วิทยานิพนธ์

สารระเหยในเผือกและข้าวเหนียวดำที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อน

VOLATILE COMPOUNDS FROM THERMALLY PROCESSED TARO (*COLOCASIA ESCULENTA* L.) AND BLACK GLUTINIOUS RICE (*ORYZA SATIVA*)

นางสาวจิดาภา อาจารยะศิริ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2551

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์การอาหาร — **สาขา**

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร — **ภาควิชา**

เรื่อง สารระเหยในเผือกและข้าวเหนียวดำที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อน

Volatile Compounds from Thermally Processed Taro (*Colocasia esculenta* L.) and Black Glutinous rice (*Oryza sativa*)

นามผู้วิจัย นางสาวจิดาภา อาจารยะศิริ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(รองศาสตราจารย์สิริ ชัยเสรี, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วรรณี จิรภาคย์กุล, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธนะบูลย์ สัจจาอนันตกุล, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 5 เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2551

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

สารระเหยในเผือกและข้าวเหนียวดำที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อน

Volatile Compounds from Thermally Processed Taro (*Colocasia esculenta* L.) and Black Glutinous Rice (*Oryza sativa*)

โดย

นางสาวจิดาภา อาจารยะศิริ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร)
พ.ศ. 2551

จิตาภา อาจารยะศิริ 2551: สารระเหยในเผือกและข้าวเหนียวดำที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อน ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร) สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์สิรี ชัยเสรี, Ph.D. 116 หน้า

เผือก (*Colocasia esculenta* L.) และข้าวเหนียวดำ (*Oryza sativa*) เป็นส่วนประกอบสำคัญในอาหารหวานของไทย มีลักษณะกลิ่นที่เฉพาะตัว สามารถนำมาใช้ในการแต่งกลิ่นขนมในระดับอุตสาหกรรมได้ จึงเป็นที่น่าสนใจในการศึกษาสารให้กลิ่นในเผือกและข้าวเหนียวดำที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อน ในการทดลองนี้ได้ทำการสกัดตัวอย่างด้วยไดเอทิลอีเทอร์ และวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารระเหยด้วย gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) ผลการทดลองพบสารระเหยในเผือกที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนมีทั้งหมด 11 ชนิด ประกอบด้วยสารประกอบในกลุ่มแอลกอฮอล์ 4 ชนิด, อัลคีน 4 ชนิด, อัลเคน 1 ชนิด, กรด 1 ชนิด และฟีนอล 1 ชนิด สารระเหยให้กลิ่นที่มีปริมาณสูงที่สุดคือ 2,3-butanediol (11,579.0 ng/kg) แต่จากการทดสอบด้วย gas chromatograph-olfactometry (GC-O) พบว่าสารให้กลิ่นที่สำคัญเป็นสารที่ไม่ทราบชนิดถึง 7 ชนิด โดยมี 1 ชนิดที่มีค่า FD factor เท่ากับ 9 และพบว่า 1,2-propandiol เป็นสารให้กลิ่นที่สำคัญ มีค่า FD factor เท่ากับ 3 ส่วนสารระเหยให้กลิ่นในข้าวเหนียวดำหุงสุกมีทั้งหมด 12 ชนิด ประกอบด้วยสารประกอบในกลุ่มแอลกอฮอล์ 5 ชนิด, อัลดีไฮด์ 1 ชนิด, อัลคีน 2 ชนิด, เทอร์พีน 2 ชนิด และฟีนอล 2 ชนิด สารระเหยให้กลิ่นที่มีปริมาณสูงสุดในข้าวเหนียวดำ คือ benzaldehyde (1,206.4 ng/kg) สำหรับสารให้กลิ่นที่สำคัญในข้าวเหนียวดำได้แก่ 2-acetyl-1-pyrroline และ (*E,E*)-nona2,4-dienal ซึ่งมีค่า FD factor เท่ากับ 3 และ 2,3-butanediol และ 1-octen-3-ol ซึ่งมีค่า FD factor เท่ากับ 1

จิตาภา อาจารยะศิริ 30 / 04 / 08

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Jidapa Ajarayasiri 2008: Volatile Compounds from Thermally Processed Taro (*Colocasia esculenta* L.) and Black Glutinous Rice (*Oryza sativa*). Master of Science (Food Science), Major Field: Food Science, Department of Food Science and Technology. Thesis Advisor: Associate Professor Siree Chaiseri, Ph.D. 116 pages.

Taro (*Colocasia esculenta* L.) and black glutinous rice (*Oryza sativa*) are important ingredients in Thai desserts. They contribute unique aroma and that can be used to provide sweet aroma for food industry. It was of interest to study aroma compounds of taro and black glutinous rice. The volatile compounds of cooked taro and cooked black glutinous rice were extracted using diethyl ether. Quantification and identification of volatile compounds were performed by gas chromatography–mass spectrometer (GC–MS). Aroma active compounds were identified by gas chromatography–olfactometry (GC–O). Cooked taro had 11 volatile compounds, that were 4 alcohols, 4 alkenes, 1 alkane, 1 acid and 1 phenol. In taro, the compound that had the highest concentration was 2,3-butanediol (11,579.0 ng/kg). The result from GC–O indicated that aroma active compounds in taro were 7 unknowns. One of the unknowns had the highest FD factor = 9 and 1,2-propanediol (sweet) had FD factor = 3. Black glutinous rice contained 12 volatile components. They were 5 alcohols, 1 aldehyde, 2 alkenes, 2 terpenes and 2 phenols. The compound that had the highest concentration in black glutinous rice was benzaldehyde (1206.4 ng/kg). The most prominent aroma active compounds were 2-acetyl-1-pyrroline (pandan) and (*E,E*)-nona-2,4-dienal (sweet, fatty) that had FD factor = 3. Other compounds that had FD factor=1 were 2,3-butanediol (sweet, balsamic) and 1-octen-3-ol (straw and earthy).

Jidapa Ajarayasiri
Student's signature

Thesis Advisor's signature 16 / 05 / 08

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์สิริ ชัยเสรีประธานกรรมการที่ปรึกษา และผู้ช่วยศาสตราจารย์วรรณี จิรภาคย์กุล ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ กำลังใจ และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่อบรมสั่งสอนระหว่างการศึกษา และขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารทุกท่านที่ช่วยอำนวยความสะดวกและให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่กรุณาให้ทุนอุดหนุนและส่งเสริมวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท-เอก

ขอกราบขอบพระคุณบิดา และมารดาที่ให้กำลังใจและส่งเสริมมาโดยตลอด และขอบพระคุณพี่ ๆ น้อง ๆ และเพื่อน ๆ ปริญญาโทและเอกสาขาวิทยาศาสตร์การอาหารทุกท่าน และสุดท้ายขอขอบคุณ คุณพีรพัฒน์ อริยะกวี ที่ช่วยดูแลและให้กำลังใจมาโดยตลอด

จิดาภา อาจารยะศิริ

เมษายน 2551

สารบัญ

หน้า

สารบัญ (1)

สารบัญตาราง (2)

สารบัญภาพ (3)

คำนำ 1

วัตถุประสงค์ 2

การตรวจเอกสาร 3

อุปกรณ์และวิธีการ 44

อุปกรณ์ 44

วิธีการ 45

ผลและวิจารณ์ 51

ผล

วิจารณ์

ข้อเสนอแนะ 82

สรุป 83

เอกสารและสิ่งอ้างอิง 84

ภาคผนวก 95

ภาคผนวก ก การวิเคราะห์ทางเคมี 96

ประวัติการศึกษา 116

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	สารให้กลิ่นในเผือกที่ผ่านการให้ความร้อน	6
2	สารให้กลิ่นในมันฝรั่งที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ	9
3	สารให้กลิ่นที่พบในข้าวกล้องพันธุ์ Malgkit Sungsong, Basmati 370, Khashkani และ Indica	23
4	สารระเหยของดอกข้าวใหม่ที่ทำการสกัดด้วย solid-phase microextraction (SPME) และ continuous steam distillation and solvent extraction (SDS)	27
5	ชนิดและปริมาณของสารระเหยในข้าวนิล	30
6	ความเข้มข้น, ลักษณะกลิ่นและค่า threshold ของสารให้กลิ่นในข้าวนิลหุงสุก	32
7	สารระเหยในตัวอย่างเผือกที่ผ่านการให้ความร้อนที่สกัดโดยวิธี Simultaneous Distillation Extraction (SDE) ด้วยสารละลายไดเอทิลอีเทอร์	51
8	สารระเหยในตัวอย่างเผือกที่ผ่านการให้ความร้อนที่สกัดโดยวิธี solvent extraction ด้วยสารละลายไดเอทิลอีเทอร์	52
9	สารระเหยในตัวอย่างเผือกที่ผ่านการให้ความร้อนที่ pH 9	53
10	สารระเหยในตัวอย่างเผือกที่ผ่านการให้ความร้อนที่ pH 11	54
11	สารระเหยในตัวอย่างเผือกที่ผ่านการให้ความร้อนที่ pH 12	54
12	ชนิด, ลักษณะกลิ่น และความเข้มข้นของสารระเหย (ng/kg) ที่วิเคราะห์พบในตัวอย่างเผือกที่ผ่านการให้ความร้อน (pH 10)	56
13	ชนิด ลักษณะกลิ่น และค่า FD factor ของสารระเหยในเผือกที่ผ่านการให้ความร้อน ที่แยกโดยคอลัมน์ HP-5	60
14	ชนิด และลักษณะกลิ่นของสารระเหยที่วิเคราะห์พบในตัวอย่างสารให้กลิ่นจากบริษัท A และ B	65
15	ความเข้มข้นของสารระเหย (ng/kg) ที่วิเคราะห์พบในข้าวเหนียวดำ (BG), ข้าวเหนียวพันธุ์เขี้ยวงู (WG) และข้าวเสาไห้ (WR)	70
16	ชนิด ลักษณะกลิ่นและค่า FD factor ของสารระเหยในข้าวเหนียวดำ(BG), ข้าวเหนียวพันธุ์เขี้ยวงู (WG) และข้าวเสาไห้ (WR)	76

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การสลายตัวของกรดไขมันโดยปฏิกิริยาเบต้า-ออกซิเดชันและสารประกอบให้กลิ่นที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาของผักและผลไม้	16
2	กลไกปฏิกิริยาไพรูเวทและอะซิทิลโคเอ	17
3	ปฏิกิริยา Strecker degradation	18
4	ปฏิกิริยา streker degradation ของกรดอะมิโนโพรลีน และเกิดผลิตภัณฑ์ 2-acetyl-1-pyrroline	36
5	สูตรโครงสร้างสารให้กลิ่นที่สำคัญในเผือกที่ผ่านการให้ความร้อน	63
6	สูตรโครงสร้างสารให้กลิ่นที่สำคัญในข้าวเหนียวดำที่ผ่านการให้ความร้อน	79
7	สูตรโครงสร้างสารให้กลิ่นที่สำคัญในข้าวเหนียวพันธุ์เขี้ยวงูหุงสุก	80
8	สูตรโครงสร้างสารให้กลิ่นที่สำคัญในข้าวเสาไห้หุงสุก	81

ภาพผนวกที่

1	โครมาโตแกรมของสารให้กลิ่นเผือกที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยวิธี Simultaneous Distillation Extraction ที่แยกด้วยคอลัมน์ HP-5	98
2	โครมาโตแกรมของสารให้กลิ่นเผือกที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยวิธี Solvent Extraction ที่แยกด้วยคอลัมน์ HP-5	99
3	โครมาโตแกรมของสารให้กลิ่นเผือกที่ผ่านการให้ความร้อนที่ pH 9 ที่แยกด้วยคอลัมน์ HP-5	100
4	โครมาโตแกรมของสารให้กลิ่นเผือกที่ผ่านการให้ความร้อนที่ pH 11 ที่แยกด้วยคอลัมน์ HP-5	101
5	โครมาโตแกรมของสารให้กลิ่นเผือกที่ผ่านการให้ความร้อนที่ pH 12 ที่แยกด้วยคอลัมน์ HP-5	102
6	โครมาโตแกรมของสารให้กลิ่นเผือกที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยเทคนิค headspace ที่แยกด้วยคอลัมน์ HP-5	103
7	โครมาโตแกรมของเผือกที่ผ่านการให้ความร้อนที่แยกด้วยคอลัมน์ HP-5	104

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
8	โครมาโตแกรมของเผือกที่ผ่านการให้ความร้อนที่แยกด้วยคอลัมน์ FFAP	105
9	โครมาโตแกรมของสารให้กลิ่นเผือกจากบริษัท A ตัวอย่างที่ 1 ที่แยกด้วยคอลัมน์ HP-5	106
10	โครมาโตแกรมของสารให้กลิ่นเผือกจากบริษัท A ตัวอย่างที่ 2 ที่แยกด้วยคอลัมน์ HP-5	107
11	โครมาโตแกรมของสารให้กลิ่นเผือกจากบริษัท B ตัวอย่างที่ 1 ที่แยกด้วยคอลัมน์ HP-5	108
12	โครมาโตแกรมของสารให้กลิ่นเผือกจากบริษัท B ตัวอย่างที่ 2 ที่แยกด้วยคอลัมน์ HP-5	109
13	โครมาโตแกรมของข้าวเหนียวดำหุงสุกที่แยกด้วยคอลัมน์ HP-5	110
14	โครมาโตแกรมของข้าวเหนียวดำหุงสุกที่แยกด้วยคอลัมน์ FFAP	111
15	โครมาโตแกรมของสารให้กลิ่นข้าวเหนียวพันธุ์เขี้ยวงูหุงสุกที่แยกด้วยคอลัมน์ HP-5	112
16	โครมาโตแกรมของสารให้กลิ่นข้าวเหนียวพันธุ์เขี้ยวงูหุงสุกที่แยกด้วยคอลัมน์ FFAP	113
17	โครมาโตแกรมของข้าวเสาไห้หุงสุกที่แยกด้วยคอลัมน์ HP-5	114
18	โครมาโตแกรมของข้าวเสาไห้หุงสุกที่แยกด้วยคอลัมน์ FFAP	115

สารระเหยในเผือกและข้าวเหนียวดำที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อน

Volatile Compounds from Thermally Processed Taro (*Colocasia esculenta* L.) and Black Glutinous Rice (*Oryza sativa*)

คำนำ

เผือก (*Colocasia esculenta* L.) เป็นพืชหัวที่อุดมไปด้วยแหล่งของคาร์โบไฮเดรต โดยเฉพาะสตาร์ช เผือกเป็นพืชที่สามารถปลูกได้ในประเทศแถบเขตร้อนชื้น ประเทศไทยนิยมปลูกโดยทั่วไปทั้งในภาคกลาง และภาคเหนือ นิยมนำเผือกไปปรุงเป็นของคาวและของหวานนานาชนิด ด้วยลักษณะกลิ่นรสที่มีความเฉพาะจึงทำให้เป็นที่ชื่นชอบในการบริโภค ในปัจจุบันการเลียนแบบกลิ่นรสของเผือกยังทำได้ไม่คล้ายคลึง

ข้าวเหนียวดำ (*Oryza sativa*) เป็นข้าวเหนียวที่มีลักษณะสีม่วงทั้งเมล็ด นิยมปลูกมากในภาคเหนือของประเทศไทย การนำไปบริโภคนั้นมักนำไปปรุงเป็นของหวานร่วมกับขนมหวานชนิดอื่น ๆ กลิ่นรสของข้าวเหนียวดำมีความแตกต่างจากข้าวเหนียวโดยทั่วไปที่ใช้บริโภค ปัจจุบันยังไม่มีการรายงานถึงกลิ่นรสที่แท้จริงของข้าวเหนียวดำ

ด้วยลักษณะกลิ่นรสอันเป็นเอกลักษณ์เฉพาะของทั้งเผือกและข้าวเหนียวดำ จึงเป็นที่น่าสนใจในการทำงานวิจัยองค์ประกอบของสารระเหยให้กลิ่นที่สำคัญในเผือกและข้าวเหนียวดำที่ผ่านการให้ความร้อน เพื่อสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรมได้

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาองค์ประกอบของสารให้กลิ่นที่สำคัญ (aroma active compounds) ในเผือกและข้าวเหนียวดำที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อน

การตรวจเอกสาร

1. เผือก (Taro)

เผือกเป็นพืชหัวที่มีถิ่นกำเนิดในประเทศเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และแถบมหาสมุทรแปซิฟิก เผือกเป็นอาหารหลักของชาวนิวกินี เดิมที่เดียวเผือกเป็นพืชป่า ต่อมามนุษย์จึงนำเอาเผือกมาปลูกเพื่อใช้รับประทาน และมีการเรียกชื่อที่แตกต่างกันไปในแต่ละประเทศ เช่น old cocoyam, dash(e)en, eddo (Kay, 1973) เป็นต้น ในประเทศไทยมีการเรียกชื่อที่แตกต่างกันในแต่ละภาค เช่น ภาคเหนือเรียกว่า บอนหรือตุน ภาคใต้เรียกว่าบอนเขียว บอนจีนดำ บอนท่า หรือบอนน้ำ และภาคกลางเรียกว่าเผือก เผือกสามารถนำมาประกอบอาหารได้หลายชนิด ทั้งคาวและหวานและการอุตสาหกรรมแปรรูป คนไทยส่วนใหญ่จะนิยมบริโภคเผือกในรูปขนมหวานชนิดต่าง ๆ เช่น เผือกเชื่อม เผือกกวน เผือกทอด เผือกฉาบ บัวลอยเผือก ข้าวเหนียวเผือก ขนมปังไส้เผือก ไอครีมเผือก โรตีเผือก และอาหารประเภทขบเคี้ยว เป็นต้น ปัจจุบันเผือกเป็นพืชหัวเศรษฐกิจที่มีศักยภาพในการส่งออกอีกชนิดหนึ่ง โดยส่งออกทั้งในรูปหัวเผือก ก้านใบเผือก และใบเผือก เช่น ในปี 2543 ประเทศไทยมีการส่งออกหัวเผือกประมาณ 1,039 ตัน คิดเป็นมูลค่า 14.8 ล้านบาท ตลาดต่างประเทศของเผือกที่สำคัญมี ญี่ปุ่น ฮ่องกง ออสเตรเลีย มาเลเซีย สิงคโปร์ และเนเธอร์แลนด์ เป็นต้น ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงการใช้ประโยชน์สามารถใช้ได้ทั้งหัว ก้านใบ และใบเผือก นอกจากนี้ยังเป็นพืชที่มีการค้าทั้งตลาดภายใน และต่างประเทศ (กรมวิชาการเกษตร, 2545)

เผือกมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Colocasia esculenta* (L.) Shott. อยู่ในตระกูล Araceae เผือกมีมากกว่า 200 สายพันธุ์ นักพฤกษศาสตร์สามารถแบ่งเผือกออกเป็น 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ

1. Eddoe type เผือกชนิดนี้ได้แก่ *C. esculenta var antiquorum* หรือ *C. esculenta var qlobulifera* เป็นเผือกที่มีหัวขนาดไม่ใหญ่และมีหัวเล็ก ๆ ล้อมรอบหลายหัว เผือกหัวเล็กและใหญ่สามารถใช้บริโภคและใช้ในการขยายพันธุ์ได้ดี

2. Dasheen type เผือกชนิดนี้ได้แก่ *C. esculenta var exculenta* เป็นเผือกที่มีหัวขนาดใหญ่และมีหัวขนาดเล็ก ๆ ล้อมรอบ หัวขนาดใหญ่สามารถใช้บริโภคได้ ส่วนหัวเล็กอาจใช้สำหรับขยายพันธุ์ เผือกประเภทนี้ได้แก่ เผือกหอมที่นิยมปลูกในประเทศไทยด้วย

เผือกที่ปลูกในประเทศไทยสามารถจำแนกได้ 4 ชนิด ได้แก่

1. เผือกหอม มีหัวขนาดใหญ่หัวละ 2 – 3 กิโลกรัม มีหัวเล็กติดกับหัวใหญ่เล็กน้อย ต้มรับประทานได้มีกลิ่นหอม มีลักษณะกาบใบใหญ่มีสีเขียว

2. เผือกเหลือง มีหัวขนาดย่อมมีสีเหลือง

3. เผือกไม้ หรือ เผือกไหหลำ มีหัวขนาดเล็ก

4. เผือกตาแดง ที่ตาของหัวมีสีเข้ม มีหัวเล็ก ๆ ล้อมรอบหัวใหญ่เป็นกลุ่มจำนวนมาก กาบใยสีแดง

เผือกจะปลูกอยู่ในบริเวณเขตภูมิอากาศร้อนหรืออากาศอบอุ่น เผือกขึ้นได้ทั้งในที่ดินที่มีความชุ่มชื้นสูง ที่ลุ่ม และในที่ดอน น้ำไม่ท่วม เผือกที่คนไทยนิยมปลูกมากที่สุดคือ เผือกหอม ซึ่งสามารถปลูกได้ในดินเกือบทุกชนิด ประเทศไทยในปัจจุบันมีการปลูกเผือกในจังหวัดต่าง ๆ ทั่วประเทศมีการปลูกเผือกมากที่สุดในจังหวัดในภาคกลาง ซึ่งมีเนื้อที่ปลูกมากกว่าครึ่งหนึ่งของเนื้อที่ปลูกเผือกทั้งหมดของประเทศจังหวัดที่ปลูกมาก ได้แก่ จังหวัดราชบุรี ประจวบคีรีขันธ์ ชัยนาท สมุทรสาคร รองลงไป ได้แก่ ภาคใต้ ปลูกมากในจังหวัดสงขลา สุราษฎร์ธานี ชุมพร ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ปลูกมากในจังหวัดบุรีรัมย์ มหาสารคาม ส่วนภาคเหนือปลูกเผือกน้อยกว่าภาคอื่น ๆ ปลูกมากในจังหวัดน่าน (กรมวิชาการเกษตร, 2545)

1.1 ลักษณะของเผือก

เผือกเป็นพืชหัว หัวเผือกเป็นลำต้นที่เกิดอยู่ใต้ดิน ประกอบด้วยหัวใหญ่ 1 หัว และมีหัวเล็ก ๆ แตกออกรอบ ๆ เผือกมีขนาดรูปร่างของหัวและสีของเนื้อเผือกมีตั้งแต่สีขาว เหลือง ส้ม จนถึงแดงหรือม่วง ซึ่งมีความแตกต่างกันออกไปตามลักษณะของสายพันธุ์ หัวใหญ่มีน้ำหนักตั้งแต่หนักกว่า 450 กรัม ถึงหนักกว่า 3.5 กิโลกรัม ส่วนหัวเล็กหนักน้อยกว่า 28 กรัม ถึง 450 กรัม (Treche, 2000)

1.2 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของเผือก

หัวเผือกเป็นแหล่งอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต โดยเฉพาะแป้ง องค์ประกอบของเผือกโดยประมาณได้แก่ ความชื้นร้อยละ 63 – 85 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 13 – 29 โปรตีนร้อยละ 1.4

– 3.0 ไขมันร้อยละ 0.16 - 0.36 เส้นใยร้อยละ 0.6 – 1.8 เถ้าร้อยละ 0.6 – 1.3 และวิตามินซีประมาณ 7 – 9 มิลลิกรัม/ 100 กรัม ของส่วนที่กินได้ ไธอามีนประมาณ 0.8 กรัม/ 100 กรัม ไรโบฟลาวิน ประมาณ 0.04 มิลลิกรัม/ 100 กรัม ไนอาซีน 0.9 มิลลิกรัม/ 100 กรัม และส่วนของลำต้นหรือก้านใบ เป็นแหล่งของวิตามินเอและซี (Perez, 2005)

ใบและยอดเผือก ทั้งใบและยอดใช้รับประทานได้ มีวิตามินเอ และวิตามินซี สูง ในใบมีวิตามินเอ 20,885 ไอ.ยู. ต่อ 100 กรัม ของส่วนที่กินได้ มีวิตามินซี 142 มิลลิกรัม/100 กรัม ในยอดมีวิตามินเอ 335 ไอ.ยู. ต่อ 100 กรัม มีวิตามินซี 8 มิลลิกรัม/100 กรัม (Thai Junior Encyclopedia Project, 1997)

1.3 สารให้กลิ่นในเผือก

เผือกมีกลิ่นที่มีลักษณะเฉพาะจึงสามารถนำมาประกอบอาหารได้หลายชนิดทั้งคาวหวานและอุตสาหกรรมแปรรูป MacLeod (1990) ได้ทำการศึกษาสารให้กลิ่นในเผือกพันธุ์ *Colocasia esculenta var antiquorum* นำมาผ่านกระบวนการให้ความร้อน โดยเลือกใช้คอลัมน์ BP20 และ DB5 พบสารระเหยมีทั้งหมด 62 ชนิด แบ่งได้เป็น อะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน (ร้อยละ 29.29), กรด (ร้อยละ 17.00) และแอลกอฮอล์ (ร้อยละ 5.5) ดังแสดงในตารางที่ 1 และ 2 สารระเหยทั้ง 3 กลุ่มเกิดจากการออกซิเดชันหรือการสลายตัวของไขมัน (Grosch , 1982), จากกรดอะมิโนในปฏิกิริยา Strecker ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของวาลีน (valine), ลิวซีน (leucine), ไอโซลิวซีน (isoleucine) และเฟนิลอะลานิน (phenylalanine) (Bradbury and Holloway, 1988), การสลายตัวของน้ำตาลในเผือก ได้แก่ กลูโคสร้อยละ 0.4, ฟรุกโทสร้อยละ 0.4, ซูโครสร้อยละ 0.1 และมอลโทสร้อยละ 0.1 (Will *et al*., 1983) และปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ที่สามารถเกิดได้ที่ความเข้มข้นของสารตั้งต้นต่ำ คือมีปริมาณโปรตีนและน้ำตาลเพียงประมาณร้อยละ 1 ในเผือก (Will, 1983 และ Bradbury and Holloway, 1988) สารระเหยที่เป็นสารให้กลิ่นที่สำคัญของเผือกที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อน คือ dimethylcyclohexane (ร้อยละ 2.3) ซึ่งมีความเข้มข้นต่ำ สารประกอบที่พบในปริมาณมากที่สุดคือ octane ร้อยละ 21.10 และ pyridine ร้อยละ 18.60 ในปัจจุบันยังไม่มีการศึกษาสารระเหยเหล่านี้ในเผือกว่าชนิดใดเป็น aroma impact compound สำหรับเผือก

ตารางที่ 1 สารให้กลิ่นในเผือกที่ผ่านการให้ความร้อน

Component	RI^{a}_{BP20}	Relative area
diethyl ether	590	-
hexane	600	-
octane	800	21.10
adimethylcyclohexane	-	2.30
methylpropanal	800	-
2-methylbutanal	-	6.20
3-methylbutanal	937	0.60
butanedione (i.e. diacetyl)	963	-
2-methylbutan-2-ol	987	0.30
2-methylbut-3-en-2-ol	1016	1.70
toluene	1001	-
pentane-2,3-dione	1044	0.50
hexanal	1084	2.00
2(or 3)-methylthiophen	1123	0.20
methylpyrrole	1139	0.30
pyridine	1180	18.60
3-methylbutan-1-ol	1184	0.30
2-pentylfuran	1229	0.20
pentan-1-ol	1213	0.20
hexan-1-ol	1316	0.20
hex-3-on-1-ol	1351	0.20
nonan-2-one	1377	0.09
nonanal	1382	0.20
oct-1-en-3-ol	1420	0.20
2-furaldehyde (i.e. furfural)	1449	0.80
decan-2-one	1480	0.10
benzaldehyde	1502	0.50

ตารางที่ 1 (ต่อ)

Component	RI^{a}_{BP20}	Relative area
linalool	1506	0.10
3,5,5-trimethylcyclohex-2-enone	-	0.02
2-acetylthiazole	1639	1.80
phenylacetadehyde	1646	0.40
thiophen-2(or 3)-carboxaldehyde	1702	0.04
thiophen-3(or 2)-carboxaldehyde	-	0.05
2,6-di-*tert*-butyl-4-methylphenol (i.e. BHT)	1870	0.09
benzothiazole	1873	0.08
5-methyl-2-phenylhex-2-enal	-	0.40
γ –decalactone	2101	0.02
δ–decalactone	2144	0.09
2-methoxy-4-vinylphenol (i.e. *p*-vinylguaiacol)	2160	1.90
nonanoic acid	2200	2.10
diethyl phthalate	2303	0.10
2,3-dihydrobenzofuran	-	0.30
hexadecan-1-ol	2320	2.40
indole	2351	0.20
tetracosane	2400	2.00
di-(2-methylpropyl) phthalate	-	1.00
pentacosane	2500	5.60
dibutyl phthalate	2630	6.20
octadecanoic acid	-	3.20
eicosanoic acid	-	11.20
cyclohexane	677	-
2-methylheptane	-	0.02
2,3-dimethylhexane	-	-
2,4-dimethylhexane	-	0.10

ตารางที่ 1 (ต่อ)

Component	RI^{a}_{DB5}	Relative area
octadecane	1800	0.05
nonadec-1-ene	-	0.02
nonadecane	1900	0.05
eicos-1-ene	-	0.05
eicosane	2000	0.10
heneicosane	2100	0.10
octadeca-9,12-dienoic acid (i.e. linoleic acid)	-	0.50
tetracos-1-ene	-	0.10

หมายเหตุ [a] Jennings and Shibamoto (1980)

ที่มา : MacLeod (1990)

มันฝรั่งเป็นพืชหัว ที่อาจจะมีลักษณะและสารให้กลิ่นบางชนิดที่คล้ายคลึงกันกับเผือก Oruna-Concha *et al.* (2002) ได้ทำการศึกษาสารให้กลิ่นในมันฝรั่งที่อบด้วยไมโครเวฟ พบสารให้กลิ่นทั้งหมดประมาณ 80 ชนิด ดังแสดงในตารางที่ 3, 4 และ 5 โดยสามารถแบ่งลักษณะการของกลิ่นได้ 5 กลุ่ม ได้แก่ สารให้กลิ่นที่เกิดจากลิพิด (lipid) 60 ชนิด, สารให้กลิ่นที่เกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดที่ไม่ได้เกิดจากกรดอะมิโนที่มีซัลเฟอร์ 5 ชนิด, สารประกอบซัลเฟอร์ 4 ชนิด, เมทอกซิไพราซีน (methoxypyrazine) 1 ชนิดและเทอร์พีน (terpene) 10 ชนิด ซึ่งสารให้กลิ่นในมันฝรั่งเหล่านี้เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการสลายตัวของไขมัน, ปฏิกิริยาเมลลาร์ด และการสลายตัวของน้ำตาล (Whitfield and Last, 1991) นอกจากนี้ Cherif and Abdelkader (1970) ได้ทำการศึกษาการเก็บรักษามันฝรั่งพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของระดับกรดไขมันในมันฝรั่ง รวมถึงการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำตาล (Finglas and Faulks, 1984) และกรดอะมิโน (Brierley *et al.*, 1996) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสารให้กลิ่นมันฝรั่ง รวมถึงแหล่งการเพาะปลูกที่แตกต่างกันยังมีผลต่อปริมาณของสารให้กลิ่นในมันฝรั่งด้วยเช่นกัน (Ulrich *et al.*, 2000)

ตารางที่ 2 สารให้กลิ่นในมันฝรั่งที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ

Compound	$RI^{a}_{CPSil\ 8\ CB}$	RI^{b}_{HP-1}	Cutivar[c]							
			M	D	KE	F	N	PS	S	C
Derived from lipids										
hexane	602	600	94	163	282	273	298	2143	634	624
2-butanone	606	604	1088	-	-	-	1726	-	-	-
2-methylfuran	615	606	57	61	111	180	275	-	192	127
heptane	699	700	-	33	-	-	-	-	-	-
2-ethylfuran	701	704	-	-	93	41	-	-	-	107
pentanal	702	707	309	185	361	249	228	271	221	142
methyl butanoate	730	724	85	111	120	127	96	118	108	104
2-pentenal	745	754	113	50	76	75	19	-	-	-
toluene	766	766	115	174	434	206	130	160	119	125
methyl 2-methyl butanoate	779	775	17	13	22	-	-	-	-	-
octane	797	800	51	-	67	29	-	-	26	22
hexanal	801	809	657	995	2256	733	728	468	631	748
butyl acetate	816	-	8	-	-	-	-	-	-	-
ethylbenzene	860	865	14	37	124	52	33	34	-	34

ตารางที่ 2 (ต่อ)

Compound	$RI^{a}_{CPSil\ 8\ CB}$	RI^{b}_{HP-1}	Cutivar[c]							
			M	D	KE	F	N	PS	S	C
1,4-dimethylbenzene (*p*-xylene)	869	865	21	69	375	34	82	22	-	-
1,3-dimethylbenzene (*m*-xylene)	871	-	20	25	195	42	28	-	44	73
1,2-dimethylbenzene (*o*-xylene)	890	-	18	-	387	66	124	42	-	-
nonane	897	900	78	45	111	100	66	69	57	82
heptanal	903	902	90	69	72	76	66	80	102	115
propylbenzene	953	959	-	-	82	17	-	-	-	-
2-heptenal	959	954	5	-	51	-	-	-	-	-
trimethylbenzene	960	-	25	-	282	39	13	-	-	21
alkylbenzene	964	-	-	-	120	-	-	-	-	12
benzaldehyde	967	-	282	201	363	341	179	526	379	220
trimethylbenzene	969	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ethylmethylbenzene	977	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2-methylvinylbenzene	983	-	67	53	131	110	41	59	138	99
6-methyl-5-hepten-2-one	984	987	19	17	-	-	17	-	-	-
2,2,4,6,6-pentamethylheptane	985	992	-	14	68	-	-	-	-	12

ตารางที่ 2 (ต่อ)

Compound	$RI^{a}_{CPSil\ 8\ CB}$	RI^{b}_{HP-1}	Cutivar[c]							
			M	D	KE	F	N	PS	S	C
2-pentylfuran	989	994	176	203	856	293	149	224	135	281
trimethylbenzene	994	-	78	49	616	96	223	77	71	25
decane	994	1000	16	21	18	54	7	14	19	5
alkylbenzene	1021	-	43	9	113	75	207	-	-	-
3,5,5-trimethyl-3-cyclohexene-1-one	1044	1059	-	-	-	-	17	-	-	-
methylpropylbenzene	1051	-	-	-	82	36	-	-	-	-
4-methyldecane	1054	1060	-	-	-	16	-	-	-	-
ethyldimethylbenzene	1051	-	-	-	-	54	24	-	-	-
2-methyldecane	1059	1064	-	-	-	34	-	-	-	-
(*E*)-2-octenal	1059	1060	-	-	50	-	-	-	-	-
decahydronapthalene	1063	1057	-	-	26	-	-	-	-	-
methylpropylbenzene	1065	-	-	-	22	34	-	-	-	-
acetophenone	1071	1087	-	-	83	-	-	-	-	-
ethyl dimetyl benzene	1076	-	-	-	51	13	15	-	-	-
ethyl dimetyl benzene	1078	-	-	-	39	17	25	-	-	-

ตารางที่ 2 (ต่อ)

Compound	$RI^{a}_{CPSil\ 8\ CB}$	RI^{b}_{HP-1}	Cutivar[c]							
			M	D	KE	F	N	PS	S	C
ethyl dimetyl benzene	1085	-	-	-	23	-	10	-	-	-
undecane	1094	1100	28	13	60	140	54	18	25	28
nonanal	1104	1107	792	387	434	605	519	593	747	678
pentylbenzene	1157	1158	10	-	8	6	6	-	-	-
2-nonenal	1159	1161	21	-	13	23	-	-	-	-
napthalene	1186	1192	-	-	100	15	65	-	-	9
decanal	1205	1204	799	317	329	415	310	305	400	277
tridecane	1290	1300	7	-	16	17	36	-	-	-
undecanal	1300	1305	67	-	11	10	7	-	-	-
tetradecane	1393	1400	13	-	22	11	41	-	-	-
dodecanal	1399	1408	22	-	-	-	-	-	-	-
pentadecane	1490	1500	60	24	38	17	27	-	-	13
hexadecane	1589	1600	56	22	16	12	26	-	-	11
Sugar degradation and/or Maillard reaction not involving sulphur amino acid										
3-methylbutanal	663	659	2693	2001	2333	1878	2396	1360	1381	1003

ตารางที่ 2 (ต่อ)

Compound	$RI^{a}_{CPSil\ 8\ CB}$	RI^{b}_{HP-1}	Cutivar[c]							
			M	D	KE	F	N	PS	S	C
1-methyl-1*H*-pyrrole	741	747	-	-	-	40	-	-	-	-
2-furfural	835	830	129	77	130	185	-	-	30	-
phenylacetaldehyde	1048	1046	136	45	105	38	39	-	72	9
Sulphur compounds										
dimethyl sulphide	-	505	1463	264	780	-	4340	362	784	109
dimethyl disulphide	744	744	134	78	28	27	26	-	-	73
dimethyl trisulphide	972	984	221	88	75	-	96	-	102	183
dimethyl tetrasulphide	1223	1215	12	-	-	-	-	-	-	-
Methoxypyrazines										
2-isobutyl-3-methoxypyrazine	1174	1176	-	6	-	-	-	-	-	-
Terpenes										
α –pinene	931	937	7	-	45	-	-	12	-	-
3-carene	1013	1013	-	-	-	-	-	-	17	19
D-limonene	1030	1033	164	82	332	320	175	1332	254	644
camphor	1151	1147	225	-	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ 2 (ต่อ)

Compound	$RI^{a}_{CPSil\ 8\ CB}$	RI^{b}_{HP-1}	Cutivar[c]							
			M	D	KE	F	N	PS	S	C
cyclosativene	1382	1368	-	-	-	-	-	-	-	-
copaen	1383	1376	33	-	6	-	-	82	-	-
longicyclene	1392	1373	-	-	-	-	-	-	22	-
β –gurjunene	1442	1432	-	-	-	-	-	-	-	-
α –aromadendren	1477	1483	-	-	-	-	-	171	-	-
β –curcumene	1526	1512	-	-	-	-	-	-	8	-

หมายเหตุ [a] Oruna-Concha *et al.* (2002).

[b] Adam *et al.* (1995) และ Kondjoyan *et al.* (1996).

[c] M, พันธุ์ Marfona; D, พันธุ์ Desiree; KE, พันธุ์ King Edward; F, พันธุ์ Fianna; N, พันธุ์ Nadine; PS, พันธุ์ Pentland Squire; S, พันธุ์ Saxon และ C, พันธุ์ Cara.

1.4 ปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดกลิ่นรสในเผือก

MacLeod (1989) ได้ทำการศึกษาสารระเหยให้กลิ่นรสของเผือกพบปฏิกิริยาที่ก่อให้เกิดกลิ่นรสของเผือกที่สำคัญดังนี้

1.4.1 ปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (Lipid Oxidation) ปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดขึ้นกับกรดไขมันไม่อิ่มตัว ซึ่งมีกลไกการเกิด 3 ขั้นตอน (Owen, 1972) ดังนี้

1. Initiation เป็นขั้นตอนการเกิดอนุมูลอิสระ (free radical)

$$RH \longrightarrow R\bullet + H\bullet$$

2. Propagation เป็นปฏิกิริยาต่อเนื่องของอนุมูลอิสระ

$$R\text{-}\dot{C}H\text{=}\dot{C}H\text{-}R' + O_2 \longrightarrow R\text{-}\dot{C}H\text{-}\dot{C}H\text{-}R'$$
$$\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\quad \dot{O}\text{-}O\bullet$$

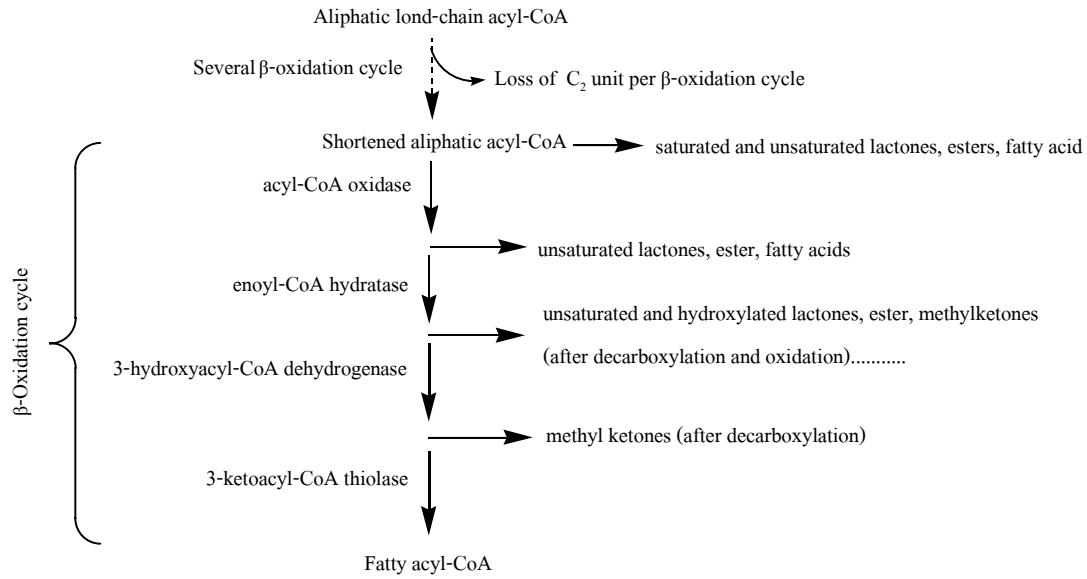
3. Termination เป็นปฏิกิริยาสุดท้ายที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นไม่ได้เป็นอนุมูลอิสระ (nonradical products)

$$R\bullet + R\bullet \longrightarrow RR$$
$$ROO\bullet + ROO\bullet \longrightarrow ROOR + O_2$$
$$RO\bullet + R\bullet \longrightarrow ROR$$
$$ROO\bullet + R\bullet \longrightarrow ROOR$$
$$2RO + 2ROO \longrightarrow 2ROOR + O_2$$

ปฏิกิริยาออกซิเดชันสามารถเกิดขึ้นได้ในผักและผลไม้ระหว่างขณะสุกและดิบได้เช่นกัน การเกิดออกซิเดชันในผักและผลไม้สามารถเกิดได้ 3 แบบ คือ

1.4.1.1 เบต้า-ออกซิเดชันเป็นปฏิกิริยาที่เกิดกับ acetyl-CoA โดยเกิดขึ้นในผักและผลไม้สุก ประกอบด้วยปฏิกิริยา 4 ขั้นตอนโดยเกิดปฏิกิริยาซ้ำหลายครั้ง เกิดการแตกตัวจนกระทั่งเกิดสารประกอบ สารประกอบที่เกิดจากเบต้า-ออกซิเดชัน คือ สารประกอบในกลุ่มแลก

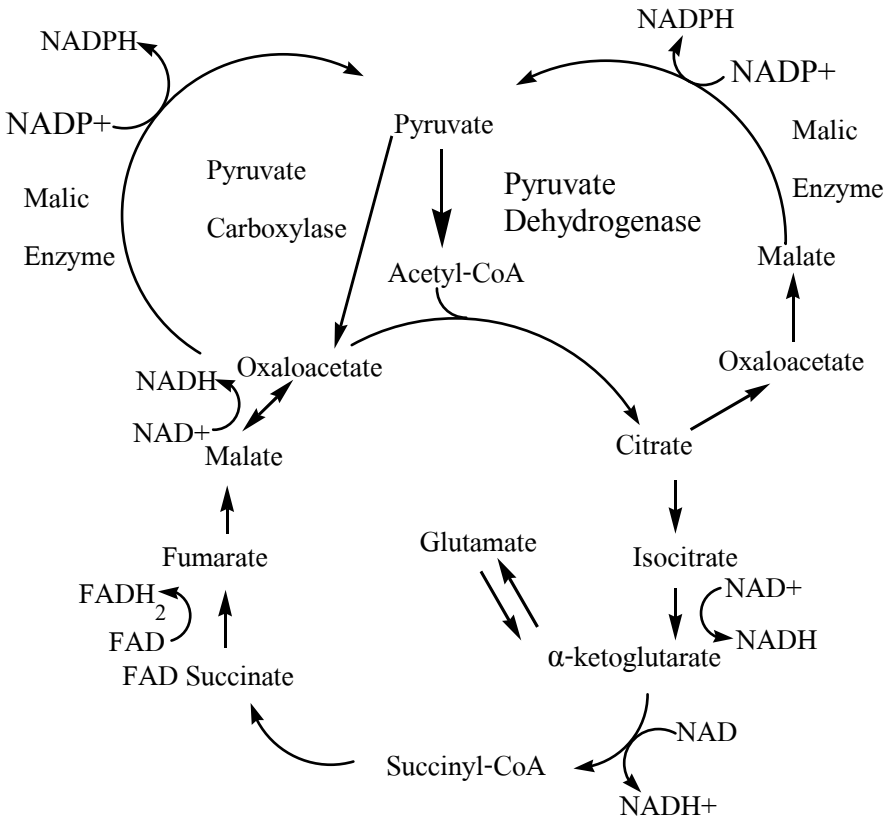
โทน, เอสเทอร์, แอลกอฮอล์, คาร์บอนิล และกรด (Aguedo *et al.*, 2004; Graham and Eastmond, 2002) โดยสารระเหยให้กลิ่นเผือกน่าจะเกิดปฏิกิริยาเบต้า-ออกซิเดชันนี้ ดังแสดงในภาพที่ 1



<u>ภาพที่ 1</u> การสลายตัวของกรดไขมันโดยปฏิกิริยาเบต้า-ออกซิเดชันและสารประกอบให้กลิ่นที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาของผักและผลไม้

ที่มา : Aguedo *et al.* (2004).

Acetyl-CoA เป็นสารตั้งต้นที่มีความสำคัญชนิดหนึ่งในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์สารประกอบเอสเทอร์ (Horton *et al.*, 2003) lycopene และ polyketides Berrios-Rivera (2003) พบปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงของ NADH ในกลไกไพรูเวทมีผลทำให้สารประกอบให้กลิ่นเพิ่มขึ้นเช่นกัน ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นได้แก่ 1,2-propanediol และ ethanol กลไกไพรูเวทดังแสดงในภาพที่ 2



<u>ภาพที่ 2</u> กลไกปฏิกิริยาไพรูเวทและอะซิทิลโคเอ

ที่มา : Ravishankar *et al.* (2004).

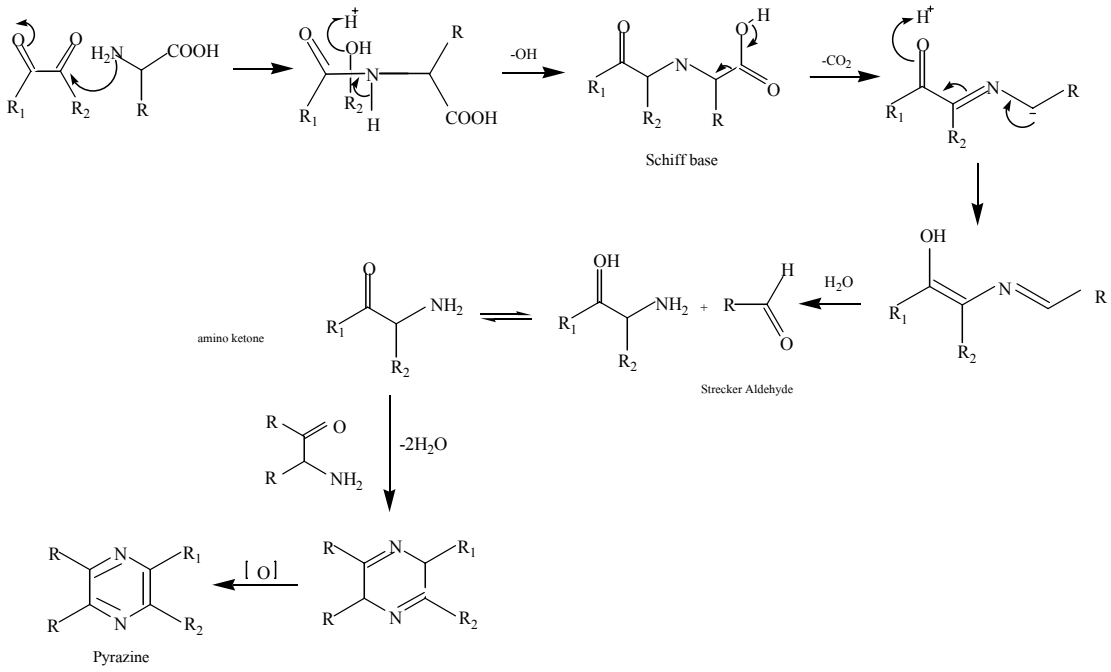
1.4.1.2. ไลพอกซิจีเนส สารประกอบที่เกิดจากปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นกับผักและผลไม้สุกหรือเกิดขึ้นหลังจากเกิดการเสียหายต่อพืช สารประกอบดังกล่าวได้แก่ อัลดีไฮด์และแอลกอฮอล์

1.4.1.3. ออโต้ออกซิเดชัน เป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดโดยการกระตุ้นกรดไขมันไม่อิ่มตัวโดยเอนไซม์ (Chan, 1987) ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์พวกไฮโดรเปอร์ออกไซด์

สาเหตุของการเกิดออกซิเดชันได้แก่ ออกซิเจน, แสง, UV และอนุมูลอิสระ การออกซิไดซ์ของกรดไขมันในสภาพที่มีอากาศเมื่อได้รับความร้อนพบสารประกอบในกลุ่มอัลดีไฮด์, คีโตน และสารจำพวกโพลิเมอร์ (Yilmaz *et al.*, 2002) นอกจากนี้อัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ, ความดัน, ความเข้มข้นของออกซิเจน และแอนติออกซิแดนท์

ไขมันที่มีในเผือกเพียง 0.1-0.4% สามารถเป็นสารตั้งต้นในการเกิดสารให้กลิ่นที่สำคัญ (Will *et al.*, 1983); Bradbury and Holloway, 1988) สารให้กลิ่นที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของเผือกแบ่งได้เป็นกลุ่มอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน, กรด และแอลกอฮอล์ ดังแสดงในตารางที่ 1 และ 2 (MacLeod, 1989) ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ทำให้เกิดสารให้กลิ่นนี้พบในพืชหัวประเภทอื่น เช่น มันฝรั่ง ดังแสดงในตารางที่ 3 และ 4 (Oruna-Concha, 2002)

1.4.2 Strecker Degradation เป็นปฏิกิริยาการสลายตัวของกรดอะมิโนที่ตำแหน่งคาร์บอนิล โดยเกิดปฏิกิริยาระหว่างกรดอะมิโนและสารประกอบ α-dicarbonyl ซึ่งกรดอะมิโนจะทำปฏิกิริยา decarboxylated และ deaminated จนกระทั่งเกิดสารประกอบอัลดีไฮด์ที่มีจำนวนคาร์บอนน้อยกว่ากรดอะมิโน 1 อะตอม (Strecker aldehyde) และ α-aminoketone ดังแสดงในภาพที่ 3 กรดอะมิโนในเผือกที่มีความสำคัญต่อการเกิด Strecker degradation คือ วาลีน, ลิวซีน, ไอโซลิวซีน และเฟนิลอะลานีน (Bradbury and Holloway, 1988) สารระเหยที่เกิดจากปฏิกิริยา Strecker degradation ในเผือก ได้แก่ methylpropanal, 3-methylbutanal, 2-methylbutanal และ phenylacetadehyde (MacLeod, 1989)



<u>ภาพที่ 3</u> ปฏิกิริยา Strecker degradation

ที่มา : Mottram (2007).

1.4.3 การสลายตัวของน้ำตาล (Degradation of Sugar) เป็นปฏิกิริยาที่ต้องใช้ความร้อนสูงเพื่อสลายโมเลกุลของน้ำตาลให้แยกออก และสามารถเกิดพอลิเมอไรเซชันของสารประกอบคาร์บอนได้เป็นสารสีน้ำตาล (Deman, 1990) น้ำตาลที่พบในเผือก ได้แก่ กลูโคส 0.4%, ฟรุกโทส 0.4%, ซูโครส 0.1% และมอลโทส 0.1% (Will *et al.*, 1983) การสลายตัวของน้ำตาลในเผือก ทำให้เกิด butanedione, pentane-2,3-dione และ furanoid (MacLeod, 1989)

1.4.4 ปฏิกิริยาเมลลาร์ด เป็นปฏิกิริยาที่เกิดจากน้ำตาลรีดิวซ์และกรดอะมิโนเมื่อได้รับความร้อนจะเกิดการรวมตัวกันของหมู่คาร์บอนิลและหมู่อะมิโน ซึ่งทำให้เกิดกลิ่นและสีน้ำตาลในอาหาร สารระเหยที่พบจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดในเผือก คือ เป็นสารประกอบเฮเทอโรไซคลิก เช่น furanoid, thiophenoid, thiazole และ pyrrole (MacLeod, 1989)

2. ข้าวเหนียวดำ (Black glutinous rice)

ข้าวเหนียวดำมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Oryza sativa* (ทัศนีย์และคณะ, 2545) หรือเรียกตามภาษาพื้นเมืองของทางเหนือว่า ข้าวก่ำ เป็นการเรียกตามลักษณะสีของเมล็ดที่มีสีม่วงดำ หรือแดงก่ำ นิยมปลูกมากในภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย นอกจากนี้ยังมีปลูกทั่วไปในประเทศสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว สาธารณรัฐเวียดนาม อินเดีย ญี่ปุ่น และสาธารณรัฐประชาชนจีน พันธุ์ข้าวเหนียวดำมีลักษณะเป็นข้าวพันธุ์ไวแสงและเป็นข้าวเหนียว ปลูกได้เฉพาะฤดูนาปี นอกจากนี้ข้าวเหนียวดำพันธุ์พื้นเมืองจะมีความสามารถในการทนแล้งและการฟื้นตัวจากแล้งได้ดี ต้านทานต่อเพลี้ยจักจั่นสีเขียว

2.1 ลักษณะของข้าวเหนียวดำ

ข้าวเหนียวดำมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างไปจากข้าวทั่วไป ด้วยลักษณะสีม่วงที่ปรากฏบนส่วนต่างๆ ของบริเวณต้น เช่น กาบใบ แผ่นใบ กลีบดอก เปลือกเมล็ด และเยื่อหุ้มเมล็ด เป็นต้น ปริมาณของสีจะแตกต่างกันไป เป็นลักษณะเฉพาะประจำพันธุ์ เช่น ข้าวเหนียวดำไร่ จะมีลักษณะสีม่วงเฉพาะส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ดเท่านั้น ในขณะที่ข้าวเหนียวดำนา จะมีลักษณะสีม่วงปรากฏอยู่ในส่วนอื่นๆ ด้วย นอกจากนี้ยังแบ่งข้าวเหนียวดำได้จากลักษณะสีของเยื่อหุ้มเมล็ดของข้าวเหนียวดำ โดยมีชื่อเรียกตามท้องถิ่นว่า ข้าวก่ำล้วน (เมล็ดข้าวมีสีม่วงทั้งเมล็ด) กับ ข้าวก่ำผ่า (เมล็ดมีสีม่วงเพียงบางส่วน)

2.2 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวเหนียวดำ

ข้าวเหนียวดำมีองค์ประกอบทางเคมี คือ ความชื้นร้อยละ 12.0, โปรตีนร้อยละ 7.5, ไขมันร้อยละ 1.9, เถ้าร้อยละ 1.2, เส้นใยร้อยละ 0.9, คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 77.4, เบต้า-แคโรทีน 3.58 มิลลิกรัม/ 1 กิโลกรัม, ไทอะมีน 0.34 มิลลิกรัม/100 กรัม และ ไนอะซิน 4.7 มิลลิกรัม/100 กรัม (ดำเนินและคณะ, 2548)

ตามภูมิปัญญาท้องถิ่นเชื่อว่าข้าวเหนียวดำเป็นสมุนไพร การปลูกข้าวเหนียวดำจึงเป็นการปลูกเพียงเพื่อใช้ในการรักษาโรคเท่านั้น ซึ่งโรคที่ใช้ข้าวเหนียวดำในการรักษา คือการตกเลือกของหญิงคลอดลูก กล่าวกันว่าในอดีต หากสตรีใดคลอดลูกและมีการตกเลือดไม่หยุด จะนำเอาต้นข้าวเหนียวดำมาต้มกับใบเมี่ยง (ใบชา) ให้รับประทาน ดังนั้นการปลูกข้าวเหนียวดำในอดีตจึงมิได้ปลูกเพื่อบริโภค แต่จะปลูกเพื่อใช้เป็นสมุนไพร (ดำเนินและคณะ, 2548)

2.3 สารให้กลิ่นในข้าว

ข้าวเหนียวดำเป็นข้าวที่มีกลิ่นที่มีลักษณะเฉพาะและเป็นข้าวที่ไม่ได้ผ่านการขัดสี จนถึงปัจจุบันยังไม่มีรายงานถึงสารให้กลิ่นในข้าวเหนียวดำ สำหรับสารให้กลิ่นในข้าวชนิดอื่นๆ ได้มีผู้วิจัยไว้ดังต่อไปนี้

Jezussek *et al.* (2002) ได้ทำการศึกษาสารให้กลิ่นในข้าวกล้อง 4 พันธุ์ ได้แก่ Malagkit Sungsong (IMS), Basmati 370 (B 370), Khaskhani (KK) และ Indina (IND) ที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อน หลังจากการให้ความร้อนพบสารระเหย 47 ชนิด ดังแสดงในตารางที่ 6 (Jezussek, 2002) สารให้กลิ่นที่สำคัญของข้าวกล้องทั้ง 3 พันธุ์ คือ 2-amino acetophenone (กลิ่นคล้ายยา), 2-acetyl-l-pyrroline (กลิ่นคล้ายข้าวโพดคั่ว) สารระเหยอื่น ๆ ที่มีปริมาณมาก ได้แก่ *bis* (2-methyl-3-furyl)-disulfide (กลิ่นคล้ายเนื้อสัตว์), 3-hydroxy-4,5-dimethyl-2(*5H*)-furanone (กลิ่นคล้ายเครื่องปรุงรส) และสารไม่ทราบชนิดที่มีกลิ่นคล้ายเครื่องเทศ สารให้กลิ่นที่เกิดขึ้นในข้าวจะเกิดจากส่วนของสตาร์ชที่อยู่ในข้าวและน้ำที่นำมาหุงต้ม (Nagaraju *et al*., 1991)

2-acetyl-1-pyrroline เป็นสารให้กลิ่นที่สำคัญในข้าวหุงสุก (Buttery *et. al*., 1982) มีค่า threshold ที่ต่ำมากถึง 0.1 nL/L นอกจากจะพบว่าเป็นสารให้กลิ่นที่สำคัญในข้าวแล้วยังพบในอาหารอื่น ๆ เช่น ข้าวโพดหวานกระป๋อง (Buttery *et al*., 1994), ขนมปังปิ้ง (Rychlik and Grosch, 1996) และขอบของขนมปัง (Zehentbauer and Grosch, 1998), งาคั่ว (Schieberle, 1996), เนื้อกั้งต้ม (Lee *et al.*, 2001, Cadwallader and Baek*,* 1998), มันฝรั่งต้ม (Mutti and Grosch, 1999), เมล็ดมะม่วงป่า (*Ir*V*ingia gabonensis*) (Tairu *et. al.,* 2000), หอยนางรม (Kim, 2000) และนมปราศจากไขมันที่ผ่านความร้อน (Karaguel-Yueceer *et al.*, 2001)

Wongpornchai *et al.* (2003) ศึกษาชนิดและปริมาณของ 2-acetyl-1-pyrroline ในดอกข้าวใหม่หรือ ข้าวหอมมะลิ 105 หุงสุก การสกัดด้วย solid-phase microextraction (SPME) พบสารระเหย 50 ชนิด เป็นกลุ่มเทอร์พีน 23 ชนิด ดังแสดงในตารางที่ 7 ส่วนการสกัดด้วย continuous steam distillation and solvent extraction (SDS) พบสารระเหย 40 ชนิด ส่วน 2-acetyl-1-pyrroline จากข้าวที่สกัดด้วย SPME พบร้อยละ 0.37 และ SDS พบร้อยละ 2.71 ปริมาณของ 2-acetyl-1-pyrroline ที่พบในดอกข้าวใหม่มีปริมาณใกล้เคียงกับในข้าวชนิดอื่น ๆ แต่อาจมีปริมาณที่แตกต่างกันได้ เนื่องมาจากการเพาะปลูก, การเก็บเกี่ยว, การเก็บรักษา, เวลาในการเก็บรักษา และความสามารถในการขัดสี นอกจากนี้ยังพบว่า 2-acetyl-1-pyrroline เกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด ซึ่งเกิดขึ้นภายหลังจากการต้มหรือการหุงข้าว (Daniels *et al.*, 1998)

Yang *et al*. (2008) ศึกษาชนิดของข้าวนิลและสารให้กลิ่นในข้าวนิล ทำการสกัดด้วยเทคนิค dynamic headspace โดยใช้ trap เป็น Tenax-TA (Alltech Assoc. Inc., Deerfield, IL) พบสารระเหย 35 ชนิด เป็นสารระเหยในกลุ่มอะโรมาติก 10 ชนิด, สารประกอบไนโตรเจน 4 ชนิด, แอลกอฮอล์ 6 ชนิด, อัลดีไฮด์ 10 ชนิด, คีโตน 3 ชนิด และเทอร์พีนอยด์ 2 ชนิด (ตารางที่ 5) และสารให้กลิ่นที่สำคัญในข้าวนิล 2-acetyl-1-pyrroline และ guaiacol (ตารางที่ 6) โดยทำการเปรียบเทียบกับค่า odor threshold, ความเข้มข้นและจากการดมกลิ่นจาก olfactometry

ตารางที่ 3 สารให้กลิ่นที่พบในข้าวกล้องพันธุ์ Malagkit Sungsong, Basmati 370, Khashkani และ Indica

Compound	Odor quality[a]	RI[b]			FD factor[c]			
		FFAP	DB-5	DB-1701	IMS	B 370	KK	IND
butan-2,3-dione	buttery	985	<600	700	2	4	2	2
hexanal	green	1089	800	885	2	2	2	4
(*Z*)-hex-3-one	green, leaf-ike	1143	800	884	-	1	<1	<1
octanal	citrus like	1284	1000	1087	1	2	2	2
oct-1-en-3-one	mushroom-like	1300	981	1076	4	4	8	2
2-methyl-3-furanthiol	meaty, sulfurous	1319	-	917	1			
2-acetyl-1-pyrroline	popcorn-like	1330	920	1017	1024	512	512	2
non-1-en-3-one	mushroom-like	1396	1084	1164	-	1	<1	<1
2-methoxy-3,5-dimethylpyrazine	earthy	1423	1054	1117	4	<1	1	<1
acetic acid	sour	1443	600	790	1	1	<1	1
methional	cooked potato	1454	902	1042	4	8	8	2
decanal	soapy	1492	1206	-	2	<1	2	<1
(*Z*)-non-2-enal	fatty, green	1500	1146	1254	2	4	2	1
2-isobutyl-3-methoxypyrazine	earthy, green bell pepper	1512	1180	1240	16	8	4	<1
(*E*)-non-2-enal	fatty, tallowy	1529	1165	1272	8	8	16	8

ตารางที่ 3 (ต่อ)

Compound	Odor quality[a]	RI[b]			FD factor[c]			
		FFAP	DB-5	DB-1701	IMS	B 370	KK	IND
(*E,Z*)-nona-2,6-dienal	cucumber-like	1580	1155	1262	1	2	<1	<1
(*Z*)-dec-2-enal	fatty, green	1605	1253	1357	2	2	2	1
butanoic acid	sweaty, rancid	1625	815	995	1	1	<1	<1
phenylacetaldehyde	honey-like	1642	1040	-	1	1	1	<1
2,3-methylbutanoic acid	cheese-like, sweaty	1660	858	1057	4	2	2	4
(*E,E*)-nona-2,4-dienal	fatty	1698	1217	1349	4	4	8	2
pentanoic acid	sweaty	1724	926	1104	1	1	1	1
unknown	medical, metalic	1734	1187	1285	8	<1	2	<1
(*E,Z*)-deca-2,4-dienal	fatty, green	1753	1292	1407	-	<1	4	<1
(*E,E*)-deca-2,4-dienal	fatty	1800	1318	1448	16	16	32	16
hexanoic acid	sweaty	1832	1005	1194	-	1	<1	<1
2-methoxyphenol	smoky	1858	1088	1230	4	2	2	1
2-phenylethanol	honey-like	1908	1116	1278	8	2	4	1
γ-octalactone	coconut-like	1921	1260	1472	-	<1	<1	2
β-ionone	violet-like	1934	1491	1603	-	1	1	-

ตารางที่ 3 (ต่อ)

Compound	Odor quality[a]	RI[b]			FD factor[c]			
		FFAP	DB-5	DB-1701	IMS	B 370	KK	IND
4,5-epoxy-(*E*)-dec-2-enal	metalic	2000	1380	1555	128	64	128	128
4-hydroxy-2,5-dimethyl-3-(*2H*)-furanone	caramel-like	2027	1077	1260	8	8	8	2
γ-nonalactone	coconut-like	2033	1361	1574	-	<1	<1	1
4-methylphenol	phenolic	2076	1091	1313	-	2	2	1
3-methylphenol	phenolic	2089	1102	1329	-	1	<1	<1
unknown	spicy	2132	-	-	2048	64	256	<1
bis-(2-methyl-3-furyl)-disulfide	meaty	2150	1527	1615	2048	256	256	<1
3-hydroxy-4,5-dimethyl-2(*5H*)-furanone	seasoning-like	2197	1122	1370	32	1024	16	32
2-methoxy-4-vinylphenol	spicy, clove-like	2203	1313	1484	32	32	16	32
2-amino acetophenone	medicinal, phenolic	2222	1306	1478	2048	1024	1024	512
3,4,5,7-tetrahydro-3,6-dimethyl-2(*3H*)-benzofuranone	sweet, spicy	2235	1456	1683	8	4	1	<1
5-ethyl-3-hydroxy-4-methyl-2(*5H*)-furanone	seasoning-like	2263	1227	1436	1	<1	2	<1
4-vinylphenol	phenolic	2397	1237	1500	16	<1	1	1
unknown	fruity	2400	-	-	-	4	<1	<1

ตารางที่ 3 (ต่อ)

Compound	Odor quality[a]	RI[b]			FD factor[c]			
		FFAP	DB-5	DB-1701	IMS	B 370	KK	IND
indole	sweet, burnt	2456	1300	1542	4	8	2	1
3-methylindole	mothball-like	2504	1394	1622	2	4	4	1
phenylacetic acid	honey-like	2557	1267	1524	16	32	4	32
vanillin	vanilla-like	2573	1410	1640	128	128	64	256

หมายเหตุ [a] Odor quality perceived at the sniffing port.

[b] Jezussek *et al.* (2002).

[c] FD: Flavor dilution factor. An FD factor <1 means that the respective compound was not detected during sniffing of the undiluted extract.

ตารางที่ 4 สารระเหยของดอกข้าวใหม่ที่ทำการสกัดด้วย solid-phase microextraction (SPME) และ continuous steam distillation and solvent extraction (SDS)

Compound	KI[a]	Relative area[b]%	
		SPME	SDS
ethyl acetate	589	-	16.02
3-methyl-1,3-pentadiene	606	0.24	-
4-methyl-1,3-pentadiene	609	0.37	-
3-methylbutanal	615	-	0.22
benzene	629	-	5.56
3-hydroxy-2-butanone (acetoin)	661	-	0.12
3-methyl-1-butanol	744	0.58	2.04
methylbenzene	776	-	31.42
hexanal	919	-	0.16
2-acetyl-1-pyrroline	930	0.38	0.71
β-myrcene	992	0.54	-
(*Z*)-β-ocimene	1022	0.05	-
(*E*)-β-ocimene	1030	1.46	-
benzyl alcohol	1033	-	0.06
limonene	1039	-	0.04
(*Z*)-linalool oxide	1071	1.23	0.42
(*E*)-linalool oxide	1082	7.21	3.87
benzeneethanol	1091	0.14	0.2
nonanal	1094	-	0.46
linalool	1095	62.24	10.32
epoxylinalool	1136	1.66	6.72
naphthalene	1151	0.47	-
α-terpineol	1208	-	0.23
nerol	1239	-	0.05
geraniol	1262	-	0.48

ตารางที่ 4 (ต่อ)

Compound	KI[a]	Relative area[b]%	
		SPME	SDS
4-vinyl-2-methoxyphenol	1295	-	0.32
α-copaene	1361	0.14	-
β-elemene	1399	1.02	0.01
tetradecane	-	0.16	-
(*E*)-β-caryophyllene	1445	5.99	0.54
(*E*)-β-bergamotene	1457	0.07	-
α-humulene	1469	0.77	0.11
germacrene-D	1479	4.03	0.70
2,4-*bis*-(1,1-dimethylethyl)-phenol	1492	-	0.06
pentadecane	-	1.80	0.12
γ-elemene	-	-	0.07
ethyl phthalate	-	0.76	-
heptadecane	-	-	0.33
nonadecane	-	-	0.52
hexadecanoic acid	-	-	0.43
(*Z,Z*)-3,6-*cis*-9,10-epoxynonadecadiene	-	-	0.09
nonadecadiene	-	-	-
heneicosane	-	-	1.10
docosane	-	-	0.35
tricosane	-	-	2.14
hexanedioic acid, dioctyl	-	-	0.54
tetracosane	-	-	0.19
pentacosane	-	-	1.67
hexacosane	-	-	0.07
heptacosane	-	-	0.98

หมายเหตุ [a] Kovats indices.

[b] Wongpornchai *et al*. (2003).

ตารางที่ 5 ชนิดและปริมาณของสารระเหยในข้าวนิล

Compound	RI^{a}_{HP-5}	Relative concentration[b] (ng/100g)	Method of identification[c]
Aromatic			
toluene	760	47.7±4.7	MS, RI, STD
p-xylene	859	60.3± 0.5	MS, RI, STD
benzaldehyde	952	64.1± 3.8	MS, RI, STD
2-pentylfuran	992	180.8±8.4	MS, RI, STD
phenylacetaldehyde	1043	13.4±0.5	MS, RI
guaiacol	1086	68.9±2.8	MS, RI, STD
1,2-dimethoxybenzene	1148	6.0±0.3	MS, RI
naphthalene	1172	21.7±0.4	MS, RI, STD
2-methylnaphthalene	1281	14.7±0.2	MS, RI, STD
4-vinylguaiacol	1311	16.8±0.5	MS, RI, STD
Nitrogen containing compounds			
2-methylpyridine	816	2.9±0.7	MS, RI
2-acetyl-1-pyrroline	918	169.3±6.3	MS, RI
benzothiazole	1213	10.0±0.5	MS, RI
indole	1289	41.9±0.2	MS, RI, STD
Aliphatic alcohols			
3-methyl-1-butanol	771	5.5±0.2	MS, RI
(*Z*)-2-methyl-1-butanol	772	9.0±1.3	MS, RI
1-pentanol	787	21.4±1.6	MS, RI, STD
1-hexanol	870	20.3±1.3	MS, RI, STD
1-heptanol	969	4.6±0.2	MS, RI, STD
1-octen-3-ol	984	57.1±4.2	MS, RI, STD
Aliphatic aldehydes			
hexanal	803	440.2±13.8	MS, RI, STD
(*E*)-2-hexenal	857	7.5±0.6	MS, RI, STD

ตารางที่ 5 (ต่อ)

Compound	RI^{a}_{HP-5}	Relative concentration[b] (ng/100g)	Method of identification[c]
heptanal	903	41.0±1.3	MS, RI, STD
octanal	1005	46.6±1.5	MS, RI, STD
(*E*)-2-octenal	1058	35.0±2.1	MS, RI, STD
nonanal	1106	258.3±0.2	MS, RI, STD
(*E*)-2-nonenal	1160	16.1±1.0	MS, RI, STD
decanal	1206	34.5±1.1	MS, RI, STD
(*E*)-2-decenal	1262	6.0±0.5	MS, RI, STD
(*E*,*E*)-2,4-decadienal	1315	15.2±1.7	MS, RI, STD
Aliphatic/alicyclic ketones			
3-octen-2-one	1036	8.7±1.0	MS, RI, STD
2-nonanone	1093	6.8±0.8	MS, RI, STD
(*E*)-geranylacetone	1449	17.8±1.4	MS, RI
Terpenoids			
d-limonene	1024	7.9±0.7	MS, RI, STD
(*Z*)-linalooloxide	1069	7.9±0.2	MS, RI, STD

หมายเหตุ [a] Retention index based on a series of *n*-hydrocarbons.

[b] Yang *et al*. (2008).

[c] Method of identification: MS, by comparison of the mass spectrum with the NIST/Wiley mass spectral library; RI, by comparison of RI with those from the literature; and STD, by comparison of retention time and spectrum of an identified compound with those of an authentic compound.

ตารางที่ 6 ความเข้มข้น, ลักษณะกลิ่น และค่า threshold ของสารให้กลิ่นในข้าวนิลหุงสุก

RI^{a}_{HP-5}	Odorant	Identification[b]	Intensity[c]	Odor description[d]	Odor threshold (ppb)
760	toluene	MS, RI, STD	2.4	paint	1000[e]
787	1-pentanol	MS, RI, STD	3.4	fruity	4000[f]
803	hexanal	MS, RI, STD	4.0	green tomato, green	5[f]
857	(*E*)-2-hexenal	MS, RI, STD	1.0	green, apple	17[f]
859	*p*-xylene	MS, RI, STD	3.6	medicinal, solvent	530[e]
903	heptanal	MS, RI, STD	3.9	fatty, rancid	3[f]
918	2-acetyl-1-pyrroline	MS, RI	4.4	popcorn	0.1[f]
952	benzaldehyde	MS, RI, STD	2.2	almond	350[f]
969	1-heptanol	MS, RI, STD	0.6	green	3[g]
984	1-octen-3-ol	MS, RI, STD	3.7	mushroom	1[f]
992	2-pentylfuran	MS, RI, STD	2.5	floral, fruit	6[f]
1005	octanal	MS, RI, STD	3.8	octanal	3[f]
1036	3-octen-2-one	MS, RI, STD	4.0	rose	-
1058	(*E*)-2-octenal	MS, RI, STD	2.9	nutty	3[f]
1086	guaiacol	MS, RI, STD	3.2	smoky, black rice-like	3[f]

ตารางที่ 6 (ต่อ)

RI [a] HP-5	Odorant	Identification [b]	Intensity [c]	Odor description [d]	Odor threshold (ppb)
1093	2-nonanone	MS, RI, STD	3.7	fruity, floral	200 [f]
1106	nonanal	MS, RI, STD	4.2	citrus	1 [f]
1160	(*E*)-2-nonenal	MS, RI, STD	4.3	beany, cucumber	0.08 [f]
1172	naphthalene	MS, RI, STD	2.5	naphthalene	5 [e]
1206	decanal	MS, RI, STD	2.2	citrus	2 [f]
1262	(*E*)-2-decenal	MS, RI, STD	2.3	fatty	0.4 [f]
1281	2-methylnaphthalene	MS, RI, STD	2.2	naphthalene	20 [e]
1289	indole	MS, RI, STD	3.5	mothball	140 [f]
1311	4-vinylguaiacol	MS, RI, STD	3.4	clove	3 [f]
1315	(*E*,*E*)-2,4-decadienal	MS, RI, STD	3.8	fatty	0.07 [f]

หมายเหตุ [a] Yang *et al*. (2008).

[b] Method of identification: MS, by comparison of the mass spectrum with the NIST/Wiley mass spectral library; RI, by comparison of RI with those from the literature; and STD, by comparison of retention time, spectrum, and odor description of an identified compound with those of authentic compounds.

[c] Average intensity of compounds that were detected by all three assessors.

[d] Odorants were described by assessors during GC-O.

[e] Odor threshold in water by Van Gemert and Nettenbreijer (1977).

[f] Odor threshold in water by Buttery *et al* (1988).

[g] Odor threshold in water by Fazzalari (1978).

2.4 ปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดกลิ่นรสในข้าวหุงสุก

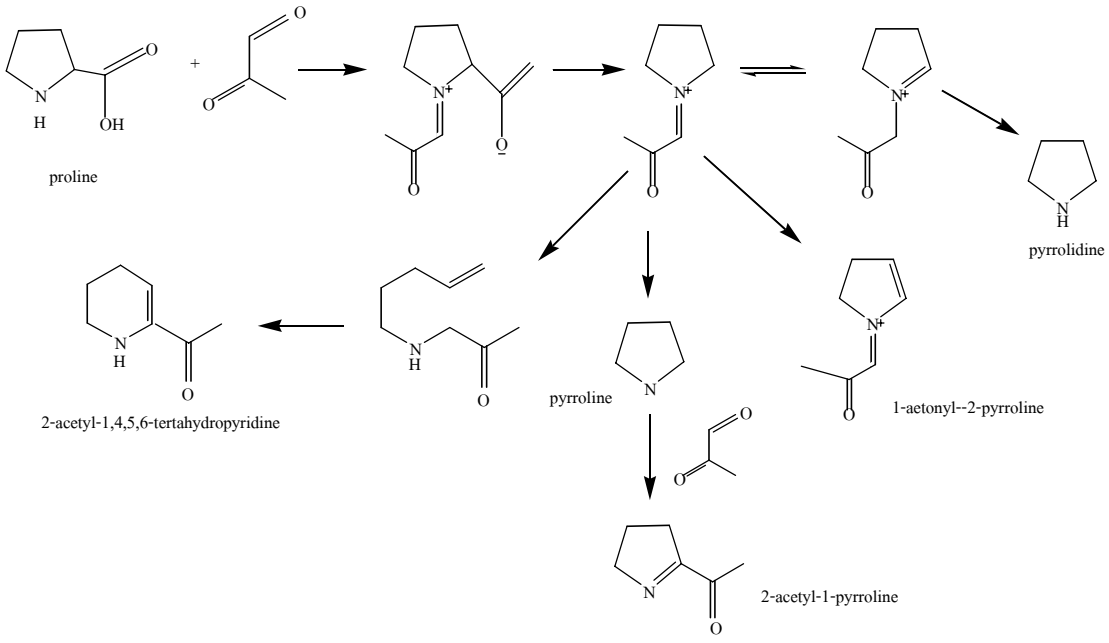
สามารถแบ่งปฏิกิริยาที่ก่อให้เกิดกลิ่นรสของข้าวหุงสุกได้เป็น 3 ปฏิกิริยาที่สำคัญดังนี้

2.4.1 ปฏิกิริยาออกซิเดชัน สารตั้งต้นที่ทำให้เกิดสารระเหยในปฏิกิริยาออกซิเดชันของข้าว ได้แก่ palmitic acid, oleic acid และ linoleic acid เมื่อนำส่วนของกรดไขมันนี้มาให้ความร้อนโดยใช้ไอน้ำ จะเกิดเป็นสารประกอบอัลดีไฮด์ สารระเหยที่เกิดขึ้นมีกลิ่นคล้ายแป้งและกลิ่นไขมัน นอกจากนี้ยังมีไฮโดรเจนซัลไฟด์ และแอมโมเนียเกิดขึ้น (Rijkens และ Boelens, 1975) การเกิดออกซิเดชันกรดอะมิโนและกรดไขมันจะทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ในกลุ่มแอลกอฮอล์และอัลดีไฮด์ โดยอัลดีไฮด์บางชนิดเป็นสารที่ให้กลิ่นหืนในข้าว เช่น hexanal และ nonanal (Yajima *et al.*, 1978)

2.4.2 ปฏิกิริยาเมลลาร์ด น้ำตาลรีดิวซ์และโปรตีนในข้าวเมื่อได้รับความร้อนจะเกิดการรวมตัวกันของหมู่คาร์บอนิลและกรดอะมิโน ทำให้เกิดสารประกอบกลุ่มสารประกอบเฮเทอโรไซคลิก ที่มีกลิ่นรสเฉพาะ เช่น pyridine และ pyrazine เป็นต้น สารระเหยเหล่านี้เป็นสารประกอบไนโตรเจนที่มีคุณลักษณะกลิ่นคล้ายกลิ่นคั่ว หรือย่าง

2.4.3 Strecker degradation เป็นปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเมลลาร์ด โดยเป็นปฏิกิริยาที่สลายกรดอะมิโนที่ตำแหน่งคาร์บอนิล ปฏิกิริยานี้ทำให้เกิดสารประกอบพวกเฮเทอโรไซคลิกไนโตรเจน นอกจากยังรวมถึง 1-pyrroline, pyrrolidine, 2-acetyl-1-pyrroline และ 2-acetyltetrahydropyridine

2-acetyl-1-pyrroline เป็นสารให้กลิ่นที่สำคัญในข้าวชนิดต่าง ๆ โดยเกิดจากกรดอะมิโนโพรลีนและไฮดรอกซิโพรลีน ปฏิกิริยา Strecker degradation ของกรดอะมิโนโพรลินจะไม่เกิดผลิตภัณฑ์อะมิโนคีโตน และ Strecker aldehyde ดังแสดงในภาพที่ 4



<u>ภาพที่ 4</u> ปฏิกิริยา Streker degradation ของกรดอะมิโนโพรลีน และการเกิด 2-acetyl-1-pyrroline

ที่มา : Hodge *et al.* (1972).

2.4.4 การสลายตัวอันเนื่องมาจากความร้อน ความร้อนจากการหุงต้มหรือการกลั่นไอน้ำ ทำให้กรดคูมาริก (*p*-coumaric acid) และกรดเฟรูลิก (ferulic acid) ซึ่งเป็นกรดฟีนอลที่พบในธรรมชาติเกิดการสลายตัวเปลี่ยนเป็นสารประกอบฟีนอล เช่น *p*-vinylphenol และ *p*-vinylguaiacol ซึ่งมีลักษณะกลิ่นคล้ายฟีนอล ถือว่าเป็นกลิ่นไม่พึงประสงค์

นอกจากปฏิกิริยาดังกล่าวแล้ว การเพาะปลูก, การเก็บเกี่ยว, การเก็บรักษา, เวลาในการเก็บรักษา และความสามารถในการขัดสี ยังมีผลให้สารให้กลิ่นเกิดการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นรสในข้าวได้เช่นกัน (Wongpornchai *et al.*, 2003)

3. การสกัดสารระเหยด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ (Direct Solvent Extraction)

การสกัดโดยตรงด้วยตัวทำละลายอินทรีย์สามารถใช้ในการแยกสารระเหยออกจากตัวอย่างอาหาร เทคนิคนี้จะอาศัยคุณสมบัติของความสามารถในการละลายที่แตกต่างกันของสารระเหยใน

ตัวทำละลายอินทรีย์ ถ้าต้องการศึกษาสารระเหยทั้งหมดอาจไม่จำเป็นต้องใช้ตัวทำละลายที่จำเพาะ แต่ถ้าต้องการจะศึกษาสารระเหยประเภทใดประเภทหนึ่งจะต้องเลือกตัวทำละลายที่สามารถแยกสารระเหยได้ดีและไม่ละลายสารอื่น ๆ ที่ไม่ต้องการออกมา (เกรียงศักดิ์, 2531)

การเลือกตัวทำละลายที่จะใช้ควรพิจารณาปัจจัยดังนี้ สิ่งแรกควรพิจารณาถึงลักษณะองค์ประกอบของตัวอย่างอาหารว่าเป็นของแข็งหรือของเหลวและปริมาณตัวอย่างที่จะใช้ในการสกัด ในกรณีที่ตัวอย่างมีปริมาณน้อยอาจเลือกกระบวนการสกัดแบบกะ (batch) หรือกรณีที่ตัวอย่างมีปริมาณมากควรเลือกการสกัดแบบต่อเนื่อง ทั้งนี้ยังต้องพิจารณาคุณสมบัติของตัวทำละลายอินทรีย์ด้วย เช่น คุณสมบัติความมีขั้ว โดยควรเลือกตัวทำละลายที่มีค่าความมีขั้วใกล้เคียงกับกลุ่มสารระเหยที่ต้องการ เพื่อที่จะสกัดสารเหล่านั้นออกมาให้ได้มากที่สุด และจำเป็นต้องพิจารณาถึงจุดเดือดของสารระเหยในตัวอย่างอาหารด้วย โดยทั่วไปการสกัดมักจะใช้ตัวทำละลายที่มีจุดเดือดต่ำ ซึ่งช่วยให้สามารถกลั่นแยกออกได้ง่ายหลังการสกัดในกรณีที่ต้องการทำให้สารละลายเข้มข้นขึ้น อีกทั้งต้องเลือกใช้ตัวทำละลายที่มีความบริสุทธิ์สูงสำหรับการสกัด เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดสารแปลกปลอมรบกวนการวิเคราะห์ (Leahy and Reineccius, 1984; Reineccius, 1994; Parliament, 2002)

การใช้ตัวทำละลายอินทรีย์สกัดสาระเหยในอาหารนั้นสามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ ตามลักษณะตัวอย่างอาหารดังนี้

3.1 การสกัดสารระเหยในตัวอย่างอาหารเหลวด้วยตัวทำละลายอินทรีย์

สำหรับตัวอย่างที่อยู่ในรูปของเหลว เช่น เครื่องดื่มอัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์, น้ำผลไม้ และเครื่องดื่มที่มีคาเฟอีน สามารถสกัดสารระเหยด้วยตัวทำละลายได้โดยตรง ส่วนตัวอย่างจำพวกผักและผลไม้นั้น อาจต้องทำให้เป็นเนื้อเดียวกันก่อนด้วยการปั่นผสมกับน้ำ หรือตามด้วยการแยกเอาเฉพาะส่วนที่เป็นของเหลว กระบวนการสกัดใช้กรวยแยกหรือ liquid-liquid extractor ขึ้นอยู่กับปริมาณตัวอย่างที่ต้องการสกัด (Parliament, 2002)

การสกัดด้วยตัวทำละลายให้เกิดประสิทธิภาพสูงจะใช้การสกัดซ้ำหลายครั้ง (multiple extraction) การสกัดซ้ำหลายครั้งโดยใช้ตัวทำละลายในปริมาณที่จำกัด จะให้ประสิทธิภาพสูงกว่าการสกัดเพียงครั้งเดียวด้วยตัวทำละลายปริมาณมาก (Reineccius, 1994)

ในปัจจุบันตัวทำละลายอินทรีย์ที่นิยมใช้กันได้แก่ ไดเอทิลอีเทอร์, ไดเอทิลอีเทอร์ผสมกับเพนเทน, ไฮโดรคาร์บอน, ฟรีออน, และเมทิลีน คลอไรด์ สำหรับตัวทำละลายชนิดไม่มีขั้ว เช่น ฟรีออนและเมทิลีนคลอไรด์ มักนิยมใช้สกัดตัวอย่างที่มีแอลกอฮอล์ อีกทั้งเหมาะกับการใช้สกัดตัวอย่างพืชสดที่ต้องมีการใช้เมทานอลเพื่อยับยั้งเอนไซม์ ส่วนตัวทำละลายที่มีขั้ว เช่น ไดเอทิลอีเทอร์และเมทิลีนคลอไรด์ นั้นสามารถใช้สกัดสารระเหยได้ดีในตัวอย่างอาหารหลากหลายชนิด จึงมักนิยมใช้ แต่การใช้ตัวทำละลายอีเทอร์นั้น มักเกิดเปอร์ออกไซด์ได้ง่ายจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน จึงเป็นสาเหตุให้ต้องเติม BHT เพื่อช่วยยับยั้งการเกิดเปอร์ออกไซด์ สำหรับเมทิลีนคลอไรด์นั้นก็มีข้อจำกัดในการใช้เนื่องจากเป็นสารพิษและสารก่อมะเร็ง (Parliament, 2002; Reineccius, 1994)

ประสิทธิภาพของการสกัดสารระเหยจะเพิ่มขึ้นหากเติมเกลือเพื่อให้สารละลายอิ่มตัว โดยควรเติมตัวทำละลายก่อนที่จะเติมเกลือลงไป เกลือส่วนใหญ่ที่ใช้ได้แก่ โซเดียมคลอไรด์ และโซเดียมซัลเฟต การเติมเกลือจะช่วยทำให้การสกัดมีความจำเพาะต่อสารระเหยได้ดีขึ้น รวมถึงลดการเกิดอีมัลชันได้ด้วย นอกจากนี้สามารถแยกตัวทำละลายจากการสกัดที่เกิดปัญหาอีมัลชันด้วยการหมุนเหวี่ยง แต่ต้องระมัดระวังในกรณีใช้ตัวทำละลายที่ติดไฟได้ง่าย (เกรียงศักดิ์, 2531; Reineccius, 1994)

ปัญหาของการสกัดข้อหนึ่งคือ การสกัดมักจะทำให้มีน้ำปนอยู่บ้าง การกำจัดน้ำออกจากตัวอย่าง อาจใช้สารดูดน้ำหรือทำให้เกิดเป็นน้ำแข็ง สารที่ใช้ดูดน้ำนั้นจะต้องไม่ทำปฏิกิริยาสารที่ต้องการสกัด สารที่ใช้ดูดน้ำนิยมใช้แคลเซียมซัลเฟต หรือโซเดียมซัลเฟต หากเป็นน้ำปริมาณเล็กน้อยที่ปนมาหลังการสกัดด้วยอีเทอร์ สามารถกำจัดได้โดยการจุ่มลงในไนโตรเจนเหลวชั่วขณะหนึ่ง และค่อย ๆ รินเอาสารละลายอีเทอร์ออกมา (เกรียงศักดิ์, 2531)

3.2 การสกัดสารระเหยในตัวอย่างอาหารแข็งด้วยตัวทำละลายอินทรีย์

เครื่อง Soxhlet extractor หรือ Soxhlet apparatus นิยมใช้กันทั่วไปในการสกัดตัวอย่างที่เป็นของแข็งแห้ง เช่น เครื่องเทศ ช็อกโกแลต หรือกาแฟนิยมใช้เครื่อง Soxhlet extractor หรือ Soxhlet apparatus โดยจะนำตัวอย่างอาหารไปบดละเอียด แล้วสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์อันได้แก่ ไดเอทิลอีเทอร์และเมทิลีนคลอไรด์ ตัวทำละลายจะหมุนเวียนกันกับการสกัดตัวอย่างในระบบตลอดเวลา เครื่องมือจะทำงานอย่างต่อเนื่อง โดยตัวทำละลายจะผ่านเข้าไปในตัวอย่าง

ของแข็งที่จะสกัดตลอด แล้วจึงไหลกลับคืนลงในขวดบรรจุ จากนั้นจะถูกทำให้ระเหยและกลั่นตัวผ่านตัวอย่างอีกครั้ง เพื่อสกัดเอาสารระเหยออกมาอีก (เกรียงศักดิ์, 2531; Parliament, 2002)

สำหรับการสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์มักมีการปนเปื้อนของสารที่ไม่ระเหยออกมาด้วย เช่น lipid, alkaloid หรือ pigment จึงจำเป็นต้องกำจัดแยกออกในขั้นการทำให้สารละลายเข้มข้นหรือบริสุทธิ์

วิธีการแยกสารระเหยแต่ละวิธีมักจะมีความจำเพาะต่อสารต่างชนิดกันไป จึงเป็นไปไม่ได้ที่จะมีวิธีที่เหมาะสมสำหรับการแยกสารระเหยทั้งหมดด้วยวิธีเดียว บางครั้งต้องใช้หลายวิธีร่วมกัน เพื่อช่วยให้สารสกัดที่ต้องการมีความบริสุทธิ์มากที่สุด

4. การกลั่นสุญญากาศ (High-Vacuum Distillation)

การแยกสารระเหยโดยการกลั่นภายใต้สุญญากาศนั้น เหมาะสำหรับการใช้ร่วมกับการสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ในกรณีสกัดตัวอย่างอาหารที่มีไขมัน เพื่อช่วยแยกส่วนของสารที่ไม่ระเหยออกจากสารละลาย ทำให้สารละลายมีความบริสุทธิ์และเข้มข้นเพิ่มขึ้น โดยระดับความดันที่ใช้ขึ้นกับว่าตัวอย่างที่นำมากลั่นมีน้ำมากน้อยเท่าไร

เครื่องมือจะประกอบด้วยชุดเครื่องแก้วใส่ตัวอย่างต่อกับขวดกลั่นสองขวด อันได้แก่ ขวดรองรับสารระเหยและขวดรองรับของเสีย ซึ่งชุดเครื่องแก้วทั้งหมดจะต่อเข้ากับระบบทำสุญญากาศ สารตัวอย่างจะบรรจุในขวดสารตัวอย่างซึ่งต่อกับปั๊มสุญญากาศ และทำให้เย็นลงถึง -180 องศาเซลเซียสโดยแช่ลงในไนโตรเจนเหลว แล้วจึงทำให้ระบบเกิดสุญญากาศ จากนั้นการปิดท่อปั๊มสุญญากาศ การกลั่นจะเริ่มขึ้นร่วมกับการใช้ระบบทำความเย็น คือ แช่ขวดกลั่นทั้งสองขวดลงในไนโตรเจนตลอดระยะการกลั่น สารระเหยที่ต้องการก็จะถูกดูดเข้าไปอยู่ในขวดรองรับ (เกรียงศักดิ์, 2531) ข้อดีของวิธีนี้คือ ไม่เกิดสารแปลกปลอมเพราะทำที่อุณหภูมิต่ำ และเหมาะสำหรับตัวอย่างที่มีไขมันสูง (Parliament, 2002)

5. การวิเคราะห์สารระเหยให้กลิ่นด้วยเทคนิค Gas Chromatography-Olfactometry

การวิเคราะห์สารให้กลิ่นด้วย Gas Chromatography-Olfactometry (GC-O) เป็นการดม (sniffing) สารระเหยที่แยกจากคอลัมน์ของเครื่อง GC โดยใช้จมูกคนเป็นเครื่องตรวจวัด (detector) (Abbott *et al.*, 1993) ระบบประกอบไปด้วย splitter ซึ่งทำหน้าที่แบ่งแยกสารระเหยที่แยกผ่านคอลัมน์ไปยัง 2 ส่วน คือ ส่วนแรกจะส่งสารระเหยประมาณร้อยละ 90 ของสารทั้งหมดไปยังเครื่องตรวจวัด และอีกส่วนหนึ่งสารระเหยประมาณร้อยละ 10 จะถูกส่งไปยัง sniff port เพื่อให้คนดมทดสอบกลิ่น (Acree, 1993) การที่แบ่งสัดส่วนเป็นเช่นนี้เนื่องจากประสาทสัมผัสของมนุษย์มีความไวต่อสารให้กลิ่นมากในระดับ 10^{-15} กรัม ในขณะที่เครื่องตรวจวัดสารทั้งชนิด FID (flame-ionize detector) และ MS (mass spectrometer) มีความไวในการตรวจจับสารให้กลิ่นในระดับ 10^{-12} กรัมเท่านั้น GC-O เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสำหรับการคัดเลือกสารให้กลิ่นที่สำคัญจากสารให้กลิ่นในอาหาร โดยมิได้อาศัยการพิจารณาโครงสร้างเคมีของสารระเหยเหล่านั้น (Blank, 2002)

วิธีของ GC-O สามารถแบ่งตามหลักการวิเคราะห์ได้เป็น 3 ประเภท คือ (Acree, 1993; Ferreira *et al.*, 2002)

1. การรายงานผลโดยอาศัยค่า threshold ซึ่งเป็นระดับความเข้มข้นต่ำที่สุดที่ยังได้กลิ่นโดยการเจือจางสารสกัดจากตัวอย่างเป็นลำดับ และทดสอบด้วย GC-O จนกระทั่งไม่ได้กลิ่นผู้ทดสอบจะรายงานเวลาที่ได้กลิ่นและลักษณะที่ได้กลิ่น ตัวอย่างวิธีที่ใช้หลักการนี้คือ AEDA (Aroma Extraction Dilution Analysis) และ CHARM (Combined Hedonic and Response Measurement)

2. การวัดความถี่ (detection frequency methods) จะมีผู้ดมมากกว่า 2 คน โดยผู้ดมจะระบุ odor active compound ที่แยกจาก sniff port ที่เวลาเดียวกัน ซึ่งจะสามารถบอกผลเป็นจำนวนผู้ทดสอบที่ได้กลิ่นซึ่งจะสอดคล้องกับความแรงของกลิ่น (Ruth, 2001)

3. การประเมินความเข้มซึ่งสัมพันธ์กับระยะเวลาที่ได้กลิ่น (Time intensity) เช่น OSME, cross-modality matching, flavor impact values โดยอาจแยกได้เป็น posterior intensity และ time-intensity (Ruth, 2001) โดยที่ผู้ดมจะระบุเวลาที่ได้ และความแรงที่ได้กลิ่นตลอดจนลักษณะของกลิ่น

การวิเคราะห์สารให้กลิ่นที่สำคัญในตัวอย่างด้วย GC-O มีข้อพึงระวังบางประการ ดังนี้

1. ลำดับการแยกของสาร ลักษณะกลิ่น และความเข้มข้นของสารชนิดหนึ่ง ๆ มีผลโดยตรงต่อความเข้มกลิ่นของสารที่แยกออกมาทีหลัง เรียกว่าการเกิด contrast effect ดังนั้นลำดับการดมสารแต่ละชนิดควรสมดุลกัน การแยกควรทำโดยใช้คอลัมน์สองคอลัมน์ที่มีความมีขั้วต่างกัน ซึ่งจะทำให้ลำดับของสารระเหยที่ผ่านคอลัมน์ออกมาจะแตกต่างกัน (Mistry *et al.*, 1986; Grosch, 1993)

2. การฉีดตัวอย่างโดยการใช้อุณหภูมิสูงจะทำให้สารระเหยทั้งหมดระเหยไปพร้อมกัน ซึ่งมีความแตกต่างจากสภาพจริงขณะรับประทานอาหารที่มีอุณหภูมิเท่าอุณหภูมิของร่างกาย

3. การดมสารควรจะดมที่ระดับความเข้มข้นที่แท้จริง และไม่มีสารอื่นรบกวน (Ruth, 2001; Burfield, 2002) แต่ค่าตัวแปรต่าง ๆ ของเครื่อง GC ที่ใช้ในการแยกสารมีผลต่อลักษณะพีค ซึ่งอาจส่งผลต่อความเข้มของกลิ่นและลักษณะกลิ่นของสารประกอบบางชนิด (Ruth, 2001) นอกจากนี้สารให้กลิ่นอาจค่อย ๆ แยกออกมา จึงเกิด cross-contamination (Burfield, 2002) หรือเกิด cross-adaptation จึงอาจทำให้ไม่ได้กลิ่นบางพีค โดยเฉพาะกรณีที่สารประกอบมากกว่า 1 ชนิดตัวแยกออกมาพร้อมกัน (Abbott *et al.*, 1993)

4. ระยะเวลาในการดมกลิ่นสาร ไม่ควรใช้เวลานาน เพราะอาจทำให้ผู้ทดสอบล้า หรือเกิดการปรับตัวเมื่อดมกลิ่นสารต่อเนื่อง (Mistry *et al.*, 1986; Burfield, 2002; Ruth, 2001) จึงควรแบ่งการดมเป็นช่วง ๆ ช่วงละประมาณ 5 นาที โดยไม่เรียงลำดับซึ่งเป็นการทำให้ลำดับการดมสมดุลด้วยและเพื่อไม่ให้จมูกแห้งจนล้า จึงต้องทำให้อากาศตรงส่วนปลายคอลัมน์ที่ใช้ดมมีความชื้น (Blank, 1986, 2002) โดยให้อากาศผ่านน้ำที่อัตรา 20-30 มิลลิลิตร/นาที (Mistry *et al.*, 1986)

5. ผู้ทดสอบแต่ละคนมีระดับ threshold การตอบสนอง และความไวในการรับรู้ต่างกัน (Abbott *et al.*, 1993; Grosch, 1993; Ruth, 2001; Burfield, 2002) นอกจากการตอบสนองต่อกลิ่นของผู้ทดสอบคนเดียวกันก็ไม่เหมือนเดิมในแต่ละช่วงเวลา (Mistry *et al.*, 1986) นอกจากนี้การที่ผู้ทดสอบจะต้องตัดสินใจอย่างรวดเร็วในการรับรู้และอธิบายลักษณะของกลิ่นในระหว่างการทดสอบอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของผลการทดสอบได้ (Ruth, 2001)

5.1 การวิเคราะห์สารให้กลิ่นโดยวิธีการเจือจาง (Dilution Analysis)

เป็นการวิเคราะห์สารให้กลิ่นโดยอาศัยค่า threshold ได้ผลการวิเคราะห์เป็นค่าที่แสดงสัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของสารในตัวอย่างกับระดับ threshold ของสารนั้น โดยเรียกค่าที่ได้ต่างกันตามวิธีที่ใช้วัดค่า threshold (Abbott *et al.*, 1993) เช่น flavor unit (FU) เป็นการวัดค่า threshold เมื่อตัวอย่างอยู่ในปาก (retronasal odor threshold) หรือ odor unit ซึ่งเป็นการวัด threshold ของกลิ่นที่ได้โดยการดมก่อนเข้าปาก (nasal odor threshold) นอกจากนี้ยังมีการเรียกแบบอื่น ๆ 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 (Blank, 1986, 2002) โดยจะนำส่วนที่สกัดกลิ่นจากอาหารมาเจือจางในอัตราส่วนที่เลือกส่วนมากจะเลือกอัตราส่วน 1:1 หรือ 1:2 หรือ 1:3 และเจือจางด้วยอัตราส่วนนั้น ๆ เป็นลำดับขั้น แล้วดมผ่าน GC-O จนกระทั่งไม่ได้กลิ่น ส่วนในกรณีที่สารสกัดจากตัวอย่างมีความเข้มข้นสูง หรือสารให้กลิ่นมีค่า threshold ควรเลือกระดับเจือจาง 1:3 หรือมากกว่า เพื่อลดจำนวนครั้งที่จะต้องเจือจางตัวอย่าง วิธีที่ใช้ผู้ทดสอบไม่ต่ำกว่าสองคน เพื่อลดความโน้มเอียงมักใช้ตัวอย่างผสมของสารให้กลิ่น 6-10 ชนิด ช่วยคัดเลือกผู้ทดสอบ (Friedrich *et al.*, 2001) นอกจากนี้ยังต้องคัดเลือกคนที่สนใจ สะดวก ความรู้สึกไว และมีความสามารถในการจดจำกลิ่นซึ่งควรเป็นคนที่มีประสบการณ์ด้านการประเมินทางประสาทสัมผัสด้วย ผู้ทดสอบควรได้รับการฝึกฝนเทคนิคการดมโดยให้ดมสารผสมที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน (Ferreira *et al.*, 2002)

5.2 การวิเคราะห์สารให้กลิ่นที่สำคัญโดยวิธี Aroma Extract Dilution Analysis (AEDA)

วิธี Aroma Extract Dilution Analysis เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้สำหรับระบุสารให้กลิ่นที่สำคัญที่มีผลต่อกลิ่นของอาหาร AEDA ใช้บ่งชี้สารที่มีผลทำให้เกิดความแตกต่างของกลิ่นนอกจากนี้ยังมีการใช้ AEDA ในการศึกษาผลจากการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบ การปรับกระบวนการผลิต รวมถึงการเก็บรักษาลักษณะกลิ่น หรือใช้ตรวจหาสารให้กลิ่นในโมเดลอาหาร โดยวิธีนี้จะบันทึกค่า dilution และเวลาที่เริ่มได้กลิ่น เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่า retention index ผลที่ได้จะรายงานออกมาเป็น FD value (flavor dilution value) หรือ FD factor ของสารแต่ละชนิด ค่า FD เป็นสัดส่วนของความเข้มข้นสารในสารสกัดเริ่มต้นกับความเข้มข้นของสารนั้นในสารสกัดที่เจือจางมากที่สุดแล้วยังคงได้กลิ่น (Grosch, 2001) การรายงานผลของ AEDA จะรายงานค่า retention index และค่า FD (Abbott *et al.*, 1993) โดยค่า FD factor อาจอยู่ในรูปของ logarithmic (Blank, 2002) ค่า

นี้จึงเป็นการวัดค่าแบบสัมพัทธ์กับความเข้มข้นของสาร (Mistry *et al.*, 1986), (Grosch, 2001) ไม่ใช่ความเข้มที่ได้รับจากการรับรู้ทางประสาทสัมผัส ค่า FD factor ยังเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่า OAV ของสารนั้นในอากาศ (Blank, 1986, 2002) โดยค่า OAV นี้ทำให้ทราบลำดับของสารที่มีความแรงมากซึ่งก็คือสารที่มีระดับการเจือจางมากสุด ที่ยังคงได้กลิ่นสูงกว่าสารอื่น (Grosch, 1993)

การทดสอบด้วยวิธีนี้อาศัยสมมติฐาน 2 ข้อ คือ ความเข้มของกลิ่นที่ได้แปรผันตามความเข้มข้นของสารในลักษณะที่เป็นสมการเส้นตรง ในการทดลองจะเจือจางสารสกัดเป็นลำดับในลักษณะที่เป็นสมการเส้นตรง และคาดว่าความเข้มของกลิ่นหรือ ค่า dilution สูงสุดจะแปรผันในทำนองเดียวกัน แต่ก็มีการทดลองบางงานพบว่าเป็นความสัมพันธ์แบบยกกำลัง หรือแบบ logarithmic นอกจากนี้ยังตั้งอยู่บนสมมุติฐานที่ว่าความชันของกราฟที่สร้างจากความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกลิ่นที่ได้รับกับความเข้มข้นของสารทุกชนิดมีค่าเท่ากัน ซึ่งเมื่อทดสอบแล้วพบวามีค่าแตกต่างกัน (Abbott *et al.*, 1993)

วิธี AEDA มีข้อจำกัด คือ ต้องมีสารมาตรฐานที่ใช้อ้างอิง เพราะการระบุชนิดสารโดยใช้ค่า RI อย่างเดียวอาจคลาดเคลื่อน โดยเฉพาะการแยกโดยใช้คอลัมน์ประเภทมีขั้ว (Blank, 1986, 2002) ดังนั้นอาจไม่พบสารให้กลิ่นที่สำคัญทุกตัว โดยจำนวนสารที่วิเคราะห์ได้ขึ้นกับ threshold ของสารและตัวแปรอื่น ๆ เช่น ปริมาณตัวอย่างที่ใช้สกัด ระดับการเจือจางสารสกัด รวมถึงปริมาณสารที่ใช้วิเคราะห์ (Ruth, 2001) และถ้าสารที่ระเหยง่ายเกิดการสูญเสียในขั้นตอนการสกัดและการทำให้เข้มข้นผลที่ได้ก็อาจไม่ถูกต้อง (Blank, 1986, 2002; Grosch, 1994, 2001) ดังนั้นในการดูผลจึงต้องพิจารณาสารที่มีค่า FD ต่ำด้วย (Grosch, 1993)

อุปกรณ์และวิธีการ

วัตถุดิบ

1. เผือกหอม
2. ข้าวเหนียวดำ
3. ข้าวเหนียวพันธุ์เขี้ยวงู
4. ข้าวเสาไห้

อุปกรณ์

1. สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์
2. ชุดเครื่องแก้วต่าง ๆ
3. เครื่องกวนแบบแม่เหล็ก (magnetic stirrer), รุ่น RCT Basic, (Ika Werke, มาเลเซีย)
4. ซึ้งนึ่ง
5. เครื่องบดผสม (blender) รุ่น 32BL80 (8011) (Waring, สหรัฐอเมริกา)
6. เครื่องชั่ง
7. ตู้แช่แข็ง (freezer –40°C รุ่น MDF-435 (Sanyo, ญี่ปุ่น)
8. Gas Chromatograph (HP model 5890 series II plus), (Agilent Technologies, Palo Alto, CA, สหรัฐอเมริกา)
9. Mass Spectroscope (Mass Selective Detector, MSD, HP 5973), (Agilent Technologies, Palo Alto, CA, สหรัฐอเมริกา)
10. เครื่อง Gas Chromatography-Olfactometry (HP Model 6890), (Agilent Technologies, Palo Alto, CA, สหรัฐอเมริกา)
11. เครื่องหล่อเย็น (Model CoolAce Ca-1100), (Dynamics Corporation, สหรัฐอเมริกา)
12. เครื่องกลั่นระบบสุญญากาศ (high vacuum distillation) รุ่น B62426952, (Edwards, อังกฤษ)

วิธีการ

1. การเตรียมตัวอย่าง

1.1 เผือก

นำเผือกหอมสดที่ซื้อจากตลาดสดกิ่งเพชรน้ำหนักประมาณ 1 กิโลกรัม เส้นผ่านศูนย์กลาง 16 เซนติเมตร อายุประมาณ 7-8 เดือน โดยคัดเลือกเผือกหอมที่มีลักษณะเนื้อแน่นสมบูรณ์และไม่มีตำหนิ มาล้างทำความสะอาด ปอกเปลือกและนำมาหั่นให้มีขนาดประมาณ 2 เซนติเมตร ให้ความร้อนด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำจนสุกเป็นเวลา 30 นาที

1.2 ข้าวเหนียวดำ ข้าวเหนียวพันธุ์เขี้ยวงูและข้าวเสาไห้

ข้าวเหนียวที่ใช้ซื้อจากซุปเปอร์มาร์เก็ต ในการคัดเลือกข้าวเหนียวดำตราไร่ทิพย์ (บริษัทไร่ธัญญะจำกัด) ที่มีเมล็ดสีดำทั้งเมล็ดและมีลักษณะเมล็ดที่สมบูรณ์ไม่แตกหัก มีการเพาะปลูกมากทางภาคเหนือ ส่วนในข้าวเหนียวพันธุ์เขี้ยวงูและข้าวเสาไห้คัดเลือกเมล็ดที่สมบูรณ์ไม่แตกหัก นำข้าวเหนียวทั้ง 2 ชนิดมาแช่น้ำปราศจากกลิ่นทิ้งไว้ 1 คืน น้ำปราศจากกลิ่นเตรียมได้โดยการนำน้ำกลั่นมา 1 ส่วน แล้วนำมาให้ความร้อนจนเดือด จนกระทั่งน้ำกลั่นมีปริมาตรลดลงเหลือ 2 ใน 3 ส่วนจากปริมาตรน้ำกลั่นเดิม

นำข้าวเหนียวที่ผ่านการแช่น้ำ มาให้ความร้อนด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำจนสุกเป็นเวลา 30 นาที ส่วนข้าวเสาไห้นำมาให้ความร้อนด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำจนสุกเป็นเวลา 30 นาที โดยไม่ต้องผ่านการแช่น้ำ

2. การสกัดสารระเหย

2.1 เผือก

การทดลองได้เปรียบเทียบการสกัดสารให้กลิ่น 2 วิธี คือ SDE-Simultaneous Distillation Extraction (ดัดแปลงจาก MacLeod, 1990) และ การสกัดด้วยตัวทำละลายแบบธรรมดา

การสกัดแบบ SDE ทำโดยนำเผือกนึ่ง 1 กิโลกรัม มาเติมน้ำปราศจากกลิ่น 400 มิลลิลิตร แล้วนำมากลั่นด้วยไดเอทิลอีเทอร์ 80 มิลลิลิตร โดยใช้ชุดกลั่น Solid Distillation Extraction ให้ความร้อนฟลาสก์ที่ใส่เผือกที่ 95 องศาเซลเซียส ส่วนฟลาสก์ที่ใส่ไดเอทิลอีเทอร์นำมาให้ความร้อนที่ 40 องศาเซลเซียส ทำการกลั่นเป็นเวลา 3 ชั่วโมง

การสกัดด้วยตัวทำละลายแบบธรรมดา นำเผือกนึ่ง 40 กรัมมาเติมน้ำปราศจากกลิ่น 60 มิลลิลิตร จากนั้นเติมเกลือ 10 กรัม นำไปปั่นให้ละเอียดประมาณ 2 นาที ทำการปรับ pH ให้เป็นด่างเพื่อช่วยทำให้สกัดสารระเหยจากเมตริกซ์ที่เป็นแป้งได้ดีขึ้น โดยปรับ pH เป็น 9, 10, 11 และ 12 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 3 นอร์มอล โดยทำการคัดเลือกการสกัดด้วยการปรับที่ pH 10 นำส่วนผสมเผือกที่ปรับ pH 100 กรัมใส่ขวดแก้วขนาด 200 มิลลิลิตร เติมไดเอทิลอีเทอร์ 90 มิลลิลิตรและ internal standard 10 ไมโครลิตร (1-hexanol 10.00 มิลลิกรัม/ มิลลิลิตร และ 2-methyl-3-heptanone 10.00 มิลลิกรัม/ มิลลิลิตร) ทำการสกัดด้วยเครื่องกวนแบบแม่เหล็ก 40 นาที แล้วแยกไดเอทิลอีเทอร์ออกโดยการใช้ปิเปต ทำการสกัดซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง

นำสารระเหยของเผือกที่ผ่านการสกัดมาระเหยตัวทำละลายด้วย vigreux column (50 x 1 cm. i.d.) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ให้เหลือปริมาตร 30 มิลลิลิตร แยกสารระเหยโดยใช้ high vacuum distillation ที่ความดันสุญญากาศประมาณ 10^{-5} Torr ณ อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และกลั่นต่อเป็นเวลา 90 นาที เติมโซเดียมซัลเฟตแอนไฮดรัส ลงในสารระเหยของเผือกเพื่อกำจัดน้ำที่ตกค้างในตัวอย่าง และทำการลดปริมาตรด้วยการเป่าด้วยก๊าซไนโตรเจนจนมีปริมาตรลดลงเหลือประมาณ 3 มิลลิลิตรและนำมาผ่านใยแก้วและโซเดียมซัลเฟตแอนไฮดรัสอีกครั้งเพื่อทำการกรองและดูดน้ำที่หลงเหลืออยู่ นำสารระเหยของเผือกมาระเหยด้วยก๊าซไนโตรเจนเบา ๆ จนมีปริมาตรประมาณ 0.5 มิลลิลิตร

2.2 ข้าวเหนียวและข้าว

นำตัวอย่างข้าว(ข้าวเหนียวดำ, ข้าวพันธุ์เขี้ยวงู และข้าวเสาไห้) ที่ผ่านการนึ่งมา 50 กรัม ใส่ขวดแก้วขนาด 200 มิลลิลิตร เติมไดเอทิลอีเทอร์ 90 มิลลิลิตรและเติม internal standard 10 ไมโครลิตร (2-methyl-3-heptanone 10 มิลลิกรัม/ มิลลิลิตร และ *tert*-butylbenzene 10 มิลลิกรัม/ มิลลิลิตร) ทำการสกัดด้วยเครื่องกวนแบบแม่เหล็ก 40 นาทีแล้วแยกไดเอทิลอีเทอร์ออกโดยใช้ปิเปต ทำการสกัดทั้งหมด 3 ครั้ง

นำสารระเหยของตัวอย่างข้าวที่สกัดได้มาระเหยตัวทำละลายออกด้วย vigreux column (30 x 1 cm. i.d.) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ให้เหลือปริมาตร 30 มิลลิลิตร แยกสารระเหยโดยใช้ high vacuum distillation ที่ความดันสุญญากาศประมาณ 10^{-5} Torr ณ อุณหภูมิห้อง ประมาณ 1 ชั่วโมง แล้วนำมาแช่ลงในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และกลั่นต่อเป็นเวลา 90 นาที เติมโซเดียมซัลเฟตลงในสารระเหยของข้าวเพื่อกำจัดน้ำที่ตกค้างในตัวอย่าง และทำการลดปริมาตรด้วยการเป่าด้วยก๊าซไนโตรเจนจนมีปริมาตรลดลงเหลือประมาณ 3 มิลลิลิตรและนำมาผ่านใยแก้วและโซเดียมซัลเฟตอีกครั้งเพื่อทำการกรองและดูดน้ำที่หลงเหลืออยู่ นำสารระเหยของข้าวมาระเหยด้วยก๊าซไนโตรเจนเบา ๆ จนมีปริมาตรประมาณ 100 ไมโครลิตร

3. การวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณของสารระเหย

3.1 การวิเคราะห์สารระเหยโดย Gas Chromatography-Mass Spectometry (GC-MS)

3.1.1 เผือก

นำตัวอย่างของเผือกที่ได้จากการสกัดข้อ 2 มาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC (HP 6890, Agilent Technologies) ที่ต่อกับ mass selective detector (HP5973, Agilent Technologies)) ปริมาณในการฉีดคือ 1 μl โดยใช้สภาวะของเครื่อง GC แบบ on – column injection คอลัมน์ที่ใช้คือ fused-silica capillary column ชนิด HP-5 (ความยาว 30 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 320 ไมโครเมตร ชั้นเคลือบหนา 0.25 ไมโครเมตร) carrier gas คือ ก๊าซฮีเลียม ไหลด้วยอัตราเร็ว 1.6 มิลลิลิตรต่อนาที อุณหภูมิของตู้อบเริ่มจาก 40 องศาเซลเซียส คงไว้เป็นเวลา 5 นาที เพิ่มเป็น 60 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราเร็ว 2 องศาเซลเซียสต่อนาที เพิ่มเป็น 225 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราเร็ว 8 องศาเซลเซียสต่อนาที คงไว้เป็นเวลา 10 นาที และคอลัมน์ FFAP (ความยาว 30 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 320 ไมโครเมตร ชั้นเคลือบหนา 0.25 ไมโครเมตร) carrier gas คือ ก๊าซฮีเลียม ไหลด้วยอัตราเร็ว 1.6 มิลลิลิตรต่อนาที อุณหภูมิของตู้อบเริ่มจาก 40 องศาเซลเซียส คงไว้เป็นเวลา 5 นาที เพิ่มเป็น 80 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราเร็ว 2 องศาเซลเซียสต่อนาที และเพิ่มเป็น 225 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราเร็ว 15 องศาเซลเซียสต่อนาที

การระบุชนิดของสารระเหยใช้ MS ที่ใช้แหล่งกำเนิดไอออนแบบอิเล็กตรอนอิมแพ็คท์ (Electron-Impact Ionization, EI) และมีค่าพลังงานไอออไนเซชัน 70 อิเล็คตรอนโวลท์ ช่วงในการสแกน 30-300 m/z ที่ความเร็ว 2.74 สแกน/วินาที ผลที่ได้นำมา

เปรียบเทียบข้อมูล mass spectrum ของสารประกอบแต่ละชนิดกับฐานข้อมูล Wiley 275 library ร่วมกับการเปรียบเทียบค่า retention index (RI) ของสารแต่ละชนิดกับเอกสารอ้างอิง Oruna-Concha *et al.* (2002) ที่ใช้คอลัมน์ชนิดเดียว ซึ่งค่า RI นี้คำนวณได้จากค่า retention time (RT) ของสารแต่ละชนิดกับค่า RT ของสารมาตรฐาน *n*-alkanes (C6-C26) ที่ได้จากวิเคราะห์ด้วยคอลัมน์และสภาวะการวิเคราะห์เดียวกันกับตัวอย่าง (Van den Dool and Kratz, 1963) ตามสมการข้อ 1 ในภาคผนวกเรื่องการวิเคราะห์ทางเคมี และยืนยันชนิดสารด้วยสารมาตรฐานชนิดนั้น ๆ

พื้นที่ใต้พีคของสารด้วย Chemstation Software B.02.05 (Copyright 1987-1997, Agilent Technologies) แล้วคำนวณหาปริมาณโดยการเปรียบเทียบพื้นที่ใต้พีคของสารแต่ละชนิดกับพื้นที่ใต้พีคของ internal standard ในตัวอย่างเผือกใช้ 1-hexanol และ 2-methyl-3-heptanone เป็น internal standard ส่วนตัวอย่างข้าวใช้ 2-methyl-3-heptanone และ *tert*-butylbenzene เป็น internal standard แล้วรายงานเป็นความเข้มข้นสัมพัทธ์(นาโนกรัม/กรัม)

3.1.2 สารให้กลิ่นเผือกทางการค้า

นำสารให้กลิ่นเผือก (บริษัท A และ B) มาทำการละลายด้วยตัวทำละลายไดเอทิลอีเทอร์ด้วยอัตราส่วน 1 : 100 วิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC (HP 6890, Agilent Technologies) ที่ต่อกับ mass selective detector (HP5973, Agilent Technologies) ปริมาณในการฉีดคือ 1 µl วิเคราะห์เช่นเดียวกับตัวอย่างเผือก

3.1.3 ข้าวเหนียว และข้าว

นำตัวอย่างสารสกัดจากข้าวเหนียวดำ, ข้าวเหนียวพันธุ์เขี้ยวงูและข้าวเสาไห้ที่ได้จากการสกัดข้อ 2 มาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC (HP 6890, Agilent Technologies) ที่ต่อกับ mass selective detector (HP5973, Agilent Technologies) ปริมาณในการฉีดคือ 1 µl โดยใช้สภาวะของเครื่อง GC แบบ on – column injection คอลัมน์ที่ใช้คือ fused-silica capillary column ชนิด HP-5 (ความยาว 30 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 320 ไมโครเมตร ชั้นเคลือบหนา 0.25 ไมโครเมตร) carrier gas คือ ก๊าซฮีเลียม ไหลด้วยอัตราเร็ว 1.6 มิลลิลิตรต่อนาที อุณหภูมิของตู้อบเริ่มจาก 40 องศาเซลเซียส คงไว้เป็นเวลา 5 นาที เพิ่มเป็น 60 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราเร็ว 2 องศาเซลเซียสต่อนาที เพิ่มเป็น 90 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราเร็ว 20 องศาเซลเซียสต่อนาที เพิ่มเป็น 200 องศาเซลเซียส ด้วย

อัตราเร็ว 10 องศาเซลเซียสต่อนาที คงไว้เป็นเวลา 10 นาที และวิเคราะห์ซ้ำโดยใช้คอลัมน์ FFAP (ความยาว 30 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 320 ไมโครเมตร ชั้นเคลือบหนา 0.25 ไมโครเมตร) carrier gas คือ ก๊าซฮีเลียม ไหลด้วยอัตราเร็ว 1.6 มิลลิลิตรต่อนาที อุณหภูมิของตู้อบเริ่มจาก 40 องศาเซลเซียส คงไว้เป็นเวลา 5 นาที เพิ่มเป็น 60 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราเร็ว 2 องศาเซลเซียสต่อนาที เพิ่มเป็น 120 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราเร็ว 5 องศาเซลเซียส เพิ่มเป็น 200 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราเร็ว 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ส่วนการระบุชนิดของสารและการหาพื้นที่ใต้พีคของสารวิเคราะห์เช่นเดียวกับตัวอย่างของเผือก

4. การวิเคราะห์สารให้กลิ่นที่สำคัญ (aroma active compound)

การวิเคราะห์สารให้กลิ่นที่สำคัญในเผือก ข้าวเหนียวดำ ข้าวเหนียวพันธุ์เขี้ยวงู และข้าวเสาไห้ใช้วิธี AEDA โดยนำสารสกัดจากข้อ 3.1 มาเจือจางด้วยไดเอทิลอีเทอร์ในอัตราส่วนระหว่างสารสกัดต่อตัวอย่างที่เจือจางแล้วเท่ากับ 1:3 และ 1:9 เป็นลำดับ แล้วให้ผู้ทดสอบที่ผ่านการคัดเลือกและฝึกฝนจำนวน 2 คน ทดสอบลักษณะกลิ่นของสารระเหยในเผือกและข้าวต่างๆ ที่ผ่านการให้ความร้อนแต่ละชนิดด้วยวิธี GC-O การฉีดตัวอย่างเป็นแบบ on-column และแยกสารระเหยโดยใช้แคปิลารีคอลัมน์ชนิด HP-5 ขนาด 30 เมตร x 0.32 ไมโครเมตร x 0.25 มิลลิเมตร และคอลัมน์ FFAP ขนาด 30 เมตร x 0.32 ไมโครเมตร x 0.25 มิลลิเมตร โดยใช้สภาวะของเครื่อง GC เช่นเดียวกับข้อ 3.1 ปลายของคอลัมน์แยกเป็นสองส่วนและปรับให้ก๊าซไหลผ่านในอัตราส่วน1:1 เพื่อให้สารที่แยกได้ไปที่ Flame Ionization Detector (FID) ที่อุณหภูมิ 225 องศาเซลเซียสส่วนหนึ่งกับ sniffing port อีกส่วนหนึ่ง ผู้ทดสอบในการดมกลิ่นเป็นเพศหญิงที่ได้ผ่านการฝึกฝนจำนวน 2 คน ผู้ทดสอบจะดมกลิ่นของสารระเหยที่ sniffing port โดยสุ่มลำดับการดม (ไม่เรียงลำดับการเจือจาง) เพื่อป้องกันอคติ การระบุชนิดของสารให้กลิ่นใช้การเปรียบเทียบค่า RI ของสารที่ให้กลิ่นกับค่า RI ที่ได้ เพื่อระบุชนิดของสารที่ให้กลิ่น แล้วรายงานเป็น FD factor ของสารแต่ละชนิด ซึ่งค่านี้เป็นระดับที่เจือจางมากที่สุดที่ผู้ทดสอบยังคงได้กลิ่นอยู่

5. การวิเคราะห์ทางสถิติ

การทดลองข้อ 2 และ 3 ได้วางแผนการทดลองเป็นแบบ Completely Randomized Design (CRD) ที่วัดค่าซ้ำ 2 ครั้ง การทดลองทุกการทดลองทำซ้ำ 3 ซ้ำ (triplicates)

6. สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์

1. การสกัดสารให้กลิ่นจากเผือก

ในขั้นตอนการคัดเลือกการสกัดสารให้กลิ่นได้ทำการทดลองสกัดด้วยกัน 2 วิธี คือ วิธี Simultaneous Distillation Extraction (SDE) และวิธี solvent extraction และใช้ตัวทำละลาย 2 ชนิด ได้แก่ ไดคลอโรมีเทนและไดเอทิลอีเทอร์ การสกัดสารให้กลิ่นโดยใช้ SDE และไดคลอโรมีเทน เมื่อนำไปวิเคราะห์ด้วย GC ไม่พบพีคของสารระเหย ส่วนการสกัดสารให้กลิ่นโดยใช้ SDE และไดเอทิลอีเทอร์พบสารระเหยทั้งหมด 10 ชนิด ดังแสดงในตารางที่ 7 การสกัดด้วยตัวทำละลายที่อุณหภูมิห้องก็ได้ผลในทำนองเดียวกันคือเมื่อใช้ไดคลอโรมีเทนในการสกัดจะไม่พบสารระเหย ส่วนการสกัดด้วยไดเอทิลอีเทอร์พบสารระเหย 24 ชนิด ดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 7 สารระเหยในตัวอย่างเผือกที่ผ่านการให้ความร้อนที่สกัดโดยวิธี Simultaneous Distillation Extraction (SDE) ด้วยไดเอทิลอีเทอร์

ที่[a]	RI_{HP5}	สารระเหย	%Peak area
1	1197	1,3-butanediol	0.14
2	1247	tetradecane	0.26
3	1257	butanoic acid	0.22
4	1292	tetradecane	0.08
5	1345	α-copaene	0.70
6	1356	1-tetradecene	0.90
7	1457	eicosane	0.08
8	1465	α -muurolene	0.03
9	1560	1-hexadecene	0.08
10	1752	1-octadecene	0.07

หมายเหตุ [a] ลำดับที่ของสารตรงกับโครมาโตแกรมในภาพผนวกที่ ก1

ตารางที่ 8 สารระเหยในตัวอย่างเผือกที่ผ่านการให้ความร้อนที่สกัดโดยวิธี solvent extraction ด้วยไดเอทิลอีเทอร์

ที่[a]	RI_{HP5}	สารระเหย	%Peak area
1	972	2-pentene	0.007
2	974	ethane	0.020
3	975	furan	0.020
4	982	1-butene	0.050
5	1002	benzaldehyde	0.005
6	1015	phenol	0.010
7	1060	1-hexanol	0.080
8	1258	hexane	0.160
9	1319	1-trifluorosilytridecane	0.060
10	1364	1-tetradecene	0.130
11	1508	octacosane	0.100
12	1518	tetracontane	0.030
13	1526	tetradecane	0.040
14	1538	eicosane	0.040
15	1554	1-hexadecene	0.090
16	1562	hexadecane	0.050
17	1576	1-tetradecene	0.020
18	1671	10-metylnonadecane	0.070
19	1713	octadecene	0.080
20	1748	1-octadecene	0.050
21	1779	isopropyl myristate	0.040
22	1818	1,2-benzenedicarboxylic acid	0.030
23	1863	heneicosane	0.050
24	1897	dibutyl phthalate	0.120

หมายเหตุ [a] ลำดับที่ของสารตรงกับโครมาโตแกรมในภาพผนวกที่ ก2

ความแตกต่างในการสกัดนั้นอาจจะเกิดขึ้นเนื่องจากในการสกัดด้วยไดเอทิลอีเทอร์ได้มีการทำการปรับ pH ให้เป็นเบส ที่ pH 9, 10, 11 และ 12 เพื่อปลดปล่อยสารให้กลิ่นที่อาจถูกจับอยู่ใน metrix ของแป้ง โดยเฉพาะที่อยู่ในรูป inclusion complex ในกรณีที่คล้ายคลึงกับกรณีนี้ได้แก่ งานวิจัยของ Jianming (2002) ซึ่งทำงานวิจัยเรื่องสารให้กลิ่นในข้าว โดยใช้การสกัดที่ pH 10 การสกัดสารให้กลิ่นด้วยไดเอทิลอีเทอร์ที่ pH 9 จากการวิเคราะห์ด้วย GC-MS พบสารประกอบในกลุ่มอัลเคน1 ชนิด (ตารางที่ 9) ที่ pH 10 พบสารประกอบในกลุ่มแอลกอฮอล์ 4 ชนิด, อัลคีน 4 ชนิด , อัลเคน 1 ชนิด, กรด 1 ชนิดและฟีนอล 1 ชนิด (ตารางที่ 12) ที่ pH 11 พบสารประกอบในกลุ่มอัลเคน 6 ชนิด และอัลดีไฮด์ 1 ชนิด (ตารางที่ 10) และที่ pH 12 พบสารประกอบในกลุ่มอัลเคน 2 ชนิด และอัลดีไฮด์ 1 ชนิด (ตารางที่ 11) ส่วนสารประกอบอื่น ๆ ในการสกัดแต่ละ pH ที่ไม่ได้กล่าวข้างต้นพบใน blank การคัดเลือกการสกัดด้วย pH ยังทำการทดสอบการดมกลิ่นด้วย GC-O พบว่าที่ pH 10 ให้ลักษณะกลิ่นของเผือกที่ชัดเจนและมีความเข้มกว่าที่ pH อื่น ๆ จากผลของชนิด, ปริมาณ และลักษณะกลิ่นจึงได้ทำการคัดเลือกการสกัดที่ pH 10 โดยรายละเอียดจะกล่าวต่อไปในหัวข้อสารระเหยในเผือกที่ผ่านการให้ความร้อน

ตารางที่ 9 สารระเหยในตัวอย่างเผือกที่ผ่านการให้ความร้อนที่ pH 9

ที่[a]	RI_{HP5}	สารระเหย	%Peak area
1	951	propane	0.32

หมายเหตุ [a] ลำดับที่ของสารตรงกับโครมาโตแกรมในภาพผนวกที่ ก3

ตารางที่ 10 สารระเหยในตัวอย่างเผือกที่ผ่านการให้ความร้อนที่ pH 11

ที่[a]	RI_{HP5}	สารระเหย	%Peak area
1	971	ethane	12.49
2	1047	dodecane	3.99
3	1089	undecane	0.74
4	1382	nonane	4.38

หมายเหตุ [a] ลำดับที่ของสารตรงกับโครมาโตแกรมในภาพผนวกที่ ก4

ตารางที่ 11 สารระเหยในตัวอย่างเผือกที่ผ่านการให้ความร้อนที่ pH 12

ที่[a]	RI_{HP5}	สารระเหย	%Peak area
1	1009	propane	6.03
2	1021	butanal	7.08
3	1045	dodecane	13.07

หมายเหตุ [a] ลำดับที่ของสารตรงกับโครมาโตแกรมในภาพผนวกที่ ก5

นอกจากนี้ยังได้ทำการสกัดสารระเหยให้กลิ่นเผือกนึ่งด้วยเทคนิค dynamic headspace โดยใช้ trap เป็น Tenax-TA (Markes International, สหรัฐอเมริกา) แต่ไม่ได้ผลเป็นที่น่าพอใจ ในการทดลองได้นำเผือกนึ่งมาบดและใช้ก๊าซไนโตรเจนเป็นตัวพาสารให้กลิ่นไปยัง trap ด้วยอัตราเร็ว 2 มิลลิลิตร/นาที เป็นเวลา 15, 30 และ 45 นาที แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วย GC โดยใช้สภาวะเดียวกับข้อ 3.1 ผลการทดลองไม่พบสารระเหยใดด้วยเทคนิค dynamic headspace ดังแสดงในภาคผนวกที่ ก6

การสกัดด้วยวิธี solvent extraction หลังจากสกัดด้วยตัวทำละลายแล้ว ทำการกวนด้วยเครื่องกวนแบบแม่เหล็ก มีการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ลงไปในตัวอย่างทันทีหลังเตรียมตัวอย่าง

เสร็จก่อนการสกัด การเติมเกลือจะช่วยทำให้การสกัดมีความจำเพาะต่อสารระเหยดีขึ้น ตัวทำละลายที่ใช้ในการทดลอง คือ ไดเอทิลอีเทอร์ ทำการสกัดซ้ำ 3 ครั้ง การสกัดตัวอย่างเผือกและข้าวต่าง ๆ ด้วยตัวทำละลายอินทรีย์จะมีสารที่ไม่ระเหย เช่น ไขมันถูกสกัดออกมาด้วย จึงต้องใช้ร่วมกับการกลั่นสุญญากาศ เพื่อช่วยแยกส่วนของไขมันออกจากสารละลายตัวอย่างที่สกัดได้

และในงานวิจัยนี้วิเคราะห์ชนิดสารระเหยด้วยคอลัมน์สองชนิดที่มีความเป็นขั้วต่างกัน เพื่อช่วยในการระบุชนิดของสารระเหยได้แม่นยำขึ้น ในการเปรียบเทียบค่า RI คอลัมน์ที่ใช้ในการทดลองนี้ ได้แก่ คอลัมน์ FFAP คอลัมน์ที่มีความเป็นขั้วสูงแยกสารโดยอาศัยความแตกต่างของจุดเดือดและความมีขั้วของสารระเหย และคอลัมน์ HP-5 เป็นคอลัมน์ชนิดมีขั้วปานกลาง แยกสารโดยอาศัยความแตกต่างของจุดเดือดของสารระเหย

2. สารระเหยในเผือกที่ผ่านการให้ความร้อน

เมื่อนำตัวอย่างเผือกมาผ่านการให้ความร้อนที่ทำการสกัดด้วยไดเอทิลอีเทอร์ที่ pH 10 และวิเคราะห์ด้วย GC-MS พบสารระเหยทั้งสิ้น 11 ชนิด ดังแสดงไว้ในตารางที่ 12 สารระเหยที่พบเป็นสารประกอบในกลุ่มแอลกอฮอล์ 4 ชนิด, อัลดีน 4 ชนิด, อัลเคน 1 ชนิด, กรด 1 ชนิด และฟีนอล 1 ชนิด

ตารางที่ 12 ชนิด, ลักษณะกลิ่น และความเข้มข้นของสารระเหย (ng/kg) ที่วิเคราะห์พบในตัวอย่างเผือกที่ผ่านการให้ความร้อน (pH 10)

ที่[a]	สารระเหย	ลักษณะกลิ่น[b]	RI		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (ng/kg)	Threshold[c] (ppb in water)	OAV[j]
			HP-5	FFAP			
1	1,2-propanediol	sweet	989	1277	6,671.4±11.3	340,000[d]	<1
2	2,3-butanediol	butter, creamy	-	1489	11,579.0±18.8	>100,000[e]	<1
3	2-butanol	fermented, yeasty	1037	-	620.7±5.2	40,000[f]	<1
4	1-pentanol	tropical fruit	1044	-	27.8±3.6	4,000[b]	<1
5	1-tetradecene	-	1387	-	777.0±6.3	60[g]	13
6	phenol	phenolic medicinal	1419	-	584.9±15.2	5,000[h]	<1
7	1-hexadecene	-	1582	-	660.3±8.1	-	-
8	1-octadecene	-	1783	1766	690.4±6.7	-	-
9	5-octadecene	-	1797	-	282.1±9.6	-	-
10	propane	-	-	1797	1,815.4±12.5	-	-
11	acetic acid	sour	-	1337	710.3±9.8	22,000[i]	<1

หมายเหตุ [a] ลำดับที่ของสารตรงกับโครมาโตแกรมในภาพผนวกที่ ก7-ก8

[b] จากฐานข้อมูล Flavor-Base 2004 ของ Leffingwell (2004).

[c] ค่า threshold ในน้ำ จาก [d] Alexander *et al.* (1982), [e] Buttery *et al.* (1999), [f] Schnabel *et al.* (1988), [g] Tamura *et al.* (1995), [h] Dietrich *et al.* (1999) และ [i] Buttery *et al.*(1998).

[j] ค่า Odor Activity Value คำนวณได้จากความเข้มข้นของสารหารด้วยค่า threshold ของสารชนิดนั้น

การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารระเหยจากเผือกพบว่า 2,3-butanediol ให้ลักษณะกลิ่นครีมเป็นสารระเหยที่พบในตัวอย่างเผือกที่ผ่านการให้ความร้อนที่มีความเข้มข้นสัมพัทธ์มากที่สุด คือ 11,579.0ng/kg สารประกอบที่พบรองลงมาคือ 1,2-propanediol ให้ลักษณะกลิ่นหวาน มีความเข้มข้น 6,671.4 ng/kg , และ propane เข้มข้น 1,815.4 ng/kg (ตารางที่ 12)

สารตั้งต้นในการเกิดสารให้กลิ่นที่สำคัญในเผือกได้แก่ ไขมันซึ่งมีอยู่ประมาณ 0.1-0.4% (Will *et al.*, 1983) โดยเฉพาะกรดไขมันไม่อิ่มตัวสามารถเกิดออกซิเดชันได้สารประกอบในกลุ่มอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน, กรด และแอลกอฮอล์ (MacLeod, 1989) ในการทดลองนี้สารประกอบในกลุ่มแอลกอฮอล์ที่พบในตัวอย่างเผือกที่ผ่านการให้ความร้อนคือ 2-butanol ให้กลิ่นหมัก 1-pentanol ให้กลิ่นผลไม้ 2,3-butanediol ให้กลิ่นครีมและหวาน และ 1,2-propanediol ให้กลิ่นหวาน (ตารางที่ 10) สารในกลุ่มแอลกอฮอล์เหล่านี้เป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาเบต้า-ออกซิเดชัน โดยเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของโคแฟคเตอร์ NADH ในกลไกไพรูเวท (Berrios-Rivera, 2003) สารประกอบชนิดอื่นที่พบในตัวอย่างเผือกที่ผ่านการให้ความร้อนคือ สารประกอบในกลุ่มอัลเคน ได้แก่ propane และในกลุ่มอัลคีน ได้แก่ 1-tetradecene, 1-hexadecene, 1-octadecene และ 5-octadecene สารให้กลิ่นในตัวอย่างเผือกที่มีค่า OAV สูงที่สุดคือ 1-tetradecene (OAV= 13)

สารระเหยที่พบในตัวอย่างเผือกในการทดลองนี้มีชนิดและปริมาณแตกต่างจากในงานวิจัยของ MacLeod (1990) เนื่องมาจากพันธุ์ของเผือกที่ใช้แตกต่างกัน MacLeod วิเคราะห์สารให้กลิ่นของเผือกพันธุ์ *Colocasia esculenta var antiquorum* ส่วนในงานทดลองนี้เลือกใช้เผือกพันธุ์ *Colocasia esculenta var exculenta* ซึ่งเป็นเผือกหอมที่มีการเพาะปลูกและนิยมบริโภคโดยทั่วไปในประเทศไทย นอกจากนี้การสกัดของ MacLeod (1990) ใช้การสกัดสารระเหยด้วยเครื่อง Soxhlet extractor หรือ Soxhlet apparatus ส่วนในงานทดลองนี้เลือกใช้การสกัดสารระเหยด้วยตัวทำละลายโดยตรง เนื่องจากได้ทำการทดลองทำการสกัดด้วยวิธี Simultaneous Distillation Extraction (SDE) ซึ่งเป็นการสกัดที่ใกล้เคียงกับวิธีของ MacLeod แต่ไม่พบสารระเหยใด แต่เมื่อเลือกใช้วิธี solvent extraction ที่ pH 10 พบสารระเหยดังแสดงในตารางที่ 12

3. สารให้กลิ่นที่สำคัญในเผือก

ในการทดลองนี้ได้วิเคราะห์สารให้กลิ่นที่สำคัญในเผือกโดยใช้วิธี Aroma Extract Analysis (AEDA) พบว่าสารระเหยที่มีค่า FD factor เท่ากับ 3 คือ 1,2-propanediol (กลิ่นเผือกและหวาน) และ

สารระเหยที่มีค่า FD factor เท่ากับ 1 (ตารางที่ 13) คือ สารที่ได้กลิ่นเมื่อไม่มีการเจือจาง ตัวอย่าง ได้แก่ 2,3-butanediol (กลิ่นหวาน) และ 1-pentanol (กลิ่นเผือกและหวาน)

ตารางที่ 13 ชนิด ลักษณะกลิ่น และค่า FD factor ของสารระเหยในเผือกที่ผ่านการให้ความร้อน ที่แยกโดยคอลัมน์ HP-5

Compounds	Odor description[a]	RI^{b}_{HP-5}	RI^{c}_{FFAP}	Odor description ref.[d]	Average FD factor[e]
2,3-butanediol[f]	sweet	852	1489	butter, creamy	1
unknown A	taro	900	-	-	3
unknown B	taro	936	-	-	9
1,2-propanediol[f]	taro, sweet	990	1277	sweet	3
unknown C	taro, sweet	1003	-	-	1
1-pentanol[f]	taro, sweet	1044	-	tropical fruit	1
unknown D	taro	1117	1390	-	1
unknown E	taro, sweet	1124	-	-	1
unknown F	taro, sweet	1130	-	-	1

หมายเหตุ

[a] Odor description at the GC-sniffing port during GC-O.

[b] Retention indices (RI) were calculated from GC-O results on HP-5.

[c] Retention indices (RI) were calculated from GC-MS results on FFAP.

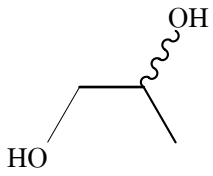
[d] Compound tentatively identified with the reference compound on the basis of comparison retention index (RI) on HP-5 and odor quality at the sniffing port from Leffingwell (2004).

[e] Average of FD factor (n=2) on HP-5 column and FFAP column; FD factor = 0 mean odor detected before diluted aroma extract for AEDA.

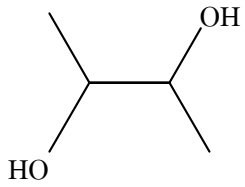
[f] Compound positively identified by comparing with retention index (RI) on HP-5 and FFAP column, mass spectra obtained by MS and odor quality at the sniffing port on the same column.

ในเผือกมีสารระเหยหลายชนิดที่เราสามารถรับรู้กลิ่นได้ด้วยวิธี GC-O แต่ตรวจไม่พบโดย MSD สารเหล่านี้ได้แก่ unknown A-F เนื่องจาก FID และ MSD มีความไวในการตรวจวัดสารได้ในระดับนาโนกรัมหรือน้อยที่สุดในระดับ 10^{-12} กรัมเท่านั้น ในขณะที่ประสาทสัมผัสของมนุษย์มีความไวต่อสารให้กลิ่นในระดับ 10^{-15} กรัม ดังนั้นสารระเหยที่สกัดได้ที่มีค่า threshold ต่ำบางชนิดแม้จะมีปริมาณความเข้มข้นน้อยและตรวจวัดไม่ได้ด้วย FID และ MSD ก็เป็นได้ว่าผู้ทดสอบจะสามารถรับรู้กลิ่นได้

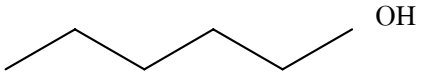
1-pentanol ซึ่งให้กลิ่นเผือกและกลิ่นหวาน เป็นสารที่มีรายงานว่าพบในเผือกที่ผ่านการให้ความร้อนในงานวิจัยของ MacLeod (1990) ในการทดลองนี้ พบว่าเผือกมีสารให้กลิ่นที่สำคัญทั้งหมด 9 ชนิด มีสารที่ไม่สามารถตรวจวัดได้ด้วย MSD 6 ชนิด ซึ่งน่าจะเป็นสารที่มีค่า threshold ต่ำ และมีสารระเหยที่พบทั้งในการทดสอบด้วย GC-O และ MSD คือ 2,3-butanediol ให้กลิ่นหวาน , ครีม และ 1,2-propanediol ให้กลิ่นหวาน



1,2-Propanediol



2,3-Butanediol



1-Pentanol

<u>ภาพที่ 5</u> สูตรโครงสร้างสารให้กลิ่นที่สำคัญในเผือกที่ผ่านการให้ความร้อน

4. สารให้กลิ่นเผือกทางการค้า

การวิเคราะห์สารให้กลิ่นเผือกที่จำหน่ายทางการค้าของบริษัท A 2 ตัวอย่าง และ B 2 ตัวอย่าง พบว่ามีสารให้กลิ่นที่ใกล้เคียงกัน สารระเหยให้กลิ่นเผือกจากบริษัท A ตัวอย่างที่ 1 พบสารระเหย 5 ชนิด สารระเหยให้กลิ่นมี 2 ชนิดคือ 1,2-propanediol ให้กลิ่นหวาน และ vanillin propyleneglycol acetal ให้กลิ่นหวานและครีม ดังแสดงในตารางที่ 14 และสารระเหยให้กลิ่นเผือกจากบริษัท A ตัวอย่างที่ 2 พบสารระเหย 6 ชนิด สารระเหยให้กลิ่น 4 ชนิด คือ 1,2-propanediol ให้กลิ่นหวาน, tetrahydroquinoxaline ให้กลิ่นธัญพืชและถั่ว, ethyl vanillin ให้กลิ่นหวานและวนิลา และ vanillin propyleneglycol acetal ให้กลิ่นหวานและครีม ดังแสดงในตารางที่ 14 สารระเหยให้กลิ่นเผือกจากบริษัท A ทั้ง 2 ตัวอย่างจะใช้ 1,2-propnadiol และ vanillin เป็นสารให้กลิ่นหลัก และใช้ propyleneglycol เป็นตัวทำละลาย

สารระเหยให้กลิ่นเผือกจากบริษัท B ตัวอย่างที่ 1 พบสารระเหย 5 ชนิด ซึ่งให้กลิ่น 2 ชนิด คือ 1,2-propanediol ให้กลิ่นหวาน และ vanillin propyleneglycol acetal ให้กลิ่นหวานและครีม ใกล้เคียงกับสารให้กลิ่นเผือกของบริษัท A ดังแสดงในตารางที่ 14 และสารระเหยให้กลิ่นเผือกจากบริษัท B ตัวอย่างที่ 2 พบสารระเหย 11 ชนิด ซึ่งให้กลิ่น 3 ชนิด คือ 1,2-propanediol ให้กลิ่นหวาน, vanillin ให้กลิ่นครีมและวนิลา และ vanillin propyleneglycol acetal ให้กลิ่นหวานและครีม ดังแสดงในตารางที่ 14

จากผลการวิเคราะห์จะเห็นว่า สารให้กลิ่นเผือกของทั้ง 2 บริษัท มีสารให้กลิ่นหลักที่เหมือนกันอยู่ 2 ชนิดคือ 1,2-propanediol ซึ่งให้กลิ่นหวาน และ vanillin propylene glycol acetal ซึ่งให้กลิ่นหวานและกลิ่นครีม ในทางการค้านิยมใช้ vanillin ในกลิ่นเผือกเนื่องมาจากมีลักษณะกลิ่นหวานมันที่คล้ายกับกลิ่นของเผือก แต่ไม่ได้เลือกใช้ 2,3-butanediol ซึ่งพบในเผือกธรรมชาติ เพราะ 2,3-butanediol ให้ลักษณะกลิ่นครีมที่บางเบา ทำให้เมื่อผสมลงไปในผลิตภัณฑ์ต้องใช้ปริมาณสูง

ตารางที่ 14 ชนิด และลักษณะกลิ่นของสารระเหยที่วิเคราะห์พบในตัวอย่างสารให้กลิ่นจากบริษัท A และ B

ที่[a]	RI_{HP5}	สารระเหย	ลักษณะกลิ่น[b]	%Peak area			
				A_1	A_2	B_1	B_2
1	982	1,2-propanediol	sweet	47.27	21.33	40.06	28.50
2	1036	ethanone	-	-	-	-	0.84
3	1062	bezenemethanol	-	-	-	-	8.08
4	1118	2-cyclohexen-1-one	-	-	-	-	11.07
5	1162	pyrazine	-	1.08	-	5.8	1.39
6	1203	tetrahydroquinoxaline	nutty, cereal	-	1.57	-	-
7	1249	*4H*-pyran-4-one	-	-	-	-	7.85
8	1254	4-butylbutan-4-olide	-	-	1.00	-	-
9	1298	5-thiazoleethanol	-	9.48	-	-	3.13
10	1334	benzoic acid	-	1.54	-	-	-
11	1346	isobornyl isovalerate	-	-	9.83	25.92	3.74
12	1406	vanillin	creamy, vanilla-like odor	-	-	-	28.51
13	1451	ethyl vanillin	sweet, vanilla-like odor	-	6.69	-	-
14	1646	4-octylbutan-4-oilde	-	-	-	12.11	1.70

ตารางที่ 14 (ต่อ)

ที่[a]	RI_{HP5}	สารระเหย	ลักษณะกลิ่น[b]	%Peak area			
				A_1	A_2	B_1	B_2
15	1657	vanillin propyleneglycol acetal	sweet, creamy	24.63	31.47	10.34	4.50

หมายเหตุ [a] ลำดับที่ของสารตรงกับโครมาโตแกรมในภาพผนวกที่ ก9-12

[b] ลักษณะกลิ่นที่พบเมื่อวิเคราะห์ด้วย GC-O

5. สารระเหยในข้าวเหนียวดำหุงสุก, ข้าวเหนียวพันธุ์เขี้ยวงู และข้าวเสาไห้หุงสุก

สารระเหยในข้าวเหนียวดำหุงสุกมีทั้งหมด 12 ชนิด (ตารางที่ 15) สารระเหยที่พบเป็นสารประกอบในกลุ่มแอลกอฮอล์ 5 ชนิด อัลดีไฮด์ 1 ชนิด อัลคีน 2 ชนิด เทอร์พีน 2 ชนิด และฟีนอล 2 ชนิด benzaldehyde เป็นสารระเหยที่พบในตัวอย่างข้าวเหนียวดำหุงสุกที่มีความเข้มข้นสัมพัทธ์มากที่สุดคือ 1206.4 ng/kg ให้ลักษณะกลิ่นอัลมอนด์ รองลงมาคือ 1,2-propanediol มีความเข้มข้น 457.2 ng/kg ให้ลักษณะกลิ่นหวาน

สารระเหยในข้าวเหนียวพันธุ์เขี้ยวงูหุงสุกทั้งหมด 14 ชนิด ได้แก่ สารประกอบในกลุ่มแอลกอฮอล์ 2 ชนิด อัลคีน 4 ชนิด อัลเคน 5 ชนิด กรด 2 ชนิด และ สารประกอบไนโตรเจน 1 ชนิด สารระเหยที่มีความเข้มข้นสัมพัทธ์มากที่สุดในข้าวเหนียวพันธุ์เขี้ยวงูหุงสุกคือ pentadecane 1,785.3 ng/kgรองลงมาคือ 1-butene มีความเข้มข้น 1,569.0.1 ng/kg (ตารางที่ 15)

สารระเหยที่พบในข้าวเสาไห้หุงสุกมีทั้งหมด 13 ชนิด ได้แก่ อัลดีไฮด์ 1 ชนิด, กรด 3 ชนิด, ฟีนอล 2 ชนิด, คีโทน 1 ชนิด อัลเคน 3 ชนิด, เอสเทอร์ 1 ชนิด และอื่น ๆ 1 ชนิด 4*H*-pyran-1-one เป็นสารระเหยที่มีความเข้มข้นมากที่สุดในข้าวเสาไห้หุงสุกคือ 160.2 ng/kg (ตารางที่ 15)

สารให้กลิ่นในข้าว ส่วนหนึ่งเกิดจากการเกิดออกซิเดชันของไขมันในข้าวร่วมกับการทำงานของเอนไซม์ (Bhattacharjee *et al*., 2002), แสง และความร้อน(Chaudhary, 2003) ความร้อนทำให้เกิดสารประกอบในกลุ่มแอลกอฮอล์ (Yajima *et al.*, 1978) นอกจากนี้ในระหว่างการเก็บรักษา lipase และ lipoxygenase สามารถกระตุ้นการเกิดออกซิเดชันของไขมันในข้าวได้เช่นกัน (Suzuki *et al*., 1999) แอลกอฮอล์ที่พบในตัวอย่างข้าวเหนียวดำหุงสุก (ตารางที่ 15) ได้แก่ 2-butanol, 1-propanol และ benzene ethanol โดยให้ กลิ่นหมัก, กลิ่นดอกไม้ป่าหรือยางไม้ และกลิ่นผลไม้ ตามลำดับ สารประกอบในกลุ่มแอลกอฮอล์ที่พบในข้าวเหนียวทั้ง 2 ชนิดคือ 1,2-propanediol และ 2,3-butanediol (กลิ่นหวานและกลิ่นครีม ตามลำดับ)

benzaldehyde ให้กลิ่นอัลมอนด์พบในตัวอย่างข้าวเหนียวดำและข้าวเสาไห้หุงสุก โดยเกิดจากการปฏิกิริยาของกรดอะมิโนในข้าว ได้แก่ proline, alanine และ phenylalanine (Cynthia *et al*., 1968) และความร้อน (Hayashi *et al.*, 1990)

ฟีนอลและสารประกอบฟีนอลิกในพืชเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน (Tressl and Albrecht, 1986) หรืออาจเกิดจากความร้อนทำให้เกิดปฏิกิริยา decarboxylation ของกรด phenolic carboxylic เช่น กรด coumaric เกิดเป็น 4-vinylphenol (Maga, 1978) สารประกอบที่พบในตัวอย่างข้าวเหนียวดำหุงสุกและข้าวเสาไห้หุงสุกได้แก่ phenol และ4-vinyl-2-methoxyphenol

vanillin ให้กลิ่นวานิลลาที่พบในข้าวเสาไห้ (ตารางที่ 15) เป็นสารให้กลิ่นทีมีโครงสร้างเบนซิน เกิดจาก จากปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน โดยเริ่มจากการทำงานของเอนไซม์และเกิดออกซิเดชันที่บริเวณ functional group ที่ต่อกับเบนซิน สารตั้งต้นของ vanillin คือ ferulic acid ซึ่งเป็นกรดฟีนอลที่พบในข้าวธรรมชาติ เกิด acetylation จนได้เป็น vanillin (Heath, 1981; Reineccius, 1994) ส่วนคีโทนที่พบในข้าวเสาไห้หุงสุกคือ 4*H*-pyran-1-one เกิดจากปฏิกิริยาเบต้า-ออกซิเดชันของกรดไขมันระหว่างการหุงข้าว (Yajima *et al*., 1978)

ในข้าวเหนียวดำพบสารประกอบเทอร์พีน สารประกอบในกลุ่มนี้ที่พบในตัวอย่างข้าวเหนียวดำหุงสุก ได้แก่ β-bisabolene ให้ลักษณะกลิ่นยางไม้ และ (*E*)-*beta*-farnesene ส่วนสารประกอบอื่นที่พบในตัวอย่างข้าวเหนียวดำหุงสุกคือ สารประกอบในกลุ่มอัลคีน ได้แก่ 1-dodecene (กลิ่นหวาน) และ 1-tetradecene

สารประกอบอื่น ๆ ที่พบในตัวอย่างข้าวเหนียวพันธุ์เขี้ยวงูได้แก่ 1-butene, nonadecane, pentadecane, heneicosane, butanoic acid (กลิ่นหืน), indole (กลิ่นหวานหรือกลิ่นไหม้หรือดอกไม้), 2-tetradecene, 7-tetradecene, benzoic acid, 5-tetradecene, octadecane, 1-octadecane และ nonadecane

สารประกอบอื่น ๆ ที่พบในตัวอย่างข้าวเสาไห้หุงสุกได้แก่ heptane, propanoic acid (กลิ่นนมเปรี้ยว), nonadecane, methoxyacetic acid, heneicosane, hexyl hexaote (กลิ่นเหม็นเขียวหรือกลิ่นหวาน หรือกลิ่นขี้ผึ้ง หรือกลิ่นผลไม้), BHT และ 1-octadecane

สารระเหยที่มีค่า OAV สูงที่สุดในข้าวเหนียวดำหุงสุก คือ 4-vinyl-2-methoxy-phenol (OAV= 133) ให้กลิ่นควัน รองลงมาคือ 1-tetradecene (OAV= 2) สำหรับค่า OAV ของสารระเหยที่พบในข้าวเหนียวพันธุ์เขี้ยวงูที่มีค่าสูงที่สุดคือ butanoic acid ให้กลิ่นหืน (OAV = 1036) ค่า OAV รองลงมาคือ indole ให้กลิ่นหวานหรือกลิ่นไหม้หรือกลิ่นดอกไม้ (OAV = 5) โดยสารระเหยที่พบ

ทั้งสองชนิดนี้ในงานวิจัยสารให้กลิ่นข้าวกล้องเช่นกัน (Jezuessek *et al.*, 2002) และค่า OAV ของสารระเหยที่พบในข้าวเสาไห้หุงสุกที่มีค่าสูงที่สุดคือ 4-vinyl-2-methoxyphenol (OAV = 31) จากการพิจารณาค่า OAV ของข้าวเหนียวทั้ง 2 ชนิดและข้าวเสาไห้พบว่า ข้าวเหนียวดำและข้าวเสาไห้มีสารระเหยที่มีความสำคัญในการให้กลิ่นได้แก่ 4-vinyl-2-methoxyphenol

ตารางที่ 15 ความเข้มข้นของสารระเหย (ng/kg) ที่วิเคราะห์พบในข้าวเหนียวดำ (BG), ข้าวเหนียวพันธุ์เขี้ยวงู (WG) และข้าวเสาไห้ (WR)

ที่[a]	สารระเหย	ลักษณะกลิ่น[b]	RI		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (ng/kg)			Threshold (ppb in water)	OAV[f]		
			HP-5	FFAP	BG[c]	WG[d]	WR[e]		BG	WG	WR
1	heptane	-	815	-	-	-	52.2±4.5	50,000[g]	-	-	<1
2	propanoic acid	pungent, sour milk odor	-	1405	-	-	10.1±3.3	2,000[h]	-	-	<1
3	benzaldehyde	bitter almond-like	975	-	1,206.4±15.7	-	36.6±6.9	350[i]	<1	-	<1
4	1,2-propanediol	sweet	984	1413	457.2±5.9	659.7±6.1	-	340,000[j]	<1	<1	-
5	1-butene	-	987	-	-	1,569.0±21.5	-	na	-	na	-
6	2,3-butanediol	butter, cream	-	1489	169.0±4.3	876.4±7.3	-	>100,000[k]	<1	<1	-
7	2-butanol	fermented, yeasty	1037	-	163.1±2.5	-	-	40,000[l]	<1	-	-
8	phenol	phenolic medicinal	1089	-	157.7±7.8	-	12.5±2.8	5,000[m]	<1	-	<1
9	1-dodecene	sweet, hydrocarbon-like	1186	-	209.5±13.8	-	-	na	na	-	-
10	1-propanol	floral balsamic	-	1356	57.2±2.4	-	-	306[n]	<1	-	-
11	benzeneethanol	fruity	-	1769	87.6±3.3	-	-	na	na	-	-
12	pentadecane	-	1251	-	-	1,785.3±21.5	-	na	-	na	-

ตารางที่ 15 (ต่อ)

ที่[a]	สารระเหย	ลักษณะกลิ่น[b]	RI		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (ng/kg)			Threshold (ppb in water)	OAV[f]		
			HP-5	FFAP	BG[c]	WG[d]	WR[e]		BG	WG	WR
13	methoxyacetic acid	-	1279	-	-	-	16.7±4.0	na	-	-	na
14	butanoic acid	sweaty, rancid	-	1501	-	250.8±8.4	-	0.24[h]	-	1036	-
15	Indole	sweet, burn, floral	1287	-	-	705.9±5.2	-	140[n]	-	5	-
16	4-vinyl-2-methoxyphenol (*p*-vinylguaiacol)	sweet, spicy, clove-like, smoky	1309	-	101.3±9.2	-	22.9±5.1	0.75[h]	133	-	31
17	heneicosane	-	1323	-	-	624.2±12.3	81.8±4.2	na	-	na	na
18	2-tetradecene	-	1364	-	-	318.0±2.4	-	na	-	na	-
19	7-tetradecene	-	1378	-	-	66.8±7.1	-	na	-	na	-
20	1-tetradecene	-	1382	-	131.1±10.6	-	-	60[o]	2	-	-
21	hexyl hexanoate	green, sweet, waxy, fruity	1385	-	-	-	21.0±8.8	6,400[p]	-	-	<1
22	(*E*)-β-farnesene	-	1446	1562	65.6±4.5	-	-	na	na	-	-
23	vanillin	vanilla-like	1471	-	-	-	21.6±3.7	20[q]	-	-	<1

ตารางที่ 15 (ต่อ)

ที่[a]	สารระเหย	ลักษณะกลิ่น[b]	RI		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (ng/kg)			Threshold (ppb in water)	OAV[f]		
			HP-5	FFAP	BG[c]	WG[d]	WR[e]		BG	WG	WR
24	β-bisabolene	balsamic	1498	1628	49.5±3.1	-	-	na	na	-	-
25	4*H*-pyran-1-one	-	-	2118	-	-	160.2±5.2	na	-	-	na
26	benzoic acid	balsamic	1500	-	-	307.2±13.0	-	na	-	na	-
27	5-octadecene	-	1555	-	-	324.1±5.6	-	na	-	na	-
28	BHT	-	1583	1890	-	-	25.1±6.3	na	-	-	na
29	octadecane	-	1677	-	-	159.6±8.7	-	na	-	na	-
30	1- octadecane	-	1754	-	-	656.9±10.8	-	na	-	na	-
31	octanoic acid	fatty, rancid, sweaty	-	1711	-	-	34.8±6.6	1,405[r]	-	-	<1
32	nonadecane	-	1850	-	-	1,152.5±17.9	22.5±8.0	na	-	na	na

หมายเหตุ [a] ลำดับที่ของสารตรงกับโครมาโตแกรมในภาพผนวกที่ 13-18

[b] จากฐานข้อมูล Flavor-Base 2004 ของ Leffingwell (2004).

[c-e] ตัวอักษรย่อ BG หมายถึง ข้าวเหนียวดำหุงสุก, WG หมายถึง ข้าวเหนียวพันธุ์เขี้ยวงูหุงสุก และ WR หมายถึง ข้าวเสาไห้หุงสุก

[f] ค่า Odor Activity Value คำนวณได้จากความเข้มข้นของสารหารด้วยค่า threshold ของสารนั้น

[g] ค่า threshold ในน้ำ จาก Buttery *et al*. (1986) [h] Buttery and Ling (1998) [i] Pyysalo *et al.* (1977) [j] Alexander *et al*. (1982) [k] Buttery *et al*. (1999) [l] Schnable *et al.* (1988) [m] Dietrich *et al*. (1999) [n] Leffingwell (2004) [o] Buttery *et al.* (1998) [p] Sugisawa *et al.* (1991) [q] Tamura *et al.* (1995) [r] Karagul-Yuceer *et al.* (2003).

6. สารให้กลิ่นที่สำคัญในข้าวเหนียวดำหุงสุก, ข้าวเหนียวพันธุ์เขี้ยวงูหุงสุก และข้าวเสาไห้หุงสุก

สารให้กลิ่นที่สำคัญที่มีค่า FD factor สูงที่สุดในข้าวเหนียวดำหุงสุกจากตารางที่ 16 มีค่าเท่ากับ 3 คือ (*E,E*)-nona-2,4-dienal ซึ่งให้กลิ่นหวาน, กลิ่นไขมันและกลิ่นแป้งสุก และ 2-acetyl-1-pyrroline ซึ่งให้กลิ่นข้าวโพดคั่วและกลิ่นใบเตย 2-acetyl-1-pyrroline เป็นสารให้กลิ่นที่พบมากในข้าวชนิดต่าง ๆ โดยเฉพาะข้าวหอมมะลิ เกิดขึ้นจากปฏิกิริยา Strecker degradation โดยเกิดจาก proline ในข้าว (Jezussek, 2002) สารระเหยที่มีค่า FD factor เท่ากับ 1 คือ 2,3-butanediol ให้กลิ่นครีม เป็นสารที่สามารถตรวจพบได้ทั้งใน GC-O และ MSD และสารระเหยที่สามารถรับรู้กลิ่นได้ด้วยวิธี GC-O แต่ตรวจไม่พบโดย MSD คือ unknown A

สารระเหยให้กลิ่นที่สำคัญในตัวอย่างข้าวเหนียวพันธุ์เขี้ยวงูหุงสุก พิจารณาจากค่า FD factor ดังแสดงในตารางที่ 16 พบว่าสารระเหยที่ให้ค่า FD factor สูงที่สุดเท่ากับ 3 คือ methyl dodecanoate ให้กลิ่นไข และ (*E,E*)-nona-2,4-dienal ให้กลิ่นหวาน, กลิ่นไขมันและกลิ่นแป้งสุกและสารระเหยที่มีค่า FD factor เท่ากับ 1 คือ germacrene-D ให้กลิ่นไม้และหญ้าแห้ง, nonanal ให้กลิ่นแป้ง, กลิ่นข้าวเหนียวและกลิ่นไข และ ethyl octanoate กลิ่นหวานและกลิ่นแป้งสุก และสารระเหยที่สามารถรับรู้กลิ่นได้ด้วยวิธี GC-O ได้แก่ unknown B และ C

จากตารางที่ 16 พบว่าสารระเหยที่มีค่า FD factor สูงที่สุดเท่ากับ 27 ในข้าวเสาไห้หุงสุกคือ (*E,E*)-2,4-decadienal ให้กลิ่นข้าวสาร ค่า FD factor รองลงมาเท่ากับ 9 ในข้าวเสาไห้หุงสุกคือ (*Z*)-hex-3-enal ให้กลิ่นข้าวสุกและกลิ่นฟาง, ethyl *sec*-butyl ether ให้กลิ่นข้าวสาร และ 2-acetyl-2-thaizoline ให้กลิ่นข้าวสาร, ให้กลิ่นข้าวสุกและกลิ่นแป้งสุก ค่า FD factor รองลงมาเท่ากับ 3 ในข้าวเสาไห้หุงสุกคือ 3-methyl-2-butanol ให้กลิ่นแป้ง, dimethyl pyrazine ให้กลิ่นไข, (*E*)-non-2-enal ให้กลิ่นข้าวสุก, phenylacetaldehyde ให้กลิ่นข้าวและกลิ่นหวาน และสารระเหยที่มีค่า FD factor เท่ากับ 1 คือ ethyl hexanoate ให้กลิ่นข้าวสาร, ethyl acetate ให้กลิ่นข้าวสารและ (*Z*)-non-2-enal ให้กลิ่นไข สารระเหยที่ไม่สามารถ detect ได้มี 6 ชนิด ซึ่งสารระเหยเหล่านี้ต่างส่งผลต่อกลิ่นโดยรวมของข้าวเสาไห้หุงสุกเช่นกัน

เมื่อทำการเปรียบเทียบสารให้กลิ่นที่สำคัญของตัวอย่างข้าวทั้ง 3 ชนิด พบว่าสารที่ให้กลิ่นสำคัญของข้าวเหนียวดำหุงสุกและข้าวเหนียวพันธุ์เขี้ยวงูหุงสุกที่เหมือนกันคือ (*E,E*)-nona-2,4-dienal จึงอาจสรุปได้ว่าสารให้กลิ่นที่สำคัญในข้าวเหนียวคือ (*E,E*)-nona-2,4-dienal ส่วนในข้าวเสา

ไห้หุงสุกไม่พบสารให้กลิ่นที่สำคัญที่เหมือนกันในข้าวเหนียวทั้ง 2 ชนิด สารให้กลิ่นที่ทำให้กลิ่นของข้าวเหนียวดำแตกต่างจากข้าวชนิดอื่น ๆ คือ 2-actyl-1-pyrroline เกิดจากปฏิกิริยา strecker degradation จากกรดอะมิโนโพรลีนและไฮดรอกซิโพลีน (Hodge *et al*., 1972)และ (*E,E*)-nona-2,4-dienal เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันเมื่อนำมาให้ความร้อนด้วยไอน้ำ (Rijkens และ Boelens, 1975) Yang *et al.* ได้ทำการศึกษาสารให้กลิ่นในข้าวนิล ซึ่งเป็นข้าวที่มีสีดำ พบว่าสารให้กลิ่นที่สำคัญในข้าวนิลคือ 2-acetyl-1-pyrroline และ guaiacol เมื่อทำการเปรียบเทียบกับข้าวเหนียวดำแล้วพบสารให้กลิ่น 2-acetyl-1-pyrroline เช่นกัน

ตารางที่ 16 ชนิด ลักษณะกลิ่น และค่า FD factor ของสารระเหยในข้าวเหนียวดำ (BG), ข้าวเหนียวพันธุ์เขี้ยวงู (WG)และข้าวเสาไห้ (WR)

Compounds	Odor description[a]	RI		Average FD factor[d]		
		HP-5[b]	FFAP[c]	BG[e]	WG[f]	WR[g]
2,3-butanediol[h]	sweet, balsamic	865	1413	1	-	-
2-acetyl-1-pyrroline[i,A]	pandan, cooked rice	922	1321	3	-	-
1-octen-3-ol	straw, earthy	978	1289	1	-	-
nonanal[i, B]	flour, sticky rice, fatty	1108	1406	-	1	-
unknown A	sticky rice	1116	na	-	1	-
ethyl octanoate[i,C]	sweet, cooked flour	1192	1430	-	1	-
(*E,E*)-nona-2,4-dienal[i,D]	sweet, fatty, cooked flour	1218	1684	3	3	-
germacrene-D[i,C]	cooked flour, woody	1478	na	-	1	-
unknown B	fatty, cooked flour	1534	na	-	1	-
methyl dodecanoate[i,C]	waxy, sticky rice	1525	na	-	3	-
unknown C	milled rice	na	1127	-	-	9
(*Z*)-hex-3-enal[i,D]	cooked rice, straw	na	1143	-	-	9
unknown D	milled rice	na	1163	-	-	9
ethyl *sec*-butyl ether[i,E]	milled rice	830	1189	-	-	27
unknown E	flour	940	1194	-	-	9

ตารางที่ 16 (ต่อ)

Compounds	Odor description[a]	RI		Average FD factor[d]		
		HP-5[b]	FFAP[c]	BG[e]	WG[f]	WR[g]
unknown F	sweet, cooked rice	na	1202	-	-	9
3-methyl-2-butanol[i,C]	flour	na	1220	-	-	1
ethyl hexanoate[i,F]	milled rice	na	1235	-	-	3
dimethyl pyrazine[i,G]	waxy	na	1304	-	-	1
unknown G	cooked rice, cooked flour	na	1367	-	-	3
ethyl acetate[i,G]	cooked rice	na	1391	-	-	9
unknown H	cooked flour	na	1437	-	-	1
(*Z*)-non-2-enal[i,D]	waxy	na	1500	-	-	1
(*E*)-non-2-enal[i,D]	cooked rice	1162	1529	-	-	3
phenylacetaldehyde[i,D]	sweet, rice	na	1638	-	-	3
2-acetyl-2-thaizoline[i,G]	milled rice	na	1785	-	-	9
(*E,E*)-2,4-decadienal[i,D]	milled rice	1314	1800	-	-	27

หมายเหตุ [a] Odor description at the GC-sniffing port during GCO.

[b] Retention indices (RI) were calculated from GCO results on HP-5.

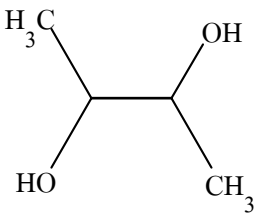
[c] Retention indices (RI) were calculated from GCO results on FFAP.

[d] Average of FD factor (n=2) on FFAP ; FD factor = 0 mean detected odor before diluted aroma extract for AEDA and – mean no detected odor.

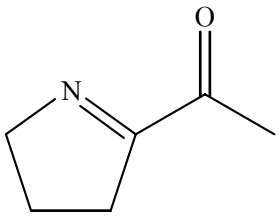
[e-g] BG = cooked black glutinous rice, WG = cooked white glutinous rice and WR = cooked white rice.

[h] Compound positively identified by comparing with retention index (RI) on HP-5 column and FFAP column, mass spectra obtained by MS and odor quality at the sniffing port on the same column.

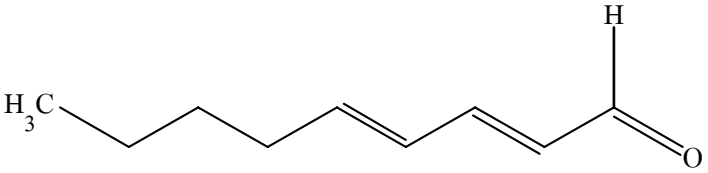
[i] Compound tentatively identified with the reference on the basis of comparison retention index (RI) on HP-5 and FFAP and odor quality at the sniffing port from [A] Karagul-Yuceer *et al*., (2003), [B] Yang *et al*., (2008), [C] ESO 2000 database of essential oils (1999), [D] Jezussek *et al*., (2002), [E] Czerny and Schieberle (2002), [F] Fritsch and Schieberle (2005) and [G] Rychlik *et al*., (1998).



2,3-Butanediol

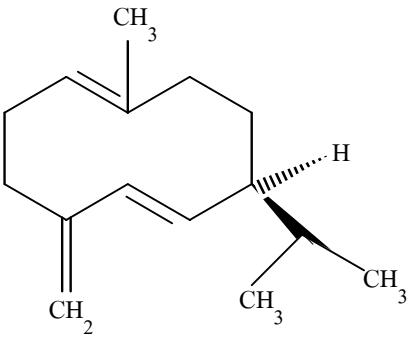


2-Acetyl-1-pyrroline

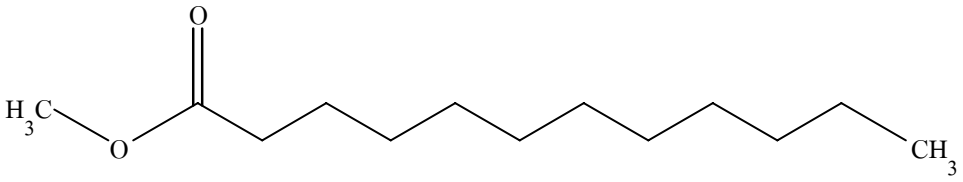


(*E,E*)-Nona-2,4-dienal

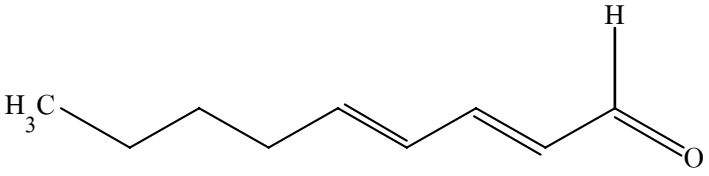
<u>ภาพที่ 6</u> สูตรโครงสร้างสารให้กลิ่นที่สำคัญในข้าวเหนียวดำที่ผ่านการให้ความร้อน



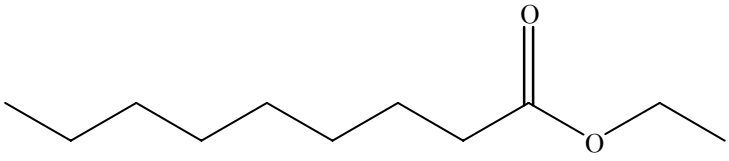
Germacrene-D



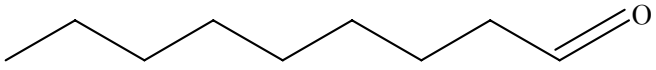
Methyl dodecanoate



(*E,E*)-Nona-2,4-dienal

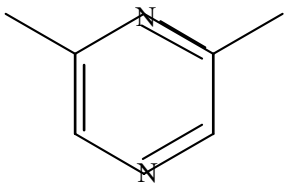


Ethyl octanoate

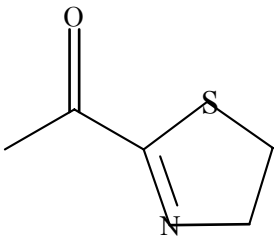


Nonanal

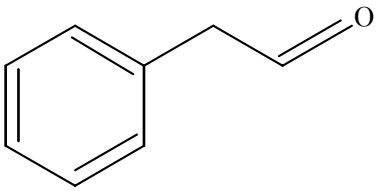
<u>ภาพที่ 7</u> สูตรโครงสร้างสารให้กลิ่นที่สำคัญในข้าวเหนียวพันธุ์เขี้ยวงูหุงสุก



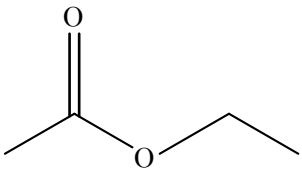
Dimethyl pyrazine



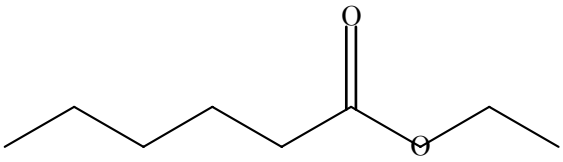
2-Acetyl-2-thiazoline



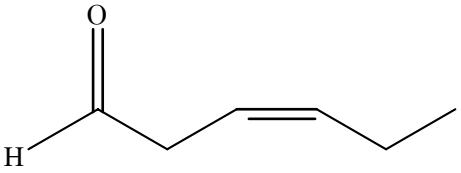
Phenylacetadehyde



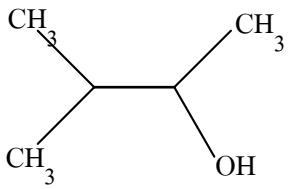
Ethyl acetate



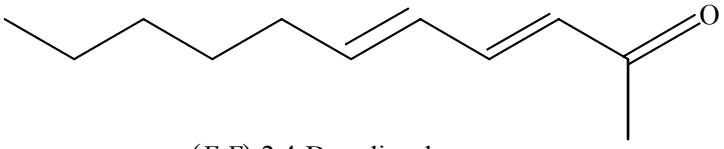
Ethyl hexanoate



(*Z*)-3-Hexenal



3-Methyl-2-butanol



(*E,E*)-2,4-Decadienal

ภาพที่ 8 สูตรโครงสร้างสารให้กลิ่นที่สำคัญในข้าวเสาไห้หุงสุก

ข้อเสนอแนะ

ในการทดลองได้พบปัญหาการปนเปื้อนสิ่งเจือปนเมื่อทำให้เข้มข้นด้วยก๊าซไนโตรเจนอุตสาหกรรม ซึ่งมีผลต่อวิเคราะห์สารระเหย โดยเป็นปัญหาที่ตรวจพบในภายหลัง จึงเสนอแนะว่าควรใช้ก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์สูง 99.999% เพื่อแก้ปัญหาการปนเปื้อนสิ่งเจือปนในตัวอย่างที่ทำการสกัด

สรุป

1. เผือกมีสารระเหยที่ให้กลิ่นซึ่งมีความเข้มข้นสูงที่สุดคือ 2,3-butanediol มีความเข้มข้น 11,581.0 ng/kg ผลจาก AEDA พบว่า 1,2-propanediol เป็นสารให้กลิ่นที่สำคัญที่สุดในเผือก คือมีค่า FD factor สูงที่สุด รองลงมาคือ 2,3-butanediol และ 1-pentanol

2. สารให้กลิ่นเผือกที่ผลิตในทางอุตสาหกรรมประกอบด้วยสารให้กลิ่นหลัก คือ 1,2-propanediol ให้กลิ่นหวาน และ vanillin propylene glycol acetal ให้กลิ่นหวานมัน สารระเหยที่ให้กลิ่นซึ่งมีปริมาณสูงที่สุดในข้าวเหนียวดำคือ benzaldehyde ซึ่งมีความเข้มข้น1203.7 ng/kg จากการทำ AEDA ของข้าวเหนียวดำที่ผ่านการให้ความร้อนพบว่า 2-acetyl-1-pyrroline และ (*E,E*)-nona-2,4-dienal เป็นสารให้กลิ่นที่สำคัญที่มีค่า FD factor สูงที่สุด รองลงมาคือ 2,3-butanediol สารให้กลิ่นที่สำคัญที่มีค่า FD factor สูงที่สุดของข้าวเหนียวพันธุ์เขี้ยวงูหุงสุกคือ methyl dodecanoate และ (*E,E*)-nona-2,4-dienal ซึ่งพบในข้าวเหนียวดำด้วยเช่นกัน สารระเหยที่พบทั้งในข้าวเหนียวดำและข้าวเหนียวพันธุ์เขี้ยวงูคือ 1,2-propanediol และ 2,3-butanediol

3. ข้าวเสาไห้หุงสุกพบสารให้กลิ่นที่สำคัญที่มีค่า FD factor สูงที่สุดคือ (*E,E*)-2,4-decadienal และ ethyl *sec*-butyl ether รองลงมาคือ (*Z*)-hex-3-enal, ethyl acetate, 2-acetyl-2-thaizoline, ethyl hexaoate, (*E*)-non-2-enal และ phenylacetaldehyde สารระเหย 2 ชนิดที่พบในข้าวเหนียวดำและข้าวเสาไห้คือ benzaldehyde ให้กลิ่นอัลมอนด์, phenol ให้กลิ่นยา และ 2-methoxy-4-vinylphenol ให้กลิ่นควัน

เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2545. **เผือก.** ฐานข้อมูลด้านพืช กรมวิชาการเกษตร. แหล่งที่มา: www.doa.go.th/pl_data/02_LOCAL/oard2/taro/main.html, 2549.

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

ทัศนีย์ โรจนไพบูลย์, จุฑามาศ เอกะวิภาต และวารุณี วารัญญานานท์. 2545. สี. **อาหารจากพืช.** สำนักบริการคอมพิวเตอร์. Available source: www.ku.ac.th/e-magazine/ september45/agri/color.html. January 30, 2006.

ดำเนิน กาละดี, ศันสนีย์ จำจด, เบญจวรรณ ฤกษ์เกษม และพันทิพา พงษ์เพียจันทร์. 2548. **โครงการอนุรักษ์พันธุ์ข้าวเหนียวดำ.** สำนักเลขาธิการ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. Available source: 3www.agri.cmu.ac.th/project/viewproject show. asp?id=115. January 30, 2006.

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(10): 1698-1703.

Acree, T. E. 1993. Flavour of dairy products pp. 151-172. *In* G. G. Birth and M. G. Lindley, Eds. **Developments in Food Flavours.** Elsevier Applied Science Publishers, New York.

Adams, R.P. 1995. **Identification of Essential Oil Components by Gas Chromatography Mass Spectroscopy.** Allured Publishing Corporation, U.S.A..

Aguedo M., M.H. Ly, I. Belo, J.A. Teixeira, J-M Belin and Y. Wache. 2004. Valorization of olive mill wastewater by the yeast *Yarrowia lipolytica*. **Food Technol. Biotechnol.** 42: 327.

Alexander, H.C., W.M. Mccarty, E.A. Bartlett and A.N. Syverud. 1982. Aqueous odor and taste threshold values of industrial chemicals. **J. Am. Water Works Assoc.** 74: 595-599.

Berrios-Rivera, S.J., K.Y. San and G.N. Bennett. 2003. The effect of carbon sources and lactate dehydrogenase delation on 1,2-propanediol production in *Escherichai coli.* **J. Ind. Microbiol. Biotechnol.** 30 : 34-40.

Bhattacharjee, P., R.S. Singhal and P.R. Kulkami. 2002. Basmatic rice. **J. Food Sci. Technol.** 37 : 1-12.

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

Blank, I. 2002. Gas chromatography-olfactometry in food aroma analysis, pp. 297-331. *In* R. Marsili, ed. **Flavor, Fragrance and Odor Analysis.** Marcel Dekker, Inc., New York.

Boelens Aroma Chemical Information Service. 1999. **ESO 2000 Database of Essential Oils.**

Bradbury, J.H. and W.D. Holloway. 1988. **Chemistry of Tropical Root Crops : Significance for Nutrition and Agricuture in the Pacific.** Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra.

Brierley, E.R., P.L.R. Bonner and A.H. Cobb. 1996. Factors influencing the free amino acid different parts of the potato tuber: variation during storage at 10 °C. **Potato Research**. 13 : 284-295.

Buttery, R.G., L.C. Ling and B.O. Juliano. 1982. 2-Acetyl-1-pyrroline: an important aroma component of cooked rice. **Chem. Ind**. 958-959.

Buttery, R.G., J.G. Turnbaugh and L.C. Ling. 1988. Contribution of volatiles to rice aroma. **J. Agric. Food Chem.** 36: 1006-1009.

Buttery, R.G., D. J. Stern, and L.C. Ling. 1994. Studies on Flavor volatiles of some sweet corn products. **J. Agric. Food Chem.** 42 : 791-795.

Buttery, R.G. and L.C. Ling. 1998. Additional studies of flavor components of corn tortilla cips. **J. Agric. Food Chem.** 46: 2764-2769.

Buttery, R.G., W.J. Orts, G.R. Takeoka and Y. Nam. 1999. Volatile flavor components of rice cakes. **J. Agric. Food Chem.** 47: 4353-4356.

Cadwallader, K.R. and H.H. Baek. 1998. Aroma-impact compounds in cooked tail meat of freshwater crayfish (*Procambarus clarkii*). **Dev. Food Sci.** 40 : 271-278.

Chan H.W.S. 1987. **Autoxidation of Unsaturated Lipids.** Acadamic, London.

Chaudhary, R.C. 2003. Speciality rices of the world : effect of WTO and IPR on its production trend and marketing. **J. Food Agric. Environ.** 1 : 34-41.

Cherif, A. and A.B. Abdelkader. 1970. Quantitative analysis of the fatty acids present in content of potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers during prolonged storage. **J. Sci. Food Agric**. 70 : 515-525.

Cynthia C., Ignacio and B.O. Juliano. 1968. Physicochemical Properties of Brown Rice from Oryza Species and Hybrids. **J. Agric. Food Chem.** 16 (1): 125-127.

Czerny M. and P. Schieberle. 2002. Important aroma compounds in freshly ground whole meal and white wheat flours and identification and quatitative changes during sourdough fermentation. **J. Agric. Food Chem.** 50: 6835-6840.

Daniels, M.J., B.P. Marks, T.J. Siebenmorgen, R.W. McNew and J.F. Meullenet. 1998. Effects of long-grain rough rice storage history on end-use quality. **J. Food Sci.** 63: 832-835.

Deman, J.M. 1990. **Principle of Food Chemistry.** 2 ed. Van Nostrand Reinhold, New York.

Donald S. Mottram. 2007. The maillard reaction: source of flavour in thermally processed foods, p. 269. **Flavours and Fragrances.** Springer, New York.

Dietrich, A.M., S. Mirlohi, W.F. Dacosta J.P. Dodd, R. Sauer, M. Homan and J.Schulz. 1999. Flavor profile analysis and GC/MS detection of phenolic iodinated disinfection byproducts in drinking water for the USA space program. **Wat. Sci. Tech.** 40 (6): 45-51.

Fazzalari F.A. 1978. **Complication of Odor and Taste Threshold Data.** ASTM International,

Ferreira, V., J. P. Ka and M. Azwar. 2002. Aroma extract dilution analysis: Precision and optimal experimental design. **J. Agric. Food Chem.** 50(6): 1508-1514.

Finglas, P.M. and R.M. Faulks. 1984. Nutritional composition of UK retail potatoes, both raw and cooked. **J. Sci. Food Agric**. 35 : 1347-1356.

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.

Fritsch H.T. and P. Schieberle. 2005. Identification based on quatitative measurements and aroma recombination of the character impact odorants in a Bavarian Pilsner-type beer. **J. Agric. Food Chem.** 53: 7544-7551.

George, E.W., O.G. Pettijohn, L.B. Lockwood and R.D. Coghill. 1944. Optical isomers of 2,3-butanediol produced by fermentation. **The Fermentation Division.** 60 : 541-542.

Graham I.A. and P.J. Eastmond. 2002. Pathways of straight and branched chain fatty acid catabolism in higher plants. **Prog. Lipid Res.** 41: 156.

Grosch, W. 1982. Lipid degradation products and flavor, pp. 325-398. *In* I.D. Morton and A.J. MacLeod, eds. **Food Flavors : Part A Introduction**. Elsevier, New York.

Grosch W.A. 1993. Detection of potent odorants in foods by aroma extract dilution analysis. **Trends in Food Science and Technology** 4 (3): 68-73.

Grosch W.A. 1994. Determination of potent odourants in foods by aroma extract dilution analysis (AEDA) and calculation of odour activity values (OAVs). **J. Flavour Fragr.** 9: 147-158.

Grosch, W. 2001. Evaluation of the key odorants of foods by dilution experiments, aroma models and omission. **Chem. Senses** 26 (5): 533-545.

Hayashi T., H. Ishii and A. Shinohara. 1990. A. Novel model experiment for cooking flavor research on crab leg meat.. **Food Rev. Int.** 6: 521-535.

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

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

Hodge J.E., F.D. Mills and B.E. Fisher. 1972. Some new volatile compounds from the non-enzymic browning reaction of glucose-glutamic acid system. **Cereal Sci. Today** 17: 34.

Horton, C.E., K.X. Huang, G.N. Bennett and F.B. Rudolph. 2003. Heterologous expression of the *Saccharomtces cerevisiae* alcohol acetyltransferase genes in *Clostridium acetobutylicum* and *Escherichia coli* for the production of isoamyl acetate**. J. Ind. Microbiol. Biotechnol .** 30: 427-432.

Jennings, W.G. and T. Shibamoto. 1980. **Qualitative Analysis of Flavour and Fragrance Volatiles by Glass Capillary Gas Chromatography.** Academic Press, New York.

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

Jianming G. 2002. Identification of 2-acetylpyridine in Xiangjing-8618 rice and in Yahonkaoluo leaves. **J. Food Chem.** 78: 163-166.

Karaguel-Yueceer, Y., M. Drake and K.R. Cadwallader. 2001. Aroma-active components of nonfat dry milk. **J. Agric. Food Chem.** 49: 2948-2953.

Karagul-Yuceer, Y., K.N. Vlahovich, M.A. Drake and K.R. Cadwallader. 2003. Characteristic aroma components of rennet casein**. J. Agric. Food Chem.** 51(23): 6797-6801.

Kay, D. E. 1973. **Root Crops (Crop and Product Digent 2)**, pp. 168 – 179. The Tropical Products Institute, London.

Kim, D.S., H.H. Baek, C.B. Ahn, D.S. Byun, K.J Jung, H.G. Lee, K.R. Cadwallader and H.R. Leahy, M. and G. Reineccius. 1984. Comparison of Methods for the Isolation of Volatile Compounds from Aqueous Model System, pp. 19 *In* P. Schreier, ed. **Analysis of Volatiles: Method Applications.** Walter de Gruyter, New York.

Kim. 2000. Development and characterization of a flavoring agent from oyster cooker effluent. **J. Agric. Food Chem.** 48 : 4839-4843.

Kondjoyan N. and J.-L. Berdague. 1996. **A Compilation of Relative Retention Indices for the Analysis of Aromatic Compounds.** 1st ed. Laboratoire Flaveur, France.

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.

Lee, G.H., O. Suriyaphan and K.R. Cadwallader. 2001. Aroma components of cooked tail meat of American lobster (*Homarus americanus*). **J. Agric. Food Chem.** 49 : 4324-4332.

Leffingwell & Associates. 2004. Flavor-Base 2004. Canton, GA, USA.

Little, D.B. and R.B. Croteau. 1999. Biochemistry of essential oil terpenes: A thirty year overview, pp. 239-253. *In* R. Teranishi, E.L. Wick and I. Hornstein, eds. **Flavor Chemistry: Thirty Years of Progress.** Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York.

MacLeod Glesni. 1990. Combined gas chromatography-mass spectrometric analysis of the aroma components of cooked taro (*Colocasia esculenta* L.). **J. Food Chemistry** 38: 89-96.

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

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. **Biogeneration of Aromas.** American Chemical Society, Washington, DC.

Mutti, B. and W. Grosch. 1999. Potent odorants of boiled potatoes. **Nahrung** 43: 302-306.

Nagaraju, M, K.K. Mohanty, D. Chaudhary and C.A. Gangadharan. 1991. A simple technique to detect scent rice. **Oryza**. 28: 109-110.

Owen R. Fennema. 1972. **Priciple of Food Science part 1 Food Chemistry.** Department of food science university of Wisconsin-Madison, Madison, Wisconsin.

Oruna-Concha, M.J., J. Bakker and J.M. Ames. 2002. Comparison of the volatile components of eight cultivars of potato after microwave baking. **Lebensm.-Wiss. u. Technol.** 35 : 80-86.

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

Perez, E., F.S. Schultz and E.P. Delahaye. 2005. Characterization of some properties of starches isolated from *Xanthosoma sagittifolium* (tannia) and *Colocassia esculenta* (taro). **Carbohydrate Polymer** 60: 139-145.

Pyysalo, T., M. Suihko and E. Honkanen. 1977. Odour thresholds of the major volatiles identified in cloudberry (*Rubuschamaemorus* L.) and arctic bramble (*Rubus arcticus* L.). **Lebensm. Wiss. Technol.** 27: 36-39.

Ravishankar V.V., N.B. George and Ka-Yiu San. 2004. Applicability of CoA/acetyl-CoA manipulation system to enhance isoamyl acetate production in Escherichia coli. **Metabolic Engineering** 6: 294-299.

Reineccious, G. 1994. **Source Book of Flavors 2nd ed.** Chapman & Hall, New York.

Rijkens, F. and H. Boelens. 1975. The future of aroma research, pp. 203 – 220. *In* H. Maarse and P.J. Groenen, eds. **Aroma Research.** Proc. Int., Symp. Aroma Res., Pudoc, Wagenningen.

Ruth, S.M. 2001. Methods for gas chromatography-olfactometry: a review. **Biomolecular Engineering** 17(4-5): 121-128.

Rychlik, M. and W. Grosch 1996. Identification and quantification of potent odorants formed by toasting of wheat bread. **Lebensm.-Wiss. Technol.** 29 : 515-525.

Schieberle, P. 1996. Odour-active compounds in moderately roasted sesame. **J. Food Chem.** 55: 145-152.

Schnabel, K.-O., H.-D. Beltz and C.V. Ranson. 1988. Undersuchungen zur struktur-aktivitats-beziehung l. mitteilung: wahrnehmungsschwellenwerte und alicyclischen verbindungen mit sauerstoff-funktion. **Z. Lebensm. Unters. Forsch.** 187: 215-223.

Shaikh, Y. 2002. **Special Aroma Chemicals in Flavors and Fragrances.** Allured Publishing Corp., Carol Stream, Illinois.

Shipe, W.F., Bassette, D.D. Dean, W.L. Dunkley, E.G. Hammound, W.J. Harper, D.H. Kleyn, M.E. Morgan, J.H. Nelson and R.A. Scanlan. 1978. Off-flavor of milk: nomenclature, standard and bibliography. **J. Dairy Sci.** 61 : 855-869.

Steinhaus, M. and P. Schieberle. 2000. Comparison of the most odor-active compounds in fresh and dried hop cones (*Humulus lupulus* L. Variety Spalter Select) based on GC-olfactometry and odor dilution techniques. **J. Agric. Food Chem.** 48 (5): 1776-1783.

Suzuki, Y., K. Ise, C. Li, I. Honda, Y. Iwai and U. Matsukura. 1999. Volatile components in stored rice (*Oryza sativa* L.) of varieties with and without lipoxygenase-3 in seeds. **J. Agric. Food Chem.** 47: 1119-1124.

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.

Tamura, H., H. Nakamoto, R.-H Yang and H. Sugisawa. 1995. Characteristic aroma compounds in green algae (*Ulva pertusa*) volatiles. **Nippon Shokuhin Kagaku Kaishi** 42: 887-891.

Thai Junior Encyclopedia Project. 1997. เผือก. **พืชหัว:สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ เล่ม 4** Available source: http://kanchanapisek.or.th /kp6/BOOK5/chapter5/t5-5-l4.htm#sect2. January 12, 2006.

Treche, S. 2000. **Tropical root and tuber crops as human staple food.** Laboratoire de Nutrition, Montpellier France.

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

Ullrich, F. and W. Grosch. 1988. Identification of the most intense odor compounds formed during autoxidation of methyl linolenate at room temperature. **J. Am. Oil Chem. Soc.** 65(8): 1313-1317.

Ulrich, D., E. Hoberg, W. Neugebauer, H. Tiemann and U. Darsaw. 1999. Investigation of the boiled potato flavor by human sensory and instrumental methods. **Am. J. Potato Res.** 77: 111-117.

Van den Dool, H. and P.D. Kratz. 1963. A generation of the retention index system including linear temperature programmed gas-liquid partition chromatography. **J. Chromatogr.** 11 : 463-467.

Van Gemert L.J.and Nettenberijer A.H. 1977. **Compilation of Odour Threshold Values in Air and Water.** Institute of Water Supply, Voorburg The Netherlands.

Whitfield, F.B. and J.H. Last. 1991. Tuber vegetable. **Volatile Compounds in Foods & Beverages.** Marcel Dekker New York. pp. 222-231.

Will, R.B.H., J.S.K. Lim, H. Greenfield and T. Bayliss-Smith. 1983. Nutrient composition of taro (*Colocasia esculenta*) cultivars from the Papua New Guinea highlands. **J. Agric. Food Chem.** 34: 1137-1142.

Wongpornchai S., T. Sriseadka and S. Choonvisase. 2003. Identification and quantitation of the rice aroma compound, 2-acetyl-1-pyrroline, in bread flowers (*Vallaris glabra Ktze*). **J. Agric. Food Chem.** 51: 457-462.

Yajima, I., T. Yanai and M. Nakamura, H. Sakakibara and T. Habu. 1978. Volatile flavor components of cooked rice. **Agric. Biol. Chem.** 42(6) : 1229-1233.

Yang, D.K., K.S. Lee, O.Y. Jeong, K.J. Kim and S.J. Kays. 2008. Characterization of volatile aroma compounds in cooked black rice. **J. Agric. Food Chem** 56 (1): 235-240.

Yilmaz E., E.A. Baldwin and E.A. Shewfelt. 2002. Fruits and vegetables of moderate climate. **J. Food Sci.** 67: 2122.

Zehentbauer, G. and W. Grosch. 1998. Crust aroma of baguettes I. key odorants of baguettes prepared in two different ways. **J. Cereal Sci.** 28 : 81-92.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์ทางเคมี

1. การคำนวณค่า Retention Index (RI)

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

เมื่อ N = จำนวนอะตอมของคาร์บอนสารมาตรฐานอัลเคนที่มีคาร์บอนน้อยกว่าตัวอย่าง

n = ความตกต่างระหว่างจำนวนอะตอมของคาร์บอนในสารมาตรฐานอัลเคน 2 ตัวที่มีค่า retention time (RT) ของตัวอย่างอยู่ระหว่างกลาง

t_{Ra} = RT ของตัวอย่างสารระเหยที่ต้องการวิเคราะห์ค่า RI

t_{RN} = RT ของสารมาตรฐานอัลเคนที่มีคาร์บอนน้อยกว่าตัวอย่าง

$t_{R(N+n)}$ = RT ของสารมาตรฐานอัลเคนที่มีคาร์บอนมากกว่าตัวอย่าง

2. การคำนวณความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารระเหย

$$C_s = \frac{C_1 \times A_s \times V_1 \times r}{A_1 \times W_s}$$

เมื่อ C_s = ความเข้มข้นสัมพัทธ์ของตัวอย่าง (นาโนกรัม/มิลลิลิตร ตัวอย่าง หรือ ng/kg)

C_1 = ความเข้มข้นของ internal standard (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)

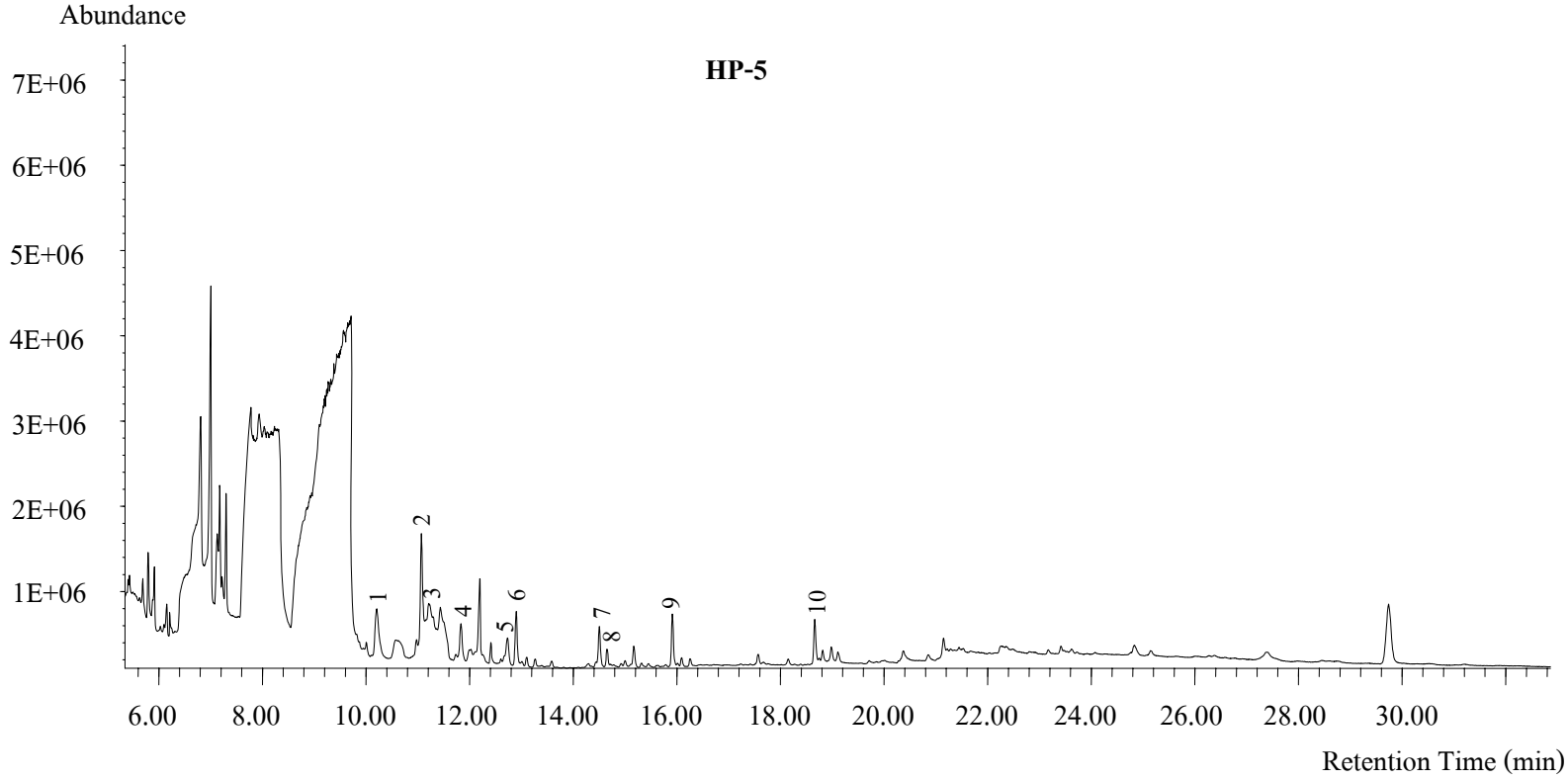
A_s = พื้นที่ใต้พีคของตัวอย่าง

A_1 = พื้นที่ใต้พีคของ internal standard

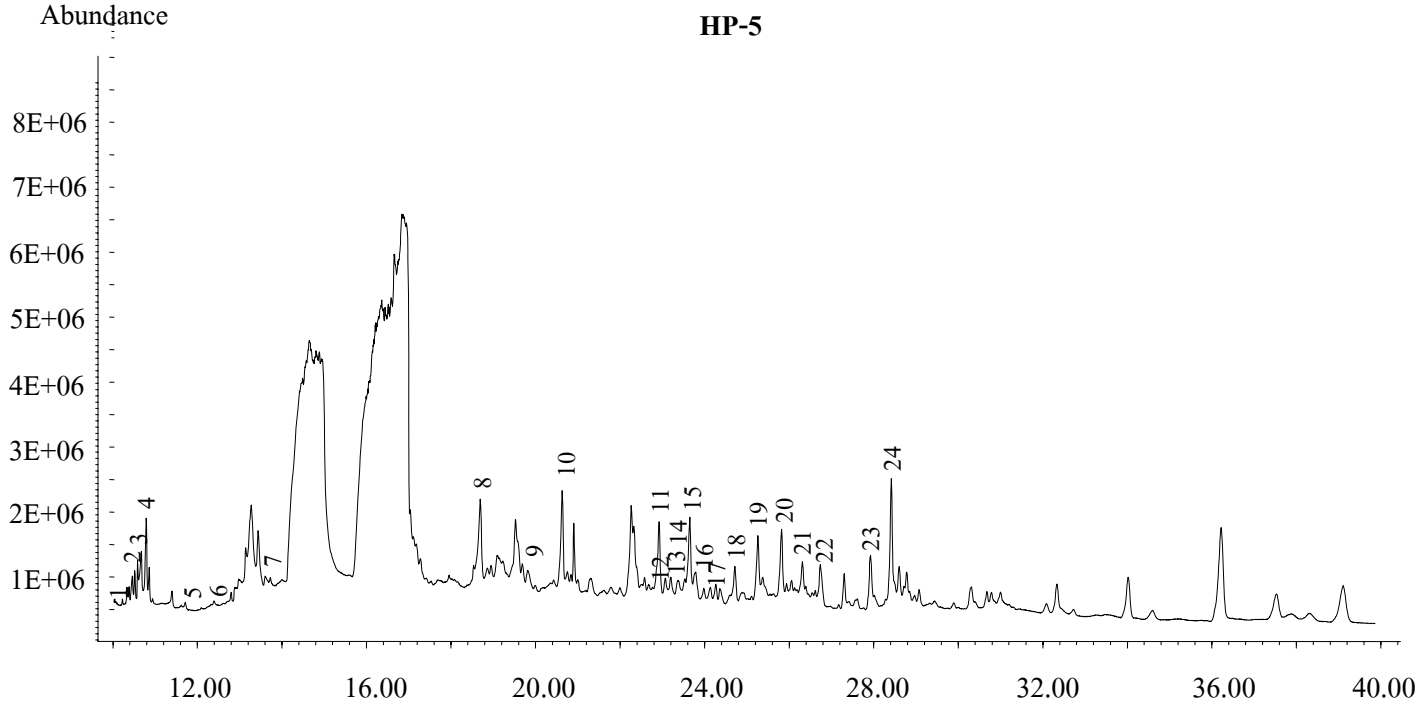
V_1 = ปริมาตรของ internal standard ที่ใช้ (ไมโครลิตร)

W_s = ปริมาตรของตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์ (มิลลิลิตร)

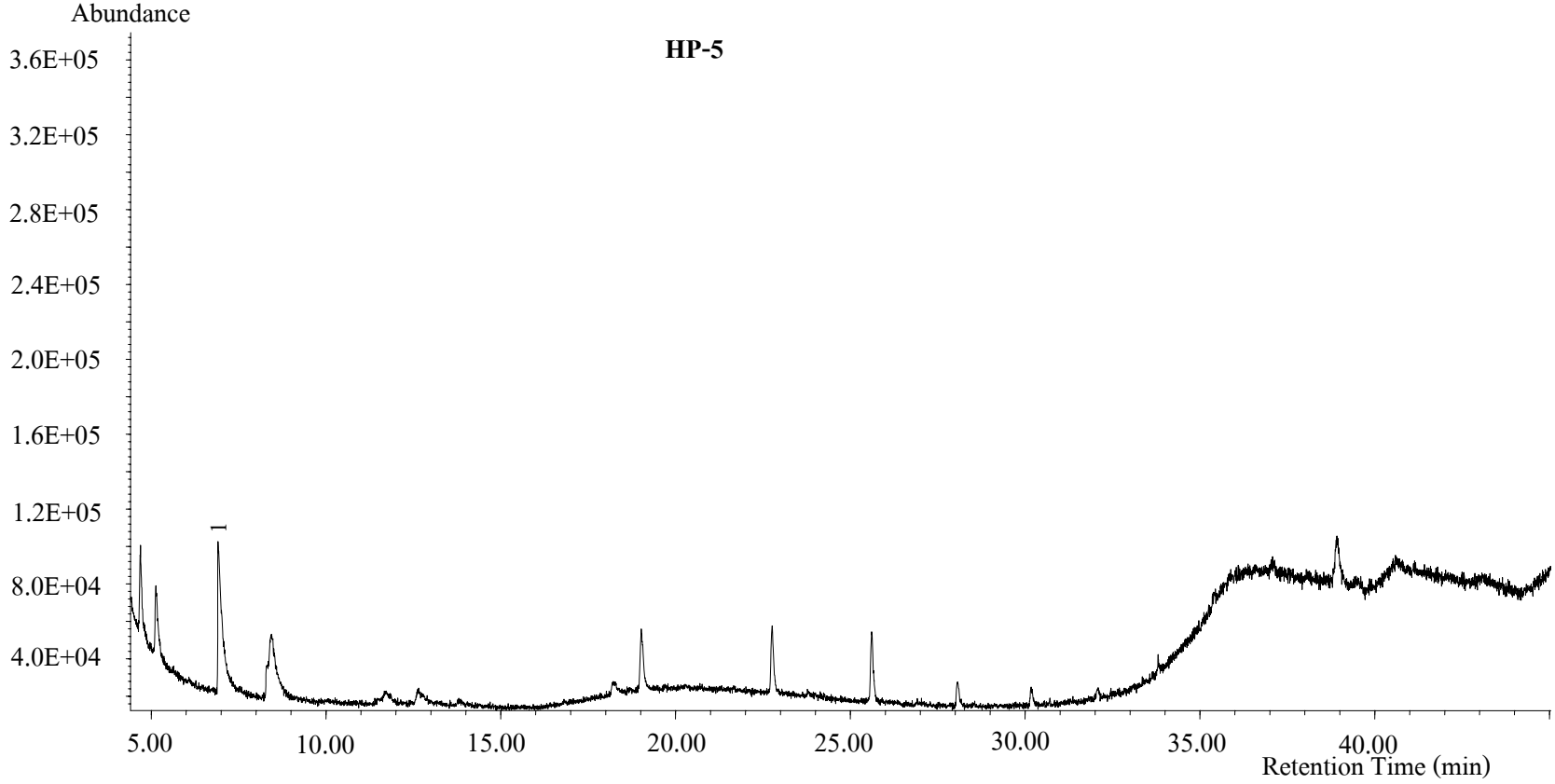
r = response factor ในการทดลองนี้กำหนดให้ $r = 1$



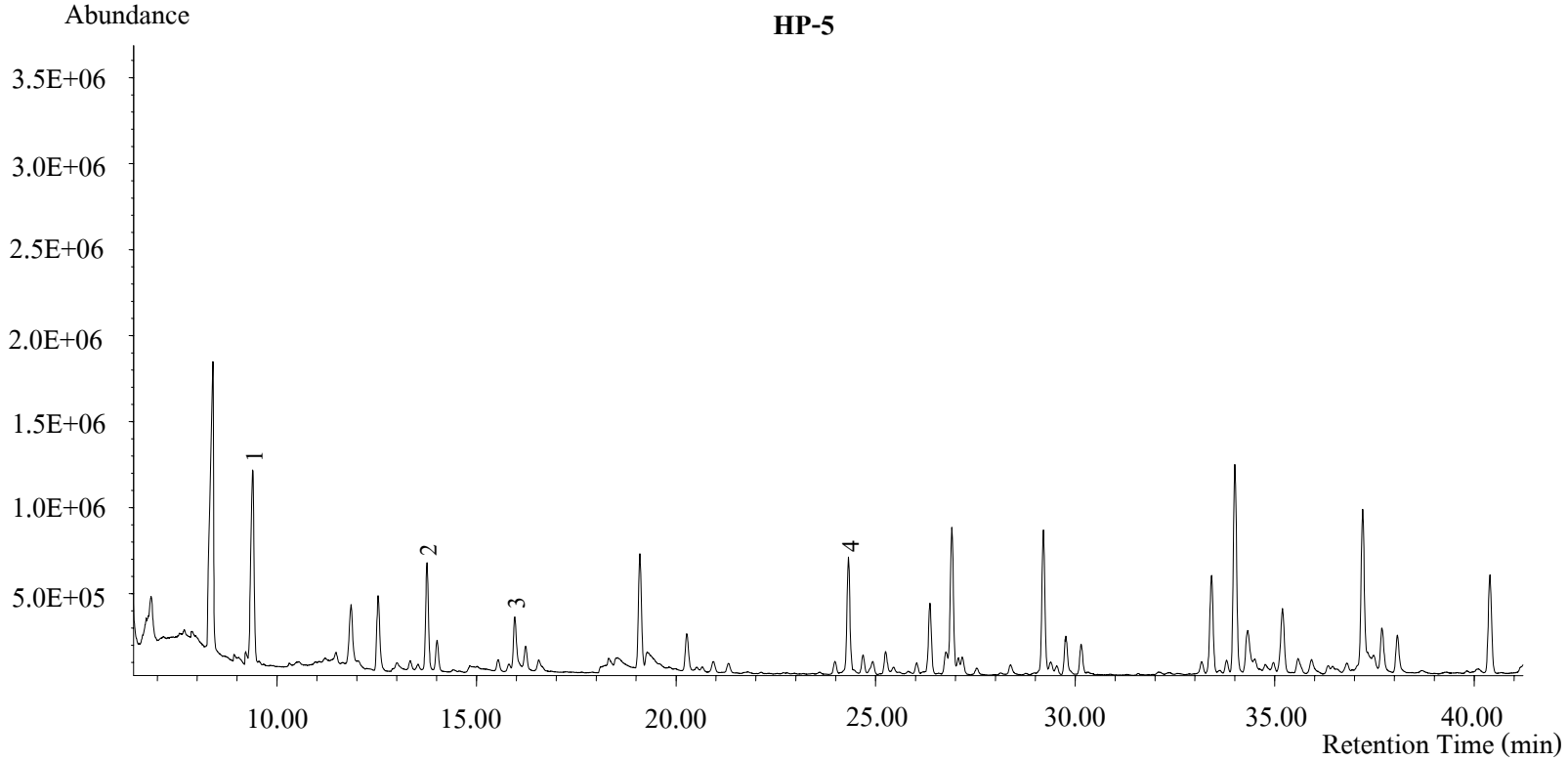
<u>ภาพผนวกที่ ก1</u> โครมาโตแกรมของสารให้กลิ่นเผือกที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยวิธี Simultaneous Distillation Extraction ที่แยกด้วยคอลัมน์ HP-5



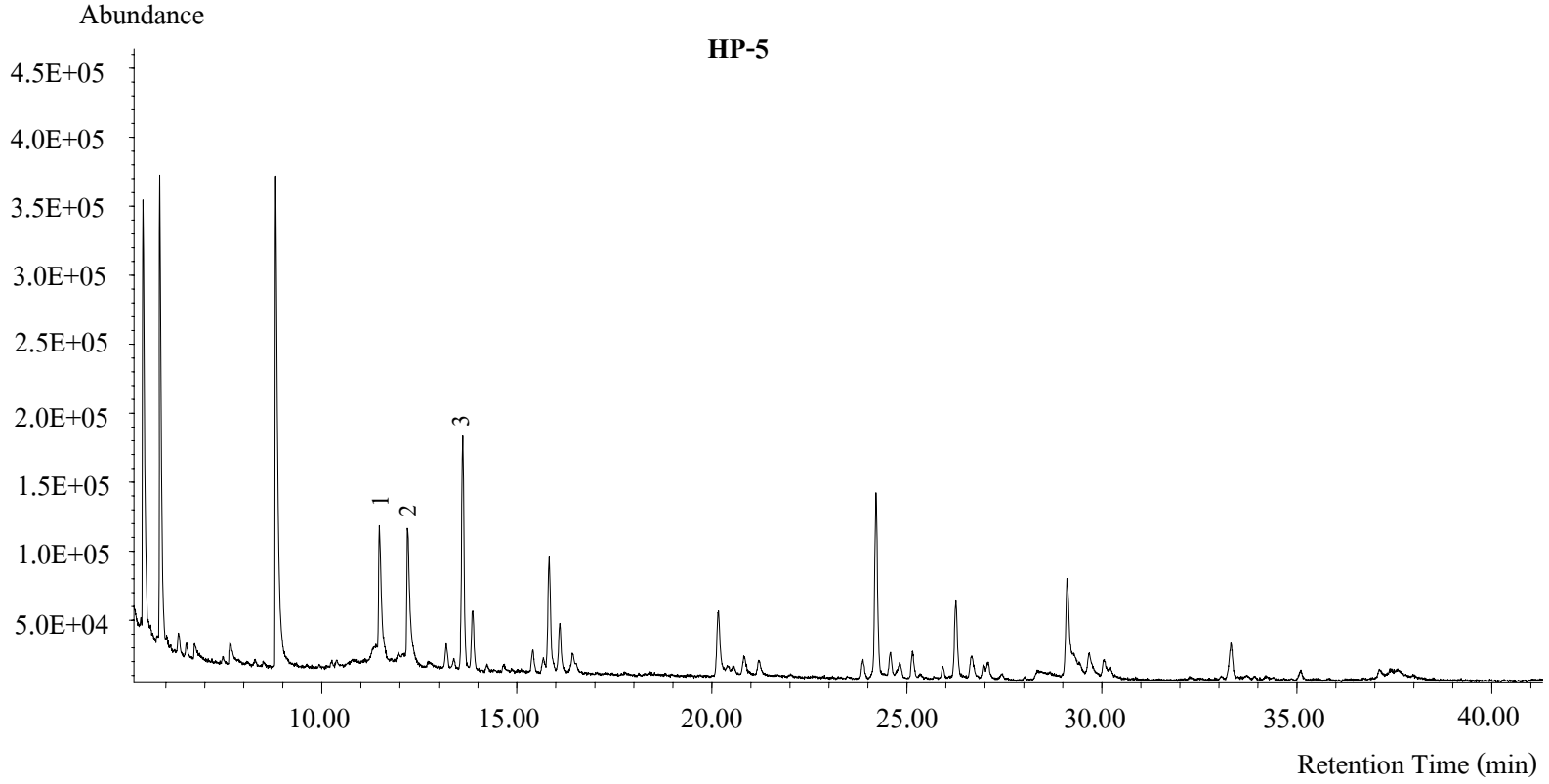
<u>ภาพผนวกที่ ก2</u> โครมาโตแกรมของสารให้กลิ่นเผือกที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยวิธี Solvent Extraction ที่แยกด้วยคอลัมน์ HP-5



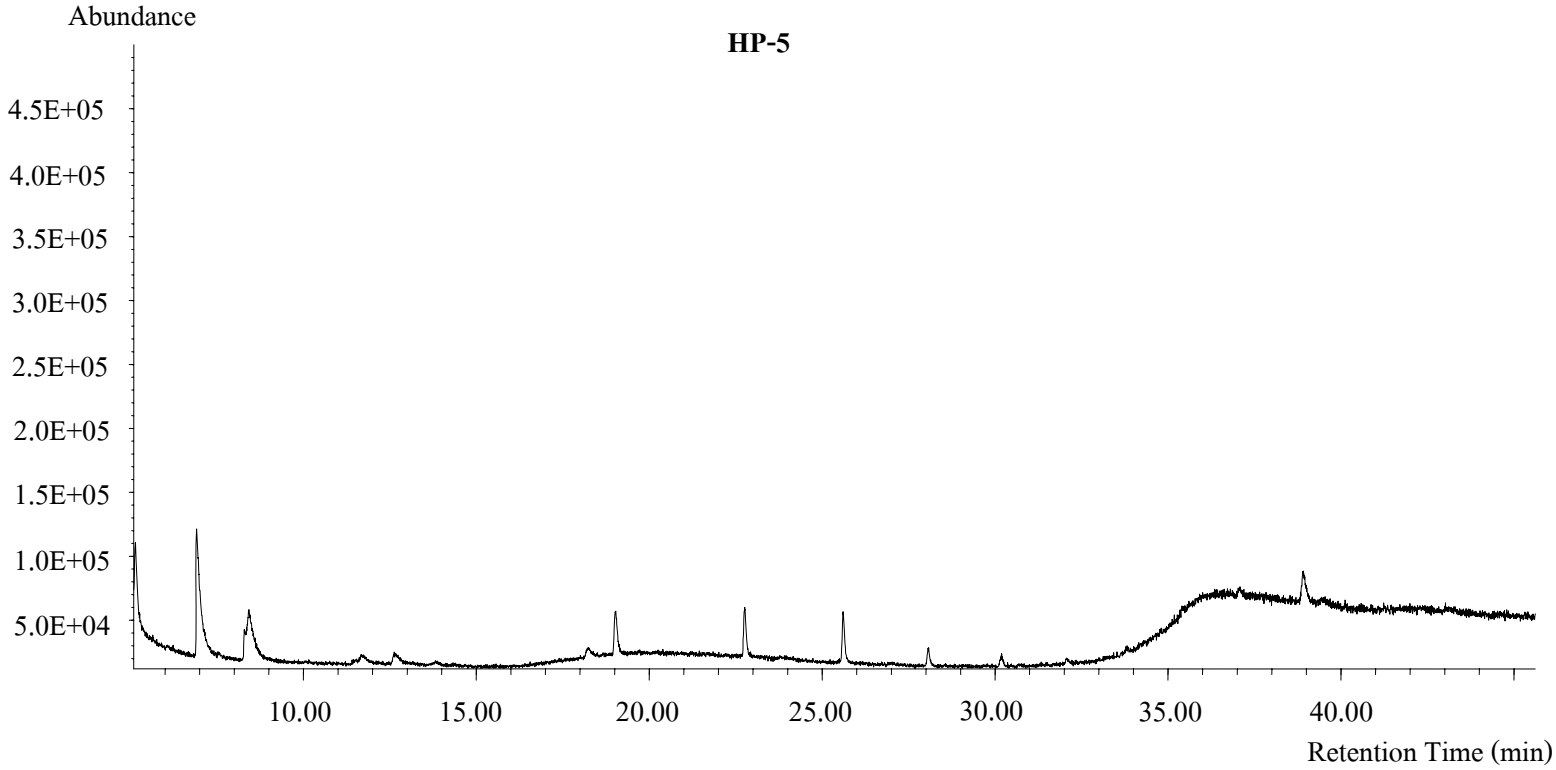
ภาพผนวกที่ ก3 โครมาโตแกรมของสารให้กลิ่นเผือกที่ผ่านการให้ความร้อนที่ pH 9 ที่แยกด้วยคอลัมน์ HP-5



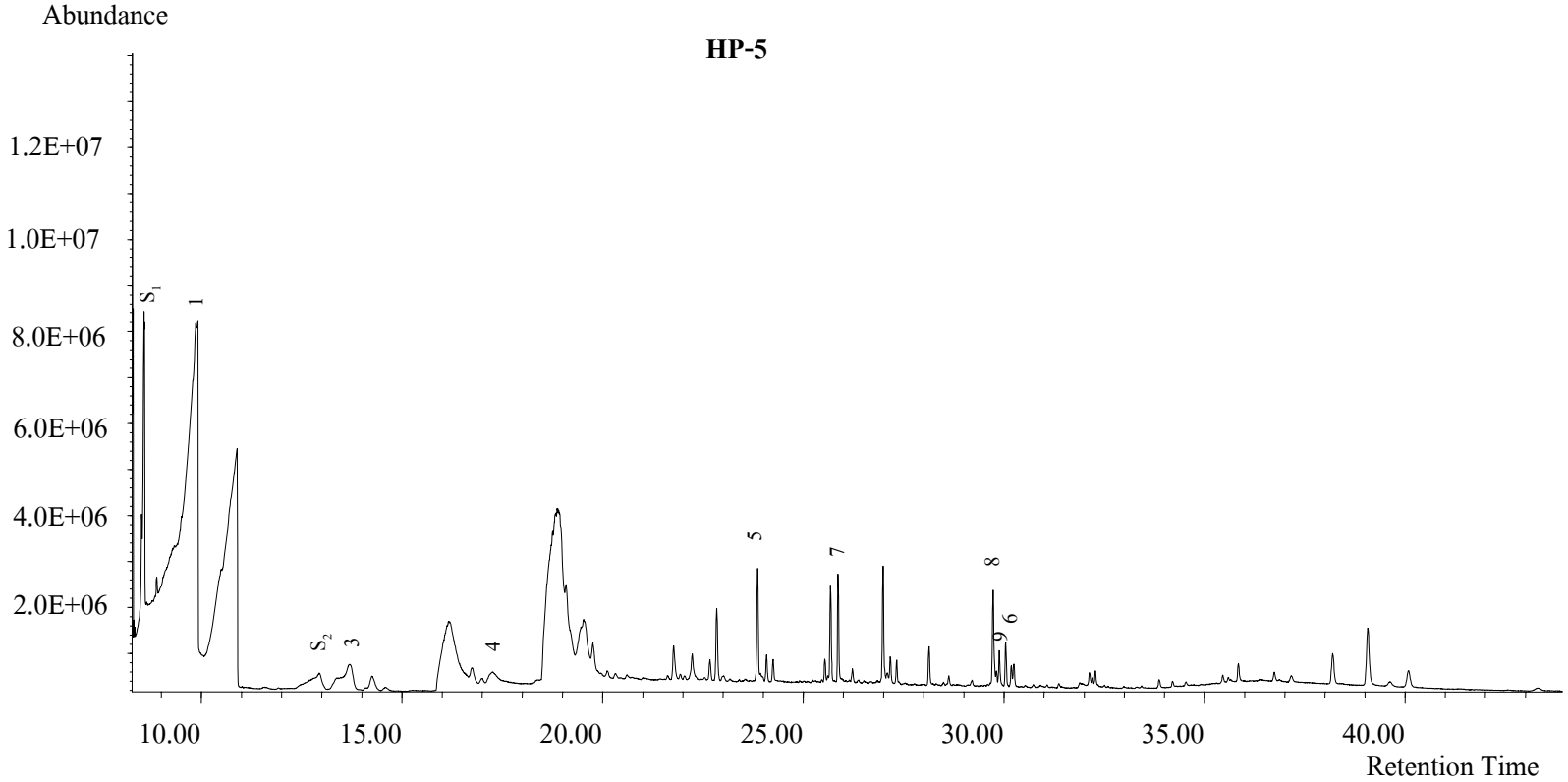
<u>ภาพผนวกที่ ก4</u> โครมาโตแกรมของสารให้กลิ่นเผือกที่ผ่านการให้ความร้อนที่ pH 11 ที่แยกด้วยคอลัมน์ HP-5



<u>ภาพผนวกที่ ก5</u> โครมาโตแกรมของสารให้กลิ่นเผือกที่ผ่านการให้ความร้อนที่ pH 12 ที่แยกด้วยคอลัมน์ HP-5

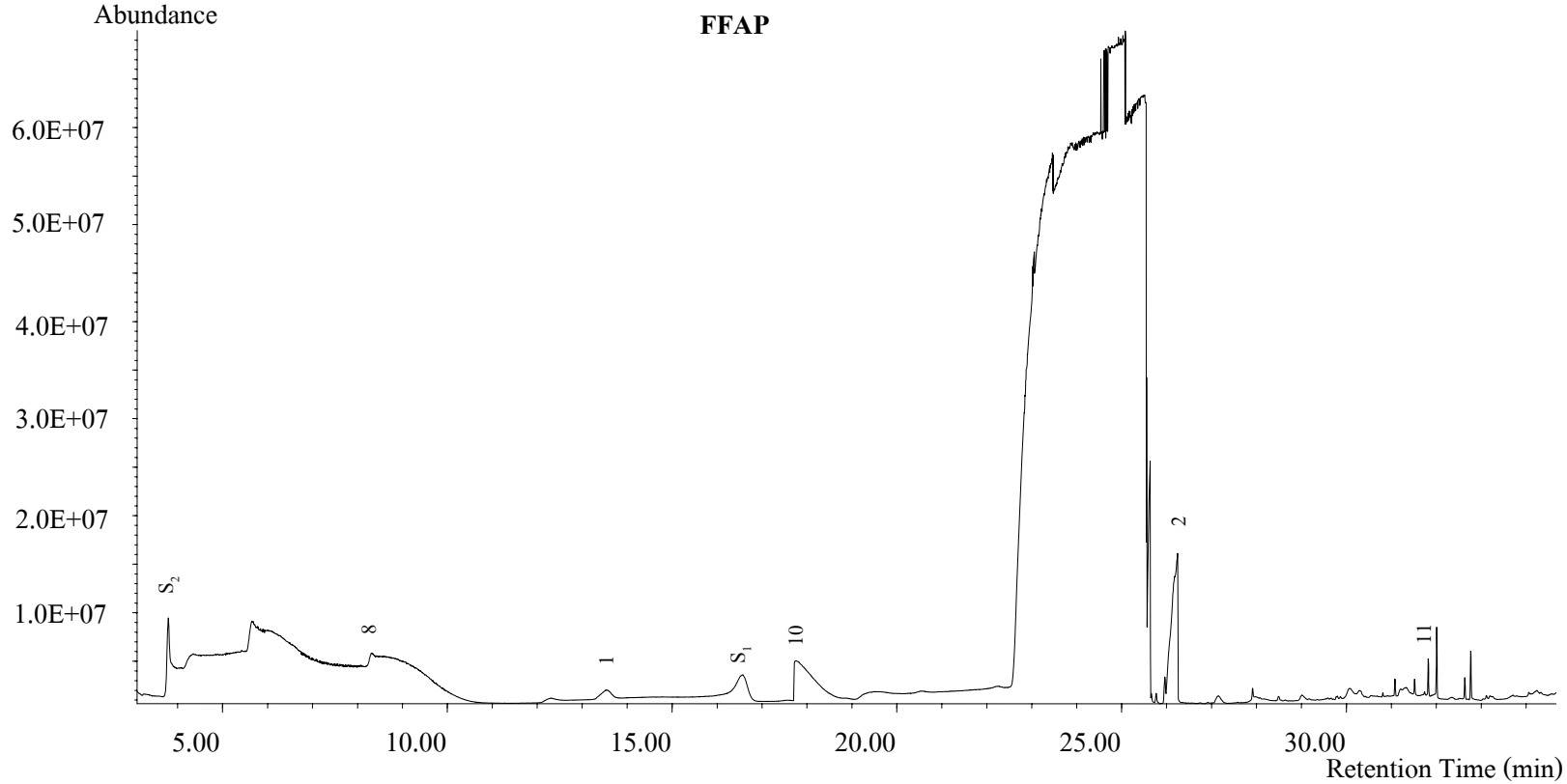


<u>ภาพผนวกที่ ก6</u> โครมาโตแกรมของสารให้กลิ่นเผือกที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยเทคนิค headspace ที่แยกด้วยคอลัมน์ HP-5



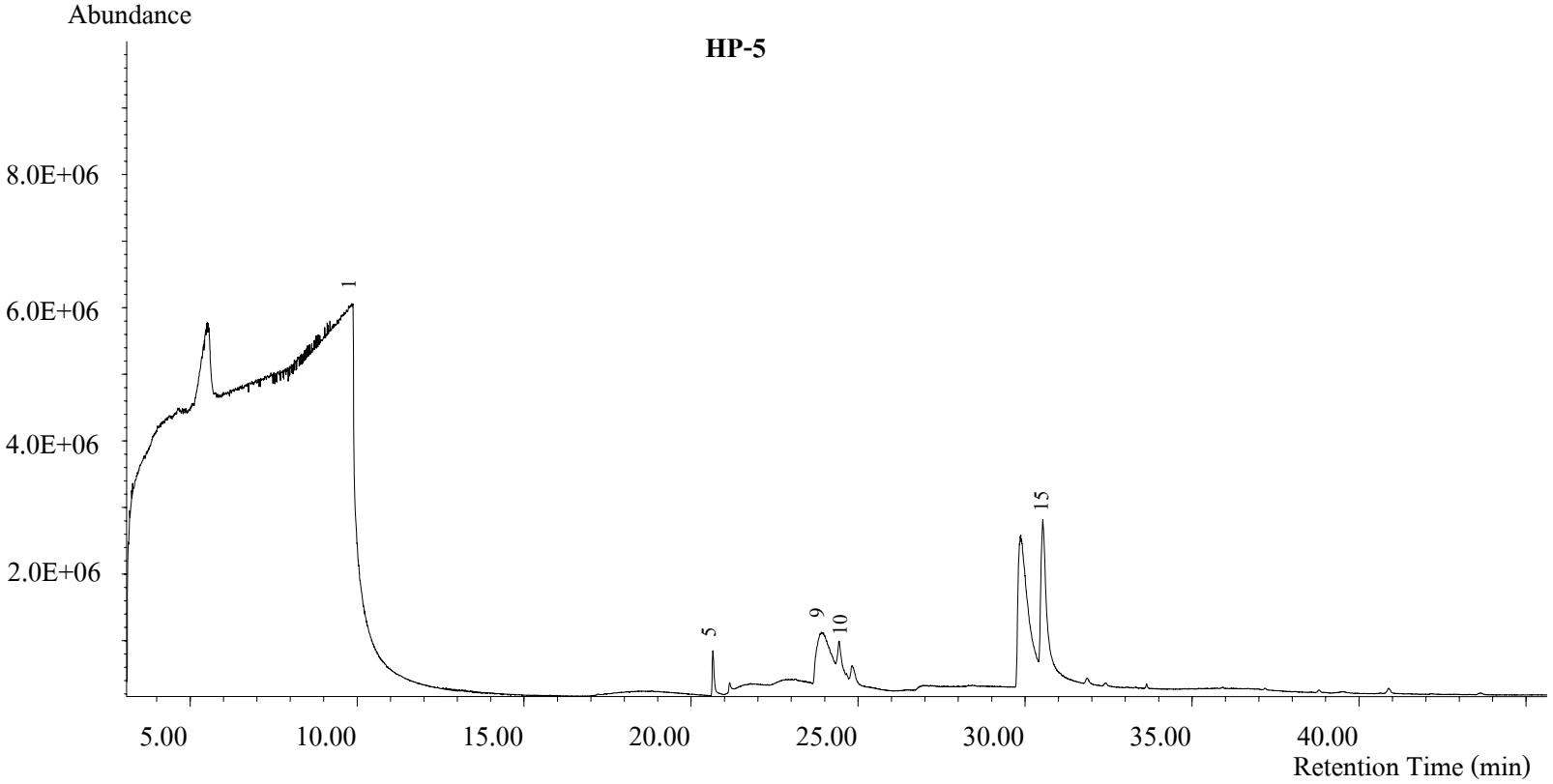
<u>ภาพผนวกที่ ก7</u> โครมาโตแกรมของเผือกที่ผ่านการให้ความร้อน (pH 10) ที่แยกด้วยคอลัมน์ HP-5

หมายเหตุ S_1 คือ 1-hexanol และ S_2 คือ 2-methyl-3-heptanone

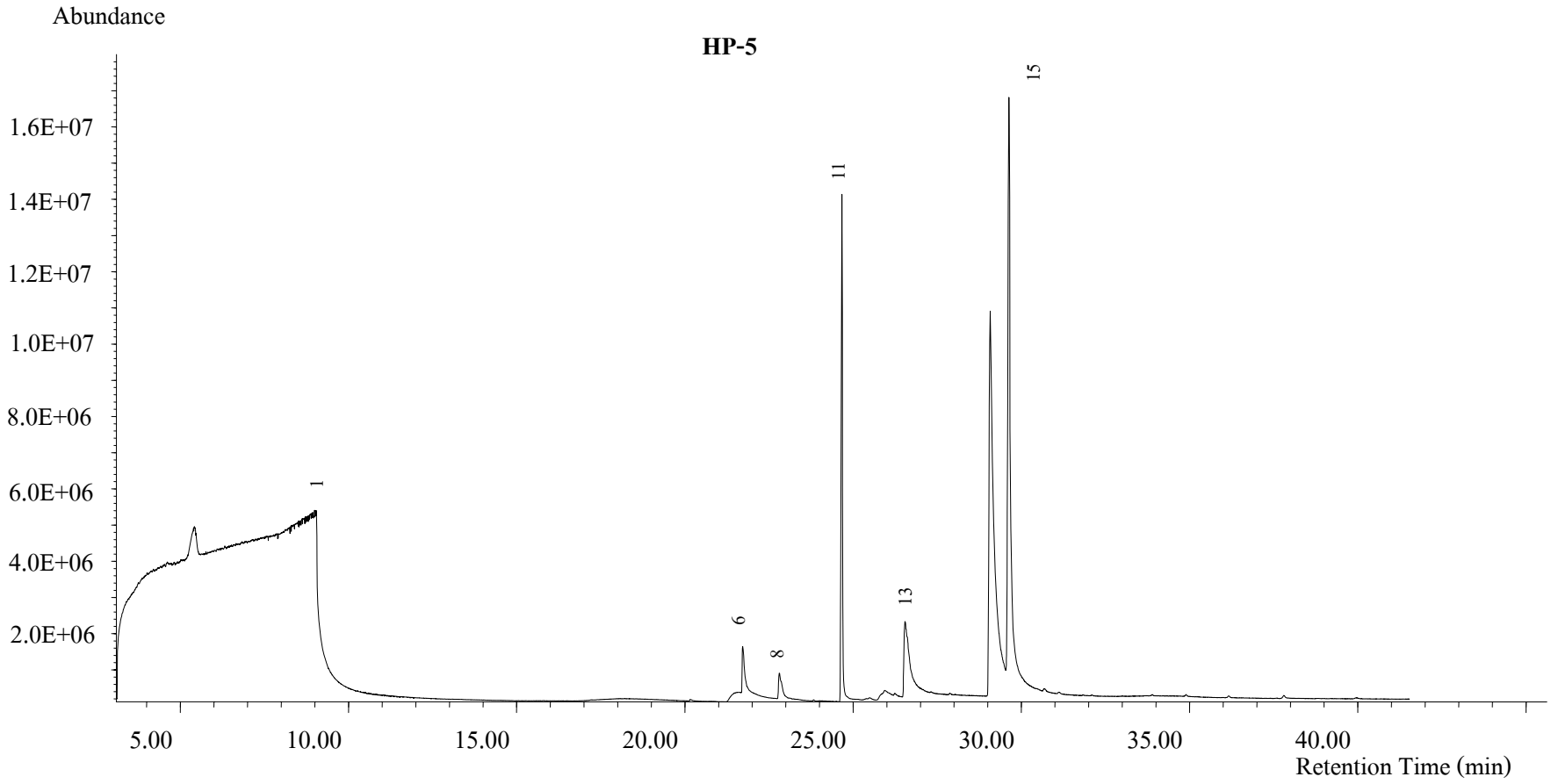


ภาพผนวกที่ ก8 โครมาโตแกรมของเผือกที่ผ่านการให้ความร้อน (pH 10) ที่แยกด้วยคอลัมน์ FFAP

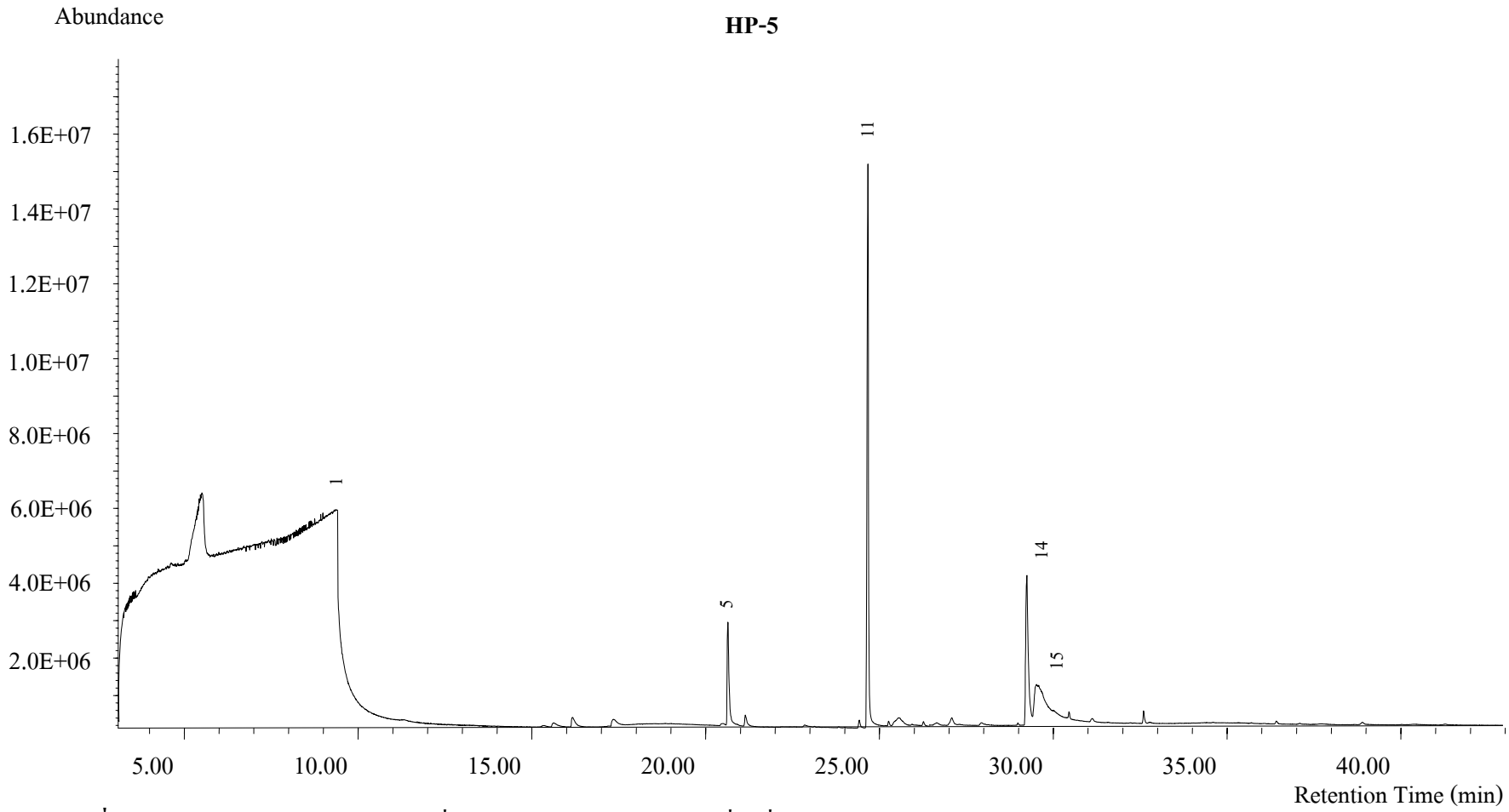
หมายเหตุ S_1 คือ 1-hexanol และ S_2 คือ 2-methyl-3-heptanone



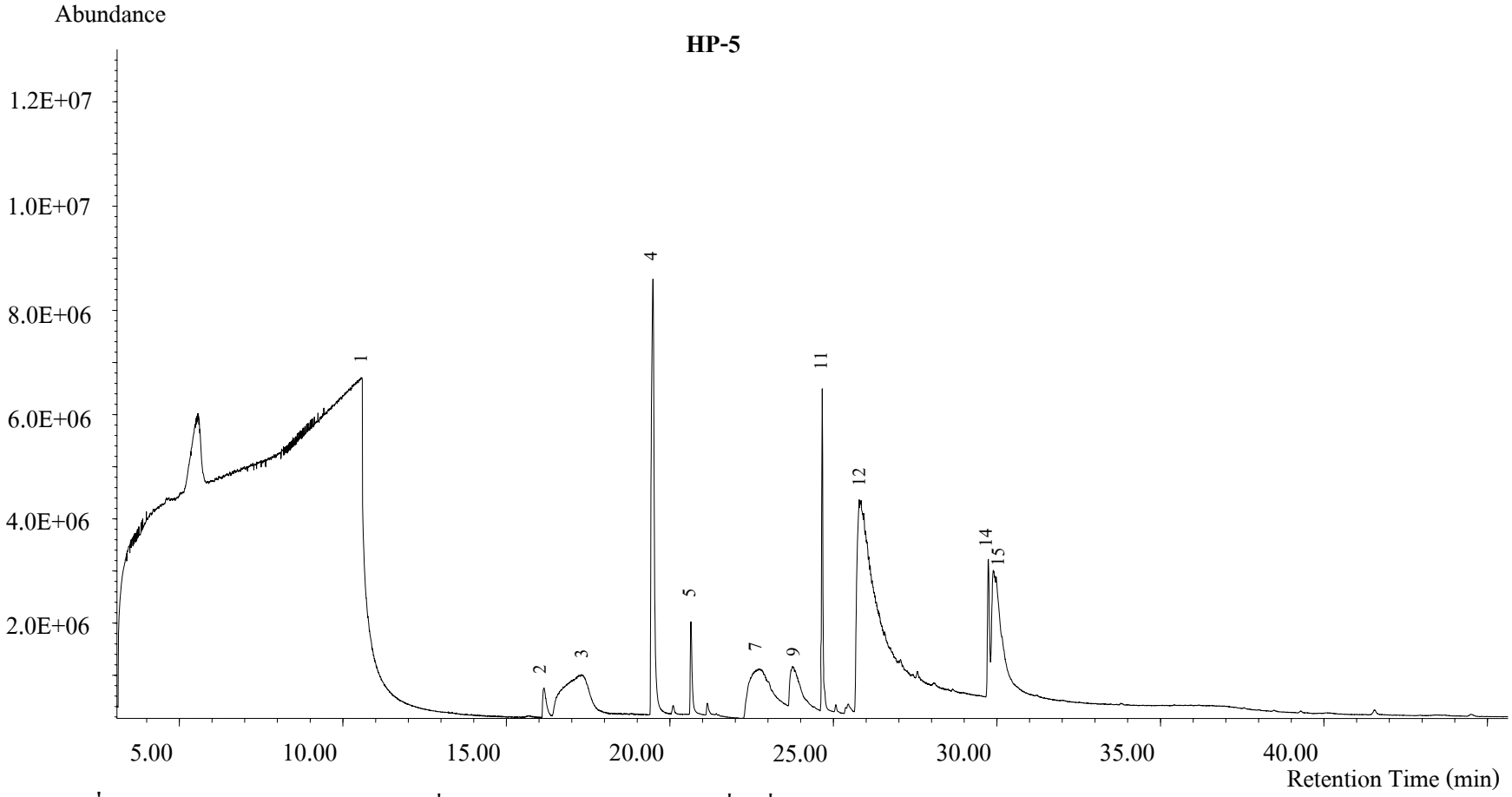
<u>ภาพผนวกที่ ก9</u> โครมาโตแกรมของสารให้กลิ่นเผือกจากบริษัท A ตัวอย่างที่ 1 ที่แยกด้วยคอลัมน์ HP-5



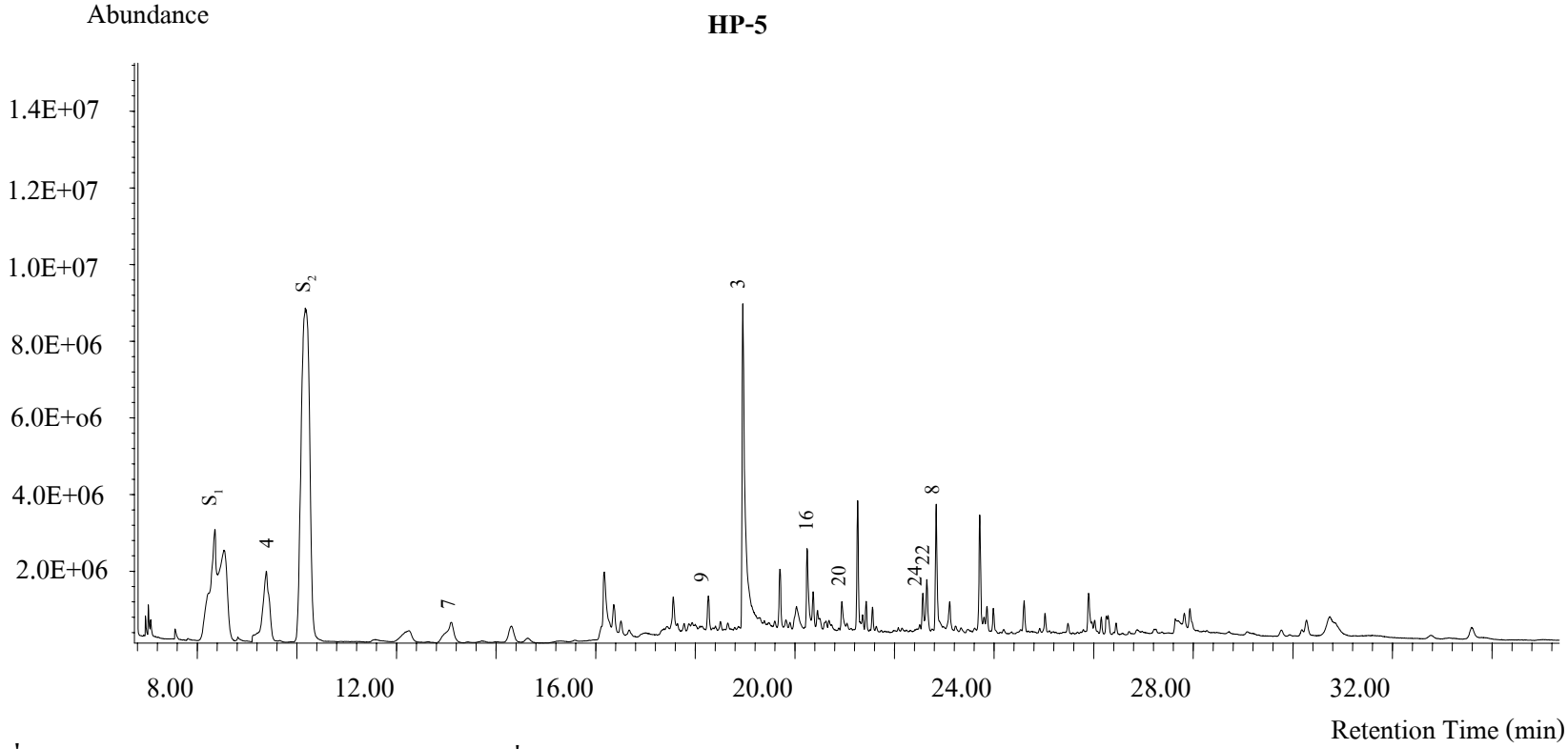
ภาพผนวกที่ ก10 โครมาโตแกรมของสารให้กลิ่นเผือกจากบริษัท A ตัวอย่างที่ 2 ที่แยกด้วยคอลัมน์ HP-5



ภาพผนวกที่ ก11 โครมาโตแกรมของสารให้กลิ่นเผือกจากบริษัท B ตัวอย่างที่ 1 ที่แยกด้วยคอลัมน์ HP-5

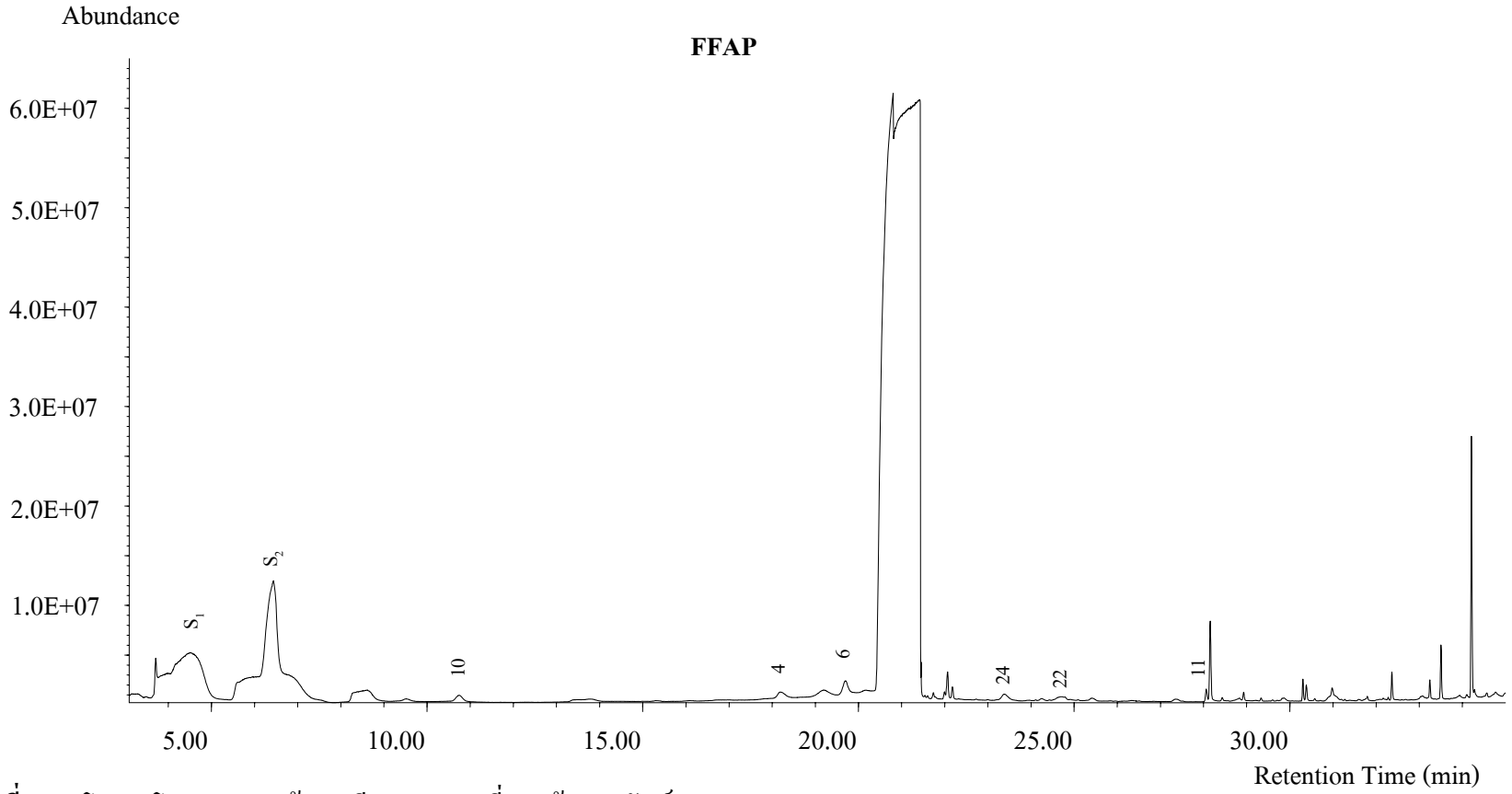


<u>ภาพผนวกที่ ก12</u> โครมาโตแกรมของสารให้กลิ่นเผือกจากบริษัท B ตัวอย่างที่ 2 ที่แยกด้วยคอลัมน์ HP-5



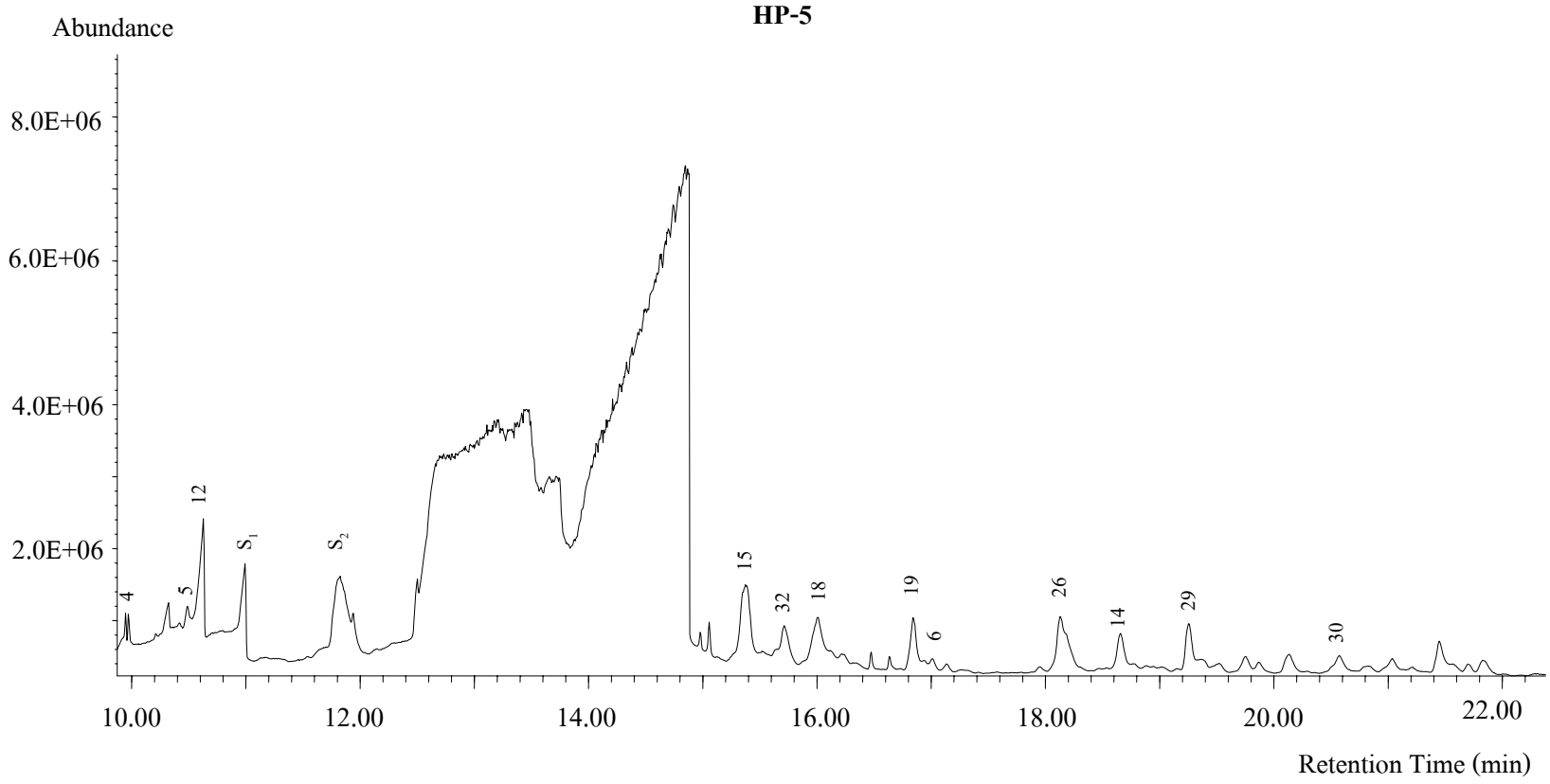
<u>ภาพผนวกที่ ก13</u> โครมาโตแกรมของข้าวเหนียวดำหุงสุกที่แยกด้วยคอลัมน์ HP-5

หมายเหตุ S_1 คือ 2-methyl-3-heptanone และ S_2 คือ *tert*-butylbenzene



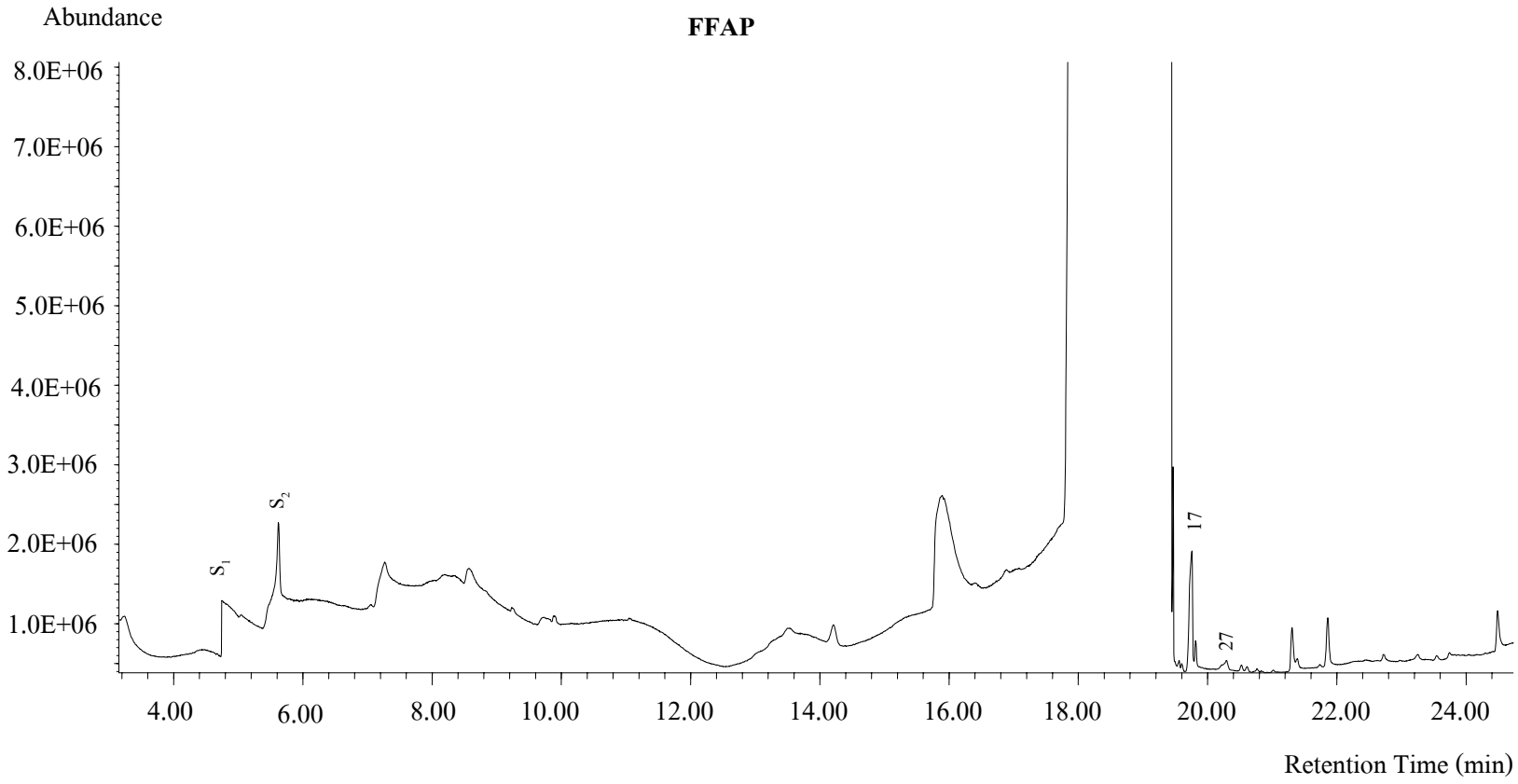
<u>ภาพผนวกที่ ก14</u> โครมาโตแกรมของข้าวเหนียวดำหุงสุกที่แยกด้วยคอลัมน์ FFAP

หมายเหตุ S_1 คือ 2-methyl-3-heptanone และ S_2 คือ *tert*-butylbenzene



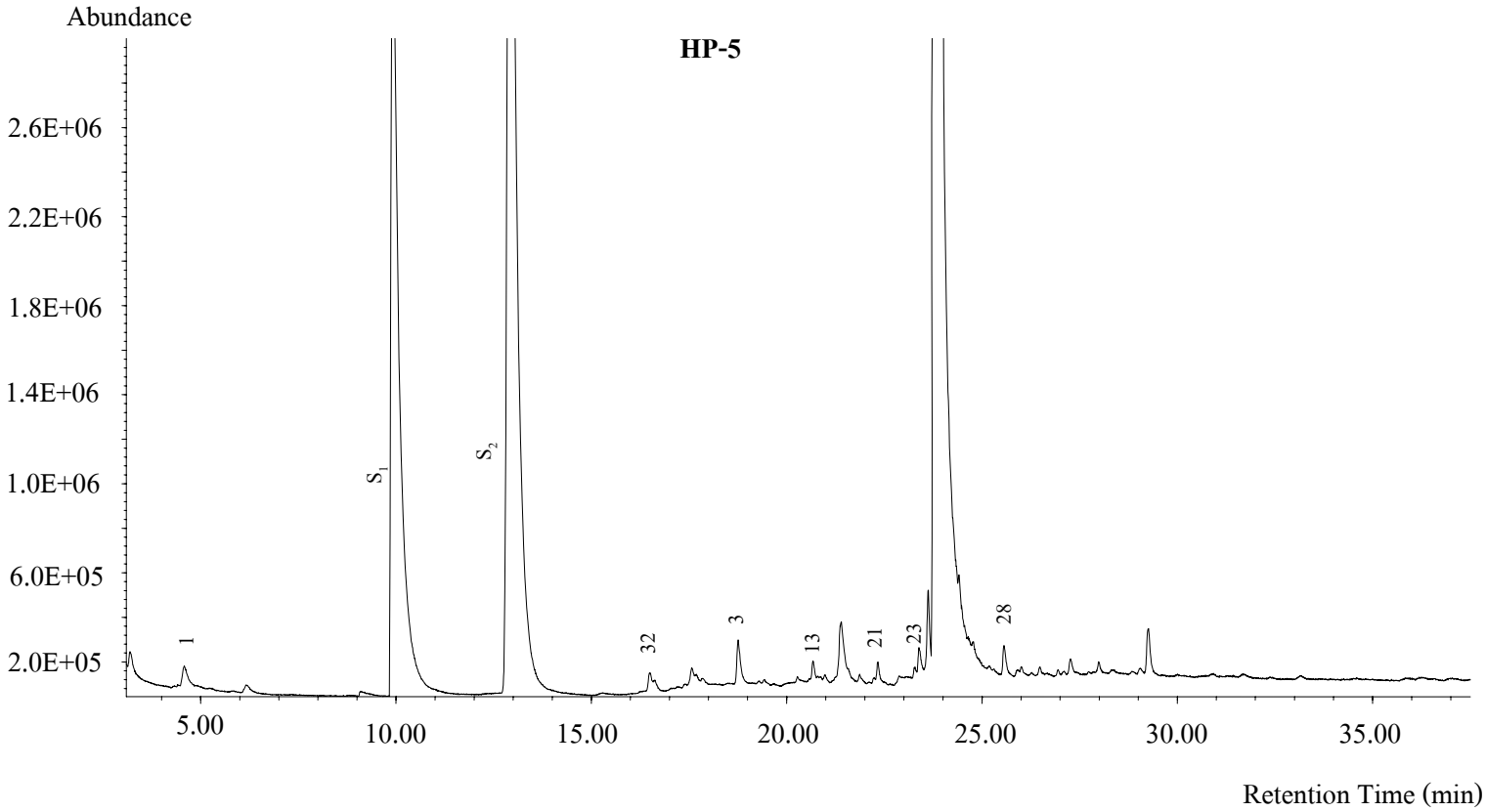
<u>ภาพผนวกที่ ก15</u> โครมาโตแกรมของสารให้กลิ่นข้าวเหนียวพันธุ์เขี้ยวงูหุงสุกที่แยกด้วยคอลัมน์ HP-5

หมายเหตุ S_1 คือ 2-methyl-3-heptanone และ S_2 คือ *tert*-butylbenzene



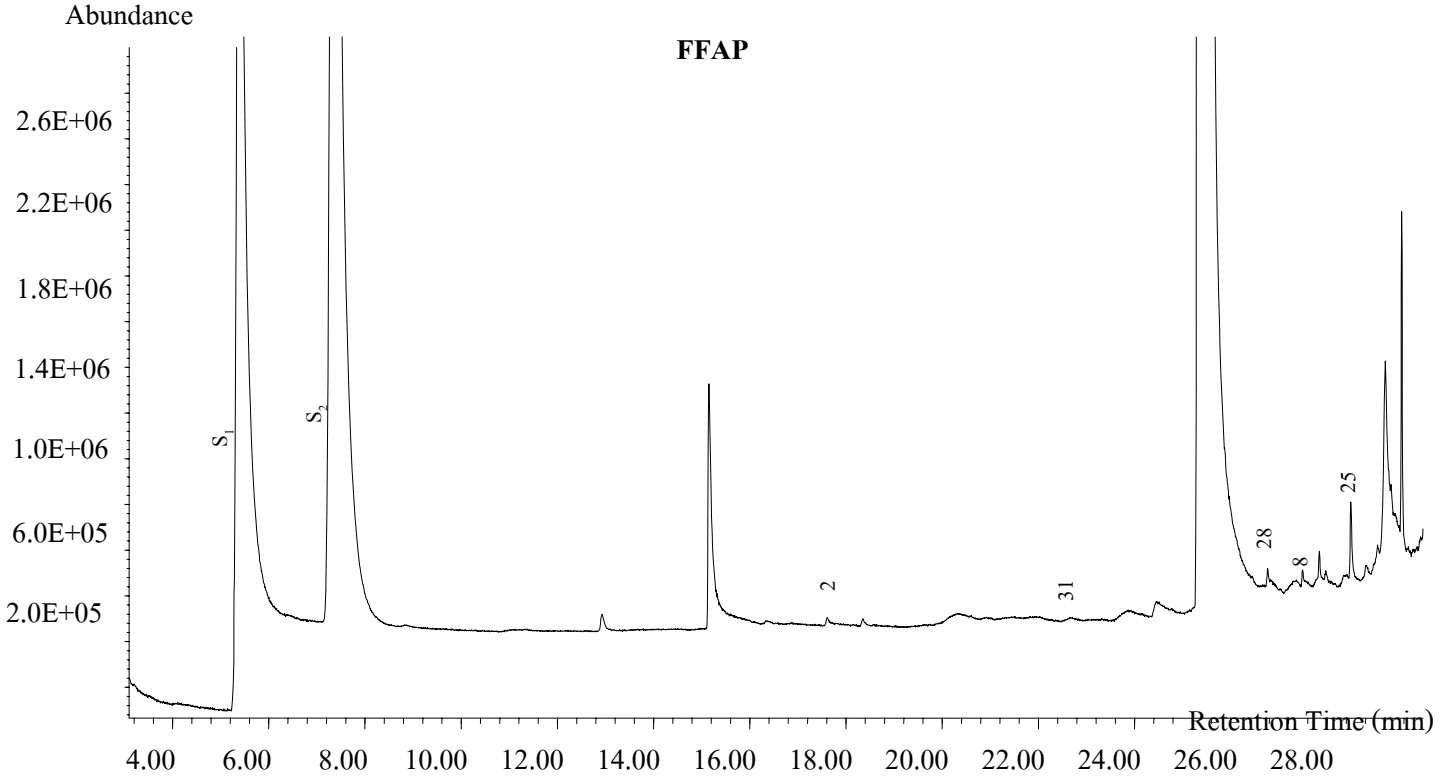
<u>ภาพผนวกที่ ก16</u> โครมาโตแกรมของสารให้กลิ่นข้าวเหนียวพันธุ์เขี้ยวงูหุงสุกที่แยกด้วยคอลัมน์ FFAP

หมายเหตุ S_1 คือ 2-methyl-3-heptanone และ S_2 คือ *tert*-butylbenzene



<u>ภาพผนวกที่ ก17</u> โครมาโตแกรมของสารให้กลิ่นข้าวเสาไห้หุงสุกที่แยกด้วยคอลัมน์ HP-5

หมายเหตุ S_1 คือ 2-methyl-3-heptanone และ S_2 คือ *tert*-butylbenzene



<u>ภาพผนวกที่ ก18</u> โครมาโตแกรมของสารให้กลิ่นข้าวเสาไห้หุงสุกที่แยกด้วยคอลัมน์ FFAP

หมายเหตุ S_1 คือ 2-methyl-3-heptanone และ S_2 คือ *tert*-butylbenzene

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวจิดาภา อาจารยะศิริ
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 21 มกราคม 2526
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	ระดับปริญญาตรี คณะเทคโนโลยีการเกษตร ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนอุดหนุนและส่งเสริมวิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์