



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรการอาหาร)

ปริญญา

วิทยาศาสตรการอาหาร

วิทยาศาสตรและเทคโนโลยีการอาหาร

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง สารให้กลิ่นในข้าวผัด

Aroma Compounds in Fried Rice

นามผู้วิจัย นางสาวธันยธรณ์ ปิยชัยเศรษฐ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์สิริ ชัยเสรี, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์อุทัย กลิ่นเกษร, ประ.ด.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธนະบุญย์ สัจจานันตกุล, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

สารให้กลิ่นในข้าวผัด

Aroma Compounds in Fried Rice

โดย

นางสาวฉันทวรรณ ปิยะชัยเศรษฐ์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรการอาหาร)

พ.ศ. 2553

ธัญชนก ปิยะชัยเศรษฐ์ 2553: สารให้กลิ่นในข้าวผัด ปริญาวิทยาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร
การอาหาร) สาขาวิทยาศาสตรการอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตรและเทคโนโลยีการอาหาร อาจารย์ที่
ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์ศรี ชัยเสรี, Ph.D. 135 หน้า

การผัดแบบไฟแดง เป็นการปรุงอาหารเช่นเดียวกับการผัดธรรมดา แตกต่างตรงที่จะมีไฟลุกไหม้เข้ามา
ในกระทะสัมผัสกับอาหาร ทำให้เกิดกลิ่นที่มีความเฉพาะขึ้นเรียกว่า wok flavor ในการทดลองนี้จึงศึกษา
องค์ประกอบของสารให้กลิ่น wok flavor ในข้าวผัดที่ผ่านการผัดไฟแดงเทียบกับการผัดธรรมดา โดยใช้ไดเอทิล
อีเทอร์สกัดสารระเหยในตัวอย่าง ได้แก่ ข้าวผัดไฟแดง, ข้าวผัดธรรมดา และข้าวหุงสุก แล้วกลั่นด้วยเครื่องกลั่น
ภายใต้สุญญากาศ จากนั้นทำการวิเคราะห์สารระเหยด้วย gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS)
จากการวิเคราะห์พบสารระเหยทั้งหมด 188 ชนิดในข้าวผัดไฟแดง 154 ชนิดในข้าวผัดธรรมดา และ 57 ชนิดใน
ข้าวหุงสุก ทั้ง 3 ตัวอย่างมีสารระเหยที่มีความเข้มข้นสัมพัทธ์สูงสุด คือ acetic acid สารระเหยที่พบรองลงมาใน
ข้าวผัดไฟแดง คือ (E,E)-2,4-decadienal, (E)-2-heptenal, nonanal และ 7-methyl-3,4-octadiene ตามลำดับ ส่วน
ในข้าวผัดธรรมดาสารระเหยที่พบรองลงมา คือ (E,E)-2,4-decadienal, (E)-2-heptenal, 2,4-decadienal และ
nonanal ตามลำดับ และสารระเหยที่พบรองลงมาในข้าวหุงสุก คือ 2,3-butanediol, 2,4-di-tert-butylphenol, 1,3-
butanediol และ 2,3-dihydro-3,5-dihydroxy-6-methyl-4H-pyran-4-one ตามลำดับ การวิเคราะห์สารให้กลิ่น
สำคัญใช้วิธี Aroma Extract Dilution Analysis (AEDA) โดยทดสอบลักษณะกลิ่นด้วย Gas Chromatography-
Olfactometry (GC-O) สารให้กลิ่นที่สำคัญในข้าวผัดไฟแดง ที่มีค่า flavor dilution (FD) factor สูงสุด คือมีค่า
เท่ากับ 81 ได้แก่ 2,4-heptadienal ให้กลิ่นน้ำมันผัด, nonanal ให้กลิ่นควันเทียน, heptanone ให้กลิ่นโลหะและ
กลิ่นสนิม และสารไม่ทราบชนิด 2 ชนิดให้กลิ่นคาวปลา, กลิ่นเค็ม และกลิ่นหวาน, กลิ่นอับ ส่วนสารที่มี
ลักษณะกลิ่นที่เรียกว่า wok flavor ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะตัวของข้าวผัดไฟแดงเป็นสารไม่ทราบชนิด 2 ชนิดมีค่า
FD factor เท่ากับ 9 และ 0 สำหรับข้าวผัดธรรมดา พบ octadienone ซึ่งให้กลิ่นโลหะ, กลิ่นสนิม และสารไม่
ทราบชนิดที่ให้กลิ่นหวาน เป็นสารให้กลิ่นที่มีค่า FD factor สูงสุดเท่ากับ 81 ส่วนสารให้กลิ่นที่สำคัญข้าวหุงสุก
ได้แก่ 2-acetyl-1-pyrroline ให้กลิ่นหวาน, กลิ่นใบเตย และสารไม่ทราบชนิด ให้กลิ่นคล้ายกรด acetic มีค่า FD
factor เท่ากับ 27 และ 3 ตามลำดับ การประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส เพื่อทดสอบความแตกต่างของ
กลิ่นตัวอย่างข้าวผัดไฟแดง ข้าวผัดธรรมดา และข้าวหุงสุกนั้น ผู้ทดสอบสามารถแยกความแตกต่างของกลิ่นที่มี
ความเฉพาะตัวของข้าวผัดไฟแดงได้ ($p \leq 0.01$) นอกจากนี้ได้สกัดสารให้กลิ่นผัดด้วยเอทานอลจาก 80 กรัมข้าว
ผัดไฟแดง ต่อ 360 มิลลิลิตรเอทานอล ผสมกับซอสผัดที่ความเข้มข้น 0%, 10%, 20% และ 30% โดยผสมซอส
ผัดกับข้าวผัดธรรมดาที่ผัดเสร็จแล้ว จากการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสทางด้านความชอบกลิ่น
พบว่าตัวอย่างซอสที่มีความเข้มข้นของสารสกัดกลิ่นผัด 10% มีคะแนนความชอบสูงสุดเมื่อเทียบกับซอสที่
ความเข้มข้นอื่น ($p \leq 0.01$)

Tunyatorn Piyachaiseth 2010: Aroma Compounds in Fried Rice. Master of Science (Food Science), Major Field: Food Science, Department of Food Science and Technology. Thesis Advisor: Associate Professor Siree Chaiseri, Ph.D. 135 pages.

Flash-frying technique is similar to stir-frying but it allows fire to contact food giving a unique smoke aroma, so called “wok flavor”. This experiment was to study the components of wok flavor in stir-fried rice generated from flash-frying compare with stir-frying technique. Volatile compounds from flash-fried rice, stir-fried rice and steamed white rice were extracted from the sample by using diethyl ether and separated from the oil matrix using high vacuum distillation unit. The extracted volatiles were analyzed by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). A total of 188 volatile compounds were identified in flash-fried rice, 154 in stir-fried rice and 57 in steamed white rice. The highest concentration was acetic acid in all samples follows by (*E,E*)-2,4-decadienal, (*E*)-3-heptenal, nonanal and 7-methyl-3,4-octadiene in flash-fried rice, (*E,E*)-2,4-decadienal, (*E*)-2-heptenal, 2,4-decadienal and nonanal in stir-fried rice and 2,3-butanediol, 2,4-di-*tert*-butylphenol, 1,3-butanediol and 2,3-dihydro-3,5-dihydroxy-6-methyl-4*H*-pyran-4-one in steamed white rice. Aroma Extract Dilution Analysis (AEDA) using a gas chromatography-olfactometry (GC-O). The prominent odorants that had the FD factor = 81 in flash-fried rice were (*E,E*)-2,4-heptadienal (stir-fried oil), nonanal (scented candle), heptanone (metallic, rust) and 2 unknown (fishy, salty, sweet, stale). There were 2 unknowns that had wok aroma characteristic with FD factors of 9 and 0 but were not found in stir-fried rice. The typical stir-fried rice had octadienone (metallic, rust) and unknown (sweet) with FD factor of 81 as its prominent aroma compounds. 2-Acetyl-1-pyrroline (sweet, pandan like) and unknown (acetic acid) with FD factor of 27 and 3 respectively in steamed white rice. Different from control, discriminative test, was used to differentiate flash-fried rice, stir-fried rice and steamed white rice odor. Panelists could detect the difference of the unique smoke aroma ($p \leq 0.01$). Aroma compounds from flash fried rice were extracted using ethanol at the ratio of 80 g flash-fried rice per 360 ml ethanol in order to be used in a stir-fried sauce. The ethanolic extract was added to stir-fried sauce at 0%, 10%, 20% and 30%. The panelists preferred the sample with 10% ethanolic extract than the other samples ($p \leq 0.01$).

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. สิริ ชัยเสรี ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่กรุณาให้คำปรึกษา อบรมสั่งสอน และแนะนำในเรื่องการเรียน งานวิจัย รวมทั้งส่งเสริมข้าพเจ้าได้เสนอผลงานในระดับนานาชาติ ตลอดจนตรวจสอบ และแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ถูกต้องและสมบูรณ์ ขอกราบขอบพระคุณ ดร. อุทัย กลิ่นเกษร กรรมการที่ปรึกษาร่วม ที่กรุณาให้คำแนะนำต่างๆ ขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ทุกท่านที่คอยอบรม ให้ความรู้และให้คำแนะนำแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่คณะอุตสาหกรรมเกษตรทุกท่านที่ช่วยเหลือ และให้คำแนะนำที่ดีเสมอมา

ขอขอบคุณพี่แอ๊ด และพี่จู ร้านก๋วยเตี๋ยวในโรงอาหารกลาง 2 สำหรับการเตรียมตัวอย่างในงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณเพื่อนๆห้อง 2313 ทุกคน โดยเฉพาะพี่ต่าย พี่หลิม พี่ลิ พี่ต้อ พี่หนู รวมถึงเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ คณะอุตสาหกรรมเกษตรทุกคน ที่ให้คำแนะนำในเรื่องการเรียน เรื่องงานวิจัย คอยสอน ให้กำลังใจ และให้ความช่วยเหลือที่ดีตลอดมา

ขอขอบคุณโครงการเชื่อมโยงภาคการผลิตกับงานวิจัย ทุน สกว. – อุตสาหกรรม (ทุน สกว. – สสว.) และบริษัท หอมหวลอุตสาหกรรมอาหาร ที่กรุณาให้ทุนส่งเสริมงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ เงิน โอ ยิ้ม น้อง เอ็กซ์ เนต ก้อง รวมทั้งเพื่อนๆพี่ๆสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และเพื่อนๆบัณฑิตรเดชา 2 ทุกคน ที่คอยดูแล ช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ และให้กำลังใจที่ดีโดยตลอด

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวทุกท่านที่ให้กำลังใจ คำแนะนำต่างๆ ส่งเสริม และเข้าใจข้าพเจ้าตลอดมา

ธันยธรณ์ ปิยชัยเศรษฐ์

สิงหาคม 2552

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	39
อุปกรณ์	39
วิธีการ	43
ผลและวิจารณ์	50
สรุปและข้อเสนอแนะ	98
สรุป	98
ข้อเสนอแนะ	100
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	101
ภาคผนวก	116
ภาคผนวก ก สารระเหยที่ไม่สามารถระบุชนิดได้	117
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ทางเคมี และการประเมินทางประสาทสัมผัส	122
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	135

สารบัญตาราง

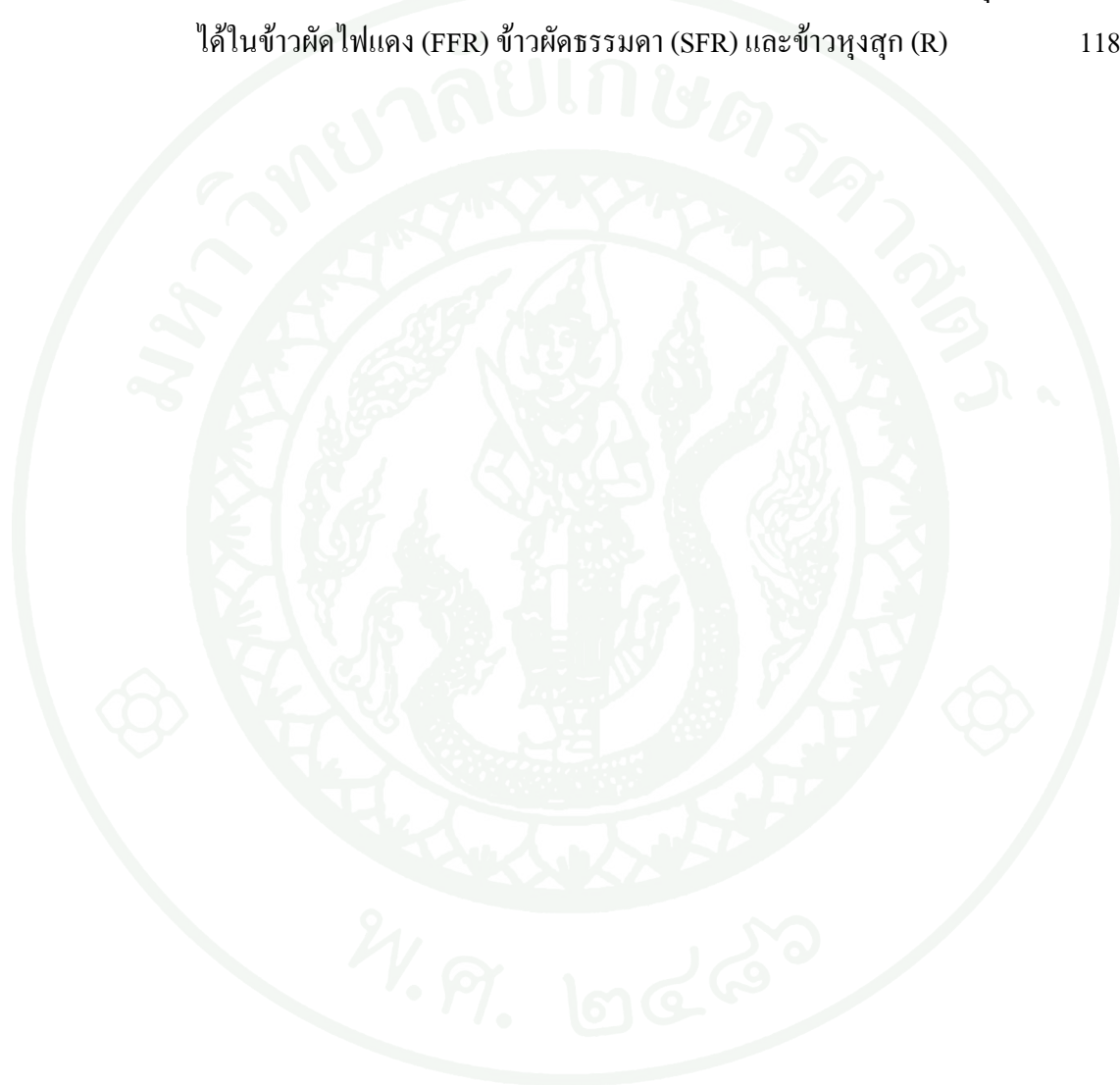
ตารางที่		หน้า
1	ปริมาณของกรดไขมันอิ่มตัว และไม่อิ่มตัวในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลในน้ำมันถั่วเหลือง	5
2	ความเข้มข้นของ 2-acetyl-1-pyrroline ในข้าวหอมสุก	7
3	ชนิด และปริมาณของสารให้กลิ่นในข้าวหอมสุกสายพันธุ์ต่างๆ	8
4	ชนิดและความถี่ในการได้กลิ่นของสารให้กลิ่นสำคัญในข้าวหอมสุก ประกอบด้วย ข้าวหอมพันธุ์ Aychada (A) และ Fidja (F) ประเทศฝรั่งเศส ข้าวหอมประเทศไทย (T) และข้าวธรรมดาสายพันธุ์ Ruille (R) ที่ได้จากการวิเคราะห์ โดย GC-O	11
5	สารระเหยในมันฝรั่งแผ่นทอด จากงานของ Deck <i>et al.</i> (1973)	14
6	สารให้กลิ่นที่พบในมันฝรั่งทอด จากงานของ Wagner and Grosch (1997)	15
7	สารให้กลิ่นสำคัญในมันฝรั่งทอด จากงานของ Loon <i>et al.</i> (2005)	17
8	สารระเหยของน้ำมันชนิดต่างๆ ที่ผ่านการให้ความร้อนโดยการผัด	27
9	สารระเหยในน้ำมัน babassu, น้ำมัน piqui และ น้ำมันปาล์ม จากปฏิกิริยาไพโรไลซิส	30
10	ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาไพโรไลซิสของกรดโอเลอิก และน้ำมัน piqui	31
11	ชนิด ความเข้มข้นสัมพัทธ์ และ OAV ของสารระเหยที่สามารถระบุชนิดได้ในข้าวผัดไฟแดง (FFR) ข้าวผัดธรรมดา (SFR) และข้าวหอมสุก (R)	52
12	ชนิด ลักษณะกลิ่น และค่า FD factor ของสารระเหยในข้าวผัดที่ผ่านการผัดไฟแดง (FFR) ข้าวผัดธรรมดา (SFR) และข้าวหอมสุก (R)	83
13	ชนิด ความเข้มข้นสัมพัทธ์ และ OAV ของสารระเหย ที่สกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลจากข้าวผัดไฟแดง	90
14	ความชอบรสชาติที่ผสมสารสกัดกลิ่นผัดความเข้มข้นต่างๆ	96

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่

หน้า

ก1	ชนิด ความเข้มข้นสัมพัทธ์ และ OAV ของสารระเหยที่ไม่สามารถระบุชนิดได้ในข้าวผัดไฟแดง (FFR) ข้าวผัดธรรมดา (SFR) และข้าวหุงสุก (R)	118
----	---	-----



สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	Amadori rearrangement	22
2	Heyns rearrangement	23
3	การเกิดสาร furan และ dicarbonyl จากสารมัธยันต์ของ Amadori และ Heyns rearrangement	24
4	ปฏิกิริยา Strecker degradation	25
5	การแตกตัวของ lipid hydroperoxides	27
6	ปริมาณความเข้มข้นสัมพัทธ์โดยรวมของสารระเหยในกลุ่มต่างๆ ที่พบในตัวอย่าง ข้าวผัดไฟแดง ข้าวผัดธรรมดา และข้าวหุงสุก	74
7	กลไกการเกิด pyrazine	77
8	สูตรโครงสร้างสารให้กลิ่นที่สำคัญ	82
9	Mass spectrum ของสารไม่ทราบชนิดที่อาจจะเป็นสารให้กลิ่น wok flavor A) สารไม่ทราบชนิดที่ 1 ที่มีค่า RI = 1266 จากการแยกด้วยคอลัมน์ FFAP B) สารไม่ทราบชนิดที่ 2 ที่มีค่า RI = 1321 จากการแยกด้วยคอลัมน์ FFAP	88
ภาพผนวกที่		
ข1	โครมาโทแกรมของข้าวผัดไฟแดงจากการสกัดด้วยตัวทำละลายไดเอทิลอีเทอร์ ที่แยกด้วยคอลัมน์ HP-5	124
ข2	โครมาโทแกรมของข้าวผัดไฟแดงจากการสกัดด้วยตัวทำละลายไดเอทิลอีเทอร์ ที่แยกด้วยคอลัมน์ FFAP	125
ข3	โครมาโทแกรมของข้าวผัดธรรมดาจากการสกัดด้วยตัวทำละลายไดเอทิลอีเทอร์ ที่แยกด้วยคอลัมน์ HP-5	126

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ข4 โครมาโทแกรมของข้าวผัดธรรมดาจากการสกัดด้วยตัวทำละลายไดเอทิลอีเทอร์ ที่แยกด้วยคอลัมน์ FFAP	127
ข5 โครมาโทแกรมของข้าวหุงสุกจากการสกัดด้วยตัวทำละลายไดเอทิลอีเทอร์ ที่แยกด้วยคอลัมน์ HP-5	128
ข6 โครมาโทแกรมของข้าวหุงสุกจากการสกัดด้วยตัวทำละลายไดเอทิลอีเทอร์ ที่แยกด้วยคอลัมน์ FFAP	129
ข7 โครมาโทแกรมของข้าวผัดไฟแดงจากการสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอล ที่แยกด้วยคอลัมน์ HP-5	130
ข8 โครมาโทแกรมของข้าวผัดไฟแดงจากการสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอล ที่แยกด้วยคอลัมน์ FFAP	131

สารให้กลิ่นในข้าวผัด

Aroma Compounds in Fried Rice

คำนำ

Wok flavor เป็นกลิ่นรสที่มีลักษณะเฉพาะตัวซึ่งได้จากการผัดโดยใช้ความร้อนผ่านกระทะ โดยกลิ่นที่ได้จะมีกลิ่นยางและกลิ่นควันประกอบอยู่ด้วย กลิ่นควันเป็นกลิ่นที่มีการใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมอาหาร โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์พวกแฮม ไส้กรอก และชีส ซึ่งกลิ่นควันที่ใช้นั้นพบทั้งในรูปแบบของของเหลว และของแข็ง กลิ่นควันที่ใช้ในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะได้จากการให้ความร้อนเผาไหม้พวกไม้เป็นส่วนใหญ่ ตัวอย่างไม้ที่ใช้ เช่น ไม้โอ๊ค และ ไม้บีช (beech) wok flavor เป็นกลิ่นควันที่ไม่ได้จากการเผาไหม้ไม้ แต่ได้จากน้ำมันที่ผ่านการผัดโดยใช้ความร้อนสูงให้เกิดเปลวไฟลามมาในอาหารที่อยู่ในกระทะ จะพบกลิ่นดังกล่าวได้ในอาหารผัดน้ำมัน โดยเฉพาะอาหารที่มีส่วนประกอบของคาร์โบไฮเดรต เช่น ข้าวผัด เส้นก๋วยเตี๋ยวผัด การผัดโดยมีไฟลุกลามมาในกระทะจะต้องอาศัยพ่อครัวที่มีความชำนาญ ไม่สามารถทำได้ในครัวเรือน และไม่ใช้ในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมอาหารทั่วไป

ด้วยลักษณะกลิ่นรสอันเป็นเอกลักษณ์เฉพาะ จึงเป็นที่น่าสนใจในการศึกษาองค์ประกอบของสารให้กลิ่น wok flavor เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาสารแต่งกลิ่นสำหรับซอสปรุงรสอาหารผัด ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ในระดับอุตสาหกรรม และตามครัวเรือน

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาองค์ประกอบของสารให้กลิ่น wok flavor ในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบผ่านการผัดแบบไฟแดงเทียบกับการผัดธรรมดา
2. ศึกษาการสกัดสารให้กลิ่นด้วยเอทานอล เพื่อนำมาปรุงแต่งกลิ่นรสของซอสผัด



การตรวจเอกสาร

การปรุงอาหารด้วยวิธีการผัด วิธีนี้เป็นวิธีปรุงอาหารที่ง่าย ไม่ยุ่งยาก โดยใช้กระทะ ก่อนการผัดทุกครั้งจะต้องตั้งไฟจนกระทะร้อนได้ที่ใส่น้ำมันเพียงเล็กน้อยก่อนจะใส่วัตถุดิบลงไป ในกระทะ ในการผัดนั้นนิยมใช้ตะหลิวเพื่อคนกลับอาหารในกระทะอย่างรวดเร็ว เนื่องจากขั้นตอนการผัดนั้นมักจะใช้เวลาสั้น

การผัดเป็นการใช้ความร้อนในการทำให้อาหารสุก ดังนั้นกลิ่นของอาหารผัดจึงเกิดจากสารระเหยที่เปลี่ยนแปลงมาจากสารตั้งต้นที่ไม่ระเหย (Hirasa and Takemasa, 1998) ในช่วงของการแปรรูปจะเกิดปฏิกิริยาทางเคมี ทำให้เกิดสารให้กลิ่นจากความร้อนที่เรียกว่า process flavor มักมีสารอาหารหลักที่เป็นสารตั้งต้น เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน (Scarpellino and Soukup, 1993)

การผัดแบบไฟแดง เป็นการปรุงอาหารเช่นเดียวกับการผัดธรรมดา แต่แตกต่างตรงที่จะมีไฟลุกกลมเข้ามาในกระทะสัมผัสกับอาหาร ซึ่งจะทำให้เกิดกลิ่นที่มีความเฉพาะขึ้น ในปัจจุบันยังไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับกลิ่นที่เฉพาะตัวที่เกิดขึ้น ซึ่งเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค โดยเรียกกลิ่นเฉพาะที่เกิดขึ้นว่า wok flavor

1. Wok Flavor

Wok คือ กระทะเหล็กบางขนาดใหญ่ ส่วนล่างเป็นรูปโถ่งใช้สำหรับทำอาหารจีน wok flavor เป็นกลิ่นรสที่มีลักษณะเฉพาะตัวซึ่งได้จากการผัดโดยใช้ความร้อนผ่านกระทะเหล็ก โดยกลิ่นที่ได้จะมีกลิ่นย่าง (roast) และกลิ่นควันประกอบอยู่ด้วยซึ่งทำให้เป็นจุดเด่นของ wok flavor พ่อครัวที่ชำนาญในการผัดด้วยกระทะเหล็กกล่าวว่า wok flavor จะเกิดขึ้นเมื่อให้ความร้อนกับกระทะเหล็กจนเห็นมีควันจางๆ ก่อนที่จะเติมน้ำมันลงไปในกระทะ (Young, 2004)

2. การผัด

การผัด (stir-frying) คือ การปรุงอาหารอย่างรวดเร็ว โดยให้ความร้อนกับกระทะและใช้น้ำมันในการปรุงอาหาร ซึ่งเทคนิคการปรุงอาหารแบบนี้จะพบมากในอาหารจีน

การผัดแบบไฟแดง (flash-frying) เป็นการปรุงอาหารเช่นเดียวกับการผัด แต่แตกต่างตรงที่จะมีไฟลุกไหม้เข้ามาในกระทะสัมผัสกับอาหาร ซึ่งจะทำให้เกิดกลิ่นที่มีความเฉพาะขึ้น จะพบได้ในอาหารผัด เช่น ก๋วยเตี๋ยวผัด, ข้าวผัด และผัดไฟแดง เช่น ผัดผักบุ้งไฟแดง

3. น้ำมันถั่วเหลือง

เป็นน้ำมันที่มีปริมาณการผลิตมากที่สุดในโลก สกัดได้จากเมล็ดของถั่วเหลือง (*Glycine max* L.) เป็นน้ำมันที่มีกรดลิโนเลนิก (linolenic acid) สูงที่สุด การสกัดแยกเอาน้ำมันออกจากเมล็ดถั่วเหลืองใช้วิธีสกัดด้วยตัวทำละลาย น้ำมันที่ได้จะนำมาผ่านกระบวนการทำให้น้ำมันบริสุทธิ์ คือ การทำให้บริสุทธิ์ ฟอกสี กำจัดกลิ่น สำหรับสมบัติของน้ำมันถั่วเหลืองตามมาตรฐาน มีดังนี้ ความถ่วงจำเพาะ (ที่ 25 องศาเซลเซียส) 0.917-0.921, ค่าไอโอดีน 120-141, ค่าซาฟอนิฟิเคชัน (saponification) 189-195, สารที่ไม่ถูกไฮโดรไลซ์ด้วยด่าง น้อยกว่า 1.5 เปอร์เซ็นต์ และค่าการหักเหของแสง (ที่ 25 องศาเซลเซียส) 1.470-1.476 น้ำมันถั่วเหลืองที่มีคุณภาพดีจะมีสีเหลืองอ่อน กรดไขมันที่สำคัญในน้ำมันถั่วเหลือง คือ กรดลิโนเลอิก (linoleic acid) มีอยู่ประมาณ 43-56 เปอร์เซ็นต์ กรดลิโนเลนิกประมาณ 5-11 เปอร์เซ็นต์ และกรดไขมันอิ่มตัวประมาณ 11-26 เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันทั้งหมด (นิธิยา, 2548) ปริมาณของกรดไขมันชนิดอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลในน้ำมันถั่วเหลือง ดังแสดงในตารางที่ 1 อีกทั้งน้ำมันถั่วเหลืองมีค่า smoke point คือ อุณหภูมิที่น้ำมันได้รับความร้อนจนเกิดเป็นควันขึ้นมีค่าเท่ากับ 234 องศาเซลเซียส ค่า flash point คือ อุณหภูมิที่น้ำมันกลายเป็นไอแล้วรวมตัวกับอากาศเกิดติดไฟขึ้นมีค่าเท่ากับ 328 องศาเซลเซียส (Pryde, 1980)

ปัจจุบันคนนิยมใช้น้ำมันถั่วเหลืองในการผัดและทอดอาหารกันเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าน้ำมันชนิดอื่น คือ มีปริมาณกรดลิโนเลอิกและกรดลิโนเลนิกสูง ช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือดได้ แต่เนื่องจากกรดไขมันทั้ง 2 ชนิดนี้เกิดออกซิไดส์ได้ง่าย จึงควรใช้น้ำมันถั่วเหลืองสำหรับผัดอาหารหรือปรุงอาหารที่ใช้เวลาสั้นมากกว่าการทอดอาหารที่ใช้เวลานาน (นิธิยา, 2548)

ตารางที่ 1 ปริมาณของกรดไขมันชนิดอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลในน้ำมันถั่วเหลือง

กรดไขมัน	ปริมาณ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	
	พิสัย	ค่าเฉลี่ย
Saturated fatty acids	10.0-19.0	15.0
Lauric acid	-	0.1
Myristic acid	<0.5	0.2
Palmitic acid	7.0-12.0	10.7
Stearic acid	2.0-5.5	3.9
Arachidic acid	<1.0	0.2
Behenic acid	<0.5	-
Unsaturated fatty acids		
Palmitoleic acid	<0.5	0.3
Oleic acid	20.0-50.0	22.8
Linoleic acid	35.0-60.0	50.8
Linolenic acid	2.0-13.0	6.8
Eicosenoic acid	1.0	-

ที่มา: Perkins (1995)

4. ข้าว

ข้าว (*Oryza sativa*) เป็นพืชอาหารที่สำคัญของคนในประเทศต่างๆ เกือบทั่วโลก โดยเฉพาะสำหรับคนไทยแล้ว ข้าวเป็นที่คุ้นเคยของคนทุกคน เพราะเป็นอาหารที่รับประทานเป็นอาหารหลัก การศึกษาเกี่ยวกับข้าวในประเทศไทยส่วนมากจะมุ่งศึกษาในแง่ของการปรับปรุงพันธุ์ การเพิ่มผลผลิต คุณค่าทางโภชนาการ และองค์ประกอบทางเคมีของข้าว (จินตนา, 2535)

องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของเนื้อเมล็ดข้าวเป็นคาร์โบไฮเดรตประเภทสตาร์ช (starch) ซึ่งประกอบด้วยอะไมโลส (amylose) และอะไมโลเพกทิน (amylopectin) ถ้ามีปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพกทินแตกต่างกัน จะทำให้ลักษณะเนื้อข้าวสุก มีความร่วน แข็ง หรือนุ่มต่างกัน โดยถ้ามีปริมาณอะไมโลสต่ำ (เช่น 7-10 เปอร์เซ็นต์) ข้าวสุกจะมีความเหนียว แต่ถ้ามีปริมาณอะไมโลส

สูงขึ้น (เช่น 33 เปอร์เซ็นต์) ก็จะมีความร้อน และแข็งเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของข้าว (อรอนงค์, 2550)

ข้าวเสาไห้ เป็นชื่อข้าวสารไม่ใช่ชื่อพันธุ์ข้าว ซึ่งแต่เดิมเป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองของอำเภอเสาไห้ จังหวัดสระบุรี จึงเรียกติดปากว่าข้าวเสาไห้ โดยจะเรียกแทนข้าวที่มีลักษณะร้อน แข็ง ไม่เกาะกันเป็นก้อน มีรสชาติดี และหุงขึ้นหม้อ ข้าวสุกจะนุ่มไม่แข็งกระด้าง และไม่เหนียวละ ตัวอย่างข้าวเสาไห้ เช่น ข้าวพันธุ์ขาวตาแห้ง หรือที่เรียกกันว่าแจ็กเชย ขาวกอดีว (กรมการข้าว, 2552)

5. สารให้กลิ่นที่พบในอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรต

5.1 สารให้กลิ่นในข้าวหุงสุก

กลิ่นของข้าวเป็นคุณลักษณะอย่างหนึ่งที่สามารถใช้จำแนกชนิดของข้าวได้ ได้แก่ ข้าวหอม และข้าวธรรมดา Maga (1978a) เสนอว่าสารระเหยต่างๆ มีความเข้มข้นแตกต่างกันระหว่างข้าวหอม และข้าวธรรมดา โดยข้าวธรรมดามีสารระเหย ได้แก่ 4-vinylphenol, 1-hexanal ปริมาณสูงกว่าข้าวหอม ในขณะที่สารระเหยที่พบเฉพาะในข้าวหอม ได้แก่ indole และสารระเหยพวก pyrrolidine

ต่อมาได้มีการศึกษาความเข้มข้นของสาร 2-acetyl-1-pyrroline (2AP) ซึ่งให้ลักษณะกลิ่นคล้ายข้าวโพดคั่วในข้าวหุงสุกสายพันธุ์ต่างๆ พบว่าข้าวธรรมดามีความเข้มข้นของ 2AP น้อยกว่าในข้าวหอม อีกทั้งในข้าวกล้องจะมีความเข้มข้นของ 2AP มากกว่าในข้าวขาวอีกด้วย (ตารางที่ 2) (Buttery *et al.*, 1983) และเมื่อทำการแยกสารระเหยในข้าวโดยใช้ gas chromatography (GC) ที่ต่อกับ sniffing port โดยใช้ผู้ทดสอบ 2 กลุ่ม ประกอบด้วย กลุ่มชาวตะวันตก ซึ่งอธิบายกลิ่นของสาร 2AP ว่าให้ลักษณะกลิ่นคล้ายใบเตย ส่วนกลุ่มชาวตะวันออกอธิบายว่าให้ลักษณะกลิ่นข้าวโพดคั่ว (Paule and Power, 1989)

Buttery *et al.* (1988) ได้ทำการศึกษาสารที่ให้กลิ่นของข้าวหุงสุก พบว่าสารที่น่าจะเป็นสารที่ส่งผลต่อลักษณะกลิ่นของข้าวหุงสุก ได้แก่ 2AP, (*E,E*)-2,4-decadienal, nonanal, hexanal, (*E*)-2-nonenal, octanal, decanal, 4-vinylguaiacol และ 4-vinylphenol ซึ่งต่อมา Widjaja *et al.* (1996) พบว่าข้าวธรรมดาพันธุ์ Pelde ประกอบด้วยสารให้กลิ่น ได้แก่ hexanal, (*E*)-2-heptanal, 1-octen-3-ol, nonanal, (*E*)-2-octenal, (*E,E*)-2,4-decadienal, 2-pentylfuran, 4-vinylguaiacol และ 4-

vinylphenol มีความเข้มข้นมากกว่าข้าวหอมพันธุ์ Basmati, Jasmine, Goolarah และ YRF9 จากการดมกลิ่นจาก sniffing port ที่ต่อกับ GC แสดงให้เห็นว่าข้าวหอมพันธุ์ Goolarah และ YRF9 มีลักษณะกลิ่นใบเตยสูงที่สุด และสารระเหยชนิดต่างๆจะมีลักษณะกลิ่นที่แตกต่างกันออกไป อีกทั้งมีความเข้มข้นแตกต่างกันในข้าวแต่ละสายพันธุ์ ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 2 ความเข้มข้นของ 2-acetyl-1-pyrroline ในข้าวหุงสุก

สายพันธุ์	ความเข้มข้น (ไมโครกรัม/กรัม)	
	ข้าวขาว	ข้าวกล้อง
ข้าวหอม		
Malagsi Sungsong	0.09	0.2
IR 841-76-1	0.07	0.2
Khao Dawk Mali 105	0.07	0.2
Milagrosa	0.07	
Basmati 370	0.06	0.17
Seratus Malam	0.06	
Azucena	0.04	0.16
Hieri	0.04	0.1
ข้าวธรรมดา		
Texas Long Grain	<0.008	
Calrose	<0.006	

ที่มา: Buttery *et al.* (1983)

ตารางที่ 3 ชนิดและปริมาณของสารให้กลิ่นในข้าวहुงสุกสายพันธุ์ต่างๆ

สารระเหย	ความเข้มข้น (นาโนกรัม/กรัม)					ลักษณะกลิ่น
	Jasmine	Basmati	Goolarah	YRF9	Pelde	
hexanal	1,818	829	1,498	1,396	2,038	green, grass-like
2-hexanone	7	13	7	18	7	fruity
pyridine	tr	tr	11	9	28	pungent
pentanol	152	130	82	104	160	fusel oil-like
2-pentylfuran	98	65	118	121	274	nutty, bean
heptanal	78	111	94	102	132	fruity, fatty
2-heptanone	94	204	70	92	117	fruity, floral
hexanol	78	41	23	60	48	herbaceous
ethyl heptanoate	tr	tr	18	21	26	green, fruity
2-acetyl-1-pyrroline ^a	^b	^b	691	670	15	sweet, pleasant
octanal	^b	^b	58	83	105	slightly fruity
6-methyl-5-hepten-2-one	28	10	32	34	58	banana-like
(E)-2-heptenal	99	58	108	97	208	herbaceous
1-octen-3-ol	87	46	57	75	111	raw mushroom
heptanol	32	54	17	30	32	woody, sweet
nonanal	158	125	210	244	429	floral, fruity
2-nonanone	6	11	4	tr	5	fruity, herbaceous
benzaldehyde	136	142	78	52	126	nutty, bitter
(E)-2-octenal	113	55	91	98	192	green, fatty
octanol	49	41	33	52	56	fruity, floral
(E,E)-2,4-heptadienal	^b	^b	13	14	26	hay-like
decanal	26	16	24	36	45	sweet, waxy, floral
(E)-2-nonenal	40	24	36	41	67	fatty, woody
nonanol	19	^b	14	16	20	floral, citrus
acetophenone	33	20	24	48	44	sweet, floral
phenylacetaldehyde	76	25	17	23	21	sweet (dilute)

ตารางที่ 3 (ต่อ)

สารระเหย	ความเข้มข้น (นาโนกรัม/กรัม)					ลักษณะกลิ่น
	Jasmine	Basmati	Goolarah	YRF9	Pelde	
undecanal	20	23	5	6	6	-
2-undecanone	11	^b	8	9	14	fruity, floral
(E)-2-decenal	20	19	20	30	34	waxy
(E,E)-2,4-nonadienal	18	8	9	6	21	waxy
2-phenylethanol	195	703	318	217	353	sweet, floral
(E,E)-2,4-decadienal	50	16	77	97	150	fatty, waxy
2-tridecanone	tr	tr	tr	tr	2	oily, nutty
2-pentadecanone	67	67	58	95	99	-
4-vinylguaiacol	29	109	81	84	119	unpleasant
4-vinylphenol	67	47	99	72	108	unpleasant
indole	253	91	168	88	102	floral

หมายเหตุ ^a Tentative identified^b Coeluted peak

tr ปริมาณน้อยมาก

ที่มา: Widjaja *et al.* (1996)

จากการศึกษาสารให้กลิ่นสำคัญระหว่างข้าวหอมหุงสุกของประเทศไทย (T), ข้าวหอมพันธุ์ Aychada (A) และ Fidja (F) ของประเทศฝรั่งเศส กับข้าวธรรมดาพันธุ์ Ruille (R) จากการวิเคราะห์ด้วย gas chromatography-olfactometry (GC-O) พบว่ามีสารให้กลิ่น 40 ชนิด รายงานผลเป็นความถี่ของจำนวนครั้งที่ผู้ทดสอบได้รับจากลักษณะกลิ่นเหมือนกัน และที่ retention time เดียวกัน โดยมีผู้ทดสอบทั้งหมด 8 คน ทำการทดสอบคนละ 2 ครั้ง ดังนั้นความถี่ของจำนวนครั้งที่ผู้ทดสอบจะได้กลิ่นต่อสารระเหย 1 ชนิด สูงที่สุด คือ 16 ครั้ง แต่มีสารระเหยแค่ 2 ชนิดที่พบในทุกตัวอย่าง และในทุกซ้ำการทดลอง ได้แก่ 1-octen-3-one ให้ลักษณะกลิ่นเห็ด และ 2AP ให้ลักษณะกลิ่นข้าวหุงสุก (ตารางที่ 4) นอกจากนี้ยังเป็นการยืนยันว่า 2AP เป็นสารให้กลิ่นที่สำคัญในข้าวหอม

แต่สารนี้ก็พบในข้าวธรรมดาด้วยเช่นกัน (Maraval *et al.*, 2008) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Jezussek *et al.*, 2002 ที่รายงานว่า 2AP เป็นสารให้กลิ่นสำคัญในข้าวธรรมดาพันธุ์ Indica แต่มีค่าความเข้มข้นและ FD factor ต่ำ

2AP ไม่ได้เป็นสารให้กลิ่นสำคัญเฉพาะในข้าว แต่ยังเป็นสารให้กลิ่นหลักในใบเตย (*Pandanus amaryllifolius*) (Buttery *et al.*, 1982, 1983; Laksanalamai and Ilangantileke, 1993) ข้าวโพดหวาน (Buttery *et al.*, 1994) ขนมนึ่งข้าวสาลี และขนมนึ่งข้าวไรย์ (Schieberle and Grosch, 1985, 1987; Schieberle, 1991) และข้าวโพดคั่ว (Schieberle, 1991; Karahadian and Johnson, 1993)

ปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดกลิ่นในข้าวหุงสุกมีรายงานว่าเกิดจากการสลายตัวเนื่องจากความร้อน อีกทั้ง coumaric acid และ ferulic acid เกิดขึ้นระหว่างการให้ความร้อนระหว่างการหุงและการกลั่นทำให้เกิดสารประกอบพวก phenol (Yajima *et al.*, 1978) นอกจากนี้ยังเกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) เกิดขึ้นเมื่อน้ำตาลและโปรตีนในข้าวได้รับความร้อนสูงทำให้เกิดสารประกอบพวก pyridine และ pyrazine รวมทั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) ของไขมันทำให้เกิดสารพวก alcohol ของกรดอะมิโนและกรดไขมันทำให้เกิดสารพวก aldehyde ปฏิกิริยาเบต้าออกซิเดชัน (β -oxidation) ของกรดไขมันระหว่างการให้ความร้อนข้าวทำให้เกิด methyl ketone (จินตนา, 2535)

ตารางที่ 4 ชนิดและความถี่ในการได้กลิ่นของสารให้กลิ่นสำคัญในข้าวหุงสุกประกอบด้วย ข้าวหอมพันธุ์ Aychada (A) และ Fidja (F) ประเทศฝรั่งเศส ข้าวหอมประเทศไทย (T) และข้าวธรรมดาพันธุ์ Ruille (R) ที่ได้จากการวิเคราะห์โดย GC-O

RI _{DBWax}	สารให้กลิ่น	ลักษณะกลิ่น	ความถี่ของกลิ่นที่ได้รับ			
			A	F	T	R
1106	hexanal	herbal	0	8	5	6
1200	2-/3-methylbutan-1-ol	herbal/fruity	0	8	0	5
1292	octanal	citrus-like	0	0	0	5
1302	1-octen-3-one	mushroom	15	16	16	15
1334	2-acetyl-1-pyrroline	cooked rice	16	16	16	15
1370	1-hexanol	vegetal	0	6	0	0
1404	3-octen-2-one	mushroom	11	15	11	13
1446	2-octenal/methional	cooked rice/potato	15	15	13	9
1501	decanal	vegetal/fruity/flowery	12	14	12	14
1531	3,5-octadiene-2-one/2-nonenal	dust/cardboard	5	5	9	8
1608	longifolene	vegetal/flowery	5	9	0	6
1625	propanoic acid	vegetal/cheese	0	0	5	0
1633	2-methylpropanoic acid	cheese	10	13	9	11
1676	butanoic acid	sweaty/foot	14	14	15	11
1693	(E,E)-2,4-nonadienal	baked bread/peanut	5	10	8	10
1716	phenylacetaldehyde	flowery/honey	11	10	6	13
1747	2-methylbutanoic acid	cheese/sweaty	10	10	10	10
1784	(E,Z)-2,4-decadienal	dry fruit/flowery	10	9	9	10
1801	pentanoic acid	acid/fatty/plastic	12	14	11	13
1847	hexanoic acid/2-methoxyphenol	animal/pharmaceutical	7	10	12	9
1890	2-phenylethanol	fruity/flowery	5	5	7	8
1944	benzothiazole	rubber/solvent	7	6	6	7
1992	phenol/heptanoic acid	pungent/chemical	13	14	10	14

ตารางที่ 4 (ต่อ)

RI _{DBWax}	สารให้กลิ่น	ลักษณะกลิ่น	ความถี่ของกลิ่นที่ ได้รับ			
			A	F	T	R
2011	unknown	vegetal/fruity/wet	5	8	7	7
2023	γ -nonalactone	sweet/caramel	11	14	14	7
2072	unknown	animal/vegetal	0	9	5	10
2132	γ -decalactone	peach/apricot/sweety	7	5	10	7
2170	2-methoxy-4-vinylphenol	clove/burnt	7	10	6	9
2182	δ -decalactone	flowery/sweety	8	8	6	8
2200	unknown	flowery/chemical	11	10	10	11
2222	nonanoic acid	animal/cheese	8	12	9	10
2247	unknown	vegetable/fruity	0	5	12	0
2272	unknown	plastic	11	10	12	12
2301	2,4-bis(1,1-dimethylethyl)phenol	pharmaceutical	6	11	12	5
2379	4-vinylphenol	phenolic/medidinal	7	11	7	7
2394	unknown	underwood/moss	0	0	0	11
2426	indole	tar	5	5	0	9
2474	3-methylindole	chemical	6	5	7	6
2501	unknown	vanilla	0	6	0	10
2543	vanillin	vanilla	11	14	13	16

ที่มา: Maraval *et al.* (2008)

5.2 สารให้กลิ่นในมันฝรั่งทอด

มันฝรั่งทอดเป็นอาหารที่อาจจะมีสารให้กลิ่นบางชนิดที่คล้ายคลึงกับข้าวผัด เนื่องจากองค์ประกอบหลักคล้ายคลึงกัน คือ คาร์โบไฮเดรต และน้ำมัน Deck *et al.* (1973) ศึกษาสารระเหยจากมันฝรั่งแผ่นทอด (potato chips) โดยทอดมันฝรั่งแผ่นในน้ำมันที่ผสมระหว่างน้ำมันข้าวโพดกับน้ำมันเมล็ดฝ้าย ในอัตราส่วน 1:1 ที่อุณหภูมิ 185 องศาเซลเซียส ทำการสกัดแยกส่วนของสารระเหย พบว่ามีสารระเหยทั้งหมด 53 ชนิด (ตารางที่ 5) ประกอบด้วยสารระเหยที่อาจจะเป็นสารให้กลิ่นรสที่สำคัญในมันฝรั่งแผ่นทอด ได้แก่ สารระเหยพวก pyrazine, 2,4-dienal, phenyl acetaldehyde และ furyl methyl ketone อีกทั้งยังรายงานว่สารระเหยในกลุ่มที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ จะให้กลิ่นมันฝรั่งที่แรง และกลิ่นมันฝรั่งอบ (baked potato) สารระเหยในกลุ่มที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ จะให้กลิ่นคล้ายกะหล่ำปลี และกลิ่นหัวหอม สารในกลุ่ม hydrocarbon จะให้กลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ หรือ กลิ่นน้ำมันก๊าด (kerosene) สารกลุ่ม aldehyde และ ketone จะให้กลิ่นที่สำคัญของกลิ่นมันฝรั่งแผ่นทอด

Wagner and Grosch (1997) ได้ศึกษาสารให้กลิ่นสำคัญในมันฝรั่งทอด (french fried) ผ่านการทอดในน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เวลา 3 นาที แล้วทำการสกัดแยกส่วนของสารระเหย ได้แก่ สารระเหยที่เป็นกรด, สารระเหยที่เป็นเบส และสารระเหยที่เป็นกลาง ซึ่งพบสารระเหยทั้งหมด 48 ชนิด สารระเหยส่วนใหญ่ได้จากการสกัดส่วนที่เป็นเบส หรือกลาง โดยสารที่ให้ลักษณะกลิ่นสำคัญ คือ 3-methylbutanal ให้กลิ่นมอลต์ (malty), methional ให้กลิ่นมันฝรั่งต้ม (boiled potato) และ (*E,E*)-2,4-decadienal ให้กลิ่นทอด (deep-fried) ดังตารางที่ 6 ต่อมา Loon *et al.* (2005) ได้มีการศึกษาสารให้กลิ่นของมันฝรั่งทอดในสภาวะที่บริโภค โดยใช้สภาวะเดียวกับในปากของมนุษย์ ทำการสกัดแยกสารระเหยด้วยวิธี Purge and Trap พบว่ามีสารระเหยทั้งหมด 122 ชนิด โดยพบสารที่ให้กลิ่นสำคัญโดยผู้ทดสอบให้ลักษณะกลิ่นทั้งหมด 41 ลักษณะ และความถี่ของลักษณะกลิ่นที่ได้รับดังตารางที่ 7 โดยส่วนใหญ่แล้วสารที่พบเกิดจากการสลายตัวของน้ำตาล และหรือ ปฏิกิริยาเมลลาร์ด รองลงมาคือเกิดจากการสลายตัวของไขมัน และส่วนน้อยเป็นสารประกอบพวกซัลเฟอร์ อีกทั้งยังพบสารกลุ่ม terpene 1 ชนิด คือ limonene นอกจากนี้ยังพบสารระเหยที่ให้ลักษณะกลิ่นสารเคมี (chemical) หรือ กลิ่นเหงื่อ (sweaty) ได้แก่ pyridine และ 3-methylbutanoic acid ซึ่งไม่พบลักษณะกลิ่นนี้ในการศึกษาของ Wagner and Grosch (1997) ทั้งนี้ อาจเป็นผลจากการใช้วิธีการเตรียมตัวอย่าง และวิธีการแยกสกัดสารระเหยที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 5 สารระเหยในมันฝรั่งแผ่นทอด จากงานของ Deck *et al.* (1973)

สารระเหย	สารระเหย
2,5-dimethyl pyrazine	hexanal
2,6-dimethyl pyrazine	heptanal
2-ethyl pyrazine	2-heptenal
2,3,5-trimethyl pyrazine	2-octenal
2-ethyl-5-methyl pyrazine	benzaldehyde
2-ethyl-3,6-dimethyl pyrazine	(Z)-3-hexenal
2,5-diethyl pyrazine	(E,E)-2,4-heptadienal
pyridine	(E,E)-2,4-decadienal
dimethyl disulfide	furfuraldehyde
benzyl thiobenzoate	phenylacetaldehyde
heptane	cyclopentanone
nonane	furyl methyl ketone
decane	ethanol
undecane	2,6-di-tert-butyl-4-hydroxytoluene
tetradecane	ethyl acetate
2-methyl-1-butene	propyl acetate
1-decyne	butyl acetate
ethylbenzene	diphenyl ether
butylbenzene	methylpropanoic acid
1,2,4-trimethylbenzene	3-methylbutanoic acid
1-ethyl-3,5-dimethylbenzene	butanoic acid
3- <i>p</i> -menthene	pentanoic acid
d-limonene	hexanoic acid
α -terpinene	heptanoic acid
ethanal	octanoic acid
butanal	decanoic acid
pentanal	

ตารางที่ 6 สารให้กลิ่นที่พบในมันฝรั่งทอด จากงานของ Wagner and Grosch (1997)

สารระเหย	RI		ลักษณะกลิ่น	FD factor
	SE-54	FFAP		
3-methylbutanal	648	900	malty	256
2,3-pentanedione	688	1053	buttery	16
hexanal	800	1070	green	16
methional	905	1436	boiled potato	4096
2-acetyl-1-pyrroline	917	1325	roasty, popcorn	64
dimethyltrisulfide	964	1360	cabbage	512
1-octen-3-one	977	1287	mushroom	128
(Z)-1,5-octadien-3-one	983	1362	geranium	32
2,3,5-trimethylpyrazine	1000	1388	roasty, earthy	16
2-acetylpyrazine	1024	1612	roasty	16
phenylacetaldehyde	1038	1620	honey	128
(E)-2-octenal	1059	1412	tallowy, nutty	32
3-ethyl-2,5-dimethylpyrazine	1078	1425	roasty, earthy	512
2-ethyl-3,5-dimethylpyrazine	1083	1438	roasty, earthy	2048
(Z)-3-nonenal	1096	-	cucumber	16
nonanal	1107	1378	fatty, green	64
(Z)-2-nonenal	1150	1487	tallowy, green	512
(E,Z)-2,6-nonadienal	1153	1560	cucumber	32
2,3-diethyl-5-methylpyrazine	1155	1475	roasty, earthy	2048
(E)-2-nonenal	1158	1514	tallowy	256
2-ethenyl-3-ethyl-5-methylpyrazine	1180	1585	earthy	128
2-isobutyl-3-methoxypyrazine	1186	1522	raw potato	64
(E,Z)-2,4-nonadienal	1195	1643	deep-fried	32
dimethyltetrasulfide	1209	-	cabbage	64
(E,E)-2,4-nonadienal	1213	1680	tallowy	64
(Z)-2-decenal	1250	1588	fatty	64

ตารางที่ 6 (ต่อ)

สารระเหย	RI		ลักษณะกลิ่น	FD factor
	SE-54	FFAP		
4-hydroxyoctanoic acid lactone	1259	1915	coconut	32
(E)-2-decenal	1261	1623	fatty	32
trans-4,5-epoxy-(E)-2-nonenal	1280	1876	metallic	32
(E,Z)-2,4-decadienal	1292	1744	deep-fried	512
(E,E)-2,4-decadienal	1317	1791	deep-fried	2048
4-hydroxy-2-nonenoic acid lactone	1344	2070	coconut	32
unknown	1358	-	tallowy	32
4-hydroxynonanoic acid lactone	1364	2018	coconut	16
trans-4,5-epoxy-(E)-2-decenal	1376	1985	metallic	512
acetic acid	-	1421	acidic, pungent	8
butyric acid	-	1618	rancid, sweaty	32
2-/3-methylbutyric acid	-	1656	sweaty	64
3-hydroxy-2-methylpyran-4-one	-	1955	caramel	8
4-hydroxy-2,5-dimethyl-3(2H)-furanone	-	2023	caramel	8192
3-hydroxy-4,5-dimethyl-2(5H)-furanone	-	2190	hydrolysed protein	1024
phenylacetic acid	-	2556	sweet, honey	8
vanillin	-	2569	vanilla	64

ตารางที่ 7 สารให้กลิ่นสำคัญในมันฝรั่งทอด จากงานของ Loon *et al.* (2005)

สารระเหย	RI ^a	ลักษณะกลิ่น	ความถี่ ของกลิ่นที่ ได้รับ
ethanol	<500	chocolate, sweet, flowery, fresh, chemical, paint, glue	4
2-methylpropanal	550	butter, vanilla, caramel, chocolate, cheese, sweat, sweet, flowery, fresh, chemical, paint, glue	10
2,3-butanedione	585	butter, vanilla, caramel	10
3-methylbutanal and 2-methylbutanal	660	butter, vanilla, caramel, chocolate, cheese, sweat, sweet, flowery, fresh, chemical, paint, glue	11
2,3-pentanedione	700	butter, vanilla, caramel	5
2,5-dihydro-3,4-dimethylfuran	730	sweet, flowery, fresh	5
pyridine	745	chemical, paint, glue	10
pyrrole	755	french fries, sweet, flowery, fresh, chemical, paint, glue	4
(E)-methyl-2-butanoate	760	sweet, flowery, fresh	7
2-methylpropanoic acid	775	cheese, sweat, chemical, paint, glue	6
hexanal	800	sweet, flowery, fresh, grass, green	11
1-ethylpyrrole tentative	810	french fries, spicy	7
2-methylpyrrole tentative	845	potato, earthy, cheese, sweat	9
3-methylbutanoic acid and/or 2-2-methylbutanoic acid	855	cheese, sweat, chemical, paint, glue	9
unknown	880	potato, earthy	6
heptanal	900	potato, earthy, sweet, flowery, fresh, grass, green	10

ตารางที่ 7 (ต่อ)

สารระเหย	RI ^a	ลักษณะกลิ่น	ความถี่ ของกลิ่นที่ ได้รับ
2,5-dimethylpyrazine, 2,6-dimethylpyrazine and/or ethylpyrazine	920	french fries, potato, earthy, metal, burnt	10
2,3-dimethylpyrazine	925	baked flavor, nutty	11
vinylpyrazine	935	french fries, baked flavor	5
(E)-2-heptenal	960	potato, earthy	8
dimethyl trisulfide	980	baked flavor, cheese, sweat, spicy, metal, burnt	10
2-pentylfuran	995	sweet, flowery, fresh	5
(E,Z)-2,4-heptadienal	1000	french fries, sweet, flowery, fresh	9
octanal	1005	french fries, sweet, flowery, fresh	10
2-methyl-5-vinylpyrazine	1025	baked flavor, nutty, metal, burnt	7
1-methyl-2-pyrrolidinone	1045	potato, earthy, chemical, paint, glue	5
phenylacetaldehyde	1050	potato, earthy, sweet, flowery, fresh, grass, green, metal, burnt	10
(E)-2-octenal	1060	butter, vanilla, caramel, grass, green, spicy, chemical, paint, glue	9
3-ethyl-2,5-dimethylpyrazine, 2,3-diethyl-pyrazine and/or 2,6-diethylpyrazine	1080	baked flavor, potato, earthy, spicy, chemical, paint, glue	8
5-ethyl-2,3-dimethylpyrazine and/or 2-ethyl-3,5-dimethylpyrazine	1090	baked flavor, sweet, flowery, fresh, spicy	9
2,5-diethylpyrazine	1095	potato, earthy, sweet, flowery, fresh, spicy, chemical, paint, glue, metal, burnt	10

ตารางที่ 7 (ต่อ)

สารระเหย	RI ^a	ลักษณะกลิ่น	ความถี่ ของกลิ่นที่ ได้รับ
nonanal	1105	french fries, grass, green	9
3,5-diethyl-2-methylpyrazine and/or 2,3-diethyl-5-methylpyrazine	1155	potato, earthy, sweet, flowery, fresh, cheese, sweat	7
(E)-2-nonenal	1170	grass, green	10
pyrazine, methylpropenyl isomer	1180	baked flavor, nutty	7
pyrazine, dimethylisobutyl isomer	1200	potato, earthy, sweet, flowery, fresh, grass, green, metal, burnt	6
decanal	1215	grass, green	7
(E,E)-2,4-nonadienal	1230	french fries, baked flavor, nutty, paint	7
pyrazine, isopentylmethyl isomer	1255	baked flavor, potato, earthy, grass, green	4
(E)-2-decenal	1275	baked flavor, sweet, flowery, fresh, butter, vanilla, caramel, metal, burnt	5
(E,E)-2,4-decadienal	1330	french fries	5

หมายเหตุ^a Retention index จากคอลัมน์ MDN-5S

6. สารให้กลิ่นที่เกิดจากกระบวนการให้ความร้อน (Thermal Process Flavor)

6.1 การสลายตัวของน้ำตาล (Sugar Breakdown)

เมื่ออาหารทุกชนิดได้รับความร้อนจะมีการสูญเสีย น้ำ มีการสลายตัว และมีการรวมตัวกันของหมู่อะมิโนกับสารประกอบรีดิวซิง พัฒนาเป็นสารประกอบเชิงซ้อนมีสีเหลืองจนถึงสีน้ำตาลและน้ำตาลแดง และทำให้อาหารมีกลิ่นและรสชาติที่เฉพาะ (นิธิยา, 2549) การให้ความร้อนคาร์โบไฮเดรตจะเกิดสารประกอบพวกอะโรมาติก รวมทั้ง aldehyde, ketone, dicarbonyl เช่นเดียวกับสารประกอบเฮเทอโรไซคลิกที่มีออกซิเจนประกอบอยู่ เช่น furan, dihydrofuranone และ pyran โดยผ่านปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชัน และ มีการสูญเสีย น้ำ (Parliment *et al.*, 1989)

ปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชัน เป็นการให้ความร้อนสูงสลายโมเลกุลของน้ำตาลให้แยกออกและเกิดพอลิเมอร์เซชันของสารประกอบคาร์บอนได้เป็นสารสีน้ำตาล ปฏิกิริยานี้สารเริ่มต้นจะเป็นน้ำตาลเท่านั้น (นิธิยา, 2549) เมื่อให้ความร้อนน้ำตาลที่อุณหภูมิ 150-180 องศาเซลเซียส น้ำจะหลุดออกจากโมเลกุลน้ำตาลเกิดเป็น anhydride และเกิดการสูญเสียน้ำมากขึ้น จากผลดังกล่าวทำให้เกิด furfural จากน้ำตาลเพนโทส หรือ 5-hydroxymethylfurfural จากน้ำตาลเฮกโซส (Fisher and Scott, 1997)

ซึ่งกระบวนการผลิตคาราเมลในอุตสาหกรรม จะทำโดยให้ความร้อนน้ำตาลซูโครสที่ผสมรวมกับน้ำ และกรดซิตริก ที่อุณหภูมิ 195 องศาเซลเซียส (Pons *et al.*, 1991) โดยกลิ่นและกลิ่นรสที่ได้ นั้น เป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชัน เมื่อให้ความร้อนน้ำตาลซูโครส จะได้ทั้งกลิ่น และกลิ่นรสที่ต้องการกับไม่ต้องการ ซึ่งกลิ่นที่ไม่ต้องการ คือ กลิ่นไหม้ (burnt), กลิ่นขม (bitter) และกลิ่นจุนรุนแรง (acid) (Monte and Maga, 1981) สารระเหยที่เกิดจากปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชันนั้นมีหลายกลุ่ม ยกตัวอย่างดังต่อไปนี้ สารระเหยกลุ่ม aldehyde เช่น acetaldehyde, propionaldehyde, butyraldehyde, valeraldehyde และ acrolein สารระเหยกลุ่ม ketone เช่น acetone, methyl ethyl ketone และ methyl propyl ketone สารระเหยกลุ่ม furan เช่น furan, 2-methylfuran และ 2,5-dimethylfuran สารระเหยกลุ่มกรด เช่น formic, acetic และ propionic acid (Bryce and Greenwood, 1963)

นอกจากนี้การสลายตัวของน้ำตาลโดยตรงจากความร้อนทำให้เกิดสารให้กลิ่นที่มี methyl enolone ในโครงสร้างเคมี เช่น furaneol, cyclotene, maltol, isomaltol และ maple lactone เป็นต้น (Eichner *et al.*, 1996) โดยกลิ่นใหม่ของน้ำตาลนั้นจะเป็นสารพวก maltol, isomaltol ซึ่งมีลักษณะกลิ่นน้ำตาลไหม้ กลิ่นหวาน และกลิ่นคาราเมล (Scarpellino and Soukup, 1993) อีกทั้งมีรายงานเกี่ยวกับการให้ความร้อนน้ำเชื่อมเบิร์ช (Birch syrup) พบว่าเมื่อให้ความร้อนสูงขึ้นจะมีสารระเหยที่เป็นอนุพันธ์ของ furan เกิดขึ้น เช่น 2-furanmetanol, 3-methyl-2(5H)-furanone และ 5-methyl-2-(5H)-furanone ทำให้เกิดกลิ่นใหม่เพิ่มขึ้น (Kallio, 1989)

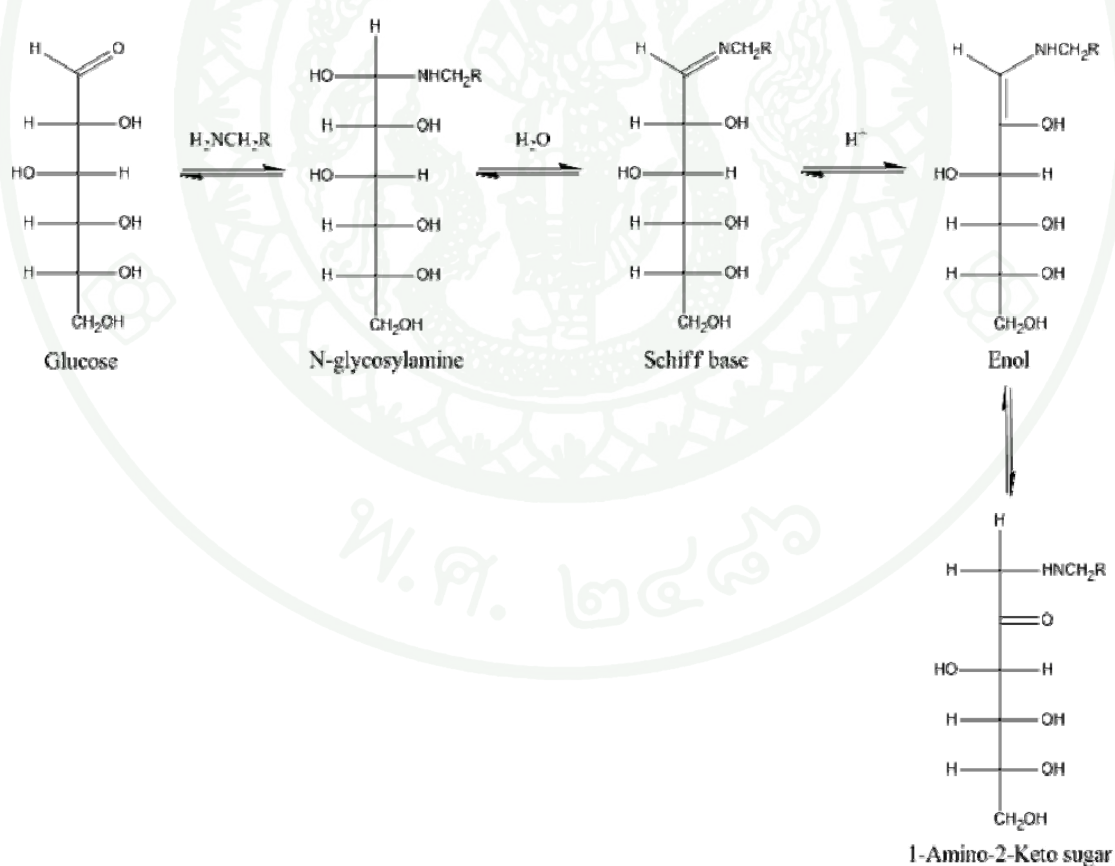
Johnson *et al.* (1969) ศึกษาสารระเหยที่เกิดจากปฏิกิริยาไพโรไลซิสของน้ำตาลซูโครส พบสารทั้งหมด 26 ชนิด ได้แก่ acetone, γ -butyrolactone, 2-butanone, furfural, 2-cyclopenten-1-one, 5-methyl-2,5H-furanone, γ -valerolactone, 2,3-pentanedione, phenol, 2-acetofuran, 5-methylfurfural, 5-hydroxymethylfurfural, maltol, 2,5-dimethylfuran, 2-methyl-2-cyclopenten-1-one, 2-methyl-4-cyclopenten-1-one, 2-hydroxy-3-methyl-2-cyclopenten-1-one, 3-hexen-2-one, (Z)-4-hexen-2-one, (E)-4-hexen-2-one, 5-hexen-2-one, 2-methylcyclopentanone, 3-methylcyclopentanone, 2,5-hexanedione, 2,5-dimethyl-3-oxotetrahydrofuran และ 5-ethyl-3-oxotetrahydrofuran โดยทำการสกัดสารระเหยแยกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่มีจุดเดือดสูงกว่าพบว่า 5-hydroxymethylfurfural เป็นสารหลัก ส่วนสารที่มีจุดเดือดต่ำพบว่า furfural เป็นสารหลัก นอกจากนี้ 2-cyclopenten-1-one และ 2,3-pentanedione ยังพบในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาไพโรไลซิสของน้ำตาลกลูโคสอีกด้วย (Heynes *et al.*, 1966)

6.2 การสลายตัวของกรดอะมิโน (Amino Acid Breakdown)

6.2.1 ไพโรไลซิส (pyrolysis) ของโปรตีน เมื่อโปรตีนได้รับความร้อนจะเกิดการสลายตัวของกรดอะมิโน และเปปไทด์ ไพโรไลซิสจะเกิดที่อุณหภูมิสูงกว่าการปรุงอาหารทั่วไป โดยจะเกิดการกำจัดน้ำออกไปเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นกว่าจุดเดือดของน้ำ และเมื่อเกิด decarboxylation และ deamination ของกรดอะมิโน จะเกิดสารพวก aldehydes, hydrocarbons, nitriles และ amines (Fisher and Scott, 1997) ซึ่งสารที่ได้จะขึ้นกับชนิดของสารตั้งต้นและอุณหภูมิที่ใช้ ทางด้านอาหาร อุณหภูมิสูงกว่า 300 องศาเซลเซียส จะก่อให้เกิดสารประกอบที่เป็นอันตรายได้ โดยเฉพาะสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (polycyclic aromatic hydrocarbons) (Vries, 1997)

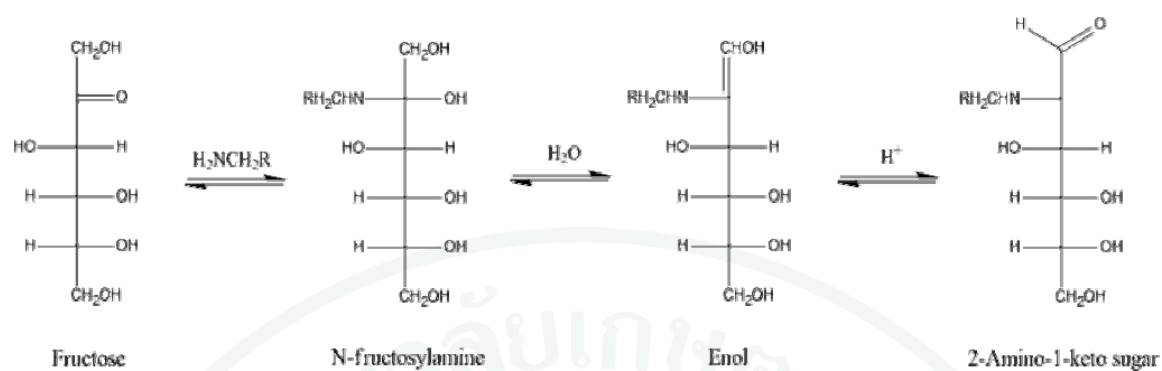
6.2.2 ปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard Reaction) ปฏิกิริยาเมลลาร์ดเป็นปฏิกิริยาที่มีความสำคัญต่อกลิ่นของอาหารที่ผ่านความร้อน สารตั้งต้นของปฏิกิริยาเมลลาร์ด ได้แก่ น้ำตาลรีดิวซ์และกรดอะมิโนเมื่อได้รับความร้อนจะเกิดการรวมตัวกันของหมู่คาร์บอนิลและหมู่อะมิโนทำให้เกิดกลิ่นและสีน้ำตาลในอาหาร (นิธิยา, 2549)

ขั้นแรกของปฏิกิริยาเมลลาร์ด เริ่มจากการรวมตัวกันของหมู่คาร์บอนิลและหมู่อะมิโน จากนั้นน้ำจะถูกดึงออกจากโมเลกุลได้ Schiff's base และเกิด cyclization ได้เป็น *N*-substituted aldosylamine และเปลี่ยนไปเป็น 1-amino-2-keto ปฏิกิริยานี้เริ่มจากน้ำตาลอัลโดส เช่น น้ำตาลกลูโคส เรียกว่า Amadori rearrangement (ภาพที่ 1) แต่ถ้าเริ่มจากน้ำตาลคีโตส เช่น น้ำตาลฟรุกโตส จะเกิดเป็น 2-amino-1-keto เรียกว่า Heyns rearrangement (ภาพที่ 2) อย่างไรก็ตามในขั้นแรกนี้จะไม่เกิดสารให้กลิ่น แต่จะเป็นสารมัธยันต์ (intermediate) ที่สำคัญต่อการเกิดสารให้กลิ่นในภายหลัง (Fisher and Scott, 1997)



ภาพที่ 1 Amadori rearrangement

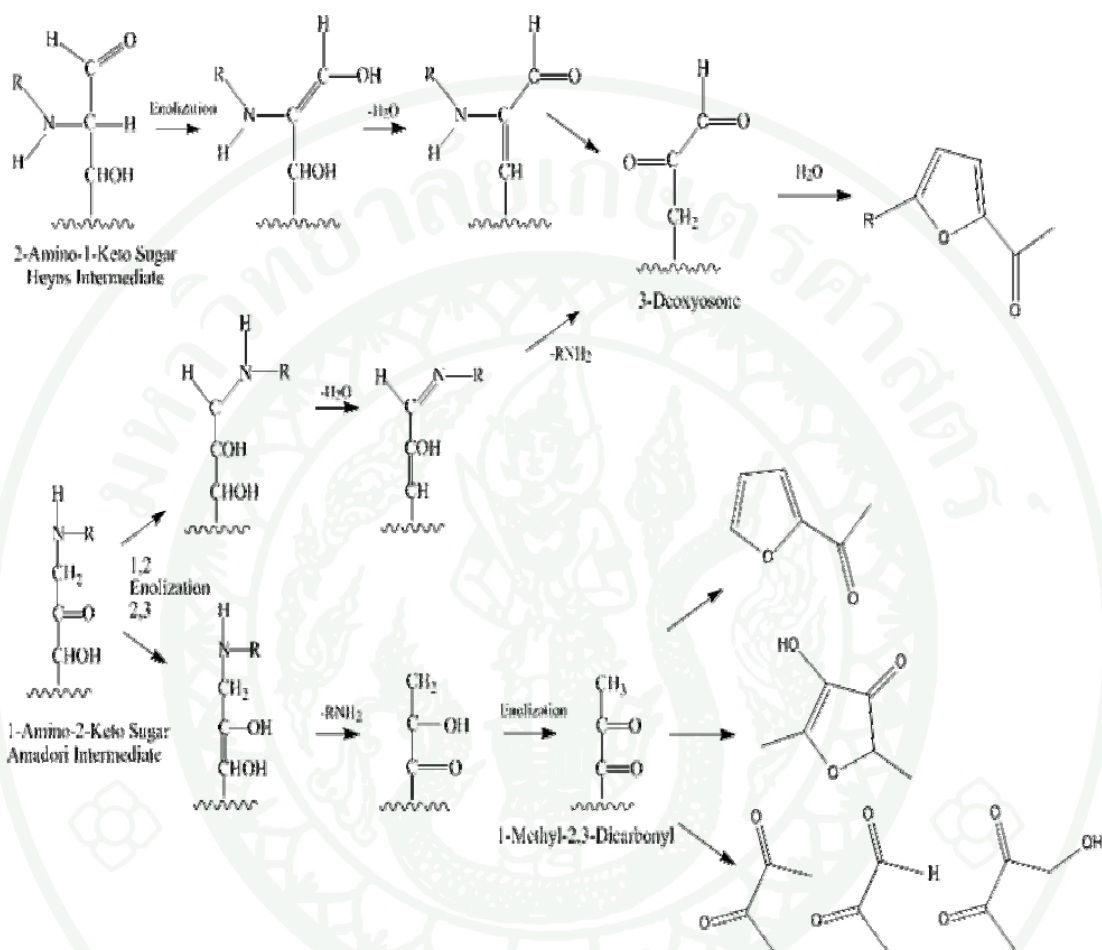
ที่มา: ดัดแปลงจาก Ledl and Schleicher (1990)



ภาพที่ 2 Heyns rearrangement

ที่มา: ดัดแปลงจาก Ledl and Schleicher (1990)

จากนั้นจะเกิด dehydration และ deamination ซึ่งจะได้สารพวก furan และ dicarbonyl ดังภาพที่ 3

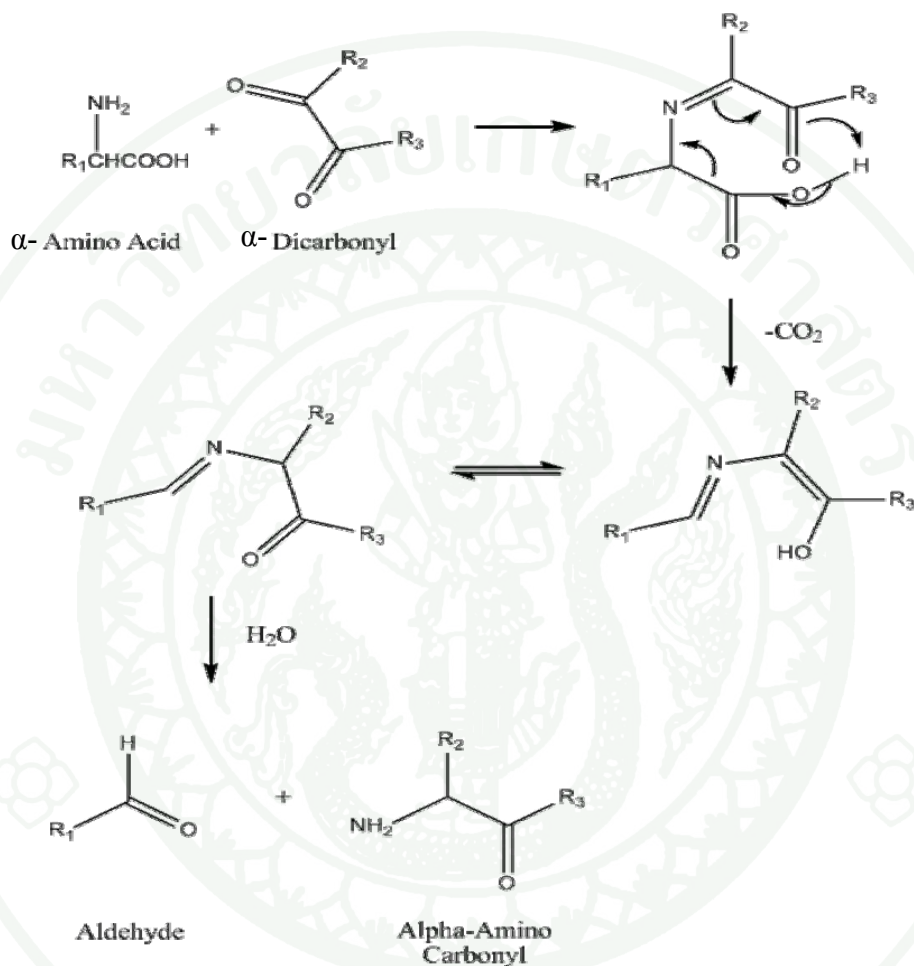


ภาพที่ 3 การเกิดสาร furan และ dicarbonyl จากสารมัธยันต์ของ Amadori และ Heyns rearrangement

ที่มา: Fisher and Scott (1997)

Strecker degradation เป็นปฏิกิริยาที่สลายตัวของกรดอะมิโนที่ตำแหน่งคาร์บอนิล โดยเกิดปฏิกิริยาระหว่างกรดอะมิโนและสารประกอบ α -dicarbonyl ซึ่งกรดอะมิโนจะทำปฏิกิริยา deamination และ decarboxylation จะได้ aldehyde ที่ประกอบด้วยคาร์บอนอะตอมน้อยกว่ากรดอะมิโน และ α -aminoketone ดังเดิม (ภาพที่ 4) จะเป็นสารมัธยันต์ที่สำคัญในการเกิด

สารประกอบพวกเฮเทอโรไซคลิก รวมถึง pyrazine, oxazole และ thiazole (Fisher and Scott, 1997) นอกจากนี้ pyrazine ยังเป็นสารที่สำคัญต่อกลิ่นรสของอาหารที่ผ่านความร้อน โดยเฉพาะที่อุณหภูมิสูง เช่น กาแฟ, ช็อกโกแลต, รัญพืช และ เนื้อสัตว์ อีกทั้งยังมีความสำคัญต่อกลิ่นรสของมันฝรั่งด้วย (Acree and Teranishi, 1993)



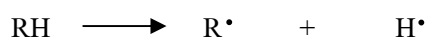
ภาพที่ 4 ปฏิกริยา Strecker degradation

ที่มา: Fisher and Scott (1997)

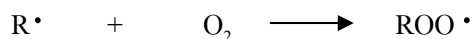
6.3 การสลายตัวของไขมัน (Lipid Thermal Breakdown)

กลิ่นหืน (rancid) ของไขมันและน้ำมันเกิดจาก autoxidation ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมี 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. Initiation เป็นขั้นตอนการเกิดอนุมูลอิสระ (free radical)



2. Propagation ออกซิเจนจะทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระที่ได้จากขั้นแรก แล้วเกิดเป็น fatty acid hydroperoxides

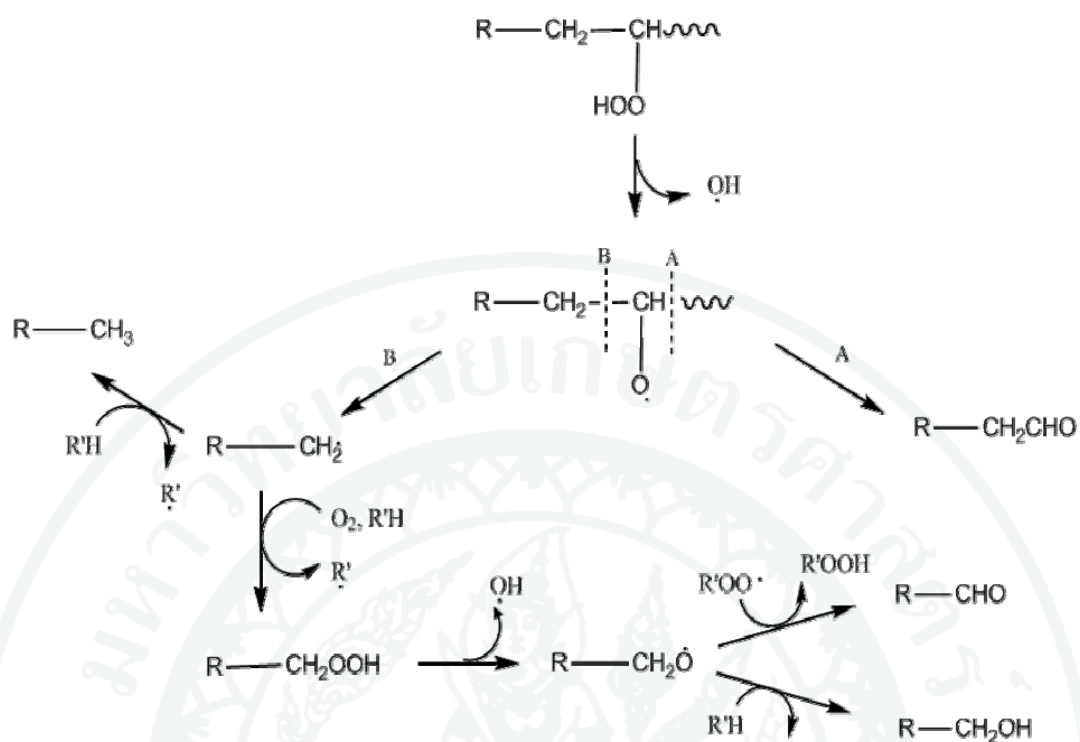


3. Termination เป็นปฏิกิริยาสุดท้ายที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นไม่ได้เป็นอนุมูลอิสระ (non-radical products)



การสลายตัวเนื่องจากการเกิดออกซิเดชันของไขมันไม่อิ่มตัว ทำให้เกิดสารมัธยันต์ hydroperoxide (Frankel, 1980) การแตกตัวของ hydroperoxide (ภาพที่ 5) จะทำให้เกิดอนุมูลอิสระของ alkoxy และ hydroxy สารระเหยที่ได้นั้นจะขึ้นอยู่กับสารที่ประกอบอยู่ในสาย alkyl และตำแหน่งการแตกของสาย (ตำแหน่ง A หรือ B) นอกจากนี้ถ้าในสาย alkyl มีพันธะคู่ประกอบอยู่ 1 คู่หรือมากกว่า จะทำให้สารที่ได้มีพันธะคู่ประกอบอยู่ด้วย แต่ท้ายที่สุดแล้วผลิตภัณฑ์จะมีความซับซ้อนเนื่องจากสามารถเกิดออกซิเดชันของสารที่ไม่อิ่มตัวได้ (Shahidi, 1994) จากสารมัธยันต์นี้ จะทำให้เกิดอนุมูลอิสระ ซึ่งจะทำให้เกิดปฏิกิริยาเกิดเป็นสารระเหย เช่น alcohol, aldehyde, ketone และ สารประกอบพวกอะโรมาติก (Grosch, 1982)

จากการศึกษาเกี่ยวกับสารระเหยในน้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันข้าวโพด และน้ำมันหมูที่ผ่านการผัดโดยการให้ความร้อนที่ 200 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 นาที แล้วทำการเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส สกัดโดยใช้ diethyl ether กับ pentane ในอัตราส่วน 1:1 และวิเคราะห์สารระเหยโดยใช้ gas chromatography – mass spectrometry (GC - MS) พบว่าน้ำมันทั้ง 3 ชนิดที่ 0 สัปดาห์มีสารระเหยทั้งหมด 40 ชนิด โดยมีสารระเหยในกลุ่ม aldehyde มากที่สุด รองลงมาคือสารระเหยพวกกรด และยังมีสารระเหยในกลุ่ม ketone และ furan ดังแสดงในตารางที่ 8 และพบว่าหลังจากเก็บน้ำมันที่ผ่านความร้อนไว้ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส จะมีสารระเหยหลักในกลุ่ม aldehyde ได้แก่ hexanal, (E)-2-heptenal, (E)-2-octenal และ 2,4-decadienal (Wu and Chen, 1992)



ภาพที่ 5 การแตกตัวของ lipid hydroperoxides

ที่มา: Shahidi (1994)

ตารางที่ 8 สารระเหยของน้ำมันชนิดต่างๆ ที่ผ่านการให้ความร้อนโดยการผัด

สารระเหย	ความเข้มข้น (นาโนกรัม/กรัม)		
	น้ำมันถั่วเหลือง	น้ำมันข้าวโพด	น้ำมันหมู
ethanal	77.30	41.20	151.90
<i>n</i> -propanal	67.00	259.30	n.d. ^a
(<i>E</i>)-2-propenal	12.40	n.d. ^a	n.d. ^a
ethyl acetate	141.50	141.00	72.80
<i>n</i> -pentanal	241.80	456.70	580.00
<i>n</i> -hexanal	1,220.00	2,830.00	2,470.00
(<i>E</i>)-2-pentenal	218.60	n.d. ^a	81.30

ตารางที่ 8 (ต่อ)

สารระเหย	ความเข้มข้น (นาโนกรัม/กรัม)		
	น้ำมันถั่วเหลือง	น้ำมันข้าวโพด	น้ำมันหมู
1-penten-3-ol	204.50	41.90	50.10
2-heptanone	66.20	261.50	1,063.00
2-pentyl furan	209.10	913.30	643.30
(E)-2-hexenal	320.40	496.70	430.00
<i>n</i> -pentanol	426.70	1,280.00	873.30
2-octanone	1,673.30	257.00	1,033.30
(Z)-2-heptenal	34.70	115.30	215.80
(Z)-2-penten-1-ol	139.50	104.50	316.80
(E)-2-heptenal	4,316.70	8,480.00	6,190.00
<i>n</i> -hexanol	n.d. ^a	129.00	72.50
<i>n</i> -nonanal	826.70	2,960.00	4,906.60
(Z)-2-octenal	77.20	410.10	353.30
3-octen-2-one	15.60	186.30	237.30
(E)-2-octenal	383.30	2,093.30	1,266.60
1-octen-3-ol	1,280.00	2,480.00	2,040.00
<i>n</i> -heptanol	29.00	115.60	320.10
(E,Z)-2,4-heptadienal	760.00	221.30	446.70
(E,E)-2,4-heptadienal	2,346.60	720.00	1,570.00
<i>n</i> -propanoic acid	209.10	n.d. ^a	n.d. ^a
(E)-2-nonenal	75.00	208.40	483.30
3,5-octadien-2-one	46.80	42.50	34.50
(E)-2-decenal	120.40	780.00	n.d. ^a
2,3-octadione	36.80	132.50	1,376.70
(E,Z)-2,4-nonadienal	n.d. ^a	49.50	n.d. ^a
(E,E)-2,4-nonadienal	38.90	209.80	n.d. ^a
<i>n</i> -pentanoic acid	n.d. ^a	13.60	22.20

ตารางที่ 8 (ต่อ)

สารระเหย	ความเข้มข้น 10 นาโนกรัม/กรัม		
	น้ำมันถั่วเหลือง	น้ำมันข้าวโพด	น้ำมันหมู
(E)-2-undecenal	62.20	443.30	873.30
(E,Z)-2,4-decadienal	174.50	2,306.70	420.00
(Z,Z)-2,4-decadienal	n.d. ^a	73.70	28.90
(E,E)-2,4-decadienal	1,793.30	11,960.00	4,420.00
n-hexanoic acid	17.40	117.30	140.30
(E)-2-pentenoic acid	n.d. ^a	77.60	44.00
(E)-2-octenoic acid	n.d. ^a	277.80	n.d. ^a

หมายเหตุ ^a n.d. : not detectable

ที่มา: Wu and Chen (1992)

Alencar *et al.* (1983) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับสารระเหยที่ได้จากน้ำมันพืชในประเทศบราซิล ได้แก่ น้ำมัน babassu (*Orbygnya martiana*), น้ำมัน piqui (*Caryocar coriaceum*) และ น้ำมันปาล์ม (*Elaeis guineensis*) ซึ่งผ่านความร้อนที่อุณหภูมิ 300-500 องศาเซลเซียส เกิดปฏิกิริยาไพโรไลซิส ทำให้ได้สารระเหยพวก *n*-alkane และ 1-alkene (ตารางที่ 9) โดยจะขึ้นอยู่กับปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัว ทั้งนี้คือ กรดโอเลอิกเป็นสารหลักที่ประกอบอยู่ในน้ำมันชนิดนั้นๆ ดังนั้นจึงทำการศึกษาต่อโดยเปรียบเทียบน้ำมัน piqui ซึ่งมีปริมาณกรดโอเลอิกประกอบอยู่สูง (49%) กับ กรดโอเลอิก ที่เกิดปฏิกิริยาไพโรไลซิส (ตารางที่ 10) แสดงให้เห็นว่ายังมีปริมาณของกรดโอเลอิกประกอบอยู่สูงจะทำให้เกิดสารพวก alkylcyclopentane และ alkylcyclohexane เป็นส่วนประกอบรอง (Minor Constituents) ขึ้นด้วย

ตารางที่ 9 สารระเหยในน้ำมัน babassu, น้ำมัน piqui และน้ำมันปาล์ม จากปฏิกิริยาไพโรไลซิส

สารระเหย	Kovat's indexes ^a	Yields, % (v/v)		
		babassu	piqui	palm
1-hexene	584	-	1.68	-
<i>n</i> -hexane	600	1.03	-	4.44
1-heptene	686	-	3.57	-
<i>n</i> -heptane	700	2.64	5.30	2.62
1-octene	788	1.77	3.39	-
<i>n</i> -octane	800	2.49	4.01	3.70
1-nonene	855	2.95	2.08	1.63
<i>n</i> -nonane	900	6.27	2.98	3.81
1-decene	987	6.29	1.23	1.14
<i>n</i> -decane	1000	5.84	1.92	1.44
1-undecene	1086	4.32	1.71	1.17
<i>n</i> -undecane	1100	18.44	1.93	1.66
1-dodecene	1188	6.78	2.02	1.63
<i>n</i> -dodecane	1200	7.29	2.93	3.90
1-tridecene	1288	3.91	3.66	4.83
<i>n</i> -tridecane	1300	14.50	4.67	10.08
1-tetradecene	1389	-	4.35	6.31
<i>n</i> -tetradecane	1400	3.55	5.43	14.51
1-pentadecene	1488	-	2.60	2.82
<i>n</i> -pentadecane	1500	5.36	8.03	23.80
<i>n</i> -hexadecane	1600	-	2.27	3.41
<i>n</i> -heptadecane	1700	-	2.02	2.65
<i>n</i> -octadecane	1800	-	0.42	-

หมายเหตุ ^a Kovat's indexes จากคอลัมน์ methyl silicone

ที่มา: Alencar *et al.* (1983)

ตารางที่ 10 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาไพโรไลซิสของกรดโอเลอิก และน้ำมัน piqui

สารระเหย	Kovat's indexes ^a	Yields, % (v/v)	
		oleic acid	piqui
methylcyclohexane	715	0.71	0.31
ethylcyclopentene	755	-	0.23
methylcyclohexene	760	0.71	0.31
ethylcyclohexane	825	0.31	0.20
ethylcyclohexene	860	0.39	0.20
<i>n</i> -propylcyclohexane	922	-	0.15
<i>n</i> -propylcyclohexene	938	-	0.13
<i>n</i> -butylcyclopentene	940	4.18	-
<i>n</i> -butylcyclohexane	1028	0.28	0.13
<i>n</i> -amylcyclopentane	1031	-	0.15
<i>n</i> -amylcyclopentene	1038	0.47	-
<i>n</i> -butylcyclohexene	1042	0.23	0.21
<i>n</i> -amylcyclohexane	1122	0.20	-
<i>n</i> -amylcyclohexene	1135	-	0.12
<i>n</i> -hexylcyclopentane	1132	0.25	0.21
<i>n</i> -hexylcyclopentene	1137	0.20	-
<i>n</i> -hexylcyclohexane	1229	0.63	0.17
<i>n</i> -heptylcyclopentene	1240	0.25	-
<i>n</i> -hexylcyclohexene	1242	0.36	0.18
<i>n</i> -octylcyclopentane	1337	-	0.35
<i>n</i> -octylcyclohexane	1437	0.98	-
<i>n</i> -nonylcyclohexane	1535	1.12	0.89

หมายเหตุ ^a Kovat's indexes จากคอลัมน์ methyl silicone

ที่มา: Alencer *et al.* (1983)

7. สารให้กลิ่นควัน

กลิ่นควันเป็นกลิ่นที่มีความใกล้เคียงกับกลิ่น wok flavor โดยกลิ่นควันที่ใช้ในการรมควันอาหารได้มาจากการเผาไหม้ของไม้ด้วยความร้อน จนเกิดเป็นควันโดยองค์ประกอบของไม้มีผลต่อการเผาไหม้และองค์ประกอบของควันที่เกิดขึ้น (Maga, 1988) มีการวิเคราะห์สารให้กลิ่นควันได้มากกว่า 400 ชนิด ซึ่งเป็นกรด 28 ชนิด alcohol 22 ชนิด carbonyl 131 ชนิด furan 46 ชนิด lactone 16 ชนิด phenol 75 ชนิด และสารอื่นๆอีก 50 ชนิด (Maga, 1992) ลักษณะของกลิ่นควันโดยทั่วไปเป็นผลมาจากสารประกอบหลายประเภท ซึ่งแต่ละประเภทจะให้กลิ่นรสที่แตกต่างกัน โดยมีสารประกอบ phenol เป็นสารให้กลิ่นควันที่สำคัญ สารประกอบ carbonyl มีความสำคัญต่อสีและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ (Tilgner, 1977)

ในปัจจุบันมีการใช้กลิ่นควันเหลว มาเพิ่มกลิ่นรสในผลิตภัณฑ์ต่างๆ ซึ่งทำให้กลิ่นรสของอาหารมีความสม่ำเสมอมากกว่าการรมควันอาหารโดยตรง และยังมีการยืนยันว่าเมื่อนำกลิ่นควันเหลวไปใช้ในอุตสาหกรรมเนื้อสัตว์พบว่าผลิตภัณฑ์มีความสม่ำเสมอไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง โดยมีปัจจัยสำคัญคือ กรรมวิธีการผลิต เครื่องมือที่ใช้ในการผลิต และสภาวะแวดล้อมที่ผลิต (Hermay and Patzett, 1994) จึงมีการศึกษาสารระเหยของกลิ่นควันเหลวจากไม้โอ๊ค โดยทำการศึกษาระเหยที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลาย dichloromethane และส่วนที่เหลือจากการสกัด พบว่า สารระเหยในส่วนที่สกัดได้ด้วยตัวทำละลาย dichloromethane มีปริมาณสูง ซึ่งเป็นสารระเหยในกลุ่มที่ได้มาจากระบวนการสลายคาร์โบไฮเดรตด้วยความร้อน (carbohydrate thermal degradation) ได้แก่ กลุ่ม aldehyde, ketone, diketone, alcohol, ester, acid, furan, pyran และอนุพันธ์ อีกส่วนได้มาจากระบวนการสลายตัวของลิกนินด้วยความร้อนสูง (lignin thermal degradation) ได้แก่ กลุ่ม syringol, guaiacol, phenol, อนุพันธ์ของ pyrocatechol, alkyl aryl ether ส่วนที่เหลือจากการสกัดด้วยตัวทำละลาย ได้แก่ สารประกอบพวก furan, pyran และอนุพันธ์, อนุพันธ์ของ pyrocatechol, อนุพันธ์ของคาร์โบไฮเดรต และอนุพันธ์ของสารประเภท nitrogenated (Guillen and Ibargoitia, 2002)

นอกจากนี้มีการศึกษาสารให้กลิ่นสำคัญของปลาแซลมอนรมควัน พบว่าสารประกอบ guaiacol, 4-methylguaiacol, syringol และ cresol ให้ลักษณะเฉพาะของกลิ่นควัน (smoke) และกลิ่นไหม้ (burnt) นอกจากนี้ยังพบว่า สารประกอบ pyridine และ heterocyclic nitrogen ให้ลักษณะกลิ่นย่าง (roast) กลิ่นสุก (cook) และกลิ่นควัน (Varlet *et al.*, 2006)

ได้มีการศึกษาสารให้กลิ่นของขนมไทยที่ใช้ควันของเทียนอบ โดยควันของเทียนอบ จะทำให้เกิดกลิ่นควัน และกลิ่นรสที่เฉพาะตัวขึ้น ในการทดลองได้เปรียบเทียบสารให้กลิ่นของ ขนม น้ำดอกไม้ และขนมกลีบลำดวน ที่ผ่านการให้ควันของเทียนอบและไม่ผ่านการให้ควันของ เทียนอบ พบว่าสารให้กลิ่นที่พบเฉพาะในขนมที่ผ่านการให้ควันของเทียนอบที่มีค่า FD factor สูง ได้แก่ 1-hexen-3-one, 1-hepten-3-one, 1-octen-3-one, 8-nonenal, guaiacol, octanal, 7-octenal, 1-nonen-3-one, (E)-2-octenal, (Z)-nonenal, (E)-2-nonenal, (E)-2-undecenal และ vanillin อีกทั้งจากการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสพบว่าขนมที่ผ่านการให้ควันของเทียนอบ จะมีลักษณะ กลิ่นของพืชตระกูลส้ม (citrusy), กลิ่นดอกไม้ (floral) และกลิ่นควันมากกว่าขนมที่ไม่ผ่านการให้ ควันของเทียนอบ (Watcharananun *et al.*, 2009)

Process flavors นั้นเป็นกลิ่นรสที่มีความซับซ้อน และประกอบด้วยสารระเหย หลากหลายกลุ่ม โดยสิ่งที่ต้องการในการศึกษา คือ ทำให้กลิ่นรสเหมือนการทำอาหารที่บ้าน หรือ การเตรียมอาหารด้วยกระบวนการทางการค้ามากที่สุด (Manley *et al.*, 1999) การที่จะสรุปว่าสารที่ ให้กลิ่นสำคัญของอาหารที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อน มาจากสารระเหยชนิดใดชนิดหนึ่งนั้น เป็นเรื่องที่ค่อนข้างยาก เนื่องจากมีสารระเหยเกิดขึ้นจำนวนมาก และสารระเหยแต่ละชนิดยังมีค่า threshold ที่แตกต่างกันอีกด้วย (Nawar *et al.*, 1988)

8. การสกัดสารระเหยด้วยตัวทำละลาย (Direct Solvent Extraction)

การสกัดโดยตรงด้วยตัวทำละลายจะใช้ในการแยกสารระเหยออกจากตัวอย่างอาหาร โดย เทคนิคนี้จะอาศัยคุณสมบัติของความสามารถในการละลายที่แตกต่างกันของสารระเหยในตัวทำ ละลาย ถ้าต้องการศึกษาสารระเหยทั้งหมดอาจจะไม่จำเป็นต้องใช้ตัวทำละลายที่จำเพาะ แต่ถ้า ต้องการศึกษาสารระเหยประเภทใดประเภทหนึ่งจะต้องเลือกตัวทำละลายที่สามารถแยกสารระเหย ได้ดี และไม่ละลายสารอื่นๆ ที่ไม่ต้องการออกมา

การเลือกตัวทำละลายที่จะใช้ควรพิจารณาปัจจัย ดังนี้

- ควรพิจารณาถึงลักษณะองค์ประกอบของตัวอย่างอาหารว่าเป็นของแข็งหรือของเหลว และปริมาณตัวอย่างที่จะใช้ในการสกัด ในกรณีที่ตัวอย่างมีปริมาณน้อยอาจเลือกกระบวนการสกัด แบบครั้งคราว (batch) หรือในกรณีที่ตัวอย่างมีปริมาณมากควรเลือกการสกัดแบบต่อเนื่อง

- ต้องพิจารณาคุณสมบัติของตัวทำละลายด้วย เช่น คุณสมบัติความมีขั้ว โดยควรเลือกตัวทำละลายที่มีค่าความเป็นขั้วใกล้เคียงกับกลุ่มสารระเหยที่ต้องการ เพื่อที่จะสกัดสารเหล่านั้นออกมาให้ได้มากที่สุด

- พิจารณาจุดเดือดของสารระเหยในตัวอย่างอาหารด้วย โดยทั่วไปการสกัดมักจะใช้ตัวทำละลายที่มีจุดเดือดต่ำ ซึ่งช่วยให้สามารถกลั่นแยกออกได้ง่ายหลังการสกัดในกรณีที่ต้องการทำให้สารละลายเข้มข้นขึ้น อีกทั้งต้องเลือกใช้ตัวทำละลายที่มีความบริสุทธิ์สูงสำหรับสกัด เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดสารแปลกปลอมรบกวนการวิเคราะห์ (Leahy and Reineccius, 1984; Reineccius, 1994; Parliament, 2002)

ดังนั้นในการสกัดจะต้องวิเคราะห์ blank (เฉพาะตัวทำละลาย) เสมอ เพื่อที่จะได้ทราบถึงสิ่งแปลกปลอมที่ปนอยู่ในตัวทำละลาย (Reineccius, 2006; Cobb and Bursey, 1978) ได้มีการศึกษาการสกัดตัวอย่างโดยใช้ตัวทำละลายที่แตกต่างกัน พบว่าตัวทำละลายที่แตกต่างกันจะทำให้สกัดสารระเหยออกมามีชนิดที่แตกต่างกัน อีกทั้งยังมีปริมาณสารระเหยที่แตกต่างกันด้วย

การสกัดด้วยตัวทำละลายให้เกิดประสิทธิภาพสูงนั้น จำเป็นต้องทำการสกัดซ้ำหลายครั้ง (multiple extractions) โดยในแต่ละรอบที่สกัดควรใช้ปริมาณตัวทำละลายในปริมาณที่จำกัด ซึ่งจะให้ประสิทธิภาพสูงกว่าการสกัดครั้งเดียวด้วยตัวทำละลายปริมาณมาก (Reineccius, 1994)

นอกจากนี้สารสกัดมักจะมีน้ำปนอยู่บ้างจึงต้องกำจัดออก โดยใช้สารดูดน้ำหรือทำให้น้ำแข็งตัว สารที่ใช้ดูดน้ำนั้นต้องไม่ทำปฏิกิริยา เช่น แคลเซียมซัลเฟต หรือโซเดียมซัลเฟต หากเป็นน้ำปริมาณเล็กน้อยที่ปนมาหลังการสกัด สามารถกำจัดได้โดยการจุ่มลงในไนโตรเจนเหลวชั่วขณะหนึ่ง และค่อยๆ รินเอาสารละลายออกมา (เกรียงศักดิ์, 2531)

ข้อจำกัดของการสกัดโดยตรงด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ จะเหมาะกับการสกัดกลั่นของตัวอย่างอาหารที่ไม่ประกอบด้วยไขมัน แต่ถ้าตัวอย่างอาหารประกอบด้วยไขมันจะต้องทำการแยกไขมันออกจากตัวทำละลายโดยใช้เทคนิคอื่นๆ มาร่วมด้วย เพื่อช่วยในการแยกตัวทำละลาย เช่น การกลั่น (Reineccius, 1993)

9. การกลั่นสุญญากาศ (High Vacuum Distillation)

การแยกสารระเหยโดยการกลั่นภายใต้สุญญากาศนั้น ความดันที่ใช้ขึ้นอยู่กับว่าสารที่นำมากลั่นมีน้ำอยู่มากน้อยแค่ไหน อีกทั้งเหมาะสำหรับการใช้ร่วมกับการสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ ทำให้สารละลายที่ได้มีความบริสุทธิ์และเข้มข้นเพิ่มขึ้น (เกรียงศักดิ์, 2531) ซึ่งการกลั่นสุญญากาศนี้จะช่วยแยกสารระเหยจากการสกัดด้วยตัวทำละลาย โดยเฉพาะตัวอย่างที่มีไขมันหรือน้ำมันเป็นองค์ประกอบอีกทั้งยังเป็นการช่วยเพิ่มคุณภาพในการสกัดสารระเหยด้วย (Reineccius, 2006)

ในกรณีที่ตัวอย่างอาหารเป็นสารละลายในตัวทำละลายที่ได้จากการสกัดจากอาหารโดยตรง การกลั่นสุญญากาศไม่เพียงแต่แยกสารระเหยออกจากอาหารเท่านั้น แต่สามารถใช้แยกสารระเหยออกจากสารไม่ระเหย เช่น การแยกสารให้กลั่นออกจากสารสี เป็นต้น (เกรียงศักดิ์, 2531)

10. การวิเคราะห์สารระเหยด้วย Gas Chromatography

GC เป็นกระบวนการแยกสารออกจากสารผสมในระหว่าง 2 เฟส คือ เฟสคงที่ (stationary phase) และเฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) โดยให้สารที่ต้องการแยกอยู่ในสถานะก๊าซที่อุณหภูมิหนึ่ง ถ้าหากสารใดเปลี่ยนเป็นก๊าซยาก อาจใช้เทคนิคการเปลี่ยนสารให้เป็นอนุพันธ์อื่นๆ โดยปฏิกิริยาเคมี หรืออาจใช้หลักการแยกสลายด้วยความร้อน เมื่อสารนั้นถูกเปลี่ยนให้เป็นก๊าซแล้วผ่านเข้าไปยังคอลัมน์ที่บรรจุด้วยเฟสคงที่ (stationary phase) โดยอาศัยการพาของเฟสเคลื่อนที่หรือก๊าซตัวพา (carrier gas) สารผสมนั้นจะเกิดการแยกขึ้น (Littlewood, 1970)

การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ (Qualitative analysis) และปริมาณ (Quantitative analysis) ด้วยก๊าซโครมาโทกราฟีเป็นการตรวจวิเคราะห์เอกลักษณ์ของสารแต่ละชนิดในตัวอย่าง การตรวจวิเคราะห์สารหรือปริมาณของสารต้องประกอบด้วยเวลาที่สารแต่ละชนิดผ่านคอลัมน์จากจุดเริ่มต้นจนถึงจุดสูงสุดของพีคในโครมาโทแกรม เรียกว่า retention time สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ ขนาดของพีคอาจเป็นพื้นที่หรือความสูง สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์เชิงปริมาณ อีกทั้งลักษณะของพีคที่ได้ยังใช้สำหรับการวิเคราะห์ทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพ (แมน, 2534)

การวิเคราะห์เชิงคุณภาพด้วยค่า retention time เป็นการตรวจสอบว่าสารที่แยกได้ในแต่ละพีคเป็นสารชนิดใด โดยการเปรียบเทียบค่า retention time ของสารตัวอย่างกับสารมาตรฐานว่ามีค่าเหมือนกันหรือไม่ ถ้ามีค่าเหมือนกันแสดงว่าอาจจะเป็นสารชนิดเดียวกัน ค่า retention time จะ

ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและอัตราการไหลของก๊าซตัวพา นอกจากนี้ขนาดของสารที่ฉีดเข้าไปในเครื่องก็มีผลต่อค่า retention time เช่นกัน ดังนั้นการเปรียบเทียบค่า retention time ของสารตัวอย่าง กับสารมาตรฐานนั้นจึงไม่ได้เป็นการแสดงว่าจะต้องเป็นสารชนิดเดียวกันเสมอไป ทั้งนี้เพราะว่ามีสารหลายชนิดที่มีค่า retention time เท่ากัน ดังนั้นจึงควรใช้คอลัมน์มากกว่าหนึ่งชนิดขึ้นไป เพื่อตรวจสอบค่า retention time (McNair and Bonelli, 1969) ปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงในการเปรียบเทียบชนิดของสารจากโครมาโทแกรม คือ ความสามารถในการควบคุมภาวะต่างๆ อัตราการไหลของก๊าซพา อุณหภูมิที่ใช้กับคอลัมน์ให้คงที่ และขนาดของตัวอย่างที่นำไปฉีดเข้าเครื่อง GC หากต้องการเปรียบเทียบสารตัวอย่างกับการทดลองอื่นๆ สามารถทำได้โดยนำค่า retention time ของตัวอย่างไปเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน *n*-alkane ที่สภาวะเดียวกัน แล้ววิเคราะห์ค่า retention index จากค่า retention time ของสารตัวอย่าง ที่อยู่ระหว่าง retention time ของสารมาตรฐานที่มีจำนวนอะตอมของคาร์บอนอยู่ระหว่างกลาง (แม้น, 2534)

การวิเคราะห์เชิงปริมาณโดยอาศัยหลักการพื้นที่ใต้พีคของสารตัวอย่างจะแปรตามปริมาณสาร internal standard ทำโดยเติม internal standard ที่ทราบความเข้มข้นลงในตัวอย่างในปริมาณใกล้เคียงกับสารตัวอย่าง แล้วนำไปฉีดเข้าเครื่อง GC นำผลที่ได้ไปสร้างความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของพื้นที่ของตัวอย่างสารต่อพื้นที่ของ internal standard จะสามารถหาปริมาณความเข้มข้นของสารตัวอย่างได้ (ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2534)

11. การวิเคราะห์สารให้กลิ่นด้วย Gas Chromatography-Olfactometry

การวิเคราะห์สารให้กลิ่นด้วย GC-O เป็นการดมสารระเหยที่แยกได้จากคอลัมน์ของเครื่อง GC โดยใช้จมูกคนเป็นเครื่องตรวจจับ (detector) ใช้ในการวิจัยด้านกลิ่นเพื่อแยกสารประกอบที่ให้กลิ่น (odor active compound) จากสารระเหยอื่นที่ไม่มีกลิ่น (Abbott *et al.*, 1993; Acree, 1993) ทั้งนี้เนื่องจากประสาทสัมผัสของมนุษย์มีความไวต่อสารให้กลิ่นมากในระดับ 10^{-15} กรัม ในขณะที่เครื่องตรวจจับสารทั้งชนิด FID (flame-ionize detector) และ MS (mass spectrometer) มีความไวในการตรวจจับสารให้กลิ่นในระดับ 10^{-12} กรัมเท่านั้น GC-O เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสำหรับการคัดเลือกสารให้กลิ่นที่สำคัญ จากสารให้กลิ่นในอาหาร (Blank, 2002)

เราสามารถแบ่งวิธีของ GC-O ตามหลักการวิเคราะห์ได้เป็น 3 ประเภท คือ (Ferreira *et al.*, 2002)

1. การตรวจพบสารตามค่า threshold ซึ่งเป็นระดับความเข้มข้นต่ำสุดที่ยังได้กลิ่นตัวอย่าง วิธีที่ใช้หลักการนี้ คือ Aroma Extraction Dilution Analysis (AEDA) และ Combined Hedonic and Response Measurement (Charm)
2. การวัดความถี่ในการได้กลิ่น
3. การประเมินความเข้ม เช่น OSME, cross-modality matching, flavor impact values โดยแยกได้เป็น posterior intensity และ time-intensity (Ruth, 2001)

แม้ว่า GC-O จะมีประโยชน์ในการวิเคราะห์สารให้กลิ่น โดยเฉพาะสารที่ให้กลิ่นสำคัญในตัวอย่าง แต่ก็ยังมีข้อพึงระวังคือ การใช้อุณหภูมิสูงในการฉีดตัวอย่างทำให้สารที่ระเหยทั้งหมดจะระเหยพร้อมกัน ซึ่งแตกต่างจากสภาพจริงขณะรับประทานอาหารซึ่งมีอุณหภูมิเท่าอุณหภูมิของร่างกาย รวมทั้งวิธีการสกัด และค่า threshold ของสารระเหย, ปริมาณตัวอย่างที่ใช้สกัด, ความเข้มข้นและปริมาตรของตัวอย่างที่ฉีดเข้าเครื่องมีผลต่อการวิเคราะห์ทั้งสิ้น นอกจากนี้ลำดับของสารที่แยก ลักษณะกลิ่น และความเข้มที่ได้รับของสารหนึ่ง ๆ จะส่ง ผลโดยตรงต่อความเข้มกลิ่นของสารที่แยกออกมาทีหลัง เรียกว่าเกิด contrast effect ดังนั้นต้องทำให้ลำดับที่ของการดมสารแต่ละชนิดสมดุลกันโดยควรทำสองคอลัมน์ที่มีความเข้มข้นต่างกันเนื่องจาก ลำดับของสารระเหยที่ผ่านคอลัมน์ออกมาจะแตกต่างกัน (Mistry *et al.*, 1986; Grosch, 1993; Blank, 2002) นอกจากนี้ตัวอย่างบางชนิด โดยเฉพาะอาหารที่ผ่านความร้อนในกระบวนการแปรรูปและอาหารหมัก มักประกอบด้วยสารระเหยหลายกลุ่ม ดังนั้นการใช้สองคอลัมน์จะช่วยยืนยันผลการระบุชนิดของสารให้แม่นยำขึ้น (Blank, 1986, 2002) อีกทั้งไม่ควรใช้เวลานาน เพราะอาจทำให้ผู้ทดสอบล้า (Ruth, 2001) จึงควรดมเป็นช่วง ๆ ครั้งละประมาณ 5 นาที เพื่อไม่ให้จมูกแห้งจนล้าจึงต้องทำให้อากาศตรงส่วนปลายคอลัมน์ที่ใช้ดมมีความชื้น (Blank, 2002)

ในการวิเคราะห์สารให้กลิ่นโดยวิธีการเจือจาง (dilution analysis) เป็นการตรวจพบสารตามค่า threshold ได้ผลการวิเคราะห์เป็นค่าที่แสดงสัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของสารในตัวอย่างกับระดับ threshold ของสารนั้น โดยเรียกค่าที่ได้ต่างกันตามวิธีที่ใช้วัดค่า threshold (Abbott *et al.*, 1993; Ruth, 2001) เช่น flavor unit (FU) เป็นการวัดค่า threshold เมื่อตัวอย่างอยู่ในปาก (retronasal odor threshold) หรือ odor unit เป็นการวัดค่า threshold ของกลิ่นที่ได้ก่อนเข้าปาก (nasal odor threshold) นอกจากนี้ยังมีการเรียกแบบอื่นๆ เช่น aroma value, number of odor intensity units,

odor activity value (OAV), odor intensity index, odor intensity unit, odor unit number, odor value และ threshold odor number เป็นต้น (Abbott *et al.*, 1993; Grosch, 1993; Blank, 1986, 2002)

อย่างไรก็ตามค่า threshold ที่ได้อาจแตกต่างกัน โดยขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น เพศ อายุ และ ประสบการณ์ของผู้ทดสอบ รวมถึงอัตราการไหลของสารให้กลิ่นที่ไปกระตุ้นประสาทสัมผัส (Friedrich *et al.*, 2001; Ruth and O'Connor, 2001)

การวิเคราะห์สารให้กลิ่นที่สำคัญโดยวิธี Aroma Extraction Dilution Analysis (AEDA) เป็นขั้นตอนเบื้องต้นในการหาสารให้กลิ่นที่สำคัญ (Blank, 1986, 2002) ที่มีผลต่อกลิ่นเฉพาะของอาหาร (Grosch, 1993) ซึ่งถือเป็นขั้นตอนแรกของการวิจัยด้านกลิ่นรส (Ferreira *et al.*, 2002) เป็นวิธีที่ให้ทั้งข้อมูลด้านคุณภาพและปริมาณ โดยมีเป้าหมายเพื่อวัดความแรงสัมพัทธ์ (relative potency) ของสารให้กลิ่นที่มีในสารสกัดจากอาหาร (Ruth, 2001) ซึ่งวิธีการทำจะเจือจางตัวอย่างเป็นอัตราส่วน เช่น 1:2 หรือ 1:3 โดยจะนำแต่ละอัตราส่วนมาดม และจะทำการเจือจางไปเรื่อยๆ จนกว่าจะดมแล้วไม่ได้กลิ่น (Acree, 1993) ซึ่งค่าที่ออกมาเป็น FD value (flavor dilution value) หรือ FD factor ของสารแต่ละชนิด ซึ่งเป็นสัดส่วนของความเข้มข้นสารในสารสกัดเริ่มต้น กับความเข้มข้นสารนั้นในสารสกัดที่เจือจางมากที่สุดแล้วยังคงได้กลิ่น (Grosch, 2001) หรือค่าการเจือจางสุดท้ายที่คนยังรับรู้ได้ที่ retention index (RI) เดิมนั่นเอง (Abbott *et al.*, 1993)

โดยข้อจำกัดของวิธี AEDA คือ จะต้องดมตัวอย่างที่เจือจางไปเรื่อยๆ จนกว่าจะไม่ได้กลิ่น ซึ่งบางตัวอย่างอาจจะต้องใช้เวลาหลายวันต่อ 1 ตัวอย่าง นอกจากนี้ถ้าใช้ผู้ทดสอบหลายคนมากจะมีความแตกต่างระหว่างผู้ทดสอบ รวมทั้งในการทำการทดลองซ้ำ อาจจะต้องใช้เวลาเป็นสัปดาห์หรือเป็นเดือนในการทำการทดลองจนสมบูรณ์ (Acree, 1993)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัตถุดิบ

- 1.1 ข้าวเสาไห้ ตรา TESCO (เอเชีย อินเตอร์ไรซ์, ฉะเชิงเทรา ประเทศไทย)
- 1.2 น้ำมันถั่วเหลือง ตรา มรกต (มรกต อินคัสตรีส์, สมุทรปราการ ประเทศไทย)
- 1.3 ซอสผัดเข้มข้น ยี่ห้อ A

ส่วนประกอบ	ซอหยอยนางรม	20	เปอร์เซ็นต์
	ซอสถั่วเหลือง	20	เปอร์เซ็นต์
	น้ำตาล	18	เปอร์เซ็นต์
	น้ำปลา	16	เปอร์เซ็นต์
	น้ำส้มสายชูกลั่น	15	เปอร์เซ็นต์
	เกลือ	3	เปอร์เซ็นต์
	กระเทียม	2	เปอร์เซ็นต์
	โมโนโซเดียมกลูตาเมต	0.8	เปอร์เซ็นต์

1.4 ซอสผัดกระเทียมพริกไทย ยี่ห้อ B

ส่วนประกอบ	น้ำตาล	18	เปอร์เซ็นต์
	กระเทียม	10	เปอร์เซ็นต์
	ซอสถั่วเหลือง	9.5	เปอร์เซ็นต์
	พริกไทยขาว	8	เปอร์เซ็นต์
	เกลือ	5	เปอร์เซ็นต์

วัตถุปรุงแต่งรสอาหาร (disodium 5'-inosinate (E631) และ disodium 5'-guanylate (E627))

วัตถุกันเสีย (sodium benzoate)

เจือสีธรรมชาติ แต่งกลิ่นเลียนธรรมชาติ

1.5 ขอสกัดกระเพร่ายี่ห้อ C

ส่วนประกอบ	น้ำตาล	18	เปอร์เซ็นต์
	พริก	14	เปอร์เซ็นต์
	กระเทียม	12	เปอร์เซ็นต์
	ขอสถัวเหลือง	9.5	เปอร์เซ็นต์
	ใบกระเพรา	8	เปอร์เซ็นต์
	เกลือ	4	เปอร์เซ็นต์
	น้ำส้มสายชูกลั่น	10	เปอร์เซ็นต์
	วัตถุปรุงแต่งรสอาหาร (disodium 5'-inosinate (E631) และ disodium 5'-guanylate (E627))		
	วัตถุกันเสีย (sodium benzoate)		
	เจือสีธรรมชาติ แต่งกลิ่นเลียนธรรมชาติ		

1.6 ขอสกัดพริกไทยดำยี่ห้อ D

ส่วนประกอบ	พริกไทยดำ	50	เปอร์เซ็นต์
	น้ำตาล	18	เปอร์เซ็นต์
	หอมแดง	10	เปอร์เซ็นต์
	เกลือ	6	เปอร์เซ็นต์
	กระเทียม	5	เปอร์เซ็นต์
	วัตถุปรุงแต่งรสอาหาร (disodium 5'-inosinate (E631) และ disodium 5'-guanylate (E627))		
	วัตถุกันเสีย (sodium benzoate)		
	เจือสีธรรมชาติ แต่งกลิ่นเลียนธรรมชาติ		

2. สารเคมี

- 2.1 ไดเอทิลอีเทอร์, HPLC grade (Lab-Scan, Stillorgan ประเทศไอร์แลนด์)
- 2.2 เอทานอล, HPLC grade (Carlo Erba Reagents, Rodano ประเทศอิตาลี)
- 2.3 เอทานอล, absolute alcohol (องค์การสุรา กรมสรรพสามิต, ฉะเชิงเทรา ประเทศไทย)
- 2.4 โซเดียมซัลเฟตปราศจากน้ำ (Ajax Finechem, Taren Point ประเทศออสเตรเลีย)
- 2.5 สารมาตรฐาน (internal standard)
 - 2-methyl-3-heptanone (Aldrich, St. Louis ประเทศสหรัฐอเมริกา)

2.6 สารมาตรฐาน *n*-alkane (hydrocarbons, C_5 - C_{30}) (Aldrich, St. Louis ประเทศสหรัฐอเมริกา)

2.7 สารมาตรฐานของสารระเหยที่ให้กลิ่นสำคัญ

- nonanal (Aldrich, St. Louis ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- decanal (Aldrich, St. Louis ประเทศสหรัฐอเมริกา)

2.8 ก๊าซฮีเลียม ความบริสุทธิ์ 99.999 เปอร์เซนต์ (Thai Industrial Gases Public Company Limited, สมุทรปราการ ประเทศไทย)

2.9 ก๊าซไนโตรเจน ความบริสุทธิ์ 99.999 เปอร์เซนต์ (Thai Industrial Gases Public Company Limited, สมุทรปราการ ประเทศไทย)

3. เครื่องมือ

3.1 ชุดเครื่องแก้ว

3.2 เครื่องชั่งสาร

3.3 เครื่องกวนแบบแม่เหล็ก (magnetic stirrer) รุ่น RCT Basic (Ika Werke, ประเทศมาเลเซีย)

3.4 กระทะเหล็กก้นกลม

3.5 หม้อหุงข้าวไฟฟ้ารุ่น CR-100T ยี่ห้อ OTTO (ออดโต้ ดิงส์กลาส, กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย)

3.6 Thermocouple

3.7 ตู้แช่แข็ง (freezer -40°C รุ่น MDF-435 Sanyo, ประเทศญี่ปุ่น)

3.8 Gas Chromatography-Olfactometry (HP model 5890 series II plus) (Agilent Technologies, Palo Alto, California ประเทศสหรัฐอเมริกา)

3.9 Gas Chromatography-Mass Spectroscopy (HP Model 6890, Mass Selective Detector, MSD, HP 5973) (Agilent Technologies, Palo Alto, California ประเทศสหรัฐอเมริกา)

3.10 Gas Chromatography-Mass Spectroscopy (HP Model 6890, Mass Selective Detector, Leco Pegasus III) (Agilent Technologies, Palo Alto, California ประเทศสหรัฐอเมริกา)

3.11 เครื่องหล่อเย็น (Model CoolAce Ca-1100) (Dynamics Corporation, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

3.12 เครื่องกลั่นระบบสุญญากาศ (high vacuum equipment) (Edwards, Crawley ประเทศสหราชอาณาจักร) ประกอบด้วย Diffstak[®] MK2 Diffusion Pump, AV10K Air Admittance Valve,

Active Inverted Magnetron Gauge, BRV MK IV Backing/Roughing Valve และ Active Pirani Guage

3.13 เครื่องระเหยแบบหมุนภายใต้สุญญากาศ (rotary evaporator, R-114) (BUCHI, สวิตเซอร์แลนด์)

3.14 ชุดกลั่น (distillation unit)



วิธีการ

1. การวิเคราะห์สารระเหยในข้าวหุงสุก ข้าวผัดธรรมดา ข้าวผัดไฟแดง

1.1 การเตรียมตัวอย่าง

ข้าวหุงสุก นำข้าวสารมา 600 กรัม ซาวน้ำ 2 รอบโดยใช้น้ำปราศจากกลิ่น เพื่อชะล้างแป้งเหนียวออกจากข้าว น้ำปราศจากกลิ่นเตรียมโดยนำน้ำกลั่นมาต้มให้ปริมาตรเหลือ 2/3 จากปริมาตรเริ่มต้น จากนั้นนำข้าวใส่ลงในหม้อแล้วเติมน้ำปราศจากกลิ่น 650 มิลลิลิตรลงไป นำไปหุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า

ข้าวที่ผ่านการผัดธรรมดา เตรียมโดยใส่น้ำมันถั่วเหลืองปริมาตร 40 มิลลิลิตรลงในกระทะเหล็ก ให้ความร้อนโดยใช้เตาแก๊สจนน้ำมันถั่วเหลืองร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 200 องศาเซลเซียส วัดโดยใช้ thermocouple จากนั้นใส่ข้าวหุงสุกปริมาณ 200 กรัม ลงไปทำการผัดโดยใช้ระยะเวลาประมาณ 1 นาที จากนั้นหยุดให้ความร้อนตัวอย่างลงในบีกเกอร์ปิดปากภาชนะด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ ตั้งให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง

ข้าวที่ผ่านการผัดไฟแดง เตรียมโดยใส่น้ำมันถั่วเหลืองปริมาตร 40 มิลลิลิตรลงในกระทะเหล็ก ให้ความร้อนโดยใช้เตาแก๊สจนน้ำมันถั่วเหลืองร้อน จากนั้นใส่ข้าวปริมาณ 200 กรัม ลงไปเอียงกระทะเพื่อให้น้ำมันถั่วเหลืองและข้าวสัมผัสกับเปลวไฟและเกิดไฟลามเข้ามาในกระทะ ทำการผัดโดยใช้ระยะเวลาประมาณ 15 วินาที แล้วหยุดให้ความร้อน ตัวอย่างลงในบีกเกอร์ปิดปากภาชนะด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ ตั้งให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง

1.2 การสกัดสารระเหย

นำตัวอย่างในข้อ 1.1 มา 80 กรัม เติมตัวทำละลายไดเอทิลอีเทอร์ปริมาตร 120 มิลลิลิตร จากนั้นเติม internal standard (2-methyl-3-heptanone 11.87 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ในไดเอทิลอีเทอร์) 20 ไมโครลิตร ทำการสกัด 30 นาที ด้วยเครื่องกวนแบบแม่เหล็กที่ความเร็ว 630 รอบ/นาที โดยทำการสกัดซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง นำส่วนที่สกัดด้วยตัวทำละลายมาใส่พลาสติก นำสารระเหยที่สกัดได้มาระเหยตัวทำละลายออกโดยใช้ vigreux column (30 x 1 cm i.d.) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จนเหลือปริมาตร 50 มิลลิลิตร นำมาแช่แข็งด้วยการจุ่มลงในไนโตรเจนเหลว

จากนั้นแยกสารระเหยโดยใช้เครื่องกลั่นสุญญากาศ ที่ความดันสุญญากาศประมาณ 10^{-5} Torr ณ อุณหภูมิห้อง ประมาณ 1 ชั่วโมง จากนั้นหล่น้ำอุ่นอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่ขวดก้นกลม ใส่ตัวอย่างเพื่อกลั่นต่ออีก 2 ชั่วโมง นำสารที่กลั่นได้ในขวดกักเก็บแรก (first trap) ไปทำให้เข้มข้น โดยเติมโซเดียมซัลเฟตปราศจากน้ำเพื่อกำจัดน้ำที่ตกค้างในตัวอย่าง และเป่าก๊าซไนโตรเจนเบา ๆ จนตัวอย่างได้ปริมาตร 5 มิลลิลิตร จากนั้นนำมาผ่านใยแก้วและโซเดียมซัลเฟตปราศจากน้ำอีกครั้ง เพื่อกำจัดน้ำที่หลงเหลืออยู่ นำสารระเหยมาเป่าก๊าซไนโตรเจนเบา ๆ ให้ตัวอย่างเข้มข้นจนมีปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร เก็บตัวอย่างในขวดแก้วสีชาปิดด้วยฝาเกลียวพลาสติกที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียสเพื่อใช้วิเคราะห์ต่อไป

1.3 การวิเคราะห์หาชนิด ปริมาณสารระเหย

วิเคราะห์ตัวอย่างที่ได้จากการสกัดในข้อ 1.2 ด้วยเครื่อง GC (HP Model 6890, Agilent Technologies) ที่ต่อกับ mass selective detector (HP 5973, Agilent Technologies) ใช้คอลัมน์ HP-5 ขนาดยาว 60 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 250 ไมโครเมตร ชั้นเคลือบหนา 0.25 ไมโครเมตร การฉีดตัวอย่างเป็นแบบ on column ปริมาตร 1 ไมโครลิตร ใช้ก๊าซฮีเลียมบริสุทธิ์ 99.999 เปอร์เซ็นต์ เป็น carrier gas โดยมีอัตราการไหล 2.2 มิลลิลิตรต่อนาที อุณหภูมิของตู้อบเริ่มจาก 35 องศาเซลเซียส เพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตราเร็ว 10 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึงอุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส คงไว้เป็นเวลา 15 นาที และคอลัมน์ FFAP ขนาดยาว 60 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 250 ไมโครเมตร ชั้นเคลือบหนา 0.25 ไมโครเมตร ใช้ก๊าซฮีเลียมบริสุทธิ์ 99.999 เปอร์เซ็นต์ เป็น carrier gas โดยมีอัตราการไหล 2.2 มิลลิลิตรต่อนาที อุณหภูมิของตู้อบเริ่มจาก 45 องศาเซลเซียส เพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตราเร็ว 5 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึงอุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส คงไว้เป็นเวลา 10 นาที ระบุชนิดของสารด้วยเครื่อง MS ที่ใช้แหล่งกำเนิดไอออนแบบอิเล็กตรอนอิมแพ็ค (Electron-Impact Ionization, EI) และมีค่าพลังงานไอออนในเซชัน 70 อิเล็กตรอนโวลต์ ช่วงในการสแกน 30-300 m/z ที่ความเร็ว 2.74 scan/วินาที

วิเคราะห์ตัวอย่างที่ได้จากการสกัดในข้อ 1.2 ด้วยเครื่อง GC (HP Model 6890, Agilent Technologies) ที่ต่อกับ mass selective detector (Leco Pegasus III, Agilent Technologies) ฉีดตัวอย่างแบบ split 1:2 ปริมาตร 1 ไมโครลิตร อุณหภูมิ injector 220 องศาเซลเซียส แยกสารโดยใช้คอลัมน์ FFAP ขนาดยาว 60 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 250 ไมโครเมตร ชั้นเคลือบหนา 0.25 ไมโครเมตร ใช้ก๊าซฮีเลียมบริสุทธิ์ 99.999 เปอร์เซ็นต์ เป็น carrier gas โดยมีอัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อนาที อุณหภูมิของตู้อบเริ่มจาก 45 องศาเซลเซียส เพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตราเร็ว 5 องศา

เซลล์สี่ช่องนาฬิกา จนถึงอุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส คงไว้ที่เป็นเวลา 10 นาที บ่งชี้ชนิดของสารด้วยเครื่อง MS ที่ใช้แหล่งกำเนิดไอออนแบบอิเล็กตรอนอิมแพ็ค (Electron-Impact Ionization, EI) และมีค่าพลังงานไอออนไนเซชัน 70 อิเล็กตรอน โวลต์

การระบุชนิดของสารระเหยใช้การเปรียบเทียบข้อมูล mass spectrum ของสารระเหยแต่ละชนิด กับฐานข้อมูล Wiley 275 library ร่วมกับการเปรียบเทียบค่า retention index (RI) ของสารแต่ละชนิด กับค่าจากเอกสารอ้างอิงที่ใช้คอลัมน์ชนิดเดียวกัน ซึ่งค่า RI นี้คำนวณได้จาก retention time (RT) ของสารมาตรฐาน *n*-alkane (C₅-C₃₀) ที่ผ่านการวิเคราะห์ด้วยคอลัมน์และสถานะของเครื่อง GC-MS เช่นเดียวกันกับตัวอย่าง (Van den Dool and Kratz, 1963) ตามสมการข้อ 1.1 ในภาคผนวก ข เรื่องการวิเคราะห์ทางเคมี และยืนยันชนิดสารด้วยสารมาตรฐานชนิดนั้นๆ

หาพื้นที่ใต้พีคของสารด้วย Chemstation Software B.02.05 (Copyright 1987-1997, Agilent Technologies) แล้วคำนวณหาปริมาณสาร โดยการเปรียบเทียบพื้นที่ใต้พีคของสารแต่ละชนิดกับพื้นที่ใต้พีคของ internal standard (2-methyl-3-heptanone) ตามสมการข้อ 1.2 ในภาคผนวก ข เรื่องการวิเคราะห์ทางเคมี แล้วรายงานเป็นความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารชนิดนั้น ๆ (นาโนกรัม/กรัม)

คำนวณ odor active value (OAV) ของสารระเหยที่ได้ OAV เป็นตัวเลขที่แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณสารระเหยในตัวอย่างกับค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารชนิดนั้นที่คนจะได้กลิ่น โดยคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$OAV = \frac{\text{ความเข้มข้นของสารให้กลิ่นในตัวอย่าง}}{\text{threshold ของสารให้กลิ่น}}$$

1.4 การวิเคราะห์สารให้กลิ่นที่สำคัญ

การวิเคราะห์สารให้กลิ่นสำคัญในข้าวที่ผ่านการผัดแบบไฟแดง และข้าวที่ผ่านการผัดธรรมดา โดย Aroma Extract Dilution Analysis (AEDA) โดยนำตัวอย่างสารสกัดจากข้อ 1.2 มาเจือจางด้วยทำละลายไดเอทิลอีเทอร์ ในอัตราส่วนระหว่างสารสกัดต่อตัวอย่างที่เจือจางแล้ว เท่ากับ 1:3, 1:9, 1:27, 1:81 ไปเรื่อยๆ เป็นลำดับ แล้วให้ผู้ทดสอบที่ผ่านการคัดเลือกและฝึกฝน จำนวน 2 คน ทดสอบลักษณะกลิ่นของสารระเหยด้วย Gas Chromatography-Olfactometry (GC-O) ซึ่งปลายของคอลัมน์แยกเป็นสองส่วน (1:1) ที่ส่วนหนึ่งแยกไปที่ Flame Ionization Detector (FID) ที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส กับอีกส่วนหนึ่งต่อกับ sniffing port การแยกสารให้กลิ่นใช้คอลัมน์ HP-5MS ยาว 30 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 250 ไมโครเมตร ชั้นเคลือบหนา 0.5 ไมโครเมตร และคอลัมน์ FFAP ยาว 30 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 250 ไมโครเมตร ชั้นเคลือบหนา 0.25 ไมโครเมตร โดยใช้การฉีดแบบ on-column ใช้ก๊าซฮีเลียมบริสุทธิ์ 99.999 เปอร์เซ็นต์ เป็น carrier gas อัตราการไหล 2.2 มิลลิตรต่อนาที โดยใช้สภาวะของเครื่อง GC เช่นเดียวกับข้อ 1.3

ผู้ทดสอบจะดมกลิ่นของสารระเหยที่ sniffing port โดยสูบลำดับการดม เพื่อป้องกันอคติ แล้วเปรียบเทียบค่า RI ของสารที่ให้กลิ่นกับค่า RI ที่ได้จากข้อ 1.3 เพื่อระบุชนิดของสารที่ให้กลิ่น แล้วรายงานเป็น FD factor ของสารแต่ละชนิด ซึ่งค่านี้เป็นระดับที่เจือจางมากที่สุดที่ผู้ทดสอบยังคงได้กลิ่น

1.5 การทดสอบความแตกต่างจากตัวอย่างควบคุม (Difference from control test)

เตรียมตัวอย่างข้าวผัดไฟแดง ข้าวผัดธรรมดา และข้าวหุงสุก เช่นเดียวกับข้อ 1.1 ปริมาณโดยประมาณ 10 กรัม ลงในถ้วยพลาสติกโดยแต่ละถ้วยติดรหัสสุ่ม 3 หลักแล้วปิดปากถ้วยด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ ใช้ตัวอย่างข้าวผัดไฟแดงเป็นตัวอย่างควบคุมซึ่งติดรหัส “C” นำเสนอตัวอย่างทีละคู่ คือ ตัวอย่างควบคุมคู่กับตัวอย่างข้าวผัดไฟแดง, ตัวอย่างควบคุมกับตัวอย่างข้าวผัดธรรมดา และตัวอย่างควบคุมกับตัวอย่างข้าวหุงสุกแบบสุ่มลำดับการเสิร์ฟ โดยจะเจาะรูอะลูมิเนียมฟอยล์ก่อนให้ผู้ทดสอบ (นิสิตปริญญาโท และเอก ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร) 30 คน ประเมินตัวอย่าง บอกความแตกต่างความแรงของกลิ่นในแต่ละตัวอย่างเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม และให้คะแนนตามสเกลที่กำหนด ตามตัวอย่างแบบ

ประเมินทางประสาทสัมผัสในภาคผนวก ข ข้อ 3 แบบทดสอบความแตกต่างจากตัวอย่าง
ควบคุม

2. การสกัดสารให้กลิ่นผัดเพื่อใช้ในอุตสาหกรรม

2.1 การเตรียมตัวอย่าง

เตรียมตัวอย่างข้าวผัดไฟแดงเพื่อใช้ในการสกัดกลิ่นผัด ใช้วิธีการเตรียมตัวอย่าง
เช่นเดียวกับข้อ 1.1

2.2 การสกัดสารระเหย

นำตัวอย่างข้าวผัดไฟแดง 80 กรัม เติมหักทำละลายเอทานอลปริมาตร 120 มิลลิลิตร
จากนั้นเติม internal standard 20 ไมโครลิตร (1-decen-3-one 10.23 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ในเอทานอล)
ทำการสกัด 30 นาที ด้วยเครื่องกวนแบบแม่เหล็กที่ความเร็ว 630 รอบ/นาที โดยทำการ
สกัดทั้งหมด 3 ครั้ง นำส่วนที่สกัดด้วยตัวทำละลายไปกลั่นด้วยเครื่องระเหยแบบหมุนภายใต้
สุญญากาศ จนเหลือปริมาตร 50 มิลลิลิตร นำมาแช่แข็งด้วยการจุ่มลงในไนโตรเจนเหลว จากนั้น
แยกสารระเหยโดยใช้เครื่องกลั่นสุญญากาศ ที่ความดันสุญญากาศประมาณ 10^{-5} Torr ณ
อุณหภูมิห้อง ประมาณ 1 ชั่วโมง จากนั้นหล่น้ำอุ่นอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่ขวดก้นกลมใต้
ตัวอย่างเพื่อกลั่นต่ออีก 2 ชั่วโมง นำสารที่กลั่นได้ในขวดกักเก็บแรก (first trap) ไปทำให้เข้มข้น
โดยเติมโซเดียมซัลเฟตปราศจากน้ำเพื่อกำจัดน้ำที่ตกค้างในตัวอย่าง และเป่าก๊าซไนโตรเจนเบา
ๆ จนตัวอย่างได้ปริมาตร 5 มิลลิลิตร จากนั้นนำมาผ่านใยแก้วและโซเดียมซัลเฟตปราศจากน้ำ
อีกครั้ง เพื่อกำจัดน้ำที่หลงเหลืออยู่ นำสารระเหยมาเป่าก๊าซไนโตรเจนเบา ๆ ให้ตัวอย่างเข้มข้น
จนมีปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร เก็บตัวอย่างในขวดแก้วสีชาปิดด้วยฝาเกลียวพลาสติกที่อุณหภูมิ -40
องศาเซลเซียส เพื่อใช้วิเคราะห์ต่อไป

2.3 การวิเคราะห์หาชนิด ปริมาณสารระเหย

วิเคราะห์ตัวอย่างที่ได้จากการสกัดในข้อ 2.2 ด้วยเครื่อง GC (HP Model 6890, Agilent Technologies) ที่ต่อกับ mass selective detector (HP 5973, Agilent Technologies) เช่นเดียวกับข้อ 1.3

คำนวณหาปริมาณสาร ตามสมการข้อ 1.2 ในภาคผนวก ข และคำนวณกลับเป็นความเข้มข้นของสารระเหยในสารสกัด (นาโนกรัม/มิลลิลิตร)

2.4 การทดสอบความชอบของกลิ่นผิด (Preference test)

นำสารสกัดกลิ่นผิดที่ได้จากการสกัดข้าวผัดไฟแดง 80 กรัม โดยใช้ตัวทำละลายเอทานอล 360 มิลลิลิตร ผสมสารสกัดกลิ่นผิดลงไปในซอสยี่ห้อ A โดยใส่ความเข้มข้นของสารสกัดกลิ่นผิด 10%, 20%, 30% โดยน้ำหนักและไม่ใส่สารสกัดกลิ่นผิด (0%) นำซอสความเข้มข้นต่างๆ ปริมาณ 10 กรัม มาคลุกกับข้าวผัด ปริมาณ 200 กรัม จากนั้นนำมาประเมินความชอบทางประสาทสัมผัส โดยใส่ตัวอย่างปริมาณโดยประมาณ 15 กรัม ลงในถ้วยพลาสติกโดยแต่ละถ้วยติดรหัสสุ่ม 3 หลักแล้วปิดปากถ้วยด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ และสุ่มลำดับการเสิร์ฟโดยให้ผู้ทดสอบ (นิสิตปริญญาตรี, ปริญญาโท และเอก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์) 120 คน ทำการประเมินความชอบด้านกลิ่นผิด และให้คะแนนตามสเกลตามตัวอย่างแบบประเมินทางประสาทสัมผัสในภาคผนวก ข ข้อ 4 แบบทดสอบความชอบของกลิ่นผิด โดยสเกลชอบมากที่สุด = 9, เฉยๆ = 5 และไม่ชอบมากที่สุด = 1

3. การวิเคราะห์ทางสถิติ

การทดลองข้อ 1 และ 2 วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomized Design, CRD) ทำการทดลองซ้ำ (duplication) 2 ครั้ง แต่สำหรับการทดลองข้อ 1.5 และ 2.4 วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD)

วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) คะแนนความแตกต่างจากตัวอย่างควบคุม ด้วยโปรแกรม SPSS (version 13.0) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น 99% โดยวิธี Dunnett's test และคะแนนความชอบ ด้วยโปรแกรม SPSS

(version 13.0) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น 99% โดยวิธี Duncan's New Multiple's Range Test (DMRT)

4. สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรม
เกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5. ระยะเวลาในการทดลอง

การทดลองเริ่มตั้งแต่เดือนตุลาคม พ.ศ. 2550 สิ้นสุดเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2552

ผลและวิจารณ์

การทดลองนี้เป็นการศึกษาองค์ประกอบของสารให้กลิ่น wok flavor ซึ่งมักพบในผลิตภัณฑ์อาหารที่ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตที่ผ่านการผัดน้ำมัน โดยในการทดลองนี้ใช้ข้าวผัดน้ำมันถั่วเหลืองเป็นตัวอย่าง การทดลองจะเปรียบเทียบการผัดแบบไฟแดง (flash-frying) กับการผัดธรรมดา (stir-frying) และข้าวที่ไม่ผ่านการผัด คือ ข้าวหุงสุก ในการทดลองใช้ตัวทำละลาย คือ ไดเอทิลอีเทอร์ ซึ่งมีสมบัติสามารถสกัดสารระเหยหลายๆ กลุ่มได้ดี เนื่องจากความมีขั้วที่เป็นกลางถึงมีขั้วเล็กน้อย จึงสามารถสกัดสารให้กลิ่นได้ทั้งมีขั้ว และไม่มีขั้วในการศึกษาครั้งนี้สกัดตัวอย่างเดิมซ้ำด้วยตัวทำละลายไดเอทิลอีเทอร์ทั้งหมด 3 ครั้ง การสกัดตัวอย่างด้วยตัวทำละลายอินทรีย์จะมีสารที่ไม่ระเหย เช่น ไขมัน ถูกสกัดออกมาด้วย จึงต้องใช้การกลั่นสุญญากาศเข้ามาร่วมด้วยในการเตรียมตัวอย่างเพื่อช่วยแยกส่วนของไขมันออกจากสารละลายตัวอย่างที่สกัดได้

ในช่วงแรกของการทดลองได้วิเคราะห์สารระเหยด้วยเครื่อง GC โดยการฉีดตัวอย่างแบบ splitless พบว่าไม่ปรากฏพีคของสารระเหย อาจเนื่องมาจากการฉีดตัวอย่างแบบนี้เป็นการที่แก๊สจะพาสารระเหยเข้าสู่คอลัมน์ สารระเหยอาจสูญเสียไปนอกระบบก่อนที่จะถูกพาเข้าสู่คอลัมน์ ดังนั้นจึงเปลี่ยนวิธีการฉีดตัวอย่างเป็นแบบ on-column ซึ่งตัวอย่างทั้งหมดจะลงสู่คอลัมน์โดยตรงสามารถตรวจพบสารระเหยได้โดยการฉีดตัวอย่างด้วยวิธีนี้

ในงานวิจัยนี้วิเคราะห์ชนิดของสารระเหยด้วยคอลัมน์ 2 ชนิดที่มีความเป็นขั้วต่างกัน เพื่อช่วยในการระบุชนิดของสารระเหยได้แม่นยำขึ้นในการเปรียบเทียบค่า RI ซึ่งคอลัมน์ที่ใช้ ได้แก่ FFAP เป็นคอลัมน์ที่มีความเป็นขั้วสูงแยกสารโดยอาศัยความแตกต่างของจุดเดือด และความมีขั้วของสารระเหย และคอลัมน์ HP-5 ซึ่งเป็นคอลัมน์ชนิดไม่มีขั้วแยกสารโดยอาศัยความแตกต่างของจุดเดือดเพียงอย่างเดียว

1. สารระเหยในข้าวผัดไฟแดง ข้าวผัดธรรมดา และข้าวหุงสุก

ในการเตรียมตัวอย่างในข้าวผัดไฟแดง ข้าวผัดธรรมดา และข้าวหุงสุก พบว่าตัวอย่างผ่านกระบวนการที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน คือ ข้าวผัดธรรมดามีอุณหภูมิประมาณ 200 องศาเซลเซียส ได้จากการวัดอุณหภูมิน้ำมันด้วย thermocouple ส่วนข้าวผัดไฟแดงจะใช้อุณหภูมิที่สูงกว่า โดยมีไฟลามเข้ามาสัมผัสกับข้าวโดย flash point ของน้ำมันถั่วเหลือง เท่ากับ 328 องศาเซลเซียส (Pryde,

1980) ส่วนข้าวหุงสุกจะไม่ผ่านการผัด จึงผ่านอุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียส ตามจุดเดือดของน้ำ ดังนั้นจึงทำให้เกิดสารระเหยต่างๆ ที่มีชนิด และความเข้มข้นที่แตกต่างกัน

จากผลการทดลองพบสารระเหยหลายชนิด ซึ่งมีทั้งสารระเหยที่สามารถระบุชนิดได้ และไม่สามารถระบุชนิดได้ โดยสารระเหยที่สามารถระบุชนิดได้แสดงในตารางที่ 11 ส่วนสารระเหยที่ไม่สามารถระบุชนิดได้แสดงในภาคผนวก ก ตารางภาคผนวกที่ ก1 จากตารางที่ 11 พบว่าสารระเหยในข้าวผัดไฟแดงมีทั้งหมด 188 ชนิด ได้แก่ สารประกอบในกลุ่ม hydrocarbon 76 ชนิด, aldehyde 24 ชนิด, ketone 10 ชนิด, acid 10 ชนิด, alcohol 10 ชนิด, ester 5 ชนิด, furan 6 ชนิด, phenol 4 ชนิด, pyran 1 ชนิด, pyrazine 2 ชนิด, lactone 1 ชนิด, สารอื่นๆ 4 ชนิด และสารที่ไม่ทราบชนิด 35 ชนิด ในข้าวผัดธรรมดาพบว่ามีสารระเหยทั้งหมด 154 ชนิด ได้แก่ hydrocarbon 54 ชนิด, aldehyde 24 ชนิด, ketone 5 ชนิด, acid 7 ชนิด, alcohol 5 ชนิด, ester 3 ชนิด, furan 3 ชนิด, pyran 1 ชนิด, lactone 1 ชนิด, amide 1 ชนิด, สารอื่นๆ 3 ชนิด และสารที่ไม่ทราบชนิด 47 ชนิด ส่วนในข้าวหุงสุกพบว่ามีสารระเหยทั้งหมด 57 ชนิด ได้แก่ สารประกอบในกลุ่ม hydrocarbon 8 ชนิด, ketone 1 ชนิด, acid 8 ชนิด, alcohol 4 ชนิด, ester 1 ชนิด, phenol 2 ชนิด, pyran 2 ชนิด, lactone 2 ชนิด, สารอื่นๆ 3 ชนิด และสารที่ไม่ทราบชนิด 26 ชนิด โดยการสลายตัวของไขมัน จะทำให้เกิดสารระเหยบางตัวในกลุ่ม ได้แก่ aldehyde, ketone, alcohol, hydrocarbon, acid, ester และ furan รวมทั้งสารทุติยภูมิที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Loon *et al.*, 2005) อีกทั้งจำนวนของสารระเหยที่ได้จากการผ่านกระบวนการให้ความร้อน เช่น สารระเหยในกลุ่ม aliphatic hydrocarbon, carbonyl และกรด ยังได้มาจากการสลายตัวของปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมัน เช่นเดียวกับในระหว่างกระบวนการทอด (Kuo *et al.*, 1989)

จากตารางที่ 11 สารระเหยที่มีความเข้มข้นสัมพัทธ์มากที่สุด คือ acetic acid ทั้ง 3 ตัวอย่าง ซึ่งมีความเข้มข้น 1,371.15 นาโนกรัม/กรัม ในข้าวผัดไฟแดง 1,292.62 นาโนกรัม/กรัม ในข้าวผัดธรรมดา และ 2,525.83 นาโนกรัม/กรัม ในข้าวหุงสุก นอกจากนี้ยังพบว่าสารที่มีปริมาณรองลงไปส่วนใหญ่จะเป็นสารที่เกิดจากออกซิเดชันของไขมัน ซึ่งได้จากการใช้อุณหภูมิสูงสารเหล่านี้จะแตกต่างกันไปตามระดับความร้อนที่ตัวอย่างได้รับด้วย ได้แก่ (*E,E*)-2,4-decadienal, (*E*)-2-heptenal และ nonanal ที่มีความเข้มข้นสูงทั้งในตัวอย่างข้าวผัดไฟแดง และข้าวผัดธรรมดา สารระเหยที่มีความเข้มข้นสูงในข้าวหุงสุก ได้แก่ 2,3-butanediol 2,4-di-*tert*-butylphenol และ 1,3-butanediol

ตารางที่ 11 ชนิด ความเข้มข้นสัมพัทธ์ และ OAV ของสารระเหยที่สามารถระบุชนิดได้ในข้าวผัดไฟแดง (FFR) ข้าวผัดธรรมดา (SFR) และข้าวหุงสุก (R)

ที่ ^a	สารระเหย	ลักษณะกลิ่น ^b	RI		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (ng/g) ^c			Threshold (ng/g)	OAV ^d			identify
			HP-5	FFAP	FFR	SFR	R		FFR	SFR	R	
<u>Acids</u>												
170	linoleic acid	fatty oily	1473	1556	234.13x	96.33x	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
233	acetic acid	strong, pungent, sour, vinegar odor with sour	n.a.	1429	1,371.15y	1,292.62y	2,526.83x	124 ^q	11	10	20	1, 2
241	propionic acid	pungent, sour milk odor; sour milk	n.a.	1518	n.a.	n.a.	32.57	3,840 ^e	-	-	<1	1, 2
243	isobutyric acid	sour chessy odor; in dilution a fruity odor	n.a.	1546	n.a.	22.59y	64.97x	755 ^e	-	<1	-	1, 2
254	butanoic acid	strong, cheese, butter-like, sour- rancid odor	n.a.	1606	85.19x	45.55x	35.96x	135 ^t	<1	<1	<1	1, 2
265	pentanoic acid	powerful, "sweaty" cheese-like odor; fruity in dilution	n.a.	1716	61.91x	35.06x	n.a.	1,490 ^e	<1	<1	-	1, 2
270	hexanoic acid	heavy, fatty, cheesey odor	n.a.	1824	101.94x	53.82x	133.39x	5,400 ^t	<1	<1	<1	1, 2
274	heptanoic acid	fatty, sour-sweat-like, rancid odor	n.a.	1932	109.01x	21.51x	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
283	octanoic acid	fatty, rancid, sweaty odor	n.a.	2039	72.74x	n.a.	34.57x	161,000 ^e	<1	-	<1	1, 2
286	nonanoic acid	mild, nut-like, fatty odor	n.a.	2145	55.53	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2

ตารางที่ 11 (ต่อ)

ที่ ^a	สารระเหย	ลักษณะกลิ่น ^b	RI		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (ng/g) ^c			Threshold (ng/g)	OAV ^d			identify
			HP-5	FFAP	FFR	SFR	R		FFR	SFR	R	
287	decanoic acid	fatty-waxy, cheesy dairy odor	n.a.	2251	19.60	n.a.	n.a.	1,000,000 ^j	<1	-	-	1, 2
291	benzoic acid	very weak , balsamic odor	n.a.	2418	37.75x	n.a.	63.62x	n.a.	-	-	-	1, 2
293	benzeneacetic acid	sweet, animal-honey-like	n.a.	2545	n.a.	n.a.	148.46	n.a.	-	-	-	1, 2
Alcohols												
5	1,3-butanediol	solvent of flavor	785	1558	89.39x	104.22x	178.02x	n.a.	-	-	-	1, 2
7	2,3-butanediol	weak	795	1522	113.02y	110.78y	321.87x	10 ^m	11	11	32	1, 2
27	2-methylcyclopentanol	-	887	n.a.	n.a.	1.47	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
52	(Z)-1,2-dimethylcyclohexanol	-	972	n.a.	22.91	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
84	1-undecanol	fatty, oily odor with a fruity note	1069	n.a.	4.42	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
98	benzene ethanol	floral, rose-like odor	1120	1950	n.a.	n.a.	16.37	n.a.	-	-	-	1, 2
101	2-(2-methylenecyclohexyl)ethan-1-ol	-	1133	1689	8.40	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
151	<i>p</i> -menth-8(10)-en-9-ol	-	1337	n.a.	55.93	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
187	@(-)-14-methyl-8-hexadecyn-1-ol	-	1768	n.a.	38.92	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2

ตารางที่ 11 (ต่อ)

ที่ ^a	สารระเหย	ลักษณะกลิ่น ^b	RI		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (ng/g) ^c			Threshold (ng/g)	OAV ^d			identify
			HP-5	FFAP	FFR	SFR	R		FFR	SFR	R	
198	methylbutanol	sweet, oily-fruity	n.a.	1034	19.40	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
213	1-pentanol	alcoholic-breathtaking, fusel-like odor	n.a.	1233	133.06x	92.04x	n.a.	850 ^r	<1	<1	-	1, 2
249	propylene glycol	odorless when pure with a weak mild	n.a.	1574	n.a.	11.83y	19.72x	n.a.	-	-	-	1, 2
272	benzyl alcohol	faint, sweet, fruity aroma	n.a.	1865	46.86	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
Aldehydes												
8	<i>N</i> -hexanal	strong, penetrating, fatty-green, grassy unripe fruit odor	800	1072	335.12x	82.27y	n.a.	75 ^f	4	1	-	1, 2
19	(<i>E</i>)-2-hexenal	green, fruity, fresh, apple and woody with leafy and grassy notes	854	1210	13.90x	12.99x	n.a.	424 ^q	<1	<1	-	1, 2
34	<i>N</i> -heptanal	fatty, in dilution sweet, fruity, nutty, fatty-cognac like	900	1174	193.37x	79.34y	n.a.	3,200 ^b	<1	<1	-	1, 2
45	(<i>E</i>)-2-heptenal	-	957	1313	706.45x	429.19y	n.a.	14,000 ^{n,o}	<1	<1	-	1, 2
48	benzaldehyde	odor of bitter almond oil	964	1514	161.06x	21.53y	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
61	2,4-heptadienal	pungent, cinnamon, spicy odor	997	1482	195.65x	41.30y	n.a.	10,000 ^b	<1	<1	-	1, 2
65	octanal	fatty-fruity odor; sweet	1002	n.a.	83.61x	37.61y	n.a.	320 ^b	<1	<1	-	1, 2
67	(<i>E,E</i>)-2,4-heptadienal	fatty, green, with and oily, greasy	1011	1453	198.09x	210.94x	n.a.	10,000 ^{n,o,p}	<1	<1	-	1, 2

ตารางที่ 11 (ต่อ)

ที่ ^a	สารระเหย	ลักษณะกลิ่น ^b	RI		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (ng/g) ^c			Threshold (ng/g)	OAV ^d			identify
			HP-5	FFAP	FFR	SFR	R		FFR	SFR	R	
80	(E)-2-octenal	peculiar fatty, green-grassy-leafy odor	1059	n.a.	282.28x	120.52y	n.a.	7,000 ^b	<1	<1	-	1, 2
93	nonanal	fatty-floral-rose, waxy odor	1104	1379	528.18x	313.81y	n.a.	13,500 ^b	<1	<1	-	1, 2, 3
108	(Z,Z)-2,4-undecadienal	-	1159	n.a.	61.09	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
109	(Z)-2-nonenal	-	1160	n.a.	164.69x	49.40y	n.a.	4.5 ⁱ	36	10	-	1, 2
117	N-decanal	strong, penetrating, sweet, orange peel odor	1204	n.a.	101.94x	46.71y	n.a.	6,700 ^b	<1	<1	-	1, 2, 3
118	(E,E)-2,4-nonadienal	-	1215	n.a.	5.02	n.a.	n.a.	1,000 ^o	<1	-	-	1, 2
119	2,4-nonadienal	strong fatty type odor; chicken fat-nutty on dilution	1216	1687	27.30x	2.69y	n.a.	2,500 ^b	<1	<1	-	1, 2
129	(E)-2-dodecenal	oily, tallow citrus mandarin, orange for the trans isomer	1247	n.a.	n.a.	30.42	n.a.	36,000 ⁿ	-	<1	-	1, 2
132	(E)-2-decenal	waxy, fatty, earthy, coriander, mushroom, green, pork fat note	1263	1626	432.60x	291.29x	n.a.	33,800 ^b	<1	<1	-	1, 2
141	2,4-decadienal	strong, deep fat flavor; fatty-citrus notes	1295	n.a.	367.43x	342.70x	n.a.	2,150 ^b	<1	<1	-	1, 2
144	undecanal	sweet, fatty, waxy-floral-citrus odor	1307	1586	54.28x	42.68x	n.a.	6,800 ^b	<1	<1	-	1, 2

ตารางที่ 11 (ต่อ)

ที่ ^a	สารระเหย	ลักษณะกลิ่น ^b	RI		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (ng/g) ^c			Threshold (ng/g)	OAV ^d			identify
			HP-5	FFAP	FFR	SFR	R		FFR	SFR	R	
146	(<i>E,E</i>)-2,4-decadienal	strong, deep fat flavor; fatty-citrus notes	1319	1797	739.57x	785.00x	n.a.	2,150 ^b	<1	<1	-	1, 2
158	3-dodecen-1-al	-	1365	1734	295.43x	266.45x	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
161	dodecanal	sweet, waxy-fatty-citrus herbaceous odor; in dilution: violet	1407	n.a.	63.59x	27.75x	n.a.	3,000 ^b	<1	<1	-	1, 2
192	pentanal	strong, acrid, pungent odor; chocolate and nut-like below 10 ppm	n.a.	<1000	52.72x	22.43y	n.a.	240 ^b	<1	<1	-	1, 2
210	(<i>E</i>)-2-hexanal	-	n.a.	1210	n.a.	5.57	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
232	2-octenal	peculiar fatty, green-grassy-leafy odor	n.a.	1414	239.45x	109.24y	n.a.	7,000 ^b	<1	<1	-	1, 2
266	undecenal	fatty-waxy-rosy-citrus odor; fatty-citrus on dilution	n.a.	1736	268.61	n.a.	n.a.	570,000 ^g	<1	-	-	1, 2
267	(<i>E,Z</i>)-2,4-decadienal	-	n.a.	1751	n.a.	221.47	n.a.	4 ^u	-	55	-	1, 2

ตารางที่ 11 (ต่อ)

ที่ ^a	สารระเหย	ลักษณะกลิ่น ^b	RI		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (ng/g) ^c			Threshold (ng/g)	OAV ^d			identify
			HP-5	FFAP	FFR	SFR	R		FFR	SFR	R	
<u>Amide</u>												
184	<i>N</i> -methyl- <i>N</i> -[4-[4-methoxy-1-hexahydropyridyl]-2-butynyl]- acetamide	-	1725	n.a.	n.a.	6.81	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
<u>Esters</u>												
174	(<i>Z,Z</i>)-9,12-octadecadienoic acid,methyl ester	-	1569	n.a.	91.52	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
175	(<i>Z</i>)-11-hexadecen-1-yl acetate	-	1570	n.a.	n.a.	18.97	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
179	1,2-benzenedicarboxylic acid,diethyl ester	-	1601	n.a.	n.a.	5.86y	27.44x	n.a.	-	-	-	1, 2
244	(<i>E,E</i>)-9,12-octadecadienoic acid,methyl ester	-	n.a.	1550	175.37x	38.26y	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
259	2-chloroethyl linoleate	-	n.a.	1675	29.52	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
280	methyl furoate	fruity, earthy, winey; sweet	n.a.	2003	40.50	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2

ตารางที่ 11 (ต่อ)

ที่ ^a	สารระเหย	ลักษณะกลิ่น ^b	RI		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (ng/g) ^c			Threshold (ng/g)	OAV ^d			identify
			HP-5	FFAP	FFR	SFR	R		FFR	SFR	R	
295	2-propenoic acid,3-(4-methoxyphenyl)-,2-ethylhexyl ester	-	n.a.	>2500	80.41	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
Hydrocarbons												
6	1-octene	hydrocarbon, lifting	789	n.a.	52.92x	21.32y	n.a.	2,000 ^g	<1	<1	-	1, 2
9	2-octene	-	805	n.a.	60.42x	16.97x	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
11	2,4-dimethylheptane	-	821	n.a.	n.a.	12.35	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
13	1,3-octadiene	-	826	n.a.	3.9x	10.09x	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
21	2,4-octadiene	-	859	<1000	20.59	n.a.	n.a.	12,000 ^h	<1	-	-	1, 2
24	4-methyloctane	-	862	n.a.	n.a.	n.a.	15.68	n.a.	-	-	-	1, 2
26	1,3-(Z)-5-(Z)-octatriene	-	879	1092	120.10x	22.95x	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
28	1-nonene	-	889	n.a.	54.81	n.a.	n.a.	9,000 ^h	<1	-	-	1, 2
31	styrene	characteristic resinous-balsamic pungent hydrocarbon odor	893	n.a.	125.73	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
32	(E)-2-nonene	-	896	n.a.	n.a.	5.79	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2

ตารางที่ 11 (ต่อ)

ที่ ^a	สารระเหย	ลักษณะกลิ่น ^b	RI		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (ng/g) ^c			Threshold (ng/g)	OAV ^d			identify
			HP-5	FFAP	FFR	SFR	R		FFR	SFR	R	
36	2,5-dimethyl-1,4-hexadiene	-	913	n.a.	11.52	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
39	(E)-1,3-nonadiene	-	924	n.a.	77.55x	13.60y	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
44	camphene	oily, sweet camphoraceous odor	953	1047	n.a.	18.87	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
47	(E,E)-2,4-nonadiene	-	961	n.a.	47.71	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
51	2,4,4-trimethyl-1-hexene	-	969	n.a.	n.a.	10.49	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
58	1-decane	-	989	<1000	114.00x	18.96y	n.a.	4,000,000 ^g	<1	<1	-	1, 2
62	1-decane	-	997	n.a.	70.91	n.a.	n.a.	4,000,000 ^g	<1	-	-	1, 2
63	3-methylstyrene	-	999	n.a.	12.53	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
68	2-menthene	-	1025	n.a.	58.49x	13.01x	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
70	limonene	fresh, sweet, hydrocarbon and orange citrus odor	1032	1184	115.89x	53.70xy	7.26y	n.a.	-	-	-	1, 2
71	3-ethyl-2-methyl-1,3-hexadiene	-	1036	1401	n.a.	52.15	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
72	β-fenchene	-	1038	n.a.	50.42	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2

ตารางที่ 11 (ต่อ)

ที่ ^a	สารระเหย	ลักษณะกลิ่น ^b	RI		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (ng/g) ^c			Threshold (ng/g)	OAV ^d			identify
			HP-5	FFAP	FFR	SFR	R		FFR	SFR	R	
74	(Z)-3-butyl-4-vinyl- cyclopentene	-	1046	n.a.	79.39	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
76	(E)- β -ocimene	-	1048	1237	n.a.	159.12	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
77	1H-indene	-	1051	1471	158.97	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
83	9-oxabicyclo[6.1.0]nonane	-	1068	n.a.	10.27	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
85	cycloheptane	-	1070	n.a.	n.a.	6.83	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
87	4-methyl-1,4-heptadiene	-	1082	n.a.	26.31	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
88	undecene	-	1089	1135	217.67x	39.19y	n.a.	570, 000 ^g	<1	<1	-	1, 2
90	undecene	-	1097	1135	57.40x	28.71y	n.a.	570, 000 ^g	<1	<1	-	1, 2
95	5-undecene	-	1112	1149	48.22x	16.88x	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
96	(E)-1,4-undecadiene	-	1112	1243	42.68	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
100	(2-methylpropenyl) benzene	-	1130	n.a.	n.a.	71.51	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
103	5-methylenespiro [2.4]heptane	-	1140	n.a.	39.98	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2

ตารางที่ 11 (ต่อ)

ที่ ^a	สารระเหย	ลักษณะกลิ่น ^b	RI		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (ng/g) ^c			Threshold (ng/g)	OAV ^d			identify
			HP-5	FFAP	FFR	SFR	R		FFR	SFR	R	
106	bicyclo[2.2.1]heptan-2-one,1,7,7-trimethyl-,(1 <i>R</i>)-	-	1155	n.a.	n.a.	19.22	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
110	(3 <i>E</i> ,5 <i>Z</i>)-1,3,5-undecatriene	-	1174	n.a.	128.91x	15.40x	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
111	(<i>E,E</i>)-1,3,5-undecatriene	-	1183	1388	351.74x	46.71y	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
112	4-dodecene	-	1187	n.a.	243.80x	137.74x	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
113	(<i>Z,Z</i>)-dodeca-5,7-diene	-	1192	n.a.	68.70	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
114	2-methyl-4,5-nonadiene	-	1193	n.a.	n.a.	17.95	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
115	cyclopentacycloheptene	-	1195	1729	323.05	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
116	dodecane	sweet hydrocarbon like; weak	1196	1198	160.31x	44.17x	n.a.	13,000,000 ^g	<1	<1	-	1, 2
120	allylidenecyclohexane	-	1217	n.a.	n.a.	1.39	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
121	(<i>Z</i>)-2-dodecen-4-yne	-	1218	n.a.	32.59	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
122	cyclopropane,1-ethenyl-2-hexenyl-,[1 <i>α</i> ,2 <i>β</i> (<i>E</i>)]-(.-.-)-	-	1220	1304	15.51	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
123	(<i>Z</i>)-cyclodecene	-	1223	n.a.	123.12x	12.78y	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
124	1,2-dideuteriobicyclo[3.2.0]hept-2-ene	-	1226	n.a.	7.52	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2

ตารางที่ 11 (ต่อ)

ที่ ^a	สารระเหย	ลักษณะกลิ่น ^b	RI		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (ng/g) ^c			Threshold (ng/g)	OAV ^d			identify
			HP-5	FFAP	FFR	SFR	R		FFR	SFR	R	
126	(<i>E,Z</i>)-5,7-dodecadiene	-	1237	n.a.	n.a.	37.20	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
130	(<i>E,E</i>)-5,7-dodecadiene	-	1251	n.a.	n.a.	2.12	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
131	(<i>E,Z</i>)-2,4-dodecadiene	-	1259	n.a.	22.66	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
133	cyclododecane	-	1268	n.a.	n.a.	6.34	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
134	2-methylundecane	-	1278	n.a.	24.55	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
135	pentadecane	mild hydrocarbon odor	1278	n.a.	n.a.	18.74	54.03	13,000,000 ^g	-	<1	<1	1, 2
136	5- <i>n</i> -butyl-4-nonene	-	1284	n.a.	24.97x	4.64y	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
137	1-dodecene	sweet hydrocarbon like; weak	1285	1235	180.86x	28.88y	n.a.	1,280,000 ^g	<1	<1	-	1, 2
138	eicosane	-	1286	n.a.	n.a.	n.a.	4.15	n.a.	-	-	-	1, 2
139	1-tridecene	-	1289	1335	30.93	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
145	1-methylnaphthalene	green, earthy, phenolic	1308	1843	8.75	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
148	1-methylnaphthalene	green, earthy, phenolic	1327	1843	19.33	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
149	methylenecyclohexane	-	1332	n.a.	n.a.	19.11	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
150	2,6,11-trimethyldodecane	-	1333	n.a.	n.a.	n.a.	33.54	n.a.	-	-	-	1, 2
156	methylenecyclohexane	-	1351	n.a.	249.33	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2

ตารางที่ 11 (ต่อ)

ที่ ^a	สารระเหย	ลักษณะกลิ่น ^b	RI		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (ng/g) ^c			Threshold (ng/g)	OAV ^d			identify
			HP-5	FFAP	FFR	SFR	R		FFR	SFR	R	
157	2-methyl-7-pentylbicyclo [4.1.0]heptane	-	1351	n.a.	n.a.	12.09	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
160	7-tetradecene	-	1384	n.a.	n.a.	4.84	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
162	vanillin	powerful, creamy, vanilla-like odor	1412	2564	34.64y	n.a.	104.24x	1,000 ^k	<1	-	<1	1, 2
163	junipene	-	1427	n.a.	19.79x	16.24x	35.71x	n.a.	-	-	-	1, 2
164	decahydro-2- methylnaphthalene	-	1434	n.a.	n.a.	3.4	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
165	(-)-(E)-pinane	-	1439	n.a.	8.38x	9.08x	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
166	cyclotetradecane	-	1449	n.a.	n.a.	19.48	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
168	6,8-tetradecadiene	-	1451	n.a.	48.32	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
169	acenaphthalene	-	1470	2193	51.91	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
171	7-methyl-3,4-octadiene	-	1482	n.a.	491.73x	207.62x	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
172	pentadecane	mild hydrocarbon odor	1495	1499	101.82x	24.1x	n.a.	13,000,000 ^g	<1	<1	-	1, 2
173	cyclododecyne	-	1564	n.a.	53.21	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
176	naphthalene,decahydro-	-	1573	n.a.	24.87	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2

ตารางที่ 11 (ต่อ)

ที่ ^a	สารระเหย	ลักษณะกลิ่น ^b	RI		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (ng/g) ^c			Threshold (ng/g)	OAV ^d			identify
			HP-5	FFAP	FFR	SFR	R		FFR	SFR	R	
177	2,4-di- <i>tert</i> -butyl-5-methylanisole	-	1573	n.a.	n.a.	n.a.	21.52	n.a.	-	-	-	1, 2
178	(<i>E</i>)-9-eicosene	-	1580	n.a.	n.a.	4.35	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
180	6(<i>E</i>),8(<i>E</i>)-heptadecadiene	-	1669	n.a.	161.95x	23.92y	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
181	8-heptadecene	-	1674	1709	87.30x	11.01x	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
182	6(<i>Z</i>),9(<i>E</i>)-heptadecadiene	-	1680	1746	36.17	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
183	eicosane	-	1708	n.a.	n.a.	n.a.	45.10	n.a.	-	-	-	1, 2
185	2,3-methyleneoctane	-	1726	n.a.	57.41	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
189	neophytadiene	-	1835	n.a.	39.47x	13.96y	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
190	1-nonadecene	-	1879	n.a.	n.a.	7.31	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
191	<i>n</i> -butylcyclopentane	-	n.a.	<1000	15.15	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
194	<i>n</i> -propylcyclopentane	-	n.a.	<1000	n.a.	11.5	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
195	4-decene	-	n.a.	1021	7.57	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
197	1-decene	-	n.a.	1029	13.37	n.a.	n.a.	7,000 ^h	<1	-	-	1, 2
199	1,7-octadiene	-	n.a.	1038	76.52x	13.23y	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
200	1,3-(<i>E</i>)-5-(<i>Z</i>)-octadiene	-	n.a.	1089	13.54	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2

ตารางที่ 11 (ต่อ)

ที่ ^a	สารระเหย	ลักษณะกลิ่น ^b	RI		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (ng/g) ^c			Threshold (ng/g)	OAV ^d			identify
			HP-5	FFAP	FFR	SFR	R		FFR	SFR	R	
202	undecane	-	n.a.	1097	10.69	n.a.	n.a.	5,750,000 ^g	<1	-	-	1, 2
204	1-menthene	-	n.a.	1123	n.a.	22.88	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
207	azoxymethane	-	n.a.	1142	n.a.	10.66	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
212	(E)-6-dodecene	-	n.a.	1221	226.67x	52.39y	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
214	1,3,5,7-cyclooctatetraene	-	n.a.	1246	71.61	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
218	(Z,Z)-2,4-undecene	-	n.a.	1286	34.58	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
222	butylbenzene	-	n.a.	1298	6.72x	5.82x	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
223	1-dodecene	sweet hydrocarbon like; weak	n.a.	1320	112.48x	39.78y	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
224	cyclodecene	-	n.a.	1342	121.41	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
226	phenylacetylene	-	n.a.	1349	17.11	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
229	1,3-cyclooctadiene	-	n.a.	1383	23.21	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
230	pentylbenzene	-	n.a.	1396	72.17x	10.89x	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
237	1-phenyl-2-butene	-	n.a.	1478	17.17	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
240	1-tridecene	-	n.a.	1517	n.a.	69.50	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
246	1-methyl-1,3-cyclohexadiene	-	n.a.	1565	58.55	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2

ตารางที่ 11 (ต่อ)

ที่ ^a	สารระเหย	ลักษณะกลิ่น ^b	RI		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (ng/g) ^c			Threshold (ng/g)	OAV ^d			identify
			HP-5	FFAP	FFR	SFR	R		FFR	SFR	R	
247	3-methyl-3-phenylcyclopropane	-	n.a.	1570	13.08	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
250	(Z)-9-azabicyclo[6.1.0]nonane	-	n.a.	1586	25.19	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
251	1-methylindene	-	n.a.	1590	22.09	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
252	3,7-dimethyl-1,6-octadiene	-	n.a.	1590	n.a.	7.13	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
258	cyclododecene	-	n.a.	1656	145.96	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
261	(E)-2,3-epoxydecane	-	n.a.	1692	n.a.	33.93	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
273	2-methylnaphthalene	oily, aromatic at 1 ppm in sugar syrup	n.a.	1878	33.86	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
276	2-vinylnaphthalene	-	n.a.	1979	64.76	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
285	2-vinylnaphthalene	-	n.a.	2088	31.43	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
<u>Ketones</u>												
1	3-hydroxy-2-butanone	creamy-buttery, yogurt-like odor	712	1273	37.24y	34.31y	69.13x	n.a.	-	-	-	1, 2
12	3-cyclohepten-1-one	-	824	n.a.	78.41	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2

ตารางที่ 11 (ต่อ)

ที่ ^a	สารระเหย	ลักษณะกลิ่น ^b	RI		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (ng/g) ^c			Threshold (ng/g)	OAV ^d			identify
			HP-5	FFAP	FFR	SFR	R		FFR	SFR	R	
40	2-hydroxy-2-cyclopenten-1-one	-	927	n.a.	51.34	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
41	bicyclo[3.3.0]oct-1(2)-en-3-one	-	941	1101	22.17	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
46	3-ethylcyclopentanone	-	960	n.a.	n.a.	13.51	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
50	3-methylcyclopent-2-enone	-	969	n.a.	20.66	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
102	(-)-(1 <i>R</i> ,5 <i>S</i>)-exo-2@-methylbicyclo[3.2.1]octan-3-one	-	1138	n.a.	n.a.	12.5	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
107	(<i>Z</i>)-8-methyl-1-hydrindanone	-	1157	n.a.	20.1	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
208	2-heptanone	fruity, cheese, cinnamon odor; in dilution-blue cheese-fruity	n.a.	1171	13.44	n.a.	n.a.	1,500 ^s	<1	-	-	1, 2
211	4-octanone	-	n.a.	1214	7.22x	5.66y	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2

ตารางที่ 11 (ต่อ)

ที่ ^a	สารระเหย	ลักษณะกลิ่น ^b	RI		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (ng/g) ^c			Threshold (ng/g)	OAV ^d			identify
			HP-5	FFAP	FFR	SFR	R		FFR	SFR	R	
248	2(1 <i>H</i>)-naphthalenone, octahydro-4a-methyl-7-(1- methylethyl)- ,(4aα,7β,8aβ)-	-	n.a.	1570	n.a.	14.11	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
260	6-methyl-2-pyrimidone	-	n.a.	1679	23.31	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
269	corylone	very strong, caramellic-maple, lovage odor	n.a.	1816	39.38	n.a.	n.a.	2,800 ^v	<1	-	-	1, 2
Phenols												
56	phenol	phenolic medicinal odor	981	1995	34.72x	n.a.	11.45x	40,000 ¹	<1	-	<1	1, 2
147	4-vinyl-2-methoxyphenol	-	1321	2190	10.29y	n.a.	89.28x	n.a.	-	-	-	1, 2
277	<i>o</i> -cresol	phenolic medicinal odor	n.a.	1992	87.30	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
284	<i>m</i> -cresol	dry-tarry, medicinal-phenolic, leathery odor	n.a.	2071	16.32	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
289	2,4-di- <i>tert</i> -butylphenol	-	n.a.	2294	n.a.	n.a.	179.43	n.a.	-	-	-	1, 2

ตารางที่ 11 (ต่อ)

ที่ ^a	สารระเหย	ลักษณะกลิ่น ^b	RI		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (ng/g) ^c			Threshold (ng/g)	OAV ^d			identify
			HP-5	FFAP	FFR	SFR	R		FFR	SFR	R	
<u>Heterocyclic compounds</u>												
<u>Furans</u>												
15	furfural	sweet, cereal, bread-like, yeasty, caramellic, spicy notes	835	1456	247.79x	21.38y	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
20	2-furanmethanol	-	856	1646	85.46x	12.91y	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
59	2-amylfuran	ethereal rum; earthy beany with vegetable notes	991	1218	n.a.	37.71	n.a.	2,000 ^b	-	<1	-	1, 2
125	5-(hydroxymethyl)-2-furancarboxaldehyde	-	1234	2501	113.74	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
245	5-methyl-2-furancarboxaldehyde	sweet spicy, bready, caramellic odor	n.a.	1565	84.99	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
268	5-methyl-2(3 <i>H</i>)-furanone	-	n.a.	1758	56.62	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
281	hydroxy dimethyl furanone	-	n.a.	2020	51.74	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
<u>Lactones</u>												
37	γ -butyrolactone	-	915	1623	95.41x	21.32y	11.97y	n.a.	-	-	-	1, 2
282	pantoic lactone	-	n.a.	2025	n.a.	n.a.	36.21	n.a.	-	-	-	1, 2

ตารางที่ 11 (ต่อ)

ที่ ^a	สารระเหย	ลักษณะกลิ่น ^b	RI		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (ng/g) ^c			Threshold (ng/g)	OAV ^d			identify
			HP-5	FFAP	FFR	SFR	R		FFR	SFR	R	
<u>Pyrans</u>												
167	7-methoxy-2,2-dimethyl-2 <i>H</i> -1-benzothiopyran	-	1450	n.a.	n.a.	n.a.	6.63	n.a.	-	-	-	1, 2
288	2,3-dihydro-3,5-dihydroxy-6-methyl-4 <i>H</i> -pyran-4-one	-	1151	2262	160.45x	63.23x	168.26x	n.a.	-	-	-	1, 2
<u>Pyrazines</u>												
3	pyrazine	pungent, sweet, corn-like, roasted hazelnuts	737	n.a.	11.12	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
216	methyl pyrazine	green, nutty, cocoa, musty, potato, fishy-amoniactal notes	n.a.	1257	8.77	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
<u>Others</u>												
4	1 <i>H</i> -pyrrole	sweet, warm, slightly burnt odor	755	n.a.	21.93	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
78	<i>N</i> -methyl-2-pyrrolidone	-	1051	n.a.	n.a.	11.74	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
82	5-methyl-1,2-thiazole	-	1063	1644	n.a.	16.66	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
128	benzothiazole	meaty, vegetative, cooked, beefy and coffee-like at 3 ppm	1239	1950	9.56y	7.93z	21.38x	n.a.	-	-	-	1, 2

ตารางที่ 11 (ต่อ)

ที่ ^a	สารระเหย	ลักษณะกลิ่น ^b	RI		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (ng/g) ^c			Threshold (ng/g)	OAV ^d			identify
			HP-5	FFAP	FFR	SFR	R		FFR	SFR	R	
290	1,4:3,6-dianhydro- α -D-glucopyranose	-	n.a.	2396	23.9	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1, 2
292	1H-indole	floral odor and taste in dilution	n.a.	2443	26.84x	n.a.	34.97x	n.a.	-	-	-	1, 2

หมายเหตุ ^a ลำดับที่ของสารตรงกับ chromatogram ในภาพผนวกที่ ข1-ข6

^b จากฐานข้อมูล Flavor-Base 2004 ของ Leffingwell (2004)

^c ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (ppb เท่ากับ นาโนกรัม/กรัม)

^d ค่า Odor Activity Value คำนวณได้จากความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารหารด้วยค่า threshold ของสารนั้น

^e ค่า threshold ในน้ำมันดอกคำฝอย จาก Amore and Buttery (1978) ^f ค่า threshold ในน้ำมันพืชบริสุทธิ์ จาก Aparicio and Luna (2002)

^g ค่า threshold ในน้ำมันแร่ จาก Champagne and Nawar (1969) ^h ค่า threshold ในน้ำมันเมล็ดฝ้าย จาก Evans *et al.* (1971) ⁱ ค่า threshold ในน้ำมันดอกทานตะวัน จาก Guth and Grosch (1990) ^j ค่า threshold ในน้ำมันมะพร้าว 30% จาก Haslbeak *et al.* (1986) ^k ค่า threshold ในน้ำมันดอกทานตะวัน จาก Herrmann and Salam (1980) ^l ค่า threshold ในน้ำมันแร่ จาก Joyner (1963) ^m ค่า threshold ในน้ำมันดอกทานตะวันจาก Kubickova and Grosch (1998) ⁿ ค่า threshold ในน้ำมันพาราฟิน จาก Meijboom (1964) ^o ค่า threshold ในน้ำมันพาราฟิน จาก Meijboom and Jongenotter (1981) ^p ค่า threshold ในน้ำมันพาราฟิน จาก Keppler (1977) ^q ค่า threshold ในน้ำมันดอกทานตะวันบริสุทธิ์ จาก Reiners and Grosch (1998) ^r ค่า threshold ในน้ำมันแร่ จาก Rezek (1987)

ตารางที่ 11 (ต่อ)

^๙ ค่า threshold ในน้ำมันพืชดอกทานตะวัน จาก Preininger and Grosch (1994) ^๑ ค่า threshold ในน้ำมันดอกทานตะวัน

จาก Schieberle (1993) ^๒ ค่า threshold ในน้ำมันดอกทานตะวัน จาก Wagner and Grosch (1998) ^๓ ค่า threshold ในน้ำมันแร่ (nujol)

จาก Yoshida (1972)

x, y, z ในแนวนอนที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

1 ยืนยันสารด้วย RI

2 ยืนยันสารด้วย mass spectrum

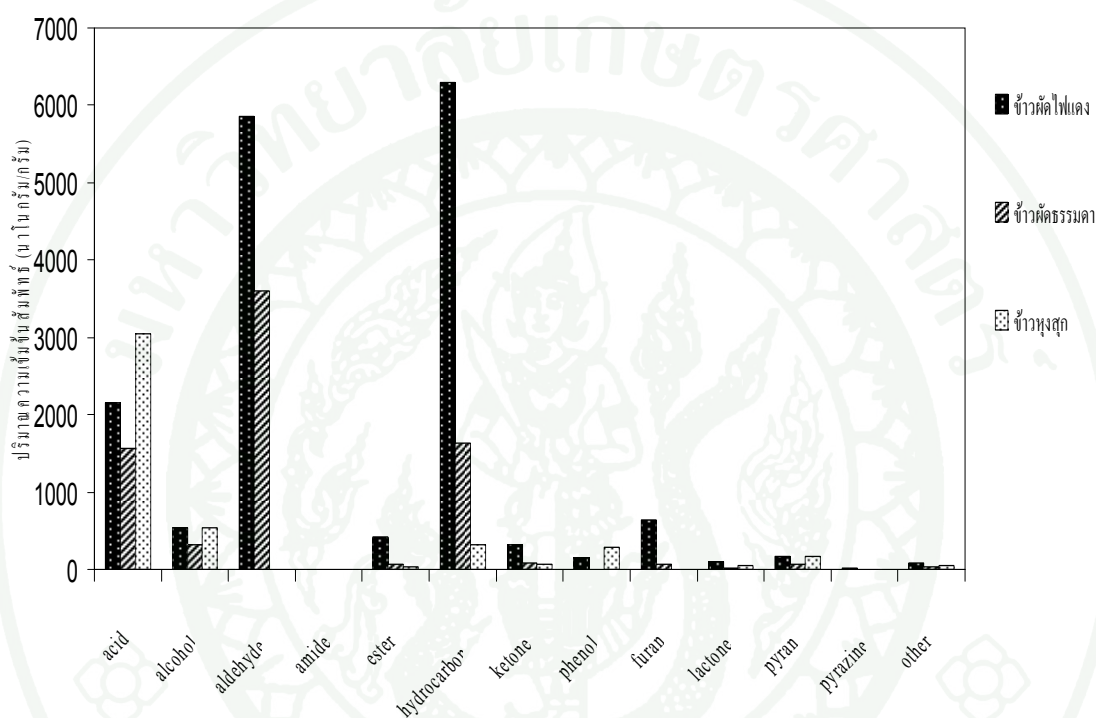
3 ยืนยันสารด้วยสารมาตรฐาน

n.a. = not available

จากภาพที่ 6 แสดงปริมาณความเข้มข้นสัมพัทธ์โดยรวมของสารระเหยในกลุ่มต่างๆ ที่พบในตัวอย่างข้าวผัดไฟแดง ข้าวผัดธรรมดา และข้าวหุงสุก ในตัวอย่างข้าวผัดไฟแดงมีสารระเหยในกลุ่ม aldehyde, hydrocarbon, ester, ketone และ furan ในปริมาณที่สูงกว่าตัวอย่างอื่น สารระเหยในกลุ่ม aldehyde และ ketone จะมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อให้ความร้อนอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสเมื่อเทียบกับสารระเหยชนิดเดียวกันที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่า (Lee *et al.*, 1991) ในทำนองเดียวกันข้าวผัดไฟแดงใช้อุณหภูมิในการผัดสูงกว่า 200 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้จะเท่ากับจุด flash point ของน้ำมันถั่วเหลือง คือเท่ากับ 328 องศาเซลเซียส (Pryde, 1980) เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวผัดธรรมดา สารระเหยส่วนใหญ่ในกลุ่ม aldehyde และ ketone มีความเข้มข้นสูงกว่าในข้าวผัดธรรมดา ยกเว้น (*E,E*)-2,4-heptadienal และ (*E,E*)-2,4-decadienal ที่ในข้าวผัดธรรมดาจะมีความเข้มข้นสูงกว่าในข้าวผัดไฟแดง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสารทั้งสอง ได้แก่ (*E,E*)-2,4-heptadienal มีจุดเดือด 177.4 องศาเซลเซียส และ (*E,E*)-2,4-decadienal มีจุดเดือด 244.6 องศาเซลเซียส (Anonymous, 2009) ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าสารดังกล่าวมีจุดเดือดต่ำกว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการผัดไฟแดง ทำให้เมื่อทำการผัดแบบไฟแดงสารนี้เกิดการสลายตัวไปมากกว่าการผัดแบบธรรมดา ดังนั้นจึงพบสารดังกล่าวในตัวอย่างข้าวผัดไฟแดงมีความเข้มข้นน้อยกว่าในตัวอย่างข้าวผัดธรรมดา แต่ไม่พบสารระเหยในกลุ่ม aldehyde ในข้าวหุงสุก นอกจากนี้พบสารระเหยกลุ่มกรด, phenol และ pyran ในข้าวหุงสุกมีความเข้มข้นมากกว่าในตัวอย่างอื่นๆ (ตารางที่ 11) phenol และสารประกอบ phenol ในพืชเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน (Tressl and Albrecht, 1986) หรืออาจเกิดจากความร้อนทำให้เกิดปฏิกิริยา decarboxylation ของกรด phenolic และกรด carboxylic เช่น coumaric acid เกิดเป็น 4-vinylphenol (Maga, 1978b) สารประกอบที่พบในตัวอย่างข้าวหุงสุก ได้แก่ phenol, 4-vinyl-2-methoxyphenol และ 2,4-di-*tert*-butylphenol

จิตภา (2551) ทำการศึกษาสารระเหยข้าวเสาไห้หุงสุกโดยใช้การนึ่งด้วยไอน้ำ พบสารระเหยทั้งหมด 13 ชนิด เมื่อเปรียบเทียบกับผลจากตารางที่ 11 จากการทดลองพบว่าตัวอย่างข้าวหุงสุกมีชนิดของสารระเหย 57 ชนิด ซึ่งพบมากกว่า ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากวิธีการเตรียมตัวอย่างที่แตกต่างกัน เพราะในการทดลองนี้ใช้การทำข้าวให้สุกด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า แต่งานวิจัยของจิตภา (2551) ใช้การนึ่งข้าวให้สุกด้วยซึ่ง หม้อหุงข้าวไฟฟ้าจะเป็นระบบปิดมากกว่าซึ่ง อาจทำให้สารระเหยสูญหายได้น้อยกว่า

สารระเหยที่พบเฉพาะในข้าวหุงสุก กลุ่มกรด ได้แก่ propanoic acid และ benzenoacetic acid กลุ่ม alcohol ได้แก่ benzene ethanol กลุ่ม hydrocarbon ได้แก่ 4-methyloctane, eicosane, 2,6,11-trimethyldodecane และ 2,4-di-*tert*-butyl-5-methylanisole กลุ่ม phenol ได้แก่ 2,4-di-*tert*-butylphenol กลุ่ม lactone ได้แก่ pantoic lactone และกลุ่ม pyran ได้แก่ 7-methoxy-2,2-dimethyl-2*H*-1-benzothiopyran (ตารางที่ 11)



ภาพที่ 6 ปริมาณความเข้มข้นสัมพัทธ์โดยรวมของสารระเหยในกลุ่มต่างๆ ที่พบในตัวอย่างข้าวผัดไฟแดง ข้าวผัดธรรมดา และข้าวหุงสุก

ส่วนในตัวอย่างข้าวผัดธรรมดา และข้าวผัดไฟแดงซึ่งทั้ง 2 แบบ มีส่วนประกอบหลัก คือ ข้าวหุงสุกและน้ำมันถั่วเหลืองแต่แตกต่างกันที่กระบวนการให้ความร้อนนั้น สามารถแบ่งกลุ่มของสารระเหยออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มสารระเหยที่เกิดจากการสลายตัวของไขมัน และกลุ่มสารระเหยที่เกิดจากการสลายตัวของน้ำตาล โดยสารระเหยที่เกิดจากการสลายตัวของไขมัน ได้แก่ acetic acid, butanoic acid, hexanal, (*E*)-2-hexenal, (*E*)-2-heptenal, hexanoic acid, (*E,E*)-2,4-heptadienal, (*E*)-2-octenal, nonanal, (*E*)-2-decenal, (*E,E*)-2,4-decadienal, heptanal, octanal, decanal, 1-pentanol, 1-octene ซึ่งจะพบสารระเหยเหล่านี้ทั้งในข้าวผัดไฟแดง และข้าวผัดธรรมดาส่วน (*E,E*)-2,4-nonadienal 2-heptanone, styrene, butylcyclopentane, phenol, benzyl alcohol, benzoic acid, 1-

undecanol จะพบเฉพาะในข้าวผัดไฟแดง (*E,Z*)-2,4-decadienal และ propylcyclopentane จะพบเฉพาะในข้าวผัดธรรมดา กลุ่มสารระเหยที่เกิดจากการสลายตัวของน้ำตาล และ/หรือ ปฏิกิริยาเมลลาร์ด ได้แก่ furfural และ benzaldehyde ซึ่งจะพบสารระเหยนี้ทั้งในข้าวผัดไฟแดง และข้าวผัดธรรมดา ส่วน pyrazine, methyl pyrazine และ 1*H*-pyrrole จะพบเฉพาะในข้าวผัดไฟแดง (ตารางที่ 11) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Wu and Chen (1992) ที่ทำการศึกษาสารระเหยจากน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการผัด และ Loon *et al.* (2005) ซึ่งศึกษาสารให้กลิ่นในมันฝรั่งทอด แต่ว่าสารในกลุ่มที่เกิดจากการสลายตัวของน้ำตาล และ/หรือ ปฏิกิริยาเมลลาร์ดนั้นจะพบเฉพาะในมันฝรั่งทอดเท่านั้น จะไม่พบสารระเหยเหล่านี้ในการผัดน้ำมันถั่วเหลือง

Furfural ให้กลิ่นหวาน, กลิ่นคาราเมล เกิดจากปฏิกิริยาไฟโรไลซิสของน้ำตาลซูโครส (Johnson *et al.*, 1969) ดังนั้น furfural สามารถเกิดได้ทั้งจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดและปฏิกิริยาไฟโรไลซิส ซึ่งสารระเหยในกลุ่ม furans ชนิดอื่นๆ (ตารางที่ 11) ได้แก่ 2-furanmethanol พบทั้งในข้าวผัดธรรมดา และข้าวผัดไฟแดง, 2-amylfuran พบเฉพาะในข้าวผัดธรรมดา, 5-(hydroxymethyl)-2-furancarboxaldehyde, 5-methyl-2-furancarboxaldehyde, 5-methyl-2(3*H*)-furanone และ hydroxy dimethyl furanone พบเฉพาะในข้าวผัดไฟแดง ซึ่งสารระเหยในกลุ่มนี้ เป็นสารระเหยที่เป็นผลิตภัณฑ์ที่สำคัญที่สุดของปฏิกิริยาเมลลาร์ด จะให้ลักษณะกลิ่นน้ำตาลไหม้ และกลิ่นคาราเมลของคาร์โบไฮเดรตที่ผ่านความร้อน แต่บางชนิดก็ให้ลักษณะกลิ่นหวานซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสลายตัวของน้ำตาล (Manley *et al.*, 1999) นอกจากนี้ยังพบว่า 2-furanmethanol, 5-methyl-2(3*H*)-furanone, 5-methyl-2-furancarboxaldehyde, 5-(hydroxymethyl)-2-furancarboxaldehyde และ corylone ที่พบเฉพาะในข้าวผัดไฟแดง เป็นสารระเหยที่ได้จากการเกิดไฟโรไลซิสของน้ำตาลซูโครส และ/หรือ ไฟโรไลซิสของสตาร์ช (strach) (Johnson *et al.*, 1969; Simkovic *et al.*, 1997) อีกทั้ง corylone จะสามารถเกิดขึ้นระหว่างให้ความร้อนอาหารที่ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต (Kuentzel and Bahri, 1999)

เมื่อพิจารณาสารระเหยที่เกิดจากปฏิกิริยาไฟโรไลซิส พบว่าสารระเหยในกลุ่ม hydrocarbon ได้แก่ 1-octene, decane, 1-undecene, 1-dodecene และ 1-tridecene พบทั้งในข้าวผัดธรรมดาและข้าวผัดไฟแดง 1-nonene, 1-decene, undecane พบเฉพาะในข้าวผัดไฟแดง (ตารางที่ 11) มีรายงานว่าพบสารระเหยดังกล่าวในน้ำมันของพืชที่ผ่านการไฟโรไลซิสที่อุณหภูมิ 300-500 องศาเซลเซียส (Alencar *et al.*, 1983)

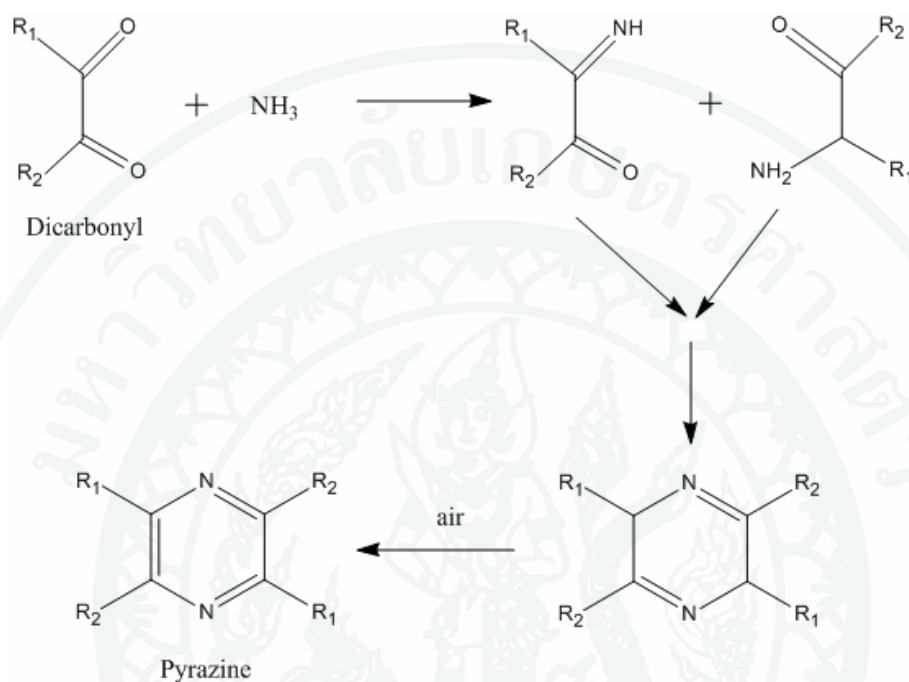
การผัดทำให้เกิดการออกซิเดชันของสารต่างๆ สารระเหยที่พบ เช่น hexanal, (*E,E*)-2,4-decadienal และ (*E,Z*)-2,4-decadienal เป็นผลิตภัณฑ์แรกที่เกิดจากออกซิเดชันของกรดลิโนเลอิก ซึ่งเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีปริมาณมากที่สุดในน้ำมันถั่วเหลือง ส่วน (*E,E*)-2,4-heptadienal เกิดจากออกซิเดชันของกรดลิโนเลนิก (Chyau and Mau, 2001; Tressl *et al.*, 1981) สารระเหย decadienal นั้นจะเกิดจากการสลายตัวด้วยความร้อนของไขมัน (Li *et al.*, 1994) จะเห็นได้ว่าสารระเหยในกลุ่ม aldehyde ส่วนใหญ่จะได้ออกมาจากการสลายตัวของไขมัน ซึ่งไม่พบสารในกลุ่มนี้ในตัวอย่างข้าวหุงสุก

Hexanoic acid และ acetic acid พบในตัวอย่างทั้ง 3 ตัวอย่าง heptanoic acid พบในข้าวผัดธรรมดา และข้าวผัดไฟแดง โดยเกิดจากปฏิกิริยาการเมไลเซชัน ซึ่งพบจากกระบวนการผลิตการาเมลในอุตสาหกรรม (Pon *et al.*, 1991)

นอกจากนี้ในการทดลองยังพบว่ามีสารระเหยบางชนิดในกลุ่มกรด, alcohol, aldehyde, ester, hydrocarbon, ketone, phenol, furan และสารอื่นๆ จะพบเฉพาะในข้าวผัดไฟแดงโดยสังเกตได้ว่าสารระเหยกลุ่ม hydrocarbon มีความเข้มข้นสัมพัทธ์โดยรวมสูงกว่าสารระเหยในกลุ่มอื่นๆ เช่น cyclopentacycloheptene มีความเข้มข้นสัมพัทธ์สูง คือ 323.05 นาโนกรัม/กรัม ตามด้วย 1H-indene มีความเข้มข้นสัมพัทธ์ คือ 158.97 นาโนกรัม/กรัม cyclododecene คือ 145.96 นาโนกรัม/กรัม styrene มีความเข้มข้นสัมพัทธ์ คือ 125.73 นาโนกรัม/กรัม ซึ่ง styrene นั้นเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของกรดอะมิโนที่เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดกับสารพวก alkadienal ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน (Hidalgo and Zamora, 2007) รวมทั้งสารระเหยในกลุ่ม pyrazine ได้แก่ pyrazine และ methyl pyrazine โดยสารในกลุ่มนี้เป็นผลิตภัณฑ์จากอันตรกิริยาของปฏิกิริยาเมลลาร์ดรวมทั้งไขมัน (Whitfield, 1992) การเกิด pyrazine เป็นไปได้จากการรวมตัวของโมเลกุล α -aminoketone ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ในปฏิกิริยา Strecker degradation ของกรดอะมิโน (Mottram, 1998) กลไกการเกิด pyrazine แสดงในภาพที่ 7 อีกทั้งสารระเหยในกลุ่มนี้เป็นสารให้กลิ่นที่สำคัญ เป็นที่ต้องการในอาหารหลายชนิด และเป็นสารระเหยกลุ่มหลักที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Mottram, 1994) ซึ่งสารกลุ่มนี้จะพบเฉพาะในข้าวผัดไฟแดงเท่านั้น

พบสารในกลุ่ม terpene 1 ชนิด คือ limonene โดยพบทั้ง 3 ตัวอย่างในข้าวผัดไฟแดง มีความเข้มข้นสัมพัทธ์ เท่ากับ 115.89 นาโนกรัม/กรัม ในข้าวผัดธรรมดา เท่ากับ 53.70 นาโนกรัม/กรัม และในข้าวหุงสุก เท่ากับ 7.26 นาโนกรัม/กรัม ซึ่งสารนี้จะได้ออกมาน้ำมันหอมระเหยของพืชบาง

ชนิด (Baek, 1997) นอกจากนี้ยังพบ limonene ในมันฝรั่งทอด และ น้ำมันถั่วลิสงที่ผ่านความร้อนเช่นกัน (Loon *et al.*, 2005; Chung *et al.*, 1993)



ภาพที่ 7 กลไกการเกิด pyrazine

ที่มา: Kuentzel and Bahri (1999)

Vanillin ซึ่งให้กลิ่นคล้ายวนิลลาที่พบในตัวอย่างข้าวหุงสุก และข้าวผัดไฟแดง มีความเข้มข้นสัมพัทธ์ เท่ากับ 104.24 และ 34.64 นาโนกรัม/กรัม ตามลำดับ เป็นสารให้กลิ่นที่มีโครงสร้างของเบนซิน ซึ่งเกิดจากผลของปฏิกิริยาทางชีวเคมีที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับเมตาบอลิซึมของพืช จากปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน โดยเริ่มจากการทำงานของเอนไซม์และเกิดออกซิเดชันตรง functional group ที่ต่อกับเบนซินได้เป็นสารอื่น เริ่มจากสารตั้งต้น คือ ferulic acid ซึ่งเป็นกรด phenol ที่พบในข้าวตามธรรมชาติ เกิด acetylation จนได้เป็น vanillin ในที่สุด (Heath, 1981; Reineccius, 1994) หรืออาจเกิดขึ้นจากการสลายตัวของกลินินโดยความร้อนแล้วได้ vanillin (Maga, 1978b)

จะเห็นได้ว่าสารระเหยทั้งจากข้าวผัดไฟแดง และข้าวผัดธรรมดา เกิดจากปฏิกิริยาหลายๆ ปฏิกิริยาร่วมกัน โดยมีทั้งการสลายตัวของไขมัน การเกิดออกซิเดชัน การสลายตัวของ คาร์โบไฮเดรต การเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด และการเกิดปฏิกิริยาไฟโรไลซิส ดังนั้นผลของอุณหภูมิสูง ในการที่ไฟลามเข้ามาโดนอาหารในการผัดแบบไฟแดงนั้น ส่งผลให้เกิดกลิ่นเฉพาะตัวของตัวอย่าง ข้าวผัดไฟแดง อย่างไรก็ตามเป็นที่น่าสนใจว่าสารระเหยในกลุ่ม pyrazines นั้นพบเฉพาะในตัวอย่าง ข้าวผัดไฟแดงเท่านั้น แต่เป็นการยากที่จะสรุปว่ากลิ่นที่เฉพาะตัวของข้าวผัดไฟแดงมาจาก สารประกอบชนิดใด เนื่องจากสารระเหยต่างๆ ที่เกิดขึ้นมีหลากหลายชนิด

นอกจากนี้ยังพบสารระเหยในกลุ่มโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (polycyclic aromatic hydrocarbons) ได้แก่ acenaphthalene ซึ่งพบสารระเหยชนิดนี้เฉพาะในตัวอย่างข้าวผัดไฟแดง มีความเข้มข้นสัมพัทธ์ เท่ากับ 51.91 นาโนกรัม/กรัม อีกทั้งมีรายงานว่าสารระเหยชนิดนี้เป็น สารที่ก่อให้เกิดมะเร็ง (carcinogen) โดยพบสารระเหยชนิดนี้ได้จากควันของน้ำมันในการให้ความร้อนน้ำมันดอกทานตะวัน และน้ำมันคาโนลา (canola oil) ที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (Chen and Chen, 2001)

2. สารให้กลิ่นที่สำคัญในข้าวผัดไฟแดง ข้าวผัดธรรมดา และข้าวหุงสุก

จากการดมกลิ่นโดยรวมของข้าวผัดทั้ง 3 ตัวอย่าง พบว่ามีความแตกต่างกัน คือ ในข้าวผัดแบบไฟแดงจะมีกลิ่นโดยรวมเป็นกลิ่นควัน กลิ่นไหม้ ซึ่งจะหอมและมีความเฉพาะตัวกว่าในข้าวผัดธรรมดาที่จะได้กลิ่นโดยรวมเป็นกลิ่นน้ำมันค่อนข้างแรง ส่วนข้าวหุงสุกจะมีกลิ่นโดยรวมเป็นกลิ่นข้าวสุก

นอกจากนี้สารระเหยที่มีค่า OAV สูงในตารางที่ 11 ที่พบในทั้ง 3 ตัวอย่าง ได้แก่ acetic acid มีค่าเท่ากับ 11 ในข้าวผัดไฟแดง มีค่าเท่ากับ 10 ในข้าวผัดธรรมดา มีค่าเท่ากับ 20 ในข้าวหุงสุก, 2,3-butanediol มีค่าเท่ากับ 11 ทั้งในข้าวผัดไฟแดง และในข้าวผัดธรรมดา มีค่าเท่ากับ 32 ในข้าวหุงสุก, (Z)-2-nonenal มีค่าเท่ากับ 36 ในข้าวผัดไฟแดง มีค่าเท่ากับ 10 ในข้าวผัดธรรมดา, hexanal มีค่าเท่ากับ 4 ในข้าวผัดไฟแดง มีค่าเท่ากับ 1 ในข้าวผัดธรรมดา และ (E,Z)-2,4-decadienal มีค่าเท่ากับ 55 ในข้าวผัดธรรมดา ซึ่งสารเหล่านี้จะเป็นสารที่ให้กลิ่นสำคัญในตัวอย่าง

ในการทดลองนี้จึงได้วิเคราะห์สารให้กลิ่นที่สำคัญผ่าน GC-O ด้วยวิธี AEDA โดยนำสารสกัดจากตัวอย่างมาเจือจางด้วยตัวทำละลายไดเอทิลอีเทอร์ ในอัตราส่วนระหว่างสารสกัดต่อตัวอย่างที่เจือจางแล้วเท่ากับ 1:3, 1:9, 1:27, 1:81 ไปเรื่อยๆ เป็นลำดับ จากตารางที่ 12 พบสารให้กลิ่นหลายกลุ่ม ได้แก่ aldehyde, acid, alcohol, ketone, ester, ether, hydrocarbon, furan และ pyran โดยจากการดมกลิ่นสารที่ให้กลิ่นสำคัญในข้าวผัดไฟแดง พบว่าสารให้กลิ่นสำคัญที่มีค่า FD factor เท่ากับ 81 ได้แก่ 2,4-heptadienal ให้กลิ่นน้ำมันผัด (stir-fried oil), nonanal ให้กลิ่นควันเทียน (scented candle), heptanone ให้กลิ่นโลหะ (metallic), กลิ่นสนิม (rust), สารที่ไม่ทราบชนิด AD ให้กลิ่นคาวปลา (fishy), กลิ่นเค็ม (salty), สารที่ไม่ทราบชนิด AE ให้กลิ่นหวาน (sweet), กลิ่นอับ (stale) นอกจากนี้ยังพบสารที่ไม่ทราบชนิด AF และ AH ที่ให้ลักษณะกลิ่น “wok flavor” ซึ่งมีค่า FD factor เท่ากับ 9 และ 0 มีค่า RI = 1266 และ 1321 ในคอลัมน์ FFAP

ส่วนในตัวอย่างข้าวผัดธรรมดา (ตารางที่ 12) พบสารที่ให้กลิ่นสำคัญที่มีค่า FD factor เท่ากับ 81 ได้แก่ octadienone ให้กลิ่นโลหะ, กลิ่นสนิม และสารที่ไม่ทราบชนิด F ให้กลิ่นหวาน สารอื่นๆที่มีค่า FD factor เท่ากับ 27 และให้กลิ่นน้ำมันทอด (frying oil) และน้ำมันผัด ได้แก่ methyl dodecanoate, hexyl octanoate, oleic acid, สารที่ไม่ทราบชนิด M, R และ T นอกจากนี้ยังพบสารที่ไม่ทราบชนิด E ให้กลิ่นคาวปลาที่มีค่า FD factor เท่ากับ 27 โดยกลิ่นน้ำมันทอด จะคล้ายกับ

กลิ่นเวลาทอดอาหารแบบน้ำมันท่วมกระทะ ส่วนกลิ่นน้ำมันผัด จะมีลักษณะกลิ่นคล้ายกับกลิ่นน้ำมันที่ยังคงค้างอยู่ในห้องครัวหลังจากทำการผัดอาหารเสร็จแล้ว

ในตัวอย่างข้าวหุงสุก พบสารที่ให้กลิ่นสำคัญที่มีค่า FD factor เท่ากับ 27 ได้แก่ 2-acetyl-1-pyrroline ให้กลิ่นหวาน, กลิ่นใบเตย (pandan like) สารที่มีค่า FD factor เท่ากับ 3 ได้แก่ สารที่ไม่ทราบชนิด AG ให้กลิ่นกรด acetic (ตารางที่ 12) โดยสูตรโครงสร้างของสารให้กลิ่นที่สำคัญทั้ง 3 ตัวอย่างแสดงในภาพที่ 8

สารให้กลิ่นที่สำคัญที่พบในทั้ง 3 ตัวอย่าง ได้แก่ acetyl-furan ให้กลิ่นหวาน มีค่า FD factor เท่ากับ 27 ในข้าวผัดไฟแดง มีค่า FD factor เท่ากับ 3 ในข้าวผัดธรรมดา มีค่า FD factor เท่ากับ 0 ในข้าวหุงสุก, 2-acetyl-1-pyrroline ให้กลิ่นหวาน, กลิ่นใบเตย มีค่า FD factor เท่ากับ 27 ในข้าวผัดไฟแดง มีค่า FD factor เท่ากับ 3 ในข้าวผัดธรรมดา มีค่า FD factor เท่ากับ 27 เป็นสารให้กลิ่นที่พบมากในข้าวชนิดต่างๆ โดยเฉพาะข้าวหอมมะลิ เกิดขึ้นจากปฏิกิริยา Strecker degradation โดยเกิดจาก proline ในข้าว (Jezussek *et al.*, 2002) isobutyric acid ให้กลิ่นเปรี้ยว (*sour*), กลิ่นเน่าบูด (*rancid*), กลิ่นเค็มมีค่า FD factor เท่ากับ 0 ในข้าวผัดไฟแดง มีค่า FD factor เท่ากับ 3 ในข้าวผัดธรรมดา มีค่า FD factor เท่ากับ 0 ในข้าวหุงสุก และสารที่ไม่ทราบชนิด AG ให้กลิ่นกรด acetic มีค่า FD factor เท่ากับ 27 ในข้าวผัดไฟแดง มีค่า FD factor เท่ากับ 3 ในข้าวผัดธรรมดา มีค่า FD factor เท่ากับ 3 ในข้าวหุงสุก

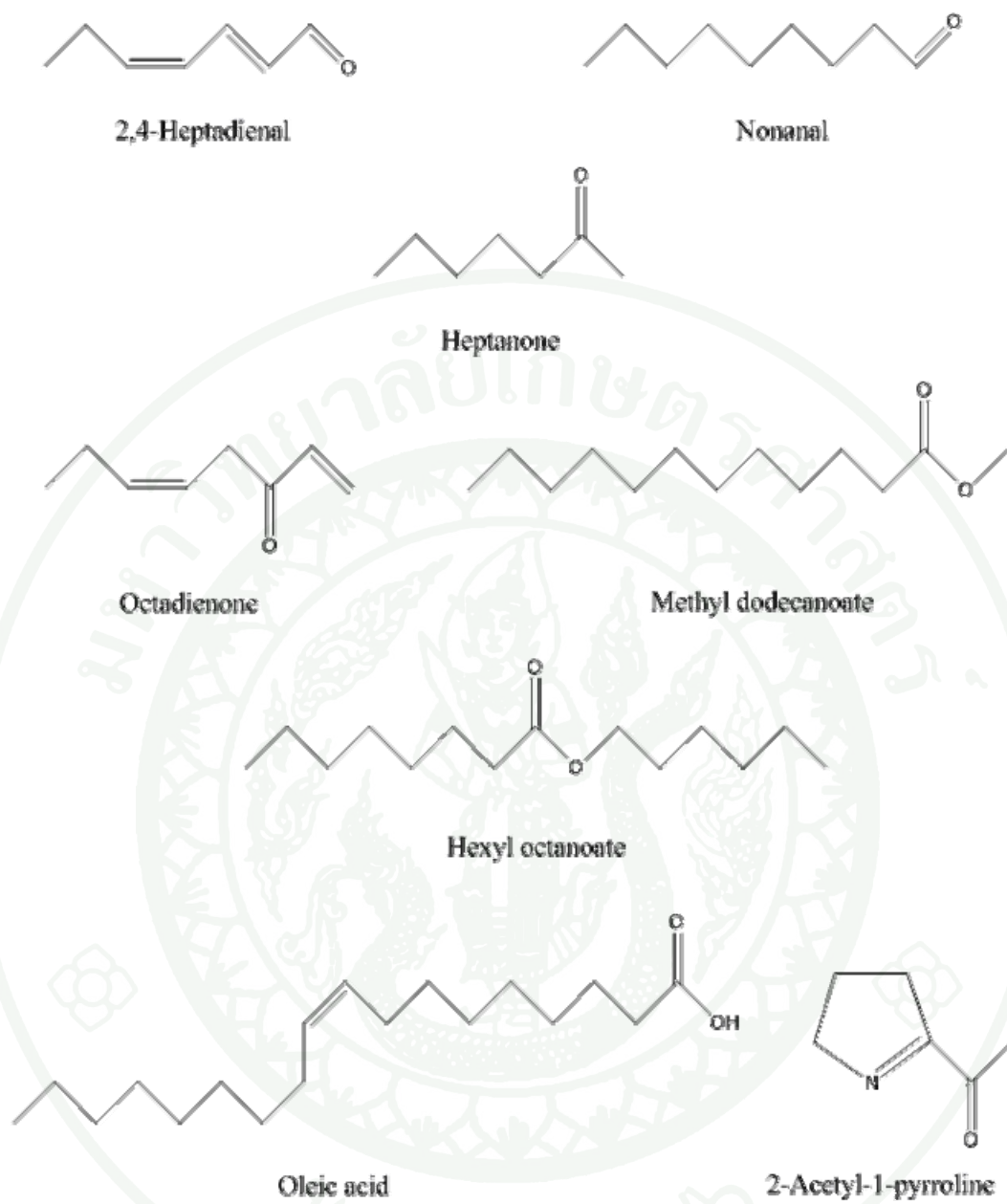
ยังมีสารที่ตรวจวัดได้โดย GC-O แต่ตรวจไม่พบใน GC-MS เนื่องจาก FID และ MS มีความไวในการตรวจวัดสารได้ในระดับนาโนกรัม หรือ น้อยที่สุด 10^{-12} กรัมเท่านั้น ในขณะที่ประสาทสัมผัสของมนุษย์มีความไวต่อสารให้กลิ่นในระดับ 10^{-15} กรัม (Blank, 2002) ดังนั้นสารระเหยที่สกัดได้บางชนิดแม้จะมีปริมาณความเข้มข้นน้อยก็เป็นไปได้ว่าผู้ทดสอบสามารถได้กลิ่น

เมื่อพิจารณาผลความสอดคล้องของค่า OAV จากตารางที่ 11 พบว่า hexanal มีค่า OAV เท่ากับ 4 และ 1 ในข้าวผัดไฟแดง และข้าวผัดธรรมดา ตามลำดับ ซึ่งมีค่า FD factor เท่ากับ 9 ทั้งในข้าวผัดไฟแดง และข้าวผัดธรรมดา (ตารางที่ 12) ส่วน (Z)-2-nonenal มีค่า OAV เท่ากับ 36 และ 10 ในข้าวผัดไฟแดง และข้าวผัดธรรมดา ตามลำดับ แต่ค่า FD factor ที่ได้เท่ากับ 9 และพบเฉพาะในข้าวผัดไฟแดงเท่านั้น อีกทั้ง (E,Z)-2,4-decadienal มีค่า OAV เท่ากับ 55 ในข้าวผัดธรรมดา แต่ค่า FD factor ที่ได้เท่ากับ 9 พบเฉพาะในข้าวผัดไฟแดงเท่านั้น นอกจากนี้ค่า OAV สูงที่พบทั้ง 3 ตัวอย่าง คือ acetic acid กลับไม่พบสารให้กลิ่นที่สำคัญดังกล่าว

เนื่องจากสารให้กลิ่น wok flavor เป็นสารที่ไม่ทราบชนิด จึงได้ทำการวิเคราะห์หาชนิดของสารระเหยด้วยเครื่อง Gas Chromatography-Mass Spectroscopy (HP Model 6890, Mass Selective Detector, Leco Pegasus III) พบว่าสารระเหยที่มีค่า RI = 1266 และ 1321 จากการแยกด้วยคอลัมน์ FFAP ก็ยังคงไม่สามารถระบุชนิดของสารได้ ได้แก่ สารไม่ทราบชนิดที่ 1 และสารไม่ทราบชนิดที่ 2 แต่มี mass spectrum ดังภาพที่ 9 ซึ่งอาจจะเป็นสารระเหยที่ให้กลิ่น wok flavor อีกทั้งเมื่อพิจารณาจากสารระเหยที่มีค่า RI ใกล้เคียงกันพบว่าสารให้กลิ่น wok flavor นี้่าจะมีจุดเดือดอยู่ระหว่าง 170-180 องศาเซลเซียส ดังนั้นย่อมจะมีผลต่อการนำสารระเหยไปประยุกต์ใช้ในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสม ซึ่งพบว่าสารสกัดให้กลิ่นนี้จะไม่สามารถใส่ลงไปในขณะผัดได้เนื่องจากอุณหภูมิในการผัดจะอยู่ที่ 200 องศาเซลเซียส ทำให้สารให้กลิ่น wok ระเหยไปได้อย่างรวดเร็ว

เพื่อเป็นการทดสอบว่ากลิ่นของข้าวผัดไฟแดงนี้แตกต่างจากกลิ่นของข้าวผัดธรรมดา ในการทดลองนี้ใช้การทดสอบความแตกต่างจากตัวอย่างควบคุม (Difference from control test) โดยให้ผู้ทดสอบทั่วไป 30 คน คมตัวอย่างเพื่อบอกความแตกต่างความแรงของกลิ่นตัวอย่างต่างๆ ประกอบด้วย ข้าวผัดไฟแดง ข้าวผัดธรรมดา และข้าวหุงสุก เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม โดยตัวอย่างควบคุมคือ ข้าวผัดไฟแดง เพื่อทดสอบว่าผู้ทดสอบจะสามารถบอกความแตกต่างของกลิ่นในตัวอย่างที่แตกต่างกันได้หรือไม่

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย พบว่าผู้ทดสอบสามารถบอกความแตกต่างของตัวอย่างระหว่างข้าวหุงสุกกับตัวอย่างควบคุมได้ว่า ข้าวหุงสุกมีกลิ่นผัดอ่อนกว่าตัวอย่างควบคุมมาก (-4.17) ตัวอย่างข้าวผัดธรรมดามีกลิ่นอ่อนกว่าตัวอย่างควบคุม (-2.13) ส่วนตัวอย่างข้าวผัดไฟแดงมีความแตกต่างจากตัวอย่างควบคุมน้อยมาก (-0.07) ที่ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าผู้ทดสอบสามารถแยกความแตกต่างของกลิ่นที่มีความเฉพาะตัวของข้าวผัดไฟแดงได้



ภาพที่ 8 สูตรโครงสร้างสารให้กลิ่นที่สำคัญ

ตารางที่ 12 ชนิด ลักษณะกลิ่น และค่า FD factor ของสารระเหยในข้าวผัดที่ผ่านการผัดไฟแดง (FFR) ข้าวผัดธรรมดา (SFR) และข้าวหุงสุก (R)

สารระเหย	ลักษณะกลิ่น ^a	RI		FD factor ^b		
		HP-5	FFAP	FFR	SFR	R
unknown A	fishy	<700	n.a.	3	-	-
1,3-butanediol ^c	solvent	785	n.a.	3	-	-
hexanal ^{c, h}	green	799	n.a.	9	9	-
ethyl butanoate ^c	sweet	808	n.a.	0	-	-
unknown B	fishy, salty	843	n.a.	9	3	-
heptanone ^f	metallic, solvent	885	n.a.	27	3	-
unknown C	fishy	900	n.a.	9	-	-
unknown D	sweet	907	n.a.	27	3	-
unknown E	fishy	917	n.a.	-	27	-
acetylfuran ^t	sweet	923	n.a.	27	3	0
Propylcyclohexane ^r	sweet	938	n.a.	0	-	-
2-acetyl-1-pyrroline ^{d, v}	sweet, pandan like	939	1220	27	3	27
hexanoic acid ^g	sour, stale	990	n.a.	-	-	0
octadienone ^f	metallic, rust	997	n.a.	27	81	-
unknown F	sweet	1023	n.a.	-	81	-
benzylmethyl ether ^f	metallic	1030	n.a.	-	-	0
limonene ^{c, h, i}	citrus	1035	n.a.	27	-	-
2-phenylethanol ^{d, j}	sweet	1107	n.a.	-	0	-
(Z)-2-nonenal ^{k, l, s}	stir-fried oil, sweet, burnt	1151	1497	9	-	-
(E,Z)-2,4-nonadienal ^{i, m, p}	stir-fried oil	1203	1654	0	0	-
decanal ^{std}	scented candle	1205	n.a.	27	9	-
(Z)-2-decenal ^{m, d}	stir-fried oil, burnt	1256	1586	27	-	-
unknown G	sour, rancid	1313	n.a.	9	3	-
decanoic acid ^{f, w}	oily, sweet	1393	2251	3	0	-
dodecanal ^{c, f}	stir-fried oil, burnt	1407	n.a.	27	9	-
unknown H	stir-fried oil	1443	n.a.	0	-	-
2-dodecanal ^f	stir-fried oil	1461	n.a.	27	-	-
methyl dodecanoate ^f	stir-fried oil	1511	n.a.	-	27	-

ตารางที่ 12 (ต่อ)

สารระเหย	ลักษณะกลิ่น ^a	RI		FD factor ^b		
		HP-5	FFAP	FFR	SFR	R
unknown I	stir-fried oil, burnt	1523	n.a.	0	-	-
hexyl octanoate ^f	stir-fried oil, burnt	1568	n.a.	27	27	-
(<i>E</i>)-2-hexanoic acid ^f	stir-fried oil, burnt	1614	n.a.	0	-	-
unknown J	stir-fried oil	1664	n.a.	-	3	-
butyl laurate ^f	frying oil	1680	n.a.	-	9	-
unknown K	stir-fried oil, burnt	1701	n.a.	27	3	-
unknown L	stir-fried oil, burnt	1744	n.a.	27	-	-
unknown M	frying oil	1751	n.a.	-	27	-
unknown N	stir-fried oil, sweet, burnt	1789	n.a.	9	-	-
unknown O	frying oil	1800	n.a.	-	3	-
unknown P	sweet	1810	n.a.	-	-	0
unknown Q	stir-fried oil, sweet, burnt	1815	n.a.	27	-	-
unknown R	stir-fried oil	1890	n.a.	-	27	-
unknown S	frying oil	1940	n.a.	-	3	-
unknown T	frying oil	1982	n.a.	-	27	-
2-methylpropylhexadecanoate ^f	stir-fried oil, burnt	2014	n.a.	0	9	-
unknown U	oily	2016	n.a.	27	-	-
oleic acid ^f	stir-fried oil, burnt	2070	n.a.	27	27	-
unknown V	frying oil	2117	n.a.	-	9	-
unknown W	stir-fried oil, burnt	2164	n.a.	27	-	-
unknown X	oily, sweet, frying oil	2203	n.a.	3	9	-
unknown Y	stir-fried oil, sweet	2217	n.a.	3	-	-
octadecanol ^f	oily, salty	2232	2574	3	9	-
unknown Z	frying oil	2312	n.a.	-	9	-
unknown AA	stir-fried oil	2267	n.a.	0	-	-
unknown AB	solvent	n.a.	<1000	9	-	-
butanal ^f	green	n.a.	<1000	27	3	-
unknown AC	metallic, solvent, plastic	n.a.	1006	9	-	-
unknown AD	fishy, salty	n.a.	1061	81	3	-

ตารางที่ 12 (ต่อ)

สารระเหย	ลักษณะกลิ่น ^a	RI		FD factor ^b		
		HP-5	FFAP	FFR	SFR	R
1-hexen-3-one ^s	metallic, solvent	n.a.	1095	9	-	-
isobutanol ^f	solvent	n.a.	1100	-	-	0
unknown AE	sweet, stale	n.a.	1135	81	3	-
methyl hexanoate ^f	sweet	n.a.	1185	3	-	-
heptanone ^u	metallic, rust	n.a.	1204	81	9	-
propyl butyrate ^f	solvent	n.a.	1221	27	-	-
unknown AF	wok	n.a.	1266	9	-	-
unknown AG	acetic acid	n.a.	1319	27	3	3
1-dodecene ^c	sweet	n.a.	1320	0	-	-
unknown AH	wok	n.a.	1321	0	-	-
(Z)-3-hexenyl acetate ^s	sweet	n.a.	1326	-	-	0
nonanal ^{std}	scented candle	n.a.	1370	81	3	-
2-octenal ^c	stir-fried oil	n.a.	1414	0	-	-
(E)-2-octenal ^u	sour, rancid	n.a.	1444	0	3	-
(E,E)-2,4-heptadienal ^c	stir-fried oil, sour	n.a.	1461	27	0	-
2,4-heptadienal ^c	stir-fried oil, burnt	n.a.	1475	81	-	-
3,6-dihydro-4-methyl-2-(2-methyl-1-propenyl)-2H-pyran ^f	oily	n.a.	1485	-	3	-
propanoic acid ^f	sour, rancid	n.a.	1506	-	3	-
2-nonenal ^f	stir-fried oil	n.a.	1522	9	-	-
(E)-2-nonenal ^{d, l, q}	stir-fried oil	n.a.	1531	27	3	-
linoleic acid ^c	stir-fried oil	n.a.	1556	9	0	-
isobutyric acid ^{f, s}	sour, rancid, salty	n.a.	1565	0	3	0
(E)-2-decenal ^{m, q}	stir-fried oil	n.a.	1630	3	-	-
1,3- <i>p</i> -menthadien-7-al ^f	oily	n.a.	1670	-	0	-
(E,E)-2,4-nonadienal ^{i, m, n}	stir-fried oil	n.a.	1679	0	-	-
(E,E)-2,4-nonadienal ^{h, l, s}	stir-fried oil	n.a.	1704	9	-	-
(E,Z)-2,4-decadienal ^p	stir-fried oil	n.a.	1770	9	-	-
(E,E)-2,4-decadienal ^{d, h, l}	stir-fried oil, burnt	n.a.	1797	0	-	-

ตารางที่ 12 (ต่อ)

สารระเหย	ลักษณะกลิ่น ^a	RI		FD factor ^b		
		HP-5	FFAP	FFR	SFR	R
hexanoic acid ^c	oily, sweet	n.a.	1824	0	0	-
unknown AI	oily	n.a.	1909	3	0	-
heptanoic acid ^c	oily, sweet	n.a.	1938	9	-	-
(E)-4,5-epoxy-(E)-2-decenal ^o	oily	n.a.	1984	-	3	-
octanoic acid ^o	stir-fried oil	n.a.	2052	3	-	-
6,10,14-trimethyl-2-pentadecanone ^f	stir-fried oil, sweet	n.a.	2111	3	0	-
nonanoic acid ^c	stir-fried oil	n.a.	2145	0	-	-
unknown AJ	stir-fried oil, sweet	n.a.	2288	9	-	-
3-phenyl-2-propen-1-ol ^f	oily, sweet	n.a.	2304	0	3	-
isopropyl palmitate ^f	stir-fried oil	n.a.	2365	-	0	-
unknown AK	oily	n.a.	2465	-	3	-
dodecanoic acid ^o	stir-fried oil, sweet	n.a.	2473	3	-	-
unknown AL	solvent	n.a.	2494	-	0	-
unknown AM	oily	n.a.	2503	0	-	-
unknown AN	oily	n.a.	2522	-	3	-
unknown AO	oily, sweet	n.a.	2614	3	-	-
unknown AP	solvent	n.a.	2623	-	3	-
unknown AQ	oily	n.a.	2691	3	-	-

หมายเหตุ^a ลักษณะกลิ่นที่ได้ของสาร จาก GC-O

^b ค่า FD factor จากการดมสารที่แยกด้วยคอลัมน์ HP-5MS หรือ FFAP โดยค่า FD factor = 0 หมายถึง สารสกัดก่อนเจือจาง เพื่อทำวิธี AEDA และ - หมายถึง ไม่ได้กลิ่น

^c ยืนยันสารด้วย RI จากคอลัมน์ HP-5 หรือ FFAP, mass spectrum ของสารนั้น และ ลักษณะกลิ่นที่ได้ในคอลัมน์ชนิดเดียวกัน

^d ยืนยันสารด้วย RI จาก Jezussek *et al.* (2002) ^e Fang and Qian (2005) ^f Acree and Arn (2009) ^g Karagul-Yuceer *et al.* (2001) ^h Steinhaus *et al.* (2007) ⁱ Buettner *et al.* (2003)

^j Blekas and Guth (1995) ^k Reiner and Grosch (1998) ^l Schnermann and Schieberle (1997) ^m Wagner and Grosch (1997) ⁿ Poisson and Schieberle (2008)

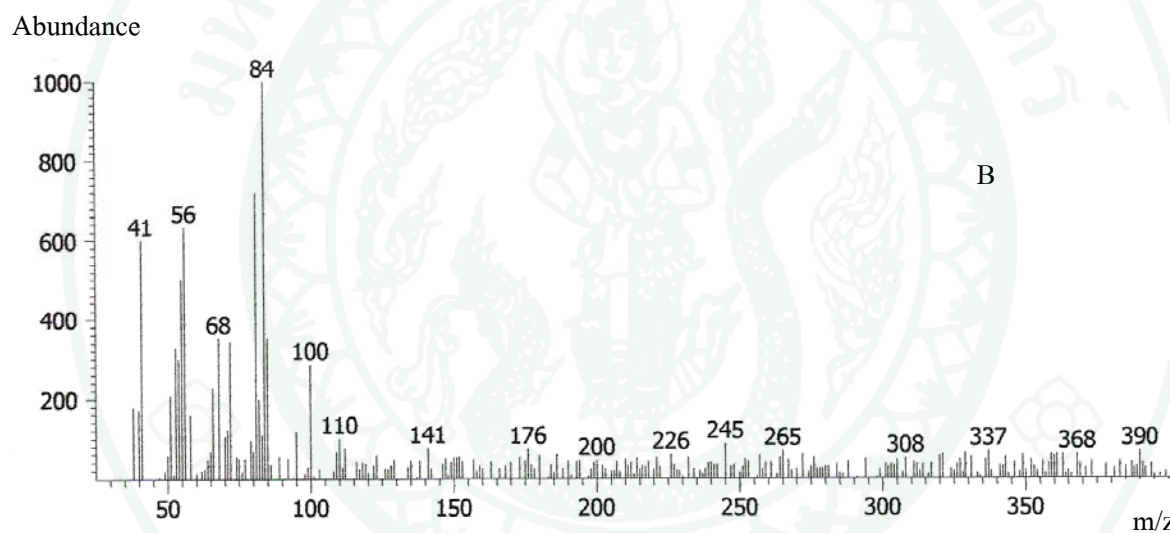
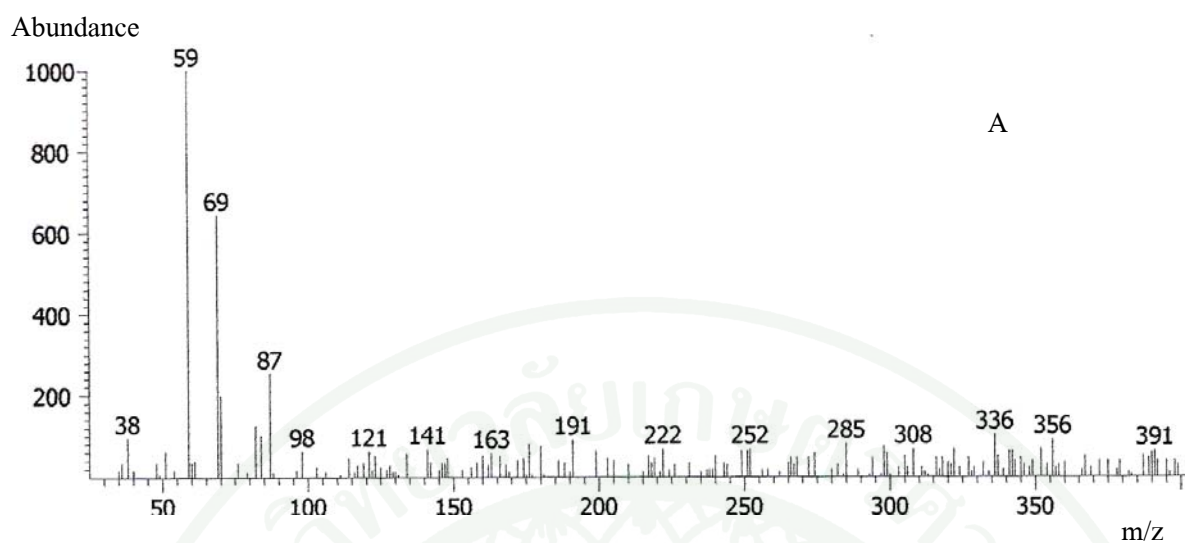
ตารางที่ 12 (ต่อ)

^o Karagul-Yuceer *et al.* (2003) ^p Kirchhoff and Schieberle (2001) ^q Tairu *et al.* (2006) ^r
 Mottram (2009) ^s Rychlik *et al.* (1998) ^t Varlet *et al.* (2006) ^u El-Sayed (2009)
^v Roberts and Acree (1994)

^{std} ยืนยันสารด้วยสารมาตรฐาน

n.a. = not available





ภาพที่ 9 Mass spectrum ของสารไม่ทราบชนิดที่อาจจะเป็นสารให้กลิ่น wok flavor A) สารไม่ทราบชนิดที่ 1 ที่มีค่า RI = 1266 จากการแยกด้วยคอลัมน์ FFAP B) สารไม่ทราบชนิดที่ 2 ที่มีค่า RI = 1321 จากการแยกด้วยคอลัมน์ FFAP

3. สารระเหยที่หักลิ้นผิดเพื่อใช้ในอุตสาหกรรม

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสเบื้องต้น พบว่าผู้ทดสอบสามารถบอกความแตกต่างของข้าวที่ผ่านการผัดธรรมดา และข้าวที่ผ่านการผัดแบบไฟแดงได้ การทดลองนี้จึงสกัดสารให้กลิ่นจากข้าวผัดไฟแดงเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม ในการทดลองเบื้องต้นได้ทดลองนำตัวทำละลาย คือ เฮกเซน เพนเทน ไดเอทิลอีเทอร์ และเอทานอล มาสกัดสารให้กลิ่นผิด พบว่าตัวทำละลายเฮกเซน และ เพนเทน สามารถสกัดสารให้กลิ่นผิดออกมาได้ความแรงของกลิ่นผิดน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการสกัดด้วยตัวทำละลายไดเอทิลอีเทอร์ และเอทานอล ที่สามารถสกัดสารให้กลิ่นผิดออกมามีความแรงมาก แต่ทั้งนี้จุดประสงค์ คือ จะนำสารให้กลิ่นผิดไปใช้ในอุตสาหกรรมจึงเลือกใช้ตัวทำละลายเอทานอล เนื่องจากเป็นตัวทำละลายที่มีความเป็นพิษต่ำ และใช้ในอุตสาหกรรมผลิตสารให้กลิ่นรสอยู่ในปัจจุบัน ดังนั้นในการทดลองจึงได้เลือกเอทานอลเป็นตัวทำละลายที่ใช้สกัดสารให้กลิ่นผิด อีกทั้งยังเป็นตัวทำละลายที่มีการนำไปใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางทั้งในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง อาหาร และยา ซึ่งมีความปลอดภัยในการบริโภคเมื่อเปรียบเทียบกับตัวทำละลายชนิดอื่นๆ แต่ทั้งนี้จะต้องคำนึงถึงปริมาณของเอทานอลที่ใช้ในอาหารด้วย รวมถึงสามารถหาซื้อได้ง่ายมีความบริสุทธิ์สูงมาสกัดสารให้กลิ่นผิด ในการทดลองนี้ได้ใช้ข้าวผัดไฟแดงปริมาณ 80 กรัม มาสกัดด้วยเอทานอล 360 มิลลิลิตร โดยสารสกัดที่ได้จะมีสีเหลืองอ่อนใส เมื่อผสมในช่วงแรกจะได้กลิ่นแอลกอฮอล์ และหลังจากนั้นจะตามด้วยกลิ่นผิดที่ชัดเจน

ดังนั้นจึงสกัดตัวอย่างข้าวผัดไฟแดงด้วยเอทานอล ทำให้เข้มข้นและวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของสารระเหยในสารสกัดเข้มข้นด้วย GC-MS ด้วยคอลัมน์ HP-5 และ FFAP ดังแสดงในตารางที่ 13 พบว่าสารสกัดเข้มข้นมีสารระเหยทั้งหมด 46 ชนิด ซึ่งสารระเหยส่วนใหญ่จะพบจากการแยกด้วยคอลัมน์ FFAP ได้แก่ สารกลุ่มกรด 8 ชนิด, alcohol 3 ชนิด, aldehyde 1 ชนิด, hydrocarbon 3 ชนิด, ketone 2 ชนิด, phenol 3 ชนิด, furan 5 ชนิด, lactone 1 ชนิด, pyran 2 ชนิด, สารอื่นๆ 1 ชนิด และสารไม่ทราบชนิด 17 ชนิด สารระเหยที่มีความเข้มข้นสูง ได้แก่ acetic acid, 5-(hydroxymethyl)-2-furancarboxaldehyde, hexanoic acid และ octanoic acid ทั้งนี้สารส่วนใหญ่ที่พบจะเป็นชนิดเดียวกับที่พบในสารสกัดด้วยตัวทำละลายไดเอทิลอีเทอร์ และมีความเข้มข้นของ acetic acid สูงที่สุดเช่นเดียวกัน แต่มีสารที่พบเฉพาะจากการสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอล ได้แก่ 2-(2-ethoxyethoxy) ethanol, 1-methoxy-1,3-cyclohexadiene, 3-phenyl-2H-azirine, 2,3-dihydro-6-(trifluoromethyl)-7-methoxy-1H-benz[e]isoindol-1-one, *p*-cresol, 2,3-dihydrobenzofuran, 5-valerolactone และ 3-hydroxy-2-methyl-4H-pyran-4-one ซึ่งสารที่พบเพิ่มนี้ทั้งหมดมีเปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 13 ชนิด ความเข้มข้นสัมพัทธ์ และ OAV ของสารระเหย ที่สกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลจากข้าวผัดไฟแดง

ที่ ^a	สารระเหย	ลักษณะกลิ่น ^b	RI		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (ng/ml) ^c	Threshold (ng/g)	OAV ^d	identify
			HP-5	FFAP				
<u>Acids</u>								
2	acetic acid	strong, pungent, sour, vinegar odor	n.a.	1496	879.16	124 ^h	3	1,2
4	propionic acid	pungent, sour milk odor; sour milk	n.a.	1555	18.96	3,840 ^e	<1	1,2
8	butanoic acid	strong, cheese, butter-like, sour-rancid odor	n.a.	1620	25.18	135 ⁱ	<1	1,2
13	pentanoic acid	powerful, “sweaty” cheese-like, sour-rancid	n.a.	1713	40.69	1,490 ^b	<1	1,2
19	hexanoic acid	heavy, fatty, cheesey odor	n.a.	1810	140.00	5,400 ⁱ	<1	1,2
22	heptanoic acid	fatty, sour-sweat-like, rancid odor	n.a.	1909	60.56	n.a.	-	1,2
29	octanoic acid	fatty, rancid, sweaty odor	n.a.	2017	94.13	161,000 ^b	<1	1,2
33	nonanoic acid	mild, nut-like, fatty odor	n.a.	2121	51.79	n.a.	-	1,2
<u>Alcohols</u>								
5	2,3-butanediol	weak	n.a.	1560	23.76	10 ^j	2	1,2
6	1,3-butanediol	solvent of flavor	n.a.	1583	15.61	n.a.	-	1,2
7	2-(2-ethoxyethoxy)ethanol	-	n.a.	1617	18.30	n.a.	-	1,2
<u>Aldehyde</u>								
16	(<i>E,E</i>)-2,4-decadienal	strong, deep fat flavor; fatty-citrus notes	1313	1759	22.25	2,150 ^b	<1	1,2

ตารางที่ 13 (ต่อ)

ที่ ^a	สารระเหย	ลักษณะกลิ่น ^b	RI		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (ng/ml) ^c	Threshold (ng/g)	OAV ^d	identify
			HP-5	FFAP				
<u>Hydrocarbons</u>								
3	1-methoxy-1,3-cyclohexadiene	-	n.a.	1549	8.92	n.a.	-	1,2
40	3-phenyl-2 <i>H</i> -azirine	-	n.a.	2421	14.99	n.a.	-	1,2
42	vanillin	powerful, creamy, vanilla-like odor	n.a.	2545	33.05	1,000 ^f	<1	1,2
<u>Ketone</u>								
46	2,3-dihydro-6-(trifluoromethyl)-7-methoxy-1 <i>H</i> -ben[e]isoindol-1-one	-	1543	n.a.	9.32	n.a.	-	1,2
18	corylone	very strong, caramellic-maple, lovage odor	n.a.	1805	5.66	n.a.	-	1,2
<u>Phenols</u>								
25	phenol	phenolic medicinal odor	n.a.	1973	34.71	40,000 ^g	<1	1,2
32	<i>p</i> -cresol	tarry, smoky, phenol-medicinal, animal-like	n.a.	2050	20.48	n.a.	-	1,2
34	4-vinyl-2-methoxy-phenol	-	n.a.	2169	16.80	n.a.	-	1,2
<u>Hyterocyclic compounds</u>								
<u>Furans</u>								
10	2-furanmethanol	-	n.a.	1641	6.16	n.a.	-	1,2
26	Furancarboxylic acid, methyl ester	fruity, earthy, winey	n.a.	1984	28.22	n.a.	-	1,2

ตารางที่ 13 (ต่อ)

ที่ ^a	สารระเหย	ลักษณะกลิ่น ^b	RI		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (ng/ml) ^c	Threshold (ng/g)	OAV ^d	identify
			HP-5	FFAP				
27	hydroxy dimethyl furanone	-	n.a.	2001	22.44	n.a.	-	1,2
38	2,3-dihydrobenzofuran	-	n.a.	2366	6.34	n.a.	-	1,2
41	5-(hydroxymethyl)-2-furancarboxaldehyde	-	n.a.	2479	165.42	n.a.	-	1,2
<u>Lactone</u>								
17	5-valerolactone	-	n.a.	1798	14.35	n.a.	-	1,2
<u>Pyrans</u>								
23	3-hydroxy-2-methyl-4H-pyran-4-one	sweet, fruity, berry, caramellic odor; fruity preserve-like	n.a.	1942	13.22	n.a.	-	1,2
36	2,3-dihydro-3,5-dihydroxy-6-methyl-4H-pyran-4-one	-	n.a.	2241	54.18	n.a.	-	1,2
<u>Other</u>								
39	1,4:3,6-dianhydro- α -D-glucopyranose	-	n.a.	2373	30.94	n.a.	-	1,2
<u>Unknowns</u>								
43	unknown	-	1104	n.a.	5.24	n.a.	-	
44	unknown	-	1261	n.a.	7.61	n.a.	-	
45	unknown	-	1291	n.a.	5.70	n.a.	-	

ตารางที่ 13 (ต่อ)

ที่ ^a	สารระเหย	ลักษณะกลิ่น ^b	RI		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (ng/ml) ^c	Threshold (ng/g)	OAV ^d	identify
			HP-5	FFAP				
1	unknown	-	n.a.	1444	31.66	n.a.	-	
7	unknown	-	n.a.	1591	46.87	n.a.	-	
9	unknown	-	n.a.	1632	8.31	n.a.	-	
11	unknown	-	n.a.	1644	15.39	n.a.	-	
12	unknown	-	n.a.	1649	16.84	n.a.	-	
14	unknown	-	n.a.	1749	6.12	n.a.	-	
15	unknown	-	n.a.	1752	41.46	n.a.	-	
20	unknown	-	n.a.	1836	15.15	n.a.	-	
21	unknown	-	n.a.	1875	3.93	n.a.	-	
24	unknown	-	n.a.	1967	6.16	n.a.	-	
28	unknown	-	n.a.	2006	12.73	n.a.	-	
30	unknown	-	n.a.	2035	11.53	n.a.	-	
31	unknown	-	n.a.	2041	7.20	n.a.	-	
37	unknown	-	n.a.	2288	71.14	n.a.	-	

ตารางที่ 13 (ต่อ)

หมายเหตุ ^a ลำดับที่ของสารตรงกับ chromatogram ในภาพผนวกที่ ข7-ข8

^b จากฐานข้อมูล Flavor-Base 2004 ของ Leffingwell (2004)

^c ความเข้มข้นสัมพัทธ์ นาโนกรัม/มิลลิลิตร เอทานอล)

^d ค่า Odor Activity Value คำนวณได้จากความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารหารด้วยค่า threshold ของสารนั้น

^e ค่า threshold ในน้ำมันดอกคำฝอย จาก Amoore and Buttery (1978) ^f ค่า threshold ในน้ำมันดอกทานตะวัน จาก Herrmann and Salam (1980) ^g ค่า threshold ในน้ำมันแร่ จาก Joyner (1963) ^h ค่า threshold ในน้ำมันดอกทานตะวันบริสุทธิ์ จาก Reiners and Grosch (1998) ⁱ ค่า threshold ใน น้ำมันดอกทานตะวัน จาก Schieberle (1993) ^j ค่า threshold ในน้ำมันดอกทานตะวันจาก Kubickova and Grosch (1998)

1 ยืนยันสารด้วย RI

2 ยืนยันสารด้วย mass spectrum

n.a. = not available

matching กับ mass spectrum ในฐานข้อมูล Wiley 275 library 80 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป สารระเหยเหล่านี้ไม่น่าจะมีความสำคัญต่อการให้กลิ่นผิดเนื่องจากว่าสารสกัดด้วยไดเอทิลอีเทอร์ ซึ่งไม่พบสารระเหยเหล่านี้ก็มีกลิ่นผิดด้วยเช่นกัน ยังเป็นการยืนยันว่าสารให้กลิ่นผิดสามารถใช้ตัวทำละลายที่มีขั้วสูงอย่างเอทานอล หรือตัวทำละลายที่มีขั้วเป็นกลางถึงมีขั้วเล็กน้อยอย่างไดเอทิลอีเทอร์ได้ ซึ่งค่าความมีขั้ว (polarity) ของเอทานอลเท่ากับ 5.2 ส่วนไดเอทิลอีเทอร์มีค่าความมีขั้วเท่ากับ 2.8 (Byers, 2003)

จากการทดลองในหัวข้อที่ 1 พบสารระเหย acenaphthalene ในตัวอย่างข้าวผัดไฟแดง ที่เป็นสารก่อให้เกิดมะเร็ง ซึ่งได้จากการสกัดตัวอย่างด้วยตัวทำละลายไดเอทิลอีเทอร์ แต่ทั้งนี้ไม่พบสารระเหยชนิดนี้จากการสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอล เนื่องจากสารระเหยชนิดนี้มีคุณสมบัติเป็นสารที่ไม่มีขั้ว จึงไม่สามารถสกัดออกมาโดยตัวทำละลายเอทานอลได้

ในการทดสอบทางประสาทสัมผัส ในเบื้องต้นได้ทำการทดลองนำสารสกัดกลิ่นผิดที่ได้จากการสกัดข้าวผัดไฟแดง 80 กรัม นำมาสกัดด้วยเอทานอล 360 มิลลิลิตร นำมาผสมลงในซอสทางการค้าชนิดต่างๆ ได้แก่ ซอสผัดกระเทียมพริกไทย, ซอสผัดกระเพรา, ซอสผัดพริกไทยดำ และซอสผัดเข้มข้น ในปริมาณ 10, 20, 30, 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่าถ้าใส่ปริมาณสารสกัดกลิ่นผิดเกิน 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักขึ้นไปจะมีผลต่อเนื้อสัมผัสของซอส ทำให้ซอสเกิดการแยกชั้น อีกทั้งยังมีกลิ่นแอลกอฮอล์ที่แรงมาก นอกจากนี้ยังพบว่าซอสผัดเข้มข้นมีความเหมาะสมในการเติมสารสกัดกลิ่นผิดมากที่สุด เนื่องจากซอสชนิดอื่นๆมีส่วนผสมของกระเทียม, พริกไทยดำ, พริก และเครื่องเทศต่างๆในปริมาณสูงซึ่งสามารถบดบังกลิ่นผิด แต่ทั้งนี้เป็นการทดสอบโดยการดมกลิ่น (nasal) ไม่ใช่การชิมแล้วได้กลิ่น (retronasal) ดังนั้นในการทดสอบความชอบ (Preference test) จึงทำการผสมสารสกัดกลิ่นผิดลงในซอสผัด ปริมาณ 10, 20, 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และ 0 เปอร์เซ็นต์ (คือ ไม่ผสมสารสกัดกลิ่นผิด) เพื่อนำไปประเมินความชอบของกลิ่นผิด

อย่างไรก็ตามขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างเพื่อประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส จะทำการผัดข้าวผัดแบบธรรมดาแล้วเติมซอสผัดที่ผสมสารสกัดกลิ่นผิดลงไปคลุกกับข้าวผัดหลังจากดับไฟแล้วทิ้งไว้ให้อุณหภูมิลดลงประมาณ 1 นาที การเติมซอสลงไปขณะผัดจะทำให้กลิ่นผิดนั้นหายไปเนื่องจากสารให้กลิ่นผิดมีจุดเดือดต่ำกว่าอุณหภูมิในการผัด จากค่า Retention time ของสารให้กลิ่นสำคัญที่ให้กลิ่น wok flavor ในข้อ 2 ในข้าวผัดไฟแดง และโปรแกรมอุณหภูมิในการวิเคราะห์ด้วย GC เราสามารถประมาณได้ว่าสารให้กลิ่น wok flavor น่าจะมีจุดเดือดอยู่ในช่วง 170-

180 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิในการผัดปกติ คือ 200 องศาเซลเซียส จึงส่งผลให้กลิ่นผัดหายไป ดังนั้นการเติมสารสกัดควรเติมที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่า 170 องศาเซลเซียส

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยพบว่าผู้ทดสอบชอบข้าวซึ่งผสมซอสที่มีความเข้มข้นของสารสกัดกลิ่นผัด 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักมากที่สุดโดยมีคะแนนความชอบสูงสุด คือ 6.19 คะแนนจัดอยู่ในระดับความชอบเล็กน้อย และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) กับข้าวซึ่งผสมซอสที่มีความเข้มข้นของสารสกัดกลิ่นผัด 0, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งมีคะแนนความชอบเป็น 5.38, 5.47 และ 4.61 ตามลำดับ (ตารางที่ 14) อีกทั้งผู้ทดสอบได้ทำการเสนอแนะว่าที่ความเข้มข้น 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก นั้นมีความแรงของกลิ่นผัดมากเกินไป

อย่างไรก็ตามการทดลองด้านความชอบของกลิ่นผัดนั้น เป็นการเปรียบเทียบโดยใช้ซอสทางการค้าที่ไม่ผ่านการผัด ซึ่งไม่ใช่วิธีการใช้ซอสผัดตามปกติ ดังนั้นผลทางด้านความชอบกลิ่นผัดจึงเป็นผลจากการประยุกต์เพื่อเพิ่มกลิ่นผัดในซอสผัดที่ไม่ได้ผ่านความร้อนเท่านั้น

ตารางที่ 14 ความชอบซอสที่ผสมสารสกัดกลิ่นผัดความเข้มข้นต่างๆ

ปริมาณสารสกัดกลิ่นผัดที่เติมในซอส ^d	คะแนนความชอบ *
30%	4.61 ± 1.99 ^c
20%	5.47 ± 1.71 ^b
10%	6.19 ± 1.68 ^a
0%	5.38 ± 1.95 ^b

หมายเหตุ ^{a-c} ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างปริมาณสารสกัดกลิ่นผัดที่ต่างกัน

^d ปริมาณสารสกัดกลิ่นผัดที่ได้จากการสกัดข้าวผัดไฟแดง 80 กรัม ด้วยเอทานอล 360 มิลลิลิตร โดยน้ำหนัก

* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จำนวนตัวอย่าง = 120)

สมบัติของสารให้กลืนผัดไม่เสถียรที่อุณหภูมิสูง จึงเป็นข้อจำกัดในการนำไปประยุกต์ใช้ ดังนั้นในการนำไปใช้ควรจะนำไปผสมอาหารที่มีอุณหภูมิไม่สูงเกิน 170 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิขณะผสมสูงเกินไปจะทำให้กลืนผัดหายไป อีกทั้งอาหารที่จะนำไปผสมสารให้กลืนผัดหากมีส่วนผสมของเครื่องเทศหรือพริกปริมาณมากๆ ดังเช่นตัวอย่างของซอสทางการค้าหลายชนิดที่นำมาใช้ในการทดสอบเบื้องต้น จะบดบังกลืนผัดได้



สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. acetic acid มีความเข้มข้นสัมพัทธ์สูงสุดในทุกตัวอย่างโดยตัวอย่างข้าวหุงสุกมีความเข้มข้นของ acetic acid มากที่สุด สารที่มีปริมาณรองลงไปส่วนใหญ่จะเป็นสารที่เกิดจากออกซิเดชันของไขมัน ซึ่งได้จากการใช้อุณหภูมิสูงสารเหล่านี้จะแตกต่างกันไปตามระดับความร้อนที่ตัวอย่างได้รับด้วย ได้แก่ (*E,E*)-2,4-decadienal, (*E*)-2-heptenal, nonanal ในข้าวผัดไฟแดง และข้าวผัดธรรมดา สารระเหยที่มีความเข้มข้นสัมพัทธ์รองลงมาในข้าวหุงสุกคือ 2,3-butanediol, 2,4-di-*tert*-butylphenol และ 1,3-butanediol

2. กลิ่นรสที่มีลักษณะเฉพาะตัวที่ได้จากการผัดไฟแดง มีความแตกต่างจากกลิ่นการผัดธรรมดา เนื่องจากสารที่ไม่ทราบชนิดสองชนิดที่ให้ลักษณะกลิ่น “wok flavor” ซึ่งจะไม่พบสารให้กลิ่นนี้ในตัวอย่างข้าวผัดธรรมดา และตัวอย่างข้าวหุงสุก ยังพบสารให้กลิ่นที่สำคัญ ได้แก่ 2,4-heptadienal ให้กลิ่นน้ำมันผัด, nonanal ให้กลิ่นควั่นเทียน, สารที่ไม่ทราบชนิด ให้กลิ่นคาวปลา, กลิ่นเค็ม, สารที่ไม่ทราบชนิด ให้กลิ่นหวาน, กลิ่นอับ และสารที่ไม่ทราบชนิดให้กลิ่นโลหะ

3. ในข้าวผัดธรรมดา พบสารให้กลิ่นสำคัญที่มีค่า FD factor เท่ากับ 81 ได้แก่ octadienone ให้กลิ่นโลหะ, กลิ่นสนิม และสารที่ไม่ทราบชนิดให้กลิ่นหวาน และสารที่มีค่า FD factor เท่ากับ 27 ได้แก่ methyl dodecanoate, hexyl octanoate, oleic acid และสารที่ไม่ทราบชนิด ให้กลิ่นน้ำมันทอด และกลิ่นน้ำมันผัด, สารที่ไม่ทราบชนิด ให้กลิ่นคาวปลา ซึ่งกลิ่นโดยรวมของข้าวผัดธรรมดาเป็นกลิ่นน้ำมันค่อนข้างแรง ซึ่งกลิ่นจะแตกต่างจากข้าวผัดไฟแดงอย่างชัดเจน

4. สารให้กลิ่นที่สำคัญในข้าวหุงสุก ได้แก่ 2-acetyl-1-pyrroline ให้กลิ่นหวาน, กลิ่นใบเตย และสารไม่ทราบชนิด ให้กลิ่นกรด acetic

5. สารระเหยบางตัวในกลุ่ม acids, alcohols, aldehydes, ester, hydrocarbon, ketones, phenols, furans และสารอื่นๆ ที่พบเฉพาะในข้าวผัดไฟแดง เช่น azulene, 1*H*-indene, cyclododecene และ styrene อีกทั้งสารระเหยในกลุ่ม hydrocarbons ที่มีความเข้มข้นสูง และสารระเหยกลุ่ม pyrazine อาจจะเป็นสารที่ให้กลิ่นสำคัญ ซึ่งมีความเฉพาะตัวนี้

6. สารสกัดกลิ่นผักที่สกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลแล้วนำมาผสมลงในซอสผัดในอัตราส่วนต่างๆ พบว่าผู้ทดสอบมีความชอบซอสผัดที่มีความเข้มข้นของสารสกัดกลิ่นผัก 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักมากที่สุด รวมทั้งการนำไปใช้ในซอสผัด ซอสไม่ควรมีส่วนผสมของพริกหรือเครื่องเทศต่างๆ เนื่องจากจะบดบังสารให้กลิ่นผัก

7. สารให้กลิ่น wok flavor หรือ กลิ่นผัดนี้มีจุดเดือดอยู่ในช่วงระหว่าง 170-180 องศาเซลเซียส มีความเข้มข้น และค่า threshold ต่ำ อีกทั้งสารให้กลิ่นผัดยังสามารถสกัดด้วยตัวทำละลายไดเอทิลอีเทอร์ และเอทานอลได้ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสารให้กลิ่นนี้น่าจะมีขั้วกลางๆ อีกทั้งในการนำไปใช้ประโยชน์จะต้องคำนึงถึงอุณหภูมิเป็นสำคัญ เพราะอาจจะส่งผลต่อลักษณะของกลิ่นได้

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้สามารถระบุสมบัติเบื้องต้นของสารให้กลิ่น wok flavor แต่ยังไม่สามารถระบุชนิดของสารให้กลิ่นได้ งานวิจัยขั้นต่อไปควรเตรียมตัวอย่างให้มีความเข้มข้นมากขึ้น โดยอาจเพิ่มปริมาณตัวอย่างเริ่มต้นที่จะใช้ในการสกัดให้มากขึ้น หรือใช้วิธีการสกัดตัวอย่างที่เรียกว่า Simultaneous Distillation Solvent Extraction (SDE)

ควรมีการปรับปรุงการสกัดสารให้กลิ่นผัดเพื่อนำไปใช้ เนื่องจากสารสกัดกลิ่นผัดที่ได้จากการสกัดด้วยเอทานอลยังมีข้อจำกัดในการนำไปใช้ คือ สูญเสียได้ง่ายจากกระบวนการเติมในอาหาร อาจจะลองใช้วิธีการกลั่นด้วยไอน้ำ หรือทำการห่อหุ้มสารให้กลิ่น (encapsulation)

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมการข้าว. 2552. ข้าวเจ๊กเขยเส้าไห้. การแปรรูปข้าว. แหล่งที่มา:

http://www.riceproduct.org/index.php?option=com_content&task=view&id=52&Itemid=50. 4 ตุลาคม 2552

เกรียงศักดิ์ ไชยโรจน์. 2531. การสกัดสารระเหย. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

จิตภา อาจารย์ชะศิริ. 2551. สารระเหยในเปลือกและข้าวเหนียวดำที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จินตนา. 2535. กลิ่นรสและการประเมินค่า. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นิธิยา รัตนานนท์. 2548. วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน. พิมพ์ครั้งที่ 1. โอ.เอส. พรินติ้ง เฮ้าส์, กรุงเทพฯ.

_____. 2549. เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. โอ.เอส. พรินติ้ง เฮ้าส์, กรุงเทพฯ.

แม่น อมรสิทธิ์. 2534. หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ. ชวนพิมพ์, กรุงเทพฯ.

ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2534. คู่มือหลักสูตรเข้มข้นการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2550. ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 2. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

Abbott, N., P. Etievant, S. Issanchou and D. Langlosis. 1993. Critical evaluation of two commonly used techniques for the treatment of data from extract dilution sniffing analysis. **J. Agric. Food Chem.** 41: 1698-1703.

Acree, T. 1993. Gas chromatography-olfactometry, pp. 77-94. *In* C.T. Ho and C.H. Manley, eds. **Flavor Measurement**. Marcel Dekker, Inc., New York.

_____. and H. Arn. 2009. **Flavornet and Human Odor Space**. Available source: www.flavornet.org/flavornet.html. Cornell University: Geneva, New York.

_____. and R. Teranishi. 1993. **Flavor Science Sensible Principles and Technique**. American Chemical Society, Washington, DC.

Alencar, J.W., P.B. Alves and A.A. Craveiro. 1983. Pyrolysis of tropical vegetable oils. **J. Agric. Food Chem.** 31: 1268-1270.

Amoore, J.E. and R.G. Buttery. 1978. Partition coefficients and comparative olfactometry. **Chem. Senses Flavour**. 3: 57-71.

Anonymous. 2009. **Look Chem**. Available source: www.lookchem.com. Hangzhou, China.

Aparicio, R. and G. Luna. 2002. Characterization of monovarietal virgin olive oils. **Eur. J. Lipid Sci. Technol.** 104: 614-627.

Baek, H.H. and K.R. Cadwallader. 1997. Aroma volatiles in cooked alligator meat. **J. Food Sci.** 62: 321-325.

Blank, I. 1986. Gas chromatography-olfactometry in food aroma analysis, pp. 293-329. *In* T.H. Parliment and R. Croteau, eds. **Biogenesis of Aromas**. American Chemical Society, Washington, DC.

_____. 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.

- Blekas, G. and H. Guth. 1995. Evaluation and quantification of potent odorants of Greek virgin olive oils. **Food Flavor: Generation, Analysis and Process Influence**. 419-427.
- Bryce, D.J. and C.T. Greenwood. 1963. The thermal degradation of starch. Part II. **Starch/Staerke**. 15: 285-290.
- Buettner, A., M. Mestres, A. Fischer, J. Guasch and P. Schieberle. 2003. Evaluation of the most odour-active compounds in the peel oil of Clementine (*citrus reticulata blanco cv. clementine*). **Eur. Food Res. Technol.** 216: 11-14.
- Buttery, R.G., B.O. Juliano and L.C. Ling. 1982. Identification of rice aroma compound 2-acetyl-1-pyrroline in pandan leaves. **Chem. Ind. London**. 23: 958-959.
- _____, L.C. Ling and B.O. Juliano. 1983. Cooked rice aroma and 2-acetyl-1-pyrroline. **J. Agric. Food Chem.** 31: 823-826.
- _____, J.G. Turnbaugh and L.C. Ling. 1988. Contribution of volatiles to rice aroma. **J. Agric. Food Chem.** 36: 1006-1009.
- _____, D.J. Stern and L.C. Ling. 1994. Studies on flavor volatiles of some sweet corn products. **J. Agric. Food Chem.** 42: 791-795.
- Byers, J.A. 2003. Solvents. Available source: www.chemical-ecology.net/java/solvents.htm. U.S. Arid-Land Agricultural Research Center, Arizona, USA.
- Champagne, J.R. and W.W. Nawar. 1969. The volatile components of irradiated beef and pork fats. **J. Food Sci.** 34: 335-339.
- Chen, B.H. and Y.C. Chen. 2001. Formation of polycyclic aromatic hydrocarbons in the smoke from heated model lipids and food lipids. **J. Agric. Food Chem.** 49: 5238-5243.

- Chung, T.Y., J.P. Eiserich and T. Shibamoto. 1993. Volatile compounds identified in headspace samples of peanut oil heated under temperatures ranging from 50 to 200 °C. **J. Agric. Food Chem.** 41: 1467-1470.
- Chyau, C.C. and J.L. Mau. 2001. Effects of various oils on volatile compounds of deep-fried shallot flavouring. **Food Chem.** 74: 41-46.
- Cobb, C.S. and M.M. Bursey. 1978. Comparison of extracting solvents for typical volatile components of Eastern wines in model aqueous alcoholic systems. **J. Agric. Food Chem.** 26: 197-199.
- Deck, R.E., J. Pokorny and S.S. Chang. 1973. Isolation and identification of volatile compounds from potato chips. **J. Food Sci.** 38: 345-349.
- Eichner, K., I. Schrader and M. Lange. 1996. Early detection of changes during heat processing and storage of tomato products, pp. 32-44. *In* T-C. Lee and H-J. kim, Eds. **ACS Symposium Serie 631 Chemical Markers for Processed and Stored Foods**. American Chemical Society, Washington, D.C.
- El-Sayed, A.M. 2009. **The pherobase: database of insect pheromones and semiochemicals**. Available source: www.pherobase.com. HortResearch, Lincoln, New Zealand.
- Evans, C.D., H.A. Moser and G.R. List. 1971. Odor and flavor responses to additives in edible oils. **J. Am. Oil Chem. Soc.** 48: 495-498.
- Fang, Y. and M. Qian. 2005. Aroma compounds in oregon pinot noir wine determined by aroma extract dilution analysis (AEDA). **Flavour Fragr. J.** 20: 22-29.
- Ferreira, V., J. P. Ka and M. Azwar. 2002. Aroma extract dilution analysis: Precision and optimal experimental design. **J. Agric. Food Chem.** 50: 1508-1514.

Fisher, C. and T.R. Scott. 1997. **Food Flavours Biology and Chemistry**. Atenaeum Press Ltd., Gateshead, Tyne and Wear, UK.

Frankel, E.N. 1980. Lipid Oxidation. **Prog. Lipid Res.** 19: 1-22.

Friedrich, J.E., T.E. Acree and E.H. Lavin. 2001. Selecting standards for gas chromatography-olfactometry, pp. 148-155. *In* J.V. Leland, P. Schieberle, A. Buettner and T.E. Acree, eds. **Gas Chromatography-Olfactometry: The State of the Art**. American Chemical Society, Washington, D.C.

Grosch, W.A. 1982. Lipid degradation products and flavour, chapter 5. *In* I.D. Norton and A. J. MacLeod, eds. **Food Flavours**. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, The Netherlands.

_____. 1993. Detection of potent odorants in foods by aroma extract dilution analysis. **Trends Food Sci Tech.** 4: 68-73.

_____. 2001. Evaluation of the key odorants of foods by dilution experiments, aroma models and omission. **Chem. Senses.** 26: 533-545.

Guillen, M.D. and M.L. Ibargoitia. 2002. Study of the volatile composition of an aqueous oak smoke preparation. **Food Chem.** 79: 283-292.

Guth, H. and W. Grosch. 1990. Deterioration of soybean oil: quantification of primary flavor compounds using a stable isotope dilution assay. **LWT.** 23: 513-522.

Haslbeck, F., H. Wieser, W. Stempfl and W. Grosch. 1986. Untersuchungen zum lipolytischen fettverderb II. geruch und geschmack von fettsauren in sahn und kokosfett. **Z. Lebensm. Unters. Forsch.** 183: 93-96.

Heath, H.B. 1981. **Source Book of Flavors**. The AVI publishing Co., Inc., Connecticut.

Hermay, B. and H. Patzett. 1994. **Practical usage of liquid smoke**. Fleischwirtschaft. 74: 1154-1161. AGRIS Database. Accession no. 97-069701.

Herrmann, J. and I.A.E. Salam. 1980. Neue methoden der be- und auswertung sensorischer eigenschaften von lebensmitteln und der berechnung ihrer veränderungen. 12. Mitt. Die quantitative analyse von diacetyl und vanillin und die bestimmung ihrer verteilungskoeffizienten mit hilfe der “Subjektiven Olfaktometrie” in wasser-ol-gemengen, **Nahrung**. 24: 273-283.

Heyns, K., R. Stute and H. Paulson. 1966. Bräunungsreaktionen und fragmentierungen von kohlenhydraten : Teil I. Die flüchtigen abbauprodukte der pyrolyse von d-glucose. **Carbohydrate Res.** 2: 132-149.

Hidalgo, F.J. and R. Zamora. 2007. Conversion of phenylalanine into styrene by 2,4-decadienal in model systems. **J. Agric. Food Chem.** 55: 4902-2906.

Hirasa, K. and M. Takemasa. 1998. **Spice Science and Technology**. Marcel Dekker, Inc., New York.

Jezussek, M., O.B. Juliano and P. Schieberle. 2002. Comparison of key aroma compounds in cooked brown rice varieties based on aroma extract dilution analyses. **J. Agric. Food Chem.** 50 : 1101-1105.

Johnson, R.R., E.D. Alford and G.W. Kinzer. 1969. Formation of sucrose pyrolysis products. **J. Agric. Food Chem.** 17: 22-24.

Joyner, R.E. 1963. Olfactory acuity in an industrial population. **J. Occup. Med.** 5: 37-42.

- Kallio, H. 1989. Aroma of birch syrup. **J. Agric. Food Chem.** 37:1367-1371.
- Karagul-Yuceer, Y., M.A. Drake and K.R. Cadwallader. 2001. Aroma-active components of non fat dry milk. **J. Agric. Food Chem.** 49: 2948-2953.
- _____, K.N. Vlahovich, M. Drake and K.R. Cadwallader. 2003. Characteristic aroma components of rennet casein. **J. Agric. Food Chem.** 51: 6797-6801.
- Karahadian, C. and K.A. Johnson. 1993. Analysis of the head space volatiles and sensory characteristics of fresh corn tortillas made from fresh masa dough and spray dried masa flour. **J. Agric. Food Chem.** 70: 381-384.
- Keppler, J.G. 1977. Twenty-five years of flavor research in a food industry. **J. Am. Oil Chem. Soc.** 54: 474-477.
- Kirchhoff, E. and P. Schieberle. 2001. Determination of key aroma compounds in the crumb of a three stage sourdough rye bread by stable isotope dilution assays and sensory studies. **J. Agric. Food Chem.** 49: 4304-4311.
- Kubickova, J. and W. Grosch. 1998. Quantification of potent odorants in camembert cheeses and calculation of their odour activity values. **Int. Dairy J.** 8:17-23.
- Kuentzel, H. and D. Bahri. 1999. Synthetic ingredients of food flavorings, pp. 103-151. In R.A. Philip, 3rd ed. **Food Flavorings**. AN ASPEN Publication.
- Kuo, M.C., Y. Zhang, T.G. Hartman, R.T. Rosen and C.T.Ho. 1989. Selective purge and trap method for the analysis of volatile pyrazines. **J. Agric. Food Chem.** 37: 1020-1022.

- Laksanalamai, V. and S. Ilangantileke. 1993. Comparison of aroma compound (2-acetyl-1-pyrroline) in leaves from pandan (*Pandanus amaryllifolius*) and Thai fragrant rice (Khao Dawk Mali-105). **Cereal Chem.** 70: 381-384.
- Leahy M. and G. Reineccius. 1984. Comparison of Methods for the Isolation of Volatile Compounds from Aqueous Model Systems, p. 19. *In* P. Schreier, comp. **Analysis of Volatiles: Method Applications**. Walter de Gruyter, New York.
- Ledl, F. and E. Schleicher. 1990. New aspects of the maillard reaction in foods and in the human body. **Angew. Chem. Int. Ed. Engl.** 29: 565-594.
- Lee, S.R., C. Macku and T. Shibamoto. 1991. Isolation and identification of headspace volatiles formed in heated butter. **J. Agric. Food Chem.** 39: 1972-1975.
- Leffingwell, J.C. 2004. Flavor-Base version 2004. **Flavor-Base Database**, Version Date July 01, 2004.
- Li, H.C., S.J. Risch and G.A. Reineccius. 1994. Flavor formation during frying and subsequent losses during storage and microwave reheating in pancakes, pp. 466-475. *In* T.H. Parliament, M.J. Morello and R.J. McGorin, eds. **Thermally Generated Flavors Maillard Microwave and Extrusion Processes**. American Chemical Society, Washington, DC.
- Littlewood, A.B. 1970. **Gas Chromatography**. Academic Press, New York.
- Loon, W.A.M.V., J.P.H. Linssen, A. Legger, M.A. Posthumus and A.G.J. Voragen. 2005. Identification and olfactometry of French fried flavour extracted at mouth conditions. **Food Chem.** 90: 417-425.

Maga, J.A. 1978a. Cereal volatiles, a review. **J. Agric. Food Chem.** 26: 175-178.

_____. 1978b. Simple phenol and phenolic compounds in food flavor. **CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr.** 10(4): 323-372.

_____. 1988. **Smoke in Food Processing.** CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida.

_____. 1992. Contribution of phenolic compounds to smoke flavor, pp. 170-179. *In* C.T. Ho, C.Y. Lee and M.T. Hiang, eds. **Phenolic Compounds in Food and their Effects on Health I.** American Chemical Society, Washing, DC.

Manley, C.H., B.H. Choudhury and P. Mazeiko. 1999. Thermal process flavoring, pp. 283-322. *In* R.A. Philip, 3rd ed. **Food Flavorings.** AN ASPEN Publication.

Maraval, I., C. Mestres, K. Pernin, F. Ribeyre, R. Boulanger, E. Guichard and Z. Gunata. 2008. Odor-active compounds in cooked rice cultivars from Camargue (France) analyzed by GC-O and GC-MS. **J. Agric. Food Chem.** 56: 5291-5298.

Meijboom, P.W. 1964. Relationship between molecular structure and flavor perceptibility of aliphatic aldehydes. **J. Am. Oil Chem. Soc.** 41: 326-328.

_____ and G.A. Jongenotter. 1981. Flavor perceptibility of straight chain, unsaturated aldehydes as a function of double-bond position and geometry. **J. Am. Oil Chem. Soc.** 58: 680-682.

McNair, H.M. and E.J. Bonelli. 1969. **Basic Gas Chromatography.** Varian Aerograph, Walnut.

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

Monte, W.C. and J.A. Maga. 1981. Flavor chemistry of sucrose. **Sugar Technol. Rev.** 8: 181-204.

Mottram, D.S. 1994. Flavor compounds formed during the maillard reaction, pp. 104-126. *In* T.H. Parliament, M.J. Morello and R.J. McGorin, eds. **Thermally Generated Flavors Maillard Microwave and Extrusion Processes**. American Chemical Society, Washington, DC.

_____. 1998. Flavour formation in meat and meat products: a review. **Food Chem.** 64 (4): 415-424.

Mottram, R. 2009. LRI and Odour Database. Available source: www.odour.org.uk. Reading University: Reading, Berkshire.

Nawar, W.W., Y.J. Yoo, M.S. Bradley, O. Morin, T. Potter and R.C. Whiteman. 1988. A study of the volatile components generated from butteroil by heat. **Res. Fr. Corps Gras.** 35: 117-122.

Parliament, T.H., R.J. McGorin and C.T. Ho. 1989. **Thermal Generation of Aroma**. American Chemical Society, Washington, D.C.

_____. 2002. Solvent Extraction and Distillation Techniques, pp. 1-23 *In* M. Ray, ed. **Flavor, Fragrance and Odor Analysis**. Marcel Dekker, Inc., New York.

Paule, C.M. and J. Powers. 1989. Sensory and chemical examination of aromatic and nonaromatic rices. **J. Food Sci.** 54: 343-347.

Perkins, E.G. 1995. Physical properties of soybeans and soybean products, pp. 29-38. *In* D.R. Erickson, ed. **Practical handbook of soybean processing and utilization**. AOAC Press and the United Soybean Board.

- Poisson, L. and P. Schieberle. 2008. Characterization of the most odor-active compounds in an american bourbon whisky by application of the aroma extract dilution analysis. **J. Agric. Food Chem.** 56: 5813-5819.
- Pon, I., C. Garrault, J.N. Jaubert and J. Morel. 1991. Analysis of aromatic caramel. **Food Chem.** 39: 311-320.
- Preininger, M. and W. Grosch. 1994. Evaluation of key odorants of the neutral volatiles of Emmentaler cheese by the calculation of odour activity values. **LWT.** 27: 237-244.
- Pryde, E.H. 1980. Physical properties of soybean oil, pp. 33-48. *In* D.R. Erickson, E.H. Pryde, O.L. Brekke, T.L. Mounts and R.A. Falb, eds. **Handbook of Soy Oil Processing and Utilization.** American Soybean Association, St. Louis.
- Reineccius, G. 1993. Biases in analytical flavor profiles introduced by isolation method, pp. 61-76. *In* C.T. Ho and C.H. Manley, eds. **Flavor Measurement.** Marcel Dekker, Inc., New York.
- _____. 1994. **Source Book of Flavors 2nd ed.** Chapman & Hall, New York.
- _____. 2006. **Flavor Chemistry and Technology.** Taylor and Francis, New York.
- Reiner, J. and W. Grosch. 1998. Odorants of virgin olive oils with different flavor profiles. **J. Agric. Food Chem.** 46: 2754-2763.
- Rezek, D.L. 1987. Olfactory deficits as a neurologic sign in dementia of the Alzheimer type. **Arch. Neurol.** 44: 1030-1032.

- Roberts, D.D. and T.E. Acree. 1994. Gas chromatography-Olfactometry of glucose-proline Maillard reaction products, pp. 71-79. *In* T.H. Parliament, M.J. Morello and R.J. McGorin. Eds. **Thermally Generated Flavors Maillard, Microwave and Extrusion Processes**. American Chemical Society, Washington, D.C.
- Ruth, S.M. 2001. Methods for gas chromatography-olfactometry: a review. **Biomol Eng.** 17: 121-128.
- _____ and C.H. O'Connor. 2001. Evaluation of three gas chromatography-olfactometry methods: comparison of odour intensity-concentration relationships of eight volatile compounds with sensory headspace data. **Food Chem.** 74: 341-347.
- Rychlik, M., P. Schieberle and W. Grosch. 1998. **Compilation of Odor Thresholds, Odor Qualities and Retention Indices of Key Food Odorants**. Deutsche Technischen Universität München, Garching, Germany. Forschungsanstalt für Lebensmittelchemie and Institut für Lebensmittelchemie der.
- Scarpellino, R. and R.J. Soukup. 1993. Key flavor from heat reactions of food ingredients, pp. 309-335. *In* T.E. Acree and R. Teranishi, eds. **Flavor Science: Sensible Principles and Techniques**. American Chemical Society, Washington, D.C.
- Schieberle, P. 1991. Primary odorants of popcorn. **J. Agric. Food Chem.** 39: 1141-1144.
- _____. 1993. Studies on the flavor of roasted white sesame seeds. *In* P. Schreier and P. Winterhalter (Eds), **Progress in flavor precursor studies**, Allured Publishing Company, Carol Stream II. 343-360.
- _____. and W. Grosch. 1985. Identification of volatile flavor compounds of wheat bread crust comparison with rye bread crust. **Z. Lebensm. Unters. Forsch.** 180: 474-478.

_____ and _____. 1987. Quantitative analysis of aroma compounds in wheat and rye bread crusts using a stable isotope dilution assay. **J. Agric. Food Chem.** 35: 252-257.

Schnermann, P. and P. Schieberle. 1997. Evaluation of key odorants in milk chocolate and cocoa mass by aroma extract dilution analyses. **J. Agric. Food Chem.** 45: 867-872.

Shahidi, F. 1994. **Flavor of Meat and Meat Products**. Blackie Academic and Professional, London.

Simkovic, I., B.A. Francis and J.B. Reeves. 1997. Pyrolysis gas chromatography mass spectrometry analysis of starch based ion exchangers. **J. Anal. Appl. Pyrolysis.** 43: 145-155.

Steinhaus, M., W. Wilhelm and P. Schieberle. 2007. Comparison of the most odour-active volatiles in different hop varieties by application of a comparative aroma extract dilution analysis. **Eur. Food Res. Technol.** 226: 45-55.

Tairu, A.O., T. Hofmann and P. Schieberle. 2000. Studies on the key odorants formed by roasting of wild mango seeds (*Irvingia gabonensis*). **J. Agric. Food Chem.** 48: 2391-2394.

Tilgner, D.J. 1977. The phenomena of quality in the smoked curing. **Pure Appl. Chem.** 49: 1629-1638.

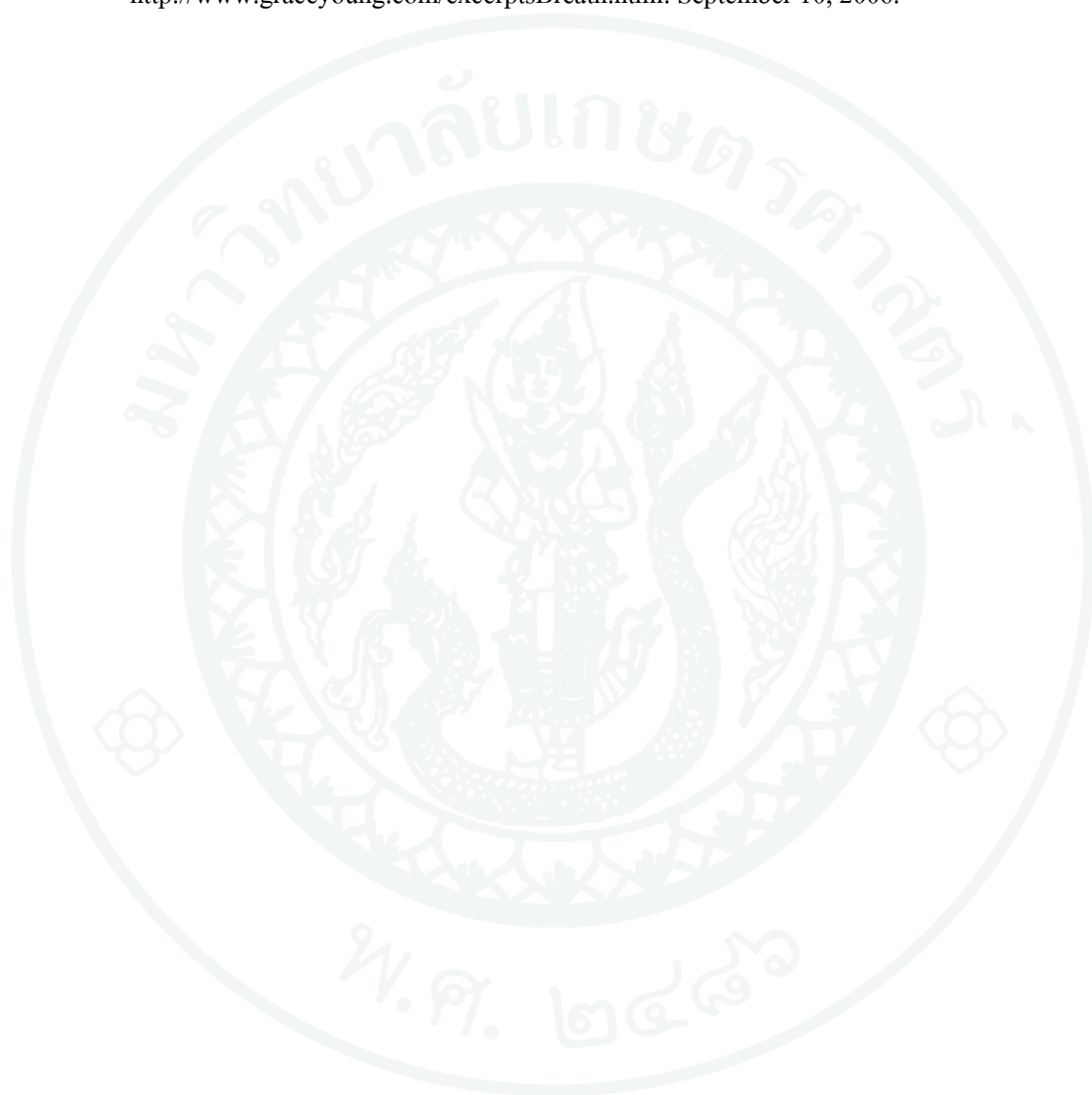
Tressl, R., D. Bahri and K.H. Engel. 1981. Lipid oxidation in fruits and vegetables. **Am. Chem. Soc. Symp. Series.** 170: 213-232.

_____ and W. Albrecht. 1986. Biogenesis of aroma compounds through acyl pathways, pp. 114-133. In T.H. Parliment and R. Croteau, eds. **Biogenesis of Aromas**. American Chemical Society, Washington, DC.

- Van den Dool, H. and P.D. Kratz. 1963. A generalization of the retention index system including linear temperature programmed gas-liquid partition chromatography. **J. Chromatogr.** 11: 463-471
- Varlet, V., C. Knockaert, C. Prost and T. Serot. 2006. Comparison of odor-active volatile compounds of fresh and smoked salmon. **J. Agric. Food Chem.** 54: 3391-3401.
- Vries, J.D. 1997. **Food Safety and Toxicity**. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Wagner, R. and W. Grosch. 1997. Evaluation of potent odorants of French fries. **LWT.** 30: 164-169.
- _____. and _____. 1998. Key odorants of French fries. **J. Am. Oil Chem. Soc.** 75: 1385-1392.
- Watcharananun, W., K.R. Cadwallader, K. Huangrak, H. Kim and Y. Lorjaroenphon. 2009. Identification of predominant odorants in Thai desserts flavored by smoking with “Tian Op” a traditional Thai scented candle. **J. Agric. Food Chem.** 57: 996-1005.
- Widjaja, R., J.D. Craske and M. Wootton. 1996. Comparative studies on volatile components of non-fragrant and fragrant rices. **J. Sci. Food Agric.** 70: 151-161.
- Whitfield, F.B. 1992. Volatiles from interaction of maillard reactions and lipids. **Crit. Res. Food Sci. Nutr.** 31: 1-58.
- Wu, C.M. and S.Y. Chen. 1992. Volatile compounds in oils after deep frying or stir frying and subsequent storage. **J. Am. Oil Chem. Soc.** 69: 858-865.
- Yajima, I., T. Yanai, M. Nakamura, H. Sakakibara and T. Habu. 1978. Volatile flavor components of cooked rice. **Agric. Biol. Chem.** 42: 1229-1233.

Yoshida, M. 1972. Studies in psychometric classification of odors. **Jap. Psychol. Res.** 14: 101-108.

Young, G. 2004. **Excerpts: Wok hay the breath of a wok.** Available source:
<http://www.graceyoung.com/excerptsBreath.html>. September 10, 2006.







ตารางผนวกที่ ก1 ชนิด ความเข้มข้นสัมพัทธ์ และ OAV ของสารระเหยที่ไม่สามารถระบุชนิดได้
ในข้าวผัดไฟแดง (FFR) ข้าวผัดธรรมดา (SFR) และข้าวหุงสุก (R)

ที่ ^a	สารระเหย	ลักษณะกลิ่น	RI		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (ng/g)		
			HP-5	FFAP	FFR	SFR	R
<u>Unknowns</u>							
2	unknown	-	797	n.a.	134.92x	11.67y	n.a.
8	unknown	-	819	n.a.	n.a.	n.a.	38.67
10	unknown	-	827	n.a.	10.42x	38.03xy	4.56y
14	unknown	-	840	n.a.	n.a.	13.77y	25.75x
16	unknown	-	843	n.a.	n.a.	20.03	n.a.
17	unknown	-	852	n.a.	n.a.	8.06y	24.29x
18	unknown	-	859	n.a.	n.a.	2.56	n.a.
22	unknown	-	861	n.a.	n.a.	5.16	n.a.
23	unknown	-	869	n.a.	n.a.	7.39	n.a.
25	unknown	-	890	n.a.	n.a.	10.41	n.a.
29	unknown	-	890	n.a.	n.a.	10.41	n.a.
30	unknown	-	892	n.a.	n.a.	12.73	n.a.
33	unknown	-	897	n.a.	25.90x	8.55y	n.a.
35	unknown	-	907	n.a.	10.82x	7.58x	10.57x
38	unknown	-	916	n.a.	n.a.	n.a.	17.44
42	unknown	-	946	n.a.	37.26x	15.60y	n.a.
43	unknown	-	948	n.a.	15.28	n.a.	n.a.
49	unknown	-	964	n.a.	n.a.	n.a.	6.74
53	unknown	-	972	n.a.	n.a.	5.73x	4.40y
54	unknown	-	978	n.a.	172.43x	101.11y	n.a.
55	unknown	-	979	n.a.	n.a.	n.a.	31.84
57	unknown	-	986	n.a.	n.a.	6.58	n.a.
60	unknown	-	994	n.a.	14.58x	5.72y	n.a.
64	unknown	-	999	n.a.	n.a.	11.08	n.a.
66	unknown	-	1008	n.a.	19.36y	20.08x	n.a.
69	unknown	-	1027	n.a.	n.a.	n.a.	9.17
73	unknown	-	1040	n.a.	n.a.	16.28y	36.14x
75	unknown	-	1049	n.a.	n.a.	n.a.	3.72

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

ที่ ^a	สารระเหย	ลักษณะกลิ่น	RI		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (ng/g)		
			HP-5	FFAP	FFR	SFR	R
79	unknown	-	1055	n.a.	n.a.	9.37y	30.09x
81	unknown	-	1061	n.a.	n.a.	n.a.	15.04
86	unknown	-	1081	n.a.	n.a.	5.10	n.a.
89	unknown	-	1094	n.a.	n.a.	12.77	n.a.
91	unknown	-	1099	n.a.	n.a.	n.a.	22.05
92	unknown	-	1100	n.a.	n.a.	6.89	n.a.
94	unknown	-	1106	n.a.	n.a.	n.a.	16.43
97	unknown	-	1113	n.a.	n.a.	n.a.	11.49
99	unknown	-	1128	n.a.	224.06	n.a.	n.a.
104	unknown	-	1144	n.a.	n.a.	13.05	n.a.
105	unknown	-	1148	n.a.	n.a.	5.96	n.a.
127	unknown	-	1238	n.a.	13.92	n.a.	n.a.
140	unknown	-	1292	n.a.	n.a.	n.a.	2.95
142	unknown	-	1300	n.a.	n.a.	n.a.	14.83
143	unknown	-	1304	n.a.	n.a.	n.a.	48.64
152	unknown	-	1340	n.a.	n.a.	n.a.	10.06
153	unknown	-	1344	n.a.	n.a.	n.a.	3.84
154	unknown	-	1349	n.a.	n.a.	25.77	n.a.
155	unknown	-	1350	n.a.	n.a.	n.a.	5.44
159	unknown	-	1380	n.a.	43.29x	23.23x	n.a.
186	unknown	-	1761	n.a.	n.a.	3.63	n.a.
188	unknown	-	1770	n.a.	n.a.	4.99	n.a.
193	unknown	-	1880	n.a.	25.41	n.a.	n.a.
196	unknown	-	n.a.	1027	3.83	n.a.	n.a.
201	unknown	-	n.a.	1094	5.57	n.a.	n.a.
203	unknown	-	n.a.	1104	9.79x	2.83y	n.a.
205	unknown	-	n.a.	1129	7.28x	5.82x	n.a.
206	unknown	-	n.a.	1136	n.a.	9.22	n.a.
209	unknown	-	n.a.	1204	264.61x	66.91x	n.a.
215	unknown	-	n.a.	1248	11.31	n.a.	n.a.

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

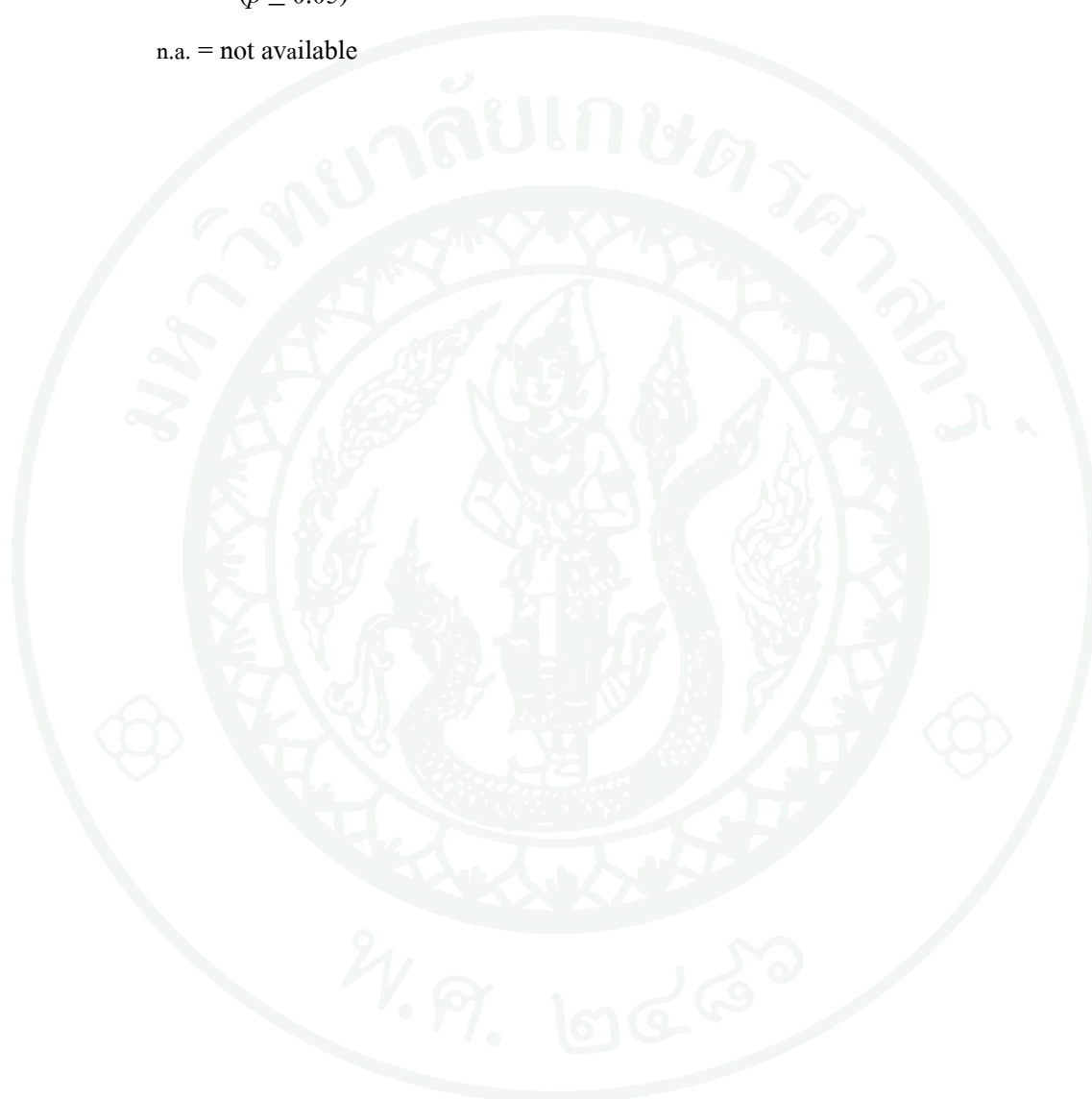
ที่ ^a	สารระเหย	ลักษณะกลิ่น	RI		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (ng/g)		
			HP-5	FFAP	FFR	SFR	R
217	unknown	-	n.a.	1273	79.96y	136.47x	n.a.
219	unknown	-	n.a.	1288	n.a.	15.62	n.a.
220	unknown	-	n.a.	1292	53.47x	5.72y	n.a.
221	unknown	-	n.a.	1294	43.61x	6.35y	n.a.
225	unknown	-	n.a.	1347	7.07	n.a.	n.a.
227	unknown	-	n.a.	1361	13.04	n.a.	n.a.
228	unknown	-	n.a.	1373	n.a.	8.19	n.a.
231	unknown	-	n.a.	1402	14.85	n.a.	n.a.
234	unknown	-	n.a.	1442	44.36	n.a.	n.a.
235	unknown	-	n.a.	1444	n.a.	23.84	n.a.
236	unknown	-	n.a.	1460	115.94x	30.80y	n.a.
238	unknown	-	n.a.	1490	24.49	n.a.	n.a.
239	unknown	-	n.a.	1496	18.01	n.a.	n.a.
242	unknown	-	n.a.	1537	80.85x	23.02x	n.a.
253	unknown	-	n.a.	1595	46.64x	19.62x	n.a.
255	unknown	-	n.a.	1615	53.99	n.a.	n.a.
256	unknown	-	n.a.	1645	12.36	n.a.	n.a.
257	unknown	-	n.a.	1647	n.a.	n.a.	213.77
262	unknown	-	1692	n.a.	55.10	n.a.	n.a.
263	unknown	-	n.a.	1700	n.a.	10.35	n.a.
264	unknown	-	n.a.	1715	n.a.	n.a.	75.45
271	unknown	-	n.a.	1849	53.28	n.a.	n.a.
275	unknown	-	n.a.	1977	n.a.	9.83	n.a.
278	unknown	-	n.a.	1993	n.a.	44.24	n.a.
279	unknown	-	n.a.	1997	46.41	n.a.	n.a.
294	unknown	-	n.a.	2578	n.a.	n.a.	53.40

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

หมายเหตุ ^a ลำดับที่ของสารตรงกับ chromatogram ในภาพผนวกที่ ข1-ข6

x, y, z ในแนวนอนที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
($p \leq 0.05$)

n.a. = not available





1. การวิเคราะห์ทางเคมี

1.1 การคำนวณค่า Retention Index (RI)

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

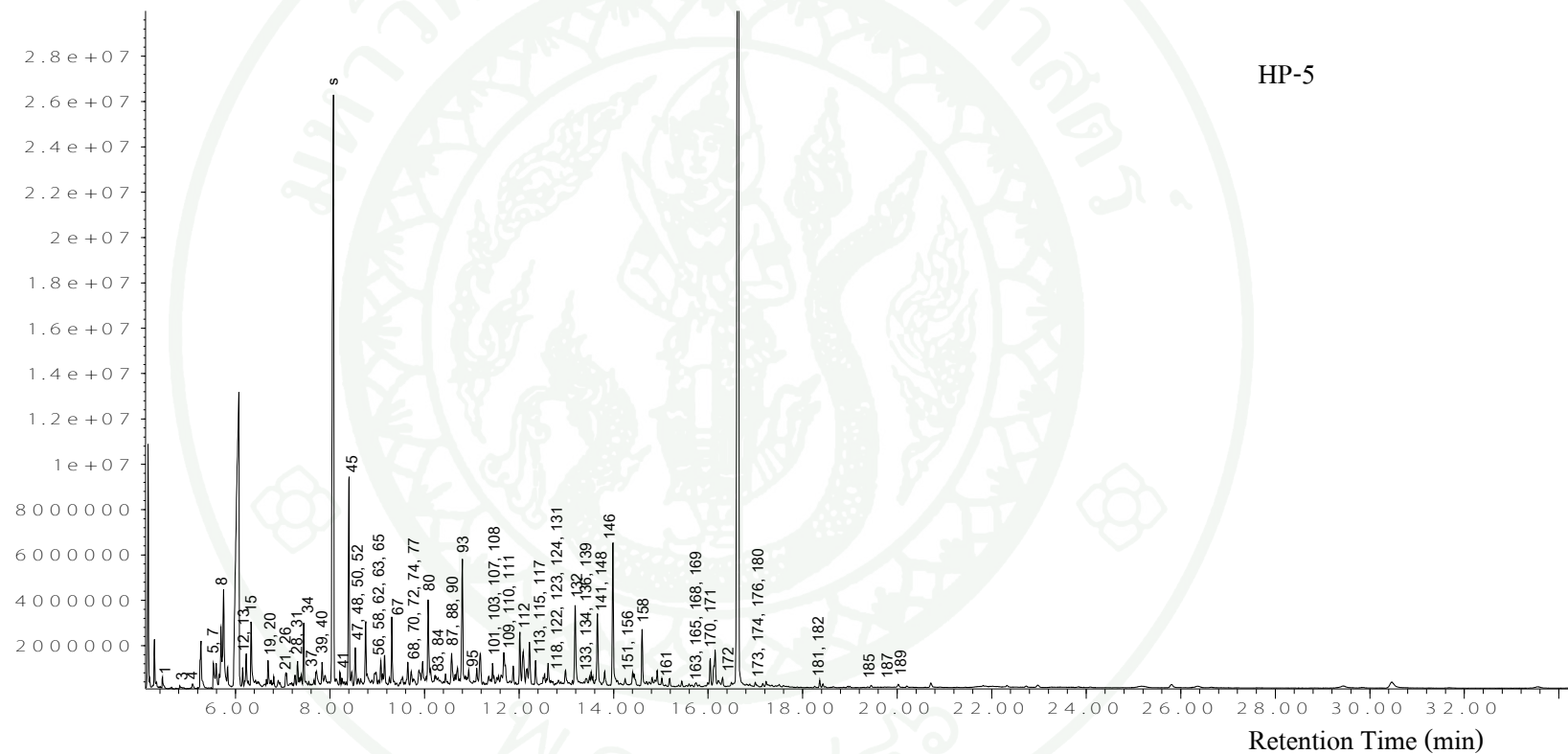
- เมื่อ N = จำนวนอะตอมของคาร์บอนในสารมาตรฐานอัลเคนที่มีคาร์บอนน้อยกว่า
 n = ความแตกต่างระหว่างจำนวนอะตอมของคาร์บอนในสารมาตรฐานอัลเคน 2 ตัว
 ที่ค่า retention time (RT) ของตัวอย่างอยู่ระหว่างกลาง
 t_{Ra} = RT ของตัวอย่างสารระเหยที่ต้องการวิเคราะห์ค่า RI
 t_{RN} = RT ของสารมาตรฐานอัลเคนที่มีคาร์บอนน้อยกว่า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

1.2 การคำนวณความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารระเหย

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

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

Abundance

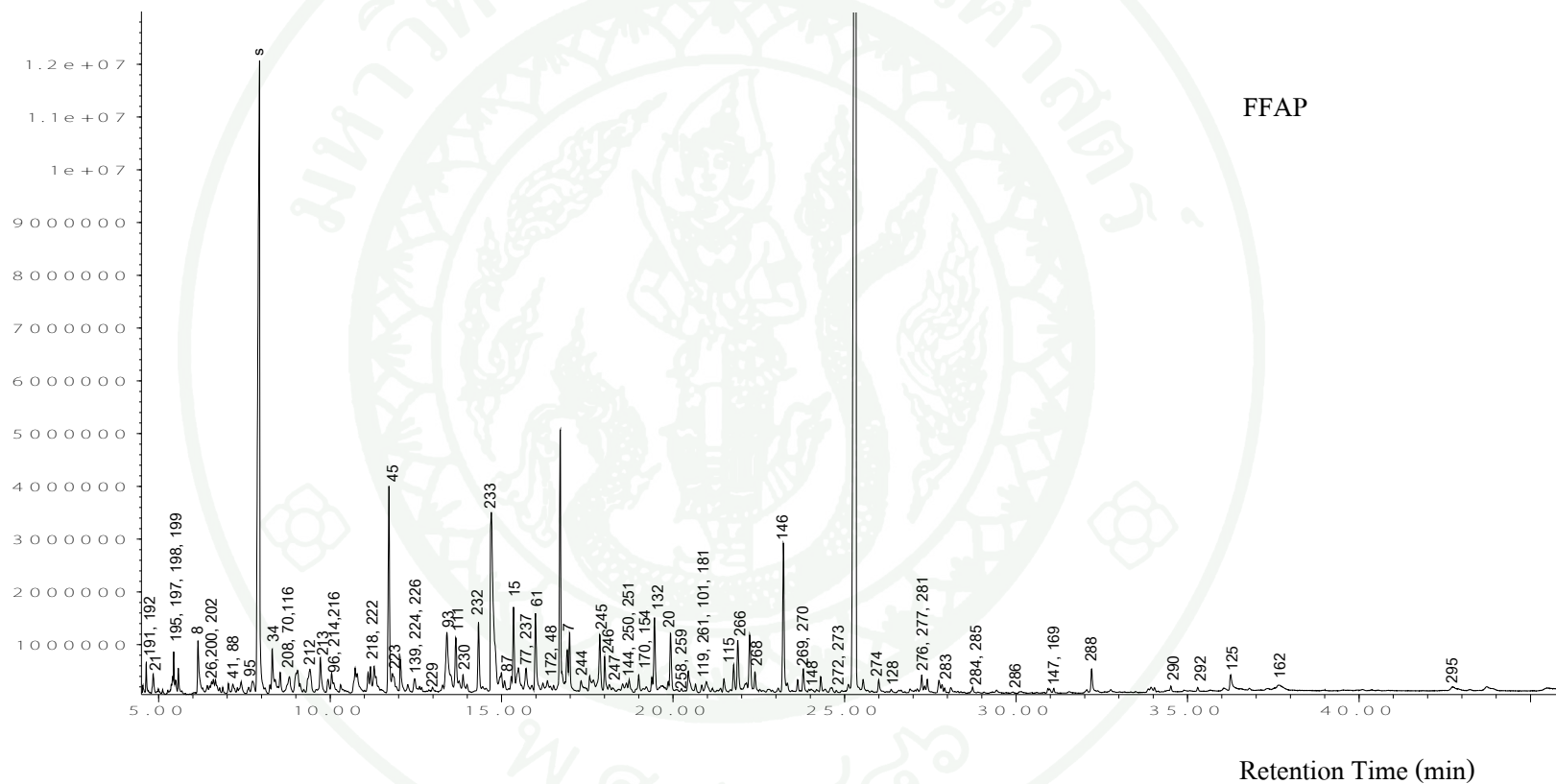


HP-5

ภาพผนวกที่ ๑1 โครมาโทแกรมของข้าวผัดไฟแดงจากการสกัดด้วยตัวทำละลายไดเอทิลอีเทอร์ ที่แยกด้วยคอลัมน์ HP-5

หมายเหตุ s คือ สารมาตรฐาน 2-methyl-3-heptanone

Abundance



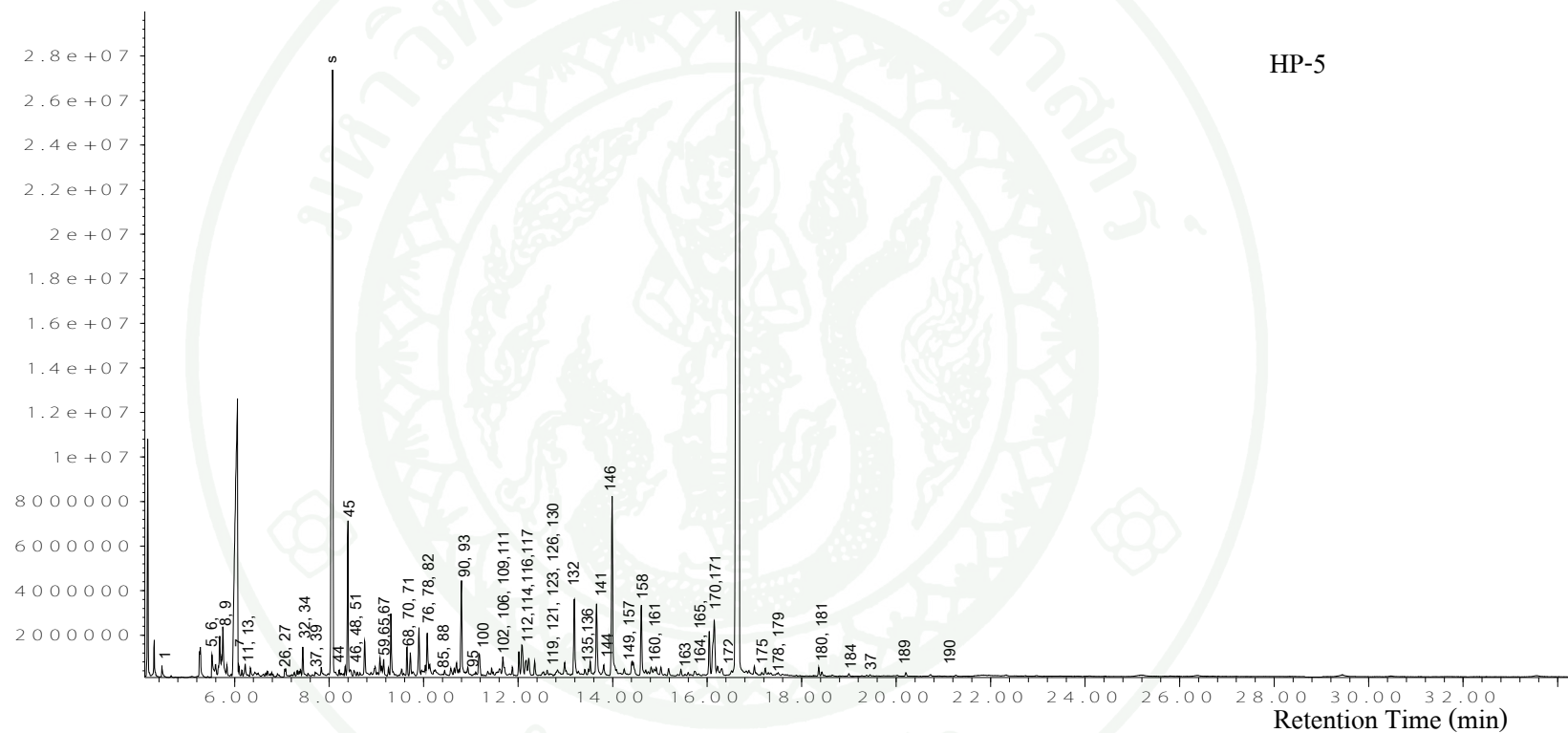
FFAP

Retention Time (min)

ภาพผนวกที่ ๒ โครมาโทแกรมของข้าวผัดไฟแดงจากการสกัดด้วยตัวทำละลายไดเอทิลอีเทอร์ ที่แยกด้วยคอลัมน์ FFAP

หมายเหตุ s คือ สารมาตรฐาน 2-methyl-3-heptanone

Abundance

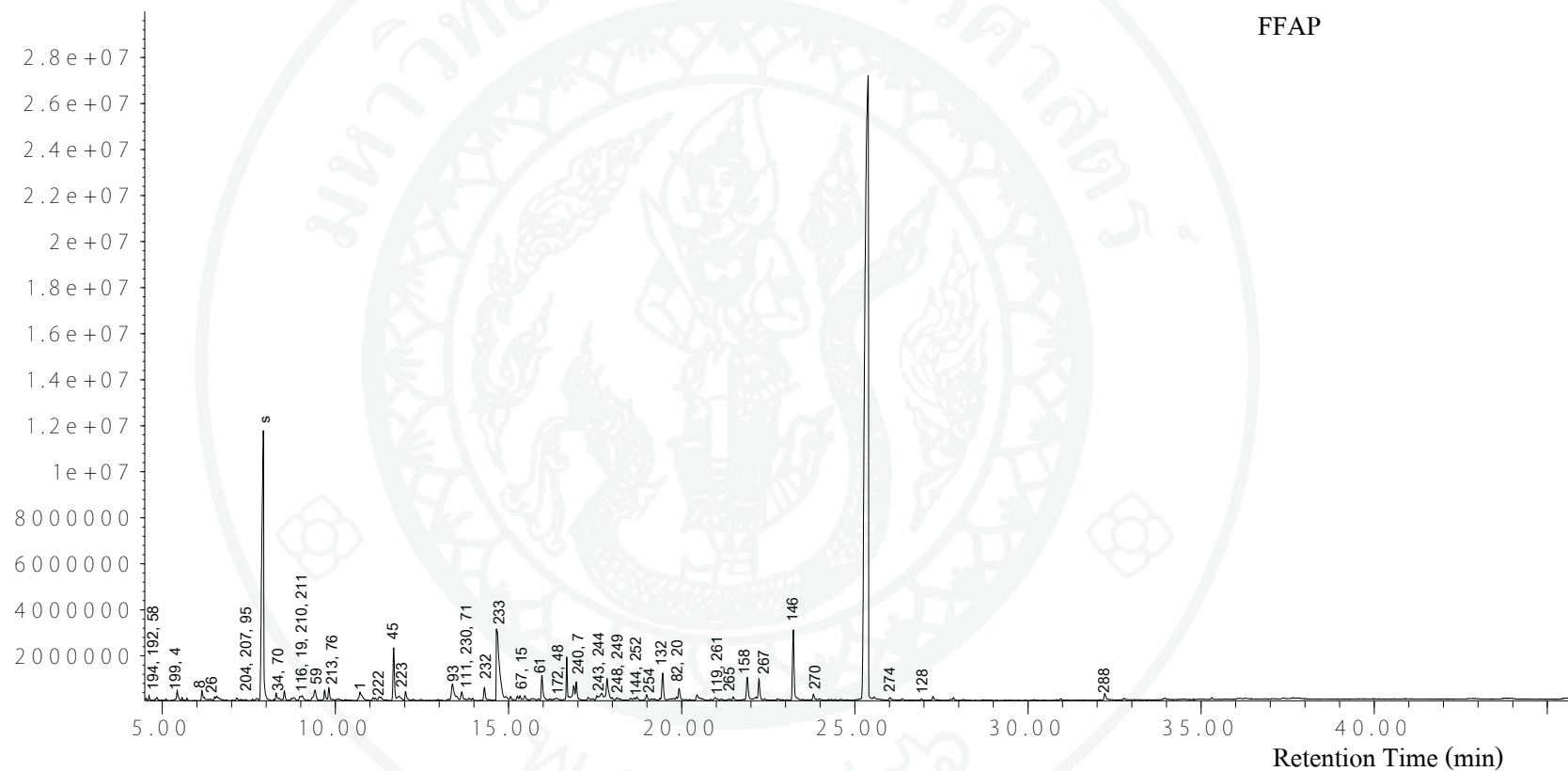


HP-5

ภาพผนวกที่ 3 โครมาโทแกรมของข้าวฟัฒรรรมาจากการสกัดด้วยตัวทำละลายไดเอทิลอีเทอร์ ที่แยกด้วยคอลัมน์ HP-5

หมายเหตุ s คือ สารมาตรฐาน 2-methyl-3-heptanone

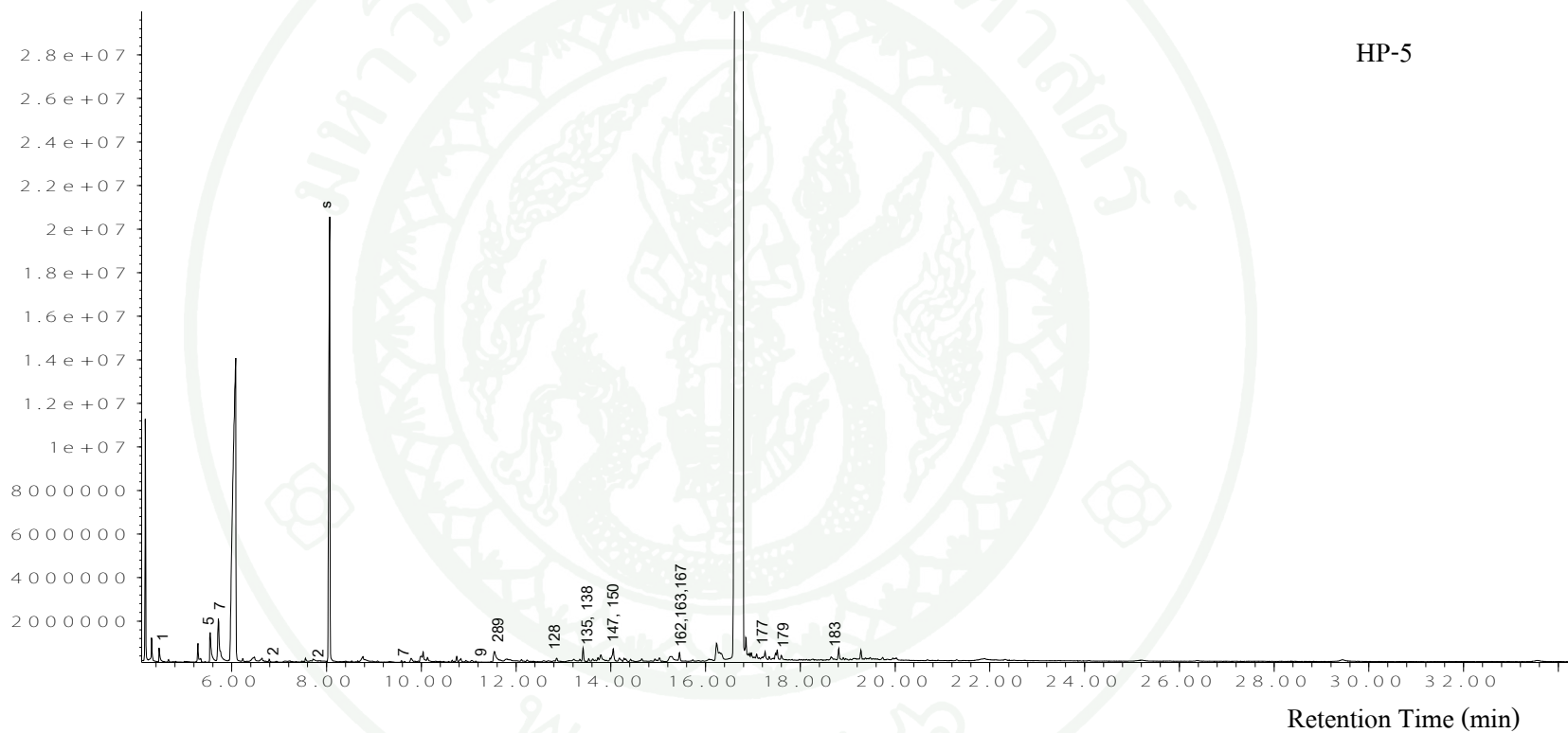
Abundance



ภาพผนวกที่ ข4 โครมาโทแกรมของข้าวผิดธรรมชาติจากการสกัดด้วยตัวทำละลายไดเอทิลอีเทอร์ ที่แยกด้วยคอลัมน์ FFAP

หมายเหตุ s คือ สารมาตรฐาน 2-methyl-3-heptanone

Abundance

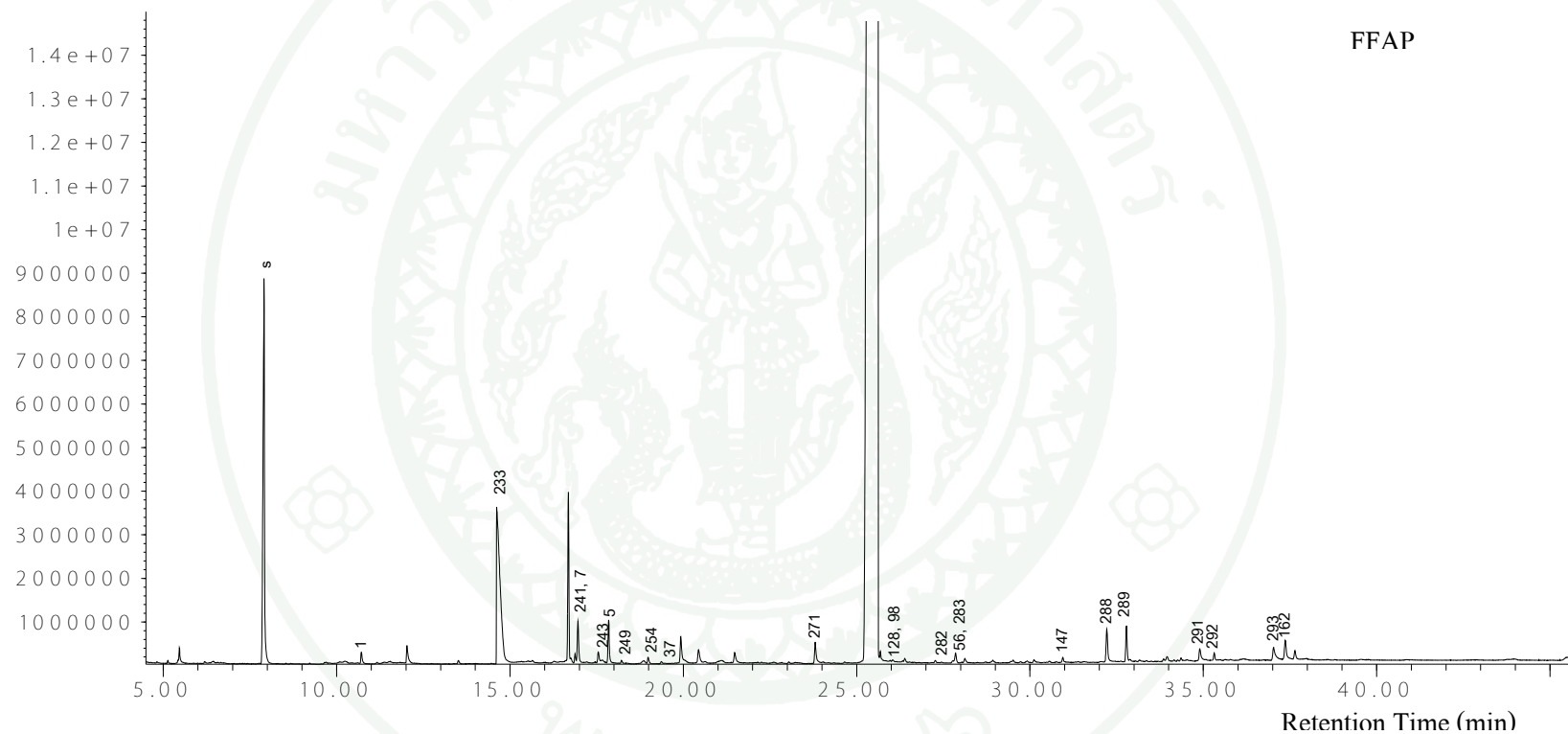


HP-5

ภาพผนวกที่ ๕ โครมาโทแกรมของข้าวหุงสุกจากการสกัดด้วยตัวทำละลายไดเอทิลอีเทอร์ ที่แยกด้วยคอลัมน์ HP-5

หมายเหตุ s คือ สารมาตรฐาน 2-methyl-3-heptanone

Abundance

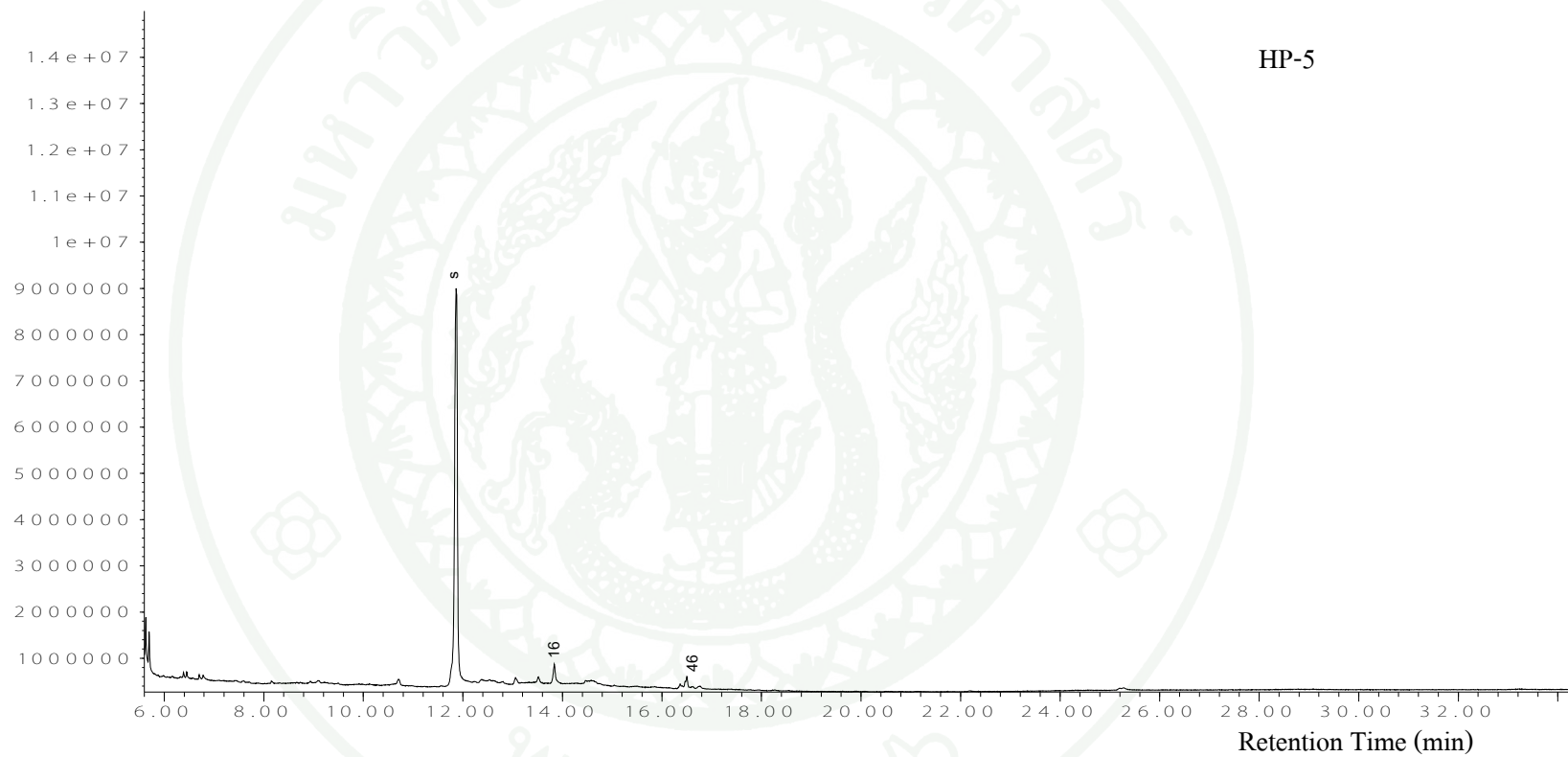


FFAP

ภาพผนวกที่ ๖ โครมาโทแกรมของข้าวหุงสุกจากการสกัดด้วยตัวทำละลายไดเอทิลอีเทอร์ ที่แยกด้วยคอลัมน์ FFAP

หมายเหตุ s คือ สารมาตรฐาน 2-methyl-3-heptanone

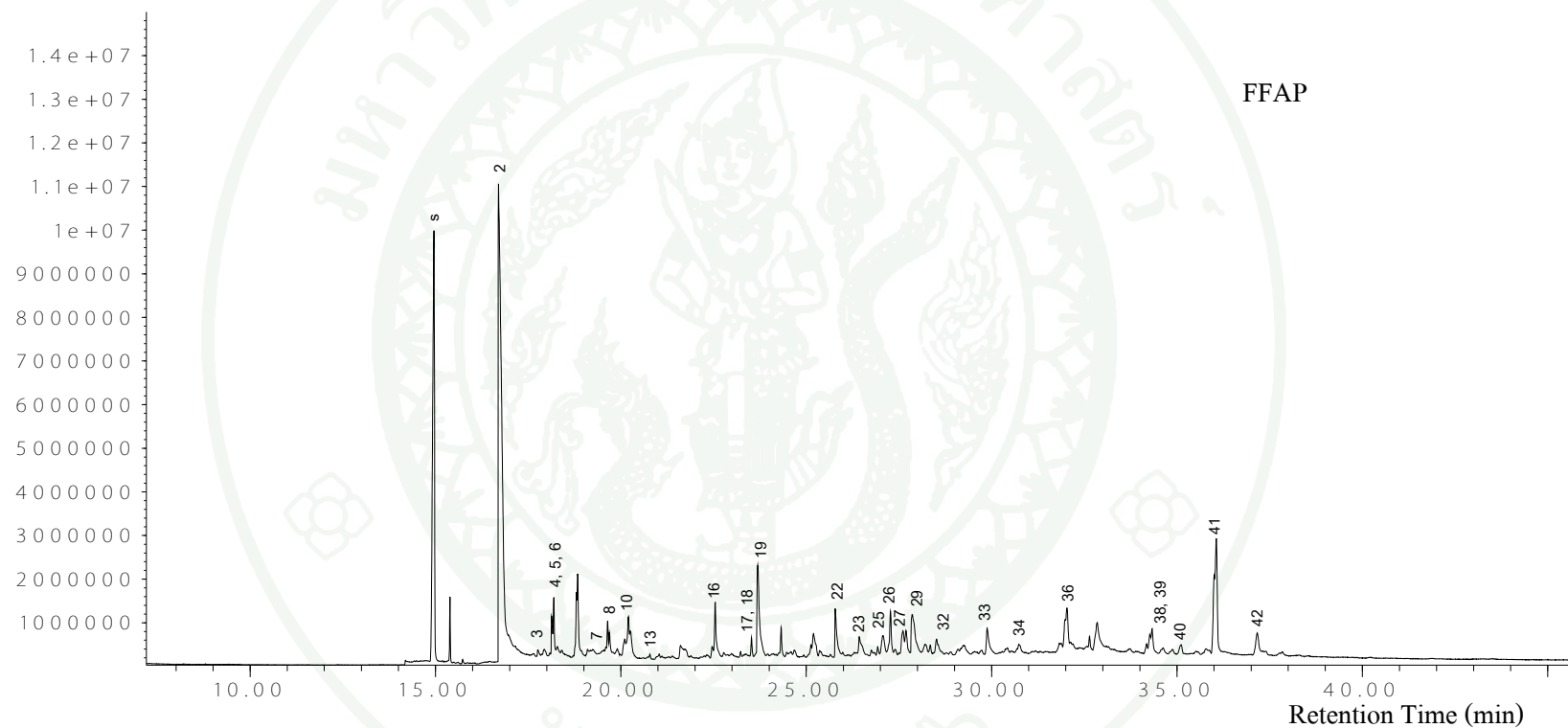
Abundance



ภาพผนวกที่ ข7 โครมาโทแกรมของข้าวผัดไฟแดงจากการสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอล ที่แยกด้วยคอลัมน์ HP-5

หมายเหตุ s คือ สารมาตรฐาน 1-decen-3-one

Abundance



ภาพผนวกที่ ข8 โครมาโทแกรมของข้าวผัดไฟแดงจากการสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอล ที่แยกด้วยคอลัมน์ FFAP

หมายเหตุ s คือ สารมาตรฐาน 1-decen-3-one

2. การประเมินทางประสาทสัมผัส

2.1 ทดสอบความแตกต่างจากตัวอย่างควบคุม

ตารางผนวกที่ ข1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) คะแนนความแตกต่างระหว่างตัวอย่างควบคุม (ข้าวผัดไฟลุก) กับตัวอย่างทดสอบ (ข้าวผัดธรรมดา และข้าวหุงสุก)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: score

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	295.811 ^a	31	9.542	7.495	.000
Intercept	405.344	1	405.344	318.372	.000
trt	252.156	2	126.078	99.026	.000
rep	43.656	29	1.505	1.182	.288
Error	73.844	58	1.273		
Total	775.000	90			
Corrected Total	369.656	89			

a. R Squared = .800 (Adjusted R Squared = .693)

2.2 ทดสอบความชอบของกลิ่นผัด

ตารางผนวกที่ ข2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) คะแนนความชอบรสผัด ในรสผัดที่มีความเข้มข้นของสารสกัดกลิ่นผัด 0%, 10%, 20% และ 30%

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: liking

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	617.371 ^a	122	5.060	1.581	.001
Intercept	14050.852	1	14050.852	4389.442	.000
trt	150.973	3	50.324	15.721	.000
panel	466.398	119	3.919	1.224	.081
Error	1142.777	357	3.201		
Total	15811.000	480			
Corrected Total	1760.148	479			

a. R Squared = .351 (Adjusted R Squared = .129)

หมายเหตุ: แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ($p \leq 0.01$)

4. ตัวอย่างแบบทดสอบความชอบของกลิ่นผ้า

ชื่อผู้ทดสอบ.....วันที่..... เบอร์ติดต่อ.....ลำดับที่.....

ระดับการศึกษา ☐ ปริญญาตรี ☐ ปริญญาโท ☐ ปริญญาเอก อื่นๆ ระบุ.....

คำแนะนำ: ทดสอบตัวอย่างตามลำดับหมายเลขที่กำหนดไว้ ทำการชิมตัวอย่างโดยการอม

ตัวอย่างแล้วคายตัวอย่างออกลงภาชนะที่เตรียมไว้ให้ และบ้วนปากระหว่างตัวอย่าง แล้วให้คะแนน

ความชอบกลิ่นรสในตัวอย่าง โดยใช้เครื่องหมาย / ลงในช่องความชอบที่กำหนด

รหัสตัวอย่าง.....

ไม่ชอบมากที่สุด ไม่ชอบมาก ไม่ชอบปานกลาง ไม่ชอบเล็กน้อย เลขๆ ชอบเล็กน้อย ชอบปานกลาง ชอบมาก ชอบมากที่สุด

☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

รหัสตัวอย่าง.....

ไม่ชอบมากที่สุด ไม่ชอบมาก ไม่ชอบปานกลาง ไม่ชอบเล็กน้อย เลขๆ ชอบเล็กน้อย ชอบปานกลาง ชอบมาก ชอบมากที่สุด

☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

รหัสตัวอย่าง.....

ไม่ชอบมากที่สุด ไม่ชอบมาก ไม่ชอบปานกลาง ไม่ชอบเล็กน้อย เลขๆ ชอบเล็กน้อย ชอบปานกลาง ชอบมาก ชอบมากที่สุด

☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

รหัสตัวอย่าง.....

ไม่ชอบมากที่สุด ไม่ชอบมาก ไม่ชอบปานกลาง ไม่ชอบเล็กน้อย เลขๆ ชอบเล็กน้อย ชอบปานกลาง ชอบมาก ชอบมากที่สุด

☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ	นางสาวฉันทวรรณ ปิยะชัยเศรษฐ์
เกิดวันที่	28 พฤศจิกายน 2526
สถานที่เกิด	อำเภอคันนายาว กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (เทคโนโลยีการหมัก) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ตำแหน่งปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและ หรือรางวัลทางวิชาการ	แสดงผลงานโปสเตอร์ในงาน World Congress of Food Science and Technology ครั้งที่ 14 (วันที่ 20-23 ตุลาคม 2551 ณ สาธารณรัฐประชาชนจีน) และ งานประชุมวิชาการครั้งที่ 48 (วันที่ 3-6 กุมภาพันธ์ 2553 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์)
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	โครงการเชื่อมโยงภาคการผลิตกับงานวิจัย ทุน สกว. – อุตสาหกรรม (ทุน สกว. – สสว.) และบริษัท หอมหวลอุตสาหกรรมอาหาร ปี 2550