



การศึกษาการใช้สารโคโคแซนเพิ่มความคงทนของอาหารกุ้งกุลาดำในน้ำ



อรรถิพพ์ มงคคเคหา

อภินันทนการ

จาก

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล

พ.ศ.2544

ISBN 974-665-380-6

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยมหิดล

Copyright by Mahidol University

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาการใช้สารโคโคเซนเพิ่มความคงทนของอาหารกึ่งอุตสาหกรรม



นางสาวอรพิมพ์ มงคลเคหา

ผู้วิจัย



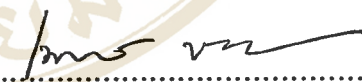
ผู้ช่วยศาสตราจารย์จำลอง อรุณเลิศอารีย์ Ph.D.

ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์



ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุระ พัฒนเกียรติ วท.ม.

กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์



นางเบญจกรณ์ ประกัต์ดี วท.ม.

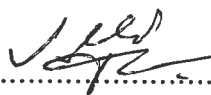
กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์



ศาสตราจารย์เลียงชัย ลิมถ็อมวงศ์ Ph.D.

คณบดี

บัณฑิตวิทยาลัย



นายปรกรณ์ สุวานิช M.S.

รักษาราชการแทนประธานคณะกรรมการบริหาร

หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีที่เหมาะสม

เพื่อการพัฒนาทรัพยากร

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาการใช้สารไคโตแซนเพิ่มความคงทนของอาหารกุ้งกุลาดำในน้ำ

ได้รับการพิจารณาให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร

วันที่ 13 มีนาคม พ.ศ. 2544



นางสาวอรพิมพ์ มงคลเคหา

ผู้วิจัย



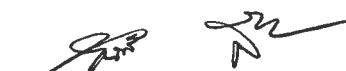
ผู้ช่วยศาสตราจารย์จำลอง อรุณเลิศอารีย์ Ph.D.

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุระ พัฒนเกียรติ วท.ม.

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์



นางสุนันท์ สิริรักษ์โสภณ Ph.D.

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์



ศาสตราจารย์เกียรติคุณ ลิมลอมวงศ์ Ph.D.

คณบดี

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล



รองศาสตราจารย์อนุชาติ พวงสำลี Ph.D.

คณบดี

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์
มหาวิทยาลัยมหิดล

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ด้วยความกรุณาอย่างสูงจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จำลอง อรุณเลิศอารีย์ ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือเอาใจใส่และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยตลอดระยะเวลาในการวิจัย ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุระ พัฒนเกียรติ เป็นอย่างสูง ที่ให้ความกรุณาช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ให้กำลังใจและคำแนะนำข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ต่อผู้วิจัย ตลอดจนกรุณาให้ความเอาใจใส่ต่อนักศึกษา AT 11 อย่างเสมอมา และขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์เบญจภรณ์ ประภักดี เป็นอย่างสูง ที่กรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์จนทำให้วิทยานิพนธ์มีความสมบูรณ์ขึ้น

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ดร.สุนันท์ ศิริรักษ์โสภณ เป็นอย่างสูง ที่ได้กรุณาสละเวลาร่วมเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ช่วยตรวจแก้ไขและให้คำแนะนำต่าง ๆ จนทำให้เกิดความสมบูรณ์ของวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้ผู้วิจัยมีความรู้ความสามารถจนกระทั่งสำเร็จการศึกษา ตลอดจนเจ้าหน้าที่คณะสิ่งแวดล้อม ฯ มหาวิทยาลัยมหิดลทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลืออำนวยความสะดวกด้านต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษา ขอขอบพระคุณ คุณอา ด.ต.วิจิต ปานกลับ ที่กรุณาให้ยืมเครื่องบดอาหารสำหรับการอัดเม็ดอาหารกุ้ง ขอขอบคุณ พี่เล็ก พรณภัส เป็นอย่างสูงที่ให้ความอนุเคราะห์อาหารกุ้งเพื่อใช้ในการทำวิจัย

ขอขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ AT 11 ทุกท่านที่คอยให้ความห่วงใยและกำลังใจแก่ผู้วิจัย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง พี่สาธิต ที่พาไปเก็บน้ำทะเลและให้ยืมอุปกรณ์ถ่ายภาพ และให้ความกรุณาต่อน้อง ๆ AT 11 เรื่อยมา ขอขอบคุณพี่ผู้ช่วยที่คอยช่วยเหลือแก้ปัญหานี้ในทุกเรื่อง ขอขอบคุณเอ็มและดา ที่เอื้อเฟื้อแรงงานในการเก็บน้ำทะเล ขอขอบคุณ พี่แอ๊ะ ที่ช่วยในการจัดหาอาหารกุ้ง และผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณสุรัชย์ เลิศกิจขจร ที่ให้ความช่วยเหลือในทุกด้าน คอยเป็นที่ปรึกษาที่ดี และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยอย่างสม่ำเสมอตลอดมา

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อนิคม และคุณแม่พรรณิ มงคลเทศา อย่างสูงสุด ที่เลี้ยงดูให้ความรักเป็นกำลังใจให้แก่ผู้วิจัยมาตลอดชีวิต และสนับสนุนในด้านการศึกษามาจนประสบความสำเร็จในทุกวันนี้

ท้ายที่สุดนี้ ขอมอบความสำเร็จ คุณความดี และคุณประโยชน์ที่ปรากฏไม่ว่าจะมากหรือน้อยก็ตามแด่ คุณพ่อ คุณแม่ คณาจารย์ทุกท่าน ผู้มีพระคุณทุกท่าน ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่ทำให้ผู้วิจัยมีวันนี้ และคุณป้าสรินธร ก่อวัฒนกุล ผู้ล่วงลับ หากมีความบกพร่องและข้อผิดพลาดประการใดก็ตามที่เกิดขึ้น ผู้วิจัยขออภัยไว้แต่เพียงผู้เดียว

3937300 ENAT/M : สาขาวิชา : เทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร;
วท.ม. (เทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร)

คำสำคัญ : สารไคโตแซน / ความคงทน / อาหารกุ้งกุลาดำ

อภิมพ์ มงคลเคหา : การศึกษาการใช้สารไคโตแซนเพิ่มความคงทนของอาหารกุ้งกุลาดำในน้ำ (A STUDY ON USING CHITOSAN TO INCREASE WATER STABILITY OF BLACK TIGER PRAWN FEED) คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ : จำลอง อรุณเลิศอารีย์, Ph.D., สุระ พัฒนเกียรติ, วท.ม., เบญจภรณ์ ประภักดี, วท.ม. 141 หน้า. ISBN 974-665-380-6

การศึกษาการใช้สารไคโตแซนเพิ่มความคงทนของอาหารกุ้งกุลาดำ ได้ศึกษาอิทธิพลของค่าระดับการกำจัดหมู่อะเซทิลของสารไคโตแซน 3 ระดับ คือ 80, 85 และ 90%DD ปริมาณสารไคโตแซนที่ใช้ (%w/w) 4 ระดับ คือ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0%w/w การใช้สารไคโตแซน 2 รูปแบบ คือ วิธีเคลือบและวิธีการผสม และน้ำที่ใช้ในการทดสอบ 2 ชนิด คือ น้ำจืดและน้ำเค็ม 30 ppt อาหารกุ้งที่ใช้เป็นอาหารสำเร็จรูปทางการค้านำมาบดละเอียดแล้วจึงนำไปอัดเม็ดด้วยเครื่องบดอาหารแบบมินเซอร์ เตรียมอาหารกุ้งที่ใช้ในการทดลอง 2 แบบ คือ การเคลือบผิวอาหารที่อัดเม็ดแล้วด้วยสารไคโตแซน และใช้วิธีผสมสารไคโตแซนในอาหารกุ้งที่บดละเอียดแล้วจึงนำไปอัดเม็ด วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (CRD) ทำการทดสอบความคงทนของอาหารกุ้งตามวิธีการทดสอบมาตรฐานผลิตภัณฑ์อาหารกุ้ง มอก. 1198-2536 โดยแช่อาหารกุ้งในน้ำจืดและน้ำเค็มเป็นเวลา 2 ชั่วโมง และหาความคงทนของอาหารกุ้ง (%) ได้จากน้ำหนักแห้งของอาหารที่เหลือ

ผลที่ได้มีดังนี้ การทดสอบในน้ำจืด พบว่า อาหารชุดที่เคลือบสารไคโตแซนที่มีความคงทนสูงสุดในน้ำจืด คือ อาหารกุ้งชุดที่เคลือบสารไคโตแซน 80%DD ระดับ 1.5 และ 2.0%w/w และเคลือบสารไคโตแซน 85%DD ระดับ 1.0, 1.5 และ 2.0%w/w และอาหารชุดที่ผสมสารไคโตแซนที่มีความคงทนสูงสุด คือ อาหารที่ผสมสารไคโตแซน 90%DD ระดับ 2.0%w/w ส่วนการทดสอบในน้ำเค็ม อาหารชุดที่เคลือบสารไคโตแซนที่มีความคงทนสูงสุด คือ อาหารกุ้งชุดที่เคลือบสารไคโตแซน 80%DD ระดับ 1.5 และ 2.0%w/w และเคลือบสารไคโตแซน 85%DD ระดับ 1.0, 1.5 และ 2.0%w/w %DD เช่นเดียวกับในน้ำจืด และอาหารชุดที่ผสมสารไคโตแซนที่มีความคงทนสูงสุด คือ อาหารที่ผสมสารไคโตแซน 85%DD และ 90%DD ด้วยปริมาณที่เท่ากัน 2 ระดับ คือ 1.5 และ 2.0%w/w ความคงทนของอาหารกุ้งที่ใช้สารไคโตแซนเคลือบและผสมแปรผันโดยตรงกับปริมาณการใช้สารที่เพิ่มขึ้น การทดสอบความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำเค็มทุกชุดอาหารที่ทำทดสอบมีความคงทนสูงกว่าในน้ำจืด และการใช้สารไคโตแซน 85%DD ปริมาณ 1.0%w/w เคลือบอาหารกุ้งจะมีต้นทุนอาหารกุ้งที่เพิ่มขึ้น ต่อ กิโลกรัมต่ำสุดเท่ากับ 18.63 บาท ต่อ อาหารกุ้ง 1 กิโลกรัม

3937300 ENAT/M :MAJOR : APPROPRIATE TECHNOLOGY FOR RESOURCE DEVELOPMENT
;M.Sc. (APPROPRIATE TECHNOLOGY FOR RESOURCE DEVELOPMENT)

KEYWORDS : CHITOSAN / WATER STABILITY / BLACK TIGER PRAWN FEED

ORRAPIM MONGKOLKAHA: A STUDY ON USING CHITOSAN TO INCREASE
WATER STABILITY OF BLACK TIGER PRAWN FEED. THESIS ADVISORS: CHUMLONG
ARUNLERTAREE, Ph.D., SURA PATTANAKIAT, M.Sc., BENJAPHORN PRAPAKDEE, M.Sc.
141 p. ISBN 974-665-380-6

The water stability of prawn feed is an important feature to insure that prawn receive the nutrients from feed. This study aims to use chitosan to increase water stability of black tiger prawn feed. Chitosan was used on 3 levels of Degree of Deacetylation (%DD) and on 4 levels of percentage of weight by weight (%w/w). Commercial feed was blended and repelleted using a blender and mincer, respectively. The repelleted feed was used for the control treatment and the coated treatment, which was coated with chitosan. Chitosan was also mixed with the blended commercial feed and then repelleted; this was used as the mixed treatment. The experiment was carried out according to a Completely Randomized Design : CRD. This study was investigated the effects of the Degree of Deacetylation (3 levels of %DD), chitosan percentage of weight by weight (4 levels of %w/w), 2 methodologies (coated/mixed) and 2 types of water (freshwater/seawater) on the water stability of black tiger prawn feed. The Thailand Industrial Standard (TIS) method of testing (1198-2536 for prawn feed), was applied to test the prawn feed developed in this study. The treatments were soaked in freshwater and seawater for a period of 2 hours. The percentage of water stability of the treatments after soaking was calculated from the remaining average weight.

The results showed that in freshwater, for coated treatments, the highest stable feed was 80%DD:1.5 and 2.0%w/w and 85%DD :1.0, 1.5 and 2.0 %w/w. The highest stable feed of mixed treatments in freshwater was 90 %DD:2.0%w/w. In seawater, for coated treatments, the highest stable feed was 80%DD:1.5 and 2.0%w/w and 85%DD :1.0, 1.5 and 2.0 %w/w, the same as in freshwater. For mixed treatments, in seawater the water stability of 85 and 90%DD (1.5 and 2.0%w/w) was highest. At the higher %w/w of chitosan, there was higher feed stability. All treatments tested in seawater showed higher stability than in freshwater. The minimum additional cost per 1 kilogram of feed is 18.63 baht which can be calculated from the condition coated feed by chitosan 85%DD : 1.0%w/w. The results of this study suggest that chitosan is a feasible ingredient to increase the stability of prawn feed.

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 กรอบแนวคิดการวิจัย.....	4
1.3 วัตถุประสงค์.....	5
1.4 สมมติฐาน.....	5
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	5
1.6 แผนการดำเนินการวิจัย.....	6
1.7 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....	8
1.8 นิยามคำศัพท์.....	8
2. ทบทวนวรรณกรรม.....	9
2.1 กุ้งกุลาดำ.....	9
2.2 กุ้งกุลาดำกับอาหาร.....	11
2.3 อาหารกุ้งกับการเกิดน้ำเสีย.....	19
2.4 กระบวนการผลิตอาหารสัตว์น้ำ.....	20
2.5 สารเหนียวและความคงทนของอาหารเม็ดในน้ำ.....	23
2.6 ไคตินและไคโตแซน.....	28

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2.7 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำทะเล.....	39
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	41
3. วิธีดำเนินการวิจัย.....	46
3.1 การเตรียมการวิจัย.....	46
3.2 การดำเนินการวิจัย.....	48
3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....	54
4 ผลการศึกษาและอภิปรายผล.....	56
4.1 ลักษณะทางกายภาพของอาหารกึ่งที่ทำการทดสอบ.....	56
4.2 ผลของค่าระดับการกำจัดหมู่อะเซทิลของสารโคโคแซนและ ปริมาณสารโคโคแซนที่ใช้ต่อความคงทนของอาหารกึ่งในน้ำ.....	63
4.3 ผลของการเคลือบกับการผสมสารโคโคแซน และ น้ำจืดกับน้ำเค็ม ที่มีต่อความคงทนของอาหารกึ่งในน้ำ.....	74
4.4 การวิเคราะห์ต้นทุนค่าอาหารกึ่งที่ใช้สารโคโคแซนเพื่อเพิ่ม ความคงทนของอาหารในน้ำ.....	84
5. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ.....	89
5.1 สรุปผลการศึกษา.....	89
5.2 ข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางในการวิจัยครั้งต่อไป.....	91
รายการอ้างอิง.....	93
ภาคผนวก ก มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอาหารกึ่ง มาตรฐานเลขที่ มอก.1198-2536.....	99
ภาคผนวก ข การคำนวณปริมาณสารโคโคแซนที่ใช้เคลือบอาหารในการทดลอง และ ชุดการทดลองในการศึกษาความคงทนของอาหารกึ่งในน้ำจืดและน้ำเค็ม.....	105

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ค การคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ความคงทนของอาหารสัตว์น้ำ..... 110

ภาคผนวก ง การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ..... 112

ประวัติผู้วิจัย..... 141



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1 ชนิดและปริมาณของวิตามินชนิดต่าง ๆ ที่ควรเสริมในอาหารกุ้ง.....	14
2-2 องค์ประกอบและปริมาณของอาหารกุ้ง.....	16
2-3 ลักษณะและนิสัยการกินอาหารของกุ้งที่สัมพันธ์กับลักษณะอาหารที่เหมาะสม.....	17
2-4 เส้นผ่านศูนย์กลางของอาหารที่เหมาะสมกับกุ้งขนาดต่าง ๆ.....	18
2-5 สารเหนียว กับปริมาณการใช้ และความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำ.....	27
2-6 การประยุกต์ใช้ประโยชน์ไคดินและไคโตแซนในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ.....	38
2-7 องค์ประกอบของน้ำทะเลโดยเฉลี่ย.....	40
3-1 ปริมาตรสต็อกสารละลายไคโตแซนความเข้มข้น 2.5 %w/v ที่ใช้ในการเตรียมอาหารกุ้งชุดต่าง ๆ.....	50
3-2 ปริมาณสารไคโตแซน (กรัม) ที่ผสมกับอาหารกุ้ง (กรัม) ในการเตรียมอาหารกุ้งที่ใช้ศึกษา.....	51
4-1 ลักษณะทางกายภาพของอาหารกุ้งชุดต่าง ๆ ก่อนและหลังการทดสอบในน้ำ.....	57
4-2 เปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยความคงทนของอาหารกุ้ง (เปอร์เซ็นต์) ในน้ำจืดที่ใช้สารไคโตแซน %DD ต่าง ๆ 3 ระดับ ในปริมาณการใช้ (%w/w) ที่เท่ากัน.....	64
4-3 เปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยความคงทนของอาหารกุ้ง (เปอร์เซ็นต์) ในน้ำจืดที่ใช้สารไคโตแซนปริมาณ (%w/w) ต่าง ๆ ที่ระดับ %DD ที่เท่ากัน.....	65
4-4 เปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยความคงทนของอาหารกุ้ง (เปอร์เซ็นต์) ในน้ำเค็มที่ใช้สารไคโตแซน %DD ต่าง ๆ 3 ระดับในปริมาณการใช้ (%w/w) ที่เท่ากัน.....	68
4-5 เปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยความคงทนของอาหารกุ้ง (เปอร์เซ็นต์) ในน้ำเค็มที่ใช้สารไคโตแซนปริมาณ (%w/w) ต่าง ๆ ที่ระดับ %DD ที่เท่ากัน.....	69
4-6 เปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยความคงทนของอาหารกุ้ง (เปอร์เซ็นต์) ที่ใช้วิธีการเคลือบและผสมสารไคโตแซนที่ระดับ %DD และปริมาณการใช้สาร (%w/w) ที่เท่ากัน.....	82

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4-7	เปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยความคงทนของอาหารกุ้ง (เปอร์เซ็นต์) ที่ทำการทดสอบความคงทนในน้ำจืดและน้ำเค็ม.....	83
4-8	อาหารกุ้งที่เคลือบและผสมสารไคโตแซนที่ให้ความคงทนในน้ำจืดและน้ำเค็มสูงที่สุด.....	85
4-9	ราคาสารไคโตแซนที่ซื้อขายทางการค้า.....	86
4-10	ต้นทุนสต็อกสารละลายไคโตแซนความเข้มข้น 2.5%w/v สำหรับในการเคลือบและผสมอาหารกุ้ง.....	86
4-11	ต้นทุนอาหารกุ้งที่เพิ่มขึ้นเมื่อใช้สารไคโตแซนเคลือบและผสมกับอาหารกุ้ง.....	87

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1-1 กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	4
1-2 แผนการดำเนินการวิจัย.....	7
2-1 ลักษณะของกึ่งอุตสาหกรรม.....	9
2-2 ขั้นตอนในกระบวนการผลิตอาหารสัตว์น้ำ.....	20
2-3 เครื่องผสมอาหารแบบนอน (ซ้าย) และแบบตั้ง (ขวา).....	21
2-4 เครื่องบดอาหารแบบมินเซอร์ (mincer).....	22
2-5 โครงสร้างทางเคมีของ ไคติน ไคโตแซน และเซลลูโลส.....	30
2-6 ขั้นตอนการผลิตไคตินและไคโตแซนจากเปลือกกุ้งด้วยวิธีทางเคมี.....	34
3-1 แผนผังการวาง treatment ของชุดการทดลองในการทดสอบความคงทน ของอาหารในน้ำ.....	52
3-2 แผนผังการทดสอบความคงทนของอาหารกึ่งที่เคลือบและผสมด้วยสารไคโตแซน ในน้ำจืดและน้ำเค็ม.....	55
4-1 อาหารกึ่งเคลือบสารไคโตแซน 80%DD, 85%DD และ 90%DD ก่อนการทดสอบ.....	58
4-2 อาหารกึ่งเคลือบสารไคโตแซน 80 %DD ในปริมาณต่าง ๆ ก่อนการทดสอบ.....	58
4-3 อาหารกึ่งหุคควบคุมและเคลือบสารไคโตแซน 90%DD ปริมาณ 0.5%w/w หลังทดสอบในน้ำจืด.....	59
4-4 อาหารกึ่งหุคควบคุมและเคลือบสารไคโตแซน 90%DD ปริมาณ 2.0%w/w หลังทดสอบในน้ำจืด.....	59
4-5 อาหารกึ่งเคลือบสารไคโตแซน 80%DD ปริมาณต่าง ๆ หลังการทดสอบในน้ำจืด.....	60
4-6 อาหารกึ่งเคลือบสารไคโตแซน 80%DD ปริมาณต่าง ๆ หลังการทดสอบในน้ำเค็ม...	60
4-7 อาหารกึ่งเคลือบและผสมสารไคโตแซน 80%DD ปริมาณ 0.5%w/w ก่อนการทดสอบ.....	61
4-8 อาหารกึ่งผสมสารไคโตแซน 80%DD ปริมาณ 0.5%w/w ก่อนการทดสอบ.....	61
4-9 อาหารกึ่งผสมสารไคโตแซน 80%DD ปริมาณต่าง ๆ หลังการทดสอบในน้ำจืด.....	62

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4-10	อาหารกึ่งผสมสารไคโตแซน 80%DD ปริมาณต่าง ๆ หลังการทดสอบในน้ำเค็ม.....	62
4-11	ความคงทนของอาหารกุ้งชดเชยเกลือและผสมสารไคโตแซนที่ระดับ %DD และระดับ %w/w ต่าง ๆ ที่ทำการทดสอบความคงทนในน้ำจืดและน้ำเค็ม.....	71
4-12	เปรียบเทียบความคงทนของอาหารกุ้งที่เกลือและผสมสารไคโตแซนที่ทดสอบในน้ำจืดและน้ำเค็ม.....	81



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยเป็นประเทศผู้นำในการผลิตกุ้งทะเลเป็นอันดับหนึ่งของโลก ในปี พ.ศ. 2542 ทั้งโลกมีปริมาณผลผลิตกุ้ง 814,250 เมตริกตัน โดยประเทศไทยสามารถผลิตได้ 200,000 เมตริกตัน หรือคิดเป็น 24.5 เปอร์เซ็นต์ของผลผลิตกุ้งทั่วโลก จึงทำให้กุ้งเป็นสัตว์น้ำเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย จากรายงานสถิติการส่งออกกุ้งของประเทศไทยในรูปของกุ้งแช่แข็ง และกุ้งปรุงแต่งของกรมศุลกากรในปี พ.ศ. 2542 มีปริมาณ 240,522 เมตริกตัน คิดเป็นมูลค่า 87,579 ล้านบาท กุ้งกุลาดำเป็นกุ้งที่มีผู้นิยมเลี้ยงกันมากที่สุดในโลก โดยในปี พ.ศ. 2542 กุ้งกุลาดำคิดเป็นสัดส่วน 56 เปอร์เซ็นต์ของกุ้งที่เลี้ยงกันทั่วโลก รองลงมาคือ กุ้งขาว (เอเชีย) กุ้งขาว (ตะวันตก) กุ้งขาว (จีน) กุ้งน้ำเงิน (ตะวันตก) และกุ้งครุมาญี่ปุ่น คิดเป็น 17, 16, 6, 4 และน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (1)

การเลี้ยงกุ้งกุลาดำในประเทศไทยแบบดั้งเดิมเป็นการเลี้ยงแบบธรรมชาติ โดยการปล่อยน้ำซึ่งมีลูกกุ้งที่มีอัตราไม่แน่นอนเข้ามาในบ่อ และไม่มีการให้อาหารจึงไม่สามารถควบคุมผลผลิตได้แน่นอนทำให้ได้ผลผลิตค่อนข้างต่ำ คือ 40-60 กิโลกรัม/ไร่/ปี ส่วนการเลี้ยงแบบกึ่งพัฒนาปล่อยลูกกุ้งในอัตรา 5-10 ตัวต่อตารางเมตร มีการให้อาหารสด เช่น ปลาสด กุ้งสด และหอยสด สามารถให้ผลผลิตเฉลี่ยประมาณ 80-100 กิโลกรัม/ไร่/ปี (2) ต่อมาการเลี้ยงกุ้งได้ขยายพื้นที่การเลี้ยงและเปลี่ยนมาเป็นการเลี้ยงแบบพัฒนาซึ่งปล่อยลูกกุ้งในอัตรา 15-30 ตัวต่อตารางเมตร ผลผลิตอยู่ระหว่าง 1,000-2,000 กิโลกรัม/ไร่/ปี (3) การให้อาหารสดในระบบการเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนามีปริมาณและคุณภาพไม่เพียงพอต่อความต้องการของกุ้ง ความไม่แน่นอนของอาหารสดซึ่งขึ้นกับฤดูกาล มีความยุ่งยากในการเตรียมโดยการบดให้ละเอียดก่อนให้กุ้งกิน นอกจากนี้ยังไม่สะดวกในการใช้และยากต่อการจัดการฟาร์ม เนื่องจากอาหารสดต้องใช้น้ำแรงในการเก็บรักษาเปลืองแรงงานและเนื้อที่ หลังจากการให้อาหารแล้วต้องมีการเอาใจใส่ดูแลเศษอาหารที่เหลือเป็นอย่างดี เพราะเศษอาหารที่กุ้งกินไม่หมดจะเน่าเสียอยู่ที่พื้นบ่อเลี้ยงกลายเป็นแหล่งเพาะเชื้อต่าง ๆ ได้ง่าย (4,5) ซึ่งทำให้กุ้งมีขนาดไม่เท่ากัน เจริญเติบโตช้า อ่อนแอ และอัตราการรอดต่ำ

อาหารสำเร็จรูปจึงเข้ามามีบทบาทเป็นที่นิยมของผู้เพาะเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนา เพราะเป็นอาหารที่มีโภชนาการครบและมีความสมบูรณ์ของสารอาหารต่าง ๆ เป็นไปตามที่กุ้งต้องการ ได้จากการนำส่วนประกอบของวัตถุดิบหลายชนิดผสมรวมกัน เช่น ปลาป่น ปลาหมึกป่น กุ้งป่น กากถั่ว แป้งสาลี เป็นต้น มาผ่านกรรมวิธีที่ทำให้เป็นเม็ด โดยให้เป็นอาหารหลักร่วมกับการเสริมด้วยอาหารสดเป็นครั้งคราว (6,7) ในการเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนาต้นทุนค่าอาหารคิดเป็น 55-60 เปอร์เซ็นต์ของค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการเลี้ยงเพราะต้องให้อาหารในปริมาณที่มาก (8) ทำให้โอกาสที่จะเกิดปัญหาเกี่ยวกับคุณภาพน้ำเพิ่มขึ้น (9) หากผู้เพาะเลี้ยงมีการจัดการให้อาหารไม่ถูกวิธีกล่าวคือ ให้อาหารในปริมาณที่มากเกินไป หรือเลือกใช้อาหารสำเร็จที่ไม่มีคุณภาพ เช่น มีกลิ่นและรสไม่ดึงดูด กุ้ง หรืออาหารแตกตัวในน้ำเร็วเกินไป จะเกิดปัญหาอื่นตามมาในด้านคุณภาพน้ำและพื้นบ่อ ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต กุ้งเป็นโรค ได้ผลผลิตต่ำ สิ้นเปลืองต้นทุนในการผลิต เป็นต้น

กุ้งเป็นสัตว์ที่กินอาหารบริเวณหน้าดิน ใช้ก้ามหรือขาเดินคู่ที่หนึ่งและสองคืบอาหารส่งเข้าปากเพื่อกัดแทะกินอาหารได้ช้า จากธรรมชาติการกินอาหารของกุ้งนั้นอาหารสำเร็จที่เหมาะสมกับกุ้งจึงมีลักษณะจมตัว มีขนาดพอเหมาะสมให้กุ้งกัดแทะได้โดยสะดวก และควรมีความคงทนอยู่ในน้ำได้นานพอ 2-4 ชั่วโมง (10) ในอาหารกุ้งนอกจากมีสารอาหารประเภทโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต วิตามิน เกลือแร่ เป็นส่วนประกอบสำคัญเพื่อการเจริญเติบโตให้แก่กุ้งแล้วนั้น ยังมีสารเติมแต่งเพื่อเพิ่มรสชาติ กลิ่น สี ประสิทธิภาพแก่อาหาร และสารเหนียวซึ่งมีความจำเป็นต่ออาหารกุ้งเป็นอย่างยิ่งเพื่อช่วยให้อาหารไม่แตกหักง่าย มีความคงเป็นเม็ดอยู่ในน้ำได้นาน และป้องกันไม่ให้สารอาหารต่าง ๆ ในเม็ดอาหาร เช่น วิตามินที่ละลายน้ำได้ซึมออกมา และยังช่วยลดการทำให้ดินและน้ำในบ่อเลี้ยงเสียอีกด้วย (4) สารเหนียวที่นิยมใช้ในอาหารกุ้งมีหลายชนิด เช่น บาฟฟิน กัวกัม หวีตกลูเทน แอลจีเนส ลิกนินซัลฟอเนต รำถั่วเขียว กัด้วยน้ำว่าสุก ปลาขี้ขาว แป้งข้าวเหนียว แป้งสาลีโปรตีนสูง ปลาเป็ด เป็นต้น และสารเหนียวบางชนิดเป็นวัสดุที่สังเคราะห์ขึ้นมา ปริมาณที่ผสมลงในอาหารกุ้งนั้นจะแตกต่างกันไปขึ้นกับกรรมวิธีในการผลิต ส่วนผสมและความละเอียดของวัสดุอาหาร (11,12) สารเหนียวที่มีคุณภาพดีจะช่วยป้องกันไม่ให้น้ำในบ่อเลี้ยงเสื่อมคุณภาพจากการที่ไม่ทำให้วัสดุอาหารแตกตัวเร็วได้

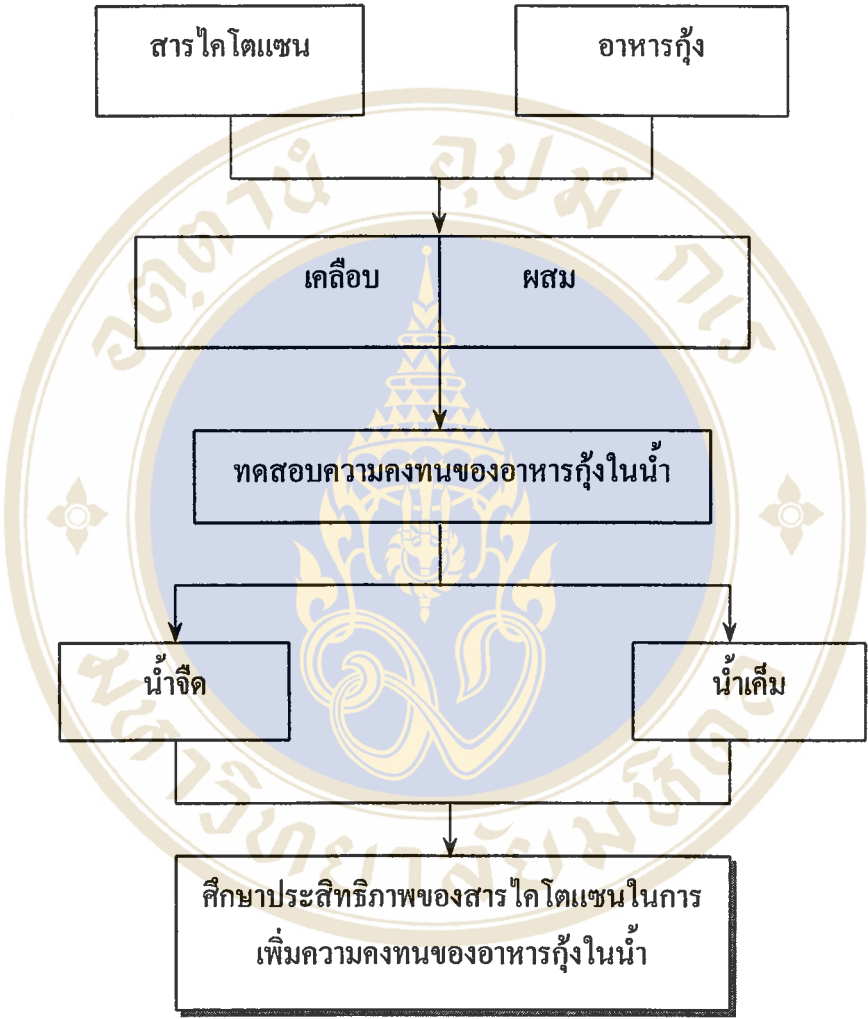
ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์กุ้งกุลาดำนั้นต้องมีการแยกส่วนประกอบต่าง ๆ ของกุ้งออกเป็นเนื้อกุ้ง 50 เปอร์เซ็นต์ และของเสียที่เป็นหัว เปลือกหลัง และเศษหางรวม 50 เปอร์เซ็นต์ (13) ของเสียที่เกิดขึ้นจากอุตสาหกรรมการแปรรูปกุ้งกุลาดำเพื่อการส่งออกในปี พ.ศ. 2542 จึงมีไม่น้อยกว่า 120,000 ตัน เดิมการกำจัดของเสียที่เป็นหัวกุ้งและเปลือกกุ้งส่วนใหญ่มักนำไปใช้ผสมในอาหารสัตว์ ในต่างประเทศได้นำเปลือกของสัตว์น้ำเหล่านี้มาแปรสภาพเป็นสารไคดินและสารไคโตแซน ซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าของเศษเหลือทิ้ง สารดังกล่าวถูกนำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ได้

แก่ ทางด้านเกษตรกรรม การแพทย์ อุตสาหกรรมกระดาษและเส้นใย เครื่องสำอาง การกำจัดน้ำเสีย เป็นต้น (14) สารโคตินเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีมากเป็นอันดับสองในโลกรองมาจากเซลลูโลส สารโคตินเป็นสารประกอบน้ำตาลที่มีโมเลกุลยาวที่ไร้ประจุ จึงไม่ละลายในสารละลายทั่วไปได้ โดยง่าย ทำให้ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้แพร่หลาย (15) อย่างไรก็ตามโคตินได้ถูกดัดแปลง โดยวิธีการทางเคมีแปรรูปเป็นอนุพันธ์ได้หลายชนิด เพื่อเพิ่มประโยชน์ในการใช้งานโดยเฉพาะอย่างยิ่งในรูปของสารโคโตแซน ซึ่งผลิตได้จากการนำหมู่อะเซทิลออกจากโคติน หรือ กระบวนการดีอะเซทิลเลชัน (Deacetylation)

สารเหนียวที่นิยมใช้ในอาหารกึ่งนั้นส่วนใหญ่เป็นสารประกอบประเภทโพลีแซคคาไรด์ หรือ แป้งและน้ำตาล ดังนั้น การวิจัยในครั้งนี้จึงศึกษาสารโคโตแซนซึ่งเป็นโพลีแซคคาไรด์ เช่นเดียวกันมาใช้ประโยชน์ในการเพิ่มความคงทนของอาหารกึ่งในน้ำ เนื่องจากสารโคโตแซนเป็นโพลีเมอร์ชีวภาพที่มีคุณสมบัติพิเศษหลายประการ คือ โครงสร้างโมเลกุลมีความเป็นประจุบวก (cationic polymer) ในตัวเองสูง เนื่องจากความสามารถในความเป็นประจุบวกของหมู่เอมีโน ($-NH_2$) เกาะอยู่ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ในโมเลกุลของกลูโคซามีน (D-glucosamine) ซึ่งสามารถจับสารที่เป็นประจุลบได้ดี ไม่ละลายในสารละลายอินทรีย์ทั่วไปแต่ละลายได้ดีในสารละลายกรดอินทรีย์ เช่น กรดอะซิติกหรือกรดแลกติก สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ไม่มีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต และสิ่งแวดล้อมเพราะเป็นสารจากธรรมชาติ (15,16) ความเป็นประจุบวกภายในโมเลกุลของสารโคโตแซนจึงน่าที่จะดึงดูดกับสารอาหารที่เป็นประจุลบที่เป็นองค์ประกอบในอาหารกึ่ง เช่น โปรตีน กรดไขมัน หรือแร่ธาตุต่าง ๆ ได้

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงเป็นการนำสารโคโตแซนมาใช้ในอาหารกึ่งเพื่อที่จะทำให้อาหารที่อยู่ในอาหารกึ่งเกาะตัวกันดีละลายในน้ำได้ช้าลง โดยไม่มีความเป็นพิษต่อตัวกึ่งและสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นผลดีต่อกึ่งคือได้รับสารอาหารที่เป็นประโยชน์ครบถ้วนทำให้กึ่งเจริญเติบโตดี และช่วยลดการสิ้นเปลืองอาหารโดยเปล่าประโยชน์และไม่ทำให้คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงเสียเนื่องจากธาตุอาหารที่ละลาย นอกจากนี้ยังช่วยให้เกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงในการลดต้นทุนค่าอาหาร ได้ผลผลิตและค่าตอบแทนที่สูงขึ้น และส่งผลต่อส่วนรวมคือเป็นแนวทางหนึ่งในการพัฒนาการเลี้ยงกึ่งของประเทศไทยให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพด้วยวิธีการไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และลดของเสียที่เกิดจากการแปรรูปผลิตภัณฑ์โดยเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูงขึ้น

1.2 กรอบแนวคิดการวิจัย



รูปที่ 1-1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

1.3 วัตถุประสงค์

1.3.1 เพื่อศึกษาความคงทนของอาหารกึ่งกูลาค้าโดยการเคลือบและผสมด้วยสารไคโตแซน

1.3.2 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารไคโตแซนในการเพิ่มความคงทนของอาหารกึ่งกูลาค้าในน้ำจืดและน้ำเค็ม

1.4 สมมติฐาน

1.4.1 การใช้สารไคโตแซนที่มีค่าระดับการกำจัดหมู่อะเซทิลต่างกันทำให้ความคงทนของอาหารกึ่งในน้ำแตกต่างกัน

1.4.2 การใช้สารไคโตแซนในปริมาณต่างกันทำให้ความคงทนของอาหารกึ่งในน้ำมีความแตกต่างกัน

1.4.3 การใช้สารไคโตแซนโดยวิธีการเคลือบและวิธีการผสมกับอาหารกึ่งทำให้ความคงทนของอาหารในน้ำมีความแตกต่างกัน

1.4.4 การใช้สารไคโตแซนเพื่อเพิ่มความคงทนของอาหารกึ่งทำให้ความคงทนของอาหารกึ่งในน้ำจืดและน้ำเค็มมีความแตกต่างกัน

1.5 ขอบเขตการวิจัย

1.5.1 อาหารกึ่งกูลาค้าที่ใช้ในการวิจัยเป็นอาหารเม็ดสำเร็จรูปของบริษัทที่เป็นที่นิยมที่สุดในท้องตลาด เป็นอาหารที่ใช้เลี้ยงกุ้งขนาด 10 กรัมขึ้นไป และนำอาหารเม็ดมาบดให้มีขนาดเล็กกลงแล้วจึงทำให้เป็นเม็ดใหม่เพื่อเป็นการแตกรูปของวัสดุอาหารที่เกาะตัวกัน

1.5.2 ในการทดลองใช้สารไคโตแซนสำเร็จรูปในทางการค้าที่มีค่าระดับการกำจัดหมู่อะเซทิล หรือ เปอร์เซ็นต์ดีอะเซทิลเลชัน (%DD) ได้แก่ 80, 85 และ 90 เปอร์เซ็นต์

1.5.3 ในการเคลือบอาหารกึ่งใช้กรดอะซิติกที่มีความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตรต่อปริมาตร) เป็นตัวทำละลายสารไคโตแซนตามคุณสมบัติทางการละลายที่ระบุไว้สำหรับสารไคโตแซนสำเร็จ และจากงานวิจัยของกรมประมงมีการทดลองนำสารไคโตแซนมาใช้เคลือบพลาสติกเพื่อการถนอมอาหาร โดยใช้สารละลายไคโตแซน 1 เปอร์เซ็นต์ในกรดอะซิติก 1

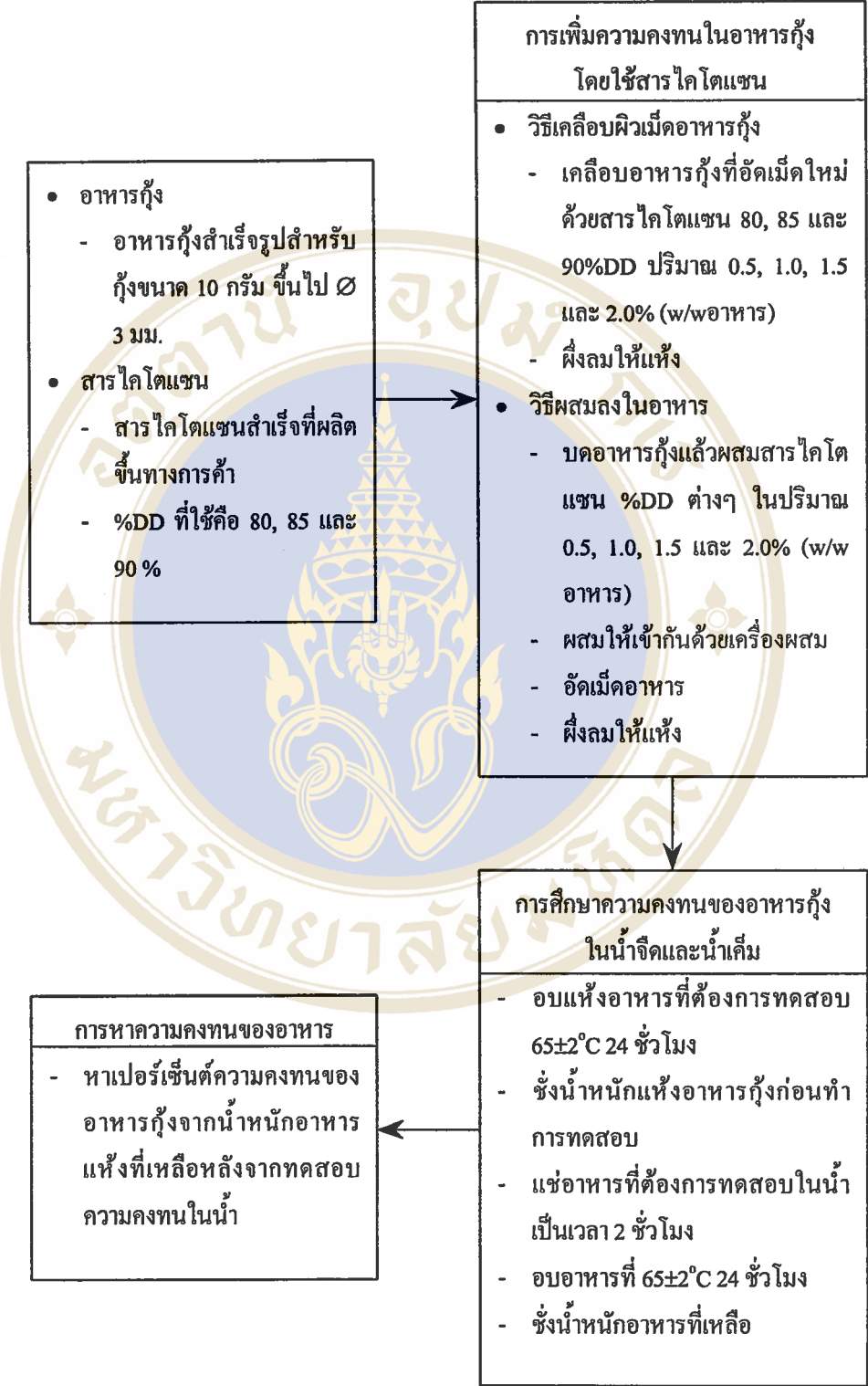
เปอร์เซ็นต์ จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยการชิมหลังจากทอดและการดมกลิ่นตัวอย่าง พบว่ามีการยอมรับทางประสาทสัมผัส (17)

1.5.4 อาหารกึ่งที่เหมาะสมควรใช้สารเหนียวในปริมาณไม่เกิน 2.5 เปอร์เซ็นต์ (18) ผู้วิจัยจึงใช้สารไคโตแซนเคลือบและผสมอาหารกึ่งในปริมาณการใช้ 4 ระดับ คือ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักอาหารกึ่ง)

1.5.5 วิธีที่ใช้ทดสอบความคงทนของอาหารกึ่งในน้ำใช้วิธีทดสอบมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อาหารกึ่ง มาตรฐานเลขที่ มอก. 1198-2536 ของสำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (19)

1.6 แผนการดำเนินการวิจัย

การศึกษาความคงทนของอาหารกึ่งโดยใช้สารไคโตแซนที่มีค่าระดับการกำจัดหมู่อะเซทิล (Degree of Deacetylation, %DD) ที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 80, 85 และ 90 เปอร์เซ็นต์ ได้กำหนดวิธีการศึกษา 2 รูปแบบ คือ รูปแบบที่ 1 ใช้วิธีการเคลือบผิวเม็ดอาหารกึ่งด้วยสารไคโตแซนปริมาณร้อยละ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 (โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักอาหารกึ่ง: %w/w) และรูปแบบที่ 2 ใช้วิธีการผสมสารไคโตแซนลงในอาหารกึ่งปริมาณร้อยละ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 (โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักอาหารกึ่ง: %w/w) จากนั้นจึงนำอาหารกึ่งที่เตรียมไปทดสอบความคงทนในน้ำจืดหรือน้ำประปาและน้ำเค็ม สามารถสรุปแผนการดำเนินการวิจัยได้ดังรูปที่ 1-2



1.7 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1.7.1 การใช้สารไคโตแซนเพิ่มความคงทนอาหารกุ้งในน้ำ ไม่ทำให้ธาตุอาหารและอาหารสลายรูปละลายไปกับน้ำก่อนที่กุ้งจะจับอาหารกิน ช่วยลดการสูญเสียอาหารไปโดยเปล่าประโยชน์ และส่งผลในการลดต้นทุนการผลิตกุ้งลงได้ในทางหนึ่ง

1.7.2 อาหารกุ้งที่มีความคงทนองค์ประกอบของอาหารไม่สลายไปก่อนที่กุ้งได้รับสารอาหาร ทำให้การเจริญเติบโตดีและได้ผลผลิตสูง

1.8 นิยามคำศัพท์

อาหารกุ้งกุลาดำ (black tiger prawn feed) หมายถึง อาหารเม็ดที่ใช้ในการวิจัยเป็นอาหารเม็ดสำเร็จรูปสำหรับใช้เลี้ยงกุ้งกุลาดำขนาด 10 กรัมขึ้นไป มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 3 มิลลิเมตร นำมาบดละเอียดเพื่อเตรียมเป็นอาหารกุ้งที่ใช้ในการทดลอง

ความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำ หมายถึง สภาพของอาหารที่จมอยู่ในน้ำ และมีการสูญเสียสารอาหารในน้ำตามระยะเวลาที่ผ่านไป (18)

สารไคติน (chitin) หมายถึง สารประกอบจำพวกคาร์โบไฮเดรตที่มีสายยาวมีองค์ประกอบเป็นสารอนุพันธ์ของน้ำตาลกลูโคสที่มีชื่อทางเคมีว่า N-acetyl glucosamine พบมากในเปลือกของสัตว์ตระกูล Crustacean เช่น กุ้ง ปู หอย ปลาหมึก แมลง เป็นต้น หรือ พบได้ในเห็ดหลายชนิด เป็นโมเลกุลที่ยาวที่ไร้ประจุทำให้ละลายได้ยากในสารละลายทั่วไป การใช้ประโยชน์จึงไม่เป็นที่แพร่หลาย (16)

สารไคโตแซน (chitosan) หมายถึง สารอนุพันธ์ของไคตินที่มีประจุบวกภายในโมเลกุล ประกอบด้วยหน่วยย่อยที่เรียกว่า glucosamine เป็นส่วนใหญ่ และมี N-acetyl glucosamine เป็นส่วนน้อยได้จากการทำปฏิกิริยากำจัดหมู่อะเซทิล (acetyl group, $-COCH_3$) หรือ deacetylation ออกจากไคติน ในสภาวะสารละลายต่าง (20)

ค่าระดับการกำจัดหมู่อะเซทิล หรือ Degree of Deacetylation (%DD) หมายถึง ค่าร้อยละของปฏิกิริยาการกำจัดหมู่อะเซทิล ($-COCH_3$) ออกจากไคติน เช่น สารไคโตแซน 80 %DD จะมี ปริมาณของ N-acetyl glucosamine ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณของ glucosamine ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ภายในสายโมเลกุลนั้น (20)

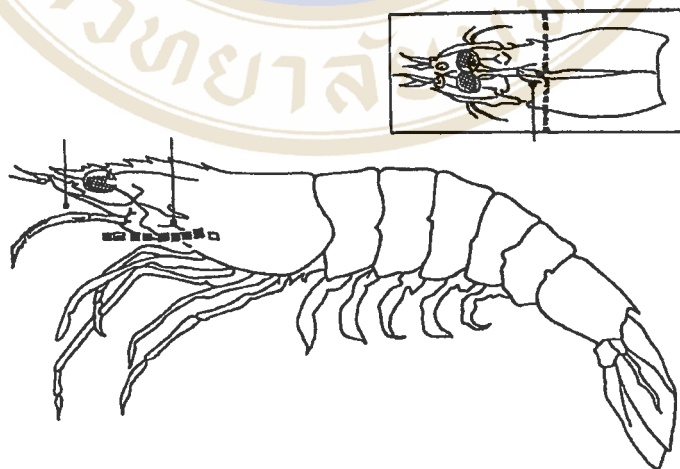
บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรม

2.1 กุ้งกุลาดำ

2.1.1 ลักษณะทั่วไปของกุ้งกุลาดำ

กุ้งกุลาดำ หรือกุ้งกุล (กุ้งเสือดำ กุ้งแขกดำ หรือกุ้งกะลาดำ) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ ว่า *Penaeus monodon* หรือ Giant Black Tiger Prawn (21) เป็นกุ้งทะเลที่มีขนาดใหญ่ มีหนวดหลายจางมากไม่เด่นชัด แก้มอยู่ในแนวระนาบและสันอยู่สองข้าง โคนกริยาวเกือบถึงพื้นกริอันหลังสุดซึ่งมีสันแนวเฉียงชี้ไปทางนัยน์ตา นอกจากนี้มีลักษณะลำตัวสีแดงอมน้ำตาลถึงสีน้ำตาลเข้ม มีลายพาดขวางด้านหลังประมาณ 9 ลาย กรีด้านบนมีฟัน 6-8 ซี่ ด้านหลังมี 2-4 ซี่ ขอบหางและขาว่ายน้ำมีขนเล็ก ๆ สีแดง ปลายขาเดินคู่ที่ 1-2 จะเป็นสีน้ำตาลเข้ม (10) ลักษณะของกุ้งกุลาดำแสดงในรูปที่ 2-1



รูปที่ 2-1 ลักษณะของกุ้งกุลาดำ (10)

2.1.2 ถิ่นอาศัย

อาศัยกระจายตัวอยู่ทั่วไปในทวีปเอเชีย ในประเทศไทยพบกระจายตัวอยู่ทั่วไปในอ่าวไทย และพบมากบริเวณนอกฝั่งทะเลจังหวัดชุมพรถึงจังหวัดนครศรีธรรมราช ส่วนฝั่งมหาสมุทรอินเดีย หรือทะเลอันดามันพบอยู่บริเวณนอกฝั่งของจังหวัดภูเก็ตและระนอง กุ้งชนิดนี้ชอบอาศัยในพื้นที่ที่เป็นดินทรายปนโคลน หรือทรายปนเปลือกหอยและหินปะการัง สามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมในแหล่งน้ำกร่อยหรือน้ำจืดได้

2.1.3 วิวัฒนาการและการเปลี่ยนรูปร่างของกุ้ง

มีการแบ่งระยะลูกกุ้งวัยอ่อนออกเป็น 4 ระยะ (7,12) ดังนี้คือ

1. ลูกกุ้งวัยอ่อนระยะที่หนึ่ง หรือระยะโนพเลียส (Nouplius : N)

นับจากลูกกุ้งเริ่มฟักออกเป็นตัวแล้วประมาณ 1-2 วัน มีขนาดเล็กมองด้วยตาเปล่าไม่เห็น ในระยะนี้ลูกกุ้งกลาดำยังไม่มีการกินอาหารเนื่องจากลูกกุ้งจะใช้อาหารจากถุงอาหารที่ติดตัวมา มีการลอกคราบรวม 6 ครั้งภายใน 40-50 ชั่วโมง และมีชีวิตส่วนใหญ่อยู่ตามหน้าดิน

2. ลูกกุ้งวัยอ่อนระยะที่สอง หรือระยะซูเอีย (Zoea : Z)

นับจากลูกกุ้งเริ่มฟักออกเป็นตัวแล้วประมาณ 3-6 วัน ลูกกุ้งจะมีลำตัวยาวขึ้น ส่วนหัวโตเห็นได้ชัด ลูกกุ้งจะค่อย ๆ ลอยตัวขึ้นสู่ผิวน้ำแต่ยังว่ายน้ำได้ไม่แข็งแรง ในระยะนี้จะเริ่มกินอาหาร และเป็นระยะที่สำคัญมากที่สุด หากลูกกุ้งผ่านระยะนี้ไปได้มักมีอัตราการรอดสูง อาหารสำหรับลูกกุ้งระยะนี้ส่วนใหญ่เป็นแพลงก์ตอนพืชได้แก่ ไดอะตอม หรือสาหร่ายเซลล์เดียวสีเขียว มีการลอกคราบ 3 ครั้ง และจะอยู่ในระยะนี้ประมาณ 4 วัน

3. ลูกกุ้งวัยอ่อนระยะที่สาม หรือระยะไมซิส (Mysis : M)

นับจากลูกกุ้งเริ่มฟักออกเป็นตัวแล้วประมาณ 7-9 วัน ลูกกุ้งในระยะนี้สามารถมองเห็นได้ชัดเจนและแข็งแรงมากขึ้น มีลักษณะเริ่มเปลี่ยนแปลงไปคล้ายพ่อแม่ การว่ายน้ำมีลักษณะหัวชี้ลง เริ่มกินอาหารจำพวกแพลงก์ตอนสัตว์ที่สำคัญได้แก่ โรติเฟอร์ ไรน้ำเค็ม (Artimia) ในระยะนี้มีการลอกคราบ 3 ครั้ง และจะอยู่ในระยะนี้ประมาณ 7 วัน

4. ลูกกุ้งวัยอ่อนระยะที่สี่ หรือระยะโพสต์ลาร์วา (Post Larva : P)

นับจากลูกกุ้งเริ่มฟักออกเป็นตัวแล้วประมาณ 14-30 วัน เป็นระยะตัวอ่อนขั้นสุดท้าย จะเริ่มว่ายน้ำเฉียงขึ้นเหมือนพ่อแม่พันธุ์ ลูกกุ้งมีลำตัวยาวประมาณ 5.50 มิลลิเมตร มีระยะครึ่งรอบเหมือนกุ้งเต็มวัย ลูกกุ้งจะวิวัฒนาการไปเรื่อย ๆ จนเข้าสู่กุ้งวัยรุ่น โดยแบ่งเป็น 25 ระยะภายใน 25 วัน เรียกว่า โพสต์ลาร์วาที่ 1 (P_1) เรื่อยไปจนถึงโพสต์ลาร์วาที่ 25 (P_{25}) หลังการลอกคราบในแต่ละครั้งรูปร่างลักษณะจะเปลี่ยนแปลงไปสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ลูกกุ้งจะมีสีเหลืองใส มีลายหรือจุดเกิดขึ้น กริยาวออก หนามบนลำตัวหายไปหมด

2.1.4 คุณลักษณะพิเศษ

กุ้งกุลาดำเป็นกุ้งที่มีขนาดใหญ่ รสชาติดีและเนื้อแน่น อดทนและปรับตัวต่อความเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความเค็มของน้ำได้ดี ถ้าอุณหภูมิหรือความเค็มของน้ำเพิ่มขึ้นหรือลดลงมากจะไม่ตายในทันที แต่จะชะงักการเจริญเติบโต จึงนับได้ว่ากุ้งกุลาดำมีความแข็งแรง อดทน และเลี้ยงง่ายกว่ากุ้งชนิดอื่น ๆ

2.1.5 ลักษณะการกินอาหาร

กุ้งมีลักษณะการกินอาหาร ดังนี้

1. เป็นสัตว์ที่กินอาหารอยู่บริเวณหน้าดิน จับอาหารโดยใช้ก้ามหรือขาเดินคู่ที่ 1 และ 2 คีบอาหารส่งเข้าปากเพื่อกัดแทะ
2. กุ้งที่อยู่ในธรรมชาติกินอาหารประเภทเนื้อที่มีกลิ่นฉุน ออกหากินในเวลากลางคืน ใช้หนวดเป็นอวัยวะสัมผัส
3. กุ้งไม่ใช่สัตว์สังคม หมายถึง ไม่อยู่รวมเป็นฝูง แย่งอาหารและทำร้ายกันเมื่อพบกัน โดยเฉพาะเมื่อกุ้งลอกคราบจะถูกกุ้งที่แข็งแรงกว่ากัดกินเป็นอาหาร

2.2 กุ้งกุลาดำกับอาหาร

อาหารที่ใช้เลี้ยงกุ้งกุลาดำเป็นตัวแปรที่สำคัญที่ใช้เป็นเครื่องชี้วัดความสำเร็จและกำไรในกิจการการเลี้ยงกุ้ง เนื่องจากต้นทุนส่วนใหญ่ประมาณ 55-65 เปอร์เซ็นต์เป็นต้นทุนในด้านอาหาร อาหารและการให้อาหารแก่กุ้งจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการเจริญเติบโต ความต้านทาน

โรค และอัตราการรอดตาย ซึ่งจะส่งผลต่อการเพิ่มผลผลิตและกำไรจากการลงทุน ดังนั้น การเพิ่มประสิทธิภาพอาหารสามารถช่วยลดต้นทุนการผลิตในส่วนของการอาหารลง ลดปัญหาเรื่องดินและน้ำเสีย ทำให้เราสามารถผลิตกุ้งคุณภาพสูงได้มากโดยใช้ต้นทุนการผลิตที่ต่ำ จะทำให้กุ้งไทยยังคงครองตลาดโลกต่อไปได้ (22,23)

โดยทั่วไปอาหารกุ้งกุลาดำ อาจแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท (6,22) คือ

1. **อาหารธรรมชาติ** ได้แก่ พวกแพลงก์ตอนพืชและแพลงก์ตอนสัตว์ที่อาศัยอยู่ในบ่อ รวมถึงสิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ ที่กุ้งสามารถจับกินได้ อาหารธรรมชาติในบ่อเลี้ยงจะมีมากหรือน้อยขึ้นกับความสมบูรณ์ของอินทรีย์สารในบ่อ และมีความสัมพันธ์โดยตรงกับผลผลิตกุ้งคือ ถ้าอาหารธรรมชาติมากผลผลิตจะสูงตามไปด้วย
2. **อาหารสมทบ** ได้แก่ ปลาสด หอยสด เนื้อมะพร้าว เป็นอาหารที่เพิ่มเติมจากอาหารธรรมชาติ มักขาดโภชนาการอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างในอาหาร จึงเหมาะแก่การใช้ในระบบการเลี้ยงกุ้งแบบกึ่งธรรมชาติหรือกึ่งพัฒนา ซึ่งปล่อยกุ้งในอัตราไม่หนาแน่นและพอมีอาหารธรรมชาติอยู่บ้าง
3. **อาหารสำเร็จรูป หรืออาหารเม็ด** ได้แก่ อาหารที่มีส่วนประกอบของวัตถุดิบหลายชนิดรวมกัน เช่น ปลาป่น ปลาหมึกป่น กุ้งป่น กากถั่ว รำข้าว ฯลฯ ซึ่งนำไปผ่านกรรมวิธีทำให้เป็นเม็ด เป็นอาหารที่มีโภชนาการครบถ้วนและสมดุลย์ตามที่กุ้งกุลาดำต้องการ เหมาะแก่การใช้เลี้ยงกุ้งในระบบการเลี้ยงแบบพัฒนาที่ปล่อยกุ้งในอัตราที่หนาแน่นเพื่อให้ได้ผลผลิตสูง

2.2.1 องค์ประกอบอาหารกุ้ง

กุ้งกุลาดำมีความต้องการสารอาหารต่าง ๆ ดังเช่นสัตว์อื่นแต่แตกต่างกันที่ปริมาณและชนิดของสารอาหารในแต่ละหมู่ นอกจากนี้ปริมาณสารอาหารที่ร่างกายต้องการนั้นมีการเปลี่ยนแปลงไปตามวัยและสภาพแวดล้อม อาหารกุ้งต้องมีโภชนาการมากกว่าสัตว์น้ำประเภทอื่น ๆ เพราะกุ้งมีความสามารถในการสังเคราะห์โภชนาการที่ร่างกายต้องการได้น้อย ประสิทธิภาพในการสังเคราะห์คลอโรพลาสต์ลดลงจากกรดไขมันต่ำ แต่กุ้งต้องการใช้ในปริมาณที่สูงกว่าสัตว์น้ำอื่นเพื่อนำไปใช้ในการสร้างฮอร์โมนที่ช่วยในการลอกคราบ โภชนาการที่กุ้งต้องการมี ดังนี้ (4,22)

1. โปรตีน (Proteins) ในร่างกายมีส่วนประกอบที่เป็นโปรตีน 60-70 เปอร์เซ็นต์ กิ่งนำโปรตีนไปใช้เพื่อการดำรงชีวิตและสร้างความเจริญเติบโตให้แก่ร่างกายและใช้ในการสืบพันธุ์เพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยอาหารในรูปของน้ำย่อย และช่วยควบคุมปรับปริมาณน้ำและเกลือแร่ภายในร่างกาย ปริมาณโปรตีนในอาหารสำหรับกิ่งเล็กและกิ่งใหญ่ควรมีประมาณ 50 และ 35 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (4) แหล่งโปรตีนที่ดีคือ ปลาหมึกป่น ปลาป่น ปลาสด เปลือกและหัวกุ้งป่น กากถั่วเหลือง และยีสต์

2. คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrates) กิ่งใช้คาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งพลังงานและยังเป็นพลังงานที่ถูกที่สุด กิ่งใช้แป้งได้ดีกว่าน้ำตาล เนื่องจากน้ำตาลถูกย่อยและดูดซึมเข้าสู่ระบบเส้นเลือดได้เร็วและพร้อม ๆ กัน ทำให้ร่างกายใช้ไม่ทัน การเจริญเติบโตจะช้าลง ถ้าอาหารมีคาร์โบไฮเดรตมากเกินไปกิ่งจะย่อยและดูดซึมเข้าไปในร่างกายเกินความต้องการ จากนั้นจะเปลี่ยนรูปไปเป็นไขมันแล้วนำไปสะสมไว้ที่ตับทำให้ตับทำหน้าที่ผิดปกติไป กิ่งใช้คาร์โบไฮเดรตในการและเยื่อหุ้มมูลกิ่ง ถ้าอาหารไม่มีคาร์โบไฮเดรตอยู่ กิ่งจะใช้คาร์บอนจากโปรตีนไปสร้างไคติน นอกจากนี้สามารถใช้เป็นสารเหนียวเพื่อให้วัสดุในอาหารเกาะตัวเป็นเม็ดและให้คงทนของอาหารในน้ำดีขึ้นไม่ละลายน้ำเร็ว ระดับคาร์โบไฮเดรตที่ควรใช้ในอาหารกิ่งคือ 30-40 เปอร์เซ็นต์ แหล่งคาร์โบไฮเดรตที่นิยมใช้ในอาหารกิ่ง ได้แก่ ปลาขี้ขาว ราช้าง ข้าวโพด ข้าวกล้อง ข้าวฟ่าง และมันเส้น

3. เยื่อใย (Fiber) มีประโยชน์ต่อกิ่งในการทำให้อาหารอยู่ในกระเพาะและเคลื่อนผ่านท่อนำอาหารอย่างสม่ำเสมอ ยังไม่ทราบแน่ชัดว่ากิ่งนำไปใช้ได้หรือไม่เพียงใด ถ้าหากในอาหารมีเยื่อใยมากของเสียที่กิ่งขับถ่ายออกมามากมีโอกาที่จะทำให้เกิดก้อนบ่อสกปรกและน้ำเสียได้มาก ดังนั้น เยื่อใยควรมีอยู่ในอาหารกิ่งประมาณ 3-5 เปอร์เซ็นต์ แหล่งวัตถุดิบอาหารที่มีเยื่อใยมากคือ รำ กากกุ้งป่น

4. ไขมัน (Lipids) มีความจำเป็นต่อกิ่งในการดำรงชีพ การเจริญเติบโต การลอกคราบ และการสืบพันธุ์ ไขมันเป็นแหล่งพลังงาน ช่วยพาวิตามินที่ละลายได้ในไขมันจากลำไส้ไปยังตับและส่วนอื่น ๆ ของร่างกาย ช่วยให้โปรตีนไม่ถูกนำไปใช้เป็นพลังงาน ปริมาณไขมันที่เหมาะสมในอาหารกิ่งคือ 6-8 เปอร์เซ็นต์ แหล่งไขมันมีอยู่ใน น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันปลา มันกุ้ง

5. วิตามิน (Vitamins) เป็นสารอาหารที่ต้องการเพียงเล็กน้อยแต่มีความจำเป็นต่อร่างกายมาก เนื่องจากวิตามินทำหน้าที่เป็นโคเอนไซม์ (coenzyme) ที่เกี่ยวข้องในการนำโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรตไปใช้ภายในร่างกาย วิตามินจำเป็นต่อการเจริญเติบโต ระบบเลือด ความต้านทานโรค และระบบต่าง ๆ ภายในร่างกายของกุ้ง

เนื่องจากกุ้งเป็นสัตว์ที่กินอาหารซ้ำ เมื่อกุ้งกินอาหารที่จมอยู่ในน้ำเป็นเวลานานวิตามินที่สามารถละลายในน้ำได้จะละลายออกมา หรือในระหว่างกระบวนการผลิตอาหารกุ้งขั้นตอนการอัดเม็ดที่มีความร้อนจะทำลายวิตามินบางชนิด เช่น วิตามินซี จากปัญหาที่เกิดขึ้นข้างต้นนี้ในการผลิตอาหารกุ้งจึงต้องเสริมวิตามินไว้ในระดับที่สูง การผลิตอาหารกุ้งในปัจจุบันมีการเสริมวิตามินชนิดที่ละลายน้ำได้ 11 ชนิด และวิตามินที่ละลายในไขมันได้ 4 ชนิด รวมทั้งหมดประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ของอาหาร (7) ชนิดและปริมาณวิตามินที่ควรเสริมในอาหารกุ้งแสดงไว้ในตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 ชนิดและปริมาณของวิตามินชนิดต่าง ๆ ที่ควรเสริมในอาหารกุ้ง

วิตามิน	ปริมาณ (มิลลิกรัม/อาหารกุ้งหนึ่งกิโลกรัม)
Thiamin	150 มก.
Riboflavin	100 มก.
Pyridoxine	50 มก.
Pathothenic acid	100 มก.
Niacin	300 มก.
Biotin	1 มก.
Inositol	300 มก.
Choline	400 มก.
Folic acid	20 มก.
Cyanocobalamine	0.1 มก.
Ascorbic acid	1,200 มก.
Vitamin A	15,000 IU
Vitamin D	7,500 IU
Vitamin E	400 มก.
Vitamin K	20 มก.

6. เกลือแร่ (Minerals) สัตว์ทะเลทั่วไปรวมทั้งกุ้งทุกชนิดต้องการเกลือแร่มาใช้แต่ในปริมาณที่น้อยกว่าสัตว์บก กุ้งจะนำเกลือแร่ที่ได้รับจากอาหารและน้ำไปใช้เป็นส่วนประกอบของเปลือกกุ้ง ช่วยในการควบคุมปริมาณน้ำและเกลือแร่ภายในร่างกาย ใช้ในการปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมภายนอก ร่างกาย เกลือแร่ช่วยควบคุมระบบเลือด การสร้างเอนไซม์ ฮอร์โมน และสารจุดสี เป็นส่วนประกอบภายในเนื้อเยื่อและระบบประสาทเพื่อควบคุมระบบต่าง ๆ ให้อยู่ในสภาวะที่สมดุลย์ เกลือแร่หลักที่กุ้งต้องการได้แก่ แคลเซียม ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียม โซเดียม คลอรีน กำมะถัน ส่วนเกลือแร่ที่กุ้งต้องการในปริมาณที่น้อยมาก ได้แก่ เหล็ก ทองแดง สังกะสี แมงกานีส โคบอลต์ ซีลีเนียม ไอโอดีน ฟลูออรีน วานาเดียม โครเมียม โมลิบดีนัม คอปเปอร์ และซิลิกอน (7,23)

7. สารเหนียว (Binders) เนื่องจากกุ้งเป็นสัตว์ที่กินอาหารได้ช้า การใช้สารเหนียวในอาหารกุ้งจึงมีความจำเป็น เพื่อให้วัสดุต่าง ๆ ที่นำมาผลิตเป็นอาหารเกาะยึดกันสารอาหารต่าง ๆ ไม่ละลายเร็วเมื่ออยู่ในน้ำ และไม่แตกหักง่ายเมื่อกุ้งจับกัดแทะ โดยเฉลี่ยแล้วอาหารกุ้งอัดเม็ดควรอยู่ในน้ำได้นานประมาณ 3-4 ชั่วโมงโดยไม่แตกตัว สารเหนียวที่มีคุณภาพดีจะช่วยให้อาหารไม่แตกตัวเร็วเกินไปจึงป้องกันน้ำในบ่อเลี้ยงเสื่อมคุณภาพได้

8. สารเติมแต่ง (Food Additives) คือ สารที่เพิ่มประสิทธิภาพของอาหาร รสชาติ กลิ่น และสี ให้แก่อาหาร ที่นิยมใช้ได้แก่

1) สารสี (Pigment) เพื่อให้กุ้งมีสีเข้มขึ้น เช่น คาโรทีนอยด์ ได้จาก สาหร่าย เกลียวทอง เปลือกกุ้ง หอยป่น หอยสด เป็นต้น

2) สารเติมกลิ่นและรส (Attractant) เพื่อดึงดูดให้กุ้งเข้ามากินอาหารได้เร็ว เป็นการป้องกันไม่ให้อาหารแช่อยู่ในน้ำนานจนสารอาหารที่มีประโยชน์สูญเสียไป สารเติมกลิ่นรสที่นิยมใช้ ได้แก่ ปลาป่น ปลาหมึกป่น กรดอะมิโนบางชนิด อีโนซีนโมโนฟอสเฟต ไฮโปลิเมอร์ออกซิกานิกแอซิด เป็นต้น

3) สารกันหืน (Antioxidant) เพื่อป้องกันวิตามินและกรดไขมันไม่อิ่มตัวในอาหารถูกออกซิไดซ์เปลี่ยนแปลงสภาพไป ปัจจุบันที่ใช้ในอาหารกุ้ง ได้แก่ วิตามินอี วิตามินซี hydroxyanisole butylated hydroxytoluene (BHT) ethoxyquin

4) ยาปฏิชีวนะ (Antibiotic) ใช้ในอาหารกุ้งเพื่อรักษาโรคแต่ต้องมีความระมัดระวังในการใช้เพื่อมิให้สะสมในตัวกุ้ง การมียาปฏิชีวนะสะสมในกุ้งจะทำให้ไม่เป็นที่ยอมรับของตลาดต่างประเทศ

5) ฮอร์โมน (hormone) ที่ใช้มีสามประเภท คือ ฮอร์โมนเร่งการเจริญเติบโต ฮอร์โมนเร่งการเจริญพันธุ์สำหรับพ่อแม่กึ่ง และฮอร์โมนเปลี่ยนเพศ ในการใช้จึงควรมีความระมัดระวังเช่นกัน เพราะอาจสะสมในตัวกึ่งทำให้ไม่เป็นที่ยอมรับของตลาดต่างประเทศได้

อาหารกึ่งที่ดีควรมีองค์ประกอบ ดังตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 องค์ประกอบและปริมาณของอาหารกึ่ง

องค์ประกอบ	ปริมาณ
โปรตีน	35-40 %
คาร์โบไฮเดรต	30-40 %
ไขมัน	6-9 %
เยื่อใย	3-5 %
วิตามิน	1%

หมายเหตุ : นอกจากนี้ควรมีสารคลอเลสเตอรอล สารกันหืน และสารเหนียว ในปริมาณที่พอเหมาะ
ที่มา : ปกรณ์ อุ่นประเสริฐ (10)

2.2.2 คุณสมบัติอาหารกึ่ง

กึ่งเป็นสัตว์ที่มีกระเพาะอยู่บนหัวมีลำไส้ตรงยาวตลอดลำตัวจากหัวถึงหาง จากลักษณะการกินอาหาร สามารถสรุปลักษณะและนิสัยการกินอาหารที่มีความสัมพันธ์กับลักษณะอาหารกึ่งที่เหมาะสมได้ดังตาราง ที่ 2- 3

ตารางที่ 2-3 ลักษณะและนิสัยการกินอาหารของกึ่ง ที่สัมพันธ์กับลักษณะอาหารที่เหมาะสม

ลักษณะและนิสัยการกินอาหารของกึ่ง	ลักษณะอาหารที่เหมาะสม
กึ่งชอบอาหารที่มีรสหวาน	มีส่วนผสมของวัสดุอาหารที่มีกลิ่นดึงดูดกึ่ง
กึ่งกินอาหารเหนียว	มีน้ำหนักและจมเร็วแต่ละลายในน้ำช้า
กึ่งใช้ขาเดินคูที่ 1-2 จับ อาหารและแทะกิน	เป็นเม็ดเล็กและยาว ไม่แตกตัวง่าย
กึ่งมีลำไส้ตรงและสั้น	มีความละเอียดและให้กึ่งดูดซึมไปใช้เป็นประโยชน์ต่อร่างกายได้เร็วและมากที่สุด
กึ่งมีกระดุก (เปลือก) ฟูมเนื้อ เจริญเติบโต ด้วยการลอกคราบ	มีส่วนประกอบที่ใช้สร้างเปลือกและสร้างเนื้อได้พอ ๆ กัน ถ้าให้อาหารสร้างเนื้อมากเกินไป เนื้อกึ่งจะมากและลอกคราบบ่อย เนื้อขยายตัวไม่ทันกับเปลือกกึ่งจะโป่ง
ขณะลอกคราบกึ่งจะไม่กินอาหารหรือกินแต่น้อย	ระหว่างกึ่งลอกคราบ ต้องลดหรืองดให้อาหาร
หลังการลอกคราบกึ่งต้องการอาหาร	ต้องเพิ่มอาหารทันทีที่กึ่งลอกคราบเสร็จ
กึ่งกินอาหารกลืน	แต่สามารถฝึกให้กินได้และควรให้วันละหลายมื้อ

ที่มา : ประชาชาติธุรกิจ (5)

ลักษณะของอาหารกึ่งที่ดีมีดังนี้

1. กลิ่น รส ดี ดึงดูดให้กึ่งเข้าหีบอาหารกินโดยเร็วและกินได้ปริมาณมาก
2. อาหารกึ่งมีเนื้อละเอียดเพื่อให้กึ่งย่อยและดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้ง่าย
3. อาหารกึ่งต้องมีลักษณะจมน้ำเร็ว ควรมีความคงทนในน้ำได้น้อย 2-4 ชั่วโมง
4. มีกลิ่นและรสชาติที่กึ่งชอบ
5. ให้คุณค่าทางโภชนาการครบ สมดุลย์ตามที่กึ่งต้องการเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต

และลอกคราบ

6. ขนาดเม็ดอาหารเหมาะสมกับขนาดของกึ่งเพื่อให้กึ่งสืบกัดแทะได้สะดวก Lim and Persyn ได้แนะนำให้ใช้อาหารที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางของอาหารขนาดต่าง ๆ เพื่อให้เหมาะสมกับขนาดของกึ่งดังตารางที่ 2-4 สำหรับการผลิตอาหารกึ่งไว้ใช้เองของผู้เพาะเลี้ยงกึ่งฟาร์มขนาดกลางและเล็กมักนิยมใช้เครื่องโม่ปลาหรือ mincer ที่ใช้ขนาดตะแกรงอัดขนาด 3 มิลลิเมตร

ตารางที่ 2-4 เส้นผ่านศูนย์กลางของอาหารที่เหมาะสมกับกึ่งขนาดต่าง ๆ

ระยะเติบโต / ขนาดของกึ่ง (กรัม)	เส้นผ่านศูนย์กลางของอาหาร (มิลลิเมตร)
$P_{15}-P_{30}$	น้อยกว่า 0.5
$P_{30}-0.5$	0.5-0.8
0.5-2.0	1-2
2.0-5.0	2
5.0-10.0	2-3
มากกว่า 10	3-4

ที่มา : เวียง เชื้อโพธิ์หัก (24)

การวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยจึงเลือกใช้เครื่องบดอาหารแบบมินเซอร์ (mincer) ที่มีขนาดตะแกรงอัดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร สำหรับอัดเม็ดอาหารกึ่งที่ใช้การทดสอบความคงทนของอาหารกึ่งในน้ำ

2.2.3 การให้อาหารกึ่ง

การให้อาหารกึ่งที่ถูกต้องวิธีมีความสำคัญไม่น้อยไปกว่าคุณภาพของอาหาร เนื่องจากการให้อาหารที่ไม่พอเพียงจะทำให้กึ่งเจริญเติบโตช้า อ่อนแอ อัตราการอดต่ำและเจริญเติบโตไม่เท่ากัน (4) แต่ถ้าให้อาหารในปริมาณที่มากเกินไปทำให้เกิดปัญหาอาหารที่เหลือ ซึ่งไม่เพียงแต่จะทำให้เกิดการสิ้นเปลืองเงินแต่ยังทำให้น้ำในบ่อเลี้ยงเขียวจัด และมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงอีกด้วย ดังนั้น จึงควรคำนึงถึงปัจจัยที่สำคัญในการให้อาหารกึ่ง ซึ่งได้แก่ อุณหภูมิของน้ำ คุณสมบัติของน้ำ อัตราการเปลี่ยนถ่ายน้ำ ระบบการเลี้ยง และชนิด ขนาด และช่วงชีวิตของกึ่ง ถ้าปัจจัยดังกล่าวอยู่ในสถานะที่เหมาะสมจะทำให้กึ่งกินอาหารได้มากและมีการให้อาหารพอดีกับความต้องการของกึ่ง ส่งผลถึงการเจริญเติบโตของกึ่ง การลอกคราบ อัตราการรอดดี และอัตราแลกเนื้อต่ำ (4,22)

2.3 อาหารกึ่งกับการเกิดน้ำเสีย

สาเหตุที่ทำให้น้ำในบ่อเลี้ยงเสื่อมสภาพลงและเน่าเสีย ได้แก่

1. **อาหารละลายน้ำ** อาหารกึ่งเกินกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ของอาหารที่ให้แก่กุ้งทั้งหมด จะละลายไปกับน้ำ (25) อาหารกึ่งได้จากการนำวัตถุดิบอาหารหลายชนิดมาบดละเอียดแล้วผ่านกระบวนการอัดเม็ด เมื่อใส่ลงในน้ำจะมีสารอาหารบางตัวละลายออกมาอยู่ในน้ำ เช่น วิตามินที่ละลายน้ำได้ คาร์โบไฮเดรตซึ่งอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ละลายไปกับน้ำทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของแบคทีเรียอย่างรวดเร็วจึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เน่าเสีย สามารถแก้ปัญหานี้ได้โดยใช้อาหารกึ่งที่มีสารเหนียวที่ดีเป็นตัวยึดอนุภาคของอาหาร (26) หรือการผลิตอาหารกึ่งสำเร็จด้วยเทคโนโลยีที่ทันสมัยด้วยระบบ extrusion ที่ทำให้อาหารคงทนอยู่ในน้ำได้โดยไม่ใช้สารเหนียวมักใช้ในงานอุตสาหกรรมผลิตอาหารกึ่งแต่มีราคาสูง (25)

2. **อาหารเหลือ** ปัญหาที่ไม่พบในการให้อาหารสัตว์บก คือ การให้อาหารในปริมาณที่มากเกินไปหรืออาหารเหลือ (22) ซึ่งเกิดจากการจัดการด้านอาหารไม่ดี เช่น คำนวณอาหารที่ให้ไม่ถูกต้อง ไม่ใช้อยู่นาฬิกาตรวจสอบการกินอาหารของกุ้ง หรือมีการให้อาหารกระจายไม่ทั่วถึงหรือให้อาหารที่ไม่ดึงดูดให้กุ้งมากิน ในการแก้ไขนั้นควรมีการจัดการด้านการให้อาหารที่ดีและใช้อาหารที่มีคุณภาพ (26)

3. **อาหารจมในบ่อ** อาหารกึ่งเป็นอาหารชนิดจมน้ำ เมื่อปล่อยให้มียูนิเคลอนอยู่ภายในบ่อ หนาอาหารจะจมลงไปใ้น้ำก่อนที่กุ้งจะกินหมด สามารถแก้ไขได้โดยทำความสะอาดพื้นบ่อเพื่อไม่ให้มียูนิเคลอนมากเกินไป และให้อาหารที่มีกลิ่นดึงดูดให้กุ้งเข้ากินอาหารได้อย่างรวดเร็ว (26)

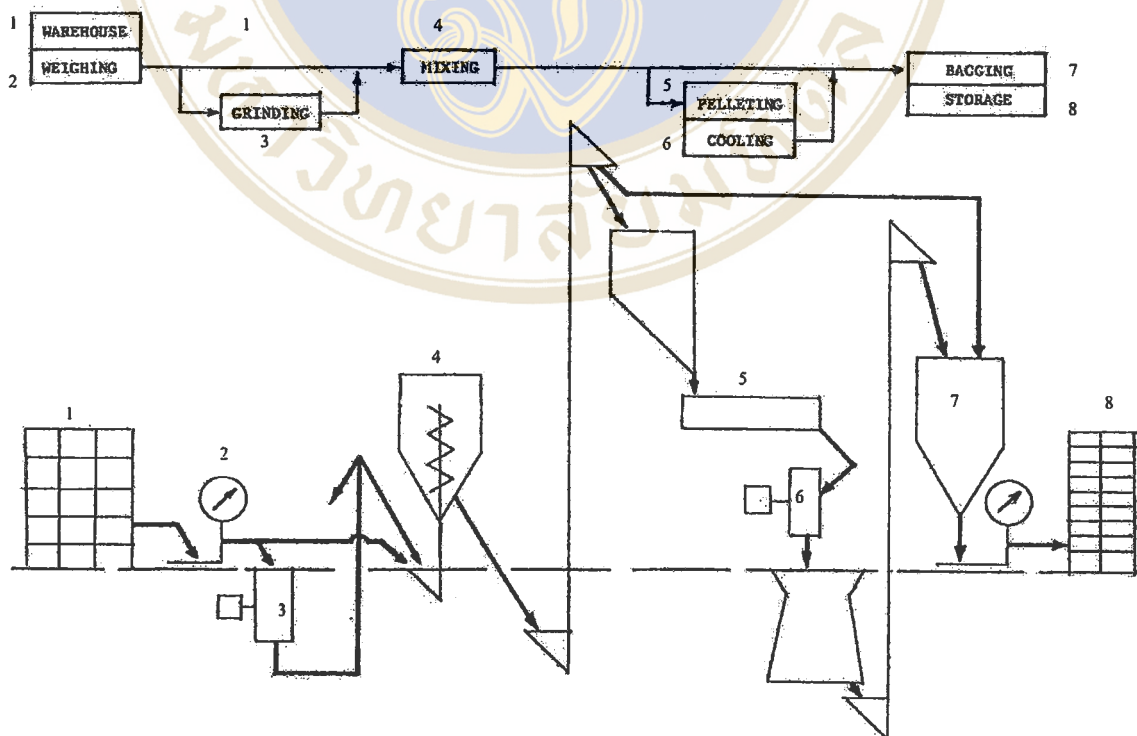
4. **การให้อาหารสดที่บูดเน่าเสีย** อาหารสดที่บูดเน่าเสียมักจะละลายน้ำง่าย เป็นแหล่งสะสมของจุลินทรีย์และเชื้อโรค เมื่อให้อาหารสดที่เสียแล้วลงในบ่อจะเป็นการเพิ่มเชื้อจุลินทรีย์ภายในบ่อ ในการเสริมอาหารสดภายในบ่อจึงต้องให้อาหารที่มีความสดจริง ๆ และควรให้ในปริมาณที่เหมาะสมและกรณีที่จำเป็นเท่านั้น (26)

5. **ของเสียจากกุ้ง** เมื่อกุ้งดูดซึมอาหารไปใช้จะปล่อยของเสียออกมา ของเสียจากกุ้งนี้เป็นอาหารของจุลินทรีย์ในน้ำโดยเฉพาะอย่างยิ่งพวกแบคทีเรีย

จากสาเหตุดังกล่าวข้างต้นเป็นปัจจัยที่ช่วยในการเพิ่มปริมาณประชากรของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศน์ภายในบ่อ กล่าวคือ ในกรณีของอาหารที่ละลาย อาหารเหลือ หรือของเสียจากกุ้งถ้ามีในปริมาณที่เหมาะสมจะเป็นปุ๋ยให้แพลงค์ตอนพืชเจริญเติบโตได้ดี หากมีในปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้คุณภาพน้ำไม่เหมาะสม เช่น เมื่อแพลงค์ตอนเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและมีปริมาณหนาแน่นจะทำให้ออกซิเจนที่ละลายในน้ำต่ำในตอนกลางคืน การเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนและพีเอชภายในบ่อค่อนข้างมาก คุณภาพน้ำและระบบนิเวศน์ภายในบ่อเสื่อมโทรมลงและน้ำเน่าเสียในที่สุดจะส่งผลให้กุ้งเกิดความเครียด กินอาหารได้น้อย ลอกคราบได้ช้า โตช้าและอัตราการรอดต่ำ (6,26)

2.4 กระบวนการผลิตอาหารสัตว์น้ำ

กระบวนการผลิตอาหารสัตว์น้ำประกอบด้วยกระบวนการย่อย 4 กระบวนการ คือ การทำให้ขนาดของวัตถุดิบอาหารเล็กลง, การผสมวัตถุดิบอาหาร, การอัดอาหารเป็นเม็ด และการบรรจุสรุปขั้นตอนกระบวนการผลิตอาหารสัตว์น้ำ ดังรูปที่ 2-2 (27)



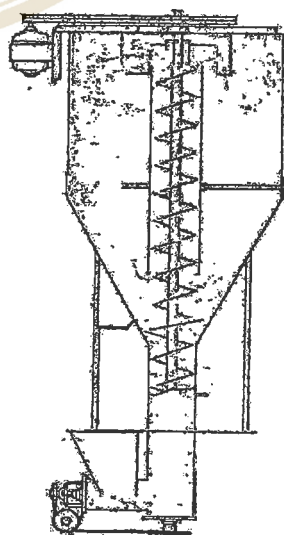
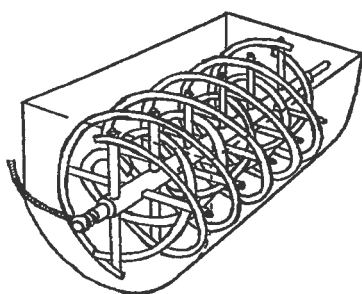
รูปที่ 2-2 ขั้นตอนในกระบวนการผลิตอาหารสัตว์น้ำ (27)

2.4.1 การทำให้ขนาดของวัตถุดิบอาหารเล็กลง

วัตถุดิบอาหารที่มีขนาดใหญ่จำเป็นต้องบดให้มีขนาดให้พอเหมาะ ก่อนที่จะนำอาหารไปผสมเป็นอาหารตามที่ต้องการ เนื่องจากขนาดของอาหารมีความสัมพันธ์ต่อคุณภาพของอาหารผสม การใช้วัตถุดิบอาหารที่มีขนาดเล็กทำให้การผสมของวัตถุดิบอาหารคลุกเคล้าเข้ากันดีและกระจายเป็นเนื้อเดียวกันอย่างสม่ำเสมอ และอาหารผสมที่ประกอบด้วยวัตถุดิบอาหารที่มีขนาดเล็กนั้นจะช่วยให้สัตว์น้ำย่อยได้ง่ายขึ้น Hastings และ Higgs ได้กล่าวไว้ว่า โดยทั่วไปการผสมวัตถุดิบอาหารควรมีขนาดไม่เกิน 0.5 มิลลิเมตร (28)

2.4.2 การผสมวัตถุดิบอาหาร

การผสมอาหารมีวัตถุประสงค์เพื่อให้วัตถุดิบอาหารที่ได้ลดขนาดลงแล้วผสมคลุกเคล้าให้เป็นเนื้อเดียวกัน และกระจายตัวในเนื้อของส่วนผสมให้ทั่วถึงมากที่สุด อย่างไรก็ตามการที่จะทำให้การผสมบรรลุเป็นไปตามเป้าหมายดังกล่าวย่อมขึ้นกับประสิทธิภาพของเครื่องผสม เดิมั้นการผสมอาหารสัตว์น้ำนั้นใช้วิธีการผสมด้วยมือซึ่งไม่สามารถใช้ได้ในการผลิตอาหารเป็นจำนวนมาก ๆ ได้ และเป็นวิธีที่ไม่ค่อยมีประสิทธิภาพ ต่อมาได้มีการพัฒนาประสิทธิภาพของการผสมอาหารจากแบบเดิมที่ใช้มือมาเป็นการใช้เครื่องผสมอาหารแทน รูปที่ 2-3 แสดงตัวอย่างเครื่องผสมอาหารแบบตั้งและแบบนอนที่นิยมใช้ในปัจจุบัน

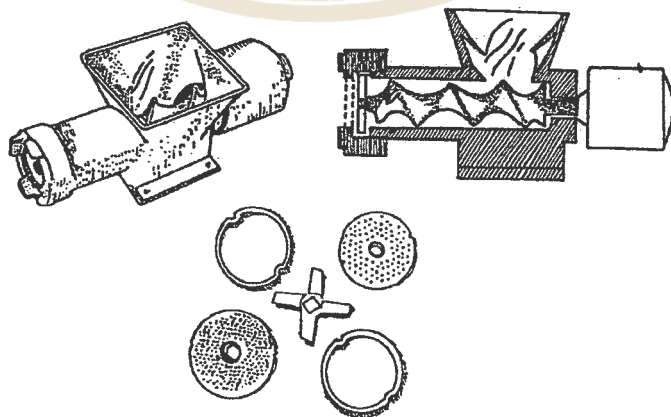


รูปที่ 2-3 เครื่องผสมอาหารแบบนอน (ซ้าย) และแบบตั้ง (ขวา) (28)

2.4.3 การอัดอาหารเป็นเม็ด

การอัดอาหารเป็นเม็ดนั้นเป็นการเปลี่ยนแปลงสภาพของอาหารจากสภาพละเอียดและอ่อนให้เป็นเม็ดแข็งโดยอาศัยความดัน ความร้อน และความชื้นเพื่อทำให้วัตถุดิบอาหารขยายตัว บีบตัว และยึดเหนี่ยวซึ่งกันและกัน กระบวนการอัดเม็ดทำได้โดยการเพิ่มความชื้นในรูปของไอน้ำประมาณ 4-6 เปอร์เซ็นต์ ให้กับวัตถุดิบอาหารที่ผสมแล้ว ความชื้นทำหน้าที่เป็นตัวหล่อลื่นและช่วยให้เนื้ออาหารเกิดการบีบและขยายตัว จากนั้นความร้อนจะทำให้วัตถุดิบอาหารจำพวกพืชโดยเฉพาะแป้งดิบในอาหารเปลี่ยนสภาพเป็นสารเหนียวยึดวัตถุดิบอาหารชนิดอื่น ในขั้นตอนนี้ส่วนผสมอาหารที่เดิมมีความชื้นประมาณ 10-12 เปอร์เซ็นต์ จะมีความชื้นเพิ่มขึ้นเป็น 15-16 เปอร์เซ็นต์ มีความร้อน 80-90 องศาเซลเซียส หลังจากถูกอัดเป็นเม็ดแล้วความชื้นจะลดลงเหลือไม่เกิน 13 เปอร์เซ็นต์ (24)

สำหรับการทำอาหารสัตว์สำเร็จรูปที่ผลิตเป็นเพื่อการค้ำนั้นจะใช้เครื่องอัดเม็ดอาหารที่มีขนาดใหญ่และราคาสูงเป็นสิบล้านบาท ได้แก่ เครื่องเอ็กทรูเดอร์ (extruder) (29) จึงได้มีการดัดแปลงทดลองเครื่องมือแบบง่าย ๆ เพื่อให้เกษตรกร สามารถเตรียมอาหารจำนวนน้อยสำหรับใช้ในการเลี้ยงสัตว์น้ำเพื่อยังชีพได้ โดยการใช้เครื่องโม่ปลาหรือเครื่องบดอาหารแบบมินเซอร์ (mincer) (24,29) แสดงได้ดังรูปที่ 2-4 เนื่องจากในการวิจัยครั้งนี้เตรียมอาหารกึ่งในปริมาณที่น้อย ผู้วิจัยจึงเลือกใช้เครื่องบดอาหารแบบมินเซอร์ (mincer) สำหรับการอัดเม็ดอาหารกึ่ง



รูปที่ 2-4 เครื่องบดอาหารแบบมินเซอร์ (mincer) (30)

ส่วนผสมอาหารก่อนเข้าเครื่องบดอาหารแบบ mincer ต้องมีความเปียกหรือหยาบ โดยเติมน้ำลงในส่วนผสมของอาหารประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และต้องให้น้ำที่เติมผสมให้เข้ากับส่วนผสมของอาหารให้มากที่สุด วัตถุดิบอาหารที่ต้องการบดจะถูกถ้ำเลียงเข้าเกลียวส่งอาหารที่หมุน และผ่านไปออกที่บริเวณตะแกรงอัดหรือหน้าแวน (die) (30) แรงดันหรือแรงอัดจากเครื่องบดจะบังคับให้วัตถุดิบอาหารผ่านช่องตะแกรงออกมาเป็นเส้น ทำให้วัตถุดิบอาหารเกิดการบีบตัว ขณะเดียวกันจะเกิดความร้อนวัตถุดิบอาหารจำพวกพืชจะถูกเปลี่ยนสภาพเป็นสารเหนียวยึดเหนี่ยววัตถุดิบอาหารให้เกาะตัวกัน สำหรับอาหารสัตว์น้ำกลุ่มที่กินอาหารเข้าอย่างกึ่ง จะต้องมีการเติมสารเหนียวสังเคราะห์ลงในอาหารด้วย เนื่องจากความเหนียวที่เกิดจากแป้งในอาหารมีไม่เพียงพอ (24)

2.4.4 การบรรจุหีบห่อและการเก็บรักษา

หลังจากผ่านขั้นตอนการอัดเม็ดแล้วจะต้องทำให้อาหารที่เป็นเส้นแห้งก่อน สำหรับการผลิตอาหารสัตว์น้ำไว้ใช้เองนั้นใช้วิธีการแบบง่าย ๆ คือ นำอาหารที่ยังเปียกหรือหยาบออกไปตากแดดให้แห้งก่อนเก็บ ส่วนโรงงานผลิตอาหารสัตว์นั้นอาหารเม็ดที่ร้อนอยู่จะนำไปเข้าเครื่องทำให้เย็นและร้อนอีกครั้งจนอาหารมีอุณหภูมิใกล้เคียงอุณหภูมิห้อง แล้วจึงบรรจุเข้าหีบห่อเพื่อเก็บไว้รอการจำหน่าย หีบห่อที่ใช้ในการบรรจุอาหารนั้นต้องใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติพิเศษในการป้องกันความชื้นไม่ให้ซึมผ่านไปถึงสัมผัสกับอาหารได้ เพื่อมิให้อาหารมีการเปลี่ยนสภาพและเสื่อมคุณภาพเร็ว สถานที่สำหรับเก็บอาหารต้องปราศจากหนูและแมลงต่าง ๆ ไม่ได้รับแสงแดด ความร้อนและความชื้นสูงจนเกินไป เนื่องจากวิตามินบางชนิด เช่น ไรบอเฟน วิตามินอี กรดแอสคอร์บิก และไพริดอกซิน ถูกทำลายได้โดยแสงแดด หรือวิตามินถูกทำลายได้ง่ายเมื่อได้รับความร้อน (24)

2.5 สารเหนียวและความคงทนของอาหารเม็ดในน้ำ

2.5.1 สารเหนียวในอาหารกึ่ง

สารเหนียว (Binder) หมายถึง สารที่ทำให้อนุภาคของวัตถุดิบในอาหาร ยึดเกาะประสานรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน ทำให้อาหารมีความคงตัว อาจเป็นผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์หรือได้จากพืชหรือสัตว์โดยตรงก็ได้ (18)

สารเหนียวที่นิยมใช้ในอาหารสัตว์น้ำ มีดังนี้ (18)

1. ยางไม้ (Gum) และอนุพันธ์

เป็นสารประกอบที่มีโพลิแซคคาไรด์สูง มีคุณสมบัติในการทำให้สารละลายมีความหนืดสูงที่ความเข้มข้นต่ำ สารประกอบในกลุ่มนี้ได้มาจากหลายแหล่ง เช่น exudate gums ซึ่งเกิดจากเปลือกไม้ หรือผล ถูกทำให้เป็นแผลหรือแมลงต่อย ที่นิยมใช้กันมาก ได้แก่ gum arabic จากต้น acacia, gum karaya, gum tragacanth นอกจากนี้ยังมี seaweed gums, seed gums. Microbial gums และอนุพันธ์ของเซลลูโลส สารทุกชนิดในกลุ่มนี้ภายในโมเลกุลมีธาตุไฮโดรเจนซึ่งสามารถจับกับน้ำกลายเป็นวุ้นได้ สารละลายเหนียวหรือยางไม้ที่มีโมเลกุลส่วนใหญ่เป็นโพลิแซคคาไรด์เชิงเดี่ยวจะมีความเหนียวกว่าชนิดที่มีโมเลกุลเชิงซ้อนที่มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากัน แต่ส่วนประกอบของโมเลกุลเชิงซ้อนจะกลายเป็นวุ้นได้ง่ายกว่า และมีความคงทนกว่า สารละลายโพลิแซคคาไรด์ที่เป็นโมเลกุลเชิงเดี่ยวสามารถเกาะรวมกันเป็นแผ่นเมื่อแห้ง และเป็นสิ่งปกคลุมที่ดี ในขณะที่สารละลายโพลิแซคคาไรด์ที่เป็นโมเลกุลเชิงซ้อน เมื่อแห้งจะไม่รวมตัวกันเป็นแผ่นแต่จะละลายได้ง่ายกว่า ตัวอย่างของสารเหนียวประเภทนี้ ได้แก่

1.1 แอลจีเนต (Alginate) เป็นเกลือของกรดแอลจินิก ซึ่งเป็นโพลิเมอร์ของ Beta-1, 4-D manuronic และ Alpha-1, 4-L glucuronic acid กรดแอลจินิกสกัดได้จากสาหร่ายทะเลโดยทั้ง หมู่ไฮดรอกซี (OH-group) และ หมู่คาร์บอกซี (COOH group) จะทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อม ทำให้เกิดความเข้มข้นจนกลายเป็นวุ้นและเป็นสารเหนียว ถ้าเป็นเกลือของแอลจีเนต 1 วาเลนซี เช่น Na^+ , NH_4^+ จะละลายน้ำได้ แต่ถ้าเป็นเกลือของแอลจีเนตที่มี 2 หรือ 3 วาเลนซี เช่น Mg^{2+} , Ca^{2+} จะทำให้กลายเป็นวุ้น แต่ถ้ามีมากจนเกินไปแอลจีเนตจะตกตะกอนในสารละลายที่มี pH ต่ำกว่า 3 ตัวอย่างของแอลจีเนตซึ่งมีชื่อทางการค้า คือ manucol ester การใช้แอลจีเนต 2.5 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้อาหารสัตว์น้ำเกาะตัวคงทนอยู่ในน้ำได้นาน สารนี้จะมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ถ้าละลายในน้ำอุ่นก่อนนำไปผสมกับส่วนผสมอาหารแห้ง

1.2 กัวกัม (Guar gum) สกัดได้จากเอนโดสเปิร์มของ Indian cluster bean (*Cyamopomis tetragonolobus*) เป็นโพลิเมอร์ของเฮมิเซลลูโลส ที่ละลายน้ำได้ของ 1,4-D-mannose และ 1,4-D-galactose ที่มี OH-group เป็นตัวทำให้เกิดความเหนียว การใช้กัวกัมเป็นสารเหนียวจะทำให้อัตราการไหลผ่านทางเดินอาหารช้าลง ถ้าใช้ในปริมาณที่มากเกินไปจะมีผลต่อการเจริญเติบโต น้ำหนักแห้งและปริมาณไขมันของปลาตกลง แต่ไม่มีผลกับโปรตีน, อัตราส่วนระหว่างแคลเซียมต่อฟอสฟอรัส และน้ำหนักของตับ

1.3 กัมอะราบิก (Gum arabic) สกัดได้จากเปลือกของต้น acacia เป็นสารเหนียวที่นิยมใช้มาก กัมอะราบิกเป็นเกลือของกรดอ่อนของโพลิแซคคาไรด์เชิงซ้อนที่มี Mg^{2+} , Ca^{2+} และ K^+ ประกอบด้วยน้ำตาล 4 ชนิด คือ L-arabinose, L-rhamnose, D-galactose และ D-glucuronic acid กัมอะราบิกเป็นหนึ่งในกัมไม้ที่ชนิดที่ต้องใช้ความเข้มข้นสูงในการเพิ่มความเหนียว

1.4 Locust bean gum สกัดได้จาก carob bean ซึ่งปลูกกันมากรอบ ๆ ทะเลเมดิเตอร์เรเนียน โมเลกุลประกอบด้วย 88 % D-galacto-D-mannoglycan, 4 % Pentoglycan, 6 % protein, 1 % cellulose และ 1% ash มีมวลโมเลกุล 310,000 และโมเลกุลเป็นแบบโซ่ตรงของ 4-D-mannopyranosyl ต่อกันด้วยพันธะ 1,4 และทุก ๆ 4 หรือ 5 D-manno-pyranosyl units จะถูกแทนที่ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 (C6) ด้วย D-galactopyranosyl locust bean gum สามารถสร้างให้เป็นแผ่นที่มีลักษณะเหนียวนุ่มได้

1.5 วุ้น (Agar) สกัดได้จากสาหร่ายสีแดง (*Gelidium algas*) ละลายได้ในน้ำเดือดแต่ไม่ละลายในน้ำเย็น ส่วนประกอบเป็นโพลิแซคคาไรด์อย่างน้อย 2 ชนิด คือ agarose ซึ่งประกอบด้วย agarobiosedisaccharide unit ต่อกันเป็นเส้นตรง และ agaropectin ประกอบด้วย agarose และ ester sulfate, D-glucuronic acid และ pyruvic acid แต่มีอัตราส่วนและมวลโมเลกุลไม่แน่นอน

1.6 คาราจีแนน (Carrageenan) สกัดได้จาก Irish moss (*Chondrus crispus*) ประกอบด้วยเกลือของ sulfate ester และ hexose แบ่ง carrageenan เป็น 3 ส่วน คือ kappa, lamda และ iota carrageenan มีน้ำหนักโมเลกุล 100,000 – 800,000 คาลตัน คงทนในสารละลายที่มี pH ต่ำ

1.7 C.M.C. (Carboxy Methyl Cellulose) หรือ cellulose gum เตรียมได้จาก cellulose บริสุทธิ์ของฝ้ายหรือลูกไม้ สามารถดูดซับน้ำจนน้ำหนักเพิ่มเป็น 50 เท่า มีลักษณะเป็นสารกึ่งของแข็งกึ่งของเหลว methyl cellulose เป็นอนุพันธ์ของ cellulose แต่ความเหนียวจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น การละลายจะลดลงในน้ำเย็น และเป็นวุ้นเมื่อให้ความร้อน อนุพันธ์อื่น ๆ ที่มีสมบัติคล้ายกันคือ ethyl methyl cellulose และ hydroxyethylcellulose อาหารที่เคลือบด้วย ethyl cellulose ช่วยป้องกันการสูญเสียโภชนาการที่ละลายได้ในน้ำ เช่น วิตามินซี คลอรีน วิตามินบีสอง และกรดอะมิโนอิสระ ที่อยู่ในอาหารเม็ดได้มากกว่าใช้วิตามินที่เคลือบอาหารเม็ด

2. แป้ง (Starch)

เป็นส่วนประกอบสำคัญในอาหารเม็ดเพื่อเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตให้แก่สัตว์น้ำ เมื่อได้รับความร้อนจะเกิดเป็นวุ้น ทำให้มีคุณสมบัติเป็นสารเหนียวขึ้น เมื่อทำแป้งให้เหนียวโดยใช้ไอ

น้ำแล้วอบให้แห้งความคงทนของอาหารจะเพิ่มขึ้น ความคงทนของอาหารเม็ดจะแปรตามความเหนียวของแป้ง ตัวอย่างแป้งที่นิยมใช้ ได้แก่

2.1 High gluten wheat flour นอกจากให้โปรตีนแล้วยังเป็นสารเหนียวที่ดีมาก ในเมล็ดข้าวสาลีมีวิตามินซึ่งปกติสัตว์น้ำใช้ประโยชน์ไม่ได้ แต่เมื่อถูกความร้อนจากกระบวนการผลิตอาหารเม็ดจะเปลี่ยนรูปไปทำให้สัตว์น้ำสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้

2.2 Amaizo starch ในข้าวโพดมีวิตามิน Niacin มากแต่ใช้ประโยชน์ไม่ได้ แต่เมื่อได้รับความชื้นระหว่างการอัดเม็ดจะทำให้สัตว์น้ำสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

2.3 Alpha starch คือ แป้งที่นำไปผ่านกรรมวิธีแล้วทำให้เกิด gelatinization ได้ง่ายขึ้น มีราคาแพงใช้ประโยชน์ไม่ค่อยดี

3. สารเหนียว อื่น ๆ ได้แก่

3.1 เบฟฟิน (Bafin) เป็นชื่อทางการค้าของประเทศเยอรมนี เป็นสาร bentonite สังกะเรหะห์ มีประสิทธิภาพในการทำอาหารให้คงทนอยู่ในน้ำได้นาน 6-12 ชั่วโมง แต่มีราคาค่อนข้างแพงเพราะยังต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศ

3.2 ลิกนินซัลเฟต เป็นสารประกอบไขมันที่ได้จากพืช ปริมาณที่ใช้ในอาหารสัตว์น้ำประมาณ 2.5 เปอร์เซ็นต์

3.3 ราหรือปลายถั่วเขียว เป็นผลพลอยได้จากถั่วเขียว ช่วยให้อาหารจับแน่น ใช้ผสมในอาหารชนิดจมน้ำ ปริมาณราถั่วเขียวและปลายถั่วเขียวที่ใช้ผสมในอาหารสัตว์น้ำประมาณ 15 และ 25 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

3.4 กล้วย ปริมาณที่ใช้ผสมในอาหารสัตว์น้ำเพื่อเพิ่มความคงทนในน้ำใช้ประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ ความคงทนอยู่ในน้ำได้นานประมาณ 4-5 ชั่วโมง

วัตถุประสงค์ของการใช้สารเหนียวในอาหาร มี 3 ประการ คือ (22)

1. เพื่อทำให้วัสดุทุกอย่างเกาะรวมกัน เมื่อกุ้งกินอาหารเข้าไปก็จะได้รับสารอาหารครบทุกชนิด และพร้อมกัน
2. เพื่อลดการละลายของสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อกุ้ง เช่น วิตามิน เมื่ออยู่ในน้ำ
3. เพื่อป้องกันน้ำในบ่อเลี้ยงเสื่อมคุณภาพ หรือน้ำเสีย

หลักเกณฑ์ในการเลือกใช้ชนิดและปริมาณสารเหนียว (22)

- 1. ชนิดของสัตว์น้ำและนิสัยการกินอาหาร ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ว่าอาหารควรอยู่ในน้ำนานเท่าใด เช่น ปลาที่มีนิสัยการกินอาหารเร็ว ดังนั้น อาหารปลาจึงไม่จำเป็นต้องอยู่ในน้ำนาน เพียงคงทนในอากาศ ขนส่งไม่แตกหักเป็นผง แต่กุ้งเป็นสัตว์ที่กินอาหารช้า เมื่อจับอาหารได้แล้วจะค่อย ๆ เพาะกิน ถ้าอาหารไม่มีสารเหนียว อาหารจะแตกก่อนที่จะกินเข้าไป
- 2. คุณภาพของสารเหนียว ปริมาณที่ใช้ และการใช้สารเหนียวแต่ละชนิด มีคุณสมบัติทำให้การคงทนอยู่ในน้ำได้นานไม่เท่ากัน ดังแสดงในตารางที่ 2-5
- 3. ควรคำนึงถึงผลของสารเหนียวต่อคุณภาพทางโภชนาการ กลิ่นและรส เพราะสารเหนียวบางชนิดที่ใช้สามารถใช้เป็นแหล่งโปรตีนได้ด้วย
- 4. มีราคาถูก และง่ายต่อการหาซื้อ

ตารางที่ 2-5 สารเหนียว กับปริมาณการใช้ และความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำ

ชนิดของสารเหนียว	ปริมาณที่ใช้ (เปอร์เซ็นต์ของอาหาร)	ความคงทนในน้ำ (ชั่วโมง)
ซี เอ็ม ซี	5-10	3-6
หวีด กลูเทน	10	12-18
เบฟฟิน	0.5-1.0	12-18
แอลจิเนต	2-4	24-28
กัวกัม	1	4-5
รำหรือปลายข้าวเจียว	15-25	4-5
กล้วย	5	4-5
ปลาเป็ด	30-50	12-18
ลิกนินซัลเฟอร์เนต	2	-

ที่มา: มะลิ บุญยรัตผลิน (22)

2.5.2 ความคงทนของอาหารเม็ดในน้ำ

ความคงทนของอาหารเม็ด หมายถึง สภาพของอาหารที่จมอยู่ในน้ำ และมีการสูญเสียสารอาหารในน้ำตามระยะเวลาที่กำหนด นอกจากนี้ยังเรียกว่า ความคงรูปของอาหารในน้ำหรือความเสถียรของอาหารในน้ำ (water stability) (24)

ความคงทนของอาหารเมื่อดำน้ำจะมีผลต่อการกินอาหารของสัตว์น้ำ โดยทั่วไปแล้วอาหารที่มีความคงทนในน้ำสูงจะช่วยรักษาคุณสมบัติขวนกิน หรือความน่ากินของอาหารไว้ได้นานกว่าอาหารที่มีความคงทนในน้ำต่ำ โดยเฉพาะพวกที่กินอาหารได้ช้าอย่างกุ้งอาจใช้เวลาในการกินอาหารนานเป็นชั่วโมง ดังนั้น อาหารสัตว์น้ำควรมีความต้านทานน้ำ 30-60 นาที การทำให้อาหารมีความต้านทานสูงกว่านี้จำเป็นต้องเติมสารเหนียวสังเคราะห์ เพราะความเหนียวจากแป้งในอาหารมีไม่เพียงพอ (24)

วิธีทำให้อาหารคงทนในน้ำ (22)

1. ใช้สารเหนียวที่มีประสิทธิภาพ
2. วิธีการทำอาหารและเครื่องทำอาหาร โดยคำนึงถึง
 - 2.1 ขนาดของวัสดุอาหาร วัสดุอาหารต้องบดให้ละเอียด และมีขนาดเท่ากัน
 - 2.2 เทคนิคการควบคุมอุณหภูมิ ไขมัน และความดันที่จะทำให้แป้งสุกและอบแห้งทันที แป้งจะยึดกันเป็นร่างแห ทำให้อาหารคงทนในน้ำได้
 - 2.3 ปริมาณไขมัน สารที่ไม่ละลายในน้ำและสารที่ดูดความชื้นง่ายในอาหารจะทำให้อาหารมีความคงทนในน้ำน้อยลง
 - 2.4 วัสดุอาหาร เช่น เปลือกกุ้ง รำ ถ้าบดละเอียดจะเพิ่มประสิทธิภาพของความคงทนในน้ำของอาหาร
 - 2.5 เทคนิคการทำอาหารมีผลต่อความคงทนของอาหาร

2.6 ไคตินและไคโตแซน

2.6.1 ไคติน (chitin)

Random House Dictionary ได้ให้คำจำกัดความของ ไคติน (chitin) ไว้ว่าเป็นสารประกอบแป้งน้ำตาล (polysaccharide) ที่มีไนโตรเจนประกอบอยู่ด้วย มีสูตรเคมีคล้ายกับเซลลูโลสที่ทำให้เกิดสารกึ่งโปร่งแสง และเป็นองค์ประกอบสำคัญของเปลือกหรือส่วนหุ้มของตัวแมลง สัตว์พวกกุ้ง ปู และสัตว์พวกแมงมุม เห็บ (16)

2.6.1.1 คุณสมบัติทางเคมีของไคติน

ไคติน (chitin) เป็นสารโพลิเมอร์ชีวภาพ (biopolymer) ในกลุ่มโพลิแซคคาไรด์ (polysaccharide) (31) มีชื่อทางเคมีว่า poly[$\beta(1\rightarrow4)$ -2-acetoamido-2-deoxy-D-glucopyranose (32) หรือ poly(N-acetylglucosamine) มีสูตรโมเลกุล คือ $(C_8H_{13}NO_5)_n$ ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และออกซิเจนร้อยละ 47.3 , 6.5, 6.9 และ 39.4 โดยน้ำหนักตามลำดับ (13) โครงสร้างภายในโมเลกุลของไคตินประกอบด้วยหน่วยย่อยของ N-acetyl-D-glucosamine เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิกชนิดเบต้า 1,4 ($\beta(1\rightarrow4)$ glycosidic bond) (33) หมายถึง การเชื่อมพันธะที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 กับคาร์บอนตำแหน่งที่ 4 ของ N-acetyl-D-glucosamine ตัวถัดไปต่อกันเป็นเส้นตรงยาวโดยไม่มีการแตกแขนง (unbranched polysaccharide) (31) จากรูปที่ 2-5 เมื่อพิจารณาแล้วจะเห็นได้ว่าไคตินมีโครงสร้างทางเคมีคล้ายคลึงกับเซลลูโลส โดยหน่วยย่อยภายในโมเลกุลของเซลลูโลสคือ D-glucose ที่ต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิกชนิดเบต้า 1,4 ($\beta(1\rightarrow4)$ glycosidic bond) เช่นกัน แต่มีความแตกต่างกันตรงคาร์บอนตำแหน่งที่สองของกลูโคสที่เป็นที่เป็นหมู่ไฮดรอกซิล (OH-group) ถูกแทนที่ด้วย acetylamino group ($NH-COCH_3$) (34) ดังนั้น หน่วยย่อยของไคตินจึงเป็นอนุพันธ์ของกลูโคสที่มีธาตุไนโตรเจนเกาะภายในโมเลกุล (35)

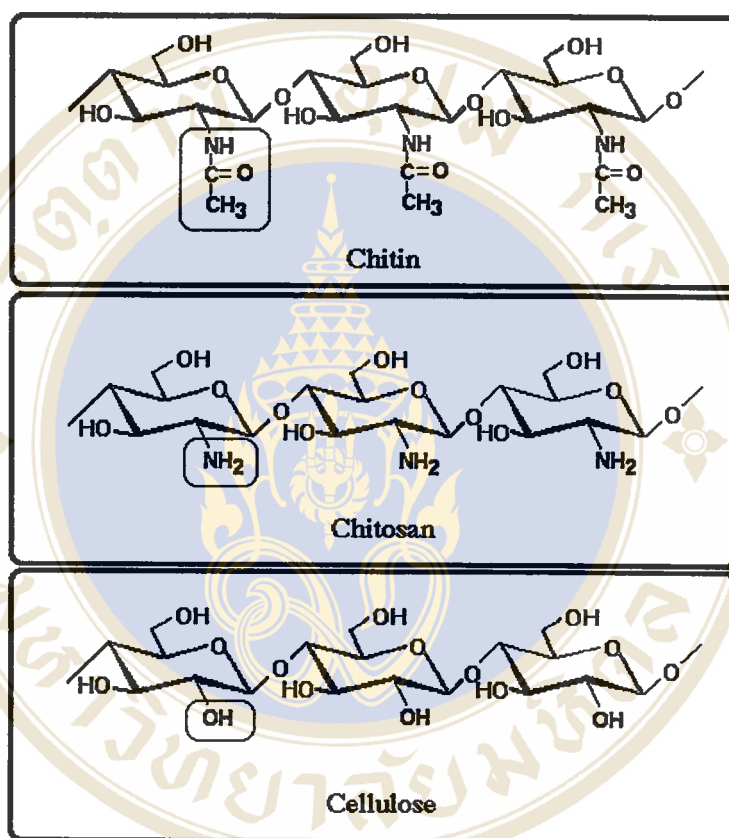
ไคตินในธรรมชาติพบได้ 3 รูปแบบซึ่งแบ่งตามลักษณะการจัดเรียงตัวของสายโมเลกุล (36) ได้แก่

1. แอลฟา-ไคติน (α -chitin) การเรียงตัวในโมเลกุลมีลักษณะสวนทางกัน (anti-parallel) มีความเสถียรทางเคมี (chemical stability) มากกว่าแบบอื่น ๆ เพราะมีการเกิดพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) มากทั้งภายในโมเลกุลและระหว่างสายโมเลกุล (20) เป็นไคตินในธรรมชาติที่พบมากที่สุด และพบในเปลือกกุ้ง เปลือกปู และคิวดิเคิลของแมลง รา

2. เบตา-ไคติน (β -chitin) สายโมเลกุลจะเรียงตัวไปในทิศทางเดียวกัน (parallel) มีเสถียรภาพทางเคมีรองมาจากแอลฟา-ไคติน เพราะมีปริมาณของพันธะไฮโดรเจนน้อยกว่า พบในพวกมอลลัสกา คือ หอยและปลาหมึก

3. แกมมา-ไคติน (γ -chitin) เป็นไคตินที่มีการเรียงตัวของสายโมเลกุลผสมกันแบบแอลฟาและเบตา ไคติน พบในเปลือกหุ้มไข่ของตัวด้วงปีกแข็งชนิด *Ptinus tectus* และ *Rhychaenus fagi*

โครงสร้างของไคตินเป็นโพลิเมอร์ที่ไร้ประจุ (non-electrolyte polymer) จากคุณสมบัติดังกล่าว ไคตินจึงไม่สามารถละลายได้ในน้ำและสารละลายอินทรีย์ทั่วไป แต่ถูกย่อยสลายได้ด้วยกรดบางชนิด เช่น กรดเกลือ (HCl) กรดกำมะถัน (H₂SO₄) เป็นต้น (15)



รูปที่ 2- 5 โครงสร้างทางเคมีของ ไคติน ไคโตแซน และเซลลูโลส (37)

2.6.1.2 แหล่งและคุณสมบัติของไคติน

ไคตินถูกค้นพบครั้งแรกในเห็ดเมื่อปี ค.ศ. 1811 โดยศาสตราจารย์องรี บรากอนนอต (Henri Braconnot) ชาวฝรั่งเศส (16) และได้รับการตั้งชื่อโดย Odier ในปี ค.ศ. 1823 (38) ไคตินเป็นสารอินทรีย์ที่มีปริมาณมากเป็นอันดับสองของโลกรองจากเซลลูโลส (cellulose) และเป็นหนึ่งในสามของสารประกอบน้ำตาลที่มีมากที่สุดในธรรมชาตินอกจากเซลลูโลสและแป้ง (16) ไคตินเป็นสารโพลิแซคาไรด์ที่ทำหน้าที่โมเลกุลโครงสร้าง (exoskeleton) โดยเป็นส่วน

ประกอบสำคัญของเปลือกนอกของกุ้งและแมลง รวมทั้งกระดองของปูและปลาหมึก ทำหน้าที่เป็นส่วนประกอบของ cell wall ของเชื้อราและยีสต์ นอกจากนี้ยังพบได้ในสัตว์ชั้นต่ำที่ไม่มีกระดูกสันหลัง (invertebrates) ชนิดต่าง ๆ (31)

ไคตินพบมากในเปลือกของสัตว์กลุ่ม Crustacean มากที่สุด เช่น ปู กุ้ง สัตว์จำพวก Molluscs เช่น ปลาหมึก เปลือกหุ้มของแพลงก์ตอนสัตว์ (น้ำเค็ม) ปะการัง แมงกะพรุน แมลงชนิดต่าง ๆ เช่น ผีเสื้อ ปีกของเต่าทอง และยังพบมากในผนังเซลล์ของยีสต์ เห็ดรา (fungi) สาหร่ายสีเขียว (green algae) สาหร่ายสีน้ำตาลและแดงบางสายพันธุ์ (brown algae and red algae) (16)

2.6.2 ไคโตแซน (Chitosan)

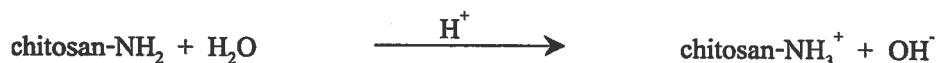
แม้ว่าไคตินจะเป็นสารอินทรีย์ที่มีมากเป็นอันดับที่สองรองจากเซลลูโลสก็ตาม แต่เนื่องจากไคตินเป็นโพลิเมอร์ที่ไร้ประโยชน์การใช้ประโยชน์ของไคตินจึงไม่เป็นที่แพร่หลาย จึงมีการดัดแปลงไคตินด้วยการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีเป็นอนุพันธ์ (derivative) ได้หลายชนิดที่มีมากที่สุดคือ ไคโตแซน เพื่อเพิ่มประโยชน์การใช้งานให้มากขึ้น (16)

2.6.2.1 คุณสมบัติทางเคมีของไคโตแซน

ไคโตแซนมีชื่อทางเคมีว่า poly [$\beta(1\rightarrow4)$ -2-amino-2-deoxy-D-glucopyranose] (32) หรือ poly (N-glucosamine) (15) ไคโตแซนเป็นอนุพันธ์ของไคตินที่มีจำนวนหมู่อะเซทิล ($-\text{COCH}_3$) ต่ำ โครงสร้างทางเคมีแสดงไว้ในรูปที่ 2-5 องค์ประกอบหลักภายในสายโมเลกุลไคโตแซนเป็น D-glucosamine (2-amino-2-deoxy-D-glucose) (33) คือ น้ำตาลกลูโคสที่มีหมู่อะมิโน ($-\text{NH}_2$) เกาะที่คาร์บอนตำแหน่งที่สอง ต่อกันเป็นเส้นตรงยาวโดยไม่มีการแตกสาย และแต่ละโมเลกุลของ D-glucosamine เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิกชนิดเบต้า 1,4 ($\beta(1\rightarrow4)$ glycosidic bond) เช่นเดียวกับไคติน

ไคโตแซนมีคุณสมบัติแตกต่างจากโพลิแซคคาไรด์ชนิดอื่น ๆ กล่าวคือ มีสมบัติเป็น cationic polyelectrolyte หรือมีความเป็นประจุบวกในโมเลกุลที่หมู่อะมิโน ($-\text{NH}_2$) ทำให้ไคโตแซนสามารถละลายในสารละลายไฮโดรคลอริกเจือจาง หรือกรดอินทรีย์ เช่น กรดอะซิติก

กรดฟอร์มิก เป็นต้น แต่ไม่สามารถละลายได้ในสารละลายที่เป็นกลาง หรือตัวทำละลายที่มีสภาพเป็นด่าง เมื่อนำไคโตแซนละลายในสารละลายที่เป็นกรด ไคโตแซนจะกลายเป็นสายโพลิเมอร์ที่มีประจุบวก (cationic polymer) ดังสมการต่อไปนี้ (34)



ความเป็นประจุบวกของไคโตแซนมีความเข้มของประจุบวกสูงพร้อมที่จะเกิดปฏิกิริยากับสารชีวโมเลกุลที่มีประจุเป็นลบได้เป็นอย่างดี และเมื่ออยู่ในรูป neutralized form จะสามารถเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (chelating compound) กับโลหะหลายชนิด เช่น ทองแดง โครเมียม แคดเมียม แมงกานีส โคบอลต์ ตะกั่ว เหล็ก สังกะสี พอลเลเดียม และเงิน ได้เป็นอย่างดี (39) จากคุณสมบัติที่เป็นโพลิเมอร์ที่เป็นประจุบวกนี้ทำให้สามารถนำไปใช้ประยุกต์ใช้ประโยชน์ในงานด้านต่าง ๆ มากกว่าไคติน

2.6.3 การผลิตไคติน-ไคโตแซน

ไคตินและไคโตแซนในธรรมชาติจะพบอยู่ในรูปของ complex form กับโพลิเมอร์ชนิดอื่น ๆ เช่น โปรตีน รงควัตถุ (pigments) หรือ แกลเซียมคาร์บอเนต (31) จึงต้องมีการกำจัดโปรตีน แร่ธาตุ และสารอื่น ๆ ออกก่อนจึงจะได้ไคตินและไคโตแซนที่บริสุทธิ์ กรรมวิธีดังกล่าวที่ใช้สามารถทำได้สองวิธี คือ วิธีการทางชีวภาพ และวิธีการทางเคมี โดยวิธีการทางชีวภาพใช้จุลินทรีย์หรือเอนไซม์ในการผลิต (36) และวิธีการทางเคมีมักในอุตสาหกรรมการผลิตไคตินและไคโตแซนจากเปลือกกุ้งนั้นประกอบด้วยการที่สำคัญ ดังต่อไปนี้ (20)

1. กระบวนการกำจัดโปรตีน (deproteination)

โดยการทำปฏิกิริยากับด่าง โดยส่วนใหญ่นิยมใช้โซดาไฟ (NaOH) ในกระบวนการนี้เป็นการกำจัดโปรตีนออกจากวัตถุดิบ พร้อมทั้งมีไขมันบางส่วนและรงควัตถุบางชนิดมีโอกาสดูดซับออกไปด้วย อย่างไรก็ตามกระบวนการนี้ขึ้นอยู่กับประเภทของวัตถุดิบที่จะนำมาใช้



2. กระบวนการกำจัดเกลือแร่ (demineralization)

โดยการนำวัตถุดิบหรือวัตถุดิบที่ผ่านกระบวนการกำจัดโปรตีนมาแล้วมาทำปฏิกิริยากับกรด ส่วนมากจะใช้กรดเกลือ (HCl) ทำปฏิกิริยากับเกลือส่วนใหญ่ ได้แก่ หินปูน (calcium carbonate, CaCO_3) กลไกของการเกิดปฏิกิริยาดังสมการ พร้อมกันนี้บางส่วนของรงควัตถุและโปรตีนที่ละลายได้ในกรดจะถูกขจัดออกไปในกระบวนการนี้เช่นกัน สารที่ได้ภายหลังจากกระบวนการนี้ คือ ไคติน (chitin)



3. กระบวนการกำจัดหรือลดหมู่อะเซทิล (deacetylation)

เป็นการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่ใช้ในการกำจัดหรือลดหมู่อะเซทิล (acetyl group ; $-\text{COCH}_3$) ที่อยู่บนโมเลกุลของไคติน เพื่อให้เกิดเป็นไคโตแซน (chitosan) ซึ่งเป็นการเพิ่มหมู่เอมิโน ($-\text{NH}_2$) บนโมเลกุลของไคติน หมู่เอมิโนนี้มีความสามารถในการรับโปรตอนจากสารละลายซึ่งทำให้การละลายดีขึ้น เพราะมีสมบัติเป็นประจุบวก (cation) ส่วนใหญ่เมื่อปริมาณของหมู่อะเซทิลถูกกำจัดไปมากกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นไป สารไคโตแซนที่ได้นี้สามารถละลายได้ในกรดอินทรีย์หลายชนิด เช่น กรดอะซิติก (CH_3COOH) กรดโพรพานิก ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$) กรดแลกติก ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$) และกรดบิวทีริก ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$) เป็นต้น กระบวนการลดหมู่อะเซทิลนี้ทำได้โดยใช้ด่างที่เข้มข้นสูงตั้งแต่ 40 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป ดังนั้นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการพิจารณาสารไคโตแซนคือ ค่าระดับการกำจัดหมู่อะเซทิล (degree of deacetylation, %DD) การทำปฏิกิริยาการกำจัดหมู่อะเซทิลคิดเป็นหน่วยร้อยละ (percentage of degree of deacetylation, %DD) กล่าวคือ ถ้า %DD เกินกว่า 50% ขึ้นไปแล้ว สามารถใช้โพลิเมอร์นั้นทำให้เกิดอนุพันธ์ที่ละลายในกรดอินทรีย์ได้ การลดลงของหมู่อะเซทิลในไคตินผลที่ได้คือ การเพิ่มขึ้นของหมู่เอมิโนทำให้เพิ่มสมบัติการเป็นสารที่มีประจุเป็นบวก (polycationic activity) บนโพลิเมอร์ทำให้เกิดสภาพของการเป็นสารไคโตแซนเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2-6 ขั้นตอนการผลิตไคตินและไคโตแซนจากเปลือกกุ้งด้วยวิธีทางเคมี (20)

2.6.4 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของสารโคโคแซน (39,40,41)

2.6.4.1 ชนิดและความเข้มข้นของสารละลายต่าง

ในการกำจัดหมู่อะเซทิลออกจากโคตินนิยมใช้สารละลายต่าง ได้แก่ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ นอกจากนี้สารละลายโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์สามารถใช้ในการกำจัดหมู่อะเซทิลได้เช่นกัน ซึ่งสารโคโคแซนที่ได้มีความหนืดสูงกว่าการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นของสารละลายต่างโดยทั่วไปนิยมใช้ความเข้มข้นอยู่ในช่วง 40-60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

Bough และคณะ (40) พบว่า การใช้สารละลายต่างที่มีความเข้มข้นสูงเกินไป จะทำให้สารโคโคแซนที่ผลิตเกิดการสูญเสียสภาพธรรมชาติ (denature) เนื่องจากสภาวะที่ใช้ในการกำจัดหมู่อะเซทิลเป็นสภาวะที่รุนแรง มีการใช้อุณหภูมิสูงและเวลาที่ค่อนข้างนาน ส่วนการใช้สารละลายต่างที่เข้มข้นต่ำเกินไปจะมีผลต่อคุณสมบัติการละลายของสารโคโคแซนในกรดอ่อน คือ ทำให้ละลายได้ยากขึ้นหรือไม่สามารถละลายได้

2.6.4.2 อุณหภูมิในการกำจัดหมู่อะเซทิล

อุณหภูมิที่ใช้ในการกำจัดหมู่อะเซทิลโดยมากทำที่อุณหภูมิก่อนข้างสูง ได้แก่ อุณหภูมิ 80-100 องศาเซลเซียส, 100 องศาเซลเซียส และสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส เช่น 145-150 หรือ 180 องศาเซลเซียส อัตราเร็วในการกำจัดหมู่อะเซทิลที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสมีมากกว่าที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเกือบสองเท่าตัว แต่จะทำให้ได้สารโคโคแซนที่มีมวลโมเลกุลลดลง การใช้อุณหภูมิในการกำจัดหมู่อะเซทิลที่สูงเกินไปสารโคโคแซนที่ผลิตได้สูญเสียสภาพธรรมชาติ และโมเลกุลของสารโคโคแซนเกิดปฏิกิริยาเสื่อมสภาพ (degradation) และมีมวลโมเลกุลลดลง ถ้าใช้ความเข้มข้นของสารละลายต่างสูงขึ้นจึงควรลดอุณหภูมิในการกำจัดหมู่อะเซทิลลง เพื่อไม่ให้เกิดสภาวะที่รุนแรงจนเกินไปในขณะเกิดปฏิกิริยาการกำจัดหมู่อะเซทิล

2.6.4.3 เวลาในการกำจัดหมู่อะเซทิล

เวลาที่ใช้ในการกำจัดหมู่อะเซทิลที่มากขึ้น สารโคโคเตนจะมีหมู่อะเซทิลลดลง (%DD สูงขึ้น) และโมเลกุลมีขนาดลดลงแต่มี charge density สูงขึ้น เวลาที่ใช้ในการกำจัดหมู่อะเซทิลมีตั้งแต่ 5-15 นาที จนถึง 2-15 ชั่วโมง ขึ้นกับปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อการกำจัดหมู่อะเซทิล

2.6.4.4 ปฏิริยาออกซิเดชัน

ปฏิริยาออกซิเดชันเนื่องมาจากออกซิเจนในอากาศมีผลต่อขนาดมวลโมเลกุลของสารโคโคเตน คือ ถ้าเกิดปฏิริยาออกซิเดชัน หรือมีก๊าซออกซิเจนเกิดขึ้นในขั้นตอนการกำจัดหมู่อะเซทิล จะทำให้สารโคโคเตนเกิดปฏิริยา degradation สารโคโคเตนที่ได้มีมวลโมเลกุลลดลง (40) และมีการศึกษาผลของปฏิริยาออกซิเดชันในขั้นตอนการกำจัดหมู่อะเซทิลโดยเติม oxidizing agent เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ พบว่า สารโคโคเตนที่ผลิตได้มีความหนืดลดลง ดังนั้น ในขั้นตอนการกำจัดหมู่อะเซทิลจึงจำเป็นต้องกระทำภายใต้บรรยากาศของก๊าซเฉื่อยได้แก่ ก๊าซไนโตรเจน ซึ่งจะทำให้ได้สารโคโคเตนที่มีมวลโมเลกุลและความหนืดสูงกว่าผลิตภายใต้บรรยากาศปกติ นอกจากนี้การเติมสารดักจับออกซิเจน เช่น thiophenol และยังมีส่วนเป็นตัวเร่งการเกิดปฏิริยา (catalyst) ได้ด้วย

2.6.4.5 คุณภาพของโคโคติน

โคโคตินเป็นสารตั้งต้นในการผลิตสารโคโคเตน สมบัติของสารโคโคตินที่มีผลต่อการกำจัดหมู่อะเซทิล ได้แก่ ขนาดอนุภาคของสารโคโคติน (particle size) และความหนาแน่น ของสารโคโคติน โดยทั่วไปคุณภาพและสมบัติของสารโคโคตินขึ้นกับปัจจัย 2 ประการ ได้แก่ แหล่งของโคโคตินหรือวัตถุดิบที่นำมาผลิตโคโคติน และกรรมวิธีที่ใช้ในการแยกโคโคติน

2.6.5 คุณสมบัติเด่นของโคโคเตน

คุณสมบัติของโคโคตินและโคโคเตนที่สำคัญ ๆ ที่มีประโยชน์ต่อการนำมาประยุกต์ใช้ในงานด้านต่าง ๆ มีดังนี้ (38)

2.6.5.1 คุณสมบัติความเป็นประจุบวก (cationic properties)

ไคโตแซนมีความเป็นประจุภายในสายโพลิเมอร์ที่เป็นเส้นตรงเมื่ออยู่ในสถานะที่เป็นกรด โดยจะมีความหนาแน่นของประจุสูงคือหนึ่งประจุต่อหนึ่งหน่วยกลูโคซามีน (glucosamine) ความเป็นประจุบวกของไคโตแซนสามารถดึงดูดอย่างแรงกับสารที่มีประจุเป็นลบ เช่น โปรตีน โพลีแซคคาไรด์ประจุลบ (anionic polysaccharides) กรดนิวคลีอิก นอกจากนี้ไคโตแซนสามารถเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้กับโลหะได้หลายชนิด เช่น เหล็ก ทองแดง แมงกานีส จึงมีการนำไคโตแซนไปใช้กำจัดโลหะหนักที่เป็นพิษ เช่น เงิน พรอท ตะกั่ว นิกเกิล และ โครเมียม ในน้ำทิ้ง

2.6.5.2 คุณสมบัติทางชีวภาพ (biological properties)

จากคุณสมบัติที่ความเข้ากันได้ทางชีวภาพ (biocompatibility) ที่ไม่มีความเป็นพิษ (non-toxic) และสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (biodegradable) จึงมีการนำไคโตแซนไปประยุกต์ใช้ในงานทางการแพทย์ เช่น ใช้ลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือด ช่วยกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกัน และนำไปใช้ในทางเกษตรกรรมโดยเคลือบเมล็ดพืชเพื่อเพิ่มผลผลิต

2.6.5.3 คุณสมบัติการละลาย (solution properties)

เมื่อไคโตแซนอยู่ในสารละลายที่ pH มากกว่า 6.5 จะไม่ละลาย และไม่ละลายในสารอินทรีย์ทุกชนิด แต่สามารถละลายได้ในกรดอินทรีย์ที่มี pH ต่ำกว่า 6.5 หมู่อะมิโนอิสระ ($-NH_2$) ภายในสายโมเลกุลของไคโตแซนจะถูกนำโปรตอนออกทำให้ไปอยู่ในรูปของหมู่ cationic amine ($-NH_3^+$) ที่มีคุณสมบัติละลายได้ในสถานะ pH ต่ำกว่า 6.5 เกิดเป็นสารละลายที่ข้นหนืด , จับกับ polyanion เป็นเจล

2.6.6 การใช้ประโยชน์จากไคตินและไคโตแซน

จากคุณสมบัติที่พิเศษของไคตินและไคโตแซนจึงมีนำไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เป็นอย่างกว้างขวาง สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2-6

ตารางที่ 2-6 การประยุกต์ใช้ประโยชน์ไคตินและไคโตแซนในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ

การประยุกต์ใช้งาน	ผลิตภัณฑ์
การแพทย์และยาทางชีวภาพ (biomedicine)	- รักษาบาดแผล, แผลไฟลวก - รักษาโรคกระดูก - รักษาโรคเท้านกกีฬา - รักษาโรคตา - รักษาฟันและเหงือก - สารลดการเกิดลิ่มเลือด - สารเร่งการแข็งตัวของเลือด - สารต้านการจับเป็นก้อนของเลือด - สารต้านเนื้องอก - ทำเลนส์ใส่ภายในตาและคอนแทคเลนส์ - ด้านเย็บแผลผ่าตัด - ใช้ในระบบส่งผ่านตัวยา
โภชนาการ	- อาหารเสริม - สารลดคอเลสเตอรอล - ไฟเบอร์ - สารเสริมไบโอฟีโดแบคทีเรีย - ช่วยลดการท้องร่วงจากเชื้อ โดส
อาหาร	- อาหารบำรุงสุขภาพ - แผ่นฟิล์มห่ออาหาร - สารรักษารสชาติ - สารเสริมเนื้อสัมผัส
เครื่องสำอาง	- ครีมและโลชั่นให้ความชุ่มชื้นแก่ผิว - ผลิตภัณฑ์บำรุงรักษาผม แชมพู ครีมนวดผมและครีมปรับสภาพผม - แป้งแต่งหน้า

ตารางที่ 2-6 การประยุกต์ใช้ประโยชน์ไคดินและไคโตแซนในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ (ต่อ)

การประยุกต์ใช้งาน	ผลิตภัณฑ์
ด้านสิ่งแวดล้อมและการเกษตร	- บำบัดน้ำทิ้งโลหะ - ใช้เป็นตัวสร้างตะกอน (floculant) ในกระบวนการสร้างตะกอนและตกตะกอนกับโปรตีน ซี กรดอะมิโน - รักษาเมล็ดพืช - ขาฆ่าแมลง - สารเติมในอาหารสัตว์
เทคโนโลยีชีวภาพ	- ตรึงเอนไซม์และเซลล์ - โครมาโตกราฟี
ด้านอื่น ๆ	- แยกโปรตีน - ชุตชั้นใน - กระดาษและเยื่อกระดาษ - สิ่งทอ - เส้นใยและแผ่นฟิล์ม

ที่มา : 1. อธิชา กิ่งสุวรรณ (16)
2. Bræk GS, Anthonsen T & Sandford P.(38)

2.7 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำทะเล

องค์ประกอบทางเคมีของน้ำทะเลมีความแตกต่างกันออกไป ขึ้นกับชนิดของหินที่อยู่ในพื้นที่ที่แม่น้ำไหลผ่านลงสู่ทะเล และพื้นผิวโลกบริเวณมหาสมุทรนั้น ๆ (42) ในน้ำทะเลประกอบไปด้วยอไอออนต่าง ๆ หลายชนิดที่ละลายอยู่ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2-7

ตารางที่ 2-7 องค์ประกอบของน้ำทะเลโดยเฉลี่ย

องค์ประกอบ	ความเข้มข้น (มิลลิกรัม/ลิตร)
คลอไรด์ (Cl ⁻)	19,500
โซเดียม (Na ⁺)	10,500
ซัลเฟต (SO ₄ ²⁻)	2,700
แมกนีเซียม (Mg ²⁺)	1,350
แคลเซียม (Ca ²⁺)	400
โพแทสเซียม (K ⁺)	380
ไบคาร์บอเนต (HCO ₃ ⁻)	142
โบรมีน (Br ⁻)	65
สตรอนเชียม (Sr ²⁺)	8.0
ซิลิคอน (Si ⁴⁺)	3.0
โบรอน (B ³⁺)	4.6
ฟลูออรีน (F ⁻)	1.3
ไนโตรเจน (ในรูป NO ₃ ⁻ , NO ₂ ⁻ & NH ₄ ⁺)	0.5
ฟอสฟอรัส (P)	0.07
ไอโอดีน (I)	0.06
เหล็ก (Fe ²⁺)	0.01
โมลิบดีนัม (Mo ³⁺)	0.01
สังกะสี (Zn ²⁺)	0.01
ทองแดง (Cu ²⁺)	0.003
แมงกานีส (Mn ²⁺)	0.002
โคบอลต์ (Co ²⁺)	0.0005

ที่มา : Boyd CE. (43)

ความเค็มของน้ำ หมายถึง ปริมาณของของแข็ง (solid) หรือเกลือแร่ต่าง ๆ โดยเฉพาะ โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ที่ละลายอยู่ในน้ำ นิยมคิดเป็นหน่วยน้ำหนักของสารดังกล่าวเป็น กรัมต่อกิโลกรัมของน้ำ หรือส่วนในพันส่วน (part per thousand หรือ ppt) ทั้งนี้หลังจากที่พวกเกลือคาร์บอเนต (carbonate) ถูกเปลี่ยนเป็นออกไซด์ (oxides) และพวกเกลือโบไมด์ (bromide) และไอโอดิด (iodide) ถูกแทนที่ด้วยคลอไรด์ (chloride) และอินทรีย์วัตถุ (organic matter) ถูกออกซิไดซ์

ไปทั้งหมด (44) ปกติความเค็มเฉลี่ยของน้ำทะเลประมาณ 35 ส่วนในพัน (ppt) หรือ 35 เปอร์เซนต์ (45)

ความเค็มของน้ำจะแตกต่างกันออกไปแล้วแต่สถานที่และประเภทของดิน ในทาง การประมงได้มีผู้แบ่งประเภทของน้ำออกตามระดับความเค็มเป็นสามระดับคือ

- น้ำจืด (fresh water) มีค่าความเค็มระหว่าง 0-0.5 ส่วนในพันส่วน (ppt)
- น้ำกร่อย (brackish water) มีค่าความเค็มระหว่าง 0.5-30.0 ส่วนในพันส่วน (ppt)
- น้ำเค็ม (sea water) มีค่าความเค็มมากกว่า 30 ส่วนในพันส่วน (ppt) ขึ้นไป

ความเค็มที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของกุ้ง คือ 15-30 ส่วนในพันส่วน (ppt)

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มะลิ (11) ได้ทำการศึกษาความคงทนของอาหารกุ้งในโดยใช้สารเหนียวได้แก่ กัวกัม เบฟฟิน ปลาซัววสุก ข้าวเหนียวสุก แอลฟาสดาซ แป้งเหนียวเหลือง กล้วยชนิดต่าง ๆ ปลาซัวว เจริว และรำถั่วเขียว ในปริมาณต่างกันจำนวน 14 สูตร ทำการผสมอาหารสูตรต่าง ๆ ด้วยเครื่องผสม และใส่น้ำ 25-35 เปอร์เซนต์ของน้ำหนักอาหารแห้ง แล้วจึงนำไปอัดเม็ดด้วยเครื่องบดเนื้อ จะได้ อาหารที่เป็นเส้นกลมยาวมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.25 เซนติเมตร จากนั้นเจียวให้หักเป็นท่อนความยาว 1-1.5 เซนติเมตร แล้วนำไปตากแดดให้แห้ง ทำการทดสอบความคงทนของอาหารในน้ำจืด 4 ชุด โดย แช่น้ำในเวลาที่ต่าง ๆ คือ 30 นาที, 1, 2 และ 6 ชั่วโมง ใช้อัตราการไหลของน้ำ 5.5 ลิตรต่อนาที ที่ อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส ทำอาหารที่ทดสอบแล้วให้แห้งสนิทด้วยการอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 12 ชั่วโมง จากนั้นนำไปคำนวณหาน้ำหนักที่หายไปหรือเปอร์เซ็นต์อาหารสูญเสีย พบว่าการใช้เบฟฟิน 0.4-0.5 เปอร์เซนต์เป็นสารเหนียวที่ดีที่สุดทำให้อาหารคงทนอยู่ในน้ำได้นาน 12 ชั่วโมง เหมาะสำหรับฟาร์มขนาดใหญ่ที่ให้อาหารวันละครั้ง ส่วนกัวกัม 1 เปอร์เซนต์ กล้วย 5 เปอร์เซนต์ และรำถั่วเขียวหรือปลาซัวว เจริว 15-25 เปอร์เซนต์ ทำให้อาหารคงทนอยู่ในน้ำได้นาน 4-5 ชั่วโมง ในขณะที่ปลาซัววสุก ข้าวเหนียวสุก แอลฟาสดาซ และแป้งเหนียวเหลืองไม่เหมาะใน การใช้เป็นสารเหนียวในอาหารกุ้งที่ผลิตด้วยการใช้เครื่องบดเนื้อแล้วตากแห้ง

วินิจ (18) ทำการศึกษาความคงทนในน้ำของอาหารเม็ด 5 สูตร ที่ใช้เบฟฟิน และกล้วย 4 ชนิดคือ คือ กล้วยหอม กล้วยไข่ กล้วยน้ำว่า และกล้วยเล็บมือนาง ปริมาณ 2.0 เปอร์เซนต์โดยน้ำ นักผสมในอาหารสำหรับเลี้ยงปลาสวาย ทดสอบความคงทนของอาหารในน้ำเป็นเวลา 1, 3 และ 6 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความคงทนระหว่างอาหารที่ใช้กล้วยเป็นสารเหนียว ในชั่วโมง

แรกพบว่าเปอร์เซ็นต์ความคงทนของอาหารที่ผสมกล้วยน้ำว้า มีความแตกต่างกับอาหารที่ผสมกล้วยเล็บมือนาง แต่ไม่แตกต่างกับอาหารสูตรอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนการแช่อาหารในน้ำ 3 และ 6 ชั่วโมง สูตรอาหารที่ผสมกล้วยหอม, กล้วยน้ำว้า และกล้วยไข่ ไม่มีความแตกต่างกัน แต่แตกต่างกับสูตรอาหารที่ผสมด้วยกล้วยเล็บมือนางอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อนำอาหารทั้ง 5 สูตรไปทดลองต่อการเจริญเติบโต และอัตราการรอดของปลาซิว เป็นเวลา 13 สัปดาห์ เมื่อสิ้นสุดการทดลองทำการเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของปลาซิวระหว่างสูตรอาหารที่ใช้กล้วยเป็นสารเหนียว พบว่า สูตรอาหารที่ผสมกล้วยไข่ให้การเจริญเติบโตน้อยที่สุดแตกต่างกับสูตรอาหารอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ อาหารทุกสูตรให้อัตราการแลกเนื้อไม่แตกต่างกันทางสถิติ และในระหว่างการทดลองไม่มีปลาตาย

ประเสริฐ (46) ทำการทดลองเปรียบเทียบความคงทนอยู่ในน้ำของอาหารเม็ด โดยใช้สารเหนียว 5 ชนิด ได้แก่ guar gum, alpha starch, sodium alginate, carboxy methyl cellulose และ basfin ผสมลงในอาหารอัตราส่วน 1 เปอร์เซ็นต์ของอาหารผสมอัดเม็ดออกมาด้วยเครื่องโม่ปลา ทำให้แห้งด้วยแสงแดด แล้วนำไปแช่น้ำนาน 10 นาที จากนั้นหาส่วนที่เหลือน้ำหนักของอาหารเม็ดพบว่าสารเหนียวที่ทำให้อาหารคงตัวอยู่ในน้ำได้นานที่สุดคือ basfin และน้อยที่สุดคือ alpha starch ส่วน guar gum, sodium alginate และ carboxy methyl cellulose มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน

Balazs และคณะ (47) ศึกษาการเตรียมอาหารและการให้อาหารสำหรับสัตว์น้ำประเภท Crustacean โดยเตรียมอาหาร 7 สูตรที่มีโปรตีนรวม 25-40 เปอร์เซ็นต์ และทุกสูตรอาหารใช้ high gluten 20 เปอร์เซ็นต์เป็นสารเหนียว ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางอาหาร 3 มิลลิเมตร แล้วอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส 10 ชั่วโมง ทดสอบความคงทนของอาหารทุกสูตรในน้ำจืดและน้ำเค็มเป็นเวลา 1, 3 และ 5 ชั่วโมง จากนั้นหาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งของอาหารที่สูญเสียไป พบว่า อาหารที่แช่อยู่ในน้ำเค็มมีความคงทนมากกว่าอาหารที่แช่ในน้ำจืด เนื่องจากความเข้มข้นของประจุที่อยู่ในน้ำเค็มสูงกว่า ส่วนในการทดสอบการให้อาหารทั้ง 7 สูตรกับกุ้งน้ำเค็ม (*Penaeus* sp.) และกุ้งน้ำจืด (Malaysian prawns) ภายใต้สภาวะการทดลอง พบว่า การเจริญเติบโตของกุ้งแปรผันตามปริมาณโปรตีนที่เพิ่มขึ้น และอาหารทั้ง 7 สูตรทำให้กุ้งเจริญเติบโตและมีอัตราการตายต่ำ

พนมรักษ์ (48) ศึกษาการผลิตอาหารกึ่งอุตสาหกรรมด้วยเครื่องบดอาหารและเครื่อง pellet mill โดยแปรสารเชื่อม 8 ชนิด ชนิดละ 3 ระดับ ได้แก่ wheat gluten (5.0, 10 และ 15%), liginosulfonate (1, 2 และ 3%), guar gum (1, 2 และ 3%), cross-linking tapioca starch (2.5, 5 และ

7.5%), cross-linking and hydroxypropylated tapioca starch starch (2.5, 5 และ 7.5%), acetylated distarch phosphate (2.5, 5 และ 7.5%), modified waxy-maize starch (2.5, 5 และ 7.5%), และ Isolated Soy Protein (ISP) ผสมกับ α -starch (ในอัตราส่วน 10%:0%, 10%:3% และ 7%:3%) ที่ทดสอบความคงทนของอาหารในน้ำเค็ม 20 ppt เป็นเวลา 0.5-4 ชั่วโมง เลือกชนิดและปริมาณสารเชื่อมที่ทำให้ความคงทนในน้ำสูง และ/หรือ มีต้นทุนในการผลิตต่ำรวม 3 ชนิด คือ cross-linking tapioca starch 2.5%, liginosulfonate 1% และ ISP 10% นำมาเลี้ยงกุ้งกุลาดำวัยรุ่นเปรียบเทียบกับอาหารที่ใช้ปลาป่น 40% และอาหารที่ใช้ sodium alginate กับ sodium hexametaphosphate อย่างละ 1.5% และ 1.0% เป็นสารเชื่อม เป็น เวลา 45 วัน พบว่า สูตรอาหารมีผลต่อการเจริญเติบโตของกุ้งอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) โดยสูตรอาหารที่ทำให้การเจริญเติบโตสูงสุด คือ cross-linking tapioca starch 2.5% และ liginosulfonate 1% เป็นสารเชื่อม ส่วนอัตราแลกเนื้อพบว่าสูตรที่ผสมปลาป่นเป็นสูตรที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

อรรษา และคณะ (17) ได้นำโคโคแซนที่สกัดได้จากเปลือกสัตว์น้ำมาเคลือบพลาสติกเพื่อศึกษาความสามารถในการถนอมอาหาร ในการทดลองแบ่งพลาสติกออกเป็น 4 กลุ่ม คือ กลุ่มควบคุม 2 กลุ่มที่เป็นพลาสติกใหญ่และเล็กที่ไม่ได้เคลือบ และกลุ่มทดสอบ 2 กลุ่มคือปลาใหญ่และเล็กที่เคลือบโคโคแซน จุ่มปลากลุ่มทดสอบลงในน้ำปูนใสแล้วผึ่งให้แห้ง จากนั้นจึงจุ่มลงในสารละลายโคโคแซนความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ในกระดอะซติก 1 เปอร์เซ็นต์ ผึ่งให้แห้งแล้วแบ่งใส่ถุงพลาสติกเก็บไว้ในตู้เย็นเพื่อระยะเวลาการเก็บรักษา แล้วนำตัวอย่างมาวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยาและทางเคมี รวมทั้งการตรวจสอบทางประสาทสัมผัสโดยการชิม ดมกลิ่น และดูลักษณะภายนอกของตัวอย่าง พบว่า ปริมาณ แบคทีเรียทั้งหมด (TVC) และเชื้อราต่ำในช่วงเดือนแรกแล้วเพิ่มสูงขึ้นในเดือนที่สอง ส่วนตัวอย่างที่เคลือบโคโคแซนมีลักษณะภายนอกที่ยอมรับได้ ในการเปลี่ยนแปลงทางเคมีพบว่า ตัวอย่างที่เคลือบมีค่าเฉลี่ยของความหืนในรูปของกรดไขมันอิสระ (TBA) และปริมาณค่าที่ระเหยได้ทั้งหมด (TVB) ต่ำกว่าที่ไม่เคลือบ แต่ค่าเปอร์ออกไซด์ (POV) สำหรับปลาใหญ่นั้นมีค่าไม่แตกต่างกันมากนักแต่ในปลาขนาดเล็กที่เคลือบจะมีค่าต่ำสุด นอกจากนี้ผลการตรวจสอบทางประสาทสัมผัสมีการยอมรับตัวอย่างที่เคลือบโคโคแซนไว้นานสองเดือนแต่ไม่ยอมรับที่ไม่ได้เคลือบ

อรรษา และคณะ (49) ทำการสกัดโคโคแซนจากเศษเหลือทิ้งของสัตว์น้ำ ได้แก่ เปลือก/หัวกุ้งกุลาดำ กระดองปลาหมึกกล้วย/หมึกหอม และกระดองปูม้า/ปูทะเล กำจัดโปรตีนออกโดยต้มกับ 3% โซดาไฟ (NaOH) นาน 2 ชั่วโมง และสกัดเกล็ดเชื่อมด้วยกรดเกลือ (HCl) เข้มข้น 1 N นาน 2

ชั่วโมง จะได้โคติน ซึ่งเมื่อนำมาแช่ในโซดาไฟเข้มข้น 50 % จนมีการดึงอะเซทิลกรู๊ปออก 60-70 % จึงได้โคโตแซนตามต้องการ จากผลการทดลองพบว่า ผลผลิตที่ได้จากกระดองปลาหมึกกล้วยในปริมาณสูงสุด คือ 30 % (น้ำหนักแห้ง) และรองลงมาคือกระดองปลาหมึกหอมในปริมาณ 28 % สำหรับกุ้งเปลือกให้ผลผลิตสูงกว่าหัวกุ้ง คือ 22.5 % และ 14 % ตามลำดับในขณะที่เปลือกปูให้ผลผลิตประมาณ 13 % โคโตแซนจากเปลือกสัตว์น้ำทุกชนิดที่ทำการทดลองมีปริมาณเฝ้าอยู่ระหว่าง 0.1-0.4 % ความชื้นต่ำกว่า 10 % และให้ degree of deacetylation ระหว่าง 50-65 %DD

สรุป และคณะ (50) ศึกษาปัจจัยของการผลิตที่มีผลต่อคุณสมบัติของโคโตแซนจากเปลือกกุ้งกุลาดำ ได้แก่ เวลาที่ใช้ในการแยกโปรตีนและเกลือแร่ ปริมาณและความเข้มข้นของ NaOH ที่ใช้พบว่าสภาวะที่เหมาะสม คือ การแยกโปรตีนด้วยการทำปฏิกิริยาของเปลือกกุ้งกับ 1.0 N NaOH ในอัตราส่วน 1:6 น้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 95-100 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง ขึ้นต่อมาแยกเกลือแร่โดยการทำปฏิกิริยากับ 1.0 N HCl ในอัตราส่วน 1:10 น้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง และแยกหมู่อะเซทิลด้วยการทำปฏิกิริยาของโคตินกับ 50 % น้ำหนักต่อปริมาตร NaOH ในอัตราส่วน 1:20 น้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง ได้ปริมาณโคโตแซน 22.9 % มี degree of deacetylation 82.56 % ความหนืด 430 เซนติพอยส์ น้ำหนักโมเลกุล 13.3×10^5 และการละลาย 100 เปอร์เซ็นต์

สรุป และคณะ (51) ผลิตโคโตแซนจากหัวกุ้งโดยใช้สภาวะ การแยกโปรตีนด้วยการทำปฏิกิริยาของหัวกุ้งกับ 1.0 N NaOH ในอัตราส่วน 1:6 น้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 95-100 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง, การแยกเกลือแร่โดยการทำปฏิกิริยาของสารที่ได้จากการแยกโปรตีนกับ 1.25 N HCl อัตราส่วน 1:10 น้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และแยกหมู่อะเซทิลด้วยการทำปฏิกิริยาของโคตินกับ 50 % น้ำหนักต่อปริมาตร NaOH อัตราส่วน 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง ได้ปริมาณโคโตแซน 28.6 % ประกอบด้วย เถ้า 0.16 % การละลาย 100% degree of deacetylation 82.04 % ความหนืด 1372 เซนติพอยส์ และไนโตรเจน 7.9% มีคุณสมบัติอยู่ในเกณฑ์เดียวกับโคโตแซนที่นำเข้าจากต่างประเทศ เมื่อนำไปดูดซับโลหะหนักในน้ำทิ้งของอุตสาหกรรมชุบโลหะด้วยไฟฟ้า ให้ประสิทธิภาพในการดูดซับไอออนของ Cu^{2+} , Ni^{2+} และ Zn^{2+} เท่ากับ 70.00, 10.12 และ 20.49 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับประสิทธิภาพของโคโตแซนจากต่างประเทศ

Dien และ Binh (52) นักวิจัยประเทศเวียดนามได้ศึกษาการใช้ไคโตแซนเก็บรักษาผลส้มสดเพื่อการบริโภคภายในประเทศและส่งออก ในการทดลองใช้ไคโตแซน 70 %DD ละลายในสารละลายกรดอะซิติก 2 % โดยใช้ความเข้มข้นต่าง ๆ กันเคลือบที่ผิวผลส้ม พบว่า ผลส้มที่เคลือบไคโตแซนสามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน 35-40 วัน ความเข้มข้นไคโตแซนที่เหมาะสมที่สุดในการเก็บรักษาผลส้ม คือ 1.6 และ 1.8 เปอร์เซ็นต์ และความหนาของไคโตแซนที่เคลือบที่ควรต่ำกว่า 35 ไมโครเมตร

Li และ Wu (53) ศึกษาการใช้ไคโตแซนเพื่อรักษาเมล็ดพันธุ์พืช โดยใช้ตัวทำละลายไคโตแซน 2 ชนิด คือ สารละลายกรดอะซิติกและสารละลายกรดแลกติก จากผลการทดลองพบว่าไคโตแซนที่ละลายในกรดอะซิติก สามารถชะลอการงอกของเมล็ดพืชได้ดีกว่าใช้กรดแลกติกเป็นตัวทำละลาย ส่วนการทดลองเคลือบเมล็ด spoon cabbage แล้วเพาะเมล็ดในระบบ hydroponics ที่ผสมไคโตแซน 120 และ 180 ppm ลงในระบบ พบว่ามีผลต่อการเพิ่มผลผลิตแต่ไม่มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของผลผลิต

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาการใช้โคโคแซนเพิ่มความคงทนในอาหารกึ่งกึ่งดำนีเป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) เพื่อศึกษาความคงทนของอาหารกึ่งโดยใช้โคโคแซนที่มีค่าระดับการกำจัดหมู่อะเซทิล (%DD) ที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 80, 85 และ 90 เปอร์เซ็นต์ วิธีการศึกษาได้กำหนดไว้ 2 รูปแบบ คือ รูปแบบที่ 1 ใช้วิธีการเคลือบอาหารกึ่งด้วยสารโคโคแซนร้อยละ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 (โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก: %w/w) และรูปแบบที่ 2 ใช้วิธีการผสมโคโคแซนลงในอาหารกึ่งในปริมาณร้อยละ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 (โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก: %w/w) จากนั้นจึงนำอาหารกึ่งที่เตรียมไว้ไปทดสอบความคงทนในน้ำจืดและน้ำเค็ม โดยมีวิธีดำเนินการวิจัย ดังนี้

3.1 การเตรียมการวิจัย

3.1.1 การค้นคว้าและศึกษาข้อมูลเพื่อใช้ในการวิจัย

ทำการค้นคว้าและศึกษาข้อมูลต่าง ๆ เพื่อใช้เป็นพื้นฐานของการทำงานวิจัย จากหน่วยงานราชการและเอกชนในรูปของหนังสือ วารสาร วิทยานิพนธ์ งานวิจัย และสารนิเทศอิเล็กทรอนิกส์ ได้แก่ ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับกึ่งกึ่งดำ เช่น ลักษณะทั่วไปทางกายภาพ นิสัยการกินอาหารของกึ่ง ลักษณะของอาหารกึ่ง การใช้สารเหนียวในอาหารสัตว์น้ำ สารโคโคแซนและโคโคแซนในด้านโครงสร้างทางเคมี ประโยชน์ และการประยุกต์ใช้งานของโคโคแซนในงานด้านต่าง ๆ และงานวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกึ่งกับข้อมูลทีกล่าวมาแล้วในข้างต้น

3.1.2 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

3.1.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

อุปกรณ์สำหรับเตรียมอาหารกุ้ง ได้แก่

- 1) เครื่องบดและผสมอาหาร
- 2) เครื่องบดอาหารแบบมินเซอร์ (mincer) มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางช่องอัดเม็ด 3 มิลลิเมตร สำหรับอัดเม็ดอาหารกุ้ง

อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบความคงทนของอาหารเม็ดในน้ำ ได้แก่

- 1) ตะกร้าลวดทรงลูกบาศก์ (wire basket) พร้อมฝาปิด มีขนาดความกว้าง ขาวและสูง 5 x 5 x 5 เซนติเมตร ตามลำดับ ขนาดช่องตา 0.2 x 0.2 เซนติเมตร
- 2) เครื่องชั่งน้ำหนักไฟฟ้า 2 และ 4 ตำแหน่ง
- 3) ตู้อบควบคุมอุณหภูมิ $65 \pm 2^{\circ}\text{C}$
- 4) โถอบแห้ง (desiccator)
- 5) โถแก้วปริมาตร 5 ลิตร
- 6) ถ้วยฟอยล์สำหรับการใช้น้ำหนักอาหารแห้ง
- 7) ถาดอะลูมิเนียมสำหรับอบอาหารกุ้ง
- 8) นาฬิกาจับเวลา

3.1.2.2 สารเคมี

1) สารโคโตแซนที่ใช้เคลือบและผสมอาหารกุ้งในการทดลอง เป็นโคโตแซนสำเร็จที่ผลิตขึ้นเพื่อการค้า ที่มีค่าระดับการกำจัดหมู่อะเซทิล (Degree of Deacetylation, %DD) 80, 85 และ 90 เปอร์เซ็นต์

2) กรดอะซิติกความเข้มข้น 1.0 เปอร์เซ็นต์ (ปริมาตรต่อปริมาตร: v/v) โดยเติมกรดอะซิติกความเข้มข้นสูง (Gracial Acetic acid) 10 มิลลิลิตร ลงในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร

3.1.2.3 น้ำที่ใช้ทดสอบความคงทนของอาหาร

- 1) น้ำจืดเป็นน้ำประปาของมหาวิทยาลัยมหิดล ศูนย์สาธิตา โดยทิ้งไว้ให้ตกตะกอนประมาณ 3 วัน ก่อนนำมาทดลอง
- 2) น้ำทะเล มีค่าความเค็ม 30 ppt เป็นน้ำทะเลที่ทิ้งให้ตกตะกอนประมาณ 3 วัน ก่อนนำมาทดลอง

3.1.2.4 อาหารกุ้ง

อาหารกุ้งที่ใช้สำหรับทดสอบความคงทนในการทดลองนี้ จะใช้อาหารกุ้งกุลาดำอัดเม็ดสำเร็จรูปสำหรับเลี้ยงกุ้งกุลาดำขนาด 10 กรัม ขึ้นไป ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดอาหารประมาณ 3 มิลลิเมตร

นำอาหารกุ้งประมาณ 3 กิโลกรัม ทำการบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดอาหารเพื่อให้อาหารกุ้งเป็นผงมีขนาดใกล้เคียงกัน แล้วจึงแบ่งอาหารที่บดละเอียด 1,800 กรัม ไว้ใช้สำหรับเตรียมอาหารเม็ดเพื่อใช้เป็นอาหารหุ้ดควบคุมและอาหารที่เคลือบผิวด้วยสารโคโตแซน และ 1,200 กรัม เก็บไว้สำหรับผสมกับสารโคโตแซน โดยบรรจุในถุงพลาสติกมัดปากถุงให้แน่น

3.2 การดำเนินการวิจัย

3.2.1 การเตรียมอาหารกุ้งที่ใช้ในการทดลอง

การเตรียมอาหารกุ้งที่ใช้โคโตแซนเพิ่มความคงทนของอาหารในน้ำ แบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ อาหารกุ้งหุ้ดควบคุม อาหารกุ้งที่เคลือบผิวด้วยสารโคโตแซน และอาหารกุ้งที่ผสมด้วยสารโคโตแซน

3.2.1.1 อาหารกุ้งหุ้ดควบคุม

นำอาหารกุ้งที่ปั่นละเอียดแล้ว 1,800 กรัม มาทำให้เป็นเม็ดใหม่ซึ่งใช้เป็นอาหารหุ้ดควบคุมและแบ่งไว้ใช้ในการเคลือบผิวด้วยสารโคโตแซน ทำการเตรียมได้ ดังนี้

- 1) นำอาหารกุ้งที่ปั่นละเอียดมาชั่งน้ำหนัก ค่อย ๆ เติมน้ำกลั่นประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักอาหารที่ชั่ง ผสมให้เข้ากันโดยใช้เครื่องผสมอาหาร

- 2) นำไปอัดเม็ดด้วยเครื่องบดเนื้อที่มีขนาดช่องอัดเม็ด 3 มิลลิเมตร
- 3) ฝัองอาหารไว้แล้วตัดอาหารให้มีความยาวประมาณ 1 เซนติเมตรนำไปตากลมทิ้งไว้ให้แห้งประมาณ 2 วัน
- 4) เตรียมอาหารเม็ดให้ได้ประมาณ 1,800 กรัม
- 5) แบ่งอาหารเม็ดที่เตรียมไว้ประมาณ 1,200 กรัม ใช้ในการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตแซน และส่วนที่เหลือ 600 กรัม ใช้เป็นอาหารชุดควบคุม โดยบรรจุอาหารที่แห้งแล้วเก็บใส่ถุงพลาสติกไว้เพื่อทำการทดลองต่อไป

3.2.1.2 อาหารกึ่งที่เคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตแซน

- 1) เตรียมสต็อกสารละลายไคโตแซนความเข้มข้น 2.5 เปอร์เซ็นต์ (%w/v) โดยชั่งสารไคโตแซน 80%DD, 85%DD และ 90%DD ชนิดละ 2.5 กรัม ละลายในกรดอะซิติก 1 เปอร์เซ็นต์ (1 %v/v) ปริมาณให้เต็ม 100 มิลลิลิตร
- 2) ชั่งอาหารเม็ดที่เตรียมไว้ในข้อ 3.2.1.1 ประมาณ 50 กรัม คลุกกับสต็อกสารละลายไคโตแซนความเข้มข้น 2.5 % ปริมาตร 10 มิลลิลิตร (ซึ่งเป็นปริมาตรที่ใช้เคลือบอาหารกึ่งแล้วไม่ทำให้อาหารแฉะจนเกินไปและไม่มีสารเหลือ) อาหารกึ่งที่ได้ คือ อาหารที่เคลือบด้วยสารไคโตแซน 0.5 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักอาหาร;%w/w) พักอาหารกึ่งที่เคลือบแล้วไว้ในถาดอะลูมิเนียม ทิ้งไว้จนแห้งสนิท
- 3) เตรียมอาหารกึ่งชุดที่เคลือบสารไคโตแซน 1.0%w/w, 1.5%w/w และ 2.0%w/w โดยเคลือบด้วยสต็อกสารละลายไคโตแซนความเข้มข้น 2.5 % ครั้งละ 10 มิลลิลิตร ดังตารางที่ 3-1 (รายละเอียดการคำนวณปริมาณสารที่ใช้เคลือบแสดงไว้ในภาคผนวก ข)
- 4) ทำการเตรียมอาหารกึ่งตามข้อ 1) - ข้อ 3) ให้ครบทุกชุด

ตารางที่ 3-1 ปริมาตรสต็อกสารละลายไคโตแซนความเข้มข้น 2.5 %w/v ที่ใช้ในการเตรียมอาหารกุ้งชุดต่าง ๆ

อาหารเคลือบ สารไคโตแซน (%w/w)	สต็อกสารละลายไคโตแซน 2.5 %ที่ใช้เคลือบ (ml)			จำนวนครั้งที่เคลือบ (ครั้ง)
	CTS 80 %DD	CTS 85 %DD	CTS 90 %DD	
0.5	10	10	10	1
1.0	20	20	20	2
1.5	30	30	30	3
2.0	40	40	40	4

3.2.1.3 อาหารกุ้งที่ผสมด้วยไคโตแซน

1) ละลายไคโตแซน 80%DD 0.5 กรัม ในสารละลายกรดอะซิติก 1 เปอร์เซ็นต์ (ปริมาตรต่อปริมาตร) แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร แล้วผสมด้วยน้ำกลั่นประมาณ 12.5 มิลลิลิตร (รวมเป็น 112.5 มิลลิลิตร คิดเป็น 70 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักอาหารที่ใช้คือ 150 กรัม) ค่อย ๆ เทลงในอาหารกุ้งที่บดละเอียด 149.25 กรัม จนหมด ผสมลงทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยใช้เครื่องผสมอาหาร ได้อาหารกุ้งที่ผสมด้วยไคโตแซน 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

2) นำอาหารที่ผสมแล้วไปอัดเม็ดด้วยเครื่องบดอาหารแบบมินเซอร์ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของช่องอัดเม็ด 3 มิลลิเมตร

3) ฝั่ทิ้งให้แล้วตัดให้มีความยาวประมาณ 1 เซนติเมตร

4) ตากอาหารที่ตัดแล้วประมาณ 2 วัน จนแห้งสนิท

5) เก็บอาหารไว้ในถุงพลาสติก

6) ทำการเตรียมอาหารกุ้งตามข้อ 1) - ข้อ 5) โดยใช้ไคโตแซน 1.0, 1.5 และ 2.0 กรัม สำหรับอาหารที่ผสมไคโตแซน 1.0, 1.5 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์ ให้ครบทุก %DD

7) ปริมาณไคโตแซนและอาหารที่ใช้สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3-2

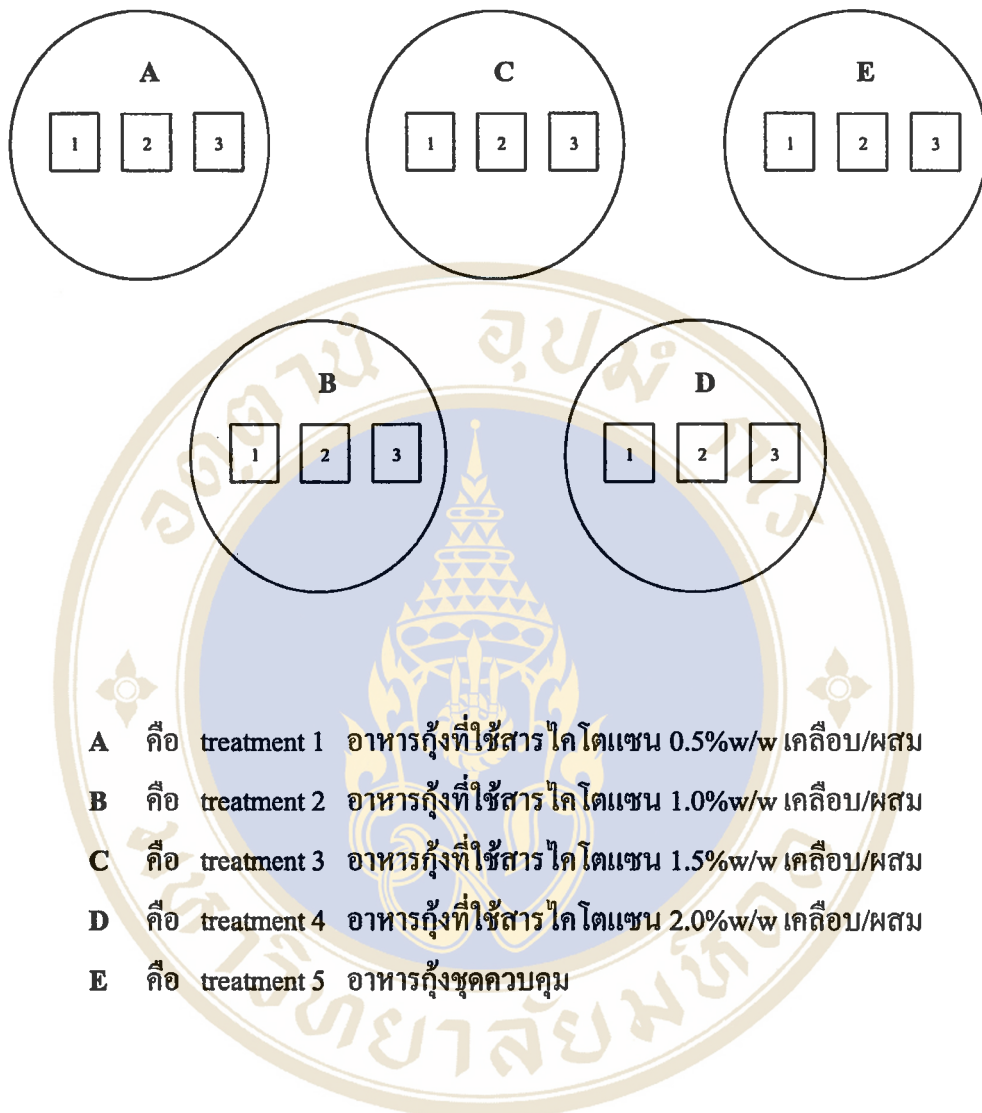
8) สำหรับอาหารชุดควบคุม ใช้อาหารที่เตรียมไว้ที่ไม่ผสมไคโตแซน

ตารางที่ 3-2 ปริมาณสารโคโคแซน (กรัม) ที่ผสมกับอาหารกุ้ง (กรัม) ในการเตรียมอาหารกุ้งที่ใช้ศึกษา

อาหารกุ้งผสม โคโคแซน (% w/w)	ปริมาณที่ใช้ (กรัม)					
	80% DD	อาหาร	85% DD	อาหาร	90% DD	อาหาร
ชุดควบคุม	-	150.00	-	150.00	-	150.00
0.5	0.75	149.25	0.75	149.25	0.75	149.25
1.0	1.50	148.50	1.50	148.50	1.50	148.50
1.5	2.25	147.75	2.25	147.75	2.25	147.75
2.0	3.00	147.00	3.00	147.00	3.00	147.00

3.2.2 การวางแผนการทดลอง

ในการศึกษาความคงทนของอาหารเม็ดในน้ำ ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design : CRD) (54,55) แบ่งการทดลองออกเป็น การเคลือบสารละลายโคโคแซนที่ผิวอาหารกุ้งและการผสมโคโคแซนในอาหารกุ้ง โดยทำการทดสอบความคงทนของอาหารในน้ำจืดและน้ำเค็ม สามารถแบ่งชุดการทดลองได้เป็น 12 ชุดการทดลอง ในแต่ละชุดของการทดลองมี 5 treatment คือ ใช้สารโคโคแซนเคลือบ/ผสม ด้วยปริมาณ 0.5 , 1.0, 1.5, 2.0%w/w และ ชุดควบคุม แต่ละ treatment มี 3 ซ้ำ รวมทั้งหมด 180 หน่วยการทดลอง (รายละเอียดได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข) แสดงผังการวาง treatment ของชุดการทดลองได้ดัง รูปที่ 3-1



รูปที่ 3-1 แผนผังการวาง treatment ของหุคการทดลองในการทดสอบความคงทนของอาหารในน้ำ

3.2.3 การศึกษาความคงทนของอาหารกึ่งที่เคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตแซน

อบอาหารกึ่งที่เคลือบสารไคโตแซนที่อุณหภูมิ 65 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นตัวใน desiccator ประมาณ 1 ชั่วโมง ก่อนการทดลองหาความคงทนของอาหารเม็ด โดยประยุกต์ใช้วิธีการทดสอบความคงตัวของเม็ดอาหารกึ่งในน้ำ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อาหารกึ่ง มาตรฐานเลขที่ มอก. 1198-2536 ของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (19) และการหาค่าความคงทนของอาหารกึ่งในน้ำประยุกต์จากวิธีของ Hastings (อ้างใน Balazes) และนำชัย (47,56) ดังนี้

1) นำอาหารอบแห้งที่เคลือบผิวด้วยสารไคโตแซน 80 %DD ปริมาณ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก;%w/w) จากการเตรียมในข้อ 3.2.1.2 และอาหารชุดควบคุม ในที่นี้คือชุดการทดลองที่ 1 (รายละเอียดแสดงไว้ในภาคผนวก ก) ซึ่งน้ำหนักประมาณ 5 กรัม ชุดละ 3 ซ้ำ ใส่ตะกร้าลวดขนาด 5 x 5 x 5 เซนติเมตร ขนาดช่องตา 0.2 x 0.2 เซนติเมตร แล้วนำไปแช่น้ำจืดโดยให้จมอยู่ลึก 15 เซนติเมตร ในโถแก้วที่บรรจุน้ำจืด 5 ลิตร ทิ้งไว้จนครบ 2 ชั่วโมง นำขึ้นมาวางพักไว้ให้สะเด็ดน้ำ

2) ล้างอาหารที่เหลืออยู่ออกจากตะกร้าให้หมดลงในถ้วยฟอยล์ที่อบไว้ใน desiccator นำไปอบให้แห้งสนิทในตู้อบอุณหภูมิ 65±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นตัวใน desiccator แล้วชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหาปริมาณน้ำในอาหารแห้งที่เหลืออยู่ นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความคงทนของอาหารสัตว์น้ำ ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{ความคงทนของอาหารสัตว์น้ำ (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักอาหารแห้งที่เหลืออยู่} \times 100}{\text{น้ำหนักอาหารแห้งที่เริ่มต้น}}$$

ที่มา : 1. Hastings (1964) อ้างใน Balazs (47)
2. นัชชัย เจริญเทศประสิทธิ์ (56)

3) ทำการทดลองหาความคงทนของอาหารในน้ำจืดตามข้อ 1) และ 2) ใช้อาหารที่เคลือบด้วยสารไคโตแซน 85 % DD และ 90 % DD คือชุดการทดลองที่ 2 และ 3 สามารถสรุปแผนผังการทดลองได้ดังรูปที่ 3-2

4) การศึกษาความคงทนของชุดการทดลองที่ 4-6 ตามข้อ 1) – ข้อ 3) ดังข้างต้นในน้ำเค็มที่มีค่าความเค็ม 30 ppt แล้ว สามารถสรุปแผนผังการทดลองได้ดังรูปที่ 3-2

3.2.4 การศึกษาความคงทนของอาหารกึ่งที่ผสมด้วยไคโตแซน

อบอาหารกึ่งที่ผสมสารไคโตแซนที่อุณหภูมิ 65±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นตัวใน desiccator ประมาณ 1 ชั่วโมง ก่อนการทดลองหาความคงทนของอาหารเม็ด โดยประยุกต์ใช้วิธีการทดสอบความคงตัวของเม็ดอาหารกึ่งในน้ำ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อาหารกึ่ง มาตรฐานเลขที่ มอก. 1198-2536 ของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

(19) และการหาค่าความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำประยุต์จากวิธีของ Hastings (อ้างใน Balazes) และนาซัย (47,56) ดังนี้

1) นำอาหารอบแห้งที่ผสมไคโตแซน 80 %DD ปริมาณ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 เปอร์เซนต์ (โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักอาหาร; %w/w) จากการเตรียมในข้อ 3.2.1.3 และอาหารชุดควบคุม ในที่นี้คือชุดการทดลองที่ 7 (รายละเอียดแสดงไว้ในภาคผนวก ก) ชั่งน้ำหนักประมาณ 5 กรัม ชุดละ 3 ซ้ำ ใส่ตะกร้าลวดขนาด 5 x 5 x 5 เซนติเมตร ขนาดช่องตา 0.2 x 0.2 เซนติเมตร แล้วนำไปแช่น้ำจืดโดยให้จมอยู่ลึก 15 เซนติเมตร ในโถแก้วที่บรรจุน้ำจืด 5 ลิตร ทิ้งไว้จนครบ 2 ชั่วโมง นำขึ้นมาวางพักไว้ให้สะเด็ดน้ำ

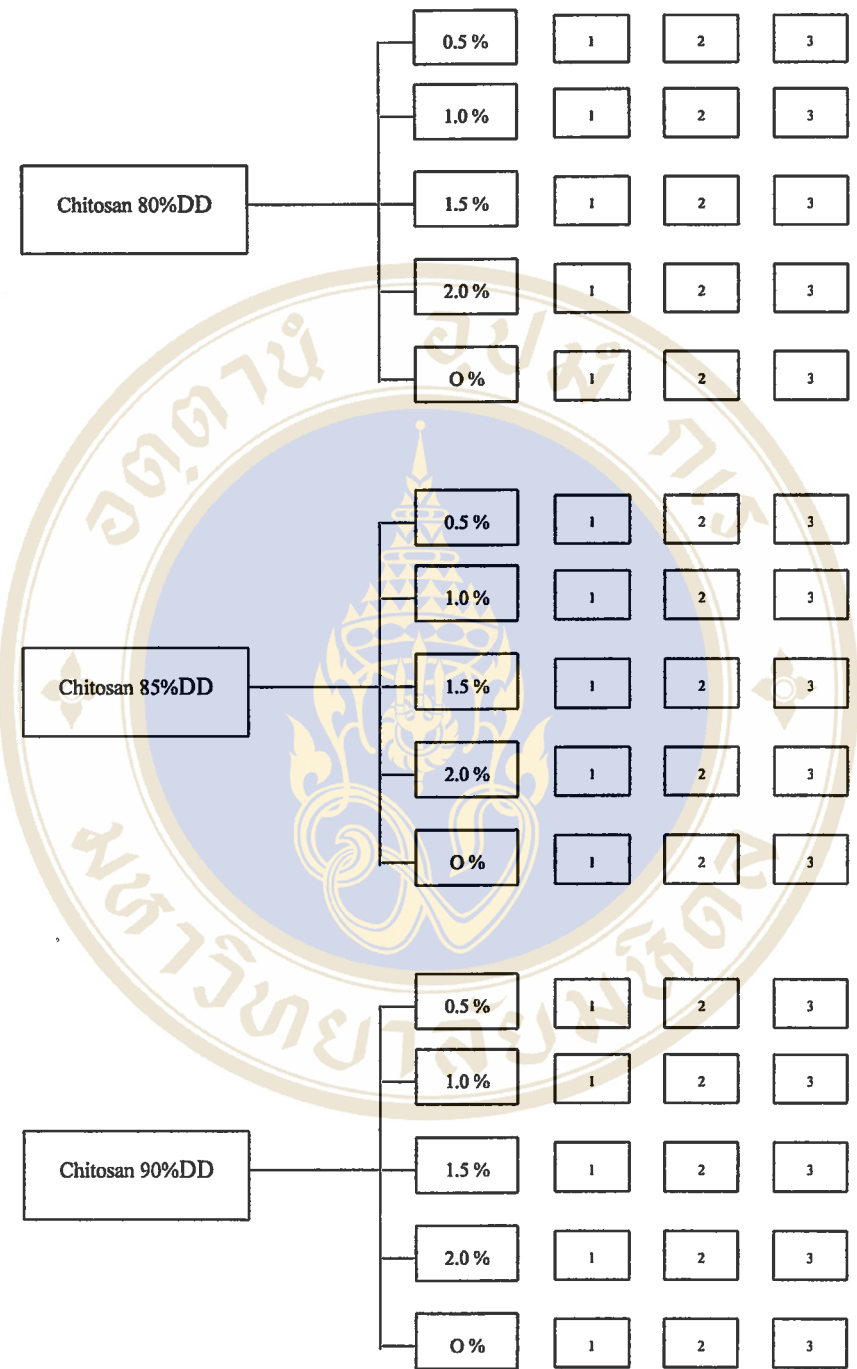
2) ล้างอาหารที่เหลืออยู่ออกจากตะกร้าให้หมดลงในถ้วยฟอยล์ที่อบไว้ใน desiccator นำไปอบให้แห้งสนิทในตู้อบอุณหภูมิ 65 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ปลอຍให้เย็นตัวใน dessicator แล้วชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณน้ำหนักอาหารแห้งที่เหลืออยู่ นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความคงทนของอาหารสัตว์น้ำ เช่นเดียวกับข้อ 3.2.3

3) ทำการทดลองหาความคงทนของอาหารในน้ำจืดตามข้อ 1) และ 2) ใช้อาหารที่ผสมด้วยไคโตแซน 85 % DD และ 90 % DD คือชุดการทดลองที่ 8 และ 9 สามารถสรุปแผนผังการทดลองได้ดังรูปที่ 3-2

4) การศึกษาความคงทนของชุดการทดลองที่ 10-12 ตามข้อ 1) – ข้อ 3) ดังข้างต้นในน้ำเค็มที่มีค่าความเค็ม 30 ppt สามารถสรุปแผนผังการทดลองได้ดังรูปที่ 3-2

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อศึกษาความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำ ใช้วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-Way Analysis of Variances) และเมื่อพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 จึงทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความคงทนของอาหารกุ้งที่ใช้สารไคโตแซนค่าระดับการกำจัดหุ่อะเซทิล (%DD) และปริมาณสารไคโตแซน (%w/w) ที่แตกต่างกัน โดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ส่วนการเปรียบเทียบผลของวิธีการเคลือบกับการผสม และน้ำจืดกับน้ำเค็มที่มีต่อความคงทนของอาหารกุ้งใช้การวิเคราะห์สถิติ T-Test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SPSS for WINDOWS version 7.5 เป็นเครื่องมือช่วยในการคำนวณ



รูปที่ 3-2 แผนผังการทดสอบความคงทนของอาหารกุ้งที่เคลือบและผสมด้วยไคโตแซนในน้ำจืดและน้ำเค็ม

บทที่ 4

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากการดำเนินการศึกษาที่เป็นไปตามขั้นตอนนั้น สามารถเสนอผลการศึกษาออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

- ส่วนที่ 1 ลักษณะทางกายภาพของอาหารกึ่งที่ทำการทดสอบ
- ส่วนที่ 2 ผลของค่าระดับการกำจัดหมู่อะเซทิลของสารโคโคแซนและปริมาณสารโคโคแซนที่ใช้ต่อความคงทนของอาหารกึ่งในน้ำ
- ส่วนที่ 3 ผลของการเคลือบกับการผสมสารโคโคแซน และ น้ำจืดกับน้ำเค็ม ที่มีต่อความคงทนของอาหารกึ่งในน้ำ
- ส่วนที่ 4 การวิเคราะห์ต้นทุนค่าอาหารกึ่งที่ใช้สารโคโคแซนเพื่อเพิ่มความคงทนของอาหารในน้ำ

4.1 ลักษณะทางกายภาพของอาหารกึ่งที่ทำการทดสอบ

ลักษณะทางกายภาพของอาหารกึ่งชุดต่าง ๆ เช่น ผิวนอกของเม็ดอาหารกึ่ง ลักษณะเม็ดอาหารก่อนและหลังการทดสอบในน้ำจืด/น้ำเค็มที่สังเกตได้ด้วยตาเปล่า แสดงรายละเอียดได้ดังตารางที่ 4-1

หลังจากทดสอบความคงทนของอาหารกึ่งชุดต่าง ๆ ในน้ำจืดและน้ำเค็ม สามารถสรุปในเบื้องต้นได้ว่า อาหารกึ่งที่เคลือบและผสมสารโคโคแซนมีลักษณะเม็ดที่คงรูปมากกว่าอาหารกึ่งชุดควบคุม อาหารกึ่งที่เคลือบและผสมสารโคโคแซนจึงมีความคงทนสูงกว่าอาหารกึ่งชุดควบคุมซึ่งไม่ได้ใช้สารโคโคแซน และอาหารกึ่งทุกชุดที่ทำการทดสอบความคงทนในน้ำเค็มมีความคงทนสูงกว่าอาหารกึ่งที่ทำการทดสอบในน้ำจืด เนื่องจากลักษณะเม็ดอาหารกึ่งมีความคงรูปกว่าลักษณะเม็ดอาหารกึ่งที่ทำการทดสอบในน้ำจืด

ตารางที่ 4-1 ลักษณะทางกายภาพของอาหารกึ่งชุดต่าง ๆ ก่อนและหลังการทดสอบในน้ำ

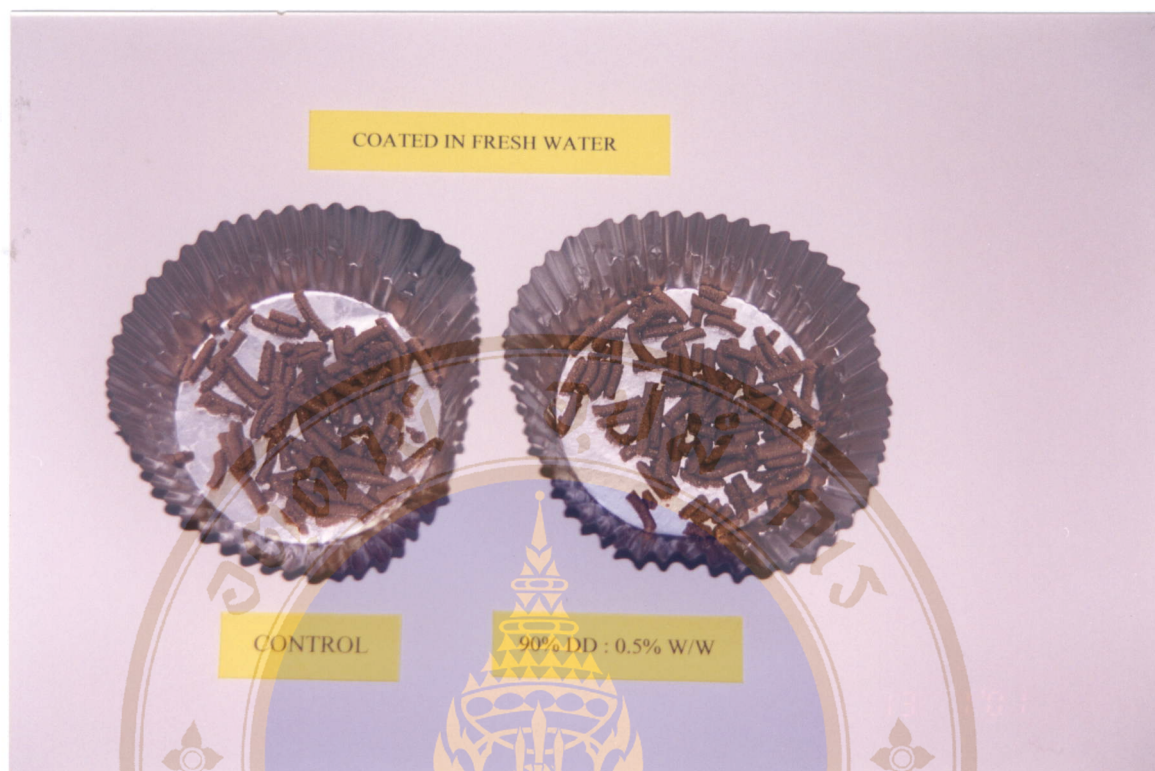
ก่อนทดสอบ	หลังทดสอบ
อาหารกึ่งชุดควบคุม - เมื่อเม็ดอาหารแห้งมีขนาดเล็กกลึงจากเดิมเล็กน้อย	น้ำจืด - เม็ดอาหารพองตัวเพิ่มขึ้น - ผิวภายนอกบางส่วนเริ่มปริแยก - เม็ดอาหารอ่อนตัวแตกหักได้ง่าย น้ำเค็ม - ลักษณะคล้ายในน้ำจืดแต่มีการพองตัว, การปริแยกของเม็ด น้อยกว่า - เม็ดอาหารอ่อนตัวแตกหักง่ายเช่นกัน
อาหารกึ่งชุดเคลือบสารไคโตแซน - ผิวของเม็ดอาหารมีความเงามากกว่าอาหารกึ่งที่ ไม่ได้เคลือบ คือ อาหารกึ่งชุดควบคุมและชุดผสมสารไคโตแซน - การใช้ %DD ต่างกัน ผิวของเม็ดไม่มีความแตกต่างกัน (รูปที่ 4-1) - การใช้ปริมาณสารไคโตแซน (%w/w) ที่ระดับการเคลือบที่สูงขึ้น ผิวของเม็ดอาหารมีความเงาเพิ่มขึ้น โดยที่ระดับ 2.0%w/w เม็ดอาหารมีความเงามากที่สุด (รูปที่ 4-2)	น้ำจืด - เม็ดอาหารพองตัวน้อยกว่าชุดควบคุม โดยเฉพาะเคลือบด้วย 2.0%w/w พองตัวน้อยที่สุด (รูปที่ 4-3 และ รูปที่ 4-4) - %DD ต่างกัน ผิวไม่มีความแตกต่างกัน - เมื่อบีบอาหารกึ่งชุดที่เคลือบสารที่ระดับ 0.5 และ 1.0%w/w เม็ดอาหารจะปริแตก ส่วนที่ระดับ 1.5 และ 2.0%w/w เม็ดอาหารแบนแต่ไม่ปริแตกเนื่องจากการเคลือบคล้ายเป็นการเคลือบด้วยฟิล์มที่ระดับ %w/w สูงขึ้นฟิล์มมีความหนาเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4-5) น้ำเค็ม - คล้ายกับทดสอบในน้ำจืดแต่มีการพองตัวน้อยกว่า (รูปที่ 4-6)
อาหารกึ่งชุดผสมสารไคโตแซน - ผิวเม็ดอาหารไม่มีความเงาเมื่อเทียบกับอาหารชุดเคลือบ และไม่แตกต่างจากอาหารชุดควบคุม (รูปที่ 4-7) - %DD และ %w/w ที่แตกต่างลักษณะไม่แตกต่างกัน (รูปที่ 4-8)	น้ำจืด (รูปที่ 4-9) - เม็ดอาหารพองตัวน้อยกว่าชุดควบคุม - %DD ต่างกัน ผิวไม่มีความแตกต่างกัน - ลักษณะเม็ดคล้ายอาหารชุดเคลือบ - เมื่อบีบเม็ดอาหารที่ผสมสาร 0.5 และ 1.0%w/w จะปริแตกมากกว่าที่ผสมสาร 1.5 และ 2.0%w/w น้ำเค็ม (รูปที่ 4-10) - คล้ายกับทดสอบในน้ำจืดแต่มีการพองตัวน้อยกว่า



รูปที่ 4-1 อาหารกุ้งเคลือบสารไคโตแซน 80%DD, 85%DD และ 90%DD ก่อนการทดสอบ



รูปที่ 4-2 อาหารกุ้งเคลือบสารไคโตแซน 80%DD ในปริมาณต่าง ๆ ก่อนการทดสอบ



รูปที่ 4-3 อาหารกุ้งชดควบคุมและเคลือบสารไคโตแซน 90%DD ปริมาณ 0.5%w/w หลังทดสอบในน้ำจืด



รูปที่ 4-4 อาหารกุ้งชดควบคุมและเคลือบสารไคโตแซน 90%DD ปริมาณ 2.0%w/w หลังทดสอบในน้ำจืด



รูปที่ 4-5 อาหารกุ้งเคลือบสารไคโตแซน 80%DD ปริมาณต่าง ๆ หลังการทดสอบในน้ำจืด



รูปที่ 4-6 อาหารกุ้งเคลือบสารไคโตแซน 80%DD ปริมาณต่าง ๆ หลังการทดสอบในน้ำเค็ม



รูปที่ 4-7 อาหารกึ่งเคลือบและผสมสารไคโตแซน 80%DD ปริมาณ 0.5%w/w ก่อนการทดสอบ



รูปที่ 4-8 อาหารกึ่งผสมสารไคโตแซน 80%DD ปริมาณต่าง ๆ ก่อนการทดสอบ



รูปที่ 4-9 อาหารกุ้งผสมสารไคโตแซน 80%DD ปริมาณต่าง ๆ หลังการทดสอบในน้ำจืด



รูปที่ 4-10 อาหารกุ้งผสมสารไคโตแซน 80%DD ปริมาณต่าง ๆ หลังการทดสอบในน้ำเค็ม



4.2 ผลของค่าระดับการกำจัดหมู่อะเซทิลของสารโคโคแซนและปริมาณสารโคโคแซนที่ใช้ต่อความคงทนของอาหารกึ่งในน้ำ

การศึกษาผลของค่าระดับการกำจัดหมู่อะเซทิลของสารโคโคแซน (%DD) ได้ทำการเปรียบเทียบความคงทนของอาหารกึ่งที่ใช้สารโคโคแซนที่ค่าระดับการกำจัดหมู่อะเซทิล (Degree of Deacetylation; %DD) 3 ระดับ คือ 80%DD, 85%DD และ 90 %DD ในปริมาณการใช้สารโคโคแซน (%w/w) เคลือบและผสมที่ระดับเดียวกัน

ส่วนผลของปริมาณการใช้สารโคโคแซน (%w/w) ได้ทำการเปรียบเทียบความคงทนของอาหารกึ่งที่ใช้สารโคโคแซนเคลือบและผสมที่ปริมาณ %w/w ต่าง ๆ กัน 4 ระดับ คือ 0.5%w/w, 1.0%w/w, 1.5%w/w, 2.0 %w/w และอาหารชุดควบคุม ในค่าระดับการกำจัดหมู่อะเซทิลของสารโคโคแซน (%DD) ที่ระดับเดียวกัน

4.2.1 การศึกษาความคงทนของอาหารกึ่งในน้ำจืด

จากการศึกษาความคงทนของอาหารกึ่งที่เคลือบผิวและผสมสารโคโคแซน ที่มีค่าระดับการกำจัดหมู่อะเซทิล (Degree of Deacetylation: %DD) เท่ากับ 80%DD, 85%DD และ 90%DD ด้วยปริมาณ 0.5%w/w, 1.0%w/w, 1.5%w/w, 2.0 %w/w และอาหารชุดควบคุม เมื่อนำไปทดสอบความคงทนของอาหารในน้ำจืดให้ผลดังรูปที่ 4-11 (A) และตารางที่ ง-1 ถึง ตารางที่ ง-2 ภาคผนวก ง

4.2.1.1 อาหารกึ่งที่เคลือบสารโคโคแซนทดสอบในน้ำจืด

ผลของค่าระดับการกำจัดหมู่อะเซทิล(%DD) ต่อความคงทนของอาหารกึ่ง การวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลความคงทนของอาหารกึ่งในน้ำจืดที่เคลือบผิวด้วยสารโคโคแซน %DD ต่าง ๆ ในปริมาณการใช้สารโคโคแซน(%w/w) ที่เท่ากัน พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยทางสถิติที่ระดับ 0.05 ในทุกปริมาณการใช้สารโคโคแซนเคลือบทั้ง 4 ระดับ คือ 0.5%w/w, 1.0%w/w, 1.5%w/w และ 2.0 %w/w โดยการใช้สารโคโคแซนที่มีค่าระดับการกำจัดหมู่อะเซทิล (%DD) ต่างกัน เคลือบผิวอาหารกึ่ง มีผลทำให้ค่าเฉลี่ยความคงทนของอาหารกึ่งในน้ำจืดมีความแตกต่างกัน และอาหารกึ่งชุดควบคุมของการทดสอบอาหารที่เคลือบผิวด้วยสาร

โคโตแซน 80%DD, 85%DD และ 90%DD ของการทดสอบในน้ำจืดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

เมื่อทำการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความคงทนของอาหารกุ้งที่ %DD ต่าง ๆ ของอาหารกุ้งที่เคลือบด้วยสารโคโตแซนปริมาณ 0.5%w/w-2.0%w/w ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) พบว่า อาหารกุ้งที่ใช้สารโคโตแซน 80%DD และ 85%DD เคลือบผิวในระดับปริมาณการใช้สารโคโตแซน (%w/w) ที่ระดับเดียวกัน ทั้ง 4 ระดับ คือ 0.5%w/w, 1.0%w/w, 1.5%w/w และ 2.0%w/w มีความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำจืดสูงกว่าอาหารกุ้งที่เคลือบสารโคโตแซน 90%DD ในปริมาณสารโคโตแซน %w/w ที่ระดับเดียวกัน แสดงผลดังตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 เปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยความคงทนของอาหารกุ้ง (เปอร์เซ็นต์) ในน้ำจืดที่ใช้สารโคโตแซน %DD ต่าง ๆ 3 ระดับในปริมาณการใช้ (%w/w) ที่เท่ากัน

ชนิดน้ำ	วิธี	ปริมาณ %w/w	สารโคโตแซน			Sig
			80%DD	85%DD	90%DD	
น้ำจืด	เคลือบ	0.5	86.93 ^a	87.40 ^a	85.14 ^b	0.000
		1.0	87.98 ^a	88.28 ^a	86.81 ^b	0.000
		1.5	88.28 ^a	88.23 ^a	86.64 ^b	0.002
		2.0	88.79 ^a	88.50 ^a	87.04 ^b	0.002
		ควบคุม	84.40 ^a	84.02 ^a	84.21 ^a	0.810
	ผสม	0.5	85.75 ^b	86.78 ^a	85.76 ^b	0.009
		1.0	87.83 ^a	88.59 ^a	88.27 ^a	0.111
		1.5	88.20 ^a	88.83 ^a	89.04 ^a	0.160
		2.0	88.63 ^c	89.37 ^b	90.20 ^a	0.005
		ควบคุม	84.09 ^a	83.93 ^a	84.16 ^a	0.906

หมายเหตุ : - ^{abc} แสดงการเปรียบเทียบในแนวนอน ที่มีอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

- ในแนวนอนที่มีอักษรต่างกัน ^{abc} แสดงค่าที่สูงสุดถึงค่าที่ต่ำสุดเรียงตามลำดับอักษร
- ค่าเฉลี่ยความคงทนของอาหารกุ้งหาค่าเฉลี่ยได้จากการทดสอบความคงทนของอาหารกุ้งชุดการทดลองที่ 1-3 และ ชุดการทดลองที่ 7-9 (รายละเอียดในภาคผนวก ข)

ที่มา: ตารางที่ ง-5 ถึง ตารางที่ ง-14 ภาคผนวก ง

ผลของปริมาณการใช้สารไคโตแซน (%w/w) ต่อความคงทนของอาหารกุ้ง เมื่อทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำจืดที่เคลือบผิวด้วยสารไคโตแซนปริมาณ (%w/w) ต่าง ๆ กัน ที่ระดับ %DD ที่เท่ากัน พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยการใช้สารไคโตแซนที่ปริมาณ (%w/w) ต่าง ๆ กัน เคลือบผิวอาหารกุ้ง มีผลทำให้ค่าเฉลี่ยความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำจืดมีความแตกต่างกัน

การทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความคงทนของอาหารกุ้งผสมสารไคโตแซน 0.5%w/w-2.0%w/w ที่ระดับ %DD ที่เท่ากัน ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) พบว่า ความคงทนของอาหารกุ้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณ (%w/w) การใช้สารไคโตแซนเคลือบที่สูงขึ้น โดยปริมาณ (%w/w) ที่ทำให้อาหารกุ้งชุดเคลือบสารไคโตแซน 80%DD, 85%DD และ 90%DD มีความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำจืดสูงสุด คือ 2.0%w/w, 1.0%w/w-2.0%w/w และ 1.0%w/w-2.0%w/w ตามลำดับ และอาหารกุ้งชุดควบคุมของการทดสอบอาหารกุ้งชุดเคลือบสารไคโตแซน 80%DD, 85%DD และ 90%DD มีความคงทนของอาหารในน้ำต่ำที่สุด แสดงได้ดังตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 เปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยความคงทนของอาหารกุ้ง (เปอร์เซ็นต์) ในน้ำจืด ที่ใช้สารไคโตแซนปริมาณ (%w/w) ต่าง ๆ ที่ระดับ %DD ที่เท่ากัน

ชนิดน้ำ	วิธี	%DD	ปริมาณ %w/w					Sig.
			0.5	1.0	1.5	2.0	ควบคุม	
น้ำจืด	เคลือบ	80%DD	86.93 ^c	87.98 ^b	88.28 ^b	88.79 ^a	84.40 ^d	0.000
		85%DD	87.40 ^b	88.28 ^a	88.23 ^a	88.50 ^a	84.02 ^c	0.000
		90%DD	85.14 ^b	86.81 ^a	86.64 ^a	87.04 ^a	84.21 ^b	0.000
	ผสม	80%DD	85.75 ^c	87.83 ^b	88.20 ^{ab}	88.63 ^a	84.09 ^d	0.000
		85%DD	86.78 ^b	88.59 ^a	88.83 ^a	89.37 ^a	83.93 ^c	0.000
		90%DD	85.76 ^c	88.27 ^b	89.04 ^b	90.20 ^a	84.16 ^d	0.000

หมายเหตุ : - ^{abcd} แสดงการเปรียบเทียบในแนวนอน ที่มีอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

- ในแนวนอนที่มีอักษรต่างกัน ^{abcd} แสดงค่าที่สูงสุดถึงค่าที่ต่ำสุดเรียงตามลำดับอักษร
- ^{ab} เป็นค่าที่อยู่ทั้งใน subset ^a และ subset ^b
- ค่าเฉลี่ยความคงทนของอาหารกุ้งชุดควบคุมได้จากการทดสอบความคงทนของอาหารกุ้งชุดการทดลองที่ 1-3 และ ชุดการทดลองที่ 7-9 (รายละเอียดในภาคผนวก ข)

ที่มา: ตารางที่ ง-25 ถึง ตารางที่ ง-30 ภาคผนวก ง

4.2.1.2 อาหารกึ่งที่ผสมสารไลโดแซนทดสอบในน้ำจืด

ผลของค่าระดับการกำจัดหุอะเซทิล (%DD) ต่อความคงทนของอาหารกึ่ง การวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลความคงทนของอาหารกึ่งในน้ำจืดที่ผสมสารไลโดแซน %DD ต่างกัน ในปริมาณการใช้สารไลโดแซน (%w/w) ที่เท่ากัน พบว่า ที่ปริมาณ 0.5%w/w และ 2.0%w/w ความคงทนของอาหารกึ่งที่ผสมสารไลโดแซน %DD ต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยการใช้สารไลโดแซนที่มีค่าระดับการกำจัดหุอะเซทิล (%DD) ต่างกัน ผสมอาหารกึ่งที่ปริมาณ 0.5%w/w และ 2.0%w/w มีผลทำให้ค่าเฉลี่ยความคงทนของอาหารกึ่งในน้ำจืดมีความแตกต่างกัน ส่วนอาหารกึ่งที่ผสมสารไลโดแซน %DD ต่าง ๆ ที่ปริมาณ 1.0%w/w และ 1.5%w/w รวมทั้งอาหารกึ่งชุดควบคุมของการทดสอบอาหารที่ผสมสารไลโดแซน 80%DD, 85%DD และ 90%DD ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

เมื่อทำการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความคงทนของอาหารกึ่งผสมสารไลโดแซน %DD ต่างกัน ที่ปริมาณ 0.5%w/w และ 2.0%w/w ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) พบว่า ที่ปริมาณการผสม 0.5%w/w อาหารกึ่งผสมสารไลโดแซน 85%DD มีความคงทนของอาหารกึ่งในน้ำจืดสูงกว่าอาหารกึ่งที่ผสมสารไลโดแซน 80%DD และ 90%DD และที่ปริมาณการผสม 2.0%w/w อาหารกึ่งผสมสารไลโดแซน 90%DD มีความคงทนของอาหารกึ่งในน้ำจืดสูงสุด แสดงผลดังตารางที่ 4-2

ผลของปริมาณการใช้สารไลโดแซน (%w/w) ต่อความคงทนของอาหารกึ่ง เมื่อทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลความคงทนของอาหารกึ่งในน้ำจืดที่ผสมสารไลโดแซนปริมาณ (%w/w) ต่าง ๆ กัน ที่ระดับ %DD ที่เท่ากัน พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยทางสถิติที่ระดับ 0.05 ทุกระดับ %DD ที่เท่ากัน โดยการผสมสารไลโดแซนในอาหารกึ่งที่ปริมาณ (%w/w) ต่าง ๆ กัน มีผลทำให้ค่าเฉลี่ยความคงทนของอาหารกึ่งในน้ำจืดมีความแตกต่างกัน

เมื่อทำการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความคงทนของอาหารกึ่งที่ %w/w ต่าง ๆ ที่สารไลโดแซน 80%DD 85%DD และ 90%DD ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) พบว่า ความคงทนของอาหารกึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณ (%w/w) การผสมสารไลโดแซนที่สูงขึ้น โดยปริมาณ (%w/w) ที่ทำให้อาหารกึ่งชุดผสมสารไลโดแซน 80%DD, 85%DD และ 90%DD มีความคงทนของอาหารกึ่งในน้ำจืดสูงสุด คือ 1.5%w/w-2.0%w/w,

1.0%w/w-2.0%w/w และ 2.0%w/w ตามลำดับ ส่วนอาหารกึ่งหุ้ดควบคุมของการทดสอบอาหารกึ่งหุ้ดผสมสารไคโตแซน 80%DD, 85%DD และ 90%DD มีความคงทนของอาหารในน้ำต่ำที่สุด แสดงได้ดังตารางที่ 4-3

4.2.2 การศึกษาความคงทนของอาหารกึ่งในน้ำเค็ม

เมื่อนำอาหารกึ่งที่เคลือบผิวและผสมสารไคโตแซนที่มีค่าระดับการกำจัดหุ้ดอะเซทิล (Degree of Deacetylation: %DD) เท่ากับ 80%DD, 85%DD และ 90%DD ด้วยปริมาณ 0.5%w/w, 1.0%w/w, 1.5%w/w, 2.0 %w/w และอาหารหุ้ดควบคุม ไปทดสอบความคงทนของอาหารในน้ำเค็มให้ผลดังรูปที่ 4-11 (B) และตารางที่ 4-3 ถึง ตารางที่ 4-4 ภาคผนวก ง

4.2.2.1 อาหารกึ่งที่เคลือบสารไคโตแซนทดสอบในน้ำเค็ม

ผลของค่าระดับการกำจัดหุ้ดอะเซทิล(%DD) ต่อความคงทนของอาหารกึ่ง เมื่อทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลความคงทนของอาหารกึ่งในน้ำเค็มที่เคลือบผิวด้วยสารไคโตแซน %DD ต่าง ๆ ในปริมาณการใช้สารไคโตแซน (%w/w) ที่เท่ากัน พบว่า ที่ปริมาณ 1.0%w/w-2.0%w/w อาหารกึ่งที่เคลือบสารไคโตแซน %DD ต่างกัน มีความคงทนของอาหารกึ่งในน้ำเค็มแตกต่างกันอย่างมีนัยทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยการเคลือบผิวอาหารกึ่งด้วยสารไคโตแซนที่มีค่าระดับการกำจัดหุ้ดอะเซทิล (%DD) ต่างกัน มีผลทำให้ค่าเฉลี่ยความคงทนของอาหารกึ่งในน้ำเค็มมีความแตกต่างกัน และอาหารกึ่งหุ้ดควบคุมของการทดสอบอาหารที่เคลือบผิวด้วยสารไคโตแซน 80%DD, 85%DD และ 90%DD ของการทดสอบในน้ำเค็ม ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ในการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความคงทนของอาหารกึ่งที่ %DD ต่าง ๆ ที่ปริมาณ 1.0%w/w-2.0%w/w ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) พบว่า ที่ปริมาณ 1.0%w/w - 1.5%w/w อาหารกึ่งที่เคลือบผิวด้วยสารไคโตแซน 80%DD และ 85%DD มีความคงทนของอาหารในน้ำเค็มสูงกว่าอาหารกึ่งเคลือบด้วยสารไคโตแซน 90%DD ส่วนที่ปริมาณ 2.0%w/w อาหารกึ่งที่เคลือบด้วยสารไคโตแซน 85%DD มีความคงทนของอาหารกึ่งในน้ำเค็มสูงที่สุด แสดงผลดังตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 เปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยความคงทนของอาหารกุ้ง (เปอร์เซ็นต์) ในน้ำเค็มที่ใช้สารไคโตแซน %DD ต่าง ๆ 3 ระดับในปริมาณการใช้ (%w/w) ที่เท่ากัน

ชนิดน้ำ	วิธี	ปริมาณ %w/w	สารไคโตแซน			Sig.
			80%DD	85%DD	90%DD	
น้ำเค็ม	เคลือบ	0.5	90.19 ^a	91.62 ^a	90.16 ^a	0.265
		1.0	91.83 ^a	92.18 ^a	91.05 ^b	0.024
		1.5	92.42 ^a	92.64 ^a	91.28 ^b	0.003
		2.0	92.63 ^b	93.02 ^a	91.66 ^c	0.000
		ควบคุม	88.71 ^a	88.92 ^a	88.56 ^a	0.357
	ผสม	0.5	89.72 ^a	90.29 ^a	89.58 ^a	0.212
		1.0	90.36 ^a	91.51 ^a	91.28 ^a	0.325
		1.5	90.62 ^b	91.82 ^a	92.06 ^a	0.019
		2.0	91.07 ^b	92.56 ^a	92.67 ^a	0.000
		ควบคุม	88.33 ^a	88.78 ^a	88.63 ^a	0.194

หมายเหตุ : - ^{abc} แสดงการเปรียบเทียบในแนวนอน ที่มีอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

- ในแนวนอนที่มีอักษรต่างกัน ^{abc} แสดงค่าที่สูงสุดถึงค่าที่ต่ำสุดเรียงตามลำดับอักษร

- ค่าเฉลี่ยความคงทนของอาหารกุ้งชุดควบคุม ได้จากการทดสอบความคงทนของอาหารกุ้งชุดการทดลองที่ 4-6 และ ชุดการทดลองที่ 10-12 (รายละเอียดในภาคผนวก ข)

ที่มา: ตารางที่ ง-15 ถึง ตารางที่ ง-24 ภาคผนวก ง

ผลของปริมาณการใช้สารไคโตแซน (%w/w) ต่อความคงทนของอาหารกุ้ง เมื่อทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำเค็มที่เคลือบผิวด้วยสารไคโตแซนปริมาณ (%w/w) ต่าง ๆ กัน ที่ระดับ %DD ที่เท่ากัน พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยทางสถิติที่ระดับ 0.05 ทุกระดับ %DD ที่เท่ากัน โดยการใช้สารไคโตแซนที่ปริมาณ (%w/w) ต่าง ๆ กันเคลือบผิวอาหารกุ้ง มีผลทำให้ความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำเค็มมีความแตกต่างกัน เช่นเดียวกับการทดสอบความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำจืด

การทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความคงทนของอาหารกุ้งที่ %w/w ต่าง ๆ ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) พบว่า ความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำ

เต็มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณ (%w/w) การใช้สารไคโตแซนเคลือบที่สูงขึ้น โดยปริมาณ (%w/w) ที่ทำให้อาหารกุ้งสดเคลือบสารไคโตแซน 80%DD, 85%DD และ 90%DD มีความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำเค็มสูงสุด คือ 1.0%w/w-2.0%w/w, 1.5%w/w-2.0%w/w และ 1.5%w/w-2.0%w/w ตามลำดับ และอาหารกุ้งสดควบคุมของการทดสอบอาหารกุ้งสดเคลือบสารไคโตแซน 80%DD, 85%DD และ 90%DD ของการทดสอบในน้ำเค็มมีความคงทนของอาหารในน้ำเค็มต่ำที่สุด แสดงได้ดังตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5 เปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยความคงทนของอาหารกุ้ง (เปอร์เซ็นต์) ในน้ำเค็มที่ใช้สารไคโตแซนปริมาณ (%w/w) ต่าง ๆ ที่ระดับ %DD ที่เท่ากัน

ชนิดน้ำ	วิธี	%DD	ปริมาณ %w/w					Sig.
			0.5	1.0	1.5	2.0	ควบคุม	
น้ำเค็ม	เคลือบ	80%DD	90.19 ^b	91.83 ^a	92.42 ^a	92.63 ^a	88.71 ^b	0.001
		85%DD	91.62 ^c	92.18 ^{bc}	92.64 ^{ab}	93.02 ^a	88.92 ^d	0.000
		90%DD	90.16 ^c	91.05 ^b	91.28 ^{ab}	91.66 ^a	88.56 ^d	0.000
	ผสม	80%DD	89.72 ^a	90.36 ^a	90.62 ^a	91.07 ^a	88.33 ^b	0.009
		85%DD	90.29 ^c	91.51 ^b	91.82 ^{ab}	92.56 ^a	88.78 ^d	0.000
		90%DD	89.58 ^d	91.28 ^c	92.06 ^b	92.67 ^a	88.63 ^c	0.000

หมายเหตุ : - ^{abcde} แสดงการเปรียบเทียบในแนวนอน ที่มีอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

- ในแนวนอนที่มีอักษรต่างกัน ^{abcde} แสดงค่าที่สูงสุดถึงค่าที่ต่ำสุดเรียงตามลำดับอักษร
- ^{ab} เป็นค่าที่อยู่ทั้งใน subset ^a และ subset ^b
- ^{bc} เป็นค่าที่อยู่ทั้งใน subset ^b และ subset ^c
- ค่าเฉลี่ยความคงทนของอาหารกุ้งสดควบคุมได้จากการทดสอบความคงทนของอาหารกุ้งสดการทดลองที่ 4-6 และ ชุดการทดลองที่ 10-12 (รายละเอียดในภาคผนวก ข)

ที่มา: ตารางที่ ง-31 ถึง ตารางที่ ง-36 ภาคผนวก ง

4.2.2.2 อาหารกึ่งที่ผสมสารไลโดแซนทดสอบในน้ำเค็ม

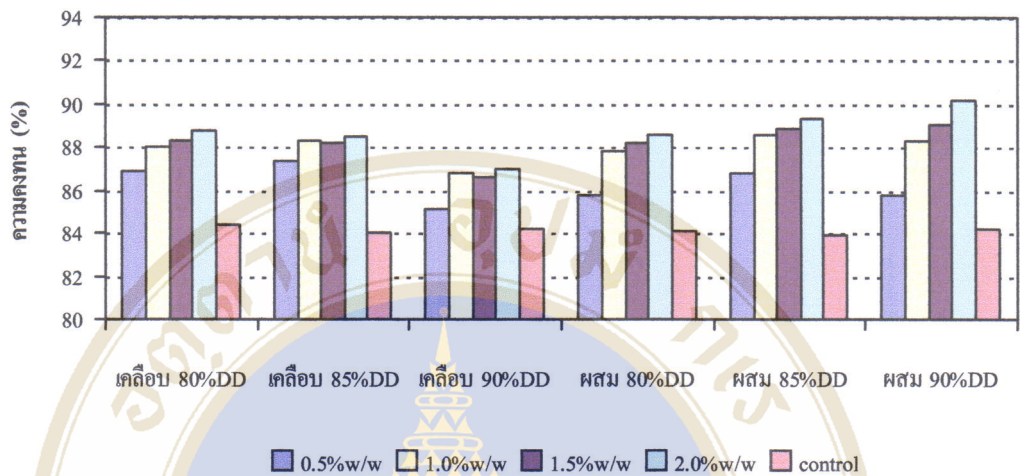
ผลของค่าระดับการกำจัดหุอะเซทิล (%DD) ต่อความคงทนของอาหารกึ่ง การวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลความคงทนของอาหารกึ่งในน้ำเค็มที่ผสมสารไลโดแซน %DD ต่างกัน เปรียบเทียบในปริมาณการใช้สารไลโดแซน (%w/w) ที่เท่ากัน พบว่า ที่ปริมาณ 1.5%w/w และ 2.0%w/w ความคงทนของอาหารกึ่งที่ผสมสารไลโดแซน %DD ต่าง ๆ กัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยการใช้สารไลโดแซนที่มีค่าระดับการกำจัดหุอะเซทิล (%DD) ต่างกัน ผสมอาหารกึ่งที่ปริมาณ 1.5%w/w และ 2.0%w/w มีผลทำให้ค่าเฉลี่ยความคงทนของอาหารกึ่งในน้ำเค็มมีความแตกต่างกัน ส่วนอาหารกึ่งที่ผสมสารไลโดแซน %DD ต่าง ๆ ที่ปริมาณ 0.5%w/w และ 1.0%w/w และอาหารกึ่งชุดควบคุมของการทดสอบอาหารที่ผสมสารไลโดแซน 80%DD, 85%DD และ 90%DD ในน้ำเค็ม ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

เมื่อทำการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความคงทนของอาหารกึ่งที่ %DD ต่าง ๆ ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) พบว่า ที่ปริมาณการผสมทั้ง 1.5%w/w และ 2.0%w/w อาหารกึ่งผสมสารไลโดแซน 85%DD และ 90%DD มีความคงทนของอาหารกึ่งในน้ำเค็มสูงกว่าอาหารกึ่งที่ผสมสารไลโดแซน 80% แสดงผลดังตารางที่ 4-4

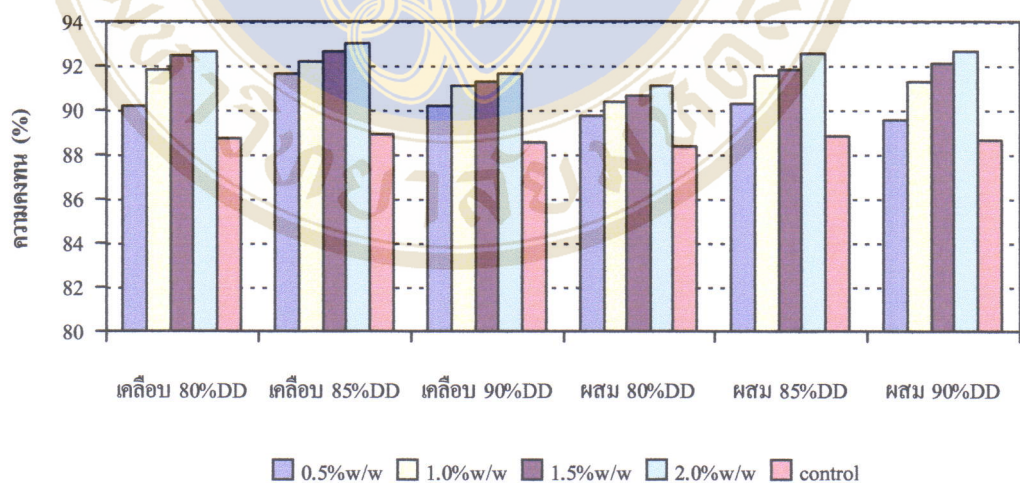
ผลของปริมาณการใช้สารไลโดแซน (%w/w) ต่อความคงทนของอาหารกึ่ง เมื่อทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลความคงทนของอาหารกึ่งในน้ำเค็มที่ผสมสารไลโดแซนปริมาณ (%w/w) ต่าง ๆ กัน ที่ระดับ %DD ที่เท่ากัน พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยทางสถิติที่ระดับ 0.05 ทุกระดับ %DD ที่เท่ากัน โดยการใช้สารไลโดแซนในอาหารกึ่งที่ปริมาณ (%w/w) ต่าง ๆ กัน มีผลทำให้ค่าเฉลี่ยความคงทนของอาหารกึ่งในน้ำเค็มมีความแตกต่างกัน

เมื่อทำการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความคงทนของอาหารกึ่งที่ %w/w ต่าง ๆ ที่สารไลโดแซน 80%DD 85%DD และ 90%DD ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) พบว่า ความคงทนของอาหารกึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณ (%w/w) การผสมสารไลโดแซนที่สูงขึ้น โดยปริมาณ (%w/w) ที่ทำให้อาหารกึ่งชุดผสมสารไลโดแซน 80%DD, 85%DD และ 90%DD มีความคงทนของอาหารกึ่งในน้ำเค็มสูงสุด คือ 0.5%w/w-2.0%w/w, 1.5%w/w-2.0%w/w และ 2.0%w/w ตามลำดับ ส่วนอาหารกึ่งชุดควบคุมของการทดสอบอาหารกึ่งชุดผสมสารไลโดแซน 80%DD, 85%DD และ 90%DD มีความคงทนของอาหารในน้ำต่ำที่สุด แสดงได้ดังตารางที่ 4-5

อาหารกุ้งทดสอบในน้ำจืด (A)



อาหารกุ้งทดสอบในน้ำเค็ม (B)



รูปที่ 4-11 ความคงทนของอาหารกุ้งหุคเคลือบและผสมสารไคโตแซนที่ระดับ %DD และระดับ %w/w ต่าง ๆ ที่ทำการทดสอบความคงทนในน้ำจืดและน้ำเค็ม

จากตารางที่ 4-2 การใช้สารไคโตแซน 80%DD และ 85%DD เคลือบอาหารกุ้งมีผลทำให้ความคงทนของอาหารในน้ำจืดและน้ำเค็มสูงกว่าการใช้สารไคโตแซน 90%DD เนื่องจาก เม็ดอาหารที่เคลือบสารไคโตแซนมีลักษณะคล้ายห่อหุ้มด้วยฟิล์มสารไคโตแซน ซึ่งมีคุณสมบัติในการต้านทานน้ำได้ ในการเคลือบผิวอาหารกุ้งส่วนที่สารไคโตแซนสัมผัสกับอาหารกุ้งคือผิวด้านนอกของเม็ดอาหารเท่านั้นซึ่งมีพื้นที่ผิวจำกัด และส่วนที่สัมผัสกับน้ำคือบริเวณด้านนอกของฟิล์มไคโตแซนที่เคลือบผิวอาหารกุ้ง เมื่อเปรียบเทียบสารไคโตแซนในปริมาณที่เท่ากัน สารไคโตแซน 90%DD มีปริมาณหมู่อะมิโน ($-NH_2$) อยู่ในสายโมเลกุลมากที่สุด ภายในสายโมเลกุลมีความเป็นประจุบวก ($-NH_3^+$) ได้มากกว่าสารไคโตแซน 80%DD และ 85%DD เมื่ออยู่ในสถานะที่เป็นกรด ซึ่งในการวิจัยใช้กรดอะซิติกความเข้มข้น 1%v/v เป็นตัวทำละลาย ความเป็นประจุบวก ($-NH_3^+$) ของสารไคโตแซนทำให้ฟิล์มสารไคโตแซนมีความชอบน้ำ (hydrophilic) และละลายน้ำได้มากขึ้น (57) การที่อาหารกุ้งเคลือบสารไคโตแซน 90%DD มีความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำจืดที่สดทั้งในน้ำจืดและน้ำเค็ม เพราะมีความเป็นไปได้ว่าฟิล์มสารไคโตแซน 90%DD ที่เคลือบผิวอาหารกุ้ง มีประจุบวก ($-NH_3^+$) เหลืออยู่ด้านนอกของฟิล์มซึ่งเป็นส่วนที่สัมผัสกับน้ำในปริมาณที่มากกว่าอาหารกุ้งที่เคลือบสารไคโตแซน 80%DD และ 85%DD ทำให้อาหารกุ้งที่เคลือบสารไคโตแซน 90%DD มีการละลายน้ำที่ได้ดีกว่าจึงมีค่าความคงทนของอาหารกุ้งต่ำที่สุด

ส่วนการผสมสารไคโตแซน ที่ปริมาณ 2.0%w/w แสดงให้เห็นถึงผลของ %DD ที่มีต่อความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำจืดได้อย่างชัดเจนที่สุด คือ อาหารกุ้งที่ผสมสารไคโตแซน 90%DD มีความคงทนของอาหารในน้ำจืดสูงสุด รองลงมาคืออาหารกุ้งผสมสารไคโตแซน 85%DD และ 80%DD ตามลำดับ (ตารางที่ 4-2) ส่วนการทดสอบในน้ำเค็ม พบว่า ที่ปริมาณ 1.5%w/w และ 2.0%w/w การใช้สารไคโตแซน %DD ต่างกันผสมในอาหารกุ้งมีผลต่อความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำเค็ม โดยอาหารกุ้งที่ผสมสารไคโตแซน 85%DD และ 90%DD มีความคงทนของอาหารในน้ำเค็มสูงกว่าอาหารกุ้งผสมสารไคโตแซน 80%DD (ตารางที่ 4-4) จากการทดสอบความคงทนของอาหารกุ้งที่ผสมสารไคโตแซนทั้งในน้ำจืดและน้ำเค็ม จะเห็นได้ว่า การใช้สารไคโตแซนที่มีค่า %DD สูงขึ้น ผสมในอาหารกุ้งทำให้ความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำมีแนวโน้มสูงขึ้น เนื่องมาจากการผสมสารไคโตแซนในอาหารกุ้งนั้น โอกาสที่ประจุบวก ($-NH_3^+$) ของสารไคโตแซนสัมผัสกับประจุลบของสารอาหารเป็นไปได้อย่างทั่วถึงและมากกว่าการเคลือบผิว เมื่อผสมสารไคโตแซน 90%DD ซึ่งความเป็นประจุบวกในสายโมเลกุลสูงสุด รองลงมาคือ 85%DD และ 80%DD ตามลำดับ ในปริมาณการผสมสารไคโตแซน(%w/w) ที่เท่ากัน อาหารกุ้งที่ผสมสารไคโตแซน 85%DD และ 90%DD ซึ่งมีประจุบวก ($-NH_3^+$) มากกว่าสารไคโตแซน 80%DD สามารถจับกับประจุลบของ

สารอาหารได้มากและแข็งแรงกว่า จึงทำให้ความคงทนของอาหารกึ่งสูงกว่าอาหารที่ผสมด้วยสารไคโตแซน 80%DD

การศึกษาผลของปริมาณสารไคโตแซน (%w/w) ที่มีต่อความคงทนของอาหารกึ่งในน้ำ ได้พบข้อจำกัดที่เกิดขึ้นในขณะเตรียมอาหารกึ่งด้วยวิธีการเคลือบสารไคโตแซน 2 ประการ คือ ความสามารถในการละลายของสารไคโตแซน และปริมาณที่ใช้ในการเคลือบเม็ดอาหารกึ่ง ได้ทดลองเตรียมสารละลายไคโตแซนความเข้มข้น 5 %w/v ในกรดอะซิติกความเข้มข้น 1%v/v พบว่าสารไคโตแซนมีลักษณะคล้ายก้อนเจลและมีความหนืดมาก ทำให้ไม่สามารถเตรียมสารละลายไคโตแซนที่ความเข้มข้นสูง ๆ เพื่อใช้สำหรับเคลือบผิวอาหารกึ่งได้ ข้อจำกัดอีกประการ คือ ปริมาณที่ใช้ในการเคลือบอาหารกึ่ง จากการทดลองเคลือบอาหารกึ่ง 50 กรัมด้วยน้ำกลั่น พบว่าปริมาณที่ทำให้เม็ดอาหารชุ่มน้ำแต่ไม่แฉะจนเกินไปและไม่แตกหักง่าย คือ 10 มิลลิลิตร เนื่องจากผู้วิจัยไม่พบข้อมูลทฤษฎีในการใช้สารไคโตแซนเพิ่มความคงทนในอาหารกึ่งกลาดำในน้ำ แต่พบว่าอาหารกึ่งที่เหมาะสมควรใช้สารเหนียวไม่เกิน 2.5 เปอร์เซ็นต์ (18) ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ระดับปริมาณสารไคโตแซนในช่วง 0.5%w/w ถึง 2.0%w/w เคลือบและผสมในอาหารกึ่ง เพื่อเป็นการเปรียบเทียบความคงทนของอาหารที่ใช้สารไคโตแซนแบบเคลือบและผสมในปริมาณการใช้สาร (%w/w) ที่เท่ากัน เนื่องจากข้อจำกัดที่เกิดจากความสามารถในการละลายของสารไคโตแซนและปริมาณที่เหมาะสมในการเคลือบนี้ จึงไม่สามารถทำการเตรียมสารไคโตแซน ปริมาณ 0.25, 0.5, 0.75 และ 1.0 กรัมให้ละลายอยู่ในปริมาตร 10 มิลลิลิตร ที่ใช้เคลือบอาหารกึ่ง 50 กรัมได้ (คิดเป็น 0.5%w/w, 1.0%w/w, 1.5%w/w และ 2.0%w/w ของน้ำหนักอาหารกึ่ง) ดังนั้น ในทางปฏิบัติการเคลือบอาหารกึ่งด้วยสารไคโตแซนจึงเตรียมสารไคโตแซนในรูปของสต็อกสารละลายไคโตแซนความเข้มข้น 2.5%w/v แล้วคำนวณหาปริมาตร (มิลลิลิตร) ของสต็อกที่จะนำออกมาใช้ เพื่อให้ได้ปริมาณ (%w/w) สารไคโตแซนที่ใช้เท่ากับปริมาณที่ใช้ในการผสม พบว่า สต็อกสารละลายไคโตแซนความเข้มข้น 2.5%w/v ปริมาตร 10 มิลลิลิตร มีปริมาณสารไคโตแซน 0.25 กรัม เมื่อนำสต็อกปริมาตร 10 มิลลิลิตรเคลือบอาหารกึ่ง 50 กรัม จึงเท่ากับเคลือบอาหารกึ่งด้วยสารไคโตแซน 0.5%w/w จึงจำเป็นต้องเคลือบอาหารกึ่งด้วยสต็อกที่เตรียมไว้ 1-4 ครั้ง เพื่อให้ได้ปริมาณสารไคโตแซนเคลือบผิวเท่ากับปริมาณสารไคโตแซนที่ใช้ในการผสม

จากตารางที่ 4-3 และ ตารางที่ 4-5 แสดงการใช้สารไคโตแซนเคลือบและผสมอาหารกึ่งที่ปริมาณ %w/w ต่างกัน คือ 0.5%w/w, 1.0%w/w, 1.5%w/w และ 2.0%w/w (ที่ %DD ระดับเดียวกัน) มีผลทำให้ความคงทนของอาหารกึ่งในน้ำจืดและน้ำเค็มมีความแตกต่างกัน โดยความคงทนของอาหารกึ่งที่เคลือบและผสมสารไคโตแซนในน้ำจืดและน้ำเค็ม มีแนวโน้มแปรผันโดยตรงกับ

ปริมาณการใช้สารไคโตแซน (%w/w) ที่เพิ่มขึ้น เนื่องมาจาก ในกรณีของอาหารที่เคลือบผิวด้วยสารไคโตแซนมีลักษณะเป็นฟิล์ม การใช้ปริมาณสารไคโตแซนที่สูงขึ้นทำให้ฟิล์มไคโตแซนมีความหนาทำให้การละลายมีแนวโน้มลดลง (57) ถึงแม้ว่าในการวิจัยนี้การใช้ปริมาณสารไคโตแซนเคลือบที่เพิ่มขึ้นไม่ได้เคลือบผิวอาหารกึ่งครั้งเดียวก็ตาม การเคลือบที่ 2-4 นั้น ทำให้ฟิล์มมีชั้นที่หนาขึ้น เมื่อนำอาหารกึ่งที่เคลือบฟิล์มที่หนาขึ้นไปแช่อยู่ในน้ำ ชั้นฟิล์มด้านนอกเป็นส่วนที่สัมผัสอยู่กับน้ำ อาหารกึ่งที่เคลือบสารไคโตแซนปริมาณที่สูงขึ้นจึงมีการละลายที่ช้ากว่า นั่นคือ มีความคงทนของอาหารในน้ำสูงกว่าอาหารกึ่งที่เคลือบสารไคโตแซนปริมาณที่น้อย ซึ่งมีผลสอดคล้องกับการวิจัยของวารุณี (57) คือ ปริมาณการใช้สารไคโตแซนในฟิล์มที่สูงขึ้นทำให้ฟิล์มมีการละลายน้ำลดลง

ส่วนภาพรวมของการผสมสารไคโตแซนที่ปริมาณ %w/w ต่าง ๆ กัน ที่ระดับ 80%DD, 85%DD และ 90%DD (ตารางที่ 4-3 และตารางที่ 4-5) แสดงให้เห็น การใช้สารไคโตแซนปริมาณ %w/w ต่างกันผสมในอาหารกึ่ง มีผลทำให้ความคงทนของอาหารกึ่งทั้งในน้ำจืดและน้ำเค็มแตกต่างกันเช่นเดียวกับการเคลือบ คือ ความคงทนของอาหารในน้ำมีแนวโน้มแปรผันโดยตรงตามปริมาณการใช้สารไคโตแซนผสมที่เพิ่มขึ้น เนื่องจาก การเพิ่มปริมาณการใช้สารไคโตแซน (%w/w) เป็นการเพิ่มปริมาณประจุบวก ($-NH_3^+$) ของสารไคโตแซนให้มีจำนวนมากขึ้น (58) ประจุบวกของสารไคโตแซนสามารถจับกับประจุลบของสารอาหารภายในเนื้ออาหาร ได้มากขึ้นและแข็งแรงมากกว่าการผสมสารไคโตแซนในปริมาณที่ต่ำ จึงทำให้อาหารกึ่งผสมสารไคโตแซนปริมาณที่สูงมีความคงทนของอาหารในน้ำสูงกว่าอาหารกึ่งผสมสารไคโตแซนในปริมาณที่น้อยกว่า

4.3 ผลของการเคลือบกับการผสมสารไคโตแซน และ น้ำจืดกับน้ำเค็ม ที่มีต่อความคงทนของอาหารกึ่งในน้ำ

ผลของวิธีการใช้สารไคโตแซนต่อความคงทนของอาหารกึ่งได้จาก การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความคงทนของอาหารกึ่งที่ใช้สารไคโตแซนระหว่างวิธีเคลือบกับผสม ที่ค่าระดับการกำจัดหมู่อะเซทิล (%DD) และปริมาณการใช้ (%w/w) ที่ระดับเดียวกัน และทดสอบในน้ำชนิดเดียวกัน โดยใช้สถิติ T-Test และการศึกษาผลของชนิดน้ำที่ใช้ในการทดสอบต่อความคงทนของอาหารกึ่ง ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความคงทนของอาหารกึ่งระหว่างในน้ำจืดกับน้ำเค็ม ที่ค่าระดับการกำจัดหมู่อะเซทิล (%DD) และปริมาณการใช้ (%w/w) ที่ระดับเดียวกัน และใช้สารไคโตแซนวิธีเดียวกัน โดยใช้สถิติ T-Test

4.3.1 ผลของการเคลือบกับการผสมสารไคโตแซนต่อความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำ

การใช้สารไคโตแซนในรูปแบบการเคลือบและการผสมกับอาหารกุ้งมีผลทำให้ความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำจืดมีความแตกต่างกัน ได้แก่ อาหารกุ้งที่เคลือบสารไคโตแซน 80%DD และ 85%DD ปริมาณ 0.5%w/w มีผลทำให้ความคงทนของอาหารในน้ำจืดสูงกว่าใช้วิธีการผสม แต่อาหารกุ้งที่ผสมสารไคโตแซน 85%DD ปริมาณ 2.0%w/w และ สารไคโตแซน 90%DD ปริมาณ 1.0%w/w-2.0%w/w ทำให้มีความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำจืดสูงกว่าใช้วิธีการเคลือบ ส่วนการทดสอบความคงทนในน้ำเค็ม พบว่า อาหารกุ้งเคลือบสารไคโตแซน 80%DD ปริมาณ 1.5%w/w และ 2.0%w/w และอาหารกุ้งเคลือบสารไคโตแซน 85%DD ปริมาณ 0.5%w/w มีผลทำให้ความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำเค็มสูงกว่าใช้วิธีการผสม แต่เมื่อใช้สารไคโตแซน 90%DD ปริมาณ 1.5%w/w และ 2.0%w/w ผสมในอาหารกุ้งมีผลทำให้ความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำเค็มสูงกว่าอาหารกุ้งเคลือบสารไคโตแซนที่ %DD และ %w/w ดังกล่าว แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4-6

การเคลือบอาหารกุ้งด้วยสารไคโตแซน 80%DD ที่ระดับ 0.5%w/w มีความคงทนของอาหารในน้ำจืดสูงกว่าการผสมสารไคโตแซนในอาหารกุ้ง เนื่องจากเมื่อใช้วิธีการผสมประจุบวก (-NH_3^+) ของสารไคโตแซนสัมผัสกับประจุของสารอาหารที่อยู่ภายใน น้ำจึงสัมผัสกับผิวภายนอกของเม็ดอาหารกุ้งได้โดยตรง ประกอบกับสารไคโตแซน 80%DD มีความเป็นประจุบวกน้อย ความเป็นประจุของสารไคโตแซน 80%DD อาจไม่เพียงพอต่อการยึดเหนี่ยวประจุของอาหารภายในเม็ดอาหาร จึงมีความเป็นไปได้ว่าทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างประจุบวก (-NH_3^+) ของสารไคโตแซนกับประจุลบของสารอาหาร ที่บริเวณผิวนอกของเม็ดอาหารไม่แข็งแรงและสม่ำเสมอเท่าที่ควร เมื่อเปรียบเทียบกับ การเคลือบผิวอาหารมีลักษณะคล้ายการเคลือบด้วยฟิล์มบาง ประจุบวก (-NH_3^+) ของสารไคโตแซนสามารถยึดจับกับประจุลบของสารอาหารบริเวณผิวของเม็ดอาหาร น้ำที่ล้อมรอบอาหารกุ้งจะสัมผัสกับฟิล์มที่เคลือบอยู่ที่ผิวอาหาร เกิดแรงกระทำหรือพันธะไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นระหว่างน้ำกับฟิล์มไคโตแซนที่เคลือบผิวเม็ดอาหารมีความแรงน้อยกว่าพันธะโควาเลนต์ที่เกิดขึ้นระหว่างประจุบวกของสารไคโตแซนกับประจุลบของสารอาหาร จึงทำให้การใช้วิธีเคลือบผิวมีความคงทนสูงกว่าวิธีการผสม (น้ำสัมผัสกับเม็ดอาหารกุ้งได้โดยตรง) ส่วนการใช้สารไคโตแซน 80%DD ในระดับการใช้สารที่เพิ่มขึ้น 1.0%w/w ถึง 2.0%w/w วิธีการเคลือบและผสมไม่มีผลทำให้ความคงทนของอาหารในน้ำจืดแตกต่างกัน

ในกรณีของอาหารกึ่งชุดควบคุม และอาหารกึ่งผสมสารโคโตแซนผิวด้านนอกของเม็ดอาหารเป็นส่วนที่สัมผัสกับน้ำโดยตรง แต่เมื่อเคลือบอาหารกึ่งด้วยสารโคโตแซนส่วนที่สัมผัสกับน้ำคือฟิล์มสารโคโตแซนที่เคลือบผิวของอาหารกึ่ง ซึ่งฟิล์มโคโตแซนมีคุณสมบัติในการต้านทานน้ำได้ (57) อาหารกึ่งที่เคลือบสารโคโตแซนจึงน่าจะมีแนวโน้มความคงทนของอาหารในน้ำสูงกว่าอาหารกึ่งที่ผสมสารโคโตแซนที่ปริมาณการใช้สารที่เท่ากัน แต่การเคลือบอาหารกึ่งด้วยสารโคโตแซนในปริมาณ %w/w ที่สูงขึ้น (เคลือบครั้งที่ 2-4) อาจมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นได้ขณะทำการเคลือบ เช่น ชั้นฟิล์มโคโตแซนที่เคลือบเม็ดอาหารกึ่งมีความหนาไม่เท่ากัน และเมื่อเคลือบฟิล์มโคโตแซนซ้อนกันหลาย ๆ ชั้น อาจเกิดการผลัดกันของประจุบวก ($-NH_3^+$) ของฟิล์มสารโคโตแซนในแต่ละชั้นที่ไม่ได้จับกับประจุลบของอาหารกึ่ง ฟิล์มโคโตแซนที่เคลือบจึงไม่ประสานเป็นเนื้อเดียวกัน ฟิล์มโคโตแซนชั้นต่าง ๆ ขาดความเสถียรจึงมีความเป็นไปได้ว่าอาหารกึ่งที่เคลือบสารโคโตแซนปริมาณ %w/w ที่สูงขึ้นมีความสามารถในการละลายน้ำได้ดีและเร็วกว่า จึงทำให้มีความคงทนในน้ำต่ำกว่าอาหารกึ่งที่ผสมสารโคโตแซน เช่นในกรณีของ การใช้สารโคโตแซน 85%DD ที่ระดับ 0.5%w/w (เคลือบเพียง 1 ครั้ง) วิธีการเคลือบให้ผลความคงทนของอาหารมากกว่าวิธีการผสม เช่นเดียวกับอาหารกึ่งที่เคลือบสารโคโตแซน 80%DD ที่ระดับ 0.5%w/w แต่พบว่าการผสมสารโคโตแซน 85%DD ที่ระดับ 2.0%w/w และ 90%DD ปริมาณ 1.0%w/w-2.0%w/w ผสมในอาหารกึ่งทำให้ความคงทนของอาหารในน้ำจืดสูงกว่าอาหารกึ่งที่ใช้วิธีการเคลือบ อาจเนื่องมาจากการเคลือบอาหารกึ่งที่ระดับ 1.0%w/w-2.0%w/w ต้องทำการเคลือบถึง 2-4 ครั้ง เป็นระดับการใช้สารโคโตแซนในปริมาณที่สูงจนเกินไป ทำให้มีประจุบวกของสารโคโตแซน ($-NH_3^+$) เหลืออยู่ที่ผิวด้านนอกของฟิล์มโคโตแซนที่เคลือบผิวอาหารกึ่งในแต่ละชั้นมีความหนาแน่นสูง จนเกิดการผลัดกันของประจุบวกที่อยู่ในชั้นฟิล์มแต่ละชั้นที่เคลือบ แรงยึดระหว่างชั้นฟิล์มไม่แข็งแรงพอ น้ำจึงเข้าสัมผัสกับฟิล์มที่มีประจุบวก ($-NH_3^+$) ซึ่งมีความชอบน้ำ (hydrophilic) ทำให้มีการละลายเกิดขึ้น

แต่ในการวิจัยนี้ไม่ได้ศึกษาในด้าน โภชนะของอาหารกึ่งหลังจากการทดสอบความคงทน จึงไม่สามารถทราบได้อย่างชัดเจนว่าในการเคลือบอาหารกึ่งด้วยสารโคโตแซน สิ่งที่จะละลายออกมาเป็นฟิล์มสารโคโตแซนเพียงอย่างเดียว หรือมีส่วนของอาหารกึ่งละลายออกมาด้วยหรือไม่ จึงไม่สามารถสรุปได้อย่างชัดเจนว่าในการเคลือบอาหารกึ่งด้วยสารโคโตแซน 85%DD ปริมาณ (%w/w) ที่สูงขึ้น แต่ต้องทำการเคลือบอาหารกึ่งหลายครั้งจะทำให้อาหารกึ่งมีความคงทนสูงกว่าอาหารกึ่งผสมสารโคโตแซนที่ปริมาณการใช้สาร %w/w ที่เท่ากัน

สำหรับการทดสอบความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำเค็ม การใช้สารไคโตแซน 80%DD ที่ใช้วิธีการเคลือบและผสม ปริมาณ 0.5%w/w และ 1.0%w/w ไม่ทำให้ความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำเค็มมีความแตกต่างกัน แต่พบว่าการเคลือบสารไคโตแซนเพิ่มขึ้นที่ระดับ 1.5%w/w และ 2.0%w/w มีความคงทนของอาหารสูงกว่าวิธีการผสม อาจเนื่องมาจาก สารไคโตแซน 80%DD มีความเป็นประจุบวกในโมเลกุลน้อยกว่าสารไคโตแซน 85%DD และ 90%DD เมื่อทำการเคลือบอาหารกุ้งหลาย ๆ ครั้ง เกิดการผลึกกันของประจุบวก ($-NH_3^+$) ระหว่างชั้นฟิล์มไคโตแซนน้อยกว่า และมีการละลายได้น้อยกว่าอาหารที่เคลือบสารไคโตแซน 85%DD และ 90%DD จึงทำให้การเคลือบอาหารกุ้งด้วยสารไคโตแซน 80%DD ปริมาณ 1.5%w/w และ 2.0%w/w มีความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำเค็มสูงกว่าวิธีการผสม

ความคงทนของอาหารกุ้งที่ใช้สารไคโตแซน 85%DD ในน้ำเค็ม พบว่า การใช้สารที่ระดับ 0.5%w/w การเคลือบผิวอาหารให้ความคงทนสูงกว่าการผสม เช่นเดียวกับในน้ำจืด เนื่องมาจาก การเคลือบอาหารกุ้งมีลักษณะคล้ายการห่อหุ้มเม็ดอาหารด้วยแผ่นฟิล์มไคโตแซนที่มีคุณสมบัติในการต้านทานน้ำได้ ประกอบกับการผสมสารไคโตแซน 85%DD ปริมาณ 0.5%w/w มีประจุบวก ($-NH_3^+$) ไม่เพียงพอที่จะจับกับประจุลบภายในเม็ดอาหาร ทำให้ความแรงในการยึดอนุภาคภายในเม็ดอาหารมีน้อยกว่า เมื่ออาหารกุ้งอยู่ในน้ำจะสัมผัสกับเม็ดอาหารโดยตรง จึงเป็นไปได้ว่ามีประจุทั้งบวกและลบบางส่วนของสารอาหารที่ไม่ได้จับสารไคโตแซน ที่อยู่บริเวณผิวของเม็ดอาหารถูกน้ำพยายามดึงดูดได้โดยตรงกว่าการเคลือบด้วยฟิล์มไคโตแซน ทำให้อาหารกุ้งที่ใช้วิธีการผสมละลายได้มากกว่า ส่วนการใช้สารไคโตแซน 85%DD ที่ระดับ 1.0%w/w , 1.5%w/w และ 2.0%w/w ทั้งสองวิธีให้ผลความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำเค็มไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำเค็มที่ใช้สารไคโตแซน 90%DD พบว่า การใช้สารที่ระดับ 0.5%w/w และ 1.0%w/w วิธีการเคลือบและการผสมไม่ทำให้ความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำเค็มแตกต่างกัน แต่อาหารกุ้งที่ผสมสารในระดับที่สูงขึ้น คือ 1.5%w/w และ 2.0%w/w มีผลทำให้ความคงทนของอาหารสูงกว่าอาหารกุ้งเคลือบสารไคโตแซนที่ระดับการใช้สารที่เท่ากัน เนื่องมาจาก สารไคโตแซน 90%DD มีปริมาณประจุบวก ($-NH_3^+$) ที่มากที่สุด การผสมสารไคโตแซน 90%DD ที่มีประจุบวกอยู่ภายในโมเลกุลสูงมีโอกาสดึงกับประจุลบของสารอาหารกุ้งได้ทั่วถึงและแข็งแรงมากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเคลือบหลาย ๆ ครั้ง อาจมีการผลึกกันของประจุบวก ($-NH_3^+$) ระหว่างชั้นฟิล์มไคโตแซน ประกอบกับความเป็นประจุบวก ($-NH_3^+$) มีความชอบน้ำ (hydrophilic) สามารถละลายน้ำได้ดี จึงทำให้อาหารกุ้งที่เคลือบสารไคโตแซน 90%DD ปริมาณ

1.5%w/w-2.0%w/w มีความคงทนต่ำกว่าอาหารกุ้งที่ผสมสารไคโตแซน 90%DD ในปริมาณที่เท่ากัน ดังนั้น สารไคโตแซน 90%DD ซึ่งมีปริมาณประจุบวกสูงจึงไม่เหมาะต่อการนำมาใช้เคลือบอาหารกุ้ง

4.3.2 ผลของการทดสอบความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำจืดและน้ำเค็ม

การศึกษาเปรียบเทียบความคงทนของอาหารกุ้งเฉลี่ยที่ทำการทดสอบความคงทนของอาหารกุ้งระหว่างในน้ำจืดกับน้ำเค็ม ของอาหารกุ้งที่ใช้สารไคโตแซน 80%DD, 85%DD และ 90%DD ทั้งวิธีการเคลือบและการผสม ทุกระดับปริมาณการใช้สารทั้ง 4 ระดับคือ 0.5%w/w-2.0%w/w รวมทั้งอาหารกุ้งชุดควบคุมโดยใช้สถิติ T-Test พบว่า ค่าเฉลี่ยความคงทนของอาหารกุ้งระหว่างการทดสอบความคงทนในน้ำจืดกับน้ำเค็ม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยความคงทนของอาหารกุ้งที่ทำการทดสอบในน้ำเค็ม มีค่าสูงกว่าทำการทดสอบในน้ำจืดทุกตัวอย่างการทดสอบ แสดงผลดัง ตารางที่ 4-7 และ รูปที่ 4-12

สาเหตุที่ทำให้อาหารกุ้งตัวอย่างเดียวกันที่ทดสอบในน้ำเค็มมีความคงทนของอาหารสูงกว่าการทดสอบในน้ำจืด เนื่องจาก โมเลกุลของน้ำประกอบด้วยอะตอมไฮโดรเจน 2 อะตอม และออกซิเจน 1 อะตอม ที่ยึดกันอยู่ด้วยพันธะโควาเลนต์ซึ่งเป็นพันธะที่เกิดจากการใช้อิเลคตรอนร่วมกันของไฮโดรเจนอะตอมและออกซิเจนอะตอม ออกซิเจนอะตอมมีความสามารถในการดึงดูดอิเลคตรอนเข้าหาตัวเองได้มากกว่าไฮโดรเจนอะตอม จึงพยายามดึงอิเลคตรอนจากไฮโดรเจนทั้ง 2 อะตอมเข้าหาตัวเอง ทำให้ไฮโดรเจนทั้ง 2 อะตอมมีสภาพขั้วเป็นบวก ส่วนออกซิเจนอะตอมมีสภาพขั้วเป็นลบ น้ำจึงเป็นโมเลกุลที่มีสภาพขั้ว (polar molecule) (59,60) สามารถดึงดูดกับอออนหรือขั้วที่ตรงกันข้ามของสารต่าง ๆ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการละลาย ในน้ำเค็มหรือน้ำทะเลมีประจุบวกและลบของแร่ธาตุต่าง ๆ ประกอบอยู่เป็นจำนวนมากไม่ต่ำกว่า 21 ชนิด (42) โดยอออนที่เป็นประจุบวกจะถูกล้อมรอบด้วยขั้วลบของน้ำ ส่วนอออนที่เป็นประจุลบจะถูกล้อมรอบด้วยขั้วบวกของน้ำ น้ำทะเลจึงมีโมเลกุลอิสระของน้ำน้อยกว่าในน้ำจืดที่มีประจุของแร่ธาตุต่างอยู่น้อยกว่า ความเป็นขั้วของโมเลกุลน้ำในน้ำจืดจึงมีมากกว่าในน้ำเค็ม

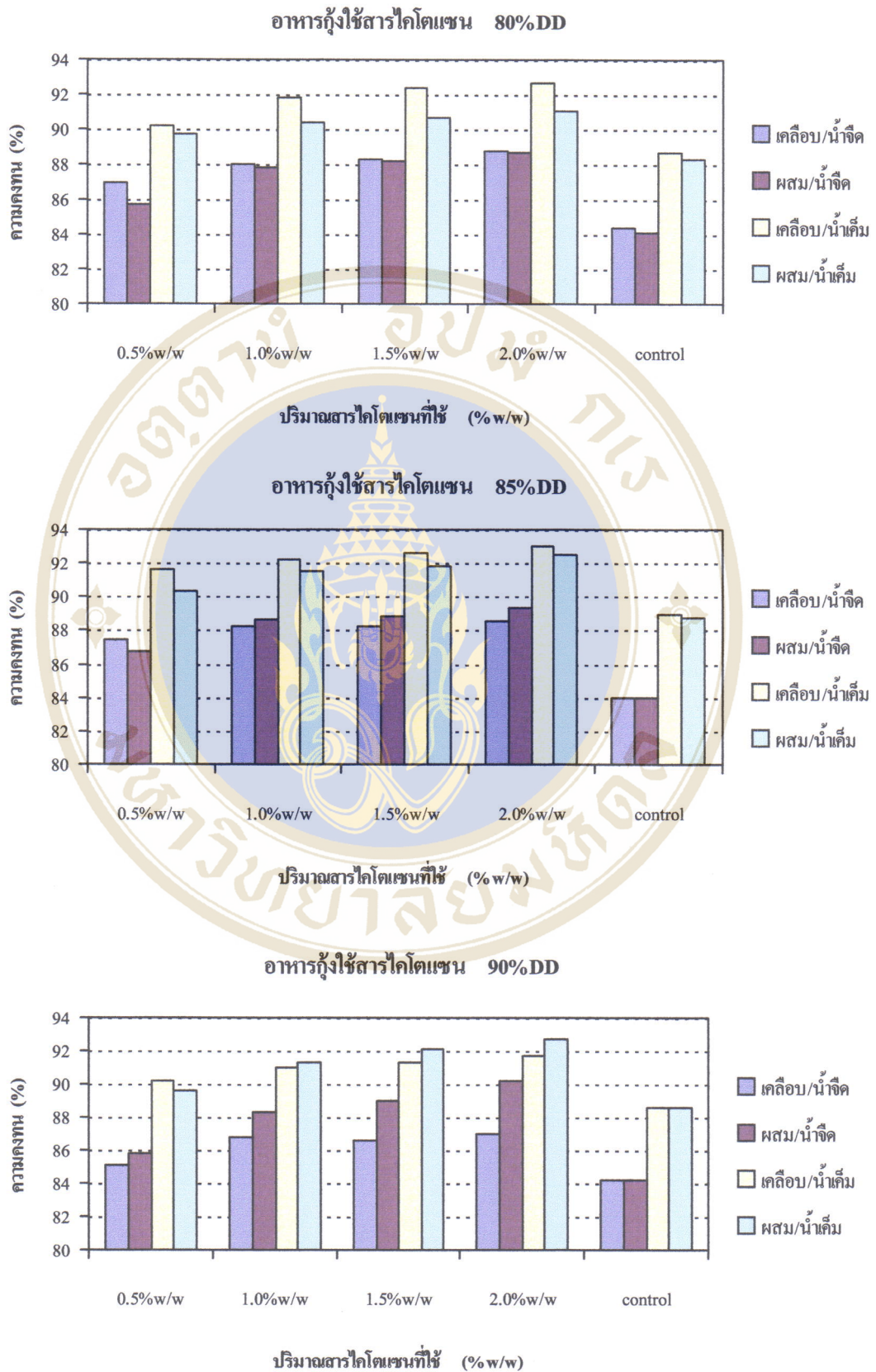
กลไกการละลายของอาหารกุ้งเมื่ออยู่ในน้ำเกิดขึ้นได้เนื่องมาจากอาหารกุ้งประกอบด้วยสารอาหารต่าง ๆ หลายชนิดที่เป็นโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน เป็นต้น ซึ่งที่ภายในโมเลกุลมี functional group สามารถจับกับขั้วตรงกันข้ามของน้ำได้ แต่สาร

อาหารต่าง ๆ เหล่านี้มีการเรียงตัวอย่างไม่มีการเรียงประกอบกับเป็นโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ จึงทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสารอาหารไม่มีความแข็งแรงพอ โดยทั่วไปเมื่อนำอาหารกึ่งมาแช่อยู่ในน้ำที่เป็นโมเลกุลขนาดเล็กและมีสภาพขั้วทั้งบวกและลบ น้ำสามารถเข้าถึงดูกับขั้วตรงกันข้ามของสารอาหารกึ่งด้วยพันธะไฮโดรเจน ซึ่งเป็นไปได้ว่าเป็นพันธะไฮโดรเจนมีความแข็งแรงสูงกว่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสารอาหารที่มีขนาดใหญ่จึงทำให้อาหารกึ่งเกิดการละลาย เมื่อเปรียบเทียบการละลายของอาหารกึ่งที่ทดสอบความคงทนในน้ำจืดและน้ำเค็ม พบว่า อาหารกึ่งทุกชุดการทดลองที่ทำการทดสอบในน้ำเค็มมีความคงทนของอาหารสูงกว่าในน้ำจืด เนื่องจากน้ำจืดมีโมเลกุลอิสระของน้ำที่ไม่ได้ดึงดูดกับไอออนต่าง ๆ มากกว่าในน้ำทะเล โมเลกุลของน้ำในน้ำจืดจึงสร้างพันธะไฮโดรเจนกับขั้วตรงกันข้ามของสารอาหารกึ่งได้มากและแรงกว่าในน้ำทะเลทำให้มีการละลายของอาหารกึ่งสูงกว่า ดังนั้น ความคงทนของอาหารกึ่งที่ทดสอบในน้ำทะเลจึงสูงกว่าความคงทนของอาหารกึ่งที่ทดสอบในน้ำจืด ซึ่งสอดคล้องกับการวิจัยของ Balazs และคณะ (47) ที่ทำการศึกษาเบื้องต้นในการเตรียมอาหารกึ่ง พบว่า อาหารกึ่งที่แช่อยู่ในน้ำจืดมีการสูญเสียน้ำหนักและธาตุอาหารมากกว่าอาหารที่แช่อยู่ในน้ำเค็ม

เมื่อเปรียบเทียบความคงทนของอาหารกึ่งที่ใช้สารโคโตแซนเคลือบและผสมกับอาหารกึ่งชุดควบคุมทั้งในน้ำจืดและน้ำเค็ม พบว่า อาหารกึ่งทุกชุดที่ใช้สารโคโตแซนเคลือบและผสมมีความคงทนของอาหารสูงกว่าอาหารกึ่งชุดควบคุมซึ่งไม่ใช้สารโคโตแซนทั้งการทดสอบในน้ำจืดและน้ำเค็ม เนื่องจากสารโคโตแซนที่ภายในสายโมเลกุลมีหมู่อะมิโน ($-NH_2$) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นด่างหรือเบสอ่อน (57) เบสอ่อนหรือด่างอ่อนนี้สามารถรับโปรตอนหรือประจุบวกจากกรดได้ เมื่อสารโคโตแซนอยู่ในสถานะที่เป็นกรด หมู่อะมิโน ($-NH_2$) ของสารโคโตแซนสามารถรับประจุบวกจากกรดกลายเป็นประจุบวก ($-NH_3^+$) ได้ ซึ่งมีความไวในการเกิดปฏิกิริยาสามารถดึงดูดกับอิเล็กตรอนหรือขั้วลบของสารอื่น ๆ ได้ สำหรับการเคลือบและผสมสารโคโตแซนนั้นประจุบวกของสารโคโตแซนเกิดแรงกระทำกับประจุลบของสารอาหารด้วยพันธะโควาเลนต์เป็นส่วนใหญ่ เมื่อนำอาหารกึ่งที่ใช้สารโคโตแซนเคลือบและผสมไปทดสอบความคงทนในน้ำ พันธะโควาเลนต์ที่เกิดขึ้นจากสารโคโตแซนยึดเหนี่ยวกับโมเลกุลของสารอาหารจะมีความแข็งแรงมากกว่าพันธะไฮโดรเจนที่เกิดจากน้ำเข้าล้อมรอบเม็ดอาหาร เนื่องจากพันธะโควาเลนต์มีพลังงานพันธะ (bond energy) หรือมีความแข็งแรงมากกว่าพันธะไฮโดรเจน เช่น พันธะโควาเลนต์ระหว่าง O-H มีพลังงานพันธะสูงถึง 110 kcal/mol ในขณะที่พันธะไฮโดรเจนมีพลังงานเพียง 5 kcal/mol (59) จึงทำให้อาหารกึ่งชุดที่ใช้สารโคโตแซนเคลือบและผสมมีความคงทนในน้ำสูงกว่าอาหารกึ่งชุดควบคุม เมื่อทำการทดสอบความคงทนของอาหารกึ่งชุดควบคุมในน้ำ น้ำเข้าล้อมรอบเม็ดอาหารกึ่งได้สร้างพันธะไฮโดรเจนกับ

ประจูดตรงกันข้ามของสารอาหาร ซึ่งเป็นพันธะสำคัญที่ทำให้เกิดการละลาย มีความเป็นไปได้ว่าในอาหารกึ่งชุดควบคุมพันธะไฮโดรเจนที่เกิดจากน้ำมีความแรงมากกว่าแรงที่ใช้ยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสารอาหาร จึงทำให้อาหารกึ่งชุดควบคุมเกิดการละลายได้มากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับอาหารกึ่งชุดที่ใช้สารไคโตแซนเคลือบและผสม ที่มีสารไคโตแซนมาเสริมความแข็งแรงระหว่างโมเลกุลของสารอาหารด้วยพันธะโควาเลนต์

การใช้สารไคโตแซนเพิ่มความคงทนให้แก่อาหารกึ่ง ทั้งในรูปแบบการเคลือบและการผสม ทำให้มีความคงทนของอาหารในน้ำจืดและน้ำเค็มสูงกว่าอาหารกึ่งชุดควบคุมซึ่งไม่มีการใช้สารไคโตแซน เนื่องจากพันธะโควาเลนต์ที่เกิดจากสารไคโตแซนกับสารอาหารมีความแข็งแรงมากกว่าพันธะไฮโดรเจนของน้ำกับสารอาหารทั้งในน้ำจืดและน้ำเค็ม โดยเฉพาะในน้ำเค็มมีประจุบวกและลบของไอออนต่าง ๆ มากกว่าในน้ำจืด ดังนั้น ในน้ำเค็มจึงมีโมเลกุลน้ำอิสระที่จะสร้างพันธะไฮโดรเจนของน้ำกับสารอาหารเกิดขึ้นน้อยกว่าในน้ำจืดมาก จึงทำให้การละลายของอาหารกึ่งที่ใช้สารไคโตแซนที่ทดสอบความคงทนในน้ำเค็มสูงกว่าในน้ำจืด



รูปที่ 4-12 เปรียบเทียบความคงทนของอาหารกุ้งที่เคลือบและผสมสารไคโตแซนที่ทดสอบในน้ำจืดและน้ำเค็ม

ตารางที่ 4-6 เปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยความคงทนของอาหารกุ้ง (เปอร์เซ็นต์) ที่ใช้วิธีการเคลือบ และผสมสารไคโตแซนที่ระดับ %DD และปริมาณในการใช้ (%w/w) ที่เท่ากัน

ชนิดน้ำ	สารไคโตแซน	ปริมาณ (%w/w)	ความคงทนของอาหารกุ้ง (%)		Sig.
			เคลือบ	ผสม	
น้ำจืด	80%DD	0.5	86.93 ^a	85.75 ^b	0.005
		1.0	87.98 ^a	87.83 ^a	0.382
		1.5	88.28 ^a	88.20 ^a	0.645
		2.0	88.79 ^a	88.63 ^a	0.650
		ควบคุม	84.40 ^a	84.09 ^a	0.282
	85%DD	0.5	87.40 ^a	86.78 ^b	0.024
		1.0	88.28 ^a	88.59 ^a	0.144
		1.5	88.23 ^a	88.83 ^a	0.170
		2.0	88.50 ^b	89.37 ^a	0.039
		ควบคุม	84.02 ^a	83.93 ^a	0.911
	90%DD	0.5	85.14 ^a	85.76 ^a	0.195
		1.0	86.81 ^b	88.27 ^a	0.012
		1.5	86.64 ^b	89.04 ^a	0.005
		2.0	87.04 ^b	90.20 ^a	0.000
		ควบคุม	84.21 ^a	84.16 ^a	0.935
น้ำเค็ม	80%DD	0.5	90.19 ^a	89.72 ^a	0.707
		1.0	91.83 ^a	90.36 ^a	0.167
		1.5	92.42 ^a	90.62 ^b	0.011
		2.0	92.63 ^a	91.07 ^b	0.001
		ควบคุม	88.71 ^a	88.33 ^a	0.245
	85%DD	0.5	91.62 ^a	90.29 ^b	0.028
		1.0	92.18 ^a	91.51 ^a	0.185
		1.5	92.64 ^a	91.82 ^a	0.057
		2.0	93.02 ^a	92.56 ^a	0.092
		ควบคุม	88.92 ^a	88.78 ^a	0.184
	90%DD	0.5	90.16 ^a	89.58 ^a	0.150
		1.0	91.05 ^a	91.28 ^a	0.132
		1.5	91.28 ^b	92.06 ^a	0.024
		2.0	91.66 ^b	92.67 ^a	0.001
		ควบคุม	88.56 ^a	88.63 ^a	0.809

หมายเหตุ: - ^{ab} แสดงการเปรียบเทียบในแนวนอน ที่มีอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

- ในแนวนอนที่มีอักษรต่างกัน *แสดงค่าที่สูงสุด และ ^bแสดงค่าที่ต่ำสุด

ตารางที่ 4-7 เปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยความคงทนของอาหารกุ้ง (เปอร์เซ็นต์) ที่ทำการทดสอบความคงทนในน้ำจืดและน้ำเค็ม

วิธี	สารโคโคแซน	ปริมาณ (%w/w)	ความคงทนของอาหารกุ้ง (%)		Sig.
			น้ำจืด	น้ำเค็ม	
เคลือบ	80%DD	0.5	86.93 ^b	90.19 ^a	0.041
		1.0	87.98 ^b	91.83 ^a	0.000
		1.5	88.28 ^b	92.42 ^a	0.000
		2.0	88.79 ^b	92.63 ^a	0.000
		ควบคุม	84.40 ^b	88.71 ^a	0.000
	85%DD	0.5	87.40 ^b	91.62 ^a	0.000
		1.0	88.28 ^b	92.18 ^a	0.000
		1.5	88.23 ^b	92.64 ^a	0.000
		2.0	88.50 ^b	93.02 ^a	0.000
		ควบคุม	84.02 ^b	88.92 ^a	0.009
	90%DD	0.5	85.14 ^b	90.16 ^a	0.000
		1.0	86.81 ^b	91.05 ^a	0.000
		1.5	86.64 ^b	91.28 ^a	0.000
		2.0	87.04 ^b	91.66 ^a	0.000
		ควบคุม	84.21 ^b	88.56 ^a	0.001
ผสม	80%DD	0.5	85.75 ^b	89.72 ^a	0.000
		1.0	87.83 ^b	90.36 ^a	0.045
		1.5	88.20 ^b	90.62 ^a	0.001
		2.0	88.63 ^b	91.07 ^a	0.000
		ควบคุม	84.09 ^b	88.33 ^a	0.000
	85%DD	0.5	86.78 ^b	90.29 ^a	0.000
		1.0	88.59 ^b	91.51 ^a	0.000
		1.5	88.83 ^b	91.82 ^a	0.002
		2.0	89.37 ^b	92.56 ^a	0.001
		ควบคุม	83.93 ^b	88.78 ^a	0.012
	90%DD	0.5	85.76 ^b	89.58 ^a	0.001
		1.0	88.27 ^b	91.28 ^a	0.001
		1.5	89.04 ^b	92.06 ^a	0.002
		2.0	90.20 ^b	92.67 ^a	0.000
		ควบคุม	84.16 ^b	88.63 ^a	0.000

หมายเหตุ: - ^{ab} แสดงการเปรียบเทียบในแนวนอน ที่มีอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05
 - ในแนวนอนที่มีอักษรต่างกัน ^aแสดงค่าที่สูงสุด และ ^bแสดงค่าที่ต่ำสุด

4.4 การวิเคราะห์ต้นทุนค่าอาหารกุ้งที่ใช้สารโคโตแซนเพื่อเพิ่มความคงทนของอาหารในน้ำ

ในการวิเคราะห์ต้นทุนค่าอาหารกุ้งที่ใช้สารโคโตแซนเพื่อเพิ่มความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำ พิจารณาภาพรวมความคงทนของอาหารกุ้ง 4 กลุ่ม (รายละเอียดในภาคผนวก ข) ได้แก่ กลุ่มอาหารกุ้งเคลือบสารโคโตแซนทดสอบในน้ำจืด (ชุดการทดลองที่ 1-3), กลุ่มอาหารกุ้งเคลือบสารโคโตแซนทดสอบในน้ำเค็ม (ชุดการทดลองที่ 4-6), กลุ่มอาหารกุ้งผสมสารโคโตแซนทดสอบในน้ำจืด (ชุดการทดลองที่ 7-9) และ กลุ่มอาหารกุ้งผสมสารโคโตแซนทดสอบในน้ำเค็ม (ชุดการทดลองที่ 10-12) โดยวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลความคงทนของอาหารกุ้งในแต่ละกลุ่ม ทั้ง 4 กลุ่ม และหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความคงทนของอาหารกุ้งในแต่ละกลุ่ม ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) เพื่อหาตัวแทนของอาหารกุ้งที่ให้ความคงทนในน้ำที่ดีที่สุดในแต่ละกลุ่ม แสดงรายละเอียดไว้ในตารางที่ ง-37 ถึง ตารางที่ ง-40 ภาคผนวก ง จากนั้นนำตัวแทนของอาหารกุ้งที่ให้ความคงทนของอาหารในน้ำที่ดีที่สุดของทั้ง 4 กลุ่ม มาวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลความคงทนของอาหารในน้ำอีกครั้ง และทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความคงทนของอาหารกุ้งของชุดที่ดีที่สุด แสดงรายละเอียดไว้ในตารางที่ ง-41 ภาคผนวก ง และสามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 4-8

จากตารางที่ 4-8 อาหารกุ้งชุดเคลือบสารโคโตแซนที่มีค่าความคงทนของอาหารในน้ำจืดสูงที่สุดได้แก่ อาหารกุ้งที่ใช้สารโคโตแซน 80%DD ปริมาณที่ใช้ 1.5%w/w และ 2.0%w/w และอาหารกุ้งที่ใช้สารโคโตแซน 85%DD ปริมาณ 1.0%w/w, 1.5%w/w และ 2.0%w/w ซึ่งอาหารทั้ง 5 ชุดนี้ความคงทนของอาหารในน้ำไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 อาหารกุ้งที่ผสมสารโคโตแซนที่มีความคงทนในน้ำจืดสูงสุด ได้แก่ อาหารกุ้งที่ผสมสารโคโตแซน 90%DD ปริมาณ 2.0%w/w อาหารกุ้งที่เคลือบสารโคโตแซนที่มีความคงทนของอาหารในน้ำเค็มสูงที่สุดมี 5 ชุด คือ อาหารกุ้งที่ใช้สารโคโตแซน 80%DD ปริมาณ 1.5%w/w และ 2.0%w/w และอาหารกุ้งที่ใช้สารโคโตแซน 85%DD ปริมาณ 1.0%w/w, 1.5%w/w และ 2.0%w/w ซึ่งอาหารทั้ง 5 ชุดนี้ค่าความคงทนของอาหารไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และอาหารกุ้งที่ผสมสารโคโตแซนที่มีความคงทนของอาหารในน้ำเค็มสูงที่สุดมี 4 ชุด คือ อาหารกุ้งที่ใช้สารโคโตแซน 85%DD ปริมาณ 1.5%w/w และ 2.0%w/w และอาหารกุ้งที่ใช้สารโคโตแซน 90%DD ปริมาณ 1.5%w/w และ 2.0%w/w โดยค่าความคงทนของอาหารกุ้งทั้ง 4 ชุดไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความคงทนของอาหารกุ้งทั้ง 15 ชุด ในตารางที่ 4-8 รวมกันทั้งหมด พบว่า อาหารกุ้งชุดที่มีความคงทนสูงสุดเป็นอาหารกุ้งที่ทำ

การทดสอบความคงทนในน้ำเค็ม 6 ชุด ได้แก่ อาหารกุ้งที่เคลือบสารไคโตแซน 80%DD ปริมาณ 1.5%w/w และ 2.0%w/w, อาหารกุ้งที่เคลือบสารไคโตแซน 85%DD ปริมาณ 1.5%w/w และ 2.0%w/w, อาหารกุ้งที่ผสมสารไคโตแซน 85%DD ปริมาณ 2.0%w/w และอาหารกุ้งที่ผสมสารไคโตแซน 90%DD ปริมาณ 2.0%w/w (ตารางที่ 4-8 ใน subset ^a)

ตารางที่ 4-8 อาหารกุ้งที่เคลือบและผสมสารไคโตแซนที่ให้ความคงทนในน้ำจืดและน้ำเค็มสูงที่สุด

น้ำ	วิธี	%DD	ปริมาณ (%w/w)	ความคงทนในน้ำ (%)
น้ำจืด	การเคลือบ	80	1.5	88.28 ^e
		80	2.0	88.79 ^e
		85	1.0	88.28 ^e
		85	1.5	88.23 ^e
		85	2.0	88.50 ^e
	การผสม	90	2.0	90.20 ^d
น้ำเค็ม	การเคลือบ	80	1.5	92.42 ^{ab}
		80	2.0	92.63 ^{ab}
		85	1.0	92.18 ^{bc}
		85	1.5	92.64 ^{ab}
		85	2.0	93.02 ^a
	การผสม	85	1.5	91.82 ^c
		85	2.0	92.56 ^{ab}
		90	1.5	92.06 ^{bc}
		90	2.0	92.67 ^{ab}

หมายเหตุ : - ^{abcde} แสดงการเปรียบเทียบข้อมูลทั้งหมดในแนวดิ่ง ที่มีอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

- ในแนวดิ่งที่มีอักษรต่างกัน ^{abcde} แสดงค่าที่สูงสุดถึงค่าที่ต่ำสุดเรียงตามลำดับอักษร

- ^{ab} เป็นค่าที่อยู่ทั้งใน subset ^a และ subset ^b

- ^{bc} เป็นค่าที่อยู่ทั้งใน subset ^b และ subset ^c

ที่มา : ตารางที่ ง-37 ถึง ตารางที่ ง-41 ภาคผนวก ง

ตารางที่ 4-9 ราคาสารโคโตแซนที่ซื้อขายทางการค้า

%DD สารโคโตแซน	ราคา (กก./บาท)	ราคา (กรัม/บาท)
80	1,200	1.20
85	1,600	1.60
90	2,000	2.00

ที่มา : ราคาซื้อ-ขายในทางการค้า เมื่อวันที่ 22 สิงหาคม 2543

ตารางที่ 4-9 แสดงราคาขายปลีกของสารโคโตแซน 80%DD, 85%DD และ 90%DD ในการค้า สารโคโตแซนที่ใช้สำหรับคิดต้นทุนนี้เตรียมให้อยู่ในรูปของสต็อกสารละลายโคโตแซน การทำสารโคโตแซนให้อยู่ในรูปสารละลายก่อนนำไปใช้เคลือบและผสมอาหารกุ้ง เป็นการปรับสภาพโมเลกุลของสารโคโตแซนให้มีความเป็นประจุบวกจากหมู่ NH_2 ให้เป็น หมู่ NH_3^+ เพื่อให้สารโคโตแซนมีประสิทธิภาพในการจับกับสารอาหารที่เป็นประจุลบในอาหารกุ้งได้ดี โดยเตรียมให้อยู่ในรูปของสต็อกสารละลายโคโตแซนความเข้มข้น 2.5%w/v เนื่องจากถ้าเตรียมสารละลายโคโตแซนที่มีความเข้มข้นสูงเกินไป จะมีความหนืดมากจนไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการเคลือบได้

ตารางที่ 4-10 ต้นทุนสต็อกสารละลายโคโตแซนความเข้มข้น 2.5%w/v สำหรับในการเคลือบและผสมอาหารกุ้ง

สารโคโตแซน %DD	ปริมาณ (กรัม)	ต้นทุน สารโคโตแซน (บาท)	ปริมาตร น้ำส้มสายชู 5% (มล.)	ต้นทุน น้ำส้มสายชู (บาท)	ต้นทุนสต็อก สารละลาย โคโตแซน 2.5%w/v (บาท:ลิตร)
80	25	30	200	6.58	36.58
85	25	40	200	6.58	46.58
90	25	50	200	6.58	56.58

ตารางที่ 4-10 แสดงต้นทุนของสารโคโตแซนในรูปของสต็อกสารละลายโคโตแซน 80%DD, 85%DD และ 90%DD ความเข้มข้น 2.5%w/v ทั้ง 3 ระดับ %DD ต้นทุนกรดอะซิติกที่ใช้เป็นตัวทำละลายคิดจากน้ำส้มสายชูกลั่น 5% โดยพิจารณาในแง่ของความปลอดภัยต่อคนและสัตว์

มีราคาขายปลีก 1 ขวด ปริมาตร 700 มิลลิลิตร ราคา 23 บาท (1 มิลลิลิตร/0.0329 บาท) นำมาเจือจางให้เหลือความเข้มข้น 1% (ใช้น้ำส้มสายชู 5% 200 มล.เจือจางด้วยน้ำสะอาดให้ได้ปริมาตรสารละลาย 1 ลิตร) เป็นตัวทำละลายสารโคโตแซน

พิจารณาเลือกอาหารกึ่งชุดที่ให้ความคงทนที่ดีที่สุดในน้ำเค็ม 9 ชุด คือ อาหารกึ่งเคลือบสารโคโตแซน 80%DD ปริมาณ 1.5%w/w และ 2.0%w/w, อาหารกึ่งเคลือบสารโคโตแซน 85%DD ปริมาณ 1.0%w/w, 1.5%w/w และ 2.0%w/w, อาหารกึ่งผสมสารโคโตแซน 85%DD ปริมาณ 1.5%w/w และ 2.0%w/w และอาหารกึ่งผสมสารโคโตแซน 90%DD ปริมาณ 1.5%w/w และ 2.0%w/w เป็นตัวแทนสำหรับคิดต้นทุนที่เพิ่มขึ้นของอาหารกึ่งที่ใช้สารโคโตแซน ต่อ อาหารกึ่ง 1 กิโลกรัม ได้จากการคิดต้นทุนของสต็อกสารละลายโคโตแซนความเข้มข้น 2.5%w/v ที่ใช้ปริมาตรในเคลือบและผสมแตกต่างกันออกไปตามปริมาณสารโคโตแซนที่ใช้ซึ่งได้จากการคำนวณ แสดงได้ดังตารางที่ 4-11

ตารางที่ 4-11 ต้นทุนอาหารกึ่งที่เพิ่มขึ้นเมื่อใช้สาร โคโตแซนเคลือบและผสมกับอาหารกึ่ง

สารโคโตแซน %DD	ปริมาณ (%w/w)	ราคาสารโคโตแซน 2.5%w/v:ลิตร (บาท)	ปริมาตรสารละลายโคโตแซน 2.5%w/v ที่ใช้/กก.อาหาร (ลิตร)	ต้นทุนอาหารกึ่งที่เพิ่มขึ้นเมื่อใช้สารโคโตแซน (บาท)
การเคลือบ				
80	1.5	36.58	0.6	21.95
	2.0	36.58	0.8	29.26
85	1.0	46.58	0.4	18.63
	1.5	46.58	0.6	27.95
	2.0	46.58	0.8	37.26
การผสม				
85	1.5	46.58	0.6	27.95
	2.0	46.58	0.8	37.26
90	1.5	56.58	0.6	33.95
	2.0	56.58	0.8	45.26

ที่มา: ตารางที่ 4-8 และตารางที่ 4-10

อาหารกึ่งที่ใช้ในการวิจัยนี้ใช้อาหารกึ่งในทางการค้ามีโปรตีนมากกว่า 38 เปอร์เซ็นต์ สำหรับใช้เลี้ยงกึ่งกุลาดำขนาด 10-18 กรัม จัดเป็นอาหารกึ่งกุลาดำสำหรับกึ่งขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ (ขนาดกลางเกิน 6.0-15 กรัมต่อตัว และขนาดใหญ่ เกิน 15 กรัมต่อตัว) ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอาหารกึ่ง มอก. 1198-2536 (19) เมื่อพิจารณาด้านต้นทุนในตารางที่ 4-11 อาหารกึ่งที่เคลือบด้วยสารโคโตแซน 85%DD ปริมาณ 1.0%w/w มีต้นทุนของอาหารกึ่งที่เพิ่มจากการใช้สารโคโตแซนต่อ กิโลกรัม ที่ต่ำสุด คือ 18.63 บาท ต่ออาหารกึ่ง 1 กิโลกรัม และมีค่าความคงทนในน้ำเค็มเท่ากับ 92.18 เปอร์เซ็นต์ พบว่า มีค่าความคงทนของอาหารในน้ำใกล้เคียงกับงานวิจัยของพนมรักษ์ (48) ที่การผลิตอาหารกึ่งกุลาดำวัยรุ่น (มีโปรตีนประมาณ 41 เปอร์เซ็นต์ ใช้เลี้ยงกึ่งกุลาดำขนาด 5 กรัมขึ้นไป) ที่ผลิตด้วยเครื่องบดอาหารที่ใช้ lignosulfonate 1.0%w/w เป็นสารเชื่อม ทดสอบความคงทนในน้ำเค็ม 20 ppt ที่เวลา 2 ชั่วโมง มีค่าความคงทนของอาหารเท่ากับ 90.97 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น อาหารกึ่งที่เคลือบด้วยสารโคโตแซน 85%DD ปริมาณ 1.0%w/w จึงมีความเหมาะสมกว่าอาหารกึ่งชุดอื่น ๆ ถึงแม้ว่าไม่ได้ให้ค่าความคงทนในน้ำเค็มสูงสุด แต่อย่างไรก็ตาม อาหารกึ่งที่ใช้สาร โคโตแซนเคลือบก็ทำให้ต้นทุนในด้านอาหารกึ่งสูงอยู่มาก ในการวิจัยครั้งนี้ไม่ได้นำอาหารกึ่งที่ใช้สาร โคโตแซนเพิ่มความคงทนให้แก่อาหารไปทำการเลี้ยงกึ่งกุลาดำ จึงไม่สามารถหาต้นทุนในการเลี้ยงต่อกิโลกรัมได้ ซึ่งในการนำอาหารกึ่งที่ใช้สารโคโตแซนมาใช้เลี้ยงกึ่งในการปฏิบัติจะต้องพิจารณาประโยชน์ด้านอื่น ๆ ที่จะได้รับเมื่อใช้สารโคโตแซนเคลือบอาหารกึ่ง ได้แก่ ประโยชน์ที่กึ่งจะได้รับจากสารโคโตแซนซึ่งเป็นน้ำตาลชนิดหนึ่ง, กึ่งมีการเจริญเติบโตดีมีสุขภาพแข็งแรง, ผลผลิตกึ่งที่ได้สูงขึ้น, อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) ต่ำลงหรือไม่ นอกจากนี้อาหารกึ่งที่เคลือบสารโคโตแซนมีลักษณะคล้ายฟิล์ม จึงมีความเป็นไปได้ที่มีส่วนช่วยลดการเน่าเสียของน้ำเนื่องมาจากการแตกตัวของเศษอาหารในน้ำ จะทำให้ง่ายต่อการบำบัดมลสารก่อนปล่อยออกจากฟาร์ม ซึ่งเป็นทางหนึ่งที่ไม่สร้างมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมรอบพื้นที่เพาะเลี้ยง ตลอดจนต้องพิจารณาว่าสามารถช่วยลดต้นทุนอื่น ๆ ของปัจจัยการผลิตที่ไม่ใช่ค่าอาหารกึ่ง เช่น ค่ายาหรืออาหารเสริม, ค่าเสื่อมราคาของอุปกรณ์ที่ใช้ในการเพาะเลี้ยง, ค่าไฟฟ้า, ค่าพันธุ์กึ่ง, ค่าน้ำ หรือค่าแรงงาน ฯลฯ ได้หรือไม่ร่วมด้วย

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

5.1.1 ลักษณะทางกายภาพของเม็ดอาหารกุ้ง พบว่า ก่อนการทดสอบความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำ ผิวเม็ดอาหารกุ้งที่เคลือบสารไคโตแซนมีความเงากว่าผิวของอาหารหุ้ดควบคุม และอาหารกุ้งที่ผสมสารไคโตแซน โดยอาหารกุ้งหุ้ดที่เคลือบสารไคโตแซน 2.0 %w/w มีความเงาผิวมากที่สุด ส่วนอาหารกุ้งหุ้ดที่ผสมสารไคโตแซนผิวของเม็ดอาหารไม่มีความแตกต่างกัน หลังการทดสอบในน้ำจืดและน้ำเค็ม อาหารหุ้ดควบคุมมีความเปลี่ยนแปลงของเม็ดอาหารอย่างสังเกตเห็นได้ชัดที่สุด คือ ผิวของอาหารจะปริแตกได้โดยง่ายเมื่อได้รับความกระทบกระเทือน อาหารหุ้ดที่ใช้สารไคโตแซนเคลือบ/ผสมในปริมาณ %w/w สูงขึ้น เม็ดอาหารมีการพองตัวน้อยกว่าและคงรูปมากกว่าเคลือบหรือผสมสารไคโตแซนปริมาณ %w/w ที่ต่ำ ส่วนการทดสอบในน้ำเค็มลักษณะเม็ดอาหารกุ้งที่เคลือบ/ผสมสารไคโตแซน และอาหารกุ้งหุ้ดควบคุมมีการพองตัวน้อยกว่าและมีความคงรูปมากกว่าการทดสอบในน้ำจืด

5.1.2 การใช้สารไคโตแซนที่มีค่าระดับการกำจัดหมู่อะเซทิล (%DD) แตกต่างกัน ที่ปริมาณการใช้สาร (%w/w) ที่เท่ากัน มีผลทำให้ความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำมีความแตกต่างกัน โดย การทดสอบในน้ำจืด พบว่า ในการเคลือบอาหารกุ้งที่ปริมาณ 0.5%w/w-2.0%w/w อาหารกุ้งที่เคลือบสารไคโตแซน 80%DD และ 85%DD มีความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำจืดสูงสุด การผสมอาหารกุ้งที่ปริมาณ 0.5%w/w ด้วยสารไคโตแซน 85%DD และ ที่ปริมาณ 2.0%w/w อาหารกุ้งที่ผสมสารไคโตแซน 90%DD ให้ความคงทนของอาหารในน้ำสูงสุด สำหรับในน้ำเค็มที่ปริมาณ 1.0%w/w ขึ้นไปอาหารกุ้งที่เคลือบสารไคโตแซน 80%DD และ 85%DD มีความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำเค็มสูงสุด และการผสมอาหารกุ้งที่ปริมาณ 1.5%w/w ขึ้นไป ด้วยสารไคโตแซน 85%DD และ 90%DD ทำให้มีความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำสูงสุด

5.1.3 ผลของการใช้สารโคโตแซนปริมาณ (%w/w) ต่างกัน คือ 0.5-2.0%w/w ที่ระดับ %DD เดียวกัน และอาหารกุ้งหุดควบคุม มีผลทำให้ความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำมีความแตกต่างกัน คือ ทั้งในน้ำจืดและน้ำเค็มอาหารกุ้งที่เคลือบและผสมสารโคโตแซนทุก %DD มีความคงทนของอาหารในน้ำแปรผันโดยตรงกับระดับปริมาณการใช้ (%w/w) ที่เพิ่มขึ้น และอาหารกุ้งหุดควบคุมมีความคงทนในน้ำต่ำที่สุด

5.1.4 วิธีการเคลือบกับการผสมสารโคโตแซนมีผลทำให้ความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำมีความแตกต่างกัน โดย การเคลือบอาหารกุ้งด้วยสารโคโตแซน 80%DD และ 85%DD ทำให้ความคงทนของอาหารกุ้งมีแนวโน้มสูงกว่าอาหารกุ้งที่ใช้วิธีการผสม แต่การผสมสารโคโตแซน 90%DD ในอาหารกุ้งทำให้ความคงทนของอาหารในน้ำมีแนวโน้มสูงกว่าใช้วิธีการเคลือบ ทั้งในน้ำจืดและน้ำเค็ม

5.1.5 ผลของชนิดน้ำจืดและน้ำเค็มที่ใช้ในการทดสอบที่มีต่อความคงทนของอาหารกุ้งสรุปได้ว่า อาหารกุ้งที่ทำการทดสอบความคงทนในน้ำเค็มมีความคงทนของอาหารสูงกว่าอาหารที่ทำการทดสอบความคงทนในน้ำจืดในทุกตัวอย่างอาหารกุ้งที่ใช้ทดสอบ

5.1.6 อาหารกุ้งหุดควบคุมที่ทดสอบความคงทนในน้ำเค็มมีค่าความคงทนของอาหารสูงกว่าอาหารกุ้งหุดควบคุมที่ทดสอบในน้ำจืด เมื่อใช้สารโคโตแซนเคลือบ/ผสมอาหารกุ้งทำให้มีความคงทนของอาหารในน้ำสูงกว่าอาหารกุ้งหุดควบคุมทั้งการทดสอบในน้ำจืดและน้ำเค็ม โดยปริมาณ %w/w ในการเคลือบและผสมที่สูงขึ้นทำให้อาหารมีความคงทนสูงขึ้น แต่อาหารกุ้งที่ทดสอบในน้ำเค็มให้ความคงทนของอาหารสูงกว่าอาหารกุ้งชนิดเดียวกันที่ทดสอบในน้ำจืด

5.1.7 ภาพรวมความคงทนของอาหารกุ้งในกลุ่มเคลือบและผสม ที่ทดสอบความคงทนในน้ำจืด/น้ำเค็ม พบว่า อาหารกุ้งเคลือบสารโคโตแซน 80%DD ปริมาณ 1.5%w/w - 2.0%w/w และเคลือบสารโคโตแซน 85%DD ปริมาณ 1.0%w/w- 2.0%w/w มีความคงทนในน้ำสูงสุดทั้งในน้ำจืดและน้ำเค็ม อาหารกุ้งผสมทดสอบในน้ำจืดที่มีค่าความคงทนสูงสุด คือ อาหารกุ้งผสมสารโคโตแซน 90%DD ปริมาณ 2.0%w/w และอาหารกุ้งผสมสารโคโตแซนที่ทดสอบในน้ำเค็มที่มีค่าความคงทนของอาหารสูงสุด คือ อาหารกุ้งผสมสารโคโตแซน 85%DD ปริมาณ 1.5%w/w-2.0%w/w และอาหารกุ้งที่ผสมสารโคโตแซน 90%DD ปริมาณ 1.5%w/w-2.0%w/w โดยการเคลือบอาหารกุ้ง

ด้วยสารโคโตแซน 85%DD ปริมาณ 1.0%w/w มีต้นทุนอาหารกุ้งที่เพิ่มขึ้นต่อกิโลกรัมต่ำสุด คือ 18.63 บาทต่อกิโลกรัม

5.1.8 การวิจัยในครั้งนี้สามารถสรุปได้ว่า สารโคโตแซนสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการเพิ่มความคงทนให้แก่อาหารกุ้งกุลาดำในน้ำได้เช่นเดียวกับสารเคมีชนิดต่าง ๆ ที่ใช้เพิ่มความคงทนในอาหารกุ้งสำเร็จรูปในปัจจุบัน แต่ยังประสบปัญหาในด้านต้นทุนการผลิตของสารโคโตแซนซึ่งมีราคาสูง จึงส่งผลให้ต้นทุนของอาหารกุ้งที่เพิ่มขึ้นต่อกิโลกรัมสูงขึ้น ถ้าสามารถหาแนวทางเพื่อลดต้นทุนในการผลิตสารโคโตแซนลงได้ จะทำให้มีการนำสารโคโตแซนไปใช้เพิ่มความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำได้จริงในทางปฏิบัติได้มากขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางในการวิจัยครั้งต่อไป

5.2.1 อาหารกุ้งที่ใช้ในการวิจัยได้นำอาหารกุ้งสำเร็จรูปที่ผลิตขึ้นเพื่อการค้าซึ่งภายในอาหารกุ้งสำเร็จรูปมีการผสมสารเคมีเพื่อเพิ่มความคงทนให้แก่อาหาร ผู้วิจัยจึงนำมาบดละเอียดเพื่อลดผลความคงทนของอาหารกุ้งที่เกิดจากสารเคมี ควรเตรียมอาหารกุ้งจากวัตถุดิบอาหารสัตว์โดยใช้สารโคโตแซนผสมในสูตรอาหารแทนการใช้สารเคมีแล้วก่อนนำไปอัดเม็ด หรือเคลือบผิวอาหารกุ้งด้วยสารโคโตแซนหลังจากอัดเม็ดอาหาร ที่ไม่ใช่สารเคมีในขั้นตอนการผลิต

5.2.2 ควรศึกษาการใช้สารโคโตแซนในการเคลือบและผสมระดับปริมาณการใช้ (%w/w) ที่ต่ำลง เป็นการลดความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้นจากการเคลือบอาหารกุ้งหลาย ๆ ครั้ง ซึ่งทำให้ค่าความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำที่ได้จากการทดลองมีความเที่ยงตรงเพิ่มขึ้น และการลดระดับปริมาณการใช้อาจเป็นแนวทางหนึ่ง ที่ช่วยลดต้นทุนอาหารกุ้งที่เพิ่มขึ้นต่อกิโลกรัมเนื่องมาจากการใช้สารโคโตแซน

5.2.3 สารโคโตแซนที่ใช้ในการวิจัยเป็นการผลิตขึ้นทางการค้าซึ่งมีราคาสูง ควรทำการสกัดสารโคโตแซนจากเศษเหลือทิ้งในอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการเพิ่มความคงทนในอาหารกุ้งกับสารโคโตแซนที่ผลิตขึ้นทางการค้า และศึกษาด้านต้นทุนในการสกัดสารโคโตแซนขึ้นเองในการทดลอง

5.2.4 อาหารที่ใช้ในการวิจัยเป็นอาหารสำหรับเลี้ยงกุ้งขนาด 10 กรัมขึ้นไป จึงควรทำการศึกษาอาหารที่ใช้เลี้ยงกุ้งขนาดอื่น ๆ ที่มีความแตกต่างกันในด้านองค์ประกอบของสารอาหาร และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดอาหาร

5.2.5 ควรมีการวัดคุณค่าทางโภชนาของอาหารกุ้งที่ใช้สารไคโตแซนเพิ่มความคงทน ก่อนและหลังจากการทดสอบความคงทนในน้ำ เช่น ไขมัน โปรตีน หรือไนโตรเจน โดยเฉพาะอย่างยิ่งวิตามินซี ที่น่าจะเป็นตัวชี้วัดที่สำคัญได้อย่างหนึ่งในการทดสอบความคงทนของอาหารในน้ำ นอกเหนือไปจากการวัดความคงทนของอาหารเพียงอย่างเดียว รวมทั้งควรหาปริมาณของแข็งที่เหลืออยู่ในน้ำหลังจากการทดสอบรวมกับการหาน้ำหนักอาหารกุ้งที่เหลืออยู่หลังการทดสอบ

5.2.6 การศึกษาความคงทนของอาหารกุ้งโดยใช้สารไคโตแซนควรนำชุดอาหารในการทดลองมาใช้ในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ เพื่อหาอัตราการเจริญเติบโต อัตราการรอด ค่าอัตราการแลกเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) ตลอดจนศึกษาในด้านเศรษฐศาสตร์เพื่อเปรียบเทียบกับ การเลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จรูป รวมไปถึงศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำภายในบ่อเลี้ยงกุ้ง เพื่อให้ทราบ ว่าสารไคโตแซนมีส่วนช่วยเพิ่มความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำได้จริง และมีส่วนช่วยทำให้คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงไม่เสื่อมโทรมที่เกิดจากการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุภายในบ่อเลี้ยง

5.2.7 ควรศึกษาระยะเวลาในการเก็บอาหารกุ้งที่ใช้สารไคโตแซน เนื่องจากสารไคโตแซนมีคุณสมบัติในการต่อต้านเชื้อจุลินทรีย์ได้

5.2.8 สภาวะจริงในบ่อเลี้ยงกุ้งมีการให้อาากและหมุนเวียนน้ำภายในบ่อ ควรทำการทดสอบความคงทนของอาหารในน้ำไหลที่อัตราการไหลต่าง ๆ กัน



รายการอ้างอิง

1. เจริญ โภคภัณฑ์ อาหารสัตว์. สรุปรการเลี้ยงกุ้งโลกปี 2542. วารสารข่าวกุ้ง 2543;140:1,3.
2. พานิชย์ สังข์เกษม และพัชรินทร์ สมโสภณ. สภาพการเลี้ยงกุ้งในภาคใต้ในปัจจุบัน. ใน: บัณฑิตเกษตรก้าวหน้า. การเลี้ยงกุ้งทะเลแบบพัฒนา (กุ้งกุลาดำ). กรุงเทพมหานคร: รุ่งเรืองสาส์นการพิมพ์; 2531. หน้า 11-18.
3. กรุงเทพเพาะเลี้ยงกุ้ง. การเลี้ยงกุ้งกุลาดำ. ใน: บัณฑิตเกษตรก้าวหน้า. การเลี้ยงกุ้งทะเลแบบพัฒนา (กุ้งกุลาดำ). กรุงเทพมหานคร: รุ่งเรืองสาส์นการพิมพ์; 2531. หน้า 49-60.
4. มะลิ บุญขรต์ผลิน. อาหารและการให้อาหารกุ้งทะเล. ใน: สำนักประชาสัมพันธ์ อะโกรคอมมิวนิตี้. เทคนิคการเลี้ยงกุ้งทะเล. กรุงเทพมหานคร: ฟีนีฟับลิชชิง; 2532. หน้า 65-80.
5. ประชาชาติธุรกิจ. อาชีพเศรษฐกิจ กุ้งกุลาดำธุรกิจ 10,000 ล้าน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์พิมพ์เกษตร; 2531.
6. สมพงษ์ โภคศิริพันธ์. การเลี้ยงกุ้งกุลาดำ. แอควาสตาร์. สงขลา: ม.ป.ท. ; ม.ป.ป..
7. วลลภ คงเพิ่มพูน. กุ้งกุลาดำ. กรุงเทพมหานคร: โครงการหนังสือเกษตรชุมชน; มปป.
8. พรเลิศ จันทรรักษ์กุล, เจ เอฟ เทอร์บอล และชลอ ถิมสุวรรณ. คู่มือการเลี้ยงและป้องกันโรคกุ้งกุลาดำ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยสุขภาพสัตว์น้ำ กรมประมง; 2537.
9. ขนธ์ มุสิก. คุณภาพน้ำและการจัดการ. ใน: เทคนิคการเลี้ยงกุ้งทะเล. กรุงเทพมหานคร: ฟีนีฟับลิชชิง; 2532. หน้า 103-11.
10. ปกรณ์ อุ้นประเสริฐ. เทคนิคการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: ประชาชน; 2531.
11. มะลิ บุญขรต์ผลิน. สารเหนียวและความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำ. วารสารการประมง 2524; 1: 661-7.
12. ชูศักดิ์ แสงธรรม. การเลี้ยงกุ้งกุลาดำ. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: เอเชีย แปซิฟิค พรินติ้ง; 2541.
13. อุดมชัย จินะดิษฐ์. ผลกระทบจากเปลือกกุ้งกับการพัฒนาเทคโนโลยีชีวภาพ. วารสาร สสท. ฉบับเทคโนโลยี 2535; 104: 50-4.

14. อุดมชัย จินะดิษฐ์, พงษ์จันทร์ จันทยศ และสุวลิ จันทรกระจ่าง. รายงานสถานภาพโดยสรุปของการแปรรูปเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ chitin และ chitosan จากกากของเสียอุตสาหกรรมการผลิตกุ้งแช่แข็ง. กรุงเทพมหานคร: หน่วยวิจัยไบโอพอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร; 2537. สนับสนุนโดย โครงการถ่ายทอดเทคโนโลยีเพื่อพัฒนาการเกษตร (ATT-043) กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ และสำนักงาน USAID ประเทศไทย.
15. วิสิฐ จะวะสิต. การประยุกต์ใช้สารสกัดจากเปลือกของปูและกุ้งในอุตสาหกรรมอาหาร. วารสารการประมง 2532 ; 6 : 463-7.
16. อธิยา กังสุวรรณ. ไคติน: ผลิตภัณฑ์ธรรมชาติสำหรับศตวรรษที่ 21. วารสารการประมง 2541 ; 1 : 57-67.
17. กรมประมง. การใช้ไคโตแซนถนอมอาหาร. รายงานการสัมมนาวิชาการประจำปี 2538; 18-20 กันยายน 2538; ห้องประชุมใหญ่กรมประมง: โรงพิมพ์ดอกเบี๋ย; ม.ป.ป.
18. วินิจ เชนฐศิริ. ความคงทนของอาหารเม็ดในน้ำที่ใช้กล้วยเป็นสารเหนียว [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การประมง]. กรุงเทพมหานคร: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2533.
19. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอาหารกุ้ง มอก. 1198-2536. กรุงเทพมหานคร: นำ้กัการพิมพ์; 2536.
20. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. สารไคตินและไคโตซานผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติ และการประยุกต์ใช้ประโยชน์. การสัมมนาวิชาการเรื่อง ความร่วมมือของภาครัฐและเอกชนในการพัฒนาการผลิตและการใช้สารไคติน-ไคโตแซนแบบครบวงจร; 2-3 เมษายน 2542; ห้องประชุมโรงแรม ไอเฟล ระนอง: ม.ป.ท.; ม.ป.ป.
21. สมพร ฐริพงศ์ และสมโภชน์ อัคระทวิวัฒน์. ภาพปลาและสัตว์น้ำของไทย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: องค์การค้าของคุรุสภา; 2530.
22. มะลิ บุญยรัตผลิน. อาหารและการให้อาหารกุ้งกุลาดำ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: ประชาชน; 2531.
23. เปี่ยมศักดิ์ เมนะเสวด. อาหารสำหรับการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ. วารสารการประมง 2534 ;44 : 463-7.
24. เวียง เชื้อโพธิ์หัก. โภชนศาสตร์และการให้อาหารสัตว์น้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2542.

25. พรพันธ์ มณีประสพโชค. บทบาทของโรงงานอาหารกึ่งในการช่วยรักษาสภาพแวดล้อม. ใน: ไพศาล หนูแก้ว, บรรณาธิการ. ตำนานการเลี้ยงน้ำให้ได้กึ่ง. กรุงเทพมหานคร: เปเปอร์ออฟเซต; 2535.
26. ดีพร้อม ไชยวงศ์เกียรติ. ระบบน้ำและของเสียในบ่อกึ่ง. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: ศรีเมืองการพิมพ์; 2531.
27. Raven P, Walker G. Material Flow in Feed Manufacturing. In: FAO, editor. Fish Feed Technology; Lectures Presented at the FAO/UNDP Training Course in Fish Feed Technology, held at the College of Fisheries, University of Washington, 9 Oct-15 Dec 1978. Rome: United Nations Development Programme and FAO; 1980. p. 289-92.
28. Hasting WH, Higgs D. Feed Milling Processes. In: FAO, editor. Fish Feed Technology; Lectures Presented at the FAO/UNDP Training Course in Fish Feed Technology, held at the College of Fisheries, University of Washington, 9 Oct-15 Dec 1978. Rome: United Nations Development Programme and FAO; 1980. p. 293-313.
29. บุญชัย กิจสัมฤทธิ์โรจน์. หลักการใช้อาหารปลา-กึ่ง. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: เอเชียแพคเกจจิง; 2541.
30. วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย. อาหารปลา. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: โอ. เอส. พรีนติ้ง เฮาส์; 2536.
31. ธนิต คูสำราญ, บรรณาธิการ. ไคติน-ไคโตแซน (Chitin-Chitosan) การประยุกต์และใช้ประโยชน์ทางเทคโนโลยีชีวภาพ. การประชุมสัมมนาวิชาการสาขาชีวเคมีฯ ครั้งที่ 18 เรื่อง โพลีเมอร์ชีวภาพ (Biopolymer) 10-12 พฤษภาคม 2536; คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพมหานคร: ม.ป.ท.; ม.ป.ป.
32. Kubota N, Kikuchi Y. Macromolecular Complexes of Chitosan. In: Dunmitriu S, editor. Polysaccharides: Structural Diversity and Functional Versatility. New York: Marcel Dekker; 1998.p.595-628.
33. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. ไคติน/ไคโตซาน (Chitin/Chitosan). การสัมมนาวิชาการเรื่อง ความร่วมมือของภาครัฐและเอกชนในการพัฒนาการผลิตและการใช้สารไคติน-ไคโตแซนแบบครบวงจร; 2-3 เมษายน 2542; ห้องประชุมโรงแรม ไอเฟล ระนอง: ม.ป.ท.; ม.ป.ป.
34. เกษม พลายแก้ว. การลดปริมาณโปรตีนเคซีนในน้ำทิ้งจากโรงงานวัวด้วยไคโตแซน. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม]. กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล; 2538.

35. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. การพัฒนาแผ่นเยื่อบางไคโตซานเพื่อการกรองแยกชีวสาร. การสัมมนาวิชาการเรื่องความร่วมมือของภาครัฐและเอกชนในการพัฒนาการผลิตและการใช้สารไคติน-ไคโตแซนแบบครบวงจร; 2-3 เมษายน 2542; ห้องประชุมโรงแรม ไอเฟล ระนอง: ม.ป.ท.; ม.ป.ป.
36. นพรัตน์ มะเห. फिल्मที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากไคโตแซน : ปัจจัยการผลิตที่มีผลต่อคุณสมบัติของฟิล์ม และการใช้ประโยชน์. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ประมง]. สงขลา : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์; 2540.
37. Dalwoo Cooperation. Structure of Chitin Chitosan and Cellulose [Online]. Dalwoo Cooperation; update 12 April 1999. Available from: <http://members.tripod.com/~Dalwoo/structure.htm> [Accessed 2000 Jun 17].
38. Bræk GS, Anthonsen T, Sandford P, editors. Chitosan: Commercial Uses and Potential Applications. Proceeding from the 4th International Conference on Chitin and Chitosan; 1988 August 22-24; Trondheim: Elsevier Science ; 1989.
39. รัตนมณี หาญวิชศักดิ์. การออกแบบเบื้องต้นสำหรับกระบวนการผลิตไคตินและสารปรุงแต่งกลิ่นรสจากเศษกุ้ง. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี]. กรุงเทพมหานคร: บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2540.
40. Bough WA, Salter WL, Wu ACM, Perkins BE. Influence of Manufacturing Variable on the Characteristics and Effectiveness of Chitosan Products. Biotech Bioen 1978 ; 20 : 1931-43.
41. เขาวภา ไหวพริบ. การผลิตไคตินและไคโตแซนจากเปลือกกุ้ง. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการอาหาร]. กรุงเทพมหานคร : บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2533.
42. Castro P, Huber ME. Marine Biology. USA: Wm. C. Brown Communications; 1992.
43. Boyd CE. Chemistry and Efficacy of Amendments Used to Treat Water and Soil Quality Imbalances in Shrimp Ponds. In: Browdy CL, Hopkins JS, editors. Swimming Through Troubled Water. Proceeding of the Special Session on Shrimp Farming; 1995 Feb 1-4 papers present at Aquaculture '95; California: World Aquaculture Society; 1995. P.183-99

44. ไมตรี ดวงสวัสดิ์, จารุวรรณ สมศิริ. คุณสมบัติของน้ำและวิธีวิเคราะห์สำหรับการวิจัยทางการประมง. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย; 2528.
45. Sumich JL. Marine Life. 5th ed. USA: Wm. C. Brown ; 1992.
46. ประเสริฐ สีตะสิทธิ์. รายงานประจำปี 2524 กรมประมง เรื่อง การทดลองเปรียบเทียบความทนของอาหารเม็ดในน้ำโดยใช้สารเหนียวต่าง ๆ กัน. กรุงเทพมหานคร: สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ กองประมงน้ำจืด กรมประมง; 2524.
47. Balazs GH, Ross E, Brooks CC. Preliminary Studies on the Preparation and Feeding of Crustacean Diets. Aquaculture 1973; 2: 369-377.
48. พนมรักษ์ พงศ์กุล. การผลิตอาหารกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) วัยรุ่น. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการอาหาร]. กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2534.
49. กรมประมง. การสกัดโคไโตแซนจากเปลือกสัตว์น้ำ. รายงานการสัมมนาวิชาการประจำปี 2536; 15-17 กันยายน 2536; ณ สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด บางเขน กรมประมง: โรงพิมพ์ประชาชน; 2537.
50. สุมาลัย ศรีกำไลทอง, ปาริชาติ หลายชูไทย, เรวดี นาคดี, พรศ วิจารย์รัฐจันทร์, ณรงค์เดช อาษา. ปัจจัยของการผลิตที่มีผลต่อคุณสมบัติของโคไโตซาน. กรุงเทพฯ ฯ: สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย; 2540. โครงการวิจัยที่ อ.-ต. 38-03 การใช้ประโยชน์โพลีแซคคาไรด์จากของเหลือทิ้งของผลิตภัณฑ์ทะเล.
51. สุมาลัย ศรีกำไลทอง, ปาริชาติ หลายชูไทย, เรวดี นาคดี, พรศ วิจารย์รัฐจันทร์, ณรงค์เดช อาษา, ไซ-อิชิ โอบา และคณะ. การผลิตโคไโตซานจากหัวกุ้งกุลาดำและการใช้ประโยชน์ในการดูดซับโลหะหนัก. กรุงเทพฯ ฯ: สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย; 2540. โครงการวิจัยที่ ภ. 39-01 การใช้ประโยชน์โพลีแซคคาไรด์จากของเหลือทิ้งของผลิตภัณฑ์ทะเล.
52. Dien LD, Binh TQ. Research on Using Chitosan for Storage of Oranges in Vietnam. In: Stevens WF, Rao MS, Chandkrachang S, editors. The Proceeding of the Second Asia Pacific Symposium; 1996 Nov. 21-23; Bangkok Thailand: Asian Institute of Technology; nd.. p. 200-203.
53. Li CF, Wu JC. Chitosan Benefits Cultivation of Vegetables. In: Chen RH, Chen HC, editors. Proceeding of the Third Asia-Pacific Chitin and Chitosan Symposium; 1998 Sept. 8-10; Keelung Taiwan: Republic of China: Rita Advertising; nd. p.448-52.

54. อนันต์ชัย เชื้อนธรรม. วิธีการทางสถิติ และการวิเคราะห์ข้อมูล. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ ฯ: ภาค
วิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2542.
55. อภิญญา วงศ์กิดาการ. สถิติสำหรับชีววิทยา. พิมพ์ครั้งที่ 1. สงขลา: คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์; 2531.
56. นำชัย เจริญเทศประสิทธิ์. บทปฏิบัติการอาหารสัตว์น้ำ เอกสารประกอบการสอนวิชา 118451
อาหารและการให้อาหารสัตว์น้ำ. ขอนแก่น: ภาควิชาประมง คณะเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น; 2539.
57. วารุณี ฟางทวนิช. พัฒนจากพอลิเมอร์ผสมของสารไคโตแซนและไฮดรอกซีโพรพิลเมทิล
เซลลูโลส. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์
ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ]. กรุงเทพมหานคร: บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย; 2540.
58. อัสวิน กิตติขัฒกาล. โคแอ็กกูแลนต์และโคแอ็กกูแลนต์เอดจากไคโตแซน. [วิทยานิพนธ์ปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม]. กรุงเทพมหานคร: บัณฑิต
วิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2539.
59. เรืองลักษณ์ จามิกรณ์. ชีวเคมีเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยราม
คำแหง; 2535.
60. ชัยวัฒน์ เจนวานิชย์. หลักเคมี 1 (ฉบับปรับปรุง). พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: โอเดียน
สโตร์; 2541.

ภาคผนวก ก

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อาหารกึ่ง

มาตรฐานเลขที่ มอก. 1198-2536



มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

อาหารกุ้ง

1. ขอบข่าย

- 1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนด ประเภทและชนิด ส่วนประกอบ คุณลักษณะที่ต้องการ การบรรจุ เครื่องหมายและฉลาก การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน และการทดสอบอาหารกุ้ง

2. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

- 2.1 อาหารกุ้ง หมายถึง อาหารที่ใช้เลี้ยงกุ้ง ทำจากวัตถุดิบหลายชนิดผสมกัน ลักษณะเป็นเม็ดหรือผง
2.2 ผุ่น หมายถึง พงละเอียดยที่ปั่น แฉก หัก หลุดล่อน จากเม็ดอาหารกุ้ง

3. ประเภทและแบบ

- 3.1 อาหารกุ้งแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

- 3.1.1 อาหารกุ้งทะเล แบ่งออกเป็น 5 ชนิด คือ

- 3.1.1.1 ชนิดผงสำหรับกุ้งวัยอ่อนระยะ 1 (น้อยกว่า 0.2 กรัมต่อตัว)
3.1.1.2 ชนิดผงสำหรับกุ้งวัยอ่อนระยะ 2 (0.2 ถึง 3.0 กรัมต่อตัว)
3.1.1.3 ชนิดเม็ดสำหรับกุ้งเล็ก (เกิน 3.0 ถึง 6.0 กรัมต่อตัว)
3.1.1.4 ชนิดเม็ดสำหรับกุ้งกลาง (เกิน 6.0 ถึง 15 กรัมต่อตัว)
3.1.1.5 ชนิดเม็ดสำหรับกุ้งใหญ่ (เกิน 15 กรัมต่อตัว)

- 3.1.2 อาหารกุ้งน้ำจืด แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

- 3.1.2.1 ชนิดเม็ดสำหรับกุ้งเล็กและกุ้งกลาง (ไม่เกิน 50 กรัมต่อตัว)
3.1.2.2 ชนิดเม็ดสำหรับกุ้งใหญ่ (เกิน 50 กรัมต่อตัว)

หมายเหตุ ชนิดผงมีน้อยกว่า 1.80 มิลลิเมตร

ชนิดเม็ด มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 1.80 มิลลิเมตร

4. ส่วนประกอบ

- 4.1 ส่วนประกอบสำคัญที่ใช้ทำอาหารกุ้ง

- 4.1.1 วัตถุดิบที่ให้โปรตีน

- 4.1.1.1 ได้จากสัตว์ เช่น ปลาป่น เปลือกและหัวกุ้งป่น ปลาหมึกป่น
4.1.1.2 ได้จากพืช เช่น กากถั่วเหลือง กากถั่วลิสง

- 4.1.2 วัตถุดิบที่ให้พลังงาน

- 4.1.2.1 ได้จากสัตว์ เช่น ไขมันสัตว์ น้ำมันปลา
4.1.2.2 ได้จากพืช เช่น ไขมันพืช รำข้าว แป้งสาลี แป้งมันสำปะหลัง

4.1.3 วัตถุที่เติมในอาหารสัตว์

4.1.3.1 ให้คุณค่าทางอาหาร เช่น วิตามิน แร่ธาตุ

4.1.3.2 ไม่ให้คุณค่าทางอาหาร เช่น สารตัวเชื่อม สารถนอมคุณภาพอาหารสัตว์

5. คุณลักษณะที่ต้องการ

5.1 ลักษณะทั่วไป

ต้องจมน้ำง่าย มีขนาดสม่ำเสมอ ไม่จับกันเป็นก้อน ไม่มีสิ่งแปลกปลอม และไม่มีรา
การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ

5.2 ฝุ่น

เมื่ออาหารกึ่งจะมีปริมาณฝุ่นที่แรงขนาด 0.500 มิลลิเมตร ได้ไม่เกินร้อยละ 1 ของน้ำหนักตัวอย่าง
การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 9.1

5.3 ความคงตัวของเม็ดอาหารกึ่งในน้ำ

เมื่ออาหารกึ่งต้องไม่ยุ่ยง่าย โดยเมื่อทดสอบตามข้อ 9.2 แล้ว น้ำหนักที่สูญเสียไปต้องไม่เกินร้อยละ 20 ของ
น้ำหนักตัวอย่าง

5.4 คุณลักษณะทางเคมี

ต้องเป็นไปตามที่ระบุที่ฉลากและตามตารางที่ 1

6. การบรรจุ

6.1 ให้บรรจุอาหารกึ่งในภาชนะบรรจุที่สะอาด แห้ง กันความชื้นได้ และปิดได้เรียบร้อย

6.2 น้ำหนักสุทธิของอาหารกึ่งในแต่ละภาชนะบรรจุ ต้องไม่น้อยกว่าที่ระบุไว้ที่ฉลาก

7. เครื่องหมายและฉลาก

7.1 ที่ภาชนะบรรจุอาหารกึ่งทุกหน่วย อย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ ให้
เห็นได้ง่าย ชัดเจน

(1) ประเภทและชนิด

(2) ส่วนประกอบสำคัญ

(3) คุณลักษณะทางเคมี

(4) น้ำหนักสุทธิ เป็นกรัมหรือกิโลกรัม

(5) เดือน ปีที่ทำ และเดือน ปีที่หมดอายุ

(6) วิธีใช้

(7) ชื่อผู้ทำหรือโรงงานที่ทำ พร้อมสถานที่ตั้ง หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน

ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ เพื่อประโยชน์ในการส่งไปจำหน่ายในต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับ
ภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

7.2 ผู้ทำผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่เป็นไปตามมาตรฐานนี้ จะแสดงเครื่องหมายมาตรฐานกับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนั้นได้ ต่อเมื่อได้รับใบอนุญาตจากคณะกรรมการมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแล้ว

ตารางที่ 1 คุณลักษณะทางเคมีของอาหารกุ้ง (ข้อ 5.4)

รายการที่	คุณลักษณะ	อาหารกุ้งทะเล				อาหารกุ้งน้ำจืด		วิธีวิเคราะห์ตาม
		ชนิดผงสำหรับกุ้งวัยอ่อนระยะ 1 และชนิดผงสำหรับกุ้งวัยอ่อนระยะ 2	ชนิดเม็ดสำหรับกุ้งเล็ก	ชนิดเม็ดสำหรับกุ้งกลาง	ชนิดเม็ดสำหรับกุ้งใหญ่	ชนิดเม็ดสำหรับกุ้งเล็กและกุ้งกลาง	ชนิดเม็ดสำหรับกุ้งใหญ่	
1	โปรตีนร้อยละไม่น้อยกว่า	40	40	38	36	30	25	AOAC (1990) ข้อ 954.01
2	ไขมันร้อยละไม่น้อยกว่า	4	4	4	4	4	4	AOAC (1990) ข้อ 954.02
3	ฟอสฟอรัสร้อยละไม่น้อยกว่า	1.4	1.4	1.4	1.4	1	1	AOAC (1990) ข้อ 954.06
4	กากร้อยละไม่น้อยกว่า	4	4	4	4	4	4	AOAC (1990) ข้อ 954.10
5	เถ้าร้อยละไม่น้อยกว่า	16	16	18	18	18	18	AOAC (1990) ข้อ 954.05
6	ความชื้นร้อยละไม่น้อยกว่า	12	12	12	12	12	12	AOAC (1990) ข้อ 954.01

8. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

8.1 รุ่น ในที่นี้ หมายถึง อาหารกุ้งประเภทและชนิดเดียวกัน ที่ทำด้วยส่วนประกอบและกรรมวิธีเดียวกัน บรรจุในภาชนะบรรจุชนิดเดียวกัน ที่ทำหรือส่งมอบหรือซื้อขายในระยะเวลาเดียวกัน

8.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับ ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้ หรืออาจใช้แผนการชักตัวอย่างอื่นที่เทียบเท่ากันทางวิชาการกับแผนที่กำหนดไว้

8.2.1 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบลักษณะทั่วไป ฟุ่น การบรรจุ และเครื่องหมายและฉลาก

- 8.2.1.1 ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันตามจำนวนที่กำหนดในตารางที่ 2 นำตัวอย่างทั้งหมดไปตรวจสอบเครื่องหมายและฉลากก่อน แล้วจึงตรวจสอบการบรรจุ ลักษณะทั่วไป และฝุ่น
- 8.2.1.2 จำนวนตัวอย่างที่ไม่เป็นไปตามข้อ 5.1 ข้อ 5.2 ข้อ 6. และข้อ 7. ต้องไม่เกินเลขจำนวนที่ยอมรับที่กำหนดในตารางที่ 2 จึงจะถือว่าอาหารกึ่งนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

ตารางที่ 2 แผนการชักตัวอย่างสำหรับการทดสอบลักษณะทั่วไป ฝุ่น การบรรจุ และเครื่องหมายและฉลาก (ข้อ 8.2.1)

ขนาดรุ่น หน่วยภาชนะบรรจุ	ขนาดตัวอย่าง หน่วยภาชนะบรรจุ	เลขจำนวนที่ยอมรับ
ไม่เกิน 500	2	0
501 ถึง 3,200	8	1
3,201 ถึง 35,000	13	2
เกิน 35,000	20	3

- 8.2.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบความคงตัวของเม็ดอาหารกึ่งในน้ำ และคุณลักษณะทางเคมี
 - 8.2.2.1 ให้ใช้ตัวอย่างจากข้อ 8.2.1 แบ่งตัวอย่างมาภาชนะบรรจุเท่าๆกัน มาผสมรวมกันให้ได้น้ำหนักไม่น้อยกว่า 1,000 กรัม ในกรณีที่ตัวอย่างไม่พอ ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันเพิ่มจนได้ขนาดน้ำหนักตามต้องการ บรรจุในภาชนะที่สะอาดแห้ง ปิดสนิท และป้องกันความชื้นได้
 - 8.2.2.2 ตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 5.3 และข้อ 5.4 จึงถือว่าอาหารกึ่งนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด
- 8.3 เกณฑ์ตัดสิน
 - ตัวอย่างอาหารกึ่งต้องเป็นไปตามข้อ 8.2.1.2 และข้อ 8.2.2.2 ทุกข้อ จึงถือว่าอาหารกึ่งนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้

9. การทดสอบ

9.1 ฝุ่น

9.1.1 เครื่องมือ

- 9.1.1.1 แรงที่มีขนาด 0.500 มิลลิเมตร
- 9.1.1.2 เครื่องเขย่าไฟฟ้าแบบ 3 ทิศทาง ที่อัตราเร็วประมาณ 500 รอบต่อนาที

9.1.2 วิธีทดสอบ

ให้ชั่งตัวอย่าง 100 กรัมให้ทราบน้ำหนักแน่นอน ใส่ในแรง นำไปวางลงในเครื่องเขย่า เขย่าเป็นเวลา 15 นาที น้ำหนักตัวอย่างที่ผ่านแรงคือปริมาณฝุ่น คำนวณเป็นร้อยละ

9.2 ความคงตัวของเม็ดอาหารกึ่งในน้ำ

9.2.1 เครื่องมือ

9.2.1.1 ตู้อบที่ควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 65 ± 2 องศาเซลเซียส

9.2.1.2 ภาชนะรูปลูกบาศก์ขนาด 6 เซนติเมตร x 6 เซนติเมตร x 6 เซนติเมตร ซึ่งทำด้วยตาข่ายโลหะที่มีขนาดรูเปิด 1.50 มิลลิเมตร

9.2.2 วิธีทดสอบ

อบตัวอย่างในตู้อบที่อุณหภูมิ 65 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในเดซิกเคเตอร์ ชั่งมา 5 กรัม ใส่ภาชนะรูปลูกบาศก์ แล้วแช่น้ำ โดยให้จมอยู่ลึก 15 เซนติเมตร เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วยกขึ้นมาแขวนให้สะเด็ด จากนั้นนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 65 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในเดซิกเคเตอร์ แล้วชั่งหาน้ำหนักตัวอย่างที่เหลืออยู่ หากน้ำหนักตัวอย่างเหลือไม่น้อยกว่า 4 กรัม ให้ถือว่าน้ำหนักที่สูญเสียไปในน้ำไม่เกินร้อยละ 20 ของน้ำหนักตัวอย่าง

ภาคผนวก ข

การคำนวณปริมาณสารสารโคโคแซนที่ใช้เคลือบอาหารในการทดลอง
และ
ชุดการทดลองในการศึกษาความคงทนของอาหารกึ่งในน้ำจืดและน้ำเค็ม



การคำนวณปริมาตรสต็อกสารไคโตแซน 2.5 %w/v ที่ใช้เคลือบอาหารกุ้ง

เนื่องจากสารไคโตแซนปริมาณมากเมื่อละลายอยู่ในกรดอะซิติก 1 % จะได้ลักษณะของสารละลายที่หนืดมากจนไม่สามารถละลายได้ จึงเตรียมสารไคโตแซน 2.5 กรัมเตรียมเป็นสต็อกสารไคโตแซนความเข้มข้น 2.5%w/v

ปริมาณสารไคโตแซนที่ใช้ในการเคลือบผิวอาหารกุ้งมี 4 ระดับ คือ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0%w/w ในที่นี้ใช้อาหารกุ้ง 50 กรัมสำหรับเคลือบ โดยใช้สต็อกสารไคโตแซนความเข้มข้น 2.5%w/v เคลือบปริมาตรแตกต่างกันออกไป สามารถคำนวณได้ ดังนี้

อาหารกุ้งที่เคลือบด้วยสารไคโตแซน 0.5 %w/w

อาหารกุ้ง 100 กรัม เคลือบด้วยสารไคโตแซน 0.5 กรัม

อาหารกุ้ง 50 กรัม เคลือบด้วยสารไคโตแซน $50 \times 0.5 / 100 = 0.25$ กรัม

จากสต็อกสารไคโตแซน 2.5%w/v

มีสารไคโตแซน 2.5 กรัม ละลายอยู่ในสารละลายไคโตแซน 100 มิลลิลิตร

ต้องการสารไคโตแซน 0.25 กรัม ใช้ปริมาตรจากสต็อก = $0.25 \times 100 / 2.5$
= 10 มิลลิลิตร

ดังนั้น อาหารกุ้ง 50 กรัม ต้องใช้สต็อกสารไคโตแซน 2.5 %w/v ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ในการเคลือบจึงจะได้ อาหารกุ้งที่เคลือบด้วยสารไคโตแซน 0.5%w/w

อาหารกุ้งชุดที่เคลือบด้วยสารไคโตแซน 1.0, 1.5 และ 2.0%w/w สามารถคำนวณได้ ดังข้างต้นเช่นเดียวกัน โดยปริมาตรสต็อกสารไคโตแซน 2.5%w/v ที่ใช้ในการเคลือบคือ 20, 30 และ 40 มิลลิลิตร ตามลำดับ

สำหรับปริมาตรที่ใช้ในการเคลือบผิวอาหารกุ้งที่น้อยไป ทำให้อาหารกุ้งได้รับการเคลือบผิวไม่ทั่วถึง ถ้าใช้ปริมาตรสารในการเคลือบมากเกินไปจะมีสารไคโตแซนเหลือและทำให้อาหารกุ้งและอ่อนตัวจนแตกหักได้ง่าย จึงทำการทดลองหาปริมาตรที่เหมาะสมในการเคลือบผิวอาหารกุ้ง โดยการใช้น้ำกลั่นเคลือบผิวอาหารกุ้ง 50 กรัม พบว่าปริมาตรที่เหมาะสม คือ 10 มิลลิลิตร ซึ่งจะเป็นปริมาตรในการเคลือบอาหารในแต่ละครั้ง ดังนั้น อาหารกุ้งชุดที่เคลือบด้วยสารไคโตแซน 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0%w/w ต้องใช้สต็อกสารไคโตแซน 2.5%w/v เคลือบ ครั้งละ 10 มิลลิลิตร เป็นจำนวน 1, 2, 3 และ 4 ครั้ง ตามลำดับ จึงจะได้ปริมาณสารไคโตแซนเคลือบผิวอาหารตามต้องการ

ชุดอาหารทดลองในการวิจัย

รายละเอียดของชุดการทดลองการศึกษาความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำจืดและน้ำเค็มสามารถอธิบายได้ ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 อาหารกุ้งที่เคลือบผิวด้วยสารไคโตแซน 80%DD ในน้ำจืด

- treatment 1 เคลือบผิวด้วยสารไคโตแซน (80%DD) ความเข้มข้น 0.5 %w/w
- treatment 2 เคลือบผิวด้วยสารไคโตแซน (80%DD) ความเข้มข้น 1.0 %w/w
- treatment 3 เคลือบผิวด้วยสารไคโตแซน (80%DD) ความเข้มข้น 1.5 %w/w
- treatment 4 เคลือบผิวด้วยสารไคโตแซน (80%DD) ความเข้มข้น 2.0 %w/w
- treatment 5 อาหารกุ้งชุดควบคุม (ไม่เคลือบด้วยสารไคโตแซน)

ชุดการทดลองที่ 2 อาหารกุ้งที่เคลือบผิวด้วยสารไคโตแซน 85%DD ในน้ำจืด

- treatment 1 เคลือบผิวด้วยสารไคโตแซน (85%DD) ความเข้มข้น 0.5 %w/w
- treatment 2 เคลือบผิวด้วยสารไคโตแซน (85%DD) ความเข้มข้น 1.0 %w/w
- treatment 3 เคลือบผิวด้วยสารไคโตแซน (85%DD) ความเข้มข้น 1.5 %w/w
- treatment 4 เคลือบผิวด้วยสารไคโตแซน (85%DD) ความเข้มข้น 2.0 %w/w
- treatment 5 อาหารกุ้งชุดควบคุม (ไม่เคลือบด้วยสารไคโตแซน)

ชุดการทดลองที่ 3 อาหารกุ้งที่เคลือบผิวด้วยสารไคโตแซน 90%DD ในน้ำจืด

- treatment 1 เคลือบผิวด้วยสารไคโตแซน (90%DD) ความเข้มข้น 0.5 %w/w
- treatment 2 เคลือบผิวด้วยสารไคโตแซน (90%DD) ความเข้มข้น 1.0 %w/w
- treatment 3 เคลือบผิวด้วยสารไคโตแซน (90%DD) ความเข้มข้น 1.5 %w/w
- treatment 4 เคลือบผิวด้วยสารไคโตแซน (90%DD) ความเข้มข้น 2.0 %w/w
- treatment 5 อาหารกุ้งชุดควบคุม (ไม่เคลือบด้วยสารไคโตแซน)

ชุดการทดลองที่ 4 อาหารกุ้งที่เคลือบผิวด้วยสารไคโตแซน 80%DD ในน้ำเค็ม

- treatment 1 เคลือบผิวด้วยสารไคโตแซน (80%DD) ความเข้มข้น 0.5 %w/w
- treatment 2 เคลือบผิวด้วยสารไคโตแซน (80%DD) ความเข้มข้น 1.0 %w/w
- treatment 3 เคลือบผิวด้วยสารไคโตแซน (80%DD) ความเข้มข้น 1.5 %w/w
- treatment 4 เคลือบผิวด้วยสารไคโตแซน (80%DD) ความเข้มข้น 2.0 %w/w
- treatment 5 อาหารกุ้งชุดควบคุม (ไม่เคลือบด้วยสารไคโตแซน)

ชุดการทดลองที่ 5 อาหารกุ้งที่เคลือบผิวด้วยสารไคโตแซน 85%DD ในน้ำเค็ม

- treatment 1 เคลือบผิวด้วยสารไคโตแซน (85%DD) ความเข้มข้น 0.5 %w/w
- treatment 2 เคลือบผิวด้วยสารไคโตแซน (85%DD) ความเข้มข้น 1.0 %w/w
- treatment 3 เคลือบผิวด้วยสารไคโตแซน (85%DD) ความเข้มข้น 1.5 %w/w
- treatment 4 เคลือบผิวด้วยสารไคโตแซน (85%DD) ความเข้มข้น 2.0 %w/w
- treatment 5 อาหารกุ้งชุดควบคุม (ไม่เคลือบด้วยสารไคโตแซน)

ชุดการทดลองที่ 6 อาหารกุ้งที่เคลือบผิวด้วยสารไคโตแซน 90%DD ในน้ำเค็ม

- treatment 1 เคลือบผิวด้วยสารไคโตแซน (90%DD) ความเข้มข้น 0.5 %w/w
- treatment 2 เคลือบผิวด้วยสารไคโตแซน (90%DD) ความเข้มข้น 1.0 %w/w
- treatment 3 เคลือบผิวด้วยสารไคโตแซน (90%DD) ความเข้มข้น 1.5 %w/w
- treatment 4 เคลือบผิวด้วยสารไคโตแซน (90%DD) ความเข้มข้น 2.0 %w/w
- treatment 5 อาหารกุ้งชุดควบคุม (ไม่เคลือบด้วยสารไคโตแซน)

ชุดการทดลองที่ 7 อาหารกุ้งที่ผสมด้วยสารไคโตแซน 80%DD ในน้ำจืด

- treatment 1 ผสมด้วยสารไคโตแซน (80%DD) ปริมาณ 0.5 %w/w
- treatment 2 ผสมด้วยสารไคโตแซน (80%DD) ปริมาณ 1.0 %w/w
- treatment 3 ผสมด้วยสารไคโตแซน (80%DD) ปริมาณ 1.5 %w/w
- treatment 4 ผสมด้วยสารไคโตแซน (80%DD) ปริมาณ 2.0 %w/w
- treatment 5 อาหารกุ้งชุดควบคุม (ไม่ผสมด้วยสารไคโตแซน)

ชุดการทดลองที่ 8 อาหารกุ้งที่ผสมด้วยสารไคโตแซน 85%DD ในน้ำจืด

- treatment 1 ผสมด้วยสารไคโตแซน (85%DD) ปริมาณ 0.5 %w/w
- treatment 2 ผสมด้วยสารไคโตแซน (85%DD) ปริมาณ 1.0 %w/w
- treatment 3 ผสมด้วยสารไคโตแซน (85%DD) ปริมาณ 1.5 %w/w
- treatment 4 ผสมด้วยสารไคโตแซน (85%DD) ปริมาณ 2.0 %w/w
- treatment 5 อาหารกุ้งชุดควบคุม (ไม่ผสมด้วยสารไคโตแซน)

ชุดการทดลองที่ 9 อาหารกึ่งที่ผสมด้วยสารไคโตแซน 90%DD ในน้ำจืด

- treatment 1 ผสมด้วยสารไคโตแซน (90%DD) ปริมาณ 0.5 %w/w
- treatment 2 ผสมด้วยสารไคโตแซน (90%DD) ปริมาณ 1.0 %w/w
- treatment 3 ผสมด้วยสารไคโตแซน (90%DD) ปริมาณ 1.5 %w/w
- treatment 4 ผสมด้วยสารไคโตแซน (90%DD) ปริมาณ 2.0 %w/w
- treatment 5 อาหารกึ่งชุดควบคุม (ไม่ผสมด้วยสารไคโตแซน)

ชุดการทดลองที่ 10 อาหารกึ่งที่ผสมด้วยสารไคโตแซน 80%DD ในน้ำเค็ม

- treatment 1 ผสมด้วยสารไคโตแซน (80%DD) ปริมาณ 0.5 %w/w
- treatment 2 ผสมด้วยสารไคโตแซน (80%DD) ปริมาณ 1.0 %w/w
- treatment 3 ผสมด้วยสารไคโตแซน (80%DD) ปริมาณ 1.5 %w/w
- treatment 4 ผสมด้วยสารไคโตแซน (80%DD) ปริมาณ 2.0 %w/w
- treatment 5 อาหารกึ่งชุดควบคุม (ไม่ผสมด้วยสารไคโตแซน)

ชุดการทดลองที่ 11 อาหารกึ่งที่ผสมด้วยสารไคโตแซน 85%DD ในน้ำเค็ม

- treatment 1 ผสมด้วยสารไคโตแซน (85%DD) ปริมาณ 0.5 %w/w
- treatment 2 ผสมด้วยสารไคโตแซน (85%DD) ปริมาณ 1.0 %w/w
- treatment 3 ผสมด้วยสารไคโตแซน (85%DD) ปริมาณ 1.5 %w/w
- treatment 4 ผสมด้วยสารไคโตแซน (85%DD) ปริมาณ 2.0 %w/w
- treatment 5 อาหารกึ่งชุดควบคุม (ไม่ผสมด้วยสารไคโตแซน)

ชุดการทดลองที่ 12 อาหารกึ่งที่ผสมด้วยสารไคโตแซน 90%DD ในน้ำเค็ม

- treatment 1 ผสมด้วยสารไคโตแซน (90%DD) ปริมาณ 0.5 %w/w
- treatment 2 ผสมด้วยสารไคโตแซน (90%DD) ปริมาณ 1.0 %w/w
- treatment 3 ผสมด้วยสารไคโตแซน (90%DD) ปริมาณ 1.5 %w/w
- treatment 4 ผสมด้วยสารไคโตแซน (90%DD) ปริมาณ 2.0 %w/w
- treatment 5 อาหารกึ่งชุดควบคุม (ไม่ผสมด้วยสารไคโตแซน)

ภาคผนวก ค

การคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ความคงทนของอาหารสัตว์น้ำ



จากการวิจัยของ Balazs (47) ได้ใช้สูตรในการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์สูญเสียของอาหารสัตว์ในน้ำของ Hasting ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์สูญเสียของอาหารสัตว์น้ำ} = \frac{W_i - W_f}{W_i} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ W_i คือ น้ำหนักแห้งอาหารเริ่มต้นการทดลอง
 W_f คือ น้ำหนักแห้งอาหารที่เหลือในตะกร้า
 $W_i - W_f$ คือ น้ำหนักอาหารที่สูญเสียไป

พิจารณาแล้วจะเห็นว่าน้ำหนักอาหารที่เหลือ (W_f) คือ น้ำหนักอาหารที่คงทนหลังการทดลองแล้ว

วินิจ (18) ได้ดัดแปลงสมการที่ ① ให้อยู่ในรูปของเปอร์เซ็นต์ความคงทนของอาหารในน้ำ ดังสมการที่ ②

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความคงทนอาหารในน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักแห้งอาหารที่เหลือในตะกร้า}}{\text{น้ำหนักแห้งเริ่มต้นของอาหาร}} \times 100 \quad (2)$$

และจาก บทปฏิบัติการอาหารและการให้อาหารสัตว์น้ำ (56) การคำนวณหาความคงทนในน้ำ ดังสมการที่ ③

$$\begin{aligned} \text{ความคงทนในน้ำ} &= \frac{\text{น้ำหนักแห้งของตัวอย่างอาหารที่เหลือ}}{\text{น้ำหนักแห้งของตัวอย่างอาหาร}} \times 100 \quad (3) \\ (\% \text{สิ่งแห้งที่เหลือของอาหาร}) & \end{aligned}$$

เมื่อพิจารณา สมการที่ ② และ ③ แล้วจะให้ค่าจากการคำนวณที่เท่ากัน ดังนั้น ในการวิจัยในครั้งนี้จะใช้ สมการที่ ② สำหรับหาค่าเปอร์เซ็นต์ความคงทนอาหารในน้ำ

ภาคผนวก ง

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ



ตารางที่ ง-1 น้ำหนักอาหารกุ้งที่เคลือบผิวด้วยสารไคโตแซนก่อนและหลังทำการทดสอบความคงทนในน้ำจืด

ชุดอาหาร (treatment) %DD : %w/w	ซ้ำที่	นน. ถ้วยฟอยล์ (กรัม)	นน.อาหาร เริ่มต้น (กรัม)	นน.รวม หลัง ทดสอบ (กรัม)	นน.อาหาร ที่เหลือ (กรัม)	นน.อาหาร ที่หายไป (กรัม)	ความคงทน (%)	ความคงทน เฉลี่ย (%)
80:0.5	1	0.59651	5.02377	4.96063	4.36412	0.65965	86.87	86.93
	2	0.59480	4.92821	4.87340	4.27860	0.64961	86.82	
	3	0.58980	5.01972	4.96226	4.37246	0.64726	87.11	
80:1.0	1	0.59572	5.03630	5.02951	4.43379	0.60251	88.04	87.98
	2	0.59690	5.02698	5.01944	4.42254	0.60444	87.98	
	3	0.59282	4.31450	4.38570	3.79288	0.52162	87.91	
80:1.5	1	0.59852	4.94673	4.95752	4.35900	0.58773	88.12	88.28
	2	0.59711	5.01984	5.02346	4.42635	0.59349	88.18	
	3	0.59931	4.53522	4.61501	4.01570	0.51952	88.54	
80:2.0	1	0.60311	4.80652	4.88635	4.28324	0.52328	89.11	88.79
	2	0.60590	5.01145	5.06212	4.45622	0.55523	88.92	
	3	0.60204	5.01977	5.03615	4.43411	0.58566	88.33	
control	1	0.60426	5.03610	4.84661	4.24235	0.79375	84.24	84.40
	2	0.60432	5.02299	4.84099	4.23667	0.78632	84.35	
	3	0.60394	5.04340	4.87181	4.26787	0.77553	84.62	
85:0.5	1	0.59933	4.98158	4.96693	4.36760	0.61398	87.67	87.40
	2	0.60349	5.01278	4.98251	4.37902	0.63376	87.36	
	3	0.60682	5.14633	5.09363	4.48681	0.65952	87.18	
85:1.0	1	0.60770	4.95663	4.98460	4.37690	0.57973	88.30	88.28
	2	0.60901	5.00499	5.03313	4.42412	0.58087	88.39	
	3	0.60391	4.58168	4.64334	4.03943	0.54225	88.16	
85:1.5	1	0.60568	5.00990	5.00880	4.40312	0.60678	87.89	88.23
	2	0.60445	5.00273	5.02726	4.42281	0.57992	88.41	
	3	0.60122	4.77290	4.82001	4.21879	0.55411	88.39	
85:2.0	1	0.60315	5.04052	5.05123	4.44808	0.59244	88.25	88.50
	2	0.60304	5.03282	5.06265	4.45961	0.57321	88.61	
	3	0.59956	5.05331	5.07850	4.47894	0.57437	88.63	

ตารางที่ ง-1 (ต่อ) น้ำหนักอาหารกุ้งที่เคลือบผิวด้วยสารไคโตแซนก่อนและหลังทดสอบความคงทนในน้ำจืด

ชุดอาหาร (treatment) %DD : %w/w	ซ้ำที่	นน. ถ้วยฟอยล์ (กรัม)	นน.อาหาร เริ่มต้น (กรัม)	นน.รวม หลัง ทดสอบ (กรัม)	นน.อาหาร ที่เหลือ (กรัม)	นน.อาหาร ที่หายไป (กรัม)	ความคงทน (%)	ความคงทน เฉลี่ย (%)
control	1	0.60513	5.03658	4.87021	4.26508	0.77150	84.68	84.02
	2	0.60537	5.05396	4.80163	4.19626	0.85770	83.03	
	3	0.60841	5.03236	4.85256	4.24415	0.78821	84.34	
90:0.5	1	0.59903	5.00373	4.88115	4.28212	0.72161	85.58	85.14
	2	0.60161	5.02493	4.88310	4.28149	0.74344	85.20	
	3	0.60128	5.01098	4.84184	4.24056	0.77042	84.63	
90:1.0	1	0.60747	5.00943	4.97044	4.36297	0.64646	87.10	86.81
	2	0.61015	5.02926	4.96693	4.35678	0.67248	86.63	
	3	0.59896	5.01366	4.94589	4.34693	0.66673	86.70	
90:1.5	1	0.59979	5.00704	4.95632	4.35653	0.65051	87.01	86.64
	2	0.60506	5.03469	4.94151	4.33645	0.69824	86.13	
	3	0.60397	5.01261	4.95360	4.34963	0.66298	86.77	
90:2.0	1	0.60827	5.01646	4.98890	4.38063	0.63583	87.33	87.04
	2	0.60813	5.02411	4.99117	4.38304	0.64107	87.24	
	3	0.59875	5.03591	4.95798	4.35923	0.67668	86.56	
control	1	0.59592	5.02788	4.86551	4.26959	0.75829	84.92	84.21
	2	0.59788	5.01025	4.82936	4.23148	0.77877	84.46	
	3	0.59742	5.00135	4.76094	4.16352	0.83783	83.25	

ตารางที่ ง-2 น้ำหนักอาหารกุ้งที่ผสมด้วยสาร โคโคแซนก่อนและหลังทำการทดสอบความคงทนในน้ำจืด

ชุดอาหาร (treatment) %DD : %w/w	ซ้ำที่	นน. ถ้วยฟอยล์ (กรัม)	นน.อาหาร เริ่มต้น (กรัม)	นน.รวม หลัง ทดสอบ (กรัม)	นน.อาหาร ที่เหลือ (กรัม)	นน.อาหาร ที่หายไป (กรัม)	ความคงทน (%)	ความคงทน เฉลี่ย (%)
80:0.5	1	0.60073	5.02227	4.90689	4.30616	0.71611	85.74	85.75
	2	0.60530	5.01488	4.90510	4.29980	0.71508	85.74	
	3	0.60234	5.02360	4.91081	4.30847	0.71513	85.76	
80:1.0	1	0.60020	5.02004	4.99709	4.39689	0.62315	87.59	87.83
	2	0.59836	5.02307	5.00894	4.41058	0.61249	87.81	
	3	0.59597	5.02148	5.01923	4.42326	0.59822	88.09	
80:1.5	1	0.60114	5.00651	5.02601	4.42487	0.58164	88.38	88.20
	2	0.59743	5.03116	5.03259	4.43516	0.59600	88.15	
	3	0.60434	5.01924	5.02489	4.42055	0.59869	88.07	
80:2.0	1	0.60421	5.02698	5.07778	4.47357	0.55341	88.99	88.63
	2	0.59968	5.02509	5.05400	4.45432	0.57077	88.64	
	3	0.59777	5.00358	5.01459	4.41682	0.58676	88.27	
control	1	0.60388	5.00793	4.83759	4.23371	0.77422	84.54	84.09
	2	0.60166	5.00456	4.79698	4.19532	0.80924	83.83	
	3	0.60236	4.99112	4.78982	4.18746	0.80366	83.90	
85:0.5	1	0.60100	5.03409	4.96015	4.35915	0.67494	86.59	86.78
	2	0.60373	5.00891	4.95179	4.34806	0.66085	86.81	
	3	0.59857	5.03083	4.97256	4.37399	0.65684	86.94	
85:1.0	1	0.60308	5.02992	5.04802	4.44494	0.58498	88.37	88.59
	2	0.60300	5.01517	5.04172	4.43872	0.57645	88.51	
	3	0.60775	4.99890	5.05123	4.44348	0.55542	88.89	
85:1.5	1	0.60631	5.01815	5.04541	4.43910	0.57905	88.46	88.83
	2	0.60835	5.02201	5.05639	4.44804	0.57397	88.57	
	3	0.60924	5.01154	5.09230	4.48306	0.52848	89.45	
85:2.0	1	0.60853	5.02687	5.11650	4.50797	0.51890	89.68	89.37
	2	0.60750	5.01842	5.10289	4.49539	0.52303	89.58	
	3	0.60707	5.02479	5.07172	4.46465	0.56014	88.85	

ตารางที่ ง-2 (ต่อ) น้ำหนักอาหารกุ้งที่ผสมด้วยสารโคโคแซนก่อนและหลังทำการทดสอบความคงทนในน้ำจืด

ชุดอาหาร (treatment) %DD : %w/w	ซ้ำที่	นน. ถ้วยฟอยล์ (กรัม)	นน.อาหาร เริ่มต้น (กรัม)	นน.รวม หลัง ทดสอบ (กรัม)	นน.อาหาร ที่เหลือ (กรัม)	นน.อาหาร ที่หายไป (กรัม)	ความคงทน (%)	ความคงทน เฉลี่ย (%)
control	1	0.60418	5.00809	4.86023	4.25605	0.75204	84.98	83.93
	2	0.60237	5.01335	4.79118	4.18881	0.82454	83.55	
	3	0.60604	5.00056	4.76959	4.16355	0.83701	83.26	
90:0.5	1	0.60676	5.02289	4.94037	4.33361	0.68928	86.28	85.76
	2	0.60979	5.02914	4.89898	4.28919	0.73995	85.29	
	3	0.60506	5.00955	4.89820	4.29314	0.71641	85.70	
90:1.0	1	0.60337	5.04131	5.06131	4.45794	0.58337	88.43	88.27
	2	0.60457	5.01101	4.99853	4.39396	0.61705	87.69	
	3	0.60167	5.01546	5.05013	4.44846	0.56700	88.69	
90:1.5	1	0.59437	5.01512	5.08177	4.48740	0.52772	89.48	89.04
	2	0.58729	5.03751	5.03828	4.45099	0.58652	88.36	
	3	0.59353	5.01582	5.07091	4.47738	0.53844	89.27	
90:2.0	1	0.59498	5.00630	5.11917	4.52419	0.48211	90.37	90.20
	2	0.59418	5.04456	5.14644	4.55226	0.49230	90.24	
	3	0.59928	5.01168	5.10856	4.50928	0.50240	89.98	
control	1	0.60201	5.00431	4.81933	4.21732	0.78699	84.27	84.16
	2	0.59870	5.01993	4.79655	4.19785	0.82208	83.62	
	3	0.60243	5.01730	4.84674	4.24431	0.77299	84.59	

ตารางที่ ง-3 น้ำหนักอาหารกุ้งที่เคลือบผิวด้วยสาร ไคโตแซนก่อนและหลังการทดสอบความคงทนในน้ำเค็ม

ชุดอาหาร (treatment) %DD : %w/w	ซ้ำที่	นน. ถ้วยฟอยล์ (กรัม)	นน.อาหาร เริ่มต้น (กรัม)	นน.รวม หลัง ทดสอบ (กรัม)	นน. อาหารที่ เหลือ (กรัม)	นน.อาหาร ที่หายไป (กรัม)	ความคงทน (%)	ความคงทน เฉลี่ย (%)
80:0.5	1	0.59003	5.09227	5.22062	4.63059	0.46168	90.93	90.19
	2	0.59337	5.05367	5.22206	4.62869	0.42498	91.59	
	3	0.58863	5.04118	5.02741	4.43878	0.60240	88.05	
80:1.0	1	0.59351	5.04433	5.21390	4.62039	0.42394	91.60	91.83
	2	0.59756	5.01163	5.20449	4.60693	0.40470	91.92	
	3	0.59622	5.03311	5.22493	4.62871	0.40440	91.97	
80:1.5	1	0.59304	5.02453	5.20915	4.61611	0.40842	91.87	92.42
	2	0.59843	5.02314	5.25454	4.65611	0.36703	92.69	
	3	0.59848	5.05387	5.28275	4.68427	0.36960	92.69	
80:2.0	1	0.59748	5.03241	5.24985	4.65237	0.38004	92.45	92.63
	2	0.59223	5.01414	5.23670	4.64447	0.36967	92.63	
	3	0.59278	5.05241	5.28250	4.68972	0.36269	92.82	
control	1	0.59576	5.04409	5.04929	4.45353	0.59056	88.29	88.71
	2	0.59613	5.06917	5.10052	4.50439	0.56478	88.86	
	3	0.58996	5.05031	5.08353	4.49357	0.55674	88.98	
85:0.5	1	0.59532	5.02936	5.18940	4.59408	0.43528	91.35	91.62
	2	0.59348	5.04970	5.21229	4.61881	0.43089	91.47	
	3	0.59029	5.03960	5.22930	4.63901	0.40059	92.05	
85:1.0	1	0.58758	5.02447	5.19258	4.60500	0.41947	91.65	92.18
	2	0.59014	5.02262	5.21375	4.62361	0.39901	92.06	
	3	0.59213	5.00405	5.23701	4.64488	0.35917	92.82	
85:1.5	1	0.58939	5.01651	5.24429	4.65490	0.36161	92.79	92.64
	2	0.59418	5.03428	5.25407	4.65989	0.37439	92.56	
	3	0.59507	5.03971	5.26076	4.66569	0.37402	92.58	
85:2.0	1	0.59721	5.03031	5.27718	4.67997	0.35034	93.04	93.02
	2	0.59545	5.03410	5.27440	4.67895	0.35515	92.95	
	3	0.59259	5.05197	5.29456	4.70197	0.35000	93.07	

ตารางที่ ง-3 (ต่อ) น้ำหนักอาหารกุ้งที่เคลือบผิวด้วยสารโคโคแซนก่อนและหลังทดสอบความคงทนในน้ำเค็ม

ชุดอาหาร (treatment) %DD : %w/w	ซ้ำที่	นน. ถ้วยฟอยล์ (กรัม)	นน.อาหาร เริ่มต้น (กรัม)	นน.รวม หลัง ทดสอบ (กรัม)	นน. อาหารที่ เหลือ (กรัม)	นน.อาหาร ที่หายไป (กรัม)	ความคงทน (%)	ความคงทน เฉลี่ย (%)
control	1	0.58806	5.02390	5.05330	4.46524	0.55866	88.88	88.92
	2	0.59252	5.05920	5.09892	4.50640	0.55280	89.07	
	3	0.59466	5.01198	5.04587	4.45121	0.56077	88.81	
90:0.5	1	0.59912	5.01805	5.10638	4.50726	0.51079	89.82	90.16
	2	0.59728	5.03618	5.14648	4.54920	0.48698	90.33	
	3	0.59566	5.02845	5.13786	4.54220	0.48625	90.33	
90:1.0	1	0.60295	5.00040	5.15864	4.55569	0.44471	91.11	91.05
	2	0.60502	5.01309	5.16301	4.55799	0.45510	90.92	
	3	0.59998	5.02551	5.17864	4.57866	0.44685	91.11	
90:1.5	1	0.60395	5.03182	5.18875	4.58480	0.44702	91.12	91.28
	2	0.60847	5.01193	5.19198	4.58351	0.42842	91.45	
	3	0.60172	5.05328	5.21351	4.61179	0.44149	91.26	
90:2.0	1	0.59385	5.00996	5.18051	4.58666	0.42330	91.55	91.66
	2	0.59784	5.02016	5.19580	4.59796	0.42220	91.59	
	3	0.60089	5.01616	5.20764	4.60675	0.40941	91.84	
control	1	0.60453	4.99661	5.01602	4.41149	0.58512	88.29	88.56
	2	0.60850	5.03102	5.06299	4.45449	0.57653	88.54	
	3	0.60310	5.03846	5.08044	4.47734	0.56112	88.86	

ตารางที่ ง-4 น้ำหนักอาหารกุ้งที่ผสมด้วยสาร โคโคแซนก่อนและหลังทำการทดสอบความคงทน ในน้ำเค็ม

ชุดอาหาร (treatment) %DD : %w/w	ซ้ำที่	นน. ถ้วยฟอยล์ (กรัม)	นน.อาหาร เริ่มต้น (กรัม)	นน.รวม หลัง ทดสอบ (กรัม)	นน.อาหาร ที่เหลือ (กรัม)	นน.อาหาร ที่หายไป (กรัม)	ความคงทน (%)	ความคงทน เฉลี่ย (%)
80:0.5	1	0.59841	5.03176	5.11571	4.51730	0.51446	89.78	89.72
	2	0.59652	5.05781	5.14630	4.54978	0.50803	89.96	
	3	0.59403	5.02688	5.08869	4.49466	0.53222	89.41	
80:1.0	1	0.59490	5.03582	5.14262	4.54772	0.48810	90.31	90.36
	2	0.59789	5.04107	5.22987	4.63198	0.40909	91.88	
	3	0.59620	5.03393	5.07106	4.47486	0.55907	88.89	
80:1.5	1	0.59719	5.02404	5.12208	4.52489	0.49915	90.06	90.62
	2	0.59777	5.04313	5.18790	4.59013	0.45300	91.02	
	3	0.60259	5.04841	5.18566	4.58307	0.46534	90.78	
80:2.0	1	0.59728	5.03292	5.16789	4.57061	0.46231	90.81	91.07
	2	0.59949	5.04565	5.19576	4.59627	0.44938	91.09	
	3	0.60159	5.04813	5.21130	4.60971	0.43842	91.32	
control	1	0.59627	4.99464	4.99221	4.39594	0.59870	88.01	88.33
	2	0.60019	5.04329	5.05674	4.45655	0.58674	88.37	
	3	0.59519	5.04319	5.06426	4.46907	0.57412	88.62	
85:0.5	1	0.59715	5.02780	5.10634	4.50919	0.51861	89.69	90.29
	2	0.59986	5.01236	5.12953	4.52967	0.48269	90.37	
	3	0.60353	5.02221	5.16472	4.56119	0.46102	90.82	
85:1.0	1	0.60251	5.06345	5.21341	4.61090	0.45255	91.06	91.51
	2	0.60941	5.03878	5.22542	4.61601	0.42277	91.61	
	3	0.60472	5.01982	5.21583	4.61111	0.40871	91.86	
85:1.5	1	0.60284	5.02278	5.19085	4.58801	0.43477	91.34	91.82
	2	0.60552	5.03135	5.22057	4.61505	0.41630	91.73	
	3	0.61060	5.02784	5.25525	4.64465	0.38319	92.38	
85:2.0	1	0.61517	5.06129	5.28271	4.66754	0.39375	92.22	92.56
	2	0.61471	5.00484	5.24590	4.63119	0.37365	92.53	
	3	0.61009	5.00555	5.26196	4.65187	0.35368	92.93	

ตารางที่ ง-4 (ต่อ) น้ำหนักอาหารกุ้งที่ผสมด้วยสาร โคโคแซนก่อนและหลังทำการทดสอบความคงทนในน้ำเค็ม

ชุดอาหาร (treatment) %DD : %w/w	ซ้ำที่	นน. ถั่วฟอยล์ (กรัม)	นน.อาหาร เริ่มต้น (กรัม)	นน.รวม หลัง ทดสอบ (กรัม)	นน.อาหาร ที่เหลือ (กรัม)	นน.อาหาร ที่หายไป (กรัม)	ความคงทน (%)	ความคงทน เฉลี่ย (%)
control	1	0.60830	5.02495	5.06627	4.45797	0.56698	88.72	88.78
	2	0.61293	5.05099	5.09767	4.48474	0.56625	88.79	
	3	0.60571	5.01226	5.05876	4.45305	0.55921	88.84	
90:0.5	1	0.59560	5.03115	5.08540	4.48980	0.54135	89.24	89.58
	2	0.58891	5.01055	5.06724	4.47833	0.53222	89.38	
	3	0.59015	5.03796	5.13083	4.54068	0.49728	90.13	
90:1.0	1	0.59244	5.03938	5.18171	4.58927	0.45011	91.07	91.28
	2	0.59700	5.00746	5.17198	4.57498	0.43248	91.36	
	3	0.59913	5.02866	5.19534	4.59621	0.43245	91.40	
90:1.5	1	0.60041	5.01735	5.20416	4.60375	0.41360	91.76	92.06
	2	0.60003	5.02364	5.22089	4.62086	0.40278	91.98	
	3	0.59636	5.00570	5.22309	4.62673	0.37897	92.43	
90:2.0	1	0.59588	5.03104	5.26190	4.66602	0.36502	92.74	92.67
	2	0.59841	5.02621	5.25439	4.65598	0.37023	92.63	
	3	0.59949	5.00185	5.23270	4.63321	0.36864	92.63	
control	1	0.59659	5.05209	5.05479	4.45820	0.59389	88.24	88.63
	2	0.60147	5.02442	5.06135	4.45988	0.56454	88.76	
	3	0.60394	5.04320	5.08690	4.48296	0.56024	88.89	

ตารางที่ ง-5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำจืดที่เคลือบด้วยสารไคโตแซน 80, 85 และ90%DD ในปริมาณ 0.5%w/w

ONEWAY ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Squares	F	Sig.
0.5%w/w	Between Groups	8.587	2	4.293	41.006	.000
	Within Groups	.628	6	.105		
	Total	9.215	8			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

Duncan^a

Degree of Deacetylation	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
CTS 90%DD	3	85.1367	
CTS 80%DD	3		86.9333
CTS 85%DD	3		87.4033
Sig.		1.000	.126

Mean for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Sample Size = 3.000

ตารางที่ ง-6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำจืดที่เคลือบด้วยสารไคโตแซน 80, 85 และ90%DD ในปริมาณ 1.0%w/w

ONEWAY ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Squares	F	Sig.
1.0%w/w	Between Groups	3.626	2	1.813	66.354	.000
	Within Groups	.164	6	2.732E-02		
	Total	3.790	8			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

Duncan^a

Degree of Deacetylation	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
CTS 90%DD	3	86.8100	
CTS 80%DD	3		87.9767
CTS 85%DD	3		88.2833
Sig.		1.000	.063

Mean for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Sample Size = 3.000

ตารางที่ ง-7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำจืดที่เคลือบด้วยสารไคโตแซน 80, 85 และ90%DD ในปริมาณ 1.5%w/w

ONEWAY

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Squares	F	Sig.
1.5%w/w	Between Groups	5.242	2	2.621	22.768	.002
	Within Groups	.691	6	.115		
	Total	5.932	8			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

Duncan^a

Degree of Deacetylation	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
CTS 90%DD	3	86.6367	88.2300
CTS 85%DD	3		
CTS 80%DD	3		
Sig.		1.000	.863

Mean for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Sample Size = 3.000

ตารางที่ ง-8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำจืดที่เคลือบด้วยสารไคโตแซน 80, 85 และ90%DD ในปริมาณ 2.0%w/w

ONEWAY

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Squares	F	Sig.
2.0%w/w	Between Groups	5.235	2	2.618	20.219	.002
	Within Groups	.777	6	.129		
	Total	6.012	8			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

Duncan^a

Degree of Deacetylation	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
CTS 90%DD	3	87.0433	88.4967
CTS 85%DD	3		
CTS 80%DD	3		
Sig.		1.000	.362

Mean for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Sample Size = 3.000

ตารางที่ ง-9 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความคงทนของอาหารกุ้งที่ใช้เป็นชุดควบคุมสำหรับอาหารกุ้งชุดที่เคลือบสารไคโตแซน 80, 85, และ 90%DD ในน้ำจืด

ONEWAY ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Squares	F	Sig.
control	Between Groups	.224	2	.112	.218	.810
	Within Groups	3.083	6	.514		
	Total	3.307	8			

ตารางที่ ง-10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำจืดที่ผสมด้วยสารไคโตแซน 80, 85 และ90%DD ในปริมาณ 0.5%w/w

ONEWAY ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Squares	F	Sig.
0.5%w/w	Between Groups	2.115	2	1.058	11.377	.009
	Within Groups	.558	6	9.296E-02		
	Total	2.673	8			

Post Hoc Tests
Homogeneous Subsets

Duncan^a

Degree of Deacetylation	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
CTS 80%DD	3	85.7467	86.7800
CTS 90%DD	3	85.7567	
CTS 85%DD	3		
Sig.		.969	1.000

Mean for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Sample Size = 3.000

ตารางที่ ง-11 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำจืดที่ผสมด้วยสารไคโตแซน 80, 85 และ90%DD ในปริมาณ 1.0%w/w

ONEWAY ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Squares	F	Sig.
1.0%w/w	Between Groups	.874	8	.437	3.240	.111
	Within Groups	.809	6	.135		
	Total	1.682	8			

ตารางที่ ง-12 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำจืดที่ผสมด้วย
 สารไคโตแซน 80, 85 และ90%DD ในปริมาณ 1.5%w/w

ONEWAY

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Squares	F	Sig.
1.5%w/w	Between Groups	1.137	2	0.568	2.527	0.160
	Within Groups	1.350	6	0.225		
	Total	2.486	8			

ตารางที่ ง-13 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำจืดที่ผสมด้วย
 สารไคโตแซน 80, 85 และ90%DD ในปริมาณ 2.0%w/w

ONEWAY

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Squares	F	Sig.
2.0%w/w	Between Groups	3.670	2	1.835	14.705	.005
	Within Groups	.749	6	.125		
	Total	4.419	8			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

Duncan^a

Degree of Deacetylation	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
CTS 80%DD	3	88.6333	89.3700	90.1967
CTS 85%DD	3			
CTS 90%DD	3			
Sig.		1.000	1.000	1.000

Mean for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Sample Size = 3.000

ตารางที่ ง-14 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความคงทนอาหารกุ้งที่ใช้เป็นชุดควบคุมสำหรับอาหารกุ้งชุด
 ที่ผสมสารไคโตแซน 80, 85, และ 90%DD ในน้ำจืด

ONEWAY

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Squares	F	Sig.
control	Between Groups	8.340E-02	2	4.170E-02	1.00	.906
	Within Groups	2.491	6	.415		
	Total	2.574	8			

ตารางที่ ง-15 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำเค็มที่เคลือบด้วย
สารไคโตแซน 80, 85 และ90%DD ในปริมาณ 0.5%w/w

ONEWAY

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Squares	F	Sig.
0.5%w/w	Between Groups	4.197	2	2.098	1.670	.265
	Within Groups	7.541	6	1.257		
	Total	11.738	8			

ตารางที่ ง-16 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำเค็มที่เคลือบด้วย
สารไคโตแซน 80, 85 และ90%DD ในปริมาณ 1.0%w/w

ONEWAY

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Squares	F	Sig.
1.0%w/w	Between Groups	2.011	2	1.005	7.451	.024
	Within Groups	.810	6	.135		
	Total	2.820	8			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

Duncan^a

Degree of Deacetylation	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
CTS 90%DD	3	91.0467	
CTS 80%DD	3		91.8300
CTS 85%DD	3		92.1767
Sig.		1.000	.292

Mean for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Sample Size = 3.000

ตารางที่ ง-17 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำเค็มที่เคลือบด้วย
สารไคโตแซน 80, 85 และ90%DD ในปริมาณ 1.5%w/w

ONEWAY

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Squares	F	Sig.
1.5%w/w	Between Groups	3.219	2	1.609	18.029	.003
	Within Groups	.536	6	8.927E-02		
	Total	3.754	8			

ตารางที่ ง-17 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำเค็มที่เคลือบด้วย
สารไคโตแซน 80, 85 และ90%DD ในปริมาณ 1.5%w/w

Post Hoc Tests			
Homogeneous Subsets			
Duncan ^a			
Degree of Deacetylation	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
CTS 90%DD	3	91.2767	
CTS 80%DD	3		92.4167
CTS 85%DD	3		92.6433
Sig.		1.000	.389

Mean for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Sample Size = 3.000

ตารางที่ ง-18 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำเค็มที่เคลือบด้วย
สารไคโตแซน 80, 85 และ90%DD ในปริมาณ 2.0%w/w

ONEWAY ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Squares	F	Sig.
2.0%w/w	Between Groups	2.946	2	1.473	70.341	.000
	Within Groups	.126	6	2.094E-02		
	Total	3.072	8			

Post Hoc Tests				
Homogeneous Subsets				
Duncan ^a				
Degree of Deacetylation	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
CTS 90%DD	3	91.6600		
CTS 80%DD	3		92.6333	
CTS 85%DD	3			93.0200
Sig.		1.000	1.000	1.000

Mean for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Sample Size = 3.000

ตารางที่ ง-19 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความคงทนอาหารกุ้งที่ใช้เป็นชุดควบคุมสำหรับอาหารกุ้งชุดที่เคลือบสารไคโตแซน 80, 85, และ 90%DD ในน้ำเค็ม

ONEWAY ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Squares	F	Sig.
control	Between Groups	.193	2	9.641E-02	1.227	.357
	Within Groups	.471	6	7.854E-02		
	Total	.664	8			

ตารางที่ ง-20 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำเค็มที่ผสมด้วยสารไคโตแซน 80, 85 และ90%DD ในปริมาณ 0.5%w/w

ONEWAY ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Squares	F	Sig.
0.5%w/w	Between Groups	.854	2	.427	2.030	.212
	Within Groups	1.263	6	.210		
	Total	2.117	8			

ตารางที่ ง-21 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำเค็มที่ผสมด้วยสารไคโตแซน 80, 85 และ90%DD ในปริมาณ 1.0%w/w

ONEWAY ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Squares	F	Sig.
1.0%w/w	Between Groups	2.217	2	1.109	1.365	.325
	Within Groups	4.874	6	.812		
	Total	7.091	8			

ตารางที่ ง-22 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำเค็มที่ผสมด้วยสารไคโตแซน 80, 85 และ90%DD ในปริมาณ 1.5%w/w

ONEWAY ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Squares	F	Sig.
1.5%w/w	Between Groups	3.554	2	1.777	8.299	.019
	Within Groups	1.285	6	.214		
	Total	4.838	8			

ตารางที่ ง-22 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำเค็มที่ผสมด้วยสารไคโตแซน 80, 85 และ90%DD ในปริมาณ 1.5%w/w

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

Duncan^a

Degree of Deacetylation	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
CTS 80%DD	3	90.6200	
CTS 85%DD	3		91.8167
CTS 90%DD	3		92.0567
Sig.		1.000	.549

Mean for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Sample Size = 3,000

ตารางที่ ง-23 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำเค็มที่ผสมด้วยสารไคโตแซน 80, 85 และ90%DD ในปริมาณ 2.0%w/w

ONEWAY

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Squares	F	Sig.
2.0%w/w	Between Groups	4.760	2	2.380	36.437	.000
	Within Groups	.392	6	6.532E-02		
	Total	5.152	8			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

Duncan^a

Degree of Deacetylation	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
CTS 80%DD	3	91.0733	
CTS 85%DD	3		92.5600
CTS 90%DD	3		92.6667
Sig.		1.000	.628

Mean for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Sample Size = 3,000

ตารางที่ ง-24 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความคงทนอาหารกึ่งที่ใช้เป็นชุดควบคุมสำหรับอาหารกึ่ง
ชุดที่ผสมสารไคโตแซน 80, 85, และ 90%DD ในน้ำเค็ม

ONEWAY

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Squares	F	Sig.
control	Between Groups	.314	2	.157	2.181	.194
	Within Groups	.432	6	7.199E-02		
	Total	.746	8			

ตารางที่ ง-25 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนความคงทนของอาหารกึ่งในน้ำจืดที่เคลือบด้วยสารไคโตแซน
80%DD ในปริมาณ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0%w/w และอาหารกึ่งชุดควบคุม

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Squares	F	Sig.
CTS 80%DD	Between Groups	36.452	4	9.113	160.705	.000
	Within Groups	.567	10	5.671E-02		
	Total	37.019	14			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

Duncan^a

coated CTS 80%DD	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
control	3	84.4033			
0.5%w/w	3		86.9333		
1.0%w/w	3			87.9767	
1.5%w/w	3			88.2800	
2.0%w/w	3				88.7867
Sig.		1.000	1.000	.150	1.000

Mean for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Sample Size = 3.000

ตารางที่ ง-26 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนความคงทนของอาหารกึ่งในน้ำจืดที่เคลือบด้วยสารไคโตแซน
85%DD ในปริมาณ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0%w/w และอาหารกึ่งชุดควบคุม

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Squares	F	Sig.
CTS 85%DD	Between Groups	42.154	4	10.538	54.494	.000
	Within Groups	1.934	10	.193		
	Total	44.087	14			

ตารางที่ ง-26 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำจืดที่เคลือบด้วยสาร ไค โตแซน 85%DD ในปริมาณ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0%w/w และอาหารกุ้งชุดควบคุม

Post Hoc Tests					
Homogeneous Subsets					
Duncan ^a					
coated CTS 85%DD	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	
control	3	84.0167			
0.5%w/w	3		87.4033		
1.5%w/w	3			88.2300	
1.0%w/w	3			88.2820	
2.0%w/w	3			88.4967	
Sig.		1.000	1.000		.495

Mean for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Sample Size = 3.000

ตารางที่ ง-27 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำจืดที่เคลือบด้วยสาร ไค โตแซน 90%DD ในปริมาณ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0%w/w และอาหารกุ้งชุดควบคุม

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Squares	F	Sig.
CTS 90%DD	Between Groups	18.282	4	4.571	16.080	.000
	Within Groups	2.842	10	.284		
	Total	21.125	14			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

Duncan^a

coated CTS 90%DD	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	
control	3	84.2100		
0.5%w/w	3	85.1367		
1.5%w/w	3		86.6367	
1.0%w/w	3		86.8100	
2.0%w/w	3		87.0433	
Sig.		.059	.394	

Mean for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Sample Size = 3.000

ตารางที่ ง-28 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำจืดที่ผสมสาร ไคโตแซน 80%DD ในปริมาณ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0%w/w และอาหารกุ้งชุดควบคุม

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Squares	F	Sig.
CTS 80%DD	Between Groups	44.357	4	11.089	149.222	.000
	Within Groups	.743	10	7.431E-02		
	Total	45.100	14			

Post Hoc Tests Homogeneous Subsets

Duncan^a

mixed CTS 80%DD	N	Subset for alpha = .05				
		1	2	3	4	
control	3	84.0900	85.7467			
0.5%w/w	3					
1.0%w/w	3				87.8300	
1.5%w/w	3				88.2000	88.2000
2.0%w/w	3					88.6333
Sig.		1.000	1.000	.127	.080	

Mean for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Sample Size = 3.000

ตารางที่ ง-29 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำจืดที่ผสมสาร ไคโตแซน 85%DD ในปริมาณ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0%w/w และอาหารกุ้งชุดควบคุม

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Squares	F	Sig.
CTS 85%DD	Between Groups	59.125	4	14.781	50.923	.000
	Within Groups	2.903	10	.290		
	Total	62.028	14			

Post Hoc Tests Homogeneous Subsets

Duncan^a

mixed CTS 85%DD	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
control	3	83.9300	86.7800	88.5900
0.5%w/w	3			
1.0%w/w	3			
1.5%w/w	3			88.8267
2.0%w/w	3			89.3700
Sig.		1.000	1.000	.121

Mean for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Sample Size = 3.000

ตารางที่ ง-32 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำเค็มที่เคลือบด้วยสารไคโตแซน 85%DD ในปริมาณ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0%w/w และอาหารกุ้งชุดควบคุม

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Squares	F	Sig.
CTS 85%DD	Between Groups	31.773	4	7.943	74.824	.000
	Within Groups	1.062	10	.106		
	Total	32.835	14			

Post Hoc Tests Homogeneous Subsets

Duncan^a

coated CTS 85%DD	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
control	3	88.9200			
0.5%w/w	3		91.6233		
1.0%w/w	3		91.1767	91.1767	
1.5%w/w	3			92.6433	92.6433
2.0%w/w	3				93.0200
Sig.		1.000	.064	.110	.187

Mean for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Sample Size = 3.000

ตารางที่ ง-33 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำเค็มที่เคลือบด้วยสารไคโตแซน 90%DD ในปริมาณ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0%w/w และอาหารกุ้งชุดควบคุม

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Squares	F	Sig.
CTS 90%DD	Between Groups	18.316	4	4.579	98.474	.000
	Within Groups	.465	10	4.650E-02		
	Total	18.781	14			

Post Hoc Tests Homogeneous Subsets

Duncan^a

coated CTS 90%DD	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
control	3	88.5633			
0.5%w/w	3		90.1600		
1.0%w/w	3			91.0467	
1.5%w/w	3			91.2767	91.2767
2.0%w/w	3				91.6600
Sig.		1.000	1.000	.221	.055

Mean for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Sample Size = 3.000

ตารางที่ ง-34 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำเค็มที่ผสมสาร ไคโตแซน 80%DD ในปริมาณ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0%w/w และอาหารกุ้งชุดควบคุม

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Squares	F	Sig.
CTS 80%DD	Between Groups	13.566	4	3.391	6.224	.009
	Within Groups	5.449	10	.545		
	Total	19.015	14			

Post Hoc Tests Homogeneous Subsets

Duncan^a

mixed CTS 80%DD	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
control	3	88.3333	
0.5%w/w	3		89.7167
1.0%w/w	3		90.3600
1.5%w/w	3		90.6200
2.0%w/w	3		91.0733
Sig.		1.000	.062

Mean for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Sample Size = 3.000

ตารางที่ ง-35 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำเค็มที่ผสมสาร ไคโตแซน 85%DD ในปริมาณ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0%w/w และอาหารกุ้งชุดควบคุม

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Squares	F	Sig.
CTS 85%DD	Between Groups	26.320	4	6.580	36.658	.000
	Within Groups	1.795	10	.179		
	Total	28.115	14			

Post Hoc Tests Homogeneous Subsets

Duncan^a

mixed CTS 85%DD	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
control	3	88.7833	90.2933	91.5100	91.8167
0.5%w/w	3				
1.0%w/w	3				
1.5%w/w	3				
2.0%w/w	3				
Sig.		1.000	1.000	.396	.057

Mean for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Sample Size = 3.000

ตารางที่ ง-36 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำเค็มที่ผสมสาร
ไคโตแซน 90%DD ในปริมาณ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0%w/w และอาหารกุ้งชุดควบคุม

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Squares	F	Sig.
CTS 90%DD	Between Groups	34.413	4	8.603	85.958	.000
	Within Groups	1.001	10	.100		
	Total	35.414	14			

Post Hoc Tests						
Homogeneous Subsets						
Duncan ^a						
mixed CTS 90%DD	N	Subset for alpha = .05				
		1	2	3	4	5
control	3	88.63	89.5833	91.2767	92.0567	92.6667
0.5%w/w	3					
1.0%w/w	3					
1.5%w/w	3					
2.0%w/w	3					
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Mean for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Sample Size = 3.000

ตารางที่ ง-37 เปรียบเทียบความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำจืดที่เคลือบสารไคโตแซน

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
coated in freshwater	Between Groups	114.1423	14	8.1530	45.7749	0.0000
	Within Groups	5.3433	30	0.1781		
	Total	119.4856	44			

Post Hoc Tests							
Homogeneous Subsets							
coated in freshwater							
Duncan ^a							
%DD : %w/w	N	Subset for alpha = .05					
		1	2	3	4	5	6
85 : control	3	84.0167					
90 : control	3	84.2100					
80 : control	3	84.4033					
90 : 0.5	3		85.1367				
90 : 1.5	3			86.6367			
90 : 1.0	3			86.8100			
80 : 0.5	3			86.9333			
90 : 2.0	3			87.0433			
85 : 0.5	3			87.4033	87.4033		
80 : 1.0	3				87.9767	87.9767	
85 : 1.5	3					88.2300	88.2300
80 : 1.5	3					88.2800	88.2800
85 : 1.0	3					88.2820	88.2820
85 : 2.0	3					88.4967	88.4967
80 : 2.0	3						88.7867
Sig.		0.2987	1.0000	0.0537	0.1066	0.1878	0.1589

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000

ตารางที่ ง-38เปรียบเทียบความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำจืดที่ผสมสารไคโตแซน

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
mixed in freshwater	Between Groups	180.2437	14	12.8746	64.8548	0.0000
	Within Groups	5.9554	30	0.1985		
	Total	186.1991	44			

Post Hoc Tests									
Homogeneous Subsets									
mixed in freshwater									
Duncan ^a									
%DD : %w/w	N	Subset for alpha = .05							
		1	2	3	4	5	6	7	8
85 : control	3	83.9300							
80 : control	3	84.0900							
90 : control	3	84.1600							
80 : 0.5	3		85.7467						
90 : 0.5	3		85.7567						
85 : 0.5	3			86.7800					
80 : 1.0	3				87.8300				
80 : 1.5	3				88.2000	88.2000			
90 : 1.0	3				88.2700	88.2700	88.2700		
85 : 1.0	3				88.5900	88.5900	88.5900	88.5900	
80 : 2.0	3				88.6333	88.6333	88.6333	88.6333	
85 : 1.5	3					88.8267	88.8267	88.8267	
90 : 1.5	3						89.0367	89.0367	
85 : 2.0	3							89.3700	
90 : 2.0	3								90.1967
Sig.		0.5569	0.9783	1.0000	0.0555	0.1334	0.0673	0.0628	1.0000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000

ตารางที่ ง-39 เปรียบเทียบความคงทนของอาหารกึ่งในน้ำเค็มที่เคลือบสารโคโตะแซน

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
coated in seawater	Between Groups	93.2052	14	6.6575	21.0616	0.0000
	Within Groups	9.4829	30	0.3161		
	Total	102.6881	44			

Post Hoc Tests							
Homogeneous Subsets							
coated in seawater							
Duncan ^a							
%DD : %w/w	N	Subset for alpha = .05					
		1	2	3	4	5	6
90 : control	3	88.5633					
80 : control	3	88.7100					
85 : control	3	88.9200					
90 : 0.5	3		90.1600				
80 : 0.5	3		90.1900				
90 : 1.0	3		91.0467	91.0467			
90 : 1.5	3			91.2767	91.2767		
85 : 0.5	3			91.6233	91.6233	91.6233	
90 : 2.0	3			91.6600	91.6600	91.6600	
80 : 1.0	3			91.8300	91.8300	91.8300	
85 : 1.0	3				92.1767	92.1767	92.1767
80 : 1.5	3					92.4167	92.4167
80 : 2.0	3					92.6333	92.6333
85 : 1.5	3					92.6433	92.6433
85 : 2.0	3						93.0200
Sig.		0.4707	0.0766	0.1370	0.0883	0.0609	0.1098

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000

ตารางที่ ง-40 เปรียบเทียบความคงทนของอาหารกุ้งในน้ำเค็มที่ผสมสารไคโตแซน

ANOVA											
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.					
mixed in seawater	Between Groups	82.5137	14	5.8938	21.4460	0.0000					
	Within Groups	8.2447	30	0.2748							
	Total	90.7583	44								
Post Hoc Tests											
Homogeneous Subsets											
mixed in seawater											
Duncan ^a											
%DD: %w/w	N	Subset for alpha = .05									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
80 : control	3	88.3333									
90 : control	3	88.6300									
85 : control	3	88.7833	88.7833								
90 : 0.5	3		89.5833	89.5833							
80 : 0.5	3			89.7167	89.7167						
85 : 0.5	3			90.2933	90.2933	90.2933					
80 : 1.0	3			90.3600	90.3600	90.3600	90.3600				
80 : 1.5	3				90.6200	90.6200	90.6200	90.6200			
80 : 2.0	3					91.0733	91.0733	91.0733	91.0733		
90 : 1.0	3						91.2767	91.2767	91.2767	91.2767	
85 : 1.0	3							91.5100	91.5100	91.5100	
85 : 1.5	3								91.8167	91.8167	91.8167
90 : 1.5	3									92.0567	92.0567
85 : 2.0	3										92.5600
90 : 2.0	3										92.6667
Sig.		0.3300	0.0714	0.1064	0.0613	0.1050	0.0577	0.0651	0.1220	0.1050	0.0778

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000

ตารางที่ ง-41 เปรียบเทียบอาหารกึ่งที่ใช้สาร ไคโตแซนเคลือบและผสมที่ให้ความคงทนของอาหารในน้ำจืดและน้ำเค็มสูงสุด

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
%stability	Between Groups	162.2054	14	11.5861	111.6004	0.0000
	Within Groups	3.1145	30	0.1038		
	Total	165.3199	44			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

%water stability

Duncan^a

%DD : %w/w	N	Subset for alpha = .05				
		1	2	3	4	5
cfw 85:1.5	3	88.2300	90.1967	91.8167	92.0567	92.4167
cfw 80:1.5	3	88.2800				
cfw 85:1.0	3	88.2820				
cfw 85:2.0	3	88.4967				
cfw 80:2.0	3	88.7867				
mfw 90:2.0	3					
msw 85:1.5	3			91.8167		
msw 90:1.5	3			92.0567	92.0567	
csw 85:1.0	3			92.1767	92.1767	
csw 80:1.5	3				92.4167	92.4167
msw 85:2.0	3				92.5600	92.5600
csw 80:2.0	3				92.6333	92.6333
csw 85:1.5	3				92.6433	92.6433
msw 90:2.0	3				92.6667	92.6667
csw 85:2.0	3					93.0200
Sig.		0.0663	1.0000	0.2062	0.0508	0.0505

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000

หมายเหตุ: cfw : อาหารกึ่งเคลือบสาร ไคโตแซนที่ทำการทดสอบความคงทนในน้ำจืด
csw : อาหารกึ่งเคลือบสาร ไคโตแซนที่ทำการทดสอบความคงทนในน้ำเค็ม
mfw : อาหารกึ่งผสมสาร ไคโตแซนที่ทำการทดสอบความคงทนในน้ำจืด
msw : อาหารกึ่งผสมสาร ไคโตแซนที่ทำการทดสอบความคงทนในน้ำเค็ม

ประวัติผู้วิจัย



ชื่อ

นางสาวอรพิมพ์ มงคลเคหา

วัน เดือน ปี เกิด

31 ตุลาคม 2518

สถานที่เกิด

จังหวัดกรุงเทพมหานคร

ประวัติการศึกษา

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ พ.ศ. 2535-2539

วิทยาศาสตรบัณฑิต

(ชีวเคมีและชีวเคมีเทคโนโลยี)

มหาวิทยาลัยมหิดล พ.ศ. 2539-2544

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

(เทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร)