

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ไคตินและไคโตซาน

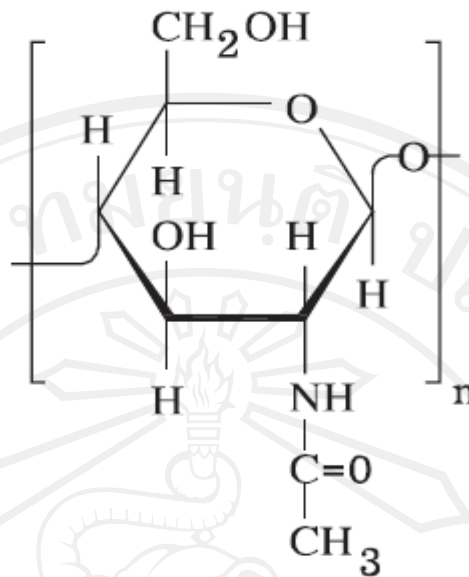
ในปัจจุบันมีแนวโน้มในการใช้พอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ (Degradable polymers) มากขึ้น การคิดค้นผลิตพอลิเมอร์ธรรมชาติชนิดใหม่ หรือหาแหล่งวัตถุดิบใหม่ในการผลิตพอลิเมอร์จึงเป็นสิ่งสำคัญ ไคติน-ไคโตซานจัดเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่ย่อยสลายได้สามารถผลิตได้ในภาคอุตสาหกรรม มีการนำมาใช้ประโยชน์หลากหลาย และมีความน่าสนใจในการวิจัยพัฒนาเพื่อให้เกิดประโยชน์มากยิ่งขึ้น

ไคติน

ไคตินเป็นสารพอลิเมอร์ธรรมชาติที่มีชื่อทางเคมีว่า Poly [β -(1 \rightarrow 4)-2-acetamido-2-deoxy-D-glucopyranose] โครงสร้างคล้ายกับเซลลูโลส แต่จะต่างกันที่ตำแหน่ง C-2 ของเซลลูโลส ซึ่งจะประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล ส่วนไคติน (ดังภาพที่ 2.1) จะประกอบด้วยหน่วยย่อยเป็นอนุพันธ์ของน้ำตาลกลูโคสมีชื่อว่า N-acetyl glucosamine โดยสูตรทางเคมีของไคตินคือ $(C_8H_{13}NO_5)_n$ (เมื่อ n คือจำนวนหน่วยซ้ำ Number of repeating unit) กล่าวคือ ประกอบด้วย C ร้อยละ 47.29, H ร้อยละ 6.45, N ร้อยละ 6.89 และ O ร้อยละ 39.37

การค้นพบไคตินครั้งแรกในปี ค.ศ. 1811 โดย Braconnot ได้แยกไคตินจากเห็ด และเรียกผลิตภัณฑ์ที่ได้ว่า Fungine ต่อมามีการเรียกพอลิเมอร์ชนิดนี้ว่า ไคติน โดย Oddier ในปี ค.ศ. 1823 มาจากคำว่า "Chiton" ในภาษากรีกหมายความว่า เกราะหุ้ม

แหล่งของไคตินพบได้ทั่วไป ตามบริเวณโครงสร้างภายนอกสัตว์ในไฟลัมอาร์โธพอด โดยจะพบมากในคลาสครัสตาเซีย ได้แก่ กุ้ง ปู กุ้งกระดองหมึก ตลอดจนในคลาสอินเซกตา ได้แก่ แมลงปีกแข็ง ตัวมด แมลงสาบ เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบได้ที่บริเวณผนังเซลล์ของ เห็ด รา และยีสต์



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของไคติน

ที่มา สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ไคติน (2550)

ไคตินที่เกิดในธรรมชาติมีโครงสร้างของผลึกที่แข็งแรง มีการจัดตัวของรูปแบบของผลึกเป็น 3 ลักษณะได้แก่ แอลฟาไคติน เบตาไคติน และแกมมาไคติน ลักษณะของไคตินแต่ละชนิดแสดงดังตารางที่ 2.1 ซึ่งรูปแบบของไคตินที่พบบมากที่สุดจะอยู่ในรูปของอัลฟา

ตารางที่ 2.1 ชนิดและคุณลักษณะของไคติน

คุณสมบัติ	ชนิดของไคติน		
	อัลฟา	เบตา	แกมมา
การจัดเรียงตัว	มีสายโซ่โมเลกุลในลักษณะสวนทางกัน	มีสายโซ่โมเลกุลในทิศทางเดียวกัน	มีสายโซ่โมเลกุลในลักษณะที่ไม่แน่นอน (สวนทางกันสลับทิศทางเดียวกัน)
ความแข็งแรง	มีความแข็งแรงสูง	ไม่แข็งแรง ไวต่อการเกิดปฏิกิริยา	มีความแข็งแรงรองจากเบตา
แหล่งวัตถุดิบ	เปลือกกุ้ง และ กระจง	แกนปลาหมึก	เห็ด รา และพืชชั้นต่ำ

คุณสมบัติ และลักษณะของไคตินเป็นของแข็งสีเทาขาว สามารถละลายได้ในกรดอินทรีย์ เช่น กรดเกลือ กรดกำมะถัน กรดฟอสฟอริก และกรดฟอร์มิกที่ปราศจากน้ำ แต่ไม่ละลายในน้ำค้างเจือจาง แอลกอฮอล์ และตัวทำละลายอินทรีย์อื่นๆ จึงมีความเสถียรสูง สลายตัวได้ที่อุณหภูมิสูงถึง 260 องศาเซลเซียส

กระบวนการผลิตไคติน

ในอุตสาหกรรมการผลิตไคตินเชิงการค้านิยมใช้สารเคมีในการผลิต ซึ่งเป็นวิธีการที่ง่าย ส่วนการใช้เทคโนโลยีชีวภาพ เช่น การหมักด้วยจุลินทรีย์หรือการย่อยด้วยเอนไซม์ (Rao *et al.*, 2000) เช่น การทดลองของ Gagne and Simpson (1993) ได้สร้างสภาวะที่ทำให้การสกัดโปรตีนจากเปลือกกุ้งมีความสมบูรณ์ขึ้นโดยใช้เอนไซม์ 2 ตัว คือ Chymotrypsin และ Papain ซึ่งปริมาณโปรตีนที่เหลืออยู่ในเปลือกกุ้งหลังผ่านกระบวนการย่อยด้วยเอนไซม์ดังกล่าวมีประมาณร้อยละ 1.3 และ 2.8 ตามลำดับ

กระบวนการผลิตไคติน มีขั้นตอนพื้นฐานอยู่ 3 ขั้นตอน ดังนี้ ขั้นตอนที่ 1 การแยกโปรตีน (Deproteinization) ขั้นตอนที่ 2 การแยกแร่ธาตุ (Deminerallization) และขั้นตอนที่ 3 การแยกเม็ดสี (Decoloration) ซึ่งขั้นตอนที่ 1 และ 2 สามารถสลับลำดับก่อนหลังได้

1. การแยกโปรตีน (Deproteinization)

ไคตินมักจับตัวกับโปรตีนอย่างหลวมๆ เกิดเป็นสารประกอบไกลโคโปรตีน ซึ่งความยากง่ายของการกำจัดโปรตีนแตกต่างกันไปตามสัดส่วนของไคตินกับโปรตีนของสัตว์แต่ละชนิด ในการแยกโปรตีนนี้มักใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นต่างๆ ในการแช่วัตถุดิบที่ใช้สกัด เช่น เปลือกกุ้ง ปู เป็นต้น ที่อุณหภูมิต่างๆ โดยปัจจัยที่มีผลต่อขั้นตอนการสกัดนี้ ได้แก่

ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยทั่วไปในการผลิตเชิงอุตสาหกรรม ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จะใช้ตั้งแต่ร้อยละ 1-10 แต่ปริมาณความเข้มข้นที่มีการศึกษาในงานวิจัยจะแตกต่างกันไปตามวัตถุดิบในการแยกโปรตีน

อุณหภูมิในการแช่วัตถุดิบสำหรับการแยกโปรตีน ทั่วไปอุณหภูมิในการแช่วัตถุดิบในขั้นตอนของการแยกโปรตีนอยู่ในช่วงประมาณ 65-100 องศาเซลเซียส

ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา (Reaction time) ขึ้นอยู่กับวิธี และสภาวะที่ใช้ในการสกัดโปรตีน ซึ่งหากปล่อยให้กากเหล่านี้ทำปฏิกิริยานานเกินไปในสภาวะรุนแรงจะทำให้สายโซ่ของไคตินถูกตัด (Depolymerization) และยังเกิดปฏิกิริยากำจัดหมู่อะซีทิลด้วย

ปริมาณไขมันในวัตถุดิบ ซึ่งไขมันนี้จะช่วยป้องกันโปรตีนจากการไฮโดรไลซิส โดยอาจทำให้พลังงานในการเกิดปฏิกิริยา (Energy interaction) ต่ำ หรือไขมันอาจจะเข้าไปอยู่ในโครงสร้างของโปรตีนที่เรียกว่า Lipoproteins (Domard and Chaussard, 2002)

ทั้งนี้ในกระบวนการแยกโปรตีนต้องอาศัยการกวนอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้อัตราส่วนของวัตถุดิบในการแยกโปรตีนเหล่านี้ต่อสารละลายต่าง ตั้งแต่ 1 ต่อ 10 ขึ้นไปสามารถเกิดปฏิกิริยาได้อย่างทั่วถึง (No and Meyers, 1997)

2. การแยกแร่ธาตุ (Demineralization)

การแยกแร่ธาตุออกจากวัตถุดิบมักใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเจือจางที่อุณหภูมิห้องในการแช่วัตถุดิบที่ใช้แยกแร่ธาตุ โดยปัจจัยที่มีผลต่อขั้นตอนการสกัดนี้ ได้แก่

สถานะการกวนอย่างทั่วถึงในการแยกแร่ธาตุ จะทำให้ใช้เวลาเพียง 2-3 ชั่วโมงในการแยกแร่ธาตุออกจากวัตถุดิบ

ระยะเวลาในการแยกแร่ธาตุ การแยกแร่ธาตุจะใช้เวลานานตั้งแต่ 30 นาที จนถึง 2 วัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวิธีการแยก นอกจากนี้การยืดระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาจะมีผลเพียงเล็กน้อยต่อการดึงแร่ธาตุออกจากไคติน (No and Meyers, 1997)

ลักษณะของวัตถุดิบที่ใช้ในการแยกแร่ธาตุ หากเปรียบเทียบวัตถุดิบระหว่างเปลือกปูและเปลือกกุ้ง พบว่า การแยกแร่ธาตุออกจากเปลือกปูจะทำได้ยากกว่าเปลือกกุ้ง (Myint *et al.*, 2002)

ความเข้มข้นสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเจือจางที่ใช้ในการแยกแร่ธาตุ ควรมีค่าน้อยกว่า 0.7 นอ้มล อย่างไรก็ตามการใช้กรดมากเกินไปจะทำให้น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานลดลง (Myint *et al.*, 2002) และเพื่อลดปัญหาเรื่องสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการใช้กรดเกลือ Hall (2002) ได้เสนอทางเลือกซึ่งเป็นวิธีทางชีวภาพ โดยใช้เชื้อแลคติกแอซิดแบคทีเรียในการแยกแร่ธาตุของขั้นตอนการสกัดไคตินจากเปลือกกุ้ง

3. การกำจัดตรงควัตถุ (Decoloration)

เปลือกสัตว์ครึ่งเสียนมีสารจำพวกคาโรทีนอยด์อยู่ด้วย ซึ่งไม่สามารถกำจัดออกไปพร้อมกับกระบวนการข้างต้นได้ จึงต้องมีกระบวนการกำจัดโดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ จำพวกอะซิโตนหรือแอลกอฮอล์ นอกจากนี้วิธีนี้ยังสามารถกำจัดสีออกด้วยการฟอกขาวโดยใช้โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต หรือไฮโครเจนเปอร์ออกไซด์ (Broussignac 1986, Robert 1992)

แนวทางในการพัฒนากระบวนการสกัดไคตินเพื่อลดปริมาณการใช้สารเคมีเป็นที่สนใจเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ในกระบวนการผลิตเชิงอุตสาหกรรม (No and Meyers

1997) กล่าวถึงในกระบวนการผลิตไคตินด้วยวิธีทางเคมีนั้น สามารถลดปริมาณการใช้สารเคมีในช่วงการแยกโปรตีน แยกแร่ธาตุ และลดระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา โดยการใช้เทคนิคต่างๆ อาทิ การบด (Crushing) การกด (Pressing) การอบแห้ง การล้างด้วยน้ำที่มีคุณสมบัติเป็นกรด การต้มและการหมัก

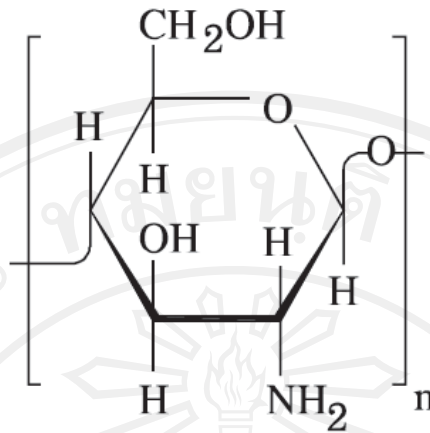
ตารางที่ 2.2 ปริมาณไคตินและไคโตซานในแหล่งวัตถุดิบต่าง ๆ

แหล่งวัตถุดิบ	ปริมาณไคติน (ร้อยละ)
เข็ช้รา	20
หนอน	38
ปลาหมึก	20
แมงป่อง	30
แมงมุม	38
แมลงสาบ	35
แมลงปีกแข็ง	37
กุ้ง	40
หนอนไหม	44
ปูเสฉวน	69
ปูหิน	70

ที่มา สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2553)

ไคโตซาน

การค้นพบไคโตซาน (ภาพที่ 2.2) ครั้งแรกโดยบังเอิญในปี ค.ศ. 1859 โดย Rouget ซึ่งได้ทดลองให้ความร้อนไคตินในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นจนได้ไคโตซาน Poly [β -(1 \rightarrow 4)-2-amino-2-deoxy-D-glucopyranose] ซึ่งสูตรทางเคมีของไคโตซานคือ $(C_6H_{11}NO_4)_n$ (เมื่อ n คือจำนวนหน่วยซ้ำ Number of repeating unit)



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างของไคโตซาน

ที่มา สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม: มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมไคโตซาน (2550)

ไคโตซานเป็นพอลิเมอร์ของหน่วยย่อยซึ่งมีชื่อว่า Glucosamine และต้องมีปริมาณของ Glucosamine มากกว่าร้อยละ 60 ขึ้นไป ซึ่งได้จากปฏิกิริยาการกำจัดหมู่อะซีทิล (Deacetylation) ของไคตินด้วยด่างเข้มข้น ทำให้โครงสร้างของไคตินบางส่วนเปลี่ยนแปลงไป โดยมีการเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชันที่มีหมู่อะเซตามิโด ($-NHCOCH_3$) เปลี่ยนไปอยู่ในรูปของหมู่เอมิโน ($-NH_2$) ที่ตำแหน่งคาร์บอนตัวที่ 2 จากกระบวนการดังกล่าวทำให้ได้ไคติน และไคโตซานผสมกันอยู่ในสัดส่วนต่าง ๆ กัน ถ้าปริมาณของ Glucosamine น้อยกว่าร้อยละ 40 ลงมาพอลิเมอร์นั้นจะไม่ละลายในตัวทำละลาย และปริมาณของ Glucosamine มากกว่าร้อยละ 60 จะสามารถละลายได้ในกรดอินทรีย์ได้ ฉะนั้นการเปลี่ยนแปลงทางเคมีทำให้ไคตินเปลี่ยนไปเป็นไคโตซานคือ การลดลงของหมู่อะซีทิล หรือเรียกว่า Deacetylation ขณะที่มีการลดลงของหน่วยย่อย N-acetyl glucosamine หน่วยย่อยของ Glucosamine จะเพิ่มขึ้นในปริมาณที่เท่ากัน ซึ่งการแยกความแตกต่างระหว่างไคตินและไคโตซานสามารถแยกได้ โดยพิจารณาค่าร้อยละการกำจัดหมู่อะซีทิล Percentage of Deacetylation (% DD) กล่าวคือ เมื่อในพอลิเมอร์มีค่าการกำจัดหมู่อะซีทิลเกินกว่าร้อยละ 60 ขึ้นไป สารที่ได้จะแสดงคุณสมบัติของไคโตซาน

ข้อกำหนดของค่าการกำจัดหมู่อะซีทิลของไคโตซานที่จะสามารถใช้ในผลิตภัณฑ์ต่างๆ
ดังนี้ (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม:มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมไคโตซาน,
2550)

ไคโตซานสำหรับอุตสาหกรรมทั่วไป ค่าการกำจัดหมู่อะซีทิลอยู่ในช่วงร้อยละมากกว่า 70
ไคโตซานสำหรับอุตสาหกรรมอาหาร ค่าร้อยละการกำจัดหมู่อะซีทิลมากกว่าร้อยละ 70

คุณลักษณะและคุณสมบัติของไคโตซาน

1. ความสามารถในการละลาย (ศิริกุล และวราพร, 2548)

ไคโตซานมีคุณสมบัติเป็น Cationic polyelectrolyte เนื่องจากไคโตซานมีหมู่อะมิโนอิสระ
(NH₂) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ซึ่งมีประจุบวกบนหมู่อะมิโนอิสระ และไคโตซานสามารถจับกับ
สารที่มีประจุลบ จึงทำให้ละลายได้ในสารละลายหลายชนิดที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างในช่วงที่มี
ความเป็นกรด คือ pH ต่ำกว่า 5.5 ไคโตซานจึงมีศักยภาพในการนำไปใช้ประโยชน์สูง

2. ความหนืดของสารละลายไคโตซาน (สุธิดา, 2552)

น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานบอกถึงความยาวของสายไคโตซาน ซึ่งมีผลต่อความหนืด
เช่น ไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะมีสายยาว และสารละลายมีความหนืดมากกว่าไคโตซานที่มี
น้ำหนักโมเลกุลต่ำ

สารละลายของไคโตซานจะมีความข้นเหนียว แต่ใส่กลีเซอริน หรือพลาสติกใส ยืดหยุ่นได้
เล็กน้อยจึงมีคุณสมบัติที่พร้อมจะทำให้เป็นรูปแบบต่างๆได้ง่าย โดยเฉพาะถ้าต้องการทำเป็นแผ่น
หรือเยื่อบางๆเป็นเจล หรือรูปร่างเป็นเม็ด เกลลิ่ง เส้นใย สารเคลือบและคอลลอยด์ เป็นต้น

นอกจากนี้ไคโตซานสามารถย่อยสลายตามธรรมชาติ จึงไม่เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตเมื่อ
กินเข้าไปและไม่มีผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อเติมลงไปใต้น้ำหรือในดินเพื่อผลทางการเกษตร

3. คุณสมบัติทางความร้อน (สุริดา, 2552)

ไคโตซานเป็นพอลิเมอร์ที่โครงสร้างเป็นเส้นตรงจึงแสดงคุณสมบัติเป็น Thermoplastic แต่ในความเป็นจริงเมื่อให้ความร้อนแก่ไคโตซาน พบว่า ไคโตซานจะไม่แปรสภาพเป็นสารหนืด แต่จะเกิดการไหม้ และสลายสภาพในที่สุด

กระบวนการผลิตไคโตซานในอุตสาหกรรม

กระบวนการผลิตไคโตซานแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มหลักๆ ได้แก่ การสกัดด้วยเคมีซึ่งเป็นวิธีที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน และการสกัดด้วยเทคโนโลยีชีวภาพโดยการใช้เอนไซม์ในการดึงหมู่อะซีทิลออกจากไคตินนั้นวิธีนี้อยู่ในระดับห้องปฏิบัติการ

การสกัดไคโตซานด้วยเคมีเป็นกระบวนการผลิตไคโตซานจากไคติน ทำได้โดยการแช่ไคตินในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น (ร้อยละ 40-50) ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส หรือสูงกว่า ทำให้หมู่อะซีทิลบางส่วน หรือทั้งหมดจะถูกดึงออกจากพอลิเมอร์ (Muzzarelli, 1977) ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตไคโตซาน ได้แก่

ผลของสถานะในช่วงการผลิตไคติน กระบวนการแยกโปรตีนในขั้นตอนการผลิตไคตินนั้น มีผลต่อขนาดโมเลกุลของไคโตซาน (Myint *et al.*, 2002) ส่วนลำดับของการผลิตไคตินมีผลต่อความหนืดของผลิตภัณฑ์ไคโตซานโดย Lertsutthiwong *et al.* (2002) พบว่า กระบวนการผลิตไคโตซาน เริ่มจากการแยกแร่ธาตุก่อนการแยกโปรตีน จะได้ไคโตซานที่มีความหนืดสูงกว่าไคโตซานที่ผลิตจากกระบวนการที่เริ่มต้นด้วยการแยกโปรตีนและตามด้วยการแยกแร่ธาตุ

อัตราส่วนของไคตินต่อสารละลายต่าง ในระหว่างการเกิดปฏิกิริยากำจัดหมู่อะซีทิล การกวนให้ทั่วถึงจึงมีความจำเป็นอย่างมาก เพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอในกระบวนการผลิตไคโตซาน

เวลาในการสกัดไคโตซาน ส่งผลต่อคุณภาพของไคโตซานที่ได้ เช่น การแช่ไคตินในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นเท่ากับร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นไคโตซานที่มีการกำจัดหมู่อะซีทิลได้ถึงร้อยละ 82 ถ้าหากยืดเวลาออกไปเป็น 2 ชั่วโมงจะให้ผลิตภัณฑ์ที่เกือบมีการกำจัดหมู่อะซีทิลได้อย่างสมบูรณ์ถึงร้อยละ 100 (Robert 1992)

ขั้นตอนกระบวนการผลิตไคติน และไคโตซานมีผลต่อความสามารถในการกำจัดหมู่อะซีทิลในแต่ละงานวิจัยโดยจะมีกระบวนการสกัดไคตินและไคโตซานแตกต่างกัน ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 สรุปขั้นตอนการสกัดไคตินและไคโตซานที่มีผลต่อค่าการกำจัดหุ่อะซีทิล

ขั้นตอนการสกัดไคตินและไคโตซาน	แหล่ง วัตถุดิบ	การกำจัด หุ่อะซีทิล (ร้อยละ)	งานวิจัย
<p>สกัดไคติน</p> <ul style="list-style-type: none"> - แยกโปรตีน แห่เปลือกกุ้งสด 100 กรัมในโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 4 ปริมาตร 270 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมง - แยกแร่ธาตุ ด้วยกรดไฮโดรคลอริก ปริมาตร 270 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมง <p>สกัดไคโตซาน</p> <ul style="list-style-type: none"> - กำจัดหุ่อะซีทิล นำไคตินที่ได้ 30 กิโลกรัม แห่ในโซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 50 ปริมาตร 30 ลิตร ที่อุณหภูมิห้อง 48 ชั่วโมง 	กุ้ง	มากกว่า 90	Aye <i>et al.</i> , 2002
<p>สกัดไคติน</p> <ul style="list-style-type: none"> - แยกแร่ธาตุ แห่เปลือกปูด้วยกรดไฮโดรคลอริก 2 นอ้มัล ปริมาตร 5 ลิตร ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 5 ชั่วโมง - แยกโปรตีน <ol style="list-style-type: none"> 1. แห่ในโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2 นอ้มัล ปริมาตร 800 มิลลิลิตร รีฟลักซ์ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6 ชั่วโมง 	ปูนา	76	วรายุทธ, 2544

ตารางที่ 2.3 (ต่อ) สรุปขั้นตอนการสกัดโคตินและโคโชนานที่มีผลต่อค่าการกำจัดหมู่อะซีทิล

ขั้นตอนการสกัดโคตินและโคโชนาน	แหล่งวัตถุดิบ	การกำจัดหมู่อะซีทิล (ร้อยละ)	งานวิจัย
<p>2. แช่ในโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2 นอ้มล ปริมาตร 800 มิลลิลิตร รีฟลักซ์ที่ อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ทำซ้ำอีก 2 รอบ</p> <p>3. แช่กรดไฮโดรคลอริก 1 นอ้มล ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 2 ชั่วโมง</p> <p>4. แช่ในโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2 นอ้มล ปริมาตร 300 มิลลิลิตร รีฟลักซ์ที่ อุณหภูมิห้องเวลา 1 ชั่วโมง</p> <p>สกัดโคโชนาน</p> <ul style="list-style-type: none"> - กำจัดหมู่อะซีทิล นำโคตินที่ได้แช่ใน โซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 40 น้ำหนักต่อ ปริมาตร อัตราส่วน 1 : 20 รีฟลักซ์ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง 			
<p>สกัดโคติน</p> <ul style="list-style-type: none"> - แยกแร่ธาตุ แช่กรดไฮโดรคลอริก 1 นอ้มล ปริมาตร 1.5 ลิตร ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20 นาที - แยกโปรตีน <ol style="list-style-type: none"> 1. แช่ในโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอ้มล ปริมาตร 800 มิลลิลิตร รีฟลักซ์ที่ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง 	จ๊กจั่น	80	วรายุทธ, 2544

ตารางที่ 2.3 (ต่อ) สรุปขั้นตอนการสกัดไคตินและไคโตซานที่มีผลต่อค่าการกำจัดหมู่อะซีทิล

ขั้นตอนการสกัดไคตินและไคโตซาน	แหล่งวัตถุดิบ	การกำจัดหมู่อะซีทิล (ร้อยละ)	งานวิจัย
<p>2. แช่ในโซเดียมคาบอเนตร้อยละ 0.4 น้ำหนักต่อปริมาตร ปริมาตร 800 มิลลิลิตร รีฟลักซ์ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 ชั่วโมง</p> <p>สกัดไคโตซาน</p> <p>- กำจัดหมู่อะซีทิล นำไคตินที่ได้แช่ในโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 40 น้ำหนักต่อปริมาตร อัตราส่วน 1:20 รีฟลักซ์ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง</p>			

คุณภาพของไคตินและไคโตซาน

รูปแบบของไคโตซานที่ผลิตขึ้นมาใช้ในปัจจุบันนี้ มีหลายรูปแบบ ได้แก่ เป็นเกล็ดหรือแผ่นบางเล็กๆ (Flake) ผงละเอียดคล้ายแป้ง (Micromilled powder) สารละลายเป็นของเหลวหนืด (Solutions) และเป็นเม็ดเล็กๆ (Bead) ขนาดประมาณ 300-500 ไมโครเมตร ส่วนใหญ่จะผลิตมาจากบริษัทในต่างประเทศ จึงมีราคาค่อนข้างสูง

คุณภาพของไคตินมีผลต่อคุณภาพของไคโตซานที่ผลิตได้ เนื่องจากไคตินเป็นสารตั้งต้นในการผลิตไคโตซาน โดยทั่วไปคุณสมบัติ และคุณภาพของไคตินจะขึ้นกับปัจจัยสำคัญ 2 อย่างคือ แหล่งของไคตินหรือวัตถุดิบที่นำมาแยกไคติน และกรรมวิธีที่ใช้ในการแยกไคติน

คุณสมบัติที่สำคัญในการกำหนดคุณภาพของไคติน-ไคโตซาน ได้แก่ ลักษณะวัตถุขี้ ความชื้น, เถ้า, โปรตีน, ระดับการกำจัดหมู่อะซีทิล, ความหนืด, กากที่เหลือหลังการละลาย, สารหนู, ตะกั่ว, ความเป็นกรด-ด่าง (pH) และกลิ่น โดยไคติน-ไคโตซานที่สกัดได้ทั่วไปจะมีคุณสมบัติแสดง ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติพื้นฐานของไคตินและไคโตซาน

คุณสมบัติพื้นฐาน	ไคติน	ไคโตซาน
มวลโมเลกุล (ดาลตัน)	$>10^6$ (1-5) $\times 10^5$	(1-5) $\times 10^4$
ความชื้น (ร้อยละ)	2-10	2-10
ไนโตรเจน (ร้อยละ)	6-7	7-8.4
ร้อยละการกำจัดหมู่อะซีทิล (ร้อยละ)	<10	>60
เถ้าที่ 900 องศาเซลเซียส (ร้อยละ)	<1.0	<1.0
ความหนืดร้อยละ 1 ต่อสารละลายกรด อะซีติกร้อยละ 1 (cP)		200-3000
Dissociation constant (K α)	6.0-7.0	6.0-7.0
X-ray diffraction peaks	8°58'-10°26' 19°58'-20°00'	8°58'-10°26' 19°58'-20°00'
Transition metals ($\mu\text{g/g}$)	<5.0	<5.0

ที่มา สุวนบุญ, 2544

การวิเคราะห์ไคตินและไคโตซานสามารถทำได้หลายวิธี ดังแสดงในตารางที่ 2.5 สำหรับประเทศไทยได้มีการกำหนดคุณภาพของไคตินและไคโตซานที่ผลิตเชิงอุตสาหกรรม ในมาตรฐานอุตสาหกรรมการผลิตไคติน ฉบับที่ 3794 พ.ศ. 2550 และมาตรฐานอุตสาหกรรมการผลิตไคโตซานฉบับที่ 3795 พ.ศ. 2550 เพื่อส่งเสริมอุตสาหกรรมการผลิตไคติน และไคโตซานภายในประเทศไทย และสามารถนำไปใช้ประโยชน์เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมอื่นๆ ได้

ตารางที่ 2.5 วิธีวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของไคตินและไคซาน

คุณสมบัติทางกายภาพ	วิธีวิเคราะห์
ระดับการกำจัดหมู่อะซีทิล	-Infrared spectroscopy -First derivative UV-spectrophotometer -Nuclear magnetic resonance spectroscopy (¹ HNMR) and (¹³ CNMR) -Conductometric titration -Potentiometric titration -Differential scanning calorimetry
ค่าเฉลี่ยของมวลโมเลกุลหรือการกระจายตัวของมวลโมเลกุล	-Viscosimetry -Gel Permeation chromatography -Light scattering
การตกผลึก	-X-ray Diffraction
ปริมาณความชื้น	-Gravimetric analysis
ปริมาณเถ้า	-Gravimetric analysis
โปรตีน	-Bradford method

ที่มา Aranaz *et al.* (2009)

สำหรับการวิเคราะห์ไคโตซานโดยอัลตราไวโอเล็ตสเปกโตรโฟโตเมตรี (Ultraviolet Spectrophotometer, UV) เป็นวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณของหมู่อะมิโนอิสระในไคโตซานด้วยวิธีทางอัลตราไวโอเล็ตสเปกโตรโฟโตเมตรี เนื่องจากไคโตซานมีหมู่อะมิโนในสายโซ่พอลิเมอร์ที่สามารถที่จะทำปฏิกิริยากับคีโตน หรือแอลดีไฮด์ให้อนุพันธ์ Alkylidene และมีรายงานว่า Salicyldehyde สามารถทำปฏิกิริยากับไคโตซานให้ผลิตภัณฑ์ N-salicylidene เมื่อใช้ปริมาณของ Salicyldehyde มากเกินพอทำปฏิกิริยากับไคโตซานปริมาณที่เหลือของ Salicyldehyde ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาสามารถหาได้เนื่องจากปริมาณ Salicyldehyde ดูดกลืนแสงยูวีที่ความยาวคลื่น 255 นาโนเมตร ดังนั้นวิธีนี้สามารถที่จะหาระดับของการกำจัดหมู่อะซีทิลของไคโตซาน

การใช้ประโยชน์จากไคติน ไคโตซาน

ไคโตซานสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในทางการแพทย์และเกษตรกรรมได้ โดยใช้ทำแผ่นไคโตซานเพื่อปิดแผลที่เกิดจากไฟไหม้ น้ำร้อนลวก หรืออื่นๆ ช่วยลดการ Contraction ของ Fibroblast ทำให้แผลเรียบ กระตุ้นให้เกิดการซ่อมแซมบาดแผลให้หายเร็วขึ้น (วนิดา และ บุญล้อม, 2547) และใช้เป็นส่วนผสมในตัวยา หรือฟิล์มเคลือบยาหลายชนิด รวมถึงอาหารเสริม

ในอุตสาหกรรมต่างๆมีการนำไคติน และไคโตซานมาประยุกต์ใช้ประโยชน์เช่นกัน ได้แก่

การเกษตร

- มีการใช้ไคโตซานเป็นปุ๋ยชีวภาพ เพราะมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ซึ่งจะช่วยกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันของพืช และกระตุ้นระบบการนำแร่ธาตุของพืช ช่วยเพิ่มผลผลิต และคุณภาพการผลิตได้ ทั้งเป็นการลดต้นทุนจากการใช้ปุ๋ย และสารเคมี

- ใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์เพื่อกระตุ้นภูมิคุ้มกัน และลดการติดเชื้อ ทำให้น้ำหนักตัวของสัตว์เพิ่มขึ้น

- ใช้เป็นสารเคลือบเมล็ดพืชเพื่อป้องกันการชุกขีดและเสียหายของเมล็ดพันธุ์ โดยฟิล์มไคโตซานมีลักษณะยืดหยุ่น แข็งแรง ยึดเกาะกับผิวเมล็ดพันธุ์ได้ดี และที่สำคัญคือช่วยเพิ่มอัตราการงอกของเมล็ด จากการศึกษาของ Dzung and Thang (2002) พบว่า นอกจาก Oligoglucosamine จะมีผลต่อการงอกของเมล็ดและการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองแล้ว ยังพบว่าสามารถสร้างปมรากที่ใช้ในการตรึงไนโตรเจนเพิ่มขึ้นถึง 2 เท่า และมีผลผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 20-30

- เมื่อใช้ไคโตซานเคลือบผิวผลไม้ชนิดต่าง ๆ เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา พบว่าไคโตซานมีผลทำให้ผลไม้สดสามารถเก็บรักษาไว้ได้นานขึ้น Dien and Binh (1996) พบว่า ความเข้มข้นที่เหมาะสมของไคโตซานที่ใช้ในการเคลือบผิวส้มสด คือร้อยละ 1.6 และ 1.8 ในร้อยละ 2 ของกรดอะซิติก โดยสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานถึง 35-40 วัน

อุตสาหกรรมสิ่งทอ

- นำมาขึ้นรูปเป็นเส้นใย และใช้ในการทอร่วมหรือเคลือบกับเส้นใยอื่นๆ เพื่อให้ได้คุณสมบัติการต้านจุลชีพ ลดการเกิดกลิ่นอับชื้น เช่น ผ้า Nonwoven ผ้าปิดแผลไหมละลาย เป็นต้น
- การศึกษาการใช้ไคโตซานในการเป็นทั้งตัวประสาน (Binder) และสารให้ความหนืดขึ้นในแป้งพิมพ์ (Thickener) ในการพิมพ์ผ้า Polyester (Arab-Bahmani *et al.*, 2000) ซึ่งพบว่าคุณภาพงานพิมพ์บนผืนผ้ามีความคมชัด และมีความสม่ำเสมอ คงทนต่อการซักได้ดี และสามารถทำความสะอาดสกรีนได้ง่าย
- การใช้ไคโตซานเป็นส่วนผสมในแผ่นกระดาษซับมันแบบแผ่นฟิล์มประกอบด้วยสารละลายไคโตซาน 25 มิลลิลิตร PEG6000 0.20 กรัม ทาลัม 0.75 กรัม และโซลิตอล 0.25 กรัม แผ่นฟิล์มที่ได้สามารถดูดซับมันได้ถึงร้อยละ 87.24 โดยไคโตซานเป็นวัตถุดิบที่มีจำนวนมาก หาได้ง่าย มีความปลอดภัยต่อผู้ใช้ และราคาถูก ช่วยลดต้นทุนในการผลิตแผ่นฟิล์มซับมันเพื่อทดแทนการนำเข้าแผ่นซับมันจากต่างประเทศ

อุตสาหกรรมอาหาร

ไคติน และไคโตซานสามารถใช้เติมลงในอาหารได้เนื่องจากมีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และเชื้อราบางชนิด จึงนำไปใช้เป็นสารกันเสีย สารช่วยรักษากลิ่น รส และสารให้ความข้น ใช้เป็นสารเคลือบอาหาร ผัก และผลไม้ เพื่อรักษาความสด นำไปใช้ในเครื่องปรุงรสอาหาร เช่น ซีอิ๊ว (Lin and Chao, 2001) รวมทั้งนำมาผลิตในรูปฟิล์มที่รับประทานได้ (Edible film) สำหรับบรรจุอาหาร

Spagna *et al.* (1996) ได้ศึกษาการใช้ไคโตซานเป็นตัวดูดซับสารประเภท Phenolic ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดสีน้ำตาล (Browning) ของไวน์ขาว โดยพบว่า ไคโตซานมีประสิทธิภาพดีเทียบเท่ากับสารดูดซับที่ใช้อยู่เดิมในกระบวนการผลิต นอกจากนี้ไคโตซานยังสามารถใช้เป็นตัวควบคุมความเป็นกรดในน้ำผลไม้ได้อีกด้วย (Shahidi *et al.*, 1999)

นอกจากนี้ไคโตซานยังสามารถดูดซับอออนของโลหะหนัก และจับสี (Dye) ช่วยในการบำบัดน้ำเสียได้ ดังรายงานการวิจัยต่อไปนี้

Ngah *et al.* (2002) ได้ศึกษา Adsorption ของ Cu(II) ions บน Chitosan และ Cross-linked chitosan beads (Cross-linked ด้วย Glutaraldehyde (GLA), Epichlorohydrin (ECH), Ethylene glycol diglycidyl ether (EGDE)) พบว่า ปริมาณ Cu(II) ions ที่ถูกดูดซับต่อ 1 กรัมของตัวดูดซับ เป็นดังนี้ กรณีที่ใช้ Chitosan beads = 80.71 mg, Chitosan-GLA = 59.67 mg, Chitosan-ECH beads = 62.47 mg และ Chitosan-EGDE beads = 45.94 mg ส่วนการกำจัด Cu(II) ions

ออกจาก Beads สามารถทำได้อย่างรวดเร็วโดยการ Treat ด้วยสารละลาย EDTA และสามารถนำ Beads เหล่านี้กลับมาใช้ดูดซับไอออนโลหะหนักได้ใหม่

Annachhatre *et al.* (1996) พบว่าไคโตซานสามารถใช้เป็นสารดูดซับในการกำจัด ทองแดง (Cu) จากสารละลายได้โดยไคโตซาน 1 g สามารถดูดซับ Cu ได้ 13 mg เมื่อใช้สารละลาย โลหะที่มีความเข้มข้น 1 mg/L ทั้งนี้อัตราการดูดซับภายใน 4 ชั่วโมงแรกจะเป็นไปอย่างรวดเร็วและ pH ที่เหมาะสมของ Cu คือ 5.5-6.0

ปลานิล *Oreochromis niloticus* (ชื่อเดิมคือ *Tilapia nilotica*) (สันต์, 2548)

ปลานิลจัดเป็นปลาเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของไทย มีถิ่นกำเนิดเดิมในแอฟริกา มีการนำเข้าสู่ประเทศไทยครั้งแรกโดยเจ้าชายฮาภิสาโต มกุฎราชกุมารแห่งประเทศญี่ปุ่น ซึ่งทรงจัดส่งเข้ามา ทูลเกล้าถวายพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว เมื่อวันที่ 25 มีนาคม 2508 จำนวน 50 ตัว พระบาท สมเด็จพระเจ้าอยู่หัวได้มีพระราชประสงค์ที่ให้ปลานิลนี้ได้รับการแพร่ขยายพันธุ์ ซึ่งจะเป็ประโยชน์ แก่พสกนิกร ดังนั้นเมื่อวันที่ 17 มีนาคม 2509 จึงทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ พระราชทานชื่อปลานิล ว่า "ปลานิล" และได้พระราชทานปลานิล จำนวน 10,000 ตัวให้แก่กรมประมงนำไปเพาะเลี้ยง ขยายพันธุ์ที่แผนกทดลองในบริเวณเกษตรกลางบางเขน และสถานีประมงต่างๆทั่วพระราช อาณาจักรอีกรวม 15 แห่งเพื่อดำเนินการเพาะเลี้ยงขยายพันธุ์พร้อมกัน ซึ่งเมื่อปลานิลแพร่ขยายพันธุ์ ได้มากเพียงพอแล้ว จึงได้แจกจ่ายให้แก่ราษฎรนำไปเพาะเลี้ยงตามความต้องการ

ปลานิลจัดเป็นปลาน้ำจืดที่นิยมเพาะเลี้ยง เนื่องจากมีความอดทน เลี้ยงง่าย โตเร็ว สามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี ลักษณะของปลานิล คล้ายปลาหมอเทศ แตกต่างกันว่า ปลานิลมีลายสีดำและจุดสีขาวสลับกันไป บริเวณครีบทหลัง ครีบก้น และลำตัวมีสีเขียวปนน้ำตาล มีลายดำพาดขวางตามลำตัว มีความยาวประมาณ 10-30 เซนติเมตร มีการผสมพันธุ์ได้ตลอดปี โดยใช้เวลา 2-3 เดือนต่อครั้ง แต่ถ้าอาหารเพียงพอและเหมาะสม ในระยะเวลา 1 ปี จะผสมพันธุ์ได้ 5-6 ครั้ง

สายพันธุ์

สายพันธุ์ของปลานิลในไทย ได้แก่ ปลานิลสายพันธุ์จิตรลดา สายพันธุ์จิตรลดา 1, 2 และ 3 นอกจากนี้มีปลานิลสายพันธุ์ อื่นๆ อีก 7 สายพันธุ์ ได้แก่ อีลิปต์ กานา เคนย่า สิงคโปร์ เซเนกัล อีสราเอล และได้หวัน

การบริโภคและการจำหน่ายปลานิล

ในปี 2552 ผลผลิตปลานิลเบื้องต้นในประเทศไทยมีปริมาณประมาณ 210,021 ตัน ปริมาณการส่งออกปลานิล และผลิตภัณฑ์จากปลานิลในปี 2552 มีปริมาณ 14,103.83 ตัน เป็นมูลค่า 1,153.20 ล้านบาท (แควลิน, 2552) กรมประมงมีนโยบายเพิ่มกำลังการผลิตปลานิลให้มากกว่าที่เป็นอยู่ร้อยละ 10 ทั้งนี้เพื่อขยายตลาดส่งออกปลานิล เนื่องจากผลผลิตปลานิลส่วนใหญ่กว่าร้อยละ 70 เป็นการบริโภคภายในประเทศ โดยพันธุ์ปลานิลไทยที่ต่างชาติยอมรับได้แก่ พันธุ์จิตรลดา 2 และ 3 ซึ่งประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นตลาดรับซื้อผลิตภัณฑ์ปลานิลที่สำคัญ ทั้งในรูปแบบเนื้อปลาแช่แข็ง แช่เย็น และแบบแช่แข็งทั้งตัว การนำเข้าปลานิลของประเทศไทยเพิ่มขึ้นจาก 179,465 ตัน ในปี 2551 เป็น 183,295 ตันในปี 2552 โดยนำเข้าจากประเทศจีนสูงสุด (ร้อยละ 88 จากปริมาณการนำเข้าเนื้อปลานิลแช่แข็งทั้งหมด) เพราะมีราคาถูกกว่าประเทศอื่นๆ ตลาดรับซื้อที่มีความสำคัญรองจากประเทศสหรัฐอเมริกา คือ ประเทศเม็กซิโก และรัสเซีย ลักษณะของผลิตภัณฑ์ส่งออกปลานิลของไทยได้แก่ เนื้อปลานิลแบบฟิลเล่แช่เย็นจนแข็ง แบบฟิลเล่สดหรือแช่เย็น บดหรือไม่บดแช่เย็นจนแข็ง แช่เย็นจนแข็งไม่รวมเนื้อปลาแบบฟิลเล่ดับและไข่ สดแช่เย็นไม่รวมดับ และไข่ มีชีวิต และแห้งไม่รวมควั่น โดยมีปริมาณการส่งออกและนำเข้าปลานิลของไทย แสดงดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกและนำเข้า (ปริมาณ : ตัน, มูลค่า : ล้านบาท)

เดือน/ปี	การส่งออก		การนำเข้า	
	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า
พฤศจิกายน 2551	1,442.70	135.40	1.50	0.50
ตุลาคม 2552	790.80	53.60	43.50	5.60
พฤศจิกายน 2552	974.20	49.10	53.70	3.20
การเปลี่ยนแปลง กันยายน 2551 (ร้อยละ)	-32.50	-63.70	+35.80 เท่า	+6.40 เท่า
การเปลี่ยนแปลง ตุลาคม 2552 (ร้อยละ)	+23.20	-8.40	+23.40	-42.90

จากอุตสาหกรรมปลาแช่เย็น และแช่เยือกแข็ง จะมีเศษเหลือถึงร้อยละ 65 ได้แก่ เกล็ดปลา ร้อยละ 10 ก้างปลาร้อยละ 15 หัวปลาร้อยละ 20 และเครื่องในอีกร้อยละ 20 โดยปกติแล้วเศษปลาที่เหลือเหล่านี้จะถูกนำไปผลิตเป็นอาหารสัตว์ที่มีมูลค่าต่ำ อย่างไรก็ตาม เกล็ดปลายังพอมีประโยชน์ในการนำมาใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบในการสกัดไคติน และโคไคซานได้ (Iqbal *et al.*, 2005)

เกล็ดปลา (Scales)

เกล็ดปลา เป็นส่วนที่ห่อหุ้มตัวปลา โดยเปลี่ยนแปลงมาจากผิวหนัง เกล็ดเกิดจากผิวหนังชั้นใน กลุ่มปลาที่ไม่มีเกล็ดบางครั้งเรียก ปลาหนัง ได้แก่ ปลาฉลาม ปลาฉนาค ปลาฉลาม ปลาฉนาค ปลาฉลาม ปลาฉนาค ปลาฉลาม ปลาฉนาค บางชนิด อาจเปลี่ยนรูปไปเป็นกระดูกแบนๆ เช่น ปลาจิ้มฟันจระเข้ บางชนิดเปลี่ยนรูปเป็นหนามแหลม เช่น ปีกเป่าหนามทุเรียน ในการศึกษาอายุของปลา สามารถศึกษาได้จากคูร์ริวรอยบนเกล็ด ลักษณะของเกล็ดแบบต่างๆ ได้แก่

- เกล็ดเป็นหนาม (Placoid scale) เป็นเกล็ดขนาดเล็กแผ่นหนา ปลายเกล็ดหยัก เป็นสามแฉก แฉกอันกลางยาวแหลม เช่น เกล็ดปลาในฉลาม กระเบน
- เกล็ดกลมผิวเรียบ (Cycloid scale) เป็นเกล็ดบางๆ ผิวเรียบริมปลายเกล็ดไม่มีหนาม หรือแหงงเว้า เช่น เกล็ดในปลากะตัก
- เกล็ดยาวรี ผิวขรุขระ (Ctenoid scale) ปลายเกล็ดมีหนามเล็กๆ ได้แก่ เกล็ดปลากระดูกแข็งที่มีก้านครีบแข็ง เช่น ปลากะพง ปลากะรัง ปลาหมอไทย

โดยที่เกล็ดปลากลมผิวเรียบ (Cycloid scale) และยาวรี ผิวขรุขระ (Ctenoid scale) อยู่ในกลุ่มเดียวกัน ประกอบด้วยชั้นผิวแข็งที่มีองค์ประกอบของเกลือแคลเซียม และชั้นในที่เป็นเนื้อส่วนใหญ่เป็นคอลลาเจน

องค์ประกอบของเกล็ดปลา

จากการศึกษาองค์ประกอบเกล็ดปลากะพงแดงมีองค์ประกอบหลักคือ โปรตีน (ร้อยละ 47.87 ของน้ำหนักแห้ง) และเถ้า (ร้อยละ 49.01 ของน้ำหนักแห้ง) (ถลองขวัญ และคณะ, 2551) ซึ่งโดยทั่วไปเกล็ดปลาจะประกอบด้วย Extracellular Matrix ที่มีคอลลาเจน Type I จัดเรียงตัวกันเป็นโครงสร้าง 3 มิติ และมี Calcium-deficient hydroxyapatite ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$) ประกอบอยู่ในโครงสร้าง (Ikoma *et al.*, 2003)

นอกจากนี้ในเกล็ดปลายังประกอบไปด้วย ไคติน และไคโตซาน จากการศึกษาศักดิ์ไคโตซานในเกล็ดปลาชุก (Labeo rohita) โดยมีขั้นตอนในการสกัดดังนี้ (Iqbal *et al.*, 2005)

- การกำจัดแร่ธาตุ นำเกล็ดปลาชุกมาแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 นอ้มล นาน 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง ทำการล้างวัตถุดิบหลังการสกัดแร่ธาตุออกจนเป็นกลาง

- การกำจัดโปรตีน นำวัตถุดิบหลังการสกัดแร่ธาตุออกมาแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 นอ้มล (1:1) ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ล้างในน้ำกลั่นแล้วจึงนำไปอบในตู้อบจนแห้งจะได้ไคติน

- การกำจัดหมู่อะซีทิล นำไคโตซานที่ได้มาแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 นอ้มล ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ล้างวัตถุดิบหลังการสกัดแร่ธาตุออกจนเป็นกลาง กรอง นำไปอบที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

คุณภาพของไคโตซานเกล็ดปลาชุก ที่ได้มีค่าการกำจัดหมู่อะซีทิลร้อยละ 52



ภาพที่ 2.3 ลักษณะเกล็ดปลานิล

ฟิล์มรับประทานได้

ฟิล์มรับประทานได้ หมายถึง วัสดุแผ่นบางที่รับประทานได้นำมาใช้กับอาหารด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การห่อหุ้ม การจุ่ม การทาด้วยแปรง การพ่นฝอย ช่วยชะลอการซึมผ่านของ ไอน้ำ ก๊าซ และสารให้กลิ่นและรสที่ระเหยได้ ส่งผลให้ช่วยชะลอการเน่าเสีย และรักษาคุณภาพของอาหาร

ลักษณะของฟิล์มรับประทานได้ขึ้นอยู่กับ การนำไปใช้ประโยชน์ เช่น ใช้ห่อหุ้มอาหารที่มีกรดไขมันอิ่มตัวสูงมาก ฟิล์มที่ใช้ต้องสามารถต้านทานการผ่านของออกซิเจนได้สูง ใช้เคลือบหรือห่อหุ้มผักและผลไม้ ควรมีการควบคุมอัตราการถ่ายโอนก๊าซ

ชนิดของฟิล์มรับประทานได้

1. ฟิล์มพอลิแซ็กคาไรด์

พอลิแซ็กคาไรด์ เป็นคาร์โบไฮเดรตที่หนึ่งโมเลกุลประกอบด้วยมอนอแซ็กคาไรด์ ตั้งแต่ 10 โมเลกุลขึ้นไปจนถึงจำนวน 100 หรือ 1000 พบได้ในธรรมชาติ ตัวอย่างของพอลิแซ็กคาไรด์ที่ใช้ในการทำฟิล์มรับประทานได้ เช่น แป้งอัลจินท เพคติน คาราจีแนน ไคโตซาน อนุพันธ์เซลลูโลส

เนื่องจากพอลิเมอร์เหล่านี้เป็นสารที่ชอบน้ำ फिल्मที่ได้จะไม่มีคุณลักษณะกันการซึมผ่านของ
ความชื้น

ฟิล์มจากไคโตซาน เป็นฟิล์มรับประทานได้ เตรียมจากการละลายไคโตซานใน
สารละลายกรดอินทรีย์ ลักษณะของฟิล์มมีลักษณะใส ไม่เหนียว ยืดหยุ่น ทนแรงดึงได้ประมาณ
9,000 psi เป็นฟิล์มที่ชอบน้ำจึงกันการซึมผ่านของไอน้ำได้น้อย แต่กันการซึมผ่านของออกซิเจน
และคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดี นิยมใช้เคลือบผักและผลไม้เพื่อยืดอายุการเก็บ เนื่องจากสามารถ
ควบคุมการถ่ายโอนความชื้นระหว่างอาหารกับสภาวะภายนอก ควบคุมอัตราการถ่ายโอนก๊าซ และ
ควบคุมอุณหภูมิได้

2. ฟิล์มจากโปรตีน

ฟิล์มจากโปรตีน ได้จากการขึ้นรูปโปรตีน ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์โมเลกุลขนาดใหญ่
ประกอบด้วยกรดอะมิโนที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะเปปไทด์เป็นสายยาว ข้อเสียของฟิล์มชนิดนี้คือ
ไวต่อความชื้น แต่มีคุณสมบัติในการต้านทานการซึมผ่านของออกซิเจนได้ดี ตัวอย่างของโปรตีน
ที่ใช้ในการทำฟิล์ม ได้แก่

ฟิล์มจากข้าวสาลี ส่วนที่เกิดฟิล์มในข้าวสาลีคือ องค์ประกอบของกลูเตน ซึ่งจะ
ประกอบด้วยกลูเตนิน (Glutenin) ร้อยละ 25 และไกลอะดลิน (Gliadin) ร้อยละ 75 ทั้งสอง
องค์ประกอบนี้มีพันธะไดซัลไฟด์ ซึ่งทำให้เกิดฟิล์มลักษณะยืดเกาะ และมีความยืดหยุ่นดี ลักษณะ
ของฟิล์มใสไม่มีสี แข็งแรง ยืดหยุ่น ออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ซึมผ่านได้น้อย
แต่ขึ้นได้ง่าย

ฟิล์มโปรตีนจากโปรตีนข้าวโพด (Zein) ลักษณะของฟิล์มที่ได้จากโปรตีนข้าวโพด
คือ แข็ง ใส นิยมใช้เคลือบเมล็ดยา และขนมหวาน เช่น ถั่ว เยลลี่ เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้เคลือบไข่
เพื่อยืดอายุ รักษาคุณภาพ กลิ่นรส และทำให้ไข่มีความต้านทานจุลินทรีย์

ฟิล์มจากเวย์โปรตีน ซึ่งเป็นโปรตีนที่อยู่ในน้ำนมส่วนที่เหลือจากการแยกโปรตีน และ
ไขมันออกจากร้านนมในกระบวนการทำเนยแข็ง เมื่อนำมาขึ้นรูปฟิล์ม ฟิล์มที่ได้จะใส เป็นมันมีกลิ่น
อ่อนๆ ต้านทานออกซิเจน กลิ่น และน้ำมันที่ความชื้นต่ำๆ ได้ดี แต่ต้านทานการซึมผ่านของไอน้ำต่ำ
จึงเหมาะกับการเคลือบอาหารที่เกิดออกซิเดชันและสูญเสียกลิ่นง่าย เคลือบผัก และผลไม้เพื่อลด
อัตราการถ่ายโอนก๊าซ ป้องกันความเสียหายสำหรับอาหารที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

คอลลาเจน เจลาติน फिल्मจากคอลลาเจนเป็นฟิล์มที่ไม่ละลายน้ำ มีคุณสมบัติเชิงกลดี ป้องกันการซึมผ่านออกซิเจนดีกว่าฟิล์มโปรตีนอื่นๆ फिल्मชนิดนี้ใช้เป็นปลอกหุ้มผลิตภัณฑ์ไส้กรอก ส่วนฟิล์มจากเจลาติน ซึ่งเป็นโปรตีนที่ได้จากคอลลาเจนมาทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส फिल्मชนิดนี้ถูกนำไปเคลือบอาหาร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยกันความชื้น ออกซิเจน และไขมัน

ไข่ขาว ลักษณะของฟิล์มที่ขึ้นรูปจากไข่ขาว และใช้น้ำเป็นตัวทำละลายจะใส ไม่มีสี และกลิ่น นำมาใช้เคลือบอาหารที่ไวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน ใช้เพื่อป้องกันการเหม็นหืน อีกทั้งเป็นสารต้านจุลินทรีย์ นอกจากนี้ยังใช้เป็นตัวกันความชื้นสำหรับอาหารที่มีไขมันหลายๆชนิดเป็นองค์ประกอบ และใช้เป็นตัวกลางจับยึดอาหารที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบ และยา

3. फिल्मจากไขมัน

ฟิล์มจากไขมันใช้เคลือบอาหารเพื่อป้องกันการถ่ายโอนความชื้น เพราะมีค่าการซึมผ่านของไอน้ำต่ำ แต่มีข้อเสียคือเปราะ และต้องใช้สารละลายหรืออุณหภูมิสูงในการขึ้นรูป เนื่องจากไขมันเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายในตัวทำละลายที่เป็นสารอินทรีย์

ไข फिल्मไขเป็นฟิล์มที่ความชื้นซึมผ่านได้ต่ำมาก อีกทั้งลดอัตราการแพร่กระจายของเกลือเบนโซเอทสู่อาหารได้ดี นิยมใช้ในการเคลือบผัก และผลไม้สดเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา ใช้เคลือบลูกกวาดเพื่อป้องกันการสูญเสีย น้ำ ซึ่งทำให้เนื้อสัมผัสของลูกกวาดเกิดการเปลี่ยนแปลงของสารลดแรงตึงผิว ใช้ในการเคลือบผิวเพื่อลดค่า Water activity และลดอัตราการระเหย ช่วยป้องกันการเสื่อมสภาพได้

4. फिल्मหลายองค์ประกอบ

ฟิล์มหลายองค์ประกอบ เป็นฟิล์มที่ได้โดยใช้สารหลายชนิดรวมกัน อาศัยลักษณะเฉพาะของสารแต่ละชนิดมาใช้ประโยชน์ ซึ่งจะช่วยให้ฟิล์มมีคุณลักษณะตามที่ต้องการ มีคุณสมบัติห่อหุ้มอาหารได้ดีทางประสาทสัมผัส ทำให้น่ารับประทาน และเพิ่มคุณค่าทางอาหารด้วย ตัวอย่างของงานวิจัยที่ศึกษาพัฒนาฟิล์มโคโคซานที่มีส่วนผสมของสารอื่นจัดเป็นฟิล์มหลายองค์ประกอบ ได้แก่

การพัฒนาฟิล์มจากสารธรรมชาติที่นำมาบริโภคได้ สำหรับประยุกต์ใช้ในผลไม้ตัดแต่งหรือพร้อมบริโภคโดยใช้แป้งข้าวเจ้าผสมโคโคซานเข้มข้น 2 ระดับ คือร้อยละ 1 และ 2 (น้ำหนักต่อปริมาตร) โดยใช้กรดอินทรีย์ 4 ชนิด คือ อะซิติก ซิตริก แลคติก และมาลิกเป็นตัวทำละลาย (กนกกร และคณะ, 2550)

การพัฒนาฟิล์มจากไคโตซาน และไคโตซานที่ผสมกับเมทิลเซลลูโลส หรือไคโตซานที่ผสมกับไฮดรอกซีโพรพิลเซลลูโลส และเติมวานิลลิน (ฟิล์มวานิลลิน) ห่อแคนตาลูปและสับปะรดหั่นชิ้นเพื่อศึกษาผลของการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ และคุณภาพของชิ้นผลไม้ที่อยู่ในฟิล์ม ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เทียบกับฟิล์มยึดที่ใช้ในทางการค้า และใช้ผลไม้สดหั่นชิ้นที่ไม่ได้ห่อด้วยฟิล์มใดๆเป็นชุดควบคุม พบว่า ฟิล์มไคโตซานที่ผสมเมทิลเซลลูโลส และฟิล์มวานิลลิน สามารถลดจำนวน *Escherichia coli* ได้เฉพาะแคนตาลูปสดหั่นชิ้น ฟิล์มไคโตซานที่ผสมเมทิลเซลลูโลสสามารถลดปริมาณของ *Saccharomyces cerevisiae* ได้อย่างรวดเร็วทั้งแคนตาลูป และสับปะรดสดหั่นชิ้น แต่ฟิล์มวานิลลินมีประสิทธิภาพดีกว่าฟิล์มไคโตซานที่ผสมเมทิลเซลลูโลสในการลดปริมาณ *Saccharomyces cerevisiae* ในสับปะรดสดหั่นชิ้นเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 6 วัน (เจิมขวัญ, 2551)

ส่วนผสมที่ใช้ในการขึ้นรูปฟิล์ม

ส่วนผสมที่ใช้ในการขึ้นรูปฟิล์มที่รับประทานได้เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อลักษณะของฟิล์ม ได้แก่ สารหลักที่ใช้ขึ้นรูปฟิล์ม Plasticizer และอื่นๆ

เจลาติน (Gelatin)

เจลาติน เป็นผลิตภัณฑ์ที่จากเนื้อเยื่อของสัตว์จากส่วนที่มีคอลลาเจนมาก เช่น หนังกระดูก ซึ่งผ่านการย่อยสลายโดยการใช้ น้ำ (Hydrolysis) เจลาตินจัดเป็น โปรตีนที่มีลักษณะทั้งในรูปของแข็งเปราะซึ่งมีสีอำพันอ่อน หรือสีเหลืองอ่อน เป็นผง เม็ดเล็กๆ และแผ่น ใช้ทั้งในอุตสาหกรรมยา และอาหาร หรืออยู่ในรูปของเหลวข้น ไม่มีสี หรือสีเหลืองอ่อน ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร

โครงสร้างของเจลาตินประกอบด้วยกรดอะมิโนประมาณ 1,000 หน่วย เชื่อมต่อกันเป็นสายพอลิเปปไทด์ นอกจากนี้เจลาตินมีหลายเกรด ซึ่งแตกต่างกันตามขนาดอนุภาค น้ำหนักโมเลกุล และคุณสมบัติอื่นๆ ส่วนมากจะจัดเกรดของเจลาตินตามความแข็งแรงของเจลาติน Bloom strength โดยเจลาตินที่มีค่า Bloom strength อยู่ในช่วง 50-300 เจลาตินที่มีค่า Bloom strength สูงกว่าจะมีราคาแพงกว่าเจลาตินที่มีค่า Bloom strength ต่ำ คุณสมบัติของเจลาตินแสดงดังตารางที่ 2.7

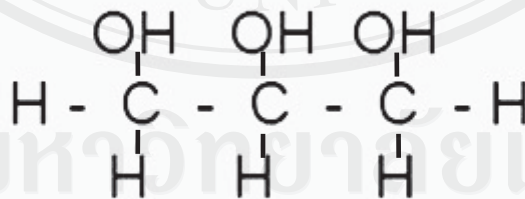
ตารางที่ 2.7 คุณสมบัติของเจลาติน

ความเป็นกรด ต่าง	สารละลายที่ร้อยละ 1 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ในน้ำที่ 25 องศาเซลเซียส Type A pH= 3.8-6.0 Type B pH= 5.0-7.4
ปริมาณความชื้น	ร้อยละ 9-11
ค่าการละลาย	ไม่ละลายใน : อะซีโตน คลอโรฟอร์ม เอทานอล (ร้อยละ 95) อีเธอร์ เมทานอล ละลายใน : กลีเซอริน กรด ต่าง น้ำร้อน

เจลาตินนำมาใช้ประโยชน์ในการผลิตยา ทำเปลือกยาแคปซูล ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว เป็นต้น รวมถึงการทำฟิล์มและสารเคลือบที่รับประทานได้

กลีเซอรอล (Glycerol)

กลีเซอรอล หรือกลีเซอริน (ภาพที่ 2.4) นิยมใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตฟิล์มรับประทานได้ จัดอยู่ในกลุ่มของสารประกอบอินทรีย์พวกแอลกอฮอล์ชนิดหนึ่ง สูตรโมเลกุลคือ $C_3H_8O_3$ ชื่อเรียกทางเคมีคือ 1, 2, 3-Propanetriol กลีเซอรินมีลักษณะเป็นของเหลวขุ่น ไม่มีสี กลิ่น มีจุดเดือด 290 องศาเซลเซียส จุดหลอมเหลว 17.9 องศาเซลเซียส มีรสหวาน 0.6 เท่าของน้ำตาล ละลายน้ำ และแอลกอฮอล์ได้ดี ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์บางชนิดได้เล็กน้อย



ภาพที่ 2.4 โครงสร้างของกลีเซอริน

การผลิตกลีเซอริน ได้จากผลพลอยได้จากการไฮโดรไลซ์น้ำมัน หรือ ไขมัน เพื่อผลิตเป็นสบู่หรือกรดไขมัน และสามารถสังเคราะห์ได้จาก Propylene ซึ่งเป็นไฮโดรคาร์บอนที่ได้จากปิโตรเลียม คุณภาพของกลีเซอริน แบ่งเป็น 4 ชั้นคุณภาพ ได้แก่ ชั้นคุณภาพเคมี (Chemical grade),

ชั้นคุณภาพไดนาไมท์ (Dynamite grade) ชั้นคุณภาพอุตสาหกรรม (Technical grade) และชั้นคุณภาพยา (Pharmaceutical grade)

กลีเซอรินใช้เป็นตัวทำละลายในการทำเครื่องสำอาง สบู่เหลว ลูกกวาด สุรา หมึก และสารหล่อลื่น รวมถึงเป็นแหล่งอาหารในการผลิตยาปฏิชีวนะอีกด้วย

กลไกของกลีเซอรินในการเป็น Plasticizers ของฟิล์มรับประทานได้ โดยจะเข้าไปแทรกตัวอยู่ระหว่างโมเลกุลของโพลีเมอร์ ทำให้แรงแวนเดอร์วาลส์ลดลง ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มความยืดหยุ่นและอ่อนนุ่มขึ้น สะดวกต่อการดัด รีด หล่อแบบ รักษาความอ่อนนุ่มของฟิล์ม

น้ำมันตะไคร้ (Lemon Grass oil)

ตะไคร้ (Lemon Grass, Lapine) เป็นพืชที่มีชื่อเรียกหลายชื่อ ได้แก่ ตะไคร้แกง (ภาคกลาง) จะไคร้ (ภาคเหนือ) ไคร ไฟเล็ก (ภาคใต้) คา หอม (ฉาน, เงี้ยว-แม่ฮ่องสอน) หัวโคลิง (เขมร-ปราจีน) มีชื่อสามัญ Citronella citratus ลักษณะของพืชเป็นไม้ล้มลุกจะขึ้นเป็นกอใหญ่ สูงประมาณ 1 เมตร ลักษณะของลำต้น ตั้งตรง แข็ง เกลี้ยง และตามปล้อง (กาบของโคนต้น) มักมีไขปกคลุมอยู่ใบเดี่ยว แตกออกเป็นกอ รูปขอบขนาน ปลายใบแหลม ยาว 30-60 เซนติเมตร กว้างประมาณ 1-2 เซนติเมตร ผิวใบด้านบนระคายมือเล็กน้อย ส่วนด้านล่างจะเรียบ ขอบใบเรียบ (สุรตน์วดี, 2553) ประโยชน์ของตะไคร้ นอกจากจะเป็นเครื่องเทศ นำไปประกอบอาหาร ยังสามารถนำมาสกัดเป็นน้ำมันได้

คุณสมบัติของน้ำมันตะไคร้

น้ำมันตะไคร้มีคุณสมบัติในการต้านเชื้อแบคทีเรีย (Okamoto and Okada, 2005) ต้านยีสต์ มีฤทธิ์ลดการบีบตัวของลำไส้ ขับลม (Carlini *et al.*, 1986) และแก้ปวด (Viana *et al.*, 2000; Lorenzetti *et al.*, 1991) ในส่วนคุณสมบัติการต้านเชื้อราซึ่งมีงานวิจัยหลายชิ้นที่ทำการศึกษาค้างนี้

น้ำมันตะไคร้ ความเข้มข้น 1,000 และ 2,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา *T. mentagrophytes* และ *M. gypseum* ได้ร้อยละ 100 (Dubey and Mishra, 1990; Onawunmi, 1989) ซึ่งพบว่า ค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อได้ (MIC; Minimum Inhibitory Concentration) ของน้ำมันตะไคร้ต่อเชื้อดังกล่าวมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 0.08 ปริมาตรต่อปริมาตร ซึ่งสาร Citral, Citronellal, Citronellol และ Geraniol ที่เป็นสารประกอบหลักในน้ำมันตะไคร้มีฤทธิ์ต้านเชื้อราดังกล่าวได้ดีเมื่อเทียบกับน้ำมันตะไคร้ ในขณะที่

ที่ Dipentene, Myrcene, Limonene ไม่มีฤทธิ์ต้านเชื้อราดังกล่าว (Onawunmi, 1989) มีการจดสิทธิบัตรผลิตภัณฑ์ตะไคร้ในรูปแบบของ Emulsion และ Nanocapsule ที่ประกอบด้วยน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ว่าสามารถรักษาโรคผิวหนังที่เกิดจากเชื้อรา *E. floccosum*, *Microsporium canis* และ *T. Rubrum* โดยไปยับยั้งการเจริญเติบโต หรือฆ่าเซลล์ของเชื้อราดังกล่าว (Rauber *et al.*, 2004)

เมื่อนำน้ำมันหอมระเหย และสารสกัดตะไคร้ด้วย เฮกเซน คลอโรฟอร์ม เอทานอล และน้ำ มาทดสอบฤทธิ์ต้านเชื้อรา 4 ชนิด คือ *Epidermophyton floccosum* *Microsporium gypseum*, *T. mentagrophytes*, *T. rubrum* ด้วยวิธี Agar diffusion พบว่าน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ ความเข้มข้นร้อยละ 20 โดยปริมาตร สามารถต้านเชื้อราดังกล่าวได้ โดยมีค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อได้ (MIC; Minimum Inhibitory Concentration) เท่ากับร้อยละ 5, 10, 10 และ 20 ตามลำดับ และสารสกัดตะไคร้ด้วยเฮกเซนที่ความเข้มข้น 250 ไมโครกรัมต่อมิลลิตรสามารถต้านเชื้อราดังกล่าวได้ทุกชนิด และมีค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อได้ (MIC; Minimum Inhibitory Concentration) ของสารสกัดเฮกเซนต่อเชื้อราดังกล่าว เท่ากับ 62.5, 125, 125 และ 250 ไมโครกรัมต่อมิลลิตรตามลำดับ ส่วนสารสกัดคลอโรฟอร์มมีฤทธิ์ต้านเชื้อราได้น้อย คือที่ความเข้มข้น 1,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิตร เชื้อรายังคงเจริญเติบโตได้ร้อยละ 50 ส่วนสารสกัดเอทานอล และน้ำไม่มีฤทธิ์ต้านเชื้อราดังกล่าวที่ความเข้มข้น 1,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิตร และจากผลการทดลอง ยังพบว่าสารประกอบหลักใน น้ำมันหอมระเหย และในสารสกัดเฮกเซนที่มีฤทธิ์ต้านเชื้อราได้ดี คือ สาร Citral (อัญญา และคณะ, 2532)

ความเป็นพิษและการทดสอบความเป็นพิษของน้ำมันตะไคร้

ผู้ทดสอบพิษของชาที่เตรียมจากตะไคร้พบว่า เมื่อให้อาสาสมัครสุขภาพดีรับประทานชาตะไคร้ 1 ครั้ง หรือรับประทานวันละครั้ง เป็นเวลา 2 สัปดาห์ ไม่พบการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเลือด และปัสสาวะ มีบางรายเท่านั้นที่ปริมาณบิลิรูบิน และ Amylase สูงขึ้น จึงนับว่าปลอดภัย (Leite *et al.*, 1986)

การใช้ไคโตซานในการทำฟิล์มรับประทานได้

การศึกษาอิทธิพลของกรดอะซิติก ซิตริก แลคติก และมาลิกต่อคุณสมบัติทางกลของฟิล์มที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมไคโตซานของ กนกกร และคณะ (2550) พบว่า ชนิดของกรดและปริมาณ

ไคโตซานในฟิล์มที่ใช้มีผลต่อการละลายของฟิล์ม โดยฟิล์มแป้งข้าวที่ผสมไคโตซานที่ละลายด้วยกรดซิตริกและมาลิกมีการละลายน้ำสูงกว่าฟิล์มผสมที่ใช้กรดอะซิติก และแลคติก การใช้ไคโตซานเข้มข้นร้อยละ 2 (น้ำหนักต่อปริมาตร) มีผลทำให้ฟิล์มมีการละลายน้ำได้สูงกว่าฟิล์มแป้งข้าวเจ้าที่ผสมไคโตซานเข้มข้นร้อยละ 1 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ปริมาณไคโตซานในฟิล์มมีผลต่อความหนาและค่าการต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์ม โดยที่ฟิล์มแป้งข้าวที่ผสมไคโตซาน และใช้กรดอะซิติก และซิตริกมีความหนาน้อยกว่าฟิล์มที่ผสมไคโตซาน และใช้กรดแลคติก และมาลิก แต่ฟิล์มที่ผสมไคโตซานเข้มข้นร้อยละ 1 (น้ำหนักต่อปริมาตร) มีความหนาน้อยกว่าฟิล์มที่ผสมไคโตซานเข้มข้นร้อยละ 2 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ส่วนค่าการต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์ม พบว่า ฟิล์มแป้งข้าวที่ผสมไคโตซาน ที่ใช้กรดอะซิติกมีค่าแรงดึงขาดของฟิล์มสูงกว่าฟิล์มชนิดอื่น และฟิล์มที่ผสมไคโตซานเข้มข้นร้อยละ 1 (น้ำหนักต่อปริมาตร) มีค่าแรงดึงขาดของฟิล์มสูงกว่าฟิล์มที่ผสมไคโตซานร้อยละ 2 (น้ำหนักต่อปริมาตร) อย่างไรก็ตามพบว่าฟิล์มแป้งข้าวเจ้าที่ผสมไคโตซานเข้มข้นร้อยละ 2 (น้ำหนักต่อปริมาตร) และใช้กรดมาลิกมีการยึดตัวดีกว่าฟิล์มชนิดอื่น

การพัฒนาฟิล์มจากไคโตซาน และไคโตซานที่ผสมกับเมทิลเซลลูโลส ในอัตราส่วน 1.5:0.5, 1.5:1.0, 2.0:0.5 และ 2.0:1.0 หรือไคโตซานที่ผสมกับไฮดรอกซีโพรพิลเซลลูโลส ในอัตราส่วน 1.5:2.0, 1.5:3.0, 2.0:2.0 และ 2.0:3.0 พบว่า ฟิล์มไคโตซานที่ผสมกับเมทิลเซลลูโลสในอัตราส่วน 1.5:0.5 มีร้อยละการยึดตัวสูง การต้านแรงดึงขาดไม่แตกต่างจากฟิล์มไคโตซานร้อยละ 1.5 การผสมไคโตซานกับไฮดรอกซีโพรพิลเซลลูโลสในทุกอัตราส่วนได้ฟิล์มที่มีคุณสมบัติทางกลดีกว่าฟิล์มไคโตซานร้อยละ 1.5 เมื่อเติมวานิลลินซึ่งเป็นสารต้านจุลินทรีย์ และพอลิเอทิลีนไกลคอล 400 ซึ่งเป็นพลาสติกไซเซอร์ลงในฟิล์มไคโตซานที่ผสมกับเมทิลเซลลูโลส พบว่าเมื่อความเข้มข้นของพอลิเอทิลีนไกลคอลคงที่ วานิลลินสามารถผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันกับไคโตซาน และเมทิลเซลลูโลสได้ดี ได้ฟิล์มที่มีสีเหลือง มีความยืดหยุ่น และความใสลดลง มีการต้านแรงดึงขาดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ฟิล์มสามารถต้านทานการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีผลต่อการซึมผ่านของไอน้ำ เมื่อวิเคราะห์โดย Differential Scanning Colorimeter พบว่า การเกิดผลึกในฟิล์มลดลง วานิลลินทำให้การละลายของส่วนผสมอื่นของฟิล์มในน้ำลดลง ความสามารถในการดูดน้ำลดลงตามปริมาณวานิลลินที่เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของวานิลลินคงที่ การเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นของฟิล์ม แต่ค่าการต้านแรงดึงขาดลดลง อัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน และไอน้ำเพิ่มขึ้นตามปริมาณพอลิเอทิลีนไกลคอลที่เพิ่มขึ้น พอลิเอทิลีนไกลคอลมีผลต่อความใส สี และการเกิดผลึกของฟิล์มน้อยกว่าวานิลลิน ฟิล์มที่ผสมพอลิเอทิลีนไกลคอลมากกว่าจะละลายได้ง่าย และดูดน้ำได้มากกว่าฟิล์มที่ผสมพอลิเอทิลีนไกลคอลน้อย (เจิมขวัญ, 2551)

วิธีการผลิตฟิล์มรับประทานได้

1. การหล่อฟิล์ม (Solvent casting)

การหล่อฟิล์ม เป็นการนำสารผสมของฟิล์ม เทลงบนภาชนะผิวเรียบ เช่น แผ่นกระจก พลาสติก หรือฟอรัไมกา หลังจากนั้นผ่านการอบแห้งด้วยลมร้อน วิธีการนี้ง่าย ไม่ยุ่งยาก แต่ต้องใช้เวลาในการอบนาน

ตัวอย่างของการขึ้นรูปฟิล์มด้วยการหล่อฟิล์มเช่น การพัฒนาฟิล์มจากไคโตซาน และไคโตซานที่ผสมกับเมทิลเซลลูโลส นำส่วนผสมทั้งหมด 30 กรัม ทำการขึ้นรูปฟิล์มโดยเทลงในจานเพาะเชื้อ (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 13.5 เซนติเมตร) อบแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 42 หรือ 48 ชั่วโมง แยกแผ่นฟิล์มออก วิเคราะห์คุณภาพของแผ่นฟิล์ม (เจิมขวัญ, 2551)

2. การอัดรีด (Extrusion)

การอัดรีดเป็นการอัดส่วนผสมที่หลอมให้ไหลผ่านหัวคาย (Die) ที่มีรูปร่างเหมาะสม เป็นกระบวนการที่ใช้ผลิตฟิล์มสังเคราะห์ต่างๆ ไป ซึ่งสามารถนำมาผลิตเป็นฟิล์มที่รับประทานได้

3. การอัด (Compression)

การอัดเป็นการนำส่วนผสมของฟิล์มมาเติมลงในแบบ อัดโดยใช้ความร้อน ตัวอย่างเช่น การทำฟิล์มแป้งผสมโปรตีนข้าวโพด หรือซีน (Zein)

คุณสมบัติเชิงกลของฟิล์มรับประทานได้

1. คุณสมบัติทางด้านแรงดึง (Tensile properties)

การทดสอบแรงดึงเพื่อหาความเค้น แรงดึง ร้อยละการยืดตัว เป็นการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลอย่างง่ายของฟิล์ม

ความทนแรงดึง (Tensile strength) เป็นการวัดความสามารถของวัสดุที่ต้านทานต่อการฉีกขาดภายใต้แรงดึง มีหน่วยเป็น MPa คำนวณได้จากความทนแรงดึง = แรงดึงสูงสุด/พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน

ร้อยละการยืดตัว (% Elongation) คือการยืดออกของชิ้นทดสอบที่แสดงเป็นร้อยละของความยาวเริ่มต้น ซึ่งการยืดตัวนี้เกิดภายใต้แรงดึง ก่อนชิ้นงานจะขาด คำนวณได้จากร้อยละการยืดตัว = (ความยาวที่เพิ่มขึ้นx100) / ความยาวเดิม

2. คุณสมบัติทางการซึมผ่านของไอน้ำ

การทดสอบคุณสมบัติการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์ม เป็นการทดสอบศักยภาพของฟิล์มต่อการต้านการซึมผ่านของไอน้ำ โดยที่

อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Water Vapor Transmission Rate , WVTR) คือปริมาณไอน้ำที่ซึมผ่านผิวหน้าฟิล์มด้านหนึ่งไปยังผิวหน้าอีกด้านหนึ่งในระยะเวลาที่กำหนด ต่อหน่วยพื้นที่ภายใต้สภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิกับความชื้นสัมพัทธ์

$$\text{WVTR} = [(\Delta w / \Delta t) / A]$$

โดย $\Delta w / \Delta t$ = น้ำหนักของน้ำที่แพร่ผ่านต่อหน่วยเวลา
 A = พื้นที่สำหรับการใช้ในการแพร่ผ่านของน้ำ

และทดลองหาความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำดังสมการ

$$\text{WVP} = (\text{WVTR} \times L) / \Delta P$$

โดย WVTR = อัตราการแพร่ผ่านของไอน้ำ (Water vapor transmission rate)
 L = ความหนาของฟิล์ม (m)
 ΔP = ความแตกต่างของค่า Partial vapor pressure ระหว่างฟิล์ม (Pa)

3. คุณสมบัติทางการซึมผ่านของออกซิเจน

คุณสมบัติทางการซึมผ่านของออกซิเจนของแผ่นฟิล์ม โดยการวัดอัตราการซึมผ่านของออกซิเจน (Oxygen transmission rate; OTR) ซึ่งเป็นอัตราการคงที่ในการซึมผ่านของออกซิเจนที่ผ่านฟิล์มในสภาวะที่จำกัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (สภาวะมาตรฐาน 73 องศาฟาเรนไฮด์ (23 องศาเซลเซียส)) และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 0 แสดงในหน่วยของ cc/100 in²/24 hr ในหน่วยมาตรฐาน US และ cc/m²/24 hr ในหน่วยมาตรฐาน metric (หรือ SI)

ในทางอุตสาหกรรมได้กำหนดค่าของวัสดุที่สามารถป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจนสูงควรมีค่า OTR น้อยกว่า 1 cc/100 in²/24 hr (15.5 cc/m²/24 hr)

ปัจจัยของฟิล์มที่มีผลต่ออัตราการซึมผ่านของออกซิเจน ได้แก่

ความหนาของฟิล์ม หากฟิล์มที่ใช้ส่วนผสมในการผลิตเหมือนกัน แต่มีความหนา มากกว่าจะมีความสามารถในการกั้นการซึมผ่านของออกซิเจนได้ดีกว่าฟิล์มที่ใช้ส่วนผสมในการผลิตเหมือนกันที่มีลักษณะบาง

ส่วนผสมที่ใช้ในการขึ้นรูปฟิล์ม ได้แก่ อัตราส่วนของโคพอลิเมอร์ ปริมาณของ Plasticizers รวมไปถึงกระบวนการในการเกิดพอลิเมอร์

ลักษณะกายภาพและเคมีของพื้นผิวฟิล์ม ได้แก่ ความขรุขระ ความสม่ำเสมอของ แผ่นฟิล์ม



ภาพที่ 2.5 เครื่องมือใช้วัดอัตราการซึมผ่านของออกซิเจน

ข้อดีของฟิล์มรับประทานได้

- ป้องกันเชื้อจุลินทรีย์ และสารกันเสีย และยังควบคุมอัตราการซึมของสารกันเสียจากฟิล์มสู่เนื้ออาหาร
- สามารถรับประทานได้พร้อมกับผลิตภัณฑ์ที่บรรจุ กรณีที่ไม่บริโภคฟิล์มนี้ก็สามารถย่อยสลายได้ง่าย อาจมีการใช้ร่วมกับพลาสติก โดยที่ฟิล์มรับประทานได้ใช้สัมผัสกับอาหาร
- มีลักษณะน่ารับประทาน สามารถเพิ่มกลิ่น รสชาติ หรืออาจเพิ่มคุณค่าทางสารอาหาร เช่น ฟิล์มที่มีส่วนผสมของวิตามิน สารต้านอนุมูลอิสระ หรือฟิล์มที่มีองค์ประกอบของโปรตีน ในการขึ้นรูป เป็นต้น
- ใช้หุ้มอาหารแยกออกเป็นแต่ละชิ้น เช่น ถั่ว รวมถึงการใช้เป็นแผ่นกั้นระหว่างอาหารที่มีองค์ประกอบที่แตกต่างกัน เพื่อป้องกันการเสื่อมเสีย เนื่องจากการถ่ายโอนความชื้นและไขมันในเนื้ออาหารที่แตกต่างกัน เช่น พาย เป็นต้น
- สามารถขึ้นรูปฟิล์มเป็นเม็ดแคปซูลยา บรรจุสารให้กลิ่นรส และสารทำให้ขึ้นฟูได้

กอละแม

กอละแม หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำข้าวเหนียวหรือแป้งข้าวเหนียวผสมแป้งชนิดอื่น เช่น แป้งถั่ว แป้งท้าวยายม่อม แป้งมัน มาผสมกะทิ น้ำตาล อาจเพิ่มเกลือโคสไซรียป์ นำไปกวนที่อุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสม อาจปรุงแต่งสี และกลิ่นรส เช่น ใบเตย สตรอเบอร์รี่ กาแฟ ชาเขียว เปลือกมะพร้าวเผา ลำไย กล้วย มะขามหวาน กวนต่อจนได้ลักษณะตามต้องการ พักไว้ให้เย็น อาจตัดเป็นชิ้น ห่อด้วยวัสดุต่างๆ เช่น พลาสติก ใบตอง และอาจแต่งหน้าด้วยส่วนประกอบต่างๆ เช่น งา ถั่วเขียวเลาะเปลือก ถั่วลิสง (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน กอละแม, 2548) จัดเป็นขนมไทยประจำจังหวัดปทุมธานี ถือว่าเป็นขนมไทยโบราณที่นิยมทำในเทศกาลสงกรานต์หรือปีใหม่เพื่อใช้ในงานบุญหรือใช้แจกในงานเทศกาลแก่ญาติผู้ใหญ่ หรือญาติพี่น้อง

ประวัติของขนมกอละแม

ชื่อขนมกอละแมมีผู้สันนิษฐานกันหลายอย่าง ผู้ที่รู้ภาษามอญอ้างว่ามาจากคำว่า เกอะลาไม Kelanal หรือเคอะลาไม Gelamal พม่าเรียกขนมชนิดนี้ว่า กะลาแม โดยคำว่ากะลา (เขียนว่ากุลลา) แปลว่าแขก ส่วน แม แปลว่า คำ แต่ชาวมะลายูบางพวกเรียกขนมนี้ว่า ดอดอล สำเนียงคนทางปัตตานีเป็นเกอะลาแมหรือเคอะลาแม ขุนศิลปกรรมพิเศษ (แปลก) ได้กล่าวไว้ว่า กะละแม ชาวปักข์ใต้ที่สงขลาเรียก ยานนม

อย่างไรก็ตามในพจนานุกรมอธิบายไว้ว่าเป็นชื่อของขนมที่ทำด้วยข้าวเหนียว กะทิ และน้ำตาล กวนจนเป็นสีดำ เทียบภาษาอังกฤษว่า Caramel ต่อมาได้อ่านพบในถกเถียงเรื่องภาษาพระราชนิพนธ์ของพลตรีพระเจ้าวรวงศ์เธอกรมหมื่นนราธิปพงศ์ประพันธ์ ได้ทรงกล่าวไว้ตอนหนึ่งว่า

"ในการยืมคำมาจากต่างประเทศนั้น ในสมัยนี้มักจะนิยมใช้ศัพท์ให้ตรงกับอักษรวิธีในภาษาเดิม แม้จะอ่านออกหรือไม่ก็ตาม เพราะฉะนั้นดูไม่ค่อยจะนิยมใช้ไม้ทัณฑฆาต... แต่โบราณท่านกล้าดัดแปลงให้ออกเสียงเป็นไทยสนิทขึ้น เช่น Caramel ท่านแผลงเป็น กาละแมะ อย่างหน้าตาเฉย และเราก็ยังกินอร่อย ดูไม่เสียรสน้ำอะไรเลย"

การเสื่อมคุณภาพของผลิตภัณฑ์กาละแมะ

ขนมกาละแมะมีอายุการเก็บสั้นประมาณ 15-30 วัน เนื่องจากขนมกาละแมะมีส่วนผสมของกะทิ น้ำตาล และน้ำ มีความชื้นสูง เชื้อจุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ ตามท้องตลาดจึงมีการใช้สารกันเสียเพื่อให้ขนมกาละแมะมีอายุการเก็บนานขึ้น

ในส่วนของบรรจุภัณฑ์กาละแมะก็มีส่วนทำให้เกิดการเสื่อมเสียได้ เช่น การใช้ใบตองหรือใบจากห่อกาละแมะ พลาสติกชนิดบาง เป็นต้น ทำให้ผลิตภัณฑ์กาละแมะสัมผัสกับอากาศ ซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันจากกะทิที่ใช้เป็นส่วนผสม จึงเกิดกลิ่นหืนในผลิตภัณฑ์กาละแมะได้