



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ “การศึกษาเปรียบเทียบปริมาณฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์
การต้านออกซิเดชันในผลหม่อนสายพันธุ์ต่างๆ”

โดย

ดร.ลือชัย บุตุคุป

3 กันยายน 2555

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การศึกษาเปรียบเทียบปริมาณฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์
การต้านออกซิเดชันในผลหม่อนสายพันธุ์ต่างๆ

ผู้วิจัย

สังกัด

ดร.ลือชัย บุตรคุป

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ชุดโครงการ Thai Fruits - Functional Fruits

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	ก
สารบัญตาราง	ง
สารบัญภาพ	ฉ
กิตติกรรมประกาศ	ณ
บทสรุปสำหรับผู้บริหาร	ญ
บทคัดย่อ	ท
ABSTRACT	ด

บทที่

1 บทนำ	1
ความสำคัญและที่มาของการทำวิจัย	1
วัตถุประสงค์	2
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
พันธุ์หม่อนที่พบอยู่ทั่วโลก	6
พันธุ์หม่อนรับประทานผลที่ปลูกในประเทศไทย	8
พันธุ์หม่อนรับประทานผลที่ปลูกในต่างประเทศ	11
พันธุ์หม่อนเทศเมียในประเทศไทย	13
การพัฒนาการของผลหม่อน	15
องค์ประกอบทางเคมีในผลหม่อน	17
งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผลหม่อน	21
แอนโธไซยานิน	23
ปัจจัยที่มีผลต่อสีและความคงตัวของแอนโธไซยานิน	24
คุณสมบัติการเป็น Antioxidant ของแอนโธไซยานิน	27
สารประกอบฟีนอลิก	29
วิธีการวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิก	41

สารบัญ

บทที่	หน้า
ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสารประกอบฟีนอลิกและความสามารถในการ	
ต้านออกซิเดชันของพืช	44
3 ระเบียบวิธีวิจัย	47
ตัวอย่างและสารเคมี	47
การสกัดตัวอย่างผลหม่อน	49
การวิเคราะห์ปริมาณเบต้าแคโรทีนและไลโคปีน	50
ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด	50
ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด	51
การวิเคราะห์ปริมาณฟลาโวนอยด์ด้วย HPLC	51
การวิเคราะห์ปริมาณกรดฟีนอลิกด้วย HPLC	52
การวิเคราะห์ปริมาณกรดอินทรีย์ด้วย HPLC	53
การวิเคราะห์ปริมาณแอนโธไซยานินด้วย HPLC	53
การทดสอบฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน	53
การประเมินทางสถิติ	55
แผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย ระยะเวลาการทำวิจัย และผลที่คาดว่าจะได้รับ ..	55
4 ผลและอภิปรายผลการทดลอง	57
ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด	58
ปริมาณเบต้าแคโรทีนและไลโคปีน	60
ปริมาณกรดอินทรีย์ในผลหม่อนสายพันธุ์ต่างๆ	61
การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกด้วยเทคนิค HPLC	67
การวิเคราะห์ปริมาณฟลาโวนอยด์	67
การสร้างกราฟมาตรฐาน	69
ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ในผลหม่อน	69
การวิเคราะห์ปริมาณกรดฟีนอลิก	82
ปริมาณกรดฟีนอลิกในผลหม่อน	83
การวิเคราะห์ปริมาณแอนโธไซยานินด้วย HPLC	91

สารบัญ

บทที่	หน้า
ปริมาณแอนโธไซยานินในผลหม่อน	93
ฤทธิ์การต้านออกซิเดชันในผลหม่อน	100
5 สรุปผลการทดลอง	109
ข้อเสนอแนะ	115
เอกสารอ้างอิง	116
ภาคผนวก	135
ภาคผนวก ก	136
ภาคผนวก ข	138
ภาคผนวก ค	140
ภาคผนวก ง	143
ภาคผนวก จ	153
ผลงานที่กำลังส่งตีพิมพ์	161
บทความเรื่องเส้นทางวิชาการ	188
โบว์ชัวร์	192

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ส่วนประกอบทางเคมีของผลหม่อนในระหว่างการสุก	18
2.2 ส่วนประกอบทางเคมีของผลหม่อนสุก	19
2.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง pH กับสีของแอนโธไซยานิน	25
2.4 สารฟีนอลิกกลุ่มหลักที่พบในพืช	31
3.1 แสดงแหล่งที่มาและสายพันธุ์หม่อนที่ใช้ในการศึกษา	47
4.1 ปริมาณความชื้น และน้ำหนักแห้งของสารสกัดจากผลหม่อน	57
4.2 ประสิทธิภาพการวิเคราะห์สารมาตรฐานกรดอินทรีย์ด้วย HPLC	62
4.3 โปรแกรมที่ใช้ในระบบการชะล้างแบบแกรเดียนต์อีลูชัน	68
4.4 ประสิทธิภาพการวิเคราะห์สารมาตรฐานฟลาโวนอยด์ด้วย HPLC	69
4.5 โปรแกรมที่ใช้ในระบบการชะล้างแบบแกรเดียนต์อีลูชันสำหรับการวิเคราะห์ แอนโธไซยานิน	91
4.6 ประสิทธิภาพการวิเคราะห์สารมาตรฐานแอนโธไซยานินด้วย HPLC	92
4.7 ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของผลหม่อนสายพันธุ์ต่างๆ	101
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างฤทธิ์ต้านออกซิเดชันกับฟลาโวนอยด์และกรดฟีนอลิกบางชนิด และความสัมพันธ์ระหว่างฤทธิ์ต้านออกซิเดชันกับปริมาณฟีนอลทั้งหมด และปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด	102

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ลักษณะดอกตัวผู้ ดอกตัวเมีย เมล็ด และผลหม่อน	16
2.2 สูตรโครงสร้างของแอนโทไซยานิน	24
2.3 โครงสร้างทางเคมีของฟลาโวนอล	30
2.4 สารฟีนอลิกชนิดต่างๆ ที่พบในพืช	32
2.5 สูตรโครงสร้างของฟลาโวนอยด์ ได้แก่ myricetin, kaempferol, fisetin, rutin, quercetin, (-)epicatechin และ apigenin	33
2.6 โครงสร้างของ (a) hydroxybenzoic acids ได้แก่ p-hydroxybenzoic acid, R1=H, R2=H ; gallic acid, R1=OH, R2=OH และ (b) ellagic acid	37
2.7 โครงสร้างทางเคมีของกรดไฮดรอกซีซินนามิก 3 ชนิด ได้แก่ p-coumaric acid, R1=H; caffeic acid, R1=OH; ferulic acid, R1=OCH ₃	37
2.8 สูตรโครงสร้างของกรดฟีนอลิก ได้แก่ ellagic acid, gallic acid, gentisic acid p-coumaric acid, caffeic acid, vanillic acid, p-hydroxybenzoic acid และ butylated hydroxytoluene	38
3.1 แสดงพันธุ์หม่อนที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้	48
4.1 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในผลหม่อน	58
4.2 ปริมาณเบต้า-แคโรทีนและปริมาณไลโคปีนในผลหม่อน	60
4.3 โครมาโทแกรมของกรดอินทรีย์มาตรฐาน	61
4.4 ปริมาณกรดอินทรีย์ชนิด oxalic acid, tartaric acid, malic acid, ascorbic acid และ lactic acid ที่พบในผลหม่อน	64
4.5 ปริมาณกรดอินทรีย์ชนิด acetic acid, citric acid, benzoic acid และผลรวมกรดอินทรีย์ที่พบในผลหม่อน	65
4.6 โครมาโทแกรมของสารประกอบฟลาโวนอยด์ (8.79) (+)-catechin; (10.26) (-)-epicatechin; (12.64) rutin; (14.14) procyanidin B1; (18.05) procyanidin B2; (21.52) myricetin; (24.50) <i>trans</i> -resveratrol; (26.62) lutelin; (27.10) quercetin; (31.12) naringenin และ (32.28) kaempferol	68

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
4.7 โครงสร้างประกอบฟีนอลิกชนิด (+)-catechin, (-)-epicatechin, rutin, myricetin, <i>trans</i> -resveratrol, procyanidin B1, procyanidin B2, quercetin, naringenin และ kaempferol	71
4.8 ปริมาณฟลาโวนอยด์ชนิด (+)-catechin, (-)-epicatechin rutin และ procyanidin B1 ในผลหม่อน	73
4.9 ปริมาณ procyanidin B2, <i>trans</i> -resveratrol, luteolin และ naringenin ในผลหม่อน	76
4.10 ปริมาณ myricetin, quercetin, kaempferol และผลรวมฟลาโวนอยด์ ในผลหม่อน	79
4.11 แสดงสัดส่วนของฟลาโวนอยด์ที่พบในผลหม่อน	81
4.12 โครมาโทแกรมของกรดฟีนอลิก (8.07) gallic acid; (14.26) protocatechuic acid; (22.42) <i>p</i> -hydroxybenzoic acid; (25.84) chlorogenic acid; (28.89) vanillic acid; (29.74) caffeic acid; (32.34) syringic acid; (42.05) <i>p</i> -coumaric acid; (47.13) ferulic acid; (47.81) sinapinic acid และ (53.18) cinnamic acid	82
4.13 ปริมาณกรดฟีนอลิกชนิด gallic acid, protocatechuic acid, <i>p</i> -hydroxybenzoic acid และ chlorogenic acid ในผลหม่อน	84
4.14 ปริมาณกรดฟีนอลิกชนิด vanillic acid, caffeic acid, syringic acid และ <i>p</i> -coumaric acid ในผลหม่อน	87
4.15 ปริมาณกรดฟีนอลิกชนิด ferulic acid, sinapinic acid, cinnamic acid และผลรวมกรดฟีนอลิกทั้งหมดในผลหม่อน	89
4.16 แสดงสัดส่วนของกรดฟีนอลิกที่พบในผลหม่อน	90
4.17 โครมาโทแกรมของแอนโธไซยานิน kuromanin (26.00); keracynidin (27.91); malvin (28.65); delphinidin (31.66); cyanidin (38.11); pelargonidin (44.54) และ malvidin (48.63) เมื่อวิเคราะห์ด้วย HPLC	92

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
4.18 ปริมาณแอนโธไซยานินชนิด kuromanin, keracynidin, malvin และ delphinidin ในผลหม่อน	95
4.19 ปริมาณแอนโธไซยานินชนิด cyanidin, pelargonidin, malvidin และผลรวมแอนโธไซยานินทั้งหมดในผลหม่อน	97
4.20 แสดงสัดส่วนของแอนโธไซยานินที่พบในผลหม่อน	99
4.21 แสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นของฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน ($1/EC_{50}$) (แกน Y) กับ ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (แกน X) ของผลหม่อน	104
4.22 แสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นของฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน ($1/EC_{50}$) (แกน Y) กับ ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (แกน X) ของผลหม่อน	104
4.23 แสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นของฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน (FRAP) (แกน Y) กับ ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (แกน X) ของผลหม่อน	106
4.24 แสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นของฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน (FRAP) (แกน Y) กับ ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (แกน X) ของผลหม่อน	106
4.25 แสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นของฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน (ABTS) (แกน Y) กับ ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (แกน X) ของผลหม่อน	107
4.26 แสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นของฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน (ABTS) (แกน Y) กับ ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (แกน X) ของผลหม่อน	107

สารบัญภาพ

ภาพผนวกที่	หน้า
ข1 แสดงกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก	139
ค1 กราฟมาตรฐานของสารละลาย DPPH	141
ค2 กราฟปริมาณ DPPH ที่เหลือ เมื่อทดสอบกับผลหม่อนที่ความเข้มข้นต่างๆ	142
ง1 กราฟมาตรฐานฟลาโวนอยด์ A = (+)Epicatechin, B = Catechin, C = Kaempferol และ D = Luteolin	143
ง2 กราฟมาตรฐานฟลาโวนอยด์ E = Myricetin, F = Naringenin, G = Quercetin และ H = Resveratol	144
ง3 กราฟมาตรฐานฟลาโวนอยด์ I = Rutin, J = Procyanidin B1, K = Procyanidin B2	145
ง4 กราฟมาตรฐานกรดฟีนอลิก A = Caffeic acid, B = Ellagic acid, C = Ferrulic acid และ D = Gallic acid	146
ง5 กราฟมาตรฐานของ Vanillic acid	147
ง6 กราฟมาตรฐานกรดอินทรีย์ A = Acetic acid, B = Ascorbic acid, C = Benzoic acid และ D = Luteolin	148
ง7 กราฟมาตรฐานกรดฟีนอลิก A = Lactic acid, B = Malic acid, C = Oxalic acid และ D = Tartaric acid	149
ง8 กราฟมาตรฐานแอนโธไซยานิน cyanidin, delphinidin, keracyanidin	150
ง9 กราฟมาตรฐานแอนโธไซยานิน kuromanin, malvidin, malvin	151
ง10 กราฟมาตรฐานแอนโธไซยานิน pelargonidin	152
จ1 โครมาโทแกรมวิเคราะห์ฟลาโวนอยด์ของผลหม่อน: A; พันธุ์ครราชสีมา 60, B; พันธุ์บุรีรัมย์ 60, C; พันธุ์ชุมพร, D; พันธุ์วาวี	153
จ2 โครมาโทแกรมวิเคราะห์ฟลาโวนอยด์ของผลหม่อน: A; พันธุ์เชียงใหม่, B; พันธุ์พิกุลทอง, C; พันธุ์กำแพงแสน, D; พันธุ์ไร่ก้านจูล	154
จ3 โครมาโทแกรมวิเคราะห์กรดฟีนอลิกของผลหม่อน: A; พันธุ์ครราชสีมา 60, B; พันธุ์บุรีรัมย์ 60, C; พันธุ์ชุมพร, D; พันธุ์วาวี	155

สารบัญภาพ

ภาพผนวกที่	หน้า
จ4 โครมาโทแกรมวิเคราะห์กรดฟีนอลิกของผลหม่อน: A; พันธุ์เชียงใหม่, B; พันธุ์พิกุลทอง, C; พันธุ์กำแพงแสน, D; พันธุ์ไร่ก้านจูล	156
จ5 โครมาโทแกรมวิเคราะห์แอนโธไซยานินของผลหม่อน: A; พันธุ์นครราชสีมา 60 B; พันธุ์บุรีรัมย์ 60, C; พันธุ์ชุมพร, D; พันธุ์วาวี	157
จ6 โครมาโทแกรมวิเคราะห์แอนโธไซยานินของผลหม่อน: A; พันธุ์เชียงใหม่, B; พันธุ์พิกุลทอง, C; พันธุ์กำแพงแสน, D; พันธุ์ไร่ก้านจูล	158
จ7 โครมาโทแกรมวิเคราะห์กรดอินทรีย์ของผลหม่อน: A; พันธุ์นครราชสีมา 60, B; พันธุ์บุรีรัมย์ 60, C; พันธุ์ชุมพร, D; พันธุ์วาวี	159
จ8 โครมาโทแกรมวิเคราะห์กรดอินทรีย์ของผลหม่อน: A; พันธุ์เชียงใหม่ B; พันธุ์พิกุลทอง, C; พันธุ์กำแพงแสน, D; พันธุ์ไร่ก้านจูล	160

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) สัญญาเลขที่ RDG5420032 แก่งานวิจัยเรื่อง “การศึกษาเปรียบเทียบปริมาณฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์การต้านออกซิเดชันในผลหม่อนสายพันธุ์ต่างๆ” ประจำปีงบประมาณ 2554 ที่ได้ให้ทุนในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณศูนย์นวัตกรรมใหม่ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม และศูนย์หม่อนไหมเฉลิมพระเกียรติฯ จังหวัดอุดรธานี และไร่กำนันจุล จังหวัดเพชรบูรณ์ ที่ได้อนุเคราะห์ตัวอย่างผลหม่อนพันธุ์ต่างๆ จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์

ขอขอบคุณศูนย์เครื่องมือกลาง มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ได้ให้ความสะดวก คำแนะนำในการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ขั้นสูง จนได้ข้อมูลที่มีคุณค่าใช้ประกอบการรายงานผลในครั้งนี้

ขอขอบคุณภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่เอื้อเพื่อสถานที่ ตลอดจนอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการทำงานวิจัยนี้ ขอขอบคุณศูนย์เครื่องมือกลาง มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่เอื้อเพื่อสถานที่ อุปกรณ์ในการทำงานวิจัยนี้ ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภชัย สมัมปิโต ที่ให้คำปรึกษาโครงการวิจัย ความดีของงานวิจัยนี้ขอบแต่ครู อาจารย์ทุกท่าน ทั้งที่เป็นครูอาจารย์โดยตรงและผู้ที่มีส่วนในการถ่ายทอดความรู้ให้แก่ผู้วิจัย ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า ผลงานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้สนใจ และเป็นพื้นฐานของงานวิจัยที่สามารถนำไปศึกษาต่อยอดเพื่อพัฒนาประเทศต่อไป สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณทุกท่านที่มีส่วนช่วยเหลือ เป็นกำลังใจจนงานวิจัยนี้มาถึงบทสรุปได้

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร

ผลหม่อนเป็นผลไม้ตระกูลเบอร์รี่ชนิดหนึ่ง เป็นผลพลอยได้จากการปลูกหม่อนเพื่อนำใบไปเลี้ยงไหม ผลหม่อนเริ่มออกดอกติดผลตามฤดูกาลในช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนมกราคม และเริ่มเก็บเกี่ยวผลสุกได้ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ ถึงเดือนมีนาคมของปี ซึ่งขึ้นอยู่กับพื้นที่ในการปลูกต้นหม่อนนั้นๆ ผลหม่อนจะเริ่มพัฒนาจากผลเล็กสีเขียวแล้วค่อยๆ เปลี่ยนเป็นสีแดงปนเขียวมากขึ้นเรื่อยๆ จนมีสีแดงทั้งผล เมื่อผลหม่อนอยู่ในระยะผลแก่ จากนั้นผลก็จะเปลี่ยนจากสีแดงเขียวเป็นสีม่วงดำเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ช่วงนี้เรียกว่า ผลท่ม และเมื่อผลหม่อนสุกจะมีสีม่วงดำทั้งผล ผลหม่อนสุกจะมีรสหวานอมเปรี้ยว รสอร่อย กลิ่นหอมชวนรับประทาน ผลหม่อนสุกสามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ในระดับอุตสาหกรรมต่างๆ มากมาย เช่น ไวน์ น้ำผลไม้ แยม เยลลี่ ซอสผลไม้ เค้ก ชาผลไม้ ผงหม่อน แคปซูล ผลหม่อนแช่แข็ง ลูกอมผลหม่อน ผลหม่อนอบแห้ง สีสผสมอาหาร ส่วนประกอบในสารลดความอ้วน สามารถใช้ในอุตสาหกรรมยา และอาหารสัตว์ เป็นต้น ผลหม่อนนั้นมีคุณค่าทางโภชนาการค่อนข้างสูง เป็นแหล่งของน้ำตาล กรด และสารสำคัญต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารประกอบฟีนอลิก (phenolic compound) ที่มีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน (antioxidant) ที่อาจป้องกันการเกิดโรคเรื้อรังต่างๆ ได้ เช่น โรคมะเร็ง โรคเบาหวาน โรคหัวใจ เป็นต้น จากการวิจัยพบว่า ในผลหม่อนจะมีสารกลุ่ม antioxidant ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิก โดยเฉพาะอย่างยิ่งกลุ่มสารแอนโธไซยานิน (anthocyanin) และกลุ่มสารฟลาโวนอยด์ เช่น quercitin และ rutin อยู่ในปริมาณที่สูงกว่าผลแก่และผลท่ม จากการทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้องเบื้องต้นพบว่า หม่อนเป็นพืชไทยที่มีศักยภาพในการใช้ผลิตเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพเนื่องจากมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน อาจใช้เป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารเนื่องจากมีฤทธิ์ลดน้ำตาลในเลือด และยังสามารถพัฒนาเป็นเครื่องสำอางบำรุงผิวได้ (Asano et al., 2001) ในปัจจุบันการศึกษาเกี่ยวกับชนิด ปริมาณ และความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิก และปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกในผลหม่อนสายพันธุ์ต่างๆ ที่นิยมปลูกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยยังมีน้อยมาก ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะศึกษาถึงสารสำคัญและฤทธิ์ทางชีวภาพในผลหม่อนในเชิงลึก

การศึกษาผลหม่อนสุกจำนวน 8 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์นครราชสีมา 60 พันธุ์บุรีรัมย์ 60 พันธุ์ชุมพร พันธุ์วาวี พันธุ์เชียงใหม่ พันธุ์พิบูลทอง พันธุ์กำแพงแสน และพันธุ์ไร่ก้านันจุล ซึ่งนิยมปลูกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ผลการทดลองพบว่าปริมาณฟีนอลิกโดยรวมพบในช่วง 17.38-50.93 mg GAE/100g น้ำหนักสด ปริมาณฟลาโวนอยด์โดยรวมมีความแปรผันในผลหม่อนแต่ละพันธุ์ โดยพบอยู่ในช่วง 11.98-47.79 mg CE/100g น้ำหนักสด ผลหม่อนพันธุ์ไร่ก้านันจุล พันธุ์วาวี และพันธุ์นครราชสีมา 60 มีปริมาณฟลาโวนอยด์โดยรวมสูงกว่าหม่อนพันธุ์อื่นๆ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ

47.79, 36.61 และ 35.43 mg CE/100g น้ำหนักสด เหมือนพันธุ์ไร้ก้านจูล พันธุ์นครราชสีมา 60 พันธุ์เชียงใหม่ และพันธุ์บุรีรัมย์ 60 มีปริมาณวิตามินซีสูงกว่าพันธุ์อื่นๆ (23.40, 22.26, 21.18, และ 19.86 mg/g น้ำหนักสด ตามลำดับ) เมื่อพิจารณาค่าผลรวมของกรดอินทรีย์สามารถเรียงลำดับจากปริมาณสูงไปต่ำได้ดังนี้ พันธุ์เชียงใหม่ และพันธุ์ไร้ก้านจูล > พันธุ์กำแพงแสน พันธุ์บุรีรัมย์ 60 และพันธุ์นครราชสีมา 60 > พันธุ์วาวี และพันธุ์พิบูลทอง > พันธุ์ชุมพร ผลเหมือนพบสารประกอบฟลาโวนอยด์หลักๆ ได้แก่ (+)-catechin (70.05-183.65 mg/100g น้ำหนักสด), procyanidin B1 (11.62-50.83 mg/100g น้ำหนักสด), quercetin (0.77-15.26 mg/100g น้ำหนักสด), rutin (3.09-6.42 mg/100g น้ำหนักสด) และ (-)-epicatechin (1.70-6.62 mg/100g น้ำหนักสด) นอกจากนี้ยังพบกรดฟีนอลิกชนิด gallic acid, cinnamic acid และ *p*-hydroxybenzoic acid เป็นกรดฟีนอลิกหลักในผลเหมือน เหมือนพันธุ์ไร้ก้านจูลมีผลรวมปริมาณกรดฟีนอลิกสูงสุด (29.91 mg/100g น้ำหนักสด) ปริมาณแอนโทไซยานินในผลเหมือนมีความแปรปรวนในแต่ละพันธุ์โดยแอนโทไซยานินชนิด kuromanin และ keracyanidin เป็นแอนโทไซยานินหลักที่พบมากที่สุดในการผลเหมือน delphinidin และ malvin ก็ตรวจพบในปริมาณที่สูงในผลเหมือนเช่นกัน ผลเหมือนพันธุ์บุรีรัมย์ 60 พันธุ์ไร้ก้านจูล พันธุ์ชุมพร และพันธุ์นครราชสีมา 60 มีปริมาณ kuromanin สูงกว่าพันธุ์อื่นๆ ซึ่งมีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 125.94, 123.50, 118.45 และ 104.10 mg/100g น้ำหนักสด ตามลำดับ keracyanidin ก็เป็นแอนโทไซยานินอีกชนิดหนึ่งที่พบในปริมาณสูงโดยเฉพาะอย่างยิ่งเหมือนพันธุ์ไร้ก้านจูลมีปริมาณสูงที่สุดเท่ากับ 30.05 mg/100g น้ำหนักสด ($p \leq 0.05$) ผลรวมปริมาณแอนโทไซยานินสามารถเรียงลำดับจากปริมาณสูงไปต่ำได้ดังนี้ พันธุ์ไร้ก้านจูล > พันธุ์ชุมพร พันธุ์เชียงใหม่ พันธุ์นครราชสีมา 60 และพันธุ์บุรีรัมย์ 60 > พันธุ์พิบูลทอง > พันธุ์วาวี > พันธุ์กำแพงแสน ผลเหมือนพันธุ์นครราชสีมา 60 สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH สูงที่สุด (มีค่า EC_{50} เท่ากับ 241.83 μ g/ml) เหมือนพันธุ์ไร้ก้านจูลสามารถยับยั้ง TPRZ-Fe (III) complex ไปเป็น TPTZ-Fe (II) ได้สูงที่สุด เท่ากับ 42.28 mg Fe(II)/g และเหมือนพันธุ์นครราชสีมา 60 พันธุ์วาวี และพันธุ์ชุมพรมีกิจกรรมการกำจัดอนุมูลอิสระ 2,2'-azinobis 3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonate (ABTS^{•+}) สูงกว่าเหมือนพันธุ์อื่น มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.21, 4.19 และ 3.42 mg TEAC/g ตามลำดับ พบความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างปริมาณฟีนอลิกโดยรวมและปริมาณฟลาโวนอยด์โดยรวมของผลเหมือนต่อกิจกรรมการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH, ABTS^{•+} และ FRAP แสดงให้เห็นว่าสารประกอบฟีนอลิกในผลเหมือนมีฤทธิ์สูงในการต้านออกซิเดชัน จะเห็นได้ชัดจากเหมือนพันธุ์ที่มีฤทธิ์การต้านออกซิเดชันสูงจะมีปริมาณฟีนอลิกโดยรวมและปริมาณฟลาโวนอยด์โดยรวมสูง

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าเหมือนพันธุ์ไร้ก้านจูล พันธุ์นครราชสีมา 60 และพันธุ์เชียงใหม่เป็นเหมือนพันธุ์ที่มีปริมาณสารในกลุ่มฟีนอลิก ได้แก่ ฟลาโวนอยด์ กรดฟีนอลิก และแอนโทไซ

ยานินสูง อีกทั้งยังมีปริมาณไวตามินซีสูงกว่าหม่อนพันธุ์อื่นๆ นอกจากนี้จากการศึกษาฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชันพบว่าทั้งสามพันธุ์มีฤทธิ์สูงในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของอนุมูลอิสระ ซึ่งเกิดจากการทำงานของสารสำคัญกลุ่มฟีนอลิกในผลหม่อนนั่นเอง ซึ่งจะเห็นได้จากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารฟีนอลิกและความสามารถในการต้านออกซิเดชันจะมีความสัมพันธ์ในเชิงบวก กล่าวคือเมื่อผลหม่อนมีปริมาณสารฟีนอลิกสูงก็จะมีฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชันสูงตามไปด้วย เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกสายพันธุ์ที่เหมาะสมต่อการนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เนื่องจากจะทำให้ทราบถึงสายพันธุ์ที่เหมาะสมที่ให้สารสำคัญมากที่สุด และเพื่อพัฒนามาตรฐานผลิตภัณฑ์จากผลหม่อน ดังนั้นหม่อนพันธุ์ไร่ก้านจูล พันธุ์นครราชสีมา 60 และพันธุ์เชียงใหม่เป็นหม่อนพันธุ์ที่น่าส่งเสริมให้มีการปลูกหรือเป็นพันธุ์ต้นแบบในการศึกษาเพื่อพัฒนาสายพันธุ์ต่อไป และควรส่งเสริมให้มีการบริโภค หรือนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูงขึ้น สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปประยุกต์ใช้สำหรับควบคุมคุณภาพวัตถุดิบ ในการนี้ศูนย์เครื่องมือกลาง มหาวิทยาลัยมหาสารคามมีศักยภาพและมีความพร้อมทางด้านเครื่องมือขั้นสูง ได้แก่ GC, GC-MS และ HPLC สำหรับวิเคราะห์สารสำคัญ ซึ่งสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการพัฒนางานวิจัยในเชิงลึก ตลอดจนสามารถเป็นศูนย์กลางในการรับวิเคราะห์คุณภาพของผลหม่อน และหรือผลิตภัณฑ์ได้

บทคัดย่อ

ผลหม่อนอุดมไปด้วยสารโพลีฟีนอลส์ ได้แก่ ฟลาโวนอยด์ และแอนโธไซยานินส์ ซึ่งได้รับการยืนยันแล้วว่ามีผลดีต่อสุขภาพของมนุษย์ ผลหม่อนสุกจำนวน 8 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์นครราชสีมา 60 (NS 60) พันธุ์บุรีรัมย์ 60 (BR 60) พันธุ์ชุมพร (CP) พันธุ์วาวี (WV) พันธุ์เชียงใหม่ (CM) พันธุ์พิบูลทอง (PT) พันธุ์กำแพงแสน (KS) และพันธุ์ไร่กำนันจุล (KJ) ซึ่งนิยมปลูกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยนำมาวิเคราะห์กิจกรรมการต้านออกซิเดชันฟีนอลิกโดยรวมด้วยวิธีการต่างๆ ได้แก่ ABTS^{•+} (2,2'-azino-bis-(3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic acid)), DPPH[•] (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl radical) และ ferric reducing/antioxidant power (FRAP) แสดงผลในรูปแบบ TEAC หาปริมาณฟีนอลิกโดยรวมด้วยวิธี Folin-Ciocalteu และหาปริมาณฟลาโวนอยด์โดยรวมใช้วิธี aluminium chloride colorimetric assay หาปริมาณกรดอินทรีย์ (oxalic acid, tartaric acid, malic acid, ascorbic acid, lactic acid, acetic acid, citric acid และ benzoic acid) ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ ((+)-catechin, (-)-epicatechin, rutin, procyanidin B1, procyanidin B2, myricetin, *trans*-resveratrol, luteolin, quercetin, naringenin และ kaempferol) ปริมาณกรดฟีนอลิก (gallic acid, protocatechuic acid, *p*-hydroxybenzoic acid, chlorogenic acid, vanillic acid, caffeic acid, syringic acid, *p*-coumaric acid, ferulic acid, sinapinic acid และ cinnamic acid) ปริมาณแอนโธไซยานิน (kuromanin (cyanidin 3-O-glucoside), keracyanidin (cyanidin-3-rutinoside), malvin (malvidin 3,5-diglucoside), delphinidin, cyanidin, pelargonidin, และ malvidin) ด้วย reverse phase high-performance liquid chromatographic (RP-HPLC) ที่มีตัวตรวจวัดแบบ UV ผลการทดลองพบว่าปริมาณฟีนอลิกโดยรวมพบในช่วง 17.38-50.93 mg GAE/100g น้ำหนักสด สามารถเรียงลำดับปริมาณฟีนอลิกโดยรวมจากมากไปน้อยได้ดังนี้: พันธุ์วาวี > พันธุ์ไร่กำนันจุล > พันธุ์นครราชสีมา 60 > พันธุ์เชียงใหม่ > พันธุ์พิบูลทอง > พันธุ์ชุมพร > พันธุ์บุรีรัมย์ 60 > พันธุ์กำแพงแสน ปริมาณฟีนอลิกโดยรวมสูงที่สุดพบในหม่อนพันธุ์วาวีมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 50.93 mg GAE/100g น้ำหนักสด ขณะที่หม่อนพันธุ์กำแพงแสน ปริมาณฟีนอลิกโดยรวมต่ำที่สุดเท่ากับ 17.38 mg GAE/100g น้ำหนักสด ปริมาณฟลาโวนอยด์โดยรวมมีความแปรผันในผลหม่อนแต่ละพันธุ์ โดยพบอยู่ในช่วง 11.98-47.79 mg CE/100g น้ำหนักสด ผลหม่อนพันธุ์ไร่กำนันจุล พันธุ์วาวี และพันธุ์นครราชสีมา 60 มีปริมาณฟลาโวนอยด์โดยรวมสูงกว่าหม่อนพันธุ์อื่นๆ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 47.79, 36.61 และ 35.43 mg CE/100g น้ำหนักสด ตามลำดับ ไลโคปีนพบในผลหม่อนในช่วง 0.29-0.72 µg/g น้ำหนักสด ขณะที่ปีต้า-แคโรทีนในผลหม่อนมีปริมาณอยู่ในช่วง 0.45-1.77 µg/g น้ำหนักสด ผลหม่อนจึงเป็นแหล่งที่มีปริมาณไลโคปีนและปีต้า-แคโรทีนต่ำ จากการวิเคราะห์ปริมาณกรดอินทรีย์ พบว่า ascorbic acid เป็นกรดอินทรีย์ที่พบมากที่สุด รองลงมาคือ benzoic acid, malic acid และ tartaric acid ตามลำดับ ในจำนวนนี้หม่อน

พันธุ์ไร้ก้านจูล พันธุ์นครราชสีมา 60 พันธุ์เชียงใหม่ และพันธุ์บุรีรัมย์ 60 มีปริมาณ ascorbic acid สูงกว่าพันธุ์อื่นๆ (23.40, 22.26, 21.18, และ 19.86 mg/g น้ำหนักสด ตามลำดับ) benzoic acid ก็พบในผลหม่อนปริมาณสูงเช่นกันโดยพบสูงในหม่อนพันธุ์เชียงใหม่ พันธุ์วาวี และพันธุ์ไร้ก้านจูล (15.10, 15.02 และ 13.40 mg/g น้ำหนักสด ตามลำดับ) นอกจากนี้กรดอินทรีย์อื่นๆ ก็พบเช่นกัน โดย tartaric acid พบในช่วง 3.55-7.10 mg/g น้ำหนักสด malic acid พบในช่วง 3.07-6.70 mg/g น้ำหนักสด lactic acid พบในช่วง 1.18-5.07 mg/g น้ำหนักสด acetic acid พบในช่วง 0.23-1.68 mg/g น้ำหนักสด ขณะที่ citric acid พบในช่วง 1.23-7.85 mg/g น้ำหนักสด เมื่อพิจารณาค่าผลรวมของกรดอินทรีย์สามารถเรียงลำดับจากปริมาณสูงไปต่ำได้ดังนี้ พันธุ์เชียงใหม่ และพันธุ์ไร้ก้านจูล > พันธุ์กำแพงแสน พันธุ์บุรีรัมย์ 60 และพันธุ์นครราชสีมา 60 > พันธุ์วาวี และพันธุ์พิบูลทอง > พันธุ์ชุมพร ผลหม่อนพบปริมาณฟลาโวนอยด์หลักๆ ได้แก่ (+)-catechin (70.05-183.65 mg/100g น้ำหนักสด), procyanidin B1 (11.62-50.83 mg/100g น้ำหนักสด), quercetin (0.77-15.26 mg/100g น้ำหนักสด), rutin (3.09-6.42 mg/100g น้ำหนักสด) และ (-)-epicatechin (1.70-6.62 mg/100g น้ำหนักสด) gallic acid, cinnamic acid และ *p*-hydroxybenzoic acid พบว่าเป็นกรดฟีนอลิกหลักในผลหม่อน ปริมาณ caffeic acid, *p*-hydroxybenzoic acid, chlorogenic acid และ gallic acid มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 1.06-8.17 mg/100g น้ำหนักสด 1.77-7.13 mg/100g น้ำหนักสด 1.38-6.95 mg/100g น้ำหนักสด และ 1.36-6.25 mg/100g น้ำหนักสด ตามลำดับ ผลรวมปริมาณกรดฟีนอลิกในผลหม่อนพันธุ์ต่างๆ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 14.01 mg/100g น้ำหนักสด (พันธุ์บุรีรัมย์ 60) ถึง 29.91 mg/100g น้ำหนักสด (พันธุ์ไร้ก้านจูล) ผลจากการวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินในผลหม่อน พบว่ามีความแปรปรวนในแต่ละพันธุ์ โดยแอนโทไซยานินชนิด kuromanin และ keracyanidin เป็นแอนโทไซยานินหลักที่พบมากที่สุด ในผลหม่อน delphinidin และ malvin ก็ตรวจพบในปริมาณที่สูงในผลหม่อนเช่นกัน ผลหม่อนพันธุ์บุรีรัมย์ 60 พันธุ์ไร้ก้านจูล พันธุ์ชุมพร และพันธุ์นครราชสีมา 60 มีปริมาณ kuromanin สูงกว่าพันธุ์อื่นๆ ซึ่งมีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 125.94, 123.50, 118.45 และ 104.10 mg/100g น้ำหนักสด ตามลำดับ keracyanidin ก็เป็นแอนโทไซยานินอีกชนิดหนึ่งที่พบในปริมาณสูงโดยเฉพาะอย่างยิ่งหม่อนพันธุ์ไร้ก้านจูลมีปริมาณสูงที่สุดเท่ากับ 30.05 mg/100g น้ำหนักสด ($p \leq 0.05$) ผลรวมปริมาณแอนโทไซยานินสามารถเรียงลำดับจากปริมาณสูงไปต่ำได้ดังนี้ พันธุ์ไร้ก้านจูล > พันธุ์ชุมพร พันธุ์เชียงใหม่ พันธุ์นครราชสีมา 60 และพันธุ์บุรีรัมย์ 60 > พันธุ์พิบูลทอง > พันธุ์วาวี > พันธุ์กำแพงแสน กิจกรรมการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH พบว่าสารสกัดจากผลหม่อนพันธุ์นครราชสีมา 60 มีค่าEC₅₀ (ซึ่งค่าEC₅₀ เป็นค่าความเข้มข้นของสารสกัดที่สามารถต้านอนุมูลอิสระ DPPH ได้ครึ่งหนึ่ง) ต่ำสุด (241.83 µg/ml) ต่ำกว่าสายพันธุ์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) หม่อนพันธุ์ไร้ก้านจูลสามารถยับยั้ง TPRZ-Fe (III) complex ไปเป็น TPTZ-Fe (II) ได้สูงที่สุด เท่ากับ 42.28 mg Fe(II)/g และหม่อนพันธุ์นครราชสีมา 60 พันธุ์วาวี และพันธุ์ชุมพรมีกิจกรรมการกำจัดอนุมูลอิสระ 2,2'-azinobis

3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonate (ABTS^{•+}) สูงกว่าหม่อนพันธุ์อื่น มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.21, 4.19 และ 3.42 mg TEAC/g ตามลำดับ พบความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างปริมาณฟีนอลิกโดยรวมและปริมาณฟลาโวนอยด์โดยรวมของผลหม่อนต่อกิจกรรมการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH, ABTS^{•+} และ FRAP แสดงให้เห็นว่าสารประกอบฟีนอลิกในผลหม่อนมีฤทธิ์สูงในการต้านออกซิเดชัน จะเห็นได้ชัดจากหม่อนพันธุ์ที่มีฤทธิ์การต้านออกซิเดชันสูงจะมีปริมาณฟีนอลิกโดยรวมและปริมาณฟลาโวนอยด์โดยรวมสูง

คำสำคัญ : ผลหม่อน, ฟลาโวนอยด์, กรดฟีนอลิก, HPLC, กิจกรรมการต้านออกซิเดชัน

ABSTRACT

Mulberry is rich in polyphenols, flavonoids, and anthocyanins, which have been suggested to be responsible for health benefits. The total antioxidant capacity was estimated by the following methods: ABTS^{•+} (2,2'-azinobis-(3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic acid)), DPPH[•] (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl radical) and ferric reducing/antioxidant power (FRAP) expressed as TEAC. The total phenolics were measured using a Folin-Ciocalteu assay. The content of total flavonoids was measured also spectrophotometrically by using the aluminium chloride colorimetric assay. The concentrations of organic acids (oxalic acid, tataric acid, malic acid, ascorbic acid, lactic acid, acetic acid, citric acid, and benzoic acid), flavonoids ((+)-catechin, (-)-epicatechin, rutin, procyanidin B1, procyanidin B2, myricetin, *trans*-resveratrol, luteolin, quercetin, naringenin, and kaempferol), phenolic acids (gallic acid, protocatechuic acid, *p*-hydroxybenzoic acid, chlorogenic acid, vanillic acid, caffeic acid, syringic acid, *p*-coumaric acid, ferulic acid, sinapinic acid, and cinnamic acid), and anthocyanins (kuromanin (cyanidin 3-O-glucoside), keracyanidin (cyanidin-3-rutinoside), malvin (malvidin 3,5-diglucoside), delphinidin, cyanidin, pelargonidin, and malvidin) in mulberry fruits of 8 cultivars [Nakhonratchasima 60 (NS 60), Buriram 60 (BR 60), Chumphon (CP), Wavee (WV), Chaingmai (CM), Pikultong (PT), Kamphaengsaen (KS), and Kamnanchul (KJ)] grown in Northeastern Thailand were examined. The materials were extracted with methanol and analyzed by reverse phase high-performance liquid chromatographic (RP-HPLC) with UV detection. The total phenolic content was found from 17.38 to 50.93 mg GAE/100g fresh weight. Total phenolic contents of the eight cultivars of mulberry fruits decreased in the following order: WV > KJ > NS 60 > CM > PT > CP > BR 60 > KS. The highest total phenolic content was present in WV (50.93 mg GAE/100g fresh weight), whereas, lowest was present in KS (17.38 mg GAE/100g fresh weight). The total flavonoid contents varied significantly ($p < 0.05$) among mulberry fruits ranged from 11.98-47.79 mg CE/100g fresh weight. Among mulberry cultivars, KJ, WV, and NS 60 exhibited the highest amounts of total flavonoid contents (47.79, 36.61 and 35.43 mg CE/100g fresh weight, respectively). Lycopene contents of fresh mulberry fruits ranged from

0.29 to 0.72 $\mu\text{g/g}$ fresh weight. Beta-carotene contents of fresh mulberry fruits ranged from 0.45 to 1.77 $\mu\text{g/g}$ fresh weight. Mulberry fruits were not good sources of lycopene and beta-carotene, which showed a low value. Ascorbic acid was the major organic acid in every mulberry cultivar analyzed, followed by benzoic acid, malic acid, and tataric acid, respectively. Among mulberry cultivars, KJ, NS 60, CM, and BR 60 exhibited the highest amounts of ascorbic acid contents (23.40, 22.26, 21.18, and 19.86 mg/g fresh weight, respectively). Benzoic acid was also high amount in mulberry fruit cultivar analyzed. CM, WV, and KJ exhibited the highest amounts of benzoic acid contents (15.10, 15.02, and 13.40 mg/g fresh weight, respectively). The ranges of other acid concentrations found in fresh mulberry fruits were as follows: tartaric acid, 3.55-7.10 mg/g fresh weight; malic acid, 3.07-6.70 mg/g fresh weight; lactic acid, 1.18-5.07 mg/g fresh weight; acetic acid, 0.23-1.68 mg/g fresh weight; citric acid, 1.23-7.85 mg/g fresh weight. Total organic acid contents of the eight cultivars of mulberry fruits decreased in the following order: CM > KJ > KS > BR 60 > NS 60 > WV > PT > CP. The mulberry fruit revealed the mainly presence of flavonoid compounds including (+)-catechin (70.05-183.65 mg/100g fresh weight), procyanidin B1 (11.62-50.83 mg/100g fresh weight), quercetin (0.77-15.26 mg/100g fresh weight), rutin (3.09-6.42 mg/100g fresh weight), and (-)-epicatechin (1.70-6.62 mg/100g fresh weight). Gallic acid, cinnamic acid, and *p*-hydroxybenzoic acid were found to be the major phenolic acids in mulberry fruit cultivars. The range of caffeic acid, *p*-hydroxybenzoic acid, chlorogenic acid, and gallic acid, contents were 1.06-8.17 mg/100g fresh weight, 1.77-7.13 mg/100g fresh weight, 1.38-6.95 mg/100g fresh weight, and 1.36-6.25 mg/100g fresh weight, respectively. Sum of phenolic acid ranged from 14.01 mg/100g fresh weight (cultivar BR 60) to 29.91 mg/100g fresh weight (cultivar KJ). The results showed that anthocyanin content of mulberry fruits varied greatly among cultivars. HPLC analysis showed that the predominant anthocyanins in mulberry fruits were kuromanin and keracyanidin. Delphinidin and malvin were also high value in mulberry cultivar analyzed. Among mulberry cultivars, BR 60, KJ, CP, and NS 60 exhibited the highest amounts of kuromanin contents (125.94, 123.50, 118.45, and 104.10 mg/100g fresh weight, respectively). Keracyanidin was also high level in mulberry fruit cultivar analyzed. KJ had the highest keracyanidin content with average value of 30.05 mg/100g fresh weight ($p \leq 0.05$). Sum of anthocyanin contents

of the eight cultivars of mulberry fruits decreased in the following order: KJ > CP, CM, NS 60, BR 60 > PT > WV > KS. Scavenging abilities on DPPH radicals were excellent for ethanolic extract of NS 60 and EC_{50} values, the concentrations of the ethanolic extract of mulberry fruit that exhibit 50% reduction in 2,2-diphenyl-1-picryl hydrazyl hydrate (DPPH), of NS 60 (241.83 μ g/ml) was significantly lower than those of the others ($p \leq 0.05$). KJ had highest reduce TPRZ-Fe (III) complex to TPTZ-Fe (II) (42.28 mg Fe(II)/g) and NS 60, WV, and CP had highest scavenging of 2,20-azinobis 3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonate (ABTS^{•+}) radicals (4.21, 4.19, and 3.42 mg TEAC/g, respectively). Total phenolic and total flavonoid contents of the mulberry fruit showed positive correlated to the scavenging activity of DPPH and ABTS^{•+} radicals and the ferric reducing ability (FRAP assay). A significant correlation was obtained between antioxidant activity (DPPH assay) and total phenolic content indicating that phenolic compounds contribute significantly to antioxidant activity of the investigated mulberry fruit. The results obtained demonstrated that the mulberry fruit with high antioxidant activity exhibited relatively high total phenolic and total flavonoid contents.

Keywords : mulberry fruits, flavonoid, phenolic acid, HPLC, antioxidant activity

บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

“หม่อน” เป็นพืชที่พบได้ทั่วไปในป่าดิบในประเทศไทย ในอดีตนั้นการปลูกหม่อนมุ่งเน้นการนำใบหม่อนมาเลี้ยงหนอนไหมเพียงอย่างเดียว แต่เมื่อภาวะเศรษฐกิจตกต่ำจึงส่งผลกระทบต่ออุตสาหกรรมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการปลูกหม่อนเลี้ยงไหม เนื่องจากต้นทุนสูงและราคารังไหมตกต่ำลง ซึ่งการปลูกหม่อนเพื่อใช้ประโยชน์จากใบหม่อนเพียงอย่างเดียวอาจจะเป็นการเสี่ยงต่อการขาดทุนเป็นอย่างมาก ดังนั้นการใช้ประโยชน์จากส่วนอื่นของต้นหม่อนโดยเฉพาะอย่างยิ่งผลหม่อนจึงอาจเป็นทางเลือกหนึ่งให้กับอุตสาหกรรมในประเทศไทย ผลหม่อนเป็นผลไม้ตระกูลเบอร์รี่ชนิดหนึ่ง เป็นผลพลอยได้จากการปลูกหม่อนเพื่อนำใบไปเลี้ยงไหม ผลหม่อนเริ่มออกดอกติดผลตามฤดูกาลในช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนมกราคม และเริ่มเก็บเกี่ยวผลสุกได้ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ ถึงเดือนมีนาคมของปี ซึ่งขึ้นอยู่กับพื้นที่ในการปลูกต้นหม่อนนั้นๆ ผลหม่อนจะเริ่มพัฒนาจากผลเล็กสีเขียวแล้วค่อยๆ เปลี่ยนเป็นสีแดงปนเขียวมากขึ้นเรื่อยๆ จนมีสีแดงทั้งผล เมื่อผลหม่อนอยู่ในระยะผลแก่ จากนั้นผลก็จะเปลี่ยนจากสีแดงเขียวเป็นสีม่วงดำเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ช่วงนี้เรียกว่า ผลห่าม และเมื่อผลหม่อนสุกจะมีสีม่วงดำทั้งผล ผลหม่อนสุกจะมีรสหวานอมเปรี้ยว รสอร่อย กลิ่นหอมชวนรับประทาน ในปัจจุบันประเทศไทยมีการปรับปรุงพันธุ์หม่อนที่ให้ผลขนาดใหญ่และให้ผลผลิตค่อนข้างสูง เช่น หม่อนพันธุ์บุรีรัมย์ 60 หม่อนพันธุ์นครราชสีมา 60 และหม่อนพันธุ์เชียงใหม่ เป็นต้น สำหรับในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยมีการปลูกหม่อนหลายสายพันธุ์ ได้แก่ นครราชสีมา 60 บุรีรัมย์ 60 คุณไผ่ น้อย และเชียงใหม่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสายพันธุ์เชียงใหม่ หม่อนสายพันธุ์นี้นอกจากจะให้ใบในปริมาณที่สูงสำหรับการเลี้ยงไหมแล้ว ยังพบว่าให้ผลผลิตผลหม่อนในปริมาณที่สูงด้วย ได้มีการรายงานความสามารถให้ผลผลิตสูงถึง 1,000 กิโลกรัม/ไร่/ปี (วสันต์, 2546) จากศักยภาพของผลหม่อนดังกล่าว จึงได้มีการศึกษาการนำผลหม่อนไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ จากรายงานพบว่า ผลหม่อนสุกสามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ในระดับอุตสาหกรรมต่างๆ มากมาย เช่น ไวน์ น้ำผลไม้ แยม เยลลี่ ซอสผลไม้ เค้ก ชาผลไม้ ผงหม่อนแคปซูล ผลหม่อนแช่อิ่ม ลูกอมผลหม่อน ผลหม่อนอบแห้ง สีสันอาหาร ส่วนประกอบในสารลดความอ้วน สามารถใช้ในอุตสาหกรรมยา และอาหารสัตว์ เป็นต้น ผลหม่อนนั้นมีคุณค่าทางโภชนาการค่อนข้างสูง เป็นแหล่งของน้ำตาล กรด และสารสำคัญต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารประกอบฟีนอลิก (phenolic compound) ที่มีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน (antioxidant) ที่อาจป้องกันการเกิดโรคเรื้อรังต่างๆ ได้ เช่น โรคมะเร็ง โรคเบาหวาน

โรคหัวใจ เป็นต้น จากการวิจัยพบว่า ในผลหม่อนจะมีสารกลุ่ม antioxidant ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิก โดยเฉพาะอย่างยิ่งกลุ่มสารแอนโทไซยานิน (Anthocyanin) และกลุ่มสารฟลาโวนอยด์ เช่น quercitin และ rutin อยู่ในปริมาณที่สูงกว่าผลแก่และผลห่าม จากการทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้องเบื้องต้นพบว่า หม่อนเป็นพืชไทยที่มีศักยภาพในการใช้ผลิตเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพเนื่องจากมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน อาจใช้เป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารเนื่องจากมีฤทธิ์ลดน้ำตาลในเลือด และยังสามารถพัฒนาเป็นเครื่องสำอางบำรุงผิวได้ (Asano et al., 2001) ในปัจจุบันการศึกษาเกี่ยวกับชนิด ปริมาณ และความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิก และปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกในผลหม่อนสายพันธุ์ต่างๆ ที่นิยมปลูกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยยังมีน้อยมาก อีกทั้งในปัจจุบันมีการส่งเสริมการปลูกหม่อนผลสด เพื่อนำผลหม่อนไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากผลหม่อนทั้งเพื่อการจำหน่ายในประเทศหรือเพื่อการส่งออกนั้น การควบคุมคุณภาพเป็นสิ่งสำคัญ คุณภาพของผลิตภัณฑ์ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบ กระบวนการผลิต และกระบวนการเก็บรักษา ในปัจจุบันยังไม่มีมีการประกันคุณภาพของผลิตภัณฑ์จากผลหม่อนอย่างเพียงพอ ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะศึกษาถึงสารสำคัญและฤทธิ์ทางชีวภาพในผลหม่อนในเชิงลึก เพื่อยืนยันประโยชน์ของการบริโภคผลหม่อนต่อสุขภาพของผู้บริโภค ได้แก่ การศึกษาปัจจัยด้านสายพันธุ์ต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และความสามารถต้านออกซิเดชัน (antioxidant capacity) ของผลหม่อน เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกสายพันธุ์ที่เหมาะสมต่อการนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เนื่องจากจะทำให้ทราบถึงสายพันธุ์ที่เหมาะสมที่ให้สารสำคัญมากที่สุด และเพื่อพัฒนามาตรฐานผลิตภัณฑ์จากผลหม่อน ผลิตภัณฑ์ออกสู่ตลาดตัวอย่างเช่น แยม แยมลี่ ลูกอม น้ำผลไม้ และไวน์ เป็นต้น จะเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีสารสำคัญ ซึ่งมีคุณค่าทางโภชนาการสูงและเป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภค สามารถนำข้อมูลเบื้องต้นไปประยุกต์ใช้สำหรับควบคุมคุณภาพวัตถุดิบ ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแปรรูปจากผลหม่อนนั้นอาจจะช่วยส่งเสริมการส่งออกของประเทศไทยมีรายได้เพิ่มมากขึ้น อีกทั้งยังเป็นกาเพิ่มมูลค่าสินค้าทางการเกษตร และส่งเสริมให้มีการปลูกหม่อนรับประทานผลมากขึ้น การศึกษานี้จะก่อให้เกิดประโยชน์ครอบคลุมทั้งในส่วนของเกษตรกร อุตสาหกรรมการผลิตอาหาร และผู้บริโภค เนื่องจากจะทำให้ได้องค์ความรู้พื้นฐานที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นด้านอุตสาหกรรมอาหาร การแพทย์ เป็นต้น

วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้ได้ข้อมูลด้านสารสำคัญกลุ่มสารฟลาโวนอยด์ ได้แก่ (+)-catechin, (-)-epicatechin, rutin, myricetin, *trans*-resveratol, lutelin, quercetin, naringenin และ kaempferol, กลุ่มกรดฟีนอลิก ได้แก่ gallic acid, dihydroxybenzoic acid, 4-hydroxybenzoic acid, chlorogenic acid, vanilic acid, caffeic acid, syringic acid, *p*-coumaric acid, ferulic acid, sinapinic acid และแอนโธไซยานิน ได้แก่ Kuromanin Keracynidin Malvin Delphinidin Cyanidin ในผลหม่อนสายพันธุ์ต่างๆ
- 3.2 เพื่อให้ได้ข้อมูลด้านฤทธิ์ทางชีวภาพของผลหม่อนที่ส่งผลต่อสุขภาพของผู้บริโภค
- 3.3 เพื่อให้ได้หลักฐานทางวิทยาศาสตร์ประกอบการส่งเสริมการบริโภคผลหม่อนในระดับประเทศและระดับสากล

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

หลายพันปีมาแล้วตั้งแต่การปลูกหม่อนเลี้ยงไหมเริ่มขึ้นในประเทศจีนเป็นครั้งแรก เป็นการปลูกหม่อนสำหรับนำไปหม่อนไปใช้ในการเลี้ยงไหม เพื่อผลิตรังไหมและเส้นไหมไว้ใช้ในวัตถุประสงค์ของการใช้เป็นเครื่องนุ่งห่ม ในอดีตหม่อน (*Morus spp.*) เป็นพืชที่มุ่งเน้นเพื่อนำไปใช้เลี้ยงไหมสำหรับการผลิตเส้นไหม ในอุตสาหกรรมการทอผ้าไหมเป็นส่วนใหญ่ มีการนำส่วนต่าง ๆ ของหม่อนไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น ๆ น้อยมาก ในช่วงแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมฉบับที่ 8 ได้มุ่งเน้นให้มีการแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร เพื่อเพิ่มมูลค่าทางสินค้าเกษตรนั้น การแปรรูปผลิตภัณฑ์จากหม่อนจึงเป็นทางเลือกอีกทางของเกษตรกรผู้ปลูกหม่อนเลี้ยงไหม สถาบันวิจัยหม่อนไหม กรมวิชาการเกษตร ได้วิจัยและคิดค้นวิธีการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากหม่อนจนสำเร็จแล้ว เช่น การทำไวน์หม่อน และน้ำผลไม้จากผลหม่อน การทำแยม ลูกอม และการทำข้าวเกรียบจากผลหม่อน เป็นต้น ซึ่งผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เหล่านี้จะต้องใช้ผลหม่อนเป็นส่วนประกอบหลักในการผลิตโดยคุณค่าทางอาหารที่ได้ โดยมีหม่อนหลายพันธุ์ที่ผ่านการปรับปรุงพันธุ์ และปลูกในประเทศไทยที่ให้ผลผลิตผลหม่อนค่อนข้างสูง นอกจากนั้นในต่างประเทศ เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกา และประเทศทางแถบยุโรป มีพันธุ์หม่อนที่ปลูกเพื่อใช้ประโยชน์จากผลหลายพันธุ์ด้วยกัน เช่น red mulberry (*M. rubra* L.), black mulberry (*M. nigra* L.) ซึ่งพันธุ์หม่อนเหล่านี้ได้มีการปลูกกระจายอยู่ในทวีปต่างๆ ทั่วโลก ทั้งที่มีการนำพันธุ์หม่อนไปจากประเทศจีนตามทางแห่งเส้นทางสายไหม และพันธุ์หม่อนที่เป็นพืชพันธุ์พื้นเมืองเดิม หม่อนที่ขึ้นอยู่ในประเทศสหรัฐอเมริกาซึ่งมีรายงานว่ามีความนานประมาณ 10,000 ปีมาแล้วเมื่อนำผลหม่อนไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่สามารถเพิ่มมูลค่าได้สูงกว่าการผลิตจำหน่ายเป็นผลสดหลายเท่าตัว อีกทั้งการนำผลหม่อนไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ในเชิงพาณิชย์ ยังช่วยลดปัญหาในการตลาดของสินค้าผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่เน่าเสียได้ง่ายลงได้อีกทางหนึ่ง และยังเป็นการเพิ่มผลิตภัณฑ์ชนิดใหม่ๆ เข้าสู่ตลาดทั้งในประเทศและต่างประเทศในอนาคต การนำผลหม่อนไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ โดยเฉพาะการทำไวน์แดงหม่อนช่วยลดการนำเข้าไวน์จากต่างประเทศซึ่งมีราคาแพงดังจะเห็นได้จากสถิติการบริโภคไวน์ของคนไทยในปี พ.ศ. 2532 มีการบริโภคไวน์ 3,280,526 ลิตร ซึ่งเป็นการนำเข้าจากต่างประเทศ ถึง 1,483,526 ลิตร ปี พ.ศ.2538 มีการบริโภคไวน์ ถึง 7,296,734 ลิตร คิดเป็นมูลค่า 349,076,789 บาท ซึ่งเป็นการนำเข้าจากต่างประเทศ ถึง 4,885,492 ลิตร ส่วนในปี พ.ศ.2542 มีการบริโภคไวน์ถึง 5,908,054 ลิตร คิดเป็นมูลค่า 349,076,789 บาท และในช่วงไตรมาสแรกของปี พ.ศ. 2543 ได้นำเข้าไวน์แล้วถึง 1,960,054 ลิตร คิดเป็นมูลค่า 104,005,000 บาท เฉลี่ยเพิ่มขึ้นในช่วงเดียวกันในปี พ.ศ. 2542 ถึงร้อยละ 32.84

หากมีการผลิตไวน์หม่อนขึ้นภายในประเทศ และสามารถจำหน่ายในท้องตลาดได้ก็จะทำให้ช่วยลดมูลค่าการนำเข้าไวน์จากต่างประเทศ ได้เป็นเงินจำนวนมากเป็นการช่วยลดดุลการค้า ซึ่งจะสอดคล้องกับเศรษฐกิจในปัจจุบัน อีกทั้งหากมีการผลิตไวน์แดงหม่อนได้มาตรฐานระดับสากลก็จะสามารถส่งไวน์แดงหม่อนไปจำหน่ายยังตลาดต่างประเทศได้ ซึ่งจะเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะนำเงินตราเข้าสู่ประเทศ เพื่อฟื้นฟูเศรษฐกิจที่ยังคงตกต่ำตามนโยบายของรัฐบาลในปัจจุบันนี้ การแปรรูปผลหม่อนเป็นไวน์ 18 ลิตรจะต้องใช้ผลหม่อนสุกประมาณ 6 กิโลกรัม ดังนั้นหากจะต้องผลิตไวน์หม่อน 1,800,00 ลิตร จะต้องใช้ผลหม่อนจำนวน 600,000 กิโลกรัม ปัจจุบันมีโรงงานผลิตไวน์จากผลไม้ไทยชนิดต่าง ๆ เกิดขึ้นหลายโรงงานแล้ว เช่น โรงงานปากช่องไวน์เนอรี่ อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา โรงงานบอสส์ไวน์เนอรี่ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี และโรงงานเชียงรายได้ไวน์เนอรี่ อ.แม่สรวย จังหวัดเชียงราย เป็นต้น นอกจากนั้นยังมีกลุ่มเกษตรกรที่รวมตัวกันในรูปแบบสหกรณ์ทำการผลิตไวน์หม่อนเป็นรายเล็ก ๆ เป็นจำนวนมากกระจายอยู่ทั่วประเทศ

หม่อน

หม่อน (mulberry) เป็นพืชที่มีการปลูกมากทางภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ในอดีตการปลูกหม่อนมีจุดประสงค์หลักเพื่อนำใบหม่อนไปใช้ในการเพาะเลี้ยงตัวหนอนไหมเท่านั้น แต่ในปัจจุบันได้มีการนำเอาส่วนต่าง ๆ ของต้นหม่อน เช่น ยางต้นหม่อน ใบ ราก เปลือก ฝักราก และผลหม่อน ไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ เพื่อเป็นการเพิ่มคุณค่าและศักยภาพในการใช้ประโยชน์ให้กว้างขวางขึ้น ต้นหม่อนสามารถปลูกได้ในดินเกือบทุกชนิด แต่สำหรับการปลูกหม่อนเพื่อรับประทานผล จำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ หลายด้าน คือ เป็นพื้นที่ไม่มีน้ำท่วมขัง มีการระบายน้ำที่ดี และมีหน้าดินลึก ดินไม่เป็นที่กรวดหรือตื้นมากเกินไป ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของดินควรอยู่ในระหว่าง 6.0–6.5 สภาพพื้นดินจะต้องไม่เคยมีประวัติในการเกิดโรคระบาดของโรครากเน่ามาก่อน หากเคยมีประวัติดังกล่าว จะต้องแก้ปัญหาการปลูกโดยใช้ต้นตอที่มีความทนทานต่อโรครากเน่า พื้นที่ปลูกควรมีแหล่งน้ำที่สามารถให้น้ำได้ในช่วงฤดูแล้งสำหรับการปลูกจะใช้ท่อนพันธุ์ที่มีอายุมากกว่า 6 เดือน ตัดเป็นท่อนยาว 15-20 เซนติเมตร นำส่วนที่อยู่ด้านโคนของท่อนพันธุ์ไปจุ่มในน้ำยาป้องกันเชื้อราทิ้งไว้ 10 นาที ส่วนด้านปลายนำไปจุ่มในสีน้ำมันเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำ แล้วนำท่อนพันธุ์ไปปักชำลงในแปลง ลึกประมาณ 3 ใน 4 ส่วนของท่อนพันธุ์ ให้ห่างกัน 10x10 เมตร และสามารถขยายพันธุ์หม่อนโดยวิธีการปักชำท่อนพันธุ์ลงในถุง การตอนกิ่ง และการติดตาบนต้นตอ เป็นต้น (วสันต์, 2546)

หม่อน (mulberry) เป็นพืชที่อยู่ในวงศ์ Moraceae ตระกูล *Morus spp.* มีถิ่นกำเนิดอยู่ในแถบเขตอบอุ่น (temperate zone) จัดเป็นไม้ผลในกลุ่ม deciduous fruit plant หรือประเภทโครงการ “การศึกษาเปรียบเทียบปริมาณฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของผลหม่อนสายพันธุ์ต่างๆ”

hard wood คือ ใบจะร่วงในฤดูใบไม้ร่วง และมีการพักตัวในฤดูหนาว ลำต้นตั้งตรง ใบมีลักษณะของฐานใบเป็นรูปคล้ายใบโพธิ์ ปลายใบแหลม ตาดอกเป็นชนิดตารวม (mix bud) คือ มีทั้งตาใบ และตาดอกอยู่รวมกันมีผลแบบผลรวม ซึ่งเป็นผลที่เกิดจากตาข้าง (catkin) ของปีนั้น หมายความว่า จะมีช่อดอกเกิดที่ตาเหนือใบของตาข้างของกิ่งที่เกิดขึ้นใหม่ ส่วนลักษณะของดอก เป็นทั้งแบบดอกที่มีเกสรตัวผู้ และดอกตัวเมียแยกกันคนละต้น (dioecious) หรือบางพันธุ์อาจเป็นดอกที่มีเกสรตัวผู้ และตัวเมียอยู่ในต้นเดียวกัน (monoecious) โดยมีหลาย ๆ ดอกอยู่ในช่อเดียวกัน ในบางครั้งต้นหม่อนที่เป็นพันธุ์เดียวกันสามารถจะมีการเปลี่ยนเพศ จากเพศหนึ่งไปเป็นอีกเพศหนึ่งได้ พันธุ์หม่อนที่พบอยู่ทั่วโลกมีมากมายหลายสายพันธุ์ มีแหล่งกำเนิดกระจายอยู่ทั่วไป ตั้งแต่เขตร้อน (tropical zone) เขตอบอุ่น (subtropical zone) เขตหนาว (temperate zone) และเขตหนาวเย็น (sub-arctic zone) ส่วนใหญ่เป็นการปลูกเพื่อนำใบหม่อนไปใช้ในการเพาะเลี้ยงตัวไหม แต่มีอีกหลายสายพันธุ์ที่ใช้ประโยชน์ในด้านอื่น ๆ เช่น บริโภคผลสด เป็นต้นไม้สำหรับบังลม (wind break) เป็นไม้ประดับ เป็นอาหารของนก และบางสายพันธุ์ยังเป็นพืชพันธุ์ป่า (wild varieties) ซึ่งได้มีการจำแนกสายพันธุ์หม่อนระดับ Species เริ่มตั้งแต่ปี พ.ศ. 2296 เมื่อ Linnaeus ได้จำแนกสายพันธุ์หม่อนออกเป็น 5 Species ได้แก่ *Morus alba* L., *Morus nigra* L., *Morus rubra* L., *Morus tartarica* L. และ *Morus indica* L. จนถึงปี พ.ศ. 2460 Koidzumi ได้จำแนกสายพันธุ์หม่อนออกเป็น 24 Species และ 1 Subspecies ต่อมานักพฤกษศาสตร์ชาวญี่ปุ่นชื่อ Horita ได้จำแนกสายพันธุ์หม่อนออกเป็น 35 Species (วสันต์, 2546)

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของหม่อน การจัดหมวดหมู่ของต้นหม่อนภายใต้ระบบการจัดหมู่อนุกรมวิธานของพืชมีดังต่อไปนี้

Division	Spermatophyta
Class	Angiospermae
Subclass	Dicotyledonae
Order	Urticales
Family	Morus
Species	spp.

พันธุ์หม่อนที่พบอยู่ทั่วโลก

พันธุ์หม่อนที่มีปลูกกันอยู่ทั่วโลกมีมากมายหลายพันธุ์ มีแหล่งกำเนิดกระจายกว้างขวางมาก คือ ตั้งแต่เขตร้อน (tropical zone) เขตอบอุ่น (subtropical zone) เขตหนาว (temperate zone) และเขตหนาวเย็น (sob-arctic zone) ส่วนใหญ่เป็นการปลูกเพื่อนำใบไปเลี้ยงไหม แต่มีอีกหลายพันธุ์

โครงการ “การศึกษาเปรียบเทียบปริมาณฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของผลหม่อนสายพันธุ์ต่างๆ” 6

ที่นำไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ เช่นการรับประทานผล การนำไปเป็นต้นไม้สำหรับบังลม (wind break) ปลูกไว้เพื่อใช้สำหรับเป็นอาหารของนก การปลูกเป็นไม้ประดับริมถนนหนทาง และบางพันธุ์ยังเป็นพืชพันธุ์ป่า (wild varieties) มีการจำแนกพันธุ์หม่อนในระดับ species เริ่มตั้งแต่ ปี ค.ศ.1753 เมื่อ Linneaus ได้จำแนกพันธุ์หม่อน ออกเป็น 5 species ได้แก่ *Morus alba* L., *Morus nigra* L., *Morus rubra* L., *Morus tartarica* L. และ *Morus indica* L. จนถึงปี ค.ศ. 1917 Koidzumi ได้จำแนกพันธุ์หม่อนออกเป็น 24 species และ 1 subspecies ต่อมานักพฤกษศาสตร์ชาวญี่ปุ่น ชื่อ Horita ได้จำแนกพันธุ์หม่อนออกเป็น 35 Species โดยจำแนกได้ เป็น 2 กลุ่ม ดังนี้ กลุ่มที่ 1 Dolichostylae (เป็นกลุ่มที่มีก้านเกสรตัวเมียยาว) ประกอบด้วย พันธุ์ต่างๆ คือ

1. *Morus arabica* Koidz. มีแหล่งกำเนิดอยู่ในประเทศ กลุ่มอะราเบีย และโอมาน
2. *Morus mizuho* Hotta. มีแหล่งกำเนิดอยู่ในประเทศญี่ปุ่น
3. *Morus mongolica* Schneider. มีแหล่งกำเนิดอยู่ในประเทศจีนและเกาหลี
4. *Morus nigraformis* Koidz. มีแหล่งกำเนิดอยู่ในตอนใต้ของประเทศจีน
5. *Morus notabilis* Schneider มีแหล่งกำเนิดอยู่ในประเทศจีน
6. *Morus bombycis* Koidz. มีแหล่งกำเนิดอยู่ในประเทศญี่ปุ่น จีน และเกาหลี
7. *Morus rodundiloba* Koidz. มีแหล่งกำเนิดอยู่ในประเทศไทย
8. *Morus acidosa* Griffith. มีแหล่งกำเนิดอยู่แถบภูเขาหิมาลัย ตอนใต้ของประเทศจีน ประเทศไต้หวัน และทางตอนใต้ของประเทศญี่ปุ่น
9. *Morus kagayamae* Koidz. มีแหล่งกำเนิดอยู่ในเกาะ Hachijo เกาะ Miyaki และ Aoshima
10. *Morus yoshimurai* Hotta. มีแหล่งกำเนิดอยู่ในเกาะ Hokkaido ประเทศญี่ปุ่น
11. *Morus cordatifolia* Hotta. มีแหล่งกำเนิดอยู่ทางตอนเหนือของประเทศญี่ปุ่น
12. *Morus formosensis* Hotta. มีแหล่งกำเนิดอยู่ในประเทศไต้หวัน

กลุ่มที่ 2 Macromorus (เป็นกลุ่มที่มีก้านเกสรตัวเมียสั้น หรือไม่มีก้านเกสร) ประกอบด้วย พันธุ์ต่างๆ คือ

1. *Morus serrata* Roxb. มีแหล่งกำเนิดอยู่แถบเทือกเขาหิมาลัย และบริเวณแคว้นแคชเมียร์ ประเทศอินเดีย มีจำนวน โครโมโซม $2n = 84$ (hexaploid)
2. *Morus nigra* L. มีแหล่งกำเนิดอยู่แถบเอเชียตะวันตก คอเคซัสและแถบเปอร์เซีย มีจำนวน โครโมโซม $2n = 308$
3. *Morus tilliaefolia* Makino. มีแหล่งกำเนิดอยู่ในภาคใต้ของประเทศญี่ปุ่นและเกาหลี มีจำนวน โครโมโซม $2n = 84$ (hexaploid)

4. *Morus cathayana* Hemsl. มีแหล่งกำเนิดอยู่ในตอนกลางของประเทศจีน มีจำนวนโครโมโซม $2n = 56$ (tetraploid)
5. *Morus mesozygia* Stapf. มีแหล่งกำเนิดอยู่ในอัฟริกาตะวันตกและประเทศซูดาน
6. *Morus laevigata* Wall. มีแหล่งกำเนิดอยู่ในแถบเทือกเขาหิมาลัยและภาคตะวันตกของประเทศจีน มีจำนวนโครโมโซม $2n = 56$ (tetraploid)
7. *Morus insignis* Bureau. มีแหล่งกำเนิดอยู่ในทวีปอเมริกาใต้
8. *Morus macoura* Mig. มีแหล่งกำเนิดอยู่ในประเทศมาเลเซีย เกาะสุมาตรา และเกาะชวา
9. *Morus rubra* L. มีแหล่งกำเนิดอยู่ในทวีปอเมริกาเหนือ
10. *Morus mollis* Rusby. มีแหล่งกำเนิดอยู่ในประเทศเม็กซิโก
11. *Morus celtidifolia* Kunth. มีแหล่งกำเนิดอยู่ในทวีปอเมริกาเหนือและทวีปอเมริกาใต้
12. *Morus microphylla* Buckl. มีแหล่งกำเนิดอยู่ในทวีปอเมริกาเหนือ
13. *Morus boninensis* Koidz. มีแหล่งกำเนิดอยู่ในเกาะ Bonin มีจำนวนโครโมโซม $2n = 56$ (tetraploid)
14. *Morus latifolia* Poiret. มีแหล่งกำเนิดอยู่ในประเทศจีน
15. *Morus alba* L. มีแหล่งกำเนิดอยู่ในประเทศจีน มีจำนวนโครโมโซม $2n = 28$
16. *Morus atropurpurea* Roxb. มีแหล่งกำเนิดอยู่ตอนใต้ของประเทศจีน
17. *Morus viridis* Hamilton. มีแหล่งกำเนิดอยู่ในภาคเหนือของอินเดีย
18. *Morus peruiana* Planchon. มีแหล่งกำเนิดอยู่ในประเทศเปรู
19. *Morus yunanensis* Koidz. มีแหล่งกำเนิดอยู่ในมณฑลยูนนาน ประเทศจีน
20. *Morus wallichiana* Koidz. มีแหล่งกำเนิดอยู่ในภาคเหนือของอินเดีย ประเทศเมียนมาร์ และมณฑลยูนนานของประเทศจีน
21. *Morus wittiorums* Handel. มีแหล่งกำเนิดอยู่ในประเทศไทย
22. *Morus mallotifolia* Koidz. มีแหล่งกำเนิดอยู่ในประเทศไทย
23. *Morus miyabeana* Hotta . มีแหล่งกำเนิดอยู่ในเกาะ Amakura ประเทศญี่ปุ่น

พันธุ์หม่อนรับประทานผลที่ปลูกในประเทศไทย

พันธุ์หม่อนที่ใช้ปลูกเพื่อเก็บผลผลิตผลหม่อน หรือเก็บผลผลิตใบหม่อนแล้วเก็บผลผลิตผลหม่อนเป็นผลพลอยได้ คือ

- 1) สายพันธุ์เชียงใหม่

เป็นสายพันธุ์หม่อนที่ปลูกในประเทศไทยเพื่อบริโภคผลหม่อน พบว่ามีปลูกในภาคเหนือมานานหลายสิบปีมาแล้ว แต่ไม่ปรากฏหลักฐานชัดเจนสามารถสืบค้นต้นกำเนิดได้เพียงว่า ในราวปี พ.ศ. 2515 นายโกสั่ว แซ่โก ได้นำพันธุ์หม่อนมาจากอำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ มาปลูกไว้ในสวนที่อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ จนถึงปัจจุบัน ขณะนี้มีการปลูกกระจายทั่วไปทางภาคเหนือตอนบน และในหมู่บ้านชาวไทยภูเขาของภาคเหนือ ต้นหม่อนที่มีอายุ 3 ปี จะให้ผลผลิตผลหม่อนประมาณ 600 - 700 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี และเมื่อต้นหม่อนมีอายุมากขึ้นจะให้ผลผลิตผลหม่อนไม่ต่ำกว่า 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี ผลหม่อนพันธุ์เชียงใหม่จะมีลักษณะเด่น คือ มีผลขนาดใหญ่ มีปริมาณกรดสูง อวบน้ำ รสชาติหวานกลมกล่อม เหมาะสำหรับบริโภคผลสด และการแปรรูปขยายพันธุ์ได้ง่าย และสามารถกำหนดเวลาในการให้ผลผลิตได้ ด้วยวิธีการบังคับให้ออกดอกติดผลนอกฤดูกาล พื้นที่แนะนำปลูกได้แก่พื้นที่ตอนของภาคเหนือ ภาคตะวันออก และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ หากเป็นพื้นที่ที่สามารถให้น้ำได้ในระหว่างต้นหม่อนออกดอกติดผลจนถึงเก็บเกี่ยวจะทำให้ได้ผลผลิตสูง (ศูนย์หม่อนไหมเฉลิมพระเกียรติฯ เชียงใหม่, 2550)

2) สายพันธุ์บุรีรัมย์ 60

เมื่อปี พ.ศ. 2525 มีการนำพันธุ์หม่อนหมายเลข 44 (Luin Jio 44) จากสาธารณรัฐประชาชนจีน มีลักษณะเด่นคือ มีการเจริญเติบโตดี ใบใหญ่ หนา ขอบปล้องค่อนข้างถี่ ให้ผลผลิตใบต่อไร่สูง แต่ท่อนพันธุ์ออกรากยาก ต้องขยายพันธุ์โดยการติดตาหรือเสียบกิ่ง ปี พ.ศ. 2526 นายเจียรศักดิ์ อริยะ และคณะ ได้ผสมพันธุ์หม่อนหมายเลข 44 (เพศเมีย) กับหม่อนพันธุ์น้อย (เพศผู้) ได้ต้นกล้าปลูกลงแปลง 140 สายพันธุ์ และคัดเลือกต้นที่มีลักษณะดีไว้ 58 สายพันธุ์ ในปี พ.ศ. 2527 - 2528 คัดเลือกสายพันธุ์ที่ท่อนพันธุ์ออกรากง่าย ด้านทานโรคใบด่าง ทรงพุ่มดี ใบใหญ่และหนาไว้ 12 สายพันธุ์ ในปี พ.ศ. 2529 - 2530 ทำการเปรียบเทียบผลผลิตใบหม่อน โดยใช้หม่อน 5 สายพันธุ์ คือ บร.4, บร.5, บร.9, บร.10 และ บร. 36 โดยใช้หม่อนน้อยเป็นพันธุ์เปรียบเทียบมาตรฐาน และนำไปทดสอบพันธุ์ในไร่เกษตรกรที่นิคมสร้างตนเอง เขาทินซ้อ จ.ฉะเชิงเทรา พบว่า หม่อนสายพันธุ์ บร.9 (พันธุ์บุรีรัมย์ 60) ให้ผลผลิตใบสูงสุดในทุกสถานที่

พันธุ์บุรีรัมย์ 60 เป็นพันธุ์หม่อนที่เก็บผลผลิตใบหม่อนไปใช้ในการเพาะเลี้ยงตัวหนอนไหม สายพันธุ์นี้เป็นสายพันธุ์ที่ผ่านการปรับปรุงพันธุ์แล้ว โดยใช้ผลหม่อนพื้นเมืองของไทยผสมกับหม่อนพันธุ์นำเข้าจากต่างประเทศ คือพันธุ์จินเบอร์ 44 มีการเจริญเติบโตและตอบสนองต่อปุ๋ยดี แตกกิ่งเร็วหลังตัดแต่ง ใบใหญ่ หนา อ่อนนุ่ม ไม่เหนียวง่าย ใบมีคุณค่าทางอาหารสูงใกล้เคียงพันธุ์หม่อนน้อย ทรงต้นตั้งตรง สะดวกในการเกษตรกรรม และดูแลรักษา ด้านทานโรคใบด่าง ด้านทานโรคราแป้งปานกลาง ท่อนพันธุ์ออกรากได้ดี ข้อจำกัดคือ ไม่เหมาะกับการปลูกในพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ไม่เหมาะกับการเขตเกษตรน้ำฝน และอ่อนแอต่อโรคราสนิม แต่ละปีให้ผลผลิตใบหม่อนประมาณ 4,300 กิโลกรัม/ไร่ และคาดว่าจะให้ผลผลิตผลหม่อนประมาณไม่ต่ำ 500 กิโลกรัม/ไร่ (วสันต์, 2546)

3. พันธุ์นครราชสีมา 60

เมื่อปี พ.ศ. 2518 มร.คาซุชิโร่ ยามากาวา (Kazushiro Yamakawa) นำพันธุ์หม่อนจากญี่ปุ่นมาปลูก เพื่อศึกษาการปรับตัวจำนวน 6 พันธุ์ คือ เคนโมจิ (Kenmochi) ชูจากุจิ (Shujakuichi) อิชิโนเซ (Ichinose) เนซุมิไกชิ (Nezumigeishi) ไคเรียว (Kairyo) และโอชิมาสโซ (Oshimaso) ที่ศูนย์วิจัยหม่อนไหมนครราชสีมา ปี พ.ศ. 2520-2523 นายพินัย ห้างทองแดง และคณะ นำเมล็ดพันธุ์หม่อนที่ได้จากการผสมข้ามพันธุ์โดยธรรมชาติของหม่อนทั้ง 6 พันธุ์ ปลูกศึกษาพันธุ์ที่ศูนย์วิจัยหม่อนไหมนครราชสีมา จำนวน 480 สายพันธุ์ และคัดเลือกสายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงได้ 28 สายพันธุ์ แต่หม่อนดังกล่าว มีการพักตัวหลังตัดแต่งในฤดูหนาว ในปี พ.ศ. 2524 ทำการผสมพันธุ์หม่อนสายพันธุ์ ชูจากุจิ เบอร์ 18 (เพศเมีย) ที่ให้ผลผลิตใบสูงกับหม่อนแก้วชนบท (เพศผู้) ที่มีการเจริญเติบโตดีหลังการแต่งกิ่ง จนได้หม่อนลูกผสมที่ผ่านการคัดเลือกช่วงแรก 300 สายพันธุ์ ปี พ.ศ. 2525-2526 คัดเลือกพันธุ์หม่อนลูกผสมที่ให้ผลผลิตสูงและคุณภาพใบดีเหมาะสำหรับการเลี้ยงไหมจำนวน 13 สายพันธุ์ และปี พ.ศ. 2527-2530 ปลูกเปรียบเทียบผลผลิตเบื้องต้นในท้องถิ่นเกษตรกรที่ศูนย์วิจัยหม่อนไหมนครราชสีมา สถานีทดลองเกษตรที่สูงขุนวาง สถานีทดลองหม่อนไหมสกลนคร สถานีทดลองหม่อนไหมเลย และไร่เกษตรกร จังหวัดนครราชสีมา โดยใช้หม่อนน้อยเป็นพันธุ์เปรียบเทียบมาตรฐาน ในที่สุดได้หม่อนสายพันธุ์ดีเด่น 1 สายพันธุ์ คือ เคบี 20 หรือ พันธุ์นครราชสีมา 60 ที่มีการเจริญเติบโตดี ให้ผลผลิตใบและลักษณะทางการเกษตรอื่น ๆ ดีกว่าหม่อนทุกสายพันธุ์ในทุกสถานที่

ลักษณะเด่นคือ เป็นหม่อนเพศเมีย ให้ผลผลิตใบเฉลี่ย 3,600 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี เจริญเติบโตได้ดีในสภาพที่ราบจนถึงพื้นที่สูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 1,000 เมตร เจริญเติบโตได้ดีทั้งในเขตเกษตรอาศัยน้ำฝนและเขตชลประทาน มีความสามารถในการแตกกิ่งหลังตัดแต่งดี ใบหนาปานกลาง เที่ยวช้า ใบมีคุณค่าทางอาหารสูงใกล้เคียงกับพันธุ์หม่อนน้อย ต้นตั้งตรง ง่ายต่อการเกษตรและการดูแลรักษา ต้านทานต่อโรคราแป้ง และเพลี้ยไฟได้ระดับปานกลาง ข้อจำกัดคือ ท่อนพันธุ์ออกรากยาก การขยายพันธุ์หม่อนจำเป็นต้องใช้สารกระตุ้นการออกราก และอ่อนแอต่อโรคใบด่าง

4) สายพันธุ์กำแพงแสน-เอ็มบี-42-1

หม่อนพันธุ์กำแพงแสน-เอ็มบี-42-1 เป็นหม่อนกินผลที่นำต้นพันธุ์มาจากประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีนโดยเกษตรกร และทางโครงการวิจัยเพื่อพัฒนาระบบการเกษตรในเขตชาวมืองใหญ่ ศูนย์วิจัยเพื่อพัฒนาระบบเกษตรกรรม (DORAS Center) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้นำมาปลูก ณ แปลงทดลอง 2 ภาควิชาพืช คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ผลหม่อนมีผลขนาดใหญ่ และติดผลดก ผลอ่อนมีสีเขียว ผลแก่มีสีแดง เมื่อสุกมีสีม่วงแดงถึงดำ รสหวานอมเปรี้ยวถึงหวานมากเมื่อสุกเต็มที่ หม่อนพันธุ์กำแพงแสน-เอ็มบี-42-1 ไม่เพียงแต่ใช้โครงการ “การศึกษาเปรียบเทียบปริมาณฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของผลหม่อนสายพันธุ์ต่างๆ”

บริโภคเท่านั้น แต่ยังให้ใบที่เหมาะสมกับการเลี้ยงไหม เนื่องจากใบหนาจึงสามารถใช้ประโยชน์ทั้งเป็น หน่ออินผลและหน่อใบ สามารถให้ผลผลิตได้ตลอดทั้งปี โดยให้ผลผลิตของผลเฉลี่ย 1,760 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี (ปราโมทย์ และคณะ, 2552)

5) สายพันธุ์ศรีสะเกษ 33

ใบหน่อมีลักษณะนุ่ม หนาปานกลาง เหนียวช้า และทนทานต่อโรคราแป้งได้ดี เป็น หน่อลูกผสมเปิดของหน่อ พันธุ์ Jing mulberry ซึ่งนำมาจากประเทศจีน มีคุณลักษณะต้านทาน โรคใบด่าง ได้ดีกว่าสายพันธุ์อื่น ๆ ลักษณะผลค่อนข้างใหญ่ และสามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้ แต่ละปีให้ผลผลิตสำหรับใบหน่อประมาณ 1,500 กิโลกรัม/ไร่

5) หน่ออินผลพันธุ์อื่นๆ

พันธุ์วาวี พันธุ์พิกุลทอง และพันธุ์กำแพงแสน เป็นหน่ออินผลพันธุ์พื้นเมืองของไทย รวมรวมพันธุ์ ปลูกไว้ที่ศูนย์วิจัยไหมนครราชสีมา จ.นครราชสีมา และศูนย์หม่อนไหมเฉลิมพระเกียรติ สมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ พระบรมราชินีนาถ จังหวัดอุดรธานี และศูนย์หม่อนไหมเฉลิมพระเกียรติ สมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ พระบรมราชินีนาถ จ.เชียงใหม่ เป็นหน่อเทศเมี่ยงที่สามารถให้ผลผลิตผล หน่อได้ สามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้ เช่น ไวน์แดง แยม และน้ำผลไม้ เป็นต้น

6) หน่อป่า

เป็นสายพันธุ์ที่ยังไม่มีการศึกษาในด้านจำแนกพันธุ์ ซึ่งมีกระจายอยู่ทั่วไปในภาค ตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคเหนือ มีอัตราการเจริญเติบโตได้ในพื้นที่ที่มีความชื้นสูง เช่น บริเวณริมลำ ห้วย และแม่น้ำ เป็นไม้ป่ายืนต้น พบได้ทั้งเพศผู้และเพศเมีย บางต้นมีความสูงได้ประมาณ 50 เมตร และมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลำต้น 1 เมตร มีอายุจนถึง 100 ปี มีการสลัดใบทั้งและพักตัวในฤดู หนาว จากนั้นจะผลิตาใบและดอกจะเริ่มบาน ประมาณต้นเดือนมกราคม ผลจะสุกในเดือนมีนาคม ถึง เดือนเมษายน ผลอ่อนมีสีเขียว และเมื่อสุกเต็มที่แล้วผลจะเป็นสีขาวครีม กลิ่นหอม และมีรสหวาน

พันธุ์หม่อนรับประทานผลที่ปลูกในต่างประเทศ

1. พันธุ์ Red Mulberry (*M. rubra*) เป็นพันธุ์หม่อนที่ปลูกเพื่อใช้รับประทานผลสดและแปรรูปกันอย่างแพร่หลายในทวีปอเมริกาและประเทศทางแถบยุโรป เดิมเป็นพืชพื้นเมืองของทวีปอเมริกา เป็นไม้ป่าชนิดหนึ่ง เป็นต้นไม้ชนิดผลัดใบ (deciduous) ขนาดพุ่มเล็ก ทรงพุ่มแผ่กระจายออกทาง ด้านข้าง ลักษณะลำต้นเป็นไม้เนื้ออ่อน เปลือกไม้เป็นสีเข้ม เนื้อไม้สีอ่อน มีความสูงของทรงพุ่มตั้งแต่ 5-21 เมตร มีเส้นผ่าศูนย์กลางของต้น 60 เซนติเมตรมีอายุยืนยาวถึง 125 ปี ในต่างประเทศจะเริ่มติด ดอกในเดือน เมษายน-พฤษภาคม และผลจะเริ่มสุกเป็นสีม่วงดำในเดือนกรกฎาคม-สิงหาคม ผล หน่อพันธุ์นี้ใช้เป็นอาหารของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมขนาดเล็กเช่นหนู และไก่ และนกหลายชนิด เมื่อ โครงการ “การศึกษาเปรียบเทียบปริมาณฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของผลหม่อนสายพันธุ์ต่างๆ”

นำมาปลูกเป็นพืชปลูกก็สามารถแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลายชนิด เช่น ไวน์ แยม เยลลี่ ไซเดอร์ น้ำผลไม้ ส่วนเปลือกของต้นหม่อนชาวอเมริกันพื้นเมืองยังนำมาทำเป็นเครื่องนุ่งห่ม นอกจากนั้นใช้ปลูกต้นหม่อนเป็นไม้ประดับตามสวนหย่อมและริมถนนอีกด้วย

2. พันธุ์ Black Persian (*M. nigra*) เดิมเป็นพันธุ์หม่อนที่ขึ้นอยู่ในแถบตอนเหนือของ Asia Minor, Armenia, ทางตอนใต้ของ Caucasus ไกลไปจนถึง Persia จนปัจจุบันได้กลายมาเป็นพันธุ์ที่ปลูกเพื่อรับประทานผลในแถบประเทศยุโรป อังกฤษ สวีเดนและสกอตแลนด์ ซึ่งเชื่อกันว่าได้ถูกนำเข้าไปปลูกกันอย่างแพร่หลายโดยนักบวชชาวโรมันก่อน ค.ศ. 1600 มีผลขนาดใหญ่ ขนาดยาวมากกว่า 1 นิ้ว น้ำในผลมีสีเข้ม รสชาติเป็นกรดปานกลาง

3. พันธุ์ Collier (*M. alba* X *M. rubra*) เป็นพันธุ์ลูกผสมที่มีขนาดผลปานกลาง ยาว 1-1/8 นิ้ว กว้าง 3/8 นิ้ว ผลสุกมีรสชาตหวาน ออกสีม่วง-ดำ มีความเปรี้ยวน้อย คุณภาพดีมาก มีระยะผลสุกยาวนาน ขนาดของทรงพุ่มปานกลาง

4. พันธุ์ Downing พันธุ์ Downing เป็นพันธุ์ซึ่งเพาะปลูกจากเมล็ด จากพันธุ์ *M. alba* var. *multicaulis* ในปี ค.ศ. 1846 มีผลสีดำและมีรสชาตดีมาก ผลจะเริ่มสุกตั้งแต่เดือน มิถุนายน ถึงเดือน สิงหาคม

5. พันธุ์ Illinois Everbearing เกิดจากพันธุ์ลูกผสม ระหว่าง *M. alba* X *M. rubra* โดยมีการปรับปรุงพันธุ์ขึ้นในปี ค.ศ. 1958 ที่เมือง White country รัฐ อิลลินอยล์ ประเทศสหรัฐอเมริกา ผลยาวและมีเมล็ดน้อย น้ำหนักผล 12 ผล ต่อ ounce มีรสชาตหวานและมีกลิ่นดีมาก ติดผลยาวนาน ลักษณะลำต้นแข็งแรงแต่ค่อนข้างเตี้ย

6. พันธุ์ Kaester (*M. nigra*) ปรับปรุงพันธุ์ขึ้นโดย Nelson Westree รัฐ ลอสแอนเจลิส ขึ้นในปี ค.ศ.1971 ผลมีลักษณะใหญ่และสีดำจนถึงสีม่วงเข้ม ขนาดของผลยาว 1.5 นิ้ว กว้าง 0.5 นิ้ว รสชาตหวานมาก มีอัตราส่วนของน้ำตาลและความเปรี้ยวสมดุลกันอย่างพอดี

7. พันธุ์ Pakistan มีถิ่นกำเนิด จากเมืองอิสลามาบัด ปากีสถาน ผลมีลักษณะใหญ่ สีแดงสด ความยาวของผล 2.5-3.5 นิ้ว เป็นพันธุ์ที่มีคุณภาพดีเยี่ยมเนื้อแน่นที่สุดในบรรดาพันธุ์หม่อนรับประทานผลที่ปลูกกันทั้งหมด มีกลิ่นและรสชาตความหวานกลมกล่อมพอดี ทรงพุ่มแผ่กว้าง มีใบเป็นลักษณะรูปหัวใจ เหมาะกับการปลูกในพื้นที่ที่มีอากาศหนาวเย็นไม่มากเกินไป

8. พันธุ์ Riviera มีถิ่นกำเนิด จากเมือง Vista แคลิฟอร์เนีย ผลมีลักษณะยาวเรียวสีม่วงดำ เข้ม ยาวประมาณ 1-1.5 นิ้ว และกว้าง 0.5 นิ้ว เนื้อไม่แน่นมากผลฉ่ำแต่หวานมาก ระยะเวลาการเก็บเกี่ยวนานตั้งแต่เดือน เมษายนถึงเดือน มิถุนายน

9. พันธุ์ Russian (*M. tatarica*) เป็นพันธุ์ที่นำมาจากประเทศจีน เข้าสู่ยุโรป เมื่อประมาณ 1,500 ปีมาแล้วสีของผลค่อนข้างแดงดำ เป็นพันธุ์ที่มีคุณภาพดีเยี่ยมเมื่อผลสุกเต็มที่แล้ว มีทรงพุ่มสูง

ถึง 35 ฟุต สามารถทนทานต่อความแห้งแล้งได้เป็นอย่างดี มีการปลูกกันอย่างแพร่หลายเป็นประโยชน์ในการทำเป็นแนวกันลมและสำหรับใช้เป็นอาหารของสัตว์ป่า

10. พันธุ์ Shangri-la แหล่งกำเนิดอยู่ในเมือง Naples มีผลสีดำขนาดใหญ่ เป็นพันธุ์ที่ปลูกได้ดีในพื้นที่ทั่วไปและทางภาคใต้ของอเมริกา ทรงพุ่มมีขนาดใหญ่มาก ใบมีลักษณะเป็นรูปหัวใจ

11. พันธุ์ Tehama (Giant White) แหล่งกำเนิดอยู่ในเมือง Tehama Country รัฐแคลิฟอร์เนีย ผลใหญ่มากเนื้ออวบ สีขาว ยาว 2.75 นิ้ว กว้าง 0.5 นิ้ว รสชาติหวานมาก อวบน้ำแตกง่าย ทรงพุ่มใหญ่ สามารถปลูกได้ดีและปรับตัวได้ดีในเขตที่มีความหนาวเย็นไม่มากนัก

12. พันธุ์ Wellington แหล่งกำเนิดอยู่ในเมือง Geneva รัฐนิวยอร์ก ผลนุ่มสีแดงดำ มีขนาดปานกลาง ยาว 1.25 นิ้ว กว้าง 3/8 นิ้ว ลักษณะผลยาว และกลม รสชาติดี ผลสุกเป็นระยะเวลานานหลายสัปดาห์ ต้นมีขนาดใหญ่ อาจจะเป็นพันธุ์ที่เก่าแก่ที่สุดของอเมริกา อาจจะมีอายุใกล้เคียงกับพันธุ์ Downing

13. พันธุ์ Shah Tul (*M. nigra*) เป็นเหมือนที่มีปลูกอยู่ในแถบ หุบเขา ในแคว้นแคชเมียร์ ประเทศอินเดีย แต่เป็นพันธุ์ที่นำเข้ามาจากประเทศ อิหร่าน ลำต้นขนาดกลางถึงใหญ่ กิ่งก้านสั้น ระยะข้อปล้องสั้น ใบหนาใหญ่ ไม่มีแฉก แต่มีขนมาก ผลมีลักษณะใหญ่และยาว สีแดงเข้ม แต่เมื่อสุกจะมีสีดำ มีรสชาติเปรี้ยว

พันธุ์หม่อนเทศเมียในประเทศไทย

หม่อนที่มีลักษณะการติดดอกออกผลเป็นเทศเมียจะสามารถให้ผลผลิตผลหม่อนได้ แต่อาจจะมีขนาด รูปร่าง สี กลิ่น และรสชาติที่แตกต่างกันออกไป บางพันธุ์ติดดอกออกผลมากก็จะใช้เป็นพันธุ์สำหรับผลิตผลหม่อนได้ แต่บางพันธุ์ติดดอกออกผลน้อย ก็อาจจะเป็นประโยชน์ในการนำไปเป็นเชื้อพันธุ์กรรมสำหรับการปรับปรุงพันธุ์หม่อนเพื่อผลิตผลหม่อนในอนาคต ซึ่งพอจะรวบรวมได้ดังนี้ คือ

- | | |
|----------------------------------|--|
| 1. คุณไฟ มีโครโมโซม $2n = 28$ | 26. KB 5 มีโครโมโซม $2n = 28$ |
| 2. แก้วใหญ่ | 27. KB 6 มีโครโมโซม $2n = 28$ |
| 3. มี | 28. J 33 |
| 4. แก้วสตีก มีโครโมโซม $2n = 28$ | 29. SK 2501 |
| 5. เครือ | 30. นครราชสีมา 60 มีโครโมโซม $2n = 28$ |
| 6. สา | 31. Tonkin |
| 7. ส้มใหญ่ | 32. มอเรติ |
| 8. ทางจรเข้ | 33. มอเรตเตียนโน |

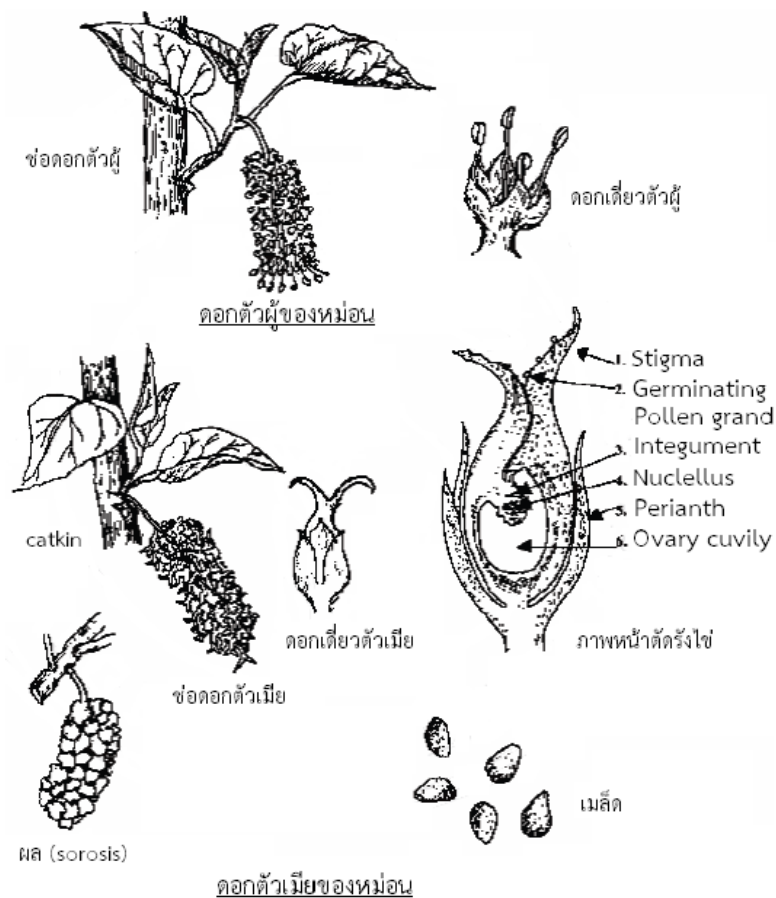
- | | |
|---------------------------------------|--|
| 9. หยวก มีโครโมโซม $2n = 28$ | 34. มัลติคามูเล่ |
| 10. ชี้ไก่ มีโครโมโซม $2n = 28$ | 35. หม่อนรับประทานผลสายพันธุ์ว่าว |
| 11. ส้ม | 36. หม่อนรับประทานผลสายพันธุ์บ้านหลวง |
| 12. แก้วอุบล | 37. หม่อนรับประทานผลสายพันธุ์ชุมพร |
| 13. ไข่ | 38. หม่อนรับประทานผลสายพันธุ์โคราช |
| 14. S 30 | 39. หม่อนรับประทานผลสายพันธุ์พิกุลทอง |
| 15. S 36 | 40. หม่อนรับประทานผลสายพันธุ์เชียงใหม่ |
| 16. S 54 | 41. หลุนเจียว |
| 17. Kanwa – 2 | 42. กันวา เบอร์ 2 |
| 18. จีน เบอร์ 44 | 43. Shujakuichi |
| 19. กวางตุ้งจิงซาน | 44. Shimichimose |
| 20. Batac | 45. 905 (1) |
| 21. Los Banos | 46. 905 (2) |
| 22. บุรีรัมย์ 60 มีโครโมโซม $2n = 28$ | 47. 905 (3) |
| 23. บุรีรัมย์ 51 มีโครโมโซม $2n = 28$ | 48. 905 (4) |
| 24. ศรีสะเกษ 33 | 49. 905 (5) |
| 25. บร. 7 มีโครโมโซม $2n = 28$ | 50. กวางตุ้งจิงซาน |
| 51. Assumbola | 55. K. Local |
| 52. Ooshimaso | 56. Oki |
| 53. Kairyo nuzunijgaeshi | 57. ลุน 40 |
| 54. M. Australis | |

ต้นหม่อนที่โตเต็มที่จะเริ่มออกดอกในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเมษายนของทุกปี โดยดอกหม่อนจะแตกออกมาพร้อมกับใบ แล้วบานหลังจากแตกข้อใบพร้อมช่อดอกประมาณ 8-12 วัน ดอกที่บานเต็มที่ยอดเกสรตัวเมียจะมีลักษณะสีขาวใส ดอกตัวเมียที่ได้รับการผสมพันธุ์ก็จะเจริญเติบโตกลายเป็นผล ซึ่งมีลักษณะเป็นผลรวมเช่นเดียวกับผลน้อยหน่าและขนุน ช่อดอกตัวผู้ประกอบด้วยดอกตัวผู้หลาย ๆ ดอกรวมกันเป็นช่อเดียว ดอกตัวผู้แต่ละดอกจะมีกลีบดอก (sepal) 4 กลีบ และเกสรตัวผู้ 4 เกสร (stamen) ซึ่งแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ก้านเกสร (filament) และอับละอองเกสร (anther) (รูปที่ 2.1) เมื่อดอกบานก้านเกสรจะยึดตัวออก และปล่อยละอองเกสรที่มีลักษณะเป็นสีเหลืองออกมาเป็นจำนวนมาก ส่วนช่อดอกตัวเมียประกอบด้วยกลีบดอก 4 กลีบ รังไข่ (ovary) ก้านเกสรตัวเมีย (style) และยอดเกสรตัวเมีย (stigma) โดยกลีบดอกจะห่อหุ้มรังไข่ไว้ ซึ่งทำให้มองดูมีลักษณะคล้ายโครงการ “การศึกษาเปรียบเทียบปริมาณฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของผลหม่อนสายพันธุ์ต่างๆ” 14

ลูกบอลสีเขียว ภายในถุงหุ้มรังไข่ (embryo sac) จะมีไข่อ่อน (ovule) บรรจุอยู่ ก้านเกสรจะมีความยาวแตกต่างกันออกไปตามชนิดของสายพันธุ์ ส่วนปลายสุดของก้านเกสรตัวเมียเรียกว่ายอดเกสรตัวเมีย ซึ่งจะมีปมและขนหนาแน่นปกคลุมอยู่ เพื่อใช้เป็นแหล่งผลิตน้ำหวานสำหรับดักจับเกสรตัวผู้ เมื่อยอดเกสรตัวเมียยืดตัวออกเต็มที่จะมีลักษณะสีขาว ซึ่งเริ่มเข้าสู่ระยะพร้อมที่จะได้รับการถ่ายละอองเกสรและได้รับการผสมพันธุ์ เมื่อเกสรตัวผู้ตกลงบนยอดเกสรตัวเมียจะถูกจับยึดโดยเยื่อเมือกของเกสรตัวเมีย ทำให้มีการพองตัวและแทงหลอดละอองเกสร (pollen tube) ลงไปสู่ถุงหุ้มรังไข่และผสมกับไข่อ่อน หลังจากผ่านกระบวนการนี้แล้วการผสมพันธุ์จึงเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ (วสันต์, 2546)

การพัฒนาการของผลหม่อน

ผลหม่อนไม่ได้จัดอยู่ในกลุ่มของ berry fruit แต่จัดอยู่ในกลุ่มของ ผลรวม (collective fruit หรือ inflorescent fruit) ซึ่งเป็นผลที่เกิดจากช่อดอกทั้งช่อรวมกันเป็นผลเดียวกันแต่สามารถมองเห็นเป็นผลเล็กๆ แยกกันอยู่บนแกนของช่อผล ผลเล็กๆ เหล่านี้เรียกว่า syconus ซึ่งผลเหล่านี้อาจจะเกิดจากการผสมเกสรหรือไม่ต้องผสมเกสรก็ได้ จัดเป็นไม้ผลพวก parthenocarpic fruit หรือ seedless fruit ซึ่งเกิดจากการที่ไม่มีการถ่ายละอองเกสรทำให้รังไข่เจริญเติบโตไปเป็นผลแต่ไข่อ่อนในรังไข่ไม่เจริญไปเป็นเมล็ด โดยมีลักษณะ ขนาด คุณภาพและส่วนประกอบทางเคมีเหมือนกับผลที่มีการผสมเกสรทุกประการ การพัฒนาการของผลหม่อนเริ่มจากดอกหม่อนจะแตกออกมาพร้อมกับใบ จะบานหลังจากแตกช่อบัวพร้อมช่อดอกประมาณ 8-12 วัน ดอกที่บานเต็มที่ยอดเกสรตัวเมียจะมีลักษณะสีขาวใส เมื่อได้รับการผสมเกสรจะเปลี่ยนสีเป็นสีเทาภายใน 3 วัน จากนั้นจะมีการพัฒนาการของผล โดยสีของผลจะเริ่มจากสีเขียว ขาว ชมพู แดง และสีดำ รวมระยะเวลาหลังจากดอกบานประมาณ 40-45 วันผลจะเริ่มสุกและแก่ ลักษณะผลหม่อนจะอวบน้ำและประกอบไปด้วยน้ำหวานเมื่อผลแก่เต็มที่ จากนั้นผลจะเริ่มนิ่มลงมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นถึงระยะประมาณ 56 วันหลังจากดอกบาน โดยจะมีน้ำตาลรีดิวซ์สูงถึง 65 กรัมต่อลิตรแต่ปริมาณกรดจะลดลงเรื่อยๆ ทั้งนี้ที่ลักษณะของสีของผลไม่สามารถบ่งชี้ถึงลักษณะของพันธุ์ได้ เช่น พันธุ์ white mulberry จะมีสีของผลเป็นสีขาว ชมพูแดง และ สีดำ ผลจะมีความหวานมาก แต่จะมีส่วนประกอบของสารที่ให้ความเปรี้ยวปนอยู่ด้วย พันธุ์ red mulberry มีผลสีแดงเข้มไปจนถึงดำ ส่วนพันธุ์ black mulberry จะมีผลขนาดใหญ่และมีน้ำหวานอยู่มาก นอกจากนั้นผลหม่อนเป็นผลไม้ที่มีสัดส่วนของความหวาน (sweetness) และความเปรี้ยว (tartness) ที่สมดุลกันกล่าวได้ว่าผลหม่อนเป็นผลไม้ที่มีรสชาติดีที่สุด ซึ่งรสชาติความเปรี้ยวของผลหม่อนจัดได้ว่ามีระดับใกล้เคียงกับผลขององุ่น จากการทดสอบการชิม พบว่าผลหม่อนสุกและสุกจัดได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบมากที่สุด



ภาพที่ 2.1 ลักษณะดอกตัวผู้ ดอกตัวเมีย เมล็ด และผลหม่อน

นอกจากหม่อนจะมีผลให้เก็บเกี่ยวตามฤดูกาล ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเมษายนแล้วยังมีเทคนิคที่สามารถบังคับให้หม่อนติดผลนอกฤดูกาลได้ ซึ่งมีวิธีการ คือ การริดใบ ตัดยอดและโน้มกิ่ง ลักษณะการโน้มกิ่งจะทำแบบโค้งให้ยอดเข้าหาพื้นดิน วิธีการนี้เหมาะสำหรับการปลูกหม่อนพันธุ์บุรีรัมย์ 60 ที่มีระยะปลูก 0.75x2.00 ถึง 3.00 เมตร โดยเมื่ออายุกิ่งหม่อนครบ 6 เดือน ก็เริ่มทำการริดใบหม่อนให้หมด จากนั้นจึงโน้มกิ่งเข้าหากันลักษณะแถวต่อแถวโดยใช้เชือกฟางผูกติดกิ่งหม่อนแถวหนึ่งเข้ากับอีกแถวหนึ่ง ทำให้มองดูเหมือนอุโมงค์ ซึ่งความสูงของอุโมงค์ควรสูงประมาณ 1.5 เมตรจากพื้นดิน แล้วปล่อยให้หม่อนเจริญเติบโตตามปกติซึ่งหม่อนจะมีการแตกตาข้างออกมาเกือบทุกตาพร้อมกับการแทงช่อดอกออกมาตามบริเวณที่แตกยอดออกมาใหม่ ตาดอกจะเริ่มทยอยบานไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะหมด ซึ่งมีประมาณ 3-6 ตาต่อยอดใหม่ที่แตกออกมา ในลักษณะเช่นนี้หม่อน 1 ต้นจะให้ผลผลิตผลหม่อนประมาณ 400-500 ผล และให้ผลผลิตต่อไร่ประมาณ 300-400 กิโลกรัม วิธีการเช่นนี้สามารถแบ่งแปลงหม่อนเพื่อทยอยบังคับทรงพุ่ม เพื่อขยายระยะเวลาการให้ผลผลิตผลหม่อนได้ยาวนานขึ้น การบังคับการออกดอกของหม่อนอีกวิธีหนึ่ง คือ การโน้มกิ่งหม่อนที่ปลูกแบบโครงการ “การศึกษาเปรียบเทียบปริมาณฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของผลหม่อนสายพันธุ์ต่างๆ”

ทรงพุ่ม ที่มีระยะปลูกประมาณ 2x2 เมตร หรือ 4x4 เมตร เป็นการปลูกแบบไม่มีการตัดแต่งกิ่ง แต่ทำการบังคับให้ทรงพุ่มสูงจากพื้นดิน 1.50 เมตร เมื่อหม่อนแตกกิ่งกระโดงใหม่ขึ้นมาในแต่ละปี ก็จะทำให้การโน้มกิ่งให้ปลายยอดขนานกับพื้นดิน และก่อนจะโน้มกิ่งจะต้องริดใบหม่อนออกให้หมด พร้อมทั้งตัดยอดส่วนที่เป็นกิ่งสีเขียวยาวประมาณ 30 เซนติเมตร ออกก่อน แล้วจึงโน้มกิ่งลง ใช้เชือกผูกปลายกิ่งโยงติดไว้กับหลักไม้ที่ปักไว้บนพื้นดิน หรือใช้ไม้ไผ่ล้อมเป็นคอกไว้สูงจากพื้นดินประมาณ 1.50 เมตร แล้วโน้มกิ่งลงมา ใช้เชือกผูกมัดติดไว้กับคอกที่ล้อมไว้ หรือทำราวเส้นลวดซึ่งขนานในระหว่างแถวของต้นหม่อนแล้วโน้มกิ่งให้ขนานกับพื้นดิน ใช้เชือกผูกมัดติดไว้กับเส้นลวด ส่วนระยะเวลาของการโน้มกิ่งจะอยู่ในช่วงเดือนกันยายนถึงเดือนมกราคม (วสันต์, 2546)

องค์ประกอบทางเคมีในผลหม่อน

ผลหม่อนประกอบด้วยแคโรทีน วิตามินบีหนึ่ง วิตามินบีสอง วิตามินซี กลูโคส ซูโครส กรดทาร์ทาริก กรดซัคซินิก และกรดซิตริก ผลหม่อน (ตารางที่ 2.1) บางสายพันธุ์ในแถบเอเชียกลางมีปริมาณน้ำตาลเฉลี่ยร้อยละ 12 บางสายพันธุ์มีปริมาณน้ำตาลมากกว่าร้อยละ 20 ในผลหม่อนตากแห้งจะมีน้ำตาลอยู่ปริมาณมาก กลิ่นหอม รสหวาน ฤทธิ์เย็น มีวิตามินบีหนึ่ง วิตามินบีสอง และวิตามินซีอยู่สูง ในทางการแพทย์โบราณของจีนถือว่าผลหม่อนเป็นยาบำรุงกำลัง บำรุงประสาท แก้อาการนอนไม่หลับ แก้ไขข้ออักเสบ แก้ไอขับเสมหะ ลดการอักเสบลำคอ แก้อาการบวมน้ำ และแก้ปวดเมื่อยตามร่างกาย นอกจากนี้ผลหม่อนยังมีสรรพคุณใช้แก้โรครุมาคิค โรคโลหิตจาง ซาตามแซนชา อาการท้องผูก เวียนศีรษะ บำรุงหัวใจ บำรุงโลหิต บำรุงไต บำรุงสายตา บำรุงเส้นผมให้ดกดำ และขจัดความร้อนออกจากร่างกาย (คณาจารย์ภาควิชาเภสัชวินิจฉัย, 2534) ในผลหม่อนสุกจะมีสารสี (pigment) ในกลุ่มของแอนโทไซยานิน (anthocyanin) ซึ่งมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) โดยมีในผลหม่อนสุกที่เป็นผลสดในช่วง 258.41-2512.40 ไมโครกรัมต่อกรัม นอกจากนี้เมื่อนำผลหม่อนผลสุกที่เป็นผลสด (สีม่วงดำทั้งผล) ไปสกัดเป็นสีเข้มข้น พบว่าจะมีสารประกอบฟีนอลอยู่สูงประมาณ 13,130-21,900 ไมโครกรัมต่อกรัม ซึ่งสูงกว่าในผลหม่อนสุกที่เป็นผลสดปริมาณเกือบ 5 เท่าตัว (สมชาย และคณะ, 2550) สารประกอบฟีนอลมีคุณสมบัติในการยับยั้งการแข็งตัวของเกร็ดเลือดต่อต้านอาการอักเสบและบวม รักษาแผลในกระเพาะอาหาร ต่อต้านการแพ้จากการหลังของฮีสตามีน และยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ (Middleton and Kandaswami, 1994) มีการวิจัยพบว่าในผลหม่อนมีสารเคอร์ซีทิน (quercetin) ซึ่งเป็นสารประกอบกลุ่มฟลาโวนอยด์ โดยมีในผลหม่อนสุกที่เป็นผลสด 34.20 ไมโครกรัมต่อกรัม และมีในผลหม่อนหม่อนสุกที่เป็นผลแห้ง 176.40 ไมโครกรัมต่อกรัม ซึ่งสารนี้ก็มีคุณสมบัติเป็นสารแอนติออกซิแดนต์ด้วยเช่นกัน

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบทางเคมีของผลหม่อนในระหว่างการสุก (ต่อน้ำหนักแห้ง 100 กรัม)

ส่วนประกอบทางเคมี	ผลห้าม (สีแดง)	ผลสุก (สีม่วงดำ)
โปรตีน (protein)	2.24	1.68
คาร์โบไฮเดรต (carbohydrate)	4.19	21.35
ไขมัน (fat)	1.35	0.47
แคลเซียม (calcium)	-	0.21
ฟอสฟอรัส (phosphorus)	-	0.07
เหล็ก (iron)	-	43.48
วิตามิน เอ (vitamin A)	-	25.00
วิตามิน บี 1 (vitamin B 1)	-	50.65
วิตามิน บี 2 (vitamin B 2)	-	3.66
วิตามิน บี 6 (vitamin B 3)	-	930.10
วิตามิน ซี (vitamin C)	-	4.16
กรดโฟลิก (folic acid)	-	6.87
ไนอะซิน (niacin)	-	0.72
แทนนิน (tanin)	-	1.06
กรดมะนาว (citric acid)	4.17	1.51
เส้นใย (fiber)	-	2.03
เถ้า (ash)	-	1.52
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	4.05	5.90
ความชื้น (moisture)	-	72.95

ที่มา : วสันต์, 2546

โดยจะช่วยยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของ LDL (low density lipoproteins oxidation) ในร่างกาย อีกทั้งช่วยลดความเสี่ยงของการเกิดโรคที่เกิดจากสภาวะเสื่อมภายในร่างกาย เช่น โรคความดันโลหิตสูง โรคเบาหวาน โรคหัวใจ และโรคเส้นเลือดสมองตีบ มีการใช้สารประกอบ ฟลาโวนอยด์ในลักษณะที่เป็นสารสกัดผสมหลายชนิด เช่น การใช้ผงสกัดที่ได้จากพืช *Anemone hepatica*. ซึ่งมีสารพวกแอนโทไซยานิน ฟลาโวนส์ และสารประกอบฟีนอล สารสกัดที่ได้มีฤทธิ์ในการขับน้ำดี (อภิชาติ, 2542) สารในกลุ่มที่มีคุณสมบัติเป็นสารแอนติออกซิแดนต์นี้ กำลังได้รับความสนใจอย่างมากในปัจจุบัน

ตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบทางเคมีของผลหม่อนสุก (ต่อน้ำหนักแห้ง 100 กรัม)

ส่วนประกอบทางเคมี	ผลหม่อนสุก ^{1/}	ผลหม่อนสุก ^{2/}	ผลหม่อนสุก ^{3/}
โปรตีน (กรัม)	1.68	1.5	1.1
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	21.35	8.3	10.3
ไขมัน (กรัม)	0.47	0.49	0.40
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	21	80	-
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	7	10	-
เหล็ก (มิลลิกรัม)	43.48	1.9	-
วิตามิน เอ (IU)	25	174	35
วิตามิน บี1 (มิลลิกรัม)	50.65	9	57
วิตามิน บี2 (มิลลิกรัม)	3.66	184	-
วิตามิน บี6 (มิลลิกรัม)	930.10	-	-
วิตามิน ซี (มิลลิกรัม)	4.16	-	12
กรดโฟลิก (มิลลิกรัม)	6.87	-	-
ไนอะซิน (มิลลิกรัม)	0.72	-	-
แทนนิน (กรัม)	1.06	-	-
กรดซิตริก (กรัม)	1.51	-	-
กรดนิโคตินิก (กรัม)	-	0.8	-
กรดแอสคอบิก (กรัม)	-	13	-
เส้นใย (กรัม)	2.03	1.4	1.1
เถ้า (กรัม)	1.52	0.9	-
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	5.90	-	-
ความชื้น	72.91	87.5	-
แครอรี	-	-	49

ที่มา: ^{1/} วสันต์ (2546)

: ^{2/} James (1983)

: ^{3/} Mulberry Tree (2003)

โดยเฉพาะอย่างยิ่งในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ และผลิตภัณฑ์เสริมอาหารนอกจากนี้มียางานว่า ในผลหม่อนสุกที่เป็นผลสด ยังมีสารอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการที่สำคัญเช่น คาร์โบไฮเดรตรวม น้ำตาล เหล็ก วิตามินบีหนึ่ง และวิตามินบีหก (213.50, 4.35, 0.51 และ 9.30 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ) (วสันต์, 2546) อีกทั้งยังมีงานวิจัยหลายฉบับที่ได้ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับส่วนประกอบทางเคมีในผลหม่อน ดังแสดงในตารางที่ 2.2 ผลหม่อนสามารถนำไปบริโภคผลสด หรือใช้เป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ชนิดอื่น ๆ รวมทั้งนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น นำไปผลิตเป็นน้ำผลไม้หม่อนพร้อมดื่ม น้ำผลไม้หม่อนเข้มข้น ไวน์ผลไม้หม่อน ผลหม่อนแช่อิ่ม ลูกอมผลหม่อน ผลหม่อนอบแห้ง แบบแช่เยือกแข็ง และสัรรมชาติจากผลหม่อน (สมชาย และคณะ, 2550) เป็นต้น แต่มีข้อควรระวังในการบริโภคผลหม่อนสด โดยถ้าบริโภคในปริมาณมากเกินไปจะมีฤทธิ์เป็นยาระบาย สำหรับผลหม่อนสีเขียวน้ำหรือผลหม่อนที่ยังไม่สุกถ้าบริโภคในปริมาณมากจะทำให้เกิดอาการคลื่นไส้ อาเจียนได้ (Mulberry Tree, 2003) ผลหม่อนมีสรรพคุณเป็นยารักษาโรคได้หลายชนิด จึงมีการศึกษาสารประกอบเคอซิดิน ที่มีฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่พบในผลหม่อนสุก ผลสุกห้าม และจากรายงาน พบว่า ไวน์หม่อนที่ผลิตจากแหล่งต่าง ๆ ในประเทศไทยมีปริมาณสารเคอซิดินอยู่ในปริมาณสูง และสามารถให้ผลหม่อนเป็นสมุนไพรในการรักษาโรคต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดี ผลหม่อนมีส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญ และมีคุณค่าทางอาหารสูง สามารถใช้เป็นประโยชน์ทั้งทางด้านการบริโภคและการแปรรูปและพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ได้อย่างหลากหลายและได้มีการนำหม่อนมาสกัดหาสารแอนโทไซยานิน ในระดับอุตสาหกรรมเพื่อใช้เป็นสีผสมอาหารที่ได้จากธรรมชาติ จากการศึกษาพบว่าปริมาณแอนโทไซยานิน เท่ากับ 384.07 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งสามารถนำไปสกัดเพื่อใช้ให้มีความบริสุทธิ์ และสามารถให้เป็นส่วนผสมในน้ำผลไม้เข้มข้น ไวน์ และซอส เป็นต้น ผลหม่อนและใบสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ดังนี้

- 1) ผลหม่อนแห้ง ใช้เป็นสมุนไพรสำหรับรักษาไข้ข้ออักเสบ บำรุงหัวใจ และแก้โรคโลหิตจาง ส่วนผลสุกแก้อาการท้องผูก (วสันต์, 2546)
- 2) ใบหม่อนพบสารประกอบกลุ่มฟลาโวนอยด์ มีฤทธิ์ยับยั้งการเพิ่มจำนวนเซลล์มะเร็งเม็ดเลือดขาว และชักนำให้เซลล์มะเร็งเม็ดเลือดขาวเปลี่ยนกลับมาเป็นเซลล์เม็ดเลือดขาวปกติ
- 3) สารสกัดฟลาโวนอยด์ และแทนนินจากใบหม่อน มีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์โปรติเอสของเชื้อเอชไอวี โดยสามารถป้องกันการแพร่กระจายได้
- 4) สารสกัดคาพิซินจากชาเขียวใบหม่อน มีผลลดความอ้วนโดยออกฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไลเปส และสร้างความร้อนให้ร่างกาย
- 5) คุณสมบัติของเลคติน ที่สกัดได้จากใบหม่อน มีฤทธิ์ต้านการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย *Pseudomonas syringae* var. *mori* ซึ่งทำให้เกิดโรคใบไหม้กับต้นหม่อน สารชนิดนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผลหม่อน

ที่ผ่านมาได้มีศึกษาดัชนีการเก็บเกี่ยวผลหม่อนสุกพันธุ์เชียงใหม่ พบว่าต้นหม่อนที่ออกดอกในฤดู (กุมภาพันธ์ถึงเมษายน) ผลหม่อนเริ่มสุกหลังจากดอกบานแล้ว 20 วัน และมีช่วงระยะเวลาที่ผลหม่อนเริ่มสุกจนถึงสุกงอม 12 วัน ส่วนต้นหม่อนที่ออกดอกนอกฤดู (ตุลาคมถึงธันวาคม) พบว่าหลังที่ริดใบ ตัดยอด แล้วโน้มกิ่งเป็นเวลา 8-12 วัน ดอกจึงเริ่มบาน หลังดอกบาน 42 วัน ผลหม่อนจึงเริ่มสุก และมีช่วงระยะเวลาที่ผลหม่อนเริ่มสุกจนถึงสุกงอม 14 วัน ผลหม่อนในฤดูจะมีคุณภาพทางเคมีมากกว่าผลหม่อนนอกฤดู ผลหม่อนห้าม (สีม่วงดำร้อยละ 50) และผลสุก (สีม่วงดำทั้งผล) มีคุณภาพทางกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสเหมาะสำหรับ การเก็บเกี่ยวเพื่อบริโภคผลสดมากที่สุด (ปัทมาภรณ์, 2546)

การศึกษาคุณภาพของผลหม่อนสุกได้มีการศึกษาทั้งในและต่างประเทศ ในประเทศไทยได้มีรายงานว่าผลหม่อนสุกพันธุ์บุรีรัมย์ 60 มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณสารแอนโทไซยานิน และปริมาณสารแอนติออกซิแดนต์ สูงกว่าผลหม่อนสุกพันธุ์เชียงใหม่ และผลหม่อนสุก (สีม่วงดำทั้งผล) มีปริมาณสารต่าง ๆ ดังกล่าวสูงกว่าผลหม่อนห้าม (สีม่วงดำร้อยละ 50) (สุรินทร์, 2548) นอกจากนี้ยังพบว่าผลหม่อนสุกพันธุ์เชียงใหม่ มีสารประกอบฟีนอลทั้งหมด สารแอนโทไซยานินทั้งหมด สารเคอร์ซีทิน และดัชนีสารต้านอนุมูลอิสระ เพิ่มขึ้นตามระยะความสุกที่เพิ่มขึ้น ผลหม่อนสุก (สีม่วงดำทั้งผล) พบสารกลุ่มนี้มีปริมาณสูงสุด ($3,654.97 \pm 7.59$, $2,512.40 \pm 11.32$, 1.81 ± 1.00 ไมโครกรัมต่อกรัม และ 6.89 ± 0.53 ตามลำดับ) (สมชาย และคณะ, 2550) สำหรับในต่างประเทศได้มีการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผลหม่อนขาว (*Morus alba* L.) ผลหม่อนแดง (*Morus rubra* L.) และผลหม่อนดำ (*Morus nigra* L.) ที่ปลูกในบริเวณทางตะวันออกของประเทศตุรกี พบว่าสารประกอบฟีนอล และสารเคอร์ซีทินเพิ่มสูงขึ้นตามระยะความสุก โดยมีในผลหม่อนดำสูงสุด (14.22 และ 2.76 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ) ส่วนผลหม่อนขาวมีไขมันทั้งหมดมากที่สุด (ร้อยละ 1.10) รองลงมาเป็นผลหม่อนสีดำ (ร้อยละ 0.95) และผลหม่อนแดง (ร้อยละ 0.85) ตามลำดับ สำหรับกรดไขมันที่พบมากในผลหม่อน คือ กรดลิโนเลอิก (ร้อยละ 54.20) กรดปาล์มมิติก (ร้อยละ 19.80) และกรดโอเลอิก (ร้อยละ 8.41) ตามลำดับ ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีอยู่ในช่วง 15.90-20.40 องศาบริกซ์ ปริมาณกรดทั้งหมดมีอยู่ในช่วงร้อยละ 0.25-1.40 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) มีอยู่ในช่วงร้อยละ 3.52-5.60 และปริมาณวิตามินซีมีอยู่ในช่วง 0.19-0.22 มิลลิกรัมต่อกรัม (Ercisli and Orhan, 2006)

สำหรับการยืดอายุการเก็บรักษาผลหม่อนสุกพันธุ์เชียงใหม่ โดยการใช้สารเคมี พบว่าการไม่เติมสารให้ความหวาน และไม่เติมโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟด์ (KMS) สามารถเก็บรักษาผลหม่อนสุกที่อุณหภูมิห้องได้เพียง 2 วัน แต่ถ้ามีการเติมน้ำตาลซูโครสร่วมกับการเติม KMS 500 ppm สามารถโครงการ “การศึกษาเปรียบเทียบปริมาณฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของผลหม่อนสายพันธุ์ต่างๆ” 21

เก็บรักษาผลหม่อนสุกที่อุณหภูมิห้องได้นาน 90 วัน แต่การเก็บรักษาผลหม่อนด้วยวิธีนี้เหมาะสำหรับการนำผลหม่อนไปผลิตเป็นไวน์ (สุวรรตนา, 2548) นอกจากนี้ยังพบว่าการเก็บรักษาผลหม่อนสุกพันธุ์เซียงใหม่ ในสภาพโหมหุ้มด้วยฟิล์มสามารถเก็บรักษาในอุณหภูมิห้องได้นาน 2 วัน สำหรับสภาวะที่เหมาะสมในการเก็บรักษาหม่อนเพื่อรับประทานผลสด คือ การเก็บผลหม่อนสุกในสภาพโหมหุ้มด้วยฟิล์ม แล้วเก็บในตู้เย็น (4 องศาเซลเซียส) สามารถเก็บได้นานถึง 14 วัน (ธิตพันธ์, 2549)

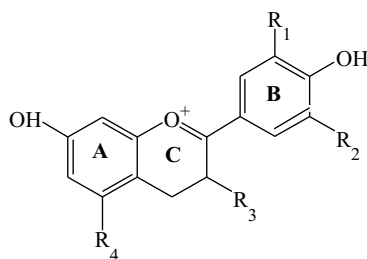
การนำเอาผลหม่อนไปใช้ประโยชน์นั้นได้มีการศึกษาอย่างกว้างขวาง ได้มีรายงานการศึกษาจากประเทศจีนว่าสามารถสกัดเอาสารแอนโทไซยานินในผลหม่อนสุก เพื่อใช้เป็นสีผสมอาหาร น้ำผลหม่อนที่สกัดได้มีปริมาณสารแอนโทไซยานินเท่ากับ 384.07 มิลลิกรัมต่อลิตร แล้วทำให้บริสุทธิ์โดยใช้ Macro porous resin จากนั้นนำไปทำให้เข้มข้น แล้วสามารถใช้เป็นสีผสมอาหารได้ (Xueming *et al*, 2004) สำหรับในประเทศไทยมีการศึกษานำผลหม่อนสุกพันธุ์เซียงใหม่ไปสกัดเป็นสีผสมอาหารด้วยเช่นกัน โดยพบว่าสามารถผลิตสีผสมอาหารได้ 3 รูปแบบ คือ สีน้ำเข้มข้น สีผงเคลือบน้ำตาล และสีผงที่ผ่านการทำให้แห้งแบบแช่เยือกแข็ง สีผลหม่อนที่ได้ทุกรูปแบบสามารถใช้แต่งสีในอาหารได้เกือบทุกชนิด เช่น ไวน์ น้ำผลไม้ และอาหารหวาน เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการนำผลหม่อนไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ โดยพบว่าผลหม่อนห่าม (สีม่วงดำร้อยละ 50) นั้นเหมาะสำหรับผลิตเป็นผลหม่อนแช่อิ่ม ส่วนการผลิตลูกอมผลหม่อนพบว่าสามารถใช้ได้ทั้งผลหม่อนแก่ (สีแดงทั้งผล) และผลหม่อนห่าม (สีม่วงดำร้อยละ 50) สำหรับการผลิตผลหม่อนอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง พบว่าผลหม่อนห่าม (สีม่วงดำร้อยละ 50) เหมาะสมที่สุดในการใช้เป็นวัตถุดิบ คุณภาพของผลหม่อนอบแห้งที่ได้คล้ายผลหม่อนสด แต่มีสารประกอบฟีนอลทั้งหมด สารแอนโทไซยานินทั้งหมด สารเคอร์ซีทิน และดัชนีสารต้านอนุมูลอิสระ สูงกว่าผลหม่อนสดประมาณ 5-10 เท่าตัว ($12,110.50 \pm 60.96$, $6,090.91 \pm 65.9$, 7.61 ± 1.00 ไมโครกรัมต่อกรัม และ 11.90 ± 1.40 ตามลำดับ) (สมชาย และคณะ, 2550)

เครื่องดื่มจากผลหม่อนเป็นผลิตภัณฑ์อีกชนิดหนึ่งที่ได้มีการศึกษาอย่างแพร่หลาย โดยพบว่าหม่อนสุกพันธุ์บุรีรัมย์ 60 สามารถนำไปผลิตไวน์ที่มีคุณภาพดี การปรับปริมาณกรดทั้งหมดในน้ำหมักเป็น 3.5 กรัมต่อลิตร และการใช้ยีสต์ผงทางการค้าสายพันธุ์ Fermivin 7013 ทำให้ได้ไวน์ที่มีคุณภาพดีที่สุด ซึ่งจะมีสีม่วงแดง มีเอทานอลร้อยละ 13.27 โดยปริมาตร ปริมาณกรดทั้งหมดเท่ากับ 5.47 กรัมต่อลิตร ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 3.76 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 7.77 องศาบริกซ์ ปริมาณสารแอนติออกซิแดนต์เท่ากับร้อยละ 89.2 (สุรินทร์, 2548) ส่วนการผลิตไวน์จากน้ำผลหม่อนที่ผ่านกระบวนการทำเข้มข้นโดยการระเหยแบบสุญญากาศ และการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย พบว่าไวน์ผลหม่อนทั้ง 2 ชนิด มีปริมาณเมทานอลเท่ากับ 101 และ 180 มิลลิกรัมต่อลิตร เอทานอลเท่ากับร้อยละ 11.0 และ 10.4 โดยปริมาตร ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 9 และ 8 องศาบริกซ์ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 0.32 และ 0.1 กรัม ต่อ 100 มิลลิลิตร ปริมาณกรดโครงการ “การศึกษาเปรียบเทียบปริมาณฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของผลหม่อนสายพันธุ์ต่างๆ” 22

ทั้งหมดเท่ากับ 0.48 และ 0.56 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ปริมาณสารประกอบฟีนอลเท่ากับ 5,497 และ 3,295 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณสารแอนโทไซยานินเท่ากับ 747 และ 299 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (พงศ์กมล, 2547) นอกจากนี้ได้มีการพัฒนาการผลิตผลหม่อนผงโดยวิธีอบแห้งแบบ โฟมแมท โดยคัดเลือกสารที่ก่อให้เกิดโฟมในน้ำผลหม่อนสกัด 3 ประเภท คือ Methocel, Glyceryl monostearate (GMS), และ Carboxy methyl cellulose (CMC) พบว่าการใช้สารละลาย Methocel ในปริมาณร้อยละ 45 โดยน้ำหนักของน้ำผลหม่อนสกัด เป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุด น้ำผลหม่อนที่ได้มีสีแดงเข้ม ($L = 13.74$, $a^* = 39.82$, $b^* = 21.20$) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 14 องศาบริกซ์ ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4.4 ปริมาณกรดทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 0.12 โดยน้ำหนัก และปริมาณแอนโทไซยานินเท่ากับ 152.29 มิลลิกรัมต่อลิตร (อัศจรรย์ และปิยาภรณ์, 2548)

แอนโทไซยานิน

แอนโทไซยานิน (anthocyanin) เป็นรงควัตถุที่จัดอยู่ในกลุ่มของสารประกอบฟลาโวนอยด์ (flavonoid compound) พบในดอกไม้ และผลของพืชชนิดต่าง ๆ ละลายอยู่ใน vacuolar sap ของพืช ซึ่งเป็นสารประกอบจำพวกไกลโคไซด์ สามารถละลายน้ำได้แต่ไม่ละลายใน non - hydroxy solvent จะมีสีแดงที่ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ต่ำ และมีสีม่วง หรือน้ำเงินที่พีเอชเป็นกลาง หรือเป็นด่าง (ศิวัพร, 2529) มีสูตรโครงสร้างทางเคมีเป็นฟลาวิลเลียมแคทไอออน (flavylium cation) หรือเกลือของ 2-phenylbenzopyrylium ประกอบด้วยคาร์บอน 15 อะตอม จัดเรียงตัวในระบบ 3 วง เรียกว่า A B และ C โดยวง A และ B เป็นวงของเบนซีนเรียกว่า วงเฟนิล (phenyl ring) ส่วนวง C เป็นแลคโตน (lactone ring) และแอนโทไซยานินเป็นไกลโคไซด์ (glycoside) ของแอนโทไซยานิดิน (anthocyanidin) (Mazza *et al.*, 2004) จากการวิเคราะห์โดยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบกระดาษ พบว่า ในผลหม่อนมีแอนโทไซยานินชนิด cyanidin 3 - glucoside (ศิริพร, 2540) ซึ่งอยู่ในรูปไกลโคไซด์ (glycoside) เกิดจากส่วนที่เป็นอะไกลโคน (aglycone) คือ ไซยานิดิน (cyanidin) มีหมู่ไฮดรอกซี (hydroxy, -OH) เกาะอยู่ที่วงเฟนิล A ตรงตำแหน่งที่ 5 และ 7 ส่วน วง B หมู่ (-OH) เกาะตำแหน่งที่ 3 และ 4 โดยมีน้ำตาลกลูโคส (glucose) เชื่อมต่ออยู่ที่ C - 3 ซึ่ง จะมีสีแดงม่วง (ภาพที่ 2.2) และโดยทั่วไปแอนโทไซยานินมีสีแตกต่างกัน เกิดจากโครงสร้างของจำนวนหมู่ไฮดรอกซีที่วง B



Anthocyanidin	R ₁	R ₂	R ₃	OH,	glycosyl
			R ₄	OH,	glycosyl
Pelargonidin	H	H			
Cyaniding	OH	H			
Peonidin	OCH ₃	H			
Delphinidin	OH	OH			
Malvidin	OCH ₃	OCH ₃			
Petunidin	OCH ₃	OH			

ภาพที่ 2.2 สูตรโครงสร้างของแอนโทไซยานิน

ที่มา : [Mazza et al., 2004](#)

เนื่องจากโมเลกุลของแอนโทไซยานินส์เป็นไกลโคไซด์ ประกอบด้วยส่วนที่เป็นน้ำตาลและส่วนที่เป็นอะไกลโคน (acyclone) เรียกว่า แอนโทไซยานิดิน (anthocyanidin) ซึ่งแยกออกจากกันได้โดยการไฮโดรไลซ์ด้วยกรด ในเนื้อเยื่อพืชจะไม่พบอะไกลโคนที่อยู่ในรูปอิสระ จะพบเฉพาะที่อยู่ในรูปไกลโคไซด์ คือ รวมกับน้ำตาลเป็นเอสเทอร์เท่านั้นน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของแอนโทไซยานินส์จะมี 1, 2 หรือ 3 โมเลกุลก็ได้และเป็นได้ทั้ง โมโน- ได และไตรแซคคาไรด์ โมเลกุลของน้ำตาลส่วนใหญ่จะเกาะกับหมู่ไฮดรอกซิลในโมเลกุลของแอนโทไซยานิดิน โดยเกิดปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันที่ตำแหน่ง 3 ถ้าเป็นไดไกลโคไซด์จะเกาะที่ตำแหน่ง 3 และ 5 หรือ 3 และ 7 ของหมู่ไฮดรอกซิล ([นธิยา รัตปานนท์. 2545](#)) โมเลกุลของน้ำตาลจะเกาะอยู่กับส่วนของแอนโทไซยานิดิน ฟลาโวน (flavone) ฟลาโวนอล (flavonol) หรือฟลาวาโนน (flavanones) ด้วยพันธะไกลโคไซด์

ปัจจัยที่มีผลต่อสีและความคงตัวของแอนโทไซยานิน

สีของแอนโทไซยานิน และความคงตัวของสีจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อุณหภูมิ และ โลหะแคโทไอออนบางชนิด ([Zoecklein et al., 1995](#)) ซัลเฟอร์ได

ออกไซด์ เป็นสาเหตุทำให้สีของผลไม้ ที่มีแอนโทไซยานินเป็นรงควัตถุสีด่างลงได้เนื่องจากไบซัลไฟด์อ็อกไซด์ จะเข้าไปจับกับแอนโทไซยานิน ซึ่งจะเกิดเป็นอนุพันธ์ตัวใหม่ (R-SO₃H) โดยไม่มีสี และอาจเกิดการรวมตัวกันระหว่างโมเลกุลของแอนโทไซยานิน หรือเกิดพันธะกับโมเลกุลของสารอินทรีย์ตัวอื่น เช่น โปรตีน แทนนิน ฟลาโวนอยด์ และโพลีแซคคาไรด์บางชนิด เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน ซึ่งช่วยให้สีของแอนโทไซยานินมีความเข้ม และคงตัวมากขึ้น (นุกูล, 2545) การใช้ประโยชน์ของแอนโทไซยานิน เช่น อุตสาหกรรมผลไม้กระป๋องนมเปรี้ยว และไวน์แดง ซึ่งสีของแอนโทไซยานินจะคงสภาพได้ดีที่ความชื้นไม่เกินร้อยละ 3 และการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ที่มีความเป็นกรดจะให้สีคงทนตลอดจนใช้เป็นสีผสมอาหารได้ (สันติ, 2534) และแอนโทไซยานินมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ

แอนโทไซยานินมีความคงตัวน้อยในสภาวะแวดล้อมต่างๆ เช่น pH อุณหภูมิ ความเข้มแสง โลหะ เอนไซม์ ออกซิเจน วิตามินซี น้ำตาล ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็นต้น (Mazza and Minitati, 1993) แอนโทไซยานินสีในรูปของ flavylum cation ซึ่งจะมีค่าคงตัวที่ pH 1.0-2.4 (Cabrita and others. 2002) การใช้แอนโทไซยานินสีในอาหารพบว่าแอนโทไซยานินสีเปลี่ยนแปลงระดับสีได้ง่ายเนื่องจากผลของการขาดอิเลคตรอนของโมเลกุลแอนโทไซยานินสี จึงทำให้ flavylum nuclei ของแอนโทไซยานินสีมีความว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยามาก การเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับของสีการเปลี่ยนแปลงนี้อาจเกิดจากสภาวะต่างๆ ในกระบวนการแปรรูป และในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารนั้นๆ ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของแอนโทไซยานินสี มีดังนี้ (อัญญารัตน์ จิตไพศาลวัฒนา, 2543)

ค่าความเป็นกรด-เบส (pH)

แอนโทไซยานินสีมีคุณสมบัติของการบอกค่า pH (pH indicator) อย่างคร่าวๆ ได้ โดยแอนโทไซยานินจะเปลี่ยนสีไปตามค่า pH ต่างๆ ดังแสดงไว้ใน ตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง pH กับสีของแอนโทไซยานิน

pH	สี
1.0	แดง
4.0	น้ำเงินแดง
6.0	ม่วง
8.0	น้ำเงิน
12.0	เขียว
13.0	เหลือง

การเปลี่ยนแปลงของระดับสีตามค่า pH แล้ว ค่าความเข้มของสี (color intensity) ยังแปรผันตามค่า pH ด้วย กล่าวคือแอนโธไซยานินสีมีความเข้มมากที่สุดที่ pH 1.0 และลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อค่า pH เพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงสีของแอนโธไซยานินสีในน้ำคั้นผลแครนเบอร์รี่ที่ pH 2.8 มีสีแดงส้มเมื่อ pH ลดลงเท่ากับ 1 น้ำคั้นจะมีสีแดงสดและสีจะลดลงเรื่อยๆเมื่อ pH เพิ่มขึ้นจนถึง 13 จะเป็นสีเหลือง (โสภิตา ภูมิมาลา. 2544) ส่วนค่าความยาวของการดูดกลืนแสงสูงสุด (maximum absorption wavelength, λ_{max}) แปรผันตามค่า pH ด้วยเช่นกัน กล่าวคือ ค่าความยาวคลื่นสูงสุดจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่า pH สูงขึ้น

ประจุบวก

ผลจากประจุบวกบางชนิดโดยเฉพาะ di และ trivalent metal ion จะทำให้ค่าความยาวคลื่นสูงสุดของการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากการเกิด blueing ของสีและอาจทำให้เกิดการตกตะกอนของสีได้ ดังนั้นจึงควรหลีกเลี่ยงไม่ให้แอนโธไซยานินสีเกิดการสัมผัสกับเหล็ก เหล็กผสมและทองแดง กรณีที่ต้องบรรจุผลิตภัณฑ์อาหารลงในกระป๋องดีบุกควรมีการเคลือบด้วยแลคเกอร์ที่ไม่เป็นอันตรายต่อร่างกายก่อน

ความร้อนและแสงสว่าง

แอนโธไซยานินสีมีคุณสมบัติในการคงทนต่อความร้อนได้ดี โดยมีความคงทนเพียงพอสำหรับกระบวนการผลิตที่ต้องใช้ความร้อนสูงบางชนิด เช่น แยม การต้มน้ำตาล และการผลิตผลไม้กระป๋อง การเกิด acylation กับโมเลกุลน้ำตาลทำให้มีคุณสมบัติในการทนความร้อนและแสงได้ดีเพิ่มขึ้น ดังเห็นได้จากกระหล่ำปลีแดง ที่ประกอบไปด้วย mono และ di-acylated anthocyanins จึงทำให้มีคุณสมบัติในการคงทนต่อความร้อนและแสงที่ดีมาก และผลิตภัณฑ์ที่มีแอนโธไซยานินสีจะไม่มีผลกระทบใดๆ เมื่อสัมผัสกับแสงสว่าง

ออกซิเจน

สารละลายแอนโธไซยานินสีมีแนวโน้มในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันมากขึ้น เมื่อมีปริมาณออกซิเจนอยู่ด้วย อัตราของการเกิดออกซิเดชันจะขึ้นอยู่ค่า pH ของสารละลายหรือผลิตภัณฑ์อาหาร ค่าของอุณหภูมิ และค่าของความเข้มข้นของแอนโธไซยานินสี แต่แอนโธไซยานินสีมีอัตราการออกซิไดซ์ช้าลงเมื่ออยู่ในสภาพของเหลว

ซัลเฟอร์ไดออกไซด์

เมื่อทำปฏิกิริยากับแอนโธไซยานินสีจะได้ผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีสีเกิดขึ้น ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาที่สามารถย้อนกลับได้ การให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์ที่มีแอนโธไซยานินสีและซัลเฟอร์ไดออกไซด์อยู่ด้วยกันทำให้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ถูกแยกออกมาเหลือแอนโธไซยานินสีที่มีสีจางลง ดังนั้นจึงไม่ควรใช้

ซัลเฟอร์ไดออกไซด์เพื่อใช้สำหรับการเก็บรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่มีแอนโธไซยานินส์ แต่ควรใช้สารที่เป็นส่วนประกอบของ benzoate และ sorbate แทนซึ่งจะมีความเหมาะสมมากกว่า

โปรตีน

แอนโธไซยานินส์ที่สกัดได้จากองุ่นสามารถทำปฏิกิริยากับโปรตีน เช่น เจลาติน (gelatin) เกิดเป็นตะกอนหรือทำให้เกิดความขุ่น แต่ปฏิกิริยานี้โดยมากมักเกิดจากสารประกอบชนิดอื่นที่ไม่ใช่เม็ดสี ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิก มากกว่าเกิดจากตัวของแอนโธไซยานินส์เอง ทั้งนี้เนื่องจากแอนโธไซยานินส์ที่มีความบริสุทธิ์เท่านั้นที่จะทำปฏิกิริยากับเจลาตินได้

เอนไซม์

ผลจากการใช้เอนไซม์บางชนิดในการปรับปรุงคุณภาพน้ำผลไม้อาจเป็นสาเหตุให้เกิดการลดลงของแอนโธไซยานินส์ได้จะเห็นว่าพบ glucosidase เสมอเมื่อเตรียมเอนไซม์บางชนิด

คุณสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของแอนโธไซยานิน

ผลหม่อนไม่ได้จัดอยู่ในกลุ่มของ berry fruit แต่จัดอยู่ในกลุ่มของผลรวม collective fruit หรือ inflorescent) ซึ่งเป็นผลที่เกิดมาจากช่อดอกทั้งช่อรวมกันเป็นผลเดียวกันแต่สามารถมองเห็นเป็นผลเล็ก ๆ แยกกันอยู่บนแกนของช่อผล ผลเล็ก ๆ เหล่านี้อาจเกิดจากการผสมเกสรหรือไม่ต้องผสมเกสรก็ได้ จัดเป็นไม้ผลพวก parthenocarpic fruit หรือ seedless fruit ซึ่งเกิดจากการที่ไม่มีการถ่ายละอองเกสรทำให้รังไข่เจริญเติบโตไปเป็นเหมือนกับผลที่มีการผสมเกสรทุกประการ (วสันต์, 2546) ผลไม้กลุ่ม berry fruit ส่วนใหญ่มีสีส้มสวยงามซึ่งเกิดจากรังควัตถุที่มีสี ทำเป็นองค์ประกอบภายในโดยรังควัตถุส่วนใหญ่ในผลไม้กลุ่ม berry fruit จะให้สีแดง น้ำเงินจนถึงสีม่วง ซึ่งเรียกว่าแอนโธไซยานินส์ ซึ่งมีคุณสมบัติทางโภชนเภสัชหลายประการซึ่งคุณสมบัติที่สำคัญคือ การเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ

แอนโธไซยานินเป็นสารประกอบในกลุ่มฟลาโวนอยด์ที่สามารถป้องกันการเกิดออกซิเดชันในร่างกาย เนื่องจากในโครงสร้างมีหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมาก แอนโธไซยานินเป็นสารมีฤทธิ์ที่พบในพืชสมุนไพรหลายชนิด เช่น bilberry (*Vaccinium myrtillus*) ซึ่งถูกใช้มาตั้งแต่ศตวรรษที่ 12 ในการช่วยให้ประจำเดือนมาปกติ ในระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2 ชาวอังกฤษก็พัฒนาจนสามารถผลิตในระดับอุตสาหกรรมได้ แอนโธไซยานินสามารถเชื่อมกับน้ำตาลได้หลายโมเลกุลเช่นกันกับคลอโรฟิลล์เป็นสารกลุ่มสำคัญที่ให้สีแก่พืช จากการศึกษาพบว่า แอนโธไซยานินมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันสูงที่สุด และมีจำนวนมากที่สุดในบรรดาสารประกอบฟลาโวนอยด์ ซึ่งมีประมาณ 150 ชนิด จากประมาณ 4,000 ชนิด ที่จำแนกได้ จากการทดสอบความสามารถในการป้องกันการเกิดออกซิเดชันของผลไม้ตระกูลเบอร์รี่หลายสายพันธุ์ พบว่า blackberries มีความสามารถในการต้านโครงการ “การศึกษาเปรียบเทียบปริมาณฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของผลหม่อนสายพันธุ์ต่างๆ”

ออกซิเดชันสูงกว่าผลไม้อื่นๆ แม้จะอยู่ในสปีชีส์เดียวกันก็มีปริมาณ แอนโธไซยานินแตกต่างกันทำให้มีฤทธิ์ทางชีวภาพแตกต่างกันด้วย (Wang and Jiao, 2000)

ส่วนของ Glycosides และ acylglycosides ของแอนโธไซยานินส์เป็นกลุ่มสำคัญในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่เกิดได้ตามธรรมชาติ Bae และ Suh (2006) เป็นเม็ดสีที่ให้สีแดงถึงน้ำเงิน ซึ่งพบได้ทั่วไปตามผลไม้ ผัก และดอกไม้ เป็นสารกลุ่มเม็ดสีสะสมอยู่ในแวคิวโอล (vacuole) ของเนื้อเยื่อดอกและใบของพืช เป็นที่ทราบกันดีว่าสารกลุ่มนี้ให้คุณค่าทางอาหารเสริมสุขภาพและเภสัชเวช เช่น ให้ออกซิเดชันต้านอนุมูลอิสระ ลดปริมาณคอเลสเตอรอล และต่อต้านการเกิดมะเร็ง **กนกพร สมพรไพริน (2545)** พืชที่มีแอนโธไซยานินส์มักพบสารกลุ่มโพลีฟีนอลด้วย สารกลุ่มนี้มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและช่วยชะลอสภาวะเสื่อมของเซลล์ ผักผลไม้ที่มีสีน้ำเงินสีม่วง และสีแดง ได้แก่ กะหล่ำปลีม่วง มันสีม่วง ชมพู่มะเหมี่ยว ชมพู่แดง ลูกหว้า ข้าวแดงข้าวนิล ข้าวเหนียวดำ ถั่วแดง ถั่วดำ หอมแดง ดอกอัญชัน น้ำวุ้น-กาบหอย เหือก หอมหัวใหญ่สีม่วง มะเขือม่วง พริกแดง องุ่นแดงม่วง แอปเปิ้ลแดง ลูกพรุน ลูกเกด บลูเบอร์รี่ เชอร์รี่ แบล็กเบอร์รี่ ราสเบอร์รี่ สตรอเบอร์รี่ ฯลฯ

แอนโธไซยานิน และอนุพันธ์พบได้ทั่วไปในอาหาร แอนโธไซยานินในกะหล่ำปลีแดงสามารถป้องกันสภาวะการเกิดออกซิเดชัน (Igarashi, 2000) ไซยานิดินซึ่งเป็นตัวอย่างสารในกลุ่มแอนโธไซยานินพบมากในผลไม้ ปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์ชาวญี่ปุ่นได้ทดลองกับสัตว์ทดลอง พบว่าสามารถป้องกันการเกิดออกซิเดชันในร่างกายได้ (Tsuda, 2000) โดยจะป้องกันเยื่อหุ้มเซลล์จากการเกิดออกซิเดชันของสารที่เป็นอันตราย นอกจากนี้จากการศึกษาจำนวนมากยืนยันแล้วว่าไซยานิดินสามารถต้านการเกิดออกซิเดชันได้มากกว่าวิตามินอีถึง 4 เท่า (Rice-Evans, 1995) แอนโธไซยานินอีกชนิดหนึ่งคือ pelargonidin พบว่าสามารถป้องกันกรดอะมิโนชนิดโรซินจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของเปอรอกซีไนด์ได้ (Tsuda, 2000) ในมะเขือม่วงมีอนุพันธ์ของแอนโธไซยานินอยู่ชนิด delphinidin ที่เรียกว่า nasunin จะไปจับกับอนุมูลอิสระที่เป็นอันตรายในร่างกาย (Noda, 2000) จากการศึกษาพบว่าแอนโธไซยานินมีอิทธิพลเชิงบวกต่อสุขภาพของมนุษย์ ตัวอย่างเช่นคุณสมบัติในการต้านการอักเสบ ความสามารถในการป้องกันทั้งเส้นเลือดใหญ่และเส้นเลือดฝอยจากการทำลายจากสภาวะต่างๆ สามารถลดระดับน้ำตาลในกระแสโลหิตซึ่งเป็นสาเหตุของโรคเบาหวานได้

มีการศึกษาแอนโธไซยานินส์ในแง่ของการเป็นอาหารสุขภาพ (Functional food) และโภชนเภสัช (Nutraceutical) กันมาก เมื่อเร็ว ๆ นี้ มีการรายงานประโยชน์ของแอนโธไซยานินส์ซึ่งพบว่าสามารถลดปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจโคโรนารี ช่วยในการมองเห็นและสามารถป้องกันโรคมะเร็งได้ ป้องกันการกลายพันธุ์ ป้องกันการอักเสบ ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าว เรียกว่าคุณสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Elisia and others, 2006 ; Wang and others, 1997) มีการศึกษาพบว่าโครงสร้าง catechol ตรงตำแหน่ง B ring กับหมู่ Hydroxyl group 2 กลุ่มตรงตำแหน่ง 3', 4' และหมู่ของโครงการ “การศึกษาเปรียบเทียบปริมาณฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของผลหม่อนสายพันธุ์ต่างๆ” 28

glucose ที่มาจับจะทำให้แอนโธไซยานินมี คุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้ (Wang and others. 1997) แอนโธไซยานินมีหน้าที่ปกป้องผักและผลไม้จากการทำลายของรังสีอัลตราไวโอเลต มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ การวิจัยพบว่าสารกลุ่มแอนโธไซยานินมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของไขมันแอลดีแอล และยังทำให้เซลล์บุผนังหลอดเลือดมีความอ่อนนุ่ม การกินผักและผลไม้ที่มีสีน้ำเงินและสีม่วงจึงสามารถชะลอการเกิดโรคไขมันอุดตันในหลอดเลือดและโรคหลอดเลือดหัวใจแข็งตัวได้

มีรายงานว่า ไชยานิน-3-กลูโคไซด์และเพลาโกไนดิน-3-กลูโคไซด์กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ของเซลล์ผนังหลอดเลือด สร้างสารไนตริกออกไซด์ซึ่งมีผลกับเซลล์บุผนังหลอดเลือด ช่วยในการควบคุมความดันเลือด และป้องกันการชะลอการอุดตัน และแข็งตัวของหลอดเลือดหัวใจได้ (Gerasopoulos and Stavorulakis, 1997) ชะลอความเสื่อมของเซลล์ ช่วยลดอัตราเสี่ยงของการเกิดโรคหัวใจและเส้นเลือดอุดตันในสมอง (ด้วยการยับยั้งไม่ให้เลือดจับตัวเป็นก้อน) (Bae and Suh. 2006) ชะลอความเสื่อมของดวงตา นอกจากนี้แล้วยังพบว่าแอนโธไซยานินส์ ยังช่วยยับยั้งเชื้ออีโคไลในระบบทางเดินอาหาร ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคท้องร่วงและอาหารเป็นพิษด้วย ด้านการเกิดออกซิเดชันของไขมันแอลดีแอล (Wang and Jiao. 2000) และยังทำให้เซลล์บุผนังหลอดเลือดมีความอ่อนนุ่ม ชะลอการเกิดโรคไขมันอุดตันในหลอดเลือดและโรคหลอดเลือดหัวใจแข็งตัวได้ (Tsai and others. 2002)

สารประกอบโพลีฟีนอลิก (polyphenolic compound)

สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds) เป็นสารกลุ่มใหญ่ที่เกิดจากการสังเคราะห์ขึ้นโดยพืช จัดเป็นสารทุติยภูมิที่พบโดยทั่วไปในอาณาจักรพืช สารประกอบฟีนอลิกมีโครงสร้างที่หลากหลายและจัดได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ สารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ (flavonoids) แทนนิน (tannins) และกรดฟีนอลิก (phenolic acids) (ภาพที่ 2.3) (Jussi-Pekka, 2001) และสามารถจำแนกได้ตามจำนวนคาร์บอนดังแสดงในตารางที่ 2.4 (Vattem and others. 2005)

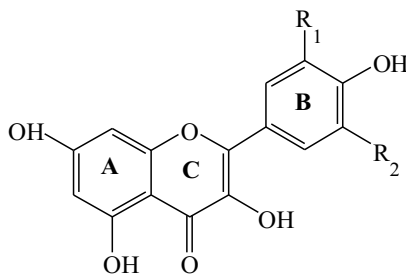
1. ฟลาโวนอยด์ (flavonoids)

ฟลาโวนอยด์เป็นสารผลิตภัณฑ์ธรรมชาติประเภทหนึ่งที่พบได้ทั่วไปในอาหารโดยเฉพาะอย่างยิ่งในพืช เช่น ผัก และผลไม้ ฟลาโวนอยด์เป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างหลัก ลาโวนตรงนิวเคลียส มีสูตรโมเลกุล คือ C_{15} ($C_6-C_3-C_6$) โดยมีวงแหวน A และ B (phenyl ring) จับกับโพแรนหรือไฟโรน (C) การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างที่ ring C ทำให้มีการแยกฟลาโวนอยด์ออกเป็นกลุ่มต่างๆ และการเกิด hydroxylation ที่ ring A และ B ทำให้เกิดอนุพันธ์ของฟลาโวนอยด์ชนิดนั้นๆ (Pietta, 2000) โครงสร้างของฟลาโวนอยด์ทั่วไปที่พบได้แก่ 3-deoxyflavonoids (flavones, flavanones, isoflavones และ neoflavones) และ 3-hydroxyflavonoids (flavonols,

anthocynins, flavan-3,4-diols และ flavan-3-ols) เป็นต้น โครงสร้างและหมู่ฟังก์ชันที่แตกต่างกันทำให้มีฤทธิ์ทางชีวภาพที่แตกต่างกันด้วย (Parmar and Ghosh, 1980)

ฟลาโวนอยด์เป็นกลุ่มสารประกอบฟีนอลิก พบมากในผัก และผลไม้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลไม้ตระกูลเบอร์รี่ จัดเป็นสารออกฤทธิ์ชีวภาพหลักที่พิสูจน์ให้เห็นแล้วว่ามีสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูง มีส่วนสำคัญในการช่วยบำรุงสุขภาพของมนุษย์ ช่วยในการป้องกันสภาวะออกซิเดชันในร่างกาย และช่วยรักษาความสมดุลระหว่างสารออกซิแดนท์และสารต้านออกซิเดชั่น (Adom and Liu, 2002; Wolfe *et al.*, 2003) ในกรณีที่ร่างกายเกิดความไม่สมดุลจากการมีสารออกซิเดชั่นมากเกินไป จะทำให้เกิดสภาวะออกซิเดชัน เป็นผลให้ดีเอ็นเอและโปรตีนถูกทำลาย ซึ่งนำไปสู่ความเสี่ยงสูงต่อการเกิดโรคความผิดปกติทางยีน เช่น โรคมะเร็ง เป็นต้น (Farombi, 2004; Llopiz, 2004; Moller and Loft, 2004; Sander, 2004) สารต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดอนุมูลอิสระ และเป็นที่ยอมรับกันทั่วไป คือ วิตามินอี (tocopherol) กรดฟีนอลิก (phenolic acid) และฟลาโวนอยด์ (flavonoids) จะช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหลอดเลือดเลี้ยงหัวใจตีบตัน (coronary heart disease; CHD) (Bazzano *et al.*, 2003; Polidori, 2003; Srinath *et al.*, 2004) หัวใจเต้นผิดปกติ (Voko, 2003) อาการของโรคทางปอด (Fabricius *et al.*, 2003; Liu, 2004) และมะเร็งหลายๆ ชนิด ได้แก่ มะเร็งสมอง มะเร็งรังไข่ (Duncan, 2004; Hakimuddin *et al.*, 2004; Khanzode, 2004; Larsson *et al.*, 2004) และมะเร็งลำไส้ (Frydoonfar *et al.*, 2003; McCullough, 2003) เป็นต้น

ในธรรมชาติฟลาโวนอยด์มีมากกว่า 4,000 ชนิด ส่วนใหญ่อยู่ในรูปกลัยโคไซด์ ซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิลหนึ่งหมู่หรือมากกว่า โมเลกุลของฟลาโวนอยด์จะจับอยู่กับน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว เช่น กลูโคส (glucose) แรมโนส (rhamnose) อะราบินอส (arabinose) และไซโลส (xylose)



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของฟลาโวนอล (kaempferol, R1=H, R2=H; quercetin, R1=OH, R2=H; myricetin, R1=OH, R2=OH)

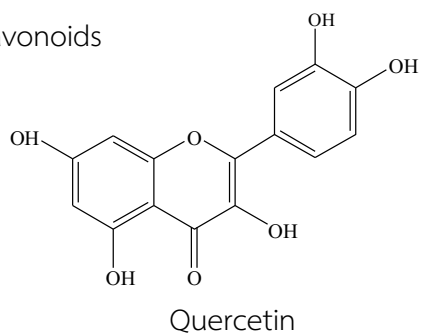
ตารางที่ 2.4 สารฟีนอลิกกลุ่มหลักที่พบในพืช

จำนวนคาร์บอนอะตอม	โครงสร้างหลัก	กลุ่มสารฟีนอลิก
6	C ₆	Simple phenols, Benzoquinones
7	C ₆ -C ₁	Phenolic acids
8	C ₆ -C ₂	Acetophenones, Tyrosine derivatives, Phenylacetic acids
9	C ₆ -C ₃	Hydroxycinnamic acids, Phenylpropenes, Coumarins Isocoumarins, Chromones
10	C ₆ -C ₄	Naphthoquinones
13	C ₆ -C ₁ -C ₆	Xanthones
14	C ₆ -C ₂ -C ₆	Stilbenes, Anthraquinones
15	C ₆ -C ₃ -C ₆	Flavonoids, Isoflavonoids
18	(C ₆ -C ₃) ₂	Lignans
30	(C ₆ -C ₃ -C ₆) ₂	Biflavonoids
N	(C ₆ -C ₃) _n	Lignins
	(C ₆) _n	Catechol
	(C ₆ -C ₃ -C ₆) _n	Flavolans (Condensed Tannins)

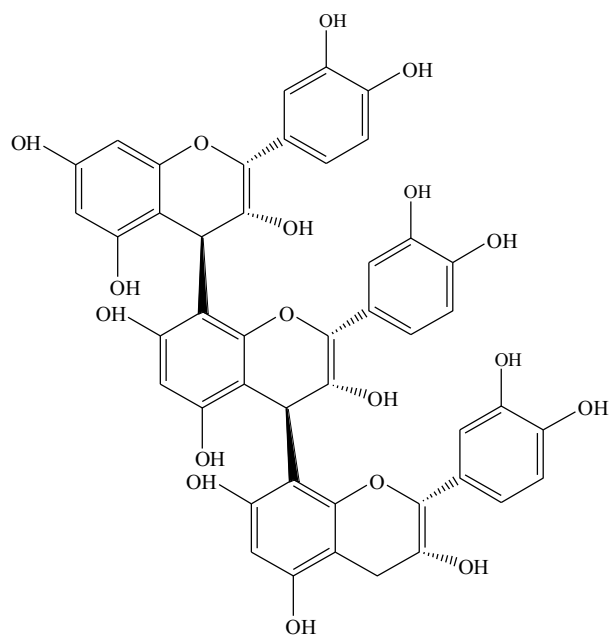
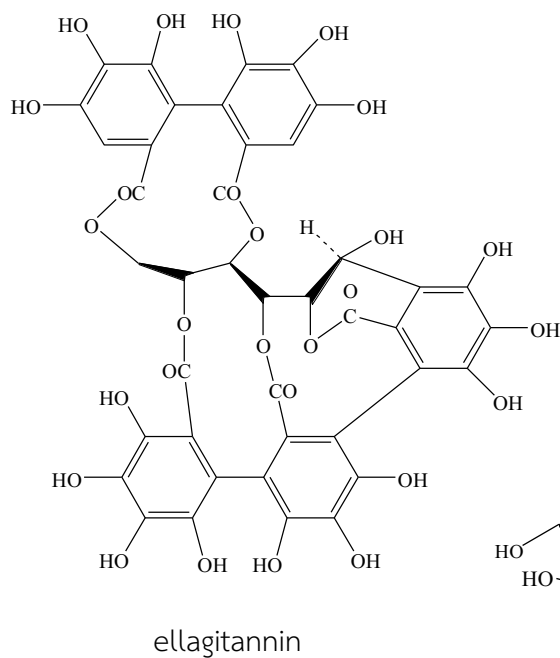
ฟลาโวนอยด์แต่ละชนิดจะแตกต่างกันที่ oxidation state ของ 3-carbon chain เนื่องจากการเติมหมู่ไฮดรอกซิล (OH) บนวงไพแรน ฟลาโวนอยด์อาจแบ่งเป็นกลุ่มย่อยตามลักษณะโครงสร้างได้เป็น 12 กลุ่ม ดังนี้

- 1.1 ฟลาโวนส์ (flavones) ตัวอย่างสารในกลุ่มนี้ เช่น chrysin, apegenin และ lutiolin
- 1.2 ไอโซฟลาโวนส์ (isoflavones) ตัวอย่างสารในกลุ่มนี้ เช่น genistin
- 1.3 ฟลาโวนอลส์ (flavonols) ตัวอย่างสารในกลุ่มนี้ เช่น quercetin, kaempferol และ myricetin
- 1.4 ฟลาวาโนนส์ (flavanones) ตัวอย่างสารในกลุ่มนี้ เช่น hesperetin, butin และ naringenin
- 1.5 ฟลาวาโนนอลส์ (flavanonols) ตัวอย่างสารในกลุ่มนี้ เช่น taxifolin
- 1.6 ลิวโคแอนโทไซยานินส์ (leucoanthocyanins)
- 1.7 แอนโทไซยานิน (anthocyanins) ตัวอย่างสารในกลุ่มนี้ เช่น cyanidin
- 1.8 คาทีชินส์ (catechins)

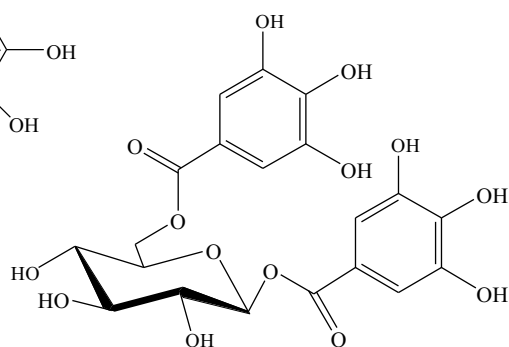
a) flavonoids



b) tannins

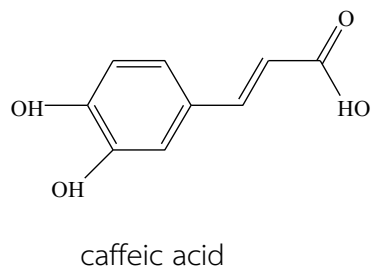
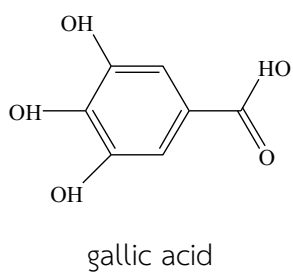


condensed tannin

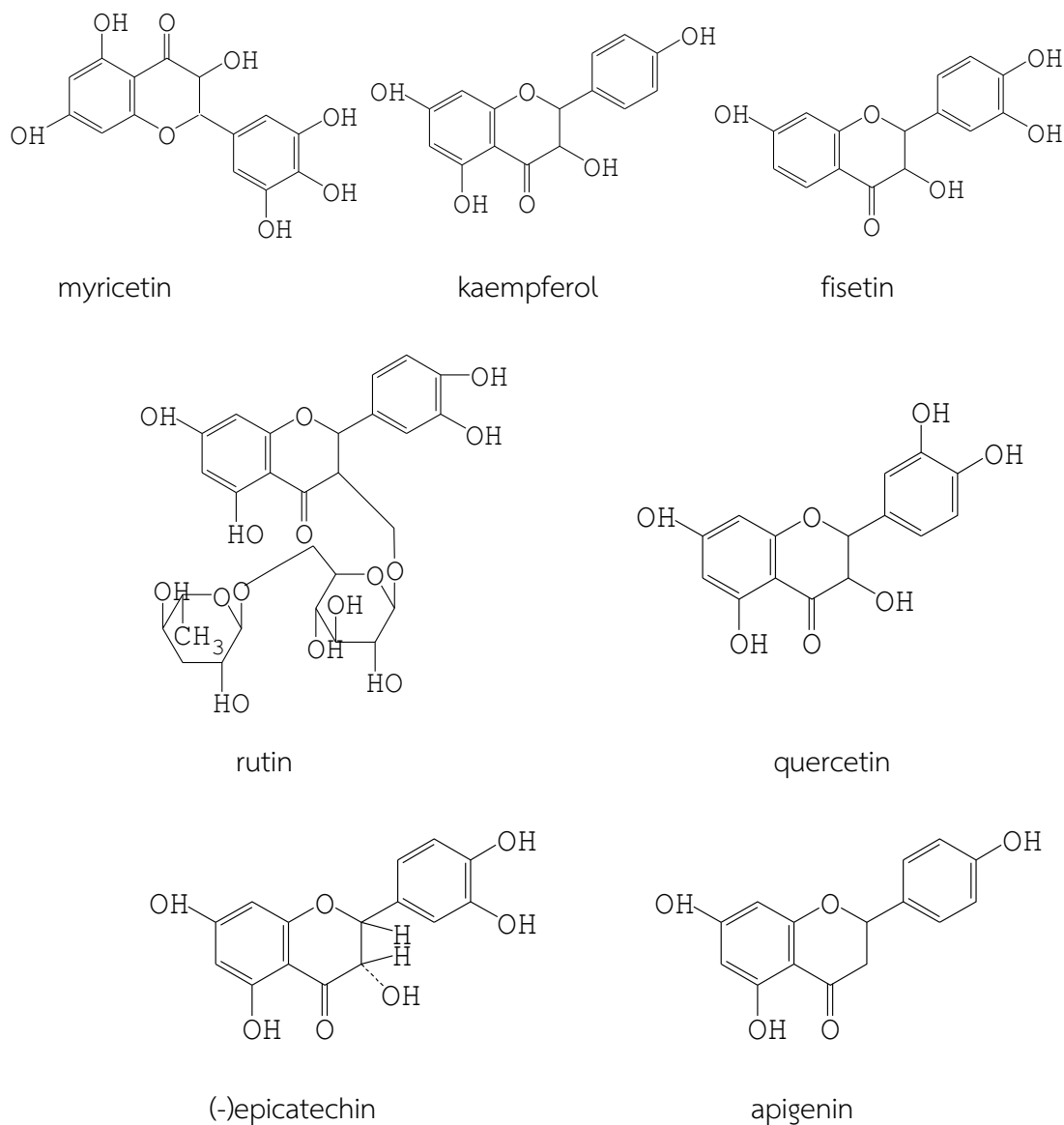


gallotannin

c) phenolic acids



ภาพที่ 2.4 สารฟีนอลิกชนิดต่างๆ ที่พบในพืช a) flavonoids, b) tannins, c) phenolic acids



ภาพที่ 2.5 สูตรโครงสร้างของฟลาโวนอยด์ ได้แก่ myricetin, kaempferol, fisetin, rutin, quercetin, (-)epicatechin และ apigenin

1.9 ชาลโคนส์ (chalcones)

1.10 ไดไฮโดรชาลโคนส์ (dihydrochalcones)

1.11 ออโรนส์ (aurones)

1.12 แซนโทนส์ (xanthones)

ฟลาโวนอลส์ (kaempferol, quercetin และ myricetin) มีสีเหลืองอ่อน ละลายน้ำได้ยาก ประมาณ 80% พบในดอก และใบของพืชชั้นสูง นอกจากนี้ยังพบในผลไม้ทั่วไปหรือผลไม้

โครงการ “การศึกษาเปรียบเทียบปริมาณฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของผลหม่อนสายพันธุ์ต่างๆ”

ในตระกูลเบอร์รี ฟลาโวนอยด์ส่วนใหญ่ที่พบจะอยู่ในรูปกลัยโคไซด์ คือมักจะมีน้ำตาลจำพวก D-glucose, D-galactose, L-rhamnose, L-arabinose, D-xylose และ D-glucuronic acid จับอยู่และมักจับที่ตำแหน่ง 3, 5 และ 7 กลัยโคไซด์มักพบใน cell sap ของดอกไม้ ใบไม้และผลไม้ โดยพบอยู่ในรูป soluble pigments สำหรับพวกอะกลัยโคนมักพบในเนื้อไม้ (Herrmann, 1988)

คาทีชิน (catechin) พบในชาเขียวซึ่งมี 4 ชนิด ได้แก่ epicatechin (EC), (-)-epicatechin-3-gallate (ECG), (-)-epigallocatechin-3-gallate (EGCG) (Mendoza-Wilson and Glossman-Mitnik, 2006) สาร EGCG เป็นสารที่พบในปริมาณมากที่สุดในชาเขียวคือประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ ของสารโพลีฟีนอลทั้งหมด ส่วนชาดำนั้นหลังจากผ่านกระบวนการหมักแล้วสารจำพวกคาทีชินบางส่วนจะถูกเปลี่ยนเป็น flavin และ thearubigins ซึ่งเป็นสารโพลีเมอร์ของสารโพลีฟีนอลแต่ก็ยังคงมีคุณสมบัติของการเป็นโพลีฟีนอลอยู่ น้ำชาที่ได้จากใบชาดำจึงมักประกอบด้วย catechins 3-10 เปอร์เซ็นต์ theaflavins 3-6 เปอร์เซ็นต์ และ thearubigin 12-18 เปอร์เซ็นต์ สารโพลีฟีนอลเหล่านี้มีบทบาทสำคัญในการป้องกันสารก่อมะเร็ง และด้านการกลายพันธุ์ (antimutagenic) โดยเชื่อกันว่าสารสำคัญเหล่านี้มีกระบวนการออกฤทธิ์สำคัญ 2 กระบวนการ คือออกฤทธิ์โดยเข้าไปกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ cytochrome P-450 ซึ่ง cytochrome P-450 เป็นเอนไซม์สำคัญในการเปลี่ยนแปลงสารแปลกปลอมที่เข้าไปในร่างกายให้กลายเป็นสารเมตาบอไลต์ที่มีขั้ว ทำให้ถูกกำจัดออกจากร่างกายได้ง่ายขึ้น สารที่มีฤทธิ์กระตุ้นเอนไซม์ cytochrome P-450 จึงช่วยลดปริมาณสารก่อมะเร็ง และสารก่อการกลายพันธุ์ที่อาจแปลกปลอมเข้าสู่ร่างกาย พร้อมทั้งเร่งการกำจัดเมตาบอไลต์ซึ่งอาจเป็นสารก่อมะเร็งและสารก่อกลายพันธุ์ไปด้วย ไม่ให้สารเหล่านี้ไปก่อความเสียหายต่อเซลล์ที่อวัยวะต่างๆ ได้ เนื่องจากสารโพลีฟีนอลมีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระจึงช่วยลดปริมาณอนุมูลอิสระในร่างกาย ซึ่งเชื่อว่าอนุมูลอิสระเหล่านี้เป็นตัวการสำคัญในการก่อมะเร็งเช่นกัน

อีพิกาทีชิน ((-)-epicatechin) เป็นสารประกอบกลุ่มหลักของฟลาโวนอยด์ที่พบในชาเขียว จากการศึกษาในห้องปฏิบัติการของ Jeremy และคณะ (2001) พบว่าสามารถลดการเกิดออกซิเดชัน ป้องกันเซลล์จากการได้รับอันตราย นอกจากนี้ยังมีรายงานอีกว่ามีฤทธิ์คล้ายกันกับอินซูลิน เป็นสารที่มีความสามารถในการป้องกันออกซิเดชันของไขมันได้ดี และป้องกันการสะสมของเกร็ดเลือด ใช้ประโยชน์ในการลดภาวะแทรกซ้อนจากโรคเบาหวาน ช่วยเพิ่มการหลั่งของฮอโมนอินซูลิน จากรายงานพบว่าสามารถยับยั้งเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส ดังนั้นจึงสามารถป้องกันการย่อยและดูดซับคาร์โบไฮเดรตซึ่งจะไม่ทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดเพิ่มขึ้น

ไมริเซติน (myricetin) เป็นสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ ที่แตกต่างจาก ควอซีตินเพียงอย่างเดียวตรงที่มีการเติมหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง 5'-OH เป็นสารที่มีฤทธิ์ในการต้านการเจริญของเซลล์ลิวคีเมียในมนุษย์ได้หลายชนิด สามารถยับยั้งเอนไซม์ α -glucosidase และ glyoxalase ใน

ยีสต์ได้ดีและยับยั้งเอนไซม์ xanthine oxidase และ PI3-Kinase ($IC_{50} = 1.8 \mu M$) ในนมวัว ออกฤทธิ์ร่วมกับควอซิตินและคาเทชิน-แกลเลทในการยับยั้งการดูดซึมกลูโคส (Pablo and others. 2005) โดยไปยับยั้งเอนไซม์ protein-tyrosine kinase จึงมีฤทธิ์คล้ายฮอร์โมนอินซูลิน ไมริเซตินพบทั่วไปในพืช ผักและผลไม้ เช่น ในมะเขือเทศ (Tokusoglu and others. 2005)

แคมเฟอร์อล (kaempferol) เป็นสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ จากรายงานพบว่าแคมเฟอร์อลทำให้สัตว์ทดลองหลังน้ำดีเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติในการดูดซับรังสีอัลตราไวโอเลต แคมเฟอร์อลบริสุทธิ์เป็นผงสีเหลือง เป็นสารฟลาโวนอยด์ชนิดหนึ่งที่พบมากในแหล่งธรรมชาติ เช่น แอปเปิล หัวหอม กระเทียม ผลส้ม องุ่น ไวน์แดง และ ginkgo biloba (Mary-Jean and Isadore. 2004) มะเขือเทศ (Tokusoglu and others. 2005) ชา (Cao and others. 1997) เป็นต้น แคมเฟอร์อลมีฤทธิ์ทางชีวภาพในการต้านออกซิเดชันสูง ช่วยป้องกันเซลล์ ไขมัน และดีเอ็นเอจากอันตรายของการเกิดออกซิเดชัน ป้องกันภาวะผนังเส้นโลหิตแดงหนาหรือมีความยืดหยุ่นน้อยลง โดยยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของ LDL (low density lipoprotein) และการเกิดลิ้มเลือด จากการศึกษายืนยันแล้วว่าแคมเฟอร์อลเป็น chemopreventive agent สามารถยับยั้งเซลล์มะเร็งได้ จากการศึกษาในห้องปฏิบัติการ พบว่าสามารถยับยั้ง monocyte chemoattractant protein (MCP-1) ซึ่ง MCP-1 มีบทบาทในการเกิดภาวะผนังเส้นโลหิตแดงหนาหรือมีความยืดหยุ่นน้อยลง แคมเฟอร์อลและควอซิตินพบว่ามีปฏิกริยาร่วมกันในการลดการแผ่ขยายของเซลล์มะเร็ง ซึ่งการใช้ฟลาโวนอยด์ 2 ชนิดนี้ร่วมกันจะมีฤทธิ์ดีกว่าใช้เพียงชนิดเดียว

รูติน (rutin) เป็นฟลาโวนอยด์กลัยโคไซด์ที่สังเคราะห์ขึ้นโดยพืชชั้นสูง เพื่อช่วยป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลตและโรคต่างๆ (Gaberscik and others. 2002; Rozema and others. 2002) มีสีเหลืองอมเขียว ในธรรมชาติพบอยู่ในรูปของฟลาโวนอยด์ กลัยโคไซด์ ประกอบด้วยควอซิตินและน้ำตาลไคแซคคาไรด์กลุ่มน้ำตาลรูทีโนส รูตินพบในอาหาร เครื่องดื่ม พืช ผัก และผลไม้หลายชนิด แหล่งที่พบมากที่สุดคือ buckwheat นอกจากนี้ยังพบในผลส้ม โนนี (noni) ชาดำ เปลือกแอปเปิล รูตินมีคุณสมบัติในการต้านออกซิเดชันสูง (Holaseva and others. 2001; Krkoskova and Mrazova, 2005; Park and others. 2000) สามารถจับกับไอออนของโลหะ เช่น เหล็ก ดังนั้นจะลด Fenton reaction (ทำให้เกิดอนุมูลอิสระ) รูตินจะมีฤทธิ์ดีขึ้นเมื่ออยู่กับวิตามินซี รูตินเป็นสารฟลาโวนอยด์ที่มีความสำคัญชนิดหนึ่ง เนื่องจากสามารถช่วยให้เส้นเลือดฝอยแข็งแรงในคนที่เปื้อนแผลฟกช้ำหรือเลือดออกง่าย จากการศึกษาพิสูจน์แล้วว่ารูตินสามารถช่วยหยุดอาการบวมของเส้นเลือดดำ ซึ่งเป็นสัญญาณเริ่มต้นของการเกิดโรคเกี่ยวกับเส้นเลือดดำ ช่วยลดความดันโลหิต (Abeywardena and Head. 2001) และช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดภาวะผนังเส้นโลหิตแดงหนา และมีความยืดหยุ่นน้อยลง จากการศึกษาในสัตว์ทดลอง พบว่ารูตินสามารถป้องกันและรักษาการเกิด

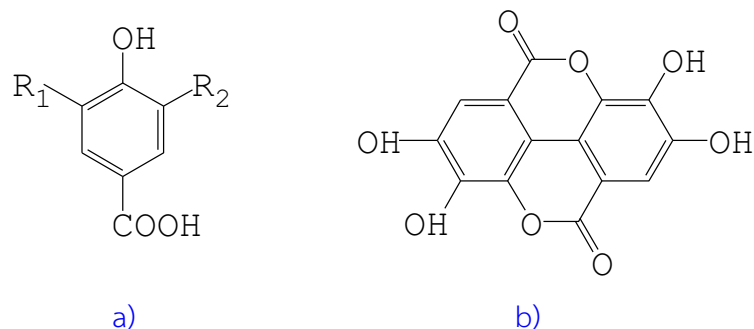
ภาวะอักเสบ และยังสามารถป้องกันโรคมะเร็ง ป้องกันการสะสมไขมันที่ผิวหน้าของหลอดเลือด รวมทั้งลดการเกิดออกซิเดชันของ LDL (low density lipoprotein)

ควอซีติน (quercetin) เป็นสารฟลาโวนอยด์ที่มีมากที่สุด โครงสร้างประกอบด้วยวงแหวนเบนซีน 3 วง และมีหมู่ไฮดรอกซิล 5 หมู่ ควอซีตินในธรรมชาติพบในรูปของอะกลัยโคน (ในโครงสร้างมีโมเลกุลน้ำตาลจับอยู่) ร่างกายมนุษย์สามารถดูดซับควอซีตินเข้ากระแสโลหิตได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ควอซีตินพบมากในอาหารต่างๆ ไป เช่น แอปเปิล ชา หัวหอม เกล็ด ผลไม้ตระกูลเบอร์รี่ กะหล่ำดอก ผักคะน้าและกะหล่ำปลี ควอซีตินมีผลต่อสุขภาพของมนุษย์มากมาย เช่น ช่วยปรับปรุงระบบหมุนเวียนโลหิต ลดภาวะเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง ด้านภาวะอักเสบและอาการแพ้ต่างๆ ฤทธิ์ทางชีวภาพทั้งหมดนี้เกิดจากการต้านการเกิดออกซิเดชันที่มีอยู่สูงของ ควอซีติน โดยการจับกับอนุมูลอิสระที่จะเป็นอันตรายต่อเซลล์ ป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของ LDL (low density lipoprotein) การต้านภาวะอักเสบของควอซีตินนั้นเกิดจากการยับยั้งเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส (lipoxygenase) ซึ่งไม่ทำให้ให้บาโซฟิลส์ (basophils) แดก ฮีสตามีน (histamine) จึงไม่ถูกปล่อยออกมา ทำให้เลือดไม่คั่ง จากการศึกษาพบว่าคนที่กินแอปเปิลซึ่งเป็นแหล่งควอซีตินสูงเป็นประจำจะช่วยปรับปรุงการทำงานของปอด และลดภาวะเสี่ยงต่อการเกิดโรคในระบบทางเดินหายใจ (โรคหืดและโรคหลอดลมอักเสบ) [Arai \(2000\)](#) ศึกษาการได้รับฟลาโวนอยด์ ฟลาโวนส์และไอโซฟลาโวนส์จากอาหารของหญิงชาวญี่ปุ่น และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการได้รับควอซีตินและความเข้มข้นของ LDL (low density lipoprotein) พบว่า หญิงชาวญี่ปุ่นได้รับฟลาโวนอยด์เฉลี่ย 17 มิลลิกรัม ไอโซฟลาโวนส์เฉลี่ย 47 มิลลิกรัม ควอซีตินเป็น ฟลาโวนอยด์ที่ได้รับมากที่สุด รองลงมาคือแคมเฟอรอล โดยส่วนมากฟลาโวนอยด์ได้จากการรับประทานหัวหอมในขณะที่ไอโซฟลาโวนส์ได้จากการรับประทานทงู (tofu) ฟลาโวนอยด์มีความสัมพันธ์แบบสวนทางกับ LDL จากการศึกษาของ [Vincent de Boer และ Ashwin \(2005\)](#) เกี่ยวกับการกระจาย ควอซีตินในเนื้อเยื่อสัตว์ทดลอง (หนูและหมู) พบว่า ระดับควอซีติน และการเมตาโบไลต์ควอซีตินในเนื้อเยื่อของหนูบริเวณปอดมีระดับควอซีตินสูงที่สุด ในขณะที่ ควอซีตินในหมูพบที่ตับและไตสูงที่สุด [Mouat และคณะ \(2005\)](#) ศึกษาผลของควอซีตินต่อเซลล์มะเร็งชนิด SW480 Human Colon Carcinoma Cells จากการศึกษาพบว่า ควอซีตินจะลดการแสดงออกของโปรตีน 3 ชนิด ได้แก่ type II cytoskeletal 8, เคราติน (keratin) และ NADH dehydrogenase Fe-S protein 3 และเพิ่มการแสดงออกของโปรตีน annexin ซึ่งเป็นเครื่องบ่งชี้ว่า ควอซีตินมีคุณสมบัติในการยับยั้งมะเร็งเนื่องจากโปรตีนชนิดนี้ในเซลล์ปกติจะมีสูงกว่าเซลล์มะเร็ง

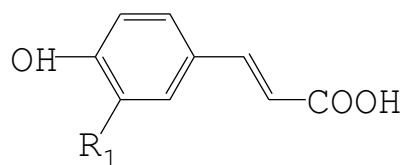
2. กรดฟีนอลิก (phenolic acids)

2.1 กรดไฮดรอกซีเบนโซอิก (hydroxybenzoic acids)

กรดไฮดรอกซีเบนโซอิก (hydroxybenzoic acids) มีโครงสร้างโดยทั่วไปคือ C_6-C_1 เป็นอนุพันธ์ของกรดเบนโซอิก (ภาพที่ 2.6) ความแปรผันของโครงสร้างของกรดนี้ขึ้นอยู่กับ การเกิดปฏิกิริยา hydroxylations และ methylations ของวงแหวนอะโรมาติก เช่น phydroxybenzoic, vanillic, syringic และ protocatechuic acid ซึ่งในธรรมชาติพบอยู่ในรูปที่ จับกับน้ำตาลหรือกรดอินทรีย์ และสะสมอยู่บริเวณผนังเซลล์ของพืชในสิ่งที่เรียกว่า “ลิกนิน” ตัวอย่างกรดไฮดรอกซีเบนโซอิก เช่น กรดซาลิไซลิก (2-hydroxybenzoate) และกรดแกลลิก ซึ่งมี หมู่ไฮดรอกซิล 3 หมู่อยู่ในโมเลกุล ซึ่งมีส่วนร่วมในการสร้าง hydrolysable gallotannins (Herrmann, 1989) ทำให้ได้ hexahydroxydiphenic acid และ dilactone, ellagic acid ซึ่งเป็นสารเมตาโบไลต์ปกติที่พืชสร้างขึ้น โดยปกติแล้ว ellagic acid พบใน ellagitannins เช่น เอสเทอร์ของ diphenic acid (Haslam, 1996)



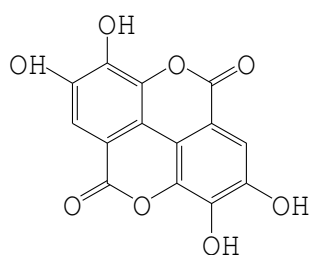
ภาพที่ 2.6 โครงสร้างของ (a) hydroxybenzoic acids ได้แก่ p-hydroxybenzoic acid, $R_1=H$, $R_2=H$; gallic acid, $R_1=OH$, $R_2=OH$ และ (b) ellagic acid



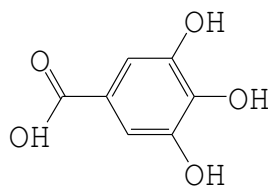
ภาพที่ 2.7 โครงสร้างทางเคมีของกรดไฮดรอกซีซินนามิก 3 ชนิด ได้แก่ p-coumaric acid, $R_1=H$; caffeic acid, $R_1=OH$; ferulic acid, $R_1=OCH_3$

2.2 กรดไฮดรอกซีซินนามิก (hydroxycinnamic acids)

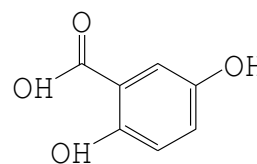
กรดกรดไฮดรอกซีซินนามิก 4 ชนิด ที่พบมากในผลไม้ ได้แก่ *p*-coumaric, caffeic, ferulic และ sinapic acids (ภาพที่ 2.7) กรดกรดไฮดรอกซีซินนามิก โดยปกติเกิดขึ้นจากหลายๆ รูปแบบ เช่น เกิดจากการย่อยของเอนไซม์ หรือการเชื่อมกันของเอสเทอร์ของ hydroxyacids ตัวอย่างเช่น quinic, shikimic และ tartaric acid



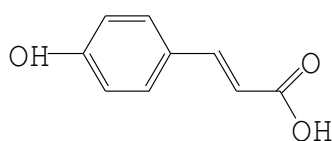
ellagic acid



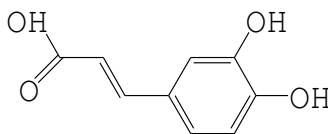
gallic acid



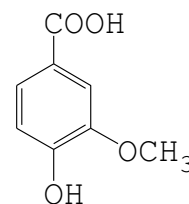
gentisic acid



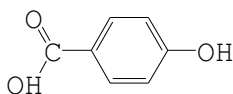
p-coumaric acid



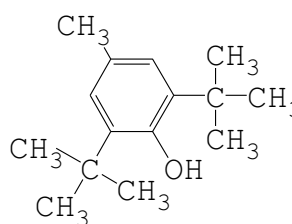
caffeic acid



vanillic acid



p-hydroxybenzoic acid



butylated hydroxytoluene

ภาพที่ 2.8 สูตรโครงสร้างของกรดฟีนอลิก ได้แก่ ellagic acid, gallic acid, gentisic acid, *p*-coumaric acid, caffeic acid, vanillic acid, *p*-hydroxybenzoic acid และ butylated hydroxytoluene

กรดเอลลาจิก (ellagic acid หรือ 4,4',5,5',6,6'-hexahydroxydiphenic acid 2,6,2'6'-dilactone) เป็นสารโพลีฟีนอลที่ประกอบด้วยวงแหวนเบนซีน 4 วง และเป็นอนุพันธ์ไดเมอร์ของกรดกาลิก (ภาพที่ 2.8) เมื่อบริสุทธิ์จะเป็นผลึกแข็งสีครีมถึงขาวอมเหลือง กรดนี้พบในไวน์แดงจากผลไม้ เช่น องุ่น (Talcott and Lee, 2002) และผลไม้ตระกูลเบอร์รี่ ได้แก่ ราสเบอร์รี่ สตรอเบอร์รี่ แบล็คเบอร์รี่ แครนเบอร์รี่ ทับทิม (Dhiraj and Kalidas, 2003) เกาลัดบางชนิด เช่น ผลไม้เปลือกแข็งของพืชจำพวก *carya illinoensis* และมันฮ่อ พบกรดนี้มากที่สุดในแรสเบอร์รี่ พืชหลายชนิดพบกรดนี้ในรูปของ ellagitannin ซึ่งเกิดจากกรดเอลลาจิกจับกับโมเลกุลของน้ำตาล กรดเอลลาจิกมีฤทธิ์ทางชีวภาพมากมาย กล่าวคือเป็นสารต้านออกซิเดชัน สามารถต้านไวรัส กำจัดอนุมูลอิสระ (Xu and others. 2003) ต้านการเกิดมะเร็ง ต้านการสร้างหรือเกิดเนื้องอกมาผิดปกติ ด้านภาวะอักเสบและต้านมะเร็ง จากการศึกษาคุณสมบัติของกรดเอลลาจิกในการต้านมะเร็ง พบว่ามีฤทธิ์ต่อเซลล์มะเร็งหลายชนิด ได้แก่ มะเร็งเต้านม มะเร็งหลอดอาหาร มะเร็งผิวหนัง มะเร็งลำไส้ มะเร็งต่อมลูกหมากและมะเร็งตับ (Jack and others. 2004) คุณสมบัติที่เฉพาะอย่างหนึ่งของกรดนี้คือสามารถป้องกัน การทำงานของยีน P53 ของเซลล์มะเร็งไม่ให้ทำลายเซลล์ เนื่องจากกรดนี้สามารถจับกับเซลล์มะเร็งทำให้เซลล์มะเร็งไม่ทำงาน Shin และคณะ (2005) พบว่ากรดเอลลาจิกที่แยกได้จาก *Phyllanthus urinaria* สามารถยับยั้งการหลั่ง HBeAg ในเซลล์มะเร็ง HepG2 2.2.15 ดังนั้นจึงถือว่ากรดเอลลาจิกเป็นกรดที่สามารถป้องกันและเหนี่ยวนำเซลล์มะเร็งหลายชนิดได้อย่างแท้จริง นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติในการต้านไวรัสและแบคทีเรียอีกด้วย เช่น คุณสมบัติในการต้านเชื้อพลาสโมเดียม (*Plasmodium falciparum*) (Banzouzi and others. 2002) ในพืช กรดนี้จะช่วยในการต้านการรุกรานจากเชื้อจุลินทรีย์และป้องกันยาฆ่าแมลง

gallic acid (3,4,5-Trihydroxybenzoic acid) (ภาพที่ 2.8) บริสุทธิ์เป็นผงผลึกอินทรีย์ ไม่มีสี กรดนี้เกิดเป็นโมเลกุลอิสระหรือเป็นส่วนหนึ่งของโมเลกุลแทนนิน กรดแกลลิกพบมากในพืชหลายชนิด พืชที่มีกรดนี้สูง ได้แก่ สมอ องุ่น ชา ฮอป และเปลือกต้นโอ๊ก เป็นต้น กรดแกลลิกมีคุณสมบัติที่น่าสนใจหลายอย่าง เช่น คุณสมบัติในการต้านเชื้อราและต้านเชื้อไวรัส นอกจากนี้ยังสามารถต้านทานการเกิดออกซิเดชันไม่ให้เซลล์ถูกทำลาย และยังสามารถต้านเซลล์มะเร็งไม่ให้มีอันตรายเป็นเซลล์ได้ กรดแกลลิกสามารถใช้ในการป้องกันสาเหตุของเลือดไหลออกที่ลำไส้ นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในการรักษาภาวะที่กระเพาะปัสสาวะมีอัลบูมิน (albumin) สูง โรคเบาหวาน บางครั้งใช้เป็นครีมรักษาโรคเรื้อนผิวหนังและภาวะเลือดออกง่าย

กรดพารา-คิวมาริก (*p*-coumaric acid) เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นอนุพันธ์ไฮดรอกซีของกรดซินนามิก (cinnamic acid) (ภาพที่ 2.8) กรดนี้มี 3 ไอโซเมอร์ (*o*-coumaric acid, *m*-coumaric acid และ *p*-coumaric acid) ที่ต่างกันโดยที่ตำแหน่งไฮดรอกซี กรดพารา-คิว

มาริกเป็น ไอโซเมอร์ที่พบมากที่สุดในธรรมชาติ สามารถพบได้ในพืชกินได้หลายชนิด เช่น ถั่วลิสง แครอท พริกสีเขียว สตรอเบอร์รี่ สับปะรด มะเขือเทศ และกระเทียม มีลักษณะเป็นผลึกแข็งสีขาว ละลายในน้ำได้แต่ละลายได้ดีในเอทานอลและไดเอทิลเอสเทอร์ ฤทธิ์ทางชีวภาพกรดนี้คือ สามารถต้านการออกซิเดชันของ low-density lipoprotein (LDL) และเชื่อว่าสามารถลดภาวะเสี่ยงต่อการเป็นโรคมะเร็งในกระเพาะอาหาร (Ferguson and others. 2005) โดยการลดการเกิด carcinogenic nitrosamines (Kiyomi and others. 1983) ทำให้มะเร็งในกระเพาะอาหารไม่พัฒนา ไนโตรซามีนเป็นกลุ่มสารประกอบอินทรีย์ที่ประกอบด้วยครึ่งหนึ่งเป็นไนโตรเจน (N=O) ซึ่งมีการค้นพบมากกว่า 100 ปี แล้ว แต่จนกระทั่งปี 1950 จึงพบว่าเป็สารที่มีคุณสมบัติในการก่อมะเร็งอย่างแรงในสัตว์ทดลอง ผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น เนื้อสัตว์ อาหารดอง และปลาเค็มแห้ง ซึ่งเป็นอาหารที่มีการใช้ไนโตรซามีน ผู้บริโภคจึงมีความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง เชื่อกันว่ากระบวนการเริ่มต้นเกิดขึ้นที่กระเพาะอาหาร เมื่อเกลือไนเตรทถูกย่อยกลายเป็นไนไตรต์ จากนั้นไนไตรต์จะไปจับกับเอมีนซึ่งเป็นสารที่ถูกสร้างขึ้นจากโปรตีนโดยแบคทีเรียในเนื้อ ผลสุดท้ายจะได้สารก่อมะเร็งชนิด carcinogenic nitrosamines กรดพารา-คิวมาริกยับยั้งกระบวนการนี้โดยการจับกับอนุพันธ์ของกรดไนตริก ป้องกันไม่ให้จับกับเอมีนทำให้ไม่เกิดไนโตรซามีนซึ่งเป็นสารอันตราย นักวิจัยพบว่า 90% ของไนโตรซามีนส์ทั้งหมดเป็นสาเหตุของการเกิดมะเร็ง

กรดคาเฟอิก (caffeic acid หรือ 3,4-dihydroxycinnamic acid, $C_9H_8O_4$) เป็นสารทุติยภูมิที่เกิดขึ้นในธรรมชาติโดยเฉพาะอย่างยิ่งในอาณาจักรพืช (ภาพที่ 2.8) จัดเป็นกรดคาร์บอกซิลิกซึ่งอาจอยู่ในรูปกรดอิสระหรือจับกันเป็นโอลิโกเมอร์ (Yamamoto and others. 2000; Lu and others. 1999) หรือเชื่อมด้วยสารประกอบอินทรีย์ในรูปของกลูโคไซด์ (Bernards and others. 1991) และเอสเทอร์ (Li and others. 2000) เป็นสารเมตาโบไลต์ที่เกิดขึ้นในวิถีฟีนิลโพรพานอยด์ เป็นพรีเคอร์เซอร์สำหรับวิถีชีวสังเคราะห์ลิกนิน กรดคาเฟอิกพบในผลไม้ ผัก เครื่องเทศ และเครื่องดื่ม กรดคาเฟอิกฟีนิลเอสเทอร์ (caffeic acid phenethyl ester, CAPE) ใช้ประโยชน์ทางยา โดยเป็นสารประกอบที่มีฤทธิ์ต้านสารก่อมะเร็ง ด้านภาวะการอักเสบ และมีคุณสมบัติเช่นกันกับภูมิคุ้มกัน จากการศึกษาพบว่า กรดคาเฟอิกสามารถต้านออกซิเดชัน สามารถกำจัดอนุมูลอิสระและโครงสร้างมีความเสถียร (Wolf and others. 2004) นอกจากนี้ยังได้รับความสนใจมากในคุณสมบัติการต้านออกซิเดชันของอนุมูลออกซิเจนอิสระได้ จากการศึกษาพิสูจน์แล้วว่าสามารถป้องกันการเกิดออกซิเดชันของกรดลิโนเลอิก (linoleic acid) และ low-density lipoprotein (LDL) ป้องกันเนื้อเยื่อและดีเอ็นเอจากการถูกทำลายด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Meyer and others. 1997)

กรดวานิลลิก (vanillic acid) (ภาพที่ 2.8) เป็นสารประกอบหลักของ biovanillin เป็นสารที่มีกลิ่นแรง ใช้มากในอุตสาหกรรมอาหารและนิยมใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ยา ในยุโรปอนุพันธ์ของกรดวานิลลิกถูกใช้เป็นยาบำรุงกำลัง (Ghosh, 2006) กรดนี้ประกอบด้วยหมู่อัลดีไฮด์และฟิ

โครงการ “การศึกษาเปรียบเทียบปริมาณฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของผลหม่อนสายพันธุ์ต่างๆ” 40

โนลิกซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยาได้หลายชนิด กรดวานิลิกพบในธรรมชาติซึ่งถูกสร้างขึ้นโดยพืช เช่น ผักวานิลลา และสังเคราะห์ในอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อใช้ในการเป็นสารให้กลิ่นในลูกกวาด อาหารและเครื่องดื่ม นอกจากนี้ยังสามารถพบได้ในไวน์ที่บ่มนานๆ (Spillman and others. 1997) และเป็นผลพลอยได้จากการผลิตเคอร์คิวมิน (curcumin) จากขมิ้น (Wang and others. 1997) กรดวานิลิกมีคุณสมบัติในการต้านสารก่อมะเร็งโดยลดจำนวนมะเร็งในลำไส้เล็ก ซึ่งเกิดจากการเหนี่ยวนำให้เกิดโดยสารก่อมะเร็ง (Akagi and others. 1995) สามารถต้านออกซิเดชัน ป้องกันเซลล์จากการทำลายด้วย H_2O_2 ป้องกันเซลล์ไม่ให้เกิดการกลายพันธุ์ในเซลล์ที่ได้รับความเสียหาย ช่วยให้การใช้ยาต้านมะเร็งมีประสิทธิภาพมากขึ้น

p-hydroxybenzoic acid (parabens) (ภาพที่ 2.8) เป็นสารที่อยู่ในกลุ่ม hydroxybenzoic acid ใช้ประโยชน์ในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ พาราบินส์มีฤทธิ์ทางชีวภาพหลายอย่างแต่โดยทั่วไปเชื่อว่าจะมีผลยับยั้งเนื้อเยื่อขนส่งสารและยับยั้งการทำงานของไมโทคอนเดรีย พาราบินส์นำมาใช้ครั้งแรกเพื่อใช้เป็นสารต้านเชื้อจุลินทรีย์ในการผลิตยาในช่วงปี 1920 (Sabalitschka, 1930) จากนั้นพาราบินส์จึงปรับปรุงให้สามารถต้านเชื้อจุลินทรีย์ได้กว้างขวาง และมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เช่นการเพิ่มหมู่เอสเทอร์ในสายพาราบินส์ ทำให้สามารถต้านเชื้อจุลินทรีย์ได้ดีขึ้น แต่ความสามารถในการละลายน้ำก็ลดลง (Elder, 1984) ในปัจจุบันมีการใช้ประโยชน์มากมาย เช่น ใช้เติมในเครื่องสำอาง ยา ใช้ในการต้านเชื้อยีสต์และราในผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น สีน้าอบแห้ง เครื่องดื่ม ผลิตภัณฑ์จากผลไม้ น้ำสลัด ไซรับ และน้ำมันมะกอก เป็นต้น Okada และคณะ (1999) รายงานไว้ว่าความเข้มข้นต่ำสุดของพาราบินส์ในการยับยั้งเชื้อ *S. cerevisiae* และ *Klebsiella pneumoniae* ได้ 50% คือ 1.29 และ 4.28 mM ตามลำดับ พาราบินส์มีผลต่อการเจริญของแบคทีเรียในช่องปาก Steinberg และคณะ (1999) รายงานว่าเมธิลและโพรพิลพาราบินส์ที่ความเข้มข้น 0.6% และ 0.3% ในน้ำยาบ้วนปากมีผลเพียงเล็กน้อยต่อจำนวนแบคทีเรียในปาก แต่ก็สามารถช่วยลดจำนวนแบคทีเรียในช่องปากได้ดี

วิธีการวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิก

วิธีการวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกในพืชทั่วไป และในพืชที่ใช้เป็นอาหาร มีหลายวิธี Hermann (1989) และ Waksmundzka-Hajnos (1998) สามารถวิเคราะห์กรดฟีนอลิกจำพวก hydroxycinnamic และ hydroxybenzoic acids ในพืชต่างๆ และพืชที่ใช้เป็นอาหารได้ โดยการวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกในวัตถุดิบต่างๆ ขั้นตอนสำคัญขั้นตอนหนึ่งคือการสกัดแยกสาร วิธีการสกัดแยกสารขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารและสารประกอบฟีนอลิกที่จะวิเคราะห์ ในขั้นตอนแรกจะต้องบด ทำให้ยุ่ยหรือไม่ตัวอย่างให้ละเอียดจะทำให้มีพื้นที่ผิวมากขึ้นและสะดวกในการสกัดด้วยตัวทำละลาย “การศึกษาเปรียบเทียบปริมาณฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของผลหมอนสายพันธุ์ต่างๆ” 41

ละลาย เพื่อให้แน่ใจว่าสารสกัดที่ได้เป็นตัวแทนที่ดีของตัวอย่าง เนื่องจากสารประกอบฟีนอลิกส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของกลัยโคไซด์หรือเอสเทอร์ ดังนั้นในการเตรียมตัวอย่างจึงต้องย่อยด้วยอัลคาไลน์กรดและหรือเอนไซม์เพื่อให้ได้สารประกอบฟีนอลิกอิสระ

1. ฟลาโวนอลส์ (Pietta, 2000)

การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์โดยเฉพาะกลุ่มฟลาโวนอลส์ มักใช้เทคนิค HPLC (High-Performance Liquid Chromatography) UV-สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-spectrophotometry) หรือ CE (Capillary Electrophoresis) และตรวจวัดด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต PDH (photo-diode array) หรือ MS (mass spectrometry) เนื่องจากสารประกอบฟลาโวนอยด์จากพืชมักอยู่ในรูป O-glycosidic โดยจับกับน้ำตาล เช่น กลูโคส (glucose) กาแลคโตส (galactose) แรมโนส (rhamnose) อะราบินอส (arabinose) และรูทีโนส (rutinose) ในการวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ จะทำการวิเคราะห์เฉพาะส่วนอะไกลโคน ดังนั้นต้องย่อยด้วยกรดหรือน้ำตาลออกไป ปกติจะย่อยฟลาโวนอลส์ด้วยเมธานอลที่มีกรดไฮโดรคลอริกผสมอยู่ HPLC เป็นวิธีที่นิยมใช้มากในการวิเคราะห์ฟลาโวนอยด์ อาศัยความแตกต่างของสภาพขั้วของสารสารที่มีสภาพขั้วมากที่สุดจะถูกหน่วงเหนี่ยวให้อยู่ในคอลัมน์นานและถูกชะออกมาทีหลังสุด ซึ่งทำให้สามารถแยกสารได้ เช่นกันสำหรับเฟสอยู่กับที่มีหมู่ฟังก์ชันไม่มีขั้ว (reversed-phase ; RP) มีสภาพขั้วน้อยกว่าเฟสเคลื่อนที่ เหมาะสำหรับการใช้ในการแยกสารในกลุ่ม ฟลาโวนอลส์และฟลาโวนอยด์อื่นๆ ในผลไม้ ในการแยกโดยใช้คอลัมน์ C18 (อนุภาคในคอลัมน์ขนาด 3–5 mm) โดยใช้เฟสเคลื่อนที่เป็นเมธานอลหรืออะซิโตนไตรผสมกับกรดอะซิติก กรดฟอร์มิก หรือฟอสเฟตบัฟเฟอร์ในปริมาณเล็กน้อยจะช่วยเพิ่มความสามารถในการแยกฟลาโวนอยด์และสารประกอบฟีนอลิกอื่นๆ

2. กรดฟีนอลิก

เช่นกันกับฟลาโวนอยด์ การใช้เทคนิค RP-HPLC สามารถประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์กรดฟีนอลิกได้ ตัวทำละลายที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วย HPLC ได้แก่ สารละลายน้ำ-กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก หรือกรดฟอสฟอริก กับเมธานอลหรืออะซิโตนไตร ทั้งพีเอชและความเข้มข้นไอออนของเฟสเคลื่อนที่มีอิทธิพลต่อการหน่วงเหนี่ยวกรดฟีนอลิกในคอลัมน์ การเปลี่ยนแปลงพีเอชจะช่วยเพิ่มการแลกเปลี่ยนไอออนของตัวอย่างซึ่งจะลดการหน่วงเหนี่ยวในคอลัมน์ในการแยกแบบ reversed-phase ดังนั้นการเติมกรดอะซิติก (2–5%) กรดฟอร์มิก กรดฟอสฟอริกหรือกรดไตรฟลูออโรอะซิติก (0.1%) ในสารละลายจะช่วยลดการแลกเปลี่ยนไอออน และหมู่คาร์บอกซิลซึ่งจะช่วยเพิ่มการแยกโครมาโทแกรมของสารได้ดีขึ้น อนุพันธ์ของกรดเบนโซอิกจำนวนมากดูดซับแสงสูงที่สุดในช่วงความยาวคลื่น 246–262 nm ยกเว้นกรด แกลลิกและ กรดไซรินจิกซึ่งดูดซับแสงสูงที่สุดที่ 271 และ 275 nm ตามลำดับ (Torres and others. 1987) กรดไฮดรอกซีซินนามิกดูดซับแสงใน 2 ช่วง ของ UV โดยช่วงแรกอยู่ที่ความยาวคลื่นระหว่าง 225–235 nm และช่วงต่อมาอยู่ระหว่าง 290–330 nm ที่โครงการ “การศึกษาเปรียบเทียบปริมาณฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์ด้านออกซิเดชันของผลหมอนสายพันธุ์ต่างๆ”

ความยาวคลื่น 320 nm อนุพันธ์ของกรดซินนามิกสามารถตรวจวัดได้ โดยไม่ถูกรบกวนจากอนุพันธ์ของกรดเบนโซอิก ซึ่งดูดซับแสงที่ความยาวคลื่น 254 nm อย่างไรก็ตามการตรวจที่ความยาวคลื่น 280 nm ก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถใช้ตรวจสอบประกอบฟีนอลิกทั้งสองกลุ่ม การดูดซับแสงในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 350–370 nm เป็นช่วงที่นิยมใช้กันทั่วไปในการตรวจวัดฟลาโวนอยด์อะกลัยโคน และที่ความยาวคลื่น 280 nm เหมาะสำหรับตรวจวัด flavan-3-ol และฟลาโวนอยด์กลัยโคไซด์ (Robards and Antolowich, 1997)

3. การตรวจวัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกโดยรวม

การตรวจวัดปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลโดยรวม มีสารเฉพาะสำหรับทำปฏิกิริยากับสารประกอบโพลีฟีนอล คือ Folin–Ciocalteu Phonal TS. เป็นการวิเคราะห์ปฏิกิริยาการเกิดของสารประกอบโพลีฟีนอลโดยรวมกับสารเฉพาะ โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสีที่เกิดขึ้น สีฟ้าที่เกิดขึ้นแสดงถึงการมีสารประกอบโพลีฟีนอล การวิจัยส่วนใหญ่จะใช้กรดแกลลิกเป็นสารมาตรฐาน แสดงค่าเป็นมิลลิกรัมต่อ 100 กรัม เทียบเท่ากับกรดแกลลิก (gallic acid equivalents, GAE)

4. การทดสอบฤทธิ์ต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันมีการทดสอบได้หลายวิธีตัวอย่างเช่น

4.1 วิธี thiobarbituric reactive substances (TBARS) เป็นวิธีการติดตามปริมาณสารประกอบอัลดีไฮด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของ low density lipoprotein (LDL) กับโลหะไอออน เช่น Fe^{2+} และ Cu^{2+} โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร (Prakash, 2001)

4.2 วิธี Trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC) assay หรือ ABTS (2,2-azinobis [ethylbenzothiazoline-6-sulphonate]) assay เป็นการทดสอบฤทธิ์ต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของ ABTS ในรูปของ $\text{ABTS}^{\bullet+}$ เปรียบเทียบกับ Trolox วัดได้จากการลดลงของสีในสารละลาย โดยสาร ABTS ซึ่งใช้ทดสอบกับสารสกัดจากอาหารวัดการดูดกลืนแสงของสารละลายที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร (Whiteman and Guan, 2003) ข้อดีของวิธี TEAE คือทำได้ง่าย โดยอนุมูลอิสระ ABTS จะทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วกับสารต้านอนุมูลอิสระภายใน 30 นาที ปกติใช้เวลาประมาณ 5 นาที การวิเคราะห์ทำได้ในช่วงความเป็นกรด-ด่างกว้าง ทำให้สามารถศึกษาได้โดยละเอียด อนุมูลอิสระ ABTS ละลายได้ทั้งในน้ำและสารละลายอินทรีย์ ใช้วิเคราะห์หาความสามารถในการต้านออกซิเดชันของสารต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นสารที่ละลายน้ำ หรือสารที่ละลายในไขมัน ข้อเสียคือ อนุมูลอิสระ ABTS ไม่เป็นสารตามธรรมชาติที่ก่อให้เกิดอนุมูลอิสระในเซลล์หรือในร่างกาย (โอภา และคณะ, 2549)

4.3 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด (ในรูปกรดแกลลิก) เป็นการทดสอบสารฟีนอลทั้งหมด โดยใช้ Folin-ciocalteu reagent ทำปฏิกิริยากับตัวอย่างสารละลาย และ

ทำการเปรียบด้วยสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกโดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร (Zoecklein *et al.*, 1995)

4.4 การทดสอบฤทธิ์ต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH radical scavenging เป็นการทดสอบฤทธิ์ต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยให้สารตัวอย่างทำปฏิกิริยากับ DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) ติดตามผลการทดลองโดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่ความยาวคลื่น 517-520 นาโนเมตร (สันติ และวรรณ, 2544) อนุมูลอิสระ DPPH เป็นหนึ่งในสองสามชนิดของอนุมูลอิสระที่มีความคง มีสีม่วงเมื่ออยู่ในรูปอิสระแล้วโดยไม่ต้องทำปฏิกิริยาเหมือนกับอนุมูลอิสระ ABTS (โอภา และคณะ, 2549; Huang *et al.*, 2005) ข้อดีของวิธีนี้คือ ง่าย ใช้เครื่องมือสามัญทั่วไป นิยมใช้เป็นวิธีเบื้องต้นในการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลของสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ ข้อเสียของวิธีการนี้คือ อนุมูลอิสระ DPPH มีความคงตัวไม่ไวต่อปฏิกิริยาเหมือนอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในเซลล์หรือร่างกาย ดังนั้นวิธีนี้จึงไม่สามารถแยกแยะ หรือจัดอันดับอนุมูลอิสระที่ความไวสูงได้ นอกจากนี้โครงสร้างทางเคมีของอนุมูลอิสระ DPPH จะมีอิเล็กตรอนเดี่ยวของอนุมูลอิสระถูกบดบังด้วยวงแหวนเบนซีน 3 วง และหมู่ไนโตร ทำให้สารต้านอนุมูลที่มีฤทธิ์แรงแต่มีขนาดใหญ่ไม่สามารถเข้าไปทำปฏิกิริยาหรือเกิดปฏิกิริยาช้ากว่าความเป็นจริง นอกจากนี้สารรีดิวซ์สามารถทำให้สีของอนุมูลอิสระ DPPH จางลงได้อีกด้วย (โอภา และคณะ, 2549)

ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสารประกอบฟีนอลิกและความสามารถต้านออกซิเดชันของพืช

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและความสามารถในการต้านออกซิเดชันของพืชแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน นอกจากนี้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและความสามารถในการต้านออกซิเดชันยังขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น สายพันธุ์ ระยะการเจริญเติบโต ฤดูกาล และสปีชีส์ เป็นต้น

สายพันธุ์

สายพันธุ์คือหนึ่งในปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณและองค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิก (Kim *et al.*, 2003) Orak (2007) ทำการศึกษาปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถในการต้านออกซิเดชันของสารสกัดจากองุ่นสายพันธุ์ต่างๆ 16 สายพันธุ์พบว่าองุ่นสายพันธุ์ต่างๆ มีปริมาณแอนโธไซยานินสีทั้งหมด สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดแตกต่างกัน ส่งผลให้ความสามารถในการต้านออกซิเดชันแตกต่างกันด้วย ในปี 2008 Ozgen และคณะ (2008) ศึกษาสมบัติทางเคมีและสมบัติการต้านออกซิเดชันของทับทิม (*Punica granatum* L.) 6 สายพันธุ์ โดยทำการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโธไซยานินสีทั้งหมด สมบัติการโครงการ “การศึกษาเปรียบเทียบปริมาณฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของผลหม่อนสายพันธุ์ต่างๆ” 44

ต้านออกซิเดชัน 2 วิธี ได้แก่ Frap (ferric reducing antioxidant power) และ TEAC (Trolox equivalent antioxidant capacity) assays พบว่าทับทิมทั้ง 6 สายพันธุ์ มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดอยู่ระหว่าง 1,245-2,076 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อน้ำทับทิม 1 ลิตร และมีปริมาณแอนโธไซยานินส์ทั้งหมดอยู่ระหว่าง 6.12-219 มิลลิกรัมสมมูลของไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ ต่อน้ำทับทิม 1 ลิตร และมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันแตกต่างกัน

ระยะการเจริญเติบโต

ระยะการเจริญเติบโตคืออีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญที่มีอิทธิพลต่อสารชีวเคมี ลักษณะทางกายภาพ และการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างของผลไม้และผัก (Menichini et al., 2009) Lima และคณะ (2005) ศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและแคโรทีนอยด์ของผล Acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) ที่ทำการเก็บเกี่ยวที่ 3 ระยะการเจริญเติบโตคือ initial stage (ผลสีเขียวทั้งหมด) half-mature (ผลมีสีเหลืองถึงสีแดง) และ completely mature (ผลสีแดงถึงสีม่วง) พบว่าสารประกอบฟีนอลิกของผล Acerola บางสายพันธุ์มีปริมาณลดลงเมื่อมีการเจริญเติบโตมากขึ้น ตรงข้ามกับปริมาณแคโรทีนอยด์ โดยมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเจริญเติบโตมากขึ้น และ Castrejon และคณะ (2008) ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบฟีนอลิกและสมบัติการต้านออกซิเดชันของบลูเบอร์รี่ (*Vaccinium corymbosum* L.) ในระหว่างการเจริญเติบโตและการสุก พบว่าเมื่อบลูเบอร์รี่มีการเจริญเติบโตมากขึ้นจะมีการสะสมแอนโธไซยานินมากขึ้น ในขณะที่ฟลาโวนอลและกรดไฮดรอกซีชินนามิกจะมีปริมาณลดลง ในส่วนของความสามารถต้านออกซิเดชันจะมีแนวโน้มเช่นเดียวกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด คือมีแนวโน้มลดลงเมื่อบลูเบอร์รี่สุกมากขึ้น

ฤดูกาล

ภูมิอากาศหรือฤดูกาลมีอิทธิพลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของผล Acerola โดยผลที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้งจะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากกว่าผลที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝน ทั้งนี้เนื่องจากน้ำฝนอาจจะเจือจางน้ำผลไม้ภายในเซลล์ และทำให้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกลดลง (Lima et al., 2005) อีกทั้ง Ferreyra และคณะ (2007) รายงานว่าการเก็บเกี่ยวสตรอเบอร์รี่ในช่วงฤดูร้อนจะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH มากกว่าในช่วงฤดูหนาว

สปีชีส์

Gerasopoulos และ Stavroulakis (1997) ศึกษาคุณลักษณะทางคุณภาพของผลหม่อน 2 สปีชีส์ คือ *Morus alba* (หม่อนขาว 3 สายพันธุ์ ได้แก่ Mavri, Rodini และ Aspri) และ *Morus nigra* (หม่อนดำ ได้แก่สายพันธุ์ Mavromurnia) พบว่าผลหม่อนพันธุ์ Mavromurnia มีปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมดสูงกว่าผลหม่อนพันธุ์อื่น และในปี 2007 Ercisli และ Orhan (2007) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมี เช่น ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solid) ความเป็นกรดต่าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของผลหม่อน 3 สปีชีส์ คือ หม่อนขาว (*Morus alba*) หม่อนแดง (*Morus rubra*) และหม่อนดำ (*Morus nigra*) พบว่า สปีชีส์มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ทั้งหมด โดยหม่อนดำมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ทั้งหมดมากที่สุด รองลงมาคือหม่อนแดงและหม่อนขาว ตามลำดับ โดยผู้วิจัยกล่าวไว้ว่าเนื่องจากความแตกต่างทางพันธุกรรม โดยในงานวิจัยนี้ทำการเก็บตัวอย่างผลหม่อนที่มีอายุเท่ากัน และเจริญเติบโตภายใต้ภูมิอากาศเดียวกัน

บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 ตัวอย่างและสารเคมี

3.1.1 ตัวอย่างผลหม่อน

เก็บตัวอย่างผลหม่อนจากศูนย์นวัตกรรมไหม มหาวิทยาลัยมหาสารคาม และศูนย์หม่อนไหมเฉลิมพระเกียรติฯ จังหวัดอุดรธานี และไร่ก้านจูล จังหวัดเพชรบูรณ์ โดยเก็บตัวอย่างจากหม่อนพันธุ์ต่างๆ มีทั้งหมด 8 พันธุ์ ได้แก่

ตารางที่ 3.1 แสดงแหล่งที่มาและสายพันธุ์หม่อนที่ใช้ในการศึกษา

ลำดับที่	พันธุ์หม่อน	แหล่งที่มา
1	พันธุ์นครราชสีมา 60	ศูนย์นวัตกรรมไหม มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
2	พันธุ์บุรีรัมย์ 60	ศูนย์นวัตกรรมไหม มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
3	พันธุ์ชุมพร	ศูนย์หม่อนไหมเฉลิมพระเกียรติฯ จังหวัดอุดรธานี
4	พันธุ์วาวี	ศูนย์หม่อนไหมเฉลิมพระเกียรติฯ จังหวัดอุดรธานี
5	พันธุ์เชียงใหม่	ศูนย์หม่อนไหมเฉลิมพระเกียรติฯ จังหวัดอุดรธานี
6	พันธุ์พิกุลทอง	ศูนย์หม่อนไหมเฉลิมพระเกียรติฯ จังหวัดอุดรธานี
7	พันธุ์กำแพงแสน	ศูนย์หม่อนไหมเฉลิมพระเกียรติฯ จังหวัดอุดรธานี
8	พันธุ์ไร่ก้านจูล	ไร่ก้านจูล จังหวัดเพชรบูรณ์



พันธุ์นครราชสีมา 60



พันธุ์บุรีรัมย์ 60



พันธุ์ชุมพร



พันธุ์วาวี



พันธุ์เชียงใหม่



พันธุ์พิกุลทอง



พันธุ์กำแพงแสน



พันธุ์ไร่กำนันจุล

ภาพที่ 3.1 แสดงพันธุ์หม่อนที่ใช้ในการศึกษาค้างนี้

3.1.2 สารเคมี

3.1.2.1 สารละลายและเฟสเคลื่อนที่ได้แก่ acetonitrile, methanol และ ethanol

3.1.2.2 สารมาตรฐานฟลาโวนอยด์ที่ใช้ในการทดลองได้แก่ (+)-catechin, myricetin, rutin, (-)-epicatechin, resveratrol, lutelin, quercetin, naringenin, และ kaempferol ซึ่งซื้อมาจากบริษัท Sigma (USA) เตรียมความเข้มข้นของสารมาตรฐานที่ 0.50 gL^{-1} ทุกตัวอย่างกรองผ่านกระดาษกรองขนาด $0.45 \mu\text{m}$ ก่อนฉีดเข้าเครื่อง HPLC

3.1.2.3 สารมาตรฐานกรดฟีนอลิก ได้แก่ gallic acid, dihydroxybenzoic acid, 4-hydroxybenzoic acid, chlorogenic acid, vanillic acid, caffeic acid, syringic acid, *p*-coumaric acid, ferulic acid, sinapinic acid ซึ่งซื้อมาจากบริษัท Sigma (USA) ใช้สำหรับวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC

3.1.2.4 สารมาตรฐานกรดอินทรีย์ ได้แก่ oxalic acid, tartaric acid, malic acid, ascorbic acid, lactic acid, acetic acid, citric acid, และ benzoic acid ซึ่งซื้อมาจากบริษัท May & Baker (British) ใช้สำหรับวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC

3.1.2.5 สารมาตรฐานแอนโทไซยานินที่ใช้ในการทดลองได้แก่ kuromanin, keracyanidin, malvin, dephinidin, cyanidin, pelargonidin, malvidin ซึ่งซื้อมาจากบริษัท Sigma (USA) ใช้สำหรับวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC

3.1.2.6 สารเคมีที่ใช้ในการทดสอบการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ได้แก่ 2,2-Diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH), butylated hydroxytoluene (BHT), butylated hydroxyanisol (BHA) และ α -tocopherol ซึ่งซื้อมาจากบริษัท Sigma (Sigma, Aldrich GmbH, Sternheim, Germany)

3.2 การสกัดตัวอย่างผลหม่อน

นำตัวอย่างผลหม่อนสุกแต่ละสายพันธุ์ไปทำแห้งโดยวิธีเย็นเยือกแข็ง (freeze dry) บดละเอียด (ขนาด 1 mm) ก่อนเก็บในภาชนะที่สะอาดที่ไม่มีความชื้นก่อนนำไปศึกษา ในการสกัดใช้ตัวอย่างแห้ง 1 กรัม เติมนิโธซานอล (60% v/v) 10 ml ก่อนใส่ไว้ในเครื่อง sonicate สกัดตัวอย่างนาน 30 นาที เมื่อเสร็จสิ้นจากการต้มสกัด นำไปปั่นเหวี่ยงที่ $2000 \times g$ นาน 15 นาที นำส่วนใส (Supernatants) ที่ได้จากการสกัดด้วยนิโธซานอล (Wethanolic extract, ME) ไปทำให้แห้งด้วยเครื่อง evaporator นำส่วนของเหลวหนืดที่ได้ไปทำให้แห้งต่อโดยวิธีเย็นเยือกแข็ง เก็บสารสกัดที่ได้ไว้ที่ -20°C จนกว่าจะนำไปวิเคราะห์

3.3 การวิเคราะห์ปริมาณเบต้า-แคโรทีน (β -carotene) และไลโคปีน (lycopene)

เบต้า-แคโรทีนและไลโคปีนตรวจวิเคราะห์ตามวิธีการของ Barros และคณะ (2007) ละลายผงผลหม่อนด้วย acetone-hexane (4:6) นาน 1 นาทีก่อนนำไปกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 4 ส่วนที่ได้จากการกรอง (filtrate) นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความคลื่น 453, 505, 645 และ 663 nm ปริมาณเบต้า-แคโรทีนและไลโคปีนคำนวณตามสมการ (1) และ (2)

$$\text{เบต้า-แคโรทีน (mg/100g)} = 0.216A_{663} - 0.304A_{505} + 0.452A_{453} \quad (1)$$

$$\text{ไลโคปีน (mg/100g)} = -0.0458A_{663} + 0.372A_{505} - 0.0806A_{453} \quad (2)$$

การวิเคราะห์ทำทั้งหมด 3 ซ้ำ แสดงผลในรูปค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในหน่วย มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม

3.4 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolics content)

ตรวจวัดโดยใช้วิธี Folin-Ciocalteu assay (Singleton and Rossi, 1965 ; Kahkonen *et al.*, 1999) โดยใช้ gallic acid เป็นสารมาตรฐาน ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดจึงแสดงในรูป mg ของ gallic acid/g น้ำหนักตัวอย่างแห้ง สร้างกราฟมาตรฐานโดยใช้ gallic acid เป็นสารมาตรฐาน (Lister and Wilson, 2001) ความแตกต่างความเข้มข้นของ gallic acid เตรียมใน 80% methanol ที่ความเข้มข้น 0.02, 0.04, 0.08, 0.16, 0.32 และ 0.64 mg/ml มีวิธีเตรียมดังนี้

3.4.1 ชั่ง gallic acid มา 0.5 g ละลายในปิเกอร์ด้วย 80% methanol ก่อนเติมลงใน volumetric flask ขนาด 50 ml แล้วปรับปริมาตรด้วย 80% methanol ให้ได้ 50 ml จะได้ stock solution ที่มีความเข้มข้น 1 mg/ml

3.4.2 เจือจางสารละลาย stock solution (1 mg/ml) จากข้อ 1 ด้วย 80% methanol ในปริมาตรต่างๆ ตามความเข้มข้น ดังตาราง

ความเข้มข้น (mg/ml)	0	0.02	0.04	0.08	0.16	0.32	0.64
stock solution (ml)	0	1	2	4	8	16	32
80% methanol (ml)	50	49	48	46	42	34	18

3.4.3 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดวิเคราะห์ด้วยวิธี Folin-Ciocalteu reagent (Singleton and Rossi, 1965) ตัวอย่าง 12.5 μ l ผสมกับน้ำกลั่นปริมาตร 12.5 μ l และสารละลาย Folin-Ciocalteu reagent (ที่ผ่านการเจือจางด้วยน้ำกลั่น 10 เท่า) ปริมาตร 12.5 μ l หลังจากนั้น 6 นาที เติม 7% sodium carbonate (Na_2CO_3) ปริมาตร 125 μ l และเติมน้ำกลั่น

ปริมาตร 100 μl จากนั้นปล่อยให้เกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห้องนาน 90 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 nm โดยใช้เครื่อง microplate reader spectrophotometers (Synergy HT, BiotTek instruments, USA) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ สารมาตรฐานที่ใช้ทำกราฟมาตรฐานคือ gallic acid เตรียมที่ความเข้มข้น 6.25, 12.5, 25, 50, 100, 200 และ 400 $\mu\text{g/ml}$ แสดงผลปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในหน่วย mg GAE/100 g ของน้ำหนักตัวอย่างสด

3.5 การวิเคราะห์ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (Total flavonoids content)

การวิเคราะห์ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในตัวอย่างตามวิธีการของ Dewanto และคณะ (2000) นำตัวอย่างสารสกัดที่รู้ความเข้มข้นมา 1 ml มาเติมสารละลาย NaNO_2 (7%) ปริมาณ 75 μl ผสมให้เข้ากันนาน 6 นาที ก่อนนำมาเติม AlCl_3 (10%) ปริมาณ 0.15 ml หลังจากนั้น 5 นาที จึงเติมสารละลาย 1 M NaOH ปริมาณ 0.5 ml ปรับปริมาตรสุดท้ายให้ได้ 2.5 ml ผสมให้เข้ากันก่อนนำไปตรวจวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 nm ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดคำนวณโดยใช้ (+)-catechin เป็นสารมาตรฐาน (mg CE g^{-1}db) โดยใช้กราฟมาตรฐาน (+)-catechin เตรียมที่ความเข้มข้น 0–400 $\mu\text{g ml}^{-1}$ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

3.6 การวิเคราะห์ปริมาณฟลาโวนอยด์ด้วย High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

วิเคราะห์ปริมาณฟลาโวนอยด์ดัดแปลงจากวิธีการของ Fang และคณะ (2006) ใช้สภาวะในการวิเคราะห์ดังนี้ อุณหภูมิคอลัมน์ 40°C คอลัมน์ชนิด C_{18} ขนาด 250 x 4.6 mm ตัวตรวจวัดแบบ Diode Array Detector (DAD) วัดที่ความยาวคลื่น 254 nm เฟสเคลื่อนที่สำหรับการวิเคราะห์ฟลาโวนอยด์ตามวิธีการของ samappito และคณะ (2002) ได้แก่ สารละลาย A = 97.8% H_2O + 2% CH_3CN + 0.2 % H_2PO_4 สารละลาย B = 97.8% CH_3CN + 2% H_2O + 0.2 % H_2PO_4 ด้วยอัตราการไหล 0.6 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรฉีดเท่ากับ 20 μl โดยใช้เกรเดียนสำหรับการวิเคราะห์สารประกอบฟลาโวนอยด์คือ 0-9 นาที อัตราการไหลลดลงจาก 0.6 เป็น 0.4 มิลลิลิตรต่อนาที และ 9-13 นาที อัตราการไหลเพิ่มขึ้นจาก 0.4 เป็น 0.6 มิลลิลิตรต่อนาที และ 13-55 นาที ให้อัตราการไหลคงที่ที่ 0.6 มิลลิลิตรต่อนาที สำหรับความเข้มข้นของสารละลาย B คือ 0-30 นาที 20-50 %B, 30-35 นาที 50-60%B, 35-40 นาที 60-20%B, 40-55 นาที 20%B คำนวณปริมาณสารโดยนำพื้นที่ใต้กราฟเทียบกับพื้นที่ใต้กราฟของสารมาตรฐาน รายงานผลเป็น มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักสด ตรวจสอบความถูกต้องของสารประกอบฟลาโวนอยด์ที่วิเคราะห์ได้โดยการผสม

สามารถฐานที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนเข้าไปในตัวอย่าง และเปรียบเทียบความถูกต้องของพื้นที่ใต้กราฟที่วิเคราะห์ได้ (spike)

3.7 การวิเคราะห์ปริมาณกรดพีโนลิกด้วย HPLC

การวิเคราะห์ปริมาณกรดพีโนลิกใช้สภาวะในการวิเคราะห์ คือ อุณหภูมิคอลัมน์ 38°C คอลัมน์ชนิด C₁₈ intersill 250 x 4.6 mm ด้วย guard column C₁₈ ตัวตรวจวัดแบบ Diode Array Detector (DAD) วัดที่ความยาวคลื่น 280 nm เฟสเคลื่อนที่สำหรับการวิเคราะห์กรดพีโนลิก คือ สารละลาย A = 1% phosphoric acid (pH 2.58) และสารละลาย B = Acetonitrile ด้วย อัตราการไหล 0.8 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรฉีดเท่ากับ 20 μ l โดยใช้เกรเดียนสำหรับการวิเคราะห์กรดพีโนลิกดังแสดงในตาราง

เวลา (นาที)	สารละลาย	ความเข้มข้น (%)
0.01	B	5
0.01	A	95
5.00	B	9
5.00	A	91
15.00	B	9
15.00	A	91
22.00	B	11
22.00	A	89
38.00	B	18
38.00	A	82
43.00	B	23
43.00	A	77
45.00	B	30
45.00	A	70
46.00	B	80
46.00	A	20
55.00	B	80
55.00	A	20
60.00	B	5
60.00	A	95
65.00	B	5
65.00	A	95
65.01	หยุด	

3.9 การวิเคราะห์ปริมาณกรดอินทรีย์ด้วย HPLC

การสกัดตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ปริมาณกรดอินทรีย์ทำโดยนำตัวอย่างมา 5 g สกัดด้วย 2% meta-phosphoric acid (100 ml) โดยบดผสมกันและกวนเป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ $20,000 \times g$ เป็นเวลา 10 นาที ที่ 4°C นำส่วนใสที่ได้มากรองด้วยกระดาษกรองขนาด $0.45\ \mu\text{m}$ ก่อนนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC

การวิเคราะห์ปริมาณกรดอินทรีย์ในตัวอย่างด้วย HPLC (Shimadzu Cooperation Analytical & Measuring Instruments Division Kyoto, Japan) ใช้สภาวะในการวิเคราะห์ คือ อุณหภูมิคอลัมน์ 40°C คอลัมน์ชนิด C_{18} intersill ขนาด $250 \times 4.6\ \text{mm}$ ด้วย guard column C_{18} ตัวตรวจวัดแบบ Diode Array Detector (DAD) วัดที่ความยาวคลื่น 210 nm ปริมาตรฉีดเท่ากับ $20\ \mu\text{l}$ เฟสเคลื่อนที่สำหรับการวิเคราะห์กรดอินทรีย์ คือ สารละลาย 25 mM phosphate buffer (pH 2.5) ด้วยอัตราการไหลคงที่ที่ 0.9 มิลลิลิตรต่อนาที

3.10 การวิเคราะห์ปริมาณแอนโธไซยานินด้วย HPLC

การวิเคราะห์ปริมาณแอนโธไซยานินใช้สภาวะในการวิเคราะห์ คือ อุณหภูมิคอลัมน์ 40°C คอลัมน์ชนิด C_{18} intersill $250 \times 4.6\ \text{mm}$ ด้วย guard column C_{18} ตัวตรวจวัดแบบ Diode Array Detector (DAD) วัดที่ความยาวคลื่น 520 nm เฟสเคลื่อนที่สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณแอนโธไซยานิน คือ สารละลาย A = Acetonitrile และสารละลาย B = 4% Phosphoric acid ด้วยอัตราการไหลคงที่ที่ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรฉีดเท่ากับ $20\ \mu\text{l}$ เริ่มต้น A เข้มข้น 6% B เท่ากับ 94% ที่ 55 นาที A เข้มข้น 25% B เท่ากับ 75% ที่ 65 นาที A เข้มข้น 25% B เท่ากับ 75% ที่ 70 นาที A เข้มข้น 6% B เท่ากับ 94%

3.11 การทดสอบฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน

3.11.1 วิธี DPPH radical scavenging activity

การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากตัวอย่างตรวจวัดได้โดยการใช้ อนุมูลอิสระเสถียร 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) ตามวิธีการของ Masuda และคณะ (1999) การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากตัวอย่างด้วยสาร DPPH (Brand-Williams and Cuvelier and Berset, 1995) เปรียบเทียบกับสารต้านอนุมูลอิสระมาตรฐาน คือ ascorbic acid โดยเตรียมสารอนุมูลอิสระเสถียร DPPH ให้มีความเข้มข้น $0.1\ \mu\text{g/ml}$ ใส่ในหลุม microplate โดยใช้เมทานอลเป็นตัวทำละลาย นำมาผสมกับตัวอย่างในปริมาตรที่เท่ากันคือ 5 ml

ผสมให้เข้ากันแล้วนำไปเก็บไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที แล้ววัดค่าดูดกลืนแสงที่ 520 nm โดยใช้เมทานอลเป็น blank และ DPPH เป็น control ทำการทดลอง 3 ซ้ำ นำมาพล็อตกราฟระหว่างค่าดูดกลืนแสงของ DPPH กับความเข้มข้นของสารต้านการออกซิเดชัน จะได้กราฟมาตรฐาน ซึ่งมีหลักการทดสอบ คือ สาร DPPH เป็นสารที่มีสีม่วง-เขียว สามารถดูดกลืนแสงได้เมื่อทำปฏิกิริยากับสารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ สารตัวอย่างจะมีสีม่วง-เขียวจางลงและจะทำให้ค่าดูดกลืนแสงลดลงด้วยการต้านอนุมูลอิสระของตัวอย่างแสดงในรูปของค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (effective concentration; EC₅₀) กล่าวคือ ปริมาณฟีโนลิกทั้งหมด (mg) ของการต้านออกซิเดชันของตัวอย่างที่ทดสอบจะสามารถลดค่าดูดกลืนแสงของอนุมูลอิสระ DPPH ได้ครึ่งหนึ่งหรือ 50% (Cai *et al.*, 2003)

3.11.2 วิธี Ferric reducing antioxidant power (FRAP)

การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากตัวอย่างตรวจวัดได้โดยการใช้อนุมูลอิสระเสถียร 2,4,6-tri (2-pyridyl)-tri-azine (TPTZ) การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากตัวอย่างด้วยสาร Ferric reducing antioxidant power (FRAP) (Benzie และ Strain, 1996) เปรียบเทียบกับสารต้านอนุมูลอิสระมาตรฐาน คือ FeSO₄ . 7H₂O โดยเตรียมสารอนุมูลอิสระเสถียร FRAP ให้มีความเข้มข้น 0.1 µg/ml โดยใช้ น้ำเป็นตัวทำละลาย นำมาผสมกับตัวอย่างในปริมาตร 30µl ใส่ในหลุม microplate แล้วเติมสารละลาย FRAP reagent 270 µl แต่ blank ให้เติม Acetate buffer ลงไปแทนสารละลาย FRAP reagent ผสมให้เข้ากันแล้วนำไปเก็บไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที แล้ววัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 595 nm ทำการทดลอง 3 ซ้ำ คำนวณประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ วิธีการคำนวณทำเช่นเดียวกันกับการหาปริมาณสารประกอบฟีโนลิกทั้งหมด แล้วรายงานค่าที่ได้ในรูป mg. สมมูลของ FeSO₄ (mg Fe(II)/g)

3.11.3 วิธี ABTS (2,2-azinobis [ethylbenzothiazoline-6-sulphonate]) assay

เตรียม ABTS reagent (2,2-azino-bis(3-ethylbenzene-thiazoline-6-sulfonic acid), diamonium salt) เข้มข้น 7 mM ในน้ำ 10 ml นำมาผสมกับสารละลาย Potassium persulphate 2.45 mM ในน้ำ 12 ml อัตราส่วน 8:12 ml เก็บในที่มืดและเย็นเป็นเวลานาน 16-18 ชั่วโมง และนำไปเจือจางใน Ethanol ด้วยอัตราส่วน 5:10 ml ก่อนนำไปใช้ เตรียมสารมาตรฐาน Trolox (6-hydroxy-2,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid) ให้ได้ความเข้มข้น 50, 100, 150, 200, 250 และ 300 mM ทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารมาตรฐานโดยเครื่อง Microplate reader spectrophotometer (Model 680 Reader) วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 nm ทุก 5 นาที จนได้ค่าดูดกลืนแสงที่คงที่ จากนั้นพล็อตกราฟระหว่างค่า %Inhibition กับความเข้มข้นของ Trolox จะได้กราฟมาตรฐานสำหรับการคำนวณหาค่า TEAC เพื่อเปรียบเทียบผลการทดลอง

การประเมินผลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป เพื่อวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA, Analysis of Variance) แบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD, Completely Randomized Design) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยวิธี DMRT (Duncan's Multiple Rang test) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

แผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย ระยะเวลาการทำวิจัย และผลที่คาดว่าจะได้รับ

ระยะเวลาดำเนินการวิจัยทั้งสิ้น 12 เดือน เริ่มตั้งแต่วันที่ 1 เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2554 ถึง วันที่ 30 เดือนเมษายน พ.ศ. 2555 แผนการดำเนินการวิจัยแสดงในตาราง

กิจกรรม	เดือนที่												ผลที่คาดว่าจะได้รับ
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1. สำรวจ เก็บข้อมูล และเตรียมเอกสารวิจัย													สามารถทราบชนิด และสายพันธุ์หม่อน ที่จะต้องเก็บตัวอย่าง
2. เก็บตัวอย่างผลหม่อน สุกจากแปลงเพาะปลูก ศูนย์นวัตกรรมใหม่ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ศูนย์หม่อนไหมเฉลิมพระเกียรติฯ อุดรธานี และแปลงปลูกหม่อนไร่ก้านจูล จังหวัดเพชรบูรณ์													ได้ตัวอย่างผลหม่อนสุกพันธุ์ต่างๆ ได้แก่ พันธุ์นครราชสีมา 60 พันธุ์บุรีรัมย์ 60 พันธุ์ชุมพร พันธุ์วาวี พันธุ์เชียงใหม่ พันธุ์พิกุลทอง พันธุ์กำแพงแสน และพันธุ์ไร่ก้านจูล ที่จะใช้ในการศึกษา ซึ่งเก็บโดยการแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20°C เพื่อรักษาสภาพตัวอย่างก่อนนำมาทดลอง
3. ทำแห้งด้วยวิธี freeze dry และบดให้เป็นผงละเอียด													ได้ตัวอย่างผงแห้งของผลหม่อนที่จะใช้ในการศึกษา
4. สกัดตัวอย่างผงหม่อน แต่ละพันธุ์ด้วยเมธานอล ก่อนนำไปทำให้แห้งด้วยเครื่อง evaporator และ freeze dryer													ได้สารสกัดจากผลหม่อนพันธุ์ต่างๆ เพื่อใช้สำหรับการทดลองต่อไป และได้ข้อมูลเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งของสารสกัด (%yield)

กิจกรรม	เดือนที่												ผลที่คาดว่าจะได้รับ
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
5.วิเคราะห์ปริมาณเบต้าแคโรทีน (β -carotene) และไลโคปีน (lycopene) ของสารสกัดจากหอมสูกแต่ละพันธุ์													ได้ข้อมูลปริมาณเบต้าแคโรทีน (β -carotene) และไลโคปีน (lycopene) ของหอมสูกแต่ละพันธุ์
6.หาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของสารสกัดจากหอมสูกแต่ละพันธุ์													ได้ข้อมูลปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของหอมสูกแต่ละพันธุ์
7. หาปริมาณฟลาโวนอยด์ กรดฟีนอลิก และกรดอินทรีย์ด้วยเครื่อง HPLC ของสารสกัดจากหอมสูกแต่ละพันธุ์													ได้ข้อมูลปริมาณฟลาโวนอยด์ กรดฟีนอลิก กรดอินทรีย์ในผลหอมสูกของหอมแต่ละพันธุ์ที่นำมาศึกษา
8. วิเคราะห์ฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชันของสารสกัดจากหอมสูกแต่ละพันธุ์													ได้ข้อมูลความสามารถในการต้านออกซิเดชันของสารสกัดจากผลหอมสูกแต่ละพันธุ์
9. แปลผลข้อมูล เขียนรายฉบับสมบูรณ์และส่งเรื่องตีพิมพ์ผลงานวิจัย													ได้ข้อมูลทั้งหมดสำหรับเขียนรายงานฉบับสมบูรณ์ และข้อมูลสำหรับเขียนตีพิมพ์ผลงานวิจัย

หมายเหตุ: ผู้รับผิดชอบคือ ดร.ลือชัย บุตุคุป

บทที่ 4

ผลและอภิปรายผลการทดลอง

หม่อน (Mulberry) เป็นพืชที่อยู่ในวงศ์ Moraceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Morus* spp. ผลหม่อนนั้นเป็นแหล่งสำคัญของน้ำตาล กรด และสารสำคัญต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารประกอบฟีนอลิกที่มีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านออกซิเดชันที่อาจป้องกันการเกิดโรคเรื้อรังต่างๆ ได้ เช่น โรคมะเร็ง โรคเบาหวาน โรคหัวใจ เป็นต้น (Pawlowsk et al., 2008) ปัจจุบันนี้เริ่มมีการนำผลหม่อนมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากขึ้นไม่ว่าจะเป็นไวน์ น้ำผลไม้ แยม เยลลี่ และลูกอม การแปรรูปผลหม่อนนั้นสามารถช่วยลดปัญหาการเน่าเสียของผลผลิตทางการเกษตร และเพิ่มมูลค่าให้กับสินค้าทางการเกษตร การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากผลหม่อนทั้งเพื่อการจำหน่ายในประเทศหรือเพื่อการส่งออกนั้น การควบคุมคุณภาพเป็นสิ่งสำคัญ คุณภาพของผลิตภัณฑ์ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบ กระบวนการผลิต และกระบวนการเก็บรักษา ในปัจจุบันยังไม่มีมีการประกันคุณภาพของผลิตภัณฑ์จากผลหม่อนอย่างเพียงพอ ดังนั้นเพื่อพัฒนามาตรฐานผลิตภัณฑ์จากผลหม่อน จึงควรมีการศึกษาถึงสารสำคัญและฤทธิ์ทางชีวภาพในผลหม่อนในเชิงลึกเพื่อยืนยันประโยชน์ของการบริโภคผลหม่อนต่อสุขภาพของผู้บริโภค และใช้เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกสายพันธุ์ที่เหมาะสมต่อการนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ สามารถนำข้อมูลเบื้องต้นไปประยุกต์ใช้สำหรับควบคุมคุณภาพวัตถุดิบ

หลังจากนำตัวอย่างผลหม่อนสุกพันธุ์นครราชสีมา 60 พันธุ์บุรีรัมย์ 60 พันธุ์ชุมพร พันธุ์วาวี พันธุ์เชียงใหม่ พันธุ์พิบูลทอง พันธุ์กำแพงแสน และพันธุ์ไร่กำนันจุลไปวิเคราะห์หาความชื้นพบว่าผลหม่อนสุกทุกพันธุ์มี

ตารางที่ 4.1 ปริมาณความชื้น และน้ำหนักแห้งของสารสกัดจากผลหม่อน

ชื่อพันธุ์หม่อน	ความชื้น (%)	น้ำหนักแห้งของสารสกัด (%yield)
พันธุ์นครราชสีมา 60	78.13 ± 2.11 c	2.27 ± 0.10 c
พันธุ์บุรีรัมย์ 60	76.02 ± 2.15 c	2.36 ± 0.07 c
พันธุ์ชุมพร	73.21 ± 1.57 d	2.13 ± 0.05 cd
พันธุ์วาวี	76.15 ± 2.33 c	2.07 ± 0.04 de
พันธุ์เชียงใหม่	79.07 ± 1.18 c	3.18 ± 0.16 a
พันธุ์พิบูลทอง	81.44 ± 3.05 b	1.74 ± 0.12 e
พันธุ์กำแพงแสน	85.61 ± 2.01 a	1.80 ± 0.03 e
พันธุ์ไร่กำนันจุล	77.35 ± 2.13 c	2.76 ± 0.08 b

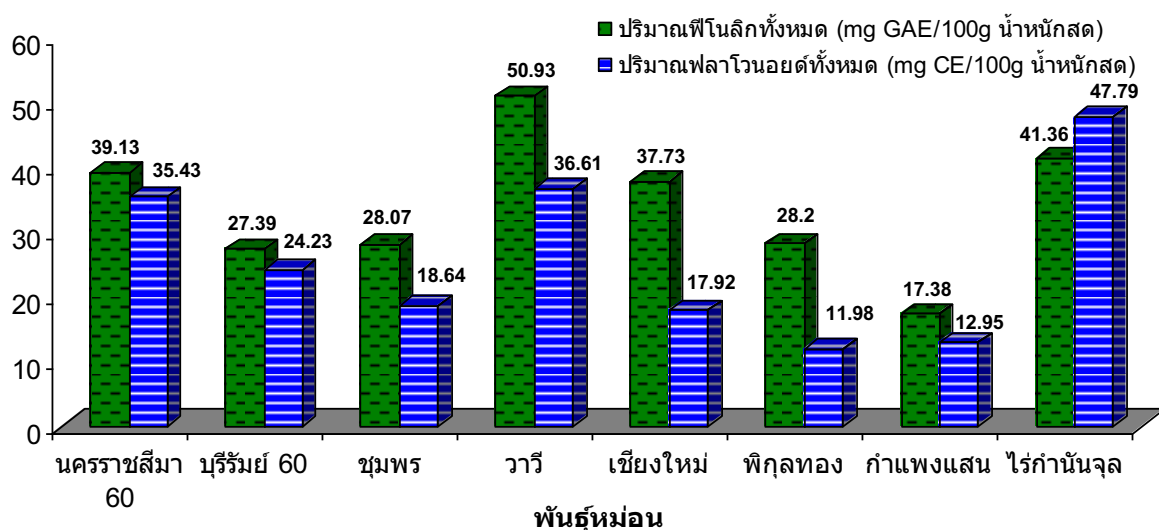
หมายเหตุ แสดงค่าในรูปค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3)

ตัวอักษร (a-e) ที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT

ความชื้นเฉลี่ยอยู่ในช่วง 73.21-85.61% ในจำนวนนี้หม่อนพันธุ์กำแพงแสนมีความชื้นสูงที่สุดแตกต่างจากพันธุ์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และพันธุ์ชุมพรมีความชื้นต่ำที่สุด (ตารางที่ 4.1) เมื่อนำผลหม่อนสุกแต่ละพันธุ์ไปทำแห้งโดยวิธีเย็นเยือกแข็ง (freeze dry) ก่อนบดละเอียด และสกัดด้วยเมทานอล (60% v/v) พบว่าได้สารสกัดหยาบ (crude extract) เฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.74-3.18% ซึ่งแต่ละพันธุ์ให้ปริมาณสารสกัดใกล้เคียงกัน

ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด

ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในผลสุกของหม่อนพันธุ์นครราชสีมา 60 พันธุ์บุรีรัมย์ 60 พันธุ์ชุมพร พันธุ์วาวี พันธุ์เชียงใหม่ พันธุ์พิกุลทอง พันธุ์กำแพงแสน และพันธุ์ไร่ก้านจูลตรวจวัดโดยวิธี Folin-Ciocalteu ซึ่งเป็นวิธีการที่นิยมมากที่สุดในการตรวจวัดปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในตัวอย่างสารสกัดจากพืช (Singleton and Rossi, 1965 ; Kahkonen *et al.*, 1999) จากการตรวจวัดได้ผลดังแสดงในภาพที่ 4.1 พบว่าผลสุกของหม่อนพันธุ์นครราชสีมา 60 พันธุ์บุรีรัมย์ 60 พันธุ์ชุมพร พันธุ์วาวี พันธุ์เชียงใหม่ พันธุ์พิกุลทอง พันธุ์กำแพงแสน และพันธุ์ไร่ก้านจูลมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 39.13 ± 3.68 , 27.39 ± 3.87 , 28.07 ± 3.96 , 50.93 ± 3.82 , 37.73 ± 2.39 , 28.20 ± 3.13 , 17.38 ± 2.05 และ 41.36 ± 3.93 mg GAE/100g น้ำหนักสด ตามลำดับ ซึ่งหม่อนที่มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด คือ หม่อนพันธุ์วาวีมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 50.93 ± 3.82 mg GAE/100g น้ำหนักสด สูงกว่าหม่อนพันธุ์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) รองลงมาคือพันธุ์ไร่ก้านจูล พันธุ์นครราชสีมา 60 และพันธุ์พิกุลทอง ตามลำดับ



ภาพที่ 4.1 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในผลหม่อน

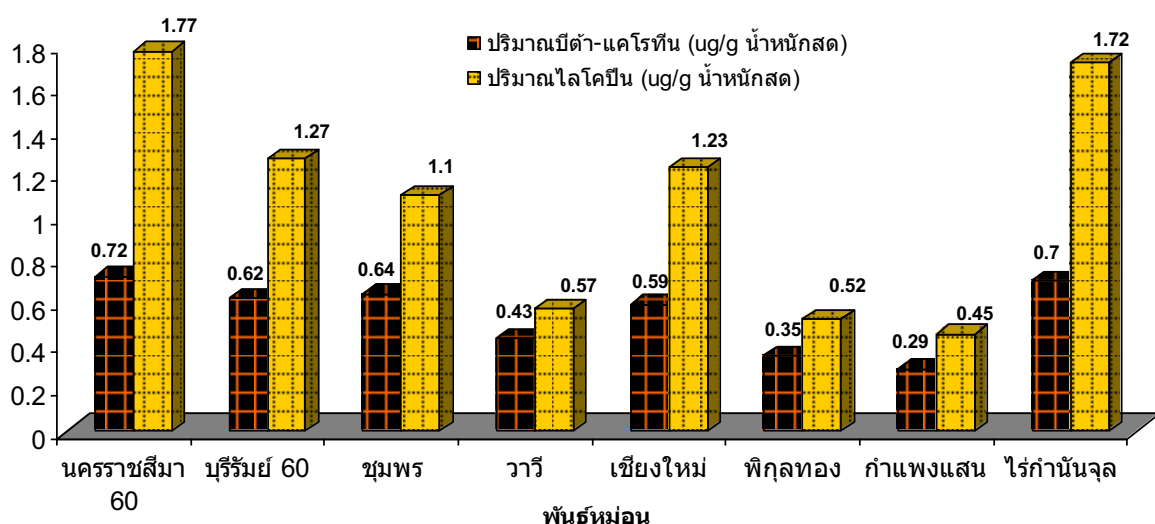
หม่อนพันธุ์กำแพงแสนมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดต่ำที่สุด ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดที่พบในหม่อนพันธุ์เชียงใหม่ (37.73 ± 2.39 mg GAE/100g น้ำหนักสด หรือ 180.27 ± 8.07 mg GAE/100g น้ำหนักแห้ง) มีปริมาณใกล้เคียงกับผลหม่อนสีขาว (*Morus alba* L.) จากการศึกษาของ [Ercisli และ Orhan \(2006\)](#) ซึ่งตรวจพบในปริมาณเท่ากับ 181 mg GAE/100g และใกล้เคียงกับงานวิจัยของ [Song-Hwan และ Hyung-Joo \(2007\)](#) ได้ศึกษาพันธุ์หม่อน 5 พันธุ์ในเกาหลี ได้แก่พันธุ์ Pachungsiipyung, Whazosipmunja, Suwonnosang, Jasan และ Mocksang พบว่ามีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดอยู่ในช่วง 95.99 ± 2.31 ถึง 257.04 ± 5.71 mg GAE/100g น้ำหนักแห้ง อย่างไรก็ตามจากงานวิจัยของ [มนต์วดี หุ่นเจริญและศศิธร ตรงจิตภักดี \(2552\)](#) ที่ศึกษาเกี่ยวกับการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของผลหม่อนสุกพันธุ์กำแพงแสนซึ่งพบว่ามีปริมาณเท่ากับ 33.177 ± 7.95 mg GAE/ 100g น้ำหนักแห้ง เมื่อเทียบกับพันธุ์กำแพงแสนจากการศึกษานี้พบว่ามีปริมาณต่ำกว่า โดยในการศึกษานี้พบปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในผลหม่อนพันธุ์กำแพงแสนเท่ากับ 17.38 ± 2.05 mg GAE/100g น้ำหนักสด หรือ 120.81 ± 10.08 mg GAE/ 100g น้ำหนักแห้ง ที่ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดต่างกันอาจเนื่องมาจากหลายสาเหตุ เช่น สายพันธุ์ พื้นที่ปลูก สภาพแวดล้อม และเทคนิคการสกัดตัวอย่าง เป็นต้น ซึ่งเทคนิคการสกัดแต่ละเทคนิคจะมีผลต่อการได้มาซึ่งปริมาณสารที่แตกต่างกันดังเช่นจากงานวิจัยของ [Song-Hwan และ Hyung-Joo \(2007\)](#) ซึ่งใช้วิธีการสกัดตัวอย่างตามวิธีการของ [Lee และ Wicker \(1991\)](#) สกัดผลหม่อน 5 พันธุ์ โดยใช้ตัวอย่าง 50 g ใน 70% เอธานอล ปริมาตร 100ml เป็นเวลา 4 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง พบว่าหม่อนมีปริมาณ ฟีนอลิกทั้งหมดอยู่ในช่วง 0.9599 ถึง 2.5704 mg GAE/g น้ำหนักแห้ง ขณะที่งานวิจัยของ [Ercisli และ Orhan \(2006\)](#) ไม่ได้สกัดผลหม่อนด้วยตัวทำละลายอะไร ใช้ผงผลหม่อนที่ผ่านการทำแห้งแบบเยือกแข็งไปหาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดพบอยู่ในช่วง 1.81 ถึง 14.22 mg GAE/g น้ำหนักแห้ง ทำนองเดียวกัน [Jin-Yuarn และ Ching-Yin \(2007\)](#) ไม่ได้สกัดผลหม่อนด้วยตัวทำละลายอะไรเช่นกัน เพียงแต่ใช้วิธีการคั้นเอาน้ำจากผลหม่อนก่อนไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 10,000g (4°C) เป็นเวลา 30 นาที นำส่วนใสที่ได้ไปหาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดได้เฉลี่ยเท่ากับ 15.15 mg GAE/g น้ำหนักแห้ง นอกจากนี้จากงานวิจัยของ [Gungor และ Sengul \(2008\)](#) สกัดผลหม่อนด้วยน้ำและกวนเป็นเวลา 30 นาที ก่อนนำไปกรองและไปวิเคราะห์พบว่าได้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดอยู่ในช่วง 18.15 ถึง 19.23 mg GAE/g น้ำหนักแห้ง ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนว่าการใช้เทคนิคในการสกัดที่แตกต่างกันให้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดต่างกันด้วย

ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในผลสุกของหม่อนพันธุ์นครราชสีมา 60 พันธุ์บุรีรัมย์ 60 พันธุ์ชุมพร พันธุ์วาวี พันธุ์เชียงใหม่ พันธุ์พิบูลทอง พันธุ์กำแพงแสน และพันธุ์ไร่ก้านจูลตรวจวัดตามวิธีการของการ [Dewanto และคณะ \(2000\)](#) จากการตรวจวัดได้ผลดังแสดงในภาพที่ 4.1 พบว่าผลสุกของหม่อนพันธุ์นครราชสีมา 60 พันธุ์บุรีรัมย์ 60 พันธุ์ชุมพร พันธุ์วาวี พันธุ์เชียงใหม่ พันธุ์พิบูลทอง พันธุ์กำแพงแสน และพันธุ์ไร่ก้านจูลมีปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดเท่ากับ 35.43 ± 2.83, 24.23 ± 1.76, 18.64 ± 2.70, 36.61 ± 3.18, 17.92 ± 1.24, 11.98 ± 1.66, 12.95 ± 1.03 และ 47.79 ± 3.21 mg CE/100g น้ำหนักสด

ตามลำดับ ซึ่งหม่อนที่มีปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดสูงที่สุดพันธุ์ไร่ก้านจูลเท่ากับ 47.79 ± 3.21 mg CE/100g น้ำหนักสด หรือ 211.01 ± 10.03 mg CE/100g น้ำหนักแห้ง ซึ่งสูงกว่าหม่อนพันธุ์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) อย่างไรก็ตามปริมาณที่พบก็ต่ำกว่าเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับรายงานวิจัยของ Jin-Yuarn และ Ching-Yin (2007) ซึ่งพบว่ามีปริมาณเท่ากับ 250.1 ± 6.3 mg CE/100g น้ำหนักแห้ง อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Song-Hwan และ Hyung-Joo (2007) ซึ่งได้ศึกษาพันธุ์หม่อน 5 พันธุ์ในเกาหลี ได้แก่พันธุ์ Pachungsipyung, Whazosipmunja, Suwonnosang, Jasan และ Mocksang พบว่ามีปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดอยู่ในช่วง 0.56 ± 0.02 ถึง 6.54 ± 0.40 mg CE/100g น้ำหนักแห้ง

ปริมาณเบต้า-แคโรทีน (β -carotene) และไลโคปีน (lycopene)

เบตา-แคโรทีนเป็นสารตั้งต้นของวิตามินเอ (โปรวิตามินเอ) มีบทบาทสำคัญในการรักษาสุขภาพและเพิ่มระบบภูมิคุ้มกันให้แข็งแรง ทั้งนี้โดยปกติร่างกายของมนุษย์เราสามารถเปลี่ยนบีตา-แคโรทีนไปเป็นวิตามินเอได้ตามปริมาณที่ร่างกายต้องการ นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เสมือนเป็นสารต้านอนุมูลอิสระด้วย ปริมาณเบตา-แคโรทีนที่พบในผลสุกของหม่อนพันธุ์นครราชสีมา 60 พันธุ์บุรีรัมย์ 60 พันธุ์ชุมพร พันธุ์วาวี พันธุ์เชียงใหม่ พันธุ์พิบูลทอง พันธุ์กำแพงแสน และพันธุ์ไร่ก้านจูลมีปริมาณเท่ากับ 0.72 ± 0.22 , 0.62 ± 0.07 , 0.64 ± 0.15 , 0.43 ± 0.07 , 0.59 ± 0.03 , 0.35 ± 0.13 , 0.29 ± 0.06 และ 0.70 ± 0.06 $\mu\text{g/g}$ น้ำหนักสด ตามลำดับ (ภาพที่ 4.2) หม่อนพันธุ์นครราชสีมา 60 มีปริมาณสูงที่สุด รองลงมาคือพันธุ์ไร่ก้านจูล

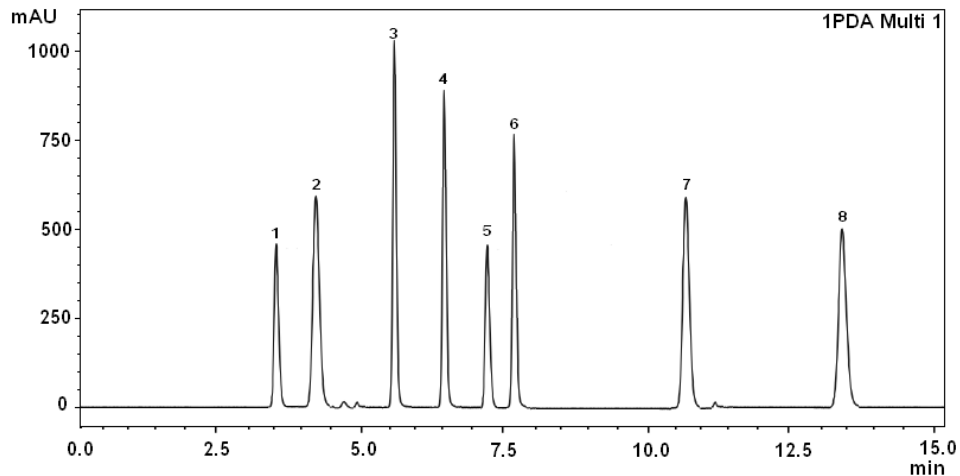


ภาพที่ 4.2 ปริมาณเบต้า-แคโรทีนและปริมาณไลโคปีนในผลหม่อน

ไลโคปีนเป็นแคโรทีนอยด์ชนิดหนึ่งที่มีโครงสร้างโมเลกุลที่ยาวกว่าแคโรทีนอยด์ชนิดอื่นๆ ทำให้ไลโคปีนเป็นแคโรทีนอยด์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุด มีฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งจะช่วยลดความผิดปกติและความเสื่อมของเซลล์อันเนื่องมาจากการทำลายของอนุมูลอิสระ ช่วยลดไขมัน (LDL) ในกระแสโลหิต ปริมาณไลโคปีนในร่างกายจะลดลงเมื่ออายุมากขึ้น ไลโคปีนมีส่วนสำคัญในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งเต้านมและมะเร็งปากมดลูก โดยจะลดการเกิดเนื้องอกและยับยั้งการเกิดเนื้องอก และยับยั้งการพัฒนางจรวชชีวิตของเซลล์มะเร็งในช่วงต้นของการเกิดเซลล์มะเร็ง (ระยะ G1) นอกจากนี้ยังช่วยป้องกันความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจ ดังนั้นการได้รับไลโคปีนจะส่งผลดีต่อสุขภาพ ไลโคปีนพบมากในมะเขือเทศ พริกแดง แตงโม กระเจี๊ยบแดง ฝรั่งแดง มะละกอชนิดแดง หัวบีทรูท สตอว์เบอร์รี เชอร์รี่แดง เมล็ดทับทิม ผลมะเข่า และลูกหม่อนแดง เป็นต้น ในการศึกษาพบปริมาณไลโคปีนในผลสุกของหม่อนพันธุ์นครราชสีมา 60 พันธุ์บุรีรัมย์ 60 พันธุ์ชุมพร พันธุ์วาวี พันธุ์เชียงใหม่ พันธุ์พิบูลทอง พันธุ์กำแพงแสน และพันธุ์ไร้ก้านจูลมีปริมาณเท่ากับ 1.77 ± 0.12 , 1.27 ± 0.17 , 1.10 ± 0.11 , 0.57 ± 0.17 , 1.23 ± 0.18 , 0.52 ± 0.10 , 0.45 ± 0.04 และ $1.72 \pm 0.16 \mu\text{g/g}$ น้ำหนักสด ตามลำดับ (ภาพที่ 4.2) หม่อนพันธุ์นครราชสีมา 60 มีปริมาณสูงที่สุด สูงกว่าหม่อนพันธุ์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) รองลงมาคือพันธุ์ไร้ก้านจูล

ปริมาณกรดอินทรีย์ในผลหม่อนสายพันธุ์ต่างๆ

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการแยกสารมาตรฐานกรดอินทรีย์ด้วยเครื่อง HPLC โดยใช้สภาวะในการวิเคราะห์ คือ อุณหภูมิคอลัมน์ 40°C คอลัมน์ชนิด C_{18} Apollow ด้วย guard column C_{18} ตัวตรวจวัดแบบ Diode Array Detector (DAD) วัดที่ความยาวคลื่น 210 nm เฟสเคลื่อนที่สำหรับการวิเคราะห์กรดอินทรีย์ คือ 25 mM phosphate buffer ปรับ pH ไปที่ 2.5 ด้วยอัตราการใช้ของเหลวที่ 0.90 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่ากรดอินทรีย์ที่ถูกชะออกจากคอลัมน์ก่อนได้แก่ oxalic acid ตามด้วย tataric acid, malic acid, ascorbic acid, lactic acid, acetic acid, citric acid และ benzoic acid ตามลำดับ (ภาพที่ 4.3) การสร้างกราฟมาตรฐานกรดอินทรีย์ได้จากการฉีดสารมาตรฐานกรดอินทรีย์ที่มีความเข้มข้นต่างๆ แล้วนำมาพล็อตกราฟระหว่างความเข้มข้น และพื้นที่กราฟเพื่อใช้ในการหากราฟมาตรฐานซึ่งได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.2



ภาพที่ 4.3 โครมาโทแกรมของกรดอินทรีย์มาตรฐาน : (1) oxalic acid (3.53); (2) tartaric acid (4.27); (3) malic acid (5.60); (4) ascorbic acid (6.28); (5) lactic acid 7.09; (6) acetic acid (7.70); (7) citric acid (10.52) และ (8) benzoic acid (13.01) เมื่อวิเคราะห์ด้วย HPLC

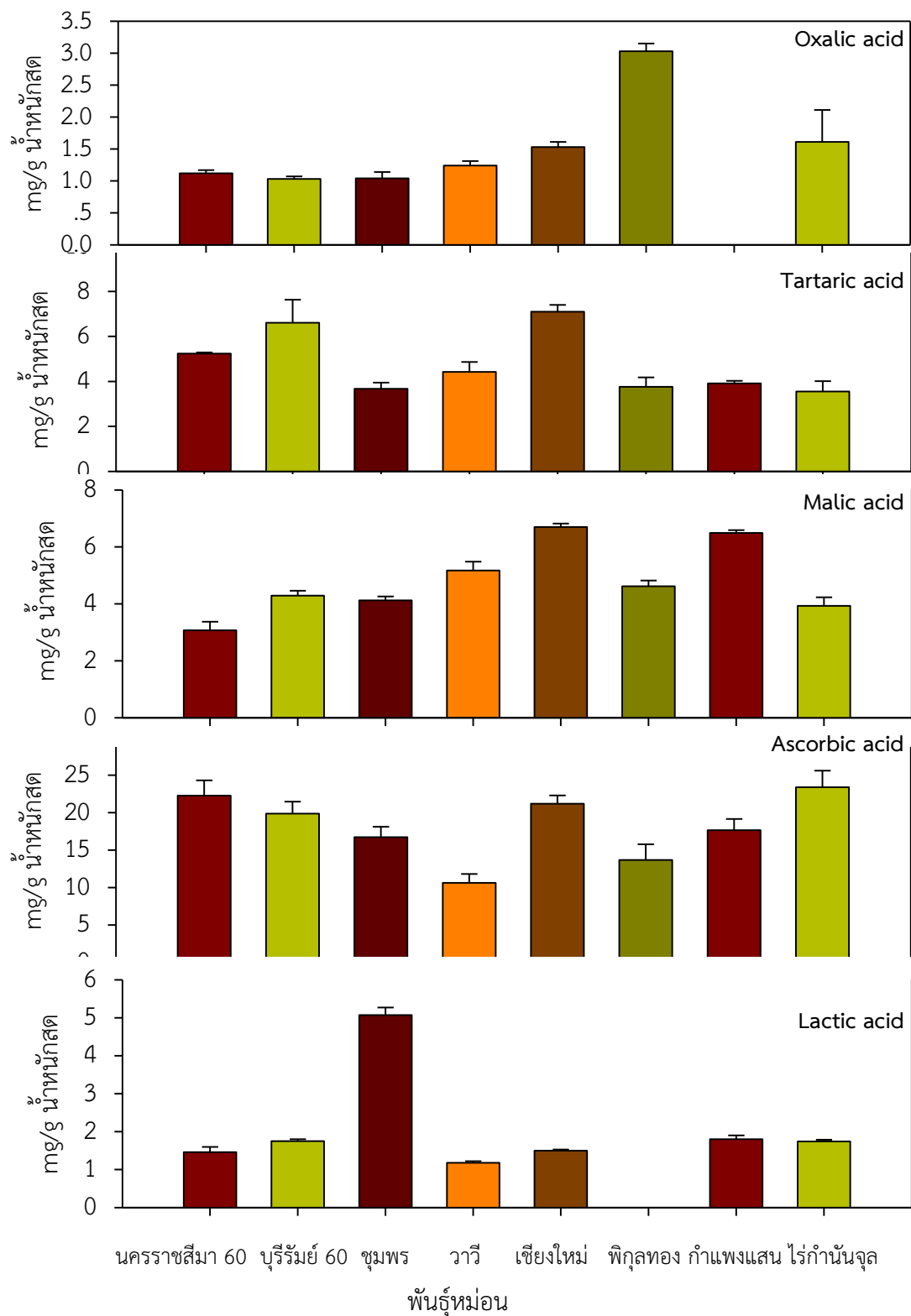
ตารางที่ 4.2 ประสิทธิภาพการวิเคราะห์สารมาตรฐานกรดอินทรีย์ด้วย HPLC

Organic acids	Retention time (min)	Calibration curve	Coefficient of determination (R)
oxalic acid	3.53	$Y = 1 \times 10^7 X - 1 \times 10^6$	0.9999
tartaric acid	4.27	$Y = 3 \times 10^6 X - 1 \times 10^6$	0.9998
malic acid	5.60	$Y = 2 \times 10^6 X - 736670$	0.9995
ascorbic acid	6.28	$Y = 330994X - 323557$	0.9994
lactic acid	7.09	$Y = 1 \times 10^6 X - 116769$	0.9998
acetic acid	7.70	$Y = 894452X - 17646$	0.9999
citric acid	10.52	$Y = 2 \times 10^6 X - 214034$	0.9998
benzoic acid	13.01	$Y = 141364X - 110271$	1.0000

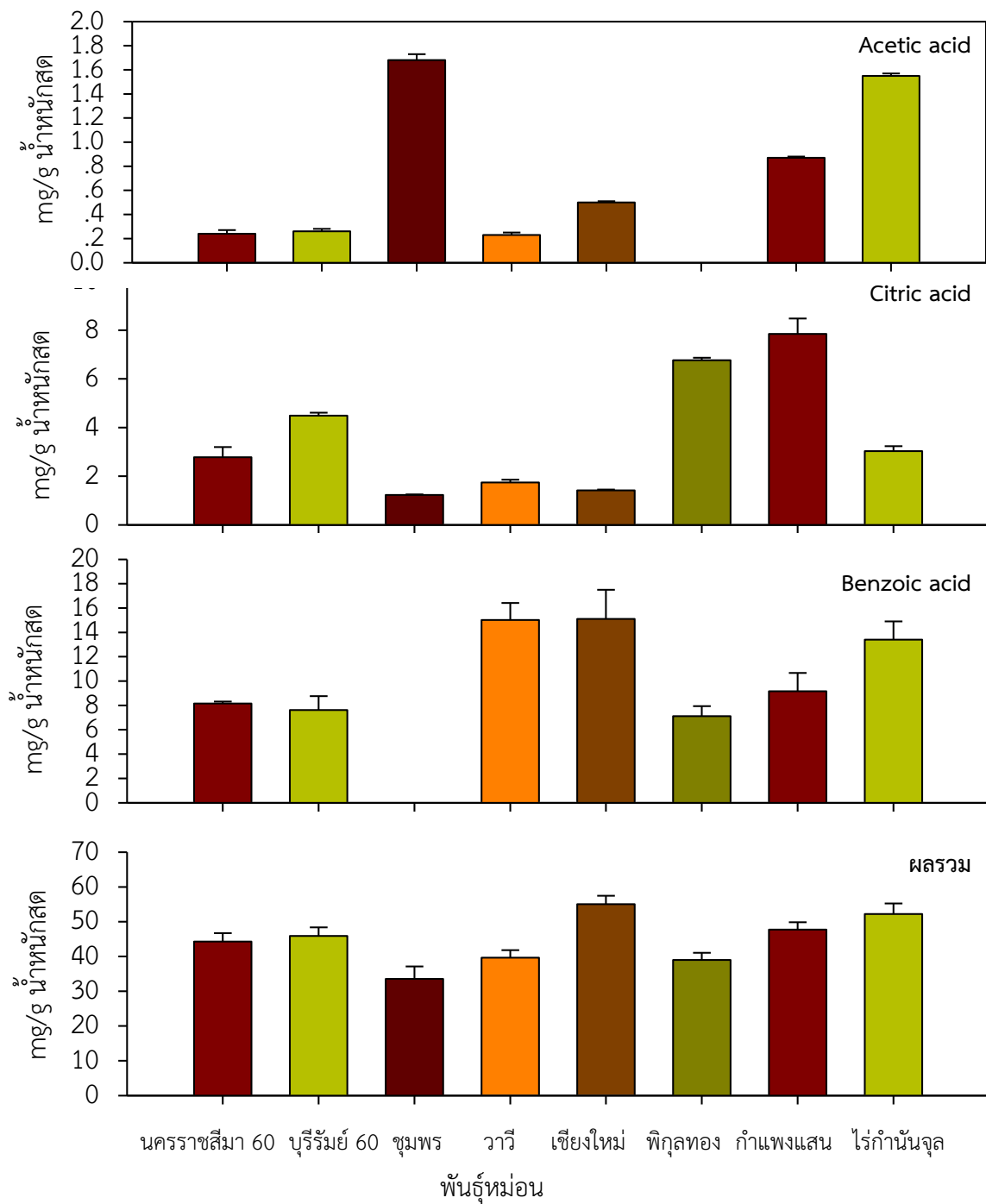
จากรายงานการศึกษาในปัจจุบันแสดงให้เห็นแล้วว่าหม่อนเป็นผลไม้ที่ส่งผลดีต่อสุขภาพ เนื่องจากผลหม่อนอุดมไปด้วยกรดอินทรีย์ สารประกอบฟีนอลิก และน้ำตาล (Koyuncu, 2004; Zadernowski et al., 2005; Ercisli and Orhan, 2007; Pawlowski et al., 2008; Zhang et al., 2008; Ozgen et al., 2009) จึงทำให้กรดอินทรีย์ได้รับความสนใจมากขึ้นในปัจจุบัน กรดอินทรีย์มีบทบาทสำคัญต่อลักษณะทางกายภาพ

ของผลไม้ โดยทำหน้าที่เป็นโคแฟกเตอร์ บัฟเฟอร์ รวมทั้งเป็นสารตัวกลางที่สำคัญในกระบวนการเมตาโบลิซึม คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน (Koyuncu, 2004) ผลไม้แต่ละชนิดมีปริมาณกรดอินทรีย์แตกต่างกัน กรดอินทรีย์แต่ละชนิดมีการนำไปใช้เติมแต่งในอาหาร เช่น ใช้ในการต้านการเกิดออกซิเดชันจะใช้กรดทาร์ทาริก มาลิก และซิตริก ใช้เพื่อปรับกรดนิยมใช้กรดทาร์ทาริก มาลิก ซิตริก และแอสคอร์บิก หรือใช้ในการถนอมอาหารนิยมใช้กรดซอร์บิกและกรดเบนโซอิก (Cunha et al., 2002; Viljakainen et al., 2002) จากรายงานผลไม้ตระกูลเบอร์รี่อุดมไปด้วยกรดอินทรีย์หลายชนิด (Viljakainen et al., 2002) ความสำคัญของกรดอินทรีย์ในผลไม้คือประโยชน์ต่อสุขภาพ โดยกรดอินทรีย์ในธรรมชาติจะมีผลต่อคุณลักษณะเชิงประสาทสัมผัสของผลไม้ (Silva et al., 2002) ช่วยในการรักษาคุณภาพและคุณค่าทางโภชนาการของผลไม้ (Daood et al., 1994) ในอุตสาหกรรมยากรดอินทรีย์ถูกนำมาใช้ในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน สารถนอมอาหาร ใช้ในการปรับกรด และใช้ในการปรับปรุงยาให้สามารถเพิ่มการดูดซึมได้ดีขึ้น

จากการวิเคราะห์ปริมาณกรดอินทรีย์ ได้แก่ oxalic acid, tataric acid, malic acid, ascorbic acid, lactic acid, acetic acid, citric acid และ benzoic acid ในผลหม่อนสายพันธุ์ต่างๆ จำนวน 8 สายพันธุ์ ได้แก่ นครราชสีมา 60 บุรีรัมย์ 60 ชุมพร วาวี เชียงใหม่ พิกุลทอง กำแพงแสน และไร่ก้านกล้วย ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 4.4 และภาพที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าหม่อนทุกพันธุ์มีลักษณะของปริมาณและชนิดกรดอินทรีย์เหมือนกัน โดยพบว่า ascorbic acid เป็นกรดอินทรีย์ที่พบมากที่สุด รองลงมาคือ benzoic acid, malic acid และ tataric acid ตามลำดับ ในจำนวนนี้หม่อนพันธุ์ไร่ก้านกล้วย พันธุ์นครราชสีมา 60 พันธุ์ เชียงใหม่ และพันธุ์บุรีรัมย์ 60 มีปริมาณ ascorbic acid เท่ากับ 23.40 ± 2.32 , 22.26 ± 2.03 , 21.18 ± 2.19 และ 19.86 ± 1.62 mg/g น้ำหนักสด ซึ่งมีปริมาณไม่ต่างกัน แต่ก็มีปริมาณสูงกว่าหม่อนพันธุ์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) รองลงมาคือหม่อนพันธุ์กำแพงแสน (17.65 ± 1.00 mg/g น้ำหนักสด) พันธุ์ชุมพร (16.72 ± 1.40 mg/g น้ำหนักสด) พันธุ์พิกุลทอง (13.68 ± 1.41 mg/g น้ำหนักสด) และพันธุ์วาวี (10.63 ± 1.17 mg/g น้ำหนักสด) ปริมาณที่พบสอดคล้องกับงานวิจัยของ Gundogdu และคณะ (2011) ที่รายงานไว้ว่าผลหม่อนดำ (*Morus nigra* L.) หม่อนแดง (*Morus rubra* L.) และหม่อนขาว (*Morus alba* L.) มีปริมาณ ascorbic acid เท่ากับ 11.302 ± 0.241 , 16.166 ± 0.521 และ 24.422 ± 0.067 mg/g น้ำหนักสด ตามลำดับ เช่นเดียวกับรายงานของ Ozgen และคณะ (2009) พบ ascorbic acid ในผลหม่อนดำ (*Morus nigra* L.) จำนวน 14 สายพันธุ์ และหม่อนแดง (*Morus rubra* L.) จำนวน 4 สายพันธุ์ เฉลี่ยอยู่ในช่วง 3-10 mg/100 ml และก็พบในช่วงเดียวกันกับผลหม่อนดำ (*Morus nigra* L.) ที่ปลูกทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือของอะนาโตเลีย ประเทศตุรกี ซึ่งมี จำนวน 14 สายพันธุ์ ascorbic acid เฉลี่ย 15.10-18.70 mg/100 ml (Ercisli and Orhan, 2008) นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยอื่นๆ ที่ตีพิมพ์ก่อนหน้านี้ (Koyuncu, 2004)



ภาพที่ 4.4 ปริมาณกรดอินทรีย์ชนิด oxalic acid, tartaric acid, malic acid, ascorbic acid และ lactic acid ที่พบในผลหม่อน



ภาพที่ 4.5 ปริมาณกรดอินทรีย์ชนิด acetic acid, citric acid, benzoic acid และผลรวมกรดอินทรีย์ที่พบในผลหม่อน

กรด benzoic acid เป็นกรดอินทรีย์ที่พบมากรองจาก ascorbic acid ซึ่งโดยที่ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติจะพบในรูปที่อยู่ในรูปอิสระและจับกับสารประกอบอื่นๆ พบมากในพืชหลายชนิด ส่วนใหญ่พบมากในผลไม้ตระกูลเบอร์รี่ประมาณ 0.05% โดยเฉพาะอย่างยิ่งในผลไม้สุก เช่น แครนเบอร์รี่ บิลเบอร์รี่ มี benzoic acid อิสระอยู่ประมาณ 0.03-0.13% นอกจากนี้ยังพบได้ในแอปเปิ้ลที่เกิดจากการรุกรานของเชื้อราจากผลการวิเคราะห์ดังแสดงใน [ภาพที่ 4.5](#) พบว่าผลหม่อนตรวจพบ benzoic acid อิสระเช่นกัน โดยพบว่าหม่อนพันธุ์เชียงใหม่ (15.10 ± 1.40 mg/g น้ำหนักสด) พันธุ์วาวี (15.02 ± 2.00 mg/g น้ำหนักสด) และพันธุ์ไร่ก้านจูล (13.40 ± 1.50 mg/g น้ำหนักสด) มีปริมาณไม่แตกต่างกัน แต่ก็สูงกว่าหม่อนพันธุ์ อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) รองลงมาคือหม่อนพันธุ์กำแพงแสน (9.17 ± 0.82 mg/g น้ำหนักสด) พันธุ์นครราชสีมา 60 (8.15 ± 0.16 mg/g น้ำหนักสด) พันธุ์บุรีรัมย์ 60 (7.62 ± 1.14 mg/g น้ำหนักสด) และพันธุ์พิบูลทอง (7.12 ± 2.60 mg/g น้ำหนักสด) พันธุ์ชุมพรตรวจไม่พบ

กรดอินทรีย์อื่นๆ ก็พบในปริมาณที่ใกล้เคียงกันของหม่อนแต่ละพันธุ์ tartaric acid พบในช่วง 3.55 ± 0.46 mg/g น้ำหนักสด (พันธุ์ไร่ก้านจูล) ถึง 7.10 ± 0.42 mg/g น้ำหนักสด (พันธุ์เชียงใหม่) ปริมาณ tartaric acid ที่พบสูงกว่าจากรายงานวิจัยของ [Gundogdu และคณะ \(2011\)](#) ที่รายงานไว้ว่าผลหม่อนดำ (*Morus nigra* L.) หม่อนแดง (*Morus rubra* L.) และหม่อนขาว (*Morus alba* L.) มีปริมาณ tartaric acid เฉลี่ยเท่ากับ 1.23 ± 0.02 , 3.36 ± 0.01 และ 2.23 ± 0.01 mg/g น้ำหนักสด ตามลำดับ ขณะที่ malic acid พบในช่วง 3.07 ± 0.30 mg/g น้ำหนักสด (พันธุ์นครราชสีมา 60) ถึง 6.70 ± 0.12 mg/g น้ำหนักสด (พันธุ์เชียงใหม่) ซึ่งปริมาณ malic acid ที่พบต่ำกว่าที่พบในรายงานของ [Gundogdu และคณะ \(2011\)](#) ที่รายงานไว้ว่าผลหม่อนดำ หม่อนแดง และหม่อนขาวมีปริมาณ malic acid เฉลี่ยเท่ากับ 13.23 ± 0.01 , 44.67 ± 5.25 และ 30.95 ± 0.01 mg/g น้ำหนักสด ตามลำดับ lactic acid พบในช่วง 1.18 ± 0.01 mg/g น้ำหนักสด (พันธุ์วาวี) ถึง 5.07 ± 1.02 mg/g น้ำหนักสด (พันธุ์ชุมพร) ปริมาณ lactic acid ที่พบสูงกว่าเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับรายงานของ [Gundogdu และคณะ \(2011\)](#) ที่รายงานไว้ว่าผลหม่อนดำ หม่อนแดง และหม่อนขาวมีปริมาณ lactic acid เฉลี่ยเท่ากับ 0.49 ± 0.00 , 0.74 ± 0.01 และ 0.74 ± 0.01 mg/g น้ำหนักสด ตามลำดับ ขณะที่ acetic acid พบในช่วง 0.23 ± 0.01 mg/g น้ำหนักสด (พันธุ์วาวี) ถึง 1.68 ± 0.05 mg/g น้ำหนักสด (พันธุ์ชุมพร) ([ภาพที่ 4.4](#)) ปริมาณ acetic acid ที่พบสูงกว่าเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับรายงานของ [Gundogdu และคณะ \(2011\)](#) ที่รายงานไว้ว่าผลหม่อนดำ หม่อนแดง และหม่อนขาวมีปริมาณ acetic acid เฉลี่ยเท่ากับ 0.19 ± 0.00 , 0.15 ± 0.01 และ 0.08 ± 0.01 mg/g น้ำหนักสด ตามลำดับ และ citric acid พบในช่วง 1.23 ± 0.63 mg/g น้ำหนักสด (พันธุ์ชุมพร) ถึง 7.85 ± 0.63 mg/g น้ำหนักสด (พันธุ์กำแพงแสน) ปริมาณ citric acid ที่พบสอดคล้องกับงานวิจัยของ [Gundogdu และคณะ \(2011\)](#) ที่รายงานไว้ว่าผลหม่อนดำ (*Morus nigra* L.) หม่อนแดง (*Morus rubra* L.) และหม่อนขาว (*Morus alba* L.) มีปริมาณ citric acid เฉลี่ยเท่ากับ 10.84 ± 0.03 , 7.62 ± 0.02 และ 3.93 ± 0.02 mg/g น้ำหนักสด ตามลำดับ อย่างไรก็ตามปริมาณ citric acid ก็พบต่ำกว่าในรายงานของ [Ercisli และ Orhan \(2008\)](#) ที่พบว่าผลหม่อนดำ 5 จีโนไทป์มีปริมาณ citric acid เฉลี่ยอยู่ในช่วง 21-41 mg/g น้ำหนักสด เมื่อพิจารณาค่าผลรวมของกรดอินทรีย์

สามารถเรียงลำดับจากปริมาณสูงไปต่ำได้ดังนี้ พันธุ์เชียงใหม่ (55.03 ± 2.42 mg/g น้ำหนักสด) และพันธุ์ไร่ก้านจูล (52.21 ± 3.02 mg/g น้ำหนักสด) > พันธุ์กำแพงแสน (47.74 ± 2.10 mg/g น้ำหนักสด) พันธุ์บุรีรัมย์ 60 (45.91 ± 2.46 mg/g น้ำหนักสด) และพันธุ์นครราชสีมา 60 (44.31 ± 2.38 mg/g น้ำหนักสด) > พันธุ์วาวี (39.63 ± 2.17 mg/g น้ำหนักสด) และพันธุ์พิบูลทอง (38.98 ± 2.07 mg/g น้ำหนักสด) > พันธุ์ชุมพร (33.53 ± 3.60 mg/g น้ำหนักสด) (ภาพที่ 4.5) กรดอินทรีย์ที่พบในผลไม้ไม่ได้มีผลด้านลบต่อร่างกาย ซึ่งกรดอินทรีย์เหล่านี้จะเร่งการเกิดออกซิเดชันในกระบวนการเมตาโบลิซึม ดังนั้นกรดอินทรีย์เหล่านี้จึงเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในอาหาร (Schobinger, 1988) กรดอินทรีย์จะจับกับโลหะหนักเป็นโครงสร้างที่ซับซ้อน ช่วยป้องกันการเกิดออกซิเดชัน (Balci, 1996) นอกจากนี้สัดส่วนของกรดอินทรีย์กับน้ำตาลที่พบในผลไม้ยังมีผลต่อรสชาติของผลไม้อีกด้วย นอกจากนี้ชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์ในผลไม้ยังบ่งชี้ถึงคุณภาพของผลไม้ กรดอินทรีย์บางชนิดมีรายงานว่ามีส่วนต่อการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ (Ozkaya, 1988)

การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกโดยเทคนิค High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

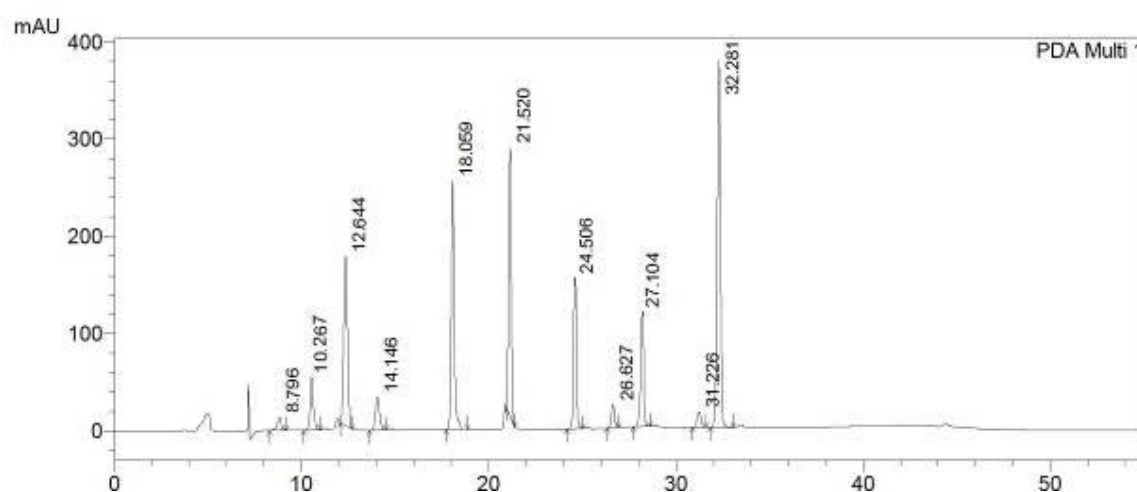
HPLC เป็นวิธีที่นิยมใช้มากในการวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกในช่วง 20 ปี ที่ผ่านมานี้ เนื่องจากสามารถแยกสารประกอบฟีนอลิกที่ผสมกันอยู่ได้ดีขึ้นเมื่อเทียบกับเทคนิคโครมาโทกราฟีอื่น สามารถได้ข้อมูลทั้งคุณภาพ และปริมาณที่แม่นยำในการวิเคราะห์เพียงครั้งเดียว

การวิเคราะห์ปริมาณฟลาโวนอยด์

จากการศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการแยกสารมาตรฐานฟลาโวนอยด์ พบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการแยกโดยใช้ระบบการแยกแบบเกรเดียนต์อีลูชัน (gradient elution) คือใช้ตัวทำละลายสองชนิดที่มีสภาพความขี้ไม่เท่ากัน อะซิโตนไตรและน้ำเป็นตัวทำละลายที่ใช้กันทั่วไปในกระบวนการชะล้างหรือพาสารตัวอย่างเพื่อศึกษาสารประกอบฟลาโวนอยด์ จากการทดลองนี้แสดงให้เห็นแล้วว่า ตัวทำละลายสองชนิดนี้มีความเหมาะสมในการใช้เป็นเฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) เนื่องจากสามารถแยกสารแต่ละชนิดออกจากกันชัดเจนและได้พีคที่ตีสอดคล้องกับการทดลองของ Amiot และคณะ (1995) และเนื่องจากว่าลักษณะของโครงสร้างโมเลกุล และคุณสมบัติทางชีวภาพที่คล้ายคลึงกันของสารประกอบฟลาโวนอยด์ทำให้มีความยากลำบากในการแยก ดังนั้นในการทดลองนี้จึงได้มีการเติมกรดฟอสฟอริก 0.2% ตามวิธีการของ Wang และ Huang (2004) ในตัวทำละลายเพื่อควบคุมพีเอช และการแตกตัวเป็นไอออนของหมู่ไฮดรอกซิล ช่วยทำให้การแยกสารได้ดียิ่งขึ้น อัตราส่วนของตัวทำละลายที่ใช้เปลี่ยนแปลงตามโปรแกรมดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 โปรแกรมที่ใช้ในระบบการชะล้างแบบเกรเดียนท์อีลูชัน

เวลาหน่วยหนึ่ย (นาทึ่)	สารละลาย A (%)	สารละลาย B (%)	อัตราการไหล (มิลลิลิตรต่อนาที)
0	80	20	0.6
9	71	29	0.4
13	67	33	0.6
30	50	50	0.6
35	40	60	0.6
40	80	20	0.6
55	80	20	0.6



ภาพที่ 4.6 โครมาโทแกรมของสารประกอบฟลาโวนอยด์ (8.79) (+)-catechin; (10.26) (-)-epicatechin; (12.64) rutin; (14.14) procyanidin B1; (18.05) procyanidin B2; (21.52) myricetin; (24.50) *tran*-resveratrol; (26.62) luteolin; (27.10) quercetin; (31.12) naringenin และ (32.28) kaempferol

การสร้างกราฟมาตรฐาน (calibration curves)

จากการวิเคราะห์สารมาตรฐานฟลาโวนอยด์ด้วยเทคนิค HPLC ทำให้ทราบระยะเวลาที่เฟสเคลื่อนที่ชะล้างสารตัวอย่างผ่านเฟสคงที่ (retention time) และลักษณะโครมาโทแกรมของสารมาตรฐานฟลาโวนอยด์ เพื่อการวิเคราะห์เชิงปริมาณจึงจำเป็นต้องมีการสร้างกราฟมาตรฐานซึ่งทำได้โดยการฉีดสารมาตรฐานแต่ละชนิดที่ทราบความเข้มข้น ได้ผลของสารประกอบฟลาโวนอยด์ดังแสดงในตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.6 สารที่ถูกชะแยกออกมาจากคอลัมน์ก่อน คือ (+)-catechin, (-)-epicatechin, rutin, procyanidin B1, procyanidin B2, myricetin, *trans*-resveratrol, luteolin, quercetin, naringenin และ kaempferol มีเวลาหน่วงเหนี่ยวเท่ากับ 8.79, 10.26, 12.64, 14.14, 18.05, 21.52, 24.50, 26.62, 27.10, 31.12 และ 32.28 นาที ตามลำดับ จากตารางนี้ยังพบว่าวิธีการนี้มีความละเอียดในการวิเคราะห์โดยดูจากค่า limit of detection (LOD) ซึ่งอยู่ในช่วง 0.05-10 mg/L และ coefficient of determination (R)

ตารางที่ 4.4 ประสิทธิภาพการวิเคราะห์สารมาตรฐานฟลาโวนอยด์ด้วย HPLC

Phenolic compounds	Retention time (min)	Calibration curve	Coefficient of determination (R)
(+)-catechin	8.79	$Y = 089.0X - 4882.7$	0.9998
(-)-epicatechin	10.26	$Y = 5949.9X - 568.19$	0.9996
rutin	12.64	$Y = 52454X - 6272.2$	0.9993
procyanidin B1	14.14	$Y = 21316X - 1005.7$	0.9999
procyanidin B2	18.05	$Y = 21953X - 989.91$	0.9996
myricetin	21.52	$Y = 62581X - 32510$	0.9989
<i>trans</i> -resveratrol	24.50	$Y = 30173X - 75411$	0.9984
luteolin	26.62	$Y = 93464X + 4295.8$	0.9999
quercetin	27.10	$Y = 4395.1X - 2307$	0.9986
naringenin	31.22	$Y = 2244.5X + 2023.7$	0.9995
kaempferol	32.28	$Y = 92563X - 19808$	0.9991

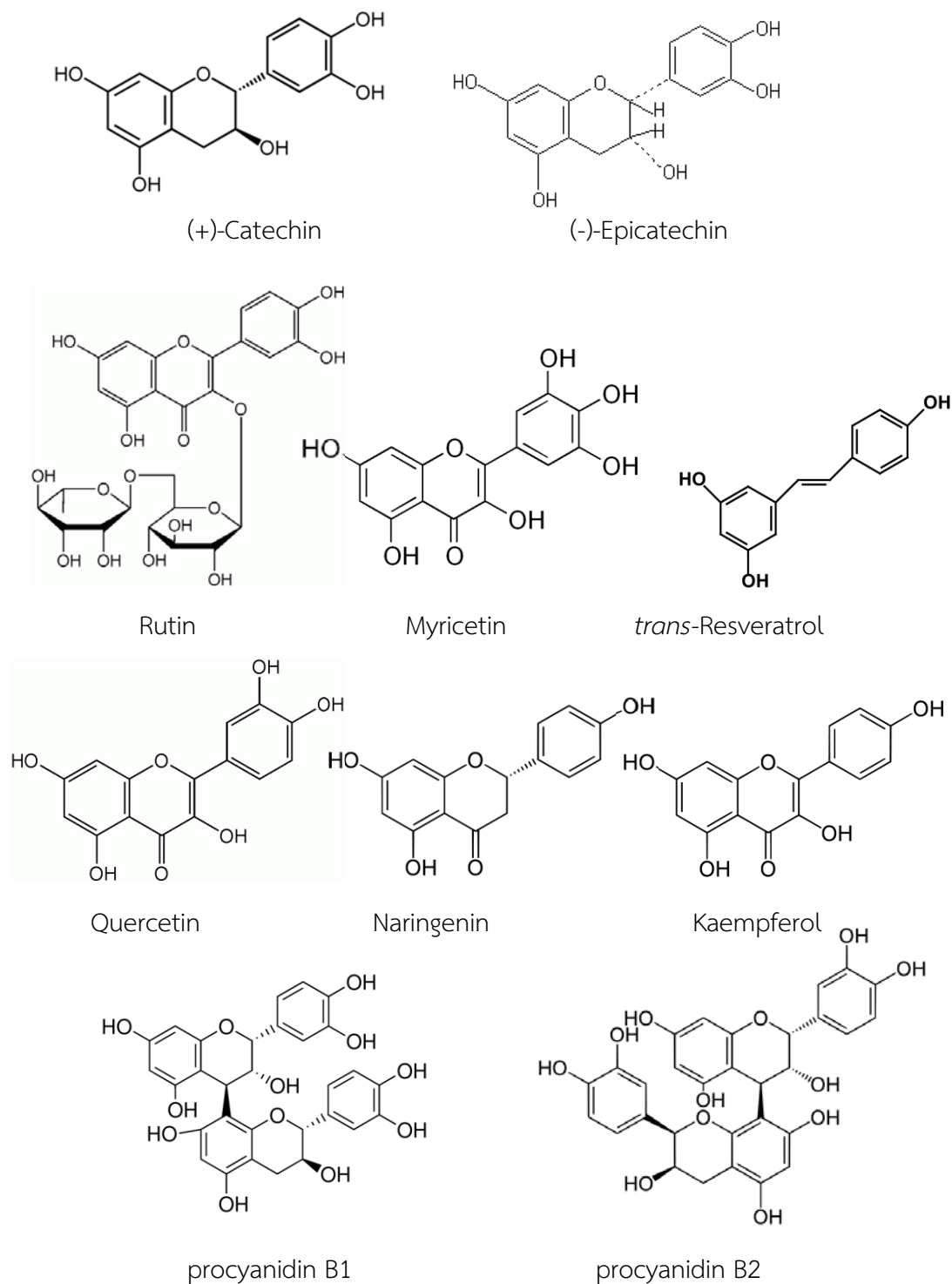
ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ในผลหม่อน

ปัจจุบันสารต้านออกซิเดชันธรรมชาติจัดเป็นสารที่กำลังได้รับความนิยมมากกว่าสารต้านออกซิเดชันสังเคราะห์ เนื่องจากสารต้านออกซิเดชันสังเคราะห์มีพิษต่อร่างกาย โดยรายงานการศึกษาพบว่าสารพวกนี้

ก่อให้เกิดมะเร็งในสิ่งมีชีวิต (Karpinska et al., 2000) ตัวอย่างสารต้านออกซิเดชันธรรมชาติ เช่น โทโคฟีรอล กรดแอสคอร์บิก กรดซิตริก กรดไฟติก กรดทาร์ทาริก แลพอสฟาติลโคลีน เป็นต้น (Basu et al., 1999) นอกจากนี้สารต้านออกซิเดชันธรรมชาติที่พบส่วนใหญ่เป็นสารประกอบฟีนอลิกที่พืชสร้างขึ้น เช่น สารประกอบฟลาโวนอยด์ เช่น เคอร์ซีติน เคมเฟอรอล และไมริเซติน (Bilyk and Sapers, 1986) และคูมาริน เป็นต้น และกรดฟีนอลิก เช่น กรดเอลาจิก (Dhiraj and Kalidas, 2003; Jack, 2004) กรดเจนทิสิก (Exner, 2000) กรดวานิลลิก และกรดเฟอร์ูลิก (Ghosh et al., 2006) เป็นต้น โดยสารในธรรมชาติที่มีคุณสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชันส่วนใหญ่มีความสามารถในการให้อิโตรเจนของหมู่ OH ในสารประกอบฟีนอลิก ความสามารถในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของสารขึ้นอยู่กับตำแหน่ง และจำนวนของหมู่ไฮดรอกซิลรวมทั้งโครงสร้างอื่นๆ ของโมเลกุล (ภาพที่ 4.7) ด้วยคุณสมบัติที่สำคัญของสารประเภทนี้ ทำให้นักวิทยาศาสตร์พยายามค้นหาแหล่งของสารต้านออกซิเดชันใน พืช ผัก ผลไม้ที่บริโภคกันเป็นประจำ หรือจากแหล่งธรรมชาติอื่นๆ เพื่อนำมาสกัดและประยุกต์เป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ต่อไป

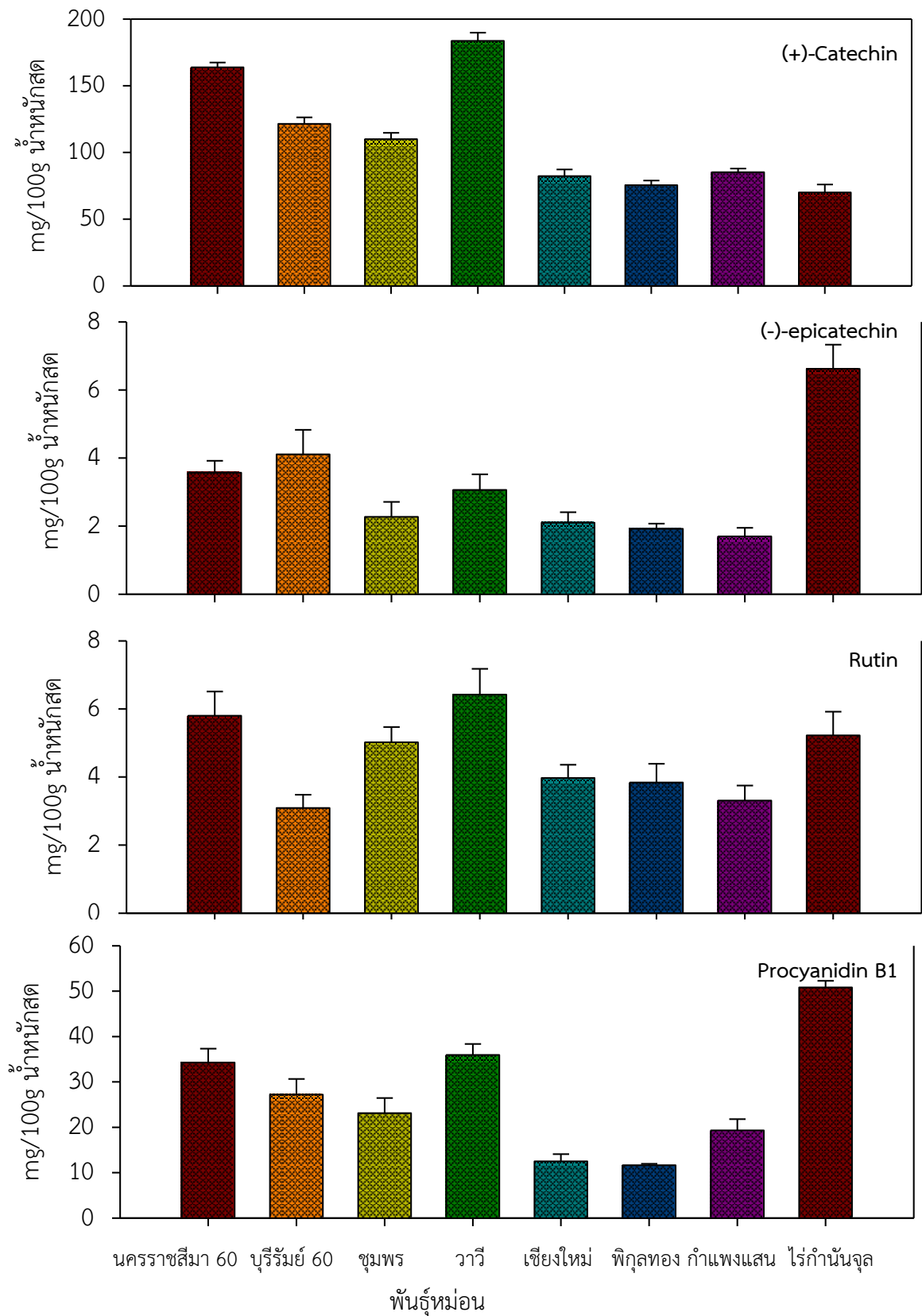
ผลหม่อนอุดมไปด้วยสารต้านออกซิเดชันจำนวนมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ เช่น quercetin 3-(6-malonylglucoside) ซึ่งพบว่ามีคุณสมบัติในการต้านออกซิเดชันสูง (Butt et al., 2008) ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ก็จะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ พันธุ์กรรม สภาพแวดล้อม ภูมิอากาศ วิธีการเพาะปลูก และสภาพดิน เป็นต้น ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยมีการปลูกหม่อนหลายสายพันธุ์ ได้แก่ นครราชสีมา 60 บุรีรัมย์ 60 คุณไผ่ น้อย และเชียงใหม่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสายพันธุ์เชียงใหม่ หม่อนสายพันธุ์นี้นอกจากจะให้ใบในปริมาณที่สูงสำหรับการเลี้ยงไหมแล้ว ยังพบว่าให้ผลผลิตผลหม่อนในปริมาณที่สูงด้วย ได้มีการรายงานความสามารถให้ผลผลิตสูงถึง 1,000 กิโลกรัม/ไร่/ปี (วสันต์, 2546) จากศักยภาพของผลหม่อนดังกล่าว จึงได้มีการศึกษาการนำผลหม่อนไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ จากรายงานพบว่าผลหม่อนสุกสามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ในระดับอุตสาหกรรมต่างๆ มากมาย เช่น ไวน์ น้ำผลไม้ แยม เยลลี่ ซอสผลไม้ เค้ก ชาผลไม้ ผงหม่อนแคปซูล ผลหม่อนแช่อิ่ม ลูกอมผลหม่อน ผลหม่อนอบแห้ง สีสผสมอาหาร ส่วนประกอบในสารลดความอ้วน สามารถใช้ในอุตสาหกรรมยา และอาหารสัตว์ เป็นต้น

จากการนำผลหม่อนสุกสายพันธุ์ต่างๆ จำนวน 8 สายพันธุ์ ได้แก่ นครราชสีมา 60 บุรีรัมย์ 60 ชุมพร วาวี เชียงใหม่ พิกุลทอง กำแพงแสน และไร่ก้านจูล มาวิเคราะห์ปริมาณสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ พบว่าสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ที่พบในผลหม่อนสุก ได้แก่ (+)-catechin, (-)-epicatechin, rutin, procyanidin B1, procyanidin B2, myricetin, *trans*-resveratrol, luteolin, quercetin, naringenin, และ kaempferol ซึ่งเป็นฟลาโวนอยด์ที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูง สารฟลาโวนอยด์ชนิดที่พบในผลหม่อนปริมาณสูงคือ (+)-catechin, procyanidin B1 และ quercetin กลุ่มที่พบปริมาณปานกลาง คือ (-)-epicatechin, rutin และ *trans*-resveratrol และกลุ่มที่พบปริมาณต่ำ คือ procyanidin B2, myricetin, luteolin, naringenin และ kaempferol (ภาพที่ 4.8, 4.9 และ 4.10)



ภาพที่ 4.7 โครงสร้างประกอบฟีนอลิกชนิด (+)-catechin, (-)-epicatechin, rutin, myricetin, *trans-resveratrol*, procyanidin B1, procyanidin B2, quercetin, naringenin และ kaempferol

(+)-Catechin เป็นสารประกอบทางเคมีชนิดหนึ่งของโพลีฟีนอลส์ (Polyphenols) ที่รู้จักกันดีในนามของแทนนิน (Tannin) (ยาฝาดสมานแผลชนิดหนึ่ง) พบมากในใบชาและได้รับความสนใจมากเนื่องจากมีคุณสมบัติต้าน antioxidative, antibacterial และ antiallergic activities (Yen and Chen, 1995; Kumamoto and Sonda, 1998; Yang et al., 1998) ดังนั้นจึงมีการสกัด (+)-catechin จากใบชา มาใช้ในอุตสาหกรรมหลากหลาย เช่น ในอุตสาหกรรมสำอาง โดยนำสาร (+)-catechin มาผสมในครีมกันแดด สบู่ ครีมอาบน้ำ ผลิตภัณฑ์บำรุงผิว ในอุตสาหกรรมยา ผลิตภัณฑ์ในรูปแคปซูลสำหรับบำรุงสุขภาพ และใช้ในผลิตภัณฑ์อื่นๆ เช่น antifu, air purifier, antifu masks, catechin candy และอาหารสัตว์ เป็นต้น (Fennema et al., 2001) จากการวิเคราะห์ผลหมอนด้วย HPLC พบว่าตัวอย่างผลหมอนทุกสายพันธุ์ตรวจพบ (+)-catechin เป็นสารฟลาโวนอยด์ที่พบมากที่สุดที่ในผลหมอนโดยพบในช่วง 70.05 ± 5.87 mg/100 g น้ำหนักสด ของผลหมอนพันธุ์ไกรก้านจูล ถึง 183.65 ± 6.08 mg/100 g น้ำหนักสด ของผลหมอนพันธุ์วาวี (ภาพที่ 4.8) นอกจากนี้หมอนพันธุ์นครราชสีมา 60 พันธุ์บุรีรัมย์ 60 และพันธุ์ชุมพรมีปริมาณ (+)-catechin สูงเช่นกันโดยมีปริมาณเกิน 100 mg/100 g น้ำหนักสด ซึ่งมีปริมาณเท่ากับ 158.78 ± 3.65 mg/100 g น้ำหนักสด 121.42 ± 4.85 mg/100 g น้ำหนักสด และ 109.89 ± 4.80 mg/100 g น้ำหนักสด ตามลำดับ ขณะที่พันธุ์กำแพงแสน หมอนพันธุ์เชียงใหม่ พันธุ์พิกุลทอง และพันธุ์ไกรก้านจูลมีปริมาณเท่ากับ 85.15 ± 2.79 mg/100 g น้ำหนักสด 82.21 ± 4.98 mg/100 g น้ำหนักสด 75.45 ± 3.45 mg/100 g น้ำหนักสด และ 70.05 ± 5.87 mg/100 g น้ำหนักสด ตามลำดับ ในรายงานการวิจัยนี้ปริมาณ (+)-catechin ที่พบในผลหมอนซึ่งอยู่ในช่วง 70.05-183.65 mg/100 g น้ำหนักสด พบว่ามีปริมาณสูงกว่าจากรายงานของ Tsanova-Savova และคณะ (2005) ได้รายงานปริมาณ (+)-catechin ที่พบในผลไม้หลายชนิด ได้แก่ แอปเปิ้ล (0.93 mg/100 g น้ำหนักสด), ลูกแพร์ (0.37 mg/100 g น้ำหนักสด), ลูกพีช (1.23 mg/100 g น้ำหนักสด), อะพริคอต (7.34 mg/100 g น้ำหนักสด), พลัม (3.31 mg/100 g น้ำหนักสด), เชอร์รี่หวาน (1.51 mg/100 g น้ำหนักสด), เชอร์รี่เปรี้ยว (0.30 mg/100 g น้ำหนักสด), ราสเบอร์รี่ (1.36 mg/100 g น้ำหนักสด), แบล็คเบอร์รี่ (2.09 mg/100 g น้ำหนักสด), สตรอว์เบอร์รี่ (3.11 mg/100 g น้ำหนักสด), บลูเบอร์รี่ (1.66 mg/100 g น้ำหนักสด), องุ่นดำ (10.83 mg/100 g น้ำหนักสด) และ องุ่นขาว (5.89 mg/100 g น้ำหนักสด) นอกจากนี้ยังสูงกว่าที่รายงานในงานวิจัยของ Mikeš และคณะ (2008) ซึ่งรายงานไว้ว่าองุ่นพันธุ์ Grüner Veltliner, Hiberna, Malverina, Müller Turgau, Rheinriesling, Welschriesling, Neuburger, Blauer Burgunder, Lemberger และ St. Laurent มีปริมาณ (+)-catechin อยู่ในช่วง 3.92-65.91 mg/100 g น้ำหนักสด อย่างไรก็ตามปริมาณ (+)-catechin ที่พบในผลหมอนก็มีปริมาณต่ำกว่าผลไม้ตระกูลเบอร์รี่ในสปีชีส์ *Lonicera* ได้แก่ *Lonicera caerulea* (298.3 mg/100 g น้ำหนักสด), *Lonicera edulis* (185 mg/100 g น้ำหนักสด), *Lonicera boczkarnikowae* (429 mg/100 g น้ำหนักสด), *Lonicera iliensis* (122 mg/100 g น้ำหนักสด), *Lonicera villosa* (240 mg/100 g น้ำหนักสด) และ *Lonicera altaica* (292.5 mg/100 g น้ำหนักสด) (Jurikova et al., 2012)



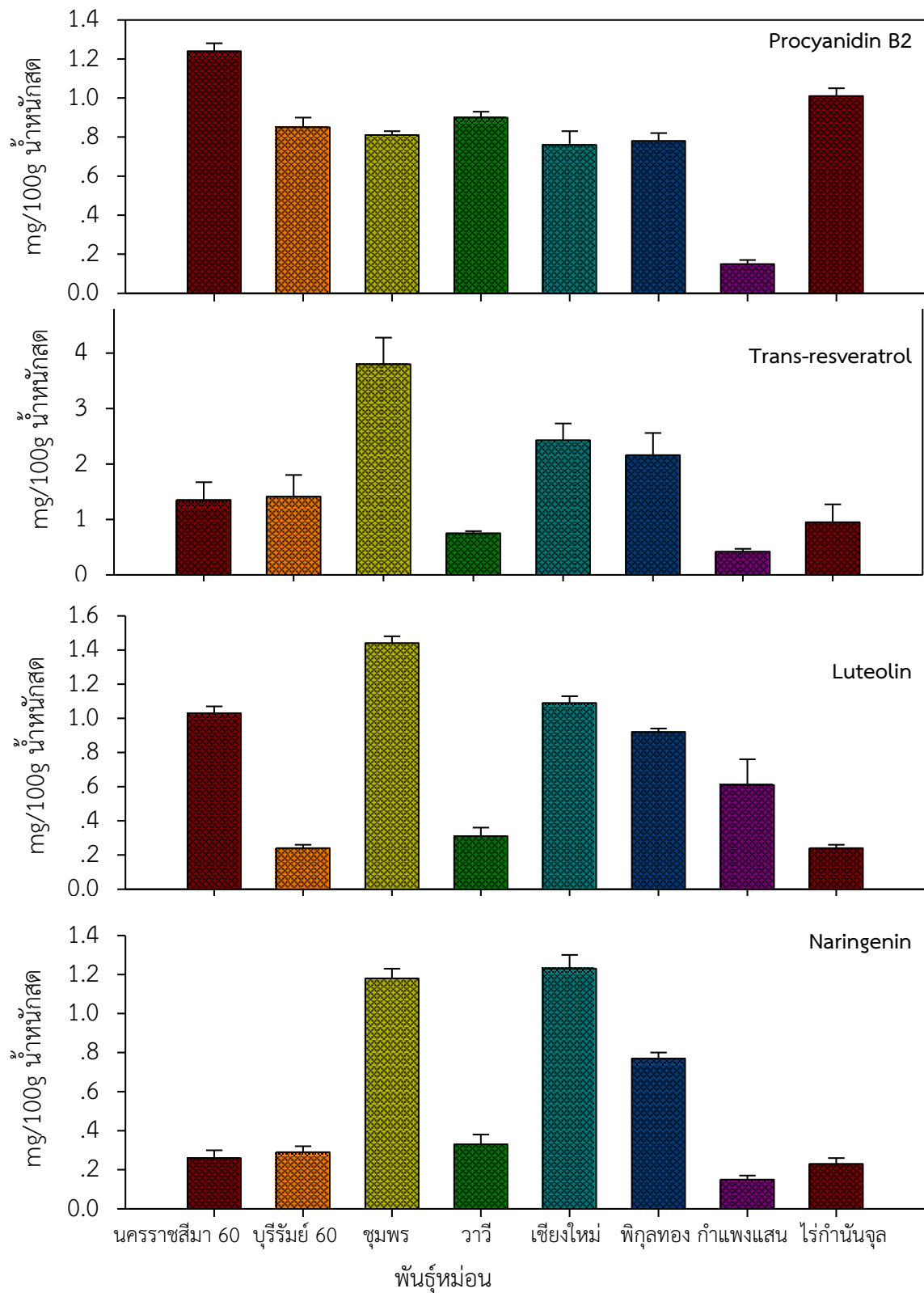
ภาพที่ 4.8 ปริมาณฟลาโวนอยด์ชนิด (+)-catechin, (-)-epicatechin, rutin และ procyanidin B1 ในผลหม่อน

(-)-Epicatechin เป็นสารประกอบทางเคมีชนิดหนึ่งของโพลีฟีนอลส์ (Polyphenols) เป็นอีกชนิดหนึ่งของสาร (+)-catechin พบมากในชาเขียว จากการวิเคราะห์ปริมาณ (-)-epicatechin ในผลหม่อนพบว่าปริมาณ (-)-epicatechin สามารถเรียงลำดับจากปริมาณต่ำไปสูงได้ดังนี้ กำแพงแสน < พิกุลทอง < เชียงใหม่ < ชุมพร < วาวี < นครราชสีมา 60 < บุรีรัมย์ 60 < ไร่กำนันจุล (ภาพที่ 4.8) โดยมีค่าเท่ากับ 1.70 ± 0.25 , 1.92 ± 0.31 , 2.10 ± 0.31 , 2.27 ± 0.44 , 3.06 ± 0.46 , 3.57 ± 0.35 , 4.11 ± 0.72 และ 6.62 ± 0.71 mg/100 g น้ำหนักสด ตามลำดับ ในจำนวนนี้หม่อนพันธุ์ไร่กำนันจุลมีปริมาณ (-)-epicatechin สูงกว่าหม่อนพันธุ์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในรายงานการวิจัยนี้ปริมาณ (-)-epicatechin ที่พบในผลหม่อนซึ่งอยู่ในช่วง 1.70-6.62 mg/100 g น้ำหนักสด พบว่ามีปริมาณใกล้เคียงกับจากรายงานของ Tsanova-Savova และคณะ (2005) ได้รายงานปริมาณ (-)-epicatechin ที่พบในผลไม้หลายชนิด ได้แก่ แอปเปิ้ล (5.14 mg/100 g น้ำหนักสด), ลูกแพร์ (4.70 mg/100 g น้ำหนักสด), ลูกพีช (0.04 mg/100 g น้ำหนักสด), อะพริคอต (8.26 mg/100 g น้ำหนักสด), พลัม (0.42 mg/100 g น้ำหนักสด), เชอร์รี่หวาน (4.75 mg/100 g น้ำหนักสด), เชอร์รี่เปรี้ยว (0.68 mg/100 g น้ำหนักสด), ราสเบอร์รี่ (3.67 mg/100 g น้ำหนักสด), แบล็คเบอร์รี่ (4.01 mg/100 g น้ำหนักสด), สตรอว์เบอร์รี่ (0.18 mg/100 g น้ำหนักสด), บลูเบอร์รี่ (3.29 mg/100 g น้ำหนักสด), องุ่นดำ (8.70 mg/100 g น้ำหนักสด) และองุ่นขาว (2.78 mg/100 g น้ำหนักสด) นอกจากนี้ยังมีปริมาณใกล้เคียงกับรายงานในงานวิจัยของ Mikeš และคณะ (2008) ซึ่งรายงานไว้ว่าองุ่นพันธุ์ Grüner Veltliner, Hiberna, Malverina, Müller Turgau, Rheinriesling, Welschriesling, Neuburger, Blauer Burgunder, Lemberger และ St. Laurent มีปริมาณ (-)-epicatechin อยู่ในช่วง 4.72-21.52 mg/100 g น้ำหนักสด

Rutin เป็นฟลาโวนอยด์กลัยโคไซด์ชนิดหนึ่งที่สังเคราะห์ขึ้นโดยพืชชั้นสูง พบในอาหาร เครื่องดื่ม พืช ผัก และผลไม้หลายชนิด มีคุณสมบัติในการต้านออกซิเดชันสูง (Holasova and others. 2001; Krkoskova and Mrazova, 2005; Park and others. 2000) สามารถช่วยให้เส้นเลือดฝอยแข็งแรงในคนที่ เป็นแผลฟกช้ำหรือเลือดออกง่าย จากการศึกษาพิสูจน์แล้วว่ารูตินสามารถช่วยหยุดอาการบวมของเส้นเลือดดำ ซึ่งเป็นสัญญาณเริ่มต้นของการเกิดโรคเกี่ยวกับเส้นเลือดดำ ช่วยลดความดันโลหิต (Abeywardena and Head. 2001) rutin นอกจากจะพบในใบหม่อน (Zhishen, Mengcheng and Jianming, 1999) แล้วยังพบในผลหม่อนด้วย จากผลการวิเคราะห์ดังแสดงในภาพที่ 4.8 พบว่าผลหม่อนตรวจพบ rutin เช่นกัน และสามารถเรียงลำดับจากปริมาณ rutin จากต่ำไปสูงได้ดังนี้ บุรีรัมย์ 60 < กำแพงแสน < พิกุลทอง < เชียงใหม่ < ชุมพร < ไร่กำนันจุล < นครราชสีมา 60 < วาวี โดยมีปริมาณเท่ากับ 3.09 ± 0.39 , 3.31 ± 0.44 , 3.84 ± 0.55 , 3.97 ± 0.39 , 5.02 ± 0.45 , 5.22 ± 0.70 , 5.80 ± 0.71 และ 6.42 ± 0.76 mg/100 g น้ำหนักสด ตามลำดับ ในจำนวนนี้หม่อนพันธุ์วาวี พันธุ์นครราชสีมา 60 พันธุ์ไร่กำนันจุล และพันธุ์ชุมพรมีปริมาณ rutin ไม่แตกต่างกัน แต่ก็มีปริมาณสูงกว่าหม่อนพันธุ์บุรีรัมย์ 60 พันธุ์กำแพงแสน พันธุ์พิกุลทอง และพันธุ์เชียงใหม่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ปริมาณ rutin ที่พบในผลหม่อนอยู่ในช่วง 3.09-6.42 mg/100 g น้ำหนักสด ปริมาณที่พบสูงกว่าในรายงานวิจัยของ Chu และคณะ (2006) พบในผลหม่อนเท่ากับ 0.77 mg/100 g

น้ำหนักรากแห้ง ขณะที่ปริมาณ rutin ในผลหม่อนของงานวิจัยนี้พบอยู่ในช่วงที่รายงานของ Song และคณะ (2009) ซึ่งได้วิเคราะห์ปริมาณ rutin ในผลหม่อนจำนวน 38 สายพันธุ์ จำนวน 8 สปีชีส์ ในประเทศจีน พบว่ามีปริมาณเฉลี่ยอยู่ในช่วง 4.5 mg/100g น้ำหนักรากแห้ง (พันธุ์ Sinan 2 hao) ถึง 195.7 mg/100g น้ำหนักรากแห้ง (พันธุ์ Da 10 (Shanghai)) นอกจากนี้ปริมาณ rutin ที่พบในผลหม่อนในงานวิจัยนี้ก็มีปริมาณน้อยกว่าในเปลือกขององุ่นป่าอเมซอน (*Pourouma cecropiifolia* Martius) ซึ่งพบในปริมาณ 15.54 ± 0.21 mg/100g น้ำหนักสด แต่ก็มีปริมาณสูงกว่าในเนื้อขององุ่นพันธุ์นี้ซึ่งมีปริมาณเท่ากับ 0.26 ± 0.12 mg/100g น้ำหนักสด (Lopes-Lutz et al., 2010) แต่เมื่อเปรียบเทียบกับองุ่นพันธุ์ต่างๆ ได้แก่ Grüner Veltliner, Hiberna, Malverina, Müller Turgau, Rheinriesling, Welschriesling, Neuburger, Blauer Burgunder, Lemberger และ St. Laurent ที่ปลูกในทางใต้ของสาธารณรัฐเช็ก พบว่ามีปริมาณใกล้เคียงกันโดยมีปริมาณ rutin เท่ากับ 2.07, 4.30, 4.01, 3.23, 4.45, 6.86, 3.28, 4.62, 1.05 และ 2.20 mg/100g น้ำหนักสด ตามลำดับ (Mikeš et al., 2008)

Procyanidins จัดอยู่ในกลุ่ม proanthocyanidin เป็นสารประกอบฟลาโวนอยด์ชนิดหนึ่ง ในธรรมชาติพบในรูป Oligomeric proanthocyanidin ซึ่งในโครงสร้างมี catechin และ epicatechin เป็นโมเลกุลย่อย พบมากในเมล็ดและเปลือกขององุ่น และยังพบในผลไม้ตระกูลเบอร์รี่หลายชนิด คือ เชอร์รี่ บลูเบอรี่ บิลเบอร์รี่ และแครนเบอร์รี่ มีฤทธิ์ในการต้านไวรัส ต้านเชื้อจุลินทรีย์ ต้านอนุมูลอิสระ (Hümmer and Schreier, 2008) จากผลการวิเคราะห์ที่แสดงในภาพที่ 4.8 และภาพที่ 4.9 พบว่าผลหม่อนตรวจพบ procyanidins dimer ทั้ง procyanidin B1 และ procyanidin B2 โดยพบว่า procyanidin B1 เป็นสารประกอบฟลาโวนอยด์ที่มีปริมาณมากที่สุดรองจาก catechin โดยสามารถเรียงลำดับจากปริมาณ procyanidin B1 จากต่ำไปสูงได้ดังนี้ พิกุลทอง < เชียงใหม่ < กำแพงแสน < ชุมพร < บุรีรัมย์ 60 < นครราชสีมา 60 < วาวี < ไร่กำนันจุล โดยมีปริมาณเท่ากับ 11.62 ± 0.35 , 12.48 ± 0.62 , 19.31 ± 2.49 , 23.12 ± 3.33 , 27.19 ± 3.46 , 34.26 ± 4.07 , 35.95 ± 4.41 และ 50.83 ± 5.46 mg/100 g น้ำหนักสด ตามลำดับ ซึ่งหม่อนพันธุ์ไร่กำนันจุลมีปริมาณมากที่สุด สูงกว่าหม่อนพันธุ์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ปริมาณ procyanidins dimer ทั้ง procyanidin B1 และ procyanidin B2 ที่พบในผลหม่อนก็มีปริมาณใกล้เคียงกับผลไม้ตระกูลเบอร์รี่อื่นๆ ได้แก่ แบล็คเบอร์รี่ (27 mg/100 g น้ำหนักสด) (Gu et al., 2004) และเชอร์รี่ (12.48 mg/100 g น้ำหนักสด) (Wu et al., 2004) อย่างไรก็ตามปริมาณที่พบในผลหม่อนก็สูงกว่าที่พบในผล แบล็คเคอร์เรนตพันธุ์ Ben Lemond (3.56 mg/100 g น้ำหนักสด) กูสเบอร์รี่พันธุ์ Lan cashine (2.80 mg/100 g น้ำหนักสด) เอลเดอร์เบอร์รี่ (10.62 mg/100 g น้ำหนักสด) และเรดเคอร์เรนตพันธุ์ Red Lake (1.97 mg/100 g น้ำหนักสด) (Wu et al., 2004)



ภาพที่ 4.9 ปริมาณฟลาโวนอยด์ชนิด procyanidin B2, *tran*-resveratrol, luteolin และ naringenin ในผลหม่อน

Resveratrol (trans-3,4',5-trihydroxystilbene) เป็นสารกลุ่ม hydroxystilbenes พบมากในพืชหลายชนิด เช่น องุ่น และหม่อน (Golkar et al., 2007) ในปัจจุบันได้รับความสนใจอย่างมากเนื่องจากมีฤทธิ์ในการต้านโรคทางระบบประสาท (Bastianetto et al., 2000; Wang et al., 2002) ป้องกันโรคหัวใจ (Bradamante et al., 2003) นอกจากนี้ยังมีฤทธิ์ในการต้านเอนไซม์ไทโรซิเนส (tyrosinase) ทำให้ช่วยยับยั้งการสร้างเม็ดสีของผิวหนัง จึงใช้ประโยชน์ในการเป็นส่วนผสมในเครื่องสำอางเพื่อรักษาอาการมีเม็ดสีผิดปกติ (Shin et al., 1998; Kim et al., 2002) มีรายงานว่าตรวจพบในผลหม่อน (Chen, 2006) จากการวิเคราะห์ปริมาณ resveratrol ในผลหม่อนพันธุ์ต่างๆ พบว่าผลหม่อนมีปริมาณอยู่ในช่วง 0.42-3.80 mg/100 g น้ำหนักสด (ภาพที่ 4.9) โดยผลหม่อนพันธุ์ชุมพรมีปริมาณสูงที่สุดเท่ากับ 3.80 ± 0.78 mg/100 g น้ำหนักสด สูงกว่าหม่อนพันธุ์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) รองลงมาคือหม่อนพันธุ์เชียงใหม่ (2.43 ± 0.30 น้ำหนักสด) พันธุ์พิกุลทอง (2.16 ± 0.30 mg/100g น้ำหนักสด) พันธุ์บุรีรัมย์ 60 (1.41 ± 0.39 mg/100g น้ำหนักสด) พันธุ์ครราขสีมา 60 (1.35 ± 0.32 mg/100g น้ำหนักสด) พันธุ์ไร่กำนันจุล (0.95 ± 0.32 mg/100g น้ำหนักสด) และพันธุ์วาวี (0.75 ± 0.04 mg/100g น้ำหนักสด) หม่อนพันธุ์กำแพงแสนมีปริมาณ resveratrol ต่ำที่สุดเท่ากับ 0.42 ± 0.05 mg/100g น้ำหนักสด ซึ่งมีปริมาณต่ำกว่าหม่อนพันธุ์อื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) อย่างไรก็ตามปริมาณที่พบในหม่อนพันธุ์นี้ก็มีปริมาณเท่ากับรายงานการวิจัยของ Song และคณะ (2009) ในผลหม่อนจำนวน 38 สายพันธุ์ ที่ปลูกในประเทศจีน มีปริมาณ resveratrol อยู่ในช่วง 0.21-0.53 mg/100 g น้ำหนักสด นอกจากนี้ปริมาณ resveratrol ในผลหม่อนในงานวิจัยนี้ก็สูงกว่าที่พบในองุ่นพันธุ์ต่างๆ ได้แก่ Grüner Veltliner (0.01 mg/100g น้ำหนักสด), Hibernat (0.03 mg/100g น้ำหนักสด), Malverina (0.03 mg/100g น้ำหนักสด), Müller Turgau (0.03 mg/100g น้ำหนักสด), Rheinriesling (0.02 mg/100g น้ำหนักสด), Welschriesling (0.05 mg/100g น้ำหนักสด), Neuburger (0.15 mg/100g น้ำหนักสด), Blauer Burgunder (0.05 mg/100g น้ำหนักสด), Lemberger (0.03 mg/100g น้ำหนักสด) และ St. Laurent (0.01 mg/100g น้ำหนักสด) ที่ปลูกในทางใต้ของสาธารณรัฐเช็ก (Mikeš et al., 2008)

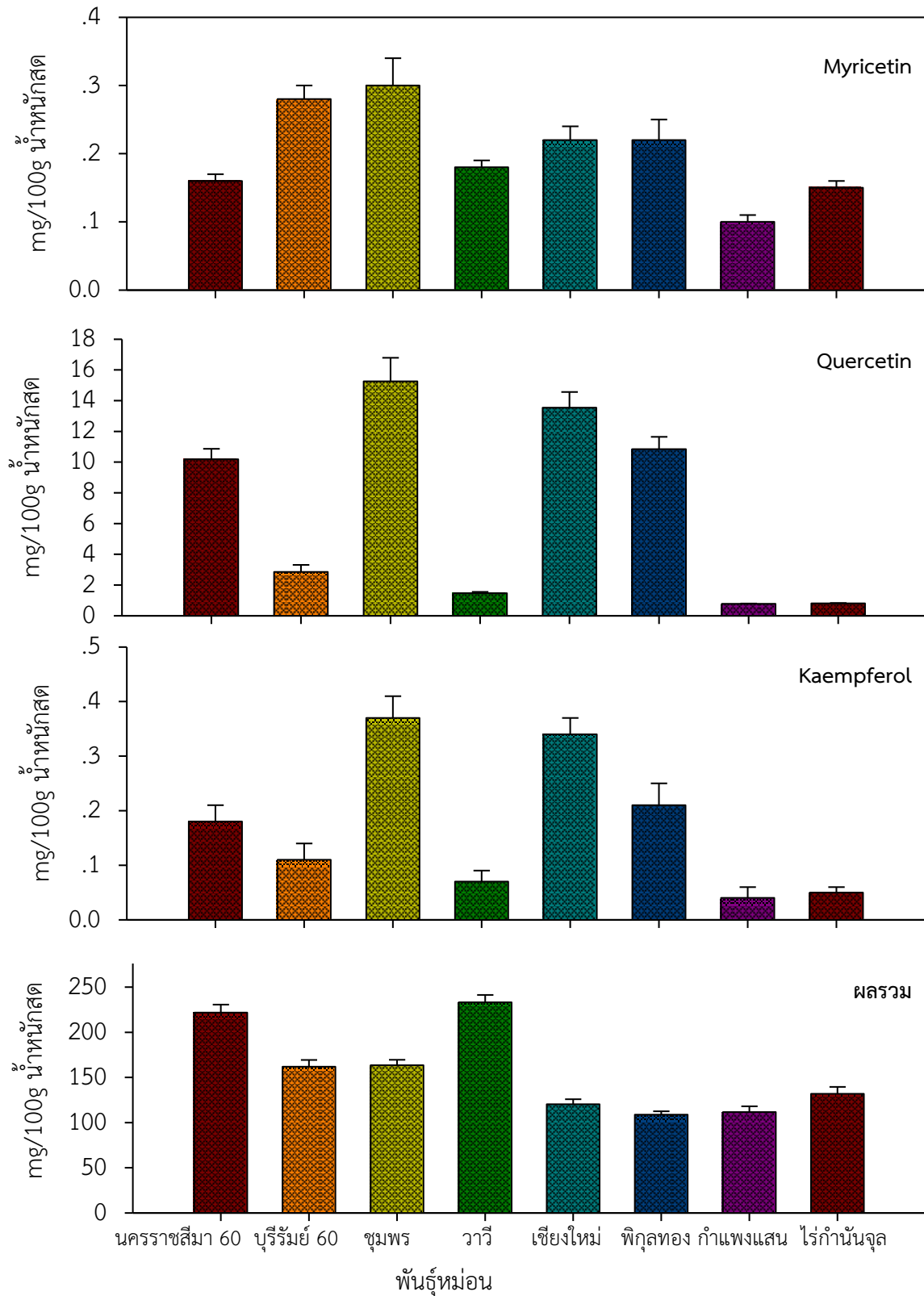
Luteolin เป็นสารประกอบฟลาโวนอยด์ที่อยู่ในกลุ่มฟลาโวนส์ (flavones) พบมากในผักหลายชนิด เช่น พริกไทย แครอท กะหล่ำปลี ผักชี และผักขึ้นฉ่าย มีฤทธิ์ต้านภูมิแพ้ (anti-allergy) และต้านการอักเสบ (anti-inflammatory) โดยสกัดได้จากพืชชื่อ *Perilla frutescens* ซึ่งอยู่ในวงศ์ Labiatae (Ueda et al., 2002) luteolin 7-O-rutinoside ที่สกัดได้จากส่วนเหนือดินของ *Mentha piperita* ซึ่งอยู่ในวงศ์ Labiatae มีฤทธิ์ต้านการหลั่งสาร histamine จาก rat peritoneal mast cells (Inoue et al., 2002) จากการวิเคราะห์ปริมาณ luteolin ในผลหม่อนพันธุ์ต่างๆ พบว่าผลหม่อนมีปริมาณอยู่ในช่วง 0.24-1.44 mg/100 g น้ำหนักสด (ภาพที่ 4.9) โดยผลหม่อนพันธุ์ชุมพรมีปริมาณสูงที่สุดเท่ากับ 1.44 ± 0.04 mg/100 g น้ำหนักสด สูงกว่าหม่อนพันธุ์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) รองลงมาคือหม่อนพันธุ์เชียงใหม่ (1.09 ± 0.04 mg/100g น้ำหนักสด) พันธุ์ครราขสีมา 60 (1.03 ± 0.04 mg/100g น้ำหนักสด) พันธุ์พิกุลทอง (0.92 ± 0.02 mg/100g น้ำหนักสด) พันธุ์กำแพงแสน (0.61 ± 0.15 mg/100g น้ำหนักสด) และพันธุ์วาวี (0.31 ± 0.05 mg/100g น้ำหนักสด) หม่อนพันธุ์พันธุ์บุรีรัมย์ 60 พันธุ์ไร่กำนันจุล (0.24 ± 0.01 mg/100g น้ำหนักสด) มีปริมาณ

luteolin ต่ำกว่าหม่อนพันธุ์อื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ปริมาณที่พบในผลหม่อนนี้มีปริมาณใกล้เคียงกับผลไม้อื่น ได้แก่ บลูเบอร์รี่ (0.8 mg/100g น้ำหนักแห้ง) องุ่นแดง (1.4 mg/100g น้ำหนักแห้ง) ส้ม (1.5 mg/100g น้ำหนักแห้ง) พลัม (0.9 mg/100g น้ำหนักแห้ง) สตรอเบอร์รี่และแครนเบอร์รี่มีปริมาณต่ำกว่า 0.03 mg/100g น้ำหนักแห้ง (Franke et al., 2004) อย่างไรก็ตามปริมาณ luteolin ที่พบในผลหม่อนก็มีปริมาณต่ำกว่าผลไม้ตระกูลเบอร์รี่ในสปีชีส์ *Lonicera* ได้แก่ *Lonicera caerulea* (6.0 mg/100 g น้ำหนักสด), *Lonicera iliensis* (13.60 mg/100 g น้ำหนักสด) และ *Lonicera villosa* (4.70 mg/100 g น้ำหนักสด) (Jurikova et al., 2012)

Naringin (4',5,7-trihydroxyflavanone-7-rhamnoglucoside หรือ naringenin-7-rhamnoglucoside) เป็นสารประกอบฟลาโวนอยด์ที่อยู่ในกลุ่มฟลาโวนอนส์ (flavanones) พบมากในส้ม (*Citrus paradisi*) มีมากถึง 10% น้ำหนักแห้ง ส่งผลให้น้ำส้มมีรสขม (Ortuño et al., 1995) มีฤทธิ์ต้านมะเร็ง (Guthrie and Carroll, 1998) และต้านภาวะไขมันในเส้นเลือดผิดปกติ (Samman et al., 1999) จากการวิเคราะห์ปริมาณ naringenin ในผลหม่อนพันธุ์ต่างๆ พบว่าผลหม่อนมีปริมาณอยู่ในช่วง 0.15-1.23 mg/100 g น้ำหนักสด (ภาพที่ 4.9) โดยผลหม่อนพันธุ์เซียงใหม่มีปริมาณสูงที่สุดเท่ากับ 1.23 ± 0.07 mg/100 g น้ำหนักสด สูงกว่าหม่อนพันธุ์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) รองลงมาคือหม่อนพันธุ์ชุมพร (1.18 ± 0.05 mg/100g น้ำหนักสด) พันธุ์พิกุลทอง (0.77 ± 0.03 mg/100g น้ำหนักสด) พันธุ์วาวี (0.33 ± 0.04 mg/100 g น้ำหนักสด) พันธุ์บุรีรัมย์ 60 (0.29 ± 0.03 mg/100 g น้ำหนักสด) พันธุ์นครราชสีมา 60 (0.26 ± 0.04 mg/100 g น้ำหนักสด) พันธุ์ไร่กำนันจุล (0.23 ± 0.02 mg/100 g น้ำหนักสด) และพันธุ์กำแพงแสน (0.15 ± 0.01 mg/100 g น้ำหนักสด)

ฟลาโวนอลส์ (flavonols) เป็นกลุ่มสารฟลาโวนอยด์ที่มีแกนโครงสร้างเป็น 3-hydroxyflavone ฟลาโวนอลส์พบได้ในผักและผลไม้ สารในกลุ่มนี้ได้แก่ myricetin, quercetin และ kaempferol จากรายงานวิจัยพบว่ามีฤทธิ์ทางชีวภาพหลายอย่าง เช่น ต้านอนุมิแพ้ ต้านภาวะไขมันในเส้นเลือดผิดปกติ ต้านอักเสบ ต้านเชื้อจุลินทรีย์ ต้านออกซิเดชัน และป้องกันโรคหัวใจ (Manach et al., 2005)

myricetin พบทั่วไปในอาหารหลายชนิด เช่น หอม สมุนไพร องุ่นแดง และผลไม้ตระกูลเบอร์รี่ myricetin มีฤทธิ์ในการต้านมะเร็ง ต้านการอักเสบ ต้านเบาหวาน บำรุงสมอง และบำรุงหัวใจ จากผลดังภาพที่ 4.10 ในผลหม่อนตรวจพบปริมาณ myricetin ต่ำกว่าฟลาโวนอยด์อื่นๆ โดยตรวจพบในช่วง 0.10-0.30 mg/100 g น้ำหนักสด สามารถเรียงลำดับจากปริมาณ myricetin จากต่ำไปสูงได้ดังนี้ กำแพงแสน (0.10 ± 0.00 mg/100 g น้ำหนักสด) < ไร่กำนันจุล (0.15 ± 0.01 mg/100 g น้ำหนักสด) < นครราชสีมา 60 (0.16 ± 0.01 mg/100 g น้ำหนักสด) < วาวี (0.18 ± 0.01 mg/100 g น้ำหนักสด) < พิกุลทอง (0.22 ± 0.03 mg/100 g น้ำหนักสด) < เซียงใหม่ (0.22 ± 0.02 mg/100 g น้ำหนักสด) < บุรีรัมย์ 60 (0.28 ± 0.02 mg/100 g น้ำหนักสด) < ชุมพร (0.30 ± 0.04 mg/100 g น้ำหนักสด)

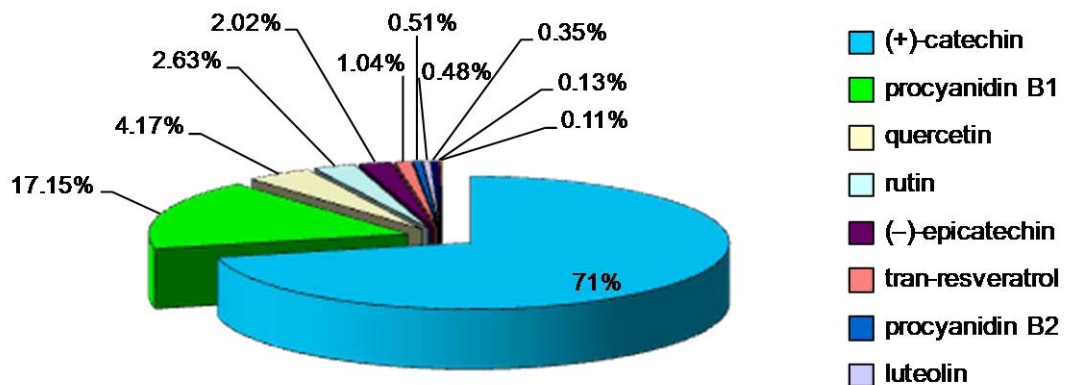


ภาพที่ 4.10 ปริมาณฟลาโวนอยด์ชนิด myricetin, quercetin, kaempferol และผลรวมฟลาโวนอยด์ในผลหม่อน

จากรายงานของ [Sultana และ Anwar \(2008\)](#) ตรวจพบเฉพาะในพลัมและสตรอเบอร์รี่ นอกจากนี้ปริมาณที่พบก็ต่ำกว่าที่รายงานไว้ในงานวิจัยของ [Mahmood และคณะ \(2012\)](#) ซึ่งได้รายงานไว้ว่าตรวจพบ myricetin ในผลหม่อนสายพันธุ์ต่างๆ ได้แก่ *M. laevigata* (20.0 ± 1.7 mg/100 g น้ำหนักแห้ง) *M. macroura* (22.5 ± 1.3 mg/100 g น้ำหนักแห้ง) *M. nigra* (56.1 ± 4.8 mg/100 g น้ำหนักแห้ง) และ *M. alba* (88.4 ± 4.8 mg/100 g น้ำหนักแห้ง)

quercetin เป็นสารฟลาโวนอยด์ที่มีในธรรมชาติพบในรูปของอะกลัยโคน (ในโครงสร้างมีโมเลกุลน้ำตาลจับอยู่) quercetin มีผลดีต่อสุขภาพหลายอย่าง เช่น ช่วยปรับปรุงระบบหมุนเวียนโลหิต ลดภาวะเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง ด้านภาวะอ้วนและอาการแพ้ต่างๆ quercetin พบมากในผัก และผลไม้หลายชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในผลไม้ตระกูลเบอร์รี่ จากการวิเคราะห์ปริมาณ quercetin ในผลหม่อนพันธุ์ต่างๆ พบว่าผลหม่อนมีปริมาณอยู่ในช่วง 0.77 - 15.26 mg/100 g น้ำหนักสด ([ภาพที่ 4.10](#)) โดยผลหม่อนพันธุ์ชุมพรมีปริมาณสูงที่สุดเท่ากับ 15.26 ± 1.53 mg/100 g น้ำหนักสด สูงกว่าหม่อนพันธุ์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) รองลงมาคือหม่อนพันธุ์เชียงใหม่ (13.54 ± 1.02 mg/100g น้ำหนักสด) พันธุ์พิศุลทอง (10.84 ± 0.80 mg/100g น้ำหนักสด) พันธุ์นครราชสีมา 60 (10.18 ± 0.69 mg/100 g น้ำหนักสด) พันธุ์บุรีรัมย์ 60 (2.85 ± 0.46 mg/100 g น้ำหนักสด) พันธุ์วาวี (1.47 ± 0.08 mg/100 g น้ำหนักสด) พันธุ์ไร่ก้านจูล (0.80 ± 0.03 mg/100 g น้ำหนักสด) และพันธุ์กำแพงแสน (0.77 ± 0.02 mg/100 g น้ำหนักสด) ปริมาณที่พบในงานวิจัยนี้อยู่ในช่วงที่พบในรายงานวิจัยของ [Mahmood และคณะ \(2012\)](#) ซึ่งได้รายงานไว้ว่าตรวจพบ quercetin ในผลหม่อนสายพันธุ์ต่างๆ ได้แก่ *M. laevigata* (145.7 ± 8.4 mg/100 g น้ำหนักแห้ง) *M. macroura* (21.7 ± 1.3 mg/100 g น้ำหนักแห้ง) *M. nigra* (11.7 ± 0.8 mg/100 g น้ำหนักแห้ง) และ *M. alba* (0.7 ± 0.1 mg/100 g น้ำหนักแห้ง) และในรายงานวิจัยของ [Chu และคณะ \(2006\)](#) พบในผลหม่อนเท่ากับ 1.52 mg/100 g น้ำหนักแห้งอย่างไรก็ตามก็มีปริมาณต่ำกว่าในรายงานของ [Sultana และ Anwar \(2008\)](#) พบปริมาณ quercetin ในผลหม่อนเท่ากับ 35.94 ± 0.72 mg/100 g น้ำหนักแห้ง และผลไม้ตระกูลเบอร์รี่ในสปีชีส์ *Lonicera* ได้แก่ *Lonicera caerulea* (298.3 mg/100 g น้ำหนักสด) และ *Lonicera edulis* (10.50 mg/100 g น้ำหนักสด) ([Jurikova et al., 2012](#))

ปริมาณ kaempferol ในผลหม่อนมีปริมาณแตกต่างกันในแต่ละพันธุ์ โดยมีปริมาณสูงที่สุดเท่ากับ 0.37 ± 0.04 mg/100 g น้ำหนักสด (หม่อนพันธุ์ชุมพรม) และมีปริมาณต่ำสุดเท่ากับ 0.04 ± 0.02 mg/100 g น้ำหนักสด (หม่อนพันธุ์กำแพงแสน) ([ภาพที่ 4.10](#)) ซึ่งปริมาณที่พบใกล้เคียงกับปริมาณที่พบในผลหม่อนจากงานวิจัยของ [Chu และคณะ \(2006\)](#) พบในผลหม่อนเท่ากับ 0.25 mg/100 g น้ำหนักแห้ง อย่างไรก็ตามปริมาณที่พบต่ำกว่าในรายงานของ [Sultana และ Anwar \(2008\)](#) ได้ศึกษาสารประกอบฟลาโวนอลส์ ได้แก่ myricetin, quercetin และ kaempferol ในผลไม้ชนิดต่างๆ พบว่า kaempferol พบมากที่สุดในการหม่อน (28.43 mg/100 g น้ำหนักแห้ง) รองลงมาคือสตรอเบอร์รี่ (19.26 mg/100 g น้ำหนักแห้ง) และแอปเปิ้ล (3.14 mg/100 g น้ำหนักแห้ง) และอะพิตอท (0.58 mg/100 g น้ำหนักแห้ง) และจากรายงานของ [Mahmood และคณะ \(2012\)](#) ได้รายงานไว้ว่าตรวจพบ kaempferol ในผลหม่อนสายพันธุ์ต่างๆ ได้แก่



ภาพที่ 4.11 แสดงสัดส่วนของฟลาโวนอยด์ที่พบในผลหม่อน

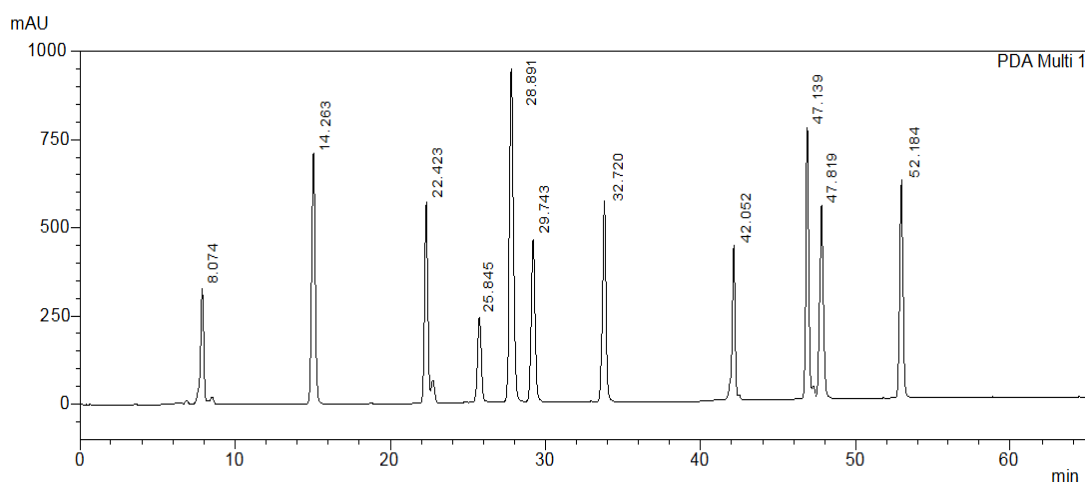
M. laevigata (56.1 ± 3.9 mg/100 g น้ำหนักแห้ง) *M. macroura* (8.1 ± 0.4 mg/100 g น้ำหนักแห้ง) *M. nigra* (31.7 ± 1.9 mg/100 g น้ำหนักแห้ง) และ *M. alba* (5.2 ± 0.2 mg/100 g น้ำหนักแห้ง) ซึ่งมีความแตกต่างจากรายงานนี้เนื่องจากรายงานในหน่วยน้ำหนักแห้งจึงทำให้มีปริมาณมากกว่า อย่างไรก็ตามก็มีปริมาณสูงกว่าพลัมซึ่งมีปริมาณ kaempferol เท่ากับ 0.07 mg/100 g น้ำหนักแห้ง (Sultana and Anwar, 2008)

ผลรวมของปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดพบว่า สามารถเรียงลำดับจากปริมาณสูงไปต่ำได้ดังนี้ พันธุ์วาวี (233.08 ± 8.28 mg/100 g น้ำหนักสด) และพันธุ์นครราชสีมา 60 (221.82 ± 8.75 mg/100 g น้ำหนักสด) > พันธุ์ชุมพร (163.46 ± 6.07 mg/100 g น้ำหนักสด) และพันธุ์บุรีรัมย์ 60 (161.83 ± 7.60 mg/100 g น้ำหนักสด) > พันธุ์ไร่กำนันจุล (131.83 ± 7.72 mg/100 g น้ำหนักสด) และพันธุ์เชียงใหม่ (120.36 ± 5.42 mg/100 g น้ำหนักสด) > พันธุ์กำแพงแสน (111.72 ± 6.35 mg/100 g น้ำหนักสด) และพันธุ์พิบูลทอง (108.73 ± 3.81 mg/100 g น้ำหนักสด) (ภาพที่ 4.10) ซึ่งเมื่อพิจารณาสัดส่วนของฟลาโวนอยด์แต่ละชนิดในผลหม่อนพบว่า (+)-catechin มีสัดส่วนสูงที่สุดเท่ากับ 72% รองลงมาคือ procyanidin B1 (17.15%), quercetin (4.17%), rutin (2.63%), (-)-epicatechin (2.02%), tran-resveratrol (1.04%), procyanidin B2 (0.51%), luteolin (0.48%), naringenin (0.35%), myricetin (0.13%), และ kaempferol (0.11%) (ภาพที่ 4.11) แสดงให้เห็นว่าผลหม่อนมีฟลาโวนอยด์หลักคือ (+)-catechin และ procyanidin B1

การวิเคราะห์ปริมาณกรดฟีนอลิก

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการแยกสารกรดฟีนอลิก 11 ชนิด ได้แก่ gallic acid, protocatechuic acid, *p*-hydroxybenzoic acid, chlorogenic acid, vanillic acid, caffeic acid, syringic acid, *p*-coumaric acid, ferulic acid, sinapinic acid และ cinnamic acid พบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการแยกโดยใช้ระบบการแยกแบบแกรเดียนท์อีลูชัน (gradient elution) คือใช้ตัวทำละลายสองชนิด คือ กรดอะซิติก (acetic acid) และอะซิโตรไนไตรล์ (acetonitrile) จากการทดลองนี้แสดงให้เห็นแล้วว่า ตัวทำละลายสองชนิดนี้มีความเหมาะสมในการใช้เป็นเฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) เนื่องจากสามารถแยกสารแต่ละชนิดออกจากกันชัดเจน

เมื่อวิเคราะห์กรดฟีนอลิกแต่ละชนิดด้วย HPLC ทำให้ได้ระยะเวลาที่เฟสเคลื่อนที่ชะล้างสารตัวอย่างผ่านเฟสคงที่ (retention time) และลักษณะโครมาโทแกรมของสารมาตรฐานกรดฟีนอลิกดังแสดงในภาพที่ 4.12 สารที่ถูกชะแยกออกมาจากคอลัมน์ก่อน คือ gallic acid, protocatechuic acid, *p*-hydroxybenzoic acid, chlorogenic acid, vanillic acid, caffeic acid, syringic acid, *p*-coumaric acid, ferulic acid, sinapinic acid และ cinnamic acid มีเวลาหน่วงเหนี่ยวเท่ากับ 8.07, 14.26, 22.42, 25.84, 28.89, 29.74, 32.34, 42.05, 47.13, 47.81 และ 53.18 นาที ตามลำดับ เพื่อการวิเคราะห์เชิงปริมาณกรดฟีนอลิกในตัวอย่างจำเป็นต้องมีการสร้างกราฟมาตรฐานซึ่งทำได้โดยการฉีดสารมาตรฐานแต่ละชนิดที่ทราบความเข้มข้น ได้ผลของสารมาตรฐานกรดฟีนอลิกดังแสดงในตารางที่ 4.5



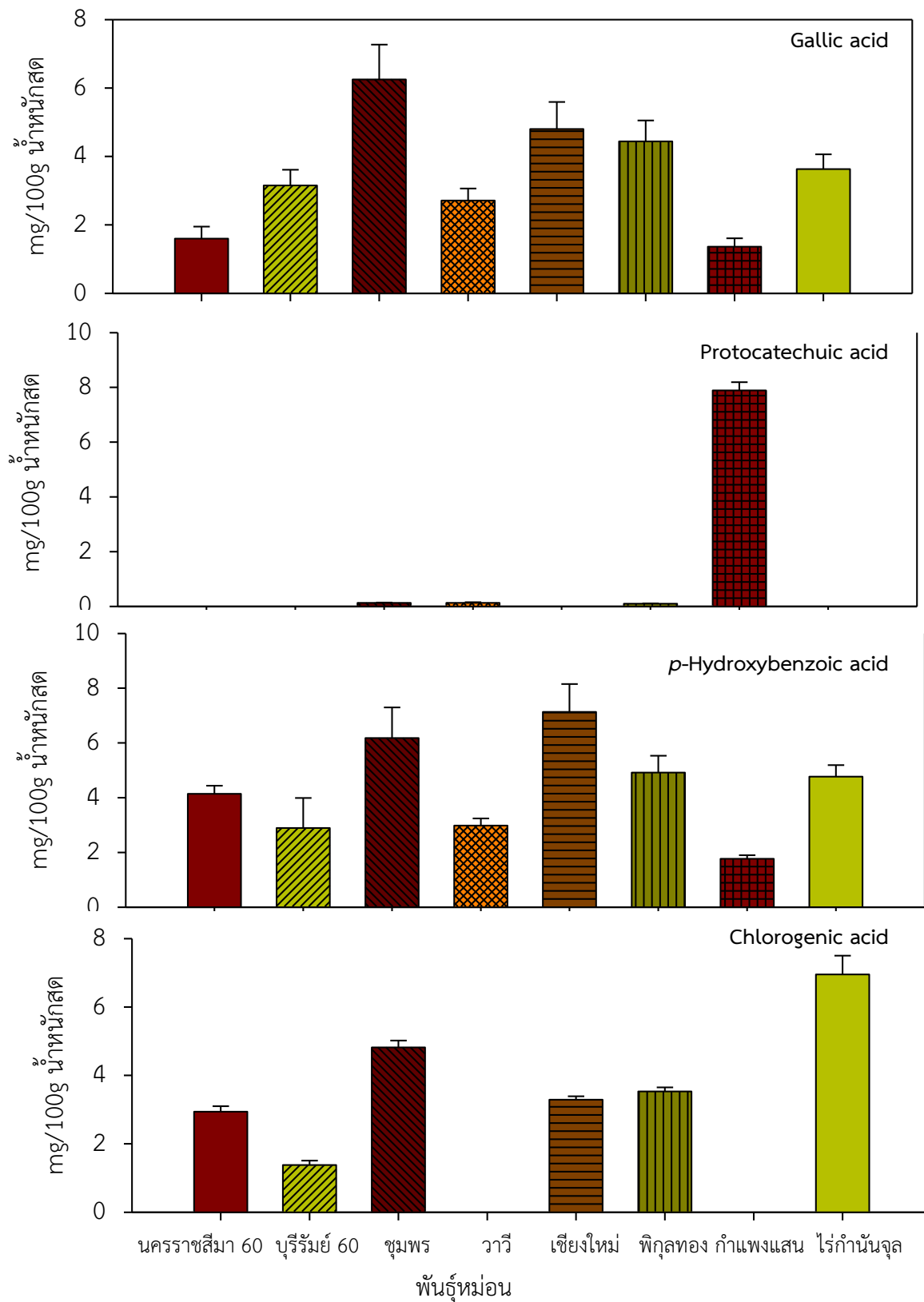
ภาพที่ 4.12 โครมาโทแกรมของกรดฟีนอลิก (8.07) gallic acid; (14.26) protocatechuic acid; (22.42) *p*-hydroxybenzoic acid; (25.84) chlorogenic acid; (28.89) vanillic acid; (29.74) caffeic acid; (32.34) syringic acid; (42.05) *p*-coumaric acid; (47.13) ferulic acid; (47.81) sinapinic acid และ (53.18) cinnamic acid

ตารางที่ 4.5 ประสิทธิภาพการวิเคราะห์สารมาตรฐานกรดฟีนอลิกด้วย HPLC

Phenolic compounds	Retention time (min)	Calibration curve	Coefficient of determination (R)
gallic acid	8.07	$Y = 64396X - 10515$	0.9999
protocatechuic acid	14.26	$Y = 39519X + 9836$	0.9999
<i>p</i> -hydroxybenzoic acid	22.42	$Y = 33704X + 25489$	0.9999
chlorogenic acid	25.84	$Y = 40666X - 27095$	0.9997
vanillic acid	28.89	$Y = 41509X - 45214$	0.9999
caffeic acid	29.74	$Y = 87715X - 80737$	0.9993
syringic acid	32.34	$Y = 72701X + 64635$	0.9997
<i>p</i> -coumaric acid	42.05	$Y = 122053X + 138539$	0.9975
ferulic acid	47.13	$Y = 74831X - 32509$	0.9997
sinapinic acid	47.81	$Y = 52105X - 14928$	0.9994
cinnamic acid	53.18	$Y = 21271X - 222845$	0.9994

ปริมาณกรดฟีนอลิกในผลหม่อน

จากการศึกษาชนิดของกรดฟีนอลิก ได้แก่ gallic acid, protocatechuic acid, *p*-hydroxybenzoic acid, chlorogenic acid, vanillic acid, caffeic acid, syringic acid, *p*-coumaric acid, ferulic acid, sinapinic acid และ cinnamic acid ในผลหม่อนจำนวน 8 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์นครราชสีมา 60 พันธุ์บุรีรัมย์ 60 พันธุ์ชุมพร พันธุ์วาปี พันธุ์เชียงใหม่ พันธุ์พิกุลทอง พันธุ์กำแพงแสน และพันธุ์ไร่กำนันจุล จะเห็นว่าหม่อนทุกพันธุ์มีลักษณะของปริมาณและชนิดกรดฟีนอลิกเหมือนกัน โดยพบว่ากรดฟีนอลิกชนิด gallic acid, cinnamic acid, *p*-hydroxybenzoic acid, chlorogenic acid และ caffeic acid เป็นกรดฟีนอลิกหลักที่พบในผลหม่อนสายพันธุ์ที่ใช้ในการศึกษา (ภาพที่ 4.13, 4.14 และ 4.15) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Mahmood และคณะ (2012) ที่พบว่าผลหม่อนมีกรดฟีนอลิกชนิด *p*-coumaric acid, chlorogenic acid และ *p*-hydroxybenzoic acid เป็นกรดฟีนอลิกหลัก จากผลดังภาพที่ 4.13 ในผลหม่อนตรวจพบปริมาณ gallic acid ในช่วง 1.36-6.25 mg/100 g น้ำหนักสด สามารถเรียงลำดับจากปริมาณต่ำไปสูงได้ดังนี้ กำแพงแสน (1.36 ± 0.25 mg/100 g น้ำหนักสด) < นครราชสีมา 60 (1.60 ± 0.35 mg/100 g น้ำหนักสด) < วาปี (2.71 ± 0.35 mg/100 g น้ำหนักสด) < บุรีรัมย์ 60 (3.15 ± 0.46 mg/100 g น้ำหนักสด) < ไร่กำนันจุล (3.63 ± 0.43 mg/100 g น้ำหนักสด) < พิกุลทอง (4.44 ± 0.61 mg/100 g น้ำหนักสด) < เชียงใหม่



ภาพที่ 4.13 ปริมาณกรดฟีนอลิกชนิด gallic acid, protocatechuic acid, *p*-hydroxybenzoic acid, และ chlorogenic acid ในผลหม่อน

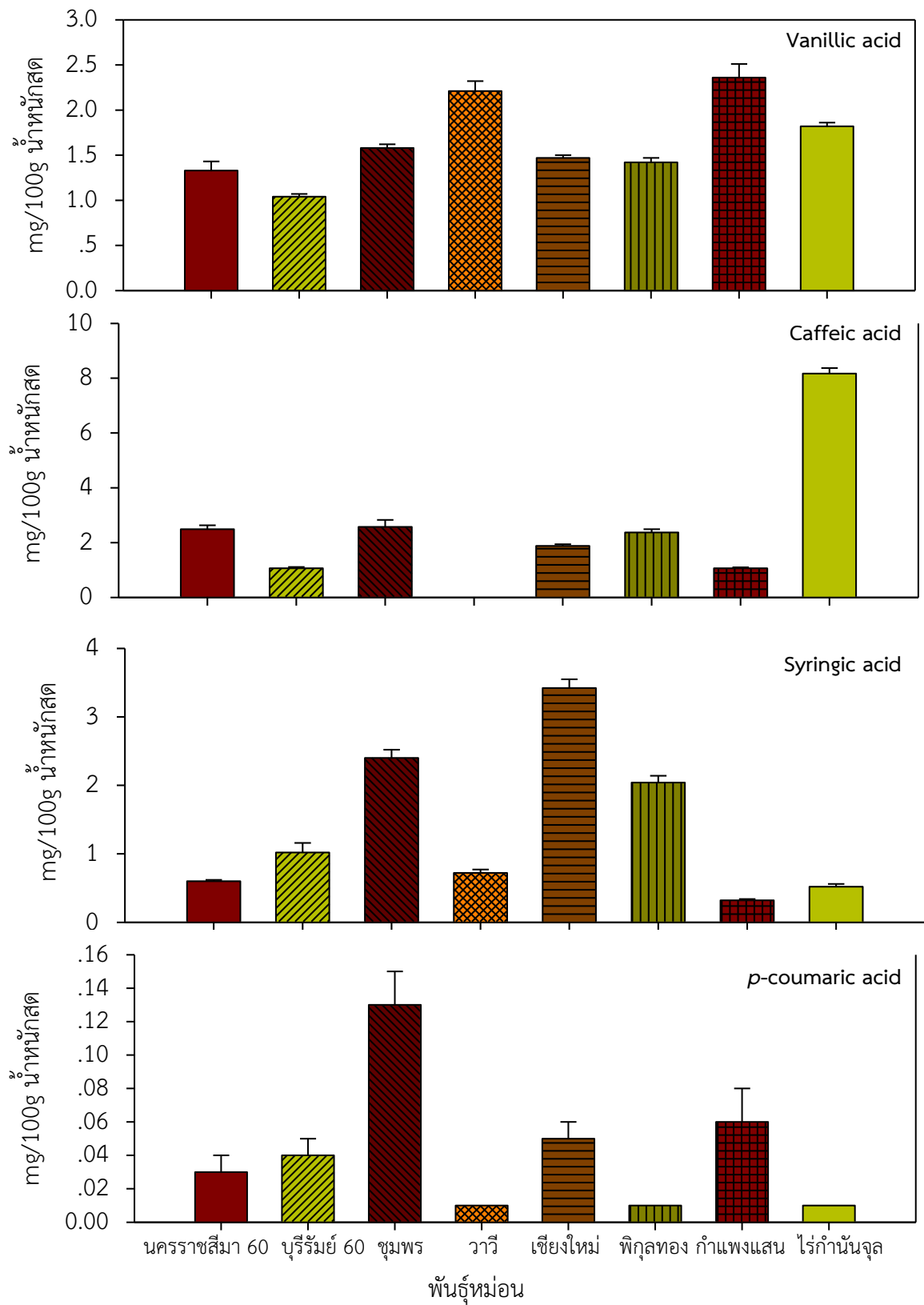
(4.80 ± 0.79 mg/100 g น้ำหนักสด) < ชุมพร (6.25 ± 1.02 mg/100 g น้ำหนักสด) ปริมาณที่พบก็สอดคล้องกับงานวิจัยของ Memon และคณะ (2010) ที่พบว่าหม่อน 3 สปีชีส์ ได้แก่ *Morus alba* L., *Morus nigra* L. และ *Morus laevis* W. มีปริมาณ gallic acid เฉลี่ยเท่ากับ 3.57, 4.21 และ 9.69 mg/100g น้ำหนักสด ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับผลหม่อนในสปีชีส์ต่างๆ ได้แก่ *M. laevis* W. (14.2 ± 1.4 mg/100g น้ำหนักแห้ง), *M. macroura* (9.8 ± 0.7 mg/100g น้ำหนักแห้ง) *M. nigra* (8.3 ± 0.9 mg/100g น้ำหนักแห้ง) และ *M. alba* (8.1 ± 0.5 mg/100g น้ำหนักแห้ง) (Mahmood et al., 2012) พบว่ามีปริมาณสูงกว่าในผลหม่อนของงานวิจัยนี้เล็กน้อย อย่างไรก็ตามปริมาณ gallic acid ก็สูงกว่าผลไม้ตระกูลเบอร์รี่ชนิดอื่น ได้แก่ ราสเบอร์รี่ (0.57 ± 0.05 mg/100g) กูสเบอร์รี่ (0.12 ± 0.05 mg/100g) แบล็คเคอร์เร็นต์ (0.56 ± 0.06 mg/100g) สตรอเบอร์รี่ (0.16 ± 0.02 mg/100g) แอปเปิ้ล (0.01 ± 0.00 mg/100g น้ำหนักสด) องุ่น (0.02 ± 0.00 mg/100g) ขณะที่ตรวจไม่พบในส้ม (Russell et al., 2009)

หม่อนพันธุ์เชียงใหม่และพันธุ์ชุมพรมีปริมาณกรดฟีโนลิกชนิด *p*-hydroxybenzoic acid มากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.13 ± 1.02 mg/100g น้ำหนักสด และ 6.18 ± 1.12 mg/100g น้ำหนักสด ตามลำดับ รองลงมาคือพันธุ์พิศุทอง (4.92 ± 0.61 mg/100g น้ำหนักสด) พันธุ์ไร่กำนันจุล (4.77 ± 0.42 mg/100g น้ำหนักสด) พันธุ์นครราชสีมา 60 (4.14 ± 0.30 mg/100g น้ำหนักสด) พันธุ์วาวี (2.98 ± 0.26 mg/100g น้ำหนักสด) พันธุ์บุรีรัมย์ 60 (2.89 ± 1.10 mg/100g น้ำหนักสด) และพันธุ์กำแพงแสน (1.77 ± 0.13 mg/100g น้ำหนักสด) ปริมาณที่พบสอดคล้องกับงานวิจัยของ Memon และคณะ (2010) ที่พบว่าหม่อน 3 สปีชีส์ ได้แก่ *Morus alba* L., *Morus nigra* L. และ *Morus laevis* W. มีปริมาณ *p*-hydroxybenzoic acid เฉลี่ยเท่ากับ 5.21, 4.73 และ 2.79 mg/100g ตามลำดับ แต่พบสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับผลไม้ตระกูลเบอร์รี่ชนิดอื่น ได้แก่ ราสเบอร์รี่ (3.33 ± 0.65 mg/100g) แบล็คเคอร์เร็นต์ (0.43 ± 0.09 mg/100g) แอปเปิ้ล (3.41 ± 1.86 mg/100g) องุ่น (0.12 ± 0.06 mg/100g) และส้ม (1.74 ± 0.63 mg/100g) ยกเว้นสตรอเบอร์รี่ (19.39 ± 1.98 mg/100g) (Russell et al., 2009) และผลหม่อนในสปีชีส์ต่างๆ ได้แก่ *M. laevis* W. (7.3 ± 0.7 mg/100g น้ำหนักแห้ง), *M. macroura* (24.1 ± 1.8 mg/100g น้ำหนักแห้ง) และ *M. alba* (13.3 ± 1.2 mg/100g น้ำหนักแห้ง) ขณะที่ *M. nigra* ตรวจไม่พบ (Mahmood et al., 2012) ที่มีปริมาณสูงกว่าในผลหม่อนในงานวิจัยนี้เล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าผลหม่อนอุดมไปด้วยกรดฟีโนลิกสำคัญ และมีปริมาณสูงเมื่อเทียบกับผลไม้ชนิดอื่นๆ ข้อมูลที่ได้จะช่วยสนับสนุนข้อมูลทางโภชนาการที่สำคัญของผลหม่อน

กรดฟีโนลิกชนิด chlorogenic acid เป็นอีกชนิดหนึ่งที่พบมากในผลหม่อน สอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้จากงานวิจัยของ Oki และคณะ (2006) และ Gundogdu และคณะ (2011) ที่พบว่า chlorogenic acid และไอโซเมอร์ของกรดฟีโนลิกนี้เป็นกรดฟีโนลิกหลักที่พบในผลหม่อน อีกทั้งยังสอดคล้องกับผลการทดลองของ Isabelle และคณะ (2008) ที่พบว่า chlorogenic acid (3-caffeoylquinic acid และ 5-caffeoylquinic acid) คือกรดฟีโนลิกที่พบในผลหม่อนของสายพันธุ์ Guo-2 จากผลดังภาพที่ 4.13 ผลหม่อนแต่ละพันธุ์มีปริมาณ chlorogenic acid แตกต่างกันไป โดยพบในช่วง 1.38 mg/100g น้ำหนักสด (พันธุ์บุรีรัมย์ 60) ถึง 6.95 mg/100 g น้ำหนักสด (พันธุ์ไร่กำนันจุล) ปริมาณ chlorogenic acid ที่พบในผลหม่อน

มีปริมาณต่ำกว่าในผลหม่อนจากงานวิจัยของ Gundogdu และคณะ (2011) ที่รายงานไว้ว่าผลหม่อนดำ (*Morus nigra* L.) หม่อนแดง (*Morus rubra* L.) และหม่อนขาว (*Morus alba* L.) มีปริมาณ chlorogenic acid เท่ากับ 310.6 ± 0.4 , 56.9 ± 0.1 และ 11.9 ± 0.1 mg/100g น้ำหนักสด ตามลำดับ และต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับผลหม่อนในสปีชีส์ต่างๆ ได้แก่ *M. laevigata* W. (12.9 ± 1.1 mg/100g น้ำหนักแห้ง), *M. macroura* (23.2 ± 1.7 mg/100g น้ำหนักแห้ง) *M. nigra* (6.8 ± 0.1 mg/100g น้ำหนักแห้ง) และ *M. alba* (17.3 ± 1.8 mg/100g น้ำหนักแห้ง) (Mahmood et al., 2012) และต่ำกว่าที่พบในเปลือกและเนื้อขององุ่นป่าเมซอน (*Pourouma cecropiifolia* Martius) ซึ่งพบในปริมาณ 68.54 ± 5.31 mg/100g น้ำหนักสด และ 21.04 ± 3.43 mg/100g น้ำหนักสด ตามลำดับ (Lopes-Lutz et al., 2010)

Caffeic acid (3,4-dihydroxycinnamic acid, $C_9H_8O_4$) เป็นสารฟีนอลิกที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ จัดเป็นกรดคาร์บอกซิลิกซึ่งอาจอยู่ในรูปกรดอิสระหรือจับกันเป็นโอลิโกเมอร์ หรือเชื่อมด้วยสารประกอบอินทรีย์ในรูปของกลูโคไซด์ และเอสเทอร์ เป็นสารเมตาโบไลต์ที่เกิดขึ้นในวิถีฟีนีลโพรพานอยด์ เป็นพรีเคอร์เซอร์สำหรับวิถีชีวสังเคราะห์ลิกนิน caffeic acid พบในผลไม้ ผัก เครื่องเทศ และเครื่องดื่ม กรดคาเฟอิกฟีนีลเอสเทอร์ (caffeic acid phenethyl ester, CAPE) ใช้ประโยชน์ทางยา โดยเป็นสารประกอบที่มีฤทธิ์ต้านสารก่อมะเร็ง ต้านภาวะการอักเสบ และมีคุณสมบัติเช่นกันกับภูมิคุ้มกัน จากการศึกษาพบว่า caffeic acid สามารถต้านออกซิเดชัน สามารถกำจัดอนุมูลอิสระและโครงสร้างมีความเสถียร นอกจากนี้ยังได้รับความสนใจมากในคุณสมบัติการต้านออกซิเดชันของอนุมูลออกซิเจนอิสระได้ (Chen and Ho, 1997) จากการศึกษาพิสูจน์แล้วว่าสามารถป้องกันการเกิดออกซิเดชันของกรดลิโนเลอิก (linoleic acid) และ low-density lipoprotein (LDL) ป้องกันเนื้อเยื่อและดีเอ็นเอจากการถูกทำลายด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Meyer, 1997) จากผลการศึกษาดังภาพที่ 4.14 พบว่า caffeic acid เป็นกรดฟีนอลิกอีกชนิดหนึ่งที่พบมากในผลหม่อนเช่นกัน โดยพบมากที่สุดที่หม่อนพันธุ์ไร่กำนันจุล (8.17 ± 0.20 mg/100g น้ำหนักสด) ปริมาณสูงกว่าหม่อนพันธุ์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) รองลงมาคือหม่อนพันธุ์นครราชสีมา (2.49 ± 0.14 mg/100g น้ำหนักสด) พันธุ์ชุมพร (2.57 ± 0.26 mg/100g น้ำหนักสด) พันธุ์พิบูลทอง (2.37 ± 0.12 mg/100g น้ำหนักสด) พันธุ์เชียงใหม่ (1.88 ± 0.06 mg/100g น้ำหนักสด) พันธุ์บุรีรัมย์ 60 (1.06 ± 0.05 mg/100g น้ำหนักสด) และพันธุ์กำแพงแสน (1.06 ± 0.04 mg/100g น้ำหนักสด) ขณะที่หม่อนพันธุ์ว้าวีตรวงไม่พบ ปริมาณ caffeic acid ที่พบในผลหม่อนมีปริมาณต่ำกว่าเล็กน้อยในผลหม่อนจากงานวิจัยของ Gundogdu และคณะ (2011) ที่รายงานไว้ว่าผลหม่อนดำ (*Morus nigra* L.) หม่อนแดง (*Morus rubra* L.) และหม่อนขาว (*Morus alba* L.) มีปริมาณ chlorogenic acid เท่ากับ 13.1 ± 0.1 , 11.6 ± 0.2 และ 13.3 ± 0.0 mg/100g น้ำหนักสด ตามลำดับ อย่างไรก็ตามก็มีปริมาณสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับผลไม้ตระกูลเบอร์รี่ชนิดอื่น ได้แก่ ราสเบอร์รี่ (0.23 ± 0.06 mg/100g) กล้วยเบอร์รี่ (1.32 ± 0.14 mg/100g) แบล็คเบอร์รี่ (3.73 $\pm$ 0.04 mg/100g) องุ่น (0.70 ± 0.10 mg/100g) และส้ม (0.10 ± 0.08 mg/100g) (Russell et al., 2009)

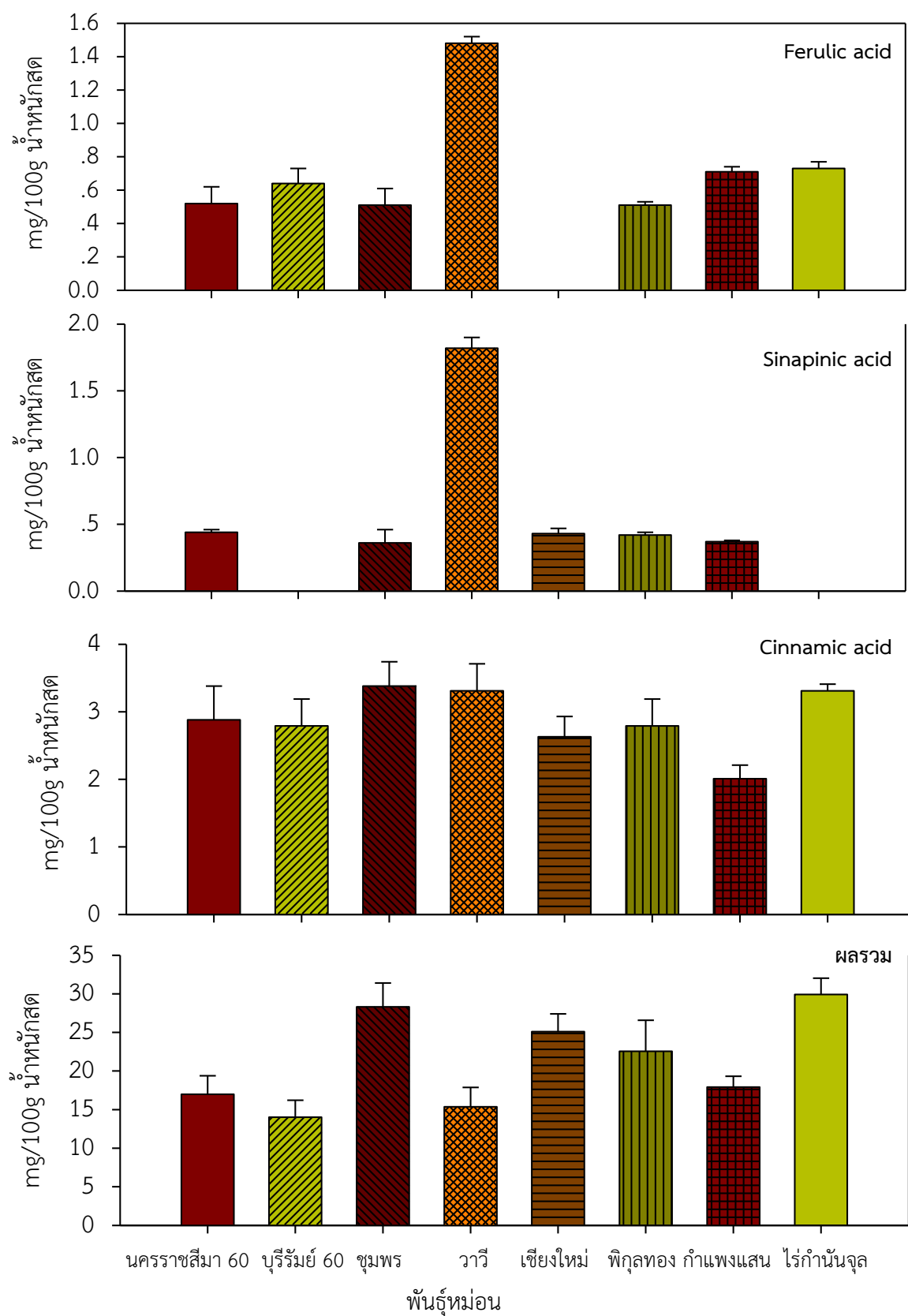


ภาพที่ 4.14 ปริมาณกรดฟีนอลิกชนิด vanillic acid, caffeic acid, syringic acid และ *p*-coumaric acid ในผลหม่อน

Protocatechuic acid พบในช่วง 0.01 ± 0.00 mg/g น้ำหนักสด (พันธุ์เชียงใหม่) ถึง 7.89 ± 1.20 mg/100g น้ำหนักสด (พันธุ์กำแพงแสน) ขณะที่พันธุ์บุรีรัมย์ 60 และพันธุ์ไร่นานจตุรจรจไม่พบ (ภาพที่ 4.13) ปริมาณที่พบสอดคล้องกับงานวิจัยของ Memon และคณะ (2010) ที่พบว่าหม่อน 3 สปีชีส์ ได้แก่ *Morus alba* L. และ *Morus laevigata* W. มีปริมาณ protocatechuic acid เฉลี่ยเท่ากับ 2.69 และ 1.67 mg/100g แต่ปริมาณต่ำกว่าที่พบในสปีชีส์ *Morus nigra* L. (26.34 mg/100g) อย่างไรก็ตามปริมาณ protocatechuic acid ที่พบสูงกว่าจากรายงานวิจัยของ Gundogdu และคณะ (2011) ที่รายงานไว้ว่าผลหม่อนดำ (*Morus nigra* L.) หม่อนแดง (*Morus rubra* L.) และหม่อนขาว (*Morus alba* L.) มีปริมาณ protocatechuic acid เฉลี่ยเท่ากับ 1.7 ± 0.00 , 1.2 ± 0.06 และ 1.5 ± 0.1 mg/100g น้ำหนักสด ตามลำดับ และพบสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับผลไม้ชนิดอื่นๆ ได้แก่ ราสเบอร์รี่ (0.38 ± 0.08 mg/100g) กูสเบอร์รี่ (2.72 ± 0.21 mg/100g) แบล็คเคอร์เร็นต์ (1.04 ± 0.17 mg/100g) สตรอเบอร์รี่ (3.90 ± 0.20 mg/100g) กล้วย (0.02 ± 0.02 mg/100g) แอปเปิ้ล (0.33 ± 0.08 mg/100g) องุ่น (0.16 ± 0.06 mg/100g) และส้ม (0.25 ± 0.11 mg/100g) (Russell et al., 2009) ความแตกต่างเนื่องมาจากสายพันธุ์ พื้นที่ปลูก สภาพแวดล้อม ภูมิอากาศ รวมทั้งเทคนิคในการดูแลรักษา เป็นต้น

Vanillic acid พบในช่วง 1.04 ± 0.03 mg/100g น้ำหนักสด (พันธุ์บุรีรัมย์ 60) ถึง 2.36 ± 0.15 mg/100g น้ำหนักสด (พันธุ์กำแพงแสน) (ภาพที่ 4.14) ซึ่งปริมาณ vanillic acid ที่พบต่ำกว่าที่พบในรายงานของ Memon และคณะ (2010) ที่พบว่าหม่อน 3 สปีชีส์ ได้แก่ *Morus alba* L. และ *Morus laevigata* W. มีปริมาณ vanillic acid เฉลี่ยเท่ากับ 3.70, 1.63 และ 7.95 mg/100g อย่างไรก็ตามปริมาณ vanillic acid ที่พบก็ใกล้เคียงกับรายงานวิจัยของ Gundogdu และคณะ (2011) ที่รายงานไว้ว่าผลหม่อนดำ (*Morus nigra* L.) หม่อนแดง (*Morus rubra* L.) และหม่อนขาว (*Morus alba* L.) มีปริมาณ vanillic acid เฉลี่ยเท่ากับ 3.6 ± 0.02 , 2.4 ± 0.9 และ 0.8 ± 0.3 mg/g น้ำหนักสด ตามลำดับ และพบใกล้เคียงเมื่อเปรียบเทียบกับผลไม้ชนิดอื่นๆ ได้แก่ ราสเบอร์รี่ (2.45 ± 0.63 mg/100g) กูสเบอร์รี่ (1.32 ± 0.14 mg/100g) แบล็คเคอร์เร็นต์ (1.50 ± 0.25 mg/100g) สตรอเบอร์รี่ (9.84 ± 0.37 mg/100g) และส้ม (0.48 ± 0.13 mg/100g) (Russell et al., 2009)

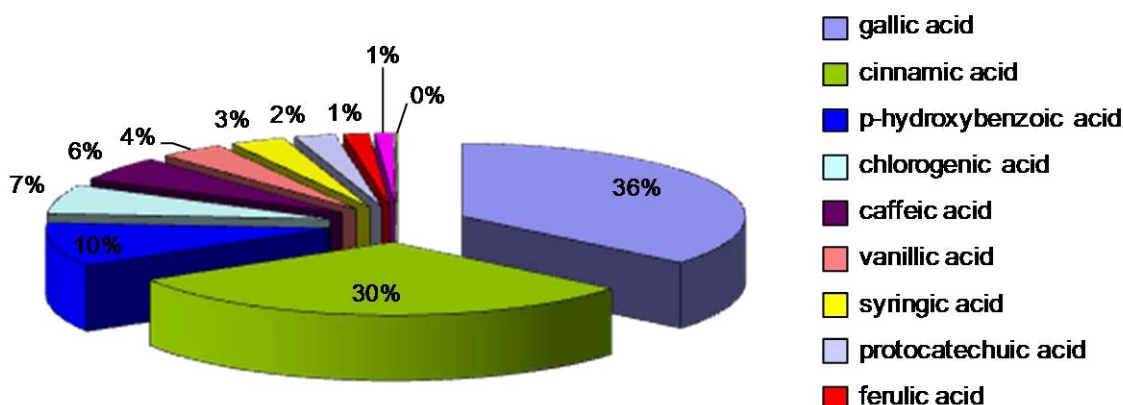
Syringic acid พบในช่วง 0.32 ± 0.02 mg/100g น้ำหนักสด (พันธุ์กำแพงแสน) ถึง 3.42 ± 0.13 mg/100g น้ำหนักสด (พันธุ์เชียงใหม่) (ภาพที่ 4.14) ปริมาณที่พบต่ำกว่าในรายงานวิจัยของ Memon และคณะ (2010) ที่พบว่าหม่อน 3 สปีชีส์ ได้แก่ *Morus alba* L. และ *Morus laevigata* W. มีปริมาณ syringic acid เฉลี่ยเท่ากับ 8.48, 1.59 และ 7.78 mg/100g และปริมาณต่ำกว่าจากรายงานวิจัยของ Gundogdu และคณะ (2011) ที่รายงานไว้ว่าผลหม่อนดำ (*Morus nigra* L.) หม่อนแดง (*Morus rubra* L.) และหม่อนขาว (*Morus alba* L.) มีปริมาณ syringic acid เฉลี่ยเท่ากับ 10.3 ± 0.00 , 8.3 ± 0.1 และ 4.9 ± 0.2 mg/100g น้ำหนักสด ตามลำดับ และพบสูงกว่าในกล้วย (0.02 ± 0.01 mg/100g) แอปเปิ้ล (0.11 ± 0.06 mg/100g) และส้ม (0.25 ± 0.07 mg/100g) แต่ต่ำกว่าในราสเบอร์รี่ (10.75 ± 4.72 mg/100g) (Russell et al., 2009)



ภาพที่ 4.15 ปริมาณกรดฟีนอลิกชนิด ferulic acid, sinapinic acid, cinnamic acid และผลรวมกรดฟีนอลิกทั้งหมดในผลหม่อน

กรดฟีโนลิกชนิดอื่นๆ ก็พบในปริมาณที่ใกล้เคียงกันของหม่อนแต่ละพันธุ์โดยที่ *p*-coumaric acid พบในช่วงที่ต่ำกว่ากรดฟีโนลิกชนิดอื่นๆ คือ 0.01 ± 0.00 mg/100g น้ำหนักสด (พันธุ์ไร่ก้านจูล พันธุ์พิกุลทอง และพันธุ์วาวี) ถึง 0.13 ± 0.03 mg/100g น้ำหนักสด (พันธุ์ชุมพร) (ภาพที่ 4.14) และ ferulic acid พบในช่วง 0.51 ± 0.02 mg/100g น้ำหนักสด (พันธุ์พิกุลทอง) ถึง 1.48 ± 0.04 mg/100g น้ำหนักสด (พันธุ์วาวี) ขณะที่พันธุ์เชียงใหม่ตรวจไม่พบ sinapinic acid พบในช่วง 0.36 ± 0.11 mg/100g น้ำหนักสด (พันธุ์ชุมพร) ถึง 1.82 ± 0.08 mg/100g น้ำหนักสด (พันธุ์วาวี) ขณะที่พันธุ์บุรีรัมย์ 60 และพันธุ์ไร่ก้านจูลตรวจไม่พบ และ cinnamic acid พบในช่วง 2.01 ± 0.41 mg/100g น้ำหนักสด (พันธุ์กำแพงแสน) ถึง 3.38 ± 0.36 mg/100g น้ำหนักสด (พันธุ์ชุมพร) (ภาพที่ 4.15)

ผลรวมของปริมาณกรดฟีโนลิกทั้งหมดพบว่า สามารถเรียงลำดับจากปริมาณสูงไปต่ำได้ดังนี้ พันธุ์ไร่ก้านจูล (29.91 ± 2.11 mg/100 g น้ำหนักสด) พันธุ์ชุมพร (28.31 ± 3.05 mg/100 g น้ำหนักสด) และพันธุ์เชียงใหม่ (25.11 ± 2.30 mg/100 g น้ำหนักสด) > พันธุ์พิกุลทอง (22.55 ± 4.02 mg/100 g น้ำหนักสด) > พันธุ์กำแพงแสน (17.91 ± 1.42 mg/100 g น้ำหนักสด) พันธุ์นครราชสีมา 60 (16.99 ± 2.41 mg/100 g น้ำหนักสด) พันธุ์วาวี (15.37 ± 2.51 mg/100 g น้ำหนักสด) และพันธุ์บุรีรัมย์ 60 (14.01 ± 2.42 mg/100 g น้ำหนักสด) (ภาพที่ 4.15) ซึ่งเมื่อพิจารณาสัดส่วนของกรดฟีโนลิกแต่ละชนิดในผลหม่อนพบว่า gallic acid มีสัดส่วนสูงที่สุดเท่ากับ 37% รองลงมาคือ cinnamic acid (30%), *p*-hydroxybenzoic acid (10%), chlorogenic acid (6%), caffeic acid (6%), vanillic acid (4%), syringic acid (3%), protocatechuic acid (2%), ferulic acid (1%), sinapinic acid (1%) และ *p*-coumaric acid (0%) (ภาพที่ 4.16) แสดงให้เห็นว่าผลหม่อนมีกรดฟีโนลิกหลักคือ gallic acid, cinnamic acid, *p*-hydroxybenzoic acid, chlorogenic acid และ caffeic acid



ภาพที่ 4.16 แสดงสัดส่วนของกรดฟีโนลิกที่พบในผลหม่อน

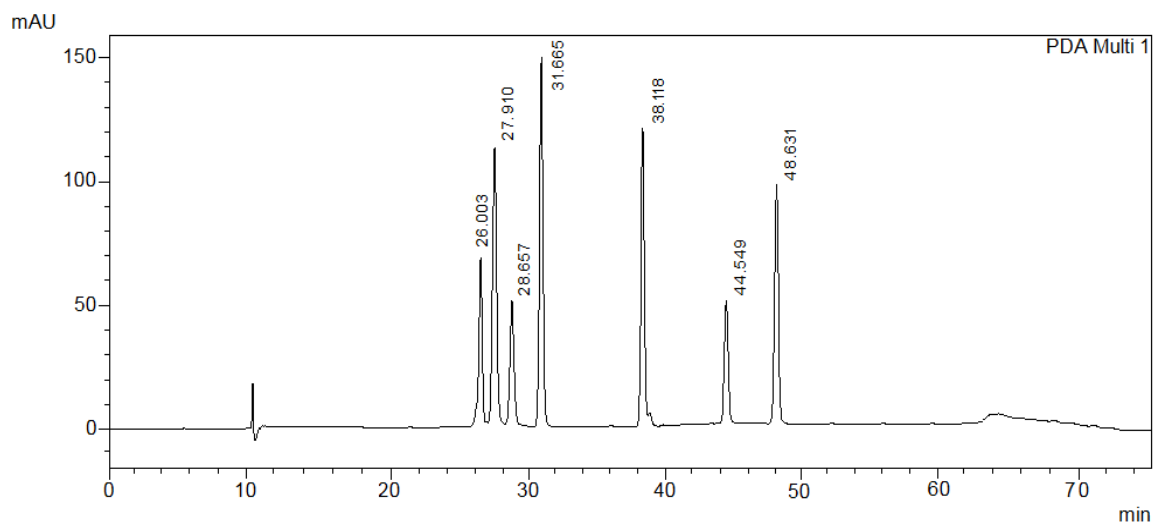
การวิเคราะห์ปริมาณแอนโธไซยานินด้วย HPLC

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการแยกสารมาตรฐานแอนโธไซยานิน พบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการแยกโดยใช้ระบบการแยกแบบแกรเดียนต์อีลูชัน (Gradient elution) คือใช้ตัวทำละลาย ได้แก่ อะซิโตรไนไทร (acetonitrile) และสารละลายกรดฟอสฟอริก (phosphoric acid) จากการทดลองนี้แสดงให้เห็นแล้วว่า ตัวทำละลายสองชนิดนี้มีความเหมาะสมในการใช้เป็นเฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) เนื่องจากสามารถแยกสารแต่ละชนิดออกจากกันชัดเจน อัตราส่วนของตัวทำละลายที่ใช้เปลี่ยนแปลงตามโปรแกรมดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 โปรแกรมที่ใช้ในระบบการชะล้างแบบแกรเดียนต์อีลูชันสำหรับวิเคราะห์แอนโธไซยานิน

เวลาหน่วยวินาที (นาทีก)	สารละลาย A (%)	สารละลาย B (%)	อัตราการไหล (มิลลิลิตรต่อนาที)
0	6	94	1
55	25	75	1
65	25	75	1
70	6	94	1

จากการวิเคราะห์สารมาตรฐานแอนโธไซยานินด้วยเทคนิค HPLC ทำให้ทราบระยะเวลาที่เฟสเคลื่อนที่ชะล้างสารตัวอย่างผ่านเฟสคงที่ (retention time) และลักษณะโครมาโทแกรมของสารมาตรฐานแอนโธไซยานิน เพื่อการวิเคราะห์เชิงปริมาณในการทดลองต่อไปจึงจำเป็นต้องมีการสร้างกราฟมาตรฐานซึ่งทำได้โดยการฉีดสารมาตรฐานแต่ละชนิดที่ทราบความเข้มข้น ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.6 และภาพที่ 4.17 สารที่ถูกชะแยกออกมาจากคอลัมน์ก่อน คือ kuromanin, keracynidin, malvin, delphinidin, cyanidin, pelargonidin และ malvidin มีเวลาหน่วยวินาทีเท่ากับ 26.00, 27.91, 28.65, 31.66, 38.11, 44.54 และ 48.63 นาที ตามลำดับ



ภาพที่ 4.17 โครมาโทแกรมของแอนโธไซยานิน kuromanin (26.00); keracynidin (27.91); malvin (28.65); delphinidin (31.66); cyanidin (38.11); pelargonidin (44.54) และ malvidin (48.63) เมื่อวิเคราะห์ด้วย HPLC

ตารางที่ 4.6 ประสิทธิภาพการวิเคราะห์สารมาตรฐานแอนโธไซยานินด้วย HPLC

Anthocyanin Compounds	Retention time (min)	Calibration curve	Coefficient of determination (R)
Kuromanin	26.00	$Y = 222.5X + 5160.56$	0.9943
Keracynidin	27.91	$Y = 8364.8X + 6948.26$	0.9997
Malvin	28.65	$Y = 16545X + 3962.59$	0.9938
Delphinidin	31.66	$Y = 1125.4X + 653.024$	0.9996
Cyanidin	38.11	$Y = 1705.2X + 794.172$	0.9933
Pelargonidin	44.54	$Y = 15284X + 10000$	0.9952
Malvidin	48.63	$Y = 4780.2X + 16607.4$	0.9982

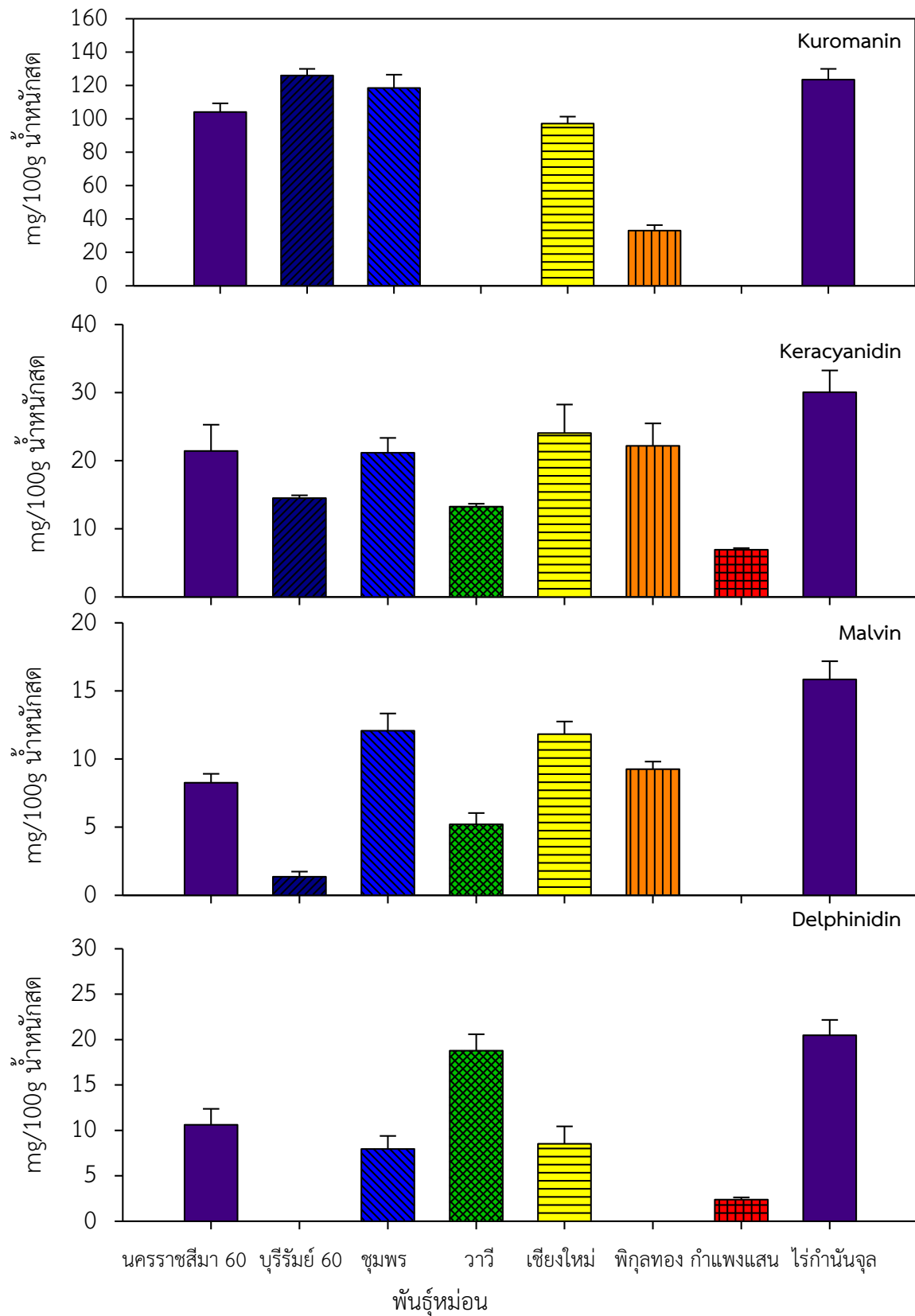
ปริมาณแอนโทไซยานินในผลหม่อน

แอนโทไซยานินเป็นรงควัตถุที่ละลายน้ำได้ จัดอยู่ในกลุ่มฟลาโวนอยด์ เป็นสารให้สีตามธรรมชาติ โดยสีของแอนโทไซยานินจะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะความเป็นกรด-ด่าง แอนโทไซยานินมีโครงสร้างเป็นแบบ $C_6-C_3-C_6$ ซึ่งเป็นไกลโคไซด์ของ 2-phenylbenzopyrylium หรือ flavylum cation ที่มีด้วยกันหลายชนิด แต่มีอยู่ 6 ชนิดเท่านั้นที่พบบ่อย ได้แก่ pelargonidin, cyanidin, delphinidin, peonidin, petunidin และ malvidin แอนโทไซยานินมีคุณสมบัติแตกต่างกันทั้งทางเภสัชวิทยาและชีววิทยา เช่น เป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (biological activity) ช่วยต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) สามารถลดอาการอักเสบ (antiinflammatory) ช่วยปกป้องหลอดเลือด ลดคอเลสเตอรอลในเลือด ลดความเสี่ยงของโรคหัวใจและหลอดเลือด แต่คุณสมบัติเด่นที่สุดของแอนโทไซยานินคือ ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระโดยแอนโทไซยานินมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าวิตามินซีและอีถึง 2 เท่า ปริมาณของแอนโทไซยานินที่มนุษย์สามารถบริโภคได้เฉลี่ยสูงสุดคือ 200 มิลลิกรัมต่อวัน ซึ่งพบว่าผู้ที่นิยมดื่มไวน์แดงมีความเสี่ยงต่อการเป็นโรคเกี่ยวกับหัวใจลดลง ไวน์แดงจึงได้ชื่อว่าอุดมไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระตามธรรมชาติมากที่สุดชนิดหนึ่งเนื่องจากในไวน์แดงมี superoxide radical scavenging ที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของ LDL (low density lipoprotein)

ผลหม่อนเป็นที่รู้จักกันดีว่าเป็นผลไม้ที่อุดมไปด้วยแอนโทไซยานินที่มีฤทธิ์ชีวภาพมากมาย อย่างไรก็ตาม ปริมาณของผลหม่อนแต่ละพันธุ์มีสีแตกต่างกันออกไป และถึงแม้จะเป็นสปีชีส์เดียวกันแต่ปลูกในพื้นที่สภาพแวดล้อม และวิธีการปลูกที่แตกต่างกันก็มีผลต่อชนิดและปริมาณแอนโทไซยานินด้วย จากการวิเคราะห์เชิงปริมาณแอนโทไซยานินด้วย High performance liquid chromatography (HPLC) จำนวน 7 ชนิด ได้แก่ kuromanin (cyanidin 3-O-glucoside), keracyanidin (cyanidin-3-rutinoside), malvin (Malvidin 3,5-diglucoside), delphinidin, cyanidin, pelargonidin และ malvidin ในผลหม่อนสุกจำนวน 8 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์นครราชสีมา 60 พันธุ์บุรีรัมย์ 60 พันธุ์ชุมพร พันธุ์วาวี พันธุ์เชียงใหม่ พันธุ์พิกุลทอง พันธุ์กำแพงแสน และพันธุ์ไร่กำนันจุล ผลการทดลองแสดงในภาพที่ 4.18 และ 4.19 โดยพบว่าแอนโทไซยานินชนิด kuromanin และ keracyanidin เป็นแอนโทไซยานินหลักที่พบมากที่สุดในผลหม่อน ปริมาณ kuromanin ในผลหม่อนพันธุ์ต่างๆ มีปริมาณอยู่ในช่วง 97.16-125.94 mg/100 g น้ำหนักสด (ภาพที่ 4.18) โดยผลหม่อนพันธุ์บุรีรัมย์ 60 และพันธุ์ไร่กำนันจุลมีปริมาณสูงที่สุดเท่ากับ 125.94 ± 4.18 และ 123.50 ± 6.45 mg/100g น้ำหนักสด ตามลำดับ สูงกว่าหม่อนพันธุ์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) รองลงมาคือหม่อนพันธุ์ชุมพร (118.45 ± 8.37 mg/100g น้ำหนักสด) พันธุ์นครราชสีมา 60 (104.10 ± 5.20 mg/100g น้ำหนักสด) พันธุ์เชียงใหม่ (97.16 ± 4.22 น้ำหนักสด) และพันธุ์พิกุลทอง (33.01 ± 3.31 mg/100g น้ำหนักสด) ขณะที่หม่อนพันธุ์วาวี และหม่อนพันธุ์กำแพงแสนตรวจไม่พบ kuromanin ปริมาณที่พบในหม่อนมีปริมาณสอดคล้องกับรายงานการวิจัยของ Bae และ Suh (2007) ในผลหม่อนจำนวน 5 สายพันธุ์ ที่ปลูกในประเทศเกาหลี ได้แก่ M-1 (84.71 mg/100g) M-2 (136.49 mg/100g) M-3 (109.16 mg/100g) M-4 (107.73 mg/100g)

และ M-5 (9.32 mg/100g) นอกจากนี้ปริมาณ kuromanin ในผลหม่อนในงานวิจัยนี้ก็สูงกว่าที่พบในผลเชอร์รี่หวาน (0.88 mg/100g) เชอร์รี่เปรี้ยว (6.99 mg/100g) และเรดราสเบอร์รี่ (15.21 mg/100g) (Jakobek et al., 2009) หม่อนพันธุ์เชียงใหม่ (97.16 mg/100g น้ำหนักสด) มีปริมาณเท่ากับที่พบในผลแบล็คเบอร์รี่ (97.65 mg/100g) (Jakobek et al., 2009) ผลหม่อนพันธุ์พิกุลทองมีปริมาณ kuromanin ต่ำกว่าหม่อนพันธุ์อื่น (33.01 mg/100g น้ำหนักสด) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) อย่างไรก็ตามปริมาณก็ยังสูงกว่าที่พบในผลแบล็คเคอร์เร็นต์พันธุ์ต่างๆ ได้แก่ Ben Alder (28.56 mg/100g น้ำหนักสด) Ben Nevis (21.26 mg/100g น้ำหนักสด) Ben Lomond (26.76 mg/100g น้ำหนักสด) Ben Tirran (22.18 mg/100g น้ำหนักสด) Titania (12.48 mg/100g น้ำหนักสด) และ Ukraine (12.50 mg/100g น้ำหนักสด) (Wu et al., 2004)

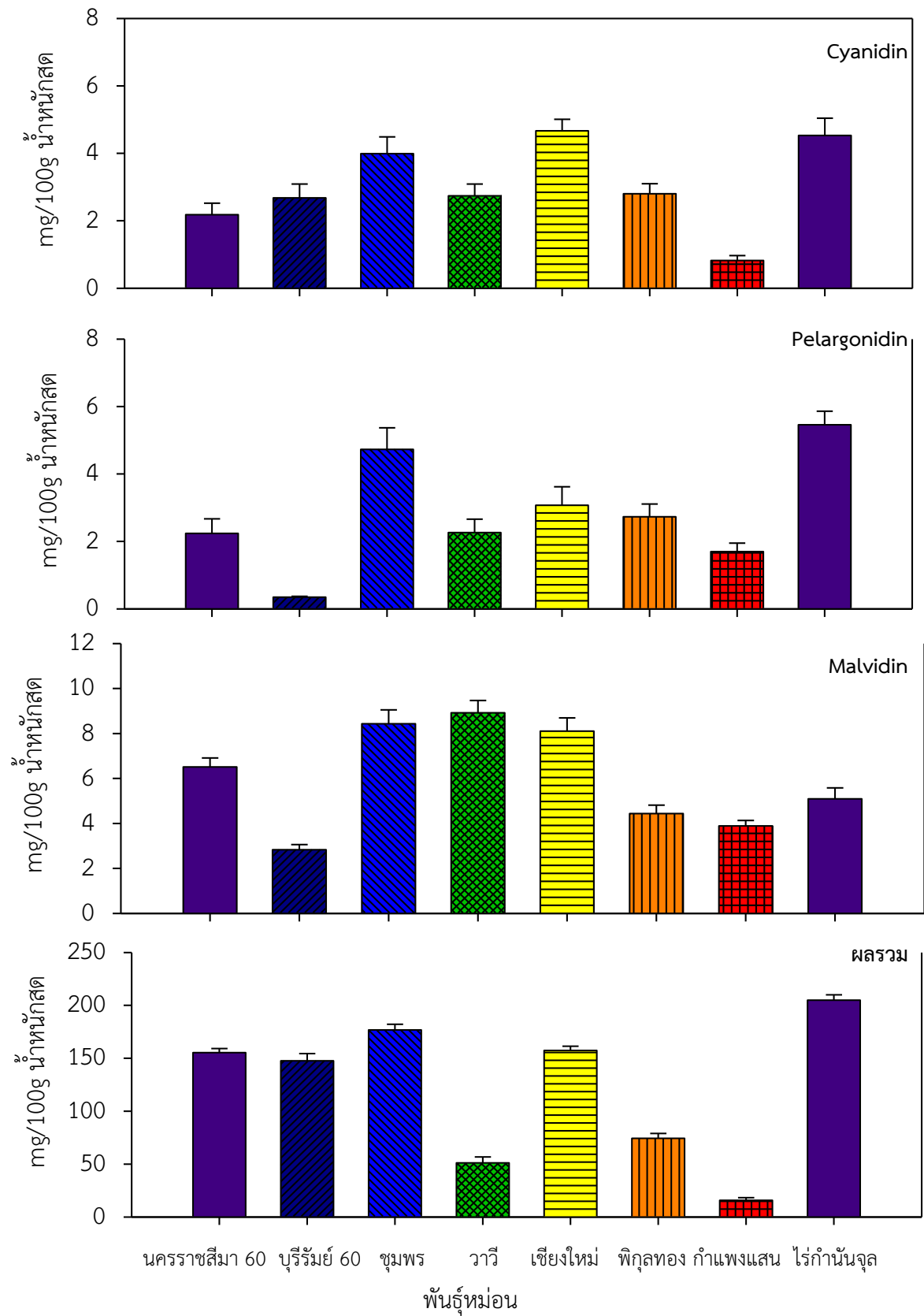
แอนโธไซยานินชนิด cyanidin-3-rutinoside หรือ keracyanidin เป็นแอนโธไซยานินชนิดหนึ่งที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพมากมาย ได้แก่ ด้านการกลายพันธุ์ และต้านสารก่อมะเร็ง (Wenzel et al., 2000) ซึ่งฤทธิ์ส่วนใหญ่เกิดจากคุณสมบัติการต้านออกซิเดชัน แอนโธไซยานินชนิดนี้พบมากในผลไม้ที่มีสีเข้มโดยเฉพาะอย่างยิ่งผลไม้ตระกูลเบอร์รี่ จากผลดังภาพที่ 4.18 ในผลหม่อนตรวจพบปริมาณ keracyanidin สูงรองจาก kuromanin พบในช่วง 6.92-30.05 mg/100 g น้ำหนักสด สามารถเรียงลำดับจากปริมาณต่ำไปสูงได้ดังนี้ กำแพงแสน (6.92 ± 0.24 mg/100 g น้ำหนักสด) < วาวี (13.26 ± 0.42 mg/100 g น้ำหนักสด) < บุรีรัมย์ 60 (14.50 ± 0.42 mg/100 g น้ำหนักสด) < ชุมพร (21.15 ± 2.28 mg/100 g น้ำหนักสด) < นครราชสีมา 60 (21.42 ± 3.87 mg/100 g น้ำหนักสด) < พิกุลทอง (22.18 ± 3.28 mg/100 g น้ำหนักสด) < เชียงใหม่ (24.04 ± 4.19 mg/100 g น้ำหนักสด) < ไร่กำนันจุล (30.05 ± 3.24 mg/100 g น้ำหนักสด) ปริมาณ keracyanidin ที่พบในผลหม่อนมีปริมาณสอดคล้องกับรายงานการวิจัยของ Bae และ Suh (2007) ในผลหม่อนจำนวน 5 สายพันธุ์ ที่ปลูกในประเทศเกาหลี ได้แก่ M-1 (25.93 mg/100g) M-2 (48.67 mg/100g) M-3 (34.77 mg/100g) M-4 (42.05 mg/100g) และ M-5 (3.06 mg/100g) นอกจากนี้ปริมาณ kuromanin ในผลหม่อนในงานวิจัยนี้ก็สูงกว่าที่พบในผลเชอร์รี่หวาน (0.88 mg/100g) และใกล้เคียงกับผลเชอร์รี่หวาน (25.12 mg/100g) (Jakobek et al., 2009) อย่างไรก็ตามปริมาณก็ต่ำกว่าที่พบในผลแบล็คเคอร์เร็นต์พันธุ์ต่างๆ ได้แก่ Ben Alder (134.94 mg/100g น้ำหนักสด) Ben Nevis (138.83 mg/100g น้ำหนักสด) Ben Lomond (136.69 mg/100g น้ำหนักสด) Ben Tirran (113.11 mg/100g น้ำหนักสด) Titania (73.38 mg/100g น้ำหนักสด) และ Ukraine (70.44 mg/100g น้ำหนักสด) (Wu et al., 2004) และต่ำกว่าในผลแบล็คเบอร์รี่พันธุ์ Bristol, Jewel และ MacBlack ซึ่งปลูกในพื้นที่ต่างๆ ของรัฐโอไฮโอ สหรัฐอเมริกา พบปริมาณอยู่ในช่วง 111-320 mg/100g (Ozen et al., 2008)



ภาพที่ 4.18 ปริมาณแอนโทไซยานินชนิด kuromanin, keracyanidin, malvin และ delphinidin ในผลหม่อน

Malvin (malvidin-3,5-diglucoside) เป็นสารแอนโธไซยานินชนิดหนึ่งที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ส่วนใหญ่พบในรูปไดกลูโคไซด์ จากรายงานพบว่าเป็นแอนโธไซยานินชนิดแรกที่เกิดขึ้นในระหว่างการสุกของ องุ่นพันธุ์ ‘Cabernet’ (Bockian et al., 1995) พบมากในผลแอปเปิ้ล สตรอเบอร์รี่ องุ่น แบล็คเบอร์รี่ บลูเบอร์รี่ เชอร์รี่ แครนเบอร์รี่ และแบล็คเคอร์เร็นต์ จากการวิเคราะห์ปริมาณ malvin ในผลหม่อนพันธุ์ต่างๆ พบว่าผลหม่อนมีปริมาณอยู่ในช่วง 1.35-15.84 mg/100 g น้ำหนักสด (ภาพที่ 4.18) โดยผลหม่อนพันธุ์ไร่ก้านันจุลมีปริมาณสูงที่สุดเท่ากับ 15.84 ± 1.34 mg/100 g น้ำหนักสด สูงกว่าหม่อนพันธุ์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) รองลงมาคือหม่อนพันธุ์ชุมพร (12.07 ± 1.27 น้ำหนักสด) หม่อนพันธุ์เชียงใหม่ (11.82 ± 0.93 น้ำหนักสด) พันธุ์พิบูลทอง (9.25 ± 0.56 mg/100g น้ำหนักสด) พันธุ์นครราชสีมา 60 (8.26 ± 0.65 mg/100g น้ำหนักสด) พันธุ์วาวี (5.20 ± 0.83 mg/100g น้ำหนักสด) พันธุ์บุรีรัมย์ 60 (1.35 ± 0.38 mg/100g น้ำหนักสด) ขณะที่หม่อนพันธุ์กำแพงแสนตรวจไม่พบ ปริมาณที่พบต่ำกว่าในผล Jambolao (*Syzygium cumini*) ซึ่งเป็นผลไม้ท้องถิ่นของบราซิล มีปริมาณ malvin เฉลี่ยเท่ากับ 166 mg/100g น้ำหนักแห้ง (Brito et al., 2007)

Delphinidin เป็นแอนโธไซยานินอีกชนิดหนึ่งที่มีผลดีต่อสุขภาพมากหรือ phytonutrient สามารถป้องกันโรคหัวใจ และโรคอื่นๆ ที่เกี่ยวกับหัวใจได้ delphinidin ค้นพบในปี ค.ศ. 1938 โดย Albert Szent-Gyorgyi ช่วงแรกเชื่อว่าเป็นวิตามินจึงเรียกว่า “วิตามิน P” อย่างไรก็ตามภายหลังพบว่าเป็นสารกลุ่มสารประกอบฟลาโวนอยด์ จากรายงานวิจัยพบว่า delphinidin มีฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชันสูง ด้านภาวะการอักเสบ ป้องกันโรคเส้นเลือดเลี้ยงหัวใจตีบตัน ป้องกันโรคมะเร็ง และป้องกันโรคหัวใจ แอนโธไซยานินชนิดนี้พบมากในผลไม้ตระกูลเบอร์รี่ เช่น บิลเบอร์รี่ (161.93 mg/100g) บลูเบอร์รี่ (47.4 mg/100g) และแครนเบอร์รี่ (7.66 mg/100g) นอกจากนี้ยังพบในผัก เช่น ถั่วดำ (11.98 mg/100g) ถั่วฝักยาว (94.6 mg/100g) มะเขือม่วง (13.76 mg/100g) จากการวิเคราะห์ปริมาณ delphinidin ในผลหม่อนพันธุ์ต่างๆ จำนวน 8 สายพันธุ์ ดังภาพที่ 4.18 ตรวจพบเพียง 6 สายพันธุ์ มีปริมาณเฉลี่ยอยู่ในช่วง 2.37-20.47 mg/100 g น้ำหนักสด โดยผลหม่อนพันธุ์ไร่ก้านันจุลมีปริมาณสูงที่สุดเท่ากับ 20.47 ± 1.69 mg/100 g น้ำหนักสด สูงกว่าหม่อนพันธุ์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) รองลงมาคือหม่อนพันธุ์วาวี (18.77 ± 1.81 mg/100g น้ำหนักสด) พันธุ์นครราชสีมา 60 (10.62 ± 1.75 mg/100g น้ำหนักสด) หม่อนพันธุ์เชียงใหม่ (8.51 ± 1.92 น้ำหนักสด) พันธุ์ชุมพร (7.94 ± 1.44 น้ำหนักสด) และพันธุ์กำแพงแสน (2.37 ± 0.25 mg/100g น้ำหนักสด) ขณะที่หม่อนพันธุ์บุรีรัมย์ 60 และพันธุ์พิบูลทองตรวจไม่พบ ปริมาณ delphinidin ที่พบในผลหม่อนมีปริมาณสอดคล้องกับรายงานการวิจัยของ Franke และคณะ (2004) ในผลไม้ชนิดต่าง ได้แก่ สตรอเบอร์รี่ (2.6 mg/100g) บลูเบอร์รี่ (23.8 mg/100g) แต่ก็มีปริมาณสูงกว่าในผลมะม่วง (0.03 mg/100g) ผลแครนเบอร์รี่ (0.1 mg/100g) องุ่นแดง (1.7 mg/100g) (Franke et al., 2004) อย่างไรก็ตามปริมาณที่พบต่ำกว่าในผลบลูเบอร์รี่ (404.75 mg/100g) (Ribera et al., 2010)



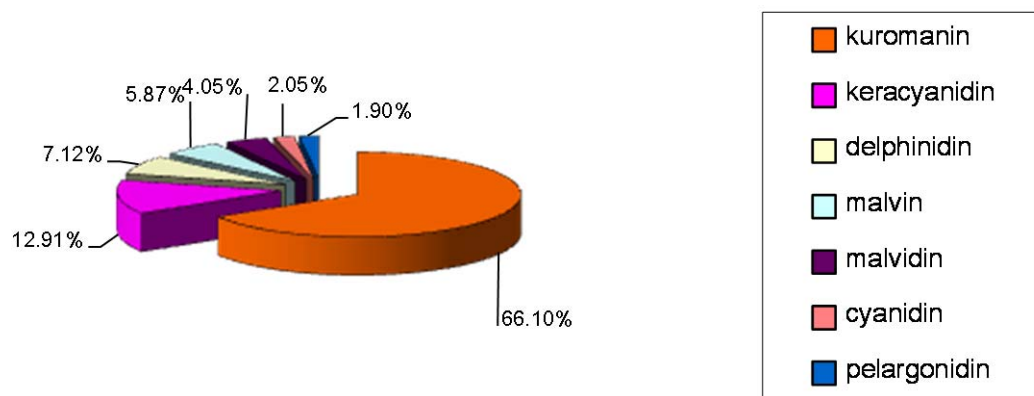
ภาพที่ 4.19 ปริมาณแอนโธไซยานินชนิด cyanidin, pelargonidin, malvidin และผลรวมแอนโธไซยานินทั้งหมดในผลหม่อน

Cyanidin เป็นสารประกอบอินทรีย์กลุ่มแอนโธไซยานินที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เป็นสารที่มีสีพบมากในผลไม้ที่มีสีแดง ได้แก่ องุ่น บิลเบอร์รี่ แบล็คเบอร์รี่ เชอร์รี่ แครนเบอร์รี่ เอลเดอร์เบอร์รี่ โกลออนเบอร์รี่ และราสเบอร์รี่ จะมีสีเปลี่ยนแปลงไปตามพีเอชโดยพบว่าถ้า pH < 3 จะมีสีแดง pH 7-8 จะมีสีม่วง และ pH > 11 จะมีสีน้ำเงิน cyanidin มีฤทธิ์สูงในการต้านออกซิเดชันของอนุมูลอิสระ ป้องกันเซลล์จากการทำลายของอนุมูลอิสระ ลดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคเส้นเลือดหัวใจตีบตัน และมะเร็ง นอกจากนี้ยังยับยั้งการเกิดโรคเบาหวาน โรคอ้วน และต้านอักเสบ (Sasaki et al., 2007) จากการศึกษาในห้องปฏิบัติการพบว่าอนุพันธ์กลูโคไซด์ของ cyanidin มีบทบาทสำคัญในการรักษาโรคมะเร็ง (Carmela et al., 2005; Pei-Ni et al., 2006; Artemio et al., 2008) จากผลดังภาพที่ 4.19 ผลหม่อนตรวจพบ cyanidin ด้วยเช่นกันโดยมีปริมาณอยู่ในช่วง 0.82-4.67 mg/100 g น้ำหนักสด สามารถเรียงลำดับจากปริมาณต่ำไปสูงได้ดังนี้ กำแพงแสน (0.82±0.15 mg/100 g น้ำหนักสด) < นครราชสีมา 60 (2.18±0.34 mg/100 g น้ำหนักสด) < บุรีรัมย์ 60 (2.68±0.41 mg/100 g น้ำหนักสด) < วาวี (2.74±0.35 mg/100 g น้ำหนักสด) < พิกุลทอง (2.80±0.34 mg/100 g น้ำหนักสด) < ชุมพร (3.99±0.50 mg/100 g น้ำหนักสด) < เชียงใหม่ (4.67±0.34 mg/100 g น้ำหนักสด) < ไร่กำนันจุล (4.53±0.51 mg/100 g น้ำหนักสด) ปริมาณ cyanidin ที่พบในผลหม่อนมีปริมาณสอดคล้องกับรายงานการวิจัยของ Franke และคณะ (2004) ในผลไม้ชนิดต่าง ได้แก่ สตรอเบอร์รี่ (1.4 mg/100g) องุ่นแดง (1.6 mg/100g) แอปเปิ้ลแดง (2.2 mg/100g) และพลัมสีแดง (3.1 mg/100g) แต่ก็มีปริมาณสูงกว่าในผลมะม่วง (0.1 mg/100g) และผลแครนเบอร์รี่ (0.6 mg/100g) (Franke et al., 2004) อย่างไรก็ตามปริมาณที่พบต่ำกว่าในผลพลัมสีดำ (6.4 mg/100g) ราสเบอร์รี่ (22.6 mg/100g) และผลบลูเบอร์รี่ (25.6 mg/100g) (Franke et al., 2004) และผลแบล็คเบอร์รี่พันธุ์ต่างๆ ได้แก่ Caingangue, Brazos, Tupy, Guarani และ Seleção 97 ที่ปลูกในประเทศตุรกี ซึ่งมีปริมาณอยู่ในช่วง (91-157 mg/100 g น้ำหนักสด) (Hassimotto et al., 2008) จะเห็นได้ว่าปริมาณ cyaniding ในผลไม้ชนิดต่างๆ หรือแม้แต่เป็นผลไม้ชนิดเดียวกันแต่คนละพันธุ์ก็ส่งผลให้มีปริมาณต่างกันด้วย และผลไม้ที่มีสีเข้มจะมีปริมาณสูง

Pelagonidin เป็นแอนโธไซยานินชนิดหนึ่งจากแอนโธไซยานิน 16 ชนิด ที่พบบ่อยในธรรมชาติ ให้สีแก่พืช มีสีส้ม พบมากในผลสุกของราสเบอร์รี่ สตรอเบอร์รี่ บลูเบอร์รี่ แบล็คเบอร์รี่ พลัม และแครนเบอร์รี่ มีคุณสมบัติในการต้านออกซิเดชัน จากการวิเคราะห์ปริมาณ pelagonidin ในผลหม่อนพันธุ์ต่างๆ พบว่าผลหม่อนมีปริมาณอยู่ในช่วง 0.35-5.46 mg/100 g น้ำหนักสด (ภาพที่ 4.19) โดยผลหม่อนพันธุ์ไร่กำนันจุลและพันธุ์ชุมพรมีปริมาณสูงที่สุดเท่ากับ 5.46±0.40 mg/100 g น้ำหนักสด และ 4.73±0.64 mg/100 g น้ำหนักสด ตามลำดับ สูงกว่าหม่อนพันธุ์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) รองลงมาคือหม่อนพันธุ์เชียงใหม่ (3.07±0.55 น้ำหนักสด) พันธุ์พิกุลทอง (2.73±0.38 mg/100g น้ำหนักสด) พันธุ์วาวี (2.26±0.40 mg/100g น้ำหนักสด) พันธุ์นครราชสีมา 60 (2.24±0.43 mg/100g น้ำหนักสด) พันธุ์กำแพงแสน (1.70±0.25 mg/100g น้ำหนักสด) พันธุ์บุรีรัมย์ 60 (0.35±0.02 mg/100g น้ำหนักสด) ปริมาณ pelagonidin ที่พบในผลหม่อนมีปริมาณสูงกว่าผลไม้ชนิดต่างๆ จากรายงานการวิจัยของ Franke และคณะ (2004) ได้แก่ สตรอเบอร์รี่

องุ่นแดง แอปเปิ้ลแดง พลัมสีแดง มะม่วง แครนเบอร์รี่ พลัมสีดำ และบลูเบอร์รี่ ซึ่งมีปริมาณต่ำกว่า 0.03 mg/100g ยกเว้นในผลราสเบอร์รี่ที่มีปริมาณใกล้เคียงกัน (1.6 mg/100g) (Franke et al., 2004)

Malvidin เป็นสารกลุ่มแอนโธไซยานินชนิด O-methylated anthocyanidin เป็นแอนโธไซยานินที่ให้สีแก่พืช พบมากในธรรมชาติในรูปกลัยโคไซด์ ให้สีแดงเมื่ออยู่ในสภาพกรดและมีสีน้ำเงินเมื่ออยู่ในสภาพด่าง พบได้ในไวน์แดง ข้าวดำ และผลไม้ที่มีสีเข้ม เช่น องุ่นแดง แครนเบอร์รี่ บลูเบอร์รี่ จากการศึกษาในเยอรมัน พบว่ามีการดูดซึมต่ำเมื่อบริโภคไวน์แดงหรือน้ำองุ่นที่มี malvidin-3-glucoside เข้าไป (Bub et al., 2001) จากการศึกษาพิสูจน์ให้เห็นแล้วว่า malvidin ที่สกัดได้จากข้าวดำมีความเป็นพิษต่อเซลล์ลิวคีเมียในมนุษย์ (Hyun and Chung, 2004) ที่ความเข้มข้น 40 ppm จากการวิเคราะห์ปริมาณ malvidin ในผลหม่อนพันธุ์ต่างๆ ในปริมาณสูง โดยมีปริมาณอยู่ในช่วง 2.83-8.92 mg/100 g น้ำหนักสด (ภาพที่ 4.19) โดยผลหม่อนพันธุ์วาวี พันธุ์ชุมพร และพันธุ์เสียงใหม่มีปริมาณสูงที่สุดเท่ากับ 8.92 ± 0.55 , 8.43 ± 0.62 และ 8.10 ± 0.59 mg/100 g น้ำหนักสด ตามลำดับ สูงกว่าหม่อนพันธุ์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) รองลงมาคือหม่อนพันธุ์นครราชสีมา 60 (6.51 ± 0.40 mg/100g น้ำหนักสด) พันธุ์ไร่กำนันจุล (5.09 ± 0.49 น้ำหนักสด) พันธุ์พิกุลทอง (4.44 ± 0.37 mg/100g น้ำหนักสด) พันธุ์กำแพงแสน (3.89 ± 0.24 mg/100g น้ำหนักสด) และพันธุ์บุรีรัมย์ 60 (2.83 ± 0.23 mg/100g น้ำหนักสด) ปริมาณ malvidin ที่พบในผลหม่อนมีปริมาณต่ำกว่าในผลบลูเบอร์รี่ (45.38 mg/100g) (Ribera et al., 2010)



ภาพที่ 4.20 แสดงสัดส่วนของแอนโธไซยานินที่พบในผลหม่อน

ผลรวมของปริมาณแอนโธไซยานิน 7 ชนิด ได้แก่ kuromanin (cyanidin 3-O-glucoside), keracyanidin (cyanidin-3-rutinoside), malvin (Malvidin 3,5-diglucoside), delphinidin, cyanidin,

pelargonidin และ malvidin ในผลหม่อน พบว่าสามารถเรียงลำดับจากปริมาณสูงไปต่ำได้ดังนี้ พันธุ์ไร้ก้าน จุล (204.93±5.07 mg/100 g น้ำหนักสด) > พันธุ์ชุมพร (176.77±5.43 mg/100 g น้ำหนักสด) พันธุ์ เชียงใหม่ (157.37±4.07 mg/100 g น้ำหนักสด) พันธุ์นครราชสีมา 60 (155.33±3.90 mg/100 g น้ำหนัก สด) และพันธุ์บุรีรัมย์ 60 (147.64±6.82 mg/100 g น้ำหนักสด) > พันธุ์พิกุลทอง (74.40±4.57 mg/100 g น้ำหนักสด) > พันธุ์วาวี (51.15±5.58 mg/100 g น้ำหนักสด) > พันธุ์กำแพงแสน (15.71±2.59 mg/100 g น้ำหนักสด) (ภาพที่ 4.19) ซึ่งเมื่อพิจารณาสัดส่วนของกรดฟีนอลิกแต่ละชนิดในผลหม่อนพบว่า kuromanin มี สัดส่วนสูงที่สุดเท่ากับ 66.10% รองลงมาคือ keracyanidin (12.91%), delphinidin (7.12%), malvin (5.87%), malvidin (4.05%), cyanidin (2.05%) และ pelargonidin (1.90%) ตามลำดับ (ภาพที่ 4.20) แสดงให้เห็นว่าแอนโทไซยานินชนิด kuromanin และ keracyanidin เป็นแอนโทไซยานินหลักที่พบมากที่สุด ในผลหม่อน

ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันในผลหม่อน

อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเกิดออกซิเดชันในร่างกายมนุษย์มีหลายชนิด ได้แก่ singlet oxygen ($1O_2$), superoxide anion radical ($O_2^{\cdot-}$), hydroxyl radical ($OH^{\cdot}$), nitric oxide radical ($NO^{\cdot}$) และ alkyl peroxy ($ROO^{\cdot}$) โดยร่างกายจะมีกลไกการป้องกันโดยเอนไซม์และวิตามิน (Seifried et al., 2007) อย่างไรก็ตามร่างกายก็ต้องการสารต้านออกซิเดชันที่ได้จากการรับประทานเข้าไปซึ่งส่วนใหญ่พบมาก ในผัก และผลไม้ จึงทำให้ในปัจจุบันผู้คนหันมาสนใจสารออกฤทธิ์ชีวภาพจากธรรมชาติมากยิ่งขึ้น เนื่องจาก สารต้านออกซิเดชันสังเคราะห์เช่น butylated hydroxytoluene (BHT) และ butylated hydroxyanisole (BHA) ซึ่งมีอันตราย และมีผลข้างเคียง (Seeram et al., 2006) ในปัจจุบันมีการศึกษาเกี่ยวกับชนิดและ ปริมาณของสารประกอบฟีนอลิก และความสามารถในการต้านออกซิเดชันของผลหม่อน เนื่องจากมีรายงานว่า ผลหม่อนมีสมบัติในการป้องกันการเกิดโรคเบาหวาน (antidiabetic) ป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ป้องกันการอักเสบ ในปี 2006 Oki และคณะ (2006) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติการต้านออกซิเดชันและ องค์ประกอบของผลหม่อนสายพันธุ์ต่างๆ ในประเทศญี่ปุ่นในระหว่างการเจริญเติบโต พบว่าผลหม่อนทั้ง 8 สายพันธุ์ มีกรดฟีนอลิกและแอนโทไซยานินเป็นองค์ประกอบ และสามารถแสดงสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH โดยมีสมบัติการต้านออกซิเดชันอยู่ระหว่าง 2.5-20.3 มิลลิโมลสมมูลของ Trolox ต่อกรัมของน้ำหนัก สด อีกทั้ง Bae และ Suh (2007) รายงานว่าผลหม่อน (*Morus alba* L.) ในประเทศเกาหลีสามารถแสดง สมบัติการต้านออกซิเดชันไม่ว่าจะเป็นสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สมบัติการต้านอนุมูลไฮดรอกซิล สมบัติการต้านอนุมูลซัลเฟอร์ออกไซด์แอนไอออน และความสามารถในการรีดิวซ์ เป็นต้น ซึ่งสมบัติการต้าน ออกซิเดชันเหล่านี้เป็นผลมาจากสารประกอบฟีนอลิกที่มีในผลหม่อน นอกจากนี้ในปีเดียวกัน Ercisli และ Orhan (2006) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผลหม่อน 3 สปีชีส์ ได้แก่ หม่อนขาว (*Morus alba*) หม่อน แดง (*Morus rubra*) และหม่อนดำ (*Morus nigra*) พบว่า หม่อนดำมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวน

น้อยที่สุดมากที่สุด โดยมีปริมาณเท่ากับ 1,422 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด และ 276 มิลลิกรัมสมมูลของเคอซีตินต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด และ Lin และ Tang (2007) รายงานว่าผลหม่อนมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับผลสตรอเบอร์รี่ พลัม พริกไทย (เขียว เหลือง และแดง) ผักขม หอมหัวใหญ่ เมล่อน และบัตร์ท โดยที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 1,515.9 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด และมีปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดเท่ากับ 250.1 มิลลิกรัมสมมูลของเคอซีตินต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด

จากการศึกษาการทดสอบการต้านออกซิเดชันของสารสกัดจากผลหม่อน 8 สายพันธุ์ ได้แก่ นครราชสีมา 60 บุรีรัมย์ 60 ชุมพร วาวี เชียงใหม่ พิกุลทอง กำแพงแสน และกำนันจุล มาวิเคราะห์กิจกรรมการต้านออกซิเดชันด้วยวิธีการต่างๆ 3 วิธี ได้แก่ DPPH radical scavenging activity, Ferric reducing antioxidant power (FRAP) และ ABTS (2,2-azinobis [ethylbenzothiazoline-6-sulphonate]) assay ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของผลหม่อนสายพันธุ์ต่างๆ

ชื่อพันธุ์หม่อน	DPPH assay (EC ₅₀ , µg/ml)	FRAP assay (mg Fe(II)/g)	ABTS ⁺⁺ (mg TEAC/g)
พันธุ์นครราชสีมา 60	241.83 ± 13.55 a	39.74 ± 2.30 a	4.21 ± 0.17 a
พันธุ์บุรีรัมย์ 60	269.01 ± 18.33 b	23.52 ± 2.44 b	3.04 ± 0.19 d
พันธุ์ชุมพร	503.69 ± 15.02 d	17.07 ± 1.53 c	3.42 ± 0.24 a
พันธุ์วาวี	312.96 ± 18.15 c	21.96 ± 2.85 b	4.19 ± 0.18 ab
พันธุ์เชียงใหม่	1060.86 ± 14.42 g	12.01 ± 1.25 d	2.95 ± 0.11 b
พันธุ์พิกุลทอง	594.30 ± 10.12 f	16.17 ± 1.12 c	3.42 ± 0.10 c
พันธุ์กำแพงแสน	1194.67 ± 10.06 h	11.71 ± 1.46 d	2.10 ± 0.14 d
พันธุ์ไร่กำนันจุล	544.76 ± 13.07 e	42.28 ± 3.04 a	3.84 ± 0.13 b

หมายเหตุ nd คือ ตรวจไม่พบ

แสดงค่าในรูปค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3)

ค่า EC₅₀ คือปริมาณสารสกัดที่สามารถลดความเข้มข้นเริ่มต้นของอนุมูลอิสระเสถียร DPPH ลงได้ครึ่งหนึ่ง

ตัวอักษร (a-e) ที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT

การทดสอบการต้านออกซิเดชันด้วย DPPH assay แสดงค่าในรูป EC₅₀ (effective concentration) คือค่าที่แสดงความเข้มข้นของสารที่สามารถลดความเข้มข้นของอนุมูลอิสระเสถียร DPPH ลงได้ครึ่งหนึ่ง กล่าวคือซึ่ง

ยังมีค่า EC_{50} ต่ำก็แสดงว่าตัวอย่างนั้นมีกิจกรรมการต้านออกซิเดชันสูงตามไปด้วย พบว่ากิจกรรมการต้านออกซิเดชันของผลหม่อนสามารถเรียงลำดับจากต่ำไปสูงดังนี้ กำแพงแสน < เชียงใหม่ < พิกุลทอง < ไร่ก้านจูล < ชุมพร < วาวี < บุรีรัมย์ 60 < นครราชสีมา 60 โดยมีค่า EC_{50} เท่ากับ 1194.67 ± 10.06 , 1060.86 ± 14.42 , 594.30 ± 10.12 , 544.76 ± 13.07 , 503.69 ± 15.02 , 312.96 ± 18.15 , 269.01 ± 18.33 และ $241.83 \pm 13.55 \mu\text{g/ml}$ ตามลำดับ ในจำนวนนี้สารสกัดจากหม่อนพันธุ์นครราชสีมา 60 มีกิจกรรมการต้านออกซิเดชันสูงกว่าพันธุ์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และวิธีที่ 2 จากการทดสอบกิจกรรมการต้านออกซิเดชัน Ferric reducing antioxidant power (FRAP) พบว่าสายพันธุ์ที่ประสิทธิภาพการต้านออกซิเดชันสามารถเรียงลำดับจากต่ำไปสูงดังนี้ กำแพงแสน < เชียงใหม่ < พิกุลทอง < ชุมพร < วาวี < บุรีรัมย์ 60 < นครราชสีมา 60 < ไร่ก้านจูล โดยมีค่า FRAP เท่ากับ 11.71 ± 1.46 , 12.01 ± 1.25 , 16.17 ± 1.12 , 17.07 ± 1.53 , 21.96 ± 2.85 , 23.52 ± 2.44 , 39.74 ± 2.30 และ $42.28 \pm 3.04 \mu\text{g/ml}$ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าความสามารถในการต้านออกซิเดชันที่ตรวจวัดด้วยวิธี FRAP ให้ผลไปในทิศทางเดียวกันกับวิธี DPPH และเมื่อพิจารณาผลการทดลองที่ได้พบว่าผลหม่อนสายพันธุ์ต่างกันจะแสดงสมบัติการต้านออกซิเดชันต่างกันออกไป สอดคล้องกับ Bae และ Suh (2007) ที่รายงานไว้ว่าสายพันธุ์มีอิทธิพลต่อสมบัติการต้านออกซิเดชันของผลหม่อน ไม่ว่าจะเป็นคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH หรืออนุมูลไฮดรอกซิล เป็นต้น จากการทดลองนี้ผลหม่อนพันธุ์ไร่ก้านจูลและพันธุ์นครราชสีมา 60 มีความสามารถในการต้านออกซิเดชันสูงกว่าหม่อนพันธุ์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากหม่อนทั้ง 2 พันธุ์มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงกว่าพันธุ์อื่นๆ ซึ่งสารประกอบฟีนอลิกสามารถแสดงสมบัติการต้านออกซิเดชันของอนุมูลอิสระได้ โดยสามารถให้อิเล็กตรอนหรือไฮโดรเจนอะตอมแก่อนุมูลอิสระ เพื่อยับยั้งไม่ให้อนุมูลอิสระเกิดปฏิกิริยาต่อได้ (Green, 2007) ดังนั้นเมื่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงก็จะมีสมบัติการต้านออกซิเดชันของอนุมูลอิสระสูงตามไปด้วย

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบฟลาโวนอยด์ และกรดฟีนอลิกบางชนิดกับฤทธิ์การต้านออกซิเดชันสรุปไว้ในตารางที่ 4.8 จะเห็นได้ว่ามีความสัมพันธ์กันสูงมากระหว่างปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์และกรดฟีนอลิกบางชนิดกับฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชัน ปริมาณ (+)-catechin มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($0.01 < p \leq 0.001$) และมีความสัมพันธ์เชิงลบกับค่า EC_{50} (วิเคราะห์ด้วย DPPH assay) กล่าวคือยิ่งมีปริมาณ (+)-catechin มากก็ยิ่งมีฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชันสูงตามไปด้วย และมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับกิจกรรมการต้านออกซิเดชันที่วิเคราะห์ด้วยวิธี ABTS อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($0.01 < p \leq 0.001$) ปริมาณ rutin มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($0.05 < p \leq 0.01$)

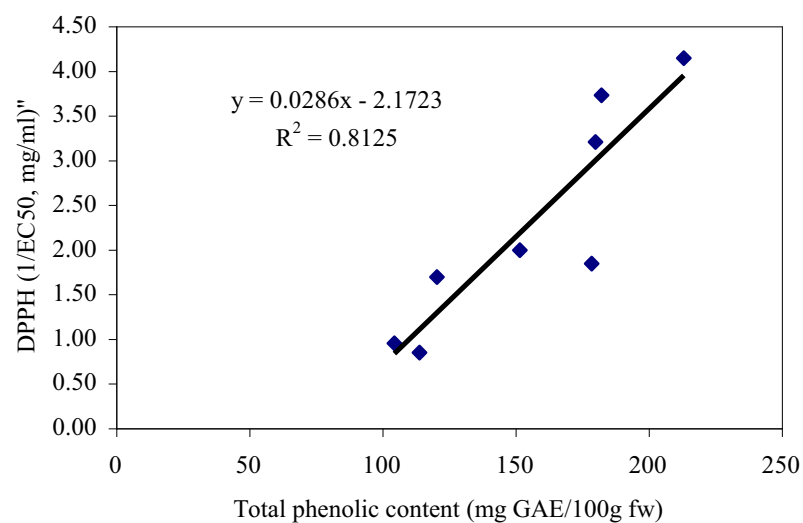
ตารางที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างฤทธิ์ต้านออกซิเดชันกับฟลาโวนอยด์และกรดฟีนอลิกบางชนิด และความสัมพันธ์ระหว่างฤทธิ์ต้านออกซิเดชันกับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด

	ฟลาโวนอยด์				กรดฟีนอลิก	
	(+)-catechin	rutin	procyanidin B1	quercetin	gallic acid	<i>p</i> -hydroxybenzoic acid
TPC	0.849***	0.551	0.721**	0.318	0.854***	0.808**
TFC	0.925***	0.811**	0.756**	0.343	0.743**	0.711*
DPPH	-0.759**	0.299	-0.426	-0.592	-0.796**	-0.540
FRAP	0.705	0.557	0.874***	0.351	0.589	0.881***
ABTS	0.875***	0.548	0.437	0.705	0.569	0.460

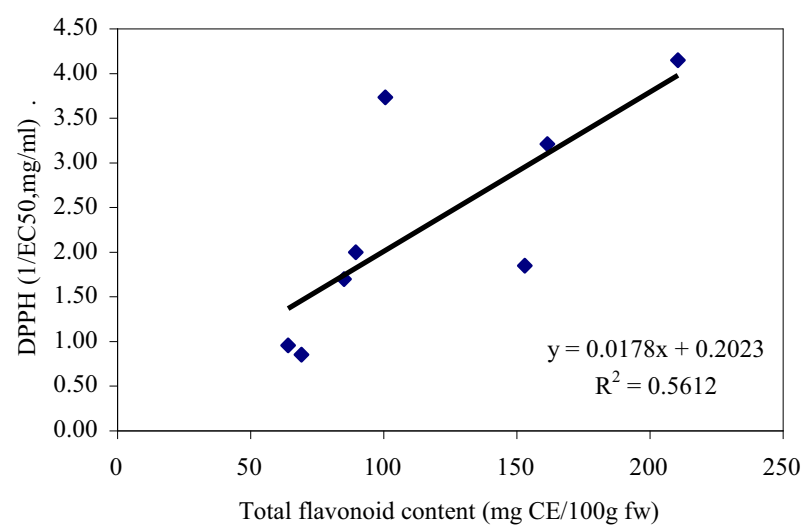
หมายเหตุ TPC คือ total phenolic content, TFC คือ total flavonoid content, DPPH คือ DPPH radical scavenging activity, FRAP คือ Ferric reducing antioxidant power (FRAP) และ ABTS คือ ABTS (2,2-azinobis [ethylbenzothiazoline-6-sulphonate]) assay
ระดับนัยสำคัญ: *, $p \leq 0.05$; **, $0.05 < p \leq 0.01$; และ ***, $0.01 < p \leq 0.001$

เช่นเดียวกันกับ (+)-catechin แต่ไม่มีความสัมพันธ์กับกิจกรรมการต้านออกซิเดชัน ขณะที่ปริมาณ procyanidin B1 มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($0.01 < p \leq 0.001$) และมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับกิจกรรมการต้านออกซิเดชันที่วิเคราะห์ด้วยวิธี FRAP อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($0.01 < p \leq 0.001$) แต่ไม่มีความสัมพันธ์กับค่า EC_{50} และไม่พบความสัมพันธ์ของปริมาณ quercetin กับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดหรือความสัมพันธ์กับค่า EC_{50} , FRAP หรือ ABTS สำหรับกรดฟีนอลิกก็มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดหรือความสัมพันธ์กับค่า EC_{50} เช่นเดียวกับฟลาโวนอยด์ ปริมาณ *p*-hydroxybenzoic acid มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $0.05 < p \leq 0.01$ และ $p \leq 0.05$ ตามลำดับ และมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับกิจกรรมการต้านออกซิเดชันที่วิเคราะห์ด้วยวิธี FRAP อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($0.01 < p \leq 0.001$) แต่ไม่มีความสัมพันธ์กับค่า EC_{50}

กิจกรรมการต้านออกซิเดชันพบว่ามีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด Oktay และคณะ (2003) รายงานไว้ว่ามีความสัมพันธ์อย่างสูงระหว่างปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและกิจกรรมการต้านออกซิเดชันซึ่งพบในพืชหลายสปีชีส์ ตัวอย่างที่พบ เช่น ผัก ผลไม้ เครื่องเทศ และสมุนไพร เป็นต้น (Shan *et al.*, 2005; Wong *et al.*, 2006) และมีรายงานอีกว่าสารประกอบฟีนอลิกในพืชหลายชนิดมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความสามารถในการต้านออกซิเดชัน ภาพที่ 4.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและกิจกรรมการต้านออกซิเดชันของสารสกัดจากผลหม่อน ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมการต้านออกซิเดชัน



ภาพที่ 4.21 แสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นของฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน (1/EC₅₀) (แกน Y) กับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (แกน X) ของผลหม่อน

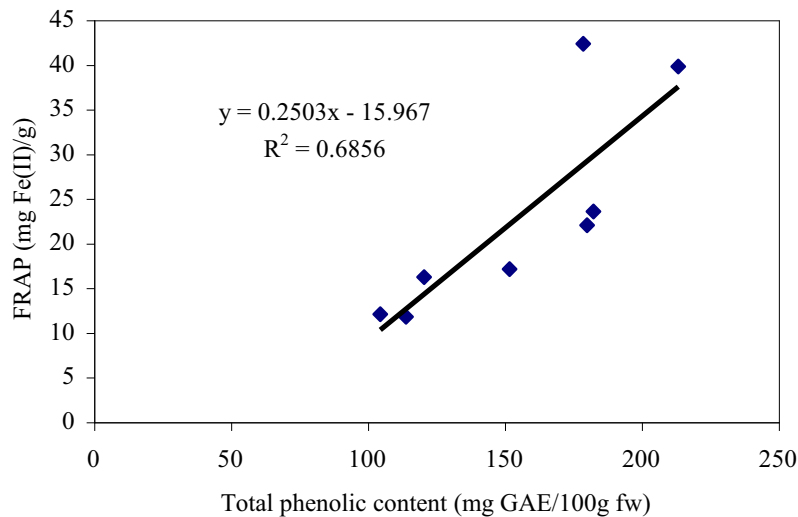


ภาพที่ 4.22 แสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นของฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน (1/EC₅₀) (แกน Y) กับปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (แกน X) ของผลหม่อน

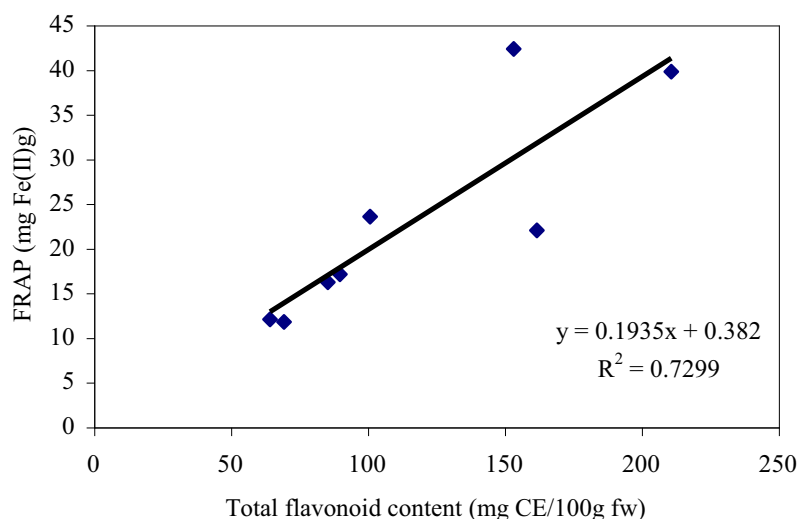
(วิเคราะห์ด้วย DPPH assay) แกน Y และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (แกน X) มีความสัมพันธ์เชิงเส้นโดยมีสมการเส้นตรงคือ $Y = 0.0286X - 2.1723$ โดยมีความสัมพันธ์เชิงเส้นอย่างสูง ($R^2 = 0.8125$) เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและกิจกรรมการต้านออกซิเดชันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($0.01 < p \leq 0.001$) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูง ($r=0.902$) กิจกรรมการต้านออกซิเดชันสูงขึ้นของสารสกัดจากผลหม่อนมีความสัมพันธ์กับการสะสมของสารประกอบฟีนอลิก สารต้านออกซิเดชันนี้เป็นสารทุติภูมิที่พืชสร้างขึ้นซึ่งพบได้ในพืชทั่วไป แต่จะมีปริมาณ และฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชันของอนุมูลอิสระแตกต่างกันไป (Elzaawely *et al.*, 2007) เมื่อพิจารณาจากค่าความสัมพันธ์เชิงเส้น ($R^2 = 0.8125$) จะเห็นได้ว่าเมื่อมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงขึ้นก็ส่งผลให้มีกิจกรรมการต้านออกซิเดชันสูงตามไปด้วย สอดคล้องกับงานวิจัยของ Cai และคณะ (2004), Shan และคณะ (2005) และ Wong และคณะ (2006) แสดงให้เห็นว่าสารประกอบฟีนอลิกเป็นกลุ่มหลักที่ส่งผลต่อฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชันของผลหม่อน

ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมการต้านออกซิเดชัน (ค่า $1/EC_{50}$) แกน Y และปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (แกน X) มีความสัมพันธ์เชิงเส้นโดยมีสมการเส้นตรงคือ $Y = 0.0178X + 0.2023$ โดยมีความสัมพันธ์เชิงเส้น ($R^2 = 0.5612$) (ภาพที่ 4.22) ซึ่งต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและกิจกรรมการต้านออกซิเดชัน เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดและกิจกรรมการต้านออกซิเดชันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูง ($r=0.750$)

ภาพที่ 4.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและกิจกรรมการต้านออกซิเดชันของสารสกัดจากผลหม่อนที่วิเคราะห์ด้วยวิธี FRAP assay (แกน Y) และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (แกน X) มีความสัมพันธ์เชิงเส้นโดยมีสมการเส้นตรงคือ $Y = 0.2503X - 15.967$ โดยมีความสัมพันธ์เชิงเส้นอย่างสูง ($R^2 = 0.6856$) เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและกิจกรรมการต้านออกซิเดชันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($0.05 < p \leq 0.01$) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูง ($r=0.828$) ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมการต้านออกซิเดชันที่วิเคราะห์ด้วยวิธี FRAP assay (แกน Y) และปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (แกน X) มีความสัมพันธ์เชิงเส้นโดยมีสมการเส้นตรงคือ $Y = 0.1935X + 0.3820$ โดยมีความสัมพันธ์เชิงเส้น ($R^2 = 0.7299$) (ภาพที่ 4.24) เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดและกิจกรรมการต้านออกซิเดชันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($0.01 < p \leq 0.001$) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูง ($r=0.854$)



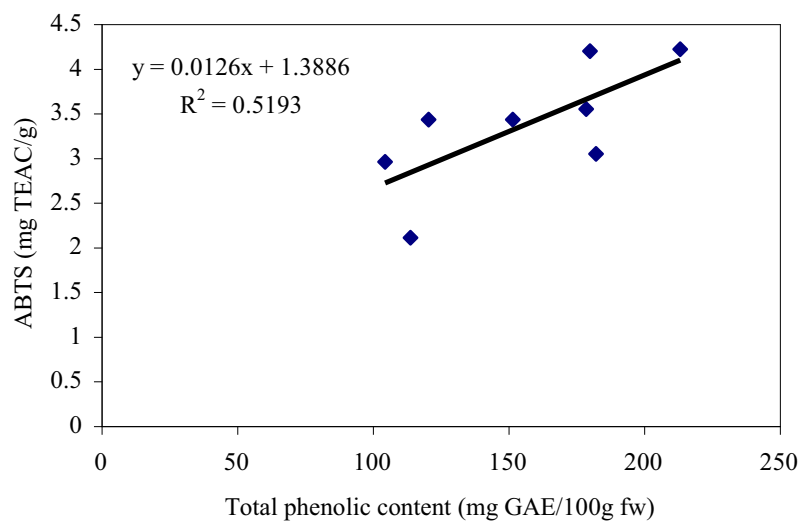
ภาพที่ 4.23 แสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นของฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน (FRAP) (แกน Y) กับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (แกน X) ของผลหม่อน



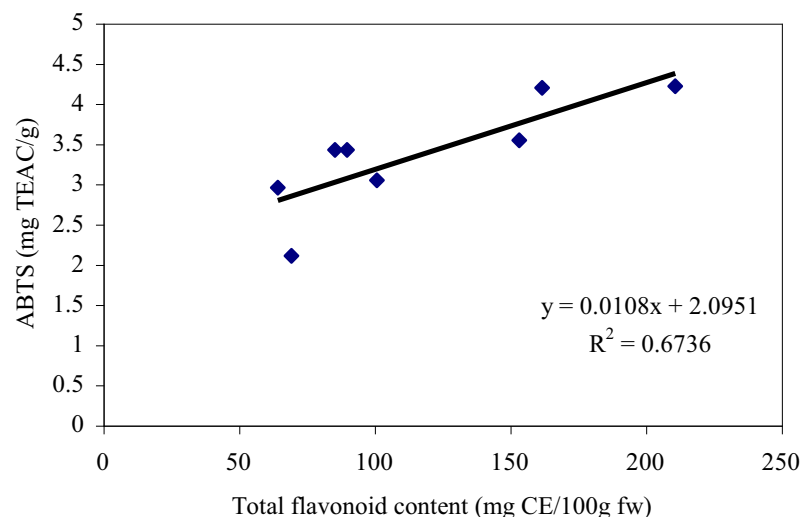
ภาพที่ 4.24 แสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นของฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน (FRAP) (แกน Y) กับปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (แกน X) ของผลหม่อน

ภาพที่ 4.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและกิจกรรมการต้านออกซิเดชันของสารสกัดจากผลหม่อนที่วิเคราะห์ด้วยวิธี ABTS assay (แกน Y) และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (แกน X) มีความสัมพันธ์เชิงเส้นโดยมีสมการเส้นตรงคือ $Y = 0.0126X + 1.3886$ โดยมีความสัมพันธ์เชิงเส้นอย่างสูง ($R^2 = 0.6856$) เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและกิจกรรมการต้านออกซิเดชันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูง ($r=0.721$) ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมการต้านออกซิเดชันที่วิเคราะห์ด้วยวิธี ABTS assay (แกน Y) และปริมาณฟลาโวนอยด์

ทั้งหมด (แกน X) มีความสัมพันธ์เชิงเส้นโดยมีสมการเส้นตรงคือ $Y = 0.0108X + 2.0951$ โดยมีความสัมพันธ์เชิงเส้น ($R^2 = 0.6736$) (ภาพที่ 4.26) เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดและกิจกรรมการต้านออกซิเดชันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($0.05 < p \leq 0.01$) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูง ($r=0.821$) ซึ่งสูงเช่นเดียวกับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของวิธี DPPH ทั้งนี้การที่ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างสมบัติการต้านออกซิเดชันของอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS มีค่าสูงเนื่องมาจากกลไกในการเกิดปฏิกิริยาเป็นกลไกเดียวกัน คือเป็นการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนเดี่ยว (single electron transfer (SET) reaction) (Huang et al., 2005)



ภาพที่ 4.25 แสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นของฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน (ABTS) (แกน Y) กับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (แกน X) ของผลหม่อน



ภาพที่ 4.26 แสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นของฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน (ABTS) (แกน Y) กับปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (แกน X) ของผลหม่อน

จะเห็นได้ว่าความสามารถรวมในการต้านอนุมูลอิสระในหม่อนด้วยวิธี FRAP และ TEAC มีความสัมพันธ์กันสูงมากในเชิงบวกกับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและฟลาโวนอยด์ทั้งหมด จึงเป็นไปได้ว่าทั้ง 2 วิธี คือ FRAP และ ABTS ซึ่งสามารถที่จะทำหน้าที่ในการต้านออกซิเดชันอาศัยกลไกในการออกฤทธิ์โดยการส่งผ่านอิเล็กตรอนเหมือนกัน ให้ผลการตรวจวิเคราะห์ความสามารถรวมในการต้านอนุมูลอิสระได้ผลที่สอดคล้องกันไปทิศทางเดียวกัน ดังนั้นสามารถเลือกใช้วิธี FRAP หรือ ABTS วิธีใดวิธีหนึ่งในการตรวจวิเคราะห์ ซึ่งผลการวิจัยในครั้งนี้สอดคล้องกับผลการวิจัยของ วาริน แสงกิตติโกมล (2546), ช่อเพชร สระทองช่วง (2550), นฤภัทร ฤทธิธินา (2550), Ou และคณะ (2002), Javanmardi และคณะ (2003), Luximon-Ramma และคณะ (2003), Sangkittikomol (2003), Djeridane และคณะ (2006), Ana และคณะ (2007) และ Jasna และคณะ (2007) จากการวิจัยนี้พบว่าผลหม่อนแต่ละพันธุ์มีสารประกอบฟีนอลิกสูงก็จะมีคุณสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชันสูงตามไปด้วย อย่างไรก็ตามก็พบว่าผลหม่อนแต่ละพันธุ์มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH, FRAP และ ABTS แตกต่างกัน เนื่องมาจากพันธุ์ของหม่อนที่แตกต่างกัน สถานที่ในการเพาะปลูกที่แตกต่างกัน ความอุดมสมบูรณ์ และวิธีการดูแลรักษา ปัจจัยเหล่านี้ทำให้แต่ละตัวอย่างผลหม่อนแต่ละพันธุ์มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และความสามารถรวมในการต้านออกซิเดชันในแต่ละพื้นที่แตกต่างกันไปด้วย (นิธิยา รัตนพนธ์, 2548; โอภา วัชรคุปต์, 2549) ทั้งวิธี FRAP และ ABTS เป็นการวิเคราะห์หาความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดจากอนุมูลอิสระ ซึ่งเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วภายในเวลา 4-6 นาที แต่ในการวิเคราะห์สารต้านออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิกจากพืช จะพบว่าการดูดกลืนแสงที่ 595 นาโนเมตร จะเพิ่มขึ้นเมื่อตั้งทิ้งไว้ ดังนั้นการวัดครั้งเดียวตามเวลาที่กำหนด อาจไม่ใช่ค่าที่เกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์ วิธี FRAP มีข้อดีคือเป็นวิธีที่ง่ายใช้เวลาไม่ยาว และไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องมือพิเศษ แต่มีข้อเสียคือกลไกของปฏิกิริยาที่ใช้ในการวิเคราะห์ไม่เกี่ยวข้องกับกลไกในร่างกาย ส่วนข้อดีของวิธี ABTS คือทำง่าย อนุมูล $ABTS^{\bullet+}$ จะทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วกับสารต้านอนุมูลอิสระภายในเวลา 30 นาที ปกติจะใช้เวลาประมาณ 5 นาที อนุมูล $ABTS^{\bullet+}$ ละลายได้ทั้งในน้ำและสารทำละลายอินทรีย์ ใช้วิเคราะห์หาความสามารถในการต้านออกซิเดชันของสารต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นสารที่ละลายน้ำหรือสารที่ละลายในไขมัน ส่วนข้อเสียของวิธี TEAC คือ $ABTS^{\bullet+}$ ไม่เป็นสารตามธรรมชาติที่ก่อให้เกิดอนุมูลในเซลล์หรือในร่างกาย เช่นเดียวกับ Fe^{3+} -TPTZ (โอภา วัชรคุปต์, 2549)

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์ความชื้นของผลหม่อนสุกพันธุ์นครราชสีมา 60 พันธุ์บุรีรัมย์ 60 พันธุ์ชุมพร พันธุ์วาวี พันธุ์เชียงใหม่ พันธุ์พิบูลทอง พันธุ์กำแพงแสน และพันธุ์ไร่กำนันจุล พบว่าตัวอย่างผลหม่อนสุกมีความชื้นเฉลี่ยอยู่ในช่วง 73.21-85.61% ในจำนวนนี้หม่อนพันธุ์กำแพงแสนมีความชื้นสูงที่สุด ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในผลหม่อนพบในช่วง 17.38-50.93 mg GAE/100g น้ำหนักสด ขณะที่ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดพบในช่วง 11.98-47.79 mg CE/100g น้ำหนักสด โดยหม่อนพันธุ์วาวี พันธุ์ไร่กำนันจุล และพันธุ์นครราชสีมา 60 มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดสูง นอกจากนี้หม่อนทั้งสามพันธุ์ยังมีปริมาณเบต้า-แคโรทีน (0.43, 0.70 และ 0.72 $\mu\text{g/g}$ น้ำหนักสด ตามลำดับ) และไลโคปีน (0.57, 1.72 และ 1.77 $\mu\text{g/g}$ น้ำหนักสด ตามลำดับ) สูง

จากการวิเคราะห์ปริมาณกรดอินทรีย์ ได้แก่ oxalic acid, tartaric acid, malic acid, ascorbic acid, lactic acid, acetic acid, citric acid และ benzoic acid ในผลหม่อนสุกสายพันธุ์ต่างๆ พบว่าหม่อนทุกพันธุ์มีลักษณะของปริมาณและชนิดกรดอินทรีย์เหมือนกัน โดยพบว่า ascorbic acid เป็นกรดอินทรีย์ที่พบมากที่สุด รองลงมาคือ benzoic acid, malic acid และ tartaric acid ตามลำดับ ในจำนวนนี้หม่อนพันธุ์ไร่กำนันจุล พันธุ์นครราชสีมา 60 พันธุ์เชียงใหม่ และพันธุ์บุรีรัมย์ 60 มีปริมาณ ascorbic acid สูงกว่าพันธุ์อื่นๆ กรด benzoic acid เป็นกรดอินทรีย์ที่พบมากรองจาก ascorbic acid ซึ่งโดยที่เกิเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ พบว่าผลหม่อนตรวจพบ benzoic acid อิสระเช่นกัน โดยหม่อนพันธุ์เชียงใหม่ พันธุ์วาวี และพันธุ์ไร่กำนันจุล มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 15.10, 15.02 และ 13.40 mg/g น้ำหนักสด ตามลำดับ สูงกว่าหม่อนพันธุ์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) นอกจากนี้กรดอินทรีย์อื่นๆ ก็พบในปริมาณที่ใกล้เคียงกันของหม่อนแต่ละพันธุ์ tartaric acid พบในช่วง 3.55-7.10 mg/g น้ำหนักสด malic acid พบในช่วง 3.07-6.70 mg/g น้ำหนักสด lactic acid พบในช่วง 1.18-5.07 mg/g น้ำหนักสด acetic acid พบในช่วง 0.23-1.68 mg/g น้ำหนักสด ขณะที่ citric acid พบในช่วง 1.23-7.85 mg/g น้ำหนักสด เมื่อพิจารณาค่าผลรวมของกรดอินทรีย์สามารถเรียงลำดับจากปริมาณสูงไปต่ำได้ดังนี้ พันธุ์เชียงใหม่ (55.03 ± 2.42 mg/g น้ำหนักสด) และพันธุ์ไร่กำนันจุล (52.21 ± 3.02 mg/g น้ำหนักสด) > พันธุ์กำแพงแสน (47.74 ± 2.10 mg/g น้ำหนักสด) พันธุ์บุรีรัมย์ 60 (45.91 ± 2.46 mg/g น้ำหนักสด) และพันธุ์นครราชสีมา 60 (44.31 ± 2.38 mg/g น้ำหนักสด) > พันธุ์วาวี (39.63 ± 2.17 mg/g น้ำหนักสด) และพันธุ์พิบูลทอง (38.98 ± 2.07 mg/g น้ำหนักสด) > พันธุ์ชุมพร (33.53 ± 3.60 mg/g น้ำหนักสด)

จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ ได้แก่ (+)-catechin, (-)-epicatechin, rutin, procyanidin B1, procyanidin B2, myricetin, *trans*-resveratrol, luteolin, quercetin, naringenin, และ kaempferol พบว่า (+)-catechin, procyanidin B1 และ quercetin เป็นสารฟลาโวนอยด์ที่พบมากในผลหม่อน ส่วน (-)-epicatechin, rutin และ *trans*-resveratrol พบในปริมาณปานกลาง และกลุ่มที่พบปริมาณต่ำ คือ procyanidin B2, myricetin, luteolin, naringenin และ kaempferol สารฟลาโวนอยด์ชนิด (+)-catechin พบมากที่สุดในการหม่อนโดยพบในช่วง 70.05-183.65 mg/100 g น้ำหนักสด ผลหม่อนส่วนใหญ่มีปริมาณ (+)-catechin สูงเกิน 100 mg/100 g น้ำหนักสด ขณะที่ (-)-epicatechin เป็นอีกชนิดหนึ่งของสาร (+)-catechin ปริมาณ (-)-epicatechin พบสูงที่สุดในหม่อนพันธุ์ไร้ก้านจูลโดยมีปริมาณเท่ากับ 1.70 ± 0.25 mg/100 g น้ำหนักสด สูงกว่าหม่อนพันธุ์อื่น ผลหม่อนตรวจพบ rutin เช่นกัน และสามารถเรียงลำดับจากปริมาณต่ำไปสูงได้ดังนี้ บุรีรัมย์ 60 < กำแพงแสน < พิกุลทอง < เชียงใหม่ < ชุมพร < ไร้ก้านจูล < นครราชสีมา 60 < วาวี โดยมีปริมาณเท่ากับ 3.09 ± 0.39 , 3.31 ± 0.44 , 3.84 ± 0.55 , 3.97 ± 0.39 , 5.02 ± 0.45 , 5.22 ± 0.70 , 5.80 ± 0.71 และ 6.42 ± 0.76 mg/100 g น้ำหนักสด ตามลำดับ ในจำนวนนี้หม่อนพันธุ์วาวี พันธุ์นครราชสีมา 60 พันธุ์ไร้ก้านจูล และพันธุ์ชุมพรมีปริมาณ rutin ไม่แตกต่างกัน แต่ก็มีปริมาณสูงกว่าหม่อนพันธุ์บุรีรัมย์ 60 พันธุ์กำแพงแสน พันธุ์พิกุลทอง และพันธุ์เชียงใหม่ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ผลหม่อนตรวจพบ procyanidins dimer ทั้ง procyanidin B1 และ procyanidin B2 โดยพบว่า procyanidin B1 เป็นสารประกอบฟลาโวนอยด์ที่มีปริมาณมากที่สุดรองจาก catechin โดยสามารถเรียงลำดับจากปริมาณ procyanidin B1 จากต่ำไปสูงได้ดังนี้ พิกุลทอง < เชียงใหม่ < กำแพงแสน < ชุมพร < บุรีรัมย์ 60 < นครราชสีมา 60 < วาวี < ไร้ก้านจูล โดยมีปริมาณเท่ากับ 11.62 ± 0.35 , 12.48 ± 0.62 , 19.31 ± 2.49 , 23.12 ± 3.33 , 27.19 ± 3.46 , 34.26 ± 4.07 , 35.95 ± 4.41 และ 50.83 ± 5.46 mg/100 g น้ำหนักสด ตามลำดับ ซึ่งหม่อนพันธุ์ไร้ก้านจูลมีปริมาณมากที่สุด ปริมาณ *trans*-resveratrol ในผลหม่อนพันธุ์ต่างๆ พบอยู่ในช่วง 0.42-3.80 mg/100 g น้ำหนักสด ผลหม่อนพันธุ์ชุมพรมีปริมาณ *trans*-resveratrol สูงที่สุดเท่ากับ 3.80 ± 0.78 mg/100 g น้ำหนักสด สูงกว่าหม่อนพันธุ์อื่น รองลงมาคือหม่อนพันธุ์เชียงใหม่ และพันธุ์พิกุลทอง ขณะที่ luteolin ในผลหม่อนมีปริมาณอยู่ในช่วง 0.24-1.44 mg/100 g น้ำหนักสด ผลหม่อนพันธุ์เชียงใหม่มีปริมาณ naringin สูงที่สุดเท่ากับ 1.23 ± 0.07 mg/100 g น้ำหนัก ผลหม่อนตรวจพบปริมาณ myricetin ต่ำกว่าฟลาโวนอยด์อื่นๆ โดยตรวจพบในช่วง 0.10-0.30 mg/100 g น้ำหนักสด quercetin พบอยู่ในช่วง 0.77-15.26 mg/100 g น้ำหนักสด โดยผลหม่อนพันธุ์ชุมพรมีปริมาณสูงที่สุดเท่ากับ 15.26 ± 1.53 mg/100 g น้ำหนักสด สูงกว่าหม่อนพันธุ์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) รองลงมาคือหม่อนพันธุ์เชียงใหม่ พันธุ์พิกุลทอง พันธุ์นครราชสีมา 60 พันธุ์บุรีรัมย์ 60

พันธุ์วาวี พันธุ์ไร่ก้านจูล และพันธุ์กำแพงแสน ปริมาณ kaempferol ในผลหม่อนมีปริมาณแตกต่างกันในแต่ละพันธุ์ โดยมีปริมาณสูงที่สุดเท่ากับ 0.37 ± 0.04 mg/100 g น้ำหนักสด (หม่อนพันธุ์ชุมพร) และมีปริมาณต่ำสุดเท่ากับ 0.04 ± 0.02 mg/100 g น้ำหนักสด (หม่อนพันธุ์กำแพงแสน) ผลรวมของปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดพบว่า สามารถเรียงลำดับจากปริมาณสูงไปต่ำได้ดังนี้ พันธุ์วาวี (233.08 ± 8.28 mg/100 g น้ำหนักสด) และพันธุ์นครราชสีมา 60 (221.82 ± 8.75 mg/100 g น้ำหนักสด) > พันธุ์ชุมพร (163.46 ± 6.07 mg/100 g น้ำหนักสด) และพันธุ์บุรีรัมย์ 60 (161.83 ± 7.60 mg/100 g น้ำหนักสด) > พันธุ์ไร่ก้านจูล (131.83 ± 7.72 mg/100 g น้ำหนักสด) และพันธุ์เชียงใหม่ (120.36 ± 5.42 mg/100 g น้ำหนักสด) > พันธุ์กำแพงแสน (111.72 ± 6.35 mg/100 g น้ำหนักสด) และพันธุ์พิกุลทอง (108.73 ± 3.81 mg/100 g น้ำหนักสด) โดยฟลาโวนอยด์ชนิด (+)-catechin, procyanidin B1, quercetin และ rutin พบมากที่สุดในผลหม่อน

จากการวิเคราะห์ปริมาณกรดฟีนอลิก ได้แก่ gallic acid, protocatechuic acid, *p*-hydroxybenzoic acid, chlorogenic acid, vanillic acid, caffeic acid, syringic acid, *p*-coumaric acid, ferulic acid, sinapinic acid และ cinnamic acid ในผลหม่อน พบว่าหม่อนทุกพันธุ์มีลักษณะของปริมาณและชนิดกรดฟีนอลิกเหมือนกัน โดยพบว่ากรดฟีนอลิกชนิด gallic acid, cinnamic acid, *p*-hydroxybenzoic acid, chlorogenic acid และ caffeic acid เป็นกรดฟีนอลิกหลักที่พบในผลหม่อนทุกสายพันธุ์ gallic acid พบในช่วง 1.36 - 6.25 mg/100 g น้ำหนักสด หม่อนพันธุ์เชียงใหม่และพันธุ์ชุมพรมีปริมาณกรดฟีนอลิกชนิด *p*-hydroxybenzoic acid มากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.13 ± 1.02 mg/100g น้ำหนักสด และ 6.18 ± 1.12 mg/100g น้ำหนักสด ตามลำดับ กรดฟีนอลิกชนิด chlorogenic acid เป็นอีกชนิดหนึ่งที่พบมากในผลหม่อน โดยแต่ละพันธุ์มีปริมาณ chlorogenic acid แตกต่างกันไป ซึ่งพบในช่วง 1.38 mg/100g น้ำหนักสด (พันธุ์บุรีรัมย์ 60) ถึง 6.95 mg/100 g น้ำหนักสด (พันธุ์ไร่ก้านจูล) นอกจากนี้ยังตรวจพบกรดฟีนอลิกชนิด caffeic acid ซึ่งเป็นกรดฟีนอลิกอีกชนิดหนึ่งที่พบมากในผลหม่อนเช่นกัน โดยพบมากที่สุดในหม่อนพันธุ์ไร่ก้านจูล รองลงมาคือหม่อนพันธุ์นครราชสีมา 60 พันธุ์ชุมพร พันธุ์พิกุลทอง พันธุ์เชียงใหม่ พันธุ์บุรีรัมย์ 60 และพันธุ์กำแพงแสน ขณะที่หม่อนพันธุ์วาวีตรวจไม่พบ protocatechuic acid พบในช่วง 0.01 ± 0.00 mg/g น้ำหนักสด (พันธุ์เชียงใหม่) ถึง 7.89 ± 1.20 mg/100g น้ำหนักสด (พันธุ์กำแพงแสน) ขณะที่พันธุ์บุรีรัมย์ 60 และพันธุ์ไร่ก้านจูลตรวจไม่พบ vanillic acid พบในช่วง 1.04 ± 0.03 mg/100g น้ำหนักสด (พันธุ์บุรีรัมย์ 60) ถึง 2.36 ± 0.15 mg/100g น้ำหนักสด (พันธุ์กำแพงแสน) syringic acid พบในช่วง 0.32 ± 0.02 mg/100g น้ำหนักสด (พันธุ์กำแพงแสน) ถึง 3.42 ± 0.13 mg/100g น้ำหนักสด (พันธุ์เชียงใหม่) นอกจากนี้กรดฟีนอลิกชนิดอื่นๆ ก็พบในปริมาณที่ใกล้เคียงกันของหม่อนแต่ละพันธุ์โดยที่กรดฟีนอลิกชนิด *p*-coumaric acid พบในช่วงที่ต่ำกว่า

กรดฟีนอลิกชนิดอื่นๆ คือ 0.01-0.13 mg/100g น้ำหนักสด และกรดฟีนอลิกชนิด ferulic acid พบในช่วง 0.51-1.48 mg/100g น้ำหนักสด กรดฟีนอลิกชนิด sinapinic acid พบในช่วง 0.36-1.82 mg/100g น้ำหนักสด และกรดฟีนอลิกชนิด cinnamic acid พบในช่วง 2.01-3.38 mg/100g น้ำหนักสด ผลรวมของปริมาณกรดฟีนอลิกทั้งหมดพบว่า สามารถเรียงลำดับจากปริมาณสูงไปต่ำได้ดังนี้ พันธุ์ไร่กำนันจุล (29.91 ± 2.11 mg/100 g น้ำหนักสด) พันธุ์ชุมพร (28.31 ± 3.05 mg/100 g น้ำหนักสด) และพันธุ์เชียงใหม่ (25.11 ± 2.30 mg/100 g น้ำหนักสด) > พันธุ์พิกุลทอง (22.55 ± 4.02 mg/100 g น้ำหนักสด) > พันธุ์กำแพงแสน (17.91 ± 1.42 mg/100 g น้ำหนักสด) พันธุ์นครราชสีมา 60 (16.99 ± 2.41 mg/100 g น้ำหนักสด) พันธุ์วาวี (15.37 ± 2.51 mg/100 g น้ำหนักสด) และพันธุ์บุรีรัมย์ 60 (14.01 ± 2.42 mg/100 g น้ำหนักสด) โดยสรุปผลหม่อนมีกรดฟีนอลิกหลักคือ gallic acid, cinnamic acid, *p*-hydroxybenzoic acid, chlorogenic acid และ caffeic acid โดยหม่อนพันธุ์ไร่กำนันจุล พันธุ์ชุมพร พันธุ์เชียงใหม่ และพันธุ์พิกุลทองมีปริมาณกรดฟีนอลิกสูง

จากการวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานิน 7 ชนิด ได้แก่ kuromanin (cyanidin 3-O-glucoside), keracyanidin (cyanidin-3-rutinoside), malvin (malvidin 3,5-diglucoside), delphinidin, cyanidin, pelargonidin และ malvidin ด้วยเครื่อง HPLC ในผลหม่อนสุก พบว่าแอนโทไซยานินชนิด kuromanin และ keracyanidin เป็นแอนโทไซยานินหลักที่พบมากที่สุดในการหม่อน ปริมาณ kuromanin ในผลหม่อนพันธุ์ต่างๆ มีปริมาณอยู่ในช่วง 97.16-125.94 mg/100 g น้ำหนักสด โดยผลหม่อนพันธุ์บุรีรัมย์ 60 และพันธุ์ไร่กำนันจุลมีปริมาณสูงที่สุดเท่ากับ 125.94 ± 4.18 และ 123.50 ± 6.45 mg/100g น้ำหนักสด ตามลำดับ สูงกว่าหม่อนพันธุ์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) รองลงมาคือหม่อนพันธุ์ชุมพร พันธุ์นครราชสีมา 60 พันธุ์เชียงใหม่ และพันธุ์พิกุลทอง ขณะที่หม่อนพันธุ์วาวี และหม่อนพันธุ์กำแพงแสนตรวจไม่พบ kuromanin แอนโทไซยานินชนิด cyanidin-3-rutinoside หรือ keracyanidin พบปริมาณสูงรองจาก kuromanin โดยพบในช่วง 6.92-30.05 mg/100 g น้ำหนักสด สามารถเรียงลำดับปริมาณ keracyanidin จากต่ำไปสูงได้ดังนี้ กำแพงแสน < วาวี < บุรีรัมย์ 60 < ชุมพร < นครราชสีมา 60 < พิกุลทอง < เชียงใหม่ < ไร่กำนันจุล แอนโทไซยานินชนิด malvin (malvidin-3,5-diglucoside) พบอยู่ในช่วง 1.35-15.84 mg/100 g น้ำหนักสด ผลหม่อนพันธุ์ไร่กำนันจุลมีปริมาณสูงที่สุดเท่ากับ 15.84 ± 1.34 mg/100 g น้ำหนักสด สูงกว่าหม่อนพันธุ์อื่น delphinidin เป็นแอนโทไซยานินอีกชนิดหนึ่งที่มีผลดีต่อสุขภาพ จากการวิเคราะห์ปริมาณ delphinidin ในผลหม่อนพันธุ์ต่างๆ จำนวน 8 สายพันธุ์ ตรวจพบเพียง 6 สายพันธุ์ มีปริมาณเฉลี่ยอยู่ในช่วง 2.37-20.47 mg/100 g น้ำหนักสด โดยผลหม่อนพันธุ์ไร่กำนันจุลมีปริมาณสูงที่สุดเท่ากับ 20.47 ± 1.69 mg/100 g น้ำหนักสด รองลงมาคือหม่อนพันธุ์วาวี พันธุ์นครราชสีมา 60 หม่อนพันธุ์เชียงใหม่ พันธุ์ชุมพร และพันธุ์กำแพงแสน ขณะที่หม่อนพันธุ์บุรีรัมย์ 60

และพันธูปีกุลทองตรวจไม่พบ นอกจากนี้ผลหม่อนยังตรวจพบ cyanidin ด้วยเช่นกันโดยมีปริมาณอยู่ในช่วง 0.82-4.67 mg/100 g น้ำหนักสด ขณะที่ pelargonidin มีปริมาณอยู่ในช่วง 0.35-5.46 mg/100 g น้ำหนักสด โดยผลหม่อนพันธูไร่ก้านันจุล และพันธูชุมพรมีปริมาณสูงที่สุดเท่ากับ 5.46 ± 0.40 mg/100 g น้ำหนักสด และ 4.73 ± 0.64 mg/100 g น้ำหนักสด ตามลำดับ สูงกว่าหม่อนพันธูอื่น แอนโทไซยานินชนิด malvidin มีปริมาณอยู่ในช่วง 2.83-8.92 mg/100 g น้ำหนักสด โดยผลหม่อนพันธูวาวี พันธูชุมพร และพันธูเชียงใหม่มีปริมาณสูงที่สุดเท่ากับ 8.92 ± 0.55 , 8.43 ± 0.62 และ 8.10 ± 0.59 mg/100 g น้ำหนักสด ตามลำดับ ผลรวมของปริมาณแอนโทไซยานิน 7 ชนิด ได้แก่ kuromanin (cyanidin 3-O-glucoside), keracyanidin (cyanidin-3-rutinoside), malvin (Malvidin 3,5-diglucoside), delphinidin, cyanidin, pelargonidin และ malvidin ในผลหม่อนพบว่าสามารถเรียงลำดับจากปริมาณสูงไปต่ำได้ดังนี้ พันธูไร่ก้านันจุล (204.93 ± 5.07 mg/100 g น้ำหนักสด) > พันธูชุมพร (176.77 ± 5.43 mg/100 g น้ำหนักสด) พันธูเชียงใหม่ (157.37 ± 4.07 mg/100 g น้ำหนักสด) พันธูนครราชสีมา 60 (155.33 ± 3.90 mg/100 g น้ำหนักสด) และพันธูบุรีรัมย์ 60 (147.64 ± 6.82 mg/100 g น้ำหนักสด) > พันธูปีกุลทอง (74.40 ± 4.57 mg/100 g น้ำหนักสด) > พันธูวาวี (51.15 ± 5.58 mg/100 g น้ำหนักสด) > พันธูกำแพงแสน (15.71 ± 2.59 mg/100 g น้ำหนักสด) แอนโทไซยานินชนิด kuromanin และ keracyanidin เป็นแอนโทไซยานินหลักที่พบมากที่สุดในการหม่อน โดยหม่อนพันธูไร่ก้านันจุลมีปริมาณเป็นแอนโทไซยานินสูงที่สุด รองลงมาคือพันธูชุมพร

จากการศึกษาการทดสอบการต้านออกซิเดชันของสารสกัดจากผลหม่อนด้วยวิธีการต่างๆ 3 วิธี ได้แก่ DPPH radical scavenging activity, Ferric reducing antioxidant power (FRAP) และ ABTS (2,2-azinobis [ethylbenzothiazoline-6-sulphonate]) assay พบว่ากิจกรรมการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH ของผลหม่อนสามารถเรียงลำดับจากต่ำไปสูงดังนี้ กำแพงแสน < เชียงใหม่ < ปีกุลทอง < ไร่ก้านันจุล < ชุมพร < วาวี < บุรีรัมย์ 60 < นครราชสีมา 60 โดยมีค่า EC_{50} เท่ากับ 1194.67 ± 10.06 , 1060.86 ± 14.42 , 594.30 ± 10.12 , 544.76 ± 13.07 , 503.69 ± 15.02 , 312.96 ± 18.15 , 269.01 ± 18.33 และ 241.83 ± 13.55 μ g/ml ตามลำดับ ในจำนวนนี้สารสกัดจากหม่อนพันธูนครราชสีมา 60 มีกิจกรรมการต้านออกซิเดชันสูงกว่าพันธูอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และวิธีที่ 2 จากการทดสอบกิจกรรมการต้านออกซิเดชัน Ferric reducing antioxidant power (FRAP) พบว่าสายพันธูที่ประสิทธิภาพการต้านออกซิเดชันสามารถเรียงลำดับจากต่ำไปสูงดังนี้ กำแพงแสน < เชียงใหม่ < ปีกุลทอง < ชุมพร < วาวี < บุรีรัมย์ 60 < นครราชสีมา 60 < ไร่ก้านันจุล โดยมีค่า FRAP เท่ากับ 11.71 ± 1.46 , 12.01 ± 1.25 , 16.17 ± 1.12 , 17.07 ± 1.53 , 21.96 ± 2.85 , 23.52 ± 2.44 , 39.74 ± 2.30 และ 42.28 ± 3.04 mg

Fe(II)/g ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าความสามารถในการต้านออกซิเดชันที่ตรวจวัดด้วยวิธี FRAP ให้ผลไปในทิศทางเดียวกันกับวิธี DPPH จากการทดลองนี้ผลหม่อนพันธุ์ไร้ก้านจูลและพันธุ์นครราชสีมา 60 มีความสามารถในการต้านออกซิเดชันสูงกว่าหม่อนพันธุ์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบฟลาโวนอยด์ และกรดฟีนอลิกบางชนิดกับฤทธิ์การต้านออกซิเดชัน พบว่ามีความสัมพันธ์กันสูงมากระหว่างปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ และกรดฟีนอลิกบางชนิดกับฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชัน ปริมาณ (+)-catechin มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($0.01 < p \leq 0.001$) และมีความสัมพันธ์เชิงลบกับค่า EC_{50} (วิเคราะห์ด้วย DPPH assay) กล่าวคือยิ่งมีปริมาณ (+)-catechin มากก็ยิ่งมีฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชันสูงตามไปด้วย และมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับกิจกรรมการต้านออกซิเดชันที่วิเคราะห์ด้วยวิธี ABTS อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($0.01 < p \leq 0.001$) ปริมาณ rutin มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($0.05 < p \leq 0.01$) ขณะที่ปริมาณ procyanidin B1 มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($0.01 < p \leq 0.001$) และมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับกิจกรรมการต้านออกซิเดชันที่วิเคราะห์ด้วยวิธี FRAP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($0.01 < p \leq 0.001$) แต่ไม่มีความสัมพันธ์กับค่า EC_{50} และไม่พบความสัมพันธ์ของปริมาณ quercetin กับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดหรือความสัมพันธ์กับค่า EC_{50} , FRAP หรือ ABTS สำหรับกรดฟีนอลิกก็มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดหรือความสัมพันธ์กับค่า EC_{50} เช่นเดียวกับฟลาโวนอยด์ ปริมาณ *p*-hydroxybenzoic acid มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $0.05 < p \leq 0.01$ และ $p \leq 0.05$ ตามลำดับ และมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับกิจกรรมการต้านออกซิเดชันที่วิเคราะห์ด้วยวิธี FRAP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($0.01 < p \leq 0.001$) แต่ไม่มีความสัมพันธ์กับค่า EC_{50}

ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับกิจกรรมการต้านออกซิเดชัน กล่าวคือกิจกรรมการต้านออกซิเดชันสูงขึ้นเมื่อสารสกัดจากผลหม่อนมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดสูง ซึ่งผลหม่อนแต่ละพันธุ์ที่มีสารประกอบฟีนอลิกสูงก็จะมีคุณสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชันสูงตามไปด้วย อย่างไรก็ตามก็พบว่าผลหม่อนแต่ละพันธุ์มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและความสามารถรวมในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH, FRAP และ ABTS แตกต่างกัน เนื่องมาจากพันธุ์ของหม่อนที่แตกต่างกัน สถานที่ในการเพาะปลูกที่แตกต่างกัน ความอุดมสมบูรณ์ และวิธีการดูแลรักษา ปัจจัยเหล่านี้ทำให้แต่ละตัวอย่างผลหม่อนแต่ละพันธุ์มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และความสามารถรวมในการต้านออกซิเดชันในแต่ละพื้นที่แตกต่างกันไป

ข้อเสนอแนะ

1. การเตรียมตัวอย่าง

1.1 เนื่องจากผลหม่อนเป็นผลไม้ที่บอบช้ำได้ง่าย ในการเก็บผลจึงเก็บผลควรทำด้วยความระมัดระวัง และนำผลมาวิเคราะห์หาค่าความชื้นโดยทันที

1.2 ในการเลือกใช้เทคนิคในการสกัดตัวอย่างควรเลือกใช้วิธีที่เหมาะสม และเป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุด เนื่องจากวิธีการสกัดที่แตกต่างกันจะได้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดต่างกันด้วย

2. การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ

2.1 ควรมีการศึกษาสารอาหารอื่นๆ ในผลหม่อนที่เป็นประโยชน์ต่อมนุษย์เพิ่มเติม ทั้งนี้เพื่อพัฒนาเป็นอาหารเสริมให้อยู่ในรูปแบบต่างๆ ที่หลากหลาย ซึ่งจะเป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่ผลิตภัณฑ์

2.2 ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในการศึกษาการใช้เทคโนโลยีหลังเก็บเกี่ยวที่ทันสมัยเพื่อใช้ในการรักษาคุณค่าทางโภชนาการของผลหม่อนก่อนถึงผู้บริโภค

2.3 ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงคุณค่าทางโภชนาการของผลหม่อนที่ผ่านการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ

3. การวิเคราะห์สารสำคัญและฤทธิ์ทางชีวภาพอื่นๆ

3.1 การวิเคราะห์ปริมาณสารบางตัวซึ่งมีปริมาณน้อยต้องใช้เครื่องมือและเทคนิคการวิเคราะห์ที่มีความแม่นยำสูง อีกทั้งผู้ใช้เครื่องมือที่มีความรู้ความชำนาญสูง

3.2 การวิเคราะห์ควรมีวิธีการที่หลากหลายและใช้วิธีอื่นประกอบเพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้

3.3 ควรมีการทดสอบความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระชนิดอื่นๆ เพิ่มเติม

3.4 ควรมีการศึกษาฤทธิ์การกำจัดอนุมูลอิสระจากส่วนต่างๆ ของหม่อน

3.5 ควรมีการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของส่วนต่างๆ ของหม่อนที่เป็นสารต้านออกซิเดชัน

เอกสารอ้างอิง

- กนกพร สมพรไพลิน. 2545. ผลของชีวสังเคราะห์แอนโธไซยานินต่อการควบคุมสีในพีช. วารสาร พระจอมเกล้าลาดกระบัง. 10(1) : ไม่มีเลขหน้า ; เมษายน, 2545.
- ช่อเพชร สระทองช่วง และ อรนาถ สุนทรวัฒน์. 2550. ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากผลพิศุลดิบ. ว. วิทย. กษ. 38: 59-62.
- นฤภัทร ฤทธิธินา, หิรัญรัตน์ สุวรรณที และอรนาถ สุนทรวัฒน์. 2550. ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดลูกหว่า. ว. วิทย. กษ. 38: 63-65.
- นุกูล อินทกุล. 2545. เอกสารประกอบการสอนเคมีอาหาร. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย.
- นิธิยา รัตปานนท์. เคมีอาหาร. กรุงเทพฯ : โอ.เอส. พรีนติ้ง เฮาส์, 2545.
- นิธิยา รัตนปนนท์ และ ดนัย บุญยเกียรติ. 2548. การปฏิบัติการภายหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- ธิติพันธ์ จันทพิมพ์. 2549. การเก็บรักษาหม่อนผลสดพันธุ์เชียงใหม่ (*Morus alba* var. Chiangmai). การค้นคว้าแบบอิสระวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัย เชียงใหม่.
- ประพันธ์ ปิ่นศิริโรตม และวันทนี ช่างน้อย. 2545. การเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและศักยภาพการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากเมล็ดพืชตระกูลส้มสายพันธุ์ต่างๆ ที่ปลูกในประเทศไทย. อาหาร. 32: 300-307.
- ปราโมทย์ สฤกษ์นรินทร์, อุไรวรรณ นิลเพชร, อรกมล ไกรวงศ์ และภาวัต พึงขจร. 2552. การผลิตหม่อนไหมครบวงจรเพื่อเกษตรยั่งยืน. อุทยานเทคโนโลยี 60 ปี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. แหล่งที่: http://www.rdi.ku.ac.th/Techno_ku60/res-26/index26.html, 12 มกราคม 2552.
- ปัทมาภรณ์ สุขบุญพันธุ์. 2546. ดัชนีการเก็บเกี่ยวของหม่อนผลสดพันธุ์เชียงใหม่ (*Morus alba* var. *Chiangmai*). การค้นคว้าแบบอิสระวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร), มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- พงศ์กมล พงศ์สยาม. 2547. การใช้วิธีทำให้เข้มข้นในการผลิตไวน์หม่อน (*Morus alba* L.). วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. คณะอุตสาหกรรมเกษตร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- มนต์วดี หุ่นเจริญและศศิธร ตรงจิตภักดี. 2552. ผลของระยะการเจริญเติบโตต่อแอนโทไซยานินและความสามารถต้านออกซิเดชันของผลหม่อนสายพันธุ์กำแพงแสน-เอ็มบี-42-1. คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ศิวาพร ศิวเวช. 2529. วัตถุดิบอาหาร. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. คณะอุตสาหกรรมเกษตร. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ศูนย์หม่อนไหมเฉลิมพระเกียรติฯ เชียงใหม่. 2550. หม่อนพันธุ์แนะนำ: หม่อนผลสดพันธุ์เชียงใหม่. ศูนย์หม่อนไหมเฉลิมพระเกียรติฯ เชียงใหม่. แหล่งที่มา:
http://chiangmaisilk.blogspot.com/2007/07/blog-post_2391.html, 5 สิงหาคม 2551.
- วสันต์ นัยภิรมย์. 2546. หม่อนรับประทานผลและการแปรรูป. สถาบันวิจัยหม่อนไหมเชียงใหม่ กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ : นันทกานต์กราฟฟิคการพิมพ์.
- วาริน แสงกิตติโกมล. 2543. ปริมาณรวมของสารต้านอนุมูลอิสระในผัก ผลไม้และสมุนไพร. วารสารสหเวชศาสตร์ 1: 11-18.
- สุรินทร์ บุญทราย. 2548. ผลของสายพันธุ์หม่อน ระยะความสุก และสายพันธุ์ยีสต์ ต่อคุณภาพของไวน์หม่อน. การค้นคว้าแบบอิสระวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- สุวรรณา ยาวิลเลิศ. 2548. การยืดอายุผลหม่อนหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อใช้ในการผลิตไวน์. การค้นคว้าแบบอิสระวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- โสภิตา ภูมิมาลา. 2544. รายงานวิชาสัมมนาภาคต้นปีการศึกษา 2544. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สันติ ทิพย์พงศ์. 2534. “แอนโทไซยานิน” สีส้มอาหาร. อาหาร, 21: 304-306.
- สันติ ทิพย์พงศ์ และวรรณ พันธ์นาวัน. 2544. เอกสารประกอบการประชุมเชิงปฏิบัติการ “การทดสอบฤทธิ์ทางชีวภาพเบื้องต้น.” คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- โอภา วัชรคุปต์, ปรีชา บุญจง, จันทนา บุญยะรัตน์ และมาลีรักษ์ อัดต์สินทอง. 2549. สารต้านอนุมูลอิสระ. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์พี เอส พรินท์, นนทบุรี.
- อัญญารัตน์ จิตไพศาลวัฒนา. 2543. การศึกษาองค์ประกอบพื้นฐานทางเคมีของลูกหว่า. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อัศจรรย์ สังข์ศิริพงษ์ และปิยาภรณ์ เชื้อมชัยตระกูล. 2548. รายงานการวิจัยเรื่อง การพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำลูกหม่อนผงโดยวิธีการอบแห้งแบบโฟมเมท. โครงการวิจัยอุตสาหกรรมสำหรับปริญญาตรี. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร สำนักวิชาอุตสาหกรรม

เกษตร มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง.

- Abeywardena, M. Y. and Head, R.J. 2001. Dietary polyunsaturated fatty acid and antioxidant modulation of vascular dysfunction in the spontaneously hypertensive rat. *Prostaglandins Leukotrienes and Essential Fatty Acids*. 65: 91–97.
- Akagi, K. and others. 1995. Modulating effects of elagic acid, vanillin and quercetin in a rat medium term multiorgan carcinogenesis model. *Cancer Lett*. 94: 113–121.
- Ana, Z., Maria, J.E., Isabel, F., and Ana, F. 2007. Vitamin C, vitamin A, phenolic compounds and total antioxidant capacity of new fruit juice and skim milk mixture beverages marketed in Spain. *Food Chemistry*. 103: 1365-1374.
- Arai, Y. 2000. Dietary intakes of flavonols, flavones and isoflavones by Japanese women and the inverse correlation between quercetin intake and plasma LDL cholesterol concentration. *Nutrition*. 130: 2243-2250.
- Artemio, Z.T., Neil, R.R., Faith, J.W., Peter, L.R., Ruiling, F., Joseph, C.S. and Raymond, M.A. 2008. Cyanidin 3-rutinoside and cyanidin 3-xylosylrutinoside as primary phenolic antioxidants in black raspberry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 56(6): 1880–1888.
- Bae, S.H. and Suh, H.J. 2006. Antioxidant activities of five different mulberry cultivars in Korea. Brazil : State University of Campinas.
- Bae, S.H. and Suh, H.J. 2007. Antioxidant activities of five different mulberry cultivars in Korea. *LWT-Food Science and Technology*. 40: 955-962.
- Balci, N. 1996. Meyve Sularında Organik Asit Dağılımı. In: Yüksek Lisans Semineri (Basilmamıs), Ankara Üniversitesi, Ankara (in Turkish).
- Banzouzi, J.T. and others. 2002. In vitro antiparasmodial activity of Extracts of *Alchornea cordifolia* and identification of an active constituent: Ellagic acid. *Ethnopharmacology*. 81 : 399-401 ; April.
- Bastianetto, S., Zheng, W.H. and Quirion, R. 2000. Neuroprotective abilities of resveratrol and other red wine constituents against nitric oxide related toxicity in cultured hippocampal neurons. *Br. J. Pharmacol*. 131: 711–720.

- Benavente-Garcia, O. and others. 1997. Uses and properties of *Citrus* flavonoids,” Agricultural and Food Chemistry. 45(12): 4505-4515.
- Benzie, I.F., and Strain, J.J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: the FRAP assay. Anal. Biochem. 239: 70-76.
- Bernards, M.A. and others. 1991. Caffeoyl glucosides in fungal challenged tomato suspension cultures. Phytochemistry. 30: 497–499.
- Bockian, A.H., Kepner, R.E. and Webb, A.D. 1995. Wine production, skin pigments of Cabernet Sauvignon grape and related progeny. J. Agric. Food Chem. 3: 695-699.
- Bradamante, S., Barenghi, L., Piccinini, F., Bertelli, A.A.E., De Jonge, R., Beemster, P. and De Jong, J.W. 2003. Resveratrol provides latephase cardioprotection by means of a NO and adenosine mediated mechanism. Eur. J. Pharmacol. 465: 115–123.
- Brito, E.S., Pessanha De Araujo, M.A., Alves, R.E., Carkeet, C., Clevidence, B.A., and Novotny, J.A. 2007. Anthocyanins present in selected tropical fruits: Acerola, Jambolão, Jussara, and Guajiru. J. Agric. Food Chem. 55: 9389–9394.
- Bub, A., Watzl, B., Heeb, D., Rechkemmer, G. and Briviba, K. 2001. Malvidin-3-glucoside bioavailability in humans after ingestion of red wine, dealcoholized red wine and red grape juice. European Journal of Nutrition. 40(3): 113-120.
- Butt, M.S., Nazir, A., Sultan, T.M. and Schroen, M. 2008. *Morus alba* L. nature’s functional tonic. Trends in Food Science & Technology. 19: 505-512.
- Cabrita, L. and others. 2002. Colour and stability of the six common anthocyanins 3-glucosides in aqueous solution. Food Chemistry. 68 : 101-107.
- Cai, Y., Luo, Q., Sun, M. & Corke, H. 2004. Antioxidant activity and phenolic compounds of 112 Chinese medicinal plants associated with anticancer. *Life Science*. 74: 2157–2184.
- Cao, G., Sofic, E. and Prior, R.L. 1997. Antioxidant and prooxidant behavior of flavonoids: structure activity relationships. Free Radical Biology Medicine. 22(5): 749-760.

- Carmela, F., Fausto, B., Michael, N., Giorgio, C.F. and Patrizia, H. 2005. In vitro antitumor activity of cyanidin-3-O- β -glucopyranoside. *Chemotherapy*. 51(6): 332–335.
- Castrejon, A.D.R., Eichholz, I., Rohn, S., Kroh, L.W. and Huyskens-Keil, S. 2008. Phenolic profile and antioxidant activity of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) during fruit maturation and ripening. *Food Chemistry*. 109: 564–572.
- Chabot, S. and others. 1992. Hyphal growth promotion *in vitro* of the VA mycorrhizal fungus, *Gigaspora margarita* Becker & Hall, by the activity of specific flavonoid compounds under CO₂-enriched conditions. *New Phytology*. 122(3): 461–467.
- Chen, C. 2006. Quantitative determination of resveratrol and polydatin in mulberry using RP-HPLC. *China Pharmaceut*. 15: 25–26.
- Chen, J.H. and C.-T. Ho. 1997. Antioxidant activities of caffeic acid and its related hydroxycinnamic acid compounds. *Agricultural Food Chemistry*. 45: 2374–2378.
- Chu, Q., Lin, M., Tian, X. and Ye, J. 2006. Study on capillary electrophoresis-amperometric detection profiles of different parts of *Morus alba* L. *J. Chromatogr. A*. 1116: 286–290.
- Cowan, M. M. 1999. Plant products as antimicrobial agents. *Clinical Microbiology Review*. 12(4): 564–582.
- Cunha, S.C., Fernandes, J.O. and Ferreira, I.M.L.V.O. 2002. HPLC/UV determination of organic acids in fruit juices and nectars. *Eur. Food Res. Technol*. 214: 67–71.
- Dewanto, V., Wu, X., Adom, K.K. & Liu, R.H. 2002. Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50: 3010–3014.
- Dhiraj, A. V. and Kalidas, S. 2003. Ellagic acid production and phenolic antioxidant activity in cranberry pomace (*Vaccinium macrocarpon*) mediated by *Lentinus edodes* using a solid-state system, *Process Biochemistry*. 39: 367–379.

- Djeridane, A., Yousfi, M., Nadjemi, B., Boutassouna, D., Stocker, P. and Vidal, N. 2006. Antioxidant activity of some Algerian medicinal plants extracts containing phenolic compounds. *Food Chemistry*. 97: 654-660.
- Elisia, I. and others. 2006. Antioxidant assessment of an anthocyanin-enriched blackberry extract. *Food Chemistry*. 31(5) : 1052-1058.
- Elzaawely, A.A., Xuan, T.D. & Tawata, S. 2007. Essential oils, kava pyrones and phenolic compounds from leavess and rhizomess of *Alpinia zerumbet* and their antioxidant activity. *Food Chemistry*. 103, 486–494.
- Ercisli, S. and Orhan, E. 2006. Chemical composition of white (*Morus alba*), red (*Morus rubra*) and black (*Morus nigra*) mulberry fruits. *J. Food Sci.* Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Ataturk University.
- Ercisli, S. and Orhan, E. 2007. Chemical composition of white (*Morus alba*) red (*Morus rubra*) and black (*Morus nigra*) mulberry fruits. *Food Chem.* 103: 1380–1384.
- Ercisli, S. and Orhan, E. 2008. Some physico-chemical characteristics of black mulberry (*Morus nigra* L.) genotypes from Northeast Anatolia region of Turkey. *Scientia Horticulturae*. 116: 41–46.
- Fennema, O.R., Karel, M., sanderson, G.W. and Whitaker, J.R. 2001. Green tea; Health benfits and applications. Marcel Dekker, Inc, USA., 252 p.
- Ferguson, L.R, Shuo-tun, Z. and Harris, P.J. 2005. Antioxidant and antigenotoxic effects of plant cell wall hydroxycinnamic acids in cultured HT-29 cells. *Molecular Nutrition & Food Research*. 49(6): 585-593.
- Ferreira, R.M., Vina, S.Z., Mugrid, A. and Chaves, A.R. 2007. Growth and ripening season effects on antioxidant capacity of strawberry cultivar Selva. *Scientia Horticulturae*. 112: 27-32.
- Finger, A., Engelhardt, U.H. and Wray, V. 1991. Flavonol glycosides in tea-kaempferol and quercetin rhamnoglucosides. *Science Food Agricultural*. 55: 313–321.
- Franke, A.A., Custer, L.J., Arakaki, C. and Murphy, S.P. 2004. Vitamin C and flavonoid levels of fruits and vegetables consumed in Hawaii. *Journal of Food Composition and Analysis*. 17: 1–35.

- Gaberscik, A. and others. 2002. Growth and production of buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) treated with reduced, ambient and enhanced UV-B radiation. Photochemistry and Photobiology B: Biology. 66: 30–36.
- Gerasopoulos, D. and Stavorulakis, G. 1997. Quality characteristics of four mulberry (*Morus sp*) cultivars in the area of China, Greece. Journal of the Science of Food and Agriculture. 73 : 261-264, 1997.
- Ghosh, S., Ashish, S. and Adinpunya, M. 2006. Formation of vanillic acid from ferulic acid by *Paecilomyces variotii* MTCC 6581. Current Science. 90(6): 825-829.
- Golkar, L., Ding, X.Z., Ujiki, M.B., Salabat, M.R., Kelly, D.L., Scholtens, D., Fought, A.J., Bentrem, D.J., Talamonti, M.S., Bell, R.H. and Adrian, T.E. 2007. Resveratrol inhibits pancreatic cancer cell proliferation through transcriptional induction of macrophage inhibitory cytokine-11. J. Surg. Res. 138: 163–169.
- Goupy, P.M. and others. 1990. Identification and localization of hydroxycinnamoyl and flavonol derivatives from endive (*Cichorium endivia* L. cv. geante Maraichere) leaves. Agricultural and Food Chemistry. 38: 2116–2121.
- Green, R.C. 2007. Physicochemical properties and phenolic composition of selected Saskatchewan fruits: buffaloberry, chokecherry and sea buckthorn. Ph.D. Thesis, Saskatchewan University.
- Gu, L., Kelm, M.A., Hammerstone, J.F., Beecher, G., Holden, J., Haytowitz, D., Gebhardt, S. and Prior, R.L. 2004. Concentrations of proanthocyanidins in common foods and estimations of normal consumption. J. Nutr. 134: 613-617.
- Gundogdu, M., Muradoglu, F., Gazioglu Sensoy, R.I. and Yilmaz, H. 2011. Determination of fruit chemical properties of *Morus nigra* L., *Morus alba* L. and *Morus rubra* L. by HPLC. Scientia Horticulturae. 132: 37–41.
- Gungor, N., Sengul, M. 2008. Antioxidant activity, total phenolic content and selected physicochemical properties of white mulberry (*Morus alba* L.) fruit. International Journal of Food Properties, 11: 44–52.

- Guo, Q. and others. 1999. ESR study on the structure-antioxidant activity relationship of tea catechins and their epimers. *Biochemistry Biophysic Acta*. 1427(1): 13-23.
- Guthrie, N. and Carroll, K.K. 1998. Inhibition of mammary cancer by citrus flavonoids. In: JA Manthey, BS Buslig., eds. *Flavonoids in the Living System*. NewYork: Plenum Press, 1998; 227–236.
- Haslam, E. 1996. Natural polyphenols (vegetable tannins) as drugs: possible modes of action. *Natural Product*. 59: 205–215.
- Hassimotto, N.M.A., Vieira da Mota, R., Cordenunsi, B.R. and Lajolo, F.M. 2008. Physico-chemical characterization and bioactive compounds of blackberry fruits (*Rubus* sp.) grown in Brazil. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas. 28(3): 702-708.
- Herrmann, K. 1989. Occurrence and content of hydroxycinnamic and hydroxybenzoic acid compounds in food. *Critical Review Food Science Nutrition*. 28: 315–347.
- Herrmann, K. 1988. On the occurrence of flavonol and flavone glycosides in vegetables: a review. *Lebensm-Unters Forsch*. 186: 1–5.
- Ho, K.Y. and others. 2001. Antimicrobial activity of tannin components from *Vaccinium vitisidaea* L.. *Pharmacy Pharmacology*. 53(2): 187-191.
- Holasova, M. and others. 2001. Buckwheat – the source of antioxidant activity in functional foods. *Food Research International*. 35: 207–211.
- Huang, D., Ou, B. and Prior, R.L. 2005. The chemistry behind antioxidant capacity assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 53: 1841-1856.
- Hümmer, W. and Schreier, P. 2008. Analysis of proanthocyanidins. *Mol. Nutr. Food Res*. 52: 1381-1398.
- Hyun, J.W. and Chung, H.S. 2004. Cyanidin and malvidin from *Oryza sativa* cv. Heugjinjubyeo mediate cytotoxicity against human monocytic leukemia cells by arrest of G(2)/M phase and induction of apoptosis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 52(8): 2213-2217.

- Ibewuiké, J. C. and others. 1997. Antiinflammatory and antibacterial activities of C-methylflavonoids from *Piliostigma thonningii*. *Phytother Research*. 11(4): 281-284.
- Igarashi, K. 2000. Preventive effects of dietary cabbage acylated anthocyanins on paraquat-induced oxidative stress in rats. *Bioscience Biotechnology Biochemistry*. 64(8): 1600-1607.
- Inoue, T., Sugimoto, K., Matsuda, H. and Kamei, C. 2002. Anti-allergic effect of flavonoid glycosides obtained from *Mentha piperita*. *Biol. Pharm. Bull.* 25(2): 256-259.
- Isabelle, M., Lee, B.L., Ong, C.N., Liu, X. and Huang, D. 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.
- Jack, N. L. 2004. In vitro anti-proliferative activities of ellagic acid. *Nutritional Biochemistry*. 15: 672-678.
- Jakobek, L., Seruga, M., Seruga, B., Novak, I. And Medvidovic-Kosanovic, M. 2009. Phenolic compound composition and antioxidant activity of fruits of *Rubus* and *Prunus* species from Croatia. *International Journal of Food Science and Technology*. 44: 860-868.
- Jasna, B., Urska, D., Mojea, J. and Terezija, G. 2007. Evaluation of the phenolic content, antioxidant activity and colour of Slovenian honey. *Food Chemistry* 105: 822-828.
- Javanmardi, J., Stushnoff, C., Lock, E. and Vivanco, J.M. 2003. Antioxidant activity and total phenolics content of Iranian *Ocimum* accessions. *Food chemistry* 83: 547-550.
- Jeremy, P. and others. 2001. Epicatechin and its *in Vivo* metabolite, 3'-O-methyl epicatechin, protect human fibroblasts from oxidative-stress-induced cell death involving caspase-3 activation. *Biochemistry*. 354: 493-500.

- Jin-Yuarn, L. and Ching-Yin, T. 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.
- Jurikova, T., Rop, O., Mlcek, J., Sochor, J., Balla, S., Szekeres, L., Hegedusova, A., Hubalek, J., Adam, V. and Kizek, R. 2012. Phenolic profile of edible honeysuckle berries (genus *Lonicera*) and their biological effects. *Molecules*. 17: 61-79.
- Jussi-Pekka, R. 2001. The search for biological activity in finnish plant extracts containing phenolic compounds. Finland : University of Helsinki.
- Kahkonen, M. P., Hopia, A.I. and Vuorela, H.J. 1999. Antioxidant activity of plant extracts containing phenolic compounds. *Agricultural and Food Chemistry*. 47: 3954–3962.
- Karpinska, M., Borowski, J. and Danowska-Oziewicz, M. 2000. The use of natural antioxidants in ready-to-serve food. *Food Chemistry*. 72: 5-9.
- Kayser, O. and Kolodziej, H. 1997. Antibacterial activity of extracts and constituents of *Pelargonium sidoides* and *Pelargonium reniforme*. *Planta Medicine*. 63(6): 508-510.
- Kim, D.O., Jeong, S.W. and Lee, C.Y. 2003. Antioxidant capacity of phenolic phytochemicals from various cultivars of plums. *Food Chemistry*. 81: 321-326.
- Kim, Y.M., Yun, J., Lee, C.K., Lee, H., Min, K.R. and Kim, Y. 2002. Oxyresveratrol and hydroxystilbene compounds: inhibitory effect on tyrosinase and mechanism of action. *J. Biol. Chem*. 277: 16340–16344.
- Kiyomi, K. and others. 1983. Reaction of p-hydroxycinnamic acid derivatives with nitrite and Its relevance to nitrosamine formation. *Agricultural and Food Chemistry*. 31(4): 780-785.
- Koyuncu, F. 2004. Organic acid composition of native black mulberry fruit. *Chemistry of Natural Compounds*. 40(4): 367-369.
- Kumamoto, M. and Sonda, T. 1998. Evaluation of the antioxidative activity of tea by an oxygen electrode method. *Bioscience Biotechnology Biochemistry*. 62: 175-177.

- Krkoskova, B. and Mrazova, Z. 2005. Prophylactic components of buckwheat. Food Research International. 38: 561–568.
- Lee, H. A., Wicker, L. 1991. Anthocyanin pigments in the skin of lychee fruit. Journal of Food Science, 56: 466–468.
- Lima, V.L.A.G., Mero, E.A., Maciel, M.I.S., Prazeres, F.G., Musser, R.S. and Lima, D.E.S. 2005. Total phenolic and carotenoid contents in acerola genotypes harvested at three ripening stages. Food Chemistry. 90: 565-568.
- Li, X. C., Elsohly, H.N. and Clark, A.M. 2000. 7-Caffeoylsedoheptulose from *Nyssa Sylvatica*. Phytochemistry. 53: 1033–1037.
- Lin, J.Y. and Tang, C.Y. 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.
- Lopes-Lutz, D., Dettmann, J., Nimalaratne, C. and Schieber, A. 2010. Characterization and quantification of polyphenols in amazon grape (*Pourouma cecropiifolia* Martius). Molecules. 15: 8543-8552.
- Luximon-Ramma, A., Bahorun, T. and Crozier, A. 2003. Antioxidant actions and phenolic and vitamin C contents of common Mauritian exotic fruits. J. Sci. Food Agr. 83: 496-502.
- Lu, Y. and Foo, L.Y. 1999. The polyphenolic constituents of grape pomace. Food Chemistry. 65: 1–8.
- Mahmood, T., Anwar, F., Abbas, M. and Saari, N. 2012. Effect of maturity on phenolics (phenolic acids and flavonoids) profile of strawberry cultivars and mulberry species from Pakistan. Int. J. Mol. Sci. 13: 4591-4607.
- Manach, C., Mazur, A. and Scalbert, A. 2005. Polyphenols and prevention of cardiovascular diseases. Current Opinion in Lipidology. 16: 77–84.
- Mary-Jean, D. and K. Isadore. 2004. High-performance liquid chromatographic determination of selected flavonoids in ginkgo biloba solid oral dosage forms. Pharm Pharmaceut Science. 7(3): 303-309.
- Mazza, G. and E. Minitiati. 1993. Introduction, anthocyanin in fruits, vegetables, and grains. Boca raton FL : CRC Press (Chapter 1).

- Mazza, G., Juan, E.C., and Colin, D.K. (2004). Methods of analysis for anthocyanins in plants and biological fluids. *Journal of AOAC International*, 87 : 128-145.
- Memon, A.A., Memon, N., Luthria, D.L., Bhanger, M.I. and Pitafi, A.A. 2010. Phenolic acids profiling and antioxidant potential of mulberry (*Morus laevigata* W., *Morus nigra* L., *Morus alba* L.) leaves and fruits grown in Pakistan. *Pol. J. Food Nutr. Sci.* 60(1): 25-32.
- Mendoza-Wilson, A. M. and Glossman-Mitnik, D. 2006. Theoretical study of the molecular properties and chemical reactivity of (C)-catechin and (K)-epicatechin related to their antioxidant ability. *Journal of Molecular Structure: THEOCHEM*. 761: 97–106.
- Menichini, F., Tundis, R., Bonesi, M., Loizzo, M.R., Conforti, F., Statti, G., Cindio, B.D. Houghton, P.J. and Menichini, F. 2009. The influence of fruit ripening on the phytochemical content and biological activity of *Capsicum chinense* Jacq. Cv Habanero. *Food Chemistry*. 114: 553-560.
- Meyer, A.S. 1997. Inhibition of human low-density lipoprotein oxidation in relation to composition of phenolic antioxidants in grapes (*Vitis vinifera*). *Agricultural and Food Chemistry*. 45: 1638–1643.
- Mikeš, O., Vrchotová, N., Triska, J., Kyseláková, M., Šmidrkal, J. 2008. Distribution of major polyphenolic compounds in vine grapes of different cultivars growing in South Moravian vineyards. *Czech J. Food Sci.* 26: 182–189.
- Mori, A. and others. 1987. Antibacterial activity and mode of action of plant flavonoids against *Proteus vulgaris* and *Staphylococcus aureus*. *Phytochemistry*. 26(8): 2231-2234.
- Mouat, M. F. and others. 2005. The effect of quercetin on SW480 human colon carcinoma cells: a proteomic study. *Nutritional*. 4: 11.
- Murakami, M. Yamaguchi, T., Takamura, H., Motaba, T. 2004. Effect of thermal treatment on radical-scavenging activity of single and mixed polyphenolic compounds. *J. Food Prot.* 64(1): 7-10.
- Nishino, C. and others. 1987. Antibacterial activity of flavonoids against *Staphylococcus epidermidis*, a skin bacterium. *Agricultural Biology Chemistry*. 51(1): 139-143.

- Nishizawa, K. and others. 1990. Some biologically active tannins of *Nuphar Variegatum*. *Phytochemistry*. 29(8): 2491-2494.
- Noda, Y. 2000. Antioxidant activity of nasunin, an anthocyanin in eggplant peels. *Toxicology*. 148(2-3): 119-123.
- Okada, F. and others. 1999. Calorimetric analysis of antimicrobial effect of p-hydroxybenzoic acid alkyl esters. *Biocontrol Science*. 4: 67-73.
- Oktaç, M., Gulcin, I. & Kufrevioglu, O.I. 2003. Determination of *in vitro* antioxidant activity of fennel (*Foeniculum vulgare*) seed extracts. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technology*. 36, 263-271.
- Oki, T., Kobayashi, M., Nakamura, T., Okuyama, A., Masuda, M., Shiratsuchi, H. and Suda, I. 2006. Changes in radical-scavenging activity and components of mulberry fruit during maturation. *Journal of Food Science*. 71(1): 18-22.
- Oki, T., Kobayashi, M., Nakamura, T., Okuyama, A., Masuda, M., Shiratsuchi, H. and Suda, I. 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.
- Ortuño, A., Garcia-Puig, D., Fuster, M.D., Pérez, M.L., Sabater, F., Porras, I., Garcia-Lidon, A. and Del Rio, A.J. 1995. Flavanone and nootkatone levels in different varieties of grapefruit and pummelo. *J Agric Food Chem*. 43: 1-5.
- Ou, B., Huang, D., Woodill, M.H., Flanagan, J.A. and Deemer, E.K. (2002). Analysis of antioxidant activities of common vegetables employing oxygen radical absorbance capacity (ORAC) and ferric reducing antioxidant power (FRAP) assays: a comparative study. *J. Agric. Food Chem*. 50: 3122-3128.
- Ozgen, M., Durgac, C., Serce, S. And Kaya, C. 2008. Chemical and antioxidant properties of pomegranate cultivars grown in the Mediterranean region of Turkey. *Food Chemistry*. 111: 703-706.

- Ozgen, M., Serce, S. and Kaya, C. 2009. Phytochemical and antioxidant properties of anthocyanin-rich *Morus nigra* and *Morus rubra* fruits. *Sci. Hortic.* 119: 275–279
- Ozgen, M., Wyzgoski, F.J., Tulio, A.Z.Jr., Gazula, A., Miller, A.R. and Scheerens, J.C., Neil Reese, R. and Wright, S.R. 2008. Antioxidant capacity and phenolic Antioxidants of Midwestern black raspberries grown for direct markets Are influenced by production site. *Hortscience.* 43(7): 2039–2047.
- Ozkaya, H. 1988. Analitik Gıda Kalite Kontrolü. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Ankara, Yayın No: 1086, pp. 43–46.
- Pablo, S. and others. 2005. Myricetin, quercetin and catechin-gallate inhibit glucose uptake in isolated rat adipocytes. *Biochemistry.* 386: 471–478.
- Parmar, N. S. and Ghosh, M.N. 1980. Current trends in flavonoid research. *Natural Product.* 12(4): 213-288.
- Park, C. H. and others. 2000. Rutin content in food products processed from groats, leaves and flowers of buckwheat. *Fagopyrum.* 17: 63–66.
- Pawlowska, A.M., Oleszek, W. and Braca, A. 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.
- Pawlowski, M.A., Oleszek, W. and Braca, A. 2008. Quali-quantitative analyses of flavonoids of *Morus nigra* L. and *Morus alba* L. (Moraceae) fruits. *J. Agric. Food Chem.* 56: 3377–3380.
- Pei-Ni, C., Shu-Chen, C., Hui-Ling, C., Wu-Hsien, K., Chui-Liang, C. and Yih-Shou, H. 2006. Mulberry anthocyanins, cyanidin 3-rutinoside and cyanidin 3-glucoside, exhibited an inhibitory effect on the migration and invasion of a human lung cancer cell line. *Cancer Letters.* 235(2): 248–259.
- Pietta, P. G. 2000. Flavonoids as antioxidants. *Natural Product.* 63(7) : 1035-1342.
- Prakash, A. (2001). Antioxidant Activity. Takes you into the heart of giant resource, 19 : 1-6.
- Puupponen-Pimia, R. and others. 2001. Antimicrobial properties of phenolic compounds from berries. *Journal of Applied Microbiology.* 90: 494-507.

- Ribera, A.E., Reyes-Díaz, M., Alberdi, M., Zuñiga, G.E. and Mora, M.L. 2010. Antioxidant compounds in skin and pulp of fruits change among genotypes and maturity stages in Highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) grown in southern Chile. *J. Soil. Sci. Plant Nutr.* 10(4): 509-536.
- Rice-Evans, C. A. and others. 1995. The relative antioxidant activities of plant-derived polyphenolic flavonoids. *Free Radical Research.* 22(4): 375-383.
- Rice-Evans, C.A. 1995. The relative antioxidant activities of plant-derived polyphenolic flavonoids. *Free Radical Research.* 22(4): 3785-3793.
- Robards, K. and Antolovich, M. 1997. Analytical chemistry of fruit bioflavonoids: A Review. *Analytical.* 122(2): 11-34.
- Rozema, J. and others. 2002. The role of UV-B radiation in aquatic and terrestrial ecosystems an experimental and functional analysis of the evolution of UV-B absorbing compounds. *Photochemistry and Photobiology B.* 66: 2–12.
- Russell, W.R., Labat, A., Scobbie, L., Duncan, G.J. and Duthie, G.G. 2009. Phenolic acid content of fruits commonly consumed and locally produced in Scotland. *Food Chemistry.* 115: 100–104.
- Sabalitschka, T. 1930. Application of ethyl p-hydroxybenzoate in maintenance of sterility, in sterilization and in disinfection. *Archives of Pharmacy.* 268: 653–673.
- Sakanaka, S. and others. 1989. Antibacterial substances in Japanese green tea extract against *Streptococcus mutans*, a cariogenic bacterium. *Agricultural Biology Chemistry.* 53(9): 2307-2311.
- Samman, S., Wall, P.M.L., Cook, N.C. Flavonoids and coronary heart disease: Dietary perspectives. In: JA Manthey., BS Buslig., eds. *Flavonoids in the Living System.* NewYork: Plenum Press, 1999: 469–481.
- Sangkittikomol, W. 2003. Comparison of antioxidant activities and total phenolics in tea extracts. *J. Allied health sciences.* 3: 100-108.
- Sasaki, R., Nishimura, N., Hoshino, H., Isa, Y., Kadowaki, M., Ichi, T., Tanaka, A. and Nishiumi, S. 2007. Cyanidin 3-glucoside ameliorates hyperglycemia and insulin sensitivity due to downregulation of retinol binding protein 4 expression in diabetic mice. *Biochemical Pharmacology.* 74(11): 1619–1627.

- Schobinger, U. 1988. Meyve ve Sebze Üretim Teknolojisi. Basımevi, Ankara, pp. 63–64.
- Seeram, N.P., Henning, S.M., Lee, R., Niu, Y., Scheuller, H.S. & Heber, D. 2006. Catechin and caffeine contents of green tea dietary supplements and correlation with antioxidant activity. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 54: 1599–1603.
- Seifried, H.E., Anderson, D.E., Fisher, E.I. and Milner, J.A. 2007. A review of the interaction among dietary antioxidants and reactive oxygen species. *Journal of Nutritional Biochemistry*. 18: 567-579.
- Shan, B., Cai, Y.Z., Sun, M. & Corke, H. 2005. Antioxidant capacity of 26 spice extracts and characterization of their phenolic constituents. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 53, 7749–7759.
- Shin, M.S., Kang, E.H. and Lee, Y.I. 2005. Flavonoid from medicinal plants blocks hepatitis B virus-e antigen secretions in HBV-infected hepatocyte. *Antiviral Research*. 67 (3): 163–167.
- Shin, N.H., Ryu, S.Y., Choi, E.J., Kang, S.H., Chang, I.M., Min, K.R. and Kim, Y. 1998. Oxyresveratrol as the potent inhibitor on dopa oxidase activity of mushroom tyrosinase. *Biochem. Biophys. Res. Commun*. 243: 801–803.
- Silva, B.M., Andrade, P.B., Mendes, G.C., Seabra, R.M. and Ferreira, M.A. 2002. Study of the organic acids composition of quince (*Cydoniaob longa* Miller) fruit and jam. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 50: 2313–2317.
- Singleton, V.L. and Rossi, J.A. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*. 17: 144–158.
- Song-Hwan, B. and Hyung-Joo, S. 2007. Antioxidant activities of five different mulberry cultivars in Korea. *LWT*, 40: 955–962.
- Song, W., Wang, H.J., Bucheli, P. and Zhang, P.F., Wei, D.Z. and Lu, Y.H. 2009. Phytochemical profiles of different mulberry (*Morus* sp.) species from China. *J. Agric. Food Chem*. 57: 9133-9140.
- Spillman, P. J. and others. 1997. Accumulation of vanillin during barrel aging of white, Red, and Model Wines,” *Agricultural Food Chemistry*. 45 : 2584-2589.

- Steinberg, D. and others. 1999. The effect of parabens in a mouthwash and incorporated into a Sustained Release Varnish on Salivary Bacteria,” *Dentistry*. 27 : 101–106.
- Sultana, B. and Anwar, F. 2008. Flavonols (kaempferol, quercetin, myricetin) contents of selected fruits, vegetables and medicinal plants. *Food Chemistry*. 108: 879–884.
- Talcott, S.T. and Lee, J.H. 2002. Ellagic acid and flavonoid antioxidant content of muscadine wine and Juice,” *Agricultural and Food Chemistry*. 50 : 3186–3192.
- Tokusoglu, O., Unal, M. K. and Yildirim, Z. 2003. HPLC–UV and GC–MS characterization of the flavonol aglycons quercetin, kaempferol and myricetin in tomato pastes and other tomato-based products. *Acta Chromatographica*. 13: 196–207.
- Torres, A.M., Mau-Lastovicka, T. and Rezaeiyan, R. 1987. Total phenolics and high-performance liquid chromatography of phenolic acids of avocado. *Agricultural and Food Chemistry*. 35: 921–925.
- Tsai, P.J. and others. 2002. Anthocyanin and antioxidant capacity in Roselle (*Hibiscus Sabdariffa* L.) extract. *Food Research International*. 35 : 351–356.
- Tsanova-Savova, S., Ribarova, F. and Gerova, M. 2005. (+)-Catechin and (-)-epicatechin In Bulgarian fruits. *Journal of Food Composition and Analysis*. 18: 691–698.
- Tsuda, T. 2000. The role of anthocyanins as an antioxidant under oxidative stress in rats. *Biofactors*. 13(1-4): 133–139.
- Ueda, H., Yamazaki, C. and Yamazaki, M. 2002. Luteolin as an anti-inflammatory and anti-allergic constituent of *Perilla frutescens*. *Biol. Pharm. Bull.* 25(9): 1197–1202.
- Vattem, D. A., R. Ghaedian and K. Shetty. 2005. Enhancing health benefits of berries through phenolic antioxidant enrichment: focus on cranberry. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*. 14(2): 120–130.
- Vijaya, K., Ananthan, S. and Nalini, R. 1995. Antibacterial effect of theaflavin, polyphenon 60 (*Camellia sinensis*) and *Euphorbia hirta* on *Shigella* spp. . A cell culture study. *Ethnopharmacology*. 49(2): 115–118.

- Viljakainen, S., Visti, A. and Laakso, S. 2002. Concentrations of organic acids and soluble sugars in juices from Nordic berries. *Acta Agric Scand.* 52: 101–109.
- Vincent, B. and A. Ashwin. 2005. Tissue distribution of quercetin in rats and pigs. *Nutrition.* 135: 1718-1725.
- Waksmundzka-Hajnos, M. 1998. Chromatographic separations of aromatic carboxylic acids. *Chromatography.* 717: 93–118.
- Wang, S.Y. and Jiao, H. 2000. Scavenging capacity of berry crops on superoxide radicals, hydrogen peroxide, hydroxyl radicals, and singlet oxygen. *Journal of Agricultural Food Chemistry.* 48(11) : 5677-5684, 2000.
- Wang, Q., Xu, J., Rottinghaus, G.E., Simonyi, A., Lubahn, D., Sun, G.Y., Sun, A.Y. 2002. Resveratrol protects against global cerebral ischemic injury in gerbils. *Brain Res.* 958: 439–447.
- Wang, Y. J. and others. 1997. Stability of curcumin in buffer solutions and characterization of its degradation products. *Pharmacy Biomed Analytical.* 15: 1867-1876.
- Wenzel, U., Kuntz, S., Brendel, M. D. and Daniel, H. 2000. Dietary flavone is a potent apoptosis inducer in human colon carcinoma cells. *Cancer Res.* 60: 3823-3831.
- Whiteman, M., and Guan, T.T., (2003). Antioxidant actives of some tropical fruits. Department of Biochemmistry, Faculty of Medicine, National Univertsity of Singapore.
- Wolf, B. and others. 2004. Antioxidant mechanisms of polyphenolic caffeic acid oligomers, constituents of *Salvia officinalis*. *Biology Research.* 37: 301-311.
- Wong, C., Li, H., Cheng, K. & Chen, F. 2006. A systematic survey of antioxidant activity of 30 Chinese medicinal plants using the ferric reducing antioxidant power assay. *Food Chemistry.* 97: 705–711.
- Wu, X., Gu, L., Lrior, R.L. and McKay, S. 2004. Characterization of anthocyanins and proanthocyanidins in some cultivars of *Ribes*, *Aronia*, and *Sambucus* and their antioxidant capacity. *J. Agric. Food Chem.* 52: 7846–7856.

- Xueming, Y.; Liu, X.; Xiao, G.; Chen, W. and Wu, J. 2004. Quantification and purification of mulberry anthocyanins with macroporous resins. *J. of Biomedicine and Biotechnology*. 5: 362-331.
- Xu, Y. and others. 2003. DNA damaging activity of ellagic acid derivatives. *Bioorganism Medicine Chemistry*. 11: 1593–1596.
- Yamamoto, H., Inoue, K. and Yazaki, K. 2000. Caffeic acid oligomers in *Lithospermum erythrorhizon* cell suspension cultures. *Phytochemistry*. 53: 651–657.
- Yang, C., Yang, G.Y., Landau, J.M., Kim, S. and Liao, J. 1998. Tea and tea polyphenols inhibit cell hyperproliferation, lung tumorigenesis and tumor progression. *Experimental Lung Research*. 24: 629-639.
- Yen, G.C. and Chen, H.Y. 1995. Antioxidant activity of various tea extracts in relation to their antimutagenicity. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 43: 27-32.
- Zadernowski, R., Naczek, M. and Nesterowicz, J. 2005. Phenolic acid profiles in some small berries. *J. Agric. Food Chem.* 53: 2118–2124.
- Zhang, W., Han, F. and Duan, C. 2008. HPLC-DAD-ESI-MS/MS analysis and antioxidant activities of nonanthocyanin phenolics in mulberry (*Morus alba* L.). *J. Food Sci.* 73(51): 2–518.
- Zhishen, J., Mengcheng, T. and Jianming, W. 1999. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chemistry*. 64: 555-559.
- Zoecklein, B.W., Fugelsang, K.C., Gump, B.H., and Nury, F.S. (1995). *Wine Analysis and Production*. New York: Chapman & Hall.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก การเตรียมสารมาตรฐานในการวิเคราะห์

1. การเตรียมสารมาตรฐานสำหรับใช้ในการวิเคราะห์สารประกอบฟลาโวนอยด์ กรดฟีนอลิก และแคโรทีนอยด์

1.1 ฟลาโวนอยด์ (flavonols)

สารมาตรฐานฟลาโวนอยด์สั่งซื้อมาจาก Sigma-Aldrich (Steinheim, Germany) (-)-Epicatechin สั่งซื้อมาจาก Fluka AG (Buchs, Switzerland), Rutin สั่งซื้อมาจาก Alexis Biochemicals (Lausen, Switzerland) เตรียม stock standard solutions แยกกันที่ความเข้มข้น 500 $\mu\text{g/ml}$ โดยชั่งมา 10 mg ละลายใน เมทานอลปริมาตร 20 ml เก็บสารละลายโดยการแช่แข็ง สารมาตรฐานที่นำมาใช้งานที่มีความเข้มข้นระหว่าง 0.01-100 $\mu\text{g/ml}$ (100, 50, 25, 10, 2.5, 1, 0.5, 0.25, 0.1, 0.05 และ 0.01 $\mu\text{g/ml}$) เตรียมโดยการเจือจาง stock solution ด้วยเมทานอล จากนั้นหุ้มด้วยฟอยด์และเก็บสารละลายโดยการแช่แข็งรอการนำไปวิเคราะห์

1.2 กรดฟีนอลิก (phenolic acids)

สารมาตรฐานกรดฟีนอลิกสั่งซื้อมาจาก Sigma-Aldrich (Steinheim, Germany), luteolin สั่งซื้อมาจาก Roth (Karlsruhe, Germany), caffeic acid สั่งซื้อมาจาก Merck (Darmstadt, Germany), ellagic acid สั่งซื้อมาจาก Fluka Chemie AG (Buchs, Switzerland) เตรียมเป็นสารมาตรฐานโดยละลายในเมทานอลยกเว้น ellagic acid ที่ต้องละลายใน dimethyl sulphoxide ก่อนละลายในเมทานอล (1:4) ทำเจือจางสารมาตรฐานอยู่ในช่วง 1-240 $\mu\text{g/ml}$ และจาก 10-80 $\mu\text{g/ml}$ สำหรับ gallic acid เพื่อทำกราฟมาตรฐาน (Proestos *et al.*, 2006) ทั้ง stock/working solutions เก็บไว้ในที่มืดที่ -18°C

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

2.1 เตรียม stock solution ของ DPPH ที่มีความเข้มข้น 10 $\mu\text{g/ml}$ โดยชั่งสารละลายมาตรฐาน DPPH มา 1 mg ละลายในเมทานอล 10 ml แล้วปรับปริมาตรด้วยเมทานอลให้ได้ 100 ml ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน ปิดด้วยพาราฟิล์มและหุ้มด้วยกระดาษฟอยด์เพื่อไม่ให้ถูกแสง นำไปเก็บที่อุณหภูมิ -20°C เป็น stock solution

2.2 เมื่อต้องการ DPPH ความเข้มข้น 0.1 $\mu\text{g/ml}$ ปริมาตร 100 ml ก็นำ stock solution มาเจือจางโดยดูดมา 1 ml ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 ml แล้วปรับปริมาตรด้วยเมทานอลให้ได้ 100 ml ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันก่อนนำไปทำปฏิกิริยากับสารสกัดที่ต้องการทดสอบ

3. การเตรียมสารมาตรฐานกรดอินทรีย์

เตรียมสารมาตรฐานกรดอินทรีย์ที่ความเข้มข้นระหว่าง 0.5-20 mg/ml โดยเตรียมเป็น stock solution ที่ความเข้มข้น 50 mg/ml โดยชั่งมา 250 mg ละลายด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน 5 ml จากนั้นเจือจางให้มีความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่ 0.5, 1.0, 5.0, 10.0, 15.0 และ 20.0 mg/ml

ABTS⁺ reagent

1. ABTS⁺ 7.4 mM เตรียมโดยชั่ง ABTS⁺ มา 0.0203 g ละลายในน้ำกลั่น 5 ml
2. Potassium persulphate 2.6 mM เตรียมโดยชั่ง potassium persulphate มา 0.0035 g ในน้ำกลั่น 5 ml
3. ผสมสารในข้อ 1 และ 2 ในอัตราส่วน 1:1 ดูดมา 1 ml ละลายในเมทานอล 25 ml

FRAP reagent

1. FeCl₃.6H₂O 20 mM เตรียมโดยชั่ง FeCl₃.6H₂O มา 0.0270 g ละลายในน้ำกลั่น 5 ml
2. Acetate buffer 300 mM pH 3.6 เตรียมโดยชั่ง Sodium acetate มา 2.4609 g ละลายในน้ำ 100 ml ปรับ pH ให้ได้ 3.6
3. HCl 40 mM เตรียมโดยละลาย HCl ในน้ำในอัตราส่วน 1:1 จากนั้นดูดมา 0.66 ml เติมน้ำ 99.44 ml
4. TPTZ 10 mM เตรียมโดยชั่ง TPTZ มา 0.0156 g ละลายใน 40 mM HCl ปริมาตร 5 ml
5. ดูด TPTZ 10 mM มา 2.5 ml ผสมกับ FeCl₃.6H₂O 20 mM ปริมาตร 2.5 ml และผสมกับ Acetate buffer 300 mM pH 3.6 ปริมาตร 25 ml บ่มใน water bath ที่อุณหภูมิ 37°C นาน 30 นาที

Total phenolic reagent

1. Folin-Ciocalteu
2. Sodium carbonate anhydrous (Na₂CO₃) 7% เตรียมโดยละลาย Na₂CO₃ 7 กรัม ในน้ำ 100 ml
3. Gallic acid เตรียมที่ 1000 µg/ml

Total flavonoid reagent

1. 5% NaNO₂ เตรียมโดยชั่ง NaNO₂ มา 5 g ละลายในน้ำกลั่น 100 ml
2. 10% AlCl₃ เตรียมโดยชั่ง AlCl₃ มา 10 กรัม ในน้ำกลั่น 100 ml

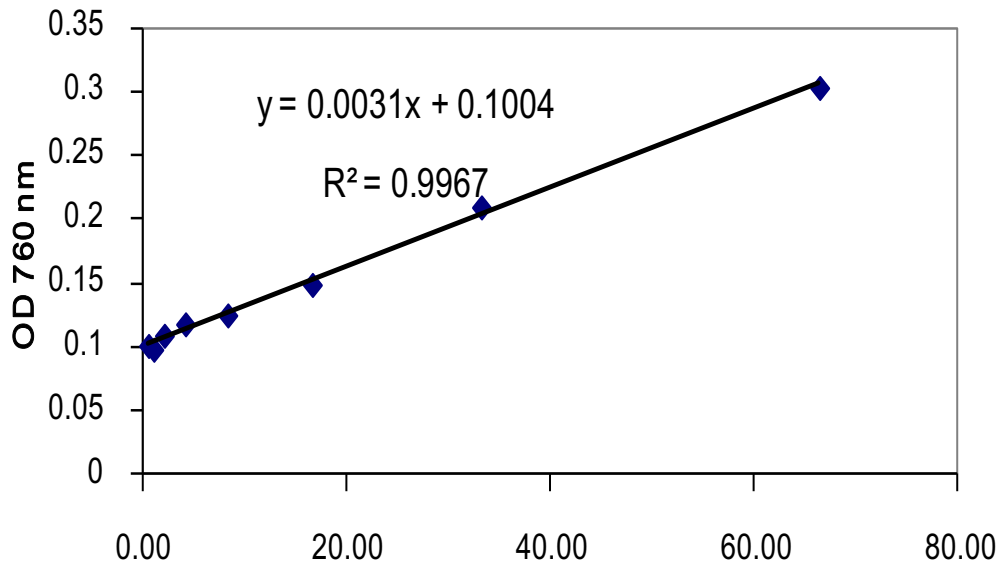
3. 1 M NaOH ปริมาตร 200 ml เตรียมโดยชั่ง NaOH มา 8 g เติมน้ำ 200 ml
4. Catechin 1000 $\mu\text{g/ml}$

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์สารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (Total polyphenol contents)

การตรวจวัดปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดจะใช้วิธีที่รายงานโดย [ประพันธ์และวันทนี \(2545\)](#) มีหลักการคือวัดปริมาณความเข้มข้นของสารประกอบทั้งหมดที่มีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ในโมเลกุล และไม่คำนึงถึงหลักโมเลกุลของสารประกอบโพลีฟีนอลนั้นๆ ดังนั้นการวิเคราะห์ในรูปแบบนี้ไม่มีการระบุชนิดของสารประกอบโพลีฟีนอลที่มีอยู่ในตัวอย่าง ซึ่งวิธีการวิเคราะห์เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยารีดักชัน-ออกซิเดชัน (reduction-oxidation) โดยที่สารประกอบโพลีฟีนอลถูกออกซิไดซ์ในสถานะที่เป็นต่าง จากนั้นผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจะไปรีดิวซ์สารประกอบเชิงซ้อนทั้งสติก-ฟอสโฟมอลิบดิก (phosphotungstic-phosphomolibdic complex) ได้ผลิตภัณฑ์เชิงซ้อนที่มีสีน้ำเงินและสามารถวัดค่าการดูดกลืนแสงได้ที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร

1. สารเคมี
 - 1.1 Folin-Ciocalteu (1:10 ในน้ำปราศจากไอออน)
 - 1.2 โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ความเข้มข้น 7 เปอร์เซ็นต์
 - 1.3 สารละลายกรดแกลลิก ความเข้มข้น 10 mg/ml
2. การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลในตัวอย่างสารสกัด
 - 2.1 ปิเปตตัวอย่างสารสกัด ปริมาตร 12.5 μl ใส่ในหลุมเพลต 96 หลุม
 - 2.2 เติมสารละลาย Folin-Ciocalteu ปริมาตร 12.5 μl และน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 12.5 μl ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 6 นาที
 - 2.3 เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 7 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 125 μl ผสมให้เข้ากัน และน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 100 μl ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 90 นาที
 - 2.4 วัดค่าการดูดกลืนแสงได้ที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร
 - 2.5 สำหรับ blank ให้ใช้น้ำปราศจากไอออนแทนตัวอย่างสารสกัดในข้อ 2.1
 - 2.6 สำหรับกราฟมาตรฐานกรดแกลลิกใช้สารมาตรฐานในแต่ความเข้มข้นแทนตัวอย่าง ทำตามขั้นตอนดังที่กล่าวไว้ในเบื้องต้น



ภาพผนวกที่ ข1 แสดงกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก

ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างสารสกัดเมื่อวัดค่าการดูดกลืนแสงได้ที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร ได้ค่าเท่ากับ 0.319 นำค่าที่ได้ในสมการ $y=0.0031x+0.1004$ เพื่อหาค่า x (ค่าปริมาณกรดแกลลิกในตัวอย่าง) เมื่อปริมาณสารสกัดที่ใช้เท่ากับ 0.0125 ml และสารสกัดที่ได้จากสมการ

$$y=0.0031x+0.1004$$

$$0.319=0.0031x+0.1004$$

$$X=70.52 \mu\text{g/ml}$$

ตัวอย่าง 1 ml มีปริมาณกรดแกลลิก 70.52 μg

เนื่องจาก ตัวอย่าง 11 ml ได้มาจากตัวอย่าง 1 กรัม

ถ้า ตัวอย่าง 1 ml มีปริมาณกรดแกลลิก 70.52 μg

ตัวอย่าง 11 ml มีปริมาณกรดแกลลิก 775.72 μg

เพราะฉะนั้น ตัวอย่าง 1 g มีปริมาณกรดแกลลิก อยู่ 775.72 μg

ถ้า ตัวอย่าง 100 g มีปริมาณกรดแกลลิก อยู่ 77572 μg หรือ 77.572 mg

ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH

การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH จะใช้วิธีที่รายงานโดย [Murakami และคณะ \(2004\)](#) โดยมีหลักการคือ สารละลายของอนุมูลอิสระ DPPH จะมีสีม่วง ซึ่งดูดกลืนแสงได้ที่ 517 นาโนเมตร ในกรณีตัวอย่างสารสกัดมีฤทธิ์ในการทำลายอนุมูลอิสระได้ดี จะทำให้สีม่วงแดงของสารละลาย DPPH จางลงได้มากกว่าตัวอย่างสารละลายที่มีฤทธิ์ในการทำลายอนุมูลอิสระน้อย

1. สารเคมี

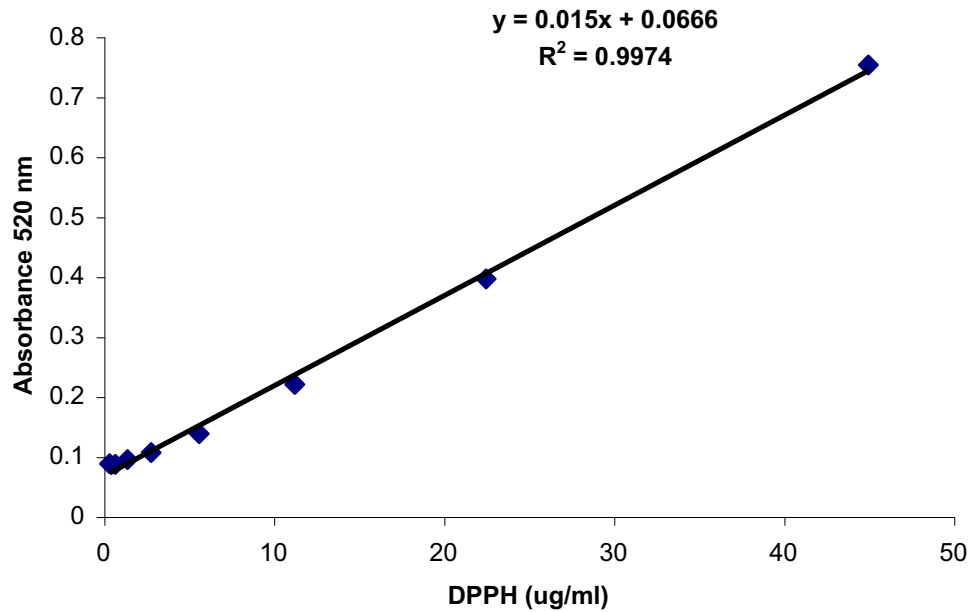
1. DPPH เตรียมที่ความเข้มข้น 45 $\mu\text{g/ml}$ ในเมทานอล
2. Ascorbic acid

2. วิธีวิเคราะห์

- 2.1 ปิเปตตัวอย่างสารสกัด/สารมาตรฐานปริมาตร 100 μl ใส่ในหลุม microplate แล้วเติมสารละลาย DPPH ปริมาตร 100 μl แบล็งก์ในเมทานอลแทน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที ในที่มืด
- 2.2 วัดค่าการดูดกลืนแสงได้ที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร คำนวณความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

3. การเตรียมกราฟมาตรฐานสารละลาย DPPH

เตรียมสารละลาย DPPH โดยให้ความเข้มข้นโดยรวมในหลอดทดลองเป็น 45, 22.5, 11.25, 5.625, 1.8125, 1.41, 0.70 และ 0.35 $\mu\text{g/ml}$ นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร ได้กราฟมาตรฐานของสารละลาย DPPH



ภาพผนวกที่ ค1 กราฟมาตรฐานของสารละลาย DPPH

4. ตัวอย่างการคำนวณ

4.1 สร้างกราฟมาตรฐานของสารละลาย DPPH โดยมีสมการเส้นตรงคือ

$$Y=0.015+0.0666 \text{ และค่า } R^2=0.9974 \text{ ดังแสดงในรูป}$$

4.2 นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง แทนค่าในสมการ

$$Y=0.015+0.0666 \text{ เพื่อหาค่าความเข้มข้นของสารละลาย DPPH ([DPPH]}_T\text{)}$$

4.3 นำค่าความเข้มข้นของสารละลาย DPPH ([DPPH]_T) ที่ได้จากการคำนวณมาแทนค่าในสมการ

$$\% \text{ DPPH ที่เหลือ} = [\text{DPPH}]_T / [\text{DPPH}]_{T=0} \times 100$$

โดยที่ [DPPH]_{T=0} คือ ความเข้มข้นของสารละลาย DPPH ขอลดควบคุม (control)

4.4 นำ % DPPH ที่เหลือมาเปลี่ยนให้อยู่ในหน่วยกรัม DPPH ที่เหลือตัวอย่าง เช่น

จากการทดลอง ความเข้มข้น DPPH ที่ใช้ โดยชั่ง DPPH มา 45 มิลลิกรัม มาละลายในเมทานอลปริมาตร 889 มิลลิลิตร

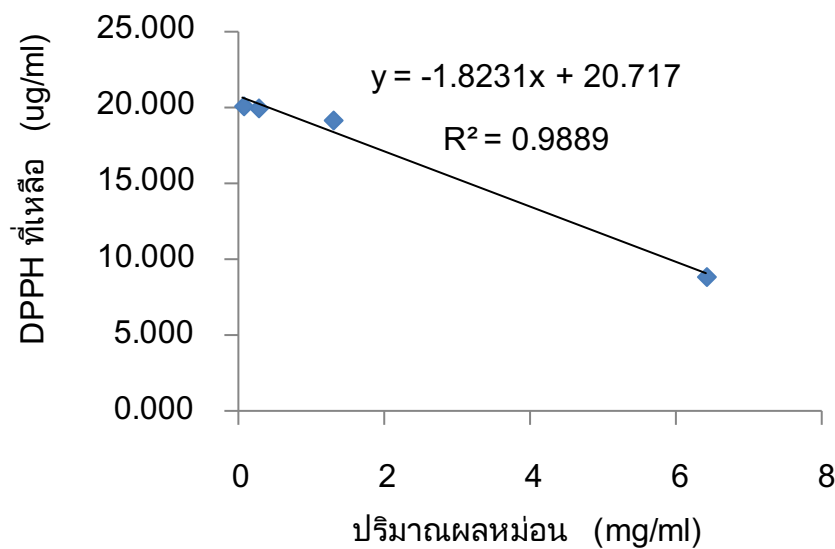
ดังนั้น สารละลาย DPPH 889 มิลลิลิตร มี DPPH อยู่ 45 มิลลิกรัม

สารละลาย DPPH ที่ใช้ 100 µl มี DPPH อยู่ 5.06×10^{-3} มิลลิกรัม

แสดงว่าในหลอดทดลองมี DPPH อยู่เท่ากับ 5.06×10^{-3} มิลลิกรัม

เพราะฉะนั้นนำค่า % DPPH ที่เหลือ $\times 5.06 \times 10^{-3}$ มิลลิกรัม
 เช่น % DPPH ที่เหลือเท่ากับ 50 เปอร์เซนต์ แสดงว่ามี DPPH เหลืออยู่ในหลอด
 เท่ากับ $\{(50/100) \times 5.06 \times 10^{-3}\}$ เท่ากับ 2.53×10^{-2} มิลลิกรัม
 หรือ 0.0253 มิลลิกรัม

นำปริมาณของตัวอย่าง (มิลลิกรัม) มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกรัม
 DPPH ที่ เหลือและปริมาณของตัวอย่าง (ไมโครกรัม) โดยให้อยู่ในแกน x
 4.5 นำค่ากรัม DPPH ที่เหลือ และลดความเข้มข้นของสารสกัด (มิลลิกรัม) ที่ได้จากการ
 คำนวณในข้อมาสร้างกราฟ



ภาพผนวกที่ ค2 กราฟปริมาณ DPPH ที่เหลือ เมื่อทดสอบกับผลหม่อนที่ความเข้มข้นต่างๆ

4.6 คำนวณค่า EC_{50} จากสมการเส้นตรงที่ได้จากกราฟในข้อ 4.5 นั่นคือ

$Y = -1.8231x + 20.717$ โดยให้ค่า $y = 0.0253$ มิลลิกรัม DPPH (เนื่องจาก
 สารสกัดมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ลง 50 เปอร์เซนต์
 แสดงว่ามี DPPH เหลืออยู่ในหลอด เท่ากับ 0.0253 มิลลิกรัม

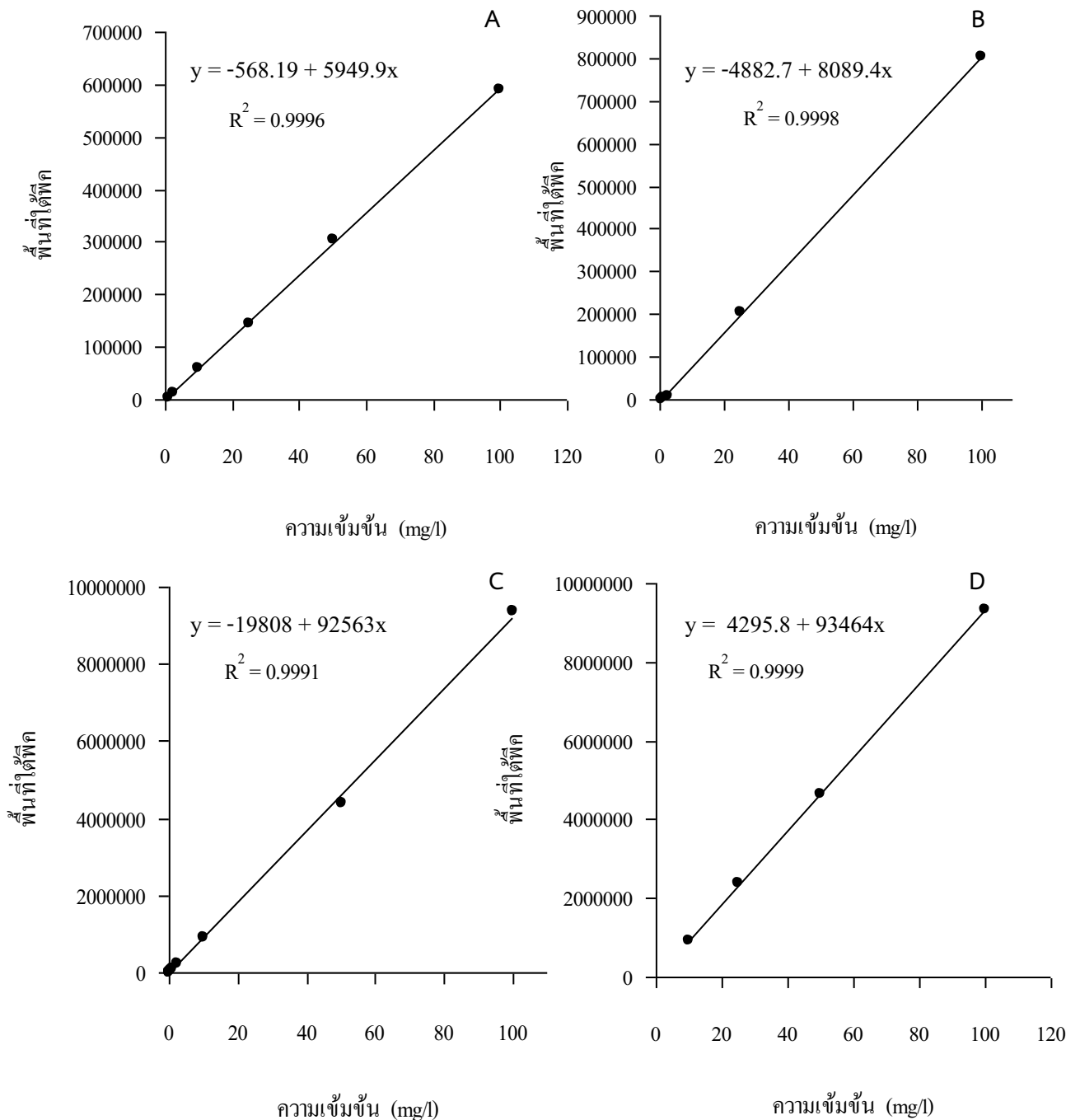
จากภาพผนวกที่ ค2 ผลหม่อนได้สมการ $y = -1.8231x + 20.717$

เพราะฉะนั้น $0.0253 = -1.8231x + 20.717$

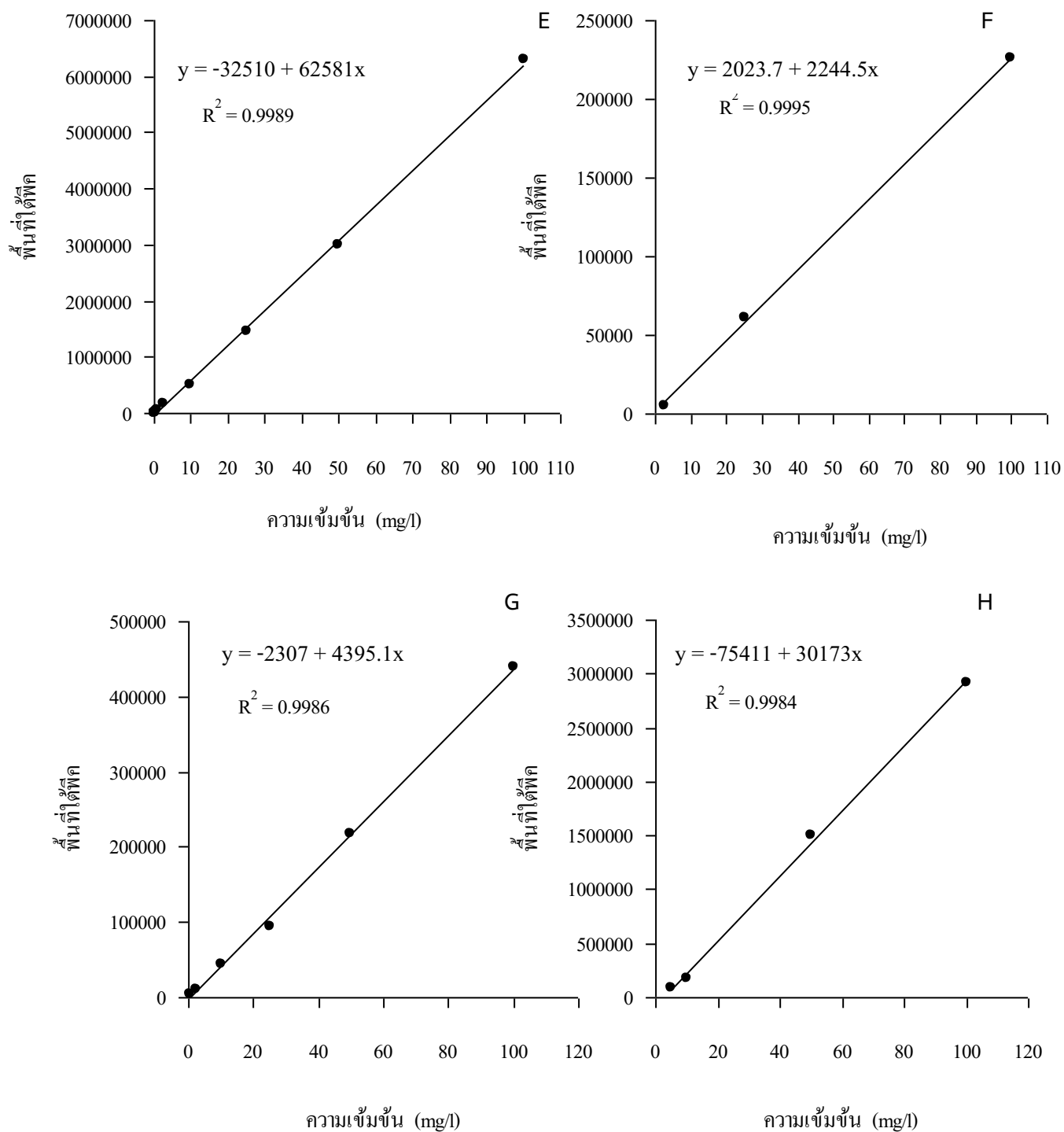
$X = 11.35$ มิลลิกรัม/มิลลิลิตร

ภาคผนวก ง

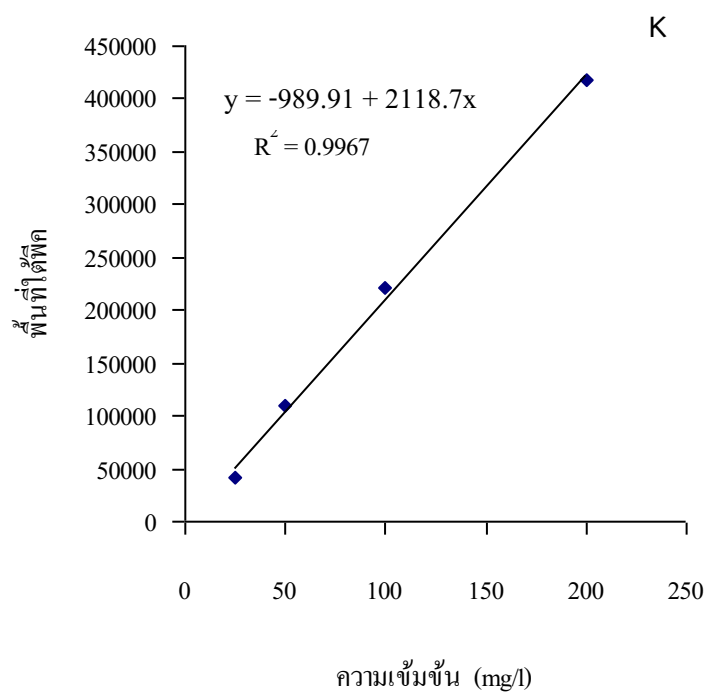
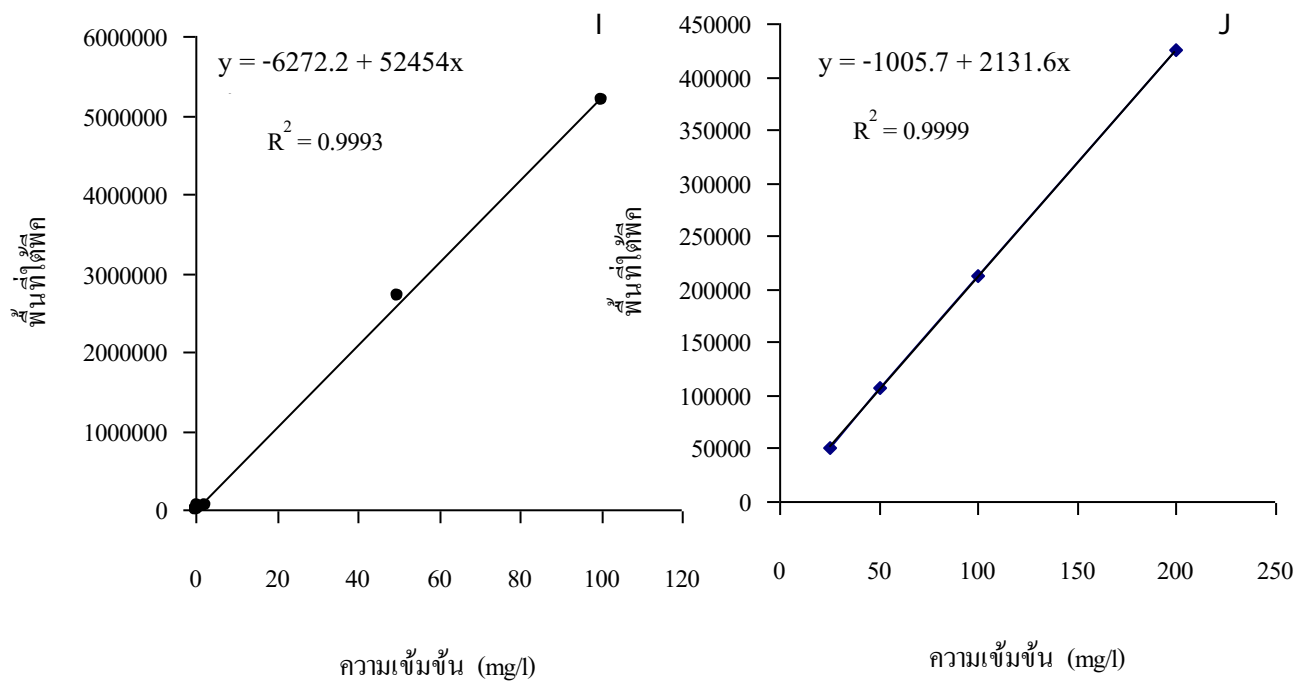
กราฟมาตรฐานฟลาโวนอยด์ กรดฟีนอลิก กรดอินทรีย์ และแอนโธไซยานิน



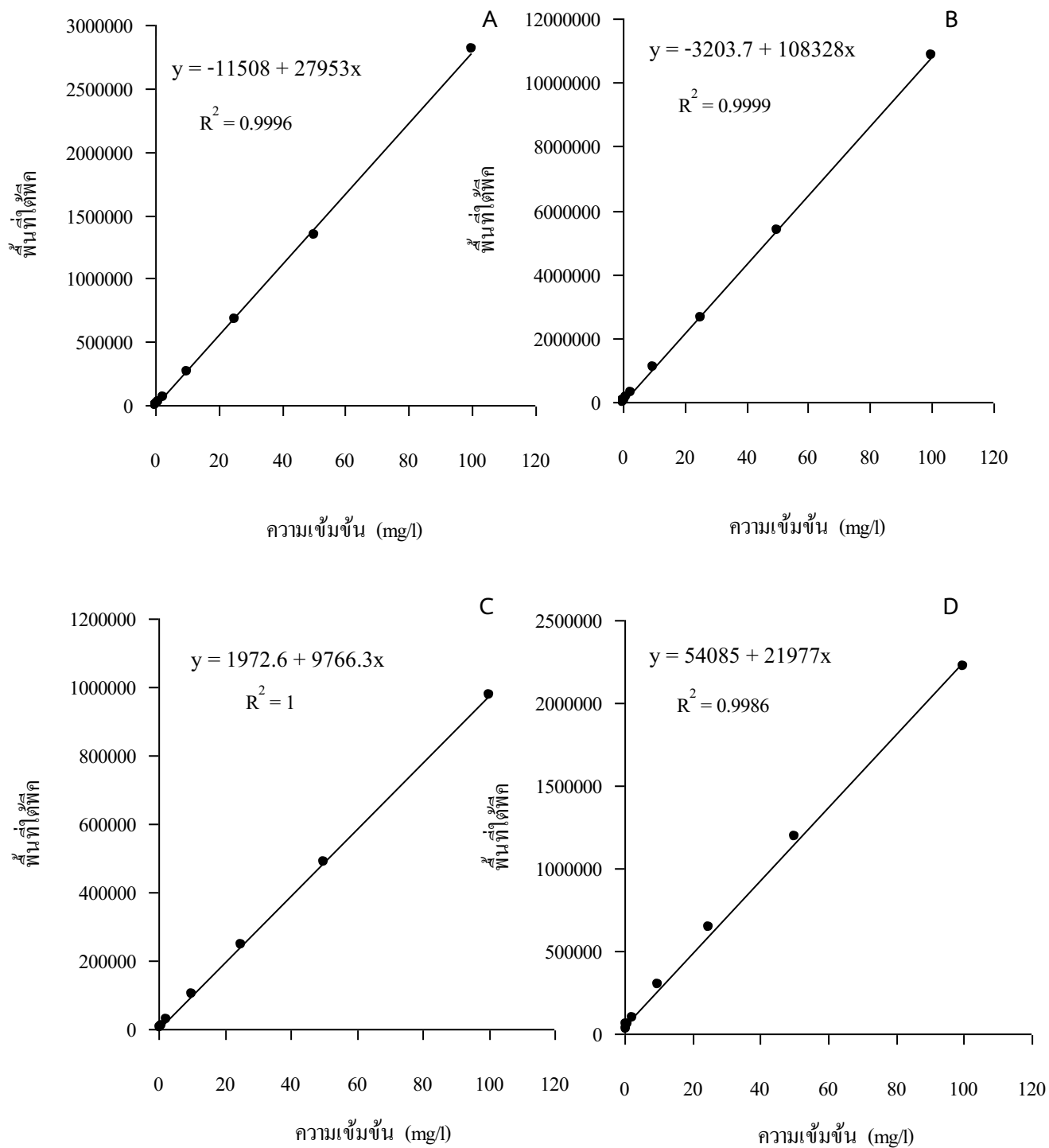
ภาพผนวกที่ 11 กราฟมาตรฐานฟลาโวนอยด์ A = (+)Epicatechin, B = Catechin, C = Kaempferol และ D = Luteolin



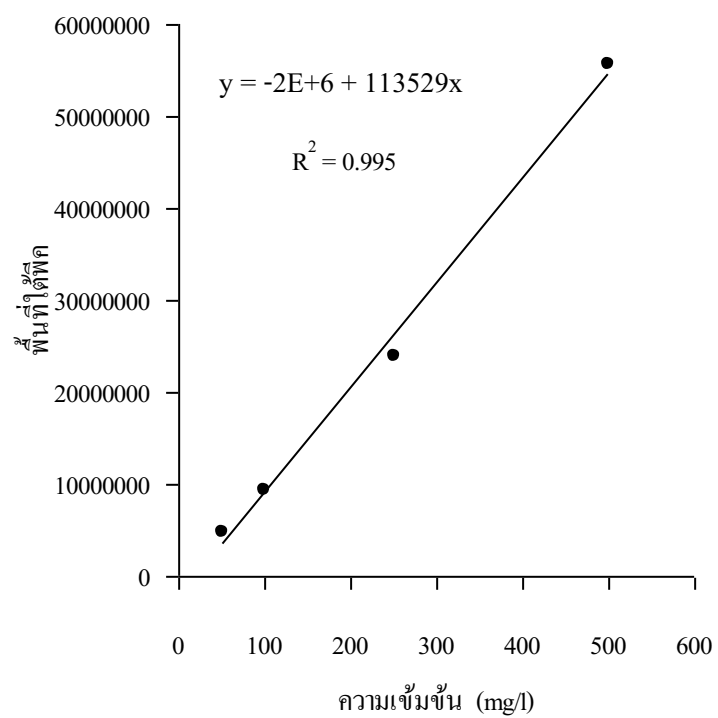
ภาพผนวกที่ 2 กราฟมาตรฐานฟลาโวนอยด์ E = Myricetin, F = Naringenin, G = Quercetin และ H = Resveratol



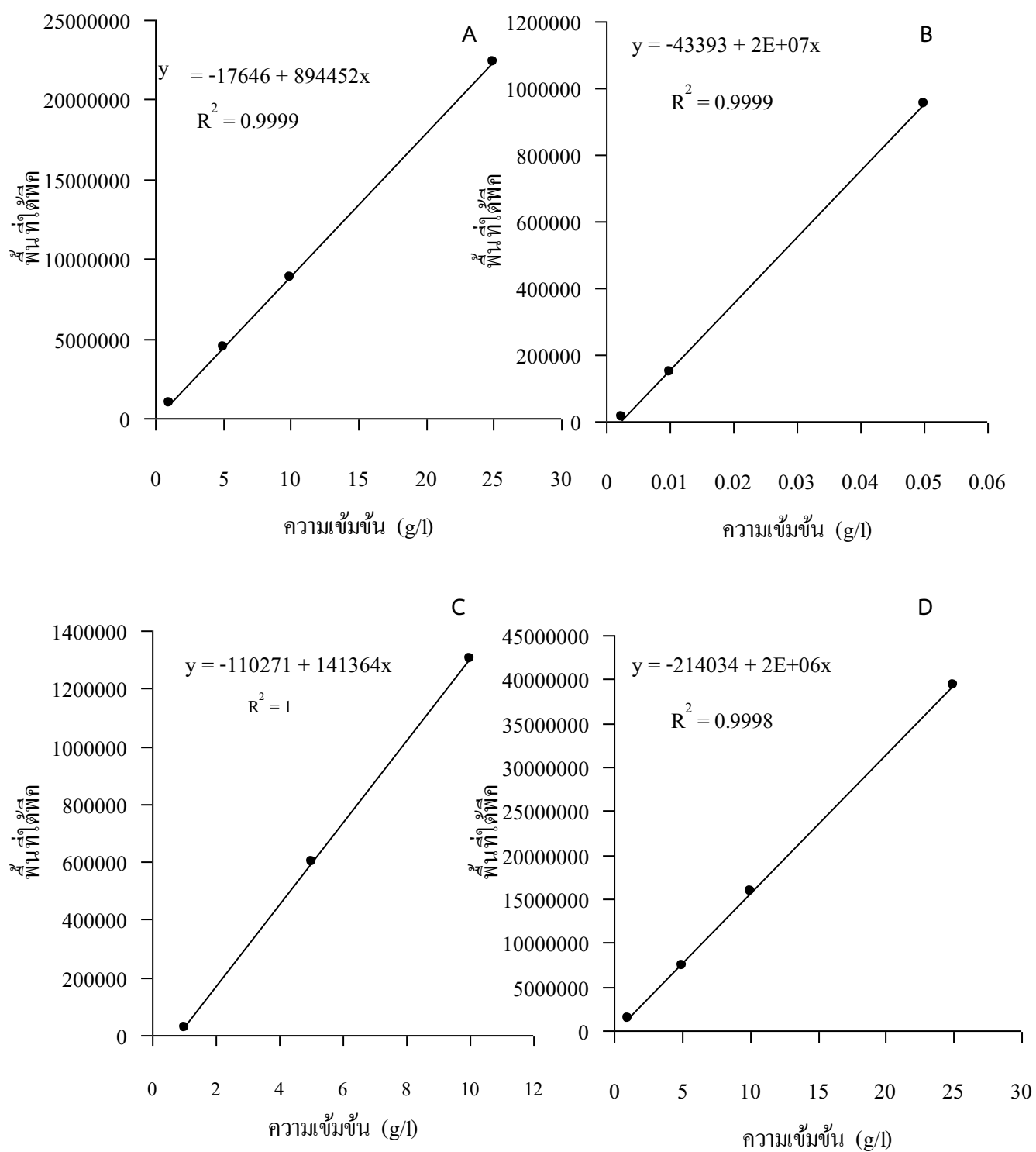
ภาพผนวกที่ 3 กราฟมาตรฐานฟลาโวนอยด์ I = Rutin, J = Procyanidin B1,
K = Procyanidin B2



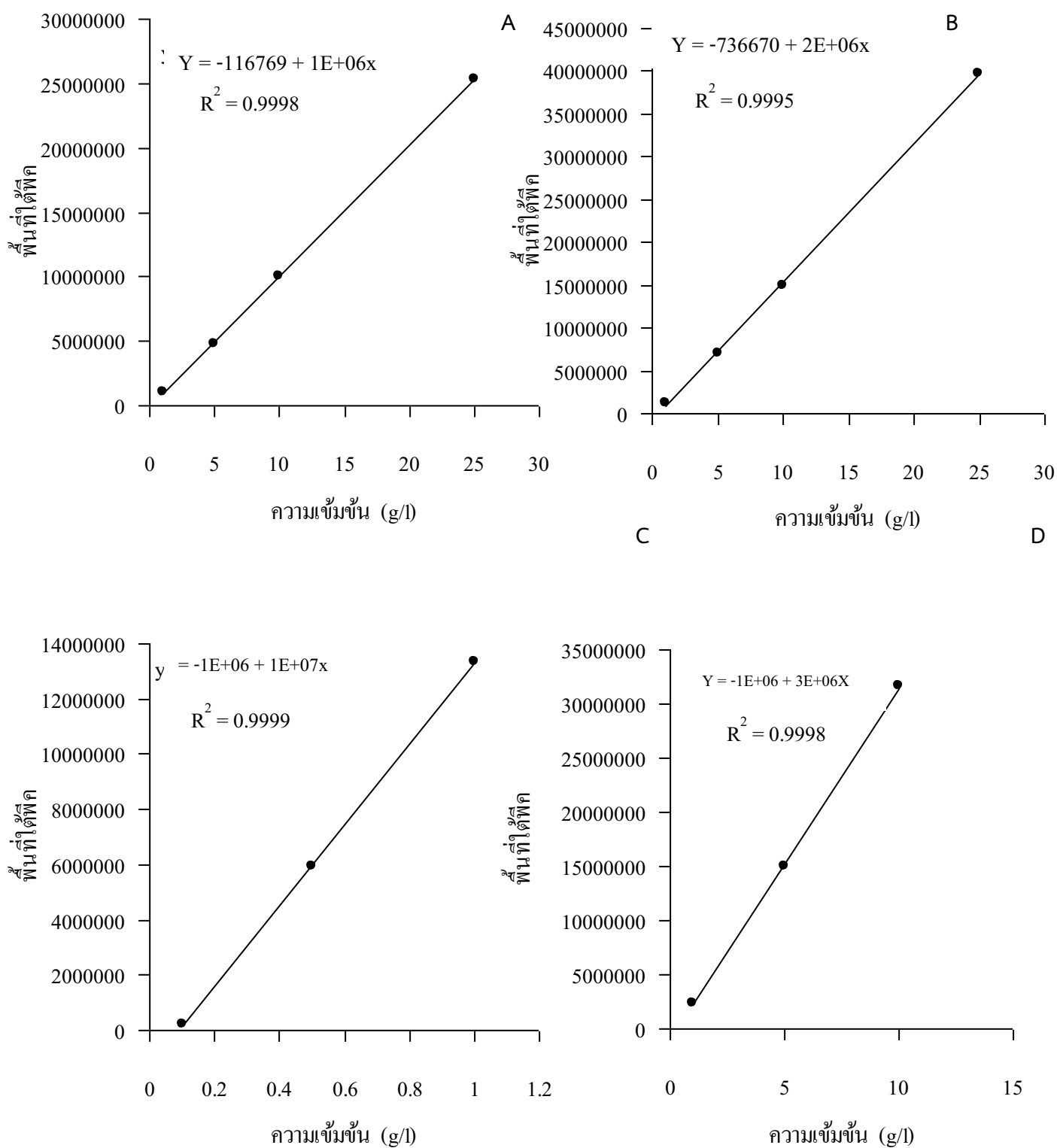
ภาพผนวกที่ ๔ กราฟมาตรฐานกรดฟีนอลิก A = Caffeic acid, B = Ellagic acid, C = Ferrulic acid และ D = Gallic acid



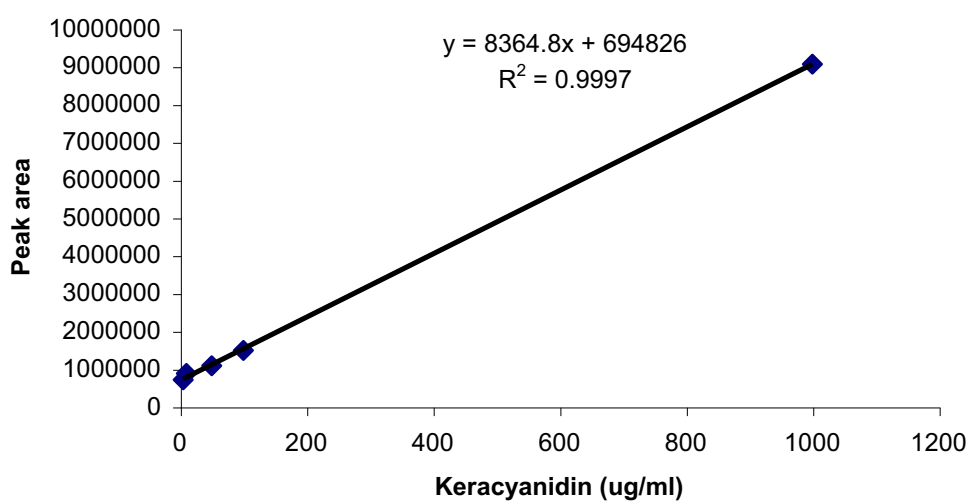
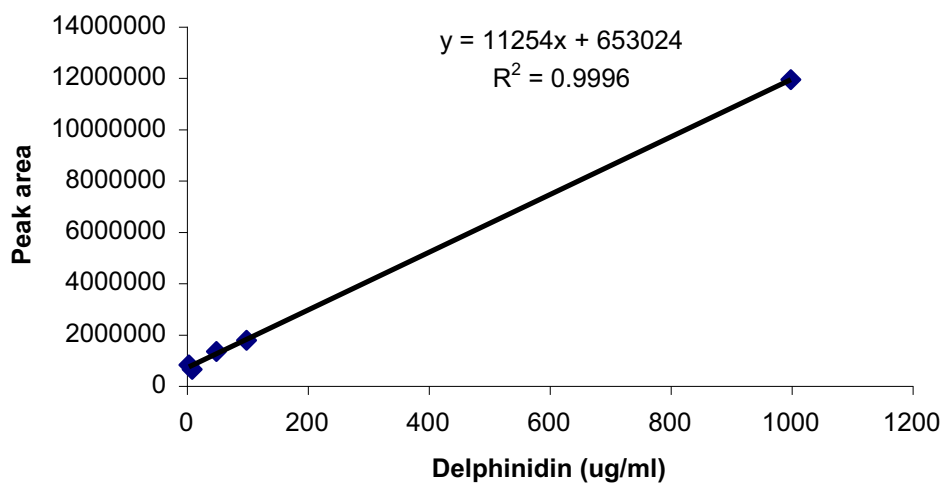
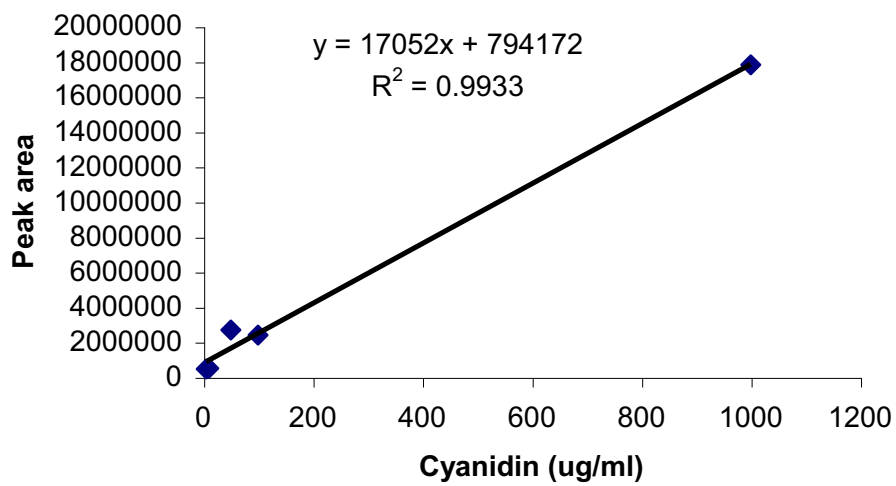
ภาพผนวกที่ 5 กราฟมาตรฐานของ Vanillic acid



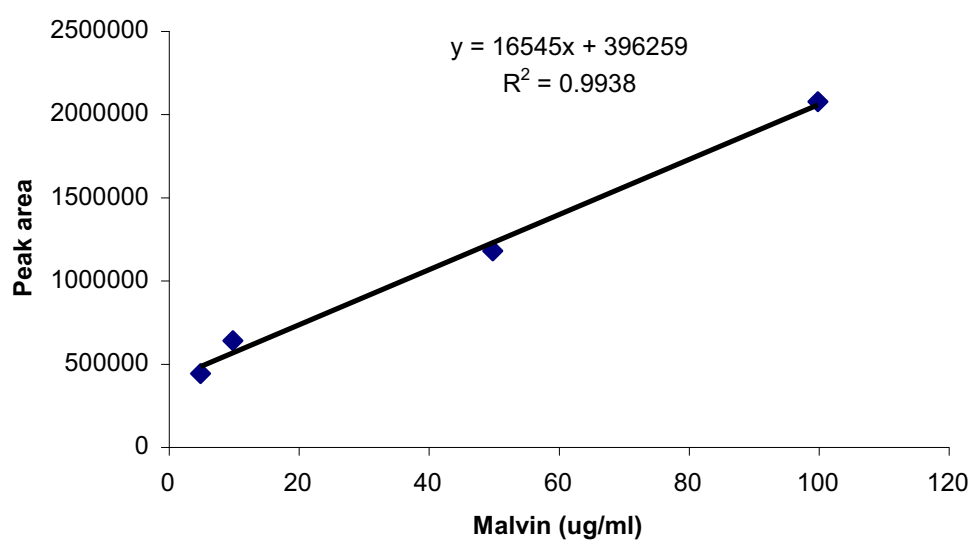
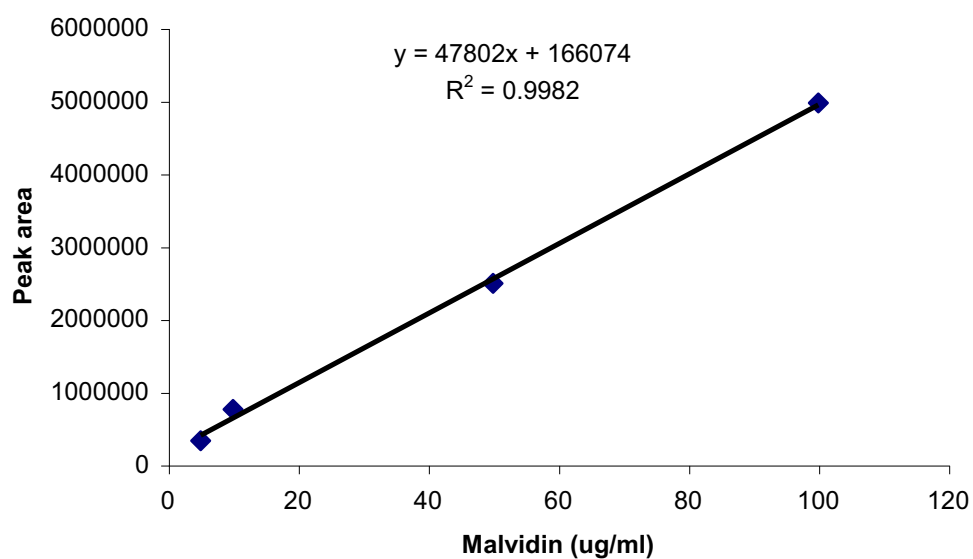
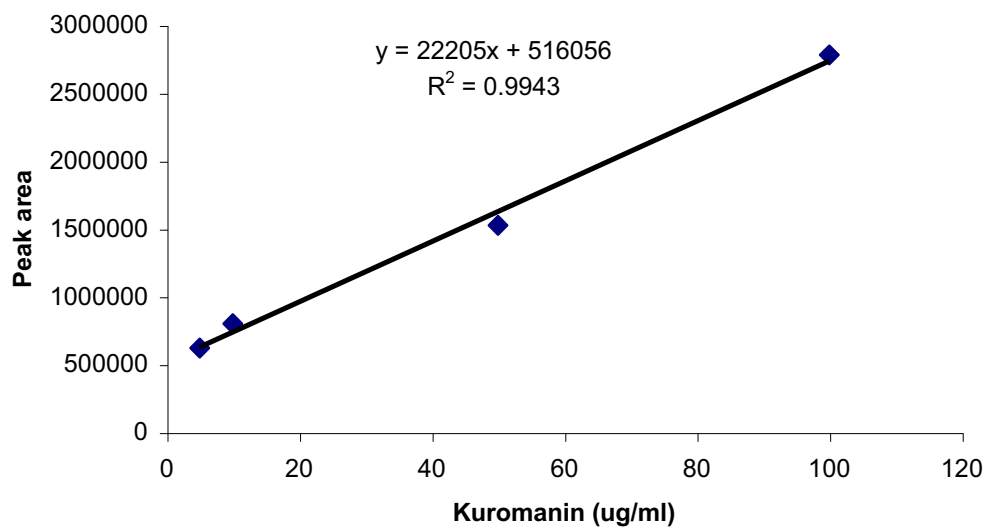
ภาพผนวกที่ 6 กราฟมาตรฐานกรดอินทรีย์ A = Acetic acid, B = Ascorbic acid, C = Benzoic acid และ D = Luteolin



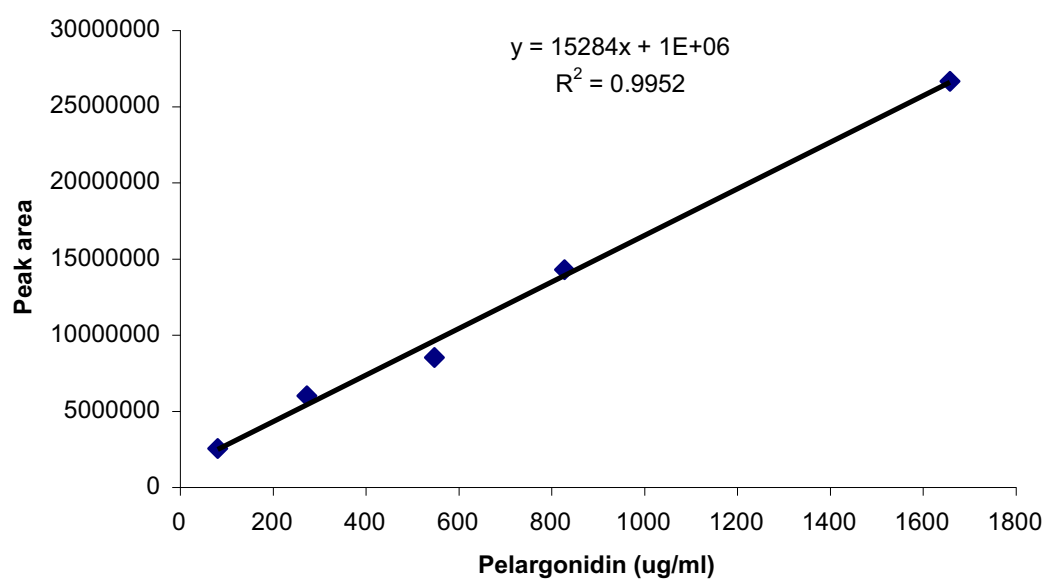
ภาพผนวกที่ 7 กราฟมาตรฐานกรดอินทรีย์ A = Lactic acid, B = Malic acid, C = Oxalic acid
 และ D = Tartaric acid



ภาพผนวกที่ 8 กราฟมาตรฐานแอนโธไซยานิน cyanidin, delphinidin, keracyanidin



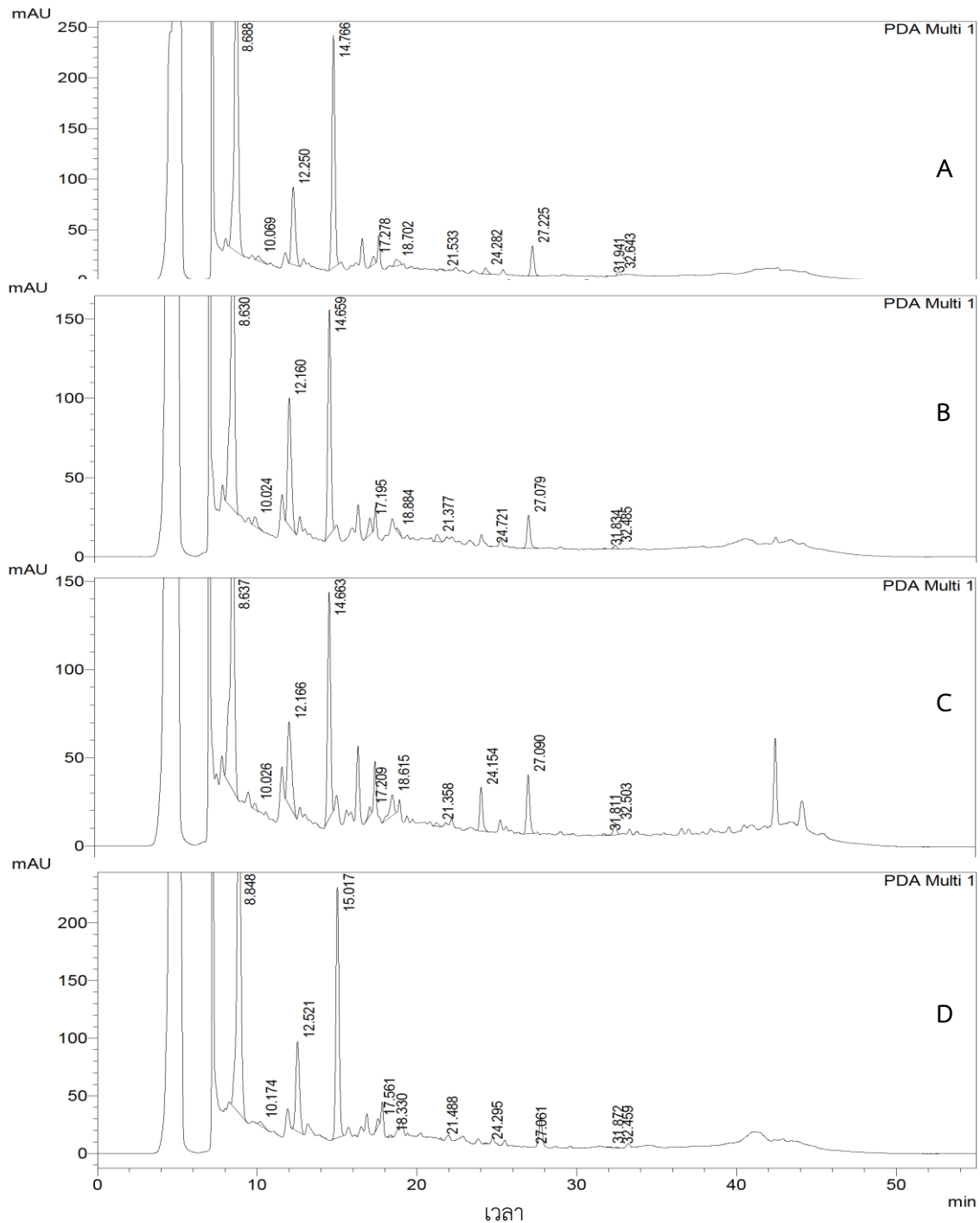
ภาพผนวกที่ 9 กราฟมาตรฐานแอนโธไซยานิน kuromanin, malvidin, malvin



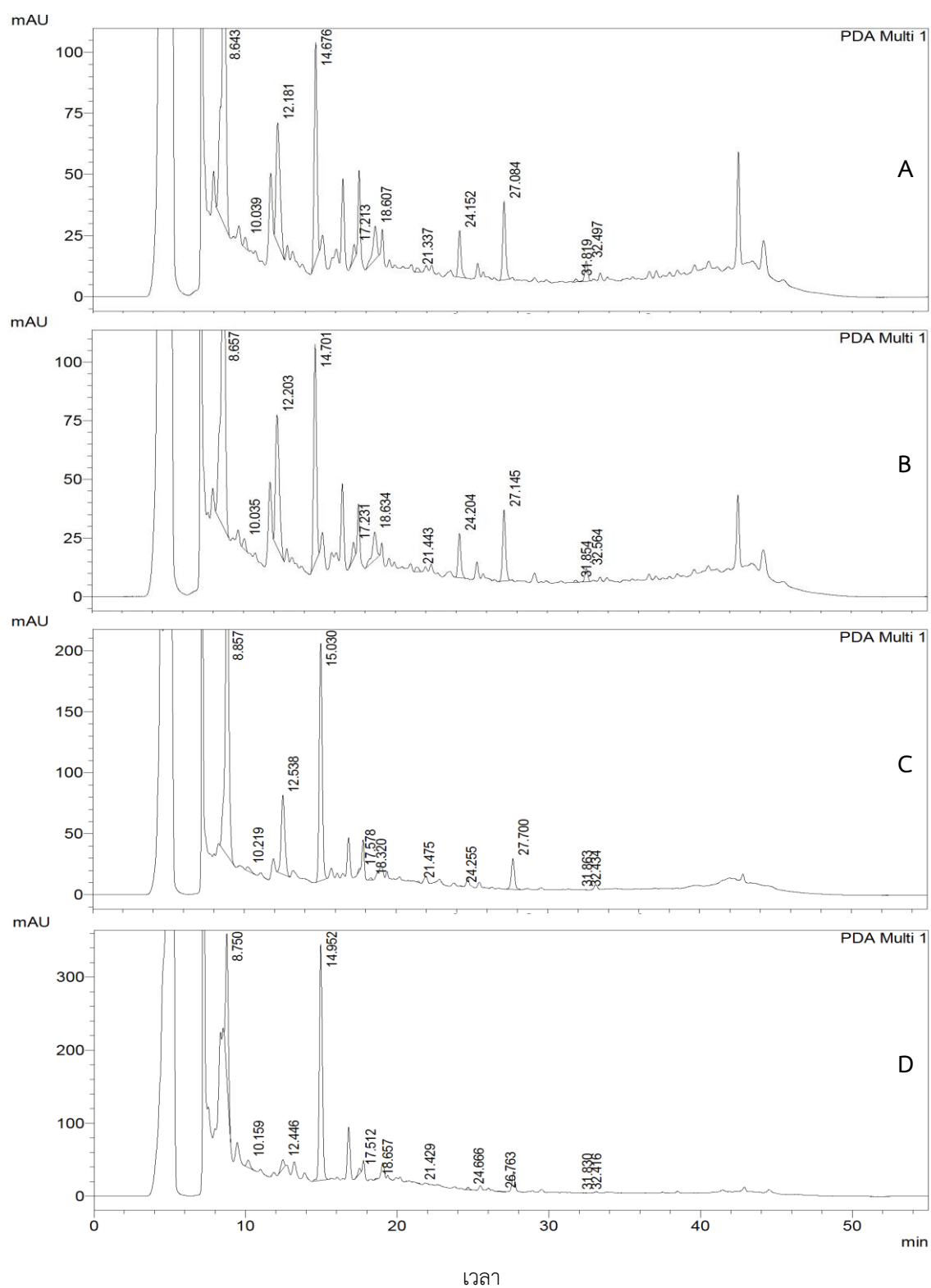
ภาพผนวกที่ ง10 กราฟมาตรฐานแอนโธไซยานิน pelargonidin

ภาคผนวก จ

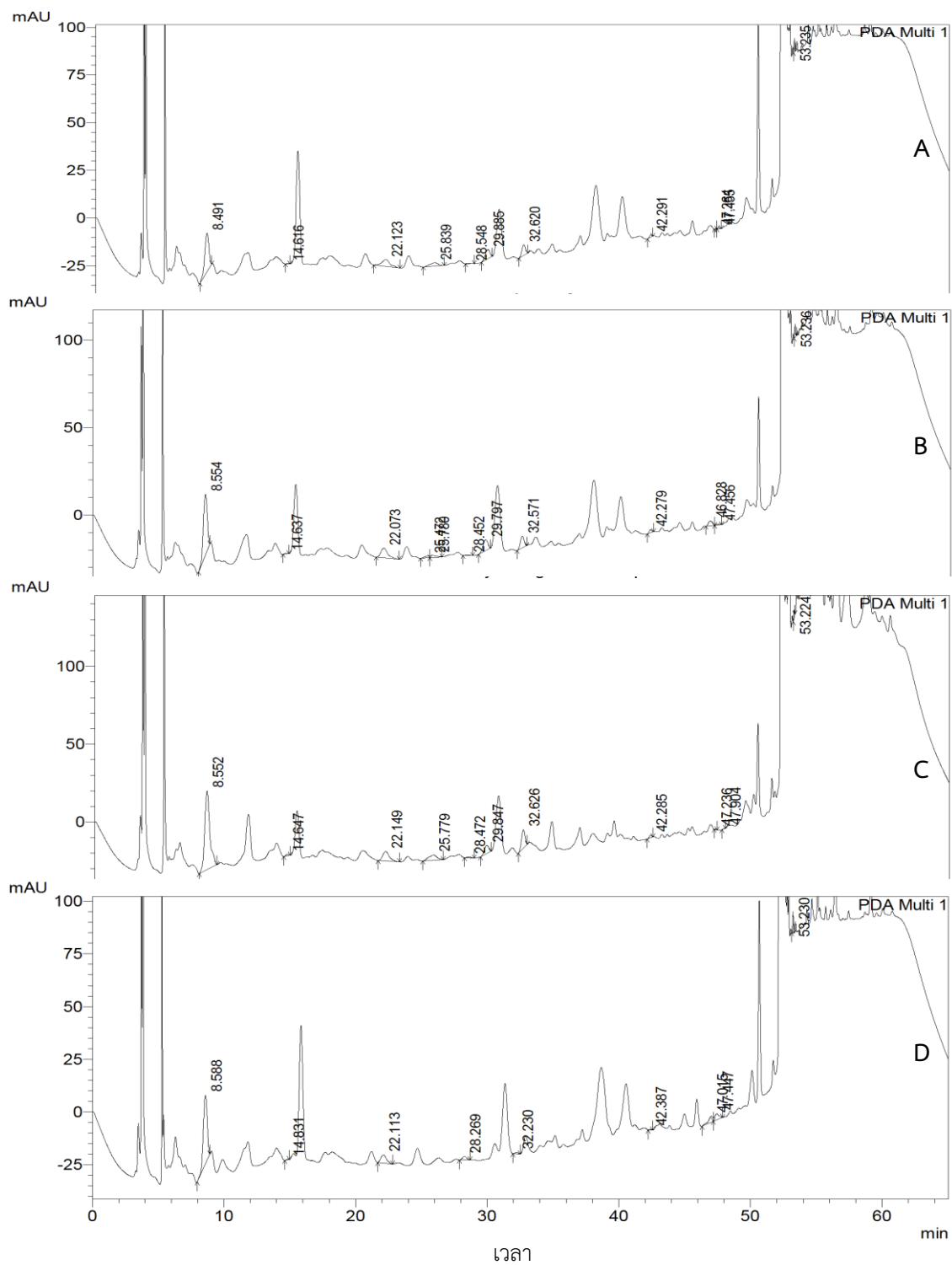
โครมาโทแกรมของผลหม่อนสำหรับการวิเคราะห์ฟลาโวนอยด์ กรดฟีนอลิก กรดอินทรีย์
และแอนโธไซยานิน



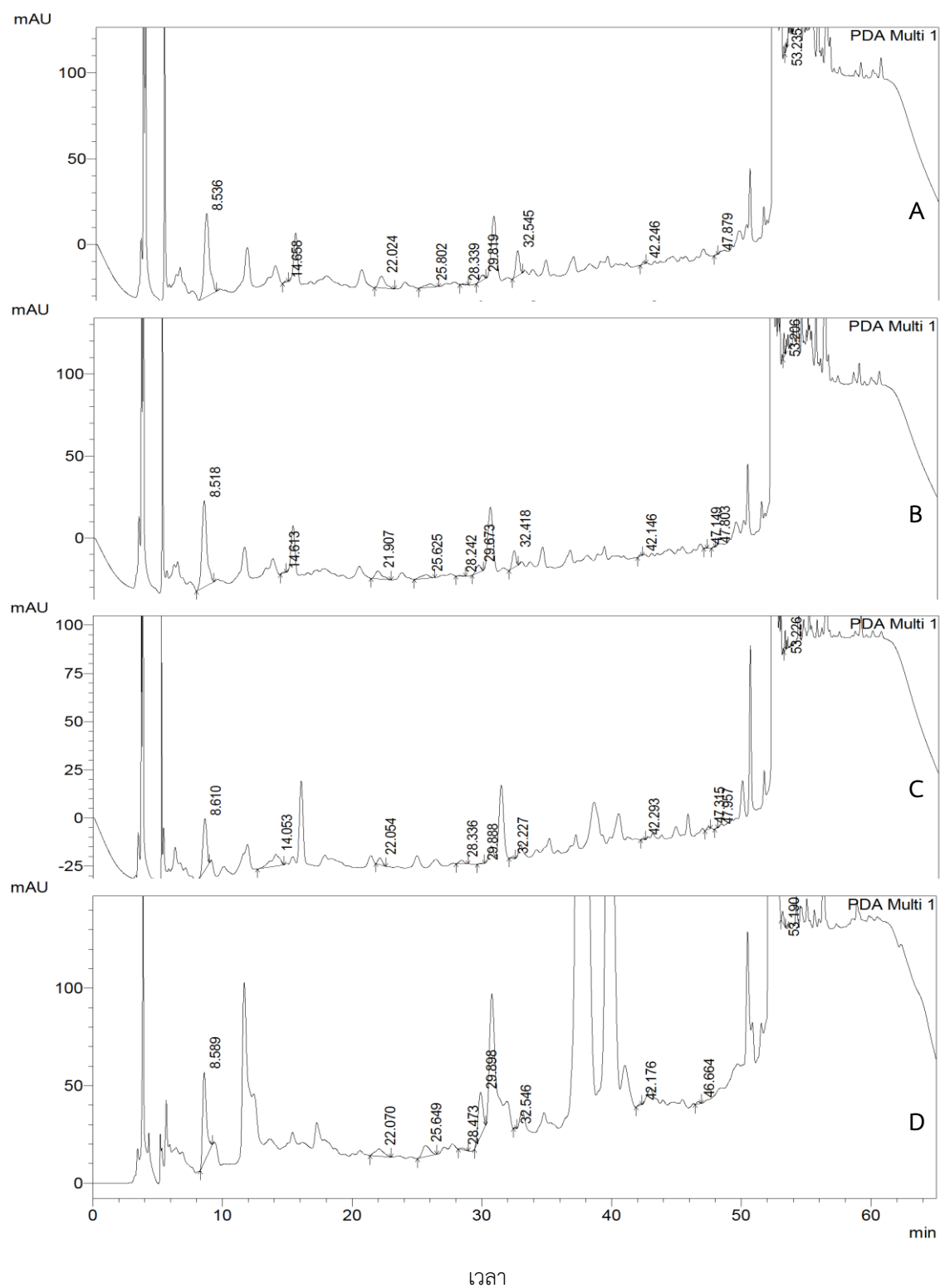
ภาพผนวกที่ จ1 โครมาโทแกรมวิเคราะห์ฟลาโวนอยด์ของผลหม่อน: A; พันธุ์ครราชสีมา 60, B; พันธุ์บุรีรัมย์ 60, C; พันธุ์ชุมพร, D; พันธุ์วาวี



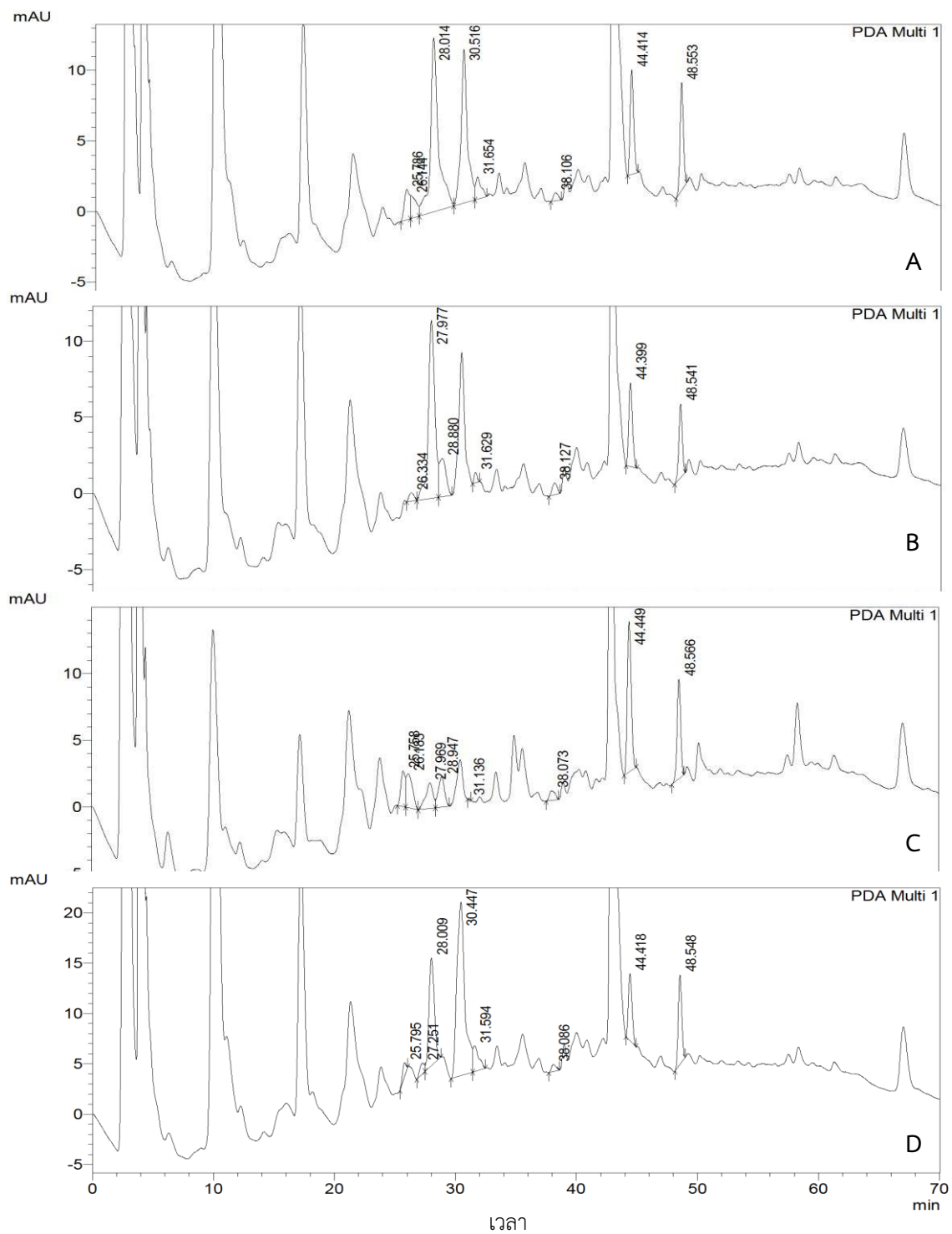
ภาพผนวกที่ จ2 โครมาโทแกรมวิเคราะห์ฟลาโวนอยด์ของผลหม่อน: A; พันธุ์เชียงใหม่, B; พันธุ์พิบูลทอง, C; พันธุ์กำแพงแสน, D; พันธุ์ไร่กำนันจุล



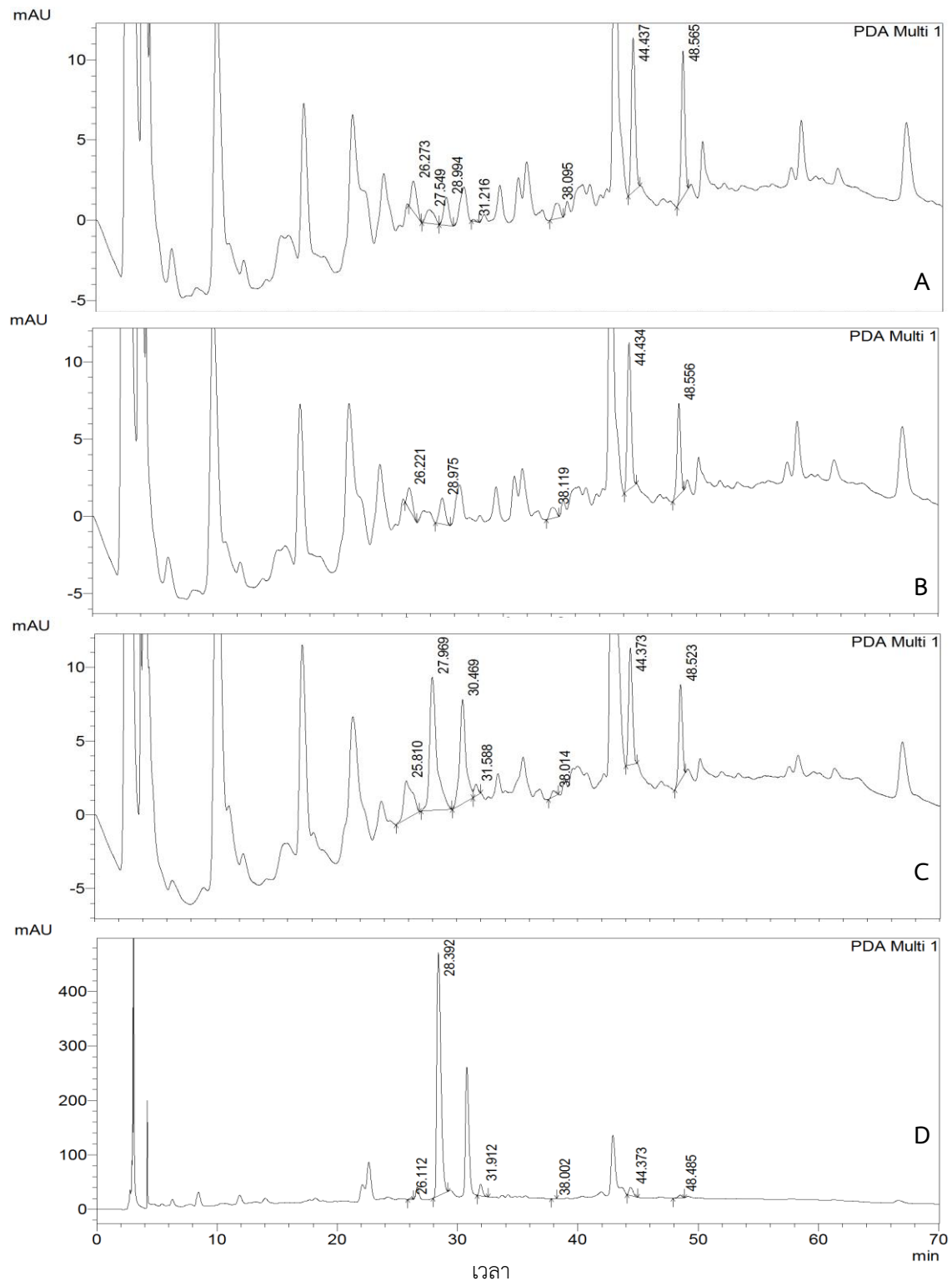
ภาพผนวกที่ จ3 โครมาโทแกรมวิเคราะห์กรดฟีนอลิกของผลหม่อน: A; พันธุ์ครราซสีมา 60, B; พันธุ์บุรีรัมย์ 60, C; พันธุ์ชุมพร, D; พันธุ์วาวี



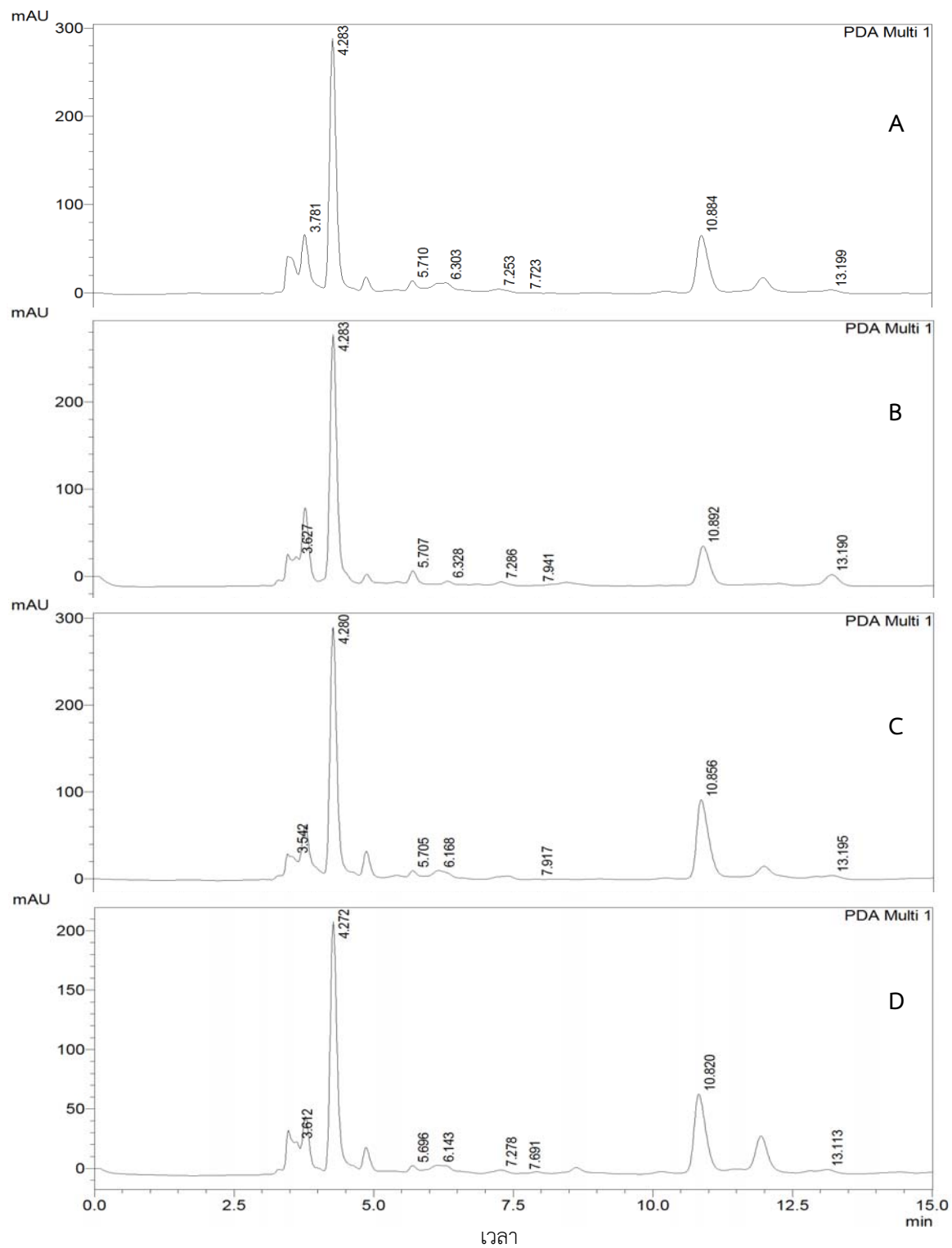
ภาพผนวกที่ จ4 โครมาโทแกรมวิเคราะห์กรดฟีนอลิกของผลหม่อน: A; พันธุ์เชียงใหม่, B; พันธุ์พิบูลทอง, C; พันธุ์กำแพงแสน, D; พันธุ์ไร่กำนันจุล



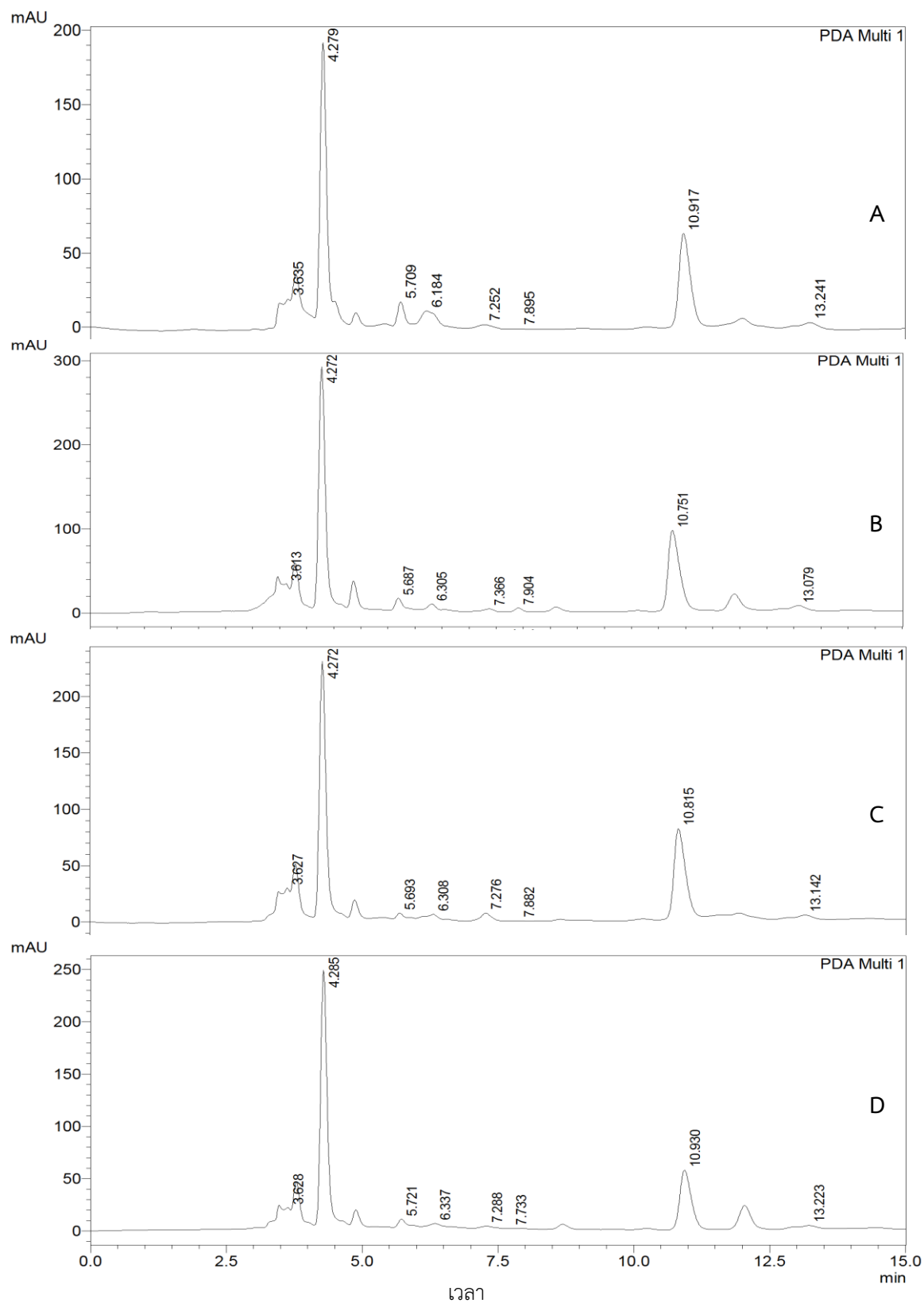
ภาพผนวกที่ จ5 โครมาโทแกรมวิเคราะห์แอนโธไซยานินของผลหม่อน: A; พันธุ์ครราชสีมา 60, B; พันธุ์บุรีรัมย์ 60, C; พันธุ์ชุมพร, D; พันธุ์วาวี



ภาพผนวกที่ ๖6 โครมาโทแกรมวิเคราะห์แอนโธไซยานินของผลหม่อน: A; พันธุ์เชียงใหม่, B; พันธุ์พิบูลทอง, C; พันธุ์กำแพงแสน, D; พันธุ์ไร่ก้านจูล



ภาพผนวกที่ จ7 โครมาโทแกรมวิเคราะห์กรดอินทรีย์ของผลหม่อน: A; พันธุ์ครราชสีมา 60, B; พันธุ์บุรีรัมย์ 60, C; พันธุ์ชุมพร, D; พันธุ์วาวี



ภาพผนวกที่ จ8 โครมาโทแกรมวิเคราะห์กรดอินทรีย์ของผลหม่อน: A; พันธุ์เชียงใหม่, B; พันธุ์พิกุลทอง, C; พันธุ์กำแพงแสน, D; พันธุ์ไร่กำนันจุล

ผลงานที่กำลังส่งตีพิมพ์



Phenolic composition and antioxidant activity of white mulberry (*Morus alba* L.) fruits

Journal:	<i>International Journal of Food Science and Technology</i>
Manuscript ID:	Draft
Manuscript Type:	Original Manuscript
Date Submitted by the Author:	n/a
Complete List of Authors:	Samappito, Supachai; Mahasarakham University, Biotechnology Samappito, Wannee; Mahasarakham University, Department of Food Technology Butkhup, Luchai; Mahasarakham University, Biotechnology
Keywords:	Antioxidant Activity, Flavonoids, HPLC

SCHOLARONE™
Manuscripts

Review

Phenolic composition and antioxidant activity of white mulberry
(*Morus alba* L.) fruits

Luchai Butkhup^{1*}, Wannee Samappito² and Supachai Samappito¹

¹Department of Biotechnology, Faculty of Technology, Mahasarakham University,
Mahasarakham 44000, Thailand

²Department of Food Technology, Faculty of Technology, Mahasarakham University,
Mahasarakham 44000, Thailand

*Corresponding author: Tel.: +66 43 754238, fax: +66 43 754238; e-mail:
Tak_biot2000@yahoo.com

Summary

Eight major mulberry cultivars [Nakhonratchasima 60 (NS 60), Buriram 60 (BR 60), Chumphon (CP), Wavee (WV), Chaingmai (CM), Pikultong (PT), Kamphaengsaen (KS), and Kamnanchul (KJ)] cultivated in Thailand were assessed for their flavonoids and phenolic acids composition using HPLC, and tested for antioxidant potential by DPPH assay. The total phenolic content (TPC) was found from 104.78 to 213.53 mg GAE/100g, total flavonoid content (TFC) to vary from 69.58 to 211.01 mg CE/100g. The mulberry fruit revealed the mainly presence of flavonoid compounds including (+)-catechin (309.26-750.01 mg/100g), procyanidin B1 (62.59-224.41 mg/100g), quercetin (5.36-58.42 mg/100g), rutin (18.73-26.90 mg/100g), and (-)-epicatechin (8.47-29.21 mg/100g). Gallic acid, cinnamic acid, and *p*-hydroxybenzoic acid were found to be the major phenolic acids in mulberry fruit cultivars. The range of gallic acid and cinnamic acid content were 7.33–23.90 mg/100g and 11.64–15.05 mg/100g, respectively. *p*-Hydroxybenzoic acid ranged from 1.77 mg/100g (cultivar PT) to 7.13 mg/100g (cultivar KJ). Scavenging abilities on DPPH radicals were excellent for ethanolic extract of NS 60 and EC₅₀ values of NS 60 (241.83 µg/ml) was significantly lower than those of the others ($p < 0.05$). TPC and TFC of the mulberry fruit showed positive correlated to the scavenging activity of DPPH radicals.

Key words: *Morus alba*, mulberry, flavonoids, phenolic acids, antioxidant activity

Introduction

Naturally occurring flavonoids and phenolic acids are phenolic compounds present in a variety of fruits, vegetables, and seeds. Several epidemiological studies suggest that a high intake of food rich in natural antioxidants increases the antioxidant capacity of the plasma and reduces the risk of some, but not all, cancers, heart diseases, and stroke. These properties are attributed to a variety of constituents, including vitamins, minerals, fiber, and numerous phytochemicals, including flavonoids and phenolic acids (Rice-Evans *et al.* 1996; Hakkinen & Torronen. 2000). For instance, the so-called “French paradox” has been attributed in part to the routine consumption of red

wine due to its abundant quantity of phenolics (Rice-Evans *et al.*, 1996). Many studies suggest that flavonoids, a family of compounds with a C₆-C₃-C₆ skeleton structure, exhibit several biological activities, including antioxidative, antiallergic, antiviral, antitumor, and anti-inflammatory action and antioxidant activity, which depends mainly on the number and position of hydroxyl groups within their structure (Kim *et al.*, 1998; Elattar & Virji, 2000).

Mulberry is a fast-growing deciduous plant and it grows under different climatic conditions such as tropical, subtropical and temperate throughout world. There are three types of mulberry fruits: red mulberry (*Morus rubra* L.), black mulberry (*M. nigra* L.) and white mulberry (*M. alba* L.). White mulberry originated in Western Asia, red mulberry in North and South America, and black mulberry in Southern Russia. In most mulberry-growing countries, especially in China and India, their production is focused on enhancing the foliage. The leaves, being the sole food source of the silkworm (*Bombyx mori* L.), the cocoon of which is used to make silk, have a big ecological and economical importance. In Europe, they are appreciated more for their fruits than for the foliage (Gerasopoulos & Stavroulakis, 1997). In Thailand, mulberry fruits are as important as the other tropical fruit species such as Maoluang (*Antidesma bunius* L.), Java plum (*Syzygium cumini* L.), Santol (*Sandoricum koetjape* (Burm.f.) Merr.), etc. Mulberry fruit is a delicious fruit with a sugary-sour taste and refreshing flavour due to its aroma components. The berries of mulberry are consumed as the fresh fruit or in the form of various confectionary products such as jam, jelly, paste, marmalade, frozen desserts, pulp, juice, ice cream, and wine (Dairas-Martin *et al.*, 2003). Mulberry fruit is a traditional Chinese edible fruit that is used effectively in folk medicines to treat fever, protect liver from damage, strengthen the joints, facilitate discharge of urine and lower blood pressure, laxative, hypoglycaemic, expectorant, anthelmintic, odontalgic, and emetic (Zhishen *et al.*, 1999). Local people traditionally believe that deep-coloured fruits, especially red and black mulberry fruits, are healthier for the human body (Ercisli & Orhan, 2007). Recently, it has gained an important position in the local soft drink market, although its biological and pharmacological effects are still poorly defined. Important constituents of mulberry fruits are the phenolics (Lin & Tang, 2007).

Previous phytochemical studies on the fruits of these *Morus* species showed the presence of fats and fatty acids, vitamin C, minerals, phenolics, and flavonoids

(Ercisli & Orhan, 2007) and, in the case of black mulberry fruits, some organic acids (Koyuncu, 2004) and anthocyanins (Lee *et al.*, 2004). *M. nigra* berries showed also a high antioxidant activity in the β -carotene bleaching method and against liposome oxidation (Hassimotto *et al.*, 2005). Moreover, the identification and quantification of anthocyanins and flavonoids of mulberry cultivars from China and Korea are mentioned (Lee *et al.*, 2004). Particularly for the mulberry varieties cultivated in Thailand, the flavonoids, phenolic acids contents and antioxidant capacity have not been examined in detail. The aim of the present work was to evaluate the HPLC flavonoids, phenolic acids composition and antioxidant capacity of eight different white mulberry (*Morus alba* L.) cultivars in order to draw attention to these cultivars and to contribute to the improvement of the potential value of these fruits as food.

Materials and methods

Reagents and chemicals

2,2-diphenyl-1-picryl hydrazyl hydrate (DPPH), 6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethyl-chroman-2-carboxylic acid (trolox), and BHT were obtained from Fluka (Buchs, Switzerland). Ethanol, acetonitrile and phosphoric acid were of HPLC grade from Merck (Darmstadt, Germany). Deionized water was prepared by a Milli-Q Water Purification system (Millipore, MA, USA). (+)-Catechin, (–)-epicatechin, rutin, *trans*-resveratrol, procyanidin B1, B2, myricetin, quercetin, naringenin, luteolin, and kaempferol standards were purchased from Sigma company (St. Louis, MO, USA). The standard phenolic acids, including gallic acid, protocatechuic acid, vanillic acid, cinnamic acid, and caffeic acid, were purchased from Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, USA). Syringic acid, *p*-coumaric acid, *p*-hydroxybenzoic acid, chlorogenic acid, ferulic acid and sinapinic acid were obtained from Acros (Geel, Belgium). Folin-Ciocalteu phenol reagent and TPTZ (2,4,6-tripyridyls-triazine) were purchased from Sigma Chemical Co., St. Louis, MO, USA. Standard stock solvents of phenolic compounds were prepared in methanol at concentration of 0.50 g/l. All sample solvents were filtered through 0.45 μ m membrane filter (Millipore), and injected directly.

Preparation of mulberry fruit extract

Mulberry fruits (*Morus alba* L.) of the cultivars, Nakhonratchasima 60 (NS 60), and Buriram 60 (BR 60) were obtained from Silk Innovation Center, Mahasarakham University, Thailand, Chumphon (CP), Wavee (WV), Chaingmai (CM), Pikultong (PT), and Kamphaengsaen (KS) were obtained from Queen Sirikit Sericulture Center's Udon Thani, Thailand, and Kamnanchul (KJ) was obtained from Kamnanchul Farm, Phetchabun, Thailand (Table 1). Mulberry fruits were harvested in full ripe stage, the skin colours of mulberry fruits were dark purple to black (April 2011). Healthy mulberries randomly harvested by hand in the early morning. Berries of uniform in size were used. Fruit width and length of samples were 12.34–14.19 mm and 25.16–30.13 mm, respectively. The collected berry samples were frozen immediately after arrival and stored at -20°C until extraction time. Storage time was less than 2 months. The frozen berries (75–100 g) were thawed in a microwave oven and homogenized. According to Lee and Wicker (1991), mulberry fruit (50 g) was homogenized and extracted in 100 ml of 70% ethanol for 4 h at room temperature. Then the extracts were filtered through Whatman No. 1 paper under vacuum, and the residue was repeatedly extracted with the same solvent until it was colourless and centrifuged (10 min, 5000g). The two filtrates of ethanol were combined and evaporated under vacuum at 50 mm Hg pressure and 50 °C to obtain dry extract. The extracts were placed in a plastic bottle and then stored at -20°C until used.

Determination of total phenolic content (TPC)

The total phenolic contents of the extracts were determined using Folin-Ciocalteu reagent as described by Singlaton and Rossi (1965). Briefly, 12.5 µl of the samples were mixed thoroughly with 12.5 µl of distilled water and 12.5 µl of Folin-Ciocalteu reagent (previously pre-diluted 10 times with distilled water). After 6 mins, 125 µl of 7% sodium carbonate (Na_2CO_3) and 100 µl of distilled water were added and allowed to react for 90 min. at room temperature. The absorbance was measured at 760 nm using microplate reader spectrophotometers (Synergy HT, BiotTek instruments, USA). Samples were measured in three replicates. A standard curve of gallic acid

solution (6.25, 12.5, 25, 50, 100, 200 and 400 µg/ml) was prepared using the similar procedure. The results were expressed as mg GAE/100 g.

Determination of total flavonoid content (TFC)

A colorimetric assay (Kim *et al.*, 2003) with some modifications was used to quantify total flavonoid content. Briefly, 25 µl of the diluted sample or (+)-catechin was added to 125 µl of ddH₂O. Subsequently, 7.5 µl of NaNO₂ solution (5%) was added to the mixture and allowed to stand for 5 min, 15 µl of AlCl₃ (10%) was added. The mixture was incubated at ambient temperature (25°C) for an additional 5 min. Following that 50 µl of 1 M NaOH solution was then added to the mixture. The mixture was immediately diluted by the addition of 27.5 µl of ddH₂O, thoroughly mixed, and the absorbance of the mixture was determined at 510 nm against a blank prepared with ddH₂O using a microplate reader (Synergy HT, BiotTek instruments, USA). Total flavonoids were expressed as milligram (+)-catechin equivalent 100g⁻¹ (mg CE/100g), through the calibration curve of (+)-catechin. All samples were analyzed in three replications.

Determination of free radical scavenging using DPPH method

The antioxidant activities of all extracts were evaluated through the free radical scavenging effect on 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical. The determination was based on the method proposed by Akowuah *et al.* (2005). Briefly, 100 µl of 0.2mM DPPH methanolic solution was added to 100 µl of the sample extracts. The mixture was thoroughly mixed and kept in the dark for 1 hr. The control was prepared by mixing 100 µl of DPPH and 100 µl of methanol. The absorbance was measured at 520 nm using microplate reader spectrophotometers (Synergy HT, BiotTek instruments, USA). The capability of extracts to scavenge the DPPH radical was calculated using the following equation:

$$\text{DPPH scavenging effect (\%)} = ((A_0 - A_1)/A_0) \times 100$$

Where A_0 was the absorbance of the control and A_1 was the absorbance in the presence of the sample. The actual decrease in absorption induced by the test was compared with the positive control. EC_{50} value was determined from the plotted graph of scavenging activity versus the concentration of extracts, which is defined as the amount of antioxidant necessary to decrease the initial DPPH radical concentration by 50% (17). Triplicate measurements were carried out and the EC_{50} value ($\mu\text{g/ml}$) was determined for all the extracts. Ascorbic acid and BHT were used as the reference compound ($EC_{50} = 10 \mu\text{g/ml}$ and $90 \mu\text{g/ml}$, respectively).

Determination of flavonoids by RP-HPLC-DAD

Determination of flavonoids was carried out as described in detail elsewhere (Butkhup & Samappito, 2008) and 20 μl of the clear samples were analyzed by reversed-phase HPLC with DAD. HPLC apparatus consisting of Shimadzu (Shimadzu Cooperation Analytical & Measuring Instruments Division Kyoto, Japan) LC-20AD Series pumping system, SIL-10AD Series Auto injector system and SPD-M20A Series Diode array detector was used to record online UV spectra of the phenolic compounds in the samples. The data were collected and analyzed with a Shimadzu computing system. The column used was an Apollo C₁₈ (Alltech Associates, Deerfield, IL, USA) (ϕ 4.6 mm x 250 mm, 5 μm) protected with guard column Inertsil ODS-3 (ϕ 4.0 mm x 10 mm, 5 μm ; GL Science Inc., Tokyo, Japan). Twenty μl of each sample were analyzed using an HPLC system. The mobile phase for phenolic compounds determination was acetonitrile/deionized water (2/97.8, v/v) containing 0.2% phosphoric acid (solvent A) and acetonitrile/deionized water (97.8/2, v/v) containing 0.2% phosphoric acid (solvent B) at a flow rate of 0.6 ml/min and column temperature was at 40 °C. The UV-Vis spectra were recorded from 190 to 400 nm, with detection at 254 nm. The linear gradient started with 20% solvent B, 50% solvent B at 30 min, 60% solvent B at 35 min, 20% solvent B at 40 min at isocratic elution until 55 min. Quantification was carried out by comparing the retention times and the spectra as well as by the addition of standards. The concentrations of flavonoids were calculated with the help of a corresponding external standard.

HPLC analysis of phenolic acids

HPLC analysis was performed using Shimadzu system (Japan), including LC-20A pumps, SPD-M20A with diode array detector and chromatographic separation were performed on an Inertsil ODS-3 column (4.6mm x 250 mm, 5 μ m) (GL Sciences, Japan). Phenolic acids in mulberry fruit extracts were determined by reversed-phase HPLC. All samples were filtrated through a 0.45 μ m pore size syringe-driven filter before injection. The mobile phase consisted of 1% phosphoric acid (solvent A) (pH 2.58) and acetonitrile (solvent B) at a flow rate of 0.8 mL/min. Gradient elution was performed as follows: 0–5 min, linear gradient from 5% to 9% solvent B; 5–15 min hold at 9% solvent B; 15–22 min, linear gradient from 9% to 11% solvent B; 22–38 min, linear gradient from 11% to 18% solvent B. 38–43 min, from 18% to 23% solvent B, 43–45 min, from 23% to 30% solvent B. A washing period of 9 min with 80% solvent B and re-equilibration period of 15 min with 5% solvent B were used between individual runs. Operating conditions were as follows: column temperature, 38 °C; injection volume, 20 μ L; UV-diode array detection at 280 nm. Phenolic acids in the samples were identified by comparing their relative retention times and UV spectra with those of authentic compounds.

Statistical analyses

All the compounds and parameters reported below were evaluated in triplicate, in each of the samples. The statistical analysis of the data was carried out by analysis of the variance (ANOVA) and the DMRT (Duncan's Multiple Rang test) to show measurements which can be considered statistically different. *p*-value of <0.05 was regarded as significant.

Results and discussion

Mulberry fruits are a good source of sugars, acids and anthocyanin pigments, which are important constituents of juices, beverages and wines. Epidemiological and experimental studies reveal a negative correlation between the consumption of diets rich in fruits, and vegetables and the risks for chronic angiogenic diseases, such as

cardiovascular diseases, arthritis, chronic inflammation and cancers, diabetes, stroke, neurodegenerative diseases, including Parkinson's and Alzheimer's diseases as well as inflammation and problems caused by cell and cutaneous aging (Lin & Tang, 2007), antidiabetic (Asano *et al.*, 2001), antioxidative and antiinflammatory activities (Kim *et al.*, 1998) and antihyperlipidemic activities (Kim *et al.*, 2001). These physiological functions of mulberry fruits may be partly attributed by their abundance of phenolics. Mulberry fruits are good sources of phenolics, including flavonoids and anthocyanins (Song-Hwan & Hyung-Joo, 2007). These antioxidant compounds can delay or inhibit lipid oxidation, by inhibiting the initiation or propagation of oxidizing chain reactions, and are also involved in scavenging free radicals (Kim *et al.*, 1998; Cai *et al.*, 2004; Song-Hwan & Hyung-Joo, 2007).

Phenolic compounds are some of the most effective antioxidative constituents in plant foods such as fruits, vegetables, and grains; thus it is important to quantify their phenolic contents and to assess their contribution to antioxidant activity. The total polyphenolic contents (TPC) of mulberry fruits were evaluated by using Folin-Cioacaltea method which is a rapid and widely-used assay to investigate the TPC. This method is based on reducing the power of phenolic hydroxyl groups; however, it is known that different phenolic compounds have different responses to the Folin-Cioacaltea reagent (Lin & Tang, 2007). TPC is expressed as mg of gallic acid equivalents (mg GAE) per gram, which was determined from known concentrations of gallic acid prepared similarly. The results showed that the TPC in the selected mulberry fruit cultivars varied considerably. TPC from different mulberry fruit cultivars ranged from 104.78 ± 8.46 to 213.53 ± 11.33 mg GAE/100 g (Table 2). This study showed that TPC in the selected mulberry fruit cultivars as: NS 60 (213.53 ± 11.33 mg GAE/100 g) > BR 60 (182.61 ± 12.27 mg GAE/100 g), WV (180.27 ± 8.07 mg GAE/100 g), KJ (178.93 ± 11.89 mg GAE/100 g) > CP (151.93 ± 11.94 mg GAE/100 g) > PT 60 (120.81 ± 10.08 mg GAE/100 g), KS (114.21 ± 9.42 mg GAE/100 g) > CM (104.78 ± 8.46 mg GAE/100 g). The highest TPC was observed in NS 60 cultivar and the lowest was observed in CM cultivar among the selected mulberry fruit cultivars. The results agree well with those of Ercisli *et al.* (2010), who reported TPC in different genotypes of black mulberry as gallic acid equivalent ranging from 183.6 to 248.3 mg/100g. The TPC in different mulberries ranged from 150.0 to 257.0 mg/100g (Bae & Suh, 2007; Lin & Tang, 2007; Hojjatpanah *et al.*,

2011). The average phenolic content in black mulberry accessions from all over Turkey was 273.7 mg/100g GAE (Özgen *et al.*, 2009). The variation of phenolic compounds in the fruits depends on many factors, such as degree of maturity at harvest, genetic differences, and environmental conditions during fruit development. Mulberry fruit has many physiological functions. Many phenolic compounds are antioxidants. They may contribute to reducing human diseases such as cancer, arteriosclerosis, brain disorders and heart diseases (Cano & Arnao, 2005).

This study showed that total flavonoid contents (TFC) in the selected mulberry fruit cultivars as: NS 60 (211.01 ± 10.03 mg CE/100 g) > WV (161.98 ± 9.14 mg CE/100 g), KJ (153.50 ± 9.42 mg CE/100 g) > BR 60 (101.04 ± 5.18 mg CE/100 g) > CP (90.01 ± 5.08 mg CE/100 g), PT 60 (85.61 ± 4.19 mg CE/100 g) > KS (69.58 ± 7.13 mg CE/100 g), CM (64.55 ± 6.32 mg CE/100 g) (Table 2). Among the studied mulberry fruit cultivars, NS 60 had the ($p < 0.05$) highest TFC with average value of 211.01 ± 10.03 mg CE/100 g. The TFC in selected mulberry fruit cultivars in this study were higher than reported for five major mulberry [Pachungsiipyung (M-1), Whazosipmunja (M-2), Suwonnosang (M-3), Jasan (M-4) and Mocksang (M-5)] cultivated in Korea ranging from 0.56 to 6.54 mg/100g (Bae & Suh, 2007) and *Morus alba* was 14.2 mg/100g (Lin & Tang, 2007). The results agree well with those of Ercisli and Orhan (2007), who reported TFC in white (*Morus alba* L.), red (*Morus rubra* L.) and black (*Morus nigra* L.) mulberry fruits grown in the East Anatolia Region of Turkey ranging from 29 to 276 mg/100g. The TFC in different mulberries ranged from 150.0 to 257.0 mg/100g (Bae & Suh, 2007; Lin & Tang, 2007; Hojjatpanah *et al.*, 2011). Differences in terms of phenolics and flavonoids content are due to genetic derivation because all plants were of the same age and grown under the same ecological conditions. It is reported that plant genotype (Scalzo *et al.*, 2005) and cultivation (Hakkinen & Torronen, 2000) affect total phenolic and flavonoid contents in fruit.

In recent years, there has been a growing interest in obtaining biologically active compounds from natural sources. The potential dangers of some synthetic antioxidants, such as butylated hydroxytoluene (BHT) and butylated hydroxyanisole (BHA), have been documented, and this has stimulated the substitution of synthetic antioxidants by natural ones (Seeram *et al.*, 2006). Table 2 shows the comparison of the mean concentration for 50% free radical scavenging activity (EC_{50}) of ethanolic

extracts of mulberry fruits against 50.62 $\mu\text{g/ml}$ of DPPH radical. The EC_{50} of vitamin C and BHT were 0.01 mg/ml and 0.09 mg/ml respectively, which is stronger than other ethanolic extracts of mulberry fruits. There were significant differences in terms of EC_{50} of examined mulberry fruit cultivars in the present study. EC_{50} values in scavenging abilities on DPPH radicals were in a descending order of $\text{KS} > \text{CM} > \text{PT} > \text{KJ} > \text{CP} > \text{WV} > \text{BR} > \text{NS}$. Scavenging abilities on DPPH radicals were excellent for ethanolic extract of NS 60 and EC_{50} values of NS 60 (241.83 $\mu\text{g/ml}$) was significantly lower than those of the others ($p < 0.05$).

Phenolics are the compounds allowing some chemical activities in vegetables and particularly in fruits such as taste, colour formation, and browning, and their positive effects on human health are more emphasized in recent years (Kim *et al.*, 2003; Cai *et al.*, 2004; Butkhup & Samappito, 2008). The results of previous studies (Elattar & Virji, 2000) showed that some of the phenolic components such as quercetin and (+)-catechin had anticancer activities, and these components were able to inhibit cancer cell growth. There were significant differences in terms of phenolic contents of examined mulberry cultivars grown in the Northeast region of Thailand in the present study (Table 3). The mulberry fruit extracted by ethanol revealed the presence of many kinds of phenolics such as (+)-catechin, (-)-epicatechin, rutin, procyanidin B1 (epicatechin-(4 β →8)-catechin), procyanidin B2 ((-)-epicatechin-(4 β →8)-(-)-epicatechin), quercetin, myricetin, *trans*-resveratrol, luteolin, naringenin, and kaempferol. The main flavonoids present in mulberry fruit cultivars: NS 60, BR 60, WV, KJ, CP, PT 60, KS, and CM, were (+)-catechin, procyanidin B1 and quercetin obtained by DAD coupled to HPLC. The highest (+)-catechin was obtained for a WV (750.01 $\pm$ 18.02 mg/100g), followed by a NS 60 (726.02 $\pm$ 11.80 mg/100g), KJ (591.71 $\pm$ 13.70 mg/100g), BR 60 (506.35 $\pm$ 14.31 mg/100g), CP (410.20 $\pm$ 12.66 mg/100g), PT (406.53 $\pm$ 13.14 mg/100g), and CM (392.77 $\pm$ 16.82 mg/100g); the lowest (+)-catechin was obtained for a KS (309.26 $\pm$ 18.34 mg/100g). The procyanidin B1 had the highest content in the ethanolic extracted from KJ (224.41 $\pm$ 17.05 mg/100g), followed by NS 60 (156.67 $\pm$ 13.16 mg/100g), WV (150.75 $\pm$ 13.06 mg/100g), BR 60 (113.38 $\pm$ 10.20 mg/100g), KS (104.17 $\pm$ 12.23 mg/100g), CP (86.31 $\pm$ 6.14 mg/100g), PT (62.59 $\pm$ 2.35 mg/100g), and CM (59.64 $\pm$ 2.10 mg/100g), respectively. The quercetin had the highest content in PT (58.42 $\pm$ 3.05 mg/100g), followed by CP (56.98 $\pm$ 4.03 mg/100g), NS 60 (52.85 $\pm$ 2.24 mg/100g), KJ (43.54 $\pm$ 0.10 mg/100g), WV (36.18 $\pm$ 0.24

mg/100g), CM (34.68±3.44 mg/100g), and BR 60 (31.88±1.36 mg/100g). Pawlowska *et al.* (2008) reported that quercetin 3-*O*-glucoside content in the white mulberry (*Morus alba* L.) and black mulberry (*Morus nigra* L.) was in the amounts of 29 and 34 mg/100g, respectively. Similarly, the results of this study show that the quercetin content in the CM and BR 60. In addition, Gundogdua *et al.* (2011) reported that the quercetin was also present in the white mulberry (*Morus alba* L.), red mulberry (*Morus rubra* L.), and black mulberry (*Morus nigra* L.) in the amounts of 1.50, 4.80, and 11.30 mg/100g, respectively. Similarly, the results of this study show that the quercetin content in the KS is 5.36 mg/100g. Rutin was present in the white in the mulberry fruit cultivars: WV (26.90±2.26 mg/100g), NS 60 (26.51±2.30 mg/100g), KJ (23.96±0.44 mg/100g), KS (23.03±2.18 mg/100g), PT (20.69±2.11 mg/100g), CM (18.99±1.32 mg/100g), BR 60 (18.89±1.16 mg/100g), CP (18.73±6.14 mg/100g). These finding had higher content than those in a study by Zhang *et al.* (2008), they reported that the quantification of nonanthocyanin phenolic was performed by HPLC-DAD, which revealed that rutin (11.14 and 9.089 mg/100g FW) was the major nonanthocyanin phenolics in the 2 mulberry cultivars. (-)-Epicatechin, procyanidin B2, myricetin, *trans*-resveratrol, luteolin, naringenin and kaempferol were also presented. Among the flavonoids assayed, myricetin and kaempferol had found the lowest level. However, these compounds analysed in this study were presented lower than those of reported by Sultana and Anwar (2008), who reported that the kaempferol contents of mulberry fruit were 28.43 mg/100g.

The content of phenolic acids in berries is affected by the degree of maturity at harvest, genetic differences (cultivar), preharvest environmental conditions, postharvest storage conditions, processing and cultivation (Hakkinen & Torronen, 2000; Scalzo *et al.*, 2005). Phenolic acids constitute about one-third of the dietary phenols, and they are present in plants in free and bound forms. Gallic acid and cinnamic acid were found to be the major phenolic acids in mulberry fruit cultivars. Gallic acid in cultivar BR 60 (23.03±2.18 mg/100g), NS 60 (23.34±2.68 mg/100g), and WV (22.94±1.20 mg/100g) had higher content than other cultivar; KJ (16.04±1.34 mg/100g), PT (13.14±1.36 mg/100g), KS (11.38±1.05 mg/100g), CP (9.42±1.22 mg/100g), and CM (7.33±1.12 mg/100g) (Table 3). Cinnamic acid was the second most abundant phenolic acid detected in the mulberry fruit cultivars investigated in the present study. The range of cinnamic acid content was 11.64–15.05

mg/100g. A high content of cinnamic acid was obtained in the cultivar PT with average level of 15.05 ± 1.53 mg/100g. *p*-Hydroxybenzoic acid ranged from 1.77 mg/100g (cultivar PT) to 7.13 mg/100g (cultivar KJ). The ranking of mulberry fruit cultivars on the basis of *p*-hydroxybenzoic acid contents in decreasing order is KJ (7.13 ± 1.02 mg/100g) > NS 60 (6.18 ± 1.12 mg/100g) > CP (4.92 ± 0.61 mg/100g) > BR 60 (4.77 ± 0.42 mg/100g) > WV (4.14 ± 0.30 mg/100g) > KS (2.98 ± 0.26 mg/100g) > CM (2.89 ± 1.10 mg/100g) > PT (1.77 ± 0.13 mg/100g).

Univariate regression analysis between some flavonoids and phenolic acids and antioxidant activity are summarized in Table 4. There were good correlations among parameters measured for flavonoids and phenolic acids. (+)-Catechin content had the highest positive correlations ($0.01 < p \leq 0.001$) with TPC, TFC, while it had the strong negative correlations ($0.05 < p \leq 0.01$) with DPPH radical scavenging activity. Rutin content gave strong positive correlations ($0.05 < p \leq 0.01$) with TFC. Procyanidin B1 content gave strong positive correlations ($0.01 < p \leq 0.001$) with TPC and TFC but no correlation with DPPH. However, no correlation between those parameters and quercetin content was observed in mulberry fruit. For phenolic acids, there were good correlations between the TPC, TFC and antioxidant activities based on DPPH radical scavenging and gallic acid content. In addition, TPC and TFC was positively correlated with *p*-hydroxybenzoic acid content ($0.05 < p \leq 0.01$ and $p \leq 0.05$, respectively) but not with DPPH radical scavenging in the mulberry fruit.

Antioxidant activity is found to be linearly proportional with phenolic contents. Oktay *et al.* (2003) reported a strong positive relationship between total phenolic contents and antioxidant activity, which appears to be the trend in many plant species. The relationships between TPC and antioxidant properties of many plants (e.g., common vegetables, fruits, spices and medicinal herbs) were investigated in previous studies (Shan *et al.*, 2005; Wong *et al.*, 2006), and reported that phenolic compounds in many plants significantly contributed to their antioxidant properties. Fig. 1 shows the correlation between TPC and DPPH assay of mulberry fruits. Correlation between DPPH radical scavenging activity (*Y*) and TPC (*X*) was established as an equation ($Y = 0.0286X - 2.1723$), and a highly significant linear correlation ($R^2 = 0.8125$) was obtained. Results shows a positive correlation coefficient between the TPC and DPPH assay of mulberry fruits ($r = 0.902$) which is high significant ($0.01 < p \leq 0.001$). The increased DPPH activity of mulberry fruits is related to an increase and accumulation

of phenolics in the fruits. Antioxidants are secondary metabolites produced by most of plants but in different content to protect against oxidative damage by free radicals (Elzaawely *et al.*, 2007). Correlation between DPPH activity (Y) and TFC (X) was established as an equation ($Y = 0.0178X + 0.2023$), and a high significant linear correlation ($R^2 = 0.5612$) was obtained (Fig. 2), and the results also demonstrated positive correlation coefficient between the TFC and the DPPH assay of the mulberry fruits ($r=0.750$), that was high significant ($P<0.05$). Meanwhile, coefficient of determination (R^2) was measured on how well the regression line represents the data which shows the association between TPC and DPPH assay ($R^2=0.8125$) in Fig. 1 and between TFC and DPPH assay ($R^2=0.5612$) in Fig. 2. In this study, it seemed that, the higher TPC of mulberry fruits resulted in higher antioxidant activity as similarly reported by Cai *et al.* (2004), Shan *et al.* (2005) and Wong *et al.* (2006). A significant and linear relationship existed between the antioxidant activity and phenolic content of mulberry fruit thus indicating that phenolic compounds are major contributors to antioxidant activity.

Conclusion

The demand for fruit species containing flavonoids and phenolic acids has been increasing due to the identification of flavonoids having anticarcinogenic effects in the studies in recent years. Mulberry is also included in this fruit species. The antioxidant capacities, TPC, TFC and phenolic contents of eight major mulberry cultivars widely cultivated in Thailand were evaluated. The highest TPC and TFC were observed in cultivar NS 60 among the selected mulberry fruit cultivars investigated. The mulberry fruit extracted presence of many kinds of phenolics such as (+)-catechin, (-)-epicatechin, rutin, procyanidin B1 (epicatechin-(4 β →8)-catechin), procyanidin B2 ((-)-epicatechin-(4 β →8)-(-)-epicatechin), quercetin, myricetin, *trans*-resveratrol, luteolin, naringenin, and kaempferol. The main flavonoids present in mulberry fruit cultivars were (+)-catechin, procyanidin B1 and quercetin. Gallic acid and cinnamic acid were found to be the major phenolic acids in mulberry fruit cultivars. Mulberries are a rich source of phenolics, with high levels in cultivar NS 60. This cultivar is the most potent mulberry fruit cultivar (lowest EC₅₀ value) and with highest TPC, TFC and good phenolic contents. A significant correlation was obtained between

antioxidant activity (DPPH assay) and TPC indicating that phenolic compounds contribute significantly to antioxidant activity of the investigated mulberry fruit. The results obtained demonstrated that the mulberry fruit with high antioxidant activity exhibited relatively high TPC and TFC.

Acknowledgements

The authors would like to thank the Thailand Research Fund (TRF) for the financial support (TRF grant – RDG5420032) for this research. We also thank Mr. Paul Alexander Dulfer from the Division of Research Supporting and Extension Services, Mahasarakham University, for reading the manuscript, suggestions and corrections.

References

- Akowuah, G.A., Ismail, Z., Norhayati, I. & Sadikun, A. (2005). The effects of different extraction solvents of varying polarities of polyphenols of *Orthosiphon stamineus* and evaluation of the free radical-scavenging activity. *Food Chemistry*, **93**, 311–317.
- Asano, N., Yamashita, T., Yasuda, K., Ikeda, K., Kizu, H., Kameda, Y., Kato, A., Nash, R.J., Lee, H.S. & Ryu, K.S. (2001). Polyhydroxylated alkaloids isolated from mulberry trees (*Morus alba* L.) and silkworms (*Bombyx mori* L.). *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, **49**, 4208–4213.
- Bae, S.H. & Suh, H.J. (2007). Antioxidant activities of five different mulberry cultivars in Korea. *LWT-Food Science and Technology*, **40**, 955–962.
- Butkhup, L. & Samappito, S. (2008). Analysis of anthocyanin, flavonoids and phenolic acids in tropical bignay berries. *International Journal of Fruit Science*, **8**, 15–34.
- Cai, Y., Luo, Q., Sun, M. & Corke, H. (2004). Antioxidant activity and phenolic compounds of 112 Chinese medicinal plants associated with anticancer. *Life Science*, **74**, 2157–2184.
- Cano, A. & Arnao, M.B. (2005). Hydrophilic and lipophilic antioxidant activity in different leaves of three lettuce varieties. *International Journal of Food Properties*, **8**, 521–528.

- Dairas-Martin, J., Lobo-Rodrigo, G. & Hernandez-Corderol, J. (2003). Alcoholic beverages obtained from black mulberry. *Food Technology and Biotechnology*. **41**, 173–176.
- Elattar, T.M. & Virji, A.S. (2000). The inhibitory effect of curcumin, genistein, quercetin and cisplatin on the growth of oral cancer cells *in vitro*. *Anticancer Research*. **20**, 1733–1738.
- Elzaawely, A.A., Xuan, T.D. & Tawata, S. (2007). Essential oils, kava pyrones and phenolic compounds from leavess and rhizomess of *Alpinia zerumbet* and their antioxidant activity. *Food Chemistry*. **103**, 486–494.
- Ercisli, S. & Orhan, E. (2007). Chemical composition of white (*Morus alba*), red (*Morus rubra*) and black (*Morus nigra*) mulberry fruits. *Food Chemistry*. **103**, 1380–1384.
- Ercisli, S., Tosun, M., Duralija, B., Voca, S., Sengul, M. & Turan, M. (2010). Phytochemical content of some black (*Morus nigra* L.) and purple (*Morus rubra* L.) mulberry genotypes. *Food Technology and Biotechnology*. **48**, 102–106.
- Gerasopoulos, D. & Stavroulakis, G. (1997). Quality characteristics of four mulberry (*Morus* spp.) cultivars in the area of Chania, Greece. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. **73**, 261–264.
- Gundogdua, M., Muradoglua, F., Gazioglu Sensoy, R.I. & Yilmaz, H. (2011). Determination of fruit chemical properties of *Morus nigra* L., *Morus alba* L. and *Morus rubra* L. by HPLC. *Scientia Horticulturae*. **132**, 37–41.
- Hakkinen, S.H. & Torronen, A.R. (2000). Content of flavonols and selected phenolic acids in strawberries and *Vaccinium* species: influence of cultivar, cultivation site and technique. *Food Research International*. **33**, 517–524.
- Hassimotto, N.M.A., Genovese, M.I. & Lajolo, F.M. (2005). Antioxidant activity of dietary fruits, vegetables, and commercial frozen fruit pulps. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. **53**, 2928–2935.
- Hojjatpanah, G., Fazaeli, M. & Emam-Djomeh, Z. 2011. Effects of heating method and conditions on the quality attributes of black mulberry (*Morus nigra*) juice concentrate. *International Journal of Food Science & Technology*. **46**, 956–962.

- Kim, D., Chun, O., Kim, Y., Moon, H. & Lee, C. (2003). Quantification of phenolics and their antioxidant capacity in fresh plums. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. **51**, 6509–6515.
- Kim, H.B., Kim, S.Y., Ryu, K.S., Lee, W.C. & Moon, J.Y. (2001). Effect of methanol extract from mulberry fruit on the lipid metabolism and liver function in cholesterol-induced hyperlipidemia rats. *Korean Journal of Sericultural Science*. **43**, 104–108.
- Kim, S.Y., Park, K.J. & Lee, W.C. (1998). Antiinflammatory and antioxidative effects of *Morus* spp. fruit extract. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. **6**, 204–209.
- Koyuncu, F. (2004). Organic acid composition of native black mulberry fruit. *Chemistry of Natural Compounds*. **40**, 367–369.
- Lee, H.A. & Wicker, L. (1991). Anthocyanin pigments in the skin of lychee fruit. *Journal of Food Science*. **56**, 466–468.
- Lee, J.-Y., Moon, S.-O., Kwon, Y.-J., Rhee, S.-J., Park, H.-R. & Choi, S.-W. (2004). Identification and quantification of anthocyanins and flavonoids in mulberry (*Morus* sp.) cultivars. *Food Science and Biotechnology*. **13**, 176–184.
- Lin, J.Y. & Tang, C.Y. (2007). Determination of total phenolics and flavonoid contents in selected fruits and vegetables, as well as their stimulatory effects on mouse splenocyte proliferation. *Food Chemistry*. **101**, 140–147.
- Oktay, M., Gulcin, I. & Kufrevioglu, O.I. (2003). Determination of *in vitro* antioxidant activity of fennel (*Foeniculum vulgare*) seed extracts. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technology*. **36**, 263–271.
- Özgen, M., Güneş, M., Akça, Y., Türemiş, N., Ilgin, M., Kizilci, G., Erdoğan, U. & Serçe, S. (2009). Morphological characterization of several *Morus* species from Turkey. *Horticulture Environment and Biotechnology*. **50**, 1–5.
- Pawlowska, A.M., Oleszek, W. & Braca, A. (2008). Quali-quantitative analyses of flavonoids of *Morus nigra* L. and *Morus alba* L. (Moraceae) fruits. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. **56**, 3377–3380.
- Rice-Evans, C., Miller, N.J. & Paganga, G. (1996). Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. *Free Radical Biology & Medicine*. **20**, 933–956.

- Scalzo, J., Politi, A., Pellegrini, N., Mezzetti, B. & Battino, M. (2005). Plant genotype affects total antioxidant capacity and phenolic contents in fruit. *Nutrition*. **21**, 207–213.
- Seeram, N.P., Henning, S.M., Lee, R., Niu, Y., Scheuller, H.S. & Heber, D. (2006). Catechin and caffeine contents of green tea dietary supplements and correlation with antioxidant activity. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. **54**, 1599–1603.
- Singleton, V.L. & Rossi, J.A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*. **16**, 144–158.
- Shan, B., Cai, Y.Z., Sun, M. & Corke, H. (2005). Antioxidant capacity of 26 spice extracts and characterization of their phenolic constituents. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. **53**, 7749–7759.
- Song-Hwan, B. & Hyung-Joo, S. (2007). Antioxidant activities of five different mulberry cultivars in Korea. *LWT*. **40**, 955–962.
- Sultana, B. & Anwar, F. (2008). Flavonols (kaempferol, quercetin, myricetin) contents of selected fruits, vegetables and medicinal plants. *Food Chemistry*. **108**, 879–884.
- Wong, C., Li, H., Cheng, K. & Chen, F. (2006). A systematic survey of antioxidant activity of 30 Chinese medicinal plants using the ferric reducing antioxidant power assay. *Food Chemistry*. **97**, 705–711.
- Zhang, W., Han, F., He, J. & Duan, C. (2008). HPLC-DAD-ESI-MS/MS analysis and antioxidant activities of nonanthocyanin phenolics in mulberry (*Morus alba* L.). *Journal of Food Science*. **14**, 512–518.
- Zhishen, J., Mengcheng, T. & Jianming, W. (1999). The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects in superoxide radicals. *Food Chemistry*. **64**, 555–559.

Table 1 Mulberry cultivars used for phenolic composition and antioxidant trait assays

Cultivar name	Origin
NS 60	Silk Innovation Center, Mahasarakham University, Thailand
BR 60	Silk Innovation Center, Mahasarakham University, Thailand
CP	Queen Sirikit Sericulture Center's Udon Thani, Thailand
WV	Queen Sirikit Sericulture Center's Udon Thani, Thailand
CM	Queen Sirikit Sericulture Center's Udon Thani, Thailand
PT	Queen Sirikit Sericulture Center's Udon Thani, Thailand
KS	Queen Sirikit Sericulture Center's Udon Thani, Thailand
KJ	Kamnanchul Farm, Phetchabun, Thailand

Table 2 Total phenolic content, total flavonoid content and antioxidant activity of methanolic extracted from mulberry fruit

Cultivar name	TPC (mg GAE/100g)	TFC (mg CE/100g)	TFC/TPC	DPPH assay (EC ₅₀ , µg/ml)
NS 60	213.53 ± 11.33 a	211.01 ± 10.03 a	0.99	241.83 ± 13.55 a
BR 60	182.61 ± 12.27 b	101.04 ± 5.18 c	0.55	269.01 ± 18.33 b
CP	151.93 ± 11.94 c	90.01 ± 5.08 d	0.59	503.69 ± 15.02 d
WV	180.27 ± 8.07 b	161.98 ± 9.14 b	0.90	312.96 ± 18.15 c
CM	104.78 ± 8.46 e	64.55 ± 6.32 e	0.62	1060.86 ± 14.42 g
PT	120.81 ± 10.08 d	85.61 ± 4.19 d	0.70	594.30 ± 10.12 f
KS	114.21 ± 9.42 d	69.58 ± 7.13 e	0.61	1194.67 ± 10.06 h
KJ	178.93 ± 11.89 b	153.50 ± 9.42 b	0.86	544.76 ± 13.07 e

All analyses were the mean of triplicate measurements ± standard deviation. The EC₅₀ value is defined as the amount of extract necessary to decrease the initial DPPH radical concentration by 50%. Values in the same column with different lower-case letters are significantly different at $P < 0.05$ as measured by the DMRT.

Table 3 Phenolic composition (mg/100 g of mulberry fruit)

Phenolic compounds	Cultivar name							
	NS 60	BR 60	CP	WV	CM	PT	KS	KJ
<i>Flavonoids</i>								
(+)-catechin	726.02±11.80	506.35±14.31	410.20±12.66	750.01±18.02	392.77±16.82	406.53±13.14	309.26±18.34	591.71±13.70
(-)-epicatechin	16.34±1.12	17.12±2.13	8.47±1.16	12.81±1.35	10.02±1.04	10.33±1.18	11.80±1.24	29.21±2.23
rutin	26.51±2.30	18.89±1.16	18.73±1.19	26.90±2.26	18.99±1.32	20.69±2.11	23.03±2.18	23.96±0.44
procyanidin B1	156.67±13.16	113.38±10.20	86.31±6.14	150.75±13.06	59.64±2.10	62.59±2.35	104.17±12.23	224.41±17.05
procyanidin B2	5.66±0.12	3.53±0.15	3.02±0.04	3.77±0.08	3.64±0.23	4.22±0.15	1.02±0.05	4.46±0.14
myricetin	0.73±0.04	1.18±0.05	1.11±0.01	0.75±0.03	1.03±0.02	1.16±0.02	0.72±0.01	0.66±0.02
<i>trans</i> -resveratrol	6.15±1.02	5.88±1.14	14.17±2.05	3.13±0.11	11.60±1.03	11.62±1.16	2.95±0.24	4.20±1.01
quercetin	52.85±2.24	31.88±1.36	56.98±4.03	36.18±0.24	34.68±3.44	58.42±3.05	5.36±0.12	43.54±0.10
luteolin	4.73±0.12	1.01±0.02	5.38±0.10	1.32±0.14	5.20±0.13	4.97±0.08	4.26±0.73	1.06±0.04
naringenin	1.18±0.02	1.21±0.03	4.41±0.11	1.39±0.04	5.88±0.24	4.15±0.02	1.05±0.01	1.03±0.02
kaempferol	0.84±0.03	0.44±0.05	1.37±0.10	0.28±0.02	1.62±0.11	1.15±0.03	0.27±0.02	0.24±0.01
Σ Flavonoids	997.68±28.30	700.87±22.41	610.15±16.03	987.29±24.55	545.07±18.32	585.83±14.53	463.89±31.22	924.48±24.10
<i>Phenolic acids</i>								
gallic acid	23.34±2.68	23.90±2.31	9.42±1.22	22.94±1.20	7.33±1.12	13.14±1.36	11.38±1.05	16.04±1.34
protocatechuic acid	0.02±0.00	ND	0.13±0.01	0.13±0.02	0.01±0.00	0.10±0.01	7.89±1.20	ND
<i>p</i> -hydroxybenzoic acid	6.18±1.12	4.77±0.42	4.92±0.61	4.14±0.30	2.89±1.10	1.77±0.13	2.98±0.26	7.13±1.02
chlorogenic acid	2.94±0.16	1.38±0.13	4.82±0.20	ND	3.29±0.10	3.53±0.12	ND	6.95±0.55
vanillic acid	1.33±0.10	1.04±0.03	1.58±0.04	2.21±0.11	1.47±0.03	1.42±0.05	2.36±0.15	1.82±0.04
caffeic acid	2.49±0.14	1.06±0.05	2.57±0.26	ND	1.88±0.06	2.37±0.12	1.06±0.04	8.17±0.20
syringic acid	0.60±0.02	1.02±0.14	2.40±0.08	0.72±0.05	3.42±0.13	2.04±0.10	0.32±0.02	0.52±0.04
<i>p</i> -coumaric acid	0.03±0.00	0.04±0.00	0.13±0.03	0.01±0.00	0.05±0.01	0.01±0.00	0.06±0.02	0.01±0.00
ferulic acid	0.52±0.10	0.64±0.09	0.51±0.10	1.48±0.04	ND	0.51±0.02	0.71±0.03	0.73±0.04
sinapinic acid	0.44±0.02	ND	0.36±0.11	1.82±0.08	0.43±0.04	0.42±0.02	0.37±0.01	ND
cinnamic acid	13.15±1.68	11.64±1.35	12.60±1.22	13.87±1.46	12.55±1.10	15.05±1.53	13.97±2.02	14.60±1.01
Σ Phenolic acids	51.04±2.41	45.49±2.42	39.44±3.05	47.32±2.51	33.32±2.30	40.36±4.02	41.10±1.42	55.97±2.11

All analyses were the mean of triplicate measurements ± standard deviation. ND: not detected.

Table 4 Correlations among mulberry fruit antioxidant activities and some flavonoids and phenolic acids and total phenolic content and total flavonoid content.

	Flavonoids				Phenolic acids	
	(+)-catechin	rutin	procyanidin B1	quercetin	gallic acid	<i>p</i> -hydroxybenzoic acid
TPC	0.849***	0.551	0.721**	0.318	0.854***	0.808**
TFC	0.925***	0.811**	0.756**	0.343	0.743**	0.711*
DPPH	-0.759**	-0.299	-0.426	-0.592	-0.796**	-0.540

TPC: total phenolic content; TFC: total flavonoid content; DPPH: radical scavenging activity.

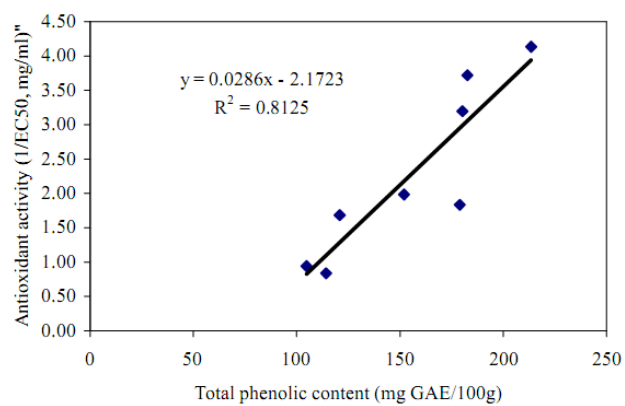
Significance: *, $p \leq 0.05$; **, $0.05 < p \leq 0.01$; and ***, $0.01 < p \leq 0.001$.

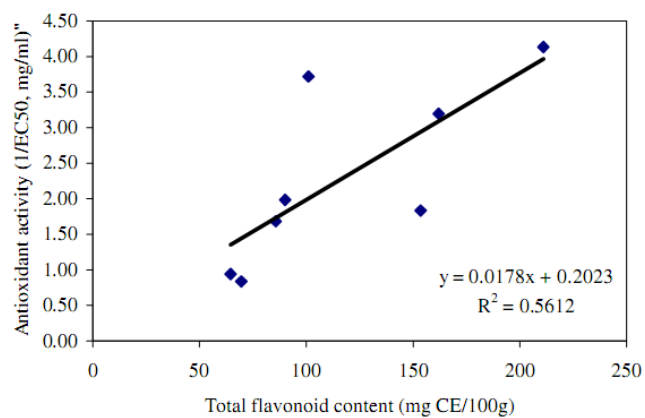
Legends to Figures

Figure 1. Linear correlation of antioxidant activity ($1/EC_{50}$) (Y) versus the total phenolic content (X) of mulberry fruit

Figure 2. Linear correlation of antioxidant activity ($1/EC_{50}$) (Y) versus the total flavonoid content (X) of mulberry fruit

For Peer Review





บทความเรื่องเส้นทางวิชาการ

วิจัยพบ “ลูกหม่อน” ผลไม้ตระกูลเบอร์รี่มีสารต้านอนุมูลอิสระสูง

ลือชัย บุตรคุป

ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

หม่อน เป็นพืชยืนต้นที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของประเทศไทย เนื่องจากใบหม่อนเป็นอาหารที่ดีที่สุดของหนอนไหม หม่อนที่ปลูกในเมืองไทยมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Morus alba* ชื่อภาษาอังกฤษว่า White Mulberry, Mulberry Tree เกษตรกรหรือผู้ประกอบการมักจะเรียกว่า **มัลเบอร์รี่ (mulberry fruit)** ถ้าบอกแบบนี้จะทำให้ราคาจำหน่ายสูงขึ้น เนื่องจากกระแสเบอร์รี่มาแรงในกลุ่มผลไม้สีม่วง-แดงที่มีสารต้านอนุมูลอิสระสูง ในต่างประเทศนิยมทำอาหารและเครื่องดื่มจากหม่อนทำให้มีราคาแพง ในประเทศสหรัฐอเมริกามีราคาสูงถึง 800-1200 บาทต่อกิโลกรัม อีกทั้งยังนิยมปลูกหม่อนไว้เป็นไม้บังลม (wine break) รอบสวนองุ่นและสวนผลไม้อื่น ๆ ชาวไทยภูเขาภาคเหนือในเขตจังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย และแม่ฮ่องสอน นิยมปลูกเป็นผลไม้ริมรั้ว ก่อนการวิจัยและพัฒนาจนกลายมาเป็นอาหารและเครื่องดื่มในทางสรรพสินค้าและโรงแรมชั้นหนึ่ง ผลหม่อนจะสุกในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเมษายนและให้ผลผลิตต่อไร่ประมาณ 300-400 กิโลกรัม ผลหม่อนใช้รับประทานผลสดและแปรรูปได้หลายชนิด เช่น แยม เยลลี่ ไวน์หม่อน น้ำหม่อน ลูกอม สมุนไพรจากใบหม่อนและผลหม่อน เป็นต้น หม่อนมีสรรพคุณทางเภสัชวิทยาหลายชนิด โดยผลใช้เป็นยาระบายอ่อน ๆ แก้อาการไม่ปกติ ขับร้อน ทำให้ชุ่มคอ บำรุงไต ดังนั้นหม่อนจึงเป็นพืชหนึ่งที่น่าสนใจในการนำมาแปรรูปของสินค้าหนึ่งผลิตภัณฑ์หนึ่งตำบล ที่ผ่านมามีผลหม่อน ได้รับการวิจัยและพัฒนาการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์หลากหลายรูปแบบ อาทิ น้ำผลไม้ ไวน์ แยม เยลลี่ และลูกอม

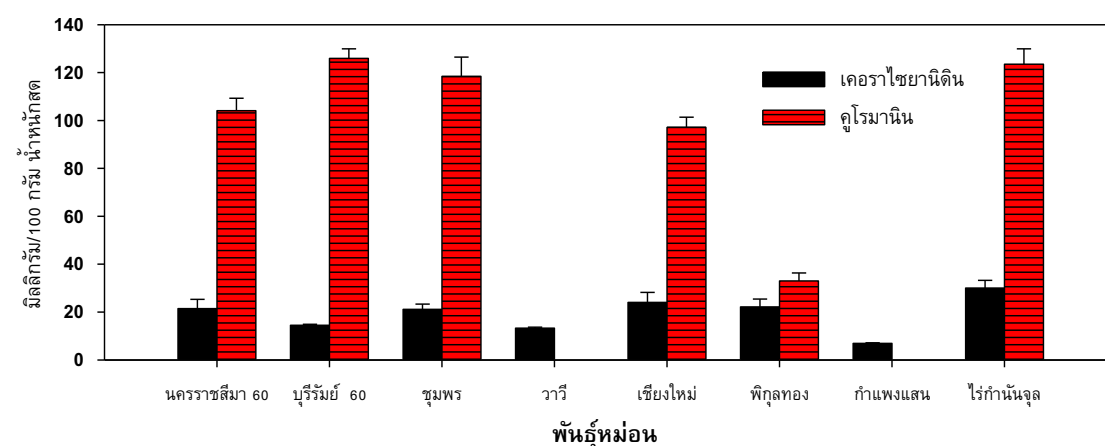


ผลหม่อนประกอบด้วยแคโรทีน วิตามินบีหนึ่ง วิตามินบีสอง วิตามินซี กลูโครอส ซูโครส กรดทาร์ทาริก กรดซิตตินิก และกรดซิตตริก ผลหม่อน ในผลหม่อนตากแห้งจะมีน้ำตาลอยู่ปริมาณมาก กลิ่นหอม รสหวาน ฤทธิ์เย็น มีวิตามินบีหนึ่ง วิตามินบีสอง และวิตามินซีอยู่สูง เนื่องจากเป็นพืชผลที่มีสรรพคุณเป็นยารักษาโรคต่าง ๆ ในทางการแพทย์โบราณของจีนถือว่าผลหม่อนเป็นยาบำรุงกำลัง บำรุงประสาท แก้อาการนอนไม่หลับ แก้อาการไอเสบ แก้อาการขับเสมหะ ลดการอักเสบลำคอ แก้อาการบวมหน้า และแก้อาการปวดเมื่อยตามร่างกาย นอกจากนี้ผลหม่อนยังมีสรรพคุณใช้แก้อาการโรคเบาหวาน โรคโลหิตจาง โรคเบาหวาน ซาตามแซนซา อาการท้องผูก เวียนศีรษะ บำรุงหัวใจ บำรุงโลหิต บำรุงไต บำรุงสายตา บำรุงเส้นผมให้ดกดำ ขจัดความร้อนออกจากร่างกาย และโรคความจำเสื่อม หรืออัลไซเมอร์ โรคไขข้ออักเสบ โรคโลหิตจาง หลายประเทศทั่วโลกได้

นำมาใช้ประโยชน์ในเชิงสุขภาพเป็นเวลานาน ประกอบกับร่างกายต้องการสารต้านอนุมูลอิสระซึ่งส่วนใหญ่พบมากในผัก และผลไม้ จึงทำให้ในปัจจุบันผู้คนหันมาสนใจสารออกฤทธิ์ชีวภาพจากธรรมชาติมากยิ่งขึ้น เนื่องจากสารต้านออกซิเดชันสังเคราะห์เช่น butylated hydroxytoluene (BHT) และ butylated hydroxyanisole (BHA) มีอันตราย และมีผลข้างเคียง ในปัจจุบันมีการศึกษาเกี่ยวกับชนิดและปริมาณของสารประกอบฟีนอลิก และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผลหม่อน เนื่องจากผลหม่อนมีความเหมาะสมในการนำมาใช้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ จึงจำเป็นต้องศึกษาหาพันธุ์หม่อนที่ให้ผลหม่อนที่มีคุณภาพทางเคมีและฤทธิ์ทางชีวภาพดี จากผลงานวิจัยในล่าสุดของผมและคณะในจำนวนหม่อน 8 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์นครราชสีมา 60 พันธุ์บุรีรัมย์ 60 พันธุ์ชุมพร พันธุ์วาวี พันธุ์เชียงใหม่ พันธุ์พิบูลทอง พันธุ์กำแพงแสน และพันธุ์ไร่ก้านจูล พบว่า ผลหม่อนสดมีสารสำคัญหลายชนิด อาทิ ฟลาโวนอยด์ (flavonoids) และแอนโทไซยานิน (anthocyanin) ซึ่งเป็นสารสี (pigment) ที่พบในผลหม่อนสุก มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) จากตารางจะเห็นได้ว่าฟลาโวนอยด์มีปริมาณสูงในผลหม่อนโดยเฉพาะอย่างยิ่งในผลหม่อนพันธุ์นครราชสีมา 60 และพันธุ์ไร่ก้านจูล

พันธุ์หม่อน	ปริมาณฟลาโวนอยด์ (มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักสด)		
	คาร์ทีซิน	รูติน	เคออสิติน
พันธุ์นครราชสีมา 60	163.78	34.26	10.18
พันธุ์บุรีรัมย์ 60	121.42	27.19	2.85
พันธุ์ชุมพร	109.89	23.12	15.26
พันธุ์วาวี	183.65	35.95	1.47
พันธุ์เชียงใหม่	82.21	12.48	13.54
พันธุ์พิบูลทอง	75.45	11.62	10.84
พันธุ์กำแพงแสน	85.15	19.31	0.77
พันธุ์ไร่ก้านจูล	70.05	50.83	0.80

ผลหม่อนสุกที่เป็นผลสดมีความแปรปรวนในแต่ละพันธุ์ โดยแอนโทไซยานินชนิดคูโรมานิน (kuromanin) และเคอราไซยานิดิน (keracyanidin) เป็นแอนโทไซยานินที่พบมากที่สุดในการหม่อนพันธุ์บุรีรัมย์ 60 พันธุ์ไร่ก้านจูล พันธุ์ชุมพร และพันธุ์นครราชสีมา 60 ซึ่งมีปริมาณเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1041.0-1259.4 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักสด ปริมาณแอนโทไซยานินในผลหม่อนมีสูงกว่าผลเชอร์รี่ ผลแบล็คเบอร์รี่ และผลเรดราสเบอร์รี่ประมาณ 10 เท่า และสูงกว่าผลแบล็คเบอร์รี่ประมาณ 2 เท่า ซึ่งเป็นผลไม้ตระกูลเบอร์รี่ที่มีชื่อเสียงในต่างประเทศ



แอนโทไซยานินอีกชนิดหนึ่งคือไซยานิดินไทรรูติโนไซด์ (cyanidin-3-rutinoside) หรือเคอราไซยานิดิน (keracyanidin) เป็นแอนโทไซยานินชนิดหนึ่งที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพมากมาย ได้แก่ ด้านการกลายพันธุ์ และต้านสารก่อมะเร็ง ซึ่งฤทธิ์ส่วนใหญ่เกิดจากคุณสมบัติการต้านออกซิเดชันของอนุมูลอิสระ ในผลหม่อนตรวจพบปริมาณเคอราไซยานิดินสูงรองจากคูโรมาโนนโดยพบในช่วง 69.2-300.5 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ปริมาณแอนโทไซยานินสามารถเรียงลำดับจากปริมาณต่ำไปสูงได้ดังนี้ กำแพงแสน < วาวี < บุรีรัมย์ 60 < ชุมพร < นครราชสีมา 60 < พิกุลทอง < เชียงใหม่ < ไร่ก้านจูล ปริมาณเคอราไซยานิดินที่พบในผลหม่อนมีปริมาณสูงกว่าในผลเชอร์รี่ประมาณ 5 เท่า การทดสอบกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในผลหม่อนพันธุ์ต่างๆ พบว่าสามารถเรียงลำดับจากต่ำไปสูงได้ดังนี้ กำแพงแสน < เชียงใหม่ < พิกุลทอง < ชุมพร < วาวี < บุรีรัมย์ 60 < นครราชสีมา 60 < ไร่ก้านจูล แสดงให้เห็นว่าหม่อนพันธุ์นครราชสีมา 60 และพันธุ์ไร่ก้านจูลเป็นพันธุ์ที่เหมาะสมแก่การปลูกเพื่อผลิตผลสดเพื่อใช้ผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพที่มีมูลค่าสูง เนื่องจากเป็นหม่อนพันธุ์ที่มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงและมีปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์และแอนโทไซยานินสูง มีความเหมาะสมในการนำมาปรุงเป็นยาสมุนไพร และผลิตเป็นยารักษาโรค หรือผลิตภัณฑ์อื่นต่อไป

เอกสารอ้างอิง

มนต์วดี หุ่นเจริญและศศิธร ตรงจิตภักดี. 2552. ผลของระยะการเจริญเติบโตต่อแอนโทไซยานินและ

ความสามารถต้านออกซิเดชันของผลหม่อนสายพันธุ์กำแพงแสน-เอ็มบี-42-1.

คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วสันต์ นุ้ยภิรมย์. 2546. หม่อนรับประทานผลและการแปรรูป. สถาบันวิจัยหม่อนไหมเชียงใหม่

กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ : นันทกานต์กราฟฟิคการพิมพ์.



วิจัยพบ “ลูกหม่อน”

ผลไม้ตระกูลเบอร์รี่มีสารต้านอนุมูลอิสระสูง

ดร.ลือชัย บุตรบุญ

ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

หม่อน (mulberry) เป็นพืชยืนต้นที่มีความสำคัญ

ทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของประเทศไทย มีชื่อ

วิทยาศาสตร์ว่า *Morus alba* L. เกษตรกรหรือ

ผู้ประกอบการมักจะเรียกว่า “มัลเบอร์รี่” ถ้าหากแบบ

นี้จะทำให้ราคาจำหน่ายสูงขึ้น เนื่องจากกระแสเบอร์รี่

มาแรงในกลุ่มผลไม้สีม่วง และสีแดงที่มีสารต้านอนุมูล

อิสระสูง ในต่างประเทศนิยมทำอาหารและเครื่องดื่ม

จากหม่อนทำให้มีราคาแพง ในประเทศสหรัฐอเมริกา

ราคาสูงถึง 800-1200 บาทต่อกิโลกรัม อีกทั้งยัง

นิยมปลูกหม่อนไว้เป็นไม้บังลม (wine break) รอบ

สวนองุ่น และสวนผลไม้ชนิดอื่น ๆ ชาวไทยภูเขา

ภาคเหนือในเขตจังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย และ

แม่ฮ่องสอนนิยมปลูกเป็นผลไม้รับประทาน

และพัฒนามาจนกลายเป็นอาหารและเครื่องดื่มใน

ห้างสรรพสินค้า และโรงแรมชั้นนำ ผลหม่อนจะสุก

ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงมีนาคม และให้ผลผลิตต่อไร่

ประมาณ 300-400 กิโลกรัม ผลหม่อนใช้รับประทาน

ผลสดและแปรรูปได้หลายชนิด เช่น แยม เยลลี่ ไวน์



สรรพคุณ

ในทางการแพทย์โบราณของจีนถือว่าผลหม่อน

เป็นยาบำรุงกำลัง บำรุงประสาท แก้อาการนอนไม่

หลับ แก้ไขข้ออักเสบ แก้ไอขับเสมหะ ลดการอักเสบ

ลำคอ แก้อาการบวม น้ำ และแก้ปวดเมื่อยตามร่างกาย

นอกจากนี้ผลหม่อนยังมีสรรพคุณใช้แก้อิทธิฤทธิ์

โรตไฮโดรเจน โรตบาหวาน ชาตามเขนชา อากา

ท้องผูก เวียนศีรษะ บำรุงหัวใจ บำรุงโลหิต บำรุงไต

บำรุงสายตา บำรุงเส้นผมให้ดกดำ

ขัดความร้อนออกจากร่างกาย

และลดความจำเสื่อม หรืออัลไซเมอร์

โรตไฮโดรเจน โรตไฮโดรเจน หาย

ประเททั่วโลกได้นำมาใช้ประโยชน์ในเชิง

สุขภาพเป็นเวลานาน ประกอบกับร่างกายต้องการ

สารต้านอนุมูลอิสระซึ่งส่วนใหญ่พบมากในผัก และ

ผลไม้ จึงทำให้ในปัจจุบันผู้คนหันมาสนใจบริโภคผัก

ชีวภาพจากธรรมชาติมากยิ่งขึ้น เนื่องจากสารต้าน

ออกซิเดชันสังเคราะห์ ตัวอย่างเช่น butylated

hydroxytoluene (BHT) และ butylated

hydroxyanisole (BHA) มีอันตราย และมี

ผลข้างเคียง ในปัจจุบันมีการศึกษาเกี่ยวกับชนิดและ

ปริมาณของสารประกอบพิษในผัก และความสามารถใน

การต้านอนุมูลอิสระของผลหม่อน เนื่องจากผลหม่อน

มีความเหมาะสมในการนำมาใช้เป็นผลิตภัณฑ์อาหาร

เพื่อสุขภาพ จึงจำเป็นต้องศึกษาหาพันธุ์หม่อนที่ให้ผล

หม่อนที่มีคุณภาพทางเคมีและฤทธิ์ทางชีวภาพดี

พันธุ์หม่อน	ปริมาณฟลาโวนอยด์ (มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักสด)		
	ดาร์ทอน	รูติน	เคอร์ซีติน
พันธุ์นครราชสีมา 60	163.78	34.26	10.18
พันธุ์บุรีรัมย์ 60	121.42	27.19	2.85
พันธุ์ชุมพร	109.89	23.12	15.26
พันธุ์จ้าว	183.65	35.95	1.47
พันธุ์เชียงใหม่	82.21	12.48	13.54
พันธุ์พิกุลทอง	75.45	11.62	10.84
พันธุ์กำแพงแสน	85.15	19.31	0.77
พันธุ์ไร่กำแพง	70.05	50.83	0.80

ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ

จากผลงานวิจัยในล่าสุดของผผและคณะ พบว่า

ผลหม่อนสดจำนวน 8 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์นครราชสีมา

60 พันธุ์บุรีรัมย์ 60 พันธุ์ชุมพร พันธุ์จ้าว พันธุ์

เชียงใหม่ พันธุ์พิกุลทอง พันธุ์กำแพงแสน และพันธุ์ไร่

กำแพงแสนมีสารสำคัญหลายชนิด อาทิ ฟลาโวนอยด์

(flavonoids) และแอนโทไซยานิน (anthocyanin) ซึ่ง

เป็นสารสี (pigment) ที่พบในผลหม่อนสุก มีฤทธิ์

ต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) จากตารางจะเห็นได้

ว่าฟลาโวนอยด์ชนิดคาร์ทีชิน รูติน และเคอร์ซีตินมี

ปริมาณสูงโดยเฉพาะอย่างยิ่งในผลหม่อนพันธุ์

นครราชสีมา 60 และพันธุ์ไร่กำแพง

แสน



ปริมาณแอนโทไซยานินมีความแปรปรวนในผล

หม่อนสุกแต่ละพันธุ์ โดยแอนโทไซยานินชนิดคูโรมาบิน

(kuromarin) และเคอร์ซีติน (keracyanidin)

เป็นแอนโทไซยานินที่พบมากที่สุดในผลหม่อนพันธุ์บุรี

รัมย์ 60 พันธุ์ไร่กำแพงแสน พันธุ์ชุมพร และพันธุ์

นครราชสีมา 60 ซึ่งมีปริมาณเฉลี่ยอยู่ในช่วง

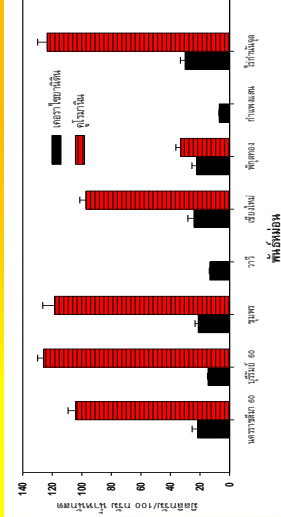
1041.0-1259.4 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด

ปริมาณแอนโทไซยานินในผลหม่อนมีสูงกว่าผลเคอร์ซี

ตินและเคอร์ซีติน และผลเคอร์ซีตินมีปริมาณ

10 เท่า และสูงกว่าผลเคอร์ซีตินมีปริมาณ 2 เท่า ซึ่ง

เป็นผลไม้นี้ตระกูลเบอร์รี่ที่มีชื่อเสียงในต่างประเทศ



แอนโทไซยานินอีกชนิดหนึ่งคือไซยาnidin-3-รุตินไซด์ (cyanidin-3-rutinoside) หรือเคอร์ซีติน (keracyanidin) เป็นแอนโทไซยานินชนิดหนึ่งที่มีฤทธิ์

ทางชีวภาพมากมาย ได้แก่ ด้านการกลายพันธุ์ และ

ต้านสารก่อมะเร็ง ซึ่งฤทธิ์ส่วนใหญ่เกิดจากคุณสมบัติ

การต้านออกซิเดชันของอนุมูลอิสระ ในผลหม่อนตรวจ

พบปริมาณเคอร์ซีตินสูงรองจากคูโรมาบิน โดย

พบในช่วง 69.2-300.5 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด

ปริมาณเคอร์ซีตินที่พบในผลหม่อนมีปริมาณสูง

กว่าในผลเคอร์ซีตินประมาณ 5 เท่า

การทดสอบกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในผล

หม่อนพันธุ์ต่าง ๆ พบว่าสามารถเรียงลำดับจากต่ำไป

สูงได้ดังนี้ กำแพงแสน < เชียงใหม่ < พิกุลทอง <

ชุมพร < วาวี < บุรีรัมย์ 60 < นครราชสีมา 60 < ไร่

กำแพงแสน แสดงให้เห็นว่าหม่อนพันธุ์นครราชสีมา 60

และพันธุ์ไร่กำแพงแสน เป็นพันธุ์ที่เหมาะสมแก่การปลูกเพื่อ

ผลิตผลสด เพื่อใช้ผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพที่มีมูลค่าสูง

เนื่องจากเป็นหม่อนพันธุ์ที่มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ

สูง และมีปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์และแอนโท

ไซยานินสูง