บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

กุ้งกุลาดำ

กุ้งกุลาดำ หรือกุ้งม้าลาย *Penaeus monodon* Fabrioius (Tiger shrimp) เป็นกุ้งที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในวงศ์ *Penaeidae* ซึ่งเป็นวงศ์เดียวที่สามารถเพาะเลี้ยงเพื่อการค้าได้ ขณะที่ยังมีชีวิตอยู่ลำตัวจะเป็นสีม่วงแดง มีแถบสีน้ำตาลหรือดำพาดขวาง ลำตัวเป็นปล้อง โคนขาว่ายน้ำมีแถบสีเหลืองเป็นปล้อง เปลือกหัวเกลี้ยงไม่มีขน หนวดมีสีดำ ไม่มีลาย ถิ่นอาศัยอยู่ในเขตร้อนและอาศัยในบริเวณน้ำลึก ได้แก่ น่านน้ำแถบใต้หวัน ไทย มาเลเซีย อินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ ออสเตรเลีย และอินเดีย (กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2549)

รงควัตถุ (pigment) ที่ให้สีน้ำเงินหรือม่วงในกุ้งกุลาดำดิบ คือ ครัสตาไซยานิน (crustacyanin) พบมากบริเวณเปลือก และผิวนอกของกุ้งกุลาดำ มีหน้าที่ช่วยในการพรางตัว โครงสร้างตามธรรมชาติ ประกอบด้วย โปรตีน 16 ซับยูนิต (subunit) หุ้มล้อมโดยรอบ (encapsulate) 16 โมเลกุล ของ แอสตาแซนทิน (astaxanthin) ขนาดโมเลกุล 350 kDa ซึ่งการจับตัวของโปรตีนกับแอสตาแซนทินจะให้ทำให้เกิดสีน้ำเงินและม่วง แต่เมื่อเกิดการเปลี่ยน แปลงของ pH หรือผ่านการให้ความร้อนโมเลกุลโปรตีนจะเกิดการแปรสภาพ (denaturation) ทำให้โมเลกุลแอสตาแซนทินหลุดจากโมเลกุลโปรตีน สีของกุ้งเปลี่ยนเป็นสีแดงเนื่องจากสีของแอสตาแซนทิน (Krawczyk และ Britton, 2001)

ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water Holding Capacity) **ของโปรตีนกล้ามเนื้อ**

ความสามารถในการอุ้มน้ำของโปรตีน คือความสามารถในการจับน้ำทั้งหมดหรือบางส่วนของน้ำที่เป็นส่วนประกอบของเนื้อเยื่อเดิมหรือน้ำที่เติมผ่านเข้าไป สมบัติดังกล่าวนี้มีผลต่อคุณภาพของเนื้อสัตว์ด้านความนุ่มและความชุ่มน้ำ ในเนื้อสัตว์ทะเลจะประกอบด้วยน้ำประมาณ 75-80% โปรตีนที่มีบทบาทในการกักเก็บน้ำในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์คือไมโอไฟบริลลาโปรตีน (myofibrillar proteins) โดยน้ำในเนื้อเยื่อประมาณ 85% อยู่ภายในโครงสร้างของไมโอไฟบริล (myofibril) ขณะที่อีก 15% อยู่ภายนอกเซล ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำ ได้แก่ ปริมาณและโครงสร้างของโปรตีน ค่าความเป็นกรดด่างหรือ pH ความแรงของไอออน (ionic strength) และผลจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (Zayas, 1997) ในส่วนของปริมาตรและโครงสร้างของโปรตีนนั้น เนื้อสัตว์ที่มีสัดส่วนของโปรตีนต่อไขมันมากจะมีความสามารถในการอุ้มน้ำมากกว่าเนื้อสัตว์ที่มีสัดส่วนของโปรตีนต่อไขมันน้อย เนื่องจากมีปริมาณโปรตีนที่ทำหน้าที่จับกับน้ำมากกว่า และถ้าลักษณะโครงสร้างของโปรตีนในเนื้อสัตว์มีหมู่ที่ชอบน้ำ (hydrophilic) อยู่ด้านนอกมากก็จะมีความสามารถในการอุ้มน้ำมาก

pH มีผลโดยตรงต่อความสามารถในการอุ้มน้ำของโปรตีน โดยเมื่อค่า pH เปลี่ยนแปลงในช่วง 4.5-7.0 พบว่าเนื้อมีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำที่สุดที่ pH 5.0-5.1 ซึ่งเป็นจุดไอโซอิเล็กทริก (isoelectric point, pI) ของไมโอไฟบริลลาโปรตีน ซึ่งองค์ประกอบส่วนใหญ่ คือ แอคติน (actin) ที่มีค่า pI 4.7 และไมโอซิน (myosin) ที่มีค่า pI 5.4 ที่จุดไอโซอิเล็กทริก โปรตีนมีประจุสุทธิ (net charge) เป็นศูนย์ เพราะมีปริมาณประจุบวกและลบเท่ากันจึงเกิดการจับกันภายในโมเลกุลตนเองหมด แทนที่จะเหลือบางส่วนมาจับกับน้ำ และโปรตีนจะเกิดการหดตัวทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำลดลง แต่ในภาวะที่ pH มีค่าสูงหรือต่ำกว่า pI โปรตีนจะมีค่า ประจุสุทธิเป็นบวกหรือลบ ซึ่งความสามารถในการอุ้มน้ำของโปรตีนจะมากขึ้น

ความแรงของไอออน มีผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำของโปรตีน โดยที่ความเข้มข้นของเกลือต่ำ ประจุของเกลือที่แตกตัวจะเหนี่ยวนำให้ส่วนที่ชอบน้ำ บนโมเลกุลของโปรตีนสามารถจับกับน้ำได้ดีขึ้น แต่ที่ความเข้มข้นของเกลือสูง ๆ ประจุของเกลือที่แตกตัวออกมาจะแย่งจับกับน้ำ ทำให้โมเลกุลของโปรตีนจับน้ำได้น้อยลง

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เกิดจากภาวะการให้ความร้อนหรือการแช่เยือกแข็ง มีผลทำให้โมเลกุลของโปรตีนเกิดการแปรสภาพ โครงสร้างของโปรตีนเกิดการเปลี่ยนแปลง เช่น เกิดการหดตัว เป็นต้น ทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำของโปรตีนลดลง

การแช่เยือกแข็ง

การแช่เยือกแข็งเป็นการลดอุณหภูมิของอาหารให้ต่ำลง โดยทั่วไปจะทำที่อุณหภูมิต่ำกว่า –18°C จนสถานะของน้ำในอาหารที่เป็นของเหลวเปลี่ยนเป็นของแข็ง ทำให้น้ำไม่สามารถทำหน้าที่ตามปกติ ในการเกิดปฏิกิริยาเคมี และจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในอาหารไม่สามารถใช้น้ำในการดำเนินปฏิกิริยาชีวเคมีต่าง ๆ การแช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิก (cryogenic) เป็นการแช่เยือกแข็งโดยใช้ไนโตรเจน หรือคาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ในสถานะของเหลวเป็นสารทำความเย็น โดยอุณหภูมิไม่เกิน –60°C หรือต่ำกว่า มีอัตราเร็วในการแช่เยือกแข็งสูง และมีข้อดีคือ ใช้เวลาสั้น ผลึกน้ำแข็งมีขนาดเล็ก การเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัมผัสเกิดขึ้นน้อย มีของเหลวสูญเสียน้อยระหว่างการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็ง และมีการเสื่อมคุณภาพจากปฏิกิริยาเคมีต่ำ แม้ว่าการแช่เยือกแข็งและเก็บที่ภาวะเยือกแข็งจะเป็นวิธีการเก็บรักษาเนื้อสัตว์ที่ดี แต่คุณภาพหลายด้านก็มีการเปลี่ยนแปลงไป อาทิ มีการเสียน้ำจากเนื้อเยื่อ เนื้อสัมผัส กลิ่น และรสชาติ เปลี่ยนแปลงไปในทางที่ด้อยลง (Sebranek, 1982)

การเสียน้ำหรือของเหลวเมื่อมีการละลายน้ำแข็ง (drip loss หรือ thawing loss) มีสาเหตุหลัก 3 ประการ ได้แก่ แรงดันภายใน การเกิดผลึกน้ำแข็ง และการสูญเสียน้ำแบบไม่ผันกลับ ซึ่ง 2 สาเหตุแรกเกิดจากการที่น้ำเมื่อเปลี่ยนสถานะเป็นผลึกน้ำแข็งปริมาตรจะเพิ่มขึ้น ทำให้เนื้อเยื่อหรือเซลที่อยู่รอบผลึกได้รับความเสียหายจากแรงดันที่เพิ่มจากการขยายตัวของผลึกของน้ำแข็ง ส่วนสาเหตุหลังคือการสูญเสียน้ำแบบไม่ผันกลับ เกิดจากน้ำบางส่วนที่จับอยู่กับโมเลกุลอื่นในระบบ เช่น โปรตีน เมื่อถูกแยกออกไปเป็นผลึกน้ำแข็ง เป็นผลให้โมเลกุลนั้นเปลี่ยนสภาพไป ซึ่งเมื่อมีการละลายน้ำแข็งน้ำจะไม่สามารถกลับไปจับโมเลกุลนั้นได้อีก (Jul, 1984)

การเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัมผัส เกิดขึ้นจากการแปรสภาพของโปรตีน (denaturation) เกิดได้จาก 4 สาเหตุ ได้แก่ การสูญเสียน้ำบางส่วนของโมเลกุลโปรตีน และความเข้มข้นของสารละลายเกลือรอบโปรตีนสูงขึ้นซึ่งทั้งสองสาเหตุนี้ ทำให้โมเลกุลของโปรตีนเปลี่ยนแปลงไปจากการที่น้ำบางส่วนที่เคยจับอยู่ ด้วยพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) และพันธะไอออนิก (ionic bond) กับโปรตีนถูกดึงออกไป ทำให้โปรตีนเกิดการแปรสภาพ ส่วนอีกสองสาเหตุอื่น ได้แก่ ปฏิกิริยาระหว่างโปรตีนกับอนุมูลอิสระ (free radical) ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ทำให้เกิดอนุมูลอิสระบนโมเลกุลของโปรตีน ซึ่งเป็นผลให้เกิดการสร้างพันธะเชื่อมข้ามกับโปรตีนโมเลกุลอื่น ทำให้โครงสร้างโปรตีนเปลี่ยนไปและมีขนาดใหญ่ขึ้น (Emilia และ Santos-yap, 1998) และโปรตีนทำปฏิกิริยากับผลิตภัณฑ์ ที่ได้จากการสลายของไตรเมธิลลามีนออกไซด์ (trimethyl-amine oxide, TMAO) เช่น ฟอร์มอลดีไฮด์ (formaldehyde) ทำให้โครงสร้างของโปรตีนเปลี่ยนไป

หอสมุดกลาง สำนักงานวิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แต่การเสื่อมคุณภาพจากสาเหตุสุดท้ายนี้มีเกิดขึ้นน้อยในกุ้ง ขณะที่เกิดได้มากในปลาบางชนิด เช่น ปลาคอด เป็นต้น (Krueger และ Fennema, 1989)

การเปลี่ยนแปลงของกลิ่นและรสชาติ เกิดจาก 3 สาเหตุ คือ การสูญเสียสารประกอบที่ระเหยได้ (volatile substances) ซึ่งส่วนใหญ่เกิดบริเวณผิวหน้าระหว่างการเก็บรักษา ส่วนการเกิดออกซิเดชันของไขมัน และการเสื่อมสลายของ TMAO จะทำให้เกิดกลิ่นหืน และกลิ่นคาว (Emilia และ Santos-yap, 1998) ในกุ้งปริมาณโปรตีนชนิดที่ละลายในน้ำจะลดลงเหลือเพียง 60% ของปริมาณตั้งต้น การยอมรับของผู้บริโภคต่อเนื้อสัมผัสลดลง ปริมาณกรดไขมันอิสระ และปริมาณด่างที่ระเหยได้ (total volatile base, TVB) เพิ่มสูงขึ้น โดยที่กรดไขมันอิสระ เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย เนื่องจากเอนไซม์จากแบคทีเรีย ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งในปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดกรดไขมันอิสระถูกยับยั้ง (Riaz และ Quadri, 1990)

ลักษณะปรากฏที่ผิดปกติอย่างหนึ่งในกุ้ง ได้แก่ การเกิดจุดดำ ซึ่งเรียกว่า melanosis หลังจากตายประมาณ 2-12 ชั่วโมง จุดสีดำนี้เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยเอนไซม์โพลีฟีนอล-ออกซิเดส (polyphenoloxidase) เปลี่ยนสารประเภทฟีนอล (phenol) เป็นควิโนน (quinone) เกิดปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชัน (polymerization) แบบไม่ใช้เอนไซม์ เกิดสารรงควัตถุสีดำ โดยปฏิกิริยานี้สามารถเกิดได้แม้ที่อุณหภูมิ 0°C แต่ที่อุณหภูมิต่ำ ๆ การเกิดจะช้าลง (Emilia และ Santos-yap,1998)

สารเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์และอาหารทะเล

ฟอสเฟต

ฟอสเฟตเป็นสารที่พบได้ตามธรรมชาติในอาหารหลายประเภท และมีความสำคัญต่อสิ่ง-มีชีวิตทุกชนิด ในช่วงปลายศตวรรษที่ 18 มีการผลิตฟอสเฟตจากกระดูกสัตว์ แต่ปัจจุบันผลิตจากหินฟอสเฟต ฟอสเฟตสามารถจำแนกเป็น 2 กลุ่ม คือ ออโธฟอสเฟต (orthophosphates) ประกอบด้วยฟอสฟอรัส 1 อะตอม ล้อมรอบด้วยออกซิเจน 4 อะตอม และคอนเดนส์ฟอสเฟต (condense phosphates) ประกอบด้วยฟอสฟอรัสตั้งแต่ 2 อะตอมขึ้นไป เชื่อมต่อกันโดยใช้อะตอมของออกซิเจนร่วมกัน บทบาทของฟอสเฟตในอาหารทะเลมีหลายประการ ได้แก่ เพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำของโปรตีน เป็นสารรักษาคุณภาพที่ภาวะเยือกแข็ง (cryoprotectant) ชะลอการเกิดออกซิเดชัน (oxidation) ยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ ลดการเกิดผลึกสตรูไวท์ (struvite) ช่วยให้แกะเปลือกกุ้งหรือปูง่ายขึ้น (Dziezak, 1990)

ฟอสเฟตเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำของโปรตีน โดยอาศัยคุณสมบัติในการควบคุม pH โดยปรับ pH ในเนื้อสัตว์ให้สูงขึ้น ทำให้มีประจุลบบนโปรตีนมากขึ้นโครงสร้างของโปรตีนเกิดการคลายตัวทำให้สามารถจับโมเลกุลของน้ำได้มากขึ้น และอาศัยคุณสมบัติในการเป็นสารโพลี-อิเล็กโทรไลท์ (polyelectrolytes) โดยประจุลบส่วนหนึ่งของโมเลกุลฟอสเฟตจะจับกับ ประจุบวกของโปรตีนและประจุลบส่วนที่เหลือจับกับไฮโดรเจนอะตอมในโมเลกุลน้ำ ทำให้สามารถจับน้ำได้มากขึ้น (Sofos, 1986)

หน้าที่ของฟอสเฟตในการเป็นสารรักษาคุณภาพที่ภาวะเยือกแข็ง อาศัยสมบัติในการเป็นสารโพลีอิเล็กโทรไลท์โดยประจุลบส่วนหนึ่งของโมเลกุลฟอสเฟตจับกับประจุบวกของโปรตีนและประจุลบส่วนที่เหลือจะจับกับโมเลกุลของน้ำ เป็นผลให้น้ำเหล่านี้ไม่เปลี่ยนสถานะเป็นผลึกขณะแช่เยือกแข็ง ซึ่งลดความเสียหายจากการเกิดผลึกน้ำแข็ง นอกจากนั้นน้ำเหล่านี้ยังช่วยป้องกันการหดตัวของเนื้อเยื่ออันสืบเนื่องจากการแปรสภาพของโปรตีน

สมบัติด้านการชะลอการเกิดออกซิเดชันของฟอสเฟต เกิดจากสมบัติในการจับกับไอออนของโลหะ โดยประจุลบบนโมเลกุลของฟอสเฟตจับไอออนของโลหะซึ่งเป็นประจุบวก เช่น เหล็กหรือทองแดงไว้ ทำให้ไอออนเหล่านี้ไม่สามารถเร่งการเกิดอนุมูลอิสระจากกรดไขมันไม่อิ่มตัวซึ่งเป็นสาเหตุการเกิดออกซิเดชันของไขมัน (Shahidi, Rubin และ Wood, 1987)

ฟอสเฟตมีผลในการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ ภาวะดังกล่าวนี้เกิดจากการที่ประจุลบบนโมเลกุลของฟอสเฟตจับกับไอออนของโลหะบางชนิด เช่น สังกะสี และเหล็ก เป็นต้น ซึ่งจำเป็นต่อการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ ทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถนำโลหะเหล่านี้ไปใช้ในปฏิกิริยาเคมีเพื่อการเจริญเติบโตได้ (Molins, 1991)

นอกจากที่กล่าวมาแล้ว ฟอสเฟตบางชนิดยังมีผลในการลดการเกิดผลึกสตรูไวท์ ซึ่งเป็นผลึกของ อลูมิเนียมแอมโมเนียมฟอสเฟต ที่ทำให้เกิดเกล็ดสีขาวบนผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นลักษณะปรากฏที่ไม่พึงประสงค์ ฟอสเฟตที่นิยมใช้ คือ โซเดียมแอซิดไพโรฟอสเฟต (sodium acid pyrophosphate) ที่สามารถจับอลูมิเนียมไอออนและป้องกันการเกิดผลึกดังกล่าว (Elinger, 1972)

ฟอสเฟตช่วยให้แกะเปลือกกุ้งหรือปูง่ายขึ้น เกิดจากสมบัติในการปรับ pH ให้เป็นด่างที่มีผลทำให้โปรตีนเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissues) ที่อยู่ระหว่างเปลือกกับกล้ามเนื้อเกิดการเสื่อมสภาพทำให้สามารถแกะเนื้อออกจากเปลือกได้ง่ายขึ้น (Crapo และ Crawford, 1991)

การใช้ฟอสเฟตในผลิตภัณฑ์อาหารทะเล

ในปี ค.ศ. 1980 Falci และ Scott ได้ศึกษาผลของการแช่กุ้งแกะเปลือกในสารละลายผสมโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต (sodium tripolyphosphate, STPP), โซเดียมคลอไรด์ (sodium chloride) และ แคลเซียมคลอไรด์ (calcium chloride) ความเข้มข้น 4.73, 1.42 และ 0.75% ตามลำดับ ในอัตราส่วนกุ้ง:สารละลาย 4:1 นาน 20 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 0°C หลังแช่ทำให้สุกโดยต้มที่อุณหภูมิ 85°C เป็นเวลา 3 นาที พบว่ากุ้งที่ผ่านการแช่สารละลายผสมมีค่า cooking loss (การสูญเสียน้ำหนักจากการทำให้สุก) 13.3% มีลักษณะปรากฏและเนื้อสัมผัสอ่อนนุ่มขณะที่กุ้งที่ไม่ได้ผ่านการแช่สารละลายผสมมีค่า cooking loss 32% แสดงว่าการแช่กุ้งในสารละลายของสารผสมดังกล่าวมีผลในการเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ สามารถลดการสูญเสียน้ำหนักจากการทำให้สุกในกุ้ง ผลดังกล่าวนี้เกิดจากสมบัติในการปรับ pH และการเป็นสารโพลีอิเล็กโทรไลท์ เพิ่มประจุลบในโปรตีนทำให้โปรตีนเกิดการผลักกันเองภายใน เกิดการคลายตัวและสามารถจับโมเลกุลของน้ำได้มากขึ้น

Crapo และ Crawford (1991) ศึกษาผลของการแช่ปู *Cancer magister* ผ่าครึ่งทั้งเปลือกในสารละลายผสมทางการค้า Brifisol 512™ ซึ่งประกอบด้วย STPP และ โซเดียมเฮกซา-เมตาฟอสเฟต (sodium hexametaphosphate, SHMP) ความเข้มข้น 10% pH 9.1 นาน 0, 30, 60, 120 และ 240 นาที ที่อุณหภูมิ 2-4°C แล้วให้ความร้อนด้วยไอน้ำอุณหภูมิ 100°C นาน 10 นาที พบว่าการแช่ปูในสารละลายดังกล่าวเป็นเวลา 30 นาที เพิ่มปริมาณผลผลิตโดยน้ำหนักเปียก แต่ไม่สามารถเพิ่มปริมาณผลผลิตโดยน้ำหนักแห้ง แสดงว่าฟอสเฟตที่ถูกดูดกลืนเข้าไปในเนื้อปูยังไม่สามารถทำให้เนื้อเยื่อเกี่ยวพัน ที่อยู่ระหว่างเปลือกกับกล้ามเนื้อเกิดการเสื่อมสภาพ ทำให้การแกะเนื้อออกจากเปลือกทำได้ยากจึงมีการสูญเสียเนื้อ นอกจากนั้นเปลือกของปูยังขัดขวางการซึมผ่านของฟอสเฟตทำให้ต้องใช้ระยะเวลานานในการแช่ เพื่อให้ฟอสเฟตมีประสิทธิภาพเต็มที่ โดยเวลาแช่ 60-120 นาที มีประสิทธิภาพสูงสุด ($p \leq 0.05$) อย่างไรก็ตามปริมาณฟอสฟอรัสที่วิเคราะห์ได้จากปูที่แช่ฟอสเฟต ไม่แตกต่างจากตัวอย่างที่ไม่ได้แช่ ($p > 0.05$)แสดงว่าสารละลายฟอสเฟตไม่เพิ่มปริมาณฟอสเฟตในปู ปูที่สุกแล้วเมื่อนำไปแช่เยือกแข็งที่ -30°C แล้วเก็บที่ -18°C นาน 46 วัน พบว่าคะแนนเนื้อสัมผัส รสชาติ และการยอมรับโดยรวม ของตัวอย่างที่เก็บครบ 46 วัน ไม่แตกต่างจากตัวอย่างที่เก็บนาน 6 วัน ($p > 0.05$) ขณะที่เนื้อปูที่ไม่แช่ฟอสเฟตคะแนนเนื้อสัมผัส รสชาติ และการยอมรับโดยรวมลดลง ($p \leq 0.05$) ผู้วิจัยสรุปว่าการแช่ฟอสเฟตก่อนการทำให้สุก สามารถรักษาคุณภาพของเนื้อปูสุกที่เก็บรักษาโดยวิธีแช่เยือกแข็งได้

Selvaraj, Jasmine และ Jeyachandran (1992) ศึกษาผลของการแช่ชิ้นปลาหมึก *Loligo duvauceli* Orbigny ในสารละลาย เตตราโซเดียมไพโรฟอสเฟต (tetrasodium pyrophosphate, TSPP) เข้มข้น 5% นาน 5 นาที ที่ 2-4°C แล้วแช่เยือกแข็งที่ -40°C เก็บเป็นเวลา 9 เดือน ที่ -20°C ระหว่างเก็บวิเคราะห์คุณภาพ โดยละลายน้ำแข็ง แล้วทำให้สุกโดยต้มที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 10 นาที พบว่า TSPP ลดการสูญเสียน้ำหนักจากการทำให้สุก และทุกช่วงของระยะเวลาในการเก็บรักษา ค่าการสูญเสียน้ำหนักจากการละลายน้ำแข็ง และค่าการสูญเสียน้ำหนักจากการทำให้สุกของปลาหมึกที่แช่ฟอสเฟตต่ำกว่าปลาหมึกที่ไม่ได้แช่ ในขณะเดียวกันผลจากการวิเคราะห์ปริมาณ โปรตีนที่ละลายในเกลือ (salt soluble proteins) ซึ่งเป็นดัชนีปริมาณโปรตีนที่ไม่แปรสภาพขณะแช่เยือกแข็ง พบว่าตัวอย่างที่แช่ฟอสเฟตมีอยู่ในปริมาณมากกว่า นอกจากนั้นตัวอย่างทั้งดิบและสุกที่แช่ฟอสเฟต ยังมีคะแนนการยอมรับรวมสูงกว่าพวกไม่ผ่านการแช่ แสดงว่าฟอสเฟตช่วยเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ ทำให้เนื้อสัมผัสและลักษณะปรากฏของปลาหมึกดีขึ้น และสมบัติในการเป็นสารรักษาคุณภาพที่ภาวะเยือกแข็งของฟอสเฟต ยังช่วยให้โปรตีนในเนื้อปลาหมึก มีคุณภาพใกล้เคียงกับตัวอย่างที่ไม่ได้แช่เยือกแข็ง

Krivchenia และ Fennema (1988) ศึกษาผลการนำชิ้นเนื้อ (fillet) จากปลา *Coregonus cupleaformis* มาฉีดสารละลาย STPP ความเข้มข้น 11.8% ด้วยเครื่องฉีดความดันสูง หรือแช่ในสารละลายนาน 3 นาที แล้วแช่เยือกแข็งที่ -20°C เก็บที่ -12°C ทำให้สุกที่อุณหภูมิ 70-80°C พบว่าการใช้ฟอสเฟตสามารถลดค่าน้ำที่สูญเสียไปจากการปั่นเหวี่ยง (centrifugal drip) ชิ้นปลาแช่เยือกแข็งได้ แสดงว่าฟอสเฟตลดการสูญเสียความสามารถในการอุ้มน้ำเนื่องจากการแปรสภาพของโปรตีนขณะแช่เยือกแข็ง โดยใช้ได้ผลทั้งแบบความดันสูงและความดันปกติ แต่การแช่ที่ความดันปกติจะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่า ซึ่งอาจเนื่องจากโปรตีนที่เกิดการแปรสภาพส่วนใหญ่จะอยู่ด้านนอกทำให้การแช่ ซึ่งฟอสเฟตมีโอกาสสัมผัสกับผิวนอกของปลาโดยตรงมีประสิทธิภาพดีกว่า นอกจากนี้การใช้ฟอสเฟตสามารถลดค่าน้ำที่สูญเสียไปจากการให้ความร้อน เนื่องจากบทบาทในการเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำและบทบาทในการเป็นสารรักษาคุณภาพที่ภาวะเยือกแข็ง

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสค่าความแน่นเนื้อ (firmness) ของปลาที่ผ่านการแช่หรือฉีดด้วยสารละลาย STPP สูงกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการแช่ เนื่องจากฟอสเฟตมีสมบัติเป็นสารรักษาคุณภาพที่ภาวะเยือกแข็งจึงป้องกันการเสียสภาพของโปรตีนจากการแช่เยือกแข็ง ซึ่งหากมีการเสียสภาพเกิดขึ้น ค่าความแน่นเนื้อจะลดลง เนื้อสัมผัสจะนิ่มเละ ซึ่งเป็นลักษณะที่ไม่ต้องการในปลา ส่วนบทบาทในการเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำของฟอสเฟตช่วยทำให้ค่าความชุ่มน้ำ (juiciness) ของปลาเพิ่มสูงขึ้น ขณะที่สมบัติในการชะลอการเกิดออกซิเดชันของฟอสเฟตก็ช่วยลดการเกิดรสชาติไม่พึงประสงค์ (off-flavor) ซึ่งทั้งหมดนี้แสดงให้เห็นว่าการแช่หรือฉีดสารละลาย

STPP ในชิ้นปลาก่อนการแช่เยือกแข็ง มีประสิทธิภาพในการเพิ่มคุณภาพของชิ้นปลาและลดการสูญเสียน้ำหนักจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ

ไคโตซาน

ไคโตซาน (chitosan) ผลิตจากไคตินซึ่งเป็นสารโพลีแซคคาไรด์ที่มีมากที่สุดในโลกเป็นอันดับสองรองจากเซลลูโลส โดยเป็นส่วนประกอบของเปลือกนอกของสัตว์จำพวก แมลง กุ้ง ปู และผนังเซลของรา ไคโตซาน คือ โพลีเมอร์ของเอ็นอะซิทิลดีกลูโคซามีน (N-acetyl-D-glucosamine) ซึ่งเชื่อมกันด้วยพันธะเบต้า-1,4 (Chen และคณะ, 2003) โดยไคโตซานผลิตได้จากการดีอะซิทิลเลชัน (deacetylation) ไคตินในด่าง ซึ่งจะทำให้หน่วยเอ็นอะซิทิลดีกลูโคซามีน ซึ่งมีปริมาณประมาณ 70-90% ลดลงเหลือเพียง 5-15% ทำให้มีหมู่อิสระมากยิ่งขึ้น มีสมบัติเป็นโพลี-เมอร์ไอออนบวก (cationic polymer) ละลายได้ดีในภาวะเป็นกรด (Winterowd และ Sandford, 1995)

ไคโตซานมีประโยชน์หลายอย่างในอาหาร โดยสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์เนื่องจากเป็นสารคีเลท (chelating agent) จับกับไอออนของโลหะโดยโปรตอนบนหมู่เอมีน (amine group) ของไคโตซานถูกแทนที่ด้วยไอออนของโลหะ เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนไอออนโลหะกับไคโตซาน (metal ion -chitosan complex) ทำให้เชื้อจุลินทรีย์ไม่สามารถนำธาตุอาหารซึ่งจำเป็นต่อการเจริญเติบโต เช่น เหล็ก หรือสังกะสี ไปใช้ได้ (Ben-Shalom, Kudabaeva และ Borisover, 2005) นอกจากนี้ไคโตซานยังสามารถทำลายเยื่อหุ้มเซล (cell membrane) ของจุลินทรีย์ได้โดยอาศัยหมู่ไอออนบวกบนโมเลกุลของไคโตซานจับกับหมู่ไอออนลบบนเยื่อหุ้มเซล ทำให้เยื่อหุ้มเซลไม่สามารถทำหน้าที่ควบคุมสภาพให้ซึมได้ (permeability) ของสาร ทำให้เซลล์แตก (Zakrzewska แ ละคณะ, 2006) นอกจากนั้นสมบัติในการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ยังช่วยรักษาความสด ทำให้ไม่มีเอนไซม์จากจุลินทรีย์มาย่อยสลายโปรตีนทำให้ปริมาณด่างที่ระเหยได้ทั้งหมด (total volatile base) ลดลง (Jeon, Kamil และ Shahidi, 2002)

ไคโตซานชะลอการเกิดออกซิเดชันของไขมัน โดยจับกับโมเลกุลของ เหล็ก หรือทองแดง ซึ่งเป็นตัวเร่งการเกิดออกซิเดชันของไขมัน นอกจากนี้เมื่อใช้ในรูปของฟิล์มเคลือบที่โมเลกุลของไคโตซานเรียงตัวอย่างมีระเบียบจะมีสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจน ทำให้ลดปริมาณสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Lopez-Cabellero และคณะ, 2005)

ในภาวะที่เป็นกรดไคโตซานจะเกิดการแตกตัวของโปรตอนบริเวณหมู่เอมีนทำให้ละลายน้ำได้ดี โดยยิ่งมีหมู่เอมีนมากความสามารถในการดูดกลืนน้ำเข้าไปภายในโครงสร้างก็จะยิ่งดีขึ้น (Trung และคณะ, 2006) จึงสามารถเพิ่มน้ำหนักให้ผลิตภัณฑ์ที่เคลือบ นอกจากนี้ไคโตซานยังทำหน้าที่เป็นตัวสูญเสียน้ำแทนผลิตภัณฑ์ที่เคลือบ ทำให้สูญเสียน้ำน้อยลง ขณะที่การใช้ไคโตซานในรูปฟิล์มเคลือบยังช่วยลดการระเหยของน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ จากการที่ไคโตซานมีความเป็นขั้วสูง ฟิล์มที่เคลือบจึงมีโมเลกุลที่มีการจัดเรียงเป็นระเบียบทำให้ มีรูพรุนในฟิล์มน้อยน้ำจึงระเหยออกได้ยาก (Jeon, Kamil และ Shahidi, 2002)

การใช้ไคโตซานในผลิตภัณฑ์อาหารทะเลและเนื้อสัตว์

Jeon, Kamil และ Shahidi (2002) ศึกษาผลการใช้ไคโตซานในรูปฟิล์มเพื่อเคลือบชิ้นเนื้อผลิตภัณฑ์ปลาเฮอริงก์ *Clupea harengus* ผู้วิจัยใช้ไคโตซานขนาดโมเลกุล $1.8x10^6$ Da ที่มีระดับการดีอะซิทิเลชัน (degree of deacetylation) 86.4% ความเข้มข้น 10% ในสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น (glacial acetic acid) 1% แล้วแช่ปลาในสารละลายที่ 5°C นาน 30 วินาที ทิ้งไว้ 2 นาที แช่อีกครั้งนาน 30 วินาที ทำให้แห้งที่ 40°C นาน 2 ชั่วโมง แล้วแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4°C นาน 12 วัน พบว่าสามารถลดการสูญเสียความชื้นขณะแช่เย็น เนื่องจากมีความเป็นขั้วสูง ดังนั้นฟิล์มที่เคลือบจะมีความเป็นระเบียบ มีรูพรุนในฟิล์มน้อยทำให้น้ำระเหยออกได้ยาก ขณะเดียวกันไคโตซานมีความสามารถในการอุ้มน้ำที่ดี จึงทำหน้าที่เป็นตัวสูญเสียน้ำแทนชิ้นปลา ทำให้ปลาสูญเสียน้ำน้อยลง ชะลอการเกิดออกซิเดชันของไขมัน เนื่องจากสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจน และไคโตซานยังมีสมบัติในการจับกับไอออนของโลหะ เช่น เหล็ก หรือทองแดง ซึ่งเป็นตัวเร่งการเกิดออกซิเดชันของไขมัน สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ จากการจับกับไอออนของโลหะ เช่น เหล็ก หรือสังกะสี ซึ่งจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ และฟิล์มของไคโตซานยังป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจน ทำให้จุลินทรีย์บางชนิดเติบโตได้ยาก มีสมบัติในการรักษาความสดของปลา ซึ่งเกิดจากสมบัติในการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ทำให้ไม่มีเอนไซม์จากจุลินทรีย์มาย่อยสลายสารโปรตีน

Somjit และคณะ (2005) ศึกษาผลการใช้ไคตินจากกุ้งกุลาดำ ขนาดโมเลกุล 5.41-7.59 $x10^5$ Da ไคตินไฮโดรไลเซท (chitin hydrolysate) ขนาดโมเลกุล 351.55-420.01 Da ระดับการดีอะซิทิเลชัน 82.22-85.77% และซูโครสปริมาณ 5% เป็นสารรักษาคุณภาพที่ภาวะเยือกแข็ง ในผลิตภัณฑ์ซูริมิที่ทำจากปลาปากคม (lizard fish) จากการวิเคราะห์ค่าแอคติวิตี้ของเอนไซม์ย่อย ATP (Ca-ATPase activity) ตลอดระยะเวลาเก็บ 180 วัน พบว่าตัวอย่างที่ใช้ไคตินไฮโดรไลเซท มีแอคติวิตีของเอนไซม์ดังกล่าวสูงกว่าตัวอย่างที่ใช้ไคตินและตัวอย่างที่ไม่ใช้สารรักษาคุณภาพที่

ภาวะเยือกแข็ง ($p \leq 0.05$) และไม่แตกต่างกับตัวอย่างซูริมิที่ใช้ซูโครสเป็นสารรักษาคุณภาพที่ภาวะเยือกแข็งซึ่งเป็นสารที่นิยมใช้ในท้องตลาด ($p > 0.05$) และจากการวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอรี่มิเตอร์ (differential scanning calorimetry, DSC) พบว่าตัวอย่างที่ใช้ไคติน มีปริมาณน้ำอิสระมากกว่า และมีปริมาณน้ำที่ไม่แข็งตัวน้อยกว่าตัวอย่างที่มีการใช้ซูโครส ($p \leq 0.05$) และไม่แตกต่างจากตัวอย่างที่ไม่ได้ใช้สารรักษาคุณภาพที่ภาวะเยือกแข็ง ($p > 0.05$) แสดงว่าการใช้ไคตินไม่มีผลต่อสภาพของน้ำภายในผลิตภัณฑ์ ขณะที่การใช้ ซูโครสหรือการใช้ไคตินไฮโดรไลเซทมีปริมาณน้ำอิสระน้อยกว่าและมีปริมาณน้ำที่ไม่แข็งตัวมากกว่าตัวอย่างที่ไม่ได้ใช้สารรักษาคุณภาพที่ภาวะเยือกแข็ง ($p \leq 0.05$) แสดงว่าไคตินไฮโดรไลเซทมีสมบัติเป็นสารรักษาคุณภาพที่ภาวะเยือกแข็งสามารถจับกับน้ำและโปรตีนช่วยตรึงไม่ให้น้ำแข็งตัวเป็นผลึกขณะแช่เยือกแข็งทำให้เนื้อเยื่อเสียหายจากผลึกน้ำแข็งน้อยลง

แคปป้า คาร์ราจีแนน

แคปป้า คาร์ราจีแนน (kappa carrageenan) คือโพลีเมอร์ที่เชื่อมกันด้วยพันธะเบต้า 1,3 ประกอบด้วย ดีกาแลกโตไพราโนสที่มีหมู่ซัลเฟตที่ตำแหน่งที่ 4 (β-D-galactopyranose-4-sulfate) เชื่อมด้วยพันธะเบต้า 1,4 กับ 3,6 แอนไฮโดรแอลฟาดีกาแลกโตไพราโนส (3,6-anhydro-α-D-galactopyranose) สกัดได้จาก (Irish moss) *Chondrus cririspus* และจากสาหร่ายแดงตระกูลอื่น ๆ เป็นโพลีเมอร์ชนิดไอออนลบที่มีสมบัติในการเกิดเจล โดยจะเกิดได้ดีในภาวะที่มีโพแทสเซียมไอออน เจลของแคปป้า คาร์ราจีแนนมีลักษณะแน่นแข็ง แต่เปราะ ใส ไม่เสถียรขณะแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็ง และมักเกิดการคายน้ำ (syneresis) (Piculel, 1995)

แคปป้า คาร์ราจีแนน มีคุณสมบัติเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ เนื่องจากหมู่ซัลเฟตในโครงสร้างสามารถจับกับหมู่เอมีนในโปรตีนของเนื้อสัตว์ เกิดโครงสร้างเมทริกซ์ (matrix) ที่ทำให้เจลสามารถกักเก็บน้ำไว้ในผลิตภัณฑ์ได้ดีขึ้น โครงสร้างเมทริกซ์นี้ยังช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ทำให้เจลมีค่าความแข็ง (hardness) เพิ่มขึ้น หมู่ซัลเฟตของแคปป้า คาร์ราจีแนนเอง ก็สามารถจับกับน้ำได้ดี ทำให้แคปป้าคาร์ราจีแนนมีสมบัติในการดูดกลืนน้ำที่ดี (Pe'rez-Mateos, Montero และ Martin, 2001)

การใช้แคปป้า คาร์ราจีแนนในผลิตภัณฑ์อาหารทะเลและเนื้อสัตว์

Pe'rez-Mateos, Montero และ Martin (2001) ศึกษาผลการเติม แคปป้า คาร์ราจีแนน 1% และสารผสมระหว่าง แคปป้า คาร์ราจีแนนกับไฮโดรคอลลอยด์ต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ ได้แก่ โลคัสท์บีนกัม (locust bean gum) กัวร์กัม (guar gum) แซนแทนกัม (xanthan gum) ไอโอต้า คาร์ราจีแนน (iota carrageenan) คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (carboxymethylcellulose) และ แอลจีเนท (alginate) ในผลิตภัณฑ์ปลาบลูไวท์ทิง (blue whiting) ซึ่งผ่านการบด ล้างและเก็บที่อุณหภูมิ -80°C นาน 2 เดือน ละลายน้ำแข็งที่อุณหภูมิ 10°C นาน 12 ชั่วโมง แล้วให้ความร้อนจนสุกที่ 90°C นาน 50 นาที พบว่าการเติมแคปป้า คาร์ราจีแนน เพียงอย่างเดียวช่วยเพิ่มค่าความแข็ง ($p \leq 0.05$) โดยให้ค่าความแข็งใกล้เคียงกับตัวอย่างที่ใช้ แคปป้า คาร์ราจีแนนกับแอลจีเนท ($p > 0.05$) ขณะที่ปลาบดที่มีการใช้แคปป้า คาร์ราจีแนนกับโลคัสท์บีนกัมและคาร์บอกซีเมทิล-เซลลูโลส มีค่าความแข็งสูงสุด ($p \leq 0.05$) แสดงว่าแคปป้า คาร์ราจีแนนเพียงอย่างเดียว หรือการใช้ร่วมกับ แอลจีเนท โลคัสท์บีนกัมและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส มีผลทำให้เกิดโครงสร้างเมทริกซ์ระหว่างไฮโดรคอลลอยด์กับโปรตีนทำให้เจลของปลาบดมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการวิเคราะห์ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ ซึ่งพบว่าการใช้แคปป้า คาร์ราจีแนนเพียงอย่างเดียว หรือการใช้แคปป้า คาร์ราจีแนน-แอลจีเนท, แคปป้า คาร์ราจีแนน-โลคัสท์บีนกัม และแคปป้า คาร์ราจีแนน-คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ช่วยเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ ($p \leq 0.05$) โดยการใช้แคปป้า คาร์ราจีแนน กับโลคัสท์บีนกัมจะให้ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำสูงสุด เนื่องจากโครงสร้างเมทริกซ์ช่วยในการกักเก็บน้ำ ส่วนการใช้แคปป้าคาร์ราจีแนนร่วมกับไฮโดรคอลลอยด์ชนิดอื่นไม่มีความต่างเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ได้เติมสารไฮโดรคอลลอยด์ ($p > 0.05$)

Jarmouluk และ Pietrasik (2003) ศึกษาผลของการเติมแคปป้าคาร์ราจีแนนปริมาณ 0.0-0.8% ร่วมกับ พลาสมาจากเลือด (blood plasma) 0.0-0.8% และ เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส ซึ่งสกัดจากจุลินทรีย์ (microbial transglutaminase) 0.0-0.6% ในผลิตภัณฑ์หมูบด (pork batter) โดยสับผสมที่อุณหภูมิ 4°C จนเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วให้ความร้อนที่ 75°C จนอุณหภูมิกึ่งกลางเป็น 72°C แล้วทำให้เย็นด้วยน้ำแข็งจนอุณหภูมิกึ่งกลางเป็น 20°C พบว่าการใช้แคปป้าคาร์ราจีแนนเพียงอย่างเดียวหรือใช้ร่วมกับพลาสมาจากเลือด หรือเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส สามารถลดการเสียน้ำหนักจากการทำให้สุก และเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่มีการเติม เนื่องจากแคปป้า คาร์ราจีแนนสร้างโครงสร้างเมทริกซ์กับโปรตีนในเนื้อสัตว์เพิ่มความสามารถในการกักเก็บน้ำ ส่วนโปรตีนในพลาสมาจากเลือดจะเกิดเจลเมื่อผ่านการให้ความร้อนซึ่งเจลที่เกิดมีความสามารถในการจับโมเลกุลน้ำทำให้ค่าการเสียน้ำหนักจากการทำให้สุกลดลง ($p \leq 0.05$) ขณะที่เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสมีคุณสมบัติในการทำให้โปรตีนสร้างพันธะเชื่อม

ข้ามระหว่างกันเพิ่มขึ้นทำให้สามารถอุ้มน้ำได้มากขึ้น ส่วนการวัดค่าสี พบว่าการใช้แคปป้า คาร์รา-จีแนน พลาสมาจากเลือด หรือเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส ไม่มีผลต่อค่าสี L*, a* และ b* ($p>0.05$)

โซเดียมเคซีเนท

เคซีน (casein) เป็นโปรตีนชนิดหนึ่งที่พบในนมสด มีองค์ประกอบส่วนใหญ่ เป็นฟอสโฟ-โปรตีน (phosphoprotein) โดยละลายอยู่ในน้ำนมในรูปของเกลือของแคลเซียม เคซีนไม่สามารถตกตะกอนได้ด้วยความร้อนแต่ตกตะกอนได้ด้วยกรดและเอนไซม์ย่อยโปรตีน (proteolytic enzyme) เช่น เรนเน็ท (rennet) เคซีนประกอบด้วยกรดอะมิโน โพรลีน (proline) เป็นจำนวนมาก ซึ่งโพรลีนไม่มีขั้ว ทำให้ไม่มีสมบัติในการจับกับกรดอะมิโนที่มีขั้วชนิดอื่นและเคซีน ยังขาดหมู่เชื่อมไดซัลไฟด์ (disulfide bridge) ทำให้โครงสร้างทุติยภูมิ และตติยภูมิเกิดน้อย การเสื่อมสภาพของโปรตีนของเคซีน จึงเกิดได้ยาก และเนื่องจากมีโพรลีน เป็นองค์ประกอบมาก ทำให้เคซีนมีความไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) มาก จึงละลายน้ำได้น้อยและอยู่ในรูปของสารแขวนลอยในนม ส่วนโซเดียมเคซีเนท (sodium caseinate) คือเคซีนที่เปลี่ยนรูปจากเกลือแคลเซียมเป็นโซเดียมด้วยการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทำให้ละลายน้ำได้ดีขึ้น (Chung และ Lee, 1990)

การใช้โซเดียมเคซีเนทในผลิตภัณฑ์อาหารทะเลและเนื้อสัตว์

Anese และ Gormley (1995) ศึกษาผลการใช้โปรตีนนม ได้แก่ นมขาดมันเนย (skim milk) หางนมเข้มข้น (whey protein concentrate) แคลเซียมเคซีเนท (calcium caseinate) และโซเดียมเคซีเนท (sodium caseinate) ในผลิตภัณฑ์ปลาคอด *Gadus morhua* บด โดยผสมโปรตีนนมต่อเนื้อปลาบดในอัตราส่วน 80 กรัมต่อ 1 กิโลกรัม บรรจุถุงพลาสติก แช่เยือกแข็งด้วยเครื่องแช่เยือกแข็งแบบลมเป่า (air blast freezer) ที่อุณหภูมิ -35°C นาน 2 ชั่วโมง แล้วละลายน้ำแข็งที่ 3°C นาน 12 ชั่วโมง บรรจุโปรตีนผสมในไส้ (casing) ที่ทำจากโพลีไวนิลิดีนคลอไรด์ (polyvinylidene chloride) ให้ความร้อนที่ 90°C นาน 40 นาที และทำให้เย็นโดยให้น้ำเย็นไหลผ่าน 10 นาที จากการวิเคราะห์ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำพบว่า การใช้แคลเซียมเคซีเนท และโซเดียมเคซีเนทในปลาบดให้เจลที่รักษาความสามารถในการอุ้มน้ำดีที่สุด ($p\leq0.05$) เนื่องจากเคซีเนท สามารถจับกับโปรตีนของปลา สร้างโครงสร้างเมทริกซ์ ช่วยในการกักเก็บน้ำและเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ ขณะที่การใช้เวย์โปรตีนลดความสามารถในการอุ้มน้ำ ($p\leq0.05$) ซึ่งอาจเนื่องมาจากเวย์โปรตีนอาจขัดขวางการเกิดโครงสร้างเมทริกซ์ และจากการวิเคราะห์สภาพ

ของน้ำในผลิตภัณฑ์ โดยเครื่อง DSC พบว่าการใช้แคลเซียมเคซีเนทและโซเดียมเคซีเนทในปลาบด เพิ่มปริมาณน้ำที่ไม่เปลี่ยนสถานะเป็นน้ำแข็ง (unfrozen water) มากที่สุด ($p \leq 0.05$) เนื่องจากเคซีเนทมีสมบัติเป็นสารรักษาคุณภาพในภาวะเยือกแข็งโดยเคซีเนท สามารถจับกับโปรตีนของปลา สร้างโครงสร้างเมทริกซ์ ช่วยในการกักเก็บน้ำทำให้น้ำเหล่านี้ กลายเป็นน้ำที่ไม่เคลื่อนที่จึงไม่สามารถรวมตัวเปลี่ยนสถานะเป็นผลึกขณะแช่เยือกแข็ง ซึ่งจะสอดคล้องกับปริมาณน้ำที่ถูกจับโดยโปรตีน (hydration water) ซึ่งมีปริมาณมากสุด ($p \leq 0.05$) เมื่อใช้โซเดียมเคซีเนทและแคลเซียมเคซีเนท นอกจากนี้การจับกันระหว่างเคซีเนทกับโปรตีนในเนื้อปลายังช่วยป้องกันการหดตัวจากการเสียสภาพของโปรตีนขณะแช่เยือกแข็ง

Tsai และคณะ (1998) ศึกษาผลการใช้สารเชื่อม (binder) 5 ชนิด ได้แก่ โปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง (isolated soy protein) โซเดียมเคซีเนท สตาร์ชดัดแปรจากแวกซี่คอร์น (modified waxy corn starch) คาร์ราจีแนน (carrageenan) และแป้งข้าวโอ๊ทซึ่งผ่านการไฮโดรไลซ์ (hydrolyzed oat flour) ในปริมาณ 2, 3.5, 2, 0.5 และ 5% ตามลำดับ ในผลิตภัณฑ์เนื้อวัวขึ้นรูปซึ่งประกอบด้วยไขมัน 5% เกลือ 1% และ STPP 0.3% และผ่านการเก็บที่อุณหภูมิ -60°C แล้วละลายน้ำแข็งที่อุณหภูมิ 5°C นาน 24 ชั่วโมง และต้มให้สุกจนอุณหภูมิกึ่งกลางเป็น 65°C พบว่าค่าน้ำหนักที่สูญเสียจากการละลายน้ำแข็ง ของผลิตภัณฑ์ที่ใช้สารเชื่อมทั้ง 5 ชนิด ไม่แตกต่าง จากผลิตภัณฑ์ที่ไม่ใช้สารเชื่อม ($p>0.05$) แต่ในการวิเคราะห์ค่าการสูญเสียน้ำหนักจากการให้ความร้อน พบว่า โซเดียมเคซีเนทมีประสิทธิภาพดีที่สุด ($p \leq 0.05$) โดยสามารถลดค่าเป็น 11% เมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ใช้ สารเชื่อมซึ่งมีค่าการสูญเสียน้ำหนักจากการให้ความร้อน 15%

Barbut (2006) ศึกษาผลของการใช้โซเดียมเคซีเนท นม (whole milk) นมขาดมันเนย และโปรตีนจากหางนม (whey protein) ปริมาณ 30 กรัม ในผลิตภัณฑ์เนื้อบด (meat batter) ที่ผลิตจากเนื้อไก่แยกกระดูกด้วยเครื่อง (mechanically deboned chicken meat, MDCM) 1500 กรัม ผสมน้ำแข็ง 300 กรัม เกลือ 19.1 กรัม และ โซเดียมไนไตรท์ 3.6 กรัม นำไปสับละเอียด 45 นาที แล้วบรรจุในถุงโพลีโพรไพลีน (polypropylene) ภายใต้ภาวะสุญญากาศ ให้ความร้อนด้วยการต้มจนอุณหภูมิกึ่งกลางเป็น 75°C แล้วทำให้เย็นที่ 20 °C นาน 15 นาที พบว่าการใช้โซเดียมเคซีเนท นม และนมขาดมันเนย มีประสิทธิภาพในการลดการสูญเสียน้ำหนักจากการทำให้สุกเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ใช้โปรตีนนม ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 12.4, 10.6 และ 10.6% ตามลำดับ ขณะที่การใช้โปรตีนจากหางนมไม่ต่างจากตัวอย่างที่ไม่ใช้โปรตีนนม ($p>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 16.6% และ 17.5% ตามลำดับ ซึ่งสาเหตุที่สามารถลดการสูญเสียน้ำหนักจากการทำให้สุกก็เนื่องจากโปรตีนนมทั้ง 4 ชนิดสามารถสร้างโครงสร้างเมทริกซ์กับโปรตีนในเนื้อไก่ ช่วยในการกักเก็บน้ำซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสที่พบว่าการใช้โซเดียมเคซีเนท นม และนมขาดมันเนย สามารถเพิ่มค่าความแข็ง ($p \leq 0.05$) ขณะที่การใช้โปรตีนจากหางนมไม่มีผลต่อค่าความ

แข็ง ($p>0.05$) แสดงว่าโปรตีนจากหางนมไม่สามารถสร้างโครงสร้างเมทริกซ์ได้จึงไม่สามารถลดการเสียน้ำหนักจากการทำให้สุกได้ และจากการวิเคราะห์ค่าสี L*, a* และ b* พบว่าทั้ง 4 ตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกับตัวอย่างที่ไม่ใช้โปรตีนนม ($p>0.05$)

ทรีฮาโลส

ทรีฮาโลส (trehalose) เป็นน้ำตาลไดแซคคาไรด์ที่ประกอบด้วยกลูโคส 2 โมเลกุล เชื่อมกันด้วยพันธะแอลฟา 1,1 ทำให้โครงสร้างมีความเสถียรทางเคมีไม่เป็นน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) พบได้ในธรรมชาติทั้งในพืชและสัตว์ โดยเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญสำหรับสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในภาวะที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง เนื่องจากน้ำตาลชนิดนี้จะไม่แข็งตัวเป็นผลึกในภาวะดังกล่าว นอกจากนี้ยังมีหน้าที่หลักในการรักษาสภาพของเซลสิ่งมีชีวิตไม่ให้ถูกทำลายระหว่างการแช่เยือกแข็ง เนื่องจากสมบัติในการเพิ่มค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชัน (glass transition temperature, T_g) แต่ในทางอุตสาหกรรม ทรีฮาโลสผลิตได้จากการไฮโดรไลซ์สตาร์ชด้วยเอนไซม์ ทรีฮาโลสนิยมใช้ในเนื้อสัตว์เพื่อเป็นสารรักษาสภาพในภาวะแช่เยือกแข็ง ในผลิตภัณฑ์ปลาบดและซูริมิโดยมีสมบัติในการเพิ่มค่า T_g (Brennan และ Gormley, 1999)

การใช้ทรีฮาโลสในผลิตภัณฑ์อาหารทะเลและเนื้อสัตว์

Zhou และคณะ (2006) ศึกษาผลการใช้ทรีฮาโลส ปริมาณ 8% ในผลิตภัณฑ์ซูริมิที่ผลิตจากปลานิล *Sarotherodon nilotica* (tilapia) เก็บที่ –18°C เป็นเวลา 24 สัปดาห์ ซึ่งจากการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนที่ละลายได้ในเกลือ ปริมาณหมู่ซัลฟไฮดริล (sulfhydryl) และค่าแอคติวิตีของเอนไซม์ย่อย ATP พบว่าการใช้ทรีฮาโลส ในซูริมิ พบว่าค่าเหล่านี้สูงกว่าตัวอย่างควบคุมซึ่งไม่ได้ใช้สารรักษาคุณภาพที่ภาวะเยือกแข็ง ($p\leq0.05$) ตั้งแต่ช่วง 5 สัปดาห์แรก รวมทั้งตัวอย่างที่ใช้ซูโครส (sucrose) ผสมกับซอร์บิทอล (sorbitol) ในอัตราส่วน 1:1 ซอร์บิทอลเป็นสารรักษาคุณภาพที่ภาวะเยือกแข็งที่นิยมใช้โดยทั่วไป ซึ่งการที่ค่าเหล่านี้สูงแสดงว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนขณะแช่เยือกแข็ง และจากการวิเคราะห์ค่าความไม่ชอบน้ำที่บริเวณผิวภายนอก (surface hydrophobicity) พบว่าซูรูมิที่ใช้ทรีฮาโลสมีค่าดังกล่าวต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่ใช้ซูโครสผสมกับซอร์บิทอล ($p\leq0.05$) ซึ่งค่าความไม่ชอบน้ำที่บริเวณผิวภายนอกนี้จะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อผลิตภัณฑ์มีการเสื่อมสภาพของโปรตีนมากขึ้น และจากการทดสอบคุณภาพเนื้อสัมผัสเพื่อดูความสามารถในการเกิดเจลของซูริมิ โดยคำนวณค่าแรงต่ำสุดที่ทำให้เจลแตก (breaking force) พบว่าตัวอย่างซูริมิที่ใช้ทรีฮาโลสเมื่อเก็บเป็นระยะเวลานานขึ้นมีการลดลงของค่าที่กล่าวนี้น้อย

กว่าตัวอย่างควบคุมและซูริมิที่ใช้ซูโครสผสมซอร์บิทอล แสดงว่าทรีฮาโลรักษาความสามารถในการเกิดเจลของซูริมิซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนที่ละลายได้ในเกลือ ปริมาณหมู่ซัลฟไฮดริล และค่าแอคติวิตีของเอนไซม์ย่อย ATP

Brennan และ Gormley (1999) ศึกษาผลการนำชิ้นปลาออเรนจ์โรกีห์ (orange roughy) *Hoplostethus atlanticus* แช่ในสารละลายทรีฮาโลส เข้มข้น 5% นาน 1 ชั่วโมง ที่ 4°C แช่เยือกแข็งที่ -35°C และละลายน้ำแข็งที่ 4°C แล้วทำให้สุกที่ 80°C พบว่าการแช่สารละลายทรีฮาโลสไม่สามารถลดการสูญเสียน้ำหนักจากการละลายน้ำแข็งและจากการให้ความร้อนจนสุก ($p>0.05$) แต่เมื่อวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสพบว่าการแช่ทรีฮาโลสจะช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัส ($p\leq0.05$) ทำให้เนื้อสัมผัสไม่เหนียวกระด้าง แสดงว่าทรีฮาโลสไม่มีสมบัติเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ คงมีเฉพาะสมบัติในการเป็นสารรักษาสภาพในภาวะเยือกแข็ง ที่ช่วยรักษาสภาพของโปรตีนในเนื้อปลา ทำให้โปรตีนไม่เกิดการแปรสภาพและหดตัว เนื้อสัมผัสของเนื้อปลาจึงไม่เหนียวกระด้าง

กัวร์กัม

กัวร์กัม (guar gum)เป็นสารประเภทกัมที่สกัดได้จากเมล็ดกัวร์ (guar bean) *Cyamopsis tetragonoloba* ซึ่งเป็นไม้พุ่มชนิดหนึ่ง ที่มีถิ่นกำเนิดอยู่ในอินเดียและปากีสถาน โดยส่วนเอนโดสเปิร์ม (endosperm) ของกัวร์บีนจะมีกาแลคโตแมนแนน (galactomannan) ในปริมาณมาก โครงสร้างของกาแลคโตแมนแนนประกอบด้วยแมนโนไพราโนส (mannopyranose) ที่เชื่อมด้วยพันธะเบต้า-1,4 เป็นแกนหลัก (backbone) มีกิ่งเป็นกาแลกโตไพราโนส (galactopyranose) ที่เชื่อมด้วยพันธะอัลฟา 1,6 โดยกิ่งกาแลกโตสจะจับกับสายแมนโนสในทุก ๆ 1.5-2 ยูนิตของน้ำตาลแมนโนส (Martin, 2005)

กัวร์กัมเป็นโพลีเมอร์ที่ไม่มีการแตกตัวเป็นไอออน (nonionic polymer) มีขนาดสายโซ่ยาวได้ถึง 10,000 ยูนิต กัวร์กัมละลายได้เร็วมากในน้ำเย็นและเกิดเป็นสารละลายซูโดพลาสติก (pseudoplastic) ที่มีความหนืดสูง กัวร์กัมจะไม่สร้างเจลแต่จะมีความเสถียรต่อวัฏจักรแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็ง (freeze-thaw cycle) กัวร์กัมสามารถชะลอการเกิดผลึกของน้ำแข็งโดยชะลอการเคลื่อนที่ของน้ำที่จะรวมกันเกิดผลึก จึงมีที่ใช้ในอุตสาหกรรมไอศกรีมในฐานะสารรักษาความเสถียร (stabilizer) ของผลึกน้ำแข็ง (Martin,2005)

การใช้กัวร์กัมในผลิตภัณฑ์อาหารทะเลและเนื้อสัตว์

Pe'rez-Mateos และ Montero (2002) ศึกษาผลของการใช้เกลือคลอไรด์ชนิดต่าง ๆ ได้แก่ โซเดียม โพแทสเซียม และแคลเซียม ร่วมกับการใช้กัมที่ไม่มีการแตกตัวเป็นไอออน ได้แก่ โลคัสท์-บีนกัม และกัวร์กัม และร่วมกับกัมที่แตกตัวเป็นไอออน ได้แก่ แซนแทนกัม และคาร์บอกซีเมธิล-เซลลูโลส พบว่าการใช้กัวร์กัมอย่างเดียว หรือใช้ร่วมกับ โซเดียมคลอไรด์ และแคลเซียมคลอไรด์ ในผลิตภัณฑ์ปลา blue whiting *Micromesistius poutassou* บด มีผลเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากกัวร์กัมมีสมบัติในการดูดกลืนน้ำที่ดีจึงช่วยในการจับน้ำ แต่กัวร์กัมไม่มีความสามารถในการสร้างโครงสร้างเมทริกซ์กับโปรตีนเนื่องจากไม่มีขั้ว จึงไม่สามารถสร้างพันธะกับโปรตีนได้

Hasret (2006) ศึกษาผลของการใช้กัวร์กัมและแคปป้า คาร์ราจีแนนที่ปริมาณ 0.5% และ 1.0% ในผลิตภัณฑ์มีทบอล (meat ball) ไขมันต่ำซึ่งประกอบด้วยไขมัน 10% เก็บที่ 4°C แล้วทำให้สุกโดยต้มจนอุณหภูมิกึ่งกลางเป็น 71°C พบว่าการใช้กัวร์กัมและแคปป้า คาร์ราจีแนนที่ความเข้มข้น 1% ในผลิตภัณฑ์ที่มีไขมัน 10% มีประสิทธิภาพในการลดการหดตัวของผลิตภัณฑ์จาก 27.71 เป็น 21.09%

ไกลซีนและโซเดียมไกลซีเนท

ไกลซีน (glycine) เป็นกรดอะมิโนที่มีน้ำหนักน้อยที่สุด โดยมีน้ำหนักโมเลกุลเพียง 75 โดยมีสูตรทางเคมี คือ NH_2-CH_2-COOH ซึ่งเป็นโครงสร้างพื้นฐานของกรดอะมิโนทั่วไป ไกลซีนมีลักษณะเป็นผงผลึก สีขาว ไม่มีกลิ่น ละลายได้ดีในน้ำ และให้รสชาติหวาน โดยมีความหวานเป็น 65% ของซูโครส ไกลซีนเป็นสารที่มีตามธรรมชาติ แต่ในทางอุตสาหกรรมผลิตไกลซีนโดยวิธีไฮโดรไลซ์เจลาติน ไกลซีนเมื่อละลายในน้ำจะแตกตัวเป็นสวิทเทอริออนส์ (zwitterions) NH_3^+-CH_2-COO^- โดยสารละลายที่ได้จะมี pH 5.97 ส่วนโซเดียมไกลซีเนท เป็นรูปเกลือของไกลซีนซึ่งเมื่อละลายน้ำสารละลายที่ได้จะมี pH 11.0 ไกลซีนเป็นกรดอะมิโนที่พบในโปรตีนทั่วไปโดยจะมีประมาณ 3-5% ของปริมาณโปรตีนทั้งหมด (Vanbelle, 1987)

การใช้ไกลซีนและโซเดียมไกลซีเนทในผลิตภัณฑ์อาหารทะเลและเนื้อสัตว์

Vanbelle (1987) ศึกษาผลการใช้สารผสมโซเดียมไกลซีเนทกับไกลซีน ที่อัตราส่วน 3 : 1 แทนสารโพลีฟอสเฟตในผลิตภัณฑ์แฮม พบว่าสามารถลดการสูญเสียน้ำหนักจากการทำให้สุก และให้เนื้อสัมผัสที่ดี เหมือนกับการใช้สารโพลีฟอสเฟต นอกจากนี้ยังมีการใช้สารผสมนี้ 0.5% ทดแทนโพลีฟอสเฟตในไส้กรอก โดยไกลซีนสามารถจับกับน้ำได้ดีเนื่องจากมีหมู่ลบอยู่บนโมเลกุล นอกจากนี้ยังเป็น สารที่มีสมบัติเป็นบัฟเฟอร์เมื่อผสมโซเดียมไกลซีเนทกับไกลซีน โดยสารผสมสามารถควบคุม pH ให้อยู่ในช่วง 8.5-10.5 ซึ่งช่วง pH นี้จะทำให้โปรตีนไมโอซิน (myosin) ในเนื้อสัตว์เกิดคลายตัวทำให้โปรตีนสามารถอุ้มน้ำได้ดีขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยเสริมรสชาติของผลิตภัณฑ์

Gou และคณะ (1996) ทดลองใช้ไกลซีน ทดแทนโซเดียมคลอไรด์ในผลิตภัณฑ์ไส้กรอก หมักพบว่า ไกลซีนสามารถใช้ทดแทนเกลือได้ โดยช่วยรักษาความสามารถในการอุ้มน้ำ ของเนื้อเนื่องจากมีประจุลบช่วยในการจับกับน้ำและโปรตีน