอคคัส ออเรียส

(*Staphylococcus aureus*) และเอนเทอโรคอกคัส (*Enterococci*) และสปอร์ของราค่อนข้างทนทานต่อการแช่เยือกแข็ง แต่สปอร์ของแบคทีเรียโดยเฉพาะบาซิลลัสสปีชีส์ (*Bacillus* species) และคลอสทริเดียมสปีชีส์ (*Clostridium* species) เช่นคลอสทริเดียม บอ툴ินัม (*C. botulinum*) ไม่ได้รับผลกระทบจากการแช่เยือกแข็ง ดังนั้นต้องควบคุมด้วยก๊าซออกซิเจน ภาวะความเป็นกรด หรือรมด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งประเทศไทยได้มีข้อกำหนดสำหรับอาหารปรุงสุกแล้วแช่เย็น หรือต้องอุ่นก่อนบริโภค แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ข้อกำหนดทางจุลชีววิทยาของอาหารปรุงสุกแล้วแช่เย็น หรือแช่เยือกแข็ง

ประเภทอาหาร	ค่ากำหนด		
1. แช่เย็น	จุลินทรีย์รวม/กรัม	น้อยกว่า	1×10^6
	MPN Coliforms/กรัม	น้อยกว่า	500
	MPN <i>E. coli</i> /กรัม	น้อยกว่า	3
	<i>S. aureus</i> /กรัม	น้อยกว่า	100
	<i>B. cereus</i> /กรัม	น้อยกว่า	100
	<i>C. perfringers</i> /0.01กรัม	ไม่พบ	
	<i>V. parabaemolyticus</i> /25 กรัม	ไม่พบ	
	Salmonellae/25 กรัม	ไม่พบ	
2. แช่เยือกแข็ง	จุลินทรีย์รวม/กรัม	น้อยกว่า	1×10^5
	MPN Coliforms/กรัม	น้อยกว่า	100
	MPN <i>E. coli</i> /กรัม	น้อยกว่า	3
	<i>S. aureus</i> /กรัม	น้อยกว่า	50
	<i>B. cereus</i> /กรัม	น้อยกว่า	50
	<i>C. perfringers</i> /0.1กรัม	ไม่พบ	
	<i>V. parabaemolyticus</i> /25 กรัม	ไม่พบ	
	Salmonellae/25 กรัม	ไม่พบ	

ที่มา: กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ (2547)

สำหรับอุณหภูมิที่ใช้เก็บรักษาอาหารแช่เยือกแข็งโดยทั่วไป คือ ประมาณ -18°C เพื่อให้ไม่ให้อายุเสียคุณภาพทั้งที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และเกิดจากกิจกรรมของเอนไซม์ด้วย และการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวทำให้อาหารเสื่อมเสีย เมื่อความเข้มข้นของตัวถูกละลายสูงขึ้นรอบ ๆ

ผลึกน้ำแข็ง ทำให้น้ำอิสระลดลง นอกจากนี้ยังมีการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช และศักย์รีดอกซ์ด้วย (redox potential) ถ้าผลึกน้ำแข็งไม่ทำลายผนังเซลล์ ทำให้เอนไซม์ยังคงอยู่ภายในเซลล์ และมีความเข้มข้นมากขึ้น ทำให้เกิดปฏิกิริยากับตัวถูกละลายที่อยู่ภายในเซลล์ได้ง่ายขึ้น (นิธิยา, 2544)

ในระหว่างการเก็บรักษาอาหารแช่เยือกแข็ง ผลึกน้ำแข็งในเซลล์เปลี่ยนแปลงรูปร่าง ถ้ามีขนาดเล็กทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพที่ดี แต่อย่างไรก็ตามจำนวนของผลึกน้ำแข็งลดลง และมีขนาดของผลึกน้ำแข็งที่ใหญ่ขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสถานะที่อุณหภูมิไม่คงที่ เป็นผลทำให้คุณภาพของอาหารมีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมเช่น ผิวนอกของอาหารแห้งแตก และเนื้อสัมผัสแข็งขึ้น เป็นต้น (Lisa, 1997)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัตถุดิบ

1.1 ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 จากโรงสี จ. พระนครศรีอยุธยา (ปี 2545)

1.2 กัมทั้งหมด 7 ชนิด ดังนี้

1.2.1 กัมอารบิก บริษัท Jumbo Trading ประเทศไทย

1.2.2 กัมคาร์ราจีแนน ห้างหุ้นส่วนจำกัดเล็บวัลเลย์ ประเทศไทย

1.2.3 กัมไซเคียมแอลจิเนต บริษัท Pronova Biopolymer

1.2.4 กัมโลกส์ป็น ห้างหุ้นส่วนจำกัดเล็บวัลเลย์ ประเทศไทย

1.2.5 กัมซีเอ็มซี บริษัท Brosonard Jacobs

1.2.6 กัมแซนแทน ห้างหุ้นส่วนจำกัดเล็บวัลเลย์ ประเทศไทย

1.2.7 กัมกัวร์ บริษัท Degussa Texturant System (Thailand) Ltd.

2. เครื่องมือที่ใช้ในการดัดแปรสสารขึ้นแป้งข้าว

2.1 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath)

2.2 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) บริษัท Memmert ประเทศเยอรมนี

3. เครื่องมือที่ใช้ผลิตเส้นขนมจีน

3.1 เครื่องโม่หินไฟฟ้า (Stone mill) ประเทศไทย

3.2 เครื่องเหวี่ยงแยกน้ำแบบตะกร้า (Basket centrifuge) ประเทศไทย

3.3 ตู้อบลมร้อนแบบถาด (Tray dryer) บริษัทยูเรก้า ประเทศไทย

3.4 เครื่องบดตัวอย่างอาหารแข็ง (Hammer mill) MIKRO-PULVERIZER® รุ่น AP-S
บริษัท HOSOKAWA MICRON CORP. ประเทศญี่ปุ่น

3.5 ตะแกรงร่อนขนาด 100 เมช บริษัท Endecotts, Ltd. ประเทศอังกฤษ

3.6 กระบอกโรยเส้นขนมจีน (Hand extruder) ประเทศไทย ขนาดความกว้างของรูประมาณ 2 มิลลิเมตร

3.7 อุปกรณ์เครื่องครัว

4. เครื่องมือวิเคราะห์คุณภาพ

4.1 เครื่องมือวิเคราะห์คุณภาพทางฟิสิกส์ และเคมีเชิงฟิสิกส์

4.1.1 เครื่องบดตัวอย่าง (Ultra – centrifugal mill type ZM1) บริษัท Retch

4.1.2 เครื่องวัดสี (Spectrophotometer) รุ่น CM-3500d บริษัท Minolta ประเทศญี่ปุ่น

4.1.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบแสงส่องกราด หรือ กล้องเอสอีเอ็ม (Scanning electron microscope: SEM) รุ่น JSM-5600 LV บริษัท JEOL ประเทศญี่ปุ่น

4.1.4 เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน หรือเครื่องเอกซอาร์ดี (X-ray diffraction: XRD) รุ่น JSM-5600 LV บริษัท JEOL ประเทศญี่ปุ่น

4.1.5 เครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว หรือเครื่องอาร์วีเอ (Rapid Visco Analyzer: RVA) รุ่น 4D บริษัท Newport Scientific Pty, Ltd. ประเทศออสเตรเลีย

4.1.6 เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyser) รุ่น TA-XT2 บริษัท Micro Stable System ประเทศอังกฤษ

4.1.7 เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ หรือเครื่องดีเอสซี (Differential scanning calorimeter: DSC) บริษัทเมทเลอร์ โทเลโด ประเทศสหรัฐอเมริกา

4.2 เครื่องมือวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

4.2.1 เครื่องชั่งละเอียด รุ่น AP210S บริษัท Ohaus ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

4.2.2 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) บริษัท Memmert ประเทศเยอรมนี

4.2.3 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer) Spectronic 22 ประเทศสหรัฐอเมริกา

4.2.4 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (Buchi Kjeldahl system) ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

4.2.5 เครื่องวิเคราะห์ไขมัน (Tecator: 1043 Soxtec system HT6) บริษัท Tecator AB ประเทศสวีเดน

4.2.6 เตาเผาความร้อนสูง (Muffle Furnance) รุ่น FSE-621 Series บริษัท Sanyo Gallenkamo ประเทศไทย

4.3 เครื่องแช่เยือกแข็ง

4.3.1 เครื่องแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิกฟอสฟอรัสไนโตรเจนทำความเย็นแบบขวดแข็งอย่างต่อเนื่อง บริษัท บางกอกอินดัสเทรียลแก๊ส จำกัด ประเทศไทย

4.3.2 เครื่องแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด

4.3.2 ตู้แช่เยือกแข็ง -18 องศาเซลเซียส รุ่น U30AAWHZZ บริษัท Brandt ประเทศฝรั่งเศส

5. อุปกรณ์ประมวลผลและวิเคราะห์ผลทางสถิติ

5.1 ไมโครคอมพิวเตอร์

5.2 โปรแกรมสำเร็จรูปวิเคราะห์ผลทางสถิติ (SPSS For Window)

6. อุปกรณ์ทดสอบทางประสาทสัมผัส

6.1 แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

6.2 อุปกรณ์ เช่น ถ้วย ช้อน และแก้วน้ำ

6.3 เตาไมโครเวฟ National Model NM-K571MF กำลังไฟฟ้า 1,000 วัตต์ ความถี่คลื่น 2,450 เมกะเฮิรตซ์ บริษัท National ประเทศไทย

วิธีการทดลอง

1. ผลิตแป้งปกติ แป้งหมักปกติ แป้งหมักพรีเจลาไทไนซ์ และแป้งหมักอบผานเนื้อ

ผลิตแป้งปกติ แป้งหมักปกติ แป้งหมักพรีเจลาไทไนซ์ และแป้งหมักอบผานเนื้อเพื่อใช้ในการกระบวนการตรวจสอบสมบัติของแป้ง และใช้ในกระบวนการผลิตขนมจีนพร้อมบริโภคแช่เยือกแข็ง

1.1 การเตรียมแป้งปกติ

นำข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 มาล้างทำความสะอาด หลังจากนั้นแช่น้ำ 4 ชั่วโมง โม่ข้าวด้วยเครื่องโม่หิน แยกเอาน้ำออกด้วยเครื่องเหวี่ยงแยกน้ำ หลังจากนั้นอบแห้งอุณหภูมิ 50 °ซ บดด้วยเครื่องบดแห้ง ร่อนแป้งผงผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช เก็บในถุงพลาสติกปิดสนิท อุณหภูมิห้อง (อรพรรณ, 2547)

1.2 การเตรียมแป้งหมักปกติ

นำข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 ล้างทำความสะอาด เทใส่ถังหมักข้าว แช่ข้าวในน้ำ 2 คืน ล้างทำความสะอาด และเปลี่ยนน้ำทุกวัน เทข้าวลงในตะกร้าที่มีผ้าขาวบางรองรับ ห่อปิดด้านบนด้วยผ้าให้มิดชิด หมักทิ้งไว้ 3 วัน ล้างทำความสะอาดข้าวทุกวัน โม่ข้าวด้วยเครื่องโม่หิน ทิ้งให้แป้งตกตะกอน 1 คืน ตักน้ำส่วนบนทิ้ง เทแป้งลงในถุงผ้า นำก้อนหินขนาดใหญ่ทับเอาไว้ 1 คืน นำแป้งออกมาเกลี่ยลงถาดอบของเครื่องอบแบบถาด อุณหภูมิ 50 °ซ นำแป้งแห้งความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 12 บดด้วยเครื่องบดแห้ง ร่อนแป้งหมักผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช เก็บในถุงพลาสติกปิดสนิท อุณหภูมิห้อง (ภควัฒน์, 2547)

1.3 การเตรียมแป้งหมักพรีเจลาไทไนซ์

นำแป้งหมักละลายน้ำอัตราส่วนแป้งหมักต่อน้ำ 60 : 40 โดยน้ำหนัก นำเข้าเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง ปรับระยะห่างของลูกกลิ้ง 0.004 นิ้ว ความดันไอน้ำ 40 ปอนด์ อุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง 135-137 °ซ ค่อยๆผสมน้ำแป้ง เมื่อได้แผ่นแป้งพรีเจลาไทไนซ์ นำเก็บลงในถุงพลาสติกปิด

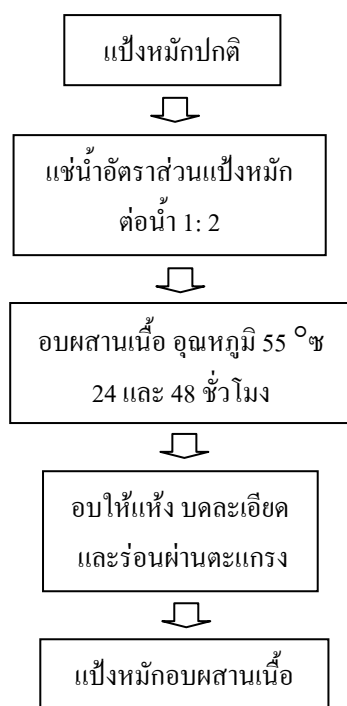
สนิท นำแป้งพรีเจลาทีไนซ์แผ่นมาบดด้วยเครื่องบด หลังจากนั้น ร้อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช เก็บในถุงพลาสติกปิดสนิท (ภควัฒน์, 2547)



ภาพที่ 16 กระบวนการผลิตแป้งหมักปกติ และแป้งหมักพรีเจลาทีไนซ์
ที่มา: ภควัฒน์ (2547)

1.4 การเตรียมแป้งหมักอบผสานเนื้อ

คัดแปรรูป starch ในแป้งหมักปกติด้วยวิธีการอบผสานเนื้อ โดยนำแป้งหมักปกติที่ได้มาผสมกับน้ำอัตราส่วนแป้งต่อน้ำ 1: 2 โดยน้ำหนัก ให้ความร้อนอุณหภูมิ 55 °ซ ปริมาณความชื้นร้อยละ 60 ที่ระยะเวลา 2 ระดับคือ 24 และ 48 ชม บ่มในอ่างควบคุมความร้อน ทำระดับละ 2 ตัวอย่าง คัดแปลงจาก Seow and Teo (1993)



ภาพที่ 17 กระบวนการผลิตไข่แดงกอบผสมเนื้อ

ที่มา : ดัดแปลงจาก Seow and Teo (1993)

2. ตรวจสอบสมบัติทางฟิสิกส์ ทางเคมี ทางเคมีเชิงฟิสิกส์ และความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งของแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้งหมักกอบผสมเนื้อ

ตรวจสอบสมบัติทางฟิสิกส์ ทางเคมี เคมีเชิงฟิสิกส์ และความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งของแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้งหมักกอบผสมเนื้อ โดยทำการทดลองระดับละ 2 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

2.1 สมบัติทางฟิสิกส์

2.1.1 ลักษณะเม็ดสตาร์ชในแป้ง

ก. ตรวจสอบลักษณะเม็ดสตาร์ชในแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้งหมักกอบผสมเนื้อผ่านกล้องจุลทรรศน์ แบบแสงส่องผ่าน กำลังขยาย 1,000 เท่า (Paipong and Naivikul, 2005)

ข. ตรวจสอบลักษณะเม็ดสตาร์ชในแป้งปกติ และแป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผสมเนื้อผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ตามวิธีของน้ำฝน (2548)

2.1.2 ค่าสี

ตรวจสอบค่าสีของแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผสมเนื้อ ด้วยเครื่องวัดสี (Minolta Spectrophotometer) โดยดัดแปลงวิธีการของ Lee *et al.* (2001) นำตัวอย่างแป้งใส่กล่องทรงกระบอกสำหรับวัดสีของเครื่อง บันทึกค่าสีที่วัดในระบบ Hunter เป็น L, a^* และ b^*

เมื่อ ค่า L คือ ความสว่างของสี มีค่า 0-100 ($L=0$ คือ สีดำ $L=100$ คือ สีขาว)

ค่า a^* คือ ค่าความเป็นสีเขียว-แดง (ค่า $-a^*$ หมายถึง สีเขียว ค่า $+a^*$ หมายถึง สีแดง)

ค่า b^* คือ ค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน (ค่า $-b^*$ หมายถึง สีนํ้าเงิน ค่า $+b^*$ หมายถึง สีเหลือง)

2.2 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผสมเนื้อ

2.2.1 ปริมาณความชื้น ตามวิธีของ AACC (2000) Method 44 – 15A

2.2.2 ปริมาณโปรตีน วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Buchi Kjeldahl System ดัดแปลงวิธีการของ AACC (2000) Method 46-12

2.2.3 ปริมาณไขมัน วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Soxtec system HT 6 ดัดแปลงวิธีการของ AACC (2000) Method 30-25

2.2.4 ปริมาณเถ้า วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Muffle furnace ดัดแปลงวิธีการของ AACC (2000) Method 08-01

2.2.5 ปริมาณแอมิโลส วิเคราะห์โดยการทำปฏิกิริยากับไอโอดีน ดัดแปลงวิธีการของ Juliano (1971)

2.3 สมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์

2.3.1 สมบัติด้านความหนืด

ตรวจสอบสมบัติด้านความหนืดของแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบ ผสานเนื้อด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว หรือ อาร์วีเอด์แปลงจากวิธีของ Jacobs and Delcour (1998)

2.3.2 กำลังการพองตัว และการละลาย

ตรวจสอบกำลังการพองตัว และการละลายของแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบ ผสานเนื้อ โดยใช้วิธีดัดแปลงของ Schoch (1964)

2.3.3 ลักษณะโครงสร้างผลึก

ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงความเป็นผลึกของสตาร์ชในแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบ ผสานเนื้อด้วยเครื่องเอกซ์-เรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ หรือเอกซ์อาร์ดี ตามวิธีของ น้ำฝน (2548)

2.3.4 ตรวจสอบสมบัติการเกิดเจลลาทีนซ์ด้วยเครื่องดีเอสซี

ชั่งตัวอย่างปริมาณ 3.0-3.5 มิลลิกรัม ใส่ในภาชนะปลอดสนิม (stainless pan) ผสมน้ำกลั่นที่ปราศจากไอออน (deionized water) จนมีความเข้มข้นร้อยละ 70 ของน้ำหนักแป้งแห้ง ปิดฝาภาชนะให้สนิท บ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นใส่ตัวอย่างในเครื่องดีเอสซี ใช้ภาชนะเปล่าเป็นสารอ้างอิง ให้ความร้อนกับตัวอย่าง 30 ถึง 140 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราเร็ว 10 องศาเซลเซียส ต่อนาที ทำการวิเคราะห์หาอุณหภูมิที่จุดเริ่มต้น (onset temperature, T_o) อุณหภูมิที่จุดสูงสุด (peak temperature, T_p) อุณหภูมิที่จุดสุดท้าย (conclusion temperature, T_c) และพลังงานเอนทัลปี (enthalpy, ΔH) ที่ใช้ในการเกิดเจลลาทีนเซชัน และคำนวณระดับการเกิดเจลลาทีนเซชัน (ร้อยละ) ตามวิธีการของ Marshall *et al.* (1993)

2.3.5 ตรวจสอบสมบัติการเกิดรีโทรเกรด ด้วยเครื่องดีเอสซี

นำตัวอย่างที่ตรวจสอบในข้อ 2.3.4 ไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 คืน นำมาคืนรูปจากเยือกแข็งอุณหภูมิห้อง นับเป็น 1 รอบ ทำ 1, 3 และ 5 รอบ แล้วจึงนำมาตรวจสอบการเกิดรีโทรเกรดให้ความร้อนกับตัวอย่าง 25 ถึง 120 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราเร็ว 10 องศาเซลเซียส ต่อนาที ทำการวิเคราะห์หาอุณหภูมิที่จุดเริ่มต้น, อุณหภูมิที่จุดสูงสุด, อุณหภูมิที่จุดสุดท้าย และพลังงานเอนทัลปี การเกิดรีโทรเกรด (Takaya *et al.*, 2000)

2.4 ตรวจสอบสมบัติความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็ง

เตรียมเจลแบ่งความเข้มข้นแบ่งต่อน้ำร้อยละ 8 ตรวจสอบร้อยละการสูญเสีย น้ำ ค่าเนื้อสัมผัสหลังคืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 1, 3 และ 5 มีขั้นตอนดังนี้

2.4.1 การเตรียมเจลแบ่ง

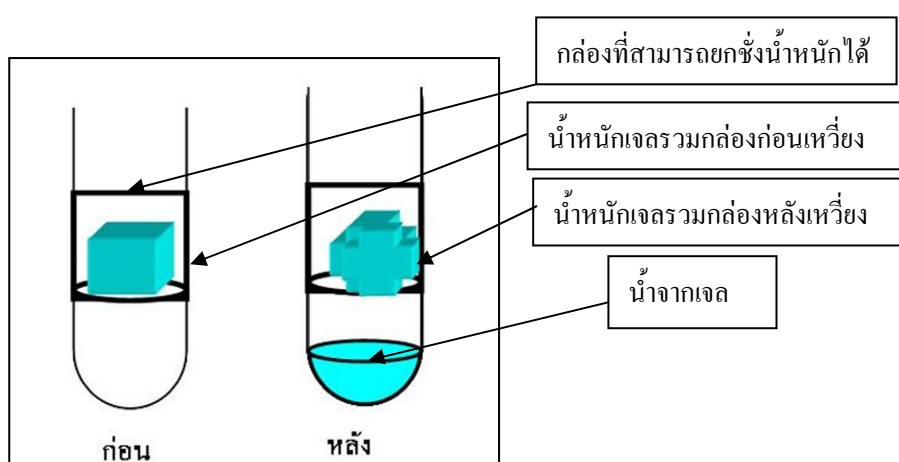
นำตัวอย่างแบ่ง 24 กรัม ละลายในน้ำ 276 กรัม เทใส่ขวดแก้วมีฝาปิดสนิท ให้ความร้อนในอ่างน้ำเดือดเป็นเวลา 5 นาที แก้วขวดตลอดเวลา ดูดแบ่งที่ได้ด้วยหลอดชนิดยา ชุดที่ 1 ปริมาตร 4 ลูกบาศก์เซนติเมตรจำนวน 20 หลอด และชุดที่ 2 ปริมาตร 8 ลูกบาศก์เซนติเมตรจำนวน 20 หลอด แบ่งใส่ถุงพลาสติก 4 ถุง ประกอบด้วยหลอดชนิดยาชุดที่ 1 จำนวน 5 หลอด และชุดที่ 2 จำนวน 5 หลอด ที่ทิ้งไว้อุณหภูมิห้อง 12 ชั่วโมง ชุดที่ 2, 3 และ 4 นำมาแช่เยือกแข็ง อุณหภูมิ -18 °ซ ด้วยตู้แช่เยือกแข็งแบบอากาศเย็นจัด 24 ชั่วโมง นำชุดที่ 2, 3 และ 4 มาคืนรูปจากเยือกแข็ง อุณหภูมิห้อง 2 ชั่วโมง นับเป็นรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1 นำกลับไปแช่เยือกแข็งอีกครั้ง ตรวจวัดค่าเนื้อสัมผัสของเจล และค่าการสูญเสียน้ำของเจลแบ่งที่ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง, เจลแบ่งรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1, 3 และ 5

2.4.2 ปริมาณการสูญเสียน้ำหลังคืนรูปจากเยือกแข็ง

ตรวจสอบความคงตัวต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งของเจลแบ่งหมักปกติ และแบ่งหมักอบพสานเนื้อ อุณหภูมิ 55 °ซ เวลา 24 และ 48 ชม โดยการหาปริมาณน้ำที่เหวี่ยงแยกออกจากเจลแบ่ง คัดแปลงวิธีการของ Yuan and Thompson (1999) ดังนี้ คืนรูปเจลแบ่งอุณหภูมิห้องเป็น

เวลา 2 ชั่วโมง นำเจลแข็งออกจากหลอดฉีดยา นำวางในถ้วยใสตัวอย่างที่ทราบน้ำหนัก ซึ่ง น้ำหนักตัวอย่างรวมกับกล่องก่อนเหวี่ยง วางในหลอดเหวี่ยง เหวี่ยงด้วยเครื่องเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง 2,800 รอบต่อนาที ซึ่งน้ำหนักกล่องรวมตัวอย่างหลังเหวี่ยง คำนวณปริมาณการสูญเสียน้ำคิดเป็น ร้อยละ

$$\text{ร้อยละการสูญเสียน้ำ} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนเหวี่ยง} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังเหวี่ยง}) \times 100}{(\text{น้ำหนักตัวอย่างรวมกล่อง} - \text{น้ำหนักกล่อง})}$$



ภาพที่ 18 ลักษณะหลอดที่ใช้ในการหาค่าการสูญเสียน้ำของเจลแข็งก่อน และหลังเหวี่ยงแยกน้ำ

2.4.3 ค่าเนื้อสัมผัสของเจล

ตรวจสอบเนื้อสัมผัสของเจลแข็งหมักปกติ และแข็งหมักอบพาสเจอร์ ความ เข้มข้นร้อยละ 8 ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส ด้วยหัววัดอะลูมิเนียมทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร โดยนำเจลชุดที่ 2 ออกมาจากหลอดฉีดยา ตัดเจลแข็งให้มีหัว และท้ายเจล เรียบ ความสูง 2 เซนติเมตร วัดค่าตามวิธีการของ Perez *et al.* (1998) รายงานค่าความแข็ง (hardness) และความความยืดหยุ่น (adhesiveness) ของเจลแข็ง ตัวอย่างละ 10 ซ้ำ

2.5 โครงสร้างของเจลแข็งจากการส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

นำเจลที่ไม่ผ่านการแช่เยือกแข็ง และผ่านการคืนรูปจากเยือกแข็งในรอบที่ 5 มาหั่นใน แนวขวางหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร แช่เยือกแข็งโดยการราดไนโตรเจนเหลว นำเข้าเครื่องทำแห้ง เยือกแข็ง (freeze-dryer) เมื่อเจลแห้งสนิทเก็บเจลแข็งในเดซิเคเตอร์ นำเจลแข็งมาหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ

ติดกับสตัปที่ใช้บรรจุตัวอย่างเข้าเครื่อง เก็บในตู้ดูดความชื้น 1 คืน ส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยนำเข้าเครื่องเคลือบประจุทองคำ และส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอน กระแสอิเล็กตรอน 15 กิโลวัตต์ กำลังขยาย 100, 500 และ 3,000 เท่า (น้ำฝน, 2548)

3. ตรวจสอบผลของการทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อ และหาสัดส่วนแป้งหมักปกติ ต่อแป้งหมักอบผานเนื้อที่เหมาะสมต่อการผลิตขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบ สัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด

การปรับปรุงขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อ โดยนำแป้งหมักอบ ผานเนื้อที่คัดเลือกจากการทดลองข้อ 2 ทดแทนแป้งหมักปกติที่ใช้ผลิตเส้นขนมจีนในปริมาณ ร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 ตามลำดับ ได้สูตรแป้งผสม 6 สูตร ดังนี้

สูตรที่ 1 = แป้งหมักปกติ ร้อยละ 100

สูตรที่ 2 = แป้งหมัก ร้อยละ 90, แป้งหมักอบผานเนื้อ ร้อยละ 10

สูตรที่ 3 = แป้งหมัก ร้อยละ 80, แป้งหมักอบผานเนื้อ ร้อยละ 20

สูตรที่ 4 = แป้งหมัก ร้อยละ 70, แป้งหมักอบผานเนื้อ ร้อยละ 30

สูตรที่ 5 = แป้งหมัก ร้อยละ 60, แป้งหมักอบผานเนื้อ ร้อยละ 40

สูตรที่ 6 = แป้งหมัก ร้อยละ 50, แป้งหมักอบผานเนื้อ ร้อยละ 50

ตรวจสอบสมบัติของแป้งผสม และผลิตขนมจีนจากแป้งผสมทั้ง 6 สูตร

3.1 สมบัติด้านความเหนียวแป้งหมักปกติ และแป้งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อ

ตรวจสอบสมบัติด้านความเหนียวของแป้งหมักปกติ และแป้งผสม 5 สูตร ด้วยเครื่อง อารวีเอ ตามวิธีของ Jacobs and Delcour (1998) ทำการทดลองสูตรละ 1 ตัวอย่าง 3 ซ้ำ

3.2 ทดลองผลิตเส้นขนมจีน

ผลิตขนมจีนแป้งหมักปกติ และขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อ ร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50

ตารางที่ 5 สัดส่วนระหว่างแป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผานเนื้อ

สูตร	การทดแทนแป้งหมักอบ ผานเนื้อ (ร้อยละ)	แป้งหมักปกติ (กรัม)	แป้งหมักอบผานเนื้อ (กรัม)
1	ไม่ทดแทน	170	ไม่ทดแทน
2	10	153	17
3	20	136	34
4	30	119	51
5	40	102	68
6	50	85	85

นำแป้งหมักปกติ (น้ำหนักแห้ง) และแป้งหมักอบผานเนื้อ (น้ำหนักแห้ง) ตามสัดส่วนตารางที่ 5 ผสมแป้งหมักปริเจลาทีนซ์จากข้อ 1.3 (น้ำหนักแห้ง) 30 กรัม เทลงอ่างผสมของเครื่องนวดผสมไฟฟ้า ใช้หัวนวดใบไม้ คนผสมกันเล็กน้อย เปิดเครื่องนวดใช้ความเร็วต่ำสุด ค่อยๆผสมน้ำ 120 กรัมจนหมด นวดนาน 5 นาที หลังจากนั้นใช้ความเร็วระดับปานกลาง นวดนาน 20 นาที ตักแป้งขนมจีนใส่กระบอบนวด โรยลงในน้ำเดือด จับเส้น โดยจับเส้นยาวประมาณ 20 เซนติเมตร พันเป็นวงกลมวางลงในตะกร้า นับจำนวนจับที่ได้ (ภควัฒน์, 2547)

3.3 หาสัดส่วนแป้งหมักปกติต่อแป้งหมักอบผานเนื้อที่เหมาะสมต่อการผลิตขนมจีน แช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด

การแช่เยือกแข็ง นำขนมจีนแป้งหมักปกติ ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อ (ข้อ 3.2) บรรจุในกล่องพลาสติกพอลิพรอพิลีนขนาด 500 มิลลิตร 10 จับ สูตรละ 4 กล่อง 2 ซ้ำแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ตรวจสอบค่าเนื้อสัมผัส 10 ซ้ำ และตรวจสอบทางประสาทสัมผัสจากผู้ทดสอบผ่านการฝึกฝน 8 คน

3.3.1 แช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค

ปรับอุณหภูมิเริ่มต้นของการแช่เยือกแข็งเป็น -30°C นำกล่องพลาสติกบรรจุขนมจีนวางเรียงบนถาดแช่เยือกแข็ง นำเทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิเสียบเข้ากับขนมจีนที่บรรจุในกล่องพลาสติกพอลิพรอพิลีน ปรับให้อัตราเร่งอุณหภูมิภายในตู้ให้เป็น -80°C ภายใน 3 นาที และควบคุมให้อุณหภูมิ

ภายในตู้เป็น -80°C จนกระทั่งอุณหภูมิภายในขนมจีนเป็น -40°C นำออกจากตู้ เก็บในตู้แช่เยือกแข็งอุณหภูมิ -18°C ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง (ดัดแปลงจาก กุรอซียะห์, 2547; พัลลภ, 2549)

รอบการคั้นรูปจากเยือกแข็งที่ 1 นำขนมจีนทั้ง 6 สูตร คั้นรูปด้วยการอุ่นในเตาไมโครเวฟ โดยวางกล่องขนมจีนในภาชนะคล้ายชามหนึ่ง เติมน้ำภายในภาชนะ และปิดฝา ให้พลังงานไมโครเวฟกำลังไฟฟ้า 1,000 วัตต์ ความถี่คลื่น 2,450 เมกะเฮิร์ตซ์ ระดับ 5 เป็นเวลา 3.30 นาที หลังจากอุ่นเสร็จทิ้งไว้ 3 นาที

รอบการคั้นรูปจากเยือกแข็งที่ 3 หลังจากขนมจีนผ่านการแช่เยือกแข็งนำกลับไปแช่เยือกแข็งในตู้ -18°C ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง นำขนมจีนทั้ง 6 สูตรมาคั้นรูปจากเยือกแข็งอุณหภูมิห้อง 2 ชั่วโมง นับเป็นรอบการคั้นรูปจากเยือกแข็งที่ 1 นำเข้าสู่แช่เยือกแข็งอีกครั้ง -18°C นำมาคั้นรูปจากเยือกแข็งอุณหภูมิห้อง 2 ชั่วโมงนับเป็นรอบการคั้นรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 2 และรอบการคั้นรูปจากเยือกแข็งที่ 3 คั้นรูปด้วยการอุ่นในเตาไมโครเวฟ วางกล่องขนมจีนในภาชนะคล้ายชามหนึ่ง เติมน้ำภายในภาชนะปิดฝา และให้พลังงานไมโครเวฟระดับ 5 (ครึ่งหนึ่งของกำลังเตาไมโครเวฟ) เป็นเวลา 3.3 นาที หลังจากอุ่นเสร็จทิ้งไว้ 3 นาที

รอบการคั้นรูปจากเยือกแข็งที่ 5 ทำเช่นเดียวกับรอบการคั้นรูปจากเยือกแข็งที่ 3 โดยการคั้นรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 1 ถึง 4 คั้นรูปที่อุณหภูมิห้อง รอบที่ 5 คั้นรูปด้วยเตาไมโครเวฟ

ตรวจสอบสมบัติของขนมจีนแป้งหมัก และขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อ ร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 ก่อนการแช่เยือกแข็ง, การคั้นรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 1, 3 และ 5

ก. ตรวจสอบค่าความแน่นเนื้อ และค่าความยืดหยุ่น ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส ดัดแปลงวิธีการของ AACC (2000) Method 16-50 ตัวอย่างละ 10 ซ้ำ

ข. ตรวจสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการประเมินคุณภาพเชิงปริมาณ โดยให้คะแนนความแข็งลงบนเส้นตรงยาว 15 เซนติเมตร ในด้านความเรียบ ความแน่นเนื้อ ความยืดหยุ่น และความชุ่ม สเกล 0 หมายถึงมีความเข้มน้อย สเกล 15 หมายถึงมีความเข้มน้อยมาก โดยทำการฝึกฝนผู้ทดสอบจำนวน 8 คน ให้ผู้ทดสอบทดลองชิมตัวอย่างขนมจีนแป้งหมักปกติที่ผลิตใน

ห้องปฏิบัติ การเป็นขนมจีนที่มีความเรียบมาก มีความแน่นเนื้อน้อย ความยืดหยุ่นมาก และความชุ่มน้อย และขนมจีนแป้งหมักผ่านการคืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 5 เป็นขนมจีนที่มีความเรียบน้อย ความแน่นเนื้อมาก ความยืดหยุ่นน้อย และความชุ่มมาก และตรวจสอบความชอบวิธีทดสอบความชอบ 9 ระดับ (จากไม่ชอบมาก ถึงชอบมากที่สุด) ด้านความชอบรวม เนื่องจากมีข้อจำกัดในการทดลองจึงใช้ผู้ทดสอบผ่านการฝึกฝนจำนวน 8 คน ประเมินความชอบเพื่อคัดเลือกตัวอย่าง (ไพโรจน์, 2545)

3.3.2 การแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด

ปรับอุณหภูมิเริ่มต้นของการแช่เยือกแข็งเป็น -40°C นำกล่องพลาสติกบรรจุขนมจีนวางเรียงบนถาดแช่เยือกแข็ง นำเทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิเสียบเข้ากับขนมจีนที่บรรจุในกล่องพลาสติก แช่เยือกแข็งจนกระทั่งอุณหภูมิภายในขนมจีนเป็น -30°C นำออกจากตู้ ไปเก็บในตู้แช่เยือกแข็งอุณหภูมิ -18°C ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง (ดัดแปลงจาก กุรอซียะห์, 2547) นำมาคืนรูปเช่นเดียวกันกับข้อ 3.3.1

ตรวจสอบสมบัติของขนมจีนแป้งหมักปกติ และขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผาสนเนื้อ ร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 วันเริ่มต้น, การคืนรูปจากเยือกแข็ง รอบที่ 1, 3 และ 5

ก. ตรวจสอบค่าความแน่นเนื้อ และค่าความยืดหยุ่น ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส ดัดแปลงวิธีการของ AACC (2000) Method 16-50 ทำการทดลอง 10 ซ้ำ

ข. ตรวจสอบทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธีการประเมินคุณภาพเชิงปริมาณ และวิธีทดสอบความชอบ 9 ระดับ ตามข้อ 3.3.1 ข

3.4 ตรวจสอบโครงสร้างขนมจีนก่อนแช่เยือกแข็ง และหลังคืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 5 สูตรที่ 1, 3 และ 5 ตามวิธีข้อ 2.5

4. ตรวจสอบผลของการผสมกัมต่อสมบัติด้านความหนืด การเกิดเจลที่ในซ์ การเกิดรีโทรเกรด และความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งของแป้งหมักปกติ และแป้งหมักผสมกัม

4.1 สมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งหมักผสมกัม 7 ชนิด คือ กัมแซนแทน ซีเอ็มซี กัวร์ โลกัสปีน คาร์ราจีแนน อารบิก และแอลจินต ความเข้มข้นของกัม 3 ระดับ คือ ร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 ตามลำดับ ทำการทดลองระดับละ 1 ตัวอย่างๆ ละ 3 ซ้ำ

ชั่งกัม 0.1 กรัม ละลายในน้ำ 88 มิลลิลิตร คนตลอดเวลา 2 ชั่วโมง ค่อยๆ ผสมแป้ง 12 กรัม คนต่ออีก 30 นาที เทสารผสมระหว่าง กัม, แป้ง และน้ำ 28 กรัม ลงในถ้วยวัดสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืด ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงความหนืดดัดแปลงจากวิธีของ Bahnassey and Breene (1994)

4.2 สมบัติความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งของเจลแป้งหมักผสมกัม 7 ชนิด คือ กัมแซนแทน ซีเอ็มซี กัวร์ โลกัสปีน คาร์ราจีแนน อารบิก และแอลจินต ความเข้มข้นของร้อยละ 0.5 โดยตรวจสอบร้อยละการสูญเสียน้ำของเจล ทำการทดลอง 2 ตัวอย่างๆ ละ 3 ซ้ำ

4.2.1 การเตรียมเจล

ชั่งกัม 1.5 กรัม ละลายในน้ำ 276 มิลลิลิตร คนตลอดเวลา 2 ชั่วโมง ค่อยๆ ผสมแป้ง 24 กรัม คนต่ออีก 30 นาที เทสารผสมระหว่างกัม, แป้ง และน้ำใส่ขวดแก้วมีฝาปิดสนิท ให้ความร้อนในอ่างน้ำเดือดเป็นเวลา 5 นาที แก้วขวดตลอดเวลา ดูดสารผสมที่ได้ด้วยหลอดฉีดยา ชุดที่ 1 ปริมาตร 4 ลูกบาศก์เซนติเมตร จำนวน 20 หลอด และชุดที่ 2 ปริมาตร 8 ลูกบาศก์เซนติเมตร จำนวน 20 หลอด แบ่งใส่ถุงพลาสติก 4 ถุง ประกอบด้วยหลอดฉีดยาชุดที่ 1 จำนวน 5 หลอด และชุดที่ 2 จำนวน 5 หลอด ทิ้งไว้อุณหภูมิห้อง 12 ชั่วโมง ถุงที่ 2, 3 และ 4 นำมาแช่เยือกแข็ง อุณหภูมิ -18°C ด้วยตู้แช่เยือกแข็งแบบอากาศเย็นจัด 24 ชั่วโมง นำถุงที่ 2, 3 และ 4 มาคืนรูปจากเยือกแข็ง อุณหภูมิห้อง 2 ชั่วโมง นับเป็นรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1 นำกลับไปแช่เยือกแข็งอีกครั้ง ตรวจสอบค่าเนื้อสัมผัสเจล และค่าการสูญเสียน้ำของเจลแป้งที่ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง, เจลแป้งรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1, 3 และ 5

4.2.2 ปริมาณการสูญเสียน้ำหลังคืนรูปจากเยือกแข็ง

ตรวจสอบค่าร้อยละการสูญเสียน้ำของเจลแข็งหมักปกติ เจลแข็งหมักผสมกัม 7 ชนิด กัมอารบิก, คาราจีแนน, โลกัสปีน, แอลจินเตซีเอ็มซี, แซนแทน และกัวร์ ความเข้มข้นของกัมร้อยละ 0.5 หลังคืนรูปจากเยือกแข็ง ตามวิธีข้อ 2.4.2 เลือกกัมที่สามารถลดการสูญเสียน้ำมากที่สุด 3 ชนิดเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

4.3 ตรวจสอบสมบัติการเกิดเจลที่ในซ์ของแข็งหมักผสมกัม และการเกิดรีโทรเกรดของเจลแข็งหมักผสมกัมตามวิธีของ Lee *et al.*(2002)

4.4 เนื้อสัมผัสของเจล ตรวจสอบเนื้อสัมผัสของเจลแข็งหมัก เจลแข็งหมักผสมกัม 3 ชนิด ที่เลือกจากข้อ 3.2 ทำตามวิธีข้อ 2.4.3 วัดค่าตัวอย่างละ 10 ซ้ำ

4.5 โครงสร้างของเจลแข็งหมักปกติ และเจลแข็งหมักผสมกัมที่เลือกจากข้อ 4.2.2 ส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ทำตามข้อ 2.5

5. หาปริมาณ และชนิดกัมที่เหมาะสมต่อการผลิตขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด

5.1 ผลิตขนมจีนแข็งหมักผสมกัมที่เลือกจากข้อ 4.2.2 จำนวน 3 ชนิด ความเข้มข้นร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5

นำแข็งหมัก (น้ำหนักแห้ง) 170 กรัม ผสมกัม (น้ำหนักแห้ง) ร้อยละ 0.1 ของแข็งหมัก ผสมแข็งหมักฟรีเจลาทีน (น้ำหนักแห้ง) 30 กรัม เทลงในถุงพลาสติกขนาดใหญ่ เขย่าผสมแข็งหมัก กัม และแข็งฟรีเจลาทีนจนเข้ากันดี เทลงอ่างผสมของเครื่องนวดผสมไฟฟ้า ใช้หัวนวดใบไม้ เปิดเครื่องนวดใช้ความเร็วต่ำสุด ค่อยๆผสมน้ำ 120 กรัมจนหมด นวดนาน 5 นาที หลังจากนั้นใช้ความเร็วระดับปานกลาง นวดนาน 20 นาที ตักแข็งขนมจีนใส่กระบอคนวด โรยลงในน้ำเดือด จับเส้นวางลงในตะกร้า ทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง

ตรวจสอบสมบัติของขนมจีนแป้งหมักปกติ และขนมจีนแป้งหมักผสมกัม ร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5

5.1.1 ตรวจสอบค่าความแน่นเนื้อ และค่าความยืดหยุ่น ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส คัดแปลงวิธีการของ AACC (2000) Method 16-50 ทดลองตัวอย่างละ 10 ซ้ำ

5.1.2 ตรวจสอบความชอบวิธีทดสอบความชอบ 9 ระดับ (จากไม่ชอบมาก ถึงชอบมากที่สุด) ด้านความชอบรวม เนื่องจากมีข้อจำกัดในการทดลองจึงให้ผู้ทดสอบผ่านการฝึกฝน จำนวน 8 คน ประเมินความชอบเพื่อคัดเลือกตัวอย่าง (ไพโรจน์, 2545)

5.2 หากัมที่เหมาะสมต่อการผลิตขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด

ทดลองผลิตขนมจีนแป้งหมักปกติ ขนมจีนแป้งหมักผสมกัม 3 ชนิด ความเข้มข้นของกัมระดับที่เหมาะสม (เลือกจากข้อ 5.1) บรรจุลงกล่องพลาสติกพอลิพรอพิลีนมีฝาปิดมิดชิด จำนวน 10 จ๊ับ

การแช่เยือกแข็ง นำขนมจีนแป้งหมัก ขนมจีนผสมกัม 3 ชนิด ระดับความเข้มข้นที่เหมาะสม แช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด โดยผลิตขนมจีนสูตรละ 1 ตัวอย่าง ตรวจสอบค่าเนื้อสัมผัส 10 ซ้ำ และตรวจสอบทางประสาทสัมผัสจากผู้ทดสอบผ่านการฝึกฝน 8 คน

5.2.1 แช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค

แช่เยือกแข็งขนมจีน และนำมาคืนรูปเช่นเดียวกันกับข้อ 3.3.1

ตรวจสอบสมบัติของขนมจีนแป้งหมัก และขนมจีนผสมกัม 3 ชนิด ระดับความเข้มข้นที่เหมาะสม ก่อนการแช่เยือกแข็ง, การคืนรูปจากเยือกแข็ง รอบที่ 1, 3 และ 5

ก. ตรวจสอบค่าความแน่นเนื้อ และค่าความยืดหยุ่น ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส ดัดแปลงวิธีการของ AACC (2000) Method 16-50

ข. ตรวจสอบทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธีการประเมินคุณภาพเชิงปริมาณ และวิธีทดสอบความชอบ 9 ระดับ ตามวิธีข้อ 3.3.1 ข

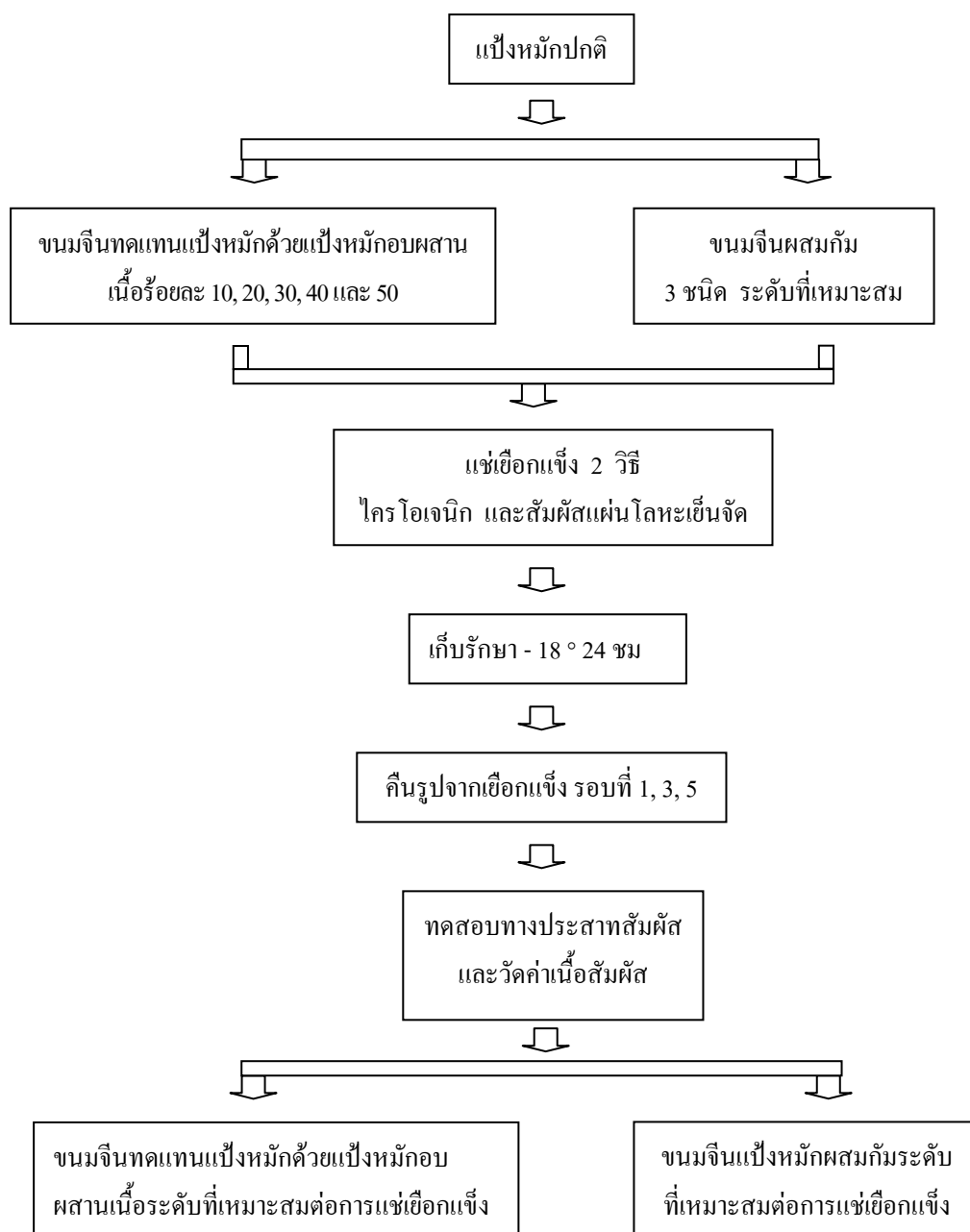
5.2.2 การแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด

แช่เยือกแข็งขนมจีน และนำมาคืนรูปเช่นเดียวกันกับข้อ 3.3.2

ตรวจสอบสมบัติของขนมจีนแป้งหมักปกติ และขนมจีนแป้งหมักผสมกับ 3 ชนิด ระดับความเข้มข้นที่เหมาะสม ก่อนการแช่เยือกแข็ง, การคืนรูปจากเยือกแข็งวิธีสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด รอบที่ 1, 3 และ 5

ก. ตรวจสอบค่าความแน่นเนื้อ และค่าความยืดหยุ่น ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส ดัดแปลงวิธีการของ AACC (2000) Method 16-50 ทดลองตัวอย่างละ 10 ซ้ำ

ข. ตรวจสอบทางประสาทสัมผัส ตามวิธีข้อ 3.3.1 ข



ภาพที่ 19 กระบวนการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตขมจีนทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งอบผสานเนื้อ และขมจีนผสมกัมแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบสัสมัสด์แผ่นโลหะเย็นจัด

6. ตรวจสอบอายุการเก็บรักษาของขนมจีนพร้อมบริโภคแช่เยือกแข็ง

ผลิตขนมจีนแป้งหมักปกติ ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อ และขนมจีนแป้งหมักผสมกัม และผลิตแกงเขียวหวานไก่บรรจุถุงพลาสติกพอลิเอทิลีนปิดสนิท บรรจุในกล่องพลาสติกพอลิพรอพิลีนขนาด 500 มิลลิลิตร เก็บรักษาอุณหภูมิ 4 และ -18 องศาเซลเซียส

6.1 การผลิตขนมจีน

ผลิตขนมจีนแป้งหมักปกติ ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อ และขนมจีนแป้งหมักผสมกัม โดยใช้ตัวอย่างที่เลือกจากข้อ 3 และ 5 บรรจุในกล่องพลาสติกพอลิพรอพิลีนมีฝาปิดสนิท

6.2 การผลิตแกงเขียวหวานไก่

ส่วนผสมแกงเขียวหวาน (ทิพาวรรณ, 2550)

ส่วนผสม	น้ำหนัก (กรัม)	ส่วนผสม	น้ำหนัก (กรัม)
พริกชี้ฟ้าเขียว	75	เนื้อไก่	500
ใบพริกหรือใบผักชี	20	มะพร้าว	500
กระเทียม	35	คั้นให้ได้น้ำ	800
ข่า	20	มะเขือเปราะ	200
รากผักชี	10	ใบโหระพา	100
กะปิ	30	พริกชี้ฟ้า	100
ลูกผักชีคั่วป่น	5	ข้าวโพดอ่อน	200
พริกชี้หนูสดเขียว	20	น้ำตาลมะพร้าว	10
หัวหอม	35	ยี่หร่าคั่วป่น	1
ตะไคร้	15	พริกไทย	5
ผิวมะกรูด	5	เกลือ	2

วิธีการผลิต (ดัดแปลงจาก ทิพาวรรณ, 2550)

- 6.2.1 บดส่วนผสมของพริกแกงให้ละเอียด
- 6.2.2 นำพริกแกงเทลงในน้ำกะทิที่ต้มจนเดือด ได้น้ำแกงเขียวหวาน
- 6.2.3 ลวกเนื้อไก่ที่หั่นเป็นชิ้นเล็กๆในน้ำแกงต้มเดือด 5 นาที ใส่ภาชนะ
- 6.2.4 ลวกมะเขือเปราะ ข้าวโพดอ่อน และพริกชี้ฟ้าหั่น 2 นาที และใบโหระพาเด็ดเป็นใบๆ 1 นาที นำแช่ในน้ำเย็นทันที และใส่ภาชนะ
- 6.2.5 ปูรสรสแกงเขียวหวานด้วยน้ำตาลมะพร้าว และน้ำปลาอุ่นจนเดือด
- 6.2.6 ชั่งไก่ต้มสุก 50 กรัม มะเขือเปราะลวก 20 กรัม ข้าวโพดอ่อน 20 กรัม พริกชี้ฟ้าลวก 10 กรัม และใบโหระพา 5 กรัม ใส่ถุงพลาสติกพอลิเอทิลีนแบบหนา
- 6.2.7 ใส่ น้ำแกงเขียวหวานปูรสในถุงขณะร้อนจนได้น้ำหนักรวม 250 กรัม ปิดผนึกถุงทันที และแช่ในน้ำเย็นเพื่อลดอุณหภูมิ

6.3 แช่เยือกแข็งขนมจีนแบบไครโอเจนิก

ปรับอุณหภูมิเริ่มต้นของการแช่เยือกแข็งเป็น -30°C นำกล่องพลาสติกบรรจุขนมจีนวางเรียงบนถาดแช่เยือกแข็ง นำเทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิเสียบเข้ากับขนมจีนที่บรรจุในกล่องพลาสติก และวางถุงบรรจุแกงเขียวหวานไก่ ปรับให้อัตราเร่งอุณหภูมิภายในตู้ให้เป็น -80°C ภายใน 3 นาที และควบคุมให้อุณหภูมิภายในตู้เป็น -80°C แช่เยือกแข็งเป็นเวลา 1 ชม (ดัดแปลงจาก กุรอซียะห์, 2547; พัลลภ, 2549)

6.3.1 เก็บในตู้เย็น อุณหภูมิ 4°C สุ่มตัวอย่างตรวจสอบบัตินของขนมจีนก่อนแช่เยือกแข็ง หลังเก็บรักษาวันที่ 2, 4, 6, 8, 10, 12 และ 14

6.3.2 เก็บในตู้แช่เยือกแข็ง -18°C สุ่มตัวอย่างตรวจสอบบัตินของขนมจีนก่อนแช่เยือกแข็ง หลังเก็บรักษาวันที่ 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56 และ 63

6.4 การตรวจสอบคุณภาพขนมจีนพร้อมบริโภคแช่เยือกแข็ง

ตรวจสอบคุณภาพขนมจีน นำผลิตภัณฑ์ขนมจีนมาอุ่น โดยอุ่นแยกกระหว่างขนมจีนกับแกงเขียวหวานไก่ ขนมจีนวางในภาชนะสำหรับนึ่งในเตาไมโครเวฟ นำเข้าเตาไมโครเวฟกำลังไฟ 1,000 วัตต์ ความถี่คลื่น 2,450 เมกะเฮิร์ตซ์ ระดับ 5 หรือครึ่งหนึ่งของกำลังไมโครเวฟ เวลา 3.30 วินาที และอุ่นแกงเขียวหวาน โดยตัดหมูงอกเล็กน้อย และอุ่นด้วยเตาไมโครเวฟใช้พลังงานระดับ 10 เต็มกำลังนาน 5 นาที (ไพโรจน์, 2545)

6.4.1 เนื้อสัมผัส

ตรวจสอบเนื้อสัมผัสของเส้นขนมจีนด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส ด้านความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นดัดแปลงวิธีการของ AACC (2000) Method 16-50)

6.4.2 ทดสอบทางประสาทสัมผัส

ตรวจสอบทางประสาทสัมผัส วิธีการประเมินคุณภาพเชิงปริมาณ โดยให้คะแนนความแข็งลงบนเส้นตรงยาว 15 เซนติเมตร ในด้านความเรียบ ความแน่นเนื้อ ความยืดหยุ่น และความชุ่ม สเกล 0 หมายถึงมีความแข็งน้อย สเกล 15 หมายถึงมีความแข็งมาก โดยทำการฝึกฝนผู้ทดสอบจำนวน 8 คน ให้ผู้ทดสอบทดลองชิมตัวอย่างขนมจีนแป้งหมักปกติที่ผลิตในห้องปฏิบัติการเป็นขนมจีนที่มีความเรียบมาก มีความแน่นเนื้อน้อย ความยืดหยุ่นมาก และความชุ่มน้อย และขนมจีนแป้งหมักปกติผ่านการคืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 5 เป็นขนมจีนที่มีความเรียบน้อย ความแน่นเนื้อมาก ความยืดหยุ่นน้อย และความชุ่มมาก และตรวจสอบความชอบวิธีทดสอบความชอบ 9 ระดับ (จากไม่ชอบมาก ถึงชอบมากที่สุด) ด้านความชอบรวม ผู้ทดสอบให้คะแนน 1-4 คือ ไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ คะแนน 5-9 คือยอมรับผลิตภัณฑ์ เนื่องจากมีข้อจำกัดในการทดลองจึงใช้ผู้ทดสอบผ่านการฝึกฝนจำนวน 8 คน ประเมินความชอบเพื่อคัดเลือกตัวอย่าง

6.4.3 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์

เตรียมตัวอย่างขนมจีนแป้งหมักปกติเก็บรักษาในตู้แช่เย็น 4 องศาเซลเซียส และตู้แช่เยือกแข็ง -18 °ซ แล้วสุ่มมาตรวจสอบเชื้อจุลินทรีย์ดังนี้

เก็บในตู้เย็น อุณหภูมิ 4° ซ กลุ่มตัวอย่างตรวจสอบบัตินของขนมจีน และแกง
เจียวหวานไก่ก่อนแช่เยือกแข็ง เก็บรักษาวันที่ 2, 4, 6, 8, 10, 12 และ 14 วัน โดยตีผสมขนมจีนรวม
กับแกงเจียวหวานไก่ทันที ตรวจสอบเชื้อจุลินทรีย์วันเริ่มต้น และวันที่ 14 ตามข้อ ก-ข และ
วันที่ 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 ตรวจสอบเฉพาะปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด

เก็บในตู้แช่เยือกแข็ง -18 ° ซ กลุ่มตัวอย่างตรวจสอบบัตินของขนมจีน และแกง
เจียวหวานไก่ก่อนแช่เยือกแข็ง วันที่ 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49 และ 56 โดยตีผสมขนมจีนรวมกับ
แกงเจียวหวานไก่ทันที ตรวจสอบเชื้อจุลินทรีย์วันเริ่มต้น และวันที่ 63 ตามข้อ ก-ข และวันที่ 7,
14, 21, 28, 35, 42, 49, 56 และ 63 ตรวจสอบเฉพาะปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด

ก. ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (total plate count) วิเคราะห์ตาม BAM (2001)

ข. โคลิฟอร์ม (*Coliform*) ตามวิธี most probable number technique (MPN)
วิเคราะห์ตาม BAM (2001)

ค. อี.โคไล (*E. coli*) ตามวิธี most probable number technique (MPN) วิเคราะห์
ตาม BAM (2001)

ง. สตาฟีโลคอกคัส ออเรียส (*S. aureus*) วิเคราะห์ตาม BAM (2001)

จ. บาซิลลัส ซีเรียส (*B. cereus*) วิเคราะห์ตาม BAM (2001)

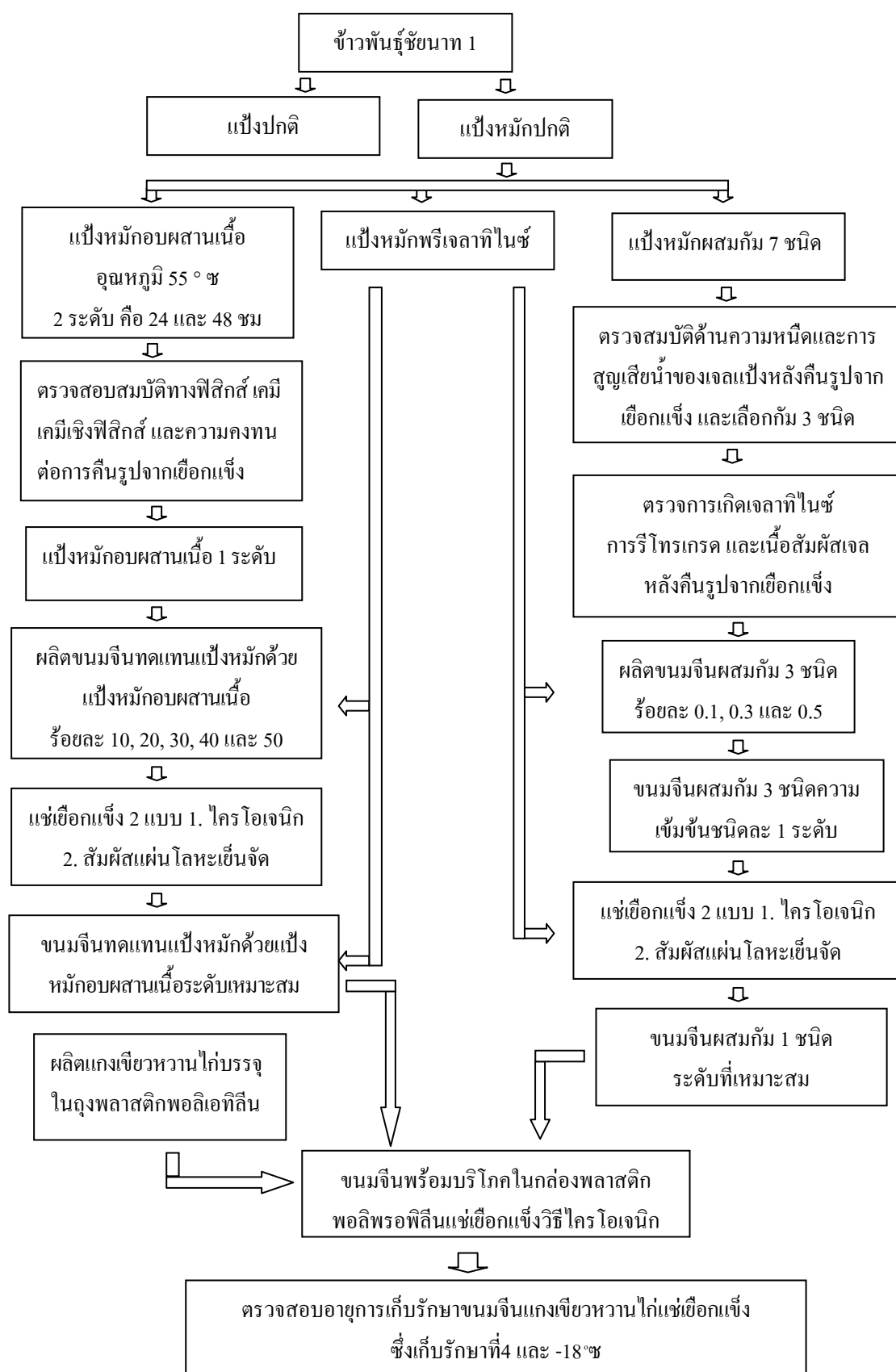
ฉ. คลอสตริเดียม เพอร์ฟริงเจนส์ (*C. perfringens*) วิเคราะห์ตาม BAM (2001)

ช. วิบริโอ พาราฮีโมไลติคัส (*V. Parahaemolyticus*) วิเคราะห์ตาม BAM (2001)

ซ. ซัลโมเนลลา (*Salmonellae*) วิเคราะห์ตาม ISO 6579 2002

เปรียบเทียบค่าที่ได้กับมาตรฐานอาหารปรุงสุกแล้วแช่เยือกแข็งต้องอุ่นก่อนบริโภค ของ
กองอาหาร กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2547)

การปรับปรุงเส้นขนมจีนหมักเพื่อพัฒนาเป็นขนมจีนหมักพร้อมบริโภคแช่เยือกแข็งมีขั้นตอนการทดลองโดยสรุปดังนี้คือ ผลิตแป้งปกติ (อรพรรณ, 2547) แป้งหมักปกติ (ภควัฒน์, 2547) แป้งหมักพรีเจลาไทน์ (ภควัฒน์, 2547) และแป้งหมักอบผานเนื่องจากข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส 24 และ 48 ชม ปริมาณความชื้นร้อยละ 66 หลังจากนั้นแบ่งขั้นตอนเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรก ตรวจสอบสมบัติทางฟิสิกส์ ทางเคมี ทางเคมีเชิงฟิสิกส์ และความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็ง จากนั้นผลิตขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิก และสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด และคัดเลือกกระดับการทดแทนแป้งหมักอบผานเนื้อที่เหมาะสม 5 ระดับคือ ร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 ส่วนที่สอง นำแป้งหมักปกติ ผสมกับ 7 ชนิด คือ กัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี กัมกัวร์ กัมโลกัสปีน กัมคาร์ราจีแนน กัมอาร์บิก และกัมแอลจินต ตรวจสอบสมบัติด้านความหนืด และร้อยละการสูญเสีย น้ำหลังคืนรูปจากเยือกแข็ง คัดเลือกกัม 3 ชนิด ตรวจสอบสมบัติการเกิดเจลาไทน์ และการเกิดรีโทรเกรด ตรวจสอบเนื้อสัมผัสของเจลแป้งหมักผสมกัมหลังคืนรูปจากเยือกแข็ง หลังจากนั้นหาปริมาณของกัม 3 ชนิดที่เหมาะสมกับการผลิตขนมจีนชนิดละ 3 ระดับความเข้มข้น คือ ร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 ผลิตขนมจีนแป้งหมักผสมกัมแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิก และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด คัดเลือกขนมจีนผสมกัมที่เหมาะสม หลังจากนั้นผลิตขนมจีนแป้งหมักปกติ ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อ และขนมจีนแป้งหมักผสมกัมแช่เยือกแข็ง และผลิตแกงเขียวหวานไก่ซึ่งบรรจุในถุงพลาสติกพอลิเอทิลีนแบบหนาบรรจุลงถุง หลังจากนั้นนำขนมจีน และแกงเขียวหวานไก่บรรจุลงกล่องพลาสติกพอลิพรอพิลีน แช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิก ตรวจสอบอายุการเก็บรักษา อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส 14 วัน และ -18 องศาเซลเซียส 56 วัน แสดงดังภาพที่ 20



ภาพที่ 20 กระบวนการทดลองทั้งหมด

9. วิเคราะห์ผลทางสถิติ

คำนวณผลการทดลอง และวิเคราะห์ผลการตรวจสอบคุณภาพทางฟิสิกส์ เคมี และเคมีเชิงฟิสิกส์ โดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (randomized complete design) และวิเคราะห์ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสทางสถิติโดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (randomized complete block design) วิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้ ANOVA ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของแต่ละวิธีใช้การทดสอบตามวิธีการแบบ DMRT (Duncan ,s new multiple range test) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

10. สถานที่ทำการวิจัย

ห้องปฏิบัติการเคมี, ห้องปฏิบัติการข้าวและสสารฯ, ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์สมบัติทางฟิสิกส์ และอาคารแปรรูปของภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

งานกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ฝ่ายเครื่องมือกลาง สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ห้องปฏิบัติการเอกซ์-เรย์ ดิฟแฟรกชัน ศูนย์วิจัยวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

ห้องปฏิบัติการเครื่องดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริเมตรี บริษัทเมทเลอร์ โทเลโด ประเทศไทยจำกัด

11. ระยะเวลาทำการวิจัย

เดือนตุลาคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2549

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ผลการตรวจสอบสมบัติทางฟิสิกส์ ทางเคมี ทางเคมีเชิงฟิสิกส์ และความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งของแป้งข้าวเจ้าตัดแปรสตาบิลิไซส์วุ้นอบผานเนื้อ

เมื่อตัดแปรแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 หมักด้วยวิธีการอบผานเนื้อ ที่ อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส มีความชื้นร้อยละ 66 เป็นเวลา 24 และ 48 ชม นำมาตรวจสอบสมบัติทางฟิสิกส์ ทางเคมี ทางเคมีเชิงฟิสิกส์ และความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งของแป้งหมักอบผานเนื้อ ได้ผลดังนี้

1.1 สมบัติทางฟิสิกส์

ตรวจสอบสมบัติทางฟิสิกส์ของสตาบิลิไซส์ในแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผานเนื้อ คือ ตรวจสอบขนาด และรูปร่างของสตาบิลิไซส์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงส่องผ่าน และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และตรวจสอบค่าสีของแป้งด้วยเครื่องวัดสี ปรากฏว่า

1.1.1 ขนาดและรูปร่างของเม็ดสตาบิลิไซส์ผ่านกล้องจุลทรรศน์แบบแสงส่องผ่าน

เมื่อตรวจสอบขนาด และรูปร่างของเม็ดสตาบิลิไซส์ในแป้งข้าวเจ้าด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงส่องผ่าน กำลังขยาย 1,000 เท่า เม็ดสตาบิลิไซส์ของแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผานเนื้อ มีรูปร่างหลายเหลี่ยม ขนาดประมาณ 3.54-3.56 ไมโครเมตร เม็ดสตาบิลิไซส์ในแป้งปกติมีขนาด 3.55 ไมโครเมตร ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับเม็ดสตาบิลิไซส์ในแป้งหมักปกติซึ่งมีขนาด 3.56 ไมโครเมตร เมื่อผ่านการอบผานเนื้อ เม็ดสตาบิลิไซส์ในแป้งหมักปกติมีขนาดไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับเม็ดสตาบิลิไซส์ในแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 (3.54 ไมโครเมตร) และ 48 ชม (3.54 ไมโครเมตร) จากการส่องดูขนาดอนุภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงส่องผ่าน แสดงให้เห็นว่ากระบวนการหมัก และการอบผานเนื้อ ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาด และรูปร่างของเม็ดสตาบิลิไซส์ (แสดงดังตารางที่ 6 และภาพที่ 21)

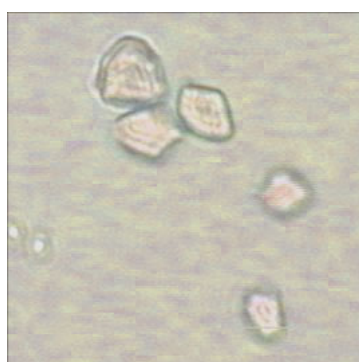
ตารางที่ 6 เปรียบเทียบขนาดของเม็ดสตาโรซในแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชยันต 1 ลักษณะต่างกัน 4 ตัวอย่าง^{1/}

ตัวอย่าง ^{2/}	ขนาดของเม็ดสตาโรซ (ไมโครเมตร) ^{3/}
NRF	3.55±0.09
FRF	3.56±0.12
ANF24	3.54±0.13
ANF48	3.54±0.11

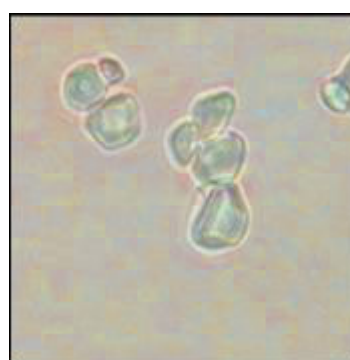
หมายเหตุ ^{1/} ค่าเฉลี่ยจากการวัด 5 ซ้ำจาก 2 ตัวอย่าง

^{2/} NRF คือ แป้งปกติ, FRF คือ แป้งหมักปกติ, ANF24 คือ แป้งหมักอบผานเนื้อ 24 ชม, ANF48 คือ แป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม

^{3/} ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



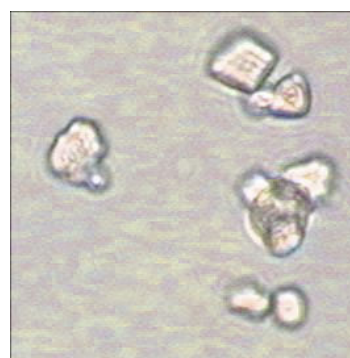
NRF



FRF



ANF24

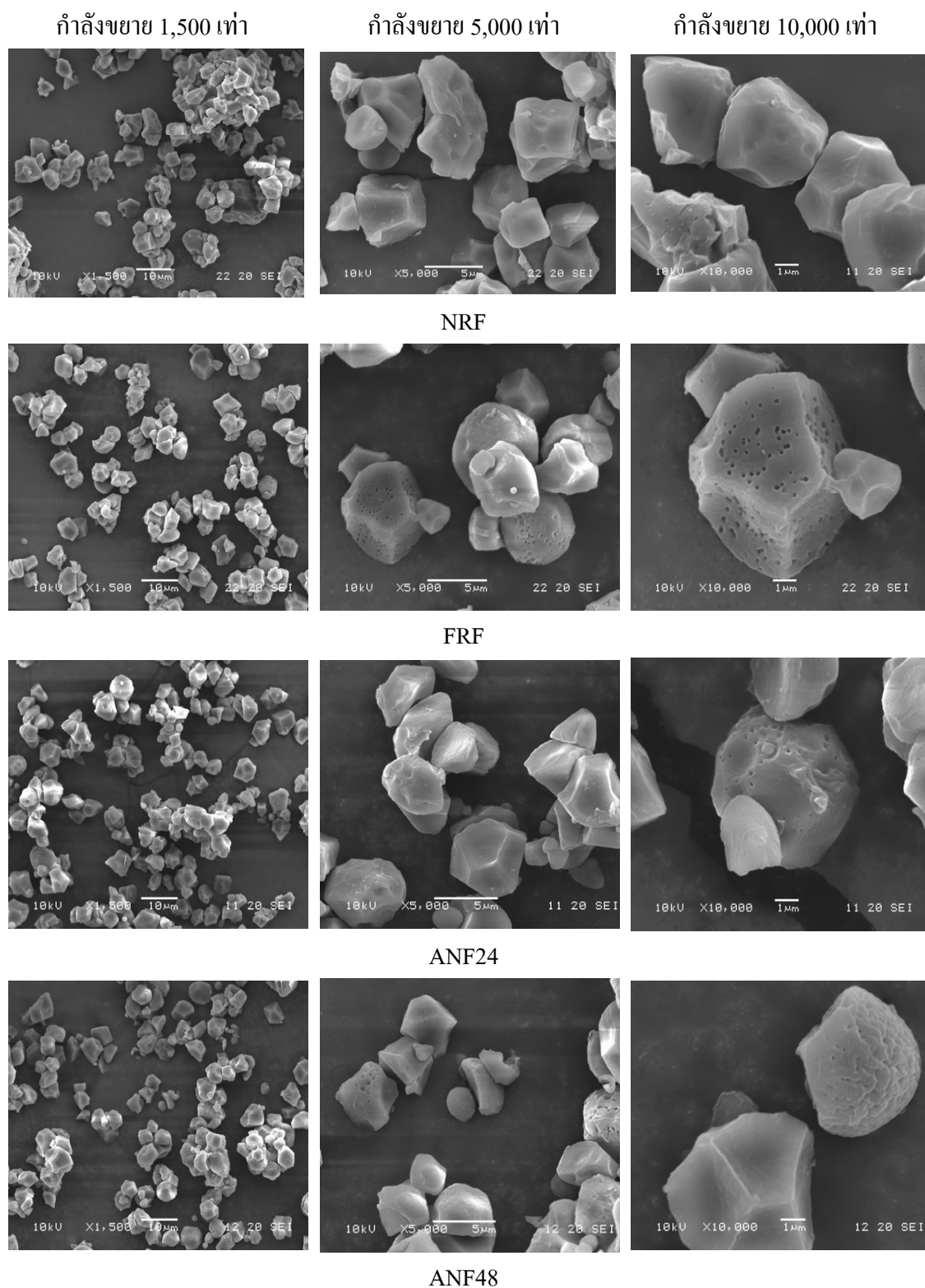


ANF48

ภาพที่ 21 ขนาดเม็ดสตาโรซในแป้งปกติ (NRF) แป้งหมักปกติ (FRF) และแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 (ANF24) และ 48 ชม (ANF48) ผ่านกล้องจุลทรรศน์แบบแสงส่องผ่าน กำลังขยาย 1,000 เท่า

1.1.2 ผลการตรวจสอบขนาดเมื่อดำเนินการด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

เมื่อตรวจสอบขนาด และรูปร่างของเม็ดสตาร์ชในแป้งข้าวเจ้า ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กำลังขยาย 1,500, 5,000 และ 10,000 เท่า เม็ดสตาร์ชในแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผานเนื้อมีขนาด 3-4 ไมครอน เม็ดสตาร์ชในแป้งปกติมีรูปร่างหลายเหลี่ยมเช่นเดียวกับการส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงส่องผ่าน มีผิวเรียบ จับกันเป็นกลุ่มก้อน มีเยื่อหุ้มเม็ดสตาร์ช ทำให้เห็นเหลี่ยมของเม็ดสตาร์ชไม่ชัดเจน ขณะที่เม็ดสตาร์ชในแป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผานเนื้อมีรูปร่างหลายเหลี่ยมเช่นกัน เม็ดสตาร์ชแยกออกจากกัน มีเหลี่ยมของสตาร์ชชัดเจน นอกจากนี้ยังมีรูพรุนเกิดขึ้นที่ผิวของเม็ดสตาร์ชเป็นจำนวนมาก ขนาดของรูพรุนที่เกิดขึ้นมีขนาดใกล้เคียงกัน แสดงดังภาพที่ 22



ภาพที่ 22 ขนาด และรูปร่างเม็ดสตาร์ชแป้งปกติ (NRF) แป้งหมักปกติ (FRF) และแป้งหมักอบ
 ผสานเนื้อ 24 (ANF24) และ 48 ชม (ANF48) ผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่อง
 กราด กำลังขยาย 1,500, 5,000 และ 10,000 เท่า

สอดคล้องกับผลการตรวจสอบขนาดของเมื่อดสตาร์ช ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงส่องผ่านกำลังขยาย 1,000 เท่า เมื่อดสตาร์ชในแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผสานเนื้อมีขนาด 3.54-3.56 ไมครอน และขนาดเมื่อดสตาร์ชของแป้งแต่ละชนิดใกล้เคียงกัน

เมื่อเปรียบเทียบรูปร่างของเมื่อดสตาร์ชในแป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผสานเนื้อมีรูพรุนเกิดขึ้นแตกต่างจากแป้งปกติ อาจเกิดจากกระบวนการหมักมีจุลินทรีย์เกิดขึ้นและสร้างเอนไซม์ย่อยเมื่อดสตาร์ช ทำให้เกิดรูพรุน ทำนองเดียวกับผลการทดลองของภควัฒน์ และอรอนงค์ (2548) ซึ่งตรวจสอบขนาด และรูปร่างของเมื่อดสตาร์ชในแป้งข้าวเจ้าพันธุ์เหลือง 11 ที่ผ่านกระบวนการหมัก ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กำลังขยาย 10,000 เท่า ได้ผลว่าเมื่อดสตาร์ชมีขนาดเท่าเดิม บริเวณผิวของเมื่อดสตาร์ชมีรูพรุนเช่นกัน

ขนาดของเมื่อดสตาร์ชในแป้งหมักอบผสานเนื้อ 24 และ 48 ชม ไม่แตกต่างกับแป้งหมักปกติ และแป้งปกติ สอดคล้องกับผลการทดลองของ Adebawale *et al.* (2005) ทดลองอบผสานเนื้อสตาร์ชข้าวฟ่างเกอร์มิลเลต อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีความชื้นร้อยละ 40 เป็นเวลา 48 ชม ส่องดูขนาดเมื่อดสตาร์ชอบผสานเนื้อเปรียบเทียบกับสตาร์ชปกติด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กำลังขยาย 3,000 เท่า ได้ผลว่าเมื่อดสตาร์ชอบผสานเนื้อยังคงมีขนาด และรูปร่างเหมือนสตาร์ชปกติ

เมื่อเปรียบเทียบขนาดเมื่อดสตาร์ชในแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผสานเนื้อ ปรากฏว่ามีขนาดใกล้เคียงกัน อาจเกิดจากกระบวนการอบผสานเนื้อส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในเมื่อดสตาร์ช การส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดสามารถมองเห็นเพียงผิว และลักษณะโครงสร้างภายนอกเท่านั้น จึงไม่ปรากฏความแตกต่างด้านขนาดของสตาร์ช

1.1.3 ผลการตรวจสอบค่าสี

เมื่อตรวจสอบค่าสีของแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผสานเนื้อ 24 และ 48 ชม รายงานเป็นค่า L บอกค่าความสว่าง ค่าเป็น 0 หมายถึงมืดดำ ค่าเป็น 100 หมายถึงสว่างขาว ค่า a^* บอกค่าความเป็นสีแดงหรือสีเขียว a^* มีค่าเป็นบวก หมายถึงสีแดง เป็นลบ หมายถึง

สีเขียว และ b^* บอกค่าความเป็นสีเหลือง หรือสีน้ำเงิน b^* มีค่าเป็นบวก หมายถึงสีเหลือง เป็นลบ หมายถึงสีน้ำเงิน ผลการทดลองปรากฏว่า (แสดงดังตารางที่ 7)

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบสีแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 ลักษณะต่างกัน 4 ตัวอย่าง^{1/}

ตัวอย่าง ^{2/}	ค่าสี ^{3/}		
	L	a*	b*
NRF	97.45±0.43a	0.11±0.01a	3.48±0.05a
FRF	95.16±0.07b	-0.21±0.02b	4.11±0.04b
ANF24	94.12±0.52b	-0.33±0.01c	4.29±0.06c
ANF48	93.03±0.53c	-0.40±0.02d	4.37±0.03c

หมายเหตุ ^{1/} ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำจาก 2 ตัวอย่าง
 ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
^{2/} ความหมายของอักษรย่อเหมือนกับตารางที่ 6
^{3/} ค่า L คือ ความสว่างของสี มีค่า 0-100 (L=0 คือ สีดำ L=100 คือ สีขาว),
 ค่า a^* คือ ค่าความเป็นสีเขียว-แดง (ค่า $-a^*$ หมายถึง สีเขียว ค่า $+a^*$ หมายถึง สีแดง),
 ค่า b^* คือ ค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน (ค่า $-b^*$ หมายถึง สีน้ำเงิน ค่า $+b^*$ หมายถึง สีเหลือง)

เมื่อเปรียบเทียบค่า L ของแป้งปกติมีค่าความสว่างเป็น 97.45 มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักปกติซึ่งมีค่าเป็น 95.16 เมื่อเปรียบเทียบแป้งหมักปกติกับแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม แป้งหมักปกติมีความสว่างไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 ชม (94.12) แต่มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม (93.03)

เมื่อเปรียบเทียบค่า a^* ของแป้งปกติมีค่า a^* เป็น 0.11 แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักปกติซึ่งมีค่า a^* เปลี่ยนเป็น -0.21 แสดงให้เห็นว่ากระบวนการหมักมีผลให้แป้งหมักปกติมีค่าสีเปลี่ยนเป็นค่อนข้างไปทางเขียว เมื่อเปรียบเทียบแป้งหมักปกติกับแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม การอบผานเนื้อมีผลทำให้แป้งหมักอบผานเนื้อมีค่าความเป็นสีเขียวเพิ่มมากขึ้นเป็น -0.33 และ -0.40 ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบค่า b^* แป้งปกติมีค่า b^* เป็น 3.48 มีความเป็นสีเหลืองน้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักปกติซึ่งมีค่าเป็น 4.11 เมื่อเปรียบเทียบแป้งหมักปกติกับแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม แป้งหมักปกติมีความเป็นสีเหลืองน้อยกว่าแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม ซึ่งมีค่าเป็น 4.29 และ 4.37 ตามลำดับ โดยแป้งหมักอบผานเนื้อทั้งสองมีความเป็นสีเหลืองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

กระบวนการหมักทำให้แป้งหมักปกติมีสีเปลี่ยนแปลงไปจากแป้งปกติ มีความสว่าง (L) ลดลง ค่า a^* เปลี่ยนจากสีแดงเป็นสีเขียว และมีความเป็นสีเหลือง (b^*) เพิ่มขึ้น เมื่อแป้งหมักปกติผ่านกระบวนการอบผานเนื้อ การอบผานเนื้อีผลทำให้แป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม มีความสว่างลดลง มีความเป็นสีเขียว และความเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้นจากแป้งหมักปกติ อาจเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกรดแอมิโน กับน้ำตาลรีดิวซิงในแป้ง หรือที่เรียกว่า ปฏิกิริยาเมลลาร์ดทำให้แป้งหมักมีความสว่างลดลง มีสีค่อนข้างเหลืองเพิ่มขึ้น (Liu *et al.* 2005)

1.2 ผลการตรวจสอบสมบัติทางเคมี

จากการตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีของแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม (ตารางที่ 8) ได้ว่าแป้งปกติมีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้า เป็นร้อยละ 8.49, 7.74, 0.73 และ 0.68 ตามลำดับ มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักปกติซึ่งมีค่าเป็นร้อยละ 7.76, 4.58, 0.57 และ 0.25 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแอมิโลส แป้งปกติมีปริมาณแอมิโลส (35.62) น้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักปกติ (37.53)

เมื่อเปรียบเทียบแป้งหมักปกติ กับแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม ปรากฏว่าแป้งหมักปกติมีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 ชม ซึ่งมีค่าเป็นร้อยละ 7.43, 4.64, 0.55 และ 0.24 ตามลำดับ และ 48 ชม มีค่าเป็น 7.71, 4.42, 0.55 และ 0.91 ตามลำดับ ส่วนปริมาณแอมิโลส แป้งหมักปกติมีปริมาณแอมิโลสมากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 (35.11) และ 48 (34.78) ชม

ปริมาณโปรตีนของแป้งปกติน้อยกว่า ส่วนไขมัน เถ้า และแอมิโลสของแป้งปกติมากกว่าแตกต่างกับผลการวิจัยของ Varavinit *et al.* (2003) ได้ตรวจสอบปริมาณโปรตีน (10.18) ไขมัน (0.31) เถ้า (0.32) และแอมิโลส (23.98) ของแป้งข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และผลการทดลองของ

พลกฤษณ์ (2547) ซึ่งได้ผลการตรวจสอบปริมาณโปรตีน (8.63) ไขมัน (0.32) และแอมิโลส (27.0) ของแป้งข้าวพันธุ์ชัยนาท 1

การแตกต่างกันขององค์ประกอบทางเคมีของแป้งปกติ กับผลการทดลองของ Varavinit *et al.* (2003) และ พลกฤษณ์ (2547) อาจเกิดจากความแตกต่างกันของพื้นที่การเพาะปลูก และระยะเวลาการเก็บรักษาข้าว ส่งผลให้ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวที่วิเคราะห์ได้แตกต่างกัน (อรอนงค์, 2547)

สาเหตุที่องค์ประกอบทางเคมีของแป้งปกติมีค่ามากกว่าแป้งหมักปกติ อาจเกิดจากระหว่างกระบวนการหมักมีการแช่ข้าว และล้างหลายครั้งส่งผลให้องค์ประกอบทางเคมีบางส่วนละลาย และหลุดออกไปกับน้ำ แป้งหมักปกติจึงมีองค์ประกอบทางเคมีต่ำกว่าแป้งปกติ (ภควัฒน์ และ อรอนงค์, 2548)

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 ลักษณะต่างกัน 4 ตัวอย่าง^{1/}

ตัวอย่าง ^{2/}	องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ)				
	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า	แอมิโลส
NRF	8.49±0.02a	7.74±0.06a	0.73±0.01a	0.68±0.01a	35.62±0.09 b
FRF	7.76±0.02b	4.58±0.30b	0.57±0.01b	0.25±0.01b	37.53±0.31 a
ANF24	7.73±0.00b	4.64±0.51b	0.55±0.01b	0.24±0.01b	35.11±0.03 bc
ANF48	7.71±0.07b	4.42±0.09b	0.55±0.01b	0.91±0.01b	34.78±0.55 c

หมายเหตุ ^{1/} ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำจาก 2 ตัวอย่าง
 ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
^{2/} ความหมายของอักษรย่อเหมือนกับตารางที่ 6

1.3 ผลการตรวจสอบสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ และความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็ง

การตรวจสอบสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ของสตรัซในแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบสัณเ็น 24 และ 48 ชม คือ ตรวจสอบสมบัติด้านความหนืดด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว (RVA) ค่ากำลังการพองตัว ร้อยละการละลาย และความเป็นผลึกของสตรัซ

ในแป้งด้วยเครื่องเอกซ์-เรย์ ดิฟแฟรกโตมิเตอร์เพื่อทราบถึงผลของการหมัก และการอบผานเนื้อ หลังจากนั้นตรวจสอบบัติการเกิดเจลาทีไนซ์ของสตาร์ชในแป้ง การเกิดรีโทรเกรดของเจลาแป้งด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเทียลสแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ และตรวจสอบความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งของเจลาแป้งหมักปกติ และเจลาแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม

1.3.1 ผลสมบัติด้านความหนืด

เมื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงความหนืดด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว แป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผานเนื้อ มีการเปลี่ยนแปลงสมบัติด้านความหนืด คือ (แสดงดังตารางที่ 9 และภาพที่ 23)

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบสมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 ลักษณะต่างกัน 4 ตัวอย่าง^{1/}

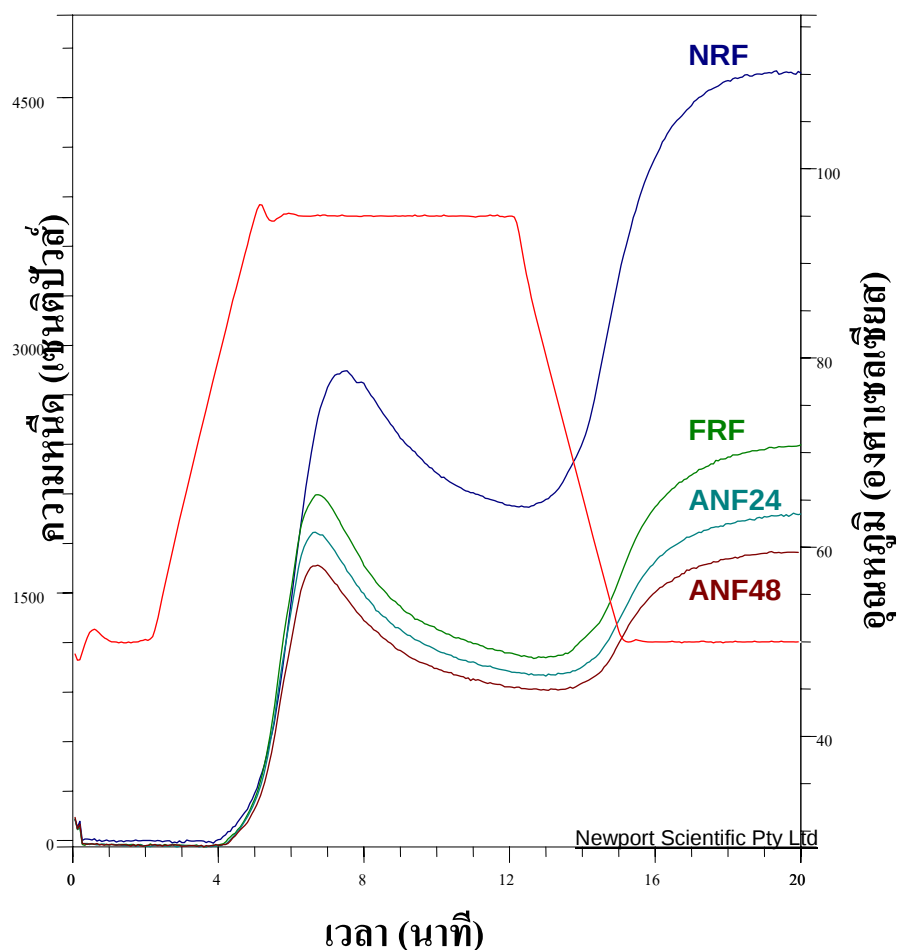
ตัวอย่าง ^{2/}	อุณหภูมิเริ่มหนืด (°ซ)	สมบัติด้านความหนืด (เซนติปัวส์)				
		ความหนืดสูงสุด	ความหนืดต่ำสุด	ความหนืดลดลง ^{3/}	ความหนืดสุดท้าย	เซตแบบค ^{4/}
NRF	86.81±0.56 c	2,848.33±15.63 a	1,579.67±44.61 a	1,268.67±29.37 a	4,703.00±50.69 a	3,123.33±38.55 a
FRF	87.90±1.00 b	2,090.00±17.58 b	1,088.33±24.58 b	1,001.67±8.50 b	2,390.00±7.55 b	1,301.67±17.67 b
ANF24	91.31±0.63 b	1,759.00±7.81 c	952.33±14.57 c	806.67±8.96 c	1,878.00±19.52 c	925.67±15.53 c
ANF48	93.28±0.54 a	1,714.33±10.97 d	945.00±15.72 d	769.33±15.31 d	1,776.33±22.30 d	831.33±11.50 d

หมายเหตุ ^{1/} ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำจาก 2 ตัวอย่าง
ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{2/} ความหมายของอักษรย่อเหมือนกับตารางที่ 6

^{3/} ค่าความแตกต่างระหว่างความหนืดสูงสุด และความหนืดต่ำสุด

^{4/} ค่าความแตกต่างระหว่างความหนืดสุดท้าย และความหนืดต่ำสุด



ภาพที่ 23 สมบัติด้านความร้อนของแป้งปกติ (NRF), แป้งหมักปกติ (FRF) และแป้งหมักอบสลายเนื้อ 24 (ANF24) และ 48 ชม (ANF48) ด้วยเครื่องวิเคราะห์ความร้อนอย่างรวดเร็ว

ก. อุณหภูมิเริ่มต้น แป้งปกติมีอุณหภูมิเริ่มต้นเป็น 86.81°C น้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักปกติซึ่งมีอุณหภูมิเริ่มต้น 87.90°C ขณะที่เมื่อเปรียบเทียบแป้งหมักปกติกับแป้งหมักอบสลายเนื้อ แป้งหมักปกติมีอุณหภูมิเริ่มต้นไม่แตกต่างกันทางสถิติกับ ($p > 0.05$) แป้งหมักอบสลายเนื้อ 24 ชม (91.31) แต่น้อยกว่าแป้งหมักอบสลายเนื้อ 48 ชม มีค่าเป็น 93.28°C เม็ดสตาร์ชในแป้งหมักอบสลายเนื้อ 48 ชม สามารถทนต่อความร้อนได้มากกว่าสตาร์ชในแป้งหมักปกติ และแป้งปกติจึงทำให้มีอุณหภูมิเริ่มต้นสูง

ข. ความหนืดสูงสุด แป้งปกติมีความหนืดสูงสุด 2,848 เซนติปัวส์ มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักปกติ (2,090 เซนติปัวส์) เม็ดสตาร์ชในแป้งปกติสามารถพองตัว และทำให้เกิดความหนืดสูงสุดได้มากกว่าสตาร์ชในแป้งหมักปกติ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแป้งหมักปกติกับแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม แป้งหมักปกติมีความหนืดสูงสุดมากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักอบผานเนื้อซึ่งมีความหนืดสูงสุดเป็น 1,759 และ 1,714 เซนติปัวส์ ตามลำดับ การอบผานเนื้อนานขึ้นทำให้เม็ดสตาร์ชเกิดการพองตัวได้น้อยลง ค่าความหนืดสูงสุดของแป้งหมักปกติจึงมากกว่าแป้งหมักอบผานเนื้อ

ค. ความหนืดต่ำสุด แป้งปกติมีค่าความหนืดต่ำสุด 1,579 เซนติปัวส์ มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักปกติ (1,088 เซนติปัวส์) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม แป้งหมักปกติมีความหนืดต่ำสุดมากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 (952 เซนติปัวส์) และ 48 ชม (945 เซนติปัวส์) การอบผานเนื้อนานขึ้นทำให้ค่าความหนืดต่ำสุดลดลงจากแป้งหมักปกติ

ง. ความหนืดลดลง แป้งปกติมีความหนืดลดลงเป็น 1,268 เซนติปัวส์ มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักปกติ (1,001 เซนติปัวส์) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม แป้งหมักปกติมีค่าความหนืดลดลงมากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 (806 เซนติปัวส์) และ 48 ชม (769 เซนติปัวส์) แสดงว่าการอบผานเนื้อส่งผลให้เม็ดสตาร์ชในแป้งหมักอบผานเนื้อคงทนต่อแรงกวนมากขึ้น

จ. ความหนืดสุดท้าย แป้งปกติมีความหนืดสุดท้ายเป็น 4,703 เซนติปัวส์ มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักปกติ (2,390 เซนติปัวส์) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแป้งหมักปกติกับแป้งหมักอบผานเนื้อ แป้งหมักปกติมีค่าความหนืดสุดท้ายมากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 (3,323 เซนติปัวส์) และ 48 ชม (3,169 เซนติปัวส์) การอบผานเนื้อนานขึ้นทำให้ความหนืดสุดท้ายลดลงจากแป้งหมักปกติ

ฉ. เซตแบค แป้งปกติมีเซตแบคเป็น 3,123 เซนติปัวส์ มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักปกติซึ่งมีค่าเป็น 1,301 เซนติปัวส์ เมื่ออบผานเนื้อแป้งหมักปกติ 24 (925 เซนติปัวส์) และ 48 ชม (831 เซนติปัวส์) การอบผานเนื้อนานขึ้นทำให้ค่าเซตแบคของแป้ง

หมักอบผานเนื้อลดลงจากแป้งหมักปกติ แสดงให้เห็นว่าแป้งปกติ และแป้งหมักปกติมีความคงทนต่อการเกิดรีโทรเกรดน้อยกว่าแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม

แป้งหมักปกติมีสมบัติด้านความหนืดมากกว่าแป้งหมักอบผานเนื้อ สอดคล้องกับผลการทดลองของ Chiewcherngka and Naivikul (2005) ทดลองอบผานเนื้อแป้งข้าวเจ้าพันธุ์เหลือง 11 เวลา 4, 12, 24 และ 48 ชม อุณหภูมิ 55 °ซ ความชื้นร้อยละ 66 ได้พบว่า เมื่อระยะเวลาการอบผานเนื้อเพิ่มขึ้นค่าความหนืดสูงสุด ความหนืดต่ำสุด ความหนืดลดลง ความหนืดสุดท้าย และเซตแบบของแป้งปกติมากกว่าแป้งอบผานเนื้อ

จากผลการอบผานเนื้อแป้งหมัก ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีสูงกว่าสตาร์ช ปรากฏว่าแป้งหมักปกติมีสมบัติด้านความหนืดมากกว่าแป้งหมักอบผานเนื้อคล้ายคลึงกับผลการทดลองของ สุภาวดี และปริศนา (2550) ทดลองอบผานเนื้อสตาร์ชข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 อุณหภูมิ 50 °ซ 24, 36 และ 72 ชม ความชื้นร้อยละ 60 ปรากฏว่า สตาร์ชปกติ (3,996 เซนติปัวส์) มีความหนืดสูงสุดมากกว่าสตาร์ชอบผานเนื้อ 24 (3,823 เซนติปัวส์), 36 (3,034 เซนติปัวส์) และ 72 ชม (2,835 เซนติปัวส์) แสดงให้เห็นว่าการอบผานเนื้อส่งผลให้เมล็ดสตาร์ชในแป้งหมักอบผานเนื้อมีสมบัติด้านความหนืดลดลง

เมื่อตรวจสอบสมบัติด้านความหนืดของแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผานเนื้อ แป้งปกติมีค่าอุณหภูมิเริ่มหนืด ความหนืดสูงสุด ความหนืดลดลง และเซตแบบมากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักปกติ อาจเกิดจากในระหว่างกระบวนการหมักจุลินทรีย์ในธรรมชาติสร้างเอนไซม์ย่อยเมล็ดสตาร์ชในแป้งหมักปกติ (ภควัฒน์ และอรอนงค์, 2548) เม็ดสตาร์ชในแป้งปกติจึงมีความแข็งแรง ทนต่อสภาวะอุณหภูมิสูง และน้ำมากเกินไปมากกว่าสตาร์ชในแป้งหมักปกติ สอดคล้องกับผลการส่องดูเมล็ดสตาร์ชด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เม็ดสตาร์ชในแป้งปกติไม่มีรูพรุนเกิดขึ้นที่ผิวของเม็ดสตาร์ช ทำให้น้ำสามารถเข้าไปสลายพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโมเลกุลของเม็ดสตาร์ชในแป้งปกติได้น้อยกว่าเม็ดสตาร์ชในแป้งหมักปกติ แป้งปกติจึงมีสมบัติด้านความหนืดสูงกว่าแป้งหมักปกติ

เมื่ออบผานเนื้อแป้งหมัก 24 และ 48 ชม ปรากฏว่า แป้งหมักปกติมีค่าความหนืดสูงสุด ความหนืดต่ำสุด ความหนืดลดลง ความหนืดสุดท้าย และเซตแบบมากกว่าแป้งหมักอบผานเนื้อ แสดงให้เห็นว่าการอบผานเนื้อส่งผลให้เมล็ดสตาร์ชในแป้งหมักอบผานเนื้อมีการพอง

ตัวระหว่างเริ่มหนึ่ลดลง เมื่ออุณหภูมิของระบบแข่งกับน้ำสูงถึง 95 °ซ เม็ดสตา์ซในแป้งหมักปกติสามารถพองตัวได้มากกว่าแป้งหมักอบผานเนื้อ ค่าความหนึ่สูงสุดของแป้งหมักปกติจึงมากกว่าแป้งหมักอบผานเนื้อ และเมื่ออุณหภูมิของระบบลดลงถึง 50 °ซ ค่าความหนึ่สุดท้ายของแป้งหมักปกติมากกว่าแป้งหมักอบผานเนื้อ อาจเกิดจากเม็ดสตา์ซในแป้งหมักปกติมีการซึมผ่านของสายเอมิโลสออกจากเม็ดสตา์ซมากกว่าแป้งหมักอบผานเนื้อ ทำให้เจลแป้งหมักปกติเกิดรีโทรเกรดมากกว่าเจลแป้งหมักอบผานเนื้อ ความหนึ่ของเจลแป้งหมักปกติจึงมากกว่าเจลแป้งหมักอบผานเนื้อ

1.3.2 ผลสมบัติการพองตัว

จากตารางที่ 10 เมื่อตรวจสอบกำลังการพองตัวของแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม ที่อุณหภูมิ 55, 65, 75, และ 85 องศาเซลเซียส ได้ผลว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นกำลังการพองตัวของสตา์ซในแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผานเนื้อเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงกำลังการพองตัวที่อุณหภูมิต่างๆ มีดังนี้

ตารางที่ 10 เปรียบเทียบกำลังการพองตัวของแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 ลักษณะต่างกัน 4 ตัวอย่าง^{1/}

ตัวอย่าง ^{2/}	อุณหภูมิ (°ซ)			
	55	65	75	85
NRF	2.41±0.02a	5.50±0.55c	7.52±0.50d	10.23±1.01d
FRF	2.15±0.02b	9.17±0.73a	13.43±0.96a	23.60±1.11a
ANF24	2.10±0.04b	7.12±0.65b	10.93±0.47b	17.09±1.02b
ANF48	1.93±0.07c	3.87±0.07d	8.91±0.60c	15.71±0.27c

หมายเหตุ ^{1/} ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำจาก 2 ตัวอย่าง
 ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
^{2/} ความหมายของอักษรย่อเหมือนกับตารางที่ 6

ก. อุณหภูมิ 55 °ซ แป้งปกติมีกำลังการพองตัว 2.41 มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักปกติมีค่าเป็น 2.15 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผานเนื้อ แป้งหมักปกติมีกำลังการพองตัวไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับแป้งหมัก

อบผานเนื้อ 24 ชม (2.12) แต่มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม (1.93) เม็ดสตา์ชในแป้งปกติสามารถพองตัวในอุณหภูมิก่อนเกิดเจลาทิไนซ์ได้มากกว่าแป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผานเนื้อ เมื่อแป้งหมักผ่านการอบผานเนื้อ สตา์ชในแป้งหมักปกติมีการพองตัวมากกว่าแป้งหมักอบผานเนื้อที่ 48 ชม

ข. อุณหภูมิ 65 °ซ แป้งปกติมีค่ากำลังการพองตัวเป็น 5.50 น้อยกว่าแป้งหมักปกติซึ่งมีค่ากำลังการพองตัว (9.17) มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างอื่น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผานเนื้อ แป้งหมักปกติมีค่าการพองตัวมากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 (7.12) และ 48 ชม (3.87) กระบวนการหมักมีผลให้สตา์ชในแป้งปกติมีค่าการพองตัวน้อยกว่าแป้งหมักปกติ แต่การอบผานเนื้อทำให้สตา์ชในแป้งหมักปกติมีค่ากำลังการพองตัวมากกว่าแป้งหมักอบผานเนื้อ

ค. อุณหภูมิ 75 °ซ แป้งปกติมีค่ากำลังการพองตัวเป็น 7.52 น้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักปกติซึ่งมีค่ากำลังการพองตัวมากที่สุดเป็น 13.43 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแป้งหมักปกติ กับแป้งหมักอบผานเนื้อ แป้งหมักปกติมีค่ากำลังการพองตัวมากกว่าแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม เป็น 10.93 และ 8.91 ตามลำดับ ณ อุณหภูมิเจลาทิไนซ์ กระบวนการหมักทำให้สตา์ชในแป้งปกติมีค่ากำลังการพองตัวน้อยกว่าแป้งหมักปกติ แต่การอบผานเนื้อทำให้สตา์ชในแป้งหมักปกติมีค่ากำลังการพองมากกว่าแป้งหมักอบผานเนื้อ

ง. อุณหภูมิ 85 °ซ แป้งปกติมีค่ากำลังการพองตัวเป็น 10.23 น้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักปกติซึ่งมีค่ากำลังการพองตัวมากที่สุดคือ 23.60 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผานเนื้อ แป้งหมักปกติมีค่าการพองตัวมากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม เป็น 17.09 และ 15.71 ตามลำดับ เมื่ออุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิเจลาทิไนซ์ กระบวนการหมักทำให้สตา์ชในแป้งปกติมีค่ากำลังการพองตัวน้อยกว่าแป้งหมักปกติ แต่การอบผานเนื้อทำให้สตา์ชในแป้งหมักปกติมีค่ากำลังการพองมากกว่าแป้งหมักอบผานเนื้อ

จากผลการทดลอง Hoover and Vasanthan (1994) ทดลองสกัดสตาร์ชข้าวสาลี และข้าวโอต และอบผานเนื้อ 50 °ซ 72 ชม ความชื้นร้อยละ 75 ปรากฏว่า อุณหภูมิ 95 °ซ สภาวะมีน้ำมากเกินพอ สตาร์ชข้าวสาลี (28.6) และสตาร์ชข้าวโอตปกติ (25.7) มีกำลังการพอง มากกว่าสตาร์ชข้าวสาลีอบผานเนื้อ (18.9) และสตาร์ชข้าวโอตอบผานเนื้อ (19.8) และคล้ายคลึง กับผลการทดลองของ Waduge *et al.* (2006) อบผานเนื้อสตาร์ชข้าวบาร์เลย์เอ็มโอสสูง 50 °ซ 72 ชม ความชื้นร้อยละ 75 ปรากฏว่า อุณหภูมิ 50, 60, 70, 80 และ 90 °ซ สภาวะมีน้ำมากเกินพอ สตาร์ช ข้าวบาร์เลย์เอ็มโอส สูงปกติมีกำลังการพองตัวมากกว่าสตาร์ชอบผานเนื้อในทุกอุณหภูมิ แสดง ให้เห็นว่าแม้ในการทดลองไม่ได้อบผานเนื้อสตาร์ช แต่ผลการทดลองอบผานเนื้อแป้งหมัก ให้ผลคล้ายคลึงกับ Hoover and Vasanthan (1994) และ Waduge *et al.* (2006)

จากการตรวจสอบกำลังการพองตัวของแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้ง หมักอบผานเนื้อ แป้งปกติมีกำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 55 °ซ มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักปกติ แต่อุณหภูมิ 65, 75 และ 85 °ซ แป้งปกติมีกำลังการพองตัวน้อยกว่า แป้งหมักปกติ เกิดจากแป้งหมักปกติมีรูพรุนจำนวนมาก สอดคล้องกับผลการส่องดูเมล็ดสตาร์ชด้วย กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ซึ่งเกิดจากการย่อยของเอนไซม์ และกรดอ่อนระหว่าง กระบวนการหมัก เมื่ออยู่ในสภาวะมีน้ำมากเกินพอ และอุณหภูมิสูงถึง 65 °ซ น้ำสามารถซึมเข้าไป ในเมล็ดสตาร์ชได้มากกว่าแป้งปกติ ทำให้แป้งหมักปกติสามารถพองตัวได้มากกว่าแป้งปกติ เมื่อ เปรียบเทียบแป้งหมักปกติกับแป้งหมักอบผานเนื้อ แป้งหมักปกติมีกำลังการพองตัวมากกว่าแป้ง หมักอบผานเนื้อที่ 48 ชม โดยเมื่อเวลาการอบผานเนื้อมากขึ้นกำลังการพองตัวของเมล็ดสตาร์ชใน แป้งหมักอบผานเนื้อลดลง

1.3.3 ผลสมบัติการละลาย

เมื่อตรวจสอบค่าการละลายของแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบ ผานเนื้อ อุณหภูมิ 55, 65, 75 และ 85 °ซ ตามลำดับ ได้ผลว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าการละลาย ของแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผานเนื้อมากขึ้น การเปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิต่างๆ มีดังนี้ (ตารางที่ 11)

ตารางที่ 11 เปรียบเทียบการละลายของแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 ลักษณะต่างกัน 4 ตัวอย่าง^{1/}

ตัวอย่าง ^{2/}	อุณหภูมิ (°ซ)			
	55	65	75	85
NRF	2.07±0.02 b	3.11±0.08 b	7.24±0.58 b	9.66±0.56 d
FRF	2.32±0.04 a	6.82±0.98 a	14.04±1.02 a	21.73±0.79 a
ANF24	2.02±0.18 b	3.01±0.89 b	8.50±0.48 b	18.07±1.44 b
ANF48	1.62±0.06 c	2.61±0.10 b	7.74±1.52 b	13.87±0.92 c

หมายเหตุ ^{1/} ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำจาก 2 ตัวอย่าง
 ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
^{2/} ความหมายของอักษรย่อเหมือนกับตารางที่ 6

อุณหภูมิ 55 °ซ แป้งปกติมีค่าการละลายเป็นร้อยละ 2.07 น้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักปกติซึ่งมีค่าร้อยละ 2.32 เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งหมักอบผสานครือ 24 ชมและ 48 ชม แป้งหมักปกติมีค่าการละลายมากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักอบผสานครือ 24 และ 48 ชม เป็นร้อยละ 2.02 และ 1.62 ตามลำดับ กระบวนการหมักทำให้สสารในแป้งปกติมีการละลาย ณ อุณหภูมิก่อนการเกิดเจลลาไทน์น้อยกว่าแป้งหมักปกติ และเมื่ออบผสานครือทำให้สสารในแป้งหมักปกติมีค่าการละลายมากกว่าแป้งหมักอบผสานครือ

อุณหภูมิ 65 °ซ แป้งปกติมีการละลายเป็นร้อยละ 3.11 น้อยกว่าแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักปกติซึ่งมีค่าร้อยละ 6.82 เมื่อผ่านอบผสานครือ แป้งหมักปกติมีค่าการละลายมากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักอบผสานครือ 24 และ 48 ชม ซึ่งมีค่าเป็นร้อยละ 3.01 และ 2.61 ตามลำดับ แป้งหมักอบผสานครือทั้งสองมีค่าการละลายไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

อุณหภูมิ 75 °ซ แป้งปกติมีค่าการละลายเป็นร้อยละ 7.24 น้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักปกติมีค่าร้อยละ 14.04 เมื่อเปรียบเทียบแป้งหมักปกติกับแป้งหมักอบผสานครือ แป้งหมักปกติมีค่าการละลายมากกว่าแป้งหมักอบผสานครือ 24 และ 48 ชม ซึ่งมีค่าเป็นร้อยละ 8.50 และ 7.74 ตามลำดับ แป้งหมักอบผสานครือทั้งสองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่ออุณหภูมิสูงถึงอุณหภูมิเจลลาไทน์ การละลายของสสารในแป้งปกติน้อยกว่าแป้งหมักปกติ

และเมื่ออบผานเนื้อทำให้สตา์ชในแป้งหมักปกติมีการละลายมากกว่าแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม

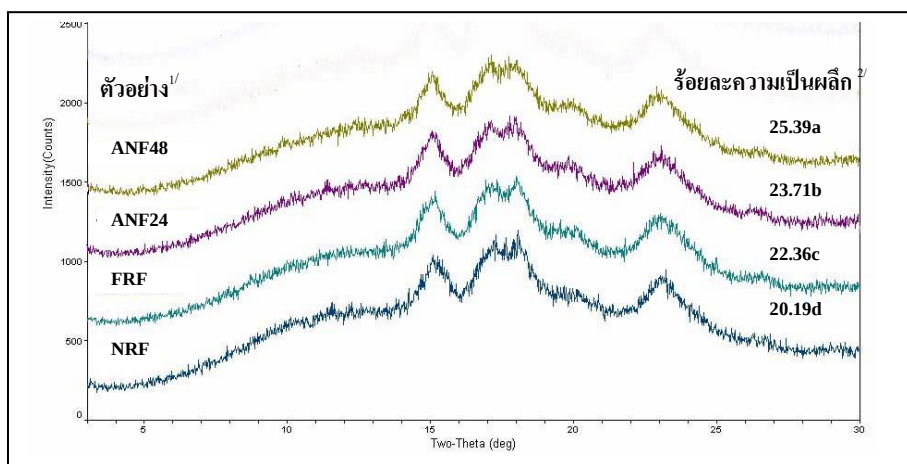
อุณหภูมิ 85 °ซ แป้งปกติมีค่าการละลายร้อยละ 9.66 น้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักปกติมีค่าร้อยละ 21.73 เมื่ออบผานเนื้อ แป้งหมักปกติมีค่าการละลายมากกว่าแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 (ร้อยละ 18.07) และ 48 ชม (ร้อยละ 13.87) อุณหภูมิสูงเกินกว่าอุณหภูมิเจลาทิไนซ์ สตา์ชในแป้งปกติมีการละลายน้อยกว่าแป้งหมักปกติ และเมื่ออบผานเนื้อ สตา์ชในแป้งหมักปกติมีการละลายมากกว่าแป้งหมักอบผานเนื้อ การอบผานเนื้อ 24 ชม ทำให้สตา์ชในแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 ละลายได้น้อยกว่าแป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม

จากการทดลองของ Hoover and Vasanathan (1994) ทดลองสกัดสตา์ชข้าวสาลีและข้าวโอต และอบผานเนื้อ 50 °ซ 72 ชม ปริมาณความชื้นร้อยละ 75 ปรากฏว่า อุณหภูมิ 95 °ซ สภาวะที่มีน้ำมากเกินไป สตา์ชข้าวสาลีปกติ (ร้อยละ 10.9) และสตา์ชข้าวโอตปกติ (ร้อยละ 12.3) มีปริมาณแอมิโลสมากกว่าสตา์ชข้าวสาลีอบผานเนื้อ (ร้อยละ 9.3) และสตา์ชข้าวโอตอบผานเนื้อ (ร้อยละ 11.8) และสอดคล้องกับผลการทดลองของ Waduge *et al.* (2006) สกัดสตา์ชข้าวบาร์เลย์แอมิโลส และอบผานเนื้อ สูง 50 °ซ 72 ชม ความชื้นร้อยละ 75 ปรากฏว่า อุณหภูมิ 50, 60, 70, 80 และ 90 °ซ สภาวะที่มีน้ำมากเกินไป สตา์ชข้าวบาร์เลย์แอมิโลสสูงมีปริมาณแอมิโลสมากกว่าสตา์ชอบผานเนื้อในทุกอุณหภูมิ ถึงแม้ว่าในการทดลองเป็นการอบผานเนื้อแป้งหมัก แต่ผลของการอบผานเนื้อทำให้แป้งหมักมีสมบัติคล้ายคลึงกับการอบผานเนื้อสตา์ช

แป้งปกติมีค่าการละลายน้อยกว่าแป้งหมักปกติในอุณหภูมิ 55, 65, 75 และ 85 °ซ อาจเกิดจากระหว่างกระบวนการหมักมีจุลินทรีย์สร้างเอนไซม์ย่อยสตา์ชในแป้งหมักปกติทำให้เกิดเป็นกรดอินทรีย์ ย่อยเม็ดสตา์ช เมื่ออยู่ในสภาวะที่มีน้ำมากเกินไป และอุณหภูมิสูง น้ำสามารถเข้าไปทำลายพันธะไฮโดรเจนของเม็ดสตา์ชแป้งหมักปกติได้มากกว่าแป้งปกติ ทำให้เม็ดสตา์ชแป้งปกติพองตัว และละลายได้น้อยกว่าแป้งหมักปกติ เมื่อผ่านการอบผานเนื้อแป้งหมักปกติ 24 และ 48 ชม ปรากฏว่า เมื่อเวลาในการอบผานเนื้อเพิ่มขึ้น แป้งหมักปกติมีค่าการละลายมากกว่าแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม โดยการอบผานเนื้อที่ 24 ชม มีค่าการละลายมากกว่าการอบผานเนื้อ 48 ชม

1.3.4 ผลการตรวจสอบสมบัติความเป็นผลึก

สมบัติความเป็นผลึกของเม็ดสตาร์ชสามารถตรวจสอบได้ด้วยเครื่องเอกซ-เรย์ดิฟแฟร็กโตมิเตอร์ บอกได้ถึงร้อยละความเป็นผลึก และชนิดรูปร่างโครงสร้างผลึกของสตาร์ช ผลปรากฏดังภาพที่ 24



ภาพที่ 24 ระดับความเป็นผลึกของแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม

หมายเหตุ ^{1/} ความหมายของอักษรย่อเหมือนกับตารางที่ 6
^{2/} ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำจาก 2 ตัวอย่าง
 ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อตรวจสอบโครงสร้างผลึกของแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (x-ray diffraction) ปรากฏพีกหลักที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 15 องศา จำนวน 1 พีก ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 17-18 องศา จำนวน 2 พีก ที่เชื่อมต่อกัน และตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 23 องศา จำนวน 1 พีก ซึ่งแสดงให้เห็นว่ารูปแบบโครงสร้างผลึกของแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผานเนื้อเป็นรูปแบบของโครงสร้างผลึกแบบเอ (A-type)

เมื่อคำนวณค่าร้อยละระดับความเป็นผลึก (degree of crystallinity) จากสัดส่วนของพื้นที่บริเวณใต้พีกตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 15, 17-18 และ 23 ต่อพื้นที่รวมทั้งหมดของสเปกตรัมที่วัดได้ ปรากฏว่า แป้งปกติมีค่าระดับความเป็นผลึกร้อยละ 20.19 น้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักปกติซึ่งมีระดับความเป็นผลึกร้อยละ 22.36 เมื่อผ่านการอบผานเนื้อนานขึ้น

เมื่อดูดาวของแป้นหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม มีความเป็นผลึกเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 23.71 และ 25.39 ตามลำดับ

นอกจากนี้ยังปรากฏฟิสิกที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 20 ชัดเจนขึ้นเมื่อทำการอบผานเนื้อมานานขึ้น แสดงให้เห็นว่าแป้นหมักอบผานเนื้อทำให้เกิดการจัดเรียงตัวใหม่ของเอมิโลสโดยเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับลิพิด คือ มีโครงสร้างผลึกแบบเอ (A-type) ผสมกับโครงสร้างผลึกแบบบี (V-type)

จากผลการทดลองของ Yamamoto and Shirakawa (1999) ได้สกัดสตาร์ชข้าวพันธุ์จ้าวอนิก้า และอินดิกา และอบผานเนื้อ 55 องศาเซลเซียส 24 ชม ความชื้นร้อยละ 60 ปรากฏว่า การอบผานเนื้อีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติความเป็นผลึกของสตาร์ช ทำให้สตาร์ชทั้งสองชนิดมีความเป็นผลึกเพิ่มมากขึ้นจากสตาร์ชปกติ ถึงแม้ว่าผลทดลองเป็นการอบผานเนื้อแป้นหมัก แต่ผลของการอบผานเนื้อคล้ายคลึงกับการอบผานเนื้อสตาร์ช

การอบผานเนื้อีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นผลึกของเม็ดสตาร์ชระหว่างการอบผานเนื้อโมเลกุลของสตาร์ช ซึ่งเปลี่ยนสภาพจากสถานะเป็นอสัณฐานเกิดการเคลื่อนที่มาจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจนมากขึ้น ความเป็นผลึกของสตาร์ชจึงเพิ่มขึ้น (Jacob *et al.*, 1998) จากผลการทดลองแป้นหมักปกติ มีความเป็นผลึกน้อยกว่าแป้นหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม ตามลำดับ การเพิ่มขึ้นของความเป็นผลึกของสตาร์ชในแป้นหมักอบผานเนื้อ มีความเป็นไปได้ว่า เมื่อดูดาวแป้นหมักอบผานเนื้ออาจมีอุณหภูมิการเกิดเจลลิตีไนซ์เพิ่มสูงกว่าแป้นหมักปกติ จึงตรวจสอบอุณหภูมิการเกิดเจลลิตีไนซ์ และค่าพลังงานการสลายพันธะต่อไป

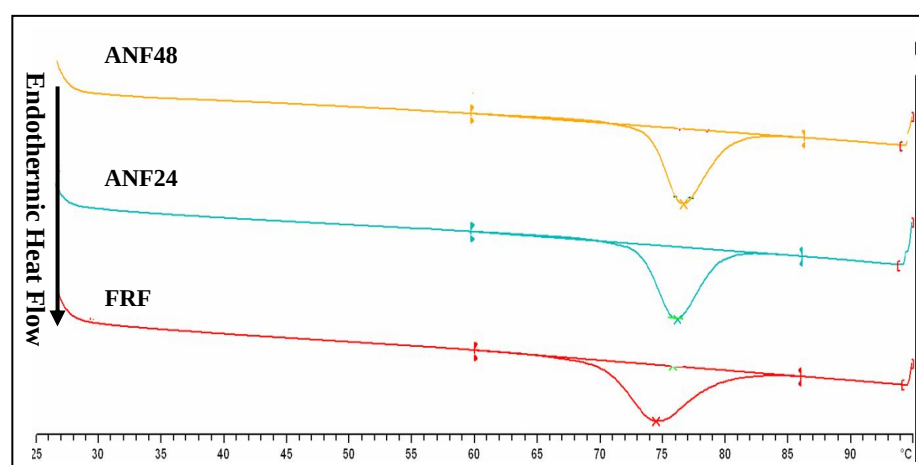
1.3.5 ผลการเกิดเจลลิตีไนซ์

เมื่อตรวจสอบการเกิดเจลลิตีไนซ์ด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ รายงานเป็นอุณหภูมิระหว่างการเกิดเจลลิตีไนซ์ของสตาร์ช ค่าพลังงานสลายพันธะของเม็ดสตาร์ชระหว่างเกิดเจลลิตีไนซ์ของแป้นหมักปกติ และแป้นหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม ได้ผลดังนี้ (แสดงดังตารางที่ 12 และภาพที่ 25)

ตารางที่ 12 เปรียบเทียบสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 ลักษณะ
ต่างกัน 3 ตัวอย่าง^{1/}

ตัวอย่าง ^{2/}	อุณหภูมิการเกิดเจลลิตีไนซ์ (°ซ)				พลังงานสลาย พันธะ (จูล/ก.)
	อุณหภูมิ เริ่มต้น	อุณหภูมิสูงสุด	อุณหภูมิต่ำสุดท้าย	ช่วงอุณหภูมิ	
FRF	70.60±0.06c	74.58±0.43c	78.82±0.05c	8.21±0.05a	10.30±0.02c
ANF24	73.01±0.06b	75.87±0.24b	79.20±0.08b	6.19±0.02b	11.04±0.01b
ANF48	73.95±0.13a	76.53±0.07a	80.02±0.04a	6.07±0.16b	12.68±0.05a

หมายเหตุ ^{1/} ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำจาก 2 ตัวอย่าง
ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
^{2/} FRF=แป้งหมักปกติ ANF24= แป้งหมักอบผานเนื้อ 24 ชม
และ ANF48=แป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม



ภาพที่ 25 การเปลี่ยนแปลงค่าเอนโดเทอร์มของแป้งหมักปกติ (FRF) และแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 (ANF24) และ 48 (ANF48) ชม

อุณหภูมิเริ่มต้นการเกิดเจลลิตีไนซ์ แป้งหมักปกติมีอุณหภูมิเป็น 70.60 °ซ
ต่ำกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม ซึ่งมีค่าเป็น 73.01
และ 73.95 °ซ ตามลำดับ เวลาการอบผานเนื้อมานานขึ้นทำให้อุณหภูมิเริ่มต้นเกิดเจลลิตีไนซ์สูงขึ้น

แสดงว่าในการทำให้เมื่อดสตาร์ชเริ่มเกิดเจลลาทีไนซ์ เมื่อดสตาร์ชของแป้งหมักอบผานเนื้อต้องใช้ อุณหภูมิสูงกว่าเมื่อดสตาร์ชแป้งหมักปกติ

อุณหภูมิสูงสุดของการเกิดเจลลาทีไนซ์ แป้งหมักปกติมีอุณหภูมิสูงสุดในการเกิด เจลลาทีไนซ์ 74.58°C ต่ำกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม ซึ่งมีอุณหภูมิเป็น 75.87 และ 76.53°C ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแป้งหมักอบผานเนื้อ แป้งหมักอบผานเนื้อ 24 ชม มีอุณหภูมิสูงสุดของการเกิดเจลลาทีไนซ์ต่ำกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม

อุณหภูมิสุดท้ายของการเกิดเจลลาทีไนซ์ แป้งหมักปกติมีอุณหภูมิสุดท้ายของการ เกิดเจลลาทีไนซ์ 78.82°C ต่ำกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม ซึ่งมีอุณหภูมิเป็น 79.20 และ 80.02°C เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างแป้งหมักอบผานเนื้อ แป้งหมักอบผานเนื้อ 24 ชม มีอุณหภูมิสุดท้ายของการเกิดเจลลาทีไนซ์ต่ำกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม

ช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลลาทีไนซ์ แป้งหมักปกติมีช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลลาทีไนซ์ 8.21°C สูงกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม ซึ่งมี อุณหภูมิเป็น 6.19 และ 6.07°C ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม แป้งหมักอบผานเนื้อทั้งสองมีช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลลาทีไนซ์ไม่แตกต่างกันทาง สถิติ ($p > 0.05$)

ค่าพลังงานสลายพันธะ แป้งหมักปกติมีค่าพลังงานสลายพันธะ 10.30 จูล/กรัม น้อยกว่าแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม ซึ่งมีค่าเป็น 11.04 และ 12.68 จูล/กรัม ตามลำดับ เมื่อ เปรียบเทียบระหว่างแป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผานเนื้อ แป้งหมักปกติ ใช้พลังงานสลาย พันธะน้อยที่สุด รองลงมาเป็นแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 ชม และสุดท้ายเป็นแป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม แสดงให้เห็นว่าการทำให้เมื่อดสตาร์ชในแป้งหมักปกติเกิดเจลลาทีไนซ์ใช้พลังงานต่ำกว่าแป้ง หมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม

ถึงแม้ว่าการทดลองเป็นการอบผานเนื้อแป้งหมัก แต่ผลของการอบผานเนื้อ ทำให้มีแป้งหมักอบผานเนื้อสมบัติคล้ายคลึงกับผลการทดลองอบผานเนื้อสตาร์ชข้าวพันธุ์

ชั้นนาท 1 ของ สุภาวดี และปริศนา (2550) ซึ่งทดลองอบผานเนื้อสตาร์ชแป้งข้าวพันธุ์ชั้นนาท 1 อุณหภูมิ 50 °ซ เวลา 12, 24, 36 และ 48 ชม ความชื้นร้อยละ 60 ปรากฏว่า สตาร์ชปกติมีค่า อุณหภูมิเริ่มต้น อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิสุดท้าย และค่าพลังงานการสลายพันธะต่ำกว่าสตาร์ชอบ ผานเนื้อ และสอดคล้องกับผลการทดลองของ Seow and Teo (1993) ตรวจสอบสมบัติการเกิด เจลาทิไนซ์ของสตาร์ชข้าวผ่านการอบผานเนื้อ 55 °ซ 4, 12 และ 24 ชม ความชื้นร้อยละ 40 ปรากฏว่า การอบผานเนื้อสตาร์ชข้าวนานขึ้นทำให้อุณหภูมิเริ่มต้น และอุณหภูมิสูงสุดของการเกิด เจลาทิไนซ์เพิ่มขึ้น แต่ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพลังงานสลายพันธะของสตาร์ช นอกจากนี้ยัง คล้ายคลึงกับการอบผานเนื้อธัญชาติชนิดอื่นในงานวิจัยของ Krueger *et al.* (1987) อบผานเนื้อ สตาร์ชข้าวโพด อุณหภูมิ 50 °ซ เวลา 2, 4, 6, 8 และ 16 ชม การอบผานเนื้อนานขึ้นทำให้สตาร์ช ข้าวโพดมีอุณหภูมิเริ่มต้น (68.0 จาก 60.5 °ซ) อุณหภูมิสูงสุด (71.5 จาก 68.0 °ซ) และค่าพลังงาน การสลายพันธะ (2.99 จาก 2.31 จูล/กรัม) เพิ่มขึ้นจากสตาร์ชปกติ และงานวิจัยของ Sekine *et al.* (2000) อบผานเนื้อสตาร์ชข้าวสาลี และข้าวโพด 50 °ซ 20 ชม ปรากฏว่า สตาร์ชข้าวสาลี และ สตาร์ชข้าวโพดอบผานเนื้อ มีอุณหภูมิการเกิดเจลาทิไนซ์ และค่าพลังงานสลายพันธะเพิ่มสูงขึ้น จากสตาร์ชปกติของแต่ละชนิด แสดงให้เห็นได้ว่าการอบผานเนื้อแป้งหมักปกติให้ผลการทดลอง คล้ายคลึงกับการอบผานเนื้อสตาร์ชข้าว และสตาร์ชจากธัญชาติแหล่งอื่น การอบผานเนื้อส่งผล ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสตาร์ชในแป้งหมักปกติ

แป้งหมักปกติมีอุณหภูมิเริ่มต้น อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิสุดท้าย และค่า พลังงานสลายพันธะต่ำกว่าแป้งหมักอบผานเนื้อ อาจเกิดจากการอบผานเนื้อช่วยเพิ่มความเป็น ผลึกของสตาร์ช ทำให้เม็ดสตาร์ชของแป้งหมักอบผานเนื้อมีค่าดังกล่าวมากกว่าแป้งหมักปกติ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแป้งหมักอบผานเนื้อ เมื่อเวลาการอบผานเนื้อนานขึ้นทำให้สตาร์ชมี อุณหภูมิเริ่มต้น อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิสุดท้าย และพลังงานสลายพันธะเพิ่มมากขึ้น สอดคล้อง กับผลการหาค่าลังการพองตัว และการละลายของแป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผานเนื้อ แป้ง หมักปกติมีอุณหภูมิการเกิดเจลาทิไนซ์ และค่าพลังงานสลายพันธะต่ำกว่าแป้งหมักอบผานเนื้อ ทำให้แป้งหมักปกติมีการพองตัว และการละลายมากกว่าแป้งหมักอบผานเนื้อ และสอดคล้องกับ ผลการหาค่าระดับความเป็นผลึก เมื่อระยะเวลาการอบผานเนื้อนานขึ้น ความเป็นผลึกของ สตาร์ชเพิ่มมากขึ้น จึงต้องใช้อุณหภูมิ และพลังงานในการสลายพันธะเม็ดสตาร์ชในแป้งหมักอบ ผานเนื้อ 24 ชม ต่ำกว่าแป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม

1.3.6 ผลสมบัติการเกิดรีโทรเกรด

การตรวจสอบความคงทนต่อการเกิดรีโทรเกรดทำได้โดยนำตัวอย่างที่ผ่านการหาสมบัติการเกิดเจลที่ไนซ์ แช่เยือกแข็งอุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียสด้วยเครื่องแช่เยือกแข็งแบบอากาศเย็นจัด นำมาคืนรูปจากเยือกแข็ง และตรวจสอบค่าจากการสลายพันธะรีโทรเกรดด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1, 3 และ 5 (ตารางที่ 13) ปรากฏว่า

ตารางที่ 13 เปรียบเทียบสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของเจลแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชยันนาท 1 ลักษณะต่างกัน 3 ตัวอย่าง^{1/}

ตัวอย่าง ^{2/}		อุณหภูมิการสลายพันธะการเกิดรีโทรเกรด ^๐ C				พลังงานการสลายพันธะ (จูล/ก)
		อุณหภูมิเริ่มต้น	อุณหภูมิสูงสุด	อุณหภูมิต่ำที่สุดท้าย	ช่วงอุณหภูมิ	
รอบที่ 1	FRF	44.58±0.01ns	53.44±0.38a	63.14±1.07b	18.56±0.23b	1.58±0.41a
	ANF24	44.25±0.09ns	52.20±0.1a	65.06±1.95a	20.80±0.22a	1.04±0.31b
	ANF48	44.28±0.01ns	48.21±0.1b	65.58±1.42a	21.29±0.79a	0.53±0.87c
รอบที่ 3	FRF	46.19±0.02ns	56.52±0.27a	64.20±0.28ns	18.02±0.38ns	3.52±0.63a
	ANF24	45.38±0.12ns	55.58±0.94a	63.91±0.84ns	18.53±0.58ns	2.95±0.33b
	ANF48	45.56±0.02ns	53.97±0.48b	64.18±0.71ns	18.62±0.68ns	2.10±0.46c
รอบที่ 5	FRF	48.58±0.02a	58.54±0.16a	63.82±0.60b	15.24±0.56b	4.18±0.60a
	ANF24	47.91±0.07a	58.34±0.70a	64.78±0.89a	16.86±0.67a	3.44±0.65b
	ANF48	46.48±0.04b	56.88±0.29b	64.32±0.31a	17.56±0.42a	2.94±0.70c

หมายเหตุ ^{1/} ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแต่ละรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns/} ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

^{2/} ความหมายของอักษรย่อเหมือนกับตารางที่ 12

รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1

เจลแป็งหมักปกติ และเจลแป็งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม มีอุณหภูมิเริ่มต้นการสลายพันธะการเกิดรีโทรเกรดไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) อยู่ในช่วง $44.25-44.58^{\circ}\text{C}$ อุณหภูมิสูงสุด เจลแป็งหมักปกติมีอุณหภูมิสูงสุด 53.44°C ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับเจลแป็งหมักอบผานเนื้อ 24 ชม (52.20°C) แต่ทั้งสองมีอุณหภูมิสูงสุดสูงกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับเจลแป็งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม (48.21°C) อุณหภูมิสุดท้าย เจลแป็งหมักปกติมีอุณหภูมิสุดท้ายเป็น 63.14°C ต่ำกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับเจลแป็งหมักอบผานเนื้อ 24 (65.06°C) และ 48 (65.58°C) แต่เจลแป็งหมักอบผานเนื้อทั้งสองมีอุณหภูมิสุดท้ายไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ช่วงอุณหภูมิการสลายพันธะการเกิดรีโทรเกรด เจลแป็งหมักปกติมีช่วงอุณหภูมิเป็น 18.56°C ต่ำกว่าเจลแป็งหมักอบผานเนื้อ 24 (20.80°C) และ 48 (21.29°C) แต่เจลแป็งหมักอบผานเนื้อทั้งสองมีช่วงอุณหภูมิไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ค่าพลังงานการสลายพันธะการเกิดรีโทรเกรด เจลแป็งหมักปกติมีค่าพลังงานเป็น 1.58 จูล/กรัม สูงกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับเจลแป็งหมักอบผานเนื้อ 24 (1.04 จูล/กรัม) และ 48 ชม (0.53 จูล/กรัม) เจลแป็งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม มีค่าพลังงานการสลายพันธะการเกิดรีโทรเกรดน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทั้งหมด

รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 3

เจลแป็งหมักปกติ และเจลแป็งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม มีอุณหภูมิเริ่มต้นการสลายพันธะการเกิดรีโทรเกรดไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) อยู่ในช่วง $45.38-46.19^{\circ}\text{C}$ อุณหภูมิสูงสุด เจลแป็งหมักปกติมีอุณหภูมิสูงสุดเป็น 56.52°C ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับเจลแป็งหมักอบผานเนื้อ 24 (55.58°C) แต่ทั้งสองมีอุณหภูมิสูงสุดสูงกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับเจลแป็งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม (53.97°C) อุณหภูมิสุดท้าย และช่วงอุณหภูมิการสลายพันธะการเกิดรีโทรเกรด เจลแป็งหมักปกติ และเจลแป็งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม มีอุณหภูมิสุดท้าย และช่วงอุณหภูมิการสลายพันธะการเกิดรีโทรเกรดไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) อยู่ในช่วง $63.91-64.20$ และ $18.02-18.62^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ ค่าพลังงานการสลายพันธะการเกิดรีโทรเกรด เจลแป็งหมักปกติมีค่าพลังงานเป็น 3.52 จูล/กรัม สูงกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับเจลแป็งหมักอบผานเนื้อ 24 (2.95 จูล/กรัม) และ 48 ชม (2.10 จูล/กรัม) เจลแป็งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม มีค่าพลังงานการสลายพันธะการเกิดรีโทรเกรดต่ำที่สุด

รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5

เจลเป้งหมักปกติมีอุณหภูมิเริ่มต้นการสลายพันธะการเกิดรีโทรเกรดเป็น 48.58°C ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับเจลเป้งหมักอบผานเนื้อ 24 ชม (47.91°C) แต่ทั้งสองมีอุณหภูมิเริ่มต้นสูงกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับเจลเป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม (46.48°C) อุณหภูมิสูงสุด เจลเป้งหมักปกติมีอุณหภูมิสูงสุดเป็น 58.54°C ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับเจลเป้งหมักอบผานเนื้อ 24 ชม (58.34°C) แต่ทั้งสองมีอุณหภูมิสูงสุดสูงกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับเจลเป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม (56.88°C) อุณหภูมิสุดท้าย เจลเป้งหมักปกติมีอุณหภูมิสุดท้ายเป็น 63.82°C ต่ำกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับเจลเป้งหมักอบผานเนื้อ 24 ชม (64.78°C) และ 48 ชม (64.32°C) แต่เจลเป้งหมักอบผานเนื้อทั้งสองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ช่วงอุณหภูมิการสลายพันธะการเกิดรีโทรเกรด เจลเป้งหมักปกติมีช่วงอุณหภูมิเป็น 15.24°C ต่ำกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับเจลเป้งหมักอบผานเนื้อ 24 (16.86°C) และ 48 (17.56°C) ชม แต่ เจลเป้งหมักอบผานเนื้อทั้งสองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ค่าพลังงานการสลายพันธะ เจลเป้งหมักปกติมีค่าพลังงานการสลายพันธะเป็น 4.18 จูล/กรัม สูงกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับ เจลเป้งหมักอบผานเนื้อ 24 (3.44 จูล/กรัม) และ 48 (2.94 จูล/กรัม) ชม เจลเป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม มีค่าพลังงานการสลายพันธะการเกิดรีโทรเกรดต่ำที่สุด

จากการทดลองเป็นการอบผานเนื้อเป้งหมัก แต่ผลของการอบผานเนื้อทำให้เจลเป้งหมักอบผานเนื้อมีค่าพลังงานสลายพันธะการเกิดรีโทรเกรดลดลงจากเจลเป้งหมักปกติ คล้ายคลึงกับผลการอบผานเนื้อสตาร์ช ในผลการทดลองของ Adebawale *et al.* (2005) ซึ่งตรวจสอบการเกิดรีโทรเกรดของสตาร์ชข้าวฟ่างเกอร์มิลเลตผ่านการอบผานเนื้ออุณหภูมิ 50 ความชื้น ร้อยละ 40 เก็บรักษาหลังเกิดเจลที่ไนซ์ 40 องศาเซลเซียส 24 ชม ปรากฏว่า เจลสตาร์ชข้าวฟ่างเกอร์มิลเลตปกติ (1.62 จูล/กรัม) มีค่าพลังงานการเกิดรีโทรเกรดสูงกว่าเจลสตาร์ชอบผานเนื้อ (1.33 จูล/กรัม)

จากการตรวจสอบบัติการเกิดรีโทรเกรดของเจลเป้งหมักปกติ และเป้งหมักอบผานเนื้อ รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1, 3 และ 5 ในรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 3 และ 5 เจลเป้งหมักปกติมีอุณหภูมิสูงสุด สูงกว่าเจลเป้งหมักอบผานเนื้อ และในทุกรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งเจลเป้งหมักปกติมีค่าพลังงานสลายพันธะการเกิดรีโทรเกรดสูงที่สุด รองลงมาเป็น เจลเป้งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเกิดจากเป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม

มีความเป็นผลึกมากที่สุด มีอุณหภูมิสูงสุด และค่าพลังงานการสลายพันธะการเกิดเจลที่ไนซ์สูงสุด หลังเกิดเจลที่ไนซ์ เม็ดสตาร์ช (starch remnant) อาจแตกตัวไม่หมด ช่วยขัดขวางการเกิดรีโทรเกรดของเจลแป้ง ส่งผลให้หลังการคืนรูปจากเยือกแข็งหลายๆครั้ง เจลแป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม เกิดรีโทรเกรดได้น้อยที่สุด

1.3.7 ผลการตรวจสอบความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งของเจลแป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผานเนื้อ

จากการอบผานเนื้อแป้งหมักปกติ ให้ความร้อนสารผสมระหว่างแป้งหมักปกติกับน้ำร้อยละ 8 จนเกิดเจลที่ไนซ์สมบูรณ์ วัดค่าร้อยละการสูญเสีย น้ำ ค่าความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่น ก่อนแช่เยือกแข็ง และหลังคืนรูปจากเยือกแข็งแบบอากาศเย็นจัด -18 °ซ รอบที่ 1, 3 และ 5

ก. ผลการสูญเสีย น้ำของเจลแป้ง

จากการอบผานเนื้อแป้งหมักปกติ จนเกิดเจลที่ไนซ์สมบูรณ์ วัดค่าร้อยละการสูญเสีย น้ำของเจลแป้งความเข้มข้นร้อยละ 8 ก่อนแช่เยือกแข็ง และหลังคืนรูปจากเยือกแข็งแบบอากาศเย็นจัด -18 °ซ รอบที่ 1, 3 และ 5 แสดงดังตารางที่ 14 ได้ว่า

ตารางที่ 14 เปรียบเทียบการสูญเสีย น้ำก่อน และหลังการคืนรูปจากเยือกแข็งแบบอากาศเย็นจัดของ เจลแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 ลักษณะต่างกัน 3 ตัวอย่าง^{1/}

ตัวอย่าง ^{2/}	จำนวนรอบการคืนรูปจากเยือกแข็ง (ครั้ง)			
	ปกติ ^{ns}	1	3	5
FRF	0.14±0.03	5.84±0.77a	53.10±2.93a	66.40±2.04a
ANF24	0.13±0.07	4.10±0.80b	44.59±1.79b	59.70±2.25b
ANF48	0.13±0.05	2.48±0.97c	41.42±2.44c	51.43±2.16c

หมายเหตุ ^{1/} ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำจาก 2 ตัวอย่าง
ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
^{2/} ความหมายของอักษรย่อเหมือนกับตารางที่ 12
^{ns} ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ก่อนการแช่เยือกแข็ง เจลแป้งหมักปกติมีการสูญเสียน้ำเป็นร้อยละ 0.14 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับเจลแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 (ร้อยละ 0.13) และ 48 ชม (ร้อยละ 0.13) ก่อนการแช่เยือกแข็งเจลแป้งหมักยังคงอุ้มน้ำได้ดีทำให้มีปริมาณน้ำซึมออกมานอกเจลได้น้อย และไม่แตกต่างกัน

รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1 เจลแป้งหมักปกติมีการสูญเสียน้ำหลังการคืนรูปจากเยือกแข็งเพิ่มขึ้นจากก่อนการแช่เยือกแข็งเป็นร้อยละ 5.84 มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเจลแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 (ร้อยละ 4.10) และ 48 ชม (ร้อยละ 2.48) โดยเจลแป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม มีการสูญเสียน้ำน้อยที่สุด

รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 3 เจลแป้งหมักปกติมีการสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้นจากรอบที่ 1 เป็นร้อยละ 53.10 มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเจลแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 (ร้อยละ 44.59) และ 48 (ร้อยละ 41.42) เจลแป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม คืนรูปจากเยือกแข็งมีร้อยละการสูญเสียน้ำน้อยที่สุด

รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5 เจลแป้งหมักปกติมีการสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้นจากรอบที่ 3 เป็นร้อยละ 66.40 มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเจลแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 (ร้อยละ 59.70) และ 48 ชม (ร้อยละ 51.43) เจลแป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม มีค่าการสูญเสียน้ำน้อยที่สุด

จากการตรวจสอบความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งด้วยการวัดค่าการสูญเสียน้ำของเจลแป้งหมักปกติ และเจลแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม ก่อนการแช่เยือกแข็งเจลแป้งทั้ง 3 ชนิดมีค่าร้อยละการสูญเสียน้ำไม่แตกต่างกัน เมื่อรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งเพิ่มขึ้นเป็น 1, 3 และ 5 เจลแป้งหมักปกติมีการสูญเสียน้ำคิดเป็นร้อยละมากที่สุด รองลงมาเป็นเจลแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 ชม และน้อยที่สุดเป็นเจลแป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม อาจเกิดจากแป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม มีความเป็นผลึกของเม็ดสตาร์ชมาก มีอุณหภูมิ และค่าพลังงานการสลายพันธะการเกิดเจลที่ไนซ์สูง หลังจากเกิดเจลที่ไนซ์ เม็ดสตาร์ชแป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม อาจมีบางส่วนแตกออกไม่หมด (starch remnant) ขัดขวางการเกิดรีโทรเกรด ช่วยลดการสูญเสียน้ำระหว่างการคืนรูปจากเยือกแข็ง เมื่อปริมาณน้ำอิสระลดลง จำนวนรอบคืนรูปจากเยือกแข็งเพิ่มขึ้น ค่าร้อยละการสูญเสียน้ำของเจลแป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม จึงลดลงจากเจลแป้งหมักปกติ สอดคล้องกับผลการทดลองหาค่าการเกิดรีโทรเกรด ปรากฏว่า เมื่อจำนวนรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งมากขึ้น

เจลเป็งหมักปกติ และเจลเป็งหมักอบผสานเนื้อ มีค่าพลังงานการสลายพันธะการเกิดรีโทรเกรด เพิ่มขึ้น โดยเจลเป็งหมักอบผสานเนื้อ 48 ชม มีค่าพลังงานสลายพันธะการเกิดรีโทรเกรดน้อยที่สุดในทุกรอบการคืนรูปจากเยือกแข็ง เป็นสาเหตุให้เจลเป็งหมักอบผสานเนื้อ 48 ชม มีร้อยละการสูญเสียให้น้ำน้อยที่สุด

ข. ผลการตรวจสอบเนื้อสัมผัสเจลเป็งหมักปกติ และเจลเป็งหมักอบผสานเนื้อ

1) ผลความแน่นเนื้อ

จากการอบผสานเนื้อเป็งหมักปกติ ให้ความร้อนจนเกิดเจลาทีไนซ์ สมบูรณ์ วัดค่าความแน่นเนื้อของเจลเป็งความเข้มข้นร้อยละ 8 ก่อนแช่เยือกแข็ง และหลังคืนรูปจากเยือกแข็งแบบอากาศเย็นจัด -18°C รอบที่ 1, 3 และ 5 แสดงดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 เปรียบเทียบค่าความแน่นเนื้อ (กรัม) และค่าความยืดหยุ่นก่อน และหลังการคืนรูปจากเขือกแข็งแบบอากาศเย็นจัดของเจลแป็งข้าวพันธุ์ชัยนาท 1
ลักษณะต่างกัน 3 ตัวอย่าง^{1/}

105

ตัวอย่าง ^{2/}	จำนวนรอบการคืนรูปจากเขือกแข็ง (ครั้ง)							
	ค่าความแน่นเนื้อ (กรัม)				ค่าความยืดหยุ่น			
	ปกติ	1	3	5	ปกติ	1	3	5
FRF	37.49±1.59a	351.12±14.69a	387.32±7.92a	391.65±5.14a	34.71±3.03a	76.16±2.47a	55.38±3.55a	36.21±2.58c
ANF24	34.58±1.77b	321.72±18.44b	358.76±12.7ab	367.30±6.87b	26.00±1.74b	63.96±3.39b	57.30±2.48a	52.83±2.89a
ANF48	32.30±1.53c	312.83±4.21c	272.10±13.0b	344.99±5.66c	22.96±3.72c	54.32±3.20c	50.13±2.07b	47.62±1.67b

หมายเหตุ ^{1/} ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 10 ซ้ำจาก 2 ตัวอย่าง
ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
^{2/} ความหมายของอักษรย่อเหมือนกับตารางที่ 12

ก่อนการแช่เยือกแข็ง ค่าความแน่นเนื้อเจลเป็งหมักปกติเป็น 37.49 กรัม มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเจลเป็งหมักอบผานเนื้อ 24 (34.58 กรัม) และ 48 ชม (32.30 กรัม) เจลเป็งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม มีค่าความแน่นเนื้อน้อยที่สุด

รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1 เจลเป็งหมักปกติมีค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นจากก่อนการแช่เยือกแข็งเป็น 351.12 กรัม มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเจลเป็งหมักอบผานเนื้อ 24 (321.72 กรัม) และ 48 ชม (312.83 กรัม) เจลเป็งหมักอบผานเนื้อ 24 ชม มีความแน่นเนื้อมากกว่าเจลเป็งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม

รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 3 เจลเป็งปกติมีค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นจากรอบที่ 1 เป็น 387.32 กรัม ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับเจลเป็งหมักอบผานเนื้อ 24 (358.76 กรัม) แต่เจลเป็งหมักปกติมีความแน่นเนื้อมากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับ เจลเป็งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม (272.10 กรัม) เจลเป็งหมักอบผานเนื้อทั้งสองมีความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5 เจลเป็งหมักปกติมีค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นจากรอบที่ 3 เป็น 391.65 กรัม มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเจลเป็งหมักอบผานเนื้อ 24 (367.30 กรัม) และ 48 ชม (344.99 กรัม)

เมื่อเป็งหมักปกติผ่านการเกิดเจลที่ในข้ออย่างสมบูรณ์ อุณหภูมิลดลง เจลเป็งเกิดปรากฏการณ์รีโทรเกรเดชัน และเมื่อนำเจลไปแช่เยือกแข็งน้ำอิสระเคลื่อนที่มาจับกันเป็นผลึกแยกออกจากเจลโมเลกุลแอมิโลส และแอมิโลเพกทินมีโอกาสเคลื่อนที่เข้ามาใกล้กันมากขึ้น การเกิดรีโทรเกรดจึงเกิดมากขึ้น (อรอนงค์, 2547) เมื่อนำมาคืนรูปจากเยือกแข็ง น้ำอิสระดังกล่าวจะละลายออกจากโมเลกุลสตาร์ชในเจลเป็ง เจลเป็งมีรูพรุน และมีความแข็งแรงต่าง ทำให้ค่าความแน่นเนื้อของเจลเป็งหมักปกติมีค่าสูงขึ้นมากในรอบการคืนรูปที่ 1 นอกจากนี้ในขณะคืนรูปเจลเป็ง ยังมีการเกิดรีโทรเกรดเพิ่มขึ้นด้วย เมื่อนำกลับมาแช่เยือกแข็งอีกครั้ง ปริมาณน้ำอิสระที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่ขึ้น การเกิดรีโทรเกรดมากขึ้น ค่าความแน่นเนื้อจึงค่อยๆ สูงขึ้นในรอบการคืนรูปที่ 3 และ 5 ขณะที่เจลเป็งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม มีค่าความแน่นเนื้อน้อยกว่าเป็งปกติ อาจเกิดจากเจลเป็งหมักอบผานเนื้อดังกล่าวเกิดรีโทรเกรด และเกิดการสูญเสียน้ำออกจากโมเลกุลสตาร์ชในเจลเป็งหมักอบผานเนื้อได้น้อยกว่าเจลเป็งหมักปกติ จึงทำให้ค่าความแน่นเนื้อของเจลเป็งหมักอบผานเนื้อน้อยกว่าเจลเป็งหมักปกติ

2) ผลความยืดหยุ่น

ก่อนการแช่เยือกแข็ง เจลเป็งหมักปกติมีค่าความยืดหยุ่น เป็น 34.71 มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเจลเป็งหมักอบผานเนื้อ 24 (26.00) และ 48 ชม (22.96) เจลเป็งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม มีค่าความยืดหยุ่นน้อยที่สุด (ตารางที่ 15)

รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1 เจลแข็งหมักปกติมีค่าความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นจากก่อนการแช่เยือกแข็งเป็น 76.16 มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเจลแข็งหมักอบผานเนื้อ 24 (63.96) และ 48 ชม (54.32) เจลแข็งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม มีค่าความยืดหยุ่นน้อยที่สุด

รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 3 เจลแข็งหมักปกติมีค่าความยืดหยุ่นลดลงจากรอบที่ 1 เป็น 55.38 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับเจลแข็งหมักอบผานเนื้อ 24 ชม (57.30) แต่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเจลแข็งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม (50.13) ซึ่งมีค่าความยืดหยุ่นน้อยที่สุด

รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5 เจลแข็งหมักปกติมีค่าความยืดหยุ่นลดลงจากรอบที่ 3 เป็น 36.21 น้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเจลแข็งหมักอบผานเนื้อ 24 (52.83) และ 48 ชม (47.62) เจลแข็งหมักอบผานเนื้อ 24 มีค่าความยืดหยุ่นมากที่สุด รองลงมาเป็น 48 ชม

ความยืดหยุ่นเจลแข็งหมักปกติก่อนการแช่เยือกแข็ง (34.71) มีค่าน้อยกว่าเจลแข็งหมักปกติรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1 (76.16) เมื่อรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งเพิ่มขึ้นเป็น 3 และ 5 เจลแข็งหมักปกติมีความยืดหยุ่นลดลงมากเป็น 53.38 และ 36.21 ตามลำดับ อาจเกิดจากการเกิดรีโทรเกรด ซึ่งนอกจากทำให้เจลแข็งหมักปกติมีความแน่นเนื้อมากขึ้นในรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1 ยังทำให้เจลแข็งหมักปกติมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นมากด้วย และในรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 3 และ 5 เจลแข็งหมักปกติมีความยืดหยุ่นลดลงมากเมื่อเปรียบเทียบกับรอบที่ 1 อาจเกิดจากเจลแข็งหมักปกติมีความแข็ง และเปราะ แตกได้ง่าย เมื่อให้แรงกดกับเจลแข็งหมักปกติส่งผลให้เจลแข็งหมักปกติแตกบางส่วน ไม่เกิดแรงยึดตัวขึ้นด้านการกด ค่าความยืดหยุ่นที่วัดได้จึงลดลง ต่างกับเจลแข็งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม ซึ่งเกิดรีโทรเกรดน้อยกว่าเจลแข็งหมักปกติ ทำให้เจลแข็งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม มีปริมาณการลดลงของความยืดหยุ่นในรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1 ถึง 5 (จาก 54.32 เป็น 47.62) น้อยกว่าเจลแข็งหมักปกติ (จาก 76.16 เป็น 36.21)

เมื่อทดสอบเจลแข็งหมักปกติ และเจลแข็งหมักอบผานเนื้อ ค่าความแน่นเนื้อรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5 เจลแข็งหมักปกติมีความแน่นเนื้อมากกว่าเจลแข็งหมักอบผานเนื้อ และมีความยืดหยุ่นน้อยกว่าเจลแข็งหมักอบผานเนื้อ อาจเกิดจากการที่เม็ดสตาร์ชของแป้งหมักอบผานเนื้อมีความเป็นผลึก และแข็งแรงมากกว่าสตาร์ชแป้งหมักปกติ เมื่อได้รับความร้อน และเกิดเจลที่ในซสมบูร์น เม็ดสตาร์ชของแป้งอบผานเนื้ออาจแตกตัวออกไม่หมด มีส่วนที่แข็งแรง ซึ่งช่วยลดการเกิดรีโทรเกรด โดยขัดขวางการจับกันของแอมิโลสหรือ แอมิโลเพกทิน เนื้อสัมผัสของเจลแข็งหมักอบผานเนื้อจึงมีความแน่นเนื้อลดลงน้อยกว่า เจลแข็งหมักปกติ และมีความแข็งเปราะน้อยลง เมื่อใช้แรงกดเจลแข็งหมักอบผานเนื้อจึงมีแรงยึดตัวดันหัววัดได้ทำให้ค่าความยืดหยุ่นมากกว่าเจลแข็งหมักปกติ

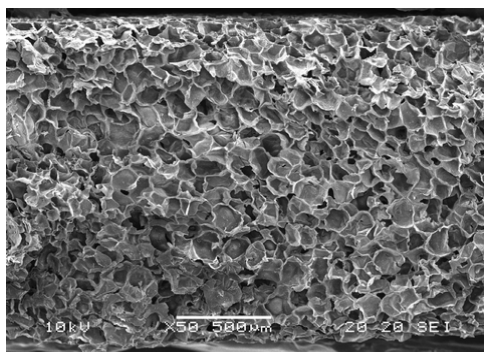
1.4 การตรวจสอบโครงสร้างของเจลแข็ง

จากการอบผานเนื้อแข็งหมักปกติ ให้ความร้อนสารผสมระหว่างแข็งหมักปกติกับน้ำร้อยละ 8 จนเกิดเจลที่ในซัมบรูน์ หลังจากนั้นตรวจสอบ โครงสร้างของเจลแข็งด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดก่อนแช่เยือกแข็ง และหลังคืนรูปจากเยือกแข็งแบบอากาศเย็นจัด -18°C รอบที่ 5

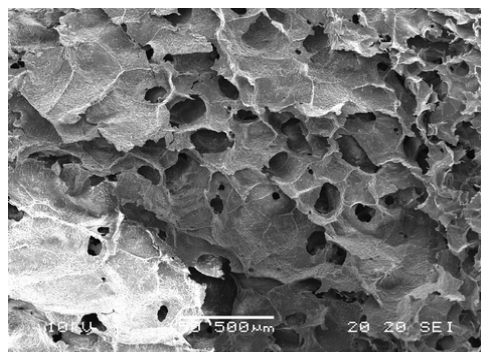
จากการตรวจสอบโครงสร้างของเจลแข็งหมักปกติ เจลแข็งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม ก่อนการแช่เยือกแข็ง เจลแข็งหมักปกติมีโครงสร้างละเอียด ใกล้เคียงกันกับเจลแข็งหมักอบผานเนื้อ 24 ชม เจลแข็งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม มีโครงสร้างละเอียดที่สุด และเมื่อผ่านการคืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 5 เจลแข็งหมักปกติมีโครงสร้างหยาบขึ้น ขนาดรูพรุนใหญ่มากขึ้น ซึ่งอาจเป็นผลให้ความยืดหยุ่นของเจลแข็งลดลง ขณะที่เจลแข็งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม มีโครงสร้างเจลแข็งละเอียดมากกว่าเจลแข็งหมักปกติ มีรูพรุนขนาดเล็กกว่าเจลแข็งหมักปกติ โดยเจลแข็งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม มีโครงสร้างละเอียดที่สุด

เจลแข็งหมักปกติมีขนาดรูพรุนใหญ่กว่าเจลแข็งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม เกิดจากเจลแข็งหมักปกติเกิดรีโทรเกรดมากกว่าเจลแข็งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม สอดคล้องกับผลการวัดค่าการเกิดรีโทรเกรด เมื่อจำนวนรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งเพิ่มมากขึ้น ทำให้เจล แข็งหมักปกติมีปริมาณน้ำอิสระเพิ่มมากขึ้น หลังจากแช่เยือกแข็งเจลแข็งอีกครั้ง น้ำอิสระจำนวนมากในเจลแข็งหมักปกติจึงเกิดเป็นผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ เมื่อนำมาส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกำลังขยาย 50 เท่า จึงปรากฏภาพเจลแข็งหมักปกติมีรูพรุนขนาดใหญ่ในเนื้อเจล ขณะที่เจลแข็งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม เกิดรีโทรเกรดน้อยกว่าเจลแข็งหมักปกติ ปริมาณน้ำอิสระน้อยกว่าเจลแข็งหมักปกติ ทำให้มีขนาดผลึกน้ำแข็งเล็ก เจลแข็งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม จึงมีรูพรุนขนาดเล็ก โดยเจลแข็งหมักอบผานเนื้อ 48 มีขนาดรูพรุนขนาดเล็กที่สุด และมีเนื้อเจลละเอียดที่สุด สอดคล้องกับผลการวัดค่าความยืดหยุ่น เจลแข็งหมักปกติมีรูพรุนขนาดใหญ่ เมื่อวัดค่าความยืดหยุ่นโดยการกดเจล ทำให้เจลแตกหักได้ง่าย ไม่ยืดออกดันหัววัด เจลแข็งหมักปกติจึงมีความยืดหยุ่นในรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5 น้อยกว่าเจลแข็งหมักอบผานเนื้อ (ภาพที่ 26)

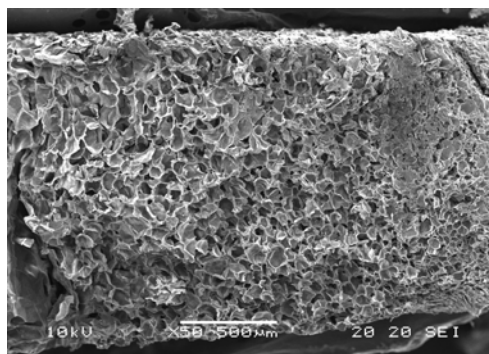
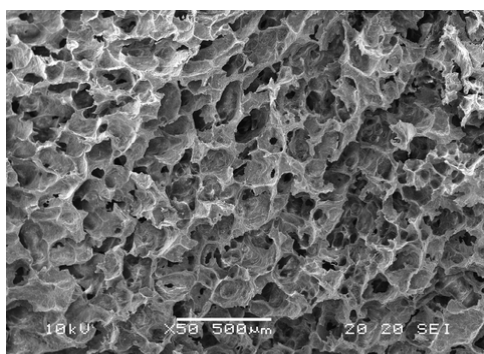
ก่อนแช่เยือกแข็ง



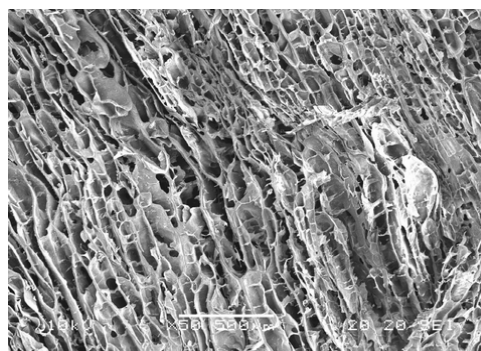
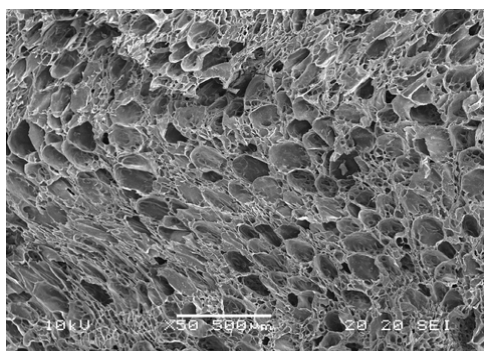
รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5



FRF



ANF24



ANF48

ภาพที่ 26 โครงสร้างของเจลเป็งหมักปกติ (FRF) และเจลเป็งหมักอบผานเนื้อ 24 (ANF24) และ 48 ชม (ANF48) ก่อนการแช่เยือกแข็ง และหลังคืนรูปจากเยือกแข็งแบบอากาศเย็นจัดรอบที่ 5 กำลังขยาย 50 เท่า

จากการตรวจสอบสมบัติทางฟิสิกส์ ทางเคมี ทางเคมีเชิงฟิสิกส์ และความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งของแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม สามารถพิจารณาเพื่อคัดเลือกแป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม ได้ดังนี้

แป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม ได้ผลว่ามีขนาด และรูปร่างไม่แตกต่างกับสตาร์ชในแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 ชม แป้งหมักปกติ และแป้งปกติ โดยแป้งหมักปกติ แป้งหมักอบผานเนื้อ 24 และ 48 ชม มีรูพรุนเกิดขึ้นที่ผิวของเม็ดสตาร์ช แป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม มีความสว่าง (L) น้อยลง ค่าความเป็นสีเขียว (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) เป็นเพิ่มขึ้นกว่าแป้งหมักปกติ และแป้งปกติ เมื่อตรวจสอบสมบัติทางเคมี แป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม มีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้าไม่แตกต่างกับแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 ชม และแป้งหมักปกติ แต่น้อยกว่าแป้งปกติ ส่วนปริมาณแอมิโลส แป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม มีปริมาณแอมิโลสไม่แตกต่างกับแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 ชม น้อยกว่าแป้งหมักปกติ และแป้งปกติ เมื่อตรวจสอบสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ แป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม มีอุณหภูมิเริ่มหนืดสูงสุด ความหนืดสูงสุด ความหนืดต่ำสุด ความหนืดลดลง ความหนืดสุดท้าย และเซตแบคน้อยกว่าแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 ชม แป้งหมักปกติ และแป้งปกติ มีกำลังการพองตัว และการละลาย ณ อุณหภูมิ 65, 75 และ 85 °C น้อยกว่าแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 ชม แป้งหมักปกติ และแป้งปกติ เป็นเหตุให้แป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม มีร้อยละความเป็นผลึกมากกว่าแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 ชม แป้งหมักปกติ และแป้งปกติ เป็นสาเหตุให้แป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม มีอุณหภูมิเริ่มต้น อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิสุดท้าย และมีค่าพลังงานสลายพันธะสูงกว่าแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 ชม และแป้งหมักปกติ เจลแป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม มีพลังงานการสลายพันธะการเกิดรีโทรเกรดต่ำกว่า เจลแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 ชม และเจลแป้งหมักปกติ แสดงว่าเจลแป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม เกิดรีโทรเกรดน้อยกว่าเจลแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 ชม และเจลแป้งหมักปกติ ทำให้มีร้อยละการสูญเสียร่นน้อยกว่าเจลแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 ชม และเจลแป้งหมักปกติ ในทุกรอบการคืนรูปจากเยือกแข็ง มีเนื้อสัมผัสด้านความแน่นเนื้อน้อยลง มีความยืดหยุ่นมากกว่าเจลแป้งหมักปกติ ซึ่งจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า แป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม มีความเหมาะสมต่อการทดแทนแป้งหมักปกติในการการผลิตขนมจีนมากกว่าแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 ชม เพื่อช่วยลดการเกิดรีโทรเกรด และเพิ่มความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งของขนมจีนพร้อมบริโภคแช่เยือกแข็ง จึงเลือกแป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ใช้ในการทดลองต่อไป

2. ตรวจสอบผลของการทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อ และหาสัดส่วนแป้งหมักปกติต่อแป้งหมักอบผานเนื้อที่เหมาะสมต่อการผลิตขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด

จากข้อที่ 1 แป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม มีสมบัติเหมาะสมต่อการทดแทนแป้งหมักปกติเพื่อผลิตขนมจีนพร้อมบริโภคแช่เยือกแข็ง จึงตรวจสอบสมบัติด้านความหนืด เมื่อทดแทนแป้งหมักปกติด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อ และทดลองผลิตขนมจีนทดแทนแป้งหมักปกติด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อ

2.1 ผลตรวจสอบสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดแป้งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม ร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 แสดงดังตารางที่ 16 ปรากฏว่า

ตารางที่ 16 เปรียบเทียบสมบัติด้านความหนืดของแป้งหมักปกติ และแป้งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 10, 20 , 30, 40 และ 50 ^{1/}

112

ตัวอย่าง ^{2/}	อุณหภูมิเริ่มต้น °ซ	สมบัติด้านความหนืด (เซนติปัวส์)				
		ความหนืดสูงสุด	ความหนืดต่ำสุด	ความหนืดลดลง ^{3/}	ความหนืดสุดท้าย	เซตแบบค ^{4/}
FRF	88.40±0.53c	2,082.67±5.03a	1,037.33±2.52a	1,045.33±7.51a	2,249.00±4.00a	1,203.67±11.50a
ANF10	88.50±0.10c	1,988.33±7.02b	1,019.67±2.08b	968.67±5.86b	2,230.33±18.01a	1,261.67±6.66b
ANF20	88.73±0.18b	1,964.67±20.11b	1,013.00±3.61c	951.67±7.37c	2,143.00±8.19c	1,191.33±7.09c
ANF30	89.80±0.10ab	1,911.67±3.51c	980.00±6.00d	931.67±9.50d	2,088.67±9.61d	1,157.00±1.73d
ANF40	90.70±1.04a	1,872.67±6.66d	967.67±2.08e	905.00±5.00e	2,007.67±6.66e	1,102.67±8.02e
ANF50	90.90±0.85a	1,816.33±4.73e	930.00±30.00e	886.33±6.11f	1,926.00±5.57f	1,039.67±6.03f

- หมายเหตุ ^{1/} ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำจาก 2 ตัวอย่าง
 ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวดิ่ง มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
- ^{2/} FRF คือ แป้งหมักปกติ ANF คือ แป้งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 10-50
- ^{3/} ค่าความแตกต่างระหว่างความหนืดสูงสุด และความหนืดต่ำสุด
- ^{4/} ค่าความแตกต่างระหว่างความหนืดสุดท้าย และความหนืดต่ำสุด

อุณหภูมิเริ่มต้น แป้งหมักปกติมีอุณหภูมิเริ่มต้น 88.40 °ซ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับแป้งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อร้อยละ 10 (88.50°ซ) แต่ต่ำกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับแป้งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อร้อยละ 20, 30, 40 และ 50 ซึ่งมีอุณหภูมิเริ่มต้นเป็น 88.73, 89.80, 90.70 และ 90.90°ซ

ความหนืดสูงสุด แป้งหมักปกติมีความหนืดสูงสุดมากที่สุด คือ 2,082 เซนติปัวส์ เมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างแป้งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อ แป้งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อร้อยละ 10 (1,988 เซนติปัวส์) และ 20 (1,964) ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ทั้งสองมีความหนืดสูงสุดมากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับแป้งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อร้อยละ 30 (1,911 เซนติปัวส์) , 40 (1,872 เซนติปัวส์) และ 50 (1,816 เซนติปัวส์) โดยที่ระดับการทดแทนร้อยละ 30 ถึง 50 ค่าความหนืดสูงสุดลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) ตามปริมาณแป้งหมักอบผานเนื้อที่เพิ่มขึ้น

ความหนืดต่ำสุด แป้งหมักปกติมีค่าความหนืดต่ำสุดมากที่สุด (1,037 เซนติปัวส์) แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p\leq 0.05$) กับแป้งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อในทุกๆระดับ ที่ระดับการทดแทนด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อร้อยละ 10 ถึง 30 ความหนืดต่ำสุดลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) ตามปริมาณแป้งอบผานเนื้อที่เพิ่มขึ้น และมากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับระดับการทดแทนด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อร้อยละ 40 (967 เซนติปัวส์) และ 50 (930 เซนติปัวส์) มีค่าความหนืดต่ำสุดน้อยที่สุด

ค่าความหนืดลดลง อธิบายถึงความคงทนต่อแรงกวน ค่าความหนืดลดลงของแป้งหมักปกติคือ 1,045 เซนติปัวส์ มากที่สุดแตกต่างกับแป้งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อในทุกๆระดับ เมื่อปริมาณแป้งหมักอบผานเนื้อเพิ่มขึ้น ค่าความหนืดลดลงของแป้งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) ที่ระดับการทดแทนแป้งหมักอบผานเนื้อร้อยละ 50 มีค่าความหนืดลดลงเป็น 886 เซนติปัวส์ แสดงว่าการทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อทำให้มีความทนต่อแรงกวนมากขึ้น

ความหนืดสุดท้าย แป้งหมักปกติมีความหนืดสุดท้ายเป็น 2,249 เซนติปัวส์ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับแป้งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อร้อยละ 10 (2,230 เซนติปัวส์) แต่มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับที่ระดับการทดแทนร้อยละ 20 (2,143 เซนติปัวส์), 30 (2,088 เซนติปัวส์), 40 (2,007 เซนติปัวส์) และ 50 (1,926 เซนติปัวส์) โดยร้อยละปริมาณแป้งหมักอบผานเนื้อเพิ่มขึ้น ค่าความหนืดสุดท้ายลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เซตแบค แป้งหมักปกติมีค่าเซตแบคเป็น 1,203 เซนติปัวส์ แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อทุกระดับ เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างแป้งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อ ปริมาณแป้งหมักอบผานเนื้อที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าเซตแบคลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในทุกระดับ การทดแทนแป้งหมักอบผานเนื้อร้อยละ 50 (1,039 เซนติปัวส์) ให้ค่าเซตแบคน้อยที่สุด แสดงให้เห็นว่าเมื่อทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อมากขึ้น แป้งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อเกิดรีโทรเกรดได้น้อยลง

จากการทดแทนแป้งหมักปกติด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อปรากฏว่า ค่าอุณหภูมิเริ่มหนืด ความหนืดสูงสุด ความหนืดต่ำสุด ความหนืดลดลง ความหนืดสุดท้าย และเซตแบคของแป้งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อลดลงแตกต่างกันกับแป้งหมักปกติตั้งแต่ที่ระดับร้อยละ 20 จนถึงร้อยละ 50 ทั้งนี้เกิดจากแป้งหมักอบผานเนื้อมีส่วนรบกวนต่อการเกิดเจลลาตินซ์ การพองตัว และการละลายต่ำ เมื่อนำมาทดแทนแป้งหมักปกติทำให้มีปริมาณสตาร์ชที่สามารถทนต่อการเกิดเจลลาตินซ์เพิ่มขึ้น อุณหภูมิเริ่มหนืด ความหนืดสูงสุด ความหนืดต่ำสุด ความหนืดลดลง และความหนืดสุดท้ายของแป้งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อจึงลดลงกว่าแป้งหมักปกติ สอดคล้องกับผลการทดลองสมบัติด้านความหนืด แป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม เปรียบเทียบกับแป้งหมักปกติ ปรากฏว่าแป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม มีสมบัติด้านความหนืดน้อยกว่าแป้งหมักปกติ

2.2 ผลการตรวจสอบปริมาณจับของขมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อ

จากการทดลองผลิตขมจีนแป้งหมักปกติโดยใช้แป้งหมักปกติ 170 กรัม แป้งหมักพรีเจลลาไทน์ 30 กรัม และน้ำ 240 กรัม นวดผสม และโรยเส้นในน้ำเดือดสามารถจับเส้นขมจีนเป็นก้อนได้ 19-21 จับ เมื่อทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งอบผสานเนื้อร้อยละ 10 และ 20 ปริมาณจับขมจีนที่ได้เป็น 17-20 จับ เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งหมักอบผสานเนื้อมากขึ้นเป็นร้อยละ 30 และ 40 ปริมาณจับขมจีนที่ได้ลดลงเป็น 14-16 จับ และเมื่อทดแทนด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 50 ได้ขมจีน 9-11 จับ แสดงดังตารางที่ 17

ตารางที่ 17 เปรียบเทียบปริมาณจับของขมจีนลักษณะแตกต่างกัน 6 สูตร

ขมจีน ^{1/} (สูตรที่)	จำนวนจับ
1	19-21
2	18-20
3	17-19
4	15-16
5	14-15
6	9-10

หมายเหตุ ^{1/} สูตรที่ 1 คือ ขมจีนแป้งหมักปกติ สูตรที่ 2, 3, 4, 5 และ 6 คือ ขมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 ตามลำดับ

2.3 ผลการหาสัดส่วนแป้งหมักปกติต่อแป้งหมักอบผสานเนื้อที่เหมาะสมต่อการผลิตขมจีนแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด

ผลการผลิตขมจีนแป้งหมักปกติ และขมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อ 48 ซม ร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 แช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด นำมาคืนรูปจากเยือกแข็ง (รอบที่ 1) และนำกลับแช่เยือกแข็งอีกครั้งในตู้แช่เยือกแข็ง -18 °ซ รอบที่ 3 และ 5 ผลการทดสอบความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส และทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความเข้มข้นและความชอบรวมโดยใช้ผู้ทดสอบผ่านการฝึกฝนจำนวน 8 คน ปรากฏว่า

2.3.1 ผลการวัดค่าเนื้อสัมผัส

ผลการวัดค่าเนื้อสัมผัสขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด โดยนำเส้นขนมจีนก่อนแช่เยือกแข็ง และหลังคืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 1, 3 และ 5 มาคืนรูปด้วยเตาไมโครเวฟ ตรวจวัดค่าความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นด้วยเครื่องวัดค่าเนื้อสัมผัส

ก. ผลความแน่นเนื้อ

ผลการวัดค่าความแน่นเนื้อขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด โดยนำเส้นขนมจีนก่อนแช่เยือกแข็ง และหลังคืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 1, 3 และ 5 มาคืนรูปด้วยเตาไมโครเวฟ แสดงดังตารางที่ 18

ตารางที่ 18 เปรียบเทียบค่าความแน่นเนื้อขนมจีนลักษณะแตกต่างกัน 6 สูตร แช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด^{1/}

117

ขนมจีน สูตรที่ ^{2/}	ก่อนการแช่ เยือกแข็ง	รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1		รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 3		รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5	
		ไครโอเจนิค	สัมผัสแผ่น โลหะเย็นจัด	ไครโอเจนิค	สัมผัสแผ่น โลหะเย็นจัด	ไครโอเจนิค	สัมผัสแผ่น โลหะเย็นจัด
1	13.72±1.65d	24.22±0.69a	26.49±0.82a	27.92±1.13a	35.65±0.90a	37.81±1.07a	45.39±0.75a
2	13.87±0.77d	23.84±0.50a	26.84±0.73a	27.04±0.76ab	34.78±1.19a	37.30±1.28a	46.80±1.58a
3	16.57±1.52c	23.57±0.57ab	25.17±1.07b	25.80±0.53bc	33.07±1.04a	34.64±1.16b	43.22±1.94b
4	18.16±1.05b	23.33±0.98ab	25.54±0.82b	26.39±0.87c	33.21±1.83b	31.85±1.95c	39.51±2.29b
5	22.35±0.89a	22.73±1.10b	24.05±0.68c	24.49±0.84d	27.50±0.66c	26.74±0.69d	31.87±1.35c
6	22.61±1.51a	22.78±0.77b	24.18±0.47c	24.32±0.63d	27.59±1.33c	26.54±0.51d	32.06±1.22c

หมายเหตุ ^{1/} ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 10 ซ้ำจาก 2 ตัวอย่าง
ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{2/} ความหมายของสูตรขนมจีนเหมือนกับตารางที่ 17

1) ก่อนการแช่เยือกแข็ง

ขนมจีนแป้งหมักปกติมีค่าความแน่นเนื้อ 13.72 กรัม ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 10 (13.87 กรัม) เมื่อเพิ่มระดับแป้งหมักอบผสานเนื้อเป็นร้อยละ 20 และ 30 ขนมจีนมีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นเป็น 16.57 และ 18.16 กรัม ตามลำดับ เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งหมักอบผสานเนื้อเป็นร้อยละ 40 และ 50 ขนมจีนมีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) จากการทดแทนที่ร้อยละ 20 และ 30 เป็น 22.35 และ 22.61 กรัม ตามลำดับ โดยทั้งสองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

เมื่อปริมาณแป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้น ขนมจีนมีความแน่นเนื้อเพิ่มมากขึ้น ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 และ 50 มีความแน่นเนื้อมากกว่าขนมจีนตัวอย่างอื่น ทั้งนี้เกิดจากแป้งหมักอบผสานเนื้อมีสตาร์ชที่มีความเป็นผลึกสูง คงทนต่อการเกิดเจลลาทีไนซ์ กำลังการพองตัว และการละลายต่ำ สตาร์ชในแป้งหมักอบผสานเนื้อบางส่วนในเส้นขนมจีนอาจเกิดเจลลาทีไนซ์ไม่สมบูรณ์ เมื่อทดแทนแป้งหมักปกติด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อในปริมาณมาก ขนมจีนจึงมีความแน่นเนื้อเพิ่มมากขึ้น

2) รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1

การแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค ขนมจีนแป้งหมักปกติมีค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นจากการแช่เยือกแข็งเป็น 24.22 กรัม เมื่อเปรียบเทียบกับขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 10, 20, 30 ขนมจีนทั้งสี่ชนิดมีค่าความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) อยู่ในช่วง 23.33-24.22 กรัม ที่ระดับการทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 และ 50 ขนมจีนมีความแน่นเนื้อลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) เป็น 22.73 และ 22.78 ตามลำดับ

การแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ขนมจีนแป้งหมักปกติมีค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นจากการแช่เยือกแข็งเป็น 26.49 กรัม และมากกว่าขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค เมื่อปริมาณแป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้น ขนมจีนมีค่าความแน่นเนื้อลดลงจากขนมจีนแป้งหมักปกติ ที่ระดับการทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 และ 50

ขนมจีนมีความแน่นเนื้อลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับขนมจีนแป้งหมักปกติเป็น 24.05 และ 24.18 กรัม ตามลำดับ

3) รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 3

การแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิก ขนมจีนแป้งหมักปกติมีค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นจากรอบที่ 1 เป็น 27.92 กรัม เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้น ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อมีความแน่นเนื้อลดลงจากขนมจีนแป้งหมักปกติ ที่ระดับการทดแทนด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 และ 50 ขนมจีนมีความแน่นเนื้อลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับขนมจีนแป้งหมักปกติเป็น 24.49 และ 24.32 กรัม ตามลำดับ

การแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ขนมจีนแป้งหมักปกติมีค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นจากรอบที่ 1 เป็น 35.65 กรัม มากกว่าขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิก เช่นเดียวกันกับการแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิก เมื่อปริมาณแป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้น ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อมีความแน่นเนื้อลดลงจากขนมจีนแป้งหมักปกติ ที่ระดับการทดแทนด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อเป็นร้อยละ 40 และ 50 ขนมจีนมีความแน่นเนื้อลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับขนมจีนแป้งหมักปกติเป็น 27.50 และ 27.59 กรัม ตามลำดับ

4) รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5

การแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิก ขนมจีนแป้งหมักปกติมีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นจากรอบที่ 3 เป็น 37.81 กรัม เมื่อปริมาณแป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้น ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อมีความแน่นเนื้อลดลงจากขนมจีนแป้งหมักปกติ ที่ระดับการทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 40 และ 50 ขนมจีนมีความแน่นเนื้อลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับขนมจีนแป้งหมักปกติเป็น 26.74 และ 26.54 กรัม ตามลำดับ

การแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ขนมน้ำแข็งแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค ความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นจากรอบที่ 3 เป็น 45.39 กรัม มากกว่าขนมน้ำแข็งแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค เช่นเดียวกันกับการแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค เมื่อปริมาณแช่เยือกแข็งรอบผลานเนื้อเพิ่มขึ้น ขนมน้ำแข็งทดแทนแช่เยือกด้วยแช่เยือกอบผลานเนื้อมีความแน่นเนื้อลดลงจากขนมน้ำแข็งแช่เยือกปกติ ที่ระดับการทดแทนด้วยแช่เยือกอบผลานเนื้อร้อยละ 40 และ 50 ขนมน้ำแข็งมีความแน่นเนื้อลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับขนมน้ำแข็งแช่เยือกปกติเป็น 31.87 และ 32.06 กรัม ตามลำดับ

จากผลการทดลองวัดค่าเนื้อสัมผัสขนมน้ำแข็งแช่เยือกปกติ และขนมน้ำแข็งทดแทนแช่เยือกด้วยแช่เยือกอบผลานเนื้อแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ก่อนการแช่เยือกแข็งขนมน้ำแข็งแช่เยือกปกติมีความแน่นเนื้อน้อยกว่าขนมน้ำแข็งทดแทนแช่เยือกด้วยแช่เยือกอบผลานเนื้อ เนื่องจากแช่เยือกอบผลานเนื้อมีการพองตัวน้อย การละลายต่ำ เมื่อนำมาทำขนมน้ำแข็ง ทำให้ขนมน้ำแข็งมีความแน่นเนื้อสูงขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณแช่เยือกอบผลานเนื้อมากขึ้น ความแน่นเนื้อเพิ่มมากขึ้น รอบการคืนรูปจากแช่เยือกแข็งรอบที่ 1, 3 และ 5 ขนมน้ำแข็งแช่เยือกปกติ และขนมน้ำแข็งทดแทนแช่เยือกด้วยแช่เยือกอบผลานเนื้อเกิดรีโทรเกรเดชัน ทำให้ความแน่นเนื้อของขนมน้ำแข็งเพิ่มขึ้นจากขนมน้ำแข็งก่อนการแช่เยือกแข็ง ขนมน้ำแข็งแช่เยือกปกติมีความแน่นเนื้อมากกว่าขนมน้ำแข็งทดแทนแช่เยือกด้วยแช่เยือกอบผลานเนื้อร้อยละ 40 และ 50 ทั้งนี้อาจเกิดจากแช่เยือกอบผลานเนื้อที่มีสมบัติการพองตัว และการละลายน้ำได้น้อย เมื่อแช่เยือกบางส่วนอาจแตกตัวออกไม่หมดทำให้ช่วยขัดขวางการเกิดรีโทรเกรเดชันได้ ส่งผลให้ความแน่นเนื้อของขนมน้ำแข็งทดแทนแช่เยือกด้วยแช่เยือกอบผลานเนื้อร้อยละ 40 และ 50 น้อยกว่าขนมน้ำแข็งตัวอย่างอื่น สอดคล้องกับผลการวัดค่าเนื้อสัมผัสเจลแช่เยือกอบผลานเนื้อผ่านการคืนรูปจากแช่เยือกแข็ง ได้ผลว่าเมื่อรอบการคืนรูปจากแช่เยือกแข็งมากขึ้น เจลแช่เยือกอบผลานเนื้อมีความแน่นเนื้อน้อยกว่าเจลแช่เยือกปกติ

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ขนมน้ำแข็งแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิคมีความแน่นเนื้อน้อยกว่าแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัดในทุกการคืนรูปจากแช่เยือกแข็ง เกิดจากการแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิคสามารถแช่เยือกแข็งขนมน้ำแข็งได้เร็วกว่าแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด จึงสามารถเกิดรีโทรเกรเดชันน้อยกว่าแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด นอกจากนี้การแช่เยือกแข็งที่เร็วกว่าสามารถช่วยรักษาโครงสร้างเนื้อสัมผัสของขนมน้ำแข็งให้ใกล้เคียงกับขนมน้ำแข็งก่อนแช่เยือกแข็ง ทำให้ขนมน้ำแข็งแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิคมีความแน่นเนื้อน้อยกว่าแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด

ข. ผลความยืดหยุ่น

ผลการวัดค่าความยืดหยุ่นขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบโครโอเจนิค และแบบ
สัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด โดยนำเส้นขนมจีนก่อนแช่เยือกแข็ง และหลังคืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 1,
3 และ 5 มาคืนรูปด้วยเตาไมโครเวฟ แสดงดังตารางที่ 19

ตารางที่ 19 เปรียบเทียบค่าความยืดหยุ่นขมจิ้นลักษณะแตกต่างกัน 6 สูตร แซ่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบสั้มผัสแผ่นโลหะเย็นจัด^{1/}

122

ขมจิ้น สูตรที่ ^{2/}	ก่อนการแซ่ เยือกแข็ง	รอบการคั้รูปจากเยือกแข็งที่ 1		รอบการคั้รูปจากเยือกแข็งที่ 3		รอบการคั้รูปจากเยือกแข็งที่ 5	
		ไครโอเจนิค	สั้มผัสแผ่น โลหะเย็นจัด	ไครโอเจนิค	สั้มผัสแผ่น โลหะเย็นจัด	ไครโอเจนิค	สั้มผัสแผ่น โลหะเย็นจัด
1	7.71±1.03a	4.97±0.78b	4.62±0.60b	3.09±0.68c	2.63±0.36c	1.39±0.52c	0.58±0.23c
2	8.07±0.30a	5.53±0.95ab	5.68±0.47ab	3.62±0.56b	2.90±0.49c	1.68±0.44c	1.91±0.53b
3	7.46±1.04a	5.46±0.66ab	5.38±0.90b	4.83±0.52b	3.45±0.36b	2.52±0.85b	1.69±0.67b
4	7.01±0.93ab	5.35±0.84ab	6.05±0.62ab	5.39±0.79ab	3.72±0.31b	2.67±0.72b	1.22±0.29b
5	7.00±0.54ab	6.00±0.65a	6.31±0.57a	5.89±0.54a	4.01±0.34ab	4.14±0.62a	3.23±0.67a
6	6.25±0.98b	6.08±0.70a	5.97±0.62a	5.76±0.57a	4.30±0.73a	4.64±0.68a	3.40±0.65a

หมายเหตุ ^{1/} ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 10 ซ้ำจาก 2 ตัวอย่าง
 ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวดิ่ง มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
^{2/} ความหมายของสูตรขมจิ้นเหมือนกับตารางที่ 17

1) ก่อนการแช่เยือกแข็ง ขนมหินแป้งหมักปกติมีความยืดหยุ่นก่อนการแช่เยือกแข็งเป็น 7.71 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับขนมหินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผลานเนื้อร้อยละ 10 (8.07), 20 (7.46), 30 (7.01) และ 40 (7.00) ตามลำดับ เมื่อเพิ่มแป้งอบผลานเนื้อเป็นร้อยละ 50 ขนมหินมีความยืดหยุ่นลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับขนมหินแป้งหมักปกติเป็น 6.25

ขนมหินแป้งหมักปกติมีความยืดหยุ่นมากกว่าขนมหินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผลานเนื้อ โดยเมื่อปริมาณแป้งหมักอบผลานเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 50 ขนมหินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผลานเนื้อมีความยืดหยุ่นลดลง เกิดจากแป้งหมักอบผลานเนื้อที่มีสารซึ่งมีกำลังการพองตัว และการละลายต่ำ มีความเป็นผลึกสูง คงทนต่อการเกิดเจลที่ไนซ์ เมื่อผสมในขนมหินปริมาณมากอาจทำให้ขนมหินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผลานเนื้อมีความยืดหยุ่นน้อยกว่าขนมหินแป้งหมักปกติ

2) รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1

การแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิก ขนมหินแป้งหมักปกติมีความยืดหยุ่นลดลงจากก่อนการแช่เยือกแข็งเป็น 4.97 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับขนมหินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผลานเนื้อร้อยละ 10, 20, และ 30 เมื่อเพิ่มแป้งหมักอบผลานเนื้อเพิ่มเป็นร้อยละ 40 และ 50 ขนมหินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผลานเนื้อมีความยืดหยุ่นมากขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับขนมหินแป้งหมักปกติเป็น 6.00 และ 6.08 ตามลำดับ

การแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ขนมหินแป้งหมักปกติมีความยืดหยุ่นลดลงจากก่อนการแช่เยือกแข็งเป็น 4.62 เมื่อทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผลานเนื้อ ปริมาณแป้งหมักอบผลานเนื้อเพิ่มขึ้น ขนมหินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผลานเนื้อมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นจากขนมหินแป้งหมักปกติเช่นเดียวกับการแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิก เมื่อเพิ่มแป้งหมักอบผลานเนื้อเพิ่มเป็นร้อยละ 40 และ 50 ขนมหินมีความยืดหยุ่นมากขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับขนมหินแป้งหมักปกติเป็น 6.31 และ 5.97 ตามลำดับ

3) รอบการคืนรูปจากเชือกเงี่ยงที่ 3

การแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิก ขนมจิ้นแป้งหมักปกติมีความยืดหยุ่นลดลงจากรอบที่ 1 เป็น 3.09 เมื่อทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อ ปริมาณแป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้น ขนมจิ้นทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น เมื่อแป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 40 และ 50 ความยืดหยุ่นของขนมจิ้นเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับขนมจิ้นแป้งหมักปกติเป็น 5.39, 5.89 และ 5.76 ตามลำดับ แต่ทั้ง 3 ระดับไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

การแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ขนมจิ้นแป้งหมักปกติมีความยืดหยุ่นลดลงจากรอบที่ 1 เป็น 2.63 น้อยกว่าขนมจิ้นแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิก เมื่อทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อ ปริมาณแป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้น ขนมจิ้นทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นจากขนมจิ้นแป้งหมักปกติ เช่นเดียวกับการแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิก เมื่อแป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 40 และ 50 ความยืดหยุ่นของขนมจิ้นเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับขนมจิ้นแป้งหมักปกติเป็น 4.01 และ 4.30 ตามลำดับ แต่ทั้งสองระดับไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

4) รอบการคืนรูปจากเชือกเงี่ยงที่ 5

การแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิก ขนมจิ้นแป้งหมักปกติมีความยืดหยุ่นลดลงจากรอบที่ 3 เป็น 1.39 เมื่อทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อ ปริมาณแป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้น ขนมจิ้นทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นจากขนมจิ้นแป้งหมักปกติ ที่ระดับการทดแทนด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 และ 50 ขนมจิ้นมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับขนมจิ้นแป้งหมักปกติเป็น 4.14 และ 4.64 ตามลำดับ

การแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ขนมจิ้นแป้งหมักปกติมีความยืดหยุ่นลดลงจากรอบที่ 3 เป็น 0.58 น้อยกว่าขนมจิ้นแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิก เมื่อทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อ ปริมาณแป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้น ขนมจิ้นทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นจากขนมจิ้นแป้งหมักปกติ

เช่นเดียวกับการแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค ขนมนมจืดทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อมี ร้อยละ 40 และ 50 มีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับขนมนมจืดแป้งหมักปกติ เป็น 3.23 และ 3.40 ตามลำดับ

จากผลการทดลองวัดค่าความยืดหยุ่นขนมนมจืดแป้งหมักปกติ และ ขนมนมจืดทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อมี ก่อนการแช่เยือกแข็งขนมนมจืดแป้งหมักปกติมี ความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกับขนมนมจืดทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อมีร้อยละ 10, 20, 30 และ 40 แต่มากกว่าการทดแทนด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อมีร้อยละ 50 ทั้งนี้เกิดจากการทดแทนแป้ง หมักด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อมีซึ่งมีสสารข่องตัว และละลายน้อยกว่าสสารแป้งหมักปกติ ความยืดหยุ่นของขนมนมจืดทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อมีจึงลดลงแตกต่างกับขนมนมจืด แป้งหมักปกติ รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1 และ 3 ขนมนมจืดรีโทรเกรด ขนมนมจืดแป้งหมักปกติ และขนมนมจืดทดแทนด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อมีทุกระดับมีความยืดหยุ่นลดลงจากก่อนการแช่เยือก แข็ง เมื่อเปรียบเทียบขนมนมจืดแป้งหมักปกติกับขนมนมจืดทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อมี การเพิ่มปริมาณแป้งหมักอบผสมเนื้อมี ทำให้ขนมนมจืดทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อมี ความยืดหยุ่นมากกว่าขนมนมจืดแป้งหมักปกติ ในรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5 ขนมนมจืดทดแทน แป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อมีร้อยละ 40 และ 50 มีความยืดหยุ่นมากกว่าขนมนมจืดแป้งหมัก ปกติ และขนมนมจืดทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อมีตัวอย่างอื่นอย่างชัดเจน สอดคล้อง กับผลการวัดค่าเนื้อสัมผัสเจลแข็ง เจลแป้งหมักอบผสมเนื้อมีมีค่าความยืดหยุ่นรอบการคืนรูปจาก เยือกแข็งที่ 5 มากกว่าเจลแป้งหมักปกติ

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบ สัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ขนมนมจืดแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิคมีความยืดหยุ่นมากกว่าแบบสัมผัส แผ่นโลหะเย็นจัดในรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 3 และ 5 เกิดจากการแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค สามารถแช่เยือกแข็งขนมนมจืดได้เร็วกว่าแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด จึงสามารถเกิดรีโทรเกรดได้ น้อยกว่าแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด นอกจากนี้การแช่เยือกแข็งที่เร็วกว่าสามารถช่วยรักษา โครงสร้างเนื้อสัมผัสของขนมนมจืดให้ใกล้เคียงกับขนมนมจืดก่อนแช่เยือกแข็ง ทำให้ขนมนมจืดแช่เยือก แข็งแบบไครโอเจนิคมีความยืดหยุ่นมากกว่าแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด

2.3.2 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส

ก. ความเข้มทางประสาทสัมผัส

ผลการตรวจสอบสมบัติความเข้มทางประสาทสัมผัสขนมจีนแป้งหมักปกติ และขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบสาคูด้าน ความเรียบ ความแน่นเนื้อ ความยืดหยุ่น และความชุ่มของขนมจีน ก่อนการแช่เยือกแข็ง และหลังคืนรูปจากเยือกแข็งแบบ ไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัดใช้ผู้ทดสอบผ่านการฝึกฝน 8 คน

1) ก่อนการแช่เยือกแข็ง

ขนมจีนแป้งหมักปกติ และขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบสาคูด้านมีคะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัส (แสดงดังตารางที่ 20) ดังนี้

ตารางที่ 20 เปรียบเทียบคะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัสขนมจีนลักษณะแตกต่างกัน 6 สูตร ก่อนการแช่เยือกแข็ง^{1/}

ขนมจีนสูตรที่ ^{2/}	คะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัส			
	ความเรียบ	ความแน่นเนื้อ	ความยืดหยุ่น	ความชุ่ม
1	9.44±0.33b	8.58±0.52d	12.63±0.21a	10.01±0.40a
2	9.46±0.27b	8.76±0.53d	12.60±0.28a	10.34±0.30a
3	9.71±0.45ab	8.73±0.42d	11.26±0.45b	10.24±0.45a
4	9.61±0.31ab	9.44±0.34c	10.73±0.32c	10.09±0.72a
5	10.08±0.89a	9.99±0.20b	10.60±0.38cd	10.48±0.28a
6	9.88±0.15a	10.63±0.36a	10.21±0.51d	10.49±0.32a

หมายเหตุ ^{1/} ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 8 ซ้ำ
ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวดิ่ง มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
^{2/} ความหมายของสูตรขนมจีนเหมือนกับตารางที่ 17

ความเรียบ ขนมีเงินเป้งหมักปกติ และขนมีเงินทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 10, 20 และ 30 มีคะแนนความเรียบไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) อยู่ในช่วง 9.44 – 9.61 คะแนน เมื่อปริมาณเป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 40 และ 50 ขนมีเงินมีคะแนนความเรียบเพิ่มขึ้นแตกต่างจากขนมีเงินเป้งหมักปกติเป็น 10.08 และ 9.88 คะแนน ตามลำดับ ความแน่นเนื้อ ขนมีเงินเป้งหมักปกติ และขนมีเงินทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 10 และ 20 ได้รับคะแนนความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) อยู่ในช่วง 8.58-8.76 คะแนน เมื่อปริมาณเป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 30, 40 และ 50 คะแนนด้านความแน่นเนื้อของขนมีเงินเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) ขนมีเงินเป้งหมักปกติเป็น 9.44, 9.99 และ 10.63 คะแนน ตามลำดับ ความยืดหยุ่น ขนมีเงินเป้งหมักปกติได้รับคะแนนความยืดหยุ่นเป็น 12.63 เมื่อปริมาณเป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้นขนมีเงินทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบผสานเนื้อ มีคะแนนด้านความยืดหยุ่นลดลง เมื่อปริมาณเป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 40 และ 50 คะแนนด้านความยืดหยุ่นของขนมีเงินลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับขนมีเงินเป้งหมักปกติเป็น 10.60 และ 10.21 คะแนน ความชุ่ม ขนมีเงินเป้งหมักปกติ และขนมีเงินทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 ได้รับคะแนนความชุ่มไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) อยู่ในช่วง 10.01-10.49 คะแนน

จากก่อนการแช่เยือกแข็ง เมื่อปริมาณเป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้น ขนมีเงินมีคะแนนด้านต่างๆเปลี่ยนแปลงดังนี้ ความเรียบ ความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เกิดจากปริมาณเป้งหมักอบผสานเนื้อซึ่งมีสตาร์ชที่มีสมบัติพองตัว และละลายน้อย มีความคงทนต่อการเกิดเจลลาติไนซ์ เมื่อมีปริมาณสตาร์ชอบผสานเนื้อมากทำให้เส้นค่อนข้างเรียบ และมีความแน่นเนื้อมากขึ้น ส่งผลให้ความยืดหยุ่นลดลง ส่วนด้านความชุ่ม เนื่องจากขนมีเงินยังไม่ผ่านการแช่เยือกแข็ง ขนมีเงินเกิดรีโทรเกรดน้อย ทำให้ผู้ทดสอบไม่เห็นความแตกต่างด้านความชุ่ม สอดคล้องกับผลการวัดค่าเนื้อสัมผัส เมื่อปริมาณเป้งหมักอบผสานเนื้อมากขึ้น ขนมีเงินทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบผสานเนื้อ มีค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น และค่าความยืดหยุ่นลดลง

2) รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1

การแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค ขนมีเงินแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิคมีคะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัสดังนี้ ความเรียบ ขนมีเงินเป้งหมักปกติมีคะแนนความเข้มเป็น 8.50 คะแนน เมื่อปริมาณเป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้น ขนมีเงินทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบ

ผลานเนื้อมีคะแนนด้านความเรียบเพิ่มขึ้น ขนมหินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผลานเนื้อร้อยละ 40 และ 50 มีคะแนนด้านความเรียบเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากขนมหินแป้งหมักปกติเป็น 9.95 และ 9.82 คะแนน ตามลำดับ โดยระดับร้อยละ 40 และ 50 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ความแน่นเนื้อ ขนมหินแป้งหมักปกติ และขนมหินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผลานเนื้อร้อยละ 10 และ 20 ได้รับคะแนนความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) อยู่ในช่วง 10.33-10.53 คะแนน เมื่อปริมาณแป้งหมักอบผลานเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 30, 40 และ 50 คะแนนด้านความแน่นเนื้อของขนมหินลดลงจากขนมหินแป้งหมักปกติเป็น 9.91, 9.59 และ 9.30 คะแนน ตามลำดับ ความยืดหยุ่น ขนมหินแป้งหมักปกติ และขนมหินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผลานเนื้อร้อยละ 10, 20 และ 30 ได้รับคะแนนความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) อยู่ในช่วง 10.27-10.63 คะแนน เมื่อปริมาณแป้งหมักอบผลานเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 40 และ 50 คะแนนด้านความยืดหยุ่นของขนมหินลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับขนมหินแป้งหมักปกติเป็น 9.88 และ 9.96 คะแนน ตามลำดับ ความชุ่ม ขนมหินแป้งหมักปกติ และขนมหินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผลานเนื้อร้อยละ 10 และ 20 ได้รับคะแนนความชุ่มไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) อยู่ในช่วง 11.49-11.83 คะแนน เมื่อปริมาณแป้งหมักอบผลานเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 30, 40 และ 50 คะแนนด้านความชุ่มลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากขนมหินแป้งหมักปกติ อยู่ในช่วง 10.19-10.54 คะแนน ตามลำดับ (ตารางที่ 21)

ตารางที่ 21 เปรียบเทียบคะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัสขมนมจิ้นลักษณะแตกต่างกัน 6 สูตร แซ่เอือกแข็งแบบโคร โอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด รอบการคืนรูปจากเอือกแข็งที่ 1, 3 และ 5^{1/}

รอบ ที่	ขมนมจิ้น สูตรที่ ^{2/}	คะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัสขมนมจิ้นแซ่เอือกแข็งแบบโคร โอเจนิค				คะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัสขมนมจิ้นแซ่เอือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด			
		ความเรียบ	ความแน่นเนื้อ	ความยืดหยุ่น	ความชุ่ม	ความเรียบ	ความแน่นเนื้อ	ความยืดหยุ่น	ความชุ่ม
1	1	8.50±0.53c	10.53±0.41a	10.27±0.37a	11.83±0.53a	8.53±0.43b	11.20±0.50a	10.66±0.19a	12.13±0.31a
	2	9.56±0.52b	10.50±0.39a	10.53±0.40a	11.49±0.30a	9.59±0.52b	11.16±0.61a	10.18±0.41b	11.36±0.41b
	3	9.48±0.64b	10.33±0.43a	10.35±0.47a	11.80±0.34a	9.50±0.64b	10.39±0.34b	10.14±0.50b	11.63±0.41b
	4	9.24±0.33b	9.91±0.42b	10.63±0.50a	10.19±0.61b	9.36±0.33a	10.40±0.31b	10.10±0.83b	10.34±0.41c
	5	9.95±0.24a	9.59±0.22c	9.88±0.51b	10.38±0.52b	9.25±0.24a	10.60±0.36b	9.46±0.27c	10.51±0.45c
	6	9.82±0.47a	9.30±0.26c	9.96±0.39b	10.54±0.65b	9.15±0.47a	10.69±0.44bb	9.63±0.23c	10.40±0.44c
3	1	6.70±0.63d	12.53±0.41a	8.25±0.28b	12.69±0.20a	6.83±0.57d	12.40±0.35a	8.58±0.32b	12.48±0.34a
	2	7.01±0.36cd	12.21±0.55ab	8.35±0.34b	12.35±0.28a	6.93±0.38cd	12.32±0.55a	8.43±0.47b	12.24±0.28a
	3	7.39±0.58c	12.15±0.67ab	8.43±0.38b	11.65±0.55b	7.36±0.46c	12.24±0.67a	8.61±0.25b	11.36±0.55b
	4	8.26±0.52b	12.03±0.28b	8.38±0.30b	11.01±0.46c	8.43±0.52b	11.84±0.28b	9.40±0.26a	10.54±0.52c
	5	9.02±0.26a	10.73±0.57c	9.52±0.25a	10.74±0.26c	8.94±0.26a	10.85±0.57c	9.44±0.29a	10.56±0.52c
	6	8.59±0.52ab	10.96±0.52c	9.42±0.33a	10.72±0.36c	8.47±0.52ab	10.90±0.39c	9.10±0.41a	10.75±0.36c
5	1	6.06±0.33c	13.04±0.30a	8.05±0.79b	13.53±0.38a	6.15±0.33c	13.34±0.52a	7.43±0.45b	13.46±0.38a
	2	6.74±0.77bc	13.05±0.56a	8.36±0.61b	12.74±0.21b	6.82±0.27b	13.10±0.53ab	7.46±0.48b	13.28±0.21a
	3	7.24±1.06ab	12.44±0.40a	8.20±0.68b	11.87±0.68c	7.09±1.06b	12.56±0.40b	7.44±0.60b	11.79±0.52b
	4	7.37±0.75ab	11.32±0.92b	8.54±0.42b	11.38±0.63c	7.30±0.75ab	11.61±1.09c	7.88±0.29b	11.28±0.63c
	5	7.79±0.17a	10.79±0.33c	9.53±0.23a	10.83±0.48d	7.84±0.17a	10.60±0.33d	9.23±0.33a	11.08±0.58c
	6	7.74±0.42a	10.80±0.34c	9.19±0.15a	10.81±0.34d	7.81±0.36a	10.76±0.34d	9.21±0.44a	11.18±0.42c

หมายเหตุ ^{1/} ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ^{2/} ความหมายของสูตรขมนมจิ้นเหมือนกับตารางที่ 17

การแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ขนมน้ำแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัดมีความเครียดทางประสาทสัมผัสดังนี้ ความเครียด ขนมน้ำแช่เยือกแข็งแบบปกติมีความเครียด 8.53 คะแนน เมื่อปริมาณแช่เยือกแข็งของผลไม้น้ำเพิ่มขึ้น ขนมน้ำแช่เยือกแข็งแช่เยือกแข็งด้วยแช่เยือกแข็งของผลไม้น้ำมีความเครียดเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณแช่เยือกแข็งของผลไม้น้ำเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 30, 40 และ 50 คะแนนด้านความเครียดเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากขนมน้ำแช่เยือกแข็งปกติอยู่ในช่วง 9.15-9.36 คะแนน โดยทั้งสามระดับไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ความแน่นเนื้อ ขนมน้ำแช่เยือกแข็งปกติ และขนมน้ำแช่เยือกแข็งแช่เยือกแข็งด้วยแช่เยือกแข็งของผลไม้น้ำร้อยละ 10 ได้รับคะแนนความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) เป็น 11.20 และ 11.16 คะแนน ตามลำดับ เมื่อปริมาณแช่เยือกแข็งของผลไม้น้ำเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 20, 30, 40 และ 50 คะแนน ความเครียดด้านความแน่นเนื้อของขนมน้ำแช่เยือกแข็งแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากขนมน้ำแช่เยือกแข็งปกติอยู่ในช่วง 10.39-10.69 คะแนน โดยทั้งสามระดับไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ความยืดหยุ่น ขนมน้ำแช่เยือกแข็งปกติมีความเครียดด้านความยืดหยุ่น 10.66 คะแนน เมื่อปริมาณแช่เยือกแข็งของผลไม้น้ำเพิ่มขึ้น ขนมน้ำแช่เยือกแข็งแช่เยือกแข็งด้วยแช่เยือกแข็งของผลไม้น้ำมีความยืดหยุ่นลดลง ขนมน้ำแช่เยือกแข็งแช่เยือกแข็งด้วยแช่เยือกแข็งของผลไม้น้ำร้อยละ 40 และ 50 มีความยืดหยุ่นลดลงเป็น 9.46 และ 9.63 คะแนน ตามลำดับ ทั้งสองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ความชุ่มชื้น ขนมน้ำแช่เยือกแข็งปกติมีความชื้นเป็น 12.13 คะแนน เมื่อปริมาณแช่เยือกแข็งของผลไม้น้ำเพิ่มขึ้น ขนมน้ำแช่เยือกแข็งแช่เยือกแข็งด้วยแช่เยือกแข็งของผลไม้น้ำได้รับคะแนนความชื้นลดลงจากขนมน้ำแช่เยือกแข็งปกติ เมื่อปริมาณแช่เยือกแข็งของผลไม้น้ำเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 30, 40 และ 50 คะแนนความชื้นด้านความชุ่มชื้นลดลงอยู่ในช่วง 10.34-10.51 คะแนน ตามลำดับ โดยทั้งสามระดับไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากการคืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 1 ขนมน้ำแช่เยือกแข็งแบบโครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัดมีการเปลี่ยนแปลงสมบัติขนมน้ำด้านต่างๆดังนี้ คะแนนด้านความเครียดของขนมน้ำแช่เยือกแข็งแช่เยือกแข็งด้วยแช่เยือกแข็งของผลไม้น้ำร้อยละ 40 และ 50 มากกว่าขนมน้ำแช่เยือกแข็งปกติ และการแช่เยือกแข็งด้วยแช่เยือกแข็งของผลไม้น้ำที่ระดับอื่นๆ ด้านความแน่นเนื้อ และความชุ่มชื้น การแช่เยือกแข็งด้วยแช่เยือกแข็งของผลไม้น้ำร้อยละ 40 และ 50 ได้รับคะแนนความแน่นเนื้อ และความชุ่มชื้นน้อยกว่าขนมน้ำแช่เยือกแข็งปกติ และที่ระดับการแช่เยือกแข็งด้วยแช่เยือกแข็งของผลไม้น้ำอื่นๆ ทั้งนี้เกิดจากการเพิ่มปริมาณแช่เยือกแข็งของผลไม้น้ำ ทำให้ช่วยลดการเกิดริ้วรอยเหี่ยวของขนมน้ำแช่เยือกแข็งแช่เยือกแข็งด้วยแช่เยือกแข็งของผลไม้น้ำมีความแน่นเนื้อ และความชุ่มชื้นน้อยกว่า

ขนมจีนแป้งหมักปกติ ด้านความยืดหยุ่น ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 และ 50 ยังคงมีความยืดหยุ่นน้อยกว่าขนมจีนแป้งหมักปกติ

3) รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 3

การแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค ขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิคมีคะแนนความแข็งทางประสาทสัมผัสดังนี้ ความเรียบ ขนมจีนแป้งหมักปกติมีคะแนนความเรียบ 6.70 คะแนน เมื่อปริมาณแป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 20, 30 และ 40 คะแนน ความแข็งด้านความเรียบเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากขนมจีนแป้งหมักปกติเป็น 7.39, 8.26 และ 9.02 คะแนน ตามลำดับ และเมื่อปริมาณแป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 50 คะแนน ความแข็งด้านความเรียบไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับที่ระดับร้อยละ 40 เป็น 8.59 คะแนน ความแน่นเนื้อ ขนมจีนแป้งหมักปกติมีคะแนนความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 10 และ 20 ได้รับคะแนนอยู่ในช่วง 12.15-12.53 คะแนน เมื่อปริมาณแป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 30, 40 และ 50 คะแนน ความแข็งด้านความแน่นเนื้อลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ขนมจีนแป้งหมักปกติเป็น 12.03, 10.73 และ 10.96 คะแนนตามลำดับ ความยืดหยุ่น ขนมจีนแป้งหมักปกติมีคะแนนความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 10, 20 และ 30 ได้รับคะแนนอยู่ในช่วง 8.25-8.43 คะแนน เมื่อปริมาณแป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 40 และ 50 คะแนนความด้านความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติกับขนมจีนแป้งหมักปกติเป็น 9.52 และ 9.42 คะแนน ตามลำดับ แต่ทั้งสองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ความชุ่ม ขนมจีนแป้งหมักปกติมีคะแนนความชุ่ม เป็น 12.69 คะแนน ตามลำดับ เมื่อปริมาณแป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้น ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อจะมีคะแนนด้านความชุ่มลดลง เมื่อปริมาณแป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 40 และ 50 คะแนนความแข็งด้านความชุ่มลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับขนมจีนแป้งหมักปกติเป็น 10.74 และ 10.72 คะแนน ตามลำดับ

การแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัดมีคะแนนความแข็งทางประสาทสัมผัสดังนี้ ความเรียบ ขนมจีนแป้งหมักปกติมีคะแนนความเรียบ 6.83 เมื่อปริมาณแป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 20, 30 และ 40 คะแนนด้านความเรียบเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เป็น 7.36, 8.43 และ 8.94 คะแนน

ตามลำดับ และเมื่อปริมาณแป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 50 คะแนนด้านความเรียบ เพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับที่ระดับร้อยละ 30 และ 40 เป็น 8.90 คะแนน ความแน่นเนื้อ ขนมจีนแป้งหมักปกติมีคะแนนความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 10 และ 20 อยู่ในช่วง 12.24-12.40 คะแนน เมื่อปริมาณแป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 30, 40 และ 50 คะแนนด้านความแน่นเนื้อลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับขนมจีนแป้งหมักปกติเป็น 11.84, 10.85 และ 10.90 คะแนน ตามลำดับ ความยืดหยุ่น ขนมจีนแป้งหมักปกติมีคะแนนความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 10 และ 20 อยู่ในช่วง 8.43-8.61 คะแนน ขณะที่ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 30, 40 และ 50 มีคะแนนด้านความยืดหยุ่นเป็น 9.40, 9.44 และ 9.01 คะแนน ตามลำดับ แต่ทั้งสามไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ความชุ่ม ขนมจีนแป้งหมักปกติมีคะแนนความชุ่ม 12.48 คะแนน เมื่อปริมาณแป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้น ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อมีความชุ่มลดลงจากขนมจีนแป้งหมักปกติ ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อ ร้อยละ 30, 40 และ 50 มีคะแนนด้านความชุ่มลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับขนมจีนแป้งหมักปกติเป็น 10.54, 10.56 และ 10.75 คะแนน ตามลำดับ

จากรอบการกินรูปจากเอือกแข็งที่ 3 ขนมจีนแช่เอือกแข็งแบบโครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด มีการเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงกันดังนี้ ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 และ 50 มีคะแนนความชุ่มด้านความเรียบ และความยืดหยุ่นมากกว่าขนมจีนแป้งหมักปกติ และขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้ออื่นๆ ส่วนด้านความแน่นเนื้อ และความชุ่ม ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 และ 50 มีคะแนนความชุ่มด้านความแน่นเนื้อ และความชุ่มน้อยกว่าขนมจีนแป้งหมักปกติ และขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้ออื่นๆ ทั้งนี้เกิดจากแป้งหมักอบผสานเนื้อช่วยลดการเกิดรีโทรเกรดจึงทำให้ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อมีความเรียบ และความยืดหยุ่นมากกว่าแป้งหมักปกติ ความแน่นเนื้อ และความชุ่มน้อยกว่าแป้งหมักปกติ สอดคล้องกับผลการวัดค่าเนื้อสัมผัส

4) รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5

การแช่เยือกแข็งแบบโครโอเจนิก ขนมหินแช่เยือกแข็งแบบโครโอเจนิกมีคะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัสดังนี้ ความเรียบ ขนมหินเป้งหมักปกติมีคะแนนความเรียบ 6.06 คะแนน เมื่อปริมาณเป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้น ขนมหินทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบผสานเนื้อ มีคะแนนด้านความเรียบเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณเป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 40 และ 50 คะแนนด้านความเรียบเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับขนมหินเป้งหมักปกติเป็น 7.79 และ 7.74 คะแนนตามลำดับ โดยทั้งสองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ความแน่นเนื้อ ขนมหินเป้งหมักปกติมีคะแนนความแน่นเนื้อ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับขนมหินทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 10 และ 20 ได้รับคะแนนความแน่นเนื้ออยู่ในช่วง 12.44-13.05 คะแนน ที่ระดับการทดแทนด้วยเป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 30 มีคะแนนความแน่นเนื้อเป็น 11.32 คะแนน เมื่อปริมาณเป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 40 และ 50 คะแนนด้านความแน่นเนื้อลดลงแตกต่างกันทางสถิติกับที่ร้อยละ 30 ($p \leq 0.05$) เป็น 10.79 และ 10.80 คะแนน ตามลำดับ ความยืดหยุ่น ขนมหินเป้งหมักปกติมีคะแนนความยืดหยุ่น ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับขนมหินทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 10, 20 และ 30 อยู่ในช่วง 8.05-8.54 คะแนน ตามลำดับ เมื่อปริมาณเป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 40 และ 50 คะแนนด้านความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติกับ ($p \leq 0.05$) ขนมหินเป้งหมักปกติเป็น 9.53 และ 9.19 คะแนน ตามลำดับ แต่ทั้งสองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ความชุ่ม ขนมหินเป้งหมักปกติมีคะแนนความชุ่ม 13.53 คะแนน เมื่อปริมาณเป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้น ขนมหินทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบผสานเนื้อได้รับคะแนนด้านความชุ่มลดลง เมื่อปริมาณเป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 40 และ 50 คะแนนด้านความชุ่มลดลงเป็น 10.83 และ 10.81 คะแนน ตามลำดับ ทั้งสองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

การแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ขนมหินแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัดมีคะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัสดังนี้ ความเรียบ ขนมหินเป้งหมักปกติมีคะแนนความเรียบ 6.15 คะแนน เมื่อปริมาณเป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 40 และ 50 คะแนนด้านความเรียบเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับขนมหินเป้งหมักปกติเป็น 7.84 และ 7.81 คะแนน ตามลำดับ ความแน่นเนื้อ ขนมหินเป้งหมักปกติมีคะแนนความแน่นเนื้อ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับขนมหินทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 10 ได้รับคะแนนความแน่นเนื้อเป็น 13.34 และ 13.10 คะแนน ตามลำดับ ที่ระดับการทดแทนด้วยเป้ง

เมื่อปริมาณแป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 40 และ 50 คะแนนด้านความแน่นเนื้อลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ขนมหินแป้งหมักปกติเป็น 10.60 และ 10.76 คะแนน ตามลำดับ ความยืดหยุ่น ขนมหินแป้งหมักปกติมีคะแนนความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับ ขนมหินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 10, 20 และ 30 อยู่ในช่วง 7.43-7.88 คะแนน ตามลำดับ เมื่อปริมาณแป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 40 และ 50 คะแนนด้านความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติกับ ($p \leq 0.05$) ขนมหินแป้งหมักปกติเป็น 9.23 และ 9.21 คะแนน ตามลำดับ แต่ทั้งสองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ความชุ่ม ขนมหินแป้งหมักปกติมีคะแนนความชุ่ม 13.46 คะแนน เมื่อปริมาณแป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้น ขนมหินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อได้รับคะแนนด้านความชุ่มลดลง เมื่อปริมาณแป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 40 และ 50 คะแนนด้านความชุ่มลดลงแตกต่างกันทางสถิติกับ ($p \leq 0.05$) ขนมหินแป้งหมักปกติเป็น 11.08 และ 11.18 คะแนน ตามลำดับ

จากการคืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 5 ขนมหินแช่เยือกแข็งแบบโคร โอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด มีการเปลี่ยนแปลงคะแนนความชุ่มทางประสาทสัมผัสใกล้เคียงกันดังนี้ ขนมหินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 และ 50 มีคะแนนด้านความเรียบ และความยืดหยุ่นมากกว่าขนมหินแป้งหมักปกติ และการทดแทนด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อระดับอื่นๆ และมีคะแนนด้านความแน่นเนื้อ และความชุ่มน้อยกว่าขนมหินแป้งหมักปกติ และการทดแทนด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อระดับอื่น เกิดจากการทดแทนแป้งหมักอบผสานเนื้อมากขึ้นทำให้สามารถลดการเกิดริ้วรอยได้มากขึ้น ขนมหินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 และ 50 มีความเรียบ และความยืดหยุ่นมากกว่าขนมหินแป้งหมักปกติ และมีความแน่นเนื้อ และความชุ่มน้อยกว่าขนมหินแป้งหมักปกติ

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการแช่เยือกแข็งแบบโคร โอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1 ขนมหินแป้งหมักปกติแช่เยือกแข็งแบบโคร โอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัดมีคะแนนความชุ่มด้านความเรียบ ความยืดหยุ่น และความชุ่มใกล้เคียงกัน ส่วนความแน่นเนื้อของขนมหินแป้งหมักปกติแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัดมีมากกว่าแบบโคร โอเจนิคเล็กน้อย และรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5 ขนมหินแป้งหมักปกติแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัดมีคะแนนความชุ่มด้านอื่นๆ ใกล้เคียงกัน ยกเว้นด้านความยืดหยุ่นมีคะแนนน้อยกว่าการแช่เยือกแข็งแบบโคร โอเจนิค อาจเกิดจากการแช่เยือกแข็งแบบโคร โอเจนิคสามารถทำให้ขนมหินถึงจุดเยือกแข็งได้เร็วกว่าการแช่เยือกแข็งแบบ

ลัมผัสโลหะเย็นจัด ทำให้ขนมจินแ่งเยือกแข็งแบบไครโอเจนิคเกิดรีโทรเกรดน้อย มีความแน่นเนื้อน้อย และความยืดหยุ่นมากกว่าการแ่งเยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด

ข. ความชอบทางประสาทสัมผัส

ผลการตรวจสอบความชอบทางประสาทสัมผัสขนมจินแป้งหมักปกติ และขนมจินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อ ด้านความชอบรวมของขนมจินแ่งเยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1 และ 5 ใช้ผู้ทดสอบผ่านการฝึกฝน 8 คน (ตารางที่ 22)

ตารางที่ 22 เปรียบเทียบจำนวนผู้ทดสอบที่ให้คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสขนมจีนลักษณะต่างกัน 6 สูตรแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด รอบการ
คืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1 และ 5

136

รอบที่	ขนมจีน สูตรที่ ^{1/}	จำนวนผู้ทดสอบที่ให้คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัส											
		ขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค ^{2/}						ขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ^{2/}					
		3	4	5	6	7	8	3	4	5	6	7	8
1	1	-	-	-	2	6	-	-	-	-	3	5	-
	2	-	-	-	5	3	-	-	-	-	5	3	-
	3	-	-	1	4	3	-	-	-	1	4	3	-
	4	-	-	-	2	6	-	-	-	-	3	5	-
	5	-	-	-	-	6	2	-	-	-	-	7	1
	6	-	-	-	3	5	-	-	-	-	4	4	-
5	1	1	7	-	-	-	-	2	6	-	-	-	-
	2	1	7	-	-	-	-	2	6	-	-	-	-
	3	1	3	4	-	-	-	1	3	4	-	-	-
	4	-	-	6	2	-	-	-	1	4	2	-	-
	5	-	-	-	2	6	-	-	-	-	3	5	-
	6	-	-	-	3	5	-	-	-	-	6	2	-

หมายเหตุ ^{1/} ความหมายของสูตรขนมจีนเหมือนกับตารางที่ 17

^{2/} คะแนน 3=ไม่ชอบปานกลาง, คะแนน 4=ไม่ชอบเล็กน้อย, คะแนน 5= เฉยๆ, คะแนน 6=ชอบเล็กน้อย, คะแนน 7= ชอบปานกลาง, คะแนน 8=ชอบมาก

รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1

การแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค ขนมจิ้นเป้งหมักปกติได้รับคะแนนชอบเล็กน้อย 2 คน ชอบปานกลาง 6 คน เมื่อปริมาณเป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้นเป็น ร้อยละ 10 ผู้ทดสอบให้คะแนนชอบเล็กน้อย 5 คน ชอบปานกลางลดลงเป็น 3 คน แต่ขนมจิ้นทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 มีผู้ทดสอบให้คะแนนชอบปานกลางเพิ่มขึ้นเป็น 6 คน และมีผู้ให้คะแนนชอบมาก 2 คน แตกต่างกับขนมจิ้นตัวอย่างอื่น เมื่อปริมาณเป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 50 ผู้ทดสอบให้คะแนนชอบเล็กน้อยเป็น 3 คน ชอบปานกลางลดลงเป็น 5 คน

การแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ขนมจิ้นเป้งหมักปกติได้รับคะแนนชอบเล็กน้อย 3 คน ชอบปานกลาง 5 คน เมื่อปริมาณเป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้นเป็น ร้อยละ 10 ผู้ทดสอบให้คะแนนเล็กน้อย 5 คน ชอบปานกลางลดลงเป็น 3 คน แต่ขนมจิ้นทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 มีผู้ทดสอบให้คะแนนชอบปานกลางเพิ่มขึ้นเป็น 7 คน และคะแนนชอบมาก 1 คน แตกต่างกับขนมจิ้นตัวอย่างอื่น เมื่อปริมาณเป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 50 ผู้ทดสอบให้คะแนนชอบเล็กน้อยเพิ่มขึ้นเป็น 4 คน ชอบปานกลางลดลงเป็น 4 คน

รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5

การแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค ขนมจิ้นเป้งหมักปกติได้รับคะแนนไม่ชอบปานกลาง 1 คน ไม่ชอบเล็กน้อย 7 คน เช่นเดียวกับการทดแทนด้วยเป้งหมักอบผสานเนื้อ ร้อยละ 10 เมื่อปริมาณเป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 20 ผู้ทดสอบให้คะแนนไม่ชอบปานกลาง 1 คน ไม่ชอบเล็กน้อย 3 คน เฉยๆ 4 คน เมื่อปริมาณเป้งหมักอบผสานเนื้อเพิ่มขึ้นเป็น ร้อยละ 40 ผู้ทดสอบให้คะแนนชอบเล็กน้อย 2 คน ชอบปานกลาง 6 คน แตกต่างกับขนมจิ้นตัวอย่างอื่น แต่ขนมจิ้นทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 50 มีผู้ทดสอบให้คะแนนชอบเล็กน้อย 3 คน ชอบปานกลางเพียง 5 คน

การแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ขนมน้ำแข็งแข็งหักปกติได้รับคะแนนไม่ชอบปานกลาง 2 คน ไม่ชอบเล็กน้อย 6 คน เช่นเดียวกับการทดแทนด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อร้อยละ 10 เมื่อปริมาณแป้งหมักอบผสมเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 20 ผู้ทดสอบให้คะแนนไม่ชอบปานกลาง 1 คน ไม่ชอบเล็กน้อย 3 คน เฉยๆ 4 คน เมื่อปริมาณแป้งหมักอบผสมเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 40 ผู้ทดสอบให้คะแนนชอบเล็กน้อย 3 คน ชอบปานกลาง 5 คน แตกต่างกับขนมน้ำแข็งตัวอย่างอื่น แต่ขนมน้ำแข็งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อร้อยละ 50 มีผู้ทดสอบให้คะแนนชอบเล็กน้อย 6 คน ชอบปานกลางเพียง 2 คน

จากการตรวจสอบความชอบทางประสาทสัมผัส ขนมน้ำแข็งแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ปรากฏว่า รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1 ขนมน้ำแข็งหักปกติมีผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบน้อยกว่าขนมน้ำแข็งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อร้อยละ 40 เกิดจากขนมน้ำแข็งไทรเกอร์เดชั่น ทำให้ขนมน้ำแข็งหักปกติมีเนื้อสัมผัสเปลี่ยนแปลง ความเรียบ และความยืดหยุ่นลดลง ความแน่นเนื้อ และความชุ่มชื้นเพิ่มขึ้น ขณะที่ขนมน้ำแข็งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อร้อยละ 40 มีความคงทนต่อการเกิดไทรเกอร์เดชั่น มีความเรียบ และความยืดหยุ่นมาก ความแน่นเนื้อ และความชุ่มชื้นน้อยกว่าขนมน้ำแข็งหักปกติ ผู้ทดสอบจึงให้คะแนนความชอบมากกว่าขนมน้ำแข็งหักปกติ รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5 ขนมน้ำแข็งหักปกติเกิดไทรเกอร์เดชั่นมากขึ้น ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างขนมน้ำแข็งหักปกติ และขนมน้ำแข็งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อร้อยละ 40 ซึ่งเกิดไทรเกอร์เดชั่นน้อยกว่า ผู้ทดสอบจึงให้คะแนนความชอบขนมน้ำแข็งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อร้อยละ 40 มากกว่าขนมน้ำแข็งหักปกติ และขนมน้ำแข็งตัวอย่างอื่น

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1 และ 5 ขนมน้ำแข็งหักปกติ และขนมน้ำแข็งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิคได้รับคะแนนความชอบมากกว่าขนมน้ำแข็งแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด อาจเกิดจากการแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิคสามารถแช่เยือกแข็งขนมน้ำแข็งถึงจุดเยือกแข็งเร็วกว่าแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ทำให้ขนมน้ำแข็งแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิคเกิดไทรเกอร์เดชั่นน้อย มีเนื้อสัมผัสดีกว่าแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ผู้ทดสอบจึงให้คะแนนความชอบขนมน้ำแข็งแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค มากกว่าแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด

2.3.3 ผลการตรวจสอบโครงสร้างขนมจีน

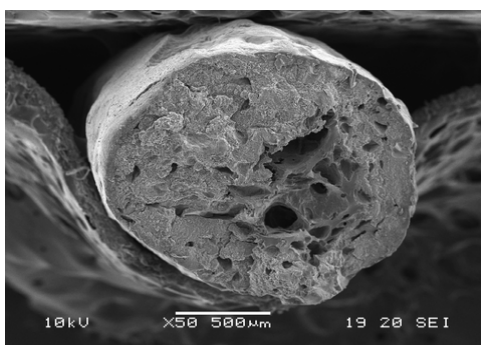
จากการตรวจสอบโครงสร้างของขนมจีนแป้งหมักปกติ และขนมจีนทดแทนแป้งหมักปกติด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 20 และ 40 ก่อนการแช่เยือกแข็ง ขนมจีนแป้งหมักปกติมีโครงสร้างขนมจีนค่อนข้างแน่น มีรูพรุนเล็กน้อย ขณะที่ขนมจีนทดแทนแป้งหมักปกติด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 20 และ 40 มีโครงสร้างขนมจีนแน่นมีรูพรุนน้อยกว่าขนมจีนแป้งหมักปกติ ทั้งนี้อาจเกิดจากสสารของแป้งหมักอบผสานเนื้อสามารถพองตัว และละลายได้น้อย และทนต่อการเกิดเจลได้มากกว่าแป้งหมักปกติ ทำให้โครงสร้างขนมจีนทดแทนแป้งหมักปกติด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อแน่นกว่าขนมจีนแป้งหมักปกติ เมื่อผ่านการคั้นรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 5 ขนมจีนแป้งหมักปกติมีรูพรุนเกิดขึ้นจำนวนมาก อาจเป็นสาเหตุให้ความยืดหยุ่นของขนมจีนลดลง ขณะที่ขนมจีนทดแทนแป้งหมักปกติด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อมีรูพรุนเกิดขึ้น แต่น้อยกว่าขนมจีนแป้งหมักปกติ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อ การทดแทนที่ร้อยละ 20 มีเนื้อแน่นน้อย มีรูพรุนมากกว่าการทดแทนด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 แสดงดังภาพที่ 27 สอดคล้องกับผลการตรวจสอบโครงสร้างของเจลแป้งหมักปกติ และเจลแป้งหมักอบผสานเนื้อ รอบการคั้นรูปจากเยือกแข็งที่ 5 เจลแป้งหมักอบผสานเนื้อมีความแน่นเนื้อมาก มีรูพรุนขนาดเล็กกว่าเจลแป้งหมักปกติ

สูตรที่

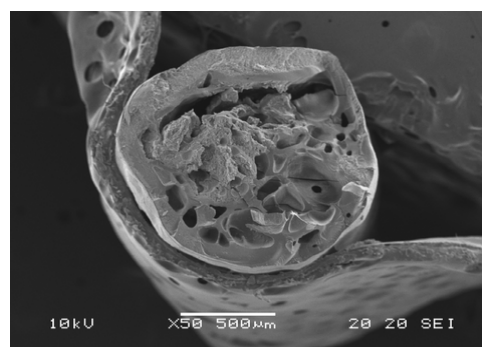
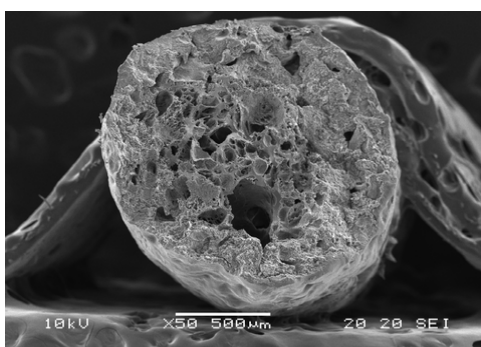
ก่อนแช่เยือกแข็ง

รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5

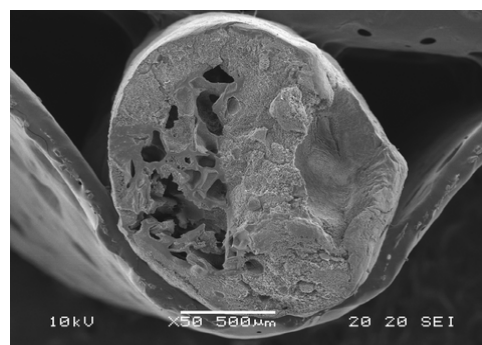
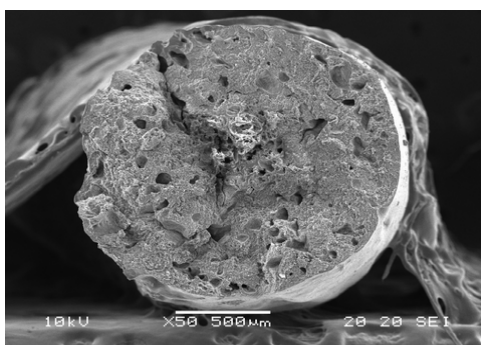
1



3



5



ภาพที่ 27 โครงสร้างขมจีนแป้งหมักปกติ (สูตรที่ 1) และขมจีนทดแทนแป้งหมักปกติด้วยแป้งหมักอบสาคูเนื้อร้อยละ 20 (สูตรที่ 3) และ 40 (สูตรที่ 5) กำลังขยาย 50 เท่า ก่อนการแช่เยือกแข็ง และรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5

เมื่อพิจารณาผลของการทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อ ร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 ในการผลิตขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบโครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัดให้ผลคล้ายคลึงกัน จึงพิจารณาเพื่อคัดเลือกเลือกขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 ร่วมกันได้ดังนี้

จากผลการวัดค่าเนื้อสัมผัสขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 และ 50 มีความแน่นเนื้อก่อนการแช่เยือกแข็งมากกว่าการทดแทนด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อที่ระดับอื่นๆ และขนมจีนแป้งหมักปกติ เมื่อผ่านการคั้นรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 3 และ 5 ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 และ 50 มีความแน่นเนื้อน้อยกว่าการทดแทนด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อระดับอื่นๆ และขนมจีนแป้งหมักปกติ ด้านความยืดหยุ่น ก่อนการแช่เยือกแข็ง ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 มีความยืดหยุ่นมากกว่าการทดแทนด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 50 แต่ไม่แตกต่างกับขนมจีนแป้งหมักปกติ เมื่อผ่านการคั้นรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 5 ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 มีความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกับการทดแทนด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 50 แต่ทั้งสองมีความยืดหยุ่นมากกว่าการทดแทนด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อระดับอื่นๆ และขนมจีนแป้งหมักปกติ เมื่อตรวจสอบความเข้มทางประสาทสัมผัส ก่อนการแช่เยือกแข็ง ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 มีความเรียบ และความแน่นเนื้อมาก แต่มีความยืดหยุ่นน้อยกว่าขนมจีนแป้งหมักปกติ รอบการคั้นรูปจากเยือกแข็งที่ 1, 3 และ 5 ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 มีคะแนนความเรียบ และความยืดหยุ่นมากกว่าขนมจีนแป้งหมักปกติ และมีความแน่นเนื้อ และความขุ่นน้อยกว่าขนมจีนแป้งหมักปกติ เมื่อทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัส รอบการคั้นรูปจากเยือกแข็งที่ 1 และ 5 ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 มีผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบมากกว่าการทดแทนด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อที่ระดับอื่นๆ และขนมจีนแป้งหมักปกติ และเมื่อพิจารณาผลของการแช่เยือกแข็ง ขนมจีนแป้งหมักแช่เยือกแข็งแบบโครโอเจนิค รอบการคั้นรูปจากเยือกแข็งที่ 1, 3 และ 5 ให้ค่าความแน่นเนื้อน้อย และความยืดหยุ่นมากกว่าขนมจีนแป้งหมักแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ซึ่งจากผลการทดลอง แสดงให้เห็นว่าขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 มีความเหมาะสมต่อการผลิตขนมจีนแช่เยือกแข็งมากกว่าการทดแทนด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อระดับอื่น และขนมจีนแป้งหมักปกติ จึงเลือกขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 แช่เยือกแข็งแบบโครโอเจนิคเพื่อผลิตขนมจีนพร้อมบริโภคแช่เยือกแข็ง

3. ตรวจสอบผลของการผสมกัมต่อสมบัติด้านความหนืด การเกิดเจลลาทีไนซ์ การเกิดรีโทรเกรด และความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งของแป้งหมักปกติ และแป้งหมักผสมกัม

ผลการตรวจสอบสมบัติด้านความหนืดของแป้งหมักผสมกัม 7 ชนิด และค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักหลังคืนรูปจากเยือกแข็ง คัดเลือกกัม 3 ชนิดเพื่อตรวจสอบสมบัติการเกิดเจลลาทีไนซ์ และการเกิดรีโทรเกรด ตรวจสอบค่าเนื้อสัมผัสของเจลหลังคืนรูปจากเยือกแข็ง

3.1 สมบัติด้านความหนืดของแป้งหมักผสมกัม

ผลการตรวจสอบสมบัติด้านความหนืดของแป้งหมักผสมกัม 7 ชนิด คือ กัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี กัมกัวร์ กัมโลกัสปีน กัมคาร์ราจีแนน กัมอารบิก และกัมแอลจินตร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 ด้วยเครื่องอาร์วีเอ แสดงดังตารางที่ 23

ตารางที่ 23 เปรียบเทียบสมบัติด้านความหนืดของแป้งหมักปกติ และแป้งหมักผสมกัมร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5^{1/}

ตัวอย่าง ^{2/}	สมบัติด้านความหนืด (เซนติปัวส์)				
	ความหนืดสูงสุด	ความหนืดต่ำสุด	ความหนืดลดลง	ความหนืดสุดท้าย	เซตแบบ
FRF	2,219±30.12d	1,602±52.69c	616±58.54c	2,265±58.82c	662±34.27b
XANF0.1	2,861±12.58c	1,922±2.65b	939±12.66b	2,709±51.29b	787±52.00b
XANF0.3	3,006±9.07b	2,241±3.79a	764±7.77bc	2,925±27.84a	683±28.01b
XANF0.5	3,109±8.62a	1,265±51.15d	1,844±43.10a	3,001±11.53a	1,736±62.43a
FRF	2,219±30.12c	1,602±52.69c	616±58.54d	2,265±58.82c	662±34.27c
CMCF0.1	2,546±6.24d	1,389±5.51d	1,156±7.51c	2,558±3.51c	1,169±33.46b
CMCF0.3	3,608±12.66b	1,546±5.56b	2,062±15.01b	3,416±5.13b	1,870±7.00a
CMCF0.5	3,778±17.04a	2,009±6.24a	1,769±16.26a	3,863±9.29a	1,854±6.03a
FRF	2,219±30.12d	1,602±52.69c	616±58.54d	2,265±58.82b	6,62±34.27b
GUAF0.1	2,578±10.82c	1,382±6.43c	1,195±5.69c	2,515±6.66b	1,133±7.02a
GUAF0.3	3,822±11.59b	2,294±8.62b	1,528±10.07b	3,322±13.58a	1,028±5.06a
GUAF0.5	4,187±6.11a	2,618±4.04a	1,568±10.02a	3,725±1.54a	1,107±4.58a
FRF	2,219±30.12d	1,602±52.69c	616±58.54d	2,265±58.82d	662±34.27d
LBGF0.1	2,404±9.64c	1,168±7.09d	935±5.30c	2,311±5.03c	1,142±2.08c
LBGF0.3	3,072±3.06b	1,941±3.21b	1,131±6.08b	3,320±4.51b	1,379±1.73b
LBGF0.5	3,947±3.21a	2,589±4.58a	1,358±2.31a	4,103±12.68a	1,514±14.42a
FRF	2,219±30.12d	1,602±52.69a	616±58.54d	2,265±58.82c	662±34.27c
CRGF0.1	2,615±3.51c	830±4.04d	784±2.58c	1,720±4.51d	890±1.59b
CRGF0.3	2,717±9.71b	1,438±8.19c	1,179±1.04b	3,411±78.53b	1,973±70.72a
CRGF0.5	2,880±15.10a	1,562±6.08b	1,318±9.54a	3,619±84.29a	2,057±80.87a
FRF	2,219±30.12a	1,602±52.69a	616±58.54b	2,265±58.82a	662±34.27b
ARBF0.1	1,695±6.34c	927±5.13d	767±8.50a	1,818±7.64c	890±2.52a
ARBF0.3	1,868±5.13b	1,149±7.51c	719±5.69a	2,023±5.69b	874±5.13a
ARBF0.5	1,912±9.85b	1,275±5.03b	716±12.58a	2,008±8.19b	832±8.74a
FRF	2,219±30.12b	1,602±52.69a	616±58.54d	2,265±58.82a	662±34.27d
ALGF0.1	1,736±12.58d	768±16.07b	968±11.55c	1,605±5.03c	837±16.64c
ALGF0.3	1,951±6.66c	627±4.36c	1,391±4.36b	1,591±5.57d	1,030±9.81b
ALGF0.5	2,374±3.61a	560±5.03d	1,747±5.29a	2,132±2.65b	1,505±2.09a

หมายเหตุ

^{1/} ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{2/} ขนหมักแป้งหมักปกติ (FRF), แป้งหมักผสมกัมแซนแทน (XANF), กัมซีเอ็มซี (CMCF), กัมการ์ (GUAF), กัมโลกส์ป็น (LBGF), กัมคาร์ราจีแนน (CRGF), กัมอาร์บิก (ARBF), กัมแอลจินต (ALGF)

3.1.1 กัมแซนแทน

ความหนืดสูงสุด แป้งหมักปกติมีความหนืดสูงสุดเป็น 2,219 เซนติปัวส์ เมื่อความเข้มข้นของกัมเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 ความหนืดสูงสุดเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักปกติเป็น 2,861, 3,006 และ 3,109 เซนติปัวส์

ความหนืดต่ำสุด แป้งหมักปกติมีความหนืดต่ำสุดเป็น 1,602 เซนติปัวส์ เมื่อผสมกัมร้อยละ 0.1 และ 0.3 ความหนืดต่ำสุดเพิ่มสูงขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักปกติเป็น 1,922 และ 2,241 เซนติปัวส์ ตามลำดับ เมื่อผสมกัมเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 0.5 ความหนืดต่ำสุดลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักปกติเป็น 1,265 เซนติปัวส์

ความหนืดลดลง แป้งหมักปกติมีความหนืดลดลงเป็น 616 เซนติปัวส์ เมื่อผสมกัมร้อยละ 0.1 และ 0.3 ความหนืดลดลงไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) เป็น 939 และ 764 เซนติปัวส์ ตามลำดับ เมื่อผสมกัมเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 0.5 ความหนืดลดลงเพิ่มขึ้นเป็น 1,844 เซนติปัวส์

ความหนืดสุดท้าย แป้งหมักปกติมีความหนืดสุดท้ายเป็น 2,265 เซนติปัวส์ เมื่อผสมกัมร้อยละ 0.1 และ 0.3 ความหนืดสุดท้ายเพิ่มสูงขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักปกติเป็น 2,265 และ 2,925 เซนติปัวส์ ตามลำดับ เมื่อผสมกัมเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 0.5 ความหนืดสุดท้ายเพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับการผสมกัมร้อยละ 0.3 เป็น 3,001 เซนติปัวส์

เซตแบค แป้งหมักปกติมีเซตแบคเป็น 662 เซนติปัวส์ เมื่อผสมกัมร้อยละ 0.1 และ 0.3 เซตแบคไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กันกับแป้งหมักปกติเป็น 787 และ 683 เซนติปัวส์ ตามลำดับ เมื่อผสมกัมเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 0.5 เซตแบคเพิ่มสูงขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักปกติเป็น 1,736 เซนติปัวส์

จากการตรวจสอบสมบัติด้านความหนืดแป้งหมักผสมกัมแซนแทนมีค่าความหนืดสูงสุด และเซตแบคเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณกัมเพิ่มขึ้น แอมิโลสที่ซึมออกมาจากสตาร์ชสามารถเกิดปฏิสัมพันธ์กับกัมแซนแทน ความหนืดสูงสุด และเซตแบคของแป้งหมักผสมกัมแซนแทนร้อยละ 0.5 จึงเพิ่มขึ้นจากแป้งหมักปกติ และแป้งหมักปกติผสมกัม ร้อยละ 0.1 และ 0.3

3.1.2 กัมซีเอ็มซี

ความหนืดสูงสุด แป้งหมักปกติมีความหนืดสูงสุดเป็น 2,219 เซนติปัวส์ เมื่อผสมกัมเป็นร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 ความหนืดสูงสุดเพิ่มสูงขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักปกติเป็น 2,546, 3,608 และ 3,778 เซนติปัวส์ ตามลำดับ

ความหนืดต่ำสุด แป้งหมักปกติมีความหนืดต่ำสุดเป็น 1,602 เซนติปัวส์ เมื่อผสมกัมร้อยละ 0.3 และ 0.5 ความหนืดต่ำสุดเพิ่มสูงขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักปกติเป็น 1,546 และ 2,009 เซนติปัวส์ ตามลำดับ

ความหนืดลดลง แป้งหมักปกติมีความหนืดลดลงเป็น 616 เซนติปัวส์ เมื่อผสมกัมร้อยละ 0.1 และ 0.3 ความหนืดลดลงเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักปกติเป็น 1,156 และ 2,062 เซนติปัวส์ ตามลำดับ เมื่อผสมกัมเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 0.5 ความหนืดลดลงเป็น 1,769 เซนติปัวส์

ความหนืดสุดท้าย แป้งหมักปกติมีความหนืดสุดท้ายเป็น 2,265 เซนติปัวส์ เมื่อผสมกัมร้อยละ 0.3 และ 0.5 ความหนืดสุดท้ายเพิ่มสูงขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักปกติเป็น 3,416 และ 3,863 เซนติปัวส์ ตามลำดับ

เซตแบค แป้งหมักปกติมีเซตแบคเป็น 662 เซนติปัวส์ เมื่อผสมกัมร้อยละ 0.1 0.3 และ 0.5 เซตแบคเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักปกติเป็น 1,169, 1,870 และ 1,854 เซนติปัวส์ ตามลำดับ

จากการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งหมักผสมกับซีเอ็มซี เมื่อปริมาณกัมเพิ่มขึ้นความหนืดสูงสุด ความหนืดต่ำสุด ความหนืดลดลง ความหนืดสุดท้าย และเซตแบคเพิ่มขึ้นจากแป้งหมักปกติ อาจเกิดจากกัม และเอมิโลสที่ซึมออกมาจากเมล็ดสาร์ซเกิดปฏิสัมพันธ์กัน ทำให้มีค่าสมบัติด้านความหนืดเพิ่มขึ้น

3.1.3 กัมกัวร์

ความหนืดสูงสุด แป้งหมักปกติมีความหนืดสูงสุดเป็น 2,219 เซนติปัวส์ เมื่อผสมกับร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 ความหนืดสูงสุดเพิ่มสูงขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักปกติเป็น 2,578, 3,822 และ 4,187 เซนติปัวส์ ตามลำดับ

ความหนืดต่ำสุด แป้งหมักปกติมีความหนืดต่ำสุดเป็น 1,602 เซนติปัวส์ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับการผสมกับร้อยละ 0.1 (1,382 เซนติปัวส์) เมื่อผสมกับเป็นร้อยละ 0.3 และ 0.5 ความหนืดต่ำสุดเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักปกติเป็น 2,294 และ 2,618 เซนติปัวส์ ตามลำดับ

ความหนืดลดลง แป้งหมักปกติมีความหนืดลดลงเป็น 616 เซนติปัวส์ เมื่อผสมกับร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 ความหนืดลดลงเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักปกติเป็น 1,195, 1,528 และ 1,568 เซนติปัวส์ ตามลำดับ

ความหนืดสุดท้าย แป้งหมักปกติมีความหนืดสุดท้ายเป็น 2,265 เซนติปัวส์ ไม่แตกต่างกับการผสมกับร้อยละ 0.1 (2,515 เซนติปัวส์) เมื่อผสมกับร้อยละ 0.3 และ 0.5 ความหนืดสุดท้ายเพิ่มสูงขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักปกติเป็น 3,322 และ 3,725 เซนติปัวส์ ตามลำดับ

เซตแบค แป้งหมักปกติมีเซตแบคเป็น 662 เซนติปัวส์ เมื่อผสมกับร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 เซตแบคเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักปกติเป็น 1,133, 1,028 และ 1,107 เซนติปัวส์ ตามลำดับ แต่การผสมกัมที่ความเข้มข้นทั้งสามให้ค่าเซตแบคไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงความหนืดแป้งหมักผสมกัมกัวร์ ค่าความหนืดสูงสุด ความหนืดต่ำสุด และ ความหนืดลดลงมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณกัมเพิ่มขึ้น อาจเกิดจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างกัม และเอมิโลส และเอมิโลเพกทิน ค่าความหนืดสุดท้าย และค่าเซตแบค แป้งหมักผสมกัมร้อยละ 0.3 และ 0.5 ไม่แตกต่างกัน การเพิ่มปริมาณกัมเป็นร้อยละ 0.3 และ 0.5 ไม่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลง

3.1.4 กัมโลกส์ปิน

ความหนืดสูงสุด แป้งหมักปกติมีความหนืดสูงสุดเป็น 2,219 เซนติปัวส์ เมื่อผสมกัมร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 ความหนืดสูงสุดเพิ่มสูงขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักปกติเป็น 2,404, 3,072 และ 3,947 เซนติปัวส์ ตามลำดับ

ความหนืดต่ำสุด แป้งหมักปกติมีความหนืดต่ำสุดเป็น 1,602 เซนติปัวส์ มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติกับการผสมกัมร้อยละ 0.1 เมื่อปริมาณกัมเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 0.3 และ 0.5 ความหนืดต่ำสุดเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักปกติเป็น 1,941 และ 2,589 เซนติปัวส์ ตามลำดับ

ความหนืดลดลง แป้งหมักปกติมีความหนืดลดลงเป็น 616 เซนติปัวส์ เมื่อผสมกัมร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 ความหนืดลดลงเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักปกติเป็น 935, 1,131 และ 1,318 เซนติปัวส์ ตามลำดับ

ความหนืดสุดท้าย แป้งหมักปกติมีความหนืดสุดท้ายเป็น 2,265 เซนติปัวส์ เมื่อผสมกัมร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 ความหนืดสุดท้ายเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักปกติเป็น 2,311, 3,320 และ 4,103 เซนติปัวส์ ตามลำดับ

เซตแบค แป้งหมักปกติมีเซตแบคเป็น 662 เซนติปัวส์ เมื่อผสมกัมร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 เซตแบคเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักปกติ เป็น 1,142, 1,379 และ 1,514 เซนติปัวส์ ตามลำดับ

จากการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงความหนืดแป้งหมักผสมกัมโลกส์บีน ค่าความหนืดสูงสุด ความหนืดลดลง ความหนืดสุดท้าย และเซตแบคสูงขึ้นเมื่อปริมาณกัมโลกส์บีนมากขึ้น เกิดจากการเกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างโมเลกุลสตาร์ช และกัมทำให้สมบัติด้านความหนืดของแป้งผสมกัมมีมากขึ้น

3.1.5 กัมคาร์ราจีแนน

ความหนืดสูงสุด แป้งหมักปกติมีความหนืดสูงสุดเป็น 2,219 เซนติปัวส์ เมื่อผสมกัมร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 ความหนืดสูงสุดเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักปกติเป็น 2,615, 2,717 และ 2,880 เซนติปัวส์ ตามลำดับ

ความหนืดต่ำสุด แป้งหมักปกติมีความหนืดต่ำสุดเป็น 1,602 เซนติปัวส์ เมื่อผสมกัมร้อยละ 0.1 ความหนืดต่ำสุดลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักปกติเป็น 830 เซนติปัวส์ ปริมาณกัมเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 0.3 และ 0.5 ความหนืดต่ำสุดเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักปกติเป็น 1,438 และ 1,562 เซนติปัวส์ ตามลำดับ

ความหนืดลดลง แป้งหมักปกติมีความหนืดลดลงเป็น 616 เซนติปัวส์ เมื่อผสมกัมร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 ความหนืดลดลงเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักปกติเป็น 784, 1,179 และ 1,318 เซนติปัวส์ ตามลำดับ

ความหนืดสุดท้าย แป้งหมักปกติมีความหนืดสุดท้ายเป็น 2,265 เซนติปัวส์ เมื่อผสมกัมร้อยละ 0.1 ความหนืดสุดท้ายลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักปกติเป็น 1,720 เซนติปัวส์ ปริมาณกัมเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 0.3 และ 0.5 ความหนืดสุดท้ายเพิ่มสูงแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักปกติเป็น 3,411 และ 3,619 เซนติปัวส์ ตามลำดับ

เซตแบค แป้งหมักปกติมีเซตแบคเป็น 662 เซนติปัวส์ เมื่อผสมกัมร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 เซตแบคเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักปกติเป็น 890, 1,973 และ 2,057 เซนติปัวส์ ตามลำดับ

จากการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงความหนืดแป้งหมักผสมกับคาร์ราจีแนน ค่าความหนืดสูงสุดเพิ่มขึ้นตามปริมาณกัมที่เพิ่มขึ้น ความหนืดต่ำสุด และความหนืดสุดท้ายของแป้งหมักผสมกับร้อยละ 0.1 มีค่าลดลงจากแป้งหมักปกติ และเมื่อปริมาณกัมเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 0.3 และ 0.5 ค่าความหนืดต่ำสุด และความหนืดสุดท้ายเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0.1 ค่าเซตแบคของแป้งหมักผสมกัมมีค่าเพิ่มขึ้นจากแป้งหมักปกติ

3.1.6 กัมอารบิก

ความหนืดสูงสุด แป้งหมักปกติมีความหนืดสูงสุดเป็น 2,219 เซนติปัวส์ เมื่อผสมกับร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 ความหนืดสูงสุดลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักปกติเป็น 1,695, 1,868 และ 1,912 เซนติปัวส์ ตามลำดับ การผสมกับร้อยละ 0.3 และ 0.5 ทำให้ความหนืดสูงสุดมากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับการผสมกับร้อยละ 0.1

ความหนืดต่ำสุด แป้งหมักปกติมีความหนืดต่ำสุดเป็น 1,602 เซนติปัวส์ เมื่อผสมกับร้อยละ 0.1 ความหนืดต่ำสุดลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักปกติเป็น 927 เซนติปัวส์ เมื่อปริมาณกัมเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 0.3 และ 0.5 ความหนืดต่ำสุดเพิ่มสูงขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับที่ระดับร้อยละ 0.1 เป็น 1,149 และ 1,275 เซนติปัวส์ ตามลำดับ แต่ทั้งสองยังคงมีค่าความหนืดต่ำสุดน้อยกว่าแป้งหมักปกติ

ความหนืดลดลง แป้งหมักปกติมีความหนืดลดลงเป็น 616 เซนติปัวส์ เมื่อผสมกับร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 ความหนืดลดลงเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักปกติเป็น 767, 719 และ 716 เซนติปัวส์ ตามลำดับ โดยทั้งสามไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

ความหนืดสุดท้าย แป้งหมักปกติมีความหนืดสุดท้ายเป็น 2,265 เซนติปัวส์ เมื่อผสมกับร้อยละ 0.1 ความหนืดสุดท้ายลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักปกติเป็น 1,605 เซนติปัวส์ และการผสมกับร้อยละ 0.3 และ 0.5 ความหนืดสุดท้ายเพิ่มสูงขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับการผสมกับร้อยละ 0.1 เป็น 2,023 และ 2,008 เซนติปัวส์ ตามลำดับ แต่ทั้งสองยังคงมีความหนืดสุดท้ายน้อยกว่าแป้งหมักปกติ

เซตเบค แป้งหมักปกติมีเซตเบคเป็น 662 เซนติปัวส์ เมื่อผสมกับร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 เซตเบคเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติเป็น 890, 874 และ 832 เซนติปัวส์ ตามลำดับ โดยทั้งสามไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

จากการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงความหนืดแป้งหมักผสมกับอารบิกมีค่าความหนืดสูงสุด ความหนืดต่ำสุด ความหนืดสุดท้ายลดลงน้อยกว่าแป้งหมักปกติ อาจเกิดจากการผสมกับอารบิกลดการพองตัวของสตาร์ชในแป้งหมัก และเมื่ออุณหภูมิของระบบลดลง ค่าเซตเบคของแป้งหมักผสมกับเพิ่มขึ้น

3.1.7 กัมแอลจินต

ความหนืดสูงสุด แป้งหมักปกติมีความหนืดสูงสุดเป็น 2,219 เซนติปัวส์ เมื่อผสมกับร้อยละ 0.1 และ 0.3 ความหนืดสูงสุดลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับแป้งหมักปกติเป็น 1,739 และ 1,951 เซนติปัวส์ ตามลำดับ เมื่อผสมกับเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 0.5 ความหนืดสูงสุดเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับแป้งหมักปกติเป็น 2,374 เซนติปัวส์

ความหนืดต่ำสุด แป้งหมักปกติมีความหนืดต่ำสุดเป็น 1,602 เซนติปัวส์ เมื่อผสมกับร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 ความหนืดต่ำสุดลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับแป้งหมักปกติเป็น 768, 627 และ 560 เซนติปัวส์ ตามลำดับ เมื่อปริมาณกัมเพิ่มขึ้น ค่าความหนืดต่ำสุดลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

ความหนืดลดลง แป้งหมักปกติมีความหนืดลดลงเป็น 616 เซนติปัวส์ เมื่อผสมกับร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 ความหนืดลดลงเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับแป้งหมักปกติเป็น 968, 1,391 และ 1,747 เซนติปัวส์ ตามลำดับ

ความหนืดสุดท้าย แป้งหมักปกติมีความหนืดสุดท้ายเป็น 2,265 เซนติปัวส์ เมื่อผสมกับร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 ความหนืดสุดท้ายลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับแป้งหมักปกติเป็น 1,605, 1,591 และ 2,132 เซนติปัวส์ ตามลำดับ เมื่อผสมกับเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 0.5 ความหนืดสุดท้ายเพิ่มขึ้นมากกว่าการผสมกับระดับความเข้มข้นอื่น

เซตเบค แป้งหมักปกติมีเซตเบคเป็น 662 เซนติปวส์ เมื่อผสมกับร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 เซตเบคเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งหมักปกติเป็น 837, 1,030 และ 1,505 เซนติปวส์ ตามลำดับ

จากการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงความหนืดแป้งหมักผสมกับแอลจินต การผสมกับร้อยละ 0.1 และ 0.3 ทำให้ค่าความหนืดสูงสุดลดลงจากแป้งหมักปกติ เมื่อปริมาณกัมเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 0.5 ค่าความหนืดสูงสุดเพิ่มขึ้นมากกว่าแป้งหมักปกติ การผสมกัมอาจลดการพองตัวของสตาร์ช เป็นผลให้ค่าความหนืดต่ำสุดลดลง

เมื่อเปรียบเทียบกับแต่ละชนิด ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 แป้งหมักปกติผสมกัมกั้วร์ให้ความหนืดสูงสุดมากที่สุด รองลงมาเป็นกัมโลกส์บีน กัมซีเอ็มซี กัมแซนแทน กัมคาร์ราจีแนน กัมแอลจินต และกัมอารบิกตามลำดับ แสดงให้เห็นว่ากัมกั้วร์สามารถเกิดปฏิสัมพันธ์กับสตาร์ชในแป้งได้มากที่สุด

3.2 สมบัติความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็ง

ผลการเตรียมเจลแป้งหมักร้อยละ 8 และเจลแป้งหมักร้อยละ 8 ผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี กัมกั้วร์ กัมโลกส์บีน กัมคาร์ราจีแนน กัมอารบิก และกัมแอลจินตร้อยละ 0.5 แช่เยือกแข็งแบบอากาศเย็นจัด -18 องศาเซลเซียส และตรวจสอบร้อยละการสูญเสีย น้ำก่อนการแช่เยือกแข็งและรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1, 3 และ 5 (ตารางที่ 24)

ตารางที่ 24 เปรียบเทียบการสูญเสียน้ำก่อน และหลังจากคืนรูปจากเยือกแข็งของเจลแป้งหมักปกติ และแป้งหมักปกติผสมกับร้อยละ 0.5^{1/}

ตัวอย่าง ^{2/}	จำนวนรอบการคืนรูปจากเยือกแข็ง (ครั้ง)			
	ปกติ	1	3	5
FRF	0.36±0.04a	15.54±1.30a	48.27±0.68a	56.76±1.00a
XANF	0.16±0.03bc	5.65±1.60d	28.58±0.67e	32.89±1.13e
CMCF	0.17±0.07bc	4.73±1.03d	25.15±1.25f	29.02±0.80f
GUAF	0.15±0.02bc	12.91±0.74b	27.90±1.59e	36.62±1.29d
LBGF	0.16±0.01bc	16.52±0.10a	36.87±0.49d	41.95±0.96c
CRGF	0.17±0.02b	15.67±1.31a	42.58±0.85b	42.63±1.32c
ARBF	0.16±0.02bc	16.31±1.37a	43.44±1.56b	45.70±1.49b
ALGF	0.14±0.03c	10.13±2.22c	39.49±1.56c	42.48±1.33c

หมายเหตุ ^{1/} ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ
 ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
^{2/} ความหมายของอักษรย่อเหมือนกับตารางที่ 23

3.2.1 ร้อยละการสูญเสียน้ำหลังคืนรูปจากเยือกแข็ง

ก่อนการแช่เยือกแข็ง เจลแป้งหมักปกติมีค่าร้อยละการสูญเสียน้ำมากที่สุดร้อยละ 0.36 รองลงมาเป็นเจลแป้งผสมกับการาจีแนน (ร้อยละ 0.17) ซึ่งมีร้อยละการสูญเสียน้ำของเจลไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับเจลแป้งหมักผสมกับแซนแทน กัมซีเอ็มซี กัมกัวร์ กัมโลกส์ป็น และกัมอารบิก เป็นร้อยละ 0.16, 0.17, 0.15, 0.16 และ 0.16 ส่วนแอลจินตมีค่าเป็นร้อยละ 0.14

รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1 เจลแป้งหมักปกติมีร้อยละการสูญเสียน้ำเป็น 15.54 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับเจลแป้งหมักปกติผสมกับโลกส์ป็น, กัมคาร์ราจีแนน และกัมอารบิก มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเจลแป้งหมักผสมกับแอลจินต (ร้อยละ 10.13), เจลแป้งหมักผสมกับกัวร์ (ร้อยละ 12.91) ส่วนเจลแป้งหมักผสมกับแซนแทน และกัมซีเอ็มซีมีร้อยละการสูญเสียน้ำน้อยที่สุดเป็นร้อยละ 5.65 และ 4.73 ตามลำดับ

รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 3 เจลแข็งหมักปกติมีร้อยละการสูญเสียเพิ่มขึ้นจากรอบที่ 1 เป็น 48.27 รองลงมาเป็นเจลแข็งหมักผสมกับคาราจีแนน (ร้อยละ 42.53) และเจลแข็งหมักผสมกับอารบิก (ร้อยละ 43.44) เจลแข็งหมักผสมกับทั้งสองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) อันดับที่ 3 เป็นเจลแข็งหมักผสมกับแอลจินेट (ร้อยละ 39.49) อันดับที่ 4 เป็นเจลแข็งหมักผสมกับกัมโลกส์บิน (ร้อยละ 36.87) อันดับที่ 5 เป็นเจลแข็งหมักผสมกับแซนแทน (ร้อยละ 28.58) และกัมกัวร์ (ร้อยละ 27.90) โดยเจลแข็งหมักผสมกับทั้งสองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) และสุดท้ายมีการสูญเสียน้อยที่สุดเป็นกัมซีเอ็มซี (ร้อยละ 25.15)

รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5 เจลแข็งหมักปกติมีร้อยละการสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้นจากรอบที่ 3 เป็น 56.76 รองลงมาเป็นเจลแข็งหมักผสมกับอารบิก (ร้อยละ 45.70) อันดับที่ 3 เป็นเจลแข็งหมักผสมกับโลกส์บิน (ร้อยละ 41.95), คาราจีแนน (ร้อยละ 42.63) และแอลจินेट (ร้อยละ 42.48) โดยเจลแข็งหมักผสมกับทั้งสามไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ส่วนเจลแข็งหมักผสมกับกัมกัวร์ กัมแซนแทน และกัมซีเอ็มซีมีร้อยละการสูญเสียน้ำลดลงน้อยกว่าอันดับที่ 3 เป็น 36.62, 32.89 และ 29.02 ตามลำดับ

จากการตรวจสอบร้อยละการสูญเสียน้ำ เจลแข็งหมักผสมกับซีเอ็มซี กัมแซนแทน และกัมกัวร์ มีร้อยละการสูญเสียน้ำรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5 เป็น 29.02, 32.89 และ 36.62 ตามลำดับ น้อยกว่าเจลแข็งหมักปกติ คือ 56.76 และเจลแข็งหมักผสมชนิดอื่น อาจเกิดจากการผสมกับช่วยลดการพองตัวของสตาร์ระหว่างเกิดเจลาทีไนซ์ และกัมที่กระจายตัวเป็นตาข่ายในเจลช่วยขัดขวางการเคลื่อนที่มาจับกันของสายแอมิโลส และแอมิโลเพกทิน ทำให้ช่วยลดการเกิดรีโทรเกรดของเจลแข็งหมักปกติผสมกันได้ และนอกจากนี้กัมยังมีสมบัติจับกับน้ำได้ดี ส่งผลให้การสูญเสียน้ำของเจลแข็งหมักปกติผสมกับลดลง จึงคัดเลือกกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์เพื่อใช้ในการตรวจสอบสมบัติการเกิดเจลาทีไนซ์ การเกิดรีโทรเกรด และการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของเจลแข็งหลังคืนรูปจากเยือกแข็งต่อไป

3.3 สมบัติการเกิดเจลที่ไนซ์ และรีโทรเกรดของเจลแป้งหมักปกติ และเจลแป้งหมักผสมกัม

ผลการทดลองได้จากการเตรียมสารแขวนลอยของกัมกับน้ำร้อยละ 0.5 หลังจากนั้นผสมแป้งหมักในสารแขวนลอยของกัมกับน้ำให้มีความเข้มข้นของแป้งกับน้ำเป็นร้อยละ 10 และตรวจสอบสมบัติการเกิดเจลที่ไนซ์แป้งหมัก และการเกิดรีโทรเกรดของเจลแป้งหมัก (ตารางที่ 25)

ตารางที่ 25 เปรียบเทียบสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของแป้งหมักปกติ แป้งหมักผสมกัมร้อยละ 0.5 เจลแป้งหมักปกติ และเจลแป้งหมักผสมกัมร้อยละ 0.5 หลังคืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 5^{1/}

สภาวะ	ตัวอย่าง ^{2/}	อุณหภูมิ (°C)			ค่าพลังงาน สลายพันธะ (จูล/ก)
		อุณหภูมิเริ่มต้น	อุณหภูมิสูงสุด	อุณหภูมิสุดท้าย	
เจลที่ไนซ์	FRF	69.13±0.04a	72.29±0.12b	76.50±0.37ab	10.83±0.71a
	XANF	66.64±0.99c	72.66±0.14a	76.36±0.11b	8.87±0.06c
	CMCF	67.38±0.47bc	72.68±0.17a	75.14±0.08c	8.60±0.10c
	GUAF	68.26±0.18ab	72.27±0.05b	76.85±0.13a	9.97±0.40b
รีโทรเกรด	FRF	50.39±0.57ns	55.83±0.16b	63.05±0.36a	0.8925±0.085a
	XANF	50.64±0.30ns	57.71±0.46a	60.82±0.76b	0.0640±0.048b
	CMCF	50.15±0.16ns	56.41±0.33b	59.37±0.08c	0.0306±0.040b
	GUAF	50.45±0.31ns	55.86±0.64b	61.17±0.60b	0.0882±0.065b

หมายเหตุ ^{1/} ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ
ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวดิ่ง มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
^{2/} ขนมหินแป้งหมักปกติ (FRF), แป้งหมักผสมกัมแซนแทน (XANF), กัมซีเอ็มซี (CMCF) และ กัมกัวร์ (GUAF)

3.3.1 สมบัติการเกิดเจลาทีไนซ์

อุณหภูมิเริ่มต้น แป้งหมักปกติเป็น 69.13°C ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับแป้งหมักผสมกัมกัวร์ (68.26°C) แต่มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับแป้งหมักผสมกัมแซนแทน (66.64°C) และแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซี (67.38°C) โดยแป้งหมักผสมกัมแซนแทน และกัมซีเอ็มซีไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) อุณหภูมิสูงสุด แป้งหมักปกติมีอุณหภูมิสูงสุด 72.29°C ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับแป้งหมักผสมกัมกัวร์ (72.27°C) แต่มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับแป้งหมักผสมกัมแซนแทน (72.66°C) และกัมซีเอ็มซี (72.68°C) โดยแป้งหมักผสมกัมแซนแทน และกัมซีเอ็มซีไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) อุณหภูมิสุดท้าย แป้งหมักปกติมีอุณหภูมิสุดท้ายเป็น 76.50°C ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับแป้งหมักผสมกัมแซนแทน (76.36°C) และกัมกัวร์ (76.85°C) แต่มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซี (75.14°C) แป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีอุณหภูมิสุดท้ายน้อยที่สุด ค่าพลังงานสลายพันธะ แป้งหมักปกติมีพลังงานสลายพันธะเป็น 10.83 จูล/กรัม มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) แป้งหมักผสมกัมแซนแทน (8.87 จูล/กรัม) กัมซีเอ็มซี (8.60 จูล/กรัม) และกัมกัวร์ (9.97 จูล/กรัม) โดยแป้งหมักผสมกัมแซนแทน และกัมซีเอ็มซีมีค่าพลังงานสลายพันธะน้อยที่สุด

3.3.2 สมบัติการเกิดรีโทรเกรดของเจลแป้งหมักผสมกัม รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5

อุณหภูมิเริ่มต้น เจลแป้งหมักปกติเป็น 50.39°C ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับเจลแป้งหมักผสมกัมแซนแทน (50.64°C) กัมซีเอ็มซี (50.15°C) และกัมกัวร์ (50.45°C) อุณหภูมิสูงสุด เจลแป้งหมักปกติเป็น 55.83°C น้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับเจลแป้งหมักผสมกัมแซนแทน (57.71°C) แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับเจลแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ อุณหภูมิสุดท้าย เจลแป้งหมักปกติเป็น 63.05°C มากกว่าเจลแป้งหมักผสมกัมแซนแทน (60.82) และกัมกัวร์ (61.17) เจลแป้งหมักผสมกัมทั้งสองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ส่วนเจลแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีอุณหภูมิสุดท้ายน้อยที่สุดเป็น 59.37°C ค่าพลังงานการสลายพันธะ การเกิดรีโทรเกรด เจลแป้งหมักปกติเป็น 0.8925 จูล/กรัม มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับเจลแป้งหมักผสมกัมแซนแทน (0.0640 จูล/กรัม) กัมซีเอ็มซี (0.0306 จูล/กรัม) และกัมกัวร์ (0.0882 จูล/กรัม) เจลแป้งหมักผสมกัมทั้งสามไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

จากการตรวจสอบค่าพลังงานการสลายพันธุ์การเกิดเจลทีไนซ์ และการเกิดรีโทรเกรด แป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซี และกัมแซนแทนมีค่าพลังงานสลายพันธุ์การเกิดเจลทีไนซ์ไม่แตกต่างกัน และน้อยกว่าแป้งหมักผสมกัมกัวร์ และแป้งหมักปกติ ทั้งนี้เกิดจากการผสมกัม ซึ่งมีสมบัติจับกับน้ำได้ดี ทำให้ปริมาณน้ำอิสระลดลง ส่งผลให้เมล็ดstarfishได้รับปริมาณน้ำไม่เพียงพอต่อการเกิดเจลทีไนซ์ ค่าพลังงานการสลายพันธุ์การเกิดเจลทีไนซ์ของแป้งหมักผสมกัมจึงน้อยกว่าแป้งหมักปกติ และเมื่อนำเจลแป้งหมักที่ผ่านการเกิดเจลทีไนซ์มาแช่เยือกแข็ง และคืนรูปจากเยือกแข็ง 5 รอบ เจลแป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์มีค่าพลังงานการสลายพันธุ์การเกิดรีโทรเกรดน้อยกว่าเจลแป้งหมักปกติ ทั้งนี้เกิดจากการผสมกัมซึ่งกระจายตัวอยู่ในเจลแป้ง ช่วยขัดขวางการเคลื่อนที่ของแอมิโลส หรือแอมิโลเพกทินมาจับตัวกัน ทำให้เกิดรีโทรเกรดได้น้อยลง สอดคล้องกับร้อยละการสูญเสีย น้ำ แสดงให้เห็นว่าการลดการสูญเสีย น้ำของเจลแป้งหมักผสมกัมหลังคืนรูปจากเยือกแข็งเป็นผลจากการขัดขวางการลดการเกิดรีโทรเกรดร่วมกับสมบัติของกัมในการจับน้ำได้ดี จึงทำให้เจลแป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์มีร้อยละการสูญเสียน้ำน้อยกว่าเจลแป้งหมักปกติ

3.4 การตรวจสอบเนื้อสัมผัสของเจลแป้งหมักหลังคืนรูปจากเยือกแข็ง

ผลการเตรียมเจลแป้งหมักความเข้มข้นของแป้งหมักร้อยละ 8 ผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ร้อยละ 0.3 และวัดค่าความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นของเจลแป้งหมักก่อนแช่เยือกแข็ง และหลังคืนรูปจากเยือกแข็งแบบอากาศเย็นจัดอุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียสรอบที่ 1, 3 และ 5 (ตารางที่ 26)

ตารางที่ 26 เปรียบเทียบค่าความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นเจลแข็งหมักปกติ และเจลแข็งหมักผสมกับร้อยละ 0.5 แซ่เชื้อแข็งแบบอากาศเย็นจัด และคืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 1, 3 และ 5^{1/}

157

ตัวอย่าง ^{2/}	จำนวนรอบการคืนรูปจากเยือกแข็ง (ครั้ง)							
	ค่าความแน่นเนื้อ				ค่าความยืดหยุ่น			
	ปกติ	1	3	5	ปกติ	1	3	5
FRF	35.27±2.58a	342.71±12.85a	380.07±7.35a	400.44±6.16a	33.68±2.33a	76.71±2.31a	53.95±1.67a	30.91±4.84b
XANF	24.97±1.98c	227.09±6.72c	271.39±6.92c	294.15±4.97c	21.77±4.94c	43.51±5.67bc	44.16±2.30b	44.60±2.78a
CMCF	26.81±2.75bc	257.47±9.67b	268.74±32.16c	298.61±6.57c	21.96±4.072c	41.43±7.28c	43.81±2.88b	47.16±1.95a
GUAF	28.58±1.21b	259.26±3.31b	305.38±8.50b	324.98±8.92b	28.65±2.09b	51.24±3.11b	54.44±1.59a	51.77±3.65a

หมายเหตุ ^{1/} ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 10 ซ้ำ 2 ตัวอย่าง
ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{2/} ความหมายของอักษรย่อเหมือนกับตารางที่ 25

3.4.1 ผลความแน่นเนื้อ

ก่อนการแช่เยือกแข็ง เจลแข็งหมักปกติ มีความแน่นเนื้อ 35.27 กรัม มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเจลแข็งหมักผสมกัมแซนแทน (24.97 กรัม) กัมซีเอ็มซี (26.81 กรัม) และกัมกัวร์ (28.58 กรัม) เจลแข็งหมักผสมกัมแซนแทนมีความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับกัมซีเอ็มซี แต่น้อยกว่ากับกัมกัวร์ เจลแข็งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกับกัมกัวร์ ($p > 0.05$)

รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1 เจลแข็งหมักปกติมีความแน่นเนื้อ 342.71 กรัม มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเจลแข็งหมักผสมกัมแซนแทน (227.09 กรัม) กัมซีเอ็มซี (257.47 กรัม) และกัมกัวร์ (259.26 กรัม) เจลแข็งหมักผสมกัมแซนแทนมีความแน่นเนื้อมากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับกัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ แต่เจลแข็งหมักผสมกัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 3 เจลแข็งหมักปกติมีความแน่นเนื้อ 380.07 กรัม มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเจลแข็งหมักผสมกัมแซนแทน (271.39 กรัม) กัมซีเอ็มซี (268.74 กรัม) และกัวร์ (305.38 กรัม) เจลแข็งหมักผสมกัมแซนแทนมีความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับกัมซีเอ็มซี แต่เจลแข็งหมักผสมกัมทั้งสองมีความแน่นเนื้อน้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเจลแข็งหมักผสมกัมกัวร์

รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5 เจลแข็งหมักปกติมีความแน่นเนื้อ 400.44 กรัม มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเจลแข็งหมักผสมกัมแซนแทน (294.15 กรัม) กัมซีเอ็มซี (298.61 กรัม) และกัมกัวร์ (324.98 กรัม) เจลแข็งหมักผสมกัมแซนแทนมีความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับกัมซีเอ็มซี แต่เจลแข็งหมักผสมกัมทั้งสองแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเจลแข็งหมักผสมกัมกัวร์

จากการตรวจสอบค่าความแน่นเนื้อ เจลแข็งหมักผสมกัมมีค่าความแน่นเนื้อน้อยกว่าเจลแข็งหมักปกติทุกรอบการคืนรูปจากเยือกแข็ง เกิดจากเจลแข็งหมักผสมกัมเกิดรีโทเกรดได้น้อยกว่าเจลแข็งหมักปกติการเคลื่อนที่มาจับกันของเอมิโลส หรือเอมิโลเพกทินทำให้ลดการแข็ง และเปราะของเจลแข็ง รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 3 และ 5 เจลแข็งหมักผสมกัม

แซนแทน และกัมซีเอ็มซีมีค่าความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกัน แต่ทั้งสองมีค่าความแน่นเนื้อน้อยกว่า เจลแป้งหมักปกติ และเจลแป้งหมักผสมกัมกัวร์

3.4.2 ผลความยืดหยุ่น

ก่อนการแช่เยือกแข็ง เจลแป้งหมักปกติมีความยืดหยุ่นเป็น 33.68 มากกว่าเจลแป้งหมักผสมกัมแซนแทน (21.77) กัมซีเอ็มซี (21.96) และกัมกัวร์ (28.65) เจลแป้งหมักผสมกัมแซนแทนมีความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับกัมซีเอ็มซี แต่ทั้งสองน้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเจลแป้งหมักผสมกัมกัวร์

รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1 เจลแป้งหมักปกติมีความยืดหยุ่นเป็น 76.71 มากกว่าเจลแป้งหมักผสมกัมแซนแทน (43.51) กัมซีเอ็มซี (41.43) และกัมกัวร์ (51.24) เจลแป้งหมักผสมกัมแซนแทนมีความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับกัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ แต่เจลแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

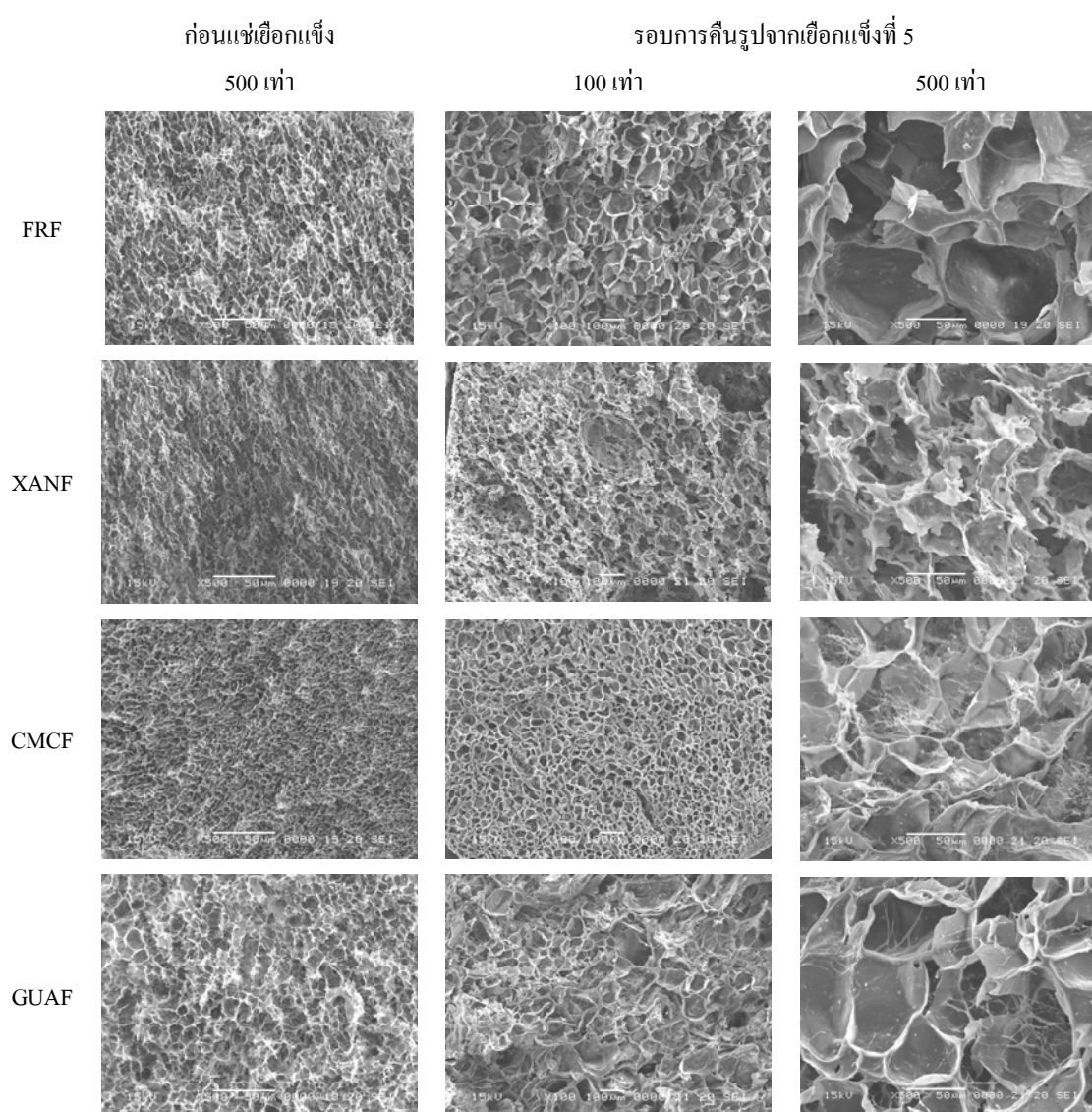
รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 3 เจลแป้งหมักปกติมีความยืดหยุ่นเป็น 53.95 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับเจลแป้งหมักผสมกัมกัวร์ (54.44) แต่ทั้งสองมีความยืดหยุ่นมากกว่าเจลแป้งหมักผสมกัมแซนแทน (44.16) และกัมซีเอ็มซี (43.81) เจลแป้งหมักผสมกัมแซนแทน และกัมซีเอ็มซีไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5 เจลแป้งหมักปกติมีความยืดหยุ่นเป็น 30.91 น้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเจลแป้งหมักผสมกัมแซนแทน (44.60) กัมซีเอ็มซี (47.16) และกัมกัวร์ (51.77) เจลแป้งหมักผสมกัมทั้งสามไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากการตรวจสอบค่าความยืดหยุ่นของเจลแป้งหมักปกติ และเจลแป้งหมักผสมกัม เจลแป้งหมักผสมกัมแซนแทน และกัมซีเอ็มซีมีค่าความยืดหยุ่นมากกว่าเจลแป้งหมักปกติ ทั้งนี้เกิดจากเจลแป้งหมักผสมกัมเกิดรีโทรเกรดน้อยกว่าเจลแป้งหมักปกติ ทำให้มีความแข็งแรงน้อย มีความยืดหยุ่นมากกว่าเจลแป้งหมักปกติ ในทางตรงกันข้ามเจลแป้งหมักปกติซึ่งเกิดรีโทรเกรดมากกว่า จึงมีเนื้อสัมผัสเจลแข็ง และเปราะ เมื่อวัดค่าความยืดหยุ่น เจลแป้งหมักปกติแตกออกทันที ไม่มีแรงต้านต่อหัววัดค่าความยืดหยุ่นจึงน้อย

3.5 ผลการตรวจสอบโครงสร้างของเจลแป็ง

ผลการนำเจลแป็งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมถั่วที่เตรียมจากข้อ 3.4 มาทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze dryer) เคลือบด้วยทองคำและส่องผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แสดงดังภาพที่ 28



ภาพที่ 28 โครงสร้างเจลแป็งหมักปกติ (FRF) ความเข้มข้นร้อยละ 8 เจลแป็งหมักผสมกัมแซนแทน (XANF) กัมซีเอ็มซี (CMCF) และกัมถั่ว (GUAF) ร้อยละ 0.5 ก่อนการแช่เยือกแข็ง กำลังขยาย 500 เท่า หลังคืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 5 กำลังขยาย 100 และ 500 เท่า

3.5.1 ก่อนการแช่เยือกแข็ง

จากการทดลองตรวจสอบโครงสร้างเจลแข็งหมักปกติ เจลแข็งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมถั่ว ก่อนการแช่เยือกแข็ง กำลังขยาย 500 เท่า ปรากฏว่า โครงสร้างของเจลแข็งหมักปกติ มีรูพรุนจำนวนมาก ขนาดของรูพรุนใกล้เคียงกับเจลแข็งหมักผสมกัมแซนแทน และกัมถั่ว ส่วนกัมซีเอ็มซีมีโครงสร้างของเจลละเอียดมากกว่าเจลชนิดอื่น ทั้งนี้เกิดจากการผสมกัมซีเอ็มซีอาจกระจายตัวเป็นโครงสร้างตาข่ายยึดภายในโครงสร้างเนื้อเจลแข็งหมัก ทำให้เมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เห็นเป็นโครงสร้างละเอียดมากกว่าเจลแข็งหมักปกติ

3.5.2 รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5

จากการทดลองตรวจสอบโครงสร้างเจลแข็งหมักปกติ เจลแข็งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมถั่ว รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5 กำลังขยาย 100 และ 500 เท่า ปรากฏว่า เจลแข็งทุกชนิดมีรูพรุนใหญ่ขึ้นกว่าก่อนการแช่เยือกแข็ง เจลแข็งหมักปกติมีรูพรุนใหญ่กว่าเจลแข็งชนิดอื่นๆ และภายในโครงสร้างเจลไม่พบโครงร่างตาข่าย ขณะที่เจลแข็งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมถั่วมีโครงร่างตาข่ายยึดกระจายอยู่ภายในโครงสร้างเจล เกิดจากเมื่อรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งเพิ่มขึ้น น้ำอิสระแยกออกจากโมเลกุลสตาร์ชภายในเจลแข็ง และเคลื่อนที่เข้ามาอยู่ด้วยกัน เมื่อแช่เยือกแข็ง ผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่ ทำให้เกิดรูพรุนขนาดใหญ่ด้วยเมื่อทำให้เจลแห้ง จึงปรากฏโครงร่างตาข่ายซึ่งยึดเกาะขัดขวางการเคลื่อนที่มาจับกันของสายแอมิโลส และแอมิโลเพกทิน จับกับน้ำอิสระภายในเจล ช่วยลดการเกิดรีโทรเกรด และการสูญเสียภายในเจล สอดคล้องกับผลการทดลองของ Lee *et al.* (2002) ตรวจสอบโครงสร้างเจลแข็งมันฝรั่งผสมแซนแทน และกัมซีเอ็มซี ได้ผลว่ามีโครงร่างตาข่ายเกิดขึ้นภายในเนื้อเจล โครงสร้างตาข่ายดังกล่าวอาจมีส่วนช่วยลดการเกิดรีโทรเกรด และลดการสูญเสียได้

4. หาปริมาณกัม และชนิดกัมที่เหมาะสมต่อการผลิตขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบ สัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด

4.1 ผลการหาปริมาณกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ที่เหมาะสมต่อการผลิตขนมจีน

ผลการหาปริมาณกัมที่เหมาะสมทำได้โดยการผลิตขนมจีน 4 ชนิดคือ ขนมจีนแป้งหมักปกติ และขนมจีนแป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ ที่ระดับความเข้มข้นของกัมแต่ละชนิดร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 ตรวจสอบค่าเนื้อสัมผัส และการยอมรับทางประสาทสัมผัส เพื่อคัดเลือกปริมาณกัม

4.1.1 ผลการวัดค่าเนื้อสัมผัส

ก. กัมแซนแทน

ความแน่นเนื้อ ขนมจีนแป้งหมักปกติมีค่าความแน่นเนื้อ 13.76 กรัม น้อยกว่าขนมจีนแป้งหมักผสมกัมแซนแทนร้อยละ 0.1 (14.72 กรัม), 0.3 (15.84 กรัม) และ 0.5 (17.80 กรัม) ทั้งสามมีค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับขนมจีนแป้งหมักปกติ แสดงดังตารางที่ 27

ความยืดหยุ่น ขนมจีนแป้งหมักปกติมีค่าความยืดหยุ่น 9.09 น้อยกว่าขนมจีนแป้งหมักผสมกัมร้อยละ 0.1 (12.05), 0.3 (14.50) และ 0.5 (16.27) ทั้งสามมีค่าความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับขนมจีนแป้งหมักปกติ

ตารางที่ 27 เปรียบเทียบค่าความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นขนมจีนลักษณะแตกต่างกัน 15 สูตร ร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5^{1/}

ขนมจีนสูตรที่ ^{2/}	ค่าเนื้อสัมผัส	
	ความแน่นเนื้อ (กรัม)	ความยืดหยุ่น
1	13.76±0.73d	9.09±0.70d
7	14.72±1.33c	12.05±0.70c
8	15.84±0.81b	14.50±0.87b
9	17.80±0.94a	16.27±0.61a
1	12.11±0.84d	8.94±0.65d
10	13.59±1.10c	13.99±0.84c
11	15.49±0.73b	16.38±0.67b
12	16.14±0.72a	17.76±0.37a
1	12.15±0.93d	8.96±0.57d
13	14.29±0.83c	13.78±0.52c
14	15.35±0.98b	16.17±0.71b
15	17.16±0.90a	18.26±0.72a

หมายเหตุ ^{1/} ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ
 ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
^{2/} สูตรที่ 1 = ขนมจีนแป้งหมักปกติ
 สูตรที่ 7, 8 และ 9 = ขนมจีนผสมกับแซนแทน ร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 ตามลำดับ
 สูตรที่ 10, 11 และ 12 = ขนมจีนผสมกับซีเอ็มซี ร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 ตามลำดับ
 สูตรที่ 13, 14 และ 15 = ขนมจีนผสมกับกัวร์ ร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 ตามลำดับ

ข. กัมซีเอ็มซี

ความแน่นเนื้อ ขนมจีนแป้งหมักปกติมีค่าความแน่นเนื้อ 12.11 กรัม น้อยกว่าขนมจีนแป้งหมักผสมกับร้อยละ 0.1 (13.59 กรัม), 0.3 (15.49 กรัม) และ 0.5 (16.14 กรัม) ทั้งสามมีค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับขนมจีนแป้งหมักปกติ

ความยืดหยุ่น ขนมหินแป้งหมักปกติมีค่าความยืดหยุ่น 8.94 น้อยกว่า ขนมหินแป้งหมักผสมกัมร้อยละ 0.1 (13.99), 0.3 (16.38) และ 0.5 (17.76) ทั้งสามมีค่าความยืดหยุ่น เพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับขนมหินแป้งหมักปกติ

ค. กัมถั่ว

ความแน่นเนื้อ ขนมหินแป้งหมักปกติมีค่าความแน่นเนื้อ 12.15 กรัม น้อยกว่าขนมหินแป้งหมักผสมกัมร้อยละ 0.1 (14.29 กรัม), 0.3 (15.35 กรัม) และ 0.5 (17.16 กรัม) ทั้งสามมีค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับขนมหินแป้งหมักปกติ

ความยืดหยุ่น ขนมหินแป้งหมักปกติมีค่าความยืดหยุ่น 8.96 น้อยกว่า ขนมหินแป้งหมักผสมกัมร้อยละ 0.1 (13.78), 0.3 (16.17) และ 0.5 (18.26) ทั้งสามมีค่าความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับขนมหินแป้งหมักปกติ

จากการตรวจสอบค่าความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นของขนมหินแป้งหมักปกติ และขนมหินแป้งหมักผสมกัม ปรากฏว่า ขนมหินแป้งหมักผสมกัมมีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นตามปริมาณกัมที่เพิ่มขึ้น กัมที่เข้าจับกับน้ำ และแทรกอยู่ในเนื้อขนมหิน ทำให้ขนมหินมีเนื้อสัมผัสแน่นเนื้อมากกว่าขนมหินแป้งหมักปกติ ความยืดหยุ่น ขนมหินแป้งหมักผสมกัมมีค่าความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นตามปริมาณกัมที่เพิ่มขึ้น เกิดจากกัมซึ่งมีโครงสร้างเป็นตาข่ายกระจายตัวในเส้นขนมหิน จับกับสายเอมิโลส และเอมิโลเพกทิน ทำให้ขนมหินมีความยืดหยุ่นมากยิ่งขึ้น สอดคล้องกับผลการส่องดูเนื้อสัมผัสของเจลด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ปรากฏโครงร่างตาข่ายภายในเจลแป้งหมักผสมกัม อาจมีส่วนช่วยเพิ่มความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นภายในขนมหิน

4.1.2 ผลการยอมรับทางประสาทสัมผัส

ผลตรวจสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านความชอบรวมโดยใช้ผู้ทดสอบผ่านการฝึกฝนจำนวน 8 คน (ตารางที่ 28)

ตารางที่ 28 เปรียบเทียบจำนวนผู้ทดสอบที่ให้คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสขนมจีนลักษณะต่างกัน 6 สูตร

ขนมจีนสูตรที่ ^{2/}	จำนวนผู้ทดสอบที่ให้คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัส ^{1/}				
	4	5	6	7	8
1	-	-	3	4	1
7	-	-	4	4	-
8	-	-	1	5	2
9	5	3	-	-	-
10	-	-	1	7	-
11	-	-	-	2	6
12	-	4	4	-	-
13	-	-	3	5	-
14	-	-	-	5	3
15	5	3	-	-	-

หมายเหตุ ^{1/} คะแนน 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย คะแนน 5 = เฉยๆ คะแนน 6 = ชอบเล็กน้อย

คะแนน 7 = ชอบปานกลาง คะแนน 8 = ชอบมาก

^{2/} ความหมายของสูตรขนมจีนกับตารางที่ 27

ก. กัมแซนแทน

ผู้ทดสอบให้คะแนนขนมจีนแป้งหมักปกติชอบเล็กน้อย 3 คน ชอบปานกลาง 4 คน และชอบมาก 1 คน เมื่อปริมาณกัมเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 0.3 ผู้ทดสอบให้คะแนนชอบเล็กน้อย 1 คน ชอบปานกลางเพิ่มขึ้นเป็น 5 คน ชอบมาก 2 คน แต่ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมร้อยละ 0.5 ได้รับคะแนนลดลงเป็นไม่ชอบเล็กน้อย 5 คน เฉยๆ 3 คน

จากการตรวจสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส ขนมหินแป้งหมักผสมกับแซนแทนร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 ปรากฏว่า เมื่อผสมกับแซนแทนในขนมหินร้อยละ 0.3 ผู้ทดสอบให้การยอมรับขนมหินแป้งหมักผสมมากกว่าขนมหินแป้งหมักปกติ อาจเกิดจากขนมหินมีความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นมากขึ้นกว่าขนมหินแป้งหมักปกติ และเมื่อปริมาณกับแซนแทนเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 0.5 คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสลดลง ผู้ทดสอบอาจรู้สึกว่ขนมหินมีสมบัติด้านความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นเปลี่ยนไปจากขนมหินแป้งหมักปกติ จึงเลือกการผสมกับแซนแทนร้อยละ 0.3 เพื่อใช้ในการทดสอบต่อไป

ข. กัมซีเอ็มซี

ผู้ทดสอบให้คะแนนขนมหินแป้งหมักปกติชอบเล็กน้อย 3 คน ชอบปานกลาง 4 คน และชอบมาก 1 คน เมื่อปริมาณกัมเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 0.1 และ 0.3 ผู้ทดสอบให้คะแนนขนมหินแป้งหมักผสมร้อยละ 0.1 ชอบปานกลางเพิ่มขึ้นเป็น 7 คน และขนมหินแป้งหมักผสมร้อยละ 0.3 ชอบปานกลาง 2 คน ชอบมาก 6 คน แต่เมื่อปริมาณกัมเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 0.5 ขนมหินได้รับคะแนนลดลงเป็นไม่ชอบเล็กน้อย 4 คน เฉยๆ 4 คน

จากการตรวจสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส ขนมหินแป้งหมักผสมกับซีเอ็มซีร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 ปรากฏว่า เมื่อผสมกับซีเอ็มซีในขนมหินร้อยละ 0.3 ผู้ทดสอบให้การยอมรับขนมหินแป้งหมักผสมร้อยละ 0.3 มากกว่าขนมหินผสมร้อยละ 0.1 และขนมหินแป้งหมักปกติ อาจเกิดจากขนมหินมีความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น และเมื่อปริมาณกัมซีเอ็มซีเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 0.5 คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสลดลง ผู้ทดสอบอาจรู้สึกว่ขนมหินมีความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นเปลี่ยนไปจากขนมหินแป้งหมักปกติ ทำคะแนนความชอบลดลง จึงเลือกการผสมกับซีเอ็มซีร้อยละ 0.3 เพื่อใช้ในการทดสอบต่อไป

ค. กัมกัวร์

ผู้ทดสอบให้คะแนนขนมหินแป้งหมักปกติชอบเล็กน้อย 3 คน ชอบปานกลาง 4 คน และชอบมาก 1 คน เมื่อปริมาณกัมเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 0.1 และ 0.3 ผู้ทดสอบให้คะแนนขนมหินแป้งหมักผสมร้อยละ 0.1 ชอบเล็กน้อย 3 คน ชอบปานกลาง เพิ่มขึ้นเป็น 5 คน และ

ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมร้อยละ 0.3 ชอบปานกลาง 5 คน ชอบมาก 3 คน แต่เมื่อปริมาณกัมเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 0.5 ขนมจีนได้รับคะแนนลดลงเป็นไม่ชอบเล็กน้อย 5 คน เฉยๆ 3 คน

จากการตรวจสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมกั้วร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 ปรากฏว่า เมื่อผสมกัมกั้วในขนมจีนร้อยละ 0.3 ผู้ทดสอบให้การยอมรับขนมจีนผสมกัมร้อยละ 0.3 มากกว่าขนมจีนแป้งหมักผสมกัมร้อยละ 0.1 และขนมจีนแป้งหมักปกติ อาจเกิดจากขนมจีนมีความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นมากขึ้น และเมื่อปริมาณกัมกั้วเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 0.5 คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสลดลง ผู้ทดสอบอาจรู้สึกว่ขนมจีนมีสมบัติด้านความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นเปลี่ยนไปจากขนมจีนแป้งหมักปกติ ทำให้คะแนนความชอบลดลง จึงเลือกการผสมกัมกั้วร้อยละ 0.3 เพื่อใช้ในการทดสอบต่อไป

4.2 ผลการหาค่าที่เหมาะสมต่อการผลิตขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด

เมื่อทดลองผลิตขนมจีนแป้งหมักปกติ และขนมจีนแป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกั้ว แช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด เป็น -40°C นำมาคืนรูปจากเยือกแข็ง และนำกลับแช่เยือกแข็งอีกครั้งในตู้แช่เยือกแข็ง -18°C จำนวน 1, 3 และ 5 รอบ ผลการทดสอบขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัดด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัสด้านความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่น และทดสอบความแข็ง และความชอบทางประสาทสัมผัสโดยใช้ผู้ทดสอบผ่านการฝึกฝนจำนวน 8 คน ปรากฏว่า

4.2.1 ผลการวัดค่าเนื้อสัมผัส

ก. ผลความแน่นเนื้อ

จากการตรวจสอบความแน่นเนื้อของขนมจีนแป้งหมักปกติ และขนมจีนแป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกั้ว ก่อนการแช่เยือกแข็ง และหลังคืนรูปจากการแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด แสดงดังตารางที่ 29

ตารางที่ 29 เปรียบเทียบค่าความแน่นเนื้อขนมจีนลักษณะต่างกัน 4 สูตร แช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด^{1/}

168

ขนมจีน สูตรที่ ^{2/}	ก่อนการแช่ เยือกแข็ง	รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1		รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 3		รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5	
		ไครโอเจนิค	สัมผัสแผ่น โลหะเย็นจัด	ไครโอเจนิค	สัมผัสแผ่น โลหะเย็นจัด	ไครโอเจนิค	สัมผัสแผ่น โลหะเย็นจัด
1	12.42±0.74c	25.81±1.23a	27.14±1.23a	30.65±1.21a	36.65±0.83a	37.75±1.03a	47.25±0.60a
8	14.07±0.58b	21.61±1.17b	23.78±1.39b	25.69±1.32c	25.86±1.04c	33.19±1.05c	33.68±0.81b
11	14.88±0.79ab	18.45±1.22c	22.78±0.87c	22.98±1.31d	23.48±1.18d	30.86±1.19d	31.19±1.29c
14	15.44±1.03a	21.79±0.85b	24.95±1.08b	28.48±1.70b	29.14±0.96b	35.14±0.62b	36.32±0.65b

หมายเหตุ ^{1/} ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 10 ซ้ำ 2 ตัวอย่าง
 ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{2/} สูตรที่ 1 คือ ขนมจีนแป้งหมักปกติ
 สูตรที่ 8 คือ ขนมจีนผสมกัมแซนแทน ร้อยละ 0.3
 สูตรที่ 11 คือ ขนมจีนผสมกัมซีเอ็มซี ร้อยละ 0.3
 สูตรที่ 14 คือ ขนมจีนผสมกัมถั่ว ร้อยละ 0.3

1) ก่อนการแช่เยือกแข็ง ขนมหินแป้งหมักปกติมีความแน่นเนื้อเป็น 12.42 กรัม น้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ขนมหินแป้งหมักผสมกัมแซนแทน (14.07 กรัม) กัมซีเอ็มซี (14.88 กรัม) และกัมกัวร์ (15.44 กรัม) ขนมหินแป้งหมักผสมกัมแซนแทนไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับกัมซีเอ็มซี แต่แตกต่างกับกัมกัวร์ ขณะที่ขนมหินแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

ขนมหินแป้งหมักปกติมีความแน่นเนื้อน้อยกว่าขนมหินแป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ ทั้งนี้เกิดจากกัมสามารถช่วยยึดโครงสร้างภายในเส้นขนมหิน จับกับสสารซึ่งผ่านการเกิดเจลลาทีไนซ์ในขนมหิน ทำให้ขนมหินมีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น

2) รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1

การแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค ขนมหินแป้งหมักปกติมีความแน่นเนื้อเป็น 25.81 กรัม มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับขนมหินแป้งหมักผสมกัมแซนแทน (21.61 กรัม) กัมซีเอ็มซี (18.45 กรัม) และกัมกัวร์ (21.79 กรัม) ขนมหินแป้งหมักผสมกัมแซนแทนมีความแน่นเนื้อมากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับกัมซีเอ็มซี แต่ไม่แตกต่างกับกัมกัวร์ ขณะที่ขนมหินแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีความแน่นเนื้อน้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับกัมกัวร์

การแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ขนมหินแป้งหมักปกติมีความแน่นเนื้อเป็น 27.14 กรัม มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับขนมหินแป้งหมักผสมกัมแซนแทน (23.78 กรัม) กัมซีเอ็มซี (22.78 กรัม) และกัมกัวร์ (24.95 กรัม) ขนมหินแป้งหมักผสมกัมแซนแทนมีความแน่นเนื้อมากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับกัมซีเอ็มซี แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับกัมกัวร์ ขนมหินแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีความแน่นเนื้อน้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับกัมกัวร์

3) รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 3

การแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค ขนมหินแป้งหมักปกติมีความแน่นเนื้อเป็น 30.65 กรัม มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับขนมหินแป้งหมักผสมกัมแซนแทน

(25.69 กรัม) กัมซีเอ็มซี (22.98 กรัม) และกัมกัวร์ (28.48 กรัม) ขนมหินแป้งหมักผสมกัมแซนแทน มีความแน่นเนื้อมากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับกัมซีเอ็มซี แต่น้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับกัมกัวร์ ขนมหินแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีความแน่นเนื้อน้อยที่สุด

การแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ขนมหินแป้งหมักปกติมีความแน่นเนื้อเป็น 36.65 กรัม มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับขนมหินแป้งหมักผสมกัมแซนแทน (25.86 กรัม) กัมซีเอ็มซี (23.48 กรัม) และกัมกัวร์ (29.14 กรัม) ขนมหินแป้งหมักผสมกัมแซนแทนมีความแน่นเนื้อมากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับกัมซีเอ็มซี และแต่น้อยกว่ากัมกัวร์ ขนมหินแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีความแน่นเนื้อน้อยที่สุด

4) รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5

การแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิก ขนมหินแป้งหมักปกติมีความแน่นเนื้อเป็น 37.75 กรัม มากกว่าขนมหินแป้งหมักผสมกัมแซนแทน (33.19 กรัม) กัมซีเอ็มซี (30.86 กรัม) และกัมกัวร์ (35.14 กรัม) ขนมหินแป้งหมักผสมกัมแซนแทนมีความแน่นเนื้อมากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับกัมซีเอ็มซี แต่น้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับกัมกัวร์ ขนมหินแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีความแน่นเนื้อน้อยที่สุด

การแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ขนมหินแป้งหมักปกติมีความแน่นเนื้อเป็น 47.25 กรัม มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับขนมหินแป้งหมักผสมกัมแซนแทน (33.68 กรัม) กัมซีเอ็มซี (31.19 กรัม) และกัมกัวร์ (36.32 กรัม) ขนมหินแป้งหมักผสมกัมแซนแทนมีความแน่นเนื้อมากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับกัมซีเอ็มซี แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับกัมกัวร์ ขนมหินแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีความแน่นเนื้อน้อยที่สุด

จากการตรวจสอบค่าความแน่นเนื้อของขนมหินแป้งหมักปกติ และขนมหินแป้งหมักผสมกัมแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิก และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ปรากฏว่า ขนมหินแป้งหมักปกติมีความแน่นเนื้อก่อนการแช่เยือกแข็งน้อยกว่าขนมหินแป้งหมักผสมกัมเมื่อผ่านการแช่เยือกแข็ง และคืนรูปจากเยือกแข็ง รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งเพิ่มขึ้น ขนมหินแป้งหมักปกติมีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น และมากกว่าขนมหินแป้งหมักผสมกัม สอดคล้องกับผลการตรวจสอบความแน่นเนื้อของเจลแป้งหมักผสมกัม ในรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 3 และ 5

ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีความแน่นเนียน้อยที่สุด รองลงมาเป็นการผสมกัมแซนแทน และสุดท้ายเป็นกัมกัวร์ เมื่อจำนวนรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งเพิ่มขึ้น ค่าความแน่นเนียนของ ขนมจีนแป้งหมักปกติเพิ่มขึ้น เกิดจากขนมจีนเกิดรีโทรเกรดระหว่างการคืนรูปจากเยือกแข็ง ขณะที่ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมมีความแน่นเนียน้อยลงจากขนมจีนแป้งหมักปกติ เกิดจากกัมที่ผสม ลงไปขัดขวางการเคลื่อนที่มาจับกันของโมเลกุลสตาร์ช การเกิดรีโทรเกรดน้อย จึงส่งผลให้ความ แน่นเนียนลดลง

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิก และแบบสัมผัส แผ่นโลหะเย็นจัด ขนมจีนแป้งหมักปกติแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิกมีความแน่นเนียน้อยกว่า แบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัดทุกรอบการคืนรูปจากเยือกแข็ง ทั้งนี้เกิดจากการแช่เยือกแข็งแบบ ไครโอเจนิกสามารถทำให้ขนมจีนถึงจุดเยือกแข็งได้เร็วกว่าแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ทำให้เกิด รีโทรเกรดได้น้อย และยังสามารถรักษาน้ำสัมผัสขนมจีนได้ดีกว่าแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด

ข. ผลความยืดหยุ่น

จากการตรวจสอบความยืดหยุ่นของขนมจีนแป้งหมักปกติ และขนมจีน แป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ ก่อนการแช่เยือกแข็ง และหลังคืนรูปจากการ แช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิก และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด แสดงดังตารางที่ 30

ตารางที่ 30 เปรียบเทียบค่าความยืดหยุ่นขมจินลักษณะต่างกัน 4 สูตรแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิก และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด^{1/}

172

ขมจิน สูตรที่ ^{2/}	ก่อนการแช่ เยือกแข็ง	รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1		รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 3		รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5	
		ไครโอเจนิก	สัมผัสแผ่น โลหะเย็นจัด	ไครโอเจนิก	สัมผัสแผ่น โลหะเย็นจัด	ไครโอเจนิก	สัมผัสแผ่น โลหะเย็นจัด
1	9.04±0.82b	6.49±0.48b	5.60±0.48b	3.41±0.42c	2.70±0.42b	1.25±0.39c	0.94±0.39c
7	12.45±1.38a	8.61±0.69a	7.71±0.69a	5.68±0.57a	6.21±0.57a	2.56±0.50b	2.64±0.50b
8	12.39±1.08a	8.87±0.60a	7.07±0.60a	6.05±0.69a	6.15±0.69a	4.03±0.52a	4.09±0.52a
4	11.92±0.88a	8.52±0.56a	7.79±0.53a	4.31±0.68b	4.31±0.68b	2.41±0.49b	2.70±0.49b

หมายเหตุ ^{1/} ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 5 ซ้ำ
ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
^{2/} ความหมายของสูตรขมจินเหมือนกับตารางที่ 29

1) ก่อนการแช่เยือกแข็ง ขนมหินเป้งหมักปกติมีความยืดหยุ่นเป็น 9.04 น้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับขนมหินเป้งหมักผสมกัมแซนแทน (12.45) กัมซีเอ็มซี (12.39) และกัมกัวร์ (11.92) ขนมหินเป้งหมักผสมกัมทั้ง 3 ชนิดมีความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

ขนมหินเป้งหมักปกติมีความยืดหยุ่นน้อยกว่าขนมหินเป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ เนื่องจากกัมสามารถช่วยยึดโครงสร้างสตาซภายในขนมหินทำให้ขนมหินเป้งหมักผสมกัมมีความยืดหยุ่นมากกว่าขนมหินเป้งหมักปกติ

2) รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1

การแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค ขนมหินเป้งหมักปกติมีความยืดหยุ่นเป็น 6.49 น้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับขนมหินเป้งหมักผสมกัมแซนแทน (8.61) กัมซีเอ็มซี (8.87) และกัมกัวร์ (8.52) ขนมหินเป้งหมักผสมกัมทั้ง 3 ชนิดมีความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

การแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ขนมหินเป้งหมักปกติมีความยืดหยุ่นเป็น 5.60 น้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับขนมหินเป้งหมักผสมกัมแซนแทน (7.71) กัมซีเอ็มซี (7.07) และกัมกัวร์ (7.79) ขนมหินเป้งหมักผสมกัมทั้ง 3 ชนิดมีความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

3) รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 3

การแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค ขนมหินเป้งหมักปกติมีความยืดหยุ่นเป็น 3.41 น้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับขนมหินเป้งหมักผสมกัมแซนแทน (5.68) กัมซีเอ็มซี (6.05) และกัมกัวร์ (4.31) ขนมหินเป้งหมักผสมกัมแซนแทน และกัมซีเอ็มซีมีความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับขนมหินเป้งหมักผสมกัมกัวร์

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ขนมนมเงินแป้งหมักปกติแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิคมีความยืดหยุ่นมากกว่าแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัดทุกรอบการคืนรูปจากเยือกแข็ง ทั้งนี้เกิดจากการแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิคสามารถทำให้ขนมนมเงินถึงจุดเยือกแข็งได้เร็วกว่าแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ทำให้เกิดรีโทรเกรดได้น้อย และยังสามารถรักษาเนื้อสัมผัสขนมนมเงินได้ดีกว่าแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ทำให้ขนมนมเงินแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิคมีความยืดหยุ่นมากกว่าแบบสัมผัสโลหะเย็นจัด

4.2.2 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส

ขนมนมเงินแป้งหมักปกติ และขนมนมเงินแป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ ร้อยละ 0.3 แช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค ทดสอบความเข้ม และความชอบทางประสาทสัมผัส

ก. ความเข้มทางประสาทสัมผัส

ผลการตรวจสอบความเข้มทางประสาทสัมผัสด้านความเรียบความแน่นเนื้อ ความยืดหยุ่น ความชุ่ม ใช้ผู้ทดสอบผ่านการฝึกฝน 8 คน

1) ก่อนการแช่เยือกแข็ง

จากการตรวจสอบความเข้มทางประสาทสัมผัสขนมนมเงินแป้งหมักปกติ และขนมนมเงินแป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ ก่อนการแช่เยือกแข็ง ได้ผลแสดงดังตารางที่ 31

ตารางที่ 31 เปรียบเทียบคะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัสขมจิ้นลักษณะแตกต่างกัน 4 สูตร
ก่อนการแช่เยือกแข็ง^{1/}

ขมจิ้นสูตรที่ ^{2/}	คะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัส			
	ความเรียบ	ความแน่นเนื้อ	ความยืดหยุ่น	ความชุ่ม
1	9.44±0.33a	8.43±0.36a	11.50±0.33c	10.01±0.40a
8	9.71±0.45a	8.73±0.42a	12.54±0.49b	10.24±0.45a
11	9.46±0.27a	8.76±0.53a	13.05±0.41a	10.34±0.30a
14	9.71±0.45a	8.73±0.42a	12.28±0.51b	10.24±0.45a

หมายเหตุ ^{1/} ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 8 ซ้ำ
ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวดิ่ง มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
^{2/} ความหมายของสูตรขมจิ้นเหมือนกับตารางที่ 29

ขมจิ้นแป้งหมักปกติ และขมจิ้นแป้งหมักผสมกัมมีคะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัสดังนี้ ความเรียบ ขมจิ้นแป้งหมักปกติมีคะแนนความเข้มด้านความเรียบเป็น 9.44 คะแนน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับขมจิ้นแป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ คือมีคะแนนเป็น 9.71, 9.46 และ 9.71 คะแนนตามลำดับ ความแน่นเนื้อ ขมจิ้นแป้งหมักปกติมีคะแนนด้านความแน่นเนื้อเป็น 8.43 คะแนน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับขมจิ้นแป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ คือมีคะแนนเป็น 8.73, 8.76 และ 8.73 คะแนน ตามลำดับ ความยืดหยุ่น ขมจิ้นแป้งหมักปกติมีคะแนนด้านความยืดหยุ่นเป็น 11.50 คะแนน น้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับขมจิ้นแป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ มีคะแนนความเข้ม 12.54, 13.05 และ 12.28 คะแนน ตามลำดับ ขมจิ้นแป้งหมักผสมกัมแซนแทน และกัมกัวร์ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ทั้งสองน้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับขมจิ้นแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซี ความชุ่ม ขมจิ้นแป้งหมักปกติมีคะแนนด้านความชุ่มเป็น 10.01 คะแนน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับขมจิ้นแป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ มีคะแนนเป็น 10.24, 10.34 และ 10.24 คะแนนตามลำดับ

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความเข้มข้นของน้ำมันปาล์ม และน้ำมันปาล์มผสมกับไขมันแทน น้ำมันปาล์ม และน้ำมันปาล์มผสมกับไขมันแทน ก่อนการแช่เยือกแข็ง น้ำมันปาล์ม น้ำมันปาล์ม และน้ำมันปาล์มผสมกับไขมันแทนมีความเข้มข้นด้านความเรียบ ความแน่นเนื้อ และความชุ่มชื้น ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ด้านความยืดหยุ่น น้ำมันปาล์มผสมกับไขมันแทน น้ำมันปาล์ม และน้ำมันปาล์ม อาจเกิดจาก ก่อนการแช่เยือกแข็ง น้ำมันปาล์มเกิดริ้วรอยเล็กน้อย ทำให้ผู้ทดสอบไม่เห็นความแตกต่างของน้ำมันปาล์ม ด้านความเรียบความแน่นเนื้อ และความชุ่มชื้น แต่ด้านความยืดหยุ่น การผสมกับไขมันช่วยให้ไขมันมีความยืดหยุ่นเพิ่มมากขึ้น ผู้ทดสอบรู้สึกได้ถึงความแตกต่างของไขมัน

2) รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1

การแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค น้ำมันปาล์มแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค มีความเข้มข้นทางประสาทสัมผัสดังนี้ ความเรียบ น้ำมันปาล์มผสมกับไขมันแทนมีความเข้มข้นด้านความเรียบเป็น 8.50 คะแนน น้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับน้ำมันปาล์มผสมกับไขมันแทน น้ำมันปาล์ม และน้ำมันปาล์ม ซึ่งมีคะแนนเป็น 9.40, 9.25 และ 9.48 คะแนน ตามลำดับ น้ำมันปาล์มผสมกับไขมันแทนทั้งสามชนิดมีความเข้มข้นด้านความเรียบไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ความแน่นเนื้อ น้ำมันปาล์มผสมกับไขมันแทน มีความเข้มข้นด้านความแน่นเนื้อเป็น 11.53 คะแนน มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับน้ำมันปาล์มผสมกับไขมันแทน น้ำมันปาล์ม และน้ำมันปาล์ม ซึ่งมีคะแนนเป็น 10.33, 10.46 และ 10.61 คะแนน ตามลำดับ น้ำมันปาล์มผสมกับไขมันแทนทั้งสามชนิดมีความเข้มข้นด้านความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ความยืดหยุ่น น้ำมันปาล์มผสมกับไขมันแทนมีความเข้มข้นด้านความยืดหยุ่นเป็น 10.51 คะแนน น้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับน้ำมันปาล์มผสมกับไขมันแทน น้ำมันปาล์ม และน้ำมันปาล์ม มีความเข้มข้นด้านความเข้มข้นเป็น 11.35, 11.19 และ 11.06 คะแนน ตามลำดับ น้ำมันปาล์มผสมกับไขมันแทน น้ำมันปาล์ม และน้ำมันปาล์ม ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ความชุ่มชื้น น้ำมันปาล์มผสมกับไขมันแทนมีความเข้มข้นด้านความชุ่มชื้นเป็น 12.24 คะแนน มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับน้ำมันปาล์มผสมกับไขมันแทน น้ำมันปาล์ม และน้ำมันปาล์ม มีความเข้มข้นเป็น 10.96, 10.38 และ 10.43 คะแนน ตามลำดับ น้ำมันปาล์มผสมกับไขมันแทนทั้งสามชนิดมีความเข้มข้นด้านความชุ่มชื้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แสดงดังตารางที่ 32

ตารางที่ 32 เปรียบเทียบคะแนนความเข้มประสาทสัมผัสขนมเงินลักษณะแตกต่างกัน 4 สูตร แซ่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1, 3 และ 5^{1/}

178

รอบ ที่	ขนมเงิน สูตรที่ ^{2/}	คะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัสขนมเงินแซ่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค				คะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัสขนมเงินแซ่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะ เย็นจัด			
		ความเรียบ	ความแน่นเนื้อ	ความยืดหยุ่น	ความชุ่ม	ความเรียบ	ความแน่นเนื้อ	ความยืดหยุ่น	ความชุ่ม
1	1	8.50±0.53b	11.53±0.41b	10.51±0.28b	12.24±0.35a	8.53±0.43b	10.86±0.53a	9.86±0.32b	12.35±0.27a
	8	9.40±0.64a	10.33±0.43a	11.35±0.44a	10.96±0.42b	9.69±0.60a	9.10±0.36c	11.05±0.62a	10.19±0.61b
	11	9.25±0.24a	10.46±0.39a	11.19±0.43a	10.38±0.52b	9.32±0.21a	9.24±0.25c	11.39±0.34a	10.38±0.52b
	14	9.48±0.39a	10.61±0.39a	11.06±0.48a	10.43±0.63b	9.40±0.56a	10.52±0.37b	10.94±0.42a	10.50±0.65b
3	1	6.70±0.63c	12.40±0.39a	8.93±0.47c	12.48±0.34a	6.83±0.57c	12.50±0.25a	7.59±0.56b	12.68±0.34a
	8	7.75±0.46b	10.91±0.36bc	10.71±0.26a	11.65±0.55b	8.26±0.52b	10.89±0.68b	9.13±0.46a	10.76±0.56b
	11	8.94±0.26a	10.73±0.57c	9.68±0.44b	11.00±0.56c	8.91±0.26a	10.75±0.57b	9.26±0.41a	10.50±0.38b
	14	8.66±0.51a	11.35±0.45b	9.61±0.44b	10.78±0.36c	8.59±0.52ab	10.96±0.52b	9.51±0.36a	10.36±0.36b
5	1	6.06±0.33b	12.64±0.52a	8.20±0.79b	13.53±0.38a	7.30±0.45b	13.05±0.33a	8.54±0.44c	12.38±0.39a
	8	7.19±1.06a	11.15±0.39b	9.20±0.68a	11.38±0.44b	7.75±0.75a	12.44±0.40b	8.05±0.23b	11.25±0.48b
	11	7.79±0.17a	10.81±0.15b	9.53±0.23a	10.93±0.48c	7.70±0.15a	10.70±0.33c	9.56±0.42a	10.93±0.63c
	14	7.66±0.58a	11.35±0.70b	8.04±0.40b	11.54±0.65b	7.81±0.52a	11.76±0.37c	8.05±0.39b	11.50±0.81b

หมายเหตุ ^{1/} ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{2/} ความหมายของสูตรขนมเงินเหมือนกับตารางที่ 29

การแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ขนมน้ำเงินแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัดมีคะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัสดังนี้ ความเรียบ ขนมน้ำเงินแป้งหมักปกติมีคะแนนความเข้มด้านความเรียบเป็น 8.53 คะแนน น้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับขนมน้ำเงินแป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ คือมีคะแนนเป็น 9.69, 9.32 และ 9.40 คะแนน ตามลำดับ ขนมน้ำเงินแป้งหมักผสมกัมทั้งสามชนิดมีคะแนนด้านความเรียบไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ความแน่นเนื้อ ขนมน้ำเงินแป้งหมักปกติ มีคะแนนด้านความแน่นเนื้อเป็น 11.53 คะแนน มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับขนมน้ำเงินแป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ คือมีคะแนนเป็น 9.10, 9.24 และ 10.52 คะแนน ตามลำดับ ขนมน้ำเงินแป้งหมักผสมกัมแซนแทน และกัมซีเอ็มซีมีคะแนนความเข้มด้านความแน่นเนื้อน้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับการผสมกัมกัวร์ ความยืดหยุ่น ขนมน้ำเงินแป้งหมักปกติมีคะแนนด้านความยืดหยุ่นเป็น 9.86 คะแนน น้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับขนมน้ำเงินแป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ มีคะแนนความยืดหยุ่นเป็น 11.05, 11.39 และ 10.94 คะแนน ตามลำดับ ขนมน้ำเงินแป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ความชุ่ม ขนมน้ำเงินแป้งหมักปกติมีคะแนนด้านความชุ่มเป็น 12.35 คะแนน มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับขนมน้ำเงินแป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ มีคะแนนเป็น 10.19, 10.38 และ 10.50 คะแนน ตามลำดับ ขนมน้ำเงินแป้งหมักผสมกัมทั้งสามชนิดมีคะแนนด้านความชุ่มไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากการคืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 1 ขนมน้ำเงินแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัดมีการเปลี่ยนแปลงสมบัติขนมน้ำเงินด้านต่างๆดังนี้ ขนมน้ำเงินแป้งหมักปกติมีคะแนนความเข้มด้านความเรียบ และความยืดหยุ่นน้อยกว่าขนมน้ำเงินแป้งหมักผสมกัม และมีความแน่นเนื้อ และความชุ่มมากกว่าขนมน้ำเงินแป้งหมักผสมกัม ทั้งนี้อาจเกิดจากการแช่เยือกแข็ง และคืนรูปจากเยือกแข็งขนมน้ำเงินแป้งหมักปกติเกิดรีโทรเกรดทำให้ขนมน้ำเงินมีความเข้มด้านความเรียบลดลง ความแน่นเนื้อ และความชุ่มมากขึ้น ความยืดหยุ่นลดลง แตกต่างกับขนมน้ำเงินแป้งหมักผสมกัม กัมที่กระจายตัวอยู่ในเส้นขนมน้ำเงินมีลักษณะเป็นโครงร่างตาข่าย ช่วยขัดขวางการเกิดรีโทรเกรด

3) รอบการคืนรูปจากเชือกแข็งที่ 3

การแช่เชือกแข็งแบบโครโอเจนิค ขนมหินแช่เชือกแข็งแบบโครโอเจนิคมีคะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัสดังนี้ ความเรียบ ขนมหินเป้งหมักปกติมีคะแนนด้านความเรียบเป็น 6.70 คะแนน น้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับขนมหินเป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ คือมีคะแนนเป็น 7.75, 8.94 และ 8.66 คะแนน ตามลำดับ ขนมหินเป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) และมีความเข้มด้านความเรียบมากกว่าขนมหินเป้งหมักผสมกัมแซนแทน ความแน่นเนื้อ ขนมหินเป้งหมักปกติมีคะแนนด้านความแน่นเนื้อเป็น 12.40 คะแนน มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับขนมหินเป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ คือมีคะแนนเป็น 10.91, 10.73 และ 11.35 คะแนน ตามลำดับ ขนมหินเป้งหมักผสมกัมแซนแทนไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับขนมหินเป้งหมักปกติผสมกัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ แต่ขนมหินเป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ความยืดหยุ่น ขนมหินเป้งหมักปกติมีคะแนนด้านความยืดหยุ่นเป็น 8.93 คะแนน น้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับขนมหินเป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ มีคะแนนความยืดหยุ่น 10.71, 9.68 และ 9.61 คะแนน ตามลำดับ ขนมหินเป้งหมักผสมกัมแซนแทนมีคะแนนด้านความยืดหยุ่นมากกว่ากัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ ขนมหินเป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ความขุ่น ขนมหินเป้งหมักปกติมีคะแนนความเข้มด้านความขุ่นเป็น 12.48 คะแนน มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับขนมหินเป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ มีคะแนนเป็น 11.65, 11.00 และ 10.78 คะแนน ตามลำดับ ขนมหินเป้งหมักผสมกัมแซนแทนมีคะแนนความขุ่นมากกว่าขนมหินเป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ ขนมหินเป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

การแช่เชือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ขนมหินแช่เชือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัดมีคะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัสดังนี้ ความเรียบ ขนมหินเป้งหมักปกติมีคะแนนความเข้มด้านความเรียบเป็น 6.83 คะแนน น้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติกับ ($p \leq 0.05$) ขนมหินเป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ คือมีคะแนนเป็น 8.26, 8.91 และ 8.59 คะแนน ตามลำดับ ขนมหินเป้งหมักผสมกัมแซนแทน และกัมกัวร์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่แตกต่างกับขนมหินเป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซี ขณะที่ขนมหินเป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ความแน่นเนื้อ ขนมหินเป้งหมักปกติมี

คะแนนด้านความแน่นเนื้อเป็น 12.50 คะแนน มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับขนมจีนแป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ คือมีคะแนนเป็น 10.89, 10.75 และ 10.96 คะแนน ตามลำดับ ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมแซนแทนไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับขนมจีนแป้งหมักปกติผสมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ ความยืดหยุ่น ขนมจีนแป้งหมักปกติมีคะแนนด้านความยืดหยุ่นเป็น 7.59 คะแนน น้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับขนมจีนแป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ มีคะแนนเป็น 9.13, 9.26 และ 9.51 คะแนน ตามลำดับ ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมทั้งสามชนิดไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ความชุ่ม ขนมจีนแป้งหมักปกติมีคะแนนความชุ่มด้านความชุ่มเป็น 12.68 คะแนน มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับขนมจีนแป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ มีคะแนนเป็น 10.76, 10.50 และ 10.36 คะแนน ตามลำดับ ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมทั้งสามชนิดไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากการคืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 3 ขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบโครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัดมีการเปลี่ยนแปลงสมบัติขนมจีนด้านต่างๆดังนี้ ขนมจีนแป้งหมักปกติมีความชุ่มด้านความเรียบ ความยืดหยุ่นน้อยลง ความแน่นเนื้อ และความชุ่มมากขึ้นกว่า แป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ ทั้งนี้เกิดจากเมื่อจำนวนรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งมากขึ้น ขนมจีนเกิดรีโทรเกรดมากขึ้น ขนมจีนแป้งหมักปกติจึงมีสมบัติเปลี่ยนแปลงและเมื่อผสมกัมในขนมจีน ขนมจีนผสมกัมมีสมบัติด้านความเรียบ และความยืดหยุ่นมากกว่าขนมจีนแป้งหมักปกติ และมีความแน่นเนื้อ และความชุ่มน้อยกว่าขนมจีนแป้งหมักปกติ

4) รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5

การแช่เยือกแข็งแบบโครโอเจนิค ขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบโครโอเจนิคมีคะแนนความชุ่มทางประสาทสัมผัสดังนี้ ความเรียบ ขนมจีนแป้งหมักปกติมีคะแนนความชุ่มด้านความเรียบเป็น 6.06 คะแนน น้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับขนมจีนแป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ คือมีคะแนนเป็น 7.19, 7.79 และ 7.66 คะแนน ตามลำดับ ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมทั้งสามชนิดไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ความแน่นเนื้อ ขนมจีนแป้งหมักปกติมีคะแนนด้านความแน่นเนื้อเป็น 12.64 คะแนน มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับขนมจีนแป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ คือมีคะแนนเป็น 11.15, 10.81 และ 11.35 คะแนน ตามลำดับ ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมแซนแทนมีด้านความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซี

และกัมกัวร์ ความยืดหยุ่น ขนมหินเป้งหมักปกติมีคะแนนด้านความยืดหยุ่นเป็น 8.20 คะแนน น้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับขนมหินเป้งหมักผสมกัมแซนแทน (9.20 คะแนน) และกัมซีเอ็มซี (9.53 คะแนน) แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับขนมหินเป้งหมักผสมกัมกัวร์มีคะแนนเป็น 8.04 คะแนน ขนมหินเป้งหมักผสมกัมแซนแทนมีคะแนนด้านความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกับกัมซีเอ็มซี ความชุ่ม ขนมหินเป้งหมักปกติมีคะแนนด้านความชุ่มเป็น 13.53 คะแนน มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับขนมหินเป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ มีคะแนนเป็น 11.38, 10.93 และ 11.54 คะแนนตามลำดับ ขนมหินเป้งหมักผสมกัมแซนแทนมีคะแนนความชุ่มไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับกัมกัวร์ และทั้งสองมีคะแนนด้านความชุ่มมากกว่าขนมหินเป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซี

การแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ขนมหินแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัดมีคะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัสดังนี้ ความเรียบ ขนมหินเป้งหมักปกติมีคะแนนด้านความเรียบเป็น 7.30 คะแนน น้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับขนมหินเป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ คือมีคะแนนเป็น 7.75, 7.70 และ 7.81 คะแนน ตามลำดับ ขนมหินเป้งหมักผสมกัมทั้งสามชนิดไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ความแน่นเนื้อ ขนมหินเป้งหมักปกติ มีคะแนนด้านความแน่นเนื้อเป็น 13.05 คะแนน มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับขนมหินเป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ คือมีคะแนนเป็น 12.44, 10.70 และ 11.76 คะแนน ตามลำดับ ขนมหินเป้งหมักผสมกัมแซนแทนมีคะแนนด้านความแน่นเนื้อมากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับกัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ ความยืดหยุ่น ขนมหินเป้งหมักปกติมีคะแนนด้านความยืดหยุ่นเป็น 8.54 คะแนน น้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับขนมหินเป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ มีคะแนนความเข้ม 8.05, 9.56 และ 8.05 คะแนน ตามลำดับ ขนมหินเป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีคะแนนความเข้มด้านความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกับกัมกัวร์ ($p > 0.05$) ความชุ่ม ขนมหินเป้งหมักปกติมีคะแนนด้านความชุ่มเป็น 12.38 คะแนน มากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับขนมหินเป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ มีคะแนนเป็น 11.25, 10.93 และ 11.50 คะแนน ตามลำดับ ขนมหินเป้งหมักผสมกัมแซนแทนมีคะแนนด้านความชุ่มไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับกัมกัวร์ แต่การผสมกัมซีเอ็มซีมีคะแนนความชุ่มน้อยที่สุด

จากการคืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 5 ขนมหินแช่เยือกแข็งแบบ ไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัดมีการเปลี่ยนแปลงสมบัติขนมหินด้านต่างๆดังนี้ ขนมหินแข็งหมักปกติมีคะแนนความแข็งด้านความเรียบ ความยืดหยุ่นน้อยลง ความแน่นเนื้อ และความชุ่มชื้นกว่าขนมหินแข็งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ ทั้งนี้เกิดจากเมื่อ รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งเพิ่มมากขึ้น ขนมหินแข็งหมักปกติเกิดรีโทรเกรดเพิ่มขึ้น จึงมีความ เรียบเปลี่ยนแปลง ความแน่นเนื้อ และความชุ่มชื้นเพิ่มขึ้น ความยืดหยุ่นลดลง เมื่อผสมกัมสามารถ ลดการเกิดรีโทรเกรด ขนมหินแข็งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์จึงความแข็งด้าน ความเรียบ และความชุ่มชื้นมากกว่า และความแน่นเนื้อ และความชุ่มชื้นน้อยกว่าขนมหินแข็งหมักปกติ

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบ สัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1 ขนมหินแข็งหมักปกติแช่เยือกแข็งแบบ ไครโอเจนิคมีคะแนนแข็งด้านความแน่นเนื้อน้อย ความยืดหยุ่นมากกว่าแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็น จัด เช่นเดียวกัน รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 3 ขนมหินแข็งหมักปกติแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิคมี คะแนนด้านความยืดหยุ่นมากกว่าแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด เกิดจากการแช่เยือกแข็งแบบ ไครโอเจนิคสามารถแช่เยือกแข็งขนมหินได้ถึงจุดเยือกแข็งได้เร็วกว่าแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด จึงทำให้เกิดรีโทรเกรดน้อย และรักษาเนื้อสัมผัสขนมหินได้ดีกว่าขนมหินแช่เยือกแข็งแบบสัมผัส แผ่นโลหะเย็นจัด

ข. ความชอบทางประสาทสัมผัส

ผลการตรวจสอบความชอบด้านความชอบรวม ของขนมหินแช่เยือกแข็ง แบบไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ใช้ผู้ทดสอบผ่านการฝึกฝน 8 คน แสดงดัง ตารางที่ 33

ตารางที่ 33 เปรียบเทียบจำนวนผู้ทดสอบที่ให้คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสขนมจีนลักษณะแตกต่างกัน 4 สูตรแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1 และ 5

184

รอบที่	ขนมจีน สูตรที่ ^{1/}	จำนวนผู้ทดสอบที่ให้คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัส ^{2/}											
		ขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค						ขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด					
		3	4	5	6	7	8	3	4	5	6	7	8
1	1	-	-	-	3	5	-	-	-	-	4	4	-
	8	-	-	-	2	5	1	-	-	-	2	5	1
	11	-	-	-	-	6	2	-	-	-	-	6	2
	14	-	-	-	1	7	-	-	-	-	2	6	-
5	1	1	6	1	-	-	-	2	6	-	-	-	-
	8	-	-	5	3	-	-	-	-	6	2	-	-
	11	-	-	-	2	6	-	-	-	-	2	6	-
	14	-	1	5	2	-	-	-	3	5	-	-	-

หมายเหตุ ^{1/} ความหมายของสูตรขนมจีนเหมือนกับตารางที่ 29

^{2/} คะแนน 3=ไม่ชอบปานกลาง, คะแนน 4=ไม่ชอบเล็กน้อย, คะแนน 5=เฉยๆ, คะแนน 6=ชอบเล็กน้อย, คะแนน 7=ชอบปานกลาง, คะแนน 8=ชอบมาก

1) รอบการคืนรูปจากเชือกเงี่ยงที่ 1

การแซ่เยือกเงี่ยงแบบโครโอเจนิค ผู้ทดสอบให้คะแนนขนมจีนแป้งหมักปกติ ชอบเล็กน้อย 3 คน ชอบปานกลาง 5 คน ได้รับคะแนนการยอมรับน้อยกว่าขนมจีนแป้งหมักผสมกัม ขนมจีนผสมกัมแซนแทนได้รับคะแนนชอบเล็กน้อย 2 คน ชอบปานกลาง 5 คน ชอบมาก 1 คน น้อยกว่าขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีซึ่งได้รับคะแนนชอบปานกลาง 6 คน ชอบมาก 2 คน ขณะที่ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมกัวร์ได้รับคะแนนชอบเล็กน้อย 1 คน ชอบปานกลาง 7 คน ไม่มีผู้ทดสอบให้คะแนนชอบมาก

การแซ่เยือกเงี่ยงแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ผู้ทดสอบให้คะแนนขนมจีนแป้งหมักปกติ ชอบเล็กน้อย 4 คน ชอบปานกลาง 4 คน ได้รับคะแนนการยอมรับน้อยกว่าขนมจีนแป้งหมักผสมกัม ขนมจีนผสมกัมแซนแทนได้รับคะแนนชอบเล็กน้อย 2 คน ชอบปานกลาง 5 คน ชอบมาก 1 คน น้อยกว่าขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีซึ่งได้รับคะแนนชอบปานกลาง 6 คน ชอบมาก 2 คน ขณะที่ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมกัวร์ได้รับคะแนนชอบเล็กน้อย 2 คน ชอบปานกลาง 6 คน ไม่มีผู้ทดสอบให้คะแนนชอบมาก

จากรอบการคืนรูปจากเชือกเงี่ยงที่ 1 ขนมจีนแป้งหมักปกติมีคะแนนความชอบรวมน้อยกว่าขนมจีนแป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ ทั้งนี้เกิดจากขนมจีนแป้งหมักปกติเกิดรีโทรเกรด ทำให้เนื้อสัมผัสขนมจีนแป้งหมักปกติเกิดการเปลี่ยนแปลงมากกว่าขนมจีนแป้งหมักผสมกัม ผู้ทดสอบจึงให้การยอมรับขนมจีนแป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์มากกว่าขนมจีนแป้งหมักปกติ ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีได้รับคะแนนชอบมากกว่าขนมจีนตัวอย่างอื่น สอดคล้องกับผลการตรวจสอบค่าเนื้อสัมผัส และความเข้มทางประสาทสัมผัสขนมจีน

2) รอบการคืนรูปจากเชือกเงี่ยงที่ 5

การแซ่เยือกเงี่ยงแบบโครโอเจนิค ผู้ทดสอบให้คะแนนขนมจีนแป้งหมักปกติไม่ชอบปานกลาง 1 คน ไม่ชอบเล็กน้อย 6 คน และเฉยๆ 1 คน ได้รับคะแนนการยอมรับน้อยกว่าขนมจีนแป้งหมักผสมกัม ขนมจีนผสมกัมแซนแทนได้รับคะแนนเฉยๆ 5 คน ชอบเล็กน้อย 3 คน น้อยกว่าขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีซึ่งได้รับคะแนนชอบเล็กน้อย 2 คน ชอบปานกลาง

6 คน ขณะที่ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมกัวร์ได้รับคะแนนไม่ชอบเล็กน้อย 1 คน เฉยๆ 5 คน ชอบเล็กน้อย 2 คน

การแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ผู้ทดสอบให้คะแนนขนมจีนแป้งหมักปกติไม่ชอบปานกลาง 2 คน และไม่ชอบเล็กน้อย 6 คน ได้รับคะแนนการยอมรับน้อยกว่าขนมจีนแป้งหมักผสมกัม ขนมจีนผสมกัมแซนแทนได้รับคะแนนเฉยๆ 6 คน ชอบเล็กน้อย 2 คน น้อยกว่าขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีซึ่งได้รับคะแนนชอบเล็กน้อย 2 คน ชอบปานกลาง 6 คน ขณะที่ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมกัวร์ได้รับคะแนนไม่ชอบเล็กน้อย 3 คน และเฉยๆ 5 คน

จากรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5 ขนมจีนแป้งหมักปกติมีคะแนนความชอบรวมลดลงอยู่ในเกณฑ์ไม่ชอบเล็กน้อยถึงเฉยๆ เกิดจากการเกิดรีโทรเกรด ส่งผลให้มีเนื้อสัมผัสขนมจีนแป้งหมักปกติเปลี่ยนแปลง สอดคล้องกับผลการวัดค่าเนื้อสัมผัส และความเข้มทางประสาทสัมผัสของขนมจีนแป้งหมักปกติ คือมีความแน่นนุ่มมากขึ้น และความยืดหยุ่นลดลง ขณะที่การผสมกัมในขนมจีนช่วยลดการเกิดรีโทรเกรด ช่วยให้ขนมจีนมีความคงทนต่อการเกิดรีโทรเกรด ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีคะแนนความชอบมากที่สุดในทุกด้าน โดยมีคะแนนความชอบในทุกด้านอยู่ในเกณฑ์ชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1 และ 5 ขนมจีนแป้งหมักปกติแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิคมีคะแนนความชอบมากกว่าแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด เกิดจากการแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิคเป็นการแช่เยือกแข็งที่เร็วกว่าแบบสัมผัสโลหะเย็นจัด ทำให้เกิดรีโทรเกรดน้อย รักษาเนื้อสัมผัสโครงสร้างขนมจีนได้ดีกว่าแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด

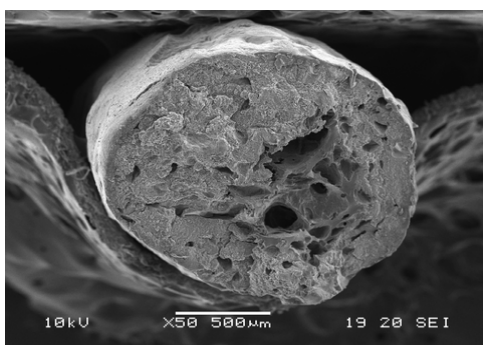
4.3 การตรวจสอบโครงสร้างขนมจีน

จากการตรวจสอบโครงสร้างของขนมจีนเป้งหมักปกติ และขนมจีนเป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ แสดงดังภาพที่ 29 ก่อนการแช่เยือกแข็ง ขนมจีนเป้งหมักปกติมีโครงสร้างค่อนข้างแน่น มีรูพรุนเล็กน้อย ขณะที่ขนมจีนเป้งหมักผสมแซนแทน และกัมซีเอ็มซี มีโครงสร้างแน่นมีรูพรุนน้อยมาก เมื่อผ่านการคั้นรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 5 ขนมจีนเป้งหมักปกติมีรูพรุนเกิดขึ้นจำนวนมาก และมีขนาดใหญ่ อาจเกิดจากการเกิดรีโทรเกรดระหว่างคั้นรูป และแช่เยือกแข็งอีกครั้ง โดยเมื่อคั้นรูปขนมจีนจากเยือกแข็ง น้ำอิสระเคลื่อนเข้าหากัน แอมิโลส และ แอมิโลเพกทินเคลื่อนที่เข้าใกล้กันมากขึ้นจับกันเป็นร่างแห แทนการจับกับน้ำทำให้ขนมจีนมีรูพรุนขนาดใหญ่ดังภาพ ส่งผลให้ความยืดหยุ่นของขนมจีนลดลง ขณะที่ขนมจีนเป้งหมักผสมกัมแซนแทน และกัมกัวร์มีรูพรุนเกิดขึ้นมากกว่าก่อนการแช่เยือกแข็ง แต่น้อยกว่าขนมจีนเป้งหมักปกติ ขณะที่ขนมจีนเป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีรูพรุนเกิดขึ้นเช่นกัน แต่เป็นรูขนาดเล็กมากกระจายในโครงสร้างขนมจีนอาจเป็นสาเหตุให้ขนมจีนเป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีเนื้อสัมผัสเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าขนมจีนชนิดอื่น และเป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบ สาเหตุที่ขนมจีนเป้งหมักผสมกัมมีเนื้อสัมผัสที่ดีกว่าขนมจีนเป้งหมักปกติ ทั้งนี้อาจเกิดจากร่างแหของกัมที่กระจายภายในขนมจีนขัดขวางการเคลื่อนที่บีบกันของสายแอมิโลสและแอมิโลเพกทิน นอกจากนี้กัมยังมีสมบัติจับกับน้ำได้ดี ทำให้เมื่อแช่เยือกแข็งสามารถช่วยลดการเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ภายในขนมจีนได้ ส่งผลให้ขนมจีนเป้งหมักผสมกัมมีเนื้อสัมผัสที่ดีกว่าขนมจีนเป้งหมักปกติ

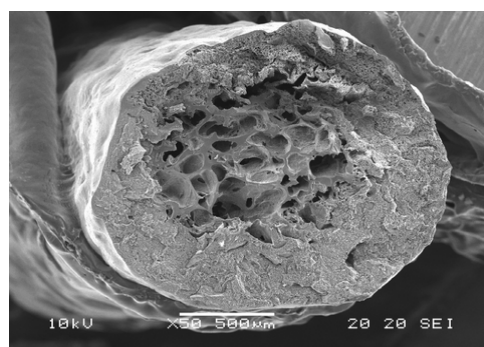
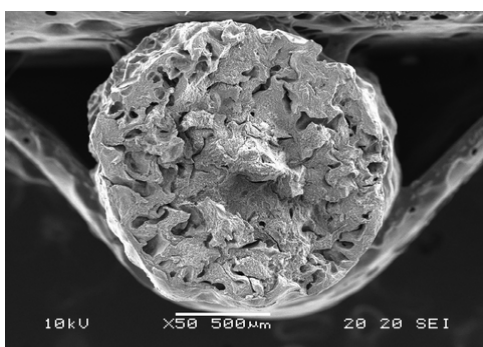
ก่อนแช่เยือกแข็ง

รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5

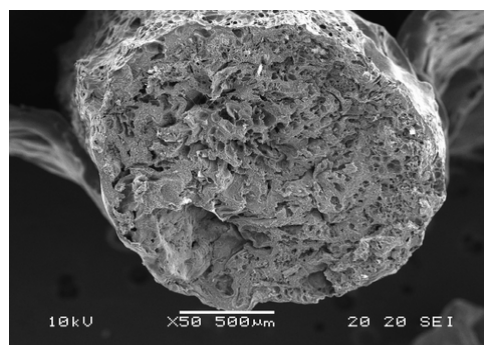
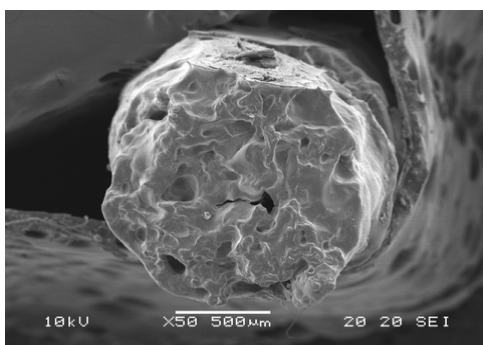
1



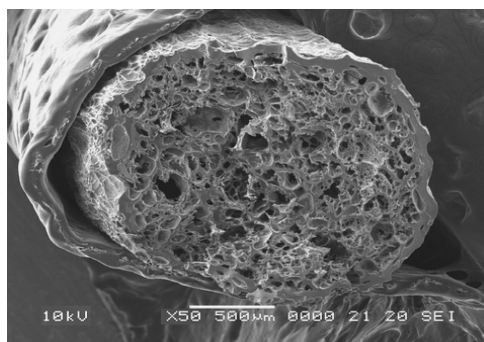
8



11



14



ภาพที่ 29 โครงสร้างขนมจีนแป้งหมักปกติ (สูตรที่ 1) และขนมจีนแป้งหมักผสมกับร้อยละ 0.3 คือ แซนแทน (สูตรที่ 8) และกัมซีเอ็มซี (สูตรที่ 11) และกัมกัวร์ (สูตรที่ 14) กำลังขยาย 50 เท่า ก่อนการแช่เยือกแข็ง และการคืนรูปจากเยือกแข็งแบบอากาศเย็นจัดรอบที่ 5

เมื่อพิจารณาผลของการผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ ร้อยละ 0.3 ในการผลิตขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัดให้ผลคล้ายคลึงกัน จึงพิจารณาเพื่อคัดเลือกเลือกขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีได้ดังนี้

ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นก่อนการแช่เยือกแข็งมากกว่าขนมจีนแป้งหมักปกติ เมื่อผ่านการคั้นรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 1, 3 และ 5 ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีความแน่นเนื้อน้อย ความยืดหยุ่นมากกว่าขนมจีนแป้งหมักปกติในทุกรอบการคั้นรูปจากเยือกแข็ง เมื่อตรวจสอบความเข้มทางประสาทสัมผัส ก่อนการแช่เยือกแข็ง ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีคะแนนความเรียบ ความแน่นเนื้อ และความชุ่มไม่แตกต่างกับขนมจีนแป้งหมักปกติ แต่มีความยืดหยุ่นมากกว่าขนมจีนแป้งหมักปกติ รอบการคั้นรูปจากเยือกแข็งที่ 1, 3 และ 5 ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซี มีคะแนนความเรียบ และความยืดหยุ่นมาก ความแน่นเนื้อ และความชุ่มน้อยกว่าขนมจีนแป้งหมักปกติในทุกรอบการคั้นรูปจากเยือกแข็ง เมื่อตรวจสอบความชอบทางประสาทสัมผัส รอบการคั้นรูปจากเยือกแข็งที่ 5 ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมากกว่าขนมจีนแป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมกัวร์ และขนมจีนแป้งหมักปกติ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลของการแช่เยือกแข็ง ขนมจีนแป้งหมักแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค รอบการคั้นรูปจากเยือกแข็งที่ 1, 3 และ 5 มีค่าความแน่นเนื้อน้อย และความยืดหยุ่นมากกว่าขนมจีนแป้งหมักปกติ ซึ่งจากผลการทดลองทั้งหมดแสดงให้เห็นว่าขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีความเหมาะสมต่อการผลิตขนมจีนพร้อมบริโภคแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค

5. ผลการตรวจสอบอายุการเก็บรักษาของขนมจีนพร้อมบริโภคน้ำแข็งเยือกแข็ง

เมื่อผลิตขนมจีนแป้งหมักปกติ ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อร้อยละ 40 และขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีร้อยละ 0.3 น้ำแข็งเยือกแข็งแบบไครโอเจนิคจนมีอุณหภูมิเป็น -50 องศาเซลเซียส เก็บรักษาอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน และ -18 องศาเซลเซียส 56 วัน

5.1 การเก็บรักษาขนมจีนพร้อมบริโภคน้ำแข็งเยือกแข็ง อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส 14 วัน

ผลการตรวจสอบค่าเนื้อสัมผัส และทดสอบความชื้น และความชอบทางประสาทสัมผัส ขนมจีนแป้งหมักปกติ ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อร้อยละ 40 และขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีร้อยละ 0.3 และตรวจสอบการยอมรับแรงเคี้ยวหวานได้

5.1.1 ผลการวัดค่าเนื้อสัมผัส

ก. ผลความแน่นเนื้อ

ขนมจีนแป้งหมักปกติ วันเริ่มต้นขนมจีนแป้งหมักปกติมีความแน่นเนื้อ 14.81 กรัม ไม่แตกต่างกับวันที่ 2 มีความแน่นเนื้อ 21.22 กรัม เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 4 และ 6 วัน มีค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นเป็น 28.43 และ 42.60 กรัม (ตารางที่ 34)

ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อร้อยละ 40 วันเริ่มต้นมีค่าความแน่นเนื้อ 19.32 กรัม เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 2, 4, 6, 8 และ 10 วันมีค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เป็น 22.32, 24.42, 27.17, 34.48 และ 42.17 กรัม

ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีร้อยละ 0.3 วันเริ่มต้น มีค่าความแน่นเนื้อเป็น 16.18 กรัม เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 วันมีค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติเป็น ($p \leq 0.05$) 18.97, 27.05, 29.95, 33.70, 37.35 และ 43.04 กรัม

ข. ผลความยืดหยุ่น

ขนมจีนแป้งหมักปกติ วันเริ่มต้นขนมจีนแป้งหมักปกติมีความยืดหยุ่น 8.88 เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 2, 4 และ 6 วัน มีค่าความยืดหยุ่นลดลงเป็น 6.42, 3.87 และ 0.92 (ตารางที่ 34)

ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 วันเริ่มต้น มีค่าความยืดหยุ่น 8.23 เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 2, 4, 6, 8 และ 10 วันมีค่าความยืดหยุ่นลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เป็น 6.88, 4.83, 4.05, 3.77 และ 2.62

ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีร้อยละ 0.3 วันเริ่มต้น มีค่าความยืดหยุ่นเป็น 11.50 เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 วันมีค่าความยืดหยุ่นลดลงเป็น 10.82, 9.35, 7.85, 8.02, 7.28 และ 4.45 วันที่ 6 และ 10 มีความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากการตรวจสอบค่าความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นขนมจีนแป้งหมักปกติ ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 และขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีร้อยละ 0.3 ระหว่างการเก็บรักษา 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 วัน ขนมจีนทั้งสามชนิดมีการเปลี่ยนแปลงค่าเนื้อสัมผัสดังนี้ ขนมจีนแป้งหมักปกติมีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น และความยืดหยุ่นลดลงจากวันเริ่มต้น 14.81 กรัม และ 8.88 วันที่ 6 เป็น 42.60 กรัม และ 0.92 ตามลำดับ ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 มีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น และความยืดหยุ่นลดลงจากวันเริ่มต้น 19.32 กรัม และ 8.23 วันที่ 10 เป็น 42.17 กรัม และ 2.62 และขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น และความยืดหยุ่นลดลงจากวันเริ่มต้นเป็น 16.18 กรัม และ 11.50 วันที่ 12 เป็น 43.04 กรัม และ 4.45

ตารางที่ 34 เปรียบเทียบค่าความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นขนมจีนแตกต่างกัน 3 สูตร แซ่เอี๊ยะแข็งแบบโครโอเจนิค ระหว่างการเก็บรักษาอุณหภูมิ 4 °ซ วันเริ่มต้น, วันที่ 2, 4, 6, 8, 10 และ 12^{1/}

สูตร ที่ ^{2/}	ค่าเนื้อสัมผัส	ค่าเนื้อสัมผัสระหว่างเก็บรักษา(วัน)						
		วันเริ่มต้น	วันที่ 2	วันที่ 4	วันที่ 6	วันที่ 8	วันที่ 10	วันที่ 12
1	ความแน่นเนื้อ	14.81±0.61c	21.22±0.97bc	28.43±12.37b	42.60±0.97a	*	*	*
	ความยืดหยุ่น	8.88±0.28a	6.42±0.33b	3.87±0.43c	0.92±0.17d	*	*	*
5	ความแน่นเนื้อ	19.32±0.59f	22.32±0.27e	24.42±0.72d	27.17±0.31c	34.48±1.15b	42.17±0.75a	*
	ความยืดหยุ่น	8.23±0.34a	6.88±0.66b	4.83±0.39c	4.05±0.16d	3.77±0.33d	2.62±0.50e	*
11	ความแน่นเนื้อ	16.18±0.41g	18.97±0.69f	27.05±0.62e	29.95±0.66d	33.70±0.75c	37.35±0.71b	43.04±1.30a
	ความยืดหยุ่น	11.50±0.66a	10.82±0.26b	9.35±0.58c	7.85±0.54de	8.02±0.60d	7.28±0.51e	4.45±0.44f

หมายเหตุ ^{1/} ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ, ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{2/} สูตรที่ 1 คือ ขนมจีนแป้งหมักปกติ, สูตรที่ 5 คือ ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40, สูตรที่ 11 คือ ขนมจีนผสมกับซีเอ็มซีร้อยละ 0.3

* ไม่มีข้อมูล เนื่องจากขนมจีนไม่เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบ

5.1.2 ผลการตรวจสอบทางประสาทสัมผัส

ผลการตรวจสอบความเข้ม และการยอมรับทางประสาทสัมผัสขนมจีนแป้งหมักปกติ ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 และขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซี ร้อยละ 0.3 และตรวจสอบการยอมรับแรงเคี้ยวหวานไ้ระหว่างการเก็บรักษา

ก. ความเข้มทางประสาทสัมผัส

ตรวจสอบความเข้มด้านความเรียบ ความแน่นเนื้อ ความยืดหยุ่น ความชุ่มของขนมจีนแป้งหมักปกติ ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 และขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีร้อยละ 0.3 แสดงดังตารางที่ 35

ตารางที่ 35 เปรียบเทียบคะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัสขมจืดต่างกัน 3 สูตร แซ่เอี๊ยะแข็งแบบโคร โอะเจนิค ระหว่างการเก็บรักษาอุณหภูมิ 4 °ซ
วันเริ่มต้น, วันที่ 2, 4, 6, 8, 10 และ 12^{1/}

สูตรที่ ^{2/}	ความเข้ม	คะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัส						
		วันเริ่มต้น	วันที่ 2	วันที่ 4	วันที่ 6	วันที่ 8	วันที่ 10	วันที่ 12
1	ความเรียบ	9.59±0.30a	9.09±0.17b	8.29±0.39c	6.86±0.39d	*	*	*
	ความแน่นเนื้อ	10.60±0.28b	11.26±0.19b	11.96±3.69b	13.14±0.25a	*	*	*
	ความยืดหยุ่น	12.89±0.11a	11.19±0.41b	10.69±0.24c	7.91±0.48d	*	*	*
	ความชุ่ม	10.58±0.33c	11.35±0.38c	12.06±0.19b	13.43±0.37a	*	*	*
5	ความเรียบ	9.80±0.29a	9.69±0.22a	9.66±0.23a	8.99±0.19b	8.08±0.12c	7.09±0.20d	*
	ความแน่นเนื้อ	11.43±0.32c	11.41±0.32c	11.46±0.32c	11.93±0.44b	12.18±0.38b	13.28±0.28a	*
	ความยืดหยุ่น	12.25±0.28a	12.15±0.23a	11.54±0.25b	10.94±0.39c	9.35±0.35d	7.90±0.37e	*
	ความชุ่ม	10.55±0.42d	10.49±0.36d	11.04±0.36d	11.43±0.32c	12.55±0.28b	13.38±0.32a	*
11	ความเรียบ	10.59±0.42a	10.63±0.30a	10.40±0.19a	9.98±0.28b	9.23±0.28c	8.23±0.31e	7.23±0.32f
	ความแน่นเนื้อ	10.76±0.18f	10.80±0.19f	11.63±0.34e	11.85±0.13d	12.14±0.18c	12.63±0.23b	13.19±0.30a
	ความยืดหยุ่น	13.09±0.32a	12.94±0.35a	11.18±0.35b	10.96±0.30b	9.51±0.18c	9.05±0.26d	8.01±0.29e
	ความชุ่ม	10.89±0.11e	10.81±0.12e	10.90±0.13e	11.20±0.50d	11.75±0.34c	12.50±0.32b	13.24±0.32a

หมายเหตุ ^{1/} ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ, ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{2/} ความหมายของสูตรขนมจีนเหมือนกับตารางที่ 34

* ไม่มีข้อมูล เนื่องจากขนมจีนไม่เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบ

1) ขนมหินเป้งหมักปกติ

วันเริ่มต้นขนมหินเป้งหมักปกติมีคะแนนความเรียบเป็น 9.59 คะแนน เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 2, 4 และ 6 วัน มีคะแนนด้านความเรียบลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เป็น 9.09, 8.29 และ 6.86 คะแนน ตามลำดับ ความแน่นเนื้อ วันเริ่มต้นขนมหินเป้งหมักปกติมีคะแนนเป็น 10.60 คะแนน เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 2, 4 และ 6 วัน มีคะแนนด้านความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เป็น 11.26, 11.96 และ 13.14 คะแนน ตามลำดับ ความยืดหยุ่น วันเริ่มต้นขนมหินเป้งหมักปกติมีคะแนนเป็น 12.89 คะแนน เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 2, 4 และ 6 วัน มีคะแนนด้านความยืดหยุ่นลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เป็น 11.19, 10.69 และ 7.91 คะแนน ตามลำดับ ความชุ่ม วันเริ่มต้นขนมหินเป้งหมักปกติมีคะแนนเป็น 10.58 คะแนน เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 2, 4 และ 6 วัน มีคะแนนด้านความชุ่มเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เป็น 11.35, 12.06 และ 13.43 คะแนน ตามลำดับ

2) ขนมหินทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40

วันเริ่มต้นขนมหินทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบผสานเนื้อ มีคะแนนด้านความเรียบเป็น 9.80 คะแนน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับวันที่ 2 และ 4 เป็น 9.69 และ 9.66 คะแนน ตามลำดับ เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 6, 8 และ 10 วัน ขนมหินทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบผสานเนื้อ มีคะแนนความเรียบลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เป็น 8.99, 8.08 และ 7.09 คะแนน ตามลำดับ ความแน่นเนื้อ วันเริ่มต้นขนมหินทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบผสานเนื้อ มีคะแนนด้านความแน่นเนื้อเป็น 11.43 คะแนน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับวันที่ 2 และ 4 เป็น 11.41 และ 11.46 คะแนน ตามลำดับ เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 6 และ 8 วัน ขนมหินทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบผสานเนื้อ มีคะแนนความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับวันที่ 4 เป็น 11.93 และ 12.18 คะแนน ตามลำดับ วันที่ 6 และ 8 มีคะแนนด้านความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 10 วัน คะแนนด้านความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นเป็น 13.28 คะแนน ความยืดหยุ่น วันเริ่มต้นขนมหินทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบผสานเนื้อ มีคะแนนด้านความยืดหยุ่นเป็น 12.25 คะแนน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับวันที่ 2 เป็น 12.15 เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 4, 6, 8 และ 10 วัน ขนมหินทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบ

ผลานเนื้อหามีคะแนนด้านความยืดหยุ่นลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เป็น 11.54, 10.94, 9.35 และ 7.90 คะแนน ตามลำดับ ความชุ่ม วันเริ่มต้นขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อหามีคะแนนเป็น 10.55 คะแนน เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 2 และ 4 วัน มีคะแนนด้านความชุ่มไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) เป็น 10.49 และ 11.04 คะแนน ตามลำดับ วันที่ 6, 8 และ 10 มีคะแนนด้านความชุ่มเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เป็น 11.43, 12.55 และ 13.38 คะแนน ตามลำดับ

3) ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีร้อยละ 0.3

วันเริ่มต้นขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีคะแนนด้านความเรียบเป็น 10.59 คะแนน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับวันที่ 2 และ 4 เป็น 10.63 และ 10.40 คะแนน ตามลำดับ เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 6, 8, 10 และ 12 วัน ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีคะแนนความเรียบลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เป็น 9.98, 9.23, 8.23 และ 7.23 คะแนน ตามลำดับ ความแน่นเนื้อ วันเริ่มต้นขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีคะแนนด้านความแน่นเนื้อเป็น 10.76 คะแนน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับวันที่ 2 เป็น 10.80 คะแนน เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 4, 6, 8, 10 และ 12 วัน ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีคะแนนด้านความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เป็น 11.63, 11.85, 12.14, 12.63 และ 13.19 คะแนน ตามลำดับ ความยืดหยุ่น วันเริ่มต้นขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีคะแนนด้านยืดหยุ่นเป็น 13.09 คะแนน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับวันที่ 2 เป็น 12.94 คะแนน เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 4 และ 6 วัน ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีคะแนนความยืดหยุ่นลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับวันที่ 2 เป็น 11.18 และ 10.96 คะแนน ตามลำดับ วันที่ 4 และ 6 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 8, 10 และ 12 คะแนนด้านความยืดหยุ่นลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เป็น 9.51, 9.05 และ 8.01 คะแนน ตามลำดับ ความชุ่ม วันเริ่มต้นขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีคะแนนเป็น 10.89 คะแนน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับระยะเวลาการเก็บรักษาวันที่ 2 และ 4 วัน มีคะแนนด้านความชุ่มเป็น 10.81 และ 10.90 คะแนน ตามลำดับ วันที่ 6, 8, 10 และ 12 มีคะแนนด้านความชุ่มเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เป็น 11.20, 11.75, 12.50 และ 13.24 คะแนน ตามลำดับ

จากการตรวจสอบความเข้มทางประสาทสัมผัสของขนมจีนแป้งหมักปกติ ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 และขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซี ร้อยละ 0.3 เก็บรักษาอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส วันเริ่มต้น, 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 ปรากฏว่า ขนมจีน ทุกตัวอย่างมีคะแนนด้านความเรียบ และความยืดหยุ่นลดลง ความแน่นเนื้อ และความชุ่มเพิ่มขึ้น คะแนนด้านความเรียบ ความแน่นเนื้อ ความยืดหยุ่น และความชุ่ม ขนมจีนแป้งหมักปกติมีคะแนน วันเริ่มต้นเป็น 9.59, 10.60, 12.89 และ 10.58 คะแนน ตามลำดับ วันที่ 6 มีคะแนนเปลี่ยนแปลงเป็น 6.86, 13.14, 7.91 และ 13.43 คะแนน ตามลำดับ ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสาน เนื้อมีคะแนนวันเริ่มต้นเป็น 9.80, 11.43, 12.25 และ 10.55 คะแนน ตามลำดับ วันที่ 10 มีคะแนน ความเข้มเปลี่ยนแปลงเป็น 7.09, 13.28, 7.90 และ 13.38 คะแนน ตามลำดับ ขนมจีนแป้งหมัก ผสมกัมซีเอ็มซีมีคะแนนวันเริ่มต้นเป็น 10.59, 10.76, 13.09 และ 10.89 คะแนน ตามลำดับ วันที่ 12 มีคะแนนความเข้มเปลี่ยนแปลงเป็น 7.23, 13.19, 8.01 และ 13.24 คะแนน ตามลำดับ

การเก็บรักษาขนมจีนอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลานาน ส่งผลให้ขนมจีนเกิดรีโทรเกรดมากขึ้น ขนมจีนแป้งหมักปกติมีความแน่นเนื้อ และความชุ่ม เพิ่มขึ้น ความเรียบ และความยืดหยุ่นลดลง สอดคล้องกับการตรวจสอบสมบัติความคงทนต่อการ คั้นรูปจากเยือกแข็งเจลแป้งหมักปกติ ส่งผลให้ค่าเนื้อสัมผัสด้านความแน่นเนื้อมากขึ้น และความ ยืดหยุ่นลดลง เมื่อตรวจสอบความเข้มทางประสาทสัมผัสผู้ทดสอบจึงให้คะแนนความเข้มด้าน ความเรียบ และความยืดหยุ่นลดลง ความแน่นเนื้อ และความชุ่มเพิ่มขึ้น ขณะที่ขนมจีนทดแทน แป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 และขนมจีนผสมกัมซีเอ็มซีร้อยละ 0.3 มีความคงทน ต่อการคั้นรูปจากเยือกแข็งมากกว่าขนมจีนแป้งหมักปกติ สอดคล้องกับการตรวจสอบสมบัติของ เจลแป้งหมักอบผสานเนื้อ และเจลแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซี ทำให้ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วย แป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 และขนมจีนผสมกัมซีเอ็มซีมีคะแนนความเข้มด้านความเรียบ และความยืดหยุ่นลดลง ความแน่นเนื้อ และความชุ่มเพิ่มขึ้นน้อยกว่าขนมจีนแป้งหมักปกติ

ข. การยอมรับทางประสาทสัมผัส

ผลการตรวจสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสขนมจีนแป้งหมักปกติ ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานครือร้อยละ 40 และขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซี ร้อยละ 0.3 และการยอมรับแกงเขียวหวานไก่ เพื่อประเมินการยอมรับของผู้บริโภค โดยผู้ทดสอบ ให้คะแนน 1-4 คือ ผู้ทดสอบไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ และคะแนน 5-9 คือ ผู้ทดสอบยอมรับผลิตภัณฑ์ ระหว่างอายุการเก็บรักษา 4 องศาเซลเซียส แสดงดังตารางที่ 36

1) ขนมจีนแป้งหมักปกติ

ผู้ทดสอบให้การยอมรับขนมจีนแป้งหมักปกติในวันเริ่มต้น อายุการเก็บรักษาขนมจีนแป้งหมักปกติเป็น 2 และ 4 วัน ผู้ทดสอบยังคงให้การยอมรับขนมจีนแป้งหมักปกติ เมื่ออายุการเก็บรักษาเป็น 6 วัน ผู้ทดสอบไม่ให้การยอมรับขนมจีนแป้งหมักปกติ

2) ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานครือร้อยละ 40

ผู้ทดสอบให้การยอมรับขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานครือในวันเริ่มต้น อายุการเก็บรักษาขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานครือเป็น 2, 4, 6 และ 8 วัน ผู้ทดสอบยังคงให้การยอมรับขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานครือ เมื่ออายุการเก็บรักษาเป็น 10 วัน ผู้ทดสอบไม่ให้การยอมรับขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานครือ

3) ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีร้อยละ 0.3

ผู้ทดสอบให้การยอมรับขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีในวันเริ่มต้น อายุการเก็บรักษาขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีเป็น 2, 4, 6, 8 และ 10 วัน ผู้ทดสอบยังคงให้การยอมรับขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซี เมื่ออายุการเก็บรักษาเป็น 12 วัน ผู้ทดสอบไม่ให้การยอมรับขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซี

จากการตรวจสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสขนนเงินแป้งหมักปกติ ขนนเงินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อร้อยละ 40 และขนนเงินแป้งหมักผสมกับซีเอ็มซีร้อยละ 0.3 เก็บรักษาอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส วันเริ่มต้น, 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 ปรากฏว่า ผู้ทดสอบให้การยอมรับขนนเงินแป้งหมักปกติ ขนนเงินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อ และขนนเงินแป้งหมักผสมกับซีเอ็มซี 4, 8 และ 10 วัน ตามลำดับ ทั้งนี้เกิดจากขนนเงินแช่เยือกแข็ง การเก็บรักษาอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน ส่งผลให้ขนนเงินเกิดริ้วรอยมากขึ้น ขนนเงินแป้งหมักปกติมีความแน่นเนื้อ และความชุ่มเพิ่มขึ้น ความเรียบ และความยืดหยุ่นลดลง มากกว่าขนนเงินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อร้อยละ 40 และขนนเงินผสมกับซีเอ็มซีร้อยละ 0.3 สอดคล้องกับผลการทดสอบค่าเนื้อสัมผัส ทำให้ผู้ทดสอบให้การยอมรับขนนเงินแป้งหมักปกติไม่เกิน 4 วันน้อยกว่าขนนเงินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อร้อยละ 40 และขนนเงินแป้งหมักผสมกับซีเอ็มซีร้อยละ 0.3 ผู้ทดสอบให้การยอมรับไม่เกิน 8 และ 10 วันตามลำดับ

ตารางที่ 36 เปรียบเทียบการยอมรับทางประสาทสัมผัสขนนเงินลักษณะแตกต่างกัน 3 สูตร

ระหว่างการเก็บรักษาอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส วันเริ่มต้น, วันที่ 2, 4, 6, 8, 10 และ 12^{1/}

ขนนเงินสูตรที่ ^{2/}	การยอมรับทางประสาทสัมผัสระหว่างเก็บรักษา (วัน)						
	เริ่มต้น	2	4	6	8	10	12
1	✓	✓	✓	✗	*	*	*
8	✓	✓	✓	✓	✓	✗	*
14	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗

หมายเหตุ ^{1/} ✓ หมายถึง ผู้ทดสอบให้การยอมรับ ✗ หมายถึง ผู้ทดสอบไม่ให้การยอมรับ

^{2/} ความหมายของสูตรขนนเงินเหมือนกับตารางที่ 34

* ไม่มีข้อมูล เนื่องจากขนนเงินไม่เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบ

5.1.3 ผลการยอมรับแกงเขียวหวานไก่

ผู้ทดสอบให้การยอมรับแกงเขียวหวานไก่วันเริ่มต้น เมื่ออายุการเก็บรักษาแกงเขียวหวานไก่เป็น 2, 4, 6, 8, 10, 12 วัน ผู้ทดสอบยังคงให้การยอมรับแกงเขียวหวานไก่ตลอดอายุการเก็บรักษา (ตารางที่ 37)

ตารางที่ 37 เปรียบเทียบการยอมรับทางประสาทสัมผัสแกงเขียวหวานไก่ระหว่างการเก็บรักษา 4 องศาเซลเซียส วันเริ่มต้น, วันที่ 2, 4, 6, 8, 10 และ 12

อายุการเก็บรักษา (วัน)	การยอมรับทางประสาทสัมผัส ^{1/}
วันเริ่มต้น	✓
2	✓
4	✓
6	✓
8	✓
10	✓
12	✓

หมายเหตุ ^{1/} ✓ หมายถึง ผู้ทดสอบให้การยอมรับ ✕ หมายถึง ผู้ทดสอบไม่ให้การยอมรับ

5.2 การเก็บรักษาขนมจีนพร้อมบริโภคแช่เยือกแข็ง อุณหภูมิ-18 เป็นเวลา 56 วัน

ผลการตรวจสอบค่าเนื้อสัมผัส และทดสอบความชื้น และความชอบทางประสาทสัมผัสขนมจีนแป้งหมักปกติ ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 และขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีร้อยละ 0.3 และตรวจสอบการยอมรับแกงเขียวหวานไก่

5.2.1 ผลการวัดค่าเนื้อสัมผัสขนมจีน

ก. ผลความแน่นเนื้อ

ขนมจีนแป้งหมักปกติ วันเริ่มต้นขนมจีนแป้งหมักปกติมีความแน่นเนื้อ 14.81 กรัม เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 7, 14 และ 21 วัน มีค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นจากวันเริ่มต้น เป็น 20.75, 21.97 และ 22.37 กรัม ตามลำดับ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 28, 35, 42 และ 49 วัน ค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นเป็น 30.07, 35.53, 35.73 และ 40.60 กรัม ตามลำดับ วันที่ 35 และ 42 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 38)

ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 วันเริ่มต้นมีค่าความแน่นเนื้อ 19.32 กรัม น้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อวันที่ 7, 14 และ 21 คือ 20.65, 20.13 และ 22.15 กรัม ตามลำดับ วันที่ 28 และ 35 มีค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นจากวันที่ 21 เป็น 23.83 และ 24.58 กรัม เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 42, 49 และ 56 วัน มีค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับวันที่ 35 เป็น 26.57, 27.28 และ 30.35 กรัม วันที่ 42 และ 49 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แต่ทั้งสองน้อยกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับวันที่ 56

ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีร้อยละ 0.3 วันเริ่มต้นมีค่าความแน่นเนื้อเป็น 16.18 กรัม ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับวันที่ 7, 14 และ 21 มีความแน่นเนื้อเป็น 17.55, 18.48 และ 19.30 กรัม เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 28 และ 35 วัน มีค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับวันที่ 21 เป็น 21.80 และ 22.32 กรัม ทั้งสองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 42, 49 และ 56 วัน มีค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับวันที่ 35 เป็น 24.67, 25.62 และ 27.35 กรัม วันที่ 42 และ 35 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แต่ทั้งสองน้อยกว่าวันที่ 56

ข. ผลความยืดหยุ่น

ขนมจีนแป้งหมักปกติ วันเริ่มต้นขนมจีนแป้งหมักปกติมีความยืดหยุ่น 8.88 เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 7, 14, 21, 28, 35, 42 และ 49 วัน มีค่าความยืดหยุ่นลดลงเป็น 7.75, 7.10, 6.87, 5.88, 4.78, 3.60 และ 2.48 ตามลำดับ วันที่ 14 และ 21 มีค่าความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 38)

ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 วันเริ่มต้นมีค่าความยืดหยุ่น 8.23 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับวันที่ 7 และ 14 คือ 7.90 และ 7.80 ตามลำดับ เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 21, 28 และ 35 วัน มีค่าความยืดหยุ่นลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับวันเริ่มต้นเป็น 7.37, 7.27 และ 7.37 ตามลำดับ ทั้งสามวันมีค่าความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 42, 49 และ 56 วัน มีค่าความยืดหยุ่นลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับวันที่ 35 เป็น 6.60, 6.38 และ 5.78 ตามลำดับ วันที่ 42 และ 49 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แต่ทั้งสองมากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับวันที่ 56

ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีร้อยละ 0.3 วันเริ่มต้นมีค่าความยืดหยุ่นเป็น 11.50 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับวันที่ 7 และ 14 คือ 11.29 และ 11.08 เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 21, 28 และ 35 วัน มีค่าความยืดหยุ่นลดลงเป็น 10.27, 10.23 และ 10.03 ตามลำดับ เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 42, 49 และ 56 วัน มีค่าความยืดหยุ่นลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับวันที่ 35 เป็น 9.75, 9.15 และ 8.35 ตามลำดับวันที่ 42 และ 49 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แต่ทั้งสองมากกว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับวันที่ 56

จากการตรวจสอบค่าความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นขนมจีนแป้งหมักปกติ ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 และขนมจีนผสมกัมซีเอ็มซีร้อยละ 0.3 ระหว่างการเก็บรักษา 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49 และ 56 วัน ขนมจีนทั้งสามชนิดมีการเปลี่ยนแปลงค่าเนื้อสัมผัสดังนี้ ขนมจีนแป้งหมักปกติมีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น และความยืดหยุ่นลดลงจากวันเริ่มต้น 14.81 กรัม และ 8.88 ตามลำดับ วันที่ 6 เป็น 40.60 กรัม และ 2.48 ตามลำดับ ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 มีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น และความยืดหยุ่นลดลงจากวันเริ่มต้น 19.32 กรัม และ 8.23 ตามลำดับ วันที่ 10 เป็น 30.35 กรัม และ 5.78 และขนมจีนผสมกัมซีเอ็มซีมีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น และความยืดหยุ่นลดลงจากวันเริ่มต้นเป็น 43.04 กรัม และ 11.50 ตามลำดับ วันที่ 12 เป็น 27.35 กรัม และ 8.35 ตามลำดับ

ตารางที่ 38 เปรียบเทียบค่าความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นขนมจินลักษณะแตกต่างกัน 3 สูตร แซ่เอี๊ยกแข็งแบบโคร โอเจนิค ระหว่างการเก็บรักษาอุณหภูมิ – 18 °ซ วันเริ่มต้น, วันที่ 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49 และ 56^{1/}

สูตรที่ ^{2/}	ค่าเนื้อสัมผัส	ค่าเนื้อสัมผัสระหว่างเก็บรักษา(วัน)								
		วันเริ่มต้น	วันที่ 7	วันที่ 14	วันที่ 21	วันที่ 28	วันที่ 35	วันที่ 42	วันที่ 49	วันที่ 56
1	ความแน่นเนื้อ	14.81±0.61e	20.75±2.83d	21.97±1.74d	22.37±1.53d	30.07±0.85c	35.53±0.47b	35.73±0.22b	40.60±0.91a	*
	ความยืดหยุ่น	8.88±0.28a	7.75±0.42b	7.10±0.37c	6.87±0.16c	5.88±0.44d	4.78±0.25e	3.60±0.43f	2.48±0.39g	*
5	ความแน่นเนื้อ	19.32±0.59f	20.65±1.16e	20.13±0.50e	22.15±0.36e	23.83±0.73c	24.58±0.76c	26.57±0.70b	27.28±0.54b	30.35±1.11a
	ความยืดหยุ่น	8.23±0.34a	7.90±0.32a	7.80±0.40ab	7.37±0.51bc	7.27±0.50c	7.37±0.36bc	6.60±0.24d	6.38±0.50d	5.78±0.25e
11	ความแน่นเนื้อ	16.18±0.41e	17.55±0.72d	18.48±0.50d	19.30±0.55d	21.80±1.08c	22.32±0.62c	24.67±0.68b	25.62±0.44b	27.35±0.49a
	ความยืดหยุ่น	11.50±0.66a	11.29±0.41a	11.08±0.33a	10.27±0.53b	10.23±0.52b	10.03±0.30b	9.75±0.62b	9.15±0.53c	8.35±0.52d

หมายเหตุ ^{1/} ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ, ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
^{2/} ความหมายของสูตรขนมจินเหมือนกับตารางที่ 34
 * ไม่มีข้อมูล เนื่องจากขนมจินไม่เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบ

5.2.2 ผลการตรวจสอบทางประสาทสัมผัสขนนเงินพร้อมบริโภคน้ำแข็ง

ผลการตรวจสอบความเข้ม และการยอมรับทางประสาทสัมผัสขนนเงินแป้งหมักปกติ ขนนเงินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผาสนเนื้อร้อยละ 40 และขนนเงินแป้งหมักผสมกับซีเอ็มซี ร้อยละ 0.3 และตรวจสอบการยอมรับแก่เจียวหวานไก่ ระหว่างการเก็บรักษา

ก. ความเข้มทางประสาทสัมผัสขนนเงิน

ผลการตรวจสอบความเข้มด้านความเรียบ ความแน่นเนื้อ ความยืดหยุ่น และความชุ่มชื้นขนนเงินแป้งหมักปกติ ขนนเงินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผาสนเนื้อร้อยละ 40 และขนนเงินแป้งหมักผสมกับซีเอ็มซีร้อยละ 0.3 ระหว่างอายุการเก็บ แสดงดังตารางที่ 39

ตารางที่ 39 เปรียบเทียบคะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัสขนมจินลักษณะแตกต่างกัน 3 สูตร แซ่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค ระหว่างการเก็บรักษาอุณหภูมิ – 18 °ซ วันเริ่มต้น,วันที่ 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49 และ 56^{1/}

สูตรที่ ^{2/}	ความเข้ม	คะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัส (วัน)								
		วันเริ่มต้น	วันที่ 7	วันที่ 14	วันที่ 21	วันที่ 28	วันที่ 35	วันที่ 42	วันที่ 49	วันที่ 56
1	ความเรียบ	9.59±0.30a	9.16±0.18b	9.21±0.27b	8.96±0.24c	8.81±0.14c	8.54±0.16d	8.20±0.23e	7.74±0.57f	*
	ความแน่นเนื้อ	10.60±0.28e	10.94±0.39de	10.96±0.29de	10.80±0.19de	11.06±0.24d	11.84±0.48c	12.55±0.41b	13.44±0.35a	*
	ความยืดหยุ่น	12.89±0.11a	12.48±0.34b	12.24±0.40b	12.10±0.47b	11.66±0.30c	10.55±0.26d	9.31±0.31e	8.04±0.31f	*
	ความชุ่ม	10.58±0.33d	10.91±0.43cd	10.97±0.48c	10.93±0.47cd	11.16±0.41c	12.43±0.32b	12.78±0.33b	13.41±0.27a	*
5	ความเรียบ	9.80±0.29a	9.74±0.23a	9.88±0.28a	9.69±0.22a	9.19±0.29b	9.28±0.28b	9.20±0.75b	8.81±0.31c	8.66±0.39c
	ความแน่นเนื้อ	11.13±0.32b	11.38±0.20b	11.30±0.32b	11.64±0.19b	11.34±0.19b	11.41±0.32b	11.87±0.27ab	11.94±0.32ab	12.24±0.25a
	ความยืดหยุ่น	12.25±0.28a	12.29±0.20a	12.15±0.23a	12.25±0.13a	11.75±0.41b	11.69±0.22b	11.61±0.46b	11.34±0.23c	10.51±0.16d
	ความชุ่ม	10.55±0.42d	10.59±0.30c	10.56±0.38c	10.49±0.36c	10.88±0.12d	10.94±0.36b	10.95±0.43b	12.33±0.21a	12.09±0.39a
11	ความเรียบ	10.59±0.42a	10.81±0.17a	10.83±0.35a	10.53±0.29a	10.55±0.24a	10.58±0.25a	10.63±0.30a	9.49±0.29b	9.34±0.23b
	ความแน่นเนื้อ	10.76±0.18c	10.80±0.19c	10.92±0.19c	10.88±0.19c	10.96±0.16b	11.13±0.32b	11.39±0.38b	11.19±0.24b	12.09±0.24a
	ความยืดหยุ่น	13.09±0.32a	12.94±0.35a	12.86±0.35a	12.94±0.35a	12.38±0.32b	12.30±0.16c	11.89±0.58c	11.04±0.15d	11.06±0.23d
	ความชุ่ม	10.89±0.11b	10.81±0.12b	10.86±0.21b	10.91±0.12b	10.89±0.11b	10.93±0.18b	10.81±0.12b	11.66±0.21a	11.70±0.23a

หมายเหตุ ^{1/} ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ, ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{2/} ความหมายของสูตรขนมจินเหมือนกับตารางที่ 34

* ไม่มีข้อมูล เนื่องจากขนมจินไม่เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบ

1) ขนมหินแป้งหมักปกติ

วันเริ่มต้นขนมหินแป้งหมักปกติมีคะแนนความเรียบเป็น 9.59 คะแนน เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 7 และ 14 วัน คะแนนด้านความเรียบลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับวันเริ่มต้นเป็น 9.16 และ 9.21 คะแนน ตามลำดับ วันที่ 21 และ 28 คะแนนความเรียบลดลงเป็น 8.96 และ 8.81 คะแนน ทั้งสองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) วันที่ 35, 42 และ 49 คะแนนความเรียบลดลงเป็น 8.54, 8.20 และ 7.74 คะแนน ตามลำดับ ความแน่นเนื้อ วันเริ่มต้นขนมหินแป้งหมักปกติมีคะแนนเป็น 10.60 คะแนน เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 7, 14 และ 21 วัน มีคะแนนด้านความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับวันเริ่มต้นเป็น 10.94, 10.96 และ 10.80 คะแนน ตามลำดับ วันที่ 28, 35, 42 และ 49 คะแนนด้านความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นเป็น 11.06, 11.84, 12.55 และ 13.44 คะแนน ตามลำดับ ความยืดหยุ่น วันเริ่มต้นขนมหินแป้งหมักปกติมีคะแนนเป็น 12.89 คะแนน เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 7, 14 และ 21 วัน คะแนนด้านความยืดหยุ่นลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับวันเริ่มต้นเป็น 12.48, 12.24 และ 12.10 คะแนน ตามลำดับวันที่ 28, 35, 42 และ 49 คะแนนความยืดหยุ่นลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เป็น 11.66, 10.55, 9.31 และ 8.04 คะแนน ตามลำดับ ความชุ่ม วันเริ่มต้นขนมหินแป้งหมักปกติมีคะแนนเป็น 10.58 คะแนน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับวันที่ 7, 14 และ 21 เป็น 10.91, 10.97 และ 10.93 คะแนน เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 28, 35, 42 และ 49 วัน มีคะแนนด้านความชุ่มเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เป็น 11.16, 12.43, 12.78 และ 13.41 คะแนน ตามลำดับ

2) ขนมหินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผาสนเนื้อร้อยละ 40

วันเริ่มต้นขนมหินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผาสนเนื้อมีคะแนนด้านความเรียบเป็น 9.80 คะแนน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับวันที่ 7, 14 และ 21 เป็น 9.74, 9.88 และ 9.69 คะแนน ตามลำดับ เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 28, 35 และ 42 วัน ขนมหินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผาสนเนื้อมีคะแนนความเรียบลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับวันที่ 21 เป็น 9.19, 9.28 และ 9.20 คะแนน ตามลำดับ ทั้งสามวันมีคะแนนความเรียบไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) วันที่ 49 และ 56 คะแนนด้านความเรียบลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับวันที่ 42 เป็น 8.81 และ 8.66 คะแนน ตามลำดับ ทั้งสองวันมีคะแนนความเรียบไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ความแน่นเนื้อ วันเริ่มต้นขนมหินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้ง

หมักกอบผสมเนื้อมีคะแนนด้านความแน่นเนื้อเป็น 11.13 คะแนน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับวันที่ 7, 14, 21, 28, 35, 42 และ 49 เป็น 11.38, 11.30, 11.64, 11.34, 11.41, 11.87 และ 11.94 คะแนน ตามลำดับ เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 56 วัน ขนมหินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักกอบผสมเนื้อมีคะแนนความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับวันเริ่มต้นเป็น 12.24 คะแนน วันที่ 42, 49 และ 56 มีคะแนนความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ความยืดหยุ่น วันเริ่มต้นขนมหินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักกอบผสมเนื้อมีคะแนนด้านยืดหยุ่นเป็น 12.25 คะแนน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับวันที่ 21, 14 และ 21 เป็น 12.29, 12.15 และ 12.25 คะแนน ตามลำดับ เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 24, 35 และ 42 วัน ขนมหินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักกอบผสมเนื้อมีคะแนนความยืดหยุ่นลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับวันเริ่มต้นเป็น 11.75, 11.69 และ 11.61 คะแนน ตามลำดับ วันที่ 49 และ 56 มีคะแนนความความยืดหยุ่นลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) จากวันที่ 42 เป็น 11.34 และ 10.51 คะแนน ตามลำดับ ความชุ่ม วันเริ่มต้นขนมหินทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักกอบผสมเนื้อมีคะแนนเป็น 10.55 คะแนน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับวันที่ 7, 14 และ 21 เป็น 10.59, 10.56 และ 10.49 คะแนน ตามลำดับ เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 28, 35 และ 42 วันมีคะแนนด้านความชุ่มเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับวันเริ่มต้นเป็น 10.88, 10.94 และ 10.95 คะแนน ตามลำดับ วันที่ 49 และ 56 มีคะแนนด้านความชุ่มเพิ่มขึ้นเป็น 12.33 และ 12.09 คะแนน ตามลำดับ ทั้งสองวันไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

3) ขนมหินแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีร้อยละ 0.3

วันเริ่มต้นขนมหินแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีคะแนนด้านความเรียบเป็น 10.59 คะแนน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับวันที่ 7, 14, 21, 28, 35 และ 42 เป็น 10.81, 10.83, 10.53, 10.55, 10.58 และ 10.63 คะแนน ตามลำดับ เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 49 และ 56 วัน ขนมหินแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีคะแนนความเรียบลดลงเป็น 9.49 และ 9.34 คะแนน ตามลำดับ ทั้งสองวันไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ความแน่นเนื้อ วันเริ่มต้นขนมหินแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีคะแนนด้านความแน่นเนื้อเป็น 10.76 คะแนน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับวันที่ 7, 14, 21 และ 28 เป็น 10.80, 10.92, 10.88 และ 10.96 คะแนน ตามลำดับ เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 35, 42 และ 49 วัน ขนมหินแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีคะแนนความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับวันที่ 28 เป็น 11.13, 11.39 และ 11.19 คะแนน ตามลำดับ ทั้งสามวันมีความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) วันที่ 56 ขนมหิน

แป้งหมักผสมกับซีเอ็มซีมีคะแนนความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นเป็น 12.09 คะแนน ความยืดหยุ่น วันเริ่มต้นขนมจีนแป้งหมักผสมกับซีเอ็มซีมีคะแนนด้านยืดหยุ่นเป็น 13.09 คะแนน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับวันที่ 7, 14 และ 21 เป็น 12.94, 12.86 และ 12.96 คะแนน ตามลำดับ เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 28, 35, 42, 49 และ 56 วัน ขนมจีนแป้งหมักผสมกับซีเอ็มซีมีคะแนนลดลงจากวันที่ 21 เป็น 12.38, 12.30, 11.89, 11.04 และ 11.06 คะแนน ตามลำดับ วันที่ 35 และ 42 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แต่ทั้งสองแตกต่างกับวันที่ 49 และ 56 โดยวันที่ 49 และ 56 ไม่แตกต่างกัน ความชุ่ม วันเริ่มต้นขนมจีนแป้งหมักผสมกับซีเอ็มซีมีคะแนนเป็น 10.89 คะแนน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับระยะเวลาการเก็บรักษาวันที่ 7, 14, 21, 28, 35 และ 42 เป็น 10.81, 10.86, 10.91, 10.89, 10.93 และ 10.81 คะแนน ตามลำดับ วันที่ 49 และ 56 มีคะแนนความชุ่มด้านความชุ่มเพิ่มขึ้นเป็น 11.66 และ 11.70 คะแนน ตามลำดับ ทั้งสองวันไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

จากการตรวจสอบความเข้มทางประสาทสัมผัสขนมจีนแป้งหมักปกติ ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อร้อยละ 40 และขนมจีนแป้งหมักผสมกับซีเอ็มซีร้อยละ 0.3 เก็บรักษาอุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส วันเริ่มต้น, 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49 และ 56 วัน ปรากฏว่า ขนมจีนทุกตัวอย่างมีคะแนนด้านความเรียบ และความยืดหยุ่นลดลง ความแน่นเนื้อ และความชุ่มเพิ่มขึ้น คะแนนความเข้มด้านความเรียบความแน่นเนื้อ ความยืดหยุ่น และความชุ่ม ขนมจีนแป้งหมักปกติมีคะแนนวันเริ่มต้นเป็น 9.59, 10.60, 12.89 และ 10.58 คะแนน ตามลำดับ วันที่ 49 มีคะแนนความเข้มเปลี่ยนแปลงเป็น 7.74, 13.44, 8.04 และ 13.41 คะแนน ตามลำดับ ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อมีคะแนนวันเริ่มต้นเป็น 9.80, 11.43, 12.25 และ 10.55 คะแนน ตามลำดับ วันที่ 56 มีคะแนนความเข้มเปลี่ยนแปลงเป็น 8.66, 12.24, 10.51 และ 12.09 คะแนน ตามลำดับ ขนมจีนแป้งหมักผสมกับซีเอ็มซีมีคะแนนวันเริ่มต้นเป็น 10.59, 10.76, 13.09 และ 10.89 คะแนน ตามลำดับ วันที่ 56 มีคะแนนความเข้มเปลี่ยนแปลงเป็น 9.34, 11.09, 11.06 และ 11.70 คะแนน ตามลำดับ

การเก็บรักษาขนมจีนอุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลานาน ส่งผลให้ขนมจีนเกิดรีโทรเกรดมากขึ้น ขนมจีนแป้งหมักปกติมีความแน่นเนื้อ และความชุ่มเพิ่มขึ้น ความยืดหยุ่นลดลง สอดคล้องกับการตรวจสอบสมบัติความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งเจลแป้งหมักปกติ ส่งผลให้ค่าเนื้อสัมผัสด้านความแน่นเนื้อมากขึ้น และความยืดหยุ่นลดลง เมื่อตรวจสอบความเข้มทางประสาทสัมผัสผู้ทดสอบจึงให้คะแนนความเข้มด้านความเรียบและ

ความยืดหยุ่นลดลง ความแน่นเนื้อ และความชุ่มชื้นเพิ่มขึ้น ขณะที่ขนมจินตแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อมีร้อยละ 40 และขนมจินตผสมกับซีเอ็มซีร้อยละ 0.3 มีความคงทนต่อการกินรูปจากเยือกแข็งมากกว่าขนมจินตแป้งหมักปกติ สอดคล้องกับการตรวจสอบสมบัติของเจลแป้งหมักอบผสมเนื้อมี และเจลแป้งหมักผสมกับซีเอ็มซี ทำให้ขนมจินตแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อมีร้อยละ 40 และขนมจินตผสมกับซีเอ็มซีร้อยละ 0.3 มีคะแนนความเข้มข้นด้านความเรียบและความยืดหยุ่นลดลง ความแน่นเนื้อ และความชุ่มชื้นเพิ่มขึ้นน้อยกว่าขนมจินตแป้งหมักปกติ

ข. การยอมรับทางประสาทสัมผัสขนมจินต

ผลการตรวจสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสขนมจินตแป้งหมักปกติ ขนมจินตแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อมีร้อยละ 40 และขนมจินตแป้งหมักผสมกับซีเอ็มซีร้อยละ 0.3 และการยอมรับแก่ผู้เชี่ยวชาญไว้เพื่อประเมินการยอมรับของผู้บริโภค โดยผู้ทดสอบให้คะแนน 1-4 คือ ผู้ทดสอบไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ และคะแนน 5-9 คือ ผู้ทดสอบยอมรับผลิตภัณฑ์ ระหว่างอายุการเก็บรักษา -18 องศาเซลเซียส แสดงดังตารางที่ 40

1) ขนมจินตแป้งหมักปกติ

ผู้ทดสอบให้การยอมรับขนมจินตแป้งหมักปกติในวันเริ่มต้น อายุการเก็บรักษาขนมจินตแป้งหมักปกติเป็น 7, 14, 21, 28, 35, 42, และ 49 วัน ผู้ทดสอบยังคงให้การยอมรับขนมจินตแป้งหมักปกติ เมื่ออายุการเก็บรักษาเป็น 56 วัน ผู้ทดสอบไม่ยอมรับขนมจินตแป้งหมักปกติ

2) ขนมจินตแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อมีร้อยละ 40

ผู้ทดสอบให้การยอมรับขนมจินตแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อมีในวันเริ่มต้น เมื่ออายุการเก็บรักษาขนมจินตแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อมีเป็น 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49 และ 56 วัน ผู้ทดสอบยังคงให้การยอมรับขนมจินตแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อมีตลอดอายุการเก็บรักษา

3) ขนมหินเป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีร้อยละ 0.3

ผู้ทดสอบให้การยอมรับขนมหินเป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีในวันเริ่มต้นเมื่ออายุการเก็บรักษาขนมหินเป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีเป็น 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49 และ 56 วัน ผู้ทดสอบยังคงให้การยอมรับขนมหินเป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีตลอดอายุการเก็บรักษา

จากการตรวจสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสขนมหินเป้งหมักปกติ ขนมหินทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบผานเนื้อร้อยละ 40 และขนมหินเป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีร้อยละ 0.3 เก็บรักษาอุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส วันเริ่มต้น, 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49 และ 56 วัน ปรากฏว่า ขนมหินเป้งหมักปกติมีอายุการเก็บรักษาไม่เกิน 49 วัน ขนมหินทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบผานเนื้อร้อยละ 40 และขนมหินเป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีร้อยละ 0.3 มีอายุการเก็บรักษาไม่น้อยกว่า 56 วัน เกิดจากเมื่อเก็บรักษาขนมหินอุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา นาน ส่งผลให้ขนมหินเกิดรีโทรเกรดมากขึ้น ขนมหินเป้งหมักปกติมีความแน่นเนื้อ และความชุ่ม เพิ่มขึ้น ความเรียบ และความยืดหยุ่นลดลงมากกว่าขนมหินทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบผานเนื้อร้อยละ 40 และขนมหินผสมกัมซีเอ็มซี ร้อยละ 0.3 สอดคล้องกับผลการทดสอบค่าเนื้อสัมผัส ทำให้ผู้ทดสอบให้การยอมรับขนมหินเป้งหมักปกติน้อยกว่าขนมหินทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบผานเนื้อร้อยละ 40 และขนมหินเป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีร้อยละ 0.3

ตารางที่ 40 เปรียบเทียบการยอมรับทางประสาทสัมผัสขนมหินลักษณะแตกต่างกัน 3 สูตร ระหว่างเก็บรักษาอุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส วันเริ่มต้น วันที่ 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49 และ 56^{1/}

ขนมหินสูตรที่ ^{2/}	การยอมรับทางประสาทสัมผัสระหว่างเก็บรักษา (วัน)								
	ปกติ	7	14	21	28	35	42	49	56
1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗
8	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
14	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

หมายเหตุ ^{1/} ✓ หมายถึง ผู้ทดสอบให้การยอมรับ ✗ หมายถึง ผู้ทดสอบไม่ให้การยอมรับ

^{2/} ความหมายของสูตรขนมหินเหมือนกับตารางที่ 34

5.2.3 ผลการยอมรับแกงเขียวหวานไ้ระหว่างการเก็บรักษา

ผู้ทดสอบให้การยอมรับแกงเขียวหวานไ้ในวันเริ่มต้นเป็น เมื่ออายุการเก็บรักษาแกงเขียวหวานไ้เป็น 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49 และ 56 วัน ผู้ทดสอบยังคงให้การยอมรับแกงเขียวหวานไ้ตลอดอายุการเก็บรักษา แสดงดังตารางที่ 41

ตารางที่ 41 เปรียบเทียบการยอมรับทางประสาทสัมผัสแกงเขียวหวานไ้ระหว่างเก็บรักษา

-18 องศาเซลเซียส

อายุการเก็บรักษา (วัน)	การยอมรับทางประสาทสัมผัส ^{1/}
วันเริ่มต้น	✓
7	✓
14	✓
21	✓
28	✓
35	✓
42	✓
49	✓
56	✓

หมายเหตุ ^{1/} ✓ หมายถึง ผู้ทดสอบให้การยอมรับ ✕ หมายถึง ผู้ทดสอบไม่ให้การยอมรับ

5.3 ผลการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางจุลชีววิทยา

เมื่อทำการผลิตขนมจีนแป้งหมักปกติ ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานครึ่ง และขนมจีนแป้งหมักผสมกัม ตรวจสอบปริมาณจุลินทรีย์ที่มีในตัวอย่างในวันเริ่มต้น แช่เยือกแข็งวิธีโครโอเจนิค เก็บรักษาอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน ตรวจสอบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดทุกๆ 2 วัน และปริมาณจุลินทรีย์ในตัวอย่างวันที่ 14 และ -18 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 63 วัน ตรวจสอบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดทุกๆ 7 วัน และตรวจสอบปริมาณจุลินทรีย์ที่มีในตัวอย่างวันที่ 63

5.3.1 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด

เมื่อตรวจสอบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของขนมจีนแป้งหมักปกติ ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานครึ่ง และขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซี โดยใช้ขนมจีนแป้งหมักปกติเป็นตัวแทนขนมจีนทั้งหมด เก็บรักษาอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นตัวแทนการเก็บรักษาในตู้เย็นบ้าน และเก็บรักษา -18 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นตัวแทนการเก็บรักษาในร้านก่อนถึงผู้บริโภค ปรากฏว่า ขนมจีนมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในวันเริ่มต้นเป็น 3.0×10^3 ยูเอฟยู/กรัม เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานขนมจีนอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพิ่มขึ้นปริมาณจุลินทรีย์ยังคงใกล้เคียงกับวันเริ่มต้น ตั้งแต่วันที่ 2-14 มีปริมาณจุลินทรีย์อยู่ในช่วง 4.6×10^2 ถึง 3.0×10^3 ซีเอฟยู/กรัม โดยในวันที่ 14 มีปริมาณจุลินทรีย์ 5.2×10^2 ซีเอฟยู/กรัม ขณะที่การเก็บรักษาอุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ขนมจีนมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ในช่วง 1.2×10^3 ถึง 3.5×10^3 ซีเอฟยู/กรัม เมื่ออายุการเก็บรักษาเป็น 63 วัน มีปริมาณจุลินทรีย์เป็น 1.2×10^3 ซีเอฟยู/กรัม ซึ่งตามเกณฑ์ที่กำหนดโดยกรมวิทยาศาสตร์ การแพทย์จะต้องมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 1.0×10^5 แสดงว่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของขนมจีนเก็บรักษา 4 และ -18 องศาเซลเซียส ยังอยู่ในเกณฑ์ตามที่กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์กำหนด การเก็บรักษาอาหารอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสไม่มีผลยับยั้งการเจริญเติบโตเชื้อจุลินทรีย์ มีผลเพียงช่วยลดการเจริญ ดังนั้นเมื่อนำอาหารแช่เยือกแข็งมาเก็บในช่องธรรมดาอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ควรรีบรับประทานทันทีเพื่อลดสถานะเสี่ยงต่อเชื้อจุลินทรีย์ ขณะที่การเก็บรักษาอุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ ปริมาณจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นเป็นผลจากปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้น การผลิตอาหารแช่เยือกแข็งควรควบคุมความสะอาดตั้งแต่กระบวนการผลิต เพื่อลดปริมาณจุลินทรีย์ และระหว่างกระบวนการเก็บรักษาอาหารที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส ควรควบคุมให้มีอุณหภูมิ

การเก็บคงที่ เพื่อยับยั้งไม่ให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตทำให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษานมจืดแช่เยือกแข็งได้นาน แสดงดังตารางที่ 42

ตารางที่ 42 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของผลิตภัณฑ์นมจืดแช่เยือกแข็งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °ซ เป็นเวลา 14 วัน และ -18 °ซ เป็นเวลา 63 วัน

เวลา (วัน)	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (ซีเอฟยู/กรัม) ที่อุณหภูมิ	
	4 องศาเซลเซียส	-18 องศาเซลเซียส
เริ่มต้น	3.0×10^3	3.0×10^3
2	5.6×10^2	*
4	5.7×10^2	*
6	7.5×10^2	*
8	7.5×10^2	1.2×10^3
10	1.1×10^3	*
12	4.6×10^2	*
14	5.2×10^2	3.5×10^3
21	*	1.5×10^3
28	*	1.5×10^3
35	*	1.2×10^3
42	*	1.5×10^3
49	*	2.0×10^3
56	*	2.1×10^3
63	*	1.2×10^3

หมายเหตุ EAPC = Estimated Aerobic Plate Count

* ไม่ได้ตรวจสอบ

5.3.2 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์

วันเริ่มต้น นมจืดแช่เยือกแข็งมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (3.0×10^3), โคลิฟอร์ม (< 3.0), อี.โคไล (< 3.0), สตาฟีโลคอคคัส ออเรียส (< 10), บาซิลลัส ซีเรียส (< 10), คลอสตริเดียม

เพอร์ฟริงเจนส์ (ไม่พบ), วิบริโอ พาราอีโมไลติคัส (ไม่พบ) และซัลโมเนลลา (ไม่พบ) เมื่อพิจารณาตามเกณฑ์มาตรฐานกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ขนมนมจืดมีปริมาณจุลินทรีย์น้อยกว่าเกณฑ์มาตรฐาน แสดงดังตารางที่ 43

เมื่อเก็บรักษานมจืดอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสหลังแช่เยือกแข็ง ระยะเวลาการเก็บรักษา 14 วัน ปรากฏว่า มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (5.2×10^2), โคลิฟอร์ม (< 3.0), อี.โคไล (< 3.0), สตาฟีโลคอกคัส ออเรียส (< 10), บาซิลลัส ซีเรียส (8.3×10), คลอสทริเดียม เพอร์ฟริงเจนส์ (ไม่พบ), วิบริโอ พาราอีโมไลติคัส (ไม่พบ) และซัลโมเนลลา (ไม่พบ) เมื่อพิจารณาปริมาณ และชนิด จุลินทรีย์ ขนมนมจืดเก็บรักษา 4 องศาเซลเซียส 14 วัน ภายหลังแช่เยือกแข็ง มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ด้าน ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด, โคลิฟอร์ม, อี.โคไล, สตาฟีโลคอกคัส ออเรียส, คลอสทริเดียม เพอร์ฟริงเจนส์, วิบริโอ พาราอีโมไลติคัส และซัลโมเนลลา อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ยกเว้นปริมาณบาซิลลัส ซีเรียสเกินเกณฑ์มาตรฐาน (< 50) ดังนั้นขนมนมจืดเก็บรักษาอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส หลังจากแช่เยือกแข็งมีอายุการเก็บรักษา น้อยกว่า 14 วัน

เมื่อเก็บรักษานมจืดอุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส หลังแช่เยือกแข็ง ระยะเวลาการเก็บรักษา 63 วัน ปรากฏว่า มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (1.2×10^3), โคลิฟอร์ม (< 3.0), อี.โคไล (< 3.0), สตาฟีโลคอกคัส ออเรียส (< 10), บาซิลลัส ซีเรียส (< 10), คลอสทริเดียม เพอร์ฟริงเจนส์ (ไม่พบ), วิบริโอ พาราอีโมไลติคัส (ไม่พบ) และซัลโมเนลลา (ไม่พบ) เมื่อพิจารณาปริมาณ และชนิด จุลินทรีย์ ขนมนมจืดเก็บรักษา -18 องศาเซลเซียส ภายหลังแช่เยือกแข็ง 63 วัน มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ด้าน ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด, โคลิฟอร์ม, อี.โคไล, สตาฟีโลคอกคัส ออเรียส, บาซิลลัส ซีเรียส, คลอสทริเดียม เพอร์ฟริงเจนส์, วิบริโอ พาราอีโมไลติคัส และซัลโมเนลลา อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ดังนั้นขนมนมจืดเก็บรักษาอุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส หลังจากแช่เยือกแข็ง มีอายุการเก็บรักษา มากกว่า 63 วัน

ตารางที่ 43 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ขนมจีนพร้อมบริโภคแช่เยือกแข็งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °ซ เป็นเวลา 14 วัน และ -18 °ซ เป็นเวลา 63 วัน

ชนิดของเชื้อจุลินทรีย์	เกณฑ์มาตรฐาน	วันเริ่มต้น	วันที่ 14	วันที่ 63
ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (ซีเอฟยู/กรัม)	$<1 \times 10^5$	3.0×10^3	5.2×10^2	1.2×10^3
โคลิฟอร์ม (เอ็มพีเอ็น/กรัม)	< 100	< 3.0	< 3.0	< 3
อี.โคไล (เอ็มพีเอ็น/กรัม)	< 3	< 3.0	< 3.0	< 3
สตาฟีโลคอคคัส ออเรียส (ซีเอฟยู/กรัม)	< 50	< 10	< 10	< 10
บาซิลลัส ซีเรียส (ซีเอฟยู/กรัม)	< 50	< 10	8.3×10	< 10
คลอสทริเดียม เพอร์ฟริงเจนส์ (ซีเอฟยู/ 0.1 กรัม)	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
วibriโอ พาราอีโมไลติคัส (ซีเอฟยู/ 25 กรัม)	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
ซัลโมเนลลา (ซีเอฟยู/ 25 กรัม)	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ

สรุปผลการทดลอง

1. ผลการตรวจสอบสมบัติทางฟิสิกส์ ทางเคมี ทางเคมีเชิงฟิสิกส์ และความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งของแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผานเนื้อ

นำแป้งหมักปกติมาดัดแปรด้วยวิธีการอบผานเนื้อที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 และ 48 ชม ตรวจสอบสมบัติทางฟิสิกส์ ทางเคมี ทางเคมีเชิงฟิสิกส์ และความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งของแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผานเนื้อได้ผลดังนี้

เมื่อตรวจสอบลักษณะเม็ดสตาร์ชส่องผ่านกล้องจุลทรรศน์แบบแสงส่องผ่าน กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน และตรวจสอบค่าสี ได้พบว่า แป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม มีขนาดเม็ดสตาร์ช 3.54 ไมครอน และรูปร่างหลายเหลี่ยม ไม่แตกต่างกับแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 ชม แป้งหมักปกติ และแป้งปกติ แป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม มีรูพรุนเกิดขึ้นที่ผิวของเม็ดสตาร์ชจำนวนมาก ไม่แตกต่างกับแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 ชม และแป้งหมักปกติ ขณะที่แป้งปกติไม่มีรูพรุนบริเวณผิวของสตาร์ช ค่าสีของสตาร์ช ค่าสี L, a* และ b* แป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม มีความสว่างน้อย (93.03) สีค่อนข้างเขียว (-0.40) และค่อนข้างเหลือง (4.37) มากกว่าแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 ชม และแป้งหมักปกติ ตามลำดับ ขณะที่แป้งปกติมีความสว่าง 97.45 มากที่สุด สีค่อนข้างแดง (0.11) และมีความเป็นสีเหลืองน้อยที่สุด (3.48)

แป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม มีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้าเป็นร้อยละ 7.71, 4.42, 0.55 และ 0.91 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 ชม และแป้งหมักปกติ แต่แป้งหมักทั้งสามชนิดมีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้าน้อยกว่าแป้งปกติ ส่วนปริมาณแอมิโลส แป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม มีปริมาณร้อยละ 34.78 น้อยกว่าแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 ชม แป้งหมักปกติ และแป้งปกติ การอบผานเนื้อทำให้แป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม มีปริมาณแอมิโลสลดลง

เมื่อตรวจสอบสมบัติด้านความหนืด กำลังการพองตัว การละลาย และร้อยละความเป็นผลึกปรากฏว่า แป้งหมักอบผานเนื้อ 48 ชม มีการเปลี่ยนแปลงจากแป้งหมักอบผานเนื้อ 24 ชม แป้งหมักปกติ และแป้งปกติ คือ มีอุณหภูมิเริ่มหนืด 93.28 °C สูงที่สุด ความหนืดสูงสุด ความหนืดต่ำสุด ความหนืดลดลง ความหนืดสุดท้าย และเซตแบคลดลงเป็น 1,714, 945, 769, 1,776 และ 831

เซนต์ปีเตอร์ มีกำลังการพองตัว ณ อุณหภูมิ 55, 65, 75 และ 85 °ซ ลดลงเป็น 1.93, 3.87, 8.91 และ 15.71 ตามลำดับ มีค่าการละลาย ณ อุณหภูมิ 55, 65, 75 และ 85 °ซ ลดลงเป็นร้อยละ 1.62, 2.61, 7.74 และ 13.87 ตามลำดับ มีความเป็นผลึกเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 25.39 เมื่อตรวจสอบสมบัติการเกิดเจลที่ไนซ์ การเกิดรีโทรเกรด และความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งของแป้งหมักอบผสมเนื้อ 48 ชม เปรียบเทียบกับแป้งหมักอบผสมเนื้อ 24 ชม และแป้งหมักปกติ ปรากฏว่า แป้งหมักอบผสมเนื้อ 48 ชม มีอุณหภูมิเริ่มต้น (73.95 °ซ) อุณหภูมิสูงสุด (76.53 °ซ) อุณหภูมิสุดท้าย (80.02 °ซ) และค่าพลังงานสลายพันธะการเกิดเจลที่ไนซ์ (12.68 จูล/กรัม) เพิ่มขึ้น สมบัติการเกิดรีโทรเกรดรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1, 3 และ 5 แป้งหมักอบผสมเนื้อ 48 ชม มีอุณหภูมิสูงสุดลดลง มีค่าพลังงานการสลายพันธะการเกิดรีโทรเกรดน้อยที่สุด โดยในรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5 เจลแป้งหมักอบผสมเนื้อ 48 ชม มีค่าพลังงานสลายพันธะลดลงเป็น 2.94 จูล/กรัม

เมื่อตรวจสอบความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 1, 3 และ 5 เจลแป้งหมักอบผสมเนื้อ 48 ชม มีร้อยละการสูญเสีย น้ำลดลงจากเจลแป้งหมักปกติเป็นร้อยละ 2.48, 41.42 และ 51.43 มีความแน่นเนื้อลดลงเป็น 312.83, 272.10 และ 344.99 กรัม มีความยืดหยุ่นรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 3 และ 5 เพิ่มขึ้นเป็น 50.13 และ 47.62 เมื่อส่องดูโครงสร้างเจลด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เจลแป้งหมักอบผสมเนื้อ 48 ชม มีรูพรุนเล็กจำนวนมากขนาดใกล้เคียงกับเจลแป้งหมักปกติ รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5 เจลแป้งหมักอบผสมเนื้อ 48 ชม มีโครงสร้างเจลละเอียด รูพรุนมีขนาดเล็กที่สุด ซึ่งแสดงถึงการเกิดรีโทรเกรดน้อยที่สุด

จากการตรวจสอบสมบัติทางฟิสิกส์ ทางเคมี ทางเคมีเชิงฟิสิกส์ และความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็ง แป้งหมักอบผสมเนื้อ 48 ชม มีกำลังการพองตัว ร้อยละการละลายต่ำ มีเป็นผลึกสูง มีความคงทนต่อการเกิดเจลที่ไนซ์ และการเกิดรีโทรเกรด จึงมีความเหมาะสมต่อการผลิตขนมจีนแช่เยือกแข็งมากกว่าแป้งหมักอบผสมเนื้อ 24 ชม

2. ผลการตรวจสอบการทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อ และหาสัดส่วนแป้งหมักปกติต่อแป้งหมักอบผสมเนื้อที่เหมาะสมต่อการผลิตขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด

นำแป้งหมักอบผสมเนื้อ 48 ชม ทดแทนแป้งหมักปกติร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 ตรวจสอบสมบัติด้านความหนืด ตรวจสอบปริมาณขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบ

ผลานเนื้อที่ผลิตได้ และหาสัดส่วนที่เหมาะสมต่อการผลิตขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด

2.1 ผลการตรวจสอบสมบัติด้านความหนืดของแป้งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผลานเนื้อ และผลการตรวจสอบจับขนมจีน

ผลการตรวจสอบสมบัติด้านความหนืดของแป้งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผลานเนื้อ แป้งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผลานเนื้อร้อยละ 40 มีอุณหภูมิเริ่มหนืดสูงขึ้นกว่าแป้งหมักปกติ (88.40°C) เป็น 90.70°C สมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดเมื่อปริมาณแป้งหมักอบผลานเนื้อเพิ่มมากขึ้น มีสมบัติด้านความหนืด ความหนืดสูงสุด ความหนืดต่ำสุด ความหนืดลดลง ความหนืดสุดท้ายและเซตแบคลดลง แป้งทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผลานเนื้อร้อยละ 40 มีค่าเป็น 1,872, 967, 905, 2,007 และ 1,102 เซนติปัวส์ ตามลำดับ น้อยกว่าแป้งหมักปกติซึ่งมีค่าเป็น 2,082, 1,037, 1,045, 2,249, และ 1,203 เซนติปัวส์ ตามลำดับ เมื่อนำแป้งหมักอบผลานเนื้อมาทดแทนแป้งหมักปกติ ปรากฏว่า เมื่อปริมาณการทดแทนแป้งหมักอบผลานเนื้อเพิ่มขึ้น ปริมาณจับขนมจีนมีจำนวนลดลง ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผลานเนื้อร้อยละ 40 มีปริมาณจับขนมจีน 14-15 จับ น้อยกว่าขนมจีนแป้งหมักปกติซึ่งสามารถจับเส้นได้ 19-21 จับ

2.2 ผลการหาสัดส่วนแป้งหมักปกติต่อแป้งหมักอบผลานเนื้อที่เหมาะสมต่อการผลิตขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด

2.2.1 ผลการวัดค่าเนื้อสัมผัส

ก่อนการแช่เยือกแข็ง เมื่อปริมาณแป้งหมักอบผลานเนื้อเพิ่มขึ้น ขนมจีนมีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น ความยืดหยุ่นลดลง ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผลานเนื้อร้อยละ 40 มีความแน่นเนื้อเป็น 22.35 กรัม มากกว่าขนมจีนแป้งหมักปกติ (13.72 กรัม) ความยืดหยุ่น ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผลานเนื้อร้อยละ 40 มีความยืดหยุ่นเป็น 7.00 ไม่แตกต่างกับขนมจีนแป้งหมักปกติ (7.71)

รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1, 3 และ 5 การแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิก และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ขนมน้ำจืดแช่เยือกแข็งมีการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสดังนี้ รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1, 3 และ 5 ขนมน้ำจืดทนแช่เยือกแข็งด้วยแป้งหมักคั่วด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อร้อยละ 40 มีความแน่นเนื้อน้อย ความยืดหยุ่นมากกว่าขนมน้ำจืดแช่เยือกแข็งด้วยแป้งหมักคั่วด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อร้อยละ 40 โดยรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5 ขนมน้ำจืดทนแช่เยือกแข็งด้วยแป้งหมักคั่วด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อร้อยละ 40 แช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิกมีความแน่นเนื้อลดลงเป็น 26.74 กรัม มีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นเป็น 4.14 จากขนมน้ำจืดแช่เยือกแข็งด้วยแป้งหมักคั่วด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อร้อยละ 40 ซึ่งมีค่าเป็น 37.81 กรัม และ 1.39 ตามลำดับ ส่วนขนมน้ำจืดทนแช่เยือกแข็งด้วยแป้งหมักคั่วด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อร้อยละ 40 แช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด มีความแน่นเนื้อลดลงเป็น 31.87 กรัม มีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น 3.23 จากขนมน้ำจืดแช่เยือกแข็งด้วยแป้งหมักคั่วด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อร้อยละ 40 ซึ่งมีค่าเป็น 45.39 กรัม และ 0.58 ตามลำดับ

2.2.2 ผลทางประสาทสัมผัส

เนื่องจากขนมน้ำจืดทนแช่เยือกแข็งด้วยแป้งหมักคั่วด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อร้อยละ 40 ได้รับการยอมรับมากที่สุดจึงนำมาเปรียบเทียบกับขนมน้ำจืดแช่เยือกแข็งด้วยแป้งหมักคั่วด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อร้อยละ 40 ที่มีผลดังต่อไปนี้

ก่อนการแช่เยือกแข็ง ขนมน้ำจืดทนแช่เยือกแข็งด้วยแป้งหมักคั่วด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อร้อยละ 40 มีความเข้มข้นความเรียบ และความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นจากขนมน้ำจืดแช่เยือกแข็งด้วยแป้งหมักคั่วด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อร้อยละ 40 เป็น 10.08 และ 9.99 คะแนน ตามลำดับ ความยืดหยุ่นลดลงเป็น 10.60 คะแนน ส่วนความชุ่มชื้นเป็น 10.48 คะแนน ไม่แตกต่างกับขนมน้ำจืดแช่เยือกแข็งด้วยแป้งหมักคั่วด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อร้อยละ 40

รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1, 3 และ 5 การแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิก และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ขนมน้ำจืดทนแช่เยือกแข็งด้วยแป้งหมักคั่วด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อร้อยละ 40 มีความเข้มข้นความเรียบ และความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น ความแน่นเนื้อ และความชุ่มชื้นลดลงจากขนมน้ำจืดแช่เยือกแข็งด้วยแป้งหมักคั่วด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อร้อยละ 40 โดยรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5 ขนมน้ำจืดทนแช่เยือกแข็งด้วยแป้งหมักคั่วด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อร้อยละ 40 แช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิก มีความเข้มข้นความเรียบ 7.79 คะแนน และความยืดหยุ่น 9.53 คะแนน มากกว่าขนมน้ำจืดแช่เยือกแข็งด้วยแป้งหมักคั่วด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อร้อยละ 40 ซึ่งมีค่าเป็น 10.79 คะแนน และความชุ่มชื้น 10.83 คะแนน น้อยกว่าขนมน้ำจืดแช่เยือกแข็งด้วยแป้งหมักคั่วด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อร้อยละ 40 ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบขนมน้ำจืดทนแช่เยือกแข็งด้วยแป้งหมักคั่วด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อร้อยละ 40 มากกว่าขนมน้ำจืดแช่เยือกแข็งด้วยแป้งหมักคั่วด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อร้อยละ 40 แช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัดมีความเข้มข้นความเรียบ 7.84 คะแนน และความยืดหยุ่น 9.23 คะแนน มากกว่าขนมน้ำจืดแช่เยือกแข็งด้วยแป้งหมักคั่วด้วยแป้งหมักอบผสมเนื้อร้อยละ 40

ความแน่นเนื้อ 10.60 คะแนน และความชุ่ม 11.08 คะแนน น้อยกว่าขนมจีนแป้งหมักปกติ ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 มากกว่าขนมจีนแป้งหมักปกติ

2.2.3 ผลการตรวจสอบโครงสร้างขนมจีน

ก่อนการแช่เยือกแข็ง ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 มีโครงสร้างของเจลแน่นมาก และมีรูพรุนน้อยกว่าขนมจีนแป้งหมักปกติ เมื่อรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งเป็น 5 กว่าขนมจีนทดแทนแป้งหมักปกติด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 ยังคงมีโครงสร้างเจลแน่น รูพรุนน้อยกว่า ขนมจีนแป้งหมักปกติ

3. ตรวจสอบผลของการผสมกัมต่อสมบัติด้านความหนืด การเกิดเจลลาทีไนซ์ การเกิดรีโทรเกรด และความคงทนต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งของแป้งหมักปกติ และแป้งหมักผสมกัม

นำแป้งหมักปกติมาผสมกัม 7 ชนิด คือ กัมแซนแทน ชิเอ็มซี กัวร์ โลกัสบิน คาร์ราจีแนน อารบิก และแอลจินेट ตรวจสอบสมบัติด้านความหนืด ร้อยละการสูญเสีย น้ำ คัดเลือกกัม 3 ชนิด หลังจากนั้นตรวจสอบเนื้อสัมผัสของเจลแป้ง สมบัติการเกิดเจลลาทีไนซ์ การเกิดรีโทรเกรด และโครงสร้างของเจล ปรากฏว่า

การผสมกัมแซนแทน กัมชิเอ็มซี และกัมกัวร์ในแป้งหมักลดการสูญเสีย น้ำหลังการคืนรูปจากเยือกแข็งมากกว่าการผสมกัมชนิดอื่นๆ โดยกัมชิเอ็มซีลดการสูญเสีย น้ำมากที่สุด จึงเลือกการผสมกัมชิเอ็มซีเปรียบเทียบกับแป้งหมักปกติ ได้ผลดังนี้คือ สมบัติด้านความหนืด ความเข้มข้นของกัมเพิ่มขึ้น ความหนืดสูงสุด ความหนืดลดลง และเซตแบคของแป้งหมักผสมกัมชิเอ็มซีเพิ่มขึ้นจากแป้งหมักปกติ เมื่อความเข้มข้นของกัมชิเอ็มซีเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 0.5 มีความหนืดสูงสุดเป็น 3,778 เซนติปัวส์ จากแป้งหมักปกติ 2,219 เซนติปัวส์ เมื่อตรวจสอบร้อยละการสูญเสีย น้ำหลังคืนรูปจากเยือกแข็ง เจลแป้งหมักผสมกัมชิเอ็มซีมีการสูญเสีย น้ำรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5 ร้อยละ 29.02 น้อยกว่าเจลแป้งหมักปกติ (ร้อยละ 56.76) เมื่อตรวจสอบเนื้อสัมผัส รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งเพิ่มขึ้น เจลแป้งหมักผสมกัมชิเอ็มซีมีความแน่นเนื้อลดลง ความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นจากเจลแป้งหมักปกติ รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5 เจลแป้งหมักผสมกัมชิเอ็มซีความแน่นเนื้อ 298.61 กรัม น้อยกว่าเจลแป้งหมักปกติ (400.44 กรัม) มีความยืดหยุ่น 43.81 มากกว่าเจลแป้งหมักปกติ (53.95)

สมบัติการเกิดเจลไทโนซ์ แป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีอุณหภูมิเริ่มต้น และอุณหภูมิสุดท้ายน้อยกว่า แป้งหมักปกติ ค่าพลังงานสลายพันธะ แป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซี (8.60 จูล/กรัม) มีค่าพลังงานการสลายพันธะการเกิดเจลไทโนซ์ต่ำกว่าแป้งหมักปกติ (10.83 จูล/กรัม) มีค่าพลังงานการสลายพันธะการเกิดรีโทรเกรด 0.030 จูล/กรัม น้อยกว่าเจลแป้งหมักปกติ (0.892 จูล/กรัม) เมื่อตรวจโครงสร้างของเจลแป้ง ก่อนการแช่เยือกแข็ง เจลแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีโครงสร้างเจลละเอียดมีรูพรุนจำนวนมากใกล้เคียงกับเจลแป้งหมักปกติ รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5 เจลแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีรูพรุนขนาดเล็กซึ่งมีโครงร่างตาข่ายยึดภายในเจล ขณะที่เจลแป้งหมักปกติมีขนาดรูพรุนใหญ่ ไม่มีโครงร่างตาข่ายยึดภายในเจล

4. หาปริมาณ และชนิดกัมที่เหมาะสมต่อการผลิตขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบโครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด

แป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ลดการสูญเสียให้น้ำน้อยกว่ากัมชนิดอื่น จึงนำมาผลิตขนมจีน และหาปริมาณการผสมกัมในขนมจีนร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 ตรวจสอบค่าเนื้อสัมผัส และการยอมรับทางประสาทสัมผัส เพื่อคัดเลือกระดับความเข้มข้นกัมที่เหมาะสม จากนั้นหาชนิดกัมที่เหมาะสมต่อขนมจีนแป้งหมักแช่เยือกแข็งแบบโครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด

4.1 หาปริมาณกัมที่เหมาะสมต่อการผลิตขนมจีน

เมื่อตรวจสอบขนมจีนแป้งหมักปกติ ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ ร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 วัดค่าเนื้อสัมผัส และการยอมรับทางประสาทสัมผัสได้ผลว่า เมื่อปริมาณกัมเพิ่มขึ้น ขนมจีนมีความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น ขนมจีนผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ร้อยละ 0.3 มีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นเป็น 15.84, 15.49 และ 15.35 กรัม ตามลำดับ จากขนมจีนแป้งหมักปกติ (12.76 กรัม) และมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น 16.27, 17.76 และ 18.26 ตามลำดับ จากขนมจีนแป้งหมักปกติ (9.09) เมื่อตรวจสอบทางประสาทสัมผัส ขนมจีนผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกัวร์ร้อยละ 0.3 ได้รับคะแนนการยอมรับมากที่สุด

4.2 การหาค่าที่เหมาะสมต่อการผลิตขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบ สัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด

นำขนมจีนแป้งหมักปกติ ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมแซนแทน กัมซีเอ็มซี และกัมกวาร์ ร้อยละ 0.3 แช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด วัดค่าเนื้อสัมผัส ความ
แข็ง และความชอบทางประสาทสัมผัส เนื่องจากขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีได้รับการยอมรับ
จากผู้ทดสอบมากกว่าขนมจีนผสมกัมชนิดอื่น จึงอธิบายเปรียบเทียบกับขนมจีนแป้งหมักปกติ

4.2.1 ผลการวัดค่าเนื้อสัมผัส

ก่อนแช่เยือกแข็งความแน่นเนื้อ ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีความ
แน่นเนื้อ 14.88 กรัม มากกว่าขนมจีนแป้งหมักปกติ (12.42 กรัม) และความยืดหยุ่น ขนมจีนแป้ง
หมักผสมกัมซีเอ็มซีมีความยืดหยุ่น (12.39) มากกว่าขนมจีนแป้งหมักปกติ (9.04)

รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1, 3 และ 5 การแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค
และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีแช่เยือกแข็งมีการเปลี่ยนแปลง
เนื้อสัมผัสดังนี้ เมื่อรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งเพิ่มขึ้น ค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น ความยืดหยุ่นลดลง
รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5 ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค มี
ความแน่นเนื้อ 30.86 กรัม น้อยกว่าขนมจีนแป้งหมักปกติ (37.75 กรัม) มีความยืดหยุ่น 4.03 มากกว่า
ขนมจีนแป้งหมักปกติ (1.25) ส่วนขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่น
โลหะเย็นจัดมีความแน่นเนื้อ 31.19 กรัม น้อยกว่าขนมจีนแป้งหมักปกติ (47.25 กรัม) มีความ
ยืดหยุ่น 4.09 มากกว่าขนมจีนแป้งหมักปกติ (0.94)

4.2.2 ผลทางประสาทสัมผัส

ก่อนการแช่เยือกแข็ง ขนมจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีมีคะแนนด้านความเรียบ(
9.46 คะแนน) ความแน่นเนื้อ (8.76 คะแนน) และความชุ่ม (10.34 คะแนน) ไม่แตกต่างกับขนมจีน
แป้งหมักปกติ มีความยืดหยุ่น (13.05 คะแนน) มากกว่าขนมจีนแป้งหมักปกติ (11.50 คะแนน)

รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1, 3 และ 5 การแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิก และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด ขนมนจีนมีคะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัสดังนี้ เมื่อรอบการคืนรูปจากเยือกแข็งเพิ่มขึ้นคะแนนความเข้มด้านความเรียบ และความยืดหยุ่นลดลง ความแน่นเนื้อ และความชุ่มเพิ่มขึ้น รอบการคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5 ขนมนจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิกมีคะแนนความเรียบ 7.79 คะแนน และความยืดหยุ่น 9.53 คะแนน มากกว่าขนมนจีนแป้งหมักปกติ มีคะแนนความแน่นเนื้อ 10.81 คะแนน และความชุ่ม 10.93 คะแนน น้อยกว่า ขนมนจีนแป้งหมักปกติ เมื่อตรวจสอบความชอบทางประสาทสัมผัส ขนมนจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีได้รับการยอมรับมากกว่าขนมนจีนแป้งหมักปกติ ส่วนขนมนจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัดมีคะแนนความเรียบ 7.70 คะแนน ความยืดหยุ่น 9.56 คะแนน มากกว่าขนมนจีนแป้งหมักปกติ มีคะแนนความแน่นเนื้อ 10.70 คะแนน และความชุ่มเป็น 10.93 คะแนน น้อยกว่าขนมนจีนแป้งหมักปกติ เมื่อตรวจสอบความชอบทางประสาทสัมผัส ขนมนจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีได้รับการยอมรับมากกว่าขนมนจีนแป้งหมักปกติ

5. ตรวจสอบอายุการเก็บรักษาของขนมนจีนพร้อมบริโภคน้ำแช่เยือกแข็ง

นำขนมนจีนแป้งหมักปกติ ขนมนจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อร้อยละ 40 ขนมนจีนแป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซีร้อยละ 0.3 และแกงเขียวหวานไก่ แช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิก เก็บรักษาอุณหภูมิ 4 °C 14 วัน และ -18 องศาเซลเซียส 56 วัน วัดค่าเนื้อสัมผัส ทดสอบความเข้ม และความชอบทางประสาทสัมผัส และปริมาณจุลินทรีย์

5.1 การเก็บรักษาขนมนจีนแกงเขียวหวานไก่พร้อมบริโภคน้ำแช่เยือกแข็ง เก็บรักษา อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส 14 วัน

เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นค่าความแน่นเนื้อของขนมนจีนแช่เยือกแข็งเพิ่มขึ้น ความยืดหยุ่นลดลง โดยวันที่ผู้ทดสอบไม่ยอมรับมีขนมนจีนทั้ง 3 ชนิด มีค่าความแน่นเนื้ออยู่ในช่วง 42.07-43.04 กรัม ความยืดหยุ่น อยู่ในช่วง 0.92-4.25 เมื่อตรวจสอบความเข้มทางประสาทสัมผัส อายุการเก็บรักษาขนมนจีนแช่เยือกแข็งเพิ่มขึ้นคะแนนความเข้มด้านความเรียบ และความยืดหยุ่นลดลง และความแน่นเนื้อ และความชุ่มเพิ่มขึ้น วันที่ผู้ทดสอบไม่ยอมรับขนมนจีนทั้ง 3 ชนิดมีคะแนนความเข้มด้านความเรียบอยู่ในช่วง 6.38-7.23 คะแนน ความยืดหยุ่น 7.90-8.21 คะแนน ความแน่นเนื้อ 13.14-13.28 คะแนน และความชุ่ม 13.24-13.43 คะแนน เมื่อตรวจสอบความชอบ

ทางประสาทสัมผัสสามารถสรุปได้ว่า ขนมหินเป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซี ขนมหินทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบผานเนื้อร้อยละ 40 และขนมหินเป้งหมักปกติมีอายุการเก็บรักษาอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นไม่เกิน 10, 8 และ 4 วัน ส่วนแกงเขียวหวานไก่ผู้ทดสอบให้การยอมรับแกงเขียวหวานไก่ตลอดอายุการเก็บรักษา 12 วัน

5.2 การเก็บรักษาขนมหินแกงเขียวหวานไก่พร้อมบริโภคแช่เยือกแข็ง เก็บรักษาอุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส 56 วัน

เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นค่าความแน่นเนื้อของขนมหินแช่เยือกแข็งเพิ่มขึ้น ความยืดหยุ่นลดลง วันที่ 56 ขนมหินเป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซี ขนมหินทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบผานเนื้อมีความแน่นเนื้อ เป็น 27.35 และ 30.35 กรัม ตามลำดับ มีความยืดหยุ่นเป็น 8.35 และ 5.78 ตามลำดับ เมื่อตรวจสอบความเข้มทางประสาทสัมผัส ขนมหินเป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซี และขนมหินทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบผานเนื้อมีความเรียบเป็น 9.34 และ 8.66 คะแนนตามลำดับ ความยืดหยุ่น 11.06 และ 10.518 คะแนน ตามลำดับ ความแน่นเนื้อ 11.09 และ 12.24 คะแนนตามลำดับ และความชุ่มชื้นเป็น 11.70 และ 12.09 คะแนน ตามลำดับ ส่วนขนมหินเป้งหมักปกติ ในวันที่ 49 ซึ่งเป็นวันที่ผู้ทดสอบไม่ยอมรับ มีความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นเป็น 40.60 กรัม และ 2.48 ตามลำดับ เมื่อตรวจสอบความเข้มทางประสาทสัมผัส ขนมหินเป้งหมักปกติมีความเรียบเป็น 7.74, 8.04, 13.44 และ 13.41 คะแนน ตามลำดับ เมื่อตรวจสอบความชอบทางประสาทสัมผัสสามารถสรุปได้ว่า ขนมหินเป้งหมักผสมกัมซีเอ็มซี และขนมหินทดแทนเป้งหมักด้วยเป้งหมักอบผานเนื้อ มีอายุการเก็บรักษามากกว่า 56 วัน และขนมหินเป้งหมักปกติมีอายุการเก็บรักษาไม่เกิน 49 วัน ส่วนแกงเขียวหวานไก่แช่เยือกแข็งผู้ทดสอบให้การยอมรับแกงเขียวหวานไก่ตลอดอายุการเก็บรักษา 56 วัน

5.3 ผลความปลอดภัยด้านเชื้อจุลินทรีย์

ขนมหินแกงเขียวหวานไก่แช่เยือกแข็งเก็บรักษาอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 วัน และอุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส 56 วัน มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ แสดงถึงความปลอดภัยต่อการบริโภคขนมหินแกงเขียวหวานไก่แช่เยือกแข็งตามระยะเวลาดังกล่าว

ข้อเสนอแนะ

1. จากการดัดแปรสตาarchในแป้งหมักด้วยวิธีการอบผานเนื้อ ปรากฏว่าสตาarchแป้งหมักอบผานเนื้อีมีความเป็นผลึกเพิ่มขึ้น และอุณหภูมิการเกิดเจลาทีไนซ์เพิ่มขึ้น จากสมบัติดังกล่าวอาจมีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารเส้นประเภทแป้งผ่านการแปรรูปโดยใช้ความร้อน เช่น ก๋วยเตี๋ยว หรือขนมจีนพาสเจอไรซ์ เป็นต้น
2. การผสมกัมซีเอ็มซีในแป้งสามารถลดการเกิดเจลาทีไนซ์ของสตาarchได้ โดยทำให้ค่าพลังงานการสลายพันธะลดลง จากผลดังกล่าวอาจนำกัมซีเอ็มซีไปใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารเส้นจากแป้งข้าวชนิดอื่นผ่านการแปรรูปด้วยความร้อน
3. เนื่องจากมีข้อจำกัดด้านผู้ทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการ จึงใช้ผู้ทดสอบผ่านการฝึกฝนจำนวน 8 คน ตัดสินการยอมรับทางประสาทสัมผัส เพื่อให้ได้ขนมจีนที่เป็นตัวแทนของผู้บริโภคโดยแท้จริง จึงควรมีการตรวจสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสวิธีทดสอบความชอบ 9 ระดับ เพื่อหาขนมจีนที่เหมาะสม โดยใช้ผู้ทดสอบเป็นบุคคลทั่วไปประมาณ 25-30 คน

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กูรอชียะห์ ยามิรุเต็ง. 2547. กระบวนการผลิตข้าวหมกแช่เยือกแข็ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. 2549. เกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาสำหรับอาหารทั่วไปที่มีไขมันอาหาร
ควบคุมเฉพาะกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ประเภทอาหารปรุงสุกแล้วแช่เย็นหรือ แช่แข็ง
ต้องอ่านก่อนบริโภค. กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข. แหล่งที่มา:
<http://www.dmsc.moph.go.th/webroot/BQSF/File/varity/cheme/confict23.htm>,
22 มกราคม 2549.

กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2543. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่2.
สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

งามชื่น คงเสรี. 2541. ข้าวที่เหมาะสมสำหรับการแปรรูปก๋วยเตี๋ยวและการตรวจสอบคุณภาพ
น. 14-32. ใน เอกสารประกอบการบรรยาย โครงการฝึกอบรม เรื่อง การพัฒนาและ
ยกระดับอุตสาหกรรมก๋วยเตี๋ยวและขนมจีนโดยใช้เทคโนโลยีสะอาด ณ โรงแรม มารวยการ
เดน ถ. พหลโยธิน กรุงเทพฯ วันที่ 26-28 มีนาคม 2541. สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย และ
โครงการส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีสะอาดในอุตสาหกรรมไทย.

ณรงค์ นิยมวิทย์. 2528. ขนมจีน. วารสารอาหาร 15 (3) : 123-129.

ทิพวรรณ เฟื่องเรือง. 2550. แกงเจียวหวาน. แหล่งที่มา :<http://www.tipfood.com/Kangkhiewwan/tipacom.html>, 28 เมษายน 2550

นิธิยา รัตนปนนท์. 2544. เคมีอาหาร. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ

นิรนาม. 2550. น้ำแกงขนมจีน. แหล่งที่มา : <http://naichef.50megs.com/ded26.html>,

2 พฤษภาคม 2550

น้ำฝน ศีตะจิตต์. 2548. การเกิดรีโทรเกรเดชันของข้าวขาวและข้าวหนึ่งที่มีปริมาณแอมิโลสูงหุงสุกแช่เยือกแข็ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พลก ไผพงษ์. 2549. การดัดแปรแป้งข้าวเหนียวด้วยรังสีไมโครเวฟเพื่อใช้ในก๋วยเตี๋ยวผัดไทยแช่เยือกแข็ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ไพโรจน์ วิริยจารี. 2545. การประเมินทางประสาทสัมผัส. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

พลกฤษณ์ วิมุกตพันธ์. 2547. การผลิตข้าวผัดแช่เยือกแข็ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ภควัฒน์ เดชชีวะ. 2547. การใช้กัมและสตาร์ชดัดแปรสำหรับการผลิตขนมจีนหมักคั้นรูปเร็ว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

_____ และ อรอนงค์ นัยวิกุล. 2548. การเปลี่ยนแปลงสมบัติของข้าวในระหว่างกระบวนการหมักขนมจีน ใน การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 43 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน, กรุงเทพฯ.

วิบูลย์เกียรติ โมพีเมตานนท์. 2538. แนวโน้มของอาหารแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค การยอมรับวิธีการเก็บรักษา การหุงต้มและอนาคตของตลาดภายในประเทศ. เอกสารการฝึกอบรมเรื่อง อาหารแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภคกับความปลอดภัย. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย วันที่ 27 มกราคม 2538 โรงแรมแมนดาริน, กรุงเทพฯ

สายสนม ประดิษฐ์ดวง. 2546. กระบวนการแช่เยือกอาหาร, น. 131-163. ใน คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, ผู้รวบรวม. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุภาวดี แซ่ม และ ปรีศนา สุวรรณภรณ์. 2550. ผลของการ Annealing ต่อสมบัติทางกายภาพของ แป้งข้าวแอมิโลสสูง ใน การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน, กรุงเทพฯ

สุวรรณ สุทธิขจรกิจการ. 2533. เมืองไทยกับอาหารแช่เยือกแข็ง. วารสารอุตสาหกรรมเกษตร. 1(3): 36-40

อดิสร เสวตวิวัฒน์. 2538. อาหารแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภคกับความปลอดภัยด้านจุลชีววิทยา. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 13(2): 30-41.

อรพรรณ กัลปนาอุท. 2547. การปรับปรุงคุณภาพกล้วยเดี่ยวพร้อมบริโภคในบรรจุภัณฑ์ปิดสนิท ผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรเซชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อรอนงค์ นัยวิกุล, จิตธนา แจ่มเมฆ, สีนินาถ จรรย์โชติเลิศ และ ลัลนา ยังประสิทธิ์พร. 2533. การผลิตแป้งข้าวผสมเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเส้น: ขนมหิน. วารสารอุตสาหกรรมเกษตร (วิทย์.). 24(4).

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2547. ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

AACC. 2000. **Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists**. 10th ed. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Minnesota.

Adebowale, K. O., T. A. Afolabi and B. I. Olu-Owolabi. 2005. Hydrothermal treatments of finger millet(*Eleusine coracana*) starch. **Food Hydrocolloids**. 19: 1-10.

Anuntavuttikul, S. 2001. **Improvement of the freeze-thaw stability of tapioca starch, sago starch and rice flour**. M.S. Thesis, Mahidol University.

- AOAC. 2002. **Official Method of Analysis**. The Association of Official Analytical Chemistry, Virginia.
- Bahnassey, Y. A. and W. M. Breene. 1994. Rapid visco-analyzer (RVA) pasting profile of wheat, corn, waxy corn, tapioca and amaranth starches (*A. hypocondriacus* and *A. cruentus*) in the presence of konjac flour, gellan, gour, xanthan and locust bean gums. **Starch/Stärke**. 46(4): 134-141.
- Bhattacharya, M., S. Y. Zee and H. Cork. 1999. Physicochemical properties related to quality of rice noodles. **Cereal Chem.** 76(6): 861-868.
- Bramire, J. 2004. **Polysaccharides**. Source :http://www.brooklyn.cuny.edu/bc/ahp/LAD/C4c/C4c_Polysaccharides.html ., September 7, 2005.
- BAM .2001. **Bacteriological Analytical Manual**. U. S. Food and Drug Administration. Center for Food Safety and Applied Nutrition, Maryland
- Chiang, P. Y. and A. I. Yeh. 2002. Effects of soaking and wet-milling of rice. **Journal of Cereal Science**. 35: 85-94.
- Chiewcherngka, K. and O. Naivikul. 2005. Effect of annealing on the thermal properties and starch granules morphology of rice flour, pp. 301-305. *In* **The 3rd Conference on Starch Technology**. National Center for Genetic Engineering and Biotechnology. Bangkok.
- Funami, T., Y. Kataoka, T. Omoto, Y. Goto, I. Asai and K. Nishinari. 2005. Effects of non-ionic polysaccharides on the gelatinization and retrogradation behavior of wheat starch. **Food Hydrocolloids**. 19: 1-13

Gomes, A. M. M., M. E. Claudio, M. D. Siva and M. P. S. R. Nagila. 2004. Effects of annealing on the physicochemical properties of fermented cassava starch (*polvilho azedo*).

Carbohydrate Polymers. 60:1-6

_____. M. M., M. E. Claudio and M. P. S. R. Nagila. 2005. Effects of annealing on the physicochemical properties of fermented cassava starch (*polvilho azedo*). **Carbohydrate Polymers:** 1-6. (In press)

Heldman, D. R. and R. W. Hartel. 1997. **Principles of food processing**. Chapman&Hall, NewYork.

Hoover, R. and T. Vasanthan. 1994. Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of cereal, legume and tuber starches. **Carbohydrate Research.** 252: 33-53

Inglett, G. E., S. C. Peterson, C. J. Carriere and S. Maneepun. 2005. Rheological, texture and sensory properties of Asian noodles containing an oat cereal hydrocolloid. **Food Chemistry.** 90: 1-8

Jacobs, H., R. C. Eerlingen, W. Clauwaert and J. A. Delcour. 1995. Influence of annealing on the pasting properties of starches from varying botanical sources. **Cereal Chemistry.** 72(5): 480-487

_____. and J.A. Delcour. 1998. Hydrothermal modifications of granular starch, with retention of the granular structure: A review . **J. Agr. Food Chem.** 46: 2895-2905.

_____. N. Mischenko., J. H. Koch., R. C. Eerlingen., J. A. Delcour and H. Reynaers. 1998. Evaluation of the impact of annealing on gelatinization at intermediate water content of wheat and potato starch: a differential scanning calorimetry and small-angle x-ray scattering study. **Carbohydrate Research.** 306:1-10.

- Juliano, B. O. 1971. A simplified assay for milled-rice amylose. **Cereal Science Today**. 16: 334-340.
- Karel, M. and D.B. Lund. 2003. **Physical Principle of Food Preservation**. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Kiseleva, V. I., N. K. Genkita, R. Tester, L. A. Wasserman, A. A. Popov and V. P. Yuryev. 2004. Annealing of normal, low and high amylose starch extracted from barley cultivars grown under different environmental conditions. **Carbohydrate Polymers**. 56: 157-168.
- Kiseleva, V. I., N. A. V. Krivandin, J. Fornal, W. Blaszcak, T. Jelinski and P. Yuryev. 2005. Annealing of normal and mutant wheat starches LM, SEM, DSC and SAX studies. **Carbohydrate Research**. 340: 75-83.
- Kohyama, K. and T. Sasaki. 2006. Differential scanning calorimetry and a model calculation of starches annealed at 20 and 50 °C. **Carbohydrate Polymers**. 63: 82-88.
- Krueger, B. R., C. A. Knutson, G. E. Inglett and C. E. Walker. 1987. A differential scanning calorimetry study on the effect of annealing on gelatinization behavior of corn starch. **Journal of Food Science**. 52(3): 715-718.
- Lee, Y.S., J.M. Cho and C.O. Rhee. 2001. Gelatinization characteristics of pigmented rice starch (Suwon 415). **Food Sci. Biotechnol**. 10(4): 397-402.
- Lee, M. H., M. H. Baek, D. S. Cha H. J. Park and S. T. Lim. 2002. Freeze-thaw stabilization on sweet potato starch gel by polysaccharide gums. **Food Hydrocolloid**. 16: 345-352
- Liu, H., N. A. M. Eskin and S. W. Cui. 2005. Effects of yellow mustard mucilage on functional and rheological properties of buckwheat and pea starches. **Food Chemistry**. (In press)

- Marshall, W.E., J.I. Wadsworth, L.R. Verma and L. Velupillai. 1993. Determining the degree of gelatinization in parboiled rice: Comparison of a subjective and objective method. **Cereal Chem.** 70(2): 226-230.
- Mandala, I. G. and E. Bayas. 2004. Xanthan effect on swelling, solubility and viscosity of wheat starch dispersions. **Food Hydrocolloids.** 18: 191-201.
- Miller, J.P. and C. Butcher. 2000. Freezer technology, pp. 159-193. In C.J. Kennedy, ed. **Managing Frozen Foods.** Woodhead Publishing Limited, Cambridge.
- Nussinovitch, A. 1997. **Hydrocolloids applications : gum technology in the food and other industries.** First edition. Chapman & Hall, London.
- Paipong, P. and O. Naivikul. 2005. Characterization of native and microwave irradiated Thai glutinous rice flour, pp. 307-313. . *In The 3rd Conference on Starch Technology.* National Center for Genetic Engineering and Biotechnology. Bangkok.
- Rojas, J. A., C. M. Rosell and C. B. D. Barber. 1999. Pasting properties of different wheat flour hydrocolloid system. **Food hydrocolloids.** 13: 27-33.
- Schoch, T. J. 1964. Swelling power and solubility of granule starch, pp. 106-108. *In* R. L. Whisler, ed. **Method in Carbohydrate Chemistry.** Vol. IV. Academic press, Inc., New York
- Sekine, M., K. Otobe, J. Sugiyama and Y. Kawamura. 2000. Effects of heating, vacuum drying and steeping on gelatinization properties and dynamic viscoelasticity of various starches. **Starch/Stärke.** 52: 398-405.
- Seow, C.C and C.H. Teo. 1993. Annealing of granular rice starches-interpretation of the effect on phase transitions associated with gelatinization. **Starch/Stärke.** 43(10): 345-351.

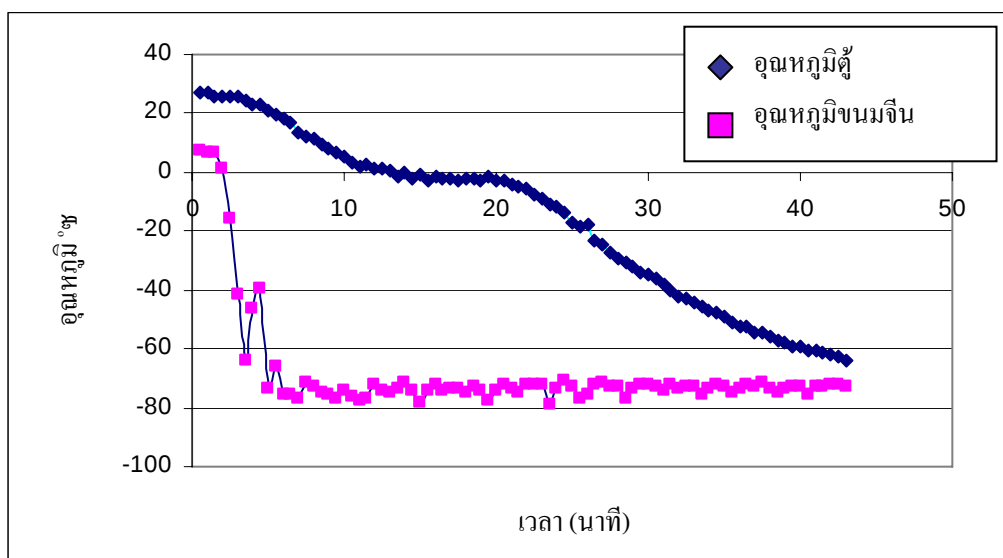
- Shi, X. and J. N. Bemiller. 2002. Effect of food gum on viscosities of starch suspensions during pasting. **Carbohydrate Polymers**. 50: 7-18.
- Singh, R.P. and D.R. Heldman. 1993. **Introduction to Food Engineering**. 2nd ed. Academic Press Inc., California.
- Sreenath, H. K. 1992. Studies on starch granules digested by α -amylase. **Starch/Stärke**. 44: 61-63
- Stoll, V. 1997. Precooked Food, pp 231-174. *In* **Fundamentals of Food Engineering**. Avi, Westport. 629 p.
- Sudhakar, V., R. S. Singhal and P. R. Kulkarni. 1992. Starch-gum interactions: formulations and functionality using amaranth/corn starch and CMC. **Starch/Stärke**. 44(10): 369-374.
- Sudhakar, V., R. S. Singhal and P. R. Kulkarni. 1996. Starch-galactomannan interactions: functionality and rheological aspects. **Food Chemistry**. 55(3): 359-264.
- Takaya, T., C. Sano and K. Nishinari. 2000. Thermal studies on the gelatinisation and retrogradation of heat-moisture treated starch. **Carbohydrate Polymers**. 41: 97-100.
- Tester, R. and S. J. J. Debon. 2000. Annealing of starch-a review. **International J. of Biological Macromolecules**. 27:1-12.
- Tsutsui, K., K. Katsuta, T. Matoba, M. Takemasa and K. Nishinari. 2005. Effect of annealing temperature on gelatinization of rice starch suspension as studied by rheological and thermal measurements. **J. Agri. Food Chem.** 53: 9056-9063.

- Varavinit, S., S. Shobangob, W. Varanyanond, P. Chinachoti and O. Naivikul. 2002. Freezing and thawing conditions affect the gel stability of different varieties of rice flour. **Starch/Stärke**. 54: 31-36
- Waduge, R. N., R. Hoover, T. Vasanthan, J. Gao and J. Li. 2006. Effect of annealing on the structure and physicochemical properties of barley starches of varying amylase content. **Food Research International**. 39: 59-77.
- Whistler, R.C. and J.N. BeMiller. 1999. **Carbohydrate Chemistry for Food Scientists**. 2nd ed. Eagan Press, Minnesota.
- Yamamoto, A. and K. Shirakawa. 1999. Annealing of long-term stored rice grains improves gelatinization properties. **Cereal Chem.** 76 (5): 646-649.
- Yuan, R.C. and D.B. Thompson. 1998. Freeze-thaw stability of three waxy maize starch pastes measured by centrifugation and calorimetry. **Cereal Chem.** 75 (4): 571-573.

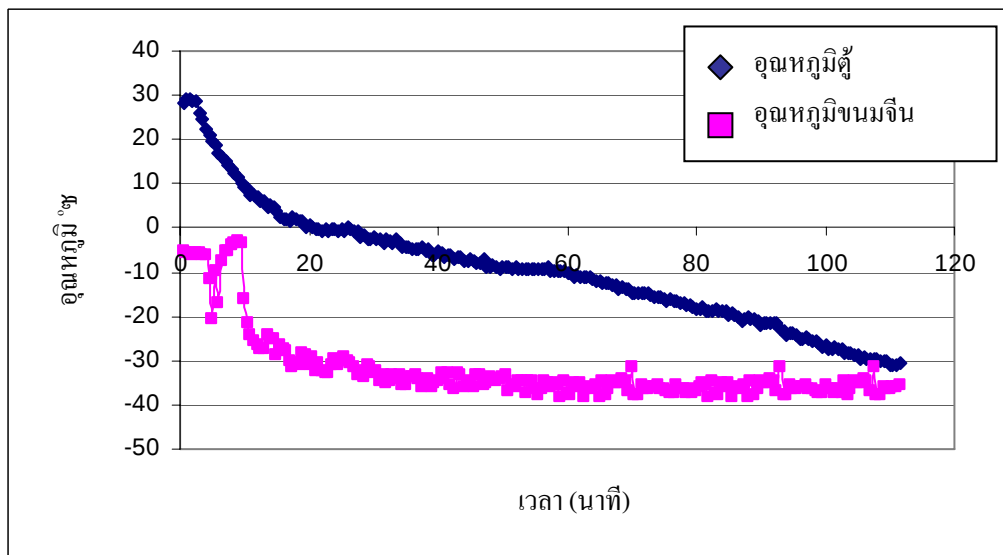
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ผลการทดลองเพิ่มเติม

ผลการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่างการแช่เยือกแข็งนมจืดแบบโครโอเจนิค และแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด



ภาพผนวกที่ ก 1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิขนมจืดระหว่างการแช่เยือกแข็งแบบโคร โอเจนิค



ภาพผนวกที่ ก 2 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิขนมจืดระหว่างการแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด

ภาคผนวก ข

การตรวจคุณภาพแป้งปกติ แป้งหมักปกติ แป้งหมักอบผานเนื้อ และแป้งหมักผสมกัน

1. การตรวจสอบสมบัติของแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผานเนื้อ

1.1 ลักษณะเม็ดสตาร์ชันแป้งข้าวตรวจสอบด้วยกล้องเอสบีเอ็ม ตามวิธีการของ น้ำฝน (2548)

นำตัวอย่างแป้งข้าวที่ต้องการวิเคราะห์ มาอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ (desiccator) นาน 12 ชั่วโมง นำมาวางบนแท่นวางตัวอย่าง (aluminum stub) โดยใช้แถบกาคาร์บอน 2 ด้าน ซึ่งใช้เป็นอุปกรณ์ยึดติดระหว่างแท่นวางตัวอย่างกับตัวอย่าง จากนั้นเคลือบทองคำซึ่งเป็นตัวนำไฟฟ้า และส่องด้วยกล้องเอสบีเอ็ม โดยใช้ความต่างศักย์ 15 กิโลโวลต์ (kV) ที่กำลังขยาย 3,000 เท่า บันทึกภาพที่ต้องการ

1.2 ลักษณะโครงสร้างผลึกของแป้งข้าวตรวจสอบด้วยเครื่องเอกซเรย์ดี ตามวิธีการของน้ำฝน (2548)

ตัวอย่างแป้งข้าวเหนียวที่ต้องการวิเคราะห์หั่นละเอียด 100 เมช บรรจุลงในแผ่นสำหรับวางตัวอย่าง (holder) เคลือบผิวหน้าให้เรียบและเสมอกัน จากนั้นนำเข้าเครื่องเอกซเรย์ดี โดยใช้สภาวะการทดสอบดังนี้ คือ target เป็นทองแดง (Cu) ความต่างศักย์ไฟฟ้า 30 กิโลโวลต์ (kV) ใช้กระแสไฟฟ้า 40 มิลลิแอมแปร์ เริ่มสแกนที่มุมหักเหช่วง 5-35 องศา 2θ ต่อวินาที บันทึกรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของตัวอย่าง และคำนวณหาค่าปริมาณผลึกสัมพัทธ์ (relative crystallinity)

$$\text{ปริมาณผลึกสัมพัทธ์ (ร้อยละ)} = \frac{\text{ผลรวมของพื้นที่ได้ฟีกที่เกิดขึ้น}}{\text{พื้นที่ทั้งหมดของสเปกตรัม}} \times 100$$

1.3 กำลังการพองตัว และการละลาย ดัดแปลงวิธีการของ Schoch (1964)

ชั่งตัวอย่างแป้ง 0.5 กรัม ใส่ลงในหลอดเหวี่ยงที่ทราบน้ำหนักแล้ว เติมน้ำกลั่น 15 มิลลิลิตร กวนผสมให้เข้ากัน นำไปต้มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ โดยทดสอบที่อุณหภูมิ 55, 65, 75 และ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที นำหลอดเหวี่ยงเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงที่ 2,200 รอบต่อนาที นาน 15 นาที แยกส่วนใส่ออกจากหลอดเหวี่ยงใส่ลงในเพลทที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่ 100 องศาเซลเซียส ชั่งน้ำหนักเพื่อหาปริมาณส่วนที่ละลายน้ำได้ เพื่อคำนวณหาความสามารถในการละลาย เป็นค่าเปอร์เซ็นต์การละลาย ส่วนหลอดเหวี่ยงที่มีตะกอนอยู่ นำมาชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหาน้ำหนักสตาร์ชที่พองตัวตามสูตร

$$\text{การละลาย (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักของส่วนที่ละลายได้หลังอบ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแป้ง (กรัม น้ำหนักแห้ง)}} \times 100$$

$$\text{กำลังการพองตัว (กรัม/กรัม)} = \frac{\text{น้ำหนักของสตาร์ชที่พองตัว (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแป้ง (กรัม น้ำหนักแห้ง)} \times (100 - \text{การละลาย})}$$

1.4 ปริมาณแอมิโลส ดัดแปลงวิธีการของ Juliano (1971)

สารเคมี

- เอทิลแอลกอฮอล์ ร้อยละ 95
- สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์แมล
- กรดแอสซิดิก 1 นอร์แมล
- สารละลายไอโอดีน เตรียมโดยใช้ไอโอดีน 0.2 กรัม และโพแทสเซียมไอโอไดด์ 2.0 กรัม ละลายในน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 100 มิลลิลิตร
- แอมิโลสบริสุทธิ์จากสตาร์ชข้าวโพด บริษัท ซิกมา ประเทศสหรัฐอเมริกา

วิธีวิเคราะห์

1) เตรียมสารละลายโดยใช้ตัวอย่างแบ่งให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) 0.1 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ใส่ขวดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมเอทิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 95 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าเบา ๆ เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 9 มิลลิลิตร ต้มในน้ำเดือด 10 นาที เพื่อให้เกิดเจลาทีนัส เติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เขย่าให้สารละลายเข้ากันดี

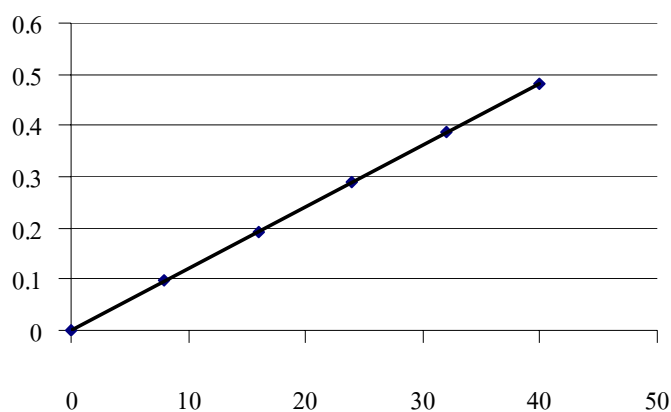
2) ปิเปตสารละลายตัวอย่างที่เตรียมได้ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ลงในขวดปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นประมาณ 70 มิลลิลิตร เติมกรดแอสติกเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นให้ครบปริมาตร 100 มิลลิลิตร เขย่าให้สารละลายเข้ากัน และตั้งทิ้งไว้ 20 นาที ทำเช่นเดียวกันอีก แต่ไม่ใส่สารตัวอย่างเพื่อใช้เป็นแบล็ก วัดความเข้มสีของสารละลายด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 620 นาโนเมตร โดยปรับค่าสารละลายแบล็กเท่ากับศูนย์

3) เตรียมกราฟมาตรฐานเช่นเดียวกับการเตรียมสารละลายตัวอย่าง โดยหั่งแอมิโลสบริสุทธิ์จากสตาร์ชข้าวโพดให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน 0.040 กรัม ปิเปตสารละลายมาตรฐานแอมิโลสที่เตรียมไว้ปริมาตร 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตร ใส่ขวดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นประมาณ 70 มิลลิลิตร เติมกรดแอสติกเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้สารละลายเข้ากัน และตั้งทิ้งไว้ 20 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 620 นาโนเมตร และเขียนกราฟระหว่างปริมาณแอมิโลส (กรัม/แป้งข้าว 100 กรัม หรือแอมิโลสบริสุทธิ์คิดเป็นร้อยละ 8, 16, 24, 32 และ 40 กรัม/แป้งข้าว 100 กรัม) กับค่าการดูดกลืนแสง การเปลี่ยนค่าการดูดกลืนแสงเป็นปริมาณแอมิโลส โดยนำค่าการดูดกลืนแสงที่ปริมาณตัวอย่าง 0.1000 กรัมของแต่ละตัวอย่าง เทียบกับกราฟมาตรฐาน แล้วอ่านค่าเป็นร้อยละของแอมิโลสต่อแป้งข้าว 100 กรัม

ตารางผนวกที่ ข1 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานแอมิโลส

ปริมาณสารละลายมาตรฐาน แอมิโลส (มล.)	น้ำหนักแอมิโลส กรัมต่อตัวอย่าง 100 กรัม	ค่าการดูดกลืนแสงที่ 620 นาโนเมตร
0	0	0
1	8	0.098
2	16	0.191
3	24	0.288
4	32	0.388
5	40	0.482

ค่าการดูดกลืนแสงที่ 620 นาโนเมตร



ปริมาณแอมิโลส (กรัม / 100กรัมแป้ง)

ภาพผนวกที่ ข1 กราฟมาตรฐานแอมิโลส

สมการเส้นตรง $y = 0.0121x - 0.0002$

$$R^2 = 0.9999$$

เมื่อ $y =$ ค่าการดูดกลืนแสงที่ 620 นาโนเมตร

$x =$ ปริมาณแอมิโลส (กรัมต่อ 100 กรัมแป้งข้าว)

1.5 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความหนืดด้วยเครื่องอาร์วีเอ

ดัดแปลงจากวิธีการของ Jacob *et al.* (1998) หมายเลข 61-02

ชั่งแป้งข้าวให้ได้น้ำหนักแน่นอน 3.00 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ใส่ลงในกระบอกสำหรับวิเคราะห์ที่มีน้ำกลั่น ประมาณ 25 มิลลิลิตรบรรจุอยู่ (ปริมาณน้ำที่แท้จริงจากการคำนวณน้ำหนักตัวอย่าง) ใช้ใบพัดกวนให้แป้งกระจายตัวอย่างรวดเร็ว นำกระบอกใส่เข้าเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว โดยคำนวณน้ำหนักตัวอย่างข้าวที่มีขนาด 100 เมช และปริมาณน้ำที่ต้องใช้ ดังสมการ

$$S = \frac{88 \times 3.0}{100 - M}$$

$$W = 25 + (3.0 - S)$$

โดย S = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้จริง

M = ความชื้นที่แท้จริงของตัวอย่าง (ร้อยละ)

W = น้ำหนักน้ำที่ใช้

สภาวะการตรวจสอบ

ช่วงการทดสอบ	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาฬิกา: วินาที)	
	50.0		
1	50.0	2:00	ช่วงเพิ่มอุณหภูมิ
2	95.0	4:00	
			ช่วงคงอุณหภูมิ
3	95.0	12.00	
			ช่วงลดอุณหภูมิ
4	50.0	15.00	
			ช่วงคงอุณหภูมิ
สิ้นสุดการทดสอบ		20.00	

เครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว ใช้ประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่จำเป็นต้องพิจารณาจากความหนืดของผลิตภัณฑ์นั้นขณะให้ความร้อน โดยสามารถเปลี่ยนระดับอุณหภูมิได้อย่างแม่นยำ แนนอน และสามารถรักษาอุณหภูมิให้คงที่ การประเมินสมบัติความข้นหนืด (pasting properties) โดยการควบคุมให้อยู่ที่สภาวะอุณหภูมิสูงภายใต้แรงเฉือนค่าหนึ่ง ทำให้ทราบความเสถียรของตัวอย่างที่ทดสอบ หลังจากนั้นทำให้ผลิตภัณฑ์เย็นตัวลง เพื่อแสดงถึงค่าเซตแบคระหว่างการเปลี่ยนแปลงค่าที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว คือ

ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) คือ ความหนืดสูงสุดของการเปลี่ยนเป็นลักษณะหนืดขึ้นในช่วงอุณหภูมิเริ่มต้นถึงอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส มีหน่วยเป็นเซนติพัวส์ (Centipoise)

ความหนืดต่ำสุด (trough) คือ ความหนืดต่ำสุดระหว่างการทำให้เย็น ในช่วงอุณหภูมิ 95-50 องศาเซลเซียส มีหน่วยเป็นเซนติพัวส์

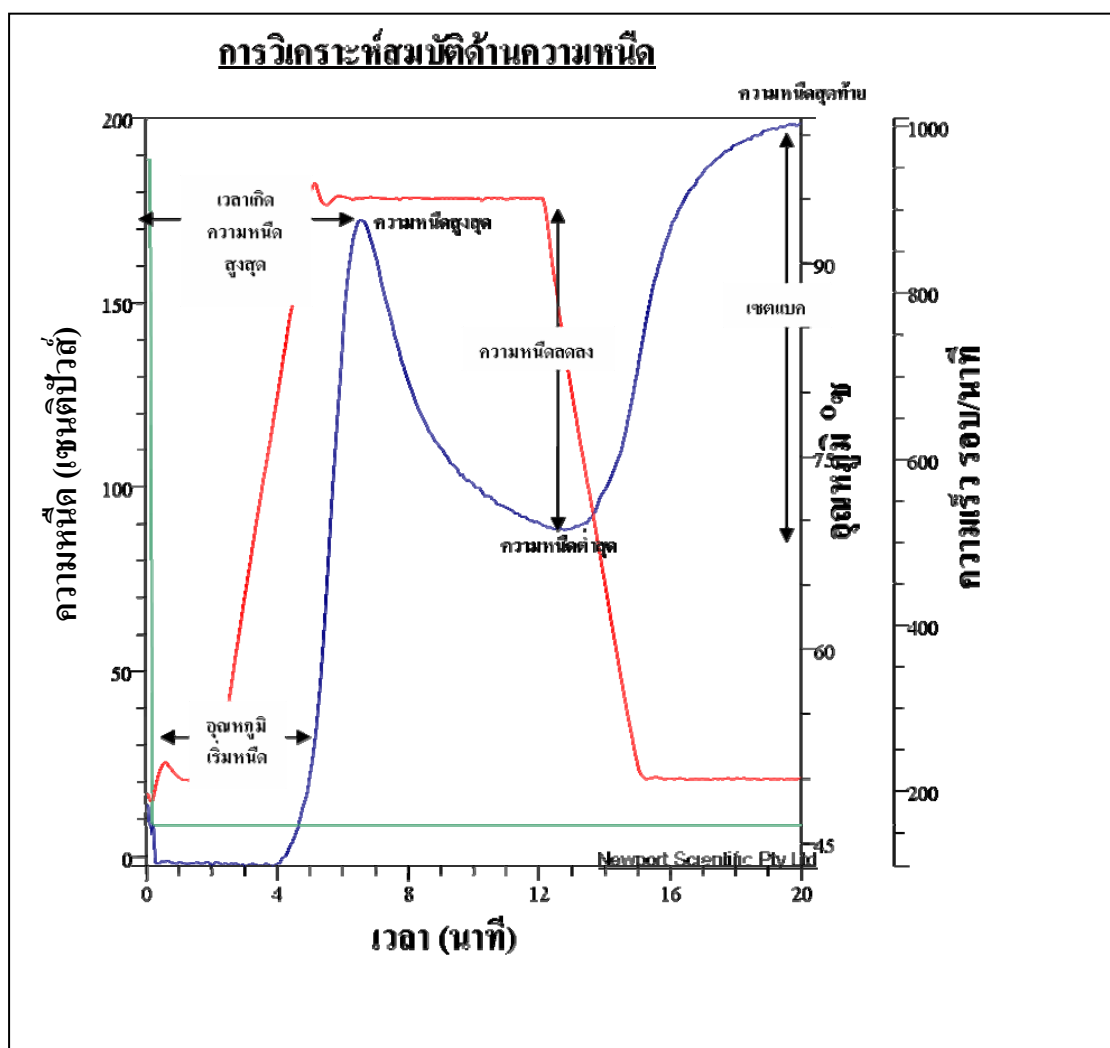
ความหนืดลดลง (break down) คือ ค่าความแตกต่างระหว่างความหนืดสูงสุด และความหนืดต่ำสุด มีหน่วยเป็นเซนติพัวส์

ความหนืดสุดท้าย (final viscosity) คือ ค่าความหนืดสุดท้ายเมื่อสิ้นสุดการทดสอบ มีหน่วยเป็นเซนติพัวส์

ค่าเซตแบค (setback) คือ ความหนืดที่สูงขึ้นหลังจากเบรคดาวน์เนื่องจากอุณหภูมิต่ำลง และโมเลกุลของสตาร์ชเริ่มยึดเหนี่ยวกันแข็งแรงขึ้น ได้จากผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด มีหน่วยเป็นเซนติพัวส์

เวลาเกิดความหนืดสูงสุด (peak time) คือ เวลาที่เกิดความหนืดสูงสุด มีหน่วยเป็นนาที

อุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืด (pasting temperature) คือ อุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนค่าความหนืด มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส



ภาพผนวกที่ ข2 ลักษณะเส้นความหนืดที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็ว

1.6 เนื้อสัมผัสของเจล

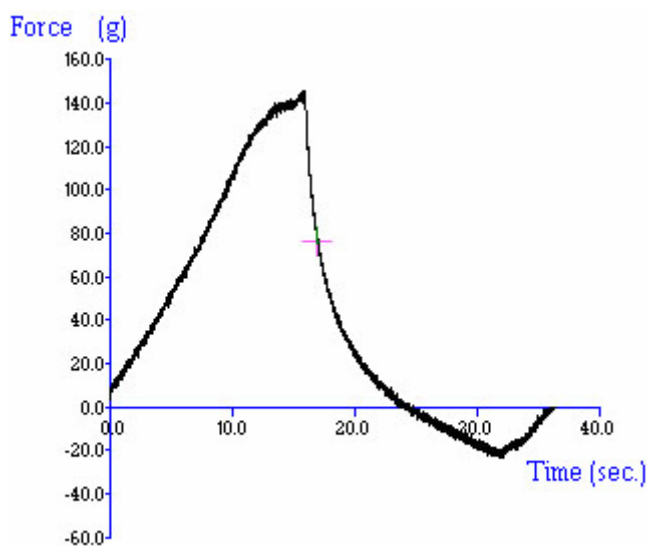
ดัดแปลงวิธีการของ Perez *et al.* (1998)

เตรียมสารละลายน้ำแป้งร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ให้ความร้อนในอ่างน้ำเดือด เป็นเวลา 10 นาที โดยคนตลอดเวลา จากนั้นเทของเหลวขึ้นลงในภาชนะพลาสติกทรงกระบอก (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูง 8 เซนติเมตร) ประมาณ 150 กรัม ปิดฝาแล้วนำไปนึ่งด้วยไอน้ำเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็น เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ตรวจสอบเนื้อสัมผัสของเจลด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture analyzer) ใช้หัววัดอะลูมิเนียม

ทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ทำการวัดโดยให้หัววัดกดลงในเจลด้วยแรงคงที่ 10 กรัม เป็นระยะทาง 16 มิลลิเมตร โดยการกำหนดสภาวะการวัดดังนี้

Mode:	Measure force in compression
Option:	Return to start
Pre-Test Speed:	1.0 mm/s
Test Speed:	1.0 mm/s
Post-Test Speed:	1.0 mm/s
Distance:	16.0 mm
Trigger Type:	Auto – 10g
Data Acquisition Rate:	200 pps

รายงานค่าความแข็ง (hardness) ของเจลจากค่าแรงด้านการกด มีหน่วยเป็น กรัม และค่าความยืดหยุ่น (Springiness) ของเจลจากค่าพื้นที่ทางลบขณะที่ถอนหัววัดออกจากเจล มีหน่วยเป็น กรัม·วินาที



ภาพผนวกที่ ข3 ลักษณะเส้นเนื้อสัมผัสของเจล วัดด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส

2. ตรวจสอบลักษณะโครงสร้างภายในเส้นขนมจีน

นำตัวอย่างเส้นขนมจีนที่ต้องการวิเคราะห์ มาทำแห้งโดยแช่เยือกแข็งด้วยการราดด้วยไนโตรเจนเหลว หลังจากนั้นรับนำเข้าเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze dryer)

หักเส้นขนมจีนด้วยมือเป็น 2 ท่อน แล้วนำมาวางบนแท่นวางตัวอย่าง โดยใช้แถบการคาร์บอน 2 ด้าน ซึ่งใช้เป็นอุปกรณ์ยึดติดระหว่างแท่นวางตัวอย่างกับตัวอย่าง จากนั้นเคลือบทองคำซึ่งเป็นตัวนำไฟฟ้า และส่องด้วยกล้องเอสอีเอ็ม โดยใช้ความต่างศักย์ 15 กิโลโวลต์ (kV) ที่กำลังขยาย 50 บันทึกภาพที่ต้องการ

3. การตรวจสอบสมบัติของขนมจีน

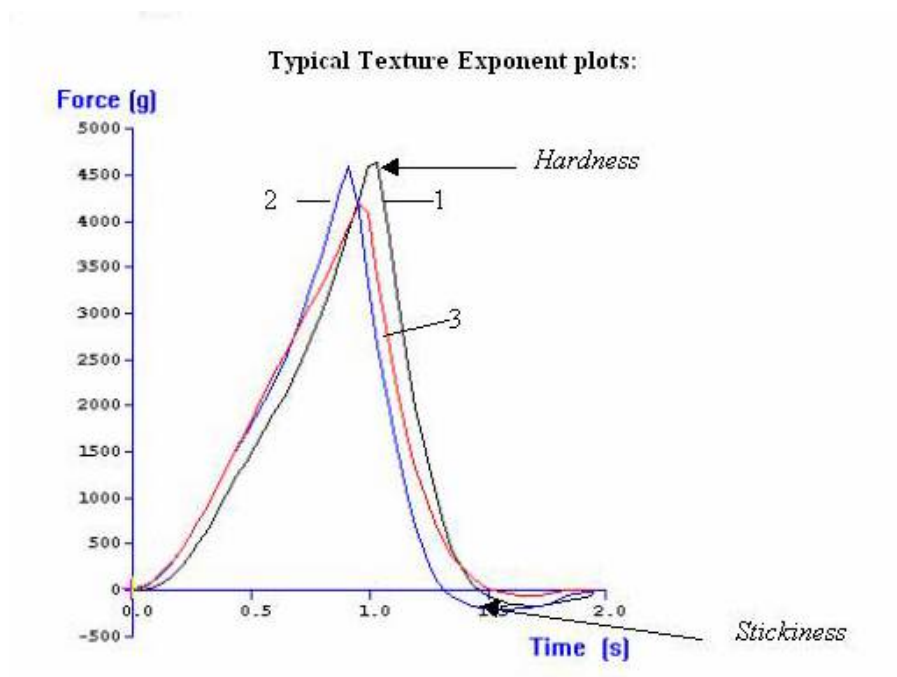
3.1 เนื้อสัมผัสของขนมจีน

ดัดแปลงวิธีการของ AACC (2000) Method 16-50

นำเส้นขนมจีน ความยาว 5 เซนติเมตร จำนวน 1 เส้น มาตรวจสอบเนื้อสัมผัสของเส้นด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture analyzer) ใช้หัววัดแบบใบมีดพลาสติก มีหน้าตัดแบนกว้าง 1 มิลลิเมตร (AACC 1 mm flat Perspex knife blade วางตัวอย่างเส้นขนมจีนกลางแท่นวางตัวอย่างที่มีร่องตรงกลาง ทำการวัดโดยให้หัววัดตกลงบนตัวอย่างด้วยแรงคงที่ 5 กรัม เป็นระยะทางร้อยละ 60 ของความสูงของตัวอย่าง โดยการกำหนดสถานะการวัดดังนี้

Mode:	Measure force in compression
Option:	Return to start
Pre-Test Speed:	2 mm/s
Test Speed:	2 mm/s
Post-Test Speed:	2 mm/s
Stain:	75%
Trigger Type:	Auto – 10g
Data Acquisition Rate:	200 pps

รายงานค่าความแน่นเนื้อ(firmness) ของเส้นก๋วยเตี๋ยวจากค่าแรงต้านการกดสูงสุด มีหน่วยเป็น กรัม



ภาพผนวกที่ ข 4 ลักษณะเส้นเนื้อสัมผัสของเส้นขนมจีนวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส

ภาคผนวก ค
แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

1. แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสเพื่อคัดเลือกขนมจินตแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบ
ผสานเนื้อแซ่เยือกแข็ง

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสขนมจินตแซ่เยือกแข็ง

ชื่อผู้ทดสอบ

วันที่

คำชี้แจง

กรุณาชิม และทำการประเมินคุณภาพด้านต่าง ๆ โดยทำเครื่องหมาย (|) ลงบนเส้นคะแนนความเข้ม ตาม
ลักษณะที่ให้ไว้ข้างล่างเปรียบเทียบกับขนมจินตปกติ และขนมจินตคั้นรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 5

ความเรียบ

น้อย

มาก

ความแน่นเนื้อ

น้อย

มาก

ความยืดหยุ่น

น้อย

มาก

ความชุ่ม

น้อย

มาก

คำชี้แจง

กรุณาบอกระดับความพอใจในปัจจัยต่างๆของเส้นขนมจินต

(1=ไม่ชอบเลย, 2 = ไม่ชอบมาก, 3 = ไม่ชอบปานกลาง, 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย, 5 = เฉยๆ, 6 = ชอบเล็กน้อย,
7 = ชอบปานกลาง, 8 = ชอบมาก, 9 = ชอบมากที่สุด)

ตัวอย่าง

ความชอบรวม

2. แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสเพื่อคัดเลือคนมเงินผสมกัม

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสนมเงินแช่เยือกแข็ง

ชื่อผู้ทดสอบ วันที่

คำชี้แจง

กรุณาระดับความพอใจในปัจจัยต่างๆของเส้นนมเงิน

(1=ไม่ชอบเลย, 2 = ไม่ชอบมาก, 3 = ไม่ชอบปานกลาง, 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย, 5 = เฉยๆ, 6 = ชอบเล็กน้อย,
7 = ชอบปานกลาง, 8 = ชอบมาก, 9 = ชอบมากที่สุด)

ตัวอย่าง

ความชอบรวม
.....
.....
.....
.....

3. แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสเพื่อคัดเลือกตรวจสอบขนมจีนระหว่างการเก็บรักษา

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสขนมจีนพร้อมบริโภคแช่เยือกแข็ง

ชื่อผู้ทดสอบ

วันที่

คำชี้แจง

กรุณาชิม และทำการประเมินคุณภาพด้านต่าง ๆ โดยทำเครื่องหมาย (|) ลงบนเส้นคะแนนความเข้ม ตามลักษณะที่ให้ไว้ข้างล่างที่ตรงกับความรู้สึกของท่าน

ความเรียบ

น้อย

มาก

ความแน่นเนื้อ

น้อย

มาก

ความยืดหยุ่น

น้อย

มาก

ความชุ่ม

น้อย

มาก

คำชี้แจง

กรุณาบอกระดับความพอใจในปัจจัยต่างๆของเส้นขนมจีน

(1=ไม่ชอบเลย, 2 = ไม่ชอบมาก, 3 = ไม่ชอบปานกลาง, 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย, 5 = เฉยๆ, 6 = ชอบเล็กน้อย, 7 = ชอบปานกลาง, 8 = ชอบมาก, 9 = ชอบมากที่สุด)

เส้นขนมจีน

ตัวอย่าง

ความชอบรวม

แกงเขียวหวานไก่

ความชอบรวม

ภาคผนวก ง

ตารางภาคผนวกที่ 1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนขนาดของเมล็ดสตรัซในแป้ง

การวิเคราะห์	Source	SS	df	MS	F	Sig
ขนาดของเมล็ดสตรัซ	Treatment	0.001211	3	0.000404	0.030147	0.9927
	Error	0.321286	24	0.013387		
	Total	0.322496	27			

ตารางภาคผนวกที่ 2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าสีแป้งปกติ แป้งหมัก แป้งหมักอบผสมเนื้อ 24 และ 48 ชม

การวิเคราะห์	Source	SS	df	MS	F	Sig
L	Treatment	31.99503	3	10.66501	57.04231	9.61E-06
	Error	1.495733	8	0.186967		
	Total	33.49077	11			
a*	Treatment	0.453767	3	0.151256	672.2469	5.99E-10
	Error	0.0018	8	0.000225		
	Total	0.455567	11			
b*	Treatment	1.465292	3	0.488431	220.3446	5.01E-08
	Error	0.017733	8	0.002217		
	Total	1.483025	11			

ตารางภาคผนวกที่ 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของสตรัซ

การวิเคราะห์	Source	SS	df	MS	F	Sig
อุณหภูมิเริ่มต้น	Treatment	23.87582	2	11.93791	1347.225	7.09E-12
	Error	0.07975	9	0.008861		
	Total	23.95557	11			
อุณหภูมิสูงสุด	Treatment	7.92195	2	3.960975	45.82841	1.91E-05
	Error	0.777875	9	0.086431		
	Total	8.699825	11			
อุณหภูมิตสุดท้าย	Treatment	3.049617	2	1.524808	400.3873	1.61E-09
	Error	0.034275	9	0.003808		
	Total	3.083892	11			

ตารางภาคผนวกที่ 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของสตาร์ช (ต่อ)

การวิเคราะห์	Source	SS	df	MS	F	Sig
ช่วงอุณหภูมิ	Treatment	11.61905	2	5.809525	557.5657	3.68E-10
	Error	0.093775	9	0.010419		
	Total	11.71283	11			
พลังงานสลายพันธะ	Treatment	1.073553	2	0.536776	441.8316	1.04E-09
	Error	0.010934	9	0.001215		
	Total	1.084487	11			

ตารางภาคผนวกที่ 4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของเจลแป้งหมักคืนรูปจากแช่เยือก
แข็งรอบที่ 1, 3 และ 5

การวิเคราะห์	Source	SS	df	MS	F	Sig
อุณหภูมิเริ่มต้น 1	Treatment	0.191489	2	0.095744	1.703638	0.259455
	Error	0.3372	6	0.0562		
	Total	0.528689	8			
อุณหภูมิสูงสุด 1	Treatment	44.70607	2	22.35303	19.24515	0.002453
	Error	6.968933	6	1.161489		
	Total	51.675	8			
อุณหภูมิสุดท้าย 1	Treatment	9.881356	2	4.940678	20.23302	0.002153
	Error	1.465133	6	0.244189		
	Total	11.34649	8			
ช่วงอุณหภูมิ 1	Treatment	12.7106	2	6.3553	18.63178	0.002667
	Error	2.0466	6	0.3411		
	Total	14.7572	8			
พลังงานสลายพันธะ 1	Treatment	0.147289	2	0.073644	93.35211	3.02E-05
	Error	0.004733	6	0.000789		
	Total	0.152022	8			
อุณหภูมิเริ่มต้น 3	Treatment	1.069267	2	0.534633	1.009335	0.418935
	Error	3.178133	6	0.529689		
	Total	4.2474	8			

ตารางภาคผนวกที่ 4 (ต่อ)

การวิเคราะห์	Source	SS	df	MS	F	Sig
อุณหภูมิสูงสุด 3	Treatment	9.973756	2	4.986878	11.20787	0.009414
	Error	2.669667	6	0.444944		
	Total	12.64342	8			
อุณหภูมิสุดท้าย 3	Treatment	0.155756	2	0.077878	0.329913	0.731249
	Error	1.416333	6	0.236056		
	Total	1.572089	8			
ช่วงอุณหภูมิ 3	Treatment	0.635622	2	0.317811	0.259506	0.779666
	Error	7.348067	6	1.224678		
	Total	7.983689	8			
พลังงานสลายพันธะ 3	Treatment	0.276822	2	0.138411	303.8293	9.35E-07
	Error	0.002733	6	0.000456		
	Total	0.279556	8			
อุณหภูมิเริ่มต้น 5	Treatment	6.932467	2	3.466233	28.49219	0.000864
	Error	0.729933	6	0.121656		
	Total	7.6624	8			
อุณหภูมิสูงสุด 5	Treatment	4.914822	2	2.457411	9.904478	0.012564
	Error	1.488667	6	0.248111		
	Total	6.403489	8			
อุณหภูมิสุดท้าย 5	Treatment	1.5176	2	0.7588	3.690661	0.090148
	Error	1.2336	6	0.2056		
	Total	2.7512	8			
ช่วงอุณหภูมิ 5	Treatment	8.529267	2	4.264633	8.467361	0.017905
	Error	3.021933	6	0.503656		
	Total	11.5512	8			
พลังงานสลายพันธะ 5	Treatment	0.211756	2	0.105878	138.1014	9.61E-06
	Error	0.0046	6	0.000767		
	Total	0.216356	8			

ตารางภาคผนวกที่ 5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสมบัติด้านความหนืดของแป้งปกติ แป้งหมัก และแป้งอบผานเนื้อ

การวิเคราะห์	Source	SS	df	MS	F	Sig
อุณหภูมิเริ่มต้น	Treatment	0.011667	3	0.003889	1.244444	0.35608
	Error	0.025	8	0.003125		
	Total	0.036667	11			
ความหนืดสูงสุด	Treatment	2475266	3	825088.5	4492.315	3.05E-13
	Error	1469.333	8	183.6667		
	Total	2476735	11			
ความหนืดต่ำสุด	Treatment	807638.7	3	269212.9	352.6037	7.79E-09
	Error	6108	8	763.5		
	Total	813746.7	11			
ความหนืดลดลง	Treatment	470598.3	3	156866.1	502.2393	1.91E-09
	Error	2498.667	8	312.3333		
	Total	473096.9	11			
ความหนืดสุดท้าย	Treatment	16908779	3	5636260	6433.474	7.25E-14
	Error	7008.667	8	876.0833		
	Total	16915788	11			
เซตแบบค	Treatment	10329720	3	3443240	6340.169	7.69E-14
	Error	4344.667	8	543.0833		
	Total	10334065	11			

ตารางภาคผนวกที่ 6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนกำลังการพองตัวของแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบผานเนื้อ

การวิเคราะห์	Source	SS	df	MS	F	Sig
อุณหภูมิ 55 °ซ	Treatment	0.397168	3	0.132389	78.1416	1.06E-07
	Error	0.018636	11	0.001694		
	Total	0.415805	14			
อุณหภูมิ 65 °ซ	Treatment	60.75804	3	20.25268	63.9342	3.01E-07
	Error	3.484512	11	0.316774		
	Total	64.24255	14			

ตารางภาคผนวกที่ 6 (ต่อ)

การวิเคราะห์	Source	SS	df	MS	F	Sig
อุณหภูมิ 75 °ซ	Treatment	71.51561	3	23.83854	52.13526	8.61E-07
	Error	5.029684	11	0.457244		
	Total	76.54529	14			
อุณหภูมิ 85 °ซ	Treatment	318.2127	3	106.0709	128.6392	7.59E-09
	Error	9.070171	11	0.824561		
	Total	327.2829	14			

ตารางภาคผนวกที่ 7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนร้อยละการละลายแป้งปกติ แป้งหมักปกติ และแป้งหมักอบ
ผสมเนื้อ

การวิเคราะห์	Source	SS	df	MS	F	Sig
อุณหภูมิ 55 °ซ		0.884455	3	0.294818	15.98153	0.000383
		0.184474	10	0.018447		
		1.068929	13			
อุณหภูมิ 65 °ซ		36.90128	3	12.30043	28.54144	3.23E-05
		4.309673	10	0.430967		
		41.21095	13			
อุณหภูมิ 75 °ซ		92.32219	3	30.77406	18.62795	0.000204
		16.52037	10	1.652037		
		108.8426	13			
อุณหภูมิ 85 °ซ		254.0476	3	84.68253	79.57757	2.8E-07
		10.64151	10	1.064151		
		264.6891	13			

ตารางภาคผนวกที่ 8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนองค์ประกอบทางเคมีของแป้งปกติ แป้งหมัก และแป้งอบผสมเนื้อ

การวิเคราะห์	Source	SS	df	MS	F	Sig
ความชื้น	Treatment	1.275958	3	0.425319	277.3822	2.02E-08
	Error	0.012267	8	0.001533		
	Total	1.288225	11			

ตารางภาคผนวกที่ 8 (ต่อ)

การวิเคราะห์	Source	SS	df	MS	F	Sig
โปรตีน	Treatment	22.98531	3	7.661769	82.26925	2.36E-06
	Error	0.745043	8	0.09313		
	Total	23.73035	11			
ไขมัน	Treatment	0.07091	3	0.023637	119.248	5.58E-07
	Error	0.001586	8	0.000198		
	Total	0.072496	11			
เถ้า	Treatment	0.4315	3	0.143833	1078.75	9.09E-11
	Error	0.001067	8	0.000133		
	Total	0.432567	11			
แอมโมเนีย	Treatment	16.52274	3	5.507578	6.211947	0.017446
	Error	7.092886	8	0.886611		
	Total	23.61562	11			

ตารางภาคผนวกที่ 9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนร้อยละการสูญเสีย น้ำหลังการคืนรูปจากเยือกแข็งของเจลแบ่ง

การวิเคราะห์	Source	SS	df	MS	F	Sig
ก่อนแช่เยือกแข็ง	Treatment	0.000411	2	0.000206	0.058452	0.943437
	Error	0.05275	15	0.003517		
	Total	0.053161	17			
รอบที่ 1	Treatment	33.90378	2	16.95189	23.14212	2.6E-05
	Error	10.98769	15	0.732512		
	Total	44.89146	17			
รอบที่ 3	Treatment	437.7334	2	218.8667	43.98112	5.32E-07
	Error	74.64568	15	4.976379		
	Total	512.3791	17			
รอบที่ 5	Treatment	674.9759	2	337.488	20.12281	5.67E-05
	Error	251.5712	15	16.77141		
	Total	926.5471	17			

ตารางภาคผนวกที่ 10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความแน่นเนื้อของเจลจากแป้งผ่านการคืนรูปจากเยือกแข็งแบบอากาศเย็นจัด

การวิเคราะห์	Source	SS	df	MS	F	Sig
ก่อนแช่เยือกแข็ง	Treatment	81.14878	2	40.57439	22.26216	3.24E-05
	Error	27.33858	15	1.822572		
	Total	108.4874	17			
รอบที่ 1	Treatment	4820.755	2	2410.378	24.10336	2.07E-05
	Error	1500.026	15	100.0017		
	Total	6320.781	17			
รอบที่ 3	Treatment	43200.56	2	21600.28	3.749822	0.047793
	Error	86405.23	15	5760.349		
	Total	129605.8	17			
รอบที่ 5	Treatment	6534.888	2	3267.444	92.74236	3.59E-09
	Error	528.4712	15	35.23141		
	Total	7063.36	17			

ตารางภาคผนวกที่ 11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความยืดหยุ่นของเจลแป้งผ่านการคืนรูปจากเยือกแข็งแบบอากาศเย็นจัด

การวิเคราะห์	Source	SS	df	MS	F	Sig
ก่อนแช่เยือกแข็ง	Treatment	446.328	2	223.164	25.67235	1.44E-05
	Error	130.3917	15	8.692778		
	Total	576.7197	17			
รอบที่ 1	Treatment	1437.822	2	718.911	77.30535	1.26E-08
	Error	139.4944	15	9.299628		
	Total	1577.316	17			
รอบที่ 3	Treatment	164.9266	2	82.4633	10.68714	0.001302
	Error	115.7418	15	7.716121		
	Total	280.6684	17			
รอบที่ 5	Treatment	867.6731	2	433.8366	73.57609	1.76E-08
	Error	88.44651	15	5.896434		
	Total	956.1196	17			

ตารางภาคผนวกที่ 12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสมบัติด้านความหนืดของแป้งหมักทดแทนด้วยแป้งหมักอบ
ผสมเนื้อ

การวิเคราะห์	Source	SS	df	MS	F	Sig
ความหนืดสูงสุด	Treatment	131778.3	5	26355.66	827.9264	8.52E-15
	Error	382	12	31.83333		
	Total	132160.3	17			
ความหนืดต่ำสุด	Treatment	23515.61	5	4703.122	386.558	8.03E-13
	Error	146	12	12.16667		
	Total	23661.61	17			
ความหนืดลดลง	Treatment	47498.44	5	9499.689	191.4831	5.19E-11
	Error	595.3333	12	49.61111		
	Total	48093.78	17			
ความหนืดสุดท้าย	Treatment	238902.4	5	47780.49	725.7796	1.87E-14
	Error	790	12	65.83333		
	Total	239692.4	17			
เซตแบค	Treatment	92994.67	5	18598.93	337.4806	1.8E-12
	Error	661.3333	12	55.11111		
	Total	93656	17			

ตารางภาคผนวกที่ 13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความแน่นเนื้อขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค

การวิเคราะห์	Source	SS	df	MS	F	Sig
ก่อนแช่เยือกแข็ง	Treatment	464.9134	5	92.98267	56.90056	2.11E-14
	Error	49.02377	30	1.634126		
	Total	513.9371	35			
รอบที่ 1	Treatment	10.39756	5	2.079513	3.276356	0.01771
	Error	19.04109	30	0.634703		
	Total	29.43865	35			
รอบที่ 3	Treatment	60.47747	5	12.09549	18.11466	2.87E-08
	Error	20.03156	30	0.667719		
	Total	80.50902	35			

ตารางภาคผนวกที่ 13 (ต่อ)

การวิเคราะห์	Source	SS	df	MS	F	Sig
รอบที่ 5	Treatment	749.5244	5	149.9049	104.1446	5.03E-18
	Error	43.18176	30	1.439392		
	Total	792.7061	35			

ตารางภาคผนวกที่ 14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความยืดหยุ่นขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค

การวิเคราะห์	Source	SS	df	MS	F	Sig
ก่อนแช่เยือกแข็ง	Treatment	12.22566	5	2.445132	3.363269	0.015727
	Error	21.81031	30	0.72701		
	Total	34.03597	35			
รอบที่ 1	Treatment	5.244159	5	1.048832	1.765582	0.150293
	Error	17.82129	30	0.594043		
	Total	23.06545	35			
รอบที่ 3	Treatment	45.15269	5	9.030538	23.71282	1.36E-09
	Error	11.42488	30	0.380829		
	Total	56.57757	35			
รอบที่ 5	Treatment	41.38594	5	8.277189	20.10062	9.06E-09
	Error	12.35363	30	0.411788		
	Total	53.73958	35			

ตารางภาคผนวกที่ 15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนคะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัส ขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค

การวิเคราะห์	Source	SS	df	MS	F	Sig
ก่อนแช่เยือกแข็ง ความเรียบ	Treatment	8.594167	5	1.718833	8.418776	2.62E-05
	Panelist(block)	1.939167	7	0.277024	1.356851	0.254127
	Error	7.145833	35	0.204167		
	Total	4345.88	48			

ตารางภาคผนวกที่ 15 (ต่อ)

การวิเคราะห์	Source	SS	df	MS	F	Sig
ความแน่นเนื้อ	Treatment	27.00854	5	5.401708	31.65174	4.75E-12
	Panelist(block)	1.118125	7	0.159732	0.935963	0.491655
	Error	5.973125	35	0.170661		
	Total	4232.25	48			
ความยืดหยุ่น	Treatment	43.535	5	8.707	54.63012	1.51E-15
	Panelist(block)	0.279167	7	0.039881	0.250224	0.96873
	Error	5.578333	35	0.159381		
	Total	6219.26	48			
ความชุ่ม	Treatment	1.514167	5	0.302833	1.42862	0.238306
	Panelist(block)	0.705833	7	0.100833	0.475682	0.845526
	Error	7.419167	35	0.211976		
	Total	5073.16	48			
รอบการคืนรูปที่ 1						
ความเรียบ	Treatment	18.135	5	3.627	16.46854	2.37E-08
	Panelist(block)	1.769167	7	0.252738	1.147568	0.357099
	Error	7.708333	35	0.220238		
	Total	4212.68	48			
ความแน่นเนื้อ	Treatment	2.7025	5	0.5405	4.812593	0.00188
	Panelist(block)	1.656667	7	0.236667	2.107272	0.06866
	Error	3.930833	35	0.11231		
	Total	5075.92	48			
ความยืดหยุ่น	Treatment	15.1175	5	3.0235	13.30125	2.73E-07
	Panelist(block)	0.346667	7	0.049524	0.217869	0.978764
	Error	7.955833	35	0.22731		
	Total	4919.9	48			
ความชุ่ม	Treatment	22.83167	5	4.566333	26.67399	5.07E-11
	Panelist(block)	4.855833	7	0.69369	4.052156	0.002388
	Error	5.991667	35	0.17119		
	Total	5872.52	48			

ตารางภาคผนวกที่ 15 (ต่อ)

การวิเคราะห์	Source	SS	df	MS	F	Sig
รอบการคืนรูปที่ 3						
ความเรียบ	Treatment	33.50667	5	6.701333	29.31833	1.39E-11
	Panelist(block)	2.33	7	0.332857	1.45625	0.214971
	Error	8	35	0.228571		
	Total	2970.4	48			
ความแน่นเนื้อ	Treatment	20.7325	5	4.1465	14.32533	1.19E-07
	Panelist(block)	1.009167	7	0.144167	0.498067	0.829439
	Error	10.13083	35	0.289452		
	Total	6644.78	48			
ความยืดหยุ่น	Treatment	12.37667	5	2.475333	30.0127	1E-11
	Panelist(block)	1.315833	7	0.187976	2.279157	0.050545
	Error	2.886667	35	0.082476		
	Total	3653.18	48			
ความชุ่ม	Treatment	26.8575	5	5.3715	37.30825	4.53E-13
	Panelist(block)	0.775833	7	0.110833	0.769803	0.616294
	Error	5.039167	35	0.143976		
	Total	6394.48	48			
รอบการคืนรูปที่ 5						
ความเรียบ	Treatment	17.01604	5	3.403208	7.52021	6.98E-05
	Panelist(block)	2.314792	7	0.330685	0.730727	0.647216
	Error	15.83896	35	0.452542		
	Total	2479.05	48			
ความแน่นเนื้อ	Treatment	47.30417	5	9.460833	28.08758	2.5E-11
	Panelist(block)	1.985833	7	0.28369	0.842228	0.560332
	Error	11.78917	35	0.336833		
	Total	6882.18	48			

ตารางภาคผนวกที่ 15 (ต่อ)

การวิเคราะห์	Source	SS	df	MS	F	Sig
ความยืดหยุ่น	Treatment	11.58854	5	2.317708	8.24685	3.15E-05
	Panelist(block)	2.144792	7	0.306399	1.090226	0.390533
	Error	9.836458	35	0.281042		
	Total	3770.67	48			
ความชุ่ม	Treatment	46.50937	5	9.301875	37.64218	3.98E-13
	Panelist(block)	0.194792	7	0.027827	0.11261	0.997081
	Error	8.648958	35	0.247113		
	Total	6831.23	48			

ตารางภาคผนวกที่ 16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าแน่นเนื้อขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบสับผสมแผ่นโลหะเย็นจัด

การวิเคราะห์	Source	SS	df	MS	F	Sig
ก่อนแช่เยือกแข็ง	Treatment	345.2514	5	69.05027	11.26452	3.55E-06
	Error	183.8968	30	6.129892		
	Total	529.1481	35			
รอบที่ 1	Treatment	39.83774	5	7.967548	12.93532	9.47E-07
	Error	18.47858	30	0.615953		
	Total	58.31632	35			
รอบที่ 3	Treatment	380.0912	5	76.01824	51.58835	7.81E-14
	Error	44.20663	30	1.473554		
	Total	424.2978	35			
รอบที่ 5	Treatment	25382.31	5	5076.462	1.211533	0.327786
	Error	125703.4	30	4190.113		
	Total	151085.7	35			

ตารางภาคผนวกที่ 17 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่ายืดหยุ่นขนมจีนแช่เยือกแข็งแบบสับผสมแผ่นโลหะเย็นจัด

การวิเคราะห์	Source	SS	df	MS	F	Sig
ก่อนแช่เยือกแข็ง	Treatment	51.43336	3	17.14445	15.40086	2E-05
	Error	22.26428	20	1.113214		
	Total	73.69764	23			

ตารางภาคผนวกที่ 17 (ต่อ)

การวิเคราะห์	Source	SS	df	MS	F	Sig
รอบที่ 1	Treatment	47.20975	3	15.73658	46.6625	3.25E-09
	Error	6.744852	20	0.337243		
	Total	53.9546	23			
รอบที่ 3	Treatment	26.9168	3	8.972268	24.76402	6.13E-07
	Error	7.246212	20	0.362311		
	Total	34.16302	23			
รอบที่ 5	Treatment	23.42578	3	7.808593	34.15256	4.61E-08
	Error	4.572773	20	0.228639		
	Total	27.99855	23			

ตารางภาคผนวกที่ 18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนคะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัสชนมจินเข้าเยือกแข็งแบบ สัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด

การวิเคราะห์	Source	SS	df	MS	F	Sig
ก่อนการแช่เยือกแข็ง						
ความเรียบ	Treatment	8.594167	5	1.718833	8.418776	2.62E-05
	Panelist(block)	1.939167	7	0.277024	1.356851	0.254127
	Error	7.145833	35	0.204167		
	Total	4345.88	48			
ความแน่นเนื้อ	Treatment	27.00854	5	5.401708	31.65174	4.75E-12
	Panelist(block)	1.118125	7	0.159732	0.935963	0.491655
	Error	5.973125	35	0.170661		
	Total	4232.25	48			
ความยืดหยุ่น	Treatment	43.535	5	8.707	54.63012	1.51E-15
	Panelist(block)	0.279167	7	0.039881	0.250224	0.96873
	Error	5.578333	35	0.159381		
	Total	6219.26	48			
ความชุ่ม	Treatment	1.514167	5	0.302833	1.42862	0.238306
	Panelist(block)	0.705833	7	0.100833	0.475682	0.845526
	Error	7.419167	35	0.211976		
	Total	5073.16	48			

ตารางภาคผนวกที่ ง 18 (ต่อ)

การวิเคราะห์	Source	SS	df	MS	F	Sig
รอบการคืนรูปที่ 1						
ความเรียบ	Treatment	17.80417	5	3.560833	17.17641	1.44E-08
	Panelist(block)	1.516667	7	0.216667	1.045136	0.41843
	Error	7.255833	35	0.20731		
	Total	4215.38	48			
ความแน่นเนื้อ	Treatment	6.784167	5	1.356833	5.907225	0.000465
	Panelist(block)	0.115833	7	0.016548	0.072043	0.999305
	Error	8.039167	35	0.22969		
	Total	5454.96	48			
ความยืดหยุ่น	Treatment	7.388542	5	1.477708	7.247263	9.5E-05
	Panelist(block)	1.709792	7	0.244256	1.197927	0.329624
	Error	7.136458	35	0.203899		
	Total	4842.27	48			
ความชุ่ม	Treatment	22.41854	5	4.483708	26.17041	6.56E-11
	Panelist(block)	1.039792	7	0.148542	0.867005	0.541717
	Error	5.996458	35	0.171327		
	Total	5901.43	48			
รอบการคืนรูปที่ 3						
ความเรียบ	Treatment	33.60687	5	6.721375	31.37426	5.38E-12
	Panelist(block)	1.453125	7	0.207589	0.968992	0.468682
	Error	7.498125	35	0.214232		
	Total	2995.73	48			
ความแน่นเนื้อ	Treatment	20.04188	5	4.008375	15.81102	3.84E-08
	Panelist(block)	1.173125	7	0.167589	0.661055	0.702947
	Error	8.873125	35	0.253518		
	Total	6607.83	48			

ตารางภาคผนวกที่ 18 (ต่อ)

การวิเคราะห์	Source	SS	df	MS	F	Sig
ความยืดหยุ่น	Treatment	5.753542	5	1.150708	11.63521	1.14E-06
	Panelist(block)	1.494792	7	0.213542	2.159193	0.062594
	Error	3.461458	35	0.098899		
	Total	3757.81	48			
ความชุ่ม	Treatment	22.64354	5	4.528708	20.04328	2.14E-09
	Panelist(block)	0.293125	7	0.041875	0.185332	0.986685
	Error	7.908125	35	0.225946		
	Total	6367.35	48			
รอบการคืนรูปที่ 5						
ความเรียบ	Treatment	16.66417	5	3.332833	7.518073	7E-05
	Panelist(block)	2.319167	7	0.33131	0.747355	0.634012
	Error	15.51583	35	0.44331		
	Total	2474.1	48			
ความแน่นเนื้อ	Treatment	55.165	5	11.033	30.72444	7.22E-12
	Panelist(block)	2.246667	7	0.320952	0.893781	0.521959
	Error	12.56833	35	0.359095		
	Total	6981.98	48			
ความยืดหยุ่น	Treatment	30.83688	5	6.167375	27.07888	4.13E-11
	Panelist(block)	0.319792	7	0.045685	0.200585	0.98324
	Error	7.971458	35	0.227756		
	Total	3193.27	48			
ความชุ่ม	Treatment	37.69667	5	7.539333	27.15712	3.97E-11
	Panelist(block)	0.253333	7	0.03619	0.13036	0.995392
	Error	9.716667	35	0.277619		
	Total	6940.48	48			

ตารางภาคผนวกที่ 19 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสมบัติด้านความหนืดของแป้งหมักผสมกัม 7 ชนิดร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5

การวิเคราะห์	Source	SS	df	MS	F	Sig
กัมแซนแทน						
ความหนืดสูงสุด	Treatment	1438324	3	479441.2	181.9626	1.06E-07
	Error	21078.67	8	2634.833		
	Total	1459402	11			
ความหนืดต่ำสุด	Treatment	1584020	3	528006.8	32.06178	8.29E-05
	Error	131747.3	8	16468.42		
	Total	1715768	11			
ความหนืดลดลง	Treatment	2737700	3	912566.8	58.80193	8.56E-06
	Error	124154.7	8	15519.33		
	Total	2861855	11			
ความหนืดสุดท้าย	Treatment	983176.3	3	327725.4	187.2895	9.5E-08
	Error	13998.67	8	1749.833		
	Total	997174.9	11			
เซตแบบค	Treatment	2390539z	3	796846.3	43.34711	2.71E-05
	Error	147063.3	8	18382.92		
	Total	2537602	11			
กัมซีเอ็มซี						
ความหนืดสูงสุด	Treatment	6623274	3	2207758	854.3128	2.3E-10
	Error	20674	8	2584.25		
	Total	6643948	11			
ความหนืดต่ำสุด	Treatment	3232303	3	1077434	1507.956	2.39E-11
	Error	5716	8	714.5		
	Total	3238019	11			
ความหนืดลดลง	Treatment	889484.9	3	296495	419.3705	3.91E-09
	Error	5656	8	707		
	Total	895140.9	11			

ตารางภาคผนวกที่ 19 (ต่อ)

การวิเคราะห์	Source	SS	df	MS	F	Sig
ความหนืดสุดท้าย	Treatment	6999658	3	2333219	2420.98	3.61E-12
	Error	7710	8	963.75		
	Total	7007368	11			
เซตแบบค	Treatment	1260202	3	420067.2	1209.116	5.77E-11
	Error	2779.333	8	347.4167		
	Total	1262981	11			
กัมกัวร์						
ความหนืดสูงสุด	Treatment	2724060	3	908020	343.9795	8.59E-09
	Error	21118	8	2639.75		
	Total	2745178	11			
ความหนืดต่ำสุด	Treatment	1157873	3	385957.8	532.9682	1.51E-09
	Error	5793.333	8	724.1667		
	Total	1163667	11			
ความหนืดลดลง	Treatment	972090.7	3	324030.2	451.925	2.91E-09
	Error	5736	8	717		
	Total	977826.7	11			
ความหนืดสุดท้าย	Treatment	7462802	3	2487601	14.64233	0.001298
	Error	1359128	8	169891		
	Total	8821930	11			
เซตแบบค	Treatment	4693636	3	1564545	9.420693	0.005289
	Error	1328603	8	166075.4		
	Total	6022240	11			
กัมโลกส์ป็น						
ความหนืดสูงสุด	Treatment	8133356	3	2711119	1031.53	1.09E-10
	Error	21026	8	2628.25		
	Total	8154382	11			
ความหนืดต่ำสุด	Treatment	3017312	3	1005771	1383.295	3.37E-11
	Error	5816.667	8	727.0833		
	Total	3023129	11			

ตารางภาคผนวกที่ 19 (ต่อ)

การวิเคราะห์	Source	SS	df	MS	F	Sig
ความหนืดลดลง	Treatment	1743142	3	581047.2	776.1957	3.38E-10
	Error	5988.667	8	748.5833		
	Total	1749130	11			
ความหนืดสุดท้าย	Treatment	4192484	3	1397495	1507.003	2.39E-11
	Error	7418.667	8	927.3333		
	Total	4199902	11			
เซตแบบค	Treatment	427542	3	142514	449.0987	2.98E-09
	Error	2538.667	8	317.3333		
	Total	430080.7	11			
กัมการจีแนน						
ความหนืดสูงสุด	Treatment	5359580	3	1786527	666.9877	6.18E-10
	Error	21428	8	2678.5		
	Total	5381008	11			
ความหนืดต่ำสุด	Treatment	626870.9	3	208957	290.6217	1.68E-08
	Error	5752	8	719		
	Total	632622.9	11			
ความหนืดลดลง	Treatment	3744952	3	1248317	1510.213	2.37E-11
	Error	6612.667	8	826.5833		
	Total	3751564	11			
ความหนืดสุดท้าย	Treatment	4953179	3	1651060	1842.015	1.07E-11
	Error	7170.667	8	896.3333		
	Total	4960350	11			
เซตแบบค	Treatment	3072500	3	1024167	3203.858	1.18E-12
	Error	2557.333	8	319.6667		
	Total	3075057	11			

ตารางภาคผนวกที่ 19 (ต่อ)

การวิเคราะห์	Source	SS	df	MS	F	Sig
กัมอาร์บิก						
ความหนืดสูงสุด	Treatment	428147.7	3	142715.9	54.94885	1.11E-05
	Error	20778	8	2597.25		
	Total	448925.7	11			
ความหนืดต่ำสุด	Treatment	715625.6	3	238541.9	330.8104	1E-08
	Error	5768.667	8	721.0833		
	Total	721394.3	11			
ความหนืดลดลง	Treatment	45054.25	3	15018.08	19.86957	0.000459
	Error	6046.667	8	755.8333		
	Total	51100.92	11			
ความหนืดสุดท้าย	Treatment	302109.7	3	100703.2	111.3358	7.3E-07
	Error	7236	8	904.5		
	Total	309345.7	11			
เซตแบบ	Treatment	110240.3	3	36746.75	114.5353	6.54E-07
	Error	2566.667	8	320.8333		
	Total	112806.9	11			
กัมแอลจินต						
ความหนืดสูงสุด	Treatment	719488.9	3	239829.6	91.88875	1.54E-06
	Error	20880	8	2610		
	Total	740368.9	11			
ความหนืดต่ำสุด	Treatment	2100977	3	700325.6	909.8091	1.79E-10
	Error	6158	8	769.75		
	Total	2107135	11			
ความหนืดลดลง	Treatment	2184465	3	728155	990.4624	1.28E-10
	Error	5881.333	8	735.1667		
	Total	2190346	11			
ความหนืดสุดท้าย	Treatment	1108776	3	369591.9	419.5537	3.91E-09
	Error	7047.333	8	880.9167		
	Total	1115823	11			

ตารางภาคผนวกที่ 19 (ต่อ)

การวิเคราะห์	Source	SS	df	MS	F	Sig
เขตแบบค	Treatment	1188005	3	396001.6	1020.842	1.13E-10
	Error	3103.333	8	387.9167		
	Total	1191108	11			

ตารางภาคผนวกที่ 20 การวิเคราะห์ความแปรปรวนการสูญเสีย น้ำหลังจากคืนรูปจากเยือกแข็งของเจลแข็งหมักปกติผสมกัม

การวิเคราะห์	Source	SS	df	MS	F	Sig
ก่อนแช่เยือกแข็ง	Treatment	0.155203	8	0.0194	54.53823	1.13E-14
	Error	0.009604	27	0.000356		
	Total	0.164808	35			
รอบที่ 1	Treatment	681.292	8	85.16149	45.49575	1.08E-13
	Error	50.54011	27	1.871856		
	Total	731.8321	35			
รอบที่ 3	Treatment	2510.216	8	313.777	285.0884	4.98E-24
	Error	29.71703	27	1.100631		
	Total	2539.933	35			
รอบที่ 5	Treatment	2795.425	8	349.4282	214.791	2.14E-22
	Error	43.92438	27	1.626829		
	Total	2839.35	35			

ตารางภาคผนวกที่ 21 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของแข็งหมักผสมกัม และเจลแข็งหมักผสมกัมก่อนแช่เยือกแข็ง และหลังคืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 5

การวิเคราะห์	Source	SS	df	MS	F	Sig
ก่อนแช่เยือกแข็ง						
อุณหภูมิเริ่มต้น	Treatment	10.43287	3	3.477622	11.20819	0.003088
	Error	2.4822	8	0.310275		
	Total	12.91507	11			

ตารางภาคผนวกที่ ง 21 (ต่อ)

การวิเคราะห์	Source	SS	df	MS	F	Sig
อุณหภูมิสูงสุด	Treatment	0.458433	3	0.152811	9.051004	0.005968
	Error	0.135067	8	0.016883		
	Total	0.5935	11			
อุณหภูมิสุดท้าย	Treatment	5.020358	3	1.673453	38.66275	4.15E-05
	Error	0.346267	8	0.043283		
	Total	5.366625	11			
ค่าพลังงานสลายพันธะ	Treatment	0.095667	3	0.031889	18.75817	0.00056
	Error	0.0136	8	0.0017		
	Total	0.109267	11			
รอบที่ 5						
อุณหภูมิเริ่มต้น	Treatment	0.363567	3	0.121189	0.906255	0.479641
	Error	1.0698	8	0.133725		
	Total	1.433367	11			
อุณหภูมิสูงสุด	Treatment	6.9659	3	2.321967	12.42302	0.002224
	Error	1.495267	8	0.186908		
	Total	8.461167	11			
อุณหภูมิสุดท้าย	Treatment	20.6304	3	6.8768	25.41472	0.000192
	Error	2.164667	8	0.270583		
	Total	22.79507	11			
ค่าพลังงานสลายพันธะ	Treatment	0.01561	3	0.005203	87.96099	1.82E-06
	Error	0.000473	8	5.92E-05		
	Total	0.016083	11			

ตารางภาคผนวกที่ ง 22 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความแน่นเนื้อเจลแป้งหมักหลังจากคืนรูปจากเยือกแข็ง

การวิเคราะห์	Source	SS	df	MS	F	Sig
ก่อนแช่เยือกแข็ง	Treatment	302.5886	3	100.8629	20.55333	9.79E-06
	Error	78.51798	16	4.907374		
	Total	381.1066	19			

ตารางภาคผนวกที่ ง 22 (ต่อ)

การวิเคราะห์	Source	SS	df	MS	F	Sig
รอบที่ 1	Treatment	36950.22	3	12316.74	155.1306	4.9E-12
	Error	1270.335	16	79.39594		
	Total	38220.56	19			
รอบที่ 3	Treatment	40361.6	3	13453.87	44.5249	5.44E-08
	Error	4834.64	16	302.165		
	Total	45196.24	19			
รอบที่ 5	Treatment	36288.49	3	12096.16	261.1961	8.51E-14
	Error	740.9705	16	46.31066		
	Total	37029.46	19			

ตารางภาคผนวกที่ ง 23 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความยืดหยุ่นเจลแข็งหมักหลังจากคืนรูปจากเยือกแข็ง

การวิเคราะห์	Source	SS	df	MS	F	Sig
ก่อนแช่เยือกแข็ง	Treatment	495.6331	3	165.211	13.7939	0.000106
	Error	191.6337	16	11.9771		
	Total	687.2668	19			
รอบที่ 1	Treatment	3944.629	3	1314.876	30.14552	8.1E-07
	Error	697.8821	16	43.61763		
	Total	4642.511	19			
รอบที่ 3	Treatment	521.9047	3	173.9682	40.701	1.03E-07
	Error	68.38877	16	4.274298		
	Total	590.2935	19			
รอบที่ 5	Treatment	1206.723	3	402.241	33.30116	4.12E-07
	Error	193.2622	16	12.07889		
	Total	1399.985	19			

ตารางภาคผนวกที่ 24 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นของนมจืดผสมกับแกนแทน, ซีเอ็มซี และกัวร์ ร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5

การวิเคราะห์	Source	SS	df	MS	F	Sig
ความแน่นเนื้อ						
กัมแกนแทน	Treatment	485.7669	3	161.9223	169.7256	2.16E-14
	Error	19.08048	20	0.954024		
	Total	504.8474	23			
กัมซีเอ็มซี	Treatment	651.1859	3	217.062	291.3743	1.15E-16
	Error	14.89918	20	0.744959		
	Total	666.0851	23			
กัมกัวร์	Treatment	321.4327	3	107.1442	129.06	2.96E-13
	Error	16.60378	20	0.830189		
	Total	338.0365	23			
ความยืดหยุ่น						
กัมแกนแทน	Treatment	174.9037	3	58.30125	110.5798	1.27E-12
	Error	10.54465	20	0.527233		
	Total	185.4484	23			
กัมซีเอ็มซี	Treatment	270.6912	3	90.23042	209.4603	2.84E-15
	Error	8.615517	20	0.430776		
	Total	279.3068	23			
กัมกัวร์	Treatment	288.169	3	96.05635	238.143	8.2E-16
	Error	8.067117	20	0.403356		
	Total	296.2362	23			

ตารางภาคผนวกที่ 25 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความแน่นเนื้อของนมจืดผสมกับแซ่เอือกแข็งแบบโคร โอลีนิก

การวิเคราะห์	Source	SS	df	MS	F	Sig
ก่อนแซ่เอือกแข็ง	Treatment	17.56498	3	5.854992	9.106249	0.000528
	Error	12.85929	20	0.642964		
	Total	30.42426	23			

ตารางภาคผนวกที่ ง 25

การวิเคราะห์	Source	SS	df	MS	F	Sig
รอบที่ 1	Treatment	163.6038	3	54.53461	42.78713	6.87E-09
	Error	25.49113	20	1.274556		
	Total	189.0949	23			
รอบที่ 3	Treatment	200.13	3	66.71	34.16725	4.59E-08
	Error	39.04909	20	1.952455		
	Total	239.1791	23			
รอบที่ 5	Treatment	154.0602	3	51.35339	51.85896	1.29E-09
	Error	19.80502	20	0.990251		
	Total	173.8652	23			

ตารางภาคผนวกที่ ง 26 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความยืดหยุ่นขนมจีนผสมกัมแซ่เยือกแข็งแบบโครโอเจนิค

การวิเคราะห์	Source	SS	df	MS	F	Sig
ก่อนแซ่เยือกแข็ง	Treatment	47.38602	3	15.79534	13.98708	3.82E-05
	Error	22.58562	20	1.129281		
	Total	69.97164	23			
รอบที่ 1	Treatment	45.78308	3	15.26103	43.88809	5.52E-09
	Error	6.954518	20	0.347726		
	Total	52.7376	23			
รอบที่ 3	Treatment	26.9168	3	8.972268	24.76402	6.13E-07
	Error	7.246212	20	0.362311		
	Total	34.16302	23			
รอบที่ 5	Treatment	23.42578	3	7.808593	34.15256	4.61E-08
	Error	4.572773	20	0.228639		
	Total	27.99855	23			

ตารางภาคผนวกที่ 27 การวิเคราะห์ความแปรปรวนคะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัสขนนมจีนผสมกับแช่เยือกแข็ง
แบบไครโอเจนิค

การวิเคราะห์	Source	SS	df	MS	F	Sig
ก่อนแช่เยือกแข็ง	Treatment	0.55375	3	0.184583	1.710425	0.195458
ความเรียบ	Panelist(block)	1.90875	7	0.272679	2.526751	0.047206
	Error	2.26625	21	0.107917		
	Total	2942.34	32			
ความแน่นเนื้อ	Treatment	0.35125	3	0.117083	0.909385	0.453262
	Panelist(block)	1.87375	7	0.267679	2.079057	0.091919
	Error	2.70375	21	0.12875		
	Total	3520.34	32			
ความยืดหยุ่น	Treatment	3.168438	3	1.056146	6.086356	0.003794
	Panelist(block)	1.172188	7	0.167455	0.965012	0.480997
	Error	3.644063	21	0.173527		
	Total	3899.81	32			
ความชุ่ม	Treatment	0.45375	3	0.15125	1.230508	0.323496
	Panelist(block)	2.04375	7	0.291964	2.375303	0.059012
	Error	2.58125	21	0.122917		
	Total	3338.44	32			
รอบคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1						
ความเรียบ	Treatment	4.80375	3	1.60125	6.196959	0.003487
	Panelist(block)	0.90875	7	0.129821	0.502419	0.822206
	Error	5.42625	21	0.258393		
	Total	2693.92	32			
ความแน่นเนื้อ	Treatment	0.35125	3	0.117083	0.909385	0.453262
	Panelist(block)	1.87375	7	0.267679	2.079057	0.091919
	Error	2.70375	21	0.12875		
	Total	3520.34	32			

ตารางภาคผนวกที่ 27 (ต่อ)

การวิเคราะห์	Source	SS	df	MS	F	Sig
ความยืดหยุ่น	Treatment	3.168438	3	1.056146	6.086356	0.003794
	Panelist(block)	1.172188	7	0.167455	0.965012	0.480997
	Error	3.644063	21	0.173527		
	Total	3899.81	32			
ความชุ่ม	Treatment	18.0325	3	6.010833	27.13111	2.03E-07
	Panelist(block)	2.095	7	0.299286	1.350887	0.276605
	Error	4.6525	21	0.221548		
	Total	3896.78	32			
รอบคั้นรูปจากเยือกแข็งที่ 3						
ความเรียบ	Treatment	23.5775	3	7.859167	36.45334	1.65E-08
	Panelist(block)	1.99	7	0.284286	1.318609	0.290191
	Error	4.5275	21	0.215595		
	Total	2071.7	32			
ความแน่นเนื้อ	Treatment	13.23094	3	4.410313	22.55331	9.06E-07
	Panelist(block)	1.602188	7	0.228884	1.170459	0.360508
	Error	4.106563	21	0.195551		
	Total	4143.53	32			
ความยืดหยุ่น	Treatment	13.04125	3	4.347083	20.84813	1.68E-06
	Panelist(block)	0.32875	7	0.046964	0.225236	0.974809
	Error	4.37875	21	0.208512		
	Total	3048.06	32			
ความชุ่ม	Treatment	13.97	3	4.656667	16.87489	8.23E-06
	Panelist(block)	0.255	7	0.036429	0.13201	0.994696
	Error	5.795	21	0.275952		
	Total	4233.64	32			

ตารางภาคผนวกที่ ง 27 (ต่อ)

การวิเคราะห์	Source	SS	df	MS	F	Sig
รอบคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5						
ความเรียบ	Treatment	14.805	3	4.935	10.94929	0.000154
	Panelist(block)	1.69	7	0.241429	0.535658	0.797789
	Error	9.465	21	0.450714		
	Total	1673.34	32			
ความแน่นเนื้อ	Treatment	36.61094	3	12.20365	80.17255	1.15E-11
	Panelist(block)	0.382188	7	0.054598	0.358686	0.916004
	Error	3.196563	21	0.152217		
	Total	4418.33	32			
ความยืดหยุ่น	Treatment	12.90344	3	4.301146	14.06027	3E-05
	Panelist(block)	2.669688	7	0.381384	1.246729	0.322634
	Error	6.424063	21	0.305908		
	Total	2466.75	32			
ความชุ่ม	Treatment	33.60344	3	11.20115	41.05804	5.78E-09
	Panelist(block)	1.174688	7	0.167813	0.61512	0.737399
	Error	5.729063	21	0.272813		
	Total	4489.11	32			

ตารางภาคผนวกที่ ง 28 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความแน่นเนื้อขนมจีนผสมกัมแซ่เยือกแข็งวิธีสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด

การวิเคราะห์	Source	SS	df	MS	F	Sig
ก่อนแช่เยือกแข็ง	Treatment	17.57898	3	5.859659	12.68377	7.22E-05
	Error	9.239618	20	0.461981		
	Total	26.8186	23			
รอบที่ 1	Treatment	149.2215	3	49.74049	37.31312	2.2E-08
	Error	26.66113	20	1.333056		
	Total	175.8826	23			

ตารางภาคผนวกที่ ง 28 (ต่อ)

การวิเคราะห์	Source	SS	df	MS	F	Sig
รอบที่ 3	Treatment	592.2667	3	197.4222	192.1937	6.53E-15
	Error	20.54409	20	1.027205		
	Total	612.8108	23			
รอบที่ 5	Treatment	909.6621	3	303.2207	390.3956	6.54E-18
	Error	15.53402	20	0.776701		
	Total	925.1961	23			

ตารางภาคผนวกที่ ง 29 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความยืดหยุ่นขนมเงินผสมกัมแซ่เยือกแข็งแบบ ไคร โอเจนิค

การวิเคราะห์	Source	SS	df	MS	F	Sig
ก่อนแซ่เยือกแข็ง	Treatment	51.43336	3	17.14445	15.40086	2E-05
	Error	22.26428	20	1.113214		
	Total	73.69764	23			
รอบที่ 1	Treatment	47.20975	3	15.73658	46.6625	3.25E-09
	Error	6.744852	20	0.337243		
	Total	53.9546	23			
รอบที่ 3	Treatment	26.9168	3	8.972268	24.76402	6.13E-07
	Error	7.246212	20	0.362311		
	Total	34.16302	23			
รอบที่ 5	Treatment	23.42578	3	7.808593	34.15256	4.61E-08
	Error	4.572773	20	0.228639		
	Total	27.99855	23			

ตารางภาคผนวกที่ ง 30 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความเข้มทางประสาทสัมผัสขนมเงินผสมกัมแซ่เยือกแข็งแบบ สัมผัสแผ่น โลหะเย็นจัด

การวิเคราะห์	Source	SS	df	MS	F	Sig
ก่อนแซ่เยือกแข็ง	Treatment	0.55375	3	0.184583	1.710425	0.195458
ความเรียบ	Panelist(block)	1.90875	7	0.272679	2.526751	0.047206
	Error	2.26625	21	0.107917		
	Total	2942.34	32			

ตารางภาคผนวกที่ ง 30 (ต่อ)

การวิเคราะห์	Source	SS	df	MS	F	Sig
ความแน่นเนื้อ	Treatment	0.593438	3	0.197813	1.413397	0.266805
	Panelist(block)	2.404688	7	0.343527	2.454545	0.052491
	Error	2.939063	21	0.139955		
	Total	2405.45	32			
ความยืดหยุ่น	Treatment	10.02344	3	3.341146	20.31349	2.05E-06
	Panelist(block)	1.959688	7	0.279955	1.702072	0.162825
	Error	3.454063	21	0.164479		
	Total	4888.75	32			
ความชุ่ม	Treatment	0.45375	3	0.15125	1.230508	0.323496
	Panelist(block)	2.04375	7	0.291964	2.375303	0.059012
	Error	2.58125	21	0.122917		
	Total	3338.44	32			
รอบคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 1						
ความเรียบ	Treatment	7.2675	3	2.4225	7.092715	0.001802
	Panelist(block)	1.54	7	0.22	0.644127	0.715002
	Error	7.1725	21	0.341548		
	Total	2798.56	32			
ความแน่นเนื้อ	Treatment	19.00375	3	6.334583	52.76202	5.95E-10
	Panelist(block)	1.73375	7	0.247679	2.062965	0.094178
	Error	2.52125	21	0.12006		
	Total	3163.54	32			
ความยืดหยุ่น	Treatment	3.62125	3	1.207083	7.382235	0.001467
	Panelist(block)	1.99375	7	0.284821	1.7419	0.15326
	Error	3.43375	21	0.163512		
	Total	3903.08	32			
ความชุ่ม	Treatment	24.29594	3	8.098646	36.25052	1.73E-08
	Panelist(block)	3.272187	7	0.467455	2.092387	0.09009
	Error	4.691563	21	0.223408		
	Total	3801.55	32			

ตารางภาคผนวกที่ ง 30 (ต่อ)

การวิเคราะห์	Source	SS	df	MS	F	Sig
รอบคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 3						
ความเรียบ	Treatment	20.63844	3	6.879479	29.82395	9.24E-08
	Panelist(block)	1.677188	7	0.239598	1.038707	0.434666
	Error	4.844063	21	0.23067		
	Total	2154.31	32			
ความแน่นเนื้อ	Treatment	16.1925	3	5.3975	20.05263	2.26E-06
	Panelist(block)	2.295	7	0.327857	1.218045	0.336452
	Error	5.6525	21	0.269167		
	Total	4092.16	32			
ความยืดหยุ่น	Treatment	18.21344	3	6.071146	24.05974	5.41E-07
	Panelist(block)	0.452187	7	0.064598	0.256	0.964322
	Error	5.299063	21	0.252336		
	Total	3142.49	32			
ความชุ่ม	Treatment	19.88094	3	6.626979	43.94878	3.14E-09
	Panelist(block)	1.787188	7	0.255313	1.693181	0.165041
	Error	3.166563	21	0.150789		
	Total	3983.11	32			
รอบคืนรูปจากเยือกแข็งที่ 5						
ความเรียบ	Treatment	19.29094	3	6.430313	22.11335	1.06E-06
	Panelist(block)	1.297188	7	0.185313	0.637275	0.720298
	Error	6.106563	21	0.290789		
	Total	1675.51	32			
ความแน่นเนื้อ	Treatment	35.52844	3	11.84281	44.89913	2.59E-09
	Panelist(block)	0.977187	7	0.139598	0.529252	0.802546
	Error	5.539063	21	0.263765		
	Total	4294.77	32			

ตารางภาคผนวกที่ ง 30 (ต่อ)

การวิเคราะห์	Source	SS	df	MS	F	Sig
ความยืดหยุ่น	Treatment	18.85344	3	6.284479	36.41606	1.67E-08
	Panelist(block)	0.404687	7	0.057812	0.335	0.928826
	Error	3.624063	21	0.172574		
	Total	2272.41	32			
ความชุ่ม	Treatment	32.54094	3	10.84698	25.46079	3.43E-07
	Panelist(block)	1.077188	7	0.153884	0.361207	0.914586
	Error	8.946563	21	0.426027		
	Total	4519.51	32			

ตารางภาคผนวกที่ ง 31 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นขนมจีนแป้งหมักแช่เยือกแข็ง ระหว่างเก็บรักษาอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส วันเริ่มต้น, วันที่ 2, 4, 6, 8, 10 และ 12

การวิเคราะห์	Source	SS	df	MS	F	Sig
ความแน่นเนื้อ						
ขนมจีนแป้งหมักปกติ	Treatment	2562.941	3	854.3138	22.02681	1.51E-06
	Error	775.7036	20	38.78518		
	Total	3338.645	23			
ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบ	Treatment	2179.732	5	435.9465	899.3115	1.02E-31
ผลานเนื้อ ร้อยละ 40	Error	14.54267	30	0.484756		
	Total	2194.275	35			
ขนมจีนแป้งหมักผสมกับซีเอ็มซีร้อยละ 0.3	Treatment	3335.947	6	555.9912	922.4059	5.25E-37
	Error	21.09667	35	0.602762		
	Total	3357.044	41			
ความยืดหยุ่น						
ขนมจีนแป้งหมักปกติ	Treatment	210.2613	3	70.08708	701.4554	2.02E-20
	Error	1.998333	20	0.099917		
	Total	212.2596	23			
ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบ	Treatment	132.5878	5	26.51756	146.8907	3.76E-20
ผลานเนื้อ ร้อยละ 40	Error	5.415774	30	0.180526		
	Total	138.0036	35			

ตารางภาคผนวกที่ 31 (ต่อ)

การวิเคราะห์	Source	SS	df	MS	F	Sig
ขนมจีนแป้งหมัก	Treatment	201.7233	6	33.62056	120.6892	6.81E-22
ผสมกัม	Error	9.75	35	0.278571		
ซีเอ็มซีร้อยละ 0.3	Total	211.4733	41			

ตารางภาคผนวกที่ 32 การวิเคราะห์ความแปรปรวนคะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัสขนมจีนแป้งหมักแช่เยือกแข็ง ระหว่างเก็บรักษาอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส วันเริ่มต้น, วันที่ 2, 4, 6, 8, 10 และ 12

การวิเคราะห์	Source	SS	df	MS	F	Sig
ขนมจีนแป้งหมักปกติ						
ความเรียบ	Treatment	33.97375	3	11.32458	107.3057	6.75E-13
	Panelist(block)	0.74875	7	0.106964	1.013536	0.450105
	Error	2.21625	21	0.105536		
	Total	2325.2	32			
ความแน่นเนื้อ	Treatment	36.7075	3	12.23583	3.477383	0.034163
	Panelist(block)	22.515	7	3.216429	0.914098	0.514957
	Error	73.8925	21	3.51869		
	Total	4210.16	32			
ความยืดหยุ่น	Treatment	118.7038	3	39.56792	393.5708	1.32E-18
	Panelist(block)	1.16375	7	0.16625	1.653641	0.175259
	Error	2.11125	21	0.100536		
	Total	3954.48	32			
ความขุ่น	Treatment	40.73594	3	13.57865	123.8948	1.63E-13
	Panelist(block)	0.727188	7	0.103884	0.947862	0.492263
	Error	2.301563	21	0.109598		
	Total	4445.33	32			
ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผานเนื้อร้อยละ 40						
ความเรียบ	Treatment	47.86667	5	9.573333	310.2469	6.12E-28
	Panelist(block)	0.82	7	0.117143	3.796296	0.003641
	Error	1.08	35	0.030857		
	Total	3837.62	48			

ตารางภาคผนวกที่ ง 32 (ต่อ)

การวิเคราะห์	Source	SS	df	MS	F	Sig
ความแน่นเนื้อ	Treatment	21.275	5	4.255	54.98769	1.37E-15
	Panelist(block)	2.369167	7	0.338452	4.373846	0.00142
	Error	2.708333	35	0.077381		
	Total	6866.54	48			
ความยืดหยุ่น	Treatment	129.686	5	25.93721	233.2308	7.87E-26
	Panelist(block)	0.361458	7	0.051637	0.464326	0.853499
	Error	3.892292	35	0.111208		
	Total	5717.55	48			
ความชุ่ม	Treatment	61.03167	5	12.20633	119.6141	5.58E-21
	Panelist(block)	1.395833	7	0.199405	1.954036	0.090171
	Error	3.571667	35	0.102048		
	Total	6354.34	48			
ขนมจีนแป้งหมักผสมกับซีอิ๊มซีร้อยละ 0.3						
ความเรียบ	Treatment	82.82179	6	13.80363	145.3144	1.88E-26
	Panelist(block)	0.534107	7	0.076301	0.803241	0.589267
	Error	3.989643	42	0.094991		
	Total	5105.31	56			
ความแน่นเนื้อ	Treatment	38.46214	6	6.410357	146.7221	1.55E-26
	Panelist(block)	0.80125	7	0.114464	2.619891	0.024392
	Error	1.835	42	0.04369		
	Total	7911.87	56			
ความยืดหยุ่น	Treatment	177.9811	6	29.66351	408.8162	1.38E-35
	Panelist(block)	1.29125	7	0.184464	2.542248	0.028212
	Error	3.0475	42	0.07256		
	Total	6565.97	56			
ความชุ่ม	Treatment	42.325	6	7.054167	83.67662	9.47E-22
	Panelist(block)	0.755536	7	0.107934	1.280311	0.28337
	Error	3.540714	42	0.084303		
	Total	7598.23	56			

ตารางภาคผนวกที่ ง 33 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นขนมจีนแป้งหมักแช่เยือกแข็ง
ระหว่างเก็บรักษาอุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส วันเริ่มต้น, วันที่ 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49 และ 56

การวิเคราะห์	Source	SS	df	MS	F	Sig
ความแน่นเนื้อ						
ขนมจีนแป้งหมักปกติ	Treatment	3441.506	7	491.6437	1063.959	2.35E-43
	Error	18.48356	40	0.462089		
	Total	3459.989	47			
ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบ	Treatment	656.6737	8	82.08421	141.7961	2.66E-29
	Error	26.05	45	0.578889		
	Total	682.7237	53			
ขนมจีนแป้งหมักผสมกัม	Treatment	719.8657	8	89.98321	218.1405	2.31E-33
	Error	18.56255	45	0.412501		
	Total	738.4283	53			
ความยืดหยุ่น						
ขนมจีนแป้งหมักปกติ	Treatment	197.4315	7	28.20449	222.887	5.66E-30
	Error	5.061667	40	0.126542		
	Total	202.4931	47			
ขนมจีนทดแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบ	Treatment	30.06333	8	3.757917	24.33183	6.13E-14
	Error	6.95	45	0.154444		
	Total	37.01333	53			
ขนมจีนแป้งหมักผสมกัม	Treatment	50.47947	8	6.309933	24.75688	4.5E-14
	Error	11.46942	45	0.254876		
	Total	61.94888	53			

ตารางภาคผนวกที่ ง 34 การวิเคราะห์ความแปรปรวนคะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัสขนมจีนแป้งหมักแช่เยือกแข็ง
ระหว่างเก็บรักษาอุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส วันเริ่มต้น, วันที่ 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49 และ 56

การวิเคราะห์	Source	SS	df	MS	F	Sig
ขนมจีนแป้งหมักปกติ						
ความเรียบ	Treatment	20.01359	7	2.859085	38.83273	7.24E-18
	Panelist(block)	1.073594	7	0.153371	2.083113	0.063104
	Error	3.607656	49	0.073626		
	Total	4954.49	64			

ตารางภาคผนวกที่ ง 34 (ต่อ)

การวิเคราะห์	Source	SS	df	MS	F	Sig
ความแน่นเนื้อ	Treatment	55.97592	7	7.99656	72.47819	2.46E-23
	Panelist(block)	0.906276	7	0.129468	1.173455	0.335573
	Error	5.295867	48	0.110331		
	Total	8430.79	63			
ความยืดหยุ่น	Treatment	166.5725	7	23.79607	260.9978	1.64E-36
	Panelist(block)	1.48	7	0.211429	2.31897	0.039918
	Error	4.4675	49	0.091173		
	Total	8164.88	64			
ความชุ่ม	Treatment	62.86359	7	8.980513	73.21692	9.58E-24
	Panelist(block)	2.386094	7	0.340871	2.779072	0.016255
	Error	6.010156	49	0.122656		
	Total	8755.17	64			
ขนมจินตแทนแป้งหมักด้วยแป้งหมักอบผสานเนื้อ ร้อยละ40						
ความเรียบ	Treatment	12.395	8	1.549375	12.30031	5.73E-10
	Panelist(block)	1.599861	7	0.228552	1.814444	0.102451
	Error	7.053889	56	0.125962		
	Total	6343.55	72			
ความแน่นเนื้อ	Treatment	0.683611	8	0.085451	1.633355	0.136103
	Panelist(block)	1.652778	7	0.236111	4.513132	0.000481
	Error	2.929722	56	0.052316		
	Total	9504.28	72			
ความยืดหยุ่น	Treatment	14.82611	8	1.853264	25.0515	6.97E-16
	Panelist(block)	0.990972	7	0.141567	1.913638	0.084421
	Error	4.142778	56	0.073978		
	Total	10128.01	72			
ความชุ่ม	Treatment	32.35944	8	4.044931	46.90314	4.53E-22
	Panelist(block)	2.654306	7	0.379187	4.396871	0.000601
	Error	4.829444	56	0.08624		
	Total	8736.45	72			

ตารางภาคผนวกที่ ง 34 (ต่อ)

การวิเคราะห์	Source	SS	df	MS	F	Sig
ขนมจีนแป้งหมักผสมกับซีอิ๊มซีร้อยละ 0.3						
ความเรียบ	Treatment	19.66778	8	2.458472	30.8918	7.25E-18
	Panelist(block)	0.848333	7	0.12119	1.522812	0.178512
	Error	4.456667	56	0.079583		
	Total	7766.8	72			
ความแน่นเนื้อ	Treatment	1.68	8	0.21	5.276171	6.06E-05
	Panelist(block)	1.509861	7	0.215694	5.419242	8.77E-05
	Error	2.228889	56	0.039802		
	Total	8631.83	72			
ความยืดหยุ่น	Treatment	41.10694	8	5.138368	60.68157	8.42E-25
	Panelist(block)	2.364306	7	0.337758	3.988753	0.00133
	Error	4.741944	56	0.084678		
	Total	10914.05	72			
ความชุ่ม	Treatment	8.556944	8	1.069618	53.97622	1.51E-23
	Panelist(block)	0.646528	7	0.092361	4.660826	0.000362
	Error	1.109722	56	0.019816		
	Total	8786.23	72			

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายมนต์ราม อินทศิริ
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 20 สิงหาคม 2523
สถานที่เกิด	จังหวัด สงขลา
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (วิทยาศาสตรการอาหารและโภชนาการ) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (ปัตตานี) พ.ศ.2546
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	1. การเสนอผลงานวิจัยภาคโปสเตอร์ เรื่อง Effects of annealing on the physicochemical properties of fermented rice (<i>Oryza sativa</i>) flour ใน การประชุม สัมมนาวิชาการอุตสาหกรรมเกษตรครั้งที่ 7 วันที่ 22-24 มิถุนายน 2548 2. การเสนอผลงานวิจัยภาคโปสเตอร์ เรื่อง The modification of fermented rice (<i>Oryza sativa</i>) flour by annealing treatment for ready-to-eat Kanomjeen ใน Starch Update 2005: The 3 rd Conference on Starch Technology, November 4-5, 2005.
ทุนการวิจัยที่ได้รับ	ทุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่ง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (ปีงบประมาณ 49-50)