บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

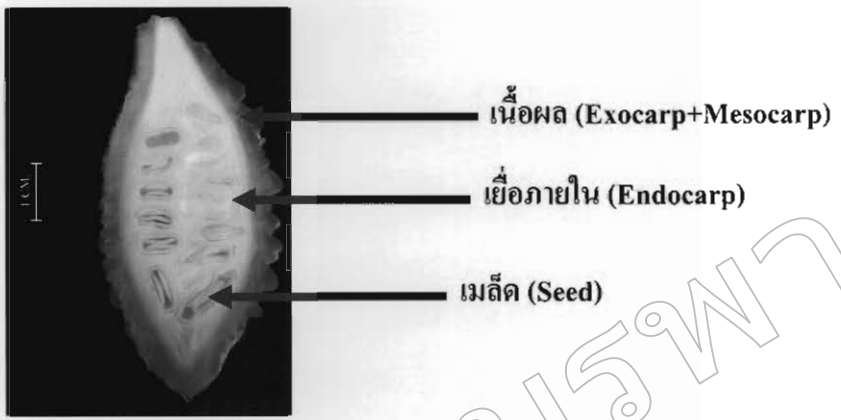
มะระ (*Momordica charantia* Linn.)

มะระเป็นพืชล้มลุกอยู่ในวงศ์ Cucurbitaceae มีถิ่นกำเนิดในทวีปแอฟริกา (45 สายพันธุ์) และทวีปเอเชีย (4-7 สายพันธุ์) (Robinson & Decker-Walters, 1997) ซึ่งแต่ละประเทศจึงมีชื่อเรียกมะระที่แตกต่างกัน เช่น Bitter Gourd, Bitter Cucumber และ Balsam Pear (ประเทศอังกฤษ) Paroka (ประเทศฝรั่งเศส) Pari และ Pare (ประเทศอินโดนีเซีย) และ Mreah (ประเทศกัมพูชา) เป็นต้น ในประเทศไทยนิยมปลูกมะระอยู่ 2 สายพันธุ์ คือ มะระจีน (Chinese Bitter Cucumber หรือ Bitter Melon) และมะระขี้นก (Thai Bitter Cucumber หรือ Bitter Ground) ลักษณะทั่วไปของต้นมะระ คือ เป็นพืชเถาเลื้อย อายุ 1 ปี มีมือเกาะยึดพยุงลำต้นให้พันขึ้นค้าง ใบเดี่ยวรูปฝ่ามือ ดอกสีเหลืองมีกลีบดอก 5 กลีบ ดอกเป็นดอกไม่สมบูรณ์เพศ ดอกตัวผู้ และ ตัวเมียอยู่คนละต้น (ธวัช ลวะเปารยะ, 2543; วีณา เชิดบุญชาติ และวชิรพงศ์ หวลบุตตา, 2543; นิดดา หงษ์วิวัฒน์, ทวีทอง หงษ์วิวัฒน์ และสุภาพรรณ เยี่ยมชัยภูมิ, 2548; สุธาทิพ ภมรประวัติ, 2550)

ผลมะระขี้นก มีลักษณะปรากฏทั่วไปเป็นสีเขียวเข้ม (Exocarp+Mesocarp) รูปร่างคล้ายกระสวย ผิวขรุขระ มีความยาว 6-7.5 เซนติเมตร และมีรสชาติขม (ภาพที่ 2-1) (ปัทมา สุนทรศารทูล, 2541) ผลอ่อนของมะระขี้นกจะมีสีขาว ผลแก่มีสีเขียว และผลสุกมีสีแดงหรือ สีแดงอมส้ม ลักษณะปรากฏภายในของผลอ่อนจะประกอบด้วยเยื่อหุ้มเมล็ด (Endocarp) และเมล็ดรูปไข่ (Seed) ซึ่งมีสีขาวนวล เปลือกของเมล็ดมีลักษณะอ่อนสามารถตัดได้ง่าย และภายในเมล็ดมีน้ำใส ๆ ลักษณะคล้ายวุ้น (ภาพที่ 2-2) สำหรับผลสุกจะมีส่วนเปลือกสีแดงหุ้มภายนอกเมล็ด ส่วนของเมล็ดมีเปลือกแข็งสีน้ำตาลตัดได้ยาก (ภาพที่ 2-3)

ภาพที่ 2-1 ลักษณะปรากฏของผลมะระขี้นก

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 2-2 ลักษณะปรากฏภายในผลอ่อนของมะระขี้นก

ภาพที่ 2-3 ลักษณะปรากฏภายในผลสุกของผลมะระขี้นก

มะระขี้นกเป็นผักพื้นบ้านที่มีคุณสมบัติเป็นพืชสมุนไพร (Medicinal Plant) เป็นพืชที่ปลูกง่ายให้ผลผลิตตลอดปี หรือ เจริญได้เองตามธรรมชาติ และสามารถนำมาบริโภคได้ทั้งยอดอ่อน ผลอ่อน และ ใบ (ธวัช ลวะเปารยะ, 2543) สำหรับคนไทยนิยมนำมะระขี้นกมาเป็นผักลวกจิ้มน้ำพริก และใช้เป็นส่วนผสมในอาหารหลายประเภท เช่น แกงลาว (ยอดอ่อน และใบ) และแกงจืด (ผลอ่อน) เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจากมะระขี้นกเป็นผักที่ให้รสชาติขมเป็นที่พึงพอใจของผู้บริโภค นอกจากนี้ ผลมะระขี้นกยังมีคุณค่าทางโภชนาการที่ดี (ตารางที่ 2-1) ซึ่งในปัจจุบันนิยมนำผลมะระขี้นกมาแปรรูปเป็นเครื่องดื่มสมุนไพร เพราะเคยมีรายงานที่เสนอว่า ผลมะระขี้นกมีสารโพลีเพปไทด์พี (Polypeptide-P) และ ชาร์แรนตีน (Charantine) ซึ่งมีสมบัติในการลดระดับน้ำตาลในเลือด เหมาะสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวาน (ภัทราพร ตั้งสุขฤทัย, 2547) รวมทั้งมีรายงานการศึกษาที่แสดงให้เห็นว่า ผลมะระขี้นกมีฤทธิ์ทางชีวภาพที่สามารถกำจัดอนุมูลดีพีพีเอช (DPPH) และอนุมูลไฮดรอกซิล ($^{\bullet}OH$) (Scartezzini & Speroni, 2000; Kubola & Siriamornpun, 2008) และ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ยังพบสารประกอบฟีโนลิกจำพวกกรดคลอโรจีนิก (Chlorogenic acid) เมื่อวิเคราะห์โดยโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถภาพสูง (พิชญ์อร ไหมสุทธิสกุล, 2548) สำหรับผลมะระสุก พบสารประกอบซาโปนิน (Saponin) ที่ทำให้คลื่นไส้ อาเจียน ซึ่งไม่ควรนำผลมะระขี้นกสุกมาบริโภค อย่างไรก็ตามเมล็ดของมะระขี้นกยังเป็นที่สนใจของนักวิทยาศาสตร์จำนวนมาก เนื่องจากมีโปรตีนชนิด Momordica anti-HIV protein, 30 KDa หรือ MAP 30 (30 KDa) ซึ่งเป็นสารออกฤทธิ์ต้านการติดเชื้อเอชไอวี (HIV-1 Infection) (ปัทมา สุนทรศารทูล, 2541)

ตารางที่ 2-1 องค์ประกอบทางเคมี (ส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม) ของผลมะระขี้นก (กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, 2527)

ชนิดขององค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณที่พบ
ความชื้น (%)	94.2
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	2.2
โปรตีน (กรัม)	1.2
ไขมัน (กรัม)	0.4
ใยอาหาร (กรัม)	1.2
เถ้า (กรัม)	0.8
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	3
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	5
เหล็ก (มิลลิกรัม)	0.2
ไนอะซิน (มิลลิกรัม)	0.4
วิตามินเอ (I.U.)	2,924
วิตามินบี1 (มิลลิกรัม)	0.09
วิตามินบี2 (มิลลิกรัม)	0.05
วิตามินซี (มิลลิกรัม)	190

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ประโยชน์ และ สรรพคุณทางยาของผลมะระขี้นก (อรุณี ฉัตร์ธนะกุล, 2535; ปัทมา สุนทรศารทูล, 2541; วีณา เชิดบุญชาติ และวชิรพงศ์ หวลบุตตา, 2543; Scartezzini & Speroni, 2000)

1 ผลอ่อน นิยมนำมาแปรรูปเป็นอาหารโดยการต้ม ลวก หรือตากแห้ง สำหรับเนื้อมะระตากแห้งสามารถแปรรูปต่อไปเป็นชามะระ หรือปั่นเนื้อมะระเพื่อนำส่วนของน้ำที่ได้มาดื่ม ก็ได้สรรพคุณทางยาจะใช้รักษาอาการดับม้ามพิการ บำรุงน้ำดี รักษาลมเข้าข้อ และรักษาอาการปวดบวมที่เข่า ลดน้ำตาลในเลือด เนื่องจากสารสำคัญที่พบในผลมะระ ได้แก่ สารโพลีเปปไตด์พี และสารชาร์แรนติน สามารถกระตุ้นการหลั่งของฮอร์โมนอินซูลิน รวมทั้งต้านเชื้อไวรัส และ ต้านมะเร็ง เป็นต้น

2 เมล็ด นิยมแปรรูปเป็นเมล็ดแห้ง เพื่อนำมาต้มน้ำดื่ม มีรสชาติขม ใช้ขับพยาธิตัวกลม สารสำคัญที่พบในเมล็ดมะระ ได้แก่ โปรตีนหลายชนิด เช่น มอมอร์ดิน (Momordin; 24 KDa) แอลฟา และเบต้า-มอมอร์ชาริน (α,β -Momorcharin; 32, 29 KDa) (Leung, Yeung, & Leung, 1987) มอมอร์ดิโคไซด์ เอ และบี (momordicosides A และB) (Zhu, Zhong, Luo, & Xiao, 1990) พีอินซูลิน (p-Insulin; 11 KDa) และMAP 30 (30 KDa) (กัญจน์ ศิลป์ประสิทธิ์, 2547; Lee-Huang, Huang, Chen, Huang, Bourinbaiar, Huang, & Kung, 1995; Bourinbaiar & Lee-Huang, 1995)

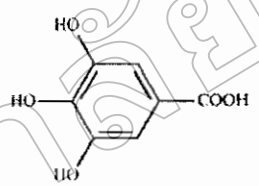
สารประกอบฟีโนลิก (Phenolic Compound)

สารประกอบฟีโนลิกเป็นสารกลุ่มใหญ่ ที่สามารถพบได้ทั่วไปในพืชทุกชนิด และมีบทบาทสำคัญในการทำให้เกิดสี และรสชาติในผัก และผลไม้ รวมถึงเป็นส่วนที่สำคัญต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตจากพืช คล้ายกับเนื้อเยื่อของพืชที่มีกลไกการทำงานในการต้านภาวะที่เกิดจากการติดเชื้อจากแมลง และจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค และภาวะเครียดที่เกิดจากสิ่งแวดล้อม เช่น รังสีอัลตร้าไวโอเล็ต อุณหภูมิ และมลพิษทางอากาศ (Friedman, 1997; Horax, Hettiarachchy, & Islam, 2005) โครงสร้างทั่วไปของสารประกอบฟีโนลิก คือ วงอะโรมาติก ที่เรียกว่า วงเบนซีน (Benzene Ring, C6) และมีหมู่แทนที่เป็นหมู่ไฮดรอกซิล (OH-Group) อย่างน้อย 1 หมู่จับที่วงแหวน จัดเป็นสารเมทาบอไลซ์ทุติยภูมิ (Secondary Metabolites) โดยทั่วไปสารประกอบฟีโนลิกจะมีฤทธิ์เป็นกรด เนื่องจากความสามารถในการแตกตัวในธรรมชาติของหมู่ไฮดรอกซิล (โอภา วัชระคุปต์ และคณะ, 2549; อรสา สุริยาพันธ์, ม.ป.ป.) สารประกอบฟีโนลิกหลายชนิดมีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งส่วนใหญ่ละลายได้ในน้ำ หรือตัวทำละลายอินทรีย์ และในพืชแต่ละชนิดจะมีสารประกอบฟีโนลิกที่แตกต่างกัน ส่วนใหญ่ประกอบด้วยกรดฟีโนลิก (Phenolic acid) กรดเบนโซอิก (Benzoic acid) ฟลาโวนอยด์ (Flavonoid) ฟีนิลโพรพานอยด์ (Phenylpropanoid)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

แทนนิน (Tannin) ลิกแนน (Lignan) และลิกนิน (Lignin) (ศิวาพร ศิวเวชช, 2529; Horax et al., 2005)

สารประกอบฟีโนลิกประกอบด้วย 2 กลุ่มย่อย คือ กรดไฮดรอกซีเบนโซอิก (Hydroxybenzoic acid) และกรดไฮดรอกซีซินนามิก (Hydroxycinnamic acid) หรือ ฟีนิลโพรพานอยด์ (Phenylpropanoids) (อรสา สุริยาพันธ์, ม.ป.ป.) โครงสร้างหลักของกรดไฮดรอกซีเบนโซอิก คือ C_6-C_1 ชนิดที่พบได้ทั่วไปในผัก ผลไม้ คือ กรดเจนติสติก (Gentistic acid) และกรดแกลลิก (Gallic acid) (Komutarin, 2003) แสดงดังภาพที่ 2-4

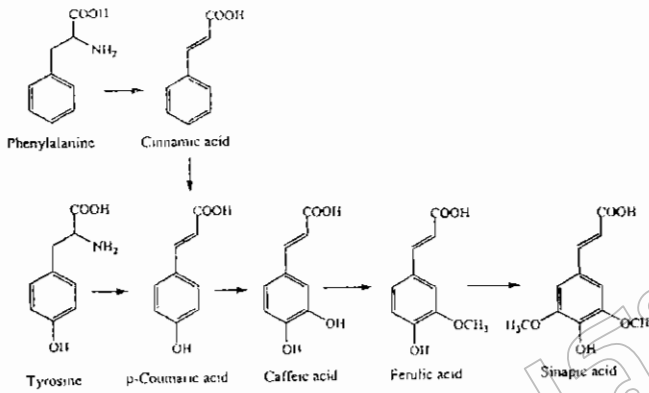


ภาพที่ 2-4 โครงสร้างทั่วไปของกรดแกลลิก (Wang & Mazza, 2002)

มีรายงานว่า กรดแกลลิกเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระ และการต้านการเกิดมะเร็งที่ดี (Kawada, Ohno, Ri, Ikoma, Yuugetu, Asai, Watanabe, Yasuda, Akao, Takemura, Minatoguchi, Gotoh, Fujiwara, & Fukuda, 2001; Yilmaz & Toledo, 2004) โดยพบว่า กรดแกลลิกสามารถลดการมีชีวิตของเซลล์มะเร็งจากตับหนูที่ทำในหลอดทดลองเมื่อใช้ในความเข้มข้นที่สามารถยับยั้งเซลล์มะเร็งได้ 50 เปอร์เซ็นต์ (IC50) มีค่าการยับยั้งที่ 200 ไมโครโมล และกรดแกลลิกมีฤทธิ์ทำงานร่วมกับยาต้านมะเร็ง เช่น คิสปาติน (Cisplatin) ที่มีอิทธิพลต่อมะเร็งตับ (Kawada et al., 2001) กรดแกลลิกเป็นตัวกลางในการขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของดีเอ็นเอในเซลล์ที่ความเข้มข้นต่ำ (Fan & Lou, 2004) และสามารถต้านการเพิ่มจำนวนของเซลล์มะเร็ง Caco-2 Human Colon (Caco-2 Cells) และเซลล์มะเร็งจากตับหนู WB-F344 (WB Cells) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ Dulbecco's Modified Eagle Medium (DMEM) (Lee, Hur, Lee, & Lee, 2005)

ฟีนิลโพรพานอยด์เป็นสารสังเคราะห์ที่ได้จากกระบวนการทางชีวเคมีของกรดอะมิโน เช่น แอล-ฟีนิลอะลานีน (L-Phenylalanine) หรือแอล-ไทโรซีน (L-Tyrosine) ผ่านวิถีเพนโทสฟอสเฟต (Pentose Phosphate Pathway) หรือวิถีชิกิเมท (Shikimate Pathway) หรือวิถีฟีนิลโพรพานอยด์ (Phenylpropanoid Pathway) แสดงดังภาพที่ 2-5

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 2-5 วิถีการสังเคราะห์สารกลุ่มฟีนิลโพรพานอยด์ในพืช (โอภา วัชระคุปต์ และคณะ, 2549)

สารที่พบได้ทั่วไปใน ผัก ผลไม้ คือ กรดคลอโรจีนิก (Chlorogenic acid) มีการรายงานว่ากรดคลอโรจีนิกเป็นกรดที่มีความสำคัญต่อกระบวนการเผาผลาญอาหารของพืช (Huang, Smart, Wong, & Conney, 1988; Jiang, Kusama, Satoh, Takayama, Watanabe, & Sakagami, 2000) และช่วยในการยับยั้งเกิดเนื้องอกในหนูได้ 60 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้กรดคลอโรจีนิกในปริมาณ 10 ไมโครโมล ทำงานร่วมกับ 12-*O*-tetradecanoylphorbol-13-acetate (TPA) 5 นาโนโมล (Huang et al., 1988) รวมทั้งยังช่วยยับยั้งการเกิดเนื้องอกภายในช่องปากของมนุษย์ได้จากการทดลองในหลอดทดลอง (Jiang et al., 2000)

1. สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีโนลิก (วิวัฒน์ หวังเจริญ, 2545)

สารประกอบฟีโนลิกมีสมบัติในการเป็นตัวที่ให้อิเล็คตรอนที่ดี เมื่อเข้าทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระจะเกิดเป็นอนุมูลฟีนอคซี (Phenoxy Radical) ซึ่งเป็นโมเลกุลที่มีความเสถียร เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงของตำแหน่งของอิเล็คตรอนคู่โดดเดี่ยว ในปัจจุบันนิยมใช้สารประกอบฟีโนลิกจากผัก และผลไม้ ในการป้องกันโรคต่าง ๆ โดยเฉพาะ การลดความดันโลหิต มะเร็ง และการป่วยที่มีผลต่อหัวใจ และหลอดเลือด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Shahidi, 1997; Beecher, 1999; Rice-Evans, 1999; Wang & Mazza, 2002; Pongnikorn, Fongmoon, Kasinrerk, & Limtrakul, 2003; Fu, 2004; Fouad, 2005; Hsu, Sheu, Liaw, Wang, & Lin, 2005; Kim, Jun, Jeong, & Chung, 2005; Hounsome, Hounsome, Tomos, & Edwards-Jones, 2008) สารประกอบฟีโนลิกทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระ และไอออนของโลหะที่สามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน และโมเลกุลอื่น ๆ โดยการให้อะตอมไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระอย่างรวดเร็ว ดังปฏิกิริยาต่อไปนี้

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

$$ROO^{\bullet} + PPH \longrightarrow ROOH + PP^{\bullet}$$

$$RO^{\bullet} + PPH \longrightarrow ROH + PP^{\bullet}$$

เมื่อสารประกอบฟีโนลิกให้อะตอมไฮโดรเจนกับอนุมูลอิสระแล้ว อนุมูลอิสระของสารประกอบฟีโนลิกจะมีความเสถียร จึงไม่ทำปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่นต่อไป ยิ่งไปกว่านั้น อนุมูลอิสระของสารประกอบฟีโนลิกบางชนิดยังสามารถรวมตัวกับอนุมูลอิสระอื่นได้อีก ทำให้สารประกอบฟีโนลิกเหล่านั้นสามารถลดจำนวนอนุมูลอิสระลงได้ถึง 2 เท่า ดังปฏิกิริยาต่อไปนี้

$$ROO^{\bullet} + PP^{\bullet} \longrightarrow ROOPP$$

$$RO^{\bullet} + PP^{\bullet} \longrightarrow ROPP$$

อย่างไรก็ตามความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีโนลิกยังขึ้นอยู่กับระบบด้วย ด้วยเหตุนี้การศึกษา หรือ เปรียบเทียบคุณสมบัติดังกล่าวจึงจำเป็นต้องระบุรายละเอียดของระบบให้ชัดเจน โดยเฉพาะอย่างยิ่งสับสเตรทที่เป็นเป้าหมายของระบบ นอกจากนี้ยังพบว่า ในภาวะที่มีสารประกอบฟีโนลิกความเข้มข้นสูง ค่าพีเอชสูง และมีเหล็กอยู่ด้วยนั้น เป็นตัวเริ่มต้นของกระบวนการออกซิเดชันได้

สารประกอบฟีโนลิกที่ถูกพบว่ามีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน คือ วิตามินอี ส่วนสารประกอบฟีโนลิกอื่น ๆ ที่กำลังได้รับความสนใจอย่างมาก คือ ฟลาโวนอยด์ (ได้แก่ ฟลาโวน ฟลาโวนอล ไอโซฟลาโวน คาเดชิน ฟลาโวโนน และชาลโคน) (Gary, 1999) ซึ่งสามารถพบฟลาโวนอยด์ ได้ในเกือบทุกส่วนของพืช และพืชที่มีสีเขียวทั่วไป

2. ความคงตัวของสารประกอบฟีโนลิกในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Doğan & Salman, 2007)

ความคงตัวของสารประกอบฟีโนลิกในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระนั้นขึ้นกับปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโมเลกุลสารประกอบฟีโนลิก ได้แก่

- กลุ่มของไฮดรอกซิลในแต่ละตำแหน่งของสารประกอบฟีโนลิก ซึ่งมีบทบาทต่อคุณสมบัติของการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกลุ่มของไฮดรอกซิ ที่มีผลต่อสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีโนลิกด้วยเช่นกัน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

- การใช้อุณหภูมิสูงในระหว่างการแปรรูป ส่งผลให้โมเลกุลเล็ก ๆ ของสารประกอบฟีโนลิก ระเหยกลายเป็นไอ และระเหยไปพร้อมกับไอน้ำ

- แสงแดดเป็นปัจจัยที่เร่งการสลายตัว หรือการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสารประกอบฟีโนลิก เช่น กลุ่มของไฮดรอกซิลที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 5 ในโมเลกุลของแอนโทไซยานินสามารถเรืองแสง และไวต่อการสลายตัวเมื่อโดนแสงแดด นอกจากนี้ความร้อนของแสงแดดยังเป็นปัจจัยเร่งให้เกิดการสลายตัวของสารประกอบฟีโนลิกด้วย

- ในสภาวะที่มีเอนไซม์โพลีฟีโนโลซิเดส (polyphenoloxidase) อยู่สามารถเร่งการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบฟีโนลิกบางชนิดให้เร็วขึ้น ด้วยอัตราการเร่งปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน

- สารประกอบฟีโนลิกสามารถรวมตัวกับโมเลกุลอื่น ๆ เช่น โปรตีน โพลีแซคคาไรด์ อัลคาลอยด์ และแอนโทไซยานินได้ง่าย ทำให้เกิดมีการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้าง และสูญเสียสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้ การเกิดปฏิกิริยาเป็นแบบผันกลับได้หรือแบบผันกลับไม่ได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ในขณะที่เกิดปฏิกิริยา เช่น ออกซิเจน ไอออนโลหะ เอนไซม์ และกรด ที่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมดุลของปฏิกิริยา เช่น ทำให้สารประกอบในภาวะสมดุลรวมตัวกัน และตกตะกอนแยกออกมา หรือ เกิดพันธะโควาเลนท์รวมกันเป็นสารใหม่ ส่งผลให้ปฏิกิริยาไม่สามารถผันกลับได้

วิธีการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีโนลิกทั้งหมด

1. การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีโนลิกทั้งหมดโดยการใช้สารประกอบฟอลินซิโอแคลตู (Folin-Ciocalteu's method) (ประพันธ์ ปิ่นศิโรดม และวันทนีย์ ช้างน้อย, 2545; อรสา สุริยาพันธ์, ม.ป.ป.)

สารประกอบฟีโนลิกเมื่อทำปฏิกิริยากับ Phosphomolybdic/Phosphotungstate acid complex ที่มีใน Folin-Ciocalteu's Reagent ในสภาวะที่เป็นด่าง จะได้เป็นสารเชิงซ้อนสีน้ำเงิน ที่สามารถวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ เทียบกับกราฟมาตรฐานของสารละลายสารประกอบฟีโนลิกทั้งหมดที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน จึงสามารถวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีโนลิกทั้งหมดในตัวอย่างได้

สารประกอบฟีโนลิกที่นิยมใช้เป็นสารอ้างอิงสำหรับวิธีนี้ ได้แก่ กรดแกลลิก กรดคลอโรจินิก และกรดเฟอร์รูลิก ซึ่งการใช้กรดแกลลิกเป็นสารอ้างอิง หน่วยของปริมาณสารประกอบฟีโนลิกทั้งหมด ต้องแสดงในเทอมของ GAE หรือ Gallic acid equivalent หรือมิลลิกัมของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัด (mg of Gallic acid/g of Extract; in GAE) แต่ถ้าใช้กรดคลอโรจินิกเป็นสารอ้างอิง หน่วยของปริมาณสารประกอบฟีโนลิกทั้งหมด ต้องแสดงในเทอม

ของ CAE หรือ Chlorogenic acid equivalent หรือมิลลิกัมของกรดคลอโรจีนิกต่อกรัมของสารสกัด (mg of Chlorogenic acid/g of Extract; in CAE) (Horax et al., 2005)

2. การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีโนลิกโดยวิธีโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถภาพสูง (Larson, Tingstad, & Swadesh, 2001)

เทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถภาพสูง เป็นเทคนิคสำหรับแยกสารประกอบที่ผสมในตัวอย่าง โดยกระบวนการแยกสารประกอบจะเกิดขึ้นระหว่างเฟส 2 เฟส คือ เฟสอยู่กับที่ (Stationary Phase) กับเฟสเคลื่อนที่ (Mobile Phase) สารจะถูกแยกออกมาในเวลาที่ต่างกัน โดยสารผสมที่อยู่ในตัวอย่างจะถูกแยกได้นั้นขึ้นกับความสามารถในการเข้ากันได้ดีของสารนั้นกับเฟสเคลื่อนที่ หรือเฟสอยู่กับที่ ซึ่งสารประกอบที่เข้ากันได้ดีกับเฟสเคลื่อนที่ จะเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์ได้เร็ว และสารนั้นจะถูกแยกออกมาก่อน ส่วนสารที่เข้ากันได้ดีกับเฟสอยู่กับที่ จะเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์ได้ช้า และถูกแยกออกมาทีหลัง โดยสารที่ถูกแยกออกมาได้จะถูกตรวจวัดสัญญาณด้วยตัวตรวจวัด (Detector) สัญญาณที่บันทึกได้จากตัวตรวจวัดจะมีลักษณะเป็นพีค เรียกว่าโครมาโตแกรม โดยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถภาพสูง สามารถทดสอบได้ทั้งเชิงคุณภาพ และทดสอบเชิงปริมาณ โดยการเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน

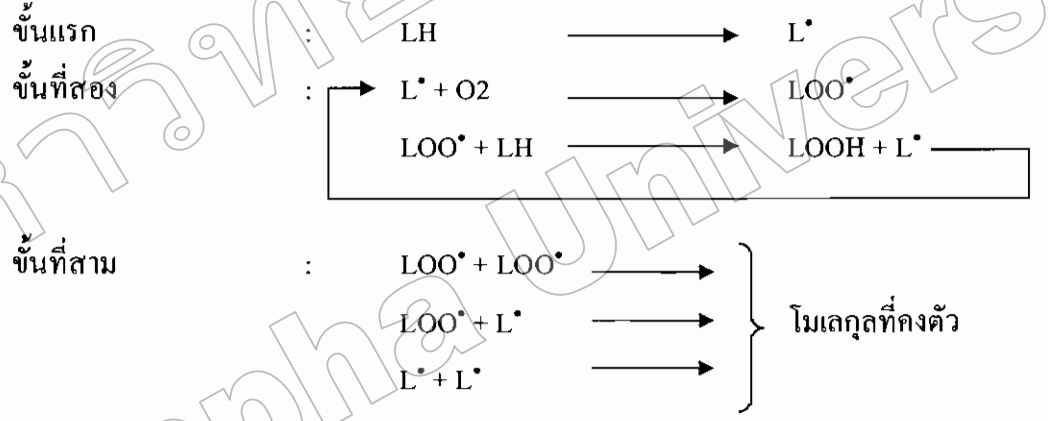
การแยกสารที่มีสมบัติเป็นของเหลว (Liquid Chromatography) แบบปิด เป็นการแยกสารผสมโดยผ่านคอลัมน์ที่มีลักษณะเป็นท่อสแตนเลส (Stainless Steel Column) ที่มีขนาดความยาว 15-50 เซนติเมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1-4 มิลลิเมตร และสามารถทนต่อความดันสูงได้ ในการแยกจะใช้ความสามารถในการละลาย และการดูดซับที่แตกต่างกันของสารตัวอย่าง ที่ทำให้เคลื่อนที่ผ่านตัวดูดซับด้วยความเร็วต่างกัน เป็นผลทำให้สามารถแยกสารผสมออกจากกันได้ ข้อดีของเทคนิคนี้ คือ สามารถแยกสารผสมได้ในเวลาที่รวดเร็ว เป็นการแยกที่มีประสิทธิภาพ และมีความไวสูง โดยสารที่เป็นตัวนำจะมีขนาดที่ลดลง และสามารถทนต่อความดันสูงได้ โดยการใช้ความดันสูงเพื่อให้การไหลของตัวพาเร็วขึ้น

อย่างไรก็ตามขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างก่อนการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีโนลิกทั้งหมด มีความสำคัญต่อปริมาณที่วิเคราะห์ได้เช่นกัน โดยทั่วไปนิยมใช้ เมทานอลที่ความเข้มข้น 80 เปอร์เซ็นต์ เป็นตัวสกัดสารประกอบฟีโนลิกออกจากตัวอย่าง และการผสมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ ในเมทานอลที่ความเข้มข้น 80 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับการสกัดที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้อง เช่น 60 องศาเซลเซียส พบว่า ให้ปริมาณสารประกอบฟีโนลิกสูงขึ้น

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

อนุมูลอิสระ (Free Radical)

อนุมูลอิสระเป็นโมเลกุล หรืออะตอมที่มีอิเล็คตรอนเดี่ยว โคจรอยู่รอบวงนอกสุดที่มีระดับพลังงานสูงอยู่ในออร์บิทอลหนึ่งตัว หรือหลายตัวต่อหนึ่งออร์บิทอล อนุมูลอิสระจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีการแตกตัวออกของพันธะระหว่างอะตอม เหลือแต่อิเล็คตรอนเดี่ยวบนออร์บิทอล และทำให้โมเลกุลอยู่ในสภาวะไม่เสถียร และจะหาทางจับคู่กับอิเล็คตรอนเดี่ยวอื่น หรือทำปฏิกิริยากับอะตอมของธาตุอื่นเสมอ ดังนั้นจึงทำปฏิกิริยากับโมเลกุลที่อยู่รอบ ๆ โดยการให้ หรือรับอิเล็คตรอนกับโมเลกุลที่อยู่ข้างเคียง เพื่อให้เกิดความเสถียร โดยที่โมเลกุลที่สูญเสีย หรือรับอิเล็คตรอนไปนั้นจะกลายเป็นอนุมูลอิสระแทน และทำปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่นต่อไปเกิดเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ (Chain Reaction) (วัลลภ วีชะรังสรรค์ และปราณีต โอปณะโสภิต, 2547) แต่ยกเว้นเฉพาะโมเลกุลที่ไม่เสถียรสองโมเลกุลมาเจอกันก็สามารถรวมกันเป็นโมเลกุลที่มีความเสถียรได้ดังสมการต่อไปนี้ (นวลศรี รักอริยะธรรม และอัญชนาเจนวิถีสุข, 2545; Shahidi, 1997)



อนุมูลอิสระมีทั้งที่อยู่ในสภาวะที่เป็นกลางทางไฟฟ้า และในสภาวะที่เป็นประจุไฟฟ้า ซึ่งมีลักษณะที่เป็นประจุบวก และประจุลบ โดยสัญลักษณ์ทางเคมีของอนุมูลอิสระ แสดงอิเล็คตรอนเดี่ยวของอนุมูลด้วยจุดในตำแหน่งข้างบนของสัญลักษณ์ทางเคมี เช่น อนุมูล $A^{\bullet}$ อนุมูล $A^{-\bullet}$ และอนุมูล $A^{+\bullet}$ (โอภา วัชระคุปต์, ปรีชา บุญจูง, จันทนา บุณยะรัตน์ และมาลีรักษ์ อัตต์สินทอง, 2549)

อนุมูลอิสระธรรมชาติที่สำคัญมาก คือ ออกซิเจนซึ่งมีปริมาณ 21 เปอร์เซ็นต์ในบรรยากาศ และอนุมูลไฮดรอกซิล ($OH^{\bullet}$) ซึ่งเป็นอนุมูลอิสระที่มีความสำคัญทางชีวภาพ เช่น ในเม็ดเลือดขาวใช้ทำลายสารแปลกปลอม และเชื้อโรค แต่หากอนุมูลอิสระมีปริมาณที่มากเกินไป อาจเป็นโทษต่อเซลล์ได้ เช่น ทำให้มีการอักเสบ และเซลล์ตาย หลังจากที่มีการติดเชื้อ เป็นต้น

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

(ไมตรี สุทธจิตต์, อุดมภัณฑ์ ขาลสุวรรณ, ศิริวรรณ สุทธจิตต์, ปกฤษฎางค์ แก้วสุริยะ และภัคสิริ สินไชยกิจ, 2543)

สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant)

สารต้านอนุมูลอิสระเป็นกลุ่มของสารที่ให้ผลกำจัด เมื่อให้ในปริมาณที่ต่ำกับสารออกซิแดนท์(Oxidants Oxidizable Substances) หรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันอย่างมีนัยสำคัญ (วัลลภ วีชะรังสรรค์ และปราณีต โอปณะโสภิต, 2547) โดยทั่วไปร่างกายมนุษย์สามารถผลิตสารต้านอนุมูลอิสระได้ปริมาณหนึ่ง และใช้ทำลายโมเลกุลที่เป็นต้นเหตุการเกิดของอนุมูลอิสระ เป็นการทำงานที่ต้องใช้เอนไซม์ หรือไม่ต้องใช้เอนไซม์ก็ได้ สำหรับนิยามทางเคมีสารต้านอนุมูลอิสระ คือ สารประกอบที่ป้องกัน หรือชะลอการเกิดกระบวนการออกซิเดชันได้

1. กลไกการต้านอนุมูลอิสระ

สารต้านอนุมูลอิสระสามารถทำลายอนุมูลอิสระได้โดยกระบวนการให้ หรือรับอิเล็คตรอนกับอนุมูลอิสระ ที่ทำให้ปฏิกิริยาลูกโซ่สิ้นสุดลง โดยที่สารต้านอนุมูลอิสระต้องไม่กลายเป็นอนุมูลอิสระเมื่อทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระ เนื่องจากมีความคงตัวทั้งในรูปอิเล็กตรอนครบ และ อิเล็กตรอนขาด หรือเกิน กลไกการต้านอนุมูลอิสระแบ่งได้เป็นสองกลไกตามลักษณะการออกฤทธิ์ของสารต้านอนุมูลอิสระ คือ ฤทธิ์ป้องกันอนุมูลอิสระ (Preventive Antioxidant Activity) และฤทธิ์กำจัดอนุมูลอิสระ (Free-Radical Scavenging Antioxidant Activity)

2. สารกำจัดอนุมูลอิสระที่ได้จากธรรมชาติ (นวลศรี รักอริยะธรรม และอัญชนา เจนวิถีสุข, 2545)

โดยปกติแล้วอนุมูลอิสระถูกสร้างขึ้นตลอดเวลาโดยกระบวนการทางชีวเคมีของเซลล์ เนื่องจากในร่างกายของมนุษย์มีก๊าซออกซิเจนที่ได้จากกระบวนการหายใจ ทำให้ผนังเซลล์สัมผัสกับก๊าซออกซิเจนตลอด เมื่อกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบของไขมันบนผนังเซลล์ทำปฏิกิริยากับอนุพันธ์ของออกซิเจนจึงเกิดเป็นอนุมูลอิสระขึ้น แต่หากร่างกายมีอนุมูลอิสระมากขึ้นจนเกินความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระที่สามารถกำจัดได้ จึงจำเป็นต้องพึ่งสารต้านอนุมูลอิสระจากภายนอกเข้าที่สามารถพบได้จากอาหารที่บริโภคเข้าไปมาช่วยในการกำจัดอนุมูลอิสระ สารต้านอนุมูลอิสระที่พบในอาหารมีหลายชนิดจนไม่สามารถระบุชี้ชัดลงไปได้ว่าสารต้านอนุมูลอิสระชนิดไหนดีที่สุดในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และมักต้องทำงานร่วมกัน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

วิธีการวิเคราะห์ความสามารถรวมในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Total Antioxidant Capacity; TAC)

ในร่างกาย หรือเซลล์มีอนุมูลอิสระเกิดขึ้นได้หลายชนิด จึงต้องมีระบบป้องกัน และควบคุมไม่ให้มีอนุมูลอิสระมากเกินสมดุลที่จะทำให้เกิดอันตรายได้ ดังนั้นการหาความสามารถรวมในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ จึงทำได้โดยการวิเคราะห์จากการส่งผ่านอิเล็คตรอนเดี่ยว (Electron Transfer; ET หรือ SET) เช่น วิธี TEAC (Trolox Equivalent Antioxidant Capacity) (โอภา วัชระคุปต์ และคณะ, 2549)

วิธี TEAC เป็นวิธีการเปรียบเทียบสารต้านอนุมูลอิสระกับโทรล็อก (Trolox; 6-hydroxyl-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid) โดยใช้ปฏิกิริยาที่มีความสามารถในการส่งผ่านอิเล็คตรอนไปรีดิวซ์สารอื่น ดังนี้

1. การใช้อนุมูล ABTS (2,2'-azino-bis(3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid)

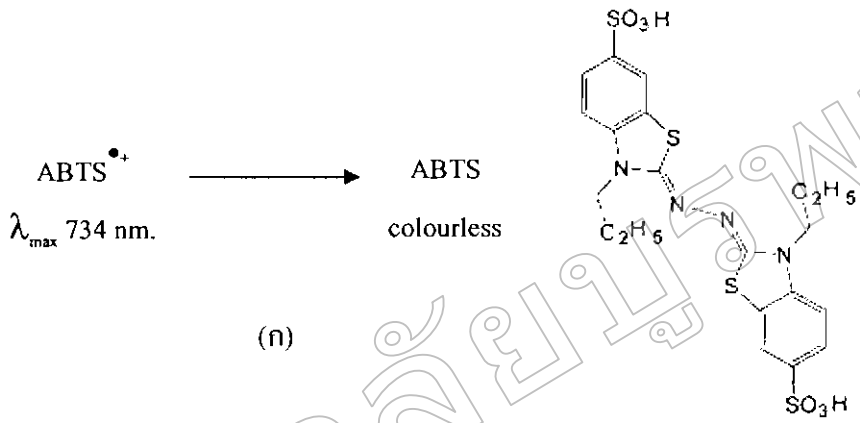
การใช้อนุมูล ABTS เป็นวิธีการวัดความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ $ABTS^{\bullet+}$ ที่มีความคงตัว อาศัยหลักการที่ว่า ABTS ถูกออกซิไดซ์โดยอนุมูลเปอร์ออกซีเกิดเป็นอนุมูลที่เป็นประจุบวก $ABTS^{\bullet+}$ และมีสี และเมื่อเติมสารต้านอนุมูลอิสระลงไปจะทำให้สารละลายมีสีที่ซีดลง ผลการวิเคราะห์สามารถคำนวณเป็นค่าที่สัมพันธ์กับสารกำจัดอนุมูลมาตรฐานโทรร็อก ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของวิตามินอีที่สามารถละลายน้ำได้ (Sánchez-Moreno, 2002)

วิธี TEAC เป็นวิธีที่พัฒนามาจากการใช้เมทไมโอโกลบินกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ทำปฏิกิริยากันจนเกิดเป็นอนุมูลเฟอร์ริลไมโอโกลบิน ทำปฏิกิริยากับ ABTS ให้เป็นอนุมูล $ABTS^{\bullet+}$ ที่มีสี ที่สามารถวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 415 นาโนเมตร และ734 นาโนเมตร ภาพที่ 2-6 แสดงการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลงของ $ABTS^{\bullet+}$ จากค่าควบคุมที่ไม่ได้เติมสารที่ใช้ในการทดสอบ

ปัจจุบันมีการนำสารอื่น เช่น แมงกานีสไดออกไซด์ หรือโปตัสเซียมเปอร์ซัลเฟต มาใช้ในการทำให้เกิดอนุมูล $ABTS^{\bullet+}$ และสามารถใช้วิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระที่ละลายได้ดีในลิปิด นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาวิธีการทำให้เกิด $ABTS^{\bullet+}$ โดยการใช้เอนไซม์เปอร์ออกซิเดสจากฮอสเรดิช ข้อดีของการใช้ ABTS ในการวิเคราะห์ คือ สามารถทำได้ง่าย เนื่องจากอนุมูล $ABTS^{\bullet+}$ สามารถทำปฏิกิริยากับสารต้านอนุมูลอิสระอย่างรวดเร็วภายในเวลา 30 นาที การวิเคราะห์ทำได้ในช่วงพีเอชที่กว้างทำให้สามารถศึกษากลไกได้โดยละเอียด รวมถึงใช้วิเคราะห์หาความสามารถในการต้าน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ออกซิเดชันของสารต่าง ๆ ได้ไม่ว่าสารนั้นจะเป็นสารที่ละลายได้ในน้ำ หรือสารที่ละลายได้ในลิปิด เนื่องจากอนุมูล $ABTS^{\bullet+}$ ละลายได้ทั้งในน้ำ และในตัวทำละลายอินทรีย์



(ก)

ABTS

(ข)

ภาพที่ 2-6 (ก) การวัดค่าการดูดกลืนแสงของ $ABTS^{\bullet+}$ ที่ลดลงเมื่อวัดที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร

(ข) โครงสร้างของสาร ABTS (โอภา วัชระคุปต์ และคณะ, 2549)

2. การใช้อนุมูล DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl)

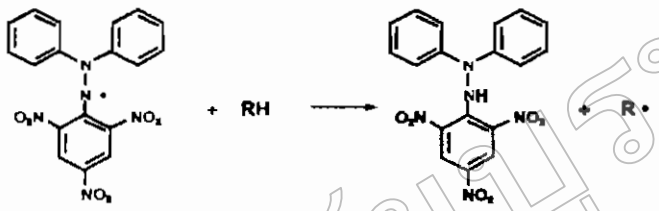
นิยมนำมาใช้ในการประเมินกิจกรรมของสารกำจัดอนุมูลอิสระที่ได้จากสารสกัดจากพืช และจุลินทรีย์ อนุมูล $DPPH^{\bullet}$ เป็นอนุมูลไนโตรเจนที่คงตัว มีสีม่วงอยู่ในรูปอนุมูลอยู่แล้ว โดยไม่ต้องทำปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดอนุมูลเหมือนกับอนุมูล $ABTS^{\bullet+}$ การวิเคราะห์ เป็นการวัดความสามารถในการรีดิวซ์ และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่เปลี่ยนแปลงไปของ DPPH (DPPH ดูดกลืนแสงได้ดีที่สุดที่ 517 นาโนเมตร) เมื่อทำปฏิกิริยากับสารที่มีสมบัติเป็นสารกำจัดอนุมูลอิสระ ค่าการดูดกลืนแสงของ DPPH จะลดลง เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลของสารต้านอนุมูลอิสระ และอนุมูลอิสระ โดยที่อนุมูลอิสระเมื่อได้รับไฮโดรเจนอะตอม (Hydrogen Atom) จะเกิดการเปลี่ยนแปลงสีของปฏิกิริยาจากสีม่วงเป็นสีเหลือง แสดงดังภาพที่ 2-7

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

$$DPPH^{\bullet} + (RH)_n \longrightarrow DPPH - H + (R^{\bullet})_n$$

$$DPPH^{\bullet} + R^{\bullet} \longrightarrow DPPH - R$$

$$R^{\bullet} + R^{\bullet} \longrightarrow RR$$



ภาพที่ 2-7 การเกิดปฏิกิริยาระหว่างอนุมูล $DPPH^{\bullet}$ กับสารกำจัดอนุมูลอิสระ (Prakash, 2001)

ปัจจุบันมีการใช้ $DPPH^{\bullet}$ หาความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ เรียกว่า Antiradical Efficiency (AE) โดยคำนวณจากสมการ

$$AE = 1/EC_{50}T_{EC\,50}$$

โดยที่ : EC_{50} = ความเข้มข้นของสารทดสอบที่สามารถลดปริมาณ $DPPH^{\bullet}$ เริ่มต้นลงได้ 50 %

$T_{EC\,50}$ = เวลาที่ใช้ในการลดปริมาณอนุมูลอิสระให้ได้ EC_{50}

ข้อดีของการใช้ $DPPH^{\bullet}$ คือ ใช้ได้ง่าย มีการใช้เครื่องมือโดยสามัญที่มีทั่วไป จึงนิยมใช้เป็นวิธีเบื้องต้นในการทดสอบฤทธิ์กำจัดอนุมูลอิสระของสารกำจัดอนุมูลอิสระตามธรรมชาติ ยกเว้นเฉพาะสารในกลุ่มแคโรทีนอยด์ที่มีการดูดกลืนแสงในขอบเขตเดียวกัน แต่มีข้อเสีย คือ อนุมูล $DPPH^{\bullet}$ มีความคงตัว ไม่ไวต่อปฏิกิริยาเหมือนอนุมูลที่เกิดในเซลล์ หรือร่างกาย ดังนั้นวิธีนี้จึงไม่สามารถแยกแยะ หรือจัดอันดับอนุมูลอิสระที่ความไวสูงได้ รวมถึงโครงสร้างทางเคมีของ $DPPH^{\bullet}$ เป็นลักษณะที่อิเล็คตรอนเดี่ยวของอนุมูลอิสระถูกบดบังด้วยวงเบนซีน 3 วง และหมู่ไนโตรเจน ทำให้สารกำจัดอนุมูลอิสระที่มีฤทธิ์แรงแต่มีขนาดใหญ่บางชนิดไม่สามารถเข้าไปทำปฏิกิริยากำจัดอนุมูลอิสระ หรือเกิดปฏิกิริยาช้ากว่าความเป็นจริง ทั้ง ๆ ที่สารต้านอนุมูลอิสระนั้นมีฤทธิ์ที่ดีในการกำจัดอนุมูลเปอร์ออกซี (โอภา วัชระคุปต์ และคณะ, 2549)

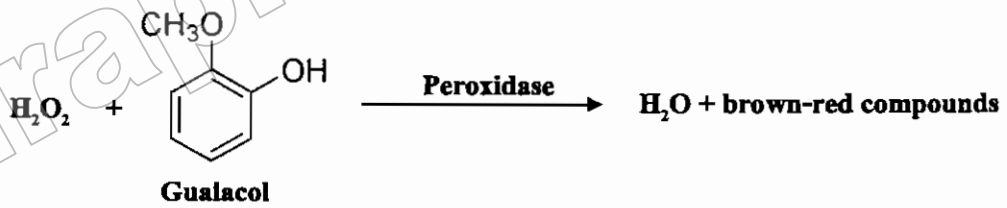
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ผลของการให้ความร้อนต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ

กระบวนการให้ความร้อนกับผลิตภัณฑ์อาหาร เป็นวิธีการปฏิบัติที่ใช้ในประกอบการปรุงอาหาร ที่จำเป็นต้องมีการควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งเป็นการช่วยให้อาหารปลอดภัย และ มีรสชาติที่ดีในการบริโภค กระบวนการให้ความร้อนกับผัก และผลไม้ถือเป็นการทำลายเอนไซม์ที่มีอยู่ในผักและผลไม้บางชนิดก่อนการแปรรูป หรือ เพื่อป้องกันการทำงานของเอนไซม์ในระหว่างการเก็บรักษา

เอนไซม์สำคัญที่ทำให้เกิดการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการในผัก และผลไม้ คือ โพลีฟีนอลออกซิเดส (Polyphenol Oxidase) ไลพอกซิจิเนส (Lipoxygenase) โพลิกาแลกทูโรเนส (Polygalactulonase) และคลอโรฟิลเลส (Chlorophillase) แต่เอนไซม์ที่พบว่าทนต่อความร้อนสูงในผักส่วนใหญ่มี 2 ชนิด คือ คะตะเลส (Catalase) และเปอร์ออกซิเดส (Peroxidase) ถึงแม้ว่าเอนไซม์ทั้ง 2 ชนิด ไม่ทำให้อาหารเสียในระหว่างการเก็บรักษา แต่สามารถเป็นตัวบ่งชี้ความสมบูรณ์ในการลวกได้ (วิไล รังสาคทอง, 2546) เนื่องจากเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสเป็นเอนไซม์ที่ทนความร้อนสูงที่สุดจากเอนไซม์ทั้งหมดที่พบในผัก และผลไม้ ดังนั้นจึงนิยมใช้เป็นดัชนีในการตรวจสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเอนไซม์ทั้งหมด (คณะกรรมการกลุ่มผลิตชุดวิชาการถนอมและการแปรรูปอาหาร, 2539)

เอนไซม์เปอร์ออกซิเดสมีคุณสมบัติที่สำคัญ คือ สามารถเร่งปฏิกิริยาการออกซิเดชันของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยมีตัวรับอิเล็กตรอนเป็นสารประกอบอื่นที่ไม่ใช่ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เช่น กัวไอคอล (Guaiacol) สมการแสดงดังภาพที่ 2-8



ภาพที่ 2-8 สมการการเกิดปฏิกิริยาการออกซิเดชันของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อกัวไอคอล (นันทิยา ปุคคละนันทน์, 2544)

จากสมการแสดงให้เห็นว่ากัวไอคอล (o-methoxyphenol) ถูกออกซิไดซ์โดยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ให้สีน้ำตาลแดง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

วิธีการให้ความร้อนผลิตภัณฑ์อาหาร

ขั้นตอนการให้ความร้อนเป็นขั้นตอนหนึ่งที่ใช้ในการเตรียมวัตถุดิบก่อนเข้าสู่ขั้นตอนต่อไป โดยกระบวนการให้ความร้อนที่นิยมใช้สำหรับผลิตภัณฑ์อาหาร แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

1. การให้ความร้อนในระดับการบริโภค

1.1 การให้ความร้อนโดยการใช้ไอน้ำร้อน (Steam)

จากการรายงานของ ชนาธิป ลอยกุลนันท์ (2541) พบว่า การใช้ไอน้ำร้อนเพื่อยับยั้งเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสกับข้าวโพดพันธุ์หวานพิเศษ และข้าวโพดข้าวเหนียวที่เวลา 8 นาที เป็นเวลาที่เหมาะสมที่สุดต่อการให้ความร้อนโดยใช้ไอน้ำร้อน และจากการรายงานของ Gliszczyńska-Swigto, Ciska, Pawlak-Lemańska, Chmielewski, Borkowski and Tyrakowska (2006) พบว่า การให้ความร้อนโดยใช้ไอน้ำร้อนกับผลบล็อคโคลี่มีผลทำให้ปริมาณสารประกอบฟีโนลิกมีปริมาณเพิ่มขึ้นมากกว่าผลบล็อคโคลี่สด และไอน้ำร้อนไม่มีผลต่อวิตามินซีที่มีในบล็อคโคลี่

1.2 การให้ความร้อนโดยการลวก (Blanch)

การลวกทำได้โดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ และเวลาที่ตั้งไว้ และทำให้เย็นโดยเร็วที่อุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้อง เพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ในผัก และผลไม้ก่อนการแปรรูป แต่สามารถทำให้คุณค่าของอาหารเสียไปด้วยเช่นกัน จากการรายงานของ Chuah et al. (2008) พบว่า การให้ความร้อนพริก 7 สายพันธุ์ โดยการต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที มีผลทำให้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบฟีโนลิก และวิตามินซี ลดลงกว่าตัวอย่างสดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) จากการรายงานของ Gliszczyńska-Swigto et al. (2006) พบว่า การให้ความร้อนโดยการลวกผลบล็อคโคลี่มีผลให้ปริมาณสารประกอบฟีโนลิก และวิตามินซีลดลงกว่าการให้ความร้อนโดยใช้ไอน้ำร้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) เนื่องมาจากการให้ความร้อนโดยการลวกทำให้ผนังเซลล์ของผัก และผลไม้ แตกตัว และเกิดการเสียสภาพ ที่มีอยู่ภายในผัก และผลไม้ จึงถูกน้ำเป็นตัวกลางในการพาออกมา

1.3 การให้ความร้อนโดยการต้ม (Boil)

การต้มเป็นวิธีการที่ช่วยชะลอการเสื่อมเสีย และช่วยทำลาย หรือลดจำนวนแบคทีเรียของอาหารได้ นอกจากนี้การต้มยังช่วยทำลายสารพิษที่มีอยู่ หรือที่จุลินทรีย์สร้างขึ้นได้อย่างดี ข้อเสียของการต้ม คือ ทำให้อาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงของสี รสชาติ และเนื้อสัมผัส รวมถึงเป็นการก่อให้เกิดการสูญเสียคุณค่าทางอาหารได้เช่นกัน จากการรายงานของ Chuah et al. (2008) พบว่า

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

การให้ความร้อนพริก (*Capsicum annum* L.) 7 สายพันธุ์ โดยใช้ไมโครเวฟ การผัด และการต้มด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที เมื่อเปรียบเทียบกับพริกสด พบว่าพริกที่เป็นผลสด และที่ผ่านการให้ความร้อนเป็นเวลา 5 นาที มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) แต่เมื่อผ่านความร้อนเป็นเวลา 30 นาที มีผลทำให้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบฟีโนลิก และวิตามินซี ลดลงกว่าตัวอย่างสดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) และวิธีการให้ความร้อนโดยใช้ไมโครเวฟ และการทอด ที่ไม่มีการใช้น้ำร่วมด้วย เป็นวิธีการให้ความร้อนที่มีความเหมาะสมสำหรับพริกมากกว่าการต้มที่มีการใช้น้ำร่วมด้วย

2. การให้ความร้อนในระดับอุตสาหกรรม

2.1 การให้ความร้อนโดยการอบไอน้ำภายใต้ความดัน (Autoclave Sterilization)

การให้ความร้อนโดยการอบไอน้ำภายใต้ความดัน หมายถึง กรรมวิธีฆ่าเชื้อด้วยความร้อนไม่ต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส และใช้เวลาที่เหมาะสม เพื่อทำลายจุลินทรีย์รวมทั้งสปอร์ทุกชนิด ทำลายเอนไซม์ทุกชนิด และเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา คือเก็บได้นานอย่างน้อย 3 เดือนในอุณหภูมิห้อง แต่สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนสี เปลี่ยนรสชาติ และเนื้อสัมผัสในอาหาร รวมถึงก่อให้เกิดการสูญเสียคุณค่าทางอาหารได้เช่นกัน โดยเฉพาะวิตามินซีที่มีในผัก และ ผลไม้ จากการรายงานของ Sun et al. (2007) พบว่า การให้ความร้อนด้วยวิธีการทำหน่อไม้ฝรั่งบรรจุกระป๋องที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยการอบไอน้ำภายใต้ความดันที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 17 นาที และทำให้เย็นทันทีโดยการแช่ในน้ำเย็นเป็นเวลา 10 นาที มีสารต้านอนุมูลอิสระต่ำกว่าการให้ความร้อนโดยใช้ไมโครเวฟ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) และหน่อไม้ฝรั่งบรรจุกระป๋องที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยการอบไอน้ำภายใต้ความดันมีแรงตัด (Shearing Force) ต่ำกว่าหน่อไม้ฝรั่งที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนถึง 8 เท่า และเนื้อสัมผัสของหน่อไม้ฝรั่งที่ผ่านการแปรรูปมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) ส่วนการทดสอบสอบค่าสีพบว่า หน่อไม้ฝรั่งที่ผ่านการให้ความร้อนโดยวิธีไมโครเวฟให้ค่าสี a* ที่แสดงถึงค่าความเป็นสีแดงในระบบ (Commission International de l'Eclairage; CIE) เป็นลบ คือมีค่าความเป็นสีเขียว มากกว่าหน่อไม้ฝรั่งบรรจุกระป๋องที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยสเตอริไรส์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

3. กระบวนการทำแห้ง

การทำแห้ง หรือ การกำจัดน้ำ (Drying) ที่มีอยู่ในอาหารมีความสำคัญ เนื่องจากเป็นวิธีถนอมอาหารที่ทำให้เก็บรักษาอาหารได้นานขึ้น โดยปราศจากการเน่าเสีย สาเหตุที่ทำให้อาหารเก็บได้นานขึ้นเมื่ออาหารผ่านการทำแห้ง เนื่องจากการน้ำที่จุลินทรีย์ใช้ในการดำรงชีวิตมีไม่พอต่อ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

กิจกรรมภายในเซลล์ ดังนั้นจึงชะลอการเจริญเติบโต การแบ่งเซลล์ และช่วยลดเอนไซม์ที่ไม่ต้องการที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของสารอาหารได้ วัตถุประสงค์ของการทำแห้ง คือ การยืดอายุการเก็บรักษาอาหาร โดยการลดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ ซึ่งมีผลยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ และการทำงานของเอนไซม์ (วิไล รังสาดทอง, 2546; Keey, 1997)

3.1 การทำแห้งโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบถาด

เครื่องทำแห้งแบบถาดประกอบด้วย ถาดโลหะเตี้ย ๆ ที่มีช่องตาข่าย หรือรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร อยู่ด้านล่างซึ่งใช้วางผลิตภัณฑ์อาหารที่อบอากาศร้อน โดยแรงลมร้อนไหลหมุนวนอยู่ในตู้ที่ความเร็วลมประมาณ 0.5 ถึง 5 เมตรต่อวินาทีต่อตารางเมตรของพื้นที่ผิวของถาด มีระบบท่อเพื่อนำลมร้อนขึ้นไปด้านบนผ่านแต่ละถาดเพื่อให้ลมร้อนกระจายอย่างสม่ำเสมอ มีการใช้พัดลมแผ่นครีบช่วยบังคับลมให้พัดขนานกับผิวอาหารอบในถาด อากาศชื้นบางส่วนถูกปล่อยออกที่ปล่องระบายอากาศด้านบน แสดงดังภาพที่ 2-9

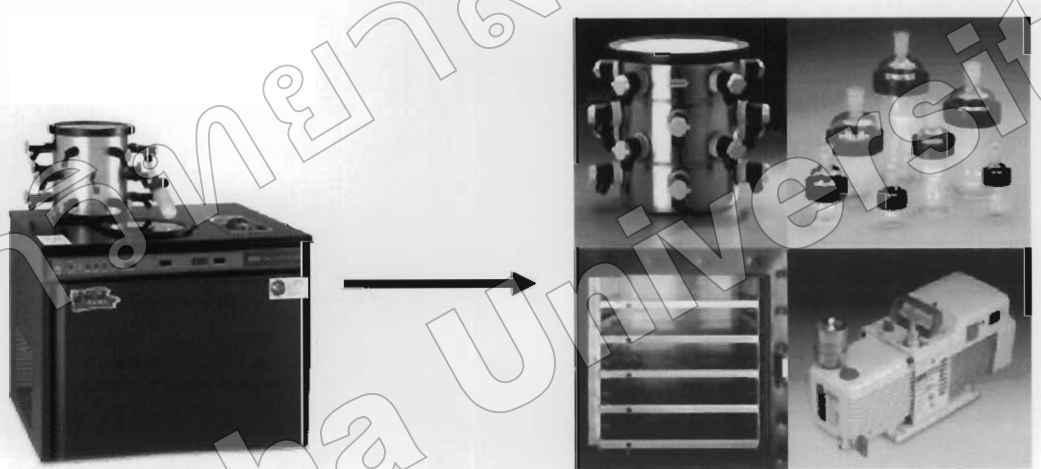
ภาพที่ 2-9 เครื่องอบแห้งแบบถาด

3.2 การทำแห้งโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบระเหิด

การทำแห้งแบบระเหิด (Freeze drying) เป็นการระเหยน้ำ หรือการระเหิดของแข็งเพื่อลดน้ำหนัก และปริมาณของอาหารยังช่วยลดค่าใช้จ่าย และการขนส่ง รวมถึงช่วยเพิ่มความหลากหลาย และความสะดวกให้กับผู้บริโภค อย่างไรก็ตามความร้อนในการทำแห้งนั้น เป็นต้นเหตุทำให้เกิดการสูญเสียคุณภาพทางประสาทสัมผัส หรือคุณค่าทางโภชนาการ โดยกรรมวิธีอบแห้งแบบระเหิดให้ผลในการเก็บรักษาอาหารคล้ายคลึงกัน คือ การลดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ แต่ไม่ต้องให้ความร้อนแก่อาหาร จึงทำให้อาหารที่ได้มีคุณภาพทางประสาทสัมผัส และคุณค่าทางโภชนาการ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ดีกว่าอาหารแห้งทั่วไป แต่มีข้อเสีย คือ ใช้เวลานานในการกำจัดน้ำ ค่าใช้จ่ายสำหรับพลังงานในการทำให้เยือกแข็ง และค่าใช้จ่ายในการทำสุญญากาศย่อยมีราคาสูงมาก ดังนั้นการอบแห้งแบบระเหิดจึงเป็นกระบวนการที่ใช้ในอุตสาหกรรมการทำแห้งอาหารที่ต้องการรักษากลิ่น หรือลักษณะเนื้อสัมผัสที่ค่อนข้างเปราะบาง เช่น กาแฟ เห็ด เครื่องเทศ และสมุนไพร น้ำผลไม้ อาหารเสริม เนื้อ อาหารทะเล ผัก และ ผลิตภัณฑ์ทางยา รวมทั้งใช้ในการเก็บรักษาหัวเชื้อจุลินทรีย์เป็นระยะเวลานานๆ เพื่อให้เป็นหัวเชื้อในการแปรรูปอาหาร โดยส่วนประกอบพื้นฐานของเครื่องทำแห้งแบบระเหิด ได้แก่ ปั๊มสูญญากาศ (Vacuum pump) ระบบคอนเดนเซอร์ที่ใช้ในการทำความเย็น (Ice condenser system) ภาชนะใส่ตัวอย่าง (sample chamber) ระบบท่อ และวาล์ว (tubing and valve system) (เอกดนัย กอกิมพงษ์, 2549) ดังแสดงในภาพที่ 2-10



ภาพที่ 2-10 ส่วนประกอบของเครื่องทำแห้งแบบระเหิด (เอกดนัย กอกิมพงษ์, 2549)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พิชญ์อร ไหมสุทธิสกุล (2548) ได้สรุปความสำคัญ และประโยชน์ของการสกัด และการวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีโนลิกในสมุนไพร และผักพื้นบ้านของไทยบางชนิดว่า จากการสกัดโดยใช้ตัวทำละลาย (เมทธานอล, เอทธานอล, อะซีโตน และเอทธิลอะซีเตท) และเวลาในการสกัด (0.5, 1, 3, 4.5, 6, 24 และ 48 ชั่วโมง) มีผลต่อเปอร์เซ็นต์สารที่สกัดได้ ปริมาณสารประกอบฟีโนลิกทั้งหมดที่วิเคราะห์ด้วยวิธีฟอลินซิโอแคลทู และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่วิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH ในใบของกระถิน ผักหวานบ้าน พลู มะระขี้นก และโหระพา อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยชนิดของตัวทำละลาย และเวลาที่เหมาะสมในการสกัดของพืชแต่ละชนิด มีความสัมพันธ์กับชนิด และปริมาณสารประกอบฟีโนลิกที่มีในพืช พิจารณาจากปริมาณ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารประกอบฟีโนลิกทั้งหมด และโครมาโตแกรมที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Reverse Phase - High Performance Liquid Chromatography (RP - HPLC) ทั้งนี้ตัวทำละลายที่มีขั้วต่ำกว่ามีความเหมาะสมในการสกัดพืชที่มีสารประกอบฟีโนลิกทีมีความมีขั้วน้อยกว่า และพืชที่มีปริมาณสารประกอบฟีโนลิกทั้งหมดสูงกว่าจะใช้เวลาในการสกัดสั้นกว่า เมื่อทำวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ (Correlation) ของเปอร์เซ็นต์สารที่สกัดได้ ปริมาณสารประกอบฟีโนลิกทั้งหมด และความสามารถในการด้านอนุมูลอิสระ พบว่าตัวแปรทั้งหมดมีความสัมพันธ์กันสูง ($r > 0.75$) ซึ่งความสัมพันธ์ของตัวแปรดังกล่าวในแต่ละชนิดของพืชมีค่าสูงกว่าความสัมพันธ์ที่พิจารณาในทุกชนิดของพืช เมื่อทำการวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีโนลิกที่สนใจด้วย RP – HPLC ในสารสกัดของใบพืชที่ศึกษาจากการสกัดที่ภาวะที่เหมาะสม ได้แก่ สารสกัดกระถินด้วยเอทิลอะซีเตทที่เวลา 3 ชั่วโมง สารสกัดผักหวานบ้านด้วยเอทานอลที่เวลา 4.5 ชั่วโมง สารสกัดพลูด้วยเอทิลอะซีเตทที่เวลา 3 ชั่วโมง สารสกัดมะระขี้นกด้วยอะซีโตนที่เวลา 3 ชั่วโมง และสารสกัดโหระพาด้วยเมทานอลที่เวลา 4.5 ชั่วโมง พบกรดแกลลิกในกระถิน พบกรดเบนโซอิกในโหระพา พบกรดคาเฟอิกในกระถิน และโหระพา พบกรดคลอโรจินิกในกระถิน มะระขี้นก และโหระพา พบไมริเซตินในกระถิน และผักหวานบ้าน ไม่พบเคอร์เซดิน และเคมพ์ฟีรอล ในสารสกัดพืชที่ศึกษา ดังนั้นการศึกษาถึงชนิดและปริมาณของสารประกอบฟีโนลิกในสารสกัดของพืชจึงเป็นประโยชน์มาก เพื่อทำความเข้าใจถึงความเหมาะสมในกระบวนการสกัดที่ใช้ให้ได้สารประกอบฟีโนลิกที่มีความสามารถในการด้านอนุมูลอิสระสูง

อนุพงศ์ ศิริเมืองมูล, ฤดีวรรณ สุขใจ, นภาพร ศิระวัฒนาวงศ์ และวชิระ จิระรัตนรังษี (2549) ได้สรุปความสำคัญ และประโยชน์ของการแปรรูปโดยการใช้ความร้อนต่อคุณสมบัติของสารต้านอนุมูลอิสระในน้ำมะเกี๋ยงว่า จากการเปรียบเทียบผลของการให้ความร้อนต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ และสมบัติของการด้านอนุมูลอิสระในน้ำมะเกี๋ยงที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 65 70 และ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที และ ที่อุณหภูมิ 80 85 และ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที พบว่า ปริมาณแอนโธไซยานิน สารประกอบฟีโนลิกทั้งหมด และกรดแอสคอร์บิก มีปริมาณลดลงเมื่อให้ความร้อนสูงขึ้น ($p \leq 0.05$) ส่วนความสามารถในการรีดิวซ์ และความสามารถในการด้านอนุมูลอิสระโดยวิธี $ABTS^{\bullet+}$ ลดลงในระหว่างการเก็บรักษาทุก ๆ ตัวอย่าง

Fu (2004) ได้สรุปความสำคัญ และ ประโยชน์ของคุณสมบัติการจับกับอนุมูลอิสระ และการยับยั้งการเจริญของเซลล์มะเร็งจากหัวหอมผง โดยการแปรรูปที่ใช้ความร้อนแตกต่างกันไว้ว่า จากการสกัดโดยเมทานอลที่ผ่านการทำแห้งหัวหอมผงโดยการอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส การอบแห้งแบบสภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส และการอบแห้งแบบระเหิดที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส พบว่าการทำแห้งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงเควอร์เซติน

และการต้านอนุมูลอิสระ โดยการอบแห้งหัวหอมด้วยการใช้ลมร้อนมีกิจกรรมการจับกับอนุมูลอิสระสูงที่สุด ทั้งการจับกับ DPPH และอนุมูลเปอร์ออกไซด์ สูงกว่าการอบแห้งหัวหอมแบบระเหิด และการอบแห้งแบบสภาวะสุญญากาศ จากการวิเคราะห์ HPLC พบว่าการอบแห้งหัวหอมแบบระเหิด และการอบแห้งแบบสภาวะสุญญากาศ มีไกลโคไซด์ของเควอร์เซตินมาก ในขณะที่การอบแห้งหัวหอมด้วยการใช้ลมร้อนมีอะไกลคอนเป็นตัวควบคุม โดยการเพิ่มจำนวนของเซลล์อย่างรวดเร็วของเซลล์มะเร็งเม็ดเลือดขาว CME และU937 มีการยับยั้งด้วยหัวหอมที่มีการอบแห้งด้วยการใช้ลมร้อน ในขณะที่การอบแห้งหัวหอมแบบระเหิด และ การอบแห้งแบบสภาวะสุญญากาศ มีการยับยั้งได้น้อยลง โดยสำหรับเซลล์มะเร็งเม็ดเลือดขาว K562, P3HR-1 และ Raji มีการยับยั้งการเพิ่มจำนวนของเซลล์ได้ต่ำจากการทำแห้งหัวหอมทั้ง 3 วิธี

Horax et al. (2005) ได้สรุปความสำคัญ และประโยชน์ของสารประกอบฟีโนลิกทั้งหมด และส่วนประกอบของกรดฟีโนลิกในมะระ (*Momordica charantia*) และกิจกรรมการด้านอนุมูลอิสระของสารสกัดไว้ว่า จากการศึกษามะระ 4 สายพันธุ์ คือ India green (IG), India white (IW), China green (CG) และ China white (CW) พบว่า China white มีปริมาณสารประกอบฟีโนลิกทั้งหมดสูงที่สุด คือ 6.07-8.90 มิลลิกรัมของ CAE ต่อกรัมของน้ำหนักแห้ง เมื่อเปรียบเทียบกับ India green ที่มีต่ำที่สุด คือ 4.64-6.84 มิลลิกรัมของ CAE ต่อกรัมของน้ำหนักแห้ง และการทำแห้งโดยวิธีการใช้เตาอบ และการทำแห้งโดยการระเหิด พบว่าการทำแห้งโดยวิธีการใช้เตาอบมีปริมาณสารประกอบฟีโนลิกทั้งหมดสูงกว่าการทำแห้งโดยการระเหิด คือ 5.39-8.94 และ 4.64-8.90 มิลลิกรัมของ CAE ต่อกรัมของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ การทดสอบสารประกอบฟีโนลิกของเมล็ด เยื่อภายใน และเนื้อผล พบว่าเนื้อผลมีปริมาณสารประกอบฟีโนลิกสูงที่สุด คือ 5.36-8.90 มิลลิกรัมของ CAE ต่อกรัมของน้ำหนักแห้ง ส่วนการทดสอบกรดฟีโนลิก พบว่าเนื้อผลมีจำนวน และปริมาณของกรดฟีโนลิกสูงที่สุด คือ Gallic acid, Gentistic acid, Catechin, Chlorogenic acid และ Epicatechin มีอัตราจาก 8.04-39.76, 16.99-32.39, 23.06-82.45, 4.55-15.83 และ 16.14-44.28 มิลลิกรัม/100 กรัมของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และการทดสอบกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ พบว่าเนื้อผลมีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งสูงที่สุด คือ 81.7-86.5 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นมะระจึงเป็นแหล่งที่อุดมไปด้วยสารประกอบฟีโนลิก โดยเป็นแหล่งที่ดีของสารต้านอนุมูลอิสระจากการประยุกต์ใช้ในระบบอาหาร

Oboh (2005) ได้สรุปความสำคัญ และประโยชน์ของสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ และที่ผ่านการให้ความร้อน โดยการลวกเป็นเวลา 5 นาที ของผักใบเขียวแบบสด พบว่าการให้ความร้อนโดยการลวกทำให้ปริมาณสารประกอบฟีโนลิกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) จากการวิเคราะห์วิตามินซีผักใบเขียวที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนที่ 0.1-0.3 กรัมต่อ 100 กรัม และการให้

ความร้อนโดยการลวกที่ 0.2-0.6 กรัมต่อ 100 กรัม พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) และความสามารถในการจับกับอนุมูลอิสระผักใบเขียวที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนมีเปอร์เซ็นต์การจับกับอนุมูลอิสระที่ 20.0-51.4 เปอร์เซ็นต์ และการให้ความร้อนโดยการลวกที่ 16.4-47.1 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

Amin et al. (2006) ได้สรุปความสำคัญ และประโยชน์ของกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณฟีโนลิก ของพืชตระกูลผักโขมแบบสด และที่ผ่านการให้ความร้อนโดยการลวกว่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดของพืชตระกูลผักโขม 4 ชนิด คือ "bayam putih" (Amaranthus paniculatus; BP), "bayam merah" (Amaranthus gangeticus; BM), "bayam itik" (Amaranthus blitum; BI) และ "bayam panjang" (Amaranthus viridis; BPG) ที่เวลาแตกต่างกัน 10 และ15 นาที ของส่วนประกอบที่สามารถละลายน้ำได้ผักโขมสด พบว่า BI BM และBPG มีปริมาณที่ใกล้เคียงกัน และ มีมากกว่า BP ในขณะที่กิจกรรมการจับกับอนุมูลอิสระมีใน BI>BPG>BM>BP ส่วนปริมาณสารประกอบฟีโนลิก พบว่า BM และ BP มีค่าที่สูงกว่าตัวอย่างอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) ขณะที่ผักโขมแบบสดมีปริมาณกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณสารประกอบฟีโนลิกสูงกว่าที่ผ่านการลวกที่เวลา 10 นาที ส่วนที่ผ่านการลวก 15 นาที มีปริมาณกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณสารประกอบฟีโนลิกต่ำที่สุด โดยการลวกที่ 15 นาที มีการสูญเสียของปริมาณกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณสารประกอบฟีโนลิก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

Sun et al. (2007) ได้สรุปความสำคัญ และประโยชน์ของกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระและคุณภาพของหน่อไม้ฝรั่ง เมื่อผ่านการให้ความร้อนโดยไมโครเวฟร่วมกับน้ำ และการให้ความร้อนการสเตอริไรส์ พบว่าการให้ความร้อนหน่อไม้ฝรั่ง โดยวิธีไมโครเวฟที่คลื่นความถี่ 915 เมกกะเฮิร์ท ร่วมกับน้ำ (Microwave-Circulated Water Combination; MCWC) การให้ความร้อนโดยการใช้น้ำร้อน และการให้ความร้อนโดยใช้ไอน้ำร้อนด้วยหม้อนึ่งความดัน ไม่ส่งผลต่อปริมาณรูทินของหน่อไม้ฝรั่งที่ผ่านการแปรรูปในแต่ละวิธีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) แต่พบว่าการใช้ความร้อนโดยใช้ไมโครเวฟเป็นวิธีการแปรรูปที่ดีที่สุดต่อกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของหน่อไม้ฝรั่งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) ส่วนการทดสอบแรงตัดหน่อไม้ฝรั่ง พบว่าค่าแรงตัดที่ลดลงเป็น 8 เท่าภายหลังการให้ความร้อนโดยการสเตอริไรส์ และเนื้อสัมผัสของหน่อไม้ฝรั่งที่ผ่านการแปรรูปมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) สำหรับการทดสอบค่าสี พบว่า ค่าสีที่ผ่านการให้ความร้อนโดยวิธีไมโครเวฟให้ค่าสี a* เป็นลบ คือ มีค่าความเป็นสีเขียวที่ดีกว่าวิธีการให้ความร้อนโดยใช้น้ำร้อน และการใช้หม้อนึ่งความดันไอน้ำ ดังนั้นการให้ความร้อน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

หน่อไม้ฝรั่งโดยการใช้ไมโครเวฟ แสดงให้เห็นว่ามีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ และค่าความเป็นสีเขียวที่ดีกว่าการแปรรูปโดยวิธีต่าง ๆ ดังที่กล่าว

Wu and Ng (2008) ได้สรุปความสำคัญ และประโยชน์ของสารต้านอนุมูลอิสระ และกิจกรรมการจับกับอนุมูลอิสระของมะระในได้หวันว่า การสกัดมะระโดยใช้น้ำกลั่นสามารถยับยั้งอนุมูล DPPH ได้ดีที่สุด คือ IC_{50} = 129.94 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อเปรียบเทียบกับวิตามินอีที่ยับยั้งได้ IC_{50} = 172.78 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เช่นเดียวกันกับกิจกรรมการจับกับเหล็ก พบว่าการสกัดโดยใช้น้ำกลั่นสามารถจับกับเหล็ก ได้ดีที่สุด คือ IC_{50} = 340.18 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อทดสอบความเข้มข้นของฟลาโวนอยด์ทั้งหมดที่สกัดด้วยน้ำกลั่น คือ 62.0 มิลลิกรัมต่อกรัม พบว่า มีค่าสูงกว่าการสกัดด้วยเอทธานอล คือ 44.0 มิลลิกรัมต่อกรัม แต่ต่ำกว่าในการทดสอบฟีโนลิกทั้งหมด คือ การสกัดด้วยน้ำกลั่นมีปริมาณ 51.6 มิลลิกรัมต่อกรัม และการสกัดด้วยเอทานอลมีปริมาณ 68.8 มิลลิกรัมต่อกรัม

Chuah et al. (2008) ได้สรุปผลของการให้ความร้อนของพริก (*Capsicum annum* L.) 7 สายพันธุ์จากวิธีการแปรรูปที่แตกต่างกัน คือ การให้ความร้อนโดยใช้ไมโครเวฟ การผัด และการต้มโดยใช้น้ำร้อนอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ต่อกิจกรรมการจับกับอนุมูลอิสระ ปริมาณสารประกอบฟีโนลิกทั้งหมด ปริมาณกรดแอสคอบิก และปริมาณแคโรทีนอยด์ เทียบกับพริกสด พบว่าพริกที่เป็นผลสด และที่ผ่านการให้ความร้อนเป็นเวลา 5 นาที มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (p> 0.05) แต่เมื่อผ่านความร้อนเป็นเวลา 30 นาที มีผลทำให้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบฟีโนลิก และวิตามินซี ลดลงกว่าตัวอย่างสดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p< 0.05) และพบว่าการให้ความร้อน โดยใช้ไมโครเวฟ และการทอด ที่ไม่มีการใช้น้ำร่วมด้วยเป็นวิธีการให้ความร้อนที่มีความเหมาะสมอย่างมากสำหรับพริก โดยมีการยอมรับว่าสามารถเก็บรักษาโมเลกุลของสารต้านอนุมูลอิสระได้สูงที่สุด

Kubola and Siriamornpun (2008) สรุปความสำคัญ และประโยชน์ของสารประกอบฟีโนลิก และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในส่วนของสารสกัดจากใบ ลำต้น และผลของมะระขี้นก (*Momordica charantia* L.) ที่ทำในห้องทดลองไว้ว่า การสกัดใบ ลำต้น และผลของมะระด้วยน้ำเพื่อวิเคราะห์ปริมาณ DPPH และกิจกรรมการจับกับอนุมูลไฮดรอกซิล การวิเคราะห์เบต้า-แคโรทีน-ลิโนเลเอท (β-Carotene-Linoleate Bleaching assay) การจับกับเหล็กต่อสารต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระทั้งหมด รวมถึงวิเคราะห์สารประกอบฟีโนลิกโดยใช้เทคนิค HPLC พบว่าสารสกัดจากใบมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และการจับกับเหล็กสูงที่สุด ในขณะที่สารสกัดจากผลสีเขียวมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระที่จับกับอนุมูลไฮดรอกซิล เบต้า-แคโรทีน-ลิโนเลเอท และปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดสูงที่สุด กรดแกลลิกมีความสามารถเป็น

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารประกอบฟีโนลิกเหนือกว่ากรดคาเฟอิก และคาเตชิน จากการศึกษาการสกัดมะระด้วยน้ำที่วิธีการต้านอนุมูลอิสระที่แตกต่างกัน พบว่าสารประกอบฟีโนลิกมีปริมาณที่สูงที่สุดเมื่อเทียบกับการจับกับเหล็ก (R^2=0.948)

Lin, Liu, and Mau (2008) ได้สรุปความสำคัญ และประโยชน์ของสมบัติการต้านอนุมูลอิสระต่อความแตกต่างของวิธีการชงชาเขียวด้วยไอน้ำไว้ว่า สารสกัดที่เตรียมจากชาเขียวที่ผ่านการชงด้วยไอน้ำร้อน หรือเย็น ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน (2 6 และ 10 เปอร์เซ็นต์) มีการศึกษาสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ และอิทธิพลของการต้านอนุมูลอิสระ โดยให้ผลผลิต 17.49-28.27 เปอร์เซ็นต์ ต่อสารสกัดที่สกัดด้วยไอน้ำร้อน ซึ่งมีค่าสูงกว่าที่สกัดด้วยไอน้ำเย็นที่ให้ผลผลิต 11.72-14.70 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากการวิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระโดยใช้ EC_{50} พบว่ามีปริมาณการต้านอนุมูลอิสระ และความสามารถในการรีดิวซ์มีค่า 2.19-3.10 และ 0.22-0.28 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ค่า EC_{50} ในการจับกับ DPPH และอนุมูลไฮดรอกซิลมีค่า 29.45-43.80 และ 2.88-3.22 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ค่า EC_{50} ในความสามารถการจับกับไอออนเหล็กมีค่า 6.45-13.51 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาณสารประกอบฟีโนลิกมีค่า 221.71-330.22 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ในขณะที่คาเตชินทั้งหมดที่สกัดด้วยไอน้ำเย็นและไอน้ำร้อนมีค่า 135.05-193.14 และ 161.57-195.05 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ โดยผลที่ได้จากการสกัดด้วยน้ำร้อนมีอิทธิพลอย่างมากต่อกิจกรรมการจับกับอนุมูลอิสระ และความสามารถในการรีดิวซ์ อย่างไรก็ตามการสกัดด้วยน้ำเย็นมีอิทธิพลอย่างมากต่อความสามารถในการจับกับอนุมูล DPPH และอนุมูลไฮดรอกซิล และความสามารถในการจับกับไอออนเหล็ก จึงแนะนำว่าวิธีการชงด้วยน้ำเย็นเป็นทางเลือกใหม่ในการทำชา

Wachtel-Galor et al. (2008) ได้สรุปผลของการให้ความร้อนโดยการลวก การใช้ไอน้ำ และไมโครเวฟ กับพืชตระกูลกะหล่ำ (*Brassica*) คือ บล็อคโคลี กะหล่ำดอก กะหล่ำปลี และกวางตุ้ง (กะหล่ำปลีของจีน) ต่อคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ พบว่าสารต้านอนุมูลอิสระมีปริมาณสูงที่สุดในการให้ความร้อนโดยการใช้ไอน้ำ รองลงมา คือ การลวก และต่ำที่สุด คือ การให้ความร้อนโดยใช้ไมโครเวฟ และมีการลดลงเมื่อให้ความร้อนโดยใช้ระยะเวลานาน โดยไม่คำนึงถึงวิธีการ สำหรับการให้ความร้อนโดยใช้ไอน้ำของผักทั้งหมด พบว่ามีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าผักแบบสด ส่วนการให้ความร้อนโดยใช้น้ำเดือด และไมโครเวฟ พบว่าการใช้ไมโครเวฟมีการสูญเสียของสารต้านอนุมูลอิสระดีกว่าการใช้น้ำเดือด และแนะนำว่าการให้ความร้อนโดยใช้ไอน้ำร้อนเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ควรใช้ในการปรุงอาหารที่เป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University