บทที่ 3

ทบทวนเอกสาร

3.1 โปรตีน

โปรตีน (Protein) มาจากภาษากรีกว่า โปรตีโอส(Proteios)ซึ่งมีความหมายว่า สำคัญอันดับหนึ่ง หน้าที่ของโปรตีนในร่างกายคือสร้างเซลล์ใหม่ขึ้นแทนที่เซลล์เก่า ซึ่งช่วยในการเจริญเติบโตของร่างกาย โปรตีนเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงประกอบด้วยหน่วยที่เรียกว่า กรดอะมิโน (amino acid) โดยกรดอะมิโนต่อกันเป็นสายยาว เรียกว่าโพลีเปปไทด์ โปรตีนประกอบไปด้วยเปปไทด์ยูนิตตั้งแต่ 50 ยูนิตขึ้นไป และมีน้ำหนักโมเลกุลไม่ต่ำกว่า 5000 (1 เปปไทด์ยูนิตมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 100) โปรตีนบางชนิด เช่น เอนไซม์ ไรโบนิวคลีเอส ประกอบด้วย โพลีเปปไทด์สายเดียว บางชนิดประกอบด้วยห่วงโซ่โพลีเปปไทด์สองสาย เช่น อินซูลิน ฮีโมโกลบินประกอบด้วยห่วงโซ่โพลีเปปไทด์สี่สาย โปรตีนในไวรัสของใบยาสูบมีห่วงโซ่โพลีเปปไทด์อยู่ถึง 2200 สายซึ่งรวมอยู่กับRNA นอกจากนี้ โปรตีนยังเป็นแหล่งที่ให้พลังงานแก่ร่างกายได้ด้วย โปรตีนให้พลังงานเท่ากับคาร์โบไฮเดรต คือ 1 กรัม จะให้พลังงาน 4 แคลอรีโปรตีนเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ และฮอร์โมนต่างๆในร่างกาย รวมทั้งแอนติบอดี(antibody)ก็เป็นโปรตีน เคราตินเป็นโปรตีนที่พบในผม ส่วนคอลลาเจนเป็นโปรตีนในเนื้อเยื่อเกี่ยวกับพันและกล้ามเนื้อ ดังนั้นโปรตีนจึงเป็นส่วนประกอบที่สำคัญและจำเป็นในเซลทุกเซลในร่างกายคนและสัตว์

3.1.1 ประเภทของโปรตีน

โปรตีนแบ่งประเภทตามส่วนประกอบทางเคมีได้ 3 ประเภทคือ

ประเภทที่ 1 โปรตีนอย่างง่าย (Simple Protein) คือ โปรตีนพวกที่สลายตัวหรือเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส แล้วจะให้กรดอะมิโนหรืออนุพันธ์ของกรดอะมิโน โปรตีนอย่างง่ายแบ่งตามโครงสร้างได้ 2 ชนิดคือ โปรตีนลักษณะเส้น(fibrous protein) และ โปรตีนลักษณะกลม (globular protein)

โปรตีนลักษณะเส้น (fibrous protein) เป็นโปรตีนที่มีโครงสร้างที่ซับซ้อน โมเลกุลมีการจัดเรียงตัวเป็นเส้นยาวหรืออาจขดเป็นเกลียว บางชนิดอาจยืดได้ เช่น เคราติน(keratin) ในผมและขนสัตว์ ไมโอซิน(myosin)ในกล้ามเนื้อ ฯลฯ ชนิดที่ยืดหดไม่ได้ ได้แก่ ไฟโบรอิน(fibroin)ในไหม เป็นต้น

โปรตีนลักษณะกลม (globular protein) เป็นโปรตีนที่มีโครงสร้างที่เปลี่ยนได้ง่าย เช่น โดยการเปลี่ยน พีเอช หรือความร้อน ตัวอย่างเช่น อัลบูมินในไข่ เคซีน(casein)ในนม และเจลาติน โปรตีนเหล่านี้จะละลายในสารละลาย กรด เบส และเกลือเจือจางได้ โปรตีนลักษณะกลมมีโมเลกุลเป็นรูปทรงกลม (spheroid)

ประเภทที่ 2 คอนจูเกตโปรตีน (Conjugate Protein) เป็นโปรตีนที่รวมตัวกับสารอื่นที่ไม่ใช่โปรตีนเมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสจะให้กรดอะมิโน และสารอื่นซึ่งเรียกว่า หมู่พรอสเธทิค (prosthetic group) เช่น ไลปิด คาร์โบไฮเดรต และกรดนิวคลีอิก

ประเภทที่ 3 อนุพันธ์โปรตีน (derived protein) เป็นสารที่ได้จากการเปลี่ยนรูปของโปรตีนโดยอาศัยวิธีทางกายภาพหรือทางเคมี เช่น การไฮโดรไลซ์ด้วยกรดอ่อน ด่างอ่อน เอนไซม์ หรือความร้อน อนุพันธ์โปรตีนแบ่งตามระดับของการถูกไฮโดรไลซ์ได้ 2 ชนิด คือ

อนุพันธ์โปรตีนชนิดปฐมภูมิ (primary derivatives) ได้แก่โปรตีนเปลี่ยนสภาพ(denatured protein) และโปรตีนที่รวมตัวเป็นก้อน (coagulated protein)

อนุพันธ์โปรตีนชนิดทุติยภูมิ (secondary derivatives) ได้แก่ โปรตีโอส(proteose) เปปโตน (peptone) และเปปไทด์ (peptide)

การรวมตัวของกรดอะมิโน 2 ชนิด เรียกผลิตผลนั้นว่า ไดเปปไทด์ ถ้ารวมกัน 3 ชนิดก็เรียกว่า ไตรเปปไทด์ แต่ถ้ากรดอะมิโนมารวมกัน 4 ชนิด เรียกว่าโพลีเปปไทด์ พันธะที่ยึดเหนี่ยวระหว่างกรดอะมิโนนี้เรียกว่า พันธะเปปไทด์ (peptide linkiage หรือ peptide bond) ซึ่งเกิดจากส่วนที่เป็นเอมีน (amine) ของโมเลกุลหนึ่งทำปฏิกิริยากับส่วนที่เป็นกรดของอีกโมเลกุลหนึ่ง

ในทางตรงกันข้ามเมื่อนำโปรตีนมาไฮโดรไลซ์ด้วยกรด เบส หรือเอนไซม์ โปรตีนจะแตกออกเป็นหน่วยเล็กลงๆจนได้เป็นกรดอะมิโน ดังนี้

โปรตีน <==^{H2O}==> โปรตีโอส <==^{H2O}==> เปปโทน <==^{H2O}==> โพลีเปปไทด์

โพลีเปปไทด์ <==^{H2O}==> ไตรเปปไทด์ <==^{H2O}==> ไดเปปไทด์ <==^{H2O}==> กรดอะมิโน

รูปที่ 3.1 แสดงการแตกออกเป็นหน่วยที่เล็กลงของโปรตีน

3.1.2 <u>แหล่งของโปรตีนในอาหาร</u>

<u>ประเภทเนื้อสัตว์</u>

ก. เนื้อของสัตว์บก ได้แก่ เนื้อวัว ควาย หมู แกะ และสัตว์ปีกต่างๆ เนื้อของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม เช่น วัว หมู แพะ แกะ ฯลฯ ที่เรียกว่าเนื้อแดง(red meat)นั้น สีแดงของเนื้อ เนื่องมาจากไมโอโกลบิน(myoglobin) และฮีโมโกลบินในกล้ามเนื้อ

กล้ามเนื้อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมที่โตแล้วที่ไม่มีไขมันจะมีโปรตีน 18-20 %(น้ำหนักของเนื้อสด)

ข. สัตว์น้ำ โปรตีนมีในกล้ามเนื้อของปลาตั้งแต่ 10-21 % ปลามีเนื้อส่วนที่รับประทานได้ 40-60 % โปรตีนที่สำคัญในเนื้อปลาคือ ไมโอซิน กลางตัวของปลามีส่วนที่เป็นรงควัตถุอยู่ เป็นกล้ามเนื้อสีน้ำตาลแดงซึ่งมีประมาณ 10% ของกล้ามเนื้อลำตัว กล้ามเนื้อนี้มีฮีโมโปรตีน(hemoprotein)สูง

โปรตีนในปลาไม่ค่อยเสถียร เกิดการเปลี่ยนสภาพและรวมตัวเป็นก้อนได้ง่ายกว่าโปรตีนในเนื้อสัตว์

ค. สัตว์มีเปลือกหุ้มตัว สัตว์น้ำมีเปลือกหุ้มตัวก็ให้โปรตีนเช่นเดียวกัน

<u>นม</u>

โปรตีนในนมมีตั้งแต่ 3-4 % ขึ้นอยู่กับพันธ์ของแม่โคและสิ่งแวดล้อม โดยเฉลี่ยมีโปรตีน 3.5 % โปรตีนในนมแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ เคซีน และส่วนที่อยู่ในเวย์(whey protein หรือ milk serum protein) เราสามารถแยกเคซีนออกจากนมโดยการเติมกรดลงในนม เคซีนจะตกตะกอนที่ pH 4.6

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส โปรตีนที่มีอยู่ในเวย์คือ แล็กทัลบูมินและแล็กโทบูมิน เป็นโปรตีนที่แข็งตัวเมื่อได้รับความร้อนส่วนเคซีนนั้นทนความร้อนได้ดี ถ้าให้ความร้อนที่ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 ชั่วโมง หรือที่ 135 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เคซีนจึงจะตกตะกอน

ไข่

ไข่ไก่มีเปลือก 11% ไข่แดง 31% ไข่ขาว 58% ส่วนที่เป็นอาหาร คือ ไข่แดงและไข่ขาว เฉพาะส่วนที่เป็นของเหลวในไข่มี ไข่ขาว 65% และไข่แดง 35% หน้าที่หลักของโปรตีนในไข่คือเป็นอาหารของลูกไก่

โปรตีนในพืช

โปรตีนในผัก ผักสดไม่ใช่แหล่งที่ดีของโปรตีน ในแครอต และผักกาดหอมมีโปรตีน 1% มันฝรั่ง หน่อไม้ฝรั่งและถั่วเขียวมีโปรตีน 2% ถั่วดิบมีโปรตีน 6.5%ในกรณีของมันฝรั่งถึงแม้จะมีโปรตีนเพียง 2% แต่ก็มีคุณค่าเพราะมีไลซีนและทริปโตเฟนสูง ส่วนผิวนอกของมันฝรั่งมีโปรตีนและกรดอะมิโนมากกว่าส่วนที่อยู่ภายใน

โปรตีนในธัญพืช ข้าวที่แก่จัดและแห้งแล้ว จะมีโปรตีน 6-20%

โปรตีนในเมล็ดพืช โปรตีนในเมล็ดพืชส่วนใหญ่คือ โกลบูลิน ซึ่งละลายในน้ำหรือสารละลายเจือจาง ซึ่งมี พีเอชสูงหรือต่ำกว่า จุดไอโซอิเลคตริก(isoelectric point)ของมัน(ปกติอยู่ระหว่าง พีเอช 4-5)ถั่วเหลืองมีโปรตีนมากที่สุด

3.1.3 การวิเคราะห์โปรตีน

เนื่องจากโปรตีนทุกชนิดมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ การหาปริมาณโปรตีนในอาหารโดยการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด(total nitrogen)ในอาหาร โปรตีนโดยทั่วๆไปมีไนโตรเจน 16% ดังนั้นปริมาณของโปรตีนจะเท่ากับปริมาณของไนโตรเจนทั้งหมดคูณด้วย 6.25(6.25 มาจาก 100/16) โปรตีนที่หาได้นี้เรียกว่าโปรตีนอย่างหยาบ (crude protein) ดังนั้นการหาปริมาณโปรตีนอย่างหยาบจากไนโตรเจนจึงคำนวณโดยใช้แฟคเตอร์คูณปริมาณของไนโตรเจนทั้งหมด

โปรตีนจะประกอบด้วยองค์ประกอบแสดงได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงองค์ประกอบของโปรตีน

องค์ประกอบ	เปอร์เซ็นต์
คาร์บอน (C)	51.0-55.0
ไฮโดรเจน (H)	6.5-7.3
ออกซิเจน (O)	20.0-24.0
ไนโตรเจน (N)	15.0-18.0
ซัลเฟอร์ (S)	0.0-2.5
ฟอสฟอรัส (P)	0.0-1.0

ที่มา : ศศิเกษม ทองยงค์ (2530)

การหาปริมาณของไนโตรเจนทั้งหมดใช้วิธีที่เรียกว่า วิธีของเจดาห์ล (Kjehdahl method) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้กันแพร่หลาย วิธีของเจดาห์ลมีขั้นตอนดังนี้

1. นำอาหารที่ต้องการหาปริมาณของโปรตีนมาสับให้ละเอียด ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน แล้วนำมาย่อยด้วยกรดกำมะถัน และตัวเร่ง

2. นำไปกลั่นในสภาวะเป็นด่างโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จะได้ก๊าซแอมโมเนีย

3. ผ่านก๊าซแอมโมเนียลงในสารละลายกรดบอริคเพื่อกรดจะจับก๊าซแอมโมเนียไว้

4. นำสารละลายที่ได้ไปไตเตรตกับกรด ก็จะทราบปริมาณของกรดที่ใช้แล้วนำไปคำนวณหาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

เมื่อต้องการปริมาณโปรตีนในอาหารก็นำปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดไปคูณกับแฟคเตอร์ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2 ถั่วเขียว และการใช้ประโยชน์จากถั่วเขียว

ถั่วเขียว(Mung bean,green grum) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า Vigna radiata (L.) Wilzek เป็นพืชที่มีลักษณะดีหลายประการ คือ ปลูกง่าย ขึ้นได้ดีในดินเกือบทุกชนิด ต้องการน้ำน้อย ทนแล้งได้ดี มีอายุการเก็บเกี่ยวสั้น (65-70 วัน) และที่สำคัญคือ เป็นพืชที่ช่วยบำรุงดินให้ดีขึ้นด้วย โดยปกติถั่วเขียวสามารถปลูกได้ทุกภาคของประเทศ โดยเฉพาะในจังหวัดภาคกลางตอนบน เช่น เพรชบูรณ์ นครสวรรค์ และกำแพงเพชร เป็นต้น

ถั่วเขียวมีลักษณะรูปร่างกลม คล้ายรูปไต รอยแผลเป็นด้านเว้าของเมล็ดถั่วมีสีขาว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเมล็ด 2.5-4.0 มิลลิเมตร น้ำหนัก 100 เมล็ดประมาณ2-8 กรัม โครงสร้างของเมล็ดถั่วเขียวมีสามส่วน คือ เปลือกนอก ใบเลี้ยง และต้นอ่อน โดยใบเลี้ยงเป็นส่วนที่มีมากที่สุด คือ ประมาณร้อยละ 90 ของเมล็ด เนื่องจากเป็นส่วนที่มีการสะสมของโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต ในลักษณะที่เป็น Protein Body หรือ Aleurone,Spherosome และ Starch granule ตามลำดับ

ประเทศไทย และประเทศในแถบเอเชียเช่นญี่ปุ่นจีน นิยมใช้แป้งถั่วเขียวในการผลิตวุ้นเส้น วุ้นเส้นที่ผลิตจากแป้งถั่วเขียวล้วนจะได้วุ้นเส้นที่มีคุณภาพดีสามารถขายได้ในราคาสูง เนื่องจากมีลักษณะใส เหนียว เป็นที่นิยมของผู้บริโภค ในปัจจุบันได้มีการนำแป้งบริโภคชนิดอื่น ซึ่งสามารถทดแทนได้ในปริมาณร้อยละ 10 และ 20 ตามลำดับ รวมทั้งได้มีงานวิจัยศึกษาแนวทางในการนำแป้งจากถั่วชนิดอื่นๆเช่น แป้งดัดแปรโดยวิธีคลอสลิงกิ้ง(Cross-linging)มาผลิตวุ้นเส้น แต่พบว่าสามารถทดแทนได้บางส่วนเท่านั้น ดังนั้นในปัจจุบันจึงเป็นที่ยอมรับว่าในการผลิตวุ้นเส้นที่มีคุณภาพดีจำเป็นต้องใช้แป้งถั่วเขียวเป็นวัตถุดิบสำคัญอยู่เช่นเดิม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 โปรตีนในน้ำเสีย

น้ำเสียในที่นี้ หมายถึง น้ำเสียที่ได้ผ่านกระบวนการผลิตจากอุตสาหกรรมผลิตวุ้นเส้นจากถั่วเขียว ซึ่งได้แก่ น้ำทิ้งที่เกิดจากการแช่/ล้างแป้งถั่วเขียว หรือ น้ำล้างวุ้นเส้น เป็นต้น

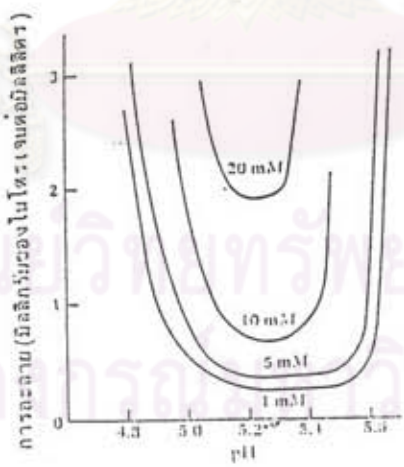
3.3.1 การละลายของโปรตีน (Solubility Of Protein)

การละลายของโปรตีนจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ ดังต่อไปนี้

1.) พีเอช

โปรตีนละลายได้น้อยที่สุด เมื่อพีเอชอยู่ในช่วงจุดไอโซอีเลคตริก เพราะโมเลกุลของโปรตีนที่ไอโซอีเลคตริก พีเอชมีประจุไฟฟ้ารวมเป็นศูนย์ จึงไม่มีแรงที่จะผลักกันให้กระจายอยู่ในสารละลาย ที่พีเอชอื่นๆซึ่งไม่ใช่ไอโซอีเลคตริก โปรตีนมีประจุไฟฟ้าเป็นบวก หรือลบเหมือนกัน จึงมีแรงไฟฟ้าสถิตย์ผลักกันให้กระจายอยู่ในสารละลาย

จุดไอโซอีเลคตริกของโปรตีน คือ พีเอชซึ่งโปรตีนไม่เคลื่อนย้ายไปทางขั้วบวกหรือ ขั้วลบในสนามไฟฟ้า ที่พีเอชนี้ โปรตีนอยู่ในสภาพเป็นซวิทเทอร์ออออน(Zwitterion)ซึ่งประจุบวกทั้งหมดมีค่าเท่ากับประจุลบทั้งหมด และประจุรวมมีค่าเท่ากับศูนย์



รูปที่ 3.2 แสดงผลของพีเอชและความเข้มข้นของเกลือ ต่อการละลายของเบต้าแลคโตกล็อบบิวลิน จำนวน mM เป็นความเข้มข้นของเกลือแกง(NaCl)

จากรูปที่ 3.2 จะเห็นว่าการละลายของเบต้าแลคโตกล็อบบิวลีน มีค่าต่ำสุดที่พีเอช 5.2 ถึง 5.3 ที่พีเอช 4.9 และ 5.7 โปรตีนตัวนี้ละลายได้ถึง 10 เท่า ของการละลายที่พีเอช 5.2 โดยเฉพาะเมื่อเติมเกลือแกงลงไปเพียงเล็กน้อย ที่พีเอช 5.2 ซึ่งเป็นจุดไอโซอีเลคตริกของเบต้าแลคโตกล็อบบิวลีนการละลายของโปรตีนนี้เป็นไปได้น้อยมาก เมื่อพีเอชเปลี่ยนไปเพียง 0.3 ถึง 0.5 การละลายเพิ่มขึ้นถึง 10 เท่า โปรตีนบางตัวไม่ละลายน้ำเลยที่จุดไอโซอีเลคตริกของมันโดยเฉพาะ ดังนั้นจึงสามารถแยกโปรตีนแต่ละตัวออกจากของผสมได้โดยทำให้ของผสมนั้นมีพีเอชอยู่ที่จุดไอโซอีเลคตริกของโปรตีนแต่ละประเภทเหล่านั้น

2.) กำลังของอิออน

กำลังของอิออนของเกลือที่อยู่ในสารละลายของโปรตีนมีผลต่อการละลายของโปรตีน เมื่อเติมเกลือที่มีสมบัติเป็นกลางจำนวนเล็กน้อยลงในสารละลายของโปรตีนจะทำให้กล็อบบิวล่าร์ของโปรตีนละลายได้ดีขึ้น ปรากฏการณ์เช่นนี้เรียกว่า ซอลติงอิน(Salting-in)เกลือที่ประกอบด้วยอิออนซึ่งมีวาเลนซี 2 เช่น $MgCl_2$ และ $(NH_4)_2SO_4$ทำให้เกิดซอลติงอินได้มากกว่าเกลือที่ประกอบด้วยอิออนซึ่งมีวาเลนซี 1 ดังรูปที่ 3.3 แสดงไดอะไลซิสถุงเซลโลเฟน

รูปที่ 3.3 แสดงไดอะไลซีสถุงเซลโลเฟน มีลักษณะเป็นเพอร์มิเอเบิลเมมเบน สารละลายของโปรตีนอยู่ภายในถุง ถ้ามีอิออนของเกลือปนอยู่ในสารละลาย อิออนจะลอดผ่านเมมเบนออกมาสู่น้ำกลั่นภายนอก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.) สมบัติไดอิเลคตริกของตัวทำละลาย

เมื่อเติมตัวทำละลาย เช่น แอลกอฮอลล์ ลงไปในสารละลายของโปรตีนในน้ำ ปรากฏว่าโปรตีนละลายได้น้อยลง ถ้าเติมลงไปมากๆโปรตีนอาจตกตะกอนออกมาได้ ทั้งนี้เนื่องจากค่าคงตัวไดอิเลคตริกของแอลกอฮอลล์มีค่าน้อยกว่าน้ำ

4.) อุณหภูมิ

ในช่วงของอุณหภูมิ 0 ถึง 40 องศาเซลเซียสโปรตีนละลายได้มากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 40 องศาเซลเซียสโปรตีนเริ่มแปรสภาพจากธรรมชาติ และการละลายลดน้อยลงที่พีเอชเป็นกลาง

3.3.2 <u>การตกตะกอนของโปรตีน</u>

โปรตีนอาจทำให้ตกตะกอนออกมาจากสารละลายได้หลายวิธี ซึ่งใช้เป็นวิธีแยกโปรตีนออกจากของผสม

1.) การตกตะกอนที่จุดไอโซอิเลคตริก เนื่องจากโปรตีนละลายได้น้อยที่สุดที่จุดไอโซอิเลคตริก ดังนั้นเมื่อต้องการตกตะกอนโปรตีนชนิดใด ก็ทำสารละลายของโปรตีนให้มีพีเอชเท่ากับ จุดไอโซอิเลคตริกของโปรตีนชนิดนั้น

2.) การเติมเกลือลงไปมากๆให้ตกตะกอน เมื่อเติมเกลือจำนวนมากลงในสารละลายของโปรตีนในน้ำ จะทำให้โปรตีนตกตะกอนออกมา

3.) การเติมเกลือของโลหะหนักลงไป ในตอนแรกเติมด่างปริมาณเล็กน้อยลงในสารละลายโปรตีนก่อนเพื่อให้โปรตีนมีประจุลบ แล้วจึงเติมสารละลายของเกลือโลหะหนักลงไปอิออนของโลหะหนัก เช่น Hg^{+2}, Pb^{+2}ไปรวมกับโปรตีนซึ่งมีประจุลบเกิดเป็นเกลือซึ่งไม่ละลายน้ำจึงทำให้ตกตะกอนลงมา

4.) การเติมอัลคาลอยเดิล รีเอเจน(alkaloidal reagent)ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เบสอินทรีย์ตกตะกอน สารชนิดนี้อยู่ในพืชเป็นเบสอินทรีย์ตกตะกอนได้เมื่อเติมรีเอเจนต์นี้ลงไป

5.)การเติมแอลกอฮอลล์ ซึ่งจะทำให้โปรตีนตกตะกอนออกมาเนื่องจากค่าคงตัวไดอิเลคตริกของสารแอลกอฮอลล์มีค่าน้อยกว่าน้ำ

3.3.3 การศึกษาการแยกโปรตีน (Protein Separation)

โปรตีนประกอบไปด้วยองค์ประกอบของไนโตรเจนซึ่งมีกรดอะมิโนหลายชนิด คุณสมบัติของโปรตีนรวมถึงขนาด (Size) ความสามารถในการละลาย(Solubility) และประจุทางไฟฟ้า (Electric charge) ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้จะมีอิทธิพลในการแยกโปรตีนออกมาจากน้ำเสีย

Nettli(1982) อ้างถึงใน สุทธวัฒน์ เบญจกุล(2534) ได้ทำการพัฒนากระบวนการในการนำกลับโปรตีนจากน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมเนื้อซึ่งได้ทำการทดลองการตกตะกอนโปรตีนในกรดลิกโนซัลโฟนิก(Lignosulphonic acid) ที่พีเอชประมาณ 3 โปรตีนจะตกตะกอนและแยกชั้นออกมาซึ่งสลัดจ์ที่ได้จะประกอบไปด้วยโปรตีน 45-70 %

Anantrasakul,P.(1989) รายงานว่าการตกตะกอนและแยกโปรตีนออกจากน้ำเสียนั้นสามารถทำได้ 4 วิธีด้วยกันคือ การทำให้เป็นไอ การทำไดอะไลซีส การทำอุลตร้าฟิวเตชั่นและการตกตะกอนทางเคมี ซึ่งการเลือกใช้แต่ละวิธีก็ขึ้นอยู่กับความเร็วการตกตะกอน ประสิทธิภาพและต้นทุนที่เหมาะสม ซึ่งในการศึกษาวิจัยของเพ็ญศิริ อนันทสกุลนั้นจะเน้นถึงการแยกและตกตะกอนโปรตีนจากน้ำเสียของอุตสาหกรรมทำวุ้นเส้นถั่วเขียวโดยการใช้วิธี อุลตร้าฟิวเตชั่น

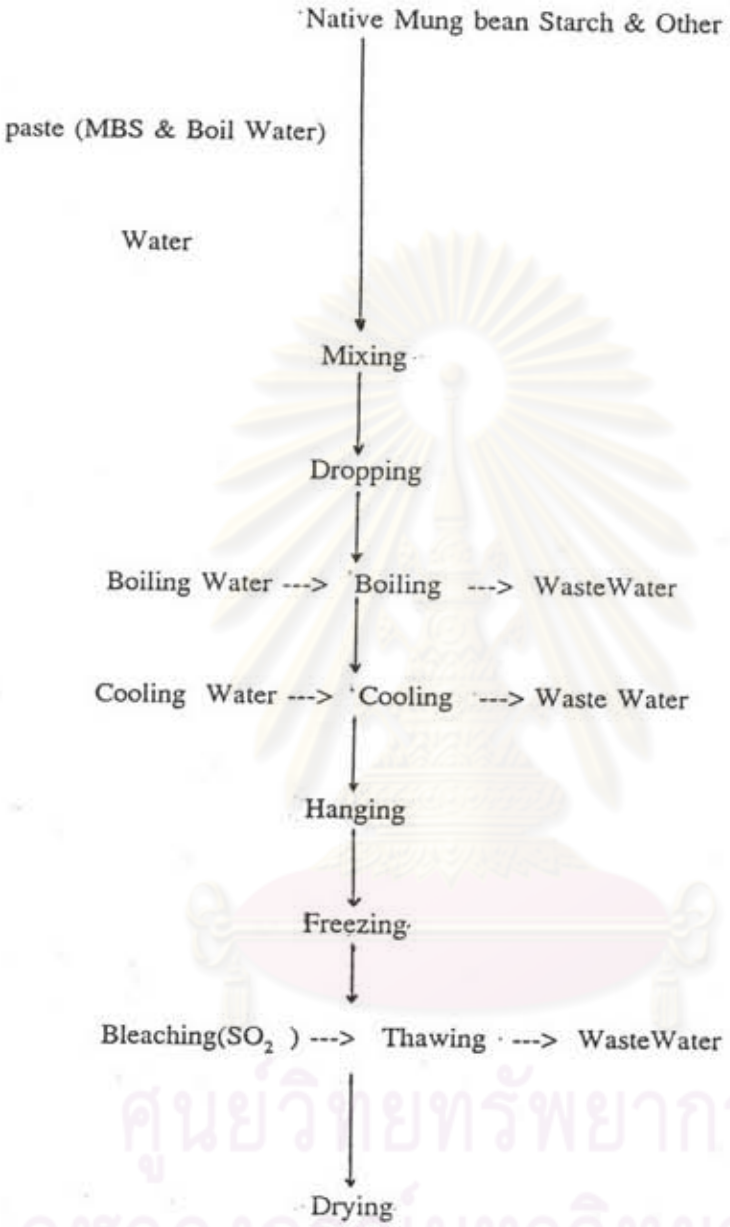
Yohe and Poehlman(1972) อ้างถึงใน สุทธวัฒน์ เบญจกุล(2534) ได้เริ่มศึกษาถึงปริมาณของโปรตีนที่อยู่ในถั่วเขียว เพื่อพิจารณาอย่างคร่าวๆว่ามีความเหมาะสมหรือไม่ที่จะศึกษาต่อไป โดยพบว่าถั่วเขียวจะประกอบไปด้วยโปรตีนถึง 19.1-28.3 % โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับชนิดและแหล่งของถั่วเขียวด้วย โดยกรดอะมิโนหลักที่สำคัญได้แก่ ไลซีน (Lysine)หรือกรดอะมิโนที่ประกอบไปด้วยซัลเฟอร์ (Sulfer-containingamino acid)

3.3.4 น้ำเสียจากโรงงานผลิตวุ้นเส้นจากถั่วเขียว

วัตถุดิบสำคัญที่ใช้ในการทำวุ้นเส้นคือแป้งถั่วเขียว แต่เป็นแป้งถั่วเขียวที่ได้ทำการล้างเอาสารโปรตีนออกไปหมดแล้ว ทำให้เหลือแต่เนื้อแป้งล้วนๆเรียกแป้งนี้ว่า สตาร์ช ซึ่งจะทำให้วุ้นเส้นมีคุณภาพดี แต่ถ้าล้างแป้งไม่ดียังมีโปรตีนเหลืออยู่มากจะทำให้วุ้นเส้นที่ได้มีเส้นขุ่นไม่ใสและขาดง่าย ดังนั้นในอุตสาหกรรมการผลิตวุ้นเส้นจึงมีน้ำล้างแป้งถั่วเขียวเป็นของเหลือทิ้งที่มีสารโปรตีนละลายอยู่ใน

ปริมาณมาก เมื่อโรงงานทิ้งน้ำส่วนนี้ทำให้เกิดปัญหากับสภาพแวดล้อมหรือไม่ก็ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการบำบัด ซึ่งถ้ามีการนำเอาน้ำทิ้งส่วนนี้มาสกัดเอาโปรตีนออกก่อนด้วยวิธีการตกตะกอน โดยนำน้ำล้างแป้งถั่วเขียวที่มีโปรตีนละลายอยู่แยกตัวตกตะกอนลงมาแล้วนำโปรตีนสดที่แยกได้ไปอบให้แห้งก็จะได้ผลิตภัณฑ์จากถั่วเขียวที่มีความเข้มข้นของโปรตีนสูงถึง 70 ถึง 75% นอกนั้นเป็นพวกคาร์โบไฮเดรต ไขมัน เส้นใย และ แร่ธาตุ กระบวนการผลิตวุ้นเส้นจากแป้งถั่วเขียวของโรงงานแห่งหนึ่งเริ่มจากการนำถั่วเขียว(Mung bean) มาทำความสะอาดด้วยตะแกรง(Cleaning) เป็นการกำจัดเปลือกถั่ว,เศษหิน,ฝุ่น หรือ ที่เรียกว่าการร่อนถั่ว แล้วเข้าสู่กระบวนการล้าง(Washing) ให้ถั่วเขียวให้ถั่วเขียวที่ผ่านCoase Screening มาแล้วให้สะอาดยิ่งขึ้น จากนั้นก็ทำการแช่ถั่ว(Soaking) เพื่อให้ถั่วเขียวนิ่ม หรือที่ชาวบ้านเรียกว่า การหน่ายถั่วซึ่งในขั้นตอนนี้จะใช้เวลา 10-12 ชั่วโมง ถั่วเขียวที่ผ่านการแช่จนนิ่มแล้วจะไปทำการโม่ถั่ว(Crushing) แล้วผ่านเครื่องแยกน้ำ(Decanter) เพื่อแยกน้ำกับแป้งถั่วเขียวออกจากกันโดยน้ำเสียจะกลายเป็นน้ำทิ้งโปรตีนที่เรียกว่า น้ำล้างแป้งถั่วเขียวที่นำมาใช้ทดลอง และในส่วนของแป้งก็จะไปสู่เครื่องแยกกาก(Extractor) ซึ่งจะแยกแป้งถั่วเขียวกับกากออกจากกัน แล้วไปเข้าสู่เครื่องแยกแบบสู่ศูนย์กลาง(Separator) แล้วเข้าเครื่องแยกน้ำออก(Dewatering)ก็จะเข้าเครื่องเป่าอากาศร้อนเพื่อทำให้แห้ง(Dryer) จากนั้นก็จะเข้าสู่กระบวนการผลิตวุ้นเส้น โดยแป้งที่ถูกทำให้แห้งและเป็นสารตั้งต้นจะ เรียกว่า Native Mung bean Starch จะเติมสารเคมี(Reagent) เพื่อปรับคุณสมบัติทางเคมี แล้วผ่านเครื่องทำเป็นเส้น(Dropping) แล้วเข้าสู่เครื่องเป่าร้อน(Boiling) และ ลดความร้อน(Cooling) ซึ่งจะเกิดน้ำเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการและล้างวุ้นเส้น ซึ่งเรียกว่า น้ำล้างวุ้นเส้น เป็นอีกตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์เพื่อนำกลับโปรตีน แล้ววุ้นเส้นก็จะถูกนำมาแขวน(Hanging) แล้วทำการล้างอีกครั้ง (Thawing & Washing) กระบวนการผลิตวุ้นเส้นจากแป้งถั่วเขียวสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 3.4 และ 3.5 ตามลำดับ

โปรตีนที่สกัดได้จากน้ำทิ้งของโรงงานผลิตวุ้นเส้นจัดเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพดี มีกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายครบ โดยเฉพาะไลซีนจะมีอยู่มากและเป็นแหล่งโปรตีนที่มีราคาถูกดังนั้นจึงเหมาะที่จะใช้เป็นแหล่งโปรตีนในอุตสาหกรรมต่างๆนอกเหนือจากการใช้เป็นวัตถุดิบเสริมในอุตสาหกรรม



รูปที่ 3.5 แสดงกระบวนการผลิตวุ้นเส้นจากแป้งถั่วเขียว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อาหารสัตว์ เช่น มีการทดลองนำมาใช้ผลิตซีอิ๊วหมักและซีอิ๊วเคมี(ซอสปรุงรส) พบว่าได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี แต่การนำมาใช้เป็นส่วนผสมในอาหารของมนุษย์เรานั้น โปรตีนถั่วเขียวที่สกัดได้จะต้องมีความสะอาดปลอดภัยจากการปนเปื้อนของสารเคมีและจุลินทรีย์ที่เป็นอันตรายต่างๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับขั้นตอนต่างๆในกระบวนการผลิตว่ามีสุขลักษณะดีมากน้อยเพียงใด

บุญล้อม ติวยานนท์ (2518) รายงานว่าได้ทำการทดลองโดยนำน้ำทิ้งโรงงานผลิตวุ้นเส้น ที่มีค่า ความสกปรกในรูปซีโอดี (COD) โดยเฉลี่ยประมาณ 5600 มก./ล. และค่าบีโอดี (BOD) 1800 มก./ล. มาทำให้เจือจางด้วยน้ำกลั่นเป็น 1 ต่อ 2 ,1 ต่อ 4 ,1 ต่อ6 และ 1 ต่อ 12 นำน้ำที่เจือจางแล้วมาใส่โถแก้ว 4 ใบให้มีปริมาณเท่าๆกันทุกโถ นำโถแก้วทุกใบไปไว้กลางแจ้งเพื่อได้รับแสงแดดเพียงพอ และมีน้ำหล่อโถแก้วทุกใบเพื่อลดอัตราระเหยของน้ำในโถ พร้อมกันนี้ได้แบ่งตัวอย่างมาทำการวิเคราะห์หาค่าซีโอดี เมื่อครบ 3วัน 5วัน 7วัน 14วันและ 1เดือน ตามลำดับ ผลการทดลองปรากฏว่าในโถที่มีน้ำทิ้ง 1 ส่วนต่อน้ำกลั่น 2 ส่วนนั้น สาหร่ายจะเริ่มเฉาและตายภายใน 3 วัน ส่วนโถที่มีอัตราส่วนเจือจางสูงขึ้นไป สาหร่ายเจริญเติบโตได้ดีแต่จะมีแอลจี (Algae) เกิดขึ้นปะปนหลังจาก2 สัปดาห์เมื่อทดลองครบ 1 เดือน ผลปรากฏว่าค่าซีโอดี(COD) ในโถที่มีน้ำทิ้งโรงงานวุ้นเส้น 1 ส่วนต่อน้ำกลั่น 4 ส่วน ลดลงจากเดิมประมาณร้อยละ 80 ส่วนโถที่มีอัตราส่วนเจือจางสูงขึ้นไป ค่าซีโอดี (COD)ก็ลดลงประมาณเท่าๆกัน

Anantrasakul,P.(1989) ศึกษาลักษณะสมบัติน้ำเสียอุตสาหกรรมการผลิตวุ้นเส้นจากถั่วเขียวโดยวิธีอุลตราฟิวเตชั่นพบว่าประกอบด้วยโปรตีนร้อยละ 5.1-7.8ของแข็งทั้งหมดร้อยละ 9.6-10.6 และโปรตีนที่ได้มีน้ำหนักโมเลกุล ประมาณ 35,000 ถึง 52,000

3.4 กระบวนการโคแอกกูเลชั่น

โคแอกกูเลชั่น(Coagulation) คือ กระบวนการทำให้อนุภาคคอลลอยด์หลายๆโมเลกุลจับตัวกันซึ่งจะประกอบไปด้วย 2 กลไกดังนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1) การทำลายเสถียรภาพ (Destabilization)ของคอลลอยด์โดยลดแรงผลักระหว่างอนุภาค โดยคอลลอยด์นั้นถือว่ามีเสถียรภาพก็เมื่อสามารถดำรงสถานะแขวนลอยในน้ำได้โดยไม่ตกตะกอนภายในเวลาสั้นๆ เสถียรภาพของคอลลอยด์ขึ้นอยู่กับแรงดูดและแรงผลักระหว่างอนุภาคแรงผลักต้องสูงกว่าแรงดูด จึงจะทำให้คอลลอยด์มีเสถียรภาพ ถ้าแรงดูดมากกว่าแรงผลักอนุภาคคอลลอยด์จะสามารถจับกันเป็นก้อนฟลอค (Floc) ทำให้เสถียรภาพของคอลลอยด์หมดไปแรงดึงดูดระหว่างอนุภาคเรียกว่าแรงวันเดอร์วาวล์(Van Der Waal Force) ส่วนแรงผลักระหว่างอนุภาคเป็นผลจากประจุไฟฟ้าของอนุภาคคอลลอยด์ หรือซีตาโพเทนเชียล(ZetaPotential) การทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์สามารถกระทำโดยอาศัยกลไก 4 แบบ คือ

1.1) การลดความหนาของชั้นกระจาย(Diffuse Layer) กลไกนี้เป็นการทำลายเสถียรภาพของของคอลลอยด์โดยลดค่าซีตาโพเทนเชียล เนื่องจากการเพิ่มจำนวนไอออนที่มีประจุตรงกันข้ามกับประจุของอนุภาค ผลที่ได้ก็คือชั้นกระจายมีความหนาลดลงทำให้ซีตาโพเทนเชียลลดลงด้วย

1.2)การดูดติดผิวและทำลายประจุไฟฟ้า(Adsorption & Charge NeutraliZation)กลไกนี้เกิดขึ้นโดยการเติมสารเคมีที่มีประจุไฟฟ้าตรงข้ามกับประจุของอนุภาคคอลลอยด์ และสามารถดูดติดผิวของอนุภาคคอลลอยด์ได้

1.3)การจับอนุภาคคอลลอยด์ไว้ในผลึกสารประกอบที่สร้างขึ้น(Sweep Coagulation)กลไกนี้เกิดขึ้นโดยการเติมสารเคมีบางชนิดลงไปทำให้เกิดผลึกของสารประกอบซึ่งมีลักษณะเหนียวสามารถห่อหุ้มอนุภาคคอลลอยด์ได้ ทำให้ได้ผลึกที่มีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมากขึ้น กระบวนการโคแอกกูเลชั่นโดยใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนท์ในระบบผลิตน้ำประปาที่พบอยู่เสมอเป็นตัวอย่างของกลไกชนิดนี้

1.4) การใช้สารอินทรีย์โพลีเมอร์เป็นสะพานเชื่อม ระหว่างคอลลอยด์(Polymer Bridging) สารประกอบตามธรรมชาติหลายชนิด เช่น แป้ง ·ซลูโลส น้ำตาลบางชนิด และโปรตีนบางชนิดรวมทั้งสารอินทรีย์โพลีเมอร์ที่สังเคราะห์ขึ้นสามารถใช้เป็นโคแอกกูแลนท์ในการกำจัดคอลลอยด์ได้ สารเหล่านี้มักมีขนาดโมเลกุลใหญ่มาก ประจุไฟฟ้าประจำตัวอาจเป็นบวก ลบ หรือ ไม่มีประจุเลยก็ได้

1.5) การทำให้อนุภาคคอลลอยด์เคลื่อนที่มากระทบหรือสัมผัสกันให้มากที่สุด(Transport of Colloidal Particle) เมื่ออนุภาคถูกทำลายเสถียรภาพแล้ว การสร้างโอกาสสัมผัสระหว่างอนุภาคเกาะติดแน่นเป็นก้อนฟลอค

2.) ต้องทำให้อนุภาคคอลลอยด์ต่างๆเคลื่อนที่มากระทบหรือสัมผัสกันให้มากที่สุด (Transport of Colloidal Particles) เมื่ออนุภาคถูกทำลายเสถียรภาพแล้ว การสร้างโอกาสสัมผัสระหว่างอนุภาคย่อมเกิดขึ้นได้ง่ายกว่าเดิม สิ่งที่เป็นความต้องการอีกอย่างหนึ่งคือเมื่ออนุภาคต่างๆสัมผัสกันแล้วควรเกาะติดกันแน่นและหลุดน้อยที่สุด

ความสำคัญของขั้นตอนทั้งสองมีเท่าเทียมกันและต้องมีทั้งสองขั้น จึงจะเกิดโคแอกกูเลชั่นที่สมบูรณ์ การควบคุมกระบวนการโคแอกกูเลชั่นให้ได้ผลดี จะต้องควบคุมสภาวะต่างๆให้เหมาะสม ปัจจัยที่ต้องควบคุมได้แก่ ปริมาณและชนิดของสารโคแอกกูแลนท์ ระดับพีเอชของน้ำ ความเร็วเกรเดียนท์(G)และระยะเวลาในการกวนน้ำ อย่างไรก็ตามเนื่องจากความเร็วแกรเดียนท์และระยะเวลากวนน้ำมักกำหนดไว้ก่อนแล้วการควบคุมโคแอกกูเลชั่นจึงมุ่งหมายในการควบคุมปริมาณของโคแอกกูแลนท์ที่เหมาะสมและระดับพีเอชของน้ำเพื่อให้เกิดโคแอกกูเลชั่นที่ดีที่สุด การควบคุมสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเกิดโคแอกกูเลชั่นสามารถกระทำได้ 2 วิธี คือ โดยวิธีจาร์เทสต์(Jar Test) และโดยวิธีวัดศักย์ไฟฟ้าซีตาโพเทนเชียล(Zeta Potential)

กระบวนการโคแอกกูเลชั่นจะมีขั้นตอนการทำงานอย่างน้อยสองขั้นตอน คือ

1)การกวนเร็ว(Rapid Mixing) มีหน้าที่ในการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์โดยการเติมสารโคแอกกูแลนท์ภายใต้สภาพน้ำที่มีความปั่นป่วนรุนแรง

2) การกวนช้า(Slow Mixing) เป็นการทำให้อนุภาคคอลลอยด์ที่ถูกทำลายเสถียรภาพแล้วมีโอกาสสัมผัสและรวมตัวกันจนมีขนาดใหญ่เพียงพอที่จะตกตะกอนได้ง่ายขึ้นโดยอนุภาคความขุ่นจะเคลื่อนที่ไปกับน้ำที่มีการกวนด้วยความเร็วที่แตกต่างกันจึงทำให้เกิดการชนและรวมตัวกันในที่สุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.5 ไคตินและไคโตแซน

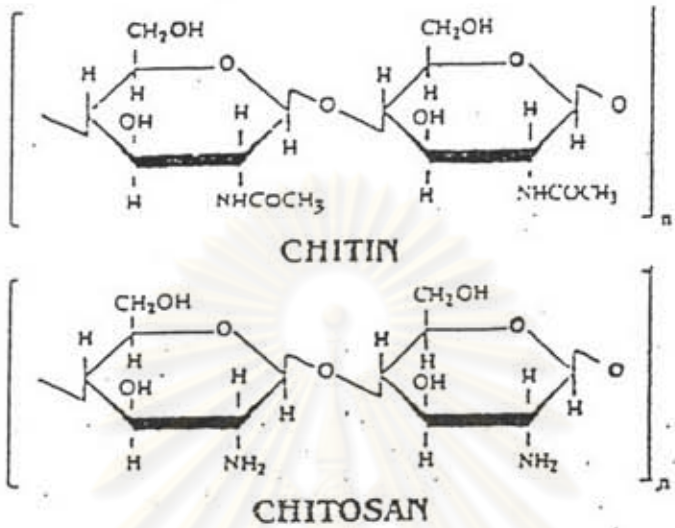
ไคตินและไคโตแซนจัดอยู่ในหมวดของโพลิเมอร์ชีวภาพซึ่งเป็นกลุ่มเดียวกับพวกเซลลูโลสซึ่งมีอยู่มากมาย มีการศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับโพลิเมอร์ชีวภาพชนิดนี้มานานแล้วแต่ยังไม่มีความแพร่หลายในการนำมาประยุกต์ใช้งานเท่าที่ควร ทั้งนี้อาจเป็นเพราะมนุษย์ได้รู้จักการใช้ประโยชน์จากเซลลูโลสมานานก่อนหน้านี้แล้วแม้ไคตินและไคโตแซนจะเป็นโพลิเมอร์ชีวภาพในกลุ่มเดียวกันก็ตามคือคาร์โบไฮเดรต แต่มีคุณสมบัติทางเคมีที่ต่างกันในส่วนขององค์ประกอบ ซึ่งทำให้ไคตินและไคโตแซนมีคุณสมบัติทางเคมี และกายภาพที่คล้ายกันและแตกต่างกันจากเซลลูโลส

ไคตินได้ถูกบรรยายและพูดถึงเป็นครั้งแรกโดยBraconnotผู้ซึ่งเป็นศาสตราจารย์ในด้านประวัติศาสตร์ธรรมชาติ(Natural History) โดย Braconnot ได้พบไคตินในส่วนที่เหลือจากการสกัดราและให้ชื่อว่า "fugine" ซึ่งในเวลาต่อมาได้มีผู้แยกสารจากส่วน elytraของแมลงและให้ชื่อว่า "Chitine" หรือ "Chitin" และพบว่าสารนี้เป็นรูปแบบหนึ่งของเซลลูโลสและไม่พบไนโตรเจน ต่อมา Lassaign และ Payen ได้ตรวจพบไนโตรเจนในไคติน และได้ไฮโดรไลซ์ไคตินจากสัตว์ขาปล้อง (Artropod) ได้ผลึกของกลูโคซามีนและกรดอะซิติก

ไคตินที่อยู่ในผนังเซลของพวก เห็ด รา จะประกอบไปด้วยองค์ประกอบของโพลิแซคคาไรด์ในขณะที่ไคตินที่สกัดได้จากสัตว์จะอยู่ในรูปของโปรตีน

ไคตินเป็นโพลิเมอร์ของกลูโคสซึ่งเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก(glycosidic) ชนิด -1,4 เกิดเป็นโครงสร้างของโมเลกุลที่มีลักษณะเป็นเส้นตรงยาวเช่นเดียวกับเซลลูโลส แต่ตำแหน่งของคาร์บอนตัวที่ 2 จับกับกลุ่มอะซิติลเอมีน (-$NHCOCH_3$)ดังนั้น ไคตินจึงเป็นโพลิเมอร์ของ N-acetyl-2-amino-2-deoxy-D-glucopyranoseหรือ N-acetyl-glucosamine (Conrad,1965) ดังรูปที่ 3.6

ส่วนไคโตแซน(Chitosan) ได้ถูกค้นพบโดยRouget เขาได้พบว่าไคตินที่ซึ่งอยู่ในสารละลายโปรตัสเซียมไฮดรอกไซด์ที่เดือดจะกลายมาเป็นสารละลายในรูปของกรดอินทรีย์ไคโตแซน(Chitosan) เป็นสารโพลิเมอร์ประจุบวกซึ่งเป็นอนุพันธ์ของไคตินที่เกิดจากการแยกหมู่อะซิติล(Deacetylation)ออกจากไคตินเกิดเป็นหมู่อะมิโนอิสระที่สามารถรับโปรตอนและทำให้โพลิเมอร์ที่ได้มีประจุรวมเป็นบวกด้วยเหตุนี้ไคโตแซนจึงมีคุณสมบัติที่ละลายได้ในสารละลายหลายชนิด ซึ่งมีพีเอชในช่วงที่เป็นกรดต่ำกว่า 5.5 และทำให้การใช้ประโยชน์ของไคโตแซนสูงกว่าของไคติน



รูปที่ 3.6 แสดงพันธะเคมีของไคตินและไคโตแซน (สุทธวัฒน์ เบญจกุล,2534)

3.5.1 คุณสมบัติของไคตินและไคโตแซน

ไคตินบริสุทธิ์จะมีสีขาวไม่ละลายน้ำ กรดอ่อน ด่างอ่อน ด่างแก่ และตัวทำละลายอินทรีย์ส่วนใหญ่ แต่ละลายในกรดฟอร์มิกบริสุทธิ์ สารละลายไฮโปคลอไรด์และกรดแร่เข้มข้น นอกจากนี้ยังพบว่าสารละลาย N,N-dimethylacetamide (DMAC)-5% LiCL และ N-metyl-2-pyrrolidone(NMP)-5% LiCL สามารถละลายไคตินโดยไม่มีผลทำลายโครงสร้างของไคติน ไคโตแซนสามารถละลายได้ในสารละลายหลายชนิด ได้แก่ สารละลายกรดอินทรีย์เจือจาง เช่น กรดฟอร์มิก กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดออกซาลิก กรดมาโลนิก กรดซัคซินิก กรดอะดิพิก กรดแลคติก กรดไพรูวิก กรดมาลิก กรดทาร์ทาริก และกรดซิตริก นอกจากนี้สามารถละลายในกรดไนตริก กรดไฮโปคลอริกเจือจางและกรดเปอร์คลอ

ริก และละลายได้เล็กน้อยในกรดฟอสฟอริก แต่ไม่ละลายในกรดซัลฟูริก ไคโตแซนไม่ละลายน้ำ แต่สามารถละลายได้ในรูปเกลือของกรดหลายชนิด ยกเว้นเกลือซัลเฟตและเกลือซัลไฟท์ ไคโตแซนไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ทั่วไปแต่ละลายในสารพอลิออลที่มีสภาพเป็นกรด เช่น ละลายในส่วนผสมระหว่างกลีเซอรอลและน้ำ (3:1) ที่มีกรดอะซิติกเข้มข้นร้อยละ 1.0 คุณสมบัติอีกประการหนึ่งของสารละลายไคโตแซน คือ ความหนืดซึ่งจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นกับปัจจัยหลายประการ เช่น น้ำหนักและโครงสร้างของโมเลกุล อัตราส่วนความเข้มข้นระหว่างไคโตแซนและกรด เป็นต้น

3.5.2 <u>การผลิตไคตินและไคโตแซนทางเคมี</u>

1) แหล่งวัตถุดิบ

Knorr(1984) อ้างถึงใน สุทธวัฒน์ เบญจกุล(2534) รายงานว่าไคตินเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเปลือกนอกและกระดองของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง โดยเฉพาะในสัตว์ขาปล้องซึ่งมีไคตินเป็นองค์ประกอบในส่วนเคลือบผิว(Cuticle)ถึงร้อยละ80 และเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของผนังเซลของรา และอาจพบรวมกันกับเซลลูโลสในผนังเซลของพืช ปริมาณไคตินจะแตกต่างไปตามชนิดของสิ่งมีชีวิต

วัตถุดิบที่นิยมใช้ในการผลิตไคตินและไคโตแซนในทางอุตสาหกรรม คือ เปลือกของสัตว์จำพวกกุ้ง (Crustacean) เช่น กุ้ง ปู กั้ง ปริมาณไคตินที่พบแตกต่างตามชนิดของวัตถุดิบเมื่อเทียบจากน้ำหนักแห้งโดยวัสดุเหลือใช้จากเคยมีไคตินร้อยละ 24 ในเศษกุ้งและปูในช่วงร้อยละ 14-27 และ 13-15ตามลำดับ และมีไคตินในเปลือกกั้งร้อยละ 23.5

นอกจากไคตินแล้วเปลือกของสัตว์จำพวกกุ้งยังประกอบด้วยองค์ประกอบที่สำคัญ 2 ชนิด คือ โปรตีนและแคลเซียมคาร์บอเนต โปรตีนนั้นเป็นองค์ประกอบที่ก่อให้เกิดการเน่าเสียของเปลือกกุ้งสด อันเป็นผลจากจุลินทรีย์และเอนไซม์จากเปลือกกุ้งการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโปรตีนจากสาเหตุดังกล่าวมีผลทำให้สูญเสียคุณสมบัติการตกตะกอนของโปรตีนที่จุดไอโซอิเลคทริก นอกจากนี้ยังมีผลต่อการสูญเสียหมู่เอมีน (Deamination) ในไคตินทำให้ไคโตแซนที่ได้มีโมเลกุล เล็กลงและสูญเสียคุณสมบัติการละลาย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2) การเตรียมวัตถุดิบ

ไคตินอาจสกัดจากเปลือกกุ้งสดหรือเปลือกกุ้งที่ผ่านการตากแห้งและบด แต่วัตถุดิบที่นำมาใช้ควรผ่านการทำความสะอาดเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกต่างๆที่ปะปนมา จากการศึกษาของBough (1978) อ้างถึงใน สุทธวัฒน์ เบญจกุล(2534)ได้เตรียมเปลือกกุ้งสำหรับผลิตไคโตแซน โดยอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เวลา 20 ชั่วโมง แล้วบดให้ละเอียดมีขนาด1.0 ม.ม.

3) การกำจัดโปรตีน (Deproteinization)

ไคตินมักอยู่รวมกับโปรตีนโดยการจับกันอย่างหลวมๆ เช่นพันธะไฮโดรเจนหรือจับกันด้วยพันธะโควาเลนท์ โดยกลูโคซามีนในไคตินจับกับหมู่แอสปาติล และหมู่ฮิสติดิลของโปรตีน เกิดเป็นสารประกอบไกลโคโปรตีน อัตราส่วนระหว่างไคตินและโปรตีนแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบ ไปตั้งแต่ 1:1 ถึง20:1 ปริมาณไคตินและโปรตีนในเปลือกของสัตว์จำพวกกุ้ง แสดงในตารางที่3.2 เนื่องจากความแตกต่างของโครงสร้างและองค์ประกอบเป็นเหตุให้ความยาก ง่าย ต่อการกำจัดโปรตีนแตกต่างกันออกไป

การกำจัดโปรตีนอาจกระทำก่อนหรือหลังการกำจัดแร่ธาตุ ทั้งนี้ขึ้นกับวัตถุประสงค์และผลพลอยได้ ถ้าต้องการโปรตีนเพื่อนำไปใช้ประโยชน์อื่นต่อไป ก็ควรกำจัดโปรตีนก่อนเพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากสารละลายในการกำจัดแร่ธาตุ และสามารถควบคุมปริมาณด่างในวัตถุดิบได้อย่างแน่นอน คุณภาพโปรตีนที่ได้จึงสูงสุดทั้งด้านปริมาณและคุณภาพ

ตารางที่ 3.2 ร้อยละน้ำหนักแห้งของปริมาณไคตินและโปรตีนในเปลือกของสัตว์จำพวกปูและกุ้ง บางชนิด

Organism	Chitin	Total Protein	Co-valently bound protein	Ratio of Chitin to bound protein
Blue crab	14.9	16.4	5.3	2.8 to 1.0
Stone	18.1	15.4	5.7	3.2 to 1.0
Red crab	27.6	12.3	3.1	9.0 to 1.0
Brine Shimp	27.2	34.9	16.0	1.7 to 1.0
Horseshoe crab	26.4	73.4	27.9	0.9 to 1.0

ที่มา : สุทธวัฒน์ เบญจกุล (2534)

การแช่เปลือกของสัตว์จำพวกกุ้งด้วยสารละลายฟอร์มาลีนในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่เป็นกลางและทำให้อิ่มตัวด้วย Disodium EDTA เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง สามารถกำจัดโปรตีนที่จับอยู่กับเกลือและโปรตีนที่จับกับไคตินอย่างหลวมๆ นอกจากนี้อาจใช้น้ำอุ่นหรือสารละลายโซเดียมซัลเฟตเข้มข้น 0.15 นอร์มอล

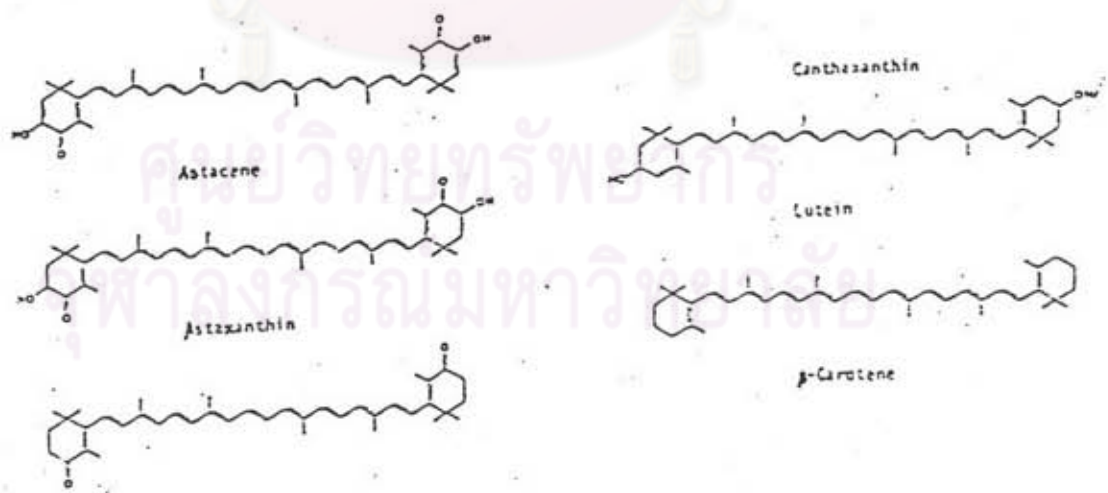
4) การกำจัดแร่ธาตุ (Demineralization)

โดยทั่วไปเปลือกของสัตว์จำพวกกุ้งมีแร่ธาตุร้อยละ 30-50 ขึ้นอยู่กับชนิดและปัจจัยอื่น แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นองค์ประกอบหลักของสารอนินทรีย์ในเปลือก แต่อาจมีแคลเซียมฟอสเฟตในปริมาณร้อยละ 8-10 ของปริมาณสารอนินทรีย์ทั้งหมด

การกำจัดแร่ธาตุอาจกระทำก่อนหรือหลังการกำจัดโปรตีน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์และผลพลอยได้ การกำจัดแร่ธาตุส่วนใหญ่นิยมใช้กรดเจือจาง เช่น กรดไฮโดรคลอริกและกรดซัลฟูริก ซึ่งจะละลายแคลเซียมคาร์บอเนตให้อยู่ในรูปแคลเซียมคลอไรด์ และเหลือไคตินซึ่งไม่ละลาย ปริมาณกรดและสภาวะต่างๆในการกำจัดแร่ธาตุขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบและปัจจัยอื่นๆ

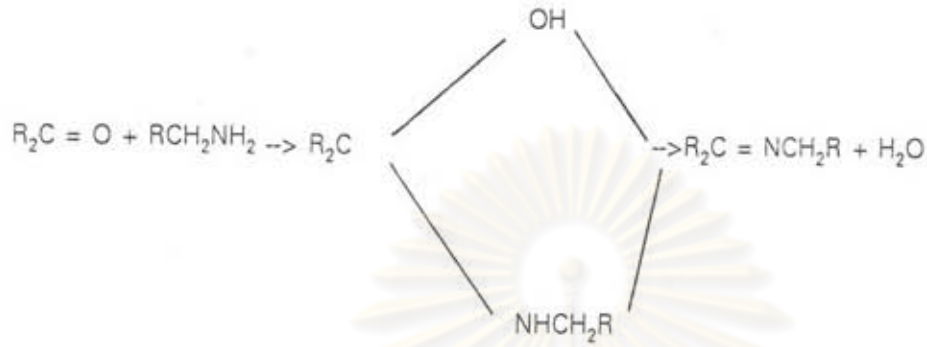
5) การฟอกสีสารประกอบไคติน

เนื่องจากในเปลือกสัตว์จำพวกกุ้งมีรงควัตถุพวกคาโรทีนอยด์ เช่น astacene,astaxanthin,canthaxanthin,lutein และ beta-carotene ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แสดงโครงสร้างรงควัตถุในเปลือกของสัตว์จำพวกกุ้ง(สุทธวัฒน์ เบญจกุล,2534)

ซึ่งรงควัตถุเหล่านี้อาจจับกับหมู่อะมิโนของไคตินด้วยพันธะคาร์โบนิลอะมิโนทำให้ผลิตผลมีสีแตกต่างกันออกไป ดังสมการ



สมการแสดงการจับกันระหว่างรงควัตถุกับหมู่อะมิโนด้วยพันธะคาร์โบนิลอะมิโน

เพื่อเพิ่มการยอมรับในผลิตภัณฑ์จึงควรฟอกสีไคตินโดยใช้สารเคมีที่มีคุณสมบัติฟอกสี เช่น อะซีโตนไฮโปคลอไรด์ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และเอทธิลอะซิเตท

6) การกำจัดหมู่อะซิติล (Deacetylation)

เนื่องจากคาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ของไคตินประกอบด้วยกลุ่มอะซิติลเอมีน (-NHCOCH3) โดยหมู่อะซิติลจับกับเอมีนเพื่อให้ได้สารไคโตแซนจำเป็นต้องกำจัดหมู่อะซิติลออกโดยใช้สารละลายด่างที่เข้มข้นและอุณหภูมิสูง ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างของไคตินค่อนข้างแข็งแรง ความเข้มข้นด่างที่ใช้ในการกำจัดหมู่อะซิติลจากสารไคติน โดยทั่วไปอยู่ในช่วงร้อยละ 40-55

การผลิตไคโตแซนโดยวิธีเทอร์โม-แมคาโน-เคมีคอลทรีตเมนต์(Thermo-Mechano-Chemical Treatment) เป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถผลิตไคโตแซนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถควบคุมการกำจัดหมู่อะซิติลออกจากโครงสร้างไคติน และประการสำคัญคือ สามารถประหยัดสารละลายด่างและระยะเวลาได้มากกว่าวิธีการผลิตทางเคมีแบบเดิม โดยแช่ไคตินปริมาณร้อยละ 20 (น.น./ปริมาตร) ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 50(น.น/ปริมาตร) ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา24 ชั่วโมง แยกไคตินโดยการเหวี่ยง แล้วแช่ไคตินในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 10(น.น/ปริมาตร) โดยให้มีปริมาณไค้ตินในสารละลายเท่ากับร้อยละ 5 ให้ความร้อนกับของผสม

อย่างรวดเร็วด้วยหม้อนึ่งไอน้ำจนมีอุณหภูมิเท่ากับ 210 ถึง 230 องศาเซลเซียส จับเวลา 90 วินาที ปล่อยก๊าซไนโตรเจน(13.8 มิลลิปาสคาล)ลงในหม้อนึ่งไอน้ำ หลังจากนั้นแยกสารไคโตแซนจากสารละลายด่างโดยการเหวี่ยง แล้วล้างให้เป็นกลางด้วยน้ำที่ปราศจากอิออน จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการกำจัดหมู่อะซิติล พบว่า การใช้อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส สามารถกำจัดหมู่อะซิติลได้เกือบสมบูรณ์ (มากกว่าร้อยละ98) ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและระยะเวลาในการกำจัดหมู่อะซิติล สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.8

7) ปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติไคโตแซน

น้ำหนักโมเลกุลเป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดคุณสมบัติของไคโตแซน ซึ่งมีความสัมพันธ์กับความหนืดตามสมการของ Staudinger

$\log[\eta] = \log K + a \log MW$

a,K คือ ค่าคงที่ : a = 0.71; $K=8.93*10^{-4}$ สำหรับไคตินหรือไคโตแซน

$[\eta]$ คือ Intrinsic viscosity

MW คือ น้ำหนักโมเลกุล

ปกติไคโตแซนในทางการค้ามีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 10,000-1,000,000 ดัลตันโดยมีอัตราการกำจัดหมู่อะซิติลตั้งแต่ร้อยละ 70-90

คุณสมบัติของไคโตแซนขึ้นอยู่กับปัจจัยดังต่อไปนี้

1.) ขนาดของวัตถุดิบ

Bough และคณะ(1978) อ้างถึงใน สุทธวัฒน์ เบญจกุล(2534) ได้ใช้เปลือกกุ้งบดขนาด 1 , 2 และ 6.4 ม.ม. เพื่อผลิตไคโตแซนพบว่า เปลือกขนาดเล็กให้ไคโตแซนที่มีความหนืดและน้ำหนักโมเลกุลสูงสุด (ตารางที่ 3.3)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.3 ผลของขนาดเปลือกกุ้งต่อคุณสมบัติของไคโตแซน*

ขนาดเปลือกกุ้ง (มม.)	ไนโตรเจน (ร้อยละ)	เถ้า (ร้อยละ)	ความหนืด (เซนติพอยส์)	น้ำหนักโมเลกุล 1000 (ดัลตัน)
1	7.78	0.012	2449	1331
2	7.94	0.043	960	1285
6.4	7.84	0.011	313	1051

* ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 50(น.น/น.น.) อุณหภูมิ 145-150 องศาเซลเซียส เวลา 5 นาที ในสภาวะที่มีไนโตรเจน

ที่มา : Bough และคณะ(1978)

2.) สภาวะในการกำจัดแร่ธาตุ

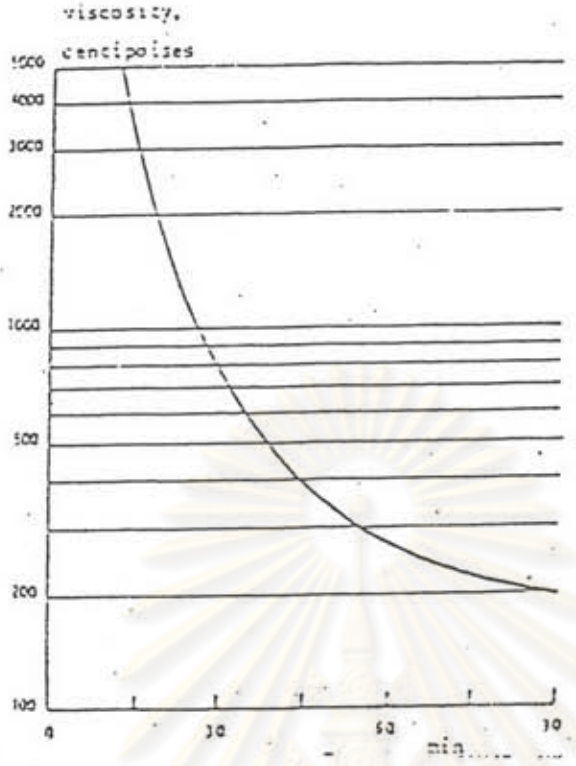
พบว่าการกำจัดแร่ธาตุมีผลโดยตรงต่อความหนืดของไคโตแซน การใช้กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นมากกว่า 1.25 นอร์มอล มีผลให้ความหนืดของไคโตแซนลดลง

3.) ระยะเวลาในการกำจัดหมู่อะซิติล

พบว่าความหนืดจะลดลงเมื่อระยะเวลาในการกำจัดหมู่อะซิติลเพิ่มขึ้น การใช้ระยะเวลา 30 นาทีจึงเพียงพอสำหรับการกำจัดหมู่อะซิติลและให้ไคโตแซนที่มีความหนืดสูง การกำจัดหมู่อะซิติลกระทำโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 50 ที่อุณหภูมิ 118 องศาเซลเซียส

Bough และคณะ(1978) อ้างถึงใน สุทธวัฒน์ เบญจกุล(2534) ศึกษาระยะเวลาในการกำจัดหมู่อะซิติล (5,15 นาที) โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 50 (น.น./น.น.) ที่อุณหภูมิ 145-150 องศาเซลเซียส พบว่า ระยะเวลาสั้นได้ไคโตแซนที่มีความหนืดและน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่าการใช้ระยะเวลานาน ดังแสดงในรูปที่ 3.8

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

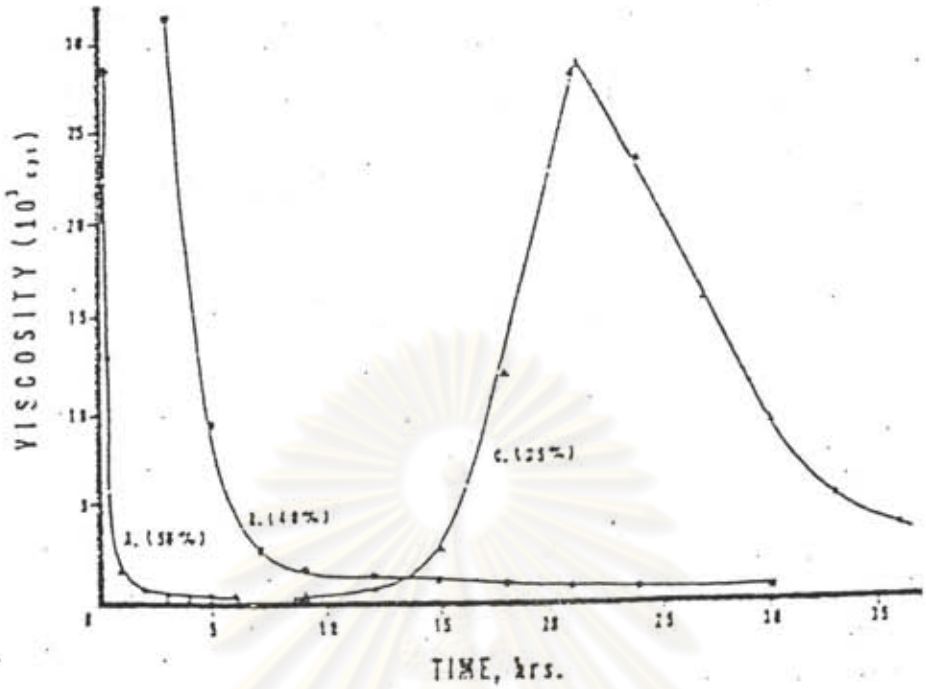


รูปที่ 3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและระยะเวลาในการกำจัดหมู่อะซิติล
(สุทธวัฒน์ เบญจกุล,2534)

4.) ความเข้มข้นด่าง

ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 34 45 และ 50 ตามลำดับ และระยะเวลาในการกำจัดหมู่อะซิติลที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสพบว่า ที่ระดับความเข้มข้นด่างสูงเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นมีผลให้ความหนืดลดลงทั้งระดับความเข้มข้น ร้อยละ 40และ 50 สำหรับความเข้มข้นร้อยละ 35 นั้น ความหนืดเพิ่มขึ้นสูงสุดที่ระยะเวลา 21 ชั่วโมง แล้วจึงลดลงดังรูปที่ 3.9

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด ความเข้มข้นด่าง และระยะเวลาในการกำจัดหมู่อะซิติล (สุทธวัฒน์ เบญจกุล,2534)

5.) สภาพบรรยากาศ

การกำจัดหมู่อะซิติลในสภาพบรรยากาศที่ไม่มีออกซิเจนจะได้ไคโตแซนที่มีความหนืดสูงกว่าการกำจัดหมู่อะซิติลในสภาพที่มีออกซิเจน และไคโตแซนที่ผลิตในสภาวะที่มีออกซิเจนให้ความหนืดและน้ำหนักโมเลกุลที่ต่ำกว่าสภาวะที่ใช้ไนโตรเจนการป้องกันการลดลงของน้ำหนักโมเลกุลในระหว่างการกำจัดหมู่อะซิติลสามารถทำได้โดยการเติมสารไฮโอฟีนอลเพื่อจับกับออกซิเจน นอกจากนี้มีการพ่นก๊าซไนโตรเจนในระหว่างการกำจัดหมู่อะซิติล

6.) การฟอกสี

การฟอกสีโดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้นร้อยละ 0.5 มีผลต่อการลดความหนืดของไคโตแซนในสารละลายกรดอะซิติก (เข้มข้นร้อยละ 2) นอกจากนั้นขั้นตอนการฟอกสีมีผลต่อความหนืด กล่าวคือความหนืดของไคโตแซนที่ได้จากกระบวนการผลิตที่ไม่ฟอกสี ฟอกสีหลังกำจัดแร่ธาตุ ฟอกสีหลังกำจัดโปรตีน และฟอกสีหลังการกำจัดหมู่อะซิติลมีค่า 2.0230,1.3560,0.8790 และ 0.0121 พอยส์ตามลำดับ

3.5.3 การผลิตไคตินและไคโตแซนทางชีวภาพ

เนื่องจากเปลือกของสัตว์จำพวกกุ้งอาจมีไม่เพียงพอสำหรับการผลิตไคตินและไคโตแซนทางเคมี ตลอดจนต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงในการผลิต จึงมีการศึกษาการผลิตไคโตแซนโดยจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ

1) จุลินทรีย์และการเลี้ยงจุลินทรีย์ที่เป็นแหล่งของไคโตแซน

ราจำพวก Mucorales มีไคโตแซนเป็นองค์ประกอบของผนังเซล จุลินทรีย์พวกนี้สามารถเจริญในแหล่งอาหารราคาถูกได้และสามารถแยกไคโตแซนจากผนังเซลได้ง่ายโดยวิธีทางเคมี จากการศึกษาปริมาณไคโตแซนในราจำพวก Mucorales จำนวน 125 สายพันธุ์ พบว่ามีค่า 65-900 มก./ลิตร ส่วนไคโตแซนในราจำพวก Rhizopus จำนวน 32 สายพันธุ์ มีค่า 330-645 มก./ลิตร

จากการศึกษาโดยการเลี้ยง Absida coerulea ในอาหารที่มีแหล่งคาร์บอน เช่น กลูโคสหรือ โมแลส เกลือแอมโมเนียม ยีสต์สกัด และแร่ธาตุอื่นๆที่จำเป็นต่อการเจริญ โดยควบคุมพีเอชให้เท่ากับ 4.5 เซลล์ของจุลินทรีย์ชนิดนี้มีลักษณะคล้ายเมล็ดข้าวจึงสะดวกต่อการเก็บเกี่ยว และ การล้างเซลล์ การเก็บเกี่ยวเซลล์ ควรกระทำก่อนช่วงที่มีการเจริญอย่างเต็มที่ (36 ชั่วโมง)เพราะมิฉะนั้นจะต้องใช้กรดเข้มข้นสูงในการย่อยให้ได้ไคโตแซน ซึ่งสภาวะที่มีกรดสูงนั้นจะมีผลต่อการไฮโดรไลซ์ไคโตแซนและได้เลี้ยงRhizopus oryzae ในอาหารที่มีข้าวโพดเป็นองค์ประกอบและในอาหารที่มีข้าวเป็นองค์ประกอบ เป็นเวลา 72 ชั่วโมง พบว่าให้ปริมาณไคโตแซนสูงสุดคือ 406 และ 700 มก./ลิตร ในอาหารสูตรข้าวโพด และอาหารสูตรข้าวตามลำดับ

2) การผลิตไคโตแซนจากจุลินทรีย์

เนื่องจากในเซลของจุลินทรีย์มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบซึ่งจำเป็นต้องกำจัดโปรตีนออกโดยต้มเซลล์ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 2.0 เป็นเวลา 1 ชั่วโมงและยังได้กำจัดโปรตีนโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ2.0 อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เวลา 15 นาที นอกจากโปรตีนแล้วยังมีองค์ประกอบต่างๆภายในเซล เช่น ไตรโอเลอีน สารประกอบไกลโคไซด์ และ เกลือโซเดียมของกรดโอเลอิกและกรดไขมันชนิดอื่นการกำจัดสารไตรโอเลอีน และสารประกอบไกลโคไซด์นั้น นิยมใช้อะซีโตนร่วมกับความร้อนส่วนเกลือของกรดไขมันพบน้อยมาก เซลที่จะนำมาสกัดไคโตแซนควรมีความบริสุทธิ์เพียงพอ

เซลที่ผ่านการกำจัดองค์ประกอบต่างๆแล้ว จะนำมาสกัดไคโตแซนโดยใช้กรดในสภาวะที่เหมาะสม ละลายเซลในกรดอะซิติก แล้วตกตะกอนไคโตแซน ซึ่งเป็นส่วนที่ละลายในกรดโดยปรับพีเอชให้มีค่า 8.5 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

3.5.4 การใช้ประโยชน์จากไคตินและไคโตแซน

จากข้อมูลของ FAO ในปี 1987 ว่าสัตว์พวกกุ้งที่จับได้มีประมาณ 3.69 ล้านตันประมาณการว่ามีไคตินร้อยละ 1.0 ของน้ำหนักสด ดังนั้นจึงผลิตไคตินได้ประมาณ 36,700 ตัน/ปี ไคตินและไคโตแซน มีแหล่งผลิตที่สำคัญคือ ประเทศญี่ปุ่น และ สหรัฐอเมริกา นอกจากนี้มีการผลิตในประเทศอินเดีย อิตาลี โปแลนด์ ส่วนประเทศบราซิล คิวบา ไอร์แลนด์ นอร์เวย์ อุรุกวัย และรัสเซีย มีการผลิตในปริมาณที่น้อย

ปัจจุบันความก้าวหน้าและความแพร่หลายในการศึกษาเกี่ยวกับไคโตแซนเพื่อประโยชน์ในทางปฏิบัติจริงๆยังไม่กว้างขวางนักแต่เนื่องจากไคตินและอนุพันธุ์มีศักยภาพในการใช้ประโยชน์สูงจึงมีการใช้โพลิเมอร์ชนิดนี้ใน 200 กว่าสายงานในสาขาต่างๆ พอจะแบ่งกลุ่มได้ดังนี้

1.) ด้านการเกษตร

การใช้ประโยชน์จากไคตินทางด้านการเกษตรเป็นไปในหลายแนวทางมาก เช่นการศึกษาการใช้ไคตินจับกับสารเคมีหรือยากำจัดโรคพืชชนิดต่างๆเพื่อทำหน้าที่เป็นตัวปลดปล่อยสารเหล่านั้น ซึ่งเป็นแนวทางการลดการสูญเสียสารเคมีและยากำจัดโรคพืชซึ่งใช้ในทางเกษตรกรรมได้ นอกจากนี้ใช้ไคตินเป็นส่วนผสมอาหารสำหรับเลี้ยงไก่โดยใช้ไคตินในรูปผลึกขนาดเล็ก(microcrystaline chitin;MCC)ร้อยละ 2 ผสมกับหางนมร้อยละ 20ในอาหารสำหรับเลี้ยงไก่ พบว่าหลังจาก 46 วันไก่ที่กินอาหารผสมที่มีไคตินและหางนมมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นมากที่สุด เมื่อเปรียบกับไก่ที่เลี้ยงด้วยอาหารปกติและอาหารที่มีการเติมหางนมหรือไคตินเพียงอย่างเดียว

2.) ด้านการแพทย์และเภสัชวิทยา

ได้สรุปงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์จากไคตินและไคโตแซนในด้านการแพทย์ และทางด้านเภสัชวิทยาดังต่อไปนี้ ใช้เป็นวัสดุเชื่อมหรือจัดกระดูก ใช้เป็นเลนส์สายตาเนื่องจากมีคุณสมบัติ

ยอมให้ออกซิเจนผ่านเข้าออกได้และไม่ก่อให้เกิดอาการแพ้ ใช้เป็นแคปซูลบรรจุยา อนุพันธุ์ของไคโตแซนบางชนิดใช้เป็นสารป้องกันการตกตะกอนของเลือดใช้เป็นตัวจับและตกตะกอนเซลมะเร็งเม็ดเลือดขาวใช้ผลิตเป็นผนังไตเทียม ใช้เป็นสารลดคลอเลสเตอรอลและใช้เป็นสารเชื่อมหรืออุดฟันในด้านทันตกรรม

3.) ด้านอุตสาหกรรมอาหาร

3.1) ใช้ในการผลิตและปรับปรุงคุณภาพอาหาร ที่สำคัญคือ กระบวนการทำแผ่นฟิลม์หรือเยื่อใย โดยการนำไคโตแซนละลายในกรดฟอร์มิก หรือกรดอะซิติกแล้วแช่ไว้ค้างคืนจนได้สารละลายที่มีความหนืด1,500-2,000 เซนติพอยส์ นำสารละลายดังกล่าวมาขึ้นรูปบนแผ่นพลาสติกชนิดโพลีเอทธิลีนหรือแผ่นแก้ว แล้วทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 35-40 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นแผ่แผ่นฟิลม์บนแผ่นโพลีเอทธิลีน หรือขึงแผ่นฟิลม์บนกรอบแล้วทำให้แห้งอีกครั้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสฟิลม์ที่ได้มีลักษณะใส เหนียว และ ยืดหยุ่น สามารถใช้ห่อหุ้มอาหารเนื่องจากรับประทานได้และทนอุณหภูมิสูง

นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติในการให้กลิ่น รส กับผลิตภัณฑ์อาหารอีกด้วยโดยที่อุณหภูมิสูง (305-900) ไคตินจะเปลี่ยนเป็นสารไพราซีน (Pyrazines) โดยผ่านกระบวนการไพโรไลซีส พบว่าที่อุณหภูมิสูงขึ้น ปริมาณและชนิดของไพราซีนเพิ่มขึ้น มีผลทำให้กลิ่นหอมหวานมากขึ้น (Knorr,1984;1986) อ้างถึงใน สุทธวัฒน์ เบญจกุล (2534)

3.2)ใช้กำจัดโลหะหนักและสารพิษ โลหะหนักเป็นพิษต่อร่างกายเมื่อได้รับในปริมาณมากเกินและอาจมีฤทธิ์สะสมก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ ดังนั้นจึงมีการใช้ไคตินและไคโตแซนในการกำจัดโลหะหนัก เช่น Cu^{++},Cr^{+++}, Ni^{++},Zn^{++},Fe^{+++} และ Mn^{++} นอกจากนี้ไคตินและไคโตแซนสามารถจับกับสารกำจัดแมลง เช่น DDT และสารปนเปื้อนในแหล่งน้ำ เช่น พลูโตเนียม เมทธิลเมอร์คิวรีอะซิเตท ซึ่งเกิดจากโรงงานผลิตอะเซทตัลดีไฮด์ ตลอดจนมีการใช้ไคโตแซนในการกำจัดปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์ในน้ำเสีย

3.3) ใช้เป็นสารตกตะกอนในการบำบัดน้ำเสีย มีการใช้สารที่มีประจุทั้งชนิดประจุบวกและประจุลบในการแก้ปัญหาน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งรวมถึงการลดปริมาณของแข็งทั้งหมดและการตกตะกอนโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตเพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอนได้มีการใช้เกลือบางชนิดร่วมด้วยไคโตแซนเป็นสารโมเลกุลยาวที่มีประจุบวกจึงมีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการเป็นสารช่วยตกตะกอนอีกชนิดหนึ่งที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลาย

4.) ด้านเทคโนโลยีชีวภาพ

กล่าวคือสามารถใช้ไคโตแซนตรึงเอนไซม์และกักเซลโดยไม่จำเป็นต้องใช้สารพวกไดหรือโพลีอัลดีไฮด์เป็นสะพานเชื่อมระหว่างเอนไซม์กับตัวค้ำจุน เนื่องจากไคโตแซนมีกลุ่มอะมิโนอิสระเพียงพอในการกักเก็บเอนไซม์ นอกจากนี้มีการใช้ไคโตแซนในการจับหรือกักเซล(Knorr,1984;1986) เช่น การกักเซลเลี้ยงลูกด้วยนมโดยใช้ไคโตแซน-คาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลส เพื่อผลิตโมโนโคลนอลแอนติบอดีสูงกว่าการใช้เซลอิสระ 1.5เท่า และนอกจากนี้แล้วยังมีการใช้ไคตินในการผลิตโปรตีนเซลเดียวอีกด้วย

5.) ด้านอื่นๆ

การใช้ประโยชน์ทั่วไปได้แก่ ในอุตสาหกรรมแก้วสามารถเพิ่มความเหนียวและประสิทธิภาพในการย้อมสีแก้ว ในอุตสาหกรรมการแปรรูปไม้ โดยนำไคตินบริสุทธิ์ละลายในกรดซัลฟูริคเข้มข้นร้อยละ70 ที่อุณหภูมิห้องแล้วปรับให้เป็นกลางด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 17 หลังจากนั้นเติมสารคาร์บอนไดซัลไฟด์ จะได้สารประกอบแซนเซท(Xanthate)ซึ่งมีสีน้ำตาลทองมีความเหนียวมากสามารถใช้เป็นวัสดุเชื่อมหรือกาวในอุตสาหกรรม ไม้แปรรูปไม้อัดและเฟอร์นิเจอร์ ไคตินใช้เป็นตัวดูดซับบนทินเลเยอร์โครมาโตกราฟี ซึ่งสามารถแยกส่วนผสมของฟีนอลกรดอะโน กรดนิวคลีอิก ตลอดจนอิออนของสารอนินทรีย์ได้ดีกว่าหรือเท่ากับการใช้เซลลูโลสในรูปผลึก ซิลิกาเจล และ โพลีเอไมด์ ส่วนไคโตแซนนั้นมีการใช้ประโยชน์ด้านโครมาโตกราฟีมากมาย

3.6 การนำกลับสารประกอบโปรตีนในน้ำทิ้งโดยวิธีการตกตะกอน

น้ำทิ้ง(Waste Water) ในที่นี้จะเน้นถึงน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต เช่น การล้างแป้งถั่วเขียว และการล้างวุ้นเส้น ซึ่งทำให้มีสารอินทรีย์และอนินทรีย์ถ่ายเทลงมาเจือปนอยู่ในน้ำ ได้มีผู้พยายามทำการศึกษาการนำกลับโปรตีนจากแหล่งผลิตโปรตีนตามธรรมชาติ เพื่อมาใช้ให้เกิดประโยชน์มากขึ้นดังนี้

Fox and Condon(1981) กล่าวว่า ระบบนำกลับที่ดีจะต้องประกอบไปด้วยองค์ประกอบดังต่อไปนี้

ก.กระบวนการนำกลับใดๆจากน้ำทิ้งจะต้องออกแบบให้ทำงานคงที่ในน้ำเสียที่แปรเปลี่ยนค่า

ข. กระบวนการควรปฏิบัติการอย่างประหยัด และไม่จำเป็นต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญพิเศษ

ค. สารเคมีที่ใช้ตกตะกอนจะต้องไม่นำกลับสารที่ไม่ใช้ประโยชน์

ง. ผลผลิตสุดท้ายจะต้องไม่มีสารพิษตกค้างต่อสิ่งแวดล้อม

เสริมพล รัตสุข และ ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์ (2524) กล่าวว่า การกำจัดน้ำทิ้งที่มีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบด้วยวิธีทางเคมี เช่น ตกตะกอนด้วยสารส้มหรือปูนขาวไม่สามารถลดค่า BODได้ต่ำกว่า 20 มก./ลิตร เว้นแต่ในกรณีที่น้ำทิ้งมีค่า BOD ต่ำมาก เพราะกว่าครึ่งหนึ่งของสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งเป็นสารละลายซึ่งตกตะกอนไม่ได้ การบำบัดวิธีนี้จึงเป็นแต่เพียงการบำบัดขั้นต้นเท่านั้น

จากการทบทวนเอกสารพบว่าได้มีการศึกษาการนำกลับโปรตีนในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมการผลิตอาหารอย่างกว้างขวาง ซึ่งมีความแตกต่างกันทั้งวิธีการและสารเคมีที่ใช้ในการศึกษาวิจัย ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้คือ

3.6.1 การปรับพีเอชด้วยกรด

ได้มีผู้ศึกษาโดยการตกตะกอนสารประกอบอินทรีย์ในน้ำทิ้งจากการผลิตคามาโบโกโดยปรับพีเอชให้มีค่าเท่ากับ 2.0 ด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 3 นอร์มอล แล้วทำให้เป็นกลาง สามารถลดของแข็งแขวนลอยได้มากกว่าร้อยละ 85 ลดซีโอดีได้ร้อยละ 60-70 โดยสามารถตกตะกอนโปรตีนได้ร้อยละ 70-80

Toma และ Meyer (1975) อ้างถึงใน สุทธวัฒน์ เบญกุล (2534) ได้ตกตะกอนโปรตีนในน้ำทิ้งจากการแปรรูปกุ้งโดยปรับพีเอชของน้ำทิ้งให้มีค่า 4.4-4.7ด้วยกรดไฮโดรคลอริก แล้วทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลา 45 นาที สามารถแยกตะกอนได้ 2 กก.ต่อน้ำทิ้ง 2650 ลิตร โดยมีองค์ประกอบดังต่อไปนี้คือ ความชื้นร้อยละ 10.00 เถ้าร้อยละ 6.33 โปรตีนร้อยละ 59.98 ไขมันร้อยละ 16.97 และเยื่อใย(Fiber) ร้อยละ 1.62

Shimizu and Nishioka (1979) อ้างถึงใน สุทธวัฒน์ เบญจกุล (2534)ปรับพีเอชของน้ำล้างปลาให้มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 5.0 แล้วปรับพีเอชให้มีค่าตั้งแต่ 6-10 โดยปรับพีเอชของน้ำล้างปลาแมคเคอรอลให้มีค่าเท่ากับ 3.1 ด้วยกรดไฮโดรคลอริกแล้วปรับพีเอชให้ได้ 6.4 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่าสามารถตกตะกอนโปรตีนได้ร้อยละ 88

Hangและคณะ(1980) อ้างถึงใน สุทธวัฒน์ เบญจกุล (2534) ใช้กรดซัลฟูริกเข้มข้น 10 นอร์มอล ปรับพีเอช ของน้ำล้างหอยลายให้มีพีเอชเท่ากับ 4.0 สามารถตกตะกอน โปรตีนได้ร้อยละ 41 และลดซีโอดีได้ร้อยละ 63 ตะกอน โปรตีนที่ผ่านการทำแห้งประกอบด้วยโปรตีนร้อยละ67.9 ไขมันร้อยละ 11.22 เถ้าร้อยละ 4.92 มีกรดอะมิโนบางชนิดต่ำ เช่น ลิวซีน วาลีน ไอโซลิวอีน และ อะมิโนที่มีซัลเฟอร์

Holland and McCoomiskey (1986) อ้างถึงใน สุทธวัฒน์ เบญจกุล (2534)ได้ใช้กรดซัลฟูริกปรับพีเอชของน้ำหอยแมลงภู่ให้มีค่าเท่ากับ 4.5 แล้วแยกตะกอนโดยวิธีการลอยตัวด้วยอากาศ (Dissolved air flotation: DAF) สามารถเก็บเกี่ยว โปรตีน ของแข็งทั้งหมด และ ของแข็งแขวนลอยได้ร้อยละ 54.1 27.1 และ98.6 ตามลำดับ ตะกอนที่ได้มีขนาดเล็กไม่จับตัวเป็นกลุ่มก้อน และ ได้ใช้กรดลิกโนซัลโฟนิก 330 มก./ลิตร ปรับพีเอชของน้ำหอยแมลงภู่ให้มีค่าเท่ากับ 2.5 สามารถเก็บเกี่ยวโปรตีน,ของแข็งทั้งหมด และของแข็งแขวนลอยได้ร้อยละ62.8 31.0 และ 100.0 ตามลำดับตะกอนที่ได้จับตัวกันแน่น

Cooper และ Denmead(1979) อ้างถึงใน สุทธวัฒน์ เบญจกุล (2534)ตกตะกอน โปรตีนในน้ำทิ้งจากโรงฆ่าสัตว์ ซึ่งประกอบด้วยเลือดและไขมันเป็นส่วนใหญ่พบว่า การใช้โซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟตและปรับพีเอชของน้ำให้มีค่าเท่ากับ3.5 ด้วยกรดซัลฟูริก แล้วแยกตะกอนโดยการลอยตัวด้วยอากาศสามารถตกตะกอนโปรตีนได้อย่างสมบูรณ์ ตลอดจนสามารถลดซีโอดี ไขมัน และของแข็งแขวนลอยได้ ร้อยละ 75 90 และ 90 ตามลำดับปริมาณของโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟตที่ใช้ขึ้นอยู่กับปริมาณเลือดในน้ำทิ้ง การใช้สารตกตะกอนชนิดนี้ปริมาณ 42 มก./ลิตร สามารถตกตะกอนเลือดในน้ำทิ้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่อย่างไรก็ตามสารชนิดนี้มีราคาแพง ปริมาณตะกอน ที่ได้มีค่าเท่ากับร้อยละ 6.21 ประกอบด้วยโปรตีน ไขมัน และเถ้า เท่ากับร้อยละ 46.8 30.3 และ 8.8 ตามลำดับ

3.6.2 การใช้สารตกตะกอน

Green and Kramer (1979) อ้างถึงใน Bough,W.A.(1994) ได้กล่าวถึงหน้าที่ของสารตกตะกอนไว้ 3 ประการคือ

ก. ลดประจุของคอลลอยด์และของแข็งโดยการดูดซับ

ข. ก่อให้เกิดขบวนการไฮโดรไลซิสของอนุมูลโลหะเป็นสารประกอบที่ช่วยตกตะกอน

ค. ก่อให้เกิดการเชื่อมโยงและรวมตัวของอนุภาค

สารตกตะกอนมีมากมายหลายชนิด เช่น อนุมูลโลหะ สารโพลิเมอร์ สารตกตะกอนจากธรรมชาติ และ อื่นๆ

อนุมูลโลหะที่ใช้อยู่ทั่วไป เช่น สารส้ม เฟอร์ริกคลอไรด์ เฟอร์รัสคลอไรด์ เฟอร์ริกซัลเฟต เฟอร์รัสซัลเฟตและปูนขาว ประจุบวกของโลหะจะทำลายประจุลบของคอลลอยด์ทำให้ตะกอนสามารถจับตัวกันได้ นอกจากนี้โลหะชนิดมัลติวาเลนซ์ เช่น Al(III) หรือ Fe(III) สามารถจับกับน้ำเกิดเป็น $Al(H_2O)_6^{3+}$ หรือ $Fe(H_2O)_6^{3+}$สารประกอบดังกล่าวจะผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ซึ่งโมเลกุลของน้ำจะถูกแทนที่โดยหมู่ไฮดรอกไซด์เกิดเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำ เมื่อสารประกอบไฮดรอกไซด์ที่ปราศจากน้ำมีจำนวนมากขึ้นจะเกิดการไฮโดรไลซ์เป็นสารประกอบไฮดรอกไซด์-ไฮเดรต ซึ่งจะรวมตัวกับคอลลอยด์แล้วตกตะกอนลงมาในลักษณะคล้ายเจลาติน

ส่วนสารโพลิเมอร์ที่มีประจุทั้งชนิดประจุบวกและประจุลบตลอดจนสารโพลิเมอร์ที่ไม่มีประจุสามารถตกตะกอนสารประกอบคอลลอยด์โดยการทำลายประจุลบของคอลลอยด์ หรือ จับกับคอลลอยด์ในลักษณะสะพานเชื่อมระหว่างอนุภาค-โพลิเมอร์-อนุภาค แต่การใช้สารโพลิเมอร์ในปริมาณที่มากเกินไปอาจทำให้เกิดการคงตัวของคอลลอยด์

Bough (1974) ศึกษาการใช้สารตกตะกอนชนิดต่างๆร่วมกันในน้ำทิ้งจากการแปรรูปผักใบเขียว พบว่าการใช้ WT-3000(-) จำนวน 2 มก./ลิตร และ Natron 86(+) จำนวน 20 มก./ลิตร ร่วมกับเฟอร์ริกซัลเฟต 80 มก./ลิตร ที่พีเอช 6 สามารถลดของแข็งแขวนลอยของน้ำทิ้งจากการแปรรูป ผักใบเขียว(Kale green)ได้ร้อยละ 95 ส่วนน้ำทิ้งจากการผลิตใช้ Natron 86(+)จำนวน70 มก./ลิตรแคลเซียมคลอไรด์จำนวน 80 มก./ลิตร และ WT-3000(-) จำนวน 10 มก./ลิตร ที่พีเอช 6.4 สามารถลดของแข็งแขวนลอยและซีโอดีได้ร้อยละ 88 และ 20 ตามลำดับ

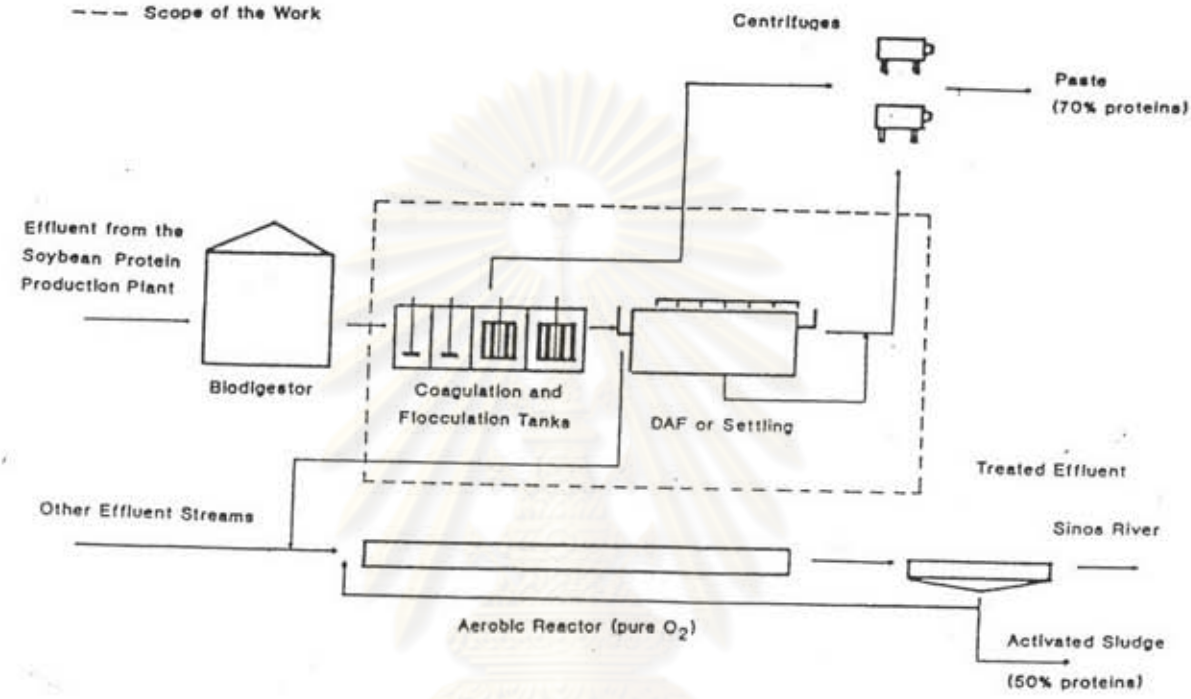
I 17278296

Johnson and Gallanger(1984) อ้างถึงใน อัศวิน กิตติชัชวาล (2537) ศึกษา โดยใช้เฟอร์ริกคลอไรด์จำนวน 500 มก./ลิตร เพื่อลดของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งจากการแปรรูปปู ปลาแซลมอนและกุ้ง พบว่าสามารถลดของแข็งแขวนลอยได้ ร้อยละ 93 98 และ98 ตามลำดับ และยังพบว่าเฟอร์ริกคลอไรด์ ให้ประสิทธิภาพการตกตะกอนโปรตีนและลดซีโอดีของน้ำนึ่งปลาได้สูงสุด โดยใช้เฟอร์ริกคลอไรด์เข้มข้น 2-6 กรัม/ลิตร เติมลงในน้ำทิ้งจนกระทั่งพีเอชมีค่าเท่ากับ 4.0 สามารถเก็บเกี่ยวไนโตรเจนได้ร้อยละ60

Bough(1974) ใช้คาลกอนซึ่งเป็นสารประกอบฟอสเฟตในการตกตะกอนโปรตีนจากน้ำหอยแมลงภู่ พบว่า การใช้สารจำนวน 330 มก./ลิตรที่พีเอช 2.5 สามารถเก็บเกี่ยวโปรตีน ของแข็งทั้งหมดและของแข็งแขวนลอยได้ร้อยละ 62.7 30.0 และ 100.0 ตามลำดับ และยังศึกษาประสิทธิภาพของสารตกตะกอนชนิดต่างๆในน้ำทิ้งโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนของสารแต่ละชนิดจะแตกต่างกันคือ 50-200 มก./ลิตร เฟอร์ริกคลอไรด์(พีเอช 5.0) 2000 มก./ลิตร สารส้ม (พีเอช 5.5) หรือ 50-200 มก./ลิตร โพลีอะครีเลต(Polyacrylate) (พีเอช5) นอกจากนี้พบว่าการใช้สารโพลิเมอร์ร่วมกับสารเฟอร์ริกคลอไรด์สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอน

เกล็ดปลาเป็นวัสดุธรรมชาติอีกชนิดหนึ่งซึ่งมีคุณสมบัติช่วยตกตะกอน เช่น เกล็ดปลาคาร์ปและ เกล็ดปลาพอร์กี ปริมาณ 60 มก./ลิตร สามารถลดซีโอดี และของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งจากการล้างไข่ (พีเอช 5.5) ได้ร้อยละ 68.0-79.0 และ 81.0-92.3 ตามลำดับส่วนในน้ำทิ้งจากการผลิตหอยเป๋าฮื้อ พบว่า การใช้เกล็ดปลาคาร์ป และเกล็ดปลาพอร์กี จำนวน 15 และ 25 มก./ลิตร โดยปรับพีเอชน้ำทิ้งให้มีค่า 3.8 และ 3.85 ตามลำดับสามารถลดซีโอดีได้ร้อยละ 61.8 และ 48.0 และลดของแข็งแขวนลอยได้ร้อยละ 96.5 และ 95.4 ตามลำดับ ส่วนในน้ำทิ้งจากการผลิตน้ำผลไม้ การใช้เกล็ดปลาคาร์ป และ เกล็ดปลาพอร์กีจำนวน 25 และ 15 มก./ลิตร ที่พีเอช 6.0 สามารถลดซีโอดีได้ร้อยละ 31.3 และ 23.3 และลดของแข็งแขวนลอยได้ร้อยละ 57.0 และ 55.0 ตามลำดับ

A.H. Schneider(1994) ได้ศึกษาถึง การบำบัดขั้นต้นในน้ำเสียจากการผลิตแป้งถั่วเหลืองโดยวิธีการลอยตัวด้วยอากาศ (Dissolve air flotation) และตกตะกอน(Sedimentation) โดยการใช้$FeCL_3$ 200-300 มก./ล.และโพลีอะคลามีน(Polyacrymide) ซึ่งเป็นโพลีเมอร์ประจุบวกปริมาณ 2-3 มก./ล. พบว่ามีจุดไอโซอิเลคตริกที่ พีเอช 4.5 โดยมีการทำแบบจำลองขึ้นจริงในโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.10 ส่วนตารางที่ 3.4 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสิ่งปนเปื้อนต่างๆในน้ำเสีย



รูปที่ 3.10 แสดงสถานีตกตะกอนโปรตีน (Fox P.F. and Condon J.J. ,1981)

ตารางที่ 3.4 แสดงค่าประสิทธิภาพในการศึกษาด้วย DAF และตกตะกอนธรรมดา

Process	E-STS%	E-SS%	E-P%	E-COD%
Batch bench-Settling	100	83	43	28
Batch bench- DAF	100	85	44	29
Industrial-Settling	93	-	-	24
Industrial-DAF	82	-	-	22

(Fox P.F. and Condon J.J. ,1981)

จากผลการทดลอง A.H. Schneider ได้สรุปว่า ที่กำลังการผลิต 200 ตัน/เดือนได้ตะกอนดิบที่มีความชื้นร้อยละ 83 และโปรตีนร้อยละ 70 โดยน้ำหนักแห้ง สามารถที่จะลดค่าใช้จ่ายในส่วนของการบำบัดน้ำเสียถึงร้อยละ 20

3.6.3 การศึกษาการแยกโปรตีนในน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมในประเทศไทย

จากงานวิจัยเรื่องการแยกโปรตีนจากน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมปลากระป๋อง ซึ่งเป็นงานวิจัยระหว่างกรมโรงงานอุตสาหกรรม และ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ซึ่งกล่าวถึงการตกตะกอนน้ำเสียเพื่อแยกโปรตีน น้ำมัน และ ไขมัน ออกจากน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมปลากระป๋องและนำกลับไปใช้ประโยชน์โดยใช้กระบวนการลอยตะกอนด้วยอากาศละลาย(Dissolved Air Flotation) ซึ่งแบ่งกระบวนการทดสอบออกเป็น 3 กระบวนการ คือ กระบวนการไม่ใช้สารเคมี(NCP),กระบวนการใช้สารเคมีน้อย(LCP) และกระบวนการใช้สารเคมีมาก(HCP) สารคาร์บอกซิลเมทธิลเซลลูโลส(CMC) ถูกนำมาใช้เป็นสารก่อตะกอนในกระบวนการ LCP และ HCP มีสารก่อตะกอนร่วมอีกตัวหนึ่งคือ แคลเซียมฟอสเฟต ผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดมลสารในกระบวนการ DAF

ชนิดกระบวนการ ค่าวิเคราะห์	กระบวนการไม่ใช้สารเคมี(NCP)	กระบวนการใช้สารเคมีน้อย(LCP)	กระบวนการใช้สารเคมีมาก(HCP)
COD	34.1	39.3	56.0
BOD5	33.5	39.7	57.0
TKN	23.6	23.5	28.0
TSS	52.0	56.3	72.0
O/G	30.9	40.1	54.0

จากตารางที่ 3.5 พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดในกระบวนการ HCP ในทุกๆมลสารจะดีที่สุด และกระบวนการ LCP ประสิทธิภาพการบำบัดจะสูงกว่าเมื่อไม่ใช้สารเคมีเล็กน้อย โดยมีค่าร้อยละโปรตีนต่อน้ำหนักแห้งของกากตะกอนจาก BPF(Cake) เท่ากับร้อยละ 61, 51 และ 58 ในกระบวนการไม่ใช้สารเคมี, ใช้สารเคมีน้อย และ สารเคมีมาก ตามลำดับ

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการของกระบวนการ HCP ค่อนข้างสูงเท่ากับ 35 บาท/ลูกบาศก์เมตร ในขณะที่กระบวนการไม่ใช้สารเคมีเสียค่าใช้จ่ายเพียงประมาณ 5 บาท และเมื่อนำมาคำนวณค่าใช้จ่ายต่อน้ำหนักผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้จะเท่ากับ 6.62,9.95 และ 12.5 ต่อกิโลกรัมแห้งของกากตะกอนจากกระบวนการไม่ใช้สารเคมี, ใช้สารเคมีน้อย และสารเคมีมาก ตามลำดับ

3.7 การศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับการใช้สารไคโตแซนเป็นสารตกตะกอน

การใช้สารไคโตแซนซึ่งเป็นสารโพลิเมอร์อีกชนิดหนึ่งที่ได้จากการกำจัดหมู่อะซิติลออกจากโครงสร้างของไคตินซึ่งเป็นสารที่มีอยู่มากในธรรมชาติเป็นสารช่วยตกตะกอน เป็นอีกแนวทางหนึ่งในการใช้ทรัพยากรต่างๆอย่างคุ้มค่า ไคโตแซนไม่ละลายน้ำจึงมีการใช้ไคโตแซนในรูปสารละลายกรด เนื่องจากไคโตแซนละลายได้ในกรดหลายชนิด ปริมาณไคโตแซนและสภาวะต่างๆในการตกตะกอนแตกต่างกันไปตามชนิดของน้ำทิ้ง และสารชนิดอื่นที่ใช้ร่วมกันในการตกตะกอน

Bough(1975) ได้ศึกษาการใช้ไคโตแซนในการตกตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอาหาร ชนิดต่างๆ ซึ่งสรุปได้ดังต่อไปนี้คือ

1) การใช้ไคโตแซนร่วมกับสารตกตะกอนชนิดอื่นเพื่อลดของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งจากการแปรรูปผักชนิดต่างๆ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 การใช้ไคโตแซนในการลดของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งจากการแปรรูปผัก

Vegetable	Effluent	pH	Susp.solid in raw waste(mg/l)	Chitosan (mg/l)	Salt or anionic polymer(mg/l)	Susp.solid in treated eff. (mg/l)
Green	washer	4	1624	10	15,NJAL-240	6
	filler	5	1747	5	10,NJAL-240+40	125
	Comp.	6	143	10	None	15
Spinach	Comp.	5	298	20	None	
Pimientos	peel	6	248	40	None	
	Core	6	32	10	None	
	Comp.	5	75	30	None	
Greenbeans Blancher		4	116	5	80,CaCL2	

ที่มา : สุทธวัฒน์ เบญจกุล (2534)

2) การเก็บเกี่ยวสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปไข่ (พีเอช 6.7-7.1) โดยใช้ ไคโตแซน 100-200 มก./ลิตร ร่วมกับโพลิเมอร์ที่มีประจุลบ(Betz 1130) ปริมาณ 2-20 มก.ต่อลิตร พบว่า การใช้ไคโตแซนปริมาณ 150 มก./ลิตร ร่วมกับ Betz 1130 ปริมาณ 10 มก./ลิตร แล้วตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนนาน 1 ชั่วโมง โดยพีเอชของน้ำมีค่า 6.7-7.1 สามารถลดปริมาณของแข็งแขวนลอยและซีโอดีได้ร้อยละ 72 และ 76 ตามลำดับ ปริมาณที่ได้ภายหลังจากการตกตะกอนมีค่าเท่ากับ 1.16 กรัมต่อลิตร และเมื่อใช้การแยกตะกอนด้วยวิธีการลอยตัวด้วยอากาศ สามารถลดของแข็งแขวนลอยได้ร้อยละ 90.8 แต่ลดซีโอดีได้ร้อยละ 62.1 ปริมาณตะกอนมีค่าเท่ากับ 1.75 กรัมต่อลิตร ตะกอนที่ได้มีโปรตีนและไขมันสูงร้อยละ 45.6 และ 39.4 ตามลำดับ ตลอดจนมีกรดอะมีโนใกล้เคียงกับไข่สด

3) การลดปริมาณของแข็งและเก็บเกี่ยวของแข็งจากน้ำทิ้งโรงงานแปรรูปสัตว์ปีก 3แหล่ง คือ น้ำทิ้งรวม (Composit effluent) น้ำทิ้งจากส่วนทำความเย็น(Chiller effluent) และน้ำทิ้งจากการลวก (Scalder effluent)

ก.) น้ำทิ้งรวม ปริมาณไคโตแซนที่เหมาะสมในการตกตะกอนของแข็งจากน้ำทิ้งรวม(พีเอช 6.5)คือ 5 มก./ลิตร แล้วตั้งทิ้งให้ตกตะกอน สามารถลดความขุ่น ของแข็งแขวนลอย และซีโอดีเท่ากับร้อยละ 93 94 และ 13 ตามลำดับ ตะกอนที่ได้มีโปรตีนและไขมันเท่ากับร้อยละ 55.6 และ 30.6 ตามลำดับ แต่เมื่อใช้การแยกตะกอนด้วยวิธีการลอยตัวด้วยอากาศสามารถลดของแข็งแขวนลอยได้ร้อยละ 58 ซึ่งน้อนกว่าการแยกตะกอนโดยการตั้งทิ้งให้ตกตะกอนแต่สามารถลดซีโอดีได้ร้อยละ 37 ตะกอนที่ได้มีโปรตีนและไขมันเท่ากับร้อยละ 35.6 และ 45.9 ตามลำดับ ดังนั้นวิธีการแยกตะกอนจึงมีผลต่อประสิทธิภาพการตกตะกอนตลอดจนมีผลต่อองค์ประกอบของตะกอน

ข.)น้ำทิ้งจากส่วนทำความเย็น ปริมาณไคโตแซนที่เหมาะสมในการตกตะกอนน้ำทิ้งส่วนนี้ (ที่พีเอช 6.3) คือ 6 มก./ลิตร สามารถลดของแข็งแขวนลอยได้ร้อยละ 75 และ 82เมื่อแยกตะกอนด้วยการทิ้งให้ตกตะกอนและการลอยตัวด้วยอากาศตามลำดับ สามารถลดซีโอดีได้ใกล้เคียงกันทั้ง 2 วิธี น้ำหลังการตกตะกอนสามารถนำไปใช้ในการลวกตะกอนที่ได้ประกอบด้วยโปรตีนร้อยละ 36.5ไขมันร้อยละ 54.2และเถ้าร้อยละ 1.3

ค.)น้ำทิ้งจากการลวก ปริมาณไคโตแซนที่เหมาะสมในการตกตะกอนน้ำทิ้ง(พีเอช 7.0) คือ 30 มก./ลิตร เมื่อปล่อยให้ตกตะกอนสามารถลดของแข็งแขวนลอยและซีโอดีเท่ากับร้อยละ 88 และ 49 ตามลำดับ ส่วนการแยกตะกอนด้วยวิธีการลอยตัวด้วยอากาศสามารถลดของแข็งแขวนลอยและซีโอดีเท่ากับร้อยละ 77 และ 46 ตามลำดับ ตะกอนที่ได้ประกอบด้วยโปรตีนร้อยละ 67.9 ไขมัน ร้อยละ 0.7 และเถ้าร้อยละ 15.4

4)การศึกษาในน้ำทิ้งจากโรงงานบรรจุเนื้อ พบว่าประสิทธิภาพของโพลิเมอร์ที่มีคุณสมบัติช่วยตกตะกอนในน้ำทิ้งจากการบรรจุเนื้อ(พีเอช 7.5) คือไคโตแซนมีประสิทธิภาพดีที่สุด ส่วนสารตกตะกอนชนิดอื่นคือ Atlasep 105 C,Natron 86 และ Betz 1190 ให้ผลดีรองลงมาตามลำดับ ปริมาณสารไคโตแซนที่เหมาะสมคือ 30 มก./ลิตร โดยใช้ระยะเวลา 1.5 ชั่วโมง สามารถลดของแข็งแขวนลอยและซีโอดีได้ร้อยละ 89 และ 55 ตามลำดับ ตะกอนที่ได้มีองค์ประกอบดังนี้คือ โปรตีนร้อยละ 41 ไขมันร้อยละ 17 และเถ้าร้อยละ 11

5)สำหรับน้ำทิ้งจากการแปรรูปและการหมักเนื้อพบว่า ประสิทธิภาพการตกตะกอนดีที่สุดเมื่อใช้ไคโตแซน 10 มก./ลิตร ร่วมกับเฟอร์ริกคลอไรด์จำนวน 40 มก./ลิตร สามารถลดของแข็งแขวนลอยและซีโอดีได้ร้อยละ 95 และ 72 ตามลำดับ

6)การใช้สารโพลิเมอร์เพื่อตกตะกอนสารแขวนลอยในน้ำทิ้งจากการผลิตกุ้งชุบขนมปังแช่เยือกแข็ง พบว่าไคโตแซนมีประสิทธิภาพลดความขุ่นได้ดีกว่าสารโพลิเมอร์ชนิดอื่นการใช้ไคโตแซน 10 มก./ลิตรร่วมกับ WT-3000จำนวน 5 มก./ลิตร และตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมงสามารถลดของแข็งแขวนลอยได้ร้อยละ 94ลดซีโอดีได้ร้อยละ 76 แต่เมื่อแยกตะกอนด้วนวิธีการลอยตัวด้วยอากาศ สามารถลดของแข็งแขวนลอยและซีโอดีได้ร้อยละ 98 และ 92 ตามลำดับตะกอนที่ได้ประกอบด้วยโปรตีนประมาณร้อยละ 32

7)การใช้ไคโตแซนจำนวน 2 มก./ลิตร กับน้ำทิ้งผลิตเค็กผลไม้ โดยใช้เวลาในการปล่อยให้ตกตะกอน 2 ชั่วโมง สามารถลดของแข็งแขวนลอยและซีโอดีได้ร้อยละ 94 และ47 ตะกอนที่ได้มีโปรตีนร้อยละ 13 ส่วนการแยกตะกอนด้วยวิธีการลอยตัวด้วยอากาศสามารถลดของแข็งแขวนลอยและซีโอดีได้ร้อยละ 38 และ 18 ตะกอนมีโปรตีนร้อยละ 22

8)การใช้ไคโตแซนตกตะกอนของแข็งในหางนมที่เหลือทิ้งจากการผลิตเนยแข็งพบว่าไคโตแซนปริมาณ 53 มก./ลิตร(พีเอช 6.0) สามารถลดของแข็งแขวนลอยได้ ร้อยละ 92 และ ลดซีโอดีได้ร้อยละ 4 โดยปล่อยให้ตกตะกอนตามธรรมชาติเป็นเวลา 3 ชั่วโมงสามารถเก็บเกี่ยวตะกอนได้ 2270 มก./ลิตร ตะกอนประกอบด้วย โปรตีน ไขมัน เถ้า และ แลกโตสเท่ากับร้อยละ 73 0.2 10 และ 6 ตามลำดับ

9)การศึกษาโดยใช้ไคโตแซนเข้มข้น 10 มก./ลิตร ตกตะกอนสารประกอบอินทรีย์ในน้ำล้างหอยลายที่มีของแข็งและซีโอดีเริ่มต้นเท่ากับ 3590 มก./ลิตร พบว่าสามารถลดของแข็งและซีโอดีได้ร้อยละ 11 และ 47 ตามลำดับ ส่วนการใช้ไคโตแซน 5 มก./ลิตร กับน้ำล้างหอยลายที่มีของแข็งและซีโอดีเริ่มต้นเท่ากับ 2528 และ 837 มก./ลิตรตามลำดับสามารถลดของแข็งได้เท่ากับร้อยละ 11 มก./ลิตรการใช้สารส้มและเฟอร์ริกคลอไรด์ พบว่าสามารถลดของแข็งได้ใกล้เคียงกับการใช้ไคโตแซน แต่มีผลลดซีโอดีได้ต่ำกว่า

Johnson (1984) อ้างถึงใน อัศวิน กิตติชัชวาล(2537) ได้ใช้ไคโตแซนเพื่อตกตะกอนของน้ำทิ้งจากการผลิตปู ปลาแซลมอน และกุ้งแช่แข็ง พบว่า ปริมาณไคโตแซนที่เหมาะสมคือ 30มก./ลิตร สามารถลดของแข็งแขวนลอยได้ร้อยละ 98 ในน้ำทิ้งทั้ง 3 ชนิด โดยให้ผลใกล้เคียงกับการใช้เฟอร์ริกซัลเฟตปริมาณ 500 มก./ลิตร สามารถลดของแข็งแขวนลอยได้ร้อยละ 93 98 และ 98 ตามลำดับ การใช้สารละลายโพตัสเซียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ก่อให้เกิดตะกอนขนาดใหญ่ซึ่งสามารถรวมตัวตกตะกอนได้ง่าย ปริมาณสารละลายบัฟเฟอร์ที่ใช้จะแตกต่างไปตามชนิดและลักษณะของน้ำทิ้งเช่น มีการเติมสารละลายบัฟเฟอร์ในน้ำทิ้งจากการผลิตปู ปลาแซลมอน และกุ้ง เท่ากับ 0 25 และ0 มก./ลิตร และในน้ำทิ้งที่ผ่านการแช่แข็ง 6 10 และ 0 มก./ลิตรตามลำดับ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดน้ำทิ้งจึงมีการใช้ระบบแยกของแข็งชนิดไฮโดรไซโคลนแล้วจึงตกตะกอนน้ำทิ้งส่วนที่มีตะกอนหนัก (underflow) ด้วยไคโตแซนพบว่า การใช้ไคโตแซนปริมาณ 30 มก./ลิตร ร่วมกับสารละลายบัฟเฟอร์ปริมาณ 2 2 และ0 มก.ต่อลิตร ในน้ำทิ้งจากการผลิตปู ปลาแซลมอน และกุ้ง สามารถลดของแข็งแขวนลอยได้ร้อยละ 96 98และ98 ตามลำดับ โดยให้ผลใกล้เคียงกับการใช้เฟอร์ริกซัลเฟตปริมาณ 500 มก./ลิตรซึ่งสามารถลดของแข็งแขวนลอยได้ร้อยละ 99 ในน้ำทิ้งส่วนที่มีตะกอนหนักของน้ำทิ้งทั้ง 3 ชนิด ซึ่งให้ผลที่ดีกว่าการใช้ไคโตแซน เนื่องจากก่อให้เกิดการตกตะกอนอย่างรวดเร็ว และส่วนใสมีความใสกว่า แต่มีข้อเสียคือ ลดพีเอชของน้ำ(พีเอช3-6) ส่วนไคโตแซนจะให้ค่าพีเอชของน้ำทิ้งเท่ากับ 7-8

Bough(1974) ใช้ไคโตแซน 33 มก./ลิตร ที่พีเอช 6.4 ร่วมกับการแยกตะกอนโดยการลอยตัวด้วยอากาศพบว่า สามารถเก็บเกี่ยวโปรตีนของแข็งทั้งหมดและของแข็งแขวนลอยในน้ำหอยแมลงภู่ได้ร้อยละ 80 60 และ100 ตามลำดับ ลักษณะตะกอนที่ได้มีขนาดใหญ่ และนอกจากนี้ยังได้ใช้ ไคโตแซนจากกั้งเพื่อตกตะกอนสารประกอบอินทรีย์ในน้ำทิ้งจากการแปรรูปสัตว์น้ำพบว่าการใช้ไคโตแซน 150 มก./ลิตร ที่พีเอช 6.0 ให้ผลใกล้เคียงกับไคโตแซนทางการค้า และให้ผลดีกว่าโพลิเมอร์ 5 ชนิด คือ Betz !410 Betz 1420 Betz DG-979 Magnifloc 2535CH และ Magnifloc 2540C การใช้ไคโตแซน ที่สภาวะดังกล่าวแล้วปล่อยให้ตกตะกอนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง สามารถลดของแข็งแขวนลอยและซีโอดีได้ ร้อยละ 97 และ45 ตามลำดับ ส่วนการใช้ไคโตแซนร่วมกับเฟอร์ริกคลอไรด์ไม่มีผลลดความขุ่นอย่างมีนัยสำคัญ ตะกอนที่ได้มีปริมาณ 5.97 ก./ลิตร ประกอบด้วยโปรตีนร้อยละ 27.1 ไขมันร้อยละ 51.7 และ เถ้าร้อยละ 3.3 นอกจากนี้การใช้ความร้อนร่วมกับการใช้สารตกตะกอนหรือการปรับพีเอช สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอน โดย Harris and Moats (1974) อ้างถึงใน อัศวิน กิตติชัชวาล(2537) ได้ตกตะกอนสารอินทรีย์และของแข็งจากโรงงานแปรรูปไข่โดยปรับพีเอชให้มีค่า4.7 และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70-75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที หลังจากเหวี่ยงตะกอน ของเหลวส่วนใสมีค่าบีโอดีน้อยกว่าเดิม ร้อยละ 78-90

สุทธวัฒน์ เบญจกุล (2534) ได้ทดลองหาวิธีการที่เหมาะสมในการแยกไคตินและผลิตไคโตแซนจากเปลือกกุ้งหางแดงและเปลือกกุ้งแชบ๊วย พบว่าไคตินและไคโตแซนที่ได้มีองค์ประกอบทางเคมีใกล้กับไคติน และไคโตแซนของ บ.Fluka โดยมีความแตกต่างกันไม่มากนักในด้านปริมาณเถ้า ความชื้น ไนโตรเจน และ ปริมาณไคติน และได้ทำการศึกษาถึงการใช้ไคโตแซนลดความขุ่นของน้ำเสียจากโรงงานแปรรูปอาหารทะเล พบว่าใช้ไคโตแซนปริมาณ 50-400 มก./ล. ที่พีเอช 5-7.5 โดยใช้เวลาในการตกตะกอนนาน 3 ชั่วโมง จะสามารถลดความขุ่นได้ร้อยละ 70-99และลดค่าซีโอดีลงได้ร้อยละ 3-52 ซึ่งใกล้เคียงกับการใช้ไคโตแซนของ บ.Fluka