



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรการอาหาร)

ปริญญา

วิทยาศาสตรการอาหาร

วิทยาศาสตรและเทคโนโลยีการอาหาร

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง ผลของสายพันธุ์และระยะการเจริญเติบโตต่อสารประกอบฟีนอลิกและความสามารถต้านออกซิเดชันของผลหม่อน

Effect of Cultivar and Maturation on Phenolic Compounds and Antioxidant Capacity of Mulberry Fruit

นางผู้วิจัย นางสาวมนต์วดี หุ่นเจริญ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์ศศิธร ตรงจิตภักดี, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วรรณี จิระภาณุกุล, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธนะบุญย์ สัจจานันตกุล, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญจนา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลของสายพันธุ์และระยะการเจริญเติบโตต่อสารประกอบฟีนอลิก
และความสามารถต้านออกซิเดชันของผลหม่อน

Effect of Cultivar and Maturation on Phenolic Compounds and Antioxidant Capacity
of Mulberry Fruit

โดย

นางสาวมนต์วดี หุ่นเจริญ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรการอาหาร)

พ.ศ. 2552

มนต์วดี หุ่นเจริญ 2552: ผลของสายพันธุ์และระยะการเจริญเติบโตต่อสารประกอบฟีนอลิกและ
ความสามารถด้านออกซิเดชันของผลหม่อน ปรินญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การ
อาหาร) สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร อาจารย์ที่
ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์ศศิธร ตรังจิตภักดี, Ph.D. 89 หน้า

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของสายพันธุ์และระยะการเจริญเติบโตต่อสารประกอบฟีนอลิกและความสามารถ
ด้านออกซิเดชันของผลหม่อน 3 สายพันธุ์ (สายพันธุ์กำแพงแสน-เอ็มบี-42-1 เชียงใหม่ และบุรีรัมย์ 60) ซึ่งแบ่ง
ออกเป็น 4 ระยะการเจริญเติบโต คือ ผลอ่อน (ระยะการเจริญเติบโตที่ 1) ผลกึ่งสุก (ระยะการเจริญเติบโตที่ 2)
ผลสุก (ระยะการเจริญเติบโตที่ 3) และผลสุกเต็มที่ (ระยะการเจริญเติบโตที่ 4) โดยศึกษาปริมาณสารประกอบ
ฟีนอลิกทั้งหมด แอนโทไซยานินส์ทั้งหมด ความสามารถด้านออกซิเดชัน (สมบัตการด้านอนุมูลอิสระ 1, 1-
diphenyl-2-picrylhydrazyl radical (DPPH) และ 2, 2-azino-bis (3-ethylbenzthiazoline -6-sulfonic acid
diammonium salt (ABTS)) และตรวจสอบสารประกอบฟีนอลิกชนิดหลักโดยเทคนิค High Performance Liquid
Chromatography (HPLC) จากผลการทดลองพบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด แอนโทไซยานินส์
ทั้งหมด และความสามารถด้านออกซิเดชันของผลหม่อนมีความแตกต่างกันขึ้นกับสายพันธุ์และระยะการ
เจริญเติบโต โดยสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีปริมาณตั้งแต่ 892 ถึง 3,318 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกใน
ตัวอย่าง 100 กรัมน้ำหนักแห้ง แอนโทไซยานินส์ทั้งหมดมีปริมาณตั้งแต่ 3 ถึง 1,844 มิลลิกรัมของไซยานิดิน-3-
กลูโคไซด์ในตัวอย่าง 100 กรัมน้ำหนักแห้ง สมบัตการด้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS มีค่าตั้งแต่ 503 ถึง
2,812 มิลลิกรัมสมมูลของวิตามินซีในตัวอย่าง 100 กรัมน้ำหนักแห้ง และ 1,198 ถึง 4,926 มิลลิกรัมสมมูลของ
วิตามินซีในตัวอย่าง 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าผลหม่อนทุกสายพันธุ์ในระยะสุก
เต็มที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด แอนโทไซยานินส์ทั้งหมด และสมบัตการด้านอนุมูลอิสระ DPPH
และ ABTS มากกว่าระยะการเจริญเติบโตอื่น ($p \leq 0.05$) ผลสุกเต็มที่ของผลหม่อนสายพันธุ์กำแพงแสน- เอ็มบี-
42-1 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด แอนโทไซยานินส์ทั้งหมด และสมบัตการด้านอนุมูลอิสระ ABTS
มากที่สุด ($p \leq 0.05$) ในขณะที่สายพันธุ์กำแพงแสน-เอ็มบี-42-1 และบุรีรัมย์ 60 มีสมบัตการด้านอนุมูลอิสระ
DPPH มากที่สุด ($p \leq 0.05$) จากการศึกษาสารประกอบฟีนอลิกชนิดหลักโดยเทคนิค HPLC พบว่าสารประกอบ
ฟีนอลิกชนิดหลักของผลหม่อนคือ ไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ ไซยานิดิน-3-รutiโนไซด์ และกรดคลอโรจีนิก
นอกจากนี้ยังตรวจพบเคอซีทิน-3-รutiโนไซด์ ในปริมาณต่ำ เมื่อผลหม่อนเจริญเติบโตมากขึ้นกรดคลอโรจีนิกมี
ปริมาณลดลง ในขณะที่เคอซีทิน-3-รutiโนไซด์ ไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ และไซยานิดิน-3-รutiโนไซด์ มี
ปริมาณเพิ่มขึ้น

Monwadee Hunjaroen 2009: Effect of Cultivar and Maturation on Phenolic Compounds and Antioxidant Capacity of Mulberry Fruit. Master of Science (Food Science),
Major Field: Food Science, Department of Food Science and Technology. Thesis Advisor:
Mrs. Sasitorn Tongchitpakdee, Ph.D. 89 pages.

Effect of cultivar and maturation on phenolic compounds and antioxidant capacity of mulberry fruit (cv. KPS-MB-42-1, Chiangmai and Burirum 60) were investigated. Each mulberry cultivar was classified into 4 stages : immature (stage1), semi-mature (stage2), mature (stage3) and fully mature (stage4). Total phenolic and total monomeric anthocyanin contents and antioxidant capacity (1, 1-diphenyl-2-picrylhydrazyl radical (DPPH) and 2, 2-azino-bis (3-ethylbenzthiazoline -6-sulfonic acid) diammonium salt (ABTS) assays) were also evaluated. Major phenolic compounds were identified using High Performance Liquid Chromatography (HPLC). The results showed that total phenolic, total monomeric anthocyanin contents and antioxidant capacity of mulberry fruits varied greatly among cultivars and maturation stages. Total phenolic content varied from 892 to 3,318 mg gallic acid equivalents/100 g dry weight (DW) basis and total monomeric anthocyanin content varied from 3 to 1,844 mg cyanidin-3-glucoside/100 g DW basis. The DPPH and ABTS radical-scavenging capacity of mulberry fruit ranged from 503 to 2,812 mg vitamin C equivalents antioxidant capacity (VCEAC)/100 g DW basis and 1,198 to 4,926 mg VCEAC/100 g DW basis, respectively. For all cultivars, fully mature stage had the highest radical-scavenging capacity and total phenolic content. At the fully mature stage, KPS-MB-42-1 had the highest total phenolic content, total monomeric anthocyanin content and ABTS radical-scavenging capacity ($p \leq 0.05$), while KPS-MB-42-1 and Burirum 60 had the highest DPPH radical-scavenging capacity ($p \leq 0.05$). Total monomeric anthocyanin content in all cultivars increased as maturity increased. HPLC analysis showed that predominant phenolic compounds in mulberry were cyanidin-3-glucoside, cyanidin-3-rutinoside and chlorogenic acid. Quercetin-3-rutinoside is also identified as a minor phenolic compound. As maturity increased, chlorogenic acid content decreased, while quercetin-3-rutinoside, cyanidin-3-glucoside and cyanidin-3-rutinoside contents increased.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

____ / ____ / ____

กิตติกรรมประกาศ

กราบขอบพระคุณ ดร. ศศิธร ตรงจิตภักดี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และผู้ช่วยศาสตราจารย์ วรณิ จิรภาคย์กุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำปรึกษาในการเรียน การค้นคว้าวิจัย ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ ขอบพระคุณ ดร. วราภรณ์ บุญทรัพย์ทิพย์ ประธานการสอบ สัมภาษณ์ขั้นสุดท้าย และ รศ. ดร. ทนง ภัทร์พันธุ์ ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกที่ตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณทุนสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ภายใต้งานโครงการทุนวิจัย มหาวิทยาลัย (สกว.) ร่วมกับสำนักงานส่งเสริมวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (สสว.) ประจำปี 2550 และโครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว ที่ให้ความช่วยเหลือทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ ผศ. ดร. ปราโมทย์ สฤษดิ์นิรันดร์ ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน และบริษัท เอเชียน แปซิฟิก อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ผลหม่อนสำหรับทำการวิจัย

ขอขอบคุณคุณดำรงพล กำแหงวงศ์ คุณปิธิรัตน์ กลิ่นธรรม คุณชนิด วานิกานุกูล คุณณิธิชัย ปรัชญาถาวรกุล คุณพงษ์ธร ลือสุวรรณ คุณธนศักดิ์ แซ่เลี้ยว คุณสุวรรณา เกิดศรีเล็ก คุณธรรมณี เขยสุนทร เพื่อนๆ พี่ๆ ปริญญาโท และพี่ๆ ปริญญาเอก รวมทั้งน้องๆ ในห้องปฏิบัติการทุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือ คำปรึกษาและกำลังใจตลอดการทำการวิจัย ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่คณะอุตสาหกรรมเกษตรทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือในการทำการวิจัยผ่านไปได้ด้วยดี และขอขอบคุณคุณพื้มที่ให้ความช่วยเหลือในการเก็บตัวอย่างที่ใช้สำหรับการทำการวิจัย

สุดท้ายกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ผู้ซึ่งให้การสนับสนุนในการเรียน รวมถึงความรัก ความอบอุ่นและกำลังใจที่มีให้ตลอดมา ขอขอบคุณพี่ต๋อง แอม น้องอ้อม รวมถึงสมาชิกทุกคนในครอบครัว พี่ออฟ พี่สัน ที่คอยให้กำลังใจเสมอมาตลอดการศึกษาในระดับปริญญาโท ขอขอบคุณเพื่อนโรงเรียนศึกษานารี และมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ในความเป็นเพื่อนที่ดี และเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จได้

มนต์วดี หุ่นเจริญ

พฤษภาคม 2552

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	34
อุปกรณ์	34
วิธีการ	37
ผลและวิจารณ์	43
สรุปและข้อเสนอแนะ	71
สรุป	71
ข้อเสนอแนะ	73
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	74
ภาคผนวก	82
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	89

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ชนิดของแอนโธไซยานินที่พบมากที่สุดในพืชทั้ง 6 ชนิดและตำแหน่งการเติมหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl) และหมู่เมทิล (methyl)	15
2 ชนิดของฟลาโวนอลและตำแหน่งการเติมหมู่ไฮดรอกซิลและหมู่เมทิล	20
3 แหล่งของพืชที่พบฟลาโวนอยด์ชนิดต่างๆ	22
4 สัดส่วนของวิทยาศาสตร์เคลื่อนที่ในการวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกโดยเทคนิค HPLC	42
5 ค่า L* ของผลหม่อนที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ	45
6 ค่า a* ของผลหม่อนที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ	46
7 ค่า b* ของผลหม่อนที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ	46
8 ค่าสหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ระหว่างระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่ตรวจสอบโดยเทคนิค HPLC และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด แอนโธไซยานินส์ทั้งหมด สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS	70

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1	ลักษณะของผลหม่อน
2	ตัวอย่างลักษณะปรากฏของใบหม่อนพันธุ์บุรีรัมย์ 60
3	ลักษณะปรากฏของต้นหม่อนสายพันธุ์กำแพงแสน-เอ็มบี-42-1
4	โครงสร้างกรดไฮดรอกซีซินนามิก (Hydroxycinnamic acid)
5	โครงสร้างกรดคลอโรจินิก (Chlorogenic acid)
6	โครงสร้างกรดไฮดรอกซีเบนโซอิก (Hydroxybenzoic acid)
7	โครงสร้างหลักของสารประกอบฟลาโวนอยด์ (Flavonoid)
8	โครงสร้างพื้นฐานของแอนโทไซยานิน (Anthocyanin)
9	การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแอนโทไซยานินที่ความเป็นกรด-ด่างต่าง ๆ
10	โครงสร้างพื้นฐานของฟลาวันอล (Flavanol)
11	โครงสร้างพื้นฐานของฟลาโวนอล (Flavonol)
12	โครงสร้างพื้นฐานของฟลาโวน (Flavone)
13	โครงสร้างพื้นฐานของฟลาวาโนน (Flavanone)
14	โครงสร้างพื้นฐานของไอโซฟลาโวน (Isoflavone)
15	การเกิด delocalization ของอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวของอนุมูลฟีนอล
16	โครงสร้างทางเคมีของ ABTS
17	โครงสร้างทางเคมีของ DPPH
18	ความยาวเฉลี่ย (A) และเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (B) ของตัวอย่างผลหม่อน 3 สายพันธุ์ที่ระยะการเจริญเติบโตแตกต่างกัน
19	ชาร์ตแสดงค่าสี (A) และส่วนขยายของชาร์ตสี (B) ของผลหม่อนสายพันธุ์เชิงใหม่ (●) กำแพงแสน-เอ็มบี-42-1 (■) และบุรีรัมย์ 60 (◆) ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างกัน
20	ลักษณะปรากฏ (visual quality) ของผลหม่อนสายพันธุ์กำแพงแสน-เอ็มบี-42-1 ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
21	ลักษณะปรากฏ (visual quality) ของผลหม่อนสายพันธุ์บุรีรัมย์ 60 ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ	50
22	ลักษณะปรากฏ (visual quality) ของผลหม่อนสายพันธุ์เชิงใหม่ ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ	51
23	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content) ของตัวอย่างผลหม่อน 3 สายพันธุ์ที่ระยะการเจริญเติบโตแตกต่างกัน	53
24	ปริมาณแอนโทไซยานินส์ทั้งหมดของตัวอย่างผลหม่อน 3 สายพันธุ์ที่ระยะการเจริญเติบโตแตกต่างกัน	55
25	ตัวอย่างภาพถ่ายลักษณะปรากฏ (visual quality) ของผลหม่อนสายพันธุ์เชิงใหม่ ที่ระยะการเจริญเติบโตแตกต่างกัน	55
26	สมบัตการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างผลหม่อน 3 สายพันธุ์ที่ระยะการเจริญเติบโตแตกต่างกัน	57
27	สมบัตการต้านอนุมูลอิสระ ABTS ของตัวอย่างผลหม่อน 3 สายพันธุ์ที่ระยะการเจริญเติบโตแตกต่างกัน	58
28	ตัวอย่าง HPLC โครมาโตแกรมของกรดคลอโรจินิก (chlorogenic acid) ของผลหม่อน 3 สายพันธุ์ (A: สายพันธุ์เชิงใหม่ B: สายพันธุ์กำแพงแสน-เอ็มบี-42-1 และ C: สายพันธุ์บุรีรัมย์ 60) ที่ระยะการเจริญเติบโตที่ 4 (ผลสุกเต็มที่)	60
29	ปริมาณกรดคลอโรจินิก (chlorogenic acid) ของตัวอย่างผลหม่อน 3 สายพันธุ์ที่ระยะการเจริญเติบโตแตกต่างกัน	61
30	ตัวอย่าง HPLC โครมาโตแกรมของเคอซีทิน-3-รูทีโนไซด์ (quercetin-3-rutinoside) ของผลหม่อน 3 สายพันธุ์ (A: สายพันธุ์เชิงใหม่ B: สายพันธุ์กำแพงแสน-เอ็มบี-42-1 และ C: สายพันธุ์บุรีรัมย์ 60) ที่ระยะการเจริญเติบโตที่ 4 (ผลสุกเต็มที่)	63

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
31 ปริมาณเคอซีทิน-3-รูทีโนไซด์ (quercetin-3-rutinoside) ของตัวอย่างผลหม่อน 3 สายพันธุ์ที่ระยะการเจริญเติบโตแตกต่างกัน	65
32 ตัวอย่าง HPLC โครมาโตแกรมของไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ (cyanidin-3-glucoside) และไซยานิดิน-3-รูทีโนไซด์ (cyanidin-3-rutinoside) ของผลหม่อน 3 สายพันธุ์ (A: สายพันธุ์เชียงใหม่ B: สายพันธุ์กำแพงแสน-เอ็มบี-42-1 และ C: สายพันธุ์บุรีรัมย์ 60) ที่ระยะการเจริญเติบโตที่ 4 (ผลสุกเต็มที่)	66
33 ปริมาณไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ (cyanidin-3-glucoside) (A) และไซยานิดิน-3-รูทีโนไซด์ (cyanidin-3-rutinoside) (B) ของตัวอย่างผลหม่อน 3 สายพันธุ์ที่ระยะการเจริญเติบโตแตกต่างกัน	68
 ภาพผนวกที่	
1 กราฟมาตรฐานของกรดแกลลิกสำหรับการตรวจวัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด	83
2 กราฟมาตรฐานของวิตามินซีสำหรับการตรวจสอบสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH	83
3 กราฟมาตรฐานของวิตามินซีสำหรับการตรวจสอบสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ABTS	84
4 กราฟมาตรฐานของกรดคลอโรจินิก (chlorogenic acid)	84
5 HPLC โครมาโตแกรมของสารมาตรฐานกรดคลอโรจินิก (chlorogenic acid)	85
6 กราฟมาตรฐานของเคอซีทิน-3-รูทีโนไซด์ (quercetin-3-rutinoside)	85
7 HPLC โครมาโตแกรมของสารมาตรฐานเคอซีทิน-3-รูทีโนไซด์ (quercetin-3-rutinoside)	86
8 กราฟมาตรฐานของไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ (cyanidin-3-glucoside)	86

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
9 HPLC โครมาโตแกรมของสารมาตรฐานไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ (cyanidin-3-glucoside)	87
10 กราฟมาตรฐานของไซยานิดิน-3-รูทีโนไซด์ (cyanidin-3-rutinoside)	87
11 HPLC โครมาโตแกรมของสารมาตรฐานไซยานิดิน-3-รูทีโนไซด์ (cyanidin-3-rutinoside)	88

ผลของสายพันธุ์และระยะการเจริญเติบโตต่อสารประกอบฟีนอลิกและความสามารถ
ต้านออกซิเดชันของผลหม่อน

Effect of Cultivar and Maturation on Phenolic Compounds and
Antioxidant Capacity of Mulberry Fruit

คำนำ

“หม่อน” เป็นพืชที่พบได้ทั่วไปในป่าดิบในประเทศไทย ในอดีตนั้นการปลูกหม่อนมุ่งเน้นการนำใบหม่อนมาเลี้ยงหนอนไหมเพียงอย่างเดียว แต่เมื่อภาวะเศรษฐกิจตกต่ำจึงส่งผลกระทบต่ออุตสาหกรรมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการปลูกหม่อนเลี้ยงไหม เนื่องจากต้นทุนสูงและราคารังไหมตกต่ำลง ซึ่งการปลูกหม่อนเพื่อใช้ประโยชน์จากใบหม่อนเพียงอย่างเดียวอาจจะเป็นการเสี่ยงต่อการขาดทุนเป็นอย่างมาก ดังนั้นการใช้ประโยชน์จากส่วนอื่นของต้นหม่อนโดยเฉพาะอย่างยิ่ง “ผลหม่อน” จึงอาจเป็นทางเลือกหนึ่งให้กับอุตสาหกรรมในประเทศไทย ในปัจจุบันประเทศไทยมีการปรับปรุงพันธุ์หม่อนที่ให้ผลขนาดใหญ่และให้ผลิตผลค่อนข้างสูง เช่น หม่อนพันธุ์บุรีรัมย์ 60 นครราชสีมา 60 และเชียงใหม่ เป็นต้น ผลหม่อนนั้นมีคุณค่าทางโภชนาการค่อนข้างสูง เป็นแหล่งของน้ำตาล กรด และสารสำคัญต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารประกอบฟีนอลิก (phenolic compound) ที่มีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน (antioxidant) ที่อาจป้องกันการเกิดโรคเรื้อรังต่าง ๆ ได้ เช่น โรคมะเร็ง โรคเบาหวาน โรคหัวใจ เป็นต้น ในปัจจุบันการศึกษาเกี่ยวกับชนิด ปริมาณ และความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิก รวมทั้งปัจจัยที่มีผลต่อชนิด และปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกในผลหม่อนยังมีน้อยมาก โดยปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ สายพันธุ์ ระยะการเจริญเติบโต และสภาพภูมิอากาศ เป็นต้น ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยดังกล่าว โดยเฉพาะอย่างยิ่งสายพันธุ์ และระยะการเจริญเติบโตต่อสารประกอบฟีนอลิก และความสามารถต้านออกซิเดชัน (antioxidant capacity) ของผลหม่อน การศึกษานี้จะก่อให้เกิดประโยชน์ครอบคลุมทั้งในส่วนของเกษตรกร อุตสาหกรรมการผลิตอาหาร และผู้บริโภค เนื่องจากจะทำให้ได้องค์ความรู้พื้นฐานของหม่อนสายพันธุ์ต่าง ๆ ที่มีการปลูกในประเทศไทย อีกทั้งยังสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในด้านต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นด้านอุตสาหกรรมอาหาร การแพทย์ เป็นต้น เนื่องจากจะทำให้ทราบถึงสายพันธุ์ และระยะการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมที่ให้สารสำคัญมากที่สุด เพื่อนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ ออก

สู่ตลาดโดยเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีสารสำคัญ มีคุณค่าทางโภชนาการสูงซึ่งเป็นประโยชน์ผู้บริโภค ตัวอย่างเช่น แยม แคลลี ลูกอม น้ำผลไม้ และไวน์ เป็นต้น ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแปรรูปจากผลหม่อนนั้นอาจจะช่วยส่งเสริมการส่งออกของประเทศทำให้ประเทศไทยมีรายได้เพิ่มมากขึ้น อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มมูลสินค้าทางการเกษตรและส่งเสริมให้มีการปลูกหม่อนรับประทานผลมากขึ้น

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของสายพันธุ์ต่อสารประกอบฟีนอลิกและความสามารถด้านออกซิเดชันของผลหม่อน
2. เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาเจริญเติบโตต่อสารประกอบฟีนอลิกและความสามารถด้านออกซิเดชันของผลหม่อน

การตรวจเอกสาร

หม่อน

1. ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

หม่อนเป็นพืชที่อยู่ในวงศ์ Moraceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Morus* spp. มีถิ่นกำเนิดกระจายกว้างขวางมากในแถบเขตร้อน (Tropical zone) เขตอบอุ่น (Subtropical zone) เขตหนาว (Temperate zone) และเขตหนาวเย็น (Sub-artic zone) (วสันต์, 2546) โดยทั่วไปหม่อนแบ่งออกเป็น 3 species ได้แก่ Red mulberry (*Morus rubra*) White mulberry (*Morus alba*) และ Black mulberry (*Morus nigra*) (Ercisli and Orhan, 2008)



ภาพที่ 1 ลักษณะของผลหม่อน

ที่มา : Anonymous (2008)

สรีรวิทยาของหม่อน (ศิริพร, 2546)

1. ใบหม่อน

ใบเป็นส่วนสำคัญที่สุดเพราะเป็นส่วนที่นำไปใช้เลี้ยงไหม ประกอบด้วยแผ่นใบ ก้านใบ และหูใบ ขนาดรูปร่างและความหนาของใบแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์ การจัดเรียงใบจะเป็นใบเดี่ยวออกจากลำต้นเรียงกันไปแบบสลับก้านใบ มีหูใบซึ่งเป็นส่วนช่วยป้องกันใบอ่อนและจะหลุดร่วงไปเมื่อใบเจริญเติบโตเต็มที่ ความถี่ของใบขึ้นอยู่กับพันธุ์ ซึ่งพันธุ์หม่อนที่ได้ผลผลิตสูงควรมีใบถี่และมีใบเป็นรูปไข่ โดยทั่วไปปริมาณน้ำในใบหม่อนอยู่ระหว่าง 64-83% โดยมีปริมาณน้ำแตกต่างกันขึ้นอยู่กับอายุของใบ พันธุ์หม่อน สภาพแวดล้อม และวิธีการตัดแต่งกิ่ง

ในประเทศจีนและอินเดียมุ่งเน้นการเพิ่มผลผลิตของใบหม่อน เนื่องจากใช้เป็นแหล่งอาหารของหนอนไหม (*Bombyx mori* L.) เพื่อให้หนอนไหมผลิตไหม ในประเทศญี่ปุ่นก็เช่นเดียวกัน ซึ่งในปัจจุบันมีการศึกษาองค์ประกอบสารสำคัญในใบและรากหม่อน พบว่ามี polyhydroxylated alkaloids และฟลาโวนอยด์เป็นองค์ประกอบ (Oki *et al.*, 2006; Pawlowsk *et al.*, 2008) Syvacy and Sokmen (2004) กล่าวว่าใบหม่อนสามารถแสดงคุณสมบัติในการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด ยับยั้งการเกิด lipid peroxidation และยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ catalase (CAT) และยังสามารถนำมาประกอบเป็นอาหารได้โดยผงของใบหม่อนจะถูกใช้ร่วมกับแป้งในการทำแผ่นโรตี (paratha) ในอาหารของอินเดีย



ภาพที่ 2 ตัวอย่างลักษณะปรากฏของใบหม่อนพันธุ์บุรีรัมย์ 60

2. ราก

รากหม่อนประกอบด้วยรากแก้ว รากแขนง และรากฝอย รากแก้วและรากแขนงมีหน้าที่ยึดลำต้นและกิ่งให้ทรงตัวอยู่บนดิน นอกจากนี้ยังเป็นที่ขนส่งและเก็บรักษาน้ำและการ ออกราก อีกด้วย ในขณะที่รากฝอยแผ่กระจายไปในดิน เพื่อทำหน้าที่ดูดซึมอาหารและน้ำจากดินแล้วส่งผ่าน รากแขนง รากแก้ว ลำต้น กิ่ง และใบ ความลึกของรากขึ้นอยู่กับชนิดของดิน ระดับน้ำในดิน วิธีการตัดแต่งกิ่งหม่อน และพันธุ์หม่อน โดยทั่วไประบบรากหม่อนจะกระจายทั่วในระดับความลึก ถึง 120 เซนติเมตรจากผิวดิน แต่พบว่าส่วนใหญ่ (80%) กระจายในระดับความลึก 10-15 เซนติเมตร

3. ลำต้นและกิ่ง

หม่อนเป็นพืชยืนต้น ในสภาพธรรมชาติสามารถอยู่ได้หลายสิบปี ลำต้นหม่อนจะตั้ง ตรง สูงใหญ่ มีกิ่งก้านมากมาย ขนาดของลำต้นโตตามอายุของหม่อน หม่อนบางพันธุ์มีความสูง 20-25 เมตร ลำต้นวัดโดยรอบ 8 เมตร แต่หม่อนที่ปลูกเพื่อเลี้ยงไหมลำต้นไม่สูงเนื่องจากการตัด แต่งกิ่งอยู่เสมอ ถ้ามีการบำรุงรักษาเป็นอย่างดีกิ่งใหม่ที่เกิดจากตาข้างจะเจริญเติบโตยาวถึง 1 เมตร หรือมากกว่าภายใน 2-3 เดือน สีของลำต้นขึ้นอยู่กับพันธุ์ เช่น หม่อนน้อยมีลำต้นสีขาว หม่อน ญี่ปุ่นพันธุ์ Shimonuchi มีสีน้ำตาลเทา พันธุ์ Kosen มีสีน้ำตาลเหลือง เป็นต้น



ภาพที่ 3 ลักษณะปรากฏของต้นหม่อนสายพันธุ์กำแพงแสน-เอ็มบี-42-1

4. ดอก เมล็ด และผล

วสันต์ (2546) รายงานว่าหม่อนจัดเป็นผลไม้ในกลุ่ม deciduous fruit plant หรือประเภท hard wood คือใบจะร่วงในฤดูใบไม้ร่วง และมีการพักตัวในฤดูหนาว ตาดอกเป็นชนิดตารวม (mix bud) คือมีทั้งตาดอกและตาใบอยู่รวมกัน มีผลแบบผลรวมซึ่งเป็นผลที่เกิดจากช่อดอกทั้งช่อรวมกันเป็นผลเดี่ยวแต่สามารถมองเห็นเป็นผลเล็กๆ แยกกันอยู่บนแกนของช่อผล ผลเล็กๆ นี้เรียกว่า syconus ซึ่งผลเหล่านี้อาจเกิดจากการผสมเกสรหรือไม่ต้องผสมเกสรก็ได้ ส่วนลักษณะของดอกเป็นทั้งแบบดอกที่มีเกสรตัวผู้และตัวเมียแยกกันคนละต้น (dioecious) หรือบางพันธุ์อาจเป็นดอกที่มีเกสรตัวผู้และตัวเมียอยู่ในต้นเดียวกัน (monoecious) โดยมีดอกหลายๆ ดอกอยู่ในช่อเดียวกัน

4.1 ดอก

4.1.1 ช่อดอกตัวผู้ ประกอบด้วยดอกตัวผู้หลาย ๆ ดอกรวมเป็นช่อเดียวกัน ดอกตัวผู้แต่ละดอกมีกลีบดอก (sepal) 4 กลีบ และเกสรตัวผู้ 4 เกสร (stamen) ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ก้านเกสร (filament) และอับละอองเกสร (anther) เมื่อดอกบานก้านเกสรจะยืดตัวออกและปลดปล่อยละอองเกสรที่มีลักษณะสีเหลืองออกมาเป็นจำนวนมาก มีการแพร่กระจายโดยใช้ลมเป็นตัวช่วย

4.1.2 ช่อดอกตัวเมีย ประกอบด้วยกลีบดอก 4 กลีบ รังไข่ (ovary) ก้านเกสรตัวเมีย (style) และยอดเกสรตัวเมีย (stigma) โดยกลีบดอกจะห่อหุ้มรังไข่ไว้ซึ่งทำให้มองดูมีลักษณะคล้ายลูกบอลสีเขียว ภายในถุงหุ้มรังไข่ (embryo sac) มีไข่อ่อน (ovule) บรรจุอยู่ ก้านเกสรจะมีความยาวแตกต่างกันออกไปตามแต่ละชนิดพันธุ์ ส่วนปลายสุดของก้านเกสรตัวเมียเรียกว่ายอดเกสรตัวเมีย ซึ่งมีขนหรือปมที่หนาแน่นปกคลุมอยู่บนยอดเกสรตัวเมียโดยเป็นแหล่งผลิตน้ำหวานขึ้นมาเพื่อดึงดูดเกสรตัวผู้ เมื่อยอดเกสรตัวเมียยืดออกเต็มที่และมีลักษณะสีขาว แสดงว่าดอกบานเต็มที่และเข้าสู่ระยะที่พร้อมจะได้รับการถ่ายละอองเกสรและได้รับการผสมพันธุ์แล้ว เมื่อเกสรตัวผู้ตกลงบนยอดเกสรตัวเมีย จะถูกจับยึดโดยเยื่อเมือกของเกสรตัวเมียทำให้มีการพองตัวและแทงหลอดละอองเกสร (pollen tube) ลงไปสู่ถุงหุ้มรังไข่ และผสมกับไข่อ่อน หลังจากผ่านกระบวนการนี้แล้วการผสมพันธุ์จึงเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์

4.2 เมล็ดหม่อน

เมล็ดหม่อนมีลักษณะเป็นรูปไข่ สีเหลืองอ่อนหรือเหลืองเข้ม ขนาดเล็ก ประมาณ 1×1 มิลลิเมตร เมล็ดในผลรวมของหม่อนที่เกิดขึ้นทั้งหมดเป็นเมล็ดที่ได้รับการผสม เกสรอยู่บางส่วน แต่บางเมล็ดเป็นเมล็ดลีบที่ไม่ได้รับการผสมเกสร

4.3 ผลหม่อน

การพัฒนาการของผลหม่อนเริ่มจากดอกหม่อนแตกออกมาพร้อมกับใบ จะบานหลังจากแตกช่อใบพร้อมช่อดอกประมาณ 8-12 วัน ดอกที่บานเต็มที่ยอดเกสรตัวเมียจะมีลักษณะสีขาวใส เมื่อได้รับการผสมเกสรจะเปลี่ยนเป็นสีเทาภายใน 3 วัน จากนั้นจะมีการพัฒนาของผลโดยสีของผลเริ่มจากสีเขียว ขาว ชมพู แดง และสีดำ รวมระยะเวลาหลังจากดอกบานประมาณ 40-45 วันผลจะเริ่มสุกและแก่ ลักษณะผลหม่อนจะอวบน้ำและประกอบด้วยน้ำหวานเมื่อผลแก่เต็มที่ จากนั้นผลจะเริ่มนิ่มลงมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solid) และน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) เพิ่มขึ้นถึงระยะประมาณ 56 วันหลังจากดอกบาน โดยจะมีน้ำตาลรีดิวซ์สูงถึง 65 กรัมต่อลิตร แต่ปริมาณกรดจะลดลงเรื่อยๆ ทั้งนี้ลักษณะของสีของผลไม่สามารถบ่งชี้ถึงลักษณะของพันธุ์ได้ เช่น พันธุ์ white mulberry จะมีสีของผลสีขาว ชมพู แดง และสีดำ ผลจะมีความหวานมาก แต่จะมีส่วนของสารที่ทำให้ความเปรี้ยวปนอยู่ด้วย พันธุ์ red mulberry มีผลสีแดงเข้มไปจนถึงดำ ส่วนพันธุ์ black mulberry มีผลขนาดใหญ่และมีความหวานอยู่มาก นอกจากนั้นผลหม่อนเป็นผลไม้ที่มีสัดส่วนของความหวาน และความเปรี้ยวที่สมดุลกัน กล่าวได้ว่าเป็นผลไม้ที่มีรสชาติดีที่สุด ซึ่งรสชาติความเปรี้ยวของผลหม่อนจัดได้ว่ามีระดับใกล้เคียงกับผลขององุ่น ในแถบประเทศยุโรป เช่น ประเทศตุรกี และกรีซเน้นการผลิตผลหม่อนมากกว่าใบหม่อน โดยผลหม่อนสามารถรับประทานในรูปของผลสด แห้ง หรือในรูปของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการผลิต (Ercisli and Orhan, 2006) อีกทั้งในประเทศอิตาลีนิยมบริโภคผลหม่อน (*Morus nigra* และ *Morus alba*) ในรูปของผลสดหรือทำเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น แยม แยมผิวส้ม (marmalaid) น้ำผลไม้ ไอศกรีม และไวน์ เป็นต้น (Pawlowsk *et al.*, 2008)

นอกจากนี้ผลหม่อนยังเป็นแหล่งของน้ำตาล กรด และแอนโธไซยานิน ในประเทศจีนใช้เป็นยาสำหรับรักษาไข้ ป้องกันไม่ให้ตับถูกทำลาย ทำให้ข้อต่อแข็งแรง ช่วยในการขับถ่ายปัสสาวะ และลดความดันเลือด สามารถใช้เป็น warming agent ใช้เป็นยาบำบัดโรคบิด

ใช้เป็นยาบำรุง หาระงับประสาท และยาระบาย เป็นต้น อีกทั้งยังมีรายงานว่าผลหม่อนมีสมบัติในการป้องกันการเกิดโรคเบาหวาน (antidiabetic) ป้องกันการปฏิกิริยาออกซิเดชัน (antioxidative) ป้องกันการอักเสบ (antiinflammatory) และมีรายงานว่าในผลหม่อนมีไขมัน กรดไขมัน วิตามินซี แร่ธาตุ สารประกอบฟีนอลิก และฟลาโวนอยด์อีกด้วย (Bae and Suh, 2007; Pawlowsk *et al.*, 2008)

ตัวอย่างพันธุ์หม่อนรับประทานผลที่ปลูกในประเทศไทย

พันธุ์หม่อนที่ใช้ปลูกเพื่อเก็บผลหม่อน หรือเก็บใบหม่อนแล้วเก็บผลหม่อนเป็นผลพลอยได้ คือ

1. พันธุ์เชิงใหม่

หม่อนพันธุ์เชิงใหม่ เป็นพันธุ์หม่อนผลสดที่นำเข้ามาปลูกในประเทศไทยมานานหลายสิบปีแล้ว แต่ไม่ปรากฏหลักฐานชัดเจน อีกทั้งไม่มีชื่อพันธุ์มาก่อน หม่อนพันธุ์เชิงใหม่มีลักษณะเด่นดังนี้ ให้ผลผลิตผลสดไม่ต่ำกว่า 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี ผลมีขนาดใหญ่และปริมาณกรดสูง เหมาะทั้งสำหรับบริโภคสด และการแปรรูป สามารถกำหนดเวลาให้ผลผลิตได้ด้วยวิธีการบังคับให้ออกดอกติดผลนอกฤดูกาล สามารถขยายพันธุ์ได้ง่าย พื้นที่แนะนำปลูกได้แก่พื้นที่ดอนของภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ หากเป็นพื้นที่ที่สามารถให้น้ำได้ในระหว่างที่ต้นหม่อนออกดอกติดผลจนถึงเก็บเกี่ยวจะทำให้ได้ผลผลิตสูงขึ้น (ศูนย์หม่อนไหมเฉลิมพระเกียรติฯ เชียงใหม่, 2550)

2. พันธุ์บุรีรัมย์ 60

หม่อนพันธุ์บุรีรัมย์ 60 เป็นพันธุ์หม่อนที่ปรับปรุงพันธุ์ โดยใช้หม่อนพื้นเมืองของไทย คือ พันธุ์หม่อนน้อย (เพศผู้) ผสมกับหม่อนพันธุ์ที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ คือพันธุ์จินเบอร์ 44 (เพศเมีย) หม่อนพันธุ์บุรีรัมย์ 60 เป็นพันธุ์ที่มีการเจริญเติบโตใบใหญ่หนา ขอบปล้องถี่ ลักษณะเด่นของหม่อนพันธุ์บุรีรัมย์ 60 คือตอบสนองต่อปุ๋ยดี ให้ผลผลิตต่อไร่สูง ประมาณ 3,500 กิโลกรัม ต่อไร่ต่อปี และคาดว่าจะให้ผลผลิตผลหม่อนไม่ต่ำกว่า 500 กิโลกรัม ต่อไร่ ต่อปี การเจริญเติบโต อัตราการออกรากมาก ขนาดใบใหญ่ หนา อ่อนนุ่มไม่เหนียวง่าย มีการแตกกิ่งเร็ว ด้านทานต่อโรคใบ

ต่าง และไม่เหมาะกับการปลูกในพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำมีปริมาณน้ำฝนไม่พอเพียง (วสันต์, 2546; นิรนาม, 2547)

3. พันธุ์กำแพงแสน-เอ็มบี-42-1

หม่อนพันธุ์กำแพงแสน-เอ็มบี-42-1 เป็นหม่อนกินผลที่นำต้นพันธุ์มาจากประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีนโดยเกษตรกร และทางโครงการวิจัยเพื่อพัฒนาระบบการเกษตรในเขตชาวมืองใหญ่ ศูนย์วิจัยเพื่อพัฒนาระบบเกษตรกรรม (DORAS Center) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้นำมาปลูก ณ แปลงทดลอง 2 ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ผลหม่อนมีผลขนาดใหญ่และติดผลดก ผลอ่อนมีสีเขียว ผลแก่มีสีแดง เมื่อสุกมีสีม่วงแดงถึงดำ รสหวานอมเปรี้ยวถึงหวานมากเมื่อสุกเต็มที่ หม่อนพันธุ์กำแพงแสน-เอ็มบี-42-1 ไม่เพียงแต่ใช้บริโภคผลเท่านั้น แต่ยังให้ใบที่เหมาะสมกับการเลี้ยงไหม เนื่องจากใบหนาจึงสามารถใช้ประโยชน์ทั้งเป็นหม่อนกินผลและหม่อนใบ สามารถให้ผลผลิตได้ตลอดทั้งปี โดยให้ผลผลิตของผลเฉลี่ย 1,760 กิโลกรัม ต่อไร่ ต่อปี (ปราโมทย์ และคณะ, 2552)

สารประกอบฟีนอลิก

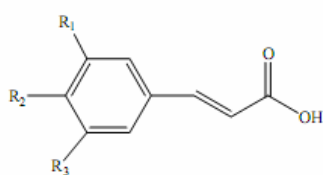
ปัจจุบันผู้บริโภคสนใจที่จะศึกษาบทบาทของสารประกอบฟีนอลิกมากขึ้น เนื่องจากสามารถลดการเกิดโรคเรื้อรังต่างๆ เช่น โรคมะเร็ง โรคเกี่ยวกับหลอดเลือดหัวใจ อีกทั้งยังมีอิทธิพลต่อความชราเนื่องจากมีความเชื่อกันว่าสามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาของอนุมูลอิสระได้ ซึ่งปฏิกิริยานี้จะนำไปสู่การเกิดโรคเรื้อรังต่างๆ

สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารในกลุ่ม Secondary metabolite ปัจจุบันพบว่ามีสารประกอบฟีนอลิกที่ทราบโครงสร้างแน่นอนแล้วกว่า 8,000 ชนิด ตั้งแต่สารประกอบฟีนอลิกที่มีโมเลกุลอย่างง่าย เช่น กรดฟีนอลิก (phenolic acid) ไปจนถึงกลุ่มที่มีโครงสร้างเป็นโพลิเมอร์ (polymer) เช่น แทนนิน (tannin) เป็นต้น (วิวัฒน์, 2545) โครงสร้างทั่วไปของสารประกอบฟีนอลิกประกอบด้วยเป็นวงอะโรมาติก (aromatic) และมีหมู่แทนที่เป็นหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) อย่างน้อย 1 หมู่ (โอภา และคณะ, 2549) สามารถแบ่งได้ 3 กลุ่มใหญ่ที่สำคัญคือ กรดฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ (flavonoid) และแทนนิน (tannin) โดยในผลหม่อนมีสารประกอบฟีนอลิกที่สำคัญอยู่ 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ กรดฟีนอลิก และฟลาโวนอยด์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งแอนโทไซยานิน

1. กรดฟีนอลิก (Phenolic acid)

กรดฟีนอลิก ประกอบด้วย กรดไฮดรอกซีซินนามิก (hydroxycinnamic acid) และ กรดไฮดรอกซีเบนโซอิก (hydroxybenzoic acid)

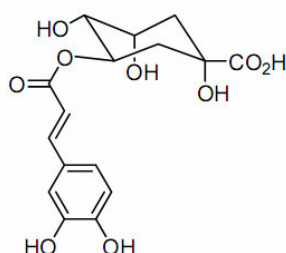
1.1 กรดไฮดรอกซีซินนามิก (Hydroxycinnamic acid)



ภาพที่ 4 โครงสร้างกรดไฮดรอกซีซินนามิก (Hydroxycinnamic acid)

ที่มา : Green (2007)

กรดไฮดรอกซีซินนามิก มีโครงสร้างหลักดังแสดงในภาพที่ 4 กรดไฮดรอกซีซินนามิกที่มักพบทั่วไปในพืช ได้แก่ กรดคาเฟอิก (caffeic acid) กรดเฟอรูลิก (ferulic acid) กรดพาราคูมาริก (*p*-coumaric) และกรดซินแนบปิก (sinapic acid) กรดเฟอรูลิกคือกรดฟีนอลิกชนิดหลักที่พบในพืช เช่น ธัญพืช กาแฟ ผลไม้ และผัก ในธรรมชาติมักพบในรูปของกรดไฮดรอกซีเอสเทอร์ (hydroxyacid ester) โดยเกิดพันธะเอสเทอร์กับกรดควินิก (quinic acid) กรดชิกิมิก (shikimic acid) กรดทาร์ทาริก (tartaric acid) ฟลาโวนอยด์ เซลลูโลส ลิกนิน หรือโปรตีน ตัวอย่างเช่น กรดคลอโรจีนิก (chlorogenic acid) (ภาพที่ 5) เกิดจากกรดทรานส์ซินนามิกเกิดพันธะเอสเทอร์กับกรดควินิก โดย 5-*O*-caffeoyl quinic acid คือกรดคลอโรจีนิกที่พบมากที่สุด (Waterhouse, 2005; Green, 2007)

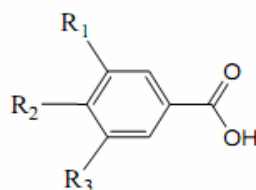


ภาพที่ 5 โครงสร้างกรดคลอโรจินิก (Chlorogenic acid)

ที่มา : Green (2007)

1.2 กรดไฮดรอกซีเบนโซอิก (Hydroxybenzoic acid)

กรดไฮดรอกซีเบนโซอิกส่วนมากมักพบในรูปของอนุพันธ์ และพบปริมาณน้อยในพืช ความหลากหลายของกรดไฮดรอกซีเบนโซอิกขึ้นอยู่กับ การแทนที่ของหมู่ไฮดรอกซิลและเมทอกซิลบนวงอะโรมาติก (ภาพที่ 6) โดยมากจะเกิดพันธะไกลโคไซด์หรือพันธะเอสเทอร์กับกรดอินทรีย์ เช่น กรดมาเลอิก (maleic acid) และกรดทาร์ทาริก (tartaric acid) หรือเกิดพันธะกับฟลาโวนอยด์ เป็นต้น ตัวอย่างกรดไฮดรอกซีเบนโซอิก เช่น กรดแกลลิก (gallic acid) กรดพาราไฮดรอกซีเบนโซอิก (*p*-hydroxybenzoic acid) และกรดวานิลลิก (vanillic acid) โดยกรดแกลลิก คือกรดไฮดรอกซีเบนโซอิกที่สามารถพบได้ทั่วไป กรดแกลลิก 2 โมเลกุลสามารถรวมตัวกันกลายเป็นกรดเอลลาจิก (ellagic acid) ซึ่งกรดเอลลาจิกนี้ได้รับความสนใจอย่างมากเนื่องจากมีคุณสมบัติในการต้านการเกิดมะเร็ง (anticarcinogenic) และด้านการเกิดออกซิเดชัน (antioxidant) ได้ (พิชญ์อร, 2549; Green, 2007)



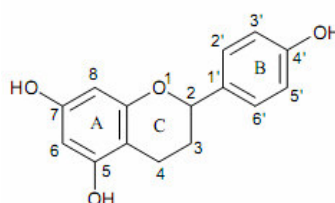
ภาพที่ 6 โครงสร้างกรดไฮดรอกซีเบนโซอิก (Hydroxybenzoic acid)

ที่มา : Green (2007)

2. ฟลาโวนอยด์ (Flavonoid)

ฟลาโวนอยด์จัดเป็นสารประกอบฟีนอลิกที่ถูพบมากที่สุดในการบรรดาสารประกอบฟีนอลิกจากพืชทั้งหมด พบอยู่ทั่วไปในพืชที่มีสีเขียว และพบในทุกส่วนของพืช ไม่ว่าจะเป็นใบ ราก เนื้อไม้ เปลือกต้น ดอก ผล หรือเมล็ด มีสูตรโครงสร้างหลักเป็นฟลาเวน (flavan) หรือ

2-ฟีนิลเบนโซไพแรน (2-phenylbenzopyran) ประกอบด้วยคาร์บอน 15 อะตอมเรียงกันเป็นระบบ $C_6C_3C_6$ โดยมีวงเบนซีน 2 วงจับกันด้วยคาร์บอน 3 อะตอม ซึ่งอาจจัดเรียงเกิดเป็นวงที่ 3 ทำให้โครงสร้างหลักที่ได้เหมือนโครงสร้างหลักของวิตามินอีที่เป็นโครงสร้างแบบโครแมน (chroman) หรือเบนโซไพแรน (benzopyran) (ภาพที่ 7) จากสูตรโครงสร้างหลักจะมีหมู่แทนที่ที่คาร์บอนตำแหน่งต่างๆ โดยเฉพาะที่วง A และ B ส่วนใหญ่จะเป็นหมู่ไฮดรอกซิล เมทอกซิล และน้ำตาลต่างๆ การแทนที่ของหมู่ต่างๆ เหล่านี้ทำให้เกิดเป็นฟลาโวนอยด์ในธรรมชาติที่แตกต่างกันเป็นจำนวนมาก ฟลาโวนอยด์มักพบในลักษณะของอนุพันธ์ของไกลโคไซด์ (glycoside) (วิวัฒน์, 2545; โอภา และคณะ, 2549) และแบ่งเป็นกลุ่มย่อยได้ 6 กลุ่ม ได้แก่ แอนโทไซยานิดิน (anthocyanidin) ฟลาวานอล (flavanol) ฟลาโวนอล (flavonol) ฟลาโวน (flavone) ฟลาวาโนน (flavanone) และไอโซฟลาโวน (isoflavone) แอนโทไซยานินคือฟลาโวนอยด์กลุ่มหลักที่พบในผลหม่อน (Kim and Lee, 2005)

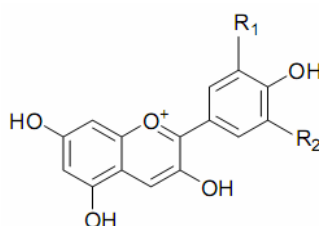


ภาพที่ 7 โครงสร้างหลักของสารประกอบฟลาโวนอยด์ (Flavonoid)

ที่มา : Green (2007)

2.1 แอนโธไซยานิดิน (Anthocyanidin)

แอนโธไซยานิดินและแอนโธไซยานินคือสารสี (pigment) ที่มีโครงสร้างพื้นฐานเป็นแบบ diphenylpropanes ($C_6-C_3-C_6$) (ภาพที่ 8) สามารถละลายได้ในน้ำ (water-soluble) เป็นสารที่ทำให้เกิดสีแดง ชมพู ม่วง หรือน้ำเงินในพืช แอนโธไซยานินอยู่ในรูปเอซิลไกลโคไซด์ (acylglycoside) ของแอนโธไซยานิดิน (anthocyanidin (aglycone)) หรือที่เรียกว่าไกลโคไซด์ (glycoside) โดยมีโมเลกุลของน้ำตาลมาเกาะที่ตำแหน่งที่ 3 ของแอนโธไซยานิดิน ความแตกต่างของแอนโธไซยานินแต่ละชนิดจะขึ้นอยู่กับจำนวนของหมู่ไฮดรอกซิล ชนิดและจำนวนของน้ำตาลที่มาเกาะกับโมเลกุล ตำแหน่งที่เกาะ ชนิดและจำนวนของอะลิฟาติก (aliphatic) หรือกรดอะโรมาติก (aromatic acid) ที่มาต่อกับโมเลกุลของน้ำตาล (Kong *et al.*, 2003) ด้วยเหตุนี้จึงทำให้แอนโธไซยานินมีสีตั้งแต่สีแดง น้ำเงิน จนถึงสีม่วง แอนโธไซยานิดินที่พบมากที่สุดในพืชมี 6 ชนิด คือ เพลลาโกนิดิน (pelargonidin) ไซยานิดิน (cyanidin) เดลฟินิดิน (delphinidin) พีโอนิดิน (peonidin) พีทูนิดิน (petunidin) และมัลวิดิน (malvidin) แอนโธไซยานินมีบทบาทสำคัญในการลดการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจ ช่วยในการมองเห็น อีกทั้งยังมีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน และต้านการเกิดมะเร็ง สามารถพบได้ทั่วไปในผักและผลไม้ต่างๆ เช่น สตรอเบอร์รี่ ผักกาดแดง บลูเบอร์รี่ องุ่น แบลคเบอร์รี่ ราสเบอร์รี่แดง พลัม เป็นต้น (Shahidi and Naczki, 2004; Stintzing and Carle, 2004; Giusti and Wrolstad, 2005)



ภาพที่ 8 โครงสร้างพื้นฐานของแอนโธไซยานิน (Anthocyanin)

ที่มา : Green (2007)

ตารางที่ 1 ชนิดของแอนโธไซยานิดินที่พบมากที่สุดในพื้นที่ 6 ชนิดและตำแหน่งการเติมหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl) และหมู่เมทิล (methyl)

แอนโธไซยานิดิน	ตำแหน่งการเติมหมู่ไฮดรอกซิลและหมู่เมทิล		
	R ₃	R _{3'}	R ₅
เพลลาโกนิน (pelargonidin)	H	H	H
ไซยานิดิน (cyanidin)	H	OH	H
เดลฟินิดิน (delphinidin)	H	OH	OH
พีโอนิดิน (peonidin)	H	OCH ₃	H
พินูนิน (petunidin)	H	OCH ₃	OH
มัลวิดิน (malvidin)	H	OCH ₃	OCH ₃

ที่มา : ดัดแปลงจาก Kong *et al.* (2003)

แอนโธไซยานินเมื่ออยู่ในสารละลายทำตัวเสมือนเป็นอินดิเคเตอร์ จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้าง และสีเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของสารละลายเปลี่ยนแปลงไป โดยในสถานะที่มีความเป็นกรด-ด่างต่ำหรือความเป็นกรด-ด่างกลาง แอนโธไซยานินจะมีโครงสร้างได้ทั้ง 4 แบบคือ flavylium cation quinoidal base carbinol pseudobase และ chalcone ที่ความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 2 แอนโธไซยานินจะอยู่ในรูปของ flavylium cation (สีแดง) แต่เมื่อความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้น flavylium cation จะอยู่ในสถานะที่ไม่เสถียรทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างไปเป็น colourless pseudobase (ไม่มีสี) และ quinoidal base (สีน้ำเงิน) ดังภาพที่ 9

เกิดการเสื่อมสลายไป 50% และมีค่าครึ่งชีวิตที่ 1 ชั่วโมง และ Kirca and Cemeroglu (2003) ศึกษาความคงตัวของแอนโทไซยานินของ blood orange ที่อุณหภูมิ 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงขึ้น ความคงตัวของ แอนโทไซยานินลดลง และมีค่าครึ่งชีวิตลดลง อีกทั้งในปี 2007 Kirca *et al.* ศึกษาความคงตัวของแอนโทไซยานินของแครอทม่วง (black carrot) ในสารละลายซิเตรทฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่ความเป็นกรด-ด่าง 2.5–7.0 โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส พบว่าความคงตัวของแอนโทไซยานินที่ความเป็นกรด-ด่างเดียวกันลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

2.1.1.2 ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

แอนโทไซยานินมีความคงตัวในสารละลายที่เป็นกรดมากกว่าในสารละลายที่เป็นกลางหรือด่าง (Markakis, 1982) จากงานวิจัยของ Kirca *et al.* (2007) ที่ศึกษาความคงตัวของแอนโทไซยานินของแครอทม่วงในสารละลายซิเตรทฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่ความเป็นกรด-ด่าง 2.5–7.0 ที่อุณหภูมิต่างๆ กัน พบว่าความคงตัวของแอนโทไซยานินลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อสารละลายซิเตรทฟอสเฟตบัฟเฟอร์มีความเป็นกรด-ด่างมากกว่า 5.0 ในระหว่างที่ให้ความร้อน

2.1.1.3 แสง (Light)

แสงมีส่วนช่วยในการสังเคราะห์ (biosynthesis) แอนโทไซยานิน แต่ก็สามารถเร่งให้เกิดการเสื่อมสลายของแอนโทไซยานินได้ด้วย โดยมีรายงานว่าในแอปเปิ้ลที่ยังไม่สุก เมื่ออยู่ในที่ที่มีแสงจะสุกและเปลี่ยนเป็นสีแดง แต่แอปเปิ้ลที่อยู่ในที่ที่ไม่มีแสงยังคงมีสีเขียวอยู่ อีกทั้งยังมีรายงานว่าแสงเร่งให้เกิดการเสื่อมสลายของแอนโทไซยานินที่สกัดจากกากองุ่นในเครื่องคั้นอัดลม (Markakis, 1982)

2.1.1.4 เอนไซม์ (Enzyme)

เอนไซม์สามารถทำให้สีของแอนโทไซยานินซีดจางลงได้ โดยมีรายงานว่าเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenoloxidase หรือ PPO) สามารถเร่งการเสื่อมสลายของแอนโทไซยานินได้ แต่ถึงแม้ว่าโพลีฟีนอลออกซิเดสจะไม่สามารถทำปฏิกิริยากับ

แอนโธไซยานินได้โดยตรง โดยทั่วไปแล้วโพลีฟีนอลออกซิเดสสามารถทำปฏิกิริยากับสารประกอบฟีนอลิกชนิดอื่นได้ดีกว่า โดย Fang *et al.* (2007) กล่าวว่าเมื่อโพลีฟีนอลออกซิเดสทำปฏิกิริยากับแคททีคิน(D-catechin) ทำให้สูญเสียแอนโธไซยานินในสตรอเบอร์รี่ไปถึง 50-60 % ที่อุณหภูมิห้อง

2.1.1.5 ปฏิกิริยากอนเดนเซชัน (Condensation)

แอนโธไซยานินสามารถรวมตัวกันเองหรือรวมตัวกับสารประกอบอินทรีย์ตัวอื่นได้ เช่น กรดแอมิโนบางชนิด phloroglucinol catechin และ nucleophile นอกจากนี้แอนโธไซยานินยังสามารถรวมตัวกับ flavylum salt ได้เป็นสารประกอบที่ไม่มีสี ซึ่งสารประกอบที่เกิดขึ้นสามารถเกิดปฏิกิริยา และเกิดการเปลี่ยนแปลงต่อไปได้ (Markakis, 1982)

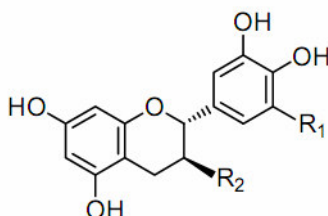
2.1.1.6 ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulfur dioxide)

สีของแอนโธไซยานินสามารถเกิดการซีดจางได้โดยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งมักพบในโรงงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับผลไม้ โดยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทำปฏิกิริยากับแอนโธไซยานินเกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่ไม่มีสี การซีดจางของสีนี้สามารถผันกลับหรือไม่ผันกลับก็ได้ (Markakis, 1982)

หน้าที่ที่สำคัญของแอนโธไซยานินส่วนมาก คือการเป็นสิ่งที่ทำให้เกิดสีในพืชและผลิตภัณฑ์ที่มาจากพืช ซึ่งช่วยในการดึงดูดสัตว์เพื่อให้เกิดการผสมเกสรดอกไม้และทำให้เกิดการแพร่กระจายของเมล็ดพันธุ์ และบทบาทหน้าที่อื่นๆ คือ สามารถทำหน้าที่ในการเป็นสารต้านออกซิเดชันและสารต้านจุลินทรีย์ได้ ในส่วนของการเป็นสารต้านออกซิเดชันนั้นแอนโธไซยานินสามารถทำหน้าที่ในการเป็นตัวให้อิเล็กตรอนอะตอม (hydrogen donor) แก่อนุมูลอิสระ และทำหน้าที่ในการจับกับไอออนของโลหะเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Kong *et al.*, 2003) ด้วยเหตุนี้จึงสามารถป้องกันการเกิดโรคเรื้อรังต่างๆ ได้ เช่น โรคมะเร็ง โรคเบาหวาน โรคหัวใจ เป็นต้น

2.2 ฟลาวานอล (Flavanol)

ฟลาวานอลรู้จักกันดีในชื่อของเฟลวานทรียอลส์ (flavan-3-ols) มีโครงสร้างดังแสดงในภาพที่ 10 ในธรรมชาติพบในรูปของอะไกลโคน (aglycone) ซึ่งตรงข้ามกับฟลาโวนอยด์ส่วนใหญ่ที่มักพบในรูปที่ต่อกับน้ำตาลหรือไกลโคไซด์ ตัวอย่างฟลาวานอลที่พบมาก เช่น แคททีคิน (catechin) อีพิกัตทีคิน (epicatechin) และอีพิกัลโลแคททีคิน (epigallocatechin) มักพบทั่วไปในชาชนิดต่างๆ เช่น ชาเขียว ชาอู่หลง และชาดำ เป็นต้น ฟลาวานอลสามารถเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอไรเซชันเกิดเป็นโพรแอนโทไซยานิดิน (proanthocyanidin) ได้ (พิชญ์อร, 2549; Kim and Lee, 2005; Green, 2007)



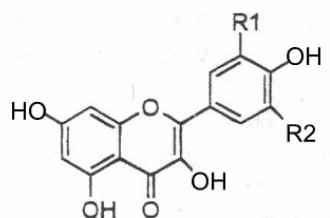
ภาพที่ 10 โครงสร้างพื้นฐานของฟลาวานอล (Flavanol)

ที่มา : Green (2007)

2.3 ฟลาโวนอล (Flavonol)

ฟลาโวนอลคือกลุ่มที่พบมากที่สุดเมื่อเทียบกับฟลาโวนอยด์กลุ่มอื่นๆ มีโครงสร้างคล้ายกับฟลาวานอล แตกต่างกันที่พันธะคู่ของอะตอมออกซิเจนที่จับที่ตำแหน่งที่ 4 ของวง C และตำแหน่งพันธะคู่ที่วง C อีกทั้งยังมีหมู่ไฮดรอกซิลเกาะอยู่ที่ตำแหน่งที่ 3 ของวง C (ภาพที่ 11) ปัจจุบันสามารถระบุชนิดของฟลาโวนอลได้แล้วประมาณ 200 ชนิด การสังเคราะห์ฟลาโวนอลขึ้นอยู่กับแสง ดังนั้นมักจะพบฟลาโวนอลบริเวณใบหรือผิวของผลไม้ และจะพบในปริมาณน้อยในพืชที่อยู่ใต้พื้นดิน ในธรรมชาติมักพบในรูปของไกลโคไซด์ ที่พบมากในผลไม้และผัก คือไกลโคไซด์ของเคออสติน (quercetin) ซึ่งก็คือเคออสติน-3-รูทีโนไซด์หรือรูทีน (rutin) (พิชญ์อร, 2549; Shahidi and Marian, 2004; Kim and Lee, 2005) Wada and Ou (2002) ศึกษาสารประกอบฟีนอลิกใน red raspberry (*Rubus idaeus*) black raspberry (*Rubus occidentalis*)

marionberry (*Rubus ursinus*) และ vergreen blackberry (*Rubus laciniatus*) พบว่ามี
 เควอซีทิน-3- รุทีโนไซด์เป็นองค์ประกอบ ส่วนที่อยู่ในรูปอะไกลโคนที่พบโดยทั่วไป ได้แก่
 แคมเฟอร์อล (keampferol) เควอซีติน (quercetin) และไมริซีทิน (myricetin) (ตารางที่ 3)



ภาพที่ 11 โครงสร้างพื้นฐานของฟลาโวนอล (Flavonol)

ที่มา : United state department of agriculture (USDA) (2003)

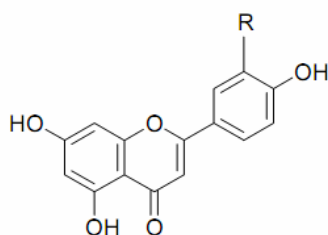
ตารางที่ 2 ชนิดของฟลาโวนอลและตำแหน่งการเติมหมู่ไฮดรอกซิลและหมู่เมทิล

ฟลาโวนอล	ตำแหน่งการเติมหมู่ไฮดรอกซิลและหมู่เมทิล	
	R ₁	R ₂
เควอซีทิน (quercetin)	OH	H
แคมเฟอร์อล (Kaempferol)	H	H
ไมริซีทิน (Myricetin)	OH	OH
ไอโซแรมเนทิน (Isorhamnetin)	OCH ₃	H

ที่มา : คัดแปลงจาก USDA (2003)

2.4 ฟลาโวน (Flavone)

ฟลาโวนคือกลุ่มของฟลาโวนอยด์ที่พบได้น้อยมากในพืช แต่มักพบในพืชตระกูลส้ม (citrus) Green (2007) กล่าวว่าปัจจุบันสามารถระบุชนิดของฟลาโวนได้ประมาณ 700 ชนิดในพืช ตัวอย่างของฟลาโวน ได้แก่ เอพิจินิน (apigenin) ลูทีโอลิน (luteolin) และโรอิโฟลิน (rhoifolin) เป็นต้น (Kim and Lee, 2005)

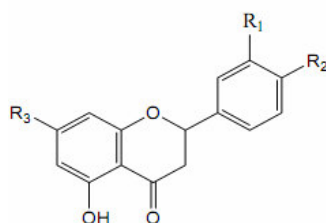


ภาพที่ 12 โครงสร้างพื้นฐานของฟลาโวน (Flavone)

ที่มา : Green (2007)

2.5 ฟลาวาโนน (Flavanone)

ฟลาวาโนนมักพบในพืชตระกูลส้ม ในธรรมชาติมักพบในรูปของไกลโคไซด์ ตัวอย่างเช่น เฮสเพอริดิน (hesperidin) นารินจิน (naringin) และนีโอเฮสเพอริดิน (neohesperidin) เป็นต้น (Kim and Lee, 2005)

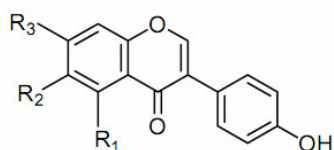


ภาพที่ 13 โครงสร้างพื้นฐานของฟลาวาโนน (Flavanone)

ที่มา : Green (2007)

2.6 ไอโซฟลาโวน (Isoflavone)

ไอโซฟลาโวนมักพบในพืชตระกูลถั่วที่มีลักษณะเป็นฝัก (legumes) เช่น ไดซีน (daidzein) จินิสทิน (genistein) ไกลซิทิน (glycitein) ไดซิน (daidzin) จินิสทิน (genistin) และ ไกลซิทิน (glycitin) เหล่านี้คือไอโซฟลาโวนที่สำคัญในพืช (วิวัฒน์, 2549; Kim and Lee, 2005)



ภาพที่ 14 โครงสร้างพื้นฐานของไอโซฟลาโวน (Isoflavone)

ที่มา : Green (2007)

ตารางที่ 3 แหล่งของพืชที่พบฟลาโวนอยด์ชนิดต่างๆ

Source	Subclass	Flavonoid
Cherry	anthocyanin	cyanidin, delphinidin, malvidin, peonidin, petunidin
Elderberry		cyanidin
Red onions		cyanidin
Blueberries		cyanidin, delphinidin, malvidin, pelargonidin
Raspberries		cyanidin, delphinidin, malvidin, pelargonidin
Mushrooms	flavanol	epicatechin, epicatechin 3-gallate, epigallocatechin
Olives		catechin, gallocatechin, epigallocatechin 3-gallate
Black Tea		epicatechin, epicatechin 3-gallate, epigallocatechin, catechin, theaflavin
Peaches		epicatechin, epigallocatechin 3-gallate, gallocatechin
Peppers		quercetin
Radishes	flavonol	kaempferol, myricetin, quercetin
Tomato		kaempferol, quercetin
Strawberries		kaempferol, myricetin, quercetin

ตารางที่ 3 (ต่อ)

Source	Subclass	Flavonoid
Oolong Tea		apigenin, luteolin
Basil	flavone	apigenin, luteolin
Apricots		apigenin, luteolin
Blood orange		eriodictyol, hesperetin, naringenin
Lemons	flavanone	eriodictyol, hesperetin, naringenin
Sour orange		eriodictyol, hesperetin, naringenin
Grapefruit		naringenin, eriodictyol, hesperetin, naringenin

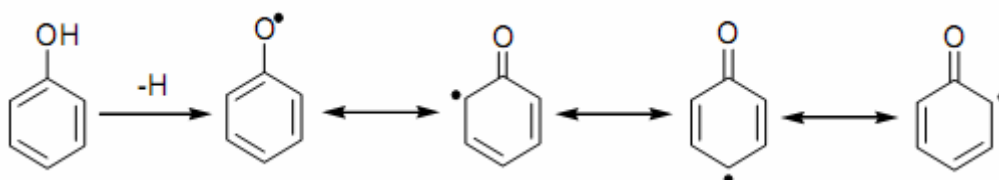
ที่มา : USDA (2003)

พืชสร้างสารประกอบฟีนอลิกขึ้นเพื่อใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโต และใช้เป็นกลไกในการป้องกันอันตรายต่างๆ ให้กับพืช เช่น ฟลาโวนอยด์มีบทบาทในการกรองรังสีรังสีอัลตราไวโอเลต (UV) ซึ่งเป็นรังสีที่สามารถทำลายเซลล์พืชได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งฟลาโวนและฟลาโวนอลสามารถดูดกลืนแสงในช่วงของแสง UV-B (280-320 นาโนเมตร) ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่นที่สามารถทำลายกรดนิวคลีอิกและ metabolic enzyme ของพืช อีกทั้งสารประกอบฟีนอลิกบางชนิด เช่น แคมเฟอรอล และเคอซีทิน-3-กลูโคไซด์ สามารถยับยั้งเชื้อรา (*Verticillium fungi*) ที่เป็นสาเหตุทำให้ใบร่วงได้ โดยกลไกที่ใช้ยับยั้งจุลินทรีย์คือ สารประกอบฟีนอลิกจะเข้าไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ของจุลินทรีย์ และเข้าไปทำปฏิกิริยาเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับโปรตีนภายนอกเซลล์ เป็นสาเหตุให้ผนังเซลล์ของจุลินทรีย์แตก (Green, 2007) อีกทั้งสารประกอบฟีนอลิก โดยเฉพาะอย่างยิ่งแอนโทไซยานินยังมีบทบาทในการดึงดูดสัตว์ นก และแมลงเพื่อช่วยในการผสมพันธุ์หรือผสมเกสรขยายพันธุ์ของพืชแต่ละชนิด (วิวัฒน์, 2545) อีกทั้งยังมีความสำคัญต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส (สี กลิ่นรส และรสชาติ) ของผลไม้สด ผักสด และผลิตภัณฑ์ต่างๆ (Kim *et al.*, 2003)

ความสามารถต้านออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิก

สารประกอบฟีนอลิกในผักและผลไม้มีประโยชน์ต่อสุขภาพสามารถป้องกันการเกิดโรคเรื้อรังต่างๆ ได้ เช่น โรคหัวใจ และโรคมะเร็ง เป็นต้น ด้านการอักเสบ ด้านการแพ้ และมีคุณสมบัติในการละลายลิ่มเลือด รวมไปถึงการเป็นสารต้านการก่อมะเร็ง และสามารถลดความดันโลหิตจากฤทธิ์ขยายหลอดเลือด เป็นต้น (โอภา และคณะ, 2549) เนื่องจากสารประกอบฟีนอลิกมีความสามารถต้านออกซิเดชันได้ Green (2007) กล่าวว่าความสามารถต้านออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิกมีกลไกการเกิดปฏิกิริยาอยู่ 3 กลไก ดังนี้

1. ความสามารถในการจับกับอนุมูลอิสระ (scavenging free radical) สารที่สามารถจับกับอนุมูลอิสระได้คือสารที่สามารถให้อิเล็กตรอนหรือไฮโดรเจนอะตอมแก่อนุมูลอิสระ เพื่อยับยั้งไม่ให้อนุมูลอิสระเกิดปฏิกิริยาต่อได้ ความสามารถในการจับกับอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิกเกี่ยวกับการที่สารประกอบฟีนอลิกสามารถให้ไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระ แล้วสารประกอบฟีนอลิกก็จะเปลี่ยนไปเป็นอนุมูลฟีนอล (phenol radicals) ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีความคงตัวเนื่องจากอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวจะเกิด resonance-stabilized delocalization ภายในวงอะโรมาติก (ภาพที่ 15) ดังนั้นอนุมูลฟีนอลจึงเกิดปฏิกิริยาต่อได้ยาก เป็นการชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน



ภาพที่ 15 การเกิด delocalization ของอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวของอนุมูลฟีนอล

ที่มา : Green (2007)

2. ความสามารถในการจับกับโลหะ (chelating transition-metals) สารประกอบฟีนอลิกสามารถจับกับโลหะ ซึ่งโลหะเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยกรดฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์สามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับเหล็ก (iron) และคอปเปอร์ไอออน (copper iron) ได้

3. ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่เป็นตัวเร่งให้เกิดอนุมูลอิสระ โดยสารประกอบฟีนอลิกสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดอนุมูลอิสระได้ เช่น ไนตริกออกไซด์ซินเทส (nitric oxide synthase) ไทโรซีนไคเนส (tyrosine kinase) และแซนทีนออกซิเดส (xanthine oxidase)

สารต้านออกซิเดชัน

สารต้านออกซิเดชัน (antioxidant) หมายถึงสารที่มีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับสารตั้งต้น (substrate) ทำหน้าที่ลดหรือยับยั้งปฏิกิริยาที่ก่อให้เกิดออกซิเจนหรือสารเปอร์ออกไซด์ (peroxide) หรือหมายถึงสารในอาหารที่มีผลในการลด reactive oxygen species (ROS) หรือ reactive nitrogen species (RNS) ในร่างกาย (Huang *et al.*, 2005) ได้แก่ อนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ (superoxide radical, $O_2^{\bullet}$) อนุมูลไฮดรอกซิล (hydroxyl radical, $\bullet OH$) อนุมูลไฮโดรเปอร์ออกซิล (hydroperoxyl radical, $HO_2^{\bullet}$) อนุมูลเปอร์ออกซิล (peroxyl radical, $RO_2^{\bullet}$) อนุมูลแอลคอกซิล (alkoxyl radical, $RO^{\bullet}$) อนุมูลไนตริกออกไซด์ (nitric oxide radical, $NO^{\bullet}$) อนุมูลไนโตรเจนไดออกไซด์ (nitrogen dioxide, $NO_2^{\bullet}$) (โอภา และคณะ, 2549)

สารต้านออกซิเดชันสามารถช่วยยืดอายุการเก็บอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งไขมันหรืออาหารที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบ โดยช่วยชะลอการขึ้นตอนการเกิด lipid peroxidation ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้อาหารเกิดการเสื่อมเสียในระหว่างกระบวนการผลิตหรือการเก็บรักษา (Goli *et al.*, 2005)

โอภา และคณะ (2549) และ Prior *et al.* (2005) รายงานว่าสารต้านออกซิเดชันสามารถแบ่งได้อย่างน้อย 4 กลุ่ม ดังนี้คือ

1. เอนไซม์ ในระดับเซลล์เอนไซม์เป็นกลไกสำคัญขั้นแรกที่ทำหน้าที่ควบคุมปริมาณอนุมูลอิสระให้อยู่ในสมดุล เอนไซม์ที่สำคัญได้แก่ เอนไซม์ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเทส (superoxide dismutase หรือ SOD) เอนไซม์กลูตาไทโอนเปอร์ออกซิเดส (glutathione peroxidase หรือ GPX) และเอนไซม์คาตาเลส (catalase หรือ CAT) เป็นต้น

2. สารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น อัลบูมิน (albumin) เซรูโลพลาสมีน (ceruloplasmin) เฟอริติน (ferritin) และโปรตีนชนิดอื่นๆ โดยโปรตีนจับและแยกโลหะที่เกี่ยวข้องในขั้นตอนการเกิดอนุมูลไฮดรอกซิล ($\cdot\text{OH}$) เข้ามารวมไว้ในโครงสร้างให้อยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อน โลหะจึงไม่สามารถทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาการเกิดอนุมูลอิสระได้

3. สารที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก เช่น วิตามินซี (ascorbic acid) กลูตาไทโอน (glutathione) กรดยูริก (uric acid) วิตามินอี (tocopherol) แครอทีนอยด์ (carotenoid) และสารประกอบฟีนอลิก เป็นต้น สารต้านออกซิเดชันในกลุ่มนี้จะหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ของการเกิดอนุมูล เช่น วิตามินอีทำปฏิกิริยาจับอนุมูลลิพิดเปอร์ออกไซด์และได้เป็นอนุมูลวิตามินอี ($\text{E-O}\cdot$) ซึ่งอนุมูลวิตามินอีนี้เป็นอนุมูลที่มีความไวต่ำทำให้ไม่สามารถเกิด lipid peroxidation ต่อไปได้

4. ฮอร์โมนบางชนิด เช่น เอสโตรเจน (estrogen) แอนจิโอเทนซิน (angiotensin) และเมลาโทนิน (melatonin) เป็นต้น

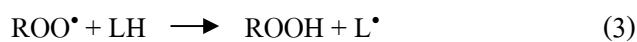
1. หลักการวัดสมบัติการต้านออกซิเดชัน

ปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้องกับหลักการวัดการต้านออกซิเดชันสามารถแบ่งได้ 2 กลุ่มดังนี้

1.1 วิธีการวัดการแลกเปลี่ยนอะตอมไฮโดรเจน (hydrogen atom transfer (HAT) reaction)

Huang *et al.* (2005) รายงานว่าหลักการนี้เป็นการวัดความสามารถในการแข่งขันกัน ในเชิงจลศาสตร์ หลักการนี้ประกอบด้วยสารที่ผลิตอนุมูลอิสระ (synthetic free radical generator) สารตั้งต้นของปฏิกิริยา (oxidizable molecular probe) และสารต้านออกซิเดชัน (antioxidant) ขั้นตอนเริ่มต้นสารประกอบอะโซ (azo compound) จะถูกกระตุ้น โดยทั่วไปจะใช้ความร้อนในการกระตุ้นเพื่อให้เกิดการสลายตัวกลายเป็นอนุมูลเพอร์ออกไซด์เพื่อเป็นตัวแทนของอนุมูลอิสระในธรรมชาติ การเกิดปฏิกิริยาเป็นไปตาม 4 ขั้นตอน ดังนี้

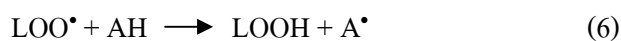
Initiation



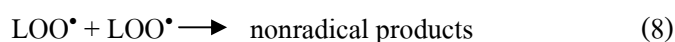
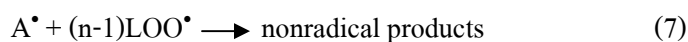
Propagation



Inhibition



Termination



เมื่อ

 R_2N_2 = สารประกอบอะโซ (azo compound)

 $ROO^\bullet$ = อนุมูลเพอร์ออกซิล (peroxyl radical)

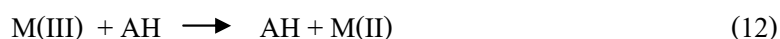
 LH = สารตั้งต้น (substrate)

 AH = สารต้านออกซิเดชัน (antioxidant)

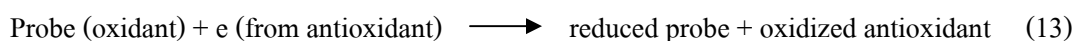
วิธีการวิเคราะห์ในกลุ่มนี้ได้แก่ Oxygen radical absorbance capacity (ORAC) assay และ total radical trapping antioxidant parameter (TRAP) assay ซึ่ง 2 วิธีนี้จะวัดปริมาณไฮโดรเจนอะตอมที่มีการแลกเปลี่ยน โดยวัดการเรืองแสงของสารฟลูออเรสเซนต์ที่ลดลงเมื่อเกิดการออกซิเดชัน เมื่อระบบมีสารต้านออกซิเดชัน สารต้านออกซิเดชันจะไปแข่งจับกับสารเรืองแสง ทำให้ความเข้มของสารฟลูออเรสเซนต์ลดลงด้วยความเร็วที่ช้าลง

1.2 วิธีการวัดการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนเดี่ยว (single electron transfer (SET) reaction)

วิธีการนี้เป็นการหาความสามารถในการส่งผ่านอิเล็กตรอนไปรีดิวซ์สารอื่น ได้แก่ โลหะ และอนุมูลอิสระ ดังสมการที่ 9-12 (Prior *et al.*, 2005)



Huang *et al.* (2005) รายงานว่าวิธีนี้ประกอบด้วยส่วนผสมของสาร 2 ชนิดคือ สารต้านออกซิเดชัน และสารออกซิไดซ์ (probe) และเกิดปฏิกิริยาตามสมการที่ 13



Probe ซึ่งก็คือสารออกซิไดซ์จะรับอิเล็กตรอนจากสารต้านออกซิเดชัน ทำให้ probe เปลี่ยนสี การเปลี่ยนสีของ probe จะเป็นสัดส่วนกับปริมาณสารต้านออกซิเดชัน คือถ้าสารต้านออกซิเดชันมีความเข้มข้นมากสีของ probe ก็จะลดลงเร็ว วิธีการในกลุ่มนี้ ได้แก่ total phenols assay by Folin-Ciocalteu reagent (FCR) Trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC) assay Ferric ion reducing antioxidant power (FRAP) assay และ 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging capacity assay

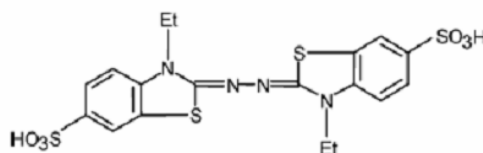
1.2.1 Total phenols assay by Folin-Ciocalteu reagent (FCR)

วิธีการนี้เป็นการวัดความสามารถในการรีดิวซ์ของสาร หลักการคือ สารประกอบฟีนอลิกสามารถเกิดปฏิกิริยากับฟอลิน-ซีโอเคทูล (Folin-Ciocalteu reagent (FCR)) ภายใต้สภาวะที่เป็นด่าง (เมื่อเติมด้วยโซเดียมคาร์บอเนตซึ่งมีความเป็นกรด-ด่างประมาณ 10) สารประกอบฟีนอลิกจะเกิดการแตกตัวได้เป็นฟีนอเลทแอนไอออน (phenolate anion) สามารถรีดิวซ์ฟอลิน-ซีโอเคทูล ทำให้เกิดสารประกอบที่ให้สีน้ำเงิน ทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร

1.2.2 Trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC) assay หรือ ABTS assay

วิธีการนี้เป็นการวัดความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ ABTS (ABTS radical cation, $ABTS^{\bullet+}$) เปรียบเทียบกับ Trolox วัดได้จากการลดลงของสีในสารละลาย โดยสาร ABTS

(2, 2-azonobis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonate)) มีสูตรโครงสร้างดังแสดงในภาพที่ 16 ซึ่งในสภาวะปกติดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 342 นาโนเมตร เมื่อถูกกระตุ้นให้ผลิตอนุมูลอิสระจะเปลี่ยนมาดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 414 นาโนเมตร



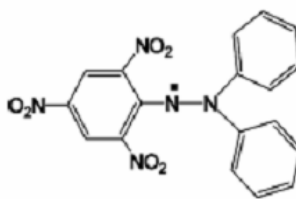
ภาพที่ 16 โครงสร้างทางเคมีของ ABTS

ที่มา: Prior *et al.* (2005)

ข้อดีของวิธี TEAC คือ ทำได้ง่าย โดยอนุมูลอิสระ ABTS จะทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วกับสารต้านอนุมูลอิสระภายใน 30 นาที ปกติใช้เวลาประมาณ 5 นาที การวิเคราะห์ทำได้ในช่วงความเป็นกรด-ด่างกว้างทำให้สามารถศึกษาเกลือได้โดยละเอียด อนุมูลอิสระ ABTS ละลายได้ทั้งในน้ำและสารทำละลายอินทรีย์ ใช้วิเคราะห์หาความสามารถในการต้านออกซิเดชันของสารต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นสารที่ละลายน้ำ หรือสารที่ละลายในไขมัน ข้อเสียคือ อนุมูลอิสระ ABTS ไม่เป็นสารตามธรรมชาติที่ก่อให้เกิดอนุมูลอิสระในเซลล์หรือในร่างกาย (โอภา และคณะ, 2549)

1.2.3 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging capacity assay

วิธีการนี้เป็นวิธีที่วัดความสามารถต้านอนุมูลอิสระ DPPH (2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) (ภาพที่ 17) โดยวัดได้จากการซีดจางของสีที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร อนุมูลอิสระ DPPH เป็นหนึ่งในสองถึงสามชนิดของอนุมูลอิสระที่มีความคงตัว มีสีม่วงเมื่ออยู่ในรูปอนุมูลอิสระแล้วโดยไม่ต้องทำปฏิกิริยาเหมือนกับอนุมูลอิสระ ABTS สามารถดูดกลืนแสงได้ที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร (โอภา และคณะ, 2549; Huang *et al.*, 2005)



ภาพที่ 17 โครงสร้างทางเคมีของ DPPH

ที่มา: Prior *et al.* (2005)

ข้อดีของวิธีนี้คือ ง่าย ใช้เครื่องมือสามัญทั่วไป นิยมใช้เป็นวิธีเบื้องต้นในการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลของสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ ข้อเสียของวิธีนี้คือ อนุมูลอิสระ DPPH มีความคงตัวไม่ไวต่อปฏิกิริยาเหมือนอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในเซลล์หรือร่างกาย ดังนั้นวิธีนี้จึงไม่สามารถแยกแยะ หรือจัดอันดับอนุมูลอิสระที่ความไวสูงได้ นอกจากนี้โครงสร้างทางเคมีของอนุมูลอิสระ DPPH ที่แสดงในภาพที่ 17 จะเห็นว่าอิเล็กตรอนเดี่ยวของอนุมูลอิสระถูกบดบังด้วยวงเบนซีน 3 วงและหมู่ไนโตร ทำให้สารต้านอนุมูลที่มีฤทธิ์แรงแต่มีขนาดใหญ่ไม่สามารถเข้าไปทำปฏิกิริยาหรือเกิดปฏิกิริยาช้ากว่าความเป็นจริง นอกจากนี้สารรีดิวซ์สามารถทำให้สีของอนุมูลอิสระ DPPH จางลงได้อีกด้วย (โอภา และคณะ, 2549)

ในปัจจุบันมีการศึกษาเกี่ยวกับชนิดและปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกและความสามารถต้านออกซิเดชันของผลหม่อน เนื่องจากมีรายงานว่าผลหม่อนมีสมบัติในการป้องกันการเกิดโรคเบาหวาน (antidiabetic) ป้องกันการปฏิกิริยาออกซิเดชัน (antioxidative) ป้องกันการอักเสบ (anti-inflammatory) ดังที่กล่าวไปข้างต้น ในปี 2006 Oki *et al.* ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติการต้านอนุมูลอิสระและองค์ประกอบของผลหม่อนสายพันธุ์ต่างๆ ในประเทศญี่ปุ่นในระหว่างการเจริญเติบโต พบว่าผลหม่อนทั้ง 8 สายพันธุ์มีกรดฟีนอลิกและแอนโธไซยานินส์เป็นองค์ประกอบ และสามารถแสดงสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH โดยมีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระอยู่ระหว่าง 2.5-20.3 มิลลิโมลสมมูลของ Trolox ต่อกรัมของน้ำหนักสด อีกทั้ง Bea and Suh (2007) รายงานว่าผลหม่อน (*Morus alba* L.) ในประเทศเกาหลีสามารถแสดงสมบัติการต้านออกซิเดชันไม่ว่าจะเป็นสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สมบัติการต้านอนุมูลไฮดรอกซิล สมบัติการต้านอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์แอนไอออน และความสามารถในการรีดิวซ์ เป็นต้น ซึ่งสมบัติการต้านออกซิเดชันเหล่านี้เป็นผลมาจากสารประกอบฟีนอลิกที่มีในผลหม่อน อีกทั้งในปี

เดียวกัน Ercisli and Orhan ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผลหม่อน 3 species ได้แก่ white mulberry (*Morus alba*) red mulberry (*Morus rubra*) และ black mulberry (*Morus nigra*) พบว่า black mulberry มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ทั้งหมดมากที่สุด โดยมีปริมาณเท่ากับ 1,422 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด และ 276 มิลลิกรัมสมมูลของเคออสตินต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด และ Lin and Tang (2007) รายงานว่าผลหม่อนมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ สตรอเบอร์รี่ พลัม พริกไทย (เขียว เหลือง และแดง) ผักขม หอมหัวใหญ่ เมล่อน และบัตร์นัต โดยมีความปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 1515.9 ± 5.7 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด และมีปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดเท่ากับ 250.1 ± 6.3 มิลลิกรัมสมมูลของเคออสตินต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด

ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสารประกอบฟีนอลิกและความสามารถต้านออกซิเดชันของพืช

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและความสามารถต้านออกซิเดชันของพืชแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน นอกจากนี้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและความสามารถต้านออกซิเดชันยังขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น สายพันธุ์ ระยะเวลาเจริญเติบโต ฤดูกาล และ species เป็นต้น

1. สายพันธุ์

สายพันธุ์คือหนึ่งในปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณและองค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิก (Kim *et al.*, 2003) Orak (2007) ทำการศึกษาปริมาณแอนโธไซยานินส์ทั้งหมด ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถต้านออกซิเดชันของสารสกัดจากองุ่นสายพันธุ์ต่างๆ 16 สายพันธุ์ พบว่าองุ่นสายพันธุ์ต่างๆ มีปริมาณแอนโธไซยานินส์ทั้งหมด สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดแตกต่างกัน ส่งผลให้มีความสามารถต้านออกซิเดชันแตกต่างกันด้วย ในปี 2008 Ozgen *et al.* ศึกษาสมบัติทางเคมีและสมบัติการต้านออกซิเดชันของทับทิม (*Punica granatum* L.) 6 สายพันธุ์ โดยทำการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโธไซยานินส์ทั้งหมด สมบัติการต้านออกซิเดชัน 2 วิธี ได้แก่ FRAP (ferric reducing antioxidant power) และ TEAC (trolox equivalent antioxidant capacity) assays พบว่าทับทิมทั้ง 6 สายพันธุ์มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดอยู่ระหว่าง 1,245 ถึง 2,076 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อน้ำทับทิม 1 ลิตร และมีปริมาณแอนโธไซยานินส์ทั้งหมดอยู่ระหว่าง 6.12 ถึง 219 มิลลิกรัมสมมูล

ของไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ต่อน้ำทับทิม 1 ลิตร โดยแต่ละสายพันธุ์มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด แอนโธไซยานินส์ทั้งหมด และความสามารถต้านออกซิเดชันที่แตกต่างกัน

2. ระยะการเจริญเติบโต

ระยะการเจริญเติบโตคืออีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญที่มีอิทธิพลต่อสารชีวเคมี ลักษณะทางกายภาพ และการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างของผลไม้และผัก (Menichini *et al.*, 2009) Lima *et al.* (2005) ศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและแคโรทีนอยด์ของผล Acerola fruit (*Malpighia emarginata* D.C.) ที่ทำการเก็บเกี่ยวที่ 3 ระยะการเจริญเติบโตคือ initial stage (ผลมีสีเขียวทั้งหมด) half-mature (ผลมีสีเหลืองถึงสีแดง) และ completely mature (ผลสีแดงถึงสีม่วง) พบว่าสารประกอบฟีนอลิกของผล Acerola บางสายพันธุ์มีปริมาณลดลงเมื่อมีการเจริญเติบโตมากขึ้น ตรงข้ามกับปริมาณของแคโรทีนอยด์ โดยแคโรทีนอยด์จะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเมื่อผล Acerola เจริญเติบโตมากขึ้น และ Castrejon *et al.* (2008) ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบฟีนอลิกและสมบัติการต้านออกซิเดชันของบลูเบอร์รี่ (*V. corymbosum* L.) ในระหว่างการเจริญเติบโตและการสุก พบว่าเมื่อบลูเบอร์รี่มีการเจริญเติบโตมากขึ้นจะมีการสะสมแอนโธไซยานินมากขึ้น ในขณะที่ฟลาโวนอลและกรดไฮดรอกซีซินนามิกจะมีปริมาณลดลง ในส่วนของความสามารถต้านออกซิเดชันจะมีแนวโน้มเช่นเดียวกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดคือมีแนวโน้มลดลงเมื่อบลูเบอร์รี่สุกมากขึ้น

3. ฤดูกาล

ภูมิอากาศหรือฤดูกาลมีอิทธิพลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของผล acerola โดยผล acerola ที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้งจะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากกว่าผลที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝน ทั้งนี้เนื่องมาจากน้ำฝนอาจจะเจือจางน้ำผลไม้ภายในเซลล์และทำให้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกลดลง (Lima *et al.*, 2005) อีกทั้ง Ferreyra *et al.* (2007) รายงานว่าการเก็บเกี่ยวสตรอเบอร์รี่ในช่วงฤดูร้อนจะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH มากกว่าในช่วงฤดูหนาว

4. Specie

Gerasopoulos and Stavroulakis (1997) ศึกษาคุณลักษณะทางคุณภาพของผลหม่อน 2 species คือ *M. Alba* (white mulberry 3 สายพันธุ์ ได้แก่ สายพันธุ์ Mavri Rodini และ Aspri) และ *M. Nigra* (black mulberry ได้แก่ สายพันธุ์ Mavromurnia) พบว่าผลหม่อนสายพันธุ์ Mavromurnia (*M. Nigra*) มีปริมาณแอนโทไซยานินสีทั้งหมดมากกว่าผลหม่อนสายพันธุ์อื่น (*M. Alba*) และในปี 2007 Ercisli and Orhan ศึกษาองค์ประกอบทางเคมี เช่น ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solid) ความเป็นกรด-ด่าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของผลหม่อน 3 species คือ white mulberry (*Morus alba* L.) red mulberry (*Morus rubra* L.) และ black mulberry (*Morus nigra* L.) พบว่า specie มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ทั้งหมด โดย *Morus nigra* L. มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ทั้งหมดมากที่สุด รองลงมาคือ *Morus rubra* L. และ *Morus alba* L. ตามลำดับ โดยผู้วิจัยกล่าวว่าเนื่องมาจากความแตกต่างทางพันธุกรรม โดยในงานวิจัยนี้ทำการเก็บเกี่ยวผลหม่อนที่มีอายุเท่ากันและเจริญเติบโตภายใต้ภูมิประเทศเดียวกัน

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัสดุดิบ

ผลหม่อน 3 สายพันธุ์ ได้แก่ สายพันธุ์เชียงใหม่ กำแพงแสน-เอ็มบี-42-1 และบุรีรัมย์ 60 ปลุกที่แปลงทดลองคณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ทำการเก็บเกี่ยวเดือนมิถุนายน 2551 แต่ละสายพันธุ์ทำการเก็บเกี่ยว 4 ระยะการเจริญเติบโต ดังนี้ ผลอ่อน (immature) ผลกึ่งสุก (semi-mature) ผลสุก (mature) และผลสุกเต็มที่ (fully mature)

2. สารเคมี

2.1 กรดแกลลิก (Gallic acid; $(\text{HO})_3\text{C}_6\text{H}_2\text{CO}_2\text{H}$; Analytical grade, Sigma-Aldrich, St. Louise, U.S.A.)

2.2 แคททีนไฮเดรต (Catechin hydrate; $\text{C}_{15}\text{H}_{14}\text{O}_6 \cdot x\text{H}_2\text{O}$; Analytical grade, Sigma-Aldrich, St. Louise, U.S.A.)

2.3 ไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ (Cyanidin-3-glucoside chloride; $\text{C}_{21}\text{H}_{21}\text{O}_{11}\text{Cl}$, HPLC: Extrasynthese, France)

2.4 ไซยานิดิน-3-รูทีโนไซด์ คลอไรด์ (Cyanidin-3-rutinoside chloride; $\text{C}_{27}\text{H}_{31}\text{O}_{15}\text{Cl}$, HPLC: Extrasynthese, France)

2.5 เควอซีทิน-3-รูทีโนไซด์ หรือรูทีน (Quercetin-3-rutinoside หรือ rutin; $\text{C}_{27}\text{H}_{30}\text{O}_{16}$, HPLC: Extrasynthese, France)

2.6 กรดคลอโรจินิก (Chlorogenic acid; $\text{C}_{16}\text{H}_{18}\text{O}_9$, Analytical grade, Sigma-Aldrich, St. Louise, U.S.A.)

2.7 โฟลีน-ซีโอคาลเทอ (Folin-Ciocalteu reagent; Analytical grade, Sigma-Aldrich, St. Louise, U.S.A.)

2.8 โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate; Na_2CO_3 ; Analytical grade, Ajax Finechem, Auckland, New Zealand)

- 2.9 โพแทสเซียม ได-ไฮโดรเจน ฟอสเฟต (Potassium di-hydrogen phosphate; KH_2PO_4 : Analytical grade, Ajax Finechem, Auckland, New Zealand)
- 2.10 ได-โพแทสเซียม ไฮโดรเจน ฟอสเฟต (Di-potassium hydrogen phosphate; K_2HPO_4 : Ajax Finechem, Auckland, New Zealand)
- 2.11 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide; NaOH : Analytical grade, Merck, Germany)
- 2.12 กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid; $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$: food grade, ห้างหุ้นส่วนจำกัดแซทเทอร์นเคมีคอล, ประเทศไทย)
- 2.13 กรดไฮโดรคลอริก 37% (37% Hydrochloric acid; HCl : Analytical grade, Merck, Germany)
- 2.14 อะซีโตรไนไทรล์ (Acetonitrile; CH_3CN : HPLC grade, Mallinckrodt Baker Inc., Phillipsburg, NI, U.S.A.)
- 2.15 เมทานอล (Methanol; CH_3OH : Analytical grade, Mallinckrodt Baker Inc., Phillipsburg, NI, U.S.A.)
- 2.16 เมทานอล (Methanol; CH_3OH : HPLC grade, Mallinckrodt Baker Inc., Phillipsburg, NI, U.S.A.)
- 2.17 เอทานอล (Ethanol; $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$: Analytical grade, Merck, Germany)
- 2.18 2, 2'-อะโซบิส (2-อะมิดีโนโพรเพน) ไฮโดรคลอริก; (2, 2', -azobis-(2-amidinopropane) HCl : AAPH, Aldrich, Steinheim, Germany)
- 2.19 2, 2'-อะซิโน-บิส (3-เอทิลเบนโซไทอะโซลีน-6-ซัลโฟนิก แอซิด); (2, 2', -Azino-bis(3- ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt): ABTS, Aldrich, Steinheim, Germany)
- 2.20 2, 2'-ไดฟีนิล-1-ไพคริล-ไฮดราซิด; (2, 2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl) (DPPH, Aldrich, Steinheim, Germany)
- 2.21 โพแทสเซียมคลอไรด์ (Potassium chloride; KCl : Analytical grade, Merck, Germany)
- 2.22 โซเดียมอะซิเตท (Sodium acetate; $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$: Analytical grade, Ajax Finechem, Auckland, New Zealand)
- 2.23 กรดฟอสฟอริก 85% (85% Phosphoric acid; H_3PO_4 : Analytical grade, Merck, Germany)

3. อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.1 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer: Model Spectronic Genesys 10 UV Scanning Thermo Electron Corporation, U.S.A.)

3.2 เครื่องเหวี่ยงแยก (Centrifuge: Sorvall RC 5C Plus Superspeed Centrifuge, Minnesota, USA)

3.3 เครื่องสั่นสะเทือนด้วยคลื่นเสียง (Sonicator: Bandelin Sonorex, Model RK 52, Berlin, Germany)

3.4 เครื่องวัดสี (Colorimeter: 3500d, Model Minolta, Japan)

3.5 เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter: Orion 2 Star, Beverly, Massachusetts., USA.)

3.6 อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath: Model WB 7/14/22/29/45, Memmert, Schwach, Germany)

3.7 เครื่องปั่นเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogenizer: T10 basic, Australia)

3.8 เครื่องผสมสารละลาย (Vortex mixer: genie II, U.S.A.)

3.9 ตู้แช่เยือกแข็ง (Freezer: SF-C995 (GYN), Sanyo, Thailand)

3.10 เครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวแบบสมรรถนะสูง (High Performance Liquid Chromatograph: Waters, Mailford, MA, U.S.A.)

3.11 เครื่องทำแห้งแบบเยือกแข็ง (Freeze dryer: Heto Model FD 2.5, Heto Lab Equipment A/S, Allerod, Denmark)

3.12 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง (Balance 2 decimal: Model TP2KS, OHAUS, U.S.A)

3.13 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (Balance 4 decimal Model ED2248, Series Extend, Satorius, Germany)

3.14 เครื่องวัดความชื้น (Karl Fisher: Model 841, Methrom, Switzerland)

3.15 เครื่องกวนสารละลายด้วยแท่งแม่เหล็ก (Hot plate stirrer: Model HS-101, GEM, Thailand)

3.16 ชุดเครื่องแก้วมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์

วิธีการ

1. การคัดแยกตัวอย่างผลหม่อนตามระยะการเจริญเติบโต

1.1 การคัดแยกตัวอย่างผลหม่อนสด

เก็บเกี่ยวตัวอย่างผลหม่อนสายพันธุ์เชียงใหม่ กำแพงแสน-เอ็มบี-42-1 และบุรีรัมย์ 60 โดยใช้สีผิวเป็นดัชนีในการวัดระยะการเจริญเติบโต ซึ่งสามารถแบ่งระยะการเจริญเติบโตได้ 4 ระดับ ดังนี้

1. ผลอ่อน (ระยะการเจริญเติบโตที่ 1 หรือ immature stage)
 - ผลหม่อนสีเขียวถึงสีชมพู
2. ผลกึ่งสุก (ระยะการเจริญเติบโตที่ 2 หรือ semi-mature stage)
 - ผลหม่อนสีชมพูถึงสีแดง
3. ผลสุก (ระยะการเจริญเติบโตที่ 3 หรือ mature stage)
 - ผลหม่อนสีแดงถึงสีม่วง
4. ผลสุกเต็มที่ (ระยะการเจริญเติบโตที่ 4 หรือ fully mature stage)
 - ผลหม่อนสีม่วงเข้มจนถึงสีดำ

หลังจากเก็บเกี่ยวผลหม่อนตามระยะการเจริญเติบโตข้างต้น ตรวจสอบลักษณะทางกายภาพคือขนาด (ความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลาง) และสี หลังจากนั้นถ่ายภาพลักษณะปรากฏของผลหม่อนที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ เพื่อใช้เป็นดัชนีการเก็บเกี่ยวผลหม่อน โดยการเปรียบเทียบสีของผลหม่อนกับภาพถ่ายที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นมา

1.2 การตรวจสอบลักษณะทางกายภาพ

1.2.1 การวัดขนาด

วัดขนาดทั้งความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางของผลหม่อนทุกสายพันธุ์แต่ละระยะการเจริญเติบโตด้วยเวอร์เนียคาร์ลิเปอร์ (Vernier Caliper) โดยสุ่มตัวอย่างละ 30 ผล โดยความยาว

วัดจากหัวผลหม่อนไปยังปลายอีกด้านหนึ่ง และเส้นผ่านศูนย์กลางวัดโดยการตัดแบ่งผลหม่อนตามแนวขวาง และวัดเส้นผ่านศูนย์กลางจากขอบด้านหนึ่งไปยังขอบอีกด้านโดยวัดผ่านแกนกลางของผลหม่อน

1.2.2 การวัดสีตัวอย่างผลหม่อนที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ

วัดสีตัวอย่างผลหม่อนปั่นละเอียด (puree') โดยนำตัวอย่างผลหม่อนสดทั้ง 3 สายพันธุ์ที่ผ่านการคัดแยกในข้อ 1.1 มาปั่นให้ละเอียด และนำมาวัดสีด้วยเครื่องวัดสี (3500d, Model Minolta, Japan) และแสดงผลเป็นค่า L^* a^* b^* ทั้งนี้เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการสร้างดัชนีการเก็บเกี่ยวผลหม่อนที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ

2. การเตรียมตัวอย่างผลหม่อน

หลังจากการคัดแยกตัวอย่างผลหม่อนทั้ง 3 สายพันธุ์ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ (ข้อ 1.1) นำตัวอย่างผลหม่อนมาเด็ดขั้ว ล้างให้สะอาด ผึ่งให้แห้ง และแช่ในโตรเจนเหลวทันที จากนั้นนำไปเก็บไว้ในตู้เย็น -20 องศาเซลเซียส และนำไปทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบเยือกแข็ง (Heto Model FD 2.5, Heto Lab Equipment A/S, Allerød, Denmark) จนแห้ง เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด แอนโทไซยานินส์ทั้งหมด ความสามารถต้านออกซิเดชัน (สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ 2, 2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) และ 2, 2'-azobis (3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt (ABTS)) และวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกโดยเทคนิค High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

3. การสกัดตัวอย่าง

นำตัวอย่างผลหม่อนแห้งที่ได้จากการเตรียมตัวอย่างข้อ 2 มาทำการสกัด โดยใช้วิธีที่ดัดแปลงจากวิธีของ Kim *et al.* (2002) และ Rodriguez-Saona and Wrolstad (2005) โดยนำตัวอย่างผลหม่อนแห้ง 1 กรัม ใส่ในหลอดสำหรับหมุนเหวี่ยง เติมสารละลายเมทานอลเข้มข้นร้อยละ 50 ที่มีส่วนผสมของกรดไฮโดรคลอริกร้อยละ 0.01 ปริมาตร 12 มิลลิลิตร ปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นเป็นเนื้อเดียวกัน (T10 basic, Australia) นาน 2 นาที แล้วนำไปปั่นสะเทือนด้วยเครื่องสั่นสะเทือนด้วยคลื่นเสียง (Bandelin Sonorex, Model RK 52, Berlin, Germany) ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

เป็นเวลา 15 นาที แล้วนำไปหมุนเหวี่ยงโดยเครื่องเหวี่ยงแยก (Sorvall RC 5C Plus Superspeed Centrifuge, Minnesota, USA) ด้วยความเร็วรอบ 11,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที แยกส่วนใสใส่วัดปริมาตร นำส่วนกากที่เหลือไปสกัดซ้ำอีก 1 ครั้ง แยกส่วนใส และนำไปรวมกับส่วนใสที่ได้จากการสกัดครั้งแรก แล้วปรับปริมาตรสุดท้ายเป็น 25 มิลลิลิตร สกัดตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

4. การตรวจสอบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content)

ตรวจสอบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยวิธี total phenols assay ซึ่งดัดแปลงจากวิธีของ Kim and Lee (2002) โดยดูดสารสกัด (ข้อ 3.1) 0.1 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง เติมน้ำกลั่น 0.5 มิลลิลิตร จากนั้นเติมฟอลิน-ซีโอเคาท์ 0.1 มิลลิลิตร ทิ้งไว้นาน 6 นาที เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตร้อยละ 7 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร ตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง นาน 90 นาที นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 760 นาโนเมตร วัดค่าสารสกัดละ 3 ครั้ง นำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิกความเข้มข้น 20-100 ppm (ภาพผนวกที่ 1) รายงานผลเป็นปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง)

5. การตรวจวัดปริมาณแอนโทไซยานินส์ทั้งหมด (Total monomeric anthocyanins content)

ตรวจสอบปริมาณแอนโทไซยานินส์ทั้งหมดโดยวิธี pH-differential (Giusti and Wrolstad, 2005) หาค่า Dilution Factor (DF) โดยการเจือจางสารสกัดที่ได้จากการสกัดข้อ 3.1 ด้วยสารละลายบัฟเฟอร์โพแทสเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 0.025 โมลาร์และความเป็นกรด-ด่าง 1.0 (pH 1.0) และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร ให้ค่าที่ได้อยู่ในช่วง 0.2-0.8 จากนั้นจึงนำสารสกัดมาเจือจางด้วย DF ที่ได้ด้วยสารละลายบัฟเฟอร์โพแทสเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 0.025 โมลาร์และความเป็นกรด-ด่าง 1.0 (pH 1.0) และสารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมอะซิเตทที่มีความเข้มข้น 0.4 โมลาร์และความเป็นกรด-ด่าง 4.5 (pH 4.5) และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 ($A_{510\text{ nm}}$) และ 700 นาโนเมตร ($A_{700\text{ nm}}$) โดยใช้ น้ำกลั่นเป็นแบล็ก (blank) จากนั้นจึงคำนวณค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง (A) (สมการที่ 14) แล้วนำค่าดังกล่าวไปคำนวณเป็นปริมาณแอนโทไซยานินส์ทั้งหมดในตัวอย่างเริ่มต้น (สมการที่ 15)

$$A = (A_{510nm} - A_{700nm})_{pH1.0} - (A_{510nm} - A_{700nm})_{pH4.5} \quad (14)$$

$$\text{ปริมาณแอนโทไซยานินส์ทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)} = (A \times MW \times DF \times 1000) / (\epsilon \times 1) \quad (15)$$

โดย MW = มวลโมเลกุลของไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ = 449.2

DF (Dilution Factor) = อัตราส่วนของปริมาตรสุดท้ายของสารละลายตัวอย่าง
 เจือจางกับปริมาตรเริ่มต้นของตัวอย่าง

ϵ (Molar absorptivity) ของไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ = 26900

6. การตรวจสอบความสามารถต้านออกซิเดชัน

6.1 การตรวจสอบสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ 2, 2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH)

(DPPH Radical Scavenging Capacity)

ตรวจสอบสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH โดยวิธีที่ดัดแปลงจากวิธีของ Singh *et al.* (2002) โดยนำสารสกัด (ข้อ 3.1) 0.1 มิลลิลิตร (หากต้องเจือจางตัวอย่างให้ใช้สารละลายเมทานอล เข้มข้นร้อยละ 50 ที่มีส่วนผสมของกรดไฮโดรคลอริกร้อยละ 0.01) จากนั้นเติมสารละลาย DPPH 0.1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 5 มิลลิลิตร เขย่า และตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 20 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร เทียบกับกราฟมาตรฐานของวิตามินซีความเข้มข้น 20-100 ppm (ภาพผนวกที่ 2) รายงานผลเป็นสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (มิลลิกรัมสมมูลของวิตามินซีต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง)

6.2 การตรวจสอบสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ 2, 2'-azobis (3-ethylbenzthiazoline-6-

sulfonic acid) diammonium salt (ABTS) (ABTS Radical Scavenging Capacity)

ตรวจสอบสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ABTS โดยวิธีที่ดัดแปลงจากวิธีของ Kim *et al.* (2002) โดยนำขวดของสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (phosphate buffer หรือ PBS) 100 มิลลิลิตร ไปวางในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จากนั้นเติม 1.0 มิลลิโมลาร์ 2, 2'-azobis-(2-amidinopropane) HCl (AAPH) และ 2.5 มิลลิโมลาร์ ABTS (เตรียมสารละลายอนุมูลอิสระโดยใช้ AAPH 27.117 มิลลิกรัม และ ABTS 137.175 มิลลิกรัม ต่อ 100 มิลลิลิตร PBS) ลงไปให้ความร้อน 20 นาที โดยกวนทุก 5 นาที และตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นกรอง

สารละลายอนุมูลอิสระ โดยใช้ GHP Acrodisc® 25 mm Syringe Filter with 0.45 μ m GHP membrane เจือจางสารละลายที่ได้ด้วยฟอสเฟตบัฟเฟอร์ จนกระทั่งได้ค่าการดูดกลืนแสง 0.650 ± 0.020 นาโนเมตร บ่มสารละลายอนุมูลอิสระที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส จนกระทั่งทำการวิเคราะห์ ผสมตัวอย่างที่ได้จากการสกัด (ข้อ 3.1) 20 ไมโครลิตร และสารละลายอนุมูลอิสระ 980 ไมโครลิตร และนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 734 นาโนเมตร เทียบกับกราฟมาตรฐานของวิตามินซีความเข้มข้น 20-100 ppm (ภาพผนวกที่ 3) รายงานผลเป็นสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ABTS (มิลลิกรัมสมมูลของวิตามินซีต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง)

7. การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกโดยเทคนิค High performance liquid chromatography (HPLC)

วิเคราะห์ชนิดและปริมาณของสารประกอบฟีนอลิก โดยใช้วิธีที่ดัดแปลงจากวิธีจาก Chantanawarangoon (2005) โดยเทคนิค High Performance Liquid Chromatography (HPLC) (Waters, Mailford, MA, USA) ระบบประกอบด้วย Waters 600 pumps (Waters, Mailford, MA, USA) Waters 996 UV diode-array detector และ Waters 717 plus auto sampler ฉีดสารละลายตัวอย่างที่ได้จากการสกัดข้อ 3.1 ปริมาตร 20 ไมโครลิตร โดยฉีดตัวอย่างละ 3 ครั้งเข้าสู่คอลัมน์ ชนิด C18 (Symmetry®, 4.6 mm x 250 mm) (Waters, Mailford, MA, USA) โดยมีวัฏภาคเคลื่อนที่ (mobile phase) เป็นน้ำปราศจากไอออน (DI water) และ acetonitrile ที่มีส่วนผสมของ กรดฟอสฟอริก (phosphoric acid) ร้อยละ 0.1 ทั้ง 2 วัฏภาคเคลื่อนที่ (วัฏภาคเคลื่อนที่ A และ B ตามลำดับ) โดยสัดส่วนของวัฏภาคเคลื่อนที่ที่ใช้ในการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 4 ด้วยอัตราการไหล (flow rate) 1 มิลลิลิตรต่อนาที และใช้ UV diode-array detector ตรวจวัดกรดฟีนอลิกที่ความยาวคลื่น 320 นาโนเมตร ฟลาโวนอลที่ความยาวคลื่น 370 นาโนเมตร และแอนโทไซยานินที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร ประมวลผลที่ได้โดยโปรแกรมสำเร็จรูป Empower 2 chromatography data software (Waters, Mailford, MA, USA)

ตารางที่ 4 สัดส่วนของวิฤภาคเคลื่อนที่ในการวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกโดยเทคนิค HPLC

เวลา (นาที)	วิฤภาคเคลื่อนที่ A (ร้อยละ)	วิฤภาคเคลื่อนที่ B (ร้อยละ)
0	100	0
10	95	5
50	70	30
55	92	8
60	100	0

วิเคราะห์ปริมาณสาร โดยนำพื้นที่ใต้กราฟเทียบกับกราฟมาตรฐานของกรดคลอโรจีนิก (chlorogenic acid) (ภาพผนวกที่ 4) ที่ความยาวคลื่น 320 นาโนเมตร ที่มีความเข้มข้น 5-250 ppm เควอซีทิน-3-รูทีโนไซด์ (quercetin-3-rutinoside) หรือรูทีน (rutin) (ภาพผนวกที่ 6) ที่ความยาวคลื่น 370 นาโนเมตร ที่มีความเข้มข้น 5-100 ppm และไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ (cyanidin-3-glucoside) และไซยานิดิน-3-รูทีโนไซด์ (cyanidin-3-rutinoside) (ภาพผนวกที่ 8 และ 10 ตามลำดับ) ที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร ที่มีความเข้มข้น 5-100 ppm และรายงานผลเป็นมิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง ตรวจสอบความถูกต้องของสารประกอบฟีนอลิกที่วิเคราะห์ได้โดยการผสมสารมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนเข้าไปในตัวอย่าง และเปรียบเทียบความถูกต้องของพื้นที่ใต้กราฟที่วิเคราะห์ได้ (spike)

8. การประเมินผลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) แบบ Completely Randomized Design (CRD) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดย LSD (Least Significant Difference) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

9. สถานที่ทำการวิจัย

ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพฯ

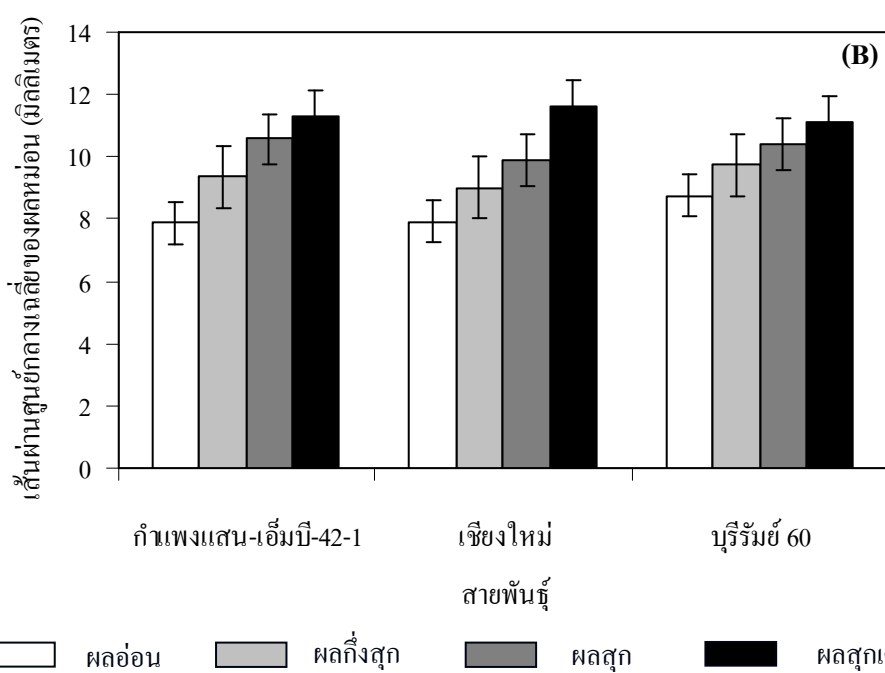
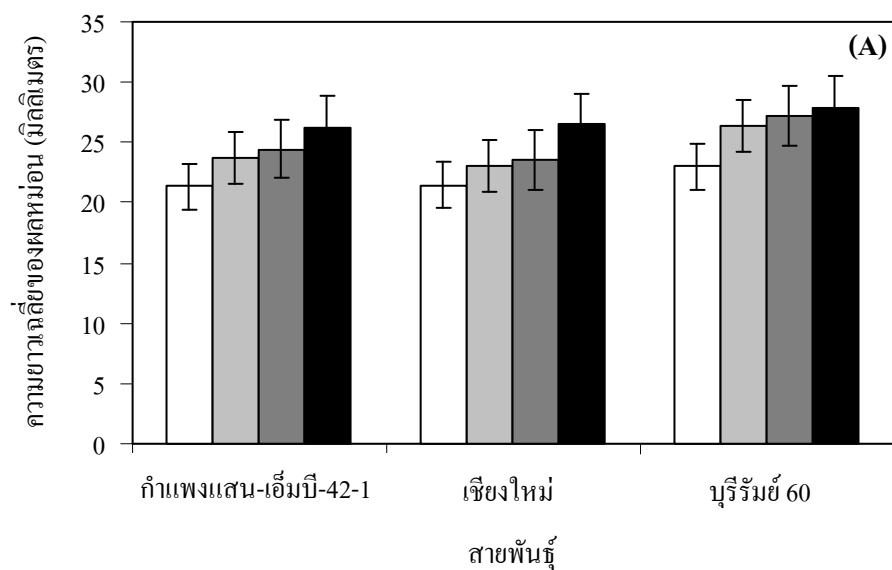
ผลและวิจารณ์

1. ลักษณะทางกายภาพของผลหม่อนที่ระยะการเจริญเติบโตแตกต่างกัน

1.1 การเปลี่ยนแปลงขนาดของผลหม่อนที่ระยะการเจริญเติบโตแตกต่างกัน

เมื่อทำการวัดขนาดทั้งความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางของผลหม่อนทุกสายพันธุ์แต่ละระยะการเจริญเติบโต พบว่าผลหม่อนทั้ง 3 สายพันธุ์มีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อมีการเจริญเติบโตมากขึ้น เนื่องจากเมื่อผลหม่อนเริ่มสุกและแก่จะมีลักษณะบวมน้ำและประกอบไปด้วยน้ำหวานเมื่อผลแก่เต็มที่ (วสันต์, 2548) โดยจะมีความยาวเฉลี่ยเพิ่มมากขึ้น (ภาพที่ 18A) ซึ่งในระยะผลสุกเต็มที่ของสายพันธุ์เชียงใหม่ กำแพงแสน-เอ็มบี-42-1 และบุรีรัมย์ 60 มีความยาวเฉลี่ยมากที่สุด ($p \leq 0.05$) มีค่าเท่ากับ 26.5 ± 2.5 26.3 ± 2.6 และ 27.9 ± 2.2 มิลลิเมตร ตามลำดับ รองลงมาคือ ผลสุก และผลกึ่งสุก ซึ่งมีความยาวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) และผลอ่อนมีความยาวน้อยที่สุดในทุกสายพันธุ์ และเมื่อเปรียบเทียบความยาวเฉลี่ยของทั้ง 3 สายพันธุ์ที่ระยะการเจริญเติบโตเดียวกันพบว่าสายพันธุ์บุรีรัมย์ 60 มีความยาวเฉลี่ยมากที่สุด ($p \leq 0.05$) ที่ทุกระยะการเจริญเติบโต ผลหม่อนสายพันธุ์กำแพงแสน-เอ็มบี-42-1 และเชียงใหม่มีความยาวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ในส่วน of เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยพบว่าผลหม่อนทั้ง 3 สายพันธุ์มีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยมากขึ้นเมื่อมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน (ภาพที่ 18B) โดยผลสุกเต็มที่ของสายพันธุ์เชียงใหม่ กำแพงแสน-เอ็มบี-42-1 และบุรีรัมย์ 60 จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยมากที่สุด ($p \leq 0.05$) มีค่าเท่ากับ 11.6 ± 0.9 11.3 ± 0.8 และ 11.1 ± 0.7 มิลลิเมตร ตามลำดับ รองลงมาคือผลสุก ผลกึ่งสุก และผลอ่อน ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของผลหม่อนที่ระยะการเจริญเติบโตเดียวกันพบว่าในระยะผลอ่อนของผลหม่อนสายพันธุ์บุรีรัมย์ 60 มีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยมากที่สุด ($p \leq 0.05$) ในขณะที่สายพันธุ์กำแพงแสน-เอ็มบี-42-1 และเชียงใหม่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ในส่วนของระยะผลกึ่งสุกพบว่าผลหม่อนทั้ง 3 สายพันธุ์มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ในระยะผลสุกพบว่าสายพันธุ์กำแพงแสน-เอ็มบี-42-1 และบุรีรัมย์ 60 มีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยมากกว่าสายพันธุ์เชียงใหม่ ($p \leq 0.05$) และในระยะผลสุกเต็มที่พบว่าผลหม่อนทั้ง 3 สายพันธุ์มีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)



ภาพที่ 18 ความยาวเฉลี่ย (A) และเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (B) ของตัวอย่างผลหม่อน 3 สายพันธุ์ที่
ระยะการเจริญเติบโตแตกต่างกัน

หมายเหตุ : ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย (n=30)

1.2 การเปลี่ยนแปลงสีของผลหม่อนที่ระยะการเจริญเติบโตแตกต่างกัน

การเปลี่ยนแปลงสีของผลหม่อนเมื่อมีการเจริญเติบโต ผลหม่อนจะมีสีเขียวออกเหลืองในระยะผลอ่อน และจะพัฒนาไปเป็นสีชมพู สีแดง และสีม่วงเข้มจนถึงสีดำเมื่อเจริญเติบโตเข้าสู่ระยะผลถึงสุก ผลสุก และผลสุกเต็มที่ ตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงสีของผลหม่อนเกิดขึ้น เนื่องมาจากคลอโรฟิลล์ที่มีอยู่ในผลอ่อนจะเสื่อมสลายไปตามธรรมชาติจากเอนไซม์คลอโรฟิลเลส (chlorophyllase) หรือเกิดจากการสูญเสียอนุมูลแมกนีเซียม (Mg^{++}) เนื่องจากกรดหรือจากการเสื่อมสลายของเม็ดสีคลอโรพลาสต์ (chloroplast) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นสีเหลืองหรือสีอื่นเมื่อมีการเจริญเติบโตมากขึ้น (ธนะบุญ, 2548) ซึ่งในผลหม่อนเมื่อมีการพัฒนาของผลมากขึ้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงจากสีเขียวไปเป็นสีชมพู แดง และม่วงเข้ม สีเหล่านี้เป็นสีที่เกิดจากรงควัตถุกลุ่มฟลาโวนอยด์ ซึ่งก็คือแอนโทไซยานิน โดยการเปลี่ยนแปลงสีในตัวอย่างผลหม่อนทั้ง 3 สายพันธุ์ แสดงด้วยค่า L^* (ค่าความสว่างเริ่มจากสีขาว ($L^*=100$) ไปจนถึงสีดำ ($L^*=0$)) (ตารางที่ 5) a^* (เป็นสีแดงเมื่อเป็นบวก หรือเป็นสีเขียวเมื่อเป็นลบ) (ตารางที่ 6) b^* (เป็นสีเหลืองเมื่อเป็นบวก หรือเป็นสีน้ำเงินเมื่อเป็นลบ) (ตารางที่ 7)

ตารางที่ 5 ค่า L^* ของผลหม่อนที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ

ระยะการเจริญเติบโต	ค่า L^*		
	สายพันธุ์กำแพงแสน-เอ็มบี-42-1	สายพันธุ์เชียงใหม่	สายพันธุ์บุรีรัมย์ 60
ผลอ่อน	36.63 ^{A, b} ± 1.54	33.56 ^{A, b} ± 0.61	45.70 ^{A, a} ± 1.76
ผลถึงสุก	30.58 ^{B, b} ± 0.17	30.49 ^{B, b} ± 0.24	34.12 ^{B, a} ± 0.59
ผลสุก	16.98 ^{C, b} ± 0.54	20.94 ^{C, a} ± 0.50	16.89 ^{C, b} ± 0.95
ผลสุกเต็มที่	8.09 ^{D, a} ± 1.06	10.30 ^{D, a} ± 0.13	8.07 ^{D, a} ± 1.15

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=2)

ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ (A-D) ที่ต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ระหว่างคอลัมน์เดียวกันเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี LSD

ตัวอักษรพิมพ์เล็ก (a-c) ที่ต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ระหว่างแถวเดียวกันเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี LSD

ตารางที่ 6 ค่า a* ของผลหม่อนที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ

ระยะการ เจริญเติบโต	ค่า a*		
	สายพันธุ์กำแพงแสน-เอ็มบี-42-1	สายพันธุ์เชียงใหม่	สายพันธุ์บุรีรัมย์ 60
ผลอ่อน	1.66 ^{D, ab} ± 0.06	3.90 ^{D, b} ± 0.56	6.44 ^{B, a} ± 1.33
ผลกึ่งสุก	16.55 ^{B, a} ± 0.55	15.74 ^{B, a} ± 0.42	16.80 ^{A, a} ± 0.61
ผลสุก	18.89 ^{A, b} ± 0.17	17.41 ^{A, a} ± 0.25	15.25 ^{A, c} ± 0.34
ผลสุกเต็มที่	8.18 ^{C, b} ± 0.01	7.46 ^{C, a} ± 0.03	6.16 ^{B, c} ± 0.10

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=2)

ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ (A-D) ที่ต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ระหว่าง
คอลัมน์เดียวกันเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี LSD

ตัวอักษรพิมพ์เล็ก (a-c) ที่ต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ระหว่างแถว
เดียวกันเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี LSD

ตารางที่ 7 ค่า b* ของผลหม่อนที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ

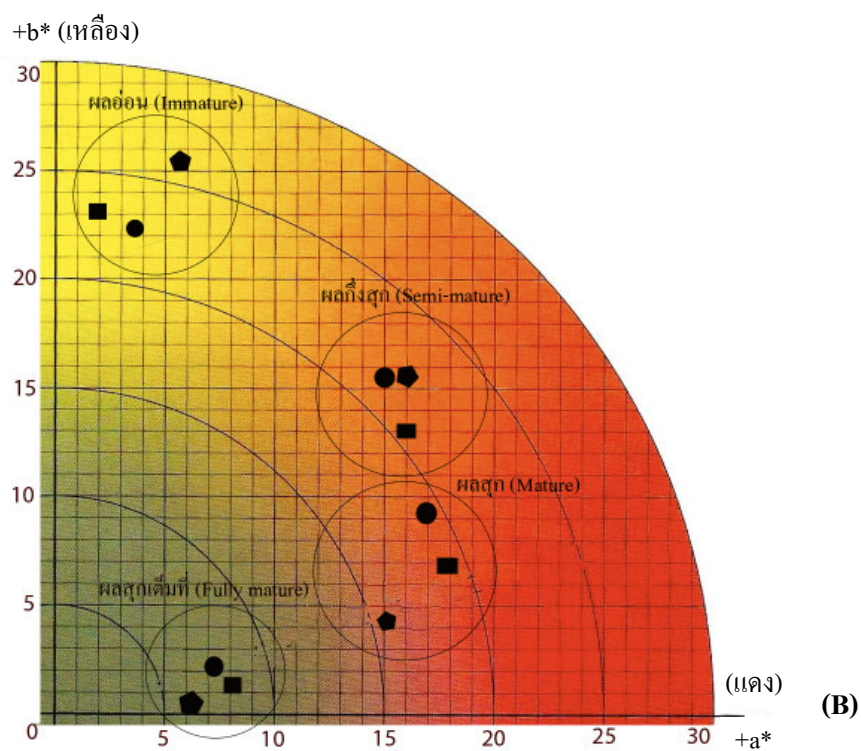
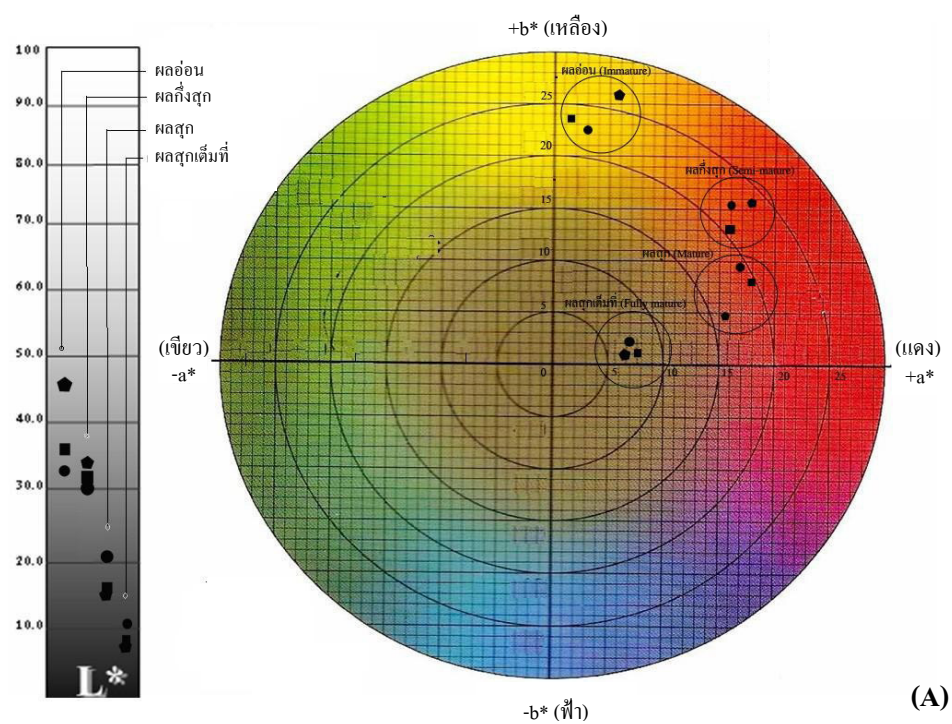
ระยะการ เจริญเติบโต	ค่า b*		
	สายพันธุ์กำแพงแสน-เอ็มบี-42-1	สายพันธุ์เชียงใหม่	สายพันธุ์บุรีรัมย์ 60
ผลอ่อน	23.21 ^{A, b} ± 0.70	22.36 ^{A, b} ± 0.87	25.71 ^{A, a} ± 0.27
ผลกึ่งสุก	13.69 ^{B, a} ± 0.97	15.55 ^{B, a} ± 1.22	15.68 ^{B, a} ± 0.68
ผลสุก	6.97 ^{C, a} ± 0.02	9.16 ^{C, b} ± 0.77	4.65 ^{C, c} ± 0.57
ผลสุกเต็มที่	1.81 ^{D, a} ± 0.34	2.23 ^{D, a} ± 0.84	0.92 ^{D, a} ± 0.15

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=2)

ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ (A-D) ที่ต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ระหว่าง
คอลัมน์เดียวกันเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี LSD

ตัวอักษรพิมพ์เล็ก (a-c) ที่ต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ระหว่างแถว
เดียวกันเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี LSD

เมื่อพิจารณาค่า L^* พบว่าค่า L^* มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อผลหม่อนมีการเจริญเติบโตมากขึ้นในทุกสายพันธุ์ ในส่วนของค่า a^* พบว่าจากระยะผลอ่อนจนถึงผลสุกมีค่า a^* เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่จะมีค่าลดลงเมื่อเข้าสู่ระยะผลสุกเต็มที่ และค่า b^* จะมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อผลหม่อนมีการเจริญเติบโตมากขึ้นทั้ง 3 สายพันธุ์ และเมื่อนำค่า L^* a^* b^* มาสร้างกราฟเพื่อแสดงเจดสีของผลหม่อนทั้ง 3 สายพันธุ์ในแต่ละระยะการเจริญเติบโต (ภาพที่ 19) พบว่าสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่มคือ กลุ่มที่ 1 ระยะผลอ่อนจะมีเจดสีเหลือง กลุ่มที่ 2 ระยะผลกึ่งสุกมีเจดสีชมพู กลุ่มที่ 3 ระยะผลสุกมีเจดสีแดง และกลุ่มที่ 4 ระยะผลสุกเต็มที่มีเจดสีดำ ซึ่งสอดคล้องกับสีของผลหม่อนที่มองเห็นด้วยตาเปล่า (ภาพที่ 20 21 และ 22) โดยผลหม่อนทั้ง 3 สายพันธุ์หากมองด้วยตาเปล่าในระยะผลอ่อนจะมีลักษณะสีเขียวออกเหลือง ซึ่งมีค่าอยู่ในเจดสีเหลืองมากกว่าสีเขียว (ค่า a^* เท่ากับ 1.66 ถึง 6.44 และ b^* เท่ากับ 22.36 ถึง 25.71) ในส่วนของระยะผลกึ่งสุกและผลสุกมีค่า a^* ใกล้เคียงกัน แต่ผลสุกมีค่า b^* น้อยกว่าผลกึ่งสุก ($p \leq 0.05$) แสดงให้เห็นว่าผลสุกมีสีเข้าใกล้เจดสีน้ำเงินมากกว่า อีกทั้งมีค่า L^* น้อยกว่าจึงมองเห็นเป็นสีแดงเข้มกว่าผลกึ่งสุก และในระยะผลสุกเต็มที่ของผลหม่อนทั้ง 3 สายพันธุ์เมื่อมองด้วยตาเปล่าจะเห็นเป็นสีม่วงเข้มออกดำตลอดทั้งผล สอดคล้องกับค่า L^* a^* b^* ที่วัดได้ โดยมีค่า L^* และ b^* ต่ำที่สุดคือ 8.07 ถึง 10.30 และ 0.92 ถึง 2.23 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับผลหม่อนที่ระยะการเจริญเติบโตอื่นๆ แสดงให้เห็นว่ามีสีเข้าใกล้เจดสีน้ำเงินมากที่สุด



ภาพที่ 19 ชาร์ตแสดงค่าสี (A) และส่วนขยายของชาร์ตสี (B) ของผลหม่อนสายพันธุ์เชียงใหม่ (●) กำแพงแสน-เอ็มบี-42-1 (■) และบุรีรัมย์60 (◆) ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างกัน



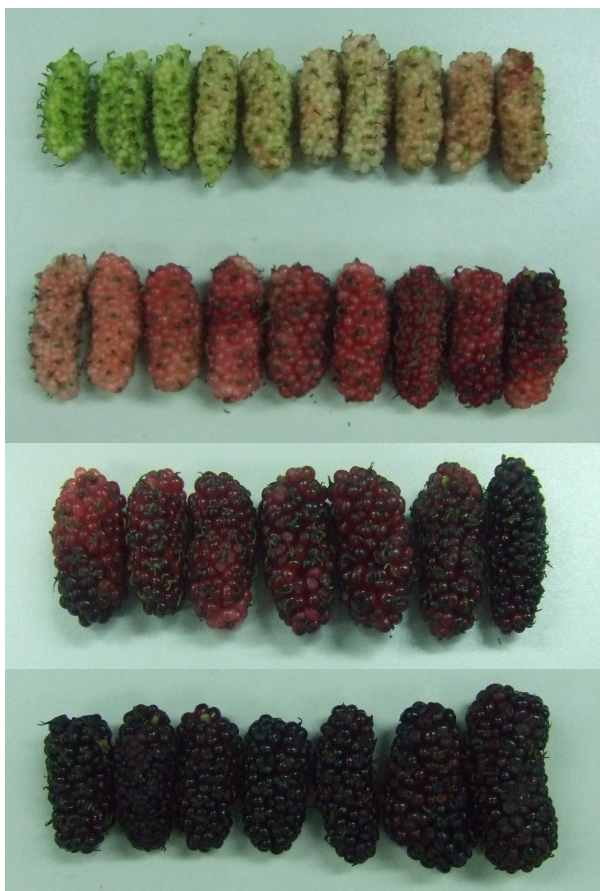
ผลอ่อน (ระยะการเจริญเติบโตที่ 1)

ผลกึ่งสุก (ระยะการเจริญเติบโตที่ 2)

ผลสุก (ระยะการเจริญเติบโตที่ 3)

ผลสุกเต็มที่ (ระยะการเจริญเติบโตที่ 4)

ภาพที่ 20 ลักษณะปรากฏ (visual quality) ของผลหม่อนสายพันธุ์กำแพงแสน- เอ็มบี-42-1 ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ



ผลอ่อน (ระยะการเจริญเติบโตที่ 1)

ผลกึ่งสุก (ระยะการเจริญเติบโตที่ 2)

ผลสุก (ระยะการเจริญเติบโตที่ 3)

ผลสุกเต็มที่ (ระยะการเจริญเติบโตที่ 4)

ภาพที่ 21 ลักษณะปรากฏ (visual quality) ของผลหม่อนสายพันธุ์บุรีรัมย์ 60 ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ



ผลอ่อน (ระยะการเจริญเติบโตที่ 1)

ผลกึ่งสุก (ระยะการเจริญเติบโตที่ 2)

ผลสุก (ระยะการเจริญเติบโตที่ 3)

ผลสุกเต็มที่ (ระยะการเจริญเติบโตที่ 4)

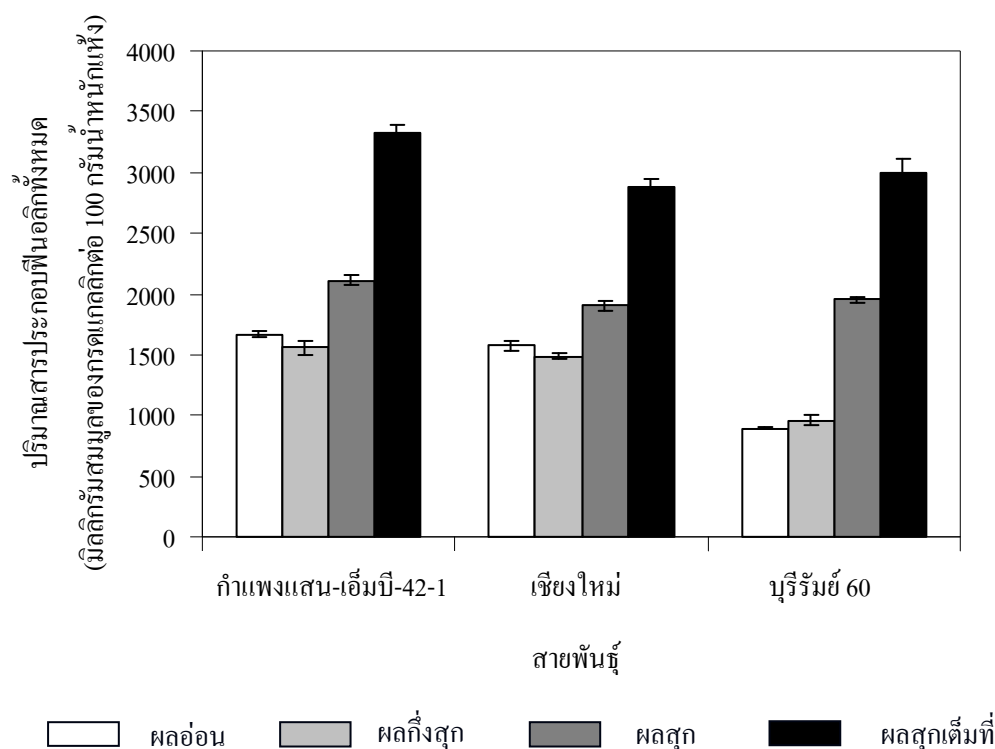
ภาพที่ 22 ลักษณะปรากฏ (visual quality) ของผลหม่อนสายพันธุ์เชียงใหม่ ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ

2. ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content)

จากการศึกษาผลของสายพันธุ์และระยะการเจริญเติบโตเพื่อหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผลหม่อน 3 สายพันธุ์ พบว่าสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีปริมาณตั้งแต่ 891.6 ± 8.8 ถึง $3,317.7 \pm 79.5$ มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง (ภาพที่ 23) ซึ่งปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผลหม่อนทุกสายพันธุ์มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อมีการเจริญเติบโตมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบในสายพันธุ์เดียวกันพบว่าสายพันธุ์เชียงใหม่ในระยะผลสุกเต็มที่ที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมากที่สุด ($p \leq 0.05$) ซึ่งมีปริมาณเท่ากับ $2,877.9 \pm 66.6$ มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง รองลงมาคือ ผลสุก ผลอ่อน และผลกึ่งสุก ตามลำดับ ในส่วนของสายพันธุ์กำแพงแสน-เอ็มบี-42-1 พบว่ามีแนวโน้มเช่นเดียวกับสายพันธุ์เชียงใหม่ โดยผลสุกเต็มที่ที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมากที่สุด ($p \leq 0.05$) มีปริมาณ

เท่ากับ $3,317.7 \pm 79.5$ มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง รองลงมาคือผลสุก ผลอ่อน และผลกึ่งสุก ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาสายพันธุ์บุรีรัมย์ 60 พบว่าผลสุกเต็มที่จะมี ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมากที่สุด ($p \leq 0.05$) มีค่าเท่ากับ $2,995.1 \pm 116.8$ มิลลิกรัมสมมูล ของกรดแกลลิกต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง รองลงมาคือ ผลสุก ในส่วนของผลกึ่งสุกและผลอ่อนมี ปริมาณไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลการทดลองของ Bouaziz *et al.* (2004) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผลมะกอกที่ เก็บเกี่ยวในระยะเวลาต่างๆ ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม ปี 2002 (ผลสีเขียว) ถึงเดือนกุมภาพันธ์ ปี 2003 (ผลสีดำ) พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผลมะกอกมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีการ เจริญเติบโตมากขึ้น และมีปริมาณมากที่สุดในผลมะกอกที่มีสีดำที่เก็บเกี่ยวในช่วงเดือนตุลาคม ปี 2002 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ ปี 2003 แต่แตกต่างจากผลการทดลองของ Wang and Lin (2000) ที่ พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของแบลคเบอร์รี่ และสตรอเบอร์รี่จะมีปริมาณลดลงเมื่อ มีการเจริญเติบโตมากขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเป็นผลไม้ต่างชนิดกันทำให้มีพันธุกรรมที่ต่างกัน ซึ่ง พันธุกรรมเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบฟีนอลิกในพืช (Lima *et al.*, 2005)

ในส่วนของความแตกต่างระหว่างสายพันธุ์พบว่าผลหม่อนทั้ง 3 สายพันธุ์มีปริมาณ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดแตกต่างกัน โดยผลอ่อนของสายพันธุ์กำแพงแสน-เอ็มบี-42-1 มี ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมากที่สุด ($p \leq 0.05$) รองลงมาคือ สายพันธุ์เชียงใหม่ และ บุรีรัมย์ 60 ตามลำดับ ในส่วนของผลกึ่งสุกพบว่าสายพันธุ์กำแพงแสน-เอ็มบี-42-1 และเชียงใหม่มี ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมากกว่าสายพันธุ์บุรีรัมย์ 60 ($p \leq 0.05$) และผลสุกและผลสุก เต็มที่ของสายพันธุ์กำแพงแสน-เอ็มบี-42-1 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมากกว่าสายพันธุ์ เชียงใหม่และบุรีรัมย์ 60 ($p \leq 0.05$) โดยผลสุกเต็มที่ของสายพันธุ์กำแพงแสน-เอ็มบี-42-1 มีปริมาณ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมากกว่าสายพันธุ์เชียงใหม่และบุรีรัมย์ 60 คิดเป็น 13.3% และ 9.7% ตามลำดับ ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับ Kim *et al.* (2003) พบว่าพลัมแต่ละสายพันธุ์จะมี ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดต่างกัน อีกทั้งในปีเดียวกัน Borbalan *et al.* ศึกษาปริมาณ โพลีฟีนอลทั้งหมดขององุ่นแดงและองุ่นขาวพบว่าองุ่นแดงมีปริมาณโพลีฟีนอลค่อนข้างมากกว่า องุ่นขาว



ภาพที่ 23 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic content) ของตัวอย่างผลหม่อน 3 สายพันธุ์ที่ระยะการเจริญเติบโตแตกต่างกัน

หมายเหตุ : ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย (n=3)

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในระยะผลสุกเต็มที่ของผลหม่อนสายพันธุ์กำแพงแสน-เอ็มบี-42-1 โดยมีปริมาณเท่ากับ $3,317.7 \pm 79.5$ มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง หรือ 583.5 ± 14.0 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด กับบลูเบอร์รี่ (cv. Serra) และแครนเบอร์รี่ (cv. Ben Lear) (Zheng and Wang, 2003) พบว่ามีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมากกว่าบลูเบอร์รี่และแครนเบอร์รี่ซึ่งมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 412 และ 315 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ

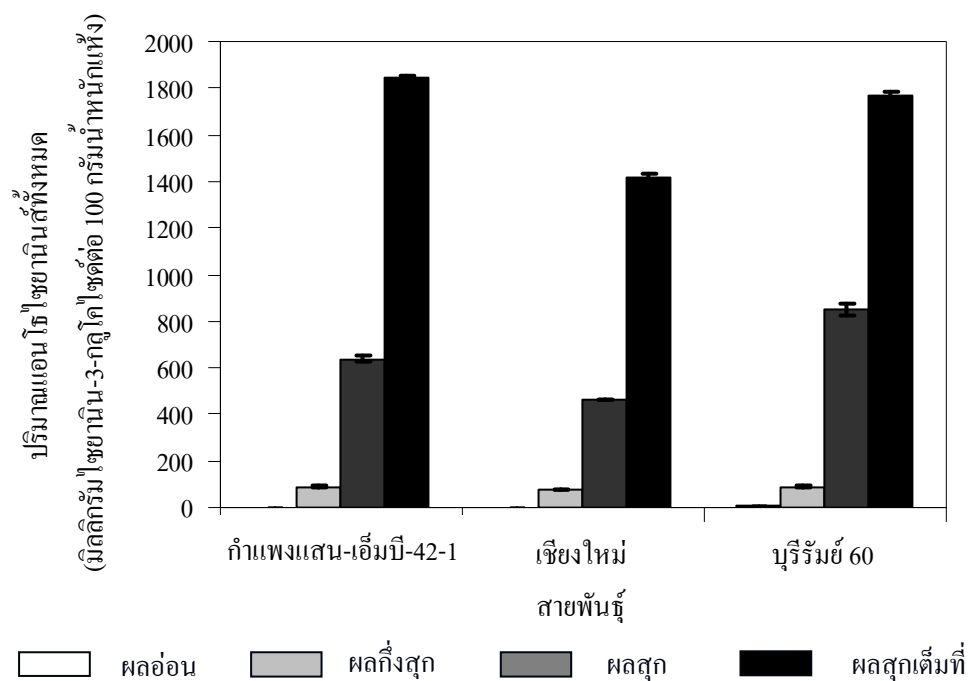
3. ปริมาณแอนโทไซยานินส์ทั้งหมด (Total monomeric anthocyanin content)

จากการศึกษาปริมาณแอนโทไซยานินส์ทั้งหมดของผลหม่อนทั้ง 3 สายพันธุ์ที่ระยะการเจริญเติบโตแตกต่างกันโดยวิธี pH-differential พบว่าแอนโทไซยานินส์ทั้งหมดมีปริมาณตั้งแต่

2.6±0.1 ถึง 1,843.6±13.9 มิลลิกรัมของไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง (ภาพที่ 24) โดยผลหม่อนทั้ง 3 สายพันธุ์เมื่อมีการพัฒนาของผลมากขึ้น แอนไซยานินส์ทั้งหมดมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ซึ่งผลหม่อนที่สุกเต็มที่ที่มีปริมาณแอนไซยานินส์ทั้งหมดมากที่สุด ($p \leq 0.05$) รองลงมาคือ ผลสุก ผลกึ่งสุก และผลอ่อน ตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงของปริมาณแอนไซยานินส์สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงสีที่สังเกตได้ โดยเมื่อผลหม่อนยังอ่อนอยู่จะมีสีเขียวซึ่งพบแอนไซยานินส์ทั้งหมดในปริมาณที่น้อยมาก คือ 2.6±0.1 ถึง 6.8±0.6 มิลลิกรัมของไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง และเมื่อเจริญเติบโตมากขึ้นจะมีสีชมพู สีแดง และสีม่วงเข้ม ตามลำดับ (ภาพที่ 25) ทั้งนี้เนื่องจากผลไม้ที่มีสีแดงส่วนใหญ่แล้วจะมีการสะสมแอนไซยานินส์และมีการเสื่อมสลายของคลอโรฟิลล์ เมื่อระยะการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น (ธนะบุญย์, 2548; Mozetic *et al.*, 2004) ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับ Gerasopoulos and Stavroulakis (1997) ที่ทำการศึกษาคุณภาพทางลักษณะของผลหม่อนสายพันธุ์ Mavri Rodini และ Aspri (*Morus Alba*) และสายพันธุ์ Mavromurnia (*Morus Nigra*) ในประเทศกรีซที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ คือ ผลอ่อน ผลกึ่งสุก และผลสุกเต็มที่ พบว่าปริมาณแอนไซยานินส์ทั้งหมดของผลหม่อนทุกสายพันธุ์จะมีปริมาณมากขึ้นตามการเจริญเติบโต โดยผลสุกเต็มที่ที่มีปริมาณแอนไซยานินส์ทั้งหมดมากที่สุด

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแอนไซยานินส์ทั้งหมดของผลหม่อน 3 สายพันธุ์ในระยะสุกเต็มที่ พบว่าสายพันธุ์กำแพงแสน-เอ็มบี-42-1 มีปริมาณแอนไซยานินส์ทั้งหมดมากที่สุด ($p \leq 0.05$) เท่ากับ 1,843.6±13.9 มิลลิกรัมของไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง รองลงมาคือ สายพันธุ์บุรีรัมย์ 60 และเชียงใหม่ ตามลำดับ ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับ Oki *et al.* (2006) พบว่าผลหม่อนทั้ง 8 สายพันธุ์ มีปริมาณแอนไซยานินส์แตกต่างกัน และระยะสุกเต็มที่จะมีปริมาณแอนไซยานินส์ทั้งหมดมากที่สุด รองลงมาคือ ผลสุก ผลกึ่งสุก และผลอ่อน ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแอนไซยานินส์ทั้งหมดของผลหม่อน 3 สายพันธุ์ที่ระยะผลสุกเต็มที่กับผลหม่อน 27 สายพันธุ์ในการทดลองของ Isabelle *et al.* (2008) ที่ปลูกในประเทศจีน พบว่าผลหม่อนสายพันธุ์กำแพงแสน-เอ็มบี-42-1 เชียงใหม่ และบุรีรัมย์ 60 มีปริมาณแอนไซยานินส์ทั้งหมดใกล้เคียงกับสายพันธุ์ Nan-2 Tang-10 Guiyou-10-19 Shangshan-6 Bei-2-8 และ Yueyou-32 ซึ่งมีปริมาณแอนไซยานินส์ทั้งหมดตั้งแต่ 1,502.0 ถึง 2,083.4 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง แต่ผลหม่อนสายพันธุ์กำแพงแสน-เอ็มบี-42-1 เชียงใหม่ และบุรีรัมย์ 60 มีปริมาณแอนไซยานินส์ทั้งหมดน้อยกว่าสายพันธุ์ 7403 (คือสายพันธุ์ที่มีปริมาณแอนไซยานินส์ทั้งหมดมากที่สุด ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับ 27 สายพันธุ์) เท่ากับ 32.1%

47.7% และ 34.7% ตามลำดับ และมีปริมาณมากกว่าสายพันธุ์ Yueyou-87 (คือสายพันธุ์ที่มีปริมาณแอนโทไซยานินส์ทั้งหมดน้อยสุด ($p \leq 0.05$)) เท่ากับ 97.5% 96.8% และ 97.4% ตามลำดับ



ภาพที่ 24 ปริมาณแอนโทไซยานินส์ทั้งหมดของตัวอย่างผลหม่อน 3 สายพันธุ์ที่ระยะการเจริญเติบโตแตกต่างกัน

หมายเหตุ : ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ($n=3$)



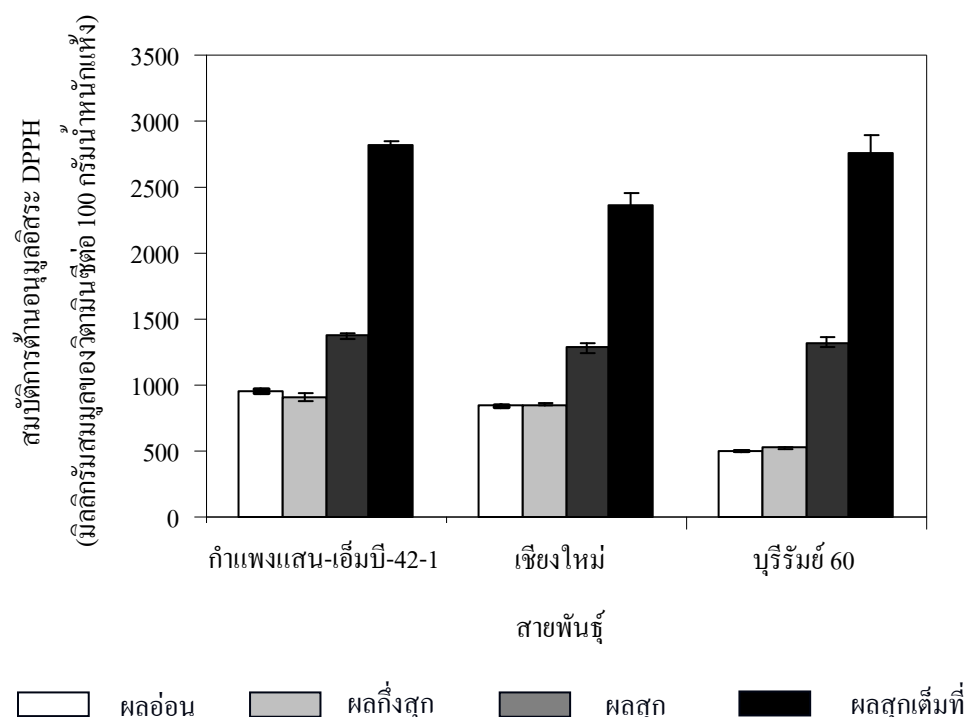
ภาพที่ 25 ตัวอย่างภาพถ่ายลักษณะปรากฏ (visual quality) ของผลหม่อนสายพันธุ์เชิงใหม่ในระยะการเจริญเติบโตแตกต่างกัน

จากการศึกษาผลของสายพันธุ์และระยะการเจริญเติบโตต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณแอนโทไซยานินส์ทั้งหมดของผลหม่อน พบว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผลหม่อนทั้ง 3 สายพันธุ์สอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณแอนโทไซยานินส์ทั้งหมด เมื่อผลหม่อนมีการเจริญเติบโตมากขึ้น ทั้งนี้ผลไม้บางชนิดโดยเฉพาะผลไม้ที่มีสีแดงจะมีการสะสมสารประกอบฟีนอลิกในกลุ่มของฟลาโวนอยด์โดยเฉพาะอย่างยิ่งแอนโทไซยานินส์ เมื่อผลไม้มีการเจริญเติบโตจึงทำให้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากขึ้น (Hakkinen, 2000) และเมื่อพิจารณาในระยะผลอ่อนและผลถึงสุกของผลหม่อนทั้ง 3 สายพันธุ์พบว่าถึงแม้ว่าจะมีปริมาณแอนโทไซยานินส์ทั้งหมดน้อย แต่ยังคงมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดปานกลาง เนื่องจากผลไม้ที่ยังอ่อน (immature) มักจะมีการสะสมสารประกอบฟีนอลิกเพื่อช่วยป้องกันตัวเองจากศัตรูภายนอก เช่น โรค และแมลงต่างๆ (จริงแท้, 2549) และการที่สายพันธุ์ต่างกันทำให้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณแอนโทไซยานินส์ทั้งหมดต่างกัน อาจเนื่องมาจากความแตกต่างทางพันธุกรรม (Lima *et al.*, 2005) ความแตกต่างทางพันธุกรรมนี้อาจทำให้มีการผลิตสารตั้งต้นหรือเอนไซม์ที่ใช้ในการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกได้ต่างกัน อีกทั้งการทำงานของเอนไซม์ก็อาจต่างกัน ซึ่งเป็นสาเหตุให้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและปริมาณแอนโทไซยานินส์ทั้งหมดต่างกัน Hakkinen (2000) รายงานว่าปริมาณเอนไซม์ การทำงานหรือกิจกรรมของเอนไซม์ การทำงานร่วมกันของเอนไซม์ และปริมาณสารตั้งต้น คือสิ่งสำคัญที่ควบคุมกลไกการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลิก อีกทั้งความแตกต่างที่เกิดขึ้นอาจเนื่องมาจากสาเหตุอื่นได้อีก เช่น แสงอาทิตย์ ปริมาณน้ำฝน ภูมิประเทศ ดิน ความอุดมสมบูรณ์ของดิน และฤดูกาล เป็นต้น (Lima *et al.*, 2005; Pawlowska *et al.*, 2008)

4. สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ 2, 2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) และอนุมูลอิสระ 2, 2'-azobis (3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt (ABTS) (DPPH และ ABTS Radical Scavenging Capacity)

เมื่อศึกษาสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ของผลหม่อนทั้ง 3 สายพันธุ์ที่ระยะการเจริญเติบโตแตกต่างกัน พบว่าสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH มีค่าแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์และระยะการเจริญเติบโตโดยมีค่าตั้งแต่ 503.4 ± 3.6 ถึง $2,812.2 \pm 33.7$ มิลลิกรัมสมมูลของวิตามินซีต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง (ภาพที่ 26) โดยในระยะผลสุกเต็มที่ของทุกสายพันธุ์มีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH มากที่สุด ($p \leq 0.05$) รองลงมาคือผลสุก ในส่วนของผลถึงสุกและอ่อนมีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่าง

ระหว่างสายพันธุ์พบว่าในระยะผลอ่อนและผลกึ่งสุกของสายพันธุ์กำแพงแสน-เอ็มบี-42-1 มีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH มากกว่าสายพันธุ์เชียงใหม่และบุรีรัมย์ 60 ตามลำดับ ($p \leq 0.05$) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 954.4 ± 12.3 และ 909.6 ± 27.5 มิลลิกรัมสมมูลของวิตามินซีต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ แต่ในระยะผลสุกของทั้ง 3 สายพันธุ์มีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) ในส่วนของผลสุกเต็มที่พบว่าสายพันธุ์กำแพงแสน-เอ็มบี-42-1 และบุรีรัมย์ 60 มีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH มากที่สุด ($p \leq 0.05$) มีค่าเท่ากับ $2,812.2 \pm 33.7$ และ $2,761.0 \pm 127.6$ มิลลิกรัมสมมูลของวิตามินซีต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

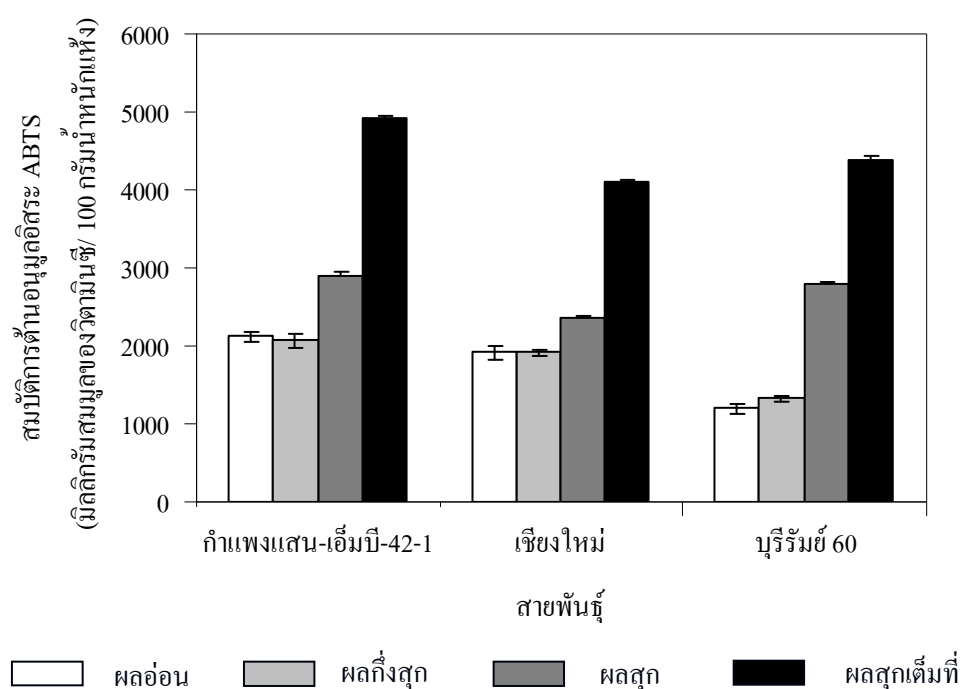


ภาพที่ 26 สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างผลหม่อน 3 สายพันธุ์ที่ระยะการเจริญเติบโตแตกต่างกัน

หมายเหตุ : ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ($n=3$)

ในส่วน of สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ABTS พบว่ามีค่าตั้งแต่ $1,198.3 \pm 61.0$ ถึง $4,926.1 \pm 23.2$ มิลลิกรัมสมมูลของวิตามินซีต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง (ภาพที่ 27) และมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ซึ่งผลอ่อนและผลกึ่งสุกของสายพันธุ์

กำแพงแสน-เอ็มบี-42-1 มีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ABTS มากที่สุด ($p \leq 0.05$) ซึ่งมีค่าเท่ากับ $2,118.2 \pm 61.0$ และ $2,065.9 \pm 85.9$ มิลลิกรัมสมมูลของวิตามินซีต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ รองลงมาคือ สายพันธุ์เชียงใหม่และบุรีรัมย์ 60 ตามลำดับ ในส่วนของผลสุกและผลสุกเต็มที่พบว่า สายพันธุ์กำแพงแสน-เอ็มบี-42-1 มีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ABTS มากที่สุด ($p \leq 0.05$) ซึ่งมีค่าเท่ากับ $2,909.0 \pm 35.1$ และ $4,926.1 \pm 23.2$ มิลลิกรัมสมมูลของวิตามินซีต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ รองลงมาคือสายพันธุ์บุรีรัมย์ 60 และเชียงใหม่ ตามลำดับ



ภาพที่ 27 สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ABTS ของตัวอย่างผลหม่อน 3 สายพันธุ์ที่ระยะการเจริญเติบโตแตกต่างกัน

หมายเหตุ : ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ($n=3$)

ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับ Oki *et al.* (2006) พบว่าผลหม่อนทั้ง 8 สายพันธุ์เมื่อมีการพัฒนาของผลมากขึ้น สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น และผลหม่อนในระยะสุกเต็มที่แสดงสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH มากที่สุด และพบว่าผลหม่อนสายพันธุ์ต่างกันจะแสดงสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ที่แตกต่างกันอีกด้วย อีกทั้งผลการทดลองยัง

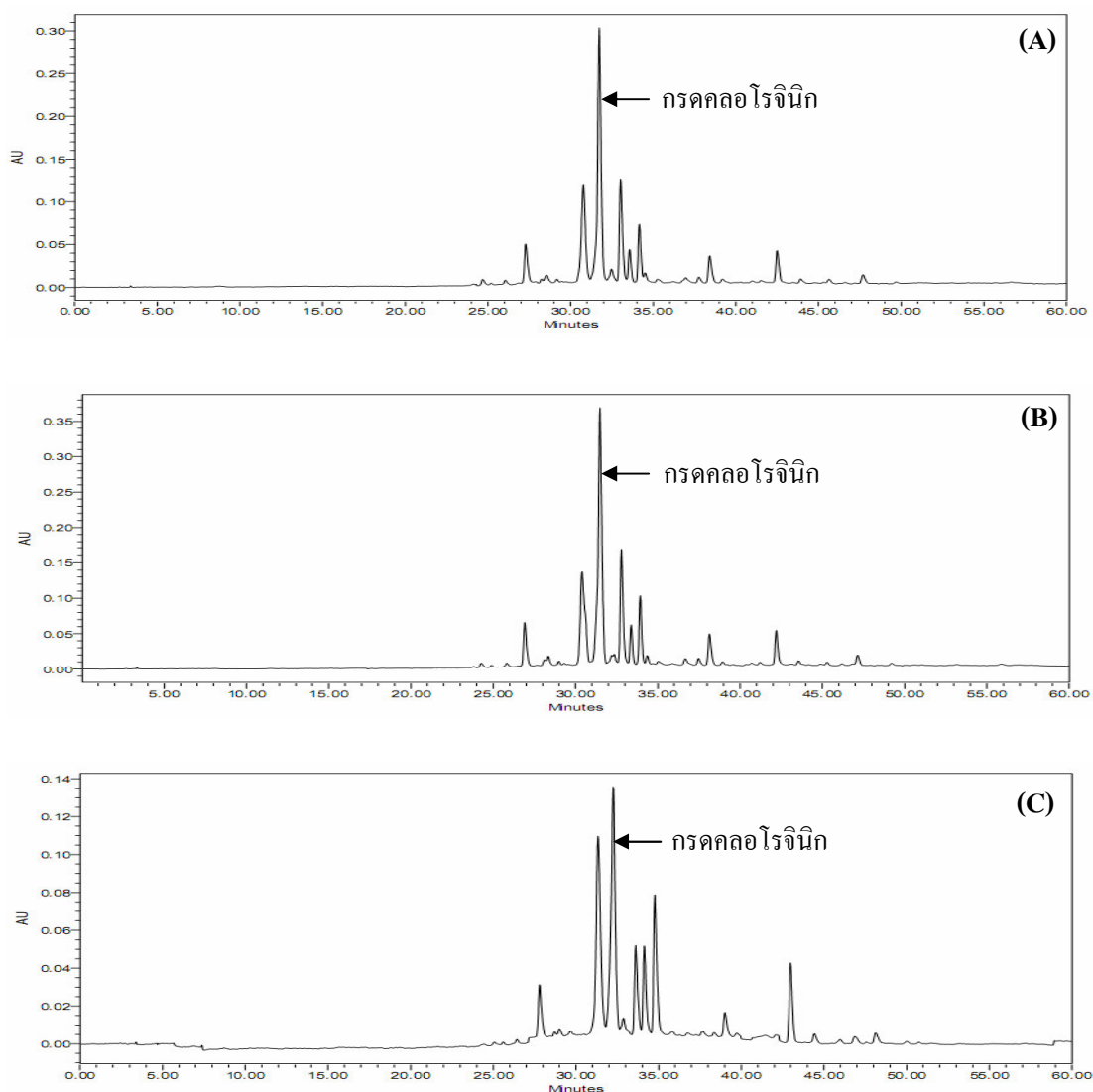
สอดคล้องกับ Bae and Suh (2007) ที่รายงานว่าสายพันธุ์มีอิทธิพลต่อสมบัติการต้านออกซิเดชันของผลหม่อน ไม่ว่าจะเป็นสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH หรือ อนุมูลไฮดรอกซิล เป็นต้น

การที่สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ของผลหม่อนทั้ง 3 สายพันธุ์มีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากเมื่อผลหม่อนมีการเจริญเติบโตมากขึ้นจะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้น ซึ่งสารประกอบฟีนอลิกสามารถแสดงสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS โดยสามารถให้อิเล็กตรอนหรือไฮโดรเจนอะตอมแก่อนุมูลอิสระ เพื่อยับยั้งไม่ให้อนุมูลอิสระเกิดปฏิกิริยาต่อไปได้ (Green, 2007) ดังนั้นเมื่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้นจึงส่งผลให้สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS มีค่าเพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นกัน (ค่าสหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.982 และ 0.993 ตามลำดับ) และเมื่อทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS พบว่ามีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.989 ทั้งนี้การที่ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS มีค่าสูงเนื่องจากกลไกในการเกิดปฏิกิริยาเป็นกลไกเดียวกัน คือเป็นการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนเดี่ยว (single electron transfer (SET) reaction) (Huang *et al.*, 2005)

5. การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกโดยเทคนิค High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

5.1 การศึกษาชนิดและปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกในกลุ่มของกรดฟีนอลิก

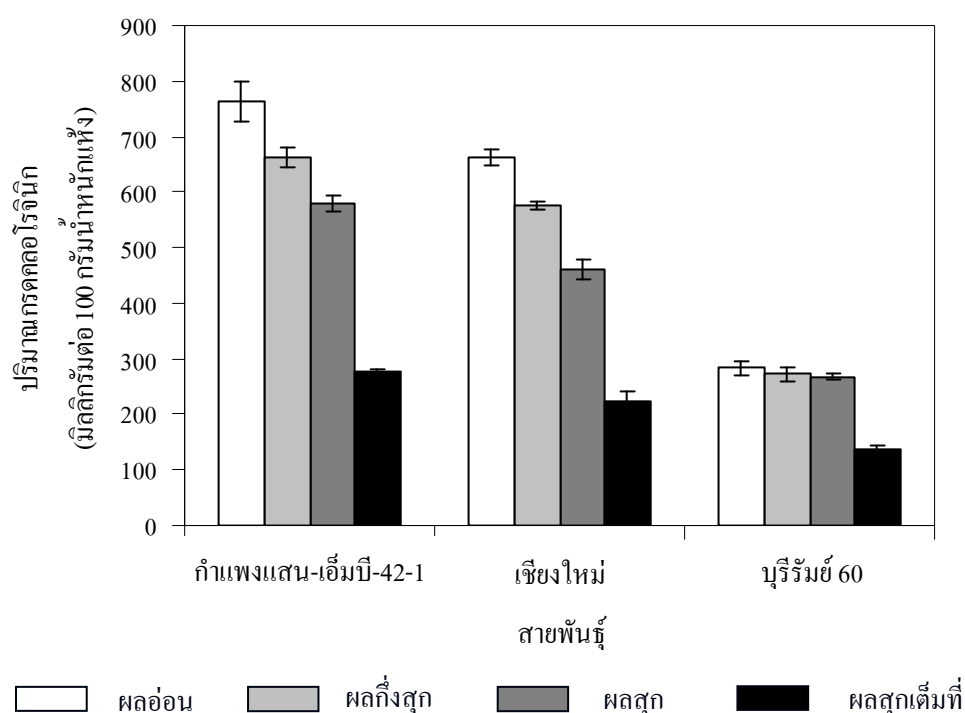
จากการศึกษาชนิดของกรดฟีนอลิกในผลหม่อนทั้ง 3 สายพันธุ์ ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ที่ความยาวคลื่น 320 นาโนเมตร พบว่าผลหม่อนสายพันธุ์เชียงใหม่ กำแพงแสน-เอ็มบี-42-1 และบุรีรัมย์ 60 มีกรดคลอโรจินิก (chlorogenic acid) เป็นกรดฟีนอลิกชนิดหลักซึ่งพบทั้งในผลอ่อน ผลกึ่งสุก ผลสุก และผลสุกเต็มที่ (ภาพที่ 28) ผลการทดลองที่ได้กับผลการทดลองของ Oki *et al.* (2006) ที่พบว่ากรดคลอโรจินิก (chlorogenic acid) และไอโซเมอร์ของกรดคลอโรจินิก คือ สารประกอบฟีนอลิกชนิดหลักในกลุ่มของกรดฟีนอลิกที่พบในผลหม่อน 8 สายพันธุ์ที่ทำการศึกษา อีกทั้งยังสอดคล้องกับผลการทดลองของ Isabelle *et al.* (2008) พบว่ากรดคลอโรจินิก (3-caffeoylquinic acid และ 5-caffeoylquinic acid) คือกรดฟีนอลิกที่พบในผลหม่อนระยะสุกเต็มที่ของสายพันธุ์ Guo-2



ภาพที่ 28 ตัวอย่าง HPLC โครมาโตแกรมของกรดคลอโรจินิก (chlorogenic acid) ของผลหม่อน 3 สายพันธุ์ (A: สายพันธุ์เชียงใหม่ B: สายพันธุ์กำแพงแสน-เอ็มบี-42-1 และ C: สายพันธุ์บุรีรัมย์ 60) ที่ระยะการเจริญเติบโตที่ 4 (ผลสุกเต็มที่)

เมื่อศึกษาปริมาณกรดคลอโรจินิกของผลหม่อนสายพันธุ์เชียงใหม่ กำแพงแสน-เอ็มบี-42-1 และบุรีรัมย์ 60 ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ พบว่ากรดคลอโรจินิกมีปริมาณตั้งแต่ 137.5 ± 6.9 ถึง 762.5 ± 36.2 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง (ภาพที่ 29) โดยผลหม่อนสายพันธุ์เชียงใหม่และกำแพงแสน-เอ็มบี-42-1 กรดคลอโรจินิกมีปริมาณลดลงเมื่อผลหม่อนมีการเจริญเติบโตมากขึ้น โดยผลอ่อนจะมีปริมาณกรดคลอโรจินิกมากที่สุด ($p \leq 0.05$) รองลงมาคือผลกึ่งสุก ผลสุก และผลสุกเต็มที่ ตามลำดับ โดยมีปริมาณลดลงจากระยะผลอ่อนจนถึงผลสุกเต็มที่คิดเป็น 66.0% และ 63.7%

ในสายพันธุ์เชียงใหม่และกำแพงแสน-เอ็มบี-42-1 ตามลำดับ ในส่วนของสายพันธุ์บุรีรัมย์ 60 ปริมาณกรดคลอโรจินิกของผลอ่อน ผลกึ่งสุก และผลสุกไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) แต่จะมีปริมาณลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$) เมื่อผลหม่อนสุกเต็มที่ โดยมีปริมาณลดลง 51.4% เมื่อเปรียบเทียบกับผลอ่อน



ภาพที่ 29 ปริมาณกรดคลอโรจินิก (chlorogenic acid) ของตัวอย่างผลหม่อน 3 สายพันธุ์ที่ระยะการเจริญเติบโตแตกต่างกัน

หมายเหตุ : ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ($n=3$)

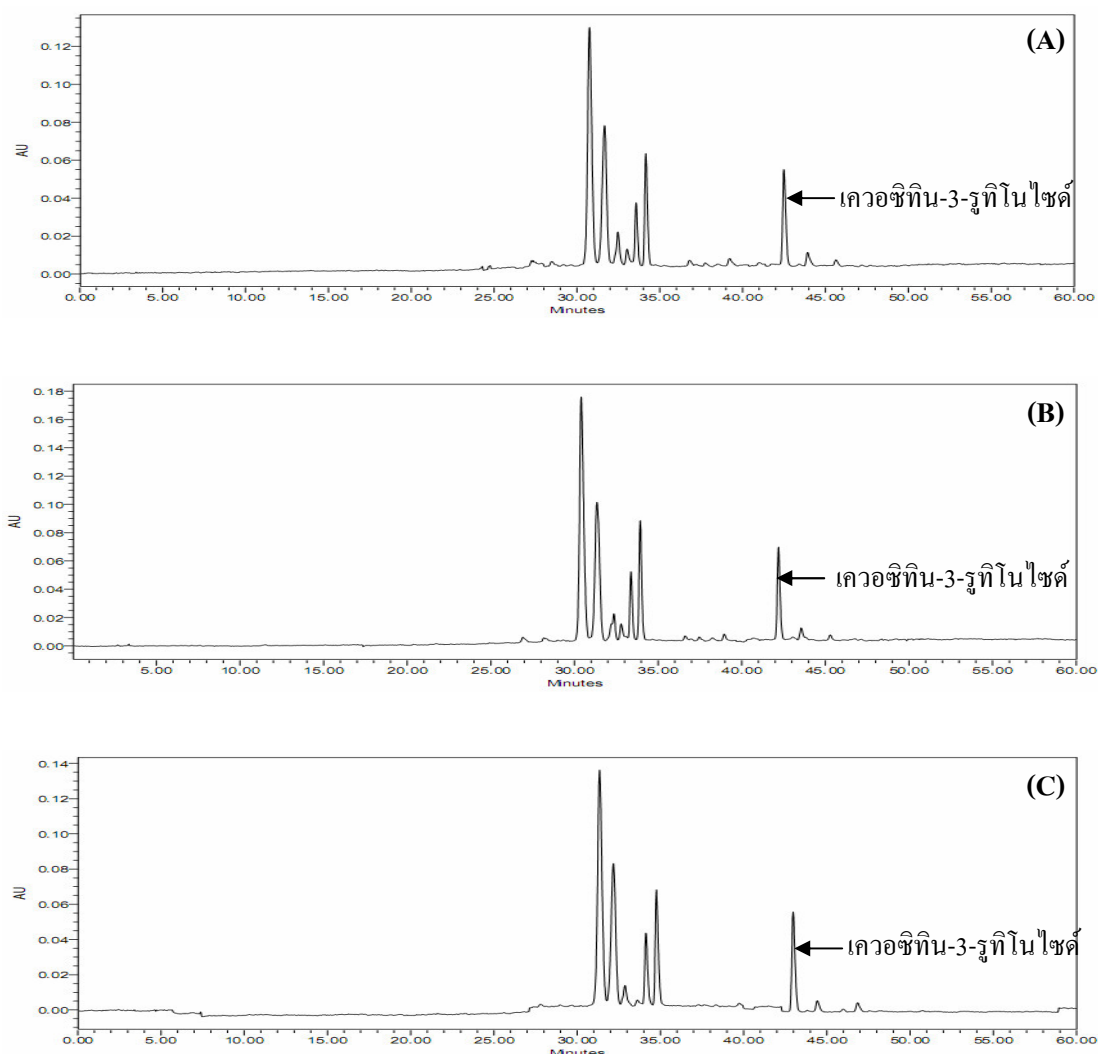
ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับการทดลองของ Mozetic *et al.* (2004) ที่พบว่า กรดเนโอคลอโรจินิก (neochlorogenic acid) มีปริมาณลดลง เมื่อ sweet cherries (*Prunus avium* L.) มีการเจริญเติบโตมากขึ้น โดยในผลไม้ที่ยังอ่อนอยู่จะมีปริมาณของกรดคลอโรจินิกอยู่สูง แต่จะมีปริมาณลดลงในระหว่างการเจริญเติบโต (Awad and Jager, 2002) การที่กรดคลอโรจินิกมีปริมาณลดลงเมื่อผลหม่อนมีการเจริญเติบโตมากขึ้น อาจเนื่องมาจากกรดพาราควมาริกที่เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์กรดคลอโรจินิกหรือกรดคลอโรจินิกถูกใช้เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์

สารประกอบในกลุ่มของฟลาโวนอยด์ เช่น แอนโธไซยานิน (Mozetic *et al.*, 2004; Green, 2007) และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณกรดคลอโรจินิกของผลหม่อนแต่ละสายพันธุ์ พบว่าสายพันธุ์ กำแพงแสน-เอ็มบี-42-1 มีปริมาณกรดคลอโรจินิกมากที่สุด ($p \leq 0.05$) ทุกระยะการเจริญเติบโต รองลงมาคือ สายพันธุ์เชียงใหม่ และบุรีรัมย์ 60 ตามลำดับ

5.2 การศึกษาชนิดและปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกในกลุ่มของฟลาโวนอยด์

5.2.1 การศึกษาชนิดและปริมาณของฟลาโวนอล

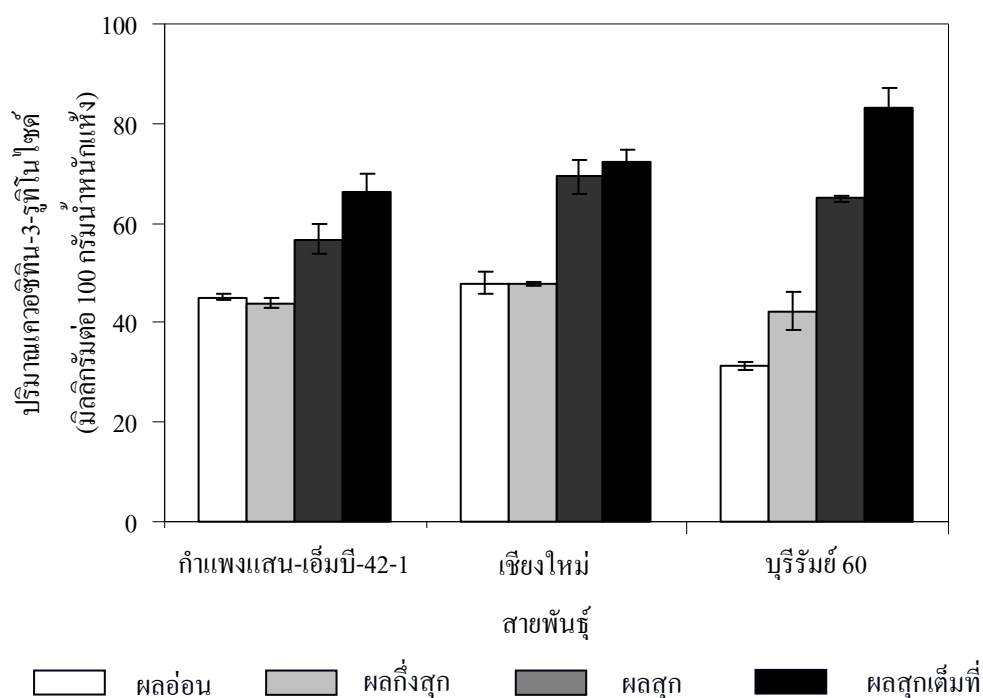
จากการศึกษาชนิดของฟลาโวนอลในผลหม่อนทั้ง 3 สายพันธุ์ ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ที่ความยาวคลื่น 370 นาโนเมตร พบว่าผลหม่อนทั้ง 3 สายพันธุ์มี เควอซีทิน-3-รูทีโนไซด์ (รูทีน) เป็นองค์ประกอบ ซึ่งพบได้ทั้งในผลอ่อน ผลกึ่งสุก ผลสุก และผลสุกเต็มที่ (ภาพที่ 30) เช่นเดียวกับผลการทดลองของ Pawlowska *et al.* (2008) ที่ศึกษาเพื่อระบุชนิดของสารประกอบฟีนอลิกในสารสกัดจาก black mulberry (*Morus nigra*) และ white mulberry (*Morus alba*) โดยเทคนิค HPLC-PDA-ESI-MS พบว่ามีสารประกอบในกลุ่มฟลาโวนอล ซึ่งได้แก่ เควอซีทิน-3-*O*-รูทีโนไซด์ (quercetin-3-*O*-rutinoside) เควอซีทิน-3-*O*-กลูโคไซด์ (quercetin-3-*O*-glucoside) และแคมป์เฟอร์อล-3-*O*-รูทีโนไซด์ (kaempferol-3-*O*-rutinoside) เป็นองค์ประกอบ โดยเควอซีทิน-3-*O*-รูทีโนไซด์ คือฟลาโวนอลชนิดหลักของ black mulberry (*Morus nigra*) และ white mulberry (*Morus alba*) ซึ่งมีปริมาณมากกว่าเควอซีทิน-3-*O*-กลูโคไซด์ และแคมป์เฟอร์อล-3-*O*-รูทีโนไซด์ 89.7% และ 95.4% ตามลำดับ ใน black mulberry (*Morus nigra*) และ 77.2% และ 78.7% ตามลำดับ ใน white mulberry (*Morus alba*)



ภาพที่ 30 ตัวอย่าง HPLC โครมาโตแกรมของเคอซีทิน-3-รูทีโนไซด์ (quercetin-3-rutinoside) ของผลหม่อน 3 สายพันธุ์ (A: สายพันธุ์เชียงใหม่ B: สายพันธุ์กำแพงแสน-เอ็มบี-42-1 และ C: สายพันธุ์บุรีรัมย์ 60) ที่ระยะการเจริญเติบโตที่ 4 (ผลสุกเต็มที่)

เมื่อศึกษาปริมาณเคอซีทิน-3-รูทีโนไซด์ โดยเทคนิค HPLC ของผลหม่อนทั้ง 3 สายพันธุ์ที่ระยะการเจริญเติบโตแตกต่างกัน พบว่าเคอซีทิน-3-รูทีโนไซด์ มีปริมาณตั้งแต่ 31.4 ± 0.9 ถึง 83.3 ± 3.6 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง (ภาพที่ 31) ซึ่งมีปริมาณแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์และระยะการเจริญเติบโต โดยปริมาณเคอซีทิน-3-รูทีโนไซด์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อผลหม่อนมีการเจริญเติบโตมากขึ้น โดยผลอ่อนและผลกึ่งสุกของผลหม่อนทุกสายพันธุ์มีปริมาณเคอซีทิน-3-รูทีโนไซด์ น้อยกว่าผลสุกและสุกเต็มที่ ($p \leq 0.05$) แนวโน้มการลดลงของปริมาณเคอซีทิน-3-รูทีโนไซด์ ไม่สอดคล้องกับงานวิจัยของ Jaakola *et al.* (2002) ที่รายงานว่าเคอซีทิน

ใน Bilberry (*Vaccinium myrtillus*) มีปริมาณมากที่สุดในช่วงการพัฒนารูปของดอก และจะลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อมีการพัฒนาของผล ทั้งนี้เนื่องจากผลไม้ที่ต่างชนิดกันทำให้มีการสังเคราะห์หรือการสะสมเคอซิทีนที่ต่างกัน และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณเคอซิทีน-3-รutiโนไซด์ของผลหม่อนแต่ละระยะการเจริญเติบโต พบว่าผลอ่อนของสายพันธุ์กำแพงแสน-เอ็มบี-42-1 มีปริมาณเคอซิทีน-3-รutiโนไซด์มากที่สุด ($p \leq 0.05$) มีปริมาณเท่ากับ 48.0 ± 2.1 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง รองลงมาคือ สายพันธุ์เชียงใหม่ และบุรีรัมย์ 60 ตามลำดับ ในส่วนของผลถึงสุกทั้ง 3 สายพันธุ์มีปริมาณไม่ต่างกัน ($p > 0.05$) ผลสุกของสายพันธุ์กำแพงแสน-เอ็มบี-42-1 และบุรีรัมย์ 60 มีปริมาณเคอซิทีน-3-รutiโนไซด์มากที่สุด ($p \leq 0.05$) ซึ่งมีปริมาณเท่ากับ 69.3 ± 3.5 และ 64.9 ± 0.6 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และผลสุกเต็มตัวของสายพันธุ์บุรีรัมย์ 60 มีปริมาณเคอซิทีน-3-รutiโนไซด์มากที่สุด ($p \leq 0.05$) เท่ากับ 83.3 ± 3.6 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง (69.2 ± 3.0 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่างแห้ง) โดยมีปริมาณมากกว่าสายพันธุ์เชียงใหม่ และกำแพงแสน-เอ็มบี-42-1 คิดเป็น 1.3 เท่า และ 1.1 เท่า ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณเคอซิทีน-3-รutiโนไซด์ของผลสุกเต็มตัวของสายพันธุ์บุรีรัมย์ 60 กับผลหม่อนสายพันธุ์ Guo-2 พบว่าสายพันธุ์บุรีรัมย์ 60 มีปริมาณเคอซิทีน-3-รutiโนไซด์น้อยกว่าสายพันธุ์ Guo-2 คิดเป็น 71.6% (เปรียบเทียบในหน่วย มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่างแห้ง) การที่ผลหม่อนสายพันธุ์บุรีรัมย์ 60 มีปริมาณเคอซิทีน-3-รutiโนไซด์น้อยกว่าอาจเกิดจากปัจจัยหลายประการ เช่น สายพันธุ์แหล่งเพาะปลูก และสภาพภูมิอากาศที่แตกต่างกัน (Isabelle *et al.*, 2008)



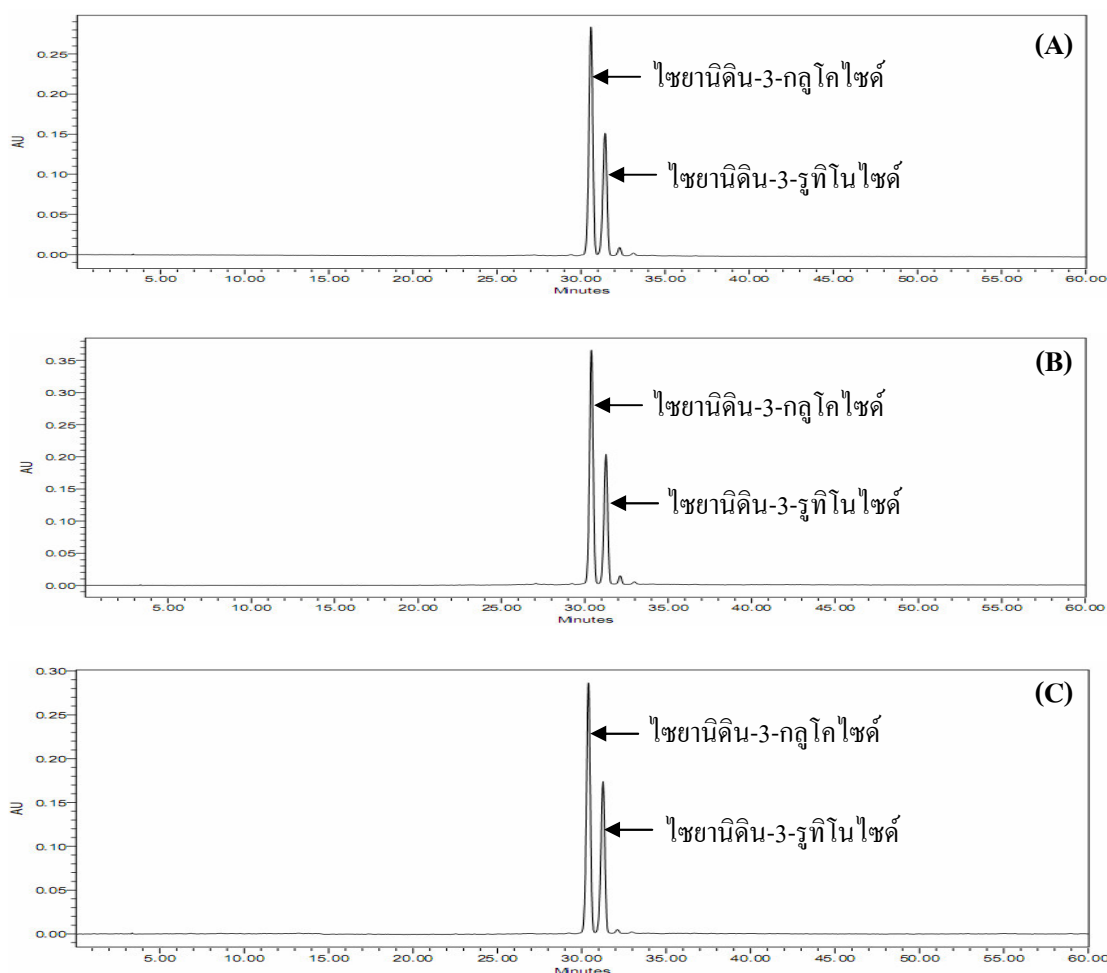
ภาพที่ 31 ปริมาณเคอซีทิน-3-รูทีโนไซด์ (quercetin-3-rutinoside) ของตัวอย่างผลหม่อน 3 สายพันธุ์ที่ระยะการเจริญเติบโตแตกต่างกัน

หมายเหตุ : ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย (n=3)

5.2.2 การศึกษาชนิดและปริมาณของแอนโธไซยานิน

จากผลการทดลองพบว่าผลหม่อนทั้ง 3 สายพันธุ์ มีแอนโธไซยานินชนิดหลัก 2 ชนิดคือ ไชยานิดิน-3-กลูโคไซด์ และไชยานิดิน-3-รูทีโนไซด์ (ภาพที่ 32) และผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับ Du *et al.* (2008) ที่ศึกษาชนิดของแอนโธไซยานินในผลหม่อน (*Morus alba* L.) พบว่ามีไชยานิดิน-3-*O*- β -D-กลูโคไพราโนไซด์ หรือไชยานิดิน-3-*O*-กลูโคไซด์ และไชยานิดิน-3-*O*-(6''-*O*- α -แรมโนไพราโนซิล- β -D-กลูโคไพราโนไซด์) หรือไชยานิดิน-3-*O*-รูทีโนไซด์ เป็นแอนโธไซยานินสัณฐานหลักในผลหม่อนเช่นเดียวกัน และพบแอนโธไซยานินชนิดหลักอีก 3 ชนิดคือ ไชยานิดิน-3-*O*-(6''-*O*- α -แรมโนไพราโนซิล- β -D-กาแลคโตไพราโนไซด์) ไชยานิดิน-3-*O*- β -D-กาแลคโตไพราโนไซด์ และไชยานิดิน-7-*O*- β -D-กลูโคไพราโนไซด์ อีกทั้งในปีเดียวกัน Pawlowska *et al.* รายงานว่าผลหม่อนสายพันธุ์อิตาเลียน (*Morus nigra*) มีไชยานิดิน-3-*O*-กลูโคไซด์

และไซยานิดิน-3-*O*-รูทีโนไซด์เป็นองค์ประกอบหลัก โดยมีปริมาณคิดเป็น 66.3% และ 27.8% ของปริมาณแอนโธไซยานินส์ทั้งหมด (ตามลำดับ) นอกจากนั้นยังพบแอนโธไซยานินอีก 2 ชนิดคือ เพลาโกนิน-3-*O*-กลูโคไซด์ และเพลาโกนิน-3-*O*-รูทีโนไซด์

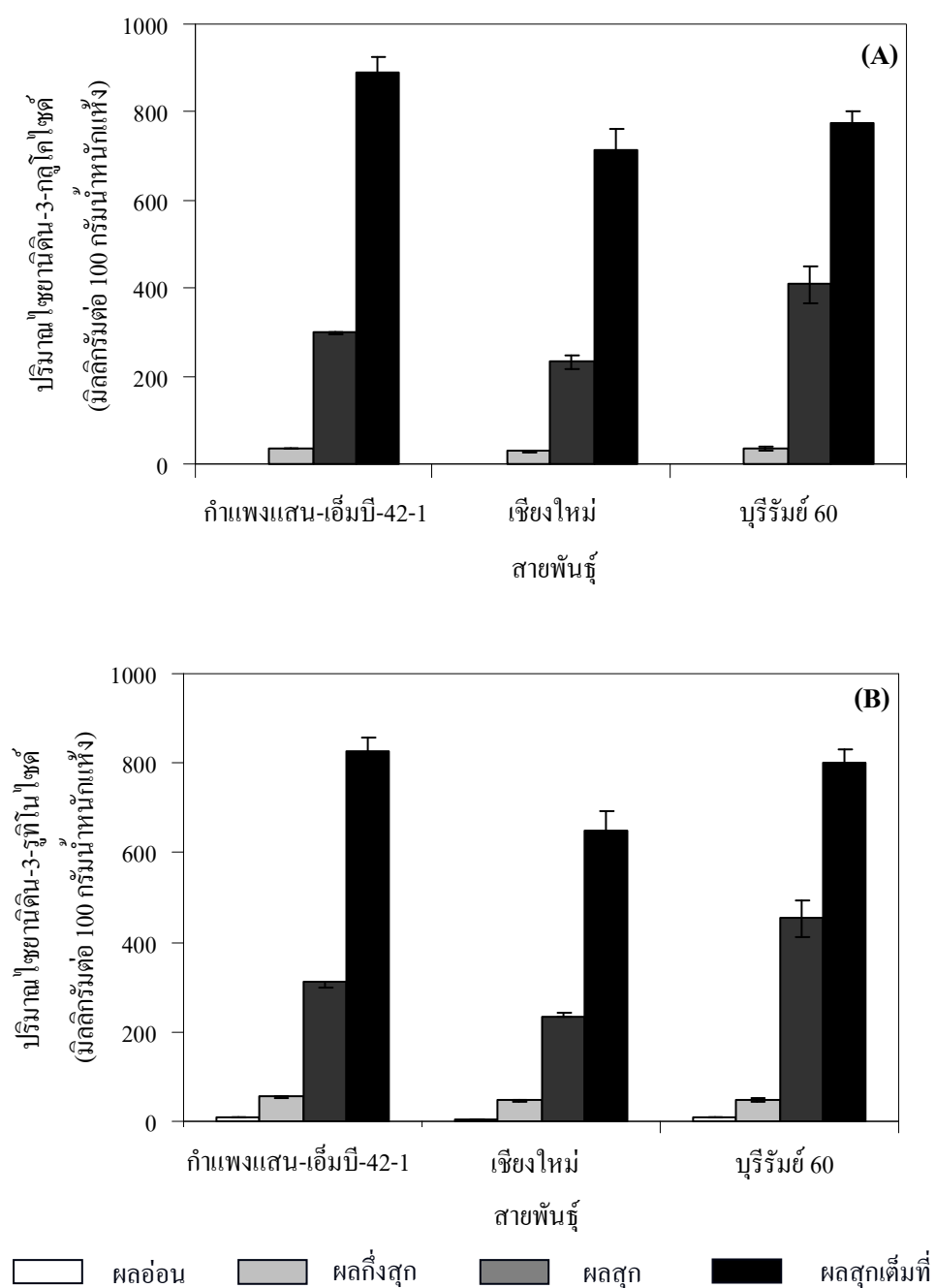


ภาพที่ 32 ตัวอย่าง HPLC โครมาโตแกรมของไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ (cyanidin-3-glucoside) และไซยานิดิน-3-รูทีโนไซด์ (cyanidin-3-rutinoside) ของผลหม่อน 3 สายพันธุ์ (A: สายพันธุ์ เชียงใหม่ B: สายพันธุ์กำแพงแสน-เอ็มบี-42-1 และ C: สายพันธุ์บุรีรัมย์ 60) ที่ระยะการเจริญเติบโตที่ 4 (ผลสุกเต็มที่)

เมื่อวิเคราะห์ปริมาณไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ และไซยานิดิน-3-รูทีโนไซด์ของผลหม่อนทั้ง 3 สายพันธุ์ พบว่าไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์มีปริมาณตั้งแต่ 0.6 ± 0.1 ถึง 889.3 ± 36.9 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง (ภาพที่ 33A) และไซยานิดิน-3-รูทีโนไซด์ มีปริมาณตั้งแต่

6.2±0.1 ถึง 827.4±31.3 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง (ภาพที่ 33B) โดยมีปริมาณแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์และระยะการเจริญเติบโต ซึ่งระยะผลสุกเต็มที่ของทุกสายพันธุ์มีปริมาณไฮยานิดิน-3-กลูโคไซด์ และไฮยานิดิน-3-รูทีโนไซด์ มากที่สุด ($p \leq 0.05$) รองลงมาคือ ผลสุก ผลกึ่งสุก และผลอ่อน ตามลำดับ ทั้งนี้ผลไม้ส่วนใหญ่จะมีการสังเคราะห์แอนโธไซยานินส์เพิ่มขึ้น เมื่อผลไม้เข้าใกล้วัยบรรจบหรือแก่ และเพิ่มสูงสุดเมื่อผลสุกเต็มที่ (จริงแท้, 2549)

และเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างสายพันธุ์ในระยะผลสุกเต็มที่พบว่าสายพันธุ์กำแพงแสน-เอ็มบี-42-1 มีปริมาณไฮยานิดิน-3-กลูโคไซด์มากที่สุด ($p \leq 0.05$) โดยมีปริมาณเท่ากับ 889.3±36.9 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง (156.4±6.5 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด) ในส่วนของสายพันธุ์เชียงใหม่และบุรีรัมย์ 60 มีปริมาณไฮยานิดิน-3-กลูโคไซด์ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) และปริมาณไฮยานิดิน-3-รูทีโนไซด์ พบว่าผลสุกเต็มที่ของสายพันธุ์กำแพงแสน-เอ็มบี-42-1 และบุรีรัมย์ 60 มีปริมาณไฮยานิดิน-3-รูทีโนไซด์มากที่สุด ($p \leq 0.05$) โดยมีปริมาณเท่ากับ 827.4±31.3 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง (145.5±5.5 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด) และ 799.8±31.6 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง (133.2±5.3 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด) ตามลำดับ ผลที่ได้เช่นเดียวกับ Wang *et al.* (2009) ที่พบว่าราสเบอร์รี่แดงมีปริมาณไฮยานิดิน-3-กลูโคไซด์ และไฮยานิดิน-3-รูทีโนไซด์เพิ่มมากขึ้นเมื่อมีการเจริญเติบโตมากขึ้น อีกทั้งยังสอดคล้องกับผลการทดลองของ Oki *et al.* (2006) ที่รายงานว่าผลหม่อน 8 สายพันธุ์ ได้แก่ Kataneo (*M. alba*) Kanton II Kou (*M. atropurpurea*) Ficus Mulberry (*M. latifolia*) Kanadasansou-B (*M. latifolia*) Miran 5 (*M. latifolia*) Mitsuminami (*M. latifolia*) Ookaraguwa (*M. latifolia*) และ Beikoku 13 (*M. microphylla*) มีปริมาณไฮยานิดิน-3-กลูโคไซด์ และไฮยานิดิน-3-รูทีโนไซด์ แตกต่างกันไปตามสายพันธุ์ โดยมีการสะสมไฮยานิดิน-3-กลูโคไซด์ และไฮยานิดิน-3-รูทีโนไซด์เพิ่มขึ้นเมื่อผลหม่อนมีการเจริญเติบโตมากขึ้น และผลสุกเต็มที่ของสายพันธุ์ Miran 5 มีปริมาณไฮยานิดิน-3-กลูโคไซด์มากที่สุด ซึ่งมีปริมาณมากกว่าผลหม่อนสายพันธุ์กำแพงแสน-เอ็มบี-42-1 คิดเป็น 2.1 เท่า (เปรียบเทียบในหน่วยมิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด) ในส่วนของไฮยานิดิน-3-รูทีโนไซด์ พบว่าผลสุกเต็มที่ของสายพันธุ์ Ookaraguwa มีปริมาณไฮยานิดิน-3-รูทีโนไซด์น้อยกว่าสายพันธุ์กำแพงแสน-เอ็มบี-42-1 และบุรีรัมย์ 60 คิดเป็น 1.2 เท่า และ 1.1 เท่าตามลำดับ (เปรียบเทียบในหน่วยมิลลิกรัม 100 กรัมน้ำหนักสด) ทั้งนี้ความแตกต่างของปริมาณสารขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ สภาพภูมิอากาศ สายพันธุ์ รวมทั้งสารละลายที่ใช้ในการสกัด และวิธีการสกัด เป็นต้น (Castrejon *et al.*, 2008)



ภาพที่ 33 ปริมาณไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ (cyanidin-3-glucoside) (A) และไซยานิดิน-3-รูทีโนไซด์ (cyanidin-3-rutinoside) (B) ของตัวอย่างผลหม่อน 3 สายพันธุ์ที่ระยะการเจริญเติบโตแตกต่างกัน

หมายเหตุ : ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย (n=3)

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแอนโทไซยานินส์ทั้งหมดที่ตรวจสอบโดยวิธี pH-differential (ภาพที่ 24) กับปริมาณไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์และไซยานิดิน-3-รutiโนไซด์ที่ตรวจสอบโดยเทคนิค HPLC พบว่าผลรวมของปริมาณไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ และไซยานิดิน-3-รutiโนไซด์ ในแต่ละระยะการเจริญเติบโตใกล้เคียงกับปริมาณแอนโทไซยานินส์ทั้งหมดที่ตรวจสอบด้วยวิธี pH-differential ยกเว้นผลอ่อน (immature) ทั้งนี้อาจเนื่องจากผลอ่อนมีปริมาณแอนโทไซยานินน้อยมาก จึงอาจเกิดความไม่แน่นอนในการวิเคราะห์

7. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่ตรวจสอบโดยเทคนิค HPLC และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS

เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่ตรวจสอบโดยเทคนิค HPLC กับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS พบว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณของเคอซิทิน-3-รutiโนไซด์ ไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ และไซยานิดิน-3-รutiโนไซด์ มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS โดยมีค่าสหสัมพันธ์สูง (ตารางที่ 8) จึงอาจเป็นไปได้ว่าเคอซิทิน-3-รutiโนไซด์ ไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ และไซยานิดิน-3-รutiโนไซด์ เป็นสารประกอบที่มีอิทธิพลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงปริมาณของกรดคลอโรจีนิกมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS โดยมีค่าสหสัมพันธ์ค่อนข้างต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS อาจไม่ได้มีอิทธิพลมาจากสารใดสารหนึ่ง แต่อาจเป็นผลมาจากสารประกอบฟีนอลิกชนิดอื่นส่งผลร่วมกัน

ตารางที่ 8 ค่าสหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่
ตรวจสอบโดยเทคนิค HPLC และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติการ
ต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS

	กรดคลอโรจีนิก	แควอซิทิน-3- รูทีโนไซด์	ไซยานิดิน-3- กลูโคไซด์	ไซยานิดิน-3- รูทีโนไซด์
ปริมาณสารประกอบ ฟีนอลิกทั้งหมด	-0.394	0.900	0.944	0.935
สมบัติการต้านอนุมูล อิสระ DPPH	-0.528	0.890	0.973	0.967
สมบัติการต้านอนุมูล อิสระ ABTS	-0.468	0.902	0.967	0.959

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. สายพันธุ์และระยะการเจริญเติบโตส่งผลต่อปริมาณประกอบพีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินส์ทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ของผลหม่อน โดยผลหม่อนสายพันธุ์ต่างกันมีปริมาณสารประกอบพีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินส์ทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS แตกต่างกัน โดยปริมาณสารประกอบพีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินส์ทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS มีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อผลหม่อนมีการเจริญเติบโตมากขึ้น ซึ่งในระยะผลสุกเต็มที่ของผลหม่อนทุกสายพันธุ์มีปริมาณสารประกอบพีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินส์ทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS มากที่สุด ($p \leq 0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบในระยะผลสุกเต็มที่ของสายพันธุ์กำแพงแสน-เอ็มบี-42-1 เชียงใหม่ และบุรีรัมย์ 60 พบว่าสายพันธุ์กำแพงแสน-เอ็มบี-42-1 มีปริมาณสารประกอบพีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินส์ทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ABTS มากที่สุด ($p \leq 0.05$) มีค่าเท่ากับ $3,317.7 \pm 79.5$ มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง $1,843.6 \pm 13.9$ มิลลิกรัมไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง และ $4,926.1 \pm 23.2$ มิลลิกรัมสมมูลของวิตามินซีต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ในส่วนของสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH พบว่าระยะผลสุกเต็มที่ของสายพันธุ์กำแพงแสน-เอ็มบี-42-1 และบุรีรัมย์ 60 มีค่ามากที่สุด ($p \leq 0.05$) มีค่าเท่ากับ $2,812.2 \pm 33.7$ และ $2,761.0 \pm 127.6$ มิลลิกรัมสมมูลของวิตามินซีต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

2. เมื่อศึกษาชนิดและปริมาณของสารประกอบพีนอลิกในผลหม่อน 3 สายพันธุ์โดยเทคนิค High Performance Liquid Chromatography (HPLC) พบว่าสารประกอบพีนอลิกชนิดหลักของผลหม่อนคือ กรดคลอโรจีนิก ไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ และไซยานิดิน-3-รutiโนไซด์ พบได้ทั้งในผลอ่อน ผลกึ่งสุก ผลสุก และผลสุกเต็มที่ โดยกรดคลอโรจีนิกมีปริมาณลดลงเมื่อผลหม่อนมีการเจริญเติบโตมากขึ้น และผลอ่อนของสายพันธุ์กำแพงแสน-เอ็มบี-42-1 มีปริมาณกรดคลอโรจีนิกมากกว่าสายพันธุ์เชียงใหม่และบุรีรัมย์ 60 ($p \leq 0.05$) มีค่าเท่ากับ 762.5 ± 36.2 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง ในขณะที่ไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ และไซยานิดิน-3-รutiโนไซด์มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเมื่อผลหม่อนมีการเจริญเติบโตมากขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบผลสุกเต็มที่ของสายพันธุ์กำแพงแสน-เอ็มบี-42-1 เชียงใหม่ บุรีรัมย์ 60 พบว่าสายพันธุ์กำแพงแสน-เอ็มบี-42-1 มีปริมาณ

ไซยานิน-3-กลูโคไซด์มากที่สุด ($p \leq 0.05$) มีค่าเท่ากับ 889.3 ± 36.9 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ในส่วนของไซยานิดิน-3-รูทีโนไซด์ พบว่าผลหม่อนสายพันธุ์กำแพงแสน-เอ็มบี-42-1 และบุรีรัมย์ 60 มีปริมาณมากกว่าสายพันธุ์เชียงใหม่ ($p \leq 0.05$) มีค่าเท่ากับ 827.4 ± 31.27 และ 799.8 ± 31.6 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ อีกทั้งยังพบเคอซีทิน-3-รูทีโนไซด์เป็นองค์ประกอบ ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อผลหม่อนมีการเจริญเติบโตมากขึ้น โดยผลอ่อนและผลกึ่งสุกของผลหม่อนทุกสายพันธุ์มีปริมาณเคอซีทิน-3-รูทีโนไซด์ น้อยกว่าผลสุกและสุกเต็มที่ และระยะผลสุกเต็มที่ของสายพันธุ์บุรีรัมย์ 60 มีปริมาณเคอซีทิน-3-รูทีโนไซด์มากกว่าสายพันธุ์เชียงใหม่ และกำแพงแสน-เอ็มบี-42-1 ($p \leq 0.05$) มีค่าเท่ากับ 83.3 ± 3.6 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง

ข้อเสนอแนะ

การศึกษาผลของสายพันธุ์และระยะการเจริญเติบโตต่อสารประกอบฟีนอลิกและความสามารถต้านออกซิเดชันของผลหม่อน ทำให้ทราบถึงสายพันธุ์และระยะการเจริญเติบโตที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ ได้อย่างเหมาะสม โดยผลหม่อนในระยะผลสุกและผลสุกเต็มที่สามารถรับประทานแบบผลสด หรือนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้ เช่น น้ำผลไม้ แยม ไวน์ เป็นต้น เนื่องจากมีรสชาติที่ดีและมีสารประกอบฟีนอลิกในปริมาณสูง อีกทั้งยังสามารถใช้เป็นสีผสมอาหารหรือใช้เป็นสีในเครื่องสำอางก็ได้ เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลหม่อนและส่งเสริมให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มมากขึ้นนอกเหนือจากการปลูกหม่อนเพื่อใช้ประโยชน์จากใบหม่อนเพียงอย่างเดียว และยังสามารถลดการนำเข้าผลไม้จากต่างประเทศได้ อีกทั้งในผลอ่อนและผลกึ่งสุกแม้ว่ายังไม่มีการนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมอาหาร แต่เนื่องจากในผลอ่อนและผลกึ่งสุกมีปริมาณกรดคลอโรจีนิกค่อนข้างสูงจึงอาจนำไปใช้ประโยชน์ในการสกัดเป็นสารสกัดเพื่อใช้เป็นแหล่งอาหารเสริมได้ เป็นต้น

เนื่องจากการทำดัชนีการเก็บเกี่ยวผลหม่อนยังมีน้อย นอกจากการใช้ภาพถ่าย สีผิว และขนาดเป็นดัชนีการเก็บเกี่ยวแล้ว ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (total soluble solid) ปริมาณกรด (% acidity) หรือความถ่วงจำเพาะ เหล่านี้สามารถใช้เป็นดัชนีการเก็บเกี่ยวได้ ดังนั้นในการศึกษาต่อไปจึงควรมีการวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ปริมาณกรด และความถ่วงจำเพาะ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการทำดัชนีการเก็บเกี่ยวผลหม่อนนอกเหนือจากการใช้ภาพถ่าย สีผิว และขนาด

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

จริงแท้ ศิริพานิช. 2546. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. พิมพ์ครั้งที่ 5. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2549. ชีววิทยาหลังการเก็บเกี่ยวและการวางของพืช. พิมพ์ครั้งที่ 1. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

ชนะบุลย์ สัจจานันตกุล. 2548. เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผลิตผลสดเกษตร. ภาควิชา
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. (อัดสำเนา)

นิรนาม. 2547. การปลูกหม่อนเลี้ยงไหม. โครงการหม่อนไหมครบวงจร. แหล่งที่มา:
<http://www.monmai.oamc.ku.ac.th/PlantMon/PlantMon01.htm#plantMon60>, 11 มีนาคม
2552.

ปราโมทย์ สฤทธิจันทร์, อุไรวรรณ นิลเพชร, อรกมล ไกรวงศ์ และ ภาวัต พึ่งขจร. 2552. การผลิต
หม่อนไหมครบวงจรเพื่อเกษตรยั่งยืน. อุทยานเทคโนโลยี 60 ปี
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. แหล่งที่มา:
http://www.rdi.ku.ac.th/Techno_ku60/res-26/index26.html, 12 มกราคม 2552.

พิชญ์อร ไหมสุทธิสกุล. 2549. การใช้สารประกอบฟีนอลิกของพืชเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ.
วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยหอการค้าไทย ปีที่ 26. 3: 222-238.

วสันต์ นุ้ยภิรมย์. 2546. หม่อนรับประทานผลและการแปรรูป. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์นันทการ
กราฟฟิค การพิมพ์.

วิวัฒน์ หวังเจริญ. 2545. บทบาทของสารประกอบฟีนอลิกต่อสุขภาพ. วารสารอาหาร. 32(4):
245-253.

ศิริพร บุญชู, ผู้เรียบเรียง. 2546. **ชาใบหม่อน**. กรมส่งเสริมการเกษตร. กรุงเทพฯ.

ศูนย์หม่อนไหมเฉลิมพระเกียรติฯ เชียงใหม่. 2550. **หม่อนพันธุ์แนะนำ: หม่อนผลสดพันธุ์ เชียงใหม่**. ศูนย์หม่อนไหมเฉลิมพระเกียรติฯ เชียงใหม่. แหล่งที่มา:
http://chiangmaisilk.blogspot.com/2007/07/blog-post_2391.html, 5 สิงหาคม 2551.

โอภา วัชรคุปต์, ปรีชา บุญจง, จันทนา บุญะรัตน์ และ มาลีรักษ์ อัดดีสินทอง. 2549. **สารต้านอนุมูลอิสระ**. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์พี. เอส. พรินท์, นนทบุรี.

Anonymous. 2008. **Mulberry. Pbase**. Available Source:
<http://www.pbase.com/domary/image/19713472>, August 3, 2008.

Awad, M. A. and A. d. Jager. 2002. Formation of flavonoids, especially anthocyanin and chlorogenic acid in 'Jonagold' apple skin: influences of growth regulators and fruit maturity. **Scientia Horticulturae**. 93: 257-266.

Bae, S.H. and H.J. Suh. 2007. Antioxidant activities of five different mulberry cultivars in Korea. **LWT-Food Science and Technology**. 40: 955-962.

Borbalan, A.M.A., L. Zorro, D.A. Guillen and C.G. Barroso. 2003. Study of the polyphenol content of red and white grape varieties by liquid chromatography–mass spectrometry and its relationship to antioxidant power. **Journal of Chromatography A**. 1012: 31–38.

Bouaziz, M., M. Chamkha and S. Sayadi. 2004. Comparative study on phenolic content and antioxidant activity during maturation of the olive cultivar Chemlali from Tunisia. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 52: 5476-5481.

- Castrejon, A.D.R., I. Eichholz, S. Rohn, L.W. Kroh and S. Huyskens-Keil. 2008. Phenolic profile and antioxidant activity of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) during fruit maturation and ripening. **Food Chemistry**. 109: 564–572.
- Chantanawarangoon, S. 2005. **Characterization and concentration of phenolic compounds in tart cherry and plum juices**. Ph.D. Thesis, Cornell University.
- Du, Q., J. Zheng and Y. Xu. 2008. Composition of anthocyanins in mulberry and their antioxidant activity. **Journal of Food Composition and Analysis**. 21(5): 390-395.
- Ercisli, S. and E. Orhan. 2007. Chemical composition of white (*Morus alba*), red (*Morus rubra*) and black (*Morus nigra*) mulberry fruits. **Food Chemistry**. 103: 1380–1384.
- Fang, Z., M. Zhang, Y. Sun and J. Sun. 2007. Polyphenol oxidase from bayberry (*Myrica rubra* Sieb. et Zucc.) and its role in anthocyanin degradation. **Food Chemistry**. 103: 268–273.
- Ferreira, R.M., S.Z. Vina, A. Mugridge and A.R. Chaves. 2007. Growth and ripening season effects on antioxidant capacity of strawberry cultivar Selva. **Scientia Horticulturae**. 112: 27–32.
- Gerasopoulos, D. and G. Stavroulakis. 1997. Quality characteristics of four mulberry (*Morus* sp.) cultivars in the area of Chania, Greece. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 73: 261-264.
- Giusti, M.M. and R. E. Wrolstad. 2005. Characterization and measurement of anthocyanins by UV-Visible spectroscopy, pp. 19-31. In R.E. Wrolstad, T.E. Acree, E.A. Decker, M.H. Penner, D.S. Reid, S.J. Schwartz, C.F. Shoemaker, D. Smith and P. Sporns, eds. **Handbook of Food Analytical Chemistry**. Wiley-Interscience, Hoboken, New Jersey.

- Goli, A.H., M. Barzegar and M.A. Sahari. 2005. Antioxidant activity and total phenolic compounds of pistachio (*Pistachia vera*) hull extracts. **Food Chemistry**. 92: 521-525.
- Green, R.C. 2007. **Physicochemical properties and phenolic composition of selected saskatchewan fruits: buffaloberry, chokecherry and sea buckthorn**. Ph.D. Thesis, Saskatchewan University.
- Hakkinen, S. 2000. **Flavonols and phenolic acids in berries and berry product**. Ph.D. Thesis, Kuopio University.
- Huang, D., B. Ou and R. L. Prior. 2005. The chemistry behind antioxidant capacity assays. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 53: 1841-1856.
- Isabelle, M., B.L. Lee, C.N. Ong, X. Liu and D. Huang. 2008. Peroxyl radical scavenging capacity, polyphenolics, and lipophilic antioxidant profiles of mulberry fruits cultivated in Southern China. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 56: 9410–9416.
- Jaakola, L., K. Maatta, A. M. Pirttila, R. Torronen, S. Karenlampi and A. Hohtola. 2002. Expression of Genes involved in anthocyanin biosynthesis in relation to anthocyanin, proanthocyanidin, and flavonol levels during bilberry fruit development. **Plant Physiology**. 130: 729-739.
- Jang, H.D., K.S. Chang, Y.S. Huang, C.L. Hsu, S.H. Lee and M.S. Su. 2007. Principal phenolic phytochemicals and antioxidant activities of three Chinese medicinal plants. **Food Chemistry**. 103: 749–756.
- Kim, D.O. and C.Y. Lee. 2002. Extraction and Isolation of polyphenolics. **Current Protocols in Food Analytical Chemistry**. R.E. Wrolstad. New York, Wiley: 11.2.1-11.2.12.

- _____ and _____. 2005. HPLC separation of polyphenolic, pp. 483-498. In R.E. Wrolstad, T.E. Acree, E.A. Decker, M.H. Penner, D.S. Reid, S.J. Schwartz, C.F. Shoemaker, D. Smith and P. Sporns, eds. **Handbook of Food Analytical Chemistry**. Wiley-Interscience, Hoboken, New Jersey.
- _____, K.W. Lee, H.J. Lee and C.Y. Lee. 2002. Vitamin C equivalent antioxidant capacity (VCEAC) of phenolic phytochemicals. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 50: 3713-3717.
- _____, S.W. Jeong and C.Y. Lee. 2003. Antioxidant capacity of phenolic phytochemicals from various cultivars of plums. **Food Chemistry**. 81: 321-326.
- Kim, M.J., J.N. Hyun, J.A. Kim, J.C. Park, M.Y. Kim, J.G. Kim, S.J. Lee, S.C. Chun and I.M. Chung. 2007. Relationship between phenolic compounds, anthocyanins content and antioxidant activity in colored barley germplasm. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 55: 4802-4809.
- Kirca, A. and B. Cemeroglu. 2003. Degradation kinetics of anthocyanins in blood orange juice and concentrate. **Food Chemistry**. 81: 583-587.
- _____, M. Ozkan and B. Cemeroglu. 2007. Effects of temperature, solid content and pH on the stability of black carrot anthocyanins. **Food Chemistry**. 101: 212-218.
- Kong, J.M., L.S. Chia, N.K. Goh, T.F. Chia and R. Brouillard. 2003. Analysis and biological activities of anthocyanins. **Phytochemistry**. 64: 923-933.
- Lima, V.L.A.G., E.A. Melo, M.I.S. Maciel, F.G. Prazeres, R.S. Musser and D.E.S. Lima. 2005. Total phenolic and carotenoid contents in acerola genotypes harvested at three ripening stages. **Food Chemistry**. 90: 565-568.

- Lin, J.Y. and C.Y. Tang. 2007. Determination of total phenolic and flavonoid contents in selected fruits and vegetables, as well as their stimulatory effects on mouse splenocyte proliferation. **Food Chemistry**. 101: 140–147.
- Markakis P. 1982. Stability of anthocyanins in foods, pp. 163-178. In Markakis P, ed. **Anthocyanins as food colors**. Academic Press, Inc., New York.
- Menichini, F., R. Tundis, M. Bonesi, M. R. Loizzo, F. Conforti, G. Statti, B. D. Cindio, P. J. Houghton and F. Menichini. 2009. The influence of fruit ripening on the phytochemical content and biological activity of *Capsicum chinense* Jacq. cv Habanero. **Food Chemistry**. 114: 553–560.
- Mozetic, B., P. Trebse, M. Simcic and J. Hribar. 2004. Changes of anthocyanins and hydroxycinnamic acids affecting the skin colour during maturation of sweet cherries (*Prunus avium* L.). **Lebensmittel Wissenschaft and Technology**. 37: 123-128.
- Oki, T., M. Kobayashi, T. Nakamura, A. Okuyama, M. Masuda, H. Shiratsuchi and I. Suda. 2006. Changes in radical-scavenging activity and components of mulberry fruit during maturation. **Journal of Food Science**. 71(1): 18-22.
- Orak, H.H. 2007. Total antioxidant activities, phenolics, anthocyanins, polyphenoloxidase activities of selected red grape cultivars and their correlations. **Scientia Horticulturae**. 111: 235–241.
- Ozgen, M., C. Durgac, S. Serce and C. Kaya. 2008. Chemical and antioxidant properties of pomegranate cultivars grown in the Mediterranean region of Turkey. **Food Chemistry**. 111: 703-706.

- Pawlowska, A.M., W. Oleszek and A. Braca. 2008. Quali-quantitative analyses of flavonoids of *Morus nigra* L. and *Morus alba* L. (Moraceae) fruits. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 56: 3377-3380.
- Prior, R. L., X. Wu and K. Schaich. 2005. Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplement. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 53: 4290-4302.
- Rodriguez-Saona, L.E. and R.E. Wrolstad. 2005. Extraction, isolation, and purification of anthocyanins, pp. 7-17. In R.E. Wrolstad, T.E. Acree, E.A. Decker, M.H. Penner, D.S. Reid, S.J. Schwartz, C.F. Shoemaker, D. Smith and P. Sporns, eds. **Handbook of Food Analytical Chemistry**. Wiley-Interscience, Hoboken, New Jersey.
- Shahidi, F. and M. Naczki. 2004. **Phenolics in Food and Nutraceuticals**. CRC Press, New York.
- Singh, R.P., K.N. Chidambara and G.K. Jayaprakasha. 2002. Studies on the antioxidant activity of pomegranate (*Punica granatum*) peel and seed extracts using in vitro model. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 50: 81-86.
- Stintzing, F.C. and R. Carle. 2004. Functional properties of anthocyanins and betalains in plants, food, and in human nutrition. **Trends in Food Science and Technology**. 15: 19-38.
- Syvacy, A. and M. Sokmen. 2004. Seasonal changes in antioxidant activity, total phenolic and anthocyanin constituent of the stems of two *Morus* species (*Morus alba* L. and *Morus nigra* L.). **Plant Growth Regulation**. 44: 251-256.
- United state department of agriculture (USDA). 2003. USDA database for the flavonoid content of selected foods. Available Source: <http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/Data/Flav/Flav02-1.pdf> , August 3, 2008.

Wada, L. and B. Ou. 2002. Antioxidant activity and phenolic content of oregon cranberries.

Journal of Agricultural and Food Chemistry. 50: 3495-3500.

Wang, S.Y. and H.S. Lin. 2000. Antioxidant activity in fruits and leaves of blackberry,

raspberry, and strawberry varies with cultivar and developmental stage. **Journal of**

Agricultural and Food Chemistry. 48: 140-146.

Wang, S.Y., C.-T. Chen and C.Y. Wang. 2009. The influence of light and maturity on fruit

quality and flavonoid content of red raspberries. **Food Chemistry.** 112: 676–684.

Waterhouse, A.L. 2005. Determination of total phenolics, pp. 463-470. In R.E.

Wrolstad, T.E. Acree, E.A. Decker, M.H. Penner, D.S. Reid, S.J. Schwartz, C.F.

Shoemaker, D. Smith and P. Sporns, eds. **Handbook of Food Analytical Chemistry.**

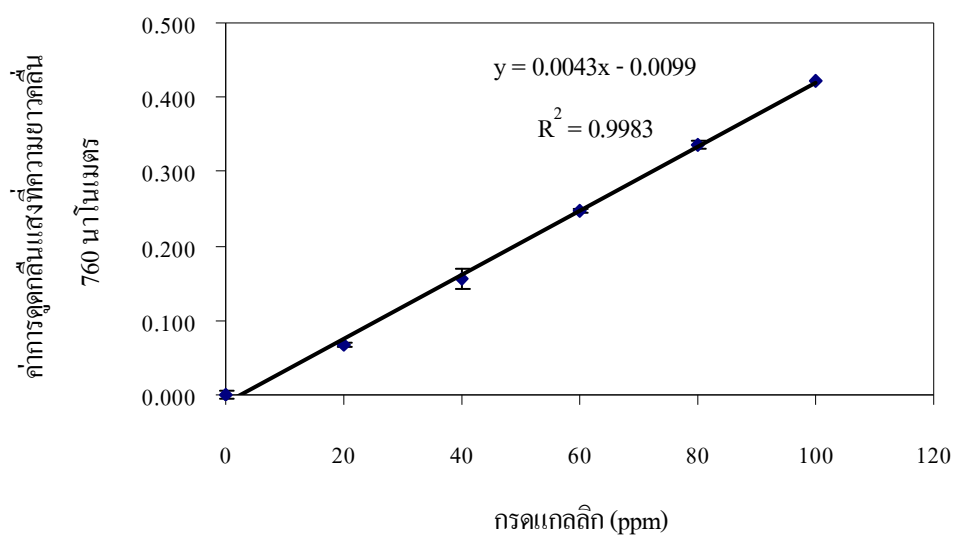
Wiley-Interscience, Hoboken, New Jersey.

Zheng, W. and S.Y. Wang. 2003. Oxygen radical absorbing capacity of phenolics in blueberries,

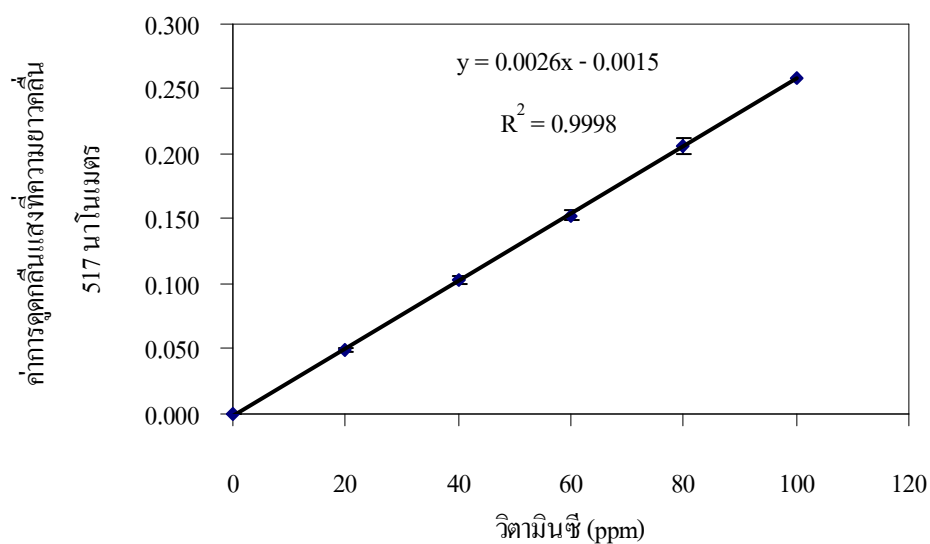
cranberries, chokeberries, and lingonberries. **Journal of Agricultural and Food**

Chemistry. 51: 502-509.

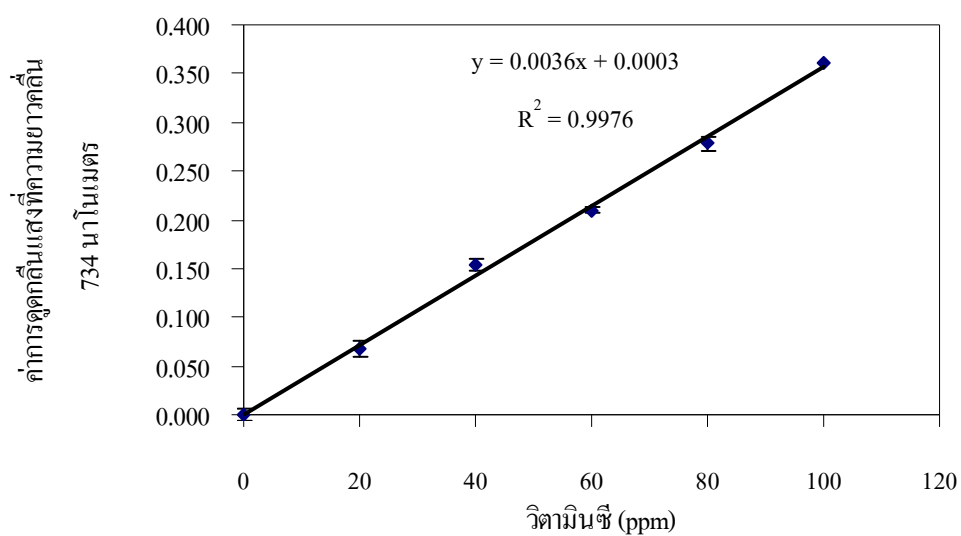
ภาคผนวก



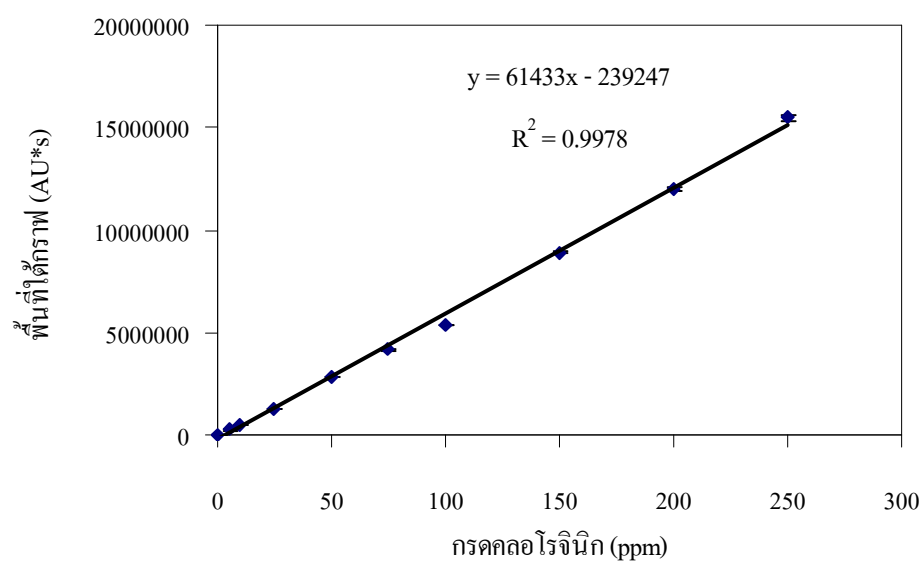
ภาพผนวกที่ 1 กราฟมาตรฐานของกรดแกดลิกสำหรับการตรวจวัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด



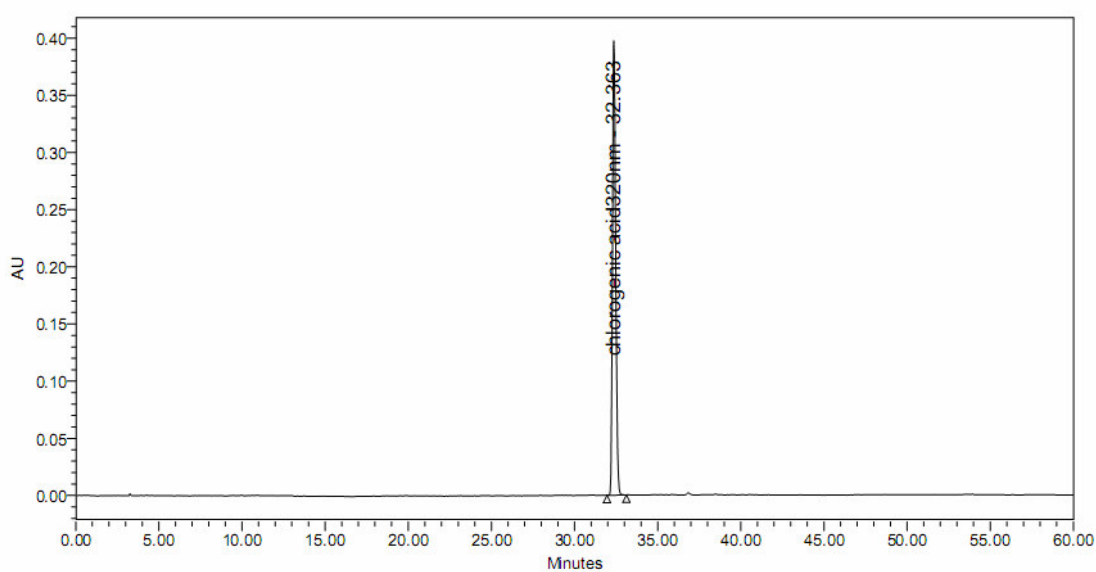
ภาพผนวกที่ 2 กราฟมาตรฐานของวิตามินซีสำหรับการตรวจสอบสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH



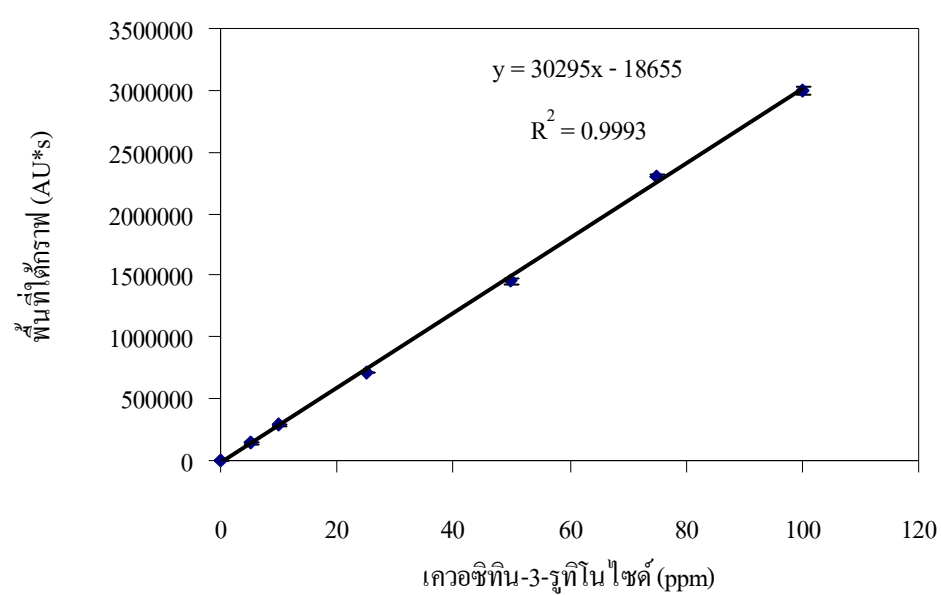
ภาพผนวกที่ 3 กราฟมาตรฐานของวิตามินซีสำหรับการตรวจสอบสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ABTS



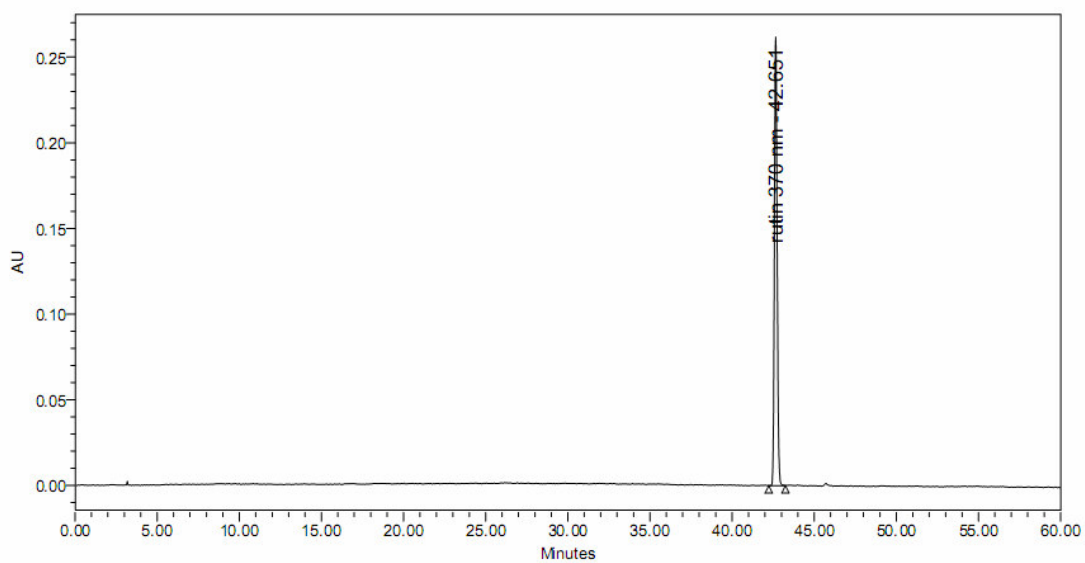
ภาพผนวกที่ 4 กราฟมาตรฐานของกรดคลอโรจีนิก (chlorogenic acid)



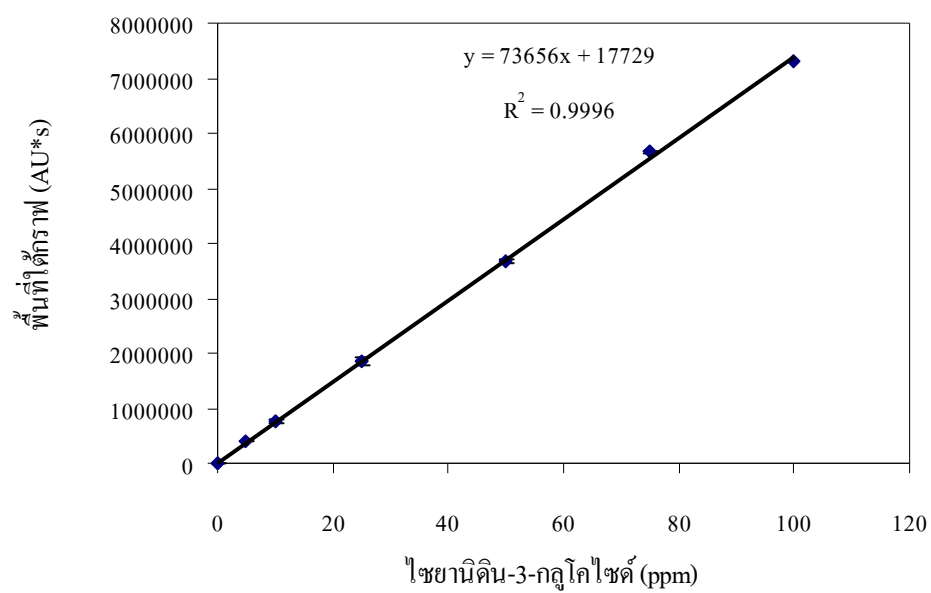
ภาพผนวกที่ 5 HPLC โครมาโตแกรมของสารมาตรฐานกรดคลอโรจีนิก (chlorogenic acid)



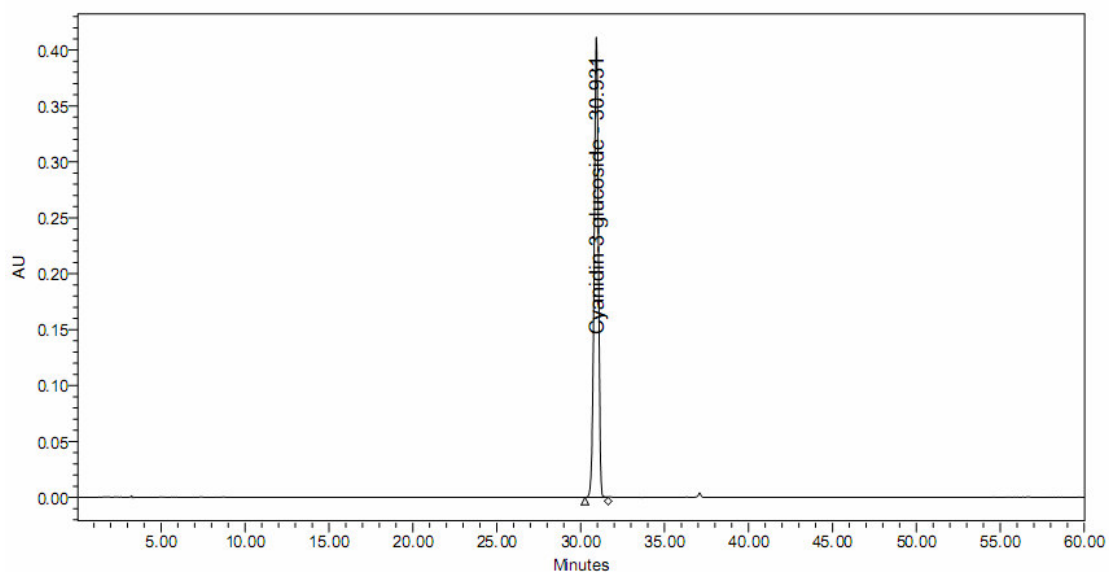
ภาพผนวกที่ 6 กราฟมาตรฐานของเคออสทิน-3-รูทีโนไซด์ (quercetin-3-rutinoside)



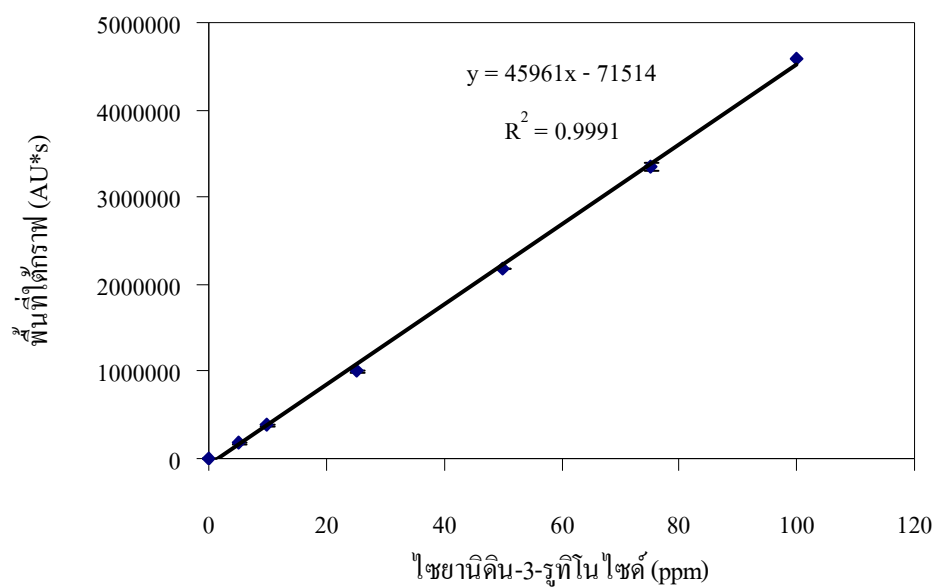
ภาพผนวกที่ 7 HPLC โครมาโตแกรมของสารมาตรฐานเคอซีทิน-3-รูทีโนไซด์ (quercetin-3-rutinoside)



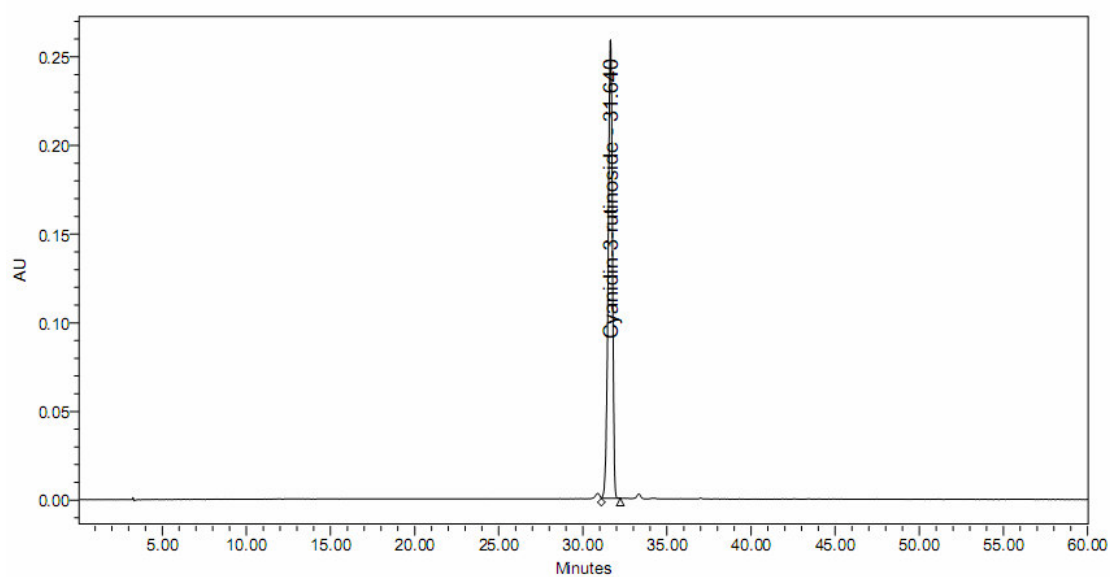
ภาพผนวกที่ 8 กราฟมาตรฐานของไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ (cyanidin-3-glucoside)



ภาพผนวกที่ 9 HPLC โครมาโตแกรมของสารมาตรฐานไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ (cyanidin-3-glucoside)



ภาพผนวกที่ 10 กราฟมาตรฐานของไซยานิดิน-3-รูทีโนไซด์ (cyanidin-3-rutinoside)



ภาพผนวกที่ 11 HPLC โครมาโตแกรมของสารมาตรฐานไซยานิดิน-3-รูทีโนไซด์ (cyanidin-3-rutinoside)

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวมนต์วดี หุ่นเจริญ
วัน เดือน ปี ที่เกิด	9 สิงหาคม 2526
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (วิทยาศาสตรการอาหารและโภชนาการ) ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (พ.ศ. 2549)
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนสนับสนุนจากโครงการทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ภายใต้โครงการสร้างกำลังคนเพื่อพัฒนาอุตสาหกรรมระดับปริญญาโท (สกว.-สสว.) ประจำปี 2550 และ โครงการพัฒนาระดับบัณฑิตศึกษาและวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์