



วิทยานิพนธ์

สารให้กลิ่นในผลิตภัณฑ์กระชายแปรรูป

AROMA COMPOUNDS IN PROCESSED FINGERROOT

นางสาวชุตีวรรณ นิมิตรใหม่

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2551



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์การอาหาร

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง สารให้กลิ่นในผลิตภัณฑ์กระชายแปรรูป

Aroma Compounds in Processed Fingerroot

นามผู้วิจัย นางสาวชุตีวรรณ นิมิตรใหม่

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์สิริ ชัยเสรี, Ph.D.)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วรัญญู จิระภักย์กุล, Ph.D.)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์อนุวัตร แจ่มชัด, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธนะบุลย์ สัจจานันตกุล, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญจนา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

สารให้กลิ่นในผลิตภัณฑ์กระชายแปรรูป

Aroma Compounds in Processed Fingerroot

โดย

นางสาวชุตีวรรณ นิมิตรใหม่

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรการอาหาร)

พ.ศ. 2551

ชุดวรรณ นิมิตรใหม่ 2551: สารให้กลิ่นในผลิตภัณฑ์กระชายแปรรูป ปริญญาวิทยา
ศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร) สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร ภาควิชา
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร ประชานกรรมการที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์
สิริ ชัยเสรี, Ph.D. 96 หน้า

กระชายเป็นส่วนผสมในอาหารไทยหลายชนิด การแปรรูปอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสารให้กลิ่นในกระชาย การทดลองนี้จึงศึกษาความแตกต่างของสารให้กลิ่นระหว่างกระชายสดและกระชายแปรรูป 4 ชนิด ได้แก่ กระชายอบแห้งที่ 55 องศาเซลเซียส นาน 4.5 ชั่วโมง กระชายต้ม นาน 30 นาที กระชายผัดที่อุณหภูมิ 90-100 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที และกระชายบรรจุกระป๋องฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ในการทดลองได้สกัดสารระเหยในตัวอย่างด้วยไดเอทิลอีเทอร์ แล้วกลั่นด้วยเครื่องกลั่นภายใต้สุญญากาศ จากนั้นทำการวิเคราะห์สารระเหยด้วย gas chromatography mass-spectrometry (GC-MS) และวิเคราะห์สารให้กลิ่นที่สำคัญด้วยวิธี gas chromatography-olfactometry (GC-O) พบว่าสารระเหยหลักในกระชายสด ได้แก่ (*E*)- β -ocimene, geraniol, camphor, 1,8-cineole, (*Z*)- β -ocimene, geranial และ camphene การอบแห้งทำให้สารระเหยหลักเหล่านี้มีปริมาณลดลง ยกเว้น geraniol ในกระชายต้มมีสารระเหยหลัก ได้แก่ linalool และ geranial ซึ่งมีปริมาณลดลงเมื่อเทียบกับกระชายสด แต่สารระเหยหลักตัวอื่น ๆ มีปริมาณไม่เปลี่ยนแปลง กระบวนการแปรรูปกระชายบรรจุกระป๋องทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสารระเหยในทำนองเดียวกับกระชายต้ม แต่มีปริมาณของสารระเหยมากกว่า การผัดทำให้ปริมาณสารระเหยหลัก ๆ ที่มี OAV สูงหลายชนิดมีปริมาณลดลง การทดลองหาสารให้กลิ่นที่สำคัญในกระชายสดและแปรรูปด้วยวิธี AEDA พบว่า สารให้กลิ่นที่สำคัญในกระชายมี 7 ตัว ได้แก่ α -pinene, 1,8-cineole, alloocimene, geraniol, methyl cinnamate, geranyl propionate และ (-)-endo-2,6-dimethyl-6-(4-methyl-3-pentenyl)bicyclo[3.1.1]hept-2-ene ค่า log₃ FD factor ของสารให้กลิ่นหลักในกระชายอบแห้งมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับกระชายสด นอกจากนี้กลิ่นของกระชายต้มน่าจะคล้ายกับกระชายกระป๋อง เนื่องจากสารให้กลิ่นที่สำคัญส่วนใหญ่เป็นสารชนิดเดียวกัน

Chutiwan Nimitmai 2008: Aroma compounds in Processed Fingerroot. Master of Science (Food Science), Major Field: Food Science, Department of Food Science and Technology. Thesis Advisor: Associate Professor Siree Chaiseri, Ph.D. 96 pages.

Krachai or fingerroot is commonly used in Thai cooking. Using fingerroot in processed foods might change its aroma compounds. This experiment was to study the differences in aroma compounds among fresh fingerroot roots and 4 types of processed roots. Processes employed in this study were; tray-drying at 55 °C for 4.5 h, boiling for 30 min, stir-frying at 90-100 °C for 30 min and canning at 121 °C for 15 min. Volatile compounds from fresh and processed roots were extracted using diethyl ether and then isolated by high vacuum distillation. Volatile compounds were analysed using gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). Aroma active compounds were analysed by using gas chromatography-olfactometry (GC-O). Major volatile compounds in fresh root were (*E*)- β -ocimene, geraniol, camphor, 1,8-cineole, (*Z*)- β -ocimene, geranial and camphene. Dried roots had the decrease of these major compounds content except for geraniol. Boiled roots had a reduction of linalool and geranial. The amounts of other major compounds remained the same as those found in fresh roots. Canned roots had similarly effect on volatile compounds to those in boiled roots. However, aroma compounds in canned fingerroot were at higher concentration than those in boiled fingerroot. Therefore, the aroma of canned roots should be higher intensity than the boiled roots. Some high OAV major compounds in stir-fried roots were lower than those in fresh roots. The aroma active compounds in fresh and processed roots were determined with Aroma Extract Dilution Analysis (AEDA). The aroma active compounds in fingerroot were α -pinene, 1,8-cineole, alloocimene, geraniol, methyl cinnamate, geranyl propionate and (-)-endo-2,6-dimethyl-6-(4-methyl-3-pentenyl) bicycle[3.1.1]hept-2-ene. These were decreases of log₃FD factor of major aroma compounds in dried roots compared with those of fresh roots. This agreed with the result from GC-MS. This study showed that the aroma of boiled roots was similar to the canned root aroma because most of their aroma active compounds were similar.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

____ / ____ / ____

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. สิริ ชัยเสรี ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่กรุณาให้คำปรึกษา อบรมสั่งสอน แนะนำ และส่งเสริมในเรื่องการเรียน การทำวิจัย และทุก ๆ เรื่องที่เป็นประโยชน์แก่ตัวข้าพเจ้าในการดำเนินชีวิตและการทำงานด้วยดีเสมอมา กราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรณิ จิรภาคย์กุล กรรมการที่ปรึกษาวิชาเอก และ รองศาสตราจารย์ อนุวัตร แจ่มชัด ที่กรุณาอบรมชี้แนะในเรื่องเรียน การทำวิจัย ตลอดระยะเวลาที่ทำงานวิจัย กราบขอบคุณ ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่แนะนำสิ่งที่เป็นประโยชน์ต่อการเรียนและงานวิจัย และขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ทุกท่านที่คอยอบรม และให้คำแนะนำแก่ข้าพเจ้า

และขอบคุณ คุณเขาวภา หล่อเจริญผล คุณอรอนงค์ ฐาปนพันธ์นิตกุล ที่ให้คำแนะนำในเรื่องเรียน และให้ประสบการณ์ดี ๆ ตลอดระยะเวลาที่ทำงานวิจัย และพี่ ๆ น้อง ๆ ทุกคนที่ให้คำแนะนำและให้กำลังใจในการทำงานวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้ชีวิต อบรม เลี้ยงดู และให้กำลังใจแก่ข้าพเจ้าตลอดจนขอขอบคุณ ญาติ พี่น้อง ที่ให้คำแนะนำ ให้แรงใจในทุกเรื่องตั้งแต่เด็กจนทุกวันนี้

ชุตีวรรณ นิมิตรใหม่

เมษายน 2551

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	23
อุปกรณ์	23
วิธีการ	25
ผลและวิจารณ์	31
สรุป	64
ข้อเสนอแนะ	65
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	66
ภาคผนวก	76
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	96

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ชนิดและปริมาณเป็นร้อยละของสารประกอบทั้งหมดที่พบในการสกัดน้ำมันหอมระเหยในกระชายด้วยวิธีกลั่นด้วยน้ำ	4
2 ค่า FD factor ของสารให้กลิ่นในเครื่องต้มกาแฟก่อนและหลังให้ความร้อน	15
3 ความเข้มข้นของสารให้กลิ่นในน้ำ black currant พาสเจอไรซ์ และน้ำ black currant ที่ให้ความร้อนต่อที่ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที หลังการพาสเจอไรซ์	16
4 ชนิด ปริมาณ และ OAV ของสารระเหยในกระชายสด (F) และกระชายอบแห้ง (D)	34
5 ชนิด ปริมาณ และ OAV ของสารระเหยในกระชายสด (F) กระชายต้ม (B) และกระชายกระป๋อง (C)	42
6 ชนิด ปริมาณ และ OAV ของสารระเหยในกระชายสด (F) และกระชายผัด (SF)	50
7 สารให้กลิ่นในกระชายสด (F) และกระชายแห้ง (D) ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี GC-O	56
8 สารให้กลิ่นในกระชายสด (F) กระชายต้ม (B) กระชายกระป๋อง (C) และกระชายผัด (SF) ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี GC-O	61
 ตารางผนวกที่	
1 ปริมาณความชื้นและน้ำมันในกระชายสด กระชายอบแห้ง และกระชายผัด	77

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 ขั้นตอนการสร้าง isopentenyl diphosphate โดย mevalonic acid pathway และ pyruvate/GAP pathway	7
2 การสร้างเทอร์พีนชนิดต่าง ๆ จากสารตั้งต้น isopentenyl diphosphate	8
3 การสังเคราะห์ α -terpinene, γ -terpinene, β -phellandrene และ α -phellandrene จาก α -terpinyl cation	10
4 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของ geranyl ester	14
5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำต่อน้ำหนักแห้งในกระชากับระยะเวลาในการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส	31

ภาพผนวกที่

1 Mass spectrum ของ (-)-endo-2,6-dimethyl-6-(4-methyl-3-pentenyl)bicyclo [3.1.1]hept-2-ene	80
2 Chromatogram ของกระชายสด ในการวิเคราะห์สารระเหยได้จากกระชายสดและกระชายแห้ง	81
3 Chromatogram ของกระชายอบแห้ง ในการวิเคราะห์สารระเหยได้จากกระชายสดและกระชายแห้ง	83
4 Chromatogram ของกระชายสด ในการวิเคราะห์สารระเหยได้จากกระชายสดและกระชายแปรรูปด้วยความร้อน	85
5 Chromatogram ของกระชายต้ม ในการวิเคราะห์สารระเหยได้จากกระชายสดและกระชายแปรรูปด้วยความร้อน	87
6 Chromatogram ของกระชายกระป๋อง ในการวิเคราะห์สารระเหยได้จากกระชายสดและกระชายแปรรูปด้วยความร้อน	89
7 Chromatogram ของกระชายผัด ในการวิเคราะห์สารระเหยได้จากกระชายสดและกระชายแปรรูปด้วยความร้อน	91

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
8	FD chromatogram ของกระชายสดและกระชายอบแห้งที่ได้จากวิธี GC-O	93
9	FD chromatogram ของกระชายสดและกระชายแปรรูปที่ได้จากวิธี GC-O	94

สารให้กลิ่นในผลิตภัณฑ์กระชายแปรรูป

Aroma Compounds in Processed Fingerroot

คำนำ

กระชายเป็นพืชสมุนไพรที่มีสรรพคุณทางยามากมาย เช่น แก้ท้องอืด ท้องเฟ้อ เป็นต้น การบริโภคกระชายจึงมีประโยชน์ต่อสุขภาพ กระชายยังเป็นส่วนผสมของอาหารหลายประเภท ทั้งอาหารประเภทผัด ดั้ม โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาหารที่มีปลาเป็นองค์ประกอบเพราะสามารถดับกลิ่นคาวปลาและเพิ่มรสชาติให้แก่อาหาร ในปัจจุบันอาหารแปรรูปเข้ามามีบทบาทมากในชีวิตประจำวัน และกระชายเป็นวัตถุดิบหนึ่งที่ใช้เป็นส่วนผสมในอาหารแปรรูปต่าง ๆ ดังนั้นการศึกษาว่าวิธีแปรรูปส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงของสารเคมีที่เป็นองค์ประกอบในกระชายแปรรูปอย่างไร ย่อมเป็นสิ่งสำคัญในการที่จะปรับปรุงกระบวนการผลิตอาหารที่มีกระชายเป็นองค์ประกอบให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากขึ้น และจากการศึกษาผลกระทบจากกระบวนการแปรรูปต่อการเปลี่ยนแปลงของสารระเหยในสมุนไพรต่าง ๆ เช่น การอบแห้งใบ thyme และใบ sage ทำให้ปริมาณสารระเหยทั้งหมดมีปริมาณลดลง (Vensutonis, 1997) นอกจากนี้ยังพบว่าชาดัมพ์น่าจะมีสาร ACA ซึ่งเป็นสารให้กลิ่นรสเฉพาะตัวของชาดลง และเกิดสารใหม่ที่ไม่มิกลิ่น ทำให้สารอื่น ๆ ในชาดัมพ์แสดงออกมากขึ้น ส่งผลให้กลิ่นรสของชาดัมพ์มีรสชาติเผ็ด หวานขึ้น (Kubota *et al.*, 1999) และการเตรียมเครื่องดัมพ์ยำกึ่งที่ทำจากเครื่องเทศต่าง ๆ ได้แก่ ตะไคร้ ใบมะกรูด และชาที่ผ่านการแปรรูปด้วยวิธีอบแห้ง ผัด และทอด นั้น ทำให้กลิ่นของโมเดลเครื่องดัมพ์ยำที่ได้แตกต่างจากเครื่องปรุงที่ปรุงจากเครื่องเทศสด การทดลองดังกล่าวข้างต้นแสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ที่การแปรรูปกระชายด้วยวิธีต่าง ๆ นั้นอาจส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสารให้กลิ่นในกระชายได้ (เยาวภา, 2547)

วัตถุประสงค์

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาชนิดและปริมาณสารให้กลั่นที่มีในกระชายอบแห้ง
กระชายต้ม กระชายบรรจุกระป๋อง และกระชายผัด

การตรวจเอกสาร

กระชาย

กระชายแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ กระชายดำ นิยมนำไปใช้ในการปรุงยา เช่น ยาอายุวัฒนะ กระชายแดง มักนิยมนำมาใช้ในการบริโภค เช่น ใช้หน่ออ่อนปรุงรสน้ำยาخنมจีนและบริโภคเป็นผักสด และกระชายเหลืองหรือกระชายธรรมดาที่เราคุ้นเคยนำมาใช้ประโยชน์เพื่อการบริโภค ปรุงอาหาร กระชายมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Boesenbergia rotunda* (L.) Mansf. เป็นพืชในวงศ์ Zingiberaceae ซึ่งเป็นวงศ์เดียวกับ ขิง ข่า มีถิ่นกำเนิดในประเทศเขตร้อน บริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เป็นพืชล้มลุกมีลำต้นอยู่ใต้ดินเรียกว่า เหง้า (rhizome) (รุ่งรัตน์, 2535) และมีรากรูปทรงกระบอกอวบน้ำ ใช้เก็บสะสมอาหาร (อนันต์, 2539)

กระชายที่นำมาใช้กัน คือกระชายอ่อนและกระชายแก่สด (อนันต์, 2539) ซึ่งอายุการเก็บเกี่ยวกระชายเริ่มตั้งแต่อายุประมาณ 8 เดือนขึ้นไป (ช่อขวัญ, 2544; มุลนิธิตระการศักดิ์ มณีภาค, ม.ป.ป.; ศรีนันท์, ม.ป.ป.) ส่วนที่ใช้ในการบริโภคคือ เหง้าและราก กระชายเป็นทั้งพืชเครื่องเทศและพืชสมุนไพร ประโยชน์ในด้านพืชเครื่องเทศ ภาคกลางนำมาใช้น้ำยาخنมจีน หั่นเป็นฝอยใส่ผัดเผ็ดต่าง ๆ ใช้แต่งรสดับกลิ่นคาว ภาคใต้ใส่ในเครื่องแกง เนื่องมาจากกระชายมีน้ำมันหอมระเหยและสารดับคาว รสชาติเผ็ดร้อนแต่เผ็ดไม่เท่าพริก ประโยชน์ด้านพืชสมุนไพร ใช้เหง้ากระชายรักษาโรคในปาก เช่น ปากเปื่อย ปากเป็นแผล ปากแห้ง ขับระดู ขับปัสสาวะ รักษาบิด แก้ปวดมวนท้อง ท้องอืดท้องเฟ้อและยังมีฤทธิ์ในการรักษาเชื้อราที่ทำให้เกิดโรคผิวหนัง (อนันต์, 2539) กระชายยังมีสารออกฤทธิ์ต่าง ๆ มากมาย ได้แก่ สารออกฤทธิ์ยับยั้งการเกิดเนื้องอก (antitumor) (Murakami *et al.*, 1993) สารยับยั้งการกลายพันธุ์ (antimutagen) ในหนูที่มีสาเหตุจากสารประกอบ heterocyclic amine (Trakoontivakorn, 2001) ซึ่งเป็นสารที่เกิดขึ้นได้ในอาหารที่ได้รับความร้อน และกระชายยังมีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียในช่องปากที่เป็นสาเหตุของโรคฟันผุได้ (Hwang *et al.*, 2004) จากงานวิจัยก่อนหน้านี้ได้มีการสกัดน้ำมันหอมระเหยในกระชายที่ได้จากประเทศไทยด้วยวิธีการกลั่นด้วยน้ำ (hydrodistillation) พบองค์ประกอบหลักคือ camphor (16.9%), geraniol (20.8%), (*E*)- β -ocimene (22.8%), 1,8-cineole (7.8%), camphene (5.4%) และ methyl cinnamate (2.2-5.8%) โดยชนิดและปริมาณของสารประกอบทั้งหมดที่พบ ดังตารางที่ 1 (Jantan *et al.*, 2001)

ตารางที่ 1 ชนิดและปริมาณเป็นร้อยละของสารประกอบทั้งหมดที่พบในการสกัดน้ำมันหอมระเหย
ในกระชายด้วยวิธีกลั่นด้วยน้ำ

สารประกอบ	RI ^a	ปริมาณ (เปอร์เซ็นต์)
tricyclene	921	0.2
α -thujene	927	0.3
α -pinene	937	0.9
camphene	953	5.4
sabinene	970	tr
β -pinene	979	1.1
myrcene	990	0.2
α -phellandrene	1003	0.1
3-carene	1009	2
1,8-cineole	1033	7.8
(Z)- β -ocimene	1037	3.2
(E)- β -ocimene	1050	22.8
γ -terpinene	1055	0.1
(Z)-linalool oxide	1075	0.1
terpinolene	1089	1.2
linalool	1099	0.1
alloocimene	1138	0.3
camphor	1149	16.9
isoborneol	1153	0.6
borneol	1166	0.5
terpinen-4-ol	1178	0.2
α -terpineol	1188	0.7
neral	1247	0.5
geraniol	1262	20.8
geranial	1273	1.5
methyl 3-phenylpropionate	1278	0.1

ตารางที่ 1 (ต่อ)

สารประกอบ	RI ^a	ปริมาณ (เปอร์เซ็นต์)
geranyl formate	1298	0.2
δ -elemene	1335	0.1
neryl acetate	1365	0.1
methyl cinnamate	1378	3.0
β -elemene	1388	1.0
γ -elemene	1433	0.1
geranyl propionate	1444	0.1
(Z)- β -farnesene	1451	0.2
(E)- α -farnesene	1511	0.1
myristicin	1516	0.1
(Z)-nerolidol	1534	tr
β -thujaplicin	1559	0.1

หมายเหตุ ^a = retention index ได้จากการแยกด้วยคอลัมน์ SE 30 ในการวิเคราะห์ด้วย GC-MS,

tr = พบในปริมาณเล็กน้อย

ที่มา: ดัดแปลงจาก Jantan *et al.* (2001)

สารประกอบในน้ำมันหอมระเหยมีหลายชนิด โดยมีสารหลักเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภทเทอร์พีน (terpene) และมีสารประกอบอื่น ๆ ที่เป็นองค์ประกอบ ได้แก่อนุพันธ์ของสารไฮโดรคาร์บอนที่มีออกซิเจน เช่น แอลกอฮอล์ อัลดีไฮด์ คีโตน และเอสเทอร์ ซึ่งสารเหล่านี้ถูกสังเคราะห์โดยพืชตามปกติ สารให้กลิ่นที่มีโครงสร้างของเบนซีน เป็นผลจากปฏิกิริยาทางชีวเคมีที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับเมตาบอลิซึมของพืช เช่น แอลกอฮอล์ กรดเอสเทอร์ อัลดีไฮด์ คีโตน ฟีนอล แลคโตน เป็นต้น และสารประกอบไนโตรเจน เช่น indole ซึ่งเป็นสารประเภท alkaloid หรือสารประกอบซัลเฟอร์ที่โดยมากสลาย (degrade) จากไกลโคไซด์ (Heath, 1981; Reineccius, 1994)

เทอร์พีน

เทอร์พีนเป็นสารประกอบเทอร์พีนอยด์ (terpenoid) ที่แต่เดิมเชื่อว่าเป็นของเสียจากกระบวนการเมตาบอลิซึมของพืชที่สะสมในโครงสร้างเฉพาะ แต่ปัจจุบันเชื่อว่าเป็นสารที่พืชใช้ในการสื่อสารเพื่อดึงดูดแมลงให้มาผสมเกสร และใช้ในการป้องกันแมลงและสัตว์กินพืช หรือวัชพืช (Hirasa and Takemasa, 1998; Little and Croteau, 1999)

เทอร์พีนมีโครงสร้างหลักเป็น isoprene ตั้งแต่หนึ่งหน่วยขึ้นไปเชื่อมต่อกัน (อัมพร, 2541) เขียนสูตรได้เป็น $(C_5H_8)_n$ ได้แก่ hemiterpene ($n=1$, C5), monoterpene ($n=2$, C10), sesquiterpene ($n=3$, C15), diterpene ($n=4$, C20) และ triterpene ($n=6$, C30) (Heath, 1981; Reineccius, 1994) โดยเทอร์พีนส่วนใหญ่ที่พบในน้ำมันหอมระเหย ได้แก่ monoterpene ที่มีกลิ่นแรง และ sesquiterpene (Hirasa and Takemasa, 1998)

1. monoterpene

บางครั้งเรียกโดยทั่วไปว่าเทอร์พีน (Heath, 1981; Reineccius, 1994) แบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม (Mateo and Jimenez, 2000) คือ สารประกอบที่อยู่ในรูปอิสระ สารประกอบที่อยู่ในรูปของ polyhydroxylate หรือ polyol อิสระ ซึ่งไม่ให้กลิ่นโดยตรงแต่สามารถสลายตัวได้เป็นสารระเหย และสารประกอบที่อยู่ในรูปของไกลโคไซด์ ซึ่งไม่ให้กลิ่นโดยตรงและไม่ถูกไฮโดรไลสด้วย exogenous β -glucosidases (Strauss *et al.*, 1986) monoterpene เกิดจากการสังเคราะห์ทางชีวภาพโดยมีขั้นตอนดังนี้ (Little and Croteau, 1999)

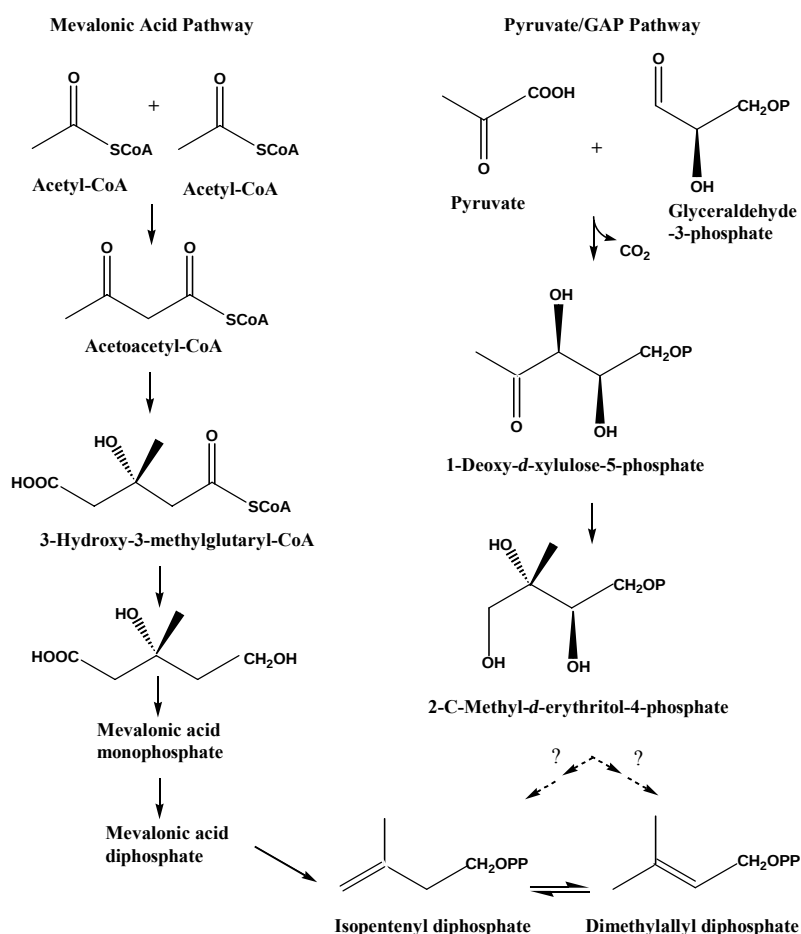
1.1 ขั้นตอนเมตาบอลิซึมของเทอร์พีนอยด์

1.1.1 การสร้างสารตั้งต้นที่มีคาร์บอน 5 อะตอม

ในสมัยก่อนเชื่อว่า acetate/mevalonate pathway คือขั้นตอนเดียวในการสังเคราะห์ทางชีวภาพเพื่อสร้าง isopentenyl diphosphate (IPP) แต่ต่อมาพบว่า IPP สามารถสร้างได้จาก pyruvate/glyceraldehyde-3-phosphate pathway ได้ด้วย ตามภาพที่ 1 โดยช่วงแรกจะเกิดปฏิกิริยา transketolase ของ glyceraldehyde-3-phosphate กับคาร์บอนตำแหน่งที่ 2 และ 3 ของ pyruvate ได้ 1-deoxy-*d*-xylulose-5-phosphate เป็นสารมัธยันต์ที่มีคาร์บอน 5 อะตอม ซึ่งสารชนิดนี้

จะเปลี่ยนเป็น 2-C-methyl-*d*-erythritol-4-phosphate โดยอาศัยเอนไซม์ 1-deoxy-*d*-xylulose-5-phosphate reductoisomerase แล้วเกิดปฏิกิริยารีดักชันร่วมกับการสูญเสียโมเลกุลของน้ำ (dehydration) และเกิด phosphorylation ได้เป็น IPP หรือ Dimethylallyl diphosphate (DMAPP) เป็นผลิตภัณฑ์สุดท้าย โดยในขั้นตอนนี้ยังไม่ทราบแน่ชัดว่าเกิดขึ้นได้อย่างไร (Little and Croteau, 1999)

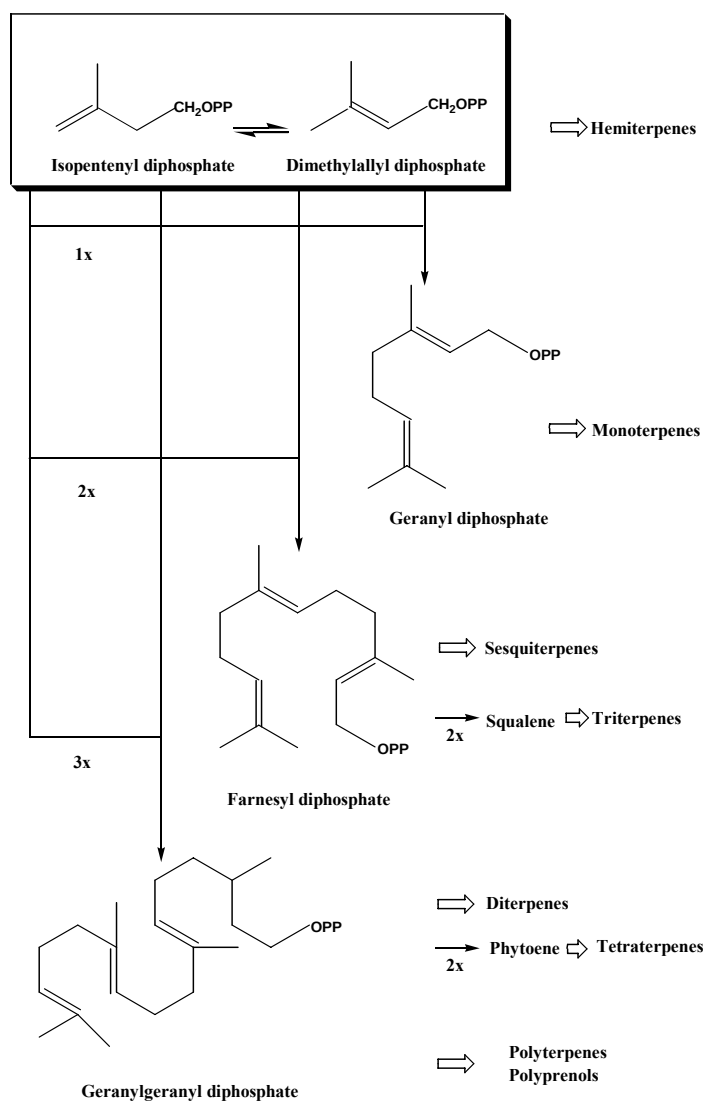
ในปัจจุบันเชื่อว่า acetate/mevalonate pathway ทำให้เกิดการสังเคราะห์ทางชีวภาพของ sesquiterpenoid ส่วน pyruvate/glyceraldehyde-3-phosphate pathway เป็นขั้นตอนเริ่มต้นในการสังเคราะห์ monoterpene (Little and Croteau, 1999)



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการสร้าง isopentenyl diphosphate โดย mevalonic acid pathway และ pyruvate/GAP pathway
ที่มา: Little and Croteau (1999)

1.1.2 การสังเคราะห์เทอร์พีนอยด์

IPP 1 โมเลกุล เกิด reversible isomerization โดย IPP isomerase ได้เป็น DMAPP แล้วเกิดการควบแน่น (condensation) กับ IPP อีกโมเลกุลหนึ่ง ในลักษณะ head-to-tail ได้ geranyl diphosphate ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีคาร์บอน 10 อะตอม และเป็นสารตั้งต้นโดยตรงของ monoterpene ดังภาพที่ 2 ขณะที่ IPP อีกโมเลกุลก็จะเกิดปฏิกิริยาลักษณะเดียวกันได้เป็น farnesyl diphosphate ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของ sesquiterpene (Little and Croteau, 1999)



ภาพที่ 2 การสร้างเทอร์พีนชนิดต่าง ๆ จากสารตั้งต้น isopentenyl diphosphate
ที่มา: Little and Croteau (1999)

นอกจาก geranyl diphosphate (GPP) จะเป็นสารตั้งต้นหลัก (universal precursor) ของ monoterpene แล้ว ยังเกิด isomerization เป็น nereryl diphosphate (NPP) หรือ linalyl diphosphate (LPP) (Croteau, 1986) จากโครงสร้างของ GPP ที่ไม่เอื้ออำนวยให้เกิดวง แต่ NPP และ LPP ซึ่งมีโครงสร้างที่เอื้อให้เกิดวงในปฏิกิริยา cyclisation ของ cyclic monoterpene จึงทำให้ NPP และ LPP น่าจะเป็นสารมัธยันต์มากกว่า GPP ในการเกิดระบบโครงสร้างวงเดี่ยวแบบ menthane จากการศึกษาพบว่า เอนไซม์ monoterpene cyclase ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการเกิดวงนั้น สามารถเข้ากับ diphosphate ทั้งสามตัวได้ แต่ LPP นั้นเป็นสารตั้งต้นที่ดีที่สุด (Dewick, 2002) นอกจากนี้ยังพบว่าเทอร์พีนที่เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนแบบไม่เป็นวงมักมีกลิ่นแรง แต่ไม่เสถียรเพราะมีโครงสร้างไม่อิ่มตัว (Bauer *et al.*, 1997)

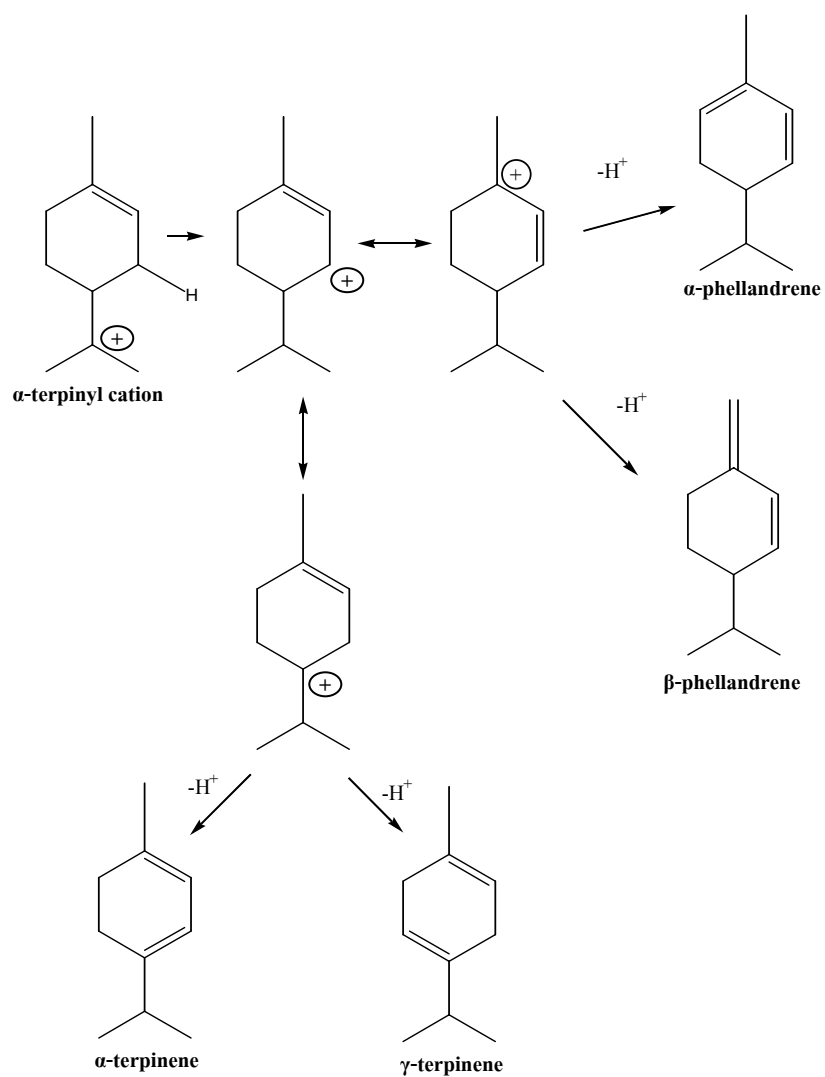
1.2 ขั้นตอนการสังเคราะห์ monoterpene

1.2.1 ปฏิกิริยา cyclisation

การเปลี่ยน geranyl diphosphate เป็นสารต้นแบบ (parent compound) หรือ host of terpene ด้วย monoterpene synthase โดย monoterpene cyclase ทำให้เกิด α -terpinyl cation เป็นสารมัธยันต์ในการสังเคราะห์ทางชีวภาพของ monoterpene บางตัวที่มีโครงสร้างเป็นวง เช่น การสังเคราะห์ α -terpinene, γ -terpinene, β -phellandrene และ α -phellandrene จาก geranyl pyrophosphate ซึ่งเป็นสารตั้งต้นที่ไม่เป็นวง ต้องมีการเคลื่อนที่ของประจุบวกจาก isopropyl side chain เข้าไปในวง cyclohexenoid ของ α -terpinyl cation และมีการเคลื่อนที่ของประจุภายในวงไปในตำแหน่งเฉพาะสำหรับการเกิดสารในแต่ละตัว หลังจากนั้นเกิดการสูญเสียโปรตอนในโมเลกุลได้เป็นสารดังกล่าวข้างต้น (Dewick, 2002) (ภาพที่ 3) นอกจากนี้ α -terpinyl cation ยังเป็นสารมัธยันต์ในปฏิกิริยา cyclisation ของ monoterpene ที่มีโครงสร้างแบบสองวง (bicyclic structure) โดยเกิดผ่านปฏิกิริยา internal addition เพื่อให้ได้โครงสร้างที่มีสองวง หลังจากนั้นเกิด hydride shift ตามด้วยการจัดเรียงตัวของโครงสร้างใหม่ และ terminating stabilization ของ carbocation ด้วยการ deprotonation หรือ nucleophile capture

นั่นคือ geranyl diphosphate ที่มีโครงสร้างไม่เป็นวง ทำหน้าที่เป็นสารที่ใช้สังเคราะห์ cyclic parent ของ monoterpene ต่าง ๆ โดยมี linalyl diphosphate เป็นสารมัธยันต์ในปฏิกิริยา cyclisation ปกติที่เร่งปฏิกิริยาด้วย cyclase เช่น 3S-linalyl diphosphate เป็นสารมัธยันต์

ของ (-)-4S-limonene synthase และ (-)-pinene synthase หรือ (+)-bornyl diphosphate synthase ที่ใช้ 3R-linalyl diphosphate เป็นสารมัธยันต์ (Schwab *et al.*, 2002)



ภาพที่ 3 การสังเคราะห์ α -terpinene, γ -terpinene, β -phellandrene และ α -phellandrene จาก α -terpinyl cation

ที่มา: ดัดแปลงจาก Dewick (2002)

1.2.2 การเปลี่ยนรูประดับทุติยภูมิ

เป็นการเปลี่ยนรูปจาก monoterpene ต้นแบบ (parent monoterpene) โดยการ hydroxylation รวมถึง การเกิดออกซิเดชัน รีดักชัน หรือ การเคลื่อนย้ายพันธะคู่ (Heath, 1981; Reineccius, 1994) เช่น เอนไซม์ของพืชตระกูลส้มที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน รีดักชันของพวก host of terpene ซึ่ง interconversion ของเทอร์พีนสามารถเกิดได้หลาย pathways (Reineccius, 1994)

นอกจากนี้จุลินทรีย์ยังสามารถเปลี่ยนรูปทางชีวภาพของเทอร์พีนได้ด้วย เช่น *Pseudomonads cepacia* เปลี่ยน α -pinene และ β -pinene เป็น borneol, *p*-cymene, α -terpinolene, limonene, camphor, terpinen-4-ol, α -terpineol, *p*-cymene-8-ol และ fenchyl alcohol ตามลำดับ (Braddock and Cadwallader, 1995) หรือ ยีสต์เปลี่ยน geraniol เป็น citronellol, linalool และ nerol โดย linalool และ nerol จะเปลี่ยนเป็น α -terpineol ต่อไป ซึ่งการเปลี่ยนรูปทางชีวภาพบางปฏิกิริยาเป็นแบบผันกลับได้ เช่น geraniol หรือ nerol เปลี่ยนเป็น linalool (King and Dickinson, 2003)

การที่ monoterpene ส่วนใหญ่มีโครงสร้างเป็นวง นอกจากจะเกิดจากปฏิกิริยา cyclisation ของ allylic pyrophosphate เป็นส่วนใหญ่ หรือเกิดการเปลี่ยนรูปจาก cyclic parent compound แล้ว ยังอาจเกิดจากการ catabolism เช่น geraniol และอนุพันธ์ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยา cyclisation ได้โดยตรงเพราะพันธะคู่ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 เป็นแบบ (*E*) ขณะที่ nerol ซึ่งเป็น (*Z*)-isomer และ linalool ที่เป็น tertiary isomer สามารถเกิดได้ (Croteau, 1986)

2. sesquiterpene

sesquiterpene มี (*E,E*)-farnesyl diphosphate เป็นสารตั้งต้นทางธรรมชาติ (*E,E*)-farnesyl diphosphate จะถูก cyclisation ด้วยเอนไซม์ sesquiterpene cyclase ได้เป็น sesquiterpene ชนิดต่าง ๆ เช่น β -selinene (Belingheri *et al.*, 1992), humulene, caryophyllene (Croteau and Gundy, 1984; Dehal and Croteau, 1988) หรือ (+)- δ -cardinene ซึ่งเป็นสารมัธยันต์จากการสังเคราะห์ทางชีวภาพของ sesquiterpenoid phytoalexin (Davis and Essenberg, 1995) โดยมีขั้นตอนเริ่มจาก (*E,E*)-farnesyl diphosphate เกิด isomerization เป็นสารมัธยันต์คือ nerolidyl diphosphate และเกิด cyclisation เป็น (*Z*)-germacradienyl cation ซึ่งจะเกิด 1,3-hydride shift แล้ว cyclisation เป็น cadinanyl cation จากนั้น deprotonation เป็น (+)- δ -cardinene (Benedict *et al.*, 1995; Alchanati *et al.*, 1998; Benedict *et al.*, 2001; Martin *et al.*, 2003; Wang *et al.*, 2003) นอกจากนี้ sesquiterpene

บางตัวยังทำหน้าที่เป็นสารมัธยันต์ในการสังเคราะห์สารตัวอื่น เช่น germacrene A ที่เป็นสารมัธยันต์ในการสังเคราะห์ทางชีวภาพของ sesquiterpene lactone (Kraker *et al.*, 2001)

การเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสในพืช

การควบคุมคุณภาพของพืชผักเพื่อช่วยให้ผักนั้นยังคงเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค กลิ่นรสก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค ถ้าต้องการควบคุมกลิ่นรสให้ได้ตามที่ต้องการ จำเป็นต้องทราบถึงสาเหตุและปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสในพืชผักนั้น กลิ่นรสในอาหารที่เปลี่ยนไป ส่วนใหญ่มีสาเหตุจากการเปลี่ยนแปลงของสารให้กลิ่นทั้งชนิดและปริมาณของสารประกอบที่ให้กลิ่นรส

สารประกอบที่ให้กลิ่นรสสามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีได้หลายปฏิกิริยา ซึ่งสารประกอบแต่ละชนิดมีความไวต่อปฏิกิริยาเคมีไม่เหมือนกัน เช่น แอลดีไฮด์สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เป็นกรด หรือสารประกอบเทอร์พีน (terpene) เกิดปฏิกิริยาการจัดเรียงตัวใหม่ (rearrangement) และการเกิดไอโซเมอร์ (isomerisation) เมื่อถูกแสง รวมถึงการเกิดพอลิเมอร์ (polymerisation) ของสารประกอบที่ไม่อิ่มตัว เป็นต้น (Fisher and Scott, 1997a) การเกิดปฏิกิริยาเคมีเหล่านี้ทำให้ชนิดของสารประกอบที่ให้กลิ่นในอาหารเปลี่ยนไป ส่งผลให้ลักษณะกลิ่นรสของอาหารต่างไปจากเดิม เพราะสารระเหยแต่ละชนิดให้ลักษณะกลิ่นแตกต่างกัน และอันตรกิริยาระหว่างสารให้กลิ่น

เนื่องจากสารประกอบที่ให้กลิ่นรสมียหลายชนิดจึงเกิดอันตรกิริยาระหว่างสารประกอบเหล่านั้นได้ ซึ่งทำให้กลิ่นรสเปลี่ยนไป โดยลักษณะของอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นมี 2 แบบ คือ antagonism และ synergism

antagonism คือ อันตรกิริยาที่เกิดขึ้นโดยสารประกอบชนิดหนึ่งลดความเข้มกลิ่นของสารประกอบอีกชนิดหนึ่ง เช่น (Z)-hex-3-enal เข้มข้น 1.0 ppm ในน้ำมันพาราฟินจะให้กลิ่นฉุนแรง แต่เมื่อผสม (E,E)-deca-2,4-dienal เข้มข้น 12.5 ppm ลงไปในตัวอย่างที่มี (Z)-hex-3-enal เข้มข้น 13.2 ppm พบว่าเกือบจะไม่มีกลิ่นรสเหลืออยู่เลย (Fisher and Scott, 1997b)

synergism คือ อันตรกิริยาที่เกิดขึ้นโดยสารประกอบชนิดหนึ่งเสริมความแรงกลิ่นของสารประกอบอีกชนิดหนึ่ง เช่น เมื่อสารประเภทคีโตน ได้แก่ butan-2-one (5 ppm), pentan-2-one (1

ppm), heptan-2-one (0.5 ppm) และ octan-2-one (0.2 ppm) แต่ละชนิดอยู่ในน้ำจะไม่มีกลิ่น แต่เมื่อนำสารทั้งหมดมาผสมกันจะมีกลิ่นเกิดขึ้น (Fisher and Scott, 1997c)

นอกจากนี้ความเข้มข้นของสารประกอบที่ให้กลิ่นก็มีผลต่อกลิ่นรสที่ผู้บริโภคได้รับอีกด้วย เนื่องจากสารประกอบที่ให้กลิ่นรสนั้นมีค่าความเข้มข้นต่ำสุดในการจดจำกลิ่น (recognition threshold) มากกว่าหนึ่งค่า (Fisher and Scott, 1997a) ดังนั้นอาหารที่มีสารประกอบที่ให้กลิ่นชนิดเดียวกันแต่มีความเข้มข้นไม่เท่ากันก็ทำให้ผู้บริโภคได้กลิ่นที่มีลักษณะแตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น (*E*)-non-2-enal ที่ความเข้มข้น 0.1 ppb ให้กลิ่นไม้ แต่ถ้าความเข้มข้นมากกว่า 8 ppb ให้กลิ่นไขมัน และที่ความเข้มข้น 30 ppb หรือ 1000 ppb ในสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายจะให้กลิ่นแฉะกว่าที่รุนแรง (Fisher and Scott, 1997d)

สาเหตุของการเปลี่ยนแปลงของสารให้กลิ่นรสดังกล่าวนี้ เกิดขึ้นจากหลายปัจจัยดังต่อไปนี้

1. การทำงานของเอนไซม์ในพืช

เอนไซม์ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นรส เนื่องจากเอนไซม์สามารถเร่งปฏิกิริยาชีวสังเคราะห์ต่าง ๆ Boukobza *et al.* (2001) ทดลองหาสารระเหยที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิปิด เมื่อป่นผลไม้แช่แข็งด้วยเครื่องปั่นที่ต่อกับเครื่องวิเคราะห์ Atmospheric Pressure Chemical Ionisation-Mass Spectrometer (API-MS) พบว่า hexanal, hexenal และ hexenol มีปริมาณเริ่มแรกน้อย แต่ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไปนาน ที่เป็นเช่นนี้เพราะเอนไซม์ในผลไม้ไปเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิปิดทำให้เกิดสารประกอบดังกล่าว

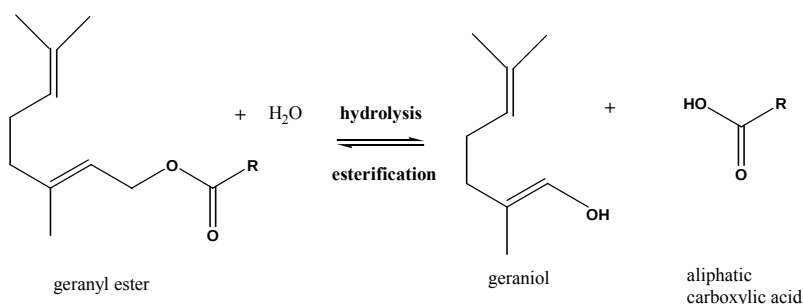
2. อุณหภูมิ

อุณหภูมิที่ใช้ในช่วงการแปรรูปมีผลต่อกลิ่นรส เช่น Mizutani and Hashimoto (2004) ทดลองบดเมล็ดถั่วเหลืองที่อุณหภูมิ 3, 15, 30, 55 และ 80 องศาเซลเซียส พบว่าการบดที่ 3 และ 80 องศาเซลเซียส สามารถลดปริมาณการเกิด triglyceride hydroperoxide, n-hexanal และ n-hexanol ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาที่มีเอนไซม์เป็นตัวเร่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากการบดที่อุณหภูมิดังกล่าวสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ได้

3. ความร้อนที่ใช้ในกระบวนการแปรรูป

ความร้อนที่ใช้ในกระบวนการแปรรูปอาหารเป็นสาเหตุที่ทำให้สูญเสียสารให้กลิ่น (Eichner *et al.*, 1994) เพราะความร้อนมีผลต่อการสลายและการเปลี่ยนรูปของสารประกอบที่ให้กลิ่น เช่น เครื่องดื่มกาแฟหลังผ่านกระบวนการแปรรูปโดยใช้ความร้อน พบว่ามีค่า FD factor ของ methanethiol, acetic acid, 2-furfurylthiol, methional, 3-mercapto-3-methylbutyl formate และ 4-hydroxy-2,5-dimethyl-3(2H)-furanone เปลี่ยนแปลงไป และเนื่องจากชนิดอาหารและระบบอาหาร ทั้งก่อนและหลังให้ความร้อนเป็นแบบเดียวกัน ค่า FD factor ที่เปลี่ยนไปจึงแสดงให้เห็นว่ามีปริมาณสารให้กลิ่นดังกล่าวเปลี่ยนไป (Kumazawa and Masuda, 2003) (ตารางที่ 2)

การศึกษาอิทธิพลของการให้ความร้อนน้ำผลไม้ black currant (*Ribes nigrum* L.) ที่ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที หลังจากการพาสเจอร์ไรซ์ โดยพบว่ามีปริมาณเทอร์ปีนเพิ่มขึ้น เนื่องจากความร้อนไปเร่งการสลายพันธะไกลโคซิดิก (glycosidic bond) ระหว่างเทอร์ปีนกับส่วนที่เป็นน้ำตาล แต่ปริมาณเทอร์ปีนบางชนิดลดลงซึ่งอาจเกิดจากการจัดเรียงตัวใหม่ไปเป็นเทอร์ปีนตัวอื่น ส่วนเอสเทอร์ที่มีปริมาณลดลง เพราะความร้อนไปเพิ่มอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยา acid hydrolysis ได้เป็นกรดคาร์บอกซิลิกและแอลกอฮอล์ นอกจากนี้ยังพบสารประกอบที่ให้กลิ่นในกลุ่มอื่น ๆ มีปริมาณเพิ่มขึ้น เช่น 2-methoxy-3-isopropyl-pyrazine, benzaldehyde, ethyl benzoate, methyl salicylate, β -damascenone และ benzyl alcohol ดังตารางที่ 3 (Varming *et al.*, 2004)



ภาพที่ 4 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของ geranyl ester

ที่มา: Speijers and Wouters (1998)

ตารางที่ 2 ค่า FD factor ของสารให้กลิ่นในเครื่องต้มกาแฟก่อนและหลังให้ความร้อน

RI ^a	RI ^b	สารประกอบที่ให้กลิ่น	ลักษณะกลิ่น ^c	FD factor	
				ก่อนให้ความร้อน	หลังให้ความร้อน
696	690	methanethiol ^c	putrid	1	4
696		unknown	pungent	1	4
887		unknown	roasty	1	nd
908		unknown	pungent	20	40
1116		unknown	roasty	4	2
1434	1435	2-furfurylthiol ^d	roasty	200	40
1453	1448	methional ^d	potato-like	4	1
1454	1447	acetic acid ^d	sour	nd	2
1523	1521	3-mercapto-3-methylbutyl formate ^d	roasty	20	nd
1684	1676	3-methylbutanoic acid ^d	sour	nd	4
1806	1813	2-furfuryl methyl disulfide	meaty	4	20
2043	2040	4-hydroxy-2,5-dimethyl-3(2H)-furanone ^d	caramel-like	40	200
2384		unknown ^d	sour	nd	1

หมายเหตุ ^a = retention index คอลัมน์ DB-Wax (30 m x 0.25 mm x 0.25 μ m) ที่วิเคราะห์โดย

GCO-H, ^b = retention index ของคอลัมน์ DB-Wax (60 m x 0.25 mm x 0.25 μ m) ที่

วิเคราะห์ด้วย GC-MS, ^c = ได้จากการวิเคราะห์ด้วย headspace ร่วมกับ GC-MS,

^d = วิเคราะห์ด้วย GC-MS, ^e = วิเคราะห์ด้วย GCO-H, nd = ตรวจไม่พบ

ที่มา: คัดแปลงจาก Kumazawa and Masuda (2003)

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาผลของความร้อนที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของสารระเหยในน้ำมันหอมระเหยในขิงพบว่า สารหลักที่ให้รสชาติเผ็ดร้อน (pungency) คือ gingerol และ shogaol ซึ่ง gingerol เป็นสารที่ให้รสชาติเผ็ดร้อนหลักที่พบในขิงสด ส่วน shogaol เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการดึงโมเลกุลน้ำ (dehydration) ออกจาก gingerol สารนี้พบในขิงระหว่างการเก็บรักษาหรือขิงที่ผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยความร้อน (thermal processing) (Chen *et al.*, 1986) ซึ่งสอดคล้องกับ

Balladin *et al.* (1997) ที่พบว่า ความร้อนที่ได้จากการกลั่นด้วยไอน้ำกับ oleoresin ของขิง ทำให้เกิด shogaol เป็นปริมาณเพิ่มขึ้น และเกิดปฏิกิริยาแตกตัวแบบ retro aldol ของ gingerol และ shogaol ไปเป็น zingerone และสารพวกแอลดีไฮด์ ซึ่งทำให้สูญเสียรสชาติเผ็ดร้อนและเกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ใน oleoresin

ตารางที่ 3 ความเข้มข้นของสารให้กลิ่นในน้ำ black currant พาสเจอไรซ์ และน้ำ black currant ที่ให้ความร้อนต่อที่ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที หลังการพาสเจอไรซ์

สารประกอบ	RI ^a	ความเข้มข้น (µg/L)	
		พาสเจอไรซ์	ให้ความร้อนต่อที่ 90 °C เป็นเวลา 60 นาที
Alcohols			
2-methyl-1-propanol	1078	618 ± 31	477 ± 97
2-and 3-methyl-1-butanol	1200	3404 ± 78	2992 ± 161
1-hexanol	1344	72 ± 0.87	61 ± 3.5
(Z)-3-hexenol	1371	36 ± 0.61	32 ± 1.4
(E)-2-hexen-1-ol	1392	26 ± 0.79	26 ± 1.9
1-octanol	1545	2.9 ± 0.29	3.3 ± 0.29
Carbonyls			
(E)-2-methyl-2-butenal	1069	6.4 ± 0.03	12 ± 1.3
octanal	1273	0.30 ± 0.14	1.7 ± 0.97
nonanal	1375	2.5 ± 0.44	16 ± 5.0
(E)-3-penten-2-one	1108	5.5 ± 0.20	48 ± 4.9
6-methyl-5-hepten-2-one	1320	0.63 ± 0.02	0.70 ± 0.05
Esters			
methyl 2-methylpropanoate	910	1.7 ± 0.01	1.4 ± 0.07
ethyl propanoate	939	3.8 ± 0.04	3.0 ± 0.30
methyl butanoate	976	1007 ± 11	1053 ± 75
methyl 2-methylbutanoate	1000	1.1 ± 0.03	0.86 ± 0.11
2-methylpropyl acetate	1002	2.2 ± 0.04	1.5 ± 0.20
ethyl butanoate	1023	222 ± 2.4	194 ± 21
ethyl 3-methylbutanoate	1049	0.17 ± 0.004	0.14 ± 0.02
butyl acetate	1052	2.0 ± 0.05	1.5 ± 0.14

ตารางที่ 3 (ต่อ)

สารประกอบ	RI ^a	ความเข้มข้น (µg/L)	
		พาสเจอไรซ์	ให้ความร้อนต่อที่ 90 ⁰ C เป็นเวลา 60 นาที
Esters			
2-methylbutyl acetate	1111	2.2 ± 0.04	1.5 ± 0.20
methyl hexanoate	1176	17 ± 0.22	12 ± 1.5
ethyl hexanoate	1223	4.5 ± 0.01	3.0 ± 0.55
hexyl acetate	1261	0.48 ± 0.01	0.38 ± 0.10
methyl octanoate	1374	0.56 ± 0.0	0.35 ± 0.05
Terpenoids			
α-terpinene	1165	3.1 ± 0.67	3.3 ± 8.0
limonene	1190	0.61 ± 0.15	5.1 ± 0.71
γ-terpinene	1229	0.84 ± 0.16	15 ± 3.4
p-cymene	1251	1.6 ± 0.04	9.1 ± 2.0
terpinolene	1265	0.35 ± 0.06	8.4 ± 1.9
rose oxide	1339	0.47 ± 0.01	0.47 ± 0.06
(Z)-linalool oxide	1425	22 ± 0.53	64 ± 6.3
Furans			
furfural	1439	6.0 ± 0.35	1077 ± 147
2-acetylfuran	1479	11 ± 1.3	107 ± 8.4
methyl 2-furoate	1553	3.3±0.09	24 ±3.4
Others			
2-methoxy-3-isopropylpyrazine	1413	0.05 ± 0.002	0.41 ± 0.05
benzaldehyde	1494	1.6 ± 0.34	27 ± 2.5
ethyl benzoate	1644	0.54 ± 0.05	1.2 ± 0.17
methyl salicylate	1753	1.6 ± 0.18	5.4 ± 0.53
β-damascenone	1802	1.2 ± 0.04	8.3 ± 0.19
benzyl alcohol	1837	42 ± 6.2	55 ± 0.99

หมายเหตุ ^a = Retention index ของคอลัมน์ DB-Wax (30 m x 0.25 mm x 0.25 µm)

ที่มา: ดัดแปลงจาก Varming *et al.* (2004)

3.1 การทำแห้ง

การทำแห้ง คือ การลดความชื้นของอาหารจนถึงระดับที่สามารถระงับการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้ (สุคนธ์ชื่น, 2546) การทำแห้งทำกันได้หลายวิธี แต่ในที่นี้จะกล่าวเพียงการทำแห้งแบบใช้ลมร้อน หลักการของวิธีนี้คือ ใช้ลมร้อนเป็นตัวพาความร้อนไปที่ผิวหน้าของผัก และผลไม้ น้ำที่ผิวของผักและผลไม้จะระเหยไป น้ำภายในจะเคลื่อนที่มาที่ผิวหน้าและระเหยตามออกไป

ผักและผลไม้ที่ผ่านการทำแห้งจะสูญเสียสารระเหย เป็นผลให้กลิ่นรสที่ได้อ่อนกว่าของสด ผักและผลไม้แห้งจะสัมผัสออกซิเจนได้มาก ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบและเกิดเป็นสารระเหยในระหว่างการเก็บ การเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสอีกสาเหตุหนึ่งก็คือ การเปลี่ยนแปลงเนื่องจากเอนไซม์ในกลุ่ม oxidative หรือ hydrolytic ในผักผลไม้ ซึ่งสามารถป้องกันได้ด้วยการเติมสารเคมีหรือการลวกผักผลไม้เพื่อยับยั้งเอนไซม์ก่อนการทำแห้ง (Fellows, 2000) มีการศึกษาผลของการลวกต่อการทำงานของเอนไซม์ lipoxygenase (LOX) และ peroxidase (POD) ในถั่วลิสงพบว่า เอนไซม์ POD มีความคงทนความร้อนมากกว่าเอนไซม์ LOX จึงมุ่งเน้นดูกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ POD ซึ่งการลวกถั่วลิสงที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 2 นาที สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ POD ได้ 90% ของกิจกรรมเริ่มต้น (Gokmen *et al.*, 2005)

นอกจากนี้การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนของเครื่องต้มยำที่มีข่า ตะไคร้ และใบมะกรูดเป็นส่วนผสมโดยไม่ผ่านการลวกก่อน พบว่ามีปริมาณ sesquiterpene เพิ่มขึ้นเนื่องจากการทำงานของเอนไซม์ และเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารระเหย โดยเฉพาะการทำแห้งแบบตู้อบลมร้อน เกิดออกซิเดชันของอัลดีไฮด์ได้เป็น (*E*)-3-hexenoic acid และ (*E*)-2-hexenoic acid และการทำแห้งทั้งสองวิธี ยังทำให้ (*E*)- β -caryophyllene, (-)-caryophyllene oxide และ δ -cadinene ที่ให้กลิ่นคล้ายไม้แห้งและกลิ่นควัน เพิ่มขึ้น (เขาวภา, 2547) ซึ่งงานวิจัยดังกล่าวสอดคล้องกับการวิเคราะห์สารระเหยด้วยวิธี SDE ในใบ thyme และ sage อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 30 และ 60 องศาเซลเซียส และทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง พบว่าใบ thyme อบแห้งที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง มีสาร β -caryophyllene ปริมาณเพิ่มขึ้น 29% และ 37% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับสด แต่ในการทดลองเดียวกัน ใบ sage ที่ทำแห้งสภาวะเดียวกัน กลับไม่พบการเพิ่มขึ้นของสารดังกล่าว แต่อย่างไรก็ตามแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงของสารระเหยอื่น ๆ ก็คล้ายกันในสมุนไพรทั้งสองชนิดที่อบแห้งด้วย

อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส คือมีปริมาณใกล้เคียงกับที่พบในสด ในทางตรงกันข้ามผลวิเคราะห์สารระเหยในสมุนไพรทั้งสองที่อบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณของสารระเหยทั้งหมดลดลง 43% และ 31% ในใบ thyme และ sage อบแห้ง ตามลำดับ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ความเข้มข้นของ myrcene ลดลง 3.4 เท่า limonene ลดลง 3 เท่า และ β -pinene ลดลง 2 เท่า แต่ความเข้มข้นของ caryophyllene oxide มีปริมาณใกล้เคียงกับสด ซึ่งการลดลงดังกล่าวขึ้นอยู่กับการระเหยได้ (volatility) และโครงสร้างของสารระเหยที่เป็นองค์ประกอบ การสูญเสียของ non-oxygenated terpenes ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีปริมาณสูงกว่าสารประกอบ oxygenated โดยเหตุผลหลักเกิดจากความแตกต่างของการระเหยได้และการเกิดออกซิเดชันของสารประกอบ non-oxygenated บางตัว ในระหว่างการทำแห้ง (Venskutonis, 1997) ผลที่ได้ยังสอดคล้องกับ การลดลงของ β -pinene, limonene, *p*-cymene, hexadecane, 1,8-cineole และ linalool และมีการลดลงของปริมาณ methyl cinnamate ซึ่งเป็นเอสเทอร์ตัวหนึ่งที่พบในกระเพราอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส (Barbieri *et al.*, 2004) นอกจากนี้ยังพบการลดลงของปริมาณ eugenol ถึง 50% ในใบกระเพราอบแห้งที่ 45 องศาเซลเซียส อีกด้วย (Pojjanapimol, 2004)

3.2 การต้ม

การต้มเป็นการทำให้อาหารสุกโดยใช้อุณหภูมิที่ไม่สูงนัก และใช้ปริมาณน้ำมาก จึงทำให้ไม่เกิดปฏิกิริยา caramelisation, Strecker degradation และ Maillard reaction ในอาหาร ปฏิกิริยาที่เกิดส่วนใหญ่ในอาหารควรจะเป็นปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส เนื่องจากในอาหารมีน้ำอิสระ (free water) สูง และมีการให้ความร้อน (Rowe, 2005)

Kubota *et al.* (1999) พบสารให้กลิ่นในกลุ่มสารประกอบออกซิจีเนต (oxygenated compound) ในน้ำมันหอมระเหยที่สกัดจากเหง้าสดของข่า ให้กลิ่นที่เป็นลักษณะเฉพาะตัวของข่า และเมื่อนำ 1'-acetoxychavicol acetate (ACA) ซึ่งเป็นสารในกลุ่มนี้ไปให้ความร้อนในน้ำเดือด พบว่า ACA เริ่มสลายตัวเมื่อเวลาผ่านไป 2 นาที ปริมาณ ACA ลดลงและเกิด 1-hydroxychavicol acetate และ 4-acetoxycinnamyl alcohol ขึ้นมาแทนที่ สารทั้ง 2 ตัว เกือบไม่มีกลิ่น ซึ่งการสลายตัวของ ACA ทำให้สารในกลุ่มสารประกอบออกซิจีเนตที่เหลือ ได้แก่ monoterpeneoid, 1,8-cineole และ acetoxyl derivative ในน้ำมันหอมระเหย แสดงออกมากขึ้น ผลที่ได้ส่งเสริมกลิ่นรสหวานและเผ็ดร้อนในข่าที่ต้มแล้ว

นอกจากนี้ยังพบว่าการต้มใบกระเพราทำให้ปริมาณ α -pinene, camphene, β -pinene, cineol, linalool, borneol and methyleugenol ลดลงเล็กน้อย แต่กลับพบว่า eugenol มีปริมาณเพิ่มขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่พันธะไกลโคซิดิกในโมเลกุล eugenol ที่อยู่ในรูปไกลโคไซด์ ระหว่างที่ให้ความร้อน และยังพบสารที่เกิดจากการให้ความร้อน ได้แก่ β -damascenone และ 2-acetyl-1-pyrroline เกิดขึ้น เนื่องจากสารทั้งสองตัวนี้ไม่พบในกระเพราสด (Pojjanapimol, 2004) ซึ่ง β -damascenone เป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการสลายตัวของ carotenoid (Hognadottir and Rouseff, 2003; Pojjanapimol, 2004)

3.3 การทอด

การทอดเป็นการทำให้อาหารสุกโดยมีน้ำมันเป็นตัวกลางในการให้ความร้อน โดยการทอดอาหารนั้นจะมีผลกระทบต่อสมบัติทางเคมีของน้ำมันและอาหารที่ทอด อาหารจะสูญเสียความชื้นและออกซิเจน เป็นสาเหตุให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เป็นสารประกอบพวกคาร์บอนิลที่ระเหยได้ กรดไฮดรอกซี กรดคีโต และกรดอีพอกซี เป็นเหตุให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ และน้ำมันมีสีคล้ำขึ้น (Fellows, 2000) งานวิจัยเกี่ยวกับผลของการทอดออกมามากมาย เช่น Chyau and Mau (2001) ทดลองทอดหัวหอมเล็กด้วยน้ำมันต่างชนิดกัน ได้แก่ น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันข้าวโพด น้ำมันหมู และไตรเอซิลกลีเซอรอลชนิดสายขนาดกลาง (MCT) ที่อุณหภูมิ 150-160 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที พบว่าเกิดสารประกอบที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ สารประกอบคาร์บอนิล ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสลายตัวของน้ำมันระหว่างการทอด และ 2-hexyl-5-methyl-2(5H)-furan-3-one ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาไพโรไลซิส (pyrolysis) ในน้ำมันทั้งหมด ยกเว้น MCT นอกจากนี้ 2,4-decadienal ซึ่งเป็นสารประกอบหลักตัวหนึ่งที่เกิดจากการสลายตัวของน้ำมันเป็นสารที่มี threshold ต่ำมาก (0.07 $\mu\text{g/kg}$) สารตัวนี้จึงน่าจะเป็นสารที่ทำให้กลิ่นน้ำมันที่สำคัญในกลิ่นของหัวหอมเล็กทอด

นอกจากการทอดที่ใช้น้ำมันเป็นตัวกลางในการให้ความร้อนแล้ว ยังมีวิธีการผัดอีกที่ใช้น้ำมันเป็นตัวกลางให้ความร้อนเช่นกัน การผัดต่างกับการทอดตรงที่การทอดเป็นการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงมาก (ประมาณ 185 องศาเซลเซียส) แต่ระยะเวลาสั้น ส่วนการผัดเป็นการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำกว่า (ประมาณ 90 องศาเซลเซียส) แต่ใช้เวลานานในการแปรรูป เครื่องดื่มที่มีข่า ตะไคร้ และใบมะกรูด เป็นส่วนผสม พบว่า การทอดและผัดเครื่องเทศทำให้ปริมาณ citral (geranial และ neral) ลดลงมากกว่า 40% สาเหตุอาจเนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยา cyclisation ออกซิเดชัน และ polymerisation ของสารทั้งสองเมื่อได้รับความร้อน (เขาวงกต, 2547)

Pojjanapimol (2004) พบว่าการทอดใบกระเพราในน้ำมันถั่วเหลืองที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดสาร β -damascenone และ 2-acetyl-1-pyrroline ขึ้นเช่นเดียวกับการต้มใบกระเพราแต่เกิด β -damascenone ในปริมาณที่น้อยกว่า

3.4 การบรรจุกระป๋อง

การทำอาหารกระป๋องเป็นวิธีการถนอมอาหารแบบสเตอริไลซ์โดยใช้ความร้อนในการฆ่าเชื้อ โดยอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อขึ้นอยู่กับ ชนิดอาหาร ขนาดชิ้น ขนาดกระป๋องที่ใช้ ตัวอย่างเช่น สภาวะบรรจุกระป๋องขนาด 304 x 409 ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลา 15-75 นาที เป็นต้น (National Technical Information Service, 1956) การเปลี่ยนแปลงด้านกลิ่นรสที่เกิดขึ้นในการสเตอริไลซ์ผักและผลไม้ เกิดจากปฏิกิริยาที่ซับซ้อนของการสลายตัวและการกลับมารวมกันใหม่ของสารเคมีภายในผักและผลไม้ (วิลโล, 2546)

Hidehito *et al.* (1999) พบว่า การแปรรูปส้ม Satsuma Mandarin บรรจุกระป๋อง ทำให้สารที่มีค่า log odor unit สูง ได้แก่ limonene และ linalool มีค่าลดลง และสารบางตัวที่พบในส้มสดกลับไม่พบในส้มบรรจุกระป๋อง นอกจากนี้ยังพบการลดลงของสารในช่วงการเก็บหลังการบรรจุกระป๋อง สาเหตุน่าจะเกิดจากภายในกระป๋องเกิดปฏิกิริยา reduction กับตัวกระป๋องดีบุก หลังการบรรจุเนื่องจากขาดออกซิเจน และเทอร์พีนอยด์ที่เกิดจากปฏิกิริยา hydration ซึ่งให้กลิ่นไม่พึงประสงค์ขึ้นเล็กน้อยในส้มบรรจุกระป๋อง นอกจากนี้การบรรจุกระป๋องทำให้สารบางตัวที่อยู่ในรูปไกลโคไซด์สลายตัวอยู่ในรูปอิสระ (Reineccius, 1994) และการสลายตัวของสารประกอบบางตัว เช่น 2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanone ที่พบในสับปะรดกระป๋อง เนื่องจากความร้อนทำให้เกิดการสลายตัวของน้ำตาลในสับปะรด (Ho *et al.*, 1990)

4. ระยะเวลาในการเก็บรักษา

ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรส เนื่องจากระยะเวลาที่นานขึ้นทำให้มีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นมากมาย สารประกอบที่ได้จึงมีความแตกต่างจากเดิมทั้งชนิดและปริมาณ เช่น การทดลองเก็บมันฝรั่ง 5 สายพันธุ์ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 2, 3 และ 8 เดือน ก่อนนำมาอบ แล้ววัดปริมาณสารประกอบที่ให้กลิ่น พบว่าแอลดีไฮด์ที่เป็นอนุพันธ์ของลิปิดซึ่งเป็นสารประกอบให้กลิ่น ได้แก่ hexanal, heptanal, nonanal และ decanal ในมันฝรั่งที่เก็บไว้ 8 เดือน มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับระยะเวลาการเก็บที่ 3 เดือน ในทาง

ตรงกันข้าม 2-heptanone, 1-octen-3-ol และ butanedione กลับมีปริมาณต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญ (Duckham *et al.*, 2002)

5. แสง

แสงเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นรส เนื่องจากแสงเร่งให้เกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ เช่น การเกิดออกซิเดชันของลิปิด หรือการสลายตัวของโปรตีน เป็นต้น ตัวอย่างเช่น กรดไขมันลิโนเลอิกมีความไวต่อแสงสูง ซึ่งจะก่อให้เกิดปฏิกิริยา photooxidation ที่เร่งให้เกิด hexanal ซึ่งเป็นสารประกอบให้กลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ในปริมาณสูง (Sucan, 2004) นอกจากนี้ แสงทำให้เกิดไฮโดรไลซิสของ isohumulone (Reineccius, 1994)

6. ออกซิเจน

ออกซิเจนเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาที่ไม่พึงประสงค์หลากหลายปฏิกิริยา มีผลทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารที่เก็บไว้มีคุณภาพลดลงได้ เช่น การเกิดกลิ่นหืนในอาหารซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงชนิดและปริมาณของสารประกอบที่ให้กลิ่นจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยปฏิกิริยาดังกล่าวอาจถูกเร่งด้วยแสงแดดหรือความร้อน (Gerard and Quirin, 1998)

7. pH

โดยทั่วไปที่ pH ต่ำจะกระตุ้นปฏิกิริยาการสลายของสารให้กลิ่นรส (Hiramoto *et al.*, 1999) เช่น β -pinene เปลี่ยนเป็น fenchyl alcohol (Schieberle and Grosch, 1988) หรือ geraniol และ nerol เปลี่ยนรูปเป็น linalool และ α -terpineol ซึ่งอัตราการเปลี่ยนรูปนี้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของไฮโดรเจน (Ohta *et al.*, 1991)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัตถุดิบ

- 1.1 กระชายเหลือง (*Boesenbergia rotunda* (L.) Mansf) จากตลาดยิ่งเจริญ
- 1.2 น้ำมันถั่วเหลืองตราอรุณ
- 1.3 น้ำกลั่น

2. สารเคมี

- 2.1 ไคเอทิลอีเทอร์, HPLC grade (Lab-Scan, ไอร์แลนด์)
- 2.2 ปีโตรเลียมอีเทอร์ (Lab-Scan, ไอร์แลนด์)
- 2.3 โซเดียมคลอไรด์ (Carlo Erba, อิตาลี)
- 2.4 โซเดียมซัลเฟตปราศจากน้ำ (Ajax Finechem, ออสเตรเลีย)
- 2.5 สารมาตรฐาน internal standard
 - *tert*-butylbenzene (Aldrich, สหรัฐอเมริกา)
 - 2-undecanol (Aldrich, สหรัฐอเมริกา)
- 2.6 สารมาตรฐาน n-alkane (hydrocarbons, C₅-C₃₀) (Aldrich, สหรัฐอเมริกา)
- 2.9 สารมาตรฐานของสารระเหยที่ให้กลิ่น
 - α -pinene (Aldrich, สหรัฐอเมริกา)
 - β -myrcene (Fluka, สวิตเซอร์แลนด์)
 - eucalyptol หรือ 1,8-cineole (Fluka, สวิตเซอร์แลนด์)
 - linalool (Aldrich, สหรัฐอเมริกา)
 - alloocimene หรือ 2,6-dimethyl-2,4,6-octatriene (Aldrich, สหรัฐอเมริกา)
 - (+)-borneol หรือ endo-borneol (Aldrich, สหรัฐอเมริกา)
 - geraniol (Aldrich, สหรัฐอเมริกา)
 - citral (Aldrich, เยอรมันนี)
 - methyl cinnamate (Fluka, สวิตเซอร์แลนด์)

- geranyl propionate (Aldrich , สหรัฐอเมริกา)
- geranyl butyrate (Aldrich, สหรัฐอเมริกา)
- (-)-caryophyllene oxide (Fluka, สวิตเซอร์แลนด์)

3. เครื่องมือ

- 3.1 กระจกป้องขนาด 307 x 409
- 3.2 หม้อน้ำเชื้อแบบใช้ก๊าซหุงต้ม
- 3.3 เครื่องทำแห้งแบบถาด (tray dryer)
- 3.4 เครื่องบดผสม (blender) รุ่น 32BL80 (8011) (Waring, สหรัฐอเมริกา)
- 3.5 เทอร์โมมิเตอร์ (thermometer)
- 3.6 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง รุ่น GT 4100 (Ohaus, สวิตเซอร์แลนด์)
- 3.7 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง รุ่น AP 210-0 (Ohaus, สวิตเซอร์แลนด์)
- 3.8 เครื่องกวนแม่เหล็กแบบควบคุมอุณหภูมิได้ (hotplate magnetic stirrer) รุ่น RCT Basic (Ika, เยอรมันนี)
- 3.9 เครื่องหมุนเหวี่ยงแบบความคุมอุณหภูมิ (refrigerated centrifuge)
- 3.10 ขวด Teflon centrifuge ขนาด 250 มิลลิลิตร (Nalgene, สหรัฐอเมริกา)
- 3.11 เครื่องวิเคราะห์ไขมัน รุ่น Soxtec System HT6, 1043 Extraction Unit (Iteicator, สวีเดน)
- 3.12 เครื่องกลั่นระบบสุญญากาศ (high vacuum distillation) รุ่น B62426952 (Edwards, อังกฤษ)
- 3.13 ตู้แช่แข็ง (freezer -40°C) รุ่น MDF-435 (Sanyo, ญี่ปุ่น)
- 3.14 Gas Chromatography (HP model 6890 series) (Agilent Technologies, Palo Alto, CA, สหรัฐอเมริกา) ต่อกับ mass selective detector (MSD) รุ่น HP 5973 (Agilent Technologies, Palo Alto, CA, สหรัฐอเมริกา)
- 3.15 Gas Chromatography (HP model 5890 series II plus) (Agilent Technologies, Palo Alto, CA, สหรัฐอเมริกา) ต่อกับ sniff port รุ่น 093500 (SGE, ออสเตรเลีย)

วิธีการ

1. การวิเคราะห์สารระเหยจากกระชายสดและกระชายแห้ง

1.1 การเตรียมกระชายอบแห้ง

กระชายตัวอย่างซื้อจากตลาดยิ่งเจริญ สายไหม กรุงเทพฯ โดยเลือกเฉพาะกระชายแก่ ซึ่งพิจารณาจากสีของกระชายที่เป็นสีน้ำตาลเข้ม นำมาล้างให้สะอาดโดยยังไม่ทำการตัดแต่งเหง้า แบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นกระชายสด ส่วนที่ 2 นำเหง้ากระชายไปลวกในน้ำกลั่นปราศจากกลิ่นที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 2 นาที เพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่น (Gokmen *et al.*, 2005) โดยนำน้ำกลั่นปราศจากกลิ่นเตรียมโดยนำน้ำกลั่นมาต้มให้ได้ปริมาตร 2/3 ของปริมาตรเริ่มต้น หั่นเอาเฉพาะส่วนรากให้ได้ขนาดกว้างประมาณ 0.5 เซนติเมตร ยาวประมาณ 5 เซนติเมตร หนา 0.5 เซนติเมตร หนัก 150 กรัม นำไปอบในเครื่องอบแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส (ดัดแปลงจาก Prasad *et al.*, 2005) นาน 4 ชั่วโมง 30 นาที (ระยะเวลาในการอบแห้งได้จากการทดลองเบื้องต้นหาปริมาณน้ำต่อน้ำหนักแห้งในกระชายกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง) แบ่งตัวอย่างทั้ง 2 ส่วน ไปหาความชื้น และเก็บตัวอย่างที่เหลือของทั้งสองส่วนในตู้แช่แข็ง -40 องศาเซลเซียส

1.2 การสกัดสารระเหยจากกระชายอบแห้ง

นำกระชายสดมาหั่นฝอยยาว 3 เซนติเมตร 20 กรัม และตัวอย่างกระชายแห้งปริมาณเท่ากับน้ำหนักตัวอย่างสด 20 กรัม เติมโซเดียมคลอไรด์ 20 กรัม นำตัวอย่างกระชายสด และตัวอย่างกระชายแห้งเทลงในไนโตรเจนเหลวให้แข็ง ตักใส่ในเครื่องบดผสม ปั่นให้ละเอียด ถ่ายตัวอย่างใส่ขวดแก้วฝาเกลียวเติม internal standard (2-undecanol, *tert*-butylbenzene เข้มข้น 12 และ 11 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ในไดเอทิลอีเทอร์) 80 ไมโครลิตร *tert*-butylbenzene ใช้เป็น internal standard สำหรับวิเคราะห์ปริมาณของสารพวกไฮโดรคาร์บอน และ 2-undecanol ใช้เป็น internal standard สำหรับวิเคราะห์ปริมาณของสารประกอบอื่น ๆ เติมไดเอทิลอีเทอร์ 80 มิลลิลิตร จากนั้นสกัดตัวอย่างด้วยเครื่องกวนแบบแม่เหล็ก เป็นเวลา 30 นาที นำตัวอย่างที่ได้มาเหวี่ยงให้ตกตะกอนแยกส่วนที่เป็นสารละลายออก และสกัดกากซ้ำด้วยไดเอทิลอีเทอร์ 80 มิลลิลิตร อีก 2 ครั้ง รวมสารละลายที่สกัดได้ทั้ง 3 ครั้ง แล้วทำให้เข้มข้นโดยการเป่าก๊าซไนโตรเจนเบา ๆ จนมีปริมาณลดลงเหลือ 50 มิลลิลิตร (ดัดแปลงจาก เขียวภา, 2547)

นำตัวอย่างที่ได้ใส่ลงในขวดก้นกลมขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วแช่ในไนโตรเจนเหลวจนสารละลายแข็ง นำขวดก้นกลมต่อกับเครื่องกลั่นระบบสุญญากาศ กลั่นตัวอย่างที่ระดับสุญญากาศประมาณ 10^{-5} Torr ณ อุณหภูมิห้อง ประมาณ 1 ชั่วโมง จากนั้นหล่อน้ำอุ่นอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสที่ขวดก้นกลมใส่ตัวอย่าง กลั่นต่อเป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำสารที่กลั่นได้ในขวดกักเก็บแรก (first trap) ไปทำให้เข้มข้นโดยการเป่าก๊าซไนโตรเจนเบา ๆ จนได้ปริมาตร 5 มิลลิลิตร เทผ่านโซเดียมซัลเฟตปราศจากน้ำ 2 กรัม เพื่อกำจัดความชื้น เป่าก๊าซไนโตรเจนเบา ๆ ให้ตัวอย่างเข้มข้นจนมีปริมาตร 1 มิลลิลิตร เก็บตัวอย่างในขวดแก้วสีชาที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส

1.3 การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของสารระเหย

นำตัวอย่างที่ได้จากการสกัดข้อ 1.2 มาวิเคราะห์ด้วยวิธี gas chromatography mass-spectrometry (GC-MS) คอลัมน์ที่ใช้คือ fused-silica capillary column (HP-5) ยาว 30 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 320 ไมโครเมตร ชั้นเคลือบหนา 0.25 ไมโครเมตร การฉีดตัวอย่างเป็นแบบ on column ใช้ก๊าซฮีเลียมบริสุทธิ์ 99.999 % เป็น carrier gas โดยมีอัตราการไหล 1.8 มิลลิลิตรต่อนาที อุณหภูมิห้องในการวิเคราะห์เริ่มต้นที่ 35 องศาเซลเซียส โดยคงอุณหภูมินี้เป็นเวลา 5 นาที และเพิ่มขึ้นด้วยอัตรา 4 องศาเซลเซียส/นาที จนถึง 100 องศาเซลเซียส คงอุณหภูมินี้ 4 นาที และเพิ่มขึ้นอีกด้วยอัตรา 10 องศาเซลเซียส/นาที จนถึง 225 องศาเซลเซียส คงอุณหภูมินี้ 2 นาที การวิเคราะห์จะใช้ 2 คอลัมน์ โดยคอลัมน์ที่ใช้คอลัมน์ได้แก่ คอลัมน์ FFAP ขนาด 30 เมตร $\times$ 320 ไมโครเมตร $\times$ 0.25 ไมโครเมตร การวิเคราะห์ด้วยคอลัมน์นี้ ใช้อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 35 องศาเซลเซียส คงอุณหภูมินี้เป็นเวลา 5 นาที เพิ่มขึ้นด้วยอัตรา 7 องศาเซลเซียส/นาที จนถึง 70 องศาเซลเซียส และเพิ่มขึ้นอีกด้วยอัตรา 10 องศาเซลเซียส/นาที จนถึง 225 องศาเซลเซียส คงที่อุณหภูมินี้ 2 นาที อัตราการไหลของฮีเลียมกำหนดไว้ที่ 1.6 มิลลิลิตรต่อนาที บ่งชี้ชนิดของสารด้วยเครื่อง MS ที่ใช้แหล่งกำเนิดไอออนแบบอิเล็กตรอนอิมแพ็ค (Electron-Impact Ionization, EI) และมีค่าพลังงานไอออไนเซชัน 70 อิเล็กตรอนโวลต์ ช่วงในการสแกน 30-300 m/z ที่ความเร็ว 2.74 scan/sec

การระบุชนิดของสารระเหยใช้การเปรียบเทียบข้อมูล mass spectrum ของสารระเหยแต่ละชนิด กับฐานข้อมูล Wiley 275 library ร่วมกับการเปรียบเทียบค่า retention index (RI) ของสารแต่ละชนิดกับฐานข้อมูลอื่น ๆ เช่น ESO (Boelens Aroma Chemical Information Service, 1999) และเอกสารอ้างอิงที่ใช้คอลัมน์ชนิดเดียวกัน ซึ่งค่า RI นี้คำนวณได้จากค่า retention time

(RT) ของสารมาตรฐาน n-alkane (C_5 - C_{30}) ที่ผ่านการวิเคราะห์ด้วยคอลัมน์และสภาวะของเครื่อง GC-MS เช่นเดียวกันกับตัวอย่าง (Van den Dool and Kratz, 1963) ตามสมการข้อ 2 ในภาคผนวก เรื่องการวิเคราะห์ทางเคมี และยืนยันชนิดสารด้วยสารมาตรฐานต่าง ๆ ได้แก่ α -pinene, β -myrcene, eucalyptol, linalool, alloocimene, (+)-borneol, geraniol, citral, methyl cinnamate, geranyl propionate, geranyl butyrate และ (-)-caryophyllene oxide

หาพื้นที่ใต้พีคของสารด้วย Chemstation Software B.02.05 (Copyright 1987-1997, Agilent Technologies, Palo Alto, CA) แล้วคำนวณหาปริมาณสาร โดยการเปรียบเทียบพื้นที่ใต้พีคของสารแต่ละชนิดกับพื้นที่ใต้พีคของ internal standard ตามสมการข้อ 3 ในภาคผนวกเรื่องการวิเคราะห์ทางเคมี แล้วรายงานเป็นความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารชนิดนั้น ๆ (นาโนกรัม/กรัม)

2. การวิเคราะห์สารระเหยในกระชายสดและกระชายแปรรูปด้วยความร้อน

2.1 การเตรียมตัวอย่าง

เลือกกระชายแก่ (จากตลาดยิ่งเจริญ สายไหม กรุงเทพฯ) โดยพิจารณาจากสีของกระชายที่เป็นสีน้ำตาลเข้ม นำมาล้างให้สะอาดโดยยังไม่ทำการตัดแต่งเหง้า การแปรรูปด้วยความร้อนที่ศึกษาในการทดลองนี้ ได้แก่ การต้ม การผัด และการผลิตกระชายกระป๋อง

2.1.1 กระชายต้ม

หั่นเอารากกระชายที่ล้างสะอาดเป็นฝอยยาวประมาณ 3 เซนติเมตร ต้มน้ำกลั่นปราศจากกลิ่นประมาณ 300 มิลลิกรัม ในขวดแก้วจนเดือด ใส่กระชายหั่นฝอยหนัก 30 กรัม ปิดฝาขวด จับเวลาหลังเดือดนาน 30 นาที หลังจากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

2.1.2 กระชายผัด

กระชายหั่นฝอยเตรียมเช่นเดียวกับข้อ 2.1.1 หนัก 210 กรัม ผัดในน้ำมันถั่วเหลืองปริมาณ 140 กรัม ให้อุณหภูมิอยู่ในช่วง 90-100 องศาเซลเซียส ผัดนาน 30 นาที ในปิกเกอร์ขนาด 1 ลิตร โดยใช้ hotplate เมื่อครบเวลากลองตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง สภาวะที่ใช้เลียนแบบการผัดอาหารเพื่อทำเครื่องแกงในระดับอุตสาหกรรม (ดัดแปลงจาก เขาวภา, 2547)

2.1.3 กระชายกระป๋อง

นำกระชายมาล้างและลวกที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 2 นาที เลือกกรากกระชายขนาดใกล้เคียงกันหั่นยาว 3 เซนติเมตร บรรจุกระป๋องขนาด 304 x 409 เรียงกระชายแบบตั้ง เติมน้ำกลั่นปราศจากกลีจนท่วมตัวอย่างแต่ต่ำกว่าขอบกระป๋องประมาณ 0.63 เซนติเมตร โดยอัตราส่วนน้ำหนักกระชายต่อน้ำ เท่ากับ 2.5 ต่อ 1 นำไปฆ่าเชื้อในหม้อฆ่าเชื้อที่ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที (ดัดแปลงจาก National Technical Information Service, 1956)

แบ่งตัวอย่างกระชายสดและกระชายผัดส่วนหนึ่งไปหาปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำมัน เพื่อคำนวณน้ำหนักแห้งในแต่ละตัวอย่าง ส่วนที่เหลือ กระชายต้มและกระชายกระป๋องบรรจุในขวดแก้วที่มีฝาปิดสนิท แทนที่อากาศเหนือตัวอย่างด้วยก๊าซไนโตรเจน และคลุมขวดทับด้วยฟอยล์ เพื่อกันแสง เก็บในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส โดยน้ำหนักแห้งของตัวอย่างกระชายต้มและกระชายกระป๋องใช้น้ำหนักกระชายสดที่ใช้เตรียมเป็นตัวคำนวณหาน้ำหนักแห้งและปริมาณน้ำมัน โดยคิดเท่ากับกระชายสด

2.2 การสกัดสารระเหยจากตัวอย่าง

นำรากกระชายสดหั่นฝอยยาว 3 เซนติเมตร 30 กรัม และตัวอย่างกระชายผัดปริมาณเท่ากับน้ำหนักตัวอย่างสด 30 กรัม เทในไนโตรเจนเหลวให้แข็ง ตักใส่ในเครื่องบดผสม และนำตัวอย่างกระชายต้ม กระชายกระป๋องเฉพาะเนื้อ เทในไนโตรเจนเหลวให้แข็ง ตักใส่ในเครื่องบดผสม ปั่นให้ละเอียด และปั่นรวมกับน้ำที่ต้มกระชายและน้ำที่เหลือจากกระชายกระป๋อง ตามลำดับ ตักปริมาณตัวอย่างกระชายต้มและกระชายกระป๋องเท่ากับน้ำหนักตัวอย่างสด 30 กรัม เติมน้ำ 30 กรัม คลอไรด์ 30 กรัม ถ่ายตัวอย่างใส่ขวดแก้วฝาเกลียวปั่นให้ละเอียด วิธีการสกัดต่อจากนี้เหมือนกับวิธีการสกัดตัวอย่างในข้อ 1.2 หลังปั่นตัวอย่างให้ละเอียด (ดัดแปลงจาก เขาวภา, 2547)

2.3 การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของสารระเหย

วิเคราะห์สารระเหยทำเช่นเดียวกับวิธีในข้อ 1.3

คำนวณ odor active value (OAV) ของสารระเหยที่ได้ โดยค่านี้เป็นตัวเลขที่แสดง ความสัมพันธ์ของปริมาณสารระเหยในตัวอย่างกับค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารชนิดนั้นที่คนจะได้ กลิ่น โดยคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$\text{OAV} = \frac{\text{ความเข้มข้นของสารให้กลิ่น}}{\text{threshold}}$$

3. การวิเคราะห์สารให้กลิ่นที่สำคัญในกระชายสดและกระชายแปรรูป

ตัวอย่างที่วิเคราะห์มี 2 ตัวอย่าง คือ ตัวอย่างข้อ 1 ใช้วิธีเตรียมและสกัดเช่นเดียวกับข้อ 1.1 และ 1.2 แต่ใช้ตัวอย่างกระชายสดและตัวอย่างกระชายอบแห้งเท่ากับน้ำหนักกระชายสด 30 กรัม แทน และตัวอย่างข้อ 2 ใช้สารสกัดที่ได้ในข้อ 2.2 นำตัวอย่างทั้ง 2 ตัวอย่างมาวิเคราะห์สารให้ กลิ่นที่สำคัญ (aroma active compound) ด้วย วิธี Aroma Extract Dilution Analysis (AEDA) โดยทำ ให้ตัวอย่างเข้มข้นขึ้นโดยการระเหยด้วยไนโตรเจนให้ตัวอย่างทุกตัวมีความเข้มข้นขึ้น 5 เท่าจาก ความเข้มข้นเดิม (เนื่องจากกลิ่นที่ดมได้จากความเข้มข้นเดิมนั้นไม่ชัดเจน) แล้วจึงเจือจางด้วยตัวทำ ละลายไดเอทิลอีเทอร์ ในอัตราส่วนระหว่างสารสกัดต่อตัวอย่างที่เจือจางแล้วเท่ากับ 1:3, 1:9, 1:27 ไปเรื่อย ๆ เป็นลำดับ แล้วให้ผู้ทดสอบที่ผ่านการคัดเลือกและฝึกฝนจำนวน 2 คน ทดสอบลักษณะ กลิ่นของสารระเหยในกระชายสดและกระชายที่ผ่านการแปรรูปแต่ละแบบด้วยวิธี Gas Chromatography-Olfactometry (GC-O) ซึ่งปลายของคอลัมน์แยกเป็นสองส่วน (1:1) เพื่อให้สารที่ แยกได้ไปที่ Flame Ionization Detector (FID) ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส และ sniffing port การแยกสารให้กลิ่น ใช้คอลัมน์ HP-5MS ยาว 30 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 250 ไมโครเมตร ชั้น เคลือบหนา 0.5 ไมโครเมตร โดยใช้การฉีดแบบ on column ใช้ก๊าซฮีเลียมเป็น carrier gas อัตราการ ไหล 2.0 มิลลิลิตรต่อนาที อุณหภูมิห้องเริ่มต้นที่ 50 องศาเซลเซียส เพิ่มขึ้นด้วยอัตราเร็ว 10 องศาเซลเซียส/นาที จนถึง 100 องศาเซลเซียส คงที่อุณหภูมินี้ 4 นาที และเพิ่มขึ้นอีกด้วยอัตราเร็ว 10 องศาเซลเซียส/นาที จนถึง 128 องศาเซลเซียส และเพิ่มขึ้นอีกด้วยอัตราเร็ว 6 องศาเซลเซียส/นาที จนถึง 225 องศาเซลเซียส คงที่อุณหภูมินี้ 5 นาที

การฝึกผู้ทดสอบทำโดยให้ผู้ทดสอบฝึกดมสารสกัดกระชายที่ผ่านการแยกส่วนประกอบ ของสารด้วยวิธี GC-O จนผู้ทดสอบสามารถจดจำกลิ่นที่ได้ และสามารถพรรณนากลิ่นที่ได้ ณ เวลา ต่าง ๆ ที่เริ่มได้กลิ่น

ผู้ทดสอบจะดมกลิ่นของสารระเหยที่ sniffing port โดยสู่มั่วอย่างและลำดับการเจือจางในการดม เพื่อป้องกันอคติ โดยผู้ทดสอบกรอกแบบทดสอบที่ให้ระบุ RT และลักษณะกลิ่นของสารที่ได้ แล้วเปรียบเทียบค่า RI ของสารที่ให้กลิ่นกับค่า RI ที่ได้จากข้อ 1.3 และ 2.3 เพื่อระบุชนิดของสารที่ให้กลิ่น แล้วรายงานเป็น FD factor ของแต่ละสาร ซึ่งค่านี้เป็นระดับที่เจือจางมากที่สุดที่ผู้ทดสอบยังคงได้กลิ่น

4. การวิเคราะห์ทางสถิติ

การทดลองที่ 1 ทำ 3 ซ้ำ และการทดลองที่ 2 ทำ 2 ซ้ำ ในแต่ละซ้ำของการทดลองวัดค่า 2 ครั้ง ข้อมูลที่ได้นำไปวิเคราะห์ความแปรปรวนและค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Independent Sample-T-test และตาราง ANOVA โดยเปรียบเทียบความแตกต่างด้วยวิธี LSD

5. สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6. ระยะเวลาในการทดลอง

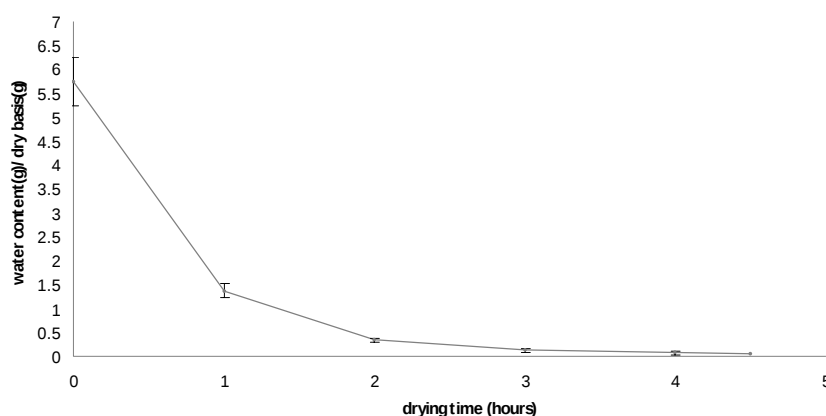
การทดลองเริ่มตั้งแต่เดือนเมษายน พ.ศ. 2549 สิ้นสุดเดือนมีนาคม พ.ศ. 2551

ผลและวิจารณ์

การทดลองเบื้องต้นได้ทดลองหาตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดสารระเหยออกจากตัวอย่างกระชาย โดยตัวทำละลายที่ใช้ในการเลือกได้แก่ ไดคลอโรมีเทน และ ไดเอทิลอีเทอร์ ซึ่งเป็นตัวทำละลายที่นิยมใช้ในการสกัดสารให้กลิ่น เนื่องจากความมีขั้วที่เป็นกลางถึงมีขั้วเล็กน้อย เพราะสามารถสกัดสารให้กลิ่นได้ทั้งที่มีขั้วและไม่มีขั้ว ผลการทดลองคือ การสกัดด้วยไดคลอโรมีเทน และ ไดเอทิลอีเทอร์ ทำให้เกิดลักษณะอิมัลชันระหว่างตัวอย่างกับตัวทำละลาย แม้ว่าจะใช้การกวนด้วยเครื่องกวนแบบแม่เหล็กด้วยความเร็วรอบต่ำ ๆ จึงต้องใช้ตะกอนกากตัวอย่างด้วยเครื่องมือหมุนเหวี่ยงให้ตกตะกอนเพื่อแยกสารที่สกัดได้ ดังนั้นตัวทำละลายที่ควรเลือกใช้คือ ไดเอทิลอีเทอร์ เพราะเป็นตัวทำละลายที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ สารสกัดที่ได้จะอยู่ในชั้น ไดเอทิลอีเทอร์ซึ่งอยู่ชั้นบน แต่ไดคลอโรมีเทนมีความหนาแน่นมากกว่าน้ำ ทำให้การแยกระหว่างสารละลายที่อยู่ในชั้นของตัวทำละลายออกจากชั้นของน้ำทำได้ลำบากและจะเกิดการสูญเสียของสารระเหยบางตัวไปกับสิ่งแวดล้อมรอบข้าง เนื่องจากระยะเวลาที่ใช้แยกนานขึ้น

1. การวิเคราะห์สารระเหยในกระชายสดและกระชายอบแห้ง

เนื่องจากการอบแห้งพืชแต่ละชนิดใช้ระยะเวลาในการอบไม่เท่ากัน จึงต้องหาระยะเวลาที่เหมาะสม โดยการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นในกระชายแห้งขนาด 0.5 x 5 x 0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร กับระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (ภาพที่ 5)



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำต่อน้ำหนักแห้งในกระชายกับระยะเวลาในการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

จากภาพที่ 5 พบว่า ปริมาณน้ำต่อน้ำหนักแห้งในกระชายลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงเวลาการอบแห้ง 1-2 ชั่วโมง และลดลงอย่างคงที่ ณ ช่วงเวลา 3-4 ชั่วโมง เนื่องจากในช่วงเวลา 2 ชั่วโมงแรกน้ำอิสระมีปริมาณมาก น้ำพวกนี้จึงสามารถระเหยออกไปได้อย่างรวดเร็ว และที่เวลา 3-4 ชั่วโมง ปริมาณน้ำอิสระน้อยลงการระเหยของน้ำจึงค่อนข้างคงที่ แต่ในช่วงเวลาหลัง 4 ชั่วโมง ปริมาณน้ำลดลงเกือบเป็นศูนย์ เนื่องจากน้ำที่ยังเหลือในตัวอย่างเป็นน้ำที่จับกับสารอื่น เพราะฉะนั้นระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งกระชายที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส จึงควรใช้ช่วงเวลา 4 ชั่วโมง 30 นาที

จากการวิเคราะห์สารระเหยในกระชายสดและกระชายอบแห้งเปรียบเทียบกับน้ำหนักแห้งโดยเครื่อง GC-MS พบชนิดและปริมาณสารระเหยดังตารางที่ 4 พบว่า สารระเหยหลักที่พบในกระชายสด ได้แก่ (*E*)- β -ocimene, geraniol, camphor, 1,8-cineole, (*Z*)- β -ocimene, geranial และ camphene การอบแห้งทำให้ปริมาณสารระเหยหลักในกระชายลดลงทุกตัว ยกเว้น geraniol และ สารพวกเทอร์พีนอยด์อื่นบางตัวยังมีปริมาณลดลงอีกด้วย เช่น β -myrcene, α -terpinene, *p*-cymene, γ -terpinene, α -terpinolene และ linalool เป็นต้น น่าจะเกิดจากการจัดเรียงตัวใหม่ และปฏิกิริยา dehydration ของเทอร์พีนอยด์ไปเป็นเทอร์พีนอยด์ตัวอื่น (Bartley and Amanda, 2000; Fisher and Scott, 1997; Varming *et al.*, 2004) ซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าวเกิดขึ้นได้ในสภาวะการเปลี่ยนแปลงที่ไม่รุนแรง เช่น การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร เป็นต้น (Fisher and Scott, 1997a) นอกจากนี้มีการศึกษาพบว่า α -terpineol เป็นผลิตภัณฑ์หลักที่เกิดจากการจัดเรียงตัวใหม่ของ limonene และโดยเฉพาะอย่างยิ่ง linalool การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเกิดได้ดีในสภาวะที่เป็นกรด (Varming *et al.*, 2004) ซึ่งน่าจะทำให้กลิ่นที่ได้จากสารเหล่านี้มีความเข้มข้นลดลงในกระชายอบแห้ง แต่ในทางตรงข้ามการอบแห้งกระชายทำให้ปริมาณ neral เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และ δ -cadinene เกิดขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากความร้อนจากการอบแห้งอาจจะทำลายพันธะไกลโคซิดิกในโมเลกุลของ terpenyl glycoside ได้เป็น terpene และ glycone (Varming *et al.*, 2004) ทำให้กลิ่นที่ได้จาก neral ได้แก่ กลิ่นคล้ายเลมอน และดอกไม้ น่าจะเข้มข้นเมื่อเปรียบเทียบกับกระชายสด (ตารางที่ 4) การทดลองนี้ยังสอดคล้องกับการลดลงของ linalool และ geranial และการเพิ่มขึ้นของปริมาณ neral ในจิงออบแห้ง (Bartley and Amanda, 2000) และ 1,8-cineole สามารถระเหยหรือเปลี่ยนรูปเป็นสารอื่นได้ในน้ำมันจากใบมินต์อบแห้ง (Asekun *et al.*, 2007) นอกจากนี้ยังพบการลดลงของปริมาณ β -myrcene, α -terpinolene และ (*Z*)-ocimene ในใบ parsley อบแห้งด้วยตู้อบที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส อีกด้วย (Diaz-Maroto *et al.*, 2002) แต่ไม่สอดคล้องกับ เขาวงกต (2547) ที่พบการลดลงของปริมาณ neral และ geranial เพียงเล็กน้อย (10% และ 12% ตามลำดับ) ในตัวยำที่ปรุงจากเครื่องตัวยำที่ผ่านการอบแห้งที่ 70 องศาเซลเซียส นาน 5 ชั่วโมง อาจเป็นได้ว่า neral และ geranial

เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน พอลิเมอร์ไรเซชัน และ cyclisation ได้ที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิที่ใช้ออบแห้ง กระจาย และปฏิกิริยานี้เกิดได้ดีในสถานะที่เป็นกรด อัตราการเกิด neral จากการทำลายพันธะไกลโคซิดิก อาจเกิดได้ช้ากว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน พอลิเมอร์ไรเซชัน และ cyclisation ของ neral และ geranial จึงทำให้สารดังกล่าวมีปริมาณลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องต้มยำสด และการอบแห้งทำให้ปริมาณ (-)-caryophyllene oxide เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเกิดออกซิเดชันของ (*E*)- β -caryophyllene (เขาวงกต, 2547) (-)-caryophyllene oxide เป็นสารที่ให้กลิ่นแห้ง และกลิ่นคล้ายไม้ ฉะนั้นในกระชายอบแห้งน่าจะมีกลิ่นแห้งเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับสด

จากผลการทดลองพบว่า สารที่น่าจะมีความสำคัญต่อกลิ่นของกระชายสดโดยเรียงจากมากไปหาน้อย ได้แก่ 1,8-cineole, (*E*)- β -ocimene, linalool, limonene, (*Z*)- β -ocimene, geranial, α -pinene, β -myrcene และ geraniol ส่วนสารที่น่าจะมีความสำคัญในกระชายอบแห้ง ได้แก่ 1,8-cineole, (*E*)- β -ocimene, linalool, limonene, (*Z*)- β -ocimene, α -pinene, geraniol, β -myrcene และ geranial โดยลำดับความสำคัญของสารให้กลิ่นในกระชายสดและกระชายอบแห้งเปลี่ยนเพียงเล็กน้อย โดยสารที่มีความสำคัญลำดับต้นๆ เหมือนกันแตกต่างกันที่ค่า OAV ซึ่งจากลำดับความสำคัญนี้แสดงให้เห็นว่ากลิ่นของกระชายอบแห้งน่าจะมีลักษณะกลิ่นโดยรวมคล้ายกันแต่ความเข้มของกลิ่นกระชายอบแห้งจะน้อยกว่ากระชายสด

ตารางที่ 4 ชนิด ปริมาณ และ OAV ของสารระเหยในกระชายสด (F) และกระชายอบแห้ง (D)

ที่ ^a	สารระเหย	ลักษณะกลิ่น ^b	RI		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (ng/g)		Thresholds in water (ppb)	OAV		identify
			HP-5	FFAP	F	D		F	D	
Terpenoids and derivatives										
Alcohols										
18	linalool	floral-woody odor with faint citrus note	1103 ^j	1549 ^j	168a	81b	6 ^c	28	14	t, u, v
21	exo-methyl-camphenilol	-	1138	1589	19a	13b	n.a.	-	-	t
22	endo-borneol	sharp, camphoraceous, woody, peppery odor reminiscent of mint	1163 ^j	1659 ^j	29a	16a	140 ^d	<1	<1	t, u, v
23	terpinen-4-ol	sweet, earthy-green, musty; slightly peppery woody notes	1177 ^j	1600 ^j	28a	14a	1200 ^e	<1	<1	t, u
24	α-terpineol	sweet, floral (lilac), lime odor	1193 ^j	1696 ^j	62a	44a	330 ^c	<1	<1	t, u
26	geraniol	sweet, floral, rose-like odor	1253 ^o	1858 ^o	1581a	1396a	330 ^c	5	4	t, u, v
28	(E)-geraniol	sweet, floral, fresh rose	1278 ⁿ	-	6a	3a	40 ^c	<1	<1	t, u
47	δ-terpineol	-	-	1669 ^p	10a	5b	n.a.	-	-	t, u
Aldehydes										
25	neral	strong, lemon-like, sweeter than geranial, floral	1239 ^o	1686 ^o	5b	12a	30 ^c	<1	<1	t, u
27	geranial	strong, lemon-like, floral	1267 ^o	1735 ^o	538a	42b	32 ^c	17	1	t, u, v

ตารางที่ 4 (ต่อ)

ที่ ^a	สารระเหย	ลักษณะกลิ่น ^b	RI		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (ng/g)		Thresholds in water (ppb)	OAV		identify
			HP-5	FFAP	F	D		F ^c	D ^f	
<u>Esters</u>										
37	geranyl propionate	sweet, fruity, grape-rose odor	1477 ^p	1804 ^p	12a	3a	10 ^c	1	<1	t, u, v
45	geranyl butyrate	sweet, heavy-fruity, rose-like odor; apple-apricot like	1565 ^p	1885 ^p	9a	6a	n.a.	-	-	t, u, v
<u>Ether</u>										
13	1,8-cineole	woody, galanga like; adds fresh fruity note to flavours	1026 ^j	1218 ^j	1183a	616b	12 ^c	99	51	t, u, v
<u>Hydrocarbons</u>										
2	tricyclene	normally present in commercial grades of camphene	914 ^k	1007 ^j	23a	12a	n.a.	-	-	t, u
3	α -thujene	spicy terpenic citrusy	922 ^j	-	2a	1a	n.a.	-	-	t, u
4	α -pinene	resinous, pine odor	927 ^k	1012 ^j	92a	48a	6 ^c	15	8	t, u, v
5	camphene	oily, sweet camphoraceous odor	940 ^l	1078 ^j	437a	233b	n.a.	-	-	t, u
6	β -pinene	dry, woody, resinous-piney odor	968 ^k	1102 ^j	16a	7a	140 ^c	<1	<1	t, u
8	β -myrcene	resinous terpene odor	990 ^m	1176 ^j	106a	51b	14 ^c	8	4	t, u
9	α -phellandrene	fresh, spicy, citrus, peppery, woody-minty	998 ^j	1168 ^j	5a	3a	200 ^c	<1	<1	t, u
10	α -terpinene	refreshing, lemony-citrusy terpene odor	1011 ^j	1183 ^j	13a	13a	85 ^f	<1	<1	t, u
11	<i>p</i> -cymene	strong, characteristic, terpene odor; oxidized lemon note	1018 ^j	1272 ^j	4a	2b	n.a.	-	-	t, u
12	limonene	fresh, sweet, hydrocarbon and orange citrus odor	1024 ^o	1201 ^o	209a	106a	10 ^c	21	11	t, u, v
14	(<i>Z</i>)- β -ocimene	sweet terpene-like with green fruity notes	1037 ^j	1244 ^j	582a	282b	34 ^g	17	8	t, u

ตารางที่ 4 (ต่อ)

ที่ ^a	สารระเหย	ลักษณะกลิ่น ^b	RI		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (ng/g)		Thresholds in water (ppb)	OAV		identify
			HP-5	FFAP	F	D		F	D	
<u>Hydrocarbons</u>										
15	(<i>E</i>)-β-ocimene	sweet, herbaceous terpene odor	1051 ^j	1254 ^j	3194a	1705b	34 ^g	94	50	t, u
16	γ-terpinene	refreshing herbaceous-citrus like terpene odor	1057 ^j	n.a.	19a	9b	260 ^h	<1	<1	t, u
17	α-terpinolene	sweet, piney, slightly anisic, somewhat pleasant odor	1082 ^q	1283 ^q	33a	17b	200 ^c	<1	<1	t, u
19	alloocimene	herbaceous, terpy odor	1128 ⁿ	1367 ⁿ	2a	2a	n.a.	-	-	t, u, v
33	(<i>E</i>)-β-caryophyllene	woody, spicy, dry, terpene, midway between cloves and turpentine	1415 ^o	1594 ^o	2a	1a	64 ^c	<1	<1	t, u
35	(<i>E</i>)-β-farnesene	pleasant, very weakly floral	1458 ^p	n.a.	1a	0b	n.a.	-	-	t, u
38	β-selinene	woody	1483 ^q	n.a.	3a	2a	n.a.	-	-	t, u
40	(-)-endo-2,6-dimethyl-6-(4-methyl-3-pentenyl)bicyclo[3.1.1]hept-2-ene	-	1494	1725	71a	42a	n.a.	-	-	t
41	(<i>E</i>)-α-farnesene	pleasant, very weakly floral	1505 ^r	1749 ^r	5a	4a	n.a.	-	-	t, u
42	δ-cadinene	dry, woody, slight burnt, spice character	1523 ^j	n.a.	-	tr	n.a.	-	-	t, u
43	valencene	citrus, orange, hydrocarbon odor	1531 ^o	n.a.	tr	tr	n.a.	-	-	t, u
44	selina-3,7(11)-diene	-	1540 ^r	n.a.	1	tr	n.a.	-	-	t, u
<u>Ketone</u>										
20	camphor	harsh, minty-cooling characteristic camphor odor	1134 ^j	1508 ^j	1290a	943b	4600 ⁱ	<1	<1	t, u, v

ตารางที่ 4 (ต่อ)

ที่ ^a	สารระเหย	ลักษณะกลิ่น ^b	RI		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (ng/g)		Thresholds in water (ppb)	OAV		identify
			HP-5	FFAP	F	D		F	D	
<u>Oxides</u>										
46	(-)-caryophyllene oxide	dry, woody, faint cedar, tobacco like	1586 ^p	n.a.	-	2	410	-	-	t, u, v
<u>Others</u>										
<u>Esters</u>										
30	methyl geranate	waxy, green, fruity odor	1322 ^s	n.a.	4a	2a	n.a.	-	-	t, u
31	benzyl butyrate	fruity, floral, plum-apricot aroma; apricot-pear-like flavor	1346 ^s	n.a.	5	-	n.a.	-	-	t, u
32	methyl cinnamate	fruity-balsamic odor	1385 ^s	2031 ^s	236a	63b	n.a.	-	-	t, u, v
<u>Unknowns</u>										
34	unknown	-	1444	n.a.	1	tr	n.a.	-	-	
39	unknown	-	1489	n.a.	1a	1a	n.a.	-	-	
48	unknown	-	n.a.	1792	6a	4b	n.a.	-	-	
49	unknown	-	n.a.	1952	-	3	n.a.	-	-	
50	unknown	-	n.a.	2039	3a	6a	n.a.	-	-	
51	unknown	-	n.a.	2042	67a	59a	n.a.	-	-	

ตารางที่ 4 (ต่อ)

- หมายเหตุ ^a ลำดับที่ของสารตรงกับ chromatogram ในภาคผนวกที่ 2-3
- ^b จากฐานข้อมูล Flavor-Base 2004 ของ Leffingwell (2004)
- ^c ค่า thresholds ในน้ำ จากฐานข้อมูล Flavor-Base 2004 ของ Leffingwell (2004)
- ^d ค่า thresholds (detection) ในน้ำ ข้อมูลจาก (Yang *et al.*, 1992; Tamura *et al.*, 1993)
- ^{e,g} ค่า thresholds (detection) ในน้ำ ข้อมูลจาก (Tamura *et al.*, 2001)
- ^f ค่า thresholds (detection) ในน้ำ ข้อมูลจาก (Boonbumrung *et al.*, 2001)
- ^h ค่า thresholds (detection) ในน้ำ ข้อมูลจาก (Boonbumrung *et al.*, 2001; Tamura *et al.*, 2001)
- ⁱ ค่า thresholds (detection) ในน้ำ ข้อมูลจาก (Tamura *et al.*, 1993)
- ^j ยืนยันสารด้วยค่า RI จาก (Adams *et al.*, 1990)
- ^k ยืนยันสารด้วยค่า RI จาก (Ozcan *et al.*, 2003)
- ^l ยืนยันสารด้วยค่า RI จาก (Velickovic *et al.*, 2003)
- ^m ยืนยันสารด้วยค่า RI จาก (Tzakou *et al.*, 2003)
- ⁿ ยืนยันสารด้วยค่า RI จาก (เขาวภา, 2547)
- ^o ยืนยันสารด้วยค่า RI จาก (Inoma, 1989)
- ^p ยืนยันสารด้วยค่า RI จาก (Villa *et al.*, 1995)
- ^q ยืนยันสารด้วยค่า RI จาก (Senatore *et al.*, 1996)
- ^r ยืนยันสารด้วยค่า RI จาก (Dugo *et al.*, 1998)

ตารางที่ 4 (ต่อ)

หมายเหตุ ^s ยืนยันสารด้วยค่า RI จาก (Sakai, 1979)

^t ยืนยันสารด้วย mass spectrum

^u ยืนยันสารด้วย RI

^v ยืนยันสารด้วยสารมาตรฐาน

a-b ตัวอักษรแสดงความแตกต่างด้วยการวิเคราะห์ทางสถิติวิธี t-test ทดสอบความมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

tr ปริมาณน้อยกว่า 1 นาโนกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง, - หมายถึง ไม่พบ

n.a. = not available

2. การวิเคราะห์สารระเหยในกระชายสดและกระชายแปรรูป

จากการวิเคราะห์สารระเหยในกระชายสดและกระชายต้ม กระชายบรรจุกระป๋อง และกระชายผัด พบชนิดและปริมาณของสารระเหยในตัวอย่างกระชายสดและกระชายแปรรูปดังตารางที่ 5-6

2.1 กระชายต้ม

การต้มทำให้เทอร์พีนอยด์บางตัวมีปริมาณลดลงได้แก่ linalool และ geranial แต่ปริมาณ neral ในกระชายต้มไม่เปลี่ยนแปลง เนื่องจากปริมาณสารทั้งสองตัวลดลง จากการทดลองจะเห็นว่าการต้มไม่มีผลต่อปริมาณ neral เมื่อเทียบกับการอบแห้งซึ่ง neral เพิ่มขึ้น อาจเป็นได้ว่า neral และ geranial เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน พอลิเมอไรเซชัน และ cyclisation ได้ที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิที่ใช้อบแห้งกระชาย จึงทำให้ปริมาณ neral ส่วนที่เกิดจากการทำลายพันธะไกลโคซิดิกใน neral glycoside เกิดปฏิกิริยาเป็นสารตัวอื่น เช่น nerol ที่เป็นผลผลิตจากการออกซิเดชันของ neral เป็นต้น แต่กลับไม่สอดคล้องกับเขาวงกต (2547) ที่มีการลดลงของปริมาณ neral และ geranial มากกว่า 40% ในเครื่องต้มยำที่ผ่านการทอด (185 องศาเซลเซียส) และผัด (90-100 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที) เปรียบเทียบกับเครื่องต้มยำที่ทำจากเครื่องเทศสด เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน พอลิเมอไรเซชัน และ cyclisation ของ neral และ geranial เกิดได้ดีมากในสภาวะที่เป็นกรดดังที่ได้กล่าวมาแล้วในผลการทดลองข้อ 1 และอุณหภูมิสูงยิ่งเกิดปฏิกิริยาเหล่านี้ได้ดีขึ้น สังเกตได้จากปริมาณของ neral และ geranial ในเครื่องต้มยำจากการผัดและทอดลดลงมากกว่าเครื่องต้มยำที่ได้จากการอบแห้งที่ 70 องศาเซลเซียส นาน 5 ชั่วโมง ดังนั้นการต้ม (อุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที) กระชายน่าจะเกิดปฏิกิริยานี้ได้ แต่เนื่องจากในระบบไม่ได้เติมกรดลงไปแบบในโมเดลเครื่องต้มยำ จึงอาจเป็นเหตุให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน พอลิเมอไรเซชัน และ cyclisation ของ neral นั้นใกล้เคียงกับอัตราการเกิดของ neral จากการทำลายพันธะไกลโคซิดิกใน neral glycoside ปริมาณ neral จึงไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับกระชายสด

นอกจากนี้ยังพบ (*E*)- β -caryophyllene และ δ -cadinene มีปริมาณเพิ่มขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่พันธะไกลโคซิดิกของสารดังกล่าวที่อยู่ในรูปไกลโคไซด์ ทำให้ปริมาณสารเหล่านี้มีเพิ่มขึ้น และยังพบปริมาณ (-)-caryophyllene oxide ยังมีปริมาณเพิ่มขึ้นอีกเช่นเดียวกับในกระชายอบแห้ง

กลิ่นกระชายต้มน่าจะมีความเข้มของกลิ่นหวาน และ ดอกไม้ ที่ได้จาก linalool และ กลิ่นคล้ายเลมอน และดอกไม้ ที่ได้จาก geranial ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกระชายสด โดยสังเกต จากค่า OAV ของ linalool และ geranial ที่ลดลงในกระชายต้มเมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากกระชาย สด (ตารางที่ 5)

2.2 กระชายกระป๋อง

ชนิดของสารระเหยที่พบในกระชายกระป๋องส่วนใหญ่เหมือนกับในกระชายต้ม แต่มี ปริมาณมากกว่าทั้งนี้เนื่องจากการแปรรูปกระชายกระป๋องนั้นใช้อุณหภูมิในการแปรรูป (121 องศา เซลเซียส) สูงกว่าการต้ม และในตัวอย่างมีปริมาณน้ำมากทั้งคู่ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสจึงเกิดขึ้นใน กระชายกระป๋องมากกว่ากระชายต้ม สารส่วนใหญ่ที่อยู่ในรูปที่ยึดเกาะกับโมเลกุลของสารอื่น (bound form) ถูกไฮโดรไลซิสให้อยู่ในรูปอิสระมากขึ้น ดังนั้นกลิ่นกระชายกระป๋องน่าจะมีความ เข้มของกลิ่นโดยรวมมากกว่า

จาก OAV ของ geranial ที่ลดลง น่าจะทำให้ความเข้มของกลิ่นคล้ายเลมอน และ ดอกไม้ลดลงหรือสูญเสียไปเช่นเดียวกับกระชายต้ม แต่ OAV ของสารเหล่านี้ ได้แก่ α -pinene, β -myrcene, α -terpinene, limonene, (*E*)- β -ocimene, (*Z*)- β -ocimene และ α -terpinolene มีค่าเพิ่มขึ้น เปรียบเทียบกับกระชายสดและกระชายต้ม ทำให้กลิ่นที่ได้จากสารเหล่านี้มีความเข้มของกลิ่น เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกระชายสด และกระชายต้ม (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 ชนิด ปริมาณ และ OAV ของสารระเหยในกระชายสด (F) กระชายต้ม (B) และกระชายกระป๋อง (C)

ที่ ^a	สารระเหย	RI		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (ng/g)			thresholds in	OAV			identify
		HP-5	FFAP	F	B	C	water (ppb)	F	B	C	
Terpenoids and derivatives											
Alcohols											
19	linalool	1103 ⁱ	1549 ⁱ	122a	47b	166a	6 ^b	20	8	28	t, u, v
22	exo-methyl-camphenilol	n.a.	1589	67a	60a	102a	n.a.	-	-	-	t
23	endo-borneol	1163 ⁱ	n.a.	22b	14b	40a	140 ^c	<1	<1	<1	t, u, v
24	terpinen-4-ol	1177 ⁱ	1600 ⁱ	23ab	14b	35a	1200 ^d	<1	<1	<1	t, u
25	α-terpineol	1193 ⁱ	1696 ⁱ	58ab	38b	90a	330 ^b	<1	<1	<1	t, u
26	nerol	1227 ^m	1801 ^m	-	4b	6a	300 ^b	<1	<1	<1	t, u
28	geraniol	1253 ⁿ	1858 ⁿ	1888ab	909b	2772a	330 ^b	6	3	8	t, u, v
30	(E)-geraniol	1278 ^m	n.a.	4a	2a	4a	40 ^b	<1	<1	<1	t, u
55	fenchol	n.a.	1578 ^q	6a	2a	3a	n.a.	-	-	-	t, u
56	δ-terpineol	n.a.	1669 ^o	6a	5a	8a	n.a.	-	-	-	t, u
57	isogeraniol	n.a.	1809 ^m	1b	1b	3a	n.a.	-	-	-	t, u
Aldehydes											
27	neral	1239 ⁿ	1686 ⁿ	14a	21a	11a	30 ^b	<1	<1	<1	n,o
29	geranial	1267 ⁿ	1735 ⁿ	960a	39b	10b	32 ^b	30	1	<1	n,o,p

ตารางที่ 5 (ต่อ)

ที่ ^a	สารระเหย	RI		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (ng/g)			thresholds in	OAV			identify
		HP-5	FFAP	F	B	C	water (ppb)	F	B	C	
<u>Esters</u>											
41	geranyl propionate	1477 ^o	1804 ^o	5a	6a	6a	10 ^b	<1	<1	<1	n,o,p
50	geranyl butyrate	1565 ^o	1885 ^o	10a	9a	13a	n.a.	-	-	-	n,o,p
<u>Ether</u>											
13	1,8-cineole	1026 ⁱ	n.a.	717a	589a	1044a	12 ^b	60	50	87	n,o,p
<u>Hydrocarbons</u>											
2	tricyclene	914 ^j	1007 ⁱ	79b	79b	197a	n.a.	-	-	-	n,o
3	α -thujene	922 ⁱ	n.a.	1	-	-	n.a.	-	-	-	n,o
4	α -pinene	927 ^j	1012 ⁱ	360b	345b	820a	6 ^b	60	58	137	n,o,p
5	camphene	940 ^k	1078 ⁱ	1642b	1560b	4156a	n.a.	-	-	-	n,o
6	β -pinene	968 ^j	1102 ⁱ	83a	53a	163a	140 ^b	<1	<1	1	n,o
8	β -myrcene	990 ^l	1176 ⁱ	227b	206b	689a	14 ^b	16	15	49	n,o
9	α -phellandrene	998 ⁱ	n.a.	10b	13b	30a	200 ^b	<1	<1	<1	n,o
10	α -terpinene	1011 ⁱ	1183 ⁱ	37b	37b	95a	85 ^c	<1	<1	1	n,o
11	<i>p</i> -cymene	1018 ⁱ	n.a.	tr	-	-	n.a.	-	-	-	n,o
12	limonene	1024 ⁿ	n.a.	116b	130b	220a	10 ^b	12	13	22	n,o,p
14	(<i>Z</i>)- β -ocimene	1037 ⁱ	1244 ⁱ	1746b	1768b	3798a	34 ^d	51	52	112	n,o
15	(<i>E</i>)- β -ocimene	1051 ⁱ	1254 ⁱ	11565b	14828b	31928a	34 ^d	340	436	939	n,o

ตารางที่ 5 (ต่อ)

ที่ ^a	สารระเหย	RI		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (ng/g)			thresholds in	OAV			identify
		HP-5	FFAP	F	B	C	water (ppb)	F	B	C	
<u>Hydrocarbons</u>											
16	γ -terpinene	1057 ⁱ	n.a.	27a	35a	79a	260 ^f	<1	<1	<1	n,o
17	α -terpinolene	1082 ^p	1283 ^p	95b	97b	237a	200 ^b	<1	<1	1	n,o
20	alloocimene	1128 ^m	1367 ^m	2b	9b	45a	n.a.	-	-	-	n,o,p
37	(<i>E</i>)- β -caryophyllene	1415 ⁿ	1594 ⁿ	14c	31b	51a	64 ^b	<1	<1	<1	n,o
39	β -gurjunene	1451 ^p	n.a.	5a	8a	16a	n.a.	-	-	-	n,o
40	(<i>E</i>)- β -farnesene	1458 ^o	n.a.	3a	4a	6a	n.a.	-	-	-	n,o
42	β -selinene	1483 ^p	n.a.	2b	4ab	8a	n.a.	-	-	-	n,o
44	(-)-endo-2,6-dimethyl-6-(4-methyl-3-pentenyl)bicycle [3.1.1]hept-2-ene	1494	1725	166b	256ab	516a	n.a.	-	-	-	n
45	(<i>E</i>)- α -farnesene	1505 ^q	1749 ^q	26b	44ab	81a	n.a.	-	-	-	n,o
46	δ -cadinene	1523 ⁱ	n.a.	-	3b	5a	n.a.	-	-	-	n,o
47	valencene	1531 ⁿ	n.a.	1a	2a	4a	n.a.	-	-	-	n,o
49	selina-3,7(11)-diene	1540 ^q	-	1b	2b	5a	n.a.	-	-	-	n,o
54	sabinene	n.a.	1120 ⁱ	2	-	-	n.a.	-	-	-	n,o
<u>Ketone</u>											
21	camphor	1138 ⁱ	1508 ⁱ	3235a	1602a	3755a	4600 ^g	<1	<1	<1	n,o,p

ตารางที่ 5 (ต่อ)

ที่ ^a	สารระเหย	RI		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (ng/g)			thresholds in	OAV			identify
		HP-5	FFAP	F	B	C	water (ppb)	F	B	C	
<u>Oxides</u>											
18	(Z)-linalool oxide	n.a.	1447 ^f	-	-	2	100 ^c	-	-	<1	n,o
51	(-)-caryophyllene oxide	1586 ^o	n.a.	-	1a	2a	410	-	-	-	n,o,p
<u>Others</u>											
<u>Base</u>											
60	indole	n.a.	2423 ^f	6a	8a	5a	140 ^b	<1	<1	<1	n,o
<u>Esters</u>											
34	methyl geranate	1322 ^s	n.a.	-	2a	2a	n.a.	-	-	-	n,o
35	benzyl butyrate	1346 ^s	n.a.	3a	3a	3a	n.a.	-	-	-	n,o
36	methyl cinnamate	1385 ^s	2031 ^s	64a	35a	93a	n.a.	-	-	-	n,o,p
<u>Unknowns</u>											
38	unknown	1442	n.a.	1b	1b	3a	n.a.	-	-	-	
43	unknown	1489	n.a.	1a	2a	3a	n.a.	-	-	-	
48	unknown	1537	n.a.	tr	1a	1a	n.a.	-	-	-	
52	unknown	1680	n.a.	-	2b	4a	n.a.	-	-	-	
53	unknown	1903	n.a.	-	5a	13a	n.a.	-	-	-	

ตารางที่ 5 (ต่อ)

ที่ ^a	สารระเหย	RI		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (ng/g)			thresholds in	OAV			identify
		HP-5	FFAP	F	B	C	water (ppb)	F	B	C	
<u>Unknowns</u>											
59	unknown	n.a.	1368	-	1b	13a	n.a.	-	-	-	
60	unknown	n.a.	1674	2a	1a	2a	n.a.	-	-	-	
61	unknown	n.a.	1690	tr	tr	2	n.a.	-	-	-	
62	unknown	n.a.	1823	8a	9a	3a	n.a.	-	-	-	
63	unknown	n.a.	1990	3b	3b	6a	n.a.	-	-	-	
64	unknown	n.a.	2039	2	-	-	n.a.	-	-	-	
65	unknown	n.a.	2158	-	-	4	n.a.	-	-	-	
66	unknown	n.a.	2180	9ab	9ab	16a	n.a.	-	-	-	
67	unknown	n.a.	2304	-	-	2	n.a.	-	-	-	
69	unknown	n.a.	2370	-	-	2	n.a.	-	-	-	

หมายเหตุ ^a ลำดับที่ของสารตรงกับ chromatogram ในภาคผนวกที่ 4-6

^b ค่า thresholds ในน้ำ จากฐานข้อมูล Flavor-Base 2004 ของ Leffingwell (2004)

^c ค่า thresholds (detection) ในน้ำ ข้อมูลจาก (Yang *et al.*, 1992; Tamura *et al.*, 1993)

^d ค่า thresholds (detection) ในน้ำ ข้อมูลจาก (Tamura *et al.*, 2001)

^e ค่า thresholds (detection) ในน้ำ ข้อมูลจาก (Boonbumrung *et al.*, 2001)

ตารางที่ 5 (ต่อ)

- หมายเหตุ^f ค่า thresholds (detection) ในน้ำ ข้อมูลจาก (Boonbumrung *et al.*, 2001; Tamura *et al.*, 2001)
- ^g ค่า thresholds (detection) ในน้ำ ข้อมูลจาก (Tamura *et al.*, 1993)
- ⁱ ยืนยันสารด้วยค่า RI จาก (Adams *et al.*, 1990)
- ^j ยืนยันสารด้วยค่า RI จาก (Ozcan *et al.*, 2003)
- ^k ยืนยันสารด้วยค่า RI จาก (Velickovic *et al.*, 2003)
- ^l ยืนยันสารด้วยค่า RI จาก (Tzakou *et al.*, 2003)
- ^m ยืนยันสารด้วยค่า RI จาก (เขาวภา, 2547)
- ⁿ ยืนยันสารด้วยค่า RI จาก (Inoma, 1989)
- ^o ยืนยันสารด้วยค่า RI จาก (Villa *et al.*, 1995)
- ^p ยืนยันสารด้วยค่า RI จาก (Senatore *et al.*, 1996)
- ^q ยืนยันสารด้วยค่า RI จาก (Dugo *et al.*, 1998)
- ^r ยืนยันสารด้วยค่า RI จาก (Liangfeng *et al.*, 1993)
- ^s ยืนยันสารด้วยค่า RI จาก (Sakai, 1979)
- a-b ตัวอักษรแสดงความแตกต่างด้วยวิธี Analysis of Variance (ANOVA) และใช้วิธี LSD ทดสอบความมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
- ^t ยืนยันสารด้วยค่า mass spectrum
- ^u ยืนยันสารด้วย RI
- ^v ยืนยันสารด้วยสารมาตรฐาน

ตารางที่ 5 (ต่อ)

หมายเหตุ tr = ปริมาณน้อยกว่า 1 นาโนกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง, - หมายถึง ไม่พบ

n.a. = not available

2.3 กระชายผัด

การผัดทำให้ปริมาณของสารระเหยหลักบางตัวในกระชายสดน้อยลง ได้แก่ (*E*)- β -ocimene, (*Z*)- β -ocimene และ geranial ซึ่งสารเหล่านี้มีค่า OAV มากกว่า 1 อาจทำให้สารระเหยหลักที่เหลือ และสารบางตัวที่เป็นสารให้กลิ่นในกระชายที่มีปริมาณไม่เปลี่ยนแปลงอาจจะแสดงออกในภาพรวมของกลิ่นกระชายผัดมากขึ้น (Kubota *et al.*, 1999) การเปลี่ยนแปลงของปริมาณ neral และ geranial ในกระชายผัดนั้น เกิดขึ้นในลักษณะเช่นเดียวกับกระชายต้ม แต่ในการผัดทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารต่าง ๆ เช่น (*E,Z*)-2,4-decadienal และ (*E,E*)-2,4-decadienal เป็นผลิตภัณฑ์แรกที่เกิดจากการออกซิเดชันของกรดลิโนเลอิก ซึ่งเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีปริมาณมากที่สุด (54.5%) ในน้ำมันถั่วเหลือง (Chyau and Mau, 2001) (ตารางที่ 6) นอกจากนี้สารพวกเอสเทอร์ส่วนใหญ่มีปริมาณลดลงอย่างมีนัยสำคัญ geranyl propionate เกิดจากความร้อนไปเร่งอัตราการสลายตัวด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของเอสเทอร์ไปเป็นแอลกอฮอล์และกรดคาร์บอกซิลิก แต่ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้จึงอาจเกิดเอสเทอร์ตัวใหม่ขึ้นได้ เช่น methyl geranate เป็นต้น

เนื่องจาก OAV ของ linalool, α -pinene, β -myrcene, limonene, (*E*)- β -ocimene และ (*Z*)- β -ocimene มีค่าลดลง น่าจะทำให้ความเข้มของ กลิ่นที่ได้จากสารเหล่านี้ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกระชายสด (ตารางที่ 6) นอกจากนี้ OAV ของ geranial ที่ลดลงต่ำกว่า 1 น่าจะทำให้ความเข้มของกลิ่นคล้ายเลมอน และดอกไม้ลดลงหรือสูญเสียไปในกระชายผัด และ OAV ของ (*E,E*)-2,4-decadienal นั้นมีค่าสูง (22.3) และพบเฉพาะในตัวอย่างนี้ สารนี้จึงน่าจะเป็นสารที่สำคัญที่ให้กลิ่นน้ำมันทอด (fried oil) ในกระชายผัด

ตารางที่ 6 ชนิด ปริมาณ และ OAV ของสารระเหยในกระชายสด (F) และกระชายผัด (SF)

ที่ ^a	สารระเหย	RI		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (ng/g)		thresholds in	OAV		identify
		HP-5	FFAP	F	SF	water (ppb)	F	SF	
Terpenoids and derivatives									
Alcohols									
19	linalool	1103 ⁱ	1549 ⁱ	122a	37b	6 ^b	20	6	u, v, w
22	exo-methyl-camphenilol	n.a.	1589	67a	45a	n.a.	-	-	u
23	endo-borneol	1163 ⁱ	n.a.	22a	22a	140 ^c	<1	<1	u, v, w
24	terpinen-4-ol	1177 ⁱ	1600 ⁱ	23a	13a	1200 ^d	<1	<1	u, v
25	α-terpineol	1193 ⁱ	1696 ⁱ	58a	34b	330 ^b	<1	<1	u, v
26	nerol	1227 ^m	1801 ^m	-	3	300 ^b	<1	<1	u, v
28	geraniol	1253 ⁿ	1858 ⁿ	1888a	922a	330 ^b	6	3	u, v, w
30	(E)-geraniol	1278 ^m	n.a.	4a	2a	40 ^b	<1	<1	u, v
55	fenchol	n.a.	1578 ^q	6a	2a	n.a.	-	-	u, v
56	δ-terpineol	n.a.	1669 ^o	6a	3b	n.a.	-	-	u, v
57	isogeraniol	n.a.	1809 ^m	1	tr	n.a.	-	-	u, v
Aldehydes									
27	neral	1239 ⁿ	1686 ⁿ	14a	13a	30 ^b	<1	<1	u, v
29	geranial	1267 ⁿ	1735 ⁿ	960a	30b	32 ^b	30	<1	u, v, w

ตารางที่ 6 (ต่อ)

ที่ ^a	สารระเหย	RI		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (ng/g)		thresholds in	OAV		identify
		HP-5	FFAP	F	SF	water (ppb)	F	SF	
<u>Esters</u>									
41	geranyl propionate	1477 ^o	1804 ^o	5a	2b	10 ^b	<1	<1	u, v, w
50	geranyl butyrate	1565 ^o	1885 ^o	10ab	2b	n.a.	-	-	u, v, w
<u>Ether</u>									
13	1,8-cineole	1026 ⁱ	n.a.	717a	475a	12 ^b	60	40	u, v, w
<u>Hydrocarbons</u>									
2	tricyclene	914 ^j	1007 ⁱ	79a	37b	n.a.	-	-	u, v
3	α -thujene	922 ⁱ	n.a.	1	tr	n.a.	-	-	u, v
4	α -pinene	927 ^j	1012 ⁱ	360a	148b	6 ^b	60	25	u, v, w
5	camphene	940 ^k	1078 ⁱ	1642a	682b	n.a.	-	-	u, v
6	β -pinene	968 ^j	1102 ⁱ	83a	23a	140 ^b	<1	<1	u, v
8	β -myrcene	990 ^l	1176 ⁱ	227a	49b	14 ^b	16	4	u, v
9	α -phellandrene	998 ⁱ	n.a.	10a	4a	200 ^b	<1	<1	u, v
10	α -terpinene	1011 ⁱ	1183 ⁱ	37a	15b	85 ^c	<1	<1	u, v
11	<i>p</i> -cymene	1018 ⁱ	n.a.	tr	-	n.a.	-	-	u, v
12	limonene	1024 ⁿ	n.a.	116a	47b	10 ^b	12	5	u, v, w
14	(<i>Z</i>)- β -ocimene	1037 ⁱ	1244 ⁱ	1746a	668b	34 ^d	51	20	u, v

ตารางที่ 6 (ต่อ)

ที่ ^a	สารระเหย	RI		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (ng/g)		thresholds in	OAV		identify
		HP-5	FFAP	F	SF	water (ppb)	F	SF	
<u>Hydrocarbons</u>									
15	(<i>E</i>)-β-ocimene	1051 ⁱ	1254 ⁱ	11565a	4638b	34 ^d	340	136	u, v
16	γ-terpinene	1057 ⁱ	n.a.	27a	8b	260 ^f	<1	<1	u, v
17	α-terpinolene	1082 ^p	1283 ^p	95a	32b	200 ^b	<1	<1	u, v
20	alloocimene	1128 ^m	1367 ^m	2a	3a	n.a.	-	-	u, v, w
37	(<i>E</i>)-β-caryophyllene	1415 ⁿ	1594 ⁿ	14a	4b	64 ^b	<1	<1	u, v
39	β-gurjunene	1451 ^p	n.a.	5a	1b	n.a.	-	-	u, v
40	(<i>E</i>)-β-farnesene	1458 ^o	n.a.	3	tr	n.a.	-	-	u, v
42	β-selinene	1483 ^p	n.a.	2a	1a	n.a.	-	-	u, v
44	(-)-endo-2,6-dimethyl-6-(4-methyl-3-pentenyl)bicycle [3.1.1]hept-2-ene	1494	1725	166a	15b	n.a.	-	-	u, v
45	(<i>E</i>)-α-farnesene	1505 ^q	1749 ^q	26a	3b	n.a.	-	-	u, v
47	valencene	1531 ⁿ	n.a.	1	tr	n.a.	-	-	u, v
49	selina-3,7(11)-diene	1540 ^q	-	1	tr	n.a.	-	-	u, v
54	sabinene	n.a.	1120 ⁱ	2	-	n.a.	-	-	u, v
<u>Ketone</u>									
21	camphor	1138 ⁱ	1508 ⁱ	3235a	1970a	4600 ^g	<1	<1	u, v, w
<u>Oxides</u>									
18	(<i>Z</i>)-linalool oxide	n.a.	1447 ^r	-	1	100 ^c	-	<1	u, v

ตารางที่ 6 (ต่อ)

ที่ ^a	สารระเหย	RI		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (ng/g)		thresholds in	OAV		identify
		HP-5	FFAP	F	SF	water (ppb)	F	SF	
Others									
Aldehydes									
31	(E,Z)-2,4-decadienal	1294 ^t	n.a.	-	3	n.a.	-	-	u, v
33	(E,E)-2,4-decadienal	1329 ^m	1790 ^m	-	2	0.07 ^b	-	22	u, v
Base									
60	indole	n.a.	2423 ^r	6a	1b	140 ^b	<1	<1	u, v
Esters									
34	methyl geranate	1322 ^s	n.a.	-	2	n.a.	-	-	u, v
35	benzyl butyrate	1346 ^s	n.a.	3a	1b	n.a.	-	-	u, v
36	methyl cinnamate	1385 ^s	2031 ^s	64a	18b	n.a.	-	-	u, v, w
Unknowns									
38	unknown	1442	n.a.	1	-	n.a.	-	-	
43	unknown	1489	n.a.	1	tr	n.a.	-	-	
48	unknown	1537	n.a.	tr	-	n.a.	-	-	
59	unknown	n.a.	1368	-	tr	n.a.	-	-	
60	unknown	n.a.	1674	2	tr	n.a.	-	-	
61	unknown	n.a.	1690	tr	tr	n.a.	-	-	

ตารางที่ 6 (ต่อ)

ที่ ^a	สารระเหย	RI		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (ng/g)		thresholds in	OAV		identify
		HP-5	FFAP	F	SF	water (ppb)	F	SF	
<u>Unknowns</u>									
62	unknown	n.a.	1823	8a	4a	n.a.	-	-	
63	unknown	n.a.	1990	3a	2a	n.a.	-	-	
64	unknown	n.a.	2039	2	-	n.a.	-	-	
66	unknown	n.a.	2180	9a	2a	n.a.	-	-	
68	unknown	n.a.	2331	-	1	n.a.	-	-	
70	unknown	n.a.	2412	-	2	n.a.	-	-	

- หมายเหตุ ^a ลำดับที่ของสารตรงกับ chromatogram ในภาคผนวกที่ 7
- ^b ค่า thresholds ในน้ำ จากฐานข้อมูล Flavor-Base 2004 ของ Leffingwell (2004)
- ^c ค่า thresholds (detection) ในน้ำ ข้อมูลจาก (Yang *et al.*, 1992; Tamura *et al.*, 1993)
- ^d ค่า thresholds (detection) ในน้ำ ข้อมูลจาก (Tamura *et al.*, 2001)
- ^e ค่า thresholds (detection) ในน้ำ ข้อมูลจาก (Boonbumrung *et al.*, 2001)
- ^f ค่า thresholds (detection) ในน้ำ ข้อมูลจาก (Boonbumrung *et al.*, 2001; Tamura *et al.*, 2001)
- ^g ค่า thresholds (detection) ในน้ำ ข้อมูลจาก (Tamura *et al.*, 1993)
- ⁱ ยืนยันสารด้วยค่า RI จาก (Adams *et al.*, 1990)

ตารางที่ 6 (ต่อ)

หมายเหตุ	j	ยืนยันสารด้วยค่า RI จาก (Ozcan <i>et al.</i> , 2003)
	k	ยืนยันสารด้วยค่า RI จาก (Velickovic <i>et al.</i> , 2003)
	l	ยืนยันสารด้วยค่า RI จาก (Tzakou <i>et al.</i> , 2003)
	m	ยืนยันสารด้วยค่า RI จาก (เขาวภา, 2547)
	n	ยืนยันสารด้วยค่า RI จาก (Inoma, 1989)
	o	ยืนยันสารด้วยค่า RI จาก (Villa <i>et al.</i> , 1995)
	p	ยืนยันสารด้วยค่า RI จาก (Senatore <i>et al.</i> , 1996)
	q	ยืนยันสารด้วยค่า RI จาก (Dugo <i>et al.</i> , 1998)
	r	ยืนยันสารด้วยค่า RI จาก (Liangfeng <i>et al.</i> , 1993)
	s	ยืนยันสารด้วยค่า RI จาก (Sakai, 1979)
	t	ยืนยันสารด้วยค่า RI จาก (Cravo <i>et al.</i> , 1992)
	a-b	ตัวอักษรแสดงความแตกต่างด้วยการวิเคราะห์ทางสถิติวิธี t-test
	u	ยืนยันสารด้วยค่า mass spectrum
	v	ยืนยันสารด้วย RI
	w	ยืนยันสารด้วยสารมาตรฐาน
	tr	= ปริมาณน้อยกว่า 1 นาโนกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง, - หมายถึง ไม่พบ
	n.a.	= not available

3. การวิเคราะห์สารให้กลิ่นที่สำคัญในกระชายสดและกระชายแปรรูปด้วยความร้อน

สารให้กลิ่นในกระชายสดและกระชายอบแห้งที่วิเคราะห์ได้ด้วยวิธี GC-O (ตารางที่ 7) พบว่า สารที่ให้กลิ่นกระชาย ได้แก่ α -pinene, 1,8-cineole, (*E*)- β -ocimene, linalool, alloocimene, camphor, endo-borneol, geraniol, methyl cinnamate, (-)-endo-2,6-dimethyl-6-(4-methyl-3-pentenyl)bicyclo[3.1.1]hept-2-ene, (*E*)- α -farnesene และสารที่ไม่สามารถระบุได้ที่ RI= 1267 และ 1429 หลังอบแห้งกระชายแล้ว สารให้กลิ่นเหล่านี้มีความเข้มข้นลดลง และกลิ่นของสารบ้างตัวหายไป ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้จาก GC-MS แต่สารให้กลิ่นบ้างตัวเช่น endo-borneol ที่มี OAV ต่ำกว่า 1 แล้วยังสามารถได้กลิ่นนั้น อาจเป็นเพราะความเข้มข้นของสารให้กลิ่นที่คำนวณได้นั้นเป็นความเข้มข้นของสารต่อน้ำหนักแห้ง 1 กรัม ไม่ใช่ต่อน้ำหนักแห้งทั้งหมด นอกจากนี้ตัวอย่างที่ใช้วิธีนี้ในการทดสอบยังต้องทำให้เข้มข้นก่อน จึงเป็นไปได้ที่สารเหล่านี้จะมีความเข้มข้นขึ้นจนสามารถได้กลิ่นของสารดังกล่าวได้ ในทางตรงข้าม (*Z*)- β -ocimene ที่มีค่า OAV สูงกว่า 1 กลับไม่สามารถได้กลิ่น นั้นอาจเพราะว่าสารดังกล่าวอาจถูกสารอื่นบดบังกลิ่น (antagonism) ในขณะที่ยังทำให้ไม่สามารถได้กลิ่นของสารดังกล่าวได้

สารให้กลิ่นในกระชายดัม กระชายบรรจุกระป๋องและกระชายผัดที่วิเคราะห์ได้ด้วยวิธี GC-O แสดงในตารางที่ 7 พบว่า ความเข้มของกลิ่นไม่สอดคล้องกับปริมาณที่พบใน GC-MS น่าจะเนื่องจากเวลาที่เก็บตัวอย่างก่อนการวิเคราะห์ด้วยวิธี GCO ไม่เท่ากัน ทำให้ตัวอย่างที่ดมก่อนอาจมีความเข้มของกลิ่นมากกว่าตัวอย่างที่ดมทีหลัง ทั้งนี้เพราะการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารให้กลิ่นในระหว่างรอการวิเคราะห์ วิธีแก้ไขอาจต้องลดจำนวนตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์ลง โดยวิเคราะห์สารให้กลิ่นในการแปรรูปกระชายที่ละหนึ่งหรือสองวิธีในช่วงเวลาใกล้เคียงกัน แล้วจึงเปรียบเทียบสารแต่ละชนิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของปริมาณสารทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้แทน แต่การทดลองวิธีนี้ทำให้ทราบว่า กลิ่นของกระชายดัมกับกระชายกระป๋องน่าจะมีความคล้ายคลึงกันสอดคล้องกับผลของ GC-MS โดยดูจากชนิดของสารให้กลิ่นที่พบใน FD chromatogram มีความใกล้เคียงกัน นอกจากนี้แล้วค่า $\log_3$ FD factor ของ 1,8-cineole ในกระชายกระป๋องและค่า $\log_3$ FD factor ของ alloocimene ในกระชายแปรรูปทั้ง 3 แบบ เปรียบเทียบกับในกระชายสด ยังมีแนวโน้มไปในทางเดียวกับ OAV หรือปริมาณของสารเหล่านี้ในการวิเคราะห์ด้วยวิธี GC-MS อีกด้วย (ตารางที่ 5-6) และกลิ่นที่ได้จากกระชายผัดนั้นมีกลิ่นที่เฉพาะตัว คือ กลิ่นน้ำมันที่ได้จาก (*E,Z*)-2,4-decadienal, (*E,E*)-2,4-decadienal และสารที่ไม่สามารถระบุได้ที่ RI= 980, 1606, 1654 และ 1670 และกลิ่นกระชายผัดของสารที่ไม่สามารถระบุได้ที่ RI= 1495 และ 1538 สารเหล่านี้อาจจะเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมัน ทำให้ได้สารให้กลิ่นดังกล่าวขึ้น และการทดลองด้วยวิธี GCO พบว่า สารให้กลิ่น

ทรายที่พบทั้งในทรายสดและทรายอบแห้งนั้น ได้แก่ α -pinene, 1,8-cineole, linalool, alloocimene, endo-borneol, geraniol, methyl cinnamate, (-)-endo-2,6-dimethyl-6-(4-methyl-3-pentenyl)bicyclo[3.1.1]hept-2-ene, (*E*)- α -farnesene และสารที่ไม่สามารถระบุได้ที่ RI= 1267 และ 1429 (ตารางที่ 7) สารให้กลิ่นทรายที่พบทั้งในทรายสด ทรายต้ม ทรายกระป๋องและ ทรายผัด นั้น ได้แก่ α -pinene, 1,8-cineole, alloocimene, camphor, geraniol, methyl cinnamate, และ (-)-endo-2,6-dimethyl-6-(4-methyl-3-pentenyl)bicyclo[3.1.1]hept-2-ene และสารที่ไม่สามารถระบุได้ที่ RI= 1429 (ตารางที่ 8) ดังนั้นอาจสรุปได้ว่า สารให้กลิ่นที่สำคัญในทรายมี 7 ตัว ได้แก่ α -pinene, 1,8-cineole, alloocimene, geraniol, methyl cinnamate, (-)-endo-2,6-dimethyl-6-(4-methyl-3-pentenyl)bicyclo[3.1.1]hept-2-ene และสารที่ไม่สามารถระบุได้ที่ RI= 1429 เนื่องจากพบสารเหล่านี้ให้กลิ่นทรายได้ในทรายสดและทรายแปรรูปทุกวิธี นอกจากนี้ยังพบสารให้กลิ่นส่วนน้อยที่พบเพิ่มในทรายสดครั้งนี้ อาจเป็นเพราะช่วงเวลาที่ใช้เก็บเกี่ยวมีผลต่อชนิดและปริมาณของสารให้กลิ่นในทราย ซึ่งระยะเวลาที่ทำการทดลองในหัวข้อวิธีการทดลองข้อ 1 และ ข้อ 2 ห่างกันประมาณ 9 เดือน แต่อย่างไรก็ตามสารให้กลิ่นสำคัญในทรายก็ยังคงมีอยู่ในทรายสดทั้งสองครั้งการทดลอง

ตารางที่ 7 สารให้กลิ่นในกระชายสด (F) และกระชายแห้ง (D) ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี GC-O

ที่ ^a	สารระเหย	ลักษณะกลิ่น ^b	RI		log ₃ FD Fator ^b		identify
			HP-5MS	FFAP ^p	F	D	
2	tricyclene	green	927 ^f	1007 ⁱ	0	-	o, p
4	α -pinene	peppery, green, fingerroot	938 ^f	1012 ⁱ	3	3	o, p, q
8	β -myrcene	green, herbaceous	999 ^g	1176 ⁱ	1	-	o, p, q
12	limonene	herbaceous	1029 ^h	1201 ^h	0	-	o, p, q
13	1,8-cineole	herbaceous, galanga like, cool, floral, fingerroot ^c , dried fingerroot ^d	1052 ⁱ	1218 ⁱ	3	2	o, p, q
15	(<i>E</i>)- β -ocimene	herbaceous, fingerroot	1085 ⁱ	1254 ⁱ	3	-	o, p
18	linalool	peanut like, floral, fingerroot	1112 ⁱ	1549 ⁱ	2	1	o, p, q
19	alloocimene	floral, fingerroot	1124 ^j	1367 ^j	3	3	o, p, q
20	camphor	floral, fingerroot	1147 ⁱ	1508 ⁱ	0	-	o, p, q
22	endo-borneol	herbaceous	1173 ⁱ	n.a	4	2	o, p, q
26	geraniol	herbaceous, fingerroot ^c , dried fingerroot ^d	1221 ^h	1858 ^h	2	1	o, p, q
32	methyl cinnamate	herbaceous, green, fingerroot	1387 ^k	2031 ^k	2	1	o, p, q
40	(-)-endo-2,6-dimethyl-6-(4-methyl-3-pentenyl)bicycle [3.1.1]hept-2-ene	herbaceous, fingerroot, green	1471	1725	3	2	o
41	(<i>E</i>)- α -farnesene	green, herbaceous, fingerroot	1522 ^m	1749 ^m	3	2	o, p
H-1	unknown	green, herbaceous	725 ⁿ	n.a	3	2	
H-2	unknown	herbaceous, green, fingerroot	1267 ⁿ	n.a	2	1	
H-3	unknown	sweet, herbaceous, fingerroot ^c , dried fingerroot ^d	1429 ⁿ	n.a	2	1	

ตารางที่ 7 (ต่อ)

ที่ ^a	สารระเหย	ลักษณะกลิ่น ^b	RI		log ₃ FD Fator ^b		identify
			HP-5MS	FFAP ^p	F	D	
H-4	unknown	dried fingerroot, dried herbaceous ^c	1571 ⁿ	n.a	-	0	

- หมายเหตุ ^a ลำดับที่ของสารตรงกับ FD chromatogram ในภาพผนวกที่ 8 และ chromatogram ในภาพผนวกที่ 2-3
- ^b ลักษณะกลิ่นที่ได้ของสาร และค่า log₃ FD Fator จากการดมสารที่แยกด้วยคอลัมน์ HP-5MS โดยค่า log₃ FD Fator = 0 หมายถึง สารสกัดก่อนเจือจางเพื่อทำ AEDA และ - หมายถึงไม่ได้กลิ่น
- ^{c, d-e} กลิ่นที่เป็นลักษณะเฉพาะตัวในกระชายสด และกระชายอบแห้ง ตามลำดับ
- ^f ยืนยันสารด้วยค่า RI จาก (Ozcan *et al.*, 2003)
- ^g ยืนยันสารด้วยค่า RI จาก (Tzakou *et al.*, 2003)
- ^h ยืนยันสารด้วยค่า RI จาก (Inoma, 1989)
- ⁱ ยืนยันสารด้วยค่า RI จาก (Adams *et al.*, 1990)
- ^j ยืนยันสารด้วยค่า RI จาก (เขาวภา, 2547)
- ^k ยืนยันสารด้วยค่า RI จาก (Sakai, 1979)
- ^l ยืนยันสารด้วยค่า RI จาก (Villa *et al.*, 1995)
- ^m ยืนยันสารด้วยค่า RI จาก (Dugo *et al.*, 1998)
- ⁿ พบด้วยวิธี GC-O แต่ไม่ปรากฏพีคใน GC-MS (chromatogram ในภาพผนวกที่ 2-3)
- ^o ยืนยันสารด้วยค่า RI

ตารางที่ 7 (ต่อ)

หมายเหตุ ^p ยืนยันสารด้วยค่า mass spectrum ใน GC-MS
^q ยืนยันสารด้วยสารมาตรฐาน

ตารางที่ 8 สารให้กลิ่นในกระชายสด (F) กระชายต้ม (B) กระชายกระป๋อง (C) และกระชายผัด (SF) ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี GC-O

ที่ ^a	สารระเหย	ลักษณะกลิ่น	RI		log ₃ FD Fator ^b				identify
			HP-5MS	FFAP ^p	F	B	C	SF	
2	tricyclene	herbaceous	927 ^e	1007 ^h	0	-	1	-	o, p
4	α -pinene	peppery, green, fingerroot	938 ^e	1012 ^h	3	1	2	1	o, p, q
6	β -pinene	irritable, dry	964 ^e	1102 ^h	-	-	0	-	o, p
8	β -myrcene	green, herbaceous	999 ^f	1176 ^h	2	0	1	-	o, p, q
12	limonene	green, herbaceous	1029 ^g	n.a	3	-	-	-	o, p, q
13	1,8-cineole	herbaceous, galanga like, cool, fingerroot	1052 ^h	n.a	3	2	3	2	o, p, q
15	(<i>E</i>)- β -ocimene	green, herbaceous, fingerroot	1085 ^h	1254 ^h	2	1	-	-	o, p
19	linalool	peanut like, green, fingerroot	1112 ^h	1549 ^h	3	-	2	-	o, p, q
20	alloocimene	floral, fingerroot	1124 ⁱ	1367 ⁱ	2	2	3	2	o, p, q
21	camphor	floral, fingerroot, green	1147 ^h	1508 ^h	2	1	0	1	o, p, q
23	endo-borneol	floral, fingerroot, green	1173 ^h	n.a	4	1	-	1	o, p, q
28	geraniol	floral, herbaceous, green, fingerroot ^c , fried fingerroot ^d	1221 ^g	1858 ^g	3	0	0	2	o, p, q
31	(<i>E,Z</i>)-2,4-decadienal	fried oil	1294 ^j	n.a	-	-	-	1	o, p
33	(<i>E,E</i>)-2,4-decadienal	oily	1303 ⁱ	1790 ⁱ	-	-	-	0	o, p
36	methyl cinnamate	green, fingerroot ^c , floral, fried fingerroot ^d	1387 ^k	2031 ^k	3	1	0	1	o, p, q
44	(-)-endo-2,6-dimethyl-6-(4-methyl-3-pentenyl)bicyclo [3.1.1]hept-2-ene	green, cool, fingerroot ^c , fried fingerroot ^d	1471	1725	3	2	0	1	o
45	(<i>E</i>)- α -farnesene	green, herbaceous, fingerroot	1522 ^m	1749 ^m	1	2	0	-	q, r

ตารางที่ 8 (ต่อ)

ที่ ^a	สารระเหย	ลักษณะกลิ่น	RI		log ₃ FD Fator ^b				identify
			HP-5MS	FFAP ^p	F	B	C	SF	
50	geranyl butyrate	sweet	1562 ^l	1885 ^l	0	-	0	-	o, p, q
H-1	unknown	green, herbaceous	730 ⁿ	n.a	2	-	-	-	
H-2	unknown	green, herbaceous	886 ⁿ	n.a	3	1	1	-	
H-3	unknown	oily	980 ⁿ	n.a	-	-	-	0	
H-4	unknown	green, fingerroot	1267 ⁿ	n.a	0	-	-	-	
H-5	unknown	green, fingerroot	1429 ⁿ	n.a	3	2	0	0	
H-6	unknown	fried fingerroot	1495 ⁿ	n.a	-	-	-	2	
H-7	unknown	fried fingerroot, fried oil	1538 ⁿ	n.a	-	-	-	2	
H-8	unknown	fried oil	1606 ⁿ	n.a	-	-	-	2	
H-9	unknown	fried oil	1654 ⁿ	n.a	-	-	-	2	
H-10	unknown	fried oil	1670 ⁿ	-	-	-	-	3	

หมายเหตุ ^a ลำดับที่ของสารตรงกับ FD chromatogram ในภาพผนวกที่ 9 และ chromatogram ในภาพผนวกที่ 4-7

^b ลักษณะกลิ่นที่ได้ของสาร และค่า log₃ FD Fator จากการดมสารที่แยกด้วยคอลัมน์ HP-5MS โดยค่า log₃ FD Fator = 0 หมายถึง สารสกัดก่อนเจือจางเพื่อทำ AEDA และ - หมายถึงไม่ได้กลิ่น

^c กลิ่นที่เป็นลักษณะเฉพาะตัวในกระชายสด กระชายแปรรูปด้วยวิธีต้มและบรรจุกระป๋อง

^d กลิ่นที่เป็นลักษณะเฉพาะตัวในกระชายสด

ตารางที่ 8 (ต่อ)

หมายเหตุ	^c	ยืนยันสารด้วยค่า RI จาก (Ozcan <i>et al.</i> , 2003)
	^f	ยืนยันสารด้วยค่า RI จาก (Tzakou <i>et al.</i> , 2003)
	^g	ยืนยันสารด้วยค่า RI จาก (Inoma, 1989)
	^h	ยืนยันสารด้วยค่า RI จาก (Adams <i>et al.</i> , 1990)
	ⁱ	ยืนยันสารด้วยค่า RI จาก (เขาวภา, 2547)
	^j	ยืนยันสารด้วยค่า RI จาก (Cravo <i>et al.</i> , 1992)
	^k	ยืนยันสารด้วยค่า RI จาก (Sakai, 1979)
	^l	ยืนยันสารด้วยค่า RI จาก (Villa <i>et al.</i> , 1995)
	^m	ยืนยันสารด้วยค่า RI จาก (Dugo <i>et al.</i> , 1998)
	ⁿ	สารให้กลิ่นที่พบด้วยวิธี GC-O แต่ไม่ปรากฏพีคใน GC-MS (chromatogram ในภาพผนวกที่ 4-7)
	^o	ยืนยันสารด้วยค่า RI
	^p	ยืนยันสารด้วยค่า mass spectrum ใน GC-MS
	^q	ยืนยันสารด้วยสารมาตรฐาน

สรุป

1. สารให้กลิ่นหลักที่พบในกระชายสดจากการทดลองนี้ ได้แก่ (*E*)- β -ocimene, geraniol, camphor, 1,8-cineole, (*Z*)- β -ocimene, geranial และ camphene และการอบแห้งกระชายทำให้สารหลักเหล่านี้มีปริมาณลดลงยกเว้น geraniol จึงทำให้กลิ่นของกระชายแห้งน่าจะมีคามเข้มข้นของกลิ่นที่ได้จากสารเหล่านี้ลดลง

2. กระชายดัมมีชนิดและปริมาณสารให้กลิ่นหลักส่วนใหญ่ใกล้เคียงกับกระชายสด แต่มีปริมาณ linalool และ geranial ลดลง ซึ่งทำให้กลิ่นกระชายดัมน่าจะสูญเสียลักษณะกลิ่นหวาน ดอกไม้ และกลิ่นคล้ายเลมอน ดอกไม้ เปรียบเทียบกับกระชายสด เนื่องจากปริมาณสารทั้งสองตัวลดลง

3. กระชายกระป๋องมีชนิดสารให้กลิ่นใกล้เคียงกับที่พบในกระชายดัม แต่ในกระชายกระป๋องมีปริมาณของสารให้กลิ่นมากกว่า

4. กระชายผัดมีการลดลงของสารให้กลิ่นหลักบางตัวเมื่อเปรียบเทียบกับกระชายสด นอกจากนี้ยังพบสาร (*E,Z*)-2,4-decadienal และ (*E,E*)-2,4-decadienal ซึ่งสารดังกล่าวให้ลักษณะกลิ่นน้ำมันทอด

5. สารให้กลิ่นที่สำคัญในกระชายมี 7 ชนิด ได้แก่ α -pinene, 1,8-cineole, alloocimene, geraniol, methyl cinnamate, (-)-endo-2,6-dimethyl-6-(4-methyl-3-pentenyl)bicyclo[3.1.1]hept-2-ene และสารที่ไม่สามารถระบุได้ที่ RI= 1429

ข้อเสนอแนะ

ในการทดลองครั้งนี้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารให้กลิ่นในกระชายแปรรูปในระหว่างรอการวิเคราะห์ด้วย GC-O วิธีแก้ไขอาจต้องลดจำนวนตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์ลง โดยวิเคราะห์สารให้กลิ่นในการแปรรูปกระชายที่ละหนึ่งหรือสองวิธีในช่วงเวลาใกล้เคียงกัน แล้วจึงเปรียบเทียบสารแต่ละชนิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของปริมาณสารทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้แทน

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

ช่อขวัญ วงศ์สุวรรณ. 2544. **ผักสวนครัว**. โครงการหนังสือเกษตรชุมชน, กรุงเทพฯ.

มูลนิธิโครงการศึกษาคี มีนิภาค. ม.ป.ป. **ความรู้เรื่องการปลูกผัก**. สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เขวภา หล่อเจริญผล. 2547. **ผลของกระบวนการแปรรูปต่อสารให้กลิ่นจากตัวยากึ่งสำเร็จรูป**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

รุ่งรัตน์ เหลืองนทีเทพ. 2535. **พืชเครื่องเทศและสมุนไพร ตำราเอกสารวิชาการ ฉบับที่ 59**. ภาค พัฒนาคำราและเอกสารวิชาการ หน่วยนิเทศก์ กรมการฝึกหัดครู, กรุงเทพฯ.

วิไล รังสาดทอง. 2546. **เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร**. พิมพ์ครั้งที่ 3. บริษัท เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น จำกัด, กรุงเทพฯ.

ศรานนท์ เจริญสุข. ม.ป.ป. **ผักสวนครัว**. สำนักพิมพ์ส่งเสริมอาชีพธุรกิจ เพชรกระรัต จำกัด, กรุงเทพฯ.

สุคนธ์ชื่น ศรีงาม. 2546. กระบวนการทำแห้ง, น. 187. ใน คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. **วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อนันต์ วัฒนชัยกรรม. 2539. **สมุนไพรวัดป่าศรีถาวรเฉลิมพระเกียรติ 50 ปี ครองราชย์**. สวีชาญการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

Adams, R.P., J.A. Perez de la Rosa and B.M. Charzaro. 1990. The Leaf Oil of *Juniperus martinezii* Perez de la Rosa and Taxonomic Status (*Juniperus flaccida* var. *flaccida*). **J. Ess. Oil Res.** 2: 99-104.

- Alchanati, I., J.A.A. Patel, J. Liu, C.R. Benedict, R.D. Stipanovic, A.A. Bell, Y. Cui and C.W. Magill. 1998. The enzymatic cyclization of nerolidyl diphosphate by δ -cadinene synthase from cotton stele tissue infected with *Verticillium Dahliae*. **Phytochem.** 47(6): 961-967.
- Asekun, O.T., D.S. Grierson and A.J. Afolayan. 2007. Effects of drying methods on the quality and quantity of the essential oil of *Mentha longifolia* L. subsp. Capensis. **Food Chem.** 101: 995–998.
- Balladin, D. A., O. Headley, Chang-Yen and D. McGaw. 1997. Extraction and evaluation of the main pungent principles of solar dried West Indian ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) rhizome. **Renewable Energy** 12(2): 125-130.
- 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.
- Bartley, J.P. and L.J. Amanda. 2000. Effects of drying on flavour compounds in Australian-grown ginger (*Zingiber officinale*). **J. Sci.Food Agric.** 80: 209-215.
- Bauer, K., D. Garbe and H. Surburg. 1997. **Common Fragrance and Flavor Materials: Preparation, Properties and Uses.** 3rd ed. Wiley-VCH, Weinheim.
- Belingheri, L., A. Cartayrade, G. Pauly and M. Gleizes. 1992. Partial purification and properties of the sesquiterpene β -selinene cyclase from *Citrofortunella mitis* fruits. **Plant Sci.** 84(2): 129-136.
- Benedict, C.R., I. Alchanati, P.J. Harvey, J. Liu, R.D. Stipanovic and A.A. Bell. 1995. The enzymatic formation of δ -cadinene from farnesyl diphosphate in extracts of cotton. **Phytochem.** 39(2): 327-331.

- _____, J.L. Lu, D.W. Pettigrew, J. Liu, R.D. Stipanovic and H.J. Williams. 2001. The cyclisation of farnesyl diphosphate and nerolidyl diphosphate by purified recombinant δ -cadinene synthase. **Plant Physiol.** 125(4): 1754-1765.
- Boonbumrung, S., H. Tamura, J. Mookdasanit, H. Nakamoto, M. Ishihara, T. Yoshizawa and W. Varanyanond. 2001. Characteristic aroma components of the volatile oil of yellow keaw mango fruits determined by limited odor unit method. **Food Sci. Technol. Res.** 7: 200-206.
- Boukobza, F., P.J. Dunphy and A.J. Taylor. 2001. Measurement of lipid oxidation derived volatiles in fresh tomatoes. **Postharvest Biology and Technology** 23: 117–131.
- Braddock, R.J. and K.R. Cadwallader. 1995. Bioconversion of citrus *d*-limonene, pp. 142-148. *In* R.L. Rouseff and M.M. Leahy, eds. **Fruit Flavors: Biogenesis, Characterization and Authentication**. American Chemical Society, Washington, DC.
- Chen, C.N., M.C. Kuo, C.M. Wu and C.T. Ho. 1986. High performance liquid chromatographic determination of pungent compounds of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). **J. Food. Sci.** 51: 1364-1365.
- Chyau, C.C. and J.L. Mau. 2001. Effects of various oils on volatile compounds of deep-fried shallot flavouring. **Food Chem.** 74: 41-46.
- Cravo, L., F. Perineau, A. Gaset and J.M. Bessiere. 1992. Study of the Chemical Composition of the Essential Oil, Oleoresin and its Volatile Product Obtained from Ambrette (*A. moschatus* Moench) Seeds. **J. Flavor and Fragrance** 7: 65-67.
- Croteau, R. 1986. Biosynthesis of cyclic monoterpenes, pp. 134-156. *In* T.H. Parliment and R. Croteau, eds. **Biogenesis of Aromas**. American Chemical Society, Washington, DC.

- _____ and A. Gundy. 1984. Cyclization of farnesyl pyrophosphate to the sesquiterpene olefins humulene and caryophyllene by an enzyme system from sage (*Salvia officinalis*). **Arch. Biochem. Biophys.** 233(2): 838-841.
- Davis, G.D. and M. Essenberg. 1995. (+)- δ -cadinene is a product of sesquiterpene cyclase activity in cotton. **Phytochem.** 39(3): 553-567.
- Dehal, S.S. and R. Croteau. 1988. Partial purification and characterization of two sesquiterpene cyclases from sage (*Salvia officinalis*) which catalyze the respective conversion of farnesyl pyrophosphate to humulene and caryophyllene. **Arch. Biochem. Biophys.** 261(2): 346-356.
- Dewick, P.M. 2002. **Medicinal Natural Products: Biosynthetic Approach.** 2 ed. John Wiley & Sons, Ltd, New York.
- Diaz-Maroto, M.C., M.S. Pérez-Coello and M.D. Cabezudo. 2002. Effect of different drying methods on the volatile components of parsley (*Petroselinum crispum* L.). **Eur. Food Res Technol.** 215:227-230.
- Duckham, S.C., A.T. Dodson, J. Bakker and J.M. Ames. 2002. Effect of cultivar and storage time on the volatile flavor components of baked potato. **J. Agric. Food Chem.** 50: 5640-5648.
- Dugo, P., A. Cotroneo, I. Bonaccorsi and L. Mondello. 1998. On the Genuineness of Citrus Essential Oils. Part LVII. The Composition of Distilled Lime Oil (0.01% = trace). **J. Flavor and Fragrance** 13: 93-97.
- Eichner, K., R. Schnee and M. Heinzler. 1994. Indicator compounds and precursors for cocoa aroma formation, pp. 218-227. *In* T.H. Parliament, M.J. Morello and R.J. McGorin, eds. **Thermally Generated Flavors Maillard, Microwave and Extrusion Process.** ASC Symposium series 543, American chemical society, Washington, DC.

- Fellows, P. 2000. **Food Processing Technology Principles and Practice**. 3rd ed. CRC Press, New York.
- Fisher, C. and T.R. Scott. 1997a. **Food Flavours Biology and Chemistry**. Royal society of chemistry, Letchworth.
- Fisher, C. and T.R. Scott. 1997b. **Food Flavours Biology and Chemistry**. Royal society of chemistry, Letchworth. *Cited* P.W. Meijboom. 1964. Relationship between molecular structure and flavor perceptibility of aliphatic aldehydes. **J. Am. Oil Chem. Soc.** 41: 326.
- Fisher, C. and T.R. Scott. 1997c. **Food Flavours Biology and Chemistry**. Royal society of chemistry, Letchworth. *Cited* W.W. Nawar and I.S. Fagerson. 1962. Direct gas chromatographic analysis as an objective method of flavor measurement. **Food Tech.** 16(11): 107-108.
- Fisher, C. and T.R. Scott. 1997d. **Food Flavours Biology and Chemistry**. Royal society of chemistry, Letchworth. *Cited* R. Teranishi, R. Flath and H. Sugisawa, eds. 1981. **Flavor Research: Recent Advances**. Marcel Dekker, New York.
- Gerard, D. and K.W. Quirin. 1998. Antioxidants, p. 328. *In* E. Ziegler and H. Ziegler, eds. **Flavourings**. Wiley-VCH, Weinheim.
- Gokmen, V., K.S. Bahceci, A. Serpen and J. Acar. 2005. Study of lipoxygenase and peroxidase as blanching indicator enzymes in peas: change of enzyme activity, ascorbic acid and chlorophylls during frozen storage. **LWT** 38: 903–908.
- Heath, H.B. 1981. **Source Book of Flavors**. The AVI publishing Co., Inc., Connecticut.

- Hidehito, T.H., S. Hidenobu, I. Yumiko, M. Daizo and T. Kiyoki. 1999. Changes in Volatile Constituents of Satsuma Mandarin Oranges during Canning and Storage of the Products. **J. the Japanese Society for Food Science and Technology** 46(2): 59-66.
- Hiramoto, T., K. Tokoro and T. Kanisawa. 1999. Instability of citrus flavors and recent attempts at their stabilization, pp. 107-115. *In* R. Teranishi, E.L. Wick and I. Hornstein, eds. **Flavor Chemistry: Thirty Years of Progress**. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York.
- Hirasa, K. and M. Takemasa. 1998. **Spice Science and Technology**. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Hognadottir, A. and R.L. Rouseff. 2003. Identification of aroma active compounds in orange essence oil using gas chromatography- olfactometry and gas chromatography-mass spectrometry. **J. Chromatography A**. 998: 201-211.
- Ho, C.-T., L.-Y., Sheen, P. Wu, M.-C. Kuo, T.G. Hartman and R.T. Rosen. 1990. Glycosidically bound aroma compounds in pineapple and peach, pp. 77-80. *In* Y. Bessiere and A.F. Thomas, eds. **Flavour Science and Technology**. John Wiley & Sons, West Sussex.
- Jantan, I.B., I. Basni, A.S. Ahmad, N.A.M. Ali, A.R. Ahmad and H. Ibrahim. 2001. The constituents of rhizome oils of *Boesenbergia pandurata* (Roxb.) Schlecht from Malaysia, Indonesia and Thailand. **J. Flavor and Fragrance** 16: 110-112.
- King, A.J. and J.R. Dickinson. 2003. Biotrasformation of hop aroma terpenoids by ale and lager yeasts. **FEMS Yeast Research** 3(1): 53-62.
- Kraker, J.W., M.C.R. Franssen, A. Groot, T. Shibata and H.J. Bouwmeester. 2001. Germacrenes from fresh costus roots. **Phytochem.** 58(3): 481-487.

- Kubota, K., Y. Someya, Y. Kurobayashi and A. Kobayashi. 1999. Flavor characteristics and stereochemistry of volatile constituents of greater galangal (*Alpinia galanga* Willd). pp.77-84. In F Shahidi and C.T. Ho, eds. **Flavor Chemistry of Ethnic Foods**. Kluwer Academic/Plenum Publishers. New York.
- Kumazawa, K. and H. Masuda. 2003. Investigation of the change in the flavor of a coffee drink. **J. Agric. Food Chem.** 51: 2674-2678.
- Leffingwell, J.C. 2004. Flavor-Base version 2004. **Flavor-Base Database**, Version Date July 01, 2004.
- Little, D.B. and R.B. Croteau. 1999. Biochemistry of essential oil terpenes: A thirty-year overview, pp. 239-253. In R. Teranishi, E.L. Wick and I. Hornstein, eds. **Flavor Chemistry: Thirty Years of Progress**. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York.
- Inoma, S., Y. Miyaki and T. Akieda. 1989. Characterization of citrus oils (mainly orange oil, mandarin oil and tangerine oil). **Kanzei Chuo Bunsekishoho** 29: 87-97.
- Liangfeng, Z., L. Yonghua, L. Baoling, L. Biyao and X. Nianhe. 1993. **South China Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences**. Hai Feng Publishing Co, Hong Kong.
- Martin, G.S., J. Liu, C.R. Benedict, R.D. Stipanovic and C.W. Magill. 2003. Reduced levels of cadinane sesquiterpenoids in cotton plants expressing antisense (+)- δ -cadinene synthase. **Phytochem.** 62(1): 31-38.
- Mateo, J.J. and M. Jimenez. 2000. Monoterpenes in grape juice and wines. **J. Chromatogr. A** 881(1-2): 557-567.
- Mizutani, T. and H. Hashimoto. 2004. Effect of grinding temperature on hydroperoxide and off-flavor contents during soymilk manufacturing process. **J. Food Sci.** 69: 112-116.

- Murakami, A., A. Kondo and Y. Nakamura. 1993. Anti-tumor promoting properties of edible plants from Thailand and identification of an active constituent, cardamonin, of *Boesenbergia pandurata*. **Biosci Biotech Biochem.** 57: 1971-3.
- National technical information service. 1956. **Small Canning Facilities.** n.p., New York.
- Ohta, T., Y. Morimitsu, Y. Sameshima, T. Samuta and T. Ohba. 1991. Transformation from geraniol, nerol and their glucosides into linalool and α -terpineol during schochu distillation. **J. Fermentation and Bioengineering** 72(5): 347-351.
- Ozcan, M., O. Tzakou and M. Couladis. 2003. Essential oil composition of Turkish herbal tea (*Salvia aucheri* Benth var. *canescens* Boiss. & Heldr.). **J. Flavor and Fragrance** 18: 325-327.
- Pojjanapimol, S. 2004. **Characterization of Aroma Impact Compounds in Fresh, Heated and Dried Holy Basil (*Ocimum sanctum*) Leaves.** Ph.D. thesis, Kasetsart University.
- Prasad, J., V.K. Vijay, G.N. Tiwari and V.P.S. Sorayan. 2005. Study on performance evaluation hydrid drier for turmeric (*Curcuma Longa* L.) drying at village scale. **J. Food Engineering** 75: 497-502.
- Reineccius, G. 1994. **Source Book of Flavors.** 2nd ed. Champma&Hall, New York.
- Rowe, D.J. 2005. **Chemistry and Technology of Flavors and Fragrances.** CRC Press, New York.
- Sakai, T. 1979. The Chemical Composition of Narcissus jonquilla oil. **Shitsuryo Bunsch** 3: 202.
- Schwab, W., D.C. Williams and R. Croteau. 2002. Mechanism of monoterpene cyclisation: stereochemistry of the transformation of noncyclizable substrate analogs by recombinant (-)-limonene synthase, (+)-bornyl diphosphate synthase and (-)-pinene synthase. **J. Molecular Catalysis B: Enzymatic** 19-20: 415-421.

- Senatore, F., G. Della Porta and E. Reverchon. 1996. Constituents of *Vitex agnus L.* Essential Oil. **J. Flavor and Fragrance** 11: 179-182.
- Speijers, G.J.A. and M.F.A. Wouters. 1998. Esters derived from branched-chain terpenoid alcohols and aliphatic acyclic linear and branched-chain carboxylic acids. **International Programme on Chemical Safety**. Available Source: <http://www.inchem.org/documents/jecfa/jecmono/v040je15.htm>, February 26, 2007.
- Sucan, K.M. 2004. Identifying and preventing off-flavors. **Food Tech.** 58(11): 38.
- Strauss, C.R., B. Wilson, P.R. Gooley and P.J. Williams. 1986. Role of monoterpenes in grape and wine flavor, pp. 222-242. In T.H. Parliment and R. Croteau, eds. **Biogenesis of Aromas**. American Chemical Society, Washington, DC.
- Tamura, H., R.-H. Yang and H. Sugisawa. 1993. Aroma profiles of peel oils of acid citrus, pp. 121-136. In R. Teranishi and H. Sugisawa, eds. **Bioactive volatile compounds from plants**. American Chemical Society, ACS Symp Ser. 525.
- _____, S. Boonbumrung, T. Yoshizawa and W. Varanyanond. 2001. The volatile constituents in the peel and pulp of green Thai mango, Khieo Sawoei cultivar (*Mangifera indica* L.). **Food Sci. Technol.** 20: 261-268.
- Trakoontivakorn, G., K. Nakahara and H. Shinmoto. 2001. Structural analysis of a novel antimutagenic compound, 4- hydroxypanduratin A, and antimutagenic activity of flavonoids in a Thai spice, fingerroot (*Boesenbergia pandurata* Schult.) against mutagenic heterocyclic amines. **J. Agric. Food Chem.** 49: 3046-50.
- Tzakou, O., M. Couladis, V. Slavkovska, N. Mimica-Dukic and R. Jancic. 2003. The essential oil composition of *Salvia brachyodon* Vandas. **J. Agric. Food Chem.** 18: 2-4.

- Van den Dool, H. and P.D. Kratz. 1963. A generalization of the retention index system including linear temperature programmed gas-liquid partition chromatography. **J. Chromatogr.** 11: 463-471
- Varming, C., M.L. Andersen and L. Poll. 2004. Influence of thermal treatment on black currant (*Ribes nigrum*. L.) juice aroma. **J. Agric. Food Chem.** 52: 7628-7636.
- Velickovic, A.S., M.S. Ristic, D.T. Velickovic, S. Ilic and N.D. Mitic. 2003. The possibilities of the application of some species of sage (*Salvia L.*) as auxiliaries in the treatment of some diseases. **J. Serb. Chem. Soc.** 68(6): 435-445.
- Venskutonis, P.R. 1997. Effect of drying on the volatile constituents of Thyme (*Thymus vulgaris* L.) and sage (*Salvia officinalis* L.). **Food Chem.** 59: 219-227.
- Vila, R., B. Freixa, S. Canigueral, T. Adzet, X. Tomas and J.J. Molins. 1995. Composition and Study of the Variability of the Essential Oil of *Thymus funkii* Cosson (analyses of oils of two populations). **J. Flavor and Fragrance** 10(6): 379-383.
- Yang, R., H. Sugisawa, H. Nakatani, H. Tamura and N. Takagi. 1992. Comparison of odor quality in peel oil of acid citrus. **Nippon Shokuhin Kogyo gakkaishi.** 39: 16-24.
- Wang, Y.H., G.D. Huerta and M. Essenberg. 2003. 8-Hydroxy-(+)- δ -cadinene is a precursor to hemigossypol in *Gossypium hirsutum*. **Phytochem.** 64(1): 219-225.

ภาคผนวก

การวิเคราะห์ทางเคมี

1. การวิเคราะห์ความชื้นและน้ำมันในกระชายสด กระชายอบแห้ง และ กระชายฝัด

ตารางผนวกที่ 1 ปริมาณความชื้นและน้ำมันในกระชายสด กระชายอบแห้ง และกระชายฝัด

ตัวอย่าง	ความชื้น (%)	น้ำมัน (%) ^b
การทดลองในเรื่องกระชายสด และกระชายอบแห้ง		
กระชายสด	$84.98 \pm 2.27 \%$ ^a	-
กระชายอบแห้ง	$8.11 \pm 0.35 \%$ ^a	-
การทดลองในเรื่องกระชายสดและกระชายแปรรูป		
กระชายสด	$88.32 \pm 2.24 \%$ ^b	$0.05 \pm 0.01 \%$
กระชายฝัด	$73.50 \pm 4.95 \%$ ^b	$11.09 \pm 0.42 \%$

หมายเหตุ ^a ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เมื่อ $n = 9$ (ทำ 3 ซ้ำ แต่ละซ้ำวัดค่า 3 ครั้ง)

^b ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เมื่อ $n = 6$ (ทำ 2 ซ้ำ แต่ละซ้ำวัดค่า 3 ครั้ง)

- = ไม่ได้วิเคราะห์

2. การคำนวณค่า Retention Index (RI) (เขาวงกต, 2547)

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

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

3. การคำนวณความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารระเหย (เขาวภา, 2547)

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

เมื่อ C_s = ความเข้มข้นสัมพัทธ์ของตัวอย่าง (ไมโครกรัม/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)

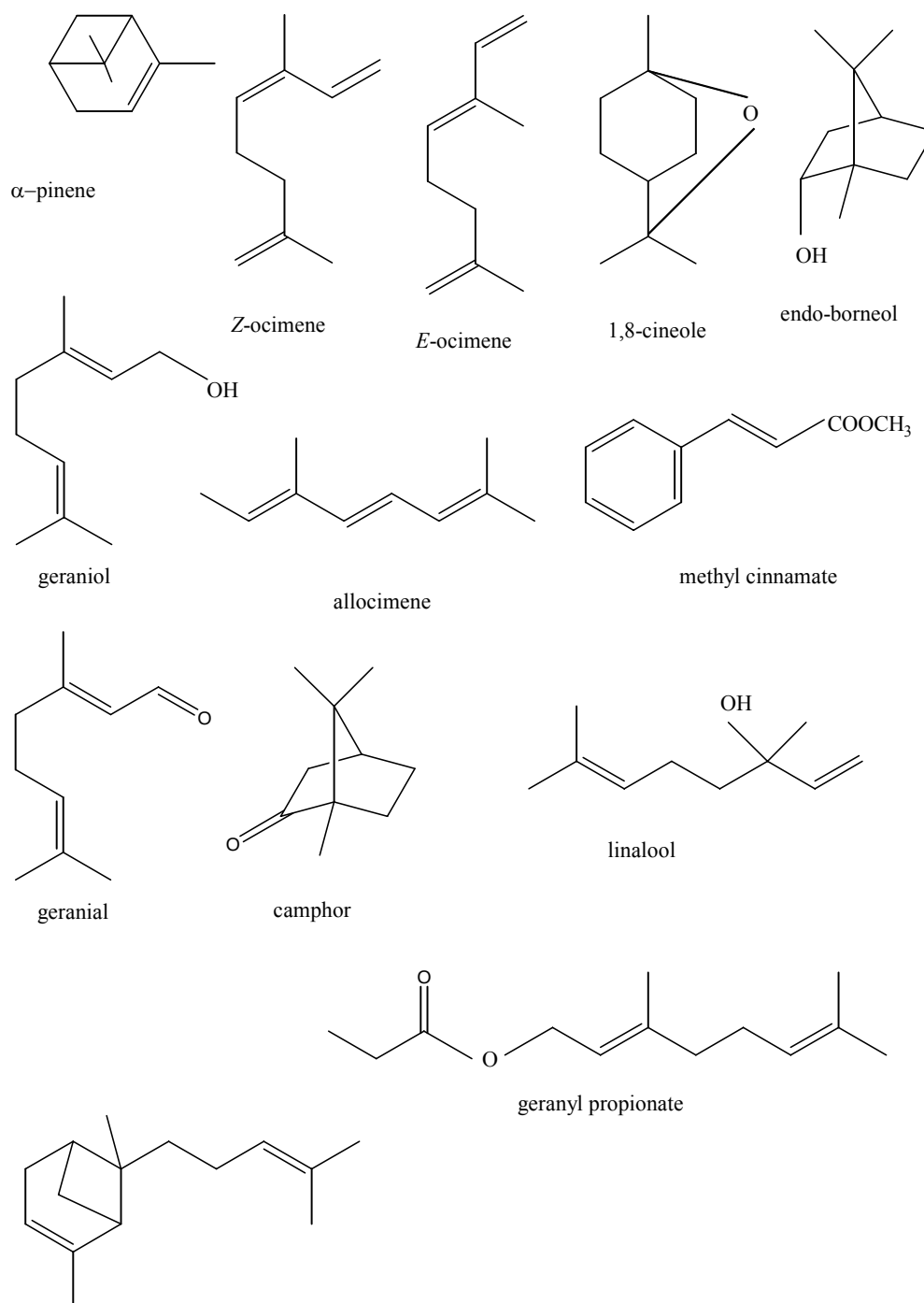
r = response factor ของสารระเหยเท่ากับ 1.0

4. Aroma Extract Dilution Analysis (AEDA)

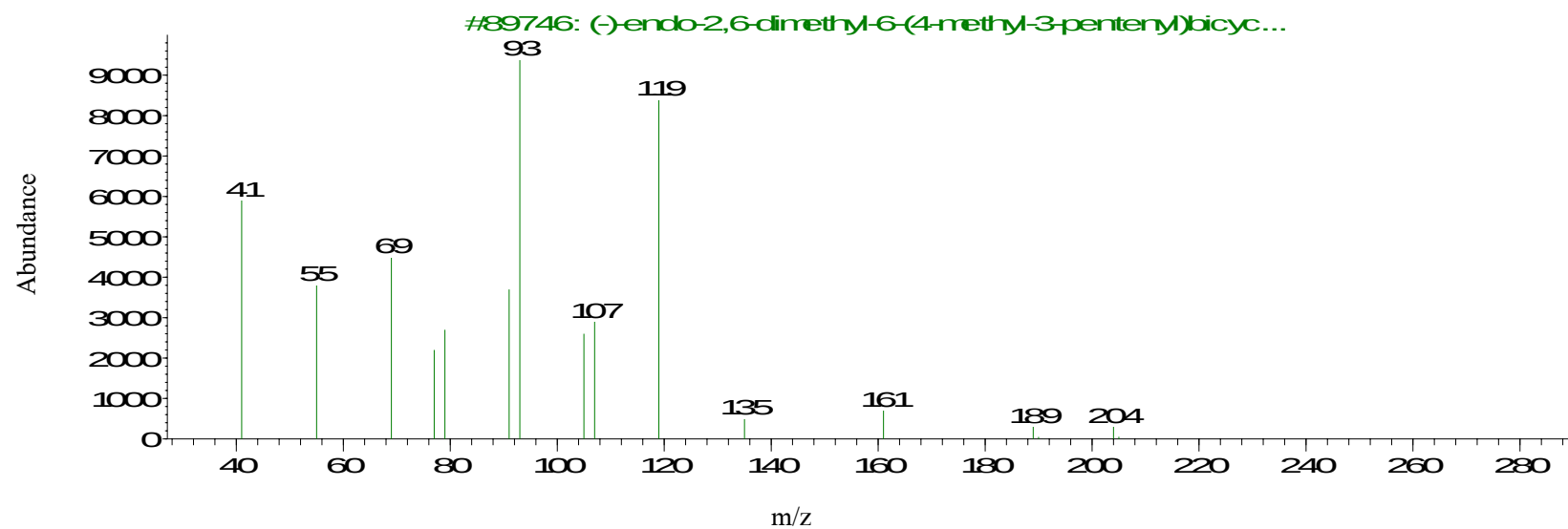
เป็นวิธีที่นำสารสกัดกลิ่นที่ได้จากตัวอย่างที่ศึกษามาเจือจางในอัตราส่วนที่เลือก ส่วนมากจะเลือกอัตราส่วน 1:1, 1:2 หรือ 1:3 และเจือจางด้วยอัตราส่วนที่เลือกนี้เป็นลำดับขั้น และดมผ่าน GC-O จนกระทั่งไม่ได้กลิ่น การวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้จะมีการฉีดตัวอย่างและดมหลายครั้ง ทำให้ใช้เวลาในการทดสอบค่อนข้างนาน ในกรณีที่สารสกัดจากตัวอย่างมีความเข้มข้นสูง หรือสารให้กลิ่นมีค่า threshold ต่ำ ควรเลือกอัตราส่วน 1:3 หรือมากกว่า เพื่อลดจำนวนครั้งที่ต้องเจือจางตัวอย่าง และเนื่องจากเป็นวิธีที่ใช้เวลามาก จึงมักใช้ผู้ดมเพียง 1-2 คน ในการทดสอบเท่านั้น

วิธี AEDA จะบันทึกค่าการเจือจาง และเวลาที่เริ่มต้นได้กลิ่น เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่า retention index และลักษณะกลิ่นที่ได้ ผลที่ได้จะรายงานในรูปแบบ FD (dilution factor) หรือ log FD ของสารให้กลิ่น ซึ่งเป็นค่าการเจือจางสูงสุด ที่ได้กลิ่นของสารชนิดนั้น ๆ

5. โครงสร้างสารให้กลิ่นที่สำคัญในกระชาย

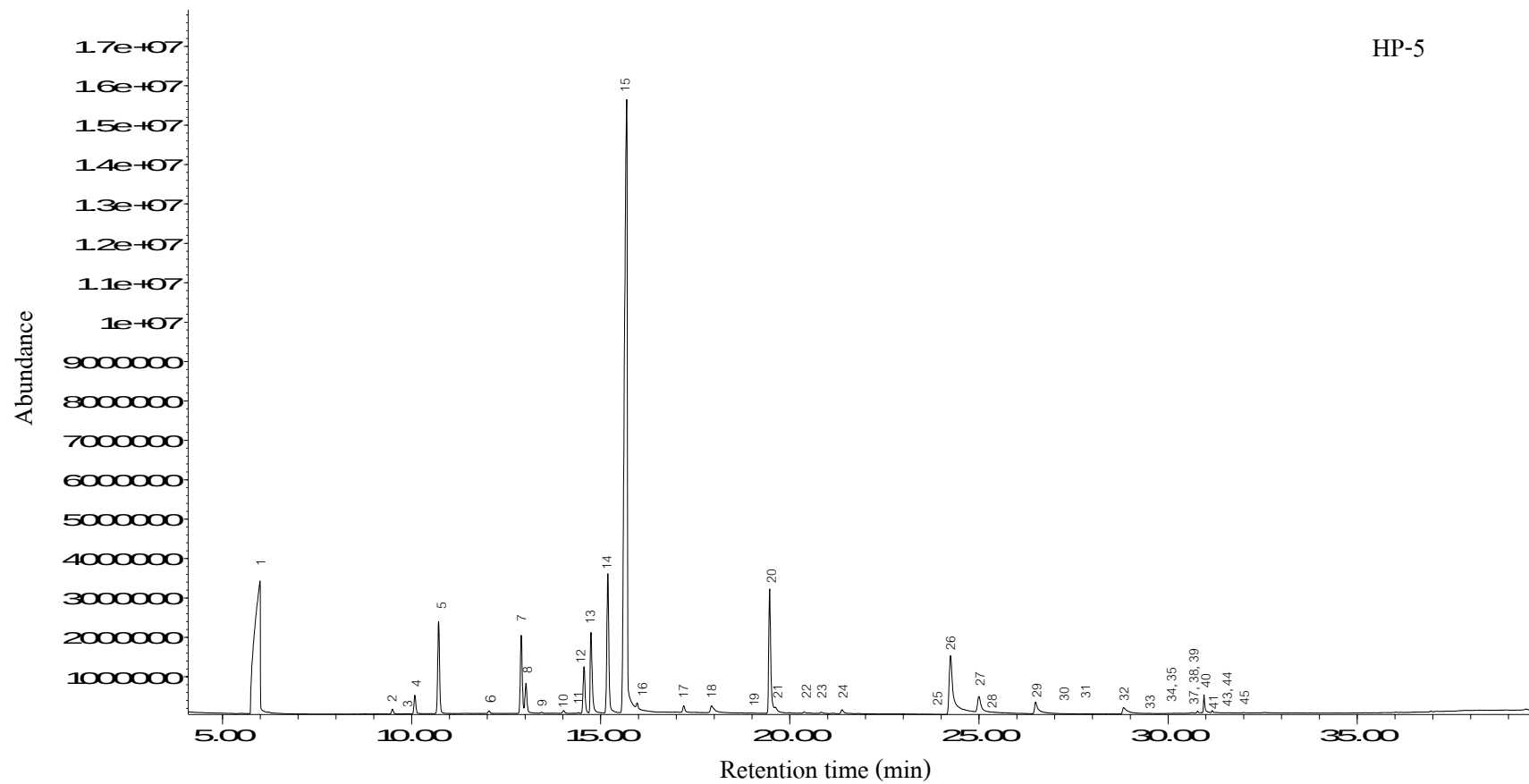


α -bergamotene = 2,6-dimethyl-6-(4-methyl-3-pentenyl)bicyclo[3.1.1]hept-2-ene ซึ่งเป็นโครงสร้างที่คล้ายคลึงกับ (-)-endo-2,6-dimethyl-6-(4-methyl-3-pentenyl)bicyclo[3.1.1]hept-2-ene



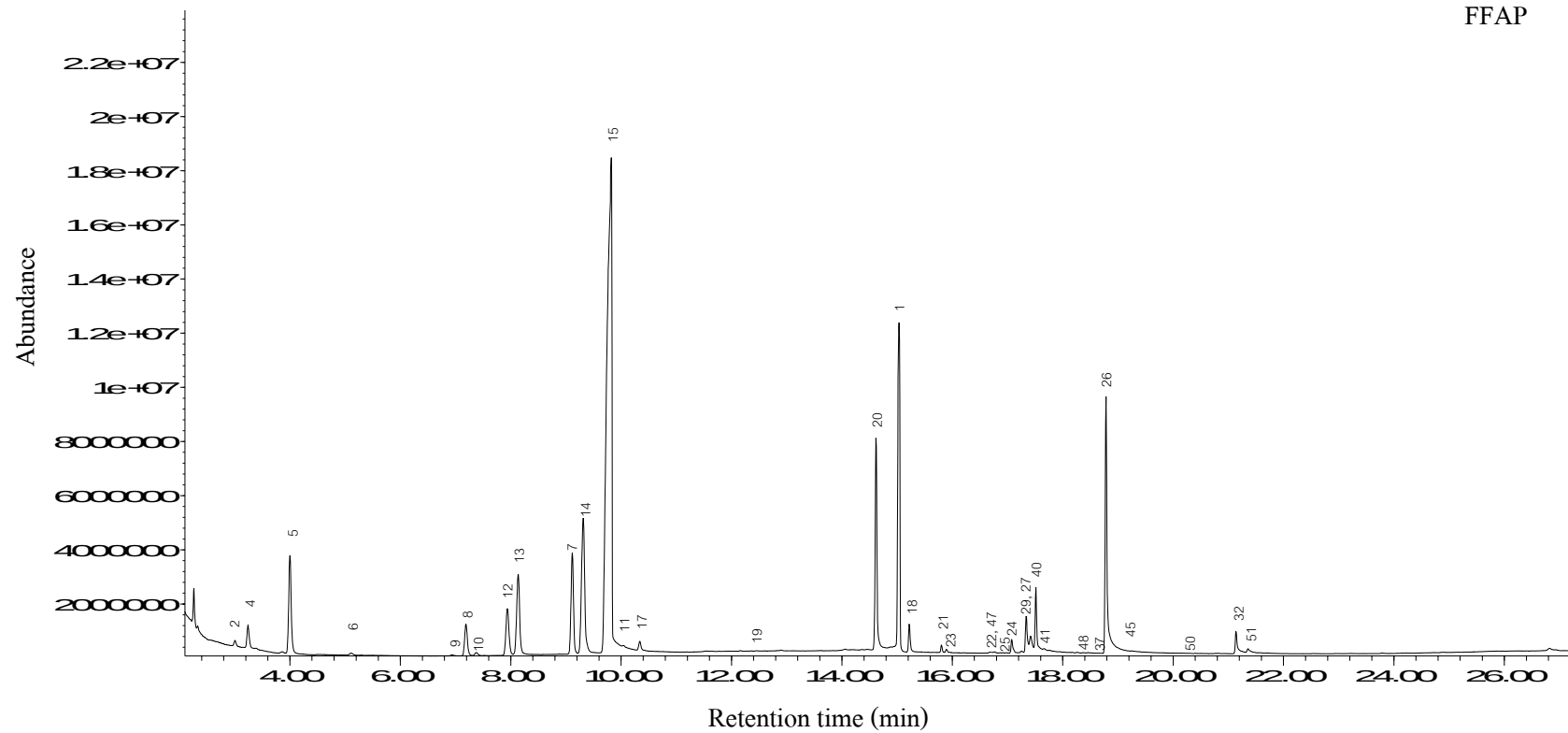
ภาพผนวกที่ 1 Mass spectrum ของ (-)-endo-2,6-dimethyl-6-(4-methyl-3-pentenyl)bicyclopentane

ที่มา: จากฐานข้อมูล Wiley 275 ในการวิเคราะห์ด้วย GC-MS



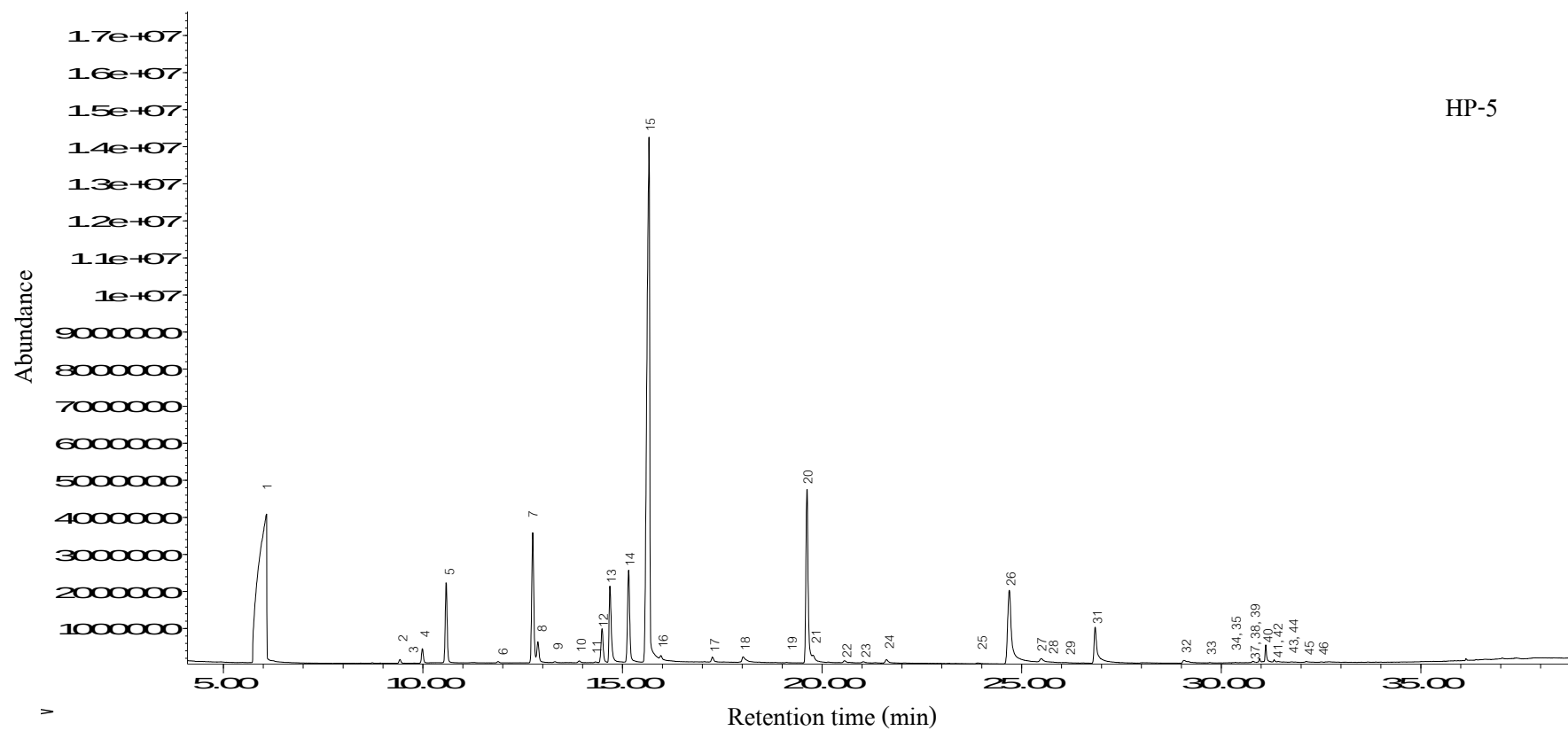
ภาพผนวกที่ 2 Chromatogram ของกระชายสด ในการวิเคราะห์สารระเหยได้จากกระชายสดและกระชายแห้ง
 หมายเหตุ พีคที่ 1, 7 และ 29 คือ สารปนเปื้อนมากับก๊าซไนโตรเจน, *tert*-butylbenzene และ 2-undecanol ตามลำดับ

FFAP

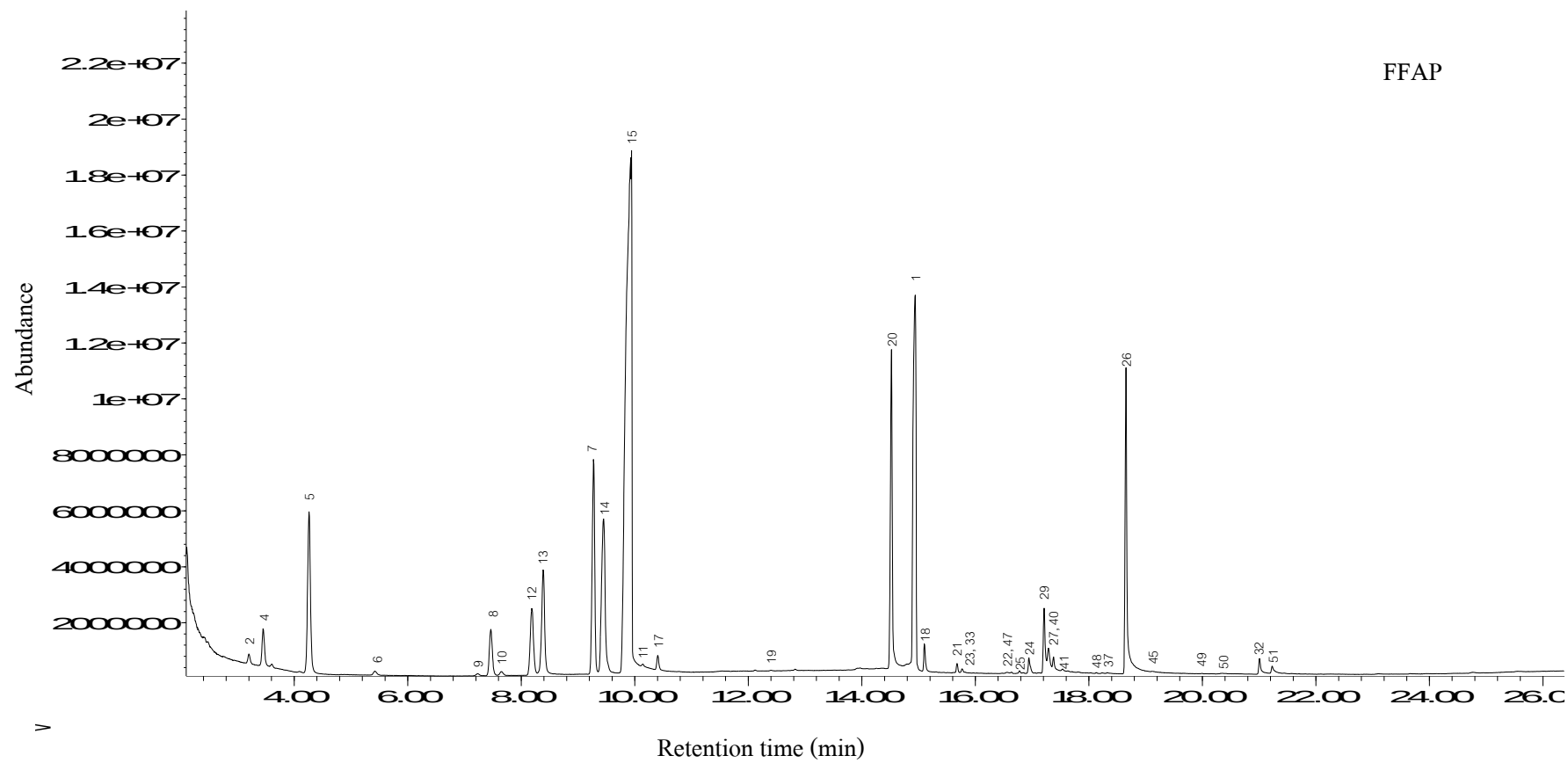


ภาพผนวกที่ 2 (ต่อ)

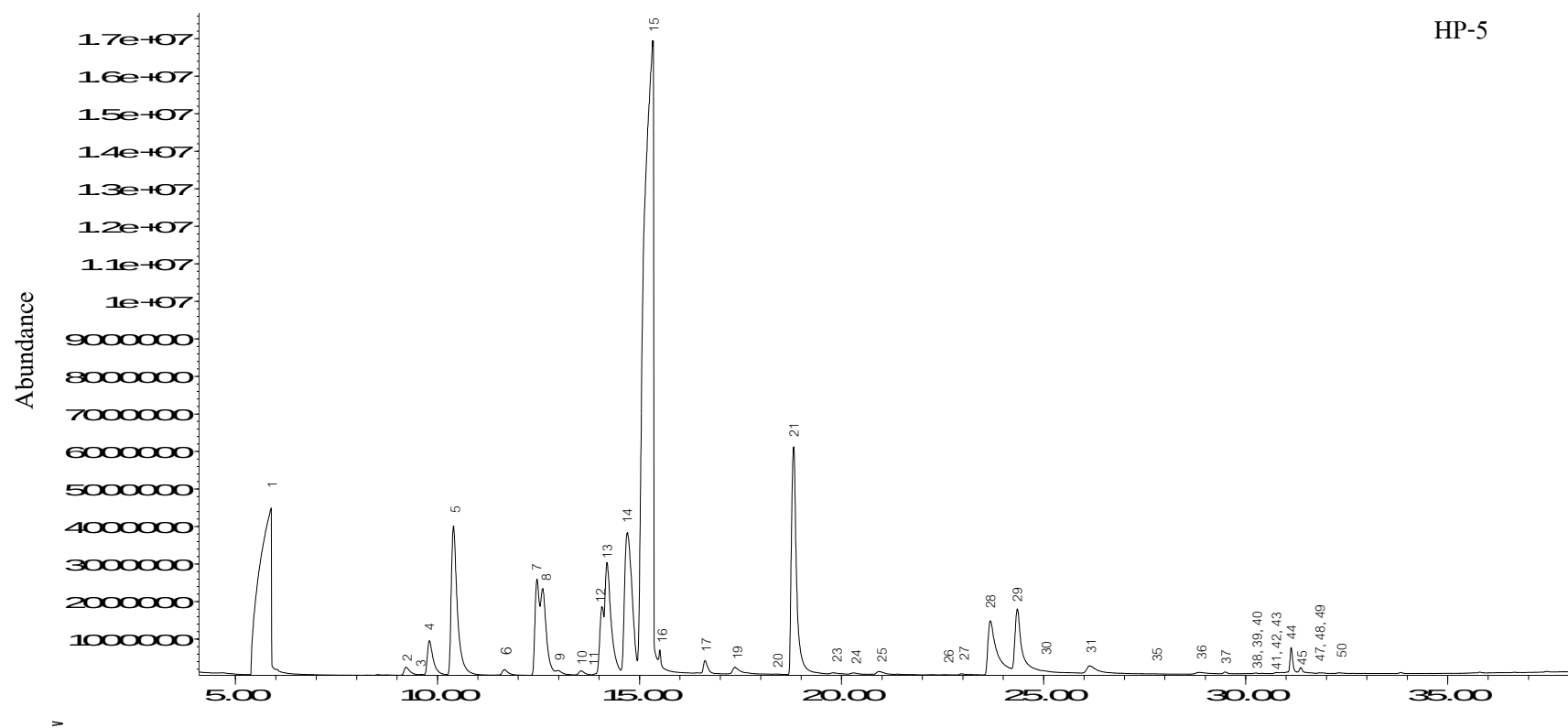
HP-5



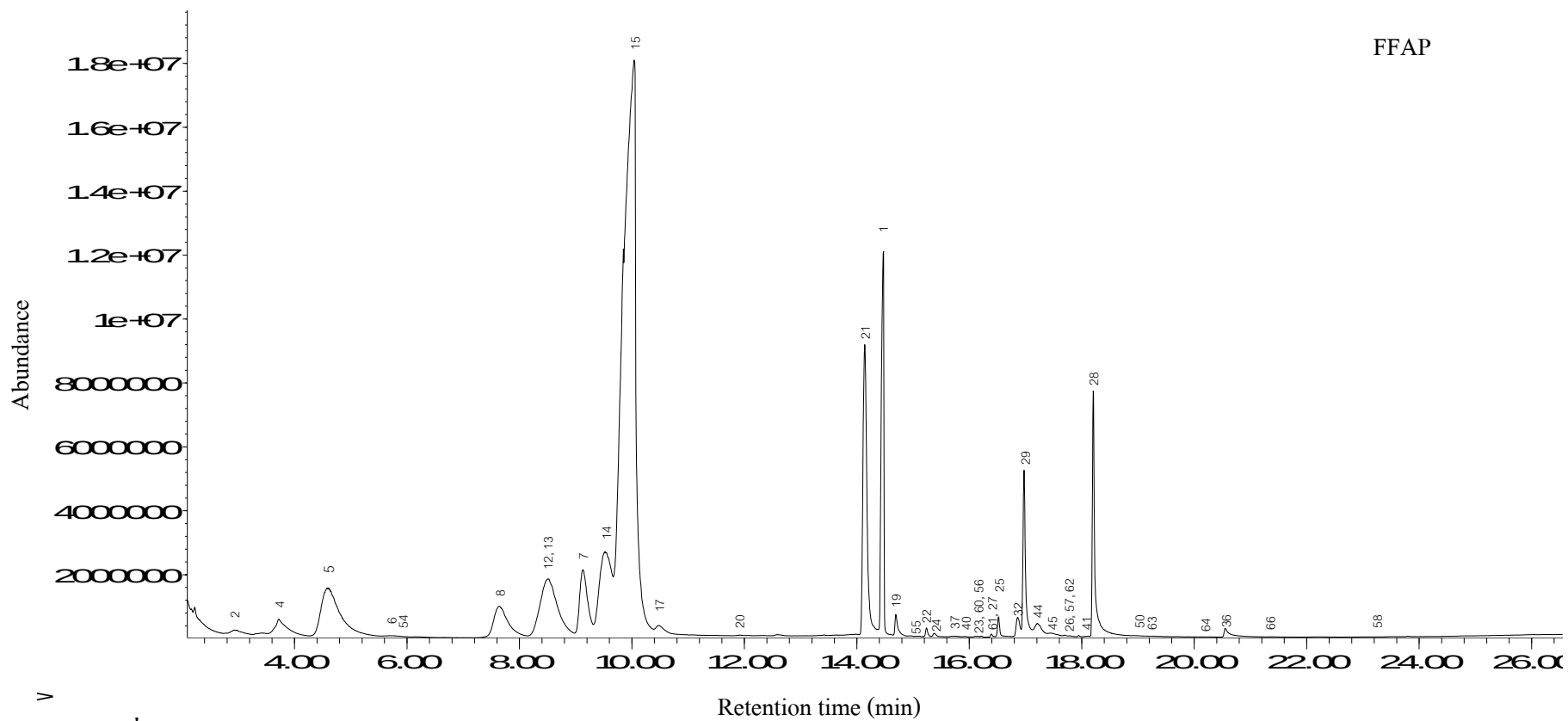
ภาพผนวกที่ 3 Chromatogram ของกระชายอบแห้ง ในการวิเคราะห์สารระเหยได้จากกระชายสดและกระชายแห้ง
หมายเหตุ พีคที่ 1, 7 และ 29 คือ สารปนเปื้อนมากับก๊าซไนโตรเจน, *tert*-butylbenzene และ 2-undecanol ตามลำดับ



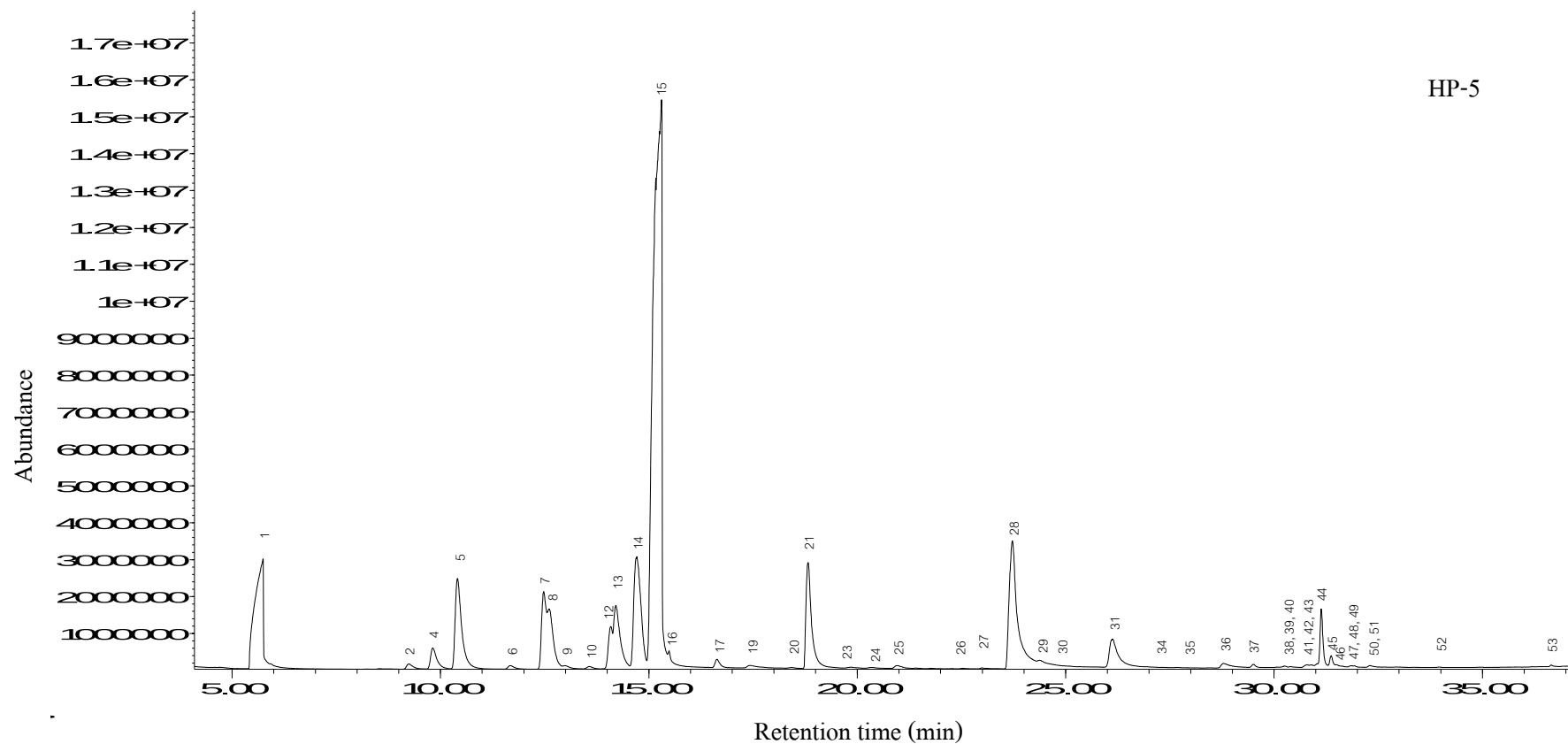
ภาพผนวกที่ 3 (ต่อ)



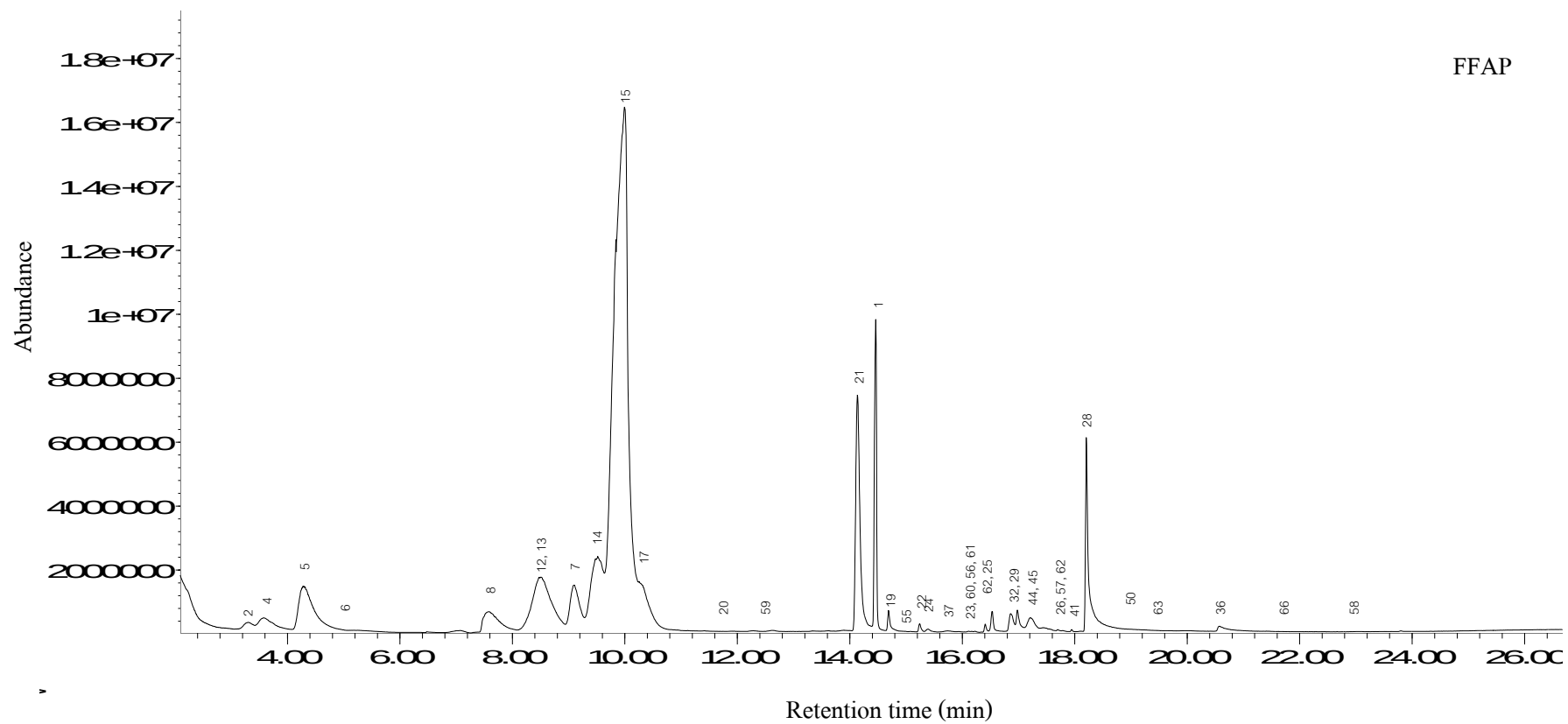
ภาพผนวกที่ 4 Chromatogram ของกระชายสด ในการวิเคราะห์สารระเหยได้จากกระชายสดและกระชายแปรรูปด้วยความร้อน
หมายเหตุ พิกที่ 1, 7 และ 31 คือ สารปนเปื้อนมากับก๊าซไนโตรเจน, *tert*-butylbenzene และ 2-undecanol ตามลำดับ



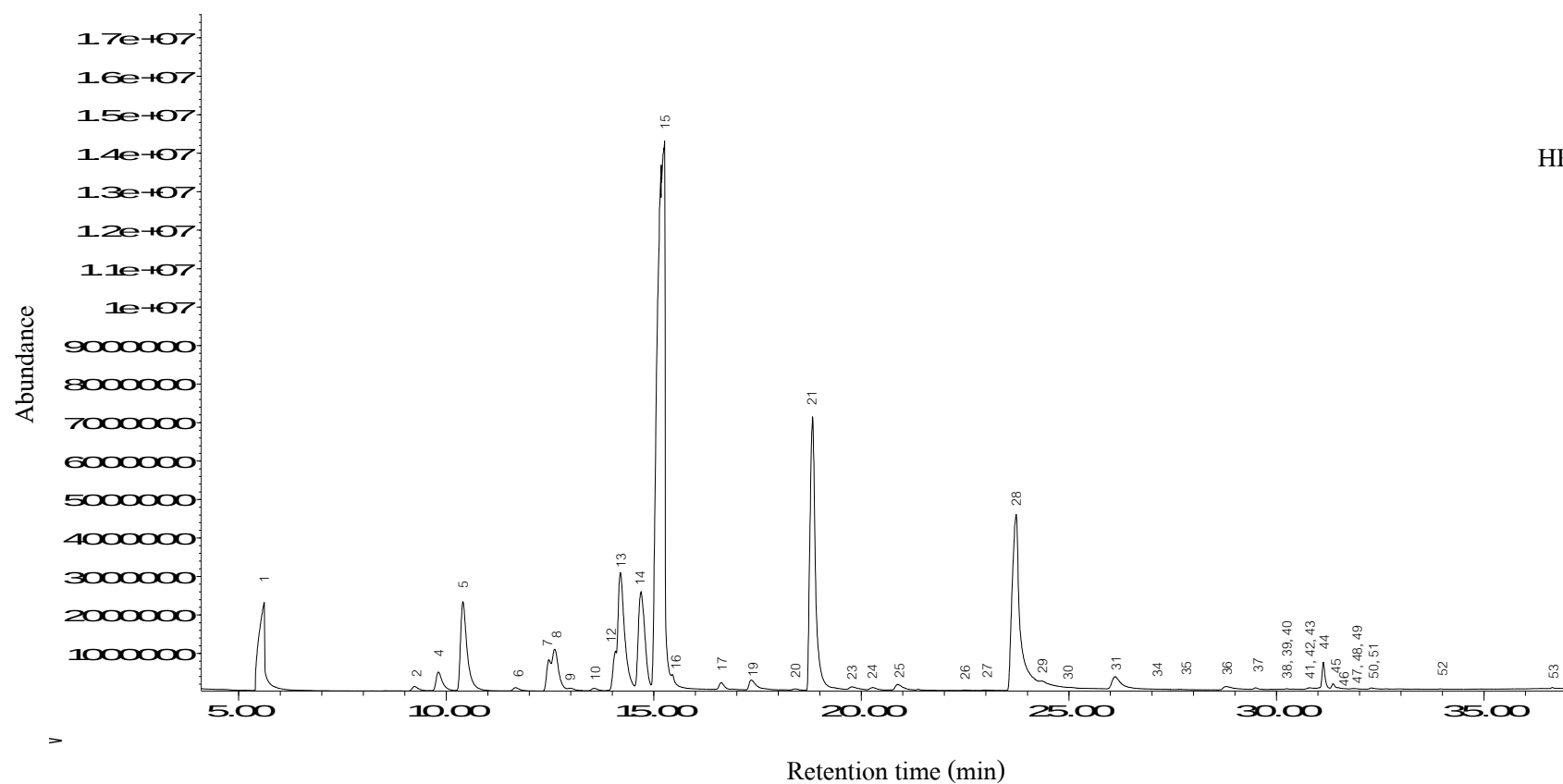
ภาพผนวกที่ 4 (ต่อ)



ภาพผนวกที่ 5 Chromatogram ของกระชายต้ม ในการวิเคราะห์สารระเหยได้จากกระชายสดและกระชายแปรรูปด้วยความร้อน
หมายเหตุ พีคที่ 1, 7 และ 31 คือ สารปนเปื้อนมากับก๊าซไนโตรเจน, *tert*-butylbenzene และ 2-undecanol ตามลำดับ

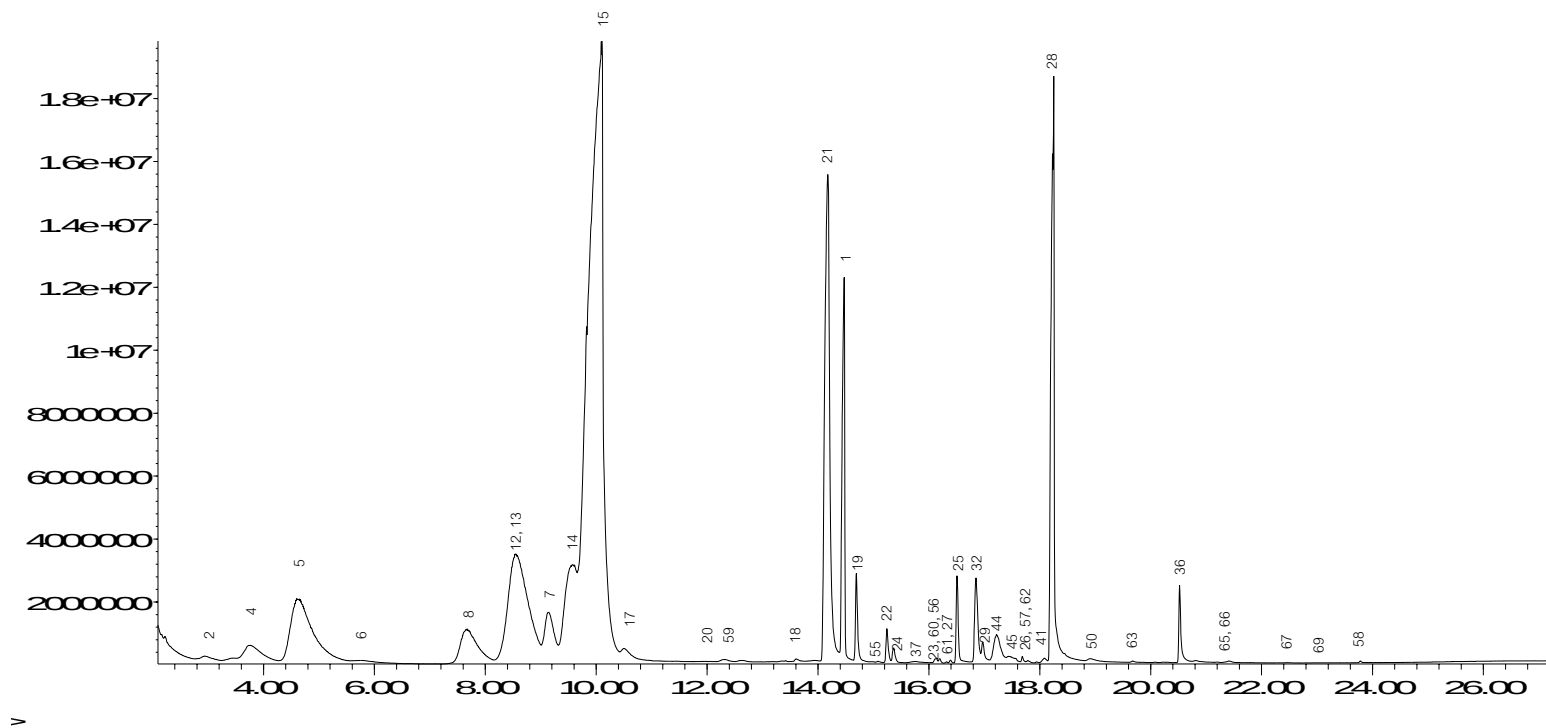


ภาพผนวกที่ 5 (ต่อ)

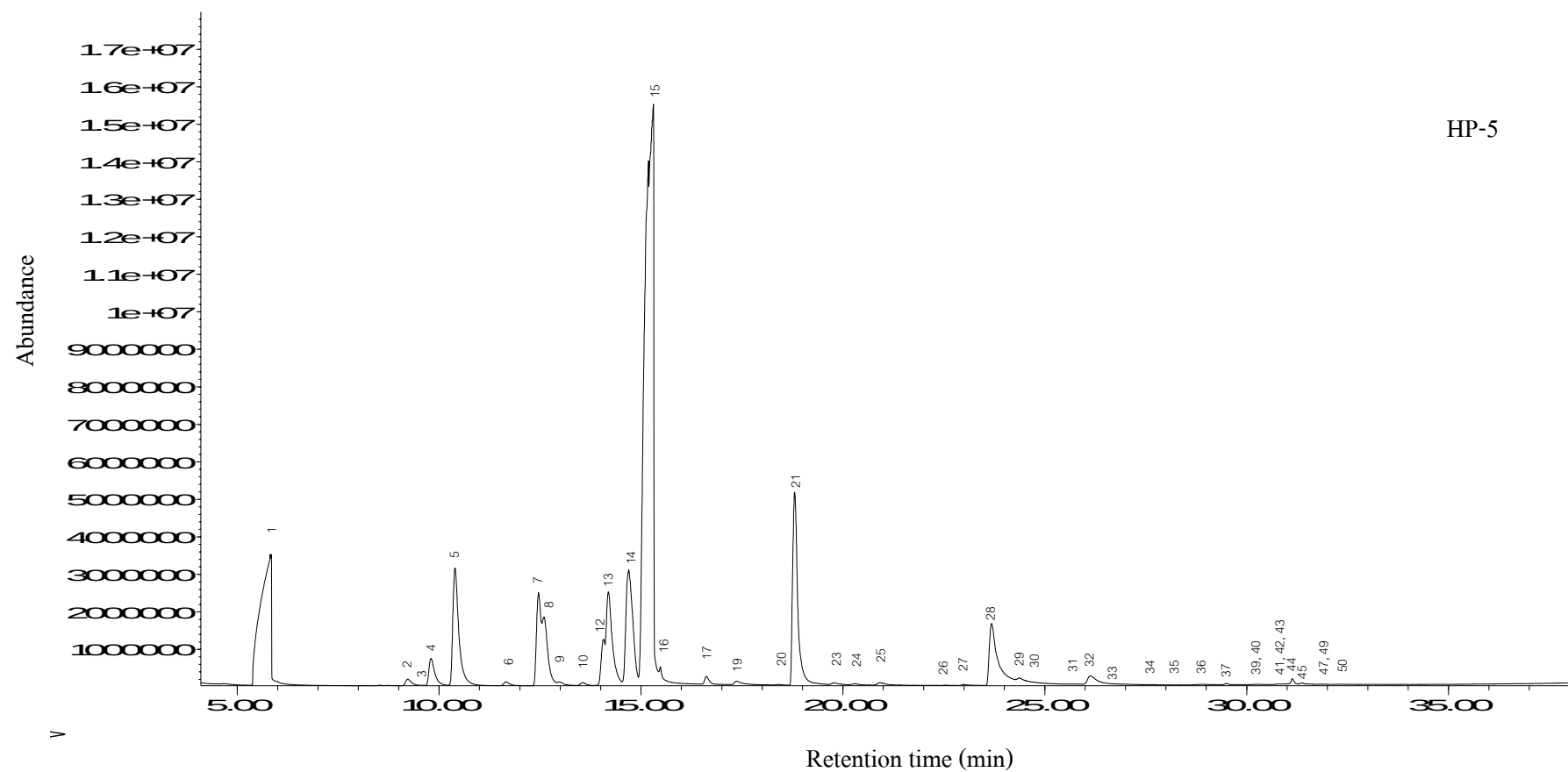


ภาพผนวกที่ 6 Chromatogram ของกระชายกระป๋อง ในการวิเคราะห์สารระเหยได้จากกระชายสดและกระชายแปรรูปด้วยความร้อน
หมายเหตุ พิกที่ 1, 7 และ 31 คือ สารปนเปื้อนมากับก๊าซไนโตรเจน, *tert*-butylbenzene และ 2-undecanol ตามลำดับ

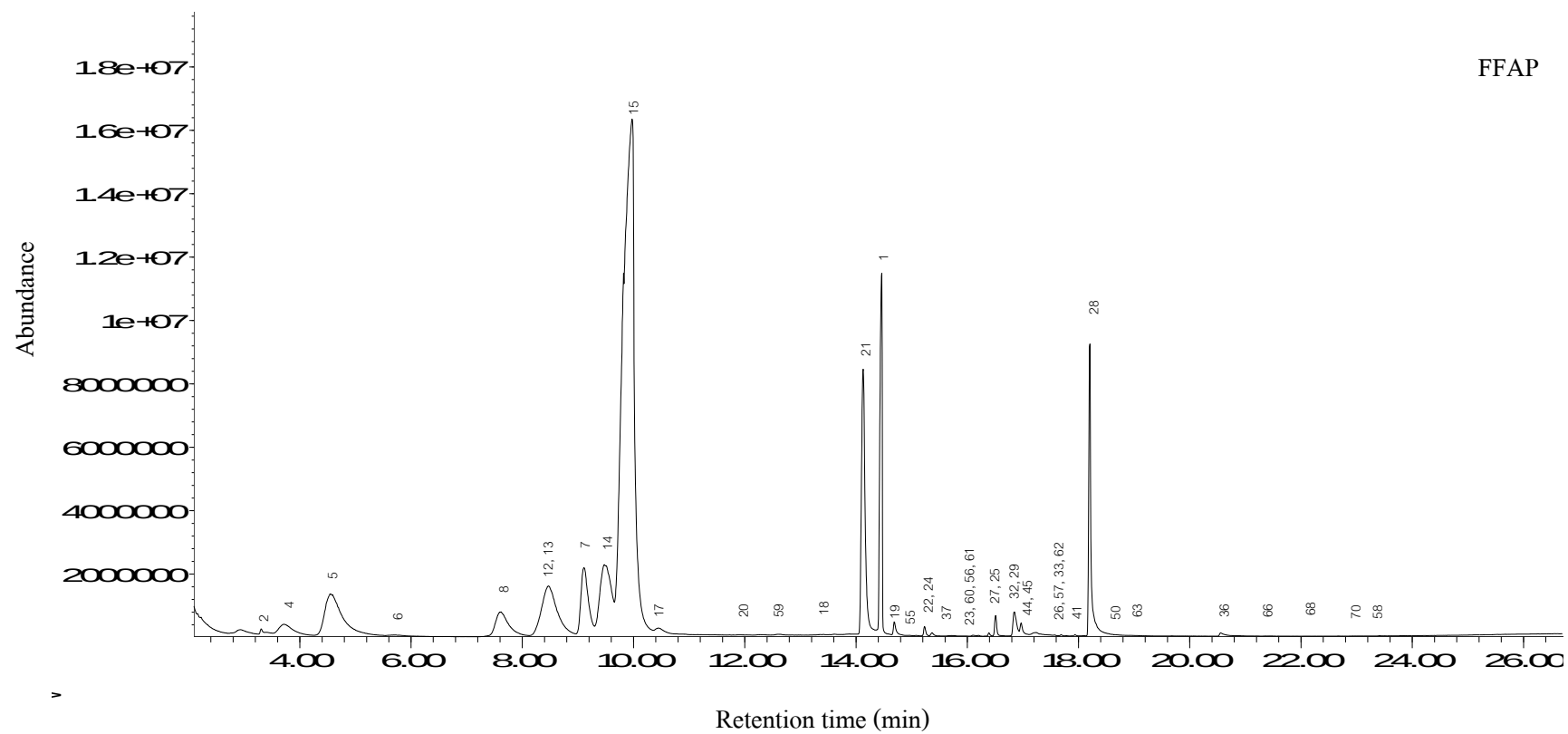
FFAP



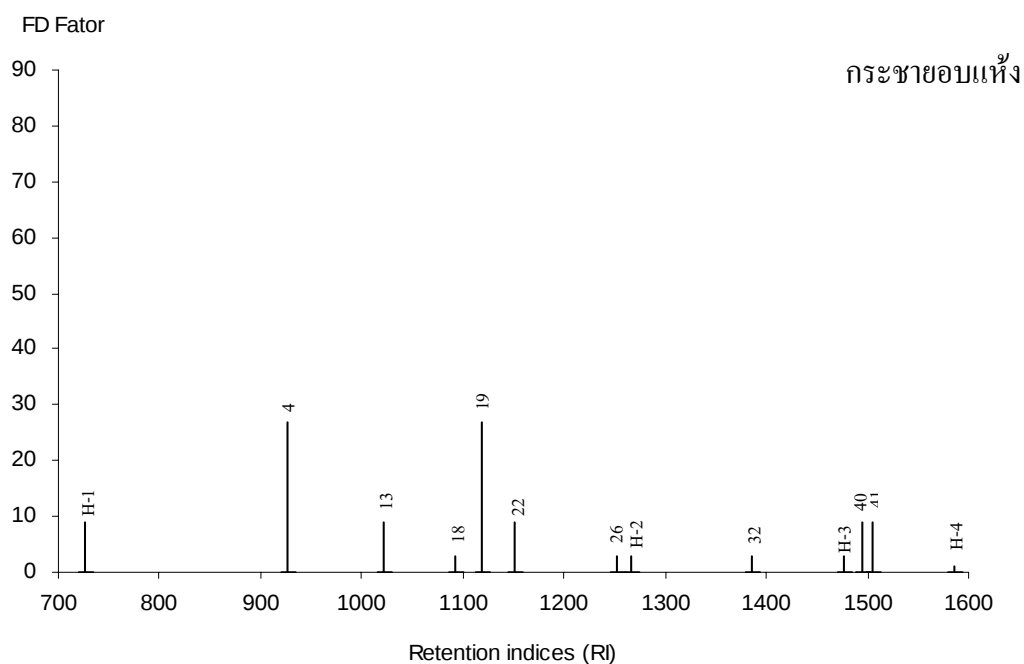
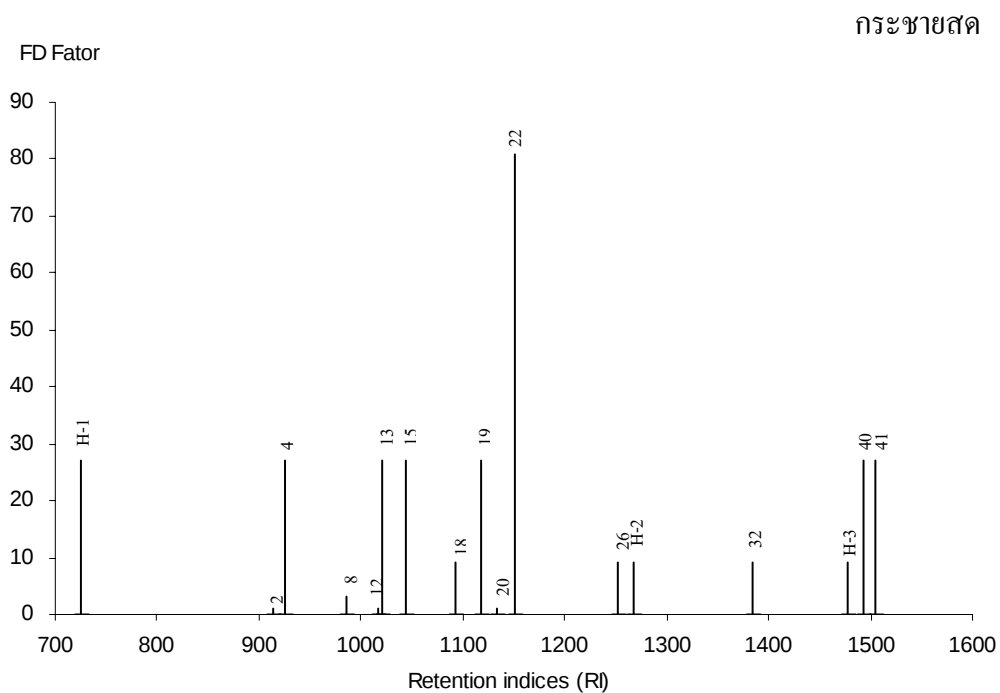
ภาพผนวกที่ 6 (ต่อ)



ภาพผนวกที่ 7 Chromatogram ของกระชายผัด ในการวิเคราะห์สารระเหยได้จากกระชายสดและกระชายแปรรูปด้วยความร้อน
 หมายเหตุ พิกที่ 1, 7 และ 31 คือ สารปนเปื้อนมากับก๊าซไนโตรเจน, *tert*-butylbenzene และ 2-undecanol ตามลำดับ



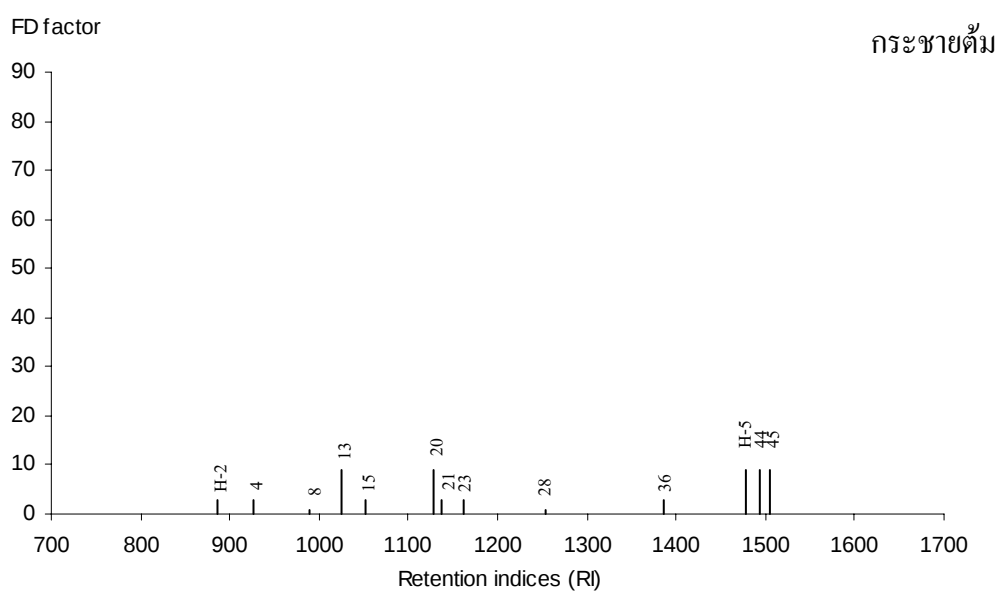
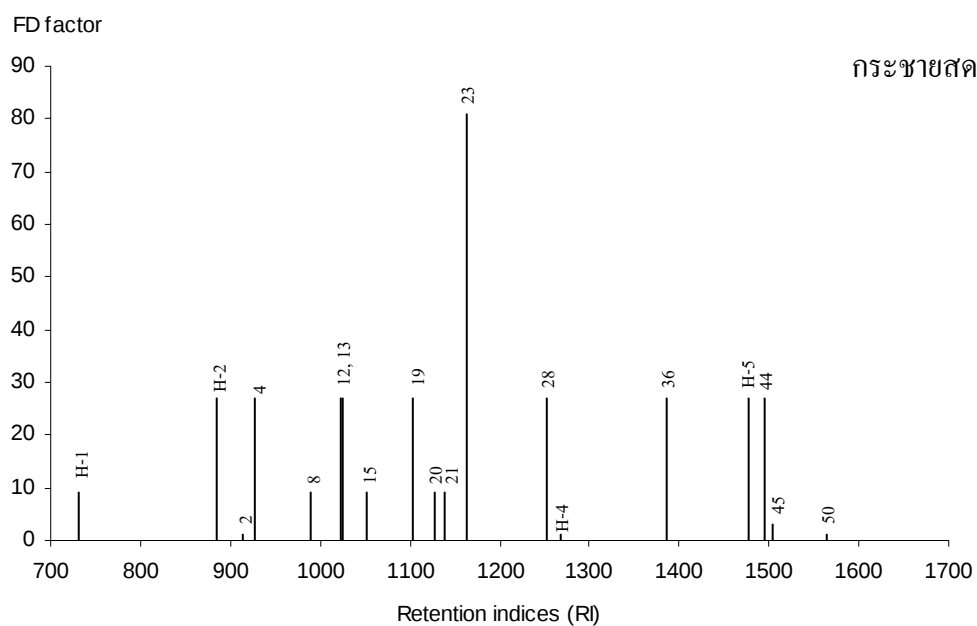
ภาพผนวกที่ 7 (ต่อ)



ภาพผนวกที่ 8 FD chromatogram ของกระชายสดและกระชายอบแห้งที่ได้จากวิธี GC-O

หมายเหตุ ลำดับที่สารตรงกับตารางที่ 6 และ Chromatogram ในภาพผนวกที่ 1-2

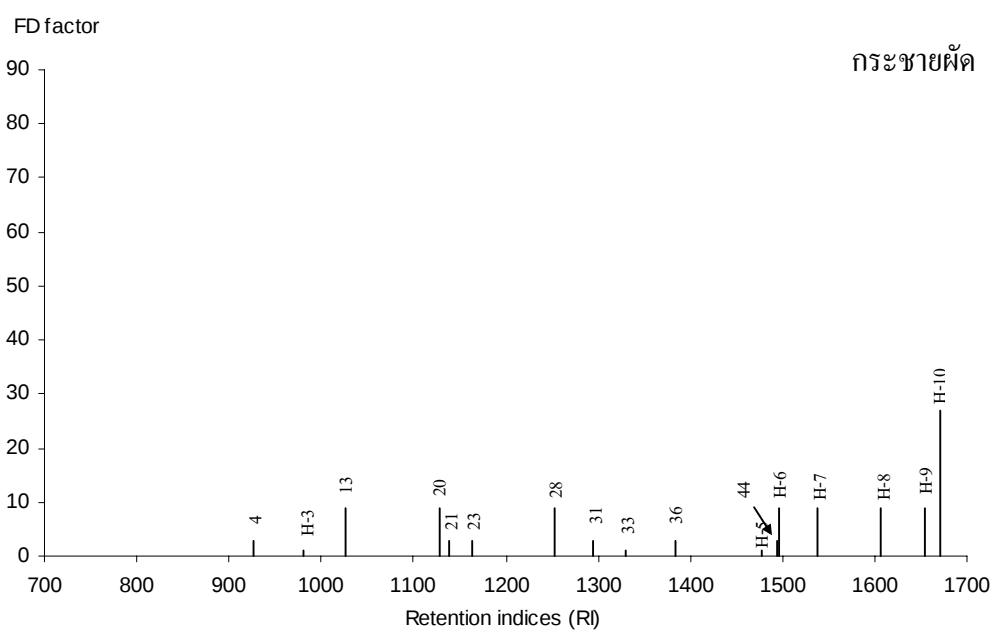
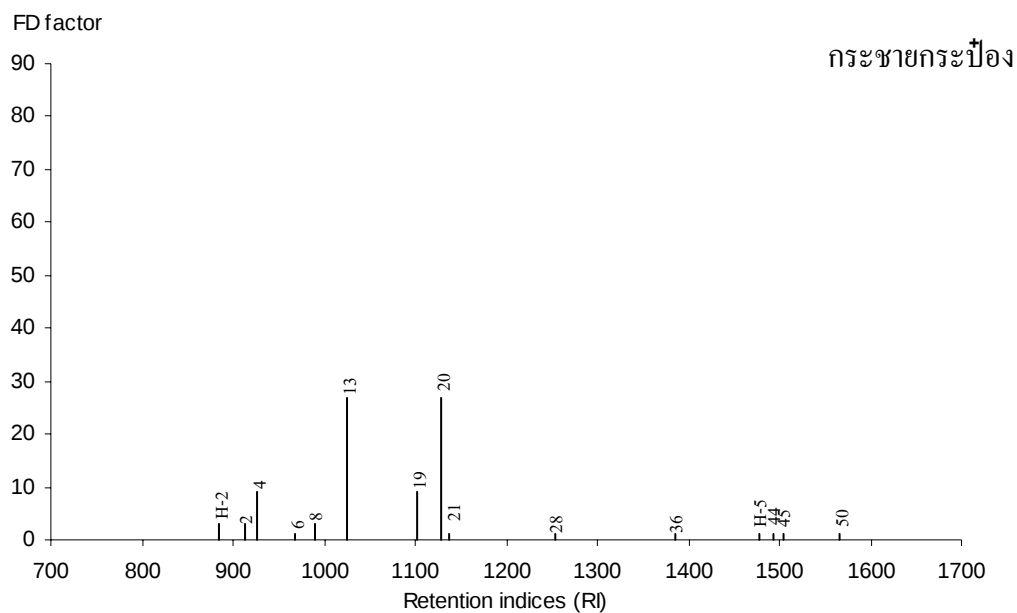
H-1, H-2, H-3 และ H-4 คือ สาร ไม่สามารถระบุได้ พบด้วยวิธี GC-O แต่ไม่พบพิกสาร
ใน GC-MS



ภาพผนวกที่ 9 FD chromatogram ของกระชายสดและกระชายแปรรูปที่ได้จากวิธี GC-O

หมายเหตุ ลำดับที่สารตรงกับตารางที่ 7 และ Chromatogram ในภาพผนวกที่ 3-6

H-1, H-2, H-3, H-4, H-5, H-6, H-7, H-8, H-9 และ H-10 คือ สารไม่สามารถระบุได้ พบด้วยวิธี GC-O แต่ไม่พบพิกสารใน GC-MS



ภาพผนวกที่ 9 (ต่อ)

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวชุตีวรรณ นิมิตรใหม่
วัน เดือน ปี ที่เกิด	5 มกราคม 2525
สถานที่เกิด	กรุงเทพฯ ฯ
ประวัติการศึกษา	วท. บ. (ชีวเคมี) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (พ.ศ. 2547)
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	แสดงผลงานโปสเตอร์ในงาน Asean food conference 2007 ครั้งที่ 10 (วันที่ 21-23 สิงหาคม 2547 ที่ประเทศมาเลเซีย)
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์