

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พืชสมุนไพร

สมุนไพร (Medicinal plant) ตามความหมายของพจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน พุทธศักราช 2525 หมายถึง พืชที่นำไปทำเป็นเครื่องยา มีสรรพคุณในการรักษาโรค หรืออาการเจ็บป่วยต่างๆ (หาได้ตามพื้นบ้านหรือป่า) ส่วนคำว่า “ยาสมุนไพร” ตามพระราชบัญญัติยา พุทธศักราช 2510 หมายถึง ยาที่ได้จากส่วนของพืช สัตว์ แร่ธาตุ ซึ่งยังมีได้ผสมปรุงหรือแปรสภาพ แต่การนำไปใช้สามารถดัดแปลงรูปลักษณะ เพื่อความสะดวกยิ่งขึ้น อาทิการนำไปหั่นให้เล็กลง การนำไปบดเป็นผง เป็นต้น การใช้บำบัดอาจใช้แบบสมุนไพรเดี่ยวๆ หรืออาจใช้ในรูปของตำรับยาสมุนไพร คนไทยเราใช้สมุนไพรต่างๆ มาเยียวยาโรคภัยไข้เจ็บ ตั้งแต่สมัยอดีตที่มีวิทยาการแพทย์ยังไม่ก้าวหน้าทันสมัยเช่นในปัจจุบันนี้สมุนไพรชนิดต่างๆล้วนมีสรรพคุณในการรักษาโรคโดยไม่ค่อยมีฤทธิ์ทำให้ผู้ป่วยมีอาการแพ้ใดๆ แม้ว่าในปัจจุบันจะสะดวกสบายกับยาแผนปัจจุบันที่มีขายอยู่ทั่วไป แต่การเรียนรู้จักสมุนไพรไทยไว้ก็จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง สมุนไพรแต่ละชนิดว่ามีสรรพคุณทางยาอย่างไร และจะนำมาตำหรือต้ม จึงจะถูกทางกับโรคภัยไข้เจ็บที่เป็นอยู่จากภูมิปัญญาท้องถิ่นได้ให้ความรู้เกี่ยวกับสมุนไพรพื้นบ้านเป็นยาตำรับพื้นบ้าน เช่น รักษาอาการผดผื่น พุพอง เป็นลมพิษ หรืออักเสบเพราะแมลงกัดต่อย รักษาหิด เหา กลากเกลื้อน แก้เบาหวาน บรรเทาอาการหอบหืด รักษารังแคผมร่วงและอาการไม่สบายต่างๆ อีกมากมาย ซึ่งทำได้ง่ายๆ เพราะมีใช้ตำรับยาที่มีขั้นตอนการปรุงซับซ้อน ขอเพียงให้รู้จักชนิดของสมุนไพรและนำมาบำบัดรักษาให้ถูกโรคเท่านั้น และสามารถปลูกหรือเสาะหาได้ไม่ยากเลยในปัจจุบัน (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2557)

2.2 การจำแนกพืชสมุนไพร

การจำแนกพืชสมุนไพรสามารถจำแนกได้หลายวิธีดังนี้

1. การจำแนกตามลักษณะการใช้ประโยชน์

1.1 สมุนไพรที่ใช้เป็นยา แบ่งได้เป็นยารับประทาน ซึ่งนำมารับประทานเพื่อรักษาอาการของโรคได้ เช่น บอระเพ็ด ฟ้าทะลายโจร ใช้แก้ไข้ เป็นต้น และยาสำหรับใช้ภายนอก เป็นสมุนไพรที่สามารถนำมาบำบัดโรค ที่เกิดขึ้นตามผิวหนังแผลที่เกิดขึ้นตามร่างกาย เช่น บัวบก ว่านหางจระเข้ ใช้รักษาแผลน้ำร้อนลวก เป็นต้น

1.2 สมุนไพรที่ใช้เป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารและเครื่องดื่มพืชสมุนไพรหลายชนิดสามารถนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารเพื่อบำรุงสุขภาพ เช่น บุก ดูดจับไขในจากเส้นเลือด ส้มแขก ยับยั้งกระบวนการสร้างไขมันจากแป้ง

1.3 สมุนไพรที่ใช้เป็นเครื่องสำอาง เช่น ขมิ้นชัน ไพล อัญชัน ว่านหางจระเข้ มะค่าดีควาย เห็ดหลินจือ ที่เป็นส่วนผสมในแชมพู ครีมนวดผม สบู่ โลชั่น เป็นต้น

1.4. สมุนไพรที่ใช้ในการเกษตร ได้แก่สมุนไพรที่ใช้ในการป้องกันกำจัดศัตรูพืช เป็นสมุนไพรที่มีฤทธิ์ เบื่อ เมาหรือมีรสขม เช่น สะเดา ยาสูบ ตะไคร้หอม หางไหล หนอนตายยาก เป็นต้น

นอกจากนี้ยังมีสมุนไพรอีกหลายชนิดที่ใช้ในการปลูกชำ เช่น ฟ้าทะลายโจร ใช้ผสมอาหารสัตว์ เป็นต้น

1.5. สมุนไพรที่ใช้เป็นผลิตภัณฑ์น้ำมันหอมระเหย เช่น โหระพา มะกรูด

2. การจำแนกตามลักษณะภายนอกพืช

2.1 ไม้ยืนต้น (tree) เป็นต้นไม้ที่มีลำต้นใหม่ ลำต้นเดี่ยว สูงมากกว่า 6 เมตร เจริญเติบโตตั้งตรงขึ้นไป

2.2 ไม้พุ่ม (shrub) เป็นต้นไม้ที่มีเนื้อไม้ขนาดเล็กและเตี้ยมีหลายลำต้นที่แยกจากดิน หรือลำต้นจะแตกกิ่งก้านใกล้โคนต้น หรือมีลำต้นเล็กๆ หลายต้นจากโคนเดียวกัน ทำให้ดูเป็นกอหรือเป็นพุ่ม

2.3 ไม้ล้มลุก (herb) เป็นพืชที่มีลำต้น อ่อน ไม่มีเนื้อไม้หักง่าย มีอายุ 1 หรือหลายปี

2.4 ไม้เลื้อยหรือไม้เถา (climber) เป็นพืชที่มีลำต้นยาว ไม่สามารถตั้งตรงได้ต้องอาศัย สิ่งยึดเกาะตามกิ่งไม้ อาศัยส่วนของพืชเกาะ อาจเป็นลำต้น หนวดหรือหนามก็ได้

3. การจำแนกตามหลักพฤกษศาสตร์

การจำแนกตามหลักพฤกษศาสตร์ จำแนกตามลักษณะของโครงสร้างของดอก รวมทั้งความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมและวิวัฒนาการพืช โครงสร้างการจำแนกตามหลักการถือว่าเป็นระบบที่ถูกต้องแน่นอนที่สุด เป็นที่ยอมรับทางสากล โดยพืชที่อยู่ในตระกูลหรือจีนัส (genus) เดียวกันจะบอกความสัมพันธ์และแหล่งกำเนิด มีความต้องการสภาพแวดล้อม ในการเจริญเติบโต การควบคุมโรค แมลงที่คล้ายคลึง ซึ่งพืชสมุนไพรเหล่านี้จะมีชื่อวิทยาศาสตร์และชื่อวงศ์ เพื่อจำแนกพืชสมุนไพรได้ถูกต้อง

2.3 การแปรรูปสมุนไพร

สมุนไพรถูกนำมาใช้สารพัดประโยชน์และถูกแปรรูปออกมาในแบบต่างๆสิ่งสำคัญที่สุดของการแปรรูป สมุนไพร คือ การปรุงยา หมายถึง การสกัดเอาตัวยาออกจากไม้อา ซึ่งสารที่ใช้สกัดตัวยานี้ นิยมใช้ได้แก่ น้ำและเหล้า สมุนไพรที่นำมาเป็นยาตามภูมิปัญญาดั้งเดิม มีรูปแบบดังนี้ (พินิตา จำหมายและคณะ, 2555)

2.3.1 ยาต้ม เป็นการสกัดยาให้ออกจากไม้อาด้วยน้ำร้อน เป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุดส่วนใหญ่ จะใช้ต้มกับส่วนของต้นไม้อ่อนแห้ง เช่น ลำต้น ราก ต้องใช้การต้มจึงจะมีตัวยาออกมา ข้อดี สำหรับการต้มคือ เป็นวิธีที่ สะอาด ปลอดภัยจากเชื้อโรค ซึ่งการต้มนี้มีด้วยกัน 3 ลักษณะ คือ

2.3.1.1 ต้มกินต่างน้ำเป็นการต้มยาให้เดือด แล้วต้มด้วยไฟอ่อนอีก 10 นาที จากนั้นเอายากินแทนน้ำ คือ หิวน้ำแทนที่จะกินน้ำ ก็กินน้ำยาแทน

2.3.1.2 ต้มเคี้ยว คือการต้มให้เดือดอ่อนๆไปอีก ประมาณ 20-30 นาที

2.3.1.3 ต้มสามเอาหนึ่ง เป็นวิธีการต้มจากน้ำ 3 ส่วน ให้เหลือเพียง 1 ส่วน มักใช้เวลา ในการต้ม 30-45 นาที

2.3.2 ยาขง เป็นการสกัดตัวยาดด้วยน้ำร้อนเช่นกันใช้กับส่วนของต้นไม้อ่อนนุ่ม เช่น ใบ ดอก ที่ไม่ต้องการโดนน้ำเดือดนานๆ ตัวยาก็ออกมาได้วิธีการขงให้เอายาใส่แก้วเติมน้ำร้อนจัดลงไป ปิดฝา ปลอ่ยไว้ จนเย็น ให้ตัวยาออกมาเต็มที่

2.3.3 ยาน้ำมันสำหรับตัวยาบางชนิดจะไม่ยอมละลายน้ำเลย แม้ว่าจะเคี้ยวแล้วก็ตาม (ส่วนใหญ่ยาที่ละลายน้ำได้ดีจะไม่ละลายน้ำมันเช่นกัน) จึงใช้น้ำมันเป็นตัวสกัดยาแทนน้ำ เนื่องจากยาน้ำมันทำแล้วเหนียว เหนอะ เปรอะเปื้อนเสื้อผ้าจึงไม่นิยมปรุงใช้กัน

2.3.4 ยาตองเหล้า สำหรับตัวยาที่ไม่ยอมละลายน้ำกับละลายในเหล้าได้เช่นเดียวกับตัวยาที่ไม่ยอมละลายในน้ำมัน ยาตองเหล้ามักจะมีฤทธิ์แรงกว่ายาต้ม เนื่องจากเหล้ามีกลิ่นฉุนและหากกินบ่อยๆ อาจทำให้ติดได้จึง ไม่นิยมกินกัน จะใช้ต่อเมื่อกินยาเม็ดหรือยาต้มแล้วยังไม่ได้ผล

2.3.5 ยาตำคั้นเอาน้ำเอายามาตำให้ละเอียดและคั้นเอาแต่น้ำออกมา มักใช้กับส่วนของต้นไม้ที่มีน้ำมากๆอ่อน นุ่ม ตำให้แหลกง่าย เช่น ส่วนใบ หัว หรือเหง้า ยาประเภทนี้กินมากไม่ได้เช่นกัน เพราะน้ำยาที่ได้จะมีกลิ่น และรสชาติรุนแรงตัวยาก็จะเข้มข้นมากยากที่จะกลืนเข้าไปทีเดียว ฉะนั้นไม่ควรกินครั้งละ 1 ถ้วยชา

2.3.6 ยาผง คือการเอายาไปอบ หรือตากแห้งแล้วบดให้เป็นผง ยาซึ่งเป็นผงละเอียดมากก็ยังมีสรรพคุณดีขึ้น เพราะยาผงจะถูกดูดซึมเข้าสู่ลำไส้ได้ง่าย ตัวยาจึงเข้าสู่ร่างกายได้รวดเร็วดังนั้น ผงยา ยิ่ง ละเอียดยิ่งเป็นผลดีส่วนยาผงชนิดใดที่กินยากก็ใช้ปั้นเป็นเม็ดหรือที่เรียกว่า เป็นลูกกลอน โดยใช้ น้ำเชื่อม น้ำข้าว หรือ น้ำผึ้ง เพื่อให้ยาติดกันเป็นเม็ด ส่วนใหญ่นิยมใช้น้ำผึ้ง เพราะสามารถเก็บไว้ได้นานโดยไม่ขึ้นรา

2.3.7. ยาฝน เป็นวิธีที่หมอพื้นบ้านใช้มากรวิธีฝนคือ หากภาชนะใส่น้ำสะอาดประมาณ ครึ่งหนึ่งแล้วเอาหินลับ มีดเล็กๆ จุ่มลงไปให้หินไหลเหนือน้ำเล็กน้อยฝนจนได้ยาสีขุ่นขึ้นเล็กน้อยกิน ครั้งละ 1 แก้ว

2.4 สมุนไพรที่นำมาแปรรูปเป็นชาสมุนไพร

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้นำสมุนไพรในท้องถิ่นมาแปรรูปเป็นชา ดังนี้

2.4.1 ตะไคร้

ตะไคร้มีชื่อสามัญ Lemongrass ชื่อวิทยาศาสตร์ *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf จัดอยู่ในวงศ์หญ้า (POACEAE หรือ GRAMINEAE) ตะไคร้จัดเป็นพืชล้มลุกตระกูลหญ้า ใบมีลักษณะเรียวยาว ปลายใบมีขนหนาม เป็นสมุนไพรไทยชนิดหนึ่งที่นิยมนำมาประกอบอาหาร โดยตะไคร้แบ่งออกเป็น 6 ชนิด ได้แก่ ตะไคร้หอม ตะไคร้ก้อ ตะไคร้ตัน ตะไคร้สั้น ตะไคร้หางนาค และตะไคร้หางสิงห์ ซึ่งเป็นสมุนไพรไทยที่นิยมปลูกทั่วไปในบ้านเรา โดยมีถิ่นกำเนิดในประเทศอินเดีย อินโดนีเซีย พม่า ศรีลังกา และไทย

2.4.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ตะไคร้เป็นพืชล้มลุกมีอายุหลายปี สูง 0.75-1.2 เมตร เหง้าใต้ดินมีกลิ่นเฉพาะ ช่อและปล้องสั้นมาก แตกเป็นกอ กาบใบสีขาวนวลอมม่วงยาวและหนาหุ้มช่อและปล้องไว้ ใบเป็นใบเดี่ยว ยาว เรียวปลายแหลม แผ่นใบสากและดอกเป็นช่อยาวและมีดอกเล็ก ดังภาพที่ 2.1



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพที่ 2.1 ลักษณะทั่วไปของตะไคร้ (ก) ลักษณะลำต้น (ข) ลักษณะใบ (ค) ลักษณะดอก และ (ง) ลักษณะหัว

ที่มา : บงกช บุปผา (2553)

2.4.1.2 การปลูกและขยายพันธุ์

ปลูกได้ทั้งการปักชำต้นเหง้า โดยตัดใบออกให้เหลือตอนโคนประมาณหนึ่งคืบ นำมาปักชำไว้สักหนึ่งสัปดาห์ก็จะมีรากงอกออกมา แล้วนำไปลงแปลงดินที่เตรียมไว้ หรืออาจใช้วิธีเอาโคนปักลงไปที่ดินซึ่งเตรียมไว้เลย ให้ห่างประมาณหนึ่งศอก ถ้าปลูกในกระถางใช้วิธีปักโคนลงในกระถางๆ ละ 2-3 ต้นก็ได้ แล้วหมั่นรดน้ำให้ชุ่มเช้าเย็น ตั้งไว้ให้โคนแตกตลอดวันจะทำให้โตได้เร็ว ตะไคร้ชอบดินร่วนซุย เป็นพืชที่ชอบน้ำ ชอบแดด ดูแลรดน้ำเสมอและโดนแดดได้ตลอดวัน เจริญได้ในดินแทบทุกชนิด เวลาจะใช้ก็ให้ตัดที่โคนสุดส่วนรากเลย แล้วถอนออกมาทั้งต้นตามต้องการ ต้องคอยตรวจดูเมื่อตะไคร้มีกอเจริญเติบโตเต็มที่แล้ว ต้องถอนทิ้งหรือแยกออกไปปลูกใหม่บ้างหรือเอาไปใช้บ้าง จะนำมาหั่นเป็นฝอยๆ ตากลมไว้ให้แห้งสนิทแล้วแพ็คเก็บไว้ใช้ได้นานๆ เพื่อให้ต้นอ่อนโตขึ้นมาใหม่ ถ้าไม่แยกออกไปต้นจะเล็กและลีบลงเรื่อยๆ และบางที่ก็แคระแกร็น ต้นและกอก็จะโทรม ต้องล้างและปลูกใหม่ทั้งหมดเปลี่ยนเป็นการแตกหน่อทำให้การปลูกและการขยายพันธุ์ได้ง่าย

2.4.1.3 สรรพคุณของตะไคร้

ตะไคร้มีสรรพคุณทางยาหลายด้าน เช่น

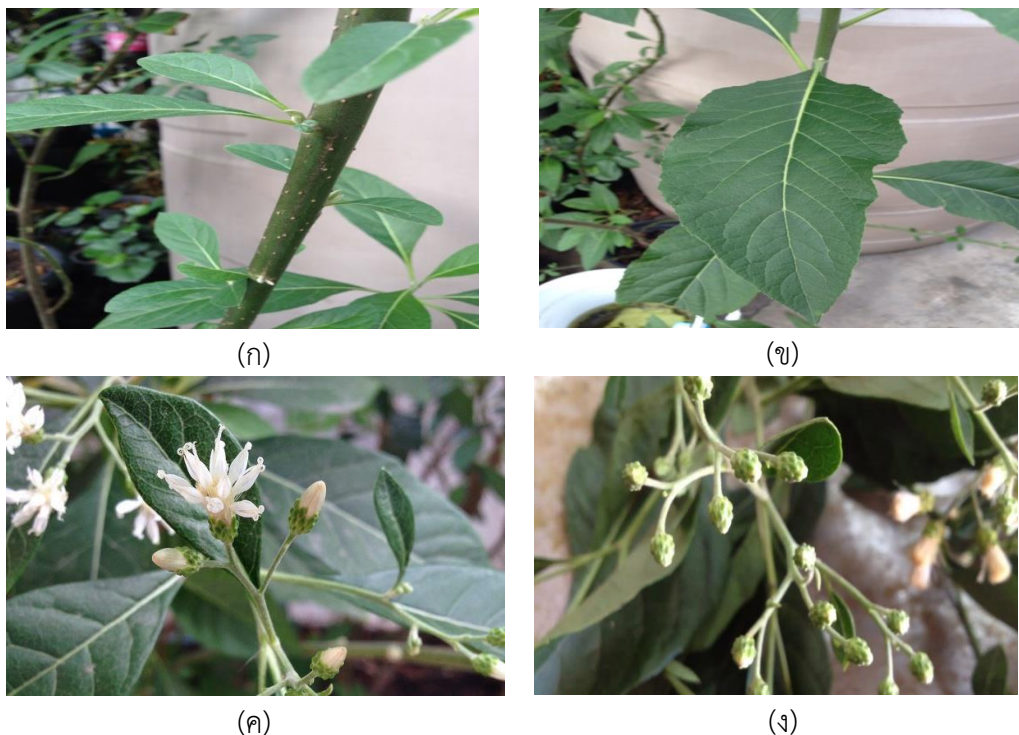
- 1) มีส่วนช่วยในการขับเหงื่อ
- 2) เป็นยาบำรุงธาตุไฟให้เจริญ (ต้นตะไคร้)
- 3) มีสรรพคุณเป็นยาบำรุงธาตุ ช่วยในการเจริญอาหาร
- 4) ช่วยแก้อาการเบื่ออาหาร (ต้น)
- 5) สารสกัดจากตะไคร้มีส่วนช่วยในการป้องกันโรคมะเร็งลำไส้ใหญ่
- 6) แก้และบรรเทาอาการหวัด อาการไอ
- 7) ช่วยรักษาอาการไข้ (ใบสด)
- 8) ใช้เป็นยาแก้ไข้เหนือ (ราก)
- 9) น้ำมันหอมระเหยของใบตะไคร้สามารถบรรเทาอาการปวดได้
- 10) ช่วยแก้อาการปวดศีรษะ

2.4.2 หนานเฉาเหว่ย

หนานเฉาเหว่ย หรือ หนานฝ่ายเฉ่า (Nan fui chao) มีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Suregada multiflorum* (A. juss) Baill. จัดอยู่ในวงศ์ Euphorbiaceae หนานเฉาเหว่ยเป็นสมุนไพรจีน ใบมีรสขมจัด ใช้ต้มกับน้ำแล้วดื่ม ตำรายาจีนระบุว่า สามารถช่วยลดเบาหวาน แก้อาการของโรคเกาต์และลดความดันโลหิตสูงได้ ไม้ต้นนี้ มีถิ่นกำเนิดจากประเทศจีน ถูกนำเข้ามาปลูกและขยายพันธุ์ในประเทศไทยนานหลายปีแล้ว นิยมปลูกเฉพาะตามสวนสมุนไพรจีนและสวนสมุนไพรไทยเพื่อใช้ประโยชน์เป็นยา โดยใบสดของ “หนานเฉาเหว่ย” มีรสขมจัด เมื่อเคี้ยวกินสดตอนแรกจะขมในปากมาก แต่พอกินไปได้สักพักจะรู้สึกว่ามีรสหวานในปากและลำคอ

2.4.2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

หนานเฉาเหว่ยเป็นไม้ยืนต้น สูง 6-8 เมตร ใบออกสลับ รูปรี ปลายแหลม โคนเกือบมน ใบอ่อนหรือแก่รสขมจัด ดอกสีขาว ออกตามซอกใบและปลายยอด ผลมีรูปทรงกลมและมีเมล็ด ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 ลักษณะทั่วไปของหนานเฉาเหว่ย (ก) ลักษณะลำต้น (ข) ลักษณะใบ (ค) ลักษณะดอก และ (ง) ลักษณะผล

ที่มา : Wang (2558)

2.4.2.2 สรรพคุณของหนานเฉาเหว่ย

หนานเฉาเหว่ยมีประโยชน์ทางด้านเภสัชวิทยาหลายด้านดังนี้ (วรรณิ ขวัญเกื้อ, 2551)

- 1) เอาใบมาต้มดื่มต่างน้ำชาแก้โรคเก๊าท์
- 2) ลดความดันและเบาหวาน (ใช้ใบ 5-7 ใบ ตมน้ำกินวันละหนึ่งถ้วยกาแฟก่อนอาหารเช้าเย็น 12 วัน อาการเบาหวานจะดีขึ้น จากนั้นก็กินบ้างหยุดบ้างเพื่อควบคุมอาการไว้ไม่จำเป็นต้องกินติดต่อกันเป็นประจำ เพราะหากน้ำตาลในเลือดลดลงมากเกินไปจะวูบได้)
- 3) แก้ปวดเมื่อยหรือปวดตามข้อ นำใบสดล้างให้สะอาด 1-2 ใบ เคี้ยวกินประมาณ 1 อาทิตย์ อาการปวดตามร่างกายจะดีขึ้นหายก็หยุด ปวดก็เคี้ยวกินใหม่ สลับกันไป
- 4) กินใบเคี้ยวจนเกิดรสหวานแล้วค่อยกลืน จะทำให้ชุ่มคอ มีรสหวาน

2.4.3 เขยตายหรือศรีชมชื่น

ศรีชมชื่นมีชื่อวิทยาศาสตร์ *Glycosmis pentaphylla* (Retz.) DC. (ชื่อพ้องวิทยาศาสตร์ *Glycosmis arborea* (Roxb.) DC.) จัดอยู่ในวงศ์ส้ม (Rutaceae) ศรีชมชื่นมีชื่อท้องถิ่นว่า ส้มชื่น ศรีชมชื่น น้ำข้าวตัน พิชนาคราช พุทธรักษา ซึ่งศรีชมชื่นจัดเป็นพรรณไม้พุ่มกึ่งไม้ยืนต้นขนาดเล็ก มีความสูงได้ประมาณ 2-4 เมตร แตกกิ่งก้านต่ำตั้งแต่โคนต้นเป็นพุ่มเตี้ย ลำต้นเป็นเหลี่ยม เปลือกลำต้นเรียบเป็นสีน้ำตาลอมเทา ผิวลำต้นตกรกระเป็นวงสีขาว ใบออกดกทึบ ขยายพันธุ์โดยใช้เมล็ด ตอนกิ่ง

และปักชำ เป็นพืชในเขตร้อนของทวีปเอเชียและออสเตรเลีย พบได้ในอินเดีย พม่า จีนตอนใต้ ประเทศในแถบคาบสมุทรอินโดจีน สุมาตราและชวา ส่วนในประเทศไทยพบขึ้นตามป่าโปร่ง ป่าเบญจพรรณ ตามชายป่าและหมู่บ้าน

2.4.3.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ศรีชมชื่นมีลักษณะเป็นไม้พุ่มกึ่งไม้ยืนต้นขนาดเล็ก สูงประมาณ 3-6 เมตร เปลือกลำต้นเรียบสีน้ำตาลเทา ผิวลำต้นตกรกระเป็นวงสีขาว แตกกิ่งก้านต่ำตั้งแต่โคนต้น ใบออกดกทึบ ใบเป็นใบเดี่ยว รูปหอกแกมวงรี ออกตรงข้าม หรือกึ่งตรงข้าม กว้างประมาณ 3-5 เซนติเมตร ยาวประมาณ 10-20 เซนติเมตร ปลายใบแหลมถึงกลม โคนสอบเรียว ใบด้านบนๆจะมีสีแดงที่ฐาน ขอบใบเรียบหรือมีรอยจักตื้น แผ่นใบเรียบ ผิวใบทั้งสองด้านมีจุดต่อม ผิวใบด้านบนสีเขียวเข้มเป็นมัน ลำต้นเป็นเหลี่ยม ดอกช่อเชิงลดแยกแขนง ยาว 10-30 เซนติเมตร ออกดกทึบ ดอกเล็กสีขาว ดอกย่อยเป็นกระจุกละ 12-15 ดอก ออกตามซอกใบหรือที่ปลายกิ่ง กลีบดอก 5 กลีบ สีขาว ขนาด 4-5 x 2-2.5 มิลลิเมตร ผิวมีต่อมเป็นจุด รูปไข่กลับ กลีบเลี้ยง 5 กลีบ โคนเชื่อมติดกัน ปลายแยกเป็น 5 แฉก ยาว 1-1.5 มิลลิเมตร รูปแหลมกึ่งรูปไข่ มีขนอ่อนที่ส่วนปลาย มีใบประดับหุ้ม โดยชั้นบนมี 5 กลีบใหญ่ และมีส่วนย่อยเล็กๆหลายอัน มีต่อมซึ่งปลายเป็นร่อง ก้านชูดอกสั้นมาก เกสรตัวเมียเรียงเป็นวง ตรงกลางแกนดอกมีเกสรตัวผู้เป็นแท่ง รังไข่ขนาดกว้าง 2-2.5 มิลลิเมตร รูปไข่ เกสรเพศผู้ 8-10 อัน ก้านชูอับเรณูยาว 2-3 มิลลิเมตร ผลสดรูปทรงกลมขนาดเล็ก กว้าง 1-1.2 เซนติเมตร ยาว 1-1.8 เซนติเมตร ผิวเรียบ สีเขียวทึบ เมื่อสุกเป็นสีชมพูใส ฉ่ำน้ำ มีรสหวาน มีเมล็ดเดี่ยว ลักษณะกลม เป็นลาย ดังภาพที่ 2.3 พบตามป่าโปร่งทั่วไป ออกดอกกราวเดือนกุมภาพันธ์ถึงเมษายน ติดผลราวเดือนมีนาคม (ฐานข้อมูลสมุนไพร, 2555)



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพที่ 2.3 ลักษณะทั่วไปของศรีชมชื่น (ก) ลักษณะลำต้น (ข) ลักษณะใบ (ค) ลักษณะดอก และ (ง) ลักษณะผล

ที่มา : เมดไทย (2558)

2.4.3.2 สรรพคุณของศรีชมชื่น

หนานเฉาเหว่ยมีประโยชน์ทางด้านเภสัชวิทยาหลายด้าย เช่น

- 1) ใบใช้ต้มกับน้ำกินเป็นยาลดระดับน้ำตาลในเลือด แก้เบาหวาน (ใบ)
- 2) รากมีรสเมาขื่นปร่า ใช้เป็นยาแก้ไข้กาฬ ใช้รากสาด และเป็นยาลดไข้ (ราก)
- 3) รากและใบใช้ต้มกับน้ำดื่มเป็นยาแก้ไอ แก้ไข้ (ราก, ใบ)
- 4) รากและใบใช้ต้มกับน้ำดื่มเป็นยาแก้โรคบิดท้องเดิน (ราก, ใบ)
- 5) เนื้อไม้ เปลือกต้น และราก มีสรรพคุณเป็นยาขับน้ำนม (เนื้อไม้, เปลือกต้น, ราก)
- 6) น้ำคั้นจากใบใช้ผสมกับน้ำตาลกินตอนท้องว่างเป็นยาแก้โรคตับ (ใบ)
- 7) เปลือกต้นมีรสเฝื่อน ใช้เป็นยาแก้ฝีทั้งภายในและภายนอก (เนื้อไม้, เปลือกต้น)
- 8) รากใช้ฝนทาแก้โรคผิวหนังพุพอง ทาแผลที่อักเสบ (ราก)
- 9) ใบนำมาบดผสมกับขิง ใช้รักษาผิวหนังอักเสบ เป็นตุ่มพุพอง หรือคันอักเสบ (ใบ)
- 10) รากใช้เป็นยากระทุ้งพิษ แก้พิษฝีทั้งภายในและภายนอก ใช้ฝนกับน้ำกินและทาแก้

พิษจากแมลง

2.5 ชา

ชาเป็นผลผลิตทางเกษตรกรรมจากใบ ยอดอ่อน และก้าน ของต้นชา (*Camellia sinensis*) นำมาผ่านกรรมวิธีแปรรูปหลากหลาย "ชา" ยังหมายรวมถึงเครื่องดื่มกลิ่นหอม ที่ทำจากพืชตากแห้ง ชนิดต่างๆ นำมาชงหรือต้มกับน้ำร้อน นอกจากนี้ ชายังเป็นเครื่องดื่มที่มีการบริโภคมากที่สุดเป็นอันดับ 2 รองจากน้ำเปล่า ซึ่งเป็นที่นิยมบริโภคของคนทั่วโลกเช่นเดียวกับ กาแฟ และโกโก้ โดยจีนเป็นประเทศแรก ที่เริ่มนำชามาทำเป็นเครื่องดื่มเมื่อกว่า 2,000 ปี ที่แล้ว จากนั้นความนิยมในการดื่มชา ก็ได้แพร่กระจายไปทั่วโลก ทั้งในทวีปอเมริกา ยุโรป เอเชีย และในบางประเทศของทวีปแอฟริกา ชามาจากพืชตระกูลคาเมลเลีย (*Camellia*) มีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า *Camellia sinensis* ถิ่นกำเนิด อยู่ในอินเดียและจีน มีลักษณะเป็นไม้พุ่ม ใบแหลมสีเขียว ดอกสีขาว มีกลิ่นหอม เมื่อปล่อยให้โตตามธรรมชาติสามารถสูงได้ถึง 20 เมตร แต่ในการทำไร่ชามักจะเลี้ยงไว้ที่ความสูง 3-5 เมตร และตัดแต่งกิ่งให้ส่วนบนเป็นพุ่มราบ เพื่อสะดวกในการ เก็บยอดชาที่จะผลิออกมาใหม่ ถึงแม้ว่าประเทศในเขตร้อน ใกล้เส้นศูนย์สูตรจะเป็นประเทศที่ปลูกชาได้ดี เนื่องจากสภาพอากาศที่เหมาะสม แต่ปริมาณน้ำฝนและสภาพดินยังเป็นปัจจัยหลักๆ ที่ส่งเสริมการเพาะปลูกและการเติบโตของต้นชา และยังมีผลต่อรสชาติชาอีกด้วย ชาที่มีคุณภาพดีส่วนใหญ่จะต้องปลูกอยู่ที่ความสูงไม่เกิน 1,500 เมตร หรือ 5,000 ฟุต ซึ่งต้นชาจะมีการเติบโตช้าแต่ให้รสชาติที่ดี ส่วนของต้นชาที่นำมาใช้ทำเครื่องดื่มจะอยู่ส่วนบนสุดของต้น 1-2 นิ้วของยอดชา ซึ่งเป็นตำแหน่งของการผลิใบอ่อน และการแตกหน่อ ซึ่งเป็นส่วนที่มีคุณภาพที่ดีที่สุด

ชาถูกจัดประเภทตามกระบวนการแปรรูป หลังจากการเก็บเกี่ยวใบของชาจะถูกทิ้งให้สลดและบ่ม โดยทำให้เอนไซม์ในใบชาเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนในอากาศ ใบชาจะมีสีเข้มขึ้น คลอโรฟิลล์ในใบชาจะแตกตัว กลายเป็นสารแทนนินที่ให้รสฝาด ต่อจากนั้นต้องหยุดการทำงานของเอนไซม์ โดยใช้ความร้อนเพื่อให้หยุดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยในชาดำกระบวนการนี้จะดำเนินคู่กันไปกับการทำให้แห้ง หากไม่ระมัดระวังในการควบคุมความชื้นและอุณหภูมิระหว่างกระบวนการผลิต ใบชาอาจขึ้นรา เกิดปฏิกิริยาสร้างสารพิษที่อาจเป็นสารก่อมะเร็งขึ้นได้ ทำให้อาหารเสียไป และอันตรายต่อการบริโภค (Balentine *et al.*, 1997)

ชา สามารถจัดประเภทตามกระบวนการแปรรูปต่างๆ ได้ดังนี้ต่อไปนี้

1) ชาขาว คือ ยอดอ่อนชาที่ถูกทิ้งให้สลด แต่ไม่ได้บ่ม เมื่อชงชาแล้วจะได้เครื่องดื่มที่มีสีเหลืองอ่อน ชาขาวเป็นเครื่องดื่มที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ (functional food) มีสารที่มีสรรพคุณเป็นโภชนเภสัช (nutraceutical) ได้แก่ สารฟอลิฟินอล โดยเฉพาะคาเทชิน (catechin) ในปริมาณสูงกว่าชาชนิดอื่น โดยสารในกลุ่มนี้มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ช่วยป้องกันโรคและความบกพร่องต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับอนุมูลอิสระ เช่น มะเร็ง โรคหัวใจ โรคไขมันอุดตันในเส้นเลือด โรคอัลไซเมอร์ การดื่มชาขาวช่วยให้ร่างกายรู้สึกสดชื่น กระปรี้กระเปร่า ช่วยสร้างความรู้สึกลดความเครียดจากการทำงานหนัก อุดมไปด้วยแร่ธาตุและวิตามินต่างๆ ในปริมาณสูง (Serio *et al.*, 2010)

2) ชาเหลือง คือ ใบชาที่ไม่ได้ถูกทิ้งให้สลด และไม่ได้บ่ม แต่ทิ้งใบชาให้เป็นสีเหลือง

3) ชาเขียว คือ ใบชาที่ไม่ได้ถูกทิ้งให้สลดและไม่ได้บ่ม เมื่อชงจะได้เครื่องดื่มสีเขียวอ่อน ในชาเขียวอุดมไปด้วยสารฟอลิฟินอลในกลุ่มฟลาโวนอยด์ เช่น คาเทชิน ซึ่งสารที่พบมากที่สุดใบชาเขียวคือ epigallocatechin-3-gallate (EGCG) ซึ่งพบประมาณร้อยละ 35-50 ซึ่งพบสูงกว่าชาดำ

(ประมาณร้อยละ 10) และชาอู่หลง (ประมาณร้อยละ 8 - 20) เนื่องจากฟลาโวนอยด์ในชาดำและชาอู่หลงถูกเปลี่ยนไปเป็นธีอะฟลาวินส์ (theaflavins) และทีอะรูบิจินส์ (thearubigin) ขณะผ่านกระบวนการหมักใบชาให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลด้วยเอนไซม์ (enzymatic browning reaction) แต่ชาดำมีสารประกอบที่ให้กลิ่นมากกว่าชาเขียว (Cabrera *et al.*, 2006)

สารพอลิฟีนอลในชาเขียวมีคุณสมบัติเป็นโคเซนเนสส์สามารถออกฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ โดยคาเทชินซึ่งสารที่พบมากในชาเขียวเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ได้จากธรรมชาติเช่นเดียวกับเบตาแคโรทีน วิตามินอี และวิตามินซี ซึ่งช่วยกำจัดอนุมูลอิสระที่เป็นพิษต่อร่างกาย ช่วยให้สุขภาพดีขึ้น ช่วยลดโคเลสเตอรอล ลดการเกิดของหลอดเลือดแข็งตัว (arthrosclerosis) โรคหลอดเลือดหัวใจ และมะเร็ง นอกจากนี้ยังช่วยในการเพิ่มการเผาผลาญพลังงานและไขมัน ซึ่งมีผลต่อการลดน้ำหนัก (Vaya and Airanm, 2001) สารต้านอนุมูลอิสระในชา มีผลยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (lipid oxidation) ป้องกันการเกิดกลิ่นหืนในอาหารได้ด้วย (Guo *et al.*, 1996)

4) ชาแดง คือ ใบของชาเขียวที่ผ่านกระบวนการออกซิเดชันหรือการหมัก จนได้เป็นใบชาสีเข้ม เมื่อชงจะได้เครื่องดื่มสีน้ำตาลแดง

5) ชาอู่หลง คือ ใบชาที่ทิ้งให้สลด นวด และบ่มเล็กน้อย เครื่องดื่มที่ได้จะมีสีเขียวทอง

6) ชาดำ คือ ใบชาที่ทิ้งให้สลด (อาจมีการนวดอย่างแรง) และผ่านการบ่มเต็มกระบวนการ เครื่องดื่มที่ได้มีสีแดงเข้มจนถึงสีดำ

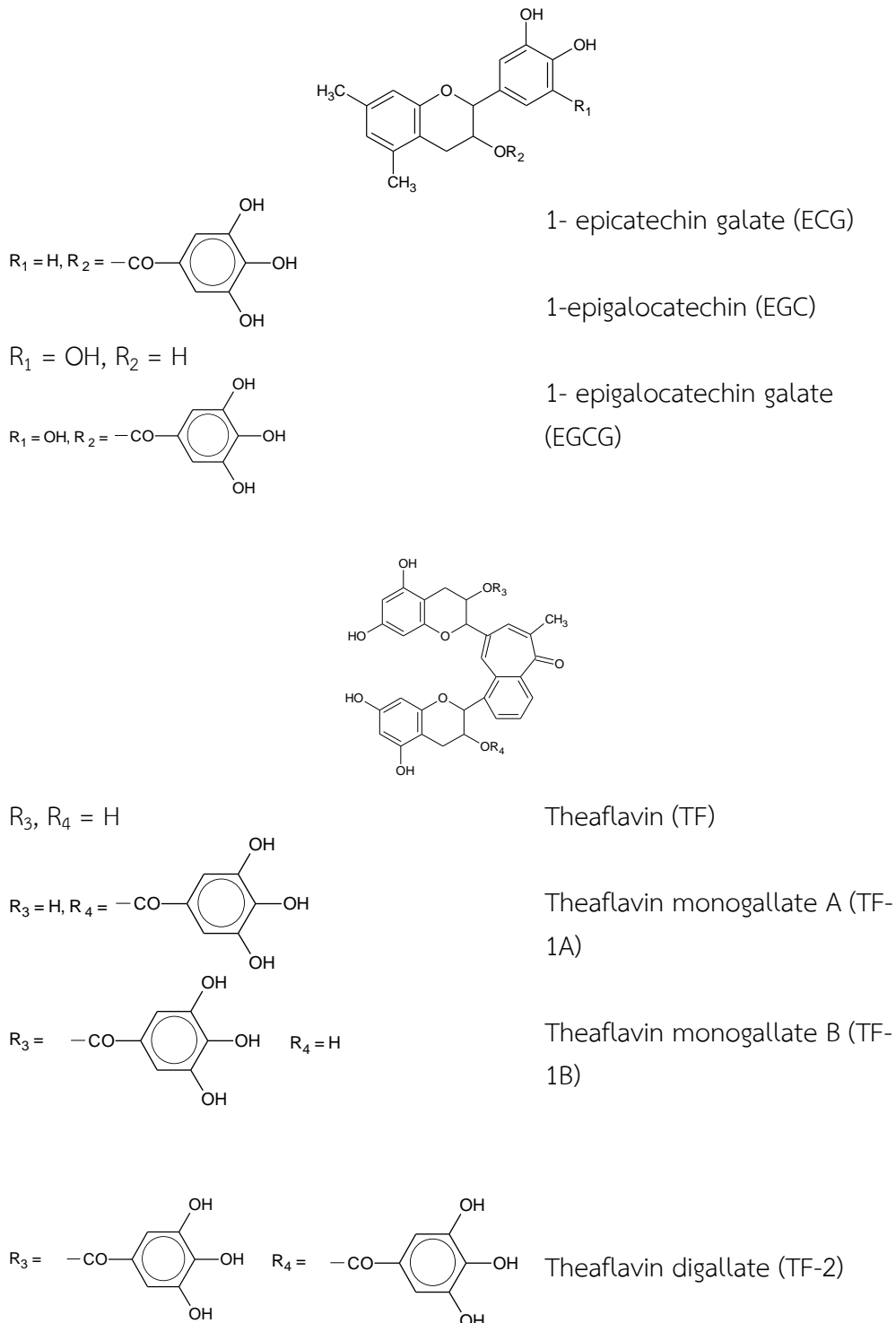
7) ชาหมัก คือ ชาเขียวที่ผ่านกระบวนการหมักนานนับปี

8) ชาผู้เออร์ คือ ชาชนิดหมักที่หมักในช่วงระยะเวลาหนึ่ง แล้วสามารถพัฒนาอายุด้วยการบ่มด้วยตัวของมันเอง ชาผู้เออร์มีกรรมวิธีการผลิตโดยการหมักไว้ในเชิงตะกั่วสานด้วยไม้ไผ่และรองด้วยใบตอง หมักแล้วอัดเป็นก้อนตั้งแต่ขนาดเท่าหัวแม่มือ ไปจนถึงขนาดเท่าโต๊ะกลมๆ แล้วเก็บไว้ตั้งแต่ 1 ปี 5 ปี 10 ปี ไปจนถึง 20 ปี (Balentine *et al.*, 1997)

สี กลิ่น รสของชา ขึ้นอยู่กับปริมาณสารคาเทชินในชา การสุกการเพาะปลูก การเก็บเกี่ยว มีผลต่อระดับของคาเทชินในใบชา ชาในฤดูใบไม้ผลิ (ชารุ่นแรก) มีคาเทชินประมาณร้อยละ 12-13 ขณะที่ชาในฤดูร้อน (ชารุ่นสองหรือสาม) มีคาเทชินประมาณร้อยละ 13-14 ใบชาอ่อนมีคาเทชินมากกว่าใบชาแก่ (Cabrera *et al.*, 2006) นอกจากนี้ในใบชายังพบแทนนิน ซึ่งทำให้เกิดรสฝาด ขม และประกอบด้วยคาเฟอีน ร้อยละ 2.5-4.5 โดยประมาณร้อยละ 80 ของคาเฟอีนเป็นสารที่สามารถละลายน้ำได้ จะถูกสกัดออกมาจากการชงชาในแต่ละครั้ง (Cabrera *et al.*, 2006)

สารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญที่พบในชา คือ สารประกอบพอลิฟีนอล เช่น คาเทชิน ธีอะฟลาวินส์ (theaflavin) ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกันหลายพอร์ม ดังนี้ อีพิกคาเทชิน แกลเลต หรืออีจีจี ((-)-epicatechin gallate ; (ECG)) อีพิกัลโลคาเทชิน หรืออีจีซี ((-)-epigallocatechin ; EGC) อีพิกัลโลคาเทชินแกลเลต หรืออีจีจีจี ((-)-epigallocatechin gallate ; EGCG) ทรีฟาวิน หรือทีเอฟ (theaflavin ; TF) ทรีฟาวินโมโนแกลเลตเอ หรือทีเอฟ-1 เอ (theaflavin monogallate A ; TF-1A) ทรีฟาวิน โมโนแกลเลตบี หรือทีเอฟ-1 บี (theaflavin monogallate B ; TF-1B) และทรีฟาวินไดแกลเลต หรือ ทีเอฟ-2 (theaflavin digallate ; TF-2) (Peterson, 2005; Cabrera *et al.*, 2006) ดังภาพที่ 2.4 แต่คาเทชินเป็นองค์ประกอบที่พบมากที่สุด ในชา และชาแต่ละชนิดมีสารประกอบที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 2.1) เนื่องจากกระบวนการผลิตชา

แต่ละชนิดมีกระบวนการผลิตที่ต่างกัน เช่น กระบวนการหมักขามีผลต่อปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ในชา พบว่าระดับการหมักที่ต่างกันจากน้อยไปมาก (จากชาเขียว ไปเป็นอูหลงและชาดำ) ทำให้ปริมาณคาเทชินทั้งหมด และอีพิแกลโลคาเทชิน 3-แกลเลตลดลง ดังตารางที่ 2.2



ภาพที่ 2.4 สารประกอบพอลิฟีนอลที่พบในชา

ตารางที่ 2.1 ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ที่พบในชา

สารประกอบสารประกอบ* ฟลาโวนอยด์ที่พบในชา	ชาดำ		ชาเขียว		ชาอูหลง		ชาผูเออร์	
	เฉลี่ย	ช่วง	เฉลี่ย	ช่วง	เฉลี่ย	ช่วง	เฉลี่ย	ช่วง
ฟลาแวน-3-อลส์								
คาเทชิน	167	35-480	24	0-80	17	0-70	0	0
อิพิคาเทชิน	316	60-1100	793	190-2000	259	120-450	81	0-250
อิพิคาเทชิน 3-แกลเลต	923	280-2380	1755	328-4630	707	170-1210	40	0-120
อิพิแกลโลคาเทชิน	1257	29-3870	1712	100-5440	510	180-1640	157	12-400
อิพิแกลโลคาเทชิน 3-แกลเลต	1393	140-5090	8975	1182-18810	3861	736-7110	120	0-370
แกลโลคาเทชิน	126	56-278						
แกลโลคาเทชิน 3-แกลเลต			316	160-1380	93	40-160	13	0-50
คาเทชินทั้งหมด (ผลรวมค่าเฉลี่ย)	4182		13 575		5447		411	
คาเทชินทั้งหมด	3937	1019-12480	15 667	7820-24110	6037	2100-8870	493	140-940
ธีอะฟลาวินส์	162	40-527						
ธีอะฟลาวินส์ 3-แกลเลต	105	7-260						
ธีอะฟลาวินส์ 3'-แกลเลต	178	13-413						
ธีอะฟลาวินส์ 3,3'-ไดแกลเลต	144	7-496						
ธีอะฟลาวินส์ทั้งหมด (ผลรวมค่าเฉลี่ย)	589							
ธีอะฟลาวินส์ทั้งหมด	568	67-1448						
The arubigins	12490	4530-16933						
ฟลาแวน-3-อลส์ทั้งหมด	17262		13576		5447		411	
ฟลาโวนอล								
แคมเฟอร์อล	132	44-213	130	91-150		90		23
ไมริสทิน	25	0-80	101	52-131		49		40
เคอซิทิน	210	89-416	175	140-230		130		52
ฟลาโวนอลทั้งหมด	367		406		269		115	
ฟลาโวน								
อะพิจินิน	54	21-91	77	25-128		109		0
ลูทีโอลิน	5	3-9	8	2-14		9		5
ฟลาโวนทั้งหมด	59		85		119		5	
ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด	17687		14066		5834		531	

ที่มา : Lakenbrink (2000)

หมายเหตุ : * แสดงหน่วยมิลลิกรัมต่อ 100 กรัม

ตารางที่ 2.2 ผลของกระบวนการหมักต่อปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ในชา

สารประกอบฟลาโวนอยด์*	ชาเขียว	ชาอูหลง	ชาดำ	ชาผู้เออร์ ^d
ฟลาแวน-3-อลส์				
คาเทชิน	24	17	167	0
อีพิกาทะชิน	793	259	316	81
อีพิกาทะชิน 3-แกลเลต	1755	707	923	40
อีพิกัลโลคาเทชิน	1712	510	1,257	157
อีพิกัลโลคาเทชิน 3-แกลเลต	8975	3861	1,393	120
แกลโลคาเทชิน 3-แกลเลต	316	93	126	13
คาเทชินทั้งหมด (ผลรวมค่าเฉลี่ย)	13,576	5447	4,183	411
คาเทชินทั้งหมด	15,667	6037	3,937	493
ฟลาโวนอล				
แคมเฟอรอล	30	90	132	23
ไมริสทิน	101	49	25	40
เคอซีติน	175	130	210	52
ฟลาโวน				
อะพิจินิน	77	110	54	0
ลูทีโอลิน	8	9	5	5

ที่มา : Lakenbrink (2000)

หมายเหตุ : * แสดงหน่วยมิลลิกรัมต่อ 100 กรัม

นอกจากนี้ยังมีปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ในชา 2 ประการ คือ องค์ประกอบของชาและลักษณะการชง โดยองค์ประกอบของชาจะขึ้นอยู่กับชนิดและกระบวนการผลิตชา ส่วนลักษณะการชง ได้แก่ ขนาดของชา อัตราส่วนของชาต่อปริมาณน้ำ เวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการชง ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดมากที่สุดคือ ชนิดและน้ำหนักของชาที่ใช้ชง (Lou and Robert, 2010)

2.6 ชาอื่นๆ

คำว่า ชา นอกจากจะหมายถึงผลผลิตจากต้นชาแล้ว ยังหมายรวมถึงเครื่องดื่มกลิ่นหอม ที่ทำจากพืชตากแห้งชนิดต่างๆ นำมาชงหรือต้มกับน้ำร้อนอีกด้วย และคำว่า "ชาสมุนไพร" นั้น หมายถึง น้ำที่ชงจากสมุนไพร ใบไม้ ดอกไม้ หรือผลไม้ ของพืชอื่นๆ ที่ไม่มีส่วนผสมจากต้นชา เช่น

ชามะลิ

เป็นชาที่นำชาเขียว (หรืออาจเป็นชาอื่นๆ) มาใส่ดอกมะลิที่รีดน้ำ และกลิ้งแล้ว ไล่ลงไป ปกติ ถ้าเป็นชาที่คุณภาพต่ำ จะไม่ใช่มะลิแท้ๆ มาทำ เพียงแค่แต่งกลิ่นประกอบเพิ่มเท่านั้น ส่วนชามะลิแท้ๆ จะใส่มะลิอบแห้งไปด้วย ทำให้ได้รส และกลิ่นมะลิเต็มตัว ทำให้ราคาของชามะลิแท้จะค่อนข้าง

แพ่งซึ่งสารต้านอนุมูลอิสระในชาจะมีจะเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ได้จากชาตัวเอง (Kim *et al.*, 1999)

ชาตะไคร้เตยหอม

เป็นชาที่ไม่ได้ใช้ส่วนผสมจากต้นชาเลย แต่นำพืชที่มีกลิ่นหอม มาหั่นพอประมาณ และอบแห้ง เป็นชาที่มีกลิ่นค่อนข้างแรง และราคาถูกกว่าชาแท้ๆ แต่รสชาติจะสู้ไม่ได้ ส่วนสารต้านอนุมูลอิสระที่ได้จะขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่นำมาใช้ เช่นสารต้านอนุมูลอิสระในคะไคร้ ได้แก่ เทอร์พีนออล ครีโทรนิลลอล ไลโมนีน เจอร์รอลอย ไดเพนทีน เมทิลเฮปทีนอล และนอร์อล (Simon *et al.*, 1984)

ชาใบหม่อน

เป็นชาที่กำลังได้รับความนิยม ไม่แพ้ชาชนิดอื่น โดยสรรพคุณของใบหม่อนจะช่วยป้องกันรักษา โรคเบาหวาน ลดระดับน้ำตาลในเส้นเลือด และช่วยจัดไขมันส่วนเกินในร่างกายได้ดี อีกทั้งยังมีราคาค่อนข้างถูกเมื่อเทียบกับชาชนิดอื่นๆ ชาใบหม่อนมีสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญหลายชนิด เช่น เควอซีติน แคมเฟอร์อล (kaempferol) และรูทีน (rutin) นอกจากนี้ยังพบว่าชาใบหม่อนมีสารดีเอ็นเจ (1-deoxynojirimycin) มีสรรพคุณลดระดับน้ำตาลในเลือด มีสารกาบา (gamma amino-butyric acid) ลดความดันโลหิต มีสารกลุ่มไฟโตสเตอรอล (Phytosterol) ลดไขมันในเลือด (Arabshahi and Urooj, 2007; Katsube, 2006) อีกทั้งชาใบหม่อนไม่มีรายงานผลข้างเคียงจึงถือว่าปลอดภัยต่อผู้บริโภค

2.7 กระบวนการผลิตชา

การผลิตชามีขั้นตอนดังนี้

1. การเก็บใบชา (tea plucking) เป็นขั้นตอนที่สำคัญเนื่องจากต้องอาศัยความละเอียดในการเก็บ การเก็บใบชาต้องใช้แรงงานคนใช้การเก็บจึงจะได้ยอดใบชาที่มีคุณภาพดี การเก็บจะต้องเลือกเก็บเฉพาะยอดชาที่ตูมและใบที่ต่ำกว่ายอดตูมลงมา 2 ใบ เนื่องจาก พอลิฟีนอล ซึ่งเป็นสาระสำคัญในชาจะมีอยู่มากเฉพาะในยอดชาเท่านั้น

2. การผึ่งชา (withering) เป็นขั้นตอนที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเกิดปฏิกิริยาเคมีของสารต่างๆในใบชา การผึ่งชาจะทำให้ให้น้ำในใบชาระเหยไป ทำให้ใบชาเหี่ยวและจะมีการซึมผ่านของสารต่างๆ ภายในและภายนอกเซลล์ ในการผึ่งชาตัวเองเอนไซม์ polyphenol oxidase จะเร่งปฏิกิริยา oxidation และ polymerization ทำให้สาร polyphenol เกิดปฏิกิริยาเคมีเป็นองค์ประกอบใหม่ที่ทำให้ชามีสี กลิ่น และรสชาติที่แตกต่างกันไป

3. การนึ่งชา (steaming) หรือการคั่วชา (pan firing) เป็นขั้นตอนที่ให้ความร้อนกับใบชาเพื่อทำลายเอนไซม์ polyphenol oxidase ทำให้หยุดปฏิกิริยาการหมัก

4. การนวดชา (rolling) เป็นขั้นตอนที่ใช้น้ำหนักกดทับลงใบชา เป็นการขยี้ใบชาเพื่อให้เซลล์แตก เมื่อเซลล์แตกจะทำให้สารประกอบต่างๆ ที่อยู่ในเซลล์ไหลออกมาออกเซลล์และเคลือบอยู่บนส่วนต่างๆ ของใบชา

5. การหมักชา (fermentation) เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องเริ่มตั้งแต่การผึ่งชาและนวดชา ก่อนที่จะถึงขั้นตอนการหยุดปฏิกิริยาเอนไซม์ polyphenol oxidase ด้วยความร้อน (steaming หรือ firing) ในกระบวนการนี้เอนไซม์ polyphenol oxidase จะเร่งปฏิกิริยา oxidation

ทำให้ polyphenols เกิด oxidized และเกิดปฏิกิริยา polymerization ได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง polyphenols ที่มีโมเลกุลใหญ่ขึ้น ซึ่งทำให้ซาเกิดกลืน สี และรสชาติที่แตกต่างกันไปตามองค์ประกอบทางเคมีที่อยู่ในซาและตามกรรมวิธีการผลิต

6. การอบแห้ง (drying) เป็นขั้นตอนการอบแห้งเพื่อลดความชื้นในใบชาให้เหลือประมาณร้อยละ 5 เพื่อให้สามารถเก็บใบชาไว้ได้นาน

7. การคัดบรรจุ (sorting and packing) หลังการอบแห้งจะเป็นการคัดเลือกเศษกิ่งก้านของใบชา และสิ่งเจือปนต่างๆออกจากใบชา เสร็จแล้วนำมาบรรจุใส่ถุงเพื่อรอจำหน่าย

2.8 การอบแห้ง

การอบแห้ง คือ กระบวนการลดความชื้น ซึ่งส่วนใหญ่ใช้การถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุที่ขึ้นเพื่อไล่ความชื้นออกด้วยการระเหย โดยของเหลวที่อยู่ในวัสดุจะเคลื่อนที่ออกมายังผิวส่วนไอน้ำในวัสดุจะเคลื่อนที่ออกมายังผิว ส่วนไอน้ำในวัสดุจะเคลื่อนที่เนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นของความชื้น และความดันไอที่ต่างกัน ระหว่างไอน้ำในวัสดุกับอากาศร้อนช่วงแรกของการอบแห้งเป็นช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ การถ่ายเทความร้อนและมวลระหว่างวัสดุกับอากาศจะเกิดขึ้นรอบๆ ผิววัสดุเท่านั้น ความร้อนกับอากาศร้อนจะถ่ายเทไปยังผิววัสดุ การถ่ายเทความร้อนและการเทมวลสารจะเกิดขึ้นภายในมวลวัสดุโดยน้ำภายในวัสดุจะเคลื่อนที่มายังผิววัสดุในรูปของเหลวหรือไอน้ำ แล้วระเหยเมื่อได้รับความร้อนจากอากาศการเคลื่อนที่ของน้ำ จากภายในวัสดุมายังผิวจะช้ากว่าการพาความชื้นจากผิวไปยังอากาศ ทำให้อัตราการอบแห้งลดลงที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อากาศคงที่ ความชื้นของวัสดุจะลดลงจนถึงจุดหนึ่ง ซึ่งไม่เปลี่ยนแปลงที่จุดนี้ความดันไอน้ำของน้ำในวัสดุมีค่าเท่ากับความดันไอของอากาศที่อยู่รอบๆ และอุณหภูมิของวัสดุก็เท่ากับอุณหภูมิของอากาศรอบๆ ทำให้น้ำไม่สามารถระเหยออกจากวัสดุได้เรียกความชื้นในขณะนั้นว่า ความชื้นสมดุล

วัตถุประสงค์ของการทำแห้งอาหาร คือ เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา การทำแห้งเป็นการลดปริมาณน้ำในอาหาร เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ทุกชนิด เช่น รา (mold) ยีสต์ (yeast) แบคทีเรีย (bacteria) ที่เป็นสาเหตุให้อาหารเสื่อมเสีย (microbial spoilage) ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ (enzyme) หรือชะลอปฏิกิริยาต่างๆ ทั้งทางเคมีและทางชีวเคมีซึ่งมีน้ำเป็นส่วนร่วมและเป็นสาเหตุให้อาหารเสื่อมเสีย (food spoilage) ทำให้อาหารปลอดภัย การลดปริมาณน้ำในอาหารโดยการทำให้แห้ง ทำให้อาหารมีค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (water activity) น้อยกว่า 0.6 ซึ่งเป็นระดับที่ปลอดภัยจากจุลินทรีย์ก่อโรค (pathogen) รวมทั้งยับยั้งการสร้างสารพิษของเชื้อรา (mycotoxin) เช่น Aflatoxin เพื่อทำให้อาหารมีน้ำหนักเบา ลดปริมาตร ทำให้สะดวกต่อการขนส่ง การบริโภค หรือการนำไปเป็นวัตถุดิบในการแปรรูปต่อเนื่องด้วยวิธีอื่นๆ สร้างผลิตภัณฑ์ใหม่ที่เป็นทางเลือกของผู้บริโภคมากขึ้น (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนานนท์, 2559)

2.8.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้ง

การทำแห้งคือการเคลื่อนย้ายน้ำ ออกจากอาหารปัจจัยใดๆ ที่มีผลต่อการเคลื่อนย้ายนี้จึงมีผลต่ออัตราเร็วของการทำแห้งได้แก่

2.8.1.1 คุณสมบัติของอาหาร อาหารเนื้อโปร่งมีการเคลื่อนที่ของน้ำภายในอาหารแบบผ่านช่องแคบซึ่งเร็วกว่าการแพร่ในอาหารเนื้อแน่น ดังนั้นอาหารเนื้อโปร่งจึงแห้งได้เร็วกว่าอาหารเนื้อ

แน่นอาหารที่มีน้ำตาลสูงจะเหนียว กีดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำ จึงแห้งช้ากว่าอาหารที่มีการลวกนวด คลึงทำให้เซลล์แตกจึงแห้งได้เร็วขึ้น

2.8.1.2 ขนาดและรูปร่างมีผลต่อพื้นผิวต่อน้ำหนักเช่นรูปร่างเหมือนกันขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักมากกว่าขนาดใหญ่จึงทำให้แห้งเร็วกว่าแต่ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงพื้นที่ผิวสัมผัสกับอากาศที่จะเกิดการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกไปถ้าชิ้นเล็กมากทั้บวมกันการระเหยเกิดได้เฉพาะที่ผิวสัมผัสกับอากาศจึงทำให้การทำแห้งเกิดได้ช้าทั้งๆ ที่พื้นที่ต่อหน่วยน้ำหนักมาก

2.8.1.3 อุณหภูมิของอากาศร้อนถ้าอากาศมีความชื้นคงที่การเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเพิ่มความสามารถในการรับไอน้ำจึงมีผลต่อการทำแห้งในช่วงอัตราการทำแห้งคงที่ และอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้การแพร่กระจายของน้ำดีขึ้นจึงมีผลต่อการอบในช่วงการทำแห้งลดลงด้วย

2.8.1.4 ความเร็วของลมร้อนลมนร้อนทำหน้าที่ในการเคลื่อนย้ายไอน้ำ ออกไปด้วยเมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้นจึงเคลื่อนย้ายได้ดีขึ้นนอกจากนั้นความเร็วลมทำให้เกิดกระแสปั่นป่วนของอากาศในเตาอากาศจึงสัมผัสอาหารได้ดียิ่งขึ้น

2.8.2 วิธีการอบแห้งและเครื่องทำแห้ง

2.8.2.1 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray drier)

เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย หรือเครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจาย คือ เครื่องทำแห้ง (drier) ที่ใช้ทำแห้ง (dehydration) สำหรับอาหารเหลว เช่น นมผง น้ำผลไม้ กาแฟ ไซ โดยใช้เครื่องพ่นละออง (atomizer) ทำให้อาหารเหลวเป็นละออง สัมผัสกับกระแสลมร้อนภายในห้องอบแห้ง (drying chamber) ทำให้น้ำในอาหารระเหยออกไปอย่างรวดเร็ว ผลิตภัณฑ์อาหารที่ได้มีลักษณะเป็นผงแห้ง ตกลงสู่ภาชนะรองรับด้านล่าง ผงบางส่วนที่รวมอยู่กับลมร้อนจะถูกแยกออกด้วยระบบแยก อาหารผงที่ได้มีความชื้น (moisture content) ต่ำ (น้อยกว่าร้อยละ 5) นิยมใช้ในการผลิตอาหารแห้งที่มีลักษณะเป็นผง

2.8.2.2 เครื่องอบแห้งแบบตู้ (cabinet drier)

เครื่องอบแห้งแบบตู้ เป็นอุปกรณ์แปรรูปอาหาร (food processing equipment) หมายถึง เครื่องทำแห้ง (drier) ที่ใช้เพื่อการทำแห้ง (dehydration) อาหารที่มีลักษณะเป็นตู้ (cabinet) ทำงานเป็นกะ (batch) เหมาะสำหรับโรงงานขนาดเล็ก ที่ไม่ต้องการกำลังการผลิตสูงมาก ได้แก่ การอบแห้งผัก ผลไม้ เนื้อสัตว์ สัตว์น้ำ สมุนไพร เครื่องเทศ เช่น กุ้งแห้ง กระชายดำแห้ง

2.8.2.3 เครื่องอบแห้งแบบสายพาน (belt drier)

เครื่องทำแห้งแบบสายพาน (belt drier) เป็นเครื่องทำแห้ง (drier) ชนิดหนึ่งที่ใช้เพื่อการทำแห้ง (dehydration) อาหาร ทำงานแบบต่อเนื่อง จัดเป็น tunnel drier ชนิดหนึ่ง ซึ่งใช้สายพานลำเลียง (belt conveyor) เป็นตัวลำเลียงเพื่อลดการใช้แรงงานนำเข้าและเอาผลิตภัณฑ์ออก อาหารจะถูกวางเรียงให้กระจายสม่ำเสมอบนสายพานที่มีลักษณะเป็นตะแกรงโปร่ง (mesh belt) ให้อากาศผ่านได้ บริเวณที่อบแห้งมีลักษณะเป็นอุโมงค์อบแห้ง ที่มีลมร้อนเป็นตัวกลางถ่ายเทความร้อนออกจากชิ้นอาหาร แหล่งกำเนิดความร้อนอาจเป็นแก๊ส หรือ ไอน้ำร้อน

2.8.2.4 เครื่องทำแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด (fluidized bed drier)

เครื่องทำแห้งแบบฟลูอิดไรซ์เบด (fluidized bed drier) คือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำแห้ง (dehydration) ที่ใช้ลมร้อนเป่าผ่านชั้นวัสดุ (bed) ทำให้วัสดุลอยตัวเป็นอิสระ เกิดการคลุกเคล้าและสัมผัสกับลมร้อนอย่างสม่ำเสมอ มีอัตราการถ่ายเทความร้อนและมวลสูง สามารถลดความชื้นของวัสดุลงได้อย่างรวดเร็ว เหมาะกับใช้ทำแห้งวัสดุที่เป็นเม็ดเล็กที่มีรูปทรงและขนาดสม่ำเสมอ เช่น เมล็ดธัญพืช (cereal grain) ถั่ว (legume) เป็นต้น และยังใช้ได้กับของเหลวแบบข้นหนืด (paste) เนื้อผลไม้ (pulp) อีกด้วย

2.8.2.5 เครื่องอบแห้งแบบแฟลช (flash drier)

เครื่องทำแห้งแบบใช้ลม (flash drier หรือ pneumatic drier) หมายถึง เครื่องอบแห้ง (drier) ที่ใช้สำหรับทำแห้ง (dehydration) วัสดุที่เป็นเม็ด หรือเป็นผงเช่น แป้งสตาร์ชซึ่งวัสดุจะถูกป้อนเข้าท่อลมร้อน ไหลลำเลียงด้วยลม (pneumatic conveyor) ไปตามท่อ เกิดการถ่ายเทความร้อนและความชื้นระหว่างลมร้อนกับวัสดุทำให้วัสดุแห้งอย่างรวดเร็ว

2.8.2.6 เครื่องทำแห้งแบบระเหิด (freeze drier)

เครื่องทำแห้งโดยการแช่เยือกแข็ง (freezing) อาหารก่อน แล้วลดความดันภายใต้อุณหภูมิต่ำ เพื่อให้น้ำแข็งระเหิด (sublimation) เป็นไอ (ที่อุณหภูมิ เท่ากับหรือ ต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส น้ำแข็งระเหิดที่ความดันเท่ากับ 4.7 มิลลิเมตรปรอทหรือต่ำกว่า) วิธีการนี้เหมาะกับอาหารที่ไวต่อการสูญเสียคุณภาพและคุณค่าทางโภชนาการด้วยความร้อน อาหารแห้งที่ได้มีคุณภาพสูง และมีสมบัติในการคืนสภาพได้ดี แต่มีค่าใช้จ่ายสูงเมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งที่ใช้ลมร้อนทั่วไป

2.8.2.7 เครื่องทำแห้งแบบสุญญากาศ (vacuum drier)

เครื่องอบสุญญากาศ เป็นเครื่องอบ (drier) ที่ใช้เป็นทำแห้ง (dehydration) อาหาร ที่ทำงานภายใต้ภาวะที่ความดันอากาศต่ำกว่าความดันบรรยากาศ (atmospheric pressure) สุญญากาศตาม phase diagram ทำให้น้ำระเหยได้ที่อุณหภูมิต่ำลงทำให้เกิดสุญญากาศในห้องอบ จะใช้ปั๊มสุญญากาศ (vacuum pump) เพื่อสูบอากาศออกการทำแห้งด้วยเครื่องอบสุญญากาศ จะช่วยรักษาคุณภาพของอาหารได้ดีกว่าการทำแห้งที่ความดันบรรยากาศเครื่องอบสุญญากาศยังใช้เพื่อการหาความชื้นของอาหารที่ไวต่ออุณหภูมิสูง เช่น อาหารที่มีน้ำตาลสูง หรืออาหารที่มีน้ำมันหอมระเหย (essential oil) เป็นส่วนประกอบ เพื่อหลีกเลี่ยงการอบที่อุณหภูมิสูงที่ทำให้ผลการวิเคราะห์ผิดพลาด

2.8.2.8 เครื่องอบแห้งด้วยอินฟราเรด (infrared drier)

เครื่องอบแห้งด้วยอินฟราเรด หมายถึง เครื่องทำแห้ง (drier) ที่ใช้เพื่อการทำแห้ง (dehydration) โดยใช้รังสีอินฟราเรด (infrared) การใช้กับอาหารการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด นำมาใช้เพื่อผลิตผลทางการเกษตรหลากหลายชนิด เช่น เมล็ดธัญพืช ข้าวเปลือก ถั่วลิสง และเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ เหมาะสมในการใช้งานกับวัสดุที่มีความชื้นไม่สูงมากการอบแห้งแบบอินฟราเรดอาจใช้ร่วมกับการให้ความร้อนแบบอื่น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้ง (อำไพศักดิ์ ที่บุญมา และ ศักดิ์ชัย จงจำ, 2552)

ข้อดีของการใช้อินฟราเรดเพื่ออบแห้งอาหาร

1) เนื่องจากรังสีอินฟราเรดสามารถแผ่ทะลุเข้าไปในเนื้อวัสดุ ส่งผลให้โมเลกุลของน้ำในเนื้อวัสดุสั่น และเกิดความร้อน ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิตั้งในเนื้อวัสดุสูงกว่าอุณหภูมิที่ผิว ส่งผลให้ผิวภายนอกของวัสดุอบแห้งไม่เหี่ยวยุบ และได้ผลิตภัณฑ์ที่ใกล้เคียงกับวัตถุดิบที่นำมาอบแห้ง

2) รังสีอินฟราเรดยังให้ความร้อนได้อย่างรวดเร็ว และกระจายความร้อนได้อย่างสม่ำเสมอ ติดตั้งง่าย ประหยัดพลังงาน และลดระยะเวลาในการอบแห้ง

2.8.2.9 เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (drum drier)

เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (drum drier) คือ เครื่องทำแห้ง (drier) ที่ใช้เพื่อการทำแห้ง (dehydration) อาหารที่มีลักษณะเป็นของเหลวชั้นหนืด เช่น น้ำแป้งสุก ผลไม้บด เช่น กลัวย ทูเรียน

2.8.2.10 เครื่องทำแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (solar drier)

เครื่องทำแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (solar drier) คือ เครื่องทำแห้ง (drier) ที่ใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ ใช้สำหรับทำแห้ง (dehydration) ผลิตภัณฑ์ทางเกษตร เช่น ผัก ผลไม้ เครื่องเทศ สมุนไพร อาหารทะเล

2.8.2.11 การทำแห้งแบบ osmotic dehydration

การทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิส (osmotic dehydration) เป็นวิธีการทำแห้ง (dehydration) โดยการแช่อาหารในสารละลาย เช่น น้ำตาล เกลือ เพื่อให้เกิดการออสโมซิส (osmosis) โดยน้ำภายในเซลล์อาหารจะแพร่ออกสู่สารละลายภายนอก ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane) ที่มีสมบัติเป็นเยื่อกึ่งซึมผ่านได้ (semipermeable membrane) หลักการนี้ใช้ในการดึงน้ำออกจากวัตถุดิบ เช่น ผัก ผลไม้ ก่อนนำไปทำแห้งด้วยวิธีปกติ

2.8.2.12 การทำแห้งแบบโฟม (foam mat drying)

การทำแห้งแบบโฟม เป็นการทำแห้ง (dehydration) ที่ใช้กับอาหารเหลว ซึ่งขั้นตอนสำคัญ คือทำให้อาหารที่ต้องการทำแห้งให้เป็นโฟม (foam) ก่อนแล้วจึงนำมาทำแห้ง ด้วยวิธีการต่างๆ เช่น อบแห้งในตู้อบแห้ง (cabinet drier) การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying) จากนั้นอาจนำมาบดละเอียดให้เป็นผง ใช้ได้ดีกับไข่ขาว ผลิตภัณฑ์น้ำผัก น้ำผลไม้ หลายชนิด เช่น น้ำแอปเปิ้ล น้ำส้ม น้ำสับปะรด น้ำองุ่น

2.9 สารต้านอนุมูลอิสระ

2.9.1 ความหมายของสารต้านอนุมูลอิสระ

สารต้านอนุมูลอิสระ คือ สารปริมาณน้อยที่สามารถป้องกันหรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของอนุมูลอิสระได้ สารเหล่านี้มีกลไกในการต้านอนุมูลอิสระหลายแบบ เช่น ดักจับ (scavenge) อนุมูลอิสระโดยตรงยับยั้งการสร้างอนุมูลอิสระเข้าจับ (chelate) กับโลหะเพื่อป้องกันการสร้างอนุมูลอิสระ สารต้านอนุมูลอิสระ เป็นสารประกอบที่ทนต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในเซลล์โดยทั่วไปสารต้านอนุมูลอิสระสามารถพบได้ในธรรมชาติจากสารหลายชนิด เช่น สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds) สารประกอบไนโตรเจน (nitrogen compounds) และแคโรทีนอยด์ (carotenoid)

บทบาทสำคัญของสารต้านอนุมูลอิสระ คือ ป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในร่างกาย ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดโรคต่างๆ ของมนุษย์ ป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันที่เป็นสาเหตุหลักของการเสื่อมคุณภาพในอาหาร ปัจจุบันองค์การที่เกี่ยวข้องในอุตสาหกรรมอาหารและยา ได้พยายามพัฒนาสารต้านอนุมูลอิสระที่มาจากธรรมชาติ เช่น สารห่วยทะเล แบคทีเรีย เชื้อราและพืชชั้นสูง อย่างไรก็ตาม ในภาวะปกติร่างกายของคนเราจะมีการป้องกันการสะสมสารอนุมูลอิสระอยู่แล้ว ซึ่งแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนแรกเกิดจากร่างกายสร้างเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระขึ้นมาควบคุมปริมาณอนุมูลอิสระให้อยู่ในภาวะที่สมดุล และส่วนที่สองคือ กลุ่มของสารต้านอนุมูลอิสระที่มาจากวิตามินเอ ซี อี หรือเบตาแคโรทีน (β -carotene) รวมทั้งสารประกอบฟีนอลิก ซึ่งเป็นพืชเคมีที่สามารถพบได้ในพืชผักและผลไม้ เพื่อเข้าไปช่วยเสริมสร้างระบบการต่อต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในร่างกายให้มีประสิทธิภาพในการทำลายอนุมูลอิสระได้ดี ตัวอย่างสารต้านอนุมูลอิสระที่พบในร่างกาย เช่น เอนไซม์คะตะเลส (catalase) กลูตาไธโอนเพอรอกซิเดส (glutathione peroxidase) และซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเทส (superoxide dismutase) หรือสารประกอบโปรตีนบางอย่าง เช่น อัลบูมิน (albumin), บิลิรูบิน (bilirubin), เซอรูโลพลาสมิน (ceruloplasmin) กลูตาไธโอน (glutathione) ทรานสเฟอริน (transferrin) ยูบิควินอล (ubiquinol) และยูเรต (urate) เป็นต้น สารเหล่านี้มีหน้าที่คอยควบคุมอนุมูลอิสระต่างๆ ให้อยู่ในระดับพอเหมาะ แต่ถ้าเมื่อใดที่มีอนุมูลอิสระเกิดขึ้นในปริมาณมากเกินไปที่ระบบป้องกันจะยับยั้งได้หมด จะทำให้เกิดสภาวะที่เรียกว่า “oxidative stress” ขึ้น ภายใต้สภาวะดังกล่าวอนุมูลอิสระจะทำอันตรายต่ออวัยวะและเนื้อเยื่อต่างๆ ของร่างกาย ซึ่งถ้าสะสมในปริมาณมากๆ อาจนำไปสู่ความผิดปกติหรือพยาธิสภาพหลายอย่าง (เจนจิรา จิรัมย์ และ ประสงค์ สีหนาม, 2554)

2.9.2 ความสำคัญของสารต้านอนุมูลอิสระ

สารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) นับว่ามีบทบาทสำคัญในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันทั้งในระบบของอาหาร (food system) และร่างกายมนุษย์ (human body) ในระบบของอาหารนั้น สารต้านอนุมูลอิสระ (free radical) จะช่วยชะลอการเกิดออกซิเดชันของไขมันในอาหารและลดหรือกำจัดอนุมูลอิสระจากปฏิกิริยาออกซิเดชันในชั้นหุติยภูมิ ซึ่งจะช่วยรักษาคุณภาพของอาหารด้านต่างๆ เช่น กลิ่นรส เนื้อสัมผัส คุณค่าทางโภชนาการและสีของอาหารในระหว่างการแปรรูปและเก็บรักษา นอกจากนี้สารต้านอนุมูลอิสระยังช่วยลดการเกิดออกซิเดชันของโปรตีนและอันตรกิริยา (interaction) ระหว่างหมู่คาร์บอนิลของอนุพันธ์ลิพิดกับโปรตีน (Elias *et al.*, 2008) สำหรับในร่างกายมนุษย์นั้นสารต้านอนุมูลอิสระในร่างกายจะทำหน้าที่ป้องกันความเสียหายของเซลล์ต่างๆ จาก การเกิดออกซิเดชันโดยอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในร่างกายซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคต่างๆ และความแก่ชรา (Fang *et al.*, 2002)

อนุมูลอิสระเป็นสารที่มีอิเล็กตรอนซึ่งไม่มีคู่อยู่ในวงรอบของอะตอมหรือโมเลกุล ทำให้ไม่เสถียรและสามารถไปจับกับอะตอมหรือโมเลกุลอื่นเกิดเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ เช่น อนุมูลไฮดรอกซี (hydroxy radical) อนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ (superoxide) อนุมูลเพอร์ออกซี (peroxy radical) อนุมูลแอลคอกซี (alkoxy radical) และอนุมูลไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide radical) เป็นต้น ซึ่งอนุมูลอิสระเหล่านี้เกิดได้จากปัจจัยทั้งภายในและภายนอกในร่างกาย ปัจจัยภายใน

ร่างกาย เช่น การเผาผลาญอาหาร การหายใจ การออกกำลังกาย การติดเชื้อ และความเครียด ส่วนปัจจัยภายนอกในร่างกาย ได้แก่ อาหารที่เกิดการออกซิไดซ์ในระหว่างกระบวนการแปรรูปและการเก็บรักษา สารกันบูด ยาฆ่าแมลง แสงยูวี และมลพิษต่างๆ เป็นต้น (Rajalakshmi and Narasimhan, 1996)

โดยปกติหากเกิดอนุมูลอิสระในร่างกายหรือร่างกายได้รับสารอนุมูลอิสระเหล่านี้จากภายนอก ร่างกายจะมีกลไกในการกำจัดอนุมูลอิสระเหล่านี้ได้ 2 วิธี คือ ใช้เอนไซม์ในร่างกายที่มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น เอนไซม์ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเทส (superoxide dismutase) เอนไซม์กลูตาไธโอนเปอร์ออกซิเดส (glutathione peroxidase) และเอนไซม์คะตาเลส (catalase) เป็นต้น และสารต้านอนุมูลอิสระที่ไม่ใช่เอนไซม์ ได้แก่ วิตามินอี (tocopherol) เบตาแคโรทีน (beta-carotene) และวิตามินซี เป็นต้น แต่เนื่องจากกลไกของร่างกายมีข้อจำกัดในการกำจัดอนุมูลอิสระเหล่านี้ให้หมดไปได้ จึงมีความจำเป็นต้องได้รับสารต้านอนุมูลอิสระจากแหล่งภายนอกโดยเฉพาะอย่างยิ่งจากอาหาร เพื่อให้เพียงพอต่อความจำเป็นของร่างกาย ปัจจัยที่สำคัญอีกประการหนึ่งของที่ควรพิจารณา คือ การหลีกเลี่ยงการรับอนุมูลอิสระจากภายนอกเข้าไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากอาหารที่เราจำเป็นต้องบริโภคทุกวัน ดังนั้นการป้องกันการเกิดออกซิเดชันในอาหารจึงจำเป็นอย่างยิ่ง นอกจากนี้การแสวงหาแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพและปลอดภัยต่อผู้บริโภคจึงมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมอาหารและวิทยาศาสตร์สุขภาพ (Fang *et al.*, 2002)

นอกจากนั้นอาหารที่มีไขมันและน้ำมันเป็นองค์ประกอบสามารถเสื่อมเสียได้ง่าย โดยกระบวนการเสื่อมเสียนั้นสามารถเกิดขึ้นได้หลายแบบ ไม่ว่าจะเป็นการเกิดปฏิกิริยาจากความร้อนหรือการเก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลาาน สาเหตุหลักของกระบวนการเสื่อมเสียที่มักเกิดขึ้นในอาหารที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบ คือ กระบวนการเกิดออกซิเดชัน ซึ่งส่งผลให้คุณค่าทางโภชนาการและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ลดลง ดังนั้นการชะลอหรือยืดระยะเวลาการเกิดออกซิเดชันจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในห่วงโซ่การผลิตอาหารไปจนถึงผู้บริโภคจะต้องให้ความสำคัญอย่างมาก (Pokorny *et al.*, 2008)

สารต้านอนุมูลอิสระมีการนำมาใช้ครั้งแรกตั้งแต่สมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 เพื่อใช้เป็นวัตถุกันเสีย แต่ในปัจจุบันได้รับความนิยมและมีการนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย ด้วยเหตุผลที่สำคัญ 4 ประการคือ (Chhajer, 2006)

1) เพื่อป้องกันการเสื่อมเสียจากปฏิกิริยาออกซิเดชันทั้งในระหว่างกระบวนการผลิตและการเก็บรักษา ซึ่งมีการนำมาใช้ทั้งสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ เช่น บิวทิลเลเทตไฮดรอกซีโทลูอินหรือ บิวทิลเลเทตไฮดรอกซีอะนิโซลหรือ บิวทิลเลเทตไฮดรอกซีโพรพิลกาเลต (butylated hydroxytoluene; BHT) บิวทิลเลเทตไฮดรอกซีอะนิโซลหรือ บิวทิลเลเทตไฮดรอกซีโพรพิลกาเลต (butylated hydroxyanisole; BHA) โพรพิลกาเลต (propyl gallate; PG) เทอร์เทียรี บิวทิลไฮโดรควิโนน หรือทีบีเอชคิว (tertiary butylhydroquinone; TBHQ) และสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ เช่น สารพอลิฟีนอล (polyphenol) วิตามินอี ฟลาโวนอยด์ (flavonoid compounds) เป็นต้น

2) ร่างกายมนุษย์สามารถดูดซึมสารต้านอนุมูลอิสระมาใช้ประโยชน์ได้

3) สามารถใช้ประโยชน์จากอนุพันธ์ของสารต้านอนุมูลอิสระได้

4) ใช้ประโยชน์ในด้านการรักษาโรค เช่น ใช้เป็นสารต้านมะเร็ง (anti-cancer) สารต้านการอักเสบ (anti-inflammatory) เป็นต้น

2.9.3 ชนิดของสารต้านอนุมูลอิสระ

การเกิดออกซิเดชันในอาหารเป็นปัญหาที่ต้องให้ความสำคัญอย่างมาก เนื่องจากมีความยุ่งยากในการควบคุมและการจัดการ ทำให้สูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ มีผลกระทบต่ออายุการเก็บรักษาและลักษณะทางประสาทสัมผัส อีกทั้งทำให้การเกิดกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์จากการสลายตัวของกรดไขมันไม่อิ่มตัวในระหว่างการเกิดออกซิเดชัน การยับยั้งการเกิดออกซิเดชันสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การป้องกันการสัมผัสกับอากาศ การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ การยับยั้งเอนไซม์ที่เร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน การกำจัดออกซิเจนออกจากระบบ การลดระดับความดันของออกซิเจนภายในระบบ การเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม และการกำจัดตัวเร่งปฏิกิริยาต่างๆ ออกจากระบบ เป็นต้น (Wildman, 2001) นอกจากนี้ยังมีวิธีการที่มีความจำเพาะต่อการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันมากขึ้น โดยการใช้สารยับยั้งการเกิดออกซิเดชันหรือสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งสารต้านอนุมูลอิสระสามารถจำแนกออกได้ตามโครงสร้างและกลไกการต้านการเกิดออกซิเดชันที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 2.3) ดังนี้

2.9.3.1 สารต้านอนุมูลอิสระทั่วไป (general antioxidant)

สารต้านอนุมูลอิสระจะมีบทบาทสำคัญในการทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระแล้วกลายเป็นสารประกอบที่เฉื่อยต่อปฏิกิริยา โดยทั่วไปกลไกการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระจะทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระเพอร์ออกไซด์และแอลคอกซีที่เกิดจากการสลายตัวของสารประกอบเพอร์ออกไซด์ (peroxide)

2.9.3.2 สารช่วยให้สารประกอบเพอร์ออกไซด์มีความคงตัว (peroxide stabilizer)

สารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มนี้จะมียุทธศาสตร์ในการป้องกันหรือยับยั้งการสลายตัวของสารประกอบเพอร์ออกไซด์ไปเป็นอนุมูลอิสระ

2.9.3.3 สารเสริมฤทธิ์ (synergists)

สารเสริมฤทธิ์เป็นสารที่ไม่มีกิจกรรมในการต้านอนุมูลอิสระ แต่มีบทบาทสำคัญในการส่งเสริมให้สารต้านอนุมูลอิสระสามารถทำงานได้ดีขึ้น ในลักษณะการรวมพลังให้เกิดผลลัพธ์ที่ดีขึ้นกว่าเดิม

2.9.3.4 สารคีเลต (chelating agent)

สารคีเลตหรือสารจับโลหะจะเป็นสารที่ทำหน้าที่ในการจับกับโลหะที่เป็นตัวกระตุ้นให้สารประกอบเพอร์ออกไซด์สลายตัวไปเป็นอนุมูลอิสระ เมื่อสารคีเลตจับกับโลหะเกิดเป็นสารประกอบที่เฉื่อยต่อปฏิกิริยาและทำให้โลหะไม่สามารถเร่งปฏิกิริยาต่อไป

2.9.3.5 สารจับออกซิเจนซิงเกิลต (singlet oxygen quencher)

สารจับออกซิเจนซิงเกิลตหรือสารจับออกซิเจนเดี่ยว มีบทบาทในการเปลี่ยนซิงเกิลตออกซิเจนหรือออกซิเจนที่มีอิเล็กตรอนเดี่ยว (singlet oxygen) ที่อยู่ในสถานะถูกกระตุ้น (excited state) ไปเป็นทริปเลตออกซิเจนหรือออกซิเจนที่มีอิเล็กตรอนเดี่ยว 2 ตัว (triplet oxygen) ที่อยู่ในสถานะพื้น (ground state) ซึ่งมีความเสถียรมากกว่า

ตารางที่ 2.3 กลไกของกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ

ชนิดของสารต้านอนุมูลอิสระ	กลไกของกิจกรรม	ตัวอย่างสารต้านอนุมูลอิสระ
สารต้านอนุมูลอิสระทั่วไป	ยับยั้งอนุมูลอิสระ	สารพอลิฟีนอล
สารช่วยให้สารประกอบเพอร์ออกไซด์มีความคงตัว	ป้องกันการสลายตัวของสารประกอบเพอร์ออกไซด์ไปเป็นอนุมูลอิสระ	สารพอลิฟีนอล
สารเสริมฤทธิ์	เสริมกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ	กรดซิตริก กรดแอสคอร์บิก
สารคีเลต	จับกับโลหะกลายเป็นสารประกอบที่เฉื่อยต่อปฏิกิริยา	กรดฟอสฟอริก กรดซิตริก สารประกอบที่เกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (maillard reaction)
สารจับออกซิเจนเชิงเกลต	เปลี่ยนจากเชิงเกลตออกซิเจนไปเป็นทริปเลตออกซิเจน	แคโรทีนอยด์
สารช่วยลดปริมาณสารประกอบไฮโดร-เพอร์ออกไซด์	ลดปริมาณสารประกอบไฮโดรเพอร์ออกไซด์ใน non-radical way	โปรตีน กรดอะมิโน

ที่มา : Pokorny *et al.*, (2008)

นอกจากนั้นยังสามารถจำแนกตามกลไกการเข้าทำปฏิกิริยาในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันได้ดังนี้

1) สารต้านอนุมูลอิสระขั้นปฐมภูมิ (primary antioxidant)

สารต้านอนุมูลอิสระขั้นปฐมภูมิเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ทำหน้าที่จับกับอนุมูลอิสระโดยการชะลอหรือยับยั้งการเกิดออกซิเดชันในขั้นเริ่มต้น (initiation) หรือขัดขวางการเกิดออกซิเดชันในขั้นต่อเนื่อง (propagation) โดยในขั้นเริ่มต้นของการเกิดออกซิเดชัน ไฮโดรเจนอะตอมจะหลุดออกจากกรดไขมันไม่อิ่มตัวกลายเป็นอนุมูลอิสระดังสมการที่ 1

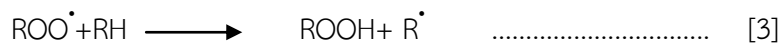


อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นสามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเกิดเป็นอนุมูลเพอร์ออกซี (ROO[•]) ในขั้นต่อเนื่อง ดังสมการที่ 2



ในขั้นต่อเนื่องอนุมูลของเพอร์ออกซีจะทำปฏิกิริยากับกรดไขมันตัวอื่นเกิดเป็นสารประกอบไฮโดรเพอร์ออกไซด์และอนุมูลอิสระเกิดขึ้น อนุมูลอิสระของกรดไขมันที่เกิดขึ้นสามารถทำปฏิกิริยา

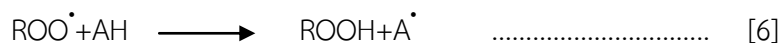
กับออกซิเจนเกิดเป็นอนุมูลอิสระและสามารถกระตุ้นกลไกการเกิดออกซิเดชันต่อเนื่องได้อีก ดังสมการที่ 3



สารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะไม่คงตัวและสามารถสลายไปเป็นอนุมูลอิสระที่สามารถเหนี่ยวนำในขั้นต่อเนื่องได้อีก ดังสมการที่ 4 และ 5



หน้าที่ของสารต้านอนุมูลอิสระขั้นปฐมภูมิคือจะทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระและเปลี่ยนไปเป็นสารที่ไม่มีอนุมูลและความคงตัวมากกว่า โดยการให้ไฮโดรเจนอะตอมกับอนุมูลอิสระ ส่วนสารต้านอนุมูลอิสระจะกลายเป็นอนุมูลอิสระเอง (A \cdot) ที่มีความคงตัวมากกว่าและไม่สามารถเหนี่ยวนำให้เกิดการออกซิเดชันต่อไปได้อีก ดังสมการที่ 6 – 8



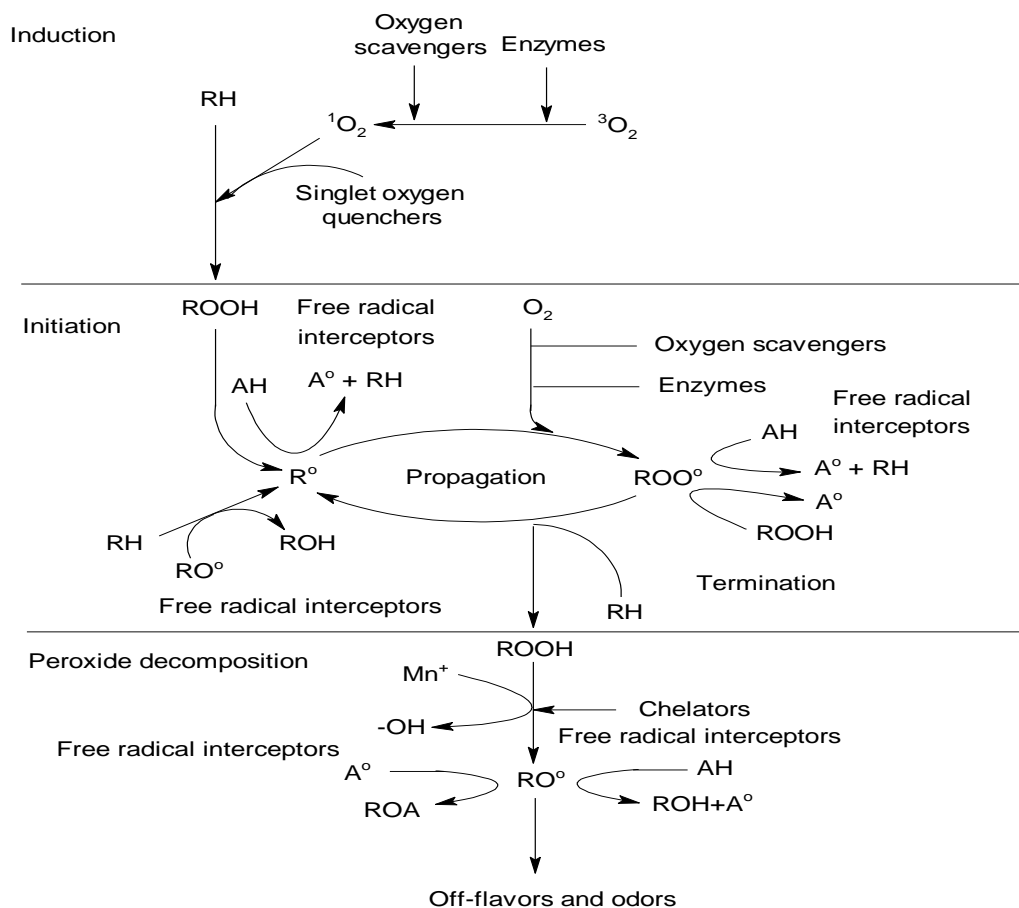
อนุมูลของสารต้านอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะมีความเฉื่อยต่อปฏิกิริยา เนื่องจากอิเล็กตรอนที่ไม่เสถียรของสารต้านอนุมูลอิสระจะเกิดการเรโซแนนซ์ภายในวงแหวนฟีนอลทำให้เกิดโครงสร้างที่มีความคงตัว ส่งผลให้ปฏิกิริยาในขั้นต่อเนื่องถูกยับยั้งหรือเกิดขึ้นได้ช้าลง นอกจากนี้อนุมูลของสารต้านอนุมูลอิสระยังสามารถทำปฏิกิริยากับสารประกอบเปอร์ออกซี (สมการที่ 9) ออกซี (สมการที่ 10) และอนุมูลของสารต้านอนุมูลอิสระตัวอื่น (สมการที่ 11) เกิดโครงสร้างไดเมอร์และทำให้ปฏิกิริยาลิ้นสุดลง



สารต้านอนุมูลอิสระขั้นปฐมภูมิแบบสังเคราะห์ที่มีการนิยมใช้ได้แก่ บีเอชเอ บีเอชที โพรฟิล แกลเลต และทีบีเอชคว อย่างไรก็ตามในปัจจุบันมีการนำสารต้านอนุมูลอิสระขั้นปฐมภูมิจากธรรมชาติมาใช้ในอาหารมากขึ้น เช่น วิตามินอี โทโคฟีรอล และแคโรทีนอยด์ เป็นต้น

2) สารต้านอนุมูลอิสระขั้นทุติยภูมิ (secondary antioxidant)

สารต้านอนุมูลอิสระชั้นทุติยภูมิเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีอัตราการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันค่อนข้างช้าและกลไกในการยับยั้งหลายขั้นตอน แต่ไม่สามารถเปลี่ยนอนุมูลอิสระให้กลับไปเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความเสถียรสูงกว่าได้ บทบาทของสารต้านอนุมูลอิสระชั้นทุติยภูมิมีหลายอย่างด้วยกัน เช่น สามารถจับกับโลหะ ให้อิเล็กทรอนิกส์กับสารต้านอนุมูลอิสระชั้นปฐมภูมิ ทำหน้าที่เป็นสารเสริมฤทธิ์ การสลายสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ไปเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความเสถียรและยับยั้งซึ่งเกิดออกซิเจน เป็นต้น สารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญในกลุ่มนี้ ได้แก่ กรดซิตริก (citric acid) กรดแอสคอร์บิก แอสคอร์บิลปาล์มิเตต (ascorbyl palmitate) เลซิทีน (lecithin) กรดทาร์ทาริก (tartaric acid) และแคโรทีนอยด์ เป็นต้น กลไกการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของสารต้านอนุมูลอิสระชั้นทุติยภูมิ แสดงดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 กลไกการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของสารต้านอนุมูลอิสระชั้นทุติยภูมิ
ที่มา : Akoh and Min (2008)

2.9.4 แหล่งที่มาของสารต้านอนุมูลอิสระ

ปัจจุบันสารต้านอนุมูลอิสระโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ได้มาจากพืชผัก เครื่องเทศ องุ่น และสมุนไพรได้รับความสนใจและศึกษากันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากกระแสเรื่องความปลอดภัยของสารสกัดจากธรรมชาติ สารต้านอนุมูลอิสระแบ่งตามแหล่งที่มาได้ 2 ชนิดได้แก่

1) สารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ (Synthetic antioxidants) สารประกอบฟีนอลิกสังเคราะห์ 5 ชนิดได้แก่ propyl gallate, BHA (2-butylated hydroxyanisole), BHA (3-butylate hydroxyanisole), BHT (butylated hydroxytoluene) และ TBHQ (tertiarybutyl hydro-quinone) เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันอันเป็นสาเหตุให้อาหารมีกลิ่น สี และรสชาติที่เปลี่ยนไป สารสังเคราะห์เหล่านี้มี ประสิทธิภาพและความคงตัวสูงกว่าสารสกัดจากธรรมชาติ แต่มีข้อจำกัดของการใช้เนื่องจากปัญหา ด้านความปลอดภัยในการบริโภค

2) สารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ (Natural antioxidants) สารกลุ่มนี้ได้รับความสนใจและมีการค้นคว้าอย่างมากในปัจจุบันเนื่องจาก ความเชื่อมั่นว่ามีความปลอดภัยในการบริโภคมากกว่าสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ สารต้านอนุมูลอิสระเหล่านี้ พบได้ทั้งในจุลชีพ สัตว์ และพืช ซึ่งมีทั้งที่เป็นวิตามิน เช่น วิตามินซี วิตามินอี เบตา-แคโรทีน และสารที่ไม่ให้คุณค่าทางโภชนาการ (non-nutrient) ซึ่งมีโครงสร้างเป็นสารประกอบฟีนอลิก โดยเฉพาะกลุ่มโพลีฟีนอล (polyphenols) เช่น แซนโธน (xanthone) และฟลาโวนอยด์ (flavonoids) ซึ่งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลที่เกาะบนวงเบนซีน (aromatic hydroxyl) ตั้งแต่ 2 หมู่ขึ้นไป หมู่ฟังก์ชัน (functional group) เหล่านี้มีบทบาทสำคัญในการดักจับอนุมูลอิสระไม่ให้ไปกระตุ้นหรือก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ โดยการให้อนุมูล H^{\cdot} แก่อนุมูลอิสระเหล่านั้น นอกจากนี้สารประกอบโพลีฟีนอลที่มีโครงสร้างของ ortho-dihydroxyl phenol อยู่ในโมเลกุลยังสามารถยับยั้งการเกิดอนุมูล OH^{\cdot} ในปฏิกิริยาที่มีอนุมูลโลหะทรานซิชัน คือ Fe^{2+} และ Cu^{2+} เป็นตัวเหนี่ยวนำได้โดยการเข้าจับกับโลหะดังกล่าวเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (complex) (เจนจิรา จิรัมย์ และ ประสงค์ สีหนาม, 2554)

2.9.5 การวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระในอาหาร

สารต้านอนุมูลอิสระมีการนำมาใช้ประโยชน์ในอาหารหลายชนิด ซึ่งความสามารถหรือกิจกรรมในการต้านอนุมูลอิสระขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ องค์ประกอบของอาหาร และปริมาณออกซิเจนภายในอาหาร โดยทั่วไปแล้วการวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระในตัวอย่างอาหารประเภทต่างๆ สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การวิเคราะห์หาปริมาณสารชนิดใดชนิดหนึ่งหรือกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งที่พบว่ามีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ เช่น ฟลาโวนอยด์ วิตามินเอ วิตามินซี หรือสารประกอบฟีนอล (Zulueta *et al.*, 2007) แต่ในความเป็นจริงสารต้านอนุมูลอิสระในอาหารหนึ่งๆ มักจะประกอบไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระหลายๆ ชนิดรวมกันอยู่ การวัดและแยกวิเคราะห์สารแต่ละชนิดจึงเป็นการยาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีสารผสมกันหลายชนิดในอาหารหรือเครื่องดื่ม ดังนั้นการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระ รวมทั้งการประเมินความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ จึงอาจทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์และค่าใช้จ่าย เช่น กรณีที่ต้องการทราบปริมาณหรือความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยรวมอาจทำได้ไม่ยากโดยใช้เทคนิคสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ แต่หากต้องการทราบชนิดของสารต้านอนุมูลอิสระที่จำเพาะเจาะจง จำเป็นต้องใช้เทคนิคขั้นสูง เช่น เทคนิคโครมาโทกราฟีหรืออิเล็กโทรโฟรีซิส เป็นต้น ในที่นี้จะกล่าวถึงการเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ การวิเคราะห์กิจกรรมหรือฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ และเทคนิคการวิเคราะห์ปริมาณ หรือชนิดของสารต้านอนุมูลอิสระ ดังนี้

2.9.5.1 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์

เนื่องจากตัวอย่างอาหารแต่ละชนิดมีลักษณะเฉพาะตัว ดังนั้นก่อนการวิเคราะห์ จำเป็นต้องทำการสกัดตัวอย่างเพื่อให้มีความเหมาะสมในการวิเคราะห์ ซึ่งต้องคำนึงถึงสิ่งต่างๆ ดังนี้

2.9.5.1.1 ชนิดของตัวอย่างหรืออาหารที่จะทำการวิเคราะห์

2.9.5.1.2 ตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัด

2.9.5.1.3 องค์ประกอบของอาหาร

สำหรับการวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระในพืช นิยมบดให้ละเอียดและทำการสกัดด้วยสารละลายเอทานอลหรือเมทานอล เนื่องจากแอลกอฮอล์จะเป็นตัวทำละลายที่เหมาะสมสำหรับการสกัดสารประกอบพอลิฟีนอล สามารถป้องกันการหดรัดตัวของเซลล์ที่สกัดและสามารถกำจัดตัวทำละลายออกได้ง่าย สำหรับในพืชที่ผ่านกระบวนการทำแห้งมาก่อนแล้วจะต้องมีการทำให้ตัวอย่างดูน้ำกลับก่อนการนำไปสกัด อย่างไรก็ตามตัวอย่างที่สามารถละลายได้ในแอลกอฮอล์ เช่น ผลิตภัณฑ์ที่มีมอลโตเดกทรีนเป็นองค์ประกอบและผ่านการทำแห้งด้วยวิธีพ่นฝอยผ่านลมร้อนจะทำให้สกัดได้ยาก ดังนั้นจึงต้องมีการบดผสมอาหารผงนั้นให้เปียกทั้งหมดก่อนการสกัดด้วยแอลกอฮอล์ (Pokorny *et al.*, 2008)

2.9.5.2 การวิเคราะห์กิจกรรมหรือฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ

การประเมินกิจกรรมหรือฤทธิ์ของสารต้านอนุมูลอิสระ เป็นการวัดค่าการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน สามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภท คือ การวิเคราะห์ปฏิกิริยาการถ่ายโอนไฮโดรเจนอะตอม (hydrogen atom transfer; HAT) และการวิเคราะห์ปฏิกิริยาการถ่ายโอนอิเล็กตรอน (electron transfer; ET reaction) (Huang *et al.*, 2005; โอภา วัชรคุปต์, 2549)

5.2.1 การวิเคราะห์ปฏิกิริยาการถ่ายโอนไฮโดรเจนอะตอม

การวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้จะอาศัยหลักการถ่ายโอนไฮโดรเจนอะตอม ได้แก่ วิธี ORAC (Oxygen radical absorbance capacity) และวิธี TRAP (Total radical-trapping antioxidant parameter) การวิเคราะห์วิธีนี้จะเป็นการกำจัดอนุมูลอิสระ โดยสารต้านอนุมูลอิสระจะให้ไฮโดรเจนอะตอมกับอนุมูลอิสระ ดังสมการที่ 12



เมื่อ A^{\cdot} = อนุมูลอิสระ

AH = สารต้านอนุมูลอิสระ

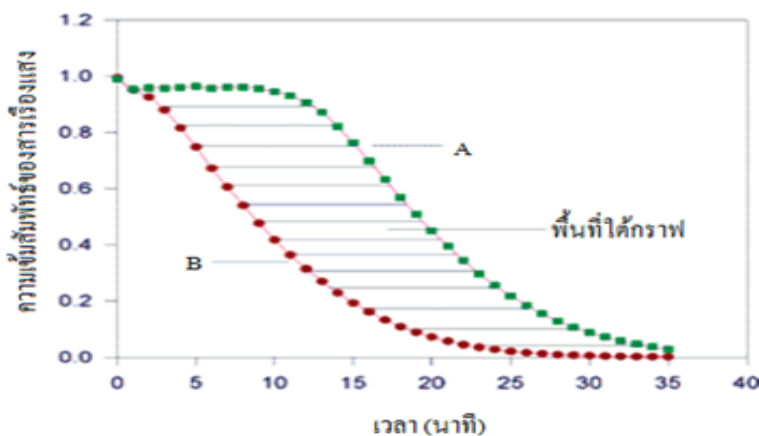
การวิเคราะห์กิจกรรมหรือฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยการวัดการถ่ายโอนไฮโดรเจนอะตอม สามารถทำได้โดยการวัดการเรืองแสงของสารฟลูออเรสเซนต์ที่เกิดขึ้นเมื่อเกิดการออกซิเดชัน แต่เมื่อระบบมีสารต้านอนุมูลอิสระซึ่งจะให้ไฮโดรเจนอะตอมกับอนุมูลอิสระ ทำให้ความเข้มของสารฟลูออเรสเซนต์ลดลงและความเร็วของปฏิกิริยาในการเกิดสารฟลูออเรสเซนต์ช้าลงตามไปด้วย โดยสารที่ใช้เป็นสารอนุมูลตั้งต้นในการวิเคราะห์กิจกรรมหรือฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีนี้ คือ สารกลุ่มเอโซ (azo compound) ได้แก่ 2,2'-อะโซบิส (2-อะมิดีโนโพรเพน) ไดไฮโดรคลอไรด์ หรือเอเอพีเอช (2,2'-azobis (2-amidinopropane) dihydrochloride ; AAPH) ซึ่งเอเอพีเอชจะได้รับพลังงาน

ความร้อนสร้างอนุมูลเพอร์ออกซิลขึ้นมา เมื่อมีสารต้านอนุมูลอิสระจะเกิดการแข่งขันกันทำปฏิกิริยากับอนุมูลเพอร์ออกซิลอย่างรวดเร็ว ทำให้การเรืองแสงของสารฟลูออเรสเซนต์ค่อยๆ ลดลง กลไกการแข่งขันในการทำปฏิกิริยาของสารต้านอนุมูลอิสระ แสดงดังสมการที่ 13-15



2.9.5.2.1.1 การวิเคราะห์กิจกรรมหรือฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ORAC

การวิเคราะห์กิจกรรมหรือฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ORAC เป็นการวัดความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระในการยับยั้งอนุมูลเพอร์ออกซีไม่ให้ทำปฏิกิริยาออกซิเดชันต่อไป ดังนั้นเมื่อเติมสารต้านอนุมูลอิสระลงไปจะขจัดอนุมูลเพอร์ออกซีโดยการให้ไฮโดรเจนอะตอม ปัจจุบันนิยมใช้ฟลูออเรสซินหรือไดคลอโรฟลูออเรสซิน ($\text{H}_2\text{DCF-dA}$) ซึ่งมีความเสถียรและไม่ไวต่อปฏิกิริยาจนเกินไป การวิเคราะห์ใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยาประมาณ 30 นาที แล้วสามารถวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลเพอร์ออกซีโดยการคำนวณพื้นที่ใต้กราฟ (area under curve ; AUC) ของการลดลงของสารเรืองแสง โดยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจะทำให้การลดลงของสารเรืองแสงเกิดได้ช้ากว่าอาหารที่ไม่มีสารต้านอนุมูลอิสระ ดังภาพที่ 2.6 (Prior *et al.*, 2005)



ภาพที่ 2.6 การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยใช้วิธี ORAC คำนวณจากพื้นที่ภายใต้กราฟของการลดลงของความเข้มสัมพัทธ์ของสารเรืองแสง เมื่อ A คือ ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง และ B คือ ค่าการดูดกลืนแสงของแบลนค์ (blank)

2.9.5.2.1.2 การวิเคราะห์กิจกรรมหรือฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี TRAP

การวิเคราะห์กิจกรรมหรือฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี TRAP เกิดจากไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ไปกระตุ้นเมทไมโอโกลบิน (metmyoglobin) ให้เกิดเป็นอนุมูลเพอร์ริล ไมโอโกลบิน ซึ่งอนุมูลเพอร์ริลไมโอโกลบินที่เกิดขึ้นสามารถทำปฏิกิริยากับกรด 2,2'-อะซิโนบิส(3-เอทิลเบนโซไทอะโซลีน-6-ซัลโฟนิค (2,2'-azinobis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid ; ABTS) เกิดเป็นอนุมูล $\text{ABTS}^{\cdot+}$ ที่มีสี ดังนั้นเมื่อเติมสารหรือตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ลงไปในการทดสอบ

สารที่มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันจะยับยั้งปฏิกิริยาทำให้สีจางลง ถ้าสารหรือตัวอย่างมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันสูง ก็จะทำให้อนุมูล $ABTS^{+\bullet}$ ลดลง โดยทั่วไปจะมีการรายงานเป็นค่า EC_{50} คือ ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระที่ทำให้ความเข้มข้นของอนุมูล $ABTS^{+\bullet}$ เหลืออยู่ร้อยละ 50 หรือ ค่า IC_{50} คือ ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระที่ทำให้อนุมูล $ABTS^{+\bullet}$ ลดลงร้อยละ 50 การคำนวณหาค่า IC_{50} ทำได้ โดยการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ร้อยละการยับยั้งอนุมูล $ABTS^{+\bullet}$ (% inhibition $ABTS^{+\bullet}$) กับความเข้มข้นของสารตัวอย่าง แล้วคำนวณตามสมการที่ 16 เพื่อหาค่า IC_{50} (Ghiselli *et al.*, 1995)

$$\%inhibition\ ABTS^{+\bullet} = \left[\frac{Abs_{control} - Abs_{sample}}{Abs_{sample}} \right] \times 100 \quad \dots\dots\dots [16]$$

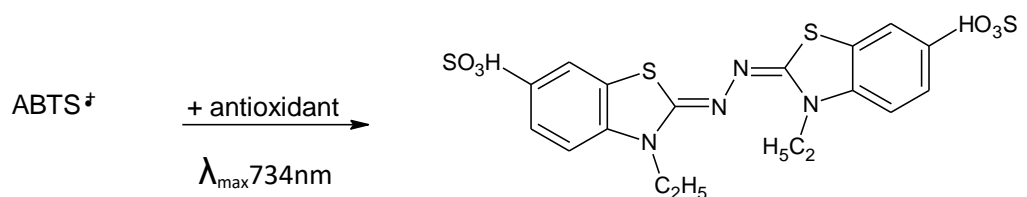
2.9.5.2.2 การวิเคราะห์ปฏิกิริยาการถ่ายโอนอิเล็กตรอน

การวิเคราะห์ปฏิกิริยาการถ่ายโอนอิเล็กตรอน วิธีการนี้เป็นการหาความสามารถในการถ่ายโอนอิเล็กตรอนไปยังสารรีดิวซ์อื่น เช่น อนุมูลอิสระ ดังสมการที่ 17 ปฏิกิริยานี้จะมีการเปลี่ยนแปลงสีเมื่อเกิดการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอน โดยการเปลี่ยนสีมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารต้านอนุมูลอิสระ กล่าวคือ ถ้าสารต้านอนุมูลอิสระมีความเข้มข้นมาก สีของสารละลายก็จะลดลงอย่างรวดเร็ว วิธีการวิเคราะห์ปฏิกิริยาการถ่ายโอนอิเล็กตรอนเดี่ยวที่นิยมใช้ ได้แก่ TEAC (Trolox equivalent antioxidant capacity), FRAP (ferric ion reducing antioxidant power), DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical scavenging capacity assay) และ FCR (total phenols assay by Folin-Ciocalteu reagent assay)



2.9.5.2.2.1 การวิเคราะห์กิจกรรมหรือฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี TEAC

วิธี TEAC เป็นการวัดความสามารถในการขจัดอนุมูลสังเคราะห์ $ABTS^{+\bullet}$ ที่มีความคงตัว โดย $ABTS$ จะถูกออกซิไดส์โดยอนุมูลเพอร์ออกไซด์เกิดเป็นอนุมูลที่มีประจุบวก $ABTS^{+\bullet}$ ที่มีสี ดังนั้นเมื่อเติมสารหรือตัวอย่างที่มีสารต้านอนุมูลอิสระลงไปจะทำปฏิกิริยากับอนุมูล $ABTS^{+\bullet}$ และเกิดเป็นสารประกอบที่ไม่มีสี ดังแสดงในภาพที่ 2.7 ผลการวิเคราะห์จะคำนวณเป็นค่าที่สมมูลกับสารต้านอนุมูลมาตรฐานโทรล็อก (Miller *et al.*, 1993)



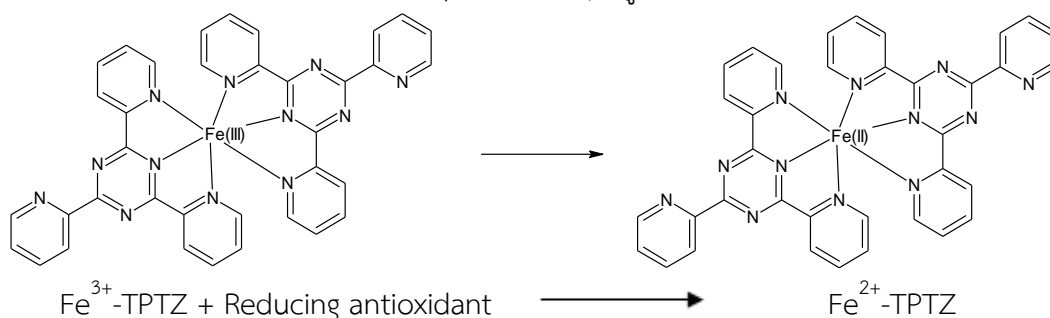
ภาพที่ 2.7 กลไกของสารต้านอนุมูลอิสระในการทำปฏิกิริยากับอนุมูล $ABTS^{+\bullet}$

ข้อดีของการวิเคราะห์กิจกรรมหรือฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี TEAC คือ อนุมูล $ABTS^{+}$ จะทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วกับสารต้านอนุมูลอิสระภายในเวลา 30 นาที อนุมูล $ABTS^{+}$ สามารถละลายได้ทั้งในน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์ ทำให้สามารถใช้ในการวิเคราะห์หาความสามารถในการต้านออกซิเดชันของสารได้หลายชนิด ไม่ว่าจะเป็นชนิดที่ละลายในน้ำหรือสารที่ละลายในไขมัน ส่วนข้อเสียของวิธี TEAC คือ $ABTS^{+}$ ไม่เป็นสารตามธรรมชาติที่ก่อให้เกิดอนุมูลในเซลล์หรือในร่างกายเช่นเดียวกับ Fe^{3+} -TPTZ (ferric tripyridyl triazine)

2.9.5.2.2.2 การวิเคราะห์กิจกรรมหรือฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP

การวิเคราะห์กิจกรรมหรือฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP มีหลักการว่าสารต้านอนุมูลอิสระในร่างกาย ทำหน้าที่โดยการให้อิเล็กตรอนจึงจัดเป็นสารรีดิวซ์ ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าเป็นการวัดความสามารถรวมในการรีดิวซ์ วิธีการนี้ใช้สารประกอบเชิงซ้อนของเหล็ก Fe^{3+} -TPTZ เป็นสารทดสอบ กล่าวคือ เมื่อสารประกอบเชิงซ้อน Fe^{3+} -TPTZ ได้รับอิเล็กตรอนจากสารต้านอนุมูลอิสระแล้วจะเปลี่ยนไปเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของเฟอร์รัส Fe^{2+} -TPTZ (ferrous tripyridyl triazine) ที่มีสีน้ำเงิน ดังภาพที่ 2.8 ซึ่งดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร (Benzie & Strain, 1996)

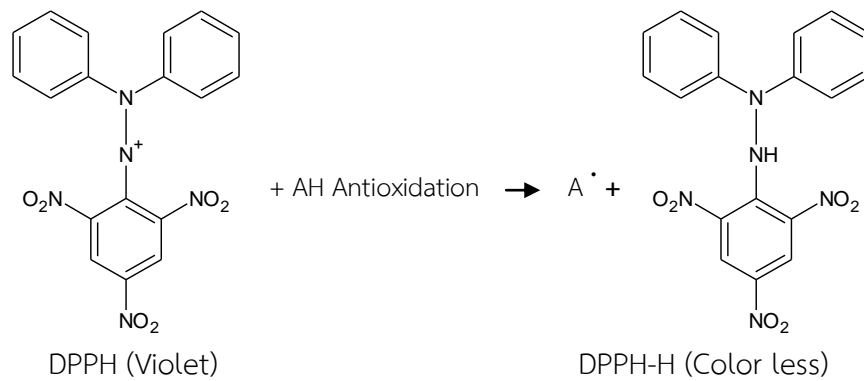
ข้อดีของวิธีนี้ก็คือ เสียค่าใช้จ่ายน้อย สะดวก รวดเร็ว มีขั้นตอนในการทดลองไม่ยุ่งยาก ซับซ้อนและมีความสามารถในการประเมินซ้ำ (reproducibility) สูง



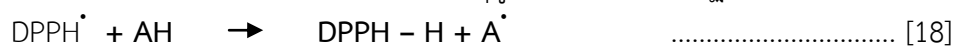
ภาพที่ 2.8 กลไกของสารต้านอนุมูลอิสระในการทำปฏิกิริยากับสารประกอบเชิงซ้อน Fe^{3+} -TPTZ

2.9.5.2.2.3 การวิเคราะห์กิจกรรมหรือฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH

การวิเคราะห์กิจกรรมหรือฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH เป็นการทดสอบกิจกรรมหรือฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ โดยให้สารตัวอย่างทำปฏิกิริยากับ 2,2-ไดฟีนิล-1-พิกริลไฮดรซิล (2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl ; DPPH) ซึ่งเป็นอนุมูลอิสระที่เสถียรและมีสีม่วง เมื่อ DPPH ได้รับอิเล็กตรอนหรือไฮโดรเจนอะตอมจากสารต้านอนุมูลอิสระ จะเปลี่ยนเป็น DPPH-H ซึ่งไม่มีสี ดังภาพที่ 2.9 และสมการที่ 18 และ 19 โดยสามารถวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร (Miller *et al.*, 1993)



ภาพที่ 2.9 กลไกของสารต้านอนุมูลอิสระในการทำปฏิกิริยากับ DPPH



ถ้าตัวอย่างหรืออาหารมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้สูง สีของสารละลาย DPPH (สีม่วง) ก็จะลดลง ซึ่งจะรายงานผลการทดลองเป็นค่า EC_{50} ซึ่งหมายถึง ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระที่ทำให้ความเข้มข้นของอนุมูล DPPH เหลืออยู่ร้อยละ 50 โดยการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ร้อยละอนุมูล DPPH ที่เหลืออยู่ (% Remaining DPPH) กับความเข้มข้นของสารมาตรฐานหรือสารตัวอย่าง เพื่อหาค่า EC_{50} โดยคำนวณ % Remaining DPPH ตามสมการที่ 20

$$\% \text{ Remaining } DPPH^{\cdot} = \left(\frac{Abs_{sample}}{Abs_{control}} \right) \times 100 \quad \dots\dots\dots [20]$$

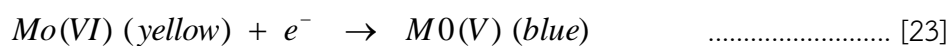
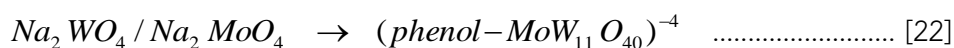
นอกจากนี้ยังมีการรายงานในรูปของค่า IC_{50} หมายถึง ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระที่ทำให้อนุมูล DPPH $^{\cdot}$ ลดลงร้อยละ 50 ด้วย ซึ่งทำโดยการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ร้อยละการยับยั้งอนุมูล DPPH $^{\cdot}$ (% Inhibition DPPH $^{\cdot}$) กับความเข้มข้นของสารมาตรฐานหรือสารตัวอย่าง เพื่อหาค่า IC_{50} โดยคำนวณ % Inhibition DPPH $^{\cdot}$ ตามสมการที่ 21

$$\% \text{ Inhibition } DPPH^{\cdot} = \left(\frac{Abs_{control} - Abs_{sample}}{Abs_{control}} \right) \times 100 \quad \dots\dots\dots [21]$$

การวิเคราะห์กิจกรรมหรือฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH มีข้อดีคือ เป็นวิธีที่สะดวก รวดเร็ว ง่ายต่อการวิเคราะห์ ให้ความถูกต้องและมีความสามารถในการประเมินค่าสูง แต่มีข้อเสียคือ ไม่สามารถใช้วิธีนี้วิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของอาหารที่มีโปรตีนสูงได้ เพราะต้องวัดในปฏิกิริยาที่เป็นแอลกอฮอล์ ซึ่งทำให้โปรตีนตกตะกอนได้

2.9.5.2.2.4 การวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระประเภทสารประกอบพอลิฟีนอล โดยรวมด้วยวิธี Folin – Ciocalteu และ Folin – Denis

การวิเคราะห์กิจกรรมหรือฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี Folin – Ciocalteu และ Folin – Denis เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบพอลิฟีนอลทั้งหมดในพืชผักผลไม้และเครื่องดื่มชนิดต่างๆ แต่มีความแตกต่างกันของสารเคมีที่ใช้บางตัว โดยทั้งสองวิธีนี้จะอาศัยปฏิกิริยารีดอกซ์ในการทำให้เกิดปฏิกิริยา โดยสารเคมีของวิธี Folin – Denis ประกอบด้วยโซเดียมทังสเตน (sodium tungstate) กรดฟอสโฟโมลิบดิก (phosphomolybdic acid) กรดอโทฟอสฟอริก (orthophosphoric acid) และโซเดียมไบคาร์บอเนต (sodium bicarbonate) ส่วนสารเคมีที่ใช้สำหรับวิธี Folin-Ciocalteu ประกอบด้วย โซเดียมทังสเตน โซเดียมโมลิบเดต (sodium molybdate) กรดฟอสฟอริก (phosphoric acid) และโซเดียมคาร์บอเนต (sodium carbonate) การวิเคราะห์โดยวิธีนี้สามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงสีจากปฏิกิริยาของไอออน Mo(VI) ซึ่งมีสีเหลืองเมื่อได้รับอิเล็กตรอนจากสารต้านอนุมูลอิสระแล้วจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของ Mo(V) ซึ่งมีสีน้ำเงิน ดังสมการที่ 22 และ 23 (Zhou and Yu, 2006)



การวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระประเภทสารประกอบพอลิฟีนอลทั้งหมด ด้วยวิธี Folin – Ciocalteu และ Folin – Denis สามารถติดตามปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นโดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 765 และ 750 นาโนเมตร ตามลำดับ การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบพอลิฟีนอลทั้งหมดในสารตัวอย่างจะรายงานเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานที่เป็นกรดฟีนอลิกที่พบมากในตัวอย่างชนิดนั้นๆ เช่น ในเมล็ดกาแฟ จะนิยมเทียบกับกรดคาเฟอิก เนื่องจากในเมล็ดกาแฟจะมีกรดคาเฟอิกในปริมาณมาก แต่โดยทั่วไปจะนิยมนิยมใช้การเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานกรดแกลลิกเนื่องจากมักจะพบในตัวอย่างพืชทั่วไป หรือขึ้นอยู่กับชนิดของตัวอย่าง ถ้าเราทราบว่าตัวอย่างมีสารชนิดใดมากก็ให้เปรียบเทียบกับสารมาตรฐานชนิดนั้น

ในบางกรณีอาจมีการประเมินกิจกรรมการต้านออกซิเดชันของตัวอย่างพืชหรืออาหารโดยใช้วิธีวิเคราะห์ที่แตกต่างกันมากกว่าหนึ่งวิธี เนื่องจากสารต้านอนุมูลอิสระแต่ละชนิดมีองค์ประกอบทางเคมีหรือโครงสร้างแตกต่างกันไป ทำให้มีความจำเพาะในการตอบสนองต่อปฏิกิริยาที่ใช้ในการทดสอบต่างกัน เช่น กรดคาเฟอิก มีค่าการต้านอนุมูลอิสระดีพีพีเอชค่อนข้างสูงแต่มีค่าการต้านอนุมูลเอบีทีเอสต่ำ ในทางตรงกันข้ามกรดพาราความาริกมีค่าการต้านอนุมูลอิสระดีพีพีเอชต่ำมาก แต่มีค่าการต้านอนุมูลเอบีทีเอสค่อนข้างสูง เป็นต้น ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของสารประกอบพอลิฟีนอลและฟลาโวนอยด์ประเมินโดยใช้วิธี DPPH⁺ และ ABTS⁺⁺

ชนิดของสาร	DPPH ⁺ (ร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระ)	ลำดับ กิจกรรม	ABTS ⁺⁺ (TEAC)	ลำดับกิจกรรม
กลุ่มกรดไฮดรอกซีซินนามิก				
- กรดโรสแมริติก	88.4	1	2.13	1
- กรดคาเฟอิก	76.6	2	1.01	5
- กรดคลอโรจีนิค	52.0	4	0.95	6
- กรดไซแนปิก	56.1	3	1.27	4
- กรดเฟอร์ูลิก	30.9	5	1.32	3
- กรดพาราควมาริก	3.6	6	2.00	2
สารพีนอลอย่างง่าย				
- คาทีคอล	65.1	1	0.97	2
- รีซอสซินอล	2.7	3	1.14	1
- ไฮโดรควิโนน	48.6	2	0.68	3
กลุ่มกรดเบนโซอิก				
- กรดแกลิก	96.3	1	2.18	1
- กรดโพรโทคาเทอูอิก	68.7	2	0.84	2
- กรดรีซอสลิค	2.9	3	0.63	3
สารฟลาโวนอยด์				
- เควอซีทิน	68.2	1	1.85	1
- มอริน	43.2	2	1.20	2

ที่มา : Nenadis and Tsimidou (2010)

2.9.6 เทคนิคในการวิเคราะห์ปริมาณหรือชนิดของสารต้านอนุมูลอิสระในอาหาร

สารต้านอนุมูลอิสระสามารถพบได้ในอาหารทั่วไป โดยเฉพาะผัก ผลไม้และสมุนไพร ซึ่งเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระหลายชนิด เช่น สารประกอบพอลิฟีนอล ฟลาโวนอยด์ แคโรทีนอยด์ วิตามินอี และวิตามินซี เป็นต้น ดังนั้นการวิเคราะห์ปริมาณหรือชนิดของสารต้านอนุมูลอิสระในอาหารเพื่อใช้เป็นแหล่งข้อมูลในการเลือกบริโภคอาหารที่ให้สารต้านอนุมูลอิสระสูง จึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง ในที่นี้จะขอกกล่าวถึงเทคนิคการวิเคราะห์ปริมาณหรือชนิดของสารต้านอนุมูลอิสระที่นิยมใช้ ดังนี้

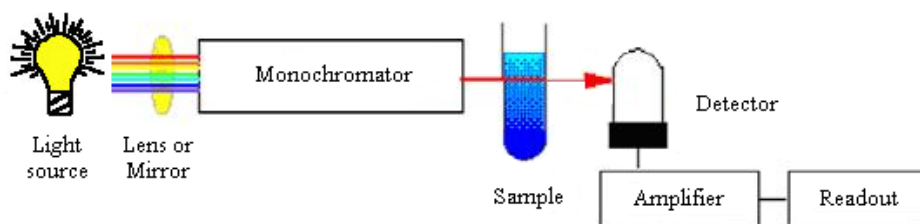
2.9.6.1 เทคนิคสเปกโทรโฟโตเมตริก (Spectrophotometric method)

สเปกโทรสโคปีเป็นศาสตร์ที่ศึกษาเกี่ยวกับการวัดการดูดกลืน (absorption) หรือการคาย (emission) รังสีแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic radiation) ของสาร โดยเฉพาะสารส่วนใหญ่สามารถดูดกลืนคลื่นในช่วงอัลตราไวโอเล็ตและช่วงแสงที่มองเห็นได้ (visible) จากสมบัตินี้จึง

นำมาใช้เป็นเทคนิควิเคราะห์ที่เรียกว่า ยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโคปี (UV-Visible spectroscopy) หลักการทำงานแสดงดังภาพที่ 2.10

การดูดกลืนแสงหรือรังสีที่อยู่ในช่วงอัลตราไวโอเล็ตและช่วงแสงที่มองเห็นได้ ซึ่งอยู่ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 190 – 800 นาโนเมตร สมบัติของสารดังกล่าวนี้ได้นำมาใช้เป็นวิธีวิเคราะห์ทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณอย่างกว้างขวาง เพราะวิธีนี้ให้ความถูกต้องแม่นยำและความไวสูง โดยอาจทำการวิเคราะห์ที่อยู่ในรูปของธาตุหรือโมเลกุล ก็ได้ แต่การที่จะพิสูจน์ว่าสารตัวอย่างเป็นสารชนิดใด มีโครงสร้างอย่างไร จำเป็นต้องใช้เทคนิคอื่นเข้าช่วยเพื่อให้เกิดความถูกต้องแม่นยำ (Ghiselli *et al.*, 1996; Prio *et al.*, 2005; Huang *et al.*, 2005)

เทคนิคสเปกโทรโฟโตเมตรีนิยมใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระทั้งหมด โดยทั่วไปนิยมใช้วิธี Folin-Ciocalteu assay วิธีการนี้นิยมรายงานเป็นปริมาณสารประกอบฟอลิฟินอลทั้งหมดในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลย์ของกรดแกลลิก และไม่สามารถจำแนกโครงสร้างและปริมาณขององค์ประกอบได้ วิธีนี้จะเป็นวิธีวิเคราะห์ที่ไม่มีความจำเพาะและมีสารรบกวนหลายชนิด ดังนั้นจะต้องมีการกำจัดออกก่อนการวิเคราะห์



ภาพที่ 2.10 การทำงานของเทคนิคสเปกโทรโฟโตเมตรี

2.9.6.2 เทคนิคโครมาโทกราฟี (Chromatographic method)

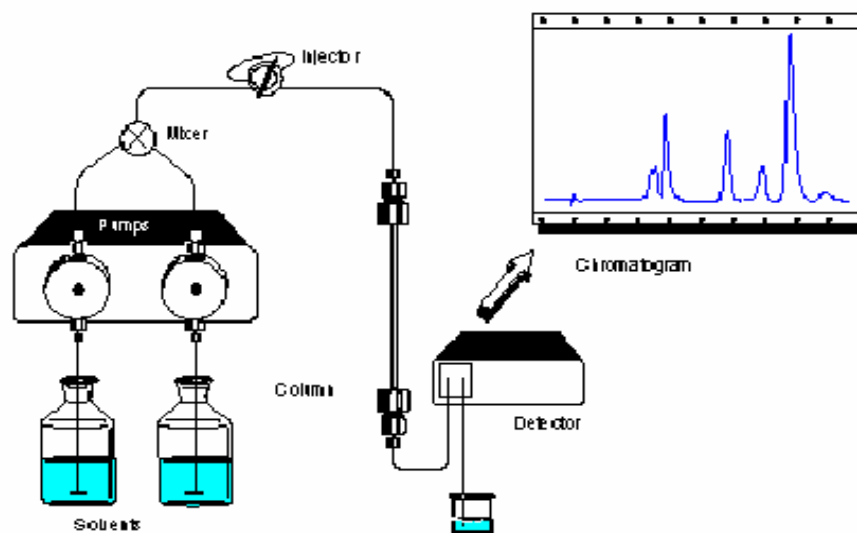
เทคนิคโครมาโทกราฟีอาศัยสมบัติ 2 ประการคือ สารต่างชนิดกันมีความสามารถในการละลายในตัวทำละลายได้ต่างกัน และสารต่างชนิดกันมีความสามารถในการถูกดูดซับด้วยตัวดูดซับได้ต่างกัน ทำให้สารเคลื่อนที่ได้ไม่เท่ากัน (Ghiselli *et al.*, 1996; Prio *et al.*, 2005; Huang *et al.*, 2005)

โครมาโทกราฟีเป็นการแยกสารผสมโดยอาศัยเฟสที่แตกต่างกัน 2 เฟส คือ เฟสนิ่ง (stationary phase) และเฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) โดยที่สารในเฟสนิ่งจะทำหน้าที่ดูดซับ (adsorb) สารผสม ส่วนเฟสเคลื่อนที่จะทำหน้าที่ชะ (elute) เอาสารผสมออกจากเฟสนิ่งให้เคลื่อนที่ไปด้วย ดังภาพที่ 8 สารจะเคลื่อนที่ได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับแรงดึงดูดระหว่างสารในสารผสมกับตัวดูดซับในเฟสนิ่ง สารที่นิยมใช้เป็นเฟสเคลื่อนที่ ได้แก่ บีโตรเลียมอีเทอร์ เฮกเซน คลอโรฟอร์ม เบนซีน เป็นต้น

ปัจจุบันนิยมใช้เทคนิคโครมาโทกราฟี เช่น โครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) แก๊สโครมาโทกราฟี (GC) ไอออนโครมาโทกราฟี (ion chromatography ; IC) โครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง อิเล็กโทรสเปกโทรเมตรี (high performance liquid chromatography electrospray mass spectrometry ; HPLC-MS) และแก๊สโครมาโทกราฟี

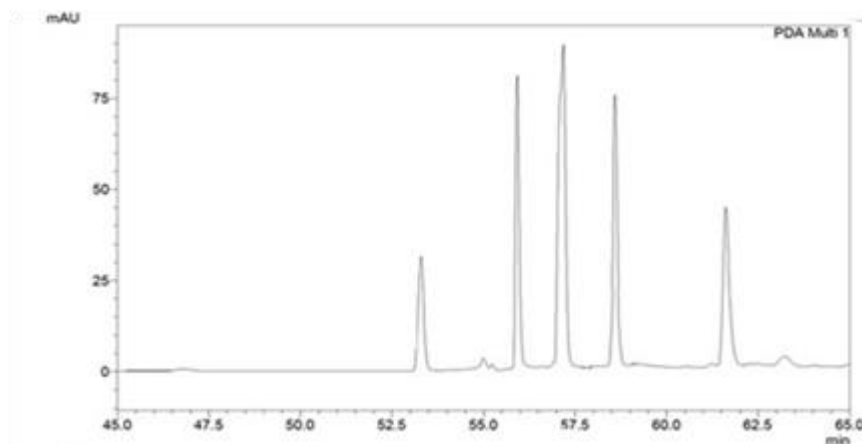
แมสสเปกโตรเมตรี (gas chromatography – mass spectrometry; GC–MS) ในการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระ เนื่องจากมีความจำเพาะในการจำแนกชนิดและปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระได้ดีกว่า เทคนิคสเปกโทรโฟโตเมตรี ดังนั้นเทคนิคโครมาโทกราฟีจึงเป็นเทคนิคที่สามารถวิเคราะห์ปริมาณและองค์ประกอบไปพร้อมกันได้ (Xiu-Qin *et al.*, 2009) ดังแสดงในโครมาโตแกรมในภาพที่ 2.11

Boyce (1999) ได้รายงานถึงการประยุกต์ใช้แคปิลลารีโครมาโทกราฟี (capillary chromatography) ในการวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในอาหาร ซึ่งปัจจุบันได้มีการให้ความสนใจกับการประยุกต์ใช้ HPLC–MS ในการวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในอาหารมากขึ้น โดยมีความพยายามที่จะใช้เทคนิคดังกล่าวในการวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระหลายๆ ชนิดในครั้งเดียวกัน เพื่อลดค่าใช้จ่ายและเวลาในการวิเคราะห์



ภาพที่ 2.11 องค์ประกอบและการทำงานของ HPLC

ข้อจำกัดของการใช้ HPLC ในการวิเคราะห์สารประกอบพอลิฟีนอล คือ วิธีนี้จะจำเพาะกับสารประกอบพอลิฟีนอลที่มีมวลโมเลกุลต่ำ เนื่องจากมีข้อจำกัดของสารมาตรฐานที่มีในท้องตลาด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องอาศัยการวิเคราะห์ร่วมกับเทคนิคคลเลอร์รีเมทริก เช่น วิธี Folin-Ciocalteu เพื่อวัดปริมาณสารประกอบพอลิฟีนอลทั้งหมด (Schofield *et al.*, 2001)



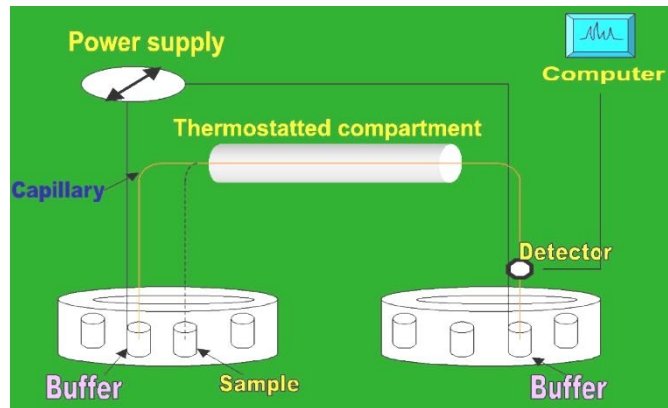
ภาพที่ 2.12 โครมาโตแกรมของสารประกอบฟลาโวนอยด์จากเครื่อง HPLC; (1) rutin, (2) myricetin, (3) quercetin, (4) apigenin and (5) kaempferol

2.9.6.3 เทคนิคอื่นๆ

มีการนำเทคนิคอื่นๆ มาประยุกต์ใช้ร่วมกันในการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระมากขึ้นเพื่อลดข้อจำกัดและเพิ่มประสิทธิภาพในการวิเคราะห์มากขึ้น เช่น เทคนิคแคปิลลารีอิเล็กโทรโฟรีซิส (capillary electrophoresis ; CE) ซึ่งเป็นเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิสค่อนข้างใหม่และทันสมัยที่มีความสำคัญในการวิเคราะห์แยกสาร โดยอาศัยหลักการการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้า ภายใต้สนามไฟฟ้า สารแต่ละชนิดมีความสามารถในการเคลื่อนที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับขนาดและจำนวนประจุของสาร ดังนั้นสารจึงสามารถแยกออกจากกันได้ โดยทั่วไปนิยมใช้เทคนิคแคปิลลารีอิเล็กโทรโฟรีซิสในการแยกโมเลกุล เช่น โปรตีน เปปไทด์ และกรดนิวคลีอิก ปัจจุบันมีผลต่อการวิเคราะห์ ได้แก่ ความต่างศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า พีเอช (pH) ของบัฟเฟอร์ คอลัมน์แคปิลลารีและปริมาณสารตัวอย่าง เป็นต้น

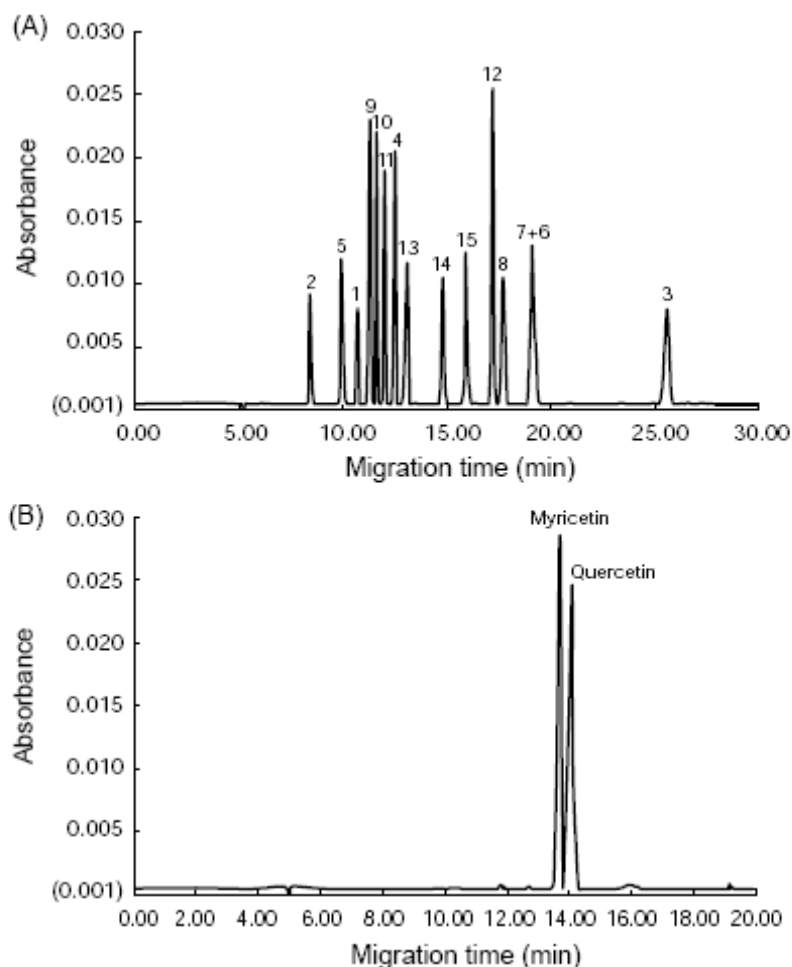
เทคนิคแคปิลลารีอิเล็กโทรโฟรีซิสใช้หลักการเดียวกับเจลอิเล็กโทรโฟรีซิสแต่การแยกของสารเกิดบนคอลัมน์ขนาดเล็กแทนที่จะเกิดบนเจล เทคนิคแคปิลลารีอิเล็กโทรโฟรีซิสเป็นเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิสที่ทันสมัย สามารถทำงานได้โดยอัตโนมัติและมีการประมวลผลได้อย่างรวดเร็วด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป สะดวก รวดเร็ว และประหยัด สามารถตรวจหาสารได้เกือบทุกชนิด เช่น กรดอะมิโน โปรตีน กรดนิวคลีอิก ไอออนของสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ โดยใช้ตัวอย่างที่มีปริมาณน้อยประมาณ 5-10 นาโนลิตร หรือความเข้มข้นเพียง 10^{-8} โมล ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสารตัวอย่างจะเคลื่อนที่ไปในหลอดแคปิลลารี (capillary tube) ที่มีขนาดเล็กมาก เส้นผ่านศูนย์กลาง 20-150 ไมโครเมตร ภายใต้สนามไฟฟ้าภายในหลอดบรรจุตัวกลางค่าจูนซึ่งสามารถจะเลือกใช้ให้เหมาะสมกับคุณสมบัติของสารที่ต้องการแยก (ภาพที่ 2.12-2.13) ปลายด้านหนึ่งของหลอดจุ่มในบัฟเฟอร์ที่ต่อกับขั้วไฟฟ้าบวกอีกปลายด้านหนึ่งต่อกับขั้วไฟฟาลบ ที่ปลายท่อด้านขั้วลบต่อกับเครื่องตรวจวัดปริมาณสาร (detector) สารที่แยกแล้วจะผ่านเข้า เครื่องตรวจวัดปริมาณสารตามลำดับการแยก แล้วส่งผลจากเครื่องตรวจวัดเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์วิเคราะห์และรายงานผลเป็นกราฟ ข้อดีของเทคนิคแคปิลลารีอิเล็กโทรโฟรีซิส คือ ภายใต้สนามไฟฟ้าจะเกิดการเคลื่อนที่ของสารละลายที่บรรจุในหลอดแก้ว

จากขั้วบวกไปยังขั้วลบ เรียกว่า การไหลอิเล็กโทรออสโมติก (electro-osmotic flow) แรงเคลื่อนนี้เป็นตัวพาอนุภาคหรือสารต่างๆ ที่แยกในระบบไปยังเครื่องตรวจวัดสัญญาณที่อยู่ขั้วลบ ดังนั้นสารทุกตัวไม่ว่าจะมีประจุหรือไม่ก็จะเคลื่อนจากจุดตั้งต้น (ขั้วบวก) ไปยังขั้วลบ



ภาพที่ 2.13 องค์ประกอบและการทำงานของแคปิลารี อิเล็กโทรโฟเรซิส

Lee and Ong (2000) ได้ทำการเปรียบเทียบการใช้ HPLC และ CE ในการวิเคราะห์ปริมาณคาเทชินและสารประกอบฟีนอลิก พบว่าทั้งสองวิธีมีความน่าเชื่อถือใกล้เคียงกัน โดย CE จะใช้เวลาในการวิเคราะห์น้อยกว่าถึง 3 เท่า แต่จะมีความไว้น้อยกว่า HPLC ถึง 5 เท่า



ภาพที่ 2.14 อิเล็กโตรโครมาโทแกรมของฟลาโวนอยด์มาตรฐาน 1, rutin; 2, naringin; 3, morin; 4, naringenin; 5, chrysin; 6, quercetin; 7, myricetin; 8, kaempferol; 9, hesperetin; 10, daidzein; 11, genistein; 12, apigenin; 13, quercitrin; 14, luteolin; 15, galangin และฟลาโวนอยด์ที่ตรวจพบในรังผึ้ง

ที่มา : Fu *et al.*, (2005)

การวิเคราะห์สารฟลาโวนอยด์จากรังผึ้งโดยใช้เทคนิคแคปิลลารีอิเล็กโตรโฟรีซิส โดยทำการศึกษาสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมด 15 ชนิด ที่เป็นมาตรฐานและได้ทำการหาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ ดังนี้ อุณหภูมิในการวิเคราะห์ที่ 25 องศาเซลเซียส และทำการวิเคราะห์ตัวอย่างมาตรฐานแสดงดังภาพที่ 2.14(A) และในภาพประกอบ 2.14(B) เป็นการวิเคราะห์ไมริเซทิน (myricetin) และเคอร์ซีทิน (quercetin) โดยใช้ MECC ซึ่งสารทั้ง 2 ชนิดสามารถมีแยกออกจากกันได้ ดังภาพที่ 2.14

Wang and Huang (2005) ได้ใช้เทคนิคเทคนิคไฮเพอร์ฟอร์แมนซ์ลิควิดโครมาโทกราฟี และแคปิลลารีอิเล็กโตรโฟรีซิส ในการวิเคราะห์สารประกอบฟลาโวนอยด์ ในไวน์องุ่น เช่น เอพิจีนิน

(apigenin) ไบคาเลียน (baicalein) นารินจินนิน (naringenin) ลูทีโอลิน (luteolin) เฮสเพรีทิน (hesperetin) กาเลนจิน (galangin) แคมเฟอร์รอล (kaempferol) เคอร์ซีทิน (quercetin) และไมริซีทิน (myricetin) ในการวิเคราะห์ครั้งนี้ใช้เทคนิคเทคนิคไฮเพอร์ฟอร์มานซ์ลิควิดโครมาโทกราฟี และเทคนิคแคปิลลารีโซมอเล็กโทรโฟรีซิส

การวิเคราะห์สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของชาโดยใช้เทคนิคแคปิลลารีอิเล็กโทรโฟรีซิส โดยการวิเคราะห์สารสำคัญในชา ได้แก่ theanine, caffeine, ascorbic acid, (2)-epicatechin, (2)-epigallocatechin, (2)-epicatechin gallate and (2)-epigallocatechin gallate โดยทำการศึกษาในชา 3 ชนิดได้แก่ ชาเขียว ชาอูหลง และชาดำ ซึ่งพบว่าเทคนิคนี้สามารถวิเคราะห์ปริมาณสารที่ต้องการได้ และมีความรวดเร็วในการวิเคราะห์ มีความสะดวกในเรื่องของเวลา และแรงงาน ผลจากการวิเคราะห์เทคนิคนี้พบว่ามีความสำคัญ สามารถใช้ในการประเมินคุณภาพของชา (โดยเฉพาะอย่างยิ่งชาเขียว) และลักษณะเฉพาะของใบชาสด

2.9.7 บทบาทของสารต้านอนุมูลอิสระต่อสุขภาพ

ร่างกายมนุษย์สามารถเกิดอนุมูลอิสระได้จากปัจจัยทั้งภายในร่างกาย เช่น การเผาผลาญของร่างกาย การออกกำลังกาย และความเครียด และปัจจัยภายนอกในร่างกาย เช่น การอักเสบ การติดเชื้อ รังสีอัลตราไวโอเล็ตและแสงแดด เป็นต้น ซึ่งอนุมูลอิสระเหล่านี้เป็นสารไม่เสถียร มีพลังงานสูง เป็นผลทำให้เกิดการทำงานของเซลล์ผิดปกติ ร่างกายจึงเกิดโรคและพยาธิสภาพต่างๆ อาทิ เกิดการอักเสบ ผื่นง่หงุดหงิดแฉ่งตัว การทำลายเนื้อเยื่อ เกิดความชราและความเสื่อมของเซลล์ เป็นต้น

ร่างกายจำเป็นต้องมีระบบต้านอนุมูลอิสระเพื่อรักษาและป้องกันตนเอง เพื่อให้โครงสร้างและหน้าที่ของเซลล์ภายในร่างกายทำงานได้อย่างปกติ สารต้านอนุมูลอิสระเป็นสารที่สามารถป้องกันไม่ให้เกิดโรคที่เกิดจากความเสียหายของเซลล์ที่เกิดจากกระบวนการทางร่างกายตามธรรมชาติและจากการสัมผัสกับสารเคมีบางชนิด หลักฐานทางระบาดวิทยายังคงความรู้พื้นฐานว่าสารต้านอนุมูลอิสระสามารถช่วยป้องกันหรือมีผลต่อการพัฒนาของโรค นอกจากนี้ยังพบว่าสารต้านอนุมูลอิสระอาจมีบทบาทในการควบคุมโรคเบาหวานได้ด้วย สารต้านอนุมูลอิสระเป็นเป้าหมายหลักในการโจมตีของอนุมูลอิสระ ดังนั้นสารต้านอนุมูลอิสระจำเป็นต้องมีการสร้างขึ้นมาทดแทนหรือต้องได้รับจากอาหาร ในที่นี้จะกล่าวถึงภาพรวมทั่วไปของสารต้านอนุมูลอิสระที่มีความสำคัญต่อสุขภาพ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการบริโภคต่อไป

2.9.7.1 บทบาทต่อการต้านอนุมูลอิสระและภาวะเครียด

โดยทั่วไปสิ่งมีชีวิตจะมีกระบวนการรักษาสมดุลระหว่างการสร้างและทำลายอนุมูลอิสระที่ร่างกายสร้างขึ้น เช่น อนุมูลอิสระกลุ่มไนโตรเจน (reactive nitrogen species; RNS) และอนุมูลอิสระกลุ่มออกซิเจน (reactive oxygen species) เป็นต้น เมื่อร่างกายอยู่ในสภาวะเครียดจะมีการสร้างอนุมูลอิสระเกิดขึ้น โดยไมโทคอนเดรียจะเป็นแหล่งของอนุมูลอิสระหลายชนิด เช่น ซูเปอร์ออกไซด์ (O_2^-) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) และอนุมูลอิสระไฮดรอกซิล (HO^\cdot) ภายใต้สภาวะปกติของการกำจัดอนุมูลอิสระจะถูกควบคุมโดยเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ เช่น ซูเปอร์ออกไซด์ดีสมิวเตส กลูตาไธโอนเปอร์ออกซิเดสและแคตาเลส แต่ในกรณีที่อยู่ในสภาวะเครียดเป็นระยะเวลานาน อนุมูลอิสระเหล่านี้สามารถออกซิไดซ์กรดไขมันภายในเยื่อหุ้มเซลล์เกิดเป็นอนุมูลอิสระลิพิดเปอร์

ออกซิเดชัน ความเสียหายที่เกิดขึ้นภายในเยื่อหุ้มเซลล์สามารถขยายไปสู่องค์ประกอบอื่นๆ ภายในเซลล์ได้ ซึ่งกระบวนการเหล่านี้ อาจทำให้เกิดการทำงานผิดปกติหรือการตายของเซลล์ได้ สภาวะดังกล่าวจะส่งผลให้สารชีวโมเลกุลอื่นๆ เกิดความเสียหายตามไปด้วย โดยสารชีวโมเลกุลที่เป็นเป้าหมาย ได้แก่ ดีเอ็นเอ โปรตีน และลิพิด นอกจากนี้จะมีผลเสียต่อโมเลกุลที่เป็นองค์ประกอบของเซลล์และส่งผลทำให้เซลล์เสียหายแล้ว ในทางตรงกันข้ามอนุมูลอิสระเหล่านี้ยังมีความสำคัญกับกระบวนการทางชีววิทยาของเซลล์และการรักษาภาวะธำรงดุล (homeostasis) ของร่างกายด้วย เช่น การสร้างอนุมูลอิสระกลุ่มออกซิเจนของเซลล์เม็ดเลือดขาวที่ทำหน้าที่เก็บกินสิ่งแปลกปลอม (phagocytic cells) ในการป้องกันร่างกาย (defense mechanism) ของโฮสต์เซลล์ต่อการติดเชื้อ (combat infection) นอกจากนี้การสร้างอนุมูลอิสระกลุ่มออกซิเจนในไซโทพลาสซึม (cytosolic ROS) ยังมีผลต่อการควบคุมการแบ่งเซลล์ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าอนุมูลอิสระที่ร่างกายสร้างขึ้นภายในเซลล์ (intracellular) มีผลต่อเซลล์ของร่างกาย 2 ประการ คือ การทำให้เซลล์เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างภายในเซลล์และทำหน้าที่กระตุ้นให้เกิดสัญญาณการทำงานภายในเซลล์ ซึ่งทั้ง 2 กลไกนี้มีผลทำให้เกิดกิจกรรมภายในเซลล์สูงขึ้นและพัฒนาไปสู่การเกิดโรคต่างๆ

สารต้านอนุมูลอิสระเป็นสารที่สามารถทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระได้โดยตรงเพื่อหยุดปฏิกิริยาหรือกำจัดอนุมูลอิสระให้หมดไป การได้รับสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์หรือจากอาหาร เช่น ผัก ผลไม้ และสมุนไพร ซึ่งมีสารพอลิฟีนอล ฟลาโวนอยด์ วิตามินซีและวิตามินอีเป็นองค์ประกอบในการต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งจะช่วยลดหรือป้องกันการทำลายสารชีวโมเลกุลจากอนุมูลอิสระดังกล่าวได้

2.9.7.2 บทบาทต่อการเกิดออกซิเดชันของไลโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำ (LDL)

การเกิดภาวะเครียดส่งผลต่อการเกิดออกซิเดชันของโมเลกุลของไขมันได้ โดยเฉพาะไลโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำ (LDL) สามารถเกิดขึ้นได้กับหลายส่วนของเซลล์ โดยตำแหน่งแรกที่เกิดออกซิเดชัน คือ บริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ ซึ่งปัจจัยที่ทำให้เกิดภาวะดังกล่าวมาจากอนุมูลอิสระที่ร่างกายสร้างขึ้นมาหรือได้รับจากภายนอก การเกิดออกซิเดชันของ LDL จะส่งผลต่อการทำลาย endothelial cell โดยเม็ดเลือดขาวชนิดโมโนไซต์ (monocyte) และลิมโฟไซต์ (lymphocyte) จะทำปฏิกิริยากับ LDL ที่ถูกออกซิไดซ์ เกิดเป็น foam cell ส่งผลให้เซลล์เกิดการดำเนินงานผิดปกติและเป็นสาเหตุต่อการเกิดหลอดเลือดหัวใจตีบตัน (atherosclerosis) ได้

การได้รับสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ เช่น สารพอลิฟีนอลจะมีบทบาทในการเพิ่มความคงตัวของไขมันและ LDL โดยทำหน้าที่ในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันผ่านกระบวนการจับกับอนุมูลอิสระแอลคอกซิลและเพอร์ออกซิล (Zhang *et al.*, 2000) ได้ทำการให้กรดพาราควมาริกกับหนูทดลอง พบว่าการที่หนูได้รับสารต้านอนุมูลอิสระคือ กรดพาราควมาริก ปริมาณ 137 มิลลิกรัมต่อวันเป็นเวลา 30 วัน สามารถยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของ LDL ได้อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ยังพบว่าสามารถลดระดับ LDL ในซีรัมลงได้อีกด้วย แต่จะไม่ส่งผลต่อปริมาณไลโปโปรตีนความหนาแน่นสูง (HDL)

2.9.7.3 บทบาทต่อการป้องกันหลอดเลือดหัวใจตีบตันและโรคหัวใจ (atherosclerosis and cardiovascular disease)

โรคหัวใจและหลอดเลือดเป็นกลุ่มโรคที่เป็นปัญหาสำคัญทางด้านสาธารณสุขของทั่วโลก เนื่องจากเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้คนทั่วโลกเสียชีวิตถึงปีละกว่า 17 ล้านคน (กระทรวงสาธารณสุข, 2554) หลอดเลือดหัวใจตีบตัน เป็นภาวะที่เกิดจากเส้นเลือดที่ไปเลี้ยงหัวใจมีการตีบหรือตัน เป็นผลจากภาวะความเครียดและการเกิดออกซิเดชันของ LDL ภายในเซลล์ ทำให้ไขมันเกิดการสะสมที่ผนังด้านในของหลอดเลือด โรคดังกล่าวมีพยาธิสภาพทำให้ผนังหลอดเลือดหนาตัวขึ้น แข็ง เปราะ และแคบลง ส่งผลให้ปริมาณของเลือดไหลได้ลดลง แต่มีความดันเพิ่มขึ้น ส่งผลให้กล้ามเนื้อหัวใจเกิดภาวะขาดเลือดไปเลี้ยง ถ้าเป็นรุนแรงก็จะเกิดภาวะกล้ามเนื้อหัวใจตายขึ้น การได้รับอาหารที่มีสารต้านอนุมูลสูงจะลดการเกิดออกซิเดชันดังกล่าวได้ ซึ่งสารต้านอนุมูลอิสระที่ละลายได้ในไขมันจะสามารถยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของ LDL ได้ดีกว่าสารต้านอนุมูลอิสระที่ละลายในน้ำ

ส่วนโรคหัวใจขาดเลือด (coronary vascular disease) เกี่ยวข้องกับการชราภาพ (aging) การอักเสบ การติดเชื้อ การสูบบุหรี่และภาวะเครียด ซึ่งภาวะอักเสบเรื้อรังเป็นแหล่งของอนุมูลอิสระซึ่งส่งผลกระตุ้นเซลล์เม็ดเลือดขาว ทำให้อนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นในลักษณะเป็นลูกโซ่ โรคหัวใจชนิดนี้มีความเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างของไขมัน คอเลสเตอรอล และไลโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำ ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการทำให้เกิดภาวะโรคหัวใจขาดเลือด

Dauchet *et al.* (2006) ได้แสดงให้เห็นว่าการบริโภคผักที่เป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระมีการลดความเสี่ยงของโรคหลอดเลือดหัวใจลงได้ร้อยละ 4 นอกจากนี้ยังพบว่าวิตามินซีสามารถช่วยลดปัจจัยเสี่ยงจากโรคแทรกซ้อนของโรคหัวใจได้

2.9.7.4 บทบาทต่อการป้องกันโรคมะเร็ง (anti-cancer)

โรคมะเร็งหรือเนื้องอก (malignant neoplasm) เป็นลักษณะการจำลองดีเอ็นเอที่ไม่มีการควบคุมและการแบ่งเซลล์ของเซลล์ที่ผิดปกติไปสู่การพัฒนาและ/หรือแพร่กระจายของเซลล์มะเร็งที่รุกรานและทำลายเนื้อเยื่อที่อยู่ติดกับเลือดหรือระบบน้ำเหลือง การแพร่กระจายของเซลล์มะเร็งเริ่มจากการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายผิดปกติและการควบคุมการแสดงออกของยีน มีการเปลี่ยนแปลงของยีนที่ควบคุมการเติบโตของเซลล์และสร้างเซลล์ที่มีความแตกต่างกัน ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงจากเนื้องอกกลายเป็นมะเร็งต่อไป โรคมะเร็งเป็นโรคที่มีความเฉพาะของบุคคลอย่างมาก ในอัตราการเจริญและจุดเริ่มต้นจะขึ้นอยู่กับแต่ละบุคคล

เซลล์ในร่างกายจากอนุมูลอิสระโดยการสร้างอนุมูลออกไซด์ดีคิสมิวเตสหรืออนุมูลที่ฟังก์ชันไทโอน การได้รับสารต้านอนุมูลอิสระจะช่วยในการป้องกันการเกิดมะเร็งมากกว่าผลในทางการแพทย์ นอกจากนี้ยังพบว่าวิตามินอีและวิตามินซี ช่วยในการป้องกันการเกิดผลข้างเคียงจากกระบวนการรักษามะเร็ง (เคมีบำบัดและฉายรังสี) อีกด้วย (Borek, 2004)

2.9.7.5 บทบาทต่อโรคเบาหวาน (diabetes)

ผู้ป่วยที่เป็นโรคเบาหวานส่วนใหญ่ พบว่าจะเป็นโรคเบาหวานชนิดที่สองเป็นหลัก ซึ่งสาเหตุเกิดจากการขาดฮอร์โมนอินซูลินหรือการทำงานของฮอร์โมนบกพร่อง สารต้านอนุมูลอิสระมีบทบาทในการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของอินซูลินหรือรักษาระดับน้ำตาลในเลือด โดยการทำงานมีความเกี่ยวข้องกับอนุมูลที่ออกซิไดซ์คาร์โบไฮเดรตในร่างกาย และสารต้านอนุมูลอิสระยังสามารถกระตุ้นให้ระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือดลดลงได้ด้วย นอกจากนี้การที่มีไขมันสะสมในกล้ามเนื้อจะนำไปสู่การเกิดภาวะต้านฤทธิ์ของอินซูลิน (insulin resistance) โดยไปรบกวนความสามารถในการ

เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันในเซลล์กล้ามเนื้อ การทดลองโดยการกระตุ้นให้เกิดโรคเบาหวานโดยใช้สารแอลลือกแซนจะถูกเปลี่ยนเป็นกรดไดอะลูริก (dialuric acid) และเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ออนุมูลไฮดรอกซิลแอลลือกแซน ซึ่งจะไปทำลายเบต้าเซลล์ในตับอ่อนและกระตุ้นให้เกิดโรคเบาหวานขึ้น การได้รับสารต้านอนุมูลอิสระจากภายนอกเข้าไป เช่น เอนไซม์ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเตส เอนไซม์คะตาเลสหรือโธไอยูเรียจะสามารถลดผลของยาแอลลือกแซนลงได้

จากการศึกษาในสัตว์ทดลองพบว่า สารต้านอนุมูลอิสระในชาเขียวจะสามารถลดการเกิดไกลเคชัน (การทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลกลูโคสกับฮีโมโกลบิน) และทำให้อินซูลินทำงานได้ดีขึ้น นอกจากนี้ ยังพบว่าการบริโภคผักและผลไม้สามารถลดภาวะการเกิดออกซิเดชันและการอักเสบในผู้ป่วยเบาหวานได้ การศึกษาระบาดวิทยายังแสดงให้เห็นว่าการบริโภคผักสีเขียวจะสามารถป้องกันการเกิดโรคเบาหวานได้ โดยพบว่าการบริโภคผักและผลไม้จำนวนมากเป็นประจำสามารถลดอัตราเสี่ยงการเป็นโรคเบาหวานได้มากกว่าสองเท่า

2.9.7.6 บทบาทต่อการลดการอักเสบในร่างกาย

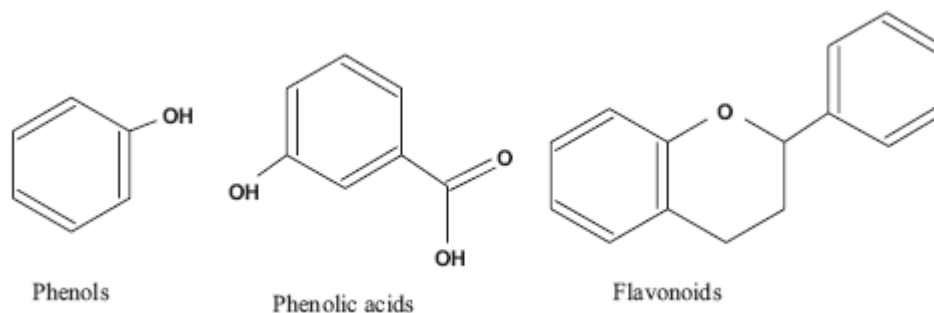
การอักเสบเฉียบพลันเป็นพยาธิสภาพที่เกิดขึ้นทั่วไป ประกอบด้วยหลายขั้นตอนทางชีวเคมีชีววิทยา และเกี่ยวข้องกับระบบเลือด การอักเสบเป็นปฏิกิริยาตอบสนองที่ซับซ้อนของเนื้อเยื่อต่อสิ่งแปลกปลอมและต่อเซลล์หรือเนื้อเยื่อที่เสียหายหรือตายลง ซึ่งเป็นการทำลายที่เกิดเนื่องจากเซลล์ในกลุ่มเซลล์ฟาโกไซติก (phagocytic cell) ทำให้เกิดการทำลายเนื้อเยื่อปกติไปด้วย และเป็นกลไกพื้นฐานของโรคอีกหลายชนิด การได้รับสารต้านอนุมูลอิสระจะช่วยให้การลดการอักเสบได้ดี เป็นที่รู้จักกันว่าเคอราเซทินที่พบในผักและผลไม้ มีความสามารถในการต้านการอักเสบที่ดี (Read, 1995; Orsolic *et al.*, 2004) โดยสามารถยับยั้งระดับของ LPS-induced mRNA ของ cytokines 2 ชนิดได้ คือ TNF- α และ IL-1 α (Bureau *et al.*, 2008)

2.9.7.7 บทบาทในด้านอื่นๆ

นอกจากบทบาทในด้านสุขภาพที่กล่าวมาแล้ว สารต้านอนุมูลอิสระยังมีบทบาทในด้านอื่นๆ อีกด้วย เช่น การต่อต้านเชื้อแบคทีเรีย (Cushnie and Lamb, 2005) การยับยั้งการสะสมไขมันภายในหลอดเลือด (de Whalley *et al.*, 1990; Perez-Vizcaino *et al.*, 2006) การลดระดับความดันโลหิต (Perez-Vizcaino *et al.*, 2006; Duarte *et al.*, 2001) เป็นต้น

2.10 สารประกอบฟีนอลิก

สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds) หรือสารประกอบฟีนอล เป็นสารที่พบตามธรรมชาติในพืชหลายชนิด เช่น ผัก ผลไม้ เครื่องเทศ สมุนไพร ถั่วเมล็ดแห้ง เมล็ดธัญพืช ซึ่งถูกสร้างขึ้นเพื่อประโยชน์ในการเจริญเติบโต สารประกอบฟีนอลมีโภชนเภสัช ซึ่งสรรพคุณที่ดีต่อสุขภาพคือ มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) สามารถละลายได้ในน้ำ สารประกอบฟีนอล มีสูตรโครงสร้างทางเคมีเป็นวงแหวนที่เป็นอนุพันธ์ของวงแหวนเบนซีน มีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH group) อย่างน้อยหนึ่งหมู่ต่ออยู่สารประกอบฟีนอลพื้นฐาน คือ สารฟีนอล (phenol) ในโมเลกุลประกอบด้วยวงแหวนเบนซีน 1 วง และหมู่ไฮดรอกซิล 1 หมู่ ดังภาพที่ 2.15



ภาพที่ 2.15 โครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิก

2.10.1 ประโยชน์สารประกอบฟีนอลิก

2.10.1.1 ประโยชน์ต่อสุขภาพ สารประกอบฟีนอลิกหลายชนิดมีฤทธิ์เป็นสารต้านออกซิเดชัน (antioxidant) ยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันและเป็นสารต้านการกลายพันธุ์ (antimutagens) มีสรรพคุณที่ดีต่อสุขภาพ สามารถการป้องกันโรคต่างๆ โดยเฉพาะโรคหัวใจขาดเลือด และมะเร็ง โดยสารประกอบฟีนอล จะทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระ (free radical) และไอออนของโลหะที่สามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและโมเลกุลอื่นๆ โดยใช้ตัวเองเป็นตัวรับอนุมูลอิสระ (free radical) ทำให้ยับยั้งปฏิกิริยาลูกโซ่ ที่มีอนุมูลอิสระเป็นสาเหตุ แต่สารต้านอนุมูลอิสระจะถูกทำลายไปด้วย

2.10.1.2 ใช้เพื่อการถนอมอาหาร โดยใช้เป็นสารกันหืน ป้องกันปฏิกิริยาการออกซิเดชันของลิพิด (lipid oxidation)

2.11 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กุลยา จันทร์อรุณ (2545) ได้ทำการศึกษากรรมวิธีการผลิตชาสมุนไพร พบว่า ความชื้นของชาทุกชนิดมีความชื้นต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน คือ 10% โดยชาเขียวใบสละระแหงมีความชื้นสูงสุด 9.60% ส่วนชาผงใบเตยมีความชื้นต่ำสุด 2.44% และชาสมุนไพรทุกชนิดมีแทนนิน โดยฟ้าทะลายโจรมีตัวแทนนินสูงสุด 20.96% ส่วนชาผงใบเตยมีปริมาณแทนนินน้อยที่สุด 8.41% ซึ่งแทนนินจะทำให้ชาสมุนไพรมีรสฝาดแทนชาจากใบชาได้ ชาทุกชนิดที่วิเคราะห์จะมีกลิ่นหอมและมีกลิ่นน้ำมันหอมระเหยเฉพาะตัวทำให้หอมกลิ่นชาสมุนไพรเฉพาะตัวแตกต่างกัน

วิไล ไชยมาส และคณะ (2007) ได้ทำการศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชาสมุนไพรจากผักหวานบ้าน พบว่า มีค่าสี (L^* , a^* และ b^*) ปริมาณความชื้นและปริมาณเถ้าทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ส่วนปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและค่าความเป็นกรดต่างไม่แตกต่างกัน ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านการยอมรับโดยรวม พบว่า ผู้ทดสอบให้การยอมรับชาใบผักหวานที่ใช้เวลาคั่ว 20 นาที และอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยมีค่าสี (L^* , a^* และ b^*) เท่ากับ 35.34, -0.73 และ 19.10 ตามลำดับ

สุนันทา คະเนนออก (2556) ได้ทำการศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชาเปลือกกล้วยน้ำหว่าเพื่อสุขภาพ พบว่า กล้วยน้ำหว่าห่ามอายุ 3 วันหลังจากตัดกล้วยดิบ จะมีรสฝาดเล็กน้อยเมื่อนำมาผลิตชาจะได้ผงชาสีน้ำตาลอ่อนกล้วยน้ำหว่าสุก มีรสหวานสีน้ำตาลอ่อน เหมาะสมกับการผลิตชาผู้วิจัยจึงเลือกเปลือกกล้วยที่ตัดมาแล้ว 3 วันมาทำการอบในอุณหภูมิ 60 องศา เซลเซียส นาน 3 ชั่วโมงโดย

เปลือกกล้วยมีลักษณะแห้งและน้ำหนักเบา เมื่อคำนวณหาค่าความชื้นให้มีความชื้นร้อยละ 10 ของน้ำหนัก การยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) สูตรผงชาเปลือกกล้วย 2 กรัม ผู้บริโภคให้การยอมรับมากที่สุด (ด้านสี 5.10 ด้านกลิ่น 5.17 ด้านรสชาติ 4.93 ด้านเนื้อสัมผัส 4.80 และความชอบโดยรวม 4.90

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และคณะ (2555) ได้ทำการศึกษาการพัฒนากระบวนการผลิตต้นแบบชาสมุนไพรคุณภาพสูง ในระดับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม พบว่า การทำแห้งตะไคร้ ใบเตย และดอกอัญชันด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส สามารถอธิบายอัตราส่วนความชื้นและเวลาในการทำแห้งตะไคร้และใบเตยได้ด้วยแบบจำลองของเพจ (Page model) ในขณะที่ดอกอัญชันสามารถอธิบายได้ด้วยแบบจำลองของลอการิทึม (Logarithmic model) การทำแห้งตะไคร้และใบเตยแบบ 2 ขั้นตอน เพื่อปรับปรุงคุณภาพของชาสมุนไพร ขั้นตอนแรก อบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนกระทั่งวอเตอร์แอกติวิตี (a_w) ของสมุนไพรเท่ากับ 0.7 ตามด้วยการทำแห้งโดยการดูดซับความชื้นด้วยซิลิกาเจล จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ ไอโซเทอมการดูดซับความชื้นของชาสมุนไพรที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และแบบ 2 ขั้นตอน สามารถอธิบายได้ด้วยแบบจำลองของแกบ (GAB model) และนำมาใช้ในการทำนายอายุการเก็บของชาสมุนไพรที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์แบบต่างๆ

นันทชนก นันทะไชย และคณะ (2556) ได้ทำการศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของชาชงจากเปลือกส้มโอ พบว่า การหมักเปลือกส้มโอเป็นเวลา 1 ชั่วโมง มีค่าการต้านอนุมูลอิสระอยู่ระหว่าง 61.74-62.15% สูงกว่าการหมักเปลือกส้มโอเป็นเวลา 3 ชั่วโมงอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) อย่างไรก็ตามเวลาการนวดและอุณหภูมิการอบไม่มีผลต่อการต้านอนุมูลอิสระของชาเปลือกส้มโอ การทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่า ชาเปลือกส้มโอที่ใช้เวลาการนวด 20 นาที เวลาการหมัก 1 ชั่วโมง และอุณหภูมิการอบที่ 50 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มได้รับการยอมรับมากที่สุด โดยมีคะแนนความชอบด้านสี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม คือ 7.20, 6.77, 6.43 และ 6.97 ตามลำดับ

อรพิน นิยมญาติ (2545) ได้ทำการศึกษาการผลิตชาสมุนไพรจากพืช 11 ชนิด พบว่าชาสมุนไพรสูตรที่ 8 ใบหม่อน 270 กรัม ใบเตย 30 กรัม มีค่าผลการประเมินด้านประสาทสัมผัสและคะแนนสูงสุด รองลงมา คือ สูตรที่ 6 ตะไคร้ 270 กรัม ใบเตย 30 กรัม สูตรที่ 10 กระชายดำ 270 กรัม ใบเตย 30 กรัม สูตรที่ 1 มะตูม 270 กรัม ใบเตย 30 กรัม สูตรที่ 2 ขิง 270 กรัม ใบเตย 30 กรัม สูตรที่ 3 กระจับแดง 270 กรัม ใบเตย 30 กรัม สูตรที่ 7 หนุ่ยป่ากิ้ง 270 กรัม ใบเตย 30 กรัม สูตรที่ 4 หนุ่ยหวดแมว 270 กรัม ใบเตย 30 กรัม สูตรที่ 5 ขี้เหล็ก 270 กรัม ใบเตย 30 กรัม และสูตรที่ 9 รวงจืด 270 กรัม ใบเตย 30 กรัม ตามลำดับ

ธนพล กิจพจน์ และคณะ (2550) ได้ทำการศึกษาผลของการชงชาต่อคุณภาพของสีและการยอมรับของผู้บริโภคของชาเขียวและชาสมุนไพรเขียวกู่หลาน พบว่า การชงชาเขียวที่เหมาะสมซึ่งผู้บริโภคให้การยอมรับมากที่สุด คือใช้อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 1 นาที โดยมีค่าคะแนนความชอบโดยรวม, ความชอบด้านสี, กลิ่น, กลิ่นรส และความรู้สึกล้นหลังกลืน เท่ากับ 5.24, 5.26, 5.98, 5.48 และ 5.50 ตามลำดับ และมีค่า L^* , a^* , b^* และ (ΔE) เท่ากับ 83.56, -3.56, 48.89 และ 51.26 ตามลำดับ เช่นเดียวกันชาสมุนไพรเขียวกู่หลานการชงที่ผู้บริโภคให้การยอมรับมากที่สุด คือใช้อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 1 นาที โดยมีค่าคะแนนความชอบโดยรวม, ความชอบด้านสี

กลิ่น, กลิ่นรส และความรู้สึกลังกลิ่น เท่ากับ 5.72, 5.03, 5.13, 5.58 และ 5.63 ตามลำดับ และมีค่าสี L^* , a^* , b^* และ (ΔE) เท่ากับ 90.96, -6.06, 22.85 และ 24.58 ตามลำดับ

นฤทธิ วาดเขียน และคณะ (2557) ได้ทำการศึกษากระบวนการผลิตชาเขียวต่อคุณภาพของชา พบว่า การใช้ตู้อบลมร้อน อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมงเป็นกระบวนการที่ทำให้ได้ชาเขียวที่มีคุณภาพดีที่สุด ($P < 0.05$) จากนั้นศึกษา ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH scavenging activity พบว่าชาเขียวมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 45 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 2.89%