

บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

ผลิตภัณฑ์อาหารทะเลเป็นผลิตภัณฑ์อาหารส่งออกซึ่งสามารถทำรายได้เข้าสู่ประเทศสูงสุด โดยเฉพาะกุ้งกุลาดำทั้งในรูป กุ้งสด กุ้งแช่เยือกแข็ง (แช่เยือกแข็งเป็นก้อน และแช่เยือกแข็งแบบแยกเป็นตัว, IQF) กุ้งลวก กุ้งต้ม กุ้งสดชุบแป้ง กุ้งต้มชุบแป้ง กุ้งสด หรือกุ้งต้มชุบแป้งทอด หรือลูกชิ้นกุ้ง เป็นต้น แต่ในปัจจุบันไทยต้องเผชิญกับปัญหาการแข่งขันสูงมากทั้งจากคู่แข่ง เช่นประเทศเวียดนามที่มีความเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจอย่างรวดเร็ว ถึงแม้ประเทศไทยมีการเลี้ยงกุ้งในปริมาณสูงโดยเฉพาะภาคใต้ แต่ยังไม่พอเพียงกับการส่งออก ทั้งนี้เนื่องจากพื้นที่การเลี้ยงกุ้งไม่สามารถขยายตัวได้ อันเป็นผลจากข้อจำกัดด้านสิ่งแวดล้อม การเพิ่มปริมาณผลผลิต หรือเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตโดยอาศัยเทคโนโลยี และการจัดการที่มีประสิทธิภาพสูง รวมทั้งปัญหาเรื่องการลดต้นทุนการผลิต ดังนั้นการเพิ่มมูลค่าของสินค้า รวมทั้งลดการเสื่อมเสีย เช่นการเกิดจุดดำ หรือการเกิดออกซิเดชันที่ให้แก่เนื้อสัตว์ จึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการเพิ่มความพอใจของตลาดกุ้งไทย เช่น สหรัฐอเมริกา และญี่ปุ่น (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544)

สารประกอบฟอสเฟตเป็นสารเคมีชนิดหนึ่งที่สามารถช่วยเพิ่มผลผลิต และคุณภาพของกุ้งกุลาดำ โดยสารประกอบฟอสเฟตที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารทะเล ได้แก่ โซเดียมเอซิดไพโรฟอสเฟต (sodium acid pyrophosphate; SAPP) เตตระโซเดียมไพโรฟอสเฟต (tetrasodium pyrophosphate; TSPP) โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต (sodium tripolyphosphate; STPP) และโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต (sodium hexametaphosphate; SHMP) ซึ่งแต่ละรูปแบบจะมีคุณสมบัติแตกต่างกัน และมีความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้แตกต่างกัน สารประกอบฟอสเฟตช่วยรักษาโปรตีนชนิดละลายน้ำ เกลือแร่ และวิตามินไว้ในผลิตภัณฑ์ ยืดอายุการเก็บรักษา โดยลด Freezer burn ซึ่งเกิดจากการสูญเสียของผลิตภัณฑ์ ยับยั้งการหืนเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน รวมทั้งช่วย

ให้กุ้งลอกเปลือกได้ง่ายขึ้น ป้องกันการเกิดผลึกสตูไวท์ (แมกนีเซียมแอมโมเนีย ฟอสเฟต; $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$) ซึ่งมีลักษณะเป็นผลึกโปร่งใส อย่างไรก็ตามการใช้ในปริมาณสูงเกินไป มีผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะใสคล้ายแก้ว และเนื้อผลิตภัณฑ์มีกลิ่นได้ (สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2536; Henson and Kowalewski, 1992)

ถึงแม้ว่ามีการใช้สารประกอบฟอสเฟตอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหาร โดยเฉพาะอุตสาหกรรมการแปรรูปสัตว์น้ำ เช่น การแปรรูปกุ้ง อย่างไรก็ตามยังไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับบทบาท และกลไกการทำงานในการปรับปรุงผลผลิต หรือคุณภาพ โดยเฉพาะการใช้สารประกอบฟอสเฟตในกุ้งกุลาดำแช่เยือกแข็ง ดังนั้นการศึกษาการใช้สารประกอบฟอสเฟตในกุ้งกุลาดำ ซึ่งเป็นสัตว์น้ำเศรษฐกิจของไทย โดยพิจารณาชนิด และปริมาณที่ใช้ให้เหมาะสม เพื่อให้ผลผลิตสูง และมีคุณภาพเป็นที่ยอมรับ รวมทั้งศึกษากลไกการทำงานของสารประกอบฟอสเฟตเหล่านี้ จึงเป็นแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการแปรรูปกุ้งให้มีประสิทธิภาพเพิ่มสูงขึ้น รวมทั้งสามารถเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ ลดต้นทุนการผลิต และช่วยส่งเสริมการส่งออกผลิตภัณฑ์กุ้งกุลาดำของประเทศได้อีกทางหนึ่ง

ตรวจเอกสาร

1. กุ้งกุลาดำ

กุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon* Fabricius) มีชื่อสามัญหลายชื่อคือ Black Tiger Prawn, Giant Tiger Prawn หรือ Live Grass Prawn (Grey *et al.*, 1983) จัดเป็นกุ้งที่มีขนาดใหญ่ อยู่ในวงศ์ Penaeidae ลักษณะโดยทั่วไปของกุ้งกุลาดำ คือส่วนลำตัวของกุ้งเป็นข้อปล้อง รวม 19 ปล้อง แต่ละปล้องมีระยางค์ 1 คู่ มีหน้าที่เฉพาะ โดยส่วนหัวกับอก รวมกันเป็นส่วนหัว-อก (Cephalothorax) โดยทั่วไปเรียกรวมๆ ว่าส่วนหัว อยู่ภายใต้เปลือกคลุมหัว (Carapace) ภายในจะมีอวัยวะภายในต่างๆ เรียงตัวกันอยู่ และด้านบนของเปลือกคลุมหัวจะมีกรี (Rostrum) ลักษณะเรียวยาวแหลมโค้งเล็กน้อยยื่นออกไปข้างหน้า ยาวกว่าลูกตาเล็กน้อย ด้านบนและด้านล่างของกรีจะมีหนามเป็นฟันหยักซี่ไปข้างหน้า 6-8 (ส่วนใหญ่ 7) และ 2-4 (ส่วนใหญ่ 3) ซี่ ตามลำดับ ด้านข้างกรีจะมีรอยสันนูน (adrostral carina) ยาวเข้ามาในเปลือกหัวจนเกือบถึงหนามซี่ในสุดด้านบนของกรี (Epigastric spine) แต่สันนูนของฐานกรียาวจนเกือบสุดเปลือกหัว กุ้งกุลาดำเป็นกุ้งที่มีสีสดใส ผิวเป็นมันมองเห็นได้ชัดเจน โดยมักมีสีแดงถึงสีแดงคล้ำ ถ้าจับจากทะเลลึกใหม่ๆ จะเห็นเป็นสีแดงสด และมีวงแหวนสีขาวสลับสีดำของแต่ละปล้องตลอดลำตัว และมักมีจุดสีเข้มประอยู่กระจายทั่วไปหนวดจะมีสีเทาปนเขียวหรือน้ำตาล ส่วนระยางค์มักจะมีสีน้ำตาลและมีขนอ่อนสีแดงอยู่โดยรอบ (สุเมธ ชัยวัชรากุล, 2530) อย่างไรก็ตามสีของกุ้งสามารถเปลี่ยนแปลงไปได้ตามสภาพแวดล้อมและการปรับตัว เช่น กุ้งในเขตน้ำกร่อยที่ไม่ลึกนักมักจะมีสีน้ำตาลเข้ม หรือกุ้งที่เลี้ยงในบ่อมักจะมีสีจางซีด นอกจากนี้สีของกุ้งจะเปลี่ยนแปลงตามระยะการลอกคราบ เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและสรีระจึงทำให้กระบวนการสร้างและสะสมเม็ดสีเปลี่ยนแปลงไป กุ้งที่ลอกคราบใหม่ๆ มีสีซีดไม่สดใส สำหรับกุ้งที่กำลังลอกคราบมีสีจางกว่าปกติ เป็นต้น (สุเมธ ชัยวัชรากุล, 2530)

การเลี้ยงกุ้งทะเล หรือกุ้งน้ำกร่อยในประเทศไทยเริ่มทำกันมาตั้งแต่ประมาณ พ.ศ.2473 โดยทำกันครั้งแรกที่ตำบลบางชัน อำเภอขลุง จังหวัดจันทบุรี (กิจจา ใจเย็น, 2544) ซึ่งกุ้งกุลาดำเป็นกุ้งที่เลี้ยงง่ายมีอัตราการเจริญเติบโตและความต้านทานโรคสูง

ภายใต้สภาพภูมิประเทศเขตร้อน ในประเทศไทยจะพบกระจายทั่วไปในอ่าวไทย แต่พบมากในบริเวณนอกฝั่งทะเลจังหวัดชุมพร ถึงจังหวัดนครศรีธรรมราช และทางฝั่งมหาสมุทรอินเดีย บริเวณนอกฝั่งของจังหวัด ภูเก็ต และจังหวัดระนอง (ประจวบ หล้าอุบล และ สุรินทร์ ภัทรจินดา, 2531)

การส่งออกกุ้งกุลาดำในระยะแรกนิยมแปรรูปในลักษณะแช่เยือกแข็งเป็นก้อน ต่อมาจึงได้มีการพัฒนารูปแบบการส่งออกเพื่อเพิ่มมูลค่าให้เป็นที่ไปตามความต้องการของตลาดมากยิ่งขึ้น โดยวิธีการในปัจจุบันได้เปลี่ยนจากการแช่เยือกแข็งเป็นก้อนเป็นการแช่เยือกแข็งแบบแยกเป็นตัว (Individual quick frozen; IQF) และแช่เยือกแข็งแบบกึ่งแยกเป็นตัว (Semi- individual quick frozen; semi IQF) มากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังได้มีการพัฒนารูปแบบของผลิตภัณฑ์ให้มีความหลากหลายและมีมูลค่าเพิ่มขึ้น เช่น กุ้งลวก กุ้งต้ม กุ้งสดชุบแป้งทอด กุ้งต้มชุบแป้งทอด หรือลูกชิ้นกุ้ง เป็นต้น โดยประเทศไทยเป็นผู้นำด้านการส่งออกกุ้งทะเลประเทศหนึ่ง ตลาดการส่งออกที่สำคัญของไทย คือ สหรัฐอเมริกา และญี่ปุ่น สหรัฐเป็นตลาดที่มีการนำเข้ากุ้งในปริมาณสูงที่สุดในโลก โดยปริมาณการนำเข้ากุ้งจากไทยของสหรัฐอเมริกาได้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องนับตั้งแต่ปี 2539 เป็นต้นมา เนื่องจากผู้บริโภคนิยมอาหารทะเลสด หรือแช่เยือกแข็งเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะกุ้ง ถือได้ว่าเป็นอาหารทะเลที่ได้รับความนิยมสูงสุด โดยมีการนำเข้ากุ้งแช่เยือกแข็งทั้งที่ปอกเปลือกแล้ว และยังไม่ได้ปอกเปลือกมากกว่า การนำเข้ากุ้งสด หรือกุ้งที่ผ่านกระบวนการแปรรูปแล้ว (สมาคมอาหารแช่เยือกแข็งไทย, 2544) ส่วนญี่ปุ่น มีปริมาณการนำเข้าผลิตภัณฑ์กุ้งจากไทยลดลง เนื่องจากญี่ปุ่นประสบปัญหาเศรษฐกิจตกต่ำ ประกอบกับการหันไปซื้อกุ้งจากประเทศอื่นเพิ่มขึ้น โดยญี่ปุ่นสั่งซื้อกุ้งจากอินเดียเป็นอันดับ 1 รองลงไปได้แก่ อินโดนีเซีย เวียดนาม ไทย และจีน (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ปริมาณการนำเข้าผลิตภัณฑ์กุ้งจากไทยของสหรัฐอเมริกา และญี่ปุ่น

Table 1 Import content of black tiger prawn products from Thailand to United State of America and Japan

country / years	2539	2538	2540	2541	2542	2543
USA	72,863	77,954	73,545	92,454	114,727	119,848*
Japan	33,454	48,727	24,136	17,818	19,000	no data

Unit : ton * Number in the table represents about 8 month (Janury–August 2543)

Source : Jun Sinchaipanit (2544)

องค์ประกอบที่สำคัญของสัตว์น้ำคือ น้ำ โปรตีน และไขมัน โดยองค์ประกอบดังกล่าวมีประมาณร้อยละ 98 ของน้ำหนักเนื้อทั้งหมด องค์ประกอบเหล่านี้มีผลต่อคุณค่าทางโภชนาการ สมบัติเชิงหน้าที่ คุณภาพด้านประสาทสัมผัส และอายุการเก็บรักษา สำหรับองค์ประกอบอื่นๆ เช่น คาร์โบไฮเดรต วิตามิน และเกลือแร่มีปริมาณน้อยแต่มีความสำคัญต่อกลิ่นรส และคุณค่าทางโภชนาการ ปริมาณขององค์ประกอบหลักจะเปลี่ยนแปลงตามชนิด ระยะการเจริญเติบโต และสภาวะทางโภชนาการของสัตว์น้ำ (สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2544; Sikorski *et al.*, 1990) กุ้งกุลาดำประกอบด้วยโปรตีนปริมาณสูงและมีไขมันต่ำ (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของกุ้งกุลาดำ

Table 2 Chemical composition of black tiger prawn

Composition (%)	A	B
protein	20.70-21.56	20.80
carbohydrate	0.92-1.54	-
fat	0.14-0.15	0.24
moisture	76.07-76.25	77.46
ash	1.13-1.54	1.56

source ; A : Pongstone Pitakkosolpong (2535)

B : Suwanna Benjatamnon (2534)

แคโรทีโนโปรตีนเป็นสารประกอบแคโรทีนอยด์ซึ่งอยู่ร่วมกับโปรตีนโดยการจับกันด้วยพันธะนอนโควาเลนต์ แคโรทีโนโปรตีนพบมากในสัตว์กลุ่มครัสตาเซียน และมีผลให้สัตว์น้ำมีสีแตกต่างกัน แคโรทีนอยด์ที่อยู่ร่วมกับโปรตีนในรูปเชิงซ้อนที่พบมาก เช่น แอสตาแซนธิน และแคนตาแซนธิน (Zagalsky *et al.*, 1990) โดยแคโรทีโนโปรตีนจะสะสมในอวัยวะ และเนื้อเยื่อต่างๆ กุ้งกุลาดำที่พบในแหล่งธรรมชาติมีสีเทาดำหรือสีแดง ส่วนกุ้งที่เพาะเลี้ยงมีสีเทาดำ หรือสีฟ้า โดยสีของเปลือกกุ้งขึ้นกับปริมาณและชนิดของแคโรทีนอยด์ กุ้งกุลาดำที่มีสีเทาดำจะมีปริมาณแคโรทีนอยด์สูงกว่ากุ้งสีฟ้า (Okada *et al.*, 1994) และแอสตาแซนธินเป็นแคโรทีนอยด์หลักที่พบในเปลือกกุ้งที่มีสีเทาดำ (Okada *et al.*, 1994) นอกจากนี้ยังพบแคโรทีโนโปรตีนทั้งสีน้ำเงิน และสีแดงในเนื้อกุ้ง โดยเฉพาะในเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่หุ้มลำตัวกุ้ง

2. โปรตีนในกล้ามเนื้อ

2.1 องค์ประกอบของโปรตีนกล้ามเนื้อ

กล้ามเนื้อสัตว์น้ำประกอบด้วยโปรตีนหลายชนิด แต่ละชนิดมีหน้าที่แตกต่างกัน โดยสามารถจำแนกโปรตีนของกล้ามเนื้อเป็นกลุ่มต่างๆ ดังนี้

2.1.1 โปรตีนไมโอไฟบริล (myofibrillar protein) เป็นโปรตีนหลักในกล้ามเนื้อสามารถสกัดได้ด้วยสารละลายเกลือที่มีค่า ความแรงไอออน มากกว่า 0.15 (อยู่ในช่วง 0.3-1.0) โดยทั่วไปเนื้อสัตว์น้ำประกอบด้วยโปรตีนไมโอไฟบริลร้อยละ 40-60 โดยมีบทบาทสำคัญต่อการยึดหดของกล้ามเนื้อ โปรตีนชนิดนี้มีความสำคัญต่อการเคลื่อนที่ นอกจากนี้มีความสำคัญต่อการอุ้มน้ำของเนื้อ และความสามารถในการเกิดเจลประกอบด้วย

2.1.1.1 ไมโอซิน (myosin) เป็นโปรตีนสำคัญของฟิลาเมนต์หนา (thick filament) มีอยู่ประมาณร้อยละ 45 ของโปรตีนไมโอไฟบริล ไมโอซินประกอบด้วยโซ่พอลิเปปไทด์เหมือนกัน 2 โซ่ มีโครงสร้างเป็น แอลฟา-เฮลิคัล (α -helical structure) โมเลกุลของไมโอซินมีเอนไซม์ ATPase อยู่บริเวณหัวทั้งสอง (globular head) ซึ่งสามารถมีอันตรกิริยา (interaction) กับแอกติน มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 500,000 คัดตัน ถูกไฮโดรไลซ์ได้โดยเอนไซม์ที่ย่อยโปรตีน เช่น ทริปซิน เมื่อผ่านการไฮโดรไลซ์ จะได้เป็น 2 ส่วนคือ เมอร์ไมโอซินเบา (light meromyosin) และเมอร์ไมโอซินหนัก (heavy meromyosin) เมื่อเมอร์ไมโอซินหนักถูกย่อยโดยเอนไซม์ทริปซิน หรือโคโมทริปซิน หรือปาเปน จะได้เป็นส่วนหัว และส่วนคอ โดยส่วนหัวเรียกว่า S-1 และส่วนคอเรียกว่า S-2 เมอร์ไมโอซินหนักมีกิจกรรมของเอนไซม์ ATPase และมีส่วนที่จับกับแอกตินซึ่งไม่พบในเมอร์ไมโอซินเบา (สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2544; Xiong, 1997; McCormick, 1994) (ภาพที่ 1)

ภาพที่ 1 โครงสร้างโมเลกุลของไมโอซิน

Figure 1 Structure of myosin molecule

Source : McCormick (1994)

2.1.1.2 แอกติน (actin) เป็นโปรตีนที่สำคัญของฟิลาเมนต์บาง (thin filament) มีประมาณร้อยละ 20 ของโปรตีนไมโอไฟบริล มีรูปร่างลักษณะคล้าย เมล็ดถั่ว 2 เมล็ดที่มีขนาดเท่ากันเรียงต่อกัน globular actin หรือ จี-แอกติน (G-actin) เป็นโปรตีนหน่วยย่อยที่มีรูปร่างทรงกลม เมื่อจี-แอกตินเชื่อมต่อกันตามยาวจะเกิดเป็น fibrous actin หรือ เอฟ-แอกติน (F-actin) และเอฟแอกตินสองเส้นขดเป็นเกลียวพันกัน เรียกว่า super helix (Foegeding *et al.*, 1996) แอกตินมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 42,000-48,000 ดัลตัน ประกอบด้วยกรดอะมิโนจำนวน 374-375 ตัว จับอยู่กับโทรโปนิน และโทรโปไมโอซิน สามารถมีอันตรกิริยากับส่วนหัวของไมโอซิน และสามารถสกัดได้โดยใช้สารละลายเกลือ (สุทรวัฒน์ เบญจกุล, 2544; Suzuki, 1981)

2.1.1.3 โทรโปไมโอซิน (tropomyosin) มีประมาณร้อยละ 5 ของโปรตีนไมโอไฟบริล มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 68,000 ดัลตัน มีลักษณะคล้ายส่วนหางของไมโอซิน ในโทรโปไมโอซินแต่ละเส้นประกอบด้วย จี-แอกติน 7 โมเลกุล

2.1.1.4 โทรโปนิน (troponin) เป็นโปรตีนชนิดโกลบูลาร์มีประมาณร้อยละ 8-10 ของโปรตีนไมโอไฟบริลจัดเรียงตัวอยู่ตามร่องของสายโซ่เอฟ-แอกตินคร่อมเส้นโทรโปไมโอซิน และโทรโปนิน สามารถจับกับแคลเซียม และมีบทบาทสำคัญต่อการหดตัวของกล้ามเนื้อ โทรโปนินประกอบด้วย 3 หน่วยย่อย คือ

2.1.1.4.1 โทรโปนิน-ซี (troponin C) ประกอบด้วยกรดอะมิโนชนิดที่เป็นกรด และมีบทบาทในการจับกับแคลเซียมไอออน และมีผลต่อ calcium sensitivity (น้ำหนักโมเลกุล 17,000-18,000 ดัลตัน)

2.1.1.4.2 โทรโปนิน-ไอ (troponin I) สามารถยับยั้งกิจกรรมของ ATPase (น้ำหนักโมเลกุล 20,000-24,000 ดัลตัน)

2.1.1.4.3 โทรโปนิน-ที (troponin T) ทำหน้าที่จับกับโทรโปไมโอซิน (น้ำหนักโมเลกุล 37,000-40,000 ดัลตัน) (สุทรวัฒน์ เบญจกุล, 2544; Foegeding *et al.*, 1996)

ฟิลาเมนต์เส้นหนาและฟิลาเมนต์เส้นบาง มีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ และมีลักษณะเป็นแถบมืด และแถบสว่าง โดยแถบมืดเรียกว่า แบนด์ A (A band) และแถบสว่างเรียกว่า แบนด์ I (I band) ที่กึ่งกลางของแบนด์ I มีเส้นสีเขียวเข้มเรียกว่า เส้น Z (Z line)

และในส่วนของแบนด์ A มีโซนที่มีสีอ่อนกว่าส่วนอื่นในแบนด์ A เรียกว่า โซน H (H zone) และที่กึ่งกลางของโซน H มีเส้น M สีเข้ม ระยะระหว่างเส้น Z 2 เส้นที่ติดกันเรียกว่า ซาร์โคเมียร์ (sarcomere) (ภาพที่ 2) แต่ละซาร์โคเมียร์ประกอบด้วยฟิลาเมนต์หนา และบาง แบนด์ A ประกอบด้วยฟิลาเมนต์หนา ส่วนแบนด์ I ประกอบด้วยฟิลาเมนต์บาง ฟิลาเมนต์บางมีอยู่ทั้งสองด้านของเส้น Z และในส่วนของแบนด์ A ฟิลาเมนต์บางจะ (overlap) กับฟิลาเมนต์หนา โซนสีอ่อนในแบนด์ A หรือโซน H เป็นบริเวณที่ฟิลาเมนต์บางไม่พบกับฟิลาเมนต์หนา กล้ามเนื้อที่หดตัวจะมีผลต่อขนาดของแบนด์ และโซนเหล่านี้ เมื่อกล้ามเนื้อหดตัวฟิลาเมนต์หนา และฟิลาเมนต์บางจะเลื่อนข้ามซึ่งกันและกันโดย แบนด์ A จะยังมีความยาวคงที่ แต่แบนด์ I และโซน H จะหดสั้นลง (Foegeding *et al.*, 1996)

ภาพที่ 2 การจัดเรียงตัวของไมโอไฟบริล

Figure 2 Myofibrillar arrangement

Source : McCormick (1994)

2.1.2. โปรตีนซาร์โคพลาสมิก (sarcoplasmic protein) มีอยู่ประมาณร้อยละ 30 ของโปรตีนทั้งหมด สามารถละลายน้ำหรือสารละลายเกลือที่มีความแรงของอิออนต่ำได้ โปรตีนชนิดนี้ ได้แก่ไมโอโกลบิน ฮีโมโกลบิน และเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับไกลโคไลซิส วัฏจักรกรดซิตริก และลูกโซ่การขนส่งอิเล็กตรอน (Foegeding *et al.*, 1996; Suzuki, 1981)

2.1.3. สโตรมา (stroma protein) เป็นส่วนที่เหลือจากการสกัดโปรตีนซาร์โคพลาสมิก และโปรตีนไมโอไฟบริลเนื่องจากไม่สามารถสกัดได้ด้วยน้ำ กรด หรือสารละลายต่าง และสารละลายเกลือที่เป็นกลาง (Suzuki, 1981) ประกอบด้วยเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน เช่นคอลลาเจน และอีลาสติน มีประมาณร้อยละ 3 ของโปรตีนทั้งหมด (Foegeding *et al.*, 1996; Sato *et al.*, 1986)

2.2 สมบัติการทนความร้อนของโปรตีนกล้ามเนื้อ

คุณสมบัติทางความร้อนเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของโปรตีนกล้ามเนื้อ โดยเมื่อมีการให้ความร้อน เนื้อสัตว์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏ กลิ่นรส ลักษณะสัมผัสและคุณค่าทางอาหาร ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสัมพันธ์กับการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน (Brewer and Novafski, 1999) ความร้อนเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้โปรตีนเกิดการจับตัวเหนียวทำให้เกิดพันธะระหว่างโปรตีน และเกิดเป็นเจล (Foegeding *et al.*, 1986) และความร้อนยังมีบทบาทสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงโปรตีน เช่นเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของหมู่ซัลไฟไฮดริล (sulfhydryl group) เป็นพันธะไดซัลไฟด์ (disulfide bond) ในช่วงอุณหภูมิ 50-115 องศาเซลเซียส (Opstvedt *et al.*, 1984) โดยทั่วไปโปรตีนไมโอซินของสัตว์น้ำมีความคงตัวต่อความร้อนน้อยกว่าโปรตีนไมโอซินของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (Connell, 1961; Ogawa *et al.*, 1994) นอกจากชนิด และปริมาณโปรตีนแล้วอุณหภูมิการอยู่อาศัย และชนิดของปลามีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติทางความร้อน (Jonhston *et al.*, 1973) โดยไมโอซินของปลาคอดที่อาศัยในเขตหนาวจะมีความคงตัวต่อความร้อนน้อยกว่าปลา snapper ซึ่งอาศัยในเขตร้อน (Davies *et al.*, 1988) Gao และคณะ (2001) พบว่าการสูญเสียสภาพของเส้นใยโปรตีน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อแมงกะพรุน โดยมีความสัมพันธ์กับการสูญเสียสภาพ

ธรรมชาติของคอลลาเจน (collagen) และไมโอไฟบริล คอลลาเจนเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นเจลาติน (gelatin) โดยอุณหภูมิการสูญเสียสภาพธรรมชาติของคอลลาเจนของหอยเป้าชื่อ และแมงกะพรุน คือ 45-51 องศาเซลเซียส และ 53-65 องศาเซลเซียสตามลำดับ อุณหภูมิการสูญเสียสภาพธรรมชาติของคอลลาเจนจากแมงกะพรุนต่ำกว่าปลา และสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม เนื่องจากองค์ประกอบของโปรตีนที่แตกต่างกัน (Kimura and Kubota, 1968) นอกจากนี้ค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่แตกต่างกัน (Davies *et al.*, 1988) ความแรงของอออน (Stabursvik and Martens, 1984) สภาวะแวดล้อมที่ปลาอาศัย (Hastings *et al.*, 1985) และการแช่แข็ง-ทำละลาย (Srinivasan *et al.*, 1997b) ล้วนส่งผลต่อค่าความคงตัวต่อความร้อน เช่นเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความคงตัวต่อความร้อนลดลง ซึ่งจะเห็นได้จากการลดลงของค่า T_{max} (Davies *et al.*, 1988) และการแช่แข็ง-ทำละลายมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโปรตีนของกล้ามเนื้อกุ้งแม่น้ำ (*Macrobrachium rosenbergii*) กล่าวคือกล้ามเนื้อกุ้งมีค่า T_{max} ลดลงหลังจากผ่านการแช่แข็ง-ทำละลาย (Srinivasan *et al.*, 1997a)

นอกจากนี้คุณสมบัติทางด้านความร้อนของกล้ามเนื้อยังขึ้นอยู่กับสารเติมแต่งที่เติมลงในกล้ามเนื้อ โดยสารแต่ละชนิดให้ผลที่แตกต่างกัน Park และ Lanier (1987) ศึกษาการใช้สารประกอบฟอสเฟต (โซเดียมไตรฟอสเฟต หรือโพโรฟอสเฟตร้อยละ 0.25, 0.5) และ/หรือ คาร์โบไฮเดรต (พอลิเดกซ์โตรส หรือสารผสมของซูโครส และซอร์บิทอลร้อยละ 8) ต่อความคงตัวต่อความร้อนของไมโอไฟบริลในปลา jumping mullet (*Mugil cephalus*) ที่ผ่านการแช่แข็ง หรือให้ความร้อน พบว่าการใช้ฟอสเฟตร่วมกับคาร์โบไฮเดรต มีผลลดการจับรวมตัวของโปรตีนระหว่างการเก็บรักษาในสภาพแช่แข็ง ฟอสเฟตมีผลให้ค่า T_{max} (maximum temperature) ของโปรตีนไมโอไฟบริลมีค่าสูงขึ้น แต่ไม่ขึ้นกับระดับความเข้มข้น หรือชนิดของฟอสเฟต โดยการใช้ฟอสเฟตร้อยละ 5 ร่วมกับคาร์โบไฮเดรต สามารถลดการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน ฟอสเฟตจึงมีผลเพิ่มความคงตัวของไมโอซิน ส่วนการเติมคาร์โบไฮเดรต (Polydextros) สามารถชะลอการสูญเสียสภาพธรรมชาติ โดยป้องกันการจับรวมตัวของโปรตีน ดังนั้นฟอสเฟต และคาร์โบไฮเดรตสามารถลดการจับรวมตัวของโปรตีน และสามารถเพิ่มอุณหภูมิในการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน Kijowski และ Mast

(1988) ศึกษาถึงผลของโซเดียมคลอไรด์ (ร้อยละ 1-4) และไพโรฟอสเฟต หรือไตรฟอสเฟต (ร้อยละ 0.25-1) ต่อ T_{max} และเอนทัลปีที่ทำให้เกิดการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนไมโอไฟบริลของเนื้อไก่ พบว่าโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น มีผลลดความคงตัวของโปรตีนไมโอไฟบริล โดย T_{max} ของแอกตินลดลง 16 องศาเซลเซียส เมื่อใช้โซเดียมคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 4 ส่วนไพโรฟอสเฟต และไตรฟอสเฟตความเข้มข้นร้อยละ 0.25-0.5 สามารถเพิ่มความคงตัวของไมโอซิน แต่ลดความคงตัวของแอกติน อย่างไรก็ตามเมื่อใช้ฟอสเฟตร่วมกับโซเดียมคลอไรด์ทำให้อุณหภูมิในการสูญเสียสภาพธรรมชาติของไมโอซิน และแอกตินลดลง

3. สารประกอบฟอสเฟต

3.1 ชนิดและโครงสร้างของสารประกอบฟอสเฟต

สารประกอบฟอสเฟตที่มีใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหารสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ (Dziezak, 1990)

3.1.1. ออร์โธฟอสเฟต (orthophosphates)

3.1.2. คอนเดนส์ฟอสเฟต (condensed phosphates)

ออร์โธฟอสเฟตประกอบด้วยฟอสฟอรัส 1 อะตอม ซึ่งล้อมรอบด้วยออกซิเจน 4 อะตอม สารประกอบนี้มีตำแหน่งที่จะรับอะตอมที่มีประจุบวกได้ 3 ตำแหน่ง ซึ่งอาจจะเป็นอะตอมไฮโดรเจน หรือไอออนบวกของโลหะที่เป็นด่าง หรือทั้งสองอย่างรวมกัน คอนเดนส์ฟอสเฟต ประกอบด้วยฟอสฟอรัสตั้งแต่ 2 อะตอมขึ้นไป เชื่อมต่อกันโดยใช้อะตอมออกซิเจนร่วมกัน คอนเดนส์ฟอสเฟตเกิดจากการให้ความร้อนกับส่วนผสมของออร์โธฟอสเฟตภายใต้สภาวะที่ควบคุม ฟอสเฟตที่มีฟอสฟอรัส 2 อะตอม เรียกว่า ไพโรฟอสเฟต (pyrophosphate) ส่วนฟอสเฟตที่เรียงต่อเป็นโซ่ยาวมีฟอสฟอรัสมากกว่า 3 อะตอมขึ้นไป เรียกว่า พอลิฟอสเฟต (polyphosphate) สำหรับฟอสเฟตที่จัดเรียงตัวเป็นวงแหวน เรียกว่า เมตาฟอสเฟต (metaphosphate) ซึ่งปัจจุบันมีใช้เพียง 2 ชนิด คือ โซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตและโซเดียมเตตราเมตาฟอสเฟต นอกจากนี้ยังมีสารประกอบฟอสเฟตที่มีโครงสร้างชนิดวงแหวนหรือชนิดโซ่หรือมีทั้ง 2 ลักษณะร่วมกัน (ตารางที่ 3)

สารประกอบฟอสเฟตมีบทบาทและคุณสมบัติที่สำคัญหลายประการและสามารถใช้ในอาหารเพื่อทำหน้าที่ที่แตกต่างกัน เช่นสามารถจับอนุภาคโลหะซึ่งสามารถเร่งปฏิกิริยาเคมีต่างๆ เช่นปฏิกิริยาออกซิเดชัน รวมทั้งสามารถเกิดปฏิกิริยากับสารประกอบอินทรีย์ต่างๆ ซึ่งเป็นส่วนประกอบของวัตถุดิบที่เป็นสาเหตุทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้อยลง นอกจากนี้ยังสามารถทำปฏิกิริยากับโปรตีน เปกติน (pectin) แป้ง เป็นต้น ทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนต่างๆ ซึ่งจะมีส่วนช่วยให้คุณภาพผลิตภัณฑ์ดีขึ้น สารประกอบฟอสเฟตสามารถช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพคงที่ หรือสม่ำเสมอ โดยควบคุมการเปลี่ยนแปลงพีเอชของอาหาร รวมทั้งก่อให้เกิดความคงตัวของอิมัลชัน (emulsion) และสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ โดยทำปฏิกิริยากับอนุภาคโลหะ ซึ่งจำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของ จุลินทรีย์ (ศิวาพร ศิวเวช, 2529)

ฟอสเฟตเป็นสารเคมีชนิดหนึ่งเมื่อมีการรวมตัวกับน้ำ หรือเนื้อ ฟอสเฟตสามารถย่อยตัวเองให้เป็นพันธะที่สั้นลง กล่าวคือไตรฟอสเฟตสามารถแตกตัวเป็นไพโรฟอสเฟต และออร์โทฟอสเฟต ส่วนไพโรฟอสเฟตสามารถแตกตัวเป็นออร์โทฟอสเฟตได้ (Bell, 1947) ทำให้ฟอสเฟตมีคุณสมบัติต่างๆ มากมาย Knipe และคณะ (1985) พบว่าไพโรฟอสเฟตให้ความคงตัวของอิมัลชันในเนื้อได้ดีที่สุด และ Bendall (1954) พบว่าเตตระโซเดียมไพโรฟอสเฟตทำให้แอคโตไมโอซินแตกตัวเป็นแอคตินและไมโอซิน

3.2 การใช้สารประกอบฟอสเฟตในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์

ฟอสเฟตสามารถช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัส สี กลิ่น รส ป้องกันการเกิดออกซิเดชันและยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ของเนื้อและผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ (ประสาน สวัสดิ์ชิตัง, 2538; สุทรวัดน์ เบญจกุล, 2536; Dziezak, 1990; Henson and Kowalewski, 1992) โดยไตรโซเดียมฟอสเฟต (ร้อยละ 8 ขึ้นไป) สามารถลดการปนเปื้อนของ *Salmonella typhimurium* บนหนังหมู (Morris *et al.*, 1997) การใช้ฟอสเฟตในอาหารนั้นสามารถกระทำได้ 4 วิธี คือการจุ่ม หรือการแช่ (immersion) การพ่น (spray) การฉีด (injection) และการคลุกเคล้า (tumbling) (สุทรวัดน์ เบญจกุล, 2536; Dziezak, 1990; Henson and Kowalewski, 1992) การจุ่ม หรือการแช่อาหาร (still-marinating) ใน

สารละลายฟอสเฟตเป็นวิธีการที่ง่ายและต้นทุนการผลิตต่ำกว่าวิธีการฉีด และการคลุกเคล้าที่ต้องอาศัยเครื่องมือ แต่ต้องใช้พื้นที่และเวลามากกว่า ซึ่งวิธีการจุ่มหรือการแช่สามารถเพิ่มน้ำหนักในผลิตภัณฑ์เนื้อได้ร้อยละ 12 เมื่อใช้เวลา 8 ชั่วโมง ขณะที่วิธีการคลุกเคล้า (tumbling) และการฉีดช่วยเพิ่มความสามารถในการแทรกซึมของสารในเนื้อเยื่อได้ดีกว่าการจุ่ม หรือพ่น (Schmidt, 1986) โดยการฉีดสามารถเพิ่มน้ำหนักในผลิตภัณฑ์เนื้อได้ร้อยละ 18 ในเวลา 10 นาที (Chen, 1982) Maki และ Froning (1987) ศึกษาถึงผลการใช้วิธีคลุกเคล้าร่วมกับการใช้โซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 7 และโซเดียมไตรฟอสเฟตร้อยละ 12 ในเนื้อไก่วง พบว่าสามารถเพิ่มการสกัดโปรตีนไมโอไฟบริล การคลุกเคล้าสามารถเพิ่มการสกัดโปรตีนโดยไม่ขึ้นกับปริมาณโซเดียมคลอไรด์และฟอสเฟต แต่ไม่มีผลต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส ขณะที่โซเดียมคลอไรด์ และ/หรือฟอสเฟตสามารถเพิ่มคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสได้โดยฟอสเฟตสามารถช่วยทำให้เนื้ออุ่มน้ำได้เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่าพีเอชและความแรงอออนเพิ่มขึ้นและทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับโปรตีนที่จับอยู่กับแมกนีเซียมและแคลเซียมทำให้โปรตีนสามารถแตกตัว และมีคุณสมบัติในการรวมตัวหรือจับกับน้ำได้มากขึ้น ไพอโรฟอสเฟต และไตรฟอสเฟตสามารถเพิ่มการละลายของโปรตีน และสามารถซึมผ่านชั้นเนื้อได้ดีกว่าเฮกซะเมตาฟอสเฟต อาจเป็นเพราะเฮกซะเมตาฟอสเฟตมีโมเลกุลขนาดใหญ่จึงเกิดการซึมผ่านได้น้อย และเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นอัตราการแพร่ และการดูดซับลดลงอาจเป็นผลจาก salting-out จากความแรงอออนที่สูงขึ้น ฟอสเฟตที่มีระดับความเข้มข้นต่ำ (ร้อยละ 1.6) สามารถช่วยให้น้ำซึมผ่านชั้นเนื้อได้ในระดับลึก ขณะที่ฟอสเฟตที่ระดับความเข้มข้นสูง (ร้อยละ 3.2) ร่วมกับสารละลายเกลือสามารถเพิ่มการซึมผ่านน้ำที่ชั้นผิวหนังของชั้นเนื้อ (Xiong and Kupski, 1999b) ไพอโรฟอสเฟตสามารถซึมผ่านเข้าไปในเนื้อเยื่อได้มากที่สุด สังกัดได้จากการละลายของโปรตีนที่เพิ่มขึ้น ทำให้เส้นใยกล้ามเนื้อเกิดการพองตัว (Offer and Trinick, 1964) และไพอโรฟอสเฟตยังทำให้เกิดการแตกตัวของแอคโตไมโอซินเป็นไมโอซิน และแอคติน (Granicher and Portzehl, 1964; Nauss *et al.*, 1969) ซึ่งการแตกตัวของแอคโตไมโอซินทำให้เกิดการขยายตัวของช่องว่างในไมโอไฟบริล ทำให้เพิ่มการดูดซับน้ำ (Bendall, 1954) นอกจากนี้การใช้ฟอสเฟตร่วมกับสารละลายเกลือสามารถเพิ่มคุณสมบัติการเชื่อมประสานของลูกชิ้นเนื้อ (Moore *et al.*, 1976) โดย

สามารถเร่งการแตกตัวของเส้นใยกล้ามเนื้อ เพิ่มการละลายโปรตีนไมโอไฟบริล (Theno *et al.*, 1978)

ในอาหารทะเลโดยเฉพาะกุ้ง นิยมใช้โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต เพื่อช่วยให้ปอกเปลือกได้ง่ายขึ้น โดยจุ่มกุ้งในสารละลายฟอสเฟตเข้มข้นร้อยละ 8-10 ก่อนปอกเปลือก ถ้าให้ความร้อนก่อนปอกเปลือก จะต้องใช้ฟอสเฟตก่อนขึ้นตอนการให้ความร้อน การแช่กุ้งในสารละลายฟอสเฟตเจือจาง (ร้อยละ 2.5 นน./นน.) เป็นเวลา 2-3 นาที ช่วยเพิ่มการเก็บรักษากุ้งปอกเปลือกและผ่าหลัง แต่การใช้ฟอสเฟตในกุ้งปอกเปลือกและผ่าหลังที่มีขนาดเล็ก ควรระมัดระวังไม่ให้มีปริมาณสูงเกินไปในผลิตภัณฑ์ เนื่องจากจะให้ลักษณะใสคล้ายแก้ว และเนื้อมีลักษณะเมือก (Henson and Kowalewski, 1992) Tenhet และคณะ (1981a) จุ่มกุ้งสีน้ำตาล (*Penaeus aztecus*) และกุ้งขาว (*Penaeus setiferus*) ที่ปอกเปลือก-ไว้หาง-ผ่าหลังในสารละลายโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต (ร้อยละ 0.5 หรือ 1 หรือ 5 หรือ 10) เป็นเวลา 20 วินาที 1 นาที 5 นาที หรือ 20 นาที พบว่า เมื่อใช้โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตเข้มข้นร้อยละ 0.5 และ 1 มีผลให้ความเข้มข้นของฟอสเฟตในกล้ามเนื้อกุ้งเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยเฉพาะบริเวณผิวหนัง มีผลขัดขวางการซึมผ่านของโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต แต่เมื่อแช่ตัวอย่างในสารละลายโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตเข้มข้นร้อยละ 5 และ 10 เป็นระยะเวลาสั้นขึ้น มีผลให้ฟอสเฟตสามารถกระจายตัวในกล้ามเนื้อกุ้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถพบที่ระดับความลึก 4.8 มิลลิเมตรจากผิวหนัง เมื่อเปรียบเทียบการซึมผ่านของสารประกอบฟอสเฟตในกุ้งสดและกุ้งที่ผ่านการแช่แข็งพบว่าไม่มีความแตกต่างกัน Tenhet และคณะ (1981b) ศึกษาความคงตัวของโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตในตัวอย่างกุ้งระหว่างการเก็บรักษาในสภาพแช่แข็ง พบว่าหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -26 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 สัปดาห์ สามารถตรวจวัดปริมาณโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตได้ร้อยละ 12 ไพรอ์ฟอสเฟตร้อยละ 25 และออร์โธฟอสเฟตร้อยละ 27 หลังจากเก็บไว้ 10 สัปดาห์ ความเข้มข้นของโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตมีค่าร้อยละ 12 แต่ไพรอ์ฟอสเฟตลดลงเหลือร้อยละ 2 ขณะที่ออร์โธฟอสเฟตเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 45

Capita และคณะ (2000) ศึกษาผลทางประสาทสัมผัสของเนื้อไก่หลังจากแช่ในสารละลายไตรโซเดียมฟอสเฟต (ร้อยละ 8 และ 10) นาน 15 นาที เปรียบเทียบกับเนื้อไก่ที่ผ่านการแช่น้ำ (ชุดควบคุม) พบว่าคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้าน สี กลิ่น การยอม

รับรวมไม่มีความแตกต่างกัน ยกเว้นการใช้ไตรโซเดียมฟอสเฟตร้อยละ 12 มีผลให้ สี กลิ่น และการยอมรับรวมมีค่าต่ำกว่าชุดควบคุม ส่วน Chang และ Regenstein (1997) ศึกษาผลของโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต และโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต (ความเข้มข้น ร้อยละ 0.5) ในการแช่เนื้อปลาสดบดระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ต่อคุณสมบัติการอุ้มน้ำ และการละลายของโปรตีนจากเนื้อปลาสดบด พบว่าการแช่เนื้อ ปลาสดบดในสารละลายโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟตเพิ่มการอุ้มน้ำ และเพิ่มการสกัด โปรตีนที่ละลายได้มากกว่า การใช้สารละลายโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต อย่งไรก็ตาม พอลิฟอสเฟตทั้ง 2 ชนิดให้การอุ้มน้ำ และปริมาณโปรตีนที่ละลายได้มากกว่าชุดควบคุม จากการศึกษาค่าความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต (ร้อยละ 0–1.0) ต่อคุณสมบัติการอุ้มน้ำและการละลายของโปรตีน พบว่าเมื่อความเข้มข้นของ โซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟตมากกว่าร้อยละ 0.7 ส่งผลให้ค่าการอุ้มน้ำน้อยลง ถึงแม้ว่า โปรตีนที่ละลายได้ยังคงเพิ่มขึ้น Yasui และคณะ (1964) พบว่าเฮกซะเมตาฟอสเฟต สามารถจับกับแอคโตไมโอซินได้มากกว่าฟอสเฟตชนิดอื่น โดยทั่วไปความสามารถใน การสกัดโปรตีนที่ละลายได้ เช่นไมโอซินเส้นหนักมีความสัมพันธ์กับค่าการอุ้มน้ำที่สูง ขึ้นแต่การสกัดไมโอซินเส้นหนักที่มากเกินไปเป็นสาเหตุให้เกิดการทำลายโครงสร้าง ของโปรตีนชนิดไม่ละลายน้ำ รวมทั้งยับยั้งอันตรกิริยาไมโอซินเส้นหนักกับน้ำ ส่งผลให้ การอุ้มน้ำของกล้ามเนื้อลดลง

3.3 การใช้ฟอสเฟตร่วมกับโซเดียมคลอไรด์

โดยทั่วไปฟอสเฟตมักใช้ร่วมกับโซเดียมคลอไรด์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการ ทำงาน (Shultz *et al.*, 1973; Trout and Schmidt, 1986) การใช้ฟอสเฟตร่วมกับโซเดียม คลอไรด์สามารถเพิ่มการอุ้มน้ำได้มากกว่าการใช้โซเดียมคลอไรด์อย่างเดี่ยว (Hellendoorn, 1962) Trout และ Schmidt (1984) ศึกษาผลของฟอสเฟต 4 ชนิด คือ เตตระโซเดียมไพโรฟอสเฟต (PP) โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต (TPP) โซเดียมเตตระพอลิ ฟอสเฟต (TTPP) และโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต (HMP) ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.125-0.500 และ/หรือ สารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.6-2.0 ต่อความสามารถในการจับตัว (binding ability) ของลูกชิ้นเนื้อ โดยศึกษาจากค่าความ

แข็งแรง (tensile strength) และผลผลิตภายหลังการให้ความร้อน พบว่าความสามารถในการจับตัวของลูกชิ้นเพิ่มขึ้นแตกต่างกันขึ้นกับชนิดของฟอสเฟต (PP>TPP>TTPP>HMP) ความเข้มข้นของฟอสเฟต และความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ ซึ่งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความแรงอืดและพีเอช มีผลต่อค่าความแข็งแรง (tensile strength) และผลผลิตภายหลังการให้ความร้อน Knipe และคณะ (1990) พบว่าไฟโรฟอสเฟตสามารถเพิ่มความคงตัวของอิมัลชันในผลิตภัณฑ์เนื้อได้ดีที่สุดเนื่องจากสามารถเพิ่มการละลายของโปรตีนได้ดีที่สุด นอกจากนี้ น้ำหนักโมเลกุลของฟอสเฟต ค่าความแรงอืดและค่าพีเอชมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นเนื้อ โดยเมื่อนำหนักโมเลกุลเพิ่ม ค่าความแรงอืดและค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง ค่าความแข็งแรง และผลผลิตภายหลังการให้ความร้อนของลูกชิ้นเนื้อลดลง (Trout and Schmidt, 1986) Froning และ Sackett (1985) แช่เนื้อไก่ลงในสารละลายฟอสเฟตชนิดต่างๆ ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 10 (โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต และ/หรือฟอสเฟตผสม) ร่วมกับโซเดียมคลอไรด์ (ร้อยละ 7) พบว่าการใช้ฟอสเฟตร่วมกับโซเดียมคลอไรด์สามารถลดการสูญเสียความชื้นและลดน้ำหนักที่สูญเสียภายหลังการให้ความร้อนของเนื้อไก่ได้ โดยไม่มีผลต่อค่าแรงเฉือน แต่เมื่อนำเนื้อไก่มาทำเป็นลูกชิ้น พบว่าการใช้ฟอสเฟตร่วมกับโซเดียมคลอไรด์สามารถเพิ่มคุณสมบัติทางประสาทสัมผัส (ความสามารถในการจับตัว ความฉ่ำ และกลิ่นรส) ของลูกชิ้นได้ ฟอสเฟตผสมระหว่างโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต และโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต สามารถเพิ่มการสกัดโปรตีนไมโอไฟบริลได้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับฟอสเฟตทั้งหมด

Paterson และคณะ (1988) ศึกษาผลของโซเดียมคลอไรด์ (0.1–1.0 โมลาร์) และ เตตระโซเดียมไฟโรฟอสเฟต (10 มิลลิโมลาร์) ต่อการเปลี่ยนแปลงเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อวัว พบว่าเมื่อใช้โซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นสูงขึ้น สามารถเพิ่มการสกัดโปรตีนไทนิน ไมโอซิน และโปรตีนไมโอไฟบริลอื่นๆ จากกล้ามเนื้อวัวเพิ่มขึ้น และเมื่อใช้ไฟโรฟอสเฟต (10 มิลลิโมลาร์) ร่วมกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ สามารถเพิ่มการสกัดโปรตีนและเพิ่มการอุ้มน้ำ ซึ่งการเพิ่มการสกัดโปรตีนไมโอไฟบริล และโปรตีนโครงสร้างโดยเฉพาะไทนิน ทำให้เพิ่มการพองตัวของไมโอไฟบริล และเพิ่มการอุ้มน้ำของกล้ามเนื้อของเนื้อวัว Xiong และ Kupski (1999a) ศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการแช่

เนื้อไก่ด้วยสารประกอบฟอสเฟต (PP, TPP และ HMP) ร้อยละ 1.6 และ 3.2 และ/หรือ สารละลายโซเดียมคลอไรด์ ร้อยละ 8 พบว่าปริมาณการดูดซึมสารละลาย และการกักเก็บน้ำมีผลต่อผลผลิตภายหลังการให้ความร้อน รวมทั้งคุณสมบัติทางประสาทสัมผัส อัตราการดูดซึมสารละลายสูงสุดในช่วง 5 นาทีแรก และลดลงหลังจาก 15-30 นาที เมื่อใช้ฟอสเฟตเพียงอย่างเดียวจะให้การดูดซึมสูงสุดหลังแช่ 15 นาที ขณะที่การใช้ฟอสเฟต ร่วมกับสารละลายเกลือ ต้องใช้ระยะเวลา 30 นาที จึงจะให้ค่าสูงสุด การแช่ตัวอย่างใน สารประกอบฟอสเฟตทั้ง 3 ชนิด ให้ผลผลิตภายหลังการให้ความร้อนสูงกว่าการแช่น้ำ เมื่อเปรียบเทียบค่าความนุ่ม และการยอมรับรวมของกล้ามเนื้อไก่ ที่ผ่านการแช่ในสารประกอบฟอสเฟตชนิดต่างๆ พบว่าการใช้สารประกอบไพโรฟอสเฟตให้ประสิทธิภาพใกล้เคียงกับสารประกอบไตรพอลิฟอสเฟต แต่ให้ผลดีกว่าสารประกอบเฮกซะเมตาฟอสเฟต Lemos และคณะ (1999) พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการแช่เนื้อหน้าอกไก่ คือ การใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 3-4 ร่วมกับฟอสเฟตร้อยละ 2-3 เป็นเวลา 8-12 ชั่วโมง ส่วนสภาวะที่เหมาะสมในการแช่เนื้อส่วนขาไก่ คือการใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 3-4 ร่วมกับฟอสเฟต ร้อยละ 2 เป็นเวลา 4-8 ชั่วโมง การฉีดสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 1.5 และ /หรือ โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตเข้มข้นร้อยละ 0.45 เข้าในเนื้อหมูสามารถเพิ่มน้ำหนัก สามารถลดการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากความร้อน (cooking loss) เพิ่มผลผลิตสุดท้าย และเพิ่มความชื้น แต่ทำให้ค่าแรงเฉือน (Warner-Bratzler shear) ลดลงประมาณร้อยละ 50 (Detienne and Wicker, 1999)

Xiong และคณะ (2000a) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของกล้ามเนื้อไก่เมื่อใช้สารประกอบฟอสเฟตชนิดต่างๆ ที่ระดับความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ ร่วมกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (ความเข้มข้น 0.1-1 โมลาร์) พบว่าไพโรฟอสเฟต และไตรพอลิฟอสเฟต ให้ผลเหมือนกันคือสามารถช่วยในการสกัดโปรตีน ในขณะที่ออร์โธฟอสเฟต ให้ผลเหมือนกับชุดควบคุม แต่เฮกซะเมตาฟอสเฟตสามารถสกัดโปรตีนในระดับปานกลาง สารประกอบฟอสเฟตมีผลต่อโครงสร้างระดับจุลภาค กล่าวคือทำให้ไมโอซินมีโครงสร้างที่หลวมขึ้น ส่งผลให้การอุ้มน้ำได้มากขึ้น ดังนั้นสามารถเรียงลำดับผลของฟอสเฟตต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในของไมโอไฟบริลได้ดังนี้ PP>TPP>HMP>P_{non phosphate} การใช้สารประกอบฟอสเฟตร่วมกับโซเดียมคลอไรด์สามารถ

เพิ่มประสิทธิภาพการสกัดโปรตีน โดยสามารถลดความเข้มข้นของการใช้โซเดียมคลอไรด์ในการสกัดโปรตีนไมโอไฟบริล เมื่อเทียบกับการใช้โซเดียมคลอไรด์เพียงอย่างเดียว Xiong และคณะ (2000b) เปรียบเทียบผลของโซเดียมคลอไรด์ (เข้มข้น 0.1-1.0 โมลาร์) ร่วมกับโซเดียมไพโรฟอสเฟตเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ ที่พีเอชต่างๆ ต่อโปรตีนไมโอไฟบริลจากกล้ามเนื้อไก่หลังระยะเกร็งตัว 2 ชนิด คือกล้ามเนื้อขาว *Pectoralis major* (PM, white) และกล้ามเนื้อแดง *Gastrocnemius* (Gas, red) พบว่าเมื่อพีเอชของสารละลายเพิ่มขึ้นสามารถสกัดโปรตีนได้เพิ่มขึ้น และสามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างได้ชัดเจนกว่าที่พีเอชต่ำ โดยที่พีเอชเท่ากับ 6 สามารถสกัดโปรตีนจากเนื้อขาวได้มากกว่าเนื้อแดง และไมโอไฟบริลของเนื้อขาวสามารถขยายตัวได้มากกว่าเนื้อแดง ทั้งนี้เป็นผลจากความสามารถในการดูดซับน้ำที่แตกต่างกันระหว่างเนื้อขาว และเนื้อแดง นอกจากนี้การใช้ไพโรฟอสเฟตร่วมกับโซเดียมคลอไรด์ สามารถเพิ่มการพองตัว และลดความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ที่ใช้

3.4 การใช้ฟอสเฟตร่วมกับแคลเซียมคลอไรด์หรือแมกนีเซียมคลอไรด์

โดยปกติมักนิยมใช้โซเดียมคลอไรด์ร่วมกับพอลิฟอสเฟตในการเพิ่มการอุ้มน้ำของเนื้อและผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ (Paterson *et al.*, 1988) รวมทั้งมีการใช้พอลิฟอสเฟตร่วมกับแคลเซียม และแมกนีเซียมคลอไรด์ (Seman *et al.*, 1980; Hand *et al.*, 1982) อย่างไรก็ตามการใช้แคลเซียมคลอไรด์ และแมกนีเซียมคลอไรด์แทนโซเดียมคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 2.5 ทำให้ความคงตัวต่อความร้อนของเนื้อลดลง (Gordon and Barbut, 1989) ค่าการสูญเสียน้ำหนักภายหลังการให้ความร้อนของชิ้นเนื้อหน้าอกไก่อ่อนการเกร็งตัวเพิ่มขึ้น เมื่อใช้แคลเซียมคลอไรด์ หรือแมกนีเซียมคลอไรด์เข้มข้น 0.6 โมลาร์ แทนโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.6 โมลาร์ (Gordon and Barbut, 1989) Young และ Lyon (1986) ศึกษาผลของโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต ร่วมกับโซเดียมคลอไรด์ และ/หรือแคลเซียมคลอไรด์ ต่อคุณสมบัติการอุ้มน้ำ และค่าแรงเฉือนของกล้ามเนื้อไก่หลังระยะเกร็งตัว พบว่าการใช้โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต ร่วมกับโซเดียมคลอไรด์ สามารถเพิ่มการอุ้มน้ำ และเพิ่มปริมาณโปรตีนที่ละลายได้ของเนื้อไก่บด (ground tissue) แต่การใช้โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต ร่วมกับแคลเซียมคลอไรด์ในสถานะที่ไม่มีโซเดียมคลอไรด์

ให้ผลดังกล่าวข้างต้นลดลง อย่างไรก็ตามการแช่ชิ้นเนื้อไก่ในสารละลายโซเดียมไตรฟอสเฟตร่วมกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ และแคลเซียมคลอไรด์สามารถเพิ่มการอุ้มน้ำ เพิ่มผลผลิตของผลิตภัณฑ์หลังให้ความร้อนและเพิ่มความนุ่มของเนื้อไก่ได้มากกว่าการแช่น้ำเพียงอย่างเดียว Nayak และคณะ (1996) พบว่า แคลเซียมคลอไรด์ และแมกนีเซียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ สามารถเพิ่มการละลายโปรตีน การใช้แคลเซียมคลอไรด์เข้มข้น 4-5 มิลลิโมลาร์ ร่วมกับโซเดียมคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 4 สามารถเพิ่มการสกัดโปรตีนจากเนื้อหน้าอก และน่องของไก่วงว แมกนีเซียมคลอไรด์เข้มข้น 7 มิลลิโมลาร์ สามารถเพิ่มการละลายของไมโอซิน และแอกติน การอุ้มน้ำของเนื้อหน้าอกไก่หลังระยะการแช่เพิ่มขึ้น เมื่อใช้แคลเซียมคลอไรด์เข้มข้น 4 มิลลิโมลาร์ หรือใช้ร่วมกับไตรฟอสเฟตเข้มข้น 8.2 มิลลิโมลาร์ และโซเดียมคลอไรด์ 0.2 โมลาร์ นอกจากนี้แมกนีเซียมคลอไรด์เข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ สามารถเสริมฤทธิ์ของไตรฟอสเฟตในการเพิ่มการพองตัว และการสกัดไมโอซินโดยมีผลเร่งการแตกตัวของแอกโตไมโอซิน (Xiong *et al.*, 2000a) การใช้แคลเซียมคลอไรด์เข้มข้น 0.25 โมลาร์ แช่กล้ามเนื้อไก่ส่วน *Cutaneus trunci* นาน 2 ชั่วโมง สามารถลดระยะเวลาการแช่และเพิ่มความนุ่มเนื้อได้ โดยไม่มีผลต่อกลิ่นรส โดยที่คลอไรด์ไอออนมีบทบาทสำคัญในการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์คาลเพน (Gonzalez *et al.*, 2001)

Nayak และคณะ (1998) ศึกษาผลของแคลเซียมคลอไรด์ แมกนีเซียมคลอไรด์ หรือซิงค์คลอไรด์ (ร้อยละ 0 หรือ 0.05) ร่วมกับโซเดียมคลอไรด์ (ร้อยละ 2) และโซเดียมไตรฟอสเฟต (ร้อยละ 0 หรือ 0.4) ในกล้ามเนื้อส่วน *semimembranosus* และ *adductor muscle* ทั้งชนิดที่มีไขมันสูง (HF, ไขมันร้อยละ 30) และชนิดที่มีไขมันต่ำ (LF, ไขมันร้อยละ 10) หลังผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง พบว่าแคลเซียมคลอไรด์ หรือแมกนีเซียมคลอไรด์ และ/หรือโซเดียมไตรฟอสเฟต สามารถเพิ่มการละลายของโปรตีน ในขณะที่ซิงค์คลอไรด์ลดการละลายของโปรตีนเมื่อเทียบกับชุดควบคุม และไม่พบการละลายของไมโอซินในสภาวะที่ใช้ซิงค์คลอไรด์ (zinc chloride) เพียงชนิดเดียว การใช้แมกนีเซียมคลอไรด์ (ร้อยละ 0.05) ร่วมกับโซเดียมไตรฟอสเฟต (ร้อยละ 0.4) และ โซเดียมคลอไรด์ (ร้อยละ 2) สามารถเพิ่มการละลายของไมโอซินใน LF (low fat) จากการเพิ่มการสกัดโปรตีนไมโอซิน อย่างไรก็ตาม

ตามการใช้เกลือคลอไรด์เหล่านี้ร่วมกับโซเดียมคลอไรด์โดยไม่มีโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตส่งผลให้การละลายของโปรตีนลดลงจากการลดลงของค่าพีเอช

4. การใช้คาร์โบไฮเดรตในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์

ในผลิตภัณฑ์เนื้อจำพวกไส้กรอก แฮม นิยมใช้คาร์โบไฮเดรต โดยเฉพาะไฮโดรคอลลอยด์แทนไขมัน เพื่อช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสและคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสในผลิตภัณฑ์ไขมันต่ำ (Skrede, 1989) ไฮโดรคอลลอยด์จำพวกคาราจีแนน มักนิยมใช้แทนไขมันในการพัฒนาลักษณะเนื้อสัมผัสและคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เนื้อ (Bloukas *et al.*, 1997) เมื่อผสมโปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้น และแคลปลา-คาราจีแนน ในอัตราส่วน 3:1 สามารถเพิ่มค่าการอุ้มน้ำและความคงตัวต่อความร้อนของไส้กรอก (Pietrasik and Duda, 2000) ส่วนแป้งมีส่วนช่วยในการรักษาความนุ่มและความชุ่มในผลิตภัณฑ์เนื้อไขมันต่ำ (Giese, 1992) ระดับแป้งที่เพิ่มขึ้นมีผลลดการสูญเสียน้ำหนักภายหลังการให้ความร้อน (Colmenero *et al.*, 1996) Lyons และคณะ (1999) ศึกษาผลของโปรตีนเวย์ (whey protein) / คาราจีแนน (carageenan) และแป้งมันสำปะหลัง ต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของไส้กรอกหมูไขมันต่ำ พบว่าไส้กรอกที่เติมคาราจีแนนจะให้เจลาตี และลักษณะเนื้อสัมผัสมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น และเมื่อใช้คาราจีแนนร่วมกับโปรตีนเวย์ สามารถลดการสูญเสียน้ำหนักภายหลังการให้ความร้อนจากร้อยละ 12 เหลือร้อยละ 3 ส่วนการใช้แป้งมันสำปะหลังความเข้มข้นร้อยละ 0-3 มีผลให้ค่าการสูญเสียน้ำหนักภายหลังการให้ความร้อนลดลงจากร้อยละ 15 เป็นร้อยละ 4 Pietrasik (1999) ศึกษาผลของแป้งมันฝรั่งดัดแปลง หรือ distarch phosphate (ร้อยละ 3.32-5.68) ต่อคุณภาพไส้กรอกที่ประกอบด้วยไขมัน และโปรตีนร้อยละ 11.6-28.4 และ 7.32-10.68 ตามลำดับ พบว่าแป้งที่เติมสามารถเพิ่มคุณสมบัติในการอุ้มน้ำ ลดการสูญเสียน้ำหนักภายหลังการให้ความร้อน และเพิ่มความแข็งของไส้กรอก (hardness) Weiline และ Keeton (1998) ศึกษาคุณลักษณะเนื้อสัมผัส และคุณสมบัติทางเคมี-กายภาพของแพททีของเนื้อวัวบด (ground beef patties) ชนิดไขมันต่ำ ที่มีส่วนผสมของคาราจีแนน และโซเดียมอัลจิเนต พบว่าเมื่อใช้คาราจีแนน ร่วมกับโซเดียมอัลจิเนต (sodium alginate)

สามารถเพิ่มผลผลิตและความชื้น แต่มีผลให้ค่าแรงเดือน ต่ำกว่าแพทที่ที่เติมคาร์โบไฮเดรตหรือโซเดียมอัลจีเนตเพียงอย่างเดียว

5. การเปลี่ยนแปลงโปรตีนกล้ามเนื้อในระหว่างการเก็บรักษาในสภาพแช่แข็ง

กระบวนการแช่แข็งเป็นวิธีการถนอมอาหารที่สามารถลดการเน่าเสียจากจุลินทรีย์ แต่อย่างไรก็ตามปฏิกิริยาเคมียังสามารถดำเนินต่อไป และส่งผลต่อคุณภาพของเนื้อสัตว์ โดยเฉพาะการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน จะเห็นได้จากการเกิดเนื้อสัมผัสที่แข็งและแห้งมากขึ้นตามระยะเวลาของการเก็บรักษา เนื่องจากโปรตีนเกิดการสูญเสียสภาพธรรมชาติ และเกิดการรวมตัวกันในระหว่างการแช่เยือกแข็ง การสูญเสียความสามารถในการละลาย และการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพของโปรตีนมีความสัมพันธ์กับการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน อันเกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโมเลกุลโปรตีน เช่น โปรตีนเกิดการคลายตัว รวมถึงการจับตัวกันของโปรตีน Macdonald และ Lanier (1991) พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนในระหว่างการเก็บรักษาโดยการแช่เยือกแข็ง คือการเกิดผลึกน้ำแข็ง การเปลี่ยนแปลงของไขมัน และการเปลี่ยนแปลงจากเอนไซม์ในเนื้อสัตว์ การกำจัดหมู่เอมีนและการเกิดออกซิเดชันของหมู่อะมิโนอิสระ ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของพันธะไดซัลไฟด์ (disulfide bond) การเชื่อมต่อกันของหมู่เอสเทอร์ และหมู่อะมิโนอิสระ ตลอดจนการเพิ่มขึ้นของหมู่ที่ไม่ชอบน้ำ และการเกิดอันตรกิริยาไฮโดรโฟบิก (hydrophobicity) เป็นสาเหตุให้เกิดการสูญเสียเนื้อสัมผัส และส่งผลให้กล้ามเนื้อมีความเหนียวเพิ่มขึ้น (Lablanc, 1992) การเปลี่ยนแปลงของไขมัน เช่นปฏิกิริยาออกซิเดชันมีผลเร่งการเปลี่ยนแปลงของหมู่ซัลไฟไฮดริล (sulfhydryl group) หมู่ไม่ชอบน้ำบนผิวหน้าของโปรตีนเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการละลายของโปรตีนลดลง (Kussi *et al.*, 1975) ฟอรัมาติไฮด์ที่เกิดจากการทำงานของเอนไซม์ TMAO demethylase (trimethylamineoxide demethylase) มีบทบาทสำคัญทำให้เนื้อสัมผัสเหนียวขึ้น (Connell, 1975) อันเป็นผลจากการเชื่อมประสานของโปรตีน

อุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อการสูญเสียสภาพของแอคโตไมโอซินจากปลา milkfish (*Chanos chanos*) หลังจากการเก็บรักษาในสภาพแช่แข็งเป็น

ระยะเวลา 8 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ -20 และ -35 องศาเซลเซียส พบว่าการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนระหว่างการแช่แข็ง และการเก็บรักษาเกิดจากการเชื่อมประสานตัวของโปรตีนโดยพันธะไดซัลไฟด์ พันธะไฮโดรเจน และอันตรกิริยาไฮโดรโฟบิก โดยพันธะไดซัลไฟด์มีบทบาทสูงสุด แอกโตไมโอซินที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เกิดการสูญเสียสภาพมากกว่าเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -35 องศาเซลเซียส (Jiang *et al.*, 1988) Yoshikawa และคณะ (1995) พบว่าความสามารถในการละลายของโปรตีนในเนื้อปลาที่ผ่านการแช่เยือกแข็งลดลงเป็นผลมาจากการรวมตัวของโปรตีน ซึ่งมีสาเหตุมาจากผลึกน้ำแข็ง และสารละลายที่ไม่สามารถแข็งตัวได้ (unfrozen solution) โดยกิจกรรมของเอนไซม์ ATPase ของแอกโตไมโอซินลดลงเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาในสภาพแช่แข็งนานขึ้น ส่วนชิ้นปลา Pacific whiting ซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -8 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพมากกว่าชิ้นปลาที่เก็บที่อุณหภูมิต่ำกว่า โปรตีนที่ละลายได้ในเกลือ และกิจกรรมของ Ca^{2+} -ATPase ของปลา ซึ่งเก็บที่อุณหภูมิ -34 และ -50 องศาเซลเซียส ลดลงในอัตราที่ต่ำกว่าปลาที่เก็บรักษาที่ -20 องศาเซลเซียส (Hsu *et al.*, 1993) Azuma และ Konno (1998) ได้เปรียบเทียบการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนเนื่องจากการแช่แข็ง และการใช้ความร้อนในไมโอไฟบริลของปลา carp พบว่าการแช่แข็งสามารถลดการละลายของโปรตีนอย่างช้าๆ แตกต่างจากการใช้ความร้อนซึ่งลดการละลายของโปรตีนอย่างรวดเร็ว การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างไมโอซินที่เกิดจากการแช่แข็งแตกต่างจากการใช้ความร้อน ความร้อนทำให้โปรตีนเกิดการสูญเสียสภาพอย่างรวดเร็วกว่าการแช่แข็ง นอกจากนี้การเก็บรักษาในสภาพแช่เยือกแข็งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเนื้อเยื่อของเซลล์กล้ามเนื้อ ทำให้เกิดการทำลายออร์แกเนลล์เช่น ไมโทคอนเดรียและไลโซโซมส่งผลให้เกิดการปล่อยของเหลวออกจากเซลล์ (Foegeding *et al.*, 1996)

การใช้สารเติมแต่งอาหารบางชนิดสามารถช่วยลดการสูญเสียสภาพของโปรตีนในระหว่างการเก็บรักษาในสภาวะแช่เยือกแข็งได้ โดย Park และคณะ (1988) พบว่าการเติมสารเติมแต่งอาหารที่มีคุณสมบัติป้องกันการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนลงในซูริมก่อนการแช่เยือกแข็งมีผลให้ซูริมหลังการละลายคงมีความสามารถในการเกิดเจลที่ดี สารประกอบฟอสเฟตเป็นสารเคมีชนิดหนึ่งที่ช่วยลดการสูญเสียสภาพ

ของโปรตีนในระหว่างการเก็บรักษาในสภาพแช่เยือกแข็ง เนื่องจากฟอสเฟตสามารถเพิ่มการละลายของโปรตีนบางส่วน ทำให้สามารถเพิ่มการอุ้มน้ำ และชะลอการสูญเสีย น้ำ (Ellinge, 1972) รวมทั้งสามารถจับกับอิออนโลหะบางชนิด เช่น เหล็ก และ ทองแดง ส่งผลให้สามารถลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Kumazawa, *et al.*, 1990) นอกจากนี้ยังทำหน้าที่คล้าย ATP ในการทำให้แอกโตไมโอซินเกิดการแตกตัวเป็นแอกตินและไมโอซิน ทำให้โปรตีนไมโอไฟบริลสามารถจับกับน้ำได้มากขึ้น และสามารถขัดขวางการจับตัวกันของโปรตีน (Bendall, 1954; Henson and Kowalewski, 1992)

6. ผลของการแช่แข็ง- การทำละลายต่อการเปลี่ยนแปลงโปรตีนกล้ามเนื้อ

การแช่แข็ง-ทำละลายมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมี-กายภาพของโปรตีนกล้ามเนื้อส่งผลต่อคุณภาพของกล้ามเนื้อ การแช่แข็ง และการทำละลายมีผลกระทบต่อโครงสร้างเนื้อเยื่อของเซลล์กล้ามเนื้อ (Foegeding *et al.*, 1996) โดยก่อให้เกิดการทำลายของออร์แกเนลล์ เช่น ไมโทคอนเดรียและไลโซโซม รวมทั้งเกิดการรั่วของเมมเบรน ส่งผลให้เอนไซม์ และองค์ประกอบอื่นๆ ถูกปล่อยออกมา รวมทั้งมีการสูญเสีย น้ำ Nilsson และ Ekstrand (1993) พบว่า กิจกรรมของ α -glucosidase (AG: E.C.3.2.1.20) และ β -N-acetyl-glucosaminidase (NAG: E.C.3.2.1.30) เพิ่มขึ้น เมื่อทำการแช่แข็ง-ทำละลายปลาเป็นจำนวนครั้งที่เพิ่มขึ้น

Nilsson และ Ekstrand (1995) ศึกษาผลของการละลายต่อคุณภาพของปลา Rainbow trout หลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส และ -40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 3 7 13 และ 18 เดือน พบว่าการทำละลายอย่างช้าๆ (บรรยากาศ / 5 องศาเซลเซียส) ทำให้กิจกรรมของ NAG สูงขึ้น และสูงกว่าการทำละลายอย่างรวดเร็ว (น้ำ / 25 องศาเซลเซียส) ภายหลังจากเก็บรักษานาน 3 เดือน กิจกรรมของ NAG ของปลาที่เก็บรักษาที่ -18 องศาเซลเซียสสูงกว่าปลาที่เก็บรักษาที่ -40 องศาเซลเซียส ดังนั้นการทำละลายอย่างรวดเร็ว และการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำสามารถลดการทำลายเนื้อเยื่อเมื่อเทียบกับการทำละลายอย่างช้า และการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง ส่วนจำนวนรอบของการแช่แข็ง-ทำละลาย มีผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมี-กายภาพ และเอนไซม์ของโปรตีนกล้ามเนื้อปลาคอด เมื่อจำนวนรอบเพิ่มขึ้น กิจกรรมของเอนไซม์ AG และ NAG

เพิ่มขึ้น นอกจากนี้การแช่แข็ง-ทำละลายมีผลให้สูญเสียกิจกรรมของ Ca^{2+} -ATPase และ Mg^{2+} - Ca^{2+} -ATPase ขณะที่กิจกรรมของ Mg^{2+} -EGTA-ATPase เพิ่มขึ้น (Benjakul and Bauer, 2000) Srinivasan และคณะ (1997b) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางเคมี-กายภาพของกล้ามเนื้อกุ้งแม่น้ำหลังผ่านการแช่แข็ง-ทำละลาย จำนวน 5 รอบ พบว่าค่าแรงเนียนของกุ้งลดลงหลังจากผ่านการแช่แข็ง-ทำละลาย 3 รอบ เอนทัลปีของการสูญเสียสภาพของไมโอซินของกุ้งมีค่าลดลงจาก 16.6 J/g เป็น 13.5 J/g หลังผ่านการแช่แข็ง-ทำละลาย 1 รอบ Woyewoda และ Bligh (1986) จุ่มชิ้นปลาสดแช่ในสารละลายไตรพอลิฟอสเฟต หรือเมตาฟอสเฟตก่อนการแช่แข็ง และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -12 องศาเซลเซียส หรือ -30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 26 สัปดาห์ พบว่าสามารถลดการสูญเสียน้ำจากการทำละลาย (thaw drip) และการสูญเสียน้ำจากการให้ความร้อน รวมทั้งสามารถเพิ่มผลผลิตของชิ้นปลาสด และปลาที่ผ่านการให้ความร้อน

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาชนิด ปริมาณ และสภาวะที่เหมาะสมของการใช้สารประกอบฟอสเฟตร่วมกับ สารละลายเกลือและสารประกอบที่ไม่ใช่ฟอสเฟตในกระบวนการแปรรูปกุ้งกุลาดำ
2. ศึกษาผลของสารประกอบฟอสเฟต ต่อองค์ประกอบทางเคมี สมบัติทางเคมี-กายภาพของกล้ามเนื้อกุ้งกุลาดำ
3. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของกุ้งกุลาดำที่ผ่าน และไม่ผ่านการแช่สารประกอบฟอสเฟต ระหว่างการเก็บรักษาในสภาพแช่แข็ง และกระบวนการแช่แข็ง-ทำละลาย