

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเนื้ออกไก่

เนื้อหน้าอกของไก่พันธุ์ Cobb อายุ 45 วัน ผ่านการตัดแต่งส่วนที่เป็นหนังและไขมันออก น้ำหนัก 140 - 160 กรัมต่อชิ้น เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้ผลดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยขององค์ประกอบทางเคมีของอกไก่กระพงดิบ

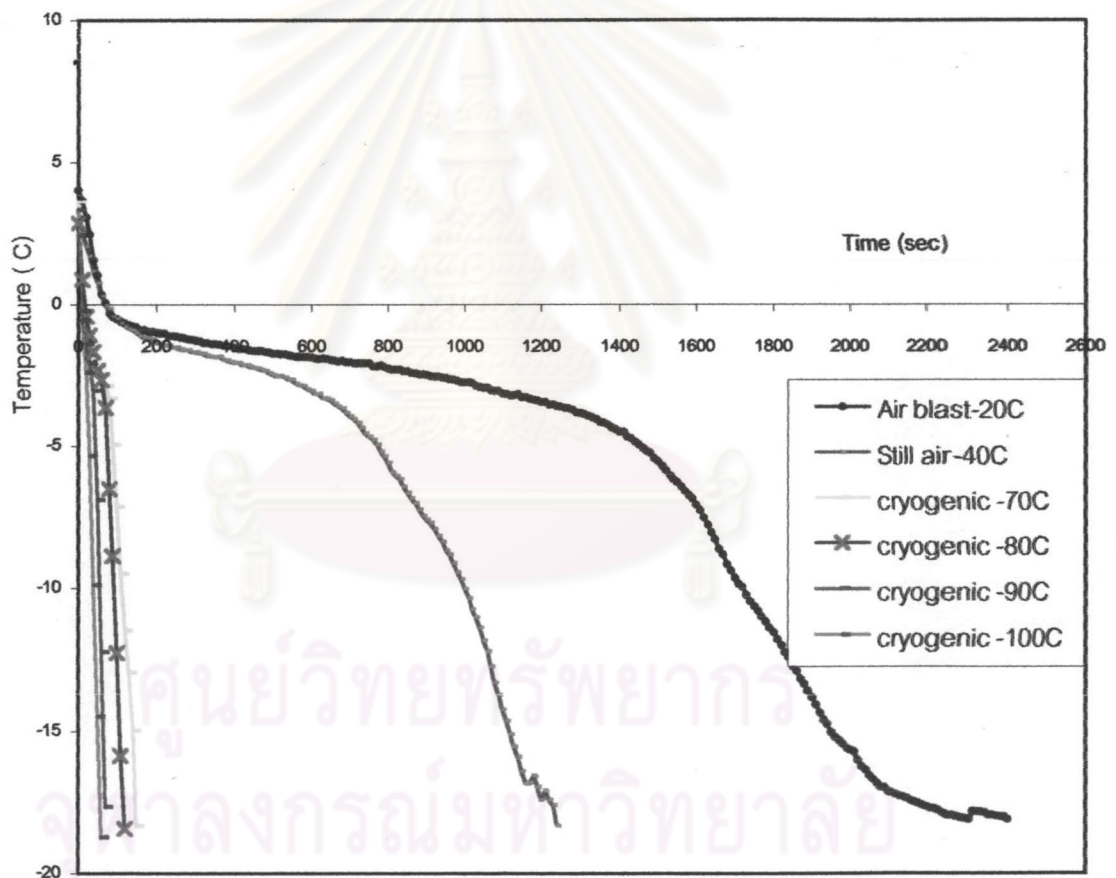
องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ (%) \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ความชื้น	75.12 \pm 0.08
โปรตีน	21.24 \pm 0.20
ไขมัน	1.72 \pm 0.05
เถ้า	1.10 \pm 0.96
คาร์โบไฮเดรต	0.92 \pm 0.05

n = 3

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของอกไก่กระพงดิบ ดังตารางที่ 3 พบว่าอกไก่กระพงดิบ มีความชื้นเป็นองค์ประกอบสูงที่สุด คือ 75.12 % รองมาคือโปรตีน 21.24 % ไขมัน 1.72 % เถ้า 1.10 % และ คาร์โบไฮเดรต 0.92 % ผลดังกล่าวใกล้เคียงกับองค์ประกอบของเนื้อไก่ ที่ รายงานไว้ (สุวรรณ เกษตรสุวรรณ ,2529)

4.2 ศึกษาการเกิดรอยร้าว ลักษณะรอยร้าวที่เกิดขึ้นและผลของการแช่เยือกแข็งของ ออกไก่กระทรงสูงรูปลูกเต๋าที่แช่เยือกแข็งที่สภาวะการแช่เยือกแข็งต่างกัน

เตรียมออกไก่กระทรงสูงรูปลูกเต๋าดำตามขั้นตอนข้อ 3.5.2 แช่เยือกแข็งด้วยลมเย็นแบบ air blast ที่อุณหภูมิ -20°C แช่เยือกแข็งแบบ still air ที่อุณหภูมิ -40°C และแช่เยือกแข็งแบบ ไครโอจินิกด้วยไนโตรเจนเหลว โดยแปรอุณหภูมิที่ใช้ในการแช่เยือกแข็ง 4 ระดับ คือ -70°C , -80°C , -90°C และ -100°C จนกระทั่งอุณหภูมิใจกลางชิ้นตัวอย่างเท่ากับ -18°C ได้กราฟ แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของชิ้นออกไก่กระทรงสูงรูปลูกเต๋าดำขนาด $15 \pm 1 \times 15 \pm 1 \times 15 \pm 1$ ม.ม. ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของชิ้นออกไก่กระทรงสูงรูปลูกเต๋าดำ ขนาด $15 \pm 1 \times 15 \pm 1 \times 15 \pm 1$ ม.ม. ในสภาวะการแช่เยือกแข็งต่างๆ

เมื่อพิจารณาถึง ระยะเวลาในช่วง ice crystal formation ซึ่งหมายถึง ระยะเวลาในช่วงที่น้ำส่วนใหญ่จะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปผลึกน้ำแข็ง (Holdsworth, 1968) ของการแช่เยือกแข็งทุกวิธี พบว่าการแช่เยือกแข็งแบบ air blast ที่ -20°C ใช้ระยะเวลาการแช่เยือกแข็งในช่วง ice crystal formation มากที่สุด รองลงมาคือการแช่เยือกแข็งแบบ still air ที่ -40°C สำหรับการแช่เยือกแข็งแบบไดรไอเจนนิกที่ -70°C , -80°C , -90°C , และ -100°C จะใช้ระยะเวลาในช่วง ice crystal formation น้อยมาก เมื่อนำมาคำนวณอัตราการแช่เยือกแข็งและวัดรอยร้าวที่เกิดขึ้นได้ผลดังตารางที่ 4 ซึ่งพบว่า การแช่เยือกแข็งแบบ air blast ที่ -20°C ซึ่งใช้ระยะเวลาการแช่เยือกแข็งในช่วง ice crystal formation มากที่สุด จึงมีอัตราการแช่เยือกแข็งช้าที่สุด เท่ากับ 2.35 ± 0.07 ช.ม. / ช.ม. และรองลงมาคือการแช่เยือกแข็ง แบบ still air ที่ -40°C มีอัตราการแช่เยือกแข็งเท่ากับ 5.33 ± 0.08 ช.ม. / ช.ม. สำหรับการแช่เยือกแข็งแบบไดรไอเจนนิกที่ -70°C , -80°C , -90°C , และ -100°C ใช้ระยะเวลาในช่วง ice crystal formation น้อยมาก จึงมีอัตราแช่เยือกแข็งที่เร็วกว่าการแช่เยือกแข็งทั้ง 2 วิธีที่กล่าวมาข้างต้น คือ ที่ -70°C มีอัตราการแช่เยือกแข็งเท่ากับ 37.50 ± 1.09 ช.ม. / ช.ม., ที่ -80°C มีอัตราการแช่เยือกแข็งเท่ากับ 52.82 ± 0.79 ช.ม. / ช.ม., ที่ -90°C มีอัตราการแช่เยือกแข็งเท่ากับ 84.81 ± 1.55 ช.ม. / ช.ม. และที่ -100°C มีอัตราการแช่เยือกแข็งเท่ากับ 129.43 ± 0.46 ช.ม. / ช.ม.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

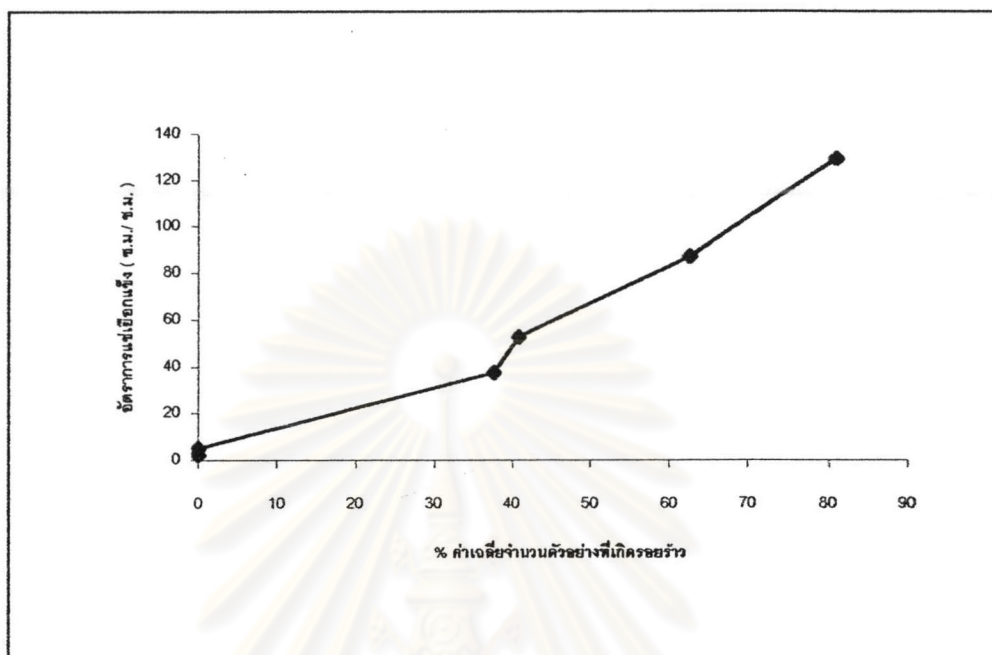
ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยของ %จำนวนตัวอย่างที่เกิดรอยร้าวและไม่เกิดรอยร้าวของอกไก่กระทรงสุกรูป ลูกเต๋า ที่สภาวะการแช่เยือกแข็งต่างๆกัน

สภาวะแช่เยือกแข็ง	อัตราการแช่เยือกแข็ง (ช.ม. / ช.ม.)	จำนวนตัวอย่าง ที่เกิดรอยร้าว (%)	จำนวนตัวอย่าง ที่ไม่เกิดรอยร้าว (%)
air blast freezing (-20°C)	2.35 ± 0.07	00.00	100.00
still air freezing (-40°C)	5.33 ± 0.08	00.00	100.00
cryogenic (-70°C)	37.50 ± 1.09	38.34 ± 6.94	61.67 ± 6.94
cryogenic (-80°C)	52.82 ± 0.79	45.00 ± 5.77	55.00 ± 5.77
cryogenic (-90°C)	84.81 ± 1.55	65.83 ± 5.69	34.17 ± 5.69
cryogenic (-100°C)	129.43 ± 0.46	82.50 ± 3.19	17.50 ± 3.19

n = 4

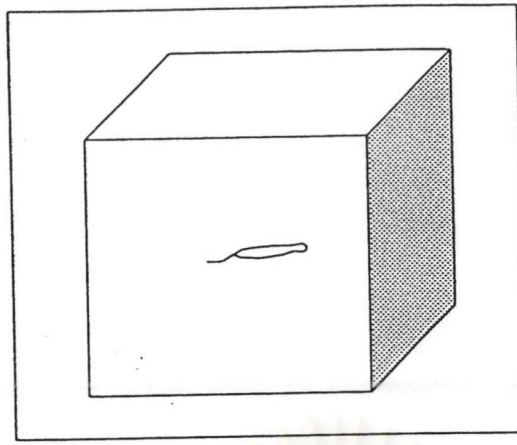
เหตุที่การแช่เยือกแข็งแบบโครโอจีนิกใช้ระยะเวลาในช่วง ice crystal formation น้อยมาก เพราะ การแช่เยือกแข็งแบบโครโอจีนิกใช้ตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน คือ ไนโตรเจนเหลว มีอุณหภูมิต่ำมาก ประมาณ -196°C (Sebranek, 1982) จะช่วยเพิ่มแรงขับ (driving force) ในการระบายความร้อนออกจากชิ้นอกไก่ได้เร็วขึ้น ทำให้มีช่วงระยะในช่วง ice crystal formation น้อยมาก อัตราแช่เยือกแข็งจึงเร็วมากตามไปด้วย นอกจากนี้การที่อุณหภูมิที่ใช้แช่เยือกแข็งลดลงก็จะมีส่วนทำให้อัตราแช่เยือกแข็งยิ่งเร็วขึ้นด้วยเช่นกัน (Heldman, 1982) และพบว่าเมื่อใช้วิธีแช่เยือกแข็งแบบ air blast ที่ -20°C และ แบบ still air ที่ -40°C ไม่เกิดรอยร้าวที่ตัวอย่าง เมื่อแช่เยือกแข็งแบบโครโอจีนิกที่ -70°C , -80°C , -90°C , และ -100°C จำนวนชิ้นไก่รูปลูกเต๋าที่เกิดรอยร้าวน้อยที่สุดที่ -70°C และจะมีจำนวนเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิแช่เยือกแข็งที่ลดลงหรือเพิ่มขึ้นตามอัตราการแช่เยือกแข็งที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 12 เนื่องจากการแช่เยือกแข็งที่มีอัตราการแช่เยือกแข็งเร็วมากนั้น ขณะแช่เยือกแข็งจะเกิดผิวชั้นที่เปลือกผลิตภัณฑ์ ประกอบกับการขยายตัวของปริมาตรอย่างรวดเร็วจากการเปลี่ยนแปลงสถานะของน้ำในอาหารเป็นผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดเล็กจำนวนมากภายในเซลล์ ทำให้เกิดแรงดันภายในสูง

มากพยายามดันเปลือกผลิตภัณฑ์ออกมา ที่เวลาใดๆขณะแช่เยือกแข็งซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดรอยร้าวขึ้น (Sebox , et.al.,1994 ; Kim and Hung, 1994 ; Hung ,1997)

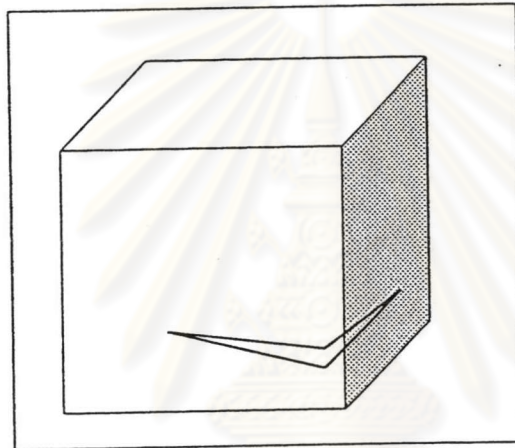


รูปที่ 12 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยอัตราการแช่เยือกแข็ง กับ ร้อยละค่าเฉลี่ยจำนวนตัวอย่างที่เกิดรอยร้าว ที่สภาวะแช่เยือกแข็งต่างๆกัน

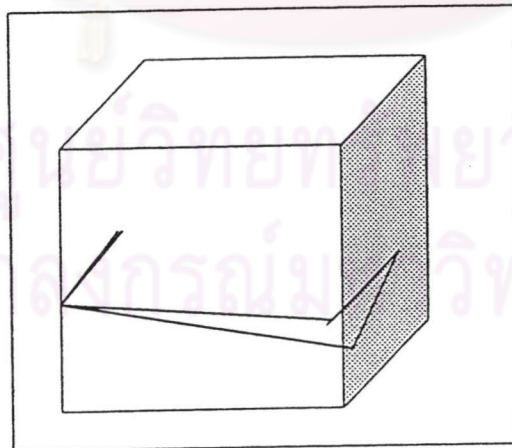
McCambridge และคณะ (1996) ศึกษาถึงลักษณะรอยร้าวที่เกิดขึ้นในอาหารบางชนิดที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแบบโครโอจีนิก จะพบรอยร้าวในลักษณะต่างๆกันไป เช่น ใน mozzarella และ margarine จะพบรอยร้าวที่มีลักษณะคล้ายเส้นผม (hairline surface crack) ใน turkey ham พบรอยร้าวที่เป็นร่องขนาดใหญ่ (large gap) ส่วน cheese - cake ไม่พบรอยร้าว และเมื่อนำตัวอย่างขึ้นอกไก่กระพงสุกรูปลูกเต๋าที่เกิดรอยร้าวจากการแช่เยือกแข็งแบบโครโอจีนิกด้วยไนโตรเจนเหลวมาวิเคราะห์ลักษณะรอยร้าวที่เกิดขึ้น สามารถแบ่งประเภทของรอยร้าว ออกเป็น 4 แบบ ตามความยาวของรอยร้าวที่เกิดขึ้น โดยรอยร้าวแบบแรกจะเกิดต่อเนื่องตามรอยเส้นใยกล้ามเนื้อยาวต่อเนื่องกันเพียงด้านเดียวของชิ้นไก่ แบบที่สองจะยาวต่อเนื่องกันสองด้าน แบบที่สามจะยาวต่อเนื่องกันสามด้าน และแบบที่สี่จะยาวต่อเนื่องกันตลอดทั้งสี่ด้าน ลักษณะรอยร้าวแบบต่างๆ แสดงได้ดังรูปที่ 13 - 16



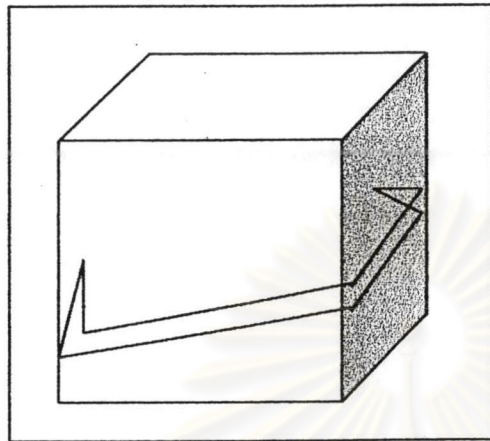
รูปที่ 13 ลักษณะรอยร้าวแบบที่หนึ่ง



รูปที่ 14 ลักษณะรอยร้าวแบบที่สอง



รูปที่ 15 ลักษณะรอยร้าวแบบที่สาม



รูปที่ 16 ลักษณะรอยร้าวแบบที่สี่

เมื่ออุณหภูมิในการแช่เยือกแข็งลดต่ำลงหรืออัตราการแช่เยือกแข็งยิ่งเร็วขึ้นขนาดของรอยแยกและความยาวของรอยร้าวจะเพิ่มขึ้นตามด้วย ทำให้พบรอยร้าวในแบบที่สามและแบบที่สี่เพิ่มมากขึ้น ดังตารางที่ 5

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ย ร้อยละจำนวนตัวอย่างที่เกิดรอยร้าวในแบบต่างๆของอกไก่กระตงสุก
รูปลูกเต๋า เมื่อแช่เยือกแข็งแบบโครโอจีนิกที่ อัตราการแช่เยือกแข็งต่างกัน

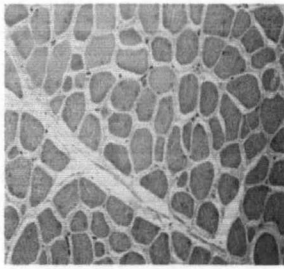
ลักษณะรอยร้าว	ความกว้างรอยร้าว (ม.ม.)	จำนวนตัวอย่างที่เกิดรอยร้าว (%)			
		อัตราการแช่เยือกแข็ง (ชม. ต่อ ชม.)			
		37.5	52.82	86.81	129.43
แบบที่ 1	0.01 - 0.50	5.84 ± 1.67			
	0.51 - 1.00	4.17 ± 1.67			
	1.01 - 1.50				
	1.51 - 2.00				
แบบที่ 2	0.01 - 0.50				
	0.51 - 1.00	7.50 ± 1.67	5.00 ± 1.93		
	1.01 - 1.50	8.34 ± 1.92	5.00 ± 1.93	5.84 ± 1.67	5.00 ± 1.93
	1.51 - 2.00				
แบบที่ 3	0.01 - 0.50				
	0.51 - 1.00	7.50 ± 1.67	17.50 ± 3.19	23.33 ± 2.72	32.50 ± 4.20
	1.01 - 1.50	5.00 ± 1.93	9.17 ± 1.67	19.17 ± 1.67	14.92 ± 2.03
	1.51 - 2.00			5.84 ± 1.67	5.84 ± 1.67
แบบที่ 4	0.01 - 0.50				
	0.51 - 1.00		5.00 ± 1.93		9.17 ± 1.67
	1.01 - 1.50		8.34 ± 1.92	7.50 ± 1.67	8.34 ± 1.92
	1.51 - 2.00			3.33 ± 0.00	4.17 ± 1.67

จากตารางที่ 5 รอยร้าวแบบที่หนึ่ง พบเฉพาะ ที่อุณหภูมิ -70°C หรือที่อัตราการแช่เยือกแข็ง 37.50 ชม. ต่อ ชม. โดยมีความกว้างของรอยร้าว อยู่ในช่วง 0.01 - 1.00 ม.ม. รอย

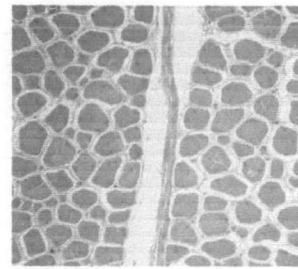
ร้าวแบบที่สอง พบทุกอุณหภูมิ แต่พบมากที่สุดที่อุณหภูมิแช่เยือกแข็ง -70°C และ -80°C หรือที่อัตราการแช่เยือกแข็ง 37.50 ซม. ต่อ ซม. และ 52.82 ซม. ต่อ ซม. โดยความกว้างของรอยร้าว อยู่ในช่วง 0.51 - 1.50 ม.ม. รอยร้าวแบบที่สาม พบทุกอุณหภูมิ แต่พบมากที่สุดที่อุณหภูมิแช่เยือกแข็ง -90°C และ -100°C หรือที่อัตราการแช่เยือกแข็ง 86.81 และ 129.43 ซม. ต่อ ซม. โดยความกว้างของรอยร้าว อยู่ในช่วง 0.51 - 2.00 ม.ม. รอยร้าวแบบที่สี่ พบเฉพาะ ที่อุณหภูมิ -80°C -90°C และ -100°C หรือที่อัตราการแช่เยือกแข็ง 52.82 , 86.81 และ 129.43 ซม. ต่อ ซม. ตามลำดับ โดยมีความกว้างของรอยร้าว อยู่ในช่วง 0.50 - 2.00 ม.ม. พบว่า เมื่ออัตราการแช่เยือกแข็งเร็วมากขึ้น ขนาดความกว้างของรอยร้าวจะมากขึ้นและความยาวของรอยร้าวจะเพิ่มขึ้นจึงพบตัวอย่างชิ้นไกรูปลูกเต๋าที่เกิดรอยร้าวแบบที่สามและแบบที่สี่จำนวนมากขึ้น สาเหตุที่ลักษณะของรอยร้าวเป็นดังที่กล่าวมาข้างต้นอาจเนื่องมาจากการเรียงตัวของกล้ามเนื้อ (muscle) ของเนื้อไก่ ซึ่งลักษณะทั่วไปของกล้ามเนื้อของไก่ จะหุ้มด้วยเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน epimysium ซึ่งจะประกอบด้วยมัดกล้ามเนื้อ (muscle bundle) ที่มีเนื้อเยื่อ perimysium ห่อหุ้มอยู่ ซึ่งมัดกล้ามเนื้อจะประกอบด้วยเส้นใยกล้ามเนื้อ (muscle fiber) รวมกันอยู่ มัดกล้ามเนื้อนี้สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า (Johnston, Knight and Ledward ; 1991) และจากการเรียงซ้อนติดกันของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่แทรกอยู่ที่มัดกล้ามเนื้อไก่นั้นจะถูกแยกออก เมื่อผ่านการแช่เยือกแข็งแบบโครโอจินิก เนื่องจากขณะแช่เยือกแข็งจะเกิดแรงดันจากการเกิดผลึกน้ำแข็ง ดันจากภายในชิ้นไก่ขณะแช่เยือกแข็ง ยิ่งอัตราการแช่เยือกแข็งเร็วขึ้น แรงดันภายในจะเกิดเพิ่มขึ้น

เมื่อนำเนื้อไกรูปลูกเต๋าที่ผ่านการแช่เยือกแข็งมาศึกษาถึงลักษณะโครงสร้างของกล้ามเนื้อไก่ด้วยวิธี Histological Techniques ดังแสดงในภาคผนวก จ และนำมาถ่ายภาพ กำลังขยายของภาพเท่ากับ 360 เท่า ดังแสดงในรูปที่ 17

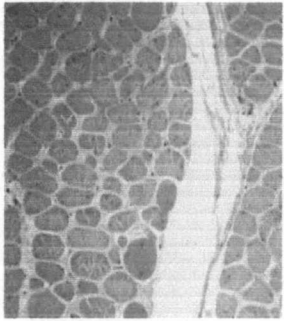
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



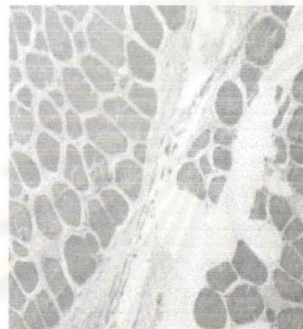
(ก่อนแช่เยือกแข็ง)



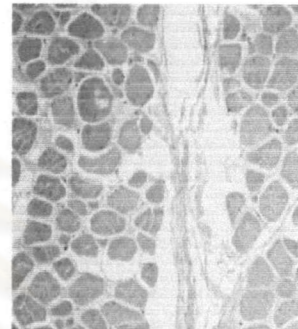
(แช่เยือกแข็งที่-70 °C)



(แช่เยือกแข็งที่-80 °C)



(แช่เยือกแข็งที่-90 °C)



(แช่เยือกแข็งที่-100 °C)

รูปที่ 17 แสดงลักษณะโครงสร้างของกล้ามเนื้อไก่ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิก
ที่กำลังขยาย 360 เท่า

จากรูปที่ 17 พบว่าเกิดรอยแยกที่เนื้อเยื่อของไก่ ซึ่งลักษณะของรอยแยกจะมีเป็นทางยาว โดยขนาดของรอยแยกจะแยกออกจากกันมากขึ้น เมื่ออุณหภูมิในการแช่เยือกแข็งลดต่ำลง หรือเมื่ออัตราการแช่เยือกแข็งเพิ่มขึ้น

เมื่อคำนวณร้อยละปริมาณความชื้นก่อนและหลังการแช่เยือกแข็ง (% moisture content) ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการแช่เยือกแข็ง (% freezing loss) และร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากละลายน้ำแข็ง (% thawing loss) ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ยของร้อยละความชื้นก่อน ร้อยละความชื้นหลังการแช่เยือกแข็ง ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการแช่เยือกแข็ง และ ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากละลายน้ำแข็ง ของอกไก่กระทรงสุกรูปลูกเต๋าที่มีอัตราการแช่เยือกแข็งต่างๆกัน

อัตราการแช่เยือกแข็ง (ชม. / ชม.)	ความชื้นก่อนแช่ เยือกแข็ง (%)	ความชื้นหลังแช่ เยือกแข็ง (%)	freezing loss (%)	thawing loss (%)
2.35 ± 0.07	66.18 ± 0.38	62.80 ± 0.34 ^a	2.28 ± 0.53 ^a	3.90 ± 0.06 ^a
5.33 ± 0.08	66.32 ± 0.56	63.92 ± 0.16 ^b	2.30 ± 0.57 ^a	3.82 ± 0.07 ^a
37.50 ± 1.09	66.11 ± 0.33	64.13 ± 0.23 ^b	0.88 ± 0.05 ^b	2.88 ± 0.03 ^b
52.82 ± 0.79	66.21 ± 0.43	64.14 ± 0.03 ^b	0.86 ± 0.02 ^b	3.03 ± 0.10 ^b
84.81 ± 1.55	66.11 ± 0.44	64.04 ± 0.41 ^b	0.85 ± 0.01 ^b	4.26 ± 0.20 ^c
129.43 ± 0.46	65.89 ± 0.39	63.73 ± 0.49 ^b	0.84 ± 0.03 ^b	4.77 ± 0.10 ^c

a, b,.... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับในแถวเดียวกันต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ.

จากตารางที่ 6 แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติในภาคผนวก ข (ตารางที่ 20) พบว่า สภาวะการแช่เยือกแข็งมีผลต่อปริมาณความชื้นหลังผ่านการแช่เยือกแข็ง ร้อยละการสูญเสีย น้ำหนักเนื่องจากการแช่เยือกแข็ง และ ร้อยละการสูญเสีย น้ำหนักเนื่องจากละลายน้ำแข็ง อย่าง มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เพราะใช้วิธีแช่เยือกแข็งที่ต่างกัน ทำให้มีอัตราการแช่เยือกแข็ง ที่ต่างกันด้วย การแช่เยือกแข็งแบบ air blast และ still air มีอัตราการแช่เยือกแข็งช้า เนื่องจาก ใช้ลมเย็นที่อุณหภูมิไม่ต่ำมากในการแลกเปลี่ยนความร้อนขณะแช่เยือกแข็ง จึงใช้เวลาในการแช่ เยือกแข็งนาน(ธนกร โรจนกร , 2538 , Heber, et.al. 1991 ; IIR 1972) ทำให้ผลึกน้ำแข็งที่เกิด ขึ้นในชิ้นไก่ซึ่งสัมผัสกับลมเย็นโดยตรงเป็นระยะเวลาสั้น จะเกิดการสูญเสีย น้ำ(dehydration) ออกจากชิ้นไก่ ปริมาณความชื้นหลังแช่เยือกแข็งจึงเหลือน้อยกว่าและมีการสูญเสีย น้ำหนัก ขณะแช่เยือกแข็งจึงมากกว่าการแช่เยือกแข็งแบบโครโอจินิก ซึ่งแม้ว่าชิ้นไก่จะสัมผัสกับไอของ ไนโตรเจนโดยตรง แต่อุณหภูมิขณะสัมผัสต่ำมาก จึงมีอัตราการแช่เยือกแข็งเร็วกว่า และเกิด ผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กกระจายอยู่ทั่วไปและหุ้มที่ผิวของผลิตภัณฑ์(Hung and Kim, 1996 ; Donald, 1997) ชิ้นไก่จึงมีปริมาณความชื้นหลังแช่เยือกแข็งสูงกว่าและมีการสูญเสีย น้ำหนัก ขณะแช่เยือกแข็งจึงน้อยกว่า

เมื่อพิจารณาการสูญเสีย น้ำหนักเนื่องจากการละลาย พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมี นัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยทั่วไปการแช่เยือกแข็งแบบ air blast และ still air มีอัตราการแช่

เยือกแข็งช้า จะมีการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการละลายมากกว่าการแช่เยือกแข็งแบบโครโอจีนิก เนื่องจากขณะแช่เยือกแข็งจะเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ที่มแทงเข้าไปในเซลล์ เมื่อละลายน้ำแข็งน้ำภายในเซลล์จึงไหลออกมาด้วย (ธนกร โรจนกร, 2538 , Heber, Londahl, ,Persson, and Rynnel, 1991 ; IIR 1972) แต่จากผลการทดลองการแช่เยือกแข็งแบบโครโอจีนิกที่อุณหภูมิ -90°C และ -100°C มีอัตราการแช่เยือกแข็งเร็วมาก คือ 84.81 ช.ม. ต่อ ช.ม. และ 129.43 ช.ม. ต่อ ช.ม. ตามลำดับ มีการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการละลายมากกว่าการแช่เยือกแข็งแบบ air blast และ still air เนื่องจากเกิดรอยร้าวที่ผิวของชิ้นไก่ขณะแช่เยือกแข็งจำนวนมาก น้ำจึงไหลผ่านออกมาตามรอยร้าวที่เกิดขึ้นได้มาก

4.3 ศึกษาผลของความชื้นที่เพิ่มขึ้นก่อนการแช่เยือกแข็ง ต่อการเกิดรอยร้าวในอกไก่ กระทั่งสุกรูปลูกเต๋าที่แช่เยือกแข็ง

เตรียมอกไก่กระทงให้มีความชื้นเริ่มต้นต่างกันด้วยการหมักในน้ำโดยใช้ระยะเวลาหมักต่างกัน และระหว่างหมักควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง $5 - 10^{\circ}\text{C}$ ซึ่งเป็นช่วงที่เอนไซม์โปรติเอส (protease) ไม่เกิดปฏิกิริยากับเนื้อไก่ (ปราณี อานเบรื่อง, 2533) ดังนั้นเนื้อไก่จึงยังไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากเอนไซม์ เมื่อผ่านขั้นตอนการผลิตตามข้อ 3.5.3 แล้วนำมาแช่เยือกแข็งแบบ still air ที่อุณหภูมิ -40° และ แช่เยือกแข็งแบบโครโอจีนิกด้วยไนโตรเจนเหลว ที่ -70°C จนกระทั่งอุณหภูมิใจกลางชิ้นตัวอย่างเท่ากับ -18°C

เมื่อนำอกไก่ที่ผ่านการหมักด้วยน้ำเป็นระยะเวลาต่างกัน เพื่อให้ชิ้นไก่มีปริมาณความชื้นก่อนแช่เยือกแข็งเพิ่มขึ้นต่างกัน พบว่า ไม่เกิดรอยร้าวที่ตัวอย่างเมื่อแช่เยือกแข็ง แบบ still air ที่ -40°C แม้ว่าปริมาณความชื้นก่อนแช่เยือกแข็งจะสูงขึ้นก็ตาม การแช่เยือกแข็งแบบ โครโอจีนิก ที่อุณหภูมิ -70°C เกิดรอยร้าวที่ตัวอย่าง โดยจำนวนรอยร้าวที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณความชื้นก่อนแช่เยือกแข็งที่มากขึ้น ได้ผลดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ค่าเฉลี่ยร้อยละจำนวนตัวอย่างที่เกิดรอยร้าวและไม่เกิดรอยร้าว ของอกไก่กระตงสุกร
รูปลูกเต๋า ที่ปริมาณความชื้นก่อนแช่เยือกแข็งและอัตราการแช่เยือกแข็งต่างกัน

เวลาแช่ (นาที)	ความชื้น ก่อนแช่เยือก แข็ง (%)	อุณหภูมิแช่ เยือกแข็ง (C)	อัตราการ แช่เยือกแข็ง (ชม. ต่อ ชม.)	จำนวนตัวอย่าง (%)	
				เกิดรอยร้าว	ไม่เกิดรอยร้าว
10	68.60±0.13	-40	5.24±0.12	0.00	100.00
40	70.31±0.10	-40	5.26±0.31	0.00	100.00
10	68.60±0.11	-70	37.11±0.16	47.50±1.67	52.50±1.67
40	70.56±0.11	-70	36.92±0.25	72.50±3.12	26.67±2.72

n = 4

ปริมาณความชื้นก่อนแช่เยือกแข็ง เมื่อหมักเนื้อหน้าอกไก่ในน้ำนาน 10 นาที จะน้อยกว่าเนื้อหน้าอกไก่ที่แช่ในน้ำนาน 40 นาที เพราะเนื้อหน้าอกไก่ใช้เวลาในการดูดซึมน้ำเข้าไปในเนื้อน้อยกว่า เมื่อขึ้นเนื้อไก่รูปลูกเต๋าแช่เยือกแข็ง แบบ still air ที่ -40°C จะไม่เกิดรอยร้าว ถึงแม้ว่าปริมาณความชื้นก่อนแช่เยือกแข็งจะเพิ่มขึ้นก็ตาม แต่เมื่อแช่เยือกแข็งแบบโครโอจีนิก ที่อุณหภูมิ -70°C จะเกิดรอยร้าว โดยจำนวนรอยร้าวที่เกิดขึ้นจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณความชื้นก่อนแช่เยือกแข็งที่มากขึ้น ซึ่งโดยทั่วไปการเปลี่ยนสถานะจากน้ำบริสุทธิ์เป็นน้ำแข็งจะมีผลให้ปริมาตรเพิ่มขึ้น 9% ที่อุณหภูมิเดียวกัน ในผลิตภัณฑ์อาหารจะเกิดการขยายตัวเช่นเดียวกันเนื่องมาจากปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอาหาร (Fennema , et.al., 1973 ; Mallett ,1993) แต่การแช่เยือกแข็ง แบบ still air ที่ -40°C มีอัตราการแช่เยือกแข็งที่ต่ำกว่าแบบโครโอจีนิก มีการขยายตัวของน้ำเพื่อเปลี่ยนสถานะเป็นน้ำแข็งในอาหารจะเกิดขึ้นช้ากว่า แรงดันของผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นจึงต่ำถึงแม้จะเพิ่มปริมาณความชื้นเข้าไปเพื่อให้เกิดผลึกน้ำแข็งเพิ่มขึ้นแต่ก็ยังไม่เพียงพอที่จะดันให้เกิดรอยร้าว สำหรับการแช่เยือกแข็งแบบโครโอจีนิก ที่อุณหภูมิ -70°C ซึ่งมีอัตราการแช่เยือกแข็งที่เร็วมาก เมื่อเพิ่มปริมาณความชื้นก่อนแช่เยือกแข็งทำให้จำนวนของ

ผลึกน้ำแข็งที่เกิดขณะแช่เยือกแข็งเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้เกิดแรงดันจากภายในของชิ้นไก่มากขึ้น รอยร้าวจึงเกิดมากขึ้นตามไปด้วย

เมื่อวัดขนาดของรอยร้าวที่เกิดขึ้น พบว่าการแช่เยือกแข็งแบบ ไครโอจินิก ที่อุณหภูมิ -70°C จะพบรอยร้าวแบบที่หนึ่ง สองและสาม โดยรอยร้าวแบบที่หนึ่ง จะมีขนาดความกว้างของรอยร้าวอยู่ในช่วง 0.01 - 1.00 มม. รอยร้าวแบบที่สอง จะมีขนาดความกว้างของรอยร้าวอยู่ในช่วง 0.51- 1.50 มม.โดยตัวอย่างชิ้นไก่รูปลูกเต๋าที่เกิดรอยร้าวจะมีจำนวนเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณความชื้นก่อนแช่เยือกแข็งเพิ่มขึ้น และ รอยร้าวแบบที่สาม ขนาดความกว้างของรอยร้าวอยู่ในช่วง 0.51- 1.50 มม. พบว่าตัวอย่างชิ้นไก่รูปลูกเต๋าที่เกิดรอยร้าวจะมีจำนวนเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณความชื้นก่อนแช่เยือกแข็งเพิ่มขึ้นเช่นกัน เนื่องจากปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งในชิ้นไก่มากขึ้นจึงเกิดแรงดันจากภายในชิ้นไก่มากขึ้นดังที่กล่าวแล้วข้างต้น และจะไม่พบรอยร้าวแบบที่สี่ เนื่องจากอัตราการแช่เยือกแข็งของตัวอย่างชิ้นไก่รูปลูกเต๋าที่แช่เยือกแข็งแบบไครโอจินิกที่ -70°C จะช้ากว่าที่ -80°C -90°C และ -100°C การขยายตัวของปริมาตรจากการเปลี่ยนแปลงสถานะของน้ำในอาหารเป็นผลึกน้ำแข็งช้ากว่า การเกิดรอยร้าวจึงรุนแรงน้อยกว่า จำนวนตัวอย่างที่เกิดรอยร้าวในแบบต่างๆ เมื่อแช่เยือกแข็งแบบไครโอจินิกที่อุณหภูมิ -70°C ที่ปริมาณความชื้นก่อนแช่เยือกแข็งต่างกัน แสดงได้ดังตารางที่ 8

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 8 ค่าเฉลี่ย ร้อยละจำนวนตัวอย่างที่เกิดรอยร้าวในแบบต่างๆ เมื่อแช่เยือกแข็ง แบบโครโอ
 จินิกที่อุณหภูมิ -70°C ที่ปริมาณความชื้นก่อนแช่เยือกแข็งต่างกัน

ลักษณะรอยร้าว	ความกว้างรอยร้าว (มม.)	จำนวนตัวอย่างที่เกิดรอยร้าว (%)	
		ปริมาณความชื้นก่อนแช่เยือกแข็ง (%)	
		68.61	70.60
แบบที่ 1	0.01 - 0.50	7.50 ± 1.67	5.84 ± 1.67
	0.51 - 1.00	9.17 ± 1.67	5.84 ± 1.67
แบบที่ 2	0.51 - 1.00	7.50 ± 1.67	23.33 ± 2.72
	1.01 - 1.50	8.34 ± 1.92	19.17 ± 1.67
แบบที่ 3	0.51 - 1.00	7.50 ± 1.67	11.67 ± 1.92
	1.01 - 1.50	5.00 ± 1.93	5.00 ± 1.93

n = 4

คำนวณร้อยละปริมาณความชื้นก่อนและหลังการแช่เยือกแข็ง (% moisture content)
 ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการแช่เยือกแข็ง (% freezing loss) และร้อยละการสูญเสีย
 น้ำหนักเนื่องจากการละลายน้ำแข็ง (% thawing loss) ได้ผลการทดลองดังแสดงใน
 ตารางที่ 9 - 11

ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 9 ค่าเฉลี่ยร้อยละปริมาณความชื้นหลังการแช่เยือกแข็งของอกไก่กระทรงสุกรูป
ลูกเต๋าที่ปริมาณความชื้นก่อนแช่เยือกแข็งและอัตราการแช่เยือกแข็งต่างกัน

อัตราการแช่เยือกแข็ง (ชม. / ชม.)	ความชื้นก่อนแช่เยือกแข็ง (%)	ความชื้นหลังแช่เยือกแข็ง (%)
5.24 ± 0.12	68.73 ± 0.15	66.62 ± 0.06 ^a
5.26 ± 0.31	70.45 ± 0.14	68.15 ± 0.12 ^b
37.11 ± 0.16	68.61 ± 0.12	68.32 ± 0.10 ^c
36.92 ± 0.25	70.60 ± 0.06	70.19 ± 0.06 ^d

a, b, ...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวเดียวกัน ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 9 แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติในภาคผนวก ข (ตารางที่ 21) พบว่า อัตราการแช่เยือกแข็งและปริมาณความชื้นก่อนแช่เยือกแข็งมีผลต่อปริมาณความชื้นหลังแช่เยือกแข็ง และพบว่ามีอิทธิพลร่วมระหว่างอัตราการแช่เยือกแข็งและปริมาณความชื้นก่อนแช่เยือกแข็ง ($p \leq 0.05$) ต่อปริมาณความชื้นหลังแช่เยือกแข็ง เมื่อพิจารณาอัตราการแช่เยือกแข็งที่ได้จากการแช่เยือกแข็งด้วยวิธีเดียวกัน พบว่าปริมาณความชื้นหลังแช่เยือกแข็งจะมีค่าสูง เมื่อปริมาณความชื้นก่อนแช่เยือกแข็งมีค่าเพิ่มขึ้น จากผลที่ได้อธิบายได้ว่า ชื้นไก่อรูปลูกเต๋าลงหลังจากผ่านการแช่เยือกแข็งจะสูญเสียความชื้น ทำให้ปริมาณความชื้นหลังแช่เยือกแข็งลดลง แต่ถ้าปริมาณความชื้นก่อนแช่เยือกแข็งถูกทำให้เพิ่มสูงขึ้น โดยใช้ระยะเวลาหมักในน้ำนานขึ้น ถึงแม้จะเกิดการสูญเสียความชื้น ปริมาณความชื้นหลังแช่เยือกแข็งจะยังคงมีค่าสูง เมื่อพิจารณาปริมาณความชื้นก่อนแช่เยือกแข็ง ของชื้นไก่อรูปลูกเต๋าคู่ที่ใช้ระยะเวลาหมักในน้ำเท่ากัน พบว่าปริมาณความชื้นหลังแช่เยือกแข็งจะมีค่าต่ำ เมื่อแช่เยือกแข็งแบบstill air ที่ $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ซึ่งมีอัตราการแช่เยือกแข็งช้า จากผลที่ได้อธิบายได้ว่า ชื้นไก่อรูปลูกเต๋าคู่ที่แช่เยือกแข็งแบบstill air ที่ $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ จะใช้เวลาในการแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศที่เป็นตัวกลางในการและเปลี่ยนความร้อนนาน ทำให้สูญเสียความชื้นขณะแช่เยือกแข็งมากทำให้ปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในชิ้นไก่อลดลงมาก ดังนั้นปริมาณความชื้นหลังแช่เยือกแข็งจึงมีค่าต่ำ

ตารางที่ 10 ค่าเฉลี่ยร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการแช่เยือกแข็ง ของอกไก่กระพงสุก
รูปลูกเต๋า ที่มีปริมาณความชื้นก่อนแช่เยือกแข็งและอัตราการแช่เยือกแข็งต่างกัน

อัตราการแช่เยือกแข็ง (ชม. / ชม.)	Freezing loss (%)
5.24 ± 0.12	2.26 ± 0.03 ^a
5.26 ± 0.31	2.27 ± 0.02 ^a
37.11 ± 0.16	0.88 ± 0.02 ^b
36.92 ± 0.25	0.87 ± 0.03 ^b

ปริมาณความชื้นก่อนแช่เยือกแข็ง ไม่มีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการแช่เยือกแข็ง อย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

จากตารางที่10 แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติในภาคผนวก ข (ตารางที่22) พบว่าไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างอัตราการแช่เยือกแข็งกับร้อยละปริมาณความชื้นก่อนแช่เยือกแข็งต่อร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการแช่เยือกแข็ง ($p > 0.05$) และพบว่าอัตราการแช่เยือกแข็งที่ช้า จะมีค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการแช่เยือกแข็งมากกว่าการแช่เยือกแข็งที่มีอัตราการแช่เยือกแข็งเร็ว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 11 ค่าเฉลี่ยร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการละลายน้ำแข็ง ของอกไก่ กระทงสุกรูปลูกเต๋า ที่มีปริมาณความชื้นก่อนแช่เยือกแข็งและอัตราการแช่เยือกแข็งต่างกัน

อัตราการแช่เยือกแข็ง (ชม. / ชม.)	ความชื้นก่อนแช่เยือกแข็ง (%)	Thawing loss (%)
5.24 ± 0.12	68.73 ± 0.15	3.76 ± 0.07^a
5.26 ± 0.31	70.45 ± 0.14	3.79 ± 0.05^a
37.11 ± 0.16	68.61 ± 0.12	3.12 ± 0.07^b
36.92 ± 0.25	70.60 ± 0.06	3.52 ± 0.09^c

a, b, .. ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันแถวเดียวกัน ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 11 แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติในภาคผนวก ข (ตารางที่ 23) พบว่ามีอิทธิพลร่วมระหว่างอัตราการแช่เยือกแข็งกับปริมาณความชื้นก่อนแช่เยือกแข็ง ($p \leq 0.05$) ต่อการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการละลาย เมื่อพิจารณา อัตราการแช่เยือกแข็งที่ได้จากการแช่เยือกแข็งด้วยวิธีเดียวกัน พบว่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการละลายจะเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณความชื้นก่อนแช่เยือกแข็งมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาปริมาณความชื้นก่อนแช่เยือกแข็ง ของชิ้นไก่รูปลูกเต๋าที่ใช้ระยะเวลาหมักในน้ำเท่ากัน พบว่า การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการละลายจะเพิ่มขึ้น เมื่อแช่เยือกแข็งแบบ still air ที่ -40 °C ซึ่งมีอัตราการแช่เยือกแข็งช้า จากผลที่ได้ อธิบายได้ว่า อัตราการแช่เยือกแข็งช้าจะเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ภายนอกเซลล์และทีมแทงเข้ามาในเซลล์ ดังนั้นเมื่อทำการละลายน้ำแข็ง น้ำในเซลล์จึงไหลออกมาสู่ภายนอกเซลล์มากกว่าการแช่เยือกแข็งที่มีอัตราการแช่เยือกแข็งเร็ว ถึงแม้ว่าชิ้นไก่รูปลูกเต๋าทที่แช่เยือกแข็งแบบไดรไอจินิกที่อุณหภูมิ -70 °C ซึ่งมีอัตราการแช่เยือกแข็งเร็วจะเกิดรอยร้าวและน้ำสามารถซึมผ่านออกมาตามรอยร้าวก็ตาม แต่ไม่ได้ทำให้การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการละลาย มากกว่าการแช่เยือกแข็งแบบ still air ที่ -40 °C

4.4 ศึกษาผลของสารละลาย Sodium tripolyphosphate (STPP) ต่อการเกิดรอยร้าวใน ออกไก่กระดูกสุกรูปลูกเต๋าที่แช่เยือกแข็ง

เตรียมออกไก่กระดูกสุกรูปลูกเต๋าดำตามขั้นตอนการผลิตข้อ 3.5.4 ผ่านการแช่เยือก
แข็งแบบโครโอจีนิกด้วยไนโตรเจนเหลวที่ -70°C จนกระทั่งอุณหภูมิใจกลางชิ้นตัวอย่างเท่ากับ
 -18°C

เนื้อไก่ที่หมักด้วยสารละลาย STPP ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน เมื่อผ่านการแช่เยือก
แข็งแบบโครโอจีนิก ที่อุณหภูมิ -70°C จะมีอัตราการแช่เยือกแข็งที่ใกล้เคียงกัน และพบว่า
ความเข้มข้นของ STPP สูงขึ้นจำนวนรอยร้าวที่เกิดขึ้นจะเพิ่มขึ้น ดังตารางที่

ตารางที่ 12 ค่าเฉลี่ยของ ร้อยละจำนวนตัวอย่างที่เกิดรอยร้าว และไม่เกิดรอยร้าว อัตราการแช่
เยือกแข็ง ของออกไก่กระดูกสุกรูปลูกเต๋า ที่หมักในสารละลาย STPP ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน เมื่อ
แช่เยือกแข็งแบบโครโอจีนิกที่อุณหภูมิ -70°C

ความเข้มข้น STPP (%)	จำนวนตัวอย่าง ที่เกิดรอยร้าว (%)	จำนวนตัวอย่าง ที่ไม่เกิดรอยร้าว (%)
1	24.17 ± 1.67	75.84 ± 1.67
3	29.17 ± 3.19	70.83 ± 3.19
5	34.17 ± 1.67	65.84 ± 1.67

n = 4

จำนวนรอยร้าวที่เกิดขึ้นเมื่อหมักออกไก่ในสารละลาย STPP นี้ ยังน้อยกว่า ที่เกิดขึ้น
กับชิ้นออกไก่ที่ไม่ได้หมักสารละลาย STPP และชิ้นออกไก่ที่มีความชื้นเพิ่มขึ้นก่อนแช่เยือกแข็ง
เมื่อพิจารณาควบคู่กับตารางที่ 14 พบว่า ความเข้มข้นของ STPP สูงขึ้นมีผลทำให้ปริมาณ
ความชื้นก่อนแช่เยือกแข็งเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เนื่องมาจากหน้าที่ประการหนึ่งของ STPP ใน
เนื้อสัตว์ คือ จะช่วยเพิ่มคุณสมบัติในการกักน้ำ (water holding capacity) เพราะ STPP
จะทำให้ค่า pH ของเนื้อสูงขึ้น และสูงกว่าจุด isoelectric point ของโปรตีนกล้ามเนื้อ ทำให้
โปรตีนมี free charge และ ionic strength สูงขึ้น (Jonh , 1986 , Dziezak , 1990)

และเมื่อมีน้ำอยู่ในเนื้อไก่มากขึ้น
เพิ่มขึ้น

จึงเกิดผลึกน้ำแข็งได้มากขึ้นจึงเป็นสาเหตุให้เกิดรอยร้าว

พบรอยร้าวแบบที่หนึ่ง และ สอง ที่ระดับความเข้มข้น STPP 3 % และที่ระดับความเข้มข้น STPP 1% และ 5 % และจะพบรอยร้าวแบบที่ หนึ่ง สอง และสาม โดยจำนวนตัวอย่างที่เกิดรอยร้าวจะเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้น STPP ที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงในตารางที่13

ตารางที่ 13 ค่าเฉลี่ยร้อยละจำนวนตัวอย่างที่เกิดรอยร้าวในแบบต่างๆของอกไก่กระทรงสุกรูป
ลูกเต๋า ที่ผ่านการแช่สารละลาย STPPความเข้มข้นต่างกัน เมื่อแช่เยือกแข็งแบบโครโอจิ
นิก ที่ อุณหภูมิ -70°C

ลักษณะรอยร้าว	ความกว้างรอยร้าว (ม.ม.)	จำนวนตัวอย่างที่เกิดรอยร้าว (%)		
		ความเข้มข้นของ STPP (%)		
		1	3	5
แบบที่ 1	0.01 - 0.50	2.50 ± 1.67	5.84 ± 1.67	5.00 ± 1.93
	0.51 - 1.00	8.34 ± 1.92	5.00 ± 1.93	8.33 ± 1.92
แบบที่ 2	0.51 - 1.00	4.17 ± 1.67	7.50 ± 3.19	5.25 ± 2.84
	1.01 - 1.50	4.17 ± 1.67	6.67 ± 0.00	5.84 ± 1.67
แบบที่ 3	0.51 - 1.00	5.00 ± 1.93	5.84 ± 1.67	5.84 ± 1.67
	1.01 - 1.50			2.50 ± 1.67
	1.51 - 2.00			

เมื่อ วิเคราะห์ปริมาณ Phosphorus (P_2O_5) คำนวณร้อยละปริมาณความชื้นหลังการ
แช่เยือกแข็ง(% moisture content) ร้อยละน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นจากการแช่สารละลาย STPP (%
weight gain) ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการทำให้สุก (%cooking loss) ร้อยละ
การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการแช่เยือกแข็ง (% freezing loss) ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก
เนื่องจากการละลายน้ำแข็ง (% thawing loss) และร้อยละปริมาณผลผลิต (% yield)

ได้ผลการทดลองดังตารางที่14 และ 15

ตารางที่ 14 ค่าเฉลี่ยของร้อยละ P_2O_5 ร้อยละความชื้นก่อนแช่เยือกแข็ง และ ร้อยละความชื้นหลังการแช่เยือกแข็ง ของอกไก่กระทรงสุกรูปลูกเต๋า ที่ผ่านการแช่สารละลาย STPP ความเข้มข้นต่างกัน เมื่อแช่เยือกแข็งแบบโครโอจินิกที่ อุณหภูมิ $-70^{\circ}C$

ความเข้มข้น STPP (%)	ปริมาณ P_2O_5 (%)	ความชื้นก่อนแช่เยือกแข็ง (%)	ความชื้นหลังแช่เยือกแข็ง (%)
1	0.44 ± 0.09^a	68.80 ± 0.08^a	67.30 ± 0.20^a
3	0.48 ± 0.02^b	69.11 ± 0.13^b	67.66 ± 0.16^a
5	0.54 ± 0.08^c	71.75 ± 0.12^c	70.53 ± 0.30^b

a, b, ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวเดียวกัน ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.5$)

ตารางที่ 15 ค่าเฉลี่ยของ ร้อยละการเพิ่มน้ำหนักจากการแช่สารละลาย STPP ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการทำให้สุก ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการแช่เยือกแข็ง ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการละลายน้ำแข็ง และร้อยละปริมาณผลผลิตของอกไก่กระทรงสุกรูปลูกเต๋า ที่ผ่านการแช่สารละลาย STPP ความเข้มข้นต่างกัน เมื่อแช่เยือกแข็งแบบโครโอจินิกที่ อุณหภูมิ $-70^{\circ}C$

ความเข้มข้น STPP (%)	weight gain (%)	cooking loss (%)	freezing loss ^{ns} (%)	thawing loss (%)	Yield (%)
1	11.16 ± 0.12^a	7.18 ± 0.05^a	0.82 ± 0.03	1.98 ± 0.07^a	101.07 ± 0.14^a
3	11.39 ± 0.04^b	6.67 ± 0.08^b	0.83 ± 0.02	2.51 ± 0.03^b	101.28 ± 0.04^b
5	11.78 ± 0.10^c	4.26 ± 0.13^c	0.84 ± 0.02	2.57 ± 0.04^b	104.11 ± 0.15^c

a, b, ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวเดียวกัน ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติดังแสดงในตารางที่ 24 และ 25 พบว่าความเข้มข้นของสารละลาย STPP มีผลต่อปริมาณ Phosphorus . ในรูปของ P_2O_5 ปริมาณความชื้นก่อนและหลังผ่านการแช่เยือกแข็ง การเพิ่มน้ำหนักเนื่องจากการแช่สารละลาย การสูญเสียเนื่องจากการทำให้สุก การสูญเสียเนื่องจากการละลายน้ำแข็ง และปริมาณผลผลิต อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากสารประกอบฟอสเฟตจะช่วยเพิ่มสมบัติการจับน้ำไว้ในเนื้อดั่งที่กล่าวมาแล้ว โดยปริมาณปริมาณความชื้นก่อนและหลังผ่านการแช่เยือกแข็ง การเพิ่มน้ำหนักเนื่องจากการแช่สารละลาย จะเพิ่มขึ้นเมื่อระดับความเข้มข้นสารละลาย STPP เพิ่มขึ้น การสูญเสียเนื่องจากการทำให้สุก จะลดลงเมื่อระดับความเข้มข้นสารละลาย STPP เพิ่มขึ้น การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการละลายน้ำแข็ง จะเพิ่มขึ้นเมื่อระดับความเข้มข้นสารละลาย STPP เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะ จำนวนชิ้นไก่ที่เกิดรอยร้าวจะเพิ่มขึ้นเมื่อระดับความเข้มข้นสารละลาย STPP เพิ่มขึ้น ทำให้น้ำที่อยู่ในชิ้นไก่ไหลออกมาภายนอกได้มากขึ้น และพบว่าที่ระดับความเข้มข้นสารละลาย STPP สูงสุด คือ 5% จะให้ปริมาณผลผลิต แต่ที่ความเข้มข้นของสารละลาย STPP 5 % พบว่าปริมาณ Phosphorus ในรูปของ P_2O_5 ที่ตกค้างในตัวอย่างเกินมาตรฐานกำหนด คือ ไมเกิน 5 กรัมต่อกิโลกรัม หรือ 0.5 % (Richard, 1989)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.5 ศึกษาผลของสารละลายเอนไซม์ทรานซ์กลูตามิเนส (Transglutaminase: TGase) ต่อการเกิดรอยร้าวในอกไก่กระทงสุกรูปลูกเต๋าที่แช่เยือกแข็ง

เตรียมอกไก่กระทงสุกรูปลูกเต๋าดำตามขั้นตอนการผลิตข้อ 3.5.5 ผ่านการแช่เยือกแข็งแบบโครโอจีนิกด้วยไนโตรเจนเหลวที่ -70°C จนกระทั่งอุณหภูมิใจกลางชิ้นตัวอย่างเท่ากับ -18°C

ตารางที่ 16 ค่าเฉลี่ยของ ร้อยละจำนวนตัวอย่างที่เกิดรอยร้าว และไม่เกิดรอยร้าว อัตราการแช่เยือกแข็ง ของอกไก่กระทงสุกรูปลูกเต๋า ที่แช่ในสารละลาย TGase ความเข้มข้นต่างๆกัน เมื่อแช่เยือกแข็งแบบโครโอจีนิกที่ อุณหภูมิ -70°C

ความเข้มข้น TGase (%)	จำนวนตัวอย่างที่เกิดรอยร้าว (%)	จำนวนตัวอย่างที่ไม่เกิดรอยร้าว (%)
0.50	25.84 ± 1.67	74.17 ± 1.67
1.00	21.67 ± 1.92	78.34 ± 1.92
1.50	20.83 ± 1.67	79.17 ± 1.67

n = 4

จากตารางเมื่อนำอกไก่ดิบแช่สารละลาย TGase ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน ผ่านการแช่เยือกแข็งแบบโครโอจีนิกที่อุณหภูมิ -70°C อกไก่กระทงสุกรูปลูกเต๋าทที่แช่เยือกแข็ง จะเกิดรอยร้าวขึ้นที่ตัวอย่างในทุกุระดับความเข้มข้นของสารละลาย TGase โดยจำนวนรอยร้าวมีแนวโน้มลดลง เมื่อระดับความเข้มข้นของสารละลาย TGase เพิ่มขึ้น เนื่องจากเอนไซม์ TGase ปรับปรุงโครงสร้างของเนื้อไก่ โดยสร้างพันธะโควาเลนต์ขึ้นมาเชื่อมเนื้อให้ติดกัน และแข็งแรงพอที่จะทนต่อการนำไปผ่านความร้อน และแรงทางกายภาพ (Motoki และ Kumazawa , 2000)

ตารางที่ 17 ค่าเฉลี่ย ร้อยละจำนวนตัวอย่างที่เกิดรอยร้าวในแบบต่างๆของอกไก่กระทรงสุกรูปลูกเต๋า ที่ผ่านการแช่สารละลาย TGase ความเข้มข้นต่างกัน เมื่อแช่เยือกแข็งแบบโครโอจินิก ที่ อุณหภูมิ -70°C

ลักษณะรอยร้าว	ความกว้างรอยร้าว (มม.)	จำนวนตัวอย่างที่เกิดรอยร้าว (%)		
		ความเข้มข้นของ TGase (%)		
		0.5	1.0	1.5
แบบที่ 1	0.01 - 0.50	3.33 ± 0.00	7.50 ± 1.67	7.50 ± 1.67
	0.51 - 1.00	7.50 ± 1.67	5.00 ± 1.93	5.00 ± 1.93
แบบที่ 2	0.01 - 0.50	3.33 ± 0.00	4.17 ± 1.67	4.17 ± 1.67
	0.51 - 1.00	5.00 ± 1.93	5.84 ± 1.67	4.17 ± 1.67
แบบที่ 3	0.01 - 0.50			
	0.51 - 1.00	5.84 ± 1.67		

n = 4

พบรอยร้าวแบบที่หนึ่ง สอง และ สาม ที่ระดับความเข้มข้น TGase ทั้ง 3 ระดับ โดยจำนวนตัวอย่างที่เกิดรอยร้าวจะลดลงตามระดับความเข้มข้น TGase ที่เพิ่มขึ้น โดยรอยร้าวทั้งสามแบบ จะมีขนาดความกว้างของรอยร้าว 0.01 - 1.00 มม.

เมื่อคำนวณร้อยละปริมาณความชื้นก่อนและหลังการแช่เยือกแข็ง (% moisture content) ร้อยละน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นจากการแช่น้ำ (% weight gain) ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการทำให้สุก (% cooking loss) ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการแช่เยือกแข็ง (% freezing loss) ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการละลายน้ำแข็ง (% thawing loss) และร้อยละปริมาณผลผลิต (% yield) ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 18 และ 19

ตารางที่ 18 ค่าเฉลี่ยของ ร้อยละความชื้นก่อนแช่เยือกแข็ง ร้อยละความชื้นหลังการแช่เยือกแข็งของอกไก่กระทรงสูงรูปลูกเต๋า ที่ผ่านการแช่สารละลาย TGase ความเข้มข้นต่างกัน เมื่อแช่เยือกแข็งแบบโครโอจีนิกที่ อุณหภูมิต่ำ -70°C

ความเข้มข้น TGase (%)	ความชื้นก่อนแช่เยือกแข็ง (%)	ความชื้นหลังแช่เยือกแข็ง (%)
0.50	68.92 ± 0.06 ^a	68.18 ± 0.08 ^a
1.00	68.93 ± 0.52 ^a	67.90 ± 0.39 ^a
1.50	69.77 ± 0.09 ^b	69.25 ± 0.11 ^b

a, b, ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวเดียวกัน ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 19 ค่าเฉลี่ยของ ร้อยละการเพิ่มน้ำหนักจากการแช่สารละลาย TGase ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการทำให้สุก ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการแช่เยือกแข็ง ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการละลายน้ำแข็ง และร้อยละปริมาณผลผลิต ของอกไก่กระทรงสูงรูปลูกเต๋า ที่ผ่านการแช่สารละลาย TGase ความเข้มข้นต่างกัน เมื่อแช่เยือกแข็งแบบโครโอจีนิกที่ อุณหภูมิต่ำ -70°C

ปริมาณ TGase (%)	weight gain (%)	cooking loss (%)	freezing loss (%)	thawing loss (%)	Yield (%)
0.50	8.23 ± 0.08 ^a	4.55 ± 0.08 ^a	0.64 ± 0.03 ^a	1.68 ± 0.03 ^a	101.36 ± 0.10 ^a
1.00	8.53 ± 0.06 ^b	3.86 ± 0.09 ^b	0.55 ± 0.04 ^b	1.60 ± 0.05 ^b	102.52 ± 0.15 ^b
1.50	8.90 ± 0.07 ^c	3.21 ± 0.04 ^c	0.51 ± 0.02 ^b	1.56 ± 0.02 ^b	103.63 ± 0.04 ^c

a, b, ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวเดียวกัน ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 18 และ 19 แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ในภาคผนวก ข (ตารางที่ 26 และ 27) พบว่าระดับความเข้มข้นสารละลาย TGase มีผลทำให้ปริมาณความชื้นก่อนและหลังผ่านการแช่เยือกแข็ง การเพิ่มน้ำหนักเนื่องจากการแช่สารละลาย การสูญเสียเนื่องจากการทำให้สุก การสูญเสียเนื่องจากการแช่เยือกแข็ง การสูญเสียเนื่องจากการละลายน้ำแข็ง และปริมาณผลผลิต แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยปริมาณความชื้นก่อนและหลังผ่านการแช่เยือกแข็ง การเพิ่มน้ำหนักเนื่องจากการแช่สารละลาย จะเพิ่มขึ้นเมื่อระดับความเข้มข้นสารละลาย TGase เพิ่มขึ้น การสูญเสียเนื่องจากการทำให้สุก การสูญเสียเนื่องจากการแช่เยือกแข็ง และการสูญเสียเนื่องจากการละลายน้ำแข็งจะลดลงเมื่อระดับความเข้มข้นสารละลาย TGase เพิ่มขึ้น และปริมาณผลผลิต จะเพิ่มขึ้น เมื่อระดับความเข้มข้นสารละลาย TGase เพิ่มขึ้น เนื่องจากสารละลาย TGase จะปรับปรุงโครงสร้างของเนื้อเยื่อ โดยสร้างพันธะโควาเลนต์เชื่อมเนื้อให้ติดกัน (Motoki and Kumazawa, 2000) ดังนั้นการใช้สารละลาย TGase ในขั้นตอนการหมักก๋วยเตี๋ยวดิบอาจมีส่วนช่วยทำให้ก๋วยเตี๋ยวสุกนุ่มและเคี้ยวง่ายที่ผ่านการแช่เยือกแข็งเกิดการแตกร่วนน้อยลง โดยจำนวนตัวอย่างที่เกิดรอยร้าวเมื่อใช้สารละลาย TGase ทุกระดับความเข้มข้นจะน้อยกว่าที่เกิดขึ้นกับชิ้นก๋วยเตี๋ยวที่ไม่ได้ผ่านการหมัก ชิ้นก๋วยเตี๋ยวที่มีความชื้นเพิ่มขึ้น และชิ้นก๋วยเตี๋ยวที่ผ่านการหมักด้วยสารละลาย STPP และถึงแม้ว่าในการใช้สารละลาย STPP ที่ระดับความเข้มข้น 5% จะให้ปริมาณผลผลิตมากที่สุดก็ตาม แต่ที่ระดับความเข้มข้นนี้ มีปริมาณ Phosphorus ในรูปของ P_2O_5 ที่ตกค้างในตัวอย่างเกินมาตรฐานกำหนด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย