บทที่ 2
ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 พืชพื้นบ้านและสมบัติการเป็นสารต้านออกซิเดชัน

พืชพื้นบ้านหรือพรรณไม้พื้นเมืองในท้องถิ่นที่ชาวบ้านนำมาบริโภค เป็นพืชเกิดในแหล่งธรรมชาติตามป่าเขา ป่าละเมาะ ป่าแพะ หนองบึง ริมน้ำ หรือชาวบ้านนำมาปลูกไว้เพื่อสะดวกในการเก็บบริโภค พืชพื้นบ้านมีชื่อเฉพาะของแต่ละท้องถิ่น และนำไปประกอบเป็นอาหารพื้นเมืองตามกรรมวิธีเฉพาะของแต่ละท้องถิ่น นอกจากนี้ พืชพื้นบ้านเองยังถูกนำมาใช้ประโยชน์เป็นยารักษาโรค เครื่องใช้ไม้สอย เครื่องแต่งกาย และทางเศรษฐกิจอีกด้วย (http://www.krudang.com/sheet/pak/kwammy.htm, 2554) สำหรับข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับชื่อและลักษณะทางพฤกษศาสตร์ รวมถึงสรรพคุณและการใช้ประโยชน์ของพืชพื้นบ้านที่ใช้ในงานวิจัยมีดังนี้

2.1.1 เมี่ยงป่า (*Camellia sinensis* (L.)Kuntze var. *assamica* (J.Masters) Kitam วงศ์ THEACAE)

โดยทั่วไป นิยมใช้ใบตากแห้งสำหรับชงดื่มเป็นชา หรือนึ่งใบเพื่อใช้เคี้ยวกินเล่นแทนหมาก หรือแก้กระหายน้ำ แก้ง่วงนอน ทำให้ชุ่มคอ กระตุ้นหัวใจ ทำให้หัวใจชุ่มชื่น แก้ปวดเมื่อยตามร่างกาย และใช้เป็นยาแก้ท้องร่วงและขับปัสสาวะ นอกจากนี้ ยังใช้เป็นยาพื้นบ้าน โดยใช้ใบสดเป็นยาสมานแผล กากใบใช้พอกแผลจากน้ำร้อนลวก หรือไฟไหม้ ส่วนเมล็ดใช้เป็นยาสระผมเพื่อกำจัดเหา (สุธรรม และคณะ, 2552ก) (ภาพที่ 2.1ก)

ใบเมี่ยงป่าที่ใช้ทำชาเขียว มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเท่ากับ 163.33 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง (Aqil และคณะ, 2006) โดยสารประกอบฟีนอลิกที่สำคัญ คือ สารกลุ่มฟลาโว-นอยด์ ได้แก่ ฟลาวานอล (คาทิชิน อิพิคาทิชิน (epicatechin) อิพิแกลเลท (epigallate) อิพิแกลโล-คาทิชิน (epigallocatechin) และอิพิคาทิชินแกลเลท (epicatechin gallate)) ฟลาโวนอล (เคมเฟอรอล (kaempferol) เควอซีทินไกลโคไซด์ (quercetin glycoside) และโปรแอนโธไซยานิน) (Lin และคณะ, 2003; Cai และคณะ, 2004) อย่างไรก็ตาม งานวิจัยเกี่ยวกับฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาและองค์ประกอบทางเคมีของเมี่ยงป่านั้นมีอยู่น้อยมากเมื่อเทียบกับชา

Katsube และคณะ (2004) รายงานว่า ชาเขียวจากเมี่ยงป่ามีความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ที่ดี โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 194.6 ไมโครโมลาร์สมมูลย์ของอิพิแกลโลคาทิชินแกลเลท (epigallocatechin gallate, EGCG) ต่อกรัม นอกจากนี้ ยังมีความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันชนิดที่มีความหนาแน่นต่ำ (Low Density Lipoprotein, LDL) ได้ดีอีกด้วย โดยมีค่าเท่ากับ 191.4 ไมโครโมลาร์สมมูลย์ของ EGCG ต่อกรัม รวมทั้งมีรายงานการประยุกต์ใช้ชาเขียวจากใบเมี่ยงเป็นส่วนผสมในอาหารไก่ พบว่า เนื้อไก่ที่ประกอบด้วยคาทิชินช่วยทำให้อัลฟาโทโคฟีรอลมีความคงตัวในระหว่างการเก็บรักษาอกไก่แช่เยือกแข็ง (Tang และคณะ, 2001a) หรือใช้ใบชาเขียวบดแห้งต้มกับน้ำร้อนในการล้างผักกาดหอม เพื่อป้องกันการสูญเสียวิตามินซีและแคโรทีนอยด์ในระหว่างการเก็บรักษาผักกาดหอมที่อุณหภูมิ 20 และ 50 องศาเซลเซียส (Martin-Diana และคณะ, 2008) เป็นต้น

2.1.2 ติ้วขาว (*Cratoxylum formosum* (Jack) Dyer spp. Pruniflorum (Kurz) Gogel วงศ์ CLUSIACEAE)

ยอดอ่อน ใบอ่อนและดอกอ่อนของติ้วขาวมีรสเปรี้ยวใช้กินเป็นผักกับอาหารหลายอย่าง เช่น ลาบ ก้อย ป่น หรือใส่ต้มยำต่างๆ เพื่อปรุงให้มีรสเปรี้ยวแทนมะนาว ดอกอ่อนใช้ทำซุปหรือยำ ส่วนสรรพคุณทางยา ใบอ่อนและยอดอ่อน หากรับประทานสดจะช่วยระบายท้อง รากและใบใช้ต้มกินแก้ปวดท้อง เปลือกและใบใช้ตำผสมกับน้ำมันมะพร้าวทาแก้โรคผิวหนัง น้ำยางจากลำต้นใช้ทารอยแตกของส้นเท้าและรักษาบาดแผล (สุธรรม และคณะ, 2552ก) (ภาพที่ 2.1ข)

สารต้านออกซิเดชันที่สำคัญที่พบในพืชชนิดนี้ ได้แก่ กรดคลอโรจีนิก (chlorogenic acid) กรดไดคาเฟโอลิลควินิก (dicaffeoylquinic acid) และอนุพันธ์ของกรดเฟอรูลิก (ferulic acid) (Maisuthisakul และคณะ, 2007b) ซึ่งมีฤทธิ์ในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ที่ดี และยังเป็นพืชที่มีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด และปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดสูงด้วย (Maisuthisakul และคณะ, 2007a) สอดคล้องกับรายงานของ เกศศิณี และจันทร์เพ็ญ (2543) ที่รายงานว่าสารสกัดติ้วขาวมีศักยภาพสูงมากในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี β-carotene bleaching นอกจากนี้ Maisuthisakul และคณะ (2008) รายงานคุณค่าทางโภชนาการของยอดอ่อนและใบติ้วขาวสด (ต่อ 100 กรัมของส่วนที่กินได้) ประกอบด้วย เถ้า 4.1 กรัม โปรตีน 15.6 กรัม ไขมัน 10.8 กรัม คาร์โบไฮเดรต 63.2 กรัม เยื่อใย 6.2 กรัม แคลเซียม 448.3มิลลิกรัม เหล็ก 17.2 มิลลิกรัม วิตามินซี 395.4 มิลลิกรัม และ ให้พลังงาน 412 กิโลแคลอรี่ต่อกรัม

นอกจากนี้ มีการศึกษาความสามารถในการต้านออกซิเดชันของติ้วขาวในผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น การใช้สารสกัดติ้วขาวในน้ำมันถั่วเหลืองและในอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำ เพื่อชะลอการปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันด้วยวิธี peroxide value (PV) และวิธี thiobarbituric acid (TBA) โดยพบว่า สารสกัดติ้วขาวมีศักยภาพในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในน้ำมันถั่วเหลืองได้ดีกว่าอัลฟาโทโคฟีรอล แต่มีประสิทธิภาพด้อยกว่าในอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำ (Maisuthisakul และคณะ, 2006) หรือ การเติมผงติ้วขาวและสารสกัดติ้วขาว 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในน้ำมันที่ใช้เคลือบข้าวอบกรอบ โดยสารสกัดติ้วขาวมีประสิทธิภาพในการเป็นสารต้านออกซิเดชันได้ดีกว่าผงติ้วขาว (Maisuthisakul และคณะ, 2007c) เป็นต้น

2.1.3 ส้มจี้ (*Embelia ribes* Burm. F. วงศ์ MYRSINACEAE)

ยอดอ่อนและใบอ่อนของส้มจี้มีรสเปรี้ยว ชาวเขาแทบทุกเผ่ากินเป็นผักสด หรือผักจิ้ม แต่โดยส่วนใหญ่มักใช้เป็นยากลางบ้าน ใช้ทั้งต้น ลดอาการอักเสบ แก้ปวด แก้ช้ำ แก้ไข้ (Kapoor และคณะ, 1983) ใช้ผล ช่วยให้เจริญอาหาร ลดอาการบวม ลดการอักเสบ รักษาโรคดีซ่าน และรักษาโรคประสาท (Kirthikar และ Basu, 1987) ส่วนเมล็ดใช้เป็นยาปฏิชีวนะ ยาถ่ายพยาธิ รักษาวัณโรค และเป็นยาบำรุงกำลัง (Guhabakshi และคณะ, 2001) ใช้ใบช่วยสมานแผล บรรเทาอาการระคายเคือง โรคเรื้อน โรคผิวหนังต่างๆ และแก้เจ็บคอ (Sharma และคณะ, 2002; Kumara Swamy และคณะ, 2007) (ภาพที่ 2.1ค)

ในผลส้มจี้ประกอบด้วย อัลคาลอยด์ คาร์โบไฮเดรต สารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ โปรตีน และซาโปนิน สารที่แสดงสมบัติต้านออกซิเดชันที่สำคัญ ได้แก่ เอมเบลิน(embelin) เควอซิทอล (quercitol) ดี-เควอซิทอล (D-quercitol) แทนนิน คริสเทนไบน์ (christenbine) วิลังกิน (vilangin) และอัลคาลอยด์ (Bhandari และคณะ, 2008) โดยสาร embelin ช่วยเร่งการสังเคราะห์เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการต้านอนุมูลอิสระให้สูงขึ้น ได้แก่ superoxide dismutase, glutathione

peroxidase, glutathione-S-transferase และ glutathione (สุธรรม และคณะ, 2552ก) นอกจากนี้ Surveswaran และคณะ (2007) รายงานว่า ผลส้มจี้มีความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS โดยมีค่าเท่ากับ 16.01 และ 33.31 มิลลิโมล่าร์ต่อ 100 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ และมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก เท่ากับ 2.36 กรัมต่อ 100 กรัม (น้ำหนักแห้ง) นอกจากนี้สารสกัดเอทานอลจากผลส้มจี้ยังสามารถต้านเชื้อ *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*, *Enterobactor cloacae* และ *Staphylococcus aureus* ได้อีกด้วย (Jain และคณะ, 2007)

สาร embelin ในผลส้มจี้ มีฤทธิ์ต้านการผสมติดของตัวผู้ ต้านการฟักตัวของตัวอ่อน และทำให้แท้งในหนูทดลองและสัตว์ทดลองอื่นๆ ซึ่งเมื่อสัตว์ทดลองได้รับสารนี้เข้าไป จะทำให้การดูดซึม ดี-กลูโคส (D-glucose) แอล-อะลานีน (L-alanine) แอล-ลูซีน (L-leucine) และแคลเซียมในลำไส้เล็กสูงขึ้น อีกทั้งยังเพิ่มปริมาณเซลล์เนื้อเยื่อในลำไส้อีกด้วย นอกจากนี้ ยังสามารถลดการ ชักกระตุกในหนูทดลองได้อีกด้วย (Mahendran และคณะ,2011)

2.1.4 บอนแบ้ว (*Hapaline hookeriana* Schott วงศ์ ARACEAE)

ชาวบ้านพื้นล่างใช้กาบหั่นละเอียดเพื่อดองกินเป็นผักได้ ลอกเอาเปลือกของก้านใบออกแล้วใช้แกงส้มแบบเดียวกับแกงอุตพิด นอกจากนี้ ยังใช้เป็นยารักษาโรค โดยใช้หัวเป็นยากัด ฝีหนองกัดเถาดาลในท้อง สมานแผล รากมีฤทธิ์ใช้เป็นยากระตุ้น แก้โรคริดสีดวงทวาร เมื่อกินกับกล้วยสามารถแก้โรคปวดท้องได้ หรือใช้สำหรับทาภายนอก และการกินรักษาพิษงูได้ อย่างไรก็ตาม ไม่พบรายงานการวิจัยเกี่ยวกับคุณค่าทางโภชนาการและองค์ประกอบทางเคมีของพืชชนิดนี้ (สุธรรม และคณะ, 2552ข) (ภาพที่ 2.1ง)

2.1.5 ทะโล้ (*Schima Wallichii (DC.) Korth* วงศ์ THEACEAE)

ส่วนใหญ่ใช้เป็นยากลางบ้าน โดยจีนฮ่อใช้ใบอ่อนตากแห้งชงแทนชา ทำให้ชุ่มคอและแก้กระหายน้ำ กะเหรี่ยงใช้ยอดอ่อนแช่น้ำดื่มแก้อาการปวดเมื่อยตามร่างกายเนื่องจากพิษไข้ และเปลือกลำต้นใช้เป็นยาแก้ไอ แก้ไข้ ส่วนปะหล่องใช้ยอดอ่อนคลุกเกลือกินแก้ปวดท้อง ท้องอืด ท้องเฟ้อ อาหารไม่ย่อย อีก้อ ม้งและเย้าใช้ลำต้นและใบบดอมหรือเคี้ยวกินแก้ปวดฟัน แก้แผลในปาก เหงือกเป็นหนอง ต้มน้ำดื่มแก้อาการปวดภายในร่างกาย แก้ท้องร่วง ท้องเดิน และม้ามโต ในหลายประเทศใช้ดอกเป็นยากลางบ้าน แก้ปัสสาวะผิดปกติ และมดลูกอักเสบ (สุธรรม และคณะ, 2552ค) (ภาพที่ 2.1จ)

ทะโล้ประกอบด้วย ซาโปนิน และไตรเทอร์พีน-สเตียรอยด์ (Rahmani และคณะ, 1985) นอกจากนี้ นราพร (2552) รายงานการตรวจพบสารในกลุ่ม อัลคาลอยด์ประเภทที่มีขั้วสูง และกลุ่มฟลาโวนอยด์ ในสารสกัดทะโล้ ซึ่งสารที่ตรวจพบเหล่านี้ทำให้ทะโล้มีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ ดังรายงานของ Kshirsagar และ Upadhyay (2009) ที่กล่าวไว้ว่า สารสกัดจากใบทะโล้และลำต้นมีความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH สูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 96.72 และ 96.46 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ไม่พบรายงานวิจัยเกี่ยวกับฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาของพืชชนิดนี้

ภาพที่ 2.1 พืชพื้นบ้านที่ใช้ในการศึกษา

2.2 การเสื่อมเสียของเนื้อสัตว์

จากการสำรวจในปี พ.ศ. 2550 ประมาณการการบริโภคเนื้อสัตว์ทั่วโลกโดยรวมอยู่ที่ 278.3 ล้านตัน โดยพบปริมาณการบริโภคเนื้อหมูสูงที่สุดคือ 105.8 ล้านตัน รองลงมาคือ เนื้อไก่ เนื้อวัว และเนื้อแกะ/แพะ มีปริมาณการบริโภค 86.2, 67.1 และ13.8 ล้านตัน ตามลำดับ (www.the-thainews.com/analized/inter/int100751_6.htm, 2551) สำหรับในประเทศไทย พบการบริโภค เนื้อไก่ เป็นอันดับหนึ่ง รองลงมาคือ เนื้อหมู โดยมีปริมาณการบริโภคในปี พ.ศ. 2553 เท่ากับ 13.2 กิโลกรัมต่อคนต่อปี และมีค่าสูงกว่าปริมาณบริโภคในปี พ.ศ. 2552 ร้อยละ 1.84 (สมาคมผู้ผลิตและแปรรูปสุกรเพื่อการส่งออก, 2554)

จากสถิติการบริโภคเนื้อหมูข้างต้น ทำให้ธุรกิจภาคอุตสาหกรรมเนื้อสัตว์เกิดการแข่งขันกันในด้านเทคโนโลยีการผลิต กระบวนการผลิต และคุณภาพของผลิตภัณฑ์มากขึ้น เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคในยุคปัจจุบัน เนื้อสัตว์จัดเป็นแหล่งอาหารที่ให้คุณค่าทาง

ปฏิกิริยาของเอนไซม์ในเนื้อสัตว์เอง หรือ ปฏิกิริยาเคมีในอาหาร การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนี้ ทำให้คุณค่าทางโภชนาการลดลง อาหารจะมีกลิ่น รสชาติ และลักษณะเนื้อสัมผัสเปลี่ยนแปลงเป็นที่ไม่ยอมรับของผู้บริโภค

การเสื่อมเสียที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของไขมันในเนื้อสัตว์ อาจเกิดได้จาก 2 สาเหตุ คือ

2.2.1 การเหม็นหืนจากปฏิกิริยาของเอนไซม์จากจุลินทรีย์

จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเหม็นหืนในเนื้อสัตว์เป็นจุลินทรีย์กลุ่มที่สามารถสร้างเอนไซม์ที่สามารถย่อยไขมันได้ เช่น เอนไซม์ไลเปส (lipase) ที่ทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซีส (hydrolysis) กับโมเลกุลของไขมัน และฟอสโฟลิปิด (phospholipids) เกิดเป็นสารประกอบต่างๆ เช่น กรดไขมันอิสระ คีโตน (ketone) กลีเซอรอล (glycerol) อัลดีไฮด์ (aldehyde) แอลกอฮอล์ (alcohol) และเปอร์-ออกไซด์ (peroxide) ส่วนเอนไซม์กลุ่มออกซิเดส (oxidase) จะเข้าทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) กับกรดไขมันในเนื้อ เกิดเป็นสารประกอบที่ทำให้อาหารมีกลิ่นรสผิดปกติไป แบคทีเรียที่สามารถสร้างเอนไซม์ที่ย่อยไขมันได้ เช่น สูโดโมแนส (*Pseudomonas* spp.) และอโครโมแบคเตอร์ (*Achromobactor* spp.) เป็นต้น (http://www.nsru.ac.th/e-learning/meattech /lesson/less12_5. html, 2551)

2.2.2 การเหม็นหืนเนื่องจากปฏิกิริยาการออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว

ปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในเนื้อสัตว์ เกิดจากปฏิกิริยาออโตออกซิเดชัน (autoxidation) ระหว่างออกซิเจนในบรรยากาศรอบๆ กับพันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว เช่น กรดลิโนเลอิก (linoleic acid) กรดลิโนเลนิก (linolenic acid) และกรดอะราชิโดนิก (arachidonic acid) เป็นต้น เกิดเป็น peroxide linkage ระหว่างพันธะคู่ ซึ่งอนุมูลเปอร์ออกซีที่เกิดขึ้นสามารถทำปฏิกิริยาต่อกับโมเลกุลของไขมันตัวอื่นเกิดเป็นสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ และอนุมูลอิสระตัวอื่น ทำให้เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ได้ และสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นอาจถูกทำลายต่อไปโดยมีแสง อุณหภูมิ เอนไซม์ โลหะ เมททอลโลโปรตีน (metalloprotein) และจุลินทรีย์ เป็นตัวเร่งทำให้เกิดอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นในปฏิกิริยาลูกโซ่ ส่งผลให้เกิดการเหม็นหืนเกิดได้เร็วขึ้น โดยเฉพาะในเนื้อที่ผ่านการปรุงสุกจะเกิดได้ง่ายและรวดเร็วมากขึ้น (www.nsru.ac.th/e-learning/meattech/ lesson/ less3.html, 2551) ซึ่งอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นรวมทั้งไฮโดรเปอร์ออกไซด์จะเกิดปฏิกิริยาต่อไปให้ผลิตภัณฑ์เป็นแอลกอฮอล์ คีโตน แอลดีไฮด์ ไฮโดรคาร์บอน ซึ่งผลิตภัณฑ์เหล่านี้ส่งผลให้ลักษณะสี กลิ่น รส และคุณค่าทางโภชนาการของอาหารเปลี่ยนแปลงไป ในขณะที่เกิดปฏิกิริยา ออกซิเจนสามารถสร้างกระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยตัวเอง (autocatalytic process) ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น สามารถอธิบายกลไกการเกิดปฏิกิริยาได้เป็น 3 ขั้นตอน (Madhavi และคณะ, 1996; Angelo, 1996 และ Fennema, 1996) คือ

2.2.2.1 ปฏิกิริยาขั้นเริ่มต้น (initiation)

ขั้นตอนนี้เป็นการเกิดอนุมูลอิสระ (free radical, R°) โดยโมเลกุลของกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวที่ allytic methylene group (RH) หรือ ลิโปไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (lipohydroperoxide, ROOH) เกิดการสูญเสียไฮโดรเจนอะตอมตรงตำแหน่งพันธะคู่ทำให้เกิดอนุมูลอิสระ เกิดเป็น อนุมูลไฮโดรคาร์บอน (R°) และอนุมูลไฮโดรเจน (H°) (สมการ 1) โดยอาจมีความร้อน แสง และโลหะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Larson, 1995)

$$RH \longrightarrow R^{\circ} + H^{\circ} \qquad (1)$$

$$ROOH \longrightarrow RO^{\circ} + HO^{\circ} \qquad (2)$$

$$RH \longrightarrow R^{\circ} + H^{\circ} \quad (1)$$

$$ROOH \longrightarrow RO^{\circ} + HO^{\circ} \quad (2)$$

$$2ROOH \longrightarrow RO^{\circ} + ROO^{\circ} + H_2O \quad (3)$$

นอกจากนี้ยังพบ ปฏิกิริยาระหว่างกรดไขมันไม่อิ่มตัวกับออกซิเจนซิงเลท หรือการเร่งปฏิกิริยาด้วยเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส (lipoxygenase) ทำให้เกิดสารประกอบลิโปไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (ROOH) อย่างไรก็ตามพันธะ O-O ในโมเลกุลของลิโปไฮโดรเปอร์ออกไซด์เป็นพันธะที่อ่อนและแตกตัวได้ง่าย เกิดเป็นอนุมูลอัลโคซี (alkoxy radicals, RO°) และอนุมูลไฮดรอกซิล (hydroxyl radical, OH°) (สมการ 2) หรือการสลายตัวของลิโปไฮโดรเปอร์ออกไซด์ 2 โมเลกุล เกิดเป็นอนุมูลอัลโคซี อนุมูลเปอร์ออกซี (peroxy radical, ROO°) และน้ำ (สมการ 3)

2.2.2.2 ปฏิกิริยาการเพิ่มจำนวน (propagation)

ขั้นตอนนี้เป็นปฏิกิริยาต่อเนื่องของอนุมูลอิสระ(R°) ที่ไม่เสถียรและไวต่อการเข้าทำปฏิกิริยา กับออกซิเจน เกิดเป็นอนุมูลเปอร์ออกซี (สมการ 4) ซึ่งอนุมูลเปอร์ออกซีจะมีความไวต่อการเข้าทำปฏิกิริยาสูง และเข้าทำปฏิกิริยาต่อกับโมเลกุลของกรดไขมันตัวอื่น ทำให้เกิดสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxide, ROOH) และอนุมูลไฮโดรคาร์บอน (R°) (สมการ 5) ซึ่งสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นนี้ สามารถแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระได้อีก หากมีตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น แสง หรือความร้อน หรือโลหะ เป็นต้น โดยปฏิกิริยานี้จะเกิดต่อเนื่องแบบเดิมไปเรื่อยๆ แบบลูกโซ่

$$R^{\circ} + 3O_2 \longrightarrow ROO^{\circ} \quad (4)$$

$$ROO^{\circ} + RH \longrightarrow ROOH + R^{\circ} \quad (5)$$

2.2.2.3 ปฏิกิริยาขั้นสุดท้าย (termination)

ขั้นตอนนี้เป็นปฏิกิริยาขั้นสุดท้ายที่ทำให้สารประกอบที่เกิดขึ้นมีความเสถียรและไม่มีสมบัติเป็นอนุมูลอิสระ (non-radical) โดยอนุมูลอิสระที่เกิดจากปฏิกิริยาลูกโซ่เกิดการ รวมตัวกัน เกิดเป็นสารที่มีความคงตัว (สมการ 6-8) สารประกอบที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชันนี้ รวมถึงสารประกอบพวกกรดอินทรีย์ อัลดีไฮด์ และคีโตน ที่เป็นสารประกอบที่ระเหยได้ง่าย และทำให้อาหารมีกลิ่นเหม็นหืน (Hudson, 1990) สารประกอบที่เกิดขึ้นนี้จะไม่เกิดปฏิกิริยาต่อไปและทำให้ปฏิกิริยาสิ้นสุดลง

$$R^{\circ} + R^{\circ} \longrightarrow R\text{-}R \quad (6)$$

$$R^{\circ} + ROO^{\circ} \longrightarrow ROOR \quad (7)$$

$$ROO^{\circ} + ROO^{\circ} \longrightarrow ROOR + O_2 \quad (8)$$

2.2.3 ผลที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในเนื้อสัตว์

เมื่อเนื้อสัตว์เกิดการเสื่อมเสีย อันเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันแล้ว จะส่งผลกระทบต่อกลิ่นและลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ จนอาจไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคได้ โดยสารประกอบที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงดังนี้

2.2.3.1 กลิ่นรสของเนื้อ

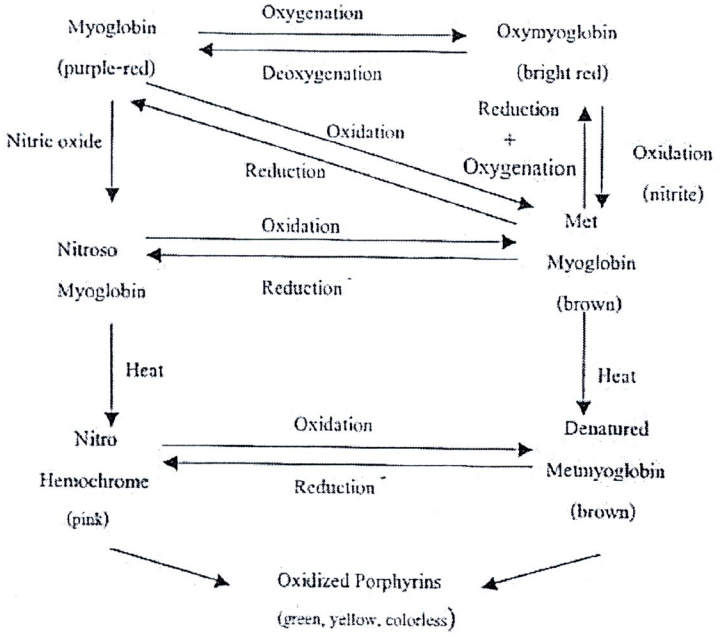
ความผิดปกติของกลิ่นรสในเนื้อสัตว์ เกิดจากการสลายตัวของ สารไฮโดรเปอร์-ออกไซด์ จนได้สารประกอบในปฏิกิริยาขั้นสุดท้าย ที่เป็นสารประกอบทั้งที่ระเหยได้ และระเหยไม่ได้

ได้แก่ สารประกอบกลุ่มอัลดีไฮด์ สารประกอบคาร์บอนิล (carbonyl) ตลอดจนกรดอินทรีย์ชนิดต่างๆ เช่น กรดฟอร์มิก (formic acid) กรดอะซีติก (acetic acid) และกรดโพรพิโอนิก (propionic acid) เป็นต้น โดยส่วนมากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากขั้นตอนนี้ เป็นสารที่มีมวลโมเลกุลต่ำ ส่งผลให้กลิ่นรสและเนื้อสัมผัสของเนื้อสัตว์ผิดปกติ เช่น กลิ่นเหม็นเขียว (green) กลิ่นหืน (rancid) กลิ่นไขมัน (fatty) กลิ่นฉุน (pungent) และกลิ่นรสผิดปกติอื่นๆ (Gray และ Cracker, 1992)

2.2.3.2 การเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อสัตว์

โดยปกติสีของเนื้อสัตว์ทุกชนิดเกิดจาก รงควัตถุ (pigment) ที่มีอยู่ในโครงสร้างของกล้ามเนื้อ ได้แก่ ไมโอโกลบิน (myoglobin) และ ฮีโมโกลบิน (haemoglobin) ซึ่งมีปริมาณแตกต่างกันตามประเภทของกล้ามเนื้อ ชนิด เพศ และอายุของสัตว์ (สัญชัย, 2543) การเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อสด เกิดเนื่องจาก รงควัตถุไมโอโกลบินในเนื้อสัตว์ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศโดยรอบชิ้นเนื้อ เกิดเป็นออกซีไมโอโกลบิน (oxymyoglobin) ที่มีสีแดงสด โดยทั้งโมเลกุลของ ไมโอโกลบินและออกซีไมโอโกลบินจะประกอบด้วยไอออนของเหล็กในรูปไอออนเฟอร์รัส (Fe^{2+}) และเมื่อออกซีไมโอโกลบินเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ไอออนเฟอร์รัส จะเปลี่ยนรูปเป็นไอออน เฟอร์ริก (Fe^{3+}) เกิดเป็นเมทไมโอโกลบิน (metmyoglobin) ที่มีสีน้ำตาล ซึ่งปฏิกิริยานี้สามารถย้อนกลับเปลี่ยนไปมาได้ (ภาพที่ 2.2)

สีของเนื้อที่ปรากฏขึ้นอยู่กับสภาวะออกซิเดชันของเหล็กไอออนที่อยู่ในโมเลกุลของรงควัตถุไมโอโกลบิน หรือรูปไอออนของเหล็ก หากอยู่ในรูปไอออนเฟอร์รัส เนื้อสัตว์จะมีสีแดง แต่ถ้าอยู่ในรูปไอออนเฟอร์ริกเนื้อสัตว์จะมีสีน้ำตาล ส่วนในกระบวนการทำให้สุกหรือให้ความร้อนเมทไมโอโกลบินจะเสียสภาพทางธรรมชาติ (denatured metmyoglobin) ทำให้มีสีน้ำตาลเข้มและปฏิกิริยานี้ไม่สามารถผันกลับได้ (ภาพที่ 2.2) (สุริญญา, 2547)



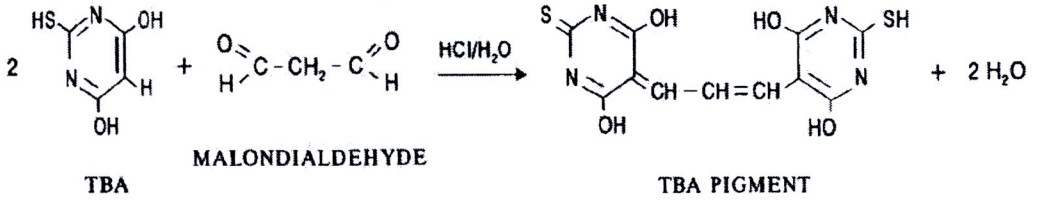
ภาพที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อสัตว์
ที่มา : Robert (1978)

2.2.4 วิธีตรวจสอบออกซิเดชันในอาหาร

วิธีในการตรวจสอบปฏิกิริยาออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์อาหารนั้น มีหลายวิธี เช่น วิธีหาค่ากรดไขมันอิสระ (free fatty acid, FFA) ค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value, PV) ค่าคอนจูเกทไดอีน (conjugated diene, CD) ค่าไทโอบาร์บิทูริก (thiobarbituric acid reactive substance, TBARS) และ *p*-anisidine value (*p*-Av) เป็นต้น ซึ่งในการทบทวนวรรณกรรมครั้งนี้ เป็นรายละเอียด และข้อจำกัดของวิธีวิเคราะห์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

2.2.4.1 วิธีกรดไทโอบาร์บิทูริก (thiobarbituric acid, TBA)

วิธีนี้นิยมใช้วัดการเสื่อมเสียในเนื้อสัตว์มากกว่าไขมันหรือน้ำมัน โดยตรวจติดตามปริมาณสารประกอบอัลดีไฮด์ คาร์บอนิล และไฮโดรคาร์บอน ซึ่งเป็นสารประกอบที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาขั้นสุดท้าย การเพิ่มปริมาณของสารประกอบกลุ่มดังกล่าว แสดงถึง การเพิ่มปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน โดยวิธีนี้เป็นการตรวจสอบสารประกอบเชิงซ้อนสีชมพูแดงของสารประกอบไทโอบาร์บิทูริก (thiobarbituric acid reactive substance , TBARS) ที่เกิดขึ้นจากของมาลอนไดอัลดีไฮด์ (malondialdehyde, MDA) ทำปฏิกิริยากับกรดไทโอบาร์บิทูริก (thiobarbituric acid, TBA) เมื่อผ่านการให้ความร้อนใน สภาพกรด ที่ความยาวคลื่น 530-532 นาโนเมตร (ภาพที่ 2.3)

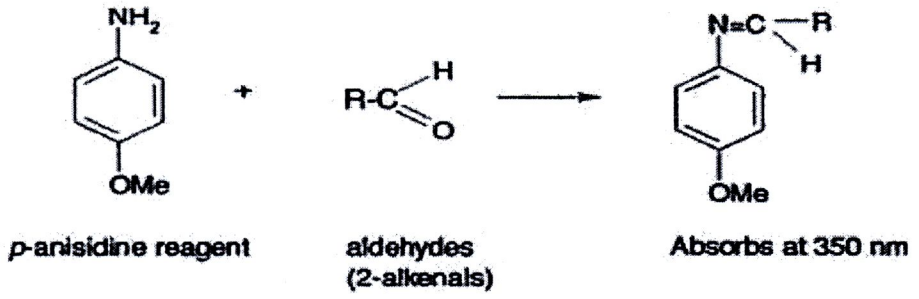


ภาพที่ 2.3 ปฏิกิริยาระหว่างมาลอนไดอัลดีไฮด์ และกรดไทโอบาร์บิทูริก
ที่มา : Fernandez และคณะ (1997)

วิธีนี้เป็นวิธีทำได้ที่ง่าย สะดวก และไม่ต้องใช้เครื่องมือราคาสูง แต่อย่างไรก็ตาม วิธีนี้ไม่เฉพาะเจาะจง ซึ่งการเกิดออกซิเดชันเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน และอาจไม่เกิดเป็นสารประกอบมาลอนไดอัลดีไฮด์ อีกทั้งกรดไทโอบาร์บิทูริกไม่ได้ทำปฏิกิริยาอย่างเฉพาะเจาะจงกับมาลอนไดอัลดีไฮด์ แต่ยังสามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่นๆ เช่น อัลคานาล (alkanals) อัลคีนาล (alkenals) 2,4-ไดอีนาล (2,4-dienals) และ น้ำตาล เป็นต้น (โอภา, 2549) เกิดสารประกอบที่ดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร

2.2.4.2 การทดสอบด้วยวิธี *p*-anisidine value (*p*-Av)

วิธีนี้เป็นการวัดปริมาณสารประกอบกลุ่มอัลดีไฮด์ เช่น 2-อัลคีนาล (2-alkenals) และ 2,4-ไดอีนาล (2,4-dienals) ที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาขั้นเริ่มต้นของการเกิดออกซิเดชันไขมัน โดยใช้ *p*-anisidine เป็นรีเอเจนต์ในการทำปฏิกิริยากับสารประกอบอัลดีไฮด์ เพื่อให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่สามารถดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 350 นาโนเมตร (ภาพที่ 2.4) ซึ่งการเพิ่มขึ้นของสารกลุ่มอัลดีไฮด์ แสดงว่า ตัวอย่างมีความไวในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน



ภาพที่ 2.4 ปฏิกิริยาระหว่าง *p*-anisidine และสารประกอบอัลดีไฮด์
ที่มา : Aruoma และ Cuppet (2001)

โดยทั่วไป วิธีนี้มีความไวต่อสารประกอบอัลดีไฮด์ประเภทระเหยได้ (volatile aldehydes) และสามารถตรวจสอบสารประกอบอัลดีไฮด์ชนิดไม่อิ่มตัว (unsaturated volatile aldehydes) ได้ดีกว่าชนิดอิ่มตัว (saturated volatile aldehydes) ดังนั้น จึงมักใช้วิธีนี้ตรวจวัดผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนการเพิ่มจำนวนของปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ร่วมกับการวัดค่าเปอร์-ออกไซด์ (peroxide value, PV) (Aruoma และ Cuppet, 2001)

2.3 สารต้านออกซิเดชันที่ใช้ในเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์

สารต้านออกซิเดชันหรือสารกันหืน (antioxidants) หมายถึง สารที่ทำหน้าที่ชะลอ ยับยั้งหรือป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน แต่ไม่สามารถทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่เกิดออกซิเดชันแล้วดีขึ้น (มณฑาทิพย์, 2539) โดยสารกลุ่มนี้ทำหน้าที่สำคัญ ได้แก่ การให้อิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระ การจับโลหะที่เร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน หรือการลดการก่อตัวของออกซิเจนที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (นวลศรี, 2545) ซึ่งสารกันหืนที่ดีจะต้องมีคุณสมบัติ ดังนี้คือ ต้องไม่มีโทษต่อร่างกาย ไม่ทำให้เกิดสี กลิ่น และรสชาติเปลี่ยนแปลงไป มีประสิทธิภาพในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ความเข้มข้นต่ำ ละลายได้ดีในไขมันและน้ำมัน ทนต่อกระบวนการแปรรูปอาหาร มีจำหน่ายทั่วไป และมีราคาถูก (นิธิยา, 2548)

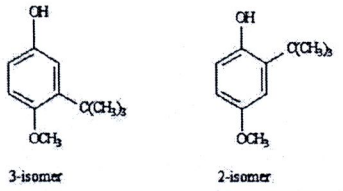
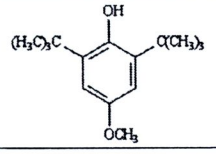
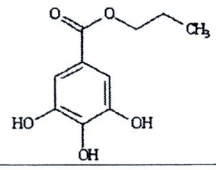
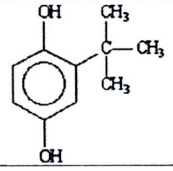
สารกันหืนแบ่งตามแหล่งกำเนิดออกเป็น 2 ประเภท คือ

2.3.1 สารกันหืนสังเคราะห์ (synthetic antioxidant)

สารกันหืนสังเคราะห์เป็นสารที่ผลิตขึ้นด้วยวิธีทางเคมีเพื่อป้องกันการหืนได้มีการพัฒนาและใช้ประโยชน์จากสารที่มีคุณสมบัติในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์ที่เป็นอาหารและไม่ใช่อาหารหลายชนิด เช่น ใช้ในการรักษาความคงตัวของพลาสติกและโพลิเมอร์ แต่มีสารกันหืนบางชนิดเท่านั้นที่สามารถใช้ได้ในอาหาร เนื่องจากต้องคำนึงถึงความปลอดภัยของการใช้ (Loliger และ Wille, 1993) สารกันหืนที่ได้รับอนุญาตให้ใช้ในอาหาร ได้แก่ โพรพิวแกลเลต (propyl gallate, PG) บิวทิลเลเทตไฮดรอกซีอะนิซอล หรือบีเอชเอ (butylated hydroxyanisole, BHA) บิวทิลเลเทตไฮดรอกซีโทลูอีน หรือบีเอชที (butylated hydroxytoluene, BHT) และ เทอเทียรีบิวทิลไฮโดรควิโนน หรือทีบีเอชคิว (tertiary butylhydroquinone, TBHQ) เป็นต้น (ตารางที่ 2.1) สารเหล่านี้ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบฟีนอลิกที่มีสมบัติเป็นสารกันหืนได้ดีพอสมควร และไม่ทำให้เกิดสีในอาหารหรือไขมันที่เติมลงไป (นิธิยา, 2548) สารกันหืนสังเคราะห์ที่นิยมใช้ในอาหาร ได้แก่ บีเอช

เอ บีเอชที และ ทีบีเอชคิว ซึ่งอาจใช้สารดังกล่าวเพียงอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือใช้ร่วมกัน โดยมีวัตถุประสงค์หลักในการยับยั้งอนุมูลอิสระ และยับยั้งการเกิดปฏิกิริยา ทั้งนี้สารกันหืนเหล่านี้จะทำหน้าที่เป็นตัวให้ไฮโดรเจน หรืออิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระ ทำให้อนุมูลอิสระเปลี่ยนเป็นสารประกอบที่มีความคงตัว (Shahidi และคณะ, 1992)

ตารางที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีและปริมาณที่ยอมรับได้ในแต่ละวัน (Acceptable Daily Intake; ADI) ของสารกันหืนสังเคราะห์

ชนิดของสารกันหืน	โครงสร้างทางเคมี	Acceptable Daily Intake (ADI) (mg/ kg)
Butylated hydroxyanisole (BHA)		0-0.5
Butylated hydroxytoluene (BHT)		0-0.3
Propyl gallate (PG)		0-1.4
Tert-butylated hydroquinone (TBHQ)		0-0.7

ที่มา : JECFA (2003)

รายงานการเติมสารกันหืนสังเคราะห์ในเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์พบทั้งในและต่างประเทศ เช่น การเติมบีเอชเอ เข้มข้น 0.01 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนัก) ในกุนเชียงปลา สามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันได้ดีที่สุด (กฤษดา, 2544) นอกจากนี้ ศุภวรรณ และคณะ (2549) พบว่า บีเอชเอ เข้มข้น 0.01 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนัก) สามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในหมูบดปรุงสุกได้ดีที่สุด สำหรับรายงานในต่างประเทศ McCarthy และคณะ (2001) รายงานการเติมสารผสมระหว่างบีเอชเอและบีเอชที เข้มข้น 0.01 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนัก) ในแพตตี้หมูดิบและปรุงสุกพบว่า สามารถชะลอการเพิ่มขึ้นของค่า TBARS ในระหว่างเก็บรักษาแพตตี้หมูที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสทั้งแบบดิบและปรุงสุกได้ดีกว่าตัวอย่างควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Formanek และคณะ (2001) ที่พบว่า การเติมบีเอชเอและบีเอชทีลงในเนื้อวัวหั่นชิ้น เข้มข้น 0.01 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนัก)ทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่า TBARS ต่ำกว่า ตัวอย่างควบคุม

นอกจากนี้ การเติมสารกันหืนยังช่วยให้สีของเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์เกิดความคงตัวในระหว่างเก็บรักษาด้วย ดังเช่นรายงานของ McCarthy และคณะ (2001) ที่พบว่า การเติมสารผสมระหว่างบีเอชเอและบีเอชที 0.01 เปอร์เซ็นต์ ในแพตตี้หมูดิบ ส่งผลให้ค่าสีแดง (a^*) มีความคงตัวเป็นเวลา 9 วันของระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส อีกทั้งการเติมสารผสมระหว่างบีเอชเอและบีเอชที 0.01 เปอร์เซ็นต์ ในแพตตี้หมูปรุงสุก มีผลให้มีค่า a^* สูงกว่าตัวอย่างควบคุมจนถึงวันที่ 9 ของระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิเดียวกัน ส่วน Aksu และ Kaya (2005) รายงานว่า ในการเก็บรักษาตัวอย่าง Kavurma ที่เติมบีเอชเอ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมและเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 300 วัน สามารถคงสภาพของสีและความเสถียรของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในระหว่างการเก็บรักษาได้ดีกว่าตัวอย่างควบคุม ต่อมา Ahn และคณะ (2007) รายงานว่า เนื้อวัวบดปรุงสุกที่เติม ActiVin™ มีค่าความสว่าง (L^*) ต่ำกว่า, ค่า a^* สูงกว่า และค่า b^* ต่ำกว่าตัวอย่างที่ใช้ บีเอชเอและบีเอชที, Pycnogenol®, และ Herbalox®

จากงานวิจัยต่างๆข้างต้นจะเห็นได้ว่า การเติมสารกันหืนสังเคราะห์ทำหน้าที่ช่วยยับยั้งหรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์ และช่วยรักษาความ คงตัวของค่าสี ของเนื้อและผลิตภัณฑ์เนื้อด้วย แต่อย่างไรก็ตาม สารกันหืนสังเคราะห์มีข้อจำกัดในการใช้ เนื่องจากการได้รับสารสังเคราะห์นี้ในปริมาณที่สูงกว่าที่ปริมาณที่ควรจะได้รับในแต่ละวัน และรับประทานเป็นประจำอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน อาจทำให้เกิดความผิดปกติแก่ผู้บริโภคได้ ซึ่งรายงานการวิจัยที่ระบุถึงอันตรายของการใช้สารกันหืนสังเคราะห์ในสัตว์ทดลอง เช่น การเกิดเลือดคั่งในปอดและอวัยวะอื่นๆอีกหลายส่วนในหนูทดลองที่บริโภคอาหารที่ผสมบีเอชเอผสมอยู่ 50 เปอร์เซ็นต์ (Tagahashi, 1992 อ้างถึงจาก ศิวาพร, 2535) หรือการเกิดเนื้องอกในหนูทดลองที่บริโภคบีเอชเอ, บีเอชที และวิตามินอีในปริมาณสูง และความผิดปกติในหนูทดลองที่บริโภคบีเอชทีสูงด้วย (Kahl และ Kappus, 1993 อ้างถึงจาก ศิวาพร, 2535) นอกจากนี้ ยังพบการแยกตัวของสายดีเอ็นเอ (DNA) สายคู่ในหนูทดลองที่บริโภคทีบีเอชคิว (Okubo และคณะ, 1996 อ้างถึงจาก ศิวาพร, 2535) และการขยายตัวผิดปกติของเนื้อเยื่อหนูทดลอง เป็นสาเหตุให้เกิดเนื้องอกในช่องท้องในหนูที่บริโภคอาหารที่เติมสารบีเอชเอ 25 เปอร์เซ็นต์ (Tamano และคณะ, 1998 อ้างถึงจาก ศิวาพร, 2535) เป็นต้น

2.3.2 สารกันหืนจากธรรมชาติ (natural antioxidant)

สารกันหืนจากธรรมชาติ คือ สารประกอบที่ได้จากพืชหรือเนื้อเยื่อของสัตว์ต่างๆ และมีคุณสมบัติในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน สามารถแบ่งได้เป็น 4 ประเภท (ไมตรี และคณะ, 2543) คือ

2.3.2.1 เอนไซม์ที่เซลล์ร่างกายผลิตขึ้น ได้แก่ ซูเปอร์ออกซิเดสมิวเตส (superoxidase mytase) คะตะเลส (catalase) กลูตาไธโอนเพอร์ออกซีเดส (glutathione peroxidase) และ เมทไธ-โอนีนรีดักเทส (methionine reductase)

2.3.2.2 วิตามิน ได้แก่ วิตามินอี พบในเมล็ดธัญพืชทุกชนิด ถั่ว รำ ข้าวกล้อง งา และวิตามินซีในผักผลไม้สด เป็นต้น

2.3.2.3 แร่ธาตุ เช่น ซิลิเนียม และสังกะสี เป็นโคแฟกเตอร์ (co-factors) ของเอนไซม์ต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน

2.3.2.4 สารพฤษเคมี (phytochemicals) เป็นสารเคมีที่ได้จากพืชซึ่งไม่ใช่วิตามินและสารอาหาร เช่น แคโรทีน ไลโคพีน แซนโธฟิล แทนนิน ฟลาโวนอยด์ และสารประกอบโพลีฟีนอล เป็นต้น

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ - 7 ธ.ค. 2555
เลขทะเบียน 190935
เลขเรียกหนังสือ

สารกันหืนจากธรรมชาติที่นิยมใช้เติมในเนื้อสัตว์เป็นส่วนใหญ่ ได้แก่ เครื่องเทศและพืชสมุนไพร ซึ่งมีสมบัติในการถนอมอาหาร โดยช่วยชะลอการเน่าเสียและเหม็นหืน ดังนั้น จึงได้เริ่มการค้นคว้าและวิจัยนำเอาเครื่องเทศและพืชสมุนไพรอื่นๆ มาเติมลงในเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์เพื่อช่วยยืดอายุการเก็บรักษา และปรับปรุงคุณภาพโดยเฉพาะด้านสีของผลิตภัณฑ์

การเติมเครื่องเทศในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์อย่างแพร่หลายทั้งในประเทศและต่างประเทศ ดังเช่น รายงานของ Kong และคณะ (2010) ศึกษาความสามารถในการต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเครื่องเทศสกัด 6 ชนิด ได้แก่ กานพลู โรสแมรี่ เปลือกอบเชย ชะเอมเทศ ลูกจันทน์เทศ และกระวาน ในแพตตี้หมูปรุงสุก พบว่า กานพลู โรสแมรี่ และเปลือกอบเชย แสดงศักยภาพในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีที่สุด และเครื่องเทศสกัดทั้ง 6 ชนิด และยังมีส่วนช่วยให้แพตตี้หมูคงค่า a^* ได้ดีกว่าตัวอย่างควบคุม นอกจากนี้ Formanek และคณะ (2001) พบว่า การเติมสารสกัดโรสแมรี่ในส่วนผสมของแพตตี้เนื้อวัว เพื่อช่วยรักษาความคงตัวของออกซิเจนได้ดี โดยมีผลไปลดค่า TBARS ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นานเกิน 8 วัน อีกทั้งยังมีรายงานวิจัยอื่นพบว่า การเติมสารสกัดโรสแมรี่ทางการค้าและตัดแต่งแบบต่างๆในระหว่างการเก็บรักษาเนื้อวัวบดที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 144 ชั่วโมง สามารถช่วยคงสภาพค่า a^* ของเนื้อวัวบด และยังทำให้องค์ประกอบของออกซีไมโอโกลบินในเนื้อวัวมีมากกว่า รวมทั้งมีค่า TBARS ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม (Balentine และคณะ, 2006)

นอกจากเครื่องเทศแล้ว ยังพบการใช้พืชสมุนไพรอื่นๆ เพื่อยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดย McCarthy และคณะ (2001) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของส่วนผสม 9 ชนิด ในแพตตี้หมูดิบและแพตตี้หมูปรุงสุก ได้แก่ ว่านหางจระเข้ มัสตาร์ด โรสแมรี่ เสจ (sage) ฟีนูกรีก (fenugreek) โสม โปรตีนถั่วเหลือง คาทิชินจากชา และเวย์โปรตีนเข้มข้น พบว่า ส่วนผสมทั้ง 9 ชนิด สามารถต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในแพตตี้หมูทั้งดิบและปรุงสุกได้ โดยคาทิชินจากชา 0.25 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในแพตตี้หมูปรุงสุกได้ดีที่สุด รองลงมาได้แก่ โรสแมรี่ 0.10 เปอร์เซ็นต์ และเสจ (sage) 0.5 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการเติมโปรตีนถั่วเหลือง 0.10 เปอร์เซ็นต์ในแพตตี้หมูดิบ ทำให้แพตตี้หมูมีค่า a^* เพิ่มขึ้น แต่ในแพตตี้หมูปรุงสุก จะมีค่า a^* เพิ่มขึ้น เมื่อใช้ฟีนูกรีก 0.01 เปอร์เซ็นต์เป็นส่วนผสม

สำหรับ Tang และคณะ (2001b) รายงานว่า คาทิชินจากชาสามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันด้วยวิธี TBARS ในแพตตี้หมูปรุงสุกที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 วันได้ดีที่สุด ส่วน Jo และคณะ (2003) รายงานว่า การเติมผงชาเขียวที่ผ่านการฉายรังสีและทำให้แห้งด้วยกระบวนการแช่เยือกแข็งในแพตตี้หมูดิบและปรุงสุก จะช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน โดย มีค่า TBARS ต่ำที่สุด และแพตตี้หมูยังคงมีค่า a^* สูงกว่าตัวอย่างควบคุมอีกด้วย

พืชผัก และเครื่องเทศนอกจากจะใช้เป็นส่วนประกอบของอาหารแล้ว ยังมีรายงานวิจัย พบว่า สามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในเนื้อหมูปรุงสุกได้ เช่น ใบกะเพรา ข่า กระเทียม หอมหัวใหญ่ โดย Juntachote และคณะ (2006) รายงานว่า ข่าและใบกะเพราสามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่าตัวอย่างควบคุม โดยสารสกัดเอทานอลจากใบกะเพรามีศักยภาพในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันได้สูงกว่าสารสกัดจากข่า และในปีถัดมามีรายงานว่า การเติมผงใบกะเพราและสารสกัดเอทานอลจากใบกะเพราในหมูบดปรุงสุกช่วยยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันได้ดี โดยการเติมผงใบกะเพรามีศักยภาพดีกว่าการใช้สารสกัดเอ

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

ทานอล (Juntachote และคณะ, 2007a) สอดคล้องกับการเติมผงข่าและสารสกัดเอทานอลจากข่า ซึ่งมีฤทธิ์ในการต้านเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน และการเติมในรูปผงข่ามีศักยภาพสูงกว่าในรูปสารสกัดเช่นกัน (Juntachote และคณะ, 2007b) นอกจากนี้ มีรายงานการใช้ หัวหอมใหญ่และกระเทียมเพื่อยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันอีกด้วย (Yang และคณะ, 2011)

การเติมผงพืชชนิดต่างๆ ก็พบรายงานยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันในหมูบดปรุงสุกเช่นกัน ดังเช่น การเติมผงใบบัวและผงใบบาร์เลย์สามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันในหมูบดปรุงสุกได้ โดยเมื่อติดตามค่าของ TBARS ในวันที่ 10 ของหมูบดปรุงสุก พบว่าหมูบดปรุงสุกที่เติมผงใบบัวมีค่าต่ำที่สุด และมีค่า peroxide values (POVs) และ CD ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมอีกด้วย นอกจากนี้ การเติมผงใบบัว 0.1 เปอร์เซ็นต์มากกว่า 4 วัน จะทำให้ตัวอย่างมีค่า a^* มากกว่าตัวอย่างควบคุม ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวอย่างหมูบดปรุงสุกที่เติมผงใบบัวและที่เติมบีเอชที มีค่าลดลงจนถึงวันที่ 4 แล้วค่าจะเพิ่มขึ้น (Choe และคณะ, 2011) นอกจากนี้ยังมีการเติมต้นมิ้นท์ (marjoram) มิ้นท์ป่า (wild marjoram) ยี่หร่า สะระแหน่ ซินนามอน ขิง ไทม์ (thyme) และโหระพา ลงในแพตตี้หมูปรุงสุกอีกด้วย (Abd El-Alim และคณะ, 1999) ส่วน Nissen และคณะ (2004) รายงานการใช้สารสกัดโรสแมรี่ ชาเขียว กาแฟ และเปลือกองุ่น ในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในแพตตี้หมูปรุงสุก ภายใต้สภาวะการเก็บแบบที่มีอากาศ ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 วัน พบว่าสารสกัดจากโรสแมรี่ 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตัวอย่างเนื้อ สามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีที่สุด รองลงมาคือ สารสกัดจากเปลือกองุ่น 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ชาเขียว 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และกาแฟ 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่ Han และ Rhee (2005) ศึกษาผลการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อแพะบดทั้งดิบและปรุงสุกที่เติมสารสกัดเอทานอลของสมุนไพรตะวันออกที่ไม่ใช่สมุนไพรในครัวเรือน ซึ่งได้แก่ white peony, red peony, sappanwood, Moutan peony, rehmania และ angelica ที่เก็บในสภาวะแช่เย็นและมีอากาศ เป็นเวลา 6 วัน พบว่า การเติมสมุนไพรสกัดที่ระดับความเข้มข้น 0.5-2.0 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนัก) สามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันได้ทุกชนิด และยังพบว่า ตัวอย่าง sappanwood ที่ระดับความเข้มข้น 0.01 เปอร์เซ็นต์ มีสมบัติในการเป็นสารกันหืนได้ดีที่สุด

นอกจากนี้ ส่วนที่เหลือใช้จากอุตสาหกรรมก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการนำมาใช้เป็น สารกันหืน โดย Wijeratne และคณะ (2006) ใช้อัลมอนด์เต็มเมล็ด เปลือกด้านในและด้านนอกของอัลมอนด์เพื่อลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในเนื้อหมูบดปรุงสุก ส่วน Jo และคณะ (2004) รายงานว่า การเติมสารสกัดจากผงเปลือกพืชตระกูลซิตรัส (citrus peel powder) ในแพตตี้เนื้อวัว แพตตี้หมู และแพตตี้ปลาแซลมอน สามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน และยังช่วยรักษาสีของผลิตภัณฑ์ ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 วันได้ ส่วน Sayago-Ayerdi และคณะ (2008) รายงานว่า กากใยองุ่นสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์อกไก่ดิบและปรุงสุก หลังเก็บในตู้เย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสได้ โดยการใช้ที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ สามารถต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันด้วยวิธี TBARS ได้ดีกว่าที่ระดับ 1 เปอร์เซ็นต์ และยังพบว่า การเติมกากใยองุ่นทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีแดงเพิ่มขึ้นอีกด้วย ต่อมา Brettonnet และคณะ (2010) ศึกษาการใช้กากของ canola ในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันในเนื้อวัว เนื้อไก่ และเนื้อหมูบดปรุงสุก ในประเทศไทยก็มีรายงานเช่นกันว่า มีใช้วัสดุเหลือใช้หรือส่วนที่ไม่ต้องการมาเป็นสารกันหืน โดย ศุภวรรณ และคณะ (2549) ใช้สารสกัดจากแกลบข้าว 4 ชนิดผสมกัน

ได้แก่ ข้าวเจ้าแดง และหอมมะลิ ข้าวเหนียว กข 6 และกข 8 ที่ความเข้มข้นต่างๆในผลิตภัณฑ์เนื้อหมูบดปรุงสุก

Rey และคณะ (2005) รายงานว่า การใช้คราวเบอร์รี (cloudberry) บีทรูท (beetroot) และ วิลโลว์เฮิร์บ (willow herb) สามารถลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในแพตตี้หมูปรุงสุกได้ดีกว่าสารประกอบโพลีฟีนอลบริสุทธิ์ ได้แก่ เควอซิติน รูติน และกรดคาเฟอิก (caffeic acid) โดย สารสกัดจากคราวเบอร์รี และเควอซิตินให้ผลในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีที่สุด ส่วนรูตินให้ผลในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันต่ำสุด และนอกจากนี้ยังมีการใช้สารสกัดจากเมล็ดองุ่นและแบร์เบอร์รี่ (bearberry) เป็นสารต้านออกซิเดชันในเนื้อหมูบดดิบและปรุงสุกที่บรรจุด้วยบรรจุภัณฑ์แบบปรับแต่งบรรยากาศ (modified atmosphere packaging, MAP) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่างๆ พบว่า สามารถลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในตัวอย่างที่เก็บไว้เป็นเวลา 9 และ 12 วันได้ตามลำดับ รวมทั้งการเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดจากเมล็ดองุ่น มีผลทำให้เนื้อหมูบดทั้งดิบและปรุงสุกมีค่าสีแดงเพิ่มขึ้น (Carpenter และคณะ, 2007)

นอกเหนือจากการเปรียบเทียบฤทธิ์ต้านออกซิเดชันกับสารพฤกษเคมีบริสุทธิ์แล้ว การเปรียบเทียบฤทธิ์กับสารกันหืนสังเคราะห์ในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน ก็มีการศึกษาอย่างแพร่หลาย ดังเช่น Mielnik และคณะ (2003) ศึกษาผลของการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน ของสารสกัดโรสแมรี่ทางการค้าเปรียบเทียบกับ โทรลอกซ์ซี และ กรดแอสคอร์บิก ในกระบวนการเลาะกระดูกออกของเนื้อไก่งวง (mechanically deboned turkey meat, MDTM) ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เยือกแข็ง ตลอด 7 เดือน พบว่า ค่า TBARS และสารที่ระเหยได้ (volatile compounds) ในตัวอย่างทุกชนิดเพิ่มขึ้น โดยโทรลอกซ์ซี มีประสิทธิภาพในการต้านออกซิเดชันได้ดีที่สุด ส่วน Xu และคณะ (2005) พบว่า บีเอชเอมีความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH และต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันลิโนเลอิกได้ดีกว่าสารสกัดจากเมล็ดงาอีกด้วย

อย่างไรก็ตาม สารกันหืนสังเคราะห์บางชนิดอาจให้ประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้สูงหรือต่ำกว่าสารกันหืนจากธรรมชาติ ดังเช่น ณฐนนท์ (2545) ที่รายงานว่า บีเอชทีมีประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH ได้ดีที่สุด และมีประสิทธิภาพดีกว่าสารสกัดจากเมล็ดพุงทะลาย ขิง และผลส้มแขก ต่อมา พรรณี (2550) พบว่า บีเอชทีมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ได้ดีกว่าเปลือกต้นของเอียน เทพทาโร เชียด ทังบอน ทำมัง ยางบง และหมีเหม็น นอกจากนี้ ยังมีรายงานการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในเนื้อสัตว์ด้วย เช่น ศุภวรรณ และคณะ (2549) พบว่า บีเอชเอสามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในหมูบดปรุงสุกได้ดีที่สุด รวมถึงการเติมบีเอชที 0.01 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนัก) ช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของหมูแผ่นทั้งดิบและปรุงสุก ได้ดีกว่าตัวอย่างควบคุม และตัวอย่างที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบที่ระดับ 0.3 เปอร์เซ็นต์ เปลือกและเมล็ดของส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.1 และ 0.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (สุริญญา, 2547) ซึ่งสอดคล้องกับ Hassan และ Fan (2005) ที่พบว่า สารผสมระหว่างบีเอชเอและบีเอชที 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีความ สามารถในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันในเนื้อที่เลาะกระดูกได้ดีกว่าสารสกัดใบโกโก้ 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ต่อมา Rababah และคณะ (2006) รายงานเช่นเดียวกันว่า การเติมทีบีเอชคิว 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมในเนื้ออกไก่ดิบและเนื้ออกไก่ปรุงสุก มีประสิทธิภาพในการลดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันได้ดีกว่า การเติมสารสกัดเมล็ดองุ่น 2500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมหรือสารสกัดชาเขียว 2500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม