บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 เนื้อไก่แยกกระดูกด้วยเครื่อง (mechanically deboned chicken meat; MDCM)

เนื้อไก่แยกกระดูกด้วยเครื่อง (mechanically deboned chicken meat; MDCM) เป็นเนื้อไก่ที่ได้จากส่วนคอ หลังและโครงลำตัวซึ่งผ่านกระบวนการบดเนื้อพร้อมกระดูกแล้วใช้แรงดันอัดเนื้อและกระดูกที่บดนั้นผ่านตะแกรง กระดูกจะค้างอยู่บนตะแกรง ส่วนเนื้อจะผ่านตะแกรงออกมา เนื้อที่ผ่านการแยกกระดูกด้วยเครื่องจะมีลักษณะกึ่งแข็งกึ่งเหลว เนื้อละเอียด เรียบเนียน สีแดงเข้ม อาจมีกระดูกปนมาด้วยเล็กน้อย (Institute of Food Technologists, 1979)

2.1.1 องค์ประกอบของ MDCM

Essary (1979) วิเคราะห์ปริมาณความชื้น ไขมัน โปรตีนและเกลือแร่ ในเนื้อไก่กระทงแยกกระดูกด้วยเครื่อง (mechanically deboned broiler meat; MDBM) ที่ได้จากส่วนโครงและคอไม่ติดหนัง (ในอัตราส่วน 1 : 1) พบว่ามีความชื้น 72.2 % ไขมัน 14.1% และโปรตีน 13.4% โดยน้ำหนักเปียก สำหรับผลการวิเคราะห์เกลือแร่ พบว่า มีโพแทสซียม 1932 ppm โซเดียม 542 ppm แคลเซียม 471 ppm คลอรีน 382 ppm แมกนีเซียม 123 ppm เหล็ก 61 ppm สังกะสี 18 ppm ทองแดง 14 ppm รูบิเดียม 2.7 ppm อะลูมิเนียม 1.6 ppm และ โบรมีน 1.1 ppm ส่วนเกลือแร่ชนิดอื่นพบในปริมาณเล็กน้อย (< 1 ppm)

Hamm และ Searcy (1981) วิเคราะห์ proximate compositions และเกลือแร่ ใน MDBM ที่ได้จากส่วนคอไม่ติดหนัง ส่วนคอติดหนัง 50% ส่วนอกและซี่โครง พบว่า MDBM มีความชื้นอยู่ในช่วง 66.6-70.0% ไขมัน 13.8-22.9% โปรตีน 11.9 - 16.7% เถ้า 0.9-1.50% โดยน้ำหนักเปียก สำหรับผลการวิเคราะห์เกลือแร่ พบว่า MDBM มีโพแทสซียม 1360-2060 ppm ฟอสฟอรัส 1300-2420 ppm แคลเซียม 1200-2550 ppm โซเดียม 280-540 ppm แมกนีเซียม 115-196 ppm เหล็ก 13-27 ppm สังกะสี 11-18 ppm ทองแดง 0.35-0.63 ppm แมงกานีส 0.1-0.47 ppm และตะกั่ว 0.02-0.17 ppm ส่วนเกลือแร่ชนิดอื่นพบในปริมาณเล็กน้อย (< 1 ppm)

Ang และ Hamm (1982) วิเคราะห์ proximate compositions วิตามิน เกลือแร่และปริมาณคอเลสเตอรอล ใน MDBM ที่ได้จากส่วนคอไม่ติดหนัง (necks without skin; SLN), ส่วนหลังทั้งหมดติดหนัง (whole backs with skin; WB), ส่วนคอติดหนัง (necks with skin; NS), ส่วนหลังซีกบน (upper backs; UB) และส่วนผสมของเนื้อ MDBM 4 ส่วนข้างต้น (blended finished product; BFP) พบว่าเนื้อ MDBM มีความชื้นอยู่ในช่วง 62.37-73.40% ไขมัน 13.2-25.2% โปรตีน 10.3-11.9% และเถ้า 0.74-0.89% โดยน้ำหนักเปียก และพบความแตกต่างของความชื้น ไขมัน และเถ้าอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ของตัวอย่างทั้ง 5 ชนิด แต่ไม่พบความแตกต่างของปริมาณโปรตีน ความแปรปรวนดังกล่าวเกิดเนื่องจากชนิดของวัตถุดิบ ชนิดของเครื่องแยกกระดูกและการตั้งเครื่องที่ใช้แยกกระดูกหรือเครื่องแยกหนัง เช่น ความเร็วในการทำงานของเครื่อง (Froning, 1976) และเมื่อวิเคราะห์วิตามิน พบว่ามีวิตามินบี3 (niacin) 2.50-3.41, วิตามินบี5 (panthothenic acid) 0.581 - 0.700, วิตามินบี2 (riboflavin) 0.128 - 0.211, วิตามินบี6 (pyridoxine) 0.094-0.149 และ วิตามินบี1 (thiamin) 0.051-0.068 มิลลิกรัม / น้ำหนักเปียก 100 กรัม

สำหรับการวิเคราะห์เกลือแร่นั้นจะศึกษาใน MDBM ที่ได้จากส่วนหลังทั้งหมดติดหนัง , ส่วนคอติดหนังและส่วนคอไม่ติดหนัง พบว่ามีโพแทสเซียม 123–151, แคลเซียม 53–91, โซเดียม 47–52, แมกนีเซียม 13–15, สังกะสี 1.13-1.78, เหล็ก 1.45-1.86, ทองแดง 0.029-0.046, แมงกานีส 0.019-0.26 มิลลิกรัม / เนื้อไก่ 100 กรัม ซึ่งโดยมาตรฐานของเนื้อสัตว์ปีกที่ไม่มีกระดูกแล้วจะกำหนดให้มีปริมาณกระดูกไม่เกิน 1% หรือเท่ากับแคลเซียม 175 มิลลิกรัม / เนื้อไก่ 100 กรัม

เมื่อวิเคราะห์คอเลสเตอรอลใน MDBM พบว่ามีปริมาณ 94.2 - 129.1 มิลลิกรัม / MDBM 100 กรัม โดย MDBM จากส่วนหลังซีกบนจะมีคอเลสเตอรอลสูงกว่าตัวอย่างอื่น รองมาเป็นส่วนคอติดหนัง ส่วนหลังทั้งหมดติดหนังและส่วนคอไม่ติดหนังตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับที่ Jantawat และ Dawson (1980) รายงานไว้ว่าใน mechanically deboned poultry meat (MDPM) ซึ่งได้จาก fowl ส่วนอกและส่วนหลังกับคอที่เท่ากับ 73.5 - 110.0 มิลลิกรัม / MDPM 100 กรัม

จากงานวิจัยข้างต้นจะเห็นได้ว่าองค์ประกอบของ MDBM แต่ละชนิดมีความแปรปรวนเนื่องจากชนิดของชิ้นส่วน ซึ่งสอดคล้องกับข้อสรุปของ Froning (1976) ที่พบว่าองค์ประกอบของ MDCM มีความแปรปรวนเนื่องจากชนิดของชิ้นส่วน lot อายุ การเลี้ยงดู ชนิดของเครื่องแยกกระดูก ชนิดของอาหารที่ได้รับ อัตราส่วนของกระดูก/เนื้อ วิธีการตัดแต่งและปริมาณหนังเป็นต้น ดังเช่น Satterlee, Froning และ Janky (1971) ศึกษาผลของหนังต่อองค์ประกอบของเนื้อแยกกระดูกด้วยเครื่อง พบว่าเมื่อหนังเพิ่มขึ้นปริมาณไขมันจะเพิ่มขึ้น ส่วนความชื้นและโปรตีนจะลดลง แต่

ไม่มีผลต่อปริมาณคอลลาเจนเพราะไขมันจากหนังจะถูกแรงอัดให้ไหลผ่านรูตะแกรงออกมาในขณะที่คอลลาเจนกับกระดูกจะถูกกักให้ค้างอยู่บนตะแกรง

2.1.2 องค์ประกอบของไขมันใน MDCM

ในกระบวนการแยกกระดูกด้วยเครื่อง เซลล์จะถูกทำลายและมีการปลดปล่อยไขมันและ heme pigments ออกจากไขกระดูกจึงมีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของไขมันในเนื้อที่ผ่านการแยกกระดูกด้วยเครื่อง (Moerck and Ball, 1973) ดังนั้นจึงมีนักวิจัยหลายท่านมีความสนใจในการวิเคราะห์องค์ประกอบของไขมันในเนื้อที่ผ่านการแยกกระดูกด้วยเครื่องดังกล่าว

Moerck และ Ball (1974) ศึกษาองค์ประกอบของไขมันใน MDCM พบว่า ใน MDCM มีไขมันทั้งหมด 27% โดยน้ำหนักเปียก โดยจะเป็น neutral lipids (NL) เกือบ 98.6% ของไขมันทั้งหมด neutral lipids จะประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์เป็นหลัก (92.6%) นอกนั้นเป็นคอเลสเตอรอล (2.1%) ไดกลีเซอไรด์ (1.1%) โมโนกลีเซอไรด์ (0.9%) กรดไขมันอิสระ (0.9%) และคอเลสเตอรอลเอสเตอร์ (0.5%) ส่วน phospholipids นั้นมีเกือบ 1.4% ของไขมันทั้งหมด ที่เหลือเป็น glycolipids ปริมาณเล็กน้อย

นอกจากนี้ยังพบว่ากรดไขมันอิสระที่เป็นองค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์จะประกอบด้วย กรดไขมันที่เป็น 16:0, 18:0, 18:1 และ 18:2 เป็นส่วนใหญ่ ส่วน phospholipids จะประกอบด้วย กรดไขมันที่เป็น 18:0, 20:3 - 22:6 ในปริมาณสูงกว่าไตรกลีเซอไรด์

2.1.3 องค์ประกอบของโปรตีนใน MDCM

กรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบในโปรตีนและคุณภาพของโปรตีนเป็นสิ่งที่ใช้ในการตัดสินใจที่จะนำเนื้อสัตว์หรือผลิตผลพลอยได้ของเนื้อสัตว์เหล่านั้นไปใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ ถ้าเนื้อเหล่านั้นมีองค์ประกอบของกรดอะมิโนโดยเฉพาะกรดอะมิโนจำเป็นครบถ้วนจะถือว่าเนื้อนั้นเป็นแหล่งโปรตีนที่ดีแหล่งหนึ่ง

Essary และ Ritchey (1968) ศึกษากรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบใน mechanically deboned turkey meat (MDTM) พบว่ากรดอะมิโนที่พบมากใน MDTM ได้แก่ aspartic acid, glutamic acid, leucine, lysine และ arginine เมื่อเปรียบเทียบปริมาณกรดอะมิโนใน MDTM กับในเนื้อไก่ (ส่วนอกและขา) เนื้อหมู นมและไข่ พบว่ามีกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน

MacNeil, Mast และ Leach (1978) วิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโนและคุณภาพของโปรตีน โดยวิเคราะห์ค่า protein efficiency ratio (PER) ของ MDBM โดยใช้ตัวอย่าง MDBM ที่

ได้จากส่วนคอไม่มีหนัง (skinless broiler necks; SN) (โปรตีน 15.3% ไขมัน 7.9% และความชื้น 76.7% โดยน้ำหนักเปียก) ส่วนหลังไก่กระทง (broiler backs; BK) (โปรตีน 11.9% ไขมัน 24.0% ความชื้น 63.1% โดยน้ำหนักเปียก) และส่วนคอและหลังไม่มีหนังรวมกัน (combination of skinless necks and backs; SNBK) (โปรตีน 13.7% ไขมัน 17.0% ความชื้น 69.0% โดยน้ำหนักเปียก) และพบว่ามีองค์ประกอบของกรดอะมิโนจำเป็นครบถ้วน ยกเว้น tryptophan ซึ่งไม่สามารถหาได้โดยวิธีวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ เมื่อพิจารณาค่า PER พบว่า MDBM ที่ได้จากส่วนคอไม่มีหนัง มีค่า PER = 2.65 และ MDBM รวมของส่วนคอและหลังไม่มีหนัง มีค่า PER = 2.47 และค่าตัวเลขทั้งสองนี้สามารถเทียบได้กับค่า PER ของเคซีนที่ใช้เป็นโปรตีนมาตรฐาน (PER = 2.50)

Babji, Froning และ Satterlee (1980) ศึกษาคุณค่าด้านโภชนาการของโปรตีนใน MDBM ดิบที่ได้จากส่วนหลังและคอ เนื้อไก่จากซากทั้งตัวที่ผ่านการทำให้สุก (mechanically deboned cooked fowl meat; CMDFM) และจากโครงไก่งวงดิบ (MDTM) พบว่า MDBM, CMDFM และ MDTM มีโปรตีน 13.04%, 18.24% และ 16.28% ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาอัตราการเจริญเติบโตของหนูและค่า PER (2.34, 2.41 และ 2.59 ตามลำดับ) พบว่ามีค่าใกล้เคียงและสามารถเทียบได้กับเคซีน (PER = 2.50) ที่ใช้เป็นมาตรฐานและสามารถนำไปยืนยันการวิจัยของ MacNeil และคณะ (1978) ได้

Kumar และ Pederson (1983) วิเคราะห์ค่า PER จากปริมาณ collagen และ กรดอะมิโน ในเนื้อไก่แยกกระดูกด้วยมือ (hand deboned chicken meat; HDCM) ใน MDPM ที่ได้จาก spent hen และ ใน MDPM ที่ได้จากส่วนโครงไก่ พบว่า ค่า PER ที่หาได้จากปริมาณ collagen ของตัวอย่างทั้งสามมีค่าอยู่ในช่วง 2.93-2.97 และเมื่อวิเคราะห์ค่า PER จากปริมาณกรดอะมิโน พบว่า ค่า PER ของ HDCM (3.33) ใกล้เคียงกับค่า PER ของ MDPM ที่ได้จาก spent hen (3.32) และมีค่าสูงกว่าค่า PER ของ MDPM ที่ได้จากส่วนโครงไก่ (2.93-3.00)

2.2 การใช้เนื้อไก่แยกกระดูกด้วยเครื่องในผลิตภัณฑ์อาหาร

เนื่องจาก MDCM มีลักษณะเป็น paste และราคาถูก ดังนั้นจึงนิยมนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ต่างๆ โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์อิมัลชัน เช่น frankfurters, bolognas, salamis (Froning, 1970) combination rolls และ patties (Froning, 1976)

Froning และคณะ (1971) ผลิตไส้กรอก frankfurters โดยใช้ MDTM ร่วมกับเนื้อวัวและเนื้อหมู พบว่าตัวอย่างที่ใช้ MDTM 15% จะเกิดอิมัลชันได้ดีกว่าตัวอย่างที่ทำจากเนื้อหมู 100% แต่ด้อยกว่าตัวอย่างที่ทำจากเนื้อวัว 100% และยังพบว่าการใช้ MDTM 15% ยังให้ลักษณะ

อิมัลชันที่มีความคงตัวและมีคะแนนการยอมรับด้านกลิ่นรสใกล้เคียงกับไส้กรอกที่ทำจากเนื้อวัวและเนื้อหมู 100% แต่จะมีกลิ่นรสด้อยลง ค่า thiobarbituric acid number (TBA) เพิ่มขึ้นและมีสีจางลงเล็กน้อย เมื่อเก็บไว้โดยแช่เยือกแข็ง เป็นเวลา 90 วัน

Dhillon และ Maurer (1975a) ผลิต summer sausages จากเนื้อไก่กระทงแยกกระดูกด้วยมือจากซากทั้งตัว พบว่าให้สีที่ไม่น่าพอใจ แต่เมื่อเติม MDCM จากส่วนคอและหลังพบว่าผลิตภัณฑ์เป็นที่ยอมรับมากขึ้น สีสวยและมีเนื้อสัมผัสที่ดี แต่ปริมาณ MDCM ที่ใช้ไม่ควรเกิน 65% เพราะจะให้เนื้อสัมผัสที่นุ่มเกินไป หลังจากนั้นคณะผู้วิจัย (Dhillon and Maurer, 1975b) ผลิต summer sausage 3 สูตร คือ สูตรแรกใช้ MDCM 50% + เนื้อวัวบด 50% สูตรที่ 2 ใช้ MDTM 50% + เนื้อวัวบด 50% และสูตรที่ 3 ใช้เนื้อวัวบด 100% แล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิ $-25^{\circ}C$ เป็นเวลา 0, 3 และ 6 เดือน พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค แต่ผลิตภัณฑ์ทุกสูตรที่เก็บไว้เป็นเวลา 6 เดือนนั้นจะมีค่า TBA เพิ่มขึ้น มีการหดตัวเพิ่มขึ้น และมีคะแนนความชอบด้านรสชาติลดลงเล็กน้อยแต่ก็ยังเป็นที่ยอมรับอยู่

Lee และคณะ (1997) ผลิต chicken breakfast sausage โดยใช้ Leghorn spent hen MDCM ร่วมกับ เนื้อไก่แยกกระดูกด้วยมือส่วนต้นขา และเติม fat replacer และ antioxidants ได้แก่ Colorlife® (powdered rosemary concentrate) Herbalox® (oleoresin rosemary extracts) และ Tenox® และเก็บไว้ที่ 4 $\pm 1^{\circ}C$ และ $-20 \pm 1^{\circ}C$ เป็นเวลา 10 วัน และ 6 เดือน ตามลำดับ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีเนื้อสัมผัสที่เหมาะสม และ mouthfeel ที่ดี โดย antioxidants ที่ใช้ไม่มีผลเสียต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสและสามารถยับยั้งการเสื่อมเสียเนื่องจาก lipid oxidation ได้ดีเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ที่ $-20^{\circ}C$ นอกจากนี้ยังพบว่า psychotrophic organisms จะเพิ่มจำนวนขึ้นตามระยะเวลาในการเก็บที่เพิ่มขึ้น เมื่อเก็บไว้ที่ $4^{\circ}C$ แต่จะไม่เจริญที่ $-20^{\circ}C$

2.3 การเสื่อมเสียเนื่องจาก lipid oxidation ของ MDCM และการป้องกันโดยการใช้ tocopherol หรือ CO_2 และ N_2

การใช้เครื่องมือในการแยกเนื้อออกจากกระดูก มีผลให้เกิดความไม่เสถียรของเนื้อสัตว์ เนื่องจากทำให้พื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น มีการปลดปล่อยไขกระดูกและองค์ประกอบอื่นๆ ดังนั้นเนื้อที่ผ่านการแยกกระดูกด้วยเครื่องจึงไวต่อการเกิด lipid oxidation (Maxon and Marion, 1970; Froning, 1976) ซึ่งจะส่งผลต่อความคงตัวและก่อให้เกิดกลิ่นรสผิดปกติ (off–flavor) ในผลิตภัณฑ์ กลไกการเกิด lipid oxidation มีขั้นตอนดังต่อไปนี้ (Nawar, 1996)

Initiation step

(1) initiator $\longrightarrow$ free radicals ($R^{\bullet}$, $ROO^{\bullet}$)

Propagation step

(2) $R^{\bullet} + O_2 \longrightarrow ROO^{\bullet}$ (peroxy radical)

(3) $ROO^{\bullet} + RH \longrightarrow$ ROOH (hydroperoxides) + $R^{\bullet}$

Termination step

(4) $R^{\bullet} + R^{\bullet} \longrightarrow$ R-R

(5) $R^{\bullet} + ROO^{\bullet} \longrightarrow$ ROOR

(6) $ROO^{\bullet} + ROO^{\bullet} \longrightarrow ROOR + O_2$

ไขกระดูกที่ปลดปล่อยออกมาระหว่างการแยกกระดูกด้วยเครื่องประกอบด้วยไขมันและ heme pigments ดังนั้น MDCM จึงมีสีแดงเข้มและมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูงทำให้เกิดการออกซิเดชันได้ง่าย ดังงานวิจัยของ Moerck และ Ball (1973) ซึ่งศึกษาองค์ประกอบและปริมาณไขมันในไขกระดูก พบว่าในไขกระดูกมีไขมันอยู่ถึง 46.5% โดยน้ำหนักเปียก ซึ่งประกอบด้วย neutral lipids (NL) 98.6% ของปริมาณไขมันทั้งหมด และใน NL จะประกอบด้วย ไตรกลีเซอไรด์เป็นองค์ประกอบหลัก ส่วนที่เหลือเป็น phospholipids 1.7% และ glycolipids ปริมาณไม่มากนัก ในไตรกลีเซอไรด์มี polyunsaturated fatty acids ในปริมาณที่ต่ำมาก โดย 91.3% ของกรดไขมันในไตรกลีเซอไรด์เป็นกรดไขมัน palmitic (16 : 0), stearic (18 : 0), oleic (18 : 1) และ linoleic (18 : 2) เป็นหลัก ส่วน phospholipids จะประกอบด้วย oleic (18 : 1) 12.2%, linoleic (18 : 2) 18.2%, arachidonic (20 : 4) 13.1% และมีกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอน 20 : 3 - 22 : 6 มากกว่าในไตรกลีเซอไรด์

จะเห็นได้ว่า ส่วน phospholipids ของไขกระดูกจะมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูง (Siegel and Latimer, 1971) และยังพบว่ากรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในไขกระดูกนั้นมีค่าใกล้เคียงกับที่พบใน MDPM กรดไขมันไม่อิ่มตัวเหล่านี้เป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดการเสื่อมเสียเนื่องจาก lipid oxidation นอกจากนี้ Moerck และ Ball (1974) ยืนยันว่าการเกิด lipid autoxidation ใน MDCM เกิดขึ้นเนื่องจากมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวในปริมาณสูงในส่วน phospholipids และเมื่อติดตามการออกซิเดชันของกรดไขมันด้วยการประเมินเปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว / palmitic acid (unsaturated ratio) ที่ลดลง โดยสมมุติให้ palmitic acid เป็นองค์ประกอบที่มีความคงตัวที่สุดในส่วน phospholipids เขากล่าวว่า กรดไขมัน trienoic, tetraenoic, pentaenoic และ hexaenoic ในส่วน phospholipids เป็นสารตั้งต้นในการเสื่อมเสีย

ของเนื้อแยกกระดูกด้วยเครื่อง ซึ่งเห็นได้จากกรดไขมันไม่อิ่มตัวเหล่านี้จะลดจำนวนลงจาก 25.5% เป็น 13.0% ของกรดไขมันทั้งหมดเมื่อเก็บไว้ 15 วัน ซึ่งแสดงถึงการเกิดออกซิเดชันในเนื้อแยกกระดูกด้วยเครื่อง

นอกจาก lipid components จากไขกระดูกแล้วพบว่าสิ่งที่ส่งเสริมและเร่งการออกซิเดชัน คือ heme pigments Froning และ Johnson (1973) เปรียบเทียบปริมาณ heme pigments ใน mechanically deboned fowl meat (MDFM) กับ hand deboned fowl meat (HDFM) พบว่าใน MDFM มี heme pigments มากกว่า HDFM ถึง 3 เท่า แต่จะมีปริมาณ myoglobin ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้น hemoglobin จึงเป็นสาเหตุส่วนใหญ่ที่ทำให้ MDFM มีสีแดงคล้ำกว่า HDFM

Lee และคณะ (1975) พบว่า MDFM มีปริมาณเหล็ก 0.48 μ moles / น้ำหนัก MDFM เปียก 1 กรัม โดยจะอยู่ในรูป non–heme iron และ heme iron อย่างละครึ่ง ในส่วน heme iron จะเป็นองค์ประกอบอยู่ใน hemoglobin 42% และ myoglobin 12% ของปริมาณเหล็กทั้งหมด และเห็นได้ชัดว่าปริมาณเหล็กใน hemoglobin สูงกว่าใน myoglobin มาก

จากงานวิจัยของ Liu และ Watts (1970) ยืนยันว่า heme และ non-heme iron เป็นตัวเร่งการออกซิเดชันของเนื้อวัว โดย non-heme iron จะเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีในสภาวะที่เป็นกรด (pH = 5.5) ในขณะที่ heme-iron จะเร่งการออกซิเดชันได้ดีในช่วง pH = 5 – 8 ซึ่งเป็นช่วงที่เกิดการ oxidation ของ MDCM ดังนั้นการเกิด oxidation ของ MDCM จึงเกิดเนื่องจากการเร่งของ heme–iron เป็นส่วนใหญ่ (Liu, 1970) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lee และคณะ (1975) ที่รายงานว่า hemoprotein (hemoglobin และ myoglobin) เป็นตัวเร่งการเกิด lipid oxidation ของ MDCM ซึ่งจะก่อให้เกิด off-flavor หรือกลิ่นรสหืน "rancid flavor" ซึ่งมีผลต่อการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการของ MDCM นอกจาก heme pigments ที่เป็นตัวเร่งการเกิด lipid oxidation แล้วอาจมีปัจจัยอื่นที่ก่อให้เกิดการเสื่อมเสียเนื่องจาก lipid oxidation ได้แก่ metal ions, prooxidants, mechanical process และแสง เป็นต้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้แนะนำแนวทางในการป้องกันการออกซิเดชันและ off-flavor ไว้ดังนี้คือ

- ลดอัตราส่วนของกรดไขมันไม่อิ่มตัว (polyunsaturated fatty acids) ให้น้อยลง
- เติมสาร inhibitors และ antioxidants เพื่อยับยั้งการทำงานของ hemoprotein เช่น ascorbic acid, ascorbic acid + ethylene diaminetetraacetic acid (EDTA) และ cyanide เป็นต้น

antioxidants ที่นำมาใช้ในเนื้อสัตว์นั้นมีมากมาย ได้แก่ butylated hydroxyanisole (BHA), butylated hydroxytoluene (BHT), rosemary extracts ซึ่งพบว่ามีประสิทธิภาพในการลดการเกิด lipid oxidation ในเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ได้ดี

MacNeil, Dimick และ Mast (1973) ศึกษาผลการใช้ chemical compounds และ rosemary extracts ใน MDCM พบว่า rosemary spice extracts 0.05% และ BHA + กรดซิตริค มีประสิทธิภาพในการรักษาความคงตัวของกลิ่นรสดีที่สุด รองลงมาคือ polyphosphate และ rosemary spice extracts 0.01% Moerck และ Ball (1974) รายงานว่าสารผสมที่ประกอบด้วย BHA 20%, propyl gallate 6% และกรดซิตริค 4% ใน propylene glycol (Tenox® II) เมื่อเติมในระดับ 0.01% โดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ จะสามารถชะลอการเกิดออกซิเดชันใน MDCM ได้

นอกจากการป้องกันการเกิดออกซิเดชันด้วยวิธีการที่กล่าวมานี้แล้ว ยังมีการใช้วิตามินอี ซึ่งเป็นวิตามินที่ละลายในไขมันและเป็น antioxidant ที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดในเนื้อสัตว์ โดยเฉพาะ α-tocopherol พบว่าเป็นวิตามินอีที่มีสมบัติเป็น chain-breaking antioxidations ที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด (Bruun-Jensen, Skovgaard and Skibsted,1996)

Webb, Marion และ Hayse (1972) ศึกษาผลการเสริม α-tocopheryl acetate ในอาหารเลี้ยงสัตว์ ต่อคุณภาพของ MDTM โดยแบ่งเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่ม control ให้อาหารปกติ (corn-soy ration) โดยตลอดจนกระทั่งชำแหละ กลุ่มที่ 2 ให้อาหารปกติ เป็นเวลา 8 สัปดาห์ แล้วเสริม α-tocopheryl acetate 10 IU / อาหารเลี้ยงสัตว์ 1 lb และกลุ่มที่ 3 ให้อาหารปกติ เป็นเวลา 8 สัปดาห์ แล้วเสริม α-tocopheryl acetate 100 IU / อาหารเลี้ยงสัตว์ 1 lb เมื่อทดสอบ TBA พบว่า MDTM ที่เสริม α-tocopheryl acetate 100 IU มีค่า TBA ต่ำที่สุด รองลงมา คือ MDTM ที่เสริม α -tocopheryl acetate 10 IU และตัวอย่าง control ตามลำดับ ทั้งในตัวอย่างที่เก็บที่อุณหภูมิ -25° C เป็นเวลา 63 วัน และ 5°C เป็นเวลา 7 วัน และ MDTM ที่เก็บที่ -25°C ต้องเสริม α - tocopheryl acetate ถึง 100 IU จึงจะสามารถรักษาค่า TBA ให้ต่ำได้ เมื่อเพิ่มเวลาในการเก็บให้นานขึ้น

Uebersax , Dawson และ Uebersax (1978a) ศึกษาความคงตัวในการเก็บเนื้อไก่งวงแยกกระดูกด้วยมือ ซึ่งได้จากส่วนอก ส่วนต้นขา และ MDTM เมื่อเสริม tocopherol โดยแบ่งตัวอย่างเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มแรก เป็นกลุ่ม control ซึ่งไม่เสริม tocopherol กลุ่มที่ 2 เสริม tocopherol 100 IU / อาหารเลี้ยงสัตว์ 1 กิโลกรัม และกลุ่มที่ 3 เสริม tocopherol 100 IU โดยฉีดใต้ผิวหนังบริเวณคอและหลังของไก่งวง พบว่าเนื้อไก่งวงส่วนอกมีค่า TBA ต่ำที่สุด รองลงมาคือ MDTM และเนื้อส่วนต้นขา ตามลำดับ และค่า TBA จะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้น แต่เมื่อ

เสริม tocopherol จะช่วยให้ค่า TBA ลดลง และการเสริม tocopherol ในอาหารสัตว์มีประสิทธิภาพในการรักษาความคงตัวและป้องกันการเกิด lipid oxidation ได้มากกว่าการเสริม tocopherol โดยการฉีดใต้ผิวหนังและเมื่อนำเนื้อไก่งวงแยกกระดูกด้วยมือที่ได้จากส่วนอกและ MDTM มาผลิต meat loaves พบว่า meat loaves ที่ผลิตได้จากเนื้อไก่งวงที่เสริม tocopherol มีค่า TBA ต่ำกว่าตัวอย่างที่ผลิตจากเนื้อ control และตัวอย่าง meat loaves ที่บรรจุแบบสุญญากาศมีค่า TBA ต่ำกว่าตัวอย่างที่ห่อด้วย aluminum foil

Bruun–Jensen, Skovgaard และ Skibsted (1996) รายงานว่าการใช้ RRR-α-tocopherol (naturally occurring configuration of α-tocopherol) และ RRR-δ-tocopherol (naturally occurring configuration of δ-tocopherol) ปริมาณ 100 หรือ 200 ppm มีประสิทธิภาพในการชะลอการเกิดออกซิเดชันของลูกชิ้นที่เก็บไว้ที่ 5°C ได้ดีกว่า ascorbyl palmitate และการใช้ ascorbyl palmitate ร่วมกับ RRR-α-tocopherol จะมีประสิทธิภาพในการชะลอการเกิดออกซิเดชันได้ดีกว่าการใช้ ascorbyl palmitate ร่วมกับ RRR-δ-tocopherol ถึง 50 %

Ahn และคณะ (1998) ศึกษาผลการเสริม dl-α-tocopheryl acetate ในอาหารสัตว์ต่อการเกิด lipid oxidation ใน turkey meat patties ที่ทำให้สุกแล้ว โดยเติม dl-α-tocopheryl acetate 25, 200, 400 และ 600 IU / อาหารสัตว์ 1 กิโลกรัม พบว่าสามารถลด thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) ได้เมื่อเติม dl-α-tocopheryl acetate (TA) 200 IU / อาหารสัตว์ 1 กิโลกรัม ขึ้นไป

Galvin, Morrissey และ Buckley (1998) ศึกษาผลของ α-tocopheryl acetate (synthetic form of α-tocopherol) และ gamma–irradiation ต่อการเกิด lipid oxidation ในเนื้อไก่บดสุก พบว่าการฉายรังสีทำให้ตัวอย่างเกิดออกซิเดชันเพิ่มขึ้นและการเติม α-tocopheryl acetate ในอาหารสัตว์เพื่อเลี้ยงไก่ซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบสามารถลดการเกิด TBARS ในเนื้อไก่บดสุกเมื่อฉายรังสีได้

ในอุตสาหกรรมเนื้อสัตว์ยังใช้ CO_2 และ liquid N_2 ซึ่งเป็น freezant ในการควบคุมอุณหภูมิของ MDCM เคยมีการใช้ CO_2 snow ในระหว่างกระบวนการแยกกระดูกแต่ CO_2 snow มีผลให้ค่า TBA เพิ่มขึ้น (Uebersax , Dawson and Uebersax, 1977; Mast, Jurdi and MacNeil, 1979) ซึ่งมิได้มีการรายงานไว้ว่าเป็นเพราะเหตุใด แต่คาดว่าเป็นเพราะมีการสัมผัสของเนื้อกับ CO_2 snow นานเกินไปทำให้เกิดสภาพที่เป็นกรด ซึ่งเอื้อต่อการออกซิเดชัน โดยการเร่งของ non-heme iron ดังนั้น CO_2 snow อาจมีผลทั้งทางด้านบวกและลบในแง่ของการเกิดออกซิเดชันในเนื้อสัตว์หรือ MDCM ขึ้นอยู่กับว่ามีเวลาในการสัมผัสนานเท่าใด แต่ถึงอย่างไร

CO_2 snow ก็เป็นสารให้ความเย็นที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ (Cunningham and Mugler, 1973) สำหรับ N_2นั้น ยังไม่มีการรายงานว่าให้ผลในทางลบต่อการออกซิเดชันในเนื้อสัตว์

Jurdi, Mast และ MacNeil (1980) ศึกษาการใช้ CO_2 และ N_2 (gas) ใน low-fat MDCM ที่ได้จากส่วนคอไก่กระทงไม่ติดหนัง ซึ่งมีไขมัน 10.6% และ high-fat MDCM ที่ได้จากส่วนคอและหลังติดหนัง ซึ่งมีไขมัน 20.6% โดยแบ่ง MDCM เป็น 4 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 ใช้ CO_2 100% กลุ่มที่ 2 ใช้อากาศ 70%ร่วมกับ CO_2 30% กลุ่มที่ 3 ใช้ N_2 100% กลุ่มที่4 ใช้อากาศ 100% ฉีดพ่นก่อนปิดผนึก พบว่า low-fat MDCM ที่เก็บที่อุณหภูมิ 5°C มีความแตกต่างของค่า TBA ของตัวอย่างทั้ง 4 กลุ่ม เมื่อเก็บไว้ 10 วัน โดยตัวอย่างที่ใช้อากาศในการฉีดพ่นจะมีค่า TBA สูงที่สุด ในขณะที่ high-fat MDCM จะพบความแตกต่างของค่า TBA ของตัวอย่างทั้ง 4 กลุ่ม เมื่อเก็บไว้ 6 วัน โดยตัวอย่างที่ฉีดพ่นด้วย N_2 จะมีค่า TBA ต่ำกว่าตัวอย่างที่ฉีดพ่นด้วยก๊าซชนิดอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

นอกจากการใช้สาร antioxidants หรือ freezant แล้ว การบรรจุอย่างเหมาะสมยังช่วยชะลอการเกิดออกซิเดชันได้ ดังงานวิจัยของ Barbut , Kakuda และ Chan (1990) ซึ่งศึกษาผลการแช่เยือกแข็ง MDCM ด้วยวิธี CO_2 snow freezing หรือ blast-freezing โดยใช้การบรรจุแบบสุญญากาศและแบบปกติที่อุณหภูมิการเก็บ -18°C พบว่าการบรรจุแบบสุญญากาศช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ได้มากกว่า 4 เดือน และพบว่าหลังจากเก็บไว้ 5 เดือน ตัวอย่างที่แช่เยือกแข็งด้วยวิธี CO_2 snow freezing จะมีปริมาณ malonaldehyde สูงกว่าตัวอย่างที่แช่เยือกแข็งด้วยวิธี blast–freezing โดยเมื่อแช่เยือกแข็งด้วยวิธี CO_2 snow freezing ตัวอย่างจะเก็บได้นาน อย่างน้อย 2 เดือน ในขณะที่เมื่อแช่เยือกแข็งด้วยวิธี blast–freezing สามารถเก็บได้นานมากกว่า 5 เดือน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4 มันเทศ

ในประเทศไทยมีผลิตผลทางการเกษตรหลายชนิดที่มีผลผลิตจำนวนมากและมีราคาตกต่ำในบางฤดูกาล มันเทศก็เป็นพืชอีกชนิดหนึ่งที่มีผลผลิตสูงและมีราคาตกต่ำ โดยในปี 2534-2538 มีรายงานว่ามีราคา 3.00-5.50 บาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2541) มันเทศเป็นพืชหัวประเภทคาร์โบไฮเดรต ซึ่งเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญชนิดหนึ่งของประชากรในเขตร้อนและเขตอบอุ่น เป็นอาหารหลักในหลายประเทศ เช่น ปาปัวนิวกินี ฟิลิปปินส์และไต้หวัน หัวของมันเทศมีคุณค่าทางอาหารสูง และสามารถนำมาใช้ปรุงอาหารทั้งคาวและหวาน เช่น ขนมปัง หุงต้มและบรรจุกระป๋อง นอกจากนี้เถามันเทศยังเป็นแหล่งเส้นใยที่สำคัญในการเลี้ยงสัตว์ด้วย ในประเทศที่

มีรายได้ต่ำสามารถใช้มันเทศเป็นอาหารประจำวันได้ เนื่องจากมันเทศ เป็นพืชที่ให้ผลผลิตสูง เจริญเติบโตได้ดีในสภาพดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ และทนต่อสภาพแห้งแล้งได้ดี (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา, 2542)

ประเทศไทยมีเนื้อที่ปลูกมันเทศในปีเพาะปลูก 2538 / 39 จำนวน 36,919 ไร่ ผลผลิตประมาณ 90,913 ตัน และผลผลิตเฉลี่ย ประมาณ 2,462 กิโลกรัมต่อไร่ มันเทศปลูกมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยมีเนื้อที่เพาะปลูก 2538 / 39 ประมาณ 12,959 ไร่ ผลผลิตประมาณ 32,434 ตัน และผลผลิตต่อไร่ 2,502 กิโลกรัม รองลงมาคือภาคตะวันตก ภาคใต้ ภาคเหนือ ภาคกลางและภาคตะวันออก ตามลำดับ แหล่งผลิตที่สำคัญได้แก่ สุพรรณบุรี รองลงมาได้แก่ จังหวัดเลย สุรินทร์ พระนครศรีอยุธยา นครศรีธรรมราช อุบลราชธานี เชียงใหม่ พิษณุโลก และอุดรธานี

มันเทศมีถิ่นกำเนิดในเขตร้อนของทวีปอเมริกาและเป็นพืชที่ปลูกกันมานานนับพันปี ต่อมาได้นำไปปลูกในประเทศสเปนและโปรตุเกส หลังจากนั้นจึงเผยแพร่ไปยังทวีปอเมริกาเหนือ นิวกินี หมู่เกาะแปซิฟิกตะวันออก จีนและญี่ปุ่น ปัจจุบันปลูกทั่วทุกแห่งในเขตร้อน

มันเทศมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Ipomoea batatas* อยู่ในวงศ์ Convolvulaceae ลำต้นมีลักษณะเป็นเถาเลื้อยไปตามดิน มันเทศแต่ละพันธุ์จะมีสีหัว (ขาว น้ำตาล ม่วง เขียว) สีของเนื้อ (ขาวหรือเหลือง) รูปร่าง ขนาด และลักษณะผิวของหัว รูปร่างของใบ ความลึกของราก ระยะเวลาของการสุกแก่ รวมทั้งความต้านทานโรคต่างกัน

หัวและยอดอ่อนของมันเทศมีแป้ง โปรตีน ไขมัน และวิตามินหลายชนิดค่อนข้างสูง ในปี 2530 กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข ได้รายงานผลการวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารต่อ 100 กรัมของมันเทศพันธุ์สีขาวและสีเหลือง เมื่อเปรียบเทียบกับคุณค่าทางอาหารกับมันฝรั่ง เผือก และข้าวจ้าวแล้ว พบว่าคุณค่าทางอาหารของมันเทศไม่ได้ด้อยไปกว่าพืชทั้ง 3 ชนิดหลังเลย และด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้จึงนิยมนำมันเทศมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆมากมาย เช่น มันเทศต้ม มันเทศทอด มันเทศกระป๋อง มันเทศทอดแช่เยือกแข็ง และแป้งมันเทศทั้งในรูป starch และ flour (Collins and Abdulaziz, 1982)

เนื่องจากมันเทศเป็นพืชที่มีราคาถูก หาได้ง่าย และเป็นแหล่งของ provitamin A ที่สำคัญ จึงมีผู้นำมาใช้เป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ด้วย เช่น Saleh และ Ahmed (1998) ผลิต beef patties โดยนำแครอทและมันเทศมาใช้เป็นส่วนประกอบและพบว่า beef patties ที่เติมแครอทและมันเทศมีสีที่เหลืองขึ้นกว่าตัวอย่างที่ใช้เนื้อวัวเพียงอย่างเดียว มีค่า hardness เพิ่มขึ้น และถือว่าผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาได้เป็นแหล่ง provitamin A ที่สำคัญแหล่งหนึ่ง

2.5 การแช่เยือกแข็งเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์

การแช่เยือกแข็งเป็นกรรมวิธีลดอุณหภูมิของอาหารให้ต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง โดยส่วนของน้ำจะเปลี่ยนสถานะไปเป็นผลึกน้ำแข็ง การตรึงน้ำพร้อมทั้งน้ำแข็งและผลจากการเข้มข้นขึ้นของตัวถูกละลายในน้ำที่ยังไม่แข็งตัวทำให้ค่า water activity ของอาหารลดลง จึงถือเป็นการถนอมรักษาอาหารโดยการลดอุณหภูมิและ ลดค่า water activity ซึ่งถ้าใช้วิธีแช่เยือกแข็งและการเก็บรักษาที่เหมาะสมอาหารจะเกิดการเปลี่ยนแปลงด้านโภชนาการและทางประสาทสัมผัสน้อยมาก (Fellow, 2000)

วิธีการแช่เยือกแข็งเมื่อแบ่งกลุ่มตามอัตราเร็วในการแช่เยือกแข็ง สามารถแบ่งได้เป็น 4 กลุ่ม คือ (Sebranek, 1982)

- วิธีการแช่เยือกแข็งแบบช้า (slow freezing) มีอัตราการแช่เยือกแข็งน้อยกว่า 0.2 เซนติเมตร / ชั่วโมง เช่น การแช่เยือกแข็งโดยใช้ลมเย็นอยู่นิ่งกับที่ (still–air freezing)
- วิธีการแช่เยือกแข็งแบบเร็ว (quick freezing) มีอัตราการแช่เยือกแข็ง 0.5 – 3 เซนติเมตร / ชั่วโมง เช่น การแช่เยือกแข็งโดยใช้ลมเย็นมีการหมุนวน (air–blast freezing) และการแช่เยือกแข็งโดยใช้แผ่นโลหะเย็น (plate freezing)
- วิธีการแช่เยือกแข็งแบบเร็วยิ่ง (rapid freezing) มีอัตราการแช่เยือกแข็ง 5 – 10 เซนติเมตร / ชั่วโมง เช่น การแช่เยือกแข็งแบบฟลูอิไดซ์–เบด (fluidized bed freezing)
- วิธีการแช่เยือกแข็งแบบเร็วยิ่งยวด (ultrarapid freezing) มีอัตราการแช่เยือกแข็งมากกว่า 10 เซนติเมตร / ชั่วโมง เช่น การแช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิค (cryogenic freezing)

วิธีการแช่เยือกแข็งที่นิยมใช้กับเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ ได้แก่ (Fellow, 2000)

- วิธีการแช่เยือกแข็งโดยใช้ลมเย็นมีการหมุนวน (air–blast freezing)

ระบบการแช่เยือกแข็งแบบนี้สามารถดัดแปลงใช้ได้กับผลิตภัณฑ์เกือบทุกชนิด ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างไม่แพง การดำเนินงานไม่ยุ่งยาก และสามารถดัดแปลงใช้ได้กับผลิตภัณฑ์และภาชนะบรรจุทุกขนาด การเคลื่อนที่ของผลิตภัณฑ์เข้าและออกจากอุปกรณ์ทำได้โดยใช้ชั้นวางหลายชั้นที่มีล้อเลื่อน หรือโดยใช้รถยก หรือโดยสายพานลำเลียง การแช่เยือกแข็งแบบนี้มีอุณหภูมิในช่วง –34°C ถึง -40°C และความเร็วลมจะสูงมากถึง

1500 ฟุต / นาที ซึ่งทำให้การแช่เยือกแข็งเป็นไปอย่างรวดเร็วและเกิดลักษณะปรากฏที่เหมาะสมในเนื้อสัตว์

- วิธีการแช่เยือกแข็งโดยการจุ่มในของเหลว (liquid immersion freezing)

ทำได้โดยจุ่มผลิตภัณฑ์ลงในของเหลวที่สามารถคงสภาพเป็นของเหลวอยู่ได้ที่อุณหภูมิ –18°C หรือต่ำกว่า ไม่เป็นพิษ ไม่มีกลิ่น ไม่มีผลกระทบต่อคุณลักษณะของอาหาร ของเหลวที่ใช้ เรียกว่า freezant ที่นิยมใช้ ได้แก่ สารละลายโซเดียมคลอไรด์ แคลเซียมคลอไรด์ โพรพิลีนไกลคอลและกลีเซอรอล เป็นต้น

- วิธีการแช่เยือกแข็งโดยใช้แผ่นโลหะเย็น (plate freezing)

เป็นการนำอาหารที่ต้องการแช่เยือกแข็งมาวางอยู่ระหว่างแผ่นโลหะกลวง ภายในช่องว่างของโลหะจะถูกทำให้เย็นด้วยสารทำความเย็น ซึ่งเปลี่ยนสถานะจากไอเป็นของเหลว ด้วยการใช้แรงดันอัดผ่านเครื่องคอมเพรสเซอร์ เพื่อลดอุณหภูมิและความดันให้อยู่ในลักษณะของเหลวเย็นจัดไหลผ่านเข้าในช่องว่างของโลหะ ทำหน้าที่ดูดความร้อนจากอาหารไปสัมผัสบนแผ่นโลหะและเปลี่ยนสถานะเป็นไอหมุนเวียนเข้าสู่คอมเพรสเซอร์ สารทำความเย็นที่นิยม ได้แก่ แอมโมเนีย เป็นต้น

- วิธีการแช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิค

การแช่เยือกแข็งวิธีนี้เป็นการใช้สารให้ความเย็นที่มีอุณหภูมิต่ำมาก (-60°C หรือต่ำกว่า) เช่น liquid nitrogen หรือ solid และ liquid carbon dioxide เป็นตัวเคลื่อนย้ายความความร้อนออกจากผลิตภัณฑ์ด้วยการเปลี่ยนสถานะของสารให้ความเย็น (Sebranek, 1982)

Berry และ Cunningham (1970) รายงานว่าการแช่เยือกแข็งแบบใช้ liquid nitrogen ซึ่งมีอัตราเร็วในการแช่เยือกแข็งสูงกว่าจะให้ผลิตภัณฑ์ไก่ทอดแช่เยือกแข็งที่มีคุณภาพดีกว่าการแช่เยือกแข็งแบบ blast-freezing และ house–hold freezing และยังพบว่าอัตราการแช่เยือกแข็งมีผลต่อการหืนของผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะเห็นได้จากตัวอย่างที่แช่เยือกแข็งแบบใช้ liquid nitrogen จะมีค่า TBA ต่ำที่สุด รองลงมา คือ ตัวอย่างที่แช่เยือกแข็งแบบ blast–freezing และ house–hold freezing ตามลำดับ

Baker, Darflar และ Angle (1974) รายงานว่า เนื้อไก่ที่มีอัตราเร็วในการแช่เยือกแข็งสูงโดยใช้ blast freezer (-30°C) จะเกิด drip loss และ มีค่า TBA ต่ำกว่า มีค่า juiciness และมีคะแนนด้านกลิ่นรสสูงกว่าเนื้อไก่ที่มีอัตราเร็วในการแช่เยือกแข็งต่ำ โดยใช้ household–type upright freezer (-18°C)

Sack และคณะ (1993) ศึกษาผลของวิธีการแช่เยือกแข็งต่อคุณภาพของเนื้อแกะ โดยแบ่งวิธีการแช่เยือกแข็ง เป็น 5 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 แช่เยือกแข็งแบบ cryogenic (-65°C) กลุ่มที่ 2 แช่เยือกแข็งแบบ cryogenic (-90°C) กลุ่มที่ 3 ใช้ walk–in freezer (-21°C) กลุ่มที่ 4 ใช้ blast–freezer (-21°C) และกลุ่มที่ 5 ใช้ domestic freezer (-25°C) แช่เยือกแข็งจนกระทั่งมีอุณหภูมิที่จุดศูนย์กลาง -20°C พบว่า การแช่เยือกแข็งแบบ cryogenic (-90°C) มีอัตราการแช่เยือกแข็งสูงที่สุด เท่ากับ 6.4 เซนติเมตร / ชั่วโมง รองลงมา คือ cryogenic (-65°C), walk –in freezer (-21°C), domestic freezer (-25°C) และ blast–freezer (-21°C) ซึ่งมีอัตราการแช่เยือกแข็ง 4.4, 0.55, 0.51 และ 0.35 เซนติเมตร / ชั่วโมง ตามลำดับ

นอกจากนี้การแช่เยือกแข็งแบบ cryogenic ยังเกิด drip loss น้อยที่สุดและให้ลักษณะปรากฏที่ดีกว่าการแช่เยือกแข็งวิธีอื่น การแช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิค จะมีความสามารถในการถ่ายเทความร้อนออกจากอาหารสูงที่สุด และใช้เวลาในการแช่เยือกแข็งน้อยที่สุด ใช้พลังงานต่ำ แม้จะมีต้นทุนสูงกว่าการแช่เยือกแข็งแบบอื่นแต่ให้ลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ดั้งเดิม มีการสูญเสียน้ำหนักของอาหารน้อยกว่าการแช่เยือกแข็งโดยใช้ air–blast freezer มาก ดังนั้นวิธีการแช่เยือกแข็งแบบไครโครโอจีนิคจึงมีนิยมใช้แพร่หลายทั้งในผักและผลไม้ เนื้อสัตว์ อาหารทะเลและผลิตภัณฑ์ขนมอบ เป็นต้น

สารให้ความเย็น (cryogen) ในการแช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิคที่นิยมใช้ คือ liquid nitrogen หรือ solid และ liquid carbon dioxide ซึ่งเป็นสารไม่มีสี ไม่มีกลิ่นและเป็นสารเฉื่อย เมื่อฉีดพ่น liquid nitrogen จะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นก๊าซ และก๊าซนี้สามารถหมุนเวียนกลับมาใช้ได้อีก ส่วน solid และ liquid carbon dioxide เมื่อฉีดพ่นบนอาหารจะเกิดเกล็ดน้ำแข็งขนาดเล็กๆซึ่งจะระเหิดได้บนผิวสัมผัสและก๊าซที่เกิดขึ้นไม่สามารถหมุนเวียนกลับมาใช้ได้อีก carbon dioxide มีฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรีย และก่อให้เกิดสารพิษ นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าการใช้ carbon dioxide มีผลให้ ผลิตภัณฑ์มีสภาพเป็นกรดเมื่อฉีดพ่นเป็นเวลานานๆ ก่อให้เกิดการหืนเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากการเร่งปฏิกิริยาของ non–heme iron (Uebersax, Dawson and Uebersax, 1977; Mast, Jurdi and MacNeil, 1979)) ดังนั้นในผลิตภัณฑ์ที่หืนได้ง่ายจึงต้องพึงระวังเพราะอาจก่อให้เกิดผลเสียในผลิตภัณฑ์ได้ ส่วน liquid nitrogen นั้นยังไม่มีรายงานว่ามีผลเสียแก่ผลิตภัณฑ์และยังพบว่ามีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันได้ดีกว่า carbon dioxide อีกด้วย (MacNeil and Mast, 1980)

2.6 การใช้ antioxidants ในเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์

การออกซิเดชันของไขมันก่อให้เกิดผลเสียต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ทั้งด้านกลิ่นรส สี เนื้อสัมผัส ดังนั้นจึงมีการนำ antioxidants มาใช้เพื่อชะลอการเสื่อมเสียดังกล่าวและรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้ยาวนานขึ้น (Buckey, Morrissey and Gray, 1995) ซึ่ง antioxidants หมายถึง สารที่มีหน้าที่ชะลอการเสื่อมเสีย การหืน และการเปลี่ยนสีเนื่องจากการออกซิเดชันในอาหาร (Eastman Chemical Products Inc, 1986)

antioxidants ที่ใช้ในเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ได้มาจาก 2 แหล่ง คือ จากการสังเคราะห์และจากธรรมชาติ

- antioxidants ที่ได้จากการสังเคราะห์ เช่น BHA, BHT, tertiary butyl hydroquinone (TBHQ) เป็นต้น ซึ่ง Dawson,Stevenson และ Gertonson (1975) ศึกษาผลการใช้ antioxidants 3 ชนิด คือ Tenox BHA (ประกอบด้วย BHA 100%) Tenox A (ประกอบด้วย BHA 40%, citric acid 8% และ propylene glycol 52%) และ Tenox 2 (ประกอบด้วย BHA 20%, propyl gallate 6%, citric acid 4% และ propylene glycol 70%) ต่อการเปลี่ยนแปลงค่า TBA และกลิ่นรส ใน turkey patties พบว่า patties ที่เติม antioxidants ทั้ง 3 ชนิด มีค่า TBA ต่ำกว่า control (ไม่เติม antioxidants) มากกว่าครึ่ง และไม่พบความแตกต่างของค่า TBA ในตัวอย่างที่เติม antioxidants ทั้ง 3 ชนิด อย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่าตัวอย่าง control จะมีการเปลี่ยนแปลง กลิ่นรสเพิ่มมากขึ้นเมื่อเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้น

Ahn, Wolfe และ Sim (1993) รายงานว่า EDTA และ diethylene triamino penta acetic acid (DTPA) ซึ่งเป็น metal chelators สามารถลด TBARS ในเนื้อส่วนขาไก่งวง และ MDTM ได้ นอกจากนี้ยังพบว่าเนื้อไก่งวงส่วนขา และ MDTM เมื่อใช้ BHA (free radical terminators) จะมีค่า TBARS ลดลง

Stoick และคณะ (1991) พบว่าระหว่างการเก็บ steak เนื้อวัวสุกที่อุณหภูมิ 4°C นาน 6 วัน ตัวอย่างที่เติม sodium tripolyphosphate (STPP) ซึ่งทำหน้าที่เป็น secondary หรือ synergistic antioxidant จะช่วยรักษาความคงตัวของกลิ่นรส ป้องกันการเกิด warmed–over flavor (WOF) ทำให้มีค่า TBA ต่ำกว่าตัวอย่าง control (ไม่เติม antioxidants) สำหรับตัวอย่าง steak เนื้อวัวดิบที่เก็บโดยการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ –20°C เป็นเวลา 6 เดือน พบว่าเมื่อเติม oleoresin rosemary (OR) ในปริมาณมากขึ้นจะเพิ่มประสิทธิภาพในการชะลอการเกิดออกซิเดชันในตัวอย่าง และการเติม OR 0.1% ร่วมกับ STPP จะมีประสิทธิภาพในการชะลอการ

เกิดออกซิเดชันได้สูงที่สุด รองลงมาคือตัวอย่างที่เติม TBHQ / STPP และตัวอย่างที่เติม OR 0.05% / STPP ตามลำดับ

- antioxidants ที่ได้จากธรรมชาติ เช่น ascorbic acids, flavonoids, proteins, protein hydrolysates, spices, β-carotenes, rosemary และ tocopherols เป็นต้น

O'Neil และคณะ (1999) รายงานว่า carnosine (0.1, 0.5, 1.0 และ 1.5% โดยน้ำหนักผลิตภัณฑ์) ช่วยในการรักษาความคงตัวของ chicken patties ดิบซึ่งเก็บไว้ในตู้เย็น เป็นเวลา 10 วัน แต่ต้องใช้ถึง 1.5% จึงจะรักษาความคงตัวของ chicken patties สุกไว้ได้ นอกจากนี้ยังพบว่า chicken patties ที่ทำจากเนื้อไก่ที่เสริม α-tocopherol ในอาหาร 200 มิลลิกรัม / อาหารสัตว์ 1 กิโลกรัม จะมีประสิทธิภาพในการชะลอการเกิดออกซิเดชันใกล้เคียงกับ chicken patties ที่เติม carnosine 1.5 %

2.7 Chicken croquettes

เป็นผลิตภัณฑ์ fast food ที่มีต้นกำเนิดในประเทศฝรั่งเศส แต่ปัจจุบันนิยมแพร่หลายในญี่ปุ่นและสเปน เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำเนื้อไก่ที่ผ่านการทำให้สุก บด และผสมกับเครื่องเทศและเครื่องปรุงรส แล้วนำมาขึ้นรูปเป็นรูปทรงต่างๆ คลุกเกล็ดขนมปังและทอดแบบน้ำมันท่วม chicken croquettes เป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้เนื้อสัตว์ที่ผ่านการทำให้สุก ดังนั้นจึงนิยมใช้ binder เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้แก่ผลิตภัณฑ์ เช่น แป้ง pregelatinized จากมันสำปะหลัง เป็นต้น (Varnam and Sutherland, 1995)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย