บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความสำคัญของไนเตรทและไนไตรท์

ไนเตรทและไนไตรท์ เป็นสารเจือปนในอาหารที่นิยมใช้มากในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ เนื่องจากสาร 2 ชนิดมีบทบาทสำคัญต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์หลายด้าน โดยที่ปัจจุบันยังไม่มีสารใดใช้แทนบทบาทสาร 2 ตัวนี้ได้

บทบาทของไนเตรทและไนไตรท์ในผลิตภัณฑ์

1. บทบาทของเกลือไนเตรทและไนไตรท์ต่อการเกิดสีในผลิตภัณฑ์เนื้อ

ไมโอโกลบิน (Myoglobin) เป็นเม็ดสีแดงในกล้ามเนื้อ สามารถจับ 0_2 ได้เป็น Oxymyoglobinเกิดมีสีแดงเข้มสังเกตได้ในเนื้อที่ถูกตัดมาใหม่ หากปล่อยทิ้งให้ถูกอากาศนาน ๆ จะเกิดการเปลี่ยน โมเลกุลของเหล็กใน heme จาก +2 เป็น +3 ทำให้ metmyoglobin และเนื้อจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลตามชนิดของไมโอโกลบิน ทั้งนี้หากนำเนื้อดังกล่าวไปทำให้สุก myoglobin จะถูกแปรสภาพกลายเป็น myohaemochromogen ซึ่งเป็นสีน้ำตาล ผลิตภัณฑ์ที่ได้ก็จะมีสีน้ำตาลตามนั้น

บทบาทของเกลือไนเตรทและไนไตรท์ต่อการเกิดสีในผลิตภัณฑ์เนื้อ มีผลเนื่องจากการแตกตัวให้สารไนตริกออกไซด์ เพื่อเข้าทำปฏิกิริยากับไมโอโกลบิน (เม็ดสีในเนื้อสัตว์) ซึ่งกลไกในการคงสีแดงในผลิตภัณฑ์เนื้อเป็นดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 NO_3 (ไนเตรท) —[แบคทีเรียที่รีดิวซ์ไนเตรทได้ ดึงออกซิเจนออกไป]→ $NO_2 + O$

ขั้นตอนที่ 2 NO_2 (ไนไตรท์) + $H+$ (อนุมูลไฮโดรเจน) —[แบคทีเรียที่ผลิตกรดแล็คติก]→ HNO_2 (กรดไนตรัส)

ขั้นตอนที่ 3 HNO_2 (กรดไนตรัส) —[สลายตัว]→ NO (ไนตริกออกไซด์) + H_2O (น้ำ)

ขั้นตอนที่ 4 Mb สภาพเหมาะสม MMb
ไมโอโกลบิน ⟶ เมทไมโอโกลบิน

ขั้นตอนที่ 5 NO + MMb สภาพเหมาะสม NOMb
ไนตริกออกไซด์ เมทไมโอโกลบิน ⟶ ไนโตรโซไมโอโกลบิน

ขั้นตอนที่ 6 NOMb + ความร้อนในการอบ ⟶ NO-Haemochrome
ไนโตรโซไมโอโกลบิน การรมควัน ไนโตรโซฮีโมโครม
(สารที่ให้สีชมพูที่คงตัว)

ที่มา : Kramlich และคณะ, 1973

ไนไตรท์สามารถทำปฏิกิริยากับ residual haemoglobin ในกล้ามเนื้อ และ cytochromes แต่ปริมาณของไนไตรท์ที่ถูกตรึงวิธีนี้ไม่มากเพื่อเปรียบเทียบกับที่ยึดกับ myoglobin อย่างไรก็ตาม สามารถจะประเมินได้ว่าปริมาณไนไตรท์ที่นิยมเติมร้อยละ 5-15 จะถูกตรึงด้วยเม็ดสีในเนื้อสัตว์ (วรรณา ตั้งเจริญชัย, 2538) นอกจากการสร้างเม็ดสีแล้ว ไนไตรท์ยังมีความสำคัญต่อความคงตัวของสีในผลิตภัณฑ์ ถึงแม้จะมีในปริมาณเล็กน้อย สีของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ไนไตรท์ ก็ยังคงมีความคงตัวภายใต้การเก็บแบบสูญญากาศและพบว่าสีแดงจะเข้มกว่าเมื่อเก็บในสภาวะสูญญากาศที่ต่ำกว่า สำหรับสารไนเตรทเองไม่มีบทบาทโดยตรงในขบวนการคงสีผลิตภัณฑ์แต่จะถูกเปลี่ยนเป็นไนไตรท์โดยแบคทีเรีย (Nitrate reducing bacteria) ในขั้นตอนการหมักเนื้อก่อนทำเป็นผลิตภัณฑ์ หรืออาจอธิบายได้ว่าไนเตรทเป็นแหล่งสำคัญต่อการเกิดไนไตรท์

การใช้สารไนเตรทและไนไตรท์แต่เดิมใช้เฉพาะดินประสิวที่เป็นเกลือไนเตรทต่อมาพบว่าการแตกตัวของ ไนเตรทให้ไนตริกออกไซด์ช้ามาก และต้องอาศัยจุลินทรีย์บางชนิดในเนื้อสัตว์ช่วยในกระบวนการผลิต ผลิตภัณฑ์เกิดสีแดงต้องใช้เวลานาน การใช้ไนเตรทและไนไตรท์ร่วมกันมีผลต่อการเร่งการแตกตัวทำให้เกิดการแตกตัวให้ไนตริกออกไซด์เร็วขึ้นและมากขึ้น จึงทำให้เกิดสีเร็วและมีไนเตรทเหลือตกค้างในผลิตภัณฑ์น้อยลง (วรรณา ตั้งเจริญชัย, 2538) แต่ถ้ามีการใช้ไนเตรทในการทำผลิตภัณฑ์ ประเภทที่มีการหมักเนื้อสัตว์ด้วยเกลือ (Curing process) ไนเตรทที่ถูกเติมลงไปจะถูกเปลี่ยนให้เป็นไนไตรท์ในระหว่างการหมัก โดยปฏิกิริยาของแบคทีเรีย น้ำตาลกลูโคส หรือวิตามินซี ซึ่งในเนื้อสัตว์ที่มีสภาพเป็นกรดเล็กน้อยนั้น ไนไตรท์ที่เกิดขึ้นจะอยู่ในรูปของ nitrous acid (HNO_2) ซึ่งไม่อยู่ตัว แต่จะสลายให้ nitric oxide (NO) ดังนี้

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

ไนตริกออกไซด์ ที่เกิดขึ้นก็จะไปรวมกับ myoglobin ได้เป็น nitrosomyoglobin หรือ nitric oxide myoglobin มีสีชมพูปนแดง ที่อยู่ตัว (stable) สีนี้ ก็คือสีที่เห็นได้ในอาหารจำพวกเนื้อสัตว์ทั่วไป

เมื่อนำไปทำให้ร้อนระหว่างการผลิต (Cooking) โปรตีนจะถูกแปรสภาพธรรมชาติไปได้เป็น denature globin nitrosohaemochrome ซึ่งมีสีชมพูจาง ๆ

2. เพิ่มรสชาติ (taste) และกลิ่นรส (flavor) แก่ผลิตภัณฑ์ ทำให้มีกลิ่นเฉพาะตัวเป็นที่ยอมรับสำหรับผู้บริโภคมากกว่าการใช้เกลือในการหมักเนื้อเพียงอย่างเดียว มีผู้ศึกษารสชาติของเบคอน พบว่ากลิ่นรสของเบคอนมีมากขึ้นเมื่อใช้ไนไตรท์ร่วมกับน้ำเกลือ และเนื้อหมูที่เติมโซเดียมคลอไรด์ (เกลือแกง) อย่างเดียวให้กลิ่นรสแตกต่างจากเมื่อใช้ร่วมกับไนไตรท์ มีผู้ศึกษารสชาติของเบคอนพบว่ากลิ่นรสของเบคอนมีมากขึ้นเมื่อใช้ไนไตรท์ร่วมกับน้ำเกลือ ศึกษาในแนวทางคล้ายกันในไส้กรอกแฟรงค์เฟอเตอร์ และพบว่าปริมาณไนไตรท์เพียงเล็กน้อยประมาณ 25 ppm. เป็นระดับที่มากพอที่ทำให้เกิดกลิ่นรส ในทางตรงข้ามเมื่อใช้ในระดับสูงขึ้นถึง 300 ppm. กลิ่นรสดังกล่าวถูกทำลาย

3. ไนไตรท์กับคุณภาพทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์

ไนไตรท์มีผลยับยั้งแบคทีเรียโดยเฉพาะในสภาวะที่เป็นกรด ผลการยับยั้งจะมีประสิทธิภาพแต่ทั้งนี้ต้องขึ้นกับปริมาณเกลือ ความเป็นกรดเป็นด่าง(pH) ปริมาณไนเตรทหรือไนไตรท์ จำนวนแบคทีเรีย อุณหภูมิการเก็บ รวมทั้งขึ้นกับผลิตภัณฑ์ดังกล่าวผ่านกระบวนการความร้อนหรือไม่ ที่น่าสนใจคือเมื่อใช้ไนไตรท์ 100 ppm. ในผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อน พบว่ามีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และป้องกันการงอกของสปอร์ของแบคทีเรียที่ไม่ต้องการอากาศโดยเฉพาะพวก*Clostridiumbutulinum (Botulism)* ได้แน่นอน ปริมาณการใช้สารดังกล่าวอาจใช้น้อยลงเมื่อใช้ร่วมกับ sorbic acid

4. คุณสมบัติเป็นสารยับยั้งการหืนของไขมันในผลิตภัณฑ์เนื้อ โดยจะไปยับยั้งปฏิกิริยาการรวมตัวกับออกซิเจนของไขมัน (oxidative rancidity) ซึ่งเป็นสาเหตุการเหม็นหืน คือ ทำหน้าที่ยับยั้งออกซิเดชั่น (antioxidant) ของไขมันนั่นเอง มีผู้ศึกษา TBA-index ซึ่งวัดสภาวะออกซิเดชั่นของไขมัน พบว่า ค่าดังกล่าวค่อนข้างต่ำ สามารถอธิบายได้ว่าไนไตรท์เมื่อทำปฏิกิริยากับ haemic Fe ทำให้อยู่ในสภาพของ ferrous stat มีผลในการลดปริมาณ ferocious ซึ่งมีคุณสมบัติเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชั่น

5. ไนไตรท์กับองค์ประกอบของเนื้อสัตว์

1) ปฏิกิริยากับโปรตีน

นอกจากไมโอโกลบินแล้ว โปรตีนหลายชนิดแสดงศักยภาพที่ทำปฏิกิริยากับไนไตรท์ แต่กล้ามเนื้อประกอบด้วยโปรตีนหลายชนิด ซึ่งมีองค์ประกอบและคุณสมบัติแตกต่างกันจึงไม่สามารถอธิบายหลักการของ Protein – bound nitrite ได้

แต่พบว่าปริมาณไนไตรท์จำนวนมากรวมตัวกับโปรตีนโมเลกุลต่ำโดยไม่ต้องอาศัยหมู่-SH แล้วยังพบว่า 10% ของไนไตรท์ที่เติม รวมตัวกับ myofibrils นอกจากนี้ยังพบว่าหลังจากเติมไนไตรท์ 2 วันพบ 8% ของไนไตรท์ N (nitrite – N) อยู่รวมกับโปรตีนที่ไม่ละลายใน 1.1 N. KI ปริมาณสารประกอบดังกล่าวเพิ่มขึ้นเป็น 23% หลังจากเก็บนาน 20 วัน ดังนั้นส่วนใหญ่ของ nitrite – N อยู่ในส่วนของโปรตีนที่ละลายน้ำ (Water – soluble fraction)

2) ปฏิกิริยากับ adipose tissue

Adipose tissue ประกอบด้วยไขมัน เนื้อเยื่อเกี่ยวพัน และน้ำ พบว่าไม่ทำปฏิกิริยากับไนไตรท์ขณะที่ NO สามารถทำปฏิกิริยากับกรดไขมันไม่อิ่มตัว นอกจากนี้ได้มีการหาความสัมพันธ์ระหว่าง adipose tissue และไนไตรท์ พบว่าไนไตรท์ส่วนใหญ่ที่เติมลงไป 80-90% อยู่ในสภาพอิสระ และ 2-5% อยู่ร่วมกับเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน และปริมาณเล็กน้อยอยู่ร่วมกับไขมัน

นอกจากนี้จากการบ่มกรดไขมันและ โมโน และโตรกลีเซอไรด์ ที่มีความไม่อิ่มตัวแตกต่างกันในการร่วมกันกับไนไตรท์ การรวมตัวของไนไตรท์กับสารประกอบดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับจำนวนพันธะคู่

3) ปฏิกิริยากับคาร์โบไฮเดรต

ปริมาณไกลโคเจนในเนื้อภายหลังจากสัตว์ตายค่อนข้างต่ำ จนไม่เป็นที่น่าสนใจ

4) การสร้างไนเตรทจากไนไตรท์

มีการทดลอง พบว่ามีการสร้างไนเตรทในผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมไนไตรท์ โดย 20% ของไนไตรท์ที่เติมในเนื้อวัวเปลี่ยนไปเป็นไนเตรท และพบว่า 30 % ของไนไตรท์ที่เติมเปลี่ยนไปเป็นไนเตรทในเบคอน และจากการศึกษา model systems ที่มีกรดแอสคอร์บิค และ metmyoglobin พบว่า ไนไตรท์ส่วนใหญ่เปลี่ยนเป็นไนเตรท ในตัวอย่างเนื้อเค็มและเกิดการผลิตไนเตรทในปริมาณที่มากกว่าเนื้อมี ascorbate รวมอยู่ด้วย (วรรณา ตั้งเจริญชัย, 2538)

5) การสร้างแก๊ซ

เกิดได้โดย ไนไตรท์สัมผัสกับกรดอะมิโนทำให้ได้ไนโตรเจน เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์เนื้อแปรรูป และมักเกิดในสภาวะ pH ต่ำ อุณหภูมิสูง

จากการศึกษาการสร้างแก๊ซ พบแก๊ซ NO และ N_2O เมื่อบ่มไนไตรท์กับเนื้อบด รวมทั้งแก๊ซ N_2 แม้ว่าจะเป็นไปอย่างช้า ๆ ต่อมาได้มีนักวิจัยกลุ่มอื่นสนับสนุนเรื่องการพบแก๊ซทั้งสามชนิดโดยพบในช่องว่างที่อยู่บนผลิตภัณฑ์ในภาชนะบรรจุ (head space) ของเนื้อเค็มหลังจากได้รับความร้อน

ไนไตรท์จะใช้ในรูปของโซเดียมไนไตรท์ ($NaNO_2$) มีสีขาว ลักษณะเป็นผงหรือเป็นเม็ดคล้ายเกลือป่น มีรสขมเล็กน้อย ละลายน้ำได้ง่าย จะให้ไนไตรท์อิออนซึ่งสามารถมีคุณสมบัติเป็นทั้ง สารที่ทำปฏิกริยาลดออกซิเจน (reducing agent) และสารที่ทำปฏิกริยาเพิ่มออกซิเจน (oxidizing agent) ได้

ไนเตรท ที่นิยมใช้จะอยู่ในรูปของโพแทสเซียมไนเตรท (KNO_3, ดินประสิว) มีสีขาว ละลายน้ำได้ง่าย พบมากในพืชผัก ที่ใช้ปุ๋ยไนเตรทและในผลิตภัณฑ์เนื้อที่มีการใช้ โพแทสเซียมไนเตรท (ดินประสิว)

ทั้งไนเตรทและไนไตรท์นี้ ถ้าบริโภคเพียงเล็กน้อยจะไม่เป็นอันตรายแก่ร่างกาย แต่ถ้าบริโภคมากจะเป็นพิษต่อร่างกายอย่างร้ายแรง ได้ดังนี้

2.2 ความเป็นพิษของไนเตรทและไนไตรท์

ความเป็นพิษจะเกิดจากไนไตรท์ ส่วนไนเตรทจะถูกเปลี่ยนเป็นไนไตรท์ก่อนจึงจะกลายเป็นพิษได้ ซึ่งมี 2 ลักษณะคือ

2.2.1 ไนไตรท์ที่ตกค้างอยู่ในผลิตภัณฑ์รวมตัวกับเอมีนอิสระในผลิตภัณฑ์ในช่วงการทำให้เนื้อสุก ได้สารชื่อว่า “ไนโตรซามีน” ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง

2.2.2 การรับประทานอาหารที่มีสารไนไตรท์เข้าไปโดยตรง มีลักษณะการเป็นพิษ 2 ประการ คือ

1) การเป็นพิษอย่างรุนแรงเกี่ยวข้องกับไนโตรเจน ที่สามารถเปลี่ยน haemoglobin ของเลือดได้เป็น methaemoglobin ซึ่งเป็นอนุพันธ์ที่ไม่มีความสามารถลำเรียงออกซิเจน จึงเป็นผลให้เกิดภาวะ ไฮปอกเซีย (Hypoxia) ในเนื้อเยื่อ อาการที่แสดงให้เห็นคือ ตัวเขียว อ่อนเพลีย ปวดศีรษะ หัวใจเต้นเร็ว อันเนื่องมาจากขาดออกซิเจน อาการเหล่านี้จะรุนแรงขึ้นและอันตรายมากในเด็ก เคยมีรายงานว่าเด็กทารกเสียชีวิตจากการรับประทานซุปที่เตรียมจากน้ำและผักที่มีปริมาณไนเตรทสูง ซึ่งถูกเปลี่ยนเป็นไนไตรท์ ส่วนอาการในผู้ใหญ่จะไม่รุนแรง ทั้งนี้เพราะในเม็ดเลือดแดงจะมีเอนไซม์ชื่อ NADH–methemoglobin reductace ช่วยเปลี่ยน methaemoglobin ที่เกิดขึ้นให้กลายเป็น haemoglobin ได้อีก แต่ในเด็กเล็ก เอนไซม์นี้ยังไม่มีครบสมบูรณ์ จึงทำให้เกิด methaemoglobinemia ได้ อย่างไรก็ดี หากปริมาณของ methaemoglobin สูงมาก ๆ ในกระแสเลือด

เอนไซม์ดังกล่าวก็ไม่สามารถเปลี่ยน methaemoglobin เป็น haemoglobin ได้หมด ก็จะยังทำให้เกิดภาวะ methaemoglobinemia ได้ในผู้ใหญ่

2) ไนไตรท์ที่รับประทานเข้าไปจะทำปฏิกิริยากับ secondary และ tertiary amines ในร่างกายได้สารไนโตรซามีน ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งที่รุนแรงที่สุดต่อคน แม้สารไนไตรท์ที่รับประทานเข้าไปจะมีเพียงเล็กน้อยก็ตาม ได้มีการทดลองพบว่าปริมาณน้อยที่สุดของไนไตรท์สามารถก่อให้เกิดสารไนโตรซามีนในสัตว์ทดลอง คือ 20 มิลลิกรัมต่อการกินผลิตภัณฑ์ 1 กิโลกรัม (อุษณี วินิจเขตคำนวณ, พูลศักดิ์ สัมภาวะผล และ ไมตรี สุธีจิตต์, 2522)

2.3 สารไนโตรซามีน (N-Nitrosamine)

นักวิทยาศาสตร์เชื่อกันว่าไนโตรซามีนเป็นสารเคมีที่ทำให้เกิดมะเร็งได้และพบว่าการเกิดไนโตรซามีนอาจเกิดจากกรดไนตรัสที่เกิดจากการแตกตัวของไนไตรท์รวมตัวกับเอมีน สำหรับสารไนเตรทเองไม่มีบทบาทโดยตรงในขบวนการสังเคราะห์สารไนโตรซามีน แต่จะถูกเปลี่ยนเป็นไนไตรท์โดยแบคทีเรีย (Nitrate reducing bacteria) ในขั้นตอนการหมักเนื้อก่อนทำเป็นผลิตภัณฑ์ หรืออาจอธิบายได้ว่าไนเตรทเป็นแหล่งสำคัญต่อการเกิดไนไตรท์ ซึ่งปริมาณไนไตรท์ที่เกิดจากสารไนเตรทขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น อุณหภูมิ จำนวนแบคทีเรีย ความเป็นกรดเป็นด่าง ซึ่งการที่จะควบคุมให้ได้ในสภาวะที่เหมาะสมทำได้ไม่ง่ายนัก

ไนโตรซามีนเป็นกลุ่มของสารประกอบอีกชนิดหนึ่งที่เกิดขึ้นระหว่างการแปรรูป หรือการหุงต้มอาหาร มีสมบัติเป็นสารก่อมะเร็งที่รุนแรงที่สุดต่อคน และระเหยได้ง่าย แบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ

1. ไซคลิกไนโตรซามีน (cyclic nitrosamine) ในโมเลกุลมีวงแหวนเฮเตอโรไซคลิก (heterocyclic ring) เช่น เอ็น-ไนโตรโซพิเพอริดีน (N-nitrosopiperidine,NPIP) และ เอ็นไนโตรโซไพร์โรลิดีน (N-nitrosopyrrolidine, NPYR)

2. ไดแอลคิลไนโตรซามีน (dialkyl nitrosamine) มีโครงสร้างหลักเป็น $R_1 - N\text{-}N = O$ ตัวอย่างเช่น เอ็น-ไนโตรโซไดเมทิลามีน (N-nitrosodimethylamine, NDMA) และ เอ็นไดเอทิลไนโตรซามีน (N-diethylnitrosamine) พบได้ในอาหารหลายชนิด

3. อะซิลแอลคิลไนโตรซามีน (acylalkyl nitrosamine) หรือ ไนโตรซาไมด์ (nitrosamide) เช่น เอ็น-ไนโตรโซไทอะโซลิดีน (N-nitrosothiazolidine)

ไนโตรซามีนแต่ละชนิดจะมีผลทำให้เกิดเนื่องอก(มะเร็ง)ได้ที่อวัยวะแตกต่างกัน ดังแสดงในตาราง 2.1

ตาราง 2.1 อวัยวะต่างๆที่เกิดเนื้องอกจากไนโตรซามีนชนิดต่างๆ

อวัยวะที่เกิดเนื้องอก	สารประกอบไนโตรซามีน
ผิวหนัง	เมทิลไนโตรโซยูเรีย
จมูก	ไดเอทิลไนโตรซามีน
โพรงจมูก	ไดเมทิลไนโตรซามีน
ลิ้น	ไนโตรโซเฮกซะเมทิลลีนอิมีน
หลอดคอ	ไนโตรโซเฮพตะเมทิลลีนอิมีน
กระเพาะ	เอทิลบิวทิลไนโตรซามีน
ลำไส้เล็ก	เมทิลไนโตรโซยูเรีย
ปอด	ไดเอทิลไนโตรซามีน
ตับ	ไดเอทิลไนโตรซามีน
ตับอ่อน	ไนโตรโซเมทิลยูรีเทน
ไต	ไดเมทิลไนโตรซามีน
กระเพาะปัสสาวะ	ไดบิวทิลไนโตรซามีน
สมอง	เมทิลไนโตรโซยูเรีย
ไขสันหลัง	ไนโตรโซไตรเมทิลยูเรีย
ไทมัส	ไนโตรโซไตรโซบิวทิลยูเรีย
ต่อมน้ำเหลือง	เอทิลไนโตรโซยูเรีย
หลอดน้ำเหลือง	ไนโตรโซมอร์โฟลีน

ที่มา : (นิธิยา รัตนาปนนท์ และวิบูลย์ รัตนาปนนท์, 2543)

ไนโตรซามีนเกิดขึ้นได้ทั้งภายในและภายนอกร่างกาย

การเกิดสารไนโตรซามีน (N-Nitrosamine) อาจเกิดขึ้นได้ 2 กรณีดังนี้คือ

1. กรดไนตรัสทำปฏิกิริยากับ secondary amine ที่อาจมีอยู่ในเนื้อสัตว์ทำให้เกิดสารไนโตรซามีน

สารเริ่มต้นจะเป็นเอมีน เอไมด์และไนไตรท์ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมีขั้นตอนดังนี้

เอมีน กรดไนตรัส ไนโตรซามีน

ไนตรัสแอนไฮไดร์ (N_2O_3) เกิดจากการรวมตัวของกรดไนตรัส 2 โมเลกุล

ไนตรัสแอนไฮไดรด์

ไนไตรท์ที่เติมลงในอาหารจะถูกเปลี่ยนให้เป็นไนตรัสแอนไฮไดรด์ ซึ่งมีสมบัติในการทำปฏิกิริยากับเอมีนอิสระก่อให้เกิดปฏิกิริยาการสร้างสารไนโตรซามีนได้ หรือเรียกว่าปฏิกิริยาไนโตรเซชัน (nitrosation) ทำให้ได้สารไนโตรซามีน

เอมีนในผลิตภัณฑ์เนื้อเป็นสารประกอบที่เกิดจากกรดอะมิโนบางชนิด เช่น กรดอะมิโนโพรลีน ไทโรซีน ทริพโตแฟน และฟีนิลอะลานีนที่เปลี่ยนเป็นไทรามีน ทริพตามีนและฟีนิลเอทิลลามีนตามลำดับ

นอกจากนี้ ในเบียร์เชื่อกันว่ามีเอมีนธรรมชาติ เช่น ไดเมทิลามีน (dimethylamine) ไตรเมทิลามีน (trimethylamine) ฮอร์ดีนีน (hordenine) และ กรามีน (gramine) ซึ่งเป็นสารเริ่มต้นของเอ็นไนโตรโซไดเมทิลามีน ซึ่งจะเกิดขึ้นระหว่างการอบแห้งดอกฮอบที่ใช้ทำเบียร์ (kilning process)

2. ปฏิกิริยาการเติมกลุ่มไนตริกออกไซด์(Nitrosation) กับโปรตีนโพรลีนอิสระที่มีอยู่มากในหมูสามชั้น โดยกรดอะมิโนโพรลีนจะเกิดปฏิกิริยาไนโตรเซชั่นและดีคาร์บอกซิเลชั่น(decarboxylation) ได้เป็นเอ็น-ไนโตรโซไพร์โรลิดีน (N-nitrosopyrolidine) และเอ็น-ไนโตรโซไทอะโซลิดีน (N-nitrosothiazolidine) ซึ่งจะเกิดขึ้นในชิ้นเบคอนระหว่างการทอดที่อุณหภูมิสูง

การสังเคราะห์สารเอ็น-ไนโตรโซไพร์โรลิดีนจากกรดอะมิโนโพรลีนยังเกิดขึ้นได้ขณะทอด ปิ้ง หรือเผาอาหารประเภทโปรตีนอื่น ๆ สารเอ็น-ไนโตรโซไพร์โรลิดีน ในผลิตภัณฑ์เนื้อที่มีปริมาณ 1.5 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม จะเพิ่มขึ้นเกือบ 10 เท่า เป็น 15.4 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ระหว่างการทอดและการปิ้งหรือย่าง ปริมาณไนโตรซามีนทั้งหมดที่ได้รับจากอาหารในแต่ละวันประมาณ 1ไมโครกรัมเป็นสารเอ็น-ไนโตรโซไดเมทิลามีน และเอ็น-ไนโตรโซไพร์โรลิดีนอย่างละ 0.1ไมโครกรัม ซึ่งปริมาณไนโตรซามีนทั้งหมดนี้ หมายถึง ปริมาณที่ได้รับจากอาหาร รวมกับปริมาณที่เกิดขึ้นภายในร่างกาย และรวมถึงการได้รับสารไนเตรทไอออน ซึ่งมีอยู่ในอาหารทั่วๆไปด้วย (นิธิยา รัตนาปนนท์ และ วิบูลย์ รัตนาปนนท์, 2543)

และกรดไทอะโซลิดีนคาร์บอกซิลิก (thiazolidine carboxylic acid) ตามลำดับ ซึ่งจะเกิดปฏิกริยาไนโตรเซชันอย่างต่อเนื่องได้

การบริโภคอาหารที่มีไนเตรทเข้าสู่ร่างกาย โดยเฉพาะพืชผักที่ใช้ปุ๋ยไนเตรท เช่น กะหล่ำปลี ดอกกะหล่ำ แครอท เซเลอรี ผักโขม ผักใบ และพืชหัว ผักบางชนิดมีปริมาณไนเตรทสูงมาก เช่น ผักโขมมีไนเตรต 3,100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม นอกจากนี้ยังพบไนเตรทเหลือตกค้างในดินและมีอยู่ในน้ำดื่มบางแหล่งด้วย ปริมาณไนเตรทต่ำสุดที่ร่างกายควรได้รับ คือ 75 มิลลิกรัมต่อคนต่อวัน ในอาหารไม่ควรมีไนเตรทเกิน 1,000–3,000 ส่วนต่อล้านส่วน (ppm.) (นิธิยา และ วิบูลย์ รัตนาปนนท์, 2543)

การเกิดไนโตรซามีนในระบบทางเดินอาหาร เกิดจากแบคทีเรียเปลี่ยนไนเตรทให้เป็นไนไตรท์ เมื่อมีไนไตรท์เพิ่มมากขึ้นจะเกิดปฏิกิริยาสร้างสารไนโตรซามีนได้ คือเมื่อไนเตรทเข้าสู่ร่างกาย จะถูกเปลี่ยนเป็นไนไตรท์โดยเชื้อจุลินทรีย์ที่อยู่ในน้ำลายในปากและลำไส้เล็ก โดยจะทำให้เกิดปฏิกิริยาไนโตรเซชัน ในกระเพาะซึ่งมีภาวะเป็นกรด สำหรับสารที่ช่วยยับยั้งปฏิกิริยาการสังเคราะห์ไนโตรซามีน คือวิตามินซี โดยวิตามินซีจะทำปฏิกิริยากับไนไตรท์ได้เป็นไนตริกออกไซด์ และกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก และไนไตรท์จะถูกเปลี่ยนเป็นไนโตรเจนออกไซด์ นอกจากนี้ วิตามินอีสามารถทำหน้าที่แทนวิตามินซีได้

ปัจจัยที่กระทบต่อการสังเคราะห์ไนโตรซามีน คือ

1) ความเข้มข้นของสารไนไตรท์ที่เหลืออยู่

2) ปริมาณส่วนที่เป็นเนื้อแดงและเนื้อเยื่อไขมันในผลิตภัณฑ์เนื้อ

3) วิธีการปรุงอาหารและอุณหภูมิที่ใช้

4) ปริมาณสารยับยั้งปฏิกิริยาการสังเคราะห์ไนโตรซามีน เช่น วิตามินซี วิตามินอี

ศักยภาพที่ไนไตรท์จะเป็นสารก่อมะเร็ง หรือ carcinogenic โดยตรง นั้นยังมีความขัดแย้งกันอยู่ การสร้าง nitrosatmines ซึ่งมีคุณสมบัติเป็น carcinogenic มีความเป็นไปได้ การเกิดปฏิกิริยาสังเคราะห์ไนโตรซามีนดังกล่าวสามารถเกิดก่อนการบริโภค และระหว่างกระบวนการย่อยอาหาร ดังนั้นการใช้ไนเตรทหรือไนไตรท์เติมในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ อาจก่อให้เกิดสารที่ทำให้เกิดมะเร็งขึ้นได้ในผู้บริโภค ถ้าใช้ในปริมาณที่มากเกินไป

โดยทั่วไปปริมาณไนไตรท์ที่เติมเข้าไปในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ทั้งหมดนั้น จะไปทำปฏิกริยาต่างๆ ดังนี้

ปริมาณไนไตรท์ (เปอร์เซ็นต์)

5-15	รวมกับ SH-gr (sulphydryl-gr) ในส่วนของโปรตีน
1-5	รวมกับส่วนของไขมัน
5-15	รวมกับไมโอโกลบิน
20-30	รวมกับส่วนของโปรตีนและให้กลิ่นรส
1-10	คงอยู่ในรูปไนไตรท์และสามารถทำปฏิกริยาได้
	ถูกเปลี่ยนเป็นไนเตรทและคงอยู่ในเนื้อนั้นๆ
1-5	สูญหายไปในรูปแก๊ส
5-20	(reactive)

ที่มา : ลักขณา รุจนะไกรกานต์, 2533

เราทราบแล้วว่าปริมาณไนไตรท์ที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์เนื้อประเภทหมักเกลือ จะช่วยให้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีที่ต้องการ แต่ถ้าไม่มีส่วนไนไตรท์เหลืออยู่เลย กรณีเช่นนี้ก็จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีจางลง ๆ อย่างรวดเร็ว จึงจำเป็นต้องให้มีไนไตรท์เหลืออยู่บ้างในปริมาณเล็กน้อย เช่นในเนื้อที่ทำให้สุกแล้ว ควรมีปริมาณอย่างต่ำประมาณ 10 ส่วนในล้านส่วน (ppm) ก็จะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีที่คงตัวและเป็นที่ชื่นชอบของผู้บริโภคต่อไป (ลักขณา รุจนะไกรกานต์, 2533)

ในการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณไนไตรท์ที่เหลือนั้น ยังไม่มีวิธีใดที่ได้ผลเป็นที่น่าพอใจ แต่มีวิธีที่สามารถคำนวณได้ในระดับปริมาณต่ำสุดและสูงสุด ซึ่งหลักในการนำไปคำนวณให้พิจารณาจากปัจจัยดังต่อไปนี้คือ..

ก. จำนวน 25 – 50 เปอร์เซ็นต์ ของไนไตรท์ที่เติมลงไป จะไม่พบในรูปไนไตรท์ทันทีที่เติมในสูตรที่เตรียมในอาหารเนื้อนั้น ๆ

ข. เมื่อนำอาหารเนื้อนั้น ๆ ไปทำให้สุกจะพบว่าไนไตรท์สูญสลายไป 20 – 80 เปอร์เซ็นต์

ค. การสูญสลายของสารไนไตรท์จะค่อย ๆ เป็นไปเรื่อย ๆ ในช่วงการเก็บผลิตภัณฑ์นั้น ๆ จากข้อมูลเบื้องต้นเราสามารถคำนวณปริมาณไนไตรท์ในแง่ต่าง ๆ ได้ดังนี้ ..

ก. ถ้าหากไม่เพิ่มปริมาณไนไตรท์ในปริมาณ 200 ส่วนในล้านส่วน และถ้าสูญสลายไป 25 เปอร์เซ็นต์ ถึง 50 เปอร์เซ็นต์

- จำนวนไนไตรท์ที่หายไป [25/100] * 200 = 50 ส่วน
  และ [50/100] * 200 = 100 ส่วน
- ดังนั้น ปริมาณที่เหลืออยู่คือ (200 – 50) = 150 ส่วน
  และ (200 – 100) = 100 ส่วน

ข. เมื่อทำให้เนื้อสุกในภายหลัง จากข้อมูลที่ว่าไนไตรท์สูญสลายไป 20 – 80 เปอร์เซ็นต์ จะได้ค่าที่สูญสลายและค่าที่เหลือดังนี้ ..

- ถ้าสูญสลายไป 20 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่สูญสลายไป = [20/100]*150 = 30 จึงเหลืออยู่ (150 – 30) = 120 ส่วนในล้านส่วน ถ้าสูญสลาย 80 เปอร์เซ็นต์ จะสูญไปและเหลืออยู่ในปริมาณ [80/100]*150 = 120 และ (150 – 120) = 30 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ
- ในปริมาณ 100 ส่วนในล้านส่วนที่เหลืออยู่ ภายหลังเนื้อสุกถ้าหากสูญสลาย 20 เปอร์เซ็นต์ และ 80 เปอร์เซ็นต์ ก็จะสูญสลายและคงอยู่ในปริมาณดังนี้ [20/100]*100 = 20, และเหลืออยู่ (100- 20) = 80 ส่วนในล้านส่วน [80/100]*100 = 80, และเหลืออยู่ (100 – 80) = 20 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ

ที่มา : ลักขณา รุจนะไกรกานต์, 2533

ปริมาณไนไตรท์ที่เหลือในผลิตภัณฑ์เป็นสิ่งที่เป็นพิษต่อสุขภาพ ดังนั้นสำนักงานอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุขจึงกำหนดปริมาณการใช้ไว้ดังนี้

2.4 ข้อกำหนดของการใช้ไนเตรทและไนไตรท์

ปริมาณไนเตรท ให้ใช้ได้ไม่เกิน 500 ppm

ปริมาณไนไตรท์ ให้ใช้ได้ไม่เกิน 125 ppm

ถ้าใช้ทั้ง 2 ชนิดผสมกัน ต้องไม่เกิน 125 ppm

การลดอันตรายของไนโตรซามีนทั้งที่ได้รับจากภายนอกและภายในร่างกายทำได้ดังนี้

1. ลดการบริโภคผลิตภัณฑ์เนื้อที่เติมเกลือไนเตรทและไนไตรท์
2. ลดการบริโภคผักที่มีปริมาณไนเตรทสูง
3. เติมสารยับยั้งปฏิกิริยาไนโตรเซชั่น เช่น วิตามินซี และวิตามินอี

แต่การลดอันตรายของไนโตรซามีน โดยการลดการบริโภคอาหารที่มีไนเตรทหรือไนไตรท์นั้นเป็นวิธีที่สร้างความกดดันแก่ผู้บริโภค ดังนั้นวิธีที่ดีกว่า คือ การใช้สารยับยั้งปฏิกิริยาไนโตรเซชั่นในอาหารที่มีไนเตรทหรือไนไตรท์ สำหรับไส้กรอก การใช้วิตามินซีเติมลงในขั้นตอนการผลิตเพื่อวัตถุประสงค์ดังกล่าวจะให้ผลดีกว่า เพราะนอกจากวิตามินซีจะช่วยยับยั้งปฏิกิริยาไนโตรเซชั่นแล้วยังให้ผลดีอื่นๆอีกหลายประการดังนี้คือ

1. ช่วยให้สีของผลิตภัณฑ์ดีขึ้นและมีความคงตัว
2. ช่วยให้กลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ดีขึ้น

3. ชลอปฏิกิริยาออกซิเดชั่น ที่เป็นสาเหตุการเหม็นหืนในผลิตภัณฑ์ให้ช้าลง

4. เร่งปฏิกิริยาการเกิดสี (คงสี) ในผลิตภัณฑ์ให้เร็วขึ้น

5. ช่วยเสริมประสิทธิภาพของสารประกอบไนไตรท์ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของ *Bacillus cereus* และ *Clostridium botulinum* (เชื้อโรคอาหารเป็นพิษ)

6. ลดปริมาณอนุมูลไนไตร์ทในผลิตภัณฑ์

7. ช่วยให้ไนไตร์ทถูกใช้ประโยชน์เต็มที่และสลายตัวได้หมดโดยขึ้นกับปริมาณที่ใช้ด้วย (เพ็ญศรี จูงศิริวัฒน์,2541)

วิตามินซีหรือ L – ascorbic acid เป็นสารที่รู้จักกันอย่างกว้างขวาง โครงสร้างประกอบด้วย steriochemical isomer อีก 3 ชนิด แต่มีไอโซเมอร์เพียงชนิดเดียวที่มีความสำคัญในอุตสาหกรรมอาหาร คือ D–isoascobic acid เพื่อป้องกันความสับสนจึงเรียก D–isoascorbic acid ว่า erythorbic acid ส่วน sodium – isoascorbic acid เรียกว่า sodium erythorbate เนื่องจากวิตามินซีมีราคาแพง จึงมีผู้นำสารโซเดียมอิริทธอเบท (sodium erythorbate)มาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารแทนวิตามินซี

2.5 โซเดียมอิริทธอเบท (Sodium erythrobate)

เป็นสารอนุพันธ์ของวิตามินซี และยังคงฤทธิ์ของวิตามินซีอยู่ โดยมีฤทธิ์น้อยกว่าประมาณ 20 เท่า ถึงแม้ว่าสารประกอบทั้งสองมีคุณสมบัติคล้ายคลึงกัน แต่ก็ยังมีคุณสมบัติหลายประการที่แตกต่างกัน นอกจากจะแตกต่างกันทางโครงสร้างทางเคมี(steriochemical configuration) แล้วยังมีความแตกต่างอื่นๆอีก ดังนี้ คือ..

1) กรดอิริทธอบิกเป็นสารที่ไม่ได้เกิดขึ้นในอาหารตามธรรมชาติ แต่ผลิตได้จาก Ca–2-keto-d-gluconate ด้วยกระบวนการหลายขั้นตอน

2) กิจกรรมทางชีวภาพของกรดอิริทธอบิก (antiascorbic) น้อยกว่ากรดแอสคอร์บิก 20 เท่า จึงไม่สามารถใช้เป็นสารเสริมคุณภาพ (enrichment) หรือ fortification ในอาหาร

3) เนื่องจากกรดอิริทธอบิกมีความคล้ายคลึงกันในทางเคมีกับกรดแอสคอร์บิกจึงสามารถเข้าแทรกแซงในกิจกรรมทางชีวภาพของกรดแอสคอร์บิกหลายอย่าง เช่น ทำให้เนื้อเยื่อดูดซึมกรดแอสคอร์บิกได้น้อยลง ดังนั้น ส่งผลให้การเก็บรักษากรดแอสคอร์บิกในเนื้อเยื่อลดลงด้วย (ตับตับอ่อน ไต และต่อมอะดรีนัล)

4) คุณสมบัติต่าง ๆ ทางกายภาพ ดังแสดงใน ตาราง 2.2

ตาราง 2.2 คุณสมบัติต่าง ๆ ทางกายภาพของกรดแอสคอร์บิกและกรดอิริทธอบิก

คุณสมบัติต่าง ๆ ทางกายภาพ	กรดแอสคอร์บิก	กรดอิริทธอบิก
Molecular weight		
Free acid	176.13	176.13
Na salt	198.11	216.12
Melting point		
Free acid	190-192 ^{o}C	164-169 ^{o}C
Na salt	200 ^{o}C	200 ^{o}C
Solubility (g/100 ml H_2O. 25 ^{o}C)		
Free acid	30	40
Na salt	77	16
Plane rotation	+21 ^{o}C	- 17 ^{o}C
Taste	Acid	Slight acid

ที่มา : มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด,2539

5) ความแตกต่างในพฤติกรรมทางเคมีที่สังเกตได้ในสารละลายที่ทดลอง พบว่า กรดอิริท - ธอบิกเกิดปฏิกริยาการเติมออกซิเจนได้รวดเร็วกว่ากรดแอสคอร์บิก และการสลายตัวของกรดอิริทธอบิกในปฏิกริยาต่อต้านการเติมออกซิเจน (antioxidant) จะเกิดได้รวดเร็วกว่ากรดแอสคอร์บิกในสารละลายกรดที่มี Fe^{+3} อิออน อยู่ด้วย

พฤติกรรมทางเคมีที่แตกต่างกันซึ่งพบในการทดลองทำให้ยืนยันได้ว่า การใช้กรดอิริทธอบิกในผลิตภัณฑ์อาหารได้รับผลกระทบเช่นเดียวกันเพราะว่ากรดอิริทธอบิกสามารถสลายตัวได้รวดเร็วกว่ากรดแอสคอร์บิก ฉะนั้นกรดอิริทธอบิกจึงให้ผลในการคุ้มครองอาหารได้น้อยกว่ากรดแอสคอร์บิกซึ่งเป็นสารต่อต้านการเติมออกซิเจน (antioxidant) ที่ดีเลิศ โดยเฉพาะการใช้กรดแอสคอร์บิกในกระบวนการแปรรูปที่ผ่านความร้อน แต่ก็มีราคาสูงกว่ากรดอิริทธอบิกค่อนข้างมาก

ในการทำผลิตภัณฑ์เนื้อประเภทอิมัลชันการใช้โซเดียมอิริทธอเบทที่ระดับการใช้ไม่เกิน 5.5 กรัม ต่อเนื้อผสม 1 กิโลกรัม นับเป็นระดับที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด (ชัยณรงค์, 2529) ส่วนในน้ำเกลือที่ใช้แช่เบคอน สันนอกและแฮมให้ใช้ไม่เกิน 5.45 กรัม/ลิตร และให้ใช้สารนี้ในรูปสารละลายได้ในอัตราร้อยละ 10 พ่นที่ผิวหน้าของเนื้อในช่วงของการบรรจุ ส่วนการอนุญาตการใช้

สารนี้ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ อนุญาตให้เติมใส่ในส่วนผสมของเนื้อผลิตภัณฑ์ไม่เกิน 8.75 กรัมต่อเนื้อผสม 1 กิโลกรัม (8750 ppm) (ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2541)

ถ้าหากผู้ใช้สารนี้ไม่เป็นไปตามที่ระบุไว้ ระหว่างการผลิตในสภาวะอุณหภูมิสูงและน้ำเกลือที่ใช้มีสภาวะเป็นกรดจะทำให้ไนตริกออกไซด์เกิดขึ้นในปริมาณที่สูงมาก และถ้าหากปะปนอยู่ในบรรยากาศจะทำให้เกิดพิษแก่สุขภาพของคนเราได้ โดยเกิดจากการสูดอากาศที่มีไนตริกออกไซด์เข้าไปในร่างกาย มีรายงานกล่าวไว้ว่าไนตริกออกไซด์ ปริมาณ 5-80 ppm. จะมีผลทำให้หลอดเลือดในปอดขยายตัวและทำให้ haemoglobin ขนส่งออกซิเจนช้าลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งมีผลก่อให้เกิดเป็นโรคปอดที่ร้ายแรงได้ นอกจากนี้ ไนตริกออกไซด์ยังมีผลในการลดปริมาณของไนไตรท์ ซึ่งทำให้ความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาระหว่างการบ่มของเนื้อลดลงด้วย (Martin Feelisch & Jonathan S. Stamler, 1996)

2.6 ไส้กรอก

เป็นผลิตภัณฑ์เนื้อประเภทหนึ่ง ที่มีแนวโน้มได้รับความนิยมจากผู้บริโภคมากขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจาก เป็นอาหารประเภทโปรตีน ที่มีรสชาติถูกปาก สามารถหาซื้อและปรุงเป็นอาหารได้ง่าย สะดวก รวดเร็ว เหมาะกับสภาพสังคมที่เร่งรีบอย่างปัจจุบัน ประกอบกับมีการลื่นไหลของวัฒนธรรมการรับประทานของชาวตะวันตกในเรื่องการนิยมบริโภค ไส้กรอก

ไส้กรอกมีหลายชนิด แตกต่างกันตามส่วนประกอบของเนื้อสัตว์ เครื่องเทศ ไส้บรรจุ และรูปร่าง สำหรับส่วนประกอบของไส้กรอกไม่มีสูตรที่แน่นอน ขึ้นอยู่กับผู้ผลิตและรสนิยมของแต่ละประเทศ แต่ส่วนประกอบใหญ่ๆย่อมเหมือนกัน สามารถแบ่งเป็นประเภทใหญ่ๆได้ 3 ประเภทตามลักษณะโครงสร้างภายใน ดังนี้คือ

2.6.1 ไส้กรอกบดหยาบ หมายถึง ไส้กรอกที่เนื้อถูกบดทำให้ขนาดลดลงไป แต่ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงจนถึงระดับเส้นใยกล้ามเนื้อ ได้แก่ กุนเชียง ไส้กรอกอิสาน เป็นต้น

2.6.2 ไส้กรอกบดละเอียด หมายถึง ไส้กรอกที่เนื้อถูกบดและผ่านการสับจนละเอียดถึงระดับเส้นใยกล้ามเนื้อ ได้แก่ ลูกชิ้น

2.6.3 ไส้กรอกบดละเอียดอิมัลชั่น หมายถึง ไส้กรอกที่เนื้อถูกบดและผ่านการสับละเอียดจนถึงระดับเส้นใยกล้ามเนื้อโดยการบดและสับเนื้อสัตว์ พร้อมกับน้ำ ไขมัน จนส่วนผสมแปรเปลี่ยนเป็นมวลเหนียว ซึ่งเป็นลักษณะของส่วนผสมที่เรียกว่า อิมัลชั่น ได้แก่ ไส้กรอกเวียนนา แฟรงค์เฟอเตอร์ โบลอกน่า ฮอทดอก คแนคเวอร์ท บราทเวอร์ท และคาล์บบราทเวอร์ท เป็นต้น

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ดวงพร วินิจกุล ดวงพร เหลี่ยวไชยพันธุ์ และวราภรณ์ ปัณณวลี (2528) ได้ทำการศึกษาโดยการตรวจหาปริมาณไนเตรทและไนไตรท์ในอาหารประเภทเนื้อสัตว์ที่ขายในอำเภอเมืองจังหวัดเชียงใหม่ จำนวน 8 ชนิด ๆ ละ 10 ตัวอย่าง ได้ผลดังนี้

ชนิดตัวอย่าง	ปริมาณไนเตรท (ppm.)	ปริมาณไนไตรท์ (ppm.)
เนื้อเค็ม	7.32-1753.56	14.09-308.62
ปลาเค็ม	ตรวจไม่พบ	ตรวจไม่พบ
กุ้งแห้ง	0.00-9.20	1.60-17.43
ไส้กรอก	2.85-35.54	3.92-137.57
แหนม	0.00-53.76	1.89-56.76
กุนเชียง	0.00-116.10	1.82-5.59
ไตปลา	0.00-233.09	7.05-32.25
หมูยอ	ตรวจไม่พบ	ตรวจไม่พบ

เกษร นันทจิต และ ดวงพร วินิจกุล (2537) ได้ทำการศึกษาปริมาณไนเตรทและไนไตรท์ในผักสดที่ซื้อจากจากตลาดในจังหวัดเชียงใหม่ โดยเก็บตัวอย่างจำนวน 33 ชนิด และผักที่ปลูกเองโดยไม่ใช้ปุ๋ยวิทยาศาสตร์จำนวน 4 ชนิด พบว่าผักสดที่ซื้อ 18 ชนิด และผักที่ปลูกเอง 3 ชนิดมีปริมาณไนเตรทสูงกว่าเกณฑ์ที่ อ.ย กำหนด (500 ppm.) สำหรับปริมาณไนไตรท์ พบว่า มีปริมาณน้อยมากดังตาราง 2.3 และ 2.4

ตาราง 2.3 ปริมาณไนเตรทและไนไตรท์ในผักสดที่ซื้อจากตลาดจังหวัดเชียงใหม่

ชนิดของผัก	ปริมาณไนเตรท (ppm.) แหล่งที่ซื้อ			ปริมาณไนไตรท์ (ppm.) แหล่งที่ซื้อ		
	1	2	3	1	2	3
คะน้า	5195	5677	6119	19	15	-
ขึ้นฉ่าย	2194	5167	4633	-	-	-
โป๊ยเล้ง	1732	1650	4633	-	-	-
กวางตุ้ง	2873	2145	3133	-	-	-
หัวไช้เท้า	3023	2182	744	-	-	-
ผักชี	977	2358	2653	6	2	2
กุยฉ่าย	2534	1126	1000	-	16	-
ผักกาดขาว	2170	2356	254	-	-	-
ผักตั้งโอ๋	540	627	1958	-	-	-
ผักกาดหอม	1597	690	1110	-	-	-
ต้นหอม	1391	1390	914	-	-	-
ผักบุ้งจีน	1286	677	731	-	-	-
ผักหางหงษ์	224	127	1153	-	-	-
ผักสลัดแก้ว	872	449	805	-	-	-
สะระแหน่	829	117	186	-	-	-
บร๊อกโคลี่	823	280	329	-	-	-
กะหล่ำดอก	760	785	27	-	-	-
มะระ	361	110	675	-	-	-
ตำลึง	232	427	327	-	-	-
โหระพา	320	273	183	-	-	-
ถั่วฝักยาว	100	195	78	-	-	-
ผักปลัง	130	59	175	-	-	-
ผักหวาน	93	168	102	-	-	-

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

ตาราง 2.3 (ต่อ)

ชนิดของผัก	ปริมาณไนเตรท (ppm.) แหล่งที่ซื้อ			ปริมาณไนไตรท์ (ppm.) แหล่งที่ซื้อ		
	1	2	3	1	2	3
กะหล่ำปลี	13	12	54	-	-	-
บวบ	46	20	15	-	-	-
พริกหวาน	23	8	24	-	-	-
พริกชี้ฟ้า	10	20	7	-	-	-
พริกหยวก	7	5	17	-	-	-
ถั่วลันเตา	12	12	7	-	-	-
ผักกะเฉด	11	7	4	-	-	-
พริกขี้หนู	10	9	7	-	-	-
ถั่วงอก	10	4	5	-	-	-
ชะอม	3	-	2	-	-	-

ตาราง 2.4 ปริมาณไนเตรทและไนไตรท์ในผักที่ปลูกเองโดยไม่ใช้ปุ๋ยวิทยาศาสตร์

ชนิดของผัก	ปริมาณไนเตรท (ppm.)	ปริมาณไนไตรท์ (ppm.)
ผักกาดขาว	2239	3
ผักกวางตุ้ง	1854	-
ผักกาดเขียว	1207	-
ผักบุ้ง	297	-

นอกจากนี้ Soo Hyun Kim (1984) ได้ทำการศึกษาถึงการเกิดไนโตรซามีนในกิมจิ พบว่ากิมจิที่มีการเติมไนเตรทลงไป จะมี Nitrosodimethylamine (NDMA) อยู่ในช่วง 54-63 ไมโครกรัม/กิโลกรัม (ppb) และยังรายงานถึงกรดแอสคอร์บิก ที่สามารถยับยั้งการเกิด NDMAได้ โดยได้ทำการทดลองใน Shrimp sauce พบว่าเมื่อเติมกรดแอสคอร์บิก 2 เท่าของไนเตรทในกิมจิที่มีการเติมไนเตรทลงไป ก่อนจะเกิดปฏิกริยาไนโตรเซชั่น ผลปรากฏว่า หลังจากเกิดปฏิกริยาไนโตรเซชั่นแล้ว ปริมาณNDMA จะน้อยกว่ากิมจิที่ไม่ได้เติมกรดแอสคอร์บิก โดยมีปริมาณ 124 ไมโครกรัม/กิโลกรัม ขณะที่กิมจิที่ไม่ได้เติมกรดแอสคอร์บิก มีปริมาณถึง 13,000 ไมโครกรัม/ กิโลกรัม

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University