บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

คำว่า sausage มาจากรากศัพท์ภาษาลาตินว่า salsus ซึ่งหมายถึงเนื้อที่เก็บรักษาโดยการใช้เกลือ กำเนิดของไส้กรอกไม่ปรากฏแน่ชัด แต่มีการบันทึกเป็นหลักฐานครั้งแรกประมาณ 900 ปีก่อนคริสตกาลในบทประพันธ์ Odyssey ของ Homer ซึ่งกล่าวว่าชาวบาบิโลน และชาวจีนบริโภคไส้กรอกมาตั้งแต่ 1500 ปีก่อนคริสตกาล (Pederson, 1979) ในปัจจุบันเมื่อกล่าวถึง sausage จะหมายถึง อาหารที่ประกอบด้วยเนื้อบด หรือสับ อาจเป็นเนื้อจากสัตว์ชนิดเดียว หรือจากสัตว์หลายชนิดรวมกัน ผสมกับไขมัน เกลือ curing agent และเครื่องปรุงรสต่างๆ แล้วบรรจุในไส้ที่ได้จากสัตว์ หรือไส้เทียม ซึ่งพอจะแบ่งไส้กรอกออกเป็น 2 ประเภท ตามกระบวนการผลิต คือ

1. wet sausage คือ ไส้กรอกที่ผ่าน curing process หรือไม่ก็ได้ แต่ไม่ผ่านกระบวนการหมัก เช่น frankfurter, bologna และ bratwurt

2. fermented sausage คือ ไส้กรอกที่ผ่าน curing process และการหมักของ lactic acid bacteria ที่เปลี่ยนคาร์โบไฮเดรตในส่วนผสมให้เป็นกรดแลคติก ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดรสเปรี้ยว มีกลิ่นรสเฉพาะ และมีอายุการเก็บนานขึ้น เช่น salami, cervelat และ pepperoni (Lucke, 1985)

สำหรับไส้กรอกเปรี้ยวอีสานก็จัดเป็น fermented sausage แบบหนึ่ง ซึ่งมีส่วนผสมพื้นฐาน คือ เนื้อ ใช้เนื้อหมู หรือเนื้อวัวแล้วแต่ความนิยม มันหมูอาจใช้เนื้อติดมันแทนการใช้เนื้อล้วนๆเพียงอย่างเดียว ข้าวใช้ข้าวเหนียว หรือข้าวเจ้าสุก กระเทียมแกะเปลือกบดหยาบๆ เกลือ และดินประสิว ซึ่งมีขั้นตอนการผลิตพื้นฐาน ดังรูปที่ 2.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการผลิตพื้นฐานของไส้กรอกเปรี้ยวอีสาน (จันทร์สุดา, 2523)

การคลุกเคล้าเนื้อกับส่วนผสมจะทำให้เกลือสกัดเอา myofibrillar protein ออกมาเป็นสารเชื่อม (binder) ทำให้ส่วนผสมมีลักษณะหนืดขึ้น (Schmidt และคณะ, 1981) การนำไส้กรอกไปตากแดดหลังการบรรจุไส้ เป็นการเพิ่มอุณหภูมิเพื่อเร่งปฏิกิริยาการเกิดสีจากการเติม nitrate และยังทำให้ผิวนอกของไส้กรอกแห้งขึ้น ทำให้จุลินทรีย์ที่ผิวถูกยับยั้งในระยะที่ lactic acid bacteria ยังไม่เจริญ แล้วหมักในที่ร่มเพื่อรักษาความชื้น และอุณหภูมิที่เหมาะสมของ lactic acid bacteria การหมักไส้กรอกเปรี้ยวอีสานโดยทั่วไปใช้เวลา 1 วัน ที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณกรดร้อยละ 0.9-1.33 pH 4.3-4.5 และมีอายุการเก็บ 3 วันที่ อุณหภูมิห้อง (จันทร์สุดา, 2523)

2.1 แบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับการหมักไส้กรอกเปรี้ยวอีสาน

จุลินทรีย์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติในเนื้อสดแช่เย็นในสภาพที่มีออกซิเจน ส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียแกรมบวก และ oxidase positive rod เช่น pseudomonads และ Enterobacteriaceae ส่วน lactic acid bacteria มีปริมาณน้อย (Lucke, 1985) การบด หรือสับเนื้อเป็นการเพิ่ม

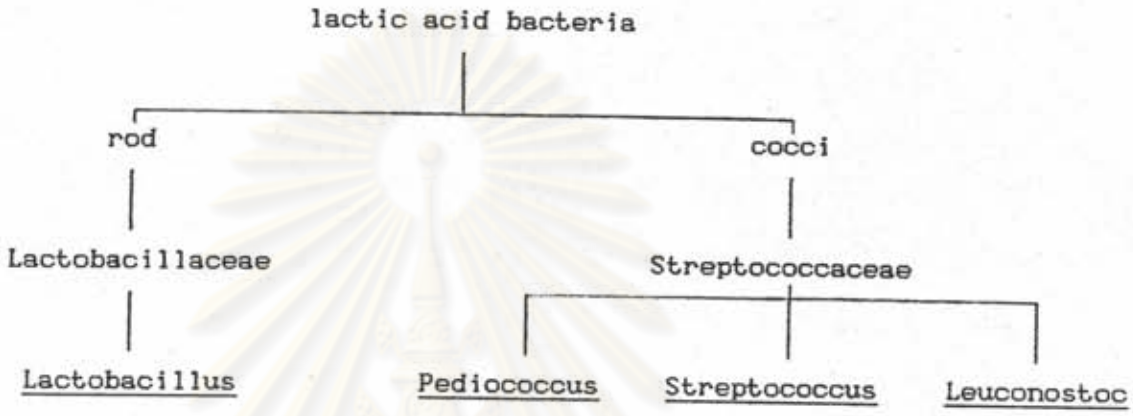
พื้นที่ผิวให้จุลินทรีย์กระจายได้อย่างทั่วถึง และยังปล่อย meat juice ซึ่งมีทั้งความชื้น และสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญของจุลินทรีย์หลายชนิด (Pederson, 1979) การคลุกเคล้าเนื้อกับส่วนผสมอื่นจะทำให้ water activity ของส่วนผสมลดลง จากการที่น้ำบางส่วนไปจับกับโปรตีน และส่วนผสมอื่น เมื่อนำมาบรรจุไส้ ปริมาณของออกซิเจนจะลดลง ทำให้ pseudomonads ซึ่งต้องการออกซิเจน และไวต่อปริมาณเกลือ และ nitrite เจริญได้น้อยลง เมื่อ pH ลดลงจะทำให้การเป็น competitive inhibitor ของ Enterobacteriaceae ลดลง เกลือ และ nitrite ในปริมาณที่เหมาะสมจะทำให้ micrococci และ lactic acid bacteria เจริญได้มากขึ้น แต่เมื่อ lactic acid bacteria เจริญ และสร้างกรดแลคติกมากขึ้นจะทำให้ micrococci ซึ่งเจริญได้เฉพาะในสภาพที่มีออกซิเจน (obligate aerobe) และไม่ทนกรด เจริญได้น้อยลง โดยเฉพาะเมื่อ pH ต่ำกว่า 5.0 การเจริญจะถูกยับยั้ง ส่วน lactic acid bacteria จะเพิ่มจำนวนขึ้นจนกลายเป็น natural flora ของผลิตภัณฑ์ (Defigueiredo และ Splittstoesser, 1976; Lucke, 1985)

micrococci ทำหน้าที่รีดิวซ์ nitrate ให้เป็น nitrite ซึ่งจำเป็นในการเกิดสีในผลิตภัณฑ์เนื้อในกรณีที่ใช้ nitrate แทน nitrite หรือใช้ทั้งสองชนิดร่วมกัน ส่วน lactic acid bacteria จะเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรตในส่วนผสมให้เป็นกรดแลคติก ซึ่งมีประโยชน์ในกระบวนการหมักผัก ผลไม้ ผลิตภัณฑ์นมและผลิตภัณฑ์เนื้อ (Bacus และ Brown, 1981; ปรียา, 2524)

lactic acid bacteria เป็นแบคทีเรียแกรมบวก แบ่งเป็น 2 family ตามรูปร่างดังรูปที่ 2.2 เจริญได้ในสภาวะที่มีออกซิเจนเล็กน้อย (microaerophile) อุณหภูมิปานกลาง (mesophile) ใช้คาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งพลังงาน ดังนั้นการเจริญจึงถูกจำกัดเฉพาะในอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตอยู่เท่านั้น นอกจากนี้ยังแบ่ง lactic acid bacteria ออกเป็น 2 กลุ่มตามผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมัก (ตารางที่ 2.1) คือ homofermentative และ heterofermentative ซึ่งทั้งสองกลุ่มนี้ต่างกันที่กลุ่ม homofermentative มีเอนไซม์ aldolase (รูปที่ 2.3) ซึ่งจะเปลี่ยน fructose-1,6-phosphate ให้เป็น glyceraldehyde-3-phosphate กับ dihydroxy acetone phosphate ส่วนกลุ่ม heterofermentative ไม่มีเอนไซม์ชนิดนี้ จึงออกซิไดซ์ glucose-6-phosphate ให้เป็น 6-phosphogluconic acid แล้ว decarboxylate ให้เป็น ribose-5-phosphate และให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ribose-5-phosphate จะเปลี่ยนเป็น xylulose-5-phosphate จากนั้นเอนไซม์ phosphoketolase จะเปลี่ยนให้เป็น glyceraldehyde-3-phosphate และ acetyl phosphate ซึ่ง acetyl phosphate จะเปลี่ยนเป็นเอทธานอล ดังนั้นเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของกลูโคส 1 โมเลกุล

หอสมุดกลาง ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

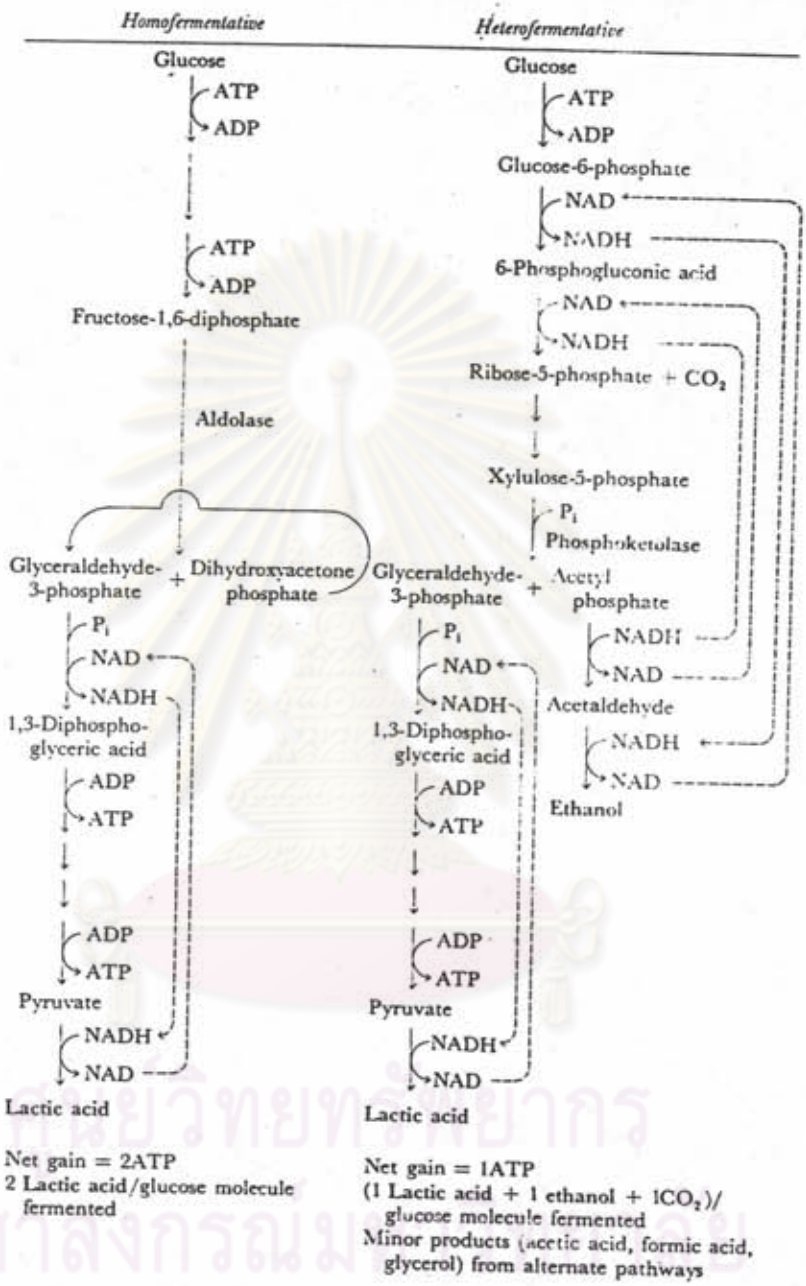
ถ้าหมักโดยกลุ่ม homofermentative จะได้กรดแลคติก 2 โมเลกุล แต่ถ้าหมักโดยกลุ่ม hetero-fermentative จะได้กรดแลคติก เอทธานอล และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อย่างละ 1 โมเลกุล ซึ่งการที่มีก๊าซเกิดขึ้นในระหว่างการหมัก อาจเป็นสาเหตุให้ไส้บรรจุแตกได้ (Brook, 1979; Lucke, 1985)



รูปที่ 2.2 การแบ่งชนิดของ lactic acid bacteria ตามรูปร่าง (Brock, 1979)

ตารางที่ 2.1 ชนิดของ lactic acid bacteria ตามผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมัก (Brock, 1979)

genus	รูปแบบของกระบวนการหมัก
Lactobacillus	homofermentative
	heterofermentative
Pediococcus	homofermentative
Streptococcus	homofermentative
Leuconostoc	heterofermentative



รูปที่ 2.3 ขั้นตอนของกระบวนการหมักของ lactic acid bacteria ในกลุ่ม homofermentative และ heterofermentative (Brock, 1979)

การหมัก fermented sausage แบบดั้งเดิม และการผลิตในครัวเรือน จะขึ้นกับความเหมาะสมของสภาพภูมิอากาศ ชนิด และปริมาณของเครื่องเทศที่ใช้ จึงทำให้แต่ละประเทศมีไส้กรอกต่างชนิดกันออกไปแต่ในปัจจุบันได้มีการพัฒนากระบวนการผลิต การใช้ starter culture และการใช้วัตถุเจือปนในอาหาร ซึ่งสามารถผลิตไส้กรอกในระดับอุตสาหกรรมได้ครั้งละมากๆ ช่วยย่นระยะเวลาในการผลิตลง และได้ผลิตภัณฑ์ที่ปลอดภัยต่อการบริโภคมากขึ้น (Stamer, 1979; Lucke, 1985)

สำหรับจุลินทรีย์ที่พบในแหนม ซึ่งมีส่วนผสมคล้ายกับไส้กรอกเปรี้ยวอีสาน แต่แหนมใช้หนังหมูแทนการใช้มันหมู พบว่า ในระยะแรกของการหมักแหนมที่มีเกลือร้อยละ 3 ของน้ำหนักส่วนผสม จะพบ Pediococcus acidilactici และ heterofermentative ส่วนในระยะสุดท้ายของการหมัก จะพบ Lactobacillus plantarum และ L. brevis การเสื่อมเสียของแหนมจะเกิดจากยีสต์ และรา (สมบุญ, 2518)

2.2 วัตถุดิบในการผลิต

2.2.1. เนื้อหมู ใช้เนื้อที่มีลักษณะโครงร่างค่อนข้างแน่น และคงรูปร่างได้ดี มีความสามารถในการอุ้มน้ำได้มาก ซึ่งจะมีผลโดยตรงต่อความชุ่มน้ำ (juiciness) ความนุ่ม และการหดตัวของผลิตภัณฑ์ ความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อจะขึ้นกับปริมาณของโปรตีนที่ละลายได้ ประสิทธิภาพในการประสานไขมันของโปรตีนที่ละลายได้ ชนิดของกล้ามเนื้อ และชนิดของสัตว์ (ชัยณรงค์, 2529) สำหรับเนื้อหมูส่วนที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำได้มาก คือ กล้ามเนื้อโครงร่าง (skeleton muscle) จึงนิยมใช้เนื้อส่วนไหล่ และสะโพก เพราะเป็นกล้ามเนื้อส่วนที่ควบคุมการเคลื่อนไหว ซึ่งมีไขมันแทรกอยู่น้อย และเป็นกล้ามเนื้อมัดใหญ่ หลังจากที่สัตว์ถูกฆ่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อจะลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากกรดแลคติกที่เกิดขึ้น ซึ่งจะลด pH ของเนื้อลง โดยเฉพาะเมื่อ pH ใกล้ isoelectric point (pH 5.0) ความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อจะต่ำสุด การบดเนื้อให้มีขนาดเล็กลง จะไปเพิ่ม polar group สำหรับจับกับโมเลกุลของน้ำ และยังทำให้เกลือสกัดเอาโปรตีนออกมาทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมได้ง่าย ทำให้ส่วนผสมจับตัวกันดีขึ้น การสูญเสียน้ำหนักเมื่อทำให้สุก (cooking loss) ของผลิตภัณฑ์จึงลดลง (Miller และคณะ, 1968; ชัยณรงค์, 2529) การบดเนื้อผ่าน plate ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2, 6.4 และ 9.5 มิลลิเมตร ไม่มีผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ และค่าแรงเฉือน แต่เมื่อขนาดของชิ้นเนื้อเล็กลงจะยิ่งทำให้ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเมื่อทำให้สุกของผลิตภัณฑ์ลดลงด้วย (Chesney และคณะ, 1978)

2.2.2. มันหมู ทำให้ผลิตภัณฑ์นุ่มน่ารับประทาน แต่ก็มีแนวโน้มที่จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันได้ง่าย โดยมีเกลือ heme pigment และ non-heme iron เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งปฏิกิริยานี้จะเกิดได้เร็วเมื่อ pH ต่ำ (Love, 1983; Andres, 1984) ส่วนของมันหมูที่เหมาะสำหรับการผลิตไส้กรอกเปรี้ยว คือ ส่วนที่เป็นมันแข็ง เพราะมีปริมาณกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวน้อยกว่ามันหมูที่มีลักษณะนิ่ม จึงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้น้อยกว่า ทำให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บนานกว่า (Lucke, 1985)

2.2.3. ข้าวสุก และน้ำตาล การเติมข้าวสุกเป็นลักษณะพิเศษของอาหารหมักจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เช่น แหนม ปลาส้ม และไส้กรอก โดยข้าวทำหน้าที่เป็นแหล่งอาหารของ lactic acid bacteria แต่การผลิตไส้กรอกเปรี้ยวอีสาน การเติมข้าวสุกมีจุดประสงค์ที่จะลดต้นทุนการผลิตมากกว่าเป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ (จันทร์สุดา, 2523) เพราะในส่วนผสมมีน้ำตาล ซึ่งจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ได้ง่ายกว่า จากการศึกษาเปรียบเทียบการใช้คาร์โบไฮเดรตที่มีขนาดโมเลกุลต่างๆ กันในการผลิตไส้กรอกเปรี้ยว ที่อุณหภูมิ 38 °C เป็นเวลา 24 ชม. พบว่า การหมักโดยใช้น้ำตาลที่มีขนาดโมเลกุลเล็ก จะให้ปริมาณกรดแลคติกสูงกว่าการใช้น้ำตาลที่มีโมเลกุลใหญ่ (Acton และคณะ, 1977) จากการที่เนื้อหมูมีน้ำตาลกลูโคสอยู่เพียง 7 ไมโครกรัมต่อกรัมของน้ำหนักเนื้อหมู ซึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการของ lactic acid bacteria การเติมน้ำตาลกลูโคส ซูโครส หรือเดกซ์โตรส ร้อยละ 0.4-0.8 ของน้ำหนักส่วนผสมก็จะทำให้ lactic acid bacteria สร้างกรดแลคติกในปริมาณที่เหมาะสมได้ (Lucke, 1985)

2.2.4. เกลือแกง (NaCl) ทำหน้าที่ให้รสชาติแก่ผลิตภัณฑ์ กำหนดชนิด และการเจริญของจุลินทรีย์ โดยจะไปยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียที่มีความไวต่อการลดปริมาณน้ำที่สามารถนำไปใช้ได้ (water activity) (โครงการตำราวิทยาศาสตร์อุตสาหกรรม, 2526) จากการที่เกลือละลายในน้ำซึ่งเป็นองค์ประกอบของเนื้อ ทำให้ water activity ของเนื้อลดลง และสารละลายเกลืออาจเป็นพิษโดยตรงต่อจุลินทรีย์ชนิดอื่นตามความเข้มข้นของเกลือ (Cahill และคณะ, 1976) นอกจากนี้เกลือยังทำให้เนื้อสัมผัสของไส้กรอกดีขึ้น โดยเกลือจะช่วยทำให้โปรตีนละลายมากขึ้น โดยเฉพาะ myofibrillar protein ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมระหว่างเนื้อกับส่วนผสมอื่นๆ (Acton, 1972) และในระหว่างการหมัก ซึ่ง pH ของผลิตภัณฑ์ลดลงเรื่อยๆ จะทำให้การละลายของ myofibrillar protein ลดลงมากกว่า sarcoplasmic protein เกลือจะไปทำให้ sarcoplasmic protein เกิดการตกตะกอนออกมา แล้วไปชักนำให้ myofibrillar protein ตกตะกอนได้มากยิ่งขึ้น และจากการตกตะกอนของโปรตีนทั้งสองชนิด จะทำให้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ดีขึ้นมากกว่าการตกตะกอนของ

myofibrillar protein อย่างเดียว แม้ว่า sarcoplasmic protein จะขาด gelling ability ก็ตาม (Klement และ Cassens, 1974) ไส้กรอกเปรี้ยวที่ใช้เกลือร้อยละ 2-3 ของน้ำหนักส่วนผสมจะให้ผลสูงสุดในด้านเนื้อสัมผัส สี และความน่ารับประทาน (Zaika และคณะ, 1978) การใช้เกลือมากกว่าร้อยละ 4 จะทำให้การหมักไส้กรอกเปรี้ยวเกิดขึ้นได้ช้าหรือถูกยับยั้ง และทำให้ Staphyllococcus aureus ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคเจริญได้ เพราะทนเกลือกว่า lactic acid bacteria และยังมีอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญใกล้เคียงกัน โดย S. aureus สามารถเจริญ และสร้าง toxin ได้ใน lag phase ของ lactic acid bacteria (Marcy และคณะ, 1985)

2.2.5. กระเทียม เป็นส่วนที่ให้กลิ่นรส และมีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์เนื้อ (Nes และ Skjelvale, 1982) โดยในกระเทียมมี trace element ที่ส่งเสริมการเจริญของ lactic acid bacteria เช่น โปแตสเซียม แมกนีเซียม และแมงกานีส (Christensen และคณะ, 1968; ปรียา, 2524) จากการศึกษาของ Zaika และ Kissinger (1984) พบว่าแมงกานีสไอออน (Mn^{2+}) ทั้งจากเครื่องเทศ หรือจากสารละลายของเกลือแมงกานีสซัลเฟตความเข้มข้น 10^{-8}ถึง 10^{-2}M จะให้ผลในการกระตุ้นการเจริญของ lactic acid bacteria ทำให้สร้างกรดแลคติก และลด pH ของผลิตภัณฑ์ได้เร็วขึ้นเช่นกัน โดย L. plantarum และ P. acidilactici มีการเจริญสูงสุดที่ความเข้มข้นของ Mn^{2+} 10^{-5}และ 10^{-3}M ตามลำดับ นอกจากนี้น้ำมันหอมระเหย (essential oil) จากกระเทียม ในความเข้มข้นเพียง 25 ppm มีประสิทธิภาพสูงในการยับยั้งการเจริญของยีสต์ และที่ความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัม/กรัมของเนื้อที่ใช้สามารถยับยั้งการสร้าง toxin ของ Clostridium botulinum type A เนื่องจากในน้ำมันหอมระเหยของกระเทียม มีสารพวก allicin และ sulfide อยู่ในปริมาณสูง ซึ่งจะไป inactivate โปรตีน และเอนไซม์ที่มีกลุ่ม -SH ของจุลินทรีย์ ทำให้กระบวนการเมตาโบลิซึมในเซลล์ของจุลินทรีย์เสียไป (Conner และ Beuchat, 1984) นอกจากนี้ในกระเทียมยังมีเซเลเนียม และวิตามิน B_1 ชนิดพิเศษที่เรียกว่า allithiamine เซเลเนียมเป็น trace element ที่จำเป็นของมนุษย์ในปฏิกิริยาเมตาโบลิซึม และป้องกันไม่ให้โลหะหนักบางชนิด เช่น ปรอท และตะกั่ว เป็นพิษต่อร่างกาย ส่วน allithiamine จะช่วยให้ร่างกายใช้วิตามิน B_1 ได้ง่ายขึ้น ซึ่งปฏิกิริยาส่วนใหญ่ในร่างกายต้องพึ่งพาวิตามิน B_1 ทั้งสิ้น (ใกล้หมอ, 2533)

2.2.6. ไนไตรท์ เป็นวัตถุเจือปนที่ใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อ เพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆ คือยับยั้งการเจริญของ C. botulinum ถึงแม้จะมีการศึกษากันอย่างกว้างขวาง กลไกที่แท้จริงในการยับยั้ง C. botulinum ยังไม่ทราบแน่ชัด แต่กลไกที่ได้รับการยอมรับมากที่สุด คือการที่ไนไตรท์ไปทำปฏิกิริยากับสารประกอบที่มีเหล็ก (iron containing compound) ในเซลล์ของสปอร์ที่งอกแล้ว (germinated spore) จึงไปรบกวนกระบวนการเมตาโบลิซึม และยับยั้งการสร้าง toxin (Sofos และ Busta, 1980) การใช้น้ำตาลซูโครส หรือเดกซ์โตรส และการใช้ starter culture ร่วมกับการใช้ไนไตรท์ จะช่วยทำให้ pH ของผลิตภัณฑ์ลดลงอย่างรวดเร็ว และเมื่อ pH ต่ำกว่า 4.6 การเจริญของ C. botulinum จะถูกยับยั้ง (Bacus และ Brown, 1981)

วัตถุประสงค์อีกข้อหนึ่งของการเติมไนไตรท์ คือช่วยในการเกิดสีของผลิตภัณฑ์ โดยไนไตรท์สลายตัวให้ nitric oxide (NO) ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับ myoglobin (Mb) ที่เป็นรงควัตถุในเนื้อสดเป็น nitrosomyoglobin (NOMb) และเมื่อได้รับความร้อน ตั้งแต่ 54 °C ขึ้นไป NOMb จะเปลี่ยนเป็น nitrosohemochrome ซึ่งมีสีชมพูคงตัว ดังรูปที่ 2.4 อย่างไรก็ตาม nitrosohemochrome จะไวต่อแสง และปฏิกิริยาออกซิเดชัน ดังนั้นถ้าเก็บในสภาพที่มีแสง และออกซิเจน สีจะซีดลง (Cahill และคณะ, 1976)

$NaNO_2 + H_2O \xrightarrow{pH\ 5.4 - 6.0} HNO_2 + NaOH$

$3HNO_2 \longrightarrow 2NO + H_2O + HNO_3$

$NO + Mb \longrightarrow NOMb$

$NOMb \xrightarrow{Heat} nitrosohemochrome$

รูปที่ 2.4 ขั้นตอนการเกิดสีในผลิตภัณฑ์เนื้อจากการเติมไนไตรท์

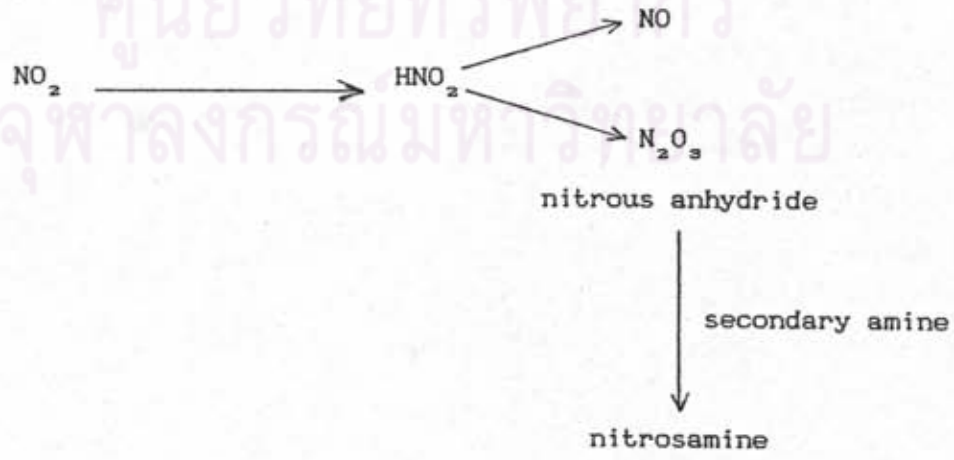
การเพิ่มปริมาณไนไตรท์ ทำให้ pH ของผลิตภัณฑ์สูงขึ้น เนื่องจากไนไตรท์แสดงผลการยับยั้งการเจริญของ lactic acid bacteria ได้ (Houle และคณะ, 1989) นอกจากนี้ ไนไตรท์ยังเป็น antioxidant อย่างอ่อน โดยไปทำปฏิกิริยากับ heme ซึ่งเป็น prooxidant และยังทำให้กรดไขมันไม่อิ่มตัวในเนื้อ และมันหมูเสถียรขึ้น จึงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้น้อยลง (Love, 1983)

การใช้ไนไตรท์ อาจใช้ในรูปของเกลือไนเตรท หรือไนไตรท์ กรณีที่ใส่ไนเตรทเป็น curing agent ไนเตรทจะถูกรีดิวซ์โดยแบคทีเรียในเนื้อให้เป็นไนไตรท์ และอัตราเร็วของปฏิกิริยาการรีดิวซ์นี้จะขึ้นกับชนิด และปริมาณของจุลินทรีย์ ปริมาณเกลือ อุณหภูมิ และ pH จึงเป็นการยากที่จะควบคุมปริมาณไนไตรท์ที่เกิดขึ้น ทำให้เกิดปัญหาปริมาณไนไตรท์ไม่เพียงพอต่อการ

ยับยั้ง หรือมากเกินไปจนทำให้เกิด nitrite burn ดังนั้นจึงนิยมใช้ในรูปของเกลือไนไตรท์ (Cahill และคณะ, 1976)

ปริมาณไนไตรท์ที่ใช้จะมีผลต่อไนไตรท์ตกค้าง ซึ่งจะมีผลต่อความปลอดภัยของผู้บริโภค (ไพบูลย์, 2529) การเก็บผลิตภัณฑ์เนื้อไว้ที่อุณหภูมิห้องจะเร่งให้มีการสลายตัวของไนไตรท์มากกว่าการเก็บในอุณหภูมิแช่เย็น จึงมีปริมาณของไนไตรท์ตกค้างน้อยกว่าการเก็บที่อุณหภูมิแช่เย็น (Lee และ Shimaoka, 1984) แต่อย่างไรก็ตามยิ่ง pH ของผลิตภัณฑ์ต่ำลง ความต้องการไนไตรท์ในการยับยั้งการเจริญของ C. botulinum ก็จะยิ่งลดลง และเมื่อ pH ลดลง 0.2 หน่วย จะทำให้อัตราการเกิดสีเพิ่มขึ้น 2 เท่า และทำให้ไนไตรท์ตกค้างลดลงด้วย เพราะการบรรจุโดยไม่ใช้สุญญากาศออกซิเจนจะเร่งให้มีการสลายตัวของไนไตรท์ตกค้าง และทำให้อายุการเก็บของผลิตภัณฑ์สั้น การใช้แผ่นฟิล์มที่ต้านทานการซึมผ่านของก๊าซสูง ร่วมกับการบรรจุแบบสุญญากาศ อาจรักษาสมบัติของผลิตภัณฑ์ได้ในระดับการใช้ไนไตรท์ที่ต่ำ (ไพบูลย์, 2529) อย่างไรก็ตามปริมาณการใช้ไนไตรท์ในผลิตภัณฑ์เนื้อมีการควบคุมให้ใช้ทั้งหมดได้ไม่เกิน 125 ppm ในรูปโซเดียมไนไตรท์ (พระราชบัญญัติ-อาหาร, 2530)

2.2.7. Sodium erythorbate เป็นตัวเร่งการเกิดสีของผลิตภัณฑ์เนื้อ โดยไปรีดิวซ์ metmyoglobin ซึ่งอยู่ในรูป ferric iron (Fe^{3+}) ให้เป็น myoglobin ในรูป ferrous iron (Fe^{2+}) ซึ่งทำปฏิกิริยาการเกิดสีได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้ erythorbate ยังไปลดการเกิด nitrosamine ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง โดยไปรีดิวซ์ไนไตรท์ให้เป็น nitric oxide (NO) อันเป็นสารที่ไม่เกิดปฏิกิริยา nitrosation ดังรูปที่ 2.5 (Lee และ Shimaoka, 1984; Institute of Food Technologists, 1987)



รูปที่ 2.5 การเกิดสาร nitrosamine ในอาหาร

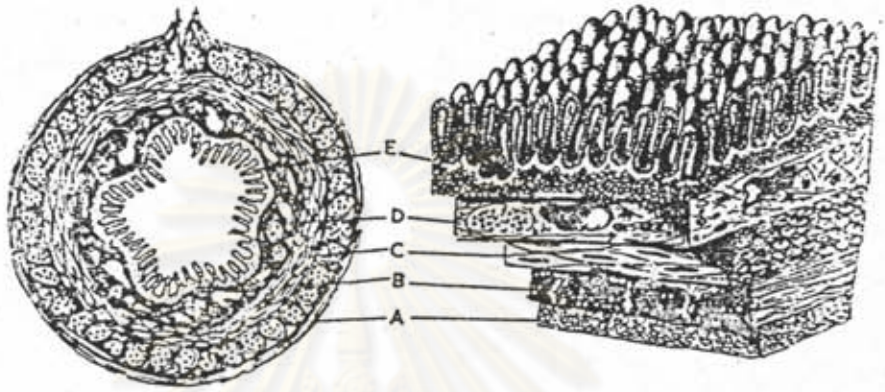
2.2.8. Starter culture คือจุลินทรีย์ที่แยกออกมาจากผลิตภัณฑ์แล้วนำกลับมาเติมลงในส่วนผสมระหว่างการผลิต เพื่อลดเวลาในการหมัก และได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสม่ำเสมอในการผลิตแต่ละครั้ง การใช้ starter culture ทำให้ pH ของผลิตภัณฑ์ลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะไปยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการ เช่น S. aureus ทำให้ผลิตภัณฑ์ปลอดภัยขึ้น (Bacus, 1984; Raccach, 1986) starter culture สำหรับผลิตภัณฑ์ไส้กรอกเปรี้ยวใช้ homofermentative lactic acid bacteria ในรูป lyophilized หรือ frozen form เช่น L. plantarum และ P. acidilactici ซึ่งอาจเป็นใช้เดี่ยวๆ หรือในรูปแบคทีเรียผสม ที่ภาวะเดียวกัน L. plantarum จะสร้างกรดได้มากกว่า P. acidilactici จากการศึกษาเปรียบเทียบระหว่าง lyophilized กับ frozen form ของ P. acidilactici ในการผลิต semi-dry turkey sausage พบว่า การใช้ lyophilized form จะมี lag phase นานกว่า แต่ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity) มากกว่าการใช้ frozen form นอกจากนี้การใช้ starter culture ที่อยู่ในรูป frozen form ยังมีข้อเสียคือ ต้องรักษาสภาพแช่แข็งไว้อย่างสม่ำเสมอ จึงมีความยุ่งยากในการเก็บรักษา การขนส่ง และการนำมาใช้งาน (Keller และ Acton, 1974)

2.3 ไส้บรรจุ

ไส้บรรจุแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ ไส้แท้ และไส้เทียม ซึ่งมีข้อดี และข้อเสียแตกต่างกัน คือ

2.3.1 ไส้แท้ ได้จากลำไส้ของสัตว์ ส่วนที่นำมาเป็นไส้บรรจุ คือ ชั้น submucous coat (รูปที่ 2.6) ซึ่งมีเนื้อเยื่อเกี่ยวพันอยู่อย่างหนาแน่น ทำให้ไส้แท้มีความยืดหยุ่นสูง แต่จะมีขนาดไม่สม่ำเสมอ ฉีกขาดง่าย และยุ่งยากในการเตรียมให้เป็นไส้บรรจุเพราะมีกลิ่นเหม็นคาวมาก นอกจากนี้ยังมีจุลินทรีย์ที่ติดมาจากทางเดินอาหารอยู่เป็นจำนวนมาก ทำให้อายุการเก็บของผลิตภัณฑ์สั้น (Mann, 1962)

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



A คือ ชั้น serous coat

B คือ ชั้น muscular coat ที่ muscle fiber เรียงตัวตามแนวยาวของไส้

C คือ ชั้น muscular coat ที่ muscle fiber เรียงตัวตามแนวเส้นรอบวงของไส้

D คือ ชั้น submucous coat

E คือ ชั้น mucous coat

รูปที่ 2.6 ภาพตัดขวางของไส้ ที่นำมาเตรียมเป็นไส้บรรจุ (Mann, 1962)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3.2 ไส้เทียม ไส้ชนิดนี้มีข้อดี คือ ใช้งานได้ง่าย มีขนาดสม่ำเสมอ มีหลายขนาด สะอาด และมีความแข็งแรง แบ่งออกได้เป็น 4 ชนิด คือ ไส้เซลลูโลส ไส้คอลลาเจนที่บริโภคไม่ได้ ไส้คอลลาเจนที่บริโภคได้ และไส้พลาสติก ไส้เซลลูโลสส่วนใหญ่ทำมาจากใยผ้ายชนิดสั้นที่ติดอยู่กับเมล็ดผ้าย ไส้คอลลาเจน ทำจากเนื้อเยื่อเกี่ยวพันของหนังสัตว์จึงมีความยืดหยุ่นได้เล็กน้อยเมื่อได้รับความร้อน และมีความแข็งแรง ไส้พลาสติกทำจากพลาสติกที่ควันไม่สามารถผ่านเข้าออกได้ จึงใช้กับผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องนำไปรมควันหรือใช้กับผลิตภัณฑ์ที่ทำให้สุกโดยการต้ม (ชัยณรงค์, 2529)

2.4 <u>ภาชนะบรรจุ</u>

ผลิตภัณฑ์เนื้อที่บรรจุในภาชนะบรรจุที่ออกซิเจนซึมผ่านได้มากเมื่อเก็บในระยะเวลาหนึ่งจะมีแบคทีเรียแกรมบวก และยีสต์ มากกว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในภาชนะบรรจุที่ป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจนสูง จึงทำให้มีอายุการเก็บสั้น (Nielsen, 1983) สำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อควรบรรจุในภาชนะบรรจุที่มีการซึมผ่านของออกซิเจนน้อยกว่า 100 ml./m^2 24 h atm ที่ 25 °C ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 75 (Eustace, 1981) จากการศึกษาการใช้แผ่นฟิล์มที่ออกซิเจนซึมผ่านได้น้อยร่วมกับการบรรจุแบบสุญญากาศ พบว่า ตัวอย่างที่บรรจุในระดับสุญญากาศสูงจะมีการเปลี่ยนแปลงของ myoglobin ไปเป็น nitric oxide heme pigment ได้มาก มีการซีดจางของ cured color น้อย และยังทำให้ค่า thiobarbituric acid (TBA) ของผลิตภัณฑ์ต่ำ ซึ่งแสดงว่ามีการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในผลิตภัณฑ์น้อย (Lin และคณะ, 1980)

2.5 <u>กระบวนการผลิต</u>

ตัวแปรที่สำคัญในการผลิตไส้กรอกเปรี้ยว คือ อุณหภูมิ และเวลา จากการศึกษาผลของอุณหภูมิ และเวลาในการหมักของ Acton และคณะ (1972) ซึ่งหมัก summer sausage ที่อุณหภูมิ 22 30 และ 37 °C เป็นเวลา 0-72 ชั่วโมง พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิ และเวลาในการหมักจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณกรด และความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity) เพิ่มขึ้น โดยการหมักที่ 30 °C และ 37 °C ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณกรด และความสามารถในการอุ้มน้ำสูงกว่าการหมักที่ 22 °C ส่วนการยอมรับด้านกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์จะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเวลาในการหมักเพิ่มขึ้นในทุกอุณหภูมิที่ใช้ อย่างไรก็ตามการหมักที่อุณหภูมิทั้งสามระดับในเวลาหนึ่งๆจะให้ผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีความแตกต่างในด้านกลิ่นรส Townsend และคณะ (1983) ได้หมักไส้กรอกเปรี้ยวที่อุณหภูมิ 38 °C เป็นเวลา 24 ชม. ที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 94 และมีลมเป่าผ่านด้วยความ

เร็วระดับต่างๆ โดยเปรียบเทียบการใช้แบคทีเรียธรรมชาติ และ starter culture พบว่า ความเร็วลมไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ pH ปริมาณกรด และการเกิดสีแดง (cured color) ของผลิตภัณฑ์ทั้งที่ใช้แบคทีเรียธรรมชาติ และ starter culture แต่ไส้กรอกที่หมักโดยใช้แบคทีเรียธรรมชาติในห้องที่ไม่มีลมผ่าน เมื่อเวลาในการหมักเพิ่มขึ้นจะมีจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการเจริญที่ผิวนอกในลักษณะเป็นเมือก แต่ถ้าหมักในที่ที่มีลมผ่าน ลมจะทำให้ผิวนอกของไส้กรอกแห้ง ทำให้ปริมาณน้ำที่จุลินทรีย์จะนำไปใช้ประโยชน์ลดลง จึงไม่พบเมือกที่ผิว นอกจากนี้การที่ผิวนอกของไส้กรอกแห้งยังเพิ่มความเข้มของสีในผลิตภัณฑ์ แต่ก็ยังน้อยกว่าการใช้ starter culture เพราะการใช้ starter culture จะทำให้ pH ลดลงได้มาก ซึ่งเป็นสภาพที่ NO ทำปฏิกิริยากับ Mb ได้ดี โดยเฉพาะเมื่อ pH อยู่ในช่วง 5.5-4.5 Lucke (1985) รายงานว่า ก่อนการบรรจุไส้ควรกำจัดออกซิเจนออกจากส่วนผสมให้มากที่สุด เช่นนวดส่วนผสมให้เป็นก้อนกลม เพื่อกำจัดช่องอากาศก่อนใส่ลงในเครื่องบรรจุไส้ เพราะออกซิเจนไปรบกวนการเกิด cured color ของผลิตภัณฑ์ Keller และคณะ (1974) ศึกษาผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไส้บรรจุใน summer sausage พบว่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไส้บรรจุไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ pH และปริมาณกรด แต่เมื่อลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลง ผลิตภัณฑ์จะสูญเสียความชื้นมากขึ้น และค่าแรงเฉือนเพิ่มขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย