



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์การอาหาร

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง ผลของสายพันธุ์และการทำแห้งต่อสารประกอบฟีนอลิก ความสามารถต้านออกซิเดชัน
และสารระเหยของผลมะเดื่อฝรั่ง

Effects of Cultivars and Drying on Phenolic Compounds, Antioxidant Capacity and
Volatile Compounds of Fig Fruit

نامผู้วิจัย นางสาวจรรวรณ์ รัตนสกุลธรรม

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วราณี จิรภาคย์กุล, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์ศศิธร ตรงจิตภักดี, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วราณี จิรภาคย์กุล, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วัน เดือน พ.ศ.

สิงห์สีหิ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลของสายพันธุ์และการทำแห้งต่อสารประกอบฟีนอลิก ความสามารถต้านออกซิเดชัน
และสารระเหยของผลมะเดื่อฝรั่ง

Effects of Cultivars and Drying on Phenolic Compounds, Antioxidant Capacity
and Volatile Compounds of Fig Fruit

โดย

นางสาวจารุวรรณ รัตนสกุลธรรม

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรการอาหาร)

พ.ศ. 2555

จรรุวรรณ รัตนสกุลธรรม 2555: ผลของสายพันธุ์และการทำแห้งต่อสารประกอบฟีนอลิก
ความสามารถต้านออกซิเดชัน และสารระเหยของผลมะเดื่อฝรั่ง ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
(วิทยาศาสตร์การอาหาร) สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์วรรณ จิรภาณุกุล, Ph.D. 225 หน้า

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของสายพันธุ์และการทำแห้งต่อสารประกอบฟีนอลิก ความสามารถต้านออกซิเดชัน
และสารระเหยของผลมะเดื่อฝรั่ง 5 สายพันธุ์ (สายพันธุ์ Black Genoa, Black Mission, Brown Turkey, Hourai
และ Kadota) ที่ผ่านการทำแห้ง 2 วิธี คือ การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying) และการทำแห้งด้วยตู้อบ
ลมร้อน (hot air oven) จากการทดลองพบว่าผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ Black Genoa มีปริมาณสารประกอบ
ฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินส์ทั้งหมด สมบัติการต้านออกซิเดชัน
วัดด้วยวิธี DPPH และ ABTS, quercetin-3-rutinoside, cyanidin-3-glucoside และ cyanidin-3-rutinoside มากที่สุด
และสายพันธุ์ Black Mission มีปริมาณ chlorogenic acid มากที่สุด ในขณะที่สายพันธุ์ Hourai และ Kadota
ไม่พบ chlorogenic acid ส่วนสายพันธุ์ Brown Turkey และ Kadota ไม่พบ cyanidin-3-glucoside จากการทำแห้ง
ผลมะเดื่อฝรั่งพบว่า ผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณ
ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินส์ทั้งหมด สมบัติการต้านออกซิเดชันวัดด้วยวิธี DPPH และ ABTS
และ quercetin-3-rutinoside ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับผลมะเดื่อฝรั่งสด แต่ chlorogenic acid, cyanidin-3-
glucoside และ cyanidin-3-rutinoside มีปริมาณเพิ่มขึ้น ในขณะที่ผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนมี
ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินส์ทั้งหมด สมบัติ
การต้านออกซิเดชันวัดด้วยวิธี DPPH และ ABTS, quercetin-3-rutinoside และ cyanidin-3-rutinoside ลดลง
เมื่อเปรียบเทียบกับผลมะเดื่อฝรั่งสดและมีการลดลงมากกว่าผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง สำหรับ
การศึกษาชนิดและปริมาณสารระเหยพบว่า ผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ Black Genoa มีปริมาณสารระเหย
มากที่สุด ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารระเหยกลุ่มไฮโดรคาร์บอนและอัลดีไฮด์ สารระเหยสำคัญ (ค่า OAV มากกว่า 1)
เช่น *l*-limonene, octanal, nonanal, (*E*)-2-nonenal และ (*E,E*)-2,4-nonadienal เป็นต้น จากการทำแห้ง
ผลมะเดื่อฝรั่งพบว่า ผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนมีปริมาณสารระเหย
ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับผลมะเดื่อฝรั่งสดและไม่พบสารระเหยกลุ่มเอเทอร์ (1,8-cineole) แต่ผลมะเดื่อฝรั่งที่
ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนพบสารระเหยกลุ่มแอลกอฮอล์ ฟูแรน และสารประกอบซัลเฟอร์ ซึ่งไม่พบใน
ผลมะเดื่อฝรั่งสดและผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง จากผลการทดลองสรุปได้ว่าสายพันธุ์และ
การทำแห้งมีผลต่อสารประกอบฟีนอลิก สมบัติการต้านออกซิเดชันและสารระเหยของผลมะเดื่อฝรั่ง

Charuwan Rattanasakultham 2012: Effects of Cultivars and Drying on Phenolic Compounds, Antioxidant Capacity and Volatile Compounds of Fig Fruit. Master of Science (Food Science), Major Field: Food Science, Department of Food Science and Technology. Thesis Advisor: Assistant Professor Wannee Jirapakkul, Ph.D. 225 pages.

Effect of cultivars (cv. Black Genoa, Black Mission, Brown Turkey, Hourai and Kadota) and drying methods (freeze drying and hot air oven) on phenolic compounds, antioxidant capacity and volatile compounds of fig fruit were studied. The results showed that Black Genoa cultivar had the highest amounts of total phenolic, total flavonoid, total monomeric anthocyanin contents, antioxidant capacity (DPPH and ABTS assay), quercetin-3-rutinoside, cyanidin-3-glucoside and cyanidin-3-rutinoside. Black Mission cultivar had the highest content of chlorogenic acid but this compound was not found in Hourai and Kadota cultivars. Cyanidin-3-glucoside was not found in Brown Turkey and Kadota cultivars. Freeze drying method caused the decrease of total phenolic, total flavonoid, total monomeric anthocyanin contents, antioxidant capacity (DPPH and ABTS assay) and quercetin-3-rutinoside but chlorogenic acid, cyanidin-3-glucoside and cyanidin-3-rutinoside were increased in freeze dried fig when compared with the fresh one. Oven drying method caused higher reduction in total phenolic, total flavonoid, total monomeric anthocyanin contents, antioxidant capacity (DPPH and ABTS assay), quercetin-3-rutinoside and cyanidin-3-rutinoside than freeze drying method did. For volatile compounds, Black Genoa cultivar had the highest of volatile compounds content. Majority of these volatile compounds were hydrocarbons and aldehydes groups. Key aroma volatile compounds (with aroma active value > 1) were *l*-limonene, octanal, nonanal, (*E*)-2-nonenal and (*E,E*)-2,4-nonadienal. Freeze dried and oven dried fig had decrease of volatile compounds when compared with fresh fig. Moreover, ethers group (1,8-cineole) was not found in both dried figs. However, lactones, furans and sulphur compound groups were detected only in oven dried fig. Results of this study suggested that cultivars and drying methods had effect on phenolic compounds, antioxidant capacity and volatile compounds of fig fruit.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรณี จิรภาคย์กุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ดร. ศศิธร ตรงจิตภักดี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำในเรื่องการเรียนและงานวิจัย ตลอดจนตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ถูกต้องและสมบูรณ์ ขอกราบขอบพระคุณ ดร. วีรเชษฐ์ จิตตามิษฐ์ ประธานการสอบปากเปล่าขั้นสุดท้าย และรองศาสตราจารย์ ดร. ทนง ภัทรชพันธ์ ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกที่ตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนและมอบความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการนำไปใช้ในอนาคตต่อไป และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำต่าง ๆ ในการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณทุนอุดหนุนจากโครงการพัฒนานักศึกษาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน ที่ให้ความช่วยเหลือทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์นี้

ขอขอบคุณมูลนิธิโครงการหลวงที่จำหน่ายตัวอย่างให้ในราคาขอมเยาและขอขอบคุณคุณประชัน วงศ์ใหญ่ (เจ้าหน้าที่มูลนิธิโครงการหลวง สถานีปางคะ) ที่ส่งตัวอย่างมะเดื่อฝรั่งให้ตลอดระยะเวลาการทำวิจัย

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ พี่ชายและพี่สาวที่ได้อบรมและให้กำลังใจมาตลอดในทุกเรื่อง ขอขอบคุณพี่ๆ กวป. ทุกท่านที่คอยให้ความช่วยเหลือให้กำลังใจและให้คำปรึกษาในการทำวิจัยครั้งนี้ ตลอดจน พี่ๆ และน้องๆ นิสิตปริญญาโทและเอกสาขาวิทยาศาสตร์การอาหารทุกท่าน

จารุวรรณ รัตนสกุลธรรม

เมษายน 2555

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	42
อุปกรณ์	42
วิธีการ	45
ผลและวิจารณ์	55
สรุปและข้อเสนอแนะ	140
สรุป	140
ข้อเสนอแนะ	141
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	142
ภาคผนวก	164
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์ทางเคมี	165
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สารประกอบ ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และสมบัติการต้านออกซิเดชัน	168
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์ปริมาณ chlorogenic acid, quercetin-3-rutinoside, cyanidin-3-glucoside และ cyanidin-3- rutinoside	172
ภาคผนวก ง การวิเคราะห์สารระเหยในผลมะเดื่อฝรั่ง	182
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	225

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	คุณค่าทางโภชนาการของมะเดื่อฝรั่งต่อ 100 กรัม	5
2	สารประกอบฟีนอลิกที่พบในผลมะเดื่อฝรั่ง	8
3	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผลไม้ชนิดต่างๆ	12
4	ชนิดและปริมาณสารระเหยของผลมะเดื่อฝรั่งแห้งและสด	14
5	การแบ่งชนิดของสารประกอบฟีนอลิก	20
6	แหล่งที่พบฟลาโวนอยด์ชนิดต่างๆ	24
7	ชนิดของฟลาโวนอล	26
8	อนุมูลอิสระ	32
9	ค่าสีของผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ต่างๆ	56
10	ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ ปริมาณกรด และค่า pH ของ ผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ต่างๆ	57
11	ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และ ปริมาณแอนโทไซยานินส์ทั้งหมดของผลมะเดื่อฝรั่งสด	58
12	สมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH และ ABTS ของผลมะเดื่อฝรั่งสด	61
13	ปริมาณ chlorogenic acid, quercetin-3-rutinoside, cyanidin-3-glucoside และ cyanidin-3-rutinoside ของผลมะเดื่อฝรั่งสด	63
14	ชนิดและปริมาณสารระเหยของผลมะเดื่อฝรั่งสด 5 สายพันธุ์	87
15	สารระเหยสำคัญของผลมะเดื่อฝรั่งสายพันธุ์ Black Genoa	103
16	สารระเหยสำคัญของผลมะเดื่อฝรั่งสายพันธุ์ Black Mission	108
17	สารระเหยสำคัญของผลมะเดื่อฝรั่งสายพันธุ์ Brown Turkey	114
18	สารระเหยสำคัญของผลมะเดื่อฝรั่งสายพันธุ์ Hourai	120
19	สารระเหยสำคัญของผลมะเดื่อฝรั่งสายพันธุ์ Kadota	125

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ก1	ปริมาณความชื้นของตัวอย่างผลมะเดื่อฝรั่ง	167
ก2	ค่าวอเตอร์แอคติวิตีของผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน	167
ค1	สัดส่วนวิฤภาคเคลื่อนที่ในการวิเคราะห์ chlorogenic acid, quercetin-3-rutinoside, cyanidin-3-glucoside และ cyanidin-3-rutinoside ด้วยเทคนิค HPLC	173
ง1	ชนิดและปริมาณสารระเหยของผลมะเดื่อฝรั่ง 5 สายพันธุ์ที่ผ่านการทำแห้ง	184

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ผลมะเดื่อฝรั่ง	3
2	โครงสร้างทางเคมีของสารประกอบฟีนอลิกในผลมะเดื่อฝรั่ง	9
3	การจำแนกสารพฤษเคมี	19
4	โครงสร้างทางเคมีของกรดไฮดรอกเบนโซอิกและอนุพันธ์	21
5	โครงสร้างทางเคมีของกรดไฮดรอกซีซินนามิกและอนุพันธ์	22
6	โครงสร้างทางเคมีฟลาโวนอยด์	24
7	โครงสร้างทางเคมีฟลาโวนอล	26
8	โครงสร้างทางเคมีฟลาโวนอล	27
9	โครงสร้างทางเคมีฟลาโวน	27
10	โครงสร้างทางเคมีฟลาโวนอน	28
11	โครงสร้างทางเคมีไอโซฟลาโวน	29
12	โครงสร้างทางเคมีแอนโธไซยานิน	30
13	การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแอนโธไซยานินส์ที่ความเป็นกรด-ด่างต่างๆ	31
14	โครงสร้างทางเคมีของ DPPH	35
15	โครงสร้างทางเคมีของ ABTS	36
16	ผลมะเดื่อฝรั่งสด 5 สายพันธุ์	55
17	ภาพตัดขวางผลมะเดื่อฝรั่งสด 5 สายพันธุ์	55
18	ผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง 5 สายพันธุ์	67
19	ผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน 5 สายพันธุ์	68
20	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผลมะเดื่อฝรั่งสดและผลมะเดื่อฝรั่งที่ผ่านการทำแห้ง	70
21	ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของผลมะเดื่อฝรั่งสดและผลมะเดื่อฝรั่งที่ผ่านการทำแห้ง	71
22	ปริมาณแอนโธไซยานินส์ทั้งหมดของผลมะเดื่อฝรั่งสดและผลมะเดื่อฝรั่งที่ผ่านการทำแห้ง	73

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
23	สมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH ของผลมะเดื่อฝรั่งสดและผลมะเดื่อฝรั่งที่ผ่านการทำแห้ง	74
24	สมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี ABTS ของผลมะเดื่อฝรั่งสดและผลมะเดื่อฝรั่งที่ผ่านการทำแห้ง	76
25	ปริมาณ chlorogenic acid ของผลมะเดื่อฝรั่งสดและผลมะเดื่อฝรั่งที่ผ่านการทำแห้ง	78
26	ปริมาณ quercetin-3-rutinoside ของผลมะเดื่อฝรั่งสดและผลมะเดื่อฝรั่งที่ผ่านการทำแห้ง	79
27	ปริมาณ cyanidin-3-glucoside ของผลมะเดื่อฝรั่งสดและผลมะเดื่อฝรั่งที่ผ่านการทำแห้ง	81
28	ปริมาณ cyanidin-3-rutinoside ของผลมะเดื่อฝรั่งสดและผลมะเดื่อฝรั่งที่ผ่านการทำแห้ง	82
29	การสังเคราะห์ linalool จาก 2-methyl-2-hepten-6-one	96
30	การสังเคราะห์ 2,4 decadienal, 2-octenal และ hexanal จากปฏิกิริยาออกซิเดชันของ linoleic acid	97
31	การสังเคราะห์ (<i>E,Z</i>)-2,6-nonadienal, (<i>E</i>)-2-hexenal จาก linolenic acid โดยปฏิกิริยา hydroperoxidation และมีเอนไซม์ lipoxygenase	98
32	การเกิดสารระเหยกลุ่มคีโตนจาก carotenoids	132
33	การสังเคราะห์ methional	136

ภาพผนวกที่

ข1	กราฟมาตรฐานของกรดแกลลิกสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในผลมะเดื่อฝรั่ง	169
ข2	กราฟมาตรฐานของคาเทชินสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในผลมะเดื่อฝรั่ง	169

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
ข3	กราฟมาตรฐานของกรดแอสคอร์บิกสำหรับการวิเคราะห์สมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH ในผลไม้เคี้ยวฝรั่ง	170
ข4	กราฟมาตรฐานของกรดแอสคอร์บิกสำหรับการวิเคราะห์สมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี ABTS ในผลไม้เคี้ยวฝรั่ง	170
ข5	กราฟแสดงค่าสหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ระหว่างสมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH และ ABTS กับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และปริมาณแอนโทไซยานินส์ทั้งหมด	171
ค1	กราฟมาตรฐานของ chlorogenic acid	175
ค2	กราฟมาตรฐานของ quercetin-3-rutinoside	175
ค3	กราฟมาตรฐานของ cyanidin-3-glucoside	176
ค4	กราฟมาตรฐานของ cyanidin-3-rutinoside	176
ค5	ตัวอย่างโครมาโตแกรมของสารมาตรฐาน chlorogenic acid ที่ความเข้มข้น 100 ppm	177
ค6	ตัวอย่างโครมาโตแกรมของสารมาตรฐาน quercetin-3-rutinoside ที่ความเข้มข้น 100 ppm	177
ค7	ตัวอย่างโครมาโตแกรมของสารมาตรฐาน cyanidin-3-glucoside ที่ความเข้มข้น 100 ppm	178
ค8	ตัวอย่างโครมาโตแกรมของสารมาตรฐาน cyanidin-3-rutinoside ที่ความเข้มข้น 100 ppm	178
ค9	โครมาโตแกรมของผลไม้เคี้ยวฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ซึ่งวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC ที่ความยาวคลื่น 320 นาโนเมตร (chlorogenic acid)	179
ค10	โครมาโตแกรมของผลไม้เคี้ยวฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ซึ่งวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC ที่ความยาวคลื่น 370 นาโนเมตร (quercetin-3-rutinoside)	180
ค11	โครมาโตแกรมของผลไม้เคี้ยวฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ซึ่งวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC ที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร (cyanidin-3-glucoside; cyanidin-3-rutinoside)	181

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ง1 โครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ Black Genoa แยกด้วย คอลัมน์ HP-5	195
ง2 โครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งสายพันธุ์ Black Genoa แยกด้วยคอลัมน์ HP-5	196
ง3 โครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนสายพันธุ์ Black Genoa แยกด้วยคอลัมน์ HP-5	197
ง4 โครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ Black Genoa แยกด้วย คอลัมน์ FFAP	198
ง5 โครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งสายพันธุ์ Black Genoa แยกด้วยคอลัมน์ FFAP	199
ง6 โครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนสายพันธุ์ Black Genoa แยกด้วยคอลัมน์ FFAP	200
ง7 โครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ Black Mission แยกด้วย คอลัมน์ HP-5	201
ง8 โครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งสายพันธุ์ Black Mission แยกด้วยคอลัมน์ HP-5	202
ง9 โครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนสายพันธุ์ Black Mission แยกด้วยคอลัมน์ HP-5	203
ง10 โครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ Black Mission แยกด้วย คอลัมน์ FFAP	204
ง11 โครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งสายพันธุ์ Black Mission แยกด้วยคอลัมน์ FFAP	205
ง12 โครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนสายพันธุ์ Black Mission แยกด้วยคอลัมน์ FFAP	206
ง13 โครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ Brown Turkey แยกด้วย คอลัมน์ HP-5	207

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ง14	โครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งสายพันธุ์ Brown Turkey แยกด้วยคอลัมน์ HP-5	208
ง15	โครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนสายพันธุ์ Brown Turkey แยกด้วยคอลัมน์ HP-5	209
ง16	โครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ Brown Turkey แยกด้วยคอลัมน์ FFAP	210
ง17	โครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งสายพันธุ์ Brown Turkey แยกด้วยคอลัมน์ FFAP	211
ง18	โครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนสายพันธุ์ Brown Turkey แยกด้วยคอลัมน์ FFAP	212
ง19	โครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ Hourai แยกด้วยคอลัมน์ HP-5	213
ง20	โครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งสายพันธุ์ Hourai แยกด้วยคอลัมน์ HP-5	214
ง21	โครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนสายพันธุ์ Hourai แยกด้วยคอลัมน์ HP-5	215
ง22	โครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ Hourai แยกด้วยคอลัมน์ FFAP	216
ง23	โครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งสายพันธุ์ Hourai แยกด้วยคอลัมน์ FFAP	217
ง24	โครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนสายพันธุ์ Hourai แยกด้วยคอลัมน์ FFAP	218
ง25	โครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ Kadota แยกด้วยคอลัมน์ HP-5	219
ง26	โครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งสายพันธุ์ Kadota แยกด้วยคอลัมน์ HP-5	220

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ง27	โครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนสายพันธุ์ Kadota แยกด้วยคอลัมน์ HP-5	221
ง28	โครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ Kadota แยกด้วยคอลัมน์ FFAP	222
ง29	โครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งสายพันธุ์ Kadota แยกด้วยคอลัมน์ FFAP	223
ง30	โครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนสายพันธุ์ Kadota แยกด้วยคอลัมน์ FFAP	224

ผลของสายพันธุ์และการทำแห้งต่อสารประกอบฟีนอลิก ความสามารถต้านออกซิเดชัน และสารระเหยของผลมะเดื่อฝรั่ง

Effect of Cultivars and Drying on Phenolic Compounds, Antioxidant Capacity and Volatile Compounds of Fig Fruit

คำนำ

มะเดื่อฝรั่ง (*Ficus carica* L.) เป็นผลไม้เพื่อสุขภาพ ซึ่งจัดอยู่ในวงศ์ Moraceae เช่นเดียวกับหม่อน การปลูกดั้งเดิมนั้นอยู่ทางตะวันตกของทวีปเอเชียและทางตะวันออกของแถบลุ่มน้ำเมดิเตอร์เรเนียน นำเข้ามาปลูกในประเทศไทยโดยมูลนิธิโครงการหลวง มะเดื่อฝรั่งเป็นไม้ผลที่สำคัญของตลาดโลกสำหรับการบริโภคสดเนื่องจากอุดมไปด้วยวิตามิน แร่ธาตุ และเป็นแหล่งพลังงานและใยอาหาร อีกทั้งยังมีสารสำคัญต่างๆ โดยเฉพาะสารประกอบฟีนอลิกซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชันที่ช่วยป้องกันการเกิดโรคต่างๆ เช่น โรคมะเร็ง โรคหัวใจ (Liu, 2007) เป็นต้น แต่เนื่องจากผลมะเดื่อฝรั่งมีอายุหลังการเก็บเกี่ยวสั้นจึงนิยมแปรรูปเป็นผลมะเดื่อฝรั่งอบแห้งเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา

ในการบริโภคนั้นกลิ่นมีความสำคัญสำหรับผู้บริโภคเนื่องจากกลิ่นจะบ่งบอกถึงคุณภาพความสดของผลไม้ โดยกระบวนการเกิดสารให้กลิ่นในผลไม้เป็นกระบวนการแบบพลวัต (dynamic process) และลักษณะโดยทั่วไปของสารให้กลิ่นจะไม่แสดงออกขณะเก็บเกี่ยวแต่จะมีการพัฒนาหลังจากเกิดการสุกและการผ่านกระบวนการแปรรูปจะเป็นผลโดยตรงต่อคุณภาพของสารระเหยและสารให้กลิ่นของผลไม้ เนื่องจากกระบวนการแปรรูปมีผลต่อการเกิดสารประกอบทางเคมีที่มีผลต่อสารให้กลิ่น

ในปัจจุบันการศึกษาเกี่ยวกับชนิดและปริมาณของสารประกอบฟีนอลิก สมบัติการต้านออกซิเดชันและสารระเหยในผลมะเดื่อฝรั่งยังมีไม่มากนัก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาถึงผลของสายพันธุ์และการทำแห้งต่อชนิดและปริมาณสารประกอบฟีนอลิก สมบัติการต้านออกซิเดชันรวมทั้งชนิดและปริมาณสารระเหยของผลมะเดื่อฝรั่ง เพื่อให้ได้องค์ความรู้พื้นฐานของผลมะเดื่อฝรั่งสายพันธุ์ต่างๆ ที่ปลูกในประเทศไทย และเป็นข้อมูลสำหรับการพัฒนาและปรับปรุงคุณภาพของมะเดื่อฝรั่งที่ผลิตในประเทศไทยให้เหมาะสมในการใช้ประโยชน์

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของสายพันธุ์ต่อสารประกอบฟีนอลิก สมบัติการต้านออกซิเดชัน และสารระเหยของผลมะเดื่อฝรั่ง
2. เพื่อศึกษาผลของการทำแห้งต่อสารประกอบฟีนอลิก สมบัติการต้านออกซิเดชัน และสารระเหยของผลมะเดื่อฝรั่ง



การตรวจเอกสาร

มะเดื่อฝรั่ง

1. ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

มะเดื่อฝรั่ง (Fig) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Ficus carica* L. จัดอยู่ในวงศ์ Moraceae เช่นเดียวกับหม่อน (mulberry) เป็นไม้ผลกึ่งร้อน (Subtropical fruit) ที่มีการผลิตใบ เป็นไม้ผลยืนต้นขนาดกลาง การปลูกดั้งเดิมนั้นอยู่ทางตะวันตกของทวีปเอเชียและทางตะวันออกของแถบลุ่มน้ำเมดิเตอร์เรเนียน (Dueñas *et al.* 2008) มะเดื่อฝรั่งเป็นพืชที่นิยมบริโภคสดแต่ภายหลังการเก็บเกี่ยวแล้วประมาณ 7-10 วัน ดังนั้นการแปรรูปในเชิงพาณิชย์จึงนิยมแปรรูปเป็นมะเดื่อฝรั่งอบแห้งเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา (Khatib and Vaya, 2010; Sozzi, 2005) นอกจากนี้ยังมีการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ อีก เช่น ลูกกวาด บรรจุกระป๋อง เนื้อผลไม้เข้มข้น กาแฟ แอลกอฮอล์ อาหารชนิดแท่ง (Condit, 1947) น้ำเชื่อม แยม และเครื่องดื่ม เป็นต้น (Piga *et al.*, 2004)



ภาพที่ 1 ผลมะเดื่อฝรั่ง

มะเดื่อฝรั่งมีลักษณะทรงต้นแผ่กว้าง ลำต้นสูงประมาณ 3-9 เมตร กว้างประมาณ 17.5 เซนติเมตร มียางสีขาวซึ่งระคายเคืองต่อผิว ลักษณะใบเป็นใบเดี่ยวมีความกว้างและยาวประมาณ 25 เซนติเมตร ขอบใบหยักลึก 3-7 หยัก มีความหนาและค่อนข้างแข็ง ใบด้านบนมีลักษณะขรุขระ ส่วนด้านล่างปกคลุมด้วยขนอ่อนนุ่ม ในส่วนของผลมะเดื่อฝรั่งที่บริโภคนั้นไม่ใช่ผลจริงแต่เป็นฐานรองดอก (synconium) (Morton, 1987) โดยฐานรองดอกมีส่วนประกอบของช่อดอกลักษณะ

เป็นก้านโค้งเข้าหากัน ผลมะเดื่อฝรั่งจัดเป็นผลเมล็ดเดี่ยว (drupelet) ขนาดเล็กเรียงอยู่ด้านในของ ก้านช่อดอก ผลจึงมีขนาดเล็กคล้ายเมล็ดและมีจำนวนประมาณ 1,500 ผลต่อมะเดื่อฝรั่งหนึ่งผล ผิวของผลมะเดื่อฝรั่งมีลักษณะบางและนุ่ม รูปทรงและขนาดของผลมีหลายแบบขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ เช่น กลวง (hollow) ทรงกลม (globular) หรือทรงผลสาหลี่ฝรั่ง (pear-shaped) และมีขนาดเล็กใหญ่ แตกต่างกัน (ณรงค์ชัย, 2550)

มะเดื่อฝรั่งแบ่งออกได้เป็นสองประเภท ได้แก่ Adriatic fig ก็คือมะเดื่อฝรั่งที่สามารถเจริญ เป็นผลได้โดยไม่ต้องอาศัยการผสมเกสร สามารถปลูกได้ในสภาพพื้นที่ที่มีอุณหภูมิต่ำ เมล็ดของ มะเดื่อฝรั่งประเภทนี้มีแค่ส่วนของ endocarp เท่านั้น และไม่มีคัพภะ มะเดื่อฝรั่งที่จัดอยู่ในประเภท นี้จะเป็นพวกที่มีความสำคัญในปัจจุบัน และมีสายพันธุ์ทางการค้ามากมาย เช่น Brown Turkey, Burnswick, Kadota, Mission, Black Genoa และ White Adriatic และอีกประเภทหนึ่งคือ Smyrna fig ซึ่งเป็นมะเดื่อฝรั่งที่ต้องการการผสมเกสรสำหรับการให้ผลผลิตที่มีคุณภาพและเมล็ดมีการ พัฒนาของคัพภะแต่ถ้าหากไม่ได้รับการผสมเกสรแล้ว ส่วนของผลจะร่วงได้ (ณรงค์ชัย, 2550)

2. คุณค่าทางโภชนาการ

ผลมะเดื่อฝรั่งได้ชื่อว่าเป็นผลไม้สำหรับคนรักสุขภาพเนื่องจากเป็นแหล่งคุณค่าทาง โภชนาการ เช่น วิตามิน (วิตามินเอ บี และซี) แร่ธาตุ อีกทั้งยังเป็นแหล่งพลังงานจากสารประกอบ คาร์โบไฮเดรต (Doymaz, 2005; Vinson, 1999) ได้แก่ น้ำตาลชนิดต่างๆ เช่น กลูโคส ฟรุคโตส และซูโคส (Çalişkan and Polat, 2011) และเป็นแหล่งอาหารประเภทเส้นใยที่เป็นประโยชน์ต่อ กระบวนการกำจัดของเสียของร่างกาย (Solomon *et al.*, 2006; Vinson, 1999) โดยแร่ธาตุที่พบใน ผลมะเดื่อฝรั่ง ได้แก่ โพแทสเซียม แคลเซียม โซเดียม แมกนีเซียม สังกะสี ทองแดง แมงกานีส และเหล็ก (Aljane and Ferchichi, 2009) นอกจากวิตามินและแร่ธาตุแล้วมะเดื่อฝรั่งยังมีกรดไขมัน จำเป็น เช่น กรดลิโนเลอิก กรดลิโนเลนิก เป็นต้น และกรดไขมันไม่จำเป็น เช่น กรดปาล์มมิก กรดสเตียริก และกรดโอเลอิก เป็นต้น (Guvenç *et al.*, 2009; Jeong and Lachance, 2001) อีกทั้ง ยังมีกรดอินทรีย์หลายชนิด เช่น กรดมาลิก กรดซิตริก กรดแอสคอร์บิก กรดซักซินิก และ กรดออกซาลิก เป็นต้น (Pande and Akoh, 2010) นอกจากนี้มะเดื่อฝรั่งยังเป็นแหล่งของ ฟลาโวนอยด์และสารประกอบฟีนอลิก (Khatib and Vaya, 2010) อีกด้วย

ตารางที่ 1 คุณค่าทางโภชนาการของมะเดื่อฝรั่งต่อ 100 กรัม

Nutrient	Units	Figs (raw)	Figs (dried)
		Value per 100 grams	Value per 100 grams
Proximates			
Water	g	79.11	30.05
Energy	kcal	74	249
Protein	g	0.75	3.30
Total lipid (fat)	g	0.30	0.93
Ash	g	0.66	1.86
Carbohydrates, by difference	g	19.18	63.87
Fiber, total dietary	g	2.90	9.80
Sugars, total	g	16.26	47.92
Sucrose	g	-	0.07
Glucose (dextrose)	g	-	24.79
Fructose	g	-	22.93
Galactose	g	-	0.13
Starch	g	-	5.07
Minerals			
Calcium	mg	35	162
Iron	mg	0.37	2.03
Magnesium	mg	17	68
Phosphorus	mg	14	67
Potassium	mg	232	680
Sodium	mg	1.0	10
Zinc	mg	0.15	0.55
Copper	mg	0.07	0.287
Manganese	mg	0.128	0.51
Selenium	mcg	0.20	0.60

ตารางที่ 1 (ต่อ)

Nutrient	Units	Figs (raw)	Figs (dried)
		Value per 100 grams	Value per 100 grams
Vitamins			
Vitamin C, total ascorbic acid	mg	2	1.20
Thiamin	mg	0.06	0.085
Riboflavin	mg	0.05	0.082
Niacin	mg	0.40	0.619
Pantothenic acid	mg	0.30	0.434
Vitamin B-6	mg	0.113	0.106
Folate, total	mcg	6	9
Choline, total	mg	4.70	15.80
Betaine	mg	-	0.70
Carotene, beta	mcg	85	6
Vitamin A, IU	IU	142	10
Lutein + zeaxanthin	mcg	9	32
Vitamin E (alpha-tocopherol)	mg	0.11	0.35
Tocopherol, beta	mg	-	0.01
Tocopherol, gamma	mg	-	0.37
Tocopherol, delta	mg	-	0.01
Vitamin K (phylloquinone)	mcg	4.70	15.60
Lipid			
Fatty acids, total saturated	g	0.06	0.144
Fatty acids, total monounsaturated	g	0.66	0.159
Fatty acids, total polyunsaturated	g	0.144	0.345
Cholesterol	mg	0.00	0.00
Phytosterols	mg	31	-

ตารางที่ 1 (ต่อ)

Nutrient	Units	Figs (raw)	Figs (dried)
		Value per 100 grams	Value per 100 grams
Amino acids			
Tryptophan	g	0.006	0.02
Threonine	g	0.024	0.085
Isoleucine	g	0.023	0.089
Leucine	g	0.033	0.128
Lysine	g	0.030	0.088
Methionine	g	0.006	0.034
Cystine	g	0.012	0.036
Phenylalanine	g	0.018	0.076
Tyrosine	g	0.032	0.041
Valine	g	0.028	0.122
Arginine	g	0.017	0.077
Histidine	g	0.011	0.037
Alanine	g	0.045	0.134
Aspartic acid	g	0.176	0.645
Glutamic acid	g	0.072	0.295
Glycine	g	0.025	0.108
Proline	g	0.049	0.610
Serine	g	0.037	0.128

ที่มา: คัดแปลงจาก USDA (2010)

2. สารประกอบฟีนอลิกและความสามารถต้านออกซิเดชันในผลมะเดื่อฝรั่ง

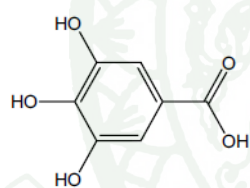
ในปัจจุบันสารประกอบฟีนอลิกเป็นที่สนใจเนื่องจากมีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน ซึ่งช่วยลดการเกิดโรคต่างๆ เช่น โรคมะเร็ง โรคหลอดเลือดหัวใจอุดตัน (Liu, 2007) โดยสารประกอบฟีนอลิกของผลมะเดื่อฝรั่งที่พบส่วนใหญ่เป็นสารในกลุ่มกรดฟีนอลิก และกลุ่มสารประกอบฟลาโวนอยด์ แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สารประกอบฟีนอลิกที่พบในผลมะเดื่อฝรั่ง

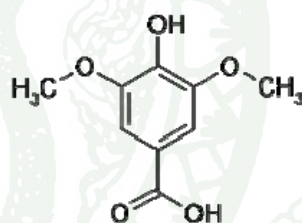
กลุ่มของสาร	ชื่อสาร	เอกสารอ้างอิง
Hydroxybenzoic acid	Gallic acid (1)	Veberic <i>et al.</i> (2008); Pande and Akoh. (2010)
	Syringic acid (2)	Veberic <i>et al.</i> (2008)
	Ellagic acid (3)	Pande and Akoh. (2010)
Hydroxycinnamic acid	Chlorogenic acid (4)	Veberic <i>et al.</i> (2008); Del Caro and Piga (2008); Slatnar <i>et al.</i> (2011)
Flavonol	Quercetin (5)	Hoffmann-Ribani <i>et al.</i> (2009)
	Rutin (6)	Veberic <i>et al.</i> (2008); Del Caro and Piga (2008); Slatnar <i>et al.</i> (2011)
	Quercetin-3- <i>O</i> -glucoside (7)	Slatnar <i>et al.</i> (2011)
	Kaempferol-3- <i>O</i> -glucoside (8)	Slatnar <i>et al.</i> (2011)
Flavanol	(-)-Epicatechin (9)	Veberic <i>et al.</i> (2008); Slatnar <i>et al.</i> (2011)
	(+)-Catechin (10)	Veberic <i>et al.</i> (2008); Slatnar <i>et al.</i> (2011)
Flavone	Luteolin-8- <i>C</i> -glucoside (11)	Slatnar <i>et al.</i> (2011)

ตารางที่ 2 (ต่อ)

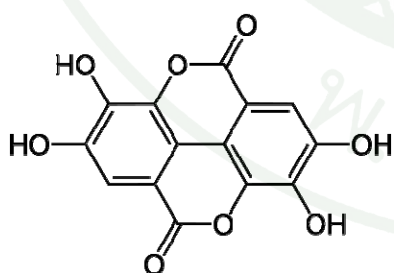
กลุ่มของสาร	ชื่อสาร	เอกสารอ้างอิง
Anthocyanidin	Cyanidin-3-glucoside (12)	Del Caro and Piga (2008); Dueñas <i>et al.</i> (2008)
	Cyanidin-3-rutinoside (13)	Del Caro and Piga (2008); Dueñas <i>et al.</i> (2008); Slatnar <i>et al.</i> (2011)
	Cyanidin 3,5-diglucoside (14)	Dueñas <i>et al.</i> (2008)
	Pelargonidin 3- <i>O</i> -glucoside (15)	Dueñas <i>et al.</i> (2008)
	Pelargonidin 3- <i>O</i> -rutinoside (16)	Dueñas <i>et al.</i> (2008)
	Peonidin 3- <i>O</i> -rutinoside (17)	Dueñas <i>et al.</i> (2008)



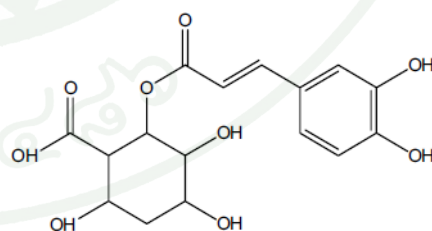
Gallic acid (1)



Syringic acid (2)

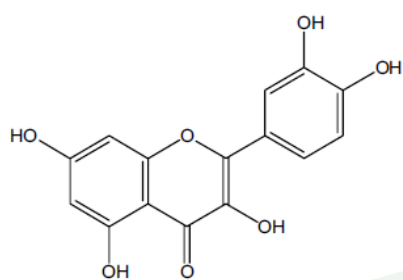


Ellagic acid (3)

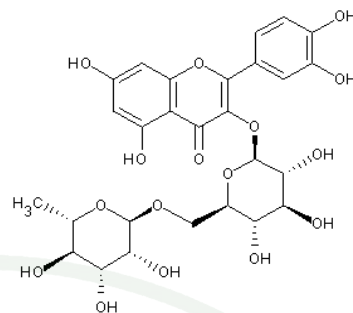


Chlorogenic acid (4)

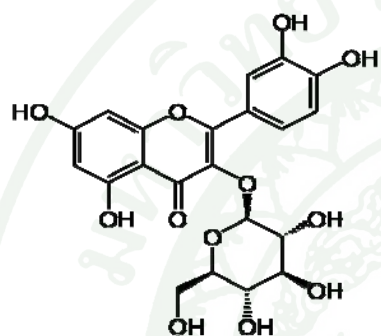
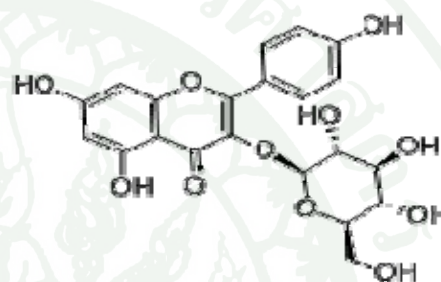
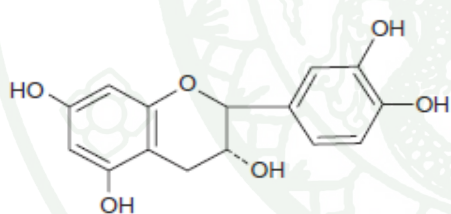
ภาพที่ 2 โครงสร้างทางเคมีของสารประกอบฟีนอลิกในผลมะเดื่อฝรั่ง



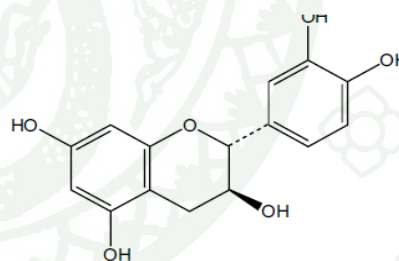
Quercetin (5)



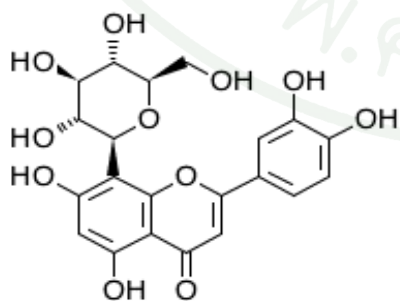
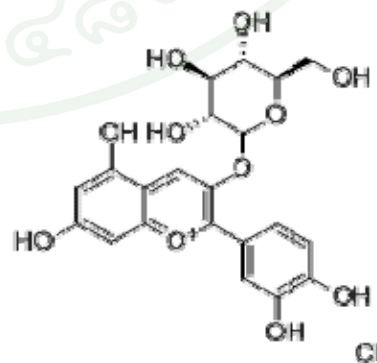
Rutin (6)

Quercetin-3-*O*-glucoside (7)Kaempferol-3-*O*-glucoside (8)

(-)-Epicatechin (9)

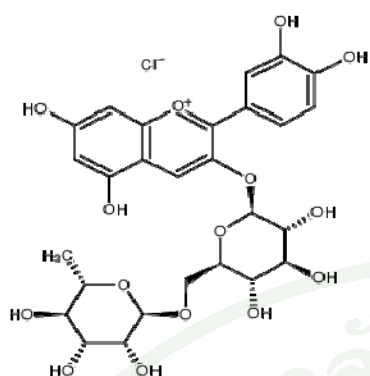


(+) -Catechin (10)

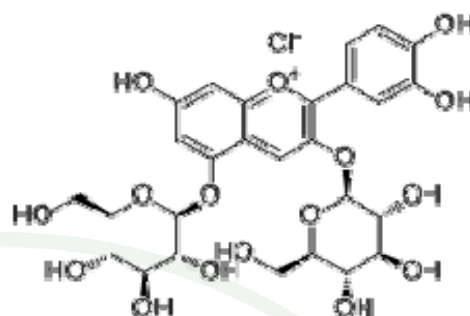
Luteolin-8- *C*-glucoside (11)

Cyanidin-3-glucoside (12)

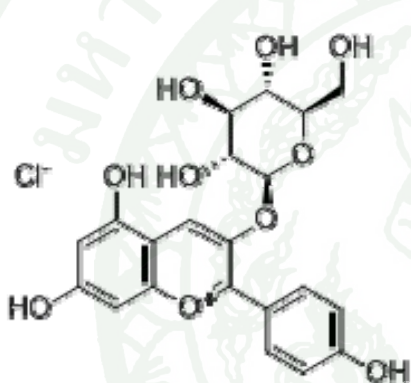
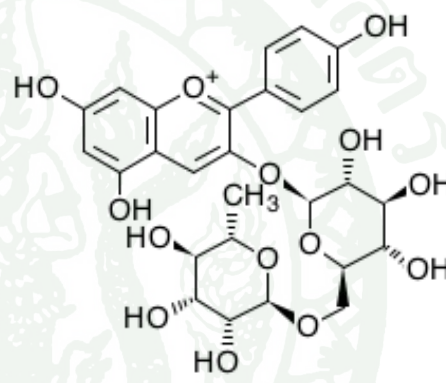
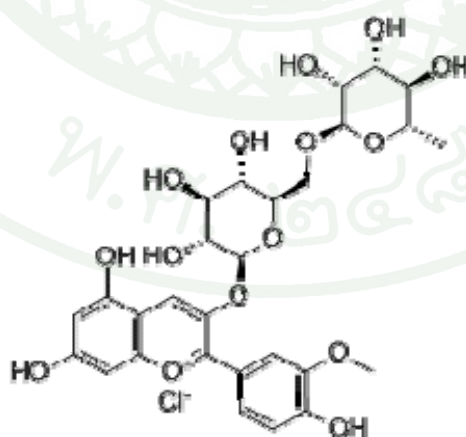
ภาพที่ 2 (ต่อ)



Cyanidin-3-rutinoside (13)



Cyanidin 3,5-diglucoside (14)

Pelargonidin 3-*O*-glucoside (15)Pelargonidin 3-*O*-rutinoside (16)Peonidin 3-*O*-rutinoside (17)

ภาพที่ 2 (ต่อ)

จากตารางที่ 2 สารประกอบฟีนอลิกที่มักพบในผลไม้สดได้แก่ chlorogenic acid, quercetin-3-rutinoside (rutin), cyanidin-3-glucoside และ cyanidin-3-rutinoside ซึ่งสารทั้ง 4 ชนิดนี้มีผลช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดโรคหัวใจและโรคเกี่ยวกับหลอดเลือดหัวใจ นอกจากนี้ chlorogenic acid ยังช่วยป้องกันการเกิดออกซิเดชันของไขมัน ด้านการเกิดเนื้องอก (anti-tumor activity) และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ อีกทั้งมีผลช่วยป้องกันหรือชะลอการเสื่อมของเซลล์ประสาท รวมถึงการทำให้เซลล์ประสาทที่เสื่อมฟื้นกลับคืนหลังถูกทำลาย ช่วยลดการสูญเสียความทรงจำ โดยไปยับยั้งการทำงานของ acetylcholinesterase และ malondialdehyde (Kwon *et al.*, 2010) สำหรับ quercetin-3-rutinoside ช่วยป้องกันหลอดเลือดแดงแข็ง ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการเกิดโรคเกี่ยวกับหลอดเลือดเลี้ยงหัวใจ (Hollman *et al.*, 1997) ส่วนแอนโทไซยานินส์ (cyanidin-3-glucoside และ cyanidin-3-rutinoside) ช่วยป้องกันโรคเมเร็งและด้านการอักเสบ (Faria *et al.*, 2010) Vinson (1999) รายงานว่าผลไม้สดมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงเมื่อเปรียบเทียบกับผลไม้ชนิดต่างๆ (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผลไม้ชนิดต่างๆ

ผลไม้	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg/100 g fresh matter)
apple	27-298
blueberry	135-280
cherry	60-90
figs	1,090-1,110
grape	50-490
grapefruit	50
orange	50-100
plum	4-225
strawberry	38-218

ที่มา: คัดแปลงจาก Vinson (1999)

นอกจากการศึกษาชนิดของสารประกอบฟีนอลิกแล้วในปัจจุบันยังมีการศึกษาความสามารถในการต้านออกซิเดชันของผลไม้เนื้อสีม่วง โดยมีรายงานว่าผลไม้เนื้อสีม่วงมีฤทธิ์ในการช่วยลด low density lipoprotein (LDL) Vinson *et al.* (2005) ได้ทดลองให้อาสาสมัครรับประทานผลไม้เนื้อสีม่วงแห้งปริมาณ 40 กรัมต่อวัน พบว่าสามารถลดการเกิดออกซิเดชันของ low density lipoprotein (LDL) ได้ โดยวัดค่าความต้านออกซิเดชันด้วยวิธี trolox equivalent antioxidant capacity ซึ่งการลด low density lipoprotein (LDL) นี้จะช่วยลดการเกิดการอุดตันเส้นเลือดเลี้ยงหัวใจ (Rubnov, 2001) นอกจากนี้การบริโภคผลไม้เนื้อสีม่วงยังช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดโรคเบาหวาน ชนิดที่ 1 และโรคภูมิแพ้ (Ulbricht, 2009) ในประเทศต่างๆ นิยมบริโภคผลไม้เนื้อสีม่วงเพื่อลดการเกิดริ้วรอย (ประเทศตุรกี) (Akcicek *et al.*, 2005) ด้านการเกิดโรคหลอดเลือดสมอง โรคเชื้อหุ้มปอดอักเสบ กระเพาะปัสสาวะอักเสบและโรคไตอักเสบ (ประเทศอิหร่าน) (Zagari, 1992) ด้านการเกิดอาการกล้ามเนื้อกระตุกหรือการหดเกร็งของกล้ามเนื้อและด้านการตกตะกอนของเม็ดเลือด ลดการเกิดโรคมะเร็งเยื่อ (ประเทศจีน) (Gilani *et al.*, 2008) นอกจากการบริโภคเพื่อลดความเสี่ยงในการเกิดโรคต่างๆ แล้ว ยังมีรายงานว่าสารสกัดจากผลไม้เนื้อสีม่วงสามารถลดการเกิดโรคที่มีสาเหตุมาจากเชื้อแบคทีเรีย 3 ชนิด ได้แก่ *Pseudomonas syringae* pv. *tomato*, *Xanthomonas vesicatoria*, *Clavibacter michiganensis* subsp. *Michiganensis* ในมะเขือเทศ และไม่มีผลตกค้างแก่พืชอีกด้วย (Balestra *et al.*, 2009)

3. สารระเหยในผลไม้เนื้อสีม่วง

สารระเหยของผลไม้เนื้อสีม่วงมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นกับ สภาพภูมิอากาศ สายพันธุ์ ระยะการเจริญเติบโต และเทคโนโลยีการปลูก นอกจากนี้ยังขึ้นกับวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว การผ่านกระบวนการต่างๆ และสภาวะการเก็บรักษาอีกด้วย (Douillard and Guichard, 1990) โดยสารระเหยให้กลิ่นจะมีการพัฒนาอย่างเด่นชัดเมื่อเกิดการสุก (Riu-Aumatell *et al.*, 2004) ผลไม้เนื้อสีม่วงก็เช่นเดียวกันเมื่อสุกจะมีกลิ่นหอม (ณรงค์ชัย, 2550) สำหรับสารระเหยส่วนใหญ่ของผลไม้เนื้อสีม่วงจัดอยู่ในกลุ่ม aldehydes, ketones, alcohol, hydrocarbons และ esters แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ชนิดและปริมาณสารระเหยของผลมะเดื่อฝรั่งแห้งและสด

Compounds	Concentration in dried or fresh in fig (ppm)	
	Dried Fig	Fresh Fig
Hydrocarbons		
limonene ^{3,5}	-	0.005
(E)-caryophyllene ²	+	-
α -pinene ⁵	-	+
β -pinene ⁵	-	+
α -cubenene ⁵	-	+
copaene ⁵	-	+
β -caryophyllene ⁵	-	+
(E)- α -bergamotene ⁵	-	+
(E)- α -caryophyllene ⁵	-	+
τ -muurolene ⁵	-	+
germacrene D ⁵	-	+
τ -cadinene ⁵	-	+
Ketones		
2-hexanone ³	0.05	-
2-heptanone ³	0.03	-
2-octanone ³	0.03	-
(E,Z)-3,5-octadien-2-one ³	0.03	-
(E,E)-3,5-octadien-2-one ³	0.1	0.02
6-methyl-5-hepten-2-one ^{3,5}	-	0.01
(2-methyl-2-hepten-6-one)		
(E)-2-methyl-2,4-heptadien-6-one ³	-	0.09
geranylacetone ³	0.05	0.04
3-hydroxy-2-butanone ^{1,4}	+	+

ตารางที่ 4 (ต่อ)

Compounds	Concentration in dried or fresh in fig (ppm)	
	Dried Fig	Fresh Fig
Alcohols		
methanol ³	<1	5
ethanol ^{1,3}	<10	144
hexanol ³	-	0.05
(Z)-3-hexenol ³	-	0.01
heptanol ³	-	0.005
1-octen-3-ol ³	0.1	-
octanol ³	0.03	0.02
nonanol ³	0.02	0.08
linalool ^{2,3,5}	0.02	-
2-phenylethanol ^{3,4,5}	-	0.06
benzyl alcohol (benzenemethanol) ^{2,5}	+	+
caryophyllene alcohol ²	+	-
3-phenyl-2-propen-1-ol ²	+	-
eugenol ^{2,5}	+	+
2,3-butanediol ⁴	-	+
1-penten-3-ol ⁵	-	+
(Z)-3-hexen-1-ol ⁵	-	+
3-methyl-1-butanol ⁵	-	+
(E)-2-nonen-1-ol ⁵	-	+
menthol ⁵	-	+
Aldehydes		
acetaldehyde ^{1,3}	<1	7-40
hexanal ^{3,5}	0.3	0.04
heptanal ^{3,5}	0.1	0.03
octanal ^{3,5}	0.1	0.01

ตารางที่ 4 (ต่อ)

Compounds	Concentration in dried or fresh in fig (ppm)	
	Dried Fig	Fresh Fig
nonanal ^{3,5}	0.2	0.08
(<i>E</i>)-2-hexenal ^{3,5}	-	0.005
(<i>E</i>)-2-heptenal ³	0.1	0.03
(<i>E</i>)-2-octenal ^{3,5}	0.2	0.06
(<i>E</i>)-2-nonenal ³	0.05	0.03
(<i>E</i>)-2-decenal ³	0.1	0.2
(<i>E</i>)-2-undecenal ³	0.04	0.04
(<i>E,Z</i>)-2,4-heptadienal ³	0.05	0.1
(<i>E,E</i>)-2,4-heptadienal ^{3,5}	0.1	0.1
(<i>E,E</i>)-2,4-nonadienal ³	-	0.03
(<i>E,Z</i>)-2,4-decadienal ³	-	0.06
(<i>E,E</i>)-2,4-decadienal ³	0.15	0.2
(<i>E,Z</i>)-2,6-nonadienal ⁵	-	+
benzaldehyde ^{2,3,5}	1.8	0.3
3-phenylpropanal ³	0.05	-
cinnamaldehyde ²	+	-
3-methyl-butanal ⁵	-	+
2-methyl-butanal ⁵	-	+
2-methyl-2-butanal ⁵	-	+
(<i>E</i>)-2-pentenal ⁵	-	+
(<i>E</i>)-2-heptanal ⁵	-	+
β -cyclocitral ⁵	-	+
Esters		
methyl acetate ^{1,3}	<1	4
ethyl acetate ^{1,3}	<1	9
ethyl hexanoate ³	0.05	0.02

ตารางที่ 4 (ต่อ)

Compounds	Concentration in dried or fresh in fig (ppm)	
	Dried Fig	Fresh Fig
ethyl phenylacetate ³	-	0.05
isobutyl acetate ¹	+	-
isopentyl acetate ¹	+	-
2-methylbutyl acetate ¹	+	-
propyl acetate ¹	+	-
ethyl butanoate ¹	+	-
methyl butanoate ¹	+	-
ethyl 2-methylbutanoate ¹	+	-
isobutyl 3-methylbutanoate ¹	+	-
ethyl petanoate ¹	+	-
ethyl propanoate ¹	+	-
ethyl 2-methylpropanoate ¹	+	-
methyl hexanoate ⁵	-	+
methyl salicylate ⁵	-	+
ethyl salicylate ⁵	-	+
Acids		
hexanoic acid ^{3,4}	0.05	-
heptanoic acid ³	0.04	-
octanoic acid ³	0.2	-
nonanoic acid ³	0.15	-
decanoic acid ³	0.1	-
acetic acid ⁴	-	+
hexadecanoic acid ⁴	-	+
Ethers		
eucalyptol ⁵	-	+

ตารางที่ 4 (ต่อ)

Compounds	Concentration in dried or fresh in fig (ppm)	
	Dried Fig	Fresh Fig
Phenols		
2-methoxy-4-vinylphenol ⁴	-	+
Pyrans		
linalool oxide [5-hydroxy-2,6,6-trimethy-2-vinyl-tetrahydropyran] ³	0.04	-
Lactones		
4-hydroxybutanoic acid lactone ⁴	-	+
4-hydroxyhexanoic acid lactone ⁴	-	+
4-hydroxy-5-oxohexanoic acid lactone ⁴	-	+
Furans		
linalool oxide [2-Methyl-2-vinyl-5-(2'-hydroxy-2'-propyl)-tetrahydrofuran] ³	0.1	-
2-pentylfuran ³	0.05	0.01
5-(hydroxymethyl)furfural ⁴	-	+
epoxylinalool ⁵	-	+
Bases		
n-ethyl-2-formylpyrrole ³	0.2	-
indole ²	+	-

หมายเหตุ ¹ = (Jennings, 1977)

² = (Gibernau *et al.*, 1997)

³ = (Buttery *et al.*, 1981)

⁴ = (Näf *et al.*, 1995)

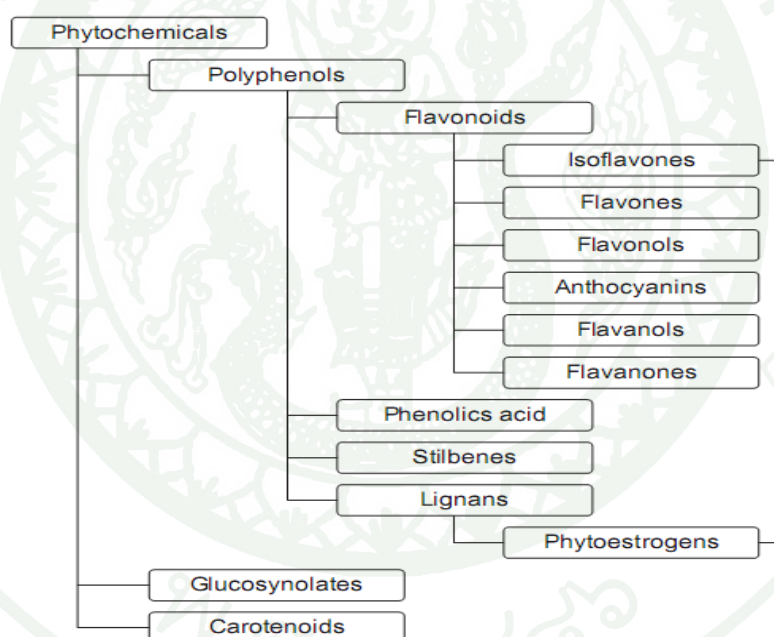
⁵ = (Oliveira *et al.*, 2010b)

+ = พบสารชนิดนั้นแต่ไม่รายงานปริมาณ

- = ไม่พบสารชนิดนั้น

สารประกอบฟีนอลิก

สารพฤกษเคมีเป็นสารเคมีที่มีฤทธิ์ตามธรรมชาติซึ่งพบเฉพาะในพืชเท่านั้น สารพฤกษเคมีนี้เป็นสารที่ทำให้พืชมีลักษณะเฉพาะตัวเช่น สี กลิ่น และรสชาติ โดยสารนี้พืชสร้างขึ้นเพื่อดึงดูดจับไล่หรือช่วยป้องกันการเข้าทำลายจากแมลงและศัตรูพืชอื่นๆ (Vermerris and Nicholson, 2006) สารพฤกษเคมีที่พบมีประโยชน์ในการช่วยป้องกันและลดการเกิดโรคเรื้อรังต่างๆ เนื่องจากมีคุณสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชัน โดยประสิทธิภาพการต้านออกซิเดชันขึ้นกับความเข้มข้นของสารพฤกษเคมีในกระบวนการเมแทบอลิซึมของร่างกายและความเข้มข้นของสารพฤกษเคมีในอาหาร (Blasa *et al.*, 2010) สารพฤกษเคมีที่พบในธรรมชาติส่วนใหญ่เป็นสารประกอบฟีนอลิก ซึ่งสามารถจำแนกสารพฤกษเคมีแสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การจำแนกสารพฤกษเคมี

ที่มา: Marnuele *et al.* (2004)

สารประกอบฟีนอลิกจัดเป็นสารในกลุ่ม Secondary metabolites ซึ่งพืชสังเคราะห์ขึ้นจากสารฟีนิลอะลานีน (phenylalanine) และในพืชบางชนิดสังเคราะห์ขึ้นจากสารไทโรซีน (tyrosine) (Shahidi and Nacz, 2004) โครงสร้างโดยทั่วไปของสารประกอบฟีนอลิกจะมีหมู่ไฮดรอกซี

อย่างน้อยหนึ่งหมู่หรือมากกว่าต่อกับวงอะโรมาติก (Vermerris and Nicholson, 2006) โดยสารประกอบฟีนอลิกที่มีโครงสร้างอย่างง่ายเช่น กรดฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และสารประกอบฟีนอลิกที่มีโครงสร้างเป็นโพลีเมอร์ที่ซับซ้อนเช่น ลิกนิน เมลานิน และแทนนิน เป็นต้น (โอภาและคณะ, 2550) โดยสามารถแบ่งสารประกอบฟีนอลิกตามโครงสร้าง แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การแบ่งชนิดของสารประกอบฟีนอลิก

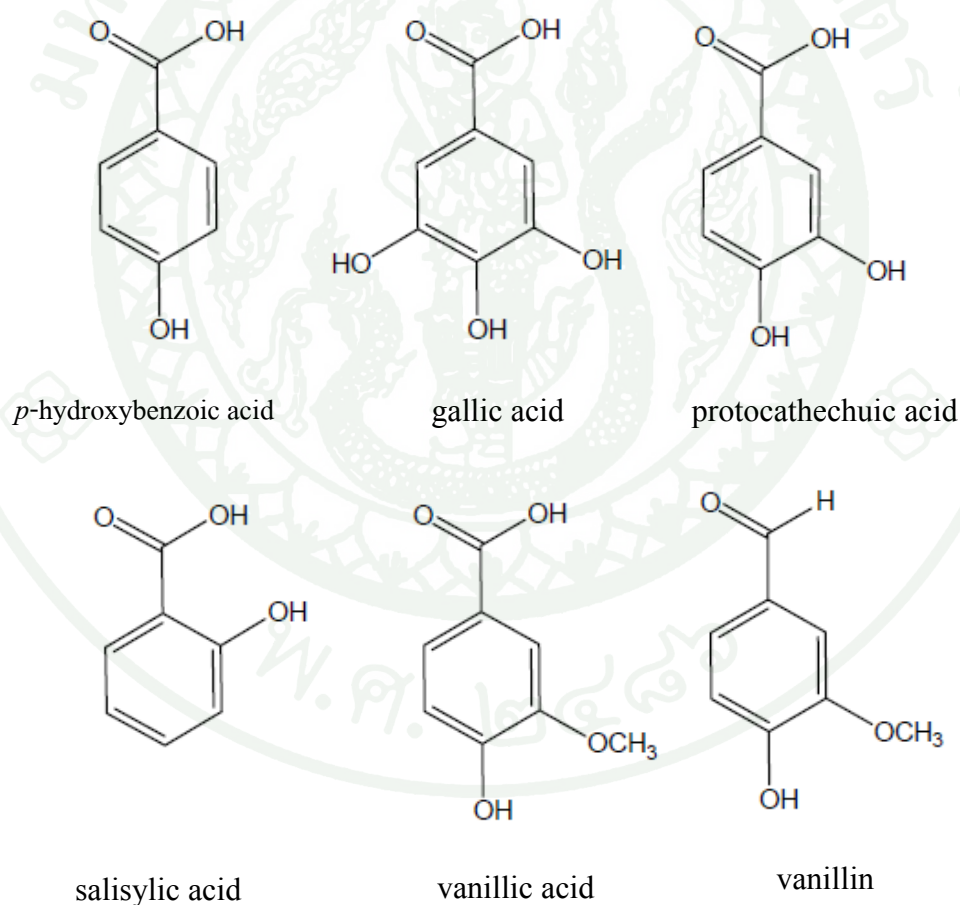
โครงสร้าง	กลุ่มสาร
C_6	simple phenolics
C_6-C_1	phenolic acids and related compounds
C_6-C_2	acetophenones and phenylacetic acids
C_6-C_3	cinnamic acids, cinnamyl aldehydes, cinnamyl alcohols
C_6-C_3	coumarins, isocoumarins, and chromones
C_{15}	chalcones, aurones, dihydrochalcones
C_{15}	flavans, flavones, flavanones, flavanonols
C_{15}	anthocyanidins, anthocyanins
C_{30}	biflavonyls
$C_6-C_1-C_6$, $C_6-C_2-C_6$	benzophenones, xanthenes, stilbenes
C_6 , C_{10} , C_{14}	quinones
C_{18}	betacyanins
Lignans, neolignans	dimers or oligomers
Lignin	polymers
Tannins	oligomers or polymers
Phlobaphenes	polymers

ที่มา: ดัดแปลงจาก Vermerris and Nicholson (2006)

1. กรดฟีนอลิก (Phenolic acid)

1.1 กรดไฮดรอกซีเบนโซอิก (hydroxybenzoic acid)

กรดไฮดรอกซีเบนโซอิกมีโครงสร้างเป็น C_6-C_1 ซึ่งเป็นวงอะโรมาติกที่มี side chain เป็นคาร์บอน 1 อะตอม (ภาพที่ 4) สารกลุ่มกรดไฮดรอกซีเบนโซอิกเกิดจากการเกิดปฏิกิริยาไฮดรอกซิเลชันและปฏิกิริยาเมทิลเลชันบนวงอะโรมาติกของกรดเบนโซอิก ตัวอย่างเช่น กรดพาราไฮดรอกซีเบนโซอิก (*p*-hydroxybenzoic acid) กรดวานิลลิก (vanillic acid) กรดซาลิไซลิก (salicylic acid) และกรดแกลลิก (gallic acid) เป็นต้น (Häkkinen, 2000)

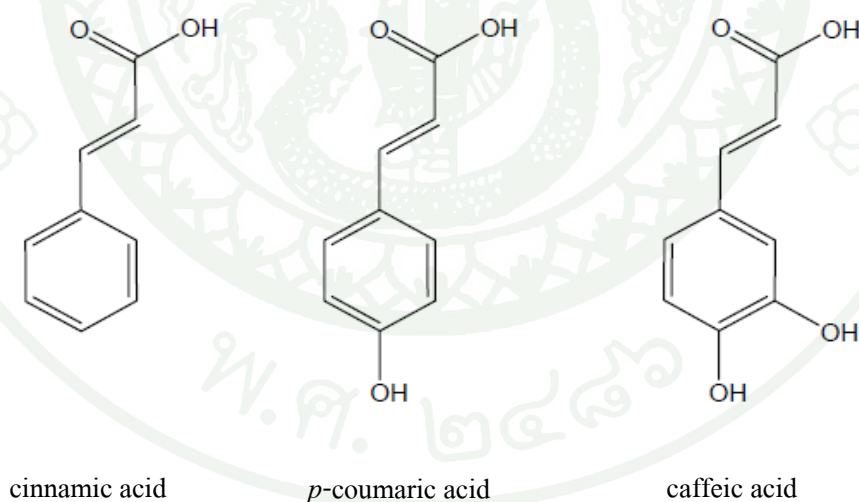


ภาพที่ 4 โครงสร้างทางเคมีของกรดไฮดรอกซีเบนโซอิกและอนุพันธ์

ที่มา: Vermerris and Nicholson (2006)

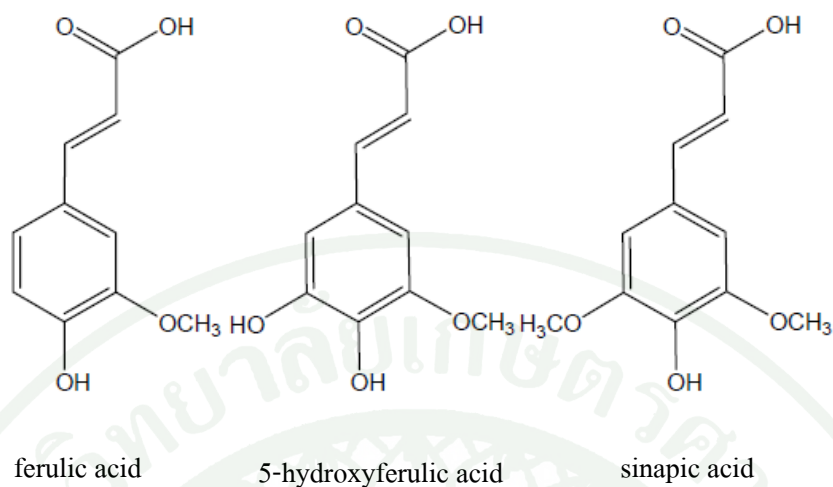
1.2 กรดไฮดรอกซีซินนามิก (hydroxycinnamic acid)

กรดไฮดรอกซีซินนามิกและอนุพันธ์ (ภาพที่ 5) เป็นสารประกอบอะโรมาติกที่มี side chain เป็นคาร์บอน 3 อะตอม (C_6-C_3) (Bravo, 1998) เกิดจากกรดซินนามิกเกิดปฏิกิริยาไฮดรอกซีเลชัน (hydroxylation) โดยการเติมหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) กลายเป็นกรดพาราคูมาริก (*p*-coumaric acid) เมื่อกรดพาราคูมาริกเกิดปฏิกิริยาไฮดรอกซีเลชันจะได้เป็นกรดคาเฟอิก (caffeic acid) สำหรับกรดเฟอร์ริก (ferulic acid) เกิดจากปฏิกิริยาเมทิลเลชัน (methylation) โดยการเติมหมู่เมทิล (-CH₃) เข้าไปในโครงสร้างของกรดคาเฟอิก และเมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮดรอกซีเลชันของกรดเฟอร์ริก จะได้กรดไฮดรอกซีเฟอร์ริก (5-hydroxyferulic acid) และกรดไฮดรอกซีเฟอร์ริกเกิดปฏิกิริยาเมทิลเลชันก็จะได้กรดซินแนปิก (sinapic acid) (Vermerris and Nicholson, 2006) โดยทั่วไป กรดซินนามิกที่พบในธรรมชาติมักอยู่ในรูปที่รวมตัวกับสารอื่นด้วยพันธะเอสเทอร์ได้แก่ การเกิดพันธะเอสเทอร์กับกรดควินิก (quinic acid) กรดชิคิมิก (shikimic acid) และกรดทาร์ทาริก (tartaric acid) เช่น การเกิดพันธะเอสเทอร์ระหว่างกรดคาเฟอิกกับกรดควินิก เกิดเป็นกรดคลอโรจีนิก (chlorogenic acid) (Spanos and Wrolstad, 1992; Vermerris and Nicholson, 2006)



ภาพที่ 5 โครงสร้างทางเคมีของกรดไฮดรอกซีซินนามิกและอนุพันธ์

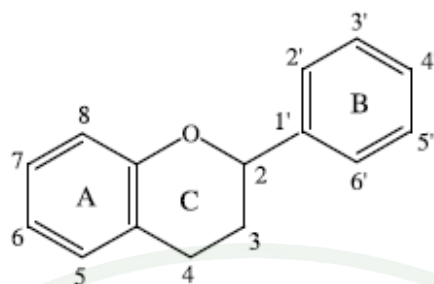
ที่มา: Vermerris and Nicholson (2006)



ภาพที่ 5 (ต่อ)

2. ฟลาโวนอยด์ (Flavonoid)

ฟลาโวนอยด์จัดเป็นสารประกอบฟีนอลิกที่พบมากที่สุดในบรรดาสารประกอบฟีนอลิกจากพืชทั้งหมด โดยฟลาโวนอยด์ประกอบด้วยคาร์บอน 15 อะตอมเรียงกันเป็นระบบ $C_6C_3C_6$ โดยมีวงเบนซีน 2 วงเชื่อมต่อกันด้วยคาร์บอน 3 อะตอม ซึ่งอาจจัดเรียงเกิดเป็นวงที่ 3 (ภาพที่ 6) (Vermerris and Nicholson, 2006) โครงสร้างหลักของฟลาโวนอยด์จึงเป็นโครงสร้างแบบโครแมน (chroman) ฟลาโวนอยด์ในผักและผลไม้ส่วนใหญ่จะอยู่ในลักษณะอนุพันธ์ของไกลโคไซด์ (glycosides) น้อยครั้งที่พบฟลาโวนอยด์อยู่ในลักษณะอนุพันธ์ของอะไกลโคไซด์ (aglycosides) (Tsao and McCallum, 2010) จากสูตรโครงสร้างหลักของฟลาโวนอยด์จะมีการแทนที่คาร์บอนตำแหน่งต่างๆ โดยเฉพาะที่วง A และ B ด้วยหมู่ไฮดรอกซิล เมทอกซิล และน้ำตาลต่างๆ การแทนที่ของหมู่ต่างๆ เหล่านี้ทำให้เกิดเป็นฟลาโวนอยด์ในธรรมชาติที่แตกต่างกันเป็นจำนวนมากกว่า 4000 ชนิด (Sivam, 2002)



ภาพที่ 6 โครงสร้างทางเคมีของฟลาโวนอยด์

ที่มา: Wildman and Kelley (2007)

ฟลาโวนอยด์สามารถพบได้ทั่วไปทั้งในผักและผลไม้ ซึ่งจะมีชนิดและปริมาณแตกต่างกันไป โดยฟลาโวนอยด์ที่พบในผลไม้ส่วนใหญ่มักเป็นกลุ่มฟลาโวนอลและส่วนของเปลือกจะมีปริมาณฟลาโวนอยด์มากกว่าส่วนอื่นๆ (Bravo, 1998) ผลไม้ส่วนใหญ่ที่มีสีแดงหรือม่วงเช่น ผลไม้ตระกูลเบอร์รี่ องุ่น จะมีสารกลุ่มแอนโทไซยานินและฟลาโวนอล ในผลไม้ที่มีสีแดง เช่น แอปเปิ้ลและผลัดภักซ์จะพบฟลาโวนอล เช่น catechin สำหรับผลไม้ตระกูลส้มจะเป็นแหล่งของฟลาโวนอนที่ดี เช่น naringenin, hesperetin ส่วนผักเช่น หัวหอมใหญ่ จะพบ quercetin, kaempferol ดังแสดงในตารางที่ 6 (Rice-Evans *et al.*, 1996)

ตารางที่ 6 แหล่งที่พบฟลาโวนอยด์ชนิดต่างๆ

	Flavonoid	Source
Flavone	Chrysin	Fruit skins
	Apigenin	Parsley, celery
	Rutin	Buckwheat, citrus, red pepper, Red wine, tomato skin
Flavonone	Naringin	Citrus, grapefruit
	Naringenin	Citrus
	Taxifolin	Citrus
	Eriodictyol	Lemons
	Hesperidin	Oranges

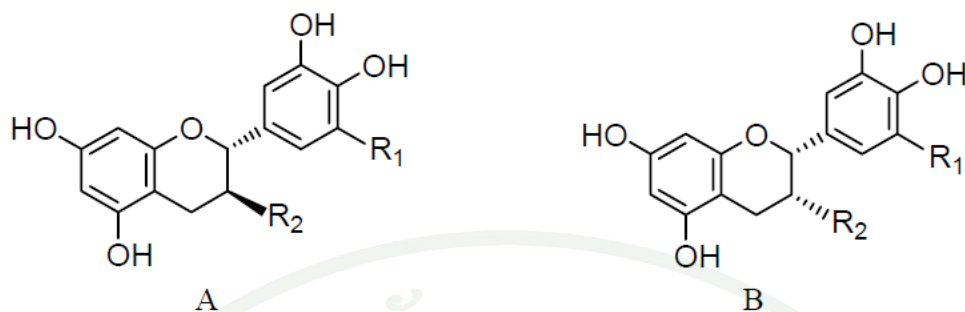
ตารางที่ 6 (ต่อ)

	Flavonoid	Source
Flavonol	Kaempferol	Leek, broccoli, endives, grapefruit, black tea
	Quercetin	Onion, lettuce, broccoli, tomato, tea, berries, apples, olive oil
Isoflavone	Genistein	Soybean
	Daidzin	Soybean
	Daidzein	Soybean
Flavanol	(+)-Catechin	Tea
	(+)-Gallocatechin	Tea
	(-)-Epicatechin	Tea
	(-)-Epigallocatechin	Tea
	(-)-Epicatechingallate	Tea
Anthocyanidin	Epigenidin	Stored fruits
	Cyanidin	Cherry, raspberry, strawberry
	Delphinium	Dark fruits
	Pelargonidin	Dark fruits

ที่มา: คัดแปลงจาก Shahidi and Nacz (2004)

2.1 ฟลาวันอล (Flavanol)

ฟลาวันอลหรืออีกชื่อหนึ่งคือ เฟลวานทรียอลส์ (flavan-3-ols) ฟลาวันอลจะมีหมู่ไฮดรอกซิลเกาะอยู่ที่ตำแหน่งที่ 3 ของวงเฮเทอโรไซคลิก C ส่วนใหญ่ในธรรมชาติพบในรูปอะไกลโคน (aglycone) ซึ่งตรงข้ามกับฟลาโวนอยด์ ตัวอย่างฟลาวันอลที่พบมากเช่น (+)-catechin และ (-)-epicatechin



ภาพที่ 7 โครงสร้างทางเคมีของฟลาวันอล

ที่มา: Green (2007)

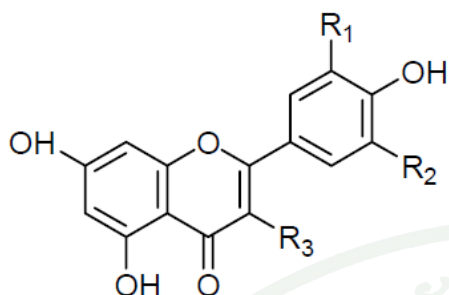
ตารางที่ 7 ชนิดของฟลาวันอล

Flavanol		R1	R2
A	B		
(+) catechin	(-) epicatechin	H	OH
(+) catechin gallate	(-) epicatechin gallate	H	O-gallate
(+) galocatechin	(-) epigallocatechin	OH	OH
(+) galocatechin gallate	(-) epigallocatechin gallate	OH	O-gallate

ที่มา: Green (2007)

2.2 ฟลาโวนอล (Flavonol)

ฟลาโวนอลมีโครงสร้างคล้ายคลึงกับฟลาโวนแต่แตกต่างกันคือ ฟลาโวนอลจะมีหมู่ไฮดรอกซิลเกาะบนตำแหน่งที่ 3 ของวงเฮเทอโรไซคลิก C ในขณะที่ฟลาโวนเป็นไฮโดรเจน ตัวอย่างเช่น kaempferol และ quercetin (Tsao and McCallum, 2010)



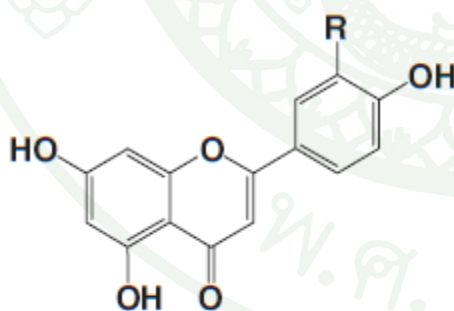
Flavonol	R1	R2	R3
Kaempferol	H	H	OH
Quercetin	OH	H	OH
Myricetin	OH	OH	OH
Quercitrin	OH	H	O-rhamnoside
Rutin	OH	H	O-rutinoside

ภาพที่ 8 โครงสร้างทางเคมีของฟลาโวนอล

ที่มา: Green (2007)

2.3 ฟลาโวน (Flavone)

วงเฮเทอโรไซคลิก C ของฟลาโวนจะมีพันธะคู่ระหว่างตำแหน่งที่ 2 และ 3 และมีหมู่คีโตนอยู่ตำแหน่งที่ 4 โดยฟลาโวนส่วนใหญ่ของผักและผลไม้จะมีหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่งที่ 5 ของวงอะโรติก A ตัวอย่างเช่น เอพิจินิน (apigenin) และลูทีโอลิน (luteolin)



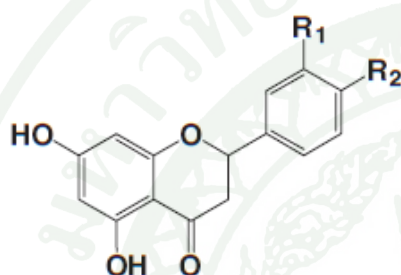
Flavone	R
Apigenin	H
Luteolin	OH

ภาพที่ 9 โครงสร้างทางเคมีของฟลาโวน

ที่มา: Tsao and McCallum (2010)

2.4 ฟลาโวนอน (Flavanone)

ฟลาโวนอนมีโครงสร้างคล้ายฟลาโวนแต่พันธะระหว่างคาร์บอนตำแหน่งที่ 2 และ 3 เป็นพันธะเดี่ยว โดยมากมักพบในพืชตระกูลส้ม ส่วนใหญ่จะพบในรูป monoglycosides และ diglycosides ตัวอย่างเช่น naringin, neohesperidin, naringenin และ hesperetin มีความสำคัญด้านคุณภาพรสขมของผลไม้ (Sivam, 2002)



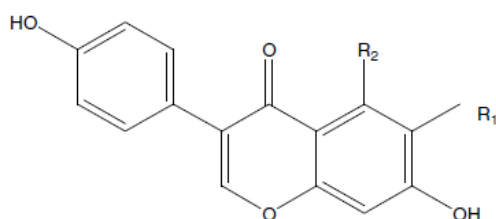
Flavonol	R1	R2
Naringenin	H	OH
Hesperetin	OH	OCH ₃

ภาพที่ 10 โครงสร้างทางเคมีของฟลาโวนอน

ที่มา: Tsao and McCallum (2010)

2.5 ไอโซฟลาโวน (Isoflavone)

ไอโซฟลาโวนมักพบในพืชตระกูลถั่วและผลิตภัณฑ์ ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปไกลโคไซด์ สำหรับไอโซฟลาโวนในรูปอะไกลโคนมักพบในผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการหมัก เช่น ไดซีน (daidzein) จินิสทีน (genistein) ไกลซิทีน (glycitein) ไดซีน (daidzin) จินิสทีน (genistin) และไกลซิทีน (glyditin) เป็นต้น (Sivam, 2002)



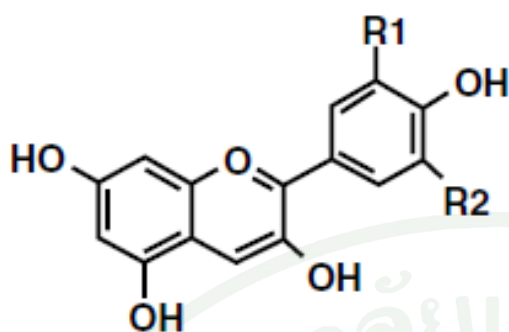
Isoflavone	R1	R2
Daidzein	H	H
Genistein	H	OH
Glycitein	OCH ₃	H

ภาพที่ 11 โครงสร้างทางเคมีของไอโซฟลาโวน

ที่มา: Hendrich and Murphy (2007)

2.6 แอนโทไซยานิดิน (Anthocyanidin)

ในธรรมชาติพบแอนโทไซยานิดินในรูปไกลโคไซด์ที่เกิดพันธะกับน้ำตาล เรียกว่า แอนโทไซยานินส์ แอนโทไซยานิดินคือสารให้สีซึ่งอยู่ในแควคิวโอลของพืชทำให้พืชมีสีต่างๆ โดยสีของแอนโทไซยานิดินนั้นขึ้นอยู่กับความเป็นกรด-ด่าง (pH) ไอออนของโลหะ (metal ions) และการเกิดพันธะกับน้ำตาล แอนโทไซยานิดินที่พบมากในพืชได้แก่ pelargonidin (สีส้ม-แดง) cyanidin (สีแดง) peonidin (สีชมพู-แดง) delphinidin (สีน้ำเงิน-ม่วง) petunidin (สีน้ำเงิน-แดงเข้ม) และ malvidin (สีแดงเข้ม) ซึ่งความแตกต่างของสีเป็นผลมาจากการรวมตัวกันของแอนโทไซยานิดิน (Vermerris and Nicholson, 2006) แอนโทไซยานินส์มีคุณสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชัน จึงมีบทบาทในการช่วยลดการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจ โรคกระเพาะ ช่วยในการมองเห็น สารนี้สามารถพบได้ในผักและผลไม้ต่างๆ เช่น ผักกาดแดง องุ่น พลัม และผลไม้ตระกูลเบอร์รี่ เป็นต้น (Shahidi and Naczki, 2004; Giusti and Wrolstad, 2005)

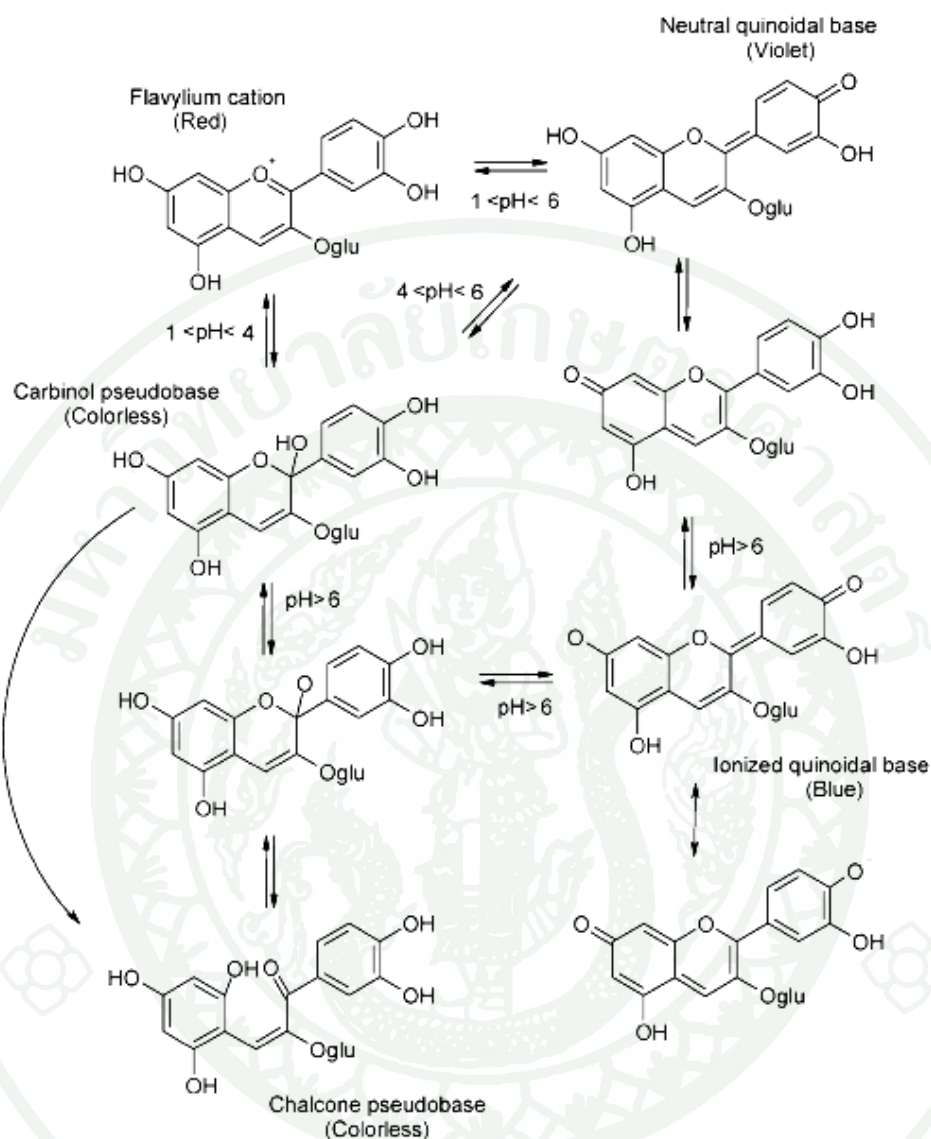


Anthocyanidin	R1	R2
Cyanidin	H	OH
Delphinidin	OH	OH
Malvidin	OMe	OMe
Pelargonidin	H	H
Petunidin	OMe	OH
Peonidin	OMe	H

ภาพที่ 12 โครงสร้างทางเคมีของแอนโทไซยานิดิน

ที่มา: Sivam (2002)

โดยทั่วไปแอนโทไซยานินส์มีโครงสร้าง 4 แบบ คือ flavylium cation, quinoidal base, carbinol pseudobase และ chalcone (Wojdylo *et al.*, 2009) ซึ่งจะมีสีที่แตกต่างกันในโครงสร้าง แต่ละแบบขึ้นกับความเป็นกรด-ด่าง โดยในสภาวะที่เป็นกรดแอนโทไซยานินส์จะอยู่ในรูป flavylium cation (สีแดง) เมื่อความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้น flavylium cation จะเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างอยู่ในรูป carbinol pseudobase, chalcone (ไม่มีสี) และ quinoidal base (สีน้ำเงิน) (Tsao and McCallum, 2010) แสดงดังภาพที่ 13



ภาพที่ 13 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแอนโทไซยานินส์ที่ความเป็นกรด-ด่างต่างๆ

ที่มา: Scordino *et al.* (2004)

อนุมูลอิสระและสารต้านออกซิเดชัน

1. อนุมูลอิสระ (free radical)

อนุมูลอิสระเป็นสารที่ไม่เสถียรและมีความไวสูงในการเข้าทำปฏิกิริยากับสารชีวโมเลกุลต่างๆ ในเซลล์สิ่งมีชีวิต เนื่องจากในโมเลกุลขาดอิเล็กตรอน 1 ตัว อนุมูลอิสระเกิดจากการใช้ประโยชน์ของออกซิเจนในกระบวนการต่างๆ เพื่อเปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานให้แก่ร่างกาย ผลเสียหายจากอนุมูลอิสระเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยในปฏิกิริยาออกซิเดชันจะมีโมเลกุลที่ขาดอิเล็กตรอน 1 ตัว คืออนุมูลอิสระ อนุมูลอิสระนี้จะดึงอิเล็กตรอนจากโมเลกุลอื่นทำให้โมเลกุลที่สูญเสียอิเล็กตรอนกลายเป็นอนุมูลอิสระแทน ทำให้เกิดปฏิกิริยาเช่นนี้ต่อไปเรื่อยๆ เรียกว่าปฏิกิริยาลูกโซ่ (พรทิพย์, 2546) อนุมูลอิสระจะมีออกซิเจนหรือไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ซึ่งเรียกว่า Reactive Oxygen Species (ROS) หรือ Reactive Nitrogen Species (RNS) แสดงดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 อนุมูลอิสระ

Radicals		Nonradicals	
$O_2^{\cdot-}$	Superoxide	H_2O_2	Hydrogen peroxide
$OH^{\cdot}$	Hydroxyl radical	1O_2	Singlet oxygen
$HO_2^{\cdot}$	Hydroperoxyl radical	$HOCl$	Hypochlorous acid
$NO_2^{\cdot}$	Nitrogen dioxide	$ONOO^-$	Peroxynitrite
$NO^{\cdot}$	Nitrogen oxide		

ที่มา: Watson *et al.* (2007)

2. สารต้านออกซิเดชัน (antioxidant)

สารต้านออกซิเดชัน หมายถึง สารที่ทำหน้าที่ยับยั้งปฏิกิริยาของอนุมูลอิสระและป้องกันไม่ให้เกิดการดึงอิเล็กตรอน โดยทำหน้าที่จับกับอนุมูลอิสระแล้วทำให้อนุมูลอิสระหมดความสามารถที่จะไปทำลายหรือเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบของเซลล์ (พรทิพย์, 2546) สารต้าน

ออกซิเดชันเป็นกลุ่มของสารอาหารที่มีมากมายหลายชนิดสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มหลัก ได้แก่ สารต้านออกซิเดชันประเภทเอนไซม์ซึ่งอยู่ในร่างกาย ได้แก่ superoxide dismutase (SOD) glutathione peroxidase (GPX) และ catalase (CAT) และอีกประเภทหนึ่งคือสารต้านออกซิเดชันที่ไม่ใช่เอนไซม์ ได้แก่ วิตามินอี (α -tocopherol) วิตามินเอ (β -carotene) วิตามินซี (ascorbic acid) โคลีน ไชม์คิวเทน ฟลาโวนอยด์ และกลูตาไทโอน (Watson *et al.*, 2007) สำหรับกลไกการทำงานของสารต้านออกซิเดชันมี 3 กลไก ได้แก่ กลไกการกำจัดอนุมูลอิสระ (scavenging free radicals) กลไกการจับกับโลหะ (chelating transition-metals) และกลไกยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ (enzyme inhibitor) ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดอนุมูลอิสระ (Green, 2007)

3. หลักการวัดสมบัติการต้านออกซิเดชัน

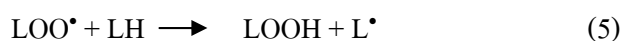
3.1 การวัดการแลกเปลี่ยนอะตอมไฮโดรเจน (hydrogen atom transfer, HAT)

หลักการนี้เป็นการวัดความสามารถของสารต้านออกซิเดชันในการกำจัดอนุมูลอิสระ โดยการให้อะตอมไฮโดรเจน ซึ่งเป็นความสามารถในการแข่งขันในเชิงจลศาสตร์ ปฏิกิริยา HAT จะไม่ขึ้นกับตัวทำละลายและค่า pH แต่ถ้ามีสารรีดิวซ์หรือโลหะอยู่จะทำให้ผลการวิเคราะห์ให้ค่ามากกว่าความเป็นจริง (โอภา และคณะ, 2550) โดยกลไกในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันแสดง ดังสมการ 1-8

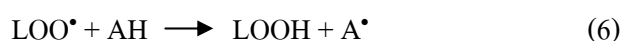
Initiation



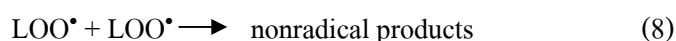
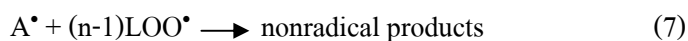
Propagation



Inhibition



Termination

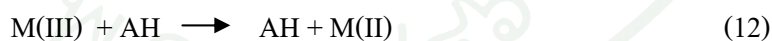


เมื่อ	R_2N_2	=	สารประกอบอะโซ (azo compound)
	$ROO^\bullet$	=	อนุมูลเพอร์ออกซิล (peroxyl radical)
	LH	=	สารตั้งต้น (substrate)
	AH	=	สารต้านออกซิเดชัน (antioxidant)

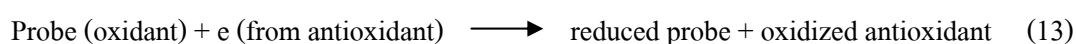
วิธีการวิเคราะห์ของหลักการนี้ได้แก่ oxygen radical absorbance capacity (ORAC) assay และ total radical trapping antioxidant parameter (TRAP) assay โดยปฏิกิริยาเกิดจากการแข่งขันระหว่างสารต้านออกซิเดชันกับสารตั้งต้นของปฏิกิริยา ด้วยการกระตุ้นสารประกอบอะโซ (azo compounds) ด้วยความร้อนทำให้เกิดการสลายตัวกลายเป็นอนุมูลเพอร์ออกซิลเพื่อเป็นตัวแทนอนุมูลอิสระตามธรรมชาติ จากนั้นจะวัดการเรืองแสงของสารฟลูออเรสเซนต์ที่ลดลงเมื่อเกิดการออกซิเดชัน ด้วยการเติมสารต้านออกซิเดชันเข้าไปในระบบ สารต้านออกซิเดชันนี้จะไปแข่งจับกับสารเรืองแสงทำให้ความเข้มของฟลูออเรสเซนต์ลดลงด้วยความเร็วที่ช้าลง (Huang *et al.*, 2005)

3.2 การวัดการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนเดี่ยว (electron transfer, ET)

หลักการ ET นี้เป็นการหาค่าการส่งผ่านอิเล็กตรอนไปรีดิวส์สารอื่น ได้แก่ โลหะและอนุมูลอิสระ แสดงดังสมการที่ 9-12 (Prior *et al.*, 2005)

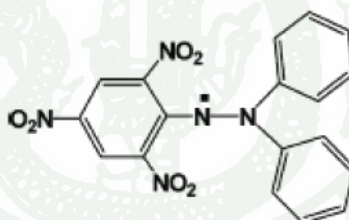


หลักการ ET นี้จะวัดความสามารถของสารต้านออกซิเดชันในปฏิกิริยาการรับของตัวรับอิเล็กตรอน ซึ่งปฏิกิริยานี้จะมี 2 องค์ประกอบคือ สารต้านออกซิเดชันและสารออกซิไดซ์ (probe) โดยเกิดปฏิกิริยาแสดงดังสมการที่ 13



ปฏิกิริยานี้จะมีการเปลี่ยนแปลงสีเมื่อเกิดการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอน โดยสีที่เปลี่ยนแปลงจะสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารต้านออกซิเดชัน คือถ้าความเข้มข้นของสารต้านออกซิเดชันมากสีของสารละลายจะลดลงอย่างรวดเร็ว วิธีการวิเคราะห์ของหลักการนี้ ได้แก่ total phenols assay by Folin-Ciocalteu reagent (FCR), trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC) assay หรือ ABTS, ferric ion reducing antioxidant power (FRAP) assay และ 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging capacity assay (Huang *et al.*, 2005)

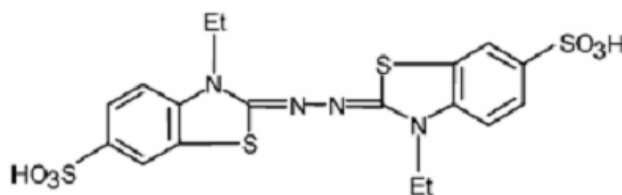
การตรวจสอบความสามารถด้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH เป็นการวัดความสามารถในการรีดิวซ์ด้วยเครื่องสเปกโตรที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร โดย DPPH เป็นสารอนุมูลในโตรเจนที่ค่อนข้างคงตัวไม่ไวต่อปฏิกิริยาเหมือนอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในเซลล์หรือร่างกาย นอกจากนี้โครงสร้างของ DPPH มีความเกะกะ (steric) จึงส่งผลต่อการวัด โดยอิเล็กตรอนเดี่ยวของ DPPH จะถูกบดบังด้วยวงเบนซีน 3 วง และหมู่ไนโตร (ภาพที่ 14) ทำให้สารต้านอนุมูลที่มีฤทธิ์แรงแต่มีขนาดใหญ่ไม่สามารถเข้าไปทำปฏิกิริยาหรือเกิดปฏิกิริยาช้ากว่าความเป็นจริง (Prior *et al.*, 2005)



ภาพที่ 14 โครงสร้างทางเคมีของ DPPH

ที่มา: Prior *et al.* (2005)

การตรวจสอบความสามารถด้านออกซิเดชันด้วยวิธี ABTS เป็นการวัดความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ ABTS เปรียบเทียบกับ Trolox ในการวิเคราะห์จะวัดค่าการดูดกลืนแสงของ ABTS ที่ลดลงจากค่าควบคุมเมื่อไม่ได้เติมสารตัวอย่าง โดยนิยมนิยามวัดค่าการดูดกลืนแสงของ ABTS ที่ความยาวคลื่น 415 และ 734 นาโนเมตร



ภาพที่ 15 โครงสร้างทางเคมีของ ABTS

ที่มา: Prior *et al.* (2005)

ข้อดีของวิธี ABTS คือ วิธีทดสอบไม่ยุ่งยาก โดยอนุมูลอิสระ ABTS จะทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วกับสารต้านอนุมูลอิสระภายในเวลา 30 นาที สามารถวิเคราะห์ได้ในช่วงความเป็นกรด-ด่างที่กว้าง ทำให้สามารถศึกษาเกลือได้โดยละเอียด อนุมูลอิสระ ABTS สามารถละลายได้ทั้งในน้ำและสารละลายอินทรีย์ จึงใช้วิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชันของสารต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นสารที่ละลายน้ำหรือสารที่ละลายในไขมัน ข้อเสียคือ อนุมูลอิสระ ABTS ไม่เป็นสารตามธรรมชาติที่ก่อให้เกิดอนุมูลอิสระในเซลล์หรือร่างกาย (Prior *et al.*, 2005)

สารระเหยให้กลิ่น

การบริโภคผลไม้สดจะขึ้นอยู่กับคุณภาพของผลไม้ คุณภาพของผลไม้สดมีหลายประการ เช่น ลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัส กลิ่นรสและคุณค่าทางโภชนาการ กลิ่นรสเป็นหนึ่งในคุณสมบัติที่สำคัญของคุณภาพผลไม้สด กลิ่นรสของผลไม้ถูกสร้างขึ้นจากน้ำตาล กรด เกลือ สารให้รสขม เช่น alkaloids หรือ flavonoids และกลิ่นหอมระเหย กลิ่นรสของผลไม้สดจะถูกกำหนดโดยรสชาติและสารให้กลิ่นที่สำคัญ (odor-active compounds) ปัจจุบันการศึกษารสให้กลิ่นที่สำคัญต่อกลิ่นรสของผลไม้ได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากสารเหล่านี้มีความสำคัญกับลักษณะกลิ่นรสของผลไม้ โดยกลิ่นรสของผลไม้จะมีความสัมพันธ์กับสารระเหย (volatile compounds) ซึ่งสารระเหยในผลไม้ประกอบด้วยสารประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน โดยมีปริมาณ $10^{-7} - 10^{-4}$ ของน้ำหนักผลไม้สด ถึงแม้ว่าสารระเหยที่ถูกผลิตขึ้นมีปริมาณน้อยมากแต่สารระเหยเหล่านี้สามารถถูกตรวจวัดได้โดยการดมกลิ่นของมนุษย์ โดยผลไม้ที่ต่างชนิดกันจะมีกลิ่นรสที่แตกต่างกัน (Jiang and Song, 2010) เช่น พีชตระกูลส้ม ได้แก่ ส้มโอ (grapefruit) ส้ม (orange) มะนาว

(lemon) มะนาว (lime) จะประกอบไปด้วย terpenoids เป็นส่วนใหญ่ ในขณะที่ผลไม้ประเภทอื่น ได้แก่ แอปเปิ้ล ราสเบอร์รี่ แครนเบอร์รี่ และกล้วยจะมี esters และ aldehydes เป็นส่วนใหญ่ (Fisher and Scott, 1997)

สารประกอบที่ทำหน้าที่เป็นสารให้กลิ่นรสมีจำนวนมาก บางชนิดมีอยู่ตามธรรมชาติในวัตถุดิบอาหารแต่บางชนิดเกิดจากการปรุงอาหาร อบหรือปิ้ง ซึ่งจะทำให้อาหารนั้นเป็นที่พึงพอใจตรงตามความต้องการของผู้บริโภคมากขึ้น สารให้กลิ่นรสอาจเป็นสารที่ระเหยได้และสารที่ไม่ระเหย โดยสารให้กลิ่นรสที่เป็นสารระเหย ได้แก่ aldehydes, alcohols, ketones, acids, esters, ethers, lactones, furans, hydrocarbons, phenols terpenoids, nitrogen-containing compounds และ sulfur-containing compounds เป็นต้น สารให้กลิ่นรสที่ไม่ระเหย ได้แก่ amino acid, peptides, organic acids, sugars, salts, flavonoids, alkaloids, phenols และ isocyanates เป็นต้น (Gutiérrez-Rosales, 2010)

การจำแนกสารระเหยของกลิ่นรสผลไม้ (Jiang and Song, 2010)

1. โครงสร้างทางเคมี (chemical structure) ผลไม้สดต่างชนิดกันจะมีการผลิตสารระเหยที่มีลักษณะต่างกัน สารระเหยส่วนใหญ่ที่ถูกผลิตขึ้นโดยผลไม้สดจะมีความหลากหลายทางเคมี ประกอบด้วย esters, alcohols, aldehydes, ketones, lactones และ terpenoids อย่างไรก็ตามยังมีสารประกอบซัลเฟอร์ เช่น S-methylthiobutanoate, 3-(methylthio) propanal, ethyl 2-(methylthio) acetate, ethyl 3-(methylthio) propanoate, และ 3-(methylthio) propyl acetate ทำหน้าที่เป็นสารให้กลิ่นรสของผลไม้ประเภทต่าง ๆ ถึงแม้ว่าจะมีสารประกอบทางเคมีที่ระบุว่าเป็นสารระเหยในผลไม้สดจำนวนมากแต่มีส่วนน้อยที่เป็นสารที่ให้ลักษณะกลิ่นที่สำคัญของผลไม้สดทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มข้นและความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถได้กลิ่น

2. การเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ (biogenesis) สารระเหยที่ก่อให้เกิดกลิ่นรสผลไม้มีการผลิตขึ้นโดยกระบวนการเผาผลาญในระหว่างการสุกของผลไม้และวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว รวมทั้งการเก็บรักษา นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ สายพันธุ์ สภาพภูมิอากาศ การผลิตผล ความสุก และวิทยาการก่อน-หลังการเก็บเกี่ยว การผลิตสารระเหยของผลไม้ส่วนใหญ่จะสัมพันธ์กับการสุกของผลไม้ โดยสารระเหยจะเป็นผลิตภัณฑ์โดยตรงจากกระบวนการเผาผลาญหรือเป็นผลของการทำปฏิกิริยาระหว่างกระบวนการเผาผลาญหรือเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายของ

กระบวนการเผาผลาญ ซึ่งสารระเหยที่ได้สามารถจำแนกได้เป็น กรดไขมัน (FAs) กรดอะมิโน กลูโคซิโนเลต เทอร์ปีนอยด์ ฟีนอลและสารประกอบที่เกี่ยวข้อง

3. สารระเหยที่เกิดจาก FAs (volatile compounds formed from FAs) กรดไขมันเป็นสารตั้งต้นของสารระเหยจำนวนมาก โดยสารระเหยหลายชนิดเป็นสารให้ลักษณะกลิ่นที่สำคัญซึ่งเป็นสารที่ทำหน้าที่ให้กลิ่นรสในผลไม้สด สารประกอบเหล่านี้มักมีสายคาร์บอนอยู่ในช่วง C_1 - C_{20} การสลายตัวของกรดไขมันส่วนใหญ่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยมีการเกิดที่แตกต่างกันคือ (1) การเกิดแอลฟาออกซิเดชัน (α -oxidation) และเบต้าออกซิเดชัน (β -oxidation) (2) การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดย lipoxygenase pathway และ (3) การเกิดออโตออกซิเดชัน (autooxidation) การเกิดสารให้กลิ่นรสโดย β -oxidation เช่นการเกิดสารให้กลิ่นรสในลูกแพร์ สารให้กลิ่นรสหลายชนิดเกิดจาก lipids โดยการทำงานของ lipoxygenase สารระเหยกลุ่ม esters, alcohols, acids และ carbonyls หลายชนิดที่พบในผลไม้เกิดจากการย่อยสลายโดยปฏิกิริยาออกซิเดชันของ linoleic acid และ linolenic acid นอกจากนี้สารระเหยบางชนิดเกิดการเปลี่ยนแปลงมาจากการทำงานของเอนไซม์โดยการแตกตัวในปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันหรือการเกิดออโตออกซิเดชัน เช่น hexanal และ 2,4-decadienal เป็นผลิตภัณฑ์ปฐมภูมิที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของ linoleic acid ในขณะที่การเกิดออโตออกซิเดชันของ linolenic acid ทำให้เกิด 2,4-heptadienal ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่สำคัญ โดยการเกิดออโตออกซิเดชันต่อไปของ aldehydes เหล่านี้จะทำให้เกิดสารระเหยอื่นๆ หลายชนิด

4. สารระเหยที่เกิดจากการเผาผลาญกรดอะมิโน (volatile compounds formed from amino acid metabolism) กระบวนการเผาผลาญกรดอะมิโนทำให้เกิดสารที่มีกลิ่นหอม ได้แก่ สารประกอบอะลิฟาติก แอลกอฮอล์ที่มีกิ่ง กรด คาร์บอนิล และเอสเทอร์ซึ่งมีความสำคัญต่อกลิ่นรสของผลไม้ สารระเหยบางชนิดถูกผลิตขึ้นโดยการทำงานของระบบเอนไซม์ของกรดอะมิโน โดยสารระเหยชนิดหลักที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาของกรดอะมิโนและน้ำตาลประกอบด้วย aldehydes, alkyl pyrazines, alkyl thiazolines และ thiazoles และเฮทเทอโรไซคลิกที่เกิดจากปฏิกิริยา strecker degradation กรดอะมิโนจะเป็นสารตั้งต้นของสารประกอบอะลิฟาติกที่มีกิ่งเช่น 2-methyl-1-butanol และ 3-methyl-1-butanol ซึ่งสารทั้งสองนี้เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการสลายตัวของกรดอะมิโน สารประกอบเหล่านี้สามารถถูกสังเคราะห์เปลี่ยนรูปต่อไปเป็น esters ซึ่งเป็นสารระเหยที่สำคัญในผลไม้หลายชนิด นอกจากนี้ยังมี pyruvate ที่เป็นสารตั้งต้นเกิดจากกระบวนการไกลโคไลซิสซึ่งเป็นปฏิกิริยาระหว่างกรดไขมันและกรดอะมิโนทำให้เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในการ

สังเคราะห์สารระเหยของผลไม้

5. สารระเหยที่เกิดจากการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต (volatile compounds formed from carbohydrate metabolism) สารให้กลิ่นรสหลายชนิดเกิดจากการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต โดยกระบวนการสังเคราะห์แสงที่เปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์เป็นน้ำตาลซึ่งเป็นกระบวนการเผาผลาญที่สำคัญของพืช ซึ่งสารให้กลิ่นรสเกือบทั้งหมดของพืชเกิดจากการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต โดยอ้อม อย่างไรก็ตามมีสารให้กลิ่นรสบางชนิดที่เกิดจากกระบวนการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรตโดยตรง

6. สารประกอบที่เปลี่ยนแปลงมาจากเทอร์ปีนอยด์ (volatile compounds derived from terpenoid) เป็นสารให้กลิ่นรสกลุ่มหลักที่พบในผลไม้ โดยสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ (1) monoterpenes และ sesquiterpenes (2) irregular terpenes ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจาก catabolic pathways หรือ autoxidation โดย monoterpenes และ sesquiterpenes ส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นโดยกระบวนการ anabolic ดังนั้นจึงมักพบ terpenoids อยู่ในเนื้อเยื่อพืชที่สมบูรณ์ อย่างไรก็ตาม การเกิดของ irregular terpenes บางชนิดไม่ได้เกิดจาก anabolic pathways ในผลไม้บางชนิด โดย terpenoids เป็นสารปฐมภูมิที่เกิดจากการสลายตัวโดยปฏิกิริยาออกซิเดชันของ carotenoids

7. ฟีนอลและสารประกอบที่เกี่ยวข้อง (phenols and related compounds) พบในผลไม้ทั่วไปซึ่งบางชนิดเป็นสารให้กลิ่น สารระเหยในกลุ่มนี้ส่วนใหญ่เกิดจาก shikimic acid pathway อาจอยู่ในรูป aglycones หรือ glycosides ซึ่งจะถูกปลดปล่อยออกมาโดยการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ โดยทั่วไปสารระเหยฟีนอลและสารประกอบที่เกี่ยวข้องเป็นอนุพันธ์ของเบนซีนที่มีหมู่ methoxy และ phenolic โดยมากมักเป็น allyl, vinyl หรือ aldehyde สารระเหยให้กลิ่นรสในกลุ่มนี้ได้แก่ eugenol, vanillin, myristicin, apiole, elemicin และ benzaldehyde

การทำแห้ง

การทำแห้งเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลทางการเกษตร เนื่องจากเป็นวิธีที่ช่วยลดปริมาณความชื้นส่งผลให้ a_w มีค่าต่ำลง ซึ่งเป็นการป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสีย นอกจากนี้การทำแห้งยังเป็นการลดน้ำหนักของผลิตภัณฑ์เพื่อสะดวกและประหยัดต้นทุนในการขนส่ง (Ratti, 2009) การทำแห้งเป็นวิธีการที่ใช้ความร้อนเพื่อระเหยน้ำ

ออกจากอาหาร โดยตัวกลางที่นิยมใช้ในการระเหยนํ้าออกจากอาหารคืออากาศซึ่งขั้นตอนการระเหยนํ้าออกจากอาหารคือการเคลื่อนย้ายนํ้าจากภายในอาหารออกสู่ผิวนอกของอาหาร และการเคลื่อนย้ายไอนํ้าออกจากพื้นผิวนอกของอาหาร การทำแห้งเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีควรใช้เวลาให้น้อยที่สุด โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อการทำแห้ง ได้แก่ ขนาดและโครงสร้างทางชีวภาพของวัตถุดิบ คุณสมบัติของตัวกลางที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายนํ้าออกจากอาหาร และลักษณะของเครื่องมือที่ใช้ในการทำแห้ง (Bassey, 1981) การทำแห้งทำได้หลายวิธี เช่น การใช้แสงแดด (sun drying) การทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (oven drying) การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying หรือ lyophilization) เป็นต้น ซึ่งผลิตผลทางการเกษตรส่วนใหญ่มักใช้วิธีการตากแดดเนื่องจากเป็นวิธีที่สะดวกและประหยัดแต่มีข้อเสียคือ กระบวนการทำแห้งไม่ถูกสุขลักษณะ ไม่สามารถควบคุมเวลาและสภาพภูมิอากาศในการทำแห้งได้ ดังนั้นการทำแห้งโดยการใช้ตู้อบลมร้อนจึงเป็นวิธีที่เหมาะสมต่อการทำแห้งผลิตผลเกษตรมากกว่าการตากแดด เนื่องจากสะดวกและสามารถควบคุมกระบวนการผลิตได้ (Piga *et al.*, 2004)

การทำแห้งเป็นกระบวนการใช้ความร้อนซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสและคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร (Ramaswamy and Marcette, 2006) การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจึงเป็นอีกวิธีหนึ่งที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ช่วยคงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้แห้งได้เป็นอย่างดี (Abascal *et al.*, 2005; Wu *et al.*, 2010) เนื่องจากเป็นวิธีการทำแห้งที่ไม่ใช้ความร้อนแต่จะใช้เวลานานในการกำจัดนํ้าทำให้มีค่าใช้จ่ายสูง การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเป็นวิธีที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมการทำแห้งอาหารที่มีราคาแพงซึ่งต้องการรักษากลิ่นและลักษณะเนื้อสัมผัส เช่น กาแฟ เครื่องเทศและสมุนไพร น้ำผลไม้ ผัก อาหารทะเล และอาหารพร้อมรับประทาน (วิไล, 2543)

ผลของการทำแห้งต่ออาหาร (วิไล, 2543)

1. ลักษณะเนื้อสัมผัส การทำแห้งทำให้อาหารมีลักษณะเนื้อสัมผัสเปลี่ยนไป เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี ซึ่งจะผันแปรไปตามอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทำแห้ง โดยการทำแห้งอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูงจะเกิดการเปลี่ยนแปลงมากกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ลักษณะเฉพาะของอาหารที่ทำแห้งคือผิวนอกจะแห้งแข็ง (case hardening) ส่วนภายในคงนุ่มและชื้น ทำให้ความชื้นระหว่างผิวนอกและภายในอาหารมีความแตกต่างกันสูง

2. กลิ่นและรส การทำแห้งนอกจากจะทำให้น้ำระเหยแล้วยังส่งผลต่อการสูญเสียสารหอมระเหยบางชนิด โดยปริมาณการสูญเสียสารหอมระเหยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความเข้มข้นของของแข็งในอาหาร ความดันไอ และความสามารถในการละลายในไอน้ำของสารหอมระเหย โดยสารหอมระเหยที่มีความสามารถในการระเหยสูงจะเกิดการสูญเสียในช่วงแรกของการทำแห้ง และในช่วงหลังจะมีการสูญเสียปริมาณน้อย ดังนั้นการควบคุมสภาวะการทำแห้งในแต่ละขั้นตอนจะช่วยลดการสูญเสียกลิ่นและรสของอาหารได้ ซึ่งอาหารแต่ละชนิดจะมีสภาวะการทำแห้งที่แตกต่างกัน

3. สี การทำแห้งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้าของอาหาร เปลี่ยนการสะท้อนแสงของสี และมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของแคโรทีนอยด์และคลอโรฟิลล์ ซึ่งเกิดจากความร้อนและปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างการทำแห้ง โดยการทำแห้งที่เวลานานและอุณหภูมิสูงจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของสีมาก เนื่องจากสภาวะดังกล่าวเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่าย และอาจเกิดสีน้ำตาลในระหว่างการเก็บรักษาหากมีการทำงานของเอนไซม์อยู่ในอาหาร สามารถป้องกันการทำงานของเอนไซม์ได้โดยการลวกหรือการใช้กรดแอสคอร์บิกก่อนการทำแห้ง นอกจากนี้การเกิดสีน้ำตาลยังขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำอิสระและอุณหภูมิในการเก็บรักษา โดยอัตราการเกิดสีน้ำตาลจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเก็บในสภาวะที่อุณหภูมิสูงกว่า 38 องศาเซลเซียสและอาหารมีความชื้นมากกว่า 4-5 %

4. คุณค่าทางโภชนาการ วิตามินแต่ละชนิดมีความสามารถในการละลายน้ำแตกต่างกัน เมื่อเวลาการทำแห้งเพิ่มขึ้นวิตามินบางชนิดอาจเกิดการอิมตัวและตกตะกอนในสารละลายทำให้เกิดการสูญเสียย่อย เช่น วิตามินซี สำหรับวิตามินซีจะไวต่อความร้อนและปฏิกิริยาออกซิเดชัน หากต้องการลดการสูญเสียวิตามินซีต้องใช้อุณหภูมิต่ำ เวลาสั้น และควบคุมความชื้นและปริมาณออกซิเจนให้ต่ำในระหว่างการเก็บรักษา สำหรับสารอาหารที่ละลายได้ในไขมันค่อนข้างคงตัวในอาหารแห้งและมีความเข้มข้นมากขึ้น

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัตถุดิบ

1.1 ผลมะเดื่อฝรั่งสด (*Ficus carica* L.) สายพันธุ์ Black Genoa, Black Mission, Hourai และ Kadota จากมูลนิธิโครงการหลวง สถานีวิจัยเกษตรหลวงปางดะ จังหวัดเชียงใหม่ โดยทำการเก็บเกี่ยวที่ระยะแก่เต็มที่ และส่งมาถึงห้องปฏิบัติการในวันต่อมาด้วยรถห้องเย็นควบคุมอุณหภูมิ (3-5 องศาเซลเซียส)

1.2 ผลมะเดื่อฝรั่งสดและอบแห้งสายพันธุ์ Brown Turkey จากอำเภอเมือง จังหวัดพิจิตร

2. สารเคมี

2.1 เมทานอล (Analytical grade, Mallinckrodt, สหรัฐอเมริกา)

2.2 กรดไฮโดรคลอริก 37% (Analytical grade, Merck, เยอรมันนี)

2.3 กรดฟอสฟอริก 85% (Analytical grade, Merck, เยอรมันนี)

2.4 โพลิน-ซีโอเคาทุ (Analytical grade, Sigma-Aldrich, สหรัฐอเมริกา)

2.5 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Analytical grade, Merck, เยอรมันนี)

2.6 ฟีนอลฟทาไลน์ (Analytical grade, Merck, เยอรมันนี)

2.7 อะซีโตรไนไตรล์ (HPLC grade, Mallinckrodt, สหรัฐอเมริกา)

2.8 โซเดียมไนไตรท์ (Analytical grade, Ajax Finechem, นิวซีแลนด์)

2.9 โซเดียมคาร์บอเนต (Analytical grade, Ajax Finechem, นิวซีแลนด์)

2.10 อะลูมิเนียมคลอไรด์ (Analytical grade, Ajax Finechem, นิวซีแลนด์)

2.11 ได-โพแทสเซียม ไฮโดรเจน ฟอสเฟต (Analytical grade, Ajax Finechem, นิวซีแลนด์)

2.12 โพแทสเซียม ได-ไฮโดรเจน ฟอสเฟต (Analytical grade, Ajax Finechem,

นิวซีแลนด์)

2.13 โซเดียมคลอไรด์ (Analytical grade, Ajax Finechem, นิวซีแลนด์)

2.14 โพแทสเซียมคลอไรด์ (Analytical grade, Merck, เยอรมันนี)

- 2.15 โซเดียมอะซิเตท (Analytical grade, Ajax Finechem, นิวซีแลนด์)
- 2.16 2, 2-ไดฟีนิล-1-ไพคริล-ไฮดรากล: DPPH (Aldrich, เยอรมันนี)
- 2.17 2, 2'-อะซิโน-บิส (3-เอทิลเบนโซไทอะโซลิน-6-ซัลโฟนิค แอซิด): ABTS (Aldrich, เยอรมันนี)
- 2.18 2, 2'-อะซิโน (2-อะมิโนโนโพรเพน) ไฮโดรคลอริก: AAPH (Aldrich, เยอรมันนี)
- 2.19 กรดแอสคอร์บิก (Polskie Odczynniki Chemiczne S.A., โปแลนด์)
- 2.20 กรดแกลลิก (Analytical grade, Sigma-Aldrich, สหรัฐอเมริกา)
- 2.21 คาเทชินไฮเดรต (Analytical grade, Sigma-Aldrich, สหรัฐอเมริกา)
- 2.22 ไซยานิดิน-3-รูทีโนไซด์ คลอไรด์ (Extrasynthese, ฝรั่งเศส)
- 2.23 เควอซิทิน-3-รูทีโนไซด์ หรือรูทีน (Extrasynthese, ฝรั่งเศส)
- 2.24 กรดคลอโรจีนิก (Sigma-Aldrich, สหรัฐอเมริกา)
- 2.25 ไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ (PhytoLab, ฝรั่งเศส)
- 2.26 สารมาตรฐาน internal standard: 2-undecanone (Aldrich, สหรัฐอเมริกา)
- 2.27 สารมาตรฐาน n-alkanes (C_6 - C_{30}) (Aldrich, สหรัฐอเมริกา)
- 2.28 สารมาตรฐานของสารระเหยที่ให้กลิ่น
- hexanal (Aldrich, เยอรมันนี)
 - hexanol (Aldrich, เยอรมันนี)
 - 3-methyl-1-butanol (Aldrich, เยอรมันนี)
 - 1-octen-3-ol (Aldrich, เยอรมันนี)
 - *l*-linalool (Aldrich, เยอรมันนี)
 - ethyl octanoate (Aldrich, เยอรมันนี)
 - ethyl hexanoate (Aldrich, เยอรมันนี)
 - *Z*-citral (Aldrich, เยอรมันนี)
 - *E*-citral (Aldrich, เยอรมันนี)
 - camphor (Aldrich, เยอรมันนี)
 - limonene (Fluka, สวิตเซอร์แลนด์)
 - 1,8-cineole (Fluka, สวิตเซอร์แลนด์)
 - caryophyllene oxide (Fluka, สวิตเซอร์แลนด์)
 - β -caryophyllene (Fluka, สวิตเซอร์แลนด์)
 - furfural (Aldrich, สหรัฐอเมริกา)

- nonanal (Aldrich, สหรัฐอเมริกา)
- benzenethanol (Givaudan, สิงคโปร์)
- benzaldehyde (Givaudan, ประเทศสิงคโปร์)
- 2-methyl phenol (Givaudan, สิงคโปร์)
- furfuryl alcohol (Givaudan, ประเทศสิงคโปร์)
- 2-methoxy-4-vinylphenol (Givaudan, สิงคโปร์)
- octanoic acid (Givaudan, สิงคโปร์)
- guaiacol (Givaudan, สิงคโปร์)

3. อุปกรณ์และเครื่องมือ

- 3.1 เครื่องโฮโมจิไนเซอร์ (homogenizer) รุ่น T10 basic (Ika, มาเลเซีย)
- 3.2 เครื่องสั่นสะเทือนด้วยคลื่นเสียง (sonicator) รุ่น RK 52 (Bandelin Sonorex, เยอรมัน)
- 3.3 เครื่องเหวี่ยงแยกแบบอุณหภูมิต่ำ (refrigerator centrifuge) รุ่น RC-5C Plus (Sorvall, สหรัฐอเมริกา)
- 3.4 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-visible spectrophotometer) รุ่น T60 (PG Instrument, อังกฤษ)
- 3.5 เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-เบส (pH meter) รุ่น 2-Star Benchtop (Thermo Orion, สหรัฐอเมริกา)
- 3.6 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ รุ่น WB 7/14/22/29/45 (Mettler, เยอรมัน)
- 3.7 เครื่องผสมสารละลาย (vortex mixer) (Genie II, สหรัฐอเมริกา)
- 3.8 เครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวแบบสมรรถนะสูง (high performance liquid chromatography) รุ่น Waters 600 (Water, สหรัฐอเมริกา) คู่กับ UV diode-array detector รุ่น Waters 2998 (Water, สหรัฐอเมริกา)
- 3.9 เครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze dryer) รุ่น Dura-Top (Fst Systems, สหรัฐอเมริกา)
- 3.10 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (balance 4 decimal) รุ่น AC 211S (Sartorius, เยอรมัน)
- 3.11 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง (balance 2 decimal) รุ่น BP 3100S (Sartorius, เยอรมัน)
- 3.12 เครื่องกวนแบบแม่เหล็ก (magnetic stirrer) รุ่น RCT Basic (Ika Werke, มาเลเซีย)

- 3.13 ตู้อบลมร้อน รุ่น 78532 Tuttlingen (WTC binder, เยอรมันนี)
- 3.14 ตู้แช่แข็ง (freezer - 20°C) รุ่น SF-C1497 (Sanyo, ญี่ปุ่น)
- 3.15 เครื่อง gas chromatography รุ่น HP 6890 (Hewlet Packard, สหรัฐอเมริกา) ต่อกับ mass selective detector รุ่น HP 5973 (Hewlet Packard, สหรัฐอเมริกา)
- 3.16 เครื่องบดตัวอย่าง (blender) รุ่น 32BL80 (8011) (Waring, สหรัฐอเมริกา)
- 3.17 เครื่องวัดสี (chroma meter) รุ่น CR-400 (Minolta, ญี่ปุ่น)
- 3.18 เครื่องรีแฟรคโตมิเตอร์ (refractometer) รุ่น ATAGO (0-32%) (Atago, ญี่ปุ่น)
- 3.19 เครื่องวัดค่าออกซิเจนละลายในน้ำ รุ่น Axair AG8808 Pfäffikon (Thermoconstanter novasina, สวิตเซอร์แลนด์)
- 3.20 solid-phase microextraction (SPME) เฟสโพลีเมอร์ชนิด 65 μm PDMS-DVB (Supelco, สหรัฐอเมริกา)
- 3.21 นาฬิกาจับเวลา
- 3.22 เทอร์โมมิเตอร์
- 3.23 ชุดเครื่องแก้วมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์

วิธีการ

1. การตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของมะเดื่อฝรั่งสด

1.1 การวัดสีผลมะเดื่อฝรั่งสด

วัดสีผลมะเดื่อฝรั่งสด โดยนำตัวอย่างผลมะเดื่อฝรั่งสด 5 สายพันธุ์ (Black Genoa, Black Mission, Brown Turkey, Hourai และ Kadota) ปั่นให้ละเอียด นำมาวัดสีด้วยเครื่องวัดสี (CR-400, Minolta, ญี่ปุ่น) และแสดงผลเป็นค่า $L^* C^* h$

1.2 การวัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรด และค่า pH

1.2.1 การเตรียมตัวอย่างผลมะเดื่อฝรั่งสด

นำตัวอย่างผลมะเดื่อฝรั่งสดทั้ง 5 สายพันธุ์ (Black Genoa, Black Mission, Brown Turkey, Hourai และ Kadota) มาปั่นให้ละเอียด กรองผ่านผ้าขาวบาง นำส่วนที่กรองได้ มาวัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรด วัดค่า pH

1.2.2 วัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ด้วยเครื่อง hand refractometer รายงานหน่วยของสารบrix (°Brix)

1.2.3 วัดปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ตามวิธีของ AOAC (2000) โดยนำตัวอย่างที่กรองผ่านผ้าขาวบาง 2 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ จากนั้นเติมน้ำกลั่น 2 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 N โดยใช้ 1% ฟีนอล์ฟทาไลน์เป็นอินดิเคเตอร์ จำนวน 1-2 หยด ไทเทรตจนกระทั่งถึงจุดยุติที่สารละลายเปลี่ยนสีเป็นสีชมพูอ่อน อย่างน้อย 5 วินาที รายงานค่าในหน่วยร้อยละของปริมาณกรดซิตริก

1.2.4 วัดค่า pH ของตัวอย่างผลมะเดื่อฝรั่งสดที่กรองผ่านผ้าขาวบางด้วย pH-meter

2. การศึกษาผลของสายพันธุ์ต่อสารประกอบฟีนอลิกและสมบัติการต้านออกซิเดชันของผลมะเดื่อฝรั่ง

2.1 การเตรียมตัวอย่างผลมะเดื่อฝรั่งสด

นำตัวอย่างผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ Black Genoa, Black Mission, Brown Turkey, Hourai และ Kadota ล้างทำความสะอาด ผึ่งให้แห้ง จากนั้นทำการสกัดตัวอย่างและส่วนหนึ่งนำไปวิเคราะห์ความชื้นของผลมะเดื่อฝรั่งสด (AOAC, 2000) (แสดงในภาคผนวก ก)

2.2 การสกัดตัวอย่าง

นำตัวอย่างผลมะเดื่อฝรั่งจากข้อ 2.1 หั่นให้มีขนาด 1x1x1 เซนติเมตร แช่ในไตรเจนเหลวทันที บดด้วยเครื่องบดตัวอย่าง (blender) จากนั้นสกัดตัวอย่างผลมะเดื่อฝรั่ง ดัดแปลงจากวิธี Borowska *et al.* (2009) โดยชั่งตัวอย่างที่มีน้ำหนักแน่นอน 2.50 กรัม ใส่หลอดหมุนเหวี่ยง เติม 80% เมทานอลที่มีส่วนผสมของ 0.1% กรดไฮโดรคลอริก 12 มิลลิลิตร

ปั่นด้วยเครื่องโฮโมจิไนเซอร์นาน 2 นาที นำไปปั่นสะเทือนด้วยคลื่นเสียง 20 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส แล้วนำไปหมนเหวี่ยงด้วยเครื่องเหวี่ยงแยกแบบอุณหภูมิต่ำด้วยความเร็ว 11,000 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที แยกส่วนใส่ออกใส่ขวดปริมาตร นำส่วนกากไปสกัดอีก 1 ครั้ง แล้วปรับปริมาตรสุดท้ายเป็น 25 มิลลิลิตร เก็บสารสกัดผลมะเดื่อฝรั่งในขวดสีชาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส จากนั้นนำสารสกัดที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินส์ทั้งหมด สมบัติการต้านออกซิเดชัน ด้วย 2, 2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) (DPPH Radical Scavenging Capacity) และ 2, 2'-azobis (3-ethylbenzthiazoline-6- sulfonic acid) diammonium salt (ABTS) (ABTS Radical Scavenging Capacity) โดยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-visible spectrophotometer) และวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่สำคัญบางชนิด ได้แก่ chlorogenic acid, quercetin-3-rutinoside, cyanidin-3-glucoside และ cyanidin-3-rutinoside โดยเครื่องโครมาโตกราฟีของเหลวแบบสมรรถนะสูง (high performance liquid chromatography: HPLC)

2.3 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

การวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยวิธี total phenols assay ดัดแปลงจากวิธีของ Kim *et al.* (2003b) โดยดูดสารสกัดที่ได้จากข้อ 2.2 จำนวน 0.2 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองที่มีน้ำกลั่น 1.8 มิลลิลิตร จากนั้นเติมฟอสโฟรีน-ซีโอเคทู 0.2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 นาที เติม 7 % โซเดียมคาร์บอเนต 2 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 0.8 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 90 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 750 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ นำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก เข้มข้น 0-200 ppm (แสดงในภาพผนวก ข1) รายงานผลเป็นปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง)

2.4 การวิเคราะห์ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด

การวิเคราะห์ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดโดยวิธี colorimetric assay ดัดแปลงจากวิธีของ Kim *et al.* (2003b) โดยดูดสารสกัดที่ได้จากข้อ 2.2 จำนวน 0.5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองที่มีน้ำกลั่น 2 มิลลิลิตร จากนั้นเติม 5% โซเดียมไนไตรต์ 0.15 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 นาที เติม 10% อะลูมิเนียมคลอไรด์ 0.15 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง

นาที่ที่ 6 เดิมโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 1.2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตรด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ นำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของคาเทชินเข้มข้น 0-100 ppm (แสดงในภาพผนวก ข2) รายงานผลเป็นปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (มิลลิกรัมสมมูลของคาเทชิน/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง)

2.5 การวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินส์ทั้งหมด

วิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินส์ทั้งหมด (Total monomeric anthocyanins content)

โดยวิธี pH-differential (Giusti and Wrolstad, 2005) ทำการหาค่า dilution factor (DF) โดยการเจือจางสารสกัดที่ได้จากข้อ 2.2 ด้วยสารละลายบัฟเฟอร์โพแทสเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.025 โมลาร์ที่ความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 1.0 (pH 1.0) และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร ให้ค่าที่ได้อยู่ในช่วง 0.2-0.8 จากนั้นจึงนำสารสกัดมาเจือจางด้วย DF ที่ได้ด้วยสารละลายบัฟเฟอร์โพแทสเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.025 โมลาร์ที่ความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 1.0 (pH 1.0) และสารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมอะซิเตทความเข้มข้น 0.4 โมลาร์ที่ความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4.5 (pH 4.5) ตั้งทิ้งไว้ให้สมดุลเป็นเวลา 15 นาทีและวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 ($A_{510\text{ nm}}$) และ 700 นาโนเมตร ($A_{700\text{ nm}}$) ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยใช้ น้ำกลั่นเป็นแบล็ก (blank) จากนั้นจึงคำนวณค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง (A) (สมการที่ 14) แล้วนำค่าดังกล่าวไปคำนวณเป็นปริมาณแอนโทไซยานินส์ทั้งหมดในตัวอย่างเริ่มต้น (สมการที่ 15)

$$A = (A_{510\text{ nm}} - A_{700\text{ nm}})_{\text{pH}1.0} - (A_{510\text{ nm}} - A_{700\text{ nm}})_{\text{pH}4.5} \quad (14)$$

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

โดย MW = มวลโมเลกุลของไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ = 449.2

DF (Dilution Factor) = อัตราส่วนของปริมาตรสุดท้ายของสารละลายตัวอย่าง
เจือจางกับปริมาตรเริ่มต้นของตัวอย่าง

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

2.6 การตรวจสอบคุณสมบัติการต้านออกซิเดชัน

2.6.1 การตรวจสอบคุณสมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี 2, 2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) (DPPH Radical Scavenging Capacity)

การตรวจสอบคุณสมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH ซึ่งดัดแปลงจาก Kim *et al.* (2002) โดยนำสารสกัดที่ได้จากข้อ 2.2 จำนวน 0.1 มิลลิลิตร เติมน้ำละลาย DPPH 0.1 มิลลิโมลาร์ (ละลายใน 80% เมทานอล) ปริมาตร 2.9 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตรด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ นำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของกรดแอสคอร์บิกเข้มข้น 0-100 ppm (แสดงในภาพผนวก ข3) รายงานผลเป็นสมบัติการต้านออกซิเดชัน DPPH (มิลลิกรัมสมมูลของกรดแอสคอร์บิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง)

2.6.2 การตรวจสอบคุณสมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี 2, 2'-azobis (3-ethylbenzthiazoline-6- sulfonic acid) diammonium salt (ABTS) (ABTS Radical Scavenging Capacity)

การตรวจสอบคุณสมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี ABTS ซึ่งดัดแปลงจาก Kim *et al.* (2002) โดยนำขวดของสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (phosphate buffer หรือ PBS) 100 มิลลิลิตร วางในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 70 องศาเซลเซียส จากนั้นเติม 1.0 มิลลิโมลาร์ 2, 2'-azobis-(2-amidinopropane) HCl (AAPH) และ 2.5 มิลลิโมลาร์ ABTS (เตรียมสารละลายอนุมูลอิสระโดยใช้ AAPH 27.117 มิลลิกรัม และ ABTS 137.175 มิลลิกรัม ต่อ 100 มิลลิลิตร PBS) ลงไป ให้ความร้อน 20 นาที โดยเขย่าทุก 5 นาที ตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นกรองสารละลายอนุมูลอิสระโดยใช้ตัวกรองชนิด Nylon ขนาด 0.45 μm วัดค่าการดูดกลืนแสงให้อยู่ในช่วง 0.650 ± 0.020 นาโนเมตร (ถ้าค่าการดูดกลืนแสงเกินให้เจือจางสารละลายอนุมูลอิสระด้วยสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์) บ่มสารละลายอนุมูลอิสระที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส จนกระทั่งทำการวิเคราะห์ ผสมสารสกัดที่ได้จากข้อ 2.2 จำนวน 60 ไมโครลิตรและสารละลายอนุมูลอิสระ 2.94 มิลลิโมลาร์ นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 734 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ จากนั้นนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของกรดแอสคอร์บิกเข้มข้น 0-100 ppm (แสดงในภาพผนวก ข4) รายงานผลเป็นสมบัติการต้านออกซิเดชัน ABTS (มิลลิกรัมสมมูลของ

กรดแอสคอร์บิก/100 กรัมน้ำหนักแห้ง)

2.7 การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่สำคัญบางชนิดด้วยเครื่อง high performance liquid chromatograph (HPLC)

นำสารสกัดที่ได้จากข้อ 2.2 มาวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ได้แก่ chlorogenic acid, quercetin-3-rutinoside, cyanidin-3-glucoside และ cyanidin-3-rutinoside คัดแปลงจากวิธีของ Kim and Padilla-Zakour (2004) โดยมีสภาวะในการวิเคราะห์แสดงดัง ภาคผนวก ค ข้อ 1 ตรวจวัด chlorogenic acid ที่ความยาวคลื่น 320 นาโนเมตร วิเคราะห์ปริมาณสาร โดยนำพื้นที่ใต้กราฟเทียบกับกราฟมาตรฐานของ chlorogenic acid (ภาพผนวก ค1) รายงานผลเป็น มิลลิกรัมของ chlorogenic acid/100 กรัมน้ำหนักแห้ง ตรวจวัด quercetin-3-rutinoside ที่ความยาว คลื่น 370 นาโนเมตร วิเคราะห์ปริมาณสารโดยนำพื้นที่ใต้กราฟเทียบกับกราฟมาตรฐานของ quercetin-3-rutinoside (ภาพผนวก ค2) รายงานผลเป็น มิลลิกรัมของ quercetin-3-rutinoside/ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ตรวจวัด cyanidin-3-glucoside และ cyanidin-3-rutinoside ที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร วิเคราะห์ปริมาณสารโดยนำพื้นที่ใต้กราฟเทียบกับกราฟมาตรฐานของ cyanidin-3-glucoside และ cyanidin-3-rutinoside (ภาพผนวก ค3 และ ค4 ตามลำดับ) รายงานผลเป็น มิลลิกรัม ของ cyanidin-3-glucoside และ cyanidin-3-rutinoside/100 กรัมน้ำหนักแห้ง

3. การศึกษาผลของการทำแห้งต่อสารประกอบฟีนอลิกและสมบัติการต้านออกซิเดชันของ ผลมะเดื่อฝรั่ง

3.1 การทำแห้งผลมะเดื่อฝรั่ง

3.1.1 การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying) นำตัวอย่างผลมะเดื่อฝรั่งสดสาย พันธุ์ Black Genoa, Black Mission, Brown Turkey, Hourai และ Kadota ล้างทำความสะอาด ผึ่งให้แห้ง หั่นให้มีขนาด 1x1x1 เซนติเมตร และแช่ในโตรเจนเหลวทันที จากนั้นนำไปทำแห้งด้วย เครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เมื่อผลมะเดื่อฝรั่งแห้งแล้วเก็บรักษาโดยบรรจุถุงอะลูมิเนียม ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้ไปสกัดและส่วนหนึ่งนำไปวิเคราะห์ความชื้น (AOAC, 2000) (แสดงในภาคผนวก ก)

3.1.2 การทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (hot air oven) นำผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ Black Genoa, Black Mission, Hourai และ Kadota ล้าง ทำความสะอาด ผึ่งให้แห้ง แห้งในสารละลาย โพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟท์เข้มข้นร้อยละ 0.2 อัตราส่วน 1:5 น้ำหนักต่อปริมาตร เป็นเวลา 5 นาที (อรุณี และคณะ, 2548) นำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสด้วยตู้อบลมร้อนเป็นเวลา 45 ชั่วโมง เพื่อให้มีค่าวอเตอร์แอคติวิตีในตัวอย่างไม่เกิน 0.60 (Ramaswamy and Marcotte, 2006) เก็บรักษา โดยบรรจุถุงอะลูมิเนียมที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส สำหรับผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนสายพันธุ์ Brown Turkey เป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้าจากอำเภอเมือง จังหวัดพิจิตร ซึ่งทำการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีเดียวกัน จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้ไปสกัดและส่วนหนึ่งนำไปวิเคราะห์ความชื้น (AOAC, 2000) (แสดงในภาคผนวก ก)

3.2 การสกัดตัวอย่าง

นำตัวอย่างผลมะเดื่อฝรั่งจากข้อ 3.1.1 และ 3.1.2 บดด้วยเครื่องบดตัวอย่าง (blender) จากนั้นสกัดตัวอย่างผลมะเดื่อฝรั่งเช่นเดียวกับวิธีในข้อ 2.2

3.3 การวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกและสมบัติการต้านออกซิเดชันของผลมะเดื่อฝรั่ง ที่ผ่านการทำแห้ง

ในการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินส์ทั้งหมด คุณสมบัติการต้านออกซิเดชัน DPPH และ ABTS และการวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกที่สำคัญบางชนิด ทำเช่นเดียวกับวิธีในข้อ 2.3 – 2.7

4. การศึกษาผลของสายพันธุ์ต่อสารระเหยของผลมะเดื่อฝรั่ง

4.1 การสกัดสารระเหย

นำตัวอย่างจากข้อ 2.1 หั่นให้มีขนาด 1x1x1 เซนติเมตร และแช่ในโตรเจนเหลวทันที บดด้วยเครื่องบดตัวอย่าง (blender) ชั่งตัวอย่างที่มีน้ำหนักแน่นอน 5 กรัม ใส่ในขวด head space ขนาด 27 มิลลิลิตร ที่มีโซเดียมคลอไรด์ 1 กรัม และเติม internal standard (2-undecanone) ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ปริมาตร 1 ไมโครลิตร และใส่แท่งแม่เหล็กกวนสารขนาด

1 เซนติเมตรลงไป จากนั้นปิดผนึกด้วยฝาชนิด PTFE/silicone septa ทำการสกัดที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ปั่นด้วยความเร็ว 200 รอบ/นาที จากนั้นทำการ adsorption สารระเหย เนื้อตัวอย่างด้วยไฟเบอร์ชนิด PDMS-DVB ขนาด 65 μm ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปทำการ desorption ด้วยความร้อนที่ injection port ของเครื่อง GC อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที (ดัดแปลงจาก Oliveira *et al.*, 2010a)

4.2 การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารระเหยด้วยเครื่อง gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS)

นำตัวอย่างที่ได้จากการสกัดข้อ 4.1 มาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-MS ตามสภาวะของ Ware *et al.* (1993) โดยใช้สภาวะเครื่อง GC แบบ splitless mode มีก๊าซฮีเลียมเป็น carrier gas อัตราไหล่คงที่ 1.5 มิลลิลิตร/นาที แยกสารระเหยด้วยแคปิลารีคอลัมน์ 2 ชนิด คือ คอลัมน์ HP-5 ขนาด 60 เมตร $\times$ 0.25 มิลลิเมตร $\times$ 0.25 ไมโครเมตร และคอลัมน์ FFAP ขนาด 50 เมตร $\times$ 0.25 มิลลิเมตร $\times$ 0.25 ไมโครเมตร โดยตั้งอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 40 องศาเซลเซียส คงไว้เป็นเวลา 1 นาที เพิ่มขึ้นด้วยอัตรา 5 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึงอุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส คงไว้เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเพิ่มด้วยอัตรา 10 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึงอุณหภูมิสุดท้าย 250 องศาเซลเซียส และคงไว้ที่อุณหภูมินี้เป็นเวลา 10 นาที บ่งชี้ชนิดของสารด้วยเครื่อง MS ที่ใช้แหล่งกำเนิดไอออนแบบอิเล็กตรอนอิมแพ็ค (Electron-Impact Ionization, EI) และมีค่าพลังงานไอออนไนเซชัน 70 อิเล็กตรอนโวลต์ ช่วงในการสแกน 30 – 300 m/z ที่ความเร็ว 2.74 scan/sec

การระบุชนิดของสารระเหยโดยการเปรียบเทียบข้อมูล mass spectrum ของสารแต่ละชนิดกับฐานข้อมูล Wiley 275 library ร่วมกับการเปรียบเทียบค่า retention index (RI) ของสารแต่ละชนิดกับงานวิจัยอื่น ๆ ซึ่งค่า RI นี้คำนวณได้จากค่า retention time (RT) ของสารมาตรฐาน *n*-alkanes (C_6 - C_{30}) วิเคราะห์ด้วยคอลัมน์และสภาวะของเครื่อง GC-MS เช่นเดียวกันกับตัวอย่าง ตามสมการในภาคผนวก ง ข้อ 1 และยืนยันชนิดสารระเหยด้วยสารมาตรฐานบางชนิด (hexanal, furfural, furfuryl alcohol, hexanol, 3-methyl-1-butanol, benzaldehyde, 1-octen-3-ol, limonene, 1,8-cineole, 2-methyl phenol, *l*-linalool, nonanal, benzeneethanol, ethyl octanoate, *Z*-citral, *E*-citral, camphor, caryophyllene oxide, β -caryophyllene, ethyl hexanoate, 2-methoxy-4-vinylphenol, octanoic acid และ guaiacol)

การคำนวณปริมาณความเข้มข้นของสารระเหย โดยการหาพื้นที่ใต้พีคของสารด้วยโปรแกรม Chemstation Software B.02.05 (Copyright 1987-1997, Agilent Technologies) แล้วคำนวณหาปริมาณสาร จากการเปรียบเทียบพื้นที่ใต้พีคของสารแต่ละชนิดกับพื้นที่ใต้พีคของ internal standard (2-undecanone) ดังสมการในภาคผนวก ง ข้อ 2 แล้วรายงานเป็นความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารชนิดนั้นๆ (นาโนกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง)

การคำนวณ odor active value (OAV) ของสารระเหยที่ได้ OAV เป็นค่าที่แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณสารระเหยในตัวอย่างกับค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถรับรู้ได้ของสารให้กลิ่นชนิดนั้นๆ โดยคำนวณได้ดังสมการที่ 16

$$OAV = \frac{\text{ความเข้มข้นของสารระเหยในตัวอย่าง}}{\text{threshold ของสารระเหยนั้น}} \quad (16)$$

5. การศึกษาผลของการทำแห้งต่อสารระเหยของผลมะเดื่อฝรั่ง

5.1 การสกัดสารระเหย

นำตัวอย่างจากข้อ 3.1.1 และ 3.1.2 บดด้วยเครื่องบดตัวอย่าง (blender) จากนั้นสกัดสารระเหยเช่นเดียวกับวิธีในข้อ 4.1

5.2 การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารระเหยด้วย gas chromatography (GC-MS)

ในการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารระเหยในผลมะเดื่อฝรั่งที่ผ่านการทำแห้งทำเช่นเดียวกับวิธีในข้อ 4.2

6. การประเมินผลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ Random Complete Block Design (RCBD) ทำการทดลอง 2 ซ้ำ แต่ละซ้ำวัดค่า 3 ครั้ง วิเคราะห์ผลทางสถิติโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS (Statistical Package for the Social Science, version 12) ที่ระดับ

ความเชื่อมั่น 95% และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละการทดลองด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

7. สถานที่ทำการทดลอง

ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน

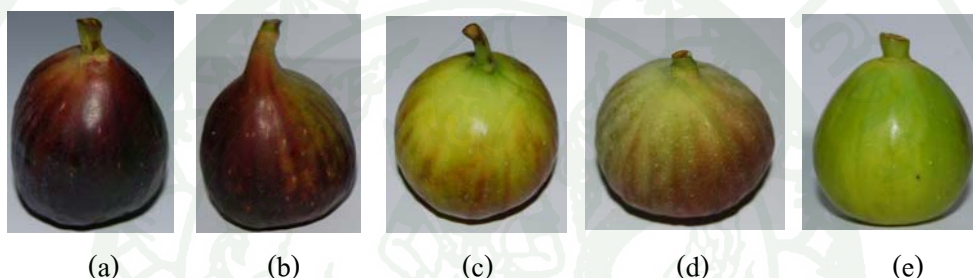
8. ระยะเวลาในการทดลอง

การทดลองเริ่มตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2553 สิ้นสุดเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2554

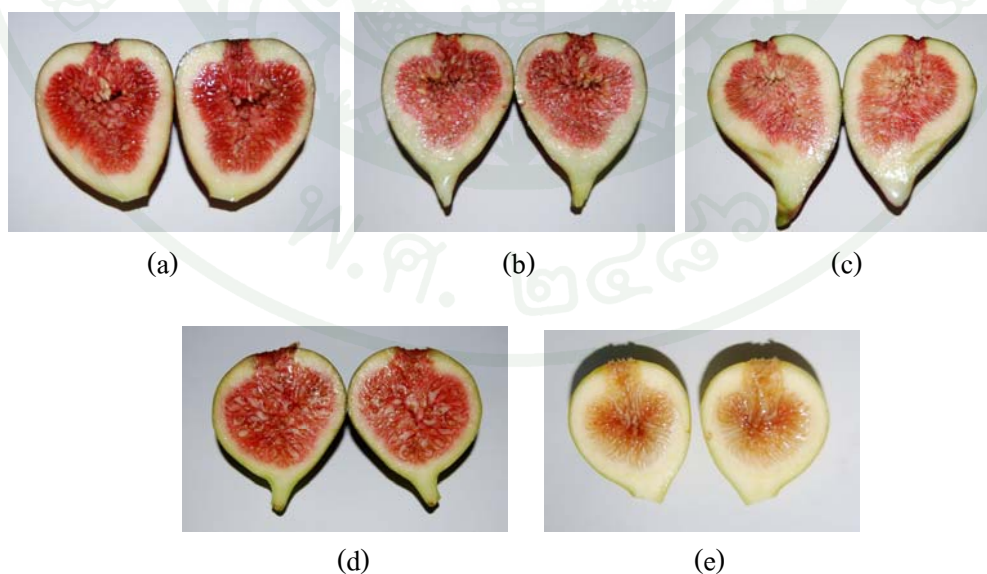
ผลและวิจารณ์

1. ลักษณะทางกายภาพของผลมะเดื่อฝรั่งสด

เมื่อสังเกตสีเปลือกของผลมะเดื่อฝรั่งพบว่าผลมะเดื่อฝรั่งสายพันธุ์ Black Genoa และ Black Mission มีเปลือกสีม่วง สายพันธุ์ Brown Turkey และ Hourai มีเปลือกสีเหลืองปนม่วงอ่อน และสายพันธุ์ Kadota มีเปลือกสีเขียว (ภาพที่ 16) ภายในผลมะเดื่อฝรั่งมีสีแดงที่ระดับความเข้มที่แตกต่างกัน สำหรับสายพันธุ์คาโดต้าภายในมีสีเหลือง (ภาพที่ 17)



ภาพที่ 16 ผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ (a) Black Genoa (b) Black Mission (c) Brown-Turkey (d) Hourai และ (e) Kadota



ภาพที่ 17 ภาพตัดขวางผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ (a) Black Genoa (b) Black Mission (c) Brown Turkey (d) Hourai (e) Kadota

เมื่อนำผลมะเดื่อฝรั่งสดป่นเป็นเนื้อเดียวกัน และทำการวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี (Minolta CR-400) โดยแสดงค่าสีในรูปแบบปริภูมิสีระบบ L*C*h พบว่าผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ Brown Turkey มีค่า L* (ความสว่าง) มากที่สุด ($p \leq 0.05$) ในขณะที่สายพันธุ์ Black Genoa ซึ่งมีสีม่วงเข้ม มีค่า L* น้อยที่สุด ($p \leq 0.05$) สำหรับค่า C* (ค่าความอิ่มตัวของสี) ของผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ Hourai มีค่ามากที่สุดแต่ไม่แตกต่างกับสายพันธุ์ Kadota โดยสายพันธุ์ Black Genoa มีค่า C* น้อยที่สุด ($p \leq 0.05$) และค่า h (สีส้ม) ของผลมะเดื่อฝรั่งสดทั้ง 5 สายพันธุ์ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 9)

ตารางที่ 9 ค่าสีของผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ต่างๆ

สายพันธุ์	ค่าสี		
	L*	C*	h
Black Genoa	28.32 $\pm$ 0.81d	9.47 $\pm$ 0.48d	40.77 $\pm$ 1.91e
Black Mission	34.55 $\pm$ 0.61c	12.51 $\pm$ 0.39c	65.94 $\pm$ 1.46d
Brown Turkey	40.00 $\pm$ 1.48a	14.72 $\pm$ 0.74b	90.88 $\pm$ 2.18b
Hourai	38.30 $\pm$ 0.83b	15.48 $\pm$ 0.32a	72.42 $\pm$ 1.88c
Kadota	34.07 $\pm$ 0.68c	15.20 $\pm$ 0.65ab	93.87 $\pm$ 1.79a

หมายเหตุ ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษร a-e ที่แตกต่างกันในคอลัมน์นี้หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 10 ผลมะเดื่อฝรั่งสด 5 สายพันธุ์ มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยสายพันธุ์ Kadota มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำมากที่สุด รองลงมาคือสายพันธุ์ Black Genoa, Hourai, Brown Turkey และ Black Mission ตามลำดับ สำหรับผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ Hourai มีปริมาณกรดมากที่สุด ($p \leq 0.05$) แต่มีค่า pH น้อยที่สุด ($p \leq 0.05$) ส่วนผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ Black Genoa, Black Mission, Brown Turkey และ Kadota มีปริมาณกรดไม่แตกต่างกัน โดยปริมาณกรดจากการทดลองนี้มีค่าน้อยกว่างานวิจัยของ Crisosto *et al.* (2010) (สายพันธุ์ Mission, Brown Turkey และ Kadota มีปริมาณกรดเท่ากับ 0.38 0.29 และ 0.22 ร้อยละของกรดซิตริก ตามลำดับ)

ตารางที่ 10 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ ปริมาณกรด และ ค่า pH ของผลมะเดื่อฝรั่งสด สายพันธุ์ต่างๆ

สายพันธุ์	ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ ($^{\circ}$ Brix)	ปริมาณกรด (% citric acid)	pH
Black Genoa	19.10 $\pm$ 0.11b	0.16 $\pm$ 0.03b	4.98 $\pm$ 0.07bc
Black Mission	13.15 $\pm$ 0.08e	0.14 $\pm$ 0.02b	5.33 $\pm$ 0.31ab
Brown Turkey	13.57 $\pm$ 0.08d	0.14 $\pm$ 0.02b	5.30 $\pm$ 0.04ab
Hourai	16.50 $\pm$ 0.14c	0.25 $\pm$ 0.02a	4.66 $\pm$ 0.10c
Kadota	24.00 $\pm$ 0.14a	0.14 $\pm$ 0.02b	5.64 $\pm$ 0.07a

หมายเหตุ ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษร a-c ที่แตกต่างกันในคอลัมน์หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

2. การศึกษาผลของสายพันธุ์ต่อสารประกอบฟีนอลิกและสมบัติการต้านออกซิเดชันของผลมะเดื่อฝรั่งสด

การศึกษาผลของสายพันธุ์ต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสมบัติการต้านออกซิเดชันของผลมะเดื่อฝรั่งสด 5 สายพันธุ์ คือสายพันธุ์ Black Genoa, Black Mission, Brown Turkey, Hourai และ Kadota โดยทำการสกัดตัวอย่างผลมะเดื่อฝรั่งสดด้วย 80% เมทานอลที่มีส่วนผสมของ 0.1% กรดไฮโดรคลอริก และนำสารสกัดที่ได้มาวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินส์ทั้งหมด สมบัติการต้านออกซิเดชัน DPPH และ ABTS ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ และวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกที่สำคัญบางชนิดด้วยเครื่องโครมาโตกราฟีของเหลวแบบสมรรถนะสูง (high performance liquid chromatography: HPLC)

2.1 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผลมะเดื่อฝรั่งสด

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผลมะเดื่อฝรั่งสด 5 สายพันธุ์ (ตารางที่ 11) พบว่าผลมะเดื่อฝรั่งสดแต่ละสายพันธุ์มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดแตกต่างกัน โดยผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ Black Genoa มีปริมาณมากที่สุดแตกต่างกับสายพันธุ์ Hourai และ Kadota อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ Kadota มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดน้อยที่สุดแต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับสายพันธุ์ Hourai ในขณะที่ผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ Brown Turkey และ Hourai มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับ Bucić-Kojić *et al.* (2011) คือสายพันธุ์มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผลมะเดื่อฝรั่งกล่าวคือผลมะเดื่อฝรั่งสายพันธุ์ Crnica มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมากที่สุดรองลงมาคือสายพันธุ์ Brežutka bijela, Šaraguja, Termenjača และ Bjelica ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้ Solomon *et al.* (2006) รายงานว่าผลมะเดื่อฝรั่งสายพันธุ์ Mission มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมากที่สุด ($p \leq 0.05$) รองลงมาคือสายพันธุ์ Chechick, Brown Turkey, Bursa, Brunswick และ Kadota ตามลำดับ

ตารางที่ 11 ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณแอนโทไซยานินส์ทั้งหมดของผลมะเดื่อฝรั่งสด

สายพันธุ์	ปริมาณสารประกอบ ฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัมสมมูล กรดแกลลิก/ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง)	ปริมาณฟลาโวนอยด์ ทั้งหมด (มิลลิกรัมสมมูล คาเทชิน/ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง)	ปริมาณแอนโทไซยานินส์ ทั้งหมด (มิลลิกรัมสมมูล ไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์/ 100 กรัมหนักแห้ง)
Black Genoa	446.06 ± 35.77a	112.59 ± 2.16a	83.08 ± 7.80a
Black Mission	437.22 ± 32.40a	87.69 ± 7.10ab	71.25 ± 8.40ab
Brown Turkey	399.89 ± 17.47ab	62.06 ± 1.75b	22.99 ± 1.00bc
Hourai	265.17 ± 5.48bc	51.80 ± 3.36bc	25.40 ± 0.14bc
Kadota	188.20 ± 38.80c	22.13 ± 5.66c	2.08 ± 2.28c

ตารางที่ 11 (ต่อ)

หมายเหตุ ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษร a-c ที่แตกต่างกันในคอลัมน์หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

2.2 ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของผลมะเดื่อฝรั่งสด

ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของผลมะเดื่อฝรั่งสด 5 สายพันธุ์ (ตารางที่ 11) พบว่าสายพันธุ์ที่มีผลต่อปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของผลมะเดื่อฝรั่งสด คือผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ Black Genoa มีปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดมากที่สุดแต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับสายพันธุ์ Black Mission และผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ Kadota มีปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดน้อยที่สุด ($p > 0.05$) ในขณะที่ผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ Black Genoa, Brown Turkey และ Kadota มีปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของผลมะเดื่อฝรั่งสด 6 สายพันธุ์ของ Solomon *et al.* (2006) โดยพบว่าสายพันธุ์ Mission มีปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดมากที่สุด ($p \leq 0.05$) รองลงมาคือสายพันธุ์ Chechick, Brown Turkey, Bursa, Brunswick และ Kadota ตามลำดับ

2.3 ปริมาณแอนโทไซยานินส์ทั้งหมดของผลมะเดื่อฝรั่งสด

ปริมาณแอนโทไซยานินส์ทั้งหมดของผลมะเดื่อฝรั่งสด 5 สายพันธุ์ โดยวิธี pH-differential (ตารางที่ 11) พบว่าผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ Black Genoa มีปริมาณแอนโทไซยานินส์ทั้งหมดมากที่สุดแตกต่างกับสายพันธุ์ Brown Turkey, Hourai และ Kadota อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ Kadota มีปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดน้อยที่สุด ในขณะที่ผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ Black Mission, Brown Turkey และ Hourai มีปริมาณแอนโทไซยานินส์ทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยปริมาณแอนโทไซยานินส์ทั้งหมดของสายพันธุ์ Black Mission จากการทดลองนี้ (10.37 มิลลิกรัมสมมูลไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์/100 กรัมหนักสด) ใกล้เคียงกับสายพันธุ์ Mission (10.90 มิลลิกรัมสมมูลไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์/100 กรัมหนักสด) จากงานวิจัยของ Solomon *et al.* (2006) นอกจากสายพันธุ์ที่มีผลต่อปริมาณแอนโทไซยานินส์ของผลมะเดื่อฝรั่งแล้วยังมีผลต่อผลไม้อื่นๆ เช่น

ผลสตรอบอรี่ ผลราสเบอร์รี่ ผลแบลคเบอร์รี่ (Wang and Lin, 2000) และผลหม่อน (Bae and Suh, 2007)

2.4 สมบัติการต้านออกซิเดชันของผลมะเดื่อฝรั่งสด

2.4.1 สมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH

สมบัติการต้านออกซิเดชันของผลมะเดื่อฝรั่งสด 5 สายพันธุ์ ที่วัดด้วยวิธี DPPH (ตารางที่ 12) พบว่าสายพันธุ์มีผลต่อสมบัติการต้านออกซิเดชันของผลมะเดื่อฝรั่งสด กล่าวคือ ผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ Black Genoa มีสมบัติการต้านออกซิเดชันมากที่สุดแตกต่างกับสายพันธุ์ Brown Turkey, Hourai และ Kadota อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และสายพันธุ์ Brown Turkey, Hourai และ Kadota มีสมบัติการต้านออกซิเดชันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Crisosto *et al.* (2010) ที่ศึกษาสมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH ของผลมะเดื่อฝรั่งสด 4 สายพันธุ์ ได้แก่ สายพันธุ์ Mission, Brown Turkey, Calimyrna และ Kadota พบว่าแต่ละสายพันธุ์มีสมบัติการต้านออกซิเดชันแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์ โดยสายพันธุ์ Mission มีสมบัติการต้านออกซิเดชันมากที่สุด ($p \leq 0.05$) และสายพันธุ์ Kadota มีสมบัติการต้านออกซิเดชันน้อยที่สุดแต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กับสายพันธุ์ Brown Turkey นอกจากนี้ Bucić-Kojić *et al.* (2011) รายงานว่าผลมะเดื่อฝรั่ง 5 สายพันธุ์มีสมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH แตกต่างกัน โดยสายพันธุ์ Crnica มีสมบัติการต้านออกซิเดชันสูงสุด ($p \leq 0.05$) รองลงมาคือสายพันธุ์ Termenjača, Brežutka bijela, Šaraguja, และ Bjelica ตามลำดับ

2.4.2 สมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี ABTS

สมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี ABTS มีแนวโน้มเช่นเดียวกับสมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH เนื่องจากทั้ง 2 วิธีมีกลไกในการเกิดปฏิกิริยาเป็นกลไกเดียวกันคือเป็นกลไกการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนเดี่ยว (single electron transfer (SET) reaction) (Huang *et al.*, 2005) แต่สมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี ABTS มีค่าสูงกว่าวิธี DPPH ทั้งนี้เนื่องจากอิเล็กตรอนเดี่ยวในโครงสร้างของ DPPH ถูกบดบังด้วยวงเบนซีนและหมู่ไนโตร ทำให้สารต้านอนุมูลอิสระที่มีขนาดใหญ่ไม่สามารถเข้าไปทำปฏิกิริยาหรือเกิดปฏิกิริยาช้ากว่าความเป็นจริง

(Prior *et al.*, 2005) โดยสมบัตการต้านออกซิเดชันของผลมะเดื่อฝรั่งสด 5 สายพันธุ์ที่วัดด้วยวิธี ABTS (ตารางที่ 12) พบว่าสายพันธุ์ Black Genoa มีสมบัตการต้านออกซิเดชันมากที่สุด รองลงมาคือสายพันธุ์ Black Mission, Brown Turkey, Hourai และ Kadota ตามลำดับ โดยสายพันธุ์ Brown Turkey, Hourai และ Kadota มีสมบัตการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี ABTS ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Solomon *et al.* (2006) ที่ศึกษาสมบัตการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี ABTS ของผลมะเดื่อฝรั่งสด 6 สายพันธุ์ พบว่าสายพันธุ์ Mission มีสมบัตการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี ABTS มากที่สุด ($p\leq 0.05$) รองลงมาคือสายพันธุ์ Chechick, Brown Turkey, Bursa, Brunswick และ Kadota โดยสายพันธุ์ Brown Turkey และ Kadota มีสมบัตการต้านออกซิเดชันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) นอกจากผลมะเดื่อฝรั่งแล้วสายพันธุ์ยังมีผลต่อสมบัตการต้านออกซิเดชันของผลไม้อื่น เช่น พลัม จากงานวิจัยของ Kim *et al.* (2003a) รายงานว่าพลัม 11 สายพันธุ์มีสมบัตการต้านออกซิเดชันแตกต่างกัน โดยสายพันธุ์ Beltsville Elite B70197 มีสมบัตการต้านออกซิเดชันมากที่สุด ($p\leq 0.01$) และสายพันธุ์ Early Magic มีสมบัตการต้านออกซิเดชันน้อยที่สุด ($p>0.01$)

ตารางที่ 12 สมบัตการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH และ ABTS ของผลมะเดื่อฝรั่งสด

สายพันธุ์	สมบัตการต้านออกซิเดชัน (มิลลิกรัมสมมูลกรดแอสคอร์บิก/ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง)	
	DPPH	ABTS
Black Genoa	188.20 $\pm$ 13.07a	524.74 $\pm$ 53.45a
Black Mission	170.86 $\pm$ 24.76ab	415.23 $\pm$ 66.24ab
Brown Turkey	159.04 $\pm$ 0.23b	330.40 $\pm$ 15.39abc
Hourai	117.56 $\pm$ 1.90c	251.59 $\pm$ 3.23bc
Kadota	81.66 $\pm$ 10.23d	155.04 $\pm$ 19.33c

หมายเหตุ ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษร a-d ที่แตกต่างกันในคอลัมน์หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

2.5 ชนิดและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่สำคัญบางชนิดของผลมะเดื่อฝรั่งสด ด้วยเครื่อง HPLC

สารประกอบฟีนอลิกที่เลือกศึกษาได้แก่ chlorogenic acid (กลุ่มกรดฟีนอลิก) quercetin-3-rutinoside (กลุ่มฟลาโวนอยด์) cyanidin-3-glucoside และ cyanidin-3-rutinoside (กลุ่มแอนโทไซยานินส์) เนื่องจากสารประกอบทั้งสี่ชนิดนี้มีรายงานว่าพบในผลมะเดื่อฝรั่งสด โดย Vallejo *et al.* (2012) รายงานว่าในผลมะเดื่อฝรั่งสด 15 สายพันธุ์ พบ chlorogenic acid ทุกสายพันธุ์ ส่วน cyanidin-3-glucoside และ cyanidin-3-rutinoside พบในผลมะเดื่อฝรั่งสด 11 สายพันธุ์ Slatnar *et al.* (2011) พบ chlorogenic acid, quercetin-3-rutinoside และ cyanidin-3-rutinoside ในผลมะเดื่อฝรั่งสดและอบแห้ง Dueñas *et al.* (2008) พบสารประกอบฟีนอลิกกลุ่มแอนโทไซยานินส์หลายชนิด เช่น cyanidin-3-glucoside, cyanidin-3-rutinoside, pelargonidin-3-glucoside และ pelargonidin-3-rutinoside เป็นต้น และ Del Caro and Piga (2008) พบ chlorogenic acid, quercetin-3-rutinoside, cyanidin-3-glucoside และ cyanidin-3-rutinoside ซึ่งสารดังกล่าวเหล่านี้มีคุณสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชัน

2.5.1 chlorogenic acid

ปริมาณ chlorogenic acid ในผลมะเดื่อฝรั่งสด 5 สายพันธุ์ (ตารางที่ 13) พบว่าผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ Black Genoa, Black Mission และ Brown Turkey มีปริมาณ chlorogenic acid แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยสายพันธุ์ Black Mission มีปริมาณ chlorogenic acid มากที่สุด ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ Hourai และ Kadota ไม่พบ chlorogenic acid จากผลการทดลองแสดงว่าสายพันธุ์มีผลต่อปริมาณ chlorogenic acid สอดคล้องกับงานวิจัยของ Hukkanen *et al.* (2006) ที่ศึกษาปริมาณ chlorogenic acid ในผลเบอร์รี่ 11 สายพันธุ์ พบว่าสายพันธุ์ Zholtaja มีปริมาณ chlorogenic acid มากที่สุด และสายพันธุ์ Bilberry มีปริมาณ chlorogenic acid น้อยที่สุด ในขณะที่สายพันธุ์ Lingonberry ไม่พบ chlorogenic acid และจากการศึกษาปริมาณ chlorogenic acid ของผลมะเดื่อฝรั่ง 15 สายพันธุ์ของ Vallejo *et al.* (2012) พบว่าเปลือกของผลมะเดื่อฝรั่งมี chlorogenic acid ทุกสายพันธุ์ โดยสายพันธุ์ Tiberio มีปริมาณ chlorogenic acid มากที่สุด ($p \leq 0.05$) สำหรับเนื้อของผลมะเดื่อฝรั่งพบ chlorogenic acid 12 สายพันธุ์ โดยสายพันธุ์ Colar มีปริมาณ chlorogenic acid มากที่สุด ($p \leq 0.05$) และพบว่าเปลือกของผลมะเดื่อฝรั่งมีปริมาณ chlorogenic acid มากกว่าเนื้อของผลมะเดื่อฝรั่ง

ตารางที่ 13 ปริมาณ chlorogenic acid, quercetin-3-rutinoside, cyanidin-3-glucoside และ cyanidin-3-rutinoside ของผลมะเดื่อฝรั่งสด (มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักแห้ง)

สายพันธุ์	chlorogenic acid	quercetin-3-rutinoside	cyanidin-3-glucoside	cyanidin-3-rutinoside
Black Genoa	1.37 ± 0.09b	24.18 ± 2.16a	12.09 ± 0.35a	141.70 ± 0.63a
Black Mission	2.39 ± 0.19a	22.70 ± 1.56a	8.10 ± 1.90a	121.19 ± 13.14a
Brown Turkey	1.02 ± 0.09c	21.24 ± 3.15a	-	38.54 ± 0.74bc
Hourai	-	13.13 ± 0.51b	1.58 ± 0.14b	46.15 ± 0.05b
Kadota	-	9.54 ± 2.86b	-	7.23 ± 2.11c

หมายเหตุ ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษร a-c ที่แตกต่างกันในคอลัมน์หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

- หมายถึง ไม่พบสารชนิดนั้น

2.5.2 quercetin-3-rutinoside

ปริมาณ quercetin-3-rutinoside ในผลมะเดื่อฝรั่งสด 5 สายพันธุ์ (ตารางที่ 13) พบว่าผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ Black Genoa มีปริมาณ quercetin-3-rutinoside มากที่สุด แต่ไม่แตกต่างกับสายพันธุ์ Black Mission และ Brown Turkey ($p > 0.05$) ในขณะที่สายพันธุ์ Kadota มีปริมาณ quercetin-3-rutinoside น้อยที่สุดแตกต่างกับสายพันธุ์ Black Genoa, Black Mission และ Brown Turkey อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับ Del Caro and Piga (2008) รายงานว่าปริมาณ quercetin-3-rutinoside ในเปลือกของผลมะเดื่อฝรั่งสายพันธุ์ Mattalona มีปริมาณ quercetin-3-rutinoside มากกว่าสายพันธุ์ San Pietro อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยที่ในเนื้อของผลมะเดื่อฝรั่งสดทั้ง 2 สายพันธุ์ไม่พบ quercetin-3-rutinoside นอกจากนี้ Veberic *et al.* (2008) รายงานผลการทดลองที่สอดคล้องกันคือ ผลมะเดื่อฝรั่ง 3 สายพันธุ์ (Miljska figa, Črna petrovka และ Škofuotka) ที่เก็บเกี่ยวช่วงเดือนกันยายนมีปริมาณ quercetin-3-rutinoside แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

2.5.3 cyanidin-3-glucoside

ปริมาณ cyanidin-3-glucoside ในผลมะเดื่อฝรั่งสด 5 สายพันธุ์ (ตารางที่ 13) พบว่าผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ Black Genoa มีปริมาณ cyanidin-3-glucoside มากที่สุด แต่ไม่แตกต่างกับสายพันธุ์ Black Mission ในขณะที่สายพันธุ์ Hourai มีปริมาณ cyanidin-3-glucoside น้อยที่สุดและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับสายพันธุ์ Black Genoa และ Black Mission สำหรับผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ Brown Turkey และ Kadota ไม่พบ cyanidin-3-glucoside จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสายพันธุ์มีผลต่อปริมาณ cyanidin-3-glucoside ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Dueñas *et al.* (2008) รายงานว่าปริมาณ cyanidin-3-glucoside ในเปลือกและเนื้อของผลมะเดื่อฝรั่ง 5 สายพันธุ์ แตกต่างกันไปตามสายพันธุ์ โดยเปลือกของผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ Granilla มีปริมาณ cyanidin-3-glucoside มากที่สุด ($p \leq 0.05$) และเนื้อของผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ Colar มีปริมาณ cyanidin-3-glucoside มากที่สุด ($p \leq 0.05$) ซึ่งเปลือกของผลมะเดื่อฝรั่งมี cyanidin-3-glucoside มากกว่าเนื้อของผลมะเดื่อฝรั่ง นอกจากนี้ Vallejo *et al.* (2012) รายงานว่าเปลือกของผลมะเดื่อฝรั่ง 11 สายพันธุ์มี cyanidin-3-glucoside แตกต่างกัน แต่เนื้อของผลมะเดื่อฝรั่งทั้ง 11 สายพันธุ์ไม่พบ cyanidin-3-glucoside

2.5.4 cyanidin-3- rutinoside

ปริมาณ cyanidin-3-rutinoside ในผลมะเดื่อฝรั่งสดทั้ง 5 สายพันธุ์ (ตารางที่ 13) พบว่าสายพันธุ์มีผลต่อปริมาณ cyanidin-3-rutinoside ของผลมะเดื่อฝรั่งสด จากการทดลอง ผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ Black Genoa มีปริมาณ cyanidin-3-rutinoside มากที่สุด รองลงมาคือสายพันธุ์ Black Mission, Hourai, Brown Turkey และ Kadota ตามลำดับ โดยสายพันธุ์ Brown Turkey และ Kadota มีปริมาณ cyanidin-3-rutinoside ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) แต่ทั้ง Brown Turkey และ Kadota มีปริมาณ cyanidin-3-rutinoside แตกต่างกับสายพันธุ์ Black Genoa และ Black Mission ($p \leq 0.05$) ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Vallejo *et al.* (2012) ศึกษาปริมาณ cyanidin-3-rutinoside ในเปลือกและเนื้อของผลมะเดื่อฝรั่งสด พบว่าผลมะเดื่อฝรั่งสดมีปริมาณ cyanidin-3-rutinoside แตกต่างกันไปตามสายพันธุ์ โดยเปลือกของผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ VB1 มีปริมาณ cyanidin-3-rutinoside มากที่สุด ($p \leq 0.05$) และเนื้อของผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ CDN9 มีปริมาณ cyanidin-3-rutinoside มากที่สุด ($p \leq 0.05$) ในขณะที่เปลือกและเนื้อของผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ Nazaret, Siciliana, Cuello Dama และ Tiberio ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่มีสีเขียวไม่พบ cyanidin-

3-rutinoside นอกจากนี้ Dueñas *et al.* (2008) รายงานว่าสายพันธุ์ที่ต่างกันมีผลต่อปริมาณ cyanidin-3-rutinoside โดยเปลือกของผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ Bursa Siyahi มีปริมาณ cyanidin-3-rutinoside มากที่สุด ($p \leq 0.05$) ในขณะที่สายพันธุ์ Colar มีปริมาณ cyanidin-3-rutinoside น้อยที่สุด ($p \leq 0.05$) ในทางตรงข้ามเนื้อของผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ Colar มีปริมาณ cyanidin-3-rutinoside มากที่สุด ($p \leq 0.05$) แสดงว่านอกจากสายพันธุ์ของผลมะเดื่อฝรั่งแล้วส่วนของเปลือกและเนื้อก็มีผลต่อปริมาณ cyanidin-3-rutinoside ด้วย

จากการทดลองพบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินส์ทั้งหมดมีความสัมพันธ์กับสมบัตการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH และ ABTS ของผลมะเดื่อฝรั่ง (ภาพผนวกที่ ข5) เมื่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินส์ทั้งหมดมีค่าสูงทำให้มีสมบัตการต้านออกซิเดชัน (DPPH และ ABTS) สูงเช่นกัน โดยความสัมพันธ์ระหว่างสมบัตการต้านออกซิเดชัน (ABTS) กับปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดมีค่ามากที่สุด ($r^2 = 0.991$) ในขณะที่ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัตการต้านออกซิเดชัน (DPPH) กับปริมาณแอนโทไซยานินส์ทั้งหมดมีค่าน้อยที่สุด ($r^2 = 0.769$) สำหรับการศึกษาชนิดและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่สำคัญบางชนิด ได้แก่ chlorogenic acid (กลุ่มกรดฟีนอลิก) quercetin-3-rutinoside, cyanidin-3-glucoside และ cyanidin-3-rutinoside (กลุ่มฟลาโวนอยด์) ให้ผลการทดลองที่มีแนวโน้มเดียวกันคือสายพันธุ์ Black Genoa มีปริมาณมากที่สุด และสายพันธุ์ Kadota มีปริมาณน้อยที่สุด โดยผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ Hourai และ Kadota ไม่พบ chlorogenic acid ในขณะที่สายพันธุ์ Brown Turkey และ Kadota ไม่พบ cyanidin-3-glucoside แต่สำหรับ quercetin-3-rutinoside และ cyanidin-3-rutinoside พบในผลมะเดื่อฝรั่งสดทุกสายพันธุ์ จากการทดลองพบว่าผลมะเดื่อฝรั่งสดมีปริมาณ cyanidin-3-rutinoside มากกว่า cyanidin-3-glucoside ซึ่งสอดคล้องกับ Dueñas *et al.* (2008) ที่รายงานว่ามีผลมะเดื่อฝรั่งสด 5 สายพันธุ์ (Colar, Cuello de Dama (สีเขียว), Cuello de Dama (ม่วงเข้ม), Granilla and Bursa Siyahi) มีปริมาณ cyanidin-3-rutinoside มากกว่า cyanidin-3-glucoside และจากรายงานของ Del Caro and Piga (2008) พบว่าผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ Mattalona และ San Pietro ก็ให้ผลเช่นเดียวกัน นอกจากนี้ในผลมะเดื่อฝรั่งสดทั้ง 5 สายพันธุ์ มีปริมาณ quercetin-3-rutinoside มากกว่า chlorogenic acid ซึ่งสอดคล้องกับผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ Mattalona, San Pietro (Del Caro and Piga, 2008), Škofuotka, Miljska figa และ Crna petrovka (Veberic *et al.*, 2008) จากผลการทดลองดังกล่าวพบว่าความแตกต่างของสายพันธุ์มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสมบัตการต้านออกซิเดชันของผลมะเดื่อฝรั่งเนื่องจากสายพันธุ์มีผลต่อความแตกต่างทางพันธุกรรม ซึ่งพันธุกรรมมีผลต่อ

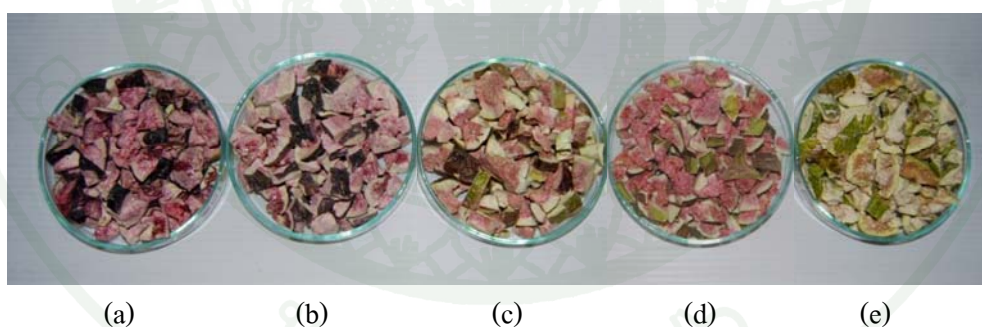
ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในพีช (Lima *et al.*, 2005) และจากรายงานของ Pawlowska *et al.* (2008) พบว่าความแตกต่างของปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของผลหม่อนแต่ละสายพันธุ์มีผลเนื่องมาจากความแตกต่างทางพันธุกรรมเช่นเดียวกัน จึงสอดคล้องกับมะเดื่อฝรั่งเพราะเป็นไม้ผลวงศ์ Moraceae เช่นเดียวกับหม่อน (Dueñas *et al.* 2008) จากความแตกต่างทางสายพันธุ์มีผลต่อสีของผลมะเดื่อฝรั่ง ซึ่งความแตกต่างของสีของผลไม้เนื่องมาจากการแสดงออกของยีนส์มีผลต่อการสังเคราะห์และการสะสมสารพฤกษเคมีที่แตกต่างกัน (Tulipani *et al.*, 2008) ดังนั้นสีของผลมะเดื่อฝรั่งจึงมีความสัมพันธ์กับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสมบัติการต้านออกซิเดชัน โดยสังเกตสีของผลมะเดื่อฝรั่งจากภาพที่ 16 และค่าสีดังแสดงในตารางที่ 9

จากภาพที่ 16 และตารางที่ 9 พบว่าสารสกัดของผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ที่มีโทนสีเข้ม (Black Genoa) มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากกว่าสารสกัดของผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ที่มีโทนสีอ่อน (Kadota) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Çaliskan and Polat (2011); Dueñas *et al.* (2008); Solomon *et al.* (2006) รายงานว่าสารประกอบฟีนอลิกส่วนใหญ่โดยเฉพาะแอนโธไซยานินส์ (cyanidin-3-rutinoside) และฟลาโวนอยด์จะมีความเข้มข้นสูงที่บริเวณเปลือกของผลมะเดื่อฝรั่ง ดังนั้นสีของเปลือกผลมะเดื่อฝรั่งจึงมีความสัมพันธ์กับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและความสามารถต้านออกซิเดชัน โดยผลมะเดื่อฝรั่งที่มีสีเขียวหรือสีเหลืองจะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก แอนโธไซยานินส์ และสมบัติการต้านออกซิเดชันน้อยกว่าผลมะเดื่อฝรั่งที่มีสีม่วงหรือสีดำ สารประกอบฟีนอลิกส่วนใหญ่ที่ทำหน้าที่เป็นสารให้สีในผลมะเดื่อฝรั่งคือ cyanidin-3-rutinoside, cyanidin-3-glucoside, cyanidin-3,5-diglucoside และ pelargonidin-3-rutinoside (Solomon *et al.*, 2006; Dueñas *et al.*, 2008) นอกจากนี้ผลการทดลองดังกล่าวยังสอดคล้องกับพืชชนิดอื่น เช่น องุ่น กล่าวคือ องุ่นแดงจะมีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดมากกว่าองุ่นขาว (Alonso Borbalán *et al.*, 2003)

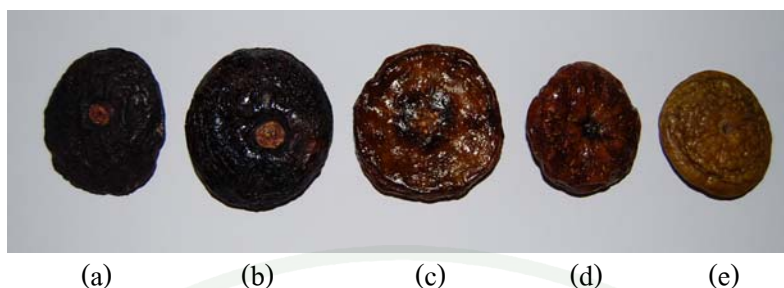
ผลการทดลองนี้ให้ข้อมูลพื้นฐานของผลมะเดื่อฝรั่งสายพันธุ์ต่างๆ ที่ปลูกในประเทศไทย เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการพัฒนาและปรับปรุงคุณภาพของมะเดื่อฝรั่งที่ผลิตในประเทศไทยให้เหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นด้านอุตสาหกรรมอาหารโดยใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการแปรรูปเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาหรือการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ เพื่อเป็นทางเลือกสำหรับผู้บริโภค

3. การศึกษาผลของการทำแห้งต่อสารประกอบฟีนอลิกและสมบัติการต้านออกซิเดชันของผลมะเดื่อฝรั่ง

การศึกษาผลของการทำแห้งต่อสารประกอบฟีนอลิกและสมบัติการต้านออกซิเดชันของผลมะเดื่อฝรั่ง จากการทดลองได้ทำแห้งผลมะเดื่อฝรั่ง 2 วิธี คือ การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying) ผลมะเดื่อฝรั่งสายพันธุ์ Black Genoa, Black Mission, Brown Turkey, Hourai และ Kadota (ภาพที่ 18) และการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (hot air oven) ผลมะเดื่อฝรั่งสายพันธุ์ Black Genoa, Black Mission, Hourai และ Kadota ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 ชั่วโมง สำหรับผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนสายพันธุ์ Brown Turkey เป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้าจากจังหวัดพิจิตร (ภาพที่ 19) จากนั้นสกัดตัวอย่างและนำสารสกัดที่ได้มาวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินส์ทั้งหมด สมบัติการต้านออกซิเดชันวัดด้วยวิธี DPPH และ ABTS ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ และวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกที่สำคัญบางชนิดด้วยเครื่องโครมาโตกราฟีของเหลวแบบสมรรถนะสูง และเปรียบเทียบปริมาณสารดังกล่าวข้างต้นของผลมะเดื่อฝรั่งที่ผ่านทำแห้งทั้ง 2 วิธี กับผลมะเดื่อฝรั่งสด



ภาพที่ 18 ผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งสายพันธุ์ (a) Black Genoa (b) Black Mission (c) Brown Turkey (d) Hourai (e) Kadota



ภาพที่ 19 ผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนสายพันธุ์ (a) Black Genoa (b) Black Mission (c) Brown Turkey (d) Hourai (e) Kadota

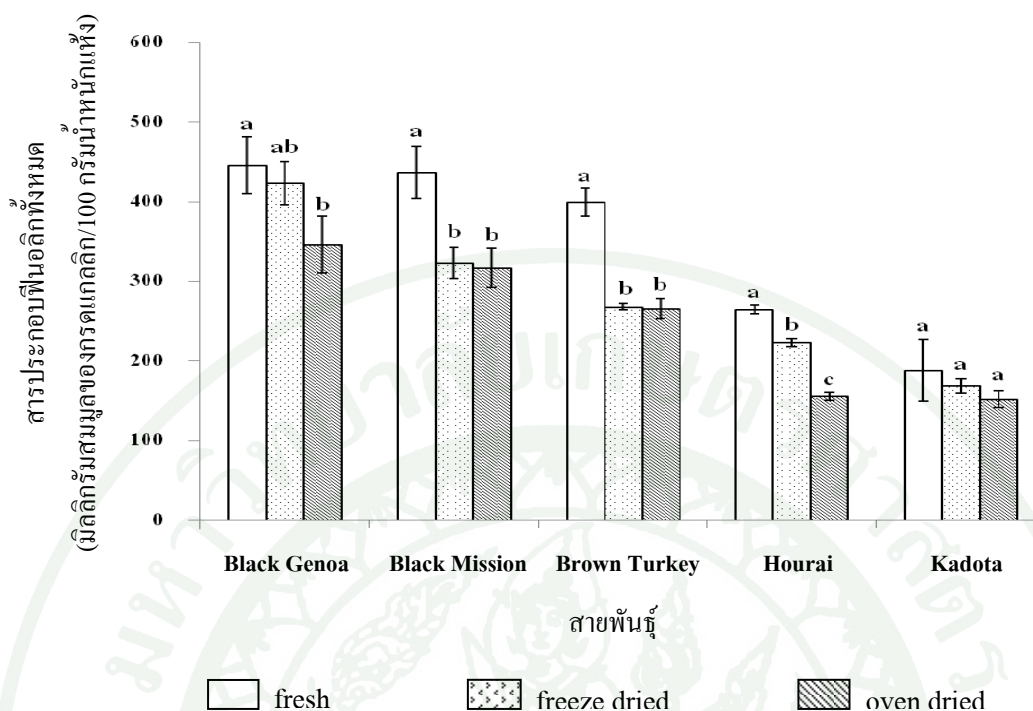
ผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ซึ่งเป็นผลไม้แห้งการมีค่าวอเตอร์แอคติวิตีไม่เกิน 0.6 เนื่องจากค่าวอเตอร์แอคติวิตีเท่ากับ 0.6 เป็นขีดจำกัดการเจริญของจุลินทรีย์ประเภท osmophilic ได้แก่ รา และยีสต์ มีผลในการยับยั้งการงอกของสปอร์และการเจริญของจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ระหว่างกระบวนการเก็บรักษาทำให้เก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้นานขึ้น (Ramaswamy and Marcette, 2006) โดยผลมะเดื่อฝรั่ง 4 สายพันธุ์ (Black Genoa, Black Mission, Brown Turkey, Hourai และ Kadota) ที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 ชั่วโมง มีค่าวอเตอร์แอคติวิตีไม่เกิน 0.6 สำหรับสายพันธุ์ Brown Turkey ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้าจากอำเภอเมือง จังหวัดพิจิตรมีค่าวอเตอร์แอคติวิตีสูงกว่า 0.6 (ตารางผนวกที่ ก2)

3.1 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผลมะเดื่อฝรั่ง

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผลมะเดื่อฝรั่งที่ผ่านการทำแห้ง 2 วิธี เปรียบเทียบกับผลมะเดื่อฝรั่งสด (ภาพที่ 20) พบว่าผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งสายพันธุ์ Brown Turkey มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลงมากที่สุด (32.85%) และสายพันธุ์ Black Genoa มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลงน้อยที่สุด (5.02%) สำหรับผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนสายพันธุ์ Hourai มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลงมากที่สุด (41.19%) และสายพันธุ์ Kadota มีสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลงน้อยที่สุด (18.90%) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่ผ่านการทำแห้งทั้ง 2 วิธีกับผลสด พบว่าผลมะเดื่อฝรั่งสายพันธุ์ Kadota ที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและผลสดมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ในขณะที่สายพันธุ์ Hourai มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

($p \leq 0.05$) ส่วนสายพันธุ์ Black Mission ที่ทำแห้งแบบแช่เยือกและที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เนื่องจากการลดลงของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีค่าใกล้เคียงกันคือ 25.95 และ 27.36% ตามลำดับ แต่ผลมะเดื่อฝรั่งที่ผ่านการทำแห้งทั้ง 2 วิธีมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดแตกต่างกับผลสดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สำหรับผลมะเดื่อฝรั่งสายพันธุ์ Brown Turkey มีแนวโน้มเช่นเดียวกับสายพันธุ์ Black Mission จากการทดลองพบว่าผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลงมากกว่าผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเมื่อเปรียบเทียบกับผลสด ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับ Kwok *et al.* (2004) รายงานว่าผลสัสดาทุนเบอร์รี่ (Saskatoon berries) 2 สายพันธุ์ (Thiessen และ Smoky) ที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดน้อยกว่าผลสัสดาทุนเบอร์รี่ที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและผลสัสดาทุนเบอร์รี่สด ตามลำดับ นอกจากนี้ Böhm *et al.* (2006) รายงานว่าผลสตอเบอร์รี่สายพันธุ์ต่างๆ ที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมากกว่าผลสตอเบอร์รี่ที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส

สำหรับผลมะเดื่อฝรั่งส่วนใหญ่ (สายพันธุ์ Black Genoa, Black Mission, Brown Turkey และ Kadota) ที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ทั้งนี้อาจมีสาเหตุจากการถูกรบกวนด้วยสารอื่นที่มีคุณสมบัติในการรีดิวซ์ เพราะการวัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยฟอลิน-ซีโอเคาทุ เป็นการวัดความสามารถในการรีดิวซ์ของสาร โดยสารประกอบฟีนอลิกจะเกิดการแตกตัวและสามารถรีดิวซ์ฟอลิน-ซีโอเคาทุ ทำให้เกิดสารประกอบที่ให้สีน้ำเงิน ซึ่งน้ำตาลบางชนิดในผลไม้ก็มีคุณสมบัติดังกล่าว โดยน้ำตาลฟรุคโตสสามารถรีดิวซ์ฟอลิน-ซีโอเคาทุได้มากกว่าน้ำตาลกลูโคส (Waterhouse, 2005) และจากรายงานของ USDA (2010) ผลมะเดื่อฝรั่งมีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบโดยเฉพาะผลมะเดื่อฝรั่งอบแห้งมีน้ำตาลกลูโคส ฟรุคโตส และกาแลคโตส



ภาพที่ 20 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผลมะเดื่อฝรั่งสดและผลมะเดื่อฝรั่งที่ผ่านการทำแห้ง

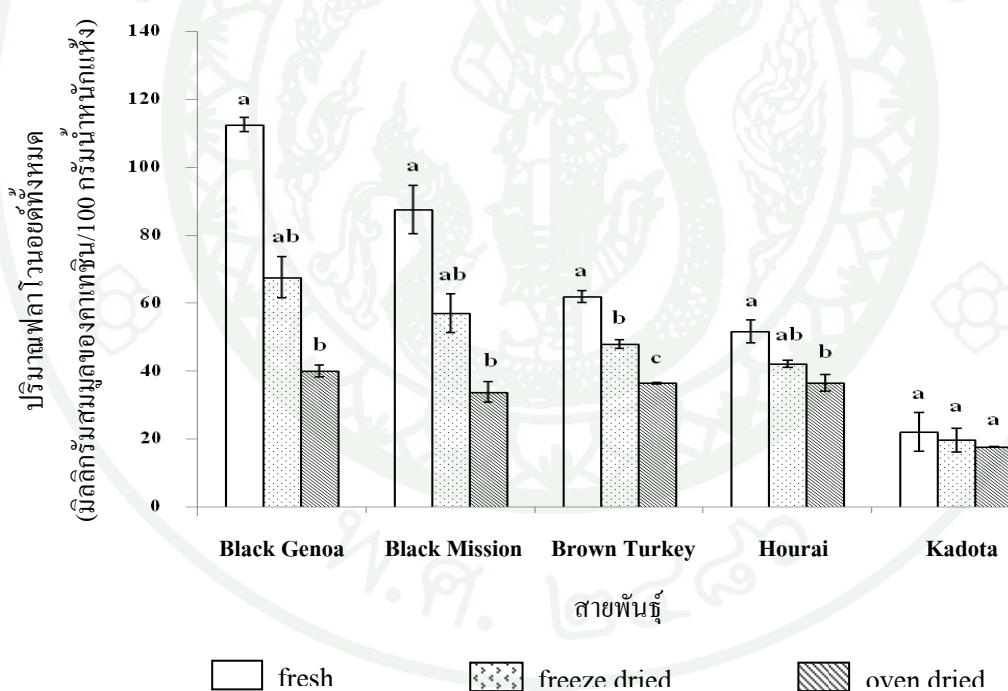
หมายเหตุ ตัวอักษร a-c ที่แตกต่างในสายพันธุ์เดียวกันหมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

สายพันธุ์ Brown Turkey เป็นตัวอย่างแห้งทางการค้า

3.2 ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของผลมะเดื่อฝรั่ง

ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของผลมะเดื่อฝรั่งที่ผ่านการทำแห้ง 2 วิธีเปรียบเทียบกับผลมะเดื่อฝรั่งสด (ภาพที่ 21) พบว่าผลมะเดื่อฝรั่งสายพันธุ์ Black Genoa ที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนมีปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดลดลงมากที่สุดคือ 39.91 และ 64.31% ตามลำดับ ในขณะที่สายพันธุ์ Kadota มีปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดลดลงน้อยที่สุด (10.71 และ 19.66% ตามลำดับ) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของผลมะเดื่อฝรั่งที่ผ่านการทำแห้ง 2 วิธีกับผลสด พบว่าสายพันธุ์ Black Genoa, Black Mission และ Hourai มีแนวโน้มเดียวกันคือ ผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดไม่แตกต่างกับผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและผลสด ($p > 0.05$) สำหรับสายพันธุ์ Kadota ที่ทำแห้ง

แบบแช่เยือกแข็ง ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและผลสดมีปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ในขณะที่สายพันธุ์ Brown Turkey มีปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) จากการทดลองพบว่าผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนมีปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดลดลงมากกว่าผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเมื่อเปรียบเทียบกับผลสด ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับ Mohd Zainol *et al.* (2009) รายงานว่าใบบับกที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมงมีปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์น้อยกว่าใบบับกที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและใบบับกสด ตามลำดับ นอกจากนี้งานวิจัยของ Wolfe and Liu (2003) รายงานว่าเปลือกแอปเปิ้ลที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสมีปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดน้อยกว่าเปลือกแอปเปิ้ลที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งแต่เปลือกแอปเปิ้ลที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดไม่แตกต่างกับเปลือกแอปเปิ้ลสด



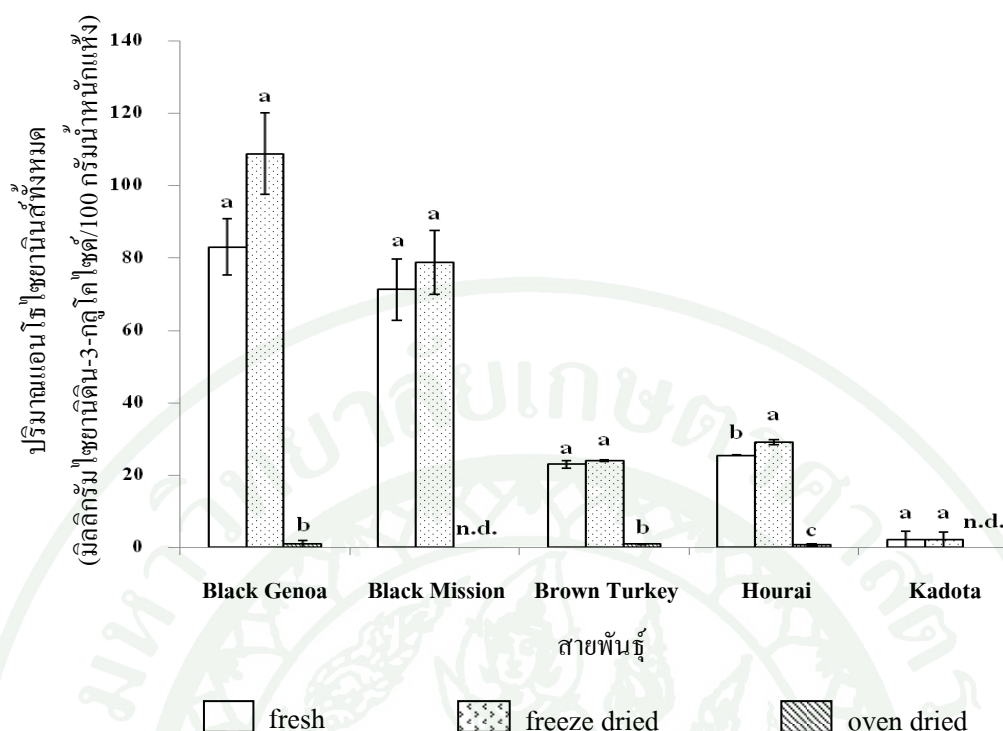
ภาพที่ 21 ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของผลมะเดื่อฝรั่งสดและผลมะเดื่อฝรั่งที่ผ่านการทำแห้ง

หมายเหตุ ตัวอักษร a-c ที่แตกต่างในสายพันธุ์เดียวกันหมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

สายพันธุ์ Brown Turkey เป็นตัวอย่างแห้งทางการค้า

3.3 ปริมาณแอนโทไซยานินส์ทั้งหมดของผลมะเดื่อฝรั่ง

ปริมาณแอนโทไซยานินส์ทั้งหมดของผลมะเดื่อฝรั่งที่ผ่านการทำแห้ง 2 วิธี เปรียบเทียบกับผลมะเดื่อฝรั่งสด (ภาพที่ 22) พบว่าผลมะเดื่อฝรั่งสดมีปริมาณแอนโทไซยานินส์ทั้งหมดน้อยกว่าผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งทุกสายพันธุ์ อาจเนื่องจากตัวอย่างสดเกิดการชะละลาย (leaching) แอนโทไซยานินส์ออกมาในระหว่างการทำละลายตัวอย่าง (thawing) ก่อนการนำไปสกัด (Ancos *et al.*, 2000) อาจเป็นสาเหตุให้ผลสดมีปริมาณแอนโทไซยานินส์ทั้งหมดน้อยกว่าผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ส่วนผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนทุกสายพันธุ์มีปริมาณแอนโทไซยานินส์ทั้งหมดลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับผลสด โดยเมื่อพิจารณาผลมะเดื่อฝรั่งแต่ละสายพันธุ์ พบว่าสายพันธุ์ Black Genoa ที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีปริมาณแอนโทไซยานินส์ทั้งหมดเพิ่มขึ้นมากที่สุดเป็น 1.31 ของผลสด แต่ไม่แตกต่างกับผลสด สำหรับการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนมีปริมาณแอนโทไซยานินส์ทั้งหมดลดลงมากที่สุด (98.78%) แตกต่างกับผลสดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สำหรับสายพันธุ์ Brown Turkey มีแนวโน้มเช่นเดียวกับสายพันธุ์ Black Genoa โดยปริมาณแอนโทไซยานินส์ทั้งหมดลดลง 96.04% ส่วนสายพันธุ์ Hourai ที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและผลสดมีปริมาณแอนโทไซยานินส์ทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สำหรับสายพันธุ์ Black Mission และ Kadota ที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนไม่พบแอนโทไซยานินส์ ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ White *et al.* (2011) รายงานว่ากากผลแครนเบอร์รี่ที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีปริมาณแอนโทไซยานินส์ทั้งหมดมากกว่ากากผลแครนเบอร์รี่สดและกากผลแครนเบอร์รี่ที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และ Wolfe and Liu (2003) รายงานว่าเปลือกแอปเปิ้ลที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีปริมาณแอนโทไซยานินส์ทั้งหมดมากกว่าเปลือกแอปเปิ้ลสดและเปลือกแอปเปิ้ลที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เช่นเดียวกัน



ภาพที่ 22 ปริมาณแอสคอร์บิกทั้งหมดของผลมะเดื่อฝรั่งสดและผลมะเดื่อฝรั่งที่ผ่านการทำแห้ง

หมายเหตุ ตัวอักษร a-c ที่แตกต่างในสายพันธุ์เดียวกันหมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

สายพันธุ์ Brown Turkey เป็นตัวอย่างแห่งทางการค้า

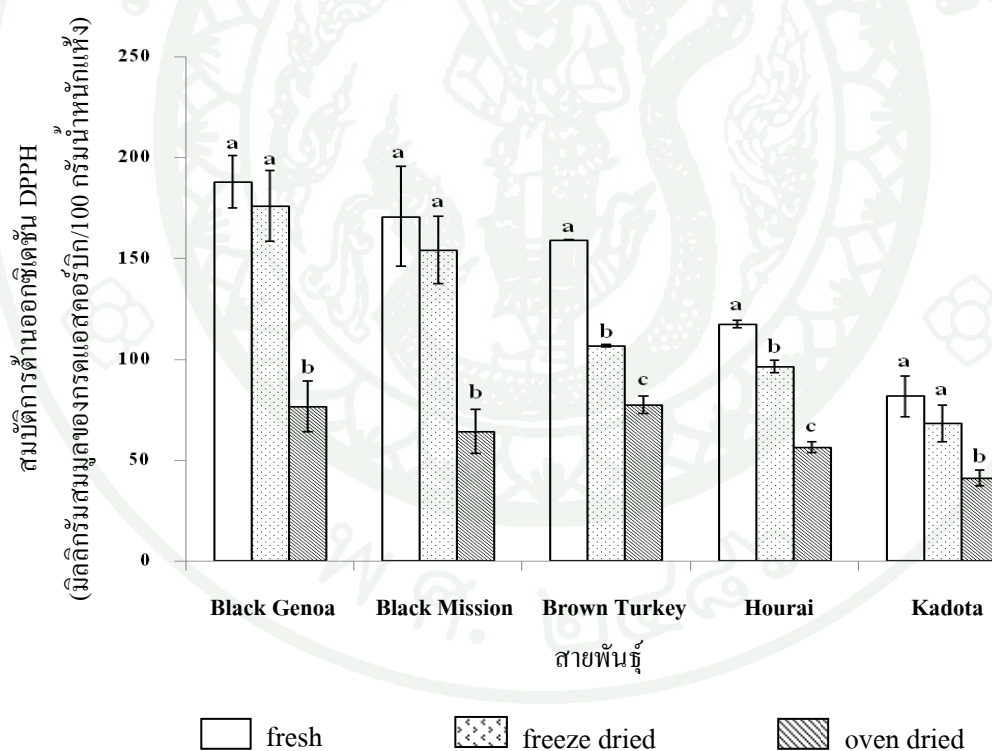
n.d. หมายถึง ไม่พบสารชนิดนั้น

3.4 สมบัติการต้านออกซิเดชันของผลมะเดื่อฝรั่ง

3.4.1 สมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH

สมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH ของผลมะเดื่อฝรั่งที่ผ่านการทำแห้ง 2 วิธีเปรียบเทียบกับผลมะเดื่อฝรั่งสด (ภาพที่ 23) พบว่าผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีสมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH ลดลงน้อยกว่าผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน เมื่อเปรียบเทียบกับผลมะเดื่อฝรั่งสด โดยผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งสายพันธุ์ Black Genoa, Black Mission, Brown-Turkey, Hourai และ Kadota มีสมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี

DPPH ลดลงร้อยละ 6.33 9.72 32.90 17.97 และ 16.30 ตามลำดับ และผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนมีสมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH ลดลงร้อยละ 59.23 62.40 51.29 51.91 และ 49.64 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาความแตกต่างของสมบัติการต้านออกซิเดชันในแต่ละสายพันธุ์พบว่าผลมะเดื่อฝรั่งสายพันธุ์ Black Genoa, Black Mission และ Kadota ที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีสมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH ไม่แตกต่างกับผลสด ($p>0.05$) แต่ผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนมีสมบัติการต้านออกซิเดชันแตกต่างกับผลสดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) สำหรับสายพันธุ์ Brown Turkey และ Hourai ที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและผลสดมีสมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับ Kwok *et al.* (2004) ที่รายงานว่าผลสัคคาทูนเบอร์รี่ที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส มีสมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH น้อยกว่าผลสัคคาทูนเบอร์รี่ที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและผลสัคคาทูนเบอร์รี่สด ตามลำดับ



ภาพที่ 23 สมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH ของผลมะเดื่อฝรั่งสดและผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้ง

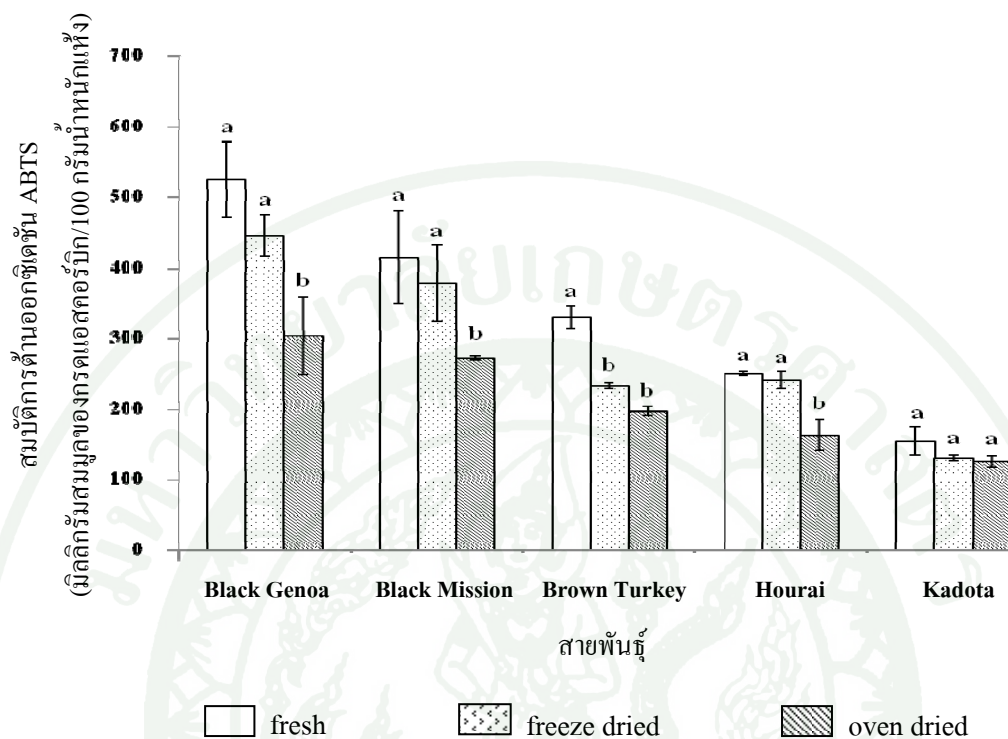
ภาพที่ 23 (ต่อ)

หมายเหตุ ตัวอักษร a-c ที่แตกต่างในสายพันธุ์เดียวกันหมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
สายพันธุ์ Brown Turkey เป็นตัวอย่างแห่งทางการค้า

3.4.2 สมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี ABTS

สมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี ABTS ของผลมะเดื่อฝรั่งที่ผ่านการทำแห้ง 2 วิธีเปรียบเทียบกับผลมะเดื่อฝรั่งสด (ภาพที่ 24) พบว่าผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีสมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี ABTS ลดลงน้อยกว่าผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนเมื่อเปรียบเทียบกับผลมะเดื่อฝรั่งสด โดยผลมะเดื่อฝรั่งสายพันธุ์ Brown Turkey ที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีสมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี ABTS ลดลงมากที่สุด (29.11%) และสายพันธุ์ Hourai มีสมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี ABTS ลดลงน้อยที่สุด (3.47%) ส่วนผลมะเดื่อฝรั่งสายพันธุ์ Black Genoa, Black Mission และ Hourai ที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีสมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี ABTS ลดลงแต่ไม่แตกต่างกับผลสด สำหรับผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนสายพันธุ์ Black Genoa มีสมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี ABTS ลดลงมากที่สุด (42.06%) และสายพันธุ์ Kadota มีสมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี ABTS ลดลงน้อยที่สุด (18.48%) โดยผลมะเดื่อฝรั่งสายพันธุ์ Black Genoa, Black Mission, Brown Turkey และ Hourai มีสมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี ABTS แตกต่างกับผลสดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาความแตกต่างของสมบัติการต้านออกซิเดชันในแต่ละสายพันธุ์ พบว่าสายพันธุ์ Brown Turkey ที่ผ่านการทำแห้งทั้ง 2 วิธีมีสมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี ABTS แตกต่างกับผลสดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และสายพันธุ์ Kadota ที่ผ่านการแห้งทั้ง 2 วิธีมีสมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี ABTS ลดลงแต่ไม่แตกต่างกับผลสด โดยทุกสายพันธุ์มีแนวโน้มเดียวกันคือผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบตู้อบลมร้อนมีสมบัติการต้านออกซิเดชัน ABTS น้อยกว่าที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและผลสด ตามลำดับ ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Leusink *et al.* (2010) รายงานว่าสมบัติการต้านออกซิเดชัน ABTS ของผลเกรนเบอร์รี่ที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมากกว่าผลเกรนเบอร์รี่ที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60-65 ชั่วโมง นอกจากนี้ Böhm *et al.* (2006) รายงานว่าผลสตรอเบอร์รี่ 3 สายพันธุ์ที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส มีสมบัติการต้านออกซิเดชัน ABTS น้อยกว่าผลสตรอเบอร์รี่

ที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง และผลสตรอเบอรี่สด ตามลำดับ



ภาพที่ 24 สมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี ABTS ของผลมะเดื่อฝรั่งสดและผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้ง

หมายเหตุ ตัวอักษร a-b ที่แตกต่างในสายพันธุ์เดียวกันหมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

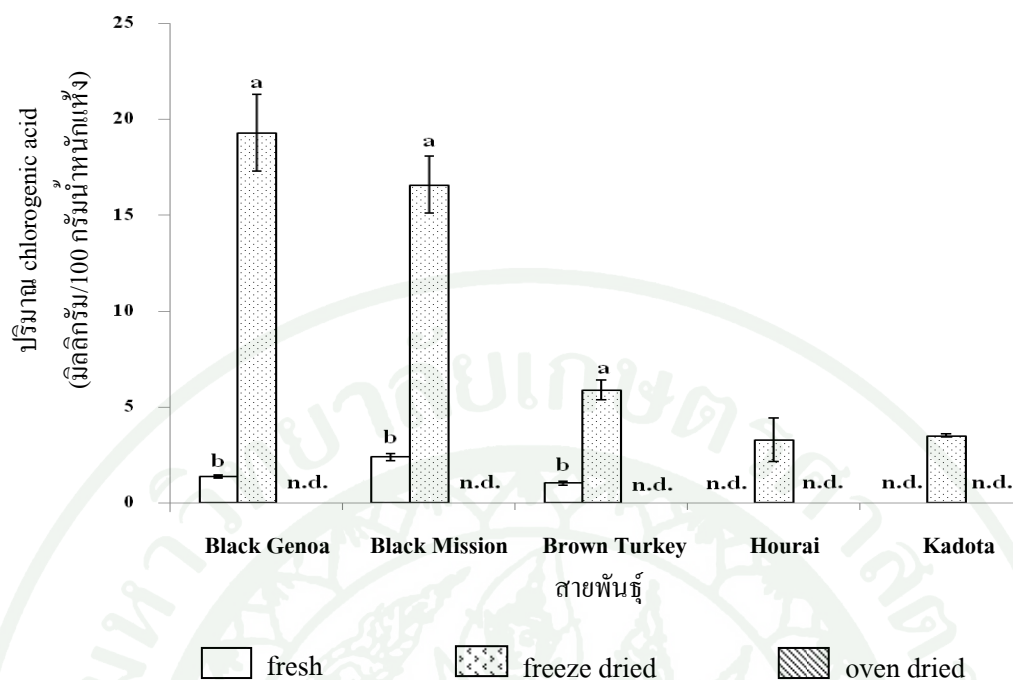
สายพันธุ์ Brown Turkey เป็นตัวอย่างแห้งทางการค้า

จากการทดลองผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนมีสมบัติการต้านออกซิเดชัน (DPPH และ ABTS) ลดลงมากอาจเนื่องจากสารประกอบฟีนอลิก (ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และปริมาณแอนโทไซยานินส์ทั้งหมด) ของผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนมีการสูญเสียจากความร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง จึงส่งผลให้สมบัติการต้านออกซิเดชันลดลงมาก (Green, 2007)

3.5 ชนิดและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่สำคัญบางชนิดของผลมะเดื่อฝรั่งด้วยเทคนิค HPLC

3.5.1 chlorogenic acid

ปริมาณ chlorogenic acid ของผลมะเดื่อฝรั่งที่ผ่านการทำแห้ง 2 วิธี เปรียบเทียบกับผลมะเดื่อฝรั่งสด (ภาพที่ 25) พบว่าผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ทุกสายพันธุ์มีปริมาณ chlorogenic acid เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับผลสด โดยผลมะเดื่อฝรั่งสายพันธุ์ Black Genoa ที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีปริมาณ chlorogenic acid เพิ่มขึ้นจากผลสด (1.37 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักแห้ง) มากที่สุด (14.10%) สำหรับผลมะเดื่อฝรั่งสายพันธุ์ Hourai และ Kadota ที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งตรวจพบ chlorogenic acid 3.29 และ 3.51 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ในขณะที่ผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนไม่พบ chlorogenic acid ทุกสายพันธุ์ ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับ Vallejo *et al.* (2012) ที่ศึกษาปริมาณ chlorogenic acid ของผลมะเดื่อฝรั่งสายพันธุ์ Cuello Dama โดยเปรียบเทียบระหว่างผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งกับผลมะเดื่อฝรั่งอบแห้งซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้า พบว่าผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีปริมาณ chlorogenic acid มากกว่าผลมะเดื่อฝรั่งอบแห้งทางการค้า 2.6 เท่า ในขณะที่ผลการทดลองที่ได้นี้ไม่สอดคล้องกับ Slatnar *et al.* (2011) ที่รายงานว่าผลมะเดื่อฝรั่งสดมีปริมาณ chlorogenic acid น้อยกว่าผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน และจากงานวิจัยของ Raynal *et al.*, (1989) รายงานว่าการทำแห้งผลพลัมด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมงมีผลทำให้ chlorogenic acid ลดลง 63.50% สำหรับการทดลองนี้ได้ทำแห้งผลมะเดื่อฝรั่งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 ชั่วโมง ซึ่งเป็นระยะเวลาที่นานกว่าจึงอาจส่งผลต่อการสูญเสีย chlorogenic acid สำหรับการเพิ่มขึ้นของ chlorogenic acid ในผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งอาจเกิดจากปฏิกิริยา (1) การย่อยสลายโดยปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidative degradation) ของกรดฟีนอลิก รวมทั้งการเกิดสีน้ำตาลโดยเอนไซม์ (2) การแตกตัวของสารประกอบฟีนอลิกและปลดปล่อยกรดฟีนอลิกอิสระ (free phenolic acids) และ (3) การรวมตัวของกรดฟีนอลิกกับสารอื่น โดยเฉพาะโปรตีน แทนนินและแอนโทไซยานินส์ โดยมันฝรั่งที่เก็บรักษาในสภาวะเย็น (cold storage) หรือผ่านกระบวนการแปรรูปจะมีปริมาณ chlorogenic acid เพิ่มขึ้น 90% เนื่องจากเกิด auto-oxidation (Fleuriet and Macheix, 2003)



ภาพที่ 25 ปริมาณ chlorogenic acid ของผลมะเดื่อฝรั่งสดและผลมะเดื่อฝรั่งที่ผ่านการทำแห้ง

หมายเหตุ ตัวอักษร a-b ที่แตกต่างในสายพันธุ์เดียวกันหมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

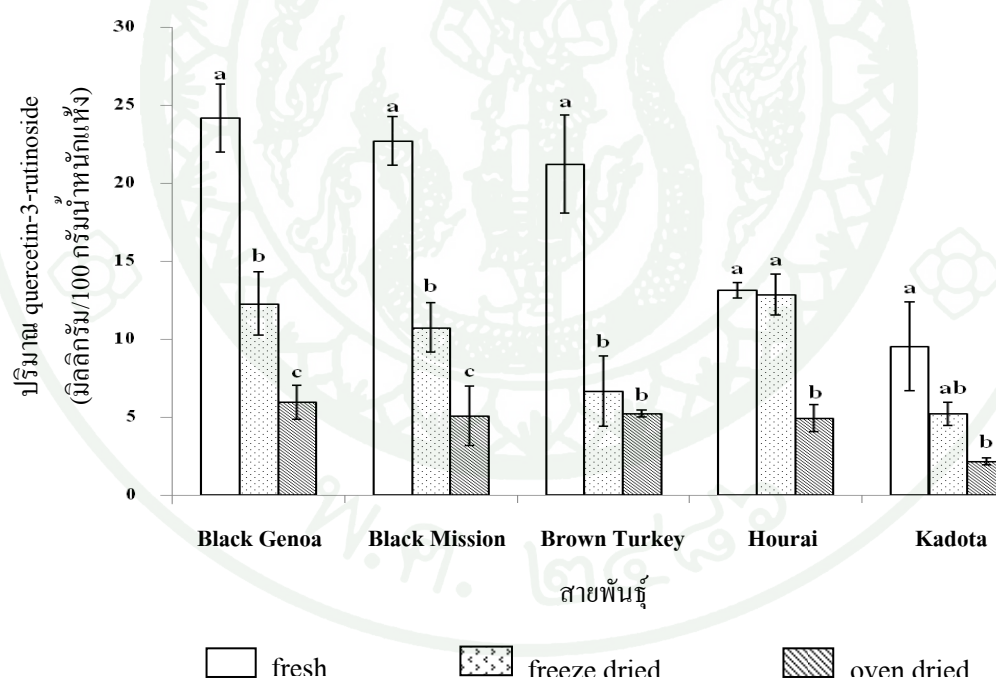
สายพันธุ์ Brown Turkey เป็นตัวอย่างแห้งทางการค้า

n.d. หมายถึง ไม่พบสารชนิดนั้น

3.5.2 quercetin-3-rutinoside

ปริมาณ quercetin-3-rutinoside ของผลมะเดื่อฝรั่งที่ผ่านการทำแห้ง (ภาพที่ 26) พบว่าผลมะเดื่อฝรั่งที่ผ่านการทำแห้งทั้ง 2 วิธีมีปริมาณ quercetin-3-rutinoside ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับผลสด โดยสายพันธุ์ Brown Turkey ที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีปริมาณ quercetin-3-rutinoside ลดลงมากที่สุด (68.55%) สำหรับผลมะเดื่อฝรั่งสายพันธุ์ Black Genoa, Black Mission และ Brown-Turkey ที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีปริมาณ quercetin-3-rutinoside น้อยกว่าผลสด ($p \leq 0.05$) ส่วนผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบด้วยลมร้อนสายพันธุ์ Black Mission มีปริมาณ quercetin-3-rutinoside ลดลงมากที่สุด (77.49%) โดยผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนทุกสายพันธุ์มีปริมาณ quercetin-3-rutinoside น้อยกว่าผลสด ($p \leq 0.05$) สำหรับสายพันธุ์ Brown Turkey และ Kadota ที่ทำแห้งทั้ง 2 วิธีมีปริมาณ quercetin-3-rutinoside ไม่แตกต่างกัน

จากการทดลองพบว่าปริมาณ quercetin-3-rutinoside ของผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีปริมาณลดลงน้อยกว่าผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ซึ่งสอดคล้องกับ Mohd Zainol *et al.* (2009) รายงานว่าใบบวบที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมงมีปริมาณ quercetin-3-rutinoside น้อยกว่าใบบวบที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและใบบวบสด ตามลำดับ แต่จากรายงานของ Slatnar *et al.* (2011) กล่าวว่าผลมะเดื่อฝรั่งสายพันธุ์ Bela petrovka ที่เก็บเกี่ยวช่วงเดือนกันยายน เมื่อผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 62-64 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง มีปริมาณ quercetin-3-rutinoside 3.75 มิลลิกรัม/100 กรัม ซึ่งมากกว่าผลสด (0.89 มิลลิกรัม/100 กรัม) จากการทดลองพบว่าผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับ Slatnar *et al.* (2011) คือผลมะเดื่อฝรั่งสดมี quercetin-3-rutinoside มากกว่าผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน โดยผลสดสายพันธุ์ Black Genoa มี quercetin-3-rutinoside 3.30 มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักสด และผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนมี quercetin-3-rutinoside 4.34 มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักสด ซึ่งมี quercetin-3-rutinoside มากกว่าผลมะเดื่อฝรั่งสายพันธุ์ Bela petrovka



ภาพที่ 26 ปริมาณ quercetin-3-rutinoside ของผลมะเดื่อฝรั่งสดและผลมะเดื่อฝรั่งที่ผ่านการทำแห้ง

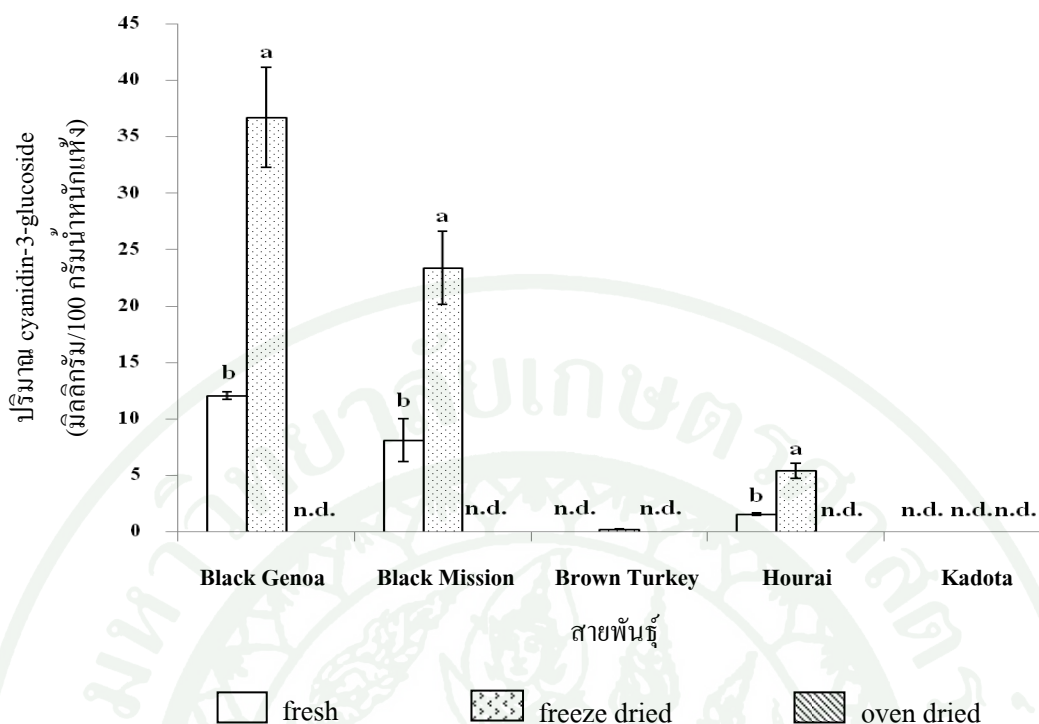
หมายเหตุ ตัวอักษร a-c ที่แตกต่างในสายพันธุ์เดียวกันหมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

สายพันธุ์ Brown Turkey เป็นตัวอย่างแห้งทางการค้า

3.5.3 cyanidin-3-glucoside

ปริมาณ cyanidin-3-glucoside ของผลมะเดื่อฝรั่งที่ผ่านการทำแห้ง (ภาพที่ 27) พบว่าผลมะเดื่อฝรั่ง 4 สายพันธุ์ (Black Genoa, Black Mission, Brown Turkey และ Hourai) ที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งพบ cyanidin-3-glucoside ซึ่งสายพันธุ์ Black Genoa, Black Mission และ Hourai มีปริมาณ cyanidin-3-glucoside เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับผลสด โดยสายพันธุ์ Hourai มีปริมาณเพิ่มขึ้นมากที่สุดเป็น 3.44 เท่าของผลสด สำหรับผลมะเดื่อฝรั่งสายพันธุ์ Brown Turkey ที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งตรวจพบ cyanidin-3-glucoside (0.24 มิลลิกรัม/ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง) ในขณะที่ตรวจไม่พบในผลสดทั้งนี้อาจเนื่องจากสารสกัดตัวอย่างสดมีความเข้มข้นต่ำ ส่วนผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนทุกสายพันธุ์ไม่พบ cyanidin-3-glucoside ซึ่งสอดคล้องกับ Vallejo *et al.* (2012) รายงานว่าผลมะเดื่อฝรั่งอบแห้งแห้งที่เป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้าไม่พบ cyanidin-3-glucoside นอกจากนี้ Wojdylo *et al.* (2009) รายงานว่าผลสตรอเบอรี่สายพันธุ์ Kent ที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีปริมาณ cyanidin-3-glucoside มากกว่าผลสตรอเบอรี่สด และผลสตรอเบอรี่ที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่ผลสตรอเบอรี่สายพันธุ์ Elsanta มีผลการทดลองแตกต่างกับสายพันธุ์ Kent คือผลสตรอเบอรี่ที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีปริมาณ cyanidin-3-glucoside น้อยกว่าผลสตรอเบอรี่สด ($p > 0.05$) จากงานวิจัยของ Raynal *et al.*, (1989) รายงานว่าผลพลัมที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมงมีปริมาณ cyanidin-3-glucoside ลดลงประมาณ 90% สำหรับการทดลองนี้ได้ทำแห้งผลมะเดื่อฝรั่งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 ชั่วโมง จึงส่งผลต่อการสูญเสีย cyanidin-3-glucoside ทั้งหมด



ภาพที่ 27 ปริมาณ cyanidin-3-glucoside ของผลมะเดื่อฝรั่งสดและผลมะเดื่อฝรั่งที่ผ่านการทำแห้ง

หมายเหตุ ตัวอักษร a-b ที่แตกต่างในสายพันธุ์เดียวกันหมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

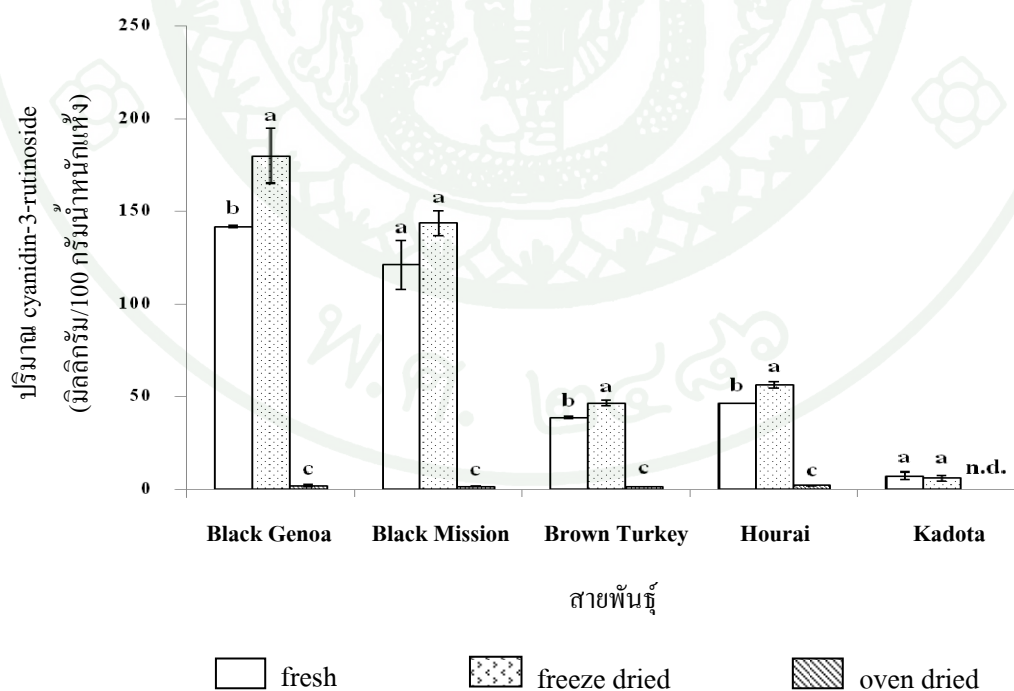
สายพันธุ์ Brown Turkey เป็นตัวอย่างแห้งทางการค้า

n.d. หมายถึง ไม่พบสารชนิดนั้น

3.5.4 cyanidin-3-rutinoside

ปริมาณ cyanidin-3-rutinoside ของผลมะเดื่อฝรั่งที่ผ่านการทำแห้ง (ภาพที่ 28) พบว่าผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งสายพันธุ์ Black Genoa, Black Mission, Brown Turkey และ Hourai มีปริมาณ cyanidin-3-rutinoside เพิ่มขึ้น โดยสายพันธุ์ Black Genoa มีปริมาณเพิ่มขึ้นมากที่สุด 1.27 เท่าของผลสด สำหรับผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนมีปริมาณ cyanidin-3-rutinoside ลดลง ซึ่งสายพันธุ์ Black Mission มีปริมาณลดลงมากที่สุด (98.62%) เมื่อพิจารณาปริมาณ cyanidin-3-rutinoside ของผลมะเดื่อฝรั่งแต่ละสายพันธุ์ พบว่าสายพันธุ์ Black Genoa, Brown Turkey และ Hourai ที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและผลสดมีปริมาณ cyanidin-3-rutinoside แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สำหรับผลมะเดื่อฝรั่ง

สายพันธุ์ Kadota ที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีปริมาณ cyanidin-3-rutinoside ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับผลสด ($p>0.05$) ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Slatnar *et al.* (2011) รายงานว่า ผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ Bela petrovka มีปริมาณ cyanidin-3-rutinoside (0.62 มิลลิกรัม/100 กรัม) มากกว่าผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (0.31 มิลลิกรัม/100 กรัม) ($p\leq 0.05$) ซึ่งจากการทดลองผลมะเดื่อฝรั่งสดและผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนสายพันธุ์ Black Genoa มีปริมาณ cyanidin-3-rutinoside มากกว่าสายพันธุ์ Bela petrovka โดยมีปริมาณ 19.33 และ 1.54 มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักสด ตามลำดับ แต่ Vallejo *et al.* (2012) รายงานว่าไม่พบ cyanidin-3-rutinoside ในผลมะเดื่อฝรั่งอบแห้งที่เป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้า นอกจากนี้ Piga *et al.* (2003) รายงานว่าผลพลัมสายพันธุ์ President และ Sugar ที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีปริมาณ cyanidin-3-rutinoside น้อยกว่าผลพลัมสด ($p\leq 0.05$) และจากรายงานของ Kirakosyan *et al.* (2009) พบว่าปริมาณ cyanidin-3-rutinoside ของผลเชอร์รี่ที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง 2 สายพันธุ์ให้ผลการทดลองแตกต่างกันคือ ผลเชอร์รี่สายพันธุ์ Montmorency ที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีปริมาณ cyanidin-3-rutinoside มากกว่าผลเชอร์รี่ที่แช่แข็ง ($p>0.05$) ในขณะที่ผลเชอร์รี่สายพันธุ์ Balaton ที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีปริมาณ cyanidin-3-rutinoside น้อยกว่าผลเชอร์รี่ที่แช่แข็ง ($p\leq 0.05$)



ภาพที่ 28 ปริมาณ cyanidin-3-rutinoside ของผลมะเดื่อฝรั่งสดและผลมะเดื่อฝรั่งที่ผ่านการทำแห้ง

ภาพที่ 28 (ต่อ)

หมายเหตุ ตัวอักษร a-c ที่แตกต่างในสายพันธุ์เดียวกันหมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

สายพันธุ์ Brown Turkey เป็นตัวอย่างแห่งทางการค้า

n.d. หมายถึง ไม่พบสารชนิดนั้น

Vallejo *et al.* (2012) รายงานว่าผลมะเดื่อฝรั่งสายพันธุ์ที่มีสีเขียว (สายพันธุ์ Cuello Dama) มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกลดลงน้อยที่สุดเมื่อผ่านกระบวนการทำแห้ง โดยผลมะเดื่อฝรั่งสด สายพันธุ์ดังกล่าวมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก 21.8 มิลลิกรัม/ 100 กรัมน้ำหนักสด และผลมะเดื่อฝรั่งอบแห้งที่เป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้า (สายพันธุ์ Cuello Dama) มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก 19.1 มิลลิกรัม/ 100 กรัมน้ำหนักสด ซึ่งมีการสูญเสียปริมาณสารประกอบฟีนอลิกประมาณ 15 % สำหรับการทดลองนี้ผลมะเดื่อฝรั่งสายพันธุ์ Kadota (สีเขียวปนเหลือง) ให้ผลการทดลองที่สอดคล้องกันคือ สายพันธุ์ Kadota มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผลสดและอบแห้งเป็น 188.20 และ 152.63 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิก/ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง) ซึ่งมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลงน้อยกว่าสายพันธุ์อื่นๆ (สายพันธุ์ Black Genoa, Black Mission, Brown Turkey และ Hourai)

จากการทดลองศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสมบัติการต้านออกซิเดชันของผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนเปรียบเทียบกับผลสด พบว่าผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ปริมาณแอนโธไซยานินส์ทั้งหมด สมบัติการต้านออกซิเดชัน (DPPH และ ABTS) และ quercetin-3-rutinoside ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับผลสด แต่ปริมาณchlorogenic acid, cyanidin-3-glucoside และ cyanidin-3-rutinoside มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สำหรับผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ปริมาณแอนโธไซยานินส์ทั้งหมด สมบัติการต้านออกซิเดชัน (ABTS และ DPPH) quercetin-3-rutinoside และ cyanidin-3-rutinoside ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับผลสดและมีปริมาณลดลงมากกว่าผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ทั้งนี้เนื่องจากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเป็นกระบวนการทำแห้งที่ไม่ใช้ความร้อนจึงถือว่าเป็นเทคโนโลยีการทำแห้งที่รักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไว้ได้ดีที่สุด (Shishegarha *et al.*, 2002) โดยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้

มีรูปพรรณขนาดเล็กกว่าผลิตภัณฑ์ที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน การที่มีรูปพรรณเล็กทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างน้อยกว่า (Leusink *et al.*, 2010) อีกทั้งในสภาวะการทำแห้งที่มีอุณหภูมิต่ำและปราศจากออกซิเจนจะช่วยป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจากเอนไซม์ มีผลทำให้สารต้านออกซิเดชันไม่เกิดการสลายตัวและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกไม่เปลี่ยนแปลงหรือเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด (Hossain *et al.*, 2010) นอกจากนี้การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดสารประกอบฟีนอลิก เพราะการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งภายในเมทริกซ์ของพืช ผลึกน้ำแข็งนี้มีผลทำลายโครงสร้างของเซลล์พืช ส่งผลให้ตัวทำละลายสามารถเข้าไปในเซลล์พืชได้ง่ายและสารประกอบสำคัญสามารถออกสู่นอกเซลล์ได้ง่ายเช่นกัน ดังนั้นอาจมีผลทำให้การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีสารประกอบฟีนอลิกและสมบัติการต้านออกซิเดชันมากกว่าการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (Asami *et al.*, 2003; Zhang *et al.*, 2009)

สำหรับผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกลดลงมากกว่าผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งทั้งนี้เนื่องมาจากสารประกอบฟีนอลิกมักจะพบที่ภายนอก vacuoles ดังนั้นเมื่อโครงสร้างของเซลล์ถูกทำลายในระหว่างกระบวนการอบแห้งจึงทำให้สารประกอบฟีนอลิกที่อยู่ภายนอกเกิดการสลายตัวด้วยความร้อน ทำให้สารประกอบฟีนอลิกมีปริมาณลดลง (Torres *et al.*, 2010) อีกทั้งการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 55 องศาเซลเซียส (ซึ่งเป็นสภาวะที่ใกล้เคียงกับการทอดผลไม้) ภายใต้อากาศที่มีปริมาณออกซิเจนสูงเป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (PPO) ซึ่งมีผลทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยเอนไซม์ได้อย่างรวดเร็วส่งผลให้เกิดการลดลงของสารประกอบฟีนอลิก (Raynal *et al.*, 1989; Zhang *et al.*, 2009) และสภาวะดังกล่าวเป็นสาเหตุของการเกิดสีน้ำตาลจากเอนไซม์ (Kwok *et al.*, 2004) นอกจากนี้การทำแห้งด้วยลมร้อนที่สภาวะอุณหภูมิต่ำแต่ระยะเวลานานส่งผลให้สารประกอบฟีนอลิกเกิดการสลายตัวมากกว่าที่สภาวะอุณหภูมิสูงระยะเวลาน้อย (Katsube *et al.*, 2009) นอกจากนี้กระบวนการทำแห้งแล้ว ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างเช่น การตัดแต่งและหั่นเป็นชิ้น ก็ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยเอนไซม์อย่างรวดเร็วซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการลดลงของสารต้านออกซิเดชันเช่นเดียวกัน (Zhang *et al.*, 2009)

4. การศึกษาผลของสายพันธุ์ต่อสารระเหยของผลมะเดื่อฝรั่งสด

การศึกษาผลของสายพันธุ์ต่อชนิดและปริมาณสารระเหยของผลมะเดื่อฝรั่งสด 5 สายพันธุ์ คือสายพันธุ์ Black Genoa, Black Mission, Brown Turkey, Hourai และ Kadota โดยทำการสกัด

สารระเหยด้วยวิธี solid-phase microextraction (SPME) ไฟเบอร์ชนิด PDMS-DVB ขนาด 65 μm สารระเหยที่พบในผลไม้เปลือกแบ่งเป็น 9 กลุ่มสารระเหย ได้แก่ ไฮโดรคาร์บอน คีโตน แอลกอฮอล์ อัลดีไฮด์ เอสเทอร์ กรดอินทรีย์ อีเทอร์ ฟีนอล และไพแรน (ตารางที่ 14) โดยผลไม้เปลือกสายพันธุ์ Black Genoa และ Hourai มีปริมาณสารระเหยกลุ่มไฮโดรคาร์บอนมากที่สุด รองลงมาคือ อัลดีไฮด์ แอลกอฮอล์ และคีโตน ตามลำดับ สำหรับสายพันธุ์ Black Mission และ Brown Turkey มีปริมาณสารระเหยกลุ่มอัลดีไฮด์มากที่สุด รองลงมาคือ ไฮโดรคาร์บอน แอลกอฮอล์ และคีโตน ตามลำดับ ส่วนสายพันธุ์ Kadota มีปริมาณสารระเหยกลุ่มอัลดีไฮด์มากที่สุด รองลงมาคือ แอลกอฮอล์ เอสเทอร์ และไฮโดรคาร์บอน ตามลำดับ และแต่ละสายพันธุ์มีจำนวนชนิดสารระเหยแตกต่างกันคือ สายพันธุ์ Black Genoa มีจำนวนสารระเหยกลุ่มไฮโดรคาร์บอนมากที่สุด 17 ชนิด สายพันธุ์ Black Mission และ Brown Turkey มีจำนวนสารระเหยกลุ่มอัลดีไฮด์มากที่สุด 19 ชนิด และสายพันธุ์ Kadota มีจำนวนสารระเหยกลุ่มเอสเทอร์มากที่สุด 9 ชนิด ทั้งนี้การที่แต่ละสายพันธุ์มีชนิดและปริมาณสารระเหยแต่ละกลุ่มแตกต่างกันเนื่องมาจากสายพันธุ์ที่ต่างกันจะมีสารประกอบทางเคมีที่ทำหน้าที่ในการแสดงกลิ่นรสของผลไม้แตกต่างกัน (Christensen *et al.*, 2007) สำหรับการพิจารณาสารระเหยสำคัญของผลไม้เปลือก 5 สายพันธุ์นั้น พิจารณาจากค่า odor activity value (OAV) ซึ่งคำนวณได้จากความเข้มข้นและค่า threshold ของสารนั้นๆ โดยสารระเหยที่มีค่า OAV มากกว่า 1 มีแนวโน้มว่าจะเป็นสารระเหยสำคัญในการเกิดกลิ่น (Grosch, 1993)

4.1 ไฮโดรคาร์บอน

จากตารางที่ 14 ผลไม้เปลือกสายพันธุ์ Black Genoa มีปริมาณสารระเหยกลุ่มไฮโดรคาร์บอนมากที่สุด รองลงมาคือสายพันธุ์ Black Mission, Hourai, Brown Turkey และ Kadota ตามลำดับ สารระเหยกลุ่มไฮโดรคาร์บอนของผลไม้เปลือก เช่น *l*-limonene, α -cubebene, copaene, β -caryophyllene, (*E*)- α -bergamotene, muurolene, germacrene D และ cadinene เป็นต้น ซึ่งสารเหล่านี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Oliveira *et al.* (2010b) สำหรับสารระเหยสำคัญในกลุ่มไฮโดรคาร์บอนได้แก่ *l*-limonene และ β -caryophyllene โดยค่า OAV ของ *l*-limonene ของผลไม้เปลือกสายพันธุ์ Black Genoa และ β -caryophyllene ของผลไม้เปลือกสายพันธุ์ Black Genoa และ Black Mission มีค่ามากกว่า 1 เมื่อพิจารณาค่าบรรยายลักษณะกลิ่นจะเห็นได้ว่าสารระเหยกลุ่มนี้ให้ลักษณะกลิ่นสดและกลิ่นไม้เป็นหลัก โดย *l*-limonene มีลักษณะกลิ่นสด

หวาน และกลิ่นพีชตระกูลส้ม สำหรับ β -caryophyllene ให้ลักษณะกลิ่นไม้ และเผ็ดร้อน (Leffingwell, 2004) โดย *l*-limonene ของผลมะเดื่อฝรั่งสายพันธุ์ Black Genoa มีปริมาณมากที่สุด ($p \leq 0.05$) รองลงมาคือสายพันธุ์ Black Mission และ Hourai ตามลำดับ ซึ่งสายพันธุ์ Brown Turkey และ Kadota ไม่พบ *l*-limonene สำหรับ β -caryophyllene ของผลมะเดื่อฝรั่งสายพันธุ์ Black Genoa มีปริมาณมากที่สุด ($p \leq 0.05$) ในขณะที่สายพันธุ์ Brown Turkey, Hourai และ Kadota มี β -caryophyllene ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) สารระเหยกลุ่มไฮโดรคาร์บอนที่พบส่วนใหญ่มีปริมาณสูง แต่มักไม่เป็นสารระเหยสำคัญเนื่องจากสารกลุ่มนี้มีค่า threshold ค่อนข้างสูง (Baltes and Song, 1994)

4.2 แอลกอฮอล์

จากการทดลองพบว่าผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ Brown Turkey มีปริมาณสารระเหยกลุ่มแอลกอฮอล์มากที่สุด รองลงมาคือสายพันธุ์ Black Genoa, Kadota, Black Mission และ Hourai ตามลำดับ (ตารางที่ 14) จากรายงานของ Buttery *et al.* (1981) พบสารระเหยกลุ่มแอลกอฮอล์ในผลมะเดื่อฝรั่งสด ได้แก่ ethanol, hexanol, heptanol, octanol และ nonanol และ Oliveira *et al.* (2010b) รายงานว่าในผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ Pingo de Mel, Branca Tradicional, Borrassota Tradicional, Verbera Preta และ Preta Tradicional มีสารระเหย linalool, benzyl alcohol และ menthol ซึ่งสารระเหยเหล่านี้เป็นสารระเหยที่พบในการทดลองนี้เช่นเดียวกัน นอกจากนี้ในการทดลองยังพบสารระเหยกลุ่มแอลกอฮอล์ชนิดอื่นอีก ได้แก่ 1-octen-3-ol, 6-methyl-5-hepten-2-ol, 2-ethylhexanol และ benzeneethanol สำหรับสารระเหยสำคัญในกลุ่มแอลกอฮอล์ได้แก่ 1-octen-3-ol และ linalool โดย 1-octen-3-ol เป็นสารที่ให้ลักษณะกลิ่นเห็ด (Genovese *et al.*, 2007) ซึ่งพบในผลมะเดื่อฝรั่งสดทั้ง 5 สายพันธุ์ โดยสายพันธุ์ Kadota มีปริมาณมากที่สุด จากรายงานของ Beltran-Garcia *et al.* (1997) กล่าวว่า 1-octen-3-ol เป็นสารระเหยที่มีคาร์บอน 8 อะตอม ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของ linoleic acid หรือ linolenic acid ในสภาวะที่มีเอนไซม์ เช่น lipoxygenase และ lyase hydroperoxide และ Guvenc *et al.* (2009); Jeong and Lachance (2001) รายงานว่าในผลมะเดื่อฝรั่งสดมี linoleic acid และ linolenic acid ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการเกิด 1-octen-3-ol ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่า 1-octen-3-ol ในผลมะเดื่อฝรั่งเกิดจาก linoleic acid และ linolenic acid สำหรับ linalool เป็นสารระเหยที่ให้ลักษณะกลิ่นส้ม กลิ่นดอกไม้ และกลิ่นหวาน โดยผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ Brown Turkey มีปริมาณมากที่สุด ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 14 ชนิดและปริมาณสารระเหยของผลไม้สด 5 สายพันธุ์

ที่ ¹	สารระเหย ²	RI ³		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ ⁴ (ng/g dry weight basis)					Threshold	OAV ⁵				
		HP-5	FFAP	Black Genoa	Black Mission	Brown Turkey	Hourai	Kadota	in water (ng/g)	Black Genoa	Black Mission	Brown Turkey	Hourai	Kadota
Hydrocarbons														
30	undecane ^B	1093	1097	19.82b	36.98a	24.16b	19.41b	13.70c	10000 ⁱ	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
37	dodecane ^B	1200	1200	33.12d	78.31b	101.79a	59.88c	43.20d	10000 ⁱ	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
22	<i>l</i> -limonene ^A	1033	1190	13.40a	7.46b	n.d.	7.59b	n.d.	10 ^h	1.34	< 1	-	< 1	-
43	tridecane ^B	1300	1300	29.32c	70.90a	62.37ab	51.87b	19.77c	n.a.	-	-	-	-	-
49	tetradecane ^B	1399	1400	9.40b	9.53b	10.09b	17.21a	8.34b	1000 ^j	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
81	α -cubebene ^B	1407	1449	10.08a	n.d.	n.d.	5.21b	n.d.	n.a.	-	-	-	-	-
46	α -copaene ^B	1389	1482	6.97ab	5.80b	n.d.	9.63a	3.68b	n.a.	-	-	-	-	-
50	α -gurjunene ^B	1427	1553	131.32a	124.28a	40.65b	44.51b	11.82c	n.a.	-	-	-	-	-
65	(<i>E</i>)- α -bergamotene ^B	1447	1571	10.75c	20.64a	15.09b	n.d.	n.d.	n.a.	-	-	-	-	-
51	β -caryophyllene ^A	1437	1588	840.16a	545.12b	64.34c	22.60c	9.05c	150 ^{d,f}	5.6	3.63	< 1	< 1	< 1
55	alloaromadendrene ^B	1480	1637	14.81a	3.76c	n.d.	12.30b	12.58b	n.a.	-	-	-	-	-
54	seychellene ^B	1467	n.d.	80.02a	69.71a	26.13b	25.52b	4.95c	n.a.	-	-	-	-	-

ตารางที่ 14 (ต่อ)

ที่ ¹	สารระเหย ²	RI ³		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ ⁴ (ng/g dry weight basis)					Threshold in water (ng/g)	OAV ⁵				
		HP-5	FFAP	Black	Black	Brown	Hourai	Kadota		Black	Black	Brown	Hourai	Kadota
				Genoa	Mission	Turkey				Genoa	Mission	Turkey		
98	α -humulene ^B	n.d.	1662	131.07a	25.35b	n.d.	n.d.	n.d.	390 ^{b,d,f}	< 1	< 1	-	-	-
56	germacrene-D ^B	1499	1702	140.26a	18.46b	n.d.	196.62a	2.24b	n.a.	-	-	-	-	-
69	α -muurolene ^B	1509	1717	17.35a	15.51a	n.d.	17.03a	4.47b	n.a.	-	-	-	-	-
52	β -himachalene ^B	1449	1744	48.48a	42.18a	n.d.	19.66b	n.d.	n.a.	-	-	-	-	-
57	δ -cadinene ^B	1535	1750	170.44a	58.62b	4.22c	175.35a	4.46b	n.a.	-	-	-	-	-
subtotal				1706.77	1132.61	348.84	684.39	138.26						
Ketones														
4	3-hydroxy-2-butanone ^B	708	1294	11.30a	n.d.	n.d.	n.d.	1.06b	14 ^b	< 1	-	-	-	< 1
16	2,3-octanedione ^B	984	1322	11.13b	12.92b	58.99a	10.08b	19.13b	n.a.	-	-	-	-	-
17	6-methyl-5-hepten-2-one ^B (2-methyl-2-hepten-6-one)	988	1336	17.03b	18.97b	27.40a	7.95c	19.25b	160 ^d	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
76	camphor ^A	1154	1514	11.25b	14.65b	25.57a	8.49b	13.72b	4600 ^m	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
29	(E, E)-3,5-octadiene-2-one ^B	1089	1577	7.01c	4.60d	3.24d	17.45b	20.50a	150 ^a	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1

ตารางที่ 14 (ต่อ)

ที่ ¹	สารระเหย ²	RI ³		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ ⁴ (ng/g dry weight basis)					Threshold in water (ng/g)	OAV ⁵				
		HP-5	FFAP	Black Genoa	Black Mission	Brown Turkey	Hourai	Kadota		Black Genoa	Black Mission	Brown Turkey	Hourai	Kadota
53	geranylacetone ^B	1457	n.d.	12.91a	14.26a	12.69a	n.d.	4.75b	60 ^{a,h}	< 1	< 1	< 1	-	< 1
	subtotal			70.63	65.40	127.89	43.97	78.41						
	<u>Alcohols</u>													
1	ethanol ^B	< 600	937	280.09a	87.13b	n.d.	126.93b	259.89a	4510 ^b	< 1	< 1	-	< 1	< 1
82	1-hexanol ^A	868	1353	14.86a	17.33a	n.d.	16.07a	15.99a	500 ^h	< 1	< 1	-	< 1	< 1
15	1-octen-3-ol ^A	980	1448	104.29a	51.84b	67.71b	34.76c	107.31a	1 ^a	104.29	51.84	67.71	34.76	107.31
86	1-heptanol ^B	964	1462	n.d.	n.d.	n.d.	10.71	n.d.	400 ^{j,m}	-	-	-	< 1	-
93	6-methyl-5-hepten-2-ol ^B	n.d.	1463	5.35b	14.08a	5.69b	6.80b	n.d.	200 ^k	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
21	2-ethylhexanol ^B	1024	1488	40.74b	27.69bc	78.37a	24.88bc	16.82c	300 ^p	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
31	<i>l</i> -linalool ^A	1095	1546	4.40c	24.06b	84.89a	7.11c	24.08b	1 ^d	4.40	24.06	84.89	7.11	24.08
61	1-octanol ^B	1070	1558	6.85bc	11.36ab	n.d.	18.33a	1.14c	100 ^g	< 1	< 1	-	< 1	< 1
67	<i>l</i> -(-)-menthol ^B	1180	1640	13.89a	4.51d	12.99ab	8.55c	10.11bc	100 ^r	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
99	1-nonanol ^B	n.d.	1659	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1.08	1000 ^m	-	-	-	-	< 1

ตารางที่ 14 (ต่อ)

ที่ ¹	สารระเหย ²	RI ³		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ ⁴ (ng/g dry weight basis)					Threshold in water (ng/g)	OAV ⁵				
		HP- 5	FFAP	Black Genoa	Black Mission	Brown Turkey	Hourai	Kadota		Black Genoa	Black Mission	Brown Turkey	Hourai	Kadota
23	benzenemethanol ^B	1038	1889	7.99d	60.56a	28.53b	15.87c	3.33d	620 ^o	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
34	benzeneethanol ^A	1118	1925	10.44a	8.05b	1.99cd	3.44c	0.77d	86 ^o	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
	subtotal			488.90	306.61	280.17	273.45	440.52						
	<u>Aldehydes</u>													
3	hexanal ^A	800	1084	93.59c	143.32b	359.18a	99.42c	96.70c	4.5 ^{a,e,h}	20.80	31.85	79.82	22.09	21.49
2	2-methyl-2-butenal ^B	741	1096	11.51b	16.99b	22.19ab	n.d.	29.15a	500 ^k	< 1	< 1	< 1	-	< 1
62	heptanal ^B	902	1185	10.06d	23.41b	46.97a	19.46bc	13.62cd	3 ^{a,e}	3.35	7.80	15.66	6.48	4.54
8	(E)-2-hexenal ^B	853	1220	212.84b	426.56a	475.85a	156.05bc	126.10c	17 ^{a,h}	12.52	25.09	27.99	9.18	7.42
19	octanal ^B	1004	1287	25.22bc	34.18bc	80.40a	37.38b	19.41c	0.7 ^a	36.03	48.83	114.86	53.40	27.73
13	(E)-2-heptenal ^B	957	1325	16.86ab	21.16a	6.80c	25.89a	9.13bc	13 ^{a,h}	1.30	1.63	< 1	1.99	< 1
32	nonanal ^A	1105	1395	71.00cd	103.72ab	132.25a	89.07bc	55.81d	1 ^a	71.00	103.72	132.25	89.07	55.81
26	(E)-2-octenal ^B	1060	1429	29.61a	30.44a	5.75b	34.72a	1.09b	3 ^{a,h}	9.87	10.15	1.92	11.57	< 1
20	(E, E)-2,4-heptadienal ^B	1012	1477	24.56a	23.20a	5.02b	28.77a	1.42b	56 ¹	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1

ตารางที่ 14 (ต่อ)

ที่ ¹	สารระเหย ²	RI ³		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ ⁴ (ng/g dry weight basis)					Threshold in water (ng/g)	OAV ⁵				
		HP-5	FFAP	Black Genoa	Black Mission	Brown Turkey	Hourai	Kadota		Black Genoa	Black Mission	Brown Turkey	Hourai	Kadota
25	benzeneacetaldehyde ^B	1048	n.d.	28.57a	12.07b	n.d.	n.d.	6.80c	4 ^a	7.14	3.02	-	-	1.70
39	decanal ^B	1207	1495	28.66c	40.03b	49.90a	22.29d	13.92e	30 ^{f,g}	< 1	1.33	1.66	< 1	< 1
77	2,4-heptadienal ^B	992	1502	46.02b	45.45b	63.99a	33.75c	2.54d	150 ^d	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
14	benzaldehyde ^A	965	1530	142.60b	310.93a	318.72a	7.92c	335.21a	350 ^{a,c,e,h}	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
35	(E)-2-nonenal ^B	1162	1543	20.20b	17.66bc	32.23a	22.52b	10.31c	0.08 ^{a,h}	252.5	220.75	402.88	281.50	128.88
78	(E,Z)-2,6-nonadienal ^B	1156	1587	15.00a	9.33b	10.39b	n.d.	9.67b	0.14 ^b	107.14	66.64	74.21	-	69.07
79	Z-citral ^A	1246	1685	10.35c	22.24b	44.68a	n.d.	n.d.	53 ^b	< 1	< 1	< 1	-	-
84	(E)-2-decenal ^B	1266	n.d.	n.d.	n.d.	25.77	n.d.	n.d.	0.3 ^d	-	-	85.90	-	-
40	(E,E)-2,4-nonadienal ^B	1218	1707	4.90d	13.83c	60.16a	18.99b	n.d.	0.01 ^a	490.00	1383.00	6016.00	1899.00	-
80	E-citral ^A	1275	1736	13.16c	24.07b	52.88a	n.d.	n.d.	32 ^h	< 1	< 1	1.65	-	-
64	cinnamaldehyde ^B	1280	2062	n.d.	28.99b	31.72a	n.d.	7.47c	750 ^o	-	< 1	< 1	-	< 1
subtotal				804.71	1347.58	1824.85	596.23	738.35						

ตารางที่ 14 (ต่อ)

ที่ ¹	สารระเหย ²	RI ³		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ ⁴ (ng/g dry weight basis)					Threshold in water (ng/g)	OAV ⁵				
		HP-5	FFAP	Black Genoa	Black Mission	Brown Turkey	Hourai	Kadota		Black Genoa	Black Mission	Brown Turkey	Hourai	Kadota
Esters														
100	ethyl butanoate ^B	n.d.	1033	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	6.13	0.18 ^b	-	-	-	-	34.06
63	methyl hexanoate ^B	924	1180	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	4.73	87 ^o	-	-	-	-	< 1
73	ethyl hexanoate ^A	999	1226	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	73.37	0.3 ^o	-	-	-	-	244.57
74	ethyl heptanoate ^B	1098	1326	6.77a	n.d.	n.d.	n.d.	7.24a	2 ^q	3.39	-	-	-	3.62
68	ethyl octanoate ^A	1197	1427	8.95a	n.d.	n.d.	n.d.	10.37a	15 ^b	< 1	-	-	-	< 1
89	ethyl benzoate ^B	1177	1667	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	36.18	100 ^o	-	-	-	-	< 1
38	methyl salicylate ^B	1202	1791	9.31b	6.45b	4.23b	22.60a	9.98b	40 ^h	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
87	ethyl 2-methylbutyrate ^B	849	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	24.78	0.3 ^c	-	-	-	-	82.60
88	ethyl-3-hydroxybutyrate ^B	935	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	5.80	n.a.	-	-	-	-	-
subtotal				25.03	6.45	4.23	22.60	178.58						
Acids														
92	hexanoic acid ^B	n.d.	1853	16.79a	13.53a	4.90b	12.22a	2.42b	1800 ^d	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1

ตารางที่ 14 (ต่อ)

ที่ ¹	สารระเหย ²	RI ³		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ ⁴ (ng/g dry weight basis)					Threshold in water (ng/g)	OAV ⁵				
		HP-5	FFAP	Black Genoa	Black Mission	Brown Turkey	Hourai	Kadota		Black Genoa	Black Mission	Brown Turkey	Hourai	Kadota
97	(E)-2-hexenoic acid ^B	n.d.	1993	n.d.	17.44a	2.62b	5.19b	n.d.	n.a.	-	-	-	-	-
	subtotal			16.79	30.97	7.52	17.41	2.42						
	Ethers													
75	1,8-cineole ^A	1037	1199	2.92b	6.35a	5.78ab	n.d.	3.37b	3 ^{f,g}	< 1	2.12	1.93	-	1.12
	subtotal			2.92	6.35	5.78	n.d.	3.37						
	Phenols													
83	guaiacol ^A	1096	1872	n.d.	5.06a	4.96a	n.d.	1.53b	3 ^{a,h}	-	1.69	1.65	-	< 1
94	2-methoxy-4-methylphenol ^B	n.d.	1971	11.46a	6.32b	5.87b	n.d.	3.07c	90 ⁿ	< 1	< 1	< 1	-	< 1
95	2-methylphenol ^A	n.d.	2017	n.d.	n.d.	2.03a	n.d.	0.93b	260 ^s	-	-	< 1	-	< 1
85	4-ethyl-2-methoxyphenol ^B	1287	2008	n.d.	n.d.	2.96a	n.d.	0.97b	50 ^t	-	-	< 1	-	< 1
	subtotal			11.46	11.38	15.82	n.d.	6.50						

ตารางที่ 14 (ต่อ)

ที่ ¹	สารระเหย ²	RI ³		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ ⁴ (ng/g dry weight basis)					Threshold	OAV ⁵					
		HP-5	FFAP	Black	Black	Brown	Hourai	Kadota	in water (ng/g)	Black	Black	Brown	Hourai	Kadota	
				Genoa	Mission	Turkey				Genoa	Mission	Turkey			
<u>Pyrans</u>															
74	psoralene ^B	1838	n.d.	7.54b	8.94b	13.65a	n.d.	n.d.	n.a.	-	-	-	-	-	
	subtotal			7.54	8.94	13.65	n.d.	n.d.							
	TOTAL			3134.75	2916.29	2628.75	1638.05	1586.41							

หมายเหตุ¹ ลำดับที่ของสารตรงกับโครมาโทแกรมในภาพผนวกที่ ง1, ง4, ง7, ง10, ง13, ง16, ง19, ง22, ง25, ง28

² สารระเหยภายใต้ A คือ ยืนยันสารด้วยค่า RI, MS และสารมาตรฐาน; B คือ ยืนยันสารด้วยค่า RI และ MS

³ retention index คำนวณโดยใช้สารมาตรฐานอัลเคน C₆-C₃₀

⁴ ความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารระเหยโดยอักษร a-e ที่ต่างกันในแต่ละแถว แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p≤0.05)

⁵ ค่า Odor Activity Value คำนวณได้จากความเข้มข้นของสารหารด้วยค่า threshold ของสารนั้น

ตารางที่ 14 (ต่อ)

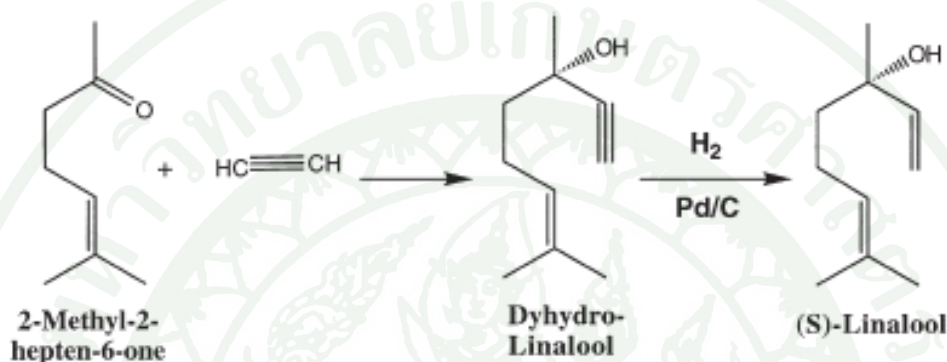
หมายเหตุ ^a ค่า threshold ในน้ำ จาก Buttery and Ling (1998); ^b Boonbumrung *et al.* (2001); ^c Buttery *et al.* (1982); ^d Tamura *et al.* (2001);
^e Buttery *et al.* (1994); ^f Mookdasanit *et al.* (2003); ^g Padrayuttawat *et al.* (1997); ^h Buttery *et al.* (1971); ⁱ Zoeteman *et al.* (1971);
^j Tamura *et al.* (1995); ^k Buttery *et al.* (1990); ^l Jensen *et al.* (1999); ^m Tamura *et al.* (1993); ⁿ Wasserman (1966); ^o Pyysalo *et al.* (1977);
^p Takahashi *et al.* (2002); ^q Teranishi *et al.* (1987); ^r Ottinger *et al.* (2001); ^s Rosen *et al.* (1962); ^t Semmelroch *et al.* (1995)

n.d. = not detected หมายถึง ตรวจไม่พบ

n.a. = not available หมายถึง ไม่พบข้อมูลสารชนิดนั้น

- หมายถึง ไม่สามารถหาค่าได้

จากรายงานของ Raguso and Pichersky (1999) กล่าวว่า linalool เกิดจาก 2-methyl-2-hepten-6-one ทำปฏิกิริยากับ acetylene โดยเกิดปฏิกิริยา ethynylation ซึ่งมีเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เกิดเป็น dehydrolinalool จากนั้น dehydrolinalool เกิด hydrogenation ตรงตำแหน่งที่เป็นพันธะสาม (triple bond) โดยมี palladium-carbon เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดเป็น linalool แสดงดังภาพที่ 29 และจากการทดลองพบ 2-methyl-2-hepten-6-one ในผลไม้ฝรั่งซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการเกิด linalool

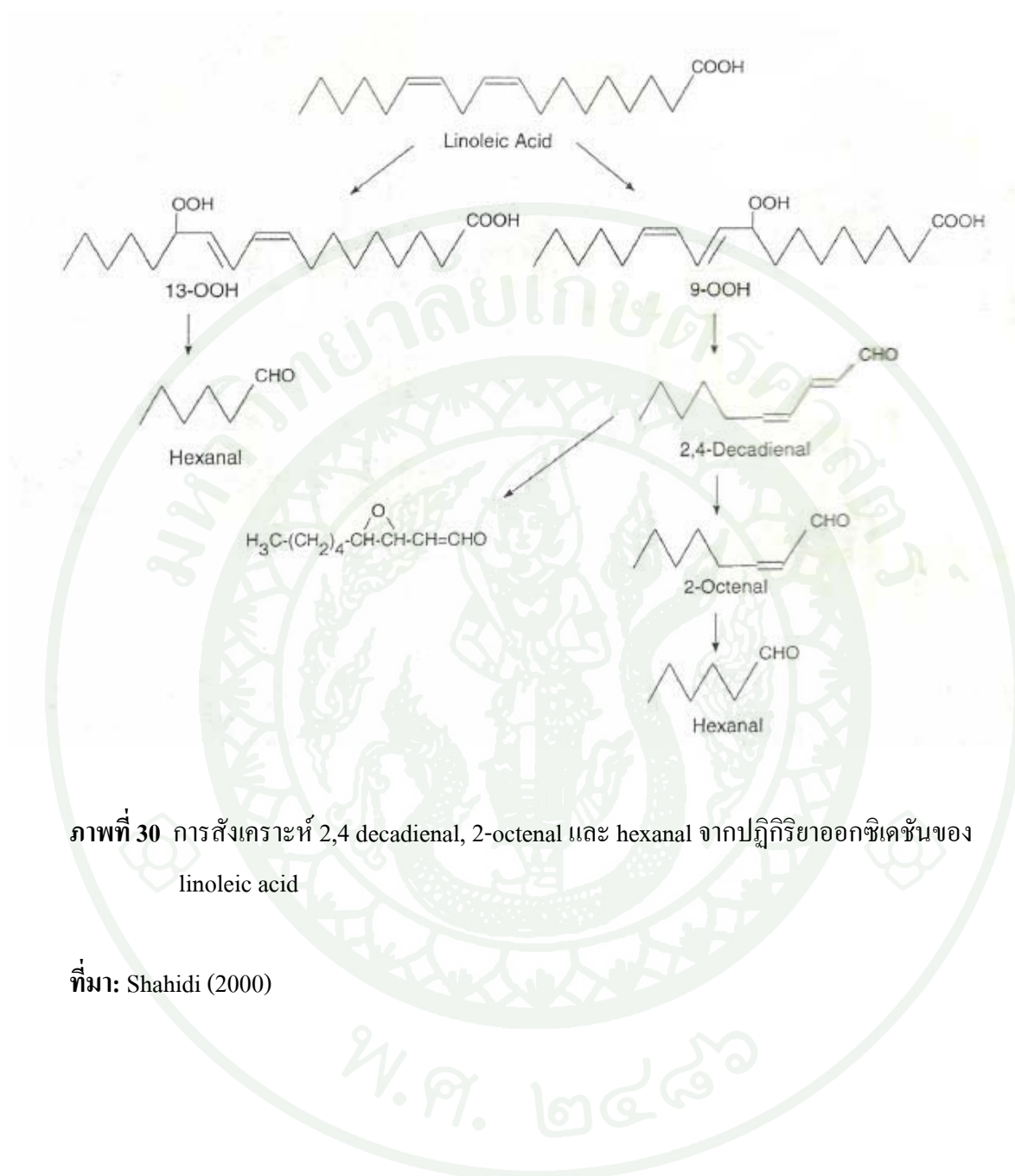


ภาพที่ 29 การสังเคราะห์ linalool จาก 2-methyl-2-hepten-6-one

ที่มา: Raguso and Pichersky (1999)

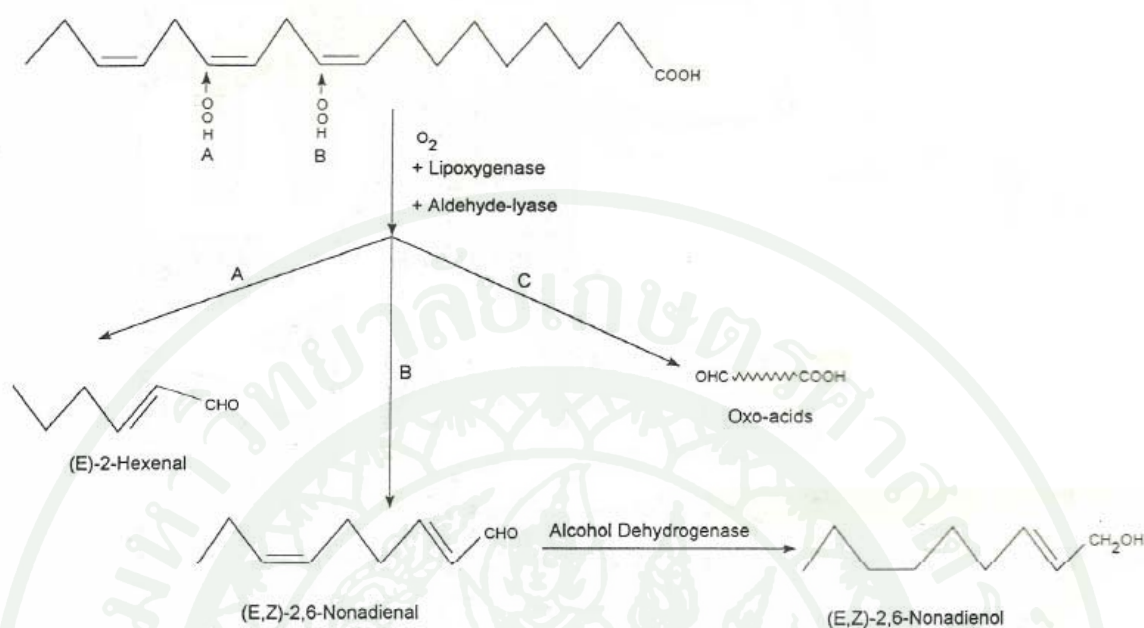
4.3 อัลดีไฮด์ (Aldehydes)

สารระเหยกลุ่มอัลดีไฮด์เกิดจากการออกซิเดชันของกรดอะมิโนและกรดไขมัน โดยกรดไขมันที่เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์อัลดีไฮด์เช่น linoleic acid และ linolenic acid ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแบบ autooxidation และมีเอนไซม์ fatty acid hydroperoxide lyase จากนั้นเกิดการแตกตัวของกรดไขมัน ซึ่งการแตกตัวของ linoleic acid (ภาพที่ 30) ทำให้เกิด hexanal, (*E*)-2-heptenal, (*E*)-2-octenal, (*E*)-2-nonenal และ (*E,E*)-2,4-decadienal และการแตกตัวของ linolenic acid (ภาพที่ 31) ทำให้เกิด (*E*)-2-hexenal, (*E,E*)-2,4-nonadienal และ (*E,Z*)-2,6-nonadienal (Buttery, 1981)



ภาพที่ 30 การสับเคราะห์ 2,4 decadienal, 2-octenal และ hexanal จากปฏิกิริยาออกซิเดชันของ linoleic acid

ที่มา: Shahidi (2000)



ภาพที่ 31 การสังเคราะห์ (E,Z)-2,6-nonadienal, (E)-2-hexenal จาก linolenic acid โดยปฏิกิริยา hydroperoxidation และมีเอนไซม์ lipoxygenase

ที่มา: Shahidi (2000)

จากการศึกษาปริมาณสารระเหยของผลไม้เนื้อฝักรังสดพบว่าผลไม้เนื้อฝักรังสดสายพันธุ์ Brown Turkey มีปริมาณสารระเหยกลุ่มนี้มากที่สุด รองลงมาคือสายพันธุ์ Black Mission, Black Genoa, Kadota และ Hourai ตามลำดับ สารระเหยกลุ่มอัลดีไฮด์ที่พบในผลไม้เนื้อฝักรังสดมีจำนวนและชนิดของสารระเหยแตกต่างกันแสดงดังตารางที่ 14 โดยสารที่สอดคล้องกับงานวิจัยอื่นได้แก่ (E)-2-heptenal, (E)-2-nonenal, (E)-2-decenal, (E,E)-2,4-nonadienal (Buttery *et al.*, 1981), (E,Z)-2,6-nonadienal (Oliveira *et al.*, 2010b), hexanal, heptanal, octanal, nonanal, (E)-2-hexenal, (E)-2-octenal, (E,E)-2,4-heptadienal (Buttery *et al.*, 1981; Oliveira *et al.*, 2010b) และ benzaldehyde (Gibernau *et al.*, 1997; Buttery *et al.*, 1981; Oliveira *et al.*, 2010b) ซึ่งสารระเหยในกลุ่มนี้ส่วนใหญ่มีค่า OAV มากกว่า 1 ได้แก่ (E,E)-2,4-nonadienal, (E,Z)-2,6-nonadienal, (E)-2-nonenal, benzeneacetaldehyde, (E)-2-octenal, nonanal, (E)-2-heptenal, (E)-2-hexenal, heptanal, hexanal และ octanal เป็นต้น แสดงว่าสารเหล่านี้เป็นสารระเหยสำคัญของผลไม้เนื้อฝักรังสด โดยรวมแล้วสารระเหยกลุ่มอัลดีไฮด์จะให้ลักษณะกลิ่นสด กลิ่นผลไม้ กลิ่นเขียว และกลิ่นหวาน เป็นต้น

(Leffingwell, 2004) (*E*)-2-hexenal ในผลมะเดื่อฝรั่งสดเป็นสารระเหยที่มีปริมาณมากที่สุดในทุกสายพันธุ์ แต่ถ้าพิจารณาค่า OAV พบว่า (*E,E*)-2,4-nonadienal มีค่า OAV มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสารระเหยชนิดอื่น โดย (*E,E*)-2,4-nonadienal พบใน 4 สายพันธุ์คือ Black Genoa, Black Mission, Brown Turkey และ Hourai ซึ่งทั้ง 4 สายพันธุ์นี้มีปริมาณแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้ (*E*)-2-decenal ซึ่งพบเฉพาะในสายพันธุ์ Brown Turkey นั้น สอดคล้องกับรายงานของ Buttery *et al.* (1981) ซึ่งสารนี้พบในผลมะเดื่อฝรั่งสายพันธุ์ Calimyrna

4.4 เอสเทอร์

สารระเหยกลุ่มเอสเทอร์เป็นสารประกอบหลักที่พบในผลไม้ โดยเอสเทอร์จะให้ลักษณะกลิ่นหอมผลไม้ (Tokitomo *et al.*, 2005) หรือกลิ่นหอมดอกไม้ (Whitaker, 2008) สารระเหยกลุ่มเอสเทอร์เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกรดคาร์บอกซิลิกกับแอลกอฮอล์ โดยทั่วไปกรดคาร์บอกซิลิกจะเกิดขึ้นเองในธรรมชาติ (Pérez and Sanz, 2008) จากตารางที่ 14 ผลมะเดื่อฝรั่งสายพันธุ์ Kadota มีปริมาณสารระเหยกลุ่มนี้มากที่สุด รองลงมาคือสายพันธุ์ Black Genoa, Hourai, Black Mission และ Brown Turkey ตามลำดับ สารระเหยกลุ่มเอสเทอร์ที่สอดคล้องกับงานวิจัยอื่นมี 4 ชนิด ได้แก่ ethyl butanoate (Jennings, 1977) ethyl hexanoate (Buttery *et al.*, 1981) methyl hexanoate และ methyl salicylate (Oliveira *et al.*, 2010b) นอกจากนี้ในการทดลองยังพบสารระเหยชนิดอื่นเช่น ethyl heptanoate และ ethyl octanoate เป็นต้น โดย ethyl heptanoate เป็นสารระเหยสำคัญของผลมะเดื่อฝรั่งสายพันธุ์ Black Genoa และ Kadota และ ethyl butanoate, ethyl hexanoate และ ethyl-2-methylbutyrate เป็นสารระเหยสำคัญของผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ Kadota ซึ่ง ethyl butanoate มีรายงานว่า เป็นสารระเหยให้กลิ่นสำคัญในแอปเปิ้ลพันธุ์ฟูจิ (Song, 2010) ในขณะที่ ethyl hexanoate เป็นสารระเหยให้กลิ่นสำคัญในแอปเปิ้ลพันธุ์ฟูจิ (Song, 2010) และ สับประรดสด (Preston *et al.*, 2003; Lamikanra and Richard, 2004; Elss *et al.*, 2005)

4.5 อีเทอร์

สารระเหยกลุ่มอีเทอร์ที่พบในผลมะเดื่อฝรั่งสดคือ 1,8-cineole (ตารางที่ 14) โดยสายพันธุ์ Black Mission มีปริมาณมากที่สุด รองลงมาคือ สายพันธุ์ Brown Turkey, Kadota และ Black Genoa ตามลำดับ ในขณะที่สายพันธุ์ Hourai ไม่พบสารระเหยชนิดนี้ 1,8-cineole ในผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ Black Mission, Brown Turkey และ Kadota มีค่า OAV มากกว่า 1

แสดงว่า 1,8-cineole เป็นสารระเหยสำคัญของผลมะเดื่อฝรั่งสด ซึ่งโดยทั่วไป 1,8-cineole เป็นสารระเหยให้กลิ่นสำคัญของพืชสมุนไพร เช่น ตะไคร้ (พิชามญช์, 2551) กระชาย (ชุดิวรรณ, 2551) กระเพรา (Barbieri *et al.*, 2004) เป็นต้น สำหรับลักษณะกลิ่นของ 1,8-cineole คือกลิ่นการบูร กลิ่นเย็น กลิ่นสดชื่น (Leffingwell, 2004)

4.6 ฟีนอล

ผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ Brown Turkey มีปริมาณสารระเหยกลุ่มฟีนอลมากที่สุด รองลงมาคือสายพันธุ์ Black Genoa, Black Mission และ Kadota ในขณะที่สายพันธุ์ Hourai ไม่พบสารระเหยกลุ่มนี้ (ตารางที่ 14) สารระเหยกลุ่มฟีนอลที่พบมีจำนวน 4 ชนิด ได้แก่ guaiacol, 2-methoxy-4-methylphenol, 2-methylphenol และ 4-ethyl-2-methoxyphenol โดย guaiacol ในสายพันธุ์ Black Mission และ Brown Turkey เป็นสารระเหยสำคัญ (OAV มากกว่า 1) ให้ลักษณะกลิ่นหวาน กลิ่นเครื่องเทศ กลิ่นควัน จากรายงานของ Bhat *et al.* (2010) กล่าวว่า guaiacol เป็นอนุพันธ์ของ skimic acid

4.7 สารระเหยอื่นๆ

นอกจากสารระเหยทั้ง 6 กลุ่มที่กล่าวมาข้างต้น ผลมะเดื่อฝรั่งสดยังพบสารระเหยกลุ่มคีโตน กรดอินทรีย์และไพแรน แต่สารเหล่านี้มีค่า OAV ต่ำกว่า 1 จึงมีแนวโน้มไม่เป็นสารระเหยสำคัญของผลมะเดื่อฝรั่งสด จากตารางที่ 14 ผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ Brown Turkey มีปริมาณสารระเหยกลุ่มคีโตนมากที่สุด โดยรวมแล้วสารระเหยกลุ่มคีโตนให้ลักษณะกลิ่นครีม กลิ่นผลไม้ สารระเหยกลุ่มคีโตนที่สอดคล้องกับงานวิจัยอื่นมี 4 ชนิด ได้แก่ 3-hydroxy-2-butanone, (*E,E*)-3,5-octadien-2-one, geranylacetone และ 6-methyl-5-hepten-2-one Jennings (1977) รายงานว่าพบ 3-hydroxy-2-butanone ในผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ Adriatic, Kadota, Black Mission และ Calimyrna และจากการทดลองพบสารนี้ในสายพันธุ์ Black Genoa และ Kadota โดยสายพันธุ์ Black Genoa มีปริมาณมากกว่าสายพันธุ์ Kadota ($p \leq 0.05$) ในขณะที่สายพันธุ์ Black Mission ไม่พบ 3-hydroxy-2-butanone Buttery *et al.* (1981) กล่าวว่าในผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ Calimyrna มี (*E,E*)-3,5-octadien-2-one และ geranylacetone จากการทดลองพบ (*E,E*)-3,5-octadien-2-one ในผลมะเดื่อฝรั่งสดทุกสายพันธุ์ โดยสายพันธุ์ Kadota มีปริมาณมากที่สุด ($p \leq 0.05$) สำหรับ geranylacetone ไม่พบในสายพันธุ์ Hourai ในขณะที่สายพันธุ์ Black Genoa, Black Mission

และ Brown Turkey มีปริมาณไม่แตกต่างกัน Oliveira *et al.* (2010b) พบสาร 6-methyl-5-hepten-2-one ในผลมะเดื่อฝรั่งสายพันธุ์ Pingo de Mel, Branca Tradicional, Borrásota Tradicional และ Verbera Preta ซึ่งสอดคล้องกับผลมะเดื่อฝรั่งทั้ง 5 สายพันธุ์ที่ศึกษาในการทดลองนี้

สำหรับสารระเหยกลุ่มกรดอินทรีย์พบมากที่สุดในสายพันธุ์ Black Mission รองลงมาคือสายพันธุ์ Hourai, Black Genoa, Brown Turkey และ Kadota ตามลำดับ (ตารางที่ 14) สารระเหยกลุ่มกรดอินทรีย์ที่พบ คือ hexanoic acid และ (*E*)-2-hexenoic acid แต่จากรายงานของ Buttery *et al.* (1981); Näf *et al.* (1995) ไม่พบ hexanoic acid ในผลมะเดื่อฝรั่งสดแต่พบในผลมะเดื่อฝรั่งอบแห้ง ซึ่งผลมะเดื่อฝรั่งสายพันธุ์ Black Genoa มี hexanoic acid มากที่สุด และสายพันธุ์ Black Mission มี (*E*)-2-hexenoic acid มากที่สุด โดยรวมแล้วสารสองชนิดนี้ให้ลักษณะกลิ่นไขมัน กลิ่นชีส ส่วนสารระเหยกลุ่มไพแรนเป็นสารระเหยที่ให้ลักษณะกลิ่นคล้ายคาราเมล กลิ่นหวาน กลิ่นผลไม้ (Mottram, 2007) จากตารางที่ 14 พบสารระเหยกลุ่มไพแรน 1 ชนิด คือ psoralene ในผลมะเดื่อฝรั่งสด 3 สายพันธุ์ ซึ่งสายพันธุ์ Brown Turkey มีปริมาณมากที่สุด ($p \leq 0.05$) รองลงมาคือสายพันธุ์ Black Mission และ Black Genoa ตามลำดับ จากงานวิจัยของ Oliveira *et al.* (2010b) รายงานว่า psoralene พบในใบมะเดื่อฝรั่งแต่ไม่พบในผลมะเดื่อฝรั่งสด

5. การศึกษาผลของการทำแห้งต่อสารระเหยของผลมะเดื่อฝรั่ง

การศึกษาผลของการทำแห้งต่อสารระเหยของผลมะเดื่อฝรั่ง จากการทดลองได้ทำแห้งผลมะเดื่อฝรั่ง 2 วิธี คือ การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying) ผลมะเดื่อฝรั่งสายพันธุ์ Black Genoa, Black Mission, Brown Turkey, Hourai และ Kadota และการทำแห้งผลมะเดื่อฝรั่งสายพันธุ์ Black Genoa, Black Mission, Hourai และ Kadota ด้วยตู้อบลมร้อน (hot air oven) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 ชั่วโมง สำหรับผลมะเดื่อฝรั่งอบแห้งสายพันธุ์ Brown Turkey เป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้าจากจังหวัดพิจิตร จากนั้นทำการสกัดสารระเหยด้วยวิธี solid-phase microextraction (SPME) พบว่าผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนไม่พบสารระเหยกลุ่มอีเทอร์ สำหรับผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนพบสารระเหยกลุ่มแอลกอฮอล์ ฟูแรนและสารประกอบซัลเฟอร์ ซึ่งไม่พบในผลมะเดื่อฝรั่งสด พิจารณาสารระเหยสำคัญของผลมะเดื่อฝรั่งที่ผ่านการทำแห้งจากค่า odor activity value (OAV) ที่มีค่ามากกว่า 1 การเปลี่ยนแปลงสารระเหยสำคัญของผลมะเดื่อฝรั่งแต่ละสายพันธุ์แสดงดังตารางที่ 15-19

5.1 ไฮโดรคาร์บอน

จากการศึกษาสารระเหยกลุ่มไฮโดรคาร์บอนของผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน พบว่าผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งสายพันธุ์ Black Mission มีปริมาณสารระเหยกลุ่มนี้มากที่สุด รองลงมาคือสายพันธุ์ Black Genoa, Brown Turkey, Hourai และ Kadota ตามลำดับ สำหรับผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนสายพันธุ์ Black Genoa มีปริมาณสารระเหยกลุ่มนี้มากที่สุด รองลงมาคือสายพันธุ์ Black Mission, Brown Turkey, Hourai และ Kadota ตามลำดับ (ตารางผนวกที่ ง1) โดยผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนมีปริมาณสารระเหยลดลงมากกว่าผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของสารระเหยสำคัญ พบว่า *l*-limonene และ β -caryophyllene ของสายพันธุ์ Black Genoa และ Black Mission มีแนวโน้มลดลงเมื่อผ่านการทำแห้งทั้ง 2 วิธี (ตารางที่ 15-16) ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากความร้อน Farnworth *et al.* (2001) รายงานว่าน้ำส้มที่ได้รับความร้อนโดยการพาสเจอร์ไรซ์ (pasteurization) มีผลทำให้ limonene ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำส้มสด นอกจากนี้ ความร้อนแล้วสภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำก็มีผลต่อการลดลงของ *l*-limonene เช่นกัน กล่าวคือ น้ำมะนาวเข้มข้นที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -12 องศาเซลเซียสมีผลทำให้ *l*-limonene ลดลง (Skrede, 1996) สำหรับการลดลงของ β -caryophyllene อาจเนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในสภาวะที่มีออกซิเจน รังสีอัลตราไวโอเลตและอนุมูลอิสระทำให้ caryophyllene เกิดออกซิเดชันเป็น caryophyllene oxide (Sköld *et al.*, 2006)

5.2 คีโตน

จากการศึกษาผลของการทำแห้งต่อสารระเหยกลุ่มคีโตนของผลมะเดื่อฝรั่ง พบว่าผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งสายพันธุ์ Black Genoa มีปริมาณสารระเหยกลุ่มคีโตนมากที่สุด รองลงมาคือสายพันธุ์ Kadota, Black Mission, Hourai และ Brown-Turkey ตามลำดับ (ตารางผนวกที่ ง1) เมื่อพิจารณาค่า OAV พบว่า 3-hydroxy-2-butanone ของสายพันธุ์ Black Genoa มีค่ามากกว่า 1 โดยสารนี้ให้ลักษณะกลิ่นครีม กลิ่นเนยและกลิ่นโยเกิร์ต (Leffingwell, 2004) สำหรับผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนสายพันธุ์ Black Mission มีปริมาณสารระเหยกลุ่มนี้มากที่สุด รองลงมาคือสายพันธุ์ Kadota, Black Genoa, Brown-Turkey และ Hourai ตามลำดับ ซึ่ง 3-hydroxy-2-butanone และ β -damascenone ของผลมะเดื่อฝรั่งทั้ง 5 สายพันธุ์ มีค่า OAV มากกว่า 1 (ตารางที่ 15-19) แสดงว่าสาร 2 ชนิดนี้มีแนวโน้มเป็นสารระเหยสำคัญ โดย β -damascenone

ตารางที่ 15 สารระเหยสำคัญของผลมะเดื่อฝรั่งสายพันธุ์ Black Genoa

ที่ ¹	สารระเหย	RI ²		ลักษณะกลิ่น ³	ความเข้มข้นสัมพัทธ์ ⁴ (ng/g dry weight basis)			Threshold	OAV ⁵		
		HP-5	FFAP		fresh	freeze dried	oven dried	in water	fresh	freeze dried	oven dried
								(ng/g)			
<u>Hydrocarbons</u>											
22	<i>l</i> -limonene	1033	1190	fresh, sweet, hydrocarbon and orange citrus odor	13.40a	n.d.	7.41b	10 ^h	1.34	-	<1
51	β -caryophyllene	1437	1588	woody, spicy, dry odor; weak woody, slight bitter taste	840.16a	106.61c	263.82b	150 ^{d,f}	5.6	<1	1.76
<u>Ketones</u>											
4	3-hydroxy-2-butanone	708	1294	creamy-buttery, yogurt-like odor and flavor	11.30c	30.28b	89.69a	14 ^b	<1	2.16	6.41
48	(<i>E</i>)- β -damascenone	1394	1819	fruity-floral with apple-plum-raisin, tea, rose, tobacco notes	n.d.	n.d.	16.30	0.0013 ^b	-	-	12538.46
<u>Alcohols</u>											
15	1-octen-3-ol	980	1448	very strong, sweet, earthy mushroom odor and taste	104.29a	7.76c	13.54b	1 ^a	104.29	7.76	13.54

ตารางที่ 15 (ต่อ)

ที่ ¹	สารระเหย	RI ²		ลักษณะกลิ่น ³	ความเข้มข้นสัมพัทธ์ ⁴ (ng/g dry weight basis)			Threshold in water	OAV ⁵		
		HP-5	FFAP		fresh	freeze dried	oven dried		(ng/g)	fresh	freeze dried
31	<i>l</i> -linalool	1095	1546	floral-woody odor with faint citrus note; sweet floral taste	4.40b	16.54a	4.46b	1 ^d	4.40	16.54	4.46
<u>Aldehydes</u>											
6	hexanal	800	1084	strong, penetrating, fatty-green, grassy unripe fruit odor	93.59a	24.54b	18.99b	4.5 ^{a,e,h}	20.80	5.45	4.22
62	heptanal	902	1185	fatty; in dilution sweet, fruity, nutty, fatty-cognac like	10.06	n.d.	n.d.	3 ^{a,e}	3.35	-	-
8	(<i>E</i>)-2-hexenal	853	1220	green, fruity, fresh, apple and woody with leafy and grassy note	212.84a	43.61b	2.41c	17 ^{a,h}	12.52	2.57	<1
19	octanal	1004	1287	fatty-fruity odor; sweet, citrus-orange-fatty taste	25.22a	n.d.	8.36b	0.7 ^a	36.03	-	11.94
13	(<i>E</i>)-2-heptenal	957	1325	intense green, sweet, fresh fruity apple skin nuances at 4 ppm	16.86a	3.67b	13.66a	13 ^{a,h}	1.30	<1	1.05

ตารางที่ 15 (ต่อ)

ที่ ¹	สารระเหย	RI ²		ลักษณะกลิ่น ³	ความเข้มข้นสัมพัทธ์ ⁴ (ng/g dry weight basis)			Threshold in water	OAV ⁵		
		HP-5	FFAP		fresh	freeze dried	oven dried		(ng/g)	fresh	freeze dried
32	nonanal	1105	1395	fatty-floral-rose, waxy odor; citrus taste in dilution	71.00a	56.46b	24.08c	1 ^a	71.00	56.46	24.08
26	(E)-2-octenal	1060	1429	peculiar fatty, green-grassy-leafy odor; fatty-green taste	29.61a	n.d.	16.69a	3 ^{a,h}	9.87	-	5.56
25	benzeneacetaldehyde	1048	n.d.	strong floral green odor (rose-hyacinth); floral almond taste	28.57b	10.78c	43.44a	4 ^a	7.14	2.70	10.86
35	(E)-2-nonenal	1162	1543	strong, fatty-orris odor; in dilution, waxy-cucumber-melon	20.20a	n.d.	6.04b	0.08 ^{a,h}	252.50	-	75.50
78	(E,Z)-2,6-nonadienal	1156	1587	odor like cucumber, green melon or violet leaf in dilution	15.00	n.d.	n.d.	0.14 ^b	107.14	-	-
41	β-cyclocitral	1230	1620	sweet, mild green, grassy floral hay-like odor	n.d.	n.d.	5.49	5 ^g	-	-	1.10
40	(E,E)-2,4-nonadienal	1218	1707	strong fatty type odor and taste; chicken fat on dilution	4.90a	n.d.	2.54b	0.01 ^a	490.00	-	254.00

ตารางที่ 15 (ต่อ)

ที่ ¹	สารระเหย	RI ²		ลักษณะกลิ่น ³	ความเข้มข้นสัมพัทธ์ ⁴ (ng/g dry weight basis)			Threshold	OAV ⁵		
		HP-5	FFAP		fresh	freeze dried	oven dried	in water	fresh	freeze dried	oven dried
								(ng/g)			
44	(<i>E,E</i>)-2,4-decadienal	1312	1814	strong, deep fat flavor; fatty-citrus notes	n.d.	n.d.	6.50	0.07 ^{a,h}	-	-	92.86
<u>Esters</u>											
74	ethyl heptanoate	1098	1326	strong, fruity, winey, cognac-like odor and taste	6.77	n.d.	n.d.	2 ^c	3.39	-	-
59	methyl palmitate	1928	2212	faint, waxy, sweet odor; nearly tasteless; creamy mouthfeel	n.d.	n.d.	7.90	> 2 ⁱ	-	-	3.95
<u>Phenols</u>											
45	2-methoxy-4-vinylphenol	1321	2223	sweet, spicy, clove-like, somewhat smoky odor; sweet taste	n.d.	n.d.	6.57	3 ^{a,e}	-	-	2.19
<u>Furans</u>											
18	2-pentylfuran	993	1221	ethereal rum; earthy beany with vegetable notes	n.d.	n.d.	29.10	6 ^{a,h}	-	-	4.85

ตารางที่ 15 (ต่อ)

ที่ ¹	สารระเหย	RI ²		ลักษณะกลิ่น ³	ความเข้มข้นสัมพัทธ์ ⁴ (ng/g dry weight basis)			Threshold	OAV ⁵		
		HP-5	FFAP		fresh	freeze dried	oven dried	in water	fresh	freeze dried	oven dried
								(ng/g)			
<u>Sulfur compounds</u>											
10	methional	900	n.d.	onion, meat-like odor; in dilution – potato/ potato chip aroma	n.d.	n.d.	4.10	0.2 ^{a,h}	-	-	20.50

หมายเหตุ ¹ ลำดับที่ของสารตรงกับโครมาโทแกรมในภาพผนวกที่ ง1-ง6

² retention index คำนวณโดยใช้สารมาตรฐานอัลเคน C₆-C₃₀

³ ลักษณะกลิ่นจากฐานข้อมูล Flavor-Base'04 ของ Leffingwell (2004)

⁴ ความเข้มข้นของสารระเหยโดยอักษร a-c ที่ต่างกันในแนวนอน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p≤0.05)

⁵ ค่า Odor Activity Value คำนวณได้จากความเข้มข้นของสารหารด้วยค่า threshold ของสารนั้น

^a ค่า threshold ในน้ำ จาก Buttery and Ling (1998); ^b Boonbumrung *et al.* (2001); ^c Teranishi *et al.* (1987); ^d Tamura *et al.* (2001);

^e Buttery *et al.* (1994); ^f Mookdasanit *et al.* (2003); ^g Buttery *et al.* (1990); ^h Buttery *et al.* (1971); ⁱ Buttery *et al.* (1988);

n.d. หมายถึง ไม่พบสารนั้น

- หมายถึง ไม่สามารถหาค่าได้

ตารางที่ 16 สารระเหยสำคัญของผลมะเดื่อฝรั่งสายพันธุ์ Black Mission

ที่ ¹	สารระเหย	RI ²		ลักษณะกลิ่น ³	ความเข้มข้นสัมพัทธ์ ⁴ (ng/g dry weight basis)			Threshold	OAV ⁵		
		HP-5	FFAP		fresh	freeze dried	oven dried	in water	fresh	freeze dried	oven dried
								(ng/g)			
Hydrocarbons											
51	β -caryophyllene	1437	1588	woody, spicy, dry odor; weak woody, slight bitter taste	545.12a	161.52b	144.81b	150 ^{d,f}	3.63	1.08	<1
Ketones											
4	3-hydroxy-2-butanone	708	1294	creamy-buttery, yogurt-like odor and flavor	n.d.	8.21b	187.05a	14 ^b	-	<1	13.36
48	(E)- β -damascenone	1394	1819	fruity-floral with apple-plum-raisin, tea, rose, tobacco notes	n.d.	n.d.	13.11	0.0013 ^b	-	-	10084.62
Alcohols											
15	1-octen-3-ol	980	1448	very strong, sweet, earthy mushroom odor and taste	51.84a	12.83b	13.76b	1 ^a	51.84	12.83	13.76
31	<i>l</i> -linalool	1095	1546	floral-woody odor with faint citrus note; sweet floral taste	24.06a	25.79a	13.92b	1 ^d	24.06	25.79	13.92

ตารางที่ 16 (ต่อ)

ที่ ¹	สารระเหย	RI ²		ลักษณะกลิ่น ³	ความเข้มข้นสัมพัทธ์ ⁴ (ng/g dry weight basis)			Threshold in water (ng/g)	OAV ⁵		
		HP-5	FFAP		fresh	freeze dried	oven dried		fresh	freeze dried	oven dried
		Aldehydes									
3	2-methyl butanal	654	906	-	n.d.	n.d.	38.25	3 ^{a,e}	-	-	12.75
2	3-methyl butanal	649	911	-	n.d.	n.d.	62.50	0.2 ^{a,e}	-	-	312.50
6	hexanal	800	1084	strong, penetrating, fatty-green, grassy unripe fruit odor	143.32a	48.65b	23.23c	4.5 ^{a,e,h}	31.85	10.81	5.16
62	heptanal	902	1185	fatty; in dilution sweet, fruity, nutty, fatty-cognac like	23.41a	10.86b	4.80c	3 ^{a,e}	7.80	3.62	1.60
8	(E)-2-hexenal	853	1220	green, fruity, fresh, apple and woody with leafy and grassy note	426.56a	60.48b	3.12c	17 ^{a,h}	25.09	3.56	<1
19	octanal	1004	1287	fatty-fruity odor; sweet, citrus-orange-fatty taste	34.18a	11.59b	7.85c	0.7 ^a	48.83	16.56	11.21
13	(E)-2-heptenal	957	1325	intense green, sweet, fresh fruity apple skin nuances at 4 ppm	21.16a	5.87b	15.83a	13 ^{a,h}	1.63	<1	1.22

ตารางที่ 16 (ต่อ)

ที่ ¹	สารระเหย	RI ²		ลักษณะกลิ่น ³	ความเข้มข้นสัมพัทธ์ ⁴ (ng/g dry weight basis)			Threshold in water (ng/g)	OAV ⁵		
		HP-5	FFAP		fresh	freeze dried	oven dried		fresh	freeze dried	oven dried
32	nonanal	1105	1395	fatty-floral-rose, waxy odor; citrus taste in dilution	103.72a	79.62b	19.41c	1 ^a	103.72	79.62	19.41
26	(E)-2-octenal	1060	1429	peculiar fatty, green-grassy-leafy odor; fatty-green taste	30.44a	n.d.	13.21b	3 ^{a,h}	10.15	-	4.40
25	benzeneacetaldehyde	1048	n.d.	strong floral green odor (rose-hyacinth); floral almond taste	12.07b	16.81b	44.16a	4 ^a	3.02	4.20	11.04
39	decanal	1207	1495	strong, penetrating, sweet, orange peel odor; citrus taste	40.03a	25.82b	17.98c	30 ^{c,f}	1.33	<1	<1
35	(E)-2-nonenal	1162	1543	strong, fatty-orris odor; in dilution, waxy-cucumber-melon	17.66a	n.d.	5.19b	0.08 ^{a,h}	220.75	-	64.88
78	(E,Z)-2,6-nonadienal	1156	1587	odor like cucumber, green melon or violet leaf in dilution	9.33	n.d.	n.d.	0.14 ^b	66.64	-	-

ตารางที่ 16 (ต่อ)

ที่ ¹	สารระเหย	RI ²		ลักษณะกลิ่น ³	ความเข้มข้นสัมพัทธ์ ⁴ (ng/g dry weight basis)			Threshold	OAV ⁵		
		HP-5	FFAP		fresh	freeze dried	oven dried	in water	fresh	freeze dried	oven dried
								(ng/g)			
41	β-cyclocitral	1230	1620	sweet, mild green, grassy floral hay-like odor	n.d.	n.d.	7.84	5 ^g	-	-	1.57
40	(E,E)-2,4-nonadienal	1218	1707	strong fatty type odor and taste; chicken fat on dilution	13.83	n.d.	n.d.	0.01 ^a	1383.00	-	-
44	(E,E)-2,4-decadienal	1312	1814	strong, deep fat flavor; fatty-citrus notes	n.d.	n.d.	4.83	0.07 ^{a,h}	-	-	69.00
<u>Esters</u>											
59	methyl palmitate	1928	2212	faint, waxy, sweet odor; nearly tasteless; creamy mouthfeel	n.d.	n.d.	8.22	> 2 ⁱ	-	-	4.11
<u>Ethers</u>											
75	1,8-cineole	1037	1199	strong, camphoraceous, cool, fresh odor	6.35	n.d.	n.d.	3 ^{c,f}	2.12	-	-

ตารางที่ 16 (ต่อ)

ที่ ¹	สารระเหย	RI ²		ลักษณะกลิ่น ³	ความเข้มข้นสัมพัทธ์ ⁴ (ng/g dry weight basis)			Threshold in water (ng/g)	OAV ⁵		
		HP-5	FFAP		fresh	freeze dried	oven dried		fresh	freeze dried	oven dried
<u>Phenols</u>											
83	guaiacol	1096	1872	strong, sweet, smoke-like, faintly medicinal, vanilla notes	5.06b	13.76a	n.d.	3 ^{a,h}	1.69	4.59	-
45	2-methoxy-4-vinylphenol	1321	2223	sweet, spicy, clove-like, somewhat smoky odor; sweet taste	n.d.	n.d.	3.83	3 ^{a,e}	-	-	1.28
<u>Furans</u>											
18	2-pentylfuran	993	1221	ethereal rum; earthy beany with vegetable notes	n.d.	n.d.	43.72	6 ^{a,h}	-	-	7.29
<u>Sulfur compounds</u>											
10	methional	900	n.d.	onion, meat-like odor; in dilution – potato/potato chip aroma	n.d.	n.d.	4.90	0.2 ^{a,h}	-	-	24.50

ตารางที่ 16 (ต่อ)

หมายเหตุ ¹ ลำดับที่ของสารตรงกับโครมาโทแกรมในภาพผนวกที่ 7-12

² retention index คำนวณโดยใช้สารมาตรฐานอัลเคน C₆-C₃₀

³ ลักษณะกลิ่นจากฐานข้อมูล Flavor-Base'04 ของ Leffingwell (2004)

⁴ ความเข้มข้นของสารระเหยโดยอักษร a-c ที่ต่างกันในแนวนอน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

⁵ ค่า Odor Activity Value คำนวณได้จากความเข้มข้นของสารหารด้วยค่า threshold ของสารนั้น

^a ค่า threshold ในน้ำ จาก Buttery and Ling (1998); ^b Boonbumrung *et al.* (2001); ^c Padrayuttawat *et al.* (1997); ^d Tamura *et al.* (2001);

^e Buttery *et al.* (1994); ^f Mookdasanit *et al.* (2003); ^g Buttery *et al.* (1990); ^h Buttery *et al.* (1971); ⁱ Buttery *et al.* (1988)

n.d. หมายถึง ไม่พบสารนั้น

- หมายถึง ไม่สามารถหาค่าได้

ตารางที่ 17 สารระเหยสำคัญของผลมะเดื่อฝรั่งสายพันธุ์ Brown Turkey

ที่ ¹	สารระเหย	RI ²		ลักษณะกลิ่น ³	ความเข้มข้นสัมพัทธ์ ⁴ (ng/g dry weight basis)			Threshold	OAV ⁵		
		HP-5	FFAP		fresh	freeze dried	oven dried	in water	fresh	freeze dried	oven dried
								(ng/g)			
<u>Ketones</u>											
4	3-hydroxy-2-butanone	708	1294	creamy-buttery, yogurt-like odor and flavor	n.d.	n.d.	14.90	14 ^b	-	-	1.06
48	(E)-β-damascenone	1394	1819	fruity-floral with apple-plum-raisin, tea, rose, tobacco notes	n.d.	n.d.	31.94	0.0013 ^b	-	-	24569.23
<u>Alcohols</u>											
15	1-octen-3-ol	980	1448	very strong, sweet, earthy mushroom odor and taste	67.71a	7.38b	8.50b	1 ^a	67.71	7.38	8.50
31	l-linalool	1095	1546	floral-woody odor with faint citrus note; sweet floral taste	84.89a	43.38b	n.d.	1 ^d	84.89	43.38	-
<u>Aldehydes</u>											
3	2-methyl butanal	654	906	-	n.d.	n.d.	41.46	3 ^{a,c}	-	-	13.82
2	3-methyl butanal	649	911	-	n.d.	n.d.	85.46	0.2 ^{a,c}	-	-	427.30

ตารางที่ 17 (ต่อ)

ที่ ¹	สารระเหย	RI ²		ลักษณะกลิ่น ³	ความเข้มข้นสัมพัทธ์ ⁴ (ng/g dry weight basis)			Threshold	OAV ⁵		
		HP-5	FFAP		fresh	freeze dried	oven dried	in water	fresh	freeze dried	oven dried
								(ng/g)			
66	pentanal	697	985	strong, acrid, pungent odor; chocolate & nut-like below 10 ppm	n.d.	n.d.	17.55a	12 ⁱ	-	-	1.46
6	hexanal	800	1084	strong, penetrating, fatty-green, grassy unripe fruit odor	359.18a	11.59b	25.11b	4.5 ^{a,e,h}	79.82	2.58	5.58
62	heptanal	902	1185	fatty; in dilution sweet, fruity, nutty, fatty-cognac like	46.97a	5.69b	8.03b	3 ^{a,e}	15.66	1.90	2.68
8	(E)-2-hexenal	853	1220	green, fruity, fresh, apple and woody with leafy and grassy note	475.85a	33.04b	2.25b	17 ^{a,h}	27.99	1.94	<1
19	octanal	1004	1287	fatty-fruity odor; sweet, citrus-orange-fatty taste	80.40a	7.75c	20.28b	0.7 ^a	114.86	11.07	28.97
13	(E)-2-heptenal	957	1325	intense green, sweet, fresh fruity apple skin nuances at 4 ppm	6.80b	n.d.	30.91a	13 ^{a,h}	<1	-	2.38

ตารางที่ 17 (ต่อ)

ที่ ¹	สารระเหย	RI ²		ลักษณะกลิ่น ³	ความเข้มข้นสัมพัทธ์ ⁴ (ng/g dry weight basis)			Threshold in water (ng/g)	OAV ⁵		
		HP-5	FFAP		fresh	freeze dried	oven dried		fresh	freeze dried	oven dried
32	nonanal	1105	1395	fatty-floral-rose, waxy odor; citrus taste in dilution	132.25a	69.50b	39.38c	1 ^a	132.25	69.50	39.38
26	(E)-2-octenal	1060	1429	peculiar fatty, green-grassy-leafy odor; fatty-green taste	5.75b	n.d.	7.45a	3 ^{a,h}	1.92	-	2.48
25	benzeneacetaldehyde	1048	n.d.	strong floral green odor (rose-hyacinth); floral almond taste	n.d.	n.d.	46.70	4 ^a	-	-	11.68
39	decanal	1207	1495	strong, penetrating, sweet, orange peel odor; citrus taste	49.90a	26.76b	18.91c	30 ^{c,f}	1.66	<1	<1
35	(E)-2-nonenal	1162	1543	strong, fatty-orris odor; in dilution, waxy-cucumber-melon	32.23a	n.d.	7.65b	0.08 ^{a,h}	402.88	-	95.63
78	(E,Z)-2,6-nonadienal	1156	1587	odor like cucumber, green melon or violet leaf in dilution	10.39	n.d.	n.d.	0.14 ^b	74.21	-	-

ตารางที่ 17 (ต่อ)

ที่ ¹	สารระเหย	RI ²		ลักษณะกลิ่น ³	ความเข้มข้นสัมพัทธ์ ⁴ (ng/g dry weight basis)			Threshold in water (ng/g)	OAV ⁵		
		HP-5	FFAP		fresh	freeze dried	oven dried		fresh	freeze dried	oven dried
41	β-cyclocitral	1230	1620	sweet, mild green, grassy floral hay-like odor	n.d.	n.d.	10.18	5 ^g	-	-	2.04
84	(E)-2-decenal	1266	n.d.	waxy, fatty, earthy, coriander, mushroom, green, pork fat note	25.77	n.d.	n.d.	0.3 ^d	85.90	-	-
40	(E,E)-2,4-nonadienal	1218	1707	strong fatty type odor and taste; chicken fat on dilution	60.16a	n.d.	2.49b	0.01 ^a	6016.00	-	249.00
80	E -citral	1275	1736	powerful lemon note	52.88a	4.65b	n.d.	32 ^h	1.65	<1	-
44	(E,E)-2,4-decadienal	1312	1814	strong, deep fat flavor; fatty-citrus notes	n.d.	n.d.	1.21	0.07 ^{a,h}	-	-	17.29
<u>Esters</u>											
59	methyl palmitate	1928	2212	faint, waxy, sweet odor; nearly tasteless; creamy mouthfeel	n.d.	n.d.	5.58	> 2 ⁱ	-	-	2.79
<u>Ethers</u>											
75	1,8-cineole	1037	1199	strong, camphoraceous, cool, fresh odor	5.78	n.d.	n.d.	3 ^{c,f}	1.93	-	-

ตารางที่ 17 (ต่อ)

ที่ ¹	สารระเหย	RI ²		ลักษณะกลิ่น ³	ความเข้มข้นสัมพัทธ์ ⁴ (ng/g dry weight basis)			Threshold in water (ng/g)	OAV ⁵		
		HP-5	FFAP		fresh	freeze dried	oven dried		fresh	freeze dried	oven dried
<u>Phenols</u>											
83	guaiacol	1096	1872	strong, sweet, smoke-like, faintly medicinal, vanilla notes	4.96b	13.92a	n.d.	3 ^{a,h}	1.65	4.64	-
<u>Furans</u>											
18	2-pentylfuran	993	1221	ethereal rum; earthy beany with vegetable notes	n.d.	n.d.	17.94	6 ^{a,h}	-	-	2.99
<u>Sulfur compounds</u>											
10	methional	900	n.d.	onion, meat-like odor; in dilution – potato/potato chip aroma	n.d.	n.d.	9.40	0.2 ^{a,h}	-	-	47.00

ตารางที่ 17 (ต่อ)

หมายเหตุ ¹ ลำดับที่ของสารตรงกับโครมาโทแกรมในภาพผนวกที่ 13-18

² retention index คำนวณโดยใช้สารมาตรฐานอัลเคน C₆-C₃₀

³ ลักษณะกลิ่นจากฐานข้อมูล Flavor-Base'04 ของ Leffingwell (2004)

⁴ ความเข้มข้นของสารระเหยโดยอักษร a-c ที่ต่างกันในแนวนอน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

⁵ ค่า Odor Activity Value คำนวณได้จากความเข้มข้นของสารหารด้วยค่า threshold ของสารนั้น

^a ค่า threshold ในน้ำ จาก Buttery and Ling (1998); ^b Boonbumrung *et al.* (2001); ^c Padrayuttawat *et al.* (1997); ^d Tamura *et al.* (2001);

^e Buttery *et al.* (1994); ^f Mookdasanit *et al.* (2003); ^g Buttery *et al.* (1990); ^h Buttery *et al.* (1971); ⁱ Buttery *et al.* (1988)

n.d. หมายถึง ไม่พบสารนั้น

- หมายถึง ไม่สามารถหาค่าได้

ตารางที่ 18 สารระเหยสำคัญของผลมะเดื่อฝรั่งสายพันธุ์ Hourai

ที่ ¹	สารระเหย	RI ²		ลักษณะกลิ่น ³	ความเข้มข้นสัมพัทธ์ ⁴ (ng/g dry weight basis)			Threshold	OAV ⁵		
		HP-5	FFAP		fresh	freeze dried	oven dried	in water	fresh	freeze dried	oven dried
								(ng/g)			
<u>Ketones</u>											
4	3-hydroxy-2-butanone	708	1294	creamy-buttery, yogurt-like odor and flavor	n.d.	n.d.	45.19	14 ^b	-	-	3.23
48	(E)- β-damascenone	1394	1819	fruity-floral with apple-plum-raisin, tea, rose, tobacco notes	n.d.	n.d.	13.14	0.0013 ^b	-	-	10107.69
<u>Alcohols</u>											
15	1-octen-3-ol	980	1448	very strong, sweet, earthy mushroom odor and taste	34.76a	8.72b	3.83b	1 ^a	34.76	8.72	3.83
31	<i>l</i> -linalool	1095	1546	floral-woody odor with faint citrus note; sweet floral taste	7.11b	11.37a	6.26b	1 ^d	7.11	11.37	6.26
<u>Aldehydes</u>											
3	2-methyl butanal	654	906	-	n.d.	n.d.	18.11	3 ^{a,c}	-	-	6.04
2	3-methyl butanal	649	911	-	n.d.	n.d.	21.95	0.2 ^{a,c}	-	-	109.75

ตารางที่ 18 (ต่อ)

ที่ ¹	สารระเหย	RI ²		ลักษณะกลิ่น ³	ความเข้มข้นสัมพัทธ์ ⁴ (ng/g dry weight basis)			Threshold	OAV ⁵		
		HP-5	FFAP		fresh	freeze dried	oven dried	in water	fresh	freeze dried	oven dried
								(ng/g)			
6	hexanal	800	1084	strong, penetrating, fatty-green, grassy unripe fruit odor	99.42a	68.48a	8.58b	4.5 ^{a,e,h}	22.09	15.22	1.91
62	heptanal	902	1185	fatty; in dilution sweet, fruity, nutty, fatty-cognac like	19.46a	13.45b	3.32c	3 ^{a,c}	6.49	4.48	1.11
8	(E)-2-hexenal	853	1220	green, fruity, fresh, apple and woody with leafy and grassy note	156.05a	79.61b	1.06c	17 ^{a,h}	9.18	4.68	<1
19	octanal	1004	1287	fatty-fruity odor; sweet, citrus-orange-fatty taste	37.38a	22.37ab	6.07b	0.7 ^a	53.40	31.96	8.67
13	(E)-2-heptenal	957	1325	intense green, sweet, fresh fruity apple skin nuances at 4 ppm	25.89a	8.52b	6.37b	13 ^{a,h}	1.99	<1	<1
32	nonanal	1105	1395	fatty-floral-rose, waxy odor; citrus taste in dilution	89.07a	47.67b	16.12b	1 ^a	89.07	47.67	16.12

ตารางที่ 18 (ต่อ)

ที่ ¹	สารระเหย	RI ²		ลักษณะกลิ่น ³	ความเข้มข้นสัมพัทธ์ ⁴ (ng/g dry weight basis)			Threshold	OAV ⁵		
		HP-5	FFAP		fresh	freeze dried	oven dried	in water	fresh	freeze dried	oven dried
								(ng/g)			
26	(E)-2-octenal	1060	1429	peculiar fatty, green-grassy-leafy odor; fatty-green taste	34.72a	11.10b	6.18b	3 ^{a, h}	11.57	3.70	2.06
25	benzeneacetaldehyde	1048	n.d.	strong floral green odor (rose-hyacinth) ; floral almond taste	n.d.	n.d.	20.33	4 ^a	-	-	5.08
35	(E)-2-nonenal	1162	1543	strong, fatty-orris odor; in dilution, waxy-cucumber-melon	22.52	n.d.	n.d.	0.08 ^{a, h}	281.50	-	-
40	(E,E)-2,4-nonadienal	1218	1707	strong fatty type odor and taste; chicken fat on dilution	18.99a	7.51b	n.d.	0.01 ^a	1899.00	751.00	-
44	(E,E)-2,4-decadienal	1312	1814	strong, deep fat flavor; fatty-citrus notes	n.d.	n.d.	2.08	0.07 ^{a, h}	-	-	29.71
<u>Esters</u>											
59	methyl palmitate	1928	2212	faint, waxy, sweet odor; nearly tasteless; creamy mouthfeel	n.d.	n.d.	5.95	> 2 ⁱ	-	-	2.98

ตารางที่ 18 (ต่อ)

ที่ ¹	สารระเหย	RI ²		ลักษณะกลิ่น ³	ความเข้มข้นสัมพัทธ์ ⁴ (ng/g dry weight basis)			Threshold in water (ng/g)	OAV ⁵		
		HP-5	FFAP		fresh	freeze dried	oven dried		fresh	freeze dried	oven dried
<u>Phenols</u>											
45	2-methoxy-4-vinylphenol	1321	2223	sweet, spicy, clove-like, somewhat smoky odor; sweet taste	n.d.	n.d.	8.00	3 ^{a,e}	-	-	2.67
<u>Furans</u>											
18	2-pentylfuran	993	1221	ethereal rum; earthy beany with vegetable notes	n.d.	n.d.	7.03	6 ^{a,h}	-	-	1.17
<u>Sulfur compounds</u>											
10	methional	900	n.d.	onion, meat-like odor; in dilution – potato/potato chip aroma	n.d.	n.d.	2.55	0.2 ^{a,h}	-	-	12.75

ตารางที่ 18 (ต่อ)

หมายเหตุ ¹ ลำดับที่ของสารตรงกับโครมาโทแกรมในภาพผนวกที่ 19-24

² retention index คำนวณโดยใช้สารมาตรฐานอัลเคน C₆-C₃₀

³ ลักษณะกลิ่นจากฐานข้อมูล Flavor-Base'04 ของ Leffingwell (2004)

⁴ ความเข้มข้นของสารระเหยโดยอักษร a-c ที่ต่างกันในแนวนอน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

⁵ ค่า Odor Activity Value คำนวณได้จากความเข้มข้นของสารหารด้วยค่า threshold ของสารนั้น

^a ค่า threshold ในน้ำ จาก Buttery and Ling (1998); ^b Boonbumrung *et al.* (2001); ^c Buttery *et al.* (1988); ^d Tamura *et al.* (2001);

^e Buttery *et al.* (1994); ^f Buttery *et al.* (1971)

n.d. หมายถึง ไม่พบสารนั้น

- หมายถึง ไม่สามารถหาค่าได้

ตารางที่ 19 สารระเหยสำคัญของผลมะเดื่อฝรั่งสายพันธุ์ Kadota

ที่ ¹	สารระเหย	RI ²		ลักษณะกลิ่น ³	ความเข้มข้นสัมพัทธ์ ⁴ (ng/g dry weight basis)			Threshold	OAV ⁵		
		HP- 5	FFAP		fresh	freeze dried	oven dried	in water	fresh	freeze dried	oven dried
								(ng/g)			
<u>Ketones</u>											
4	3-hydroxy-2-butanone	708	1294	creamy-buttery, yogurt-like odor and flavor	1.06c	12.05b	153.10a	14 ^b	<1	<1	10.94
48	(E)-β-damascenone	1394	1819	fruity-floral with apple-plum-raisin, tea, rose, tobacco notes	n.d.	n.d.	3.55	0.0013 ^b	-	-	2730.77
<u>Alcohols</u>											
15	1-octen-3-ol	980	1448	very strong, sweet, earthy mushroom odor and taste	107.31a	6.49b	5.40b	1 ^a	107.31	6.49	5.40
31	l-linalool	1095	1546	floral-woody odor with faint citrus note; sweet floral taste	24.08a	15.21b	5.18c	1 ^d	24.08	15.21	5.18
<u>Aldehydes</u>											
3	2-methyl butanal	654	906	-	n.d.	n.d.	32.55	3 ^{a,e}	-	-	10.85
2	3-methyl butanal	649	911	-	n.d.	n.d.	46.74	0.2 ^{a,e}	-	-	233.70

ตารางที่ 19 (ต่อ)

ที่ ¹	สารระเหย	RI ²		ลักษณะกลิ่น ³	ความเข้มข้นสัมพัทธ์ ⁴ (ng/g dry weight basis)			Threshold in water (ng/g)	OAV ⁵		
		HP-5	FFAP		fresh	freeze dried	oven dried		fresh	freeze dried	oven dried
66	pentanal	697	985	strong, acrid, pungent odor; chocolate & nut-like below 10 ppm	n.d.	n.d.	13.55	12 ⁱ	-	-	1.13
6	hexanal	800	1084	strong, penetrating, fatty-green, grassy unripe fruit odor	96.70a	10.03c	48.40b	4.5 ^{a,e,h}	21.49	2.23	10.76
62	heptanal	902	1185	fatty; in dilution sweet, fruity, nutty, fatty-cognac like	13.62a	2.74c	5.85b	3 ^{a,e}	4.54	<1	1.95
8	(E)-2-hexenal	853	1220	green, fruity, fresh, apple and woody with leafy and grassy note	126.10a	5.53b	n.d.	17 ^{a,h}	7.42	<1	-
19	octanal	1004	1287	fatty-fruity odor; sweet, citrus-orange-fatty taste	19.41a	n.d.	7.56b	0.7 ^a	27.73	-	10.80
32	nonanal	1105	1395	fatty-floral-rose, waxy odor; citrus taste in dilution	55.81a	35.35b	12.56c	1 ^a	55.81	35.35	12.56

ตารางที่ 19 (ต่อ)

ที่ ¹	สารระเหย	RI ²		ลักษณะกลิ่น ³	ความเข้มข้นสัมพัทธ์ ⁴ (ng/g dry weight basis)			Threshold in water	OAV ⁵		
		HP-5	FFAP		fresh	freeze dried	oven dried		(ng/g)	fresh	freeze dried
26	(E)-2-octenal	1060	1429	peculiar fatty, green-grassy-leafy odor; fatty-green taste	1.09b	n.d.	5.65a	3 ^{a, h}	<1	-	1.88
25	benzeneacetaldehyde	1048	n.d.	strong floral green odor (rose-hyacinth); floral almond taste	6.80b	n.d.	18.33a	4 ^a	1.70	-	4.58
35	(E)-2-nonenal	1162	1543	strong, fatty-orris odor; in dilution, waxy-cucumber-melon	10.31a	n.d.	2.97b	0.08 ^{a,h}	128.88	-	37.13
78	(E,Z)-2,6-nonadienal	1156	1587	odor like cucumber, green melon or violet leaf in dilution	9.67	n.d.	n.d.	0.14 ^b	69.07	-	-
44	(E,E)-2,4-decadienal	1312	1814	strong, deep fat flavor; fatty-citrus notes	n.d.	n.d.	1.17	0.07 ^{a,h}	-	-	16.71
Esters											
72	ethyl acetate	612	< 900	ethereal, sharp, wine-brandy like odor	n.d.	n.d.	59.81	3.28 ^b	-	-	18.23
100	ethyl butanoate	n.d.	1033	ethereal, fruity odor; buttery, ripe fruit notes	6.13	n.d.	n.d.	0.18 ^b	34.06	-	-

ตารางที่ 19 (ต่อ)

ที่ ¹	สารระเหย	RI ²		ลักษณะกลิ่น ³	ความเข้มข้นสัมพัทธ์ ⁴ (ng/g dry weight basis)			Threshold	OAV ⁵		
		HP-5	FFAP		fresh	freeze dried	oven dried	in water	fresh	freeze dried	oven dried
								(ng/g)			
73	ethyl hexanoate	999	1226	strong, fruity, winey odor; apple, banana, pineapple notes	73.37a	15.15b	27.42b	0.3 ^k	244.57	50.50	91.40
74	ethyl heptanoate	1098	1326	strong, fruity, winey, cognac-like odor and taste	7.24	n.d.	n.d.	2 ^j	3.62	-	-
59	methyl palmitate	1928	2212	faint, waxy, sweet odor; nearly tasteless; creamy mouthfeel	n.d.	n.d.	8.89	> 2 ⁱ	-	-	4.45
87	ethyl 2-methylbutyrate	849	n.d.	strong, green, fruity, apple-strawberry odor and taste	24.78	n.d.	n.d.	0.3 ^g	82.60	-	-
Ethers											
75	1,8-cineole	1037	1199	strong, camphoraceous, cool, fresh odor	3.37	n.d.	n.d.	3 ^{c,f}	1.12	-	-
Phenols											
83	guaiacol	1096	1872	strong, sweet, smoke-like, faintly medicinal, vanilla notes	1.53b	6.06a	n.d.	3 ^{a,h}	<1	2.02	-

ตารางที่ 19 (ต่อ)

ที่ ¹	สารระเหย	RI ²		ลักษณะกลิ่น ³	ความเข้มข้นสัมพัทธ์ ⁴ (ng/g dry weight basis)			Threshold in water (ng/g)	OAV ⁵		
		HP-5	FFAP		fresh	freeze dried	oven dried		fresh	freeze dried	oven dried
<u>Furans</u>											
18	2-pentylfuran	993	1221	ethereal rum; earthy beany with vegetable notes	n.d.	n.d.	40.17	6 ^{a,h}	-	-	6.70
<u>Sulfur compounds</u>											
10	methional	900	n.d.	onion, meat-like odor; in dilution – potato/potato chip aroma	n.d.	n.d.	3.49	0.2 ^{a,h}	-	-	17.45

หมายเหตุ ¹ ลำดับที่ของสารตรงกับโครมาโทแกรมในภาพผนวกที่ 25-30

² retention index คำนวณโดยใช้สารมาตรฐานอัลเคน C₆-C₃₀

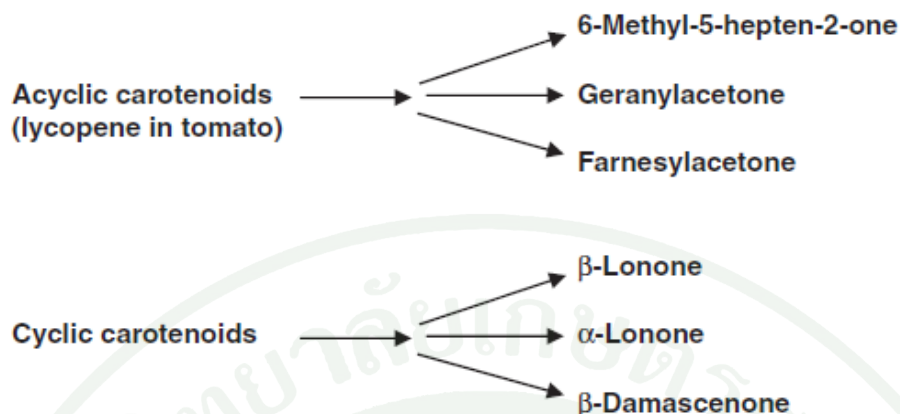
³ ลักษณะกลิ่นจากฐานข้อมูล Flavor-Base'04 ของ Leffingwell (2004)

⁴ ความเข้มข้นของสารระเหยโดยอักษร a-c ที่ต่างกันในแนวนอน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p≤0.05)

ตารางที่ 19 (ต่อ)

- ⁵ ค่า Odor Activity Value คำนวณได้จากความเข้มข้นของสารหารด้วยค่า threshold ของสารนั้น
- ^a ค่า threshold ในน้ำ จาก Buttery and Ling (1998); ^b Boonbumrung *et al.* (2001); ^c Padrayuttawat *et al.* (1997); ^d Tamura *et al.* (2001);
- ^e Buttery *et al.* (1994); ^f Mookdasanit *et al.* (2003); ^g Buttery *et al.* (1982); ^h Buttery *et al.* (1971); ⁱ Buttery *et al.* (1988);
- ^j Teranishi *et al.* (1987); ^k Pyysalo *et al.* (1977)
- n.d. หมายถึง ไม่พบสารนั้น
- หมายถึง ไม่สามารถหาค่าได้

เป็นสารที่ให้ลักษณะกลิ่นผลไม้พบเฉพาะในผลไม้สดที่ทำแห้งด้วยตู้อบความร้อน เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารระเหยของผลไม้สดที่ทำแห้งทั้ง 2 วิธีกับผลไม้สด พบว่า ผลไม้สดที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีปริมาณสารระเหยกลุ่มนี้ลดลง แต่ผลไม้สดที่ทำแห้งด้วยตู้อบความร้อนมีปริมาณสารระเหยกลุ่มนี้เพิ่มขึ้น ผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Yajima *et al.* (1978) ที่รายงานว่าสารระเหยกลุ่มคีโตนเกิดจากปฏิกิริยา β -oxidation ของกรดไขมัน ระหว่างการให้ความร้อนในการหุงข้าว นอกจากนี้การอบด้วยความร้อนมีผลทำให้เกิดปฏิกิริยา เมลลาร์ด ซึ่ง 3-hydroxy-2-butanone สามารถเกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดโดยความร้อนทำให้ pyruvic acid เปลี่ยนเป็น 3-hydroxy-2-butanone โดย thiamine เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และเกิดจากการสลายตัวด้วยความร้อนของน้ำตาล ซึ่ง 3-hydroxy-2-butanone จะเป็นตัวกลางในการทำให้ ammonia เกิดเป็น α -amino ketone (Chen and Ho, 1999) นอกจากนี้ Mottram (1994) รายงานว่าการแตกตัวของคาร์โบไฮเดรตทำให้เกิดสารประกอบ α -dicarbonyl หลายชนิด เช่น 2,3-butanedione และ 3-hydroxy-2-butanone เป็นต้น และจากรายงานของ Roberts and Acree (1995) กล่าวว่า β -damascenone เป็นสารประกอบที่มีคาร์บอน 13 อะตอม เกิดจาก xanthophylls ซึ่งเป็นสารสีเขียวที่อยู่ในใบพืช สารนี้จะมีปริมาณลดลงระหว่างกระบวนการสุกของผลไม้ นอกจากนี้ยังพบว่า β -damascenone มีปริมาณเพิ่มขึ้นในผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความร้อนกล่าวคือ β -damascenone ในมะเขือเทศสดมีปริมาณ 1 ng/g หลังจากการทำเป็นเพชท์ (paste) มีผลทำให้ปริมาณ β -damascenone เพิ่มขึ้นเป็น 14 ng/g และ Ong and Liu (2011) รายงานว่าสารระเหยกลุ่มคีโตนสามารถเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของ carotenoids ได้ดังภาพที่ 32 ซึ่งจากรายงานของ USDA (2010) พบว่าในผลไม้สดมี β -carotene เป็นองค์ประกอบ ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของ β -damascenone ในผลไม้สดที่ทำแห้งด้วยตู้อบความร้อนอาจเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของ β -carotene



ภาพที่ 32 การเกิดสารระเหยกลุ่มคีโตนจาก carotenoids

ที่มา: Ong and Liu (2011)

5.3 แอลกอฮอล์

จากการศึกษาผลของการทำแห้งต่อสารระเหยกลุ่มแอลกอฮอล์ของผลมะเดื่อฝรั่ง พบว่าผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งสายพันธุ์ Brown-Turkey มีปริมาณสารระเหยกลุ่มนี้มากที่สุด รองลงมาคือ สายพันธุ์ Black Mission, Black Genoa, Kadota และ Hourai ตามลำดับ สำหรับผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนสายพันธุ์ Black Genoa มีปริมาณสารระเหยกลุ่มนี้มากที่สุด รองลงมาคือ สายพันธุ์ Black Mission, Hourai, Brown Turkey และ Kadota ตามลำดับ (ตารางผนวกที่ 1) เมื่อพิจารณาค่า OAV ของสารระเหย (ตารางที่ 15-19) พบว่า 1-octen-3-ol และ linalool มีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าเป็นสารระเหยสำคัญของผลมะเดื่อฝรั่ง แต่สำหรับผลมะเดื่อฝรั่งสายพันธุ์ Brown Turkey ที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนไม่พบ linalool โดยผลมะเดื่อฝรั่งที่ผ่านการทำแห้งทั้ง 2 วิธีมีปริมาณ 1-octen-3-ol และ linalool ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับผลสด Kompany and René (1995) รายงานว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งส่งผลต่อการลดลงของสารระเหยในระหว่างการทำแห้ง ซึ่งการลดลงของสารระเหยจะเกิดอย่างอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการทำแห้งและสารระเหยจะลดลงอย่างช้าหรือไม่มีการลดลงเมื่อความชื้นของตัวอย่างคงที่ นอกจากนี้ Torres *et al.* (2010) รายงานว่าสารระเหยกลุ่มนี้จะมีปริมาณลดลงประมาณ 80% เมื่อผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ส่วนการลดลงของ linalool เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Sköld *et al.*, 2002) โดยการทำแห้งด้วยลมร้อนเป็นสภาวะที่มีออกซิเจนและความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ออกซิเดชัน (Kimura *et al.*, 1983; Sköld *et al.*, 2006) จึงอาจเป็นสาเหตุทำให้ปริมาณ linalool ลดลง

5.4 อัลดีไฮด์

จากการศึกษาผลของการทำแห้งต่อสารระเหยกลุ่มอัลดีไฮด์ของผลมะเดื่อฝรั่ง พบว่าผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีปริมาณสารระเหยกลุ่มนี้ลดลงมากกว่าผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนเมื่อเปรียบเทียบกับผลมะเดื่อฝรั่งสด ผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งสายพันธุ์ Black Mission มีปริมาณสารระเหยกลุ่มอัลดีไฮด์มากที่สุด รองลงมาคือสายพันธุ์ Brown-Turkey, Hourai, Black Genoa และ Kadota ตามลำดับ (ตารางผนวกที่ 1) โดยแต่ละสายพันธุ์มีสารระเหยสำคัญแตกต่างกัน ได้แก่ hexanal, heptanal, (*E*)-2-hexenal, octanal, nonanal, (*E*)-2-octenal, benzeneacetaldehyde และ (*E,E*)-2,4-nonadienal โดยสารระเหยที่มีค่า OAV มากที่สุดคือ (*E,E*)-2,4-nonadienal สารนี้ให้ลักษณะกลิ่นไขมัน (Leffingwell, 2004) ซึ่งพบในสายพันธุ์ Hourai เท่านั้น สำหรับผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนสายพันธุ์ Kadota มีปริมาณสารระเหยกลุ่มนี้มากที่สุด รองลงมาคือสายพันธุ์ Black Mission, Brown-Turkey, Black Genoa และ Hourai ตามลำดับ และสารระเหยสำคัญของผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ได้แก่ 2-methyl butanal, 3-methyl butanal, hexanal, heptanal, octanal, (*E*)-2-heptenal, nonanal, (*E*)-2-octenal, benzeneacetaldehyde, (*E*)-2-nonenal, β -cyclocitral, (*E,E*)-2,4-nonadienal และ (*E,E*)-2,4-decadienal (ตารางที่ 15-19) 2-methyl butanal และ 3-methyl butanal ตรวจพบในผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนสายพันธุ์ Black Mission, Brown-Turkey, Hourai และ Kadota ซึ่งไม่พบในผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและผลมะเดื่อฝรั่งสด (ตารางที่ 16-19) โดย 3-methyl butanal มีค่า OAV มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสารระเหยอื่นในกลุ่มเดียวกัน สารนี้ให้ลักษณะกลิ่นมอลต์ (malty) ซึ่งเป็นสารให้กลิ่นสำคัญของผลิตภัณฑ์ sourdough (Annan *et al.*, 2003) 3-methylbutanal เกิดจากปฏิกิริยา strecker degradation โดยมี leucine เป็นสารตั้งต้น และสำหรับ isoleucine เป็นสารตั้งต้นของ 2-methylbutanal (Cerny, 2010)

5.5 เอสเทอร์

จากการศึกษาผลของการทำแห้งต่อสารระเหยกลุ่มเอสเทอร์ของผลมะเดื่อฝรั่ง พบว่าผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งสายพันธุ์ Kadota มีปริมาณสารระเหยกลุ่มเอสเทอร์มากกว่าสายพันธุ์ Hourai ในขณะที่สายพันธุ์ Black Genoa, Black Mission และ Brown-Turkey ไม่พบ

สารระเหยกลุ่มนี้ และผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนสายพันธุ์ Kadota มีปริมาณสารระเหยกลุ่มนี้มากที่สุดเช่นเดียวกับผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (ตารางผนวกที่ 1) สำหรับผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนทั้ง 5 สายพันธุ์ ตรวจพบ methyl palmitate ซึ่งไม่พบในผลมะเดื่อฝรั่งสด และมีค่า OAV มากกว่า 1 (ตารางที่ 16-19) โดยสารนี้มีรายงานว่าพบในน้ำมันมะพร้าว (Pai *et al.*, 1979) ซึ่งให้ลักษณะกลิ่นหวาน สำหรับผลมะเดื่อฝรั่งสายพันธุ์ Black Genoa และ Kadota ที่ผ่านการทำแห้งทั้ง 2 วิธี ไม่พบ ethyl heptanoate ส่วน ethyl hexanoate ของสายพันธุ์ Kadota ที่ผ่านการทำแห้งทั้ง 2 วิธี มีปริมาณลดลง โดยการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนมีปริมาณลดลงน้อยกว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (ตารางที่ 19) จากรายงานของ Skrede (1996) กล่าวว่า การแช่เยือกแข็งสตรอเบอร์รี่มีผลทำให้สารระเหยกลุ่มเอสเทอร์มีปริมาณลดลงอีกทั้งการแช่เยือกแข็งผลไม้ส่งผลต่อการสูญเสีย ethyl hexanoate ดังนั้นการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งซึ่งเป็นการทำแห้งด้วยอุณหภูมิต่ำจึงอาจส่งผลต่อการสูญเสียสารระเหยกลุ่มเอสเทอร์ในผลมะเดื่อฝรั่ง

5.6 ฟีนอล

ผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งสายพันธุ์ Black Mission, Brown Turkey และ Kadota มีปริมาณ guaiacol เพิ่มขึ้นจากผลสด และมีค่า OAV มากกว่า 1 แต่ผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนไม่พบ guaiacol (ตารางที่ 16-17 และ 19) สำหรับผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนตรวจพบ 2-methoxy-4-vinylphenol (มีค่า OAV มากกว่า 1) ในสายพันธุ์ Black Genoa, Black Mission และ Hourai ซึ่งไม่พบในผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (ตารางที่ 15-16 และ 18) จากงานวิจัยของ Näf *et al.* (1995) รายงานว่าพบ 2-methoxy-4-vinylphenol ในผลมะเดื่อฝรั่งสด แต่จากการทดลองพบ 2-methoxy-4-vinylphenol ในผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน แสดงว่าการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนมีผลต่อการเกิด 2-methoxy-4-vinylphenol โดยสารนี้ให้ลักษณะกลิ่นหวาน กลิ่นเครื่องเทศ กลิ่นควัน (Leffingwell, 2004) Montero-Calderón *et al.* (2010) กล่าวว่าน้ำสับประรดเข้มข้นมี 2-methoxy-4-vinylphenol มากกว่าน้ำสับประรดจากสับประรดสด โดยการเพิ่มขึ้นของ 2-methoxy-4-vinylphenol เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการแปรรูป นอกจากนี้ 2-methoxy-4-vinylphenol ยังเป็นสารให้กลิ่นสำคัญของข้าวโพดหวานบรรจุกระป๋องซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยความร้อนเช่นเดียวกัน (Pollak, 2010) และ Buttery (1981) กล่าวว่าสารระเหยกลุ่มฟีนอล เช่น guaiacol และ 2-methoxy-4-vinylphenol เกิดจากการสลายตัวของลิกนิน ซึ่งลิกนินในพืชเกิดจากการสังเคราะห์ทางชีวภาพของตัวกลางบางชนิด โดยสารทั้งสองนี้จะให้ลักษณะกลิ่นควันและมักพบในอาหารรมควัน

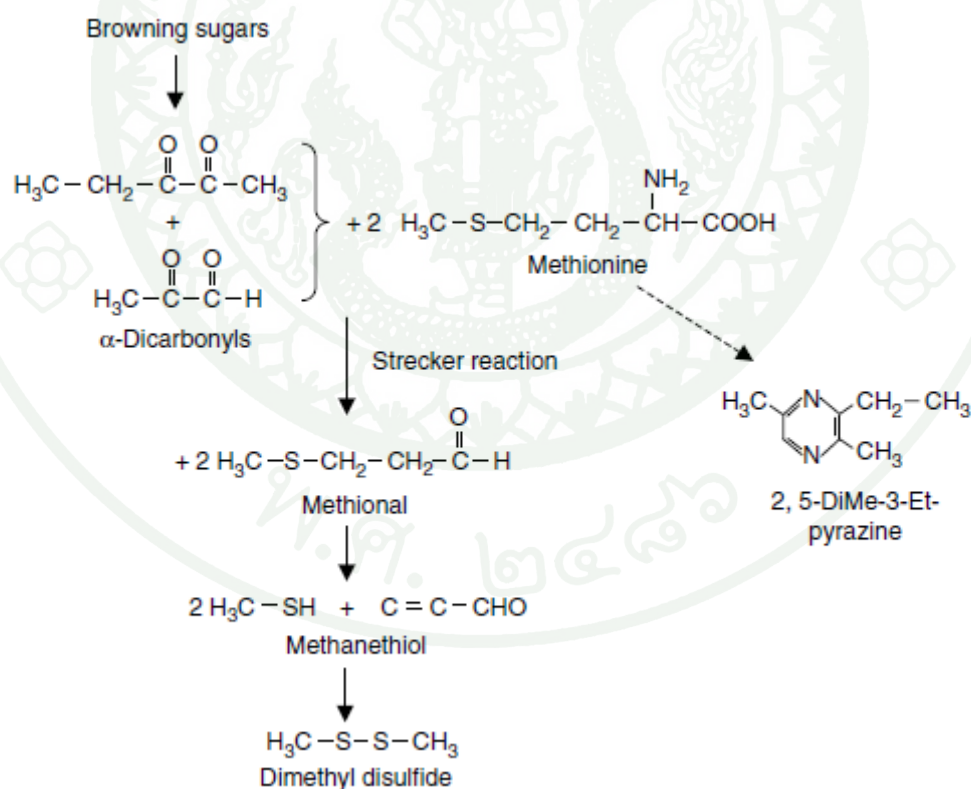
5.7 ฟูแรน

ฟูแรนเป็นสารประกอบเฮเทอโรไซคลิก (heterocyclic) ประกอบด้วยคาร์บอน 4 อะตอมและออกซิเจน 1 อะตอม ต่อกันเป็นวงโดยมีพันธะคู่ 2 พันธะ (Answers Corp, 2008) ฟูแรนเกิดจากการสลายตัวของน้ำตาลเนื่องจากความร้อน ซึ่งสามารถเกิดได้จากหลายกลไก โดยทั่วไปเกิดจากปฏิกิริยา dehydration ของน้ำตาล เมื่อน้ำตาลได้รับความร้อนจะสูญเสียน้ำเกิดเป็น anhydro sugar และเกิดสารประกอบฟูแรน โดยรวมฟูแรนเป็นสารที่ให้ลักษณะกลิ่นคาราเมลหรือกลิ่นน้ำตาลไหม้ (Fisher and Scott, 1997) ผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนตรวจพบสารระเหยกลุ่มฟูแรน ซึ่งผลมะเดื่อฝรั่งสดและผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งไม่พบสารระเหยกลุ่มนี้ โดยสายพันธุ์ Black Mission มีปริมาณมากที่สุด รองลงมาคือ สายพันธุ์ Brown Turkey, Black Genoa, Kadota และ Hourai ตามลำดับ (ตารางผนวกที่ 1) สารระเหยกลุ่มฟูแรนที่พบมี 8 ชนิดคือ 2-pentylfuran, cis -linalool oxide, 2-methyl-5-isopropenylfuran, (E)-linalool oxide, furfural, 5-methylfurfural, furfuryl alcohol และ epoxyfurfural โดย 2-pentylfuran และ linalool oxide สอดคล้องกับงานวิจัยของ Buttery *et al.* (1981) ซึ่งพบสาร 2 ชนิดนี้ในผลมะเดื่อฝรั่งอบแห้ง การเพิ่มขึ้นของสารระเหยกลุ่มฟูแรนสอดคล้องกับงานวิจัยของ Nijssen (1991) ที่รายงานว่าทำให้ความร้อนแก่ผลเบลคเคอร์แรนท์ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส มีผลทำให้สารระเหยกลุ่มฟูแรนมีปริมาณเพิ่มขึ้น ผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนสายพันธุ์ Black Genoa, Black Mission, Brown Turkey และ Hourai มีปริมาณ furfural มากที่สุด ซึ่ง furfural เกิดจากการแตกตัวของน้ำตาลเพนโตส ให้ลักษณะกลิ่นคาราเมล และธัญพืช (cereal-like) (Scarpellino and Soukup, 1993) แม้ว่า furfural จะมีปริมาณมากแต่มีค่า threshold สูงจึงทำให้ furfural มีค่า OAV ต่ำกว่า 1 สำหรับสารระเหยกลุ่มฟูแรนที่มีค่า OAV มากกว่า 1 คือ 2-pentylfuran ซึ่งให้ลักษณะกลิ่น earthy beany (ตารางที่ 15-19)

5.8 สารประกอบซัลเฟอร์

สารประกอบซัลเฟอร์คือ สารระเหยอินทรีย์ที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบในโครงสร้าง มักจะให้ลักษณะกลิ่นที่เด่นชัดเนื่องจากสารระเหยกลุ่มนี้มีค่า threshold ต่ำ (Pickenhagen, 1999) จากการทดลองพบว่าผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนทั้ง 5 สายพันธุ์ตรวจพบสารประกอบซัลเฟอร์ ซึ่งไม่พบในผลมะเดื่อฝรั่งสดและผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง โดยสายพันธุ์ Brown Turkey มีปริมาณมากที่สุด รองลงมาคือสายพันธุ์ Black Mission,

Black Genoa, Kadota และ Hourai ตามลำดับ (ตารางผนวกที่ 1) สารประกอบซัลเฟอร์ที่พบคือ methional ซึ่งเป็นสารที่ให้ลักษณะกลิ่นหัวหอม กลิ่นมันฝรั่ง จากที่กล่าวแล้วข้างต้นว่าสารกลุ่มนี้มีค่า threshold ต่ำ จึงทำให้ methional ที่พบมีค่า OAV มากกว่า 1 (ตารางที่ 15-19) โดยทั่วไป methional เป็นสารให้กลิ่นสำคัญในมันฝรั่งที่ผ่านการแปรรูปโดยเฉพาะมันฝรั่งทอด นอกจากนี้ methional ยังเป็นสารให้กลิ่นสำคัญของชาที่ผ่านกระบวนการแปรรูป และในเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ เช่น เบียร์ จะมีปริมาณ methional เพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาโดยระดับการเพิ่มขึ้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและเวลาการเก็บรักษา (Di, 2008) methional เป็นสารให้กลิ่นที่เกิดจากกระบวนการให้ความร้อน เกิดจากปฏิกิริยา strecker degradation ระหว่าง α -dicarbonyl ซึ่งเป็น intermediate จากปฏิกิริยาเมลลาร์ดกับ methionine (ภาพที่ 33) จากรายงานของ USDA (2010) พบว่าผลไม้สดมี methionine เป็นองค์ประกอบซึ่งเป็นสารตั้งต้นของการเกิด methional เนื่องจาก methional เป็นสารที่เกิดจากกระบวนการให้ความร้อน การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเป็นวิธีการทำแห้งที่ไม่ใช้ความร้อน ดังนั้นจึงไม่พบ methional ในผลไม้สดที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง



ภาพที่ 33 การสังเคราะห์ methional

ที่มา: Di (2008)

5.9 แล็กโทน

แล็กโทนเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของ lipid ทั้งในสถานะที่ไม่มีความร้อนและมีความร้อน (Reineccius, 2006) หรือเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของ linoleic acid เนื่องจากเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส (Allen, 1965) นอกจากนี้แล็กโทนยังสามารถเกิดจากการสังเคราะห์ทางชีวภาพได้อีกด้วย (Gatfield, 1999; Reineccius, 1994) โดยทั่วไปแล็กโทนสามารถพบได้ในผลิตภัณฑ์อาหารหมัก ผลิตภัณฑ์นม เครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ และในผลไม้บางชนิด ส่วนใหญ่สารในกลุ่มแล็กโทนให้ลักษณะกลิ่นหอมหวาน กลิ่นคาราเมล หรือกลิ่นมะพร้าว โครงสร้างที่เสถียรของแล็กโทนจะอยู่ในรูปของ γ และ δ -lactone ซึ่งเป็นโครงสร้างที่พบได้ในผลไม้ เช่น สับปะรด มะพร้าว ราสเบอร์รี่ พีช และแอปเปิ้ล (Reineccius, 2006) สำหรับผลไม้ที่พบสารระเหยกลุ่มแล็กโทน เมื่อนำผลไม้มาทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนพบว่าผลไม้ที่แช่เยือกแข็งไม่พบสารกลุ่มแล็กโทนแต่ผลไม้ที่แช่เยือกแข็งแล้วทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนพบสารกลุ่มนี้โดยสายพันธุ์ Black Genoa มีปริมาณมากที่สุด (ตารางผนวกที่ 1) สารระเหยแล็กโทนที่พบ ได้แก่ γ -butyrolactone และ 4-methyl-4-vinylbutyrolactone แต่สารทั้งสองชนิดนี้มีค่า OAV ต่ำกว่า 1 แสดงว่าสารกลุ่มแล็กโทนไม่เป็นสารระเหยสำคัญของผลไม้ที่แช่เยือกแข็งแล้วทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน สารระเหยกลุ่มแล็กโทนในผลไม้ที่แช่เยือกแข็งแล้วทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนอาจเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของ lipid หรือ linoleic acid ในสถานะที่ได้รับความร้อน เนื่องจากในผลไม้มี lipid (USDA, 2010) และ linoleic acid เป็นองค์ประกอบ (Guvenc *et al.*, 2009; Jeong and Lachance, 2001)

5.10 สารระเหยอื่นๆ

นอกจากสารระเหย 9 กลุ่มที่กล่าวมาข้างต้น ผลไม้ที่แช่เยือกแข็งแล้วทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนยังพบสารระเหยกลุ่มกรดอินทรีย์และไพแรน แต่สาร 2 กลุ่มนี้มีค่า OAV ต่ำกว่า 1 จึงมีแนวโน้มไม่พบเป็นสารระเหยสำคัญของผลไม้ที่แช่เยือกแข็งแล้วทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน โดยสายพันธุ์ Black Genoa มีปริมาณสารระเหยกลุ่มกรดอินทรีย์มากที่สุด รองลงมาคือสายพันธุ์ Black Mission, Kadota และ Hourai ตามลำดับ ส่วนสายพันธุ์ Brown Turkey ไม่พบสารระเหยกลุ่มนี้ (ตารางผนวกที่ 1) โดย acetic acid ตรวจพบในผลไม้ที่แช่เยือกแข็งแล้วทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน โดยสายพันธุ์ Black Genoa ซึ่งสารนี้ให้ลักษณะกลิ่นฉุน กลิ่นเปรี้ยว และสายพันธุ์ Kadota มี hexanoic acid เพิ่มขึ้น โดย acetic acid เป็นกรดอินทรีย์ที่มักพบในองุ่น (Bhat *et al.*,

2010) และเสาวรส (Narain *et al.*, 2010) ส่วน hexanoic acid มักพบในเสาวร (Narain *et al.*, 2010) และสับปะรด (Montero-Calderón *et al.*, 2010) สำหรับผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตูบลมร้อนสายพันธุ์ Black Genoa มีปริมาณสารระเหยกลุ่มกรดอินทรีย์มากที่สุด รองลงมาคือสายพันธุ์ Black Mission, Hourai, Kadota และ Brown-Turkey ตามลำดับ (ตารางผนวกที่ 1) ผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตูบลมร้อนมีปริมาณสารระเหยกลุ่มกรดอินทรีย์เพิ่มขึ้นทุกสายพันธุ์และพบ octanoic acid ในสายพันธุ์ Hourai และ Kadota ซึ่งสารนี้ให้ลักษณะกลิ่นไขมัน (Leffingwell, 2004) Buttery *et al.* (1981); Näf *et al.* (1995) รายงานว่าพบ hexanoic acid และ octanoic acid ในผลมะเดื่อฝรั่งอบแห้ง ในขณะที่ Näf *et al.* (1995) รายงานว่าไม่พบ acetic acid ในผลมะเดื่อฝรั่งอบแห้งแต่พบในผลมะเดื่อฝรั่งสด Christoph and Bauer-Christoph (2007) กล่าวว่า hexanoic acid เกิดจากการสลายตัวของกรดไขมัน โดยมีเอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งเป็นลักษณะกลิ่นเฉพาะของผลแอปเปิ้ลและแพร์ Grimm and Champagne (2002) กล่าวว่า การเพิ่มขึ้นของ hexanoic acid ในข้าวเนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของ lipid ในระหว่างการสีข้าว โดยพบว่าข้าวที่ผ่านการสีแล้วจะมี hexanoic acid มากกว่าข้าวที่ยังไม่ผ่านการสี นอกจากนี้ Swiegers *et al.* (2008) รายงานว่า 90% ของสารระเหยกลุ่มกรดอินทรีย์ในไวน์เป็น acetic acid และส่วนที่เหลือคือ propionic acid และ hexanoic acid ซึ่งสารทั้งสองนี้เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการเมแทบอลิซึมของกรดไขมันโดยยีสต์และแบคทีเรีย

ผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและทำแห้งด้วยตูบลมร้อนตรวจพบสารระเหยกลุ่มไพเรนได้แก่ caryophyllene oxide ในสายพันธุ์ Black Genoa และ Black Mission ซึ่งไม่พบในผลมะเดื่อฝรั่งสด โดยผลมะเดื่อฝรั่งที่ผ่านการทำแห้งทั้ง 2 วิธีมีปริมาณ caryophyllene oxide เพิ่มขึ้นและ β -caryophyllene มีปริมาณลดลง การเพิ่มขึ้นของ caryophyllene oxide อาจเนื่องมาจากการทำแห้งมีผลทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแบบออโตออกซิเดชัน (autooxidation) ของ β -caryophyllene เปลี่ยนเป็น caryophyllene oxide (Sköld *et al.*, 2006)

จากการศึกษาผลของการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและการทำแห้งด้วยตูบลมร้อนต่อสารระเหยของผลมะเดื่อฝรั่ง พบว่าผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งทั้ง 2 วิธีมีปริมาณสารระเหยลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับผลสด โดยผลมะเดื่อฝรั่งสายพันธุ์ Black Genoa, Black Mission และ Kadota ที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีปริมาณสารระเขยน้อยกว่าที่ทำแห้งด้วยตูบลมร้อนและผลสด ตามลำดับ สำหรับผลมะเดื่อฝรั่งสายพันธุ์ Hourai ที่ทำแห้งด้วยตูบลมร้อนมีปริมาณสารระเขยน้อยกว่าที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและผลสด ตามลำดับ ส่วนสายพันธุ์ Brown Turkey ที่ทำแห้ง

แบบแช่เยือกแข็งและที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนมีปริมาณสารระเหยใกล้เคียงกันคือ 1353.30 และ 1322.67 นาโนกรัม/ กรัมน้ำหนักแห้ง โดยผลมะเดื่อฝรั่งสดพบสารระเหย 9 กลุ่ม ได้แก่ ไฮโดรคาร์บอน คีโตน แอลกอฮอล์ อัลดีไฮด์ เอสเทอร์ กรดอินทรีย์ อีเทอร์ ฟีนอล และไพแรน ซึ่งผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนไม่พบสารระเหยกลุ่มอีเทอร์ (1,8-cineole) ส่วนผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนพบสารระเหยกลุ่มแอลกอฮอล์ ฟูแรน และสารประกอบซัลเฟอร์ ซึ่งไม่พบในผลมะเดื่อฝรั่งสดและผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง สารระเหยกลุ่มคีโตน กรดอินทรีย์ และไพแรน มีแนวโน้มไม่เป็นสารระเหยสำคัญ (ค่า OAV ต่ำกว่า 1) ของผลมะเดื่อฝรั่งสด ส่วนสารระเหยกลุ่มกรดอินทรีย์และไพแรน มีแนวโน้มไม่เป็นสารระเหยสำคัญ (ค่า OAV ต่ำกว่า 1) ของผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งทั้ง 2 วิธี สารระเหยกลุ่มคีโตนที่เป็นสารระเหยสำคัญของผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ได้แก่ 3-hydroxy-2-butanone และ β -damascenone แต่โดยส่วนใหญ่แล้วสารระเหยสำคัญ (OAV มากกว่า 1) ของผลมะเดื่อฝรั่งเป็นสารระเหยกลุ่มอัลดีไฮด์ ได้แก่ hexanal, heptanal, (*E*)-2-hexenal, octanal, nonanal, (*E*)-2-octenal, benzeneacetaldehyde และ (*E,E*)-2,4-nonadienal เป็นต้น ผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนพบสารระเหยสำคัญ ได้แก่ β -damascenone, 3-methyl butanal, 2-methyl butanal, pentanal, benzeneacetaldehyde, β -cyclocitral, (*E,E*)-2,4-decadienal, methyl palmitate, 2-methoxy-4-vinylphenol, 2-pentylfuran และ methional ซึ่งไม่พบในผลมะเดื่อฝรั่งสดและผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง สำหรับการทำให้แห้งทั้ง 2 วิธี มีผลต่อการสูญเสียสารระเหยสำคัญ ได้แก่ heptanal, (*E,Z*)-2,6-nonadienal, (*E,E*)-2,4-nonadienal, (*E*)-2-decenal, (*E*)-2-nonenal, 1,8-cineole, ethyl heptanoate, ethyl butanoate, ethyl-2-methyl butyrate

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. ผลของสายพันธุ์ต่อสารประกอบฟีนอลิกและสมบัติการต้านออกซิเดชันของผลมะเดื่อฝรั่งสด 5 สายพันธุ์ พบว่าผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ Black Genoa มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินส์ทั้งหมด สมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH และ ABTS, quercetin-3-rutinoside, cyanidin-3-glucoside และ cyanidin-3-rutinoside มากที่สุด ส่วนสายพันธุ์ Black Mission มีปริมาณ chlorogenic acid มากที่สุด ในขณะที่สายพันธุ์ Hourai และ Kadota ไม่พบ chlorogenic acid สำหรับสายพันธุ์ Brown Turkey และ Kadota ไม่พบ cyanidin-3-glucoside โดยสีของเปลือกผลมะเดื่อฝรั่งมีความสัมพันธ์กับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและความสามารถในการต้านออกซิเดชัน โดยผลมะเดื่อฝรั่งที่มีสีเขียวหรือสีเหลืองจะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสมบัติการต้านออกซิเดชันน้อยกว่าผลมะเดื่อฝรั่งที่มีสีม่วงหรือสีดำ

2. ผลของการทำแห้งต่อสารประกอบฟีนอลิกและสมบัติการต้านออกซิเดชันของผลมะเดื่อฝรั่ง 5 สายพันธุ์ พบว่าผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินส์ทั้งหมด สมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH และ ABTS และ quercetin-3-rutinoside ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับผลมะเดื่อฝรั่งสด แต่ chlorogenic acid, cyanidin-3-glucoside และ cyanidin-3-rutinoside มีปริมาณเพิ่มขึ้น ในขณะที่ผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินส์ทั้งหมด สมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH และ ABTS quercetin-3-rutinoside และ cyanidin-3-rutinoside ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับผลมะเดื่อฝรั่งสดโดยมีการลดลงมากกว่าผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

3. ผลของสายพันธุ์ต่อสารระเหยของผลมะเดื่อฝรั่งสด 5 สายพันธุ์ โดยผลมะเดื่อฝรั่งสดพบสารระเหย 72 ชนิด แบ่งเป็น 9 กลุ่มสารระเหย ผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ Black Genoa มีปริมาณสารระเหยมากที่สุด (3134.75 นาโนกรัม/กรัม) รองลงมาคือสายพันธุ์ Black Mission, Brown Turkey, Hourai และ Kadota ตามลำดับ สารระเหยส่วนใหญ่เป็นสารระเหยกลุ่มไฮโดรคาร์บอน อัลดีไฮด์ และแอลกอฮอล์ สารระเหยสำคัญ (OAV มากกว่า 1) ส่วนใหญ่เป็น

สารกลุ่มอัลดีไฮด์ เช่น octanal, nonanal, (*E*)-2-nonenal และ (*E,E*)-2,4-nonadienal เป็นต้น

4. ผลของการทำแห้งต่อสารระเหยของผลมะเดื่อฝรั่ง พบว่าผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนมีปริมาณสารระเหยลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับผลมะเดื่อฝรั่งสดและไม่พบสารระเหยกลุ่มอีเทอร์ (1,8-cineole) แต่ผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนพบสารระเหยกลุ่มแอลกอฮอล์ ฟูแรน และสารประกอบซัลเฟอร์ ซึ่งไม่พบในผลมะเดื่อฝรั่งสด และผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาสารระเหยด้วย GC-O เพื่อระบุได้ว่าสารระเหยชนิดใดเป็นสารระเหยให้กลิ่นสำคัญของผลมะเดื่อฝรั่ง
2. ควรมีการศึกษาวิธีการอบแห้ง และชนิดของสารต้านการเกิดสีน้ำตาล รวมทั้งการทดสอบทางประสาทสัมผัส เพื่อเป็นแนวทางในการผลิตมะเดื่อฝรั่งอบแห้ง

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- ชูติวรรณ นิมิตใหม่. 2551. สารให้กลิ่นในผลิตภัณฑ์กระชายแปรรูป. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ณรงค์ชัย พิพัฒน์ธนวังศ์. 2550. การผลิตไม้ผลเมืองหนาวขนาดเล็กในเขตร้อน. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- พรทิพย์ วิรัชวงศ์. 2546. อนุมูลอิสระ/สารต้านอนุมูลอิสระ. สมุนไพรสาธารณสุขมูลฐาน องค์การเภสัชกรรม, กรุงเทพฯ.
- พิชามญช์ สว่างสุข. 2551. ผลของกระบวนการแปรรูปต่อสารให้กลิ่นสำคัญในรูปอิสระและไกลโคไซด์ในตะไคร้ (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf). วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วิไล รังสาทอง. 2543. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. บริษัท เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น จำกัด, กรุงเทพฯ.
- อรุณี อภิชาติสร่างกูร, จารุพันธ์ ทองแถม, เกตุชัย มานะ และ สุรินทร์ นิลสำราญจิต. 2548. รายงานการวิจัยประจำปี 2548 การคัดเลือกพันธุ์มะเดื่อฝรั่งและมะเดื่อพื้นเมืองเพื่อการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์. 111 หน้า.
- โอภา วัชรคุปต์, ปรีชา บุญจง, จันทนา บุญยะรัตน์ และ มาลีรักษ์ อัดดีสินทอง. 2550. สารต้านอนุมูลอิสระ. พิมพ์ครั้งที่ 2. บริษัทวิทยุไทยมิตรการพิมพ์ (1996) จำกัด, กรุงเทพฯ.
- Abascal, K., L. Ganora and E. Yarnell. 2005. The effect of freeze-drying and its implications for botanical medicine: a review. **Phytotherapy Research**. 19: 655-660.
- Akcicek, E., S. Otles and D. Esiyok. 2005. Cancer and its prevention by some horticultural and field crops in Turkey. **Asian Pacific Journal of Cancer Prevention**. 6: 224-230.

- Aljane, F. and A. Ferchichi. 2009. Postharvest chemical properties and mineral contents of some fig (*Ficus carica* L.) cultivars in Tunisia. **Journal of Food, Agriculture & Environment**. 7(2): 209-212.
- Allen, R. R. 1965. Volatile flavour constituents in coconut oil. **Chem. Ind.** 36: 1560.
- Alonso Borbalán, A. M., L. Zorro, D. A. Guillén and C. G. Barroso. 2003. Study of the polyphenol content of red and white grape varieties by liquid chromatography-mass spectrometry and its relationship to antioxidant power. **J. Chromatogr. A**. 1012: 31-38.
- Ancos, B., E. Ibañez, G. Reglero and M. P. Cano. 200. Frozen storage effects on anthocyanins and volatile compounds of raspberry fruit. **J. Agric. Food Chem.** 48: 873-879.
- Annan, N. T., L. Poll, W. A. Plahar and M. Jakobsen. 2003. Aroma characteristics of spontaneously fermented Ghanaian maize dough for kenkey. **Eur. Food Res. Technol.** 217: 53-60.
- Answers Corp. 2008. **Furan**. Available Source: <http://www.answers.com/topic/furan>, January 30, 2012.
- AOAC. 2000. **Official Method of Analysis of AOAC International**. 17th ed. Arlington, Va: Association of Official of Analytical Chemists. Inc.
- Asami, D. K., Y.-J. Hong, D. M. Barrett and A. E. Mitchell. 2003. Comparison of the total phenolic and ascorbic acid content of freeze-dried and air-dried marionberry, strawberry, and corn grown using conventional, organic, and sustainable agricultural practices. **J. Agric. Food Chem.** 51: 1237-1247.
- Bae, S.-H. and H.-J. Suh. 2007. Antioxidant activities of five different mulberry cultivars in Korea. **LWT**. 40: 955-962.

- Balestra, G. M., A. Heydari, D. Ceccarelli, E. Ovidi and A. Quattrucci. 2009. Antibacterial effect of *Allium sativum* and *Ficus carica* extracts on tomato bacterial pathogens. **Crop Protection**. 28: 807-811.
- Baltes, W. and C. Song. 1994. New aroma compounds in wheat bread, pp. 192-205. In T. H. Parliament, M. J. Morello and R. J. McGorrin, eds. **Thermally Generated Flavors: Maillard, Microwave, and Extrusion Processes**. American Chemical Society, Washington, DC.
- Barbieri, S., M. Elustondo and M. Urbicain. 2004. Retention of aroma compounds in basil dried with low pressure superheated steam. **J. Food Engineering**. 65: 109-115.
- Bassey, M. W. 1981. Solar energy as a heat source in crop drying in Sierra Leone, pp. 73-80. In G. Yaciuk, ed. **Food Drying**. International Development Research Centre, Ottawa, Canada.
- Beltran-Garcia, M. J., M. Estarron-Espinosa and T. Ogura. 1997. Volatile compounds secreted by the oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) and their antibacterial activities. **J. Agric. Food Chem.** 45: 4049-4052.
- Bhat, N. R., B. B. Desai and M. K. Suleiman. 2010. Flavor in grapes: Its characterization and commercial applications, pp. 279-302. In Y. H. Hui, ed. **Handbook of Fruit and Vegetable Flavors**. John Wiley & Sons, Inc., Canada.
- Blasa, M., L. Gennari, D. Angelino and P. Ninfali. 2010. Fruit and Vegetable Antioxidant in Health, pp. 37-58. In R. R. Watson and V. R. Preedy, eds. **Bioactive Food in Promoting Health: Fruits and Vegetables**. Elsevier Inc., UK.

- Böhm, V., S. Kühnert, H. Rohm and G. Scholze. 2006. Improving the nutritional quality of microwave-vacuum dried strawberries: a preliminary study. **Food Science and Technology International**. 12(1): 67-75.
- Boonbumrung, S., H. Tamura, J. Mookdasanit, H. Nakamoto, M. Ishihara, T. Yoshizawa and W. Varayanond. 2001. Characteristic aroma components of the volatile oil of yellow keaw mango fruits determined by limited odor unit method. **Food Sci. Technol. Res.** 7(3): 200-206.
- Borowska, E.J., B. Mazur, R.G. Kopciuch and B. Buszewski. 2009. Polyphenol, anthocyanin and resveratrol mass fractions and antioxidant properties of cranberry cultivars. **Food Technol. Biotechnol.** 47(1): 56-61.
- Bravo, L. 1998. Polyphenols: chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance. **Nutrition Reviews**. 56(11): 317-333.
- Bucić-Kojuć, A., M. Planinić, S. Tomas, S. Jokić, I. Mujić, M. Bilić and D. Velić. 2011. Effect of extraction conditions on the extractability of phenolic compounds from lyophilized fig fruits (*Ficus Carica* L.). **Pol. J. Food Nutr. Sci.** 61(3): 195-199.
- Buttery, R. G. 1981. Vegetable and fruit flavors, pp. 175-216. In R. Teranishi, R. A. Flath and H. Sugisawa, eds. **Flavor Research**. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Buttery, R.G., D. J. Stern and L. C. Ling. 1994. Studies on flavor volatiles of some sweet corn products. **J. Agric. Food Chem.** 42: 791-795.
- _____, J. G. Turnbaugh and L. C. Ling. 1988. Contribution of volatiles to rice aroma. **J. Agric. Food Chem.** 36: 1006-1009.

- Buttery, R. G. and L. C. Ling. 1998. Additional studies on flavor components of corn tortilla chips. **J. Agric. Food Chem.** 46: 2764-2769.
- _____, R. M. Seifert, D. G. Guadagni and L. C. Ling. 1971. Characterization of additional volatile components of tomato. **J. Agric. Food Chem.** 19(3): 524-529.
- _____, _____ and L. C. Ling. 1981. Raisin and dried fig volatile components: possible insect attractants. **American Chemical Society.** 29-41.
- _____, _____, L. C. Ling, E. L. Soderstrom, J. M. Ogawa and J. G. Turnbaugh. 1982. Additional aroma components of honeydew melon. **J. Agric. Food Chem.** 30(60): 1208-1211.
- _____, R. Teranishi, L. C. Ling and J. G. Turnbaugh. 1990. Quantitative and sensory studies on tomato paste volatiles. **J. Agric. Food Chem.** 38: 336-340.
- Çalışkan, O. and A. A. Polat. 2011. Phytochemical and antioxidant properties of selected fig (*Ficus carica* L.) accessions from the eastern Mediterranean region of Turkey. **Scientia Horticulturae.** 128: 473-478.
- Cerny, C. 2010. Thermal generation of aroma-active volatiles in food, pp. 231-252. *In* A. Herrmann, ed. **The Chemistry and Biology of volatiles.** John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey.
- Chen, J. and C. T. Ho. 1999. Comparison of volatile generation in serine/threonine/glutamineribose/glucose/fructose model systems. **J. Agric. Food Chem.** 47: 643-647.
- Christensen, L. P., M. Edelenbos and S. Kreutzmann. 2007. Fruits and vegetables of moderate climate, pp. 135-187. *In* R. G. Berger, ed. **Flavours and Fragrances: Chemistry, Bioprocessing and Sustainability.** Springer, New York.

- Christoph, N. and C. Bauer-Christoph. 2007. Flavour of spirit drinks: raw materials, fermentation, distillation, and ageing, pp. 219-239. *In* R. G. Berger, ed. **Flavours and Fragrances: Chemistry, Bioprocessing and Sustainability**. Springer, New York.
- Crisosto, C. H., V. Bremer, L. Ferguson and G. M. Crisosto. 2010. Evaluating quality attributes of four fresh fig (*Ficus carica* L.) cultivars harvested at two maturity stages. **HortScience**. 45(4): 707-710.
- Condit, I. J., 1947. Chapter XVI: Fig Products. **The Fig**. pp. 141-147.
- Del Caro, A. and A. Piga. 2008. Polyphenol composition of peel and pulp of two Italian fresh fig fruits cultivars (*Ficus carica* L.). **Eur Food Res Technol**. 226: 715-719.
- Di, R. 2008. Increasing the methional content in potato through biotechnology, pp. 187-193. *In* D. Havkin-Frenkel and F. C. Belanger, eds. **Biotechnology in Flavor Production**. Blackwell Publishing Ltd., UK.
- Diaaz-Maroto M.C., M.S. Pearez-Coello and M.D. Cabezudo. 2002. Effect of drying method on the volatiles in bay leaf (*Laurus nobilis* L.). **J. Agric. Food Chem**. 5: 4520-4524.
- Douillard, C. and E. Guichard. 1990. The aroma of strawberry (*Fragaria ananassa*): characterization of some cultivars and influence of freezing. **Jorunal of the Science of Food and Agriculture**. 50: 517-531.
- Doymaz, I. 2005. Sun drying of figs: an experimental study. **Journal of Food Engineering**. 71: 403-407.
- Dueñas, M., J. J. Pérez-Alonso, C. Santos-Buelga and T. Escribano-Bailón. 2008. Anthocyanin composition in fig (*Ficus carica* L.). **Journal of Food Composition and Analysis**. 21: 107-115.

- Elss, S., C. Preston, C. Hertzog, F. Heckel, E. Richling and P. Schreier. 2005. Aroma profiles of pineapple fruit (*Ananas comosus* [L.] Merr.) and pineapple products. **Lebensm. Wiss. u. Technol.** 38: 263-274.
- Faria, A., D. Pestana, D. Teixeira, V. de Freitas, N. Mateus and C. Calhau. 2010. Blueberry anthocyanins and pyruvic acid adducts: anticancer properties in breast cancer cell lines. **Phytother. Res.** 24: 1862-1869.
- Farnworth, E. R., M. Lagace, R. Couture, V. Yaylayan and B. Stewart. 2001. Thermal processing, storage conditions and the composition and physical properties of orange juice. **Food Res. Int.** 34: 25-30.
- Fisher, C. and T. R. Scott. 1997. **Food Flavours Biology and Chemistry**. Athenaeum Press Ltd, UK.
- Fleuriet, A and J. J. Macheix. 2003. Phenolics in fruits and vegetables, pp. 1-42. *In* C. Rice-Evans and L. Packer, eds. **Flavonoids in Health and Disease**. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Gatfield, I. L. 1999. Biothechnological Production of Natural Flavor Materials, pp 211-227. *In* R. Teranidhi, E. L. Wick and I. Hornstein, eds. **Flavor Chemistry: Thirty Year of Progress**. Kluwer Academic, New York.
- Genovese, A., A. Gambuti, P. Piombino and L. Moio. 2007. Sensory properties and aroma compounds of sweet Fiano wine. **Food Chemistry**. 103: 1228-1236.
- Gibernau, M., H. R. Buser, J. E. Frey and M. Hossaert-Mckey. 1997. Volatile compounds from extracts of figs of *Ficus carica*. **Phytochemistry**. 46(2): 241-244.

Gilani, A. H., M. H. Mehmood, K. H. Janbaz, A. Khan and S.A. Saeed. 2008.

Ethnopharmacological studies on antispasmodic and antiplatelet activities of *Ficus carica*. **Journal of Ethnopharmacology**. 119: 1-5.

Giusti, M.M. and R. E. Wrolstad. 2005. Characterization and measurement of anthocyanins by UV-Visible spectroscopy, pp. 19-31. In R.E. Wrolstad, T.E. Acree, E.A. Decker, M. H. Penner, D.S. Reid, S.J. Schwartz, C.F. Shoemaker, D. Smith and P. Sporns, eds. **Handbook of Food Analytical Chemistry**. Wiley-Interscience, Hoboken, New Jersey.

Green, R. C. 2007. **Physicochemical properties and phenolic composition of selected saskatchewan fruits: buffaloberry, chokecherry and sea buckthorn**. Ph.D. Thesis, Saskatchewan University.

Grimm, C. C. and E. T. Champagne. 2002. Analysis of volatile compounds in the headspace of rice using SPME/GC/MS, pp. 229-248. In R. Marsili, ed. **Flavor, Fragrance, and Odor Analysis**. Marcel Dekker, Inc., New York.

Grosch, W. 1993. Detection of potent odorants in foods by aroma extracts dilution analysis. **Trends Food Sci. Technol.** 4(3): 68-73.

Gutiérrez-Rosales, F. 2010. History and principles of flavor analysis, pp 159-176. In Y. H. Hui, ed. **Handbook of Fruit and Vegetable Flavors**. John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey.

Guvenc, M., M. Tuzcu and O. Yilmaz. 2009. Analysis of fatty acid and some lipophilic vitamins found in the fruits of the *Ficus carica* variety picked from the adiyaman district. **Research Journal of Biological Sciences**. 4(3): 320-323.

Häkkinen, S. 2000. **Flavonols and phenolic acids in berries and berry product**. Ph.D thesis. Kuopio university.

- Hendrich, S. and P. A. Murphy. 2007. Isoflavones: source and metabolism, pp. 23-54. *In* R. E. C. Wildman, eds. **Handbook of Nutraceuticals and Functional Foods**. CRC Press Inc., New York.
- Hoffmann-Ribani, R., L. S. Huber, D. B. Rodriguez-Amaya. 2009. Flavonols in fresh and processed Brazilian fruits. **Journal of Food Composition and Analysis**. 22: 263-268.
- Hollman, P. C. H., J. M. P. van Trijp, M. N. C. P. Buysman, M. S. v.d. Gaag, M. J. B. Mengelers, J. H. M. de Vries and M. B. Katan. 1997. Relative bioavailability of the antioxidant flavonoid quercetin from various foods in man. **FEBS Letters**. 418: 152-156.
- Hossain, M. B., C. Barry-Ryan, A. B. Martin-Diana and N. P. Brunton. 2010. Effect of drying method on the antioxidant capacity of six Lamiaceae herbs. **Food Chemistry**. 123: 85-91.
- Huang, D., B. Ou and R. L. Prior. 2005. The chemistry behind antioxidant capacity assays. **J. Agric. Food Chem.** 53: 1841-1856.
- Hukkanen, A. T., S. S. Pölönen, S. O. Kärenlampi and H. I. Kokko. 2006. Antioxidant capacity and phenolic content of sweet rowanberries. **J. Agric. Food Chem.** 54: 112-119.
- Jennings, W. G. 1977. Volatile Components of Figs. **Food Chemistry**. 2: 185-191.
- Jensen, K., M. A. Petersen, L. Poll and P. B. Brockhoff. 1999. Influence of variety and growing location on the development of off-flavor in precooked vacuum-packed potatoes. **J. Agric. Food Chem.** 47: 1145-1149.
- Jeong, W.-S. and P. A. Lachance. 2001. Phytosterols and fatty acids in fig (*Ficus carica*, var Mission) fruit and tree components. **J. Food Sci.** 66(2): 278-281.

- Jiang, Y. and J. Song. 2010. Fruit and fruit flavor: classification and biological characterization, pp 3-23. *In* Y. H. Hui, ed. **Handbook of Fruit and Vegetable Flavors**. John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey.
- Katsube, T., Y. Tsurunaga, M. Sugiyama, T. Furuno and Y. Yamasaki. 2009. Effect of air-drying temperature on antioxidant capacity and stability of polyphenolic compounds in mulberry (*Morus alba* L.) leaves. *Food Chemistry*. 113: 964-969.
- Khatib, S. and J. Vaya. 2010. Fig, Carob, Pistachio, and Health, pp. 245-263. *In* R. R. Watson and V. R. Preedy, eds. **Bioactive Food in Promoting Health: Fruits and Vegetables**. Elsevier Inc., UK.
- Kim, D.-O. and O.I., Padilla-Zakour. 2004. Jam processing effect on phenolics and antioxidant capacity in anthocyanin-rich fruit: cherry, plum, and raspberry. **J. Food Sci.** 69(9): S395-S400.
- _____, K. W. Lee, H.J. Lee and C.H. Lee. 2002. Vitamin C equivalent antioxidant capacity (VCEAC) of phenolic phytochemicals. **J. Agric. Food Chem.** 50(13): 3713-3717.
- _____, O. K. Chun, Y. J. Kim, H.-Y. Moon and C. Y. Lee. 2003a. Quantification of polyphenolics and their antioxidant capacity in fresh plums. **J. Agric. Food Chem.** 51: 6509-6515.
- _____, S. W. Jeong and C.Y. Lee. 2003b. Antioxidant capacity of phenolic phytochemicals from various cultivars of plums. **Food Chemistry**. 81: 321-326.
- Kimura, K., H. Nishimura, I. Iwata and J. Mizutani. 1983. Deterioration mechanism of lemon flavor. 2. Formation mechanism of off-odor substances arising from citral. **J. Agric. Food Chem.** 31(4): 801-804.

- Kirakosyan, A., E. M. Seymour, D. E. Urcuyo Llanes, P. B. Kaufman and S. F. Bolling. 2009. Chemical profile and antioxidant capacities of tart cherry products. **Food Chemistry**. 115: 20-25.
- Kompany, E. and F. René. 1995. A note on the freeze-drying conditions for improved aroma retention in cultivated mushrooms (*Agaricus bisporus*). **Lebensm. Wiss. u. Technol.** 28: 238-240.
- Kwok, B. H. L., C. Hu, T. Durance and D. D. Kitts. 2004. Dehydration techniques affect phytochemical contents and free radical scavenging activities of saskatoon berries (*Amelanchier alnifolia* Nutt.). **J. Food Sci.** 69 (3): SNQ122-126.
- Kwon, S.-H., H.-K. Lee, J.-A. Kim, S.-I. Hong, H.-C. Kim, T.-H. Jo, Y.-I. Park, C.-K. Lee, Y.-B. Kim, S.-Y. Lee and C.-G. Jang. 2010. Neuroprotective effects of chlorogenic acid on scopolamine-induced amnesia via anti-acetylcholinesterase and anti-oxidative activities in mice. **European Joournal of Pharmacology**. 649: 210-217.
- Lamikanra, O. and O. A. Richard. 2004. Storage and ultraviolet-induced tissue stress effects on fresh-cut pineapple. **J. Sci. Food Agric.** 84: 1812-1816.
- Leffingwell, J.C. 2004. **Flavor-Base Database**, Version Date July 1, 2004.
- Leusink, G. J., D. D. Kitts, P. Yaghmaee and T. Durance. 2010. Retention of antioxidant capacity of vacuum microwave dried cranberry. **J. Food Sci.** 75(3): C311-C316.
- Lima, V.L.A.G., E.A. Melo, M.I.S. Maciel, F.G. Prazeres, R.S. Musser and D.E.S. Lima. 2005. Total phenolic and carotenoid contents in acerola genotypes harvested at three ripening stages. **Food Chemistry**. 90: 565-568.

- Liu, R. H. 2007. The potential health benefits of phytochemicals in berries for protecting against cancer and coronary heart disease, pp. 187-203. *In* Y. Zhao, ed. **Berry Fruit Value-Added Products for Health Promotion**. CRC Press, London, New York.
- Marnuele, B., L. Gennari, D. Angelino and P. Ninfali. 2010. Fruit and Vegetable Antioxidant in Health, pp. 37_58. *In* R. Watson and V. Preedy, eds. **Bioactive Foods in Promoting Health: Fruits and Vegetables**. Elsevier Inc., UK.
- Mohd Zainol, M. K., A. Abdul-Hamid, F. Abu Bakar and S. Pak Dek. 2009. Effect of different drying methods on the degradation of selected flavonoids in *Centella asiatica*. **International Food Research Journal**. 16: 531-537.
- Montero-Calderón, M., M. A. Rojas-Graü and O. Martín-Belloso. 2010. Pineapple (*Ananas comosus* [L.] Merrill), pp. 391-414. *In* Y. H. Hui, ed. **Handbook of Fruit and Vegetable Flavors**. John Wiley & Sons, Inc., Canada.
- Mookdasanit, J., H. Tamura, T. Yoshizawa, T. Tokunaga and K. Nakanishi. 2003. Trace volatile components in essential oil of *Citrus sudachi* by means of modified solvent extraction method. **Food Sci. Technol. Res.** 9(1): 54-61.
- Morton, J. 1987. Fig, pp. 47-50. *In* J. F. Morton and FL. Miami, eds. **Fruits of warm climates**. Available Source: <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/morton/fig.html>, December 4, 2010.
- Mottram, D. S. 1994. Flavour compounds formed during the Maillard reaction, pp. 104-126. *In* T.H. Parliament, M.J. Morello, R.J. McGorin, eds. **Thermally Generated Flavour: Maillard, Microwave and Extrusion Processes**. American Chemical Society, Washington, D.C.

- Mottram, D. S. 2007. The Maillard reaction: source of flavor in thermally processed foods, pp. 269-283. In R. G. Berger, ed. **Flavours and Fragrances: Chemistry, Bioprocessing and Sustainability**. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany.
- Näf, R., A. Jaquier, A. Boschung and M. Lindstrom. 1995. The sherry-lactones and solerone. Their identification in dried figs. **Flavour Fragrance J.** 10: 243-247.
- Narain, N., N. Nigam and M. De Sousa Galvão. 2010. Passion Fruit, pp. 345-389. In Y. H. Hui, ed. **Handbook of Fruit and Vegetable Flavors**. John Wiley & Sons, Inc., Canada.
- Nijssen, B. 1991. Off-flavors, pp. 689-735. In H. Maarse, ed. **Volatile Compounds in Foods and Beverages**. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Oliveira, A. P., L. R. Silva, P. B. Andrade, P. Valentão, B. M. Silva, J. A. Pereira and P. Guedes de Pinho. 2010a. Determination of low molecular weight volatiles in *Ficus carica* using HS-SPME and GC/FID. **Food Chemistry**. 121: 1289-1295.
- _____, _____, P. Guedes de Pinho, A. Gil-Izquierdo, P. Valentão, B. M. Silva, J. A. Pereira and P. B. Andrade. 2010b. Volatile profiling of *Ficus carica* varieties by HS-SPME and GC-IT-MS. **Food Chemistry**. 123: 548-557.
- Ong, P. K. C. and S. Q. Liu. 2011. Flavor and sensory characteristics of vegetables, pp. 59-82, In N. K. Sinha, ed. **Handbook of Vegetables and Vegetable Processing**. Blackwell Publishing Ltd., USA.
- Ottinger, H., A. Bareth and T. Hofmann. 2001. Characterization of natural “cooling” compounds formed from glucose and L-proline in dark malt by application of taste dilution analysis. **J. Agric. Food Chem.** 49: 1336-1344.

- Padrayuttawat, A., T. Yoshizawa, H. Tamura and T. Tokunaga. 1997. Optical isomers and odor thresholds of volatile constituents in citrus ssudachi. **Food Sci. Technol. Int. Tokyo.** 3: 402-408.
- Pai, J.S., S.S. Lomano and W.W. Nawar. 1979. Effect of heat treatments on the volatile composition of coconut oil. **J. Am. Oil Chem. Soc.** 56(4): 494-497.
- Pande, G. and C. C. Akoh. 2010. Organic acids, andtioxidant capacity, phenolic content and lipid characteridation of Georgia-grown underutilized fruit crops. **Food Chemistry.** 120: 1067-1075.
- Pawlowska, A.M., W. Oleszek and A. Braca. 2008. Quali-quantitative analyses of Flavonoids of *Morus nigra* L. and *Morus alba* L. (Moraceae) fruits. **J. Agric. Food Chem.** 56: 3377-3380.
- Pérez, A. G. and C. Sanz. 2008. Formation of fruit flavor, pp. 41-70. *In* B. Brückner and S. Grant Wyllie, eds. **Fruit and Vegetable Flavour.** CRC Press Inc., New York.
- Pickenhagen, W. 1999. Flavor chemistry-The last 30 years, pp 75-87. *In* R. Teranishi, E. L. Wick and I. Hornstein, eds. **Flavor Chemistry: Thirty Year of Progress.** Kluwer Academic, New York.
- Piga, A., A. D. Caro and G. Corda. 2003. From plums to prunes: influence of drying parameters on polyphenols and antioxidant activity. **J. Agric. Food Chem.** 51: 3675-3681.
- , I. Pinna, K. B. Ozer, M. Agabbio and U. Aksoy. 2004. Hot air dehydration of figs (*Ficus carica* L.): drying Kinetics and quality loss. **International Journal of Food Science and Technology.** 39: 793-799.

- Pollak, L. 2010. Corn flavor, pp. 803-819. In Y. H. Hui, ed. **Handbook of Fruit and Vegetable Flavors**. John Wiley & Sons, Inc., Canada.
- Preston, C., E. Richling, S. Elss, M. Apple, F. Heckel, A. Hartlieb and P. Schreier. 2003. On-line gas chromatography combustion/pyrolysis isotope ratio mass spectrometry (HRGC-C/P-IRMS) of pineapple (*Ananas comosus* [L.] Merr.) volatiles. **J. Agric. Food. Chem.** 51: 8027-8031.
- Prior, R. L., X. Wu and K. Schaich. 2005. Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplement. **J. Agric. Food Chem.** 53: 4290-4302.
- Pyysalo, T., M. Suihko and E. Honkanen. 1977. Odour thresholds of the major volatiles identified in cloudberry (*Rubus chamaemorus* L.) and arctic bramble (*Rubus arcticus* L.). **Lebensm. Wiss. u. Technol.** 10: 36-39.
- Raguso, R. and E. Pichersky. 1999. A day in the life of a linalool molecule: chemical communication in a plant-pollinator system. Part 1: linalool biosynthesis in flowering plants. **Plant Species Biology.** 14: 95-120.
- Ramaswamy, H. and M. Marcotte. 2006. **Food processing: principles and applications**. CRC Press, New York.
- Ratti, C. 2009. **Advances in Food Dehydration**. CRC Press, New York.
- Raynal, J., M. Moutounet and J.-M. Souquet. 1989. Intervention of phenolic compounds in plum technology. 1. Changes during drying. **J. Agric. Food Chem.** 37: 1046-1050.
- Reineccius, G. 1994. **Source Book of Flavors 2nd ed.** Chapman & Hall, New York.

Reineccius, G. 2006. **Flavor Chemistry and Technology**. CRC Press, Inc., New York.

Rice-Evans, C. A., N. J. Miller and G. Paganga. 1996. Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. **Free Radical Biology & Medicine**. 20(7): 933-956.

Riu-Aumatell, M., M. Castellari, E. Lopez-Tamames, S. Galassi and S. Buxaderas. 2004. Characterisation of volatile compounds of fruit juices and nectars by HS/SPME and GC/MS. **Food Chemistry**. 87: 627-637.

Roberts, D. D. and T. E. Acree. 1995. Developments in the isolation and characterization of β -damascenone precursors from apples, pp. 190-199. *In* R. L. Rouseff and M. M. Leahy, eds. **Fruit Flavors: Biogenesis, Characterization, and Authentication**. American Chemical Society, Washington, DC.

Rosen, A. A., J. B. Peter and F. M. Middleton. 1962. Odor thresholds of mixed organic chemicals. **J. Water Pollut. Control Fed.** 34: 7-14.

Rubnov, S., Y. Kashman, R. Rabinowitz, M. Schlesinger and R. Mechoulam. 2001. Suppressors of cancer cell proliferation from fig (*Ficus carica*) resin: isolation and structure elucidation. **Journal of Natural Products**. 64(7): 993-996.

Scarpellino, R. and R. J. Soukup. 1993. Key flavors from heat reactions of food ingredients, pp. 309-335. *In* T. E. Acree and R. Teranichi, eds. **Flavor Science: Sensible Principles and Techniques**. ACS professional Reference Book, Washington, DC.

Scordino, M., A. D. Mauro, A. Passerini and E. Maccarone. 2004. Adsorption of flavonoids on resins: cyanidin 3-glucoside. **J. Agric. Food Chem.** 52: 1965-1972.

- Semmelroch, P., G. Laskawy, I. Blank and W. Grosch. 1995. Determination of potent odourants in roasted coffee by stable isotope dilution assays. **Flav. Fragr. J.** 10: 1-7.
- Shahidi, F. 2000. Lipids in flavor formation, pp. 24-43. *In* S. J. Risch and C.-T. Ho, eds. **Flavor Chemistry: Industrial and Academic Research**. Oxford University Press, Washington DC.
- Shahidi, F. and M. Naczki. 2004. **Phenolics in food and nutraceuticals**. CRC Press, New York.
- Shishegarha, F., J. Makhlof and C. Ratti. 2002. Freeze-drying characteristics of strawberries. **Drying Technology**. 20: 131-145.
- Sivam, G. 2002. Analysis of Flavonoids, pp. 363-384. *In* W. J. Hurst, eds. **Methods of analysis of functional foods and nutraceuticals**. CRC Press Inc., New York.
- Sköld, M., A. T. Karlberg, M. Matura and A. Börje. 2006. The fragrance chemical β -caryophyllene-air oxidation and skin sensitization. **Food Chem. Toxicol.** 44 (4): 538-545.
- Skrede, G. 1996. Fruits, pp. 183-245. *In* Jeremiah E. L, ed. **Freezing Effects on Food Quality**. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Slatnar, A., U. Klancar, F. Stampar and R. Veberic. 2011. Effect of drying of figs (*Ficus carica* L.) on the contents of sugars, organic acids, and phenolic compounds. **J. Agric. Food Chem.** 59: 11696-11702.
- Solomon, A., S. Golubowicz, Z. Yablowicz, S. Grossman, M. Bergman, H. E. Gottlieb, A. Altman, Z. Kerem and M. A. Flaishman. 2006. Antioxidant Activities and Anthocyanin Content of Fresh Fruits of Common Fig (*Ficus carica* L.). **J. Agric. Food Chem.** 54: 7717-7723.

- Song, J. 2010. Major enzymes of flavor volatiles production and regulation in fresh fruits and vegetables, pp. 45-68. *In* A. Bayindirli, ed. **Enzymes in Fruit and Vegetable Processing: Chemistry and Engineering Applications**. CRC Press, Inc., New York.
- Sozzi, G. O., M. A. Abrajan-Villasenor, G. D. Trinchero and A. A. Fraschina. 2005. Postharvest response of 'Brown Turkey' (*Ficus carica L.*) to the inhibition of ethylene perception. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. 85: 2503-2508.
- Spanos, G. A. and R. E. Wrolstad. 1992. Phenolics of apple, pear, and white grape juices and their changes with processing and storage – a review. **J. Agric. Food Chem.** 40: 1478-1487.
- Swiegers, J. H., S. M. G. Saerens and I. S. Pretorius. 2008. The development of yeast strains as tools for adjusting the flavor of fermented beverages to market specifications, pp. 1-55. *In* D. Havkin-Frenkel and F. C. Belanger, eds. **Biotechnology in Flavor Production**. Blackwell Publishing Ltd., UK.
- Takahashi, H., H. Sumitani, Y. Inada and D. Mori. 2002. Identification of volatile compounds of kombu (*Laminaria spp.*) and their odor description. **Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi**. 49(4): 228-237.
- Tamura, H., R. H. Yang and H. Sugisawa. 1993. Aroma profiles of peel oils of acid citrus, ser. 525: 121-136. *In* R. Teranishi and H. Sugisawa, eds. **Bioactive volatile compounds from plants**. American Chemical Society, ACS Symp.
- _____, H. Nakamoto, R. H. Yang and H. Sugisawa. 1995. Characteristic aroma compounds in green algae (*Ulva pertusa*) volatiles. **Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi**. 42: 887-891.

- Tamura, H., S. Boonbumrung, T. Yoshizawa and W. Varanyanond. 2001. The volatile constituents in the peel and pulp of a green thai mango, khieo sawoei cultivar (*Mangifera indica* L.). **Food Sci. Technol. Res.** 7(1): 72-77.
- Teranishi, R., R. G. Buttery and N. Schamp. 1987. The significance of low threshold odor compounds in aroma research, pp. 515-527. *In* M. Martens, G.A. Dalen and H. Russwurm Jr, eds. **Flavour science and technology**. John Wiley & Sons.
- Tokitomo, Y., M. Steinhaus, A. Buttner and P. Schieberle. 2005. Odor-Active constituents in fresh pineapple (*Ananas comosus* [L.] Merr.) by quantitative and sensory evaluation. **Biosci. Biotechnol. Biochem.** 69: 1323-1330.
- Torres, C. de, M. C. Díaz-Maroto, I. Hermosín-Gutiérrez, M. S. Pérez-Coello. 2010. Effect of freeze-drying and oven-drying on volatiles and phenolics composition of grape skin. **Analytica Chimica Acta.** 660: 177-182.
- Tsao, R. and J. McCallum. 2010. Chemistry of Flavonoids, pp. 131-153. *In* L. A. de la Rosa, E. Alvarez-Parrilla and G. A. González-Aguilar, eds. **Fruit and Vegetable Phytochemicals: Chemistry, Nutritional Value and Stability**. Wiley-Blackwell Inc., India.
- Tulipani, S., B. Mezzetti, F. Capocasa, S. Bompadre, J. Beekwilder, C. H. Ric de Vos, E. Capanoglu, A. Bovy and M. Battino. 2008. Antioxidants, phenolic compounds, and nutritional quality of different strawberry genotypes. **J. Agric. Food Chem.** 56: 696-704.
- Ulbricht, C. 2009. Diabetes: an integrative approach. **A Natural Standard Monograph.** 15(6): 302-314.

US Department of Agriculture, Agricultural Research Service, USDA Nutrient Database for Standard Reference, Release 23, 2010. Nutrient Data Laboratory Home Page, (<http://www.nal.usda.gov/fnic/food-comp>).

Vallejo, F., J. G. Marín, F. A. Tomás-Barberán. 2012. Phenolic compound content of fresh and dried figs (*Ficus carica* L.). **Food Chemistry**. 130: 485-492.

Veberic, R., M. Colaric and F. Stampar. 2008. Phenolic acids and flavonoids of fig fruit (*Ficus carica* L.) in the northern Mediterranean region. **Food Chemistry**. 106: 153-157.

Vermerris, W. and R. Nicholson. 2006. **Phenolic Compound Biochemistry**. Springer Press, Netherlands.

Vinson, J. A. 1999. The functional food properties of figs. **Cereal Foods World**. 44(2): 82-87.

_____, L. Zubik, P. Bose, N. Samman and J. Proch. 2005. Dried Fruits: Excellent in Vitro and in Vivo Antioxidants. **Journal of the American College of Nutrition**. 24(1): 44-50.

Wang, S. Y. and H.-S. Lin. 2000. Antioxidant activity in fruits and leaves of blackberry, raspberry, and strawberry varies with cultivar and developmental stage. **J. Agric. Food Chem.** 48: 140-146.

Ware, A. B., P. T. Kaye, S. G. Compton and S. V. Noort. 1993. Fig volatiles: their role in attracting pollinators and maintaining pollinator specificity. **Plant Systematics and Evolution**. 186: 147-156.

Wasserman, A. E. 1966. Organoleptic evaluation of three phenols present in wood smoke. **J. Food Sci.** 31: 1005-1010.

- Waterhouse, A. L. 2005. Determination of total phenolics, pp. 463-470. *In* R.E. Wrolstad, T.E. Acree, E.A. Decker, M.H. Penner, D.S. Reid, S.J. Schwartz, C.F. Shoemaker, D. Smith and P. Sporns, eds. **Handbook of Food Analytical Chemistry**. Wiley-Interscience, Hoboken, New Jersey.
- Watson, T. A., R. Callister and M. L. Garg. 2007. Oxidative stress and antioxidant requirements in trained athletes, pp. 421-442. *In* R. E. C. Wildman, eds. **Handbook of Nutraceuticals and Functional Foods**. CRC Press Inc., New York.
- Whitaker, B. D. 2008. Postharvest flavor deployment and degradation in fruits and vegetables, pp. 103-131. *In* B. Brückner and S. Grant Wyllie, eds. **Fruit and Vegetable Flavour**. CRC Press Inc., New York.
- White, B. L., L. R. Howard and R. L. Prior. 2011. Impact of Different stages of juice processing on the anthocyanin, flavonol, and procyanidin contents of cranberries. **J. Agric. Food Chem.** 59: 4692-4698.
- Wildman, R. E. C. and M. Kelley. 2007. Nutraceuticals and Functional Foods, pp. 1-22. *In* R. E. C. Wildman, eds. **Handbook of Nutraceuticals and Functional Foods**. CRC Press Inc., New York.
- Wojdylo, A., A. Figiel, and J. Oszmianski. 2009. Effect of drying methods with the application of vacuum microwaves on the bioactive compounds, color, and antioxidant activity of strawberry fruits. **J. Agric. Food Chem.** 57: 1337-1343.
- Wolfe, K. L. and R. H. Liu. 2003. Apple peels as a value-added food ingredient. **J. Agric. Food Chem.** 51: 1676-1683.

- Wu, R., B. Frei, J. A. Kennedy and Y. Zhao. 2010. Effects of refrigerated storage and processing technologies on the bioactive compounds and antioxidant capacities of Marion and Evergreen blackberries. **LWT-Food Science and Technology**. 43: 1253-1264.
- Yajima, I., T. Yanai and M. Nakamura, H. Sakakibara and T. Habu. 1978. Volatile flavor components of cooked rice. **Agric. Biol. Chem.** 42(6) : 1229-1233.
- Zagari, A. 1992. Medicinal Plants. **Tehran University Publications**. 4: 969-973.
- Zhang, Z., G. Lv, H. Pan, Y. Wu and L. Fan. 2009. Effect of different drying methods and extraction condition on antioxidant properties of shiitake (*Lentinus edodes*). **Food Sci. Technol. Res.** 15(5): 547-552.
- Zoeteman, B. C. J., A. J. A. Kraayeveld and G. J. Piet. 1971. Oil pollution and drinking water odour. **H₂O**. 4: 367-371.





ภาคผนวก ก
การวิเคราะห์ทางเคมี

1. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC,2000)

1.1 อุปกรณ์

- 1.1.1 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
- 1.1.2 โถดูดความชื้น (desiccator)
- 1.1.3 ตู้อบลมร้อน
- 1.1.4 ถ้วยอะลูมิเนียม
- 1.1.5 คีมสำหรับจับถ้วยอะลูมิเนียม

1.2 วิธีการวิเคราะห์

อบถ้วยอะลูมิเนียมที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นประมาณ 30 นาที ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่แน่นอน 5 กรัม ลงในถ้วยอะลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน นำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นประมาณ 30 นาที ชั่งน้ำหนัก นำไปอบและชั่งน้ำหนักทุก 1 ชั่วโมงจนได้น้ำหนักคงที่

1.3 วิธีการคำนวณ

ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)

$$= [(น้ำหนักเริ่มต้น - น้ำหนักสุดท้าย) / น้ำหนักเริ่มต้น] * 100$$

ตารางผนวกที่ ก1 ปริมาณความชื้นของตัวอย่างผลมะเดื่อฝรั่ง

สายพันธุ์	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)		
	Fresh	Freeze dried	Oven dried
Black Genoa	86.36 $\pm$ 0.71	12.54 $\pm$ 0.30	27.17 $\pm$ 0.95
Black Mission	85.45 $\pm$ 2.74	12.92 $\pm$ 1.32	29.74 $\pm$ 1.80
Brown Turkey	88.43 $\pm$ 0.75	15.36 $\pm$ 0.95	32.59 $\pm$ 0.23
Hourai	84.45 $\pm$ 0.06	17.18 $\pm$ 1.55	30.14 $\pm$ 0.58
Kadota	78.09 $\pm$ 2.40	15.08 $\pm$ 0.25	24.34 $\pm$ 2.32

หมายเหตุ ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2. การวัดค่าวอเตอร์แอคติวิตีผลมะเดื่อฝรั่งอบแห้ง

วัดค่าวอเตอร์แอคติวิตีผลมะเดื่อฝรั่ง โดยนำตัวอย่างผลมะเดื่อฝรั่งที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนข้อ 3.1.2 ปั่นให้ละเอียด และนำมาวัดค่าวอเตอร์แอคติวิตีด้วยเครื่องวัดค่าวอเตอร์แอคติวิตี (Axair AG8808 Pfäffikon, Thermoconstanter novasina, สวิตเซอร์แลนด์)

ตารางผนวกที่ ก2 ค่าวอเตอร์แอคติวิตีของผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน

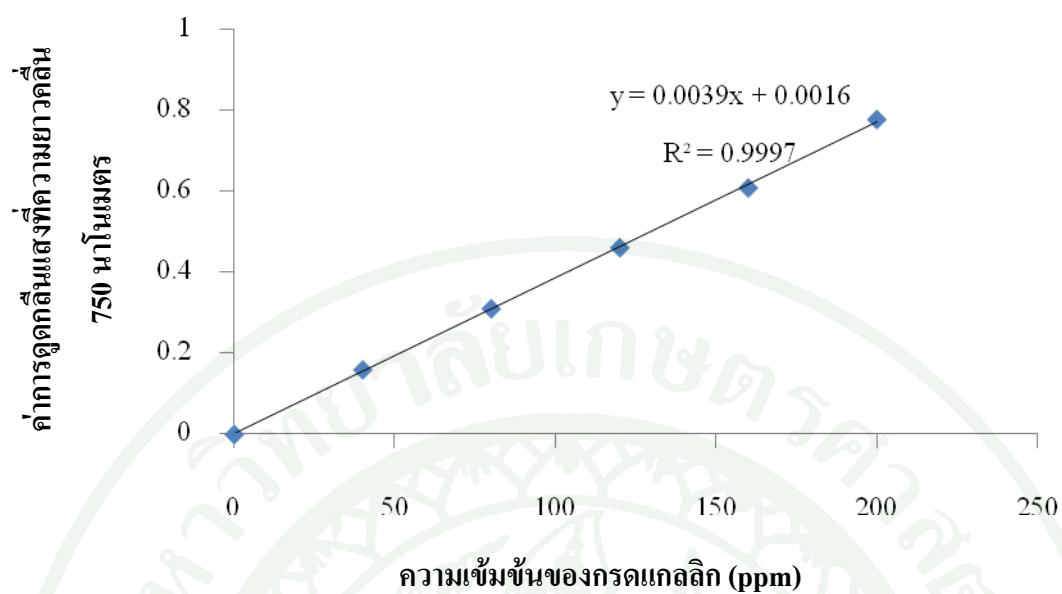
สายพันธุ์	ค่าวอเตอร์แอคติวิตี
Black Genoa	0.59 $\pm$ 0.01
Black Mission	0.59 $\pm$ 0.01
Brown-Turkey	0.67 $\pm$ 0.00
Hourai	0.60 $\pm$ 0.00
Kadota	0.56 $\pm$ 0.04

หมายเหตุ ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

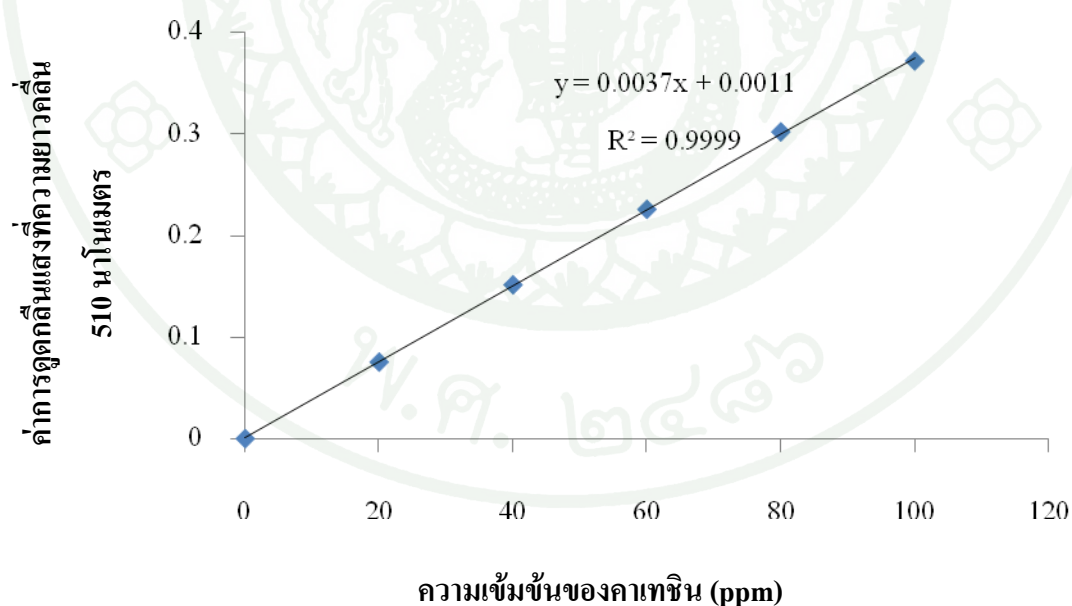


ภาคผนวก ข

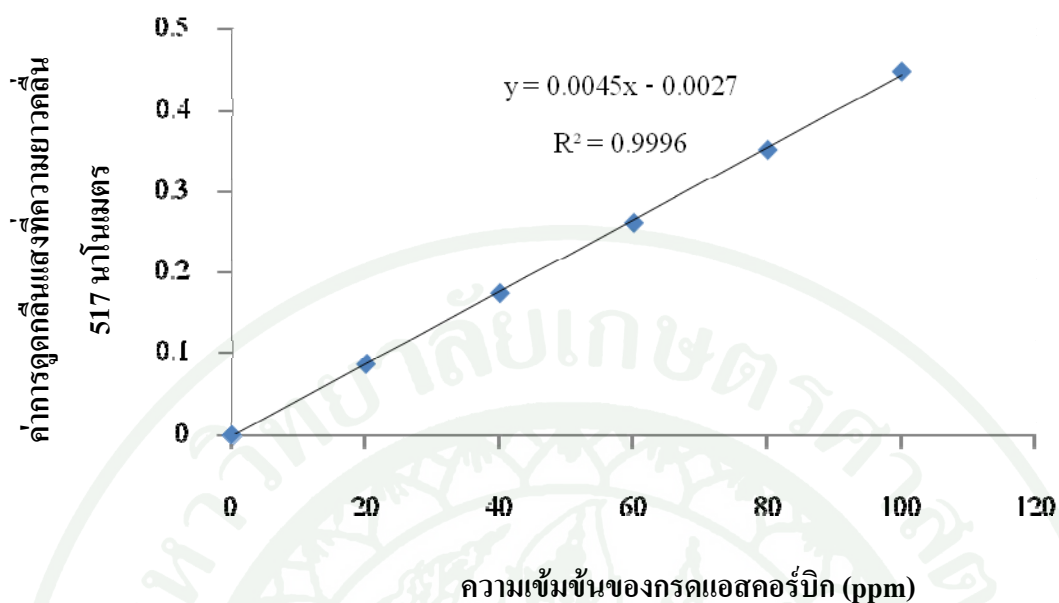
การวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด
และสมบัติการต้านออกซิเดชัน



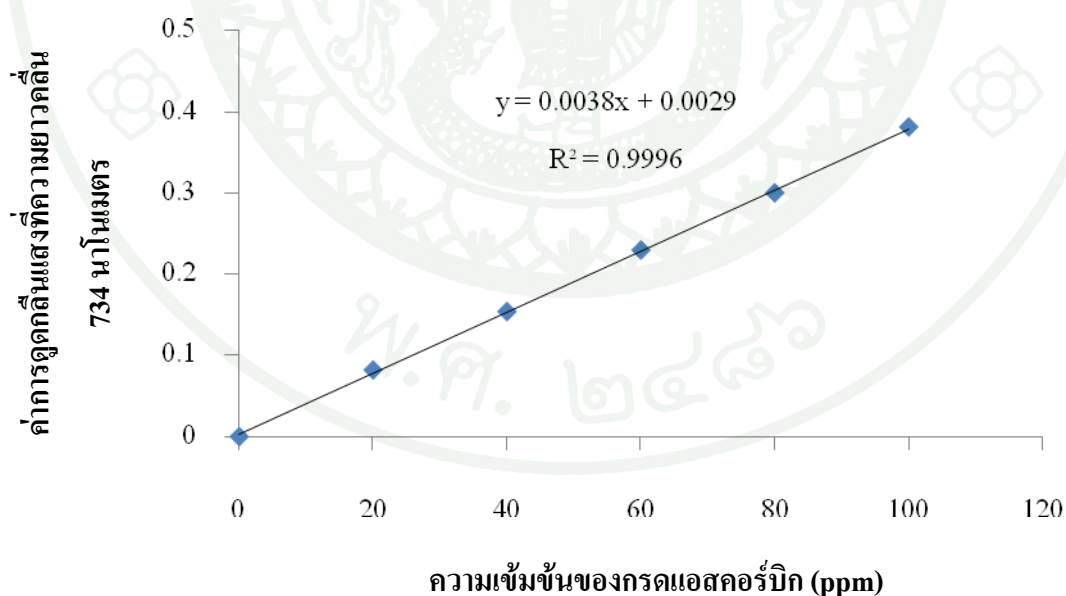
ภาพผนวกที่ ข1 กราฟมาตรฐานของกรดแกลลิกสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในผลมะเดื่อฝรั่ง



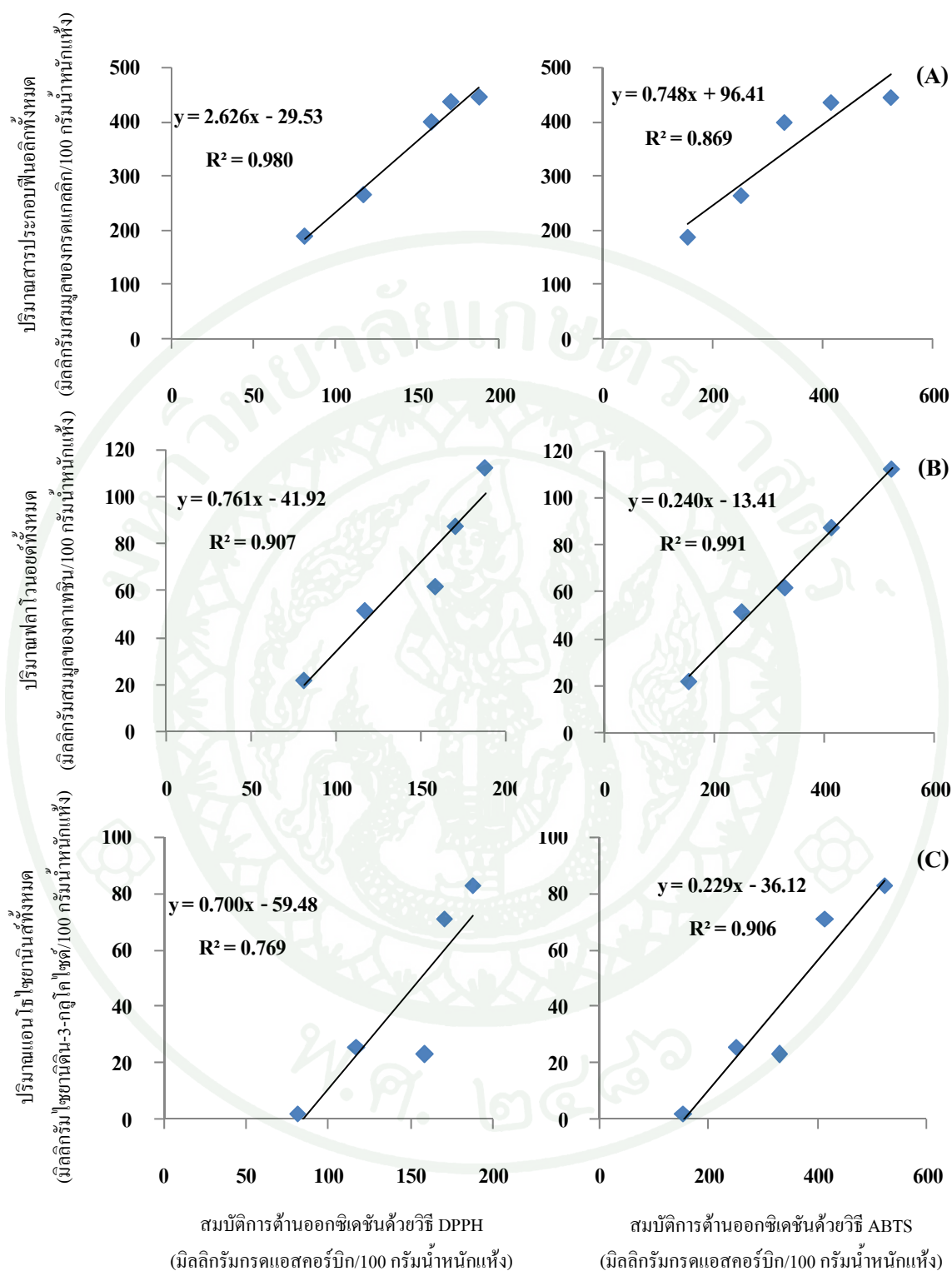
ภาพผนวกที่ ข2 กราฟมาตรฐานของคาเทชินสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในผลมะเดื่อฝรั่ง



ภาพผนวกที่ ข3 กราฟมาตรฐานของกรดแอสคอร์บิกสำหรับการวิเคราะห์สมบัติการต้านออกซิเดชัน DPPH ในผลมะเดื่อฝรั่ง



ภาพผนวกที่ ข4 กราฟมาตรฐานของกรดแอสคอร์บิกสำหรับการวิเคราะห์สมบัติการต้านออกซิเดชัน ABTS ในผลมะเดื่อฝรั่ง



ภาพผนวกที่ ๖5 กราฟแสดงค่าสหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ระหว่างสมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH และ ABTS กับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (A) ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (B) และปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (C)

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์ปริมาณ chlorogenic acid, quercetin-3-rutinoside, cyanidin-3-glucoside และ
cyanidin-3-rutinoside

พ.ศ. ๒๕๕๖

1. สภาพที่ใช้ในการวิเคราะห์ chlorogenic acid, quercetin-3-rutinoside, cyanidin-3-glucoside และ cyanidin-3-rutinoside ด้วย HPLC

1.1 สภาพในการวิเคราะห์

เครื่อง HPLC (WaterTM)

Column	: RP-C18 (Hypersil GOLD 5 μ m, 250 mm x 4.6 mm)
ระบบ Mobile phase	: Gradient
Mobile phase	: 0.1% Phosphoric acid in DI water (A) 0.1% Phosphoric acid in Acetonitrile (B)
Flow rate	: 1 ml/min
Volume inject	: 20 μ l
Detector	: Photodiode Array Detector
Wavelength	: 320 nm. (chlorogenic acid) : 370 nm. (quercetin-3-rutinoside) : 520 nm. (cyanidin-3-glucoside, cyanidin-3-rutinoside)

ตารางผนวกที่ ค1 สัดส่วนวัฏภาคเคลื่อนที่ในการวิเคราะห์ chlorogenic acid, quercetin-3-rutinoside, cyanidin-3-glucoside และ cyanidin-3-rutinoside ด้วยเทคนิค HPLC

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

1.2 วิธีการวิเคราะห์

1.2.1 นำตัวอย่างสารสกัดมะเดื่อฝรั่งและสารมาตรฐาน chlorogenic acid, quercetin-3-rutinoside, cyanidin-3-glucoside และ cyanidin-3-rutinoside ผ่านตัวกรองชนิด Nylon (Waters, Mailford, MA, USA) ขนาดรูพรุน 0.45 ไมโครเมตร

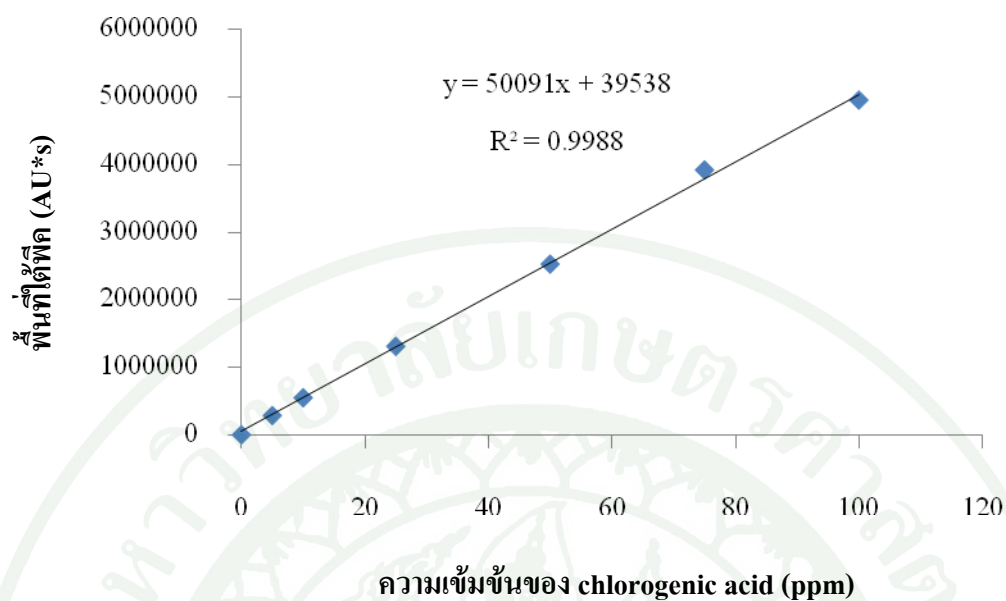
1.2.2 ฉีดสารสกัดมะเดื่อฝรั่งและสารมาตรฐานเข้าสู่เครื่อง HPLC ตามสภาวะข้างต้น เพื่อทำการวิเคราะห์

1.2.3 นำพื้นที่ใต้พีคของสารมาตรฐานมาสร้างกราฟมาตรฐาน chlorogenic acid, quercetin-3-rutinoside, cyanidin-3-glucoside และ cyanidin-3-rutinoside ดังแสดงในภาพผนวกที่ ค1-ค4 และตัวอย่างของสารมาตรฐาน chlorogenic acid, quercetin-3-rutinoside, cyanidin-3-glucoside และ cyanidin-3-rutinoside แสดงดังภาพผนวกที่ ค5-ค8

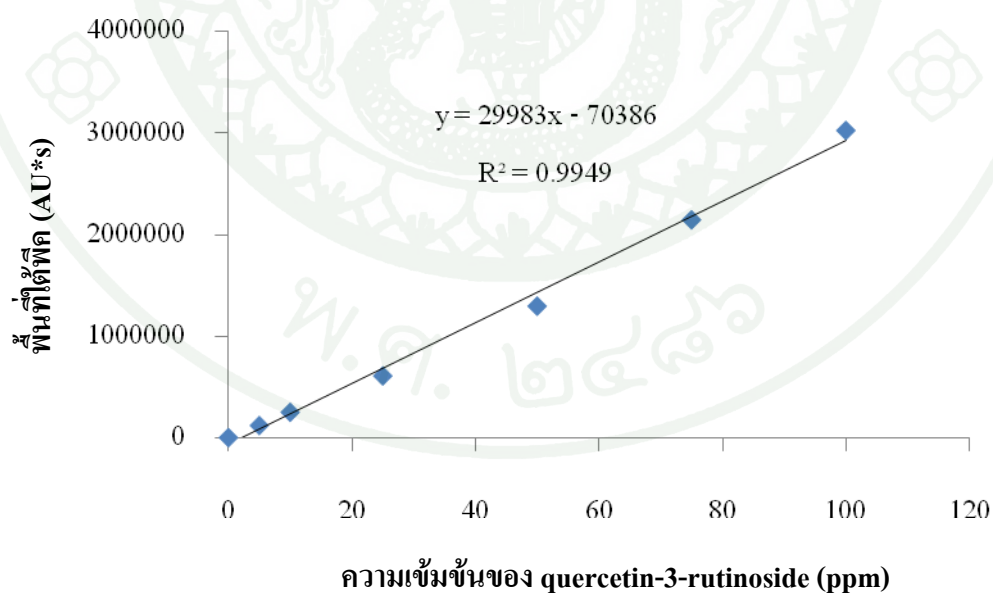
1.3 วิธีการคำนวณ

1.3.1 หาค่าพื้นที่ใต้พีคของสารที่ retention time ตรงกับเวลาของสารมาตรฐาน chlorogenic acid, quercetin-3-rutinoside, cyanidin-3-glucoside และ cyanidin-3-rutinoside โดยตรวจสอบที่ความยาวคลื่น 320, 370 และ 520 นาโนเมตร

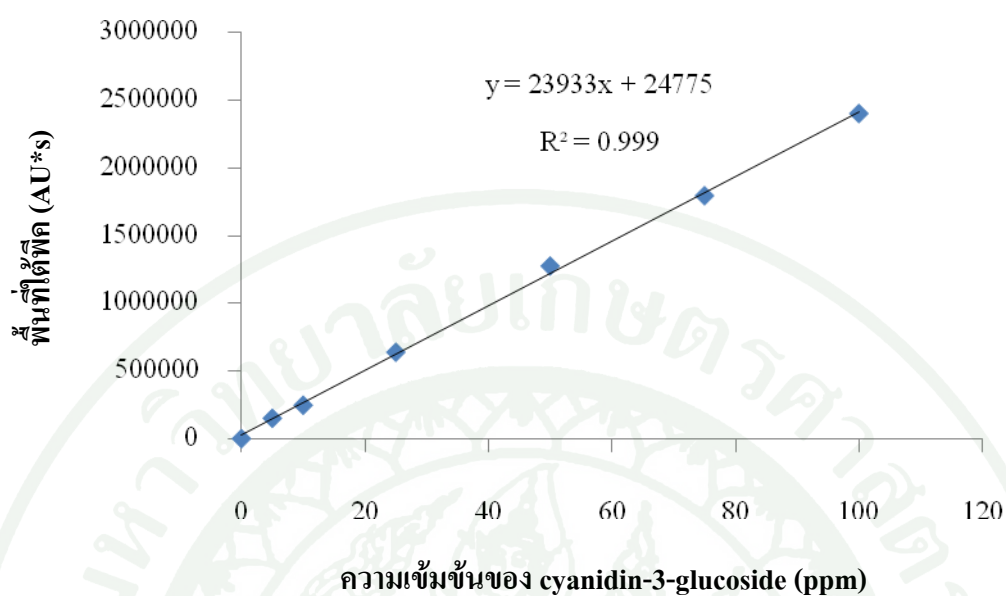
1.3.2 ปริมาณสารที่พบในตัวอย่าง คำนวณหาปริมาณสารได้โดยการแทนพื้นที่ใต้พีคที่ได้ลงในสมการจากกราฟมาตรฐาน



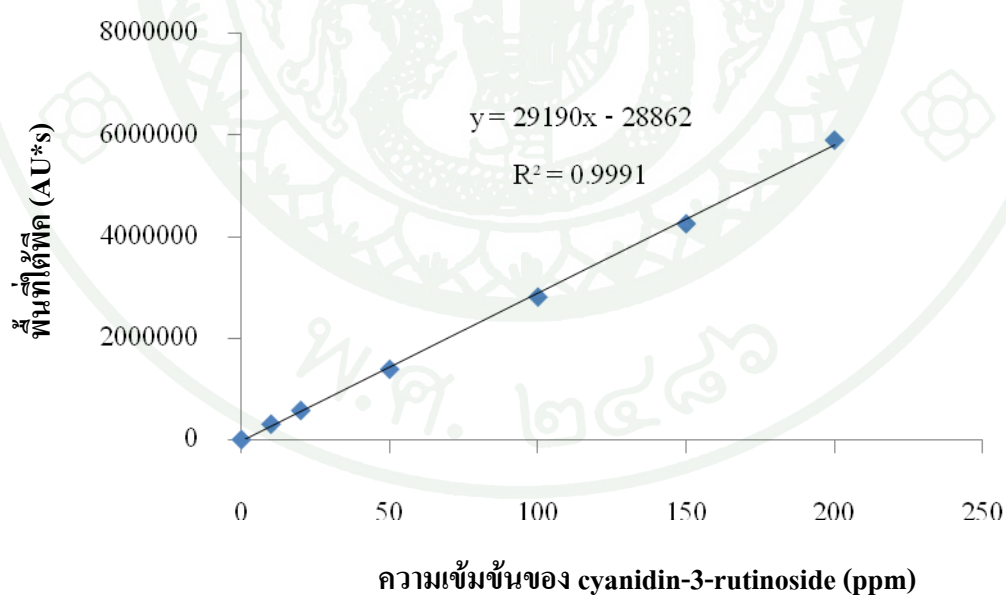
ภาพผนวกที่ ค1 กราฟมาตรฐานของ chlorogenic acid



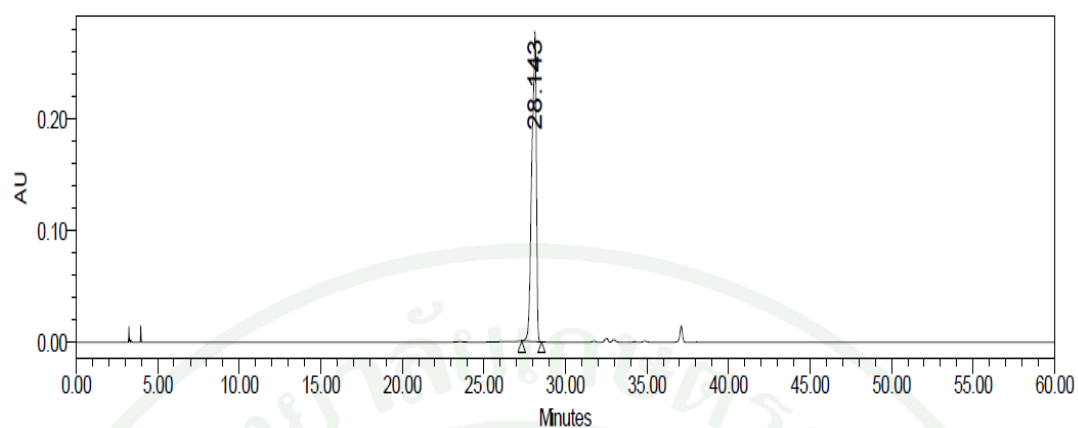
ภาพผนวกที่ ค2 กราฟมาตรฐานของ quercetin-3-rutinoside



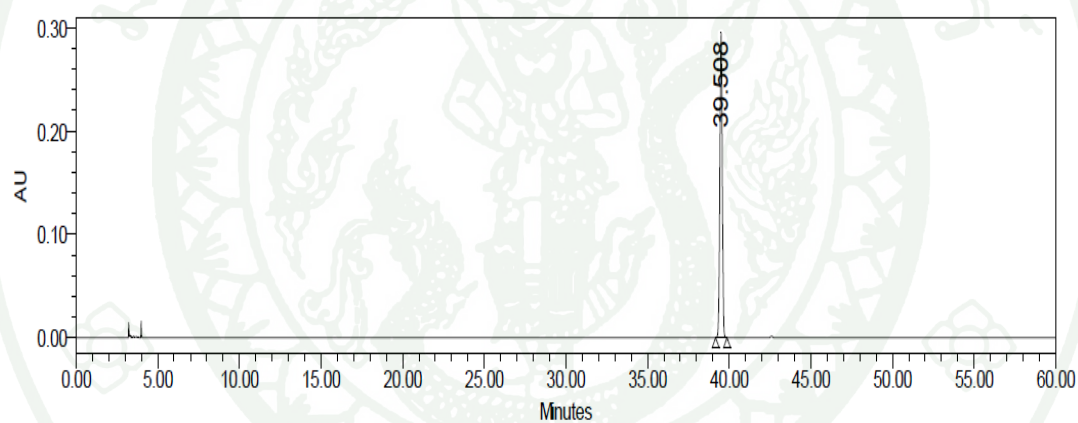
ภาพผนวกที่ ค3 กราฟมาตรฐานของ cyanidin-3-glucoside



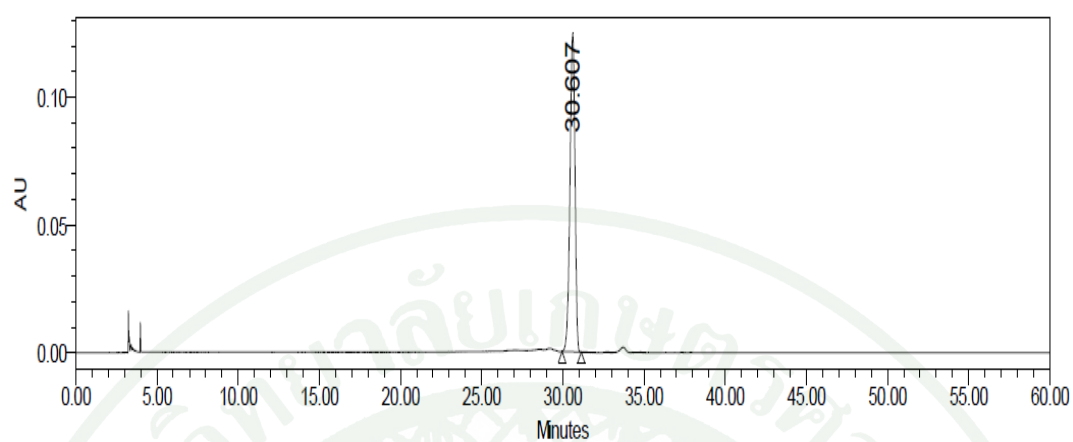
ภาพผนวกที่ ค4 กราฟมาตรฐานของ cyanidin-3-rutinoside



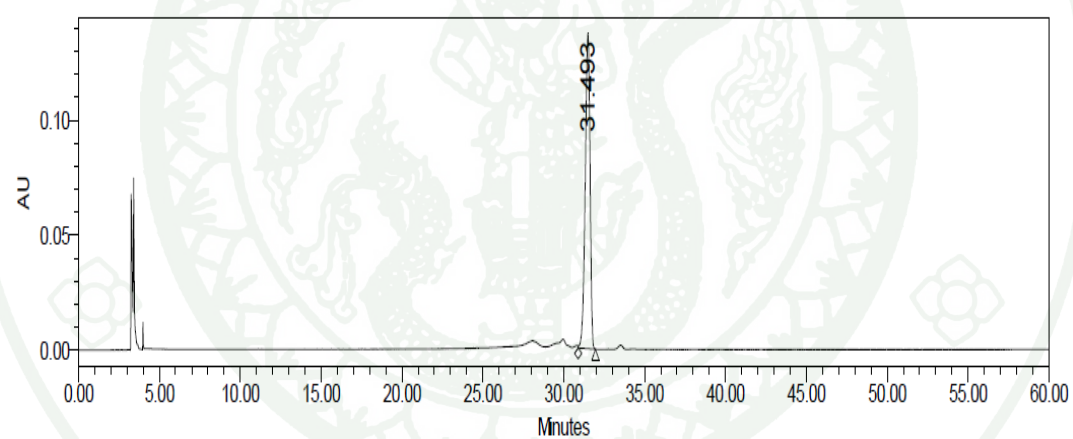
ภาพผนวกที่ ค5 ตัวอย่างโครมาโตแกรมของสารมาตรฐาน chlorogenic acid ที่ความเข้มข้น 100 ppm



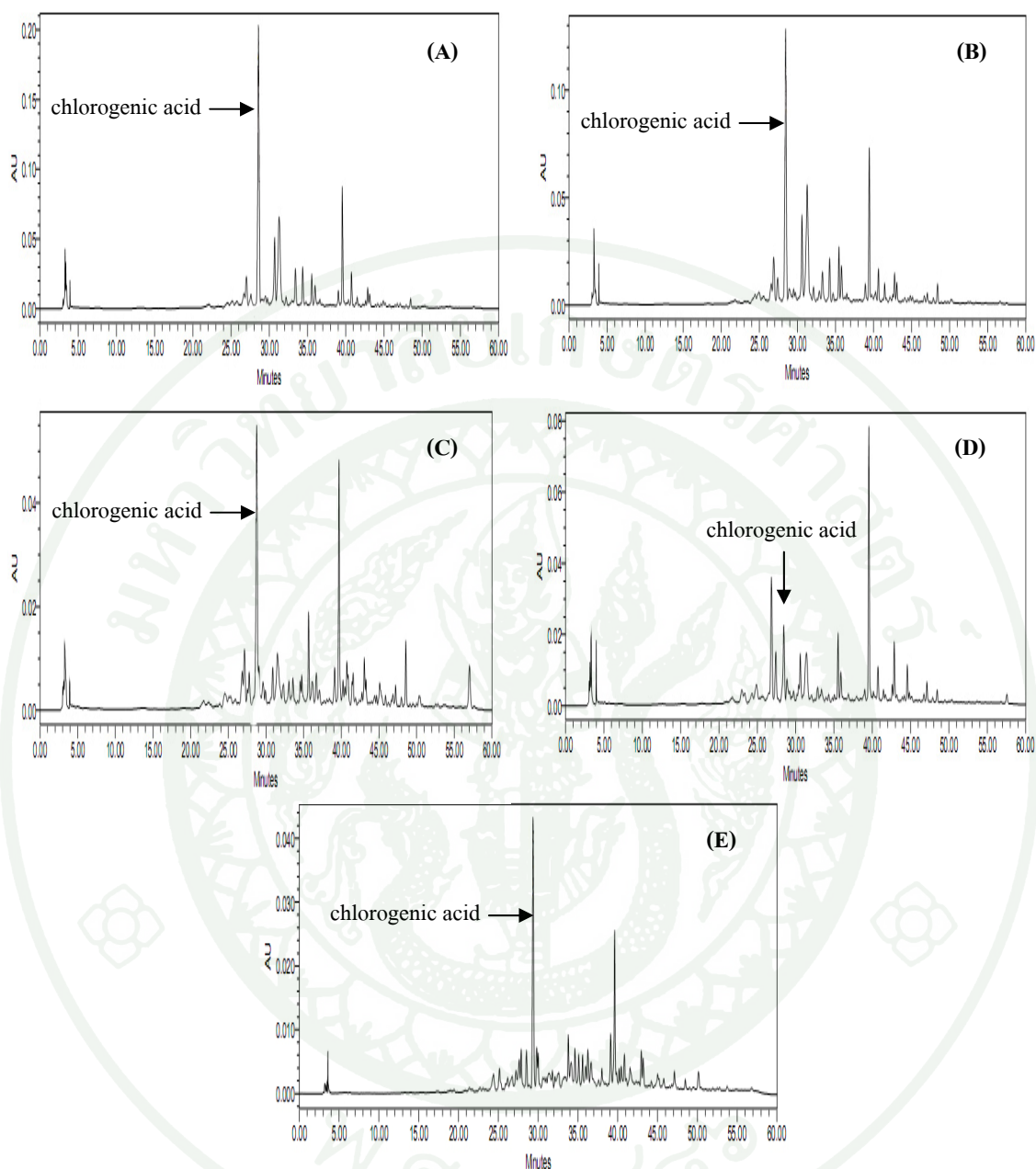
ภาพผนวกที่ ค6 ตัวอย่างโครมาโตแกรมของสารมาตรฐาน quercetin-3-rutinoside ที่ความเข้มข้น 100 ppm



ภาพผนวกที่ ค7 ตัวอย่างโครมาโตแกรมของสารมาตรฐาน cyanidin-3-glucoside ที่ความเข้มข้น 100 ppm

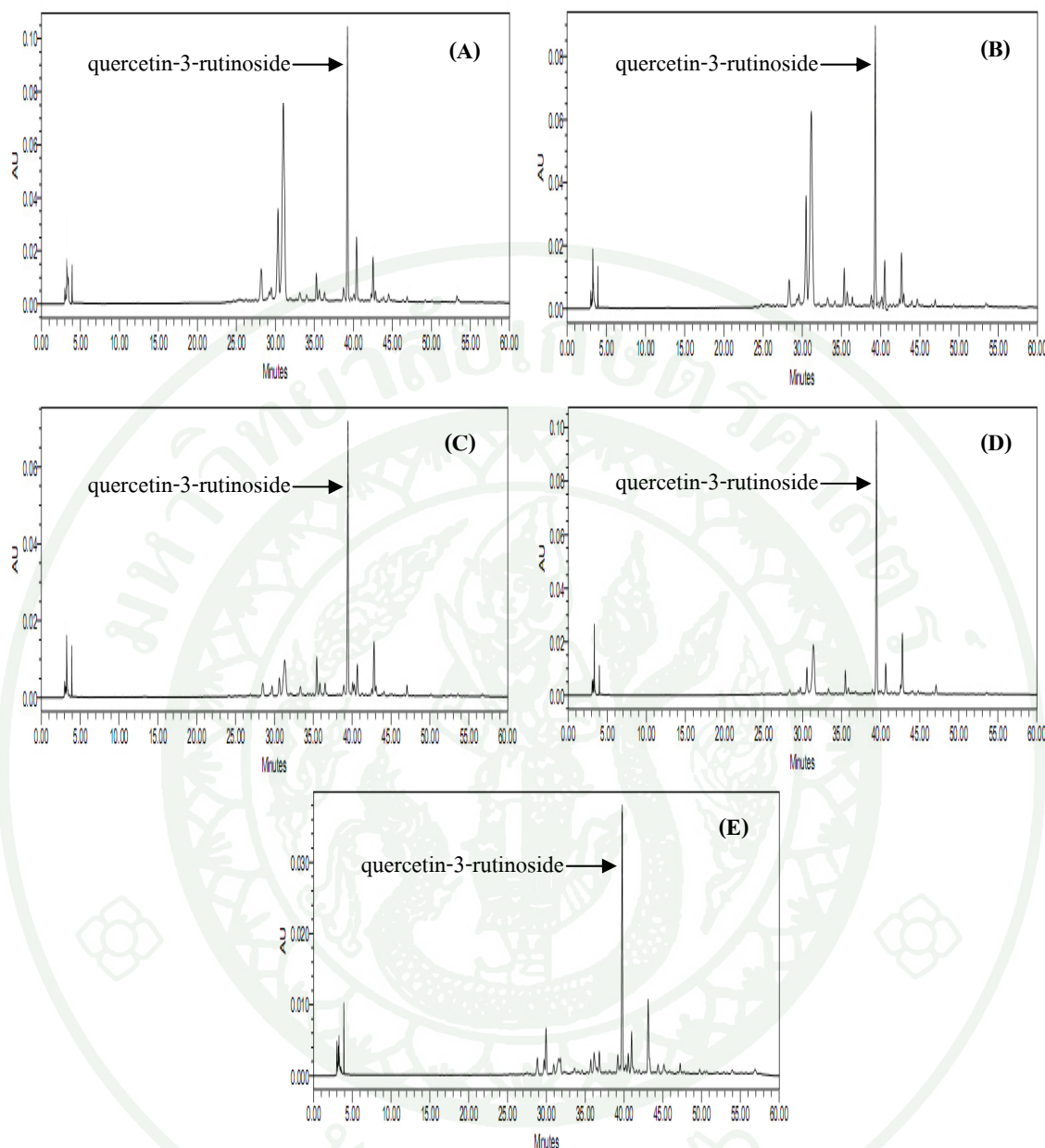


ภาพผนวกที่ ค8 ตัวอย่างโครมาโตแกรมของสารมาตรฐาน cyanidin-3-rutinoside ที่ความเข้มข้น 100 ppm



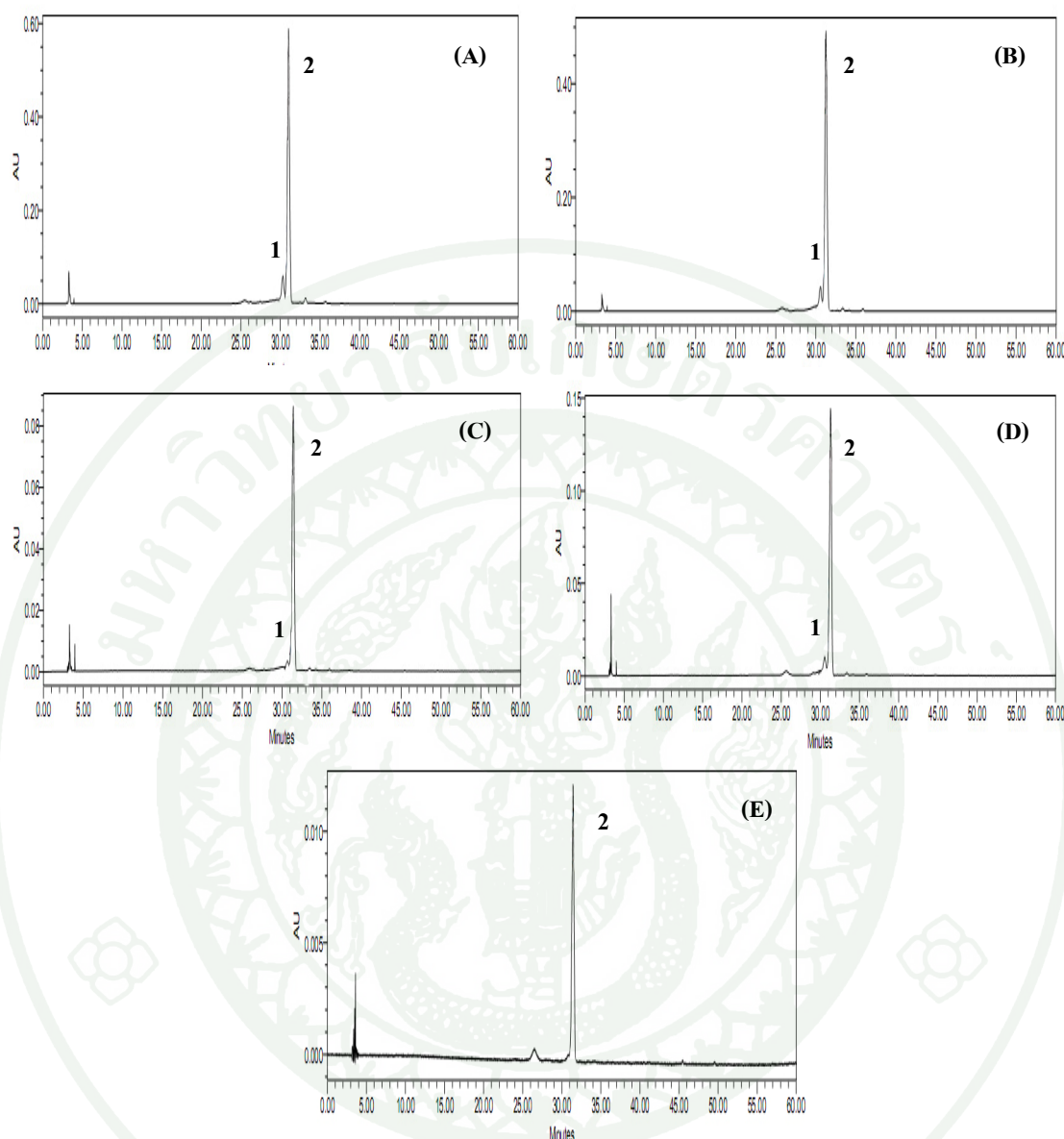
ภาพผนวกที่ ๑๑ โครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ซึ่งวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC ที่ความยาวคลื่น 320 นาโนเมตร (chlorogenic acid)
(A: สายพันธุ์ Black Genoa; B: สายพันธุ์ Black Mission; C: สายพันธุ์ Brown Turkey; D: สายพันธุ์ Hourai และ E: สายพันธุ์ Kadota)

หมายเหตุ ไม่ได้แสดงโครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งสดและผลมะเดื่อฝรั่งที่อบด้วยลมร้อน เนื่องจากมีลักษณะคล้ายคลึงกับผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งแต่มีปริมาณ chlorogenic acid น้อยกว่า



ภาพผนวกที่ ค10 โครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ซึ่งวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC ที่ความยาวคลื่น 370 นาโนเมตร (quercetin-3-rutinoside)
(A: สายพันธุ์ Black Genoa; B: สายพันธุ์ Black Mission; C: สายพันธุ์ Brown Turkey; D: สายพันธุ์ Hourai และ E: สายพันธุ์ Kadota)

หมายเหตุ ไม่ได้แสดงโครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งสดและผลมะเดื่อฝรั่งที่อบด้วยลมร้อน เนื่องจากมีลักษณะคล้ายคลึงกับผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งแต่มีปริมาณ quercetin-3-rutinoside น้อยกว่า



ภาพผนวกที่ 11 โครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ซึ่งวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC ที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร (1: cyanidin-3-glucoside; 2: cyanidin-3-rutinoside) (A: สายพันธุ์ Black Genoa; B: สายพันธุ์ Black Mission; C: สายพันธุ์ Brown Turkey; D: สายพันธุ์ Hourai และ E: สายพันธุ์ Kadota)

หมายเหตุ ไม่ได้แสดงโครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งสดและผลมะเดื่อฝรั่งที่อบด้วยลมร้อน เนื่องจากมีลักษณะคล้ายคลึงกับผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งแต่มีปริมาณ cyanidin-3-glucoside และ cyanidin-3-rutinoside น้อยกว่า



1. การคำนวณค่า Retention Index (RI)

$$RI = 100 N + 100n \frac{t_{Ra} - t_{RN}}{t_{R(N+n)} - t_{RN}}$$

- เมื่อ N = จำนวนอะตอมของคาร์บอนในสารมาตรฐานอัลเคนที่มีคาร์บอนน้อยกว่า
 n = ความแตกต่างระหว่างจำนวนอะตอมของคาร์บอนในสารมาตรฐานอัลเคน 2 ตัว
 ที่ค่า retention time (RT) ของตัวอย่างอยู่ระหว่างกลาง
 t_{Ra} = RT ของตัวอย่างสารระเหยที่ต้องการวิเคราะห์ค่า RI
 t_{RN} = RT ของสารมาตรฐานอัลเคนที่มีคาร์บอนน้อยกว่า
 $t_{R(N+n)}$ = RT ของสารมาตรฐานอัลเคนที่มีคาร์บอนมากกว่า

2. การคำนวณความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารระเหย

$$C_s = \frac{C_i \times A_s \times V_i \times r}{A_i \times W_s}$$

- เมื่อ C_s = ความเข้มข้นสัมพัทธ์ของตัวอย่าง (นาโนกรัม/กรัม)
 C_i = ความเข้มข้นของ internal standard (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ในไดเอทิลอีเทอร์)
 A_s = พื้นที่ใต้พีคของตัวอย่าง
 A_i = พื้นที่ใต้พีคของ internal standard
 V_i = ปริมาตรของ internal standard ที่ใช้ (ไมโครลิตร)
 W_s = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์ (กรัม)
 r = response factor ของสารระเหยเท่ากับ 1.0

ตารางผนวกที่ ๑1 ชนิดและปริมาณสารระเหยของผลไม้ฝรั่ง 5 สายพันธุ์ที่ผ่านการทำแห้ง

ที่ ¹	สารระเหย ²	RI ³		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (ng/g dry weight basis)									
		HP-5	FFAP	freeze dried					oven dried				
				Black Genoa	Black Mission	Brown Turkey	Hourai	Kadota	Black Genoa	Black Mission	Brown Turkey	Hourai	Kadota
Hydrocarbons													
30	undecane ^B	1093	1097	106.43	134.68	90.85	32.69	38.99	41.84	53.85	33.92	15.18	9.54
37	dodecane ^B	1200	1200	253.93	328.87	235.27	102.86	118.97	177.02	210.22	138.11	55.75	35.21
22	<i>l</i> -limonene ^A	1033	1190	n.d.	n.d.	n.d.	9.34	n.d.	7.41	4.28	5.22	2.21	n.d.
43	tridecane ^B	1300	1300	281.00	396.21	251.24	125.51	154.68	222.05	279.27	138.61	53.33	43.31
49	tetradecane ^B	1399	1400	30.33	45.56	33.47	14.10	19.07	28.93	28.44	16.35	15.59	9.12
81	α -cubebene ^B	1407	1449	n.d.	n.d.	n.d.	5.60	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
46	α -copaene ^B	1389	1482	n.d.	n.d.	n.d.	5.71	n.d.	5.07	6.46	2.77	2.85	1.14
50	α -gurjunene ^B	1427	1553	26.96	34.10	9.76	21.85	n.d.	46.11	31.43	12.63	11.77	2.48
65	(<i>E</i>)- α -bergamotene ^B	1447	1571	6.78	n.d.	5.44	n.d.	n.d.	n.d.	5.63	n.d.	n.d.	n.d.
51	β -caryophyllene ^A	1437	1588	106.61	161.52	23.13	12.90	n.d.	263.82	144.81	12.28	6.07	n.d.
55	alloaromadendrene ^B	1480	1637	n.d.	n.d.	n.d.	2.97	n.d.	3.21	n.d.	n.d.	2.37	2.76

ตารางผนวกที่ ๑1 (ต่อ)

ที่ ¹	สารระเหย ²	RI ³		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (ng/g dry weight basis)									
		HP-5	FFAP	freeze dried					oven dried				
				Black	Black	Brown	Hourai	Kadota	Black	Black	Brown	Hourai	Kadota
				Genoa	Mission	Turkey			Genoa	Mission	Turkey		
54	seychellene ^B	1467	n.d.	20.61	27.61	n.d.	12.53	n.d.	28.48	20.52	15.46	6.88	n.d.
56	germacrene-D ^B	1499	1702	7.71	13.19	n.d.	52.36	5.06	5.01	n.d.	3.08	33.19	4.28
69	α -muurolene ^B	1509	1717	n.d.	n.d.	n.d.	7.29	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	2.69	n.d.
52	β -himachalene ^B	1449	1744	11.40	18.48	n.d.	9.25	n.d.	16.84	12.23	n.d.	5.54	n.d.
57	δ -cadinene ^B	1535	1750	16.29	17.77	n.d.	52.78	n.d.	21.70	5.60	7.08	12.54	n.d.
subtotal				868.05	1177.99	649.16	467.74	336.77	884.64	814.32	385.51	225.96	107.84
<u>Ketones</u>													
4	3-hydroxy-2-butanone ^B	708	1294	30.28	8.21	n.d.	n.d.	12.05	89.69	187.05	14.90	45.19	153.10
16	2,3-octanedione ^B	984	1322	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	7.40	7.68	7.58	3.57	6.18	0.90
17	6-methyl-5-hepten-2-one ^B	988	1336	12.76	16.82	16.03	11.44	4.51	12.46	11.06	28.04	3.66	12.78
	(2-methyl-2-hepten-6-one)												
29	(E,E)-3,5-octadiene-2-one ^B	1089	1577	18.98	15.92	9.24	26.35	14.80	9.29	9.86	n.d.	n.d.	2.07

ตารางผนวกที่ ๑1 (ต่อ)

ที่ ¹	สารระเหย ²	RI ³		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (ng/g dry weight basis)									
		HP-5	FFAP	freeze dried					oven dried				
				Black	Black	Brown	Hourai	Kadota	Black	Black	Brown	Hourai	Kadota
				Genoa	Mission	Turkey			Genoa	Mission	Turkey		
33	6-methyl-3,5-heptadien-2-one ^B	1108	1611	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	18.91	20.89	14.70	3.87	18.26
48	(E)-β-damascenone ^B	1394	1819	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	16.30	13.11	31.94	13.14	3.55
53	geranylacetone ^B	1457	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	6.15	5.63	6.85	n.d.	2.62
	subtotal			62.02	40.95	25.27	37.79	38.76	160.48	255.18	100.00	72.04	193.28
	<u>Alcohols</u>												
1	ethanol ^B	< 600	937	146.72	85.09	37.82	43.98	82.44	76.17	82.39	55.12	48.45	30.92
70	3-methyl-1-butanol ^A	731	1207	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	12.05
5	2,3-butanediol ^B	785	n.d.	18.43	33.36	n.d.	9.97	5.37	15.59	n.d.	n.d.	1.27	n.d.
82	1-hexanol ^A	868	1353	n.d.	n.d.	n.d.	5.12	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
15	1-octen-3-ol ^A	980	1448	7.76	12.83	7.38	8.72	6.49	13.54	13.76	8.50	3.83	5.40
93	6-methyl-5-hepten-2-ol ^B	n.d.	1463	n.d.	n.d.	10.23	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
21	2-ethylhexanol ^B	1024	1488	18.74	19.22b	25.27	21.84	16.83	8.45	6.01	7.04	2.95	0.61

ตารางผนวกที่ ๑1 (ต่อ)

ที่ ¹	สารระเหย ²	RI ³		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (ng/g dry weight basis)									
		HP-5	FFAP	freeze dried					oven dried				
				Black Genoa	Black Mission	Brown Turkey	Hourai	Kadota	Black Genoa	Black Mission	Brown Turkey	Hourai	Kadota
31	<i>l</i> -linalool ^A	1095	1546	16.54	25.79	43.38	11.37	15.21	4.46	13.92	n.d.	6.26	5.18
61	1-octanol ^B	1070	1558	n.d.	10.73	6.79	6.00	7.27	9.49	n.d.	n.d.	3.69	0.86
67	<i>l</i> -(-)-menthol ^B	1180	1640	n.d.	n.d.	n.d.	6.83	11.63	n.d.	n.d.	n.d.	7.33	n.d.
23	benzenemethanol ^B	1038	1889	31.81	97.16	186.85	28.97	18.57	10.10	15.06	3.06	39.78	1.34
34	benzeneethanol ^A	1118	1925	22.27	5.50	9.74	1.61	4.22	7.85	5.15	2.63	3.76	2.12
96	cinnamyl alcohol ^B	n.d.	2274	n.d.	n.d.	3.96	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	subtotal			262.27	289.68	331.42	144.41	168.03	145.65	136.29	76.35	117.32	58.48
	<u>Aldehydes</u>												
3	2-methyl butanal ^B	654	906	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	36.32	38.25	41.46	18.11	32.55
2	3-methyl butanal ^B	649	911	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	55.38	62.50	85.46	21.95	46.74
66	pentanal ^B	697	985	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	17.55	6.34	13.55
6	hexanal ^A	800	1084	24.54	48.65	11.59	68.48	10.03	18.99	23.23	25.11	8.58	48.40

ตารางผนวกที่ ๑1 (ต่อ)

ที่ ¹	สารระเหย ²	RI ³		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (ng/g dry weight basis)									
		HP-5	FFAP	freeze dried					oven dried				
				Black Genoa	Black Mission	Brown Turkey	Hourai	Kadota	Black Genoa	Black Mission	Brown Turkey	Hourai	Kadota
71	2-methyl-2-butenal ^B	741	1096	4.59	10.06	6.66	n.d.	4.68	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	2.21
62	heptanal ^B	902	1185	n.d.	10.86	5.69	13.45	2.74	n.d.	4.80	8.03	3.32	5.85
8	(E)-2-hexenal ^B	853	1220	43.61	60.48	33.04	79.61	5.53	2.41	3.12	2.25	1.06	n.d.
19	octanal ^B	1004	1287	n.d.	11.59	7.75	22.37	n.d.	8.36	7.85	20.28	6.07	7.56
13	(E)-2-heptenal ^B	957	1325	3.67	5.87	n.d.	8.52	n.d.	13.66	15.83	30.91	6.37	12.67
32	nonanal ^A	1105	1395	56.46	79.62	69.50	47.67	35.35	24.08	19.41	39.38	16.12	12.56
26	(E)-2-octenal ^B	1060	1429	n.d.	n.d.	n.d.	11.10	n.d.	16.69	13.21	7.45	6.18	5.65
20	(E, E)-2,4-heptadienal ^B	1012	1477	15.28	15.68	9.70	7.68	6.34	17.26	14.30	18.21	7.23	5.46
25	benzeneacetaldehyde ^B	1048	n.d.	10.78b	16.81a	n.d.	n.d.	n.d.	43.44	44.16	46.70	20.33	18.33
39	decanal ^B	1207	1495	17.21	25.82	26.76	9.60	12.23	19.84	17.98	18.91	6.89	11.11
77	2,4-heptadienal ^B	992	1502	23.89	23.29	10.37	10.47	11.08	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

ตารางผนวกที่ ๑1 (ต่อ)

ที่ ¹	สารระเหย ²	RI ³		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (ng/g dry weight basis)									
		HP-5	FFAP	freeze dried					oven dried				
				Black	Black	Brown	Hourai	Kadota	Black	Black	Brown	Hourai	Kadota
				Genoa	Mission	Turkey			Genoa	Mission	Turkey		
14	benzaldehyde ^A	965	1530	17.56	38.24	103.23	7.55	57.52	181.42	279.21	109.76	44.20	331.71
35	(<i>E</i>)-2-nonenal ^B	1162	1543	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	6.04	5.19	7.65	n.d.	2.97
41	β-cyclocitral ^B	1230	1620	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	5.49	7.84	10.18	3.53	4.14
40	(<i>E,E</i>)-2,4-nonadienal ^B	1218	1707	n.d.	n.d.	n.d.	7.51	n.d.	2.54	n.d.	2.49	n.d.	n.d.
80	<i>E</i> -citral ^A	1275	1736	n.d.	n.d.	4.65	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
44	(<i>E,E</i>)-2,4-decadienal ^B	1312	1814	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	6.50	4.83	1.21	2.08	1.17
42	2-phenyl-2-butenal ^B	1281	1945	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	13.83	16.74	14.18	4.96	32.00
64	cinnamaldehyde ^B	1280	2062	1.22	n.d.	2.57	n.d.	1.82	3.06	5.28	n.d.	1.08	0.97
	subtotal			218.81	352.61	294.95	294.01	147.32	475.31	583.73	507.17	184.40	595.60
<u>Esters</u>													
72	ethyl acetate ^B	612	< 900	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	59.81
63	methyl hexanoate ^B	924	1180	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	3.76	1.64	2.05	9.80

ตารางผนวกที่ ๑1 (ต่อ)

ที่ ¹	สารระเหย ²	RI ³		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (ng/g dry weight basis)									
		HP-5	FFAP	freeze dried					oven dried				
				Black Genoa	Black Mission	Brown Turkey	Hourai	Kadota	Black Genoa	Black Mission	Brown Turkey	Hourai	Kadota
73	ethyl hexanoate ^A	999	1226	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	15.15	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	27.42
68	ethyl octanoate ^A	1197	1427	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	12.41	n.d.	n.d.	n.d.	2.67	14.21
89	ethyl benzoate ^B	1177	1667	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	13.95	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
38	methyl salicylate ^B	1202	1791	n.d.	n.d.	n.d.	13.83	n.d.	4.52	3.19	n.d.	3.07	2.68
47	methyl cinnamate	1391	2102	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	5.91	6.40	n.d.	2.09	2.95
59	methyl palmitate	1928	2212	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	7.90	8.22	5.58	5.95	8.89
88	ethyl-3-hydroxybutyrate ^B	935	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	8.00	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
60	ethyl palmitate ^B	1995	2248	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	8.34	9.75	1.56	7.24	11.85
	subtotal			n.d.	n.d.	n.d.	13.83	49.51	26.67	31.32	8.78	23.07	137.61
	<u>Acids</u>												
91	acetic acid ^B	n.d.	1465	11.29	n.d.	n.d.	5.17	n.d.	24.97	21.95	n.d.	29.03	10.70
92	hexanoic acid ^B	n.d.	1853	15.33	19.92	n.d.	6.81	17.63	17.41	15.20	8.40	n.d.	9.48

ตารางผนวกที่ ๑1 (ต่อ)

ที่ ¹	สารระเหย ²	RI ³		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (ng/g dry weight basis)									
		HP-5	FFAP	freeze dried					oven dried				
				Black Genoa	Black Mission	Brown Turkey	Hourai	Kadota	Black Genoa	Black Mission	Brown Turkey	Hourai	Kadota
97	(E)-2-hexenoic acid ^B	n.d.	1993	n.d.	n.d.	n.d.	3.45	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
102	octanoic acid	n.d.	2079	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	2.71	1.41
	subtotal			26.62	19.92	n.d.	15.43	17.63	42.38	37.15	8.40	31.74	21.59
	<u>Phenols</u>												
83	guaiacol ^A	1096	1872	2.36	13.76	13.92	n.d.	6.06	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
94	2-methoxy-4-methylphenol ^B	n.d.	1971	n.d.	n.d.	20.99	n.d.	11.00	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.78
95	2-methylphenol ^A	n.d.	2017	n.d.	n.d.	3.49	n.d.	2.96	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
85	4-ethyl-2-methoxyphenol ^B	1287	2008	n.d.	n.d.	6.08	n.d.	3.10	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
45	2-methoxy- 4-vinylphenol	1321	2223	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	6.57	3.83	1.47	8.00	n.d.
	subtotal			2.36	13.76	44.48	n.d.	23.12	6.57	3.83	1.47	8.00	0.78
	<u>Pyrans</u>												
58	caryophyllene oxide ^A	1605	1959	16.19	16.27	n.d.	n.d.	n.d.	8.75	8.86	n.d.	n.d.	n.d.

ตารางผนวกที่ ๑1 (ต่อ)

ที่ ¹	สารระเหย ²	RI ³		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (ng/g dry weight basis)									
		HP-5	FFAP	freeze dried					oven dried				
				Black Genoa	Black Mission	Brown Turkey	Hourai	Kadota	Black Genoa	Black Mission	Brown Turkey	Hourai	Kadota
74	psoralene ^B	1838	n.d.	2.62	7.42	8.02	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	subtotal			18.81	23.69	8.02	n.d.	n.d.	8.75	8.86	n.d.	n.d.	n.d.
	<u>Lactones</u>												
11	γ -butyrolactone ^B	915	1651	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	46.74	41.94	21.26	14.29	18.97
24	4-methyl-4-vinylbutyrolactone ^B	1045	1686	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	4.47	8.92	n.d.	n.d.	14.08
	subtotal			n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	51.21	50.86	21.26	14.29	33.05
	<u>Furans</u>												
18	2-pentylfuran ^B	993	1221	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	29.10	43.72	17.94	7.03	40.17
27	cis -linalool oxide ^B	1078	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	15.31	28.47	14.13	10.40	33.47
12	2-methyl-5-isopropenylfuran ^B	937	1240	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	7.05	7.41	3.65	3.24	1.64

ตารางผนวกที่ ๑1 (ต่อ)

ที่ ¹	สารระเหย ²	RI ³		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (ng/g dry weight basis)									
		HP-5	FFAP	freeze dried					oven dried				
				Black Genoa	Black Mission	Brown Turkey	Hourai	Kadota	Black Genoa	Black Mission	Brown Turkey	Hourai	Kadota
28	(E)-linalool oxide ^B	1086	1442	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	17.38	22.04	3.55	12.15	7.75
7	furfural ^A	834	1474	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	72.88	65.88	143.16	24.98	28.06
101	5-methylfurfural ^B	n.d.	1586	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	32.54	12.87	17.38	3.93	3.42
9	furfuryl alcohol ^A	860	1673	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	2.50	2.58	4.52	n.d.	n.d.
36	epoxylinalool ^B	1175	1742	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	12.76	27.20	n.d.	10.78	31.92
	subtotal			n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	189.52	210.17	204.33	72.51	146.43
	<u>Sulfur compounds</u>												
10	methional ^B	900	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	4.10	4.90	9.40	2.55	3.49
	subtotal			n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	4.10	4.90	9.40	2.55	3.49
	TOTAL			1458.94	1918.60	1353.30	973.21	781.14	1995.28	2136.61	1322.67	751.88	1298.15

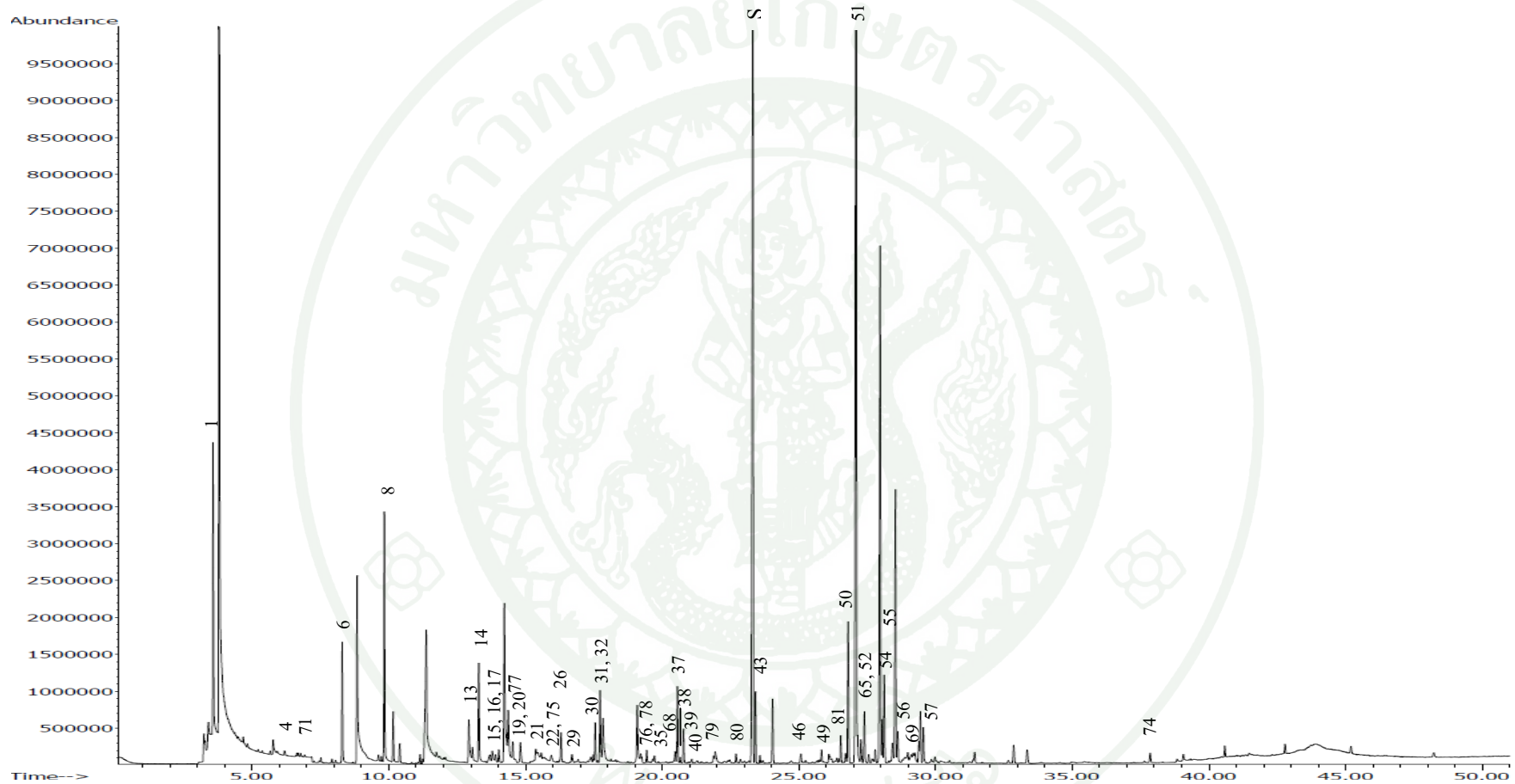
ตารางผนวกที่ ง1 (ต่อ)

หมายเหตุ ¹ ลำดับที่ของสารตรงกับโครมาโทแกรมในภาพผนวกที่ ง2, ง3, ง5, ง6, ง8, ง9, ง11, ง12, ง14, ง15, ง17, ง18, ง20, ง21, ง23, ง24, ง26, ง27, ง29, ง30

² สารระเหยภายใต้ A คือ ยืนยันสารด้วยค่า RI, MS และสารมาตรฐาน; B คือ ยืนยันสารด้วยค่า RI และ MS

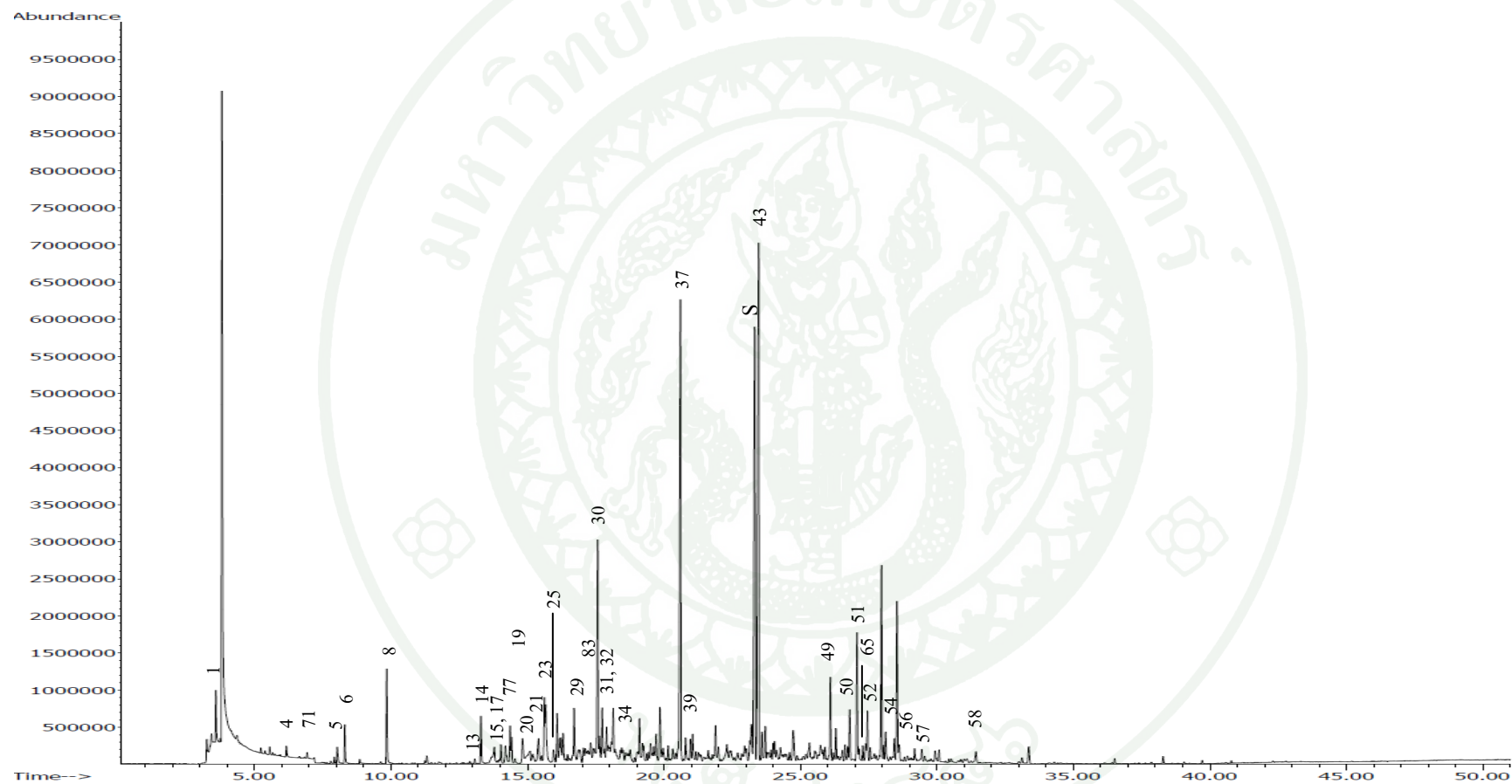
³ retention index กำหนดโดยใช้สารมาตรฐานอัลเคน C₆-C₃₀

n.d. = not detected หมายถึง ตรวจไม่พบ



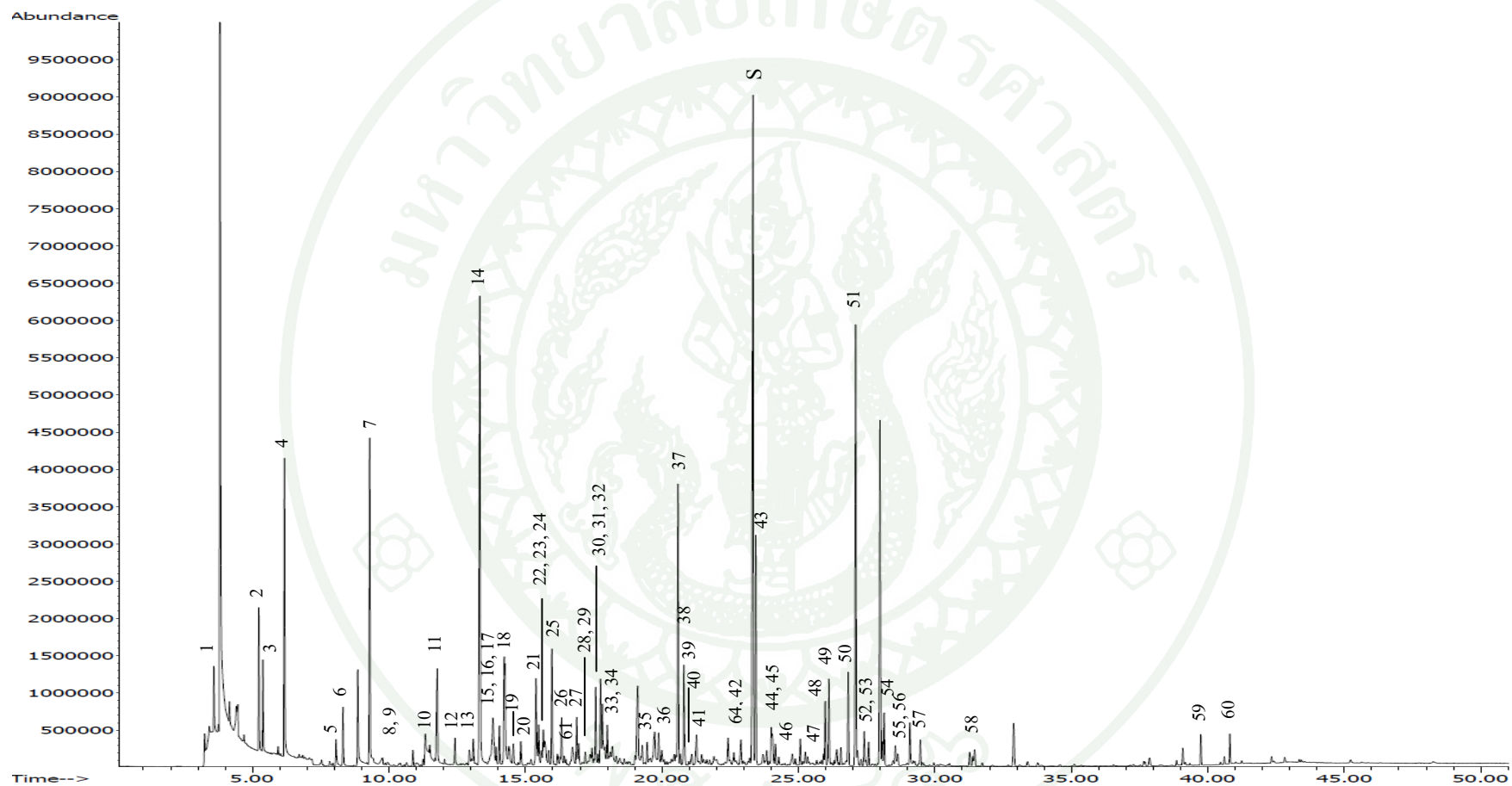
ภาพผนวกที่ 1 โครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ Black Genoa แยกด้วยคอลัมน์ HP-5

หมายเหตุ S คือ สารมาตรฐาน 2-undecanone



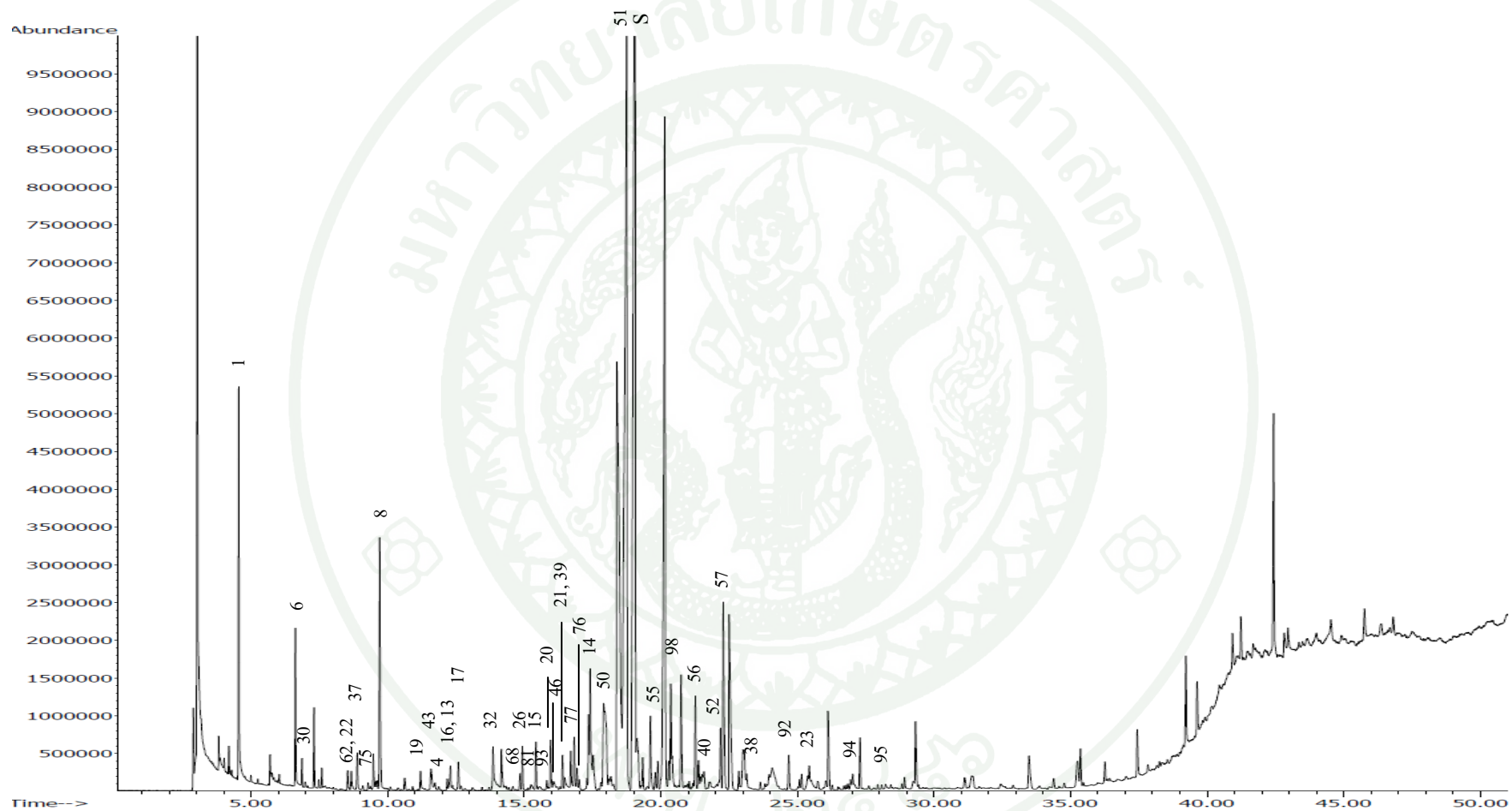
ภาพผนวกที่ 2 โครมาโตแกรมของผลไม้เคี้ยวฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งสายพันธุ์ Black Genoa แยกด้วยคอลัมน์ HP-5

หมายเหตุ S คือ สารมาตรฐาน 2-undecanone



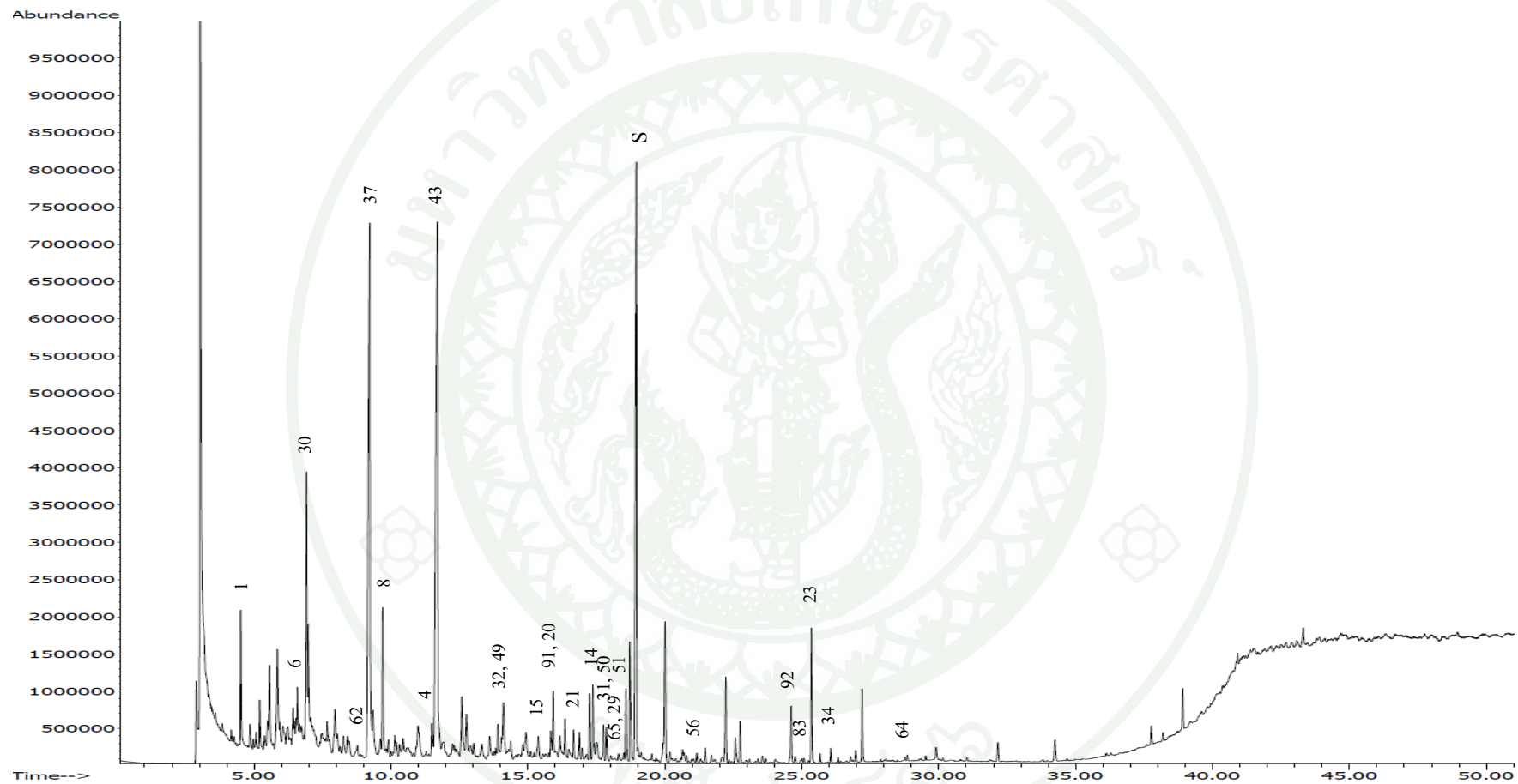
ภาพผนวกที่ 33 โครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งที่อบด้วยลมร้อนสายพันธุ์ Black Genoa แยกด้วยคอลัมน์ HP-5

หมายเหตุ S คือ สารมาตรฐาน 2-undecanone



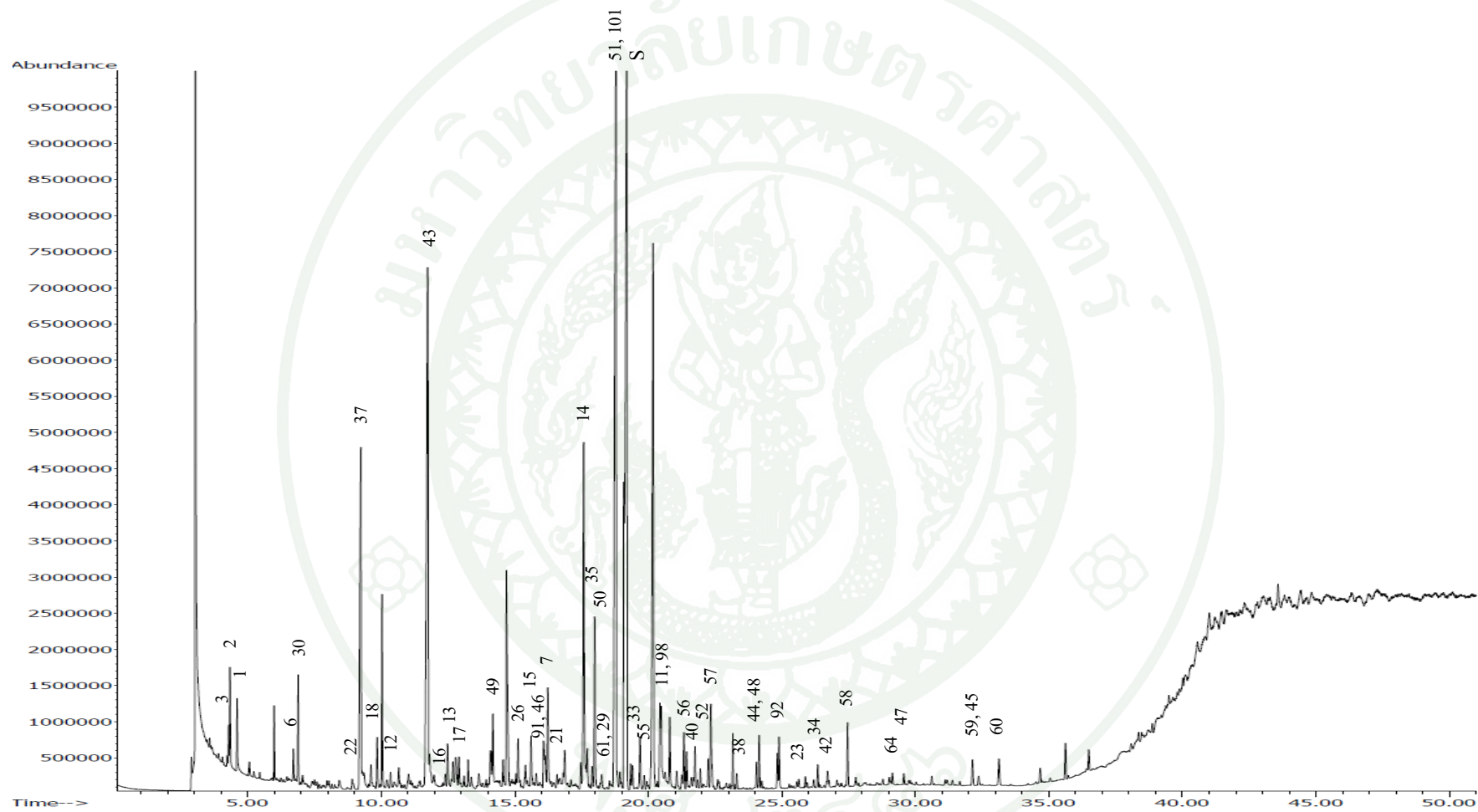
ภาพผนวกที่ ๔ โครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ Black Genoa แยกด้วยคอลัมน์ FFAP

หมายเหตุ S คือ สารมาตรฐาน 2-undecanone



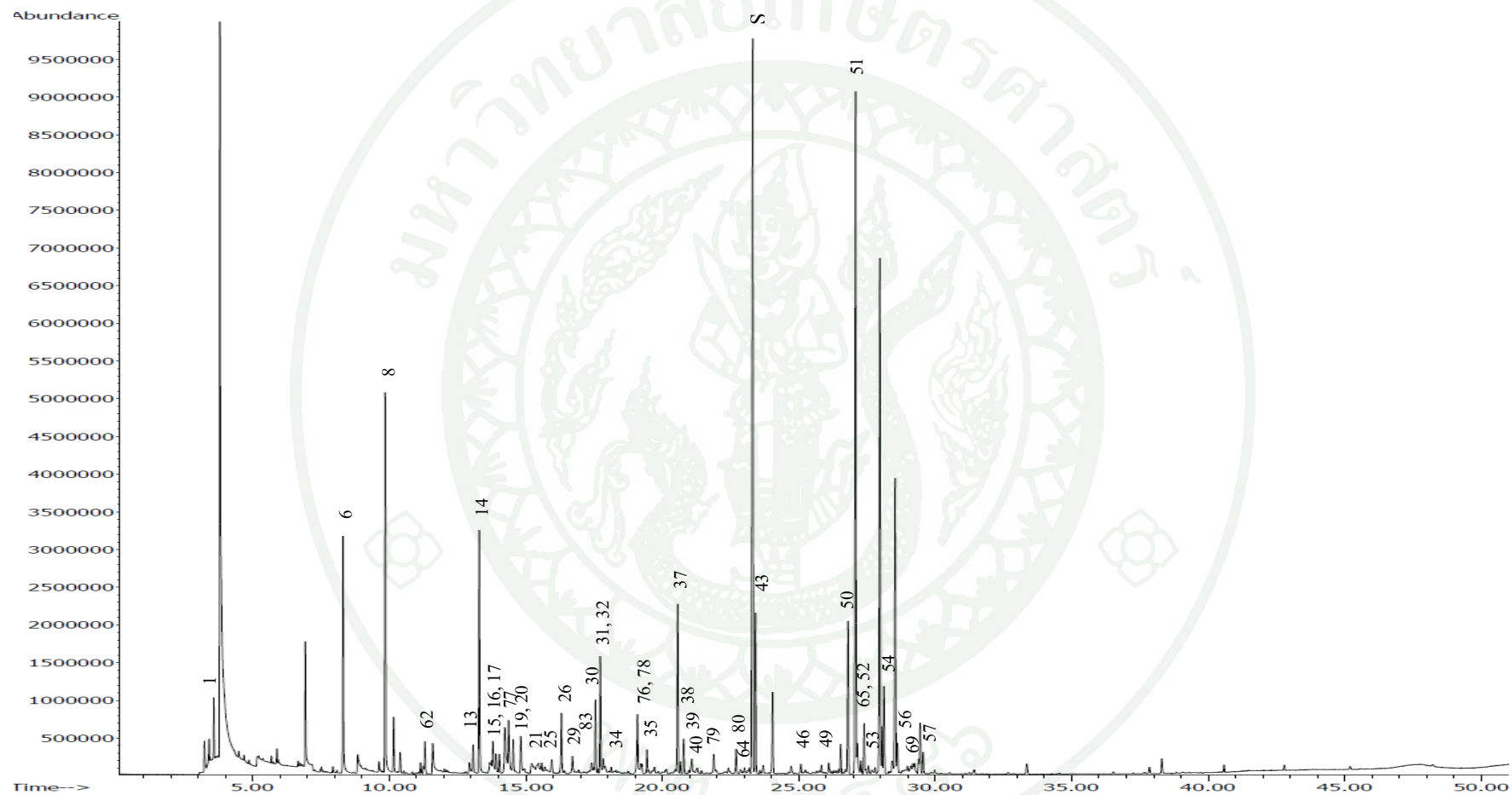
ภาพผนวกที่ 5 โครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งสายพันธุ์ Black Genoa แยกด้วยคอลัมน์ FFAP

หมายเหตุ S คือ สารมาตรฐาน 2-undecanone



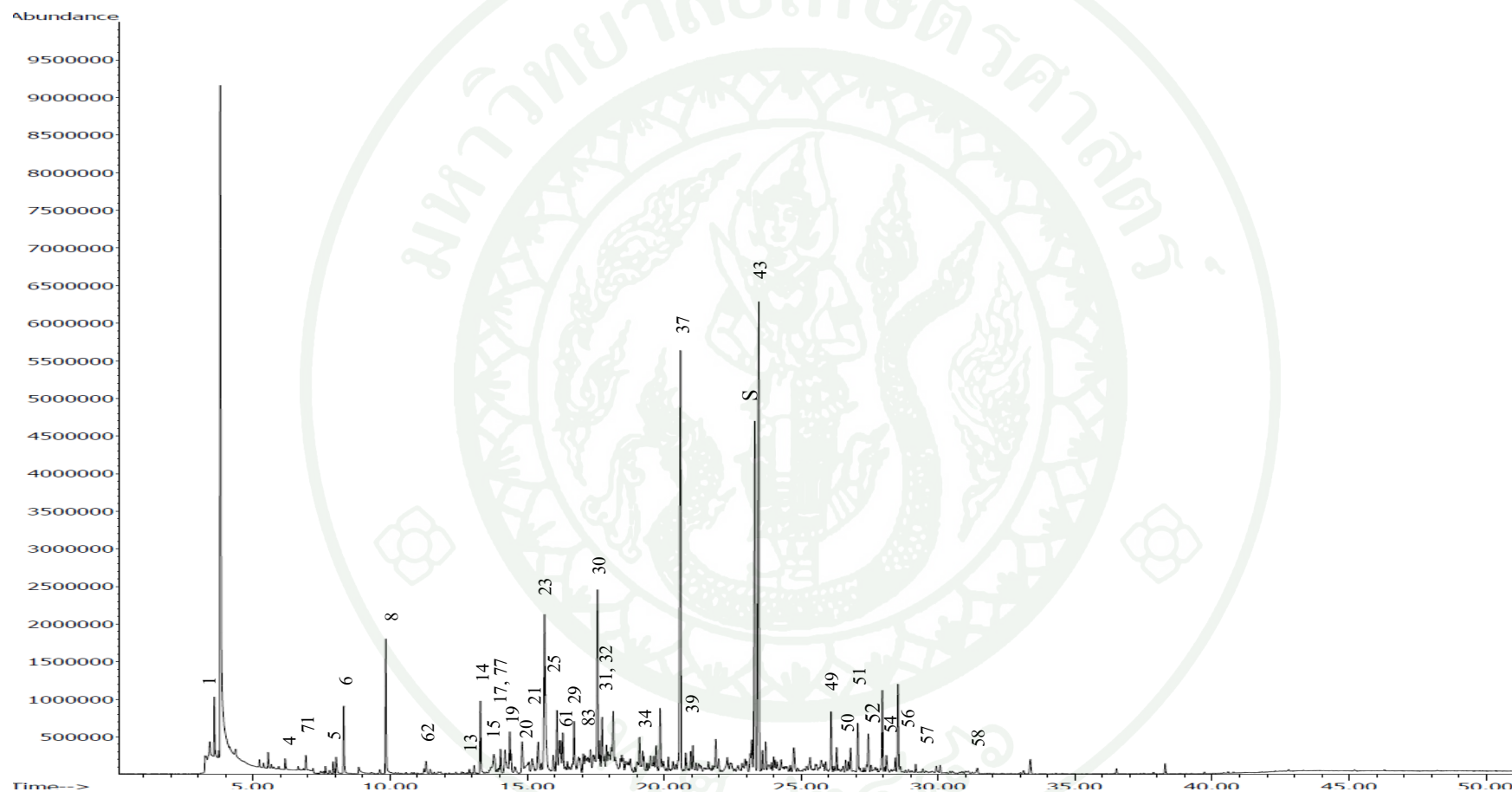
ภาพผนวกที่ 6 โครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งที่อบด้วยลมร้อนสายพันธุ์ Black Genoa แยกด้วยคอลัมน์ FFAP

หมายเหตุ S คือ สารมาตรฐาน 2-undecanone



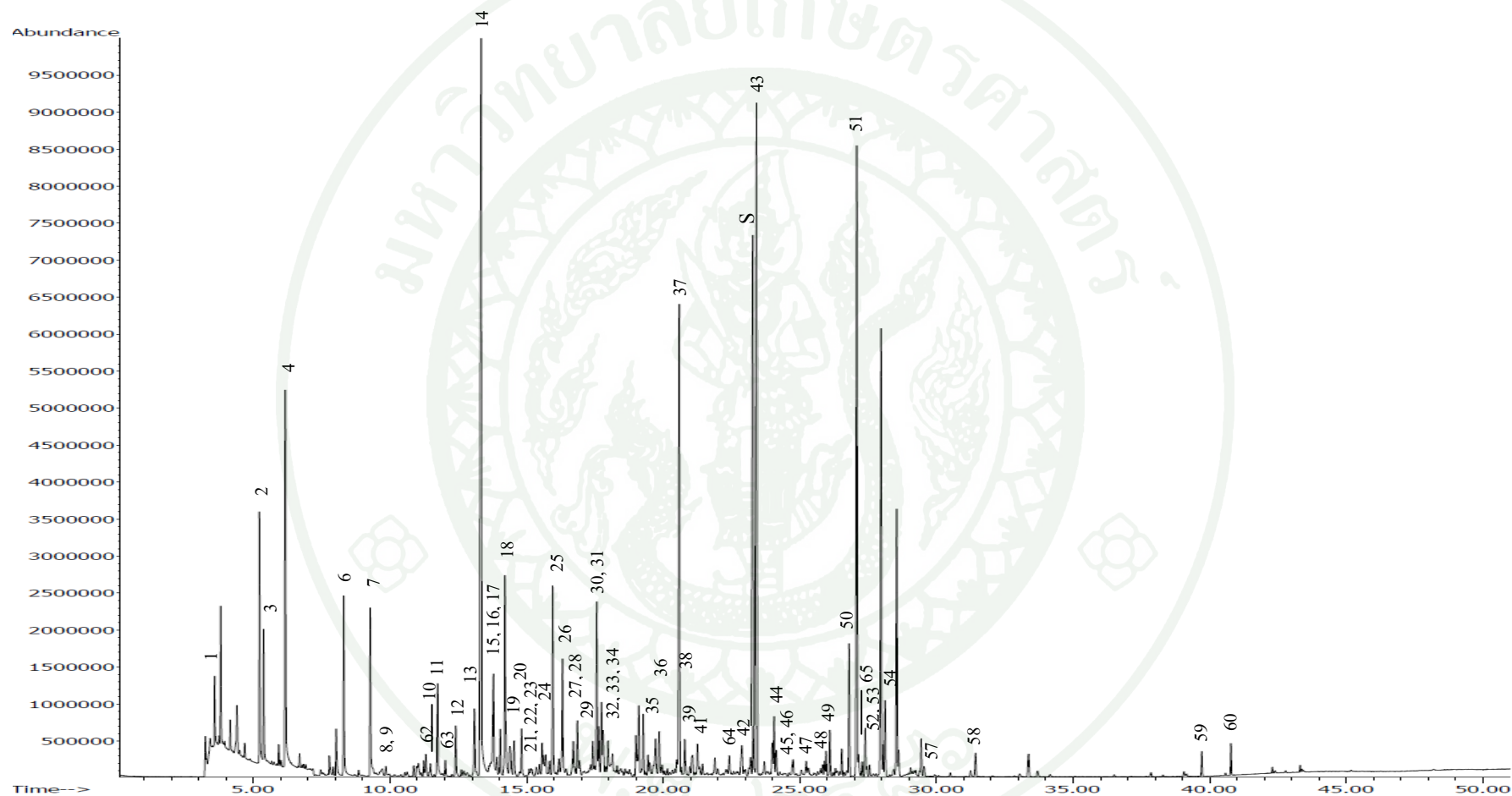
ภาพผนวกที่ 7 โครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ Black Mission แยกด้วยคอลัมน์ HP-5

หมายเหตุ S คือ สารมาตรฐาน 2-undecanone



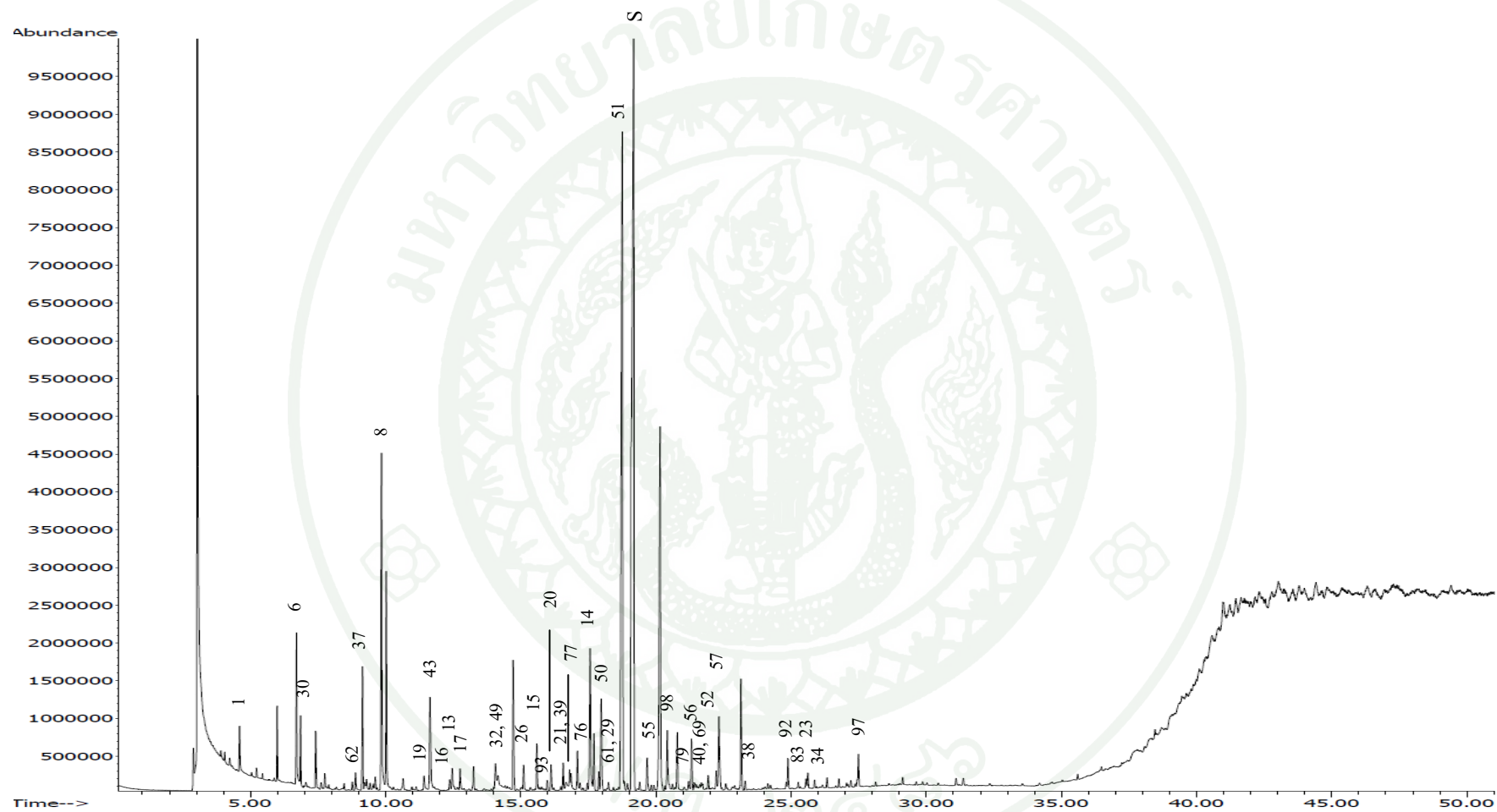
ภาพผนวกที่ 8 โครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งสายพันธุ์ Black Mission แยกด้วยคอลัมน์ HP-5

หมายเหตุ S คือ สารมาตรฐาน 2-undecanone



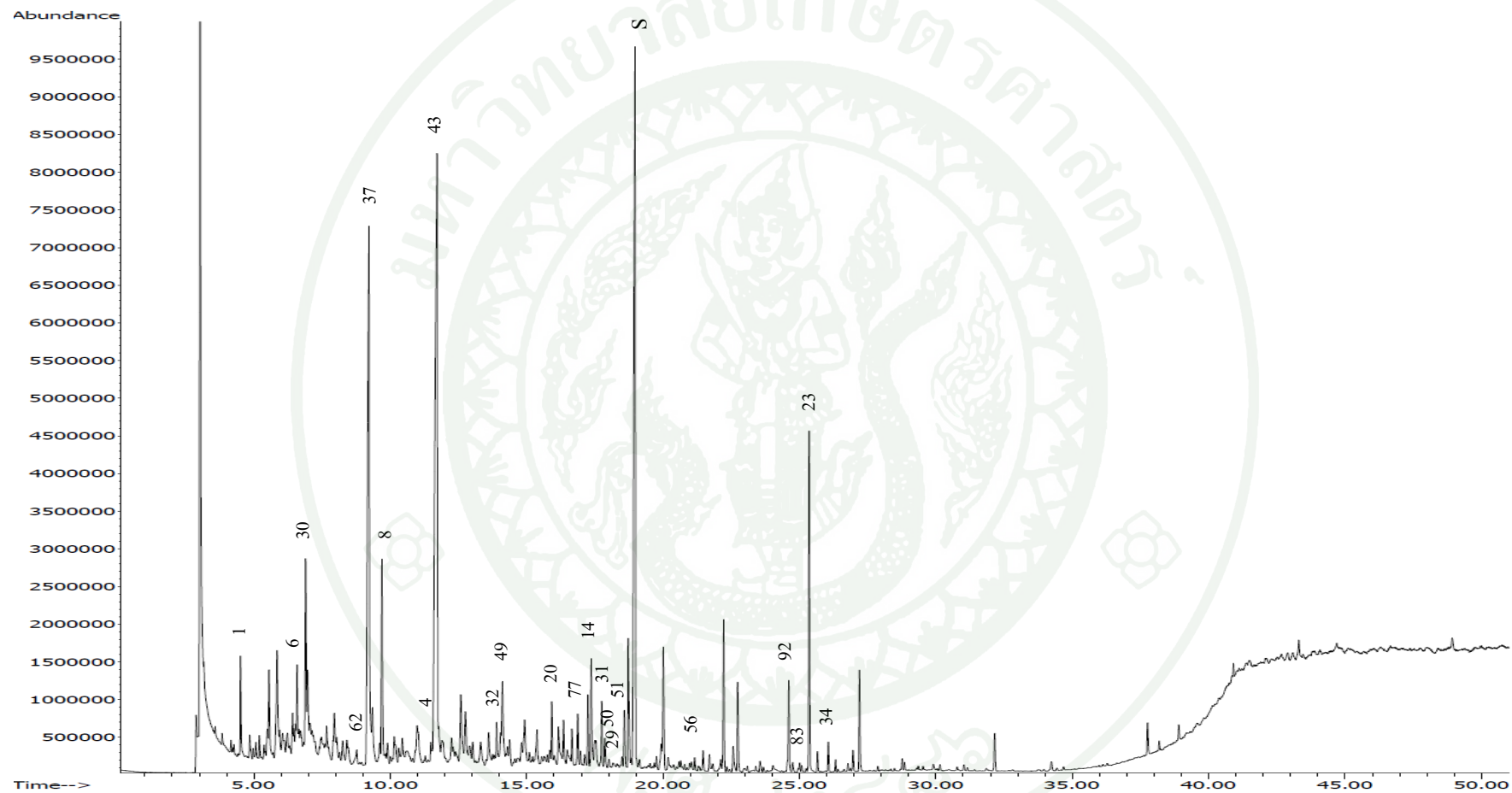
ภาพผนวกที่ ๑๑ โครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งที่อบด้วยลมร้อนสายพันธุ์ Black Mission แยกด้วยคอลัมน์ HP-5

หมายเหตุ S คือ สารมาตรฐาน 2-undecanone



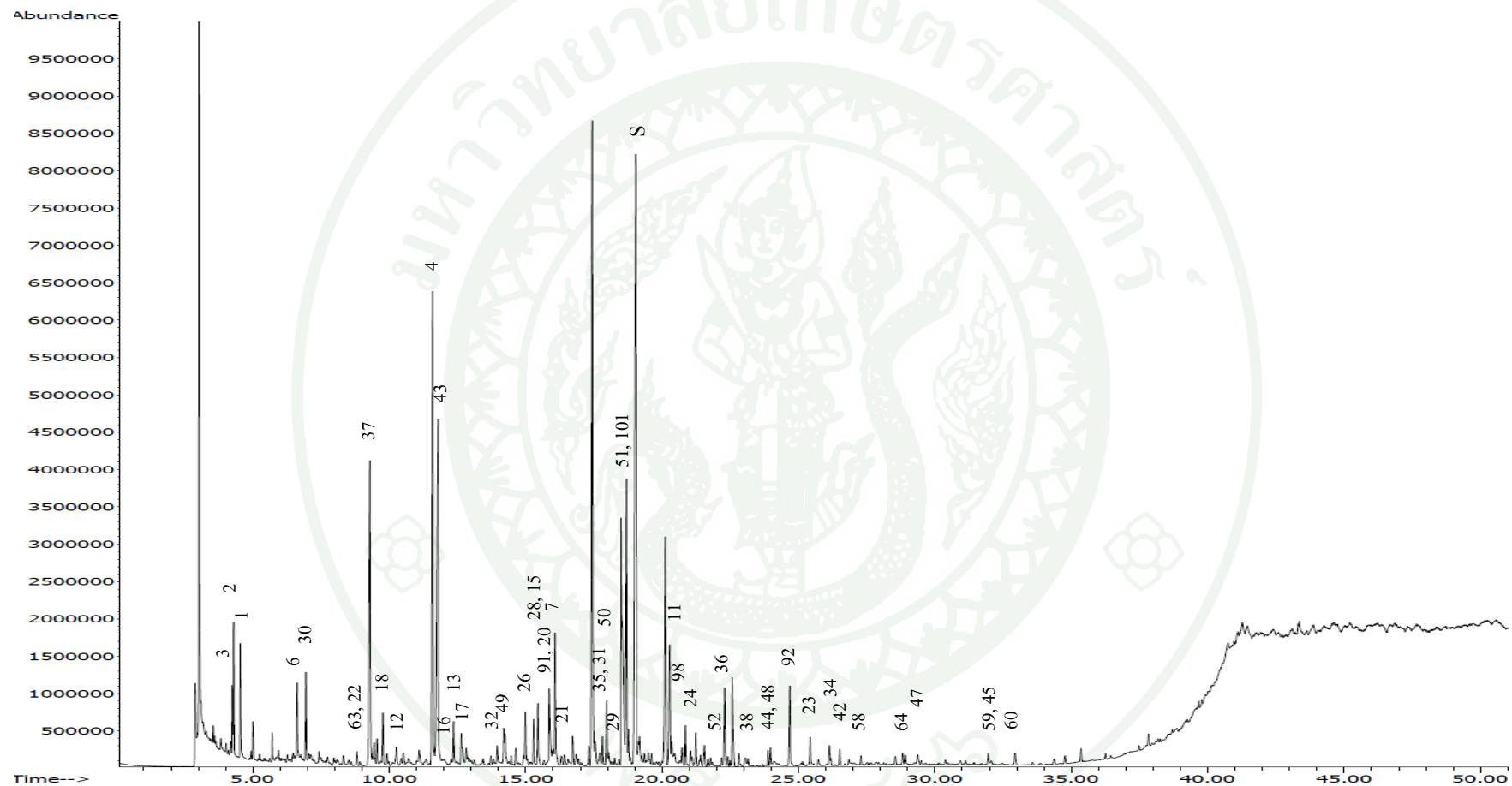
ภาพผนวกที่ 10 โครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งสายพันธุ์ Black Mission แยกด้วยคอลัมน์ FFAP

หมายเหตุ S คือ สารมาตรฐาน 2-undecanone



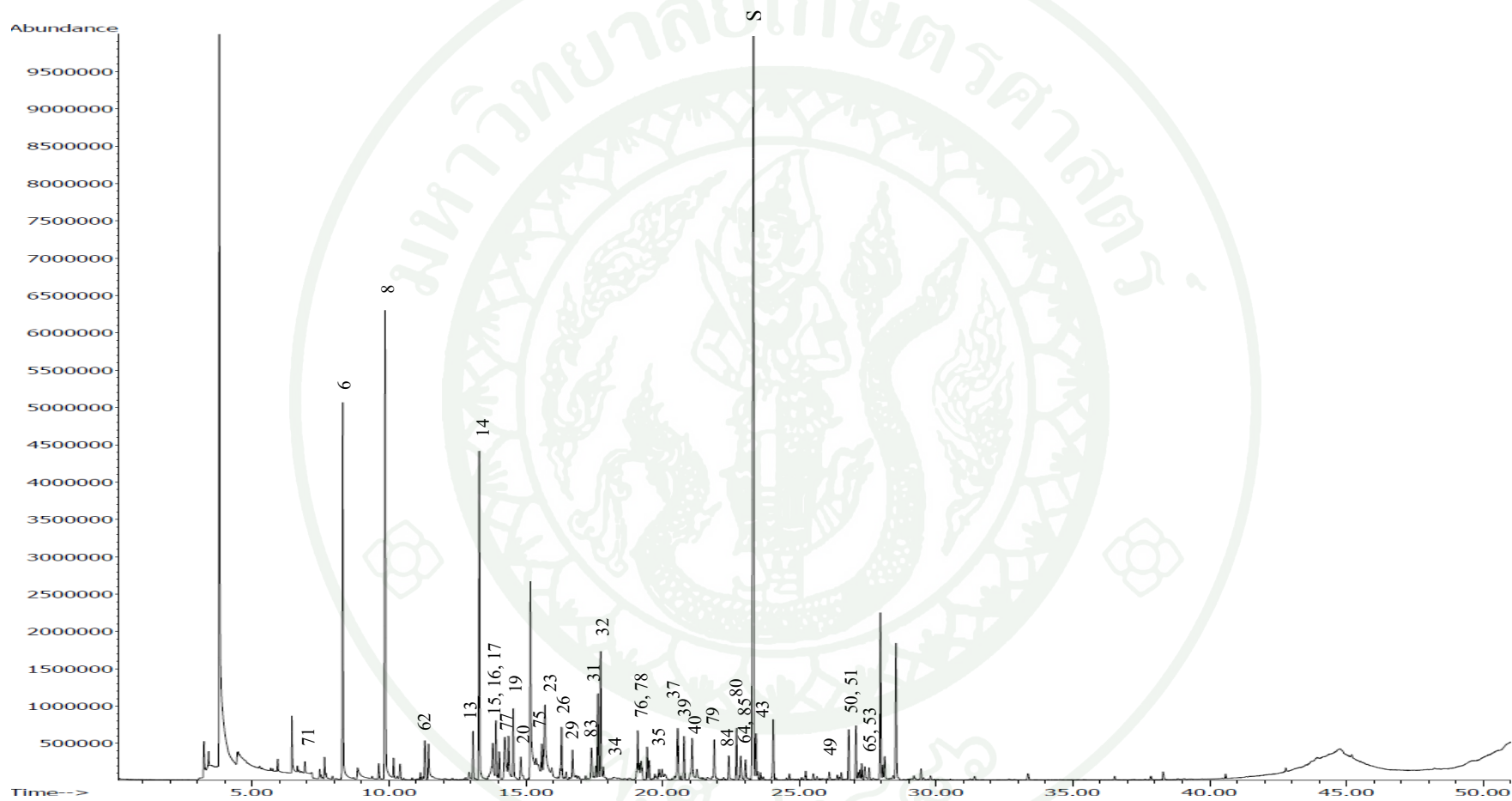
ภาพผนวกที่ 11 โครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งสายพันธุ์ Black Mission แยกด้วยคอลัมน์ FFAP

หมายเหตุ S คือ สารมาตรฐาน 2-undecanone



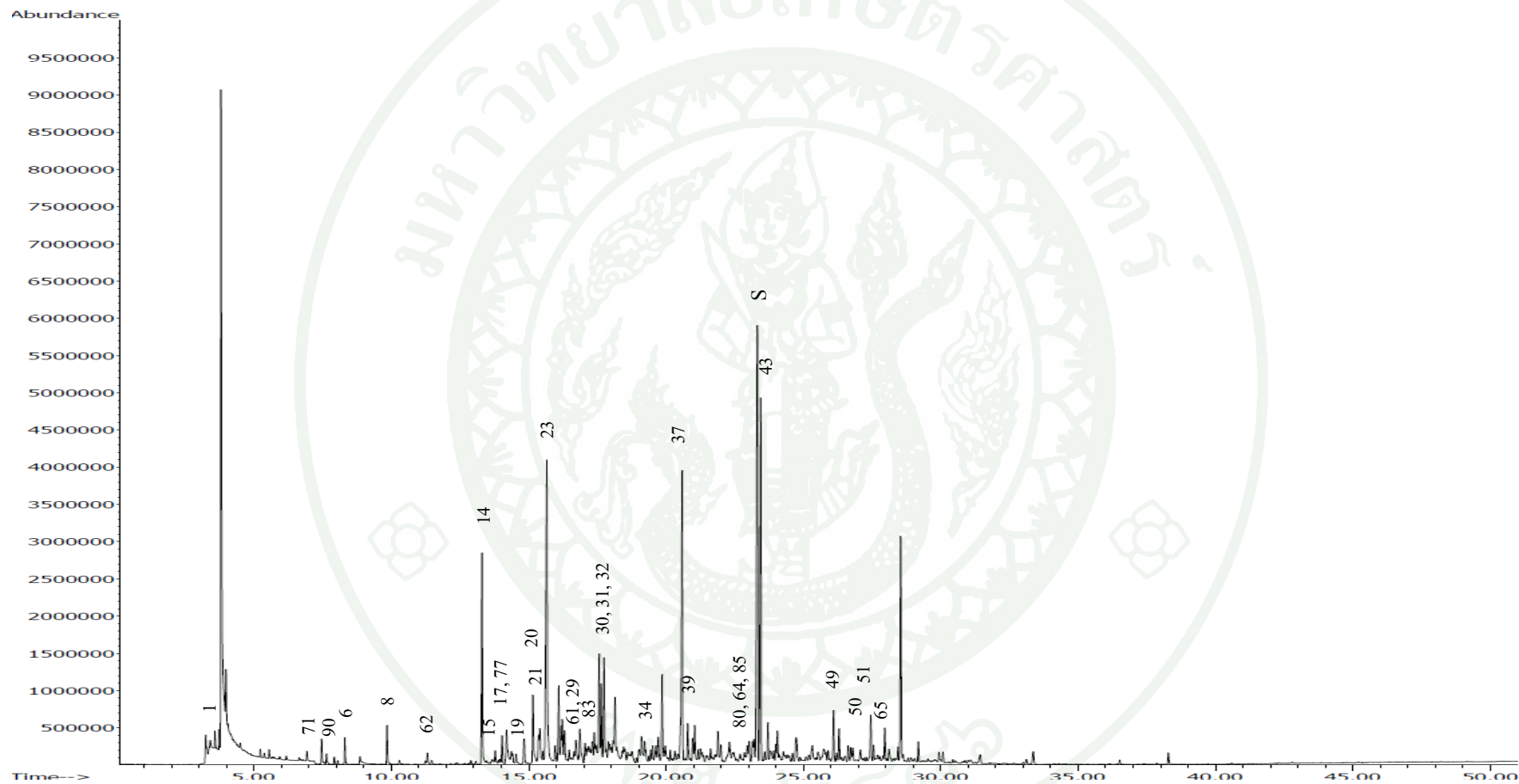
ภาพผนวกที่ 12 โครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งที่อบด้วยลมร้อนสายพันธุ์ Black Mission แยกด้วยคอลัมน์ FFAP

หมายเหตุ S คือ สารมาตรฐาน 2-undecanone



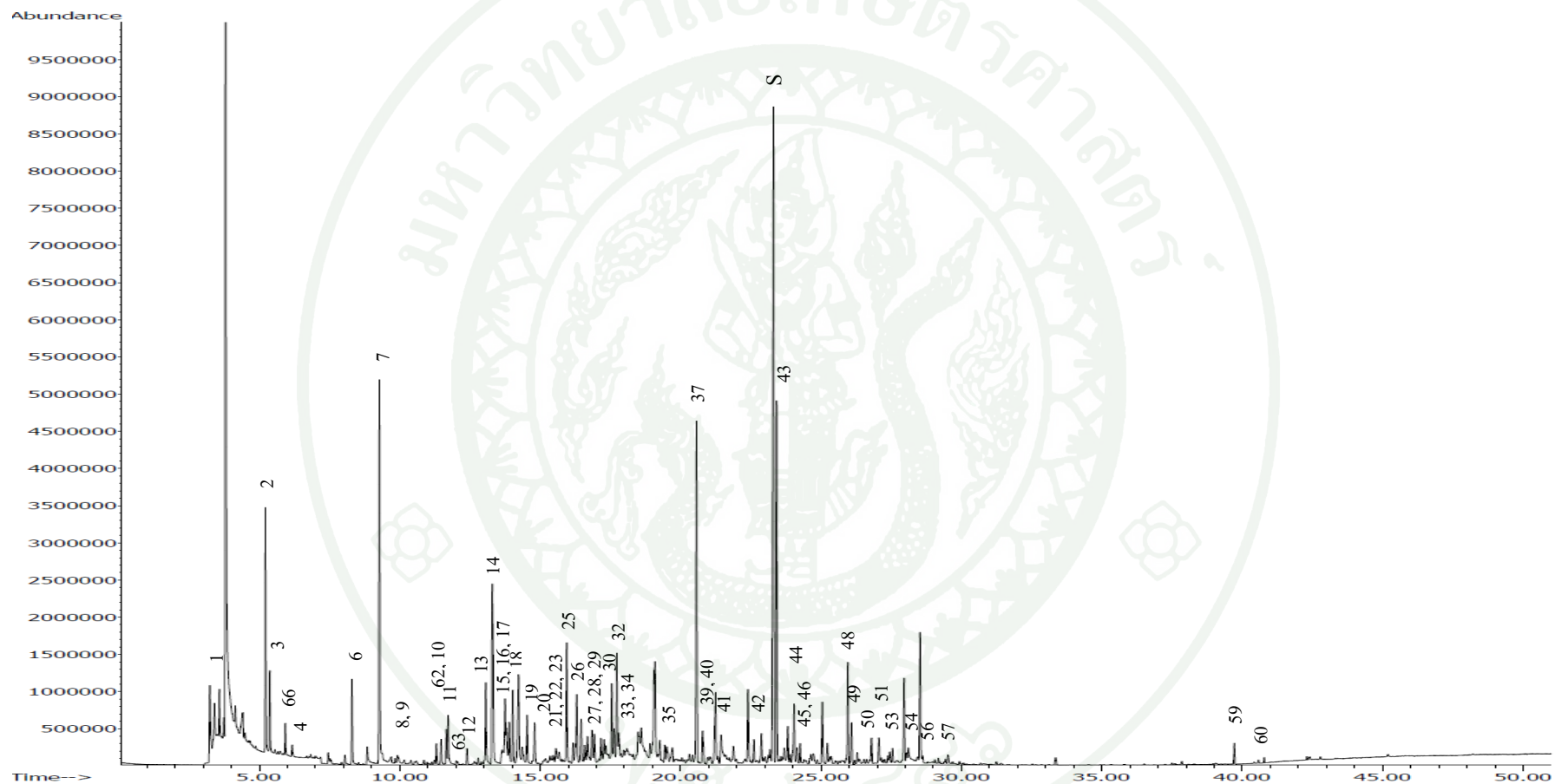
ภาพผนวกที่ 13 โครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ Brown Turkey แยกด้วยคอลัมน์ HP-5

หมายเหตุ S คือ สารมาตรฐาน 2-undecanone



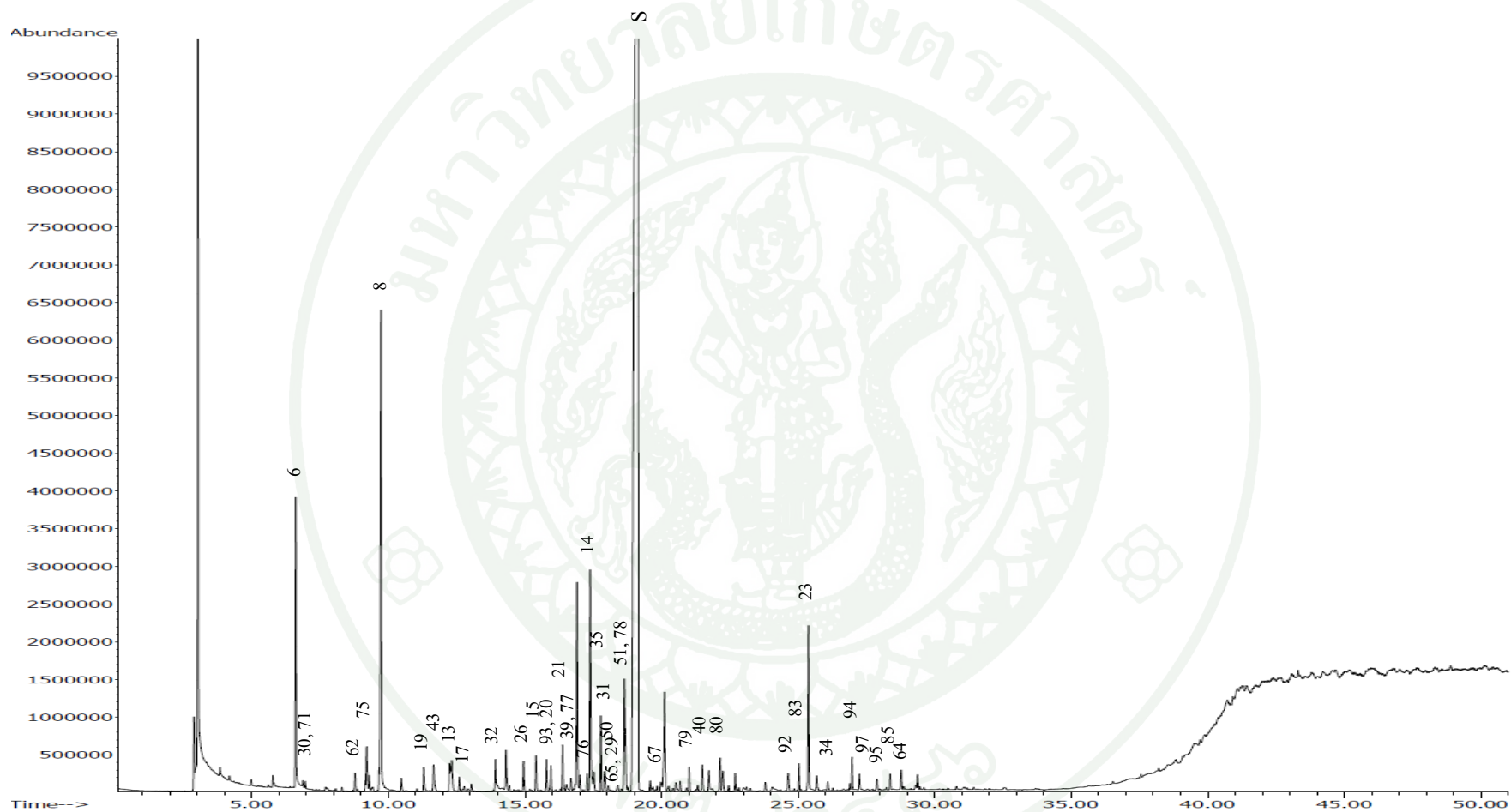
ภาพผนวกที่ 14 โครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งสายพันธุ์ Brown Turkey แยกด้วยคอลัมน์ HP-5

หมายเหตุ S คือ สารมาตรฐาน 2-undecanone



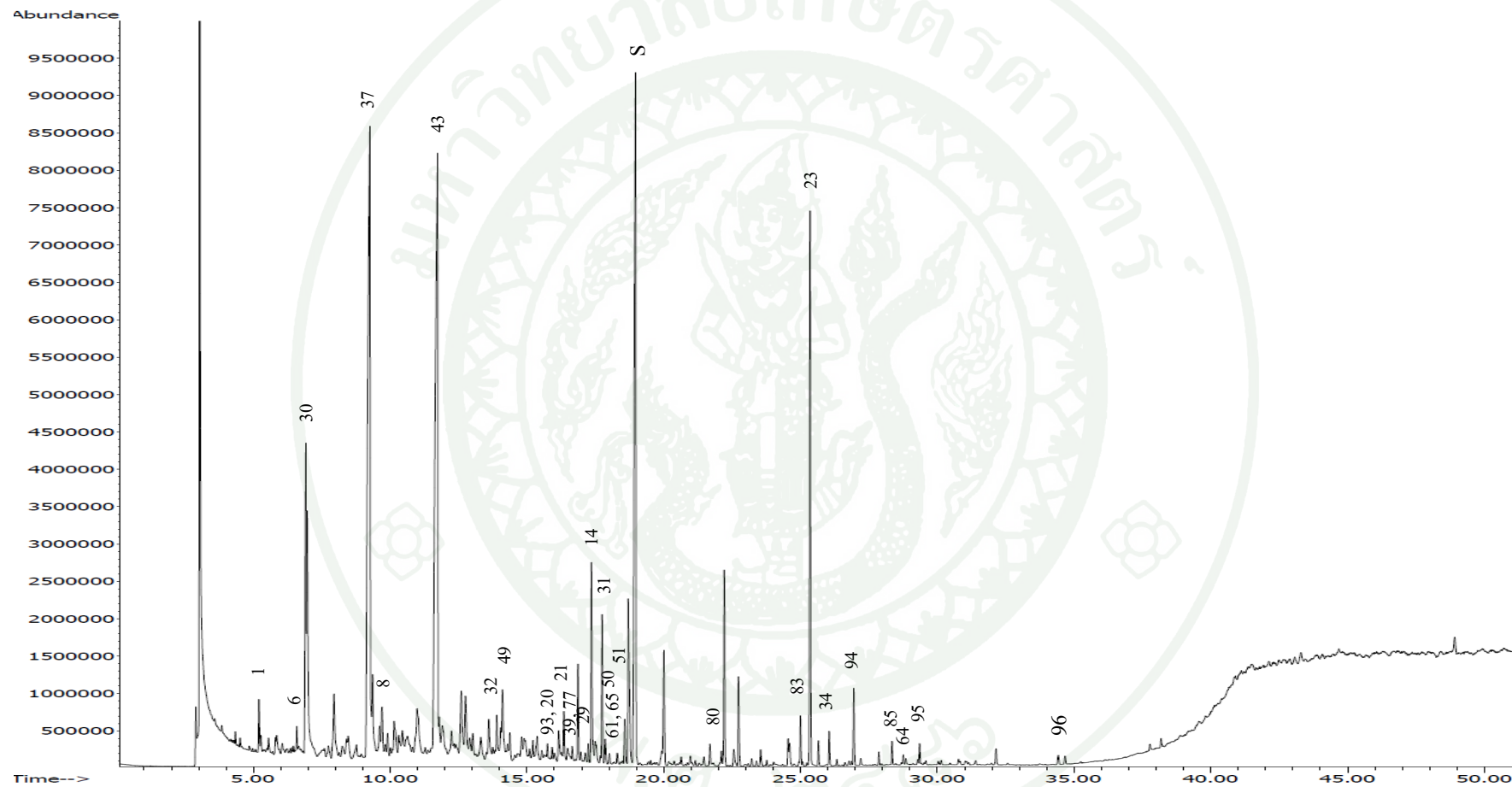
ภาพผนวกที่ 15 โครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งที่อบด้วยลมร้อนสายพันธุ์ Brown Turkey แยกด้วยคอลัมน์ HP-5

หมายเหตุ S คือ สารมาตรฐาน 2-undecanone



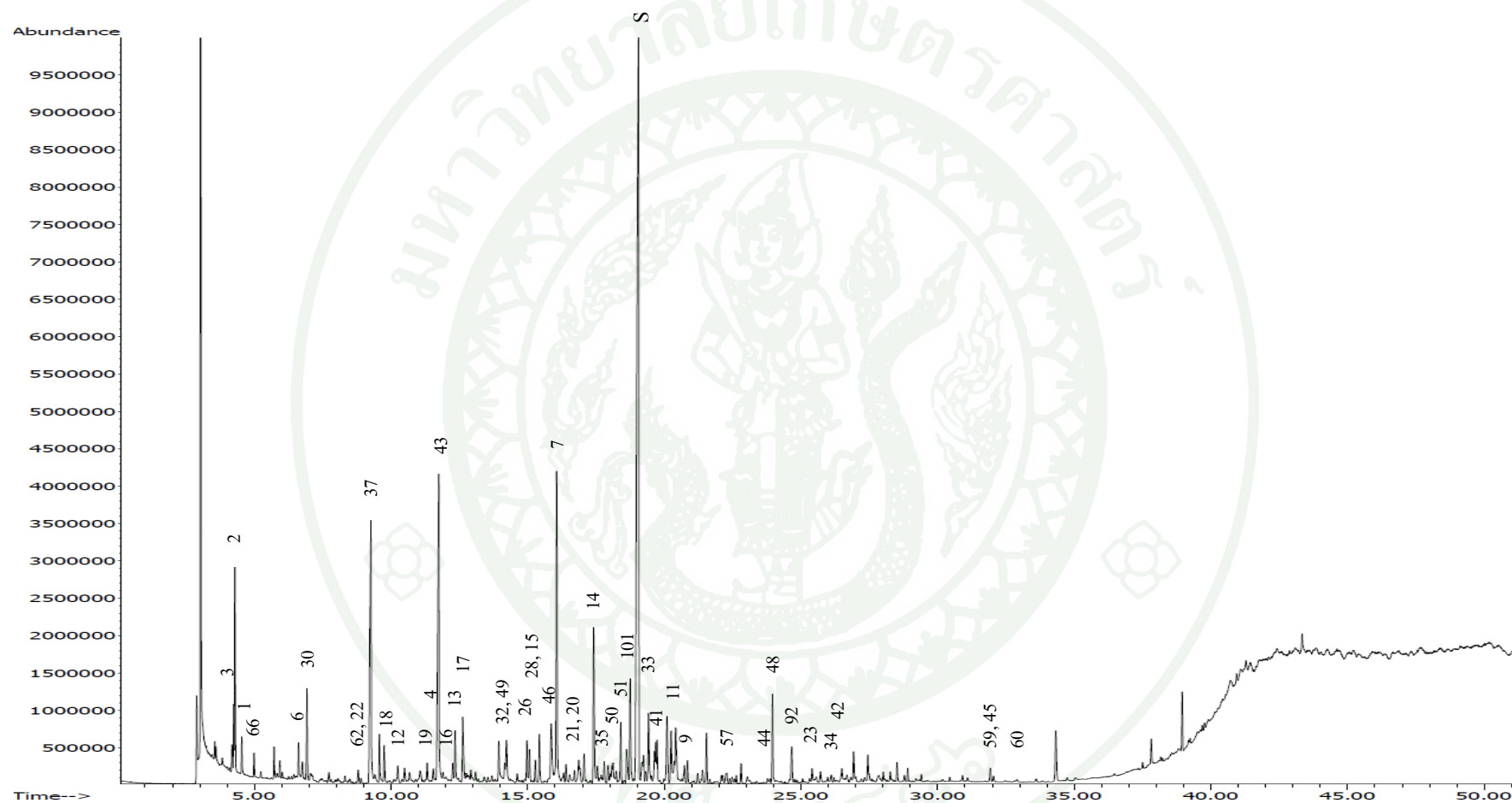
ภาพผนวกที่ 16 โครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ Brown Turkey แยกด้วยคอลัมน์ FFAP

หมายเหตุ S คือ สารมาตรฐาน 2-undecanone



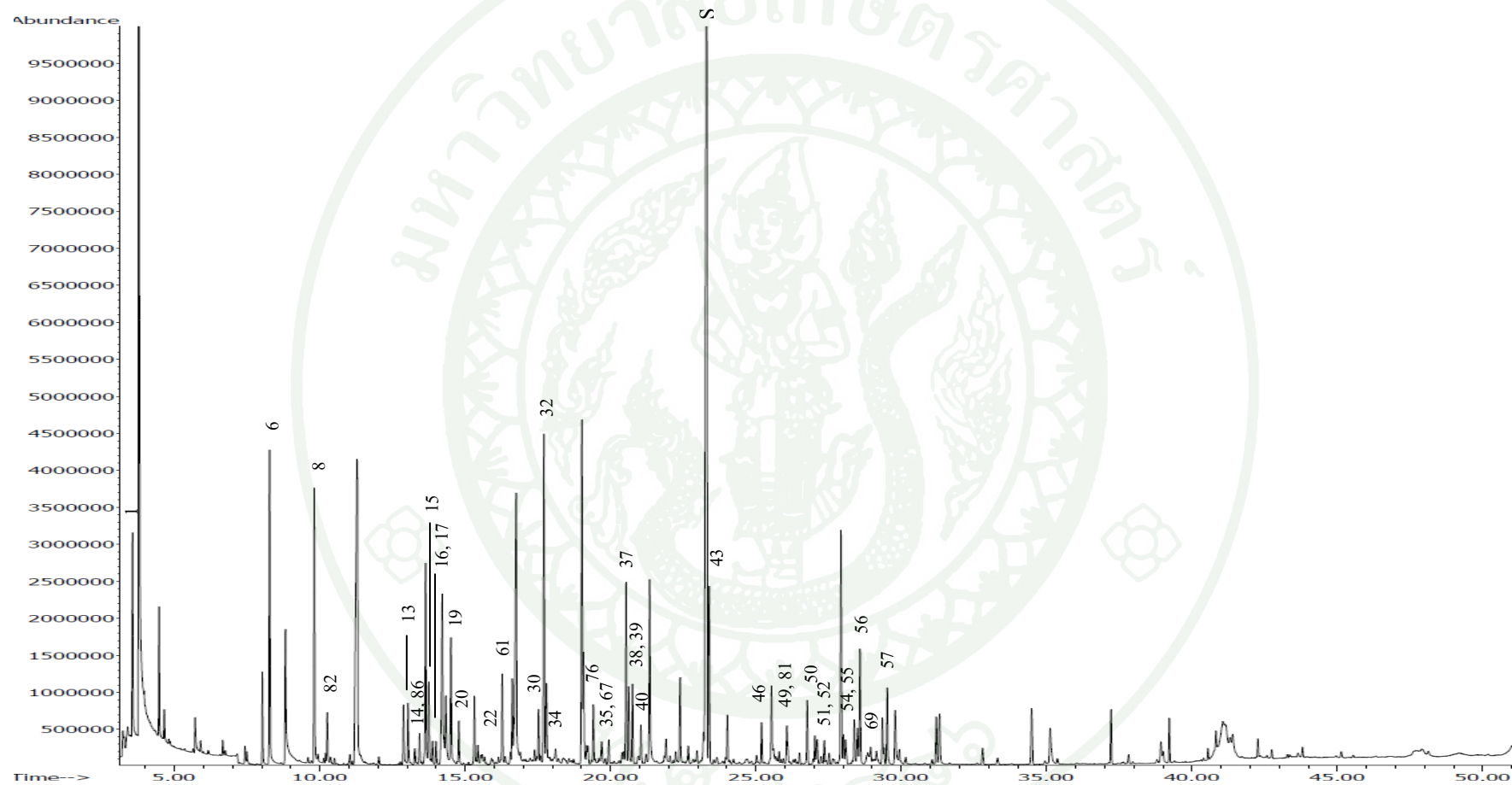
ภาพผนวกที่ 17 โครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งสายพันธุ์ Brown Turkey แยกด้วยคอลัมน์ FFAP

หมายเหตุ S คือ สารมาตรฐาน 2-undecanone



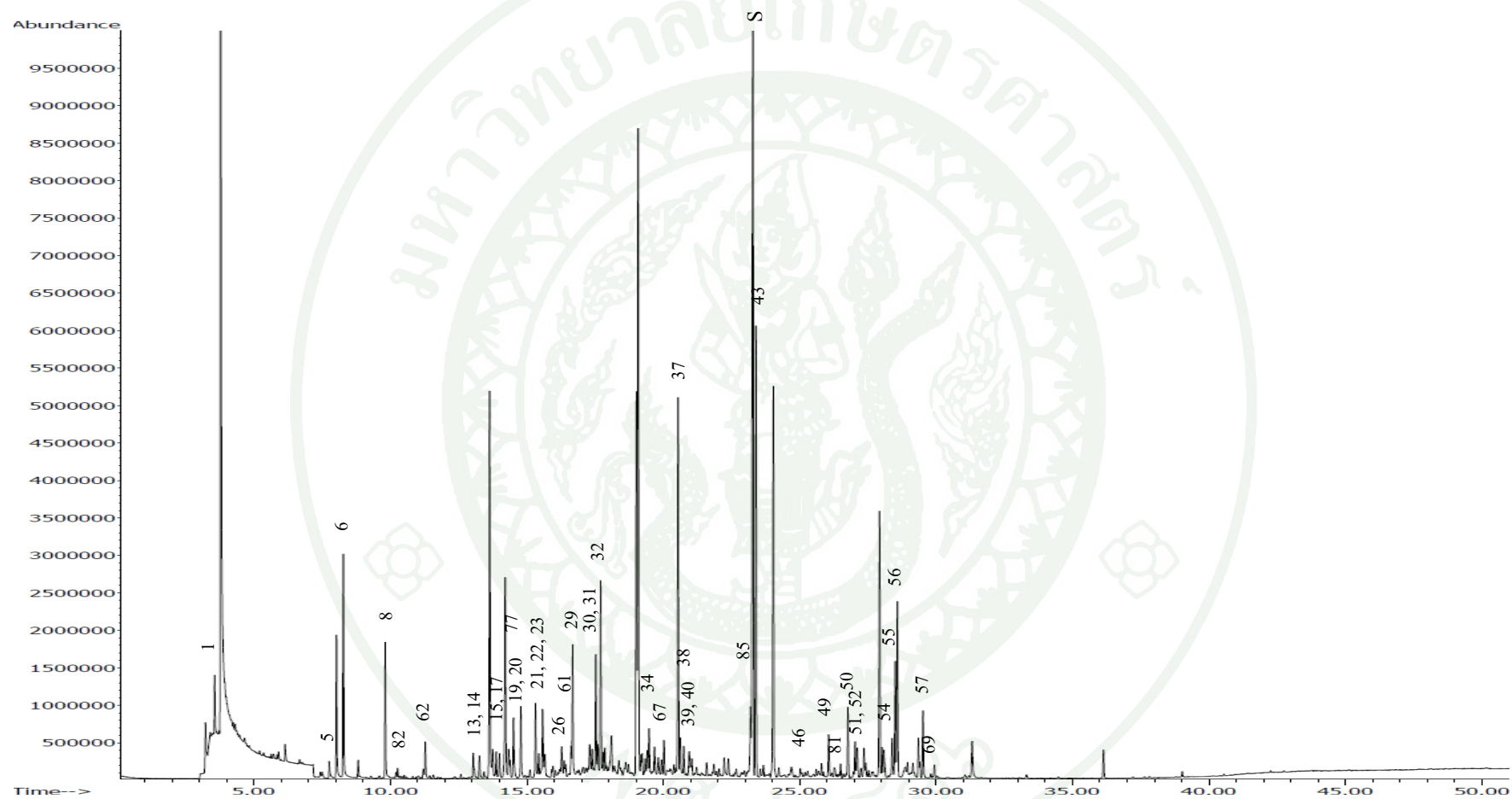
ภาพผนวกที่ 18 โครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งที่อบด้วยลมร้อนสายพันธุ์ Brown Turkey แยกด้วยคอลัมน์ FFAP

หมายเหตุ S คือ สารมาตรฐาน 2-undecanone



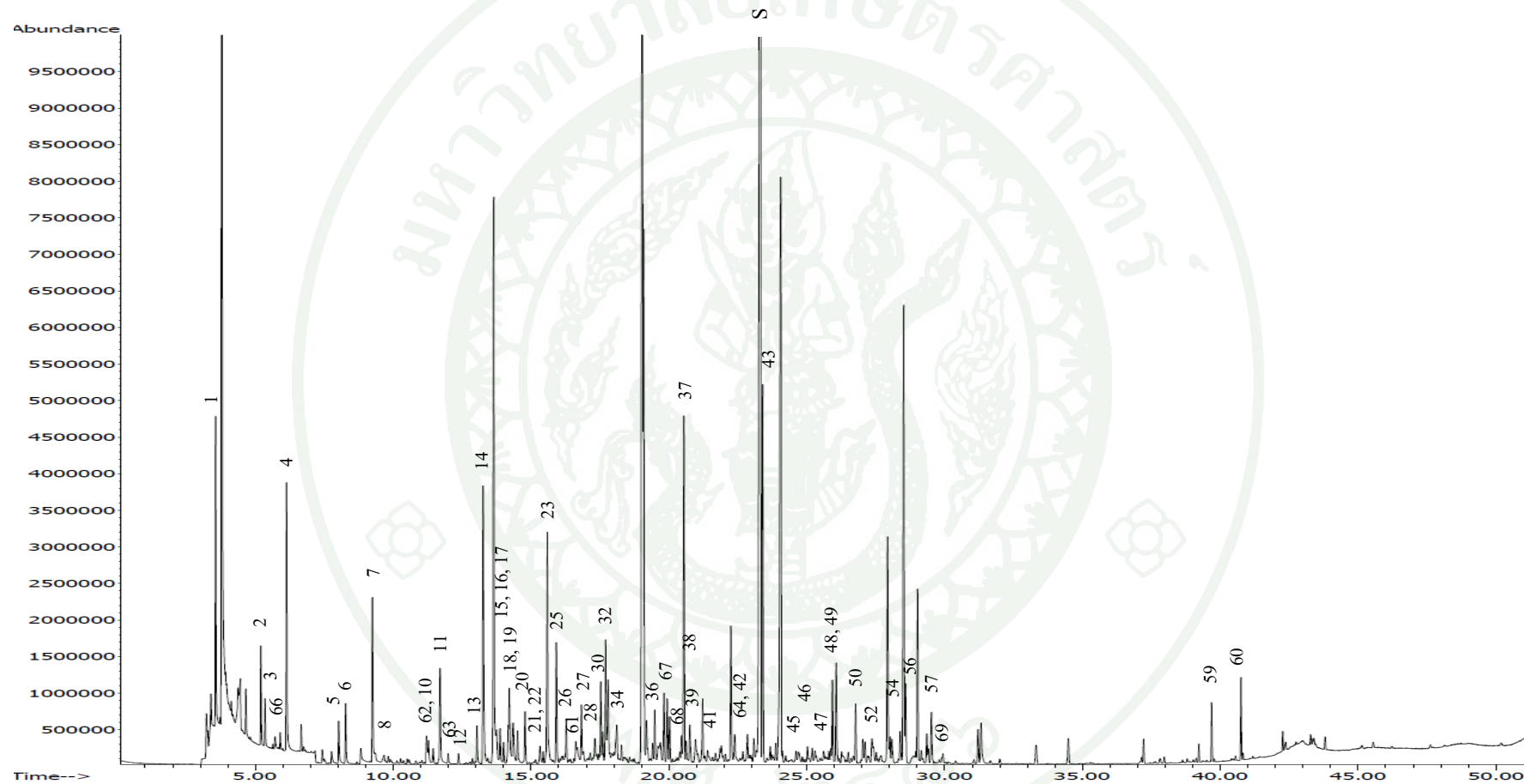
ภาพผนวกที่ 19 โครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ Hourai แยกด้วยคอลัมน์ HP-5

หมายเหตุ S คือ สารมาตรฐาน 2-undecanone



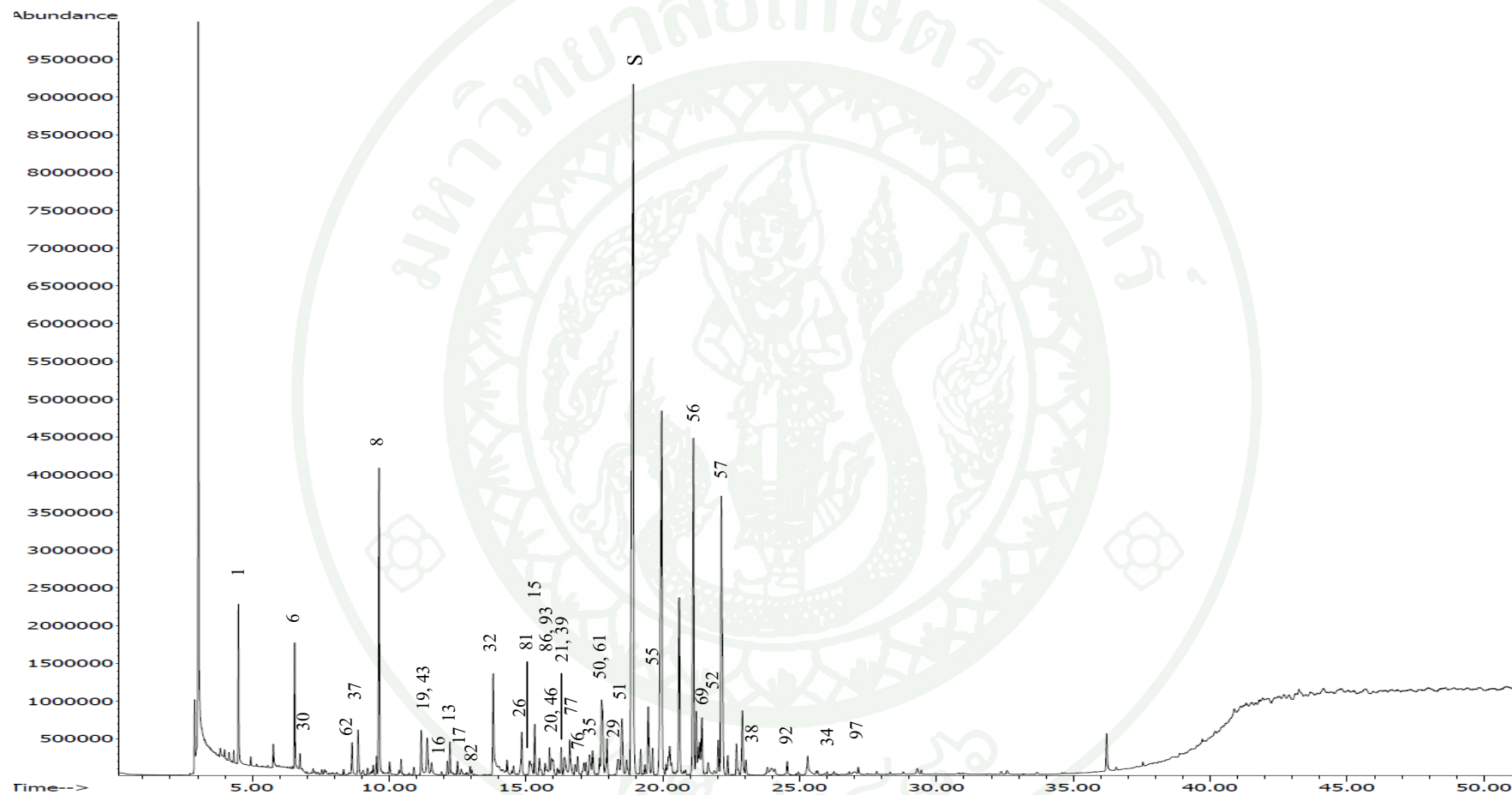
ภาพผนวกที่ 20 โครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งสายพันธุ์ Hourai แยกด้วยคอลัมน์ HP-5

หมายเหตุ S คือ สารมาตรฐาน 2-undecanone



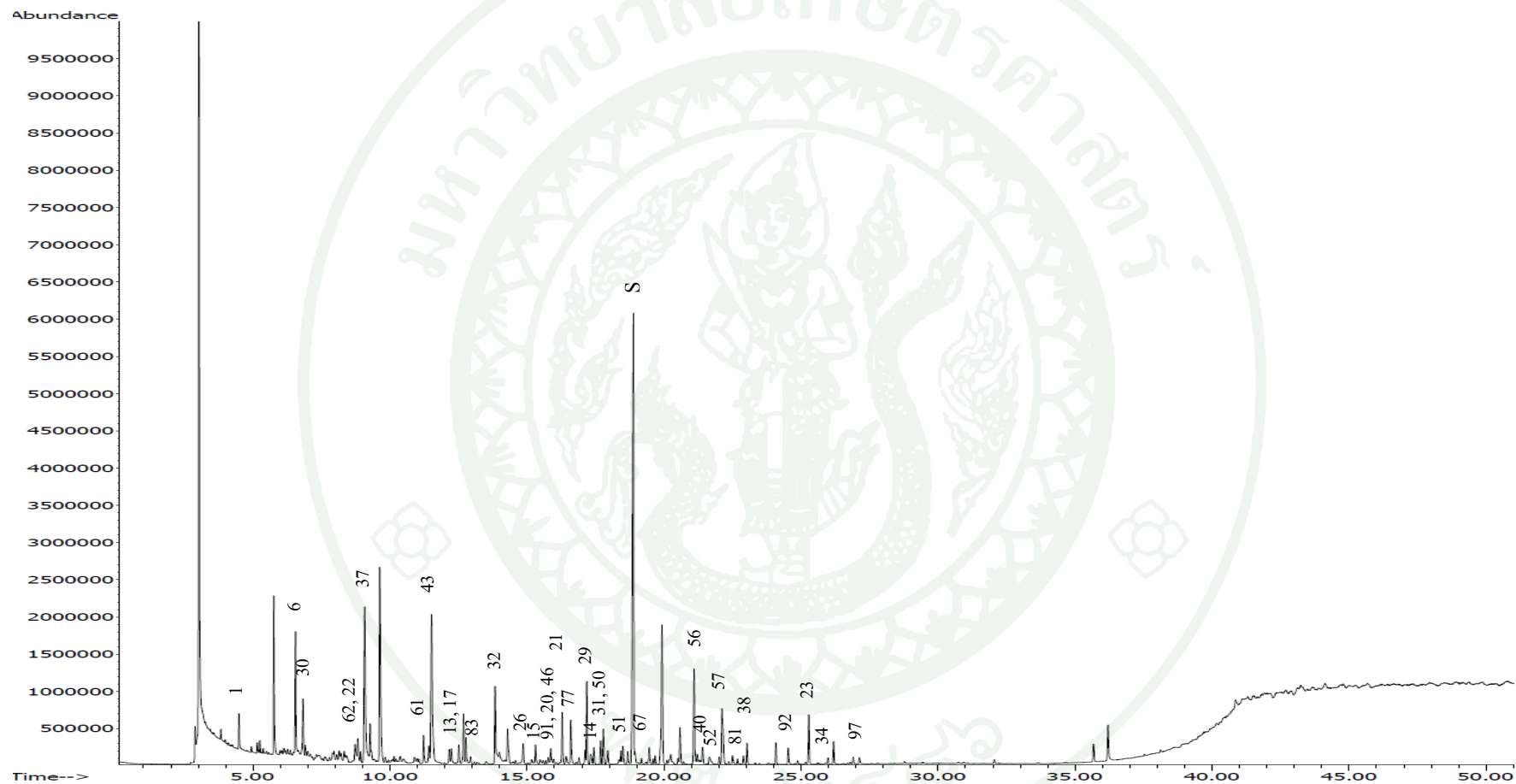
ภาพผนวกที่ 21 โครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งที่อบด้วยลมร้อนสายพันธุ์ Hourai แยกด้วยคอลัมน์ HP-5

หมายเหตุ S คือ สารมาตรฐาน 2-undecanone



ภาพผนวกที่ 22 โครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ Hourai แยกด้วยคอลัมน์ FFAP

หมายเหตุ S คือ สารมาตรฐาน 2-undecanone



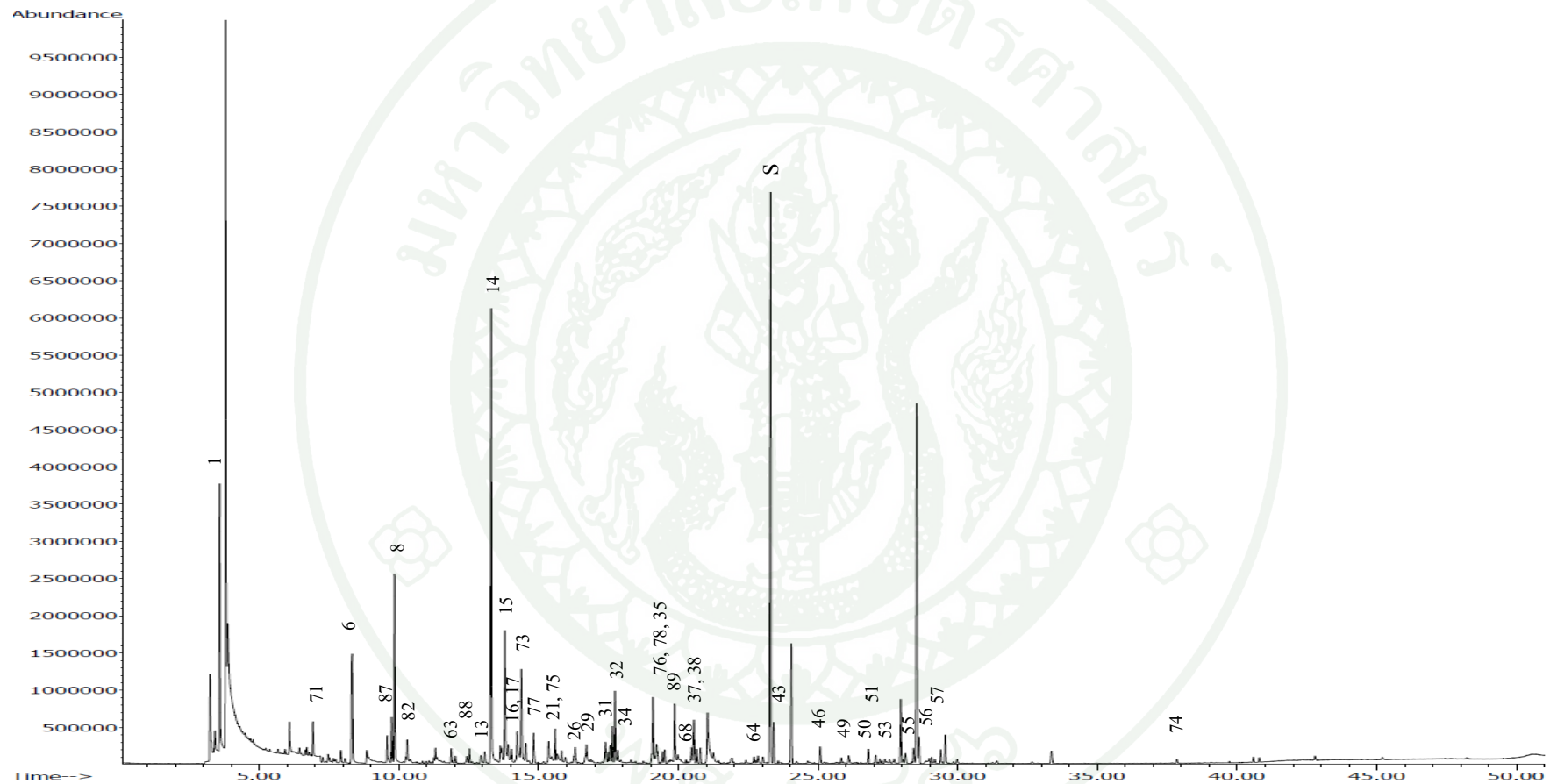
ภาพผนวกที่ 23 โครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งสายพันธุ์ Hourai แยกด้วยคอลัมน์ FFAP

หมายเหตุ S คือ สารมาตรฐาน 2-undecanone



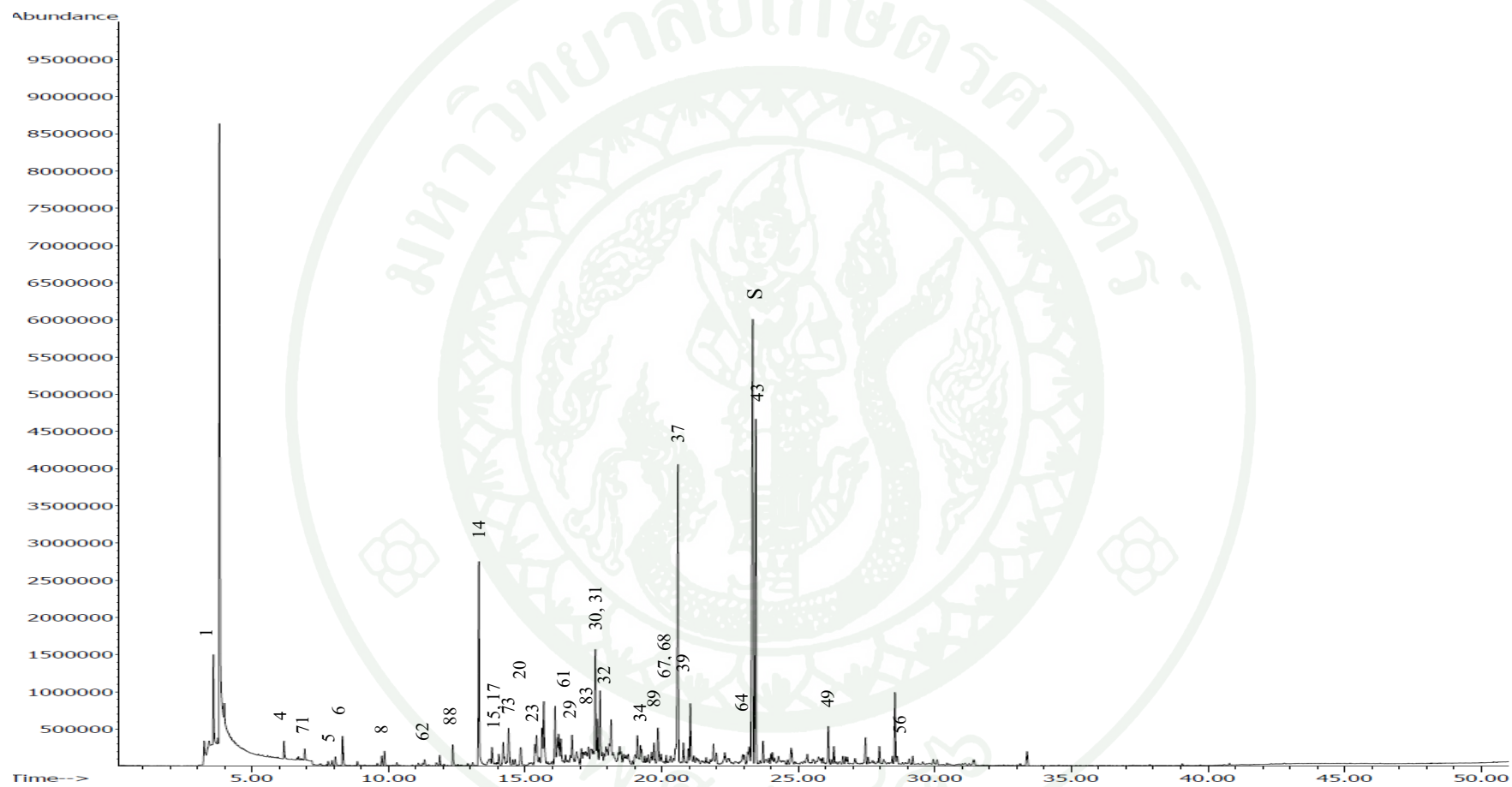
ภาพผนวกที่ 24 โครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งที่อบด้วยลมร้อนสายพันธุ์ Hourai แยกด้วยคอลัมน์ FFAP

หมายเหตุ S คือ สารมาตรฐาน 2-undecanone



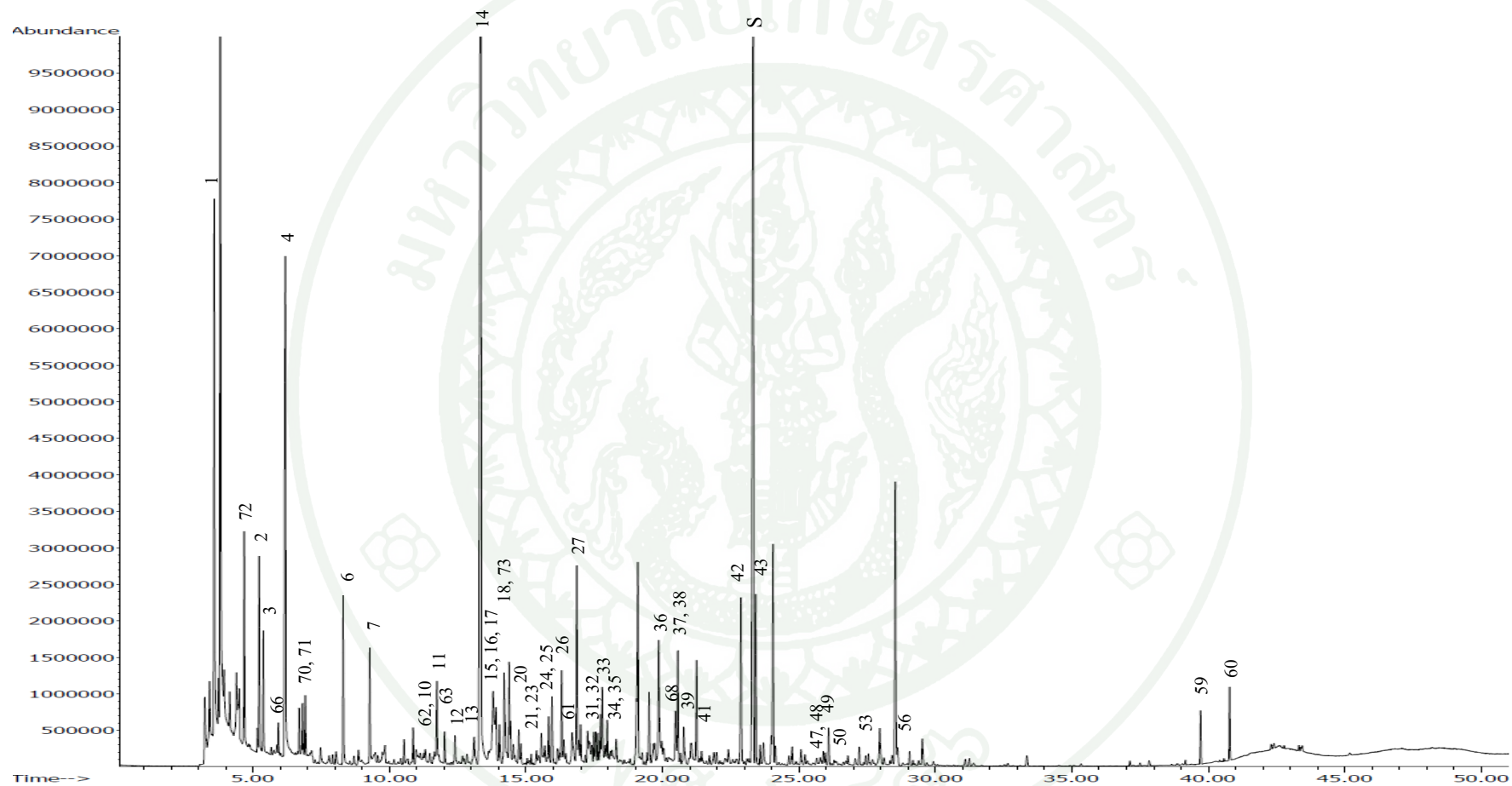
ภาพผนวกที่ 25 โครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ Kadota แยกด้วยคอลัมน์ HP-5

หมายเหตุ S คือ สารมาตรฐาน 2-undecanone



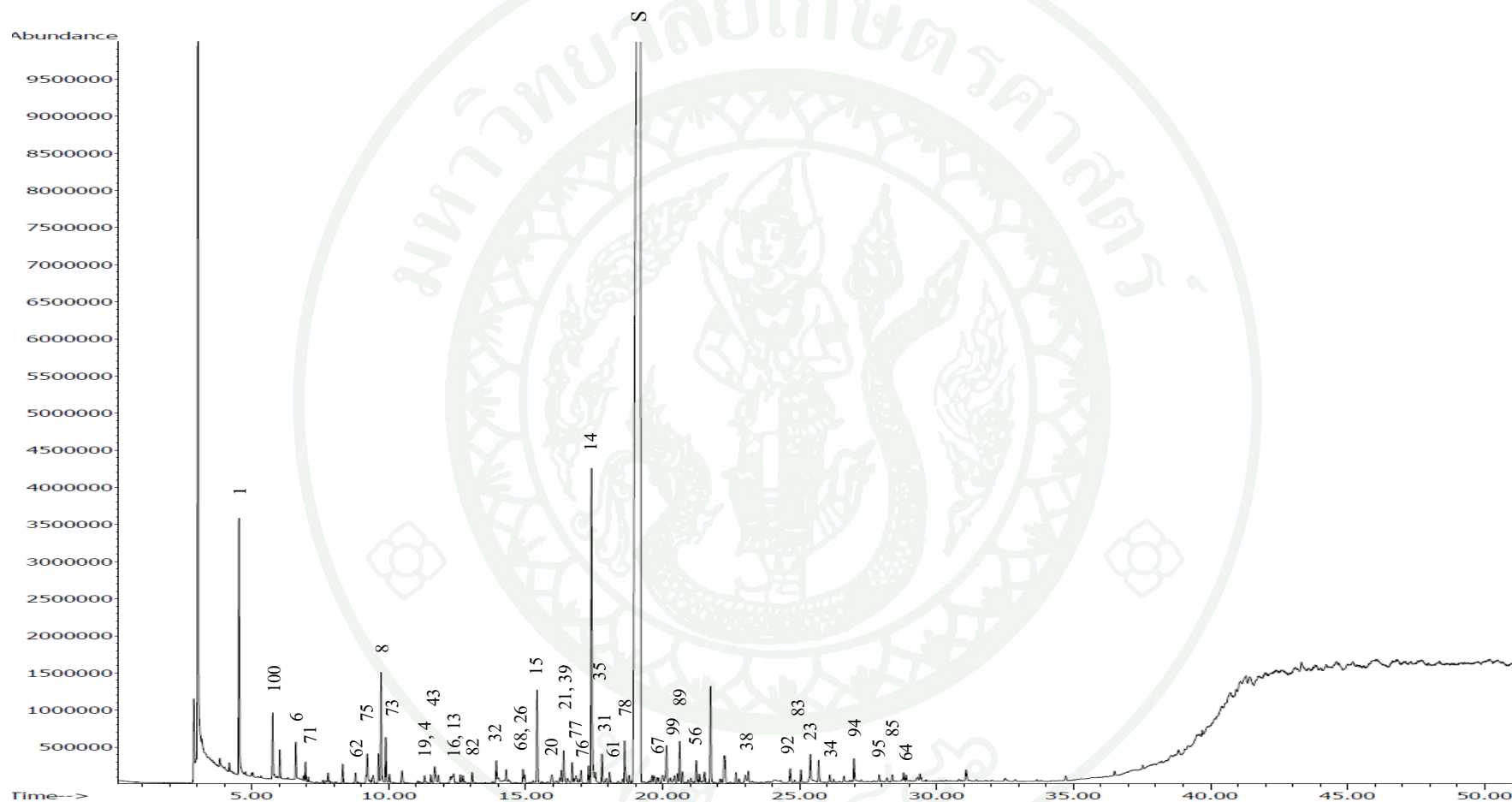
ภาพผนวกที่ 26 โครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งสายพันธุ์ Kadota แยกด้วยคอลัมน์ HP-5

หมายเหตุ S คือ สารมาตรฐาน 2-undecanone



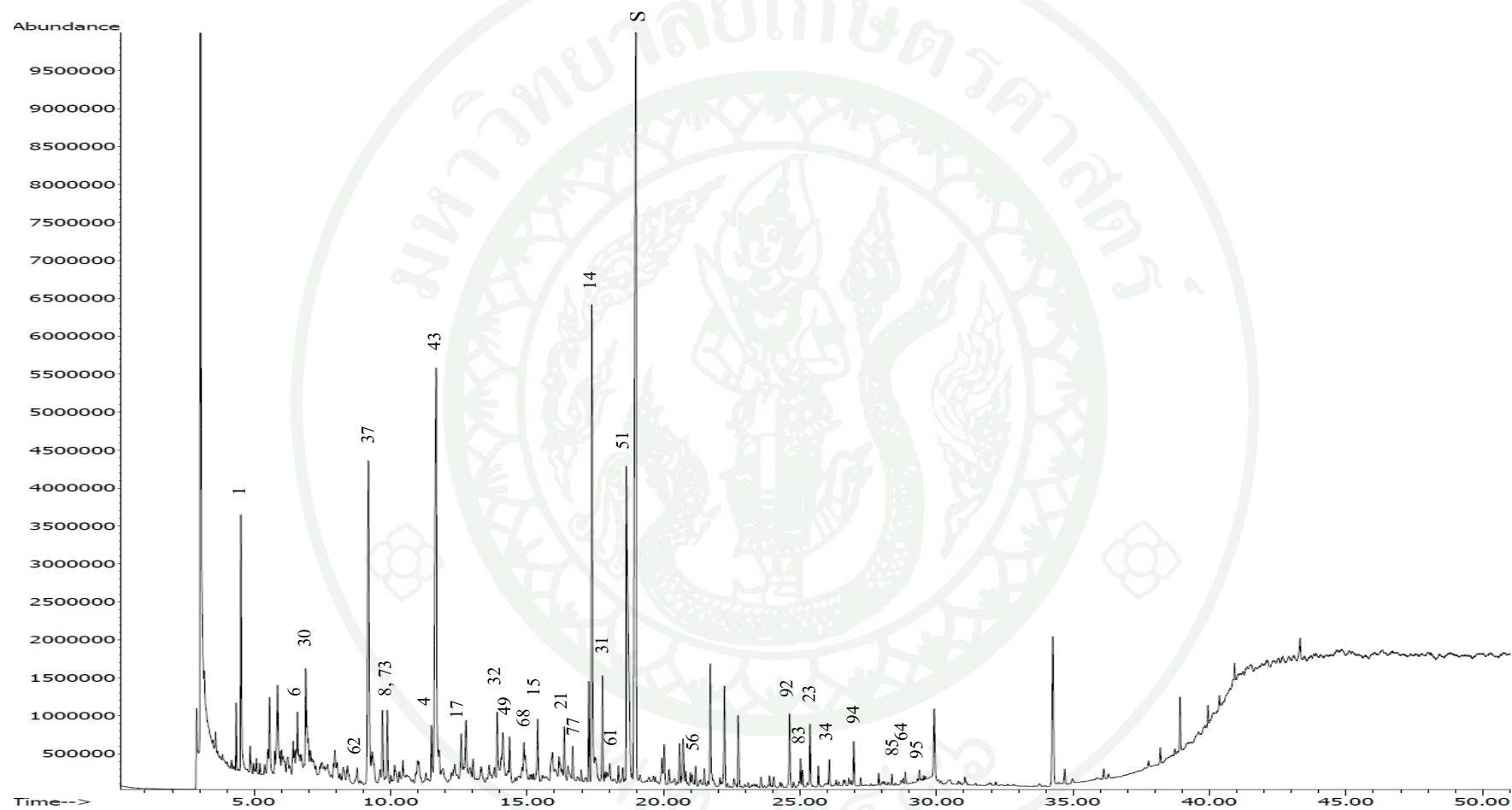
ภาพผนวกที่ 27 โครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งที่อบด้วยลมร้อนสายพันธุ์ Kadota แยกด้วยคอลัมน์ HP-5

หมายเหตุ S คือ สารมาตรฐาน 2-undecanone



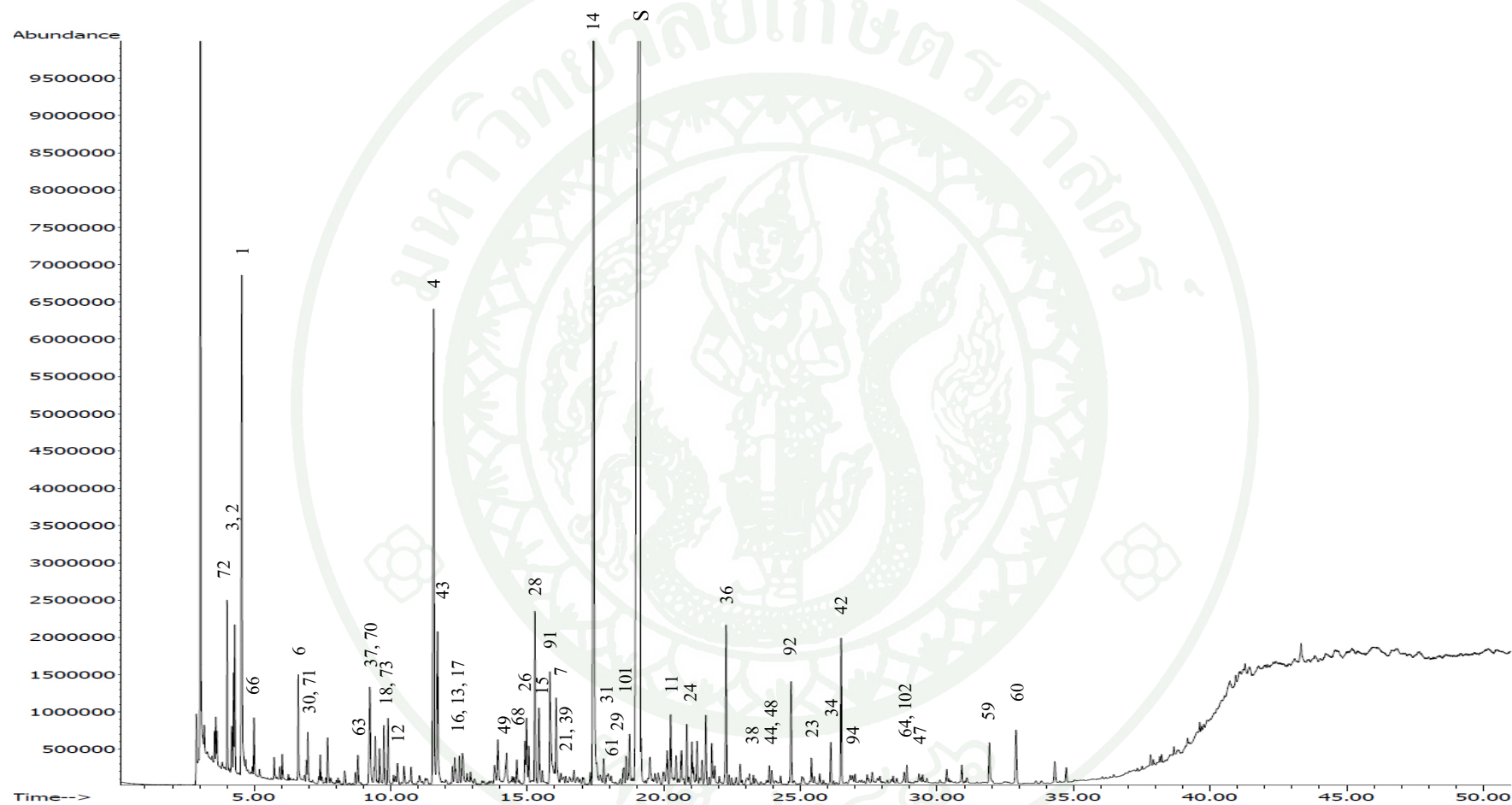
ภาพผนวกที่ 28 โครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งสดสายพันธุ์ Kadota แยกด้วยคอลัมน์ FFAP

หมายเหตุ S คือ สารมาตรฐาน 2-undecanone



ภาพผนวกที่ 29 โครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งสายพันธุ์ Kadota แยกด้วยคอลัมน์ FFAP

หมายเหตุ S คือ สารมาตรฐาน 2-undecanone



ภาพผนวกที่ 30 โครมาโตแกรมของผลมะเดื่อฝรั่งที่อบด้วยลมร้อนสายพันธุ์ Kadota แยกด้วยคอลัมน์ FFAP

หมายเหตุ S คือ สารมาตรฐาน 2-undecanone

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ	นางสาวจารุวรรณ รัตนสกุลธรรม
เกิดวันที่	31 สิงหาคม 2523
สถานที่เกิด	จังหวัดราชบุรี
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (เคมีเกษตร) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งปัจจุบัน	นักวิทยาศาสตร์
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
ผลงานวิจัย	เสนอผลงานทางวิชาการ ภาคโปสเตอร์ เรื่องผลของตัวทำละลายที่ใช้สกัดต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลและสมบัติการต้านออกซิเดชันในผลมะเดื่อฝรั่งสายพันธุ์ต่างๆ ในงานสัมมนาวิชาการวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวแห่งชาติ ครั้งที่ 8 (วันที่ 1-3 กันยายน 2553)
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนผลิตบัณฑิตจากโครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน