บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

เกลือและสารประกอบฟอสเฟตเป็นสารปรุงแต่งรสและวัตถุเจือปนอาหารที่นิยมใช้ในกระบวนการแปรรูปปลาหมึกแช่เยือกแข็ง ผู้ผลิตใช้สารละลายเกลือสำหรับปั่นปลาหมึกในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ โดยมีวัตถุประสงค์หลักคือการดัดแปลงเนื้อสัมผัสของปลาหมึกให้มีความแน่นแข็งเพิ่มขึ้น การดัดแปลงเนื้อสัมผัสปลาหมึกด้วยการปั่นปลาหมึกในสารละลายเกลือดังกล่าวมีข้อจำกัดสำคัญคือ การทำให้ปลาหมึกสูญเสียกลิ่นรสและน้ำหนัก (ประมาณร้อยละ 5-10) และทำให้ปริมาณเกลือในปลาหมึกเพิ่มขึ้น (ประมาณร้อยละ 3) ส่วนสารละลายของสารประกอบฟอสเฟตจะใช้สำหรับแช่ปลาหมึกก่อนการแช่เยือกแข็ง เพื่อเพิ่มความสามารถอุ้มน้ำของปลาหมึก ซึ่งนอกจากจะเพิ่มความสามารถอุ้มน้ำของปลาหมึกเพื่อชดเชยน้ำหนักปลาหมึกที่สูญเสียไปในระหว่างการปั่นแล้วยังช่วยรักษาความสามารถอุ้มน้ำของปลาหมึกในระหว่างการเก็บรักษาด้วยการแช่เยือกแข็งด้วย ทำให้สามารถลดการสูญเสียผลผลิตได้ อย่างไรก็ตามพบว่าสารประกอบฟอสเฟตมีผลให้เนื้อสัมผัสของปลาหมึกแช่เยือกแข็งเปลี่ยนไป โดยเฉพาะหากระยะเวลาที่เก็บรักษาเพิ่มขึ้น ปลาหมึกแช่เยือกแข็งจะมีเนื้อสัมผัสอ่อนนุ่มลงจนกระทั่งไม่เป็นที่ยอมรับของผู้ซื้อ นอกจากนี้การใช้สารประกอบฟอสเฟตยังมีผลให้ส่วนหัวของปลาหมึกมีสีแดงเข้มขึ้น เพื่อลดผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของปลาหมึกแช่เยือกแข็งเนื่องจากสารประกอบฟอสเฟตในขณะที่ยังคงต้องการรักษาความสามารถอุ้มน้ำของปลาหมึกแช่เยือกแข็ง จึงได้มีการแนะนำผลิตภัณฑ์ทดแทนสารประกอบฟอสเฟตแก่ผู้ผลิตปลาหมึกแช่เยือกแข็ง ซึ่งแม้ว่าจะมีประสิทธิภาพที่ดีในระดับหนึ่ง แต่เนื่องจากผู้ผลิตไม่ทราบองค์ประกอบทางเคมีที่แท้จริง การใช้ผลิตภัณฑ์นี้ทดแทนสารประกอบฟอสเฟตในกระบวนการผลิตปลาหมึกแช่เยือกแข็งจึงตกเป็นข้อสงสัยในการทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ปลาหมึกแช่เยือกแข็งแปรปรวน และความเป็นไปได้ที่จะมีส่วนทำให้เกิดการเปลี่ยนสีของผลิตภัณฑ์ปลาหมึกแช่เยือกแข็งในระหว่างการเก็บรักษา

จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าวิธีการดัดแปลงเนื้อสัมผัสปลาหมึกแช่เยือกแข็งให้มีลักษณะตรงตามความต้องการของผู้ซื้อ ในขณะที่ทำให้น้ำหนักและความสามารถอุ้มน้ำของกล้ามเนื้อปลาหมึก ตลอดทั้งคุณภาพที่ดีของปลาหมึกแช่เยือกแข็งสูญเสียไปน้อยที่สุด เป็นเทคโนโลยีที่เป็นที่ต้องการของผู้ผลิต เพื่อให้สามารถพัฒนาเทคโนโลยีตามจุดมุ่งหมายนี้ได้ จำเป็น

จะต้องเข้าใจบทบาทของเกลือ สารประกอบฟอสเฟต และผลร่วมของสารทั้งสองชนิดต่อการดัดแปลงเนื้อสัมผัสปลาหมึก และการลดหรือเพิ่มความสามารถอุ้มน้ำของกล้ามเนื้อปลาหมึกโดยเกลือหรือสารประกอบฟอสเฟตตามลำดับ ประกอบกับปลาหมึกมีเนื้อสัมผัสแตกต่างไปจากสัตว์น้ำชนิดอื่นๆ จึงจำเป็นต้องทำความเข้าใจว่าโซเดียมคลอไรด์ สารประกอบฟอสเฟต และการแช่เยือกแข็งมีผลให้โปรตีนกล้ามเนื้อ คอลลาเจน และการเรียงตัวของเซลล์กล้ามเนื้อเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร ทั้งนี้เพื่อให้สามารถปรับปรุงวิธีการดัดแปลงเนื้อสัมผัสของปลาหมึกด้วยเกลือได้อย่างเหมาะสมยิ่งขึ้น ตลอดทั้งความเข้าใจดังกล่าวจะเป็นฐานความรู้สำหรับการค้นหาสารชนิดใหม่ๆ เพื่อทดแทนสารประกอบฟอสเฟต

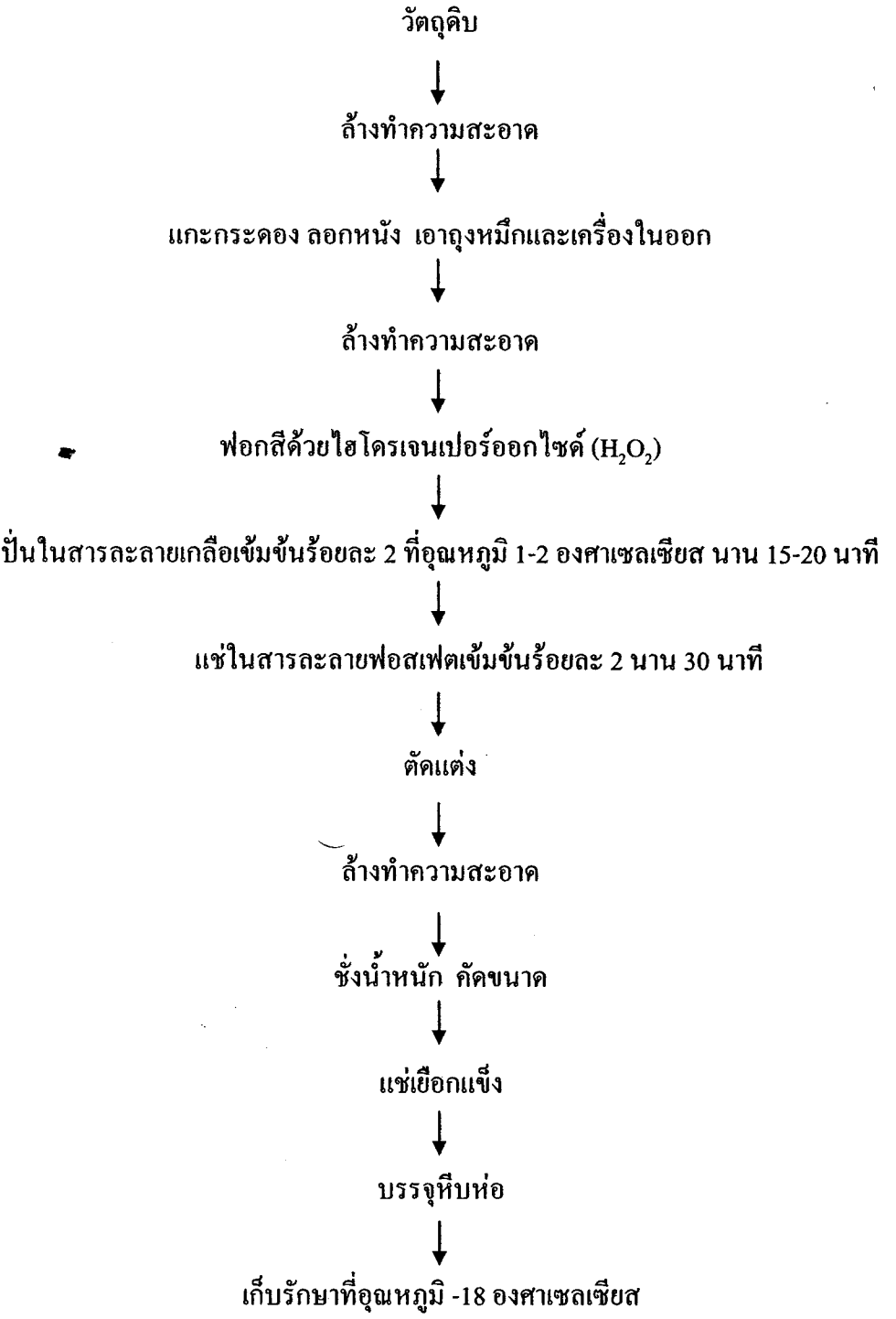
ตรวจเอกสาร

1. ปลาหมึกกะดอง

ปลาหมึกกระดอง (*Sepia brevimana*) เป็นสัตว์น้ำ อยู่ในครอบครัว sepiidae ปลาหมึกกระดองมีลำตัวป้อมสั้นรูปไล่ ด้านข้างมีครีบแผ่แบนยาวเกือบตลอดลำตัว ส่วนหัวมีหนวดยาว 2 เส้น และหนวดสั้นจำนวน 8 เส้น ตาครอบคลุมด้วยเยื่อโปร่งใส ภายในลำตัวมีกระดอง (cuttle bone) รูปใบหอกเรียกว่า ลิ้นทะเล ทำหน้าที่เป็นโครงค้ำจุนร่างกาย ผิวของปลาหมึกประกอบด้วยถุงเม็ดสี (Chromatophore) จำนวนมาก ภายในประกอบด้วยเม็ดสี เช่น สีดำ สีแดง หรือ สีเหลือง ถุงเม็ดสีเหล่านี้จะกระจายอยู่ทั่วไปสามารถขยายหรือหดตัวได้โดยการควบคุมของระบบประสาท เมื่อจุดสีขยายตัวเป็นวงใหญ่จะมีลักษณะเป็นสีแดงปนม่วงขณะหดตัวจะมีสีจาง ภายหลังการตายเส้นประสาทซึ่งควบคุมการขยายตัวของถุงเม็ดสีจะหยุดทำงาน ดังนั้นสีของปลาหมึกจะจางภายในเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง (สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2545)

การใช้ประโยชน์ปลาหมึกนอกจากจะใช้เตรียมอาหารเพื่อการบริโภคในครัวเรือนแล้วยังมีการนำปลาหมึกมาแปรรูปเพื่อการส่งออก โดยส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของปลาหมึกสดแช่เยือกแข็ง สำหรับการแปรรูปโดยการแช่เยือกแข็งนับว่ามีความสำคัญอย่างยิ่งต่อเศรษฐกิจของประเทศ ดังจะเห็นได้ว่า การส่งออกปลาหมึกแช่เยือกแข็งในปี พ.ศ. 2549 มีปริมาณ 84,117 ตัน คิดเป็นร้อยละ 22.55 ของปริมาณการส่งออกอาหารทะเลแช่เยือกแข็งทั้งหมด หรือคิดเป็นมูลค่า 368.0 ล้านเหรียญสหรัฐ ซึ่งมีอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.8 จากปี 2548 (กรมส่งเสริมการส่งออก, 2549)

ปลาหมึกแช่เยือกแข็งที่ผลิตโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ แบบเป็นก้อน (Block frozen) และแบบแยกเป็นชิ้น (individual quick frozen) การแปรรูปมีหลายลักษณะขึ้นอยู่กับความต้องการของตลาด โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 7 ชนิด ได้แก่ ปลาหมึกทั้งตัว ปลาหมึกชักไส้ ปลาหมึกหลอด ปลาหมึกวงแหวน ปลาหมึกแผ่น ปลาหมึกเส้น และหนวดปลาหมึก (สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2548) กระบวนการแปรรูปปลาหมึกแช่เยือกแข็ง มีขั้นตอนดังแสดงในภาพที่ 1.1



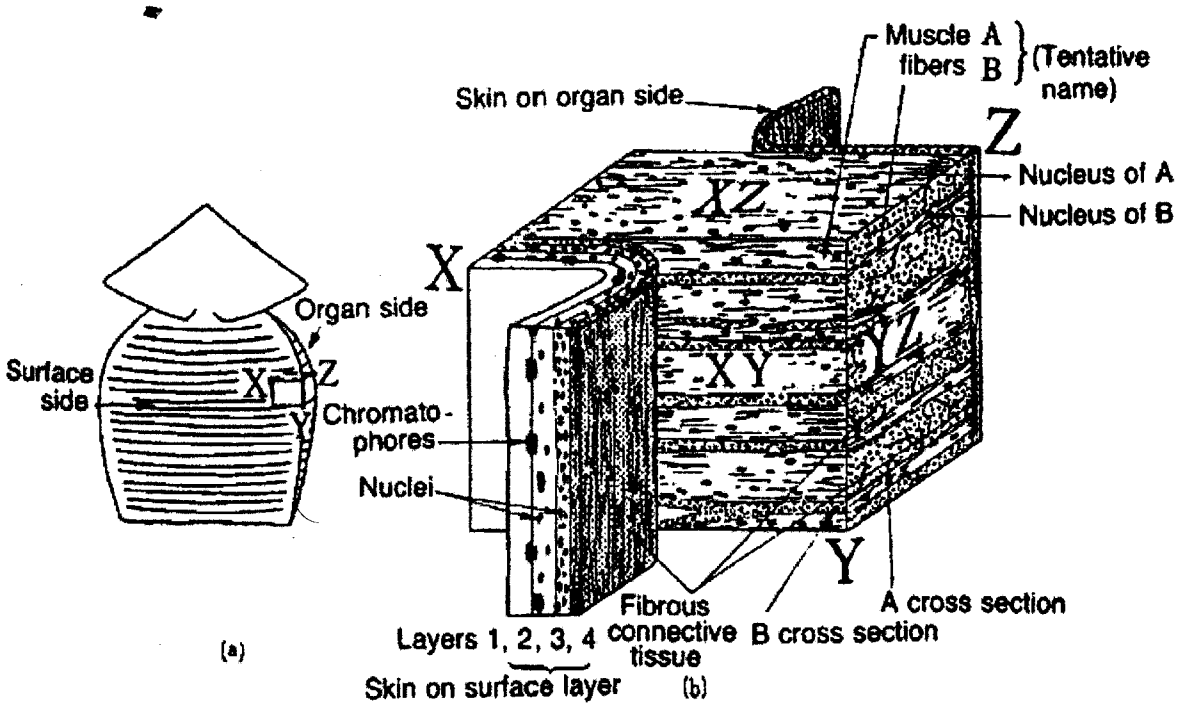
ภาพที่ 1.1 ขั้นตอนการผลิตปลาหมึกแช่เยือกแข็ง

Figure 1.1 Processing of frozen cuttlefish

ที่มา : สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย (2548)

2. โครงสร้างกล้ามเนื้อของปลาหมึก

โครงสร้างจุลภาคของกล้ามเนื้อของปลาหมึก ที่เตรียมจากเนื้อปลาหมึกที่ลอกหนังออกและตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ แสดงได้ดังภาพที่ 1.2 เมื่อระนาบ XY คือ ระนาบของผิวด้านนอกของลำตัว ระนาบ YZ คือ ระนาบที่ตัดตามยาวของลำตัวและระนาบ XZ คือ ระนาบที่ตัดตามขวางของลำตัว ในรูปจะแสดงถึงเส้นใยกล้ามเนื้อ A ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 3-7 μ ซึ่งเรียงตัวอย่างหนาแน่นในแนวเส้นรอบวงของลำตัว และเส้นใยกล้ามเนื้อ B ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 15-30 μ ซึ่งเรียงตัวในแนวตั้งฉากกับเส้นใยกล้ามเนื้อ A (Sugiyama *et al.*, 1989)



ภาพที่ 1.2 โครงสร้างจุลภาคของกล้ามเนื้อส่วนลำตัวของปลาหมึกกล้วย (*T. pacificus*)

a: ภาพร่างแสดงตำแหน่งของตัวอย่างเมื่อเปิดช่องท้องและลอกหนังออก

b: ส่วนขยายของ ด้าน XYZ เมื่อตัดเนื้อปลาหมึกเป็นรูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์จากความหนาทั้งหมดของลำตัว

Figure 1.2 The microstructure of *T.pacificus* mantle

a: Position of the mantle specimen after deskinning and cutting

b: Microstructure of the mantle specimen

ที่มา : Sugiyama และคณะ (1989)

การจัดเรียงตัวของเส้นใยกล้ามเนื้อส่วนลำตัวของปลาหมึกตามแนวเส้นรอบวง สามารถจำแนกได้จากด้านนอกสุดไปยังด้านในสุด 5 ชั้น ดังแสดงในภาพที่ 1.3 (Lluch *et al.*, 2001)

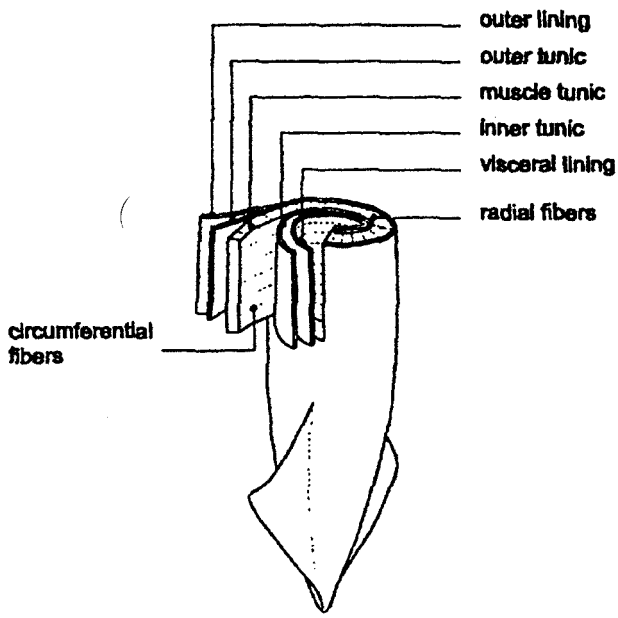
1.1 Outer lining เป็นชั้นของเส้นใยกล้ามเนื้อที่อยู่ด้านนอกสุดประกอบไปด้วยเนื้อเยื่อเกี่ยวพันและอยู่ติดกับผิวหนัง

1.2 Outer tunic เป็นชั้นที่ประกอบไปด้วยเนื้อเยื่อคอลลาเจนที่จัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ

1.3 Muscle tunic เป็นชั้นของเส้นใยกล้ามเนื้อที่มีความหนาประมาณร้อยละ 98 ของความหนาลำตัว ประกอบด้วยเซลล์รูปยาววางตัวสลับกันระหว่างเส้นใยกล้ามเนื้อที่วางตัวแนวเส้นรอบวง (Circumferential fibers) และที่วางตัวแนวรัศมี (Radial fibers)

1.4 Inner tunic เป็นชั้นที่ประกอบไปด้วยเนื้อเยื่อคอลลาเจนที่จัดเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ

1.5 Visceral lining เป็นชั้นที่อยู่ด้านในสุดประกอบด้วยเนื้อเยื่อที่ไม่มีลักษณะเป็นเส้นใย



ภาพที่ 1.3 ชั้นกล้ามเนื้อปลาหมึกในแนวเส้นรอบวง

Figure 1.3 Schematic of squid circumferential fibers

ที่มา : Lluch และคณะ (2001)

การจัดเรียงตัวและการทำงานของกล้ามเนื้อแต่ละชนิดมีความสำคัญต่อการว่ายน้ำของปลาหมึก กล่าวคือ ขณะที่กล้ามเนื้อแนวเส้นรอบวงขยายตัว กล้ามเนื้อแนวรัศมีจะหดตัวทำให้ช่องว่างระหว่างลำตัวมีขนาดเพิ่มขึ้นพร้อมๆกับน้ำจะไหลเข้าไปในช่องว่างดังกล่าว จากนั้นเส้นใยกล้ามเนื้อทั้งสองชุดจะเปลี่ยนแปลงในลักษณะตรงข้าม โดยกล้ามเนื้อแนวเส้นรอบวงจะหดตัวซึ่งจะทำให้กล้ามเนื้อตรงขอบลำตัว (Mantle) กับส่วนหัวประกบกันอย่างแนบชิด ดังนั้นการหดตัวของกล่าวเนื้อเส้นรอบวงในส่วนอื่นๆของลำตัวจะทำให้เกิดแรงดันน้ำขึ้น เพื่อดันน้ำออกจากช่องท้องผ่านทางท่อน้ำอย่างรวดเร็ว ประกอบกับท่อน้ำนี้สามารถปรับทิศทางได้ตามที่ต้องการ จึงทำให้ปลาหมึกสามารถเคลื่อนตัวไปตามทิศทางที่ต้องการได้อย่างว่องไว Barnes (1972 อ้างโดย ดวงรัตน์ นาคสด, 2538)

3. องค์ประกอบเคมีของปลาหมึก

องค์ประกอบเคมีของกล้ามเนื้อปลาหมึกแสดงดังตารางที่ 1.1 องค์ประกอบเคมีหลักคือ น้ำ โปรตีน เถ้าและไขมัน คิดเป็นร้อยละ 92 ของน้ำหนักเนื้อทั้งหมด องค์ประกอบเหล่านี้มีผลต่อคุณค่าทางโภชนาการ สมบัติเชิงหน้าที่ คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส และอายุการเก็บรักษาปลาหมึก สำหรับองค์ประกอบอื่นๆ เช่น คาร์โบไฮเดรต วิตามิน และเกลือแร่ซึ่งมีปริมาณน้อยจะมีความสำคัญต่อกลิ่นรสและคุณค่าทางโภชนาการ องค์ประกอบเคมีเหล่านี้ของปลาหมึกพบว่าเปลี่ยนแปลงไปตามชนิด ระยะการเจริญเติบโต และสภาวะทางโภชนาการของสัตว์น้ำ (สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2545)

ตารางที่ 1.1 องค์ประกอบเคมีของกล้ามเนื้อส่วนลำตัวปลาหมึกกล้วย (*Loligo plei*)

Table 1.1 Chemical composition of squid mantle (*Loligo plei*)

Composition	**Percent (w/w)**
Moisture	74.2
Lipid	2.0
Ash	1.7
Protein	14.4
- Total nitrogen	3.4
- Non-protein nitrogen	1.1
- Nitrogen of free amino acid (g/100 g)	0.4

ที่มา : Lapa-Guimarães และคณะ (2004)

3.1 โปรตีนกล้ามเนื้อ

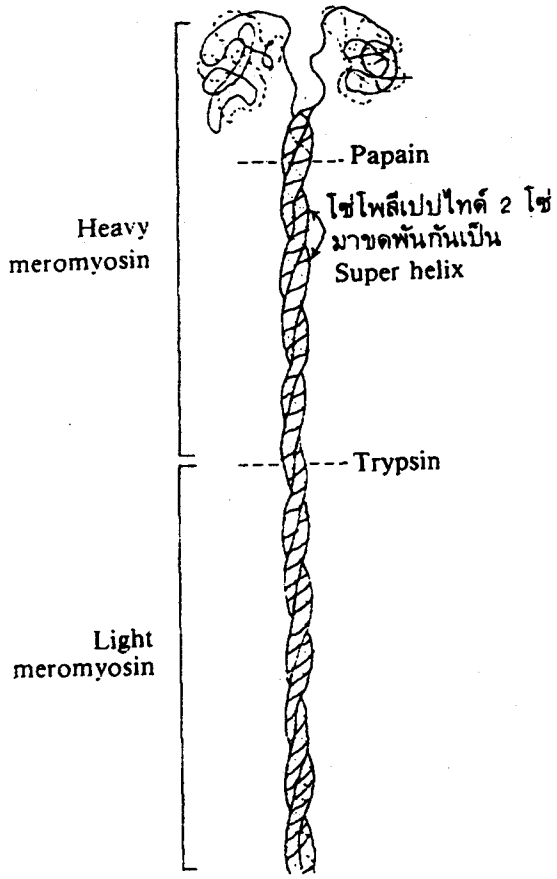
กล้ามเนื้อส่วนลำตัวของปลาหมึกประกอบด้วยโปรตีนในปริมาณร้อยละ 14-18 (Thanonkaew *et al.*, 2006; Sánchez-Alons *et al.*, 2003; Gomez-Guillen *et al.*, 1997) ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น

3.1.1 โปรตีนไมโอไฟบริลาร์ (Myofibrillar protein)

โปรตีนไมโอไฟบริลาร์สามารถสกัดได้ด้วยสารละลายเกลือที่มีค่า Ionic strength มากกว่า 0.15 (โดยทั่วไปจะอยู่ในช่วง 0.3-1.0) สารละลายโปรตีนดังกล่าวสามารถตกตะกอนได้โดยการเจือจางด้วยน้ำกลั่น ประมาณ 10 เท่า โปรตีนชนิดนี้มีบทบาทสำคัญต่อการยืดหดกล้ามเนื้อ จึงมีความสำคัญต่อการเคลื่อนที่ของปลาหมึก นอกจากนี้ยังมีความสำคัญต่อการอุ้มน้ำของเนื้อ และความสามารถในการเกิดเจล (Kijowski, 2001)

3.1.1.1 ไมโอซิน (Myosin)

ไมโอซินเป็นโปรตีนของฟิลาเมนต์หนา (thick filament) ที่มีโมเลกุลที่ยาวมากและมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 500,000 ไมโอซินประกอบด้วยโซ่โพลีเปปไทด์ เหมือนกัน 2 โซ่ ซึ่งแต่ละโซ่มีโครงสร้างเป็น α-helix โพลีเปปไทด์ 2โซ่นี้มาขดพันกันเป็น superhelix (ภาพที่ 1.4) โมเลกุลของไมโอซินมีหัวกลม (grobular heads) ซึ่งมีเอนไซม์ ATPase อยู่ และเป็นส่วนที่สามารถเกิดอันตรกิริยา (Interaction) กับแอกตินได้ เอนไซม์ ATPase สามารถย่อยสลาย ATP ไปเป็น ADP และฟอสเฟตอนินทรีย์ (Pi) หัวกลมนี้มี 2 หัว และเป็นส่วนที่สิ้นสุดของโพลีเปปไทด์ทั้ง 2 โซ่ ไมโอซินถูกย่อยได้โดยเอนไซม์ที่ย่อยโปรตีน เช่น ทริปซิน (trypsin) ออกเป็น 2 ส่วน ส่วนหนึ่งเรียกว่า เมโรไมโอซินเบา (light meromyosin) อีกส่วนหนึ่งเรียกว่า เมโรไมโอซินหนัก (heavy meromyosin) หลังจากการย่อย เมโรไมโอซินหนักก็ยังคงมีความสามารถที่จะเกิดอันตกิริยากับแอกตินได้ และแอกติวิตีของเอนไซม์ ATPase ก็ยังคงอยู่ (รัชนี ตัณฑะพานิชกุล, 2544)



ภาพที่ 1.4 รูปร่างโมเลกุลของไมโอซิน

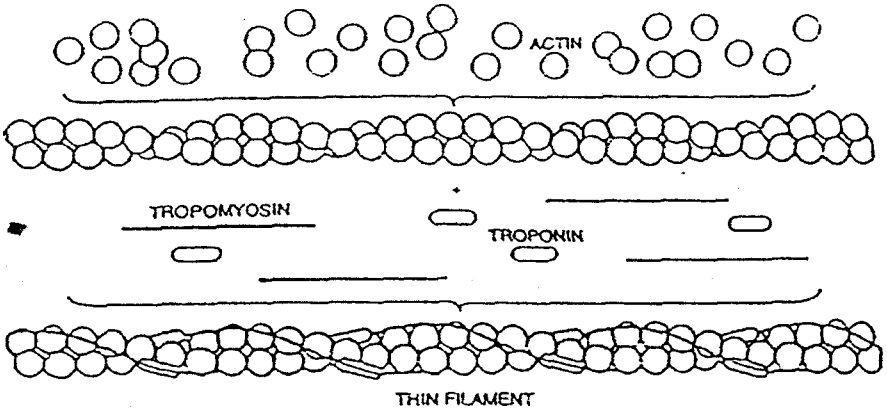
Figure 1.4 Structure of myosin

ที่มา : รัชนี ตัณฑะพานิชกุล (2544)

3.1.1.2 แอกติน (Actin)

แอกตินเป็นโปรตีนที่สำคัญของฟิลาเมนต์บาง (thin filament) มีประมาณร้อยละ 20 ของไปรตีนไมโอไฟบริล แอกตินจะติดแน่นกับโครงสร้างของกล้ามเนื้อมากกว่าไมโอซิน แอกตินมีรูปร่างคล้ายเม็ดถั่ว 2 เม็ด ที่มีขนาดเท่ากัน เรียงต่อกัน ดังภาพที่ 1.5 แอกตินฟิลาเมนต์ (actin filament) ซึ่งเป็นเส้นใยเกิดจาก G-actin หรือ globular actin ซึ่งเป็นโมโนเมอร์ของแอกตินมาเชื่อมต่อกันตามยาวเกิดเป็น เอฟ-แอกติน (F-actin หรือ Fibrous actin) การเชื่อมต่อกันของแอกติน คล้ายกับไข่มุกที่ร้อยเป็นพวงยาว F-actin 2 เส้น ซึ่งขดเป็นเกลียวพันกัน เกิดเป็นซุปเปอร์ฮีลิกซ์ (Super helix) ซึ่งเป็นลักษณะของแอกตินฟิลาเมนต์ G-actin ประกอบไปด้วยกรดอะมิโน 374-375 ตัว มีมวลโมเลกุลประมาณ 42,000-48,000 D และละลายน้ำได้ (Foegeding *et al.*, 1996) G-actin จับ

อยู่กับโทรโพนินและโทรโพไมโอซิน สามารถเกิดอันตกิริยากับส่วนหัวของไมโอซิน (Kijowski, 2001)



ภาพที่ 1.5 ภาพร่างขององค์ประกอบของฟิลาเมนต์เส้นบาง

Figure 1.5 Schematic of thin filament

ที่มา : Foegeding และคณะ (1996)

3.1.1.3 พาราไมโอซิน (Paramyosin)

พาราไมโอซินพบในกล้ามเนื้อเรียบและกล้ามเนื้อลายของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง มีมวลโมเลกุล 200,000 ดาลตัน (Sugiyama *et al.*, 1989) ในกล้ามเนื้อปลาหมึกพบว่ามีพาราไมโอซินประมาณร้อยละ 14 ของโปรตีนไมโอไฟบริล (สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2545)

3.1.1.4 โทรโพไมโอซิน (tropomyosin)

โทรโพไมโอซิน มีอยู่ประมาณร้อยละ 8-10 ของโปรตีนในไมโอไฟบริล เป็นโมเลกุลที่มีประจุมาก (รัชนี ตัณฑะพานิชกุล , 2544) ประกอบด้วยสายพอลิเปปไทด์ ชนิด α-helix (สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2545) ต่อกันปลายต่อปลาย เกิดเป็นเส้นบางยาว ในแอกตินฟิลาเมนต์จะมีเส้นโทรโพไมโอซินพันไปตามผิวนอกของสายโซ่คู่ที่ขดเป็นเกลียวของ F-actin ในโทรโพไมโอซินแต่ละเส้นประกอบด้วย G-actin 7 โมเลกุล (Foegeding *et al.*, 1996)

3.1.1.5 โทรโพนิน (troponin)

โทรโพนินเป็นโปรตีนชนิด Globular มีประมาณร้อยละ 8-10 ของโปรตีนไมโอไฟบริลส่วนใหญ่อยู่รวมกับโทรโพไมโอซิน โทรโพนินสามารถจับกับแคลเซียมและมีบทบาทสำคัญในการหดตัวของกล้ามเนื้อ โทรโพนิน ประกอบด้วย 3 ซับยูนิต (Foegeding *et al.*, 1996) ได้แก่ troponin C, I และ T ตามลำดับ โดย troponin C มีมวลโมเลกุลประมาณ 17,000 ดาลตัน ประกอบด้วยกรดอะมิโนชนิดที่เป็นกรดจึงมีบทบาทในการจับกับแคลเซียมไอออนและมีผลต่อ calcium sensitivity ส่วน troponin I มีมวลโมเลกุลประมาณ 20,000-24,000 ดาลตัน สามารถยับยั้งกิจกรรมของ ATPase และ troponin T มีมวลโมเลกุลประมาณ 37,000-40,000 ดาลตัน ทำหน้าที่ในการจับกับโทรโพไมโอซิน (Foegeding *et al.*, 1996)

3.2 โปรตีนซาร์โคพลาสมิก (sarcoplasmic proteins)

โปรตีนซาร์โคพลาสมิกมีอยู่ประมาณ ร้อยละ 20 ของโปรตีนทั้งหมดในกล้ามเนื้อส่วนลำตัวของปลาหมึก ละลายน้ำได้และละลายได้ในสารละลายเกลือที่เป็นกลาง (Sugiyama *et al.*, 1989) โปรตีนชนิดนี้ได้แก่ เอนไซม์ ไมโอโกลบิน ฮีโมโกลบิน (Foegeding *et al.*, 1996)

3.3 สโตรมา (Stroma)

สโตรมาเป็นส่วนที่เหลือจากการสกัดโปรตีนซาร์โคพลาสมิกและโปรตีนไมโอไฟบริล ประกอบด้วย เนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (Connective tissue protein) เช่น คอลลาเจน (Collagen) และอิลาสติน (Elastin) มีประมาณร้อยละ 3 ของโปรตีนทั้งหมด (Kijowski, 2001)

3.3.1 คอลลาเจน (Collagen)

คอลลาเจนเป็นโปรตีนที่มีมากที่สุดในเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน และเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของเส้นเอ็น ผิวหนัง กระดูก ระบบเส้นเลือดของสัตว์ และเป็นพังผืดหุ้มกล้ามเนื้อ คอลลลาเจนมีปริมาณเท่ากับหรือมากกว่าหนึ่งในสามของโปรตีนทั้งหมดในกล้ามเนื้อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (Foegeding *et al.*, 1996) ปริมาณคอลลาเจน ขึ้นกับ ชนิด ระยะการเจริญเติบโตและความสมบูรณ์ของอาหาร Mizuta และคณะ (2003) พบว่า ปลาหมึกมีปริมาณคอลลาเจนร้อยละ 1.9 (wet tissue) และร้อยละ 14 ของโปรตีนทั้งหมด ปริมาณคอลลาเจนที่พบในปลาหมึกชนิดต่างๆ แสดงได้ดังตารางที่ 1.2 กล้ามเนื้อปลาหมึกส่วนลำตัวและหนวดประกอบด้วยคอลลาเจนร้อยละ 2-11 และร้อยละ 2-16 ของโปรตีนตามลำดับ การเชื่อมประสานกันของคอลลาเจนจะเกิดมากขึ้นเมื่อสัตว์มีอายุมากขึ้น ซึ่งทำให้เนื้อที่ได้จากสัตว์ที่มีอายุมากมีความเหนียวมากกว่าเนื้อที่ได้จากสัตว์ที่มีอายุน้อย

นอกจากนี้การเชื่อมประสานที่มากขึ้นทำให้ความสามารถในการละลายในตัวทำละลายต่างๆ เช่น สารละลายเกลือและสารละลายกรดลดลง (Foegeding *et al.*, 1996)

ตารางที่ 1.2 ปริมาณคอลลาเจนในส่วนลำตัวของปลาหมึกสายพันธุ์ต่างๆ

Table 1.2 Collagen content in mantle of cephalopod

Muscle	Percentage of total weight	Percentage of dry weight	Percentage of protein
Oval squid [a]	0.76±0.20	3.26±0.79	3.38±1.08
Japanese common squid[a]	0.77±0.60	3.17±0.17	3.90±0.31
Arrow squid [a]	0.59±0.01	2.62±0.09	0.92±0.05
Common octopus[b]	1.9	-	14

ที่มา : [a] Kagawa และคณะ (2002); [b] Mizuta และคณะ (2003)

4. ผลของการแช่เยือกแข็งต่อความสามารถละลายและความสามารถอุ้มน้ำของโปรตีน และเนื้อสัมผัสของปลาหมึก

เนื่องจากปลาหมึกไม่มีโครงกระดูกแข็ง จึงจำเป็นต้องมีกล้ามเนื้อที่แข็งแรงเพื่อป้องกันอวัยวะภายในจึงทำให้ปลาหมึกมีเนื้อสัมผัสเหนียวกว่าปลา การแปรรูปปลาหมึกจะมีผลให้เนื้อสัมผัสของปลาหมึกเปลี่ยนไปเนื่องจากการการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับเส้นใยกล้ามเนื้อแต่ละชั้น การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอาจได้แก่ การเกิดเจลหรือการละลายของคอลลาเจน หรือการหดตัวของไมโอไฟบริล (Lluch *et al.*, 2001; Kreuzer, 1984) ซึ่งแตกต่างไปตามวิธีการที่ใช้แปรรูปปลาหมึก Ueng และ Chow (1998) ได้ศึกษาผลการเก็บรักษาปลาหมึกแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -20 °C เป็นเวลา 4 เดือน ต่อการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัส โดยใช้ปลาหมึก 3 สายพันธุ์ คือ ปลาหมึกกล้วย 2 สายพันธุ์คือ *L .argentinus* และ *L.edulis* และปลาหมึกกระดอง (*S.pharaonis*) เมื่อวัดเนื้อสัมผัสของปลาหมึกโดยใช้แรงตัด พบว่าปลาหมึกกระดองมีความเหนียวมากกว่าปลาหมึกกล้วยทั้ง 2 สายพันธุ์ โดยอาจเป็นเพราะปลาหมึกกระดองมีความหนาของกล้ามเนื้อมากกว่า และยังพบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาโดยการแช่เยือกแข็งเพิ่มขึ้นมีผลให้ปลาหมึกทั้ง 3 สายพันธุ์มีความเหนียวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างก่อนการแช่เยือกแข็ง คณะวิจัยได้อธิบายการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของกล้ามเนื้อปลาหมึกในระหว่างการแช่เยือกแข็งดังกล่าวว่า อาจเนื่องจากการสูญเสียความสามารถในการอุ้มน้ำของกล้ามเนื้อ (water holding capacity) ในระหว่างการเก็บรักษาโดยการแช่เยือกแข็ง โดยคณะวิจัยพบว่าปลาหมึกกล้วยสายพันธุ์ *L.argentinus* มีการสูญเสียน้ำมากที่สุด คือ 50-55 กรัมของน้ำต่อร้อยกรัมของตัวอย่าง ในขณะที่ปลาหมึกกล้วยสายพันธุ์ *L.edulis*

และปลาหมึกกระดอง *S.pharaonis* สูญเสียน้ำ 45 กรัมของน้ำต่อร้อยกรัมของตัวอย่าง และ 25-45 กรัมของน้ำต่อร้อยกรัมของตัวอย่าง ตามลำดับ ความสามารถในการอุ้มน้ำที่ลดลงดังกล่าวยังอาจเป็นผลจากการเกิดผลึกน้ำแข็งขึ้นในระหว่างการแช่เยือกแข็งที่อาจทำลายเส้นใยกล้ามเนื้อของปลาหมึก นอกจากนี้การเกิดผลึกของน้ำในเซลล์ยังทำให้สารละลายที่ยังไม่แข็งตัวมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะการเพิ่มความเข้มข้นของเกลืออาจทำให้โปรตีนสูญเสียสภาพตามธรรมชาติ ประกอบกับไมโอซินสามารถจับกับแอกตินได้มากขึ้นเพื่อเกิดเป็นแอกโตไมโอซินซึ่งอาจเป็นสาเหตุหนึ่งของการเพิ่มขึ้นของค่าความเหนียว (Tarrant, 1982)

Ruiz-Capillas และคณะ (2002) ศึกษาความสามารถในการละลายของโปรตีนกล้ามเนื้อปลาหมึก Volador (*Illex coindetii*) ในสารละลายเกลือเข้มข้นร้อยละ 5 พบว่าโปรตีนสามารถละลายได้มากกว่าร้อยละ 60 ตลอดการเก็บรักษาโดยการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -20 °C เป็นเวลา 16 เดือน นอกจากนี้ Mora และคณะ (2002) ยังพบว่าการเก็บรักษาปลาหมึกโดยการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -20 °C เป็นเวลา 12 เดือน หลังจากนั้นนำตัวอย่างปลาหมึกมาทดสอบความสามารถในการละลายของโปรตีนในสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 5 มีผลให้ความสามารถในการละลายของโปรตีนมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ข้อสังเกตดังกล่าวได้รับการอธิบายว่าการแช่เยือกแข็งทำให้น้ำในกล้ามเนื้อกลายเป็นน้ำแข็งทำให้ปริมาณตัวถูกละลายมีความเข้มข้นสูงขึ้นโดยเฉพาะเกลือ ที่มีผลให้ ionic strength ของระบบมีค่าสูงขึ้น ทำให้ globular protein คลายตัวทำให้หมู่ Functional ต่างๆปรากฏขึ้นบนผิวหน้าโมเลกุล ประกอบกับการมีปริมาณของน้ำในระบบน้อยทำให้โปรตีนเข้าใกล้กันมากขึ้น นำไปสู่การจับตัวกันเป็นโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ขึ้น กระทั่งทำให้โปรตีนสูญเสียความสามารถละลายน้ำ

5. สารช่วยเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ

เนื่องจากโปรตีนกล้ามเนื้อมีความสำคัญต่อความสามารถอุ้มน้ำของกล้ามเนื้อ แต่เนื่องจากกระบวนการแปรรูปอาหารมักมีผลให้โปรตีนสูญเสียสภาพธรรมชาติซึ่งอาจทำให้กล้ามเนื้อสูญเสียความสามารถอุ้มน้ำได้ จึงมีการใช้สารเติมแต่งอาหารที่มีสมบัติป้องกันการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน Noguchi (1974) รายงานว่าสารที่สามารถป้องกันการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนได้นั้น ในโมเลกุลจะประกอบด้วยหมู่ต่อไปนี้คือ -OH, -COOH, หรือ -OPO_3H_2 อย่างน้อย 1 หมู่ และประกอบด้วยโซ่ข้าง เช่น หมู่ -OH, -COOH, -NH_2, -SH, -SO_3H และ/หรือ -OPO_3H_2 มากกว่า 1 หมู่ ซึ่งเมื่ออยู่ในสารละลายจะสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้หลายพันธะ (Lanier and Akahane, 1986; Park *et al.*, 1987) Xiong (1997) ได้แบ่งประเภทของสารที่มีคุณสมบัติป้องกันการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนเป็น 2 ประเภท ได้แก่ สารที่มีน้ำหนัก

โมเลกุลต่ำ เช่น Carboxylic acid, calcium algenate และสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง เช่น polydextrose, glucose syrup, protein hydrolysate หรือ polysaccharide hydrocolloid เป็นต้น

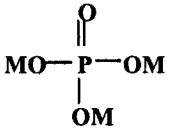
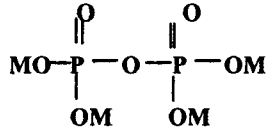
กลไกในการป้องกันการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนโดยสารชนิดต่างๆ ดังกล่าวยังไม่สามารถอธิบายได้ชัดเจนนัก แต่สันนิษฐานว่าสารดังกล่าวจะไปมีผลต่อการเกิดผลึกน้ำแข็ง การสูญเสียน้ำออกจากโมเลกุลโปรตีน และการเพิ่มความเข้มข้นของเกลือ การใช้สารกลุ่มคาร์โบไฮเดรตคาดว่าจะไปมีผลทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างคาร์โบไฮเดรต หรือ polyol กับหมู่โซ่ข้างของโปรตีน ซึ่งจะลดอันตกิริยาระหว่างโปรตีนกับโปรตีนลง มีผลเพิ่มความสามารถในการจับกันระหว่างน้ำกับโปรตีน และการที่โปรตีนจับกับน้ำมากขึ้นจะทำให้ปริมาณน้ำในระบบเปลี่ยนเป็นผลึกน้ำแข็งได้น้อยลง ซึ่งจะทำให้การสะสมของตัวถูกละลายและไอออนรอบๆโมเลกุลของโปรตีนก็จะลดลงด้วย (Xiong, 1997)

5.1 สารประกอบฟอสเฟต

สารประกอบฟอสเฟตที่ใช้ในอุตสาหกรรมมอาหารนั้นแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ ออร์โทฟอสเฟต (orthophosphates) และคอนเดนส์ฟอสเฟต (condensed phosphates) ออร์โทฟอสเฟตนั้นประกอบด้วย ฟอสฟอรัส 1 อะตอม ล้อมรอบด้วยออกซิเจน 4 อะตอม อนุมูลนี้มีตำแหน่งที่จะรับอะตอมที่มีประจุบวกได้ 3 ประจุ ซึ่งอาจเป็นอะตอมของไฮโดรเจนและ/หรือไอออนบวกของโลหะที่เป็นด่าง ส่วนคอนเดนส์ฟอสเฟตเกิดจากการให้ความร้อนแก่ส่วนผสมของสารประกอบออร์โทฟอสเฟตภายใต้สภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิ ทำให้ได้สารประกอบที่มีฟอสฟอรัสตั้งแต่ 2 อะตอมขึ้นไป โดยที่ระหว่างอะตอมของฟอสฟอรัสจะมีอะตอมของออกซิเจนคั่นอยู่ สารประกอบฟอสเฟตที่มีฟอสฟอรัส 2 อะตอมนี้เรียกว่า ไพโรฟอสเฟต (pyrophosphate) ส่วนสารประกอบฟอสเฟตที่มีฟอสฟอรัสตั้งแต่ 3 อะตอมขึ้นไปนั้นเรียกว่า โพลีฟอสเฟต (polyphosphate) ซึ่งมีลักษณะโมเลกุลเป็นเส้นตรง แต่ถ้าโมเลกุลเชื่อมต่อกันเป็นวงจะเรียกว่า เมตาฟอสเฟต (metaphosphate) (Dziezak, 1990) โพลีฟอสเฟตที่นิยมใช้จะอยู่ในรูปของเกลือโซเดียม แต่มีบางชนิดที่อยู่ในรูปของเกลือโพแทสเซียมที่มีคุณสมบัติเป็นกลาง แต่เปลี่ยนเป็นด่างได้เมื่อละลายในน้ำนอกจากนี้ยังมีบางชนิดที่มีคุณสมบัติเป็นกรด เช่น โซเดียม แอซิด ไพโรฟอสเฟต (sodium acid pyrophosphate) เป็นต้น (Sofos, 1986) คุณสมบัติของสารประกอบฟอสเฟตชนิดต่างๆแสดงดังตารางที่1.3

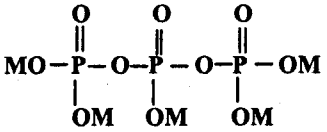
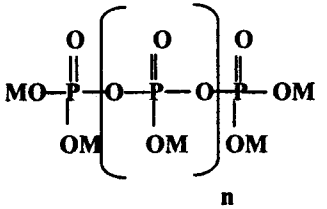
ตารางที่ 1.3 ชนิด โครงสร้าง พีเอช การละลายและหน้าที่ของฟอสเฟตชนิดต่างๆ

Table 1.3 Classes, formulas, pH, solubility and functions of several phosphates

Class of phosphate	Basic structure[a]	Phosphate name	Generally accepted formular	pH (1 % solution)	Solubility at 25 °C (g/100g water)	Functions
Orthophosphate		Monosodium phosphate	NaH_2PO_4	4.6	87	Emulsifier, buffer
		Disodium phosphate	Na_2HPO_4	9.2	12	Emulsifier, buffer
		Disodium phosphate dehydrate	$Na_2H_2PO_4.2H_2O$	9.1	15	Emulsifier, buffer
		Trisodium phosphate	Na_3PO_4	11.8	14	Emulsifier, buffer
		Monopotassium phosphate	KH_2PO_4	4.6	25	Water binding agent in meats
		Dipotassium phosphate	K_2HPO_4	9.3	168	Emulsifier, buffer
		Tripotassium phosphate	K_3PO_4	11.9	107	Emulsifier, buffer
		Monocalcium phosphate	$Ca(H_2PO_4)_2$ $.H_2O$	3.8	-	Acidulant, leavening acid, dough condition, yeast food, nutrient
Condensed phosphates pyrophophates		Sodium acid pyrophosphate	$Na_2H_2P_2O_7$	4.3	15	Emulsifier, buffer, sequestrant water binding agent in meats
		Tetrasodium pyrophosphate	$Na_2P_2O_7$	10.3	8	Dispersant, coagulant, crystallization inhibitor in canned tuna

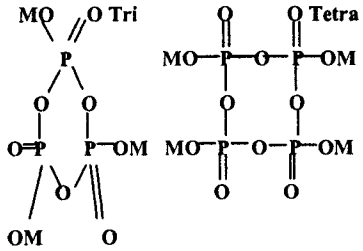
ตารางที่ 1.3 (ต่อ)

Table 1.3 (Continue)

Class of phosphate	Basic structure[a]	Phosphate name	Generally accepted formular	pH (1 % solution)	Solubility at 25 °C (g/100g water)	Functions
		Tetrapotassium pyrophosphate	$K_2P_2O_7$	10.5	187	Emulsifier, water binding agent in meats, suspending agent
Tripolyphosphate		Sodium Tripolyphosphate	$Na_5PO_3O_{10}$	9.9	15	Emulsifier, water binding agent in meats,
		Potassium Tripolyphosphate	$K_5P_3O_{10}$	9.6	193	Emulsifier, water binding agent in meats,
Long-chain polyphosphate		Sodium polyphosphates,	$(NaPO_3)_4 .Na_2O$	7.7	40[b]	Sequestrant, emulsifier, water binding agent in meats, suspending agent
		Glassy, or Graham's Salt; tree chain length;	$(NaPO_3)_{13}.Na_2O$	6.9	40[b]	"
		Sodium hexametaphosphate has an average chain length of 13	$(NaPO_3)_{21}.Na_2O$	6.3	40[b]	"

ตารางที่ 1.3 (ต่อ)

Table 1.3 (Continue)

Class of phosphate	Basic structure[a]	Phosphate name	Generally accepted formular	pH (1 % solution)	Solubility at 25 °C (g/100g water)	Functions
Metaphosphate		Sodium Trimetaphosphate	$(NaPO_3)_3$	6.7	23	-
		Sodium tetrametaphosphate	$(NaPO_3)_4$	6.2	18	-

[a] M standard for one equivalent of a metal ion or hydrogen

[b] Solubility is higher than 40 % but this value is recommended for ease of preparation and use

ที่มา : Dziezak (1990)

คุณสมบัติและหน้าที่ของสารประกอบฟอสเฟต

1. คุณสมบัติในการเป็นบัฟเฟอร์ (Buffering capacity)

สารประกอบฟอสเฟตช่วยควบคุมการเปลี่ยนแปลง pH ของสารละลาย สารประกอบฟอสเฟตที่ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ได้ดีคือ ออร์โทฟอสเฟตและไพโรฟอสเฟต ส่วนโพลีฟอสเฟตนั้นยิ่งมีขนาดโมเลกุลยาวมากขึ้นคุณสมบัติการเป็นบัฟเฟอร์ก็จะลดลง (Dziezak, 1990)

2. คุณสมบัติในการยับยั้งกิจกรรมไอออนของโลหะ (Inactivation of metal ions)

ฟอสเฟตสามารถจับกับไอออนบวกของโลหะชนิดต่างๆ เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม ทองแดง และเหล็ก เพื่อป้องกันไม่ให้ไอออนเหล่านี้ทำปฏิกิริยากับองค์ประกอบของอาหาร (Dziezak, 1990) โดยเฉพาะแมกนีเซียม เนื่องจากแมกนีเซียมเป็นธาตุที่จับอยู่กับโปรตีนไมโอซินและมีส่วนช่วยในกระบวนการหดตัวของกล้ามเนื้อ ที่เป็นสาเหตุให้โปรตีนสูญเสียคุณสมบัติในการอุ้มน้ำ แต่เมื่อโพลีฟอสเฟตที่มีคุณสมบัติในการจับกับไอออนโลหะได้ดี เข้าไปจับกับแมกนีเซียมที่จับอยู่กับไมโอซิน จึงทำให้กล้ามเนื้อคลายตัว ทำให้ได้ความสามารถในการอุ้มน้ำกลับมาส่วนหนึ่งถึงแม้จะไม่เท่ากับความสามารถในตอนเริ่มต้นก็ตาม โพลีฟอสเฟตที่มีฟอสฟอรัสหลายอะตอม สามารถจับกับไอออนของโลหะเบา เช่น แคลเซียม และแมกนีเซียมได้ดีที่สุด และความสามารถนี้จะเพิ่มขึ้นเมื่อ pH เพิ่มขึ้น ในขณะที่โพลีฟอสเฟตที่ประกอบด้วยฟอสฟอรัสอะตอมน้อยกว่า จะจับกับไอออนของโลหะหนัก เช่น ทองแดง และเหล็กได้ดี และความสามารถนี้จะลดลงเมื่อ pH เพิ่มขึ้น (Schut, 1976)

3. คุณสมบัติในการเป็นเป็นสารโพลีวาเลนซีและสารโพลีอิเลคโตรไลท์ (Polyvalency and polyelectrolyte behavior)

เนื่องจากฟอสเฟตโดยเฉพาะโพลีฟอสเฟตสามารถแตกตัวให้ประจุลบมากกว่า 1 ประจุ จึงสามารถจับกับองค์ประกอบของอาหารแล้วทำให้เกิดการแยกกลุ่ม การกระจาย การรวมตัวของไขมันกับน้ำ หรือการแขวนลอยกับองค์ประกอบต่างๆ นอกจากนี้โพลีฟอสเฟตยังสามารถรวมตัวกับประจุบวกที่อยู่บนโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น โปรตีน (ประสาร สวัสดิ์ชีตัง, 2538) ซึ่งจะทำให้โปรตีนสามารถอุ้มน้ำและละลายน้ำได้ดีขึ้น จึงสามารถเพิ่มความสามารถในการเกิดเจลของโปรตีนได้ (Dziezak, 1990)

Woyewoda และ Bligh (1984) พบว่า การแช่ชิ้นปลาคอดในสารละลายไตรโพลีฟอสเฟตเข้มข้นร้อยละ 12 ก่อนการแช่เยือกแข็งและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -12 หรือ -30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 26 สัปดาห์ สามารถลดการสูญเสียน้ำจากการทำละลาย (thaw drip) และการสูญเสียน้ำจากการให้ความร้อน (cooked drip) นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มปริมาณผลผลิตของชิ้นปลาสด และปลาที่ผ่านการให้ความร้อน Thorarinsdottir และคณะ (2004) ศึกษาการแช่ชิ้นปลาคอดใน

สารละลายโพลีฟอสเฟตเข้มข้นร้อยละ 3 เป็นเวลา 20 นาที เปรียบเทียบกับการแช่ชิ้นปลาคอดในสารละลายเกลือ(sodium chloride)ร้อยละ5 เป็นเวลา 20 นาที และ soy protein concentrate (SPC) เข้มข้นร้อยละ 10 เป็นเวลา 20 นาที แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -24 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 เดือน พบว่า การใช้สารละลายฟอสเฟตเพียงอย่างเดียวสามารถเพิ่มผลผลิตหลังจากการให้ความร้อนได้ดีที่สุด การใช้สารละลายฟอสเฟตร่วมกับสารละลายเกลือ สามารถเพิ่มผลผลิตหลังจากการแช่เยือกแข็งและเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำได้สูงกว่าการใช้ฟอสเฟต เกลือ หรือ SPC เพียงชนิดเดียว เนื่องจากเกลือและฟอสเฟตมีผลให้กล้ามเนื้อพองตัวและสามารถอุ้มน้ำได้เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายเกลือถึงร้อยละ 6 แต่การเพิ่มความเข้มข้นของเกลือในระดับ ร้อยละ 9-10 จะทำให้โปรตีนสูญเสียสภาพธรรมชาติที่ทำให้ความสามารถอุ้มน้ำลดลง (Thorarinsdottir *et al.*, 2002) การใช้เกลือร่วมกับฟอสเฟตจะทำให้ใช้เกลือในปริมาณที่น้อยกว่าการใช้เกลือเพียงอย่างเดียวในการทำให้ไมโอฟีบิลลาร์โปรตีนพองตัวสูงสุด กลไกการทำงานร่วมกันระหว่างเกลือกับฟอสเฟตสามารถอธิบายได้โดยการที่คลอไรด์ไอออนจะไปจับกับโมเลกุลของโปรตีนทำให้ประจุบริเวณผิวของโมเลกุลโปรตีนเป็นประจุชนิดเดียวกัน ทำให้เกิดการผลักกันระหว่างฟิลาเมนต์ นำไปสู่การพองตัวของกล้ามเนื้อ ในขณะที่ฟอสเฟตมีผลให้ pH และ Ionic Strength เพิ่มขึ้น และยังสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับโปรตีนที่จับอยู่กับแมกนีเซียมและแคลเซียมทำให้โปรตีนสามารถที่จะแตกตัวเกิดตำแหน่งที่จะรวมตัวหรือจับกับน้ำได้มากขึ้น (Dziezak, 1990)

5.2 สารประกอบที่ไม่ใช่ฟอสเฟต

การแช่ปลาหมึกในสารละลายฟอสเฟตก่อนการแช่เยือกแข็ง แม้ว่าจะสามารถเพิ่มความสามารถอุ้มน้ำของปลาหมึกแช่เยือกแข็งได้ดี แต่ก็พบว่าทำให้ปลาหมึกมีเนื้อสัมผัสนิ่มลงและทำให้เกิดสีแดงตรงส่วนหัวของปลาหมึก (ข้อมูลจากการสอบถาม, 2548) ซึ่งอาจเป็นผลจากการสลายตัวของสารประกอบโพลีฟอสเฟตเป็นไพโรฟอสเฟตและโอโทฟอสเฟต โดยเฉพาะการสลายตัวที่เป็นผลจากกิจกรรมของเอนไซม์ไตรโพลีฟอสฟาเตส (Tripolyphosphatase) (Matsunaga *et al.*, 1990) ที่มีผลให้จำนวนหมู่ที่สามารถสร้างอันตกิริยากับโปรตีนได้มีจำนวนเพิ่มขึ้น นำไปสู่การจับน้ำและการพองตัวของเส้นใยกล้ามเนื้อที่มากเกินไป จนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวขึ้น จึงได้มีการทดลองนำสารที่มีประสิทธิภาพในการเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ มาทดลองใช้ในการเก็บรักษาอาหารแช่เยือกแข็ง

Auh และคณะ (1999) เปรียบเทียบการใช้ สารละลายผสมของ oligosaccharide (HBOS) ร้อยละ 8 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ซูโครส และสารผสมระหว่างซูโครสกับซอร์บิทอลในอัตราส่วน 1:1 ในซูริมิแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 °C เป็นเวลา 3 สัปดาห์ พบว่า สารผสมระหว่างซูโครสและซอร์บิทอลมีประสิทธิภาพในการเพิ่มความสามารถอุ้มน้ำของเจลซูริมิสูงที่สุด ส่วน

HBOS และซูโครสให้ความสามารถอุ้มน้ำของเจลซูริมิไม่แตกต่างกัน และสารทั้ง 2 ชนิดให้ความสามารถอุ้มน้ำของเจลซูริมิแตกต่างจากสารผสมระหว่างซูโครสและซอร์บิทอลเพียงเล็กน้อย

Montero และ Carmen Gómez-Guillén (1999) ศึกษาประสิทธิภาพของซอร์บิทอลเข้มข้นร้อยละ 6 (L2) และซอร์บิทอลเข้มข้นร้อยละ 6 ร่วมกับไข่ขาวเข้มข้นร้อยละ 2 (L3) เปรียบเทียบกับชุดควบคุม (L1) ในการป้องกันการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนในเนื้อกุ้งสับที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -12 °C เป็นเวลา 90 วัน พบว่าการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการอุ้มน้ำของโปรตีนและปริมาณโปรตีนที่ละลายได้ในสารละลายเกลือเข้มข้น 0.8 M เกิดขึ้นน้อยมากจนถือว่าคงที่ ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนไมโอฟีบิลลาร์เกิดขึ้นน้อยมาก Zhou และคณะ (2005) ศึกษาผลของสารที่สามารถป้องกันการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนในซูริมิจากปลานิล โดยเปรียบเทียบระหว่าง trehalose เข้มข้นร้อยละ 8 โซเดียมแลคเตทเข้มข้นร้อยละ 8 และสารผสมระหว่างซูโครสและซอร์บิทอล อัตราส่วน 1:1 เข้มข้นร้อยละ 8 ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 °C เป็นเวลา 24 สัปดาห์ พบว่า trehalose สามารถป้องกันการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนในซูริมิได้ดีกว่าโซเดียมแลคเตทและสารผสมระหว่างซูโครสและซอร์บิทอลตามลำดับ โดยจะเห็นได้จากปริมาณโปรตีนที่สกัดได้จากสารละลายเกลือ (Salt extractable protein) ในชุดการทดลองที่เติม trehalose มีปริมาณสูงกว่าในชุดการทดลองที่มีการเติมสารอีก 2 ชนิด นอกจากนี้ Herrera และ Mackie (2004) ได้ศึกษาผลของ polydextrose, lactitol, glucose syrup และ สารผสมระหว่างซูโครสและซอร์บิทอล อัตราส่วน 1:1 โดยสารแต่ละชนิดเข้มข้นร้อยละ8 ต่อการเก็บรักษาชิ้นปลา rainbow trout ที่อุณหภูมิ -20 °C เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า polydextrose มีประสิทธิภาพในการป้องกันการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนได้ดีที่สุด รองลงมาคือ lactitol glucose syrup และ สารผสมระหว่างซูโครสและซอร์บิทอล ตามลำดับ โดยการใช้ polydextrose มีปริมาณโปรตีนที่สามารถละลายได้ในสารละลายเกลือมากกว่าร้อยละ 90 เมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษา Ensoy และคณะ (2004) ศึกษาการใช้น้ำล้างซูริมิ 4 ชนิด คือ โซเดียมไบคาร์บอเนตเข้มข้นร้อยละ 0.5, โซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.1 M, โซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.04 M และ น้ำประปาในอัตราส่วนน้ำล้าง ต่อ ซูริมิ เท่ากับ 3:1 ร่วมกับการเติมสารผสมเพื่อป้องกันการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน โดยเป็นสารผสม 2 ชนิด ชนิดแรกได้แก่ ซูโครสเข้มข้นร้อยละ 2 ร่วมกับซอร์บิทอลเข้มข้นร้อยละ 2 และโซเดียมไพโรฟอสเฟตเข้มข้นร้อยละ 0.3 สารผสมชนิดที่ 2 ได้แก่ ซูโครสเข้มข้นร้อยละ 4 ร่วมกับซอร์บิทอลเข้มข้น ร้อยละ 2.8 หลังจากนั้นเก็บรักษาซูริมิที่อุณหภูมิ -18 °C เป็นเวลา 4 เดือน พบว่า การใช้โซเดียมไบคาร์บอเนต ร่วมกับสารป้องกันการสูญเสียสภาพธรรมชาติทั้ง 2 กลุ่ม ให้ความสามารถในการอุ้มน้ำของซูริมิสูงที่สุด (ประมาณร้อยละ 65 เมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษา) และโซเดียมไบคาร์บอเนตยังให้ผลในการรักษา pH ของซูริมิให้อยู่

ในช่วง pH 7-7.5 ตลอดการเก็บรักษาซึ่งเป็นปัจจัยที่ทำให้ฟิลาเมนท์สามารถกักเก็บน้ำไว้ได้มากกว่า และเมื่อเปรียบเทียบสารผสมเพื่อป้องกันการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน 2 กลุ่ม พบว่า สารกลุ่มที่ 1 จะให้ความสามารถในการอุ้มน้ำสูงกว่าสารกลุ่มที่ 2 เมื่อใช้โซเดียมไบคาร์บอเนตเป็นน้ำล้าง เนื่องจากในสารกลุ่มที่ 1 มีโซเดียมไพโรฟอสเฟตเป็นองค์ประกอบจึงทำให้ pH ของซูริมิสูงกว่าการใช้สารกลุ่มที่ 2 แต่การใช้สารกลุ่มที่ 1 ร่วมกับการใช้โซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พบว่า ไม่สามารถทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำของซูริมิเพิ่มขึ้นแต่อย่างใด นอกจากนี้สารกลุ่มที่ 1 ยังทำให้การสูญเสียน้ำจากการให้ความร้อนลดลงได้ดีกว่าสารกลุ่มที่ 2 Lian และคณะ (2000) ศึกษาผลของ ซอร์บิทอลเข้มข้นร้อยละ 4, soy protein concentrate (SPC) เข้มข้นร้อยละ4, อัลจิเนตเข้มข้นร้อยละ 0.2 และ 0.4 , ไอออต้าคาราจิแนนเข้มข้นร้อยละ 0.2 และ 0.4 และโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตเข้มข้นร้อยละ 0.3 ในปลา Hake บดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 °C เป็นเวลา 17 สัปดาห์ พบว่า ซอร์บิทอล อัลจิเนต และโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต สามารถให้ลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดีกว่าสารชนิดอื่นจึงนำสารทั้ง 3 ชนิดมาทดสอบคุณสมบัติของโปรตีนในระหว่างการเก็บรักษา พบว่า ปริมาณโปรตีนที่ละลายในน้ำและปริมาณโปรตีนที่ละลายได้ในสารละลายเกลือเมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษาในสัปดาห์ที่ 4 มีปริมาณร้อยละ 93.3 และร้อยละ 90.1 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการป้องกันการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนของสารทั้ง 3 ชนิด

วัตถุประสงค์

1. เพื่อระบุผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อสมบัติทางกล กายภาพ โครงสร้างจุลภาค ความสามารถละลายของโปรตีนกล้ามเนื้อ และปริมาณของคอลลาเจนที่สกัดได้ของกล้ามเนื้อปลาหมึกกระดอง

2. เพื่อระบุผลของโซเดียมคลอไรด์และโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตที่ระดับความเข้มข้นต่ำๆต่อสมบัติทางกล กายภาพ ความสามารถละลายของโปรตีนกล้ามเนื้อ และปริมาณของคอลลาเจนที่สกัดได้ของกล้ามเนื้อปลาหมึกกระดอง

3. เพื่อระบุผลของโซเดียมคลอไรด์และโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตที่ระดับความเข้มข้นต่ำๆต่อสมบัติทางกล กายภาพ ความสามารถละลายของโปรตีนกล้ามเนื้อ และปริมาณของคอลลาเจนที่สกัดได้ของกล้ามเนื้อปลาหมึกกระดองแช่เยือกแข็งในระหว่างการเก็บรักษา

4. เพื่อลดการใช้โซเดียมไตรฟอสเฟตและคัดเลือกสารเติมแต่งอาหารที่มีศักยภาพในการใช้เพิ่มความสามารถอุ้มน้ำทดแทนการใช้โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตในปลาหมึกกระดองแช่เยือกแข็ง

5. เพื่อศึกษาผลของการใช้สารทดแทนโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตต่อเนื้อสัมผัสของปลาหมึกกระดองแช่เยือกแข็ง