บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

ฟอสเฟต

ฟอสเฟตเป็นสารที่พบตามธรรมชาติในอาหาร และมีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตทุกชนิดไม่ว่าจะเป็นพืช สัตว์ หรือจุลินทรีย์ เนื่องจากสิ่งมีชีวิตเหล่านี้ไม่สามารถสังเคราะห์ฟอสเฟตมาใช้เองได้ ในอดีตมีการผลิตฟอสเฟตโดยใช้กระดูกสัตว์เป็นวัตถุดิบ แต่ในปัจจุบันผลิตฟอสเฟตได้จากหินฟอสเฟตที่มีอยู่หลายแหล่งทั่วโลก นอกจากนี้ยังสามารถเตรียมฟอสเฟตได้จากกรดฟอสฟอริกโดยทำให้เป็นกลางด้วยอิออน ของโลหะ เช่น โซเดียม โพแทสเซียม และแคลเซียม เป็นต้น

ชนิดของฟอสเฟต

Dziezak (1990) จำแนกฟอสเฟตออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ออร์โธฟอสเฟต (othophosphate) และคอนเดนส์ฟอสเฟต (condensed phosphate)

ออร์โธฟอสเฟต เป็นฟอสเฟตที่มีโครงสร้างง่ายที่สุด ประกอบด้วยฟอสฟอรัส 1 อะตอม ล้อมรอบด้วยออกซิเจน 4 อะตอม (M_3PO_4) โดย M แทนได้ด้วยไฮโดรเจนอะตอม อิออนของโลหะ หรือทั้งไฮโดรเจนอะตอมและอิออนของโลหะ ตัวอย่างของออร์โธฟอสเฟตได้แก่ โมโนโซเดียมฟอสเฟต (monosodium phosphate; NaH_2PO_4) หรือไดโพแทสเซียมฟอสเฟต (dipotassium phosphate; K_2HPO_4)

คอนเดนส์ฟอสเฟต ประกอบด้วยฟอสฟอรัสตั้งแต่ 2 อะตอมขึ้นไป เชื่อมต่อกันด้วยออกซิเจนอะตอม ผลิตได้โดยให้ความร้อนออร์โธฟอสเฟตที่ระดับต่างๆ ภายใต้การควบคุมสภาวะ ผลผลิตที่ได้อาจเป็นกลุ่มสารที่โครงสร้างมีโซ่ของฟอสเฟตต่อกันเป็นโซ่ตรง เรียกว่าพอลีฟอสเฟต (polyphosphate) หรือกลุ่มที่ต่อกันเป็นวงแหวนที่เรียกว่าเมตาฟอสเฟต (metaphosphate) หรือไซคลิกฟอสเฟต (cyclic phosphate) คอนเดนส์ฟอสเฟตที่มีโครงสร้างง่ายที่สุด ได้แก่ ไพโรฟอสเฟต (pyrophosphate) หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าไดฟอสเฟต (diphosphate) ประกอบด้วยฟอสฟอรัส 2 อะตอม สารที่มีโมเลกุลใหญ่ขึ้นถัดมาคือ ไตรพอลีฟอสเฟต (tripolyphosphate) หรือไตรฟอสเฟต (triphosphate) ประกอบด้วยฟอสฟอรัส 3 อะตอมต่อกันเป็นสายโซ่ตรง ไพโร-

ฟอสเฟต และไตรพอลีฟอสเฟตมีลักษณะเป็นผลึกซึ่งต่างจากพอลีฟอสเฟตสายยาวซึ่งมีลักษณะเป็น อสัณฐาน (amorphous) หรือมีลักษณะคล้ายแก้ว (glassy) และพอลีฟอสเฟตสายยาวเหล่านี้ไม่ใช่สารประกอบบริสุทธิ์ แต่ประกอบด้วยส่วนผสมของพอลีฟอสเฟตหลายชนิดที่มีความยาวต่างกัน (Ellinger, 1977) การเลือกใช้นั้นจะเลือกตามความยาวเฉลี่ยของสายโซ่ การเก็บพอลีฟอสเฟตเป็นเวลานานมีโอกาสเกิดไฮโดรไลซิส เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาระหว่างพอลีฟอสเฟตและความชื้น โดยอาจมีอุณหภูมิสูงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้มีปริมาณของออร์โธฟอสเฟต ไพโรฟอสเฟต และไตรพอลีฟอสเฟตเพิ่มมากขึ้น (Ellinger, 1972a; Molins, 1991)

นอกจากนี้ยังพบฟอสเฟตกลุ่มอื่นอีก คือ อัลตราฟอสเฟต (ultraphosphate) ที่มีโครงสร้างเป็นโซ่กิ่งหรือวงแหวนหลายวงต่อกัน หรือเป็นทั้งโซ่และวงแหวนต่อกัน ซึ่งฟอสเฟตกลุ่มนี้มีที่ใช้ทางการค้าในวงจำกัดมาก

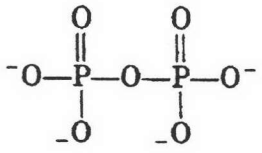
การศึกษาและการทำงานกับฟอสเฟตมีสิ่งที่น่าสนใจคือมีการเรียกชื่อหลายระบบ Bell (1971) แบ่งระบบการเรียกชื่อฟอสเฟตเป็น 4 ระบบ คือ ระบบทั่วไปทางอุตสาหกรรม (industry's generic system) ระบบวิทยาศาสตร์ (scientific system) ระบบฟู้ดเคมิคอลโคเด็กซ์ (Food Chemical Codex system) และระบบโคเด็กซ์อลิเมนทาเรียส (Codex Alimentarius system) เช่น Na_2HPO_4 มีชื่อเรียกเรียงตามลำดับแต่ละระบบดังนี้ คือ ไดโซเดียมฟอสเฟต (disodium phosphate) ไดโซเดียมไฮโดรเจนออร์โธฟอสเฟต (disodium hydrogen orthophosphate) โซเดียมฟอสเฟตไดเบสิค (sodium phosphate, dibasic) และไดโซเดียมโมโนฟอสเฟต (disodium monophosphate) เป็นต้น

สมบัติทางกายภาพและเคมีของฟอสเฟตที่ใช้ในอาหาร

ฟอสเฟตที่ใช้ในอาหารมีหลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดมีสมบัติทางกายภาพและเคมีแตกต่างกันตาม น้ำหนัก และโครงสร้างโมเลกุล โดยฟอสเฟตที่ใช้มากในอุตสาหกรรมอาหารได้แก่ ไพโรฟอสเฟต ไตรพอลีฟอสเฟต และพอลีฟอสเฟตสายโซ่ยาว

ไพโรฟอสเฟต

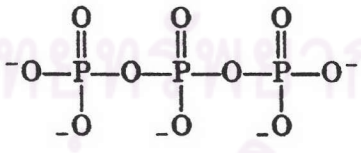
ไพโรฟอสเฟตเป็นคอนเดนส์ฟอสเฟตที่มีโครงสร้างง่ายที่สุด เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า ไดฟอสเฟต โครงสร้างของไพโรฟอสเฟตประกอบด้วยฟอสฟอรัส 2 อะตอมต่อกันโดยมีออกซิเจนอะตอมเป็นตัวเชื่อม ดังแสดงด้านล่าง



เกลือไพโรฟอสเฟตที่ใช้มากในอุตสาหกรรมอาหารได้แก่ เกลือโซเดียมของกรดไพโรฟอสฟอริก ซึ่งมี 4 ชนิด แต่ที่ใช้มากในอาหารมี 2 ชนิดคือ โซเดียมแอซิดไพโรฟอสเฟต (sodium acid pyrophosphate; SAPP, $Na_2H_2P_2O_7$) และเตตราโซเดียมไพโรฟอสเฟต (tetrasodium pyrophosphate; TSPP, $Na_4P_2O_7$) SAPP มีมวลโมเลกุล 221.94 ละลายได้ 35.0 กรัมในน้ำร้อน 100 มิลลิลิตร และ 6.9 กรัมในน้ำเย็น 100 มิลลิลิตร มี pH อยู่ในช่วง 3.7-4.4 โดยทั่วไปใช้ SAPP เพื่อเพิ่มความเป็นกรดให้กับผลิตภัณฑ์อาหาร TSPP มีมวลโมเลกุล 265.95 ละลายได้ 40.26 กรัมในน้ำร้อน 100 มิลลิลิตรและ 3.16 กรัมในน้ำเย็น 100 มิลลิลิตร มี pH อยู่ในช่วง 10.2-10.5 โดยทั่วไปใช้ TSPP เพื่อเพิ่มความเป็นด่างให้ผลิตภัณฑ์อาหาร และสามารถจับกับอิออนบวกของโลหะหมู่ 2 (alkali earth cation) และอิออนของโลหะหนักได้ดี (Ellinger, 1972b, Molins, 1991)

ไตรพอลีฟอสเฟต

ไตรพอลีฟอสเฟตเป็นคอนเดนส์ฟอสเฟตที่มีโมเลกุลใหญ่ขึ้นถัดมาจากไพโรฟอสเฟต เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า ไตรฟอสเฟต เกิดจากการเติมออร์โธฟอสเฟต 1 หน่วย ลงในสายโซ่ของไพโรฟอสเฟต โครงสร้างดังแสดงด้านล่าง

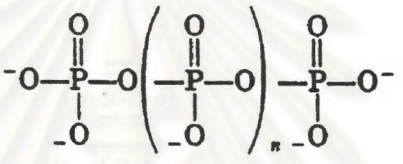


เกลือไตรพอลีฟอสเฟตที่ใช้มากในอุตสาหกรรมอาหารได้แก่ เกลือโซเดียมของกรดไตรฟอสฟอริกหรือโซเดียมไตรพอลีฟอสเฟต (sodium tripolyphosphate; STPP, $Na_5P_3O_{10}$) ซึ่งเป็นเกลือโซเดียมเพียงชนิดเดียวของกรดไตรฟอสฟอริกที่ใช้ในอาหาร STPP มีมวลโมเลกุล 367.86 สามารถละลายได้ 32.5 กรัมในน้ำร้อน 100 มิลลิลิตร และ 14.5 กรัมในน้ำเย็น 100 มิลลิลิตร มี pH อยู่ในช่วง 9.8-10.2 เมื่อเปรียบเทียบการละลายน้ำกับโพแทสเซียมไตรพอลีฟอสเฟส (potassium tripolyphosphate; KTPP) พบว่า STPP ละลายน้ำได้ 20%ของการละลาย KTPP และพบว่าเมื่อใช้ STPP ปริมาณมากอาจทำให้เกิดปัญหากลิ่นรสเฝื่อน (astringent flavor) ได้มากกว่า KTPP ด้วย ผลึกของ STPP มี 2 รูปคือ รูปที่เกิดโดยใช้อุณหภูมิสูงในการผลิต (I) และ

รูปที่เกิดโดยใช้อุณหภูมิต่ำ (II) รูป-I เกิดเฮกซาไฮเดรต (hexahydrate) ได้เร็วทำให้เกิดการจับตัวเป็นก้อนแข็งได้ง่ายระหว่างเตรียมสารละลาย รูป-II ละลายน้ำได้ดีมาก และไม่เกิดการจับตัวเป็นก้อนแข็งระหว่างเตรียมสารละลาย ดังนั้นจึงมีการนำ รูป-II มาใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหารที่ต้องมีการเตรียมสารละลายของ STPP (Ellinger, 1972b)

พอลีฟอสเฟตสายโซ่ยาว

คอนเดนส์ฟอสเฟตที่ประกอบด้วยฟอสฟอรัสมากกว่า 3 อะตอม เชื่อมต่อกันด้วยออกซิเจนอะตอม มีลักษณะเป็น อสัณฐานหรือลักษณะคล้ายแก้ว เนื่องจากเกิดจากการผสมกันของพอลีฟอสเฟตที่มีความยาวสายโซ่ต่างกัน โครงสร้างดังแสดงด้านล่าง



เกลือเฮกซาเมตาฟอสเฟตที่ใช้มากในอุตสาหกรรมอาหารได้แก่ โซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟต (sodium hexametaphosphate; SHMP, $Na_6P_6O_{18}$ หรือ $(NaPO_3)_6$) มีชื่อเรียกต่างๆ กัน เช่น กลาสซีโซเดียมฟอสเฟต (glassy sodium phosphate) โซเดียมเมตาฟอสเฟต (sodium metaphosphate) และ Graham's salt ซึ่งชื่อ Graham's salt นี้เป็นชื่อเรียกเกลือโซเดียมของฟอสเฟตสายโซ่ยาวที่สามารถละลายได้ ซึ่งค้นพบโดย Graham SHMP มีมวลโมเลกุล 611.17 สามารถละลายได้ในน้ำ มี pH 7.0 SHMP ที่ใช้ในปัจจุบันมีจำนวนฟอสฟอรัสตั้งแต่ 6 ถึง 21 อะตอม แต่ในอุตสาหกรรมอาหารใช้ SHMP ที่มีฟอสฟอรัสโดยเฉลี่ยประมาณ 6-7 อะตอมขึ้นไป

สมบัติด้านหน้าที่ (functional property) ของฟอสเฟตในอาหาร

โดยทั่วไปฟอสเฟตเป็นวัตถุเจือปนอาหารที่สำคัญที่ใช้ในอาหารหลายชนิด เช่นผลิตภัณฑ์จาก เนื้อสัตว์ เนื้อสัตว์ปีก อาหารทะเล ผลิตภัณฑ์จากผักและผลไม้ ไขมันและน้ำมัน ผลิตภัณฑ์จากธัญพืช นมผลิตภัณฑ์จากนม และขนมอบ เป็นต้น (Sofos, 1986) โดยฟอสเฟตทำหน้าที่เป็นสารที่ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างคงที่ ทำหน้าที่เพิ่มความเป็นกรด หรือเพิ่มความเป็นด่าง ทำหน้าที่หยุดปฏิกิริยาของอิออนโลหะ เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับสารพอลีอิเลกโทรไลท์อินทรีย์ และป้องกันการจับตัวเป็นก้อนแข็ง

สมบัติการเป็นบัฟเฟอร์หรือการทำให้ความเป็นกรด-ด่างคงที่ (buffering or pH stabilization)

ในกรรมวิธีแปรรูปอาหารนั้น ความเป็นกรด-ด่างอาจมีการเปลี่ยนแปลงได้ ซึ่งทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์เสียไป การเติมฟอสเฟตจึงเป็นการช่วยให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพคงที่หรือสม่ำเสมอ ออร์โธฟอสเฟต เช่น โมโนโซเดียมฟอสเฟต (MSP) และไดโซเดียมฟอสเฟต (DSP) มีสมบัติการเป็นบัฟเฟอร์ที่ดีที่สุด (Van Wazer, 1971) ส่วนไพโรฟอสเฟต เช่น SAPP มีสมบัติการเป็นบัฟเฟอร์ที่ดีในช่วง pH 2-3, 5.5-7.5 และ 10-12 ส่วนฟอสเฟตชนิดโซ่ยาวมีสมบัติการเป็นบัฟเฟอร์ต่ำ สมบัติการเป็นบัฟเฟอร์จะลดลงเมื่อความยาวของสายโซ่เพิ่มขึ้น (Van Wazer, 1971; Sofos, 1986; Dziezak, 1990)

ฟอสเฟตใช้ปรับความเป็นกรด-ด่างให้ได้ในระดับที่เหมาะสมทั้งชนิดที่เป็นกรด เช่น MSP, โมโนแอมโมเนียมฟอสเฟต (monoammonium phosphate) และ SAPP และชนิดที่เป็นด่าง เช่น DSP ไตรโซเดียมฟอสเฟต (trisodium phosphate, TSP) STPP และ TSPP ทั้งนี้การเลือกใช้ฟอสเฟตแต่ละชนิดควรเลือกให้เหมาะสมตามลักษณะของผลิตภัณฑ์ ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ใช้ฟอสเฟตเป็นบัฟเฟอร์ เช่น ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ ในระหว่างกระบวนการแปรเบียร์ควรเติม ออร์โธฟอสเฟตที่มีความเป็นกรดและด่างผสมกัน และควบคุม pH ระหว่างการต้มดอกฮอพ (hop) ให้อยู่ระหว่าง 8.0-8.3 จะช่วยให้เกิดการเปลี่ยนฮูมูลอน (humulon) ไปเป็นไอโซฮูมูลอน (isohumulon) ได้มากที่สุด ในกระบวนการเตรียมสารสกัดจากดอกฮอพ

สมบัติการเพิ่มความเป็นกรดหรือการทำให้ความเป็นกรด-ด่างลดลง (acidification or lowering pH)

กรดฟอสฟอริกและเกลือของกรดฟอสฟอริกนิยมใช้เพื่อเพิ่มความเป็นกรดให้กับผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น ในเครื่องดื่มชนิดต่างๆ เพื่อให้มีรสเปรี้ยวคล้ายรสของผลไม้ตามธรรมชาติ ทั้งนี้เนื่องจากกรด ฟอสฟอริก เป็นกรดที่พบตามธรรมชาติในน้ำผลไม้ (Ellinger, 1977) Dziezak (1990) กล่าวว่า การเติมฟอสเฟตลงในผงฟูช่วยปรับปรุงอัตราการฟูในระหว่างการผลิตขนมอบ โดยเพิ่มอัตราการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ฟอสเฟตที่นิยมใช้ ได้แก่ โมโนแคลเซียมฟอสเฟต โมโนไฮเดรต (monocalcium phosphate monomydrate) โซเดียมอลูมิเนียมฟอสเฟต (sodium aluminium phosphate) และ SAPP โมโนแคลเซียมฟอสเฟตโมโนไฮเดรตทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วกับโซเดียมคาร์บอเนต (sodium carbonate) โดยการปลดปล่อยแก๊ส 60% ในระหว่างการผสม ส่วนผสมสำหรับขนมอบ มักใช้ร่วมกับฟอสเฟตอีกชนิดหนึ่งซึ่งทำปฏิกิริยาช้ากว่าในผงฟูออกฤทธิ์ 2 ครั้ง (double-acting) SAPP แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดที่ทำปฏิกิริยาช้า และทำปฏิกิริยาเร็ว โดยแบบที่ทำปฏิกิริยาเร็วนั้นมักใช้เป็นส่วนผสมของโดนัท เนื่องจากต้องการความรวดเร็วในการผลิต

ขณะที่แบบทำปฏิกิริยาช้ามักใช้ในก้อนแป้ง (dough) แช่แข็งเพื่อให้มีเวลาเหลือในการม้วนและตัดก้อนแป้งก่อนบรรจุเพื่อนำออกจำหน่าย

สมบัติการเพิ่มความเป็นด่างหรือการทำให้ความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้น (alkalization or raising pH)

ในกระบวนการแปรรูปอาหารบางชนิดต้องมีการปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างให้อยู่ในเกณฑ์ที่เป็นด่าง เพื่อช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพดีขึ้น เช่น การใช้ DSP และ TSP ในการเตรียมเนยแข็งที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ หรือเนยแข็งผ่านกรรมวิธี (processed cheese) เมื่อความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นโปรตีนจะกระจายตัวได้ดีขึ้น ช่วยปรับปรุงอิมัลชั่นให้คงตัวและโปรตีนจับกับน้ำได้ดีขึ้น (Ellinger, 1977)

สมบัติการหยุดปฏิกิริยาอิออนโลหะและปรับคุณภาพของน้ำที่ใช้ในกระบวนการแปรรูปอาหาร (inactivation of metal ions and processing water treatment)

เนื่องจากวัตถุดิบหรือน้ำที่ใช้ในการผลิตหรือแปรรูปอาหารนั้นมักมีโลหะต่างๆ เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม ทองแดง และเหล็กปนอยู่ด้วย และในระหว่างกระบวนการแปรรูปนั้นโลหะเหล่านี้มักเกิดปฏิกิริยากับสารประกอบอินทรีย์ต่างๆ ซึ่งเป็นส่วนประกอบของวัตถุดิบ และทำให้เกิดสารประกอบซึ่งมีส่วนทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพด้อยลง เช่น ทำให้ตกตะกอน หรือเกิดปฏิกิริยาเคมีอันนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงของสีและกลิ่นรสของอาหาร การที่ฟอสเฟตทำปฏิกิริยากับโลหะ ให้สารประกอบเชิงซ้อนจึงลดปัญหาดังกล่าวได้ ฟอสเฟตชนิดโซ่ยาวมีสมบัติในการจับโลหะหนักหนักได้ดี แต่ประสิทธิภาพลดลงเมื่อ pH เพิ่มขึ้น (Ellinger, 1972b)

ตัวอย่างการใช้ฟอสเฟตเป็นสารจับอิออนของโลหะ ได้แก่ การสกัดเพกตินจากแอปเปิ้ลและพืชตระกูลส้ม พบว่าการเติม SHMP ช่วยเพิ่มผลผลิตของเพกติน โดย SHMP จับกับแคลเซียมอิออนเป็นผลให้แคลเซียมไม่สามารถทำปฏิกิริยากับกรดเพกติคที่เกิดจากการตัดหมู่เมธิล (demethylation) ของเพกตินโดยเอนไซม์ในเนื่อเยื่อเมื่อผนังเซลล์แตก ซึ่งเมื่อแคลเซี่ยมทำปฏิกิริยากับกรดเพกติค เกิดเป็นแคลเซียมเพกเตท (calcium pectate) ที่ไม่ละลายน้ำ และตกตะกอนออกมาทำให้สูญเสียไประหว่างกระบวนการผลิตเพกติน (Kibbel, 1971) นอกจากนี้ฟอสเฟตยังสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสียได้ โดยฟอสเฟตทำปฏิกิริยากับแคลเซียม แมกนีเซียม และเหล็ก ซึ่งเป็นสารอาหารสำคัญต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ (Ellinger, 1972b)

สมบัติการเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับสารพอลีอิเลกโทรไลท์อินทรีย์ (complexing organic polyelectrolyte)

สารฟอสเฟตเมื่อแตกตัวให้ประจุลบได้มากกว่า 1 ประจุ ออร์โธฟอสเฟต เมื่อแตกตัวให้ประจุลบตั้งแต่ 1 ถึง 3 อะตอม ขึ้นอยู่กับ pH สำหรับสารพอลีฟอสเฟตเมื่อแตกตัวจะให้ประจุลบจำนวนมาก จึงทำปฏิกิริยากับสารพอลีอิเลกโทรไลท์อินทรีย์ต่างๆ อาทิโปรตีน เพกติน และแป้ง แล้วเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนขึ้นได้ ตัวอย่างเช่น สารประกอบเชิงซ้อนระหว่างโปรตีน-ฟอสเฟต-เกลือ และสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างเคซีน-แคลเซียม-ฟอสเฟต เป็นต้น ซึ่งการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนต่างๆ นี้มีส่วนช่วยให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ดีขึ้นด้วย โดยสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างโปรตีน-ฟอสเฟต-เกลือ ในผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีความสามารถในการอุ้มน้ำดีขึ้น จากการที่ฟอสเฟตเพิ่มประจุลบให้กับโปรตีน ทำให้ภายในโมเลกุลโปรตีนมีประจุลบเพิ่มขึ้นจึงเกิดแรงผลักภายในโมเลกุลของโปรตีน สายโพลีเพปไทด์คลายตัว และตรึงน้ำอิสระเอาไว้ ทำให้เก็บน้ำในโมเลกุลได้เพิ่มขึ้น สมบัติการเป็นสารพอลีอิเลกโทรไลท์จะเพิ่มขึ้นเมื่อความยาวของสายโซ่เพิ่มขึ้น (Ellinger, 1972a)

สมบัติการป้องกันการจับตัวเป็นก้อนแข็ง (prevention of caking)

ฟอสเฟตที่ไม่ละลายน้ำใช้เป็นสารป้องกันการจับตัวเป็นก้อนแข็ง โดยเตรียมให้อยู่ในรูปของผงละเอียด ผงละเอียดเหล่านี้จะเป็นตัวแยกผลึกซึ่งจับตัวเป็นก้อนได้ง่ายออกจากกัน โดยมีการใช้อลูมิเนียมฟอสเฟต (aluminum phosphate) และไตรแคลเซียมฟอสเฟต (tricalcium phosphate, TCP) เป็นสารป้องกันการจับตัวกันในเกลือแกง และ TCP ยังใช้เป็นสารป้องกันการจับตัวกันของเครื่องเทศได้อีกด้วย (Ellinger, 1972b)

การใช้ฟอสเฟตในเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์

การเติมฟอสเฟตลงในเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ ช่วยปรับปรุงคุณลักษณะด้านสี ความนุ่ม การเชื่อมติดกันและความสามารถในการกักเก็บน้ำ

สี

ปกติสีของเนื้อขึ้นกับปฏิกิริยาทางเคมีของรงควัตถุ (pigment) 2 ชนิด คือ ไมโอโกลบิน (myoglobin) และฮีโมโกลบิน (hemoglobin) ฮีโมโกลบินเป็นรงควัตถุสีแดงในเลือด ส่วนไมโอโกลบินเป็นรงควัตถุสีแดงเข้มในกล้ามเนื้อ ทั้งไมโอโกลบินและฮีโมโกลบินเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของเหล็กและโปรตีน ไมโอโกลบินมีเหล็กอยู่ในรูป Fe^{2+} ที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น

(oxidation) ไปเป็น Fe^{3+} ได้ง่าย ทำให้เกิดรงควัตถุสีน้ำตาล เรียกว่า เมทไมโอโกลบิน (metmyoglobin) ไมโอโกลบินทำปฏิกิริยากับออกซิเจนที่ผิวของเนื้อ เกิดสารประกอบเชิงซ้อนสีแดงสดเรียกว่า ออกซีไมโอโกลบิน (oxymyoglobin) ซึ่งมีเหล็กอยู่ในรูป Fe^{2+} ออกซีไมโอโกลบินเปลี่ยนเป็นเมทไมโอโกลบินได้ง่ายโดยปฏิกิริยาออกซิเดชัน และปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของเนื้อเกิดเร็วขึ้นที่ความเป็นกรด-ด่างต่ำ เกิดเมทไมโอโกลบิน ความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมสำหรับการรักษาสีของเนื้ออยู่ที่ 6.0 ถึง 6.6 (Ellinger, 1977)

สำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อที่ผ่านการเคียว เช่นแฮม และไส้กรอก พบว่าฟอสเฟตรักษาความเสถียรของสีได้เช่นกัน นอกจากนี้ยังมีการใช้ SAPP เป็นตัวเร่งการพัฒนาสีของเนื้อที่ผ่านการเคียวอีกด้วย (Sofos, 1986) Hargett และคณะ (1980) ศึกษาผลการใช้ SAPP ต่อคุณภาพของไส้กรอกแฟรงค์เฟอร์เธอร์ไก่งวง พบว่า SAPP มีผลต่อการเร่งการเกิดสีเคียวในผลิตภัณฑ์ด้วย เนื่องจากที่ความเป็นกรด-ด่างต่ำจะเร่งการเปลี่ยนไนไตรท์เป็นไนตริกออกไซด์ (nitric oxide) ซึ่งทำปฏิกิริยากับไมโอโกลบิน เกิดเป็นไนโตรโซไมโอโกลบิน (nitrosomyoglobin) เมื่อให้ความร้อนจะเปลี่ยนเป็นไนโตรโซฮีโมโครม (nitrosohemochrome) ซึ่งมีสีชมพู

ความนุ่ม (tenderness)

การเกิดริกอร์ มอร์ติส (rigor mortis) เป็นสาเหตุทำให้เส้นใยกล้ามเนื้อหดสั้น เนื่องจากโปรตีนกล้ามเนื้อจับตัวกันและเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนแอคโตไมโอซิน (actomyosin) ที่คงตัวมาก การเติมฟอสเฟตทำให้แอคโตไมซินแยกออกเป็นแอคติน (actin) และไมโอซิน (myosin) ซึ่งมีผลต่อความนุ่มของเนื้อ Vollmar และ Melton (1981) ศึกษาการใช้สารผสมฟอสเฟตต่อแฮมที่ผ่านการเคียว พบว่าเพิ่มความนุ่มได้ Barbut, Maurer และ Lindsay (1988) ศึกษาผลการลดปริมาณเกลือแกง และการใช้ฟอสเฟตต่อคุณภาพทางกายภาพและประสาทสัมผัสของไส้กรอกแฟรงค์เฟอร์เธอร์ไก่งวง พบว่าเมื่อใช้ STPP และ SHMP ความเข้มข้นร้อยละ 0.4 โดยน้ำหนักพร้อมกับลดปริมาณเกลือแกงลงร้อยละ 40 ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความนุ่มเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุมซึ่งใช้เกลือแกงความเข้มข้นร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนักเพียงอย่างเดียว ขณะที่ SAPP เพิ่มความนุ่มในผลิตภัณฑ์ที่ลดเกลือแกงลงร้อยละ 20 McDermott, Mitchell และ Welch (1999) ศึกษาผลของฟอสเฟตและขนาดของชิ้นเนื้อต่อการเสียน้ำหนักในกระบวนการให้ความร้อน และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเนื้อหัวไหล่หมูขึ้นรูป พบว่าเมื่อความเข้มข้นฟอสเฟตเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0.475 เป็น 0.532 โดยน้ำหนัก ผลิตภัณฑ์มีความนุ่มเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาร่วมกับขนาดของชิ้นเนื้อ พบว่าเมื่อขนาดของชิ้นเนื้อลดลง ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความนุ่มเพิ่มขึ้นด้วย Detienne, Reynolds และ Wicker (2003) ศึกษาผลของการแช่ และการฉีดสารละลาย STPP ที่ความดันสูงและต่ำต่อคุณภาพของเนื้อสะโพกหมู พบว่าเมื่อฉีดและแช่เนื้อหมูด้วย STPP และ NaCl ความเข้มข้นร้อยละ

0.4 และ 1.0 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ บ่มที่ 4°C นาน 96 ชั่วโมง เนื้อหมูที่ได้มีความนุ่มเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับเนื้อหมูที่แช่และฉีดน้ำกลั่นเพียงอย่างเดียว และเมื่อพิจารณาร่วมกับความดันในการฉีดสารละลายเข้าเนื้อหมู พบว่าเมื่อเพิ่มความดันจาก 200 เป็น 345 kPa เนื้อหมูที่ได้มีความนุ่มเพิ่มขึ้นอีก

การเชื่อมติดกัน (binding)

การเชื่อมติดกันของชิ้นเนื้อมีความสำคัญต่อผลิตภัณฑ์บางประเภทเช่นแฮมเบอร์เกอร์ มีทโลฟ (meatloaf) ไส้กรอกทั้งชนิดสด และผ่านการเคียว สิ่งสำคัญที่ช่วยในการเชื่อมติดกันของชิ้นเนื้อคือ ปริมาณโปรตีนที่ละลายได้ในเกลือแกง (salt soluble protein) ฟอสเฟตช่วยเพิ่มการละลายของ แอคติน และไมโอซิน ซึ่งเป็นโปรตีนที่ละลายได้ในเกลือแกงออกมา ฟอสเฟตที่ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้น จะทำให้ค่า ionic strength สูงขึ้น การละลายของโปรตีนจึงเพิ่มขึ้นด้วย ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีสมบัติการเชื่อมติดดีขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าฟอสเฟตต่างชนิดกันให้อัตราการเชื่อมติดของชิ้นเนื้อต่างกันด้วย (Swift และ Ellis, 1956; 1957; Hellendoorn, 1962; Hamm, 1971; Trout และ Schmidt; 1984) Theno, Siegel และ Schmidt (1978) ศึกษาผลของเกลือแกงและฟอสเฟตต่อสมบัติการเชื่อมติดกันของชิ้นเนื้อในแฮมขึ้นรูป โดยแปรความเข้มข้นเกลือแกงเป็น 0, 1, 2, และ 3 โดยน้ำหนัก และความเข้มข้นของฟอสเฟต (Heller®) เป็นร้อยละ0 และ 0.50 โดยน้ำหนัก พบว่าแฮมขึ้นรูปที่ประกอบด้วยเกลือแกง ความเข้มข้นร้อยละ 2 และ 3 และฟอสเฟตความเข้มข้นร้อยละ 0.5 มีสมบัติการเชื่อติดกันของชิ้นเนื้อดีที่สุด Knipe, Olson และ Rust (1985b) ศึกษาผลของแมกนีเซียมคลอไรด์ ($MgCl_2$) ร่วมกับ TSPP ต่อคุณภาพของอิมัลชั่นจากเนื้อสัตว์ พบว่าเมื่อเติม TSPP ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก ทำให้อิมัลชั่นมีความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้น มีการละลายโปรตีนดีขึ้น ส่งผลให้มีสมบัติการเชื่อติดกันมากขึ้นด้วย ในขณะที่เมื่อแปรปริมาณ $MgCl_2$ จากร้อยละ 0.093-0.410 โดยน้ำหนัก พบว่าเมื่อปริมาณ $MgCl_2$ เพิ่มขึ้น การละลายโปรตีนลดลง และสมบัติการเชื่อมติดกันก็ลดลงด้วย

ความสามารถในการกักเก็บน้ำ (moisture retention)

ความสามารถในการกักเก็บน้ำ หรือความสามารถในการอุ้มน้ำ (WHC) มีความสำคัญต่อผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์มาก เพราะถ้าเนื้อไม่สามารถอุ้มน้ำไว้ได้ หรือเมื่อเก็บเนื้อในไว้ในสภาวะแวดล้อมไม่เหมาะสม จะทำให้น้ำตามธรรมชาติบางส่วนของเนื้อเสียไป มีผลให้ความนุ่ม ความชุ่มน้ำ (juiciness) ของผลิตภัณฑ์ลดลง ซึ่งมีผลต่อเนื่องทำให้การยอมรับของผู้บริโภคลดลงด้วย การเติมฟอสเฟตช่วยเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำโดยทำให้สารประกอบเชิงซ้อนแอคโตไมโอซินแตกออกสายเพปไทด์ (peptide chain) ของโปรตีนแยกออกจากกัน เนื่องจากเกิดแรงผลักกันภาย

ในโมเลกุลโปรตีนเกิดเป็นช่องว่างทำให้ตรึงน้ำอิสระเอาไว้ได้ (Hamm, 1971) Hellendoorn (1962) รายงานว่าฟอสเฟตเพิ่มความเป็นกรด-ด่างของเนื้อสัตว์จนออกห่างจากไอโซอิเลกตริคพอยท์ (isoelectric point, pI) จึงช่วยเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ Schwartz และ Mandigo (1976) ศึกษาผลของการใช้เกลือแกง สาร STPP และการเก็บต่อคุณภาพของเนื้อหมูขึ้นรูป พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ STPP จะช่วยเพิ่มความชุ่มน้ำของผลิตภัณฑ์ และลดการสูญเสียน้ำหนักระหว่างการให้ความร้อน Trout และ Schmidt (1984) ศึกษาผลของชนิดและความเข้มข้นของฟอสเฟต ปริมาณเกลือแกง ในผลิตภัณฑ์บีฟโรลล์ขึ้นรูป (restructured beef rolls) โดยฟอสเฟตที่ศึกษาได้แก่ TSPP, STPP, โซเดียมเตตราพอลีฟอสเฟต (sodium tetrapolyphosphate) และ SHMP แปรความเข้มข้นเป็นร้อยละ 0.125-0.500 โดยน้ำหนัก แปรความเข้มข้นเกลือแกงเป็นร้อยละ 0.6-2.0 พบว่า TSPP และ STPP มีผลต่อความสามารถในการจับกับน้ำมากที่สุด โดยเมื่อปริมาณ TSPP และ STPP เพิ่มขึ้น ความสามารถในการจับกับน้ำเพิ่มขึ้นด้วย Knipe, Olson และ Rust (1985a) ศึกษาผลของชนิด และปริมาณของฟอสเฟต การลดเกลือแกงต่อการละลายของโปรตีน ความเสถียร และความเป็นกรด-ด่างของอิมัลชั่น โดยฟอสเฟตที่เลือกศึกษาคือ STPP, TSPP, KTPP และ TKPP แปรความเข้มข้นเป็นร้อยละ 0.15 และ 0.30 โดยน้ำหนัก แปรความเข้มข้นของเกลือแกงเป็นร้อยละ 0.75 และ 0.15 โดยน้ำหนัก พบว่า TSPP และ TKPP มีความเป็นกรด-ด่างสูงที่สุด มีการละลายโปรตีนสูงที่สุด ส่งผลให้อิมัลชั่นมีความเสถียรที่สุดด้วย Barbut และคณะ (1988) ศึกษาผลการลดปริมาณเกลือแกง และการใช้ฟอสเฟตต่อคุณภาพทางกายภาพและประสาทสัมผัสของไส้กรอกแฟรงค์เฟอร์เธอร์ไก่งวง พบว่า SHMP ความเข้มข้นร้อยละ 0.4 โดยน้ำหนักเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดีกว่า SAPP ที่ความเข้มข้นเดียวกัน Jantawat และ Carpenter (1989) ศึกษาผลของฟอสเฟตและโปรตีนที่ไม่ใช่เนื้อสัตว์ เติมในไส้กรอกรมควันที่ผลิตจากเนื้อสัตว์ปีกแยกกระดูกด้วยเครื่อง พบว่าเมื่อเติม STPP ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักเพิ่มความสามารถในการกักเก็บน้ำ ความชุ่มน้ำ และปริมาณผลผลิตหลังทำสุกจากร้อยละ 92.5 เป็น 96.5 แม้เติมหรือไม่เติมสารเชื่อมที่ไม่ใช่โปรตีนจากเนื้อสัตว์ Cannon และคณะ (1993) รายงานว่าเมื่อแช่เนื้อหมูในสารละลาย STPP ความเข้มข้นร้อยละ 5.0 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ช่วยปรับปรุงความสามารถในการอุ้มน้ำ และทำให้ได้ปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 74.13 เป็น 81.02 Detienne และคณะ (2003) ศึกษาผลของการแช่ และการฉีดสารละลาย STPP ที่ความดันสูงและต่ำต่อคุณภาพของเนื้อสะโพกหมู พบว่าเมื่อฉีดและแช่เนื้อหมูด้วย STPP และ NaCl ความเข้มข้นร้อยละ 0.4 และ 1.0 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ บ่มที่ 4°C นาน 96 ชั่วโมง รายงานว่า STPP ช่วยเพิ่มปริมาณผลผลิตจากร้อยละ 67.7 เป็นร้อยละ 91.8 ที่ความดันขณะฉีด 345 kPa และเมื่อนวดตัวอย่างที่ 4°C นาน 25 นาที ปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 98.1

การพัฒนาและใช้สารผสมฟอสเฟต

ฟอสเฟตที่มีการอนุญาตให้ใช้ในผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ตาม USDA 1982 ได้แก่ MSP โมโนโพแทสเซียมฟอสเฟต (MKP) DSP ไดโพแทสเซียมฟอสเฟต (DKP) SAPP STPP KTPP TSPP TKPP SHMP และสารผสมของฟอสเฟต (blends) โดยในผลิตภัณฑ์สุดท้ายกำหนดให้มีปริมาณฟอสเฟตได้ไม่เกิน 0.5% (Sofos, 1986)

Vollmar และ Melton (1981) รายงานว่าเริ่มมีการใช้ฟอสเฟตในผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ตั้งแต่ปี 1952 เพื่อเคียวแฮม เบคอน และผลิตภัณฑ์อื่นๆ ปัจจุบันฟอสเฟตที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ เรียงลำดับจากมากไปน้อยได้แก่ ไตรพอลีฟอสเฟต เตตราไพโรฟอสเฟต เฮกซาเมตา-ฟอสเฟต ไพโรฟอสเฟต และออร์โธฟอสเฟต ตามลำดับ ในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอนุญาตให้ใช้ SAPP เพื่อเร่งปฏิกิริยาการเกิดสีชมพูที่เสถียร (Sofos, 1986)

การใช้ฟอสเฟตในผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์อาจก่อให้เกิดข้อบกพร่องต่อคุณลักษณะด้านต่างๆ เช่น มีเนื้อสัมผัสเหนียวคล้ายยาง (rubbery) มีกลิ่นรสโลหะ (metallic) กลิ่นรสเฝื่อน (astringent) และกลิ่นรสสบู่ (soapy) เมื่อใช้ฟอสเฟตที่มีความเข้มข้นสูง จะทำให้เกิดพิษต่อระบบย่อยอาหาร และอาจทำให้กระดูกผุได้เนื่องจากฟอสเฟตจะไปดึงแคลเซียมออกจากกระดูก แต่สามารถแก้ปัญหาเหล่านี้ได้โดยเลือกใช้ฟอสเฟตในรูปสารผสมแทนการใช้ฟอสเฟตชนิดเดียวปริมาณมาก (Sofos, 1986)

Siegel และคณะ (1978) ศึกษาการใช้สารผสมฟอสเฟต (Hellers®) ซึ่งประกอบด้วย SHMP และ STPP ในแฮม พบว่าเมื่อใช้สารผสมฟอสเฟตดังกล่าวมีผลต่อการสกัดไมโอไฟบริล-ลาร์โปรตีน (myofibrillar protein) ทำให้มีปริมาณแอคติน และไมโอซินเพิ่มขึ้น ซึ่งไมโอซินมีความสำคัญที่สุดในการเชื่อมติดกันของชิ้นเนื้อ Theno และคณะ (1978) ศึกษาผลของการใช้สารผสมฟอสเฟต (Hellers®) ในแฮมขึ้นรูป พบว่าเมื่อใช้สารผสมฟอสเฟตดังกล่าวจะช่วยเพิ่มความแข็งแรงของการเชื่อมติด (binding strength) ขณะที่การใช้เกลือแกงเพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอที่จะละลายไมโอไฟบริลลาร์โปรตีนเพื่อใช้ในการเชื่อมติดของชิ้นเนื้ออีกด้วย

Vollmar และ Melton (1981) ศึกษาผลของการใช้สารผสมฟอสเฟตในแฮมที่ผ่านการเคียว ซึ่งสารผสมฟอสเฟตที่ใช้ประกอบด้วย STPP:SHMP; 95:5, STPP:SHMP; 90:10, STPP: Quadrafos (SQ); 95:5, STPP:SQ; 90:10, STPP:TSPP; 90:10 และ STPP:TSPP; 80:20 พบว่าเมื่อใช้สารผสมฟอสเฟตทั้ง 6 ชนิดจะเพิ่มความนุ่ม และความชุ่มน้ำให้ผลิตภัณฑ์ ขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ STPP:TSPP; 80:20 มีการหดตัวมากที่สุด และ STPP:SHMP; 95:5 มีการหดตัวน้อยที่สุด Anjaneyulu, Sharma และ Kondaiah (1994) ศึกษาผลของการใช้ฟอสเฟตต่อสมบัติด้านต่างๆ ของเนื้อกระบือบด พบว่าเมื่อใช้สารผสมฟอสเฟตซึ่งประกอบด้วย TSPP:STPP:SAPP;

65.0:17.5:17.5 ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก ส่งผลให้ความสามารถในการอุ้มน้ำ ความจุของอิมัลชั่น ความเสถียรของอิมัลชั่น ปริมาณผลผลิตดีขึ้น และลดการสูญเสียน้ำหนักระหว่างให้ความร้อนได้ถึงร้อยละ 59.09

King, Dobbs และ Earl (1990) ศึกษาผลของสารผสมฟอสเฟตระหว่าง TSPP และ SHMP ในผลิตภัณฑ์เนื้อไก่งวงบด พบว่าเมื่อใช้สารผสมฟอสเฟตดังกล่าว ปริมาณน้ำที่เสียออกมาระหว่างทำละลาย (drip loss) และการเสียน้ำหลังทำสุกลดลง ส่วนปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 56.4 เป็น 57.7 และเมื่อใช้ฟอสเฟตร่วมกับเกลือแกงความเข้มข้นร้อยละ 0.5 และ 1.0 โดยน้ำหนัก ให้ผลดีกว่าการใช้ฟอสเฟต หรือเกลือแกงเพียงอย่างเดียวโดยปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 71.7

ผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ที่ผสมฟอสเฟต

ผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ที่ใช้ฟอสเฟตเป็นวัตถุเจือปนมีหลายประเภทตามที่กล่าวมาแล้ว แต่ในงานวิจัยนี้เลือกมาเพียง 2 ชนิดคือ แฮม และไส้กรอกอิมัลชั่น เนื่องจากผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิดนี้เป็นที่นิยมบริโภค และให้แฮมเป็นตัวแทนของผลิตภัณฑ์เนื้อทั้งชิ้น ขณะที่ไส้กรอกอิมัลชั่นเป็นตัวแทนผลิตภัณฑ์บดลดขนาด ดังนั้นจึงขอกล่าวถึงผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิดนี้

แฮม

Bull (1951) ให้นิยามของแฮมชนิดต่างๆ ไว้รวม 5 ชนิด ได้แก่ แฮมทั่วไป (regular ham) แฮมที่ไม่มีหนัง (skinned ham) แฮมไม่มีกระดูก (boneless ham) แฮมที่ทำให้นุ่ม (tenderized ham) และ แฮมอบและต้ม (baked and boiled ham)

แฮมทั่วไป หมายถึงแฮมชนิดที่มีทั้งหนัง ไขมันใต้ผิวหนัง รวมทั้งกระดูก แฮมชนิดนี้สามารถเรียกได้ทั้งแฮมที่อยู่ในสภาพสด และแฮมที่ผ่านกระบวนการผลิตแล้ว แฮมไม่มีหนัง หมายถึงแฮมชนิดที่เลาะหนัง และไขมันใต้ผิวหนังออกบางส่วนเพื่อลดปริมาณไขมันให้น้อยลง และไขมันที่เหลือต้องหนาไม่เกิน 1.25 นิ้ว แฮมไม่มีกระดูก หมายถึง แฮมทั่วไป หรือ แฮมที่เลาะกระดูกออกให้น้ำหนักลดลงเพื่อสะดวกในการขนส่ง แฮมที่ทำให้นุ่ม หมายถึงแฮมที่มีการควบคุมอุณหภูมิในการรมควันให้คงที่ตลอดเวลาที่ 74 องศาเซลเซียส โดยที่จุดกึ่งกลางของผลิตภัณฑ์ต้องมีอุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 63-68 องศาเซลเซียส และทำให้ผลิตภัณฑ์สุกอย่างสมบูรณ์ในตู้อบรมควัน แฮมอบและต้ม หมายถึง แฮมไม่มีกระดูกที่ปรับปรุงให้เนื้อแน่นขึ้นด้วยการอบ หรือต้มประมาณ 30 นาทีหลังจากรมควันแล้ว พบว่าแฮมที่ใช้วิธีอบมีเนื้อแน่น และคุณภาพดีกว่าการต้ม

กระบวนการผลิตแฮม

ในกระบวนการผลิตแฮมมีขั้นตอน 4 ขั้นตอนหลัก ประกอบด้วย การหมัก (cure) การแช่น้ำหลังหมัก (soaking) การรมควัน (smoking) และการทำให้สุก (cooking)

การหมัก

การหมักเป็นขั้นตอนสำคัญในการผลิตแฮม จุดประสงค์เพื่อให้เกลือแทรกซึมไปตามเนื้ออย่างทั่วถึง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ช่วยส่งเสริมให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะ และกลิ่นรสดี Townsend และ Olson (1987) ได้จำแนกวิธีการหมักไว้เป็น 4 วิธีได้แก่การหมักแห้ง การหมักในน้ำเกลือ การฉีด และการหมักแบบผสม

การหมักแห้ง (dry cure) เป็นการหมักโดยใช้ส่วนประกอบสำหรับหมักในรูปของแห้ง โดยผสมส่วนต่างๆให้เข้ากัน แล้วคลุกเคล้าให้ทั่วบนผิวชิ้นเนื้อ การหมักแห้งแบ่งเป็น 2 แบบ คือ การหมักด้วยเกลือเพียงอย่างเดียว เรียกว่า การหมักแห้งด้วยเกลือ (dry salt cure) ความเข้มข้นของเกลือ ประมาณร้อยละ 7-10 ของน้ำหนักเนื้อ และการหมักด้วยเกลือร่วมกับน้ำตาลทราย เรียกว่า การหมักแห้งด้วยน้ำตาล (dry sugar cure) โดยใช้ความเข้มข้นของเกลือประมาณร้อยละ 5-8 ความเข้มข้นของน้ำตาลประมาณร้อยละ 2-5 ตามลำดับ หลังจากหมักแล้วควรบ่ม (aging) เพื่อให้เกลือแทรกซึมได้ทั่วถึง อุณหภูมิที่ใช้ในการบ่มไม่เกิน 0-4°C เวลาในการบ่มขึ้นกับความเข้มข้นของเกลือ และขนาดของชิ้นเนื้อ โดยปกตินิยมบ่มไม่ต่ำกว่า 24 ชั่วโมง ข้อดีของวิธีหมักแห้งคือรวดเร็วเนื่องจากใช้ความเข้มข้นของเกลือค่อนข้างสูง และเกลือแทรกซึมเข้าเนื้อโดยตรง

การหมักในน้ำเกลือ (pickle cure) โดยการละลายส่วนประกอบของการหมักเช่น เกลือ ไนไตรท์ และเครื่องเทศในน้ำสะอาด ต้มสารละลายให้เดือด แล้วทำให้เย็นที่อุณหภูมิ 0-4°C ในการหมักควรแช่ให้ชิ้นเนื้อจมในสารละลาย และบ่มที่อุณหภูมิ 0-4°C 3-7 วัน สารต่างๆ จะแทรกซึมเข้าเนื้อโดยการแพร่ (diffusion) การหมักในน้ำเกลือแบ่งได้ 2 แบบคือ การหมักในน้ำเกลือที่มีความเข้มข้นสูงจากการใช้เกลือเพียงอย่างเดียว เรียกว่า การหมักในน้ำเกลือแบบธรรมดา (plain pickle cure หรือ strong cure) ความเข้มข้นของเกลือประมาณร้อยละ 10-12 ของปริมาณสารละลาย ส่วนอีกแบบหนึ่งได้แก่ การหมักในน้ำเกลือที่ประกอบด้วยเกลือและน้ำตาล เรียกว่า การหมักในน้ำเกลือแบบหวาน (sweet pickle cure หรือ mild cure) ความเข้มข้นของเกลือประมาณร้อยละ 5-8 และความเข้มข้นของน้ำตาลประมาณร้อยละ 2-5 พบว่าการหมักในน้ำเกลือแบบหวาน ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีรสชาติดีกว่าการหมักแบบธรรมดาแต่อายุการเก็บสั้นกว่า

การฉีด (injection) เป็นวิธีใช้น้ำเกลือฉีดเข้ากล้ามเนื้อหรือเส้นเลือดของสัตว์ การฉีดน้ำเกลือเข้าเส้นเลือดของสัตว์ในขณะเป็นซากช่วยให้น้ำเกลือกระจายได้เร็วขึ้น ความเข้มข้นของน้ำเกลือที่ใช้ฉีดเข้ากล้ามเนื้อหรือเส้นเลือดสัตว์ไม่ควรต่ำกว่า 65 องศาซาโลมิเตอร์ ฉีดหลายๆ

จุดโดยรอบ และบ่มที่อุณหภูมิ 0-4°C ไม่ต่ำกว่า 6-12 ชั่วโมงเพื่อให้น้ำเกลือกระจายได้ทั่วถึง วิธีนี้จะช่วยลดเวลาในการหมักได้มาก

การหมักแบบผสม (combination cure) เป็นการนำวิธีหมักเบื้องต้นมาใช้ร่วมกัน เช่นการหมักแบบกึ่งแห้ง (semi-dry cure) ซึ่งใช้วิธีหมักแห้งในช่วงแรกประมาณ 1-3 วัน และหมักในน้ำเกลือต่อจนครบกำหนดประมาณ 2-7 วัน หรือใช้วิธีหมักแห้ง หมักในน้ำเกลือ และการฉีดร่วมกัน โดยช่วงแรกใช้น้ำเกลือฉีดเข้ากล้ามเนื้อ และบ่มที่อุณหภูมิ 0-4°C ประมาณ 12 ชั่วโมง จึงหมักในน้ำเกลือ และหมักแห้งในขั้นสุดท้ายจนครบเวลาที่กำหนดไว้ อุณหภูมิที่ใช้ในการหมักเนื้อไม่ควรเกิน 4°C การหมักที่ใช้อุณหภูมิสูงขึ้นสามารถลดระยะเวลาในการหมักลงได้ แต่พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้รสชาติไม่ดีเท่าที่ควร

การแช่น้ำหลังหมัก

เนื้อที่หมักครบกำหนดแล้วต้องล้าง และแช่น้ำเย็นประมาณ 1-3 ชั่วโมงเพื่อละลายเกลือ และส่วนประกอบอื่นๆ ที่มากเกินพอออก การแช่น้ำหลังการหมักช่วยให้เกลือกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ และช่วยลดรสกระด้าง (harsh) ของเกลือ การควบคุมเวลาในการแช่น้ำหลังหมักต้องพิจารณาถึงความเข้มข้นของน้ำเกลือ และขนาดของชิ้นเนื้อเป็นหลัก เช่น เบคอนใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง ส่วนแฮมใช้เวลาประมาณ 3 ชั่วโมง (Townsend และ Olson, 1987)

การรมควัน

การรมควันเป็นวิธีถนอมอาหารซึ่งพบโดยบังเอิญจากการนำอาหารตากแห้งวางใกล้ปล่องไฟ พบว่าอาหารนั้นมีคุณภาพ และกลิ่นรสดีขึ้น เก็บรักษาได้นาน จึงนำไปใช้กับอาหารหลายชนิด เช่น แฮม ไส้กรอก ปลา และเนื้อสัตว์ต่างๆ ไม้ที่ให้ควันคุณภาพดี ได้แก่ไม้เนื้อแข็ง เช่น ไม้มะฮอกกานี (Daun, 1979) ในประเทศไทยมีวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรหลายชนิดที่สามารถใช้รมควันได้ เช่น กากมะพร้าว ชานอ้อย และซังข้าวโพด วัตถุประสงค์ในการรมควันมีหลายประการ ได้แก่ ถนอมรักษาเนื้อสัตว์ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีสี และกลิ่นรสดีขึ้น ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ใหม่ขึ้น และชะลอการเกิดกลิ่นหืนของผลิตภัณฑ์

การรมควันแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ การรมควันร้อน และการรมควันเย็น การรมควันร้อนเป็นวิธีที่ใช้อุณหภูมิสูงทำให้เนื้อสุกในระยะเวลาสั้น ส่วนการรมควันเย็นเป็นการใช้อุณหภูมิต่ำเพื่อให้ความร้อนและควันค่อยๆ แทรกซึมเข้าชิ้นเนื้อจึงต้องใช้เวลานาน ผลิตภัณฑ์บางชนิดใช้เวลาในการรมควันหลายวัน (Bull; 1951) หลักการสำคัญในการรมควันคือ ต้องให้ควันแทรกซึมเข้าไปในเนื้อได้ทั่วถึงจึงต้องมีการควบคุมปริมาณควันให้พอเหมาะ ไม่มีเขม่า ขนาดของ

ผลิตภัณฑ์ไม่ใหญ่จนเกินไป โดยทั่วไปอุณหภูมิที่ใช้ในการรมควันประมาณ 60-63°C เวลาประมาณ 3-4 ชั่วโมง ถ้าผลิตภัณฑ์ขนาดเล็กไม่ควรใช้อุณหภูมิเกิน 52°C (Rust, 1987)

การทำให้สุก

โดยการนำไปต้มในน้ำร้อน หรือนึ่งที่อุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เพื่อทำลายจุลินทรีย์บางส่วนที่ยังเหลืออยู่ และทำให้ผิวนอกตึง ได้สีที่น่ารับประทานมากยิ่งขึ้น (Mast และ MacNeil, 1976)

ไส้กรอกอิมัลชั่น

ไส้กรอกอิมัลชั่น เป็นผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ที่ไม่ใช่อิมัลชั่นที่แท้จริง การที่เรียกผลิตภัณฑ์กลุ่มนี้ว่าไส้กรอกอิมัลชั่น เนื่องจากเนื้อสัมผัสมีลักษณะคล้ายอิมัลชั่น ชนิดไขมันในน้ำ โดยโปรตีนแอคตินและไมโอซิน ในเนื้อสัตว์ซึ่งละลายในน้ำเกลือ เมื่อผ่านกรรมวิธีในกระบวนการผลิตที่ภาวะเหมาะสม จะละลายออกจากเนื้อเยื่อในปริมาณมากพอที่จะหุ้มอนุภาคไขมันซึ่งกระจายตัวอยู่ทั่วไปในส่วนผสม (sausage batter) โครงสร้างดังกล่าว เมื่อผ่านการให้ความร้อนในขั้นตอนการรมควัน และการทำให้สุก โปรตีนจับก้อน (coagulate) ได้โครงร่างตาข่ายของโปรตีน (protein matrix) ที่เสถียร และมีอนุภาคไขมันกระจายอยู่ภายในโครงร่างตาข่าย ในการผลิตไส้กรอกอิมัลชั่น ปริมาณโปรตีนที่สกัดออกจากเนื้อเยื่อได้มีความสำคัญกับคุณภาพผลิตภัณฑ์ ปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดโปรตีนได้แก่ ปริมาณเกลือที่ใช้ มีรายงานว่าเกลือความเข้มข้นร้อยละ 4 สกัดโปรตีนออกได้สูงที่สุด แต่ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเค็มจัดเกินไป จึงนิยมใช้ในปริมาณร้อยละ 2-3 โปรตีนที่สกัดได้นี้ทำหน้าที่เป็นสารให้ความคงตัวในอิมัลชั่น (emulsifier) นอกจากปริมาณเกลือแล้ว ปัจจัยอื่นที่มีผลได้แก่ความเป็นกรด-ด่าง ionic strength และอุณหภูมิระหว่างการสกัด (Kramlich, Pearson และ Tauber, 1980) Swift และ Sulzbacher (1963) พบว่าซาโครพลาสมิกโปรตีน (sacroplasmic proteins) ซึ่งเป็นโปรตีนที่ละลายได้ในน้ำมีสมบัติเป็นสารให้ความคงตัวในอิมัลชั่นที่ดีที่สุดที่ pH 5.2 ส่วน ไมโอไฟบริลลาร์โปรตีน ซึ่งเป็นโปรตีนที่ละลายได้ในน้ำเกลือ สกัดออกจากเนื้อเยื่อได้ดีที่สุดที่ pH 5.4-6.2 และทำหน้าที่เป็นสารให้ความคงตัวในอิมัลชั่นที่ดีในช่วง pH 6.0-6.5

การเกิดและความเสถียรของอิมัลชั่นในไส้กรอก

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดและความเสถียรของอิมัลชั่นในไส้กรอก ได้แก่ ปริมาณของโปรตีนที่ละลายได้ในเกลือแกง อุณหภูมิระหว่างการเกิดอิมัลชั่น เวลาที่ใช้ในการสับ

ผสม ความหนืดของอิมัลชั่น ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิระหว่างการรมควันและทำให้สุก (Rust, 1987)

ปริมาณของโปรตีนที่ละลายได้ในเกลือแกง โปรตีนที่ละลายได้ในเกลือแกง ได้แก่ ไมโอไฟบริลลาร์โปรตีน ซึ่งประกอบด้วยแอคติน และไมโอซิน โปรตีนดังกล่าวนี้ละลายได้เมื่อเติมเกลือ 2-3% โดยน้ำหนัก โดยเมื่อเติมเกลือแล้วสับผสม แอคติน และไมโอซินจะละลายออกมาจากเส้นใยกล้ามเนื้อ แล้วรวมตัวเป็นสารประกอบแอคโตไมโอซิน (actomyosin) ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดความเหนียวระหว่างสับผสม และเมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 75-100°C จะเกิดโครงสร้างโมเลกุลแบบตาข่าย (actomyosin network) กักเก็บโมเลกุลของน้ำไว้ภายในได้ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความเหนียวและยืดหยุ่น ในเนื้อหมูและเนื้อวัวมีโปรตีนดังกล่าว 38.16 และ 45.60% ของโปรตีนที่มีอยู่ทั้งหมดตามลำดับ ในการผลิตไส้กรอกอิมัลชั่น ปริมาณไมโอไฟบริลลาร์โปรตีนที่สกัดออกจากเนื้อเยื่อได้มีความสำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ถ้ามีปริมาณมากจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเกิดอิมัลชั่น (Rust, 1987)

อุณหภูมิระหว่างการเกิดอิมัลชั่น ในระหว่างการสับผสม และการเกิดอิมัลชั่น ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยจะช่วยให้การละลายของโปรตีนเพิ่มขึ้น แต่ถ้าสูงเกินไปจะทำให้อิมัลชั่นแตกหรือเสียความเสถียรไป เนื่องจากโปรตีนเกิดการแปลงสภาพและเสียสมบัติในการหุ้มเม็ดไขมัน (Rust, 1987) ดังนั้นในช่วงแรกของการสับผสมเนื้อสัตว์จะต้องรักษาอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 3-11°C ถ้าเป็นเครื่องสับผสมที่มีความเร็วรอบช้า อุณหภูมิในการสับผสมเนื้อสัตว์จะจำกัดไม่ให้เกิน 4-7°C ซึ่งต่ำกว่าในเครื่องสับผสมที่มีความเร็วรอบสูง (อุณหภูมิประมาณ 11°C) เพื่อกันไม่ให้สับผสมนานเกินไป (Rust, 1987) และในระหว่างสับผสม อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้น 5-11°C ในเวลา 10-15 นาที (Kramlich และคณะ, 1980) ในช่วงหลังสับผสมเมื่อเติมเครื่องปรุงและไขมันลงในส่วนผสม อุณหภูมิจะเพิ่มสูงขึ้น การหุ้มรอบเม็ดไขมันของโปรตีนเกิดได้ดีขึ้น และในช่วงสุดท้ายของการสับผสม อุณหภูมิไม่ควรสูงเกิน 10-16°C หากอุณหภูมิสูงกว่านี้โปรตีนบางส่วนเกิดการแปลงสภาพ และความสามารถในการหุ้มรอบเม็ดไขมันด้อยลง ไขมันบางส่วนหลอมทำให้แรงตึงผิวเพิ่มขึ้น จึงมีโอกาสเกิดการแยกชั้นจนเสียภาวะอิมัลชั่นไป (Forrest และคณะ, 1975)

เวลาที่ใช้ในการสับผสม ถ้าใช้เวลาสั้นเกินไปเม็ดไขมันจะมีขนาดใหญ่ สามารถรวมกัน และแยกชั้นจากส่วนที่เป็นน้ำได้ง่าย แต่ถ้าใช้เวลามากไป เม็ดไขมันจะมีขนาดเล็กมาก พื้นที่ผิวของเม็ดไขมันเพิ่มมากขึ้นจนปริมาณโปรตีนที่ใช้หุ้มไม่เพียงพอทำให้เกิดการรวมตัวของเม็ดไขมัน และแยกชั้นได้เช่นกัน ถ้าเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดไขมันลดลง 1 เท่า จะทำให้พื้นที่ผิวของเม็ดไขมันเพิ่มขึ้น 1 เท่าด้วย เช่นเม็ดไขมันที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 ไมโครเมตร เมื่อถูกสับผสมจนมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ไมโครเมตร ทำให้เกิดอนุภาคไขมัน 125 อนุภาค พื้นที่ผิวเม็ดไขมันเพิ่มขึ้นจาก 7,850 ตารางไมโครเมตร เป็น 39,250 ตารางไมโครเมตร ซึ่งการเพิ่มพื้นที่ผิว 5 เท่านี้ทำให้

ต้องใช้ปริมาณโปรตีนที่ละลายในน้ำเกลือเพิ่มมากขึ้นเพื่อหุ้มเม็ดไขมันเล็กๆ นี้ให้ได้หมด พื้นที่ผิวที่มากเกินไปเป็นผลให้โปรตีนที่สกัดได้มีปริมาณไม่เพียงพอที่จะหุ้มเม็ดไขมันได้หมด (Forrest และคณะ ,1975)

ความหนืดของอิมัลชั่น เนื่องจากเม็ดไขมันมีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำจึงพยายามลอยตัวขึ้นด้านบน ถ้าอิมัลชั่นมีค่าความหนืดต่ำ ไขมันจะลอยขึ้นด้านบนได้ง่ายและเกิดการแยกชั้นจากส่วนที่เป็นน้ำ ทำให้เสียความเสถียรของอิมัลชั่นไป (Forrest และคณะ, 1975) ปัจจัยที่มีผลต่อความหนืดของอิมัลชั่น ได้แก่ ปริมาณน้ำในส่วนผสม ถ้ามีอยู่น้อย ความหนืดของอิมัลชั่นจะสูง นอกจากนั้นเวลาในการสับก็มีผลต่อความหนืดเช่นกัน เวลาสับที่เหมาะสมคือประมาณ 10 นาที อิมัลชั่นที่ได้จะมีความหนืด และขนาดเม็ด ไขมันพอเหมาะ ถ้าเวลามากเกินไป ความหนืดของอิมัลชั่นจะต่ำลง ส่วน pH ของเนื้อสัตว์ และความเข้มข้นของเกลือ ถ้ามีค่าเพิ่มขึ้น ความหนืดของอิมัลชั่นก็จะสูงขึ้นตามไปด้วย (Girard, Denoyer, และ Maillard, 1992)

ความเป็นกรด-ด่าง ถ้าความเป็นกรด-ด่างของเนื้อสัตว์ต่ำจนใกล้ pI ไมโอไฟบริลลาร์โปรตีนจะละลายออกมาในน้ำเกลือได้น้อยลง โดยทั่วไปความเป็นกรด-ด่างของเนื้อสัตว์ที่ผ่านการเกิดริกอร์มอร์ติสแล้วอยู่ในช่วง 5.3-5.7 และ pI อยู่ที่ความเป็นกรด-ด่าง 5.0 การหลีกเลี่ยงภาวะเช่นนี้ทำได้ 3 รูปแบบคือ แบบใช้เนื้อก่อนเกิดริกอร์มอร์ติสแบบแช่แข็งเนื้อก่อนเกิดริกอร์มอร์ติสอย่างรวดเร็ว แล้วลดขนาดในเครื่องสับผสมขณะที่ยังอยู่ในภาวะแช่แข็ง และแบบเติมเกลือไนไตร์ทและน้ำแข็งเพื่อควบคุมอุณหภูมิให้ต่ำประมาณ 2-3 ชั่วโมงก่อนสับผสม ในแต่ละกรณีสามารถสกัดโปรตีนที่ละลายได้ในน้ำเกลือเพิ่มขึ้นได้ประมาณ 50% (Rust, 1987)

อุณหภูมิระหว่างการรมควันและทำให้สุก หลังการเกิดอิมัลชั่น ถ้ารมควันโดยเพิ่มอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์เร็วเกินไป หรือทำให้สุกที่อุณหภูมิสูงเกินไป โปรตีนที่หุ้มรอบอนุภาคไขมันจะหดตัวเร็วมาก ขณะที่มันขยายตัวเร็วเช่นกัน ภาวะเช่นนี้ทำให้โปรตีนที่หุ้มรอบไขมันเกิดการฉีกขาด และไขมันเคลื่อนย้ายออกมาใน matrix ซึ่งทำให้ไขมันเป็นชั้นบางที่ส่วนปลายของแท่งไส้กรอกได้ (Kramlich และคณะ, 1980)