

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ข้าวมีสีรวมถึงข้าวเหนียวดำเป็นข้าวที่มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีดำ ม่วง หรือแดง เยื่อหุ้มเมล็ดในส่วน
ของผิวเมล็ดจนถึงเยื่อหุ้มเมล็ดชั้นใน มีสารต่างๆสะสม ได้แก่ แอนโทไซยานิน (Chaudhary, 2003)
ซึ่งเป็นสารในกลุ่มของโพลีฟีนอล ยังมีวิตามินอี และเบต้าแคโรทีน ซึ่งสารดังกล่าวมีฤทธิ์ต่อต้าน
อนุมูลอิสระ (antioxidant) สารดังกล่าวมีฤทธิ์ช่วยในการป้องกันโรคต่างๆ ที่มีสาเหตุจากอนุมูล
อิสระ มีการศึกษาผลของข้าวที่มีสีแดงและสีดำต่อการดูดตันของไขมันในเส้นเลือดกระต่ายโดย
เปรียบเทียบกับกรเลี้ยงด้วยข้าวขัดขาว พบว่า ภาวะการดูดตันของเส้นเลือดในกระต่ายที่กินข้าว
แดงมีค่าน้อยกว่ากระต่ายที่กินข้าวขัดขาวถึง 50 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังพบว่าระดับของ reactive
oxygen species และ malondialdehyde (ผลผลิตของการเกิด lipid peroxidation) ที่อยู่ในตับของ
กระต่ายที่กินข้าวแดงมีการสะสมในปริมาณน้อย ในขณะที่เดียวกันมีกิจกรรมการต่อต้านอนุมูลอิสระ
และกิจกรรมของเอนไซม์ superoxide dismutase เพิ่มสูงขึ้น และยังพบว่าข้าวแดงยังช่วยให้มีการ
สะสมของ High Density Lipoprotein (HDL) ซึ่งเป็นคอเลสเตอรอลชนิดที่เป็นประโยชน์ในเลือด
กระต่ายอีกด้วย (วาริช, 2549)

2.1 ข้าวเหนียวดำพันธุ์ช่อไม้ไผ่

ข้าวเหนียวดำพันธุ์ช่อไม้ไผ่ เป็นข้าวเหนียวที่มีลักษณะรูปร่างค่อนข้างป้อม ข้าวเปลือกมีสี
ฟางกั้นจุก ข้าวกล้องมีสีดำม่วง ให้ผลผลิตเฉลี่ยประมาณ 363 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งข้าวเหนียวดำช่อไม้
ไผ่เป็นข้าวมีสีพันธุ์พื้นเมืองภาคใต้ที่เป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระ (สัญญาชัย, 2552 และ
อัสมมา, 2554) อัสมมา (2554) รายงานว่าข้าวเหนียวดำช่อไม้ไผ่มีสารแอนโทไซยานิน 0.53 ± 0.0
มิลลิกรัม/ มิลลิลิตรตัวอย่าง มีสารโพลีฟีนอล 0.9 ± 0.0 มิลลิกรัมแกลกิก/ มิลลิลิตรตัวอย่าง และม
ความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) 56.19 ± 1.5
เปอร์เซ็นต์ ข้าวเหนียวดำช่อไม้ไผ่ได้ผ่านการรับรองพันธุ์ข้าวในปี 2553 โดยกรมการข้าว กระทรวง
เกษตรและสหกรณ์ (กลุ่มศูนย์วิจัยข้าวภาคใต้, 2553) การใช้ประโยชน์จากข้าวเหนียวดำช่อไม้ไผ่ใน
ปัจจุบันยังมีน้อย หากมีการนำข้าวเหนียวดำช่อไม้ไผ่มาพัฒนาหรือแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ก็จะ
สามารถเพิ่มมูลค่าให้กับข้าวเหนียวดำช่อไม้ไผ่มากขึ้น ซึ่งการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระจาก

ข้าวเหนียวดำพันธุ์ช่อไม้ไผ่ น่าจะเป็นอีกวิธีหนึ่งที่จะสามารถใช้ประโยชน์จากข้าวเหนียวดำพันธุ์ช่อไม้ไผ่ได้

2.2 สารต้านอนุมูลอิสระในข้าวเหนียวดำ

เชื้อหุ้มเมล็ดข้าวมีสารที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระอยู่หลายชนิด ส่วนมากจะเป็นสารในกลุ่มของโพลีฟีนอลซึ่งรวมถึงสารแอนโทไซยานิน นอกจากนี้ยังมีวิตามินอีและเบต้าแคโรทีน ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.2.1 โพลีฟีนอล

โพลีฟีนอลเป็นสารที่พบมากในธรรมชาติทั้งพืช ผักและผลไม้ โดยจะพบมากในองุ่น ผลไม้ตระกูลเบอร์รี่ รวมถึงข้าวที่มีรงควัตถุหรือข้าวมีสี (Escribano-Bailon *et al.*, 2004) โพลีฟีนอลแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ กรดฟีนอลิก และฟลาโวนอยด์ โพลีฟีนอลเป็นสารที่มีบทบาทสำคัญ โดยมีฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย ต้านไวรัส ต้านการอักเสบและการแพ้ รวมถึงการมีคุณสมบัติในการสลายลิ่มเลือด เป็นสารต้านการก่อมะเร็งและลดความดันโลหิตจากฤทธิ์ขยายหลอดเลือด ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวสอดคล้องกับคุณสมบัติของการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (โอภาและคณะ, 2549)

ตัณชัย (2552) ศึกษาคุณภาพข้าวพื้นเมืองมีสีของภาคใต้ในประเทศไทย 8 พันธุ์ ได้แก่ กำหยาน หอมกระดังงา สังข์หยด ช่อไม้ไผ่ กรามแรด เหนียวแดงรหัส 96060 เหนียวดำรหัส 96025 และเหนียวดำรหัส 96044 รวมถึงการศึกษาปริมาณโพลีฟีนอลในข้าวพันธุ์ดังกล่าว ซึ่งการศึกษาพบว่า ข้าวเหนียวดำรหัส 96044 มีปริมาณโพลีฟีนอลสูงสุด รองลงมาคือ ข้าวเหนียวดำรหัส 96025 ช่อไม้ไผ่ ข้าวเหนียวแดงรหัส 96060 สังข์หยด หอมกระดังงา กรามแรด และกำหยาน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 320.24, 280.15, 208.42, 84.43, 82.01, 80.44, 80.17 และ 58.89 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่างตามลำดับ และพบว่า สารสกัดจากข้าวเหนียวดำรหัส 96044 มีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH[•] มากที่สุด ซึ่งเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดจากข้าวมีสีเพิ่มขึ้นความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH[•] สูงขึ้นด้วย และความสามารถในการกำจัดอนุมูล 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid) (ABTS⁺) ของข้าวมีสีพันธุ์พื้นเมืองทั้ง 8 ชนิดอยู่ในช่วง 0.22-0.10 มิลลิโมลาร์/กรัมตัวอย่าง

Choi *et al.* (2007) ศึกษาคุณสมบัติของสารต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากธัญพืชบางชนิดที่พบในประเทศเกาหลี ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระที่อยู่ในกลุ่มของโพลีฟีนอล และสารต้านอนุมูลอิสระที่อยู่ในกลุ่มของแคทีโรนอยด์ และวิตามินอี พบว่าปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระ กลุ่มโพลีฟีนอลมีปริมาณสูงที่สุดในข้าวฟ่าง รองลงมาคือข้าวสาลีดำ ซึ่งพบในปริมาณเท่ากับ 733 และ 313 มิลลิกรัม/ 100 กรัมตัวอย่าง ตามลำดับ ส่วนปริมาณของสารกลุ่มแคโรทีนอยด์

พบมากในถั่วเขียว (102 มิลลิกรัม/ 100 กรัมตัวอย่าง) มีการศึกษาเพิ่มเติมถึงฤทธิ์ของสารต้านอนุมูลอิสระดังกล่าวต่ออนุมูล DPPH[•] และ ABTS⁺ ความสามารถในการต้านการเกิดออกซิเดชันในกรดไลโนเลอิก และ reducing power ซึ่งผลการวิเคราะห์พบว่า สารต้านอนุมูลอิสระในข้าวฟ่างและข้าวสาลีดำมี scavenging capacity ความสามารถในการต้านการเกิดอนุมูลอิสระในกรดไลโนเลอิก และ reducing power สูงกว่าสารต้านอนุมูลอิสระที่พบในข้าวขาว ข้าวบาร์เลย์ และถั่วเขียว เป็นต้น

2.2.2 แอนโทไซยานิน

แอนโทไซยานินเป็นสารประกอบในกลุ่มฟลาโวนอยด์ โครงสร้างของแอนโทไซยานินประกอบด้วย แอนโทไซยานิดิน (anthocyanidin) หรืออะไกลโคนกับน้ำตาลและแอซิล (acyl group) ซึ่งส่วนนี้จะมีหรือไม่มีก็ได้ แอนโทไซยานิดินมีโครงสร้างที่ประกอบด้วยวงแหวนอะโรมาติก (A) ต่อกันกับวงแหวนเฮเทอโรไซคลิก (C) และมีวงแหวนอะโรมาติกหรืออาจเป็นหมู่ของเมทอกซิล (methoxyl, -OCH₃) และไฮดรอกซิล (hydroxyl, -OH) มาต่ออีก 1 วง (B) (Castaneda-Ovando *et al.*, 2009) ดังภาพที่ 2.1 เมื่อมีหมู่ของน้ำตาลมาสร้างพันธะกับแอนโทไซยานิดินที่ตำแหน่ง 3 และ 5 เรียกโครงสร้างนี้ว่า แอนโทไซยานิน

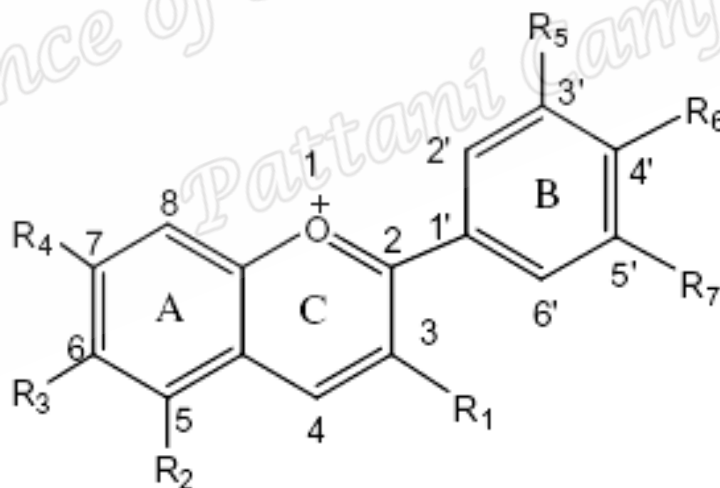


Figure 2.1 Basic structure of anthocyanin

Source: Castaneda-Ovando *et al.* (2009)

แอนโทไซยานินมีสูตรโครงสร้างต่างๆ ขึ้นอยู่กับชนิดของแอนโทไซยานิดิน และหมู่ของน้ำตาลที่มาสร้างพันธะกัน สารกลุ่มแอนโทไซยานินในพืชอาจพบได้มากกว่า 500 ชนิด แต่ที่พบในบริเวณเยื่อหุ้มเซลล์มีทั้งหมด 6 ชนิดได้แก่ pelargonidin (Pg), peonidin (Pn), cyanidin (Cy), malvidin (Mv), petunidin (Pt) และ delphinidin (Dp) ซึ่งมีความแตกต่างกันที่โครงสร้างและจำนวนของหมู่ไฮดรอกซิลหรืออามีหมู่ของน้ำตาลเช่นไซโรส, อาราบิโนสและแรมโนส มาเกาะที่บริเวณอะไกลโคนที่แตกต่างกัน (Castaneda-Ovando *et al.*, 2009) โดยแอนโทไซยานินแต่ละชนิดจะแตกต่างกันที่หมู่ R_3 , R_3' และ R_5 และมีค่าการส่องผ่านที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 2.1)

Table 2.1 Type of anthocyanin with different substitute groups

Anthocyanin	R_3	R_3'	R_5	$\lambda_{\text{vis-mas[nm]}}$
Pelargonidin*	H	H	H	520
Cyanidin*	H	OH	H	535
Delphinidin*	H	OH	OH	546
Peonidin*	H	OCH ₃	H	532
Petunidin*	H	OCH ₃	OH	543
Malvidin*	H	OCH ₃	OCH ₃	542
Pelargonidin 3-glucoside	Glc	H	H	516
Cyanidin 3-glucoside	Glc	OH	H	530
Delphinidin 3-glucoside	Glc	OH	OH	543
Peonidin 3-glucoside	Glc	OCH ₃	H	536
Petunidin 3-glucoside	Glc	OCH ₃	OH	546
Malvidin 3-glucoside	Glc	OCH ₃	OCH ₃	546

* Anthocyanidins found in nature.

Source: Modified from Stintzing and Carle (2004)

สำหรับสารให้สีกลุ่มแอนโทไซยานินที่พบในข้าวมีสีส่วนใหญ่ คือ cyanidin-3-glucoside รองลงมาคือ peonidin-3-glucoside นอกจากนี้ยังพบ cyanidin-3-gentiobioside, cyanidin-3-rhamnoside, cyanidin-3,5-diglucoside, cyanidin-3-rhamnoglucoside, malvidin-3-galactoside, peonidin-3-rhamnoglucoside และ delphinidin ซึ่งจะพบในปริมาณน้อย และในข้าวต่างชนิด

จะมีปริมาณแอนโทไซยานินที่แตกต่างกัน จากตารางที่ 2.2 พบว่าข้าวชนิด Suwon #415 มีปริมาณแอนโทไซยานินชนิด cyanidin-3-glucoside สูงที่สุดเท่ากับ 470 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง และข้าวชนิด Suwon #425 มีปริมาณแอนโทไซยานินชนิด peonidin-3- glucoside สูงที่สุดเท่ากับ 40 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง (Ryu *et al.*, 1998; Escribano-Bailon *et al.*, 2004)

Table 2.2 Anthocyanin content in pigment rices (mg of anthocyanin/100 g of grain)

Rice varieties	Cyanidin-3-glucoside	Peonidin-3- glucoside	Total
Suwon #415	470	23	493
Kilimheugmi	240	26	266
Suwon #425	206	40	246
Heugjinmi	200	32	232
Sanghaehyeolla	50	5	55
Hongmi	30	6	36
Suwon #405	16	4	20
Suwon #420	10	n.d.	10
Jawangdo	10	t	10

Source: Ryu *et al.* (1998); Escribano-Bailon *et al.* (2004)

n.d.: not detected, t: trace

Sompong *et al.* (2011) ศึกษาปริมาณแอนโทไซยานินในข้าวสีแดงและดำ โดยแบ่งเป็นข้าวสีแดง 9 พันธุ์ และ ข้าวดำ 3 พันธุ์ จากประเทศไทย จีน และศรีลังกา จากการศึกษพบว่า ในข้าวสีดำทั้ง 3 พันธุ์มีปริมาณสารแอนโทไซยานิน 109.5-256.6 มิลลิกรัม/ 100 กรัมตัวอย่าง ซึ่งสูงกว่าข้าวสีแดงทั้ง 9 พันธุ์ที่มีปริมาณแอนโทไซยานิน 0.3-1.4 มิลลิกรัม/ 100 กรัมตัวอย่าง และพบว่าข้าวเหนียวดำเปลือกขาวจากประเทศไทยและข้าวสีดำจากประเทศจีน มีปริมาณ cyanidin 3-glucoside เท่ากับ 137 และ 141 มิลลิกรัม/ 100 กรัมตัวอย่าง ตามลำดับ

2.2.2.1 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของแอนโทไซยานิน

อนุมูลอิสระ คืออะตอมหรือโมเลกุลที่มีอิเล็กตรอนไม่มีคู่ อยู่ในอิเล็กตรอนวงนอกสุด โดยอาจมีจำนวนอิเล็กตรอนอิสระจำนวน 1 ตัว หรือมากกว่านั้น ทำให้ไม่เสถียร มีความว่องไวในการเข้าทำปฏิกิริยากับสารอื่นๆ ซึ่งทำให้ตัวมันเสถียรมากขึ้น ในขณะที่เดียวกันก็ชักนำให้สารที่ให้อิเล็กตรอนไปนั้นมีอิเล็กตรอนที่ไม่ครบคู่และเกิดเป็นอนุมูลอิสระตัวใหม่ อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในร่างกายมีหลายชนิด เช่น อนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ (superoxide radical, O_2^-) อนุมูลไฮดรอกซิล (hydroxyl radical, OH^\cdot) อนุมูลไนตริกออกไซด์ (nitric oxide radical, NO^\cdot) อนุมูลเพอร์ออกไซด์ (peroxyl radical, ROO^\cdot) อนุมูลไฮโดรเพอร์ออกไซด์ (hydroperoxyl radical, HOO^\cdot) เป็นต้น (Chapple and Matthews, 2007) สำหรับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของแอนโทไซยานินสามารถตรวจวิเคราะห์ได้หลายวิธี เช่น การวัดความสามารถในการยับยั้งอนุมูลเพอร์ออกไซด์ ได้แก่ ORAC (oxygen radical absorbance capacity) การวัดความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระสารอินทรีย์ ได้แก่ DPPH $^\cdot$ (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) การวัดความสามารถในการรีดิวซ์โลหะ ได้แก่ FRAP (ferric reducing antioxidant potential) เป็นต้น (Miguel, 2011)

ความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระของแอนโทไซยานินขึ้นอยู่กับโครงสร้างพื้นฐานของแอนโทไซยานิน และสัมพันธ์กับจำนวนและตำแหน่งของไฮดรอกซิล เมทอกซิล ที่อยู่รอบวงแหวน รวมถึงหมู่น้ำตาล และฟิเอซ เช่น แอนโทไซยานินที่มีไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง 3' และ 4' (3',4'-dihydroxy group) สามารถทำปฏิกิริยากับโลหะให้อยู่ในรูปที่เสถียรได้รวดเร็ว และที่มีฟิเอซ 2-4 ซึ่งแอนโทไซยานินจะอยู่ในรูปของ flavylium cations สามารถทำปฏิกิริยากับโลหะเช่นเดียวกัน (ภาพที่ 2.2) (Sarma *et al.*, 1997)

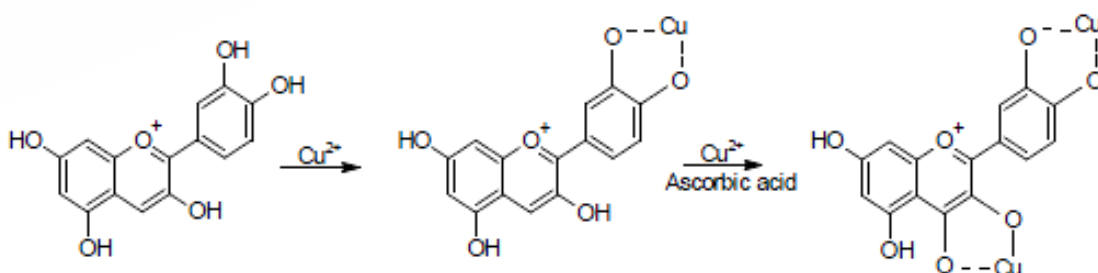


Figure 2.2 A possible mechanism of increased metal by cyanidin

Source: Miguel (2011)

สำหรับแอนโทไซยานินที่มี o-dihydroxyl จะทำหน้าที่ให้อะตอมไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระ ซึ่งจะสามารรถเข้าทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระเร็วกว่าสารตั้งต้นชนิดอื่น (ภาพที่ 2.3) นอกจากการเข้าทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระของไฮดรอกซิล จำนวนและตำแหน่งของเมทอกซิลยังมีผลต่อความคงตัวและปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นรวมถึงความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระของแอนโทไซยานินอีกด้วย และเมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระของแอนโทไซยานินบางชนิดพบว่า แอนโทไซยานินชนิด malvidin-3-glucoside และ petunidin-3-glucoside มีประสิทธิภาพต่ำกว่าแอนโทไซยานินชนิด cyanidin-3-rutinoside และ delphinidin-3-glucoside (Kahkonen and Heinonen, 2003; Muselik *et al.*, 2007; Miguel 2011)

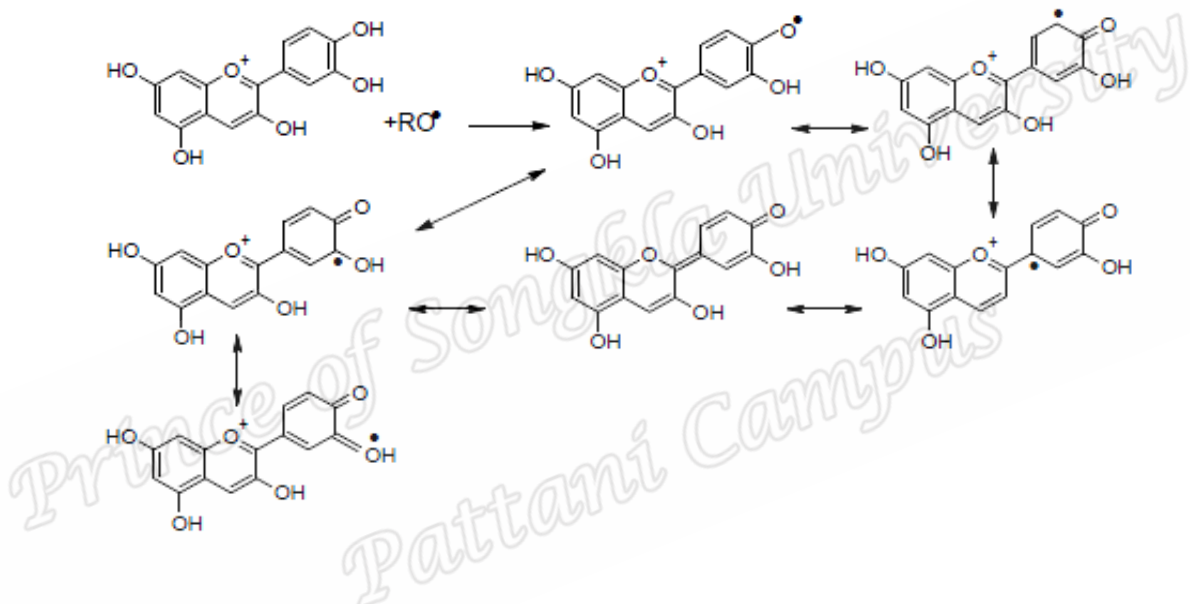


Figure 2.3 Proposed mechanism for the stabilization of the cyanidin semiquinone radical (resonance)

Source: Miguel (2011); Castaneda-Ovando *et al.* (2009)

2.2.2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของแอนโทไซยานิน

ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของแอนโทไซยานินได้แก่ โครงสร้างเคมีและองค์ประกอบของแอนโทไซยานิน ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ แสง และการรวมตัวกับสารอื่น ดังรายละเอียดต่อไปนี้

โครงสร้าง ความคงตัวของแอนโทไซยานินขึ้นอยู่กับธรรมชาติและจำนวนของน้ำตาลที่ใกล้กับฟลาวิลเลียมไอออน และจำนวนของกรดที่เชื่อมต่อกับไกลโคซิดิก รวมทั้งเกี่ยวข้องกับจำนวนและตำแหน่งในการแทนที่ฟลาวิลเลียมไอออนของไฮดรอกซิลและเมทอกซิล

ตัวอย่างเช่น 3-deoxy anthocyanins ที่มีสีเหลืองเนื่องจากการดีไฮดรอกซิเลชัน (dehydroxylation) ของคาร์บอนตำแหน่งที่ 3 ทำให้มีความเสถียรมากกว่า 3-hydroxy anthocyanins ที่มีสีแดงและมีความเสถียรต่ำกว่ามาก (Mercadante and Bobbio, 2008) และหากโครงสร้างในส่วนของวงแหวนฟีนอลมีจำนวนหมู่ไฮดรอกซิล หรือหมู่เมทอกซิลเพิ่มขึ้นจะมีผลต่อแอนโทไซยานิน เช่น การเพิ่มหมู่ไฮดรอกซิลให้มากขึ้นจะทำให้มีสีเข้มขึ้น และสีจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินมากขึ้น และการเพิ่มหมู่เมทอกซิลแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง 3' และ 5' จะทำให้มีสีแดงเพิ่มขึ้น

ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในสารละลายที่มีสมบัติเป็นกรด เป็นกลาง และเป็นเบส โครงสร้างของแอนโทไซยานิน จะมีการเปลี่ยนแปลงได้ 4 รูปแบบ คือ quinonoidal, flavylium cation, carbinol หรือ pseudobase และ chalcone (ดังภาพ 2.4) เมื่อ pH สูงขึ้นทำให้ความเข้มของสีและความเข้มข้นของ flavylium cation ลดลง ส่งผลให้โครงสร้างของแอนโทไซยานินเปลี่ยนจาก flavylium cation ซึ่งมีสีแดงในสารละลายที่เป็นกรดไปเป็น carbinol ซึ่งไม่มีสี และเมื่อค่า pH สูงขึ้นต่อไปอีกทำให้ carbinol เปลี่ยนไปอยู่ในรูปของ chalcone ซึ่งไม่มีสีส่งผลให้เกิดการเปิดออกของวงแหวน (Rein, 2005) สารละลายที่มีสมบัติเป็นเบสอ่อน pH ประมาณ 9 แอนโทไซยานินจะมีสีม่วงเข้มเกือบดำ และที่ pH มากกว่าหรือเท่ากับ 11 แอนโทไซยานินมีโครงสร้างเป็นแบบ blue quinoidal ซึ่งมีสีน้ำเงิน

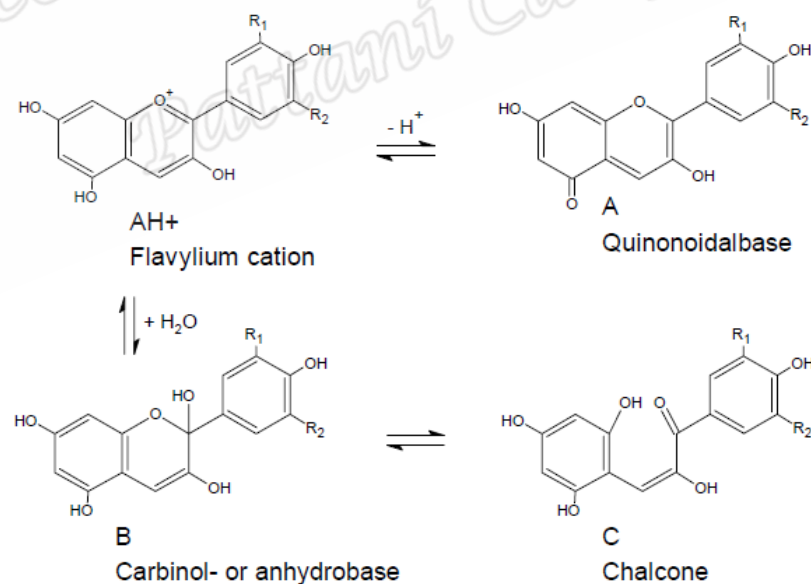


Figure 2.4 The main four equilibrium forms of anthocyanin existing in aqueous media

Source: Rein (2005)

อุณหภูมิ อุณหภูมิมีผลต่อความคงตัวของแอนโทไซยานิน โดยอัตราการเสื่อมสลายของแอนโทไซยานินจะเพิ่มขึ้นระหว่างกระบวนการที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น (Rein, 2005) และมีรายงานว่า cyanidin 3-glucoside และ cyanidin 3-rutinoside จะสลายตัวที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ในสารละลายกรดอ่อน (pH 1-4) ทั้งสถานะที่มีและไม่มีออกซิเจน (Adams, 1973; Mercadante and Bobbio, 2008)

มีรายงานว่าอัตราการสลายตัวของแอนโทไซยานินในน้ำส้มคั้นที่ผลิตจากส้มพันธุ์ Moro จะเพิ่มเป็น 2 เท่า เมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น 10 องศาเซลเซียส (Maccarone *et al.*, 1985) และการสลายตัวของแอนโทไซยานินจะสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการแปรรูปสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเปิดออกของวงแหวน pyrylium ในโครงสร้างของแอนโทไซยานินทำให้แอนโทไซยานินเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของ chalcone และการสลายตัวของอะไกลโคน เป็นขั้นแรกของการสลายตัวของสารแอนโทไซยานิน และอาจเกิดการแตกสลายเป็นอนุพันธ์ coumarin รวมถึงอาจเกิดการสลายตัว หรือเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน (polymerization) และเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้ (Patras *et al.*, 2010)

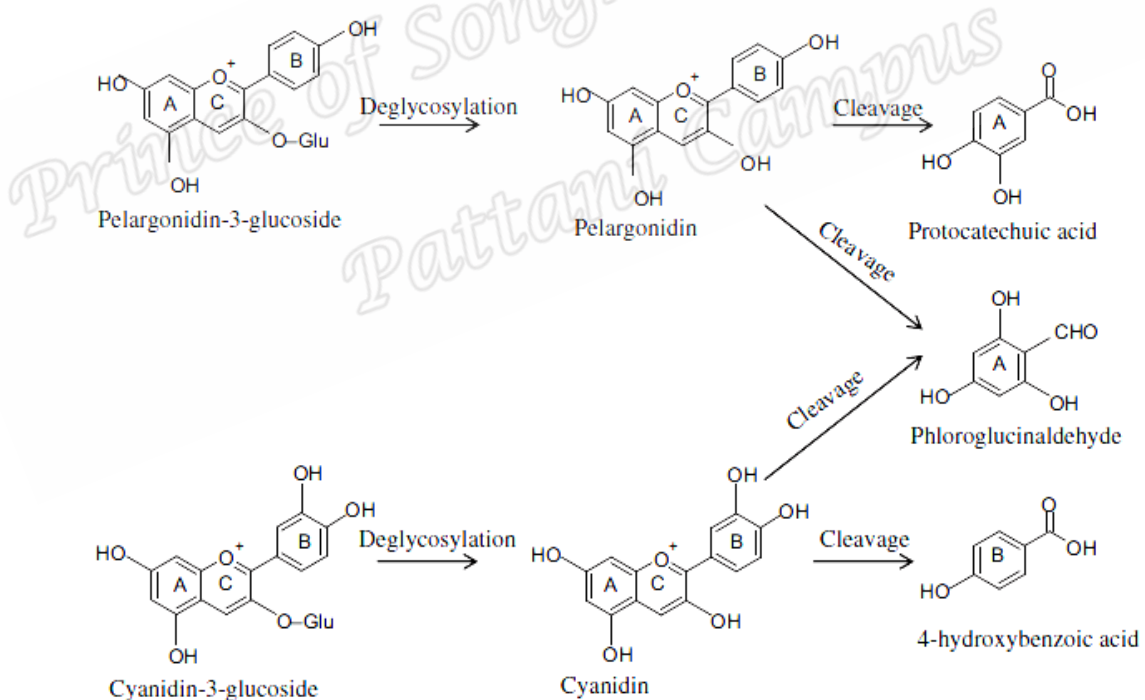


Figure 2.5 Possible thermal degradation mechanism of two common anthocyanins

Source: Patras *et al.* (2010)

แสง การสลายตัวของแอนโทไซยานินจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการสัมผัสกับแสง โดยกลไกการสลายตัวของแอนโทไซยานินจะเกิดขึ้นจากเมื่อแอนโทไซยานินสัมผัสกับแสงทำให้ไอออนเข้าไปแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลของคาร์บอนตำแหน่งที่ 5 ในโมเลกุลแอนโทไซยานินทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแอนโทไซยานิน และเป็นตัวเร่งให้เกิดการสลายตัวของสารแอนโทไซยานินจากความร้อน (ยุพาพร, 2547)

ออกซิเจน ออกซิเจนมีผลต่อความคงตัวของแอนโทไซยานิน โดยมีแนวโน้มในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณของก๊าซออกซิเจนเพิ่มขึ้น การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของ hydrogen peroxide ทำให้พันธะคู่ (conjugate bond; พันธะคู่สลับกับพันธะเดี่ยว) ของวงแหวน pyrylium หายไปส่งผลให้แอนโทไซยานินไม่มีสีและเกิดเป็นอนุพันธ์ของ coumarin (กนกรศ, 2547)

การรวมตัวกับสารอื่น (copigmentation) การเกิดปฏิกิริยาของแอนโทไซยานินกับสารประกอบอื่นซึ่งไม่มีสี ส่งผลให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนขึ้น โดยสามารถเกิดได้ 4 รูปแบบ คือ การเกิดปฏิกิริยาระหว่างแอนโทไซยานินกับสารอื่น (intermolecular copigmentation) เช่น ฟลาโวนอยด์ อัลคาลอยด์ กรดอะมิโน กรดอินทรีย์ นิวคลีโอไทด์ และโพลีแซคคาไรด์ โดยพันธะเคมีที่เกิดขึ้นเป็น hydrogen bonding การเกิดปฏิกิริยาขึ้นภายในโมเลกุลของแอนโทไซยานิน (intramolecular copigmentation) ระหว่างส่วนที่เป็นแอนโทไซยานินติดกับกรดอินทรีย์ โดยพันธะโคเวเลนต์ การเกิดปฏิกิริยาของแอนโทไซยานินกับไอออนของโลหะ (metal copigmentation) และการเกิดปฏิกิริยาของแอนโทไซยานินด้วยกันในสภาวะที่มีความเข้มข้นของแอนโทไซยานินสูง (self association) ซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติการดูดกลืนแสงของแอนโทไซยานินที่อยู่ในรูปของ flavylium cation และเพิ่มความคงตัวของ flavylium cation ให้มีสีแดงเข้มขึ้น (Rein, 2005; Castaneda-Ovando *et al.*, 2009)

2.2.3 วิตามินอี

วิตามินอี พบมากในรำข้าว จัดเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ช่วยยับยั้งและป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งทำให้เกิดการสลายตัวของเยื่อหุ้มเซลล์ และทำลายเนื้อเยื่อต่างๆ ภายในร่างกายโดยอนุมูลอิสระ ทำให้ร่างกายมีภูมิคุ้มกันต่อโรคต่างๆองค์ประกอบของวิตามินอีที่พบในรำข้าว นั้นจะอยู่ในรูปของแอลฟาโทโคฟีรอล แอลฟาโทโคไทรอินอล แกมมาโทโคฟีรอล และแกมมาโทโคไทรอินอล (เพ็ญพรรณ, 2550) นอกจากนี้ได้มีการศึกษาและรายงานว่ารำข้าวในประเทศปากีสถานมีปริมาณโทโคฟีรอล 512 มิลลิกรัม/ กิโลกรัมตัวอย่าง และมีปริมาณไทรอินอล 343-478 มิลลิกรัม/ กิโลกรัม (Iqbal *et al.*, 2005; เพ็ญพรรณ, 2550)

2.2.4 เบต้าแคโรทีน

เบต้าแคโรทีนเป็นแคโรทีนอยด์ชนิดหนึ่งซึ่งเป็นสารสำคัญของพืชที่มีสี เบต้าแคโรทีนเป็นสารตั้งต้นของวิตามินเอ กล่าวคือ สามารถเปลี่ยนเป็นวิตามินเอหลังจากถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้ การรับประทานอาหารประเภทที่มีเบต้าแคโรทีนสูง จะช่วยบำรุงสายตา ลดความเสี่ยงของการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือด และ สร้างความต้านทานให้ระบบหายใจ นอกจากนี้ได้มีการศึกษาพันธุ์ข้าวในบริเวณที่ราบสูงของประเทศฟิลิปปินส์ ซึ่งมีลักษณะเด่นที่แตกต่างกันของปริมาณเบต้าแคโรทีน โดยจะขึ้นอยู่กับสีของธัญพืช และจากการศึกษาพบว่า ข้าวมีสีมีปริมาณค่าเฉลี่ยของเบต้าแคโรทีน 0.13 ไมโครกรัม/ กรัมตัวอย่าง ซึ่งผลเป็นไปในทำนองเดียวกันกับพันธุ์ข้าวของประเทศมาเลเซีย เวียดนาม และประเทศไทย (Frei and Becker, 2004; เพ็ญพรรณ, 2550)

2.3 การสกัดสารต้านอนุมูลอิสระ

การสกัด (extraction) เป็นวิธีการแยกส่วนที่ต้องการออกจากส่วนที่ไม่ต้องการ โดยใช้ตัวนำ (carrier) และวิธีการที่เหมาะสม ซึ่งการสกัดในระบบของเหลว-ของแข็งนี้เป็นกระบวนการแยกสารออกจากของแข็งที่ไม่ละลายในของเหลวใดๆ ด้วยของเหลวชนิดหนึ่ง สารที่แยกได้จากของแข็งอาจมีหนึ่งชนิดหรือมากกว่า และอาจจะเป็นของเหลวหรือของแข็งก็ได้ ของเหลวที่ใช้ในการสกัดเรียกว่า ตัวทำละลาย (solvent) ส่วนสารที่สกัดได้ เรียกว่า ตัวถูกละลาย (solute) (คารณี, 2527; สมจิตร, 2544) สำหรับการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระนั้น โดยทั่วไปจะสกัดในระบบของเหลว-ของแข็ง (liquid-solid extraction) โดยใช้ตัวทำละลายชนิดต่างๆ เช่น น้ำ อะซิโตน เอทานอล และ เมทานอล เป็นต้น และในการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระนั้น นอกจากปัจจัยในเรื่องของตัวทำละลาย ลักษณะของวัตถุดิบ ระยะเวลาและอุณหภูมิในการสกัด ซึ่งต่างก็มีผลต่อปริมาณสาร องค์ประกอบของสาร และความสามารถของการออกฤทธิ์ของสารอีกด้วย

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการสกัดและมีผลต่อสารต้านอนุมูลอิสระมีหลายปัจจัย เช่น ลักษณะของวัตถุดิบที่ใช้สกัด ชนิดของตัวทำละลาย อัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบต่อตัวทำละลาย รวมถึงสภาวะที่ใช้ในการสกัด ได้แก่ อุณหภูมิและระยะเวลาในการสกัด ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.3.1 ลักษณะของวัตถุดิบ

ลักษณะของวัตถุดิบที่นำมาสกัดสารต้านอนุมูลอิสระที่แตกต่างกันย่อมมีผลต่อปริมาณสารสกัด ซึ่งหากลักษณะของวัตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนที่มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระอยู่มากก็จะส่งผลให้ได้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระมากขึ้น เช่น สารแอนโทไซยานินซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระชนิดหนึ่ง โดยส่วนใหญ่สารแอนโทไซยานินจะอยู่บริเวณผิวของเปลือกผักและผลไม้ หรือส่วนของเยื่อหุ้มของเมล็ดธัญพืช

Jang and Xu (2009) ศึกษาเปรียบเทียบปริมาณแอนโทไซยานินจากรำข้าวชั้นนอกและรำข้าวชั้นใน โดยรำข้าวชั้นนอกได้จากการนำข้าวมาขัดเอารำออกที่ระยะเวลา 0-40 นาที ส่วนรำข้าวชั้นในได้จากการขัดเอารำออกที่ระยะเวลา 40-60 นาที พบว่า สารสกัดจากรำข้าวชั้นในมีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด 29.0 มิลลิกรัม/ กรัมตัวอย่าง และมีแอนโทไซยานินชนิด cyanidin 3-glucoside 26.4 มิลลิกรัม/ กรัมตัวอย่าง ขณะที่รำข้าวชั้นนอกมีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดในปริมาณ 3.5 มิลลิกรัม/ กรัมตัวอย่าง และมีแอนโทไซยานินชนิด cyanidin 3-glucoside 3.2 มิลลิกรัม/ กรัมตัวอย่าง

2.3.2 ตัวทำละลาย

ตัวทำละลายที่ดีควรมีค่าความเป็นขั้ว (polarity index) ที่เหมาะสมกับตัวถูกละลายและมีความหนืด (viscosity) ต่ำ เพื่อให้มีการไหลเวียนที่ดีและเป็นการลดความหนืดของชั้นตัวถูกละลายที่อยู่โดยรอบเซลล์ โดยทั่วไปมักไม่นิยมใช้ตัวทำละลายบริสุทธิ์ในการสกัดสารสำคัญ แต่จะใช้ตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับตัวทำละลายอื่นในสัดส่วนที่พอเหมาะ เพื่อช่วยในการแทรกซึมของตัวทำละลายเข้าสู่เซลล์ได้ดีขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ในโมเลกุลเป็นจำนวนมาก ทำให้เกิดการพองตัวของเซลล์ได้ง่าย การแทรกซึมของตัวทำละลายจึงเกิดได้ดีขึ้น นอกจากนี้สารบางอย่างอาจละลายได้ดีในน้ำผสมกับตัวทำละลายอื่นใกล้เคียงกับการละลายในตัวทำละลายบริสุทธิ์เพียงอย่างเดียว (สมจิตร, 2544) สำหรับตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระนั้น ชนิดของตัวทำละลาย และอัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบกับตัวทำละลายเป็นสิ่งที่สำคัญที่ควรคำนึงถึง เนื่องจากหากใช้ชนิดของตัวทำละลายและอัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบกับตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดสารจะส่งผลให้ได้ปริมาณสารที่เพิ่มขึ้น

2.3.2.1 ชนิดของตัวทำละลาย

การสกัดสารต้านอนุมูลอิสระ โดยทั่วไปมักใช้น้ำกับสารอินทรีย์เป็นตัวทำละลาย เช่น เมทานอล เอทานอล อะซิโตน และคอโรฟอร์ม (Perez-Jimenez *et al.*, 2008) การสกัดสารต้านอนุมูลอิสระนั้นชนิดของตัวทำละลายเป็นสิ่งสำคัญ เมื่อเลือกใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสมกับวัตถุดิบจะมีผลต่อปริมาณสารสกัด จากตารางที่ 2.3 เป็นความสามารถของตัวทำละลายชนิดต่างๆในการสกัดสารแอนโทไซยานิน

Table 2.3 Ability of solvents anthocyanin extraction

Material	Sovent	Total anthocyanin	Reference
Black currant	70% Methanol	6148.9 mg/ L	Lapornik <i>et al.</i> (2005)
	70% Ethanol	4213.6 mg/ L	
	Water	2210.3 mg/ L	
Grape (cabon maceration)	70% Methanol	708.6 mg/ L	Lapornik <i>et al.</i> (2005)
	70% Ethanol	697.2 mg/ L	
	Water	65.0 mg/ L	
Black rice	Methanol	1.30 g / Kg	Finocchiaro <i>et al.</i> (2010)
	Acetone /water	0.75 g/ Kg	

จากตารางจะเห็นได้ว่า เมทานอลเป็นตัวทำละลายที่มีประสิทธิภาพในการสกัดสูงที่สุดรองลงมาคือ เอทานอล และสุดท้ายคือน้ำ ชนิดของตัวทำละลายมีผลต่อการสกัด โดยเมื่อใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสมกับวัตถุดิบที่นำมาสกัดจะส่งผลต่อปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระที่สกัดได้ สำหรับในอาหารโดยทั่วไปมักใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลายเนื่องจากมีความเป็นพิษน้อย แต่มีประสิทธิภาพในการสกัดไม่สูงมากและการกำจัดภายหลังเป็นไปได้ยาก (Escribano-Bailon *et al.*, 2004) และในการเลือกตัวทำละลายควรคำนึงถึงวัตถุดิบ เนื่องจากวัตถุดิบต่างกันย่อมเหมาะสมกับตัวทำละลายที่ต่างกัน

2.3.2.2 อัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบต่อตัวทำละลาย

อัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบต่อตัวทำละลายเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในการสกัด เนื่องจากมีผลต่ออัตราการแลกเปลี่ยนมวลสารระหว่างวัตถุดิบกับตัวทำละลาย หากวัตถุดิบและทำละลายมีอัตราส่วนที่เหมาะสมก็จะทำให้ได้สารสกัดที่มีความเข้มข้นและปริมาณสูง

ยูพาพร (2547) ศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบต่อตัวทำละลายไฮโดรคลอริก 1 เปอร์เซ็นต์ ในเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ ในการสกัดสารแอนโทไซยานินจากเปลือกมังคุด โดยมีอัตราส่วนคือ 1:10 1:25 1:50 1:100 และ 1:250 พบว่า เมื่ออัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบต่อตัวทำละลายเพิ่มขึ้น ปริมาณแอนโทไซยานินที่สกัดได้มีปริมาณเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่ออัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบต่อตัวทำละลายเพิ่มขึ้น ปริมาตรของตัวทำละลายเพิ่มมากขึ้น ทำให้แอนโทไซยานินที่อยู่ในตัวของวัตถุดิบสามารถแยกออกมาได้มาก และเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณแอนโทไซยานินที่สกัดได้

จากการสกัดครั้งที่ 1, 2 และ 3 พบว่าในการสกัดครั้งแรกจะได้แอนโทไซยานินที่มีปริมาณมากกว่าครั้งที่ 2 และ 3

อัสมา (2554) ศึกษาผลของสัดส่วนข้าวต่อน้ำ (1:5, 1:15 และ 1:25) ในการสกัดสารโพลีฟีนอล สารแอนโทไซยานิน และความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ 3 ชนิด (DPPH[•], ABTS⁺ และ SRSA) ของน้ำสกัดจากข้าวมีสี พบว่าปริมาณสารโพลีฟีนอล และแอนโทไซยานินทั้งหมดของ น้ำสกัดมีปริมาณลดลงตามสัดส่วนของข้าวต่อน้ำที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากน้ำสกัดมีความเจือจางมากขึ้น และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของน้ำสกัดมีค่าลดลงตามสัดส่วนของข้าวต่อน้ำที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของน้ำสกัดขึ้นอยู่กับปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ (สารโพลีฟีนอลและแอนโทไซยานิน) ซึ่งหากน้ำสกัดมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระสูงจะส่งผลให้ให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้นด้วย

2.3.3 สภาวะในการสกัด

สภาวะในการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ ระยะเวลา และอุณหภูมิในการสกัดมีผลต่อปริมาณสารสกัด กล่าวคือเมื่อใช้ระยะเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมส่งผลให้ได้ปริมาณสารสกัดเพิ่มขึ้น

ระยะเวลาในการสกัดมีผลต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ เนื่องจากระยะเวลามีผลต่อการแพร่ (diffuse) ของสารต้านอนุมูลอิสระออกจากเซลล์เมมเบรนเข้าสู่สารละลาย มีรายงานของ Lapornik *et al.* (2005) ที่ศึกษาผลของระยะเวลาการสกัดต่อปริมาณสารโพลีฟีนอล และแอนโทไซยานินในองุ่นดำ โดยการศึกษาใช้ระยะเวลาในการสกัดที่แตกต่างกัน คือ 1, 12 และ 24 ชั่วโมง (ใช้เอทานอล 70 เปอร์เซ็นต์เป็นตัวทำละลาย) ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณสารโพลีฟีนอลของสารสกัดเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระยะเวลาการสกัด คือ 6135.7, 7092.3 และ 7557.9 มิลลิกรัม/ ลิตร ตามลำดับ เช่นเดียวกับปริมาณแอนโทไซยานินที่เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระยะเวลาการสกัดเพิ่มขึ้น คือ 4213.6, 4980.8 และ 6148.9 มิลลิกรัม/ ลิตร

ดวงกมล (2551) ศึกษาผลของอุณหภูมิ (55-65 องศาเซลเซียส) และระยะเวลา (45-90 นาที) ในการสกัดต่อปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดในข้าวเหนียวดำ โดยใช้อัตราส่วนข้าวเหนียวดำต่อน้ำเท่ากับ 1:3 พบว่าอุณหภูมิและระยะเวลาในการสกัดมีอิทธิพลต่อปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดที่สกัดได้ โดยเมื่ออุณหภูมิในการสกัดสูงขึ้นมีผลทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดสูงขึ้น แต่เมื่อเพิ่มเวลาในการสกัดนานขึ้นมีผลทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดลดลง (ตารางที่ 2.4)

Table 2.4 Total anthocyanin (mg/ 100g) at various temperature and time of extraction

Temperature (°C)	Time (min)			
	45	60	75	90
55	300.33	266.76	248.32	215.56
60	305.52	276.08	255.22	225.23
65	302.99	282.34	259.93	240.94

Source: ดวงกมล (2551)

อัสม่า (2554) ศึกษาผลของอุณหภูมิการสกัดต่อปริมาณสารโพลีฟีนอล สารแอนโทไซยานิน และความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระในข้าวมีสี โดยการสกัดใช้อุณหภูมิที่แตกต่างกันคือ 60, 80, 100 และ 120 องศาเซลเซียส พบว่า เมื่ออุณหภูมิการสกัดสูงขึ้นส่งผลให้ปริมาณโพลีฟีนอล แอนโทไซยานิน และความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณแอนโทไซยานินลดลงเมื่อใช้อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เนื่องจากอุณหภูมิสูงมีผลให้โครงสร้างของแอนโทไซยานินมีการเปลี่ยนแปลง

สถานะของการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระ ควรเลือกสถานะที่เหมาะสมทั้ง วัตถุประสงค์ ตัวทำละลาย อัตราส่วนของวัตถุดิบต่อตัวทำละลาย ระยะเวลา และอุณหภูมิ เพื่อให้ได้สารต้านอนุมูลอิสระในปริมาณมากและมีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระได้สูงสุด นอกจากการเลือกสถานะที่เหมาะสมแล้ว การเลือกวิธีการสกัดที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง เพื่อให้ได้ปริมาณสารสกัดและความสามารถในการสกัดสูงสุดอีกด้วย

2.3.4 การตรวจสอบปริมาณและความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระ

การตรวจสอบปริมาณสามารถวิเคราะห์ได้หลายวิธี (ตารางที่ 2.5) โดยวิธีที่นิยมใช้มากที่สุดคือ วิธี Folin-Ciocaltue หรือ Vanillin และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิค UV-vis spectroscopy เทียบกับสารละลายมาตรฐานเช่น แกลลิก (gallic) หรือคาเทชิน (catechin) ส่วนการระบุชนิดและการวิเคราะห์ปริมาณสามารถใช้เทคนิค HPLC (high performance liquid chromatography) ร่วมกับ UV-vis spectroscopy และ Mass spectrometry เป็นต้น ส่วนการตรวจสอบความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระ สามารถทำได้หลายวิธีเช่นเดียวกัน จากการที่ร่างกายและเซลล์มีอนุมูลอิสระเกิดขึ้นได้หลายชนิด จึงมีระบบควบคุมและป้องกันไม่ให้มีอนุมูลอิสระเกินสมดุลทำให้เกิดอันตราย ซึ่งระบบควบคุมดังกล่าวจะหมายถึงสารขจัดอนุมูลอิสระหรือต้านออกซิเดชัน (โอภาและคณะ, 2549) การวัดประสิทธิภาพหรือความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระ มีหลายวิธีเช่น การวัดด้วยวิธี Scavenging activity of ABTS⁺ radical วิธี DPPH[•] (2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) radical วิธี Metal chelating activity และวิธี Hydroxyl (OH[•]) radical scavenging activity เป็นต้น

Prince of Songkla University
Pattani Campus

Table 2.5 Analysis methods of phenolic compounds in cereal

Method	Standard	Reagents	Sovent	Time	Assayed compounds	References
Prussian blue	Catechin	FeCl ₃ in HCl	Methanol	1 min	Phenolic compounds	Pirie <i>et al.</i> (1976)
Folin-Ciocalteu	Catechin or gallic acid	Folin-Ciocalteu reagent	Methanol	1 h	Phenolic compounds	Kaluza <i>et al.</i> (1980)
Folin-Denis	Tannic acid	Folin-Denis Vanilin reagent	Water	5 h	All reducing compound	Maxson and Rooney (1972)
Vanillin	Catechin	4% HCl, 1% vanillin in methanol	Methanol	24 h	Leucoanthocyanidins, Proanthocyanidins	Nip and Burns (1971)
Acid butanol	Purified proanthocyanidins	HCl in butanol	Methanol	20 min	Proanthocyanidins	Porter <i>et al.</i> (1986)
International Standardization Organization (ISO)	Tannic acid	Ferric ammonium citrate, NH ₃	Dimethylformamide	1 h	Proanthocyanidins	ISO 9648 (1988)
Relative-degree of polymerization	-	HCl in butanol; 4% HCl, 0.5% vanillin in acetic acid	Methanol; 1% HCl in Methanol	15 min	Leucoanthocyanidins, anthocyanidins, proanthocyanidins	Butler (1982)

2.4 คลื่นเสียงความถี่สูง (Ultrasonic, US)

คลื่นเสียงความถี่สูงหรือคลื่นเหนือเสียง เป็นคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงเกินกว่าที่มนุษย์สามารถได้ยินหรือมากกว่า 16 กิโลเฮิรตซ์ (Soria and Villamiel, 2010) โดยทั่วไปมนุษย์สามารถได้ยินเสียงที่อยู่ในช่วงความถี่ 16 เฮิรตซ์-16 กิโลเฮิรตซ์ สำหรับคลื่นเสียงความถี่สูงที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์จะมี 2 ช่วงความถี่ คือ ช่วงความถี่สูง 1-10 เมกะเฮิรตซ์ จะนำมาประยุกต์ใช้ในการวินิจฉัยและการรักษาทางการแพทย์เช่น การตรวจอัลตราซาวด์ทารกในครรภ์มารดา และช่วงความถี่ต่ำ 20-100 กิโลเฮิรตซ์ จะนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ เช่น อุปกรณ์ทำความสะอาด กระบวนการแตกเซลล์ และการเร่งปฏิกิริยา เป็นต้น (Mason and Lorimer, 1988; สมจิตร, 2544)

คลื่นเสียงความถี่สูงเป็นคลื่นตามยาว (longitudinal wave) การเคลื่อนที่ที่จะต้องอาศัยตัวกลางในการถ่ายเทพลังงาน โดยอนุภาคตัวกลางจะสั่นไปมาหรือย้ายตำแหน่งในแนวเดียวกับทิศทางการเคลื่อนที่ของพลังงาน การเคลื่อนที่ของคลื่น (propagation of wave) ไปในตัวกลางของเหลวจะทำให้เกิดการสั่นสะเทือน (vibrate หรือ oscillate) เกิดเป็นส่วนอัด (compression) และส่วนขยาย (rarefaction) สลับไปมาแพร่กระจายในตัวกลาง บริเวณผิวหน้าของของเหลวจะถูกอัด ทำให้ความหนาแน่นและความดันของของเหลวมากขึ้น เกิดการชนกันของโมเลกุลบริเวณนี้มาก ส่งผลให้เกิดการกดของของเหลวในชั้นถัดไป และบริเวณที่ถูกกดตอนแรกจะกลับมามีอยู่ในสภาพเดิม เมื่ออยู่ในส่วนขยายจะทำให้ความดันและความหนาแน่นลดลงส่วนอัดและส่วนขยายนี้จะเดินทางด้วยความเร็วค่าหนึ่งขึ้นกับความหนาแน่น และค่าของสัมประสิทธิ์การยืดหยุ่น (compressibility) ของสารที่เป็นตัวกลาง และพลังงานของคลื่นเสียงความถี่สูงที่เกิดขึ้นจะส่งผลกระทบต่อทั้งทางเคมี ชีวภาพ และกายภาพ โดยผ่านปรากฏการณ์ที่เรียกว่า คาวิเทชัน (cavitation) (ภาพที่ 2.6) คาวิเทชันเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อฟองอากาศ ขนาดเล็กจำนวนมาก ซึ่งปรากฏอยู่ภายในตัวของเหลว บริเวณผิวของของแข็งที่ปนอยู่ในของเหลวนั้น หรือบริเวณผิวของภาชนะที่บรรจุของเหลวนั้น ซึ่งถือเป็นจุดกำเนิด (nuclei) ของคาวิเทชัน เมื่อถูกแรงกระทำโดยแรงดันอัดและแรงดันขยาย เนื่องจากความดันของคลื่นเสียงความถี่สูงทำให้ฟองมีขนาดขยายใหญ่ขึ้นและหดตัวลงสลับกันเป็นจังหวะตามแรงดันของคลื่นเสียงความถี่สูง ลักษณะที่คาวิเทชันขยายใหญ่และหดตัวลงนี้ เนื่องจากมีก๊าซภายในของเหลวแพร่ผ่านเข้าและออกจากฟองอากาศเหล่านี้สลับกันไปทำให้เกิดลักษณะคล้ายการกววนของเหลวอย่างรุนแรง (Mason and Lorimer, 1988; สมจิตร, 2544) ดังนั้นกลไกและกระบวนการดังกล่าวที่เกิดขึ้นผลให้เพิ่มประสิทธิภาพของการสกัดด้วยตัวทำละลาย

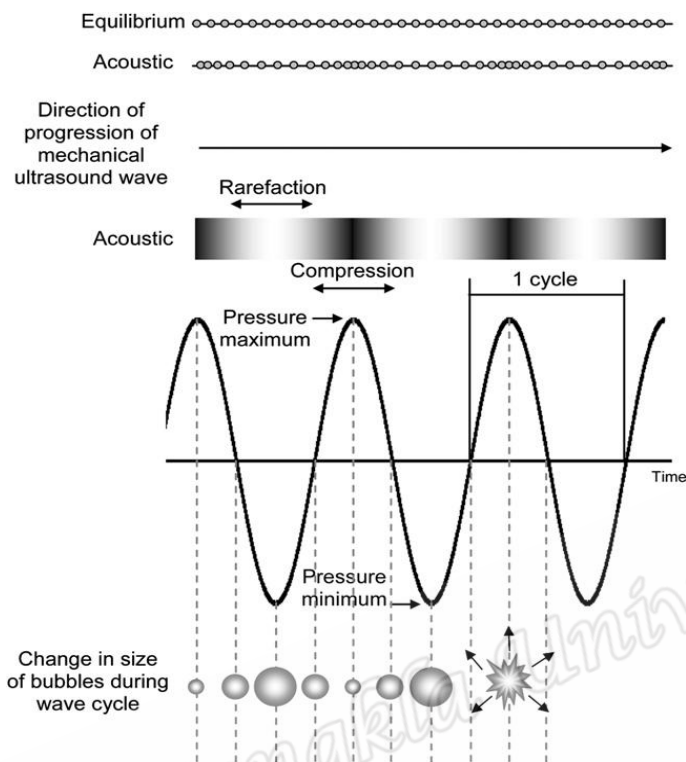


Figure 2.6 The phenomenon of ultrasonic mechanism

Source: Soria and Villamiel (2010)

2.4.1 การใช้คลื่นเสียงความถี่สูงในการสกัดสารพฤษเคมี

คลื่นเสียงความถี่สูงสามารถใช้ประโยชน์ในการสกัดสารพฤษเคมี ซึ่งเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ส่งผลให้เกิดการเคลื่อนที่ของมวลสาร และทำให้ตัวทำละลายสามารถแทรกซึมเข้าไปในวัตถุดิบที่ใช้ในการสกัดได้ดีขึ้นจึงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการสกัด ถ้าวัตถุดิบอยู่ในสภาพที่แห้งเมื่อมีการสกัดด้วยตัวทำละลาย คลื่นเสียงความถี่สูงจะส่งเสริมให้เกิดการพองตัวของวัตถุดิบที่นำมาสกัด นอกจากนี้ยังมีผลให้ผนังเซลล์แตก ทำให้เกิดการปลดปล่อยของสารในปริมาณที่เพิ่มขึ้นอีกด้วย (Soria and Villamiel, 2010) มีรายงานการใช้คลื่นเสียงความถี่สูงในการสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพชนิดต่างๆ และสถานะและผลการสกัดดังตารางที่ 2.6

Table 2.6 Application of ultrasonic for bioactive compound extraction

Bioactive compound	US operating conditions	Performance/Remarks	Reference
- Carnoxic acid from rosemary	10 g dried leaves + 100 mL Butanone/ Ethyl acetate/ EtOH, 50 °C, 15 min - Horn system (20 kHz) - Ultrasonic bath (40 kHz)	-Extraction time reduction with respect to a shaking water bath (15 min vs 3 h) - Sonication reduces the dependence of the extraction yield on the solvent, allowing for more economic, environmentally-friendly, healthy and safe processes	Albu <i>et al.</i> (2004)
-Antimicrobials from Thai spices (ginger, fingerroot and turmeric)	10 g dried ground spice + 100 mL Hexane/ Isopropanol and mixtures -US probe (20 kHz, 5 min, 6.8 W cm ⁻²)	-US in combination with proper solvent selection reduces processing times and costs of spice essential oils with antimicrobial activity	Thongson <i>et al.</i> (2004)
-Chitin from fresh water prawn shells	Stainless steel probe (41 W cm ⁻²) - US demineralization (0.25M HCl, 1:40 w:v, 40 °C, 4 h) -US deproteinization (0.25 M NaOH, 1:15w:v, 40 °C, 4 h)	Simpler and shorter extraction treatments and production of less crystalline polymers for better conversion to chitosan	Kjartansson <i>et al.</i> (2006)

Table 2.6 Application of ultrasonic for bioactive compound extraction. (ต่อ)

Bioactive compound	US operating conditions	Performance/Remarks	Reference
-Oleuropein and related biophenols from olive leaves	1 g milled dried leaves + EtOH:H ₂ O (59:41) at 5 mL min ⁻¹ , 40 °C, 25 min US probe (20 kHz, 450 W) immersed into a water bath in which the extraction cell is placed	-Optimisation of dynamic US with promise for application in pilot-plant scale -Faster and more efficient approach than conventional Methods (25 min vs 24 h for 100% yield)	Japon-Lujan <i>et al.</i> (2006)
-Phenolic-rich heteroxylans from wheat bran	Wheat bran 3 g + 0.5%, 2% or 5% NaOH and sonicated (sonic power 100 W, 20 kHz, horn-type 20 mm diameter) at the given temperature for 5–10 min and then the extraction process was prolonged at the same temperature for 60 min.	-The efficiency of the ultrasound-assisted extraction of hemicelluloses was highly depended on the extracting agent and conditions used in extraction step I, and showed several advantages.	Hromadkova <i>et al.</i> (2008)
water-soluble polysaccharide extracted from mung bean (<i>Vigna radiata</i> L.)	The extraction was carried out using an ultrasonic cleaner (KQ-300VDE, Kunshan Ultrasonic Instruments Co. Ltd.) at a power of 150W for 30 min at room temperature without additional stirring.	-Ultrasonic treatment can change the structure and other properties of the polysaccharides.	Lai <i>et al.</i> (2010)

Source: adaptation Soria and Villamiel. (2010)

2.4.2 การเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง

คลื่นเสียงความถี่สูงมีประสิทธิภาพในการส่งเสริมการสกัดสารหลายชนิด ทั้งสารสกัดจากสมุนไพร น้ำมัน โปรตีน รวมไปถึงสารไบโอแอคทีฟจากพืช ซึ่งการใช้คลื่นเสียงความถี่สูงในการช่วยสกัดทำให้ลดระยะเวลาในการสกัด ลดปริมาณการใช้ตัวทำละลาย และทำให้ลดต้นทุนในการผลิต

Chen *et al.* (2007) เปรียบเทียบการสกัดสารแอนโทไซยานินจากราสเบอร์รี่สีแดง ด้วยวิธีการสกัดแบบทั่วไป (การให้ความร้อน) โดยใช้ตัวทำละลาย 1.5 โมล ไฮดรอกลอลิก และ 95 เปอร์เซ็นต์ เอทานอล และการใช้คลื่นเสียงความถี่สูง โดยใช้คลื่นความถี่ที่ 22 กิโลเฮิรตซ์ หัวโพรบมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร ผลการศึกษาพบว่า การใช้คลื่นเสียงความถี่สูงสามารถลดอัตราส่วนระหว่างตัวทำละลายและตัวอย่าง ลดระยะเวลาในการการสกัด ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดสารแอนโทไซยานิน ดังตารางที่ 2.7 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการสกัดทั้งสองวิธีได้ปริมาณแอนโทไซยานินที่ใกล้เคียงกัน แต่ใช้ระยะเวลาและปริมาณตัวทำละลายต่างกัน คือการสกัดด้วยวิธีทั่วไปจะต้องใช้ระยะเวลา และตัวทำละลายที่มากกว่าการใช้คลื่นเสียงความถี่สูงในการสกัด และภาพที่ 2.7 แสดงความแตกต่างของลักษณะของเนื้อเยื่อราสเบอร์รี่สีแดงหลังการสกัด โดยให้ความร้อนและสกัดด้วยวิธีคลื่นเสียงความถี่สูง

Table 2.7 Comparison of optimum results between US and conventional solvent extraction

Method	Solvent/sample (ml/g)	Time (min)	Temperature (°C)	Power (W)	Extraction yield (mg/100 g wet)
Conventional	5/1	53	71	-	35.1± 0.5
Ultrasonication	4/1	3.3	-	400	34.5 ± 0.5

Source: Chen *et al.* (2007)

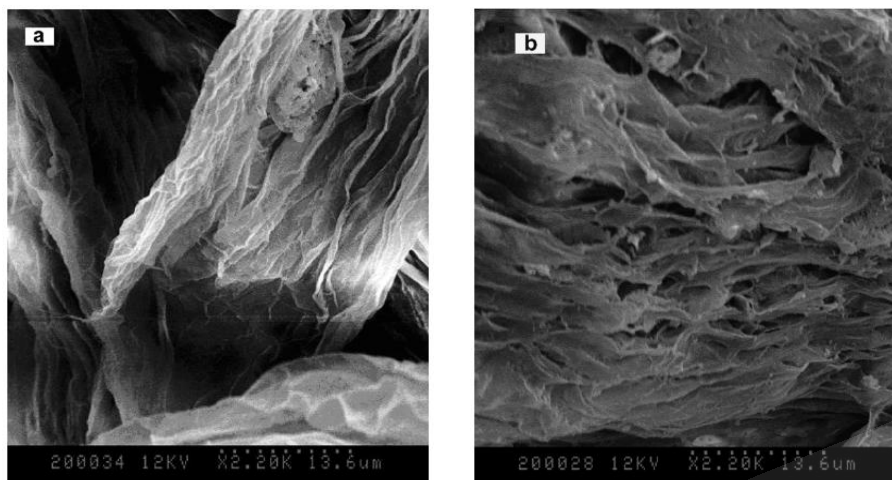


Figure 2.7 Scanning electron micrographs of red raspberry fruit after extraction (a) By conventional extraction. Very few cell walls were degraded by heating up. (b) By US

Source: Chen *et al.* (2007)

Huang *et al.* (2009) เปรียบเทียบการสกัดสารฟลาโวนอยด์จากพืชชนิดหนึ่ง *Folium eucommiae* ด้วยวิธีต่างๆ ได้แก่ การใช้ความร้อน การใช้คลื่นเสียงความถี่สูง การสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟ และการสกัดด้วยเอนไซม์ โดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย ผลการศึกษาพบว่า การสกัดด้วยวิธีคลื่นเสียงความถี่สูง ส่งผลให้ปริมาณของสารฟลาโวนอยด์มีค่าเท่ากับ 41 เปอร์เซ็นต์ และอัตราการสกัดของสารฟลาโวนอยด์มีค่าเท่ากับ 17 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าดังกล่าวสูงกว่าการสกัดโดยใช้ความร้อน ไมโครเวฟ และการใช้เอนไซม์ ดังภาพที่ 2.8

Khan *et al.* (2010) ศึกษาการสกัดสารฟีนอลจากเปลือกส้ม ในการศึกษาใช้เอทานอลผสมกับน้ำเป็นตัวทำละลาย โดยเปรียบเทียบวิธีการสกัด 2 วิธี คือ การสกัดด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง และการสกัดด้วยตัวทำละลาย ผลการศึกษาพบว่า การใช้คลื่นเสียงความถี่สูง ได้ปริมาณสารฟีนอลและความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระ (oxygen radical absorbance capacity, ORAC) สูงกว่าการสกัดด้วยตัวทำละลาย (ภาพที่ 2.9)

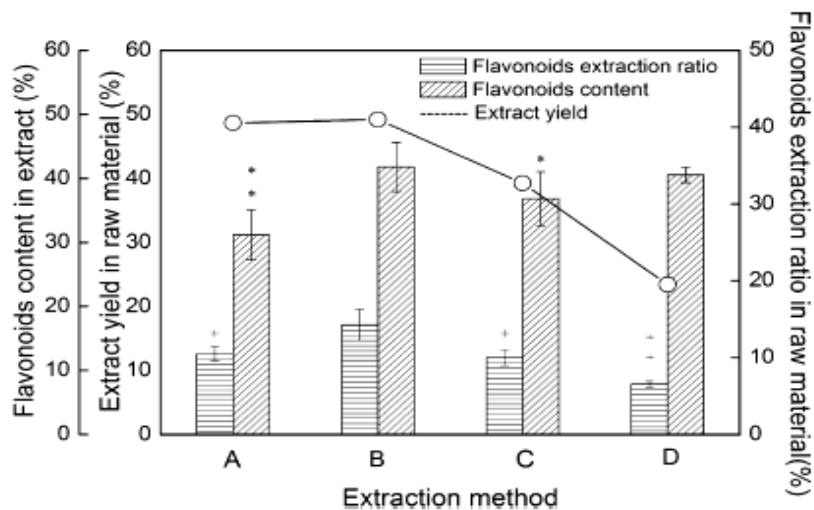


Figure 2.8 Compare extraction from *Folium eucommiae*

A : Heating extraction

B : U-assisted extraction

C : Microwaves-assisted extraction

D : Enzyme-assisted extraction

Source: Huang *et al.* (2009)

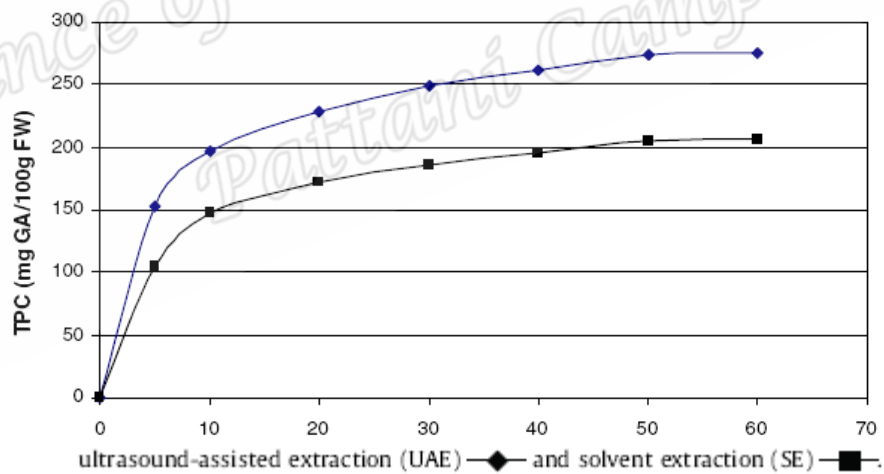


Figure 2.9 Comparison of total phenol content from 2 extraction methods

Source: Khan *et al.* (2010)

Tabaraki and Nateghi (2011) ศึกษาผลของระยะเวลา (15 และ 45 นาที) ของการใช้คลื่นเสียงความถี่สูง ในการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระจากรำข้าว สกัดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และใช้เอทานอลเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ เป็นตัวทำละลาย ผลการศึกษาพบว่า การสกัดที่ระยะเวลา 45 นาที มีปริมาณฟีนอลทั้งหมด 4.79 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/ กรัม น้ำหนักแห้ง ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (ferric reducing antioxidant power, FRAP) เท่ากับ 47.36 ไมโครโมลของ Fe^{2+} / กรัม น้ำหนักแห้ง และ DPPH[•] เท่ากับ 36.04 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่าการสกัดที่ระยะเวลา 15 นาที ซึ่งมีปริมาณฟีนอลทั้งหมด 3.51 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/ กรัม น้ำหนักแห้ง ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ FRAP เท่ากับ 36.64 ไมโครโมลของ Fe^{2+} / กรัม น้ำหนักแห้ง และ DPPH[•] เท่ากับ 25.09 เปอร์เซ็นต์

จากประสิทธิภาพการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระด้วยคลื่นเสียงความถี่สูงที่กล่าวมา แสดงให้เห็นว่าการใช้คลื่นเสียงความถี่สูงในการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระสามารถลดระยะเวลาและปริมาณตัวทำละลายในการสกัดได้ อีกทั้งยังสามารถเพิ่มปริมาณและความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระอีกด้วย ดังนั้นการสกัดด้วยคลื่นเสียงความถี่สูงจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระ

2.4.3 การสกัดด้วยคลื่นเสียงความถี่สูงต่อความคงตัวของสารพฤษเคมี

คลื่นเสียงความถี่สูงสามารถสกัดสารพฤษเคมี ส่งผลให้เกิดการเคลื่อนที่ของมวลสาร และทำให้ตัวทำละลายสามารถแทรกซึมเข้าไปในวัตถุดิบที่ใช้ในการสกัดได้ดีขึ้นจึงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการสกัด ซึ่งในขณะเดียวกันการใช้คลื่นเสียงความถี่สูงในการสกัด ก็อาจส่งผลต่อความคงตัวของสารสกัดเช่นเดียวกัน ทั้งนี้อาจเกี่ยวข้องกับปัจจัยต่างๆ เช่น ระดับกำลังของการสกัด ระยะเวลาในการสกัด อุณหภูมิ รวมถึงตัวทำละลายที่ใช้สกัดด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง เป็นต้น

Yang *et al.* (2008) ศึกษาผลของระดับกำลัง (120-300 วัตต์) ในการสกัดด้วยคลื่นเสียงความถี่สูงต่อปริมาณโพลีแซคคาไรด์ (recovery) และความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH[•] จากการศึกษาพบว่าเมื่อระดับกำลังเพิ่มขึ้นส่งผลให้ ปริมาณโพลีแซคคาไรด์ (recovery) ความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH[•] ลดลง

Tawari *et al.* (2010) ศึกษาผลของระดับแอมพลิจูดของคลื่นเสียงความถี่สูง (24-61 μ m) ในการสกัดด้วยคลื่นเสียงความถี่สูงต่อปริมาณแอนโทไซยานิน (cyaniding -3-O-glucoside) พบว่า เมื่อระดับแอมพลิจูดของคลื่นเสียงความถี่สูงเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณแอนโทไซยานินมีปริมาณลดลง (13.68-11.83 มิลลิกรัม/ 100 มิลลิลิตร)

Qiao *et al.* (2014) ศึกษาผลของการสกัดด้วยคลื่นเสียงความถี่สูงต่อความคงตัวของสาร 14 ชนิด ในกลุ่มฟลาโวนอยด์จากเปลือกส้ม จากการศึกษาพบว่าสาร 13 ชนิด (eriocitrin, narirutin, neohesperidin, quercitrin, eridictyol, didymin, naringenin, luteolin, sinensetin, nobiletin, tangeretin, naringin, และ hesperidin) ในกลุ่มฟลาโวนอยด์ที่ผ่านการสกัดด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง (ที่สภาวะอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ระดับกำลัง 15.29 วัตต์/ ตร.ซม. เวลา on/off ของ US 2/2 วินาที และตั้งทิ้งไว้ 20 นาที) มีค่าความเข้มข้นของสารใกล้เคียงกับการสกัดที่ไม่ผ่านคลื่นเสียงความถี่สูง (control) ขณะเดียวกันสาร quercetin มีค่าความเข้มข้นลดลง และเมื่อนำสาร quercetin ที่ผ่าน US มาตรวจสอบด้วย FT-IR พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างเกิดขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับสาร quercetin ที่ไม่ผ่านคลื่นเสียงความถี่สูง โดยมีพันธะไฮโดรเจนเกิดขึ้นภายในโมเลกุล มีการเปลี่ยนแปลงของวงแหวน B อาจเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาของ dihydroxyl ในวงแหวน B และมีการรวมกันของ heterocyclic ในวงแหวน C ของสาร quercetin ภายหลังจากการสกัดด้วยคลื่นเสียงความถี่สูงซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเป็นสาเหตุให้สาร quercetin มีความเข้มข้นลดลง และผลิตภัณฑ์หรือการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างที่อาจเกิดขึ้นได้ภายหลังจากใช้คลื่นเสียงความถี่สูงแสดงดังภาพที่ 2.10

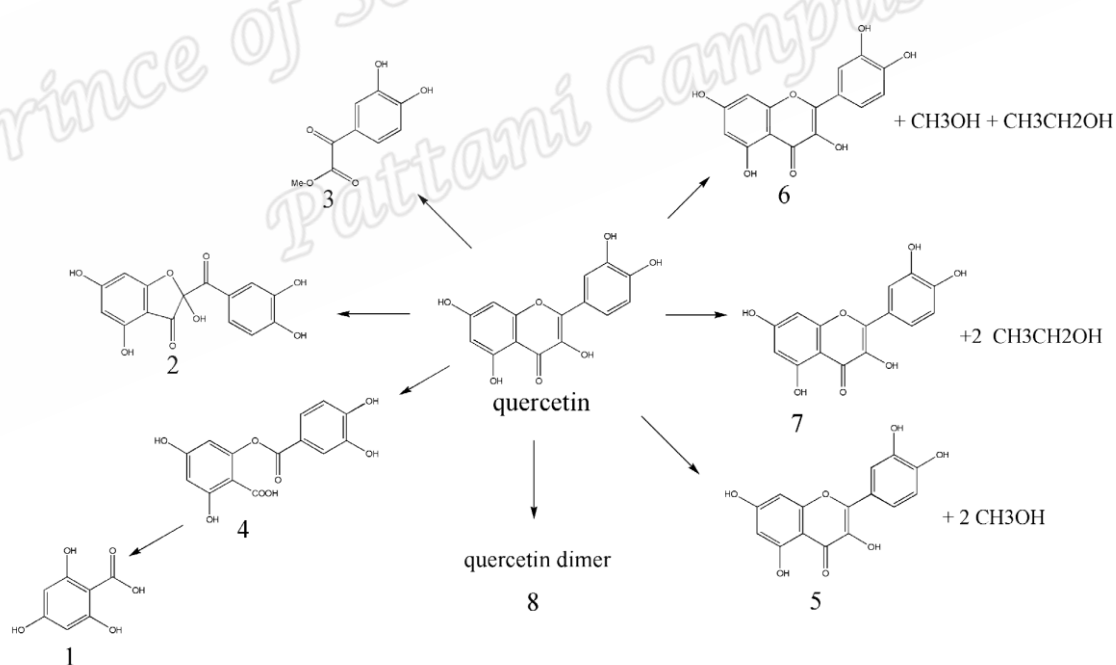


Figure 2.10 Proposed degradation mechanism of quercetin under ultrasound treatment

Source: Qiao *et al.* (2014)

2.5 ผลผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำสกัดจากข้าวมีสี

เครื่องดื่มน้ำสกัดจากสารสกัดเป็นการนำสารสกัดจากผักหรือผลไม้มาผ่านกระบวนการแปรรูปเพื่อทำให้อยู่ในรูปของเครื่องดื่ม ซึ่งในการสกัดสารจากผักและผลไม้ต้องคำนึงถึงการรักษาสารที่ได้จากการสกัดให้คงไว้ของคุณค่าทางอาหาร และการบริโภคเครื่องดื่มจากสารสกัดก็กำลังเป็นที่นิยมนักอย่างแพร่หลายเนื่องจากการเสริมสร้างสุขภาพให้ดียิ่งขึ้น (คำธณและคณะ, 2546; ปารมี, 2550)

สำหรับผลผลิตภัณฑ์ในกลุ่มของเครื่องดื่มน้ำสกัดที่มีอยู่ในท้องตลาดมีด้วยกันหลากหลายชนิด ซึ่งจากผลผลิตภัณฑ์แบรนด์วีต้าพรุณสกัดมีส่วนประกอบของน้ำพรุณสกัด ปริมาณ 93.9 เปอร์เซ็นต์ โอลิโกฟรุกโตสและอินนูลิน 6 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมดพบว่า พรุณสกัดมีปริมาณของแข็งทั้งหมด 31.23 เปอร์เซ็นต์ ส่วนผลผลิตภัณฑ์สกัดเพียงเร่เบอร์รี่สกัด มีส่วนประกอบของน้ำเบอร์รี่สกัดปริมาณ 91.60 เปอร์เซ็นต์ ผลโกลจิเบอร์รี่ 4.0 เปอร์เซ็นต์ และฟรุกโตส 4.0 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมดพบว่า เบอร์รี่สกัดมีปริมาณของแข็งทั้งหมด 17.98 เปอร์เซ็นต์ และผลผลิตภัณฑ์ที่บีบอัดพรุณสกัดผสมผลฟักมีส่วนประกอบของน้ำพรุณสกัดปริมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ น้ำฟักสกัดปริมาณ 26.32 เปอร์เซ็นต์ โพลีเด็กโตรอส 2.55 เปอร์เซ็นต์ และอินนูลิน 1.09 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมดพบว่า พรุณสกัดมีปริมาณของแข็งทั้งหมด 17.98 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าปัจจุบันผลผลิตภัณฑ์น้ำสกัดมีให้เลือกมากมายแล้วแต่ความชอบของผู้บริโภค

ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาผลผลิตภัณฑ์จากข้าวมีสีได้หลากหลายมากขึ้น เช่น การทำน้ำนมข้าว อาหารเด็กอ่อน รวมไปถึงการนำข้าวมีสีมาทำเป็นผลผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มธัญหารสำเร็จรูป แต่ยังไม่พบการนำข้าวมีสีมาทำเป็นผลผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำข้าวสกัด และเพื่อเป็นการเพิ่มทางเลือกให้กับผู้บริโภคที่จะได้รับสารอาหารที่เป็นประโยชน์ที่มีอยู่ในข้าวมีสี และเป็นการใช้ข้าวมีสีให้เกิดประโยชน์มากขึ้น น้ำข้าวสกัดจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจอีกด้วย