บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สารประกอบไนไตรท์ (Nitrite compound) เป็นสารเคมีที่ถูกใช้เป็นสารกันเสียในอาหารเนื้อสัตว์ทุกประเภท เช่น ปลาช่อนแห้ง เนื้อเค็ม เนื้อกระป๋อง หมูแฮม เบคอน แหนม กุนเชียง ปลาร้า ไส้กรอกอีสาน เป็นต้น ในรูปของเกลือโซเดียมและโพแทสเซียมไนเตรต (ดินประสิว) และไนไตรท์สามารถป้องกันการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย *Clostridium botulinum* ซึ่งสามารถผลิตสารพิษที่เป็นอันตรายรุนแรงและเฉียบพลันถึงชีวิตแก่มนุษย์ได้ นอกจากนี้ไนไตรท์ยังถูกใช้เป็นสารแต่งสีอาหารเนื้อสัตว์ ทำให้เกิดสีแดงของเมทธีโมโกลบินและไนโตรซิลไมโอโกลบิน ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์ดูน่ารับประทาน ปริมาณไนไตรท์ที่ยอมให้มีในอาหารได้ไม่เกิน 125 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานไม่มีข้อกำหนดจากกระทรวงสาธารณสุขเพื่อควบคุมการใช้ไนไตรท์ ดังนั้น การวิจัยครั้งนี้จึงอ้างอิงเกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 281) พ.ศ. 2547 ในการประเมินความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานต่อผู้บริโภค

ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์แปรรูป

ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์แปรรูป (Processed meat product) เป็นผลิตภัณฑ์เนื้อที่มีคุณสมบัติเดิมของเนื้อสดได้ถูกแปรเปลี่ยนไปโดยการใช้วิธีการเพียงหนึ่งวิธี หรือหลาย ๆ วิธีด้วยกัน ได้แก่ การบด การหั่น การสับละเลียด การเติมสารเพิ่มรส การแปลงสี และการใช้ความร้อน การรมควัน การหมัก เป็นต้น ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์แปรรูปที่พบเห็นทั่วไป ได้แก่ แฮม เบคอน แหนม หมูยอ หมูส้ม หม่ำ กุนเชียง และไส้กรอกชนิดต่าง ๆ อีกมากมาย ซึ่งผลิตภัณฑ์เหล่านี้จะผ่านการดำเนินการหลายขั้นตอนก่อนที่จะสำเร็จออกมาเป็นผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดได้ ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์แปรรูป แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ

1. ผลิตภัณฑ์ขนาดเดิม เช่น แฮม เบคอน จะเห็นโครงสร้างสุดท้ายของเนื้อจะยังคงรูปและมีโครงสร้างเหมือนเนื้อสดธรรมดา ส่วนที่แตกต่างกันจะอยู่ที่มีการเติมส่วนประกอบอื่น ๆ แล้วทำให้สุกตามกรรมวิธีของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ โดยรูปร่างและโครงสร้างของกล้ามเนื้อจะยังคงรูปลักษณะเป็นก้อนเนื้อเหมือนเดิม

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

2. ผลิตภัณฑ์ลดขนาด หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ขนาดชิ้นส่วนของเนื้อสด ซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักของการทำผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ถูกลดให้มีขนาดเล็กย่อยลงไปกว่าเดิม ทั้งนี้เพื่อว่าผลิตภัณฑ์นั้น ๆ จะประกอบกันขึ้นมาจากเนื้อชิ้นเล็ก ๆ ย่อย ๆ รวมตัวกันไปเป็นรูปร่างอีกแบบหนึ่งตามชนิดของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ชนิดนี้ ได้แก่ แหนม ไส้กรอก และกุนเชียง เป็นต้น

2.1 แหนม (Fermented pork sausage) เป็นผลิตภัณฑ์เนื้อที่เตรียมได้โดยการนำเนื้อมาบดหรือสับให้ละเอียด ใส่หนังหมูผสมกับเกลือ กระเทียมบด และสารประกอบไนเตรทหรือไนไตรท์ แล้วบรรจุห่อด้วยใบตองหรือพลาสติก เก็บไว้ 2-3 วัน ก็สามารถนำมารับประทานได้ การผลิตแหนมเป็นการเก็บรักษาเนื้อสดให้อยู่ได้นาน โดยเก็บบ่มร่วมกับเกลือแกงซึ่งช่วยควบคุมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเสื่อมเสียของเนื้อสดได้ นอกจากนี้ยังมีการใช้เกลือไนเตรท และเกลือไนไตรท์ร่วมกับเกลือแกง ช่วยสร้างสิ่งแวดล้อมให้เนื้อสัตว์ มีเฉพาะจุลินทรีย์ที่ต้องการเท่านั้นสามารถเจริญอยู่ได้ และยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการให้มีปริมาณที่ลดลงได้ จุลินทรีย์ที่มีประโยชน์จะผลิตสารที่ต้องการสู่ผลิตภัณฑ์เนื้อ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นไปตามที่ต้องการ การที่แหนมมีสีชมพูอ่อนต่างจากเนื้อสด เนื่องจากดินประสิวหรือ $NaNO_3$ ที่เติมลงไปถูกแบคทีเรียบางชนิดเปลี่ยนเป็น $NaNO_2$ และต่อมาทำปฏิกิริยากับไมโอโกลบินของเนื้อซึ่งมีสีแดงเข้ม กลายเป็นสีแดงของไนตริกออกไซด์ไมโอโกลบิน และกลายเป็นสีชมพูของไนโตรโซไมโอโกลบิน

2.2 ไส้กรอก เป็นผลิตภัณฑ์เนื้อประเภทหนึ่ง ที่มีแนวโน้มได้รับความนิยมจากผู้บริโภคมากขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากเป็นอาหารประเภทโปรตีน ที่มีรสชาติถูกปาก สามารถหาซื้อและปรุงเป็นอาหารได้ง่าย สะดวก รวดเร็ว เหมาะกับสภาพสังคมที่เร่งรีบอย่างปัจจุบัน ประกอบกับมีการลื่นไหลของวัฒนธรรมการรับประทานของชาวตะวันตกในเรื่องการนิยมบริโภคไส้กรอก ไส้กรอกมีหลายชนิด แตกต่างกันตามส่วนประกอบของเนื้อสัตว์ เครื่องเทศ ไส้บรรจุ และรูปร่าง สำหรับส่วนประกอบใหญ่ ๆ ย่อมเหมือนกัน สามารถแบ่งเป็นประเภทใหญ่ ๆ ได้ 3 ประเภทตามลักษณะโครงสร้างภายใน ดังนี้คือ

- ไส้กรอกบดหยาบ หมายถึง ไส้กรอกที่เนื้อถูกบดให้ขนาดลดลงไป แต่ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงจนถึงระดับเส้นใยกล้ามเนื้อ ได้แก่ กุนเชียง ไส้กรอกอีสาน เป็นต้น

- ไส้กรอกบดละเอียด หมายถึง ไส้กรอกที่เนื้อถูกบดและผ่านการสับจนละเอียดถึงระดับเส้นใยกล้ามเนื้อ ได้แก่ ลูกชิ้น

- ไส้กรอกบดละเอียดอิมัลชัน หมายถึง ไส้กรอกที่เนื้อถูกบดและผ่านการสับละเอียดจนถึงระดับเส้นใยกล้ามเนื้อ โดยการบดและสับเนื้อสัตว์ พร้อมกับน้ำและไขมัน ได้แก่ ไส้กรอกเวียนนา แฟรค์เฟอเตอร์ โบลอกน่า ฮอทดอก เป็นต้น

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

2.3 กุนเชียง เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำเนื้อหมูผสมมันหมูหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ ผสมด้วยเกลือไนไตรท์กับเครื่องปรุงอื่น ๆ นำส่วนผสมที่ได้บรรจุในไส้หมู ใช้เชือกมัดเป็นท่อน ๆ แขวนและเข้าเตาอบแห้ง 60 องศาเซลเซียส จนกระทั่งแห้งแล้วเก็บไว้ในอุณหภูมิห้องหรือเก็บไว้ในตู้เย็น ถ้าไม่มีเตาอบให้นำมาผึ่งแดดจนแห้ง

แหล่งที่มาของไนไตรท์ (ภูริ บานทอง, 2549)

1. แหล่งธรรมชาติ ไนไตรท์ที่พบตามธรรมชาติโดยส่วนมากเกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีไนไตรเจนเป็นองค์ประกอบ เช่น โปรตีนในพืชและในสัตว์ นอกจากนี้แอมโมเนียไอออนที่ปนมากับของเสียจากสัตว์สามารถถูกออกซิไดซ์เป็นไนไตรท์ด้วย ไนไตรท์เป็นเกลือของกรดไนตรัสซึ่งเป็นกรดอ่อน สารไนไตรท์ถูกออกซิไดซ์เป็นสารไนเตรทได้ง่าย ดังนั้นในสิ่งแวดล้อมมักพบไนไตรท์ในปริมาณต่ำ

2. กิจกรรมของมนุษย์ ส่วนใหญ่ไนไตรท์เกิดการสลายตัวของสารประกอบไนเตรทโดยเอนไซม์ แบคทีเรีย หรือสาเหตุอื่น โดยสารประกอบไนเตรทอาจมาจากปุ๋ยสังเคราะห์ที่ใช้ในการเกษตรในรูปของสารประกอบไนโตรเจนของไอออนบวก (แอมโมเนีย แคลเซียม โพแทสเซียม และโซเดียม) และยูเรีย นอกจากนั้นสารประกอบไนเตรท ยังมาจากของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ

บทบาทของไนไตรท์ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์

1. การสร้างสีจากการหมัก (Cured colour development) ในเนื้อสัตว์ทั่วไปจะมีไมโอโกลบิน (Myoglobin) เป็นสารที่ควบคุมการเกิดสีเฉพาะตัวของกล้ามเนื้อในเนื้อสัตว์ โครงสร้างของไมโอโกลบิน ประกอบด้วยวงฮีม (Haem ring) และโกลบิน (Globin) โดยวงฮีมประกอบด้วยธาตุเหล็กที่ถูกล้อมรอบด้วยวงพอร์ไฟริน (Porphyrin ring) การเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันของธาตุเหล็กในวงฮีม รวมทั้งการทำปฏิกิริยากับสารเคมีอื่น จะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อสัตว์ได้

เมื่อธาตุเหล็กในวงฮีมถูกออกซิไดซ์เป็นเฟอริกไอออน (Fe^{3+}) ไมโอโกลบินจะไม่สามารถทำปฏิกิริยารวมตัวกับสารใด ๆ ได้อีกรวมทั้งแก๊สออกซิเจน แต่เมื่อธาตุเหล็กในวงฮีมถูกรีดิวซ์เป็นเฟอรัสไอออน (Fe^{2+}) ทำให้สามารถสร้างพันธะกับโมเลกุลของน้ำในเนื้อสัตว์ ส่วนที่ไม่ได้สัมผัสอากาศ หรือรวมตัวกับแก๊สออกซิเจนในเนื้อสัตว์ที่มีผิวหน้าสัมผัสอากาศได้ เกิดเป็นสารสีแดง เรียกว่า ออกซีไมโอโกลบิน (Oxymyoglobin) ซึ่งเกิดขึ้นภายในเวลา 30-45 นาที หลังจากเนื้อสัตว์สัมผัสอากาศ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

หลังจากการฆ่าสัตว์ เนื้อสัตว์จะมีการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี โดยธาตุเหล็กในวงฮีมเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เป็นสารสีน้ำตาล เรียกว่า เมทไมโอโกลบิน (Metmyoglobin) การเปลี่ยนสีของไมโอโกลบินเป็นออกซีไมโอโกลบินและเมทไมโอโกลบิน เป็นปฏิกิริยาผันกลับได้ภายในสภาวะที่เหมาะสม และถ้ามีการเติมสารที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการสร้างสี เช่น เกลือโซเดียมของกรดแอสคอร์บิก ($C_6H_8O_6$) หรือกรดอิริธอบิก (Erithobic acid) ร่วมกับสารประกอบไนไตรท์ด้วย จะทำให้การสร้างสีเกิดได้เร็วมากขึ้น

การสร้างสีจะเกิดขึ้น 2 ขั้นตอน คือ ไนเตรทถูกรีดิวซ์ไปเป็นไนไตรท์ด้วยแบคทีเรียชนิด *Nitrite reducing bacteria* ซึ่งอยู่ในเนื้อสัตว์และไนไตรท์ถูกรีดิวซ์ต่อเป็นไนตริกออกไซด์ (NO) ดังสมการที่ 2.1 และสมการที่ 2.2

$$NO_3^- \xrightarrow{\text{Nitrite reducing bacteria}} NO_2^- \qquad (2.1)$$

$$NO_2^- \xrightarrow{\text{Light , no } O_2} NO \cdot H_2O \qquad (2.2)$$

แต่ถ้าเติมไนไตรท์ลงในเนื้อสัตว์ การสร้างสีจะเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว เปรียบเทียบกับการเติมทั้งไนเตรทและไนไตรท์ในปริมาณเท่ากัน เพราะลดขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับแบคทีเรียไป ส่วนการที่ไนไตรท์เกิดเป็นไนตริกออกไซด์นั้น มีกลไกลการเกิดปฏิกิริยาหลายแบบ เช่น ถ้าสารตั้งต้นเป็นกรดไนตรัส (Nitrous acid: HNO_2) มีค่าพีเอช (pH) ของเนื้อสัตว์เท่ากับ 5.5 -6.0 ไนตริกออกไซด์จะเกิดขึ้น ดังสมการที่ 2.3 แต่ปฏิกิริยาเคมีนี้เกิดขึ้นค่อนข้างช้า

$$3HNO_2 \longrightarrow HNO_3 + 2NO - H_2O \qquad (2.3)$$

ไนตริกออกไซด์ที่เกิดขึ้นสามารถรวมตัวกับวงฮีมของเมทไมโอโกลบินได้เป็นไนตริกออกไซด์เมทไมโอโกลบิน (Nitricoxidemetmyoglobin: NOMMb) ดังสมการที่ 2.4 ซึ่งสามารถถูกรีดิวซ์ไปเป็นไนโตรโซไมโอโกลบิน (Nitrosomyoglobin: NOMb) เป็นสารสีแดงเข้ม ดังสมการที่ 2.5 ปฏิกิริยารีดักชันเฟอริกไอออน จะเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วถ้ามีตัวรีดิวซ์ (Reducing agent) อยู่ด้วย เช่น การใช้เกลือของกรดแอสคอร์บิกเพื่อช่วยเร่งปฏิกิริยารีดักชันของเฟอริกไอออน

$$NO \cdot Mb \longrightarrow NOMMb \qquad (2.4)$$

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

NOMMb ⟶ NOMb (2.5)

นอกจากนี้หมู่ไทออล (Thiol group: -SH) จะถูกปล่อยออกมา เมื่อเนื้อสัตว์ได้รับความร้อนในขั้นตอนการปรุงอาหาร ซึ่งหมู่ไทออลมีส่วนช่วยการเกิดปฏิกิริยารีดักชันของเมทไมโอโกลบินหรือไนตริกออกไซด์เมทไมโอโกลบิน ดังนั้นจากการใช้ตัวรีดิวซ์หรือความร้อนจะช่วยลดเวลาของการสร้างสีในเนื้อสัตว์จาก 2-3 วัน เป็น 2-3 ชั่วโมงเท่านั้น (ชัยณรงค์ คันธพนิต, 2529)

ปฏิกิริยาขั้นสุดท้ายของการสร้างสี คือ การเกิดไนโตรโซฮีโมโครม (Nitrosohemochrom) จากไนโตรโซไมโอโกลบิน โดยโปรตีนในไมโอโกลบินเกิดการเสียสภาพจากความร้อนในขั้นการปรุงอาหาร และทิ้งให้วงฮีมเกาะอยู่กับไนตริกออกไซด์ ดังนั้นผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ที่ถูกทำให้สุกจึงมีสีชมพูของไนโตรโซฮีโมโครม ดังสมการที่ 2.6

NOMb + heat ⟶ Nitrosohemochrom (2.6)

2. ความเสถียรต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidative stability) ไนไตรท์เป็นสารกันหืนที่มีประสิทธิภาพสูงที่ถูกนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ เชื่อกันว่าไนไตรท์ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการป้องกันการเกิดกลิ่นและรสชาติที่ไม่ต้องการ เรียกว่า warmed- over flavor (WOF) ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (Lipid oxidation) โดยมีธาตุเหล็กเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน แต่ถ้าธาตุเหล็กในไมโอโกลบิน ฮีโมโกลบิน และธาตุเหล็กอิสระถูกทำให้เสถียรอยู่ในรูปของไนโตรซิลฮีโมโครโมเจน (Nitrosylhemochromogen) ซึ่งเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่คงตัวของไอรอนพอร์ไฟริน (Ironporphyrin) จะส่งผลให้ธาตุเหล็กไม่สามารถไปเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ และผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ก็ไม่เหม็นหืน

3. การเกิดลักษณะเฉพาะตัวของเนื้อสัตว์ไนไตรท์สามารถช่วยทำให้เกิดกลิ่นและรสชาติของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ให้มีกลิ่นเฉพาะตัว เป็นผลมาจากไนตริกออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากไนไตรท์จะทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนบางตัวในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ (จารุวรรณ นามวัฒน์ และธงศรี เพชรรัตน์, 2532)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

4. การป้องกันและยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ไนไตรท์สามารถป้องกันการเจริญเติบโตและการสร้างพิษของแบคทีเรีย *Clostridium Botulinum* ซึ่งการเจริญเติบโตได้โดยไม่ใช้แก๊สออกซิเจน แบคทีเรียชนิดนี้พบได้ในดินและน้ำ และสร้างพิษที่มีลักษณะเป็นเมือก มีกลิ่นเหม็นเน่าและเหม็นหืน ผู้ที่บริโภคผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ที่มีสารพิษแบคทีเรียชนิดนี้เข้าไปจะเกิดอาการคลื่นไส้ อาเจียน ระบบย่อยอาหารผิดปกติ และท้องผูก หลังจากนั้นผู้ป่วยจะมีอาการอิดโรย มึนงง ริมฝีปากแห้ง ในบางรายที่มีอาการรุนแรงจะมีอาการที่ระบบประสาทด้วย เช่น มองไม่เห็น เนื่องจากกล้ามเนื้อตาเป็นอัมพาต ลืมตาไม่ขึ้น ตากระตุกตลอดเวลา กลืนอาหารลำบาก พูดตะกุกตะกัก ระบบหายใจขัดข้องและอาจถึงตายได้ (กัญญา รัชตชัยยศ และณรัชญา เกษใหม่, 2536)

ความเป็นพิษของไนไตรท์

ความเป็นพิษจะเกิดจากไนไตรท์ ส่วนไนเตรทจะถูกเปลี่ยนเป็นไนไตรท์ก่อนจึงจะกลายเป็นพิษได้ ซึ่งมี 2 ลักษณะ คือ (สุพิศสา ปิ่นพงษ์, 2545)

1. ไนไตรท์ที่ตกค้างอยู่ในผลิตภัณฑ์รวมตัวกับเอมีนอิสระในผลิตภัณฑ์ในช่วงการทำเนื้อให้สุก ได้สารชื่อว่า "ไนโตรซามีน" ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง

2. การรับประทานอาหารที่มีสารไนไตรท์เข้าไปโดยตรง มีลักษณะการเป็นพิษ 2 ประการ คือ

2.1 การเป็นพิษอย่างรุนแรงเกี่ยวกับไนไตรเจน ที่สามารถเปลี่ยน haemoglobin ของเลือดได้เป็น methaemoglobin ซึ่งเป็นอนุพันธ์ที่ไม่มีความสามารถลำเลียงออกซิเจน จึงเป็นผลให้เกิดภาวะไฮปอกเซีย (Hypoxia) ในเนื้อเยื่อ อาการที่แสดงให้เห็นคือ ตัวเขียว อ่อนเพลีย ปวดศีรษะ หัวใจเต้นเร็ว อันเนื่องมาจากการขาดออกซิเจน อาการเหล่านี้จะรุนแรงขึ้นอันตรายมากในเด็ก

2.2 ไนไตรท์ที่รับประทานเข้าไปจะทำปฏิกิริยากับ secondary และ tertiary amines ในร่างกายได้สารไนโตซามีน ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งที่รุนแรงที่สุดต่อคน แม้สารไนไตรท์ที่รับประทานเข้าไปจะมีเพียงเล็กน้อยก็ตาม ได้มีการทดลองพบว่าปริมาณน้อยที่สุดของไนไตรท์สามารถก่อให้เกิดสารไนโตรซามีนในสัตว์ทดลองคือ 20 มิลลิกรัมต่อการกินผลิตภัณฑ์ 1 กิโลกรัม

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ข้อกำหนดของการใช้ไนเตรทและไนไตรท์

ปริมาณไนเตรท ให้ใช้ได้ไม่เกิน 500 ppm

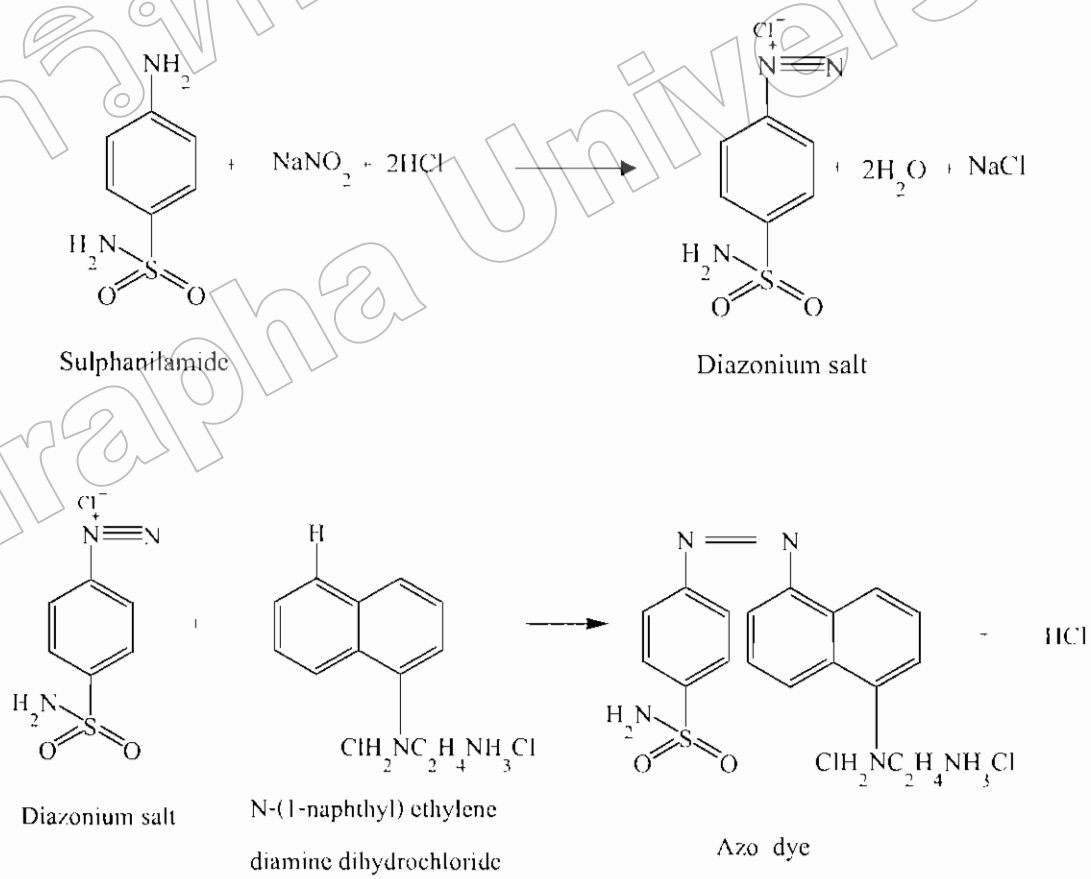
ปริมาณไนไตรท์ ให้ใช้ได้ไม่เกิน 125 ppm

ถ้าใช้ทั้ง 2 ชนิด ผสมกันต้องไม่เกิน 125 ppm

วิธีการวิเคราะห์ปริมาณไนไตรท์ ตามวิธีมาตรฐานของ AOAC

1. Colorimetric Method

นำสารละลายไนไตรท์ มาทำปฏิกิริยากับสารละลายซัลฟานิลาไมด์ ($C_6H_8N_2SO_2$) แกว่งให้สารละลายเข้ากันตั้งทิ้งไว้ 5 นาที เติมสารละลายเอ็น-(1-แนฟทีล) เอททิลีนไดเอมีนไดไฮโดรคลอไรด์ ($C_{12}H_{14}N_2.2HCl$; NED) จะได้สารที่มีสีชมพู (Red azo dye) วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 535 นาโนเมตร (Parsons & Strickland, 1972)



ภาพที่ 2-1 กลไกของ Colorimetric Method

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

2. Titrimetric Method

บรรจุสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) 15% และน้ำแป้งลงในหลอดแก้วที่ต่อกับถังแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ทิ้งไว้ประมาณ 5 นาที จากนั้น ยกท่อแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ให้อยู่เหนือสารละลาย เติมกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ผสมให้เข้ากัน นำไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐาน $Na_2S_2O_3$ พร้อมกับผ่านแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ จนสีน้ำเงินของน้ำแป้งหายไป (Helrich, 1990)

$$\underset{\text{(from salt)}}{IO_3^-} + \underset{\text{(from KI)}}{5I^-} + \underset{\text{(from } H_2SO_4\text{)}}{6H^+} \longrightarrow 3I_2 + 3H_2O \qquad (2.7)$$

$$\underset{\substack{\text{Sodium}\\ \text{thiosulfate}}}{2Na_2S_2O_3} + \underset{\text{Iodine}}{I_2} \longrightarrow \underset{\substack{\text{Sodium}\\ \text{iodide}}}{2NaI} + \underset{\substack{\text{Sodium}\\ \text{tetrathionate}}}{Na_2S_4O_6} \qquad (2.8)$$

การวิเคราะห์ทางสเปกโทรสโกปี (แม้น อมรสิทธิ์ และคณะ, 2552)

ในธรรมชาติจะพบเสมอว่าสสารสามารถดูดกลืนรังสีหรือแสง (Radiation or light) ได้แตกต่างกัน ทำให้วัตถุเหล่านั้นมีสีสันแตกต่างกันออกไปด้วย นักวิทยาศาสตร์จึงได้พยามยามค้นคว้าหาสาเหตุ และสมบัติเหล่านั้นมาใช้ให้เป็นประโยชน์ในทางเคมี เช่น นำไปใช้เป็นวิธีวิเคราะห์ได้ทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณ

หลักการของเครื่องยูวี–วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์

เมื่อแสงขาว (ประกอบด้วยทุกความยาวคลื่น) จากแหล่งกำเนิดแสง (Light source) ผ่านส่วนที่เลือกความยาวคลื่น (ปริซึมหรือเกรตติง) แสงขาวจะถูกกระจายออกเป็นหลายความยาวคลื่น จะมีแต่ความยาวคลื่นเดียว (ในอุดมคติ) ถูกเลือกให้เดินทางผ่านช่องเปิด (Slit) ไปยังเซลล์ที่บรรจุสารประกอบด้วยสารวิเคราะห์ (โมเลกุลหรือไอออน) ที่สามารถดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นนั้นได้ ความเข้มแสงที่ทะลุผ่าน (P) จะมีค่าน้อยกว่าความเข้มแสงตกกระทบ (P_0) เนื่องจากสารวิเคราะห์ดูดกลืนพลังงานแสงหรือความเข้มแสงไปส่วนหนึ่ง จากนั้นแสงจะเดินผ่านไปตกกระทบที่ตัววัดซึ่งจะเปลี่ยนความเข้มแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า และรายงานผลเป็นค่าทรานสมิตแทนซ์ (T) เปอร์เซ็นต์ทรานสมิตแทนซ์ (%T) หรือค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ดังสมการ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

$$T = \frac{P}{P_0} \quad (2.9)$$

$$\%T = \frac{P}{P_0} \times 100\ \% \quad (2.10)$$

$$A = \log \frac{P}{P_0} \quad (2.11)$$

เมื่อ T = ทรานสมิตแทนซ์ (Transmittance)

P_0 = ความเข้มแสงที่ตกกระทบ

P = ความเข้มแสงที่ทะลุผ่าน

A = ค่าการดูดกลืนแสง

เครื่องยูวี–วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

1. ต้นกำเนิดแสง (Light source) เป็นอุปกรณ์ให้กำเนิดแสงที่ความยาวคลื่นที่ต้องการอย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอและมีความเข้มสูงและคงที่ตลอดเวลา

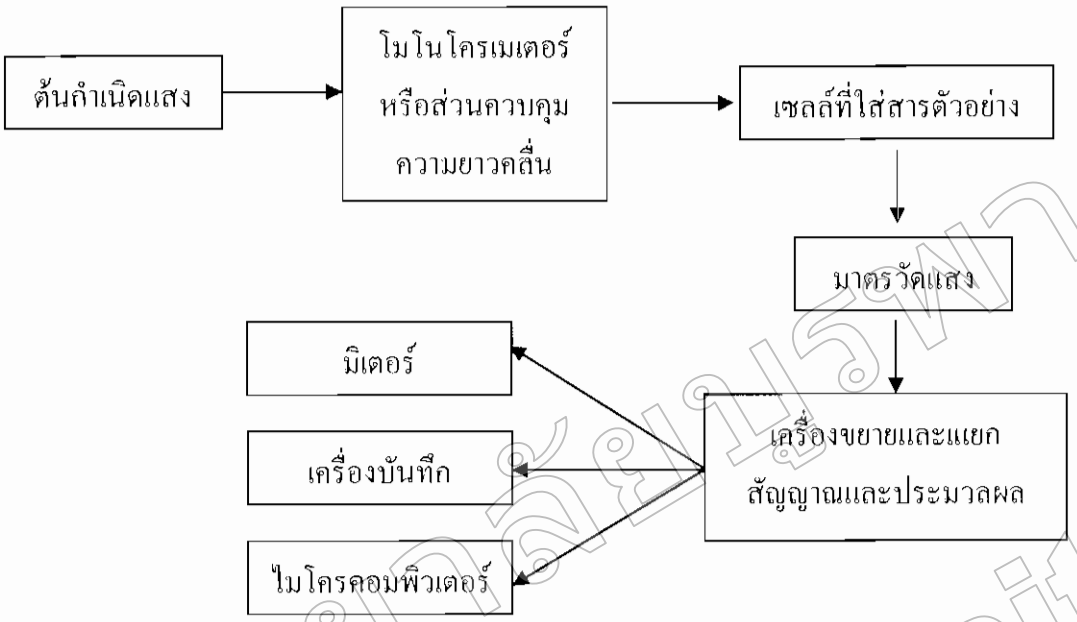
2. ส่วนควบคุมความยาวคลื่น (Wavelenght selector) ทำหน้าที่คัดเลือกความยาวคลื่นแสงที่เหมาะสมในการวิเคราะห์สารจากแหล่งกำเนิดแสง และรวบรวมแสงส่งต่อไปยังเซลล์ที่บรรจุสารละลาย โดยทั่วไปโมโนโครเมเตอร์ ประกอบด้วยตัวกระจายแสง (ปริซึมหรือเกรตติง) กับช่องเปิด (Slit) ทำหน้าที่ควบคุมความเข้มแสงจากแหล่งกำเนิดแสงไปยังที่บรรจุสารละลาย

3. เซลล์ที่ใส่สารตัวอย่าง (Cell) บรรจุสารตัวอย่างที่ต้องการวัดค่าการดูดกลืนแสง

4. มาตรวัดแสง (Detector) เป็นอุปกรณ์วัดความเข้มแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า

5. ตัวขยายและแยกสัญญาณและประมวลผล (Signal reader and processor) เป็นอุปกรณ์รวบรวมข้อมูลและรายงานผลแบบต่าง ๆ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 2-2 ส่วนประกอบของเครื่องยูวี -วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์

วิธีสเปกโทรสโกปีสามารถใช้วิเคราะห์เชิงปริมาณได้ โดยอาศัยกฎของเบียร์ (Beer's Law) ซึ่งอธิบายว่าปริมาณความเข้มแสงที่ลดลง จะแปรผันตามความเข้มข้นของสารวิเคราะห์ที่สามารถดูดกลืนแสงและความกว้างของเซลล์ที่ดูดกลืนแสงนั้น เกิดขึ้นดังสมการที่ 2.12

$$A - \varepsilon bc = \log \frac{P}{P_0} \qquad (2.12)$$

เมื่อ A – ค่าการดูดกลืนแสง

P_0 – ความเข้มแสงที่ตกกระทบ

P – ความเข้มแสงที่ทะลุผ่าน

ε – โมลาร์แอบซอร์พติวิตี (Absorptivity)

b – ความกว้างของเซลล์

c – ความเข้มข้นของสารวิเคราะห์ในสารละลายในหน่วยโมลาร์

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ประทุมพร ทวีทรัพย์ (2551) ศึกษาการวิเคราะห์ปริมาณไนไตรท์ในผลิตภัณฑ์ปลาส้มจากจังหวัดชัยภูมิ ด้วยวิธียูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรี พบว่า ปริมาณโซเดียมไนไตรท์จาก 5 แหล่งผลิต อยู่ในช่วง 44.30–74.26 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จากการเปรียบเทียบปริมาณโซเดียมไนไตรท์ที่วิเคราะห์ได้กับประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 281) พ.ศ. 2547 พบว่าผลิตภัณฑ์ปลาส้มทั้ง 5 แหล่งผลิตปลอดภัยต่อผู้บริโภค

ภัทราภรณ์ ธรรมประกอบ (2550) ศึกษาการวิเคราะห์ปริมาณไนไตรท์ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ "หม่ำ" ด้วยวิธีสเปกโทรสโกปี พบว่า ปริมาณโซเดียมไนไตรท์ในผลิตภัณฑ์จาก 5 แหล่งผลิต (อำเภอบ้านแท่น อำเภอภูเขียว อำเภอเกษตรสมบูรณ์ อำเภอหนองบัวศาลา และอำเภอคอนสวรรค์) อยู่ในช่วง 94.04-155.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งผลิตภัณฑ์หม่ำจาก 2 แหล่งผลิตมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค ส่วนอีก 3 แหล่งผลิตนั้นมีปริมาณโซเดียมไนไตรท์ในผลิตภัณฑ์หม่ำสูงกว่าที่กำหนดตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 119) พ.ศ. 2532 (97 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

ภูริ บานทอง (2549) ศึกษาการวิเคราะห์ปริมาณไนไตรท์ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ "หม่ำ" ที่วางจำหน่ายในร้านค้าปลีกของจังหวัดชัยภูมิจำนวน 5 ตัวอย่าง ด้วยวิธีโฟลอินเจคชันแอนาลิซิส พบว่า ปริมาณโซเดียมไนไตรท์ที่ตกค้างในผลิตภัณฑ์หม่ำ 5 อำเภอ (อำเภอคอนสาร อำเภอบ้านแท่น อำเภอแก้งคร้อ อำเภอเมือง และอำเภอจัตุรัส) มีปริมาณโซเดียมไนไตรท์โดยเฉลี่ยเท่ากับ 63.09 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งต่ำกว่าประกาศสาธารณสุข (ฉบับที่ 84) พ.ศ. 2527 ที่กำหนดให้ใช้ได้ไม่เกิน 125 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แสดงว่าผลิตภัณฑ์จากหม่ำ 5 อำเภอ มีความปลอดภัยจากผู้บริโภคจากสารประกอบไนไตรท์

หทัยชนก นันทพานิช (2546) ศึกษาการวิเคราะห์หาปริมาณไนไตรท์ด้วยวิธีสเปกโทรสโกปี ในอาหารประเภทแหนมหมูใบเมะขามและไส้กรอก ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี จำนวน 5 แหล่งผลิต (ร้านนวลปราง ร้างตองหนึ่ง ร้านดาวทอง ร้านศรีณรงค์ และร้านแม่ฮาย) พบว่าผลิตภัณฑ์ทั้งสองประเภทมีปริมาณไนไตรท์ในระดับต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 84) พ.ศ. 2527 และไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภค

ธรรมรัตน์ ขัมภรัตน์ และอำนาจ บัดรวิเศษ (2540) ศึกษาการวิเคราะห์ปริมาณไนไตรท์ในไส้กรอกวัว โดยใช้เทคนิคอัลตราไวโอเลต-วิสิเบิล สเปกโทรสโกปี พบว่า ปริมาณไนไตรท์น้อยที่สุดที่วิเคราะห์ได้ 10.06 ppm และปริมาณไนไตรท์ที่มากที่สุดวิเคราะห์ได้ 47.40 ppm เปอร์เซ็นต์การได้กลับคืนมาของไนไตรท์คำนวณจากตัวอย่างที่ 5 ปรากฏว่าเปอร์เซ็นต์การได้กลับคืนมาของการหาปริมาณไนไตรท์เท่ากับ 92.43 เปอร์เซ็นต์

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

จารุวรรณ นามวัฒน์ (2531) ศึกษาการวิเคราะห์หาปริมาณไนไตรท์ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์บางชนิด คือ แฮม เบคอน โบโลน่า ไส้กรอกชนิดต่าง ๆ กุนเชียงและไส้กรอกเปรี้ยว โดยเทคนิคไดอะโซติเซชัน (Diazotisation) ซึ่งวัดในรูปของโซเดียมไนไตรท์ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ พบว่า อยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค คือ น้อยกว่า 200 ppm ทั้งหมด โดยเฉพาะกุนเชียง มีปริมาณต่ำมากคือ 0.6667-9.2806 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ส่วนผลิตภัณฑ์ที่พบไนไตรท์สูงที่สุด คือ ผลิตภัณฑ์โบโลน่า ของบริษัท ซี.พี. อุตสาหกรรม คือพบ 99.4260 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ซึ่งถือว่าปลอดภัยต่อผู้บริโภค

นลินรัตน์ นิลยกานนท์ (2531) ศึกษาการวิเคราะห์หาปริมาณไนไตรท์ ไนเตรท ในอาหารพื้นเมือง 10 ชนิด โดยใช้เทคนิคอัลตราไวโอเลต-วิสิเบิล สเปกโทรสโกปี โดยสุ่มตัวอย่าง 10 ครั้ง ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น โดยใช้ความยาวคลื่นในการวัดค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดเป็น 540 นาโนเมตร และได้ศึกษาระยะเวลาที่ทำให้เกิดสีของสารประกอบคงตัวคือ 20 นาทีขึ้นไป ผลการวิเคราะห์การหาปริมาณไนไตรท์ พบว่าอยู่ในช่วง 0.0624–3.1161, 0.5732–69.8432, 15.4561–99.5446, 0.5807–5.8073 (ไมโครกรัมต่อกรัมของตัวอย่าง) การวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การได้กลับคืนของไนไตรท์เท่ากับ 74.12 เปอร์เซ็นต์ การวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การได้กลับคืนของไนเตรทเท่ากับ 74.72 เปอร์เซ็นต์

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University