

บทที่ 2

ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 สารต้านอนุมูลอิสระ

อนุมูลอิสระ หมายถึง ไอออนหรือโมเลกุลที่ไม่เสถียร และไวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับโมเลกุลอื่น สารต้านอนุมูลอิสระจะช่วยยับยั้งหรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ ซึ่งมีทั้งสารต้านอนุมูลอิสระที่ได้จากธรรมชาติ เช่น วิตามินอี คาเทชินจากชาเขียว เป็นต้น ส่วนสารต้านอนุมูลอิสระที่ได้จากการสังเคราะห์ เช่น บิวทิลไฮดรอกซีอะนิโซล (butylated hydroxyanisole, BHA) และ บิวทิลไฮดรอกซีโทลูอีน (butylated hydroxytoluene, BHT) เป็นต้น

กระบวนการออกซิเดชันทำให้เกิดการเสื่อมของ ไขมัน และ โปรตีน (รวมถึงรงควัตถุในเนื้อ) และเป็นสาเหตุอันดับแรกของการเสื่อมของคุณภาพในเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดความสูญเสียของกลิ่นรส สี และ คุณค่าทางโภชนาการ และจำกัดอายุในการเก็บรักษาของเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ (Kanner, 1994) การศึกษาจำนวนมากมายได้ชี้ให้เห็นว่าสามารถควบคุมการเกิดออกซิเดชันของไขมันในเนื้อสัตว์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเสริมสารต้านอนุมูลอิสระ (Djenane *et al.* 2004) เนื่องจากความเกี่ยวเนื่องถึงความปลอดภัยจากพิษของสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ เช่น บิวทิลไฮดรอกซีอะนิโซล (BHA) และ บิวทิลไฮดรอกซีโทลูอีน (BHT) การใช้สารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติจึงเป็นที่ยอมรับโดยผู้บริโภค เพราะดีกว่า และปลอดภัยกว่าสารสังเคราะห์ (Mitsumoto *et al.* 2005 ; Yen *et al.* 2002)

สารต้านอนุมูลอิสระ คือสารที่มีสมบัติป้องกันหรือช่วยทำให้ไขมันหรือน้ำมันเกิดการหืนได้ช้าลง จึงเป็นสารที่เติมลงในไขมัน น้ำมันและผลิตภัณฑ์อาหารที่มีไขมันหรือน้ำมัน เพื่อยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้ไขมัน น้ำมันและผลิตภัณฑ์อาหารที่มีไขมันหรือน้ำมันมีความคงตัว รักษาคุณลักษณะ กลิ่นและรสชาติไว้ได้นานขึ้นคุณสมบัติของสารต้านอนุมูลอิสระที่ดี ได้แก่ ต้องไม่มีโทษต่อร่างกาย ไม่ทำให้ไขมัน น้ำมัน หรืออาหารที่เติมสารต้านอนุมูลอิสระมีสี กลิ่น และรสชาติเปลี่ยนไป ให้ผลในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ความเข้มข้นต่ำ ละลายได้ดีในไขมันและน้ำมัน ทนต่อกระบวนการแปรรูปอาหาร นอกจากนี้ยังต้องหาซื้อได้ทั่วไปและมีราคาถูก (นิธิยารัตนาปนนท์, 2545) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ มักเกิดการออกซิเดชันของไขมัน และ โปรตีนได้ง่าย ดังนั้นการใช้สารต้านอนุมูลอิสระในเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์จึงสามารถช่วยชะลอการเหม็นหืน และยืดอายุการเก็บรักษาให้นานขึ้น (Karre *et al.* 2013)

2.2 แหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระ

2.2.1 สารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ (Synthetic antioxidant)

สารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ส่วนใหญ่จะเป็นสารกลุ่มฟีนอลิก ซึ่งรวมทั้ง BHA, BHT, TBHQ, propyl, octyl และ dodecyl gallates โดยทั่วไปสารต้านออกซิเดชันจะถูกกำหนดให้ใช้ในระดับ 100-200 พีพีเอ็มสำหรับ BHA, BHT หรือ TBHQ หรือในระดับ 200-500 พีพีเอ็มสำหรับ gallates ซึ่งในระดับความเข้มข้นเหล่านี้จะทำให้เกิดความคงตัวของไขมันและน้ำมัน (Madhavi *et al.* 1996)

2.2.2 สารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ (Natural antioxidant)

สารต้านอนุมูลอิสระในอาหาร (food antioxidation) เป็นสารประกอบที่ช่วยในการยับยั้งหรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (free-radical autooxidation reaction) ซึ่งทำให้อนุมูลอิสระ ความสามารถในการต้านออกซิเดชันเกิดขึ้นจากโครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิก ดังนั้นสารต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันหลักในอาหาร คือสารประกอบฟีนอลิก (phenolic compound) อย่างไรก็ตามข้อจำกัดของสารต้านอนุมูลอิสระที่ได้จากธรรมชาติ แสดงในตารางที่ 2.1 (Sherwin, 1990)

ตารางที่ 2.1 ข้อดีและข้อเสียของสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ

ข้อดี	ข้อเสีย
1. เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคเนื่องจากพิจารณาแล้วว่ามีความปลอดภัยไม่ใช้สารเคมี	1. สารที่บริสุทธิ์จะมีราคาแพงมากและถ้าสารไม่มีความบริสุทธิ์จะทำให้มีประสิทธิผลลดน้อยลง
2. ไม่ต้องทดสอบเรื่องความปลอดภัยตามกฎหมายถ้าเป็นสารที่ถูกพิจารณาแล้วว่าปลอดภัย (Generally Recognize as Safe; GRAS)	2. คุณสมบัติในการเตรียมสารจะแตกต่างกันถ้าสารไม่บริสุทธิ์ 3. บางทีอาจมีสี รสชาติ หรือกลิ่นรสที่เปลี่ยนไปเกิดขึ้นในอาหาร

ที่มา : ดัดแปลงจาก Madhavi *et al.* (1996)

2.3 การใช้สารสกัดจากพืชเพื่อเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ

จากการศึกษาของ Juntachote *et al.* (2006) ได้นำใบโหระพาสดแห้ง ผงข้าแห้ง รวมถึงสารสกัดจากใบโหระพา และข้าวด้วยเอทานอลใช้เป็นส่วนผสมในของหมูสับปรุงสุกเพื่อเปรียบเทียบกับส่วนผสมของสารต้านอนุมูลอิสระที่ใช้ในเชิงพาณิชย์ (กรดซิตริก 0.3% + วิตามินซี 0.5% + โทโคฟีรอล 0.02%) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส วิเคราะห์ปริมาณสาร TBARS ที่เกิดขึ้นใน

ระหว่างการเก็บรักษา เพื่อใช้เป็นตัวชี้วัดการเกิดปฏิกิริยา lipid peroxidation ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดกลิ่นเหม็นหืนและเกิดการเสื่อมสภาพของผลิตภัณฑ์อาหาร พบว่าประสิทธิภาพของสารต้านอนุมูลอิสระในการชะลอการเกิด TBARS ที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด คือสารต้านอนุมูลอิสระที่ใช้ในเชิงพาณิชย์ รองลงคือ ผงข้าแห้ง ใบโหระพาแห้ง สารสกัดจากข้าวด้วยเอทานอล และสารสกัดจากใบโหระพาด้วยเอทานอล ตามลำดับ และจากการวิจัยของ Banerjee *et al.* (2012) ได้นำผักบร็อกโคลีสดเป็นผงใช้เป็นส่วนผสมของนักเก็ตที่ทำจากเนื้อแพะในสัดส่วน 1.5 และ 2% เปรียบเทียบกับนักเก็ตที่มีส่วนผสมของสารกันบูดสังเคราะห์ BHT 100 ppm และนักเก็ตควบคุม (ไม่ใส่ผักบร็อกโคลีสดแห้งและ BHT) พบว่านักเก็ตที่ใส่ผักบร็อกโคลีสดแห้งมีการเกิด lipid peroxidation ต่ำกว่านักเก็ตควบคุมและนักเก็ตที่มีส่วนผสมของสารกันบูดสังเคราะห์ BHT ตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา แสดงว่าผักบร็อกโคลีพบสารที่มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระธรรมชาติ และสามารถใช้เป็นสารกันบูดจากธรรมชาติในผลิตภัณฑ์อาหาร

ผัก ผลไม้ รวมทั้งดอกไม้ที่รับประทานได้หลายชนิดเป็นแหล่งของสารอาหารที่เป็นประโยชน์และดีต่อสุขภาพ และยังเป็นแหล่งของสารที่อุดมไปด้วยสารที่มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระธรรมชาติ ในการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ของสารสกัดพืชสกุลจิง 8 ชนิดที่พบในประเทศไทย พบว่าสารสกัดจากจิงมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยสามารถยับยั้งอนุมูล DPPH[•] และอนุมูล ABTS^{•+} และพบว่าปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดในสารสกัดพืชสกุลจิงอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.24 ถึง 0.85 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักแห้งของตัวอย่าง (วิภาดา กันทยศ และ ยิ่งยง ไพสุขสานดิวัฒนา, 2554) ในการวิจัยของ บังอร วงศ์รัักษ์ และศศิลักษณ์ ปิยะสุวรรณ (2549) ได้ศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดที่แยกได้ 2 ส่วนคือ ส่วนที่ละลายในน้ำ กับส่วนที่ไม่ละลายในน้ำ ในผักพื้นบ้าน 6 ชนิด ได้แก่ ผักกูด ผักติ้ว ผักปลัง ขาว ย่านาง ผักเหมียง และผักหวานบ้าน โดยวิธี DPPH radical scavenging assay พบว่าสารสกัดจากผักติ้วแสดงฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระได้มากที่สุด รองลงมาคือ สารสกัดจากย่านาง และในการทดลองของ อรุณรินทร์ สวบบางยาง และคณะ (2553) ได้ศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในดอกไม้ที่รับประทานได้ พบว่าดอกชบามีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงที่สุดโดยมีปริมาณ 3.84 mg/gFW เมื่อศึกษากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระโดยใช้วิธี DPPH พบว่าดอกเข็มมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดเท่ากับ 0.28 mM TE/gFW ดังนั้นการบริโภคผลิตภัณฑ์อาหารที่ใส่สารต้านอนุมูลอิสระธรรมชาติจากพืชผัก ผลไม้และดอกไม้ที่รับประทานได้เพื่อหลีกเลี่ยงการใช้สารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ ยังเป็นการเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์อาหารในแง่ของการเพิ่มคุณค่าทางอาหาร และยังช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารให้นานขึ้น

อนุมูลอิสระมีมากมายหลายชนิด อนุมูลที่สำคัญ ได้แก่ superoxide radical, hydroxyl radical และสารอัลดีไฮด์ต่างๆ ที่เกิดจาก lipid peroxidation เป็นกระบวนการเกิดจากปฏิกิริยาออกซิ

เดชน์กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว วิธีการวัดความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระในหลอดทดลองมีหลายวิธีในการทดสอบด้วย ตัวอย่างเช่น

การศึกษาความสามารถของสารทดสอบในการกำจัดอนุมูลอิสระโดยวิธีให้ไฮโดรเจนอะตอมด้วยวิธี DPPH (2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) radical ในหลอดทดลองโดยใช้ออนุมูล DPPH[•] ในการทดสอบความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระของสารสกัดจากพืชทดสอบวิธีการนี้ ทำได้ง่าย เป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง และใช้เป็นวิธีเบื้องต้นในการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลของสารต้านออกซิเดชันจากธรรมชาติ (Sakanaka and Ishihara, 2008)

การศึกษาความสามารถในการยับยั้งอนุมูล Hydroxyl (OH[•]) ของสารทดสอบ สิ่งมีชีวิตสามารถสร้างอนุมูล OH[•] โดยการเกิดจากเหล็ก Fe²⁺ ทำปฏิกิริยากับ H₂O₂ ได้อนุมูล OH[•] โดยเรียกปฏิกิริยานี้ว่า Fenton reaction อนุมูล OH[•] เป็นอนุมูลที่มีความไวสูงมากในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารชีวโมเลกุล เช่น กรดนิวคลีอิก โปรตีน และไขมันเป็นต้น (Spencer *et al.* 1994) ในการศึกษาความสามารถในการยับยั้งอนุมูล OH[•] ของสารทดสอบ ต้องทำการสังเคราะห์อนุมูล OH[•] จากน้ำตาล deoxyribose โดยปฏิกิริยา Fenton reaction และเติมสารที่ต้องการทดสอบเพื่อศึกษาความสามารถในการยับยั้ง อนุมูล OH[•]

การศึกษาความสามารถในการแย่งจับกับโลหะเป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการศึกษาความสามารถในการต้านออกซิเดชันของสารทดสอบ เพราะโลหะไอออนเป็นตัวการสำคัญในการเร่งปฏิกิริยา ทำให้เกิดสารอนุมูลอิสระต่างๆ มากมายหลายชนิด โดยเฉพาะธาตุเหล็กที่อยู่ในรูปเฟอร์รัส หรือ Fe²⁺ จะทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนในอากาศ เกิดเป็นสารอนุมูล superoxide anion radical (O₂^{•-}) ซึ่งเป็นอนุมูลอิสระตัวเริ่มต้นที่ทำให้เกิดอนุมูลอิสระตัวอื่นๆ ต่อไป กิจกรรมการแย่งจับโลหะเป็นปฏิกิริยาที่สำคัญเนื่องจากช่วยลดอัตราการเกิด lipid peroxidation สารคีเลตโลหะใช้จับโลหะทรานซิชัน (metal chelator) ส่วนใหญ่เป็นโปรตีนจะจับกับโลหะทรานซิชันที่ทำให้เร่งปฏิกิริยาการเกิดอนุมูลอิสระ (Duh *et al.*, 1999) ดังนั้นการทดสอบความสามารถในการคีเลตไอออนของโลหะ เป็นการทดสอบความสามารถของสารในการแย่งจับกับโลหะหนัก Fe²⁺ ทำให้ปริมาณอนุมูลอิสระอยู่ในสมดุลซึ่งเป็นอีกกลไกหนึ่งในการต้านอนุมูลอิสระ โดยที่สารต้านอนุมูลอิสระจับกับ Fe²⁺ ทำให้ลดการเกิดอนุมูลอิสระ (Rice-Evans *et al.* 1995)

การศึกษาความสามารถของการเป็นตัวให้อิเล็กตรอนในปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันของสารทดสอบ วิธีนี้เป็นการศึกษาความสามารถในการรีดิวซ์ หรือให้อิเล็กตรอนของทดสอบแก่สารอนุมูลอิสระที่สังเคราะห์ขึ้นภายในระบบ การศึกษาความสามารถในการยับยั้ง lipid peroxidation ของสารสกัดจากพืชทดสอบ lipid peroxidation เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่ออนุมูลอิสระทำปฏิกิริยากับกรดไขมันไม่อิ่มตัว เกิดเป็น lipid peroxide วิธีนี้เป็นการวิเคราะห์การเกิด lipid peroxidation ใช้วิธีการประเมินความเข้มข้นของสารที่มีสีเรียกว่า TBARS (thiobarbituric acid reactive substances)

เกิดจากสาร malonaldehyde (MDA) จะทำปฏิกิริยากับกรดไทโอบาร์บิทริกในสภาวะกรดเป็นสาร MDA การวิเคราะห์ความสามารถในการยับยั้ง Lipid peroxidation โดยใช้ไข่แดงจากไข่ไก่เป็นแหล่งของไขมันไม่อิ่มตัว ไข่แดงประกอบ เลซิติน (lecithin), triacylglycerols และโปรตีน เลซิติน คือสารประกอบของไขมันและฟอสฟอรัส เรียกว่า phospholipid เลซิตินเป็นไขมันไม่อิ่มตัวเหมาะ สำหรับการทดสอบเพราะเกิด lipid peroxidation ไขมันไม่อิ่มตัวมีแนวโน้มที่จะออกซิเดชันได้ง่าย เป็นวิธีการทดสอบโดยใช้ไข่แดงเป็นแหล่งของไขมันไม่อิ่มตัวเป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อน (Kuppusamy *et al.* 2002)

2.4 คุณสมบัติทั่วไปของพืชพื้นเมืองไทย

2.4.1 กระเจี๊ยบแดง (*Hibiscus sabdariffa* Linn.) จัดอยู่ในวงศ์ Malvaceae ชื่อสามัญ Jamaican Sorel หรือ Roselle

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ กระเจี๊ยบแดงเป็นไม้พุ่ม สูง 50-180 ซม. มีหลายพันธุ์ ลำต้นสีม่วงแดง ใบ เป็นใบเดี่ยวรูปฝ่ามือ 3 หรือ 5 แฉก กว้างและยาวใกล้เคียงกัน 8-15 ซม. ดอก เป็นดอกเดี่ยว ออกที่ซอกใบ กลีบดอกสีชมพูหรือเหลืองบริเวณกลางดอกสีม่วงแดง เกสรตัวผู้เชื่อมกันเป็นหลอด ผล เป็นผลแห้งแตกได้ มีกลีบเลี้ยงสีแดงนํ้าหุ้มไว้

คุณสมบัติทางยา ขับพยาธิตัวจิ๋ว ช่วยรักษาโรคกระเพาะ เป็นยาระบาย และขับปัสสาวะ (สารานุกรมสมุนไพร. 2543)

2.4.2 ขจร (*Telosma minor* Craib.) จัดอยู่ในวงศ์ Asclepiadaceae ชื่อสามัญ Cowslip Creeper

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ ขจรเป็นไม้เถาเลื้อยพาดพันต้นไม้อื่นหรือขึ้นตามร้าน ต้นไม้ ใบมีรูปร่างคล้ายหัวใจปลายเรียวแหลมยาว เหมือนใบต้นข้าวสาร ใบยาว 6-11 ซม. กว้าง 4-7.5 ซม. มีก้านใบยาว 1.2-2 ซม. ใบสีเขียวอมแดงเล็กน้อย ดอก เป็นช่อกระจุกหรือเป็นพวงๆ คล้ายพวงอุบะ ดอกแข็งมีสีเขียวอมเหลือง ออกดอกตามซอกใบ ส่งกลิ่นหอมแรงกว่าดอกขำมะนา หรือกลิ่นของใบเตย กลีบดอกสีเหลืองหรือเขียวอมเหลือง ผลมีลักษณะกลมยาวคล้ายฝักนุ่นที่ยังเล็ก ผลแก่จะแตกออกได้ และมีเมล็ดใน ปลิวอ่อนคล้ายนุ่นมีเมล็ดเกาะติดกับไขสีขาว

คุณสมบัติทางยา บำรุงตับ ปอด แก้เสมหะเป็นพิษ และถอนพิษเบื่อเมา (เอนก ว่างจิตเจริญ. 2555)

2.4.3 มะม่วงหาวมะนาวโห่ (*Carissa carandas* Linn.) จัดอยู่ในวงศ์ Apocynaceae ชื่อสามัญ Karanda, Carunda หรือ Christ's thorn

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ มะม่วงหาวมะนาวโห่เป็นไม้พุ่มยืนต้น สูงประมาณ 2-5 เมตร สามารถเก็บผลได้ตลอดทั้งปีแต่จะมีมากในช่วงเดือนพฤษภาคม – กรกฎาคม เปลือกลำต้นมีสีน้ำตาลเข้ม ลำต้นเป็นหนามแหลม ขอบใบเรียบ ผิวใบมัน ปลายใบมน ดอกมีสีชมพูหรือแดงอ่อนจะออกเป็นช่อตามซอกใบและปลายกิ่ง ผลอ่อนจะมีสีขาว และมีการพัฒนาสีผลเป็นสีชมพูอ่อน จากนั้นจะเป็นสีแดง จนกระทั่งสุกจะมีสีดำ โดยผลแก่จะมีรสชาติเปรี้ยว ผลสุกจะมีรสหวาน (สุกัญญา ขำขาว, 2556 ; สกุนกานต์ สิมลา และคณะ, 2556 ; Maheshwari *et al.* 2012)

คุณสมบัติทางยา ช่วยป้องกันการเกิดโรค เช่น โรคมะเร็ง โรคเบาหวาน โรคหัวใจ รวมทั้งโรคอัลไซเมอร์ (Sharma *et al.* 2007 ; Bharkar and Balakrishnan, 2009)

2.4.4 มะตูม (*Aegle marmelos* (L.) Correa ex Roxb.) จัดอยู่ในวงศ์ Rutaceae ชื่อสามัญ Bael Fruit Tree, Bengal Quince หรือ Bilak

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ มะตูมเป็นไม้ยืนต้นขนาดกลาง สูงถึง 15 เมตร ตามลำต้นและกิ่งมีหนามแข็งแหลมคมอยู่มากมาย เรือนยอดกลม เปลือกลำต้นเรียบ สีน้ำตาล ใบ เป็นใบประกอบชนิดมีใบย่อย 3 ใบ ออกเวียนเป็นเกลียวรอบกิ่ง ใบย่อยรูปไข่หรือรูปหอกแกมรูปไข่ ปลายใบเรียวแหลม กว้าง 1.75-7.5 ซม. ยาว 4-13.5 ซม. ขอบใบหยักเป็นฟันเลื่อย ฐานใบมน ก้านใบยาว ใบมีกลิ่นหอม หากนำไปส่องแดดจะเห็นเนื้อใบมีต่อมน้ำมันเป็นจุดใสๆ กระจายอยู่ ดอก เป็นดอกช่อ ออกตรงปลายกิ่งหรือซอกใบ ดอกย่อยสีขาว หรือขาวปนเขียว มีกลิ่นหอมไกล กลีบเลี้ยง 5 กลีบ กลีบดอก 4-5 กลีบ ผล เป็นรูปไข่หรือรูปกลม เปลือกผลจะหนาแข็ง ผลอ่อนมีเปลือกสีเขียว เมื่อแก่กลายเป็นสีเขียวอมเหลือง ภายในผลมีเนื้อสีส้มปนเหลือง เนื้อนี้มีเมล็ดจำนวนมากแทรกอยู่ในเนื้อผล

คุณสมบัติทางยา ช่วยขับลม ช่วยเจริญอาหาร แก้กระหายน้ำ แก้พิษฝี แก้โรคลำไส้ แก่ท้องเดิน แก่หัวดี แก่ปวดศีรษะ ตาลายและลดความดันโลหิตสูง (สารานุกรมสมุนไพร, 2543)

2.4.5 โสน (*Sesbania javanica* Mig.) จัดอยู่ในวงศ์ Leguminosae ชื่อสามัญ Sesbania

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ โสนเป็นไม้พุ่มขนาดเล็กลำต้นสูง 2-4 เมตร ไม้เปราะหักง่ายไม่มีแก่นผิวสีน้ำตาล ลำต้นแตกกิ่งก้านตอนบนหนาเป็นพุ่ม กิ่งก้านสีเขียวอ่อน ใบ เป็นใบประกอบแบบขนนก ก้านใบสั้น ใบย่อยออกเป็นคู่ๆ 10-30 คู่ ใบสีเขียวรูปรีและกลม ปลายใบมนหรือมีขนาดเล็ก คล้ายใบมะขามหรือใบกระถิน ใบยาว 1.2–2.5 ซม. กว้าง 2.4 ซม. ออกตรงข้าม กิ่งสลับรูปขอบขนาน ขนาด 2x4 ม.ม. ดอก เป็นช่อดอกคล้ายดอกถั่วมีสีเหลืองออกสลับตามซอกใบ ปลายกิ่ง ช่อละ 10-15 ดอก ช่อดอกยาว 10 ซม. กลีบดอก 5 กลีบ คล้ายผีเสื้อ ดอกย่อยยาว 2.5 ซม.

บางครั้งกลีบนอกมีจุดกระสีน้ำตาลหรือสีม่วงแดงกระจายอยู่ทั่วไป ผล เป็นฝักคล้ายฝักถั่วเขียวแต่ยาวกว่า ยาว 18-20 ซม. กว้าง 4 มม. ฝักอ่อนสีเขียว เมื่อแก่กลายเป็นสีม่วงและสีน้ำตาล เมล็ดขนาดเล็กกลมเป็นเงามัน เส้นผ่าศูนย์กลาง 3 มม. เรียงอยู่ภายในฝักมีจำนวนมาก

2.5 การเสื่อมเสียที่เกิดในเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์

เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปว่า การเสื่อมเสียเบื้องต้นของอาหารมีสาเหตุหลักมาจากปัจจัยหลัก 2 ปัจจัย ได้แก่ การเสื่อมเสียที่มีสาเหตุมาจากเชื้อจุลินทรีย์ และการเสื่อมเสียเนื่องมาจากการออกซิเดชันของไขมันและโปรตีน (lipid and protein oxidation) ซึ่งการเสื่อมเสียมักส่งผลโดยตรงในทางที่ไม่ดี ต่อการเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัมผัส สี กลิ่น รสชาติ และคุณค่าทางอาหาร ในเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์ ในที่สุดทำให้การยอมรับของผู้บริโภคในตัวสินค้าลดลง (Mc Carthy *et al.* 2001) นอกจากนี้ การออกซิเดชันของไขมันยังส่งผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงของกล้ามเนื้อ ทำให้โครงสร้างของกล้ามเนื้อถูกทำลาย มีผลต่อการสูญเสียคุณสมบัติในการอุ้มน้ำของเนื้อ และเกิดการเปลี่ยนแปลงของสีเนื้อ

2.5.1 การเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ในเนื้อสัตว์

จุลินทรีย์เป็นสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า ต้องอาศัยกล้องจุลทรรศน์ช่วยขยายให้เห็นรูปร่าง จุลินทรีย์จำแนกออกได้ 6 ชนิด คือ แบคทีเรีย ยีสต์ รา โปรโตซัว สาหร่าย และไวรัส ยากที่จะหลีกเลี่ยงจากจุลินทรีย์ แม้กระทั่งในร่างกายมนุษย์และสัตว์ก็ยังมีจุลินทรีย์อาศัยอยู่ในระบบทางเดินอาหาร โดยมีทั้งชนิดที่เป็นประโยชน์และเป็นโทษ สำหรับการมีจุลินทรีย์แปลกปลอมปนเปื้อนเข้ามาในอาหารถือว่าเป็นสิ่งที่ไม่พึงปรารถนา จุลินทรีย์ในเนื้อสัตว์สามารถแบ่งได้เป็นประเภทต่างๆตามความสำคัญได้ดังนี้

2.5.1.1 จุลินทรีย์ก่อให้เกิดโรค (Pathogenic microorganisms) ประมาณ 1 ใน 3 ของโรคที่เกิดขึ้นมาจากการบริโภคเนื้อสัตว์ที่มีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์อยู่ ได้แก่ โรคที่เกิดจากการบริโภคเนื้อสัตว์ที่ป่วยเป็นโรคติดต่อซึ่งสามารถถ่ายทอดถึงคนได้ (zoonosis) เช่น โรค Brucellosis, Tuberculosis และ วัวบ้า (BSE) เป็นต้น โรคอาหารเป็นพิษ (food poisoning) ที่เกิดจากการบริโภคเนื้อสัตว์ที่มีเชื้อแบคทีเรียเข้าไป ซึ่งเชื้อจะไปเจริญในทางเดินอาหารและเป็นสาเหตุทำให้เกิดอาหารเป็นพิษ ได้แก่ *Salmonella* spp., *Yersinia* spp., *Clostridium* spp. และ *Campylobacter* spp. และโรคอาหารเป็นพิษที่เกิดจากการได้รับสารพิษที่แบคทีเรียสร้างขึ้น ได้แก่ *Clostridium* spp., *Staphylococcus aureus* และ *Bacillus* spp. ซึ่ง *S. aureus* เป็นแบคทีเรียสร้างสารพิษประเภทเอนเทอโรทอกซิน (enterotoxin) ที่มีผลต่อระบบทางเดินอาหารของผู้บริโภค *C. botulinum* เป็นแบคทีเรียสร้างสารพิษประเภทนิวโรทอกซิน (neurotoxin) ที่มีผลต่อระบบประสาท (จุฑารัตน์ เศรษฐกุล. 2545) จุลินทรีย์ในอาหารไม่เพียงทำให้อาหารเน่าเสียหรือเสื่อมคุณภาพลงเท่านั้น จุลินทรีย์หลาย

ชนิดทำให้เกิดโรคกับมนุษย์ โดยเฉพาะแบคทีเรีย จากบันทึกหรือรายงานการระบาดของโรคอาหารเป็นพิษ ปรากฏว่าแบคทีเรียเป็นตัวการสำคัญและเป็นความเสี่ยงสูงสุดที่ผู้ผลิตอาหารจะต้องกำจัดออกไปจากห่วงโซ่อาหารเป็นอันดับแรก (สุมนทนา วัฒนสินธุ์. 2545)

2.5.1.2 จุลินทรีย์ทำให้เกิดการเน่าเสีย (Spoilage microorganisms) เนื้อสัตว์จัดได้ว่าเป็นอาหารที่ดีที่สุดต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ จุลินทรีย์ทำให้เกิดการเน่าเสีย (Spoilage microorganisms) เนื้อสัตว์จัดได้ว่าเป็นอาหารที่ดีที่สุดต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เชื้อจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนบนซากสัตว์ภายหลังการฆ่ามีจุดเริ่มต้นจากผิวหนังสัตว์ ลำไส้ และสภาพแวดล้อมภายในโรงฆ่าสัตว์ เช่น อากาศ น้ำ อุปกรณ์ต่างๆ รวมถึงจากผู้ปฏิบัติงานเอง ดังนั้นจึงสามารถพบเชื้อจุลินทรีย์ได้หลายชนิด เช่น แบคทีเรียแกรมบวก แบคทีเรียแกรมลบ ยีสต์ และรา ซึ่งเชื้อจุลินทรีย์เหล่านี้สามารถกลายเป็นเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อโรคหรือเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสีย เชื้อจุลินทรีย์ที่มักพบการปนเปื้อนในเนื้อสัตว์ระหว่างการเก็บรักษา ได้แก่ *Micrococcus*, *Pseudomonas*, *Moraxella*, *Acinetobacter*, *Lactobacillus*, *Flavobacterium*, coryneforms, yeasts, Enterobacteriaceae, *Staphylococcus*, *Kurthia*, *Bacillus* และ *Brochothrix thermosphacta* (Dainty *et al.* 1992) จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ที่พบปนเปื้อนบนซากสัตว์แต่ละบริเวณจะมีจำนวนการปนเปื้อนเชื้อที่แตกต่างกันไป ตัวอย่างบริเวณที่พบว่ามี การปนเปื้อนสูง คือ หน้าอก สะโพกและคอ (Mackey and Roberts. 1993)

2.5.2 การเสื่อมเสียของเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาออกซิเดชัน

ปัจจัยหลักของการเสื่อมเสียของเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์มักมีสาเหตุเนื่องมาจากเชื้อจุลินทรีย์เป็นส่วนใหญ่ซึ่งจะเป็นการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ แต่การเปลี่ยนแปลงทางเคมีก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญมาก เพราะสามารถเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันจัดเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียของเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์ (McCarthy *et al.*, 2001) ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation reaction) เป็นปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างออกซิเจน กับกรดไขมันไม่อิ่มตัวอิสระ ซึ่งจะพบได้มากในอาหารที่มีไขมัน หรือน้ำมันเป็นองค์ประกอบอยู่สูง เช่น เนื้อสัตว์ ผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ เป็นต้น ปฏิกิริยาออกซิเดชันในอาหารเกิดขึ้นเนื่องจากการเกิดออกซิเดชัน (autoxidation) โฟโตออกซิเดชัน (photoxidation) และไฮโดรไลซิสออกซิเดชัน (hydrolysis oxidation) ซึ่งทำให้เกิดอนุมูลอิสระ (free radical) จำนวนมากจนทำให้มีสีที่เปลี่ยนไป สูญเสียกลิ่นรส คุณค่าทางอาหาร ทำให้เกิดการหืน และมีอายุการเก็บสั้นลง ซึ่งทำให้ไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค (นิริยา รัตนาปนนท์. 2545)

เนื้อสดและผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์เมื่อเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแล้ว การเปลี่ยนแปลงสีก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญที่มีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค นอกเหนือจากกลิ่นหืนที่เกิดขึ้นแล้ว โดยปกติสีของเนื้อสัตว์จะประกอบด้วยรงควัตถุไมโอโกลบินและซีโมโกลบิน เมื่อรงควัตถุไมโอ

โกลบินเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันอย่างช้าๆและต่อเนื่องได้เป็นเมทไมโอโกลบิน ทำให้สีของเนื้อเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลมากขึ้น (เขาวลัษณ์ สุรพันธ์พิศฐ์, 2546)

ผลิตภัณฑ์อาหารประเภทเนื้อสัตว์รวมถึงผลิตภัณฑ์จากหมู วัว ไก่ เป็นต้น ทั้งในรูปที่ยังไม่ได้มีการทำให้สุกหรือสุกแล้ว มักจะมีการเสื่อมเสียจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน เนื่องจากพบว่า นอกจากจะเป็นผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์แล้วยังมีปัจจัยที่เร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเร็วขึ้นคือ รงควัตถุในเนื้อ เกลือ กรรณวิธีการแปรรูป และภาชนะในการบรรจุ เป็นต้น (สุริย์ นานาสมบัติ, 2551)

2.6 การชะลอปฏิกิริยาออกซิเดชัน

ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (autoxidation) เป็นปฏิกิริยาแบบผันกลับได้ เราไม่สามารถจะป้องกันไม่ให้เกิดได้ แต่สามารถชะลอให้เกิดช้าลงได้ ซึ่งทำได้โดย

2.6.1. ลดปริมาณความร้อน และแสงลง โดยการเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ในที่เย็น และมีด

2.6.2. อย่าให้มีการปนเปื้อนของโลหะหนักต่าง ๆ เนื่องจากหากมีโลหะหนักปนเปื้อนมา แม้ในปริมาณที่ต่ำมาก เพียงแค่ 0.1-1 ส่วนในล้านส่วน ก็สามารถเร่งให้มีการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันให้เร็วขึ้น

2.6.3. ป้องกันมิให้สัมผัสออกซิเจน โดยการเก็บในภาชนะที่ปิดสนิท

2.6.4. การใช้สารต้านอนุมูลอิสระ ทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระ เพื่อหยุดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่จะเกิดขึ้นแบบลูกโซ่ (นิธิยา รัตนานนท์, 2545)

2.7 กลไกของสารต้านอนุมูลอิสระในการป้องกันการเกิดกระบวนการออกซิเดชัน

สารต้านอนุมูลอิสระที่เติมลงไปนั้นจะทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น ทำให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นแบบลูกโซ่หยุดชะงักไป เมื่อสารต้านอนุมูลอิสระที่เติมลงไปทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน จะเหลืออนุมูลของสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งเกิดปฏิกิริยาได้ช้ากว่าอนุมูลอิสระมาก และจะเปลี่ยนเป็นสารประกอบที่คงตัว จึงสามารถช่วยป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นในน้ำมันหรือไขมัน หรืออาหารที่มีน้ำมันและไขมันเป็นส่วนประกอบได้ (นิพนธ์ ลิ้มสงวน, 2547)

2.8 การใช้สารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติในเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์

มีการศึกษามากมายในการนำสารต้านอนุมูลอิสระมาใช้เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์ ทั้งในแง่ของการใช้สารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ และสารต้านอนุมูลอิสระที่ได้จากธรรมชาติ อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันผู้บริโภคได้ให้ความสำคัญในการบริโภคอาหารที่ดีต่อสุขภาพลดการใช้สารเคมี และนำสารที่ได้จากธรรมชาติมาทดแทนการใช้สารเคมี ทำให้ในปัจจุบันนี้

อุตสาหกรรมเนื้อสัตว์ได้มีความพยายามคัดเลือกสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ เพื่อมาใช้ในเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อชะลอการเหม็นหืน ยืดอายุการเก็บรักษา และเพื่อทดแทนการใช้สารเคมีสังเคราะห์ เป็นที่ทราบกันดีว่าผลิตภัณฑ์เนื้อส่วนใหญ่มักมีการใช้สารต้านอนุมูลอิสระ หรือสารกันหืนสังเคราะห์ (synthesis antioxidant) เช่น ไนไตรท์ มักใช้กับผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการหมักบ่ม (cured meat) ส่วนผลิตภัณฑ์เนื้อที่ไม่ผ่านการหมักบ่ม มักมีการใช้สาร บิวทิลเลเทตไฮดรอกซีอะนิโซล หรือบีเอชเอ (Butylated hydroxyanisole, BHA) บิวทิลเลเทตไฮดรอกซีโทลูอิน หรือบีเอชที (Butylated hydroxytoluene, BHT) (Sebraneck *et al.* 2005) และ Benzoate (Soubra *et al.* 2007) ซึ่งใช้กันมากในผลิตภัณฑ์เนื้อทั้งแบบสดและแบบแห้ง อย่างไรก็ตามในปัจจุบันผู้บริโภคได้ให้ความสนใจถึงความปลอดภัยต่อสุขภาพในการใช้สารกันหืนสังเคราะห์ในผลิตภัณฑ์อาหาร (Sebraneck *et al.* 2005) การใส่สารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ในผลิตภัณฑ์อาหารทำให้เกิดคำถาม และทัศนคติในแง่ลบมากกว่าแง่บวกของผู้บริโภคในด้านความปลอดภัยของอาหาร เมื่อบริโภคต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน (Yu *et al.* 2002) เนื่องจากสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์มีผลโดยตรงต่อสุขภาพ มีรายงานว่า BHA ส่งผลทำให้เกิดแผลในกระเพาะอาหารของหนู นอกจากนี้ยังพบว่า ในปริมาณที่สูง ทำให้หนูตาย (McCarthy *et al.* 2001) Bensoates มีผลต่อสุขภาพคือ ทำให้เกิดโรคภูมิแพ้ (allergic) หอบหืด (asthma) เป็นแผลในกระเพาะ (local gastric irritation) ส่วน BHT ส่งผลทำให้เกิดโรคโลหิตจาง พบการไหลออกของเลือด (haematological) ภายในระยะเวลาการกินสาร 90 วัน และมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ในตับ ในหนูที่กินสารดังกล่าวภายในระยะเวลา 22 เดือน ดังนั้น FAO/WHO จึงได้มีการกำหนดค่าการยอมรับการบริโภคต่อวัน หรือ Acceptance Dairy Intake (ADI) ของสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ เช่น Benzoates ควรบริโภคในปริมาณ 0-0.7 mg/ kg น้ำหนักตัว ต่อวัน BHA 0-0.5 mg/ kg น้ำหนักตัว ต่อวัน (Soubra *et al.*, 2007) นอกจากนี้ USDA ได้อนุญาตให้ใช้ BHA และ BHT ได้ไม่เกิน 0.01% (base on fat content) ในผลิตภัณฑ์เนื้อแบบสด และไม่เกิน 0.003% (base on total weight) ในผลิตภัณฑ์เนื้อแบบแห้ง (Sebraneck *et al.*, 2005)

จากเหตุผลดังกล่าวมาแล้วข้างต้น ผู้ผลิตจึงได้หันมาสนใจในการนำสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติมาใช้มากขึ้น (natural antioxidant) เพื่อเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการทดแทนการใช้สารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ โดยเฉพาะสารต้านอนุมูลอิสระที่ได้จากแหล่งของพืชชนิดต่างๆ นอกจากจะมีคุณสมบัติด้านการเหม็นหืนในผลิตภัณฑ์แล้วยังเพิ่มคุณภาพ ทั้งด้านสี กลิ่น รสชาติของผลิตภัณฑ์ และยังมีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์อีกด้วย (Sebraneck *et al.*, 2005) นอกจากนี้ การใช้สารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ ยังเป็นอีกทางหนึ่งที่ผู้บริโภคจะเข้าถึงอาหารเพื่อสุขภาพ (functional food) มีการศึกษามากมายในการใช้พืช หรือสารสกัดจากพืช เต็มลงในเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์เพื่อวัตถุประสงค์ในการเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ ลดความเสี่ยงของการเกิดโรค และเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ถั่ววอลนัท จมูกข้าวสาลี น้ำผึ้ง หรือ

วิตามิน ในไส้กรอกอิมัลชัน เนื้อบด เป็นต้น มีรายงานการใช้สารแคโรทีนอยด์ (carotenoid) ที่ได้จากพืชในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ เนื่องจากสารแคโรทีนอยด์มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และต้านมะเร็ง มีรายงานการใช้เปลือกมะเขือเทศแห้ง หรือน้ำมะเขือเทศ ซึ่งอุดมไปด้วย สารไลโคปีน (Lycopene) และลูทีน (Lutein) แครอท และมันเทศหวาน (sweet potato) ซึ่งอุดมไปด้วยวิตามิน A ผักขมซึ่งอุดมไปด้วยสารลูทีน และ ซีแซนทีน (Zeaxanthin) นอกจากนี้ยังได้มีการนำพืชบางชนิดที่อุดมไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น ฟลาโวนอยด์ (Flavonoid) และ สารกลุ่มฟีนอลิก (Phenolic compound) ที่ได้จากแหล่งธรรมชาติ ได้แก่ สารสกัดจากผลองุ่นขาว สารสกัดจากผลไม้กลุ่มเบอร์รี่ สมุนไพรต่างๆ และเครื่องเทศ เช่น Melissa, Rosemary, Nutmeg, Cardamon, oregano และชาเขียว เป็นต้น โดยเติมลงไปในส่วนผสมผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ (Nissen *et al.* 2004 ; Olmedilla-Alonso *et al.* 2013)