



วิทยานิพนธ์

ผลของกระบวนการแปรรูปต่อสารให้กลิ่นสำคัญในรูปอิสระและ
ไกลโคไซด์ในตะไคร้ (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf)

EFFECT OF PROCESSING ON FREE AND
GLYCOSIDICALLY-BOUND AROMA ACTIVE COMPOUNDS
IN LEMONGRASS (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf)

นางสาวพิชามณัฐ สว่างสุข

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2551



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร)

ปริญญา

.....
วิทยาศาสตร์การอาหาร

.....
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง ผลของกระบวนการแปรรูปต่อสารให้กลิ่นสำคัญในรูปอิสระและไกลโคไซด์ในตะไคร้
(*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf)

Effect of Processing on Free and Glycosidically-Bound Aroma Active Compounds in
Lemongrass (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf)

นามผู้วิจัย นางสาวพิชามณูษ์ สว่างสุข

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วรรณี จิรภาคย์กุล, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์สิริ ชัยเสรี, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธนะบุญย์ สัจจานันตกุล, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญจนา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลของกระบวนการแปรรูปต่อสารให้กลิ่นสำคัญในรูปอิสระและไกลโคไซด์ในตะไคร้
(*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf)

Effect of Processing on Free and Glycosidically-Bound Aroma Active Compounds in
Lemongrass (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf)

โดย

นางสาวพิกามณัฐ สว่างสุข

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรการอาหาร)

พ.ศ. 2551

พิชามณูญ์ สว่างสุข 2551: ผลของกระบวนการแปรรูปต่อสารให้กลิ่นสำคัญในรูปอิสระและไกลโคไซด์ในตะไคร้ (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf) ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร) สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์วรัณวี จิรภาคย์กุล, Ph.D. 105 หน้า

ตะไคร้ (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf) เป็นเครื่องเทศสมุนไพรที่นิยมใช้ในอาหารไทยหลายชนิด สารให้กลิ่นในตะไคร้พบทั้งในรูปสารให้กลิ่นอิสระที่ให้กลิ่นได้โดยตรง และในรูปที่เป็นสารระเหยไกลโคไซด์ ซึ่งไม่สามารถให้กลิ่นได้จนกว่าจะสลายพันธะไกลโคซิดิกแล้วปลดปล่อยสารระเหยในรูปอิสระออกมา โดยทั่วไปกระบวนการนี้จะเกิดขึ้นได้หลายทาง เช่น จากการทำงานของเอนไซม์ หรือการแปรรูปด้วยความร้อน เป็นต้น การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการแปรรูปผลิตภัณฑ์ 4 ชนิด ได้แก่ ตะไคร้ในน้ำ ตะไคร้ในน้ำเทพิตด้วยน้ำมัน ตะไคร้ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน และตะไคร้ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ต่อสารให้กลิ่นสำคัญในรูปอิสระและไกลโคไซด์ โดยสกัดสารระเหยทั้งในรูปอิสระและไกลโคไซด์จากตะไคร้ด้วยตัวทำละลาย และใช้วิธีการไอโครลิซิสด้วยกรดในการสลายพันธะของสารระเหยในรูปไกลโคไซด์ จากนั้นนำไปวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารระเหยด้วยเครื่อง Gas Chromatography (GC) และศึกษาสารให้กลิ่นสำคัญด้วยเครื่อง Gas Chromatography-Olfactometry (GC-O) พบว่าสารระเหยอิสระที่มีปริมาณมากที่สุดในตะไคร้สด ได้แก่ citral (geranial และ neral) รองลงมาคือ β -myrcene, geranyl acetate, (*E*)-geraniol, (*E*)- β -caryophyllene, calarene และ α -farnesene ส่วนสารระเหยในรูปไกลโคไซด์ที่พบมากในตะไคร้สด ได้แก่ geranial, neral, calarene, geranyl acetate, (*E*)-geraniol และ citronellol โดยสารระเหยในรูปอิสระในตะไคร้สดมีปริมาณมากกว่าสารระเหยในรูปไกลโคไซด์ เมื่อศึกษาสารให้กลิ่นสำคัญในตะไคร้สดด้วยวิธี Aroma Extraction Dilution Analysis (AEDA) พบว่าสารที่มีค่า log₃ FD factor สูงที่สุด ได้แก่ (*Z*)- β -ocimene, *l*-linalool, neral, (*E*)-geraniol, geranial, α -gurjunene, (*E*)- β -caryophyllene, *endo*-1-bourbonanol และ calarene ซึ่งสารกลุ่มนี้มีลักษณะกลิ่นของตะไคร้ ได้แก่ กลิ่นเลมอน กลิ่นหวาน กลิ่นสดชื่น และกลิ่นเย็น แต่การแปรรูปทำให้ปริมาณสารระเหยลดลง โดยพบว่า ตะไคร้ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนมีปริมาณสารให้กลิ่นสำคัญในรูปอิสระใกล้เคียงกับตะไคร้สดมากที่สุด และ ตะไคร้ในน้ำมีสัดส่วนการลดลงมากที่สุด รองลงมา คือ การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง และตะไคร้ในน้ำเทพิตด้วยน้ำมัน ตามลำดับ การแปรรูปตะไคร้ในน้ำและตะไคร้ในน้ำเทพิตด้วยน้ำมันทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีกลิ่นคล้ายแมลง กลิ่นน้ำมัน และกลิ่นอบ จากสาร (*E*)-pinocarvyl acetate, (*E*)- α -bergamotene, (*E*)- β -farnesene, (*E,E*)-farnesal และ T-cadinol ปริมาณสารให้กลิ่นในรูปไกลโคไซด์ในตะไคร้แปรรูปลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับตะไคร้สด โดยตะไคร้ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนมีการลดลงของสารให้กลิ่นในรูปไกลโคไซด์มากที่สุด รองลงมา คือ การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ตะไคร้ในน้ำ และตะไคร้ในน้ำเทพิตด้วยน้ำมัน ตามลำดับ

Pichamon Sawangsuk 2008: Effect of Processing on Free and Glycosidically-Bound Aroma Active Compounds in Lemongrass (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf). Master of Science (Food Science), Major Field: Food Science, Department of Food Science and Technology. Thesis Advisor: Assistant Professor Wannee Jirapakkul, Ph.D. 105 pages.

Lemongrass (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf) is widely used as an essential ingredient in Thai cuisine. Volatile compounds of lemongrass present in both free and glycosidically-bound forms. The odorless glycosidically-bound volatile compound could be hydrolyzed into free form by natural enzyme or heating processes. The objectives of this study were to identify and compare the free and glycosidically-bound aroma active compounds of lemongrass from 4 products: lemongrass in water, lemongrass in water covered on the top with oil, oven dried lemongrass and freeze dried lemongrass. Free and glycosidically-bound volatile compounds were extracted from lemongrass by solvent. The glycosidically-bound volatile compounds were liberated by acid hydrolysis. Identification and quantification of volatile compounds were performed by gas chromatography (GC) and aroma active compounds were studied by gas chromatography-olfactometry (GC-O). The major free volatile compounds of lemongrass were geranial and neral. The other important compounds were β -myrcene, geranyl acetate, (*E*)-geraniol, (*E*)- β -caryophyllene, calarene and α -farnesene. The major glycosidically-bound volatile compounds of lemongrass were geranial, neral, calarene, geranyl acetate, (*E*)-geraniol and citronellol. The concentration of free volatile compounds of fresh lemongrass was higher than glycosidically-bound forms. For the study of aroma active compounds of lemongrass by aroma extraction dilution analysis (AEDA), (*Z*)- β -ocimene, *l*-linalool, neral, (*E*)-geraniol, geranial, α -gurjunene, (*E*)- β -caryophyllene, *endo*-1-bourbonanol and calarene had the highest $\log_3$ FD factor values. Those compounds showed odor characteristic of lemongrass such as lemon-like, sweet, fresh and cool odors. However, the amounts of aroma active compounds were reduced in all processed samples. The concentration of major free aroma active compounds of oven dried lemongrass was similar to those of fresh one. The high reductions in the free aroma active compounds were found in lemongrass in water, freeze dried and lemongrass in water covered on the top with oil, respectively. Lemongrass in water and lemongrass in water covered on the top with oil had bug-like, oily and roast odors from (*E*)-pinocarvyl acetate, (*E*)- α -bergamotene, (*E*)- β -farnesene, (*E,E*)-farnesal and T-cadinol. Glycosidically-bound aroma compounds in processed lemongrass were lower than in the fresh. The most reductions of glycosidically-bound aroma active compounds were in oven dried lemongrass, freeze dried lemongrass, lemongrass in water and lemongrass in water covered on the top with oil, respectively.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

/ /

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรณี จิรภักย์กุล ประธาน
กรรมการที่ปรึกษา ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำเรื่องการเรียนรู้และการทำวิจัย ตลอดจนตรวจสอบ
และแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ถูกต้องและสมบูรณ์ กราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. สิริ
ชัยเสรี กรรมการที่พิจารารอง ที่อบรมสั่งสอนให้ความรู้แก่ข้าพเจ้า ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการทำวิจัย
ให้คำปรึกษา และตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น กราบขอบพระคุณ ดร. สาย
พิน ทานัฒนาศัย ประธานการสอบ และ รองศาสตราจารย์ ดร. อัมพวัน ตันสกุล อาจารย์
ผู้ทรงคุณวุฒิ ที่กรุณาให้คำแนะนำในการแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้ถูกต้องและสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารทุกท่านที่
กรุณาอบรมสั่งสอน ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารทุกท่านที่
กรุณาอำนวยความสะดวกด้านสถานที่และเครื่องมือในการทำวิจัย รวมถึงพี่ ๆ น้อง ๆ และเพื่อน ๆ
นิสิตปริญญาโทและเอก สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารทุกท่าน ที่ให้คำปรึกษา
แนะนำ และคอยช่วยเหลือให้กำลังใจตลอดช่วงเวลาของการศึกษาและทำวิจัย จนไม่สามารถ
กล่าวถึงได้หมด

ท้ายสุดขอกราบขอบพระคุณ และ ขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ พี่สาว น้องชาย และสมาชิกทุก
คนในครอบครัวที่มอบแรงกาย แรงใจ คอยให้ความช่วยเหลือ สนับสนุน ส่งเสริม และเป็นกำลังใจ
ให้แก่ข้าพเจ้าเสมอมา

พิชามณัฐ สว่างสุข

มีนาคม 2551

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	28
อุปกรณ์	28
วิธีการ	30
ผลและวิจารณ์	37
สรุปและข้อเสนอแนะ	74
สรุป	74
ข้อเสนอแนะ	76
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	77
ภาคผนวก	92
ประวัติการศึกษา	105

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ปริมาณร้อยละของสารระเหยในตะไคร้	4
2	สารระเหยในรูปอิสระและไกลโคไซด์ในตะไคร้สด	39
3	จำนวนชนิดและร้อยละปริมาณสารระเหยกลุ่มต่าง ๆ ในสารระเหยในรูปอิสระและไกลโคไซด์ในตะไคร้สดจากการวิเคราะห์ด้วย GC-FID	46
4	ค่า Log_3 FD factor ของสารระเหยในรูปอิสระและไกลโคไซด์ในตะไคร้สด	50
5	สารให้กลิ่นสำคัญในตะไคร้สด	56
6	ความเข้มข้นของสารให้กลิ่นสำคัญในรูปอิสระในตะไคร้สดและแปรรูป	
7	ค่า Odor Activity Value ของสารให้กลิ่นสำคัญในรูปอิสระที่พบในการแปรรูปตะไคร้	63
8	ความเข้มข้นของสารให้กลิ่นสำคัญในรูปไกลโคไซด์ในตะไคร้สดและแปรรูป	66
9	ค่า Log_3 FD factor ของสารให้กลิ่นสำคัญในตะไคร้และสารให้กลิ่นบางชนิดที่เปลี่ยนแปลงจากการแปรรูปตะไคร้	69
10	ปริมาณสารให้กลิ่นบางชนิดที่เปลี่ยนแปลงจากการแปรรูปตะไคร้	72
ตารางผนวกที่		
1	ปริมาณความชื้นและไขมันในตะไคร้สด และตะไคร้แปรรูป	93
2	ความเข้มข้นของสารระเหยในรูปไกลโคไซด์ในตะไคร้สดที่สภาวะการไฮโดรลิซิสแตกต่างกัน	98

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	โครงสร้างของสารระเหยที่พบมากในตะไคร้	6
2	การปัดวงของ citral กลายเป็น <i>p</i> -cymene	8
3	ปฏิกิริยาการสังเคราะห์สารไกลโคไซด์	11
4	โครงสร้างของน้ำตาลที่เป็นส่วนไกลโคโคนในสารไกลโคไซด์	12
5	ปริมาณองค์ประกอบกลุ่มสารระเหยหลักที่พบในสารระเหยในรูปอิสระและไกลโคไซด์ในตะไคร้สด	47
6	ปริมาณสารให้กลิ่นสำคัญในรูปอิสระและไกลโคไซด์ในตะไคร้สด (F), ตะไคร้ในน้ำ (W), ตะไคร้ในน้ำที่ทับด้วยน้ำมัน (O), ตะไคร้ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (OV) และตะไคร้ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FD)	67
ภาพผนวกที่		
1	กราฟมาตรฐานของสารระเหยมาตรฐาน	95
2	โครมาโทแกรมของสารระเหยในรูปอิสระในตะไคร้สด	99
3	โครมาโทแกรมของสารระเหยในรูปไกลโคไซด์ในตะไคร้สด	101
4	log ₃ FD factor aromagram ของสารระเหยในรูปอิสระในตะไคร้สด	103
5	log ₃ FD factor aromagram ของสารระเหยในรูปไกลโคไซด์ในตะไคร้สด	104

ผลของกระบวนการแปรรูปต่อสารให้กลิ่นสำคัญในรูปอิสระและไกลโคไซด์ในตะไคร้ (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf)

Effect of Processing on Free and Glycosidically-Bound Aroma Active Compounds in Lemongrass (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf)

คำนำ

ตะไคร้เป็นหนึ่งในเครื่องเทศสมุนไพรที่ใช้ในการปรุงอาหารหลายชนิดที่นิยมกันในแถบเอเชีย เพื่อแต่งกลิ่นอาหารตลอดจนเพื่อประโยชน์ทางโภชนาการ มีรายงานว่าในตะไคร้มีสารต้านมะเร็งลำไส้ใหญ่ คือ geraniol และ citral และยังมีสารจำพวก terpenoid ที่มีคุณสมบัติต้านมะเร็งได้เช่นเดียวกัน นอกจากนี้ตะไคร้ยังมีคุณสมบัติที่สามารถลดระดับโคเลสเตอรอลได้อีกด้วย (อุษณีย์ และคณะ, 2546) และจากการที่ตะไคร้เป็นพืชในเขตร้อน การแปรรูปตะไคร้เป็นเครื่องปรุงจึงเป็นสินค้าส่งออกไปจำหน่ายยังประเทศในเขตนานา และช่วยเพิ่มความสะดวกในการใช้งาน

สารให้กลิ่นในตะไคร้ส่วนมากเป็นสารในกลุ่มเทอร์พีน (terpenes) พบทั้งในรูปสารให้กลิ่นในรูปอิสระที่ให้กลิ่นได้โดยตรง และในรูปที่เป็นสารไกลโคไซด์ซึ่งไม่สามารถให้กลิ่นได้ จนกว่าจะเปลี่ยนรูปเป็นสารให้กลิ่นอิสระ ซึ่งตามธรรมชาติกระบวนการนี้จะเกิดขึ้นได้จากการทำงานของเอนไซม์ในพืชในระหว่างการเจริญ จากการใช้ความร้อนในกระบวนการแปรรูป และการหมักบ่ม เป็นต้น ในการทดลองนี้มุ่งเน้นศึกษาถึงการแปรรูปที่ส่งผลต่อสารระเหยทั้งในรูปอิสระและไกลโคไซด์ในตะไคร้ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของกระบวนการแปรรูปตะไคร้ ได้แก่ ตะไคร้ในน้ำ และตะไคร้ในน้ำที่ต้บด้วยน้ำมัน ตะไคร้ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (oven dried lemongrass) และตะไคร้ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze dried lemongrass) ต่อชนิดและปริมาณของสารให้กลิ่นสำคัญในรูปอิสระและไกลโคไซด์ โดยวิเคราะห์ชนิดสารด้วยเครื่อง Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) เพื่อทำการศึกษาชนิดและปริมาณสารระเหยของตะไคร้สด จากนั้นศึกษาสารให้กลิ่นด้วยเครื่อง Gas Chromatography-Olfactometry (GC-O) เพื่อคัดเลือกสารให้กลิ่นสำคัญในตะไคร้สด และศึกษาผลของการแปรรูปต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารให้กลิ่นสำคัญในรูปอิสระและไกลโคไซด์ด้วยเครื่อง Gas Chromatography-Flame Ionization Detector (GC-FID)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาชนิดและปริมาณสารระเหยในรูปอิสระและไกลโคไซด์ในตะไคร้
2. เพื่อศึกษาสารให้กลิ่นสำคัญในรูปอิสระและไกลโคไซด์ในตะไคร้
3. เพื่อศึกษาผลของการแปรรูปต่อสารให้กลิ่นสำคัญในรูปอิสระและไกลโคไซด์ในตะไคร้

การตรวจเอกสาร

1. ตะไคร้

ตะไคร้ หรือ lemongrass มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf หรือชื่อพ้อง *Andropogon citratus* (DC.) จัดอยู่ในกลุ่มของพืชตระกูลหญ้า วงศ์ Poaceae หรือเรียกได้อีกอย่างว่าวงศ์ Gramineae ชื่อ lemongrass มาจากลักษณะของต้นที่มีลักษณะเหมือนหญ้าและมีกลิ่นที่คล้ายเลมอน (Raghavan, 2007) ตะไคร้เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวล้มลุกของเมืองร้อน พบมากแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (ประเทศไทย, มาเลเซีย, สิงคโปร์, เวียดนาม, กัมพูชา, อินโดนีเซีย และศรีลังกา) นิยมนำมาประกอบอาหารเพื่อดับกลิ่นคาว (รุ่งรัตน์, 2540) โดยใช้ประโยชน์จากลำต้นใต้ดินที่เรียกว่าเหง้า และก้านใบที่เป็นกาบ โดยเฉพาะบริเวณโคนต้น (ประมาณ 10-15 เซนติเมตร) เพราะมีสารระเหยให้กลิ่นหลายชนิด ในอุตสาหกรรมมีการนำตะไคร้ไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์หลายประเภท เช่น ตะไคร้แห้ง ตะไคร้ในน้ำ น้ำตะไคร้ และชาตะไคร้ เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้ประโยชน์จากน้ำมันตะไคร้ (lemongrass oil) ในการแต่งกลิ่นอาหาร เช่น เครื่องดื่ม ขนมหวาน และลูกอม

ในตะไคร้สดมีน้ำมันหอมระเหยประมาณ 0.15-0.68% (Kasali *et al.*, 2001) โดยมีหลายปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณของน้ำมันหอมระเหย เช่น อายุของตะไคร้ ตำแหน่งของต้นที่ใช้สกัด แหล่งที่ปลูก และสภาพดินฟ้าอากาศ พบว่าตะไคร้ที่ปลูกในฤดูหนาวจะมีน้ำมันหอมระเหยประมาณ 0.15% ในขณะที่ปลูกในฤดูแล้งจะมีน้ำมันหอมระเหย 0.35-0.50% (Hirasa and Takemasa, 1998) นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับวิธีสกัดสารระเหย (Schaneberg and Khan, 2002; Rozzi *et al.*, 2002)

โดยทั่วไปสมุนไพรชนิดเดียวกันแม้มีลักษณะภายนอกคล้ายกัน แต่สารให้กลิ่นมักแตกต่างกันไปตามแหล่งที่ปลูก ดังที่พบว่าตะไคร้ที่ปลูกในแต่ละท้องถิ่นมีองค์ประกอบของสารให้กลิ่นในน้ำมันตะไคร้ที่กลั่นด้วยไอน้ำ (hydrodistillation) แตกต่างกัน โดยที่น้ำมันตะไคร้จากประเทศคองโก (Cimanga *et al.*, 2002) และน้ำมันตะไคร้จากประเทศอินเดีย (Ashurst, 1999) มี geranial และ neral เป็นองค์ประกอบหลัก รองลงมาคือ geraniol แต่น้ำมันตะไคร้จากประเทศเอกวาดอร์ (Sacchetti *et al.*, 2005) และน้ำมันจากใบของตะไคร้ในประเทศไนจีเรีย (Kasali *et al.*, 2001) มี geranial และ neral เป็นองค์ประกอบหลักเช่นเดียวกัน แต่รองลงมาคือ myrcene ส่วนสารระเหยชนิดอื่นในตะไคร้จากแต่ละประเทศก็พบในปริมาณที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณร้อยละของสารระเหยในตะไคร้

สารระเหย	Carlson <i>et al.</i> (2001) ¹	Kasali <i>et al.</i> (2001) ¹	Cimanga <i>et al.</i> (2002) ¹	Sacchetti <i>et al.</i> (2005) ¹
aromadendrene			0.6	4.0
<i>allo</i> -aromadendrene				0.8
(<i>Z</i>)- α -bergamotene	trace			
borneol			3.7	
bornyl acetate	0.2			
camphene			0.9	
camphor		0.1		
δ -cadinene				0.1
β -caryophyllene		0.3		0.3
1,8-cineole			0.2	
citronellal	0.2	0.3	0.2	
citronellol	0.3		0.6	
<i>p</i> -cymene	trace	0.5		
2,6-dimethyloctane		0.1		
β -elemene		0.1		
eugenol			0.3	
fenchone		0.2		
geranial	50.4	33.7	32.7	41.3
geraniol	3.2	0.2	12.5	3.4
geranyl acetate	0.6		0.1	
α -gurjunene				0.6
β -gurjunene				0.3
β -humulene				0.2
isophyllocladene				0.4
limonene			3.1	
linalool	0.9	0.6	0.2	1.3
linalyl acetate		2.3		
methyl-5-hepten-2-one				0.4
6-methyl hepten-2-one	0.3			
α -muurolene				0.1
myrcene	2.6	25.3	3.5	15.5
neomenthol		3.3		
neral	26.8	26.5		32.3
nerol		0.8		
neryl acetate	1.8	0.2	6.3	
(<i>E</i>)- <i>allo</i> -ocimene		0.1		
(<i>Z</i>)- β -ocimene	trace	0.7		

ตารางที่ 1 (ต่อ)

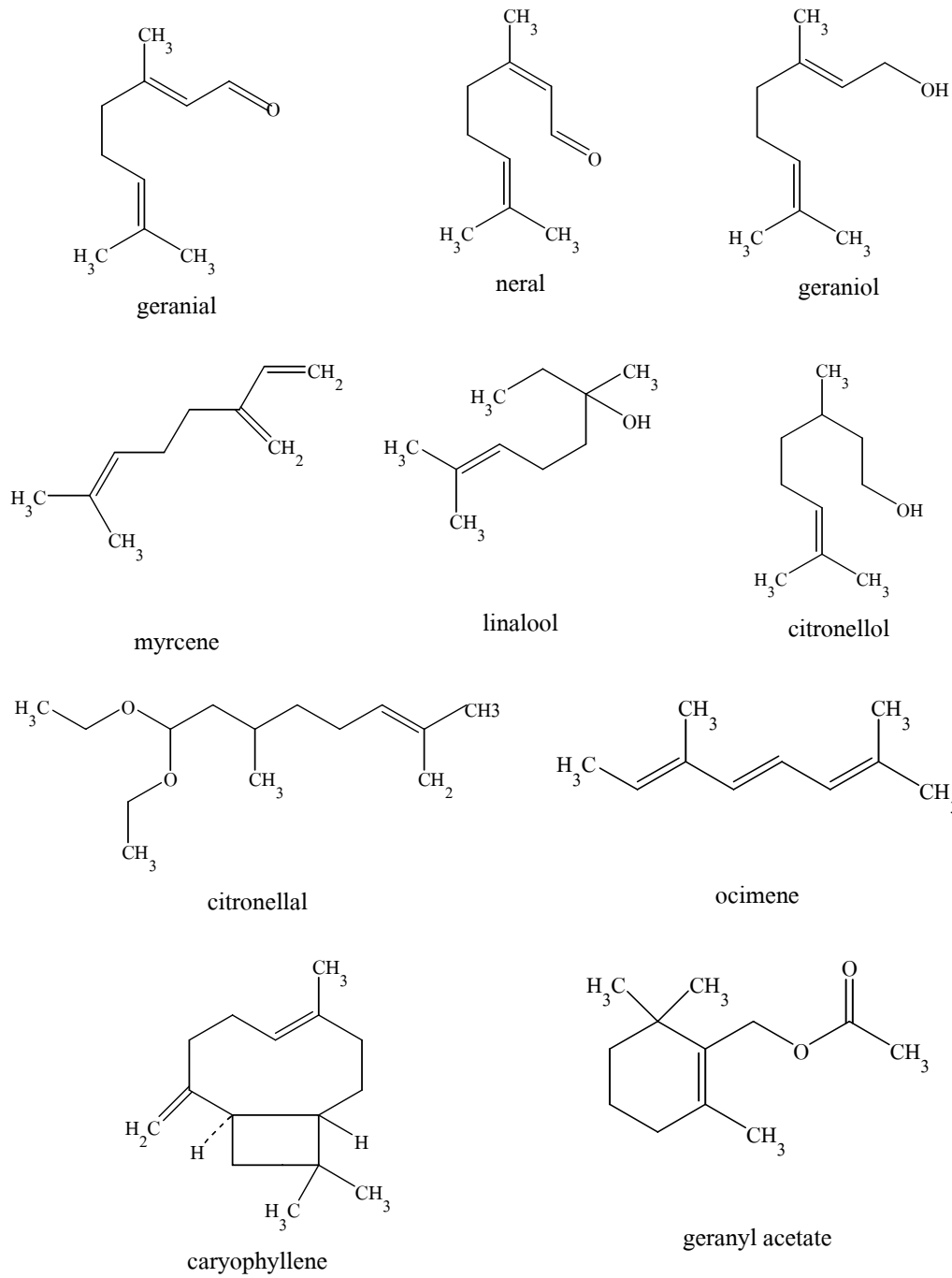
สารระเหย	Carlson <i>et al.</i> (2001) ¹	Kasali <i>et al.</i> (2001) ¹	Cimanga <i>et al.</i> (2002) ¹	Sacchetti <i>et al.</i> (2005) ¹
(<i>E</i>)- β -ocimene	trace	1.0		
β -patchoulene		0.2		
α -pinene			1.1	
sabinol		0.1		
α -terpineol	trace	0.4		
terpin-4-ol			0.5	
2-trideanone	0.6			
2-undecanone	0.6			
viridiflorene				0.8

หมายเหตุ ¹ เปอร์เซ็นต์ของปริมาณสารที่สกัดจากตะไคร้ที่มีแหล่งปลูกและสภาวะการสกัดต่างกัน

ที่มา: ดัดแปลงจาก Carlson *et al.* (2001); Kasali *et al.* (2001); Cimanga *et al.* (2002);

Sacchetti *et al.* (2005)

นอกจากนี้ยังพบว่าวิธีการสกัดสารระเหยมีผลต่อชนิดและปริมาณสารระเหยในตะไคร้ ดังที่ Carlson *et al.* (2001) ทดลองสกัดน้ำมันหอมระเหยในตะไคร้สดจากประเทศบราซิลด้วยวิธี supercritical fluid extraction โดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในการสกัด พบ citral เป็นสารระเหยหลัก และสารระเหยอื่นดังแสดงปริมาณตามตารางที่ 1 ต่อมา Rozzi *et al.* (2002) สกัดน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้แห้งที่ปลูกในประเทศสหรัฐอเมริกาด้วยวิธี supercritical fluid extraction เปรียบเทียบกับวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำ (hydrodistillation) พบว่าวิธี supercritical fluid extraction ได้ citral เป็นองค์ประกอบหลักเช่นเดียวกัน แต่มี caryophyllene ซึ่งเป็นสารที่ไม่ต้องการในปริมาณที่สูงกว่า วิธีการกลั่นด้วยไอน้ำ นอกจากนี้ Schaneberg และ Khan (2002) ทดลองสกัดน้ำมันหอมระเหยของตะไคร้ด้วย 4 วิธี ได้แก่ สกัดด้วยตัวทำละลาย (solvent extraction) การกลั่นด้วยไอน้ำ (steam distillation) สกัดด้วยตัวทำละลายในสภาวะเร่ง (accelerated solvent extraction) และสกัดด้วยวิธี supercritical fluid เปรียบเทียบประสิทธิภาพการสกัดแต่ละวิธี พบว่าการใช้ไอน้ำสกัดทำให้ได้ปริมาณของ citral, limonene, citronellal, β -myrcene และ geraniol มากที่สุด ดังแสดงโครงสร้างของสารระเหยที่พบมากในตะไคร้ในภาพที่ 1

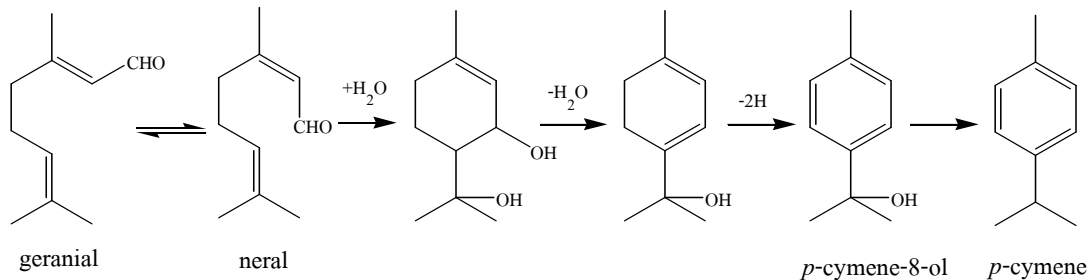


ภาพที่ 1 โครงสร้างของสารให้กลิ่นที่พบบ่อยในตะไคร้
ที่มา: Leffingwell (2004)

จากในหลายการทดลองพบว่า citral เป็นสารระเหยที่มีปริมาณมากที่สุดในตะไคร้ citral จัดเป็นอัลดีไฮด์เทอร์พีน พบในรูปที่เป็นสารผสมของอัลดีไฮด์ 2 ตัว ที่เป็น สเตอริโอไอโซเมอร์ (stereoisomer) คือ geranial หรือ citral a มีโครงสร้างแบบ *trans* หรือ *E* ไอโซเมอร์ และ neral หรือ citral b มีโครงสร้างแบบ *cis* หรือ *Z* ไอโซเมอร์ โดยตามธรรมชาติจะพบอยู่ในอัตราส่วนที่ต่างกันตามชนิดของพืช (Iwanami *et al.*, 1997; Schaneberg and Khan, 2002; Rauber *et al.*, 2005) ซึ่งในตะไคร้พบ geranial และ neral ประมาณ 30-60% และ 27-33% ตามลำดับ (Ashurst, 1999; Carlson *et al.*, 2001; Kasali *et al.*, 2001; Cimanga *et al.*, 2002; Sacchetti *et al.*, 2005) เนื่องจากมีปริมาณ citral อยู่มากที่สุด ในการกำหนดมาตรฐานสากลของน้ำมันตะไคร้จึงใช้ citral เป็นตัวกำหนด โดยน้ำมันตะไคร้ที่ดีต้องมี citral อยู่ไม่น้อยกว่า 75% (ISO, 1974) และจากการที่มี citral เป็นองค์ประกอบหลักในตะไคร้ กลิ่นของตะไคร้จึงขึ้นอยู่กับปริมาณและการเปลี่ยนแปลงของ citral ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว geranial จะให้กลิ่นเลมอน ส่วน neral ให้ลักษณะกลิ่นเลมอน กลิ่นคล้ายส้ม กลิ่นคล้ายสมุนไพร และดอกไม้ (Leffingwell, 2004)

การที่ citral มีพันธะคู่อยู่หลายตำแหน่งและมีโครงสร้างที่ไม่เป็นวง (acyclic) ทำให้โมเลกุลไม่เสถียรจึงเกิดปฏิกิริยาได้ง่าย ในระหว่างการแปรรูปอาจมีโอกาสดเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะด้านกลิ่นเนื่องจากการเปลี่ยนรูปไปเป็นสารชนิดอื่น มีรายงานการเปลี่ยนแปลงของ citral เมื่อเติมลงไปเป็นสารให้กลิ่นรสในระหว่างการผลิตอาหาร โดยพบว่าเมื่อ citral เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็น α -*p*-dimethylstyrene และ *p*-cymen-8-ol ที่นอกจากทำให้เกิดเป็นกลิ่นที่ผิดปกติ (off odor) ขึ้นมายังส่งผลให้ความเข้มข้นของกลิ่นเลมอนในผลิตภัณฑ์ลดลง ซึ่งปฏิกิริยานี้จะเกิดได้อย่างรวดเร็วในสถานะที่มีอุณหภูมิสูง และมีค่า pH ต่ำ (Kimura *et al.*, 1983) นอกจากนี้ยังพบว่าแสงเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ citral เกิดการเปลี่ยนแปลง โดยจะเป็นตัวเร่งการเกิดปฏิกิริยาไอโซเมอไรเซชัน (isomerization) หรือปฏิกิริยาการปิดวง (cyclization) ทำให้เกิดเป็นสารกลุ่มอัลดีไฮด์ชนิดใหม่ ได้แก่ 2-(3-methyl-2-cyclopenten-1-yl)-2-methylpropionaldehyde, (1,2,2-trimethyl-3-cyclopenten-1-yl) acetaldehyde และ α -campholenealdehyde ที่ให้กลิ่นเปลี่ยนแปลงไป (Iwanami *et al.*, 1997)

ปริมาณของ citral ยังลดลงมากเมื่อเก็บ โดยมีการสัมผัสอากาศ สัมผัสความชื้น และเก็บไว้เป็นเวลานาน โดยพบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงจาก citral ในน้ำมันหอมระเหยของส้มไปเป็น *p*-cymene (Sawamura *et al.*, 2004) เนื่องจากปฏิกิริยาการปิดวงของ citral แสดงกลไกการเปลี่ยนแปลงดังภาพที่ 2 ทำให้เกิดเป็นกลิ่นที่ผิดปกติ (off flavor) ขึ้นในน้ำมันหอมระเหยของส้ม



ภาพที่ 2 การปัดวงของ citral กลายเป็น p -cymene

ที่มา: Sawamura *et al.* (2004)

ในปี 2004 Trasarti *et al.* ทดลองสังเคราะห์ menthol โดยเริ่มจากปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจน (hydrogenation) ของ citral โดยมีไฮโดรเจนและโลหะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา กลายเป็น citronellal แล้วจึงทำการไอโซเมอไรเซชันต่อไปในสภาวะกรดจนได้เป็น isopulegols และขั้นสุดท้ายคือการเติมไฮโดรเจนอีกครั้งจนได้เป็น menthol ในที่สุด การสังเคราะห์ menthol จาก citral เป็นการลดต้นทุนการผลิต menthol ได้ เพราะ citral เป็นวัตถุดิบที่ได้มาจากการกลั่นน้ำมันหอมระเหย เช่น น้ำมันตะไคร้ ที่มี citral เป็นองค์ประกอบถึง 70-80% นอกจากนี้ citral ยังใช้ในการสังเคราะห์ ionone ผ่านปฏิกิริยา aldol condensation ได้เป็น pseudoionone และตามด้วยปฏิกิริยาปัดวงของ pseudoionone กลายเป็น ionone ซึ่งเป็นสารให้กลิ่นที่ให้กลิ่นไม้ กลิ่นแห้ง กลิ่นผลไม้ กลิ่นราสเบอร์รี่ และกลิ่นคล้ายดอกไวโอเล็ต (Cervený *et al.*, 2004) หรือนำ citral ไปใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตเป็นวิตามินเอ (Andriamialisoa *et al.*, 1993)

นอกจากมีกลิ่นเฉพาะตัวที่ใช้ในการปรุงแต่งอาหารแล้ว ยังพบว่าตะไคร้มีคุณสมบัติในการยับยั้งจุลินทรีย์ (antimicrobial) มีการทดลองผสมผงตะไคร้และน้ำมันตะไคร้ลงไปในเมล็ดข้าวโพดและถั่วลิสงเพื่อยับยั้งการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่เกิดจากเชื้อจุลินทรีย์ พบว่าตะไคร้สามารถป้องกันเชื้อรา เช่น *Aspergillus flavus*, *Aspergillus fumigatus* และ *Penicillium chrysogenum* และยังป้องกันแบคทีเรีย เช่น *Escherichia coli*, *Pseudomonas fluorescens* และ *Bacillus subtilis* ได้ (Adegoke and Odwesola, 1995) นอกจากนี้ตะไคร้มีฤทธิ์กันแมลง และขู่งได้ เนื่องจากมี citral เป็นองค์ประกอบ (Oyedele *et al.*, 2002)

2. สารระเหยในอาหาร

สารระเหย (volatile compounds) เป็นสารที่มีความดันไอต่ำจึงสามารถระเหยได้ในบรรยากาศปกติ แต่มีสารระเหยบางชนิดเท่านั้นที่สามารถให้กลิ่นได้ เรียกว่า สารให้กลิ่น (aroma compounds) และมีสารให้กลิ่นเพียงบางชนิดที่เป็นสารให้กลิ่นสำคัญ (aroma active compounds) ในอาหาร ซึ่งหากขาดสารชนิดนี้จะส่งผลให้กลิ่นของอาหารผิดเพี้ยนไป การจัดว่าสารใดเป็นสารให้กลิ่นในอาหาร ขึ้นกับลักษณะกลิ่นและปริมาณของสารให้กลิ่นนั้นที่มีอยู่ในอาหาร โดยทั่วไปสารระเหยจะให้กลิ่นได้เมื่อมีปริมาณมากกว่าค่า threshold โดยสามารถใช้ค่า Odor Activity Value (OAV) เป็นตัวพิจารณาการให้กลิ่นเบื้องต้นได้ ค่า OAV นี้สามารถคำนวณได้จากปริมาณของสารให้กลิ่นนั้นที่มีในอาหารหารด้วย odor threshold ของสารชนิดนั้น ๆ หากมีค่ามากกว่า 1 สามารถทำนายได้ว่าสารนั้นให้กลิ่นที่สามารถรับรู้ได้ (Grosch, 1993)

สารระเหยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทตามรูปแบบการให้กลิ่น

2.1 สารระเหยในรูปอิสระ (free volatile compounds)

สารระเหยในรูปอิสระเป็นสารกลุ่มที่สามารถรับรู้ได้โดยตรงทางจมูกของมนุษย์ สารให้กลิ่นกลุ่มนี้เป็นสารที่มีบทบาทสำคัญในการทำให้เกิดการรับรู้กลิ่นของอาหาร ซึ่งลักษณะกลิ่นของอาหารขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของสารให้กลิ่น สารให้กลิ่นบางชนิดแม้มีปริมาณน้อยแต่สามารถรับรู้ถึงกลิ่นของสารชนิดนั้นได้ เนื่องจากเป็นสารที่มีค่า threshold ต่ำ นอกจากนี้ปริมาณของสารให้กลิ่นในอาหารแต่ละชนิดที่แตกต่างกันทำให้กลิ่นที่ได้แตกต่างกันไปด้วย เช่น geranyl acetate ที่ความเข้มข้นสูงจะให้กลิ่นหวาน (sweety) กลิ่นดอกไม้ (flora) และกลิ่นผลไม้ (fruity) ในขณะที่เมื่อความเข้มข้นต่ำจะให้กลิ่นคล้ายแอปเปิ้ล (apple-like) (Leffingwell, 2004)

สารระเหยในรูปอิสระรวมถึงสารระเหยโดยทั่วไปมักเกิดจาก 3 กระบวนการ คือ กระบวนการสังเคราะห์ทางชีวภาพ (biogenesis) กระบวนการแปรรูปอาหาร (food processing) และ กระบวนการหมักโดยเชื้อจุลินทรีย์หรือเทคโนโลยีชีวภาพ (fermentation/biotechnology) (Fisher and Scott, 1997)

ในผักและผลไม้โดยทั่วไปสารที่ไม่ระเหย เช่น กรด น้ำตาล เป็นสิ่งที่พืชสร้างขึ้นตามธรรมชาติจากเมแทบอลิซึมระดับปฐมภูมิ (primary metabolite) และสารให้กลิ่นมักเกิดเนื่องจาก

การสลายตัว (degradation) ของสารตั้งต้นปฐมภูมิ สำหรับผลไม้สารให้กลิ่นเกิดจากการทำงานของเอนไซม์ที่เพิ่มมากขึ้นเมื่อผลไม้สุกทำให้สารไม่ระเหยสลายตัวกลายเป็นสารที่มีมวลโมเลกุลต่ำและระเหยได้ง่ายกลายเป็นสารให้กลิ่น สำหรับผักที่ไม่มีการสุกนั้น สารให้กลิ่นมักเกิดจากเอนไซม์ที่อยู่ในเซลล์ ซึ่งเอนไซม์จะออกมาเร่งปฏิกิริยาการเกิดสารให้กลิ่นเมื่อเซลล์ฉีกขาด (Reineccius, 2006) ถ้าสารให้กลิ่นเกิดจากการพัฒนาของพืชเองก็มักจะมาจากเมแทบอไลซึมระดับทุติยภูมิ (secondary metabolite) ซึ่งมีสารตั้งต้นในการผลิตและปฏิกิริยาในการสร้างเช่นเดียวกับสารจากเมแทบอไลซึมระดับปฐมภูมิ แต่อาจแตกต่างกันที่เอนไซม์ในการเร่งปฏิกิริยา (Edwards and Gatehouse, 1999)

สารระเหยในรูปอิสระที่พืชสร้างขึ้นมีประโยชน์ต่อพืชหลายด้าน เช่น มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมของสัตว์ โดยเฉพาะในเรื่องการขยายพันธุ์ พืชจะสร้างกลิ่นที่สัตว์ไม่ชอบออกมาเมื่อพืชยังไม่พร้อมจะขยายพันธุ์ และสร้างกลิ่นที่สัตว์ชอบออกมาเมื่อต้องการให้สัตว์มาช่วยในการขยายพันธุ์ และมีสารระเหยหลายชนิดที่มีฤทธิ์ต่อต้านจุลินทรีย์ เพื่อช่วยป้องกันพืชให้อยู่รอดในขณะเจริญเติบโต (Reineccius, 2006)

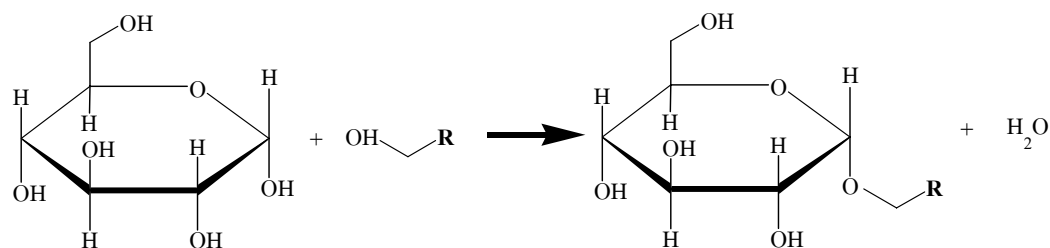
2.2 สารระเหยในรูปไกลโคไซด์ (glycosidically-bound volatile compounds)

สารระเหยบางส่วนในอาหารมักพบในรูปสารระเหยที่ยึดจับกับองค์ประกอบอื่นในอาหาร เช่น ไขมัน โปรตีน หรือน้ำตาล ซึ่งส่วนมากพบในรูปที่ยึดจับกับน้ำตาลซึ่งเรียกระเหยและน้ำตาลที่ทำพันธะกันนี้ว่า สารไกลโคไซด์ (glycoside) (Williams, 1993) สารระเหยที่ยังอยู่ในรูปสารไกลโคไซด์เป็นสารที่ไม่ให้กลิ่น จึงจัดเป็นสารตั้งต้นของสารให้กลิ่นในพืชโดยเฉพาะที่พบมากในผักและผลไม้ สารให้กลิ่นในรูปไกลโคไซด์สามารถปลดปล่อยกลิ่นออกมาได้เนื่องจากการทำงานของเอนไซม์ที่มีอยู่ในอาหารในระหว่างกระบวนการสุกตามธรรมชาติ (Reineccius, 2006) เช่น การสุกของมะม่วง (Lalel *et al.*, 2003) เอนไซม์ในกระบวนการหมักหรือบ่ม เช่น การเปลี่ยนจาก vanillin glucoside เป็น vanilla โดยเอนไซม์ β -glucosidase (Boulanger and Crouzet, 2000) และยังพบว่าเอนไซม์ glycosidase ลงไปในไวน์ แล้วเก็บรักษาไว้ 6 เดือน ทำให้เกิดสารให้กลิ่นทั้งชนิดและปริมาณมากกว่าไวน์ที่ไม่ได้เติมเอนไซม์ (Cabaroglu *et al.*, 2003) นอกจากนี้เอนไซม์แล้วการปลดปล่อยกลิ่นจากสารระเหยในรูปไกลโคไซด์ยังเกิดขึ้นได้ในระหว่างกระบวนการแปรรูปอาหารที่มีการใช้ความร้อนและในสภาวะกรด เช่น ในน้ำเสาวรสที่ผลิตที่ pH 3 ตามธรรมชาติของผลไม้ชนิดนี้ มีสารให้กลิ่นมากกว่าที่ pH 7 (Engel and Tressl, 1983) และน้ำ black currant ที่ให้ความร้อนอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วพบว่าทำให้ปริมาณ

เทอร์พีนมีปริมาณเพิ่มขึ้น ซึ่งคาดว่าเกิดจากการเปลี่ยนรูปมาจากสารระเหยในรูปไกลโคไซด์ (Varming *et al.*, 2006) และยังพบว่าการทำแห้งใบมะกรูดทำให้สารให้กลิ่นสำคัญในรูปไกลโคไซด์ลดลงจากในใบมะกรูดสด โดยพบว่าสัดส่วนของปริมาณสารให้กลิ่นสำคัญในรูปไกลโคไซด์ของใบมะกรูดทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งลดลงมากที่สุด รองลงมาคือ ใบมะกรูดทำแห้งด้วยไมโครเวฟแบบสุญญากาศ ตู้อบลมร้อน และการตากแห้งในที่ร่ม (พัชรภรณ์, 2550) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า การฉายรังสีสามารถสลายพันธะของสารระเหยในรูปไกลโคไซด์ในลูกจันทน์ (nutmeg) ได้เช่นกัน (Ananthakumar *et al.*, 2006)

2.2.1 โครงสร้างทางเคมีของสารระเหยในรูปไกลโคไซด์

สารระเหยในรูปไกลโคไซด์เกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลของคาร์บอนที่เป็นเฮมิอะซิทัลในโครงสร้างน้ำตาลตรงตำแหน่ง anomeric carbon ถูกแทนที่ด้วยหมู่อัลคอกซิล (alkoxyl, OR) หรือ หมู่ของสารระเหย ดังภาพที่ 3 โดยหมู่ของน้ำตาลเรียกว่าไกลโคน (glycone) และหมู่ของสารระเหยเรียกว่าอะไกลโคน (aglycone) มาต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก (glycosidic bond) การสังเคราะห์สารไกลโคไซด์ในห้องปฏิบัติการสามารถทำได้โดยใช้กรดเป็นตัวเร่ง ดังภาพที่ 3 (สุนันทา, 2538)

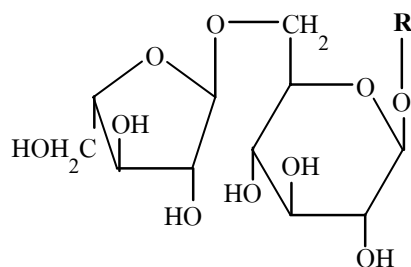


ภาพที่ 3 ปฏิกิริยาการสังเคราะห์สารไกลโคไซด์

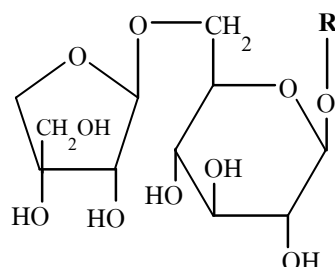
ที่มา: ดัดแปลงจากสุนันทา (2538)

สารระเหยในรูปไกลโคไซด์ส่วนใหญ่พบในรูปที่เชื่อมด้วยพันธะ β -glycosidic มากกว่าพันธะ α -glycosidic ในพืชส่วนมากจะพบเป็นสาร O - β -D-glucosides หรือ O -diglycosides ขึ้นกับชนิดของน้ำตาลที่อะไกลโคนไปทำพันธะอยู่ น้ำตาลที่ทำพันธะกับสารให้กลิ่นส่วนมากจะเป็นไดแซ็กคาไรด์ (disaccharide) แต่ก็พบได้บ้างในรูปของมโนแซ็กคาไรด์ (monosaccharide) และไตรแซ็กคาไรด์ (trisaccharide) โดยสารให้กลิ่นจะทำพันธะไกลโคซิดิกกับโมเลกุลของน้ำตาล

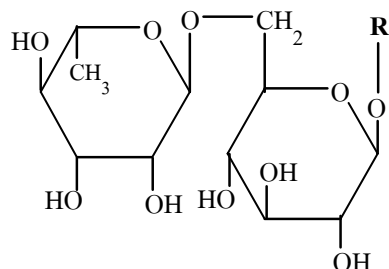
β -D-glucopyranose เสมอ ในกรณีที่เป็นไดแซ็กคาไรด์ที่พบมาก ได้แก่ α -L-arabinofuranose, α -L-arabinopyranose, α -L-rhamnopyranose, β -D-glucopyranose, β -D-apiofuranose และ β -D-xylopyranose ดังแสดงในภาพที่ 4 (Sarry and Günata, 2004)



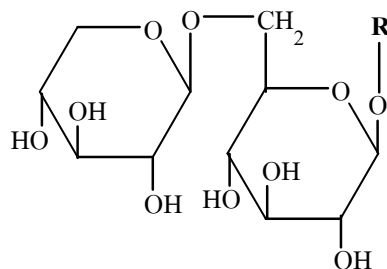
α -L-arabinofuranosyl- β -D-glucoside



β -D-apiofuranosyl- β -D-glucoside



α -L-rhamnopyranosyl- β -D-glucoside



β -D-xylopyranosyl- β -D-glucoside

R = monoterpenes, norisoprenoids, benzene derivatives

ภาพที่ 4 โครงสร้างของน้ำตาลที่เป็นส่วนไกลโคโคนในสารไกลโคไซด์

ที่มา: Sarry and Günata (2004)

หากพิจารณาในเชิงเคมีสารไกลโคไซด์จะไม่มีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระที่ตำแหน่ง β หรือ α จึงไม่เกิดปฏิกิริยาผันกลับเป็นอัลดีไฮด์หรือคีโตนอิสระ ดังนั้นจึงไม่ถูกออกซิไดซ์เป็นกรดคาร์บอกซิลิก (สุนันทา, 2538) สารในรูปไกลโคไซด์จึงละลายน้ำได้ดีกว่า มีความคงตัวมากกว่า และมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่ำ ในขณะที่สารระเหยอิสระสามารถระเหยได้ง่ายในระหว่างการแปรรูป และการเก็บรักษา ซึ่งเป็นสาเหตุหลักในการเปลี่ยนแปลงลักษณะกลิ่นของอาหารจากการเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ เช่น ออกซิเดชัน การเกิดพอลิเมอร์ (polymerisation) เป็นต้น แต่สารระเหยในรูปไกลโคไซด์ไม่สามารถระเหยได้ จึงไม่เป็นสาเหตุให้เกิดปฏิกิริยาเหล่านั้น และเมื่อสารระเหยในรูปไกลโคไซด์เปลี่ยนมาเป็นสารระเหยอิสระในสถานะที่เหมาะสม สารระเหยในรูปไกลโคไซด์จึงจะเกิดการเปลี่ยนแปลงจากปฏิกิริยาได้เช่นเดียวกับสารระเหยอิสระ (Reineccius, 2006)

เนื่องจากสารไกลโคไซด์ไม่เกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ เหมือนสารอิสระ ดังนั้นจึงคาดว่าสารไกลโคไซด์เป็นรูปที่ใช้สะสมในพืช เพื่อการขนย้าย หรือเป็นการกำจัดสารพิษ สารไกลโคไซด์ที่พบในพืชส่วนมากเป็นสารพวก flavonols, anthocyanins, monoterpenes, norisoprenoid,อนุพันธ์ของเบนซิน และฮอร์โมนพืช (Sarry and Gunata, 2004; Ananthakumar *et al.*, 2006) สารตั้งต้นของสารระเหยในรูปไกลโคไซด์มักพบในพืชส่วนที่เป็นสีเขียว, ราก, rhizomes และเมล็ด (Sarry and Günata, 2004)

เทคนิคที่ใช้แยกสารไกลโคไซด์จากตัวอย่าง มักใช้น้ำหรือเมทานอลเป็นตัวละลายสารไกลโคไซด์ออกมาก่อนและนำไปทำให้บริสุทธิ์ขึ้นโดยการแยกด้วยคอลัมน์ที่มีตัวดูดซับแบบไม่ชอบน้ำ (hydrophobic adsorbents) ได้แก่ C18-reversed phase ซึ่งนิยมใช้ในการศึกษาสารระเหยในรูปไกลโคไซด์ในยุคเริ่มแรก เช่น การศึกษาในเสาวรส (Winterhalter, 1952) และในไวน์องุ่น (Mateo *et al.*, 1997) ต่อมามีการใช้ Amberlite XAD-2 กันอย่างแพร่หลาย เช่น การศึกษาในมะเขือเทศ (Buttery *et al.*, 1990; Marlatt *et al.*, 1992) มะม่วงของแอฟริกา (Sakho *et al.*, 1997) ผลระงังทอง (cape gooseberry) (Mayorga *et al.*, 2001) และลิ้นจี่ (Chyau *et al.*, 2003) เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบการสกัดแยกสารระเหยในรูปไกลโคไซด์โดยตรงด้วยเมทานอลในยาสูบ (Cai *et al.*, 2002) และพบสารระเหยในรูปไกลโคไซด์ในน้ำที่เหลือจากการสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยวิธีสกัดด้วยไอน้ำใน *Mentha longifolia* (Mastelic and Jerkovis, 2002) และ *Satureja Montana* L. (Mastelic and Jerkovis, 2003)

อย่างไรก็ตามการใช้ Amberlite XAD-2 ที่เป็นเฟสดูดซับของแข็งแบบไฮโดรโฟบิก (hydrophobic solid phase) ไม่สามารถสกัดแยกสารระเหยในรูปไกลโคไซด์ที่มีความมีขั้วสูงได้ (Ananthakumar *et al.*, 2006) และยังพบว่าสารระเหยในรูปไกลโคไซด์ในกลุ่มเทอร์พีนในใบมะกรูดที่สกัดด้วยเรซิน Amberlite XAD-2 มีปริมาณน้อยกว่าวิธีสกัดด้วยตัวทำละลายโดยตรง (พัชรภรณ์, 2550)

ส่วนมากจะพบสารระเหยในรูปไกลโคไซด์ในผลไม้และผัก แต่ก็มีรายงานการพบสารระเหยในรูปไกลโคไซด์ในพวกเครื่องเทศ สมุนไพร เช่น ในขิง (Wu *et al.*, 1990), Cypress Cones (*Cupressus sempervirens* L.) (Miloš *et al.*, 1998), *Mentha longifolia* (Mastelic and Jerkovis, 2002), ลูกจันทน์ (Ananthakumar *et al.*, 2006), เสจ (Wang *et al.*, 1998) และออริกาน (Miloš *et al.*, 2000) เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการศึกษาสารระเหยในรูปไกลโคไซด์ในสมุนไพรเพื่อหาวิธีเพิ่มผลได้ (yield) ของน้ำมันหอมระเหยจากสารระเหยในรูปไกลโคไซด์ เช่น ใน *Taxus*

baccata ซึ่งเป็นพืชที่พบในตุรกี มีการศึกษาโดยใช้เอนไซม์ไปช่วยไฮโดรลิซิสสารระเหยในรูปไกลโคไซด์ในตัวอย่างก่อนไปสกัดน้ำมันหอมระเหย (Erdemoglu *et al.*, 2003)

2.2.2 การสลายพันธะของสารระเหยในรูปไกลโคไซด์

สารระเหยในรูปไกลโคไซด์สามารถเปลี่ยนเป็นสารระเหยอิสระได้โดยการทำงานของเอนไซม์ หรือการไฮโดรลิซิสด้วยกรด (Williams, 1993) ในการศึกษาชนิดและปริมาณสารระเหยในรูปไกลโคไซด์ในผักผลไม้ การศึกษาในรูปที่เป็นสารไกลโคไซด์โดยตรงทำได้ยากเนื่องจากไม่มีสารมาตรฐานของสารระเหยในรูปไกลโคไซด์ในทางการค้า จึงนิยมไฮโดรลิซิสหรือสลายพันธะไกลโคซิดิกระหว่างน้ำตาลและสารระเหยก่อน แล้วจึงศึกษาเมื่ออยู่ในรูปอะไกลโคนที่เป็นสารระเหยอิสระ โดยวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณด้วยวิธีโครมาโทกราฟี วิธีการที่ใช้สลายพันธะในการวิเคราะห์ที่นิยมใช้มี 2 วิธี ได้แก่ (Sarry and Günata, 2004)

ก. การไฮโดรลิซิสด้วยกรด (acid hydrolysis)

การใช้กรดในการสลายพันธะนั้นจะใช้สารละลายกรดไปเร่งการสลายพันธะไกลโคซิดิก กรดที่นิยมใช้ ได้แก่ กรดไฮโดรคลอริก (Ananthakumar *et al.*, 2006; Miloš *et al.*, 1998; Engel and Tressl, 1983) สารละลายบัฟเฟอร์ของเกลือฟอสเฟต (phosphate buffer) (Buttery *et al.*, 1990; Cai *et al.*, 2002) trifluoroacetic acid (Sakho *et al.*, 1997) และกรดทาร์ทาริก (López *et al.*, 2004) เป็นต้น

การสลายพันธะไกลโคซิดิกระหว่างสารระเหยในรูปไกลโคไซด์กับองค์ประกอบอื่นในพืชโดยการไฮโดรลิซิสด้วยกรดเป็นวิธีที่สลายพันธะแบบสุ่ม แม้จะมีความจำเพาะต่อพันธะต่ำ แต่ก็สามารถสลายพันธะได้หลายกลุ่มกว่าการใช้เอนไซม์ ทั้งนี้อัตราการใช้ไฮโดรลิซิสของกรดขึ้นอยู่กับ pH, อุณหภูมิ และโครงสร้างของสารที่ทำพันธะอยู่กับน้ำตาล (Sarry and Günata, 2004) แต่วิธีนี้มีข้อเสียคือ มักเกิดสารชนิดอื่นที่รบกวนผลการวิเคราะห์เนื่องจากการจัดเรียงตัวใหม่ของสารประกอบหลังทำลายพันธะด้วยกรด

ข. การไฮโดรลิซิสด้วยเอนไซม์ (enzyme hydrolysis)

เอนไซม์ที่สามารถสลายพันธะไกลโคซิดิกที่พบทั่วไปในทางชีววิทยา ทาง การแพทย์ และใช้ในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ ได้แก่ เอนไซม์กลุ่ม *O*-glycoside hydrolases ซึ่งจัด กลุ่มของเอนไซม์นี้ได้ 82 กลุ่มตามลำดับการเรียงตัวของกรดอะมิโน (Henrissat, 1991) เอนไซม์นี้ จะทำงานโดยไปเร่งการสลายพันธะไกลโคซิดิกระหว่างน้ำตาลกับสารอะไกลโคน รวมถึงพันธะ ไกลโคซิดิกระหว่างน้ำตาลกับน้ำตาลเองในกรณีที่เป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่ ดังนั้นจึงสามารถจัดกลไก การทำลายพันธะด้วยเอนไซม์แบ่งออกเป็น 2 กลไก (Sarry and Günata, 2004) คือ

1) กลไกแบบสองขั้นตอน (two-step หรือ sequential-hydrolysis)

ในขั้นแรกเอนไซม์ exoglycosidase เช่น α -arabinofuranosidase, α -rhamnopyranosidase, β -xylopyranosidase, β -apiofuranosidase ซึ่งทำลายพันธะระหว่างหมู่ของ น้ำตาลใดแซ็กคาไรด์ได้เป็นน้ำตาลมอนอแซ็กคาไรด์ และ β -D-glycoside จากนั้นเอนไซม์ β -glycosidase จะทำลายพันธะระหว่างน้ำตาลกลูโคสและสารให้กลั่น

2) กลไกแบบขั้นตอนเดียว (one-step hydrolysis)

เอนไซม์ diglycosidase จะทำลายพันธะระหว่างสารให้กลั่นและใดแซ็กคาไรด์ได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารให้กลั่น และใดแซ็กคาไรด์โดยตรง

3. การสกัดสารระเหยด้วยตัวทำละลาย (solvent extraction)

วิธีการสกัดสารระเหยด้วยตัวทำละลายใช้แยกสารระเหยออกจากตัวอย่างโดยอาศัย คุณสมบัติของความสามารถในการละลายที่แตกต่างกันของสารระเหยในตัวทำละลาย จัดเป็น วิธีการที่ง่ายและมีประสิทธิภาพ สามารถสกัดตัวอย่างที่มีลักษณะเป็นของเหลวและของแข็งได้ (Pomeranz and Meloan, 1978) วิธีนี้เหมาะสำหรับงานวิจัยที่มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ชนิดและ ปริมาณของสารระเหยทั้งหมดในตัวอย่าง เนื่องจากตัวทำละลายจะสัมผัสกับตัวอย่างโดยตรง จึงทำ ให้สามารถสกัดสารได้หลายกลุ่มกว่าวิธีสกัดอื่น ๆ การเพิ่มประสิทธิภาพของการสกัดทำได้ด้วยการ เติมเกลือลงไปเพื่อช่วยให้สารละลายอิมัลชัน เกลือที่นิยมใช้ ได้แก่ โซเดียมคลอไรด์ และโซเดียม- ซัลเฟต การเติมเกลือจะไปช่วยทำให้การสกัดมีความจำเพาะต่อสารระเหยดีขึ้น และลดการเกิด

อิมัลชัน (เกรียงศักดิ์, 2531) ข้อจำกัดของการสกัดด้วยวิธีนี้คือ ไม่เหมาะสำหรับอาหารที่มีไขมัน เพราะตัวทำละลายสามารถสกัดไขมันปนออกมาด้วย แต่หากอาหารที่สกัดมีไขมันต้องแยกเอาไขมันออกก่อนการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคต่าง ๆ เช่น การกลั่นด้วยไอน้ำ (steam distillation), dynamic headspace และการกลั่น โมเลกุล (molecular distillation) (Reineccius, 2006) ซึ่งเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าการกลั่นลดความดัน (high vacuum distillation) (Parliament, 2002)

การกลั่นลดความดันเหมาะสำหรับใช้ร่วมกับการสกัดด้วยตัวทำละลายในตัวอย่างที่มีไขมัน เพื่อช่วยแยกส่วนของไขมันและสารที่ไม่ระเหยออกจากส่วนที่ระเหย จะทำให้ได้สารละลายที่มีความบริสุทธิ์และมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น (Parliament, 2002) เครื่องมือประกอบด้วยชุดเครื่องแก้วใส่ตัวอย่างต่อกับขวดรองรับสองขวด ขวดหนึ่งเป็นขวดกักเก็บสารระเหยอีกขวดเป็นขวดรองรับของเสีย เครื่องแก้วทั้งชุดจะต่อกับเครื่องทำสุญญากาศ และขวดรองรับจะแช่อยู่ในถังบรรจุไนโตรเจนเหลว ก่อนจะนำตัวอย่างมากลั่นต้องทำให้เย็นที่ -180 องศาเซลเซียสก่อน ตลอดระยะเวลาที่กลั่นจะทำให้อุณหภูมิภายในไนโตรเจนเหลว ความดันสุญญากาศที่ใช้อยู่ในช่วง $10^{-4} - 10^{-5}$ ทอร์รี่ ขึ้นกับว่าตัวอย่างมีน้ำมันมากน้อยเพียงใด (เกรียงศักดิ์, 2531)

การทำสารสกัดให้เข้มข้นก่อนวิเคราะห์ด้วย GC เป็นขั้นตอนที่สำคัญขั้นตอนหนึ่ง เนื่องจากการสกัดด้วยตัวทำละลายมักจะสกัดซ้ำหลายครั้งเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการสกัดที่สูงขึ้น จึงใช้ตัวทำละลายค่อนข้างมาก (Reineccius, 1994) จำเป็นต้องทำให้สารสกัดเข้มข้นด้วยการระเหยตัวทำละลายส่วนเกินออก ดังนั้นตัวทำละลายที่ใช้ต้องมีจุดเดือดต่ำกว่าสารระเหยที่ต้องการสกัด ตัวทำละลายที่นิยมใช้ได้แก่ ตัวทำละลายเพนเทน ไดคลอโรมีเทน ไดเอทิลอีเทอร์ และไอโซเพนเทน เป็นต้น ข้อเสียของการทำให้เข้มข้นโดยระเหยตัวทำละลายบางส่วนออกคือ สารระเหยที่สนใจมักจะระเหยออกไปด้วย เนื่องจากเกิด codistillation นอกจากนี้การสูญเสียขององค์ประกอบสารยังไม่มีรูปแบบและไม่สามารถคาดเดาได้ ดังนั้นการวิเคราะห์ปริมาณอาจผิดพลาด การเติม internal standard ที่ทราบปริมาณและความเข้มข้นลงไปจะช่วยแก้ไขปัญหานี้ได้ การทำให้ตัวทำละลายระเหยมีหลายวิธี เช่น เป่าด้วยแก๊สไนโตรเจนเบา ๆ การทำระเหยภายใต้สุญญากาศ หรือการใช้แก๊สไนโตรเจนร่วมกับการให้ความร้อน เป็นต้น ทั้งนี้ควรระวังในเรื่องระยะเวลาและอุณหภูมิในการระเหย เพราะเป็นสาเหตุให้เกิดออกซิเดชันของตัวอย่าง แต่ปัญหานี้จะเกิดขึ้นน้อยในสภาวะสุญญากาศหรือในบรรยากาศที่มีแก๊สเฉื่อยต่อการเกิดออกซิเดชัน (Reineccius, 2006)

4. สารให้กลิ่นในพืชสมุนไพร

สมุนไพร (herbs) ตามรากศัพท์หมายถึงพืชที่เป็นยา ส่วนเครื่องเทศ (spices) มักหมายถึงสิ่งที่ใช้เป็นเครื่องปรุงในอาหาร ดังนั้นสมุนไพรที่รับประทานได้จึงจัดเป็นเครื่องเทศด้วย การใส่เครื่องเทศในอาหารเพื่อประโยชน์หลายอย่าง (Hirasa and Takemasa, 1998) อาทิเช่น ให้กลิ่นรส (flavor) ใช้ดับกลิ่น (deodorizing/masking) ในอาหารที่มีกลิ่นไม่พึงประสงค์ ช่วยเพิ่มรสชาติ (taste) เช่น capsaicin ที่ให้ความรู้สึกละมุนในพริก และพริกไทย (Kalantzis *et al.*, 2007) เป็นตัวให้สี เป็นตัวต้านออกซิเดชัน (antioxidant) ยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ (antimicrobial) และเพื่อช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัส เช่น การใส่อบเชยในระหว่างการหมักขนมปัง นอกจากจะเป็นตัวเสริมกลิ่นรสแล้ว ด้วยคุณสมบัติในการต้านเชื้อจุลินทรีย์จึงช่วยควบคุมไม่ให้เกิดการหมักมากเกินไป

สารให้กลิ่นในพืชสมุนไพรมักเป็นอนุพันธ์ของไอโซพรีนอยด์ (isoprenoids) ที่จัดเป็นผลิตภัณฑ์ของเมแทบอลิซึมระดับทุติยภูมิของพืช (Williams, 1993) สารในกลุ่มนี้เช่น สโตรโมนิฟิแคโรทีนอยด์ (carotenoids) และสเตอรอล (sterols) เป็นต้น ซึ่งเป็นสารที่ไม่ได้มีความจำเป็นต่อการอยู่รอดของพืช แต่มนุษย์นิยมนำมาใช้เป็นยารักษาโรค ยาฆ่าแมลง หรือเป็นส่วนประกอบในอุตสาหกรรมอาหาร

สารจากเมแทบอลิซึมระดับทุติยภูมิหลายชนิดเป็นสารพิษ และพืชมักจะใช้วิธีการเก็บสารเหล่านั้นโดยการสร้างหมู่ฟังก์ชันเช่น $-NH_2$, $-OH$, $-SH$ และ $-COOH$ รวมถึงหมู่ของน้ำตาลเช่น กลูโคส กาแลคโตส แรมโนส และไซโลส ไปยึดจับกับสารพิษนั้น จึงจัดได้ว่าเป็นการเก็บสารพิษไว้ในรูปสารไกลโคไซด์เพื่อป้องกันสารพิษนั้นไม่ให้ทำงาน ซึ่งเป็นการทำลายความเป็นพิษได้ (detoxification) และพืชจะสะสมสารไกลโคไซด์ที่สร้างขึ้นไว้ในแวคิวโอล (vacuoles) เพื่อแยกสารนี้ออกจากเอนไซม์ เป็นการป้องกันไม่ให้สารพิษในรูปไกลโคไซด์ถูกทำลายพันธะไกลโคซิดิกโดยเอนไซม์กลายเป็นสารพิษอิสระมาทำอันตรายต่อเซลล์ (Edwards and Gatehouse, 1999)

ในเครื่องเทศสมุนไพรส่วนใหญ่มีส่วนประกอบสำคัญ คือ ไฟเบอร์ น้ำตาล ไขมัน โปรตีน เกล็ด กัม น้ำมันหอมระเหย และสารอื่น ๆ ส่วนประกอบที่มีความสำคัญต่อกลิ่นของสมุนไพรคือน้ำมันหอมระเหย ซึ่งประกอบด้วยสารมากมายหลายชนิดผสมกันและบรรจุอยู่ในเนื้อเยื่อพิเศษและในเซลล์เช่น oil cell, oil glands และ glandular hairs กลิ่นจะออกมาเมื่อเซลล์เหล่านี้ถูกทำลายจากการตัดหรือขยี้ (Hirasa and Takemasa, 1998)

โดยทั่วไปสารประกอบในน้ำมันหอมระเหยแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มหลัก (นิธิยา, 2545) ได้แก่

4.1 สารประกอบกลุ่มเทอร์พีนอยด์

เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีโครงสร้างเป็นเส้นตรง หรือเป็นวงแหวน ประกอบด้วยหน่วยไอโซพรีน (isoprene) ตั้งแต่ 2 หน่วยขึ้นไป เรียกว่าเทอร์พีนไฮโดรคาร์บอน (terpene hydrocarbon)

เทอร์พีนมีโครงสร้างหลักเป็นไอโซพรีนตั้งแต่หนึ่งหน่วยขึ้นไปเชื่อมต่อกัน เขียนสูตรได้เป็น $(C_5H_8)_n$ (Cseke *et al.*, 2006) ได้แก่

1. hemiterpene (n=1, C₅) มักอยู่ในรูปแอลกอฮอล์ อัลดีไฮด์ หรือ กรด
2. monoterpene (n=2, C₁₀) มีโครงสร้างเป็นวงและสาย ส่วนมากเป็นสารประกอบของน้ำมันหอมระเหยในพืช มีกลิ่นหอม ไม่ละลายน้ำ ระเหยง่าย
3. sesquiterpene (n=3, C₁₅) พบในน้ำมันหอมระเหย
4. diterpene (n=4, C₂₀) พบในส่วนเหลือจากการกลั่นด้วยไอน้ำ มีจุดเดือดสูง เรียกว่า resinous high boiling point
5. triterpene (n=6, C₃₀) มีโครงสร้างหลายรูปแบบ เช่น สารไฮโดรคาร์บอน, tetracyclic หรือ pentacyclic ring

4.2 สารให้กลิ่นพวกนอนเทอร์พีนอยด์

พบในรูปสารประกอบอินทรีย์จำพวกไฮโดรคาร์บอน แอลกอฮอล์ อัลดีไฮด์ เอสเทอร์ คีโตน และฟีนอล สารให้กลิ่นที่มีโครงสร้างเป็นเบนซิน เกิดจากปฏิกิริยาทางชีวเคมีที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับเมแทบอลิซึมของพืช เช่น แอลกอฮอล์ กรด เอสเทอร์ อัลดีไฮด์ คีโตน ฟีนอล และแลคโตน เป็นต้น โดยเกิดการสังเคราะห์ทางชีวภาพจากสารตั้งต้น n-propyl benzene มีเอนไซม์เร่งการเกิดปฏิกิริยา และเกิดออกซิเดชันที่ตำแหน่งหมู่ฟังก์ชันที่ต่อกับเบนซินได้เป็นสารอื่น เช่น eugenol เกิด acetylation ได้ isoeugenol acetate แล้วเกิดออกซิเดชันเป็น vanillin (Reineccius, 1994)

5. ผลของการแปรรูปต่อสารให้กลิ่นในอาหาร

การแปรรูปอาหารนอกจากเป็นการถนอมอาหารให้มีอายุการเก็บนานขึ้น แล้วยังใช้เพื่อทำให้อาหารมีกลิ่นรสและรสชาติดีขึ้น สามารถจำหน่ายได้สะดวกขึ้น แต่การแปรรูปอาหารมักจะทำให้คุณค่าทางโภชนาการลดลง และการแปรรูปบางวิธีก็ทำให้อาหารมีกลิ่นและรสชาติที่น่ารับประทานน้อยลง การแปรรูปอาหารด้วยการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสารให้กลิ่นในอาหารได้ โดยสารให้กลิ่นจะสูญเสียไปในระหว่างการให้ความร้อนในการทำแห้ง และมักเกิดสารอื่นที่ไม่ต้องการขึ้น (Boudhrrioua *et al*, 2003) สารให้กลิ่นที่เหลือจากการทำแห้งด้วยลมร้อนมีมากน้อยขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความดันไอของสารระเหยแต่ละชนิด (vapor pressure), อุณหภูมิในการทำแห้ง, องค์ประกอบของตัวอย่าง (Mattheis *et al.*, 1991), ลักษณะทางชีวภาพของพืช, ความสามารถในการระเหย และโครงสร้างของสารระเหย โดยพบว่าเทอร์พีนที่ไม่มีออกซิเจนในโมเลกุลจะสูญเสียมากกว่าพวกที่มีออกซิเจนในโมเลกุล เนื่องจากความแตกต่างของความสามารถในการระเหย รวมถึงการเกิดออกซิเดชันของสารพวกที่ไม่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบขณะทำแห้ง (Venskutonis, 1997) ส่วนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying) ปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณสารระเหยที่เหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์ภายหลังการทำแห้ง คือ ความดันไอของสารแต่ละชนิด ความสามารถในการระเหยสัมพัทธ์ (relative volatility) อุณหภูมิที่ใช้ในช่วงการทำแห้ง องค์ประกอบของอาหารแต่ละชนิด (Krokida and Philippopoulos, 2006) ปริมาณของแข็งในอาหาร ชนิดของของแข็ง ความหนาของอาหาร เมทริกซ์ของอาหาร ความเข้มข้นของสารระเหยเริ่มต้น และอัตราการทำแห้ง (Flink and Karel, 1970; Flink and Geji-Hanse, 1972)

ในระหว่างการทำแห้งสารให้กลิ่นจะสูญเสียไปหรือมีการเปลี่ยนแปลงเกิดเป็นสารชนิดอื่น การเพิ่มขึ้นของสารให้กลิ่นบางชนิดอธิบายได้ด้วยปฏิกิริยาบางอย่างเช่น การหายใจโดยไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic respiration) หรือการเปลี่ยนแปลงจากเอนไซม์ที่เกิดขึ้นระหว่างการแปรรูปในขณะที่ความชื้นของผลิตภัณฑ์ยังคงสูงอยู่ นอกจากนี้ยังพบว่าปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นสาเหตุสำคัญของการสูญเสียกลิ่นรสในอาหารแห้ง เนื่องจากจุลินทรีย์ของอาหารแห้งสามารถเก็บกักออกซิเจนไว้ในภาชนะได้ สามารถลดปฏิกิริยานี้ได้โดยการบรรจุผลิตภัณฑ์ในสุญญากาศ หรือเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ นอกจากนี้การหลีกเลี่ยงรังสีอัลตราไวโอเลตหรือแสงที่มองเห็นได้ การควบคุมรักษาความชื้นให้ต่ำ การเติมสารต้านออกซิเดชัน ทั้งจากธรรมชาติและสังเคราะห์จะสามารถป้องกันการเกิดออกซิเดชันได้ (วิลโล, 2546)

จากการทดลองของพัชรภรณ์ (2550) ซึ่งศึกษาการทำแห้งใบมะกรูดด้วย 4 วิธี ได้แก่ การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง การทำแห้งด้วยไมโครเวฟแบบสุญญากาศ (microwave assisted vacuum drying) การทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (oven drying) และการตากแห้งในที่ร่ม (shade drying) ทำให้ปริมาณสารให้กลิ่นสำคัญในใบมะกรูดลดลง โดยการตากแห้งในที่ร่มมีส่วนการลดลงของสารให้กลิ่นสำคัญในรูปอิสระมากที่สุด รองลงมาคือ การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง การทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน และการทำแห้งด้วยไมโครเวฟแบบสุญญากาศ ซึ่งการลดลงของสารให้กลิ่นสำคัญดังกล่าวทำให้กลิ่นของใบมะกรูดแห้งมีความแตกต่างจากใบมะกรูดสด เช่น การลดลงของ citronellal ทำให้กลิ่นเขียวลดลง นอกจากนี้ยังไม่พบ hexanal และ (*E*)-2-hexenal ซึ่งทำให้กลิ่นเขียวและกลิ่นสดในใบมะกรูดแห้งอีกด้วย และการทำแห้งยังทำให้เกิดสารให้กลิ่นที่ให้กลิ่นแห้งซึ่งเป็นสารที่ไม่พบในใบมะกรูดสดอีกด้วย การทำแห้งด้วยไมโครเวฟแบบสุญญากาศเป็นวิธีการที่ทำให้สารให้กลิ่นสำคัญหลายชนิดมีปริมาณใกล้เคียงกับใบมะกรูดสด สำหรับใบมะกรูดทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนสารให้กลิ่นสำคัญในกลุ่มแอลกอฮอล์มีปริมาณใกล้เคียงกับใบมะกรูดสด แต่อย่างไรก็ตามใบมะกรูดทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนมีลักษณะกลิ่นแห้งชัดเจนกว่าใบมะกรูดสดและใบมะกรูดทำแห้งด้วยวิธีอื่น การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเกิดการสูญเสียสารให้กลิ่นสำคัญหลายชนิดมากกว่าวิธีการอื่น ส่วนการตากแห้งในที่ร่มทำให้ปริมาณของ citronellal ลดลงมากที่สุด ซึ่งการลดลงนี้ส่งผลต่อลักษณะกลิ่นโดยรวมของใบมะกรูดแห้ง

ในการทดลองของเขาวภา (2547) การแปรรูปส้มยำกิ่งสำเร็จรูป (ชำ ตะไคร้ ใบมะกรูด) ด้วยการผัด ทอด ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง และทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน พบว่าทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง และทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ทำให้ปริมาณของ sesquiterpene เพิ่มขึ้น และยังทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยเฉพาะการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่ทำให้เกิดการออกซิเดชันของอัลดีไฮด์ไปเป็นกรด ได้แก่ (*E*)-3-hexenoic acid และ (*E*)-2-hexenoic acid และเกิดออกซิเดชันของ (*E*)- β -caryophyllene เป็น (-)-caryophyllene oxide ส่วนการทอดซึ่งใช้ความร้อนสูงทำให้เกิดสารให้กลิ่นจากการแปรรูปได้แก่ ไพราซีน และฟูแรน ส่วนส้มยำชนิดสดมีกลิ่นโดยรวมดีกว่าส้มยำที่ปรุงจากเครื่องปรุงสำเร็จรูปชนิดอื่น แม้ว่าจะมีปริมาณของสารระเหยประเภทต่าง ๆ น้อยกว่า เพราะส้มยำชนิดสดมีส่วนของ acyclic monoterpene ต่อสารระเหยทั้งหมดมากที่สุด โดยเฉพาะ geranial, neral และ citronellal ซึ่งเป็นสารระเหยหลักที่ให้กลิ่นสำคัญในส้มยำ ส่วนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและแบบใช้ตู้อบลมร้อนทำให้เกิด off-flavor เช่น (*E*)- β -caryophyllene, (-)-caryophyllene oxide และ δ -cadinene ซึ่งให้กลิ่นแห้งคล้ายไม้และกลิ่นควนเพิ่มมากขึ้น ส่วนการทอดทำให้เกิด off-flavor ที่มีกลิ่นคล้ายแมลงจาก citronellyl acetate, (*E*)-sabinene hydrate และ α -copaene เป็นต้น

ความร้อนจากการแปรรูปจะช่วยเร่งปฏิกิริยาการเกิดสารให้กลิ่นจากปฏิกิริยา Maillard, Strecker degradation และ lipid oxidation โดยเฉพาะการให้ความร้อนที่มากกว่า 110 องศาเซลเซียส (Ho *et al.*, 2007) เช่น ฟริกที่ผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสเกิดสารให้กลิ่นจากปฏิกิริยา Maillard, hydrolytic และ oxidative degradation (Cremer and Eichner, 2000) นอกจากนี้ยังพบว่าความร้อนช่วยเร่งการเกิดการเรียงตัวของสารใหม่ในระหว่างการให้ความร้อนใน bacuri pulp ทำให้ปริมาณของ oxygenated และ hydrocarbon terpene เพิ่มขึ้น (Boulanger and Crouzet, 2001) เช่นเดียวกับการทดลองของ Shashirekha *et al.* (2008) ที่พบว่าการพาสเจอร์ไร้น้อยหน่าที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียสเกิดสารใหม่พวก oxygenated sesquiterpene ขึ้นในผลิตภัณฑ์ ในขณะที่ 85 องศาเซลเซียสเกิดการสูญเสียสารให้กลิ่นส่วนใหญ่

6. ปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงสารให้กลิ่นรส

สารให้กลิ่นรสในอาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงได้เนื่องจากหลายสาเหตุ เช่น โครงสร้างของสารให้กลิ่นเปลี่ยนจากการเกิดปฏิกิริยาเคมี ซึ่งมีผลทำให้กลิ่นรสของอาหารผิดปกติไปจากเดิม ซึ่งการเปลี่ยนแปลงทางเคมีนี้มักเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของสารแต่ละชนิด และสภาวะในการทดลอง (Shaikh, 2002) ปฏิกิริยาที่ทำให้สารให้กลิ่นเปลี่ยนแปลง ได้แก่

6.1 ปฏิกิริยาออกซิเดชัน

เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้ง่าย โดยจะเกิดได้ดีเมื่อมีออกซิเจน รังสีอัลตราไวโอเลต และอนุมูลอิสระ (radical) เช่น caryophyllene เกิดออกซิเดชันเป็น caryophyllene oxide (Sköld *et al.*, 2006)

6.2 ปฏิกิริยาสรางวง (cyclization)

เกิดกับสารที่อยู่ในรูปที่ไม่เป็นวงเช่น citronellal เกิดปฏิกิริยาสรางวงเมื่อถูกกระตุ้นด้วยกรดเป็น isopulegol (Bauer *et al.*, 1997) หรือ (+)-germacrene A เกิดปฏิกิริยาสรางวงในสภาวะกรดได้เป็น selinene (Kraker *et al.*, 2001)

6.3 ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส (hydrolysis) และไฮเดรชัน (hydration) หรือ hydroxylation

เป็นปฏิกิริยาที่มีน้ำมาเกี่ยวข้อง โดยที่ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเป็นการสลายพันธะที่บางจุดของโมเลกุลด้วยน้ำ ทำให้เกิดเป็นสารใหม่ที่โมเลกุลเล็กลง เช่น ในสารละลายกรดเจือจางที่ทำให้ความร้อนจะเกิดไฮโดรลิซิสของ caryophyllene oxide ที่วง epoxide ซึ่งเป็นส่วนที่ไวต่อปฏิกิริยามากที่สุด แล้วเกิดไอโซเมอร์ไรเซชัน (isomerization) เป็น clovane diol (Yang *et al.*, 1993) หรือ humuladiene diepoxide A ที่เกิดไฮโดรลิซิสเมื่อได้รับความร้อนเปลี่ยนเป็นสารหลายชนิด เช่น humuladiene triol (Smith *et al.*, 1991) ส่วนปฏิกิริยาไฮเดรชัน หรือ hydroxylation เป็นการเติมน้ำเข้าไปในโมเลกุลของสาร ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงหมู่ฟังก์ชัน เช่น สารประกอบไฮโดรคาร์บอนเกิด hydroxylation เป็นแอลกอฮอล์โดยเร่งด้วยกรด (Iwanami *et al.*, 1997)

6.4 ปฏิกิริยาดีไฮเดรชัน (dehydration)

หรือปฏิกิริยาการขจัดน้ำ โดยมีแอลกอฮอล์เป็นสารตั้งต้นทำปฏิกิริยาร่วมกับกรด ได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบอัลคีน (สุนันทา, 2538) เช่น borneol เกิดปฏิกิริยาการขจัดน้ำในกรดเจือจาง ได้เป็น camphene (Bauer *et al.*, 1997)

6.5 ปฏิกิริยาไอโซเมอร์ไรเซชัน (isomerization)

คือการเปลี่ยนเป็นสารชนิดใหม่ที่เป็นไอโซเมอร์กัน เช่น โครงสร้างของสารให้กลิ่นที่อยู่ในรูป *E* เปลี่ยนเป็น *Z* ที่เสถียรกว่า โดยมีความร้อน แสง อาภาศ และ pH เป็นปัจจัยสำคัญ หรือการเกิดไอโซเมอร์ไรเซชันของ linalool ในสภาวะกรดเป็น geraniol, nerol และ α -terpineol (Ohta *et al.*, 1991)

6.6 การสร้าง Schiff base

เกิดจากอัลดีไฮด์หรือคีโตนทำปฏิกิริยากับเอมีน เช่น citral ทำปฏิกิริยากับ methyl anthranilate ได้เป็น Schiff base มีสีเหลือง (Shaikh, 2002)

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาของสารให้กลิ่น

1. ออกซิเจน เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิด off flavor จากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Reineccius, 2006)
2. pH โดยทั่วไปที่ pH ต่ำ จะกระตุ้นปฏิกิริยาการสลายตัวของสารให้กลิ่นรส เช่น geraniol หรือ nerol เปลี่ยนรูปเป็น linalool และ α -terpineol ซึ่งอัตราการเปลี่ยนรูปนี้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน (Ohta *et al.*, 1997)
3. ความร้อน เช่น การเกิดสารให้กลิ่นจากปฏิกิริยาการสลายตัวของน้ำตาลด้วยความร้อน (sugar thermal breakdown) ซึ่งเกิดจากการให้ความร้อนประมาณ 150-180 องศาเซลเซียสแก่ น้ำตาลในสภาวะที่มีความชื้นต่ำ ทำให้น้ำตาลสูญเสียน้ำกลายเป็น anhydro sugar และเกิดสารให้กลิ่น เช่น furfural, 5-hydroxymethylfurfural และ maple lactone เป็นต้น (Fisher and Scott, 1997)
4. แสงและรังสี เช่น รังสีอัลตราไวโอเลตก่อให้เกิดอนุมูลอิสระ ซึ่งเป็นสารมัธยันต์ที่ไปทำปฏิกิริยากับออกซิเจน ทำให้ limonene, terpinolene และ nonanal ลดลงโดยเฉพาะโครงสร้างที่ไม่เป็นวง เช่น geraniol, neral, myrcene, linalool, α -terpinene, γ -terpinene และ terpinolene ลดลง (Iwanami *et al.*, 1997) ในขณะที่โครงสร้างที่เป็นวงและ sesquiterpene ถูกทำลายด้วยรังสีแกมมา น้อยกว่า (Fan and Gates, 2001)
5. เอนไซม์ ในอาหารปกติจะมีเอนไซม์อยู่หลายชนิด ซึ่งสามารถทำให้ไม่ทำงานได้ด้วยการแปรรูป หรือให้อยู่ในสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ เช่น water activity (a_w) ต่ำ, อุณหภูมิ และ pH เอนไซม์ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสในอาหารที่สำคัญ ได้แก่ lipoxigenase, lipase และ proteases (Reineccius, 2006)

7. การศึกษาสารให้กลิ่นด้วย Gas Chromatography-Olfactometry

การศึกษาสารให้กลิ่นด้วย Gas Chromatography-Olfactometry (GC-O) เป็นการศึกษาสารให้กลิ่นสำคัญ (odor active compounds) โดยการใช้จมูกมนุษย์ดม (sniffing) สารระเหยที่แยกจากคอลัมน์ของเครื่อง GC ซึ่งจะได้กลิ่นมากหรือน้อยขึ้นกับ จิตจำกัของการปลดปล่อยกลิ่นออกจาก

อาหาร และคุณสมบัติของกลิ่นทั้งชนิดและปริมาณที่ระเหยออกมา ทำให้มีเพียงสารระเหยบางสารเท่านั้นที่กลิ่นที่มนุษย์รับรู้ได้ (Ruth, 2001)

วิธีการนี้เป็นวิธีที่มีความไวต่อการตอบสนองมากที่สุดวิธีหนึ่ง เนื่องจากไม่มีดีเทกเตอร์ใดที่จะมีความไวเท่าจมูกมนุษย์ ทั้งนี้ประสาทสัมผัสของมนุษย์มีความไวต่อสารให้กลิ่นในระดับ 10^{-12} กรัม/ลิตร ในขณะที่ดีเทกเตอร์ชนิด MS (Mass Spectrometry) มีความไวในการตรวจจับสารให้กลิ่นในระดับ 10^{-5} กรัม/ลิตร เท่านั้น ในขณะที่อาหารทั่วไปมีสารระเหยอยู่ในช่วง 10^{-4} - 10^{-11} กรัม/ลิตร (Friedrich and Acree, 2000)

การวิเคราะห์สารให้กลิ่นสำคัญด้วย GC-O จำเป็นต้องทราบและเข้าใจถึงข้อจำกัด และข้อควรระวังของวิธีนี้ เพื่อความถูกต้องของข้อมูล และการนำไปปรับเลือกวิธีการให้เหมาะสมต่อตัวอย่าง ปัจจัยที่ควรพิจารณาในการศึกษาสารให้กลิ่นด้วย GC-O (Delahunty, 2006) ได้แก่ วิธีเตรียมและสกัดตัวอย่าง, สภาพของเครื่องที่ใช้, การออกแบบตลอดจนการทำงานของ sniff port, การบันทึกข้อมูล, การฝึกฝนและวางแผนการทดลองเพื่อป้องกันอคติของผู้ทดสอบ

เนื่องจากวิธีศึกษาด้วย GC-O เป็นการใช้อุณหภูมิสูงในการฉีดให้สารระเหยทั้งหมดระเหยเข้าสู่คอลัมน์พร้อมกัน แล้วจึงจะค่อยๆแยกออกมาเป็นแต่ละสาร แตกต่างจากขณะรับประทานจริงที่สารระเหยที่อุณหภูมิของอาหาร ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าที่ใช้ใน GC-O ทำให้สารส่วนมากระเหยได้น้อยกว่า และการที่สารอยู่ในคอลัมน์นานเกินไป หรือสถานะที่ใช้อุณหภูมิสูงเป็นเวลานานอาจทำให้สารเกิดการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นจึงควรใช้คอลัมน์ที่ไม่ยาวจนเกินไป นอกจากนี้การที่สารให้กลิ่นอาจแยกออกมาจากคอลัมน์ช้า ๆ ทำให้เกิด cross-contamination หรือเกิด cross-adaptation เนื่องจากสารบางสารแยกตัวออกมาพร้อมกัน หรือใกล้เคียงกันมาก แต่หากช่วงการเกิดนี้ไม่มากอาจจะได้กลิ่นแยกกันได้ (Abbott *et al.*, 1993)

ผลการวิเคราะห์ GC-O มาจากการตัดสินใจต่อกลิ่นอย่างรวดเร็ว (Ruth, 2001) ของผู้ทดสอบแต่ละคนที่มีระดับ threshold, ความไวต่อการได้กลิ่น และการตอบสนองไม่เท่ากัน (Grosch, 1993; Ruth, 2001) ผู้ทดสอบแต่ละคนจะมีระดับ threshold ที่แตกต่างกัน ขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น เพศ อายุ และประสบการณ์ บางครั้งยังเป็นเพราะอัตราการไหลของสารให้กลิ่นด้วย (Friedrich *et al.*, 2001) นอกจากนี้การตอบสนองของมนุษย์ยังแตกต่างกันไปในแต่ละช่วงเวลา (Mistry *et al.*, 1986) พบว่าใช้เวลาในการดมอาจทำให้ผู้ทดสอบล้า และตื่นตัวน้อยลง (Ruth, 2001) หรือเกิดการปรับตัวเมื่อดมต่อเนื่องเป็นเวลานาน ๆ (Mistry *et al.*, 1986) ดังนั้นจึงควร

ดมเป็นช่วง ๆ ครั้งละประมาณ 5 นาที โดยไม่เรียงลำดับเพื่อลดความล้า และเพื่อไม่ให้จมูกแห้งจน
 ล้าได้ง่ายควรมีอากาศที่มีความชื้นออกมาตรงส่วน sniff port ด้วย (Blank, 2002)

ลำดับการดมสารขึ้นกับการแยกสารในคอลัมน์ ซึ่งลักษณะกลิ่น และความเข้มข้นของสารให้
 กลิ่นที่ออกมาก่อน จะมีผลต่อสารที่แยกออกมาที่หลัง เรียกว่าเกิด contrast effect ซึ่งการดมจากสอง
 คอลัมน์ที่มีความเข้มข้นต่างกันจะทำให้ได้ลำดับสารที่แยกแตกต่างกัน (Mistry *et al.*, 1986, Grosch,
 1993) ช่วยลดปัญหานี้ได้ และที่สำคัญเพื่อความปลอดภัยต่อผู้ทดสอบ การวิเคราะห์ด้วย GC-O ควร
 ทำหลังจากที่ทราบส่วนประกอบของตัวอย่างมาแล้ว (Mistry *et al.*, 1986)

วิธีที่ใช้ในการศึกษาสารให้กลิ่นสำคัญมี 3 วิธี (Delahunty, 2006) ดังนี้

7.1 dilution to threshold

หรือเรียกว่า dilution analysis (Ruth, 2001) เป็นการดมตัวอย่างที่หลายความ
 เข้มข้น โดยการเจือจางไปสู่ความเข้มข้นที่น้อยลงและดมตัวอย่างที่เจือจางไปเรื่อย ๆ จนไม่ได้กลิ่น
 ที่ระดับการเจือจางสุดท้ายที่ได้กลิ่นจะนำมาคำนวณเป็นค่า factor dilution วิธีการนี้อาศัยหลักการ
 ของ odor threshold value ในอากาศของสารแต่ละชนิด วิธี dilution analysis ที่นิยมใช้ ได้แก่ Charm
 ที่พัฒนาโดย Acree และคณะ และวิธี AEDA (Aroma Extract Dilution Analysis) โดย Grosch *et al.*
 (Blank, 2002)

7.2 detection frequency

การวัดความถี่ในการได้กลิ่นโดยการดมที่ความเข้มข้นเดียว ใช้ผู้ทดสอบมากกว่า 2
 คน โดยผู้ทดสอบจะระบุสารให้กลิ่นสำคัญ (odor active compound) ที่แยกจากคอลัมน์ที่เวลา
 เดียวกัน การรายงานผลจะเป็นการบอกจำนวนผู้ทดสอบที่ได้กลิ่น ซึ่งจะสอดคล้องกับความแรงของ
 กลิ่น (Ruth, 2001)

7.3 direct intensity

เป็นการประเมินความเข้มของกลิ่น หรือเรียกว่า time-intensity methods เช่น OSME ค้นพบโดย McDaniel และคณะ ในปี 1990 (Ruth, 2001) โดยผู้ทดสอบจะระบุเวลา ความแรง และลักษณะของกลิ่น

การวิเคราะห์สารให้กลิ่นสำคัญด้วยวิธี AEDA เป็นการวิเคราะห์สารให้กลิ่นที่ใช้สำหรับหาสารให้กลิ่นสำคัญที่มีผลต่อกลิ่นของอาหาร วิธี AEDA ใช้เพื่อระบุสารที่มีผลทำให้เกิดความแตกต่างของกลิ่นอาหารได้ดี เช่น ใช้ศึกษา off-flavor หรือใช้ในการศึกษาผลจากการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบ การปรับกระบวนการผลิต และใช้ตรวจหาสารให้กลิ่นในโมเดลอาหารต่าง ๆ (Grosch, 2001) วิธี AEDA จัดเป็นขั้นแรกของการวิจัยเพื่อหาสารให้กลิ่นสำคัญ ซึ่งวิเคราะห์ได้โดยการเจือจางสารสกัดของสารให้กลิ่น แล้วทดสอบดมและบันทึกค่าระดับการเจือจางตลอดจนเวลาที่เริ่มได้กลิ่น เพื่อใช้ในการหาค่า retention index (RI) และ FD value (flavor dilution value) หรือ FD factor ซึ่งนิยมแปลงเป็นค่า Logarithmic (Ferreira *et al.*, 2002) เช่น $\log_3 FD = n$ หมายถึงการเจือจางที่อัตราส่วนสารระเหยต่อตัวทำละลาย 1:3 และสามารถคำนวณค่า FD ได้จาก $FD = 3^{n-1}$ เป็นต้น (Le Guen *et al.*, 2000) ด้วยวิธีนี้ทำให้ได้ข้อมูลทั้งด้านคุณภาพและปริมาณ (Etievant *et al.*, 1994)

ค่า FD factor ของสารแต่ละชนิดเป็นส่วนส่วนของความเข้มข้นสารในสารสกัดเริ่มต้นกับความเข้มข้นสารนั้นในสารสกัดที่เจือจางมากที่สุดแล้วยังคงได้กลิ่น ค่านี้จึงเป็นการวัดค่าแบบสัมพัทธ์ที่ขึ้นกับความเข้มข้นของสาร (Grosch, 2001) ค่า FD factor ของสารหนึ่งมักแปรผันตรงกับค่า OAV (Odor Activity Value) ของสารนั้นในอากาศ (Blank, 2002) โดยที่หากค่า OAV ของสารใดสูงมากจะยังคงได้กลิ่นของสารนั้นเมื่อเจือจางในระดับสูงที่สุด (Grosch, 1993) การวิเคราะห์ผลจะแบ่งค่า FD factor ออกเป็น 3 กลุ่ม คือพวกที่มีค่าสูง ปานกลาง และต่ำ โดยมุ่งความสนใจไปที่สารที่มีค่า FD factor สูงและปานกลาง อย่างไรก็ตามสารที่มีค่า FD factor ต่ำก็อาจเป็นสารที่มีผลต่อกลิ่นโดยรวมของอาหารได้ (Blank, 2002)

จำนวนสารให้กลิ่นสำคัญที่วิเคราะห์ได้ขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ เช่น threshold ของสาร ปริมาณสารที่ใช้สกัด ระดับการเจือจางสารสกัด และปริมาณสารที่ใช้วิเคราะห์ เป็นต้น (Ruth, 2001) ดังนั้นหากต้องการนำสารให้กลิ่นสำคัญที่ได้จากตัวอย่างหนึ่งไปเทียบกับอีกตัวอย่างหนึ่ง จึงต้องพิจารณาปัจจัยเหล่านี้ เพื่อวางแผนการทดลองให้เหมือนกันจึงจะเปรียบเทียบกันได้ (Ferreira, 2002)

ในการทำ AEDA นั้น เนื่องจากต้องเจือจางตัวอย่างเป็นระดับต่าง ๆ จึงต้องทดสอบดมหลายครั้ง ไม่สะดวกที่จะใช้ผู้ทดสอบเป็นจำนวนมากเหมือนวิธี detection frequency และ time intensity (Delahunty *et al.*, 2006) จึงนิยมใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนเพียง 1-2 คน และทดสอบดมเพียงตัวอย่างละ 1 ครั้งเท่านั้น โดยทั่วไปจะคัดเลือกผู้ทดสอบจาก ความสนใจ ความสะดวก คนที่ความรู้สึกไว มีความสามารถในการจดจำกลิ่น และมีประสบการณ์ในด้านนี้ (Ferreira *et al.*, 2002) แม้จะเป็นวิธีที่ง่ายและนิยมใช้ที่สุดในการใช้หาสารให้กลิ่นสำคัญ แต่การทำ AEDA ควรมีสารมาตรฐานของสารให้กลิ่นในการเทียบ เพราะค่า RI ที่คำนวณได้จากการดมตัวอย่างอาจคลาดเคลื่อน โดยเฉพาะเมื่อทำในคอลัมน์ที่มีขั้ว (Blank, 2002) บางครั้งพบว่ากลิ่นที่ออกมาไม่ตรงกับพีค ทำให้ aromagram ที่ได้จากการดมต่างจากโครมาโทแกรมจากดีเทคเตอร์ นอกจากนี้อาจดมสารในตัวอย่างที่เจือจางน้อยไม่ได้กลิ่นแต่ได้กลิ่นในตัวอย่างที่เจือจางมาก ที่เรียกว่า gaps in the coincident response (Abbott *et al.*, 1993) ซึ่งมักมีสาเหตุจาก cross-adaptation ระหว่างสารประกอบ (Mistry *et al.*, 1986) หรือมาจากผู้ทดสอบที่ขาดประสบการณ์ (Grosch, 1993)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัตถุดิบ

- 1.1 ตะไคร้ (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf)
- 1.2 น้ำมันถั่วเหลืองตราอรุณ

2. สารเคมี

- 2.1 ไดคลอโรมีเทน, HPLC grade (Lab-scan, ไอร์แลนด์)
- 2.2 เพนเทน, HPLC grade (Lab-scan, ไอร์แลนด์)
- 2.3 เมทานอล, HPLC grade (Lab-scan, ไอร์แลนด์)
- 2.4 โซเดียมคลอไรด์ (BDH, อังกฤษ)
- 2.5 โซเดียมซัลเฟตปราศจากน้ำ (Ajax Finechem, ออสเตรเลีย)
- 2.6 โมโนโซเดียมฟอสเฟต (Ajax Finechem, ออสเตรเลีย)
- 2.7 กรดฟอสฟอริก (Ajax Finechem, ออสเตรเลีย)
- 2.8 กรดซิตริก, Food grade (ทางการค้า, ไทย)
- 2.9 สารมาตรฐาน internal standard
 - 2.9.1 *tert*-butylbenzene (Aldrich, สหรัฐอเมริกา)
 - 2.9.2 2-undecanol (Aldrich, สหรัฐอเมริกา)
- 2.10 สารมาตรฐาน n-alkanes (hydrocarbons, C₇-C₂₆) (Aldrich, สหรัฐอเมริกา)
- 2.11 สารมาตรฐานของสารระเหยให้กลิ่น
 - 2.11.1 citral (Aldrich, สหรัฐอเมริกา)
 - 2.11.2 citronellal (Fluka, สวิตเซอร์แลนด์)
 - 2.11.3 linalool (Aldrich, สหรัฐอเมริกา)
 - 2.11.4 (*Z*)-ocimene (Fluka, สวิตเซอร์แลนด์)
 - 2.11.5 citronellol (Fluka, สวิตเซอร์แลนด์)
 - 2.11.6 (-)-(*E*)-caryophyllene (Aldrich, สหรัฐอเมริกา)

- 2.11.7 geranyl acetate (Aldrich, สหรัฐอเมริกา)
- 2.11.8 myrcene (Fluka, สวิตเซอร์แลนด์)
- 2.11.9 geraniol (Aldrich, สหรัฐอเมริกา)
- 2.11.10 terpineol (Fluka, สวิตเซอร์แลนด์)
- 2.11.11 humulene (Aldrich, สหรัฐอเมริกา)

3. เครื่องมือ

- 3.1 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (balance) รุ่น AC 211S (Sartorius, เยอรมนี)
- 3.2 เครื่องบดผสม (blender) รุ่น 32BL80 (8011) (Waring, สหรัฐอเมริกา)
- 3.3 เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ (homogenizer) พร้อมหัวปั่นขนาดกลาง รุ่น T25 basic (Ultraturrax, มาเลเซีย)
- 3.4 เครื่องกวนแบบแม่เหล็ก (magnetic stirrer) รุ่น SP46920-26 (Thermolyne, สหรัฐอเมริกา)
- 3.5 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath) รุ่น OB14 (Memmert, เยอรมนี)
- 3.6 ตู้อบลมร้อน (hot air oven) รุ่น UM 400 (Memmert, เยอรมนี)
- 3.7 ตู้อบลมร้อนแบบถาด (Reliance tech-service, ไทย)
- 3.8 เครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze dryer) รุ่น Dura-Top™ UP (FTS Systems, สหรัฐอเมริกา)
- 3.9 เครื่องวัด pH (pH meter) รุ่น 210A (Orion, สหรัฐอเมริกา)
- 3.10 เครื่องกลั่นระบบสุญญากาศ (high vacuum distillation) รุ่น B62426952 (Edwards, อังกฤษ)
- 3.11 เครื่องระเหยระบบสุญญากาศ (rotary vacuum evaporator) รุ่น Rotavapor R-114 ต่อกับเครื่องทำสุญญากาศรุ่น Vacobox B-177 (Buchi, สวิตเซอร์แลนด์)
- 3.12 เครื่องวิเคราะห์ไขมัน รุ่น Soxtec System HT (Tecator, สวีเดน)
- 3.13 ตู้แช่แข็ง (freezer-40 องศาเซลเซียส) รุ่น MDF-435 (Sanyo, ญี่ปุ่น)
- 3.14 Gas Chromatography (GC) รุ่น HP 6890 (Hewlett Packard, สหรัฐอเมริกา) ต่อกับ mass selective detector (Mass Spectrometer; MS) รุ่น HP 5973 (Hewlett Packard, สหรัฐอเมริกา)
- 3.15 Gas Chromatography (GC) รุ่น HP 6890 Series II Plus (Hewlett Packard, สหรัฐอเมริกา) ต่อกับ olfactory detector รุ่น 093500 (SGE, ออสเตรเลีย)

3.16 Gas Chromatography (GC) รุ่น HP 6890N (Agilent Technologies, สหรัฐอเมริกา)
 ต่อกับ flame ionization detector รุ่น G 1530N (Agilent Technologies, สหรัฐอเมริกา)

วิธีการ

1. การศึกษาสารระเหยในรูปอิสระและไกลโคไซด์ในตะไคร้สด

1.1 การเตรียมตัวอย่าง

นำตะไคร้ (จากตลาดอมรพันธ์ บางเขน กรุงเทพฯ) มาคัดเลือกโดยพิจารณาจากลักษณะภายนอกเพื่อคัดส่วนที่มีดำหนิทั้ง ลอกกาบด้านนอกออก ล้างด้วยน้ำกลั่นให้สะอาด แล้วเช็ดให้แห้ง ตัดแต่งส่วนปลายออกเหลือเฉพาะส่วนโคนต้นมีความยาวประมาณ 15 เซนติเมตร และหั่นเฉียงให้มีความหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร

1.2 การสกัดสารระเหย

ชั่งตะไคร้จากข้อ 1.1 จำนวน 20 กรัม ผสมกับโซเดียมคลอไรด์ 20 กรัม และสารมาตรฐาน internal standard (*tert*-butylbenzene และ 2-undecanol) ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ปริมาตร 50 ไมโครลิตรใส่ลงในเครื่องบดผสม เทในโตรเจนเหลวจำนวน 200 มิลลิลิตรลงไปพร้อมบดจนละเอียด ถ่ายตัวอย่างลงในขวดแก้วฟาเกลียวขนาด 250 มิลลิลิตร สกัดสารระเหยในรูปอิสระจากตัวอย่างโดยเติมไดคลอโรมีเทนที่เย็นจัด 80 มิลลิลิตรลงไปในตัวอย่าง และปั่นด้วยเครื่องโฮโมจีไนเซอร์เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นสกัดตัวอย่างด้วยเครื่องกวนแบบแม่เหล็กเป็นเวลา 30 นาทีที่อุณหภูมิห้อง พอครบเวลาใช้หลอดหยดดูดส่วนตัวทำละลายเก็บไว้ในขวดแก้วขนาด 250 มิลลิลิตร สกัดตัวอย่างซ้ำด้วยไดคลอโรมีเทนปริมาตร 80 มิลลิลิตร 1 ครั้ง และเพนเทนอีก 2 ครั้ง ปริมาตร 80 มิลลิลิตรต่อครั้งตามลำดับ รวมส่วนตัวทำละลายที่สกัดได้เพื่อรอการกลั่นด้วยสุญญากาศต่อไป (เขาวภา, 2547)

สกัดสารระเหยในรูปไกลโคไซด์โดยนำกากที่เหลือจากการสกัดสารระเหยอิสระมาสกัดซ้ำด้วยเมทานอล 80 มิลลิลิตร 3 ครั้ง รวมส่วนตัวทำละลายเมทานอลที่สกัดได้เพื่อไฮโดรลิซิส (hydrolysis) ในขั้นต่อไป (ดัดแปลงจาก Milos and Radonic, 2000)

1.3 การไฮโดรลิซิสสารระเหยในรูปไกลโคไซด์โดยใช้กรด (acid hydrolysis) (ดัดแปลงจาก Cai *et al.*, 2002)

นำส่วนสารละลายเมทานอลที่ใช้สกัดแยกสารระเหยในรูปไกลโคไซด์ มาระเหยเมทานอลออกโดยถ่ายใส่ขวดก้นกลมขนาด 1,000 มิลลิลิตร และต่อเข้ากับ rotary evaporator ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และลดความดันจนเหลือ 337 มิลลิบาร์จนกระทั่งสารละลายเมทานอลแห้ง จึงละลายสารที่ติดอยู่ในขวดก้นกลมด้วยน้ำกลั่นกำจัดสารให้กลิ่น (เตรียมโดยต้มน้ำกลั่นจนเหลือปริมาตร 2 ใน 3) ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ถ่ายสารละลายลงในขวดแก้วฟาเกลียวขนาด 250 มิลลิลิตร และเติมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (phosphate buffer) pH 3.5 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร นำตัวอย่างแช่ใน water bath อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2.5 ชั่วโมง เพื่อไฮโดรลิซิสสารระเหยในรูปไกลโคไซด์ให้อยู่ในรูปสารระเหยอิสระ และแยกสารระเหยอิสระนี้ด้วยตัวทำละลายผสมของเพนเทนและไดคลอโรมีเทนอัตราส่วน 1:1 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร โดยการสกัดด้วยเครื่องกวนแบบแม่เหล็กเป็นเวลา 15 นาทีที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นแยกส่วนของตัวทำละลายและสารละลายของสารให้กลิ่นออกจากกันโดยใช้กรวยแยก สกัดซ้ำด้วยตัวทำละลายผสมอีก 2 ครั้ง ครั้งละ 50 มิลลิลิตร รวมส่วนตัวทำละลายที่สกัดได้ไปกลั่นด้วยเครื่องกลั่นลดความดัน (เครื่องกลั่นระบบสุญญากาศ) ตามวิธีในข้อ 1.4

1.4 การกลั่นลดความดัน (high vacuum distillation)

นำตัวอย่างจากข้อ 1.2 และ 1.3 มาทำให้เข้มข้นด้วยการเป่าด้วยแก๊สไนโตรเจนเบา ๆ จนเหลือปริมาตร 50 มิลลิลิตร ต่อจากนั้นถ่ายตัวอย่างใส่ขวดก้นกลมขนาด 250 มิลลิลิตรแล้วแช่แข็งด้วยไนโตรเจนเหลว ต่อขวดก้นกลมเข้ากับเครื่องลดความดัน และกลั่นตัวอย่างที่สุญญากาศ 10^{-5} ทอร์รี่ ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นหล่อน้ำอุ่นอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสที่ขวดตัวอย่าง และกลั่นต่อเป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำสารที่กลั่นได้ในขวดกักเก็บแรก (first trap) ไปทำให้เข้มข้นโดยการเป่าด้วยแก๊สไนโตรเจนเบา ๆ จนเหลือปริมาตร 5 มิลลิลิตร เทตัวอย่างผ่านโซเดียมซัลเฟตปราศจากน้ำ 2 กรัม เพื่อกำจัดความชื้น เป่าด้วยแก๊สไนโตรเจนเบา ๆ จนเหลือปริมาตร 1 มิลลิลิตร เก็บตัวอย่างในขวดแก้วสีชาเพื่อรอการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารระเหยต่อไป

1.5 การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารระเหยด้วย GC-MS และ GC-FID

วิเคราะห์ตัวอย่างที่สกัดได้จากข้อ 1.4 ปริมาตร 1 ไมโครลิตรด้วยเครื่อง GC-MS เพื่อระบุชนิดของสารระเหยโดยการเปรียบเทียบข้อมูล mass spectrum ของสารแต่ละชนิดกับฐานข้อมูล Wiley 275 library โดยใช้สภาวะของเครื่องแบบ split mode (ที่ระดับ 20:1 และ 5:1 สำหรับสารระเหยในรูปไอระเหย และสารระเหยในรูปไกลโคไซด์ตามลำดับ) ตั้งอุณหภูมิของ inlet ที่ 200 องศาเซลเซียส ใช้แก๊สฮีเลียมเป็น carrier gas ที่อัตราการไหลคงที่ที่ 1.0 มิลลิตร/นาที แยกสารระเหยด้วยแคปิลารีคอลัมน์ 2 ชนิด ได้แก่คอลัมน์ HP-5 ยาว 60 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 มิลลิเมตร ชั้นเคลือบหนา 0.25 ไมโครเมตร โดยตั้งอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 35 องศาเซลเซียส เพิ่มขึ้นด้วยอัตรา 15 องศาเซลเซียส/นาที จนอุณหภูมิถึง 140 องศาเซลเซียส คงอุณหภูมิไว้ 1 นาที จากนั้นให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นด้วยอัตรา 4 องศาเซลเซียส/นาที จนอุณหภูมิถึง 200 องศาเซลเซียส คงไว้ที่อุณหภูมินี้เป็นเวลา 10 นาที และคอลัมน์ HP-INNOWAX ยาว 30 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 มิลลิเมตร ชั้นเคลือบหนา 0.25 ไมโครเมตร โดยตั้งอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 40 องศาเซลเซียส เพิ่มขึ้นด้วยอัตรา 10 องศาเซลเซียส/นาที จนอุณหภูมิถึง 120 องศาเซลเซียส คงอุณหภูมิไว้ 3 นาที จากนั้นให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นด้วยอัตรา 4 องศาเซลเซียส/นาที จนอุณหภูมิถึง 140 องศาเซลเซียส และคงไว้ที่อุณหภูมิเป็นเวลา 4 นาที สุดท้ายให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นด้วยอัตรา 10 องศาเซลเซียส/นาที จนอุณหภูมิถึง 200 องศาเซลเซียส คงอุณหภูมิไว้ 6 นาที บ่งชี้ชนิดของสารด้วยเครื่อง MS ที่ใช้แหล่งกำเนิดไอออนแบบอิเล็กตรอนอิมแพคต์ (Electron-impact Ionization, EI) และมีค่าพลังงานไอออนไนเซชัน 70 อิเล็กตรอนโวลต์ ช่วงในการสแกน 30-300 m/z ที่ความเร็ว 2.74 scan/sec

วิเคราะห์ตัวอย่างแต่ละตัวอย่างจากข้อ 1.4 จำนวน 1 ไมโครลิตรด้วยเครื่อง Gas Chromatography-Flame Ionization Detector (GC-FID) เพื่อคำนวณปริมาณของสารระเหยในตัวอย่าง โดยใช้สภาวะของเครื่องเช่นเดียวกับ GC-MS ด้วยแคปิลารีคอลัมน์ HP-5 ยาว 30 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.32 มิลลิเมตร ชั้นเคลือบหนา 0.25 ไมโครเมตร และคอลัมน์ HP-INNOWAX ยาว 30 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 มิลลิเมตร ชั้นเคลือบหนา 0.25 ไมโครเมตร ระบุชนิดของสารระเหยในแต่ละพีคโดยเปรียบเทียบค่า Retention Index (RI) ของสารแต่ละชนิดจากการวิเคราะห์ด้วย GC-FID กับค่า RI ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย GC-MS โดยคำนวณค่า RI จาก Retention Time (RT) ของสารระเหยในตัวอย่างกับค่า RT ของ n-alkanes (C_7 - C_{26}) ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยคอลัมน์และสภาวะเดียวกันกับตัวอย่าง ดังสมการในภาคผนวก ข้อ 2 เรื่องการคำนวณค่า Retention Index (RI) ร่วมกับการเปรียบเทียบค่า RI ของสารแต่ละชนิดกับฐานข้อมูลอื่น ๆ เช่น ESO (Boelens Aroma Chemical Information Service, 1999) และยืนยันชนิดสารด้วยสารมาตรฐานชนิดนั้น ๆ

คำนวณปริมาณสารระเหยที่วิเคราะห์ด้วย GC-FID ด้วยความเข้มข้นสัมพัทธ์ (relative concentration) โดยเปรียบเทียบพื้นที่ใต้พีคของสารนั้น ๆ ในตัวอย่างตะไคร้สด กับพื้นที่ใต้พีคของสาร internal standard (*tert*-butylbenzene สำหรับ monoterpene และ 2-undecanol สำหรับ linalool และ borneol) (ไมโครกรัม/กรัม; $\mu\text{g/g}$) ตามสมการในภาคผนวกข้อ 3 เรื่องการคำนวณความเข้มข้นสัมพัทธ์

2. การศึกษาสารให้กลิ่นสำคัญในตะไคร้

วิเคราะห์สารให้กลิ่นที่สำคัญ (aroma active compounds) ในตะไคร้สดด้วยวิธี Aroma Extract Dilution Analysis (AEDA) โดยนำสารสกัดตะไคร้ทั้งสารระเหยในรูปอิสระและไกลโคไซด์ ที่สกัดด้วยวิธีตามข้อ 1.1-1.4 มาเจือจางด้วยตัวทำละลายผสมของไดคลอโรมีเทนและเพนเทน (1:1) โดยใช้ตัวอย่างที่สกัดได้ 1 ส่วน (ปริมาตร 60 ไมโครลิตร) ผสมกับตัวทำละลายผสมระหว่างไดคลอโรมีเทนกับเพนเทน (1:1) 2 ส่วน (ปริมาตร 120 ไมโครลิตร) ได้เป็นอัตราส่วนการเจือจาง 1:3 หรือ เป็นค่า $\log_3 \text{FD} = 1$ จากนั้นนำตัวอย่างที่มีอัตราส่วนการเจือจาง 1:3 นี้ ไปเจือจางต่อเป็นอัตราส่วน 1:9 ($\log_3 \text{FD} = 2$) ด้วยวิธีเช่นเดียวกัน ทำการเจือจางไปเรื่อย ๆ เพื่อให้มีอัตราส่วนการเจือจาง 1:27 ($\log_3 \text{FD} = 3$), 1:81 ($\log_3 \text{FD} = 4$) เป็นลำดับ คัดเลือกผู้ทดสอบ (นิสิตปริญญาโท ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์) จำนวน 2 คน แล้วให้ผู้ทดสอบดมกลิ่นของสารระเหยในรูปอิสระและไกลโคไซด์จากตะไคร้สดด้วยเครื่อง Gas Chromatography-Olfactometry (GC-O) โดยใช้สภาวะของเครื่องเช่นเดียวกับ GC-FID แต่กำหนด injector เป็นแบบ splitless แยกสารระเหยโดยใช้แคปิลารีคอลัมน์ HP-5 ยาว 30 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.32 มิลลิเมตร ชั้นเคลือบหนา 0.25 ไมโครเมตร และ HP-INNOWAX ยาว 30 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 มิลลิเมตร ชั้นเคลือบหนา 0.25 ไมโครเมตร

ผู้ทดสอบจะดมกลิ่นของสารระเหยที่ sniffing port โดยสู่มลัดับการดม (ไม่เรียงลำดับการเจือจาง) แล้วเปรียบเทียบค่า RI ของสารที่ให้กลิ่นกับค่า RI ที่ได้จากข้อ 1.5 เพื่อระบุชนิดของสารที่ให้กลิ่น แล้วรายงานเป็นค่า $\log_3 \text{FD}$ ของแต่ละสาร ซึ่งค่านี้เป็นระดับการเจือจางมากที่สุดที่ผู้ทดสอบยังคงได้กลิ่น

นำข้อมูลที่ได้จากข้อ 1.5 และ 2 มาประกอบกันเพื่อพิจารณาเลือกสารให้กลิ่นที่สำคัญในตะไคร้ สำหรับนำไปใช้ศึกษาในการทดลองขั้นต่อไป

3. การศึกษาผลของการแปรรูปต่อสารให้กลิ่นสำคัญในรูปอิสระและไกลโคไซด์ในตะไคร้

3.1 การเตรียมตะไคร้แปรรูป

นำตะไคร้สดที่เตรียมตามข้อ 1.1 ไปแปรรูปตามวิธีต่างๆ ดังนี้

3.1.1 ตะไคร้ในน้ำ (lemongrass in water)

บรรจุตะไคร้หั่นเฉียงน้ำหนัก 75 กรัมลงในขวดแก้วฝาเกลียวขนาด 220 มิลลิลิตร เติมน้ำที่ปรับ pH ด้วยสารละลายกรดซิตริกเข้มข้น (โดยกำหนดให้ได้ pH สุดท้ายของตะไคร้ในน้ำเป็น 4.6) ลงไปให้ท่วมตะไคร้ (ประมาณ 120 มิลลิลิตร) โดยกำหนดให้ได้ pH สุดท้ายเป็น 4.6 เหลือช่องว่างห่างจากปากขวดประมาณ 1 เซนติเมตร ปิดฝาให้สนิท ต้มขวดในน้ำเดือดนาน 15 นาที หุ้มขวดด้วยฟอยล์เพื่อป้องกันแสง เก็บในตู้เย็นอุณหภูมิประมาณ 4 องศาเซลเซียส (ไม่เกิน 2 วัน) จนกว่าจะนำไปวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารระเหยตามข้อ 3.2

3.1.2 ตะไคร้ในน้ำเททับด้วยน้ำมัน (lemongrass in water covered on the top with oil)

บรรจุตะไคร้หั่นเฉียงน้ำหนัก 75 กรัมลงในขวดแก้วฝาเกลียวขนาด 220 มิลลิลิตร เติมน้ำที่ปรับ pH ด้วยสารละลายกรดซิตริกเข้มข้น (โดยกำหนดให้ได้ pH สุดท้ายของตะไคร้ในน้ำเททับด้วยน้ำมันเป็น 4.6) ลงไปให้ท่วมตะไคร้ (ประมาณ 100 มิลลิลิตร) เททับผิวน้ำด้วยน้ำมันถั่วเหลืองปริมาตร 20 มิลลิลิตร เหลือช่องว่างห่างจากปากขวดประมาณ 1 เซนติเมตร ปิดฝาให้สนิท ต้มขวดในน้ำเดือดนาน 15 นาที หุ้มขวดด้วยฟอยล์เพื่อป้องกันแสง เก็บในตู้เย็นอุณหภูมิประมาณ 4 องศาเซลเซียส (ไม่เกิน 2 วัน) จนกว่าจะนำไปวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารระเหยตามข้อ 3.2

3.1.3 การทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (oven dry)

นำตะไคร้ 300 กรัมมาทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 ชั่วโมง เก็บตะไคร้แห้งในถุงลามิเนตด้วยอะลูมิเนียม จากนั้นแทนที่อากาศในถุงด้วยแก๊สไนโตรเจนแล้วเก็บไว้ในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส (ไม่เกิน 2 วัน) จนกว่าจะนำไปวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารระเหยตามข้อ 3.2

3.1.4 การอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze dry)

นำตะไคร้ 300 กรัมมาทำแห้งด้วยเครื่อง freeze dryer ซึ่งใช้อุณหภูมิในการแช่เยือก -40 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาในการทำแห้งประมาณ 15 ชั่วโมง เมื่อตะไคร้แห้งแล้วเก็บโดยใส่ในถุงลามิเนตด้วยอะลูมิเนียมที่ได้อากาศในถุงออกด้วยแก๊สไนโตรเจนแล้วเก็บไว้ในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส (ไม่เกิน 2 วัน) จนกว่าจะนำไปวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารระเหยตามข้อ 3.2 ต่อไป

แบ่งตัวอย่างตะไคร้แปรรูปส่วนหนึ่งไปวิเคราะห์ความชื้น และไขมัน เพื่อกำหนดเป็นเปอร์เซ็นต์ของแข็งในแต่ละตัวอย่าง

3.2 การศึกษาชนิดและปริมาณสารระเหยสำคัญในตะไคร้

สกัดสารระเหยในตะไคร้แปรรูป โดยใช้น้ำหนักของแข็งของตะไคร้แปรรูปที่เทียบเท่ากับน้ำหนักตะไคร้สดจำนวน 20 กรัม โดยสกัดสารระเหยในรูปอิสระตามวิธีการข้อ 1.2 ส่วนสารระเหยในรูปไกลโคไซด์สกัดตามวิธีการข้อ 1.2 แล้วนำสารสกัดที่สกัดด้วยเมทานอลมาไฮโดรลิซิสตามวิธีการข้อ 1.3 จากนั้นนำสารสกัดของสารระเหยในรูปอิสระและไกลโคไซด์ที่ได้มากลับแบบลดความดันตามวิธีการในข้อ 1.4 และวิเคราะห์สารระเหยด้วยเครื่อง GC-FID ตามวิธีในข้อ 1.5

3.3 การศึกษาชนิดของสารให้กลิ่นสำคัญในตะไคร้แปรรูปด้วย GC-O

วิเคราะห์สารให้กลิ่นที่สำคัญในตะไคร้แปรรูปด้วยวิธี AEDA โดยนำสารสกัดของสารระเหยในรูปอิสระจากข้อ 3.2 มาทดสอบลักษณะกลิ่นของสารระเหยในตะไคร้แปรรูปแต่ละวิธีด้วยเครื่อง GC-O ตามวิธีในข้อ 2

4. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ในการทดลองวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารให้กลิ่นสำคัญในรูปอิสระและไกลโคไซด์ในตะไคร้สดและตะไคร้แปรรูปวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design

(RCBD) โดยการทดลองข้อ 1 และ 3 ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วัดค่าซ้ำ 2 ครั้ง (repeat measurement) ส่วนการทดลองข้อ 2 และ 3.3 ทำการทดลอง 2 ซ้ำ โดยให้ผู้ทดสอบเป็นซ้ำ

ทุกการทดลองวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) ด้วยโปรแกรม SPSS (Statistical Package for the Social Science, version 12) ถ้าพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จะนำมาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละการทดลองด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

5. สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6. ระยะเวลาในการทดลอง

การทดลองเริ่มตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2549 สิ้นสุดเดือนมีนาคม พ.ศ. 2551

ผลและวิจารณ์

1. การศึกษาชนิดและปริมาณสารระเหยในรูปอิสระและไกลโคไซด์ในตะไคร้สด

การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารระเหยในรูปอิสระในตะไคร้สดซึ่งใช้เพนเทนและได-คลอโรมีเทนในการสกัด สามารถสกัดสารระเหยอิสระได้ 70 ชนิด แบ่งสารระเหยที่พบได้เป็น monoterpene จำนวน 22 ชนิด sesquiterpene จำนวน 39 ชนิด และสารอื่น ๆ อีก 9 ชนิด ส่วนสารระเหยในรูปไกลโคไซด์ในตะไคร้สดพบทั้งสิ้น 38 ชนิด แบ่งเป็น monoterpene จำนวน 14 ชนิด sesquiterpene จำนวน 20 ชนิด และสารอื่น ๆ อีก 3 ชนิด ดังแสดงในตารางที่ 2

1.1 สารระเหยในรูปอิสระในตะไคร้สด

สารระเหยในรูปอิสระส่วนใหญ่ในตะไคร้เป็นสารประกอบเทอร์พีน โดยเฉพาะ acyclic monoterpene มีปริมาณมากที่สุดถึงร้อยละ 86.20 สารระเหยที่มีปริมาณมากที่สุดคือ geranial (58.94%) และ neral (15.48%) เช่นเดียวกับในน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ที่สกัดโดยการกลั่นด้วยไอน้ำ (Ashurst, 1999; Kasali *et al.*, 2001) ส่วนสารระเหยที่พบในปริมาณรองลงมา ได้แก่ β -myrcene (3.88%), geranyl acetate (3.00%), (*E*)-geraniol (1.66%), (*E*)- β -caryophyllene (1.50%), calarene (1.28%), α -farnesene (1.26%), (*Z*)- β -ocimene (1.15%) และ *endo*-1-bourbonanol (1.13%) เมื่อพิจารณาาร่วมกับลักษณะกลิ่นของสารเหล่านี้จากฐานข้อมูล Flavor base' 04 (Liffingwell, 2004) พบว่าโดยรวมแล้วสารกลุ่มนี้เป็นสารที่ให้กลิ่นเลมอน กลิ่นหวาน กลิ่นแห้ง และกลิ่นสมุนไพร

สารระเหยในรูปอิสระที่แสดงในตารางที่ 2 มีรายงานการพบในน้ำมันหอมระเหยของตะไคร้ (Carlson *et al.*, 2001; Kasali *et al.*, 2001; Cimanga *et al.*, 2002; Sacchetti *et al.*, 2005) และในตะไคร้สด (เขาวภา, 2547) จากงานวิจัยก่อนหน้านี้ ยกเว้นสารระเหยบางชนิด ได้แก่ (-)-isopulegol, (*E*)-pinocarvyl acetate, hinesol, α -zingiberene, α -cubebene, α -longipinene, undecanal, dodecanol, indole และ cinnamyl acetate เมื่อพิจารณาลักษณะกลิ่นของสารนี้จากฐานข้อมูล Flavor-Base' 04 (Liffingwell, 2004) สารในกลุ่มนี้ให้กลิ่นหวาน กลิ่นสมุนไพร กลิ่นคล้ายมินท์ กลิ่นเขียว กลิ่นดอกไม้ กลิ่นผลไม้ และกลิ่นซิตรัส ซึ่งเป็นลักษณะกลิ่นของตะไคร้ (Kasali *et al.*, 2001) การพบสารระเหยที่นอกเหนือจากการทดลองครั้งนี้ อาจเนื่องจากความแตกต่าง

ของวิธีสกัด การเตรียมตัวอย่าง แหล่งที่ปลูก ช่วงเวลาการเก็บเกี่ยว และฤดูกาลที่ปลูก ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้สารระเหยมีความแตกต่างกัน (Reineccius, 2006)

1.2 สารระเหยในรูปไกลโคไซด์ในตะไคร้สด

การศึกษาสารระเหยในรูปไกลโคไซด์ในตะไคร้สดใช้สภาวะไฮโดรลิซิสสารระเหยในรูปไกลโคไซด์ที่ pH 3.5 และอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เนื่องจากพบว่าการไฮโดรไลซ์ที่ pH 2.5 เมื่อใช้อุณหภูมิสูงกว่า 50 องศาเซลเซียสในการเร่งปฏิกิริยา ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ geranial และ neral จากการเกิดปฏิกิริยา acid-catalysis ของ geranial และ neral ไปเป็น α -*p*-dimethylstyrene และ *p*-cymen-8-ol เช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงของ citral ในการทดลองของ Peacock และ Kuneman (1985) นอกจากนี้ที่อุณหภูมิสูง geraniol สามารถเกิดปฏิกิริยา acid-catalysis ได้เป็น linalool ซึ่งปฏิกิริยานี้จะเกิดได้ดีเมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นกรดสูง (Ohta *et al.*, 1991) ดังแสดงวิธีการศึกษาสภาวะในการไฮโดรลิซิสและผลการทดลองในภาคผนวกข้อ 5

สารระเหยในรูปไกลโคไซด์ในตะไคร้สดประกอบด้วยสารกลุ่มหลัก ได้แก่ อัลดีไฮด์ (78.85%) แอลกอฮอล์ (4.33%) ไฮโดรคาร์บอน (14.03%) และเอสเทอร์ (2.57%) ดังแสดงกลุ่มสารเปรียบเทียบกันในตารางที่ 3

สารระเหยในรูปไกลโคไซด์กลุ่มหลักที่พบในผักผลไม้ส่วนใหญ่เป็นสารกลุ่มแอลกอฮอล์ และเอสเทอร์ (Adedeji *et al.*, 1991; Mastelic and Jerkovic, 2003; Wu *et al.*, 1991; Milos and Radonic, 2000; Krammer *et al.*, 1991) สำหรับในตะไคร้พบว่าอัลดีไฮด์เป็นสารกลุ่มที่พบมากที่สุดในการศึกษาสารระเหยในรูปไกลโคไซด์ โดยสารที่มีปริมาณมากที่สุด ได้แก่ geranial (59.52%) และ neral (18.86%) ซึ่งเป็นสารชนิดเดียวกับที่พบมากที่สุดในการวิเคราะห์ด้วยวิธี GC-MS ในปริมาณที่น้อยกว่า อย่างไรก็ตามในลิ้นจี่พบ geranial และ neral เป็นสารระเหยในรูปไกลโคไซด์ในปริมาณมาก เช่นเดียวกับตะไคร้ และยังพบ geranial กับ neral ในรูปไกลโคไซด์มากกว่าในรูปสารระเหยอิสระ (Chyau *et al.*, 2003) นอกจากนี้ยังพบ geranial และ neral มากในรูปไกลโคไซด์ในพืชหลายชนิด เช่น จิง (Wu *et al.*, 1990), องุ่น (Mateo *et al.*, 1997) และในน้ำมันหอมระเหยของ *Calamintha nepta* (Mastelic *et al.*, 1998) ส่วนสารระเหยในรูปไกลโคไซด์ที่พบในปริมาณรองลงมาในตะไคร้สด ได้แก่ caralene (10.17%), geranyl acetate (2.51%), (*E*)-geraniol (1.86%), citronellol (0.96%), α -farnesene (0.64%), *endo*-borneol (0.46%), *l*-linalool (0.35%) และ β -maaliene (0.35%)

ตารางที่ 2 สารระเหยในรูปอิสระและไกลโคไซด์ในตะไคร้สด

ที่ ¹	สารระเหย	ลักษณะกลิ่น ²	RI		thres- hold ³	สารระเหยในรูปอิสระ			สารระเหยในรูปไกลโคไซด์ ⁵		
			HP-5	INNOWAX		μg/g ⁴	%	OAV ⁵	μg/g ⁴	%	OAV ⁵
ACYCLIC MONOTERPENES and DERIVATIVES											
Alcohols											
11	<i>l</i> -linalool	floral-woody with faint citrus note, floral	1102	1542	0.0074 ^a	10.40	0.41	1,405	1.12	0.35	151
17	citronallol	rose-like, green, fresh, orange, burnt	1234	1764	0.062 ^{c,d,e}	9.62	0.38	155	3.03	0.96	49
18	nerol	fresh, sweet, rose-like, citrus-like	1237	1799	0.68 ^{c,d,e}	0.78	0.03	1	-	-	-
20	(<i>E</i>)-geraniol	sweet, floral, fresh rose	1260	1844	0.01 ^{c,d,e}	41.79	1.66	4,179	5.88	1.86	588
Aldehydes											
13	citronellal	fresh, oily, green, citrus-lemon, woody	1155	1479	0.046 ^{c,d,e}	3.89	0.15	85	0.42	0.13	9
19	neral	strong, lemon-like, floral	1249	1678	0.053 ^a	391.05	15.50	7,378	59.64	18.86	1,125
21	geranial	strong, lemon-like, floral	1280	1743	0.032 ^g	1,489.25	59.01	46,539	188.24	59.52	5,882
Esters											
27	neryl acetate	very sweet fruity-floral	1378	1728	2 ^{c, d, e}	1.44	0.06	<1	-	-	-
28	geranyl acetate	sweet, fruity, floral, rosy, apple-like in dilution	1383	1750	0.15 ^{c,d,e}	75.66	3.00	504	7.93	2.51	53
Hydrocarbons											
4	β-myrcene	metallic, flower, resious terpene	993	1167	0.099 ^a	97.81	3.88	988	-	-	-
7	(<i>Z</i>)-β-ocimene	sweet, herbaceous terpene	1039	1238	0.034 ^b	29.08	1.15	855	0.03	0.01	<1
9	(<i>E</i>)-β-ocimene	sweet, herbaceous terpene	1050	1254	0.034 ^b	19.47	0.77	573	-	-	-
12	alloocimene	-	1147	n.a.	n.a.	5.17	0.20	n.a.	0.94	0.30	n.a.
subtotal						2,175.41	86.20		267.23	84.49	

ตารางที่ 2 (ต่อ)

ที่ ¹	สารระเหย	ลักษณะกลิ่น ²	RI		thres- hold ³	สารระเหยในรูปอิสระ			สารระเหยในรูปไกลโคไซด์		
			HP-5	INNOWAX		μg/g ⁴	%	OAV ⁵	μg/g ⁴	%	OAV ⁵
CYCLIC MONOTERPENES and DERIVATIVES											
<u>Alcohols</u>											
15	<i>endo</i> -borneol	sharp, camphoraceous, woody, pepery reminiscent of mint	1184	n.a.	0.14 ^{d, c}	4.79	0.19	34	1.46	0.46	10
14	(-)-isopulegol	minty, herbaceous, bitter-sweet	1166	1574	1 ^c	3.37	0.13	3	0.43	0.14	<1
16	α-terpineol	sweet, floral, lime, peach-like, flower	1202	1701	5 ^{a, b}	0.50	0.02	<1	0.14	0.04	<1
<u>Ester</u>											
25	(<i>E</i>)-pinocarvyl acetate	green, sour-fruity, spearmint-like	1310	1652	n.a.	0.67	0.03	n.a.	0.18	0.06	n.a.
<u>Ether</u>											
8	1,8-cineole	strong, camphoraceous, cool, fresh, spicy, mint-like	1042	1211	0.023 ^{c, d, e}	0.84	0.03	36	-	-	-
<u>Hydrocarbons</u>											
1	α-pinene	resinous, pine, terpeny, nutty, dry, flower	942	1023	0.19 ^b	0.81	0.03	4	-	-	-
2	camphene	oily, camphoraceous, insipid odor	959	1069	1.86 ^h	1.20	0.05	<1	0.23	0.07	<1
6	<i>l</i> -limonene	fresh, sweet, hydrocarbon and citrus, pleasant lemon-like, orange, flower	1036	1203	0.2 ^b	0.32	0.01	2	-	-	-
10	terpineolene	sweet, pinene, slightly anisic, citrus	1097	1286	0.041 ^{a, b}	0.51	0.02	12	-	-	-
subtotal						13.01	0.52		2.44	0.77	

ตารางที่ 2 (ต่อ)

ที่ ¹	สารระเหย	ลักษณะกลิ่น ²	RI		thres- hold ³	สารระเหยในรูปอิสระ		สารระเหยในรูปไกลโคไซด์			
			HP-5	INNOWAX		μg/g ⁴	%	OAV ⁵	μg/g ⁴	%	OAV ⁵
ACYCLIC SESQUITERPENES and DERIVATIVES											
Alcohols											
55	nerolidol	faint, wood-floral, slight green	1577	2042	2.25 ^{c,d,e}	1.47	0.06	<1	-	-	-
64	(E,E)-fanesol	mild, delicate, sweet, oily, week floral	1710	2359	1 ^c	2.37	0.09	2	0.92	0.29	<1
Aldehyde											
66	(E,E)-farnesal	-	1746	2258	n.a.	1.16	0.05	n.a.	0.20	0.06	n.a.
Hydrocarbons											
34	(Z,E)-farnesene	-	1425	n.a.	n.a.	0.80	0.03	n.a.	-	-	-
37	(E)-α-bergamotene	-	1445	1589	n.a.	18.23	0.72	n.a.	-	-	-
42	(E)-β-farnesene	pleasant, very weakly floral	1471	1670	n.a.	12.58	0.50	n.a.	0.56	0.18	n.a.
44	α-farnesene	-	1499	n.a.	n.a.	31.86	1.26	n.a.	2.04	0.64	n.a.
subtotal						68.47	2.71		3.72	1.11	
CYCLIC SESQUITERPENES and DERIVATIVES											
Alcohols											
62	T-cadinol	-	1667	n.a.	n.a.	2.89	0.11	n.a.	1.62	0.51	n.a.
65	juniper camphor	-	1721	2293	n.a.	0.53	0.02	n.a.	0.16	0.05	n.a.
72	hinesol	-	n.a.	2188	n.a.	0.57	0.02	n.a.	-	-	-
Hydrocarbons											
26	δ-elemene	-	1352	1468	n.a.	0.28	0.01	n.a.	0.13	0.04	n.a.
29	α-ylangene	-	1385	1486	n.a.	2.28	0.09	n.a.	-	-	-
30	α-copaene	floral, woody	1391	1498	n.a.	0.38	0.02	n.a.	0.09	0.03	n.a.

ตารางที่ 2 (ต่อ)

ที่ ¹	สารระเหย	ลักษณะกลิ่น ²	RI		thres- hold ³	สารระเหยในรูปอิสระ			สารระเหยในรูปไกลโคไซด์		
			HP-5	INNOWAX		μg/g ⁴	%	OAV ⁵	μg/g ⁴	%	OAV ⁵
31	α-zingiberene	-	1398	1536	n.a.	0.79	0.03	n.a.	-	-	-
32	β-elemene	-	1404	1587	n.a.	1.31	0.05	n.a.	-	-	-
35	α-gurjunene	-	1434	1510	n.a.	13.63	0.54	n.a.	0.97	0.31	n.a.
36	(E)-β-caryophyllene	woody, dry, spicy, terpene, midway between cloves and turpentine	1438	1603	1.54 ^a	37.90	1.50	25	0.47	0.15	<1
38	γ-selinene	-	1451	n.a.	1 ⁱ	8.11	0.32	8	-	-	-
40	α-guaiene	sweet, woody, fruity, balsamic	1458	1595	n.a.	9.83	0.39	n.a.	0.53	0.17	n.a.
42	aromadendrene	-	1464	1644	n.a.	12.58	0.50	n.a.	-	-	-
43	α-humulene	woody	1490	1673	0.39 ^{a, b}	3.61	0.14	9	0.64	0.20	2
45	germacrene D	-	1505	1713	n.a.	14.10	0.56	n.a.	0.25	0.08	n.a.
46	γ-cadinene	dry, woody, slight burnt, spice character	1509	n.a.	n.a.	3.26	0.13	n.a.	-	-	-
47	β-maaliene	-	1512	2095	n.a.	10.88	0.43	n.a.	1.12	0.35	n.a.
48	valencene	citrus hydrocarbon	1516	1723	n.a.	8.79	0.35	n.a.	0.77	0.24	n.a.
49	β-bisabolene	sweet, balsamic, citrus, woody, tropical, floral	1520	1729	n.a.	7.79	0.31	n.a.	-	-	-
50	δ-guaiene	very little odor, woody	1528	1717	n.a.	16.42	0.65	n.a.	0.96	0.30	n.a.
51	α-amorphene	-	1534	1760	n.a.	8.33	0.33	n.a.	-	-	-
52	δ-cadinene	dry, woody, slight burnt, spice character	1540	1757	n.a.	4.84	0.19	n.a.	1.00	0.32	n.a.
53	(E)-γ-bisabolene	sweet, balsamic, citrus, woody, tropical	1546	n.a.	n.a.	1.06	0.04	n.a.	-	-	-
54	δ-selinene	-	1550	1693	1 ⁱ	5.80	0.23	6	0.11	0.03	<1
56	germacrene B	-	1586	1821	n.a.	1.89	0.07	n.a.	-	-	-

ตารางที่ 2 (ต่อ)

ที่ ¹	สารระเหย		ลักษณะกลิ่น ²	RI		thres- hold ³	สารระเหยในรูปอิสระ		สารระเหยในรูปไกลโคไซด์			
				HP-5	INNOWAX		μg/g ⁴	%	OAV ⁵	μg/g ⁴	%	OAV ⁵
59	calarene	-		1631	2154	n.a.	32.23	1.28	n.a.	32.17	10.17	n.a.
63	γ-gurjunene	-		1674	n.a.	n.a.	5.28	0.21	n.a.	1.20	0.38	n.a.
67	α-cubebene	-		n.a.	1456	n.a.	0.34	0.01	n.a.	-	-	-
68	(-)-isolekene	-		n.a.	1638	n.a.	2.56	0.10	n.a.	-	-	-
69	β-chamigrene	-		n.a.	1708	n.a.	6.84	0.27	n.a.	-	-	-
70	α-longipinene	-		n.a.	1782	n.a.	1.12	0.04	n.a.	-	-	-
71	α-cadinene	-		n.a.	1793	n.a.	2.11	0.08	n.a.	-	-	-
subtotal							228.33	9.05		42.19	13.34	
Oxide												
58	caryophyllene oxide	dry, woody, faint cedar, tobacco-like		1611	1974	0.41 ^b	1.18	0.05	3	0.24	0.08	<1
subtotal							1.18	0.05		0.24	0.08	
OTHERS												
Alcohol												
57	endo-1-bourbonanol	-		1590	2046	n.a.	28.60	1.13	n.a.	-	-	-
61	T-muurolol	woody		1643	n.a.	n.a.	0.03	0.00	n.a.	-	-	-
Aldehydes												
23	undecanal	sweet, fatty, waxy-floral-citrus		1297	n.a.	0.04 ^{c,d,e}	0.98	0.04	24	-	-	-
33	dodecanal	sweet, waxy-fatty-citrus herbaceous, violet, fatty, citrus-like		1414	n.a.	0.055 ^{c,d,e}	0.55	0.02	10	-	-	-
Base												
22	indole	floral, sweet, burnt		1289	2469	0.14 ^f	3.58	0.14	26	0.09	0.03	<1

ตารางที่ 2 (ต่อ)

ที่ ¹	สารระเหย	ลักษณะกลิ่น ²	RI		thres- hold ³	สารระเหยในรูปอิสระ			สารระเหยในรูปไกลโคไซด์		
			HP-5	INNOWAX		µg/g ⁴	%	OAV ⁵	µg/g ⁴	%	OAV ⁵
Ester											
39	cinnamyl acetate	sweet, balsamic, floral-fruity	1456	2166	n.a.	1.73	0.07	n.a.	-	-	-
Ketone											
3	6-methyl-5-hepten-2-one	oily-green, herbaceous	988	1337	0.16 ^b	0.98	0.04	6	0.16	0.05	1
Phenol											
60	fonanol	-	1648	2051	n.a.	0.69	0.03	n.a.	0.21	0.07	n.a.
subtotal						37.14	1.47		0.46	0.15	
TOTAL						2,523.54			316.28		

หมายเหตุ ¹ ลำดับที่ของสารตรงกับโครมาโทแกรมในภาพผนวกที่ 2 และ 3

² ลักษณะกลิ่นจากฐานข้อมูล Flavor-Base'04 ของ Leffingwell (2004)

³ ค่า threshold ในน้ำ (µg/g) จาก ^aBoonbumrung *et al.* (2001), ^bTamura *et al.* (2001), ^cSugisawa *et al.* (1991), ^dYang *et al.* (1992), ^eTamura *et al.* (1993), ^fButtery *et al.* (1988), ^gButtery (1993), ^hPadrayuttawat *et al.* (1997) และ ⁱKoppe (1965)

⁴ ความเข้มข้นของสาร (µg/g; ไมโครกรัม/กรัมของตัวอย่างสด)

⁵ OAV (odor activity value) = ความเข้มข้นของสาร/ค่า odor threshold ของสาร

n.a. = not available และ – หมายถึง ไม่พบสารชนิดนั้น

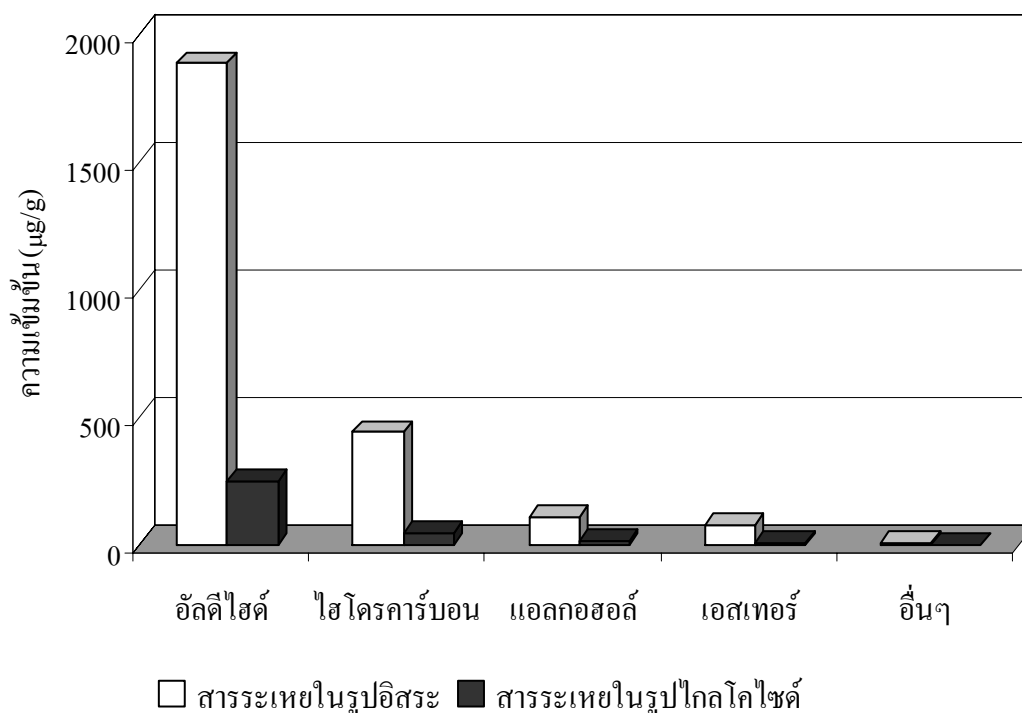
สารระเหยในรูปไกลโคไซด์ในกลุ่ม monoterpene alcohol ได้แก่ linalool, nerol, geraniol และ α -terpineol ในตะไคร้พบในรูปสารระเหยอิสระมากกว่าในรูปไกลโคไซด์ แต่ใน *Taxus baccata* (Erdemoglu *et al.*, 2003) และในชา (Hua fu and Xiao quing, 1996) พบสารระเหยกลุ่มนี้ในรูปไกลโคไซด์มากกว่าในรูปอิสระ ส่วนในมะกอก (hog plum) พบ linalool ในรูปไกลโคไซด์มากกว่ารูปอิสระ (Adedjeji *et al.*, 1991) นอกจากนี้ในเสาวรสไม่พบ linalool, nerol, geraniol และ α -terpineol ในรูปสารระเหยอิสระเลย แต่พบเฉพาะสารระเหยในรูปไกลโคไซด์ (Engel and Tressl, 1983) แสดงว่าสารกลุ่ม monoterpene alcohol ในพืชบางชนิดมีการสะสมในรูปของสารระเหยไกลโคไซด์มากกว่าสารระเหยในรูปอิสระ (Reneccius, 2006) อย่างไรก็ตามการที่พบ linalool, nerol, geraniol และ α -terpineol น้อยในรูปไกลโคไซด์ในตะไคร้ อาจเป็นเพราะเมื่อสารระเหยในรูปไกลโคไซด์ในกลุ่ม monoterpene alcohol มีการสลายพันธะด้วยเอนไซม์ หรือกรด กลายเป็นสารระเหยอิสระแล้วอาจสูญเสียน้ำ (dehydrate) และเกิดการปัดวงกลายเป็นสารอนุพันธ์อื่นได้ (Tang *et al.*, 1990)

อย่างไรก็ตามไม่พบสารระเหยในรูปไกลโคไซด์หลายชนิดที่พบในสารระเหยอิสระ โดยเฉพาะสารในกลุ่มไฮโดรคาร์บอน เช่น β -myrcene ซึ่งเป็นสารที่พบในปริมาณมากเป็นอันดับที่ 3 ในสารระเหยอิสระ อาจเนื่องมาจากเมื่ออยู่ในรูปอะไกลโคนมีการเปลี่ยนรูปเป็นสารอื่นในสถานะที่เป็นกรดระหว่างไฮโดรลิซิส (Winterhalter and Schreier, 1988) นอกจากนี้พบว่าไฮโดรคาร์บอนเป็นสารกลุ่มที่พบได้น้อยในรูปไกลโคไซด์ในพืชหลายชนิด เช่น จั๊นฉ่าย (Tang *et al.*, 1990), จิง (Wu *et al.*, 1990), ไวน์องุ่น (Mateo *et al.*, 1997), กลัวย (Pérez *et al.*, 1997) และ *Taxus baccata* (Erdemoglu *et al.*, 2003) เป็นต้น

ตารางที่ 3 จำนวนชนิดและร้อยละปริมาณสารระเหยกลุ่มต่าง ๆ ในรูปอิสระและไกลโคไซด์ในตะไคร้สดจากการวิเคราะห์ด้วย GC-FID

กลุ่มสาร	สารระเหยในรูปอิสระ		สารระเหยในรูปไกลโคไซด์	
	จำนวนชนิดสาร	ปริมาณร้อยละ	จำนวนชนิดสาร	ปริมาณร้อยละ
อัลดีไฮด์	6	74.68	4	78.85
ไฮโดรคาร์บอน	41	17.50	19	14.03
แอลกอฮอล์	14	4.26	9	4.33
เอสเทอร์	4	3.15	2	2.57
คีโตน	1	0.16	1	0.05
เบส	1	0.14	1	0.03
ออกไซด์	1	0.05	1	0.08
อีเทอร์	1	0.03	-	-
ฟีนอล	1	0.03	1	0.07
รวม	70		38	

สารระเหยที่พบในตะไคร้สามารถแบ่งกลุ่มตามหมู่ฟังก์ชันได้เป็น 9 กลุ่ม ได้แก่ อัลดีไฮด์ แอลกอฮอล์ ไฮโดรคาร์บอน เอสเทอร์ คีโตน เบส ออกไซด์ อีเทอร์ และฟีนอล แสดงจำนวนสารแต่ละกลุ่มและร้อยละปริมาณที่พบในตารางที่ 3 โดยพบว่าอัลดีไฮด์เป็นสารที่พบน้อยชนิด แต่มีปริมาณมากที่สุด และไฮโดรคาร์บอนเป็นสารระเหยที่พบบ่อยชนิดมากที่สุดในตะไคร้ทั้งในรูปอิสระและในรูปไกลโคไซด์ รองมา คือ แอลกอฮอล์ อัลดีไฮด์ และเอสเทอร์ ตามลำดับ



ภาพที่ 5 ปริมาณองค์ประกอบกลุ่มสารระเหยหลักที่พบในสารระเหยในรูปอิมัลชันและโกลโคไซด์ในตะไคร้สด

ภาพที่ 5 แสดงปริมาณสารแต่ละกลุ่มเปรียบเทียบระหว่างสารระเหยในรูปอิมัลชันและโกลโคไซด์ พบว่าปริมาณของสารระเหยในรูปอิมัลชันมีมากกว่าสารระเหยในรูปโกลโคไซด์ เช่นเดียวกับในพืชหลายชนิด เช่น สับปะรด (Wu *et al.*, 1991), เมล่อน (Parada *et al.*, 2000), ชาสุบ (Cai *et al.*, 2002) และจิง (Wu *et al.*, 1990) แต่ในพืชตระกูล Prunus ได้แก่ แอปเปิ้ล, ลูกพีช และลูกพลัม กลับพบสารระเหยในรูปอิมัลชันน้อยกว่าในรูปโกลโคไซด์ (Krammer *et al.*, 1991) นอกจากนี้ชนิดของพืชแล้วปริมาณสารระเหยในรูปโกลโคไซด์ที่พบในพืชแต่ละชนิดยังขึ้นกับพันธุ์ เช่น กล้วยพันธุ์ Valery และ Pequena Enana พบสารระเหยในรูปโกลโคไซด์ในปริมาณที่แตกต่างกัน (Pérez *et al.*, 1997) ความแก่อ่อน เช่น มะม่วงในขณะที่ยังไม่สุกพบสารระเหยในรูปโกลโคไซด์น้อยมาก และพบมากขึ้นเมื่อเริ่มสุก สุดท้ายลดลงเมื่อสุกเต็มที่ (Lalel *et al.*, 2003) และในพืชบางชนิดพบสารระเหยในรูปโกลโคไซด์มากที่สุดที่เปลือก เช่น องุ่น เป็นต้น (Cabaroğlu *et al.*, 2003; Selli *et al.*, 2006)

การศึกษาว่าสารใดเป็นสารที่มีความสำคัญต่อกลิ่นของอาหารพิจารณาได้จากหลายปัจจัย ได้แก่ ลักษณะกลิ่น ปริมาณสาร และค่า odor threshold ที่เมื่อนำมาคำนวณเป็นค่า OAV แล้วได้ค่า

มากกว่า 1 ทำให้คาดคะเนได้ว่าสารนั้นสามารถให้กลิ่นได้ (Grosch, 1993) ค่า OAV ของสารระเหยในตะไคร้สดแสดงในตารางที่ 2 พบว่า สารระเหยในรูปอิสระในตะไคร้สดที่มีค่า OAV ต่ำกว่า 1 ได้แก่ neryl acetate, α -terpineol, camphene และ nerolidol ส่วนสารระเหยในรูปไกลโคไซด์ที่มีค่า OAV ต่ำกว่า 1 ได้แก่ (*E*)- β -ocimene, (-)-isopulegol, α -terpineol, camphene, (*E,E*)-farnesol, caryophyllene oxide และ indole อย่างไรก็ตามสารเหล่านี้อาจสามารถให้กลิ่นได้ เนื่องจากค่า OAV ที่คำนวณได้มาจากตัวอย่างตะไคร้เพียง 1 กรัม สำหรับสารระเหยชนิดที่มีค่า OAV มากกว่า 1 ในเบื้องต้นคาดว่าเป็็นสารที่ให้กลิ่นในตะไคร้ ส่วนสารระเหยที่ไม่มีรายงานค่า threshold จะต้องทดสอบหาสารให้กลิ่นสำคัญเพิ่มเติมโดยทำการทดลองด้วยการดมกลิ่นจากเครื่อง GC-O

2. การวิเคราะห์สารให้กลิ่นที่สำคัญในตะไคร้

ในตะไคร้สดมีสารระเหยหลายชนิด ดังนั้นเพื่อศึกษาสารให้กลิ่นที่สำคัญในตะไคร้สดจึงทดสอบด้วยวิธี AEDA ซึ่งสามารถระบุสารให้กลิ่นที่สำคัญได้จากค่า FD factor ที่แสดงถึงจำนวนครั้งของการเจอจากตัวอย่างสารระเหยด้วยตัวทำลายชนิดเดียวกับที่ใช้สกัด ในการทดลองนี้การเจอจากแต่ละครั้งความเข้มข้นจะลดลง 3 เท่า จึงรายงานค่าระดับการเจอจากเป็น $\log_3$ FD factor ดังนั้นสารให้กลิ่นสำคัญ คือ สารที่มีค่า $\log_3$ FD factor สูง ที่ยังคงให้กลิ่นแม้เมื่อผ่านการเจอจากในระดับสูง

การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารระเหยในการทดลองขั้นต้นเป็นข้อมูลว่าในตะไคร้สดมีสารระเหยอยู่หลายประเภท ดังนั้นการวิเคราะห์สารให้กลิ่นด้วยสองคอลัมน์ที่มีความมีขั้วแตกต่างกันทำให้สามารถแยกประเภทของสารให้กลิ่นได้ดีขึ้น โดยพบสารระเหยในรูปอิสระที่ให้กลิ่นและระบุชนิดได้ 66 ชนิด นอกจากนี้ยังพบสารที่ไม่สามารถระบุชนิดได้ ซึ่งแสดงค่า $\log_3$ FD factor ของสารระเหยที่ให้กลิ่นในตะไคร้สด ในตารางที่ 4 สารที่มีค่า $\log_3$ FD factor สูง จัดว่ามีความสำคัญต่อกลิ่นของอาหาร เพราะอาจเป็นสารที่มีปริมาณมากในตัวอย่าง หรือมีค่า threshold ต่ำ ในตะไคร้สดมีสารบางชนิด ได้แก่ indole, cinamyl acetate, β -chamigrene และ α -longopinene ที่ผู้ทดสอบไม่ได้กลิ่น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก มีความเข้มข้นต่ำเกินไป หรือเกิดการบดบังกลิ่นจากสารระเหยอื่น (Chang, 1989)

สารระเหยในรูปอิสระที่เป็นสารให้กลิ่นสำคัญในตะไคร้สดเนื่องจากมีค่า $\log_3$ FD factor สูงสุด ($\log_3$ FD factor = 4) คือ geranial (กลิ่นตะไคร้ และเลมอน) ซึ่งเป็นสารระเหยที่พบในปริมาณมากที่สุด ในตะไคร้ ประกอบกับให้กลิ่นตะไคร้เมื่อดมจากปลายคอลัมน์ของเครื่อง GC-O

สอดคล้องกับที่ Ashurst (1999) และ Kasali *et al.* (2001) รายงานว่าสารกลุ่มนี้เป็นสารระเหยที่พบในน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ สารให้กลิ่นสำคัญอื่น ๆ ที่มีค่า $\log_3$ FD factor = 3 ในทั้งสองคอลัมน์ที่วิเคราะห์มี 8 สาร ได้แก่ (Z)- β -ocimene (กลิ่นสด สมุนไพร เลมอน และหวาน), *l*-linalool (กลิ่นดอกไม้ หวาน และตะไคร้), neral (กลิ่นตะไคร้ เลมอน และเย็น), (*E*)-geraniol (กลิ่นตะไคร้ ชุนแห้ง หวาน และดอกไม้), α -gurjunene (กลิ่นเลมอน ตะไคร้), (*E*)- β -caryophyllene (กลิ่นเลมอน ตะไคร้ และสมุนไพร), *endo*-1-bourbonanol (กลิ่นตะไคร้ ส้ม และเลมอน) และ calarene (กลิ่นตะไคร้ และเย็น)

นอกจากนี้ยังพบว่า β -myrcene (กลิ่นสมุนไพร ชุน เย็น และยาง), geranyl acetate (กลิ่นเลมอน ตะไคร้ และผลไม้), α -farnesene (กลิ่นเลมอน), β -maaliene (กลิ่นส้ม) และ valencene (กลิ่นตะไคร้ แห้ง และหวาน) จากคอลัมน์ HP-5 และ citronellol (กลิ่นเลมอน ตะไคร้ ส้ม และสด), α -guaiane (กลิ่นเลมอน หวาน และไม้), (-)-isolekene (กลิ่นเลมอน) และสารไม่ทราบชนิด RI=2019 (กลิ่นเลมอน) จากคอลัมน์ HP-INNOWAX ยังเป็นสารให้กลิ่นที่สำคัญในตะไคร้สดอีกด้วย

ผลการทดสอบด้วย GC-O ในการทดลองนี้มีความสอดคล้องกับค่า OAV ที่คำนวณได้จากการทดลองในข้อ 1 อย่างไรก็ตามสารระเหยที่มีค่า OAV สูงบางชนิดอาจไม่ได้กลิ่นในการทดสอบด้วย GC-O ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสารระเหยอื่นที่ออกมาในช่วงเวลาใกล้เคียงมาบดบังและสารที่มีค่า OAV สูงไม่ได้แสดงว่ามีความสำคัญต่อกลิ่นเสมอไป เพราะสารที่มีค่า OAV ต่ำอาจมีความสำคัญต่อกลิ่นโดยรวมได้ เนื่องจากมีปฏิสัมพันธ์ต่อสารให้กลิ่นอื่นในตัวอย่าง (Grosch, 2001)

ตารางที่ 4 ค่า Log₃ FD factor ของสารระเหยในรูปอิสระและไกลโคไซด์ในตะไคร้สด

ที่ ¹	สารระเหย	ลักษณะกลิ่นจาก GC-O	RI		Log ₃ FD factor ² : HP-5		Log ₃ FD factor ² : INNOWAX	
			HP-5	INNOWAX	F ³	GB ⁴	F ³	GB ⁴
1	α -pinene	floral, dry, resinous	942	1023	<1	-	<1	-
2	camphene	camphoraceous, mint-like	959	1069	<1	-	<1	-
3	6-methyl-5-hepten-2-one	lemon, green, herbaceous	988	1337	1	-	<1	-
4	β -myrcene	herbaceous, pungent, cool, resinous	993	1167	3	1	1	1
6	<i>l</i> -limonene	lemon, sweet, floral, citrus	1036	1203	-	-	1	-
7	(<i>Z</i>)- β -ocimene	fresh, herbaceous, lemon, sweet	1038	1238	3	-	3	-
8	1,8-cineol	fresh, lemon, camphoraceous, cool	1042	1211	-	-	1	-
9	(<i>E</i>)- β -ocimene	green, fresh, lemon	1049	1254	2	-	1	-
10	terpinolene	sweet, lemongrass, orange, floral	1096	1286	-	1	<1	<1
11	<i>l</i> -linalool	floral, sweet, lemongrass	1102	1542	3	2	3	2
12	alloocimene	lemon, citrus, lemongrass, sweet, floral	1147	1370	2	1	<1	-
13	citronellal	citrus, cool, lemongrass, green	1155	1479	1	1	2	<1
14	isopulegol	lemon, citrus, bitter, cool	1166	1566	2	1	1	-
15	<i>endo</i> -borneol	camphoraceous,lemon, lemongrass, orange	1184	n.a.	<1	2	-	-
16	α -terpineol	lemon, citrus, bitter-sweet	1202	1704	2	1	2	<1
17	citronellol	strong lemon, lemongrass, orange, fresh	1230	1764	2	1	3	-
18	nerol	lemon, citrus, sweet	1237	1799	<1	-	<1	-
19	neral	lemongrass, lemon, camphoraceous	1249	1687	3	1	3	1
20	(<i>E</i>)-geraniol	lemongrass, pungent, dry, sweet, floral	1257	1844	3	-	3	-
21	geranial	strong lemongrass, herbaceous, lemon	1280	1743	4	2	3	2
23	undecanal	lemongrass, lemon	1297	n.a.	1	-	-	-

ตารางที่ 4 (ต่อ)

ที่	สารระเหย	ลักษณะกลิ่นจาก GC-O	RI		Log ₃ FD factor ² : HP-5		Log ₃ FD factor ² : INNOWAX	
			HP-5	INNOWAX	F ³	GB ⁴	F ³	GB ⁴
25	(E)-pinocarvyl acetate	lemongrass	1310	n.a.	1	1	-	-
26	δ-elemene	lemon, sweet, lemongrass	1352	1468	<1	<1	<1	-
27	neryl acetate	sweet, floral, fruity	1378	1732	2	-	-	-
28	geranyl acetate	lemon, lemongrass, fruity	1383	1750	3	-	3	<1
29	α-ylangene	sweet, lemongrass, mint-like	1385	1486	-	1	-	-
30	α-copaene	woody, spicy, orange	1391	1498	<1	-	-	-
31	α-zingiberene	lemongrass, cool, sweet	1398	1536	<1	1	-	1
32	β-elemene	lemongrass, lemon, herbaceous	1404	1579	-	-	1	-
33	dodecanal	lemon, citrus	1414	1530	-	-	1	<1
34	(Z,E)-α-farnesene	mild, sweet , floral	1425	n.a.	1	-	-	-
35	α-gurjunene	lemongrass, lemon,	1434	2210	3	2	3	<1
36	(E)-β-caryophyllene	lemon, lemongrass, herbaceous	1438	1603	3	-	3	<1
37	(E)-α-bergamotene	lemon, dry	1445	1589	<1	1	1	-
38	γ-selinene	woody	1451	2170	<1	-	2	-
40	α-guaiene	lemon, sweet, woody	1459	1595	1	-	3	-
41	alloaromadendrene	lime, sweet, spicy	1464	1644	-	-	1	<1
42	(E)-β-farnesene	lemongrass, floral	1471	1670	<1	2	<1	1
43	α-humulene	lemongrass, woody, dry	1490	1679	<1	2	1	1
44	α-farnesene	lemon	1499	n.a.	3	-	-	-
45	germacrene D	lemon sweet , herbaceous, cool, lemongrass	1505	1713	1	<1	1	-
46	γ-cadinene	sweet, lemongrass	1509	1696	-	-	-	1

ตารางที่ 4 (ต่อ)

ที่	สารระเหย	ลักษณะกลิ่นจาก GC-O	RI		Log ₃ FD factor ² : HP-5		Log ₃ FD factor ² : INNOWAX	
			HP-5	INNOWAX	F ³	GB ⁴	F ³	GB ⁴
47	β-maaliene	orange	1512	2095	3	-	2	<1
48	valencene	lemongrass, dry, sweet	1516	1723	3	1	2	-
49	β-bisabolene	lemongrass	1520	1727	<1	-	1	-
50	δ-guaiene	lemon, woody	1528	1717	<1	1	1	2
51	α-amorphene	sweet, lemon, lemongrass	1534	1760	1	1	2	<1
52	δ-cadinene	orange, lemon, camphoraceous, herbaceous	1540	1757	<1	-	1	1
53	(E)-γ-bisabolene	bitter, pungent	1547	n.a.	1	-	-	-
54	δ-selinene	dry, lemongrass, woody	1550	1619	2	<1	1	<1
55	nerolidol	lime, lemongrass, cool, bitter	1577	2056	<1	1	<1	<1
56	germacrene B	lemon, lemongrass	1586	1821	-	-	1	<1
57	endo-1-bourbonanol	lemongrass, orange, lemon	1590	2046	3	<1	3	<1
58	caryophyllene oxide	camphoraceous, woody, tobacco	1611	1974	<1	<1	1	<1
59	calarene	lemongrass, cool	1634	2154	3	<1	3	2
60	fonanol	lemon, lemongrass, camphoraceous	1648	2051	1	-	1	<1
61	T-muurolol	orange, woody	1653	2176	<1	-	2	-
62	T-cadinol	slightly lemongrass	1667	n.a.	1	1	-	-
63	γ-gurjunene	camphoraceous, citrus, lemongrass	1674	n.a.	2	1	-	-
64	(E,E)-farnesol	sweet, lemon, floral	1710	2359	2	-	<1	<1
65	juniper camphor	lemongrass, spicy	1720	2293	<1	1	1	<1
66	(E,E)-farnesal	camphoraceous, citrus, herbaceous	1746	2258	<1	1	2	<1
67	α-cubebene	floral, citrus	n.a.	1456	-	-	2	-

ตารางที่ 4 (ต่อ)

ที่	สารระเหย	ลักษณะกลิ่นจาก GC-O	RI		Log ₃ FD factor ² : HP-5		Log ₃ FD factor ² : INNOWAX	
			HP-5	INNOWAX	F ³	GB ⁴	F ³	GB ⁴
68	(-)-isolekene	lemon	n.a.	1638	-	-	2	2
71	α -cadinene	slightly burnt, dry, woody	n.a.	1793	-	-	<1	-
72	hinesol	resinous, pungent	n.a.	2188	-	-	<1	<1
H-01	unknown	green	700	n.a.	<1	-	-	-
H-02	unknown	lemon, pungent	1009	n.a.	-	1	-	-
H-03	unknown	lemon grass	1077	n.a.	-	1	-	-
H-04	unknown	floral, sweet	1119	n.a.	<1	<1	-	-
H-05	unknown	lemon, lemongrass, camphoraceous	1178	n.a.	-	1	-	-
H-06	unknown	lemon, orange	1201	n.a.	-	2	-	-
H-07	unknown	lemon grass, citrus, lemon	1319	n.a.	-	1	-	-
H-08	unknown	lemon, lime, sweet	1453	n.a.	1	-	-	-
H-09	unknown	cool, fresh, lemongrass, citrus	1535	n.a.	-	<1	-	-
H-10	unknown	resinous, bitter-sweet, pungent	1676	n.a.	<1	-	-	-
H-11	unknown	orange, lemon, sweet, floral	1753	n.a.	1	-	-	-
H-12	unknown	lemongrass, citrus	1811	n.a.	<1	-	-	-
H-13	unknown	sweet, lemongrass, dry	1853	n.a.	<1	-	-	-
I-01	unknown	lemon, sweet, floral	n.a.	795	-	-	<1	-
I-02	unknown	lemongrass, dry, sour	n.a.	837	-	-	<1	-
I-03	unknown	lemongrass, camphoraceous	n.a.	1158	-	-	1	-
I-04	unknown	lemongrass	n.a.	1248	-	-	1	-
I-05	unknown	lemongrass, floral	n.a.	1271	-	-	2	-

ตารางที่ 4 (ต่อ)

ที่ ¹	สารระเหย	ลักษณะกลิ่นจาก GC-O	RI		Log ₃ FD factor ² : HP-5		Log ₃ FD factor ² : INNOWAX	
			HP-5	INNOWAX	F ³	GB ⁴	F ³	GB ⁴
I-06	unknown	sweet, lemongrass	n.a.	1300	-	-	1	-
I-07	unknown	lemongrass	n.a.	1351	-	-	2	-
I-08	unknown	cool, lemon	n.a.	1552	-	-	1	1
I-09	unknown	lemongrass, spicy, orange peel	n.a.	1600	-	-	<1	<1
I-10	unknown	pungent, dry	n.a.	1645	-	-	1	-
I-11	unknown	lemongrass, sweet, lemon	n.a.	1729	-	-	1	-
I-12	unknown	citrus, lemon	n.a.	1742	-	-	1	-
I-13	unknown	lemongrass	n.a.	1829	-	-	1	-
I-14	unknown	floral, lemon	n.a.	1852	-	-	<1	2
I-15	unknown	camphoraceous, sweet, lemongrass	n.a.	1896	-	-	<1	<1
I-16	unknown	sweet	n.a.	1952	-	-	1	-
I-17	unknown	lemongrass, citrus, green	n.a.	1984	-	-	<1	<1
I-18	unknown	lemon	n.a.	2019	-	-	3	-
I-19	unknown	lemon, lemongrass	n.a.	2123	-	-	2	<1
I-20	unknown	lemongrass	n.a.	2204	-	-	1	-

หมายเหตุ ¹ ลำดับที่ของสารตรงกับโครมาโทแกรมในภาพผนวกที่ 2, 3 และ log₃ FD factor aromagram ในภาพผนวกที่ 4 และ 5

² ค่า Log₃ FD factor <1 หมายถึงสารสกัดก่อนเจือจางเพื่อทำ ADEA และ – หมายถึงไม่ได้กลิ่น

^{3,4} F = สารระเหยในรูปอิสระ GB = สารระเหยในรูปไกลโคไซด์ และ n.a. = not available

สารระเหยในรูปโกลโคไซด์ในตะไคร้สดที่วิเคราะห์ในรูปแบบสารอะโกลโคนที่ให้กลิ่นและสามารถระบุชนิดได้มีจำนวน 43 ชนิด และยังพบสารที่ไม่สามารถระบุชนิดเนื่องจากไม่ปรากฏพิกในโครมาโทแกรม โดยสารระเหยในรูปโกลโคไซด์ที่ให้กลิ่นส่วนใหญ่เป็นสารชนิดเดียวกับที่พบในรูปอิสระ และยังให้ลักษณะกลิ่นใกล้เคียงกัน มีเพียงสารไม่ทราบชนิดบางสารเท่านั้นที่เป็นสารต่างชนิดกับสารระเหยในรูปอิสระ และเนื่องจากพบในปริมาณต่ำกว่ารูปอิสระมาก จึงมีค่า $\log_3$ FD factor ต่ำกว่า ซึ่งสารระเหยในรูปโกลโคไซด์ที่มีค่า $\log_3$ FD factor สูงสุดมีค่า $\log_3$ FD factor เท่ากับ 2

สารระเหยในรูปโกลโคไซด์ที่มีค่า $\log_3$ FD factor สูงสุดในตะไคร้สด ได้แก่ *l*-linalool (กลิ่นดอกไม้ หวาน และตะไคร้), geranial (กลิ่นตะไคร้ และเลมอน), *endo*-borneol (กลิ่นเย็น เลมอน ตะไคร้ และส้ม), α -gurjunene (กลิ่นเลมอน และตะไคร้), (*E*)- β -farnesene (กลิ่นตะไคร้ และดอกไม้), α -humulene (กลิ่นตะไคร้ ไม้ และแห้ง), δ -guaiene (กลิ่นเลมอน และ ไม้), calarene (กลิ่นตะไคร้ และเย็น), (-)-isolekene (กลิ่นเลมอน) และสารไม่ทราบชนิด RI=1852 (กลิ่นดอกไม้ และเลมอน)

ตารางที่ 5 แสดงสารให้กลิ่นสำคัญในตะไคร้สดทั้งสิ้น 19 ชนิด จากการศึกษาสารระเหยที่ให้กลิ่นสำคัญด้วยวิธี AEDA โดยพิจารณาสารที่มีค่า $\log_3$ FD factor สูงที่สุด ประกอบกับลักษณะกลิ่นของแต่ละสารที่ได้กลิ่นจาก GC-O, ค่า OAV ที่มากกว่า 1 และลักษณะกลิ่นสารจากฐานข้อมูล Flavor base' 04 เป็นกลิ่นของตะไคร้ ซึ่งได้แก่ กลิ่นเลมอน (lemon), กลิ่นซิตรัส (citrus), กลิ่นสดชื่น (fresh), กลิ่นมินท์ (mint), กลิ่นหวาน (sweet) และกลิ่นผลไม้ (fruity) เช่นเดียวกับที่ได้กลิ่นในการทดลองของ Kamath และคณะ ในปี 2001 ที่ทดสอบดมสารให้กลิ่นในน้ำมันหอมระเหยของตะไคร้ด้วย GC-O

ตารางที่ 5 สารให้กลิ่นสำคัญในตะไคร้สด

ที่ ¹	สารให้กลิ่น	RI		ลักษณะกลิ่น ²	Log ₃ FD factor ³		ปริมาณ ⁴ (µg/g)	threshold ⁵ (µg/g)	OAV ⁶	Identified
		HP-5	INN		HP-5	INN				
4	β-myrcene	994	1167	herbaceous, pungent, cool, resinous	3	2	97.81	0.099 ^a	988	A, B
7	(Z)-β-ocimene	1038	1238	fresh, herbaceous, lemon, sweet	3	3	29.08	0.034 ^b	855	A, B
11	<i>l</i> -linalool	1102	1542	floral, sweet, lemongrass	3	3	10.40	0.007 ^a	1,405	A, B
17	citronellol	1230	1764	strong lemon, lemongrass, orange, fresh	2	3	9.62	0.062 ^{c, d, e}	155	A, B
19	neral	1249	1687	lemongrass, lemon, camphoraceous	3	3	391.05	0.053 ^a	7,378	A, B
20	(<i>E</i>)-geraniol	1257	1844	lemongrass, pungent, dry, sweet, floral	3	3	41.79	0.01 ^{c, d, e}	4,179	A, B
21	geranial	1280	1743	strong lemongrass, herbaceous, lemon	4	3	1,489.25	0.032 ^f	46,539	A, B
28	geranyl acetate	1383	1750	lemon, lemongrass, fruity	3	2	75.66	0.15 ^{c, d, e}	504	A, B
35	α-gurjunene	1434	2210	lemongrass, lemon	3	3	13.63	n.a.	n.a.	A
36	(<i>E</i>)-β-caryophyllene	1438	1603	lemon, lemongrass, herbaceous	3	3	37.90	1.54 ^a	25	A, B
40	α-guaiene	1459	1595	lemon, sweet, woody	2	3	9.83	n.a.	n.a.	A
44	α-farnesene	1499	n.a.	lemon	3	2	31.86	n.a.	n.a.	A
47	β-maaliene	1512	2095	orange	3	2	10.88	n.a.	n.a.	A
48	valencene	1516	1723	lemongrass, dry, sweet	3	2	8.79	n.a.	n.a.	A
57	<i>endo</i> -1-bourbonanol	1590	2046	lemongrass, orange, lemon	3	3	28.60	n.a.	n.a.	A
59	calarene	1634	2154	lemongrass, cool	3	3	32.23	n.a.	n.a.	A
68	(-)-isodene	n.a.	1638	lemon	n.a.	3	2.56	n.a.	n.a.	A
I-18	unknown (RI=2019)	n.a.	2019	lemon	n.a.	3	n.a.	n.a.	n.a.	n.i.

ตารางที่ 5 (ต่อ)

หมายเหตุ ¹ ลำดับที่ของสารตรงกับตารางที่ 2, 3 และโครมาโทแกรมในภาคผนวกที่ 2 และ 4

² ลักษณะกลิ่นจากการทดสอบดมด้วย GC-O

³ Log₃ FD factor ของตะไคร้สดจากคอลัมน์ HP-5 และ HP-INNOWAX (INN = HP-INNOWAX)

⁴ ความเข้มข้นของสารระเหยในรูปอิสระในตะไคร้สด (ไมโครกรัม/กรัมของตัวอย่างสด)

⁵ ค่า threshold ในน้ำ (µg/g) จาก ^aBoonbumrung *et al.* (2001), ^bTamura *et al.* (2001), ^cSugisawa *et al.* (1991), ^dYang *et al.* (1992), ^eTamura *et al.* (1993) และ ^fButtery *et al.* (1993)

⁶ OAV (odor activity value) = ความเข้มข้นของสาร/ค่า odor threshold ของสาร

n.a. = not available และ n.i. = not identified

A = บ่งชี้ชนิดสาร โดยเทียบข้อมูล mass spectrum

B = บ่งชี้ชนิดสาร โดยเทียบกับสารมาตรฐาน

3. การศึกษาผลของการแปรรูปต่อสารให้กลิ่นสำคัญในรูปอิสระและไกลโคไซด์ในตะไคร้

การศึกษาผลของวิธีการแปรรูปต่อสารให้กลิ่นสำคัญในตะไคร้ซึ่งพิจารณาจากการวิเคราะห์ด้วยวิธี AEDA, ค่า OAV และมีลักษณะกลิ่นของตะไคร้ พบสารให้กลิ่นสำคัญทั้งสิ้น 18 ชนิด แต่มีสารให้กลิ่น 1 ชนิดที่ไม่ปรากฏฟิสิกบนโครมาโทแกรมทำให้ไม่สามารถหาปริมาณได้ ดังนั้นจึงมีสารให้กลิ่นเพียง 17 ชนิดที่นำมาพิจารณาเปรียบเทียบผลของการแปรรูป

เนื่องจากการใช้น้ำมันในบางกระบวนการแปรรูปตะไคร้ และความชื้นที่ไม่เท่ากันในแต่ละตัวอย่าง ในการทดลองเพื่อเปรียบเทียบผลของวิธีการแปรรูปต่อปริมาณสารให้กลิ่นสำคัญในตะไคร้ จึงต้องกำหนดน้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ให้เท่ากันทุกตัวอย่าง ในการทดลองนี้ได้วิเคราะห์ปริมาณความชื้นและไขมัน (แสดงในภาคผนวกข้อ 1 การวิเคราะห์ทางเคมี) เพื่อนำมาคำนวณปริมาณของแข็งในแต่ละตัวอย่าง และใช้น้ำหนักของของแข็งที่เทียบเท่ากันมาชั่งตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์สารระเหย

การแปรรูปที่ใช้ศึกษาเปรียบเทียบในการทดลองนี้มี 4 วิธี ได้แก่ ตะไคร้ในน้ำ (lemongrass in water) ตะไคร้ในน้ำเททับด้วยน้ำมัน (lemongrass in water covered on the top with oil) ซึ่งนำไปให้ความร้อนในน้ำเดือด อุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ตะไคร้ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (oven drying) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 ชั่วโมง และตะไคร้ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying) ที่ใช้ระยะเวลาในการทำแห้งนานประมาณ 15 ชั่วโมง

3.1 ผลของการแปรรูปตะไคร้ต่อสารให้กลิ่นสำคัญในรูปอิสระ

สารให้กลิ่นสำคัญในรูปอิสระในตะไคร้แปรรูปที่มีปริมาณมากที่สุด ได้แก่ geranial, neral, β -myrcene, geranyl acetate, (*E*)-geraniol และ (*E*)- β -caryophyllene ตามลำดับ แสดงปริมาณสารให้กลิ่นสำคัญในรูปอิสระของตะไคร้แปรรูปในตารางที่ 6 แต่สารให้กลิ่นในตะไคร้แปรรูปมีปริมาณลดลงจากตะไคร้สด โดยตะไคร้ในน้ำมีสัดส่วนการลดลงมากที่สุดถึง 48.54% รองลงมา คือ ตะไคร้ในน้ำเททับด้วยน้ำมัน การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง และการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ซึ่งมีสัดส่วนการลดลง 45.68%, 45.38% และ 19.45% ตามลำดับ

ตารางที่ 6 ความเข้มข้นของสารให้กลิ่นสำคัญในรูปอิสระในตะไคร้สดและแปรรูป

ที่	สารให้กลิ่นสำคัญ	RI		ปริมาณสารให้กลิ่นสำคัญ ¹ (μg/g)									
		HP-5	INNOWAX	F ²		W ³		O ⁴		OV ⁵		FD ⁶	
4	β-myrcene	994	1167	97.81	a	87.98	ab	82.59	ab	72.74	b	46.39	c
7	(Z)-β-ocimene	1038	1238	29.08	a	30.27	a	27.68	a	24.30	ab	19.99	b
11	<i>l</i> -linalool	1102	1542	10.40	a	5.99	b	5.91	b	8.51	a	5.94	b
17	citronellol	1230	1764	9.62	a	9.60	a	7.08	ab	7.69	ab	6.51	c
19	neral	1249	1687	391.05	a	368.09	ab	287.77	b	326.15	ab	196.10	b
20	(E)-geraniol	1257	1844	41.79	a	30.69	b	21.89	c	29.30	bc	21.29	c
21	geranial	1280	1743	1,489.25	a	426.53	d	580.21	cd	1,183.86	b	786.90	c
28	geranyl acetate	1383	1750	75.66	a	64.52	a	57.35	a	61.21	a	34.21	b
35	α-gurjunene	1434	2210	14.13	c	16.49	b	21.19	a	13.64	c	13.22	c
36	(E)-β-caryophyllene	1438	1603	37.90	ab	37.21	ab	30.93	b	32.73	b	32.19	b
40	α-guaiene	1459	1595	9.83	a	8.36	a	12.44	a	8.25	a	8.25	a
44	α-farnesene	1499	n.a.	31.86	b	46.13	ab	53.70	a	34.80	ab	37.82	b
47	β-maaliene	1512	2095	10.88	a	5.48	b	9.82	ab	6.36	ab	6.00	b
48	valencene	1516	1723	8.79	a	7.59	a	8.76	a	5.52	a	5.48	a
57	<i>endo</i> -1-bourbonanol	1590	2046	28.6	a	25.05	a	25.43	a	30.36	a	28.43	a
59	calarene	1634	2154	32.23	a	22.37	b	24.27	ab	22.35	b	17.16	c
68	(-)-isolekene	n.a.	1638	2.56	a	2.34	a	3.89	a	2.15	a	2.15	a
total				2,321.44		1,194.69		1,260.91		1,869.92		1,268.03	

ตารางที่ 6 (ต่อ)

หมายเหตุ ¹ ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรที่ต่างกันในแนวนอน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

²⁻⁶ F, W, O, OV และ FD = ตะไคร้สด ตะไคร้ในน้ำ ตะไคร้ในน้ำเททับด้วยน้ำมัน ตะไคร้ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน และตะไคร้ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ตามลำดับ

n.a. = not available

จากตารางที่ 6 พบว่ามีสารให้กลิ่นที่มีปริมาณแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ใน ตะไคร้สดและตะไคร้แปรรูปอยู่ 4 ชนิด คือ α -guaiene, valencene, *endo*-1-bourbonanol และ (-)-isoleudene ซึ่งเป็นสารในกลุ่ม cyclic sesquiterpene ทั้งหมดยกเว้น *endo*-1-bourbonanol แสดงว่า สารในกลุ่ม cyclic sesquiterpene ในตะไคร้ มีความเสถียรต่อกระบวนการแปรรูปที่ใช้ในการ ทดลองนี้มากที่สุด อาจเนื่องจากน้ำหนักโมเลกุลที่ค่อนข้างสูงจึงระเหยออกไประหว่างการแปรรูป น้อย และโครงสร้างที่เป็นวงทำให้มีความเสถียรต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง

ปริมาณ geranial ในตะไคร้ในน้ำ ตะไคร้ในน้ำที่ทับด้วยน้ำมัน ตะไคร้ทำแห้งด้วย ตู้อบลมร้อน และตะไคร้ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งลดลง 71.36%, 61.04%, 20.51% และ 47.16% ของตะไคร้สดตามลำดับ ส่วนปริมาณ neral ในตะไคร้ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน และทำแห้งแบบแช่ เยือกแข็งลดลงในเปอร์เซ็นต์ที่ใกล้เคียงกับ geranial คือ 16.60% และ 49.85% ของตะไคร้สด ตามลำดับ แต่ neral ในตะไคร้ในน้ำและตะไคร้ในน้ำที่ทับด้วยน้ำมัน กลับลดลงในเปอร์เซ็นต์ที่ น้อยกว่า โดยลดลง 5.87% และ 26.41% ของตะไคร้สดตามลำดับ การลดลงของ geranial และ neral ในเปอร์เซ็นต์ที่แตกต่างกันทั้ง ๆ ที่สารสองตัวนี้เป็นไอโซเมอร์กัน ทำให้อัตราส่วนของ geranial ต่อ neral ในตะไคร้แปรรูปเปลี่ยนแปลงจากตะไคร้สดซึ่งปกติมีค่าประมาณ 3.8 จากการทดลองในข้อ 1 โดยอัตราส่วนหลังการแปรรูปเป็น 1.2, 2.0, 3.6 และ 4.0 สำหรับตะไคร้ในน้ำ ตะไคร้ในน้ำที่ทับ ด้วยน้ำมัน ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ตามลำดับ ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจาก geranial เกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนแปลงไปเป็นสารอื่น เช่น เกิดการปฏิกิริยา, เกิดออกซิเดชัน และพอลิเมอ-ไรเซชัน เนื่องจากความร้อนได้ง่ายกว่า neral (Shaikh, 2002) หรืออาจมีการเปลี่ยนไอโซเมอร์กลายเป็น neral เพิ่มขึ้น ทั้งนี้อัตราส่วนของ geranial ต่อ neral ในตะไคร้ยังแตกต่างกันโดยขึ้นอยู่กับ แหล่งที่ปลูก (Carlson *et al.*, 2001; Sacchetti *et al.*, 2005) ฤดูกาลที่เก็บเกี่ยว (Figueiredo and Ming, 2002) และวิธีการสกัด (Rozzi *et al.*, 2002) เป็นต้น ถึงแม้ว่าอัตราส่วนของ geranial ต่อ neral ใน ตะไคร้จะเปลี่ยนแปลงเมื่อแปรรูปเป็นตะไคร้ในน้ำและตะไคร้ในน้ำที่ทับด้วยน้ำมัน อย่างไรก็ตาม สารทั้งสองชนิดนี้ให้ลักษณะกลิ่นที่ใกล้เคียงกัน (Leffingwell, 2004)

การทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนเป็นวิธีที่ทำให้สารให้กลิ่นสำคัญลดลงน้อยที่สุด มีสารที่มี ปริมาณลดลงจากตะไคร้สดแสดงความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) อยู่มากที่สุด ถึง 11 ชนิด ได้แก่ (Z)- β -ocimene, *l*-linalool, citronellol, neral, geranyl acetate, α -guaiene, α -farnesene, β -maaliene, valencene, *endo*-1-bourbonanol และ (-)-isoleudene เมื่อพิจารณาปัจจัย ทั่วไปที่ทำให้เกิดการลดลงของสารให้กลิ่นสำคัญในการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ได้แก่ อุณหภูมิ, เวลา และสถานะที่ใช้ในการทำแห้ง (Diaaz-Maroto *et al.*, 2002) จากการทดลองนี้พบว่าอุณหภูมิ 60

องศาเซลเซียสที่ใช้ในการทำแห้งตะไคร้ ทำให้ β -myrcene ที่มีขนาดเล็กสูญเสียไปมากระหว่างการอบแห้ง ในขณะที่ (*E*)- β -caryophyllene ที่มีขนาดโมเลกุลที่ใหญ่สูญเสียไปน้อยกว่า อาจเนื่องมาจากการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนจะมีลมร้อนพัดผ่านผิวหน้าอาหารที่มีความชื้นสูง ความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังผิวของอาหารทำให้น้ำในอาหารระเหยออกมา ซึ่งความร้อนและลมร้อนทำให้สารระเหยโมเลกุลเล็กระเหยออกไปพร้อมกับไอน้ำได้ง่ายกว่า นอกจากนี้การทำแห้งด้วยอัตราเร็วยังทำให้สารระเหยสูญเสียออกไปมาก เนื่องจากระเหยออกไปพร้อมกับน้ำ (Kompany and René, 1995) เช่นเดียวกับการอบแห้งกล้วยของ Boudhrioua และคณะ (2003) ที่พบว่าการสูญเสียสารให้กลิ่นไปพร้อมกับการระเหยของไอน้ำจะพบมากในช่วง 2 ชั่วโมงแรกของการทำแห้ง และการสูญเสียจะลดลงเมื่อปริมาณน้ำในตัวอย่างคงที่เมื่อใกล้ช่วงสุดท้ายของการทำแห้ง (Kompany and René, 1995)

ส่วนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง สารให้กลิ่นสำคัญส่วนมากมีปริมาณลดลงจากตะไคร้สดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีแนวโน้มว่ามีปริมาณลดลงมากที่สุดในการบวนการแปรรูปทั้งหมดที่ทำในการทดลองนี้ โดยเฉพาะการสูญเสีย β -myrcene ที่ลดลงมากที่สุดถึง 52.57% การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งทำให้เกิดการสูญเสียกลิ่นรสเป็นอย่างมากจนกล่าวได้ว่าเป็นอาหารที่ไร้รสชาติ (tasteless) (Barbosa-Cánovas and Vega-Mercado, 1996; Lin *et al.*, 1998) ซึ่งสาเหตุส่วนหนึ่งอาจเนื่องมาจากผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นระหว่างการแช่แข็งทำให้ผนังเซลล์ที่กักเก็บสารให้กลิ่นเสียโครงสร้างในระหว่างการทำแห้ง (Diaaz-Maroto *et al.*, 2002) นอกจากนี้การสูญเสียสารให้กลิ่นกลุ่ม monoterpene ซึ่งมีขนาดเล็กและมีจุดเดือดต่ำ (ตารางที่ 7) น่าจะเกิดจากการระเหยออกไปได้ง่ายเมื่อใช้ระบบสุญญากาศในการดูดไอน้ำเหนือตัวอย่างออกตลอดเวลาที่ทำแห้ง ดังนั้นจึงอาจทำให้สารให้กลิ่นสำคัญระเหยออกไปได้ง่ายพร้อมกับน้ำ อย่างไรก็ตามการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งสามารถรักษาลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างไว้ได้ดี ไม่ว่าจะเป็นสี หรือรูปร่างของผลิตภัณฑ์อาหาร (Lin *et al.*, 1998)

การทำแห้งอาจทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารบางชนิด โดยเฉพาะเทอร์พีนที่มีพันธะคู่อยู่ในโมเลกุลจะเกิดออกซิเดชันได้ง่ายในที่ที่มีอากาศและความร้อนเป็นตัวเร่ง (Kimura, *et al.*, 1983; Sawamura, *et al.*, 2004; Sköld, *et al.*, 2006) สารระเหยในตะไคร้ส่วนใหญ่เป็นสารพวกเทอร์พีน ดังนั้นจึงอาจเป็นสาเหตุหนึ่งทำให้เกิดการสูญเสียสารระเหยในตะไคร้อบแห้ง ทำให้สารระเหยบางชนิดมีปริมาณลดลง เช่น การลดลงของ citral จากการปัดวงไปเป็น *p*-cymene (Sawamura *et al.*, 2004) หรือ การเกิดออกซิเดชัน (autooxidation) ของ (*E*)- β -caryophyllene ไปเป็น (-)-caryophyllene oxide (Sköld, *et al.*, 2006) หรือเกิดออกซิเดชันของ sesquiterpene เช่น α -farnesene ไปเป็น 6-methyl-5-hepten-2-one (Tressl *et al.*, 1978)

ตารางที่ 7 ค่า Odor Activity Value ของสารให้กลิ่นสำคัญในรูปอิสระที่พบในการแปรรูปตะไคร้

ที่	สารให้กลิ่น	จุดเดือด ¹ (°C)	threshold ² (µg/g)	Odor Activity Value				
				F ³	W ⁴	O ⁵	OV ⁶	FD ⁷
4	β-myrcene	167	0.099 ^a	988	889	834	735	468
7	(Z)-β-ocimene	n.a.	0.034 ^b	855	890	814	715	588
11	<i>l</i> -linalool	194-197	0.0074 ^a	1,405	809	799	1150	803
17	citronellol	222	0.062 ^{c, d, e}	155	155	114	124	105
19	neral	229	0.053 ^a	7,377	6,945	5,430	6,154	3700
20	(<i>E</i>)-geraniol	229-230	0.01 ^{c, d, e}	4,179	3,069	2,189	2,930	2,129
21	geranial	229	0.032 ^f	46,539	13,329	18,132	36,996	24,591
28	geranyl acetate	138(25 mm Hg)	0.15 ^{c, d, e}	504	430	382	408	228
35	α-gurjunene	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
36	(<i>E</i>)-β-caryophyllene	129-130	1.54 ^a	25	24	20	21	21
40	α-guaiene	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
44	α-farnesene	125(12 mm Hg)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
47	β-maaliene	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
48	valencene	123(11 mm Hg)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
57	<i>endo</i> -1-bourbonanol	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
59	calarene	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
68	(-)-isolekene	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

หมายเหตุ ¹ จากฐานข้อมูล The Merck Chemical Database ของ Merck (2002)

² ค่า threshold ในน้ำ (µg/g) จาก จาก ^aBoonbumrung *et al.* (2001), ^bTamura *et al.* (2001), ^cSugisawa *et al.* (1991), ^dYang *et al.* (1992), ^eTamura *et al.* (1993), ^fButtery *et al.* (1993)

³⁻⁷ F, W, O, OV และ FD = ตะไคร้สด ตะไคร้ในน้ำ ตะไคร้ในน้ำที่ทับด้วยน้ำมัน ตะไคร้ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน และตะไคร้ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ตามลำดับ
n.a. = not available

การแปรรูปเป็นตะไคร้ในน้ำและตะไคร้ในน้ำที่ทับด้วยน้ำมันส่งผลให้สัดส่วนของกลุ่มสารให้กลิ่นสำคัญมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมาก เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของสัดส่วน cyclic monoterpene คาดว่าเป็นเพราะสภาวะที่มีความร้อนและความเป็นกรดสูงเร่งการเกิดปฏิกิริยาการปิดวง (cyclization) ของสารกลุ่ม acyclic monoterpene ที่มีโครงสร้างไม่เสถียรต่อความร้อน กลายเป็น

cyclic monoterpene หรือสารอื่น ๆ (Ohta *et al.*, 1991) การเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนนี้น่าจะส่งผลต่อกลิ่นโดยรวมของตะไคร้ในน้ำและตะไคร้ในน้ำที่ทับด้วยน้ำมันมากกว่าการแปรรูปตะไคร้ด้วยการทำแห้ง

ตะไคร้ในน้ำและตะไคร้ในน้ำที่ทับด้วยน้ำมันมีปริมาณของ citronellol ลดลง อาจเนื่องมาจาก citronellol เป็นสารที่มีความเสถียรที่ค่า pH สูงกว่า 5 ในอุณหภูมิค่า ดังนั้นในสภาวะกรดและมีการใช้ความร้อน citronellol จะเปลี่ยนเป็นสารอื่นได้ เช่น (*E*)-rose oxide, (*E*)-rose oxide, nerol oxide, linalool และ α -terpineol (Demyttenaere *et al.*, 2004) นอกจากนี้ยังไม่พบ nerol แต่พบ geraniol ซึ่งเป็นไอโซเมอร์กัน โดยอาจมีสาเหตุจากการที่ nerol เป็นสารให้กลิ่นที่พบน้อยในตะไคร้สด และยังสามารถเกิด cyclization ได้ง่ายกว่าในสภาวะที่เป็นกรด (Bauer *et al.*, 1997)

กระบวนการแปรรูปตะไคร้ในน้ำทำให้ (*Z*)- β -ocimene, α -gurjunene และ α -farnesene มีปริมาณเพิ่มขึ้นจากตะไคร้สดอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) การเพิ่มขึ้นของ ocimene (ได้แก่ (*Z*)- β -ocimene, (*E*)- β -ocimene และ alloocimene) อาจเนื่องมาจากปฏิกิริยา pyrolysis ของ α -pinene และ β -pinene (Bauer *et al.*, 1997) และการเพิ่มขึ้นของสารในกลุ่มไฮโดรคาร์บอนอาจเปลี่ยนแปลงมาจากสารระเหยในรูปไกลโคไซด์ หรือเกิดจากสารในกลุ่มแอลกอฮอล์เกิดปฏิกิริยาการขจัดน้ำ (dehydration) โดยมีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (สุนันทา, 2538)

สำหรับการแปรรูปเป็นตะไคร้ในน้ำที่ทับด้วยน้ำมันปริมาณของ α -farnesene เพิ่มขึ้นจากตะไคร้สดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วน α -gurjunene และ α -guaiane ในตะไคร้ในน้ำที่ทับด้วยน้ำมันมีปริมาณเพิ่มขึ้นจากตะไคร้สดอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) สารที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นนี้ส่วนมากเป็นสารกลุ่ม cyclic sesquiterpene คาดว่าสารกลุ่มนี้เกิดจากปฏิกิริยาเปลี่ยนแปลงของสารให้กลิ่นชนิดอื่นที่มีปริมาณลดลงโดยเร่งปฏิกิริยาด้วยกรด และความร้อนที่ให้นกระบวนการแปรรูป

3.2 ผลของการแปรรูปตะไคร้ต่อสารให้กลิ่นสำคัญในรูปไกลโคไซด์

สารให้กลิ่นสำคัญที่เลือกมาเพื่อศึกษาผลของการแปรรูปต่อสารให้กลิ่นสำคัญในรูปไกลโคไซด์โดยพิจารณาเลือกจากสารระเหยในรูปไกลโคไซด์ที่มีปริมาณสูง ประกอบกับเป็นสารให้กลิ่นที่สำคัญในตะไคร้สด มีทั้งหมด 15 ชนิด ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารให้กลิ่นชนิดเดียวกับสารให้กลิ่นสำคัญในรูปอิสระ มีเพียงบางสารเท่านั้นที่ไม่ได้นำมาศึกษา ได้แก่ β -myrcene, *endo*-1-bourbonanol

และ (-)-isoleudene เนื่องจากไม่พบในสารระเหยในรูปไกลโคไซด์ทั้งในตะไคร้สดและตะไคร้แปรรูป

ตารางที่ 8 แสดงปริมาณสารให้กลิ่นสำคัญในรูปไกลโคไซด์ในตะไคร้แปรรูป พบว่าปริมาณสารให้กลิ่นในรูปไกลโคไซด์ในตะไคร้ที่ผ่านการแปรรูปลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับตะไคร้สด โดยตะไคร้ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนมีเปอร์เซ็นต์การลดลงของสารให้กลิ่นสำคัญมากที่สุดถึง 81.55% รองลงมา คือ การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ตะไคร้ในน้ำ และตะไคร้ในน้ำเททับด้วยน้ำมัน ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การลดลง 72.42%, 36.95% และ 31.90% ตามลำดับ

การแปรรูปด้วยการทำแห้งทั้งแบบตู้อบลมร้อนและแบบแช่เยือกแข็งซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้เวลานานในการแปรรูปมีการลดลงของสารให้กลิ่นสำคัญในรูปไกลโคไซด์มากกว่าการแปรรูปเป็นตะไคร้ในน้ำและตะไคร้ในน้ำเททับด้วยน้ำมันที่ใช้ระยะเวลาสั้นในการแปรรูป อาจเป็นไปได้ว่าการที่กระบวนการแปรรูปจะไปสลายพันธะไกลโคซิดิกระหว่างสารให้กลิ่นและน้ำตาลได้นั้นต้องใช้เวลานานพอสมควร ดังนั้นจึงพบว่าตะไคร้ในน้ำและตะไคร้ในน้ำเททับด้วยน้ำมันมีการลดลงของสารให้กลิ่นในรูปไกลโคไซด์น้อยกว่า แม้ว่าสภาวะในการแปรรูปที่ใช้จะมีกรดที่เป็นตัวเร่งการสลายพันธะ หรืออาจเนื่องมาจากทั้งเวลาที่ใช้ไม่เพียงพอในการเกิดปฏิกิริยาและใช้สภาวะความเป็นกรดต่ำเกินไป

ตะไคร้ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีปริมาณสารให้กลิ่นสำคัญในรูปไกลโคไซด์น้อยกว่าตัวอย่างสดและแปรรูปด้วยวิธีอื่น อย่างไรก็ตามสารให้กลิ่นสำคัญในรูปอิสระในตะไคร้ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีปริมาณน้อยกว่าวิธีทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน เนื่องมาจากสารให้กลิ่นที่เกิดจากการเปลี่ยนรูปของสารให้กลิ่นในรูปไกลโคไซด์มาเป็นรูปอิสระเกิดการสูญเสียออกไปมากในระหว่างการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

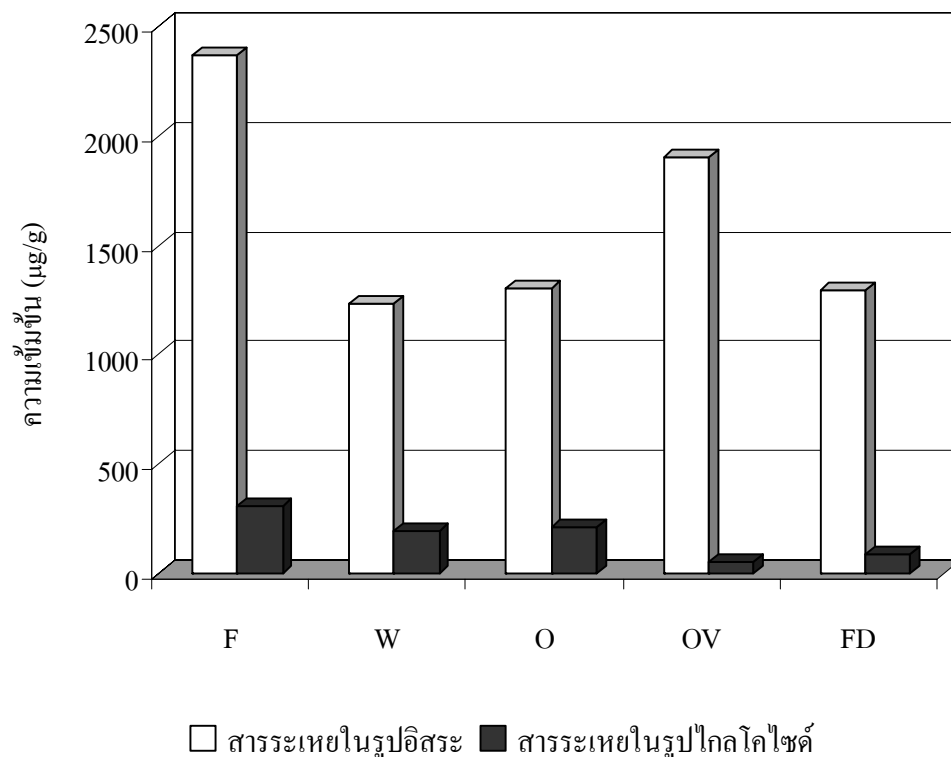
ตารางที่ 8 ความเข้มข้นของสารให้กลิ่นสำคัญในรูปไกลโคไซด์ในตะไคร้สดและแปรรูป

ที่	สารระเหย	RI		ปริมาณสารให้กลิ่นสำคัญ ¹ (μg/g)									
		HP-5	INNOWAX	F ²		W ³		O ⁴		OV ⁵		FD ⁶	
7	(Z)-β-ocimene	1038	1238	0.03	a	0.01	b	0.03	a	0.01	b	0.01	b
11	<i>l</i> -linalool	1102	1542	1.12	bc	1.68	a	0.98	c	1.16	bc	1.35	b
17	citronellol	1230	1764	3.03	a	1.90	b	1.94	b	0.43	c	0.36	c
19	neral	1249	1687	59.64	a	57.88	a	56.93	a	13.66	b	18.48	b
20	(E)-geraniol	1257	1844	5.88	a	4.54	b	5.07	ab	1.69	c	1.96	c
21	geranial	1280	1743	188.24	a	103.80	b	112.32	b	35.46	c	49.92	c
28	geranyl acetate	1383	1750	7.93	a	7.53	a	7.04	a	1.57	b	2.51	b
35	α-gurjunene	1434	2210	0.97	a	0.13	c	-	d	0.16	c	0.65	b
36	(E)-β-caryophyllene	1438	1603	0.07	a	0.12	b	0.02	b	0.08	ab	0.50	a
40	α-guaiene	1459	1595	0.53	a	0.29	b	-	c	0.06	c	0.29	b
44	α-farnesene	1499	n.a.	2.04	a	0.90	b	0.26	b	0.23	b	0.97	b
47	β-maaliene	1512	2095	1.12	a	0.46	b	0.53	b	-	c	0.87	a
48	valencene	1516	1723	0.77	a	0.70	a	0.46	ab	-	c	0.29	bc
59	calarene	1634	2154	32.17	a	11.45	c	21.12	b	1.48	d	5.55	cd
total				303.54		191.39		206.70		55.99		83.71	

หมายเหตุ ¹ ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรที่ต่างกันในแนวนอน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) n.a. = not available และ - หมายถึง ไม่พบสารนั้น

²⁻⁶ F, W, O, OV และ FD = ตะไคร้สด ตะไคร้ในน้ำ ตะไคร้ในน้ำเทหับด้วยน้ำมัน ตะไคร้ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน และทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

สำหรับตะไคร้ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน เป็นไปได้ว่ามีการสลายพันธะไกลโคซิดิกโดยเอนไซม์ไกลโคซิเดส (glycosidase) ไปตั้งแต่ในช่วงแรกของการทำแห้ง เพราะเอนไซม์ชนิดนี้มีอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำงานอยู่ที่ 40-50 องศาเซลเซียส (Dekker, 1986) และอุณหภูมิที่ทำให้เอนไซม์เกิดการเสียสภาพจากความร้อน (thermal denature) อยู่ที่มากกว่า 50 องศาเซลเซียส (Dekker, 1986) ดังนั้นกระบวนการแปรรูปตะไคร้เป็นตะไคร้ในน้ำและตะไคร้ในน้ำเททับด้วยน้ำมัน ความร้อนน่าจะทำให้เอนไซม์เสียสภาพธรรมชาติไป (denature) เมื่อเอนไซม์ไม่สามารถทำงานได้จึงพบว่าปริมาณสารระเหยในรูปไกลโคไซด์ไม่ได้ลดลงมาก อย่างไรก็ตามสารระเหยในรูปไกลโคไซด์ในตะไคร้ในน้ำและตะไคร้ในน้ำเททับด้วยน้ำมันก็มีปริมาณลดลงจากในตะไคร้สด แสดงว่าอาจเกิดการสลายพันธะของสารให้กลิ่นในรูปไกลโคไซด์เนื่องจากการแปรรูปด้วยความร้อนในสภาวะกรด เช่นเดียวกับการให้ความร้อนในน้ำสาวรส (Engel and Tressl, 1983) และน้ำ black currant (Varming *et al.*, 2006)



ภาพที่ 6 ปริมาณสารให้กลิ่นสำคัญในรูปอิสระและไกลโคไซด์ในตะไคร้สด (F), ตะไคร้ในน้ำ (W), ตะไคร้ในน้ำเททับด้วยน้ำมัน (O), ตะไคร้ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (OV) และตะไคร้ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FD)

จากสมมติฐานที่ว่า การลดลงของปริมาณสารให้กลิ่นในรูปไกลโคไซด์จากการสลายพันธะไกลโคซิดิกด้วยสภาวะที่ใช้ในการแปรรูป ทำให้สารให้กลิ่นในรูปไกลโคไซด์กลายเป็นสารให้กลิ่นในรูปอิสระ ซึ่งจะทำให้สารให้กลิ่นอิสระมีปริมาณมากขึ้น เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับปริมาณสารให้กลิ่นในรูปอิสระในตะไคร้แปรรูป พบว่าการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนซึ่งเป็นการแปรรูปที่ให้ความร้อนสูงที่สุด มีสารให้กลิ่นในรูปไกลโคไซด์ลดลงมากที่สุด ดังภาพที่ 6 และการแปรรูปด้วยความร้อนสูงอย่างตะไคร้ในน้ำและตะไคร้ในน้ำเททับด้วยน้ำมันมีปริมาณสารให้กลิ่นอิสระต่ำ ในขณะที่มีสารให้กลิ่นในรูปไกลโคไซด์สูง เพราะการเปลี่ยนรูปจากสารไกลโคไซด์ไปเป็นสารในรูปอิสระเกิดขึ้นน้อย แสดงว่าการให้ความร้อนในสภาวะที่เป็นกรดต่ำ (pH 4.6) ที่ใช้ในการทดลองมีความเป็นกรดไม่เพียงพอต่อการสลายพันธะของสารไกลโคไซด์ในตะไคร้ ผลที่ได้สอดคล้องกับสมมติฐานข้างต้น แต่เนื่องมาจากการแปรรูปทำให้สารให้กลิ่นในรูปอิสระระเหยออกไป จึงพบว่ามีสารระเหยในรูปอิสระน้อยกว่าในตะไคร้สด

3.3 การศึกษาสารให้กลิ่นสำคัญในตะไคร้แปรรูปด้วย GC-O

การแปรรูปเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะกลิ่นของอาหาร จึงทำการทดลองเพื่อศึกษาสารให้กลิ่นที่เปลี่ยนแปลงไปจากกระบวนการแปรรูปตะไคร้ ด้วยวิธี ADEA ซึ่งแสดงสารให้กลิ่นสำคัญในตะไคร้สดเมื่อผ่านการแปรรูปในตารางที่ 9 พบว่าสารให้กลิ่นสำคัญส่วนใหญ่มีค่า $\log_3$ FD factor ลดลงจากตะไคร้สด สอดคล้องกับข้อมูลด้านปริมาณที่มีการลดลงเมื่อผ่านการแปรรูป

สารให้กลิ่นบางสารมีค่า $\log_3$ FD factor เพิ่มขึ้นจากตะไคร้สดเมื่อผ่านการแปรรูป ได้แก่ 6-methyl-5-hepten-2-one, (*E*)-pinocarvyl acetate, α -copaene, (*E*)- α -bergamotene, (*E*)- β -farnesene, α -humulene, caryophyllene oxide, T-cadinol, (*E,E*)-farnesal, α -cadinene และ hinesol แสดงว่าน่าจะเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงมาจากสารให้กลิ่นอื่น ๆ ในระหว่างการแปรรูป ประกอบกับมีลักษณะกลิ่นที่ทดสอบด้วย GC-O แตกต่างไปจากในตะไคร้สด นอกจากนี้ยังมีสารให้กลิ่นที่ไม่สามารถระบุชนิดได้ที่คาดว่าเกิดจากการแปรรูปเนื่องจากไม่พบในตะไคร้สด และให้กลิ่นที่ไม่ใช่ลักษณะเฉพาะของตะไคร้ ดังแสดงลักษณะกลิ่นและค่า $\log_3$ FD factor ในตะไคร้แปรรูปในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ค่า Log₃ FD factor ของสารให้กลิ่นสำคัญในตะไคร้และสารให้กลิ่นบางชนิดที่เปลี่ยนแปลงจากการแปรรูปตะไคร้

ที่	สารระเหย	ลักษณะกลิ่น	RI		Log ₃ FD factor ¹ : HP-5						Log ₃ FD factor ¹ : INNW				
			HP-5	INN	F ²	W ³	O ⁴	OV ⁵	FD ⁶		F ²	W ³	O ⁴	OV ⁵	FD ⁶
3	6-methyl-5-hepten-2-one	lemon, green, herbaceous	988	1337	1	-	-	-	-		<1	3	3	<1	1
4	β-myrcene	herbaceous, pungent, cool, resinous	993	1167	3	2	2	2	1		1	<1	-	<1	<1
7	(Z)-β-ocimene	fresh, herbaceous, lemon, sweet	1038	1238	3	2	2	2	1		3	2	2	-	<1
11	<i>l</i> -linalool	floral, sweet, lemongrass	1102	1542	3	2	2	3	2		3	2	1	2	1
17	citronellol	strong lemon, lemongrass, orange, fresh	1230	1764	2	3	3	2	2		3	2	2	2	1
19	neral	lemongrass, lemon, camphoraceous	1249	1687	3	2	2	3	2		3	3	2	3	1
20	(E)-geraniol	lemongrass, pungent, dry, sweet, floral	1257	1844	3	2	2	2	2		3	2	2	3	2
21	geranial	strong lemongrass, herbaceous, lemon	1280	1743	4	3	3	3	3		3	2	2	3	3
25	(E)-pinocarvyl acetate	lemongrass, bug-like*	1310	n.a.	1	2*	1*	<1	1		-	-	-	-	-
28	geranyl acetate	lemon, lemongrass, fruity	1383	1750	2	2	1	2	<1		3	1	2	2	-
30	α-copaene	woody, spicy, orange, dry*	1391	1498	<1	<1	2	2*	2*		-	-	-	<1	-
35	α-gurjunene	lemongrass, lemon	1434	2210	3	3	3	2	2		3	2	3	2	2
36	(E)-β-caryophyllene	lemon, lemongrass, herbaceous	1438	1603	3	3	2	2	2		3	3	3	2	3
37	(E)-α-bergamotene	lemon, dry, oil*, roasty*	1445	1589	<1	1	2*	1	2		1	3	3*	2	1
40	α-guaiene	lemon, sweet, woody	1459	1595	1	1	2	1	1		3	2	3	2	1
42	(E)-β-farnesene	lemongrass, floral, boiled potato*	1471	1670	<1	1*	2*	1	2		<1	<1	2*	1	1
43	α-humulene	lemongrass, woody, dry, tobacco*	1490	1679	<1	1	1	1*	1		2	2	1	1*	1
44	α-farnesene	lemon	1499	n.a.	3	2	3	1	2		-	-	-	-	-
47	β-maaliene	orange	1512	2095	3	1	<1	1	1		2	2	2	<1	1
48	valencene	lemongrass, dry, sweet	1516	1723	3	2	2	2	2		2	-	2	1	-
57	endo-1-bourbonanol	lemongrass, orange, lemon	1590	2046	3	3	2	3	2		3	2	1	2	1
58	caryophyllene oxide	camphoraceous, tobacco, woody*	1611	1974	<1	1	2	1*	-		1	3	3*	3*	1

ตารางที่ 9 (ต่อ)

ที่	สารระเหย	ลักษณะกลิ่น	RI		Log ₃ FD factor ¹ : HP-5					Log ₃ FD factor ¹ : INNW				
			HP-5	INN	F ²	W ³	O ⁴	OV ⁵	FD ⁶	F ²	W ³	O ⁴	OV ⁵	FD ⁶
59	calarene	lemongrass, cool	1634	2154	3	1	2	2	1	3	3	3	3	2
62	T-cadinol	slightly lemongrass, oil*, boiled potato *	1667	n.a.	1	-	1*	2*	-	-	-	-	-	-
66	(E,E)-farnesal	camphoraceous, citrus, herbaceous, roasty*	1746	2258	<1	2*	<1*	1	2	2	-	-	1	<1
71	α-cadinene	slightly burnt, dry, woody	n.a.	1793	-	-	-	-	-	<1	2	2	2	2
72	hinesol	resinous, pungent	n.a.	2188	-	-	-	-	-	<1	1	2	1	2
P-01	unknown	soy sauce-like	<700	n.a.	-	1	<1	-	-	-	-	-	-	-
P-02	unknown	boiled potato	705	n.a.	-	<1	<1	-	-	-	-	-	-	-
P-03	unknown	lemongrass, nutty	722	n.a.	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
P-04	unknown	oily, burnt, roasty	746	n.a.	-	<1	<1	-	-	-	-	-	-	-
P-05	unknown	caramel-like	1370	n.a.	-	2	<1	-	-	-	-	-	-	-
P-06	unknown	lemongrass, wood, smoked	n.a.	1322	-	-	-	-	-	-	<1	-	2	<1
P-07	unknown	sweet, lemon, oily	n.a.	1794	-	-	-	-	-	-	3	2	-	-
P-08	unknown	rubbery, pungent	n.a.	1805	-	-	-	-	-	-	-	<1	<1	-
P-09	unknown	powdery, sweet	n.a.	2110	-	-	-	-	-	-	3	1	-	-
P-10	unknown	dried lemongrass	n.a.	2141	-	-	-	-	-	-	<1	-	1	<1

หมายเหตุ ¹ ค่า Log₃ FD factor <1 หมายถึงสารสกัดก่อนเจือจางเพื่อทำ ADEA และ – หมายถึงไม่ได้กลิ่น

²⁻⁶ F, W, O, OV และ FD หมายถึงตะไคร้สด ตะไคร้ในน้ำ ตะไคร้ในน้ำที่ทับด้วยน้ำมัน ตะไคร้ทำแห้งด้วยลมร้อน และตะไคร้ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ตามลำดับ

* หมายถึงลักษณะกลิ่นที่พบเฉพาะจากการแปรรูป n.a. = not available และ INN = คอลัมน์ HP-INNOWAX

กระบวนการแปรรูปตะไคร้ในน้ำและตะไคร้ในน้ำที่ทับด้วยน้ำมันทำให้เกิดกลิ่นคล้ายแมลงจาก (*E*)-pinocarvyl acetate กลิ่นคัมจาก (*E*)- β -farnesene และกลิ่นอาหารอบจาก (*E,E*)-farnesal และยังมีสารให้กลิ่นที่ไม่ทราบชนิดที่วิเคราะห์ได้จากคอลัมน์ HP-5 ซึ่งเกิดจากการแปรรูปด้วยวิธีนี้ทำให้กลิ่นที่ไม่ใช่ลักษณะกลิ่นโดยทั่วไปของตะไคร้ ได้แก่ กลิ่นคล้ายซอสถั่วเหลือง (RI<700) กลิ่นมันฝรั่งต้ม (RI=705) กลิ่นน้ำมัน กลิ่นไหม้ กลิ่นอบ (RI=746) และกลิ่นคล้ายคาราเมล (RI=1378) นอกจากนี้ตะไคร้ในน้ำที่ทับด้วยน้ำมันยังมีกลิ่นน้ำมันและกลิ่นอบจาก (*E*)- α -bergamotene และกลิ่นน้ำมันและกลิ่นคัมจาก T-cadinol จากการที่ตะไคร้ในน้ำที่ทับด้วยน้ำมันเกิดสารให้กลิ่นจากการแปรรูปหลายชนิด ทั้งนี้คาดว่าเป็นกลิ่นที่เกิดจากน้ำมันที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่าง อย่างไรก็ตามน้ำมันที่ใช้ในการแปรรูปน่าจะมีส่วนทำให้สารให้กลิ่นบางส่วนในตะไคร้ที่ละลายออกมาในน้ำไม่สูญเสียออกไปได้ง่าย เนื่องจากมีชั้นของน้ำมันช่วยกักเก็บสารให้กลิ่นไว้ ทำให้อาจมีการสูญเสียสารให้กลิ่นน้อยกว่าตะไคร้ในน้ำในช่วงเก็บรักษา

การทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนเป็นสาเหตุให้เกิดกลิ่นแห้ง กลิ่นไม้ กลิ่นยาสูบ กลิ่นควันเพิ่มขึ้นจาก α -copaene, α -humulene, caryophyllene oxide และสารไม่สามารถระบุชนิดได้ RI=1322, 2110 และ 2141 ที่วิเคราะห์ได้จากคอลัมน์ HP-INNOWAX ส่วนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเป็นกระบวนการแปรรูปที่ไม่มีการใช้ความร้อนเพียงวิธีเดียวในการแปรรูปทั้งหมดที่ทำการทดลอง อย่างไรก็ตามก็เกิดกลิ่นแห้ง และกลิ่นไม้เพิ่มขึ้น จาก (*E*)- β -caryophyllene และ caryophyllene oxide

ตารางที่ 10 แสดงปริมาณของสารให้กลิ่นบางชนิดที่เปลี่ยนแปลงจากการแปรรูป ได้แก่ 6-methyl-5-hepten-2-one, (*E*)-pinocarvyl acetate, α -copaene, (*E*)- α -bergamotene, α -humulene, (*E*)- β -farnesene, caryophyllene oxide, T-cadinol, (*E,E*)-farnesal, α -cadinene และ hinesol ซึ่งพบว่าสารให้กลิ่นที่เกิดจากการแปรรูปนี้มีค่า Log₃ FD factor สูงขึ้นจากการทดสอบด้วย GC-O และมีปริมาณเพิ่มขึ้นจากตะไคร้สด แสดงว่าการแปรรูปมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นของตะไคร้ได้เนื่องจากเกิดการเพิ่มของสารให้กลิ่นบางชนิด

ตารางที่ 10 ปริมาณสารให้กลิ่นบางชนิดที่เปลี่ยนแปลงจากการแปรรูปตะไคร้

ที่	สารให้กลิ่น	ปริมาณสารระเหยในรูปอิสระ ¹ (μg/g)							
		F ²		W ³		O ⁴		OV ⁵	
3	6-methyl-5-hepten-2-one	0.98	c	3.34	a	2.32	b	0.59	c
25	(E)-pinocarvyl acetate	0.67	b	3.18	a	2.91	a	0.43	c
30	α-copaene	0.38	c	0.66	b	1.01	a	0.54	b
37	(E)-α-bergamotene	18.23	d	35.62	b	44.36	a	29.06	c
42	(E)-β-farnesene	12.58	b	13.49	ab	17.44	a	10.70	b
43	α-humulene	3.61	a	2.06	ab	2.36	ab	1.25	b
58	caryophyllene oxide	1.18	c	2.79	b	3.24	a	4.38	a
62	T-cadinol	2.89	c	3.54	a	3.41	b	3.49	a
66	(E,E)-farnesal	1.16	a	0.93	b	0.88	b	1.66	a
71	α-cadinene	2.11	a	1.89	a	1.57	b	1.29	c
72	hinesol	0.57	b	0.80	a	0.75	a	0.74	a

หมายเหตุ ¹ ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรที่ต่างกันในแนวนอน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p≤0.05)

²⁻⁶ F, W, O, OV และ FD หมายถึงตะไคร้สด ตะไคร้ในน้ำ ตะไคร้ในน้ำที่ทับด้วยน้ำมัน ตะไคร้ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน และตะไคร้ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งตามลำดับ

การแปรรูปด้วยการทำแห้งตะไคร้ด้วยตู้อบลมร้อนและทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งทำให้ α-copaene, (E)-α-bergamotene และ caryophyllene oxide มีปริมาณเพิ่มขึ้นจากตะไคร้สดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05) ส่วนการแปรรูปตะไคร้ในน้ำและตะไคร้ในน้ำที่ทับด้วยน้ำมันทำให้ปริมาณของ 6-methyl-5-hepten-2-one, (E)-pinocarvyl acetate, α-copaene, (E)-α-bergamotene, (E)-β-farnesene, caryophyllene oxide, T-cadinol และ hinesol มีปริมาณเพิ่มขึ้นจากตะไคร้สด โดย การเกิดสารให้กลิ่นที่เพิ่มขึ้นในตะไคร้แปรรูปนี้น่าจะเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสารในกลุ่มอื่น มาเป็นสารในกลุ่มนี้แทน เช่น 6-methyl-5-hepten-2-one ที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นจากตะไคร้สด อาจเนื่องมาจากการเกิดออกซิเดชันของ sesquiterpene อื่นในตะไคร้ (Tressl, 1978) หรืออาจเกิดจากการสลายตัว (degradation) ของแคโรทีนอยด์กลายเป็น 6-methyl-5-hepten-2-one (Cremer and Eichner, 2000) หรือ การเกิดออกซิเดชันของ caryophyllene กลายเป็น caryophyllene oxide (Sköld et al., 2006)

เมื่อพิจารณาจากข้อมูลด้านปริมาณสารให้กลิ่นสำคัญในตะไคร้จากการผลทดลองในข้อ 3.1 และลักษณะกลิ่นของสารระเหยในตะไคร้แปรรูป พบว่าตะไคร้ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนมีคุณภาพด้านกลิ่นดีที่สุด เนื่องจากมีปริมาณสารให้กลิ่นสำคัญสูงที่สุด และมีกลิ่นที่เกิดจากการแปรรูปน้อย ส่วนการแปรรูปด้วยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งแม้จะมีสารให้กลิ่นที่เป็นลักษณะของการแปรรูปน้อย แต่ก็มีปริมาณสารให้กลิ่นสำคัญโดยรวมลดลงมาก จึงทำให้ความเข้มข้นกลิ่นน้อยที่สุดกว่าตะไคร้ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน สำหรับการแปรรูปตะไคร้ในน้ำและตะไคร้ในน้ำเทปด้วยน้ำมันเกิดกลิ่นคั่ว กลิ่นน้ำมัน และกลิ่นอบของ (*E*)-pinocarvyl acetate, (*E*)- α -bergamotene, (*E*)- β -farnesene, (*E,E*)-farnesal และ T-cadinol นอกจากนี้ยังมีปริมาณของ citral ที่เป็นสารให้กลิ่นสำคัญที่มีปริมาณมากที่สุดในตะไคร้ลดลงมากที่สุดอีกด้วย

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. สารระเหยในรูปอิสระในตะไคร้สดที่สกัดด้วยตัวทำละลาย มีทั้งหมด 70 ชนิด โดยมี citral (geranial และ neral) เป็นสารระเหยที่มีปริมาณมากที่สุด สารระเหยในรูปอิสระที่พบในปริมาณรองลงมาได้แก่ β -myrcene, geranyl acetate, (*E*)-geraniol, (*E*)- β -caryophyllene, calarene, α -farnesene, (*Z*)- β -ocimene และ *endo*-1-bourbonanol ซึ่งสารเหล่านี้ให้กลิ่นเลมอน กลิ่นหวาน กลิ่นแห้ง และกลิ่นสมุนไพร
2. สารระเหยในรูปไกลโคไซด์ในตะไคร้สดที่สกัดด้วยตัวทำละลาย มีทั้งหมด 39 ชนิด สารระเหยที่มีปริมาณมากที่สุดคือ geranial และ neral สารระเหยที่มีปริมาณรองลงมาได้แก่ calarene, geranyl acetate, (*E*)-geraniol, citronellol และ α -farnesene
3. การวิเคราะห์สารให้กลิ่นสำคัญในรูปอิสระในตะไคร้สดด้วยวิธี Aroma Extract Dilution Analysis (AEDA) พบว่าสารที่มีค่า $\log_3$ FD factor สูงที่สุดคือ geranial ที่มีค่า $\log_3$ FD factor เท่ากับ 4 และสารที่มีค่า $\log_3$ FD factor สูงรองลงมา ได้แก่ (*Z*)- β -ocimene, *l*-linalool, neral, (*E*)-geraniol, geranial, α -gurjunene, (*E*)- β -caryophyllene, *endo*-1-bourbonanol และ calarene ซึ่งมีค่า $\log_3$ FD factor เท่ากับ 3 สารให้กลิ่นสำคัญในตะไคร้สดนี้เป็นสารที่ให้ลักษณะกลิ่นของเลมอน ซีดรัส สดชื่น เย็น หวาน และผลไม้
4. สารให้กลิ่นสำคัญในตะไคร้แปรรูปที่มีปริมาณมากที่สุด ได้แก่ geranial, neral, β -myrcene, geranyl acetate, (*E*)-geraniol และ (*E*)- β -caryophyllene ตามลำดับ แต่สารให้กลิ่นในตะไคร้แปรรูปมีปริมาณลดลงจากตะไคร้สด โดยตะไคร้ในน้ำมีส่วนการลดลงมากที่สุดถึง 48.54% รองลงมา คือ การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ตะไคร้ในน้ำเทปด้วยน้ำมัน และการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ซึ่งมีสัดส่วนการลดลง 45.68%, 45.38% และ 19.45% ตามลำดับ
5. การทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนเป็นวิธีที่สารให้กลิ่นลดลงน้อยที่สุด อย่างไรก็ตาม β -myrcene ที่มีขนาดเล็กก็สูญเสียไปมากระหว่างการทำแห้ง ในขณะที่ (*E*)- β -caryophyllene ที่มีขนาดโมเลกุลที่ใหญ่สูญเสียไปน้อยกว่า อาจเนื่องมาจากลมร้อนพัดพาสารระเหยโมเลกุลเล็กให้ระเหยออกไปพร้อมกับไอน้ำได้ง่ายกว่า

6. การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง มีแนวโน้มว่าสารให้กลิ่นส่วนมากมีปริมาณลดลงจากตะไคร้สดมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการแปรรูปอื่น ๆ ในการทดลองนี้ โดยเฉพาะการสูญเสีย β -myrcene ที่สูญเสียไปมากที่สุดถึง 52.57% ซึ่งสาเหตุส่วนหนึ่งอาจเนื่องจากการระเหยออกไปได้ง่ายจากระบบสุญญากาศในการทำแห้ง

7. การแปรรูปเป็นตะไคร้ในน้ำและตะไคร้ในน้ำที่ทับด้วยน้ำมันทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารกลุ่ม cyclic sesquiterpene เช่น α -gurjunene, (*E*)- β -farnesene และ α -farnesene คาดว่าสารกลุ่มนี้เกิดจากปฏิกิริยาเปลี่ยนแปลงของสารให้กลิ่นชนิดอื่นในตะไคร้ที่เร่งปฏิกิริยาด้วยกรดและความร้อนทำให้ในกระบวนการแปรรูป

8. การแปรรูปทำให้ปริมาณสารให้กลิ่นในรูปไกลโคไซด์ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับตะไคร้สด โดยตะไคร้ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนมีร้อยละการลดลงของสารให้กลิ่นสำคัญในรูปไกลโคไซด์มากที่สุดถึง 81.55% รองลงมา คือ การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ตะไคร้ในน้ำ และ ตะไคร้ในน้ำที่ทับด้วยน้ำมัน ซึ่งมีร้อยละการลดลง 72.42%, 36.95% และ 31.90% ตามลำดับ

9. ตะไคร้ทำแห้งด้วยลมร้อนมีคุณภาพด้านกลิ่นดีที่สุด เนื่องจากการแปรรูปตะไคร้ในน้ำและตะไคร้ในน้ำที่ทับด้วยน้ำมันมีกลิ่นคั่ว กลิ่นน้ำมัน กลิ่นอบ จาก (*E*)-pinocarvyl acetate, (*E*)- α -bergamotene, (*E*)- β -farnesene, (*E,E*)-farnesal และ T-cadinol ส่วนการแปรรูปด้วยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีปริมาณสารให้กลิ่นโดยรวมลดลงมากที่สุด จึงทำให้ความเข้มของกลิ่นน้อยที่สุด

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ศึกษาชนิด และปริมาณทั้งในรูปสารระเหยอิสระและไกลโคไซด์ ตลอดจน ลักษณะกลิ่นของตะไคร้สดและตะไคร้แปรรูป ซึ่งจัดเป็นการศึกษาคุณสมบัติด้านเคมี ดังนั้นจึงควร ศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของคุณสมบัติทางกายภาพ เช่น สี เนื้อสัมผัส และการยอมรับของผู้บริโภค เป็นต้น ตลอดจนการศึกษาถึงลักษณะกลิ่นที่เปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษา

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- เกรียงศักดิ์ ไชยโรจน์. 2531. การสกัดและแยกสารระเหย. คณะวิทยาศาสตร์,
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- นิธิยา รัตนานนท์. 2545. เคมีอาหาร. ครั้งที่ 1. โอ. เอส. พริ้นติ้ง เฮ้าส์, กรุงเทพฯ.
- พัชรภรณ์ ถิ่นจันทร์. 2550. ผลของการทำแห้งต่อสารให้กลิ่นสำคัญในรูปอิสระและไกลโคไซด์ใน
ใบมะกรูด (*Citrus hystrix* (DC.)). วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เยาวภา หล่อเจริญผล. 2547. ผลของกระบวนการแปรรูปต่อสารให้กลิ่นจากคัมยักสำเร็จรูป.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- รุ่งรัตน์ เหลืองนทีเทพ. 2540. พืชเครื่องเทศและสมุนไพร. โอ.เอส.พริ้นติ้ง เฮ้าส์, กรุงเทพฯ.
- วิไล รังสาดทอง. 2546. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. ครั้งที่ 3. เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัลส์ พับลิเคชั่น,
กรุงเทพฯ.
- สุนันทา วิบูลย์จันทร์. 2538. เคมีอินทรีย์. ครั้งที่ 3. เอ็นดับบลิว มีเดีย, นนทบุรี.
- อุษณีย์ วนิจเขตคำนวน, นิรัชร์ เลิศประเสริฐสุข และ รวิวรรณ พัวชนาโชคชัย. 2546. การ
วิเคราะห์หาสารต้านมะเร็งลำไส้ใหญ่จากตะไคร้. วารสารสำนักงานคณะกรรมการวิจัย
แห่งชาติ 35 (1): 61-94.
- Abbott, N., P. Etievant, S. Issanchou and D. Langlois. 1993. Critical evaluation of two
commonly used techniques for the treatment of data from extract dilution sniffing
analysis. **J. Agric. Food Chem.** 41 (10): 1698-1703.

- Adedeji J., T.G. Hartman, R.T. Rosen and C.T. Ho. 1991. Free and glycosidically bound aroma compounds in hog plum (*Spondias mombins* L.). **J. Agric. Food Chem.** 39 (8): 1494-1497.
- Adegoke, G.O. and B.A. Odesola. 1996. Storage of maize and cowpea and inhibition of microbial agents of biodeterioration using the powder and essential oil of lemon grass (*Cymbopogon citratus*). **Int. Biodeterior. Biodegrad.** 37 (1-2): 81-84.
- Ananthakumar, A., P.S. Variyar and S. Arun. 2006. Estimation of aroma glycosides of nutmeg and their changes during radiation processing. **Chromatogr. A.** 1108 (2): 252-257.
- Andriamialisoa, Z., A. Valla, S. Zennache, M. Giraud and P. Potier. 1993. New preparation of an important synthon for vitamin A synthesis. **Tetrahedron Lett.** 31 (50): 8091-8092.
- Ashurst, P.R. 1999. Essential oils, pp. 23-24. In J. Wright, ed. **Food Flavorings**. 3rd ed. Aspen Publishers, Inc., Maryland.
- Barbosa-Cánovas, G. and H. Vega-Mercado. 1996. **Dehydration of Foods**. International Thomsom Publishing, New York.
- Bauer, K., D. Garbe and H. Surburg. 1997. **Common Fragrance and Flavor Materials: Preparation, Properties and Uses**. 3rd ed. Wiley-VCH, Weinheim.
- Blank, I. 2002. Gas chromatography-olfactometry in food aroma analysis, pp. 297-331. In R. Marsili, ed. **Flavor, Fragrance and Odor Analysis**. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Boelens Aroma Chemical Information Service. 1999. **ESO 2000 Database of Essential Oils**.
- 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 (3): 200-206.
- Boudhrioua, N., P. Giampaoli and C. Bonazzi. 2003. Change in aromatic components of banana during ripening and air-drying. **Lebensm. Wiss. U. Technol.** 36 (6): 633-642.
- Boulanger, R. and J. Crouzet. 2000. Free and bound flavor components of Amazonian fruits: 3-glycosidically bound components of cupuacu. **Food Chem.** 70 (4): 463-470. *Cited*
- Arana, F. 1943. Action of β -glucosidase in the curing of vanilla. **Food Res.** 8 : 343-351.
- _____ and _____. 2001. Change of volatile compounds during heating of bacuri pulp. **J. Agric. Food Chem.** 49 (12): 5911-5915.
- Buttery, R.G. 1993. Quantitative and sensory aspects of flavor of tomato and other vegetables and fruits, pp. 259-286. *In* T.E. Acree and R. Teranishi, eds. **Flavor science; sensible principles and techniques**. America Chemical Society, Washington D.C.
- _____, J.G. Turnbaugh and L.C. Ling. 1988. Contribution of volatiles to rice aroma. **J. Agric. Food Chem.** 36: 1006-1009.
- _____, G. Takeoka, R. Teranishi and L.C. Ling. 1990. Tomato aroma components: Identification of glycoside hydrolysis volatiles. **J. Agric. Food Chem.** 38 (11): 2050-2053.
- Cabaroglu, T., S. Selli, A. Canbas, J.P. Lepoutre and Z. Gunata. 2003. Wine flavor enhancement through the use of exogenous fungal glycosidase. **J. Enzyme Microb. Technol.** 33 (8): 581-587.

- Cai, J., B. Liu, P. Ling and Q. Su. 2002. Analysis of free and bound volatiles by gas chromatography and gas chromatography-mass spectrometry in uncased and cased tobaccos. **J. Chromatogr. A.** 947 (2): 267-275.
- Carlson, L.H.C., R.A.F. Machado, C.B. Spricigo, L.K. Pereira and A. Bolzan. 2001. Extraction of lemongrass essential oil with dense carbon dioxide. **J. Supercritical Fluids** 21 (1): 33-39.
- Cervený, L., A. Marhoul and L. Zoubkova. 2004. The synthesis of Ionones. **Perfum. Flavor.** 29 (6): 66-73.
- Chang, S.S. 1989. Food flavors. **Food Technol.** 43 (12): 99-106.
- Chyau, C.C., P.T. Ko, C.H. Chang and J.L. Mau. 2003. Free and glycosidically bound aroma compounds in lychee (*Litchi chinensis* Sonn.). **Food Chem.** 80 (3): 387-392.
- Cimanga, K., K. Kambu, L. Tona, S. Apers, T.D. Bruyne, N. Hermans, J. Totte, L. Pieters and A.J. Vlietinck. 2002. Correlation between chemical composition and antibacterial activity of essential oils of some aromatic medicinal plants growing in the Democratic Republic of Congo. **J. Ethnopharmacol.** 79 (2): 213-220.
- Cremer, D.R. and K. Eichner. 2000. Formation of volatile compounds during heating of spice paprika (*Capsicum annuum*) powder. **J. Agric. Food Chem.** 48 (6): 2454-2460.
- Cseke, L.J. 2006. **Natural Product from Plant.** 2nd ed. Taylor & Francis, New York.
- Dekker, R.F.H. 1986. Kinetic, inhibition and stability properties of a commercial β -D-glucosidase (cellobiase) preparation from *Aspergillus niger* and its suitability in the hydrolysis of lignocellulose. **Biotechnol. Bioeng.** 28 (9): 1438-1442.

- Delahunty, C.M., G. Eyres and J.P. Dufour. 2006. Gas chromatography-olfactometry. **J. Sep. Sci.** 29 (14): 2107-2125.
- Demyttenaere, C.R., J. Vanoverschelde and N.D. Kimpe. 2004. Biotransformation of (R)-(+)- and (S)-(-)-citronellol by *Aspergillus* sp. and *Penicillium* sp., and the use of solid-phase microextraction for screening. **J. Chromatogr. A** 1027 (1-2): 137-146.
- Diaz-Maroto, M.C., M.S. Perez-Coello and M.D. Cabezudo. 2002. Effect of drying method on volatiles in bay leaf (*Laurus nobilis* L.). **J. Agric. Food Chem.** 50 (16): 4520-4524.
- Edwards, R. and J.A. Gatehouse. 1999. Secondary metabolism, pp. 193-218. In P.J. Lea and R.C. Leegood, eds. **Plant Biochemistry and Molecular Biology**. John Wiley & Sons Ltd., Chichester.
- Engel, K.H. and R. Tressl. 1983. Formation of aroma components from nonvolatile precursors in passion fruit. **J. Agric. Food Chem.** 31 (5): 998-1002.
- Erdemoglu, N., B. Sener, B. Demirci and K.H.C. Baser. 2003. The glycosidically bound volatile compounds of *Taxus baccata*. **Chem. Nature. Compounds** 39 (2): 195-198.
- Etievant, P.X., L. Moio, E. Guichard, D. Langlois, I. Leschaeve, P. Schlich and E. Chambellant. 1994. Aroma extraction dilution analysis (AEDA) and the representativeness of the odour of food extracts, pp. 179-190. In H. Maarse and D.G. Van Der Heij, eds. **Trends in Flavour Research**. Elsevier Science B.V., Amsterdam.
- Fan, X. and R.A. Gates. 2001. Degradation of monoterpenes in orange juice by gamma radiation. **J. Agric. Food Chem.** 49 (5): 2422-2426.
- Ferreira, V., J. Petka and M. Aznar. 2002. Aroma extract dilution analysis, precision and optimal experimental design. **J. Agric. Food Chem.** 50 (6): 1508-1514.

- Figueiredo, R.O. and L.C. Ming. 2002. **Effect of growth regulators in citral content in lemongrass in different seasons (in portuguese)**. Acta Hort. (ISHS) 569:47-50.
Available Source: http://www.actahort.org/books/569/569_6.htm, November 11, 2007.
- Fisher, C. and T.R. Scott. 1997. **Food Flavors Biology and Chemistry**. The Royal Society of Chemistry, New York.
- Flink, J. and F. Gejl-Hanse. 1972. Retention of organic volatiles in freeze-dried carbohydrate solutions: Microscopic observation. **J. Agric. Food Chem.** 20 (3): 691-694.
- _____ and M. Karel. 1970. Retention of organic volatiles in freeze-dried solution of carbohydrates. **J. Agric. Food Chem.** 18 (2): 295-297.
- Friedrich, J.E. and T.E. Acree. 2000. Issues in Gas Chromatography-Olfactometry Methodologies, pp. 124-132. *In* Risch, S.J. and C.T. Ho, eds. **Flavor Chemistry Industrial and Academic Research**. American Chemical Society, Washington DC.
- _____, _____ and E.H. Lavin. 2001. Selecting standards for gas chromatography-olfactometry, pp. 148-155. *In* J.V. Leland, P. Schieberle, A. Burtner and T.E. Acree, eds. **Gas Chromatography-Olfactometry: The State of the Art**. American Chemical Society, Washington, D.C.
- Grosch, W. 1993. Detection of potent odorants in foods by aroma extracts dilution analysis. **Trends Food Sci. Technol.** 4 (3): 68-73.
- _____. 2001. Evaluation of key odorants of foods by dilution experiments, aroma model and omission. **Chem. Senses.** 26 (5): 533-545.
- Henrissat, B. 1991. A classification of glycosyl hydrolases based on amino acid sequence similarities. **Biochem. J.** 280 (2): 309-316.

- Hirasa, K. and M. Takemasa. 1998. **Spice Science and Technology**. Marcel Dekker Inc, New York.
- Ho, C.W., W.M. Wan Aida, M.Y. Maskat and H. Osman. 2007. Changes in volatile compounds of palm sap (*Arenga pinnata*) during the heating process for production of palm sugar. **Food Chem.** 102 (4): 1156-1162.
- Huafu, W. and Y. Xiaoqing. 1996. Free and glycosidically bound monoterpene alcohol in Qimen black tea. **Food Chem.** 56 (4): 395-398.
- International Standard ISO. 1974. **Oil of lemongrass (*Cymbopogon citratus*)**. 3217.
- Iwanami, Y., H. Tateba, N. Kodama and K. Kishino. 1997. Changes of lemon flavor components in an aqueous solution during UV irradiation. **J. Agric. Food Chem.** 45 (2): 463-466.
- Kalantzis, A., P.P. Robinson, A.R. Loescher. 2007. Effect of capsaicin and menthol on oral thermal sensory thresholds. **Arch. oral biol.** 52 (2): 149-153.
- Kamath, A., M.R. Asha, R. Ravi, S. Narasimhan and D. Rajalakshmi. 2001. Comparative study of odour and GC-olfactometric profiles of selected essential oils. **Flavor Fragrance J.** 16 (6): 401-407.
- Kasali, A.A., A.O. Oyediji and A.O. Ashilokun. 2001. Volatile leaf oil constituents of *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf. **Flavor Fragrance** 16 (5): 377-378.
- Kimura, K., H. Nishimura, I. Iwata and J. Mizutani. 1983. Deterioration mechanism of lemon flavor. 2. Formation mechanism of off-odor substances arising from citral. **J. Agric. Food Chem.** 31 (4): 801-804.

- Kompany, E. and F. René. 1995. A note on freeze-drying conditions for improved aroma retention in cultivated mushrooms (*Agaricus bisporus*). **LWT-Food Sci. Technol.** 28 (2): 238-240.
- Koppe, P. 1965. Identifizierung der Hauptgeruchsstoffe im Uferfiltrat des Mittel-und Niederrheins. **Vom Wasser** 32: 33-68.
- Kraker, J.W., M.C.R. Franssen, A. Groot, T. Shibata and H.J. Bouwmeester. 2001. Germacrenes from fresh costus roots. **Phytochemistry** 58 (3): 481-487.
- Krammer, G., P. Winterhalter, M. Schwab and P. Schreier. 1991. Glycosidically bound aroma compounds in the fruits of *Prunus* species: apricot (*P. armeniaca*, L.), peach (*P. persica*, L.), yellow plum (*P. domestica*, L. ssp. *Syriaca*). **J. Agric. Food Chem.** 39 (4): 778-781.
- Krokida, M.K. and C. Philippopoulos. 2006. Volatility of apples during air and freeze drying. **J. Food Eng.** 73 (2): 135-141.
- Lalel, H.J.D., Z. Singh and S.C. Tan. 2003. Glycosidically-bound aroma volatile compounds in the skin and pulp of 'Kensington Pride' mango fruit at different stages of maturity. **Postharvest Biol. Technol.** 29 (2): 205-218.
- Leffingwell & Associates. 2004. **Flavor-Base 2004**. Cantom, GA, USA.
- Le Guen, S., C. Prost and M. Demaimay. 2000. Critical comparison of three olfactometric methods for the identification of the most potent odorants in cooked mussels (*Mytilus edulis*). **J. Agric. Food Chem.** 48 (4): 1307-1314.
- Lin, T.M., T.D. Durance and C.K. Scaman. 1998. Characterization of vacuum microwave, air and freeze dried carrot slices. **Food Res. Int.** 31 (2): 111-117.

- López, R., E. Ezpeleta, I. Sánchez, J. Cacho and V. Ferreira. 2004. Analysis of the aroma intensities of volatile compounds released from mild acid hydrolysates of odourless precursors extracted from Tempranillo and Grenache grapes using gas chromatography-olfactometry. **Food Chem.** 88 (1): 95-103.
- Marlatt, C., C.T. Ho and M. Chien. 1992. Studies of aroma constituents bound as glycosides in tomato. **J. Agric. Food Chem.** 40 (2): 249-252.
- Mastelic, J. and I. Jerkovic. 2002. Free and glycosidically bound volatiles of *Mentha longifolia* growing in croatia. **J. Chem. Nature Compounds** 38 (6): 561-564.
- _____ and _____. 2003. Gas chromatography-mass spectrometry analysis of free and glycoconjugated aroma compounds of seasonally collected *Satureja montana* L. **Food Chem.** 80 (1): 135-140.
- _____, M. Milos, D. Kusstrak and A. Radonic. 1998. The essential oil and glycosidically bound volatile compounds of *Calamintha nepeta* (L.) Savi. **Croatica Chemica Acta** 71 (1): 147-154.
- Mateo, J.J., N. Gentilini, T. Huerta, M. Jimenez and R. Di Stefano. 1997. Fractionation of glycoside precursors of aroma in grapes and wine. **J. Chromatogr. A** 778 (1-2): 219-224.
- Mattheis, J.P., J.K. Fellman, P.M. Chan and M.E. Patterson. 1991. Change in headspace volatiles during physiological development of Bisbee Delicious Apple Fruit. **J. Agric. Food Chem.** 39 (11): 1902-1906.
- Mayorga, H., H. Knapp, P. Winterhalter and C. Duque. 2001. Glycosidically bound flavor compounds of Cape Gooseberry (*Physalis peruviana* L.). **J. Agric. Food Chem.** 49 (4): 1904-1908.

Merck KGaA. 2002. ChemDAT[®] The Merck Chemical Database.

Miloš, M. and A. Radonic. 2000. Gas chromatography mass spectral analysis of free and glycosidically bound volatile compounds from *Juniperus oxycedrus* L. growing wild in Croatia. **Food Chem.** 63 (3): 333-338.

_____, J. Mastelic and I. Jerkovic. 2000. Chemical composition and antioxidant effect of glycosidically bound volatile compounds from oregano (*Origanum vulgare* L. ssp. *hirtum*). **Food Chem.** 71 (1): 79-83.

_____, M. Josip and A. Radonic. 1998. Free and glycosidically-bound volatile compounds from cypress cones (*Cupressus Sempervirens* L.). **Original Scient. Paper** 71 (1): 130-145.

Mistry, B.S., T. Reineccius and L.K. Olson. 1986. Gas chromatography-olfactometry for determination of key odourants in foods, pp. 265-292. In T.H. Parliment and R. Croteau, ed. **Biogenesis of Aromas**. American Chemical Society, Washington DC.

Ohta, T., Y. Morimitsu, Y. Sameshima, T. Samuta and T. Ohbo. 1991. Transformation from geraniol, neral and their glucosides into linalool and terpineol during Shochu distillation. **J. Ferment. Bioeng.** 72 (5): 347-351.

Oyedele, A.O., A.A. Gbolade, M.B. Sosan, F.B. Adewoyin, O.L. Soyelu and O.O. Orafidiya. 2002. Formulation of an effective mosquito-repellent topical product from lemongrass oil. **Phytomedicine** 9 (3): 259-262.

Parada, F., C. Duque and Y. Fujimoto. 2000. Free and bound volatile composition and characterization of some glucoconjugates as aroma precursors in melon de olor fruit pulp (*Sicana odorifera*). **J. Agric. Food Chem.** 48 (12): 6200-6204.

- Padrayuttawat, A. T. Yoshizawa, H. Tamura and T. Tokunaga. 1997. Optical isomers and odor thresholds of volatile constituents in citrus ssudachi. **Food Sci. Technol. Int. Tokyo** 3: 402-408.
- Parliament, T.H. 2002. Solvent extraction and distillation techniques, pp. 1-23. *In* R. Marsili, ed. **Techniques for Analyzing Food Aroma**. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Peacock, V.E. and D.W. Kuneman. 1985. Inhibition of the Formation of α -*p*-Dimethylstyrene and *p*-cymen-8-ol in a Carbonated Citral-Containing Beverage System. **J. Agric. Food Chem.** 33 (3): 330-335.
- Pérez, A.G., A. Cert, J.J. Ríos and J.M. Olías. 1997. Free and glycosidically bound volatile compounds from two banana cultivars: Valery and Pequena Enana. **J. Agric. Food Chem.** 45 (11): 4393-4397.
- Pomeranz, Y. and C.E. Meloan. 1978. **Food Analysis: Theory and Practice**. AVI publishing Company, Inc., U.S.A.
- Raghavan, S. 2007. **Spices, Seasonings, and Flavorings**. 2nd ed. CRC Press, New York.
- Rauber, C.S., S.S. Guterres and E.E.S. Schapoval. 2005. LC determination of citral in *Cymbopogon citratus* volatile oil. **J. Pharmaceutical Biomed. Analysis** 37 (3): 597-601.
- Reineccius, G. 1994. **Source Book of Flavors**. 2nd ed. Chapman and Hall, New York.
- _____. 2006. **Flavor Chemistry and Technology**. 2nd ed. Taylor & Francis, New York.

- Rozzi, N.L., W. Phippen, J.E. Simon and R.K. Singh. 2002. Supercritical fluid extraction of essential oil components from lemon-scented botanicals. **Lebensm. Wiss. u. Tech.** 35 (4): 319-324.
- Ruth, S.M. 2001. Methods for gas chromatography-olfactometry: a review. **Biomol. Eng.** 17 (4-5): 121-128.
- Sacchetti, G., S. Maietti, M. Muzzoli, M. Scaglianti, S. Manfredini, M. Radice and R. Bruni. 2005. Comparative evaluation of 11 essential oils of different origin as functional antioxidants, antiradicals and antimicrobials in foods. **Food Chem.** 91 (4): 621-632.
- Sakho, M., D. Chassagne and J. Crouzet. 1997. African mango glycosidically bound volatile compounds. **J. Agric. Food Chem.** 45 (3): 883-888.
- Sarry, J.E. and Z. Günata. 2004. Plant and microbial glycoside hydrolases: Volatile release from glycosidic aroma precursors. **Food Chem.** 87 (4): 509-521.
- Sawamura, M., U.S. Son, H.S. Choi, M.S.L. Kim, N.T.L. Phi, M. Fears and C. Kumagai. 2004. Compositional changes in commercial lemon essential oil for aromatherapy. **Int. J. Aromatherapy** 14 (1): 27-36.
- Schaneberg, B.T. and I.A. Khan. 2002. Comparison of extraction methods for marker compounds in the essential oil of lemon grass by GC. **J. Agric. Food Chem.** 50 (6): 1345-1349.
- Selli, S., A. Canbas, T. Cabaroglu, H. Erten, J.P. Lepoutre and Z. Gunata. 2006. Effect of skin contact on the free and bound aroma compounds of the white wine of *Vitis vinifera* L. cv Narince. **Food Control** 17 (1): 75-82.

- Shaikh, Y. 2002. **Specialty Aroma Chemicals in Flavors and Fragrances**. Allured Publishing Corporation, Illinois.
- Shashirekha, M.N., R. Baskaran, L.J. Rao, M.R. Vijayalakshmi and S. Rajarathnam. 2008. Influence of processing conditions of flavor compounds of custard apple (*Annona squamosa* L.). **Food Sci. Technol.** 41 (2): 236-243.
- Sköld, M., A.T. Karlberg, M. Matura and A. Börje. 2006. The fragrance chemical β -caryophyllene-air oxidation and skin sensitization. **Food Chem. Toxicol.** 44 (4): 538-545.
- Smith, R.J., Mahiou and M.L. Deinzer. 1991. Hydrolysis products of humulene dipoxide A. **Tetrahedron** 47 (6): 933-940.
- Sugisawa, H., M. Takwda, R.H. Yang and N. Takagi. 1991. The comparison of odor quality of volatiles in peel oils of five kinds of novel oranges. **Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi** 38: 668-674.
- Tamura, H., S. Boonbumrung, T. Yoshizawa and W. Varanyanond. 2001. The volatile constituents in the peel and pulp of green thai mango, Khieo Sawoei cultiva (*Mangifera indica* L.). **Food Sci. Technol. Res.** 7 (1): 72-77.
- _____, 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 Chemistry Society, Washington DC.
- Tang, J., Y. Zhang, T.G. Hartman, R.T. Rosen and C.T. Ho. 1990. Free and glycosidically bound volatile compounds in fresh celery (*Apium graveolens* L.). **J. Agric. Food Chem.** 38 (10): 1937-1940.

- Trasarti, A.F., A.J. Marchi and C. R. Apesteguia. 2004. Highly selective synthesis of menthols from citral in a one-step process. **J. Catalysis** 224 (2): 484-488.
- Tressl, R., L. Friese, F. Fendesack and H. Koppler. 1978. Studied of the volatile composition of hops during storage. **J. Agric. Food Chem.** 26 (6): 1426-1430.
- Varming, C., M.L. Andersen and L. Poll. 2006. Volatile monoterpenes in black currant (*Ribes nigrum* L.) juice: Effect of heating and enzymatic treatment by β -glucosidase. **J. Agric. Food Chem.** 54 (6): 2298-2302.
- Venskutonis, P.R. 1997. Effect of drying on the volatile constituents of thyme (*Thymus vulgaris* L.) and sage (*Salvia officinalis* L.). **Food Chem.** 59 (2): 219-227.
- Wang, M., Y. Shao, T.C. Huang, G.J. Wei and C.T. Ho. 1998. Isolation and structural elucidation of aroma constituents bound as glycosides from sage (*Salvia officinalis*). **J. Agric. Food Chem.** 46 (7): 2509-2511.
- Williams, P.J. 1993. Hydrolytic flavor release in fruit and wines through hydrolysis of nonvolatile precursors, pp. 287-308. In T.E. Acree and, R. Teranishi, eds. **Flavor Science: Sensible Principles and Techniques**. ACS, Washington, DC.
- Winterhalter, P. 1952. Bound terpenoids in juice of purple passion fruit (*Passiflora edulis* Sims). **J. Agric. Food Chem.** 0: 452-455.
- _____ and P. Schreier. 1988. Free and bound C₁₃-norisoprenoids in quince (*Cydonia oblonga*, Mill) fruit.. **J. Agric. Food Chem.** 36 (6): 1251-1256.
- Wu, P., M.C. Kuo and C.T. Ho. 1990. Glycosidically bound aroma compounds in ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). **J. Agric. Food Chem.** 38 (7): 1553-1555.

_____, _____, T.G. Hartman, R.T. Rosen and C.T. Ho. 1991. Free and glycosidically bound aroma compounds in pineapple (*Ananas comosus* L. Merr.). **J. Agric. Food Chem.** 39 (1): 170-172.

Yang, R., H. Sugisawa, H. Nakatani, H. Tamura and N. Takagi. 1992. Comparison of odor quality in peel oils of acid citrus. **Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi** 39: 16-24.

Yang, X., C. Lederer, M. McDaniel and M. Deinzer. 1993. Hydrolysis products of caryophyllene oxide in hops and beer. **J. Agric. Food Chem.** 41(11): 2082-2085.

ภาคผนวก

การวิเคราะห์ทางเคมี

1. การวิเคราะห์ความชื้นและน้ำมันในตะไคร้สด และตะไคร้แปรรูป

ตารางผนวกที่ 1 ปริมาณความชื้นและไขมัน (wet basis) ในตะไคร้สด และตะไคร้แปรรูป

ตัวอย่าง	ความชื้น(%) ¹	น้ำมัน(%) ¹
ตะไคร้สด	85.39 ± 0.93	0.37 ± 0.49
ตะไคร้ในน้ำ	88.39 ± 2.02	0.12 ± 0.01
ตะไคร้ในน้ำเททับด้วยน้ำมัน	83.36 ± 0.39	5.66 ± 0.32
ตะไคร้ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน	5.85 ± 1.14	0.98 ± 0.19
ตะไคร้ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง	5.19 ± 1.03	1.42 ± 0.67

หมายเหตุ ¹ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เมื่อ n=9 (ทำ 3 ซ้ำ แต่ละซ้ำวัดค่า 3 ครั้ง)

2. การคำนวณค่า Retention Index (RI)

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

เมื่อ	N	=	จำนวนอะตอมของคาร์บอนในสารมาตรฐานอัลเคนที่มีคาร์บอนน้อยกว่า
	n	=	ความแตกต่างระหว่างจำนวนอะตอมของคาร์บอนในสารมาตรฐานอัลเคน 2 ตัวที่ค่า retention time (RT) ของตัวอย่างอยู่ระหว่างกลาง
	t _{Ra}	=	RT ของตัวอย่างสารระเหยที่ต้องการวิเคราะห์ค่า RI
	t _{RN}	=	RT ของสารมาตรฐานอัลเคนที่มีคาร์บอนน้อยกว่า
	t _{R(N+n)}	=	RT ของสารมาตรฐานอัลเคนที่มีคาร์บอนมากกว่า

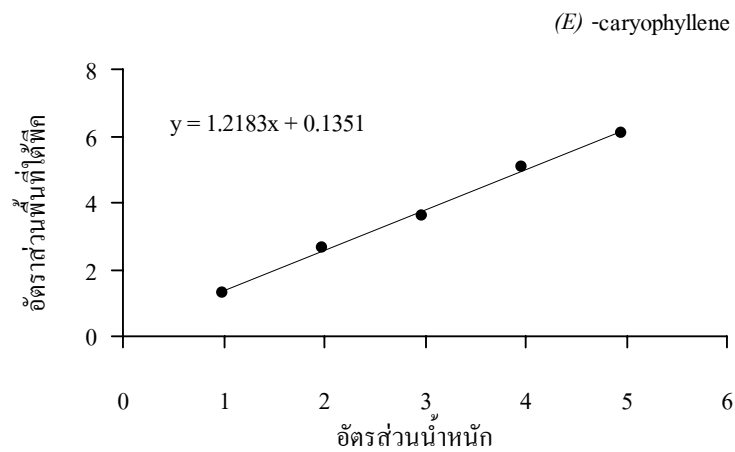
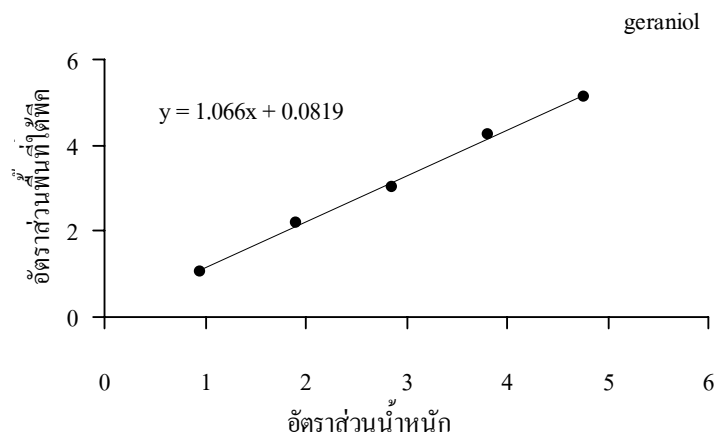
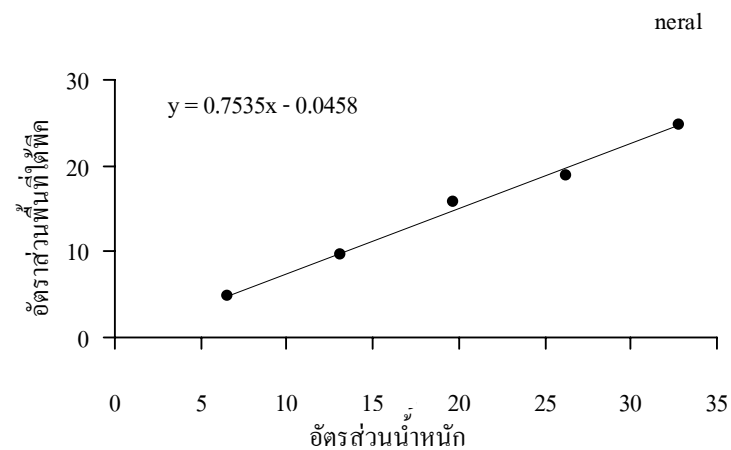
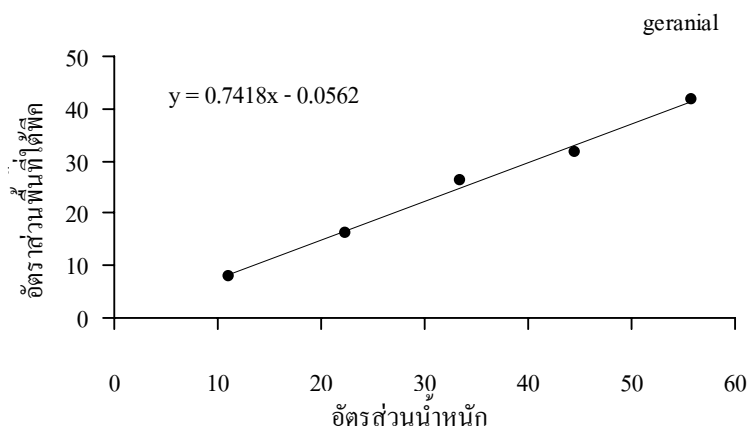
3. การคำนวณความเข้มข้นสัมพัทธ์

$$C_s = \frac{C_i \times A_s \times V_i \times R}{A_r \times W_s}$$

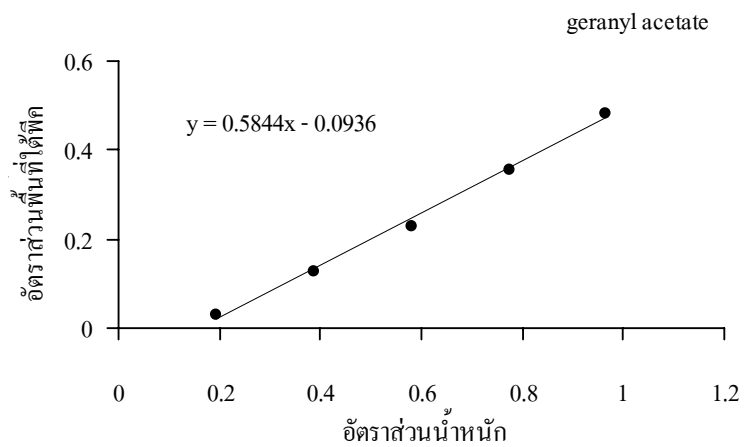
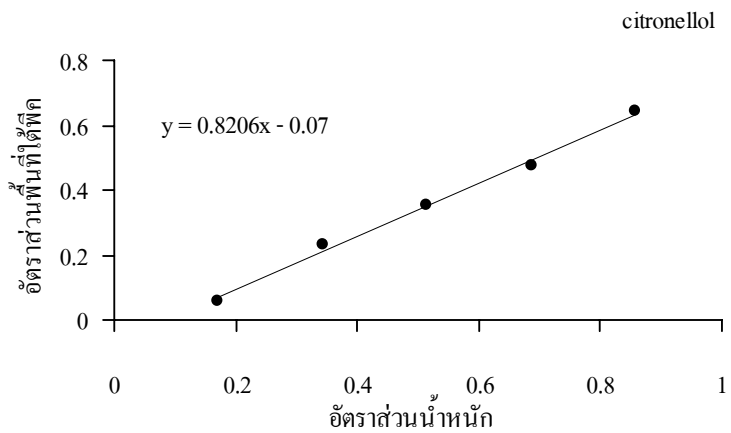
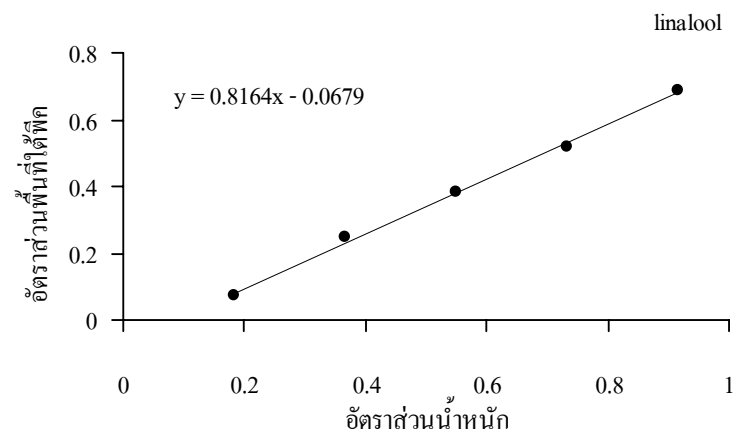
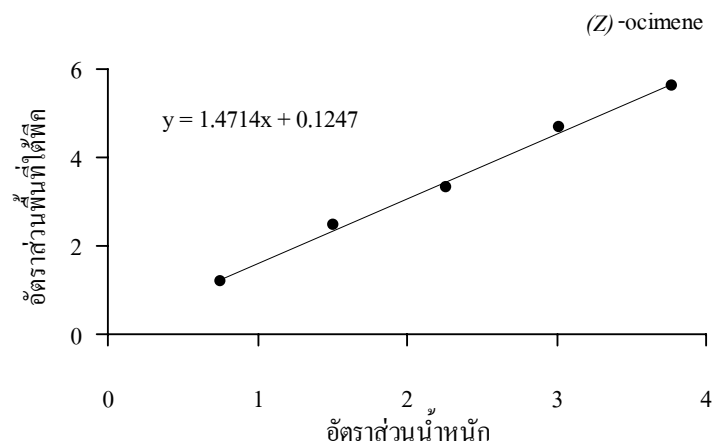
เมื่อ	C_s	=	ความเข้มข้นสัมพัทธ์ของตัวอย่าง (ไมโครกรัม/กรัมตัวอย่าง)
	C_i	=	ความเข้มข้นของสาร internal standard
	A_s	=	พื้นที่ใต้พีคของตัวอย่าง
	A_r	=	พื้นที่ใต้พีคของสาร internal standard
	V_i	=	ปริมาตรของสาร internal standard ที่ใช้ (ไมโครลิตร)
	W_s	=	น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)
	R	=	response factor

4. การทำกราฟมาตรฐานของสารระเหยมาตรฐาน

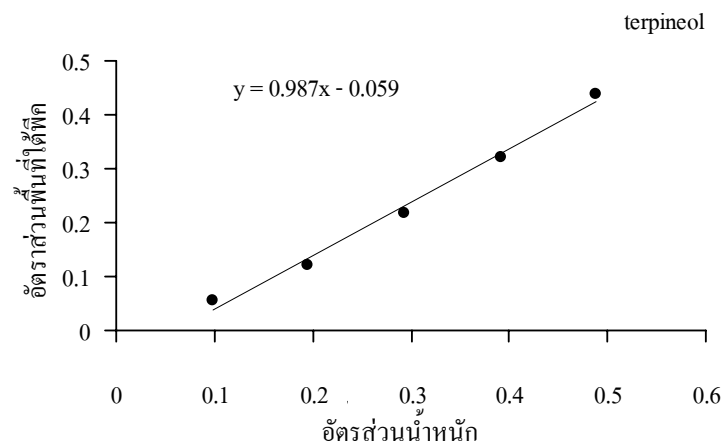
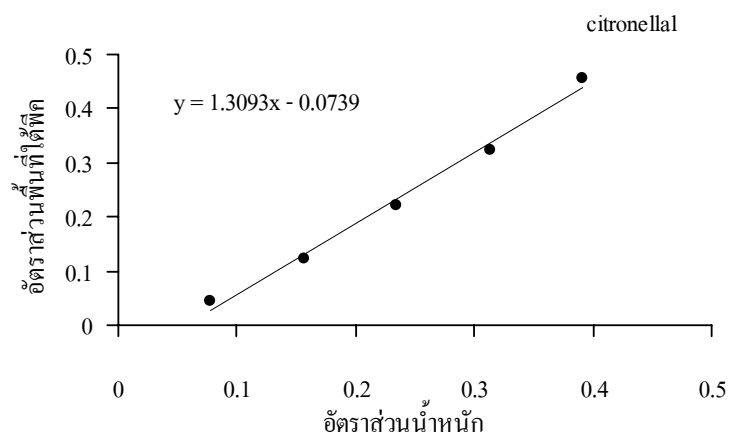
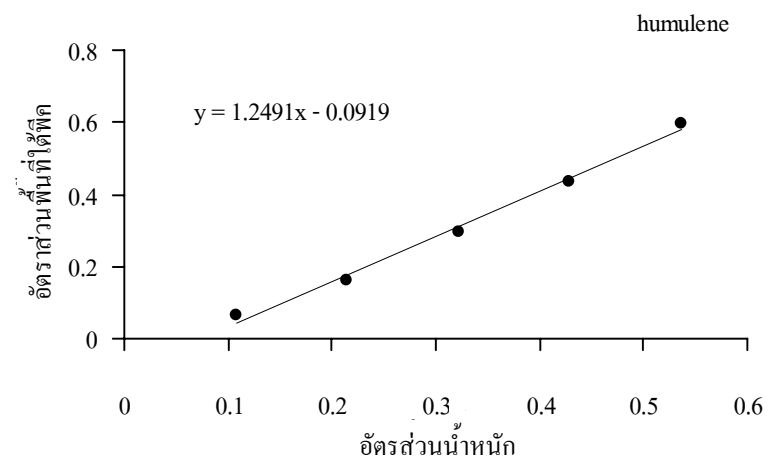
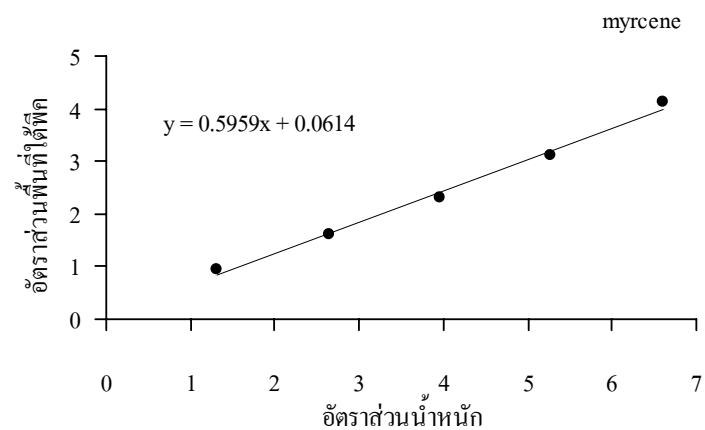
เตรียมสารละลายของสารระเหยมาตรฐาน citral, citronellal, linalool, (Z)-ocimene, citronellol, (-)-(E)-caryophyllene, geranyl acetate, myrcene, geraniol, terpineol และ humulene ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน 5 ระดับความเข้มข้น ให้ครอบคลุมช่วงของปริมาณสารนั้น ๆ ในตัวอย่าง ตะไคร้สด และแปรรูป เติมสารละลายของ internal standard (*tert*-butylbenzene และ 2-undecanol) ความเข้มข้นอย่างละ 2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร จำนวน 1 มิลลิลิตรลงไปในขวดปรับปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตรที่ใช้เตรียมสารระเหยมาตรฐานทุกระดับ เพื่อให้ได้ความเข้มข้นของสารละลาย internal standard 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตรเท่ากันในทุกะดับความเข้มข้น วิเคราะห์ตัวอย่าง 1 ไมโครลิตร ด้วยเครื่อง GC-FID เพื่อหาพื้นที่ใต้พีคของสารระเหยมาตรฐานแต่ละชนิดกับ internal standard คำนวณอัตราส่วนพื้นที่ใต้พีคและน้ำหนักของสารระเหยมาตรฐานต่อ internal standard ที่แต่ละระดับความเข้มข้น แล้วสร้างกราฟมาตรฐานดังภาพผนวกที่ 1 เพื่อหาความชัน แล้วคำนวณเป็นค่า response factor (หนึ่งหารด้วยความชันของกราฟมาตรฐาน)



ภาพผนวกที่ 1 กราฟมาตรฐานของสารระเหยมาตรฐาน



ภาพผนวกที่ 1 (ต่อ)



ภาพผนวกที่ 1 (ต่อ)

5. การศึกษาสภาวะในการไฮโดรลิซิสสารระเหยในรูปไกลโคไซด์ในตะไคร้สด

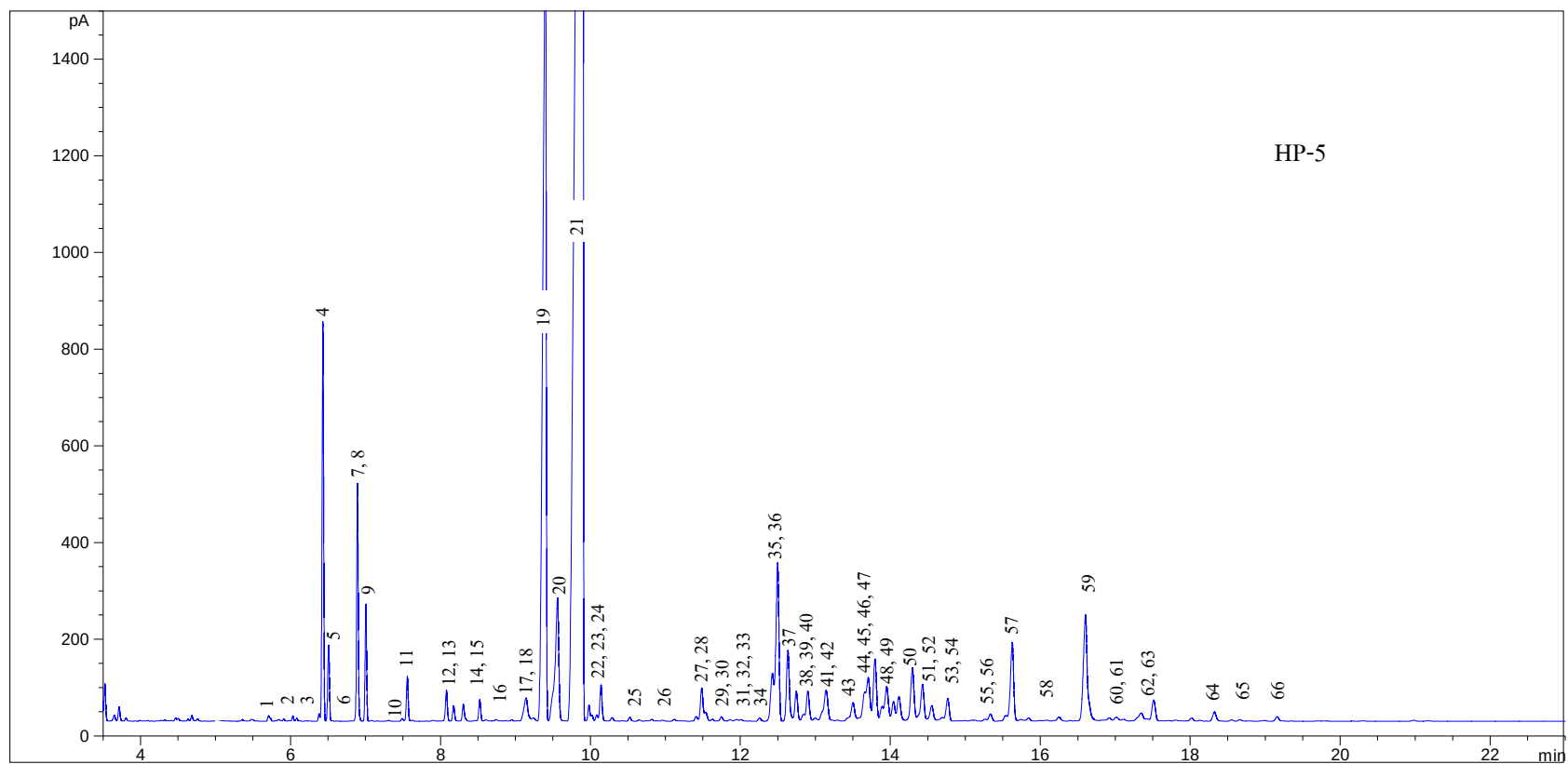
นำสารละลายของสารระเหยในรูปไกลโคไซด์ในเมทานอลมาระเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยแบบสุญญากาศ (rotary vacuum evaporator) ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ละลายสารที่เหลืออยู่ด้วยน้ำกลั่นปราศจากกลิ่น 100 มิลลิลิตร ถ่ายใส่ขวดแก้วฝาเกลียวขนาด 250 มิลลิลิตร จากนั้นไฮโดรลิซิสด้วยฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 100 มิลลิลิตร ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ ที่ pH 2 ระดับ คือ 2.5 และ 3.5 และนำไปให้ความร้อนที่ 3 ระดับ คือ 50, 70 และ 90 องศาเซลเซียส ใน water bath เป็นเวลา 2.5 ชั่วโมง จากนั้นสกัดสารระเหยที่ถูกไฮโดรลิซิสด้วยสารละลายผสมของเพนเทนและไดคลอโรมีเทนอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร จำนวน 50 มิลลิลิตร 3 ครั้ง ด้วยเครื่องกวนแบบแม่เหล็ก รวมตัวทำละลายที่สกัดได้ไว้ด้วยกันในขวดแก้วฝาเกลียว นำตัวทำละลายที่ได้ไปกลั่นสุญญากาศจากนั้นวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารระเหยในรูปไกลโคไซด์ ได้ผลการทดลองดังตารางผนวกที่ 2

ตารางผนวกที่ 2 ความเข้มข้นของสารระเหยในรูปไกลโคไซด์ในตะไคร้สดที่สภาวะการไฮโดรลิซิสแตกต่างกัน

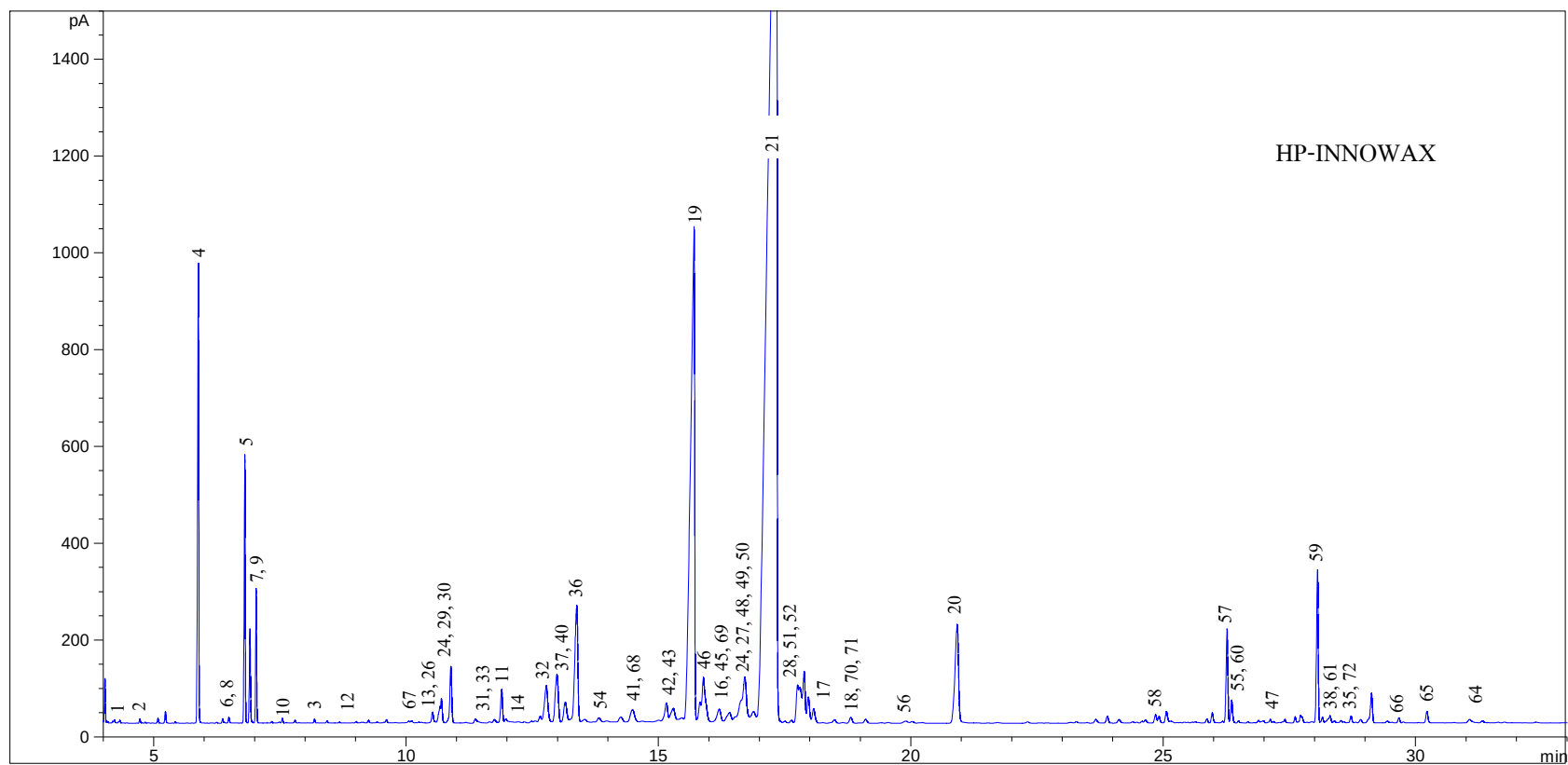
สารระเหย	RI		ปริมาณสารระเหยในรูปไกลโคไซด์ ¹ (µg/g)									
	HP-5	INNO-WAX	pH 2.5						pH 3.5			
			50°C	70°C	90°C	50°C	70°C	90°C	50°C	70°C	90°C	50°C
(Z)-β-ocimene	1038	1238	0.24 c	3.90 b	6.54 a	0.36 b	0.10 b	0.05 b				
<i>l</i> -linolool	1102	1542	1.97 c	17.31 b	19.62 a	1.09 c	1.77 c	1.59 c				
citronellal	1155	1479	0.87 a	0.15 b	0.35 b	0.32 b	- c	0.10 b				
citronellol	1230	1764	1.22 ab	1.83 a	0.56 c	0.84 bc	0.80 bc	1.57 ab				
neral	1249	1687	20.93 b	5.83 c	0.39 c	24.92 ab	27.61 a	24.21 ab				
geranial	1280	1743	41.15 b	10.42 c	0.74 c	52.87 a	59.13 a	56.00 a				
(<i>E</i>)-geraniol	1257	1844	3.37 b	0.52 d	0.15 d	4.02 b	2.13 c	6.23 a				
(<i>E</i>)-β-caryophyllene	1438	1603	0.05 a	- b	- b	- b	- b	- b				
<i>endo</i> -borneol	1184	n.a.	0.76 ab	1.06 a	0.10 c	0.20 bc	0.29 bc	0.24 bc				

หมายเหตุ ¹ ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรที่ต่างกันในแนวนอน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

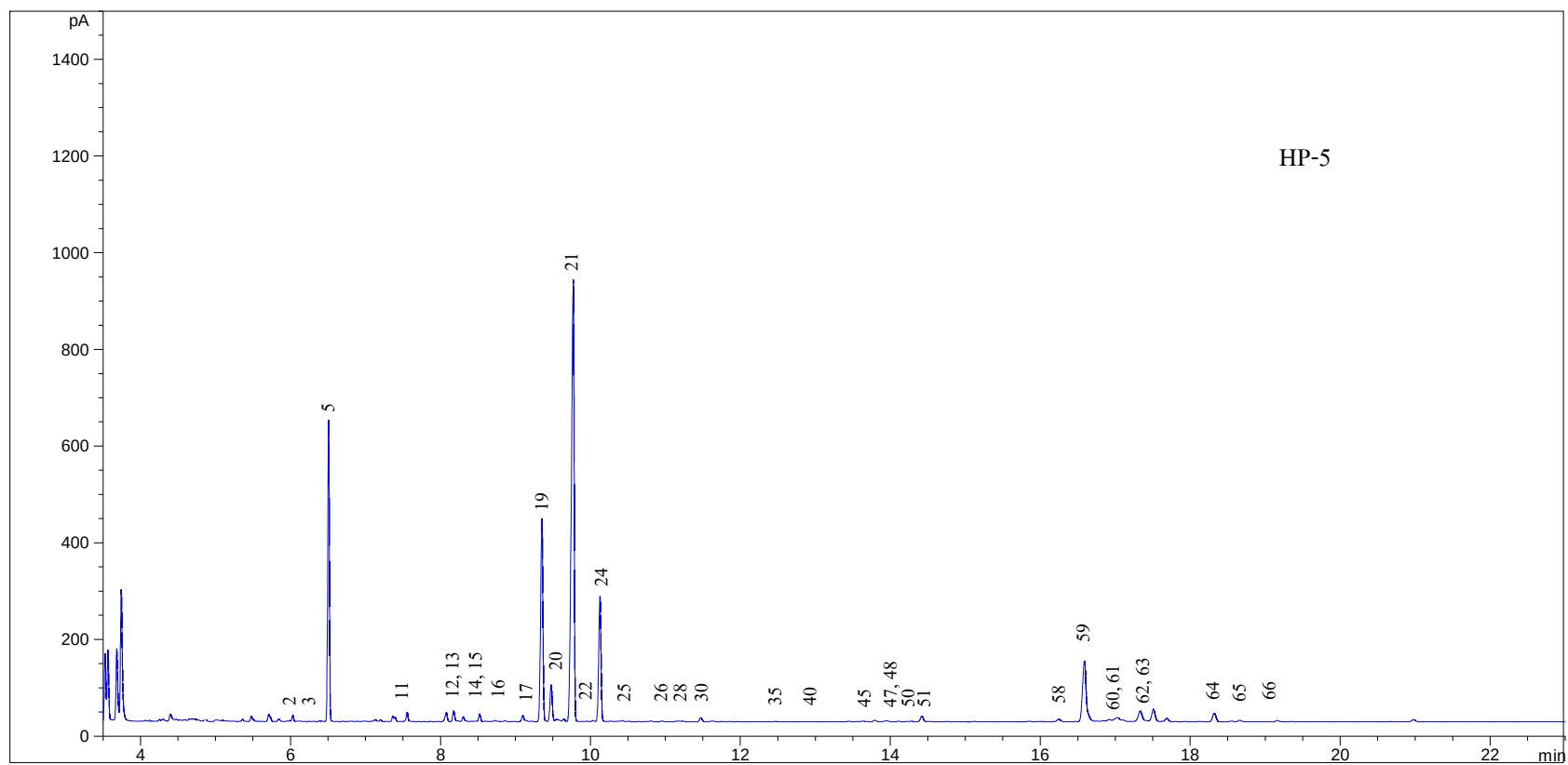
($p \leq 0.05$)



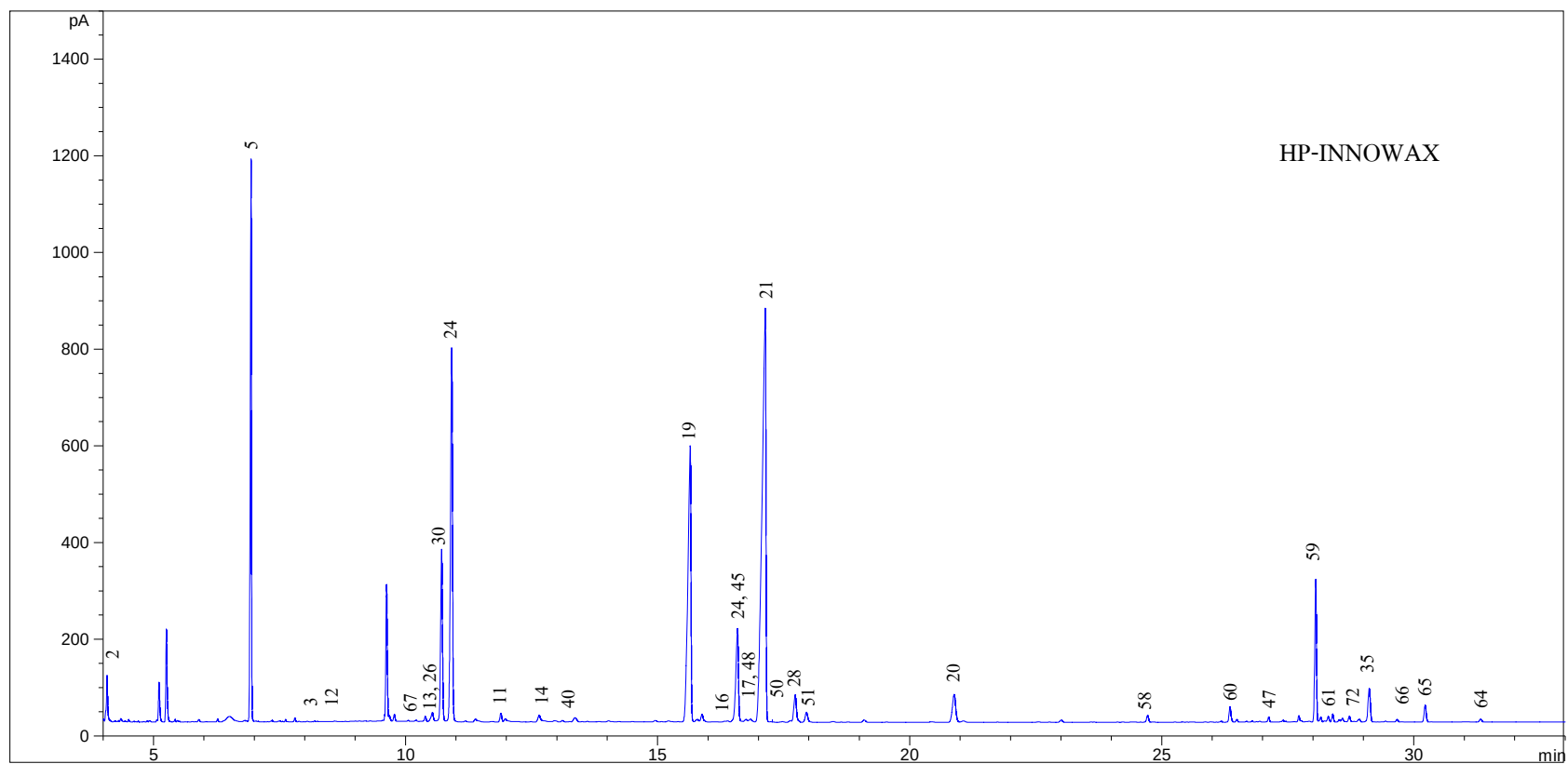
ภาพผนวกที่ 2 โครมาโทแกรมของสารระเหยอิสระในตะไคร้สด



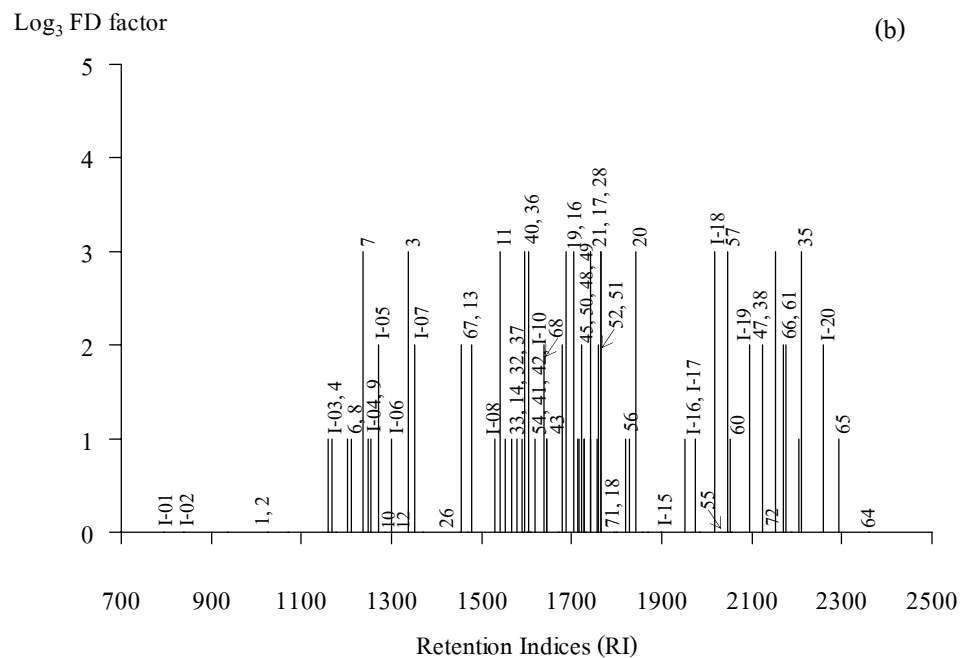
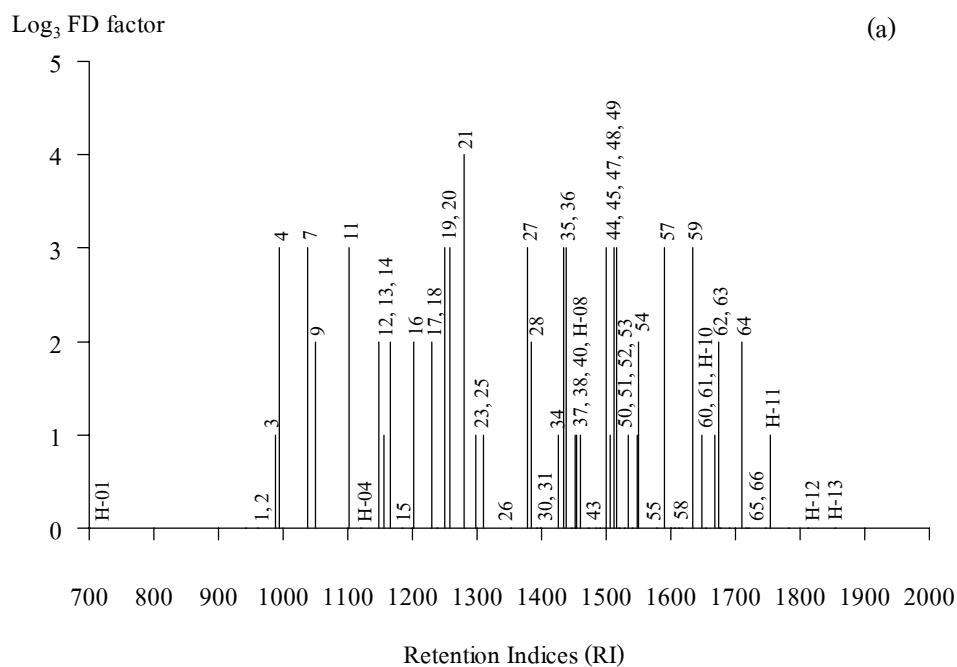
ภาพผนวกที่ 2 (ต่อ)



ภาพผนวกที่ 3 โครมาโทแกรมของสารระเหยในรูปไกลโคไซด์ในตะไคร้สด

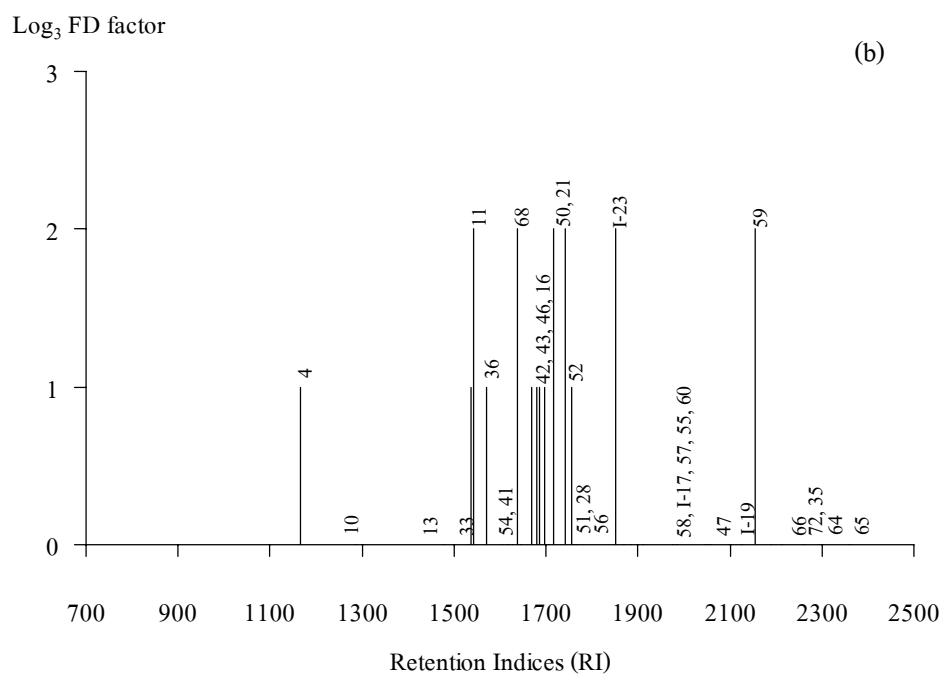
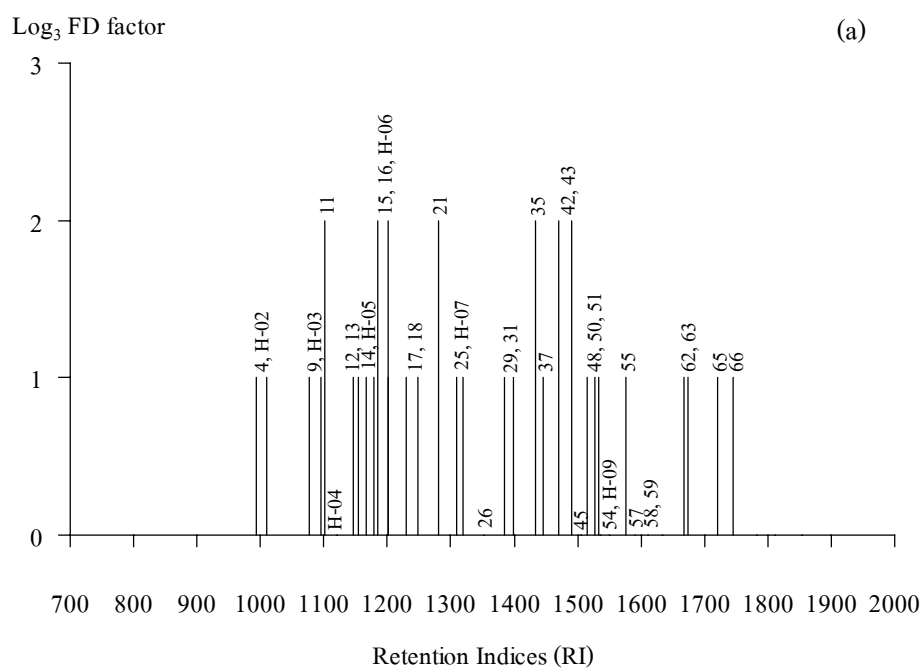


ภาพผนวกที่ 3 (ต่อ)



ภาพผนวกที่ 4 log₃ FD factor aromagram ของสารให้กลิ่นในรูปอิสระในตะไคร้
หมายเหตุ ลำดับที่ของสารตรงกับตารางที่ 4 และโครมาโทแกรมในภาพผนวกที่ 2

(a) คอลัมน์ HP-5 (b) คอลัมน์ HP-INNOWAX



ภาพผนวกที่ 5 log₃ FD factor aromagram ของสารให้กลิ่นในรูปไกลโคไซด์ในตะไคร้สด
หมายเหตุ ลำดับที่ของสารตรงกับตารางที่ 4 และโครมาโทแกรมในภาพผนวกที่ 3

(a) คอลัมน์ HP-5 (b) คอลัมน์ HP-INNOWAX

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวพิชามณัฐ สว่างสุข
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 4 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2526
สถานที่เกิด	จังหวัดเชียงใหม่
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2547)
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	ร่วมเสนอผลงานทางวิชาการในงานประชุมทางวิชาการ ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45 พ.ศ. 2549