ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์การอาหาร | วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

สาขา | **ภาควิชา**

เรื่อง การใช้กากกาแฟคั่วบดเป็นวัสดุให้ควันเพื่อรมควันผลิตภัณฑ์อาหาร: ผลของพันธุ์และอุณหภูมิการผลิตควัน

Utilization of Roasted Coffee Residues as Fuel for Smoking Food Products: Effect of Breed and Smoking Temperature

นามผู้วิจัย นางสาวณัฐกานต์ อึ้งศิริสวัสดิ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(รองศาสตราจารย์วรรณวิบูลย์ กาญจนกุญชร, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วรรณี จิรภาคย์กุล, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วรรณี จิรภาคย์กุล, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การใช้กากกาแฟคั่วบดเป็นวัสดุให้ควันเพื่อรมควันผลิตภัณฑ์อาหาร: ผลของพันธุ์และอุณหภูมิการผลิตควัน

Utilization of Roasted Coffee Residues as Fuel for Smoking Food Products: Effect of Breed and Smoking Temperature

โดย

นางสาวณัฐกานต์ อึ้งศิริสวัสดิ์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร)

พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ณัฐกานต์ อึ้งศิริสวัสดิ์ 2557: การใช้กากกาแฟคั่วบดเป็นวัสดุให้ควันเพื่อรมควันผลิตภัณฑ์อาหาร: ผลของพันธุ์และอุณหภูมิการผลิตควัน ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร) สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์วรรณวิบูลย์ กาญจนกุญชร, Ph.D. 152 หน้า

เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการเพิ่มมูลค่ากากกาแฟสดโดยนำมาใช้เป็นสารรมควันอาหาร งานวิจัยนี้จึงนำกากกาแฟพันธุ์โรบัสต้า และอะราบิก้า ซึ่งปลูกและบริโภคมากในประเทศไทยมาให้ความร้อนทำให้เกิดการเผาไหม้ที่อุณหภูมิ 200, 250 และ 300 องศาเซลเซียส และดักจับควันโดยใช้สารโพไพรลีนไกลคอลได้ควันเหลว พบว่าเมื่ออุณหภูมิการผลิตควันสูงขึ้นควันเหลวมีค่าสีเหลืองเพิ่มขึ้น และค่าความเป็นกรดเบสลดลง ($p<0.05$) เมื่อศึกษาองค์ประกอบของสารให้กลิ่นควันโดยสกัดควันเหลวด้วยเฮกเซนและวิเคราะห์สารระเหยด้วย GC-MS พบว่ามีองค์ประกอบได้แก่ กลุ่มสารประกอบฟีนอล คาร์บอนิล ฟูแรน และพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) สารเหล่านี้มีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิการผลิตควันสูงขึ้น และพันธุ์โรบัสต้าให้องค์ประกอบของสารประกอบฟีนอล คาร์บอนิล และฟูแรนมากกว่าพันธุ์อะราบิก้าซึ่งบ่งบอกว่าควันเหลวที่ได้จากพันธุ์โรบัสต้ามีกลิ่นควันที่เข้มกว่า และให้กลิ่นหอมหวานนุ่มนวลกว่าพันธุ์อะราบิก้า เมื่อนำกากกาแฟสดมารมควันไส้กรอกพบว่า สารระเหยที่สกัดจากไส้กรอกรมควัน ประกอบด้วยกลุ่มของสารแบบเดียวกับที่พบในควันเหลวแต่จะพบในปริมาณสูงกว่า เว้นแต่ PAHs ซึ่งพบต่ำกว่า และ พบ *o*-cresol และ *p*-cresol ซึ่งเป็นสารประกอบในกลุ่มฟีนอลิกที่ให้กลิ่นรสของเนื้อหมักที่รมควัน (smoke-curing)โดยพบเฉพาะในไส้กรอกรมควันเท่านั้น อย่างไรก็ดี PAHs ที่ EPA (The U.S. Environmental Protection Agency) ระบุว่าเป็นสารอันตรายคือ แนฟทาลีนพบในควันเหลว แต่ในไส้กรอกรมควันพบในปริมาณที่ลดลง จากการศึกษาสภาวะที่ให้กลิ่นควันที่เข้มและหอมหวานนุ่มนวลคือการใช้กากกาแฟสดพันธุ์โรบัสต้าที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส แต่การตรวจวัด BaP ซึ่งเป็นดัชนีของสารก่อมะเร็งในกลุ่ม PAHs ยังไม่ครอบคลุมในการศึกษานี้ จึงยังไม่ชัดเจนในเรื่องสุขภาพและความปลอดภัย

_____ _____ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Nattakarn Oungsirisawad 2014: Utilization of Roasted Coffee Residues as Fuel for Smoking Food Products: Effect of Breed and Smoking Temperature. Master of Science (Food Science), Major Field: Food Science, Department of Food Science and Technology. Thesis Advisor: Associate Professor Wunwiboon Garnjanagoonchorn, Ph.D. 152 pages.

This study preliminary evaluate the feasibility to utilize fresh coffee residue to generate smoke during smoking food products. Since two coffee varieties, Robusta and Arabica are grown and consumed in Thailand both fresh coffee residues were used. Smoke was produced by smoldering coffee residues at 200, 250 and 300°C with limited oxygen, and trapped the smoke by propylene glycol to get liquid smoke. It was found that the higher burning temperature increased ($p<0.05$) the yellow color value and decreased ($p<0.05$) the pH of liquid smoke. Liquid smoke was extracted by hexane and analyzed the volatile components by using GC-MS. The results showed that the higher burning temperature increased the content of phenols, carbonyls, furans and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in liquid smoke where Robusta composed of higher content than Arabica. This indicates that Robusta smoke has strong sweet flavor and smoky aroma. Meanwhile, volatile components were also analyzed from smoked sausages using the same smoldering conditions. The same group of volatile components as in liquid smoke were found, with higher in intensity except for PAHs. *o*-cresol and *p*-cresol were two phenolic compounds found only in smoked sausage extract which contribute to smoke-curing flavor. However, naphthalene and fluorine are PAHs listed as toxic compounds by EPA (The U.S. Environmental Protection Agency). In this study they were found in liquid smoke but in smoked sausages the intensity decreased. From the experimented conditions Robusta smoke at 300°C gave strong sweet flavor and smoky aroma but without BaP analysis (an indicator of carcinogenic substances of PAHs) it is uncertain for food safety issue.

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์วรรณวิบูลย์ กาญจนกุญชร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์วรรณี จิรภาคย์กุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม อาจารย์เยาวภา หล่อเจริญผล ประธานการสอบวิทยานิพนธ์ และอาจารย์พนิดา อุนะกุล ผู้ทรงคุณวุฒิในการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ และตลอดจนตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จไปได้ด้วยดี ขอขอบคุณคณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร ที่ประสาทความรู้อันเป็นประโยชน์ และขอบคุณบริษัท โมเดิร์นคอฟฟี่คอร์ปอเรชั่น จำกัด ในการอนุเคราะห์วัตถุดิบกากกาแฟพันธุ์โรบัสต้าและอะราบิก้า เพื่อประกอบการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ อาจารย์เยาวภา หล่อเจริญผล และพี่ห้อง 2313 ทุกคน คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี และให้คำปรึกษาต่างๆที่เป็นประโยชน์ รวมทั้งความช่วยเหลือให้การทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณพี่ ๆ ห้อง 2314 ทุกคน และเพื่อน ๆ สาขาวิทยาศาสตร์การอาหารทุกคน ที่สร้างรอยยิ้มและเสียงหัวเราะ รวมทั้งความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะและกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งเพื่อน ๆ ทุกคนที่ให้ความสนุกสนานเสมอมา

ขอขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัวที่ให้การสนับสนุนในเรื่องการเรียน และเป็นกำลังใจเสมอมา และท้ายสุดนี้ขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งสำหรับกำลังใจที่ทุกคนมอบให้จนทำ ให้วิทยานิพนธ์สำเร็จลงด้วยดี

ณัฐกานต์ อึ้งศิริสวัสดิ์

มิถุนายน 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	39
อุปกรณ์	39
วิธีการ	40
ผลและวิจารณ์	44
สรุปและข้อเสนอแนะ	66
สรุป	66
ข้อเสนอแนะ	67
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	68
ภาคผนวก	76
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี	77
ภาคผนวก ข ชุดอุปกรณ์ในการผลิตควัน	86
ภาคผนวก ค วิธีการคำนวณค่า Retention Index (RI) และความเข้มข้นสัมพันธ์ของสารระเหย	89
ภาคผนวก ง ตารางการวิเคราะห์ทางสถิติ	92
ภาคผนวก จ ตารางแสดงสารระเหยที่พบในควันเหลวและไส้กรองกรมควัน	127
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	152

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ปริมาณผลผลิตความต้องการใช้ และการส่งออกเมล็ดกาแฟไทย	5
2	อิทธิพลของอุณหภูมิต่อการสลายตัวของไม้	11
3	อุณหภูมิของควันไม้กับปริมาณฟีนอล	26
4	Toxic equivalent quantity และความเข้มข้นของ benzo(a)pyrene (ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนัก) สำหรับ 4 เทคนิคในการรมควัน	38
5	องค์ประกอบของกากกาแฟโรบัสต้าและอะราบิก้า	44
6	ค่าความเป็นกรดด่างของกลิ่นควันเหลวจากกากกาแฟสดชนิดโรบัสต้าและอะราบิกาในตัวทำละลายโพรไพลีนไกลคอลที่อุณหภูมิการผลิต 200, 250 และ 300 องศาเซลเซียส	47
7	ค่าสีของกลิ่นควันเหลวจากกากกาแฟพันธุ์โรบัสต้าและอะราบิก้าในตัวทำละลายโพไพรลีนไกลคอลที่อุณหภูมิการผลิต 200, 250 และ 300 องศาเซลเซียส	48
8	สารระเหยที่สำคัญในควันเหลวจากกากกาแฟพันธุ์โรบัสต้าและอะราบิก้าที่อุณหภูมิการเผาไหม้ 200, 250 และ 300 องศาเซลเซียส	53
9	สารระเหยที่สำคัญในไส้กรองกรมควันจากกากกาแฟพันธุ์โรบัสต้าและอะราบิก้าที่อุณหภูมิการเผาไหม้ 200, 250 และ 300 องศาเซลเซียส	61

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่ **หน้า**

ง1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความเป็นกรดเบสของควันเหลว จากกากกาแฟพันธุ์โรบัสต้าและอะราบิก้าที่อุณหภูมิการผลิตควันต่างกัน 93

ง2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีควันเหลวจากกากกาแฟพันธุ์โรบัสต้า และอะราบิก้าที่อุณหภูมิการผลิตควันต่างกัน 93

ง3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารระเหยกลุ่มต่างๆ โดยรวมของ ควันเหลวจากกากกาแฟพันธุ์โรบัสต้าและอะราบิก้าที่อุณหภูมิการผลิตควันต่างกัน 95

ง4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารระเหยกลุ่มต่างๆ โดยรวมของไส้ กรอกรมควันจากกากกาแฟพันธุ์โรบัสต้าและอะราบิก้าที่อุณหภูมิการผลิตควันต่างกัน 97

ง5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบฟีนอลของควันเหลว จากกากกาแฟพันธุ์โรบัสต้าและอะราบิก้าที่อุณหภูมิการผลิตควันต่างกัน 99

ง6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบฟูแรนของควันเหลว จากกากกาแฟพันธุ์โรบัสต้าและอะราบิก้าที่อุณหภูมิการผลิตควันต่างกัน 101

ง7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบแอลดีไฮด์ของควัน เหลวจากกากกาแฟพันธุ์โรบัสต้าและอะราบิก้าที่อุณหภูมิการผลิตควันต่างกัน 103

ง8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบคีโตนของควันเหลว จากกากกาแฟพันธุ์โรบัสต้าและอะราบิก้าที่อุณหภูมิการผลิตควันต่างกัน 105

ง9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอนของควันเหลวจากกากกาแฟพันธุ์โรบัสต้าและอะราบิก้าที่อุณหภูมิ การผลิตควันต่างกัน 107

ง10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบฟีนอลของไส้กรอกรม ควันจากกากกาแฟพันธุ์โรบัสต้าและอะราบิก้าที่อุณหภูมิการผลิตควันต่างกัน 110

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่ **หน้า**

ง11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบฟูแรนของไส้กรอกรมควันจากกากกาแฟพันธุ์โรบัสต้าและอะราบิก้าที่อุณหภูมิการผลิตควันต่างกัน 114
ง12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบแอลดีไฮด์ของไส้กรอกรมควันจากกากกาแฟพันธุ์โรบัสต้าและอะราบิก้าที่อุณหภูมิการผลิตควันต่างกัน 118
ง13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบคีโตนของไส้กรอกรมควันจากกากกาแฟพันธุ์โรบัสต้าและอะราบิก้าที่อุณหภูมิการผลิตควันต่างกัน 121
ง14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโรคาร์บอนของไส้กรอกรมควันจากกากกาแฟพันธุ์โรบัสต้าและอะราบิก้าที่อุณหภูมิการผลิตควันต่างกัน 124
จ1 สารระเหยในควันเหลวจากกากกาแฟพันธุ์โรบัสต้าและอะราบิก้าที่อุณหภูมิการเผาไหม้ 200,250 และ 300 องศาเซลเซียส 128
จ2 สารระเหยของไส้กรอกรมควันจากกากกาแฟพันธุ์โรบัสต้าและอะราบิก้าที่อุณหภูมิการเผาไหม้ 200,250 และ 300 องศาเซลเซียส 141

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	โครงสร้างของเซลลูโลส 1 สาย	12
2	น้ำตาลที่ขาดน้ำ (anhydro sugars) ที่ได้จากการไพโรไลซิสของเซลลูโลส	13
3	โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส (-Xylose-β(1,4)-Mannose-β(1,4)-Glucose-alpha(1,3)-Galactose)	14
4	สารประกอบที่ได้จากการสลายตัวด้วยความร้อนของเฮมิเซลลูโลส	15
5	โครงสร้างของลิกนิน	16
6	การสลายตัวของลิกนิน	17
7	สารประกอบฟีนอลิกที่พบในควันเหลว	27
8	สารให้กลิ่นฟูแรน	29
9	สารให้กลิ่นคาร์บอนิล	30
10	ค่าสีมาตรฐานของ Gardner	35
11	ปริมาณสารระเหยในควันเหลวจากกากกาแฟสดพันธุ์โรบัสต้าที่อุณหภูมิการเผาไหม้ต่างๆ	49
12	ปริมาณสารระเหยในควันเหลวจากกากกาแฟสดพันธุ์อะราบิก้าที่อุณหภูมิการเผาไหม้ต่างๆ	50
13	ปริมาณสารระเหยในไส้กรอกรมควันจากกากกาแฟสดพันธุ์โรบัสต้าที่อุณหภูมิการเผาไหม้ต่างๆ	57
14	ปริมาณสารระเหยในไส้กรอรมควันจากกากกาแฟสดพันธุ์อะราบิก้าที่อุณหภูมิการเผาไหม้ต่างๆ	58

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่ **หน้า**

ข1 อุปกรณ์ผลิตควันเหลว 87

ข2 ไดอะแกรมของการผลิตควันในการรมควันไส้กรอก 88

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การใช้กากกาแฟคั่วบดเป็นวัสดุให้ควันเพื่อรมควันผลิตภัณฑ์อาหาร : ผลของพันธุ์และอุณหภูมิการผลิตควัน

Utilization of Roasted Coffee Residues as Fuel for Smoking Food Products: Effect of Breed and Smoking Temperature

คำนำ

คนไทยนิยมบริโภคกาแฟเพิ่มขึ้นเป็นลำดับ ปัจจุบันร้านที่ให้บริการกาแฟสดเพิ่มขึ้นจากเดิมมากทั้งในกรุงเทพมหานคร และต่างจังหวัด พันธุ์กาแฟที่นิยมปลูกกันมากในประเทศไทยมี 2 สายพันธุ์ คือกาแฟอะราบิก้า และกาแฟโรบัสต้า (พิทักษ์, 2536) เมล็ดกาแฟในประเทศนำมาใช้ประโยชน์ 2 ลักษณะ คือทำผลิตภัณฑ์กาแฟคั่วบด และการแปรรูปเป็นสินค้าสำเร็จรูป (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2555) ส่วนกากกาแฟที่เหลือจากการชง มีการนำมาใช้ประโยชน์ เช่น ผสมเป็นปุ๋ยหมัก กำจัดกลิ่นไม่พึงประสงค์ และมีการนำมาใช้ในการขัดผิวอีกด้วย จากการที่กากกาแฟมีส่วนประกอบของคาร์โบไฮเดรต และไฟเบอร์สูงจึงทำให้ผู้วิจัยเกิดแนวความคิดใช้กากกาแฟในการผลิตควันเพื่อใช้รมควันอาหาร โดยวัสดุให้ควันในปัจจุบันมีปริมาณจำกัด การรมควันผลิตภัณฑ์อาหารยังคงเป็นที่นิยมของผู้บริโภคเนื่องจากมีกลิ่นรสเฉพาะตัว และมีประโยชน์ในการช่วยชะลอการเสื่อมเสียของอาหาร (Guillen and Ibargoitia, 1998) ผู้แปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารที่นำผลิตภัณฑ์มารมควันโดยตรงมักจะเกิดปัญหาในการควบคุมคุณภาพ และมีการปนเปื้อนของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (polycyclic aromatic hydrocarbons; PAHs) (Gomaa *et al.*, 1993) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง มีการรายงานว่าสภาวะการผลิตควัน และชนิดของวัสดุให้ควันจะมีผลต่อการเกิดสี ค่าความเป็นกรดเบส (pH) องค์ประกอบของสารให้กลิ่นในควัน รวมทั้งปริมาณสาร PAHs ที่ปนเปื้อนในอาหารที่ผ่านการรมควันด้วย (Gonulalan *et al.,* 2004)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ดังนั้นการนำกากกาแฟที่เป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาทดลองในการผลิตควันสำหรับรมควันอาหาร เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับกากกาแฟ จึงจำเป็นต้องศึกษาสภาวะในการผลิตควัน ได้แก่ อุณหภูมิ และองค์ประกอบของสารระเหย รวมถึงสารที่เป็นอันตรายในควัน เพื่อคุณภาพและความปลอดภัย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของกากกาแฟสดคั่วบด

2. ศึกษาผลของอุณหภูมิในการเผาไหม้ต่อองค์ประกอบของสารระเหยในควันที่ได้จากกากกาแฟสดคั่วบด อะราบิก้า (*Coffea arabica*) และ โรบัสต้า (*Coffea canephora var. robusta*)

3. ศึกษาองค์ประกอบของสารระเหยในไส้กรองกรมควันจากสภาวะการผลิตควันในข้อ 2

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตรวจเอกสาร

1. กาแฟ

ประเทศไทยปลูกกาแฟ 2 สายพันธุ์ (species) คือกาแฟอะราบิก้า (*Coffea arabica*) และกาแฟโรบัสต้า (*Coffea canephora var. robusta*) (พิทักษ์, 2536)

1.1 กาแฟอะราบิก้า (*Coffea arabica*) เจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิในช่วง 15-24 องศาเซลเซียส ปลูกบนที่สูงในภาคเหนือผลผลิตเพียงเพื่อการบริโภคภายในประเทศ เป็นกาแฟคุณภาพดี ให้ทั้งรสชาติและกลิ่นที่หอมนุ่มนวล มีอัตราส่วนของคาเฟอีนต่ำ และราคาต่อกิโลกรัมสูงกว่าโรบัสต้า

1.2 กาแฟโรบัสต้า (*Coffea canephora var. robusta*) เจริญเติบโตได้ดีที่สภาวะอากาศในเขตอบอุ่น ซึ่งมีอุณหภูมิในช่วง 24-30 องศาเซลเซียส ปลูกมากทางภาคใต้ของประเทศ กาแฟโรบัสต้ามีคุณภาพต่ำกว่ากาแฟอะราบิก้าทั้งกลิ่นและรสชาติแต่มีเนื้อกาแฟ และอัตราส่วนคาเฟอีนสูงกว่า

ปริมาณความต้องการเมล็ดกาแฟของโรงงานแปรรูปของประเทศไทยระหว่างปี 2550 ถึง 2554 มีปริมาณเพิ่มขึ้นจาก 52,000 ตันเป็น 61,480 ตัน คิดเป็นอัตราการขยายตัวเฉลี่ยร้อยละ 4.3 ต่อปี (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2555) โดยมีการแสดงปริมาณความต้องการใช้ในตารางที่ 1

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 1 แสดงปริมาณผลผลิต ความต้องการใช้ และการส่งออกเมล็ดกาแฟไทย

ปริมาณ (ตัน)	ปี				
	2550	2551	2552	2553	2554
ผลผลิต	55,660	50,442	56,315	48,955	42,394
ความต้องการใช้	52,000	53,479	53,803	58,000	61,480
ส่งออก	11,138	1,539	234	320	720
นำเข้า	374	14,542	6,214	14,268	34,374

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2555)

เมล็ดกาแฟที่ผลิตได้ในประเทศนำมาใช้ประโยชน์ 2 ลักษณะ คือ การแปรรูปเบื้องต้น ได้แก่ ผลิตภัณฑ์กาแฟคั่วบด และการแปรรูปเป็นสินค้าสำเร็จรูป ได้แก่ กาแฟผงสำเร็จรูป และเครื่องดื่มที่มีกาแฟเป็นส่วนผสมหลัก (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2555) ซึ่งหลังจากการแปรรูปจะทำให้มีเศษเหลือจากการชงกาแฟ หรือกากกาแฟ เมื่อปริมาณความต้องการใช้เมล็ดกาแฟในการแปรรูปเพิ่มขึ้นส่งผลให้มีปริมาณกากกาแฟเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งกากกาแฟมีการนำมาใช้ประโยชน์ เช่น

1) ผสมเป็นปุ๋ยหมัก
2) กำจัดกลิ่นไม่พึงประสงค์
3) นำมาใช้ในการขัดตัว

2. กระบวนการแปรรูปเมล็ดกาแฟ

กระบวนการแปรรูปเมล็ดกาแฟ (green coffee) เริ่มจากขั้นตอนการเก็บผลกาแฟสุก ซึ่งผลกาแฟสุกเรียกว่า berries หรือ cherries หลังจากการเก็บเกี่ยวแล้วจะเอาเมล็ดออกจากเปลือกที่หุ้มเมล็ดซึ่งทำได้ 2 แบบคือ กระบวนการแบบแห้ง (dry process) และกระบวนการแบบเปียก (wet

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

process) สำหรับกระบวนการแบบแห้งสามารถทำได้โดยการนำกาแฟมาตากแห้ง หรืออาจใช้ตู้อบลมร้อน

ส่วนกระบวนการแบบเปียกจะมีความซับซ้อนมากกว่ากระบวนการแบบแห้ง แต่จะให้กาแฟที่มีคุณภาพที่ดีกว่า เริ่มจากการคัดผลกาแฟให้มีความสุกสม่ำเสมอ การคัดจะอาศัยความแตกต่างของความหนาแน่นของผลกาแฟสุกและผลกาแฟดิบ โดยผลกาแฟดิบจะมีความหนาแน่นน้อยกว่าทำให้เกิดการลอยน้ำ ดังนั้นจะคัดผลกาแฟที่ลอยน้ำแยกออก นำผลกาแฟสุกเข้าเครื่องตีปนผสมกับน้ำแล้วทำการหมักใช้เวลาในการหมักประมาณ 24 ชั่วโมง การหมักบางครั้งจะใช้น้ำหรือไม่ใช้น้ำก็ได้ บางครั้งการหมักอาจมีการเติมเอนไซม์ หลังจาก 6-40 ชั่วโมงของการหมักเพื่อให้มีความเป็นกรดเพิ่มขึ้น (หรือมี pH สุดท้ายประมาณ 4.5) หาก pH ต่ำกว่านี้อาจจะมีการซึมของกรดเข้าไปในเมล็ดกาแฟทำให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่ดีของกาแฟ จากนั้นนำไปทำแห้งโดยการตากแดดหรือตู้อบลมร้อน เมื่อได้เมล็ดกาแฟจากกระบวนการแบบแห้งและกระบวนการแบบเปียกแล้วจะนำเมล็ดกาแฟจากทั้ง 2 กระบวนการไปขัดเอาเปลือกออกและเนื้อหุ้มที่เหลืออยู่จากการหมักออกไปให้หมด จากนั้นนำไปคัดสิ่งที่ปนเปื้อนออก คัดขนาด จะได้เมล็ดกาแฟดิบที่เรียกว่า green coffee ซึ่งยังไม่มีกลิ่นกาแฟจนกว่าจะได้รับความร้อน (Clarke, 1985 ; Macrea *et al.,* 1993)

การให้ความร้อนจะทำให้เมล็ดกาแฟดิบมีการเปลี่ยนแปลงกลายเป็นเมล็ดกาแฟที่มีกลิ่นหอมซึ่งทำได้โดยการคั่วหรืออบกาแฟ มักทำที่ความดันปกติ โดยใช้อากาศร้อนเป็นการนำความร้อน 50% และการพาความร้อนอีก 50% เครื่องมือที่นิยมใช้คือ fluidize bed และ rotating cylinder ซึ่งอุณหภูมิที่นิยมใช้อยู่ในช่วง 200-250 องศาเซลเซียส ในช่วงแรกอาจใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่านี้ก่อนเพื่อให้น้ำระเหยไป เวลาในการอบจะใช้ 5-30 นาที ในช่วงการอบจะเกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ตกค้างอยู่ในเมล็ดและมีบางส่วนปลดปล่อยออกสู่ภายนอกเมล็ด ในระหว่างการคั่วจะดูที่สีของเมล็ดกาแฟหรือน้ำหนักที่หายไประหว่างการอบเรียกว่า degree of roasting แบ่งเป็น light roast น้ำหนักเมล็ดหายไป 3-5% medium roast น้ำหนักหายไป 5-8% และ dark roast น้ำหนักเมล็ดหายไป 8-14% (Macrea *et al.,* 1993)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. องค์ประกอบของเมล็ดกาแฟดิบ

เมล็ดกาแฟดิบจะไม่มีกลิ่นของกาแฟหรือมีกลิ่นเหม็นเขียว ซึ่งองค์ประกอบต่างๆในกาแฟดิบมีความสำคัญต่อการเกิดสารให้กลิ่นในกาแฟ องค์ประกอบของเมล็ดกาแฟที่สำคัญมีดังนี้

3.1 กรดคลอโรเจนิก (chlorogenic acids) พบในอะราบิก้า 6-7 % และโรบัสต้า 10 % มีรสขมและเปรี้ยว มีลักษณะคล้าย tannin มีความสำคัญคือสลายตัวเมื่อได้รับความร้อนกลายเป็นฟีนอลและ melanoidins (Belitz and Grosch, 1999)

3.2 คาร์โบไฮเดรต (carbohydrate) ส่วนใหญ่ เช่น เซลลูโลสและโพลีแซคคาไรด์ไม่ละลายน้ำ ระหว่างการให้ความร้อนองค์ประกอบของโพลีแซคคาไรด์จะสลายตัวเป็นองค์ประกอบที่เล็กลงและละลายน้ำได้ คาร์โบไฮเดรตในเมล็ดกาแฟดิบมีประมาณ 50% ของน้ำหนักแห้ง (Trugo, 1984) เป็นแหล่งที่สำคัญที่ให้องค์ประกอบของกลิ่นในกาแฟ โดยกลิ่นกาแฟเกิดจากปฏิกิริยา caramelization ของคาร์โบไฮเดรตพวกที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ และปฏิกิริยาเมลลาร์ดระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์ และกรดแอมิโน (Pokorny *et al.,* 1974) ปฏิกิริยาดังกล่าวทำให้เกิดการสลายตัวเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว เช่น ซูโครสเปลี่ยนเป็นฟรุคโตสและกลูโคส และเกิดสารระเหยที่สำคัญคือฟูแรน นอกจากนั้นคาร์โบไฮเดรตเปลี่ยนโครงสร้างเป็นสารที่ละลายน้ำได้ และเมลานอยดินส์ (Belitz and Grosch, 1999)

3.3 คาเฟอีน (caffeine) จัดอยู่ในกลุ่มของพิวรีน (purine ring) เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในเมล็ดกาแฟดิบ ละลายน้ำได้น้อย ไม่มีกลิ่น และมีรสขม (Clifford, 1985) ทำให้กระตุ้นระบบประสาทส่วนกลาง เพิ่มอัตราการสูบฉีดโลหิตและอัตราการเต้นของหัวใจ เมื่อผ่านความร้อนปริมาณคาเฟอีนจะลดลงเล็กน้อย (Belitz and Grosch, 1999)

3.4 ไตรโกนิลีน (trigonelline) ในเมล็ดกาแฟดิบพบว่ามีปริมาณไตรโกนิลีนประมาณ 0.6-1% โดยปริมาณจะลดลงเมื่อได้รับความร้อนซึ่งจะลดลงเหลือประมาณ 0.25-0.63% ในการคั่วแบบ medium roast (Hughes and Smith, 1946) ซึ่งเกิดการระเหยของไตรโกนิลีนเป็นสารจำพวกไพริดีน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

(pyridines) ไพโรล (pyrroles) และเมทธิลไนโคทิเนท (methyl nicotinate) (Viani and Horman, 1974)

3.5 โปรตีนและกรดแอมิโนอิสระมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมากเมื่อได้รับความร้อน โปรตีนเกิดการเปลี่ยนโครงสร้างเกิดเป็นเมลานอยดินส์ (melanoidins) (Cllifford, 1985) และปริมาณของกรดแอมิโนโดยรวมลดลง 30 % โดยชนิดที่ลดลงมากได้แก่ arginine, aspartic, cystine, histidine, lysine, serine, threonine และ methionine (Belitz and Grosch, 1999) ในเวลาเดียวกัน Ginz and Engelhardt (1999) ได้ศึกษาโปรตีนที่ละลายในน้ำของกาแฟดิบซึ่งพบว่า หลังจากได้รับความร้อนในกระบวนการคั่วจะทำให้เกิดเป็นสารกลุ่มไดคีโตไพเพอราซีน (diketopiperazines) ซึ่งเป็นสารหลักที่ให้ความขม

4. องค์ประกอบของสารให้กลิ่นในกาแฟ

เมล็ดกาแฟดิบจะไม่มีกลิ่นกาแฟในตัวเอง การพัฒนาของกลิ่นกาแฟเกิดขึ้นในระหว่างการคั่ว ให้ความร้อนกับเมล็ดกาแฟดิบที่อุณหภูมิ 180-220 องศาเซลเซียส โดยปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสารให้กลิ่นคือ 1) ปฏิกิริยาเมลลาร์ดซึ่งเกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์ และกรดแอมิโน หรือเปปไทด์ที่มีมวลโมเลกุลต่ำทำให้เกิดการรวมตัวของโมเลกุลไนโตรเจนและซัลเฟอร์เป็น heterocyclic compounds เช่น ไพโรลไทโอฟีน ออกซาโซลและไทอะโซล 2) ปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชั่น ซึ่งเกิดการไพโรลิซิสของโมโน- ได- โอลิโก- และพอลิแซ็กคาร์ไรด์เกิดเป็นสารตัวกลางภายใต้สภาวะที่สูญเสียน้ำทำให้เกิดเป็นสารโมเลกุลซับซ้อนคือสารประกอบคาราเมลที่ละลายน้ำได้ (soluble caramel compounds) การเกิดสารอะโรมาติกในกาแฟจึงเกี่ยวข้องกับปริมาณของกรดแอมิโนอิสระและน้ำตาลรีดิวซ์ โดยพบว่าน้ำตาลกลูโคส ซูโครส และฟรุคโตสสลายตัวไป 99 % ระหว่างการคั่ว (Flament, 2002) นอกจากนั้นได้มีการวิเคราะห์องค์ประกอบที่แสดงสมบัติต้านออกซิเดชันในกากกาแฟที่เหลือจากการชงกาแฟ โดยทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง High-Performance Liquid Chromatography (HPLC) พบสารประกอบฟีนอลิก (คลอโรเจนนิก และคาเฟอิก) และสารประกอบที่ไม่ใช่ฟีนอลิก (คาเฟอีน ไตรโกนิลีน นิโคตินิก และ 5-(hydroxymethyl)-furfuraldehyde) (Yen *et al*., 2005)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการรมควัน

5.1 ประวัติความเป็นมา

การมควันอาหารมีการใช้มาหลายศตวรรษ และหลักสำคัญดั้งเดิมคือการเก็บรักษา เริ่มต้นการรมควันของอาหารอาจเกิดขึ้นเนื่องจากการเก็บรักษาโดยการทำให้อาหารแห้งจากการใช้ไฟ ต่อมามีการพัฒนาเปลี่ยนแปลงกระบวนการและใช้ร่วมกับกระบวนการอื่นๆ เพื่อเพิ่มอายุการรักษา จุดประสงค์ของการรมควันอาหารจึงทำเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะที่มีรสชาติ เนื้อสัมผัส และลักษณะปรากฏที่มีลักษณะเฉพาะตัว และเป็นสารกันเสีย และมีผลต่อการต้านการเกิดออกซิเดชันของไขมัน นอกจากการใช้กระบวนการรมควันแบบดั้งเดิม กลิ่นเฉพาะตัวในการรมควันอาหารสามารถทดแทนโดยใช้ควันเหลว หรือ ใช้ทั้งสองอย่างร่วมกัน ข้อดีหลักๆของการใช้ควันเหลวคือทำให้มีกระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่องได้ (Council of European, 1992)

5.2 คำจำกัดความ

การรมควันอาหารเป็นการผลิตอาหารโดยการใช้กระบวนการรมควันแบบดั้งเดิม หรือการใช้กลิ่นควัน หรือโดยการใช้สองวิธีร่วมกัน ในหลักการ 4 ด้านที่แตกต่างสามารถใช้ในการผลิตอาหารรมควัน

1. การรมควันโดยตรงจากการเผาไหม้ของไม้
2. การรมควันที่ได้ควันจากการระเหยของควัน
3. กลิ่นควันที่ได้จากการเตรียมจากการระเหยของควัน
4. กลิ่นควันที่เตรียมโดยการผสมของสารเคมีที่เป็นสารที่กำหนดไว้ (Chemically - defined substances)

วิธีแรกเป็นกระบวนการรมควันแบบดั้งเดิม และอีก 3 วิธี คือ วิธีที่แตกต่างของการเติมกลิ่นควันหรือ “ควันเหลว” (Council of European, 1992) ปัจจุบันมีการรมควันอาหารด้วยวัสดุ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อื่นนอกจากไม้ เช่น ชานอ้อย และกาบมะพร้าวเป็นต้น แต่เพื่อให้เกิดความเข้าใจในกลไกต่าง ๆที่เกี่ยวข้องกับการรมควันในที่นี้จึงกล่าวถึงการรมควันโดยการเผาไหม้ของไม้

6. องค์ประกอบหลักของไม้

ควันที่ใช้ในการรมควันอาหารได้มาจากการเผาไหม้ของไม้จนเกิดเป็นควัน โดยองค์ประกอบของไม้มีผลต่อการเผาไหม้และองค์ประกอบของควันที่เกิดขึ้น (Maga, 1988)

องค์ประกอบทางเคมีของไม้ประกอบด้วยสารประกอบพอลิเมอร์ ซึ่งสามในสี่ขององค์ประกอบของไม้เป็นคาร์โบไฮเดรตที่เป็นสารประกอบพอลิแซ็กคาไรด์ (Maga, 1988) โดยมีเซลลูโลส (cellulose) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) และลิกนิน (lignin) เป็นองค์ประกอบหลักของไม้ (Lewin and Goldstein, 1991)

องค์ประกอบของไม้จะมีแตกต่างกันไปตามลักษณะของไม้ คือ ไม้เนื้อแข็ง (hardwood) และไม้เนื้ออ่อน (softwood) เมื่อต้นไม้มีอายุมากขึ้นจะมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมี มีการสะสมของสารอินทรีย์ เช่น สารฟีนอลิก น้ำมัน แทนนิน (tannin) และอื่นๆในผนังเซลล์ของเนื้อไม้ส่วนที่อยู่ด้านในทำให้มีสีเข้มขึ้นเรียกว่า เนื้อไม้ที่แข็ง ในขณะเดียวกันเนื้อไม้ส่วนที่อยู่ด้านนอกจะเรียกว่าเนื้อไม้ที่อ่อน และนอกจากนี้ไม้เนื้อแข็งจะประกอบไปด้วยเซลล์ที่ตายแล้วเป็นส่วนใหญ่จึงทำให้มีความชื้นที่ต่ำกว่าไม้เนื้ออ่อน (Maga, 1988) Tsoumis (1991) กล่าวว่า ไม้เนื้ออ่อนและไม้เนื้อแข็งมีเซลลูโลสอยู่ 40-45% แต่มีลิกนินอยู่ 25-35% ในไม้เนื้ออ่อน และ 17-25% ในไม้เนื้อแข็ง และมีเฮมิเซลลูโลสอยู่ 20% ในไม้เนื้ออ่อนและ 15-35% ในไม้เนื้อแข็ง

องค์ประกอบอื่นๆ ของไม้ ได้แก่ น้ำมันระเหย (volatile oil) เทอร์พีน (terpene) และสารอื่นๆที่เกี่ยวข้อง (related compounds) กรดไขมัน สารประกอบไนโตรเจน สารประกอบ ฟีนอลิก (phenolic) สารประกอบเพคติน (pectic substances) และแร่ธาตุต่างๆ เช่น แคลเซียม (calcium) โพแทสเซียม (potassium) และแมกนีเซียม (magnesium) เป็นต้น โดยที่สารดังกล่าวจะพบในปริมาณน้อยและแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดและพันธุ์ของไม้ (Maga, 1988; Tsoumis, 1991)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

7. การเผาไหม้ของไม้

การเผาไหม้ของไม้จะทำให้เกิดควัน ซึ่งควันที่เกิดขึ้นจะแตกต่างกันตามปริมาณของสารที่เกิดขึ้นจากการสลายตัวขององค์ประกอบของไม้ที่สำคัญด้วยความร้อน (Thermal decomposition) องค์ประกอบที่สำคัญของไม้คือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งได้รับอิทธิพลจากปัจจัยหลายชนิด เช่น อุณหภูมิ องค์ประกอบของไม้ ปริมาณออกซิเจน และปริมาณไอน้ำในระหว่างการเผาไหม้ อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุด ซึ่งในแต่ละช่วงอุณหภูมิมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโดยเฉพาะอย่างยิ่งการสลายตัวขององค์ประกอบของไม้ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 อิทธิพลของอุณหภูมิต่อการสลายตัวของไม้

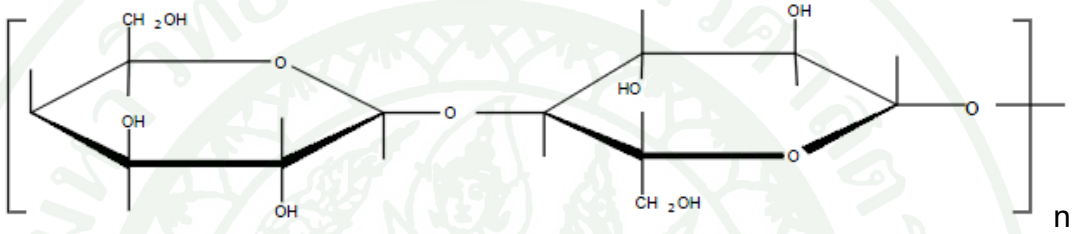
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ปฏิกิริยา
90-170	เกิดกระบวนการทำแห้ง
200-260	เกิดการสลายตัวของเฮมิเซลลูโลส
260-310	เกิดการสลายตัวของเซลลูโลส
310-500	เกิดการสลายตัวของลิกนิน
สูงกว่า 500	เกิดปฏิกิริยาขั้นที่ 2 ประกอบด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชัน, พอลิเมอไรเซชัน, คอนเดนเซชัน และไพโรลิซิส

ที่มา: ดัดแปลงมาจาก Baltes *et al.* (1981)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

7.1 การสลายตัวของเซลลูโลส

เซลลูโลสประกอบด้วยกลูโคสตั้งแต่ 8,000 -10,000 หน่วยเชื่อมต่อเป็นสายยาวด้วยพันธะเบต้า-(1-4)-ไกลโคซิดิค สายของเซลลูโลสเรียงขนานกันโดยมีการเชื่อมต่อระหว่างสาย (Goldstein, 1991) โครงสร้างของสายเซลลูโลส 1 สาย แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 โครงสร้างของเซลลูโลส 1 สาย

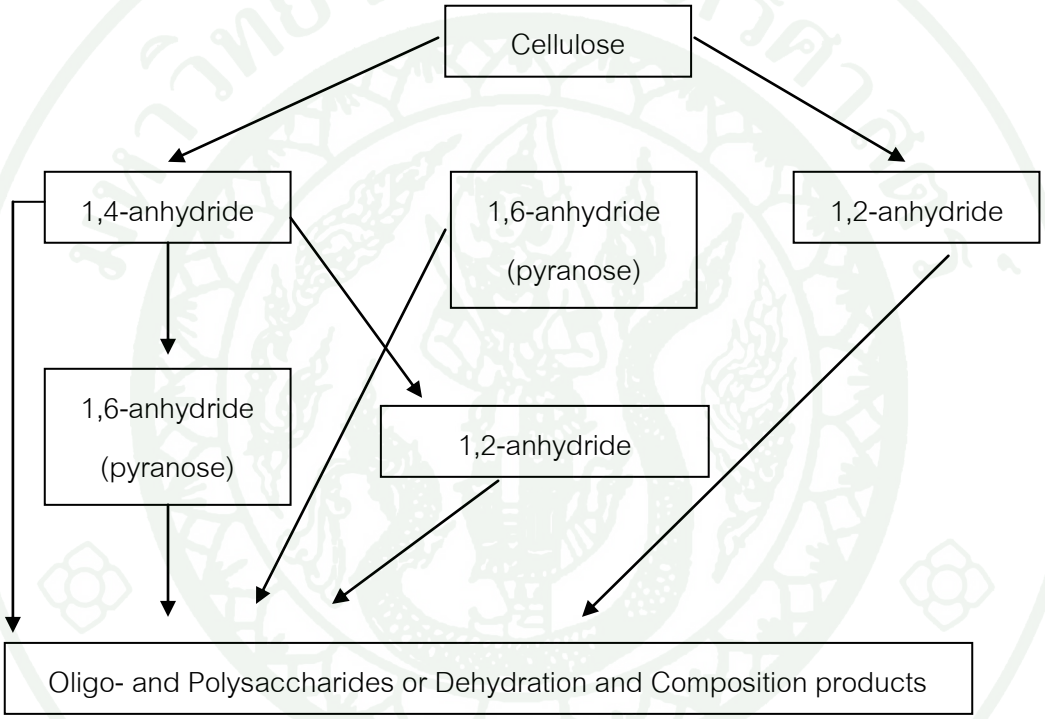
ที่มา: Maga (1988)

เซลลูโลสเป็นองค์ประกอบของไม้ลำดับที่สองที่จะถูกสลายด้วยความร้อน Shafizadeh (1984) กล่าวว่าที่อุณหภูมิต่ำกว่า 300 องศาเซลเซียส จะเกิดการลดระดับโพลีเมอไรเซชัน (degree of polymerization) ของเซลลูโลส ซึ่งเป็นการตัดพันธะ การกำจัดโมเลกุลของน้ำ เกิดสารอนุมูลอิสระ (free radical) คาร์บอนิล (carbonyl) คาร์บอกซิล (carboxyl) ไฮโดรเพอรอกไซด์ (hydroperoxide) คาร์บอนมอนอกไซด์และคาร์บอนไดออกไซด์ รวมทั้งผลิตถ่าน (char) การลดระดับโพลีเมอไรเซชันของเซลลูโลสสามารถเกิดที่อุณหภูมิ 150-190 องศาเซลเซียส ในสภาวะที่มีอากาศหรือไม่มีอากาศก็ได้

การเผาไหม้ของเซลลูโลสที่อุณหภูมิสูงกว่า 300 องศาเซลเซียสทำให้เกิดการสลายตัวของเซลลูโลสด้วยปฏิกิริยาทรานไกลโคซิเลชัน (tranglycosylation fission) และปฏิกิริยาดิสโพรพอร์ชัน (disproportion reaction) ได้สารสีดำของน้ำตาลที่ขาดน้ำ (anhydro sugars) เช่น ลีโวกลูโค

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แซน (levoglucosan) ได้แก่ 1,6-แอนไฮโดร-บีต้า-ดี-กลูโคฟูราโนส (1,6-anhydro-β-D-glucofuranose) และพอลิแซ็กคาไรด์อื่นๆ เป็นต้นดังแสดงในภาพที่ 3 นอกจากนี้ยังเกิดสารระเหยโมเลกุลเล็กๆอีกด้วย และถ้าอุณหภูมิการเผาไหม้สูงขึ้นถึง 500 องศาเซลเซียสจะเกิดทาร์ น้ำตาลรีดิวซิ่ง และ 1,6-แอนไฮโดร-บีต้า-ดี-กลูโคฟูราโนส มากขึ้นในขณะที่มีปริมาณของถ่านลดลง ปฏิกิริยานี้เกิดที่สภาวะไม่มีอากาศ (Maga, 1988)



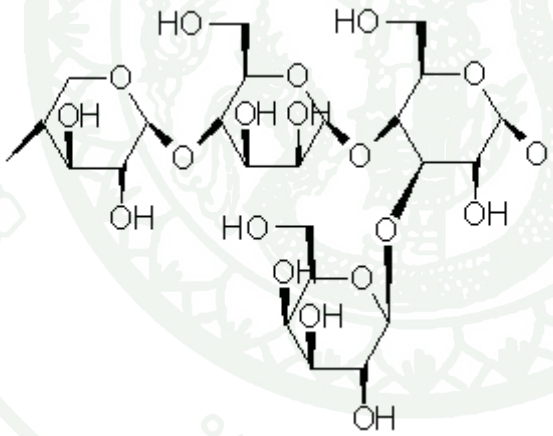
ภาพที่ 2 น้ำตาลที่ขาดน้ำ (anhydro sugars) ที่ได้จากการไพโรลิซิสของเซลลูโลส

ที่มา: ดัดแปลงจาก Shafizadeh (1984)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

7.2 เฮมิเซลลูโลส

เฮมิเซลลูโลสต่างจากเซลลูโลสคือมีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่าและหน่วยของน้ำตาลต่างกัน (Maga, 1988) น้ำตาลที่พบในเฮมิเซลลูโลสได้แก่ กลูโคส แมนโนส(mannose) กาแล็คโทส (galactose) ไซโลส (xylose) อะราบิโนส (arabinose) เป็นต้น (Goldstein, 1991) แสดงได้ดังภาพที่ 3 ในไม้เนื้ออ่อนจะมีน้ำตาลแมนโนส อยู่มากที่สุดและมีน้ำตาลไซโลสอยู่บ้าง ในขณะที่ไม้เนื้อแก่มีน้ำตาลไซโลสอยู่มากที่สุดและมีน้ำตาลแมนโนสอยู่น้อย (Tsoumis, 1991)โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลสอาจประกอบด้วยน้ำตาลชนิดเดียวหรือสองหรือมากกว่าเป็นสายหลักบางครั้งอาจมีแขนง เช่น 4-ออโท-เมทิลกลูโคโรนิคแอซิด เป็นต้น (Maga, 1988) เฮมิเซลลูโลสไม่ละลายในน้ำแต่สามารถละลายได้ในด่าง 17.5% โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ซึ่งต่างจากเซลลูโลสที่ไม่ละลายทั้งในน้ำและเบส (Tsoumis, 1991)



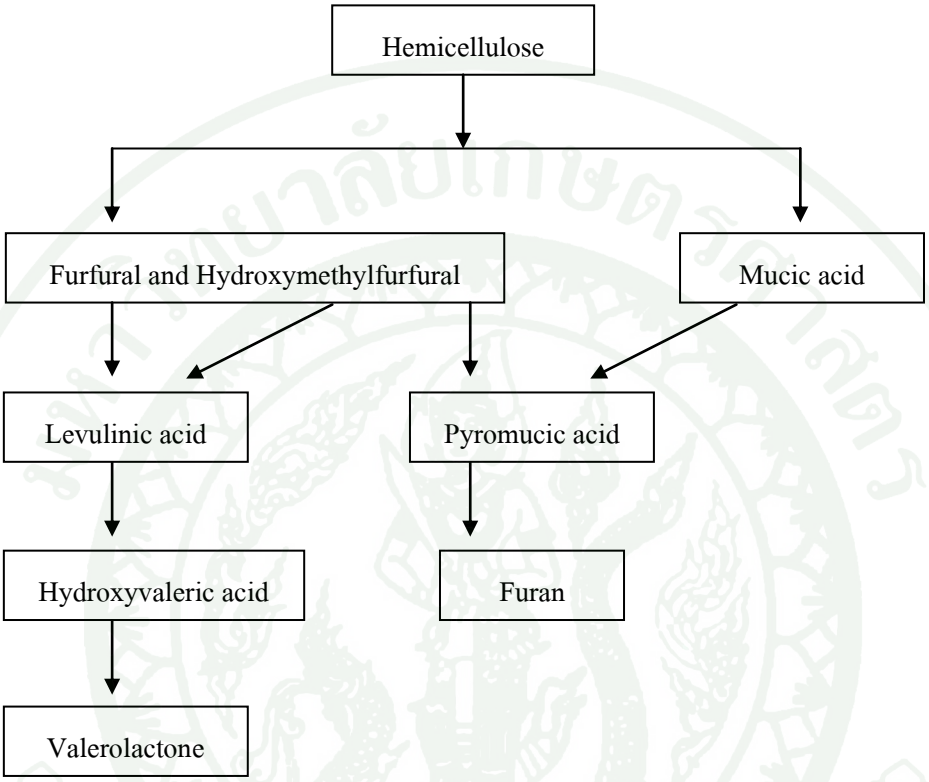
ภาพที่ 3 โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส (-Xylose-β(1,4)-Mannose- β(1,4)-Glucose-alpha(1,3)-Galactose)

ที่มา: Maga (1988)

เฮมิเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบแรกที่สลายตัวด้วยความร้อนโดยเกิดที่อุณหภูมิต่ำกว่า 260 องศาเซลเซียส ซึ่งจะได้สารประกอบฟูแรน (furans) และอนุพันธ์รวมทั้งกรออะลิฟาติกด้วย ใน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ระหว่างการสลายตัวด้วยความร้อนของเฮมิเซลลูโลสทั้งอะเซทิลและออโทเมทิลสามารถทำปฏิกิริยาและสร้างสารระเหยโดยมีฟูแรนและอนุพันธ์เป็นตัวกลางสำคัญ ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 สารประกอบที่ได้จากการสลายตัวด้วยความร้อนของเฮมิเซลลูโลส

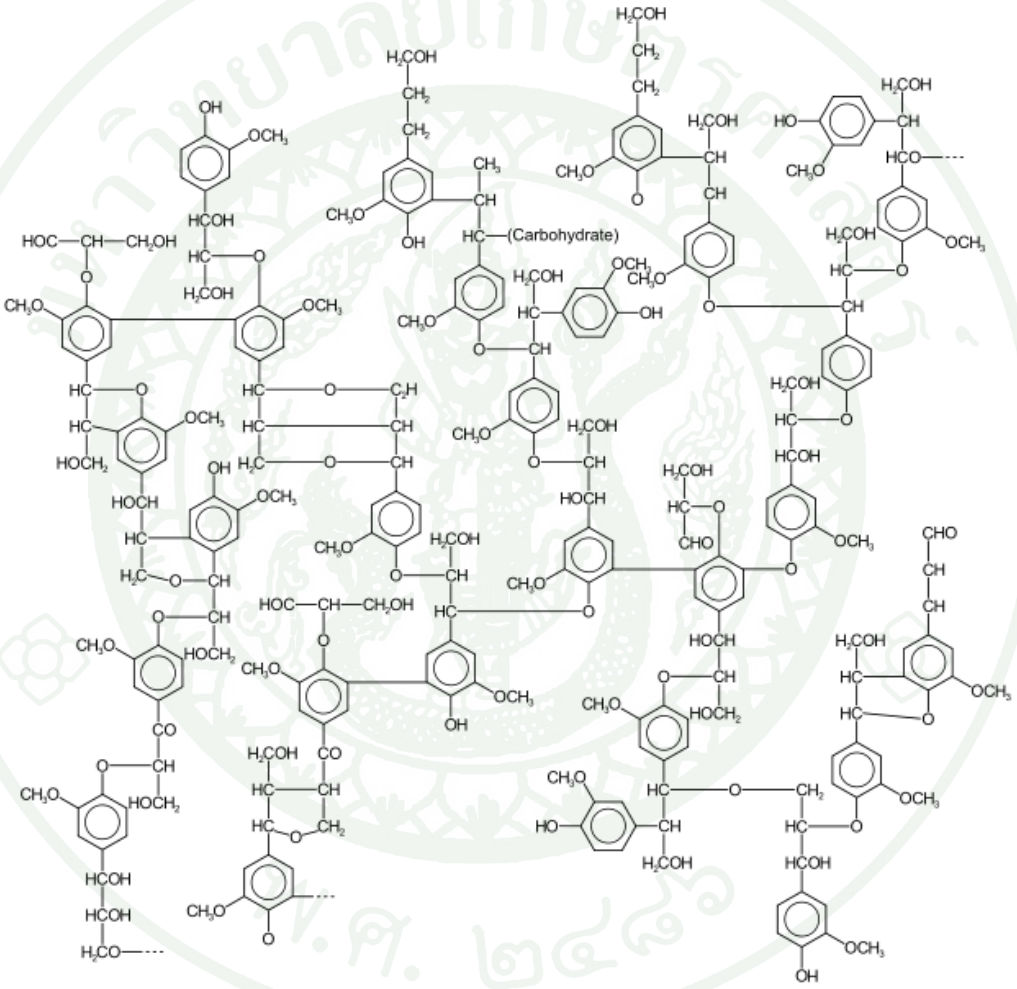
ที่มา: ดัดแปลงจาก Fengel and Wegener (1984)

7.3 การสลายตัวของลิกนิน

ลิกนินเป็นพอลิเมอร์ขนาดใหญ่เป็นส่วนประกอบที่สร้างความแข็งแรงให้กับเนื้อเยื่อของไม้และพบได้ที่ผนังเซลล์ของพืช (Tsoumis, 1991) เป็นโครงสร้างตาข่ายแบบสามมิติของพอลิเมอร์ของฟีนิลโพรเพน(phenylpropane) ที่ต่อกันด้วยพันธะที่แตกต่างกันระหว่างพอลิเมอร์ (Goldstein, 1991) ลิกนินแบ่งออกเป็นสองประเภทตามโครงสร้างคือ กัวเอซิลลิกนิน (guaiacyl lignin) ซึ่งพบได้ในไม้เนื้ออ่อนและกัวเอซิล-ไซรินจิลลิกนิน (guaiacyl-syringyl lignin) ซึ่งเป็นสาร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ที่ได้จากพอลิเมอไรเซชันของโคนิเฟอริลแอลกอฮอล์ (coniferal alcohol) ดังนั้นลิกนินของไม้เนื้ออ่อนและไม้เนื้อแข็งจึงต่างกันที่ปริมาณของเมทอกซิล (methoxyl) โดยที่ไม้เนื้อแข็งมีปริมาณของเมทอกซิลมากกว่า (Goldstein, 1991; Maga, 1988; Tsoumis, 1991) โครงสร้างของลิกนินที่มีกิ่งแสดงได้ดังภาพที่ 5

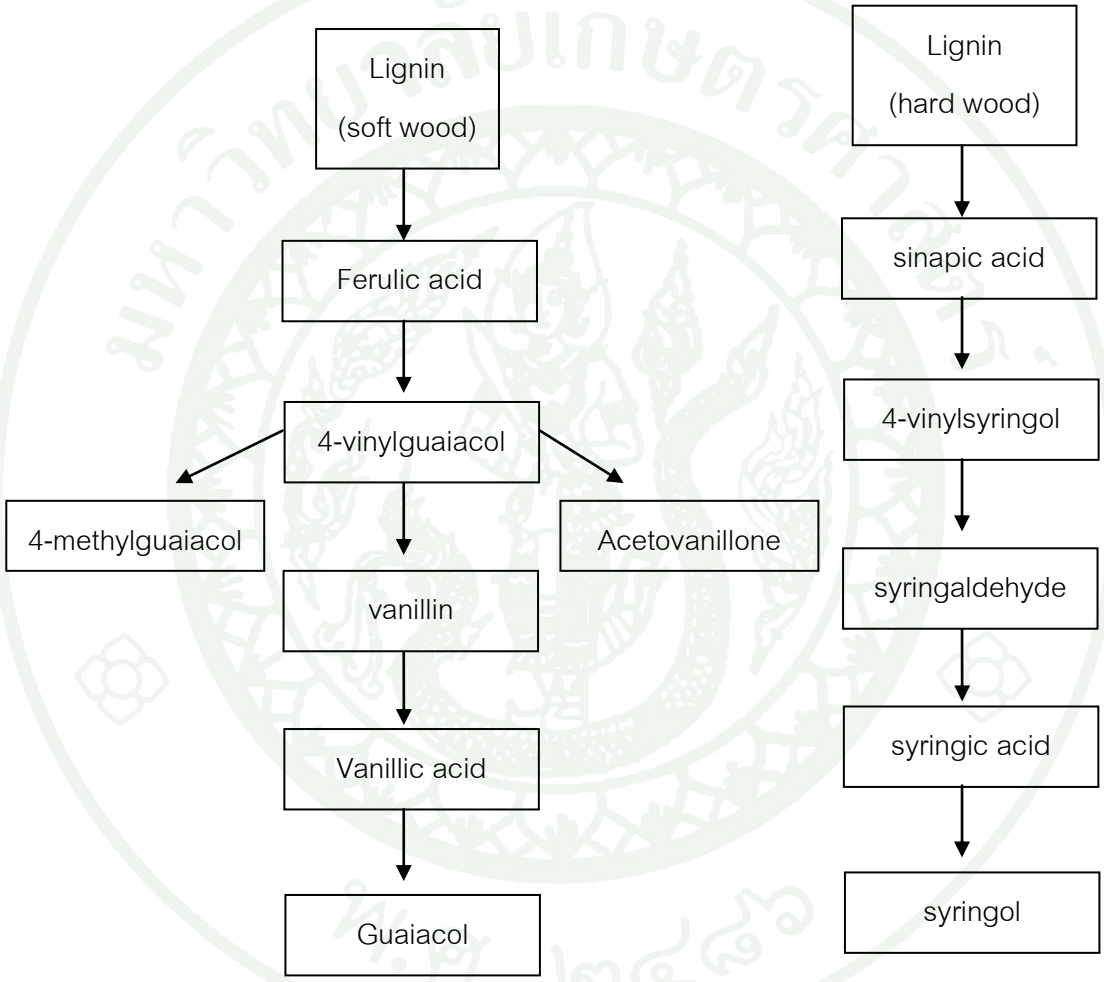


ภาพที่ 5 โครงสร้างของลิกนิน

ที่มา: Glazer and Nikaido (1995)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การเผาไหม้ของลิกนินเป็นแหล่งสำคัญที่ทำให้เกิดสารประกอบฟีนอล ซึ่งมักเป็นอนุพันธ์ของกัวเอคอล (guaiacol derivatives) เช่น กรดเฟอรูลิก (ferulic acid) เป็นต้น และเกิดอนุพันธ์ของไซรินกอล (syringol derivatives) เช่น กรดซินาพิก (sinapic acid) เป็นต้น ดังภาพที่ 6 การเผาไหม้มักเกิดที่อุณหภูมิสูงกว่า 300 องศาเซลเซียส (Toth and Patthast, 1984)



ภาพที่ 6 การสลายตัวของลิกนิน

ที่มา: ดัดแปลงจาก Toth and Patthast (1984)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

8. ผลของความร้อนจากการเผ้าไหม้ต่อสารให้กลิ่น

การเผาไหม้ของไม้จะทำให้เกิดควัน ซึ่งสารที่เป็นองค์ประกอบในควันจะแตกต่างกันขึ้นกับองค์ประกอบในไม้ที่เกิดการสลายตัว โดยปฏิกิริยาสำคัญที่เกี่ยวข้องมีดังนี้

8.1 ปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction)

เป็นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ (Non-enzymatic browning reaction) โดยเกิดจากการรวมตัวของน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) และกรดแอมิโน (amino acid) ซึ่งน้ำตาลเพนโตส (pentose) จะเกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่าน้ำตาลเฮกโซส (hexose) (Janssen, 1997) ปฏิกิริยาเมลลาร์ดแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนใหญ่ๆ คือ

1) ปฏิกิริยาขั้นต้น (Early stages) เป็นขั้นตอนการรวมตัวระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์กับกรดแอมิโนเพื่อเกิดเป็น Schiff base และเกิดเป็น N-substituted glycosylamine จากนั้นมีการจัดเรียงตัวใหม่แบบอะมาโดริ (Amadori rearrangement) ซึ่งในปฏิกิริยาขั้นต้นของเมลลาร์ดยังไม่เกิดสารสีน้ำตาลที่ไม่ละลายน้ำของเมลลานอยดิน (melanoidin) แต่เกิดสารประกอบคาร์บอนิลและอะโรมาติกซึ่งละลายน้ำได้ (Janssen, 1997)

2) ขั้นต่อเนื่อง (Advanced state) เป็นการสลายตัวของสารที่เกิดจากการจัดเรียงตัวใหม่ในขั้นตอน โดยการสลายตัวนั้นเกิดได้ 2 แบบ ซึ่งแบบแรกจะให้สาร deoxyosones (deoxyglucosones) 2 ชนิดคือ 1-doxyosones ที่เกิดในสภาวะที่เป็นด่าง และ 3-deoxyosones ที่เกิดในสภาวะกรดอ่อน (Pischetsrieder and Severin, 1996) การสลายตัวในแบบที่สองเป็นการสลายตัวแบบสเตรกเกอร์ (Strecker degradation) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาระหว่างไดคาร์บอนิลกับกรดแอมิโนเกิดเป็นสารตัวกลางแอลดีไฮด์ (Aldehyde) และแอลฟาอะมิโนคีโตน (α-amino ketones) ซึ่งอาจเกิดการรวมตัวกันต่อทำให้เกิดเป็นสารให้กลิ่น เช่น ไพริดีน (pyridines) ไพราซีน (pyrazines) และอิมิดาโซล (imidazoles) และในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาการสลายตัวแบบสเตรกเกอร์นี้จะปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา (Janssen, 1997)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3) ขั้นสุดท้าย (Final stage) เป็นขั้นตอนการรวมตัว (Polymerization) ระหว่างสารแอลดีไฮด์และเอมีนเกิดการระเหยโดยมีโครงสร้างเป็นเฮทเทอโรไซคลิก (heterocyclics) เช่น ฟูแรน (Furan) ไพราซีน (pyrazines) ไพโรล (pyrroles) ออกซาโซล (oxazoles) และไทเอโซล (thiazoles) เป็นต้น ซึ่งถ้าเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องจะได้สารสีน้ำตาลเมลลานอยดิน (Janssen, 1997)

8.2 การสลายตัวด้วยความร้อนของน้ำตาล

การสลายตัวของน้ำตาลด้วยความร้อนโดยตรงทำให้เกิดสารให้กลิ่นที่มี methyl enolone ในโครงสร้างเคมี เช่น furaneol, cyclotene, maltol, isomaltol และ maple lactone เป็นต้น (Eichner *et al.,* 1996) ซึ่งจะให้กลิ่นคาราเมล (caramel) กลิ่นน้ำตาลไหม้ (burnt sugar) กลิ่นน้ำตาลเมเปิล (maple lactone) ซึ่งสารให้กลิ่นมีดังนี้ (Scarpellino and Soukup, 1993)

- Furaneol ให้กลิ่น หอมหวาน (sweet), กลิ่นคาราเมล (caramel), กลิ่นผลไม้ (fruitiness)
- Cyclotene ให้กลิ่นน้ำตาลเมเปิล และกลิ่นคาราเมล
- Maltol ให้กลิ่นหอมหวาน กลิ่นน้ำตาลไหม้ (burnt sugar) และกลิ่นคาราเมล
- Isomaltol ให้กลิ่นน้ำตาลไหม้ และกลิ่นคาราเมล
- Maple ให้กลิ่นหอมหวาน กลิ่นคาราเมล และกลิ่นน้ำตาลเมเปิล

8.3 การสลายตัวของกรดแอมิโน

ปฏิกิริยาที่มีความสำคัญในการสลายตัวของกรดแอมิโน คือ การสลายตัวแบบสเตรกเกอร์เช่นเดียวกับปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Janssen, 1997) ทำให้เกิดสารประกอบพวก Diacetyl และ Pentanedione ที่ให้กลิ่นเนยและสารพวก 1-doxyhexosone ที่ให้กลิ่นต่างๆดังนี้ (Scarpellino and Soukup, 1993)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

- แอลดีไฮด์ที่เกิดจากการสลายตัวของ alanine ให้กลิ่นฉุน (pungent)
- Isobutylaldehyde ที่เกิดจากการสลายตัวของ valine ให้กลิ่นฉุน กลิ่นหมัก (ferment กลิ่นผลไม้ (fruity) กลิ่นช็อคโกแลต (chocolate)
- Isovaleraldehyde ที่เกิดจากการสลายตัวของ leucine ให้กลิ่นฉุน กลิ่นผลไม้ กลิ่นชีส (cheese)
- Phenylacetaldehyde ที่เกิดจากการสลายตัวของ phenylalanine ให้กลิ่นดอกกุหลาบ (floral-rose) กลิ่นผลไม้ กลิ่นคล้ายหญ้า (green)
- Methional ที่เกิดจากการสลายตัวของ methionine ให้กลิ่นกำมะถัน (sulfur) กลิ่นฟักทอง (pumpkin) กลิ่นมะเขือเทศ (tomato)

8.4 การเผาไหม้ของไขมัน

กรดไขมัน (fatty acid) เอสเทอร์ (Ester) และไตรเอซิลกลีเซอไรด์ (triacylglyceride) เมื่อได้รับความร้อนจะเกิดการสลายตัวให้สารประกอบต่างๆ โดยการสลายตัวเนื่องจากความร้อนของไขมันที่อิ่มตัวทำให้ได้สารประกอบของกรด ไฮโครคาร์บอน (hydrocarbon) คีโตน (ketone) propanediol esters และ อะโครลิน (acrolin) ส่วนการสลายตัวของไขมันไม่อิ่มตัวจะให้สารประกอบไดเมอร์ที่เป็นโซ่เปิด (acyclic) และที่เป็นวงแหวน (cyclic) (Janssen, 1997)

8.5 ปฏิกิริยาไพโรลิซีส (Pyrolysis)

เป็นปฏิกิริยาการสลายตัวด้วยความร้อนของสารอินทรีย์ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนทำให้มีโมเลกุลเล็กลง แต่มีโครงสร้างที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยาจึงเกิดการรวมตัวกัน (combination) เพื่อให้ได้เป็นสารที่มีความคงตัวมากขึ้นในสภาวะที่ไม่เกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ (carbonmonoxide) และคาร์บอนไดออกไซด์ (carbondioxide) (Janssen, 1997)

การเกิดสารประกอบจากปฏิกิริยาไพโรลิซีสขึ้นอยู่กับชนิดขององค์ประกอบในสารอินทรีย์และอุณหภูมิในการเผาไหม้ ซึ่งโดยมากสารประกอบที่อันตรายจะเกิดที่อุณหภูมิ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประมาณ 300 องศาเซลเซียส โดยเฉพาะสารประกอบพอลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (polycyclic aromatic hydrocarbons) ที่เกิดจากการรวมตัวแบบพอลิเมอไรเซชัน (polymerization) ของสารจากการสลายตัวที่ประกอบด้วยคาร์บอนจำนวน 2-4 โมเลกุล เช่น เอทิลีน และบิวตะไดอีน อิสระ สารประกอบพอลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนเป็นสารก่อมะเร็ง ตัวที่มีฤทธิ์มากที่สุดที่เป็นที่รู้จัก คือ Benzo(a)pyrene (3,4-benzpyrene) และการไพโรลิซีสของแป้งที่อุณหภูมิ 370-390 องศาเซลเซียสจะทำให้เกิด Benzo(a)pyrene ได้ (Janssen, 1997)

9. องค์ประกอบทางเคมีของควันในอาหาร

องค์ประกอบของควันมีความซับซ้อนมาก มีมากกว่า 400 องค์ประกอบของสารระเหยที่ระบุในควันไม้ องค์ประกอบทางเคมีขึ้นกับอุณหภูมิของการผลิตควัน ชนิดของไม้ที่ใช้ วิธีที่ใช้ในการผลิตควัน ปริมาณความชื้นของไม้ และนอกจากนี้ยังขึ้นกับอากาศและน้ำ สารที่มีความสำคัญมีผลต่อสุขภาพและผลทางด้านเทคนิคได้แก่

- ไนโตรเจนออกไซด์
- พอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs)
- ฟีนอล
- ฟูแรน
- หมู่คาร์บอนิล
- Aliphatic carboxylic acid
- Tar compounds

สำหรับองค์ประกอบของสารเหล่านี้ส่วนใหญ่แล้วจะไม่ทำปฏิกิริยามากนัก และยังมีจุดเดือดที่สูงเช่น สาร Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) และสารในกลุ่มฟีนอลิก ซึ่งสัมพันธ์กันระหว่างปริมาณในควันและในอาหารรมควัน มีสารระเหยบางชนิดและมีสารบางชนิดที่ทำปฏิกิริยาซึ่งพบน้อยในอาหาร ได้แก่ ไนโตรเจนออกไซด์สามารถเกิดปฏิกิริยากับไมโอโกลบินที่ให้สีในเนื้อสัตว์ และไนโตรเจนออกไซด์นี้อาจทำปฏิกิริยากับเอมีนหรือเอไมด์ในอาหารทำให้เกิดการ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สร้าง N-nitroso compounds หรือ ทำปฏิกิริยากับฟีนอลให้ C-nitroso phenols ส่วนองค์ประกอบของหมู่คาร์บอนิล และกรดสามารถทำปฏิกิริยากับโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตในอาหาร (Council of European, 1992)

9.1 ไนโตรเจนออกไซด์

ควันมีองค์ประกอบไนโตรเจนออกไซด์สามารถสร้างสารไนโตรซามีนขึ้นในเนื้อรมควันและปลารมควัน ไนโตรซามีนประกอบด้วยองค์ประกอบของสารก่อมะเร็งทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารรมควันประกอบด้วยองค์ประกอบของ N-nitroso โดยที่พบมากที่สุดของส่วนประกอบที่สามารถระเหยได้คือ N-nitrosodimethylamine แต่สารอื่น ๆ จากกลุ่มนี้อาจเกิดขึ้นได้ ไนโตรซามีน (nitrosamines) เกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างไนโตรเจนออกไซด์จากควันและเอมีนหรือเอไมด์ในผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งไนโตรซามีนพบในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีความเข้มข้นของเอมีนสูง ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ปลาหรือผลิตภัณฑ์เนื้อ ในการรมควันผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์มีการเกิดขึ้นของสารไนโตรซามีนซึ่งมีข้อกำหนดว่าอาจพบในผลิตภัณฑ์อาหารในปริมาณน้อยกว่า 1 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ยกเว้นผลิตภัณฑ์เบคอนอาจพบในปริมาณสูงเนื่องจากมีการทอด ปริมาณไนโตรซามีนเกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์เนื่องจากการเติมไนไตรท์และอุณหภูมิที่สูงในการทอดแต่ก็เป็นไปได้ว่าฟีนอลในควันไฟอาจทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการสร้างไนโตรซามีน ในบางกรณีพบปริมาณของไนโตรซามีนสูงและโดยเฉพาะอย่างยิ่งการรมควันโดยตรงยังให้ปริมาณของสารไนโตรซามีนที่ไม่ระเหยสูง เช่นเดียวกับ N-nitrosothiazolidine และ N-nitrosothiazolidine carboxylic acid อาหารรมควันที่ใช้ควันเหลวเป็นสารให้กลิ่นรสควันมีการเกิดองค์ประกอบดังกล่าวข้างต้นเช่นกัน อย่างไรก็ดีผู้ผลิตอาจใช้เทคนิคบางอย่างช่วยลดปริมาณสารที่เป็นอันตราย เช่น PAHs โดยทั่วไปแล้วอาหารที่แต่งกลิ่นควันจะมีคุณภาพคล้ายกับองค์ประกอบจากการรมควัน (Council of European, 1992)

9.2 พอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs)

Benzo[a]pyrene เป็นองค์ประกอบหนึ่งของพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน และประมาณอีก 10 องค์ประกอบอื่นในกลุ่มนี้มีการพิสูจน์ว่าก่อให้เกิดผลต่อการกลายพันธุ์และเป็น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารก่อมะเร็งในสัตว์ทดลอง โดยใช้ทั้งการฉีดและทดสอบบนผิวหนังของสัตว์ทดลองเพื่อศึกษาการก่อมะเร็ง นอกจากนี้ยังมีการแสดงการเป็นสารก่อมะเร็งในสัตว์ภายหลังจากการรับประทาน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวิธีการที่สัตว์ได้รับสาร โดยมีการทดสอบพบว่าสามารถทำให้เกิดมะเร็งที่ผิวหนัง ปอด เนื้อเยื่อ กระเพาะอาหาร ลำไส้ ตับ หรือน้ำเหลืองของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม สารประกอบเหล่านี้สามารถเห็นผลในการก่อมะเร็งหลังจากได้รับสารนี้เพียง 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัวต่อวัน (Council of European, 1992)

อุณหภูมิและปริมาณออกซิเจนใน กระบวนการไพโรลิซิสของไม้มีบทบาทสำคัญต่อปริมาณ PAHs ในควันที่เกิดขึ้น ซึ่งพบว่าปริมาณของ PAHs เพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงกับอุณหภูมิการรมควันในช่วง 400 ถึง 1000 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ที่ผ่านการรมควันโดยตรงทำให้เกิดการสะสมของ PAHs ในผลิตภัณฑ์สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการรมควันโดยอ้อม ซึ่ง PAHs บางส่วนถูกกำจัดออกโดยการควบแน่นรวมอยู่ในสารทาร์ (Tars) นอกจากนี้การรมควันร้อน (Hot smoke) ที่ใช้สำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์จะให้ความเข้มข้นของ PAHs ที่สูงกว่าการรมควันเย็น (cold smoke) การที่มีปริมาณควันมากจะเป็นการเพิ่มระดับความเข้มข้นของ PAHs ให้สูงขึ้น ในผลิตภัณฑ์บางชนิดเป็นไปได้ที่ความเข้มข้นของ PAHs จะลดลง เนื่องจากการสลายตัวที่กระตุ้นจากแสง และการเกิดปฏิกิริยาระหว่างองค์ประกอบ อย่างไรก็ตาม PAHs สามารซึมผ่านเข้าไปในผลิตภัณฑ์รมควัน ทางเลือกแบบใหม่สำหรับการรมควันแบบดั้งเดิมคือการใช้การเติมกลิ่นควันลงในอาหาร (Smoke flavouring food additives; SFA) ในปัจจุบัน SFAs มีการใช้อย่างแพร่หลายในรูปแบบต่างๆ เพื่อให้รสและกลิ่นทั้งในสถานะของแข็งและของเหลว แต่พื้นฐานในการใช้ของทั้งสองวิธีเหมือนกันคือเป็นการใช้ผลิตภัณฑ์จากการสลายของกระบวนการไพโรลิซิสของไม้ (Simko, 2002)

การคำนึงถึงปริมาณของ PAHs ในการรมควันอาหาร ปัญหาในการประเมินและอธิบายความถูกต้องของความเข้มข้นของสารก่อมะเร็ง ซึ่งในประเทศเยอรมัน benzo[a]pyrene (BaP) จัดเป็นตัวบ่งชี้ทั่วไปของการวัด PAHs ทั้งหมดในอาหารรมควัน และค่าความเข้มข้นที่ยอมรับให้มีได้สูงสุดไม่เกิน 1 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ค่า BaP ในอาหารรมควันได้กำหนดขึ้นตั้งแต่ปี ค.ศ. 1973 ถึงแม้ว่าใน PAHs ที่แสดงสมบัติเป็นสารก่อมะเร็งจะมี BaP ประมาณ 10 ถึง 20

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เปอร์เซ็นต์ก็ตาม ต่อมาในประเทศอื่นๆ เช่น ออสเตรีย สาธารณรัฐเช็ก สวิตเซอร์แลนด์ อิตาลีและสาธารณรัฐสโลวัก ได้ใช้การกำหนดแบบเดียวกัน สำหรับการใช้ SFA โดย JECFA ได้กำหนดความเข้มข้นของ BaP ในไส้กรอกรมควันไม่ควรเกิน 10 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับอาหารที่แต่งกลิ่นรสควันโดยการใช้ SFA สหภาพยุโรป (European commission) กำหนดใน EEC Directive 88 / 388 ให้ปริมาณ BaP สูงสุดไม่เกิน 0.03 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมควันเหลว (Simko, 2002)

วิธีวิเคราะห์ปริมาณสารกลุ่มพอลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในเนื้อปลาหลังการรมควันรายงานโดย Varlet *et al*. (2007) มีลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) Solid-Liquid extraction: นำเนื้อปลา 2 กรัม เติมสารผสม 20 ชนิดของ ^{13}C PAH จำนวน 0.5 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมเป็น internal standard แล้วผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันกับ cyclohexane/ethyl acetate (50:50 v/v) จำนวน 40 มิลลิลิตร แล้วเขย่าเป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปเหวี่ยงแยกที่ 5000g 0 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที แยกส่วนของเหลวออก แล้วระเหยและทำให้แห้งโดยการเป่าด้วยแก๊สไนโตรเจน นำไปละลายในไซโคลเฮกเซน 6 มิลลิลิตร เพื่อนำไปใช้ในขั้นตอนต่อไป

2) SPE clean-up procedure: ขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์โดยการใช้ SPE คือน้ำ 5 มิลลิลิตร เมทานอล 5 มิลลิลิตร และไซโคลเฮกเซน 5 มิลลิลิตรใส่ลงในตัวอย่างที่ได้เตรียมในขั้นตอนที่ 1 คือตัวอย่างที่ละลายในไซโคลเฮกเซน 6 มิลลิลิตรใส่ลงในหลอด cartridge แล้วล้างด้วยไซโคลเฮกเซนปริมาตร 3 มิลลิลิตรเพื่อที่จะแยกสารรบกวนต่างๆออก (interferences) ซึ่งเป็นพวกองค์ประกอบของไขมัน PAHs จะถูกชะไปพร้อมกับสารผสมระหว่าง cyclohexane กับ ethyl acetate (50:50 v/v) และหลังจากนั้นทำการระเหยน้ำออก (ทำแห้ง) โดยใช้ไนโตรเจนเหลว จากนั้นนำไปละลายในโทลูอีน 40ไมโครลิตรแล้วนำไปวิเคราะห์หา PAHs ในขั้นตอนต่อไป

3) การวิเคราะห์ด้วย GC/MS/MS: วิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC (HP-6890; Agilent Technologies, Palo-Alto, USA) ซึ่งต่อด้วย MS-MS Micromass Quattro Micro mass spectrometer (Waters Milford, USA) แยกด้วยคอลัมน์ ZB-5MS (30m x 0.25mm x 0.25μm) ใช้แก๊สฮีเลียมเป็น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตัวพา อุณหภูมิตู้อบเริ่มต้นที่ 110 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 นาที และเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตราเร็ว 20 องศาเซลเซียสต่อนาที จนอุณหภูมิถึง 240 องศาเซลเซียส แล้วเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตราเร็ว 5 องศาเซลเซียสต่อนาที จนอุณหภูมิถึง 340 องศาเซลเซียส ซึ่ง PAHs ที่ทำการศึกษาคือสาร PAHs 16 ชนิด ที่ EPA (The U.S. Environmental Protection Agency)ระบุให้เป็นสารพิษอันตรายที่ควรให้ความสาคัญในอันดับต้นได้แก่ Acenaphthene, Anthracene, Acenapthylene, Benz[*a*]anthracene, Benzo[*a*]pyrene, Benzo[*b*]fluoranthene, Benzo[*g,h,i*]perylene, Benzo[*k*]fluoranthene, Chrysene, Dibenz[*a,h*]anthracene, Fluoranthene, Fluorene, Indeno[*1,2,3-cd*]pyrene, Naphthalene, Phenanthrene และ Pyrene

9.3 ฟีนอล

ฟีนอลเป็นสารอะโรมาติกคาร์บอน (Aromatic carbon) ที่ประกอบด้วยเบนซีน (Benzene) ที่มีหมู่ ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) เกาะอยู่ต่างกัน โดยอาจมีหมู่ฟังก์ชันอื่นด้วย เช่น แอลดีไฮด์ คีโตน กรดและเอสเทอร์ เป็นต้น ดังภาพที่ 7 ถ้าสารประกอบฟีนอลมีหมู่ไฮดรอกซิลบนโครงสร้างเบนซีนมากขึ้นจะมีความไวต่อโลหะ แสง และออกซิเจนมากขึ้น สารโมโนไฮดรอกซิลฟีนอลมีจุดเดือดที่ 183 องศาเซลเซียส และจุดเดือดจะเพิ่มมากขึ้นถึง 270 องศาเซลเซียส ถ้ามีหมู่ไฮดรอกซิลสองหมู่ในโมเลกุล สารประกอบฟีนอลสามารถละลายน้ำได้และแสดงคุณสมบัติของกรด แต่ในสภาวะที่เป็นเบสสารประกอบฟีนอลสามารถแตกตัวเป็นฟีนอลเลตได้ สารฟีนอลิกบางชนิด เช่น กัวเอคอลสามารถละลายในน้ำมันได้ดีกว่าน้ำ นอกจากนี้อีเทอร์ของฟีนอลจะไม่ละลายน้ำ และสามารถเปลี่ยนเป็น ฟีนอลคีโตนได้และที่อุณหภูมิต่ำฟีนอลสามารถเกิดคอนเดนเซชัน (condensation) กับแอลดีไฮด์ได้ ปริมาณของฟีนอลอิสระแต่ละชนิดจะลดลงขณะเก็บรักษา (Toth and Potthast, 1984) และนอกจากนี้ Maga (1992) กล่าวว่า ควันของไม้ที่ผลิตที่อุณหภูมิต่างกัน (400-1050 องศาเซลเซียส) จะมีปริมาณของฟีนอลต่างกันดังแสดงในตารางที่ 3

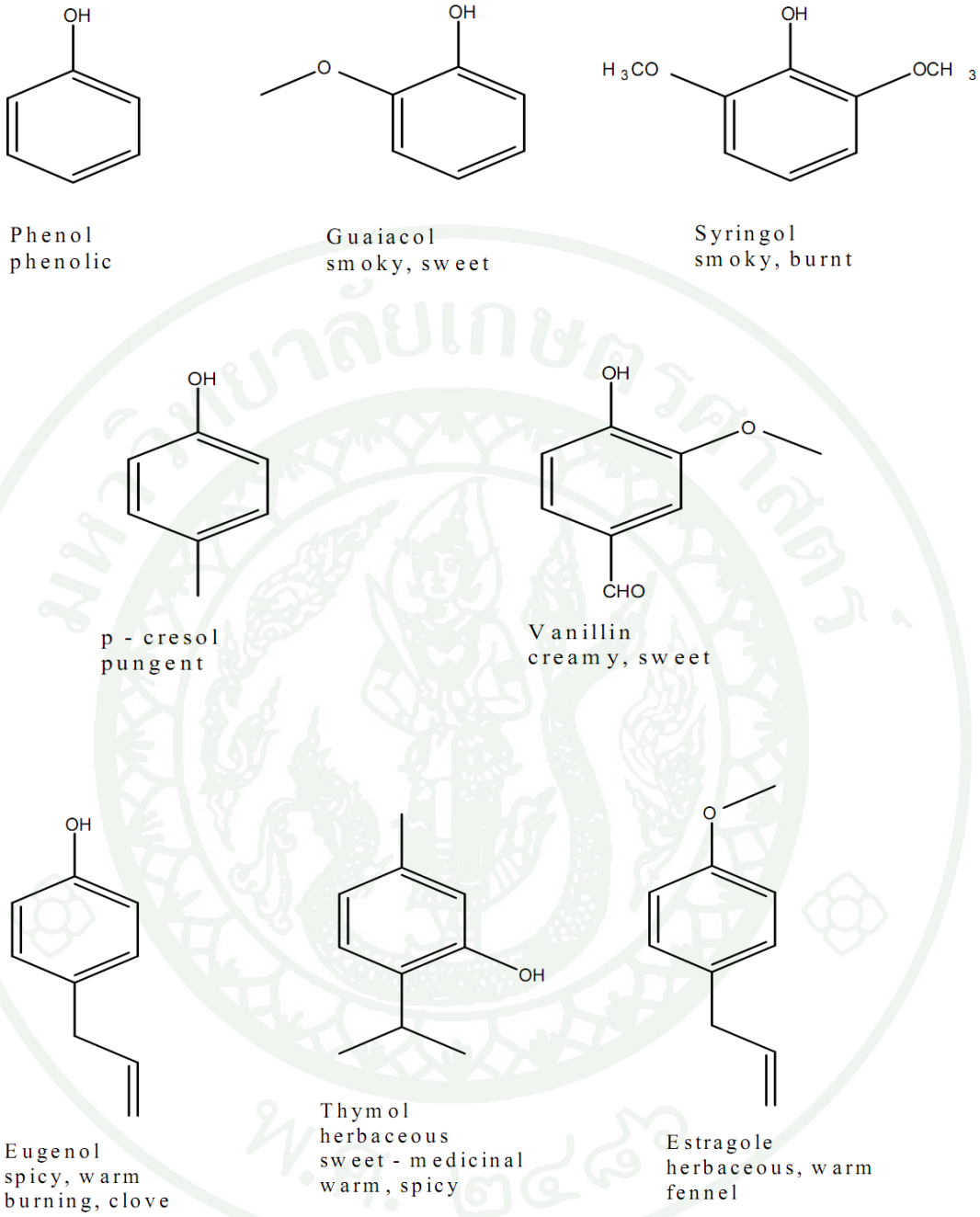
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 3 อุณหภูมิของควันไม้กับปริมาณฟีนอล

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ปริมาณฟีนอล (มิลลิกรัม/100 กรัม)
400	350
450-500	800
500-600	2960
700-800	2810
900-1050	1945

ที่มา: Maga (1992)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 7 สารประกอบฟีนอลิกที่พบในควันเหลว

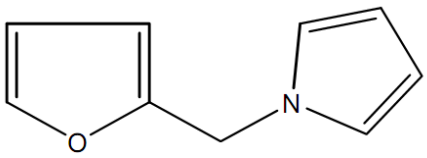
ที่มา: Ashurst (1999); Pimenta *et al*. (2000)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

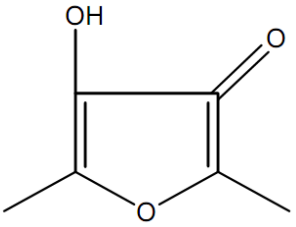
9.4 ฟูแรน

ฟูแรนเป็นกลุ่มของสารประกอบเฮทเทอโรไซคลิกที่มีคาร์บอน 5 อะตอมและมีอะตอมของออกซิเจนประกอบอยู่ มักเกิดจากปฏิกิริยาดีไฮเดรชัน (dehydration) ของกลูโคส เช่น มัลทอล (maltol) เป็นต้น (Eicher *et al.,* 1996) ดังแสดงในภาพที่ 8 สารประกอบฟูแรนอื่นๆเช่น เฟอฟูแรลดีไฮด์ (furfuraldehyde) ที่ได้มาจากเพนโทแซน (pentosan) ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของเฮมิเซลลูโลสให้กลิ่นหอมหวาน กลิ่นผลไม้ และกลิ่นคล้ายหญ้า (Maga, 1988) สารเฟอฟูรอล (furfural) ให้กลิ่น หอมหวาน(sweetist) และ 5-เมทิลเฟอฟูรอล (5-methylfurfural) ให้กลิ่นคล้ายหญ้า(musty) (Hayase *et al.,* 1996) ดังนั้นฟูแรนจึงมีบทบาทสำคัญต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยทำให้กลิ่นรสของสารฟีนอลนิ่มนวลขึ้น (Toth and Potthast, 1984) สารประกอบฟูแรนเป็นสารที่เกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดซึ่งทำให้เกิดลักษณะสีน้ำตาล จึงทำให้ควันเหลวมีค่าความเป็นสีเหลืองที่เข้มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เนื่องจากมีสารประกอบฟูแรนเพิ่มขึ้น (Simko, 2005) และ ณมาพร (2546) รายงานว่าสีเหลืองในควันเหลวที่ได้จากกาบมะพร้าว และชานอ้อยเกิดจากสาร furfural ที่เป็นองค์ประกอบหนึ่งในควันเหลวโดยสารนี้จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการเผาไหม้เพิ่มขึ้น

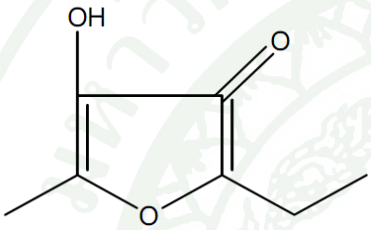
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



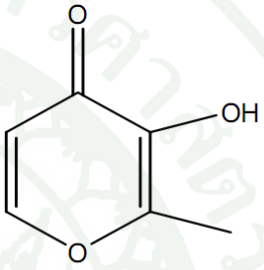
Furfural pyrrole
woody, sandal



2,5-dimethyl-4-hydroxy-
3(2H)-furanone
caramel, roasty



2-ethyl-5-methyl-4-hydroxy-
3(2H)-furanone
caramel, roasty



2-methyl-3-hydroxy-
4-pyranone (maltol)
caramel, burnt sugar

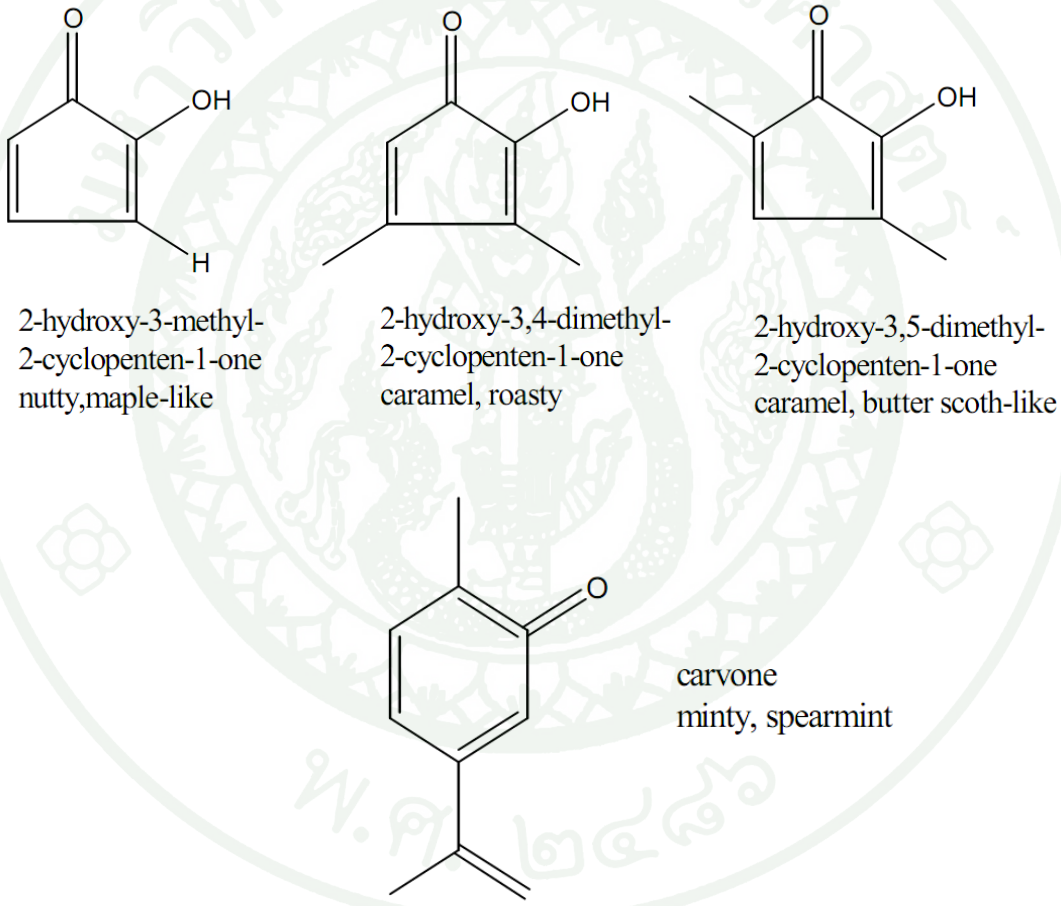
ภาพที่ 8 สารให้กลิ่นฟูแรน

ที่มา: Matheis (1999)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

9.5 คาร์บอนิล

คาร์บอนิลเป็นสารที่ได้จากการจัดเรียงตัวและสลายตัวของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส สารคาร์บอนิลเป็นสารที่ให้กลิ่นคาราเมล (caramel) และกลิ่นคล้ายหญ้า ทำให้กลิ่นรสของสารฟีนอลิกแตกต่างไปจากเดิม (Kim *et al.,* 1974) ตัวอย่างของสารประกอบคาร์บอนิลแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 สารให้กลิ่นคาร์บอนิล

ที่มา: Matheis (1999)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

10.เทคนิคการรมควัน

10.1 เทคนิคการรมควัน

ในการรมควันด้วยกระบวนการแบบดั้งเดิมขั้นตอนแรกทำให้เกิดไฟเพื่อทำให้ไม้แห้ง ชนิดของไม้อาจแตกต่างกัน ในประเทศอังกฤษ มีการใช้ไม้ โอ๊ค โดยปกติมักเลือกใช้ไม้เนื้อแข็งนอกจากนี้การใช้ไม้สมุนไพรที่มีกลิ่นหอม และเครื่องเทศ สามารถใช้ในการให้ลักษณะกลิ่นรสที่เฉพาะตัวในผลิตภัณฑ์ที่รมควัน หลังจากที่ทำให้เกิดเปลวไฟแล้วจะลดความร้อนลงจึงเกิดควัน องค์ประกอบของควันขึ้นกับอุณหภูมิ กระบวนการสามารถควบคุมโดยเทคนิคการเติมน้ำ และ/หรืออากาศ เป็นต้น ซึ่งมีผลต่อกลิ่นรสผลิตภัณฑ์ การควบคุมที่ไม่พอเหมาะอาจทำให้เกิดสิ่งที่ไม่ต้องการ การใช้กลิ่นรสควันที่ประกอบด้วยละอองของกลิ่นควัน พ่นฝอยลงบนผิวอาหาร จะให้รสชาติ ลักษณะปรากฏ และการป้องกันการเสื่อมเสียคล้ายกับการได้รับควันโดยการใช้กระบวนการรมควันแบบดั้งเดิม

10.2 ลักษณะที่พบในควัน

ควันจากไม้ประกอบด้วยหลายองค์ประกอบได้แก่ อนุภาคแก๊ส ของเหลว และของแข็ง ส่วนใหญ่ควันในอากาศเป็นการผสมของอนุภาคขนาดเล็กที่แตกต่างกัน อนุภาคที่เบากระจายจนทั่ว และให้ลักษณะปรากฏของควันเกิดขึ้น อนุภาคควันที่สะสมในอาหารมีความสำคัญเป็นอันดับรอง ของกระบวนการรมควัน ความสำคัญหลักคือการดูดซึมของแก๊สโดยผลิตภัณฑ์อาหาร การเปลี่ยนแปลงของสี และกลิ่น และการต้านออกซิเดชัน (Council of European, 1992)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

10.3 วิธีการรมควัน

Council of European (1992) จำแนกการรมควันในอุตสาหกรรมโดยใช้ระดับของอุณหภูมิของการรมควันดังนี้

● การรมควันแบบเย็น (Cold smoking) อุณหภูมิปกติอยู่ในช่วง 18 – 20 องศาเซลเซียส นิยมใช้กับ แซลมอน ไส้กรอกอิตาลี ปลารมควัน แฮม และเนยแข็งบางประเภท กระบวนการรมควันแบบเย็นอาจจะใช้เวลาหลายสัปดาห์กว่าจะได้ผลิตภัณฑ์สุดท้าย โดยทั่วไปจะใช้เวลาเวลา 6-24 ชั่วโมง

● การรมควันแบบอุ่น (Warm smoking) ใช้อุณหภูมิประมาณ 40 องศาเซลเซียส ใช้สำหรับ เบคอน เนื้อสันนอก และไส้กรอกบางชนิด

● การรมควันแบบร้อน (Hot smoking) เป็นสิ่งที่เกิดจากการรวมกันของความร้อนที่รุนแรงและควัน ซึ่งให้อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ประมาณ 70 – 90 องศาเซลเซียส การรมควันแบบร้อน เป็นสิ่งที่เกิดขึ้นจากการรวมกันของการทำแห้ง การทำอาหาร และกระบวนการรมควัน

Smokehouse จะประกอบด้วยส่วนที่แยกออกมาสำหรับสร้างควันจากไม้ (the wood smoke generators) จากนั้นควันที่ได้จะถูกทำให้บริสุทธิ์โดยการกรองและควบคุมอุณหภูมิตามต้องการ โดยควันจะไหลจากเครื่องผลิตควัน (smoke generators) ไปตามท่อสู่ smokehouse ซึ่งจะมีการลดอุณหภูมิของควันลงภายในท่อนั้นก่อนเข้าสู่ smokehouse และควบคุมอุณหภูมิของควันภายใน smokehouse ตามที่ต้องการซึ่งอุณหภูมิที่ควบคุมภายใน smokehouse จะเป็นไปตามอุณหภูมิที่กล่าวมาแล้วข้างต้นซึ่งได้แก่ การรมควันแบบเย็น การรมควันแบบอุ่น และการรมควันแบบร้อน (Varlet V. *et al.,* 2007)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

10.4 การดูดซับควันในอาหาร

ในระหว่างกระบวนการรมควันมีปัจจัยที่แตกต่างกันมากมาย และบางอย่างเป็นตัวกำหนดการดูดซับควันโดยอาหาร ได้แก่

- ความหนาแน่นของควัน
- ความชื้น
- อุณหภูมิ

การดูดซับควันเกิดได้ดีเมื่อมีความหนาแน่นของควันสูง สำหรับผลิตภัณฑ์อาหารที่ใช้การรมควันแบบอุ่นผิวจะแห้งในระหว่างกระบวนการและการรวมตัวของอนุภาคที่ผิวจะน้อยกว่าในผลิตภัณฑ์รมควันที่อุณหภูมิต่ำ กล่าวคือเมื่อความหนาแน่นของอนุภาคของควันมากขึ้นจึงมีการรวมตัวที่ผิวของอาหาร ซึ่งการดูดซับของผลิตภัณฑ์ขึ้นกับปริมาณความชื้น หากมีความชื้นสัมพัทธ์สูงไอน้ำจะกลั่นตัวที่บนผิวของผลิตภัณฑ์และที่ผิวผลิตภัณฑ์จะมีการดูดซับควันในส่วนที่ละลายน้ำเพิ่มขึ้น หากที่ผิวยังคงมีความชื้นจะทำให้ยับยั้งการเกิดสีที่ผิวของผลิตภัณฑ์ หากมีความชื้นต่ำจะทำให้การเกิดสีเพิ่มขึ้น แต่ถ้าผิวตัวอย่างแห้งเกินไปจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีควันที่เกาะผิวอาหารลดลงทำให้สูญเสียรสชาติ และมีผลทำให้อายุการเก็บสั้นลง

ในปัจจุบันขั้นตอนการรมควันในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีเครื่องกำเนิดควันไฟและห้องรมควันแยกออกจากกัน ทำให้ความสามารถในการควบคุมความหนาแน่นของอนุภาคควัน ความชื้น และอุณหภูมิได้ค่อนข้างดี สารให้ควันบางองค์ประกอบสามารถกำจัดออกด้วยน้ำอุณหภูมิสูง หรือแยกออกเพื่อให้มีความเข้มข้นลดลง เช่น PAHs ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องในด้านสุขภาพ แต่กระบวนการนี้ไม่เพียงแต่กำจัดสารที่ไม่ต้องการ ยังกำจัดองค์ประกอบที่สำคัญต่อกลิ่นรสของอาหารอีกด้วย ปัญหานี้ยังเกิดขึ้นกับกระบวนการอื่นๆ ที่ใช้ในการลดปริมาณสารที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพด้วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การให้ความร้อนเพื่อให้เกิดควันสามารถทำได้โดยการใช้ไอน้ำ แก๊ส และกระแสไฟฟ้า การให้ความร้อนด้วยไอน้ำหรือกระแสไฟฟ้าให้องค์ประกอบของสารให้ควันที่น้อย แต่การให้ความร้อนโดยการเผาไหม้โดยตรงของแก๊สในห้องรมควันโดยมีอุณหภูมิสูงของเปลวไฟอาจทำให้เกิดการสร้างไนโตรเจนออกไซด์ในควันได้ (Council of European, 1992)

10.5 เทคนิคสำคัญสำหรับการรมควัน

โดยทั่วไปกระบวนการรมควันอาหารโดยตรงจะมีผลต่อชั้นผิวเพียงไม่กี่มิลลิเมตรภายในผลิตภัณฑ์ การรมควันทำให้เกิดกลิ่น สี และเนื้อสัมผัส รวมถึงการเกิดลักษณะแข็งที่ผิว (surface hardening) สารในควัน มีผลในการเป็นสารกันเสีย สารต้านออกซิเดชัน การรมควันอาหารโดยตรงจะให้ผลต่างจากการเติมกลิ่นควันเหลวอยู่บ้างโดยเฉพาะเรื่องสี และเนื้อสัมผัสและถ้ามีการแยกสารที่เป็นอันตรายออกจากควันเหลวจะทำให้อาหารปลอดภัยต่อผู้บริโภคยิ่งขึ้น (Council of European, 1992)

10.6 เทคโนโลยีสำหรับควันเหลว

ควันเหลวผลิตได้จากการเผาไหม้ของวัสดุให้ควัน เมื่อเกิดควันจะทำให้ควันกลับมาเป็นของเหลวในสารที่ดักจับควัน ซึ่งการผลิตควันเหลวจะมีการกรอง และกำจัดสารที่ก่อมะเร็งออก โดยการใช้ควันเหลวในผลิตภัณฑ์อาหารมี 2 แบบ คือ

- การที่ใช้ควันเหลวผสมลงในอาหารโดยตรงมักใช้ในผลิตภัณฑ์ไส้กรอก
- การใช้ควันเหลวฉีดพ่นที่ผิวอาหารและทำในห้องรมควัน

Montazeri *et al.* (2013) ทำการศึกษาคุณสมบัติทางด้านเคมีของผลิตภัณฑ์ควันเหลวในทางการค้า 4 ชนิดโดยศึกษาค่าสี ค่าความเป็นกรดเบสของแต่ละผลิตภัณฑ์ซึ่งมีรหัสดังนี้ Code 10-Poly, AM-3, AM-10 และ 1291 ได้รับจากบริษัท Kerry Ingredient and Flavors ทำการวิเคราะห์ค่าสีโดยใช้เครื่อง The Gardner Delta Color Comparator ซึ่งให้ค่าเป็นค่าสีของ Gardner มีตั้งแต่ระดับ 1 ถึง 18 โดยระดับสีของ Gardner ในมิติเดียวจะแสดงออกถึงค่าความเป็นสีเหลืองดังแสดงในภาพที่ 10 และผลที่ได้จากการทดลองพบว่า Code 10-Poly มีลักษณะเฉดสีมืดของ Gardner

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ซึ่งค่าสีอยู่ในระดับ 16 ส่วน AM-1, AM-10 และ 1291 อยู่ในระดับ 11, 5 และ 2 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าสีของควันเหลวในทางการค่ามีค่าสีที่แตกต่างกันและค่าสีมีลักษณะที่เป็นเฉดสีเหลือง ส่วนค่าความเป็นกรดเบสของควันเหลวโดยปกติจะอยู่ในช่วง 1.5-5.5 (Toth and Potthast, 1984) ซึ่งผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดเบสพบว่า Code 10-Poly มีค่าความเป็นกรดเบส 2.3 คือมีค่าความเป็นกรดสูง ส่วน AM-1, AM-10 และ 1291 มีค่าความเป็นกรดเบส 4.3, 4.2 และ 5.7 ตามลำดับ ไม่พบเกณฑ์กำหนดเฉพาะสำหรับ ค่าสี ค่าความเป็นกรด และค่าคุณภาพอื่นนอกจากเรื่องของสาร PAHs ซึ่งกำหนดว่าเป็นสารก่อมะเร็งโดยในประเทศเยอรมัน benzo[a]pyrene (BaP) จัดเป็นตัวบ่งชี้ทั่วไปของการวัด PAHs ทั้งหมดในอาหารรมควัน และค่าความเข้มข้นที่ยอมรับให้มีได้สูงสุดไม่เกิน 1 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับการใช้ SFA โดย JECFA ได้กำหนดความเข้มข้นของ BaP อาหารรมควัน ไม่ควรเกิน 10 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับอาหารที่แต่งกลิ่นรสควันโดยการใช้ SFA สหภาพยุโรป (European commission) กำหนดใน EEC Directive 88 / 388 ให้ปริมาณ BaP สูงสุดไม่เกิน 0.03 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมควันเหลว (Simko, 2002)

ภาพที่ 10 ค่าสีมาตรฐานของ Gardner

ที่มา: BYK-Gradner Company (n.d.)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

11. การศึกษาสารให้กลิ่นควัน และสารอันตราย

ณมาพร (2546) ทดลองผลิตกลิ่นควันเหลวจากชานอ้อยและกาบมะพร้าวพบว่า อุณหภูมิในการผลิต ตัวทำละลายที่ใช้ในการจับควันมีผลต่อคุณสมบัติของกลิ่นควันเหลว โดยพบว่าเมื่ออุณหภูมิการผลิตสูงขึ้น 200 ถึง 350 องศาเซลเซียสจะมีจำนวนชนิดของสารให้กลิ่นมากขึ้นตามลำดับ และมีสีส้มและค่าร้อยละความเป็นกรดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) การใช้โพรไพลีนไกลคอลร้อยละ 0.5 ในการจับควันจะได้กลิ่นควันเหลวที่มีสารฟีนอลิก คาร์บอนิล ฟูแรน และพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน มีสีส้มและมีค่าร้อยละความเป็นกรดมากกว่าการใช้กลีเซอรอลร้อยละ 0.5 และน้ำตามลำดับ กลิ่นควันเหลวจากชานอ้อยมีปริมาณคาร์บอนิลและฟูแรนมากกว่า และมีปริมาณกรดและฟีนอลิกน้อยกว่ากลิ่นควันเหลวทางการค้าทำให้มีกลิ่นควันเฉพาะตัวที่หอมหวาน ในขณะที่กลิ่นควันเหลวจากกาบมะพร้าวมีปริมาณกรด ฟีนอลิก คาร์บอนิล และฟูแรนน้อยกว่าและมี PAHs ที่เป็นอันตรายสูงกว่ากลิ่นควันเหลวจากชานอ้อยและกลิ่นควันเหลวทางการค้าทำให้มีกลิ่นควันที่ฉุนไหม้

Varlet *et al.* (2007) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติด้านประสาทสัมผัสของปลาแซลมอนรมควันโดยใช้เทคนิคการผลิตควันจากไม้ 3 แบบ คือ Smouldering, Thermostated plates, Friction และการเติมควันเหลว (Liquid Smoke) ซึ่งลักษณะด้านประสาทสัมผัสที่ศึกษา คือ ด้านกลิ่น และรสชาติ จากการศึกษาพบว่ากลิ่นและรสชาติมีความสัมพันธ์กับปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด สำหรับคุณสมบัติด้านกลิ่นที่จำแนกได้สำหรับปลาแซลมอนรมควันจากไม้โดยตรง และรมควันแบบเย็น คือ กลิ่นควันจากการเติมควันเหลว มีลักษณะขมเล็กน้อยซึ่งขมกว่าปลาแซลมอนรมควันจากไม้โดยตรง ผลการวิเคราะห์ด้านกลิ่นในการรมควันด้วยเทคนิคแบบ Smouldering, Thermostated plates และ Friction มีความแตกต่างในด้านกลิ่นของปลารมควันทั้ง 3 เทคนิค การรมควันด้วยเทคนิคแบบ Smouldering, Thermostated plates และ Friction เป็นการผลิตควันโดยกระบวนการไพโรลิซิส ซึ่งทั้ง 3 เทคนิคมีความคล้ายกันและมีความแตกต่างจากการใช้ควันเหลว แต่อย่างไรก็ตามระหว่างกระบวนการไพโรลิซิสทั้ง 3 กระบวนการนี้มีความแตกต่างซึ่งสังเกตได้คือ กลิ่นควัน กลิ่นเนย และกลิ่นคล้ายปลาแฮร์ริ่ง โดยความแตกต่างนี้เกิดขึ้นได้เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิของกระบวนการไพโรลิซิสของไม้ อุณหภูมิ 400-500 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่สูงที่สุดและมีความรุนแรงในการไพโรลิซิสของลิกนิน เพราะฉะนั้นการสร้างสารฟีนอลิกและฟูแรนจึงมากขึ้น

กระบวนการผลิตควันระหว่าง Friction (350-380 องศาเซลเซียส) และ Smouldering (400-450 องศาเซลเซียส) นั้นกระบวนการ Friction ทำให้เกิดการ degradation ของไม้ได้น้อย เมื่อเทียบ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กับวิธีไพโรลิซิสที่มีอุณหภูมิสูงอื่น ๆ ดังนั้นการใช้เทคนิค Friction ที่มีอุณหภูมิไพโรลิซิส 380 องศาเซลเซียสจึงมีปริมาณของกลิ่นควันน้อยและมีกลิ่นเนยที่รุนแรงกว่าการใช้ Thermostated plates (500 องศาเซลเซียส) นอกจากนี้แนวโน้มระหว่างกระบวนการที่ใช้อุณหภูมิในการไพโรลิซิสสูง (Smouldering และ Thermostated plates) และกระบวนการที่ใช้อุณหภูมิไพโรลิซิสปานกลาง (Friction) พบว่าการใช้ Thermostated plates จะให้ค่าของกลิ่นควันมากเนื่องจากอุณหภูมิที่สูงของแผ่นให้ความร้อน (500 องศาเซลเซียส) สามารถสร้างกลิ่นของสารฟีนอลิก แต่ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ควันเหลวให้กลิ่นควัน ที่มากกว่าผลิตภัณฑ์รมควันอื่นๆแต่อย่างไรก็ตามการใช้ควันเหลวก็ยังมีปริมาณฟีนอลิกที่ต่ำกว่าการรมควันอื่นๆ ซึ่งการใช้ควันเหลวให้กลิ่นควันที่เข้มข้น ซึ่งผู้ทดสอบให้ค่าคะแนนถึง 5.04 ในขณะที่เทคนิคไพโรลิซิสมีค่าระหว่าง 1.43 ถึง 2.38 สำหรับกลิ่นคล้ายผักไม่มีความแตกต่างในการรมควันทั้ง 3 เทคนิค (Smouldering, Thermostated plates และ Friction) มีเพียงการใช้ควันเหลวที่มีความแตกต่างมาก และสุดท้ายกลิ่นของปลาแซลมอนไม่มีความแตกต่างของกลิ่นปลารมควันสำหรับ 3 เทคนิคข้างต้นแต่มีความแตกต่างมากเมื่อเทียบกับการใช้ควันเหลว

Varlet *et al*. (2007) ได้ทำการศึกษาปริมาณของสาร Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) ของปลาแซลมอนรมควันโดยใช้เทคนิคการผลิตควัน 3 แบบ (Smouldering, Thermostated plates, Friction) และ การเติมควันเหลว โดย European commission กำหนดค่าตกค้างสูงสุดของ benzo[a]pyrene เป็น 5 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับผลิตภัณฑ์อาหารทะเลรมควัน จากตารางที่4 การใช้การผลิตควันด้วยเทคนิค Friction และ Smouldering จะทำให้มีค่า Toxic equivalent quantity (TEQ) ที่สูง ซึ่งค่า TEQ เป็นปริมาณของสารที่เป็นพิษ คำนวณได้จากค่าความเข้มข้นของ PAHในอาหารคูณกับ ค่า TEF (Toxic Equivalent Factor) ส่วนวิธีการ Thermostated plates จะมีค่า TEQ และความเข้มข้นของ benzo[a]pyrene ที่ต่ำมากสำหรับ 1 ชั่วโมงแรกในการรมควัน เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น ความแตกต่างนี้ไม่โดดเด่นสำหรับการรมควันนาน 2 และ 3 ชั่วโมง สำหรับการใช้ควันเหลว ในปลาแซลมอนมีค่าการปนเปื้อนของ PAHs ที่ต่ำ แต่อย่างไรก็ตามกฎหมาย Directive 88 / 388 / EEC กำหนดค่า benzo[a]pyrene ในควันเหลวไม่เกิน 0.03 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งควันเหลวในการทดลองนี้มีค่า BaP สูงกว่ากฎหมายกำหนด และกระบวนการรมควันด้วยเทคนิค Smouldering, Thermostated plates และ Friction พบว่ามีค่าความเข้มข้นของ benzo[a]pyrene ต่ำกว่าที่กฎหมายกำหนด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 4 Toxic equivalent quantity และความเข้มข้นของ benzo(a)pyrene (ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมของควันเหลว) สำหรับ 4 เทคนิคในการรมควันแบบต่าง ๆ

เวลา/อุณหภูมิการรมควัน	1 h		2 h		3h	
	22^{1}	32^{2}	22^{1}	32^{2}	22^{1}	32^{2}
TEQ Smouldering	0.099	0.112	0.119	0.123	0.106	0.140
[BaP]	0.080	0.079	0.083	0.077	0.072	0.092
TEQ Thermostated plates	0.014	0.016	0.096	0.092	0.093	0.100
[BaP]	nq	nq	0.072	0.065	0.069	0.070
TEQ Friction	0.093	0.090	0.112	0.107	0.137	0.125
[BaP]	0.074	0.071	0.089	0.081	0.111	0.097
TEQ Liquid smoke	0.076	0.102	0.078	0.098	0.060	0.064
[BaP]	0.047	0.085	0.064	0.084	0.047	0.047

หมายเหตุ ตัวเลข ^{1,2} เป็นอุณหภูมิในห้องรมควันที่อุณหภูมิ 22 และ 32 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

[BaP] คือความเข้มข้นของ benzo[a]pyrene

Nq คือไม่สามารถบอกจำนวนได้

ที่มา: Varlet *et al.* (2007)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัตถุดิบ

1.1 กากกาแฟสดโรบัสต้า และอะราบิก้า ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทโมเดิร์นคอฟฟี่คอร์ปอเรชั่น จำกัด

1.2 ไส้มินิคอกเทลแฮมเบคอน บริษัท ซีพีเอฟ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)

2. สารเคมี

2.1 โพรไพลีนไกลคอล (propylene glycol) ของ CARLO ERBA Reagents ประเทศอิตาลี

2.2 เฮกเซน (hexane) ระดับ HPLC ของ Honeywell Burdick & Jackson ประเทศสหรัฐอเมริกา

2.3 โซเดียมซัลเฟตแอนไฮดรัส (anhydrous sodium sulfate) ของ CARLO ERBA Reagents ประเทศอิตาลี

2.4 แก๊สไนโตรเจน (nitrogen gas)

2.5 แก๊สฮีเลียม (helium gas) ที่มีความบริสุทธิ์ 99.999%

2.6 สารมาตรฐาน 2-methyl-3-heptanone ของ Aldrich Chemical ประเทศสหรัฐอเมริกา

3. อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.1 เครื่องชั่งหยาบและเครื่องชั่งละเอียด

3.2 เครื่องวัดความเป็นกรดเบส (pH meter: Orion2 Star, Beverly, Massachusetts., USA)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.3 เครื่องวัดสี (Colorimeter, CIE, Model Ultrascan XE, USA)

3.4 ตู้อบลมร้อน

3.5 เทอร์โมคอปเปิล

3.6 เครื่อง Gas Chromatography (HP 6890; Agilent Technologies, USA)

3.7 เครื่อง Mass Spectrometer (HP 5973; Agilent Technologies, USA)

3.8 เครื่องกวนแบบแท่งแม่เหล็ก (Magnetic stirrer)

3.9 เครื่อง Hot plate

3.10 อุปกรณ์งานครัว

3.11 เครื่องบดสับ

3.12 อุปกรณ์ผลิตควัน

วิธีการ

1. การเตรียมตัวอย่างกากกาแฟสด

กากกาแฟสด 2 สายพันธุ์คือ อะราบิก้า และโรบัสต้า โดยใช้กากกาแฟสดที่ผ่านการชงกาแฟมาแล้ว และเตรียมตัวอย่างโดยการนำกากกาแฟไปอบไล่ความชื้นด้วยตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส สุ่มตัวอย่างชั่งน้ำหนักทุก 1 ชั่วโมง เมื่อพบว่าน้ำหนักตัวอย่างคงที่สองครั้งติดต่อกันจึงนำออกจากตู้อบเก็บตัวอย่างใส่ถุงกันความชื้นปิดผนึกด้วยความร้อน และนำใส่กล่องพลาสติกอีกชั้นก่อนเก็บในตู้เย็น 5 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ในการศึกษาต่อไป

2. การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของกากกาแฟสด

นำตัวอย่างกากกาแฟที่เตรียมในข้อ 1 มาวิเคราะห์ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เยื่อใยหยาบ ลิกนิน และเถ้าของกากกาแฟสด 2 สายพันธุ์ คือ กาแฟอะราบิก้า (*Coffea arabica*) และกาแฟโรบัสต้า (*Coffea canephora var. robusta*) ตามวิธีของ AOAC (1999) ซึ่งดำเนินการตามวิธีวิเคราะห์ทางเคมีในภาคผนวก ก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. การผลิตควันเหลวจากกากกาแฟสด และการเก็บกลิ่นควัน

นำกากกาแฟที่ผ่านการทำแห้ง 25 กรัม ใส่ในอุปกรณ์ผลิตควันสแตนเลสที่ปิดสนิทแสดงในภาคผนวก ข1 โดยมีสารละลายโพรไพลีนไกลคอล 30 กรัม เป็นตัวดักจับควัน เผาที่อุณหภูมิ 200, 250 และ 300 องศาเซลเซียส และมีการไหลของอากาศแบบต่อเนื่อง ติดตามอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมคอปเปิลวัดที่ตำแหน่งกึ่งกลางของตัวอย่าง เมื่อมีอุณหภูมิตามที่กำหนดจึงเริ่มต้นเก็บควันในตัวทำละลายโพไพรลีนไกลคอล ดักควัน 1 ชั่วโมง เก็บควันเหลวในขวดเก็บสารที่มีฝาเกลียวปิดสนิท และแช่แข็งที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส

4. ผลของพันธุ์และอุณหภูมิการผลิตควันต่อคุณภาพของควันเหลว

4.1 การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดเบส

วัดค่าความเป็นกรดเบสของกลิ่นควันเหลวที่ผลิตได้ 5 ml ด้วยเครื่อง pH meter ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

4.2 การวิเคราะห์ค่าสี

วัดค่าสีของควันเหลว โดยการวัดค่า L*(ความสว่าง) ค่า a*(ค่า + คือสีแดงและ – คือสีเขียว) และค่า b*(ค่า + คือสีเหลืองและ – คือสีน้ำเงิน) ด้วยเครื่อง Colorimeter, CIE, Model Ultrascan XE, USA โดยใช้สภาวะดังนี้

Illuminate	:	D65
Observers	:	10 degree
Spectral data type	:	Transmittance
Color	:	CIE L*a*b*

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การศึกษาสภาวะในการผลิตควัน โดยวัดค่าความเป็นกรดเบสของควันเหลว(ข้อ 4.1) และค่าสี (ข้อ 4.2) ใช้แผนการทดลองแบบ 2x3 แฟคเทอเรียลแบบสุ่มสมบูรณ์ (factorial design in CRD) (พันธุ์กาแฟ 2 ระดับคือ อะราบิก้า และโรบัสต้า อุณหภูมิในการผลิตควัน 3 ระดับคือ 200, 250 และ 300 องศาเซลเซียส) ทำการทดลอง 3 ซ้ำนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างตัวอย่างด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS (version 17)

5. การรมควันไส้กรอกด้วยควันเหลวจากกากกาแฟสด

เตรียมกากกาแฟและอุปกรณ์ในการผลิตควันเช่นเดียวกับการเตรียมควันเหลว (ข้อ 3) การรมควันเกิดขึ้นในห้องรมควัน (Smokehouse) ซึ่งแยกออกมาจากส่วนที่ผลิตควัน โดยควันจะไหลจากเครื่องผลิตควัน (Smoke generators) ไปตามท่อสู่ห้องรมควันซึ่งอุณหภูมิในห้องรมควันประมาณ 40 องศาเซลเซียสจัดเป็นการรมควันแบบอุ่น (Council of European , 1992) (ภาพผนวกที่ ข2) และใช้อุณหภูมิในการผลิตควันที่ 200, 250 และ 300 องศาเซลเซียส นำไส้กรอกเวียนนาจำนวน 3 ชิ้นมารมควันนาน 30 นาที เก็บไส้กรอกรมควันที่อุณหภูมิ -40°C เพื่อใช้ในการศึกษาต่อไป

6. การสกัดสารระเหย

นำตัวอย่างควันเหลวจากข้อ 3 มา 30 กรัม เติมตัวทำละลายเฮกเซน 30 มิลลิลิตร จากนั้นเติม internal standard (2-methyl-3-heptanone) ความเข้มข้น 1.32 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ในเมทานอลจำนวน 20 ไมโครลิตร ทำการสกัด 30 นาที ด้วยเครื่องกวนแบบแม่เหล็ก เทแยกชั้นของเฮกเซนเก็บในขวดดูแรนปิดฝาให้สนิท ทำการสกัดซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง ส่วนตัวอย่างไส้กรอกรมควันทำเช่นเดียวกันโดยนำมาปั่นให้ละเอียด สุ่มมาจำนวน 15 กรัม เติมตัวทำละลายเฮกเซน 30 มิลลิลิตร จากนั้นเติม internal standard 20 ไมโครลิตร ทำการสกัด 30 นาที แยกสารระเหยโดยใช้เครื่องกลั่นสุญญากาศ ที่ความดันสุญญากาศประมาณ 10^{-5} Torr นำสารที่กลั่นได้ไปทำให้เข้มข้นโดยการเป่าก๊าซไนโตรเจนเบาๆ จนตัวอย่างมีปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร เก็บตัวอย่างในขวดสีชาที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส เพื่อใช้วิเคราะห์ในข้อ 7 ต่อไป (ดัดแปลงจาก Watcharananun and Haungrak, 2009)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การสกัดสารระเหยจากไส้กรอกใช้ทั้งตัวอย่างไส้กรอกที่ไม่รมควัน และไส้กรอกที่ผ่านการรมควันด้วยวิธีในข้อ 5

7. การวิเคราะห์องค์ประกอบของสารระเหยในควัน

วิเคราะห์สารระเหยด้วย GC (HP 6890; Agilent Technologies, USA) –MS (HP 5973; Agilent Technologies, USA) โดยฉีดตัวอย่างที่เตรียมได้จากข้อ 6 ปริมาตร 1 ไมโครลิตร แบบ splitless โดยการแยกด้วยคอลัมน์ DB-5MS (30m x 0.25µm x 0.25µm) และใช้แก๊สฮีเลียม 99.999% เป็นแก๊สตัวพา ซึ่งมีอัตราการไหลเท่ากับ 1 มิลลิลิตรต่อนาที อุณหภูมิตู้อบเริ่มต้นจาก 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที และเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตรา 10 องศาเซลเซียสต่อนาที จนอุณหภูมิถึง 250 องศาเซลเซียส คงที่ไว้เป็นเวลา 15 นาที ระบุชนิดของสารระเหยโดยใช้ The National Institute of Standards and Technology'08 (NIST'08) Library (Agilent Technologies, USA) ระบุค่า relative index (RI) และคำนวณความเข้มข้นของสารระเหยดังแสดงในภาคผนวก ค

8. การวิเคราะห์ผลทางสถิติขององค์ประกอบของสารระเหย

การศึกษาสภาวะในการผลิตควันโดยวัดองค์ประกอบของสารระเหยจากควันเหลวและไส้กรอกรมควัน ใช้แผนการทดลองแบบ 2x3 แฟคเทอเรียลแบบสุ่มสมบูรณ์ (factorial design in CRD) (พันธุ์กาแฟ 2 ระดับคือ อะราบิก้า และโรบัสต้า อุณหภูมิในการผลิตควัน 3 ระดับคือ 200, 250 และ 300 องศาเซลเซียส) ทำการทดลอง 2 ซ้ำนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างตัวอย่างด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS (version 17)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์

1. องค์ประกอบของกากกาแฟโรบัสต้าและอะราบิก้า

กากกาแฟพันธุ์โรบัสต้า และอะราบิก้าซึ่งเป็นวัสดุเศษเหลือจากการชงกาแฟสดได้รับอนุเคราะห์จากบริษัทโมเดิร์นคอฟฟี่คอร์ปอเรชั่น จำกัด นำมาอบที่ 80 องศาเซลเซียสเพื่อ ปรับปริมาณความชื้นในวัตถุดิบของกากกาแฟสดทั้ง 2 พันธุ์ สุ่มตัวอย่างกากกาแฟนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบได้แก่ ความชื้น ไขมัน คาร์โบไฮเดรต โปรตีน เยื่อใยหยาบ และเถ้าได้ผลดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 องค์ประกอบของกากกาแฟพันธุ์โรบัสต้าและอะราบิก้า

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ(ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)	
	พันธุ์	
	โรบัสต้า	อะราบิก้า
ความชื้น	2.65[a]±0.29	2.85[a]±0.17
ไขมัน	10.04[b]±0.12	12.18[a]±0.06
คาร์โบไฮเดรต	59.84[a]±1.37	59.36[a]±0.73
โปรตีน	6.22[a]±1.13	5.52[a]±0.11
เยื่อใยหยาบ	19.21[a]±0.20	18.59[a]±1.12
เถ้า	2.04[a]±0.06	1.50[b]±0.27

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ (Mean ± SD)

อักษร a,b ที่ต่างกันในแนวนอน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของกากกาแฟพันธุ์โรบัสต้าพบว่ามีความชื้น ไขมัน คาร์โบไฮเดรต โปรตีน เยื่อใยหยาบ และเถ้าอยู่ในปริมาณร้อยละ 2.65, 10.04, 59.84, 6.22, 19.21 และ 2.04 ตามลำดับ ในขณะที่กากกาแฟพันธุ์อะราบิก้ามีองค์ประกอบดังกล่าวอยู่ร้อยละ 2.85, 12.18, 59.36, 5.52, 18.59 และ 1.50 ตามลำดับ วัตถุดิบทั้งสองมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนในปริมาณไขมัน และเถ้า ซึ่งพันธุ์กาแฟมีผลต่อองค์ประกอบทางเคมี (Semmelroch and Grosch, 1996) ดังนั้นกากกาแฟจากต่างพันธุ์กันจึงมีองค์ประกอบที่ต่างกันด้วย

ในการผลิตสารระเหยจากกลิ่นควันนั้นปัจจัยขององค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญคือ ความชื้น และเส้นใยซึ่งหมายถึงปริมาณของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน (Maga, 1988) จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของกากกาแฟพันธุ์โรบัสต้าและอะราบิก้าที่เป็นวัตถุดิบในการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า กากกาแฟทั้งสองพันธุ์มีความชื้น และเส้นใยไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ดีสัดส่วนขององค์ประกอบอื่นที่ต่างกันอาจมีผลต่อชนิดและปริมาณสารระเหยที่ได้จากการผลิตควัน ซึ่ง Toth and Patthas (1984) กล่าวว่าการเผาไหม้สารอินทรีย์จะมีปฏิกิริยาต่างๆร่วมด้วยมากมาย เช่น ปฏิกิริยาเมลลาร์ด การสลายตัวด้วยความร้อนของน้ำตาลและกรดแอมิโน การเผาไหม้ของไขมัน และปฏิกิริยาไพโรลิซิส ซึ่งทำให้เกิดสารระเหยที่ต่างกันจำนวนมาก ดังนั้นการใช้กากกาแฟที่มีสายพันธุ์แตกต่างกันจึงน่าจะให้สารระเหยที่ต่างกัน

2. ผลของพันธุ์และอุณหภูมิในการผลิตควันต่อสมบัติของควันเหลว

จากการศึกษาพบว่าโดยมากสารประกอบที่อันตรายจะเกิดที่อุณหภูมิประมาณ 300 องศาเซลเซียส โดยเฉพาะสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Janssen, 1997) ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเลือกศึกษาการผลิตควันที่ อุณหภูมิ 200, 250 และ 300 องศาเซลเซียส โดยนำกากกาแฟพันธุ์โรบัสต้า และอะราบิก้าเผาที่อุณหภูมิ 200, 250 และ 300 องศาเซลเซียส และใช้ตัวทำละลายโพรไพลีนไกลคอลดักจับควัน ศึกษาผลของปัจจัยอุณหภูมิและชนิดของกากกาแฟต่อสมบัติของควัน พบว่าควันจากกากกาแฟพันธุ์โรบัสต้า และอะราบิก้าซึ่งผลิตที่อุณหภูมิต่างกันมีองค์ประกอบของสารระเหย ค่าความเป็นกรดเบส และค่าสีแตกต่างกันดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.1 ค่าความเป็นกรดเบสของควันเหลวจากกากกาแฟทั้ง 2 พันธุ์

จากการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดเบสของควันเหลวจากกากกาแฟทั้ง 2 พันธุ์ ซึ่งผลิตควันที่อุณหภูมิ 200, 250 และ 300 องศาเซลเซียส และใช้ตัวทำละลายโพรไพลีนไกลคอลในการดักจับควันพบว่า พันธุ์ และอุณหภูมิมีผลต่อค่าความเป็นกรดเบสของควันเหลว แต่ปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์และอุณหภูมิไม่มีผลต่อค่าความเป็นกรดเบสของควันเหลว (ตารางผนวก ง1) จากตารางที่ 6 พบว่าพันธุ์ที่ต่างกันจะมีค่าความเป็นกรดเบสต่างกันซึ่งพันธุ์โรบัสต้ามีค่าความเป็นกรดเบสสูงกว่าพันธุ์อะราบิก้า ($p<0.05$) และเมื่อใช้อุณหภูมิการผลิตที่สูงขึ้น 200, 250 และ 300 องศาเซลเซียส ควันเหลวมีค่าความเป็นกรดเบสลดลง ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับ ณมาพร (2546) ที่ศึกษาควันจากการเผาไหม้ของชานอ้อยและกาบมะพร้าว และพบว่าเมื่ออุณหภูมิการเผาไหม้สูงขึ้นค่าความเป็นกรดเบสของควันเหลวจะลดลง จากค่าความเป็นกรดเบสอยู่ในช่วง 3.80-4.81 แสดงว่าควันจากกากกาแฟสดทั้ง 2 พันธุ์ มีองค์ประกอบของสารที่ให้โปรตอนหรือสารที่เป็นกรดโดยอุณหภูมิการเผาไหม้สูงขึ้นจะมีสารเหล่านั้นมากขึ้น จากรายงานของ Montazeri *et al.* (2013) ระบุว่าควันเหลวจากการเผาไหม้โดยทั่วไปมีกรดแอซีติก และกรดอินทรีย์เป็นองค์ประกอบ ส่วนใหญ่จึงมีค่าความเป็นกรดเบสค่อนข้างต่ำ และยังมีสารประกอบฟีนอลิกที่มีโมเลกุลใหญ่หลากหลายชนิดซึ่งเป็นสารที่ให้โปรตอน รวมถึงกัวเอคอล ไซรินจอลและอนุพันธุ์ และสารประกอบฟีนอลิกมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิการเผาไหม้สูงขึ้น จึงมีส่วนทำให้ค่าความเป็นกรดเบสของควันเหลวลดลงเมื่ออุณภูมิสูงขึ้น ซึ่งผลการวิเคราะห์สารระเหยในควันเหลวของการทดลองนี้แสดงในข้อ 2.3 พบการเพิ่มขึ้นของสารประกอบฟีนอลิกเมื่อผลิตควันที่อุณหภูมิสูงขึ้นสอดคล้องกับค่าความเป็นกรดที่ลดลง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 6 ค่าความเป็นกรดเบสของควันเหลวจากกากกาแฟสดชนิดโรบัสต้าและอะราบิก้าในตัวทำละลายโพรไพลีนไกลคอลที่อุณหภูมิการผลิตควัน 200, 250 และ 300 องศาเซลเซียส

ชนิดของกากกาแฟ	ค่าเฉลี่ยความเป็นกรดเบสของควันเหลว		
	200°C	250°C	300°C
พันธุ์โรบัสต้า	$4.81^{Aa} \pm 0.90$	$4.68^{Ab} \pm 0.04$	$4.33^{Ac} \pm 0.10$
พันธุ์อะราบิก้า	$4.32^{Ba} \pm 0.07$	$4.02^{Bb} \pm 0.06$	$3.80^{Bc} \pm 0.13$

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ (Mean $\pm$ SD)

อักษร a-c ที่ต่างกันในแนวนอน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

อักษร A, B ที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

2.2 ค่าสีของควันเหลวจากกากกาแฟทั้ง 2 พันธุ์

การวัดค่าสีของควันเหลวจากกากกาแฟสดพันธุ์โรบัสต้าและอะราบิก้าซึ่งเผาไหม้ที่อุณหภูมิ 200, 250 และ 300 องศาเซลเซียสโดยใช้ตัวทำละลายโพไพรลีนไกลคอลในการดักจับควัน พบว่า พันธุ์และอุณหภูมิมีผลต่อค่าสีของควันเหลว (ตารางผนวก ง2)โดยพันธุ์โรบัสต้ามีค่าความสว่าง ความเป็นสีเขียวสูงกว่าพันธุ์อะราบิก้าแต่อะราบิก้ามีค่าความเป็นสีเหลืองสูงกว่า (ตารางที่ 7) ซึ่งพบว่า เมื่ออุณหภูมิในการเผาไหม้เพิ่มขึ้น ค่าความสว่าง (L*) ของควันเหลวจากกากกาแฟสดทั้ง 2 พันธุ์มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และค่า a* ของควันเหลวจากกากกาแฟสดทั้ง 2 พันธุ์ในตัวทำละลายโพรไพลีนไกลคอลเมื่ออุณหภูมิการผลิตเพิ่มขึ้นมีค่าเป็นลบเพิ่มขึ้น แสดงว่าควันเหลวจากกากกาแฟสดทั้ง 2 พันธุ์มีความเป็นสีเขียวเพิ่มขึ้นเล็กน้อย($p<0.05$) เมื่ออุณหภูมิการผลิตสูงขึ้น ส่วนค่า b* ของควันเหลวพบว่า มีค่าเป็นบวกคือมีค่าความเป็นสีเหลืองและมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่ออุณหภูมิการผลิตเพิ่มขึ้น ซึ่งจากผล L* a* และ b* นี้ชี้ให้เห็นว่า เมื่อใช้อุณหภูมิในการผลิตควันที่สูงขึ้นควันเหลวจะมีสีเหลืองอมเขียวที่มีความสว่างน้อยลง ณมาพร (2546) รายงานว่าสีเหลืองในควันเหลวที่ได้จากกาบมะพร้าว และชานอ้อยเกิดจากสาร furfural ที่เป็นองค์ประกอบหนึ่งในควันเหลวโดยสารนี้จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการเผาไหม้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพิ่มขึ้นนอกจากนั้น Simko (2002) รายงานว่า สารประกอบฟูแรนเป็นสารที่เกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดและให้สีน้ำตาล ซึ่งในงานวิจัยนี้การเพิ่มขึ้นของสารประกอบฟูแรน และ สาร furfural สอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของค่าสีเหลืองดังกล่าวข้างต้นดังผลการวิเคราะห์ในตอนต่อไป จากการศึกษาสีของควันเหลวทางการค้า 4 ชนิดของ Montazeri *et al.* (2013) พบว่าเป็นเฉดสีเหลืองโดยมีระดับของสีเหลืองที่วัดโดยใช้เครื่อง The Gardner Delta Color Comparator แตกต่างกัน ดังนั้นสีเหลืองจึงเป็นเฉดสีของควันเหลวโดยทั่วไป

ตารางที่ 7 ค่าสีของควันเหลวจากกากกาแฟพันธุ์โรบัสต้าและอะราบิก้าในตัวทำละลายโพรไพลีนไกลคอลที่อุณหภูมิการผลิตควันที่ 200, 250 และ 300 องศาเซลเซียส

ชนิดของกากกาแฟ	อุณหภูมิการผลิต	ค่าสี		
	(°C)	L*	a*	b*
พันธุ์โรบัสต้า	200	$98.38^{a} \pm 0.15$	$-2.16^{f} \pm 0.01$	$10.95^{f} \pm 0.02$
	250	$96.76^{c} \pm 0.02$	$-2.94^{d} \pm 0.01$	$18.65^{d} \pm 0.01$
	300	$95.97^{d} \pm 0.01$	$-3.67^{a} \pm 0.01$	$22.58^{c} \pm 0.01$
พันธุ์อะราบิก้า	200	$98.07^{b} \pm 0.02$	$-2.36^{e} \pm 0.01$	$13.02^{e} \pm 0.01$
	250	$95.53^{e} \pm 0.01$	$-3.32^{b} \pm 0.01$	$23.37^{b} \pm 0.01$
	300	$94.63^{f} \pm 0.01$	$-3.29^{c} \pm 0.01$	$27.68^{a} \pm 0.02$

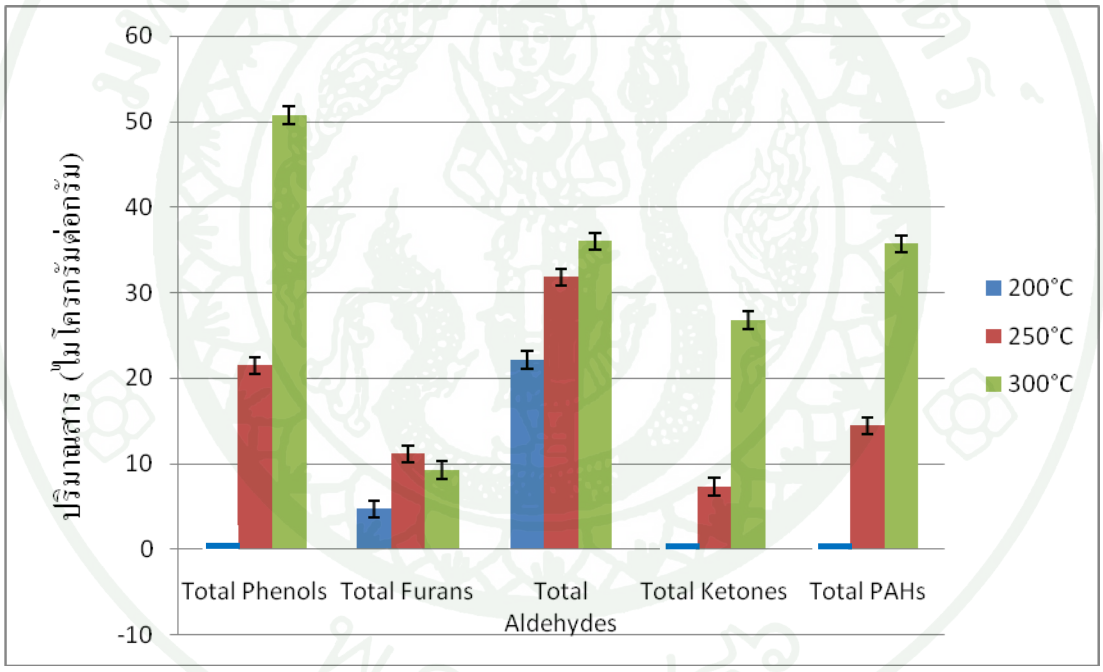
หมายเหตุ อักษร a-f ที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

2.3 องค์ประกอบของสารระเหยในควันเหลวจากกากกาแฟสดพันธุ์โรบัสต้าและอะราบิก้า

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของสารระเหยในควันเหลวจากกากกาแฟสดโรบัสต้าและอะราบิก้าซึ่งเผาไหม้ที่อุณหภูมิ 200, 250 และ 300 องศาเซลเซียส พบว่าประกอบด้วยสารประกอบฟีนอล คาร์บอนิล ฟูแรน และพอลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน และเมื่ออุณหภูมิการเผาไหม้สูงขึ้นที่ 200, 250 และ 300 องศาเซลเซียส จะมีจำนวนชนิดและปริมาณของ

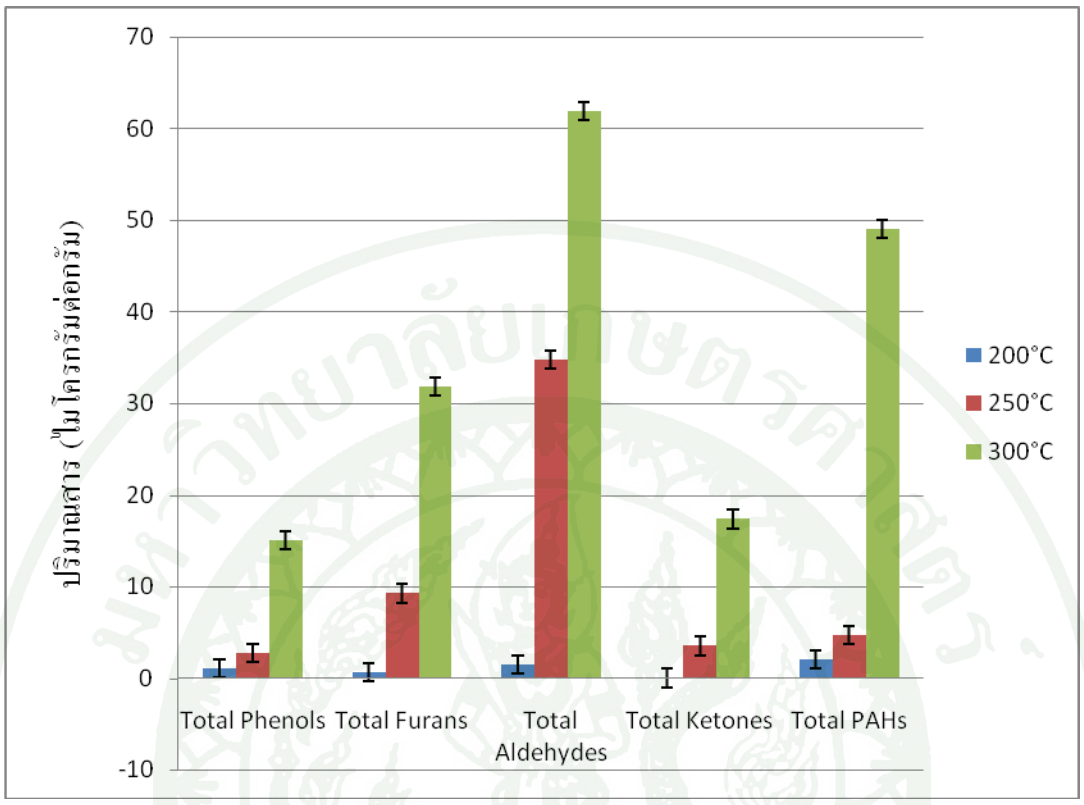
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารประกอบดังกล่าวเพิ่มขึ้นดังแสดงในภาพที่ 11 และภาพที่ 12 โดยเฉพาะที่ 300 องศาเซลเซียส จะพบสารระเหยมากกว่าที่ 200 องศาเซลเซียสมาก ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Maga (1988) ที่ระบุว่าความร้อนจากกการเผาไหม้ของไม้มีความสำคัญต่อการเกิดกลิ่น ซึ่งความร้อนจะทำให้เกิดการสลายตัวของเฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส และลิกนินทำให้เกิดสารให้กลิ่นหล ายชนิด เช่น ฟีนอล กัวเอคอล และไซรินจอล เป็นต้น และกระบวนการเผาไหม้ที่ 300 องศาเซลเซียสเกิดการสลายตัวของเฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส และลิกนินเพิ่มขึ้น และสมบูรณ์ยิ่งขึ้นกว่าที่ 200 องศาเซลเซียส โดยในช่วง 200 องศาเซลเซียสเกิดการสลายของเฮมิเซลลูโลสเป็นส่วนใหญ่แต่จะเกิดการสลายตัวของเซลลูโลสและลิกนินได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น



ภาพที่ 11 ปริมาณสารระเหยในควันเหลวจากกากกาแฟสดพันธุ์โรบัสต้าที่อุณหภูมิการเผาไหม้ต่างๆ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 12 ปริมาณสารระเหยในควันเหลวจากกากกาแฟสดพันธุ์อะราบิก้าที่อุณหภูมิการเผาไหม้ต่างๆ

สารประกอบกลุ่มฟีนอลเป็นกลุ่มที่สำคัญต่อองค์ประกอบของควันซึ่งให้กลิ่นควันในควันเหลวและผลิตภัณฑ์อาหารรมควัน และสารประกอบกลุ่มฟีนอลยังให้สมบัติในการยับยั้งออกซิเดชัน (antioxidant) และยับยั้งแบคทีเรีย (antibacterial) (Maga, 1988) ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสไม่พบสารประกอบกลุ่มฟีนอล และอนุพันธ์ (ตารางที่ 8) ซึ่งได้แก่ กัวเอคอล (2-methoxyphenol) และอนุพันธ์ที่เป็นสารให้กลิ่นควันที่สำคัญมากและมีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระในควัน (Guillen *et al.*, 2001) แต่จะเริ่มพบสารประกอบดังกล่าวเมื่ออุณหภูมิการผลิตควันเพิ่มขึ้นที่ 250 และ 300 องศาเซลเซียส และพบมากในควันเหลวจากกากกาแฟโรบัสต้า ซึ่งที่อุณหภูมิการเผาไหม้ที่ 300 องศาเซลเซียสมีปริมาณสารกัวเอคอลมากกว่าที่ 250 องศาเซลเซียสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เนื่องจากเป็นช่วงอุณหภูมิที่เกิดการเผาไหม้และการสลายตัวของลิกนินได้ดีขึ้น มีการรายงานว่ากัวเอคอลมีความสำคัญต่อกลิ่นกาแฟ และเป็นสารสำคัญในควันโดย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ให้กลิ่นควัน นอกจากนั้นยังเป็นสารที่ให้กลิ่นในเครื่องเทศเช่น กานพลู (Sanz *et al.,* 2001) และที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียสพบ Tran-1-phenyl-1-pentene ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียสพบ 4-ethyl-2-methoxyphenol ซึ่งสารดังกล่าวให้กลิ่นหวานและกลิ่นควัน (Montazeri *et al.,* 2013) พบ biphenyl ซึ่งเป็นสารที่ช่วยในการป้องกันการเจริญเติบโตของราโดยเมื่ออุณหภูมิการผลิตเพิ่มขึ้นจะมี biphenyl เพิ่มขึ้น Flament (2002) พบปริมาณสารในกลุ่มฟีนอลในกาแฟโรบัสต้ามากกว่ากาแฟอะราบิก้า ซึ่งสอดคล้องกับผลที่พบในควันเหลวที่ได้จากกากกาแฟโรบัสต้าที่มีจำนวนชนิดและความเข้มข้นของสารกลุ่มฟีนอลมากกว่ากากกาแฟพันธุ์อะราบิก้า และทำให้มีแนวโน้มว่าควันเหลวจากพันธุ์โรบัสต้าน่าจะมีความเข้มของกลิ่นควันที่สูงกว่าด้วย

ทำนองเดียวกันเมื่อใช้อุณหภูมิการเผาไหม้สูงขึ้นที่ 200, 250 และ 300 องศาเซลเซียส สารระเหยในควันจากกากกาแฟสดทั้ง 2 พันธุ์มีสารระเหยประเภทคาร์บอนิลเพิ่มขึ้น โดยสารประกอบคาร์บอนิลได้แก่ สารประกอบแอลดีไฮด์ คีโตน และฟูแรน สารกลุ่มนี้มีพื้นฐานของลักษณะกลิ่นหวาน กลิ่นคาราเมล และให้กลิ่นควันในควันเหลว (Kostyra and Barylko-Pikielna, 2006) สารประกอบฟูแรนมีผลมาจากความร้อนที่ทำให้เกิดการสลายตัวของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส ซึ่งกลิ่นควันจากฟูแรนทั้งหมดจะช่วยทำให้กลิ่นควันที่เกิดจากสารประกอบฟีนอลิกนุ่มนวลขึ้น (Kim *et al*.,1974) สารประกอบฟูแรนเป็นสารที่เกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดซึ่งทำให้เกิดลักษณะสีน้ำตาล (Simko, 2005) จึงทำให้ควันเหลวมีค่าความเป็นสีเหลืองที่สูงขึ้นพบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นสารประกอบฟูแรนในควันเหลวมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้น(ภาพที่ 11, 12) สอดคล้องกับค่าความเป็นสีเหลืองที่เพิ่มขึ้นเมื่อทำการผลิตควันที่อุณหภูมิสูงขึ้น (ตารางที่ 7) โดยสารประกอบฟูแรนที่พบในปริมาณมาก เช่น Furfural, 1-(2-furanyl)Ethanone และ 2-pentylfuran เป็นต้น นอกจากนั้นสารประกอบ Furfural และ 1-(2-furanyl)Ethanone เป็นสารให้กลิ่นรสหอมหวาน เกิดในช่วงการผลิตควันที่อุณหภูมิ 250 และ 300 องศาเซลเซียสโดยที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียสมีปริมาณสารมากกว่าที่ 250 องศาเซลเซียส และพบว่าควันเหลวที่ได้จากกากกาแฟโรบัสต้ามีความเข้มข้นของ Furfural และ 1-(2-furanyl)ethanone มากกว่ากากกาแฟอะราบิก้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ตารางที่ 8) ทำให้ควันเหลวที่ได้จากกากกาแฟโรบัสต้ามีลักษณะกลิ่นหอมหวานซึ่งทำให้กลิ่นควันที่ได้จากสารประกอบฟีนอลมีความนุ่มนวลมากขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารประกอบแอลดีไฮด์ คีโตนที่พบในควันเหลวจากกากกาแฟ ได้แก่ hexanal, octanal, nonanal, 2-methyl-2-cyclopenten-1-one, acetophenone และ benzadehyde เป็นต้น (ตารางที่ 8) ณมาพร (2546) รายงานการพบสารประกอบในกลุ่มของ 2-cyclopenten-1-one ที่อุณหภูมิการผลิตควัน 250 องศาเซลเซียส ขึ้นไป แต่ในควันจากกากกาแฟสดพบที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ซึ่งสารในกลุ่ม 2-cyclopenten-1-one เป็นสารที่มีกลิ่นหอมหวาน กลิ่นคาราเมล กลิ่นไหม้ (Flavorbase, 2004) หรือบางตัวให้รสขม และกลิ่นคล้ายหญ้า (Kim *et al*.,1974)

จะเห็นได้ว่าสารระเหยที่พบในควันเหลวจากกากกาแฟทั้ง 2 พันธุ์มีกลุ่มสารสำคัญเช่นเดียวกับควันเหลวจากแหล่งควันไม้ และพันธุ์กาแฟที่ต่างกันซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีคือไขมันและเถ้าต่างกัน (ตารางที่ 5) ก็ให้องค์ประกอบของสารระเหยปริมาณแตกต่างกัน แต่ชนิดของสารระเหยต่างกันไม่มากนัก แต่อย่างไรก็ตามเมื่ออุณหภูมิในการผลิตควันเพิ่มขึ้นจาก 200 ถึง 300 องศาเซลเซียสในทั้งสองพันธุ์ พบปริมาณสาร PAHs เพิ่มขึ้นตามลำดับ(ตารางที่ 8) เนื่องจากเกิดการเผาไหม้ของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสได้มากขึ้น โดยที่ 200 องศาเซลเซียสไม่พบ PAHs ในพันธุ์โรบัสต้าและพบจำนวนเล็กน้อยในอะราบิก้า สาร PAHs ที่พบ ส่วนใหญ่จะเป็น แนฟทาลีน (Naphthalene)และอนุพันธุ์ และอินดีน (Indene) ซึ่งที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียสพบสารดังกล่าวในควันเหลวจากกากกาแฟอะราบิก้ามากกว่าโรบัสต้า จากรายชื่อสาร PAH ที่เป็นพิษระบุโดย EPA พบว่า Naphthalene ซึ่งพบใน ควันเหลวจากกากกาแฟ อยู่ในรายชื่อสารที่เป็นพิษด้วย แต่ในการตรวจวิเคราะห์ความเป็นอันตรายของ PAHs จะใช้สาร BaP เป็นดัชนีชี้วัด ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบของสารระเหยในควันเหลวโดยวิธีการวิเคราะห์ด้วย GC-MS ซึ่งทำให้ไม่พบสาร BaP ทั้งนี้จากรายงานการตรวจอาหารที่ผ่านการรมควันของ Varlet *et al.* (2007) ทำการวิเคราะห์หาสารประกอบ PAHs โดยใช้สารผสม 20 ชนิดของ ^{13}C PAH เป็น internal standard โดยมี BaP เป็นส่วนประกอบด้วย และฉีด GC-MS/M

ซึ่งจะทำให้สามารถแยกสารกลุ่ม PAHs และ BaP ได้ ดังนั้นเพื่อยืนยันด้านความปลอดภัยในควันจากกากกาแฟจึงควรทำการศึกษาเพิ่มเติมตามวิธีการของ Varlet *et al.* (2007) หรือวิธีการอื่นที่เทียบเท่า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 8 สารระเหยที่สำคัญในควันเหลวจากกากกาแฟพันธุ์โรบัสต้าและอะราบิก้าที่อุณหภูมิการเผาไหม้ 200, 250 และ 300 องศาเซลเซียส

ชนิดของสารให้กลิ่น	ปริมาณสาร (ไมโครกรัมต่อกรัม)						อธิบายเพิ่มเติม
	กากกาแฟพันธุ์โรบัสต้า			กากกาแฟพันธุ์อะราบิก้า			
	200	250	300	200	250	300	
Phenols							
2-methoxyphenol	-	6.46^{b}±0.04	9.55^{a}±0.68	-	-	-	Smoky flavor[1]/antioxidant[1]
trans-1-phenyl-1-pentene	-	4.04^{b}±0.09	7.10^{a}±0.11	-	1.80^{c}±0.05	-	Smoky flavor[2]/sweet flavor[2]
4-ethyl-2-methoxyphenol	-	6.72^{c}±0.11	13.30^{a}±0.10	-	-	8.26^{b}±0.42	Smoky flavor[2]
4-vinyl-2-methoxyphenol	-	-	5.43±0.63	-	-	-	Smoky flavor[2]
Biphenyl	-	4.21^{c}±0.27	8.18^{a}±0.12	1.02^{d}±0.15	0.94^{e}±0.08	4.47^{b}±0.16	Antibacterial[2]
Furans							
Furfural	-	1.50^{c}±0.07	2.79^{a}±0.06	-	0.10^{d}±0.03	2.17^{b}±0.08	Sweet flavor[3]/yellow color[4,5]
1-(2-furanyl)-ethanone	-	3.48^{c}±0.22	6.89^{a}±0.05	-	2.18^{d}±0.04	5.62^{b}±0.28	Sweet flavor[3]

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 8 (ต่อ)

ชนิดของสารให้กลิ่น	ปริมาณสาร (ไมโครกรัมต่อกรัม)						อธิบายเพิ่มเติม
	กากกาแฟพันธุ์โรบัสต้า			กากกาแฟพันธุ์อะราบิก้า			
	200	250	300	200	250	300	
2-pentyl furan	4.68[b]±0.08	4.17[b]±0.18	5.12[a]±0.13	0.62[c]±0.06	4.57[b]±0.28	5.56[a]±0.35	Sweet flavor[3]
2-methylbenzofuran	-	2.00[b]±0.05	6.23[a]±0.97	-	1.10[c]±0.11	6.27[a]±0.33	-
Aldehydes							
Benzaldehyde	2.71[e]±0.06	8.34[c]±0.64	11.65[a]±0.95	1.50[f]±0.10	8.15[d]±0.18	9.74[b]±0.06	-
Nonanal	3.65[e]±0.11	7.14[b]±0.06	8.96[a]±0.31	-	4.42[d]±0.08	7.02[c]±0.04	-
Decanal	1.43[c]±0.04	-	-	-	2.27[b]±0.08	7.03[a]±0.13	-
3-(4-methylphenyl)-2-propenal	-	-	-	-	3.55[b]±0.20	12.64[a]±0.13	-
(E,E)-2,4-decadienal	7.91[d]±0.23	9.93[c]±0.25	15.39[b]±0.11	-	5.19[e]±0.15	17.13[a]±0.10	-
Ketones							
3-methyl-2-cyclopenten-1-one	-	-	5.36[a]±0.19	-	-	5.57[a]±0.11	Bitter taste[6]/carmel flavor[6]

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 8 (ต่อ)

ชนิดของสารให้กลิ่น	ปริมาณสาร (ไมโครกรัมต่อกรัม)						อธิบายเพิ่มเติม
	กากกาแฟพันธุ์โรบัสต้า			กากกาแฟพันธุ์อะราบิก้า			
	200	250	300	200	250	300	
Acetophenone	-	4.95[b]±0.16	8.21[a]±0.13	-	2.73[c]±0.08	-	-
2,3,4-trimethyl-2-cyclopenten-1-one	-	-	-	-	-	7.57±0.17	Bitter taste[6]/carmel flavor[6]
1-phenyl-1-hexanone	-	2.34[c]±0.13	5.70[a]±0.03	-	0.79[d]±0.20	4.23[b]±0.02	Bitter taste[6]/carmel flavor[6]
Polycyclic aromatic hydrocarbons							
1-methyl-1H-Indene	-	-	-	-	-	8.71±0.38	-
Naphthalene	-	9.14[b]±0.04	15.09[a]±0.20	2.00[e]±0.14	3.72[d]±0.11	8.59[c]±0.23	-
2-methylnaphthalene	-	-	-	-	0.99[b]±0.18	7.19[a]±0.10	-
1-methylnaphthalene	-	-	0.99[b]±0.20	-	-	7.55[a]±0.18	-
1,3-dimethyl-naphthalene	-	3.50[b]±0.04	7.50[a]±0.21	-	-	-	-
2,7-dimethylnaphthalene	-	1.81[c]±0.23	3.78[a]±0.01	-	-	2.98[b]±0.08	-

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 8 (ต่อ)

ชนิดของสารให้กลิ่น	ปริมาณสาร (ไมโครกรัมต่อกรัม)						อธิบายเพิ่มเติม
	กากกาแฟพันธุ์โรบัสต้า			กากกาแฟพันธุ์อะราบิก้า			
	200	250	300	200	250	300	
1,2,3,4-tetrahydro-1,1,6-trimethylnaphthalene	-	-	-	-	-	5.60±0.08	-
1,4-dimethylnaphthalene	-	-	-	-	-	5.35±0.44	-

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ (Mean ± SD)

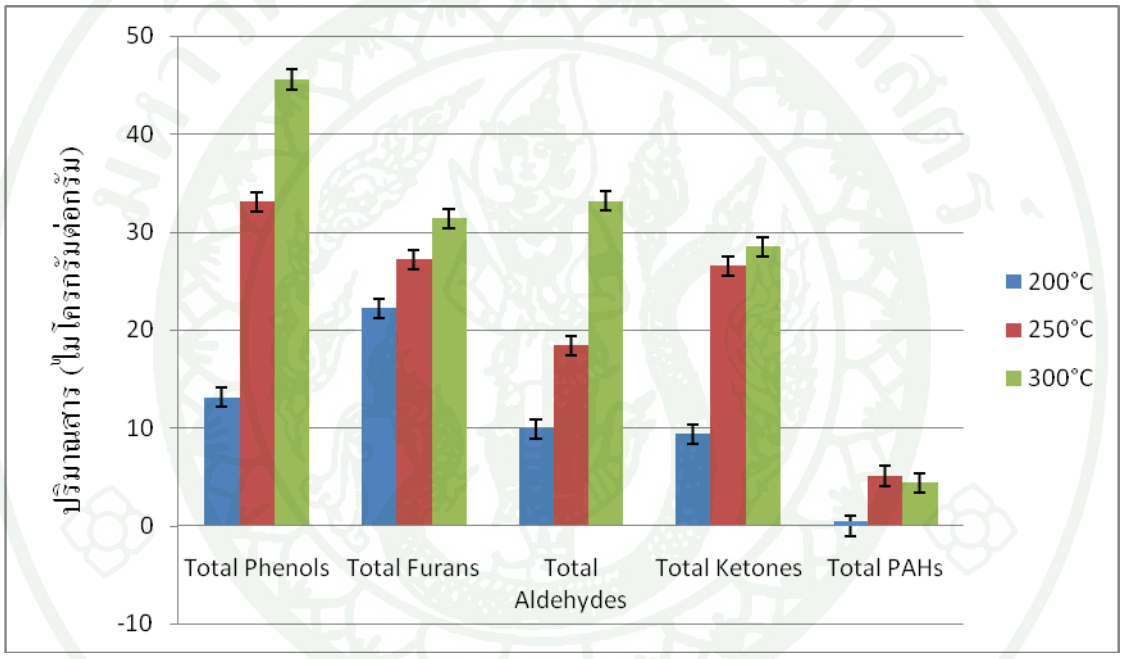
อักษร a,b,c,d,e,f ที่ต่างกันในแนวนอน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

[1] Guillen *et al.* (2001) [2] Montazari *et al.* (2013) [3] Kim *et al.* (2005) [4] Simko (2002) [5] ณมาพร (2546) [6] Kim *et al.* (1974)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

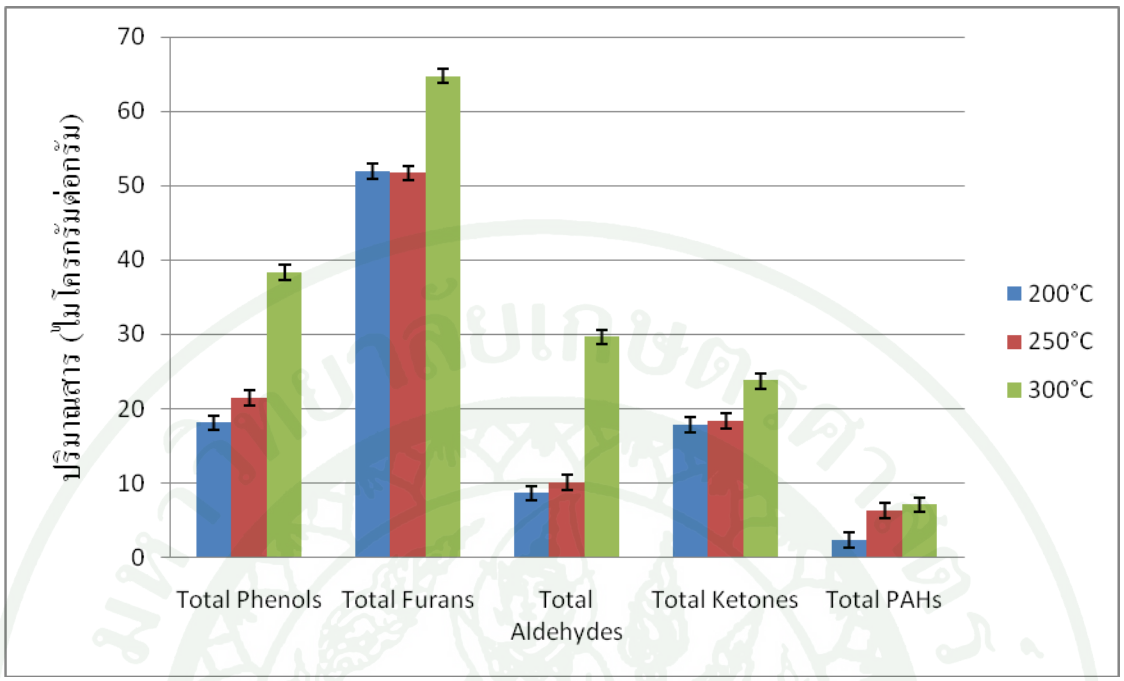
3. ผลของอุณหภูมิในการผลิตควันจากกากกาแฟต่อองค์ประกอบของสารระเหยในไส้กรอกรมควัน

จากการวิเคราะห์สารระเหยที่สกัดจากไส้กรอกรมควันที่ทำการรมควันโดยใช้กากกาแฟจากพันธุ์โรบัสต้าและอะราบิก้าโดยผลิตควันที่ 200, 250 และ300 องศาเซลเซียส พบสารระเหยประกอบด้วยสารประกอบฟีนอลิก คาร์บอนิล ฟูแรน และ PAHs เมื่ออุณหภูมิการผลิตควันสูงขึ้นที่ 200, 250 และ 300 องศาเซลเซียส จะมีจำนวนชนิดและปริมาณของสารประกอบดังกล่าวเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 13 และภาพที่ 14)



ภาพที่ 13 ปริมาณสารระเหยในไส้กรอกรมควันจากกากกาแฟสดพันธุ์โรบัสต้าที่อุณหภูมิการเผาไหม้ต่างๆ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 14 ปริมาณสารระเหยในไส้กรอรมควันจากกากกาแฟสดพันธุ์อะราบิก้าที่อุณหภูมิการเผาไหม้ต่างๆ

พบสารประกอบฟีนอลิกที่สำคัญที่ให้กลิ่นรสควันได้แก่ ฟีนอล, 2-เมทิลฟีนอล (*o*-cresol), 4-เมทิลฟีนอล (*p*-cresol), 2-methoxy-4-methylphenol (4-เมทิลกัวเอคอล), 2,6- dimethoxyphenol (ไซรินจอล) โดย *o*-cresol และ *p*-cresol เป็นสารที่ให้กลิ่นรส smoke-curing ซึ่งพบในไส้กรอกรมควันแต่ไม่พบในควันเหลว และพบในไส้กรอกรมควันจากกากกาแฟอะราบิก้ามากกว่าจากกากกาแฟโรบัสต้า และพบที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียสมากกว่าที่ 200 และ 250 องศาเซลเซียสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ส่วนกัวเอคอลและไซรินจอลเป็นสารประกอบที่สำคัญที่ให้กลิ่นควัน (Montazeri *et al.*, 2013) พบที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียสมากกว่าที่ 200 และ 250 องศาเซลเซียส และพบในไส้กรอกรมควันจากกากกาแฟโรบัสต้ามากกว่าอะราบิก้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ตารางที่ 9) ไซรินจอลและอนุพันธ์ยังจัดเป็นสารประกอบฟีนอลที่มีจุดเดือดสูงกว่าสารประกอบอื่นทำให้เป็นสารประกอบหลักที่แสดงคุณสมบัติการยับยั้งออกซิเดชัน (Tilgner *et al.*, 1965) และพบว่าไส้กรอกรมควันที่ได้จากกาแฟโรบัสต้ามีจำนวนของชนิดและความเข้มข้นของสารกลุ่มฟีนอลิกมากกว่าอะราบิก้าทำให้ไส้กรอกรมควันจากกากกาแฟโรบัสต้าที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียสมีกลิ่นควันที่เข้มข้นที่สุด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เมื่อพิจารณาสารประกอบกลุ่มคาร์บอนิล ได้แก่ แอลดีไฮด์ คีโตน และฟูแรนพบว่านอกจากสารกลุ่มนี้จะมีพื้นฐานของลักษณะกลิ่นหวาน กลิ่นคาราเมล และให้กลิ่นควันในควันเหลว (Kostyra and Barylko-Pikielna, 2006) แล้วยังทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านการรมควันเกิดการเปลี่ยนแปลง เนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยากับโปรตีน และยังทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดสีน้ำตาลขึ้นเนื่องจากเกิดปฏิกิริยากับกรดแอมิโน จากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Varlet *et al.,* 2007) สุดท้ายสารประกอบกลุ่มนี้ยังมีคุณสมบัติในการยับยั้งแบคทีเรียอีกด้วย (Milly *et al.,* 2005)

ฟูแรนซึ่งให้กลิ่นรสที่หอมหวาน และกลิ่นคาราเมล พบว่าสารประกอบฟูแรนก็เป็นเช่นเดียวกับสารกลุ่มฟีนอลิกกล่าวคือพบในไส้กรอกรมควันมากกว่าในควันเหลว และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นชนิดและความเข้มข้นของสารประกอบฟูแรนก็เพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของฟูแรนเพิ่มขึ้นจะทำให้กลิ่นของควันจากสารประกอบฟีนอลิกนั้นนุ่มนวลมากขึ้น (Kim *et al*. 1974) ทำนองเดียวกันสารประกอบแอลดีไฮด์ และคีโตนเมื่ออุณหภูมิการผลิตควันเพิ่มขึ้นจะมีสารให้กลิ่นเพิ่มขึ้น และยังพบในไส้กรอกรมควันมากกว่าในกลิ่นควันเหลว นอกจากนั้นเมื่ออุณหภูมิในการผลิตเพิ่มขึ้นปริมาณสาร PAHs ก็เพิ่มขึ้นตามลำดับ เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นจาก 200 เป็น 300 องศาเซลเซียสเกิดการเผาไหม้ของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสได้มากขึ้นตามลำดับ โดยสาร PAHs ที่พบในช่วงอุณหภูมิ 200 ถึง 300 องศาเซลเซียส ส่วนใหญ่จะเป็น แนฟทาลีน (Naphthalene) และอินดีน (Indene) ในสารสกัดจากไส้กรอกรมควันจากกากกาแฟทั้ง 2 พันธุ์ นอกจากนั้นไม่พบสาร PAHs ในสารสกัดจากไส้กรอกรมควันที่ผลิตควันที่ 200 องศาเซลเซียส จากกากกาแฟพันธุ์โรบัสต้า และปริมาณสาร PAHs ในไส้กรอกรมควันพบว่ามีน้อยกว่าในควันเหลว การรมควันโดยทำการผลิตควันในห้องที่แยกออกจากห้องที่ทำการรมควันผลิตภัณฑ์ น่าจะมีผลทำให้ปริมาณสาร PAHs ในควันลดลง ยิ่งถ้ามีอุปกรณ์ดักจับสารเหล่านี้ไว้น่าจะช่วยลดปริมาณสารดังกล่าวได้มากขึ้น ซึ่งน่าจะได้ทำการศึกษาให้ลึกซึ้งต่อไปในอนาคต

จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าหากเลือกใช้อุณหภูมิต่ำในการผลิตควัน และใช้วิธีการรมควันอาหารโดยแยกห้องผลิตควันและห้องรมควันออกจากกัน กากกาแฟสดทั้งพันธุ์อะราบิก้าและโรบัสต้าน่าจะเป็นแหล่งของวัสดุให้ควันเพื่อใช้ในการรมควันอาหารได้เนื่องจาก มีองค์ประกอบของสารระเหยที่ให้กลิ่นควันได้แก่ กัวเอคอลและไซรินจอล และกลิ่นที่ดีอีกหลาย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อย่างเช่นกลิ่นหอมหวาน กลิ่นคาราเมลได้แก่ สารประกอบแอลดีไฮด์ คีโตน และฟูแรนเป็นต้น และมีสารประกอบฟูแรนซึ่งให้สีน้ำตาลซึ่งเป็นสีของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการรมควัน นอกจากนั้นยังประกอบด้วยสารที่มีสมบัติต้านออกซิเดชัน ได้แก่ กัวเอคอล และสารที่มีสมบัติยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียบางชนิดได้ เช่นสารกลุ่มแอลดีไฮด์และ biphenyl อย่างไรก็ดีควรศึกษาเพิ่มเติมเรื่องประเด็นความปลอดภัยต่อสุขภาพ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 9 สารระเหยที่สำคัญในไส้กรอกรมควันจากกากกาแฟพันธุ์โรบัสต้าและอะราบิก้าที่อุณหภูมิการเผาไหม้ 200, 250 และ 300 องศาเซลเซียส

ชนิดของสารให้กลิ่น	NSS	ปริมาณสาร (ไมโครกรัมต่อกรัม)						อธิบายเพิ่มเติม
		กากกาแฟพันธุ์โรบัสต้า			กากกาแฟพันธุ์อะราบิก้า			
		200	250	300	200	250	300	
Phenols								
Phenol	-	3.41^{f}±0.30	5.69^{c}±0.11	5.83^{b}±0.17	3.74^{e}±0.17	6.36^{a}±0.10	5.66^{d}±0.33	Smoke flavor[1]
2-methylphenol	-	-	1.68^{e}±0.04	2.78^{b}±0.14	1.81^{d}±0.11	1.88^{c}±0.06	3.31^{a}±0.31	Smoke-curing flavor[1]
4-methylphenol	-	-	4.85^{c}±0.20	5.50^{b}±0.30	3.40^{e}±0.10	3.66^{d}±0.03	6.24^{a}±0.25	Smoke-curing flavor[1]
2-methoxyphenol	2.55±0.10	6.66^{d}±0.25	13.29^{b}±0.24	14.21^{a}±0.41	6.11^{e}±0.16	6.09^{f}±0.10	9.43^{c}±0.17	Smoke flavor[1,2]
4-methyl-2-methoxyphenol	-	1.27^{d}±0.21	2.10^{b}±0.03	3.12^{a}±0.14	1.49^{c}±0.11	1.49^{c}±0.10	3.69^{a}±0.27	Smoke flavor[1]
4-ethyl-2-methoxyphenol	1.44±0.18	1.78^{d}±0.03	3.57^{c}±0.16	17.29^{a}±0.35	1.11^{f}±0.23	1.33^{e}±0.08	4.06^{b}±0.07	Smoke flavor[1]
2,6-dimethoxyphenol	-	-	-	1.49^{b}±0.18	-	-	1.87^{a}±0.14	Smoke flavor[1]/antioxidation[3]
4-vinyl-2-methoxyphenol	-	-	1.39^{c}±0.08	4.45^{a}±0.37	0.42^{e}±0.08	0.64^{d}±0.18	2.69^{b}±0.31	Smoke flavor[1]
Biphenyl	-	-	0.52^{c}±0.21	0.89^{b}±0.01	-	-	1.40^{a}±0.31	Antibacterial[1]

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 9 (ต่อ)

ชนิดของสารให้กลิ่น	NSS	ปริมาณสาร (ไมโครกรัมต่อกรัม)						อธิบายเพิ่มเติม
		กากกาแฟพันธุ์โรบัสต้า			กากกาแฟพันธุ์อะราบิก้า			
		200	250	300	200	250	300	
Furans								
Furfural	-	2.59^{f}±0.16	3.55^{e}±0.10	5.14^{d}±0.13	6.51^{c}±0.16	7.52^{b}±0.13	8.68^{a}±0.08	Sweet flavor[4]/yellow color[5,6]
2-furanmethanol	-	-	2.01^{e}±0.04	2.73^{d}±0.10	3.50^{a}±0.25	3.46^{b}±0.33	3.41^{c}±0.11	Sweet flavor[4]
1-(2-furanyl)Ethanone	-	8.73^{f}±0.16	13.35^{b}±0.17	11.52^{e}±0.13	12.23^{d}±0.27	12.30^{c}±0.23	13.74^{a}±0.16	Sweet flavor[4]
5-methyl-2-furancarboxaldehyde	-	9.74^{d}±0.18	4.51^{e}±0.59	2.53^{f}±0.10	27.46^{a}±0.31	24.74^{b}±0.10	24.12^{c}±0.13	-
Benzofuran	-	-	-	3.24^{b}±0.31	-	-	4.39^{a}±0.51	-
1-(2-furanyl)-1-propanone	-	-	1.11^{c}±0.03	1.09^{d}±0.06	1.12^{b}±0.10	1.05^{e}±0.17	1.32^{a}±0.16	Sweet flavor[4]
2-methylbenzofuran	-	-	1.20^{b}±0.08	1.10^{c}±0.17	-	1.70^{a}±0.11	1.11^{c}±0.11	-
2-(2-furanylmethyl)-5-methylfuran	-	-	0.67^{b}±0.08	1.53^{a}±0.16	-	-	2.02^{a}±0.04	-
5-butyldihydro-2(3H)-furanone	-	1.16^{c}±0.08	0.80^{b}±0.04	2.49^{a}±0.27	1.08^{c}±0.10	0.64^{b}±0.10	2.41^{a}±0.13	-

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 9 (ต่อ)

ชนิดของสารให้กลิ่น	NSS	ปริมาณสาร (ไมโครกรัมต่อกรัม)						อธิบายเพิ่มเติม
		กากกาแฟพันธุ์โรบัสต้า			กากกาแฟพันธุ์อะราบิก้า			
		200	250	300	200	250	300	
Aldehydes								
Benzaldehyde	-	-	14.03^{a}±0.16	12.95^{b}±0.10	-	-	-	-
Benzeneacetaldehyde	-	1.40^{f}±0.23	2.57^{e}±0.31	3.38^{b}±0.24	3.07^{c}±0.13	3.01^{d}±0.03	4.59^{a}±0.03	-
(E)-2-octenal	-	1.83^{e}±0.11	-	2.96^{c}±0.20	3.18^{b}±0.28	2.83^{d}±0.06	4.90^{a}±0.30	-
Nonanal	-	1.68^{c}±0.13	-	4.97^{a}±0.25	-	-	2.84^{b}±0.18	-
Decanal	-	1.13^{b}±0.29	-	-	-	-	2.29^{a}±0.14	-
3-(4-methylphenyl)-2-propenal	-	-	-	-	-	2.33^{b}±0.14	5.52^{a}±0.03	-
(E,E)-2,4-decadienal	-	2.83^{c}±0.08	1.84^{f}±0.25	6.30^{b}±0.66	2.37^{d}±0.27	1.87^{e}±0.17	9.51^{a}±0.44	-
Ketones								
2-methylcyclopentanone	2.52±0.06	1.28^{d}±0.01	1.46^{c}±0.23	2.43^{a}±0.08	1.65^{b}±0.04	1.34^{c}±0.18	2.19^{a}±0.02	-
3-methyl-2-cyclopenten-1-one	-	2.11^{f}±0.04	4.90^{a}±0.04	3.73^{e}±0.16	4.44^{c}±0.17	4.37^{d}±0.06	4.45^{b}±0.33	Bitter taste[7]/carmel flavor[7]

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 9 (ต่อ)

ชนิดของสารให้กลิ่น	NSS	ปริมาณสาร (ไมโครกรัมต่อกรัม)						อธิบายเพิ่มเติม
		กากกาแฟพันธุ์โรบัสต้า			กากกาแฟพันธุ์อะราบิก้า			
		200	250	300	200	250	300	
3-methyl-2-cyclohexen-1-one	-	-	1.90^{b}±0.17	1.49^{c}±0.10	-	-	2.28^{a}±0.20	Bitter taste[7]/carmel flavor[7]
2,3-dimethyl-2-cyclopenten-1-one	-	1.73^{e}±0.28	8.25^{a}±0.17	1.40^{f}±0.40	3.38^{d}±0.14	5.38^{b}±0.18	4.20^{c}±0.27	Bitter taste[7]/carmel flavor[7]
Acetophenone	-	1.54^{f}±0.02	4.03^{b}±0.13	3.76^{c}±0.33	3.62^{d}±0.44	3.23^{e}±0.08	4.64^{a}±0.03	-
3,4,4-trimethyl-2-cyclopenten-1-one	-	-	2.33^{b}±0.07	2.63^{a}±0.27	-	-	-	Bitter taste[7]/carmel flavor[7]
1-(3-methylphenyl)ethanone	-	-	0.76^{d}±0.35	1.16^{b}±0.18	0.94^{c}±0.25	0.65^{e}±0.12	1.24^{a}±0.07	-
Polycyclic aromatic hydrocarbons								
2-methylindene	-	-	-	-	-	1.62^{a}±0.27	0.69^{b}±0.33	-
Naphthalene	-	-	3.68^{a}±0.10	1.71^{b}±0.35	1.34^{d}±0.11	-	1.50^{c}±0.04	-
2,3-dihydro-2-methyl-1H-Inden-1-ol	-	-	-	-	-	3.51^{a}±0.41	0.88^{b}±0.10	-
2,3-dihydro-1H-Inden-1-one	-	-	1.42^{c}±0.04	2.72^{a}±0.07	0.69^{e}±0.03	1.13^{d}±0.11	2.61^{b}±0.10	-

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 9 (ต่อ)

ชนิดของสารให้กลิ่น	NSS	ปริมาณสาร (ไมโครกรัมต่อกรัม)						อธิบายเพิ่มเติม
		กากกาแฟพันธุ์โรบัสต้า			กากกาแฟพันธุ์อะราบิก้า			
		200	250	300	200	250	300	
1-methylnaphthalene	-	-	-	-	-	-	0.70±0.40	-
2,3-dihydro-2-methyl-1H-Inden-1-one	-	-	-	-	-	-	0.44±0.24	-
2-methylnaphthalene	-	-	-	-	0.28^{a}±0.08	-	0.25^{b}±0.13	-

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ (Mean ± SD)

ตัวอักษร (a,b,c,d,e,f) ที่ต่างกันในแนวนอน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

NSS หมายถึง ไส้กรอกเวียนนาที่ไม่ผ่านการรมควัน

[1] Montazeri *et al.* (2013) [2] Guillen *et al.* (2001) [3] Tilgner *et al.* (1965) [4] Kim *et al.* (2005) [5] Simko (2002) [6] ณมาพร (2546) [7] Kim *et al.* (1974)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

องค์ประกอบทางเคมีของกากกาแฟพันธุ์โรบัสต้าพบว่ามีความชื้น ไขมัน คาร์โบไฮเดรต โปรตีน เส้นใย และเถ้าอยู่ในปริมาณร้อยละ 2.65, 10.35, 58.43, 6.74, 19.73 และ 2.10 ตามลำดับ ในขณะที่กากกาแฟพันธุ์อะราบิก้ามีองค์ประกอบดังกล่าวอยู่ร้อยละ 2.85, 12.54, 58.30, 5.62, 19.14 และ 1.55 ตามลำดับ ดังนั้นการนำกากกาแฟพันธุ์โรบัสต้าและกากกาแฟพันธุ์อะราบิก้ามาผลิตควันจึงมีองค์ประกอบของสารระเหยในควันแตกต่างกัน

จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตควันเหลวจากกากกาแฟพันธุ์โรบัสต้าและกากกาแฟพันธุ์อะราบิก้าพบว่า เมื่อใช้อุณหภูมิในการผลิตควันที่สูงขึ้น (200, 250 และ 300 องศาเซลเซียส) จะทำให้ค่าความเป็นกรดเบสของควันเหลวลดลง ค่าสีมีความสว่างลดลงและมีค่าความเป็นสีเหลืองมากขึ้น และสารระเหยในควันเพิ่มขึ้นทั้งชนิดและปริมาณ และพบว่าสารระเหยในควันจากกากกาแฟพันธุ์โรบัสต้ามีสารประกอบที่ให้กลิ่นควันมากกว่าจากกากกาแฟพันธุ์อะราบิก้า ส่วนไส้กรองกรมควันพบสารประกอบ *o*-cresol และ *p*-cresol เป็นตัวบ่งชี้ลักษณะของกลิ่นเนื้อหมักที่รมควัน และพบว่าควันที่ได้จากกากกาแฟโรบัสต้ามีสารประกอบฟีนอลิก และฟูแรนที่เข้มกว่าอะราบิก้า ซึ่งชี้ว่าควันจากกากกาแฟพันธุ์โรบัสต้าน่าจะมีกลิ่นควันที่เข้มกว่า ให้กลิ่นที่หอมหวานกว่า และมีกลิ่นควันที่นุ่มนวลกว่าควันจากกากกาแฟพันธุ์อะราบิก้า และการวิเคราะห์โดยใช้ GC-MS ตรวจไม่พบสาร BaP ทั้งในควันเหลวและไส้กรองกรมควัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากการศึกษาที่เกี่ยวกับการผลิตควันจากวัสดุทางการเกษตรและความปลอดภัยในการนำมารมควันอาหารยังมีไม่มากนักจึงยังต้องการการศึกษาวิจัยอีกมาก เช่น

1. ในการผลิตควันเหลว และการรมควัน โดยใช้กากกาแฟควรมีการศึกษาในระดับสเกลการผลิตที่ใหญ่ขึ้น และสอบถามความคิดเห็นของผู้ผลิตอาหารรมควัน

2. มีการวิเคราะห์สารพอลิไซคลิกอะโรมาติกที่จำเพาะกว่านี้ เนื่องจากสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกอาจมีปริมาณน้อยมากควรใช้วิธีการวิเคราะห์ที่ละเอียดกว่า เช่น การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ที่ละเอียดกว่าคือ GC-MS/MS และมีการใช้ external standard ของสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกที่เป็นตัวอันตรายที่กฎหมายกำหนด เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบชนิดและปริมาณของสารได้อย่างถูกต้อง

3. นำวัสดุเศษเหลือทิ้งทางการเกษตรต่างๆ เช่น เปลือกถั่วลิสง เศษเปลือกผลไม้ เป็นต้น หรือวัสดุอื่นๆที่มีความเป็นไปได้ในการผลิตควันมาทดลองผลิตสารให้ควัน และศึกษาเรื่องความปลอดภัยในการใช้รมควันอาหาร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

จินตนา อุปดิสสกุล. 2535. **กลิ่นรสและการประเมินค่า**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ณมาพร อัตถวิโรจน์. 2546. **การผลิตกลิ่นควันเหลวจากชานอ้อยและกาบมะพร้าว**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พิทักษ์ อาภาสิริผล. 2536. **กาแฟ**. สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2555. [ออนไลน์]. ปริมาณและมูลค่าการส่งออก กาแฟคั่วบด. แหล่งที่มา http://www.oae.go.th/oae_report/php2pdf/pdf.php?url_name=http://122.154.14.16/ oae_report/export_import/export_result_printout.php?value=57x2543x2552x20100824001132

AOAC. 1999. **Official Method of Analysis.** 17 ed. Assosiation of Official Anlytical Chemist, Washington DC.

Baek, H. H. and K. R. Cadwallader. 1998. Roasted chicory aroma evaluation by Gas Chromatography / mass spectrometry / olfactometry. **J. Food Sci.** 62: 234-237.

Baltes, W., R. Wittkowski, I. Sochtig, H. Block and L. Toth. 1981. **The Quality of Foods and Beverages.** American Chemical Society, Washington, DC.

Belitz, H.D. and W. Grosch. 1999. **Food Chemistry 2nd ed**. Springer-Verlag. Berlin.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

BYK-Gardner Company. n.d. **Liquid Color.** Available Source: http://exacolor.com.mx/catalogo/images/hojadedatos/COLOR_LIQUIDO.pdf, June 23, 2014.

Clarke, R.J. 1985. **Green coffee processing**. Botany, Biochemistry and production of beans and beverage. In Clifford, M.N. and Will, K.C. Eds, Croom Helm Ltd, London, pp. 230-48.

Clifford, M.N. 1985. Chemical and physical aspects of green coffee and coffee products, pp. 305-374. In M.N. Clifford and K.C. Wilson, eds. **Coffee Botany Biochemistry and Production of Beans and Beverage**. AVI Publishing Co., Inc, West Port, CN.

Council of European. 1992. **Health aspects of using smoke flavours as food ingredients.** Belgium.

Czerny, M., F. Mayer and W. Grosch. 1999. Sensory study on the character impact odorants of roasted arabica coffee. **J. Agric. Food Chem.** 47: 695-699.

Eichner, K., I. Schrader and M. Lange. 1996. Early detection of changes during heat processing and storage of tomato products, pp. 32-44. *In* T-C. Lee and H-J. Kim, eds. ACS Symposium Series 631 **Chemical Markers for Processed and Stored Foods. American Chemical Society**, Washing, DC.

Fengel, D. and G. Wegener. 1984. Influence of temperature. *In* **Wood: Chemistry, Utrastructure and Reactions.** Walter de Gruyter, Berlin.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Flament, I. 2002. **Coffee Flavor Chemistry**. John Wiley & Sons, Ltd., Chichester, England. Cited. R. Tressl, D. Bahri, H. Kopper and A. Jensen. 1978a. Diphenole und caramelkomponenten in rostkaffees verchiedener sorten. II. Z. Lebensm. Unters. Forsch. 167: 111-114.

Glazer, A. N. and H. Nikaido. 1995. Microbial Biotechnology. *In* **Fundamentals of Applied Microbiology.** Berkeley.

Ginz, M. and U.H. Engelhardt. 1999. **Untersuchungen über Bitterstoffe im Kaffee**. Lebensmittelchemie 53(6), 150.

Goldstein, I. S. 1991. Overview of the chemical composition of wood, pp. 1-5. *In* M. Lewin and I. S. Goldstein, eds. **Wood Structure and Composition.** Marcel Dekker, Inc., New York.

Gomaa, E.A., J.I. Gary, S. Rabie, C. Lopez-Bote and A.M. Booren. 1993. Polycyclic aromatic hydrocarbons in smoked food products and commercial liquid smoke flavouring. **Food Addit Contam.** 10: 503-521.

Gonulalan, Z., A. Kose and H. Yetim. 2003. Effects of liquid smoke on quality characteristics of Turkish standard smoked beef tongue. **Meat Sci.** 66: 165-170.

Guillen, M.D. and M. L. Ibargoitia. 1998. New components with potential antioxidant and organoleptic properties, detected for the first time in liquid smoke flavoring preparations. **J Agr Food Chem**. 46: 1276-1285.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Guillen, M. D., M. J. Manzanos and M. L. Ibargoitia. 2001. Carbohydrate and nitrogenated compounds in liquid smoke flavorings. **J. Agric. Food Chem.** 49: 2395-2403.

Hayase, F., K. Harayama and H. Kato. 1996. Characteristic stale flavor formed while storing beer, pp. 118-128. *In* T-C. Lee and H-J. Kim, eds. **ACS Symposium Series 631 Chemical Markers for Processed and Stored Foods**. American Chemical Society, Washing, DC.

Hughes, E.B. and R.F. Smith. 1946. The nicotinic acid content of coffee. **J. Soc. Chem. Ind.** 65: 284-286.

IARC. 2010. Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. **Some Non-heterocyclic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Some Related Exposures.** Vol. 92, p.773. [Online]. Available: http://monographs.iarc.fr/ENG/Monograph/vol92/index.php. [2010, April 08].

Janssen, M. M. T. 1997. Pyrolysis products occurring in food, pp. 90-92. *In* J. de Vries, ed. **Food Safety and Toxicity**. CRC Press, Boca Raton, New york.

Kim, K., T. Kurata and M. Fujimaki. 1974. Identification of flavor constituents in carbonyl, non-carbonyl, neutral and basic fracitions of squeous smoke condensate. **Agric. Biol. Chem.** 38: 53.

Kostyra, E., and N. Barylko-Pikielna. 2006. Volatiles composition and flavor profile identity of smoke flavourings. **Food Quality Pref.** 17: 85-95.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Leffingwell, J.C. 2004. Flavor-Base Database, Version Date July 1, 2004.

Lewin, M. and I. S. Goldstein. 1991. **Wood Structure and Composition**. Marcel Dekker, Inc., New York.

Liu, Y., X. Xu and G. Zhou. 2007. Comparative study of volatile compounds in traditional Chinese Nanjing marinated duck by different extraction techniques. **International J. Food Sci. Tech.** 42:543-550.

Macrae, R., R.K. Robinson and M.J. Sadler. 1993. **Encyclopaedia of Food Science Food Technology and Nutrition vol II**. Academic Press Ltd., London.

Maga, J. A. 1988. **Smoke in Food Processing**. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida.

Matheis, G. 1999. Flavor modifiers, pp. 367-402. In P. R. Ashurst, ed. **Food Flavorings**. 3 rd ed. Aspen Publishers, Inc., Gaithersburg, Maryland.

Milly, P. J., R. T. Toledo, and S. Ramakrishnan. 2005. Determination of minimum inhibitory concentrations of liquid smoke fractions. **J. Food Sci.** 70: 12-17.

Montazer, N., A. C. M. Oliveira, B. H. Himelbloom, M. B. Leigh and C. A. Crapo. 2013. Chemical characterization of commercial liquid smoke products. **Food Science and Nutrition.** 1(1): 102-115.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Morais, C., T.M. Machado, M. Tavares, E. Takemoto, H. Yabiku and M. S. Martins. 1996. Defumacio liquid da truta arco-iris (Oncorhynchus mykiss). Efeitos do processamento ede estocagem nas porpriedades fisicas, quimicas e sensoriais. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**. 56: 43-48.

Pimenta, A. S., J. M. Bayona, M. T. Garcia and A. M. Solanas. 2000. Evaluation of acute toxicity and genotoxicity of liquid products from pyrolysis of Eucalyptus grandis wood. **Arch. Environ. Contam. Toxicol.** 38: 169-175.

Pischetsrieder, M. and T. Severin. 1996. Advanced maillard products of disaccharides: analysis and relation to reaction condition, pp. 14-23. In T-C. Lee and H-J. Kim, eds. **ACS Symposium Series 631 Chemical Markers for Processed and Stored Foods**. American Chemical Society, Washing, DC.

Puvipirom, J. 2003. **Production Factor Affecting Flavor Compounds in Thai Coffee.** M. Sc. Thesis. Kasertsart University. Bangkok.

Ramarathnam, N., L.J. Rubin and L.L. Diosady. 1993. Studies on meat flavor. 3. A novel method for trapping volatile components from uncured and cured pork. **J. Agric. Food Chem.** 41:933-938.

Reymond, D. 1978. Flavor chemistry of tea cocoa and coffee, pp. 315-332. In R. Teranishi, Ed. **Agricultural and Food Chemistry** : Past Present Future. The AVI Publishing Co., Inc., West Port, CN.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Scarpellino, R. and R. J. Soukup. 1993. Key flavor from heat reactions of food ingredients. *In* **Flavor Science.** T. E. Acree and R. Teranishi, eds. American Chemical Society, Washington, DC.

Shafizadeh, F. 1984. The chemistry of pyrolysis and combustion. *In* **The Chemistry of Solid Wood.** R Rowell, eds. American Chemistry Society, Washington ,D.C.

Simko, P. 2002. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in smoked meat products and smoke flavouring food additives. **Journal of Chromatography B.** 770: 3–18.

Simko, P. 2005. Factors affecting elimination of polycyclic aromatic hydrocarbons from smoked meat foods and liquid smoke flavorings. **Mol. Nutr. Food Res.** 49: 637-647.

Toth, L. and K. Potthast. 1984. Chemical aspects of the smoking of meat and meat products. **Advance Food Res.** 29: 87-158.

Trugo L.C. and Macrae R. 1984. A study of the coffee effect of roasting on the chlorogenic acid composition of coffee using HPLC. **Food Chem.** 15, 27-219.

Tsoumis, G. 1991. **Science and Technology of Wood Structure, Properties, Utilization**. Van Nostrand Reinhold, New York.

Varlet, V., T. Serot, C. Knockaert. J. Cornet, M. Cardinal, F. Monteau, B.L. Bizec and C. Prost. 2007. Organoleptic characterization and PAH content of salmon (Salmo salar) fillets smoked according to four industrial smoking techniques. **J. Sci. Food Agric.** 87(5): 847-854

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Viani R. and I. Horman. 1974. Thermal behavior of trigonelline. **J. Food Sci.** 39: 1216-1217.

Visciano P., M. Perugini, F. Conte and M. Amorena. 2008. Polycyclic aromatic hydrocarbons in farmed rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) processed by traditional flue gas smoking and by liquid smoke flavourings. **Food Chem. Toxicol.** 46: 1409-1413.

Watcharananun, W., and K. Haungrak. 2009. Analysis of aroma compounds in trapping solvents of smoke from Tian Op, a traditional, thai, sceted candle. **Kasetsart J.** 43:808-816

Yen, W. J., B. S. Wang., L. W. Chang and P. D. Duh. 2005. Antioxidant properties of roasted coffee residues. **J. Agric. Food Chem.** 53: 2658-2663

Yu, A., B. Sun., D. Tian and W. Qu. 2008. Analysis of volatile compounds in traditional smoke-cured bacon (CSCB) with different fiber coatings using SPME. **Food Chem.** 110:233-238.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (AOAC, 1999)

1. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

1.1 อุปกรณ์

1.1.1 เครื่องชั่งชนิดทศนิยม 4 ตำแหน่ง

1.1.2 ถ้วยอบตัวอย่างพร้อมฝาปิด (weighing bottle) ที่ทำด้วยโลหะไม่เป็นสนิม หรือแก้วพร้อมมีฝาปิดสนิท

1.1.3 ตู้อบลมร้อน

1.1.4 โถดูดความชื้น (desiccators)

1.2 วิธีวิเคราะห์

1.2.1 นำถ้วยอบตัวอย่างพร้อมฝาปิดสำหรับหาความชื้นในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 2 -3 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถดูดความชื้นจนเย็น หลังจากนั้นชั่งหาน้ำหนัก

1.2.2 กระทำเช่นข้อ 1.1.1 ซ้ำ จนได้ผลต่างของน้ำหนักไม่เกิน 1 – 3 มิลลิกรัม

1.2.3 ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ประมาณ 1 – 2 กรัมใส่ภาชนะหาความชื้นที่ทราบน้ำหนักแน่นอน

1.2.4 นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 4 – 5 ชั่วโมง

1.2.5 นำออกจากตู้อบลมร้อนใส่โถดูดความชื้นจนเย็น หลังจากนั้นชั่งน้ำหนัก

1.2.6 อบตัวอย่างซ้ำที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ประมาณ 30 นาที จนได้น้ำหนักไม่เกิน 1 – 3 มิลลิกรัม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.2.7 คำนวณหาปริมาณความชื้นจากสูตร

$$\text{ร้อยละโดยน้ำหนัก} = \frac{\text{ผลต่างของน้ำหนักตัวอย่างก่อนอบและหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}}$$

2. การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า

2.1 อุปกรณ์

2.1.1 เครื่องชั่งชนิดทศนิยม 4 ตำแหน่ง

2.1.2 ตะเกียงบุนเสน

2.1.3 เตาเผา (muffle furnace)

2.1.4 ถ้วยสำหรับเผาเถ้า (poecelain dish)

2.1.5 โถดูดความชื้น (desiccator)

2.2 วิธีวิเคราะห์

2.2.1 เผาถ้วยกระเบื้องเคลือบในเตาเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 3 ชั่วโมง รอจนอุณหภูมิลดลงแล้วนำออกจากเตาเผา นำไปใส่ในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็นแล้วชั่งน้ำหนัก

2.2.2 เผาซ้ำอีกครั้งประมาณ 30 นาทีและกระทำเช่นข้อ 2.1.1 จนได้ผลต่างของน้ำหนักทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

2.2.3 ชั่งน้ำหนักให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 1 – 2 กรัม ใส่ในถ้วยกระเบื้องเคลือบซึ่งทราบน้ำหนักแล้ว นำไปเผาในตู้ควันจนหมดควันแล้วจึงนำเข้าเตาเผา ตั้งอุณหภูมิเตาเผาไว้ที่ 600 องซาเซลเซียสและกระทำเช่นเดียวกับข้อ 2.1.2 และ 2.1.3

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.2.4 คำนวณหาปริมาณเถ้าจากสูตร

$$\text{ปริมาณเถ้าร้อยละโดยน้ำหนัก} = 100 \times \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}}$$

3. การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (วิธี Kjeldhal)

3.1 อุปกรณ์

3.1.1 เครื่องชั่งชนิดทศนิยม 4 ตำแหน่ง

3.1.2 เครื่องย่อย (Block degestor)

3.1.3 หลอดย่อย (Digestion tube)

3.1.4 Exhaust manifold และ Aspirator

3.1.5 Tube stand

3.1.6 ชุดเครื่องกลั่น (distilling unit)

3.1.7 ชุดไตรเตรท

3.1.8 ตู้ดูดควัน

3.2 สารเคมี

3.2.1 สารผสมระหว่างคอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4 . 5H_2O$) และโพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) อัตราส่วน 1:10

3.2.2 กรดซัลฟูริก (conc. H_2SO_4)

3.2.3 โซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น ร้อยละ 40

3.2.4 กรดบอร์ริกที่มีความเข้มข้น ร้อยละ 4

3.2.5 กรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.1 นอร์มอล

3.2.6 อินดิเคเตอร์ เป็นสารผสมระหว่าง เมธิลเรดและโบรโมครีซอลกรีน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.3 การ standardize สารละลายกรดซัลฟูริกมาตรฐาน 0.1 นอร์มอล

3.3.1 ชั่งแอนไฮดรัส โซเดียมคาร์บอเนตประมาณ 5 กรัม ใส่โกร่งบดให้ละเอียด แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมงแล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น

3.3.2 ชั่งแอนไฮดรัส โซเดียมคาร์บอเนตที่อบมาแล้ว 0.13 กรัมอย่างละเอียดใส่ชวดรูปชมพู่ เติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร หยดอินดิเคเตอร์ 2 – 3 หยด แล้วไตเตรทกับกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพู จดเป็นปริมาตร A_1

3.3.3 นำสารละลายไปต้มจนเดือด (ประมาณ 2 – 3 นาที) สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีเขียว ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วไตเตรทกับกรดซัลฟูริกจนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพูอีกครั้ง จดเป็นปริมาตร A_2 แล้วคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟูริก จากสูตร

$$\text{ความเข้มข้นของกรดซัลฟูริก (โมลาร์)} = \frac{\text{น้ำหนักโซเดียมคาร์บอเนต (g)} \times 2000}{\text{น้ำหนักโมเลกุลของโซเดียมคาร์บอเนต} \times (A_1 + A_2)}$$

3.4 วิธีวิเคราะห์

3.4.1 ชั่งตัวอย่าง 0.5 – 1 กรัม ลงในหลอดย่อยโปรตีน

3.4.2 ใส่ตัวเร่งปฏิกิริยา คอปเปอร์ซัลเฟต 0.5 กรัม โพแทสเซียมซัลเฟต 9.5 กรัม และเติมกรดซัลฟูริก 20 มิลลิลิตร

3.4.3 นำไปย่อยบนเตาไฟฟ้าที่ต่อกับชุดดักจับไอกรด ให้ความร้อนจนสารละลายตัวอย่างไม่มีควันและสารละลายใส ทิ้งให้เย็น

3.4.4 นำเข้าเครื่องกลั่น เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตรและโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 40 ปริมาณ 90 มิลลิลิตร กลั่นประมาณ 3 นาที

3.4.5 นำขวดรูปชมพู่ที่เติมกรดบอริกเข้มข้นร้อยละ 4 ปริมาณ 25 มิลลิลิตรและหยดอินดิเคเตอร์ 2 – 3 หยด รองรับสารตัวอย่างจากการกลั่น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.4.6 ไตเตรทสารละลายที่กลั่นได้ด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.1 นอร์มอล จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีเทา จดปริมาตรแล้วคำนวณจากสูตร

$$\% \text{ ไนโตรเจน} = \frac{(A - B) \times N \times 14.007 \times 100}{W}$$

% โปรตีน (น้ำหนักเปียก) = % ไนโตรเจน x 6.25

A = ปริมาตรของกรดซัลฟูริกที่ใช้ไตเตรทกับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

B = ปริมาตรของกรดซัลฟูริกที่ใช้ไตเตรทกับแบลงค์ (มิลลิลิตร)

N = ความเข้มข้นของกรดซัลฟูริก (นอร์มอล)

W = น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (มิลลิลิตร)

4. การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (soctex)

4.1 อุปกรณ์

4.1.1 เครื่องชั่งชนิดทศนิยม 4 ตำแหน่ง

4.1.2 เครื่องสกัดไขมัน

4.1.3 Service unit สำหรับจ่ายความร้อน

4.1.4 เครื่องทำน้ำเย็น (Cooling)

4.1.5 Cellulose thimble, Thimble adapter, Thimble support

4.1.6 ถ้วย (Extraction cup)

4.1.7 ตู้อบ

4.1.8 โถดูดความชื้น

4.1.9 ปิโตรเลียมอีเทอร์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.2 วิธีวิเคราะห์

4.2.1 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่แห้งบนกระดาษกรองเบอร์ 1 (ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน) แล้วใส่ลง thimble จากนั้นใส่ใน thimble holder แล้วนำเข้าเครื่องสกัด

4.2.2 เติมตัวทำละลายปิโตรเลียม อีเทอร์ใส่ถ้วยสกัดไขมันที่ผ่านการอบแห้ง ประมาณ 50 มิลลิลิตร แล้วนำไปใส่เครื่องสกัดไขมัน

4.2.3 สกัดไขมันเป็นเวลา 45 นาทีแล้วทำการ rinsing 10 นาที เมื่อครบตามเวลาสกัด ทำการ evaporation เพื่อกำจัดตัวทำละลายปิโตรเลียม อีเทอร์

4.2.4 นำถ้วยสกัดไขมันอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียส จนแห้งใช้เวลาประมาณ 30 นาที ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น

4.2.5 ชั่งน้ำหนักแล้วอบซ้ำนานครั้งละ 30 นาที จนผลต่างของน้ำหนักไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

4.2.6 คำนวณหาปริมาณไขมันจากสูตร

$$\text{ปริมาณน้ำมัน(ร้อยละโดยน้ำหนัก)} = 100 \times \frac{\text{น้ำหนักไขมันหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}}$$

5. การวิเคราะห์หาปริมาณเยื่อใยหยาบ

5.1 อุปกรณ์และสารละลาย

5.1.1 เครื่องชั่งชนิดทศนิยม 4 ตำแหน่ง

5.1.2 เครื่องวิเคราะห์หาเยื่อใย

5.1.3 Fritted glass crucible

5.1.4 ตู้อบ

5.1.5 เตาเผา (Muffle furnace)

5.1.6 โถดูดความชื้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5.1.7 สารละลายกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) ความเข้มข้นร้อยละ 1.25

5.1.8 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้นร้อยละ 1.25

5.2 วิธีเตรียมสารละลาย

5.2.1 การเตรียมสารละลายซัลฟูริกความเข้มข้นร้อยละ 1.25 โดยการตวงน้ำกลั่นประมาณ 500 มิลลิลิตร ชั่งกรดซัลฟูริก 12.5 กรัม แล้วค่อยๆ เทลงในน้ำที่ตวงไว้แล้ว 500 มิลลิลิตร แล้วใช้แท่งแก้วคนให้ละลายให้เข้ากัน จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนปริมาตรครบ 1 ลิตร

5.2.2 การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.25 โดยการตวงน้ำกลั่นประมาณ 500 มิลลิลิตร ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 12.5 กรัม แล้วค่อยๆ เทลงในน้ำที่ตวงไว้แล้ว 500 มิลลิลิตรแล้วใช้แท่งแก้วคนให้ละลายให้เข้ากัน จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนปริมาตรครบ 1 ลิตร

*การตรวจสอบค่าความเข้มข้นของสารละลายทำได้โดยวิธีการไตเตรท

5.3 วิธีการวิเคราะห์

5.3.1 นำตัวอย่างอาหารที่ผ่านการสกัดไขมันออกแล้ว 0.5-1 กรัม ห่อด้วยกระดาษกรองใส่ใน Fritted glass crucible แล้วนำใส่เครื่องวิเคราะห์หาเยื่อใย

5.3.2 ตวงสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้นร้อยละ 1.25 ประมาณ 200 มิลลิลิตร นำเข้าเครื่องย่อยเมื่อสารเดือดจับเวลา 30 นาที จากนั้นปรับความร้อนลงและถ่ายสารละลายกรดซัลฟูริกออก

5.3.3 จากนั้นล้างด้วยน้ำร้อนโดยเติมน้ำลงในเครื่องวิเคราะห์หาเยื่อใยรอจนน้ำเดือด จากนั้นปรับความร้อนลงแล้วถ่ายน้ำร้อนออก

5.3.4 ตวงสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 1.25 ประมาณ 200 มิลลิลิตร นำเข้าเครื่องย่อยเมื่อสารเดือดจับเวลา 30 นาที จากนั้นปรับความร้อนลงและถ่ายสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ออก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5.3.5 จากนั้นล้างด้วยน้ำร้อนโดยเติมน้ำลงในเครื่องวิเคราะห์หาเยื่อใยรอจนน้ำเดือด จากนั้นปรับความร้อนลงแล้วถ่ายน้ำร้อนออก

5.3.6 จากนั้นปิดระบบการให้ความร้อนแล้วเติม Ethyl alcohol ร้อยละ 95 ลงในเครื่องวิเคราะห์หาเยื่อใย แล้วถ่าย Ethyl alcohol ออก

5.3.7 แล้วนำ Fritted glass crucible ที่มีเยื่อใยไปอบจนแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 16-18 ชั่วโมง จากนั้นนำ Fritted glass crucible ออกมาใส่ในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็นจากนั้นชั่งน้ำหนัก

5.3.8 นำ Fritted glass crucible ที่ชั่งน้ำหนักแล้วเข้าในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง จากนั้นนำออกมาใส่โถดูดความชื้นปล่อยให้เย็นแล้วชั่งน้ำหนัก Fritted glass crucible

4.2.7 คำนวณหาปริมาณเยื่อใยหยาบจากสูตร

$$\text{ปริมาณเยื่อใยหยาบ(ร้อยละโดยน้ำหนัก)} = \frac{(W_2 - W_3) \times 100}{W_1}$$

W_1 = น้ำหนักตัวอย่าง

W_2 = น้ำหนัก Fritted glass crucible รวมกับน้ำหนักตัวอย่างหลังการอบ

W_3 = น้ำหนัก Fritted glass crucible รวมกับน้ำหนักตัวอย่างหลังการเผา

6. การวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรต

วิธีคำนวณปริมาณคาร์โบไฮเดรต จากการหักลบออกจาก 100 เปอร์เซ็นต์

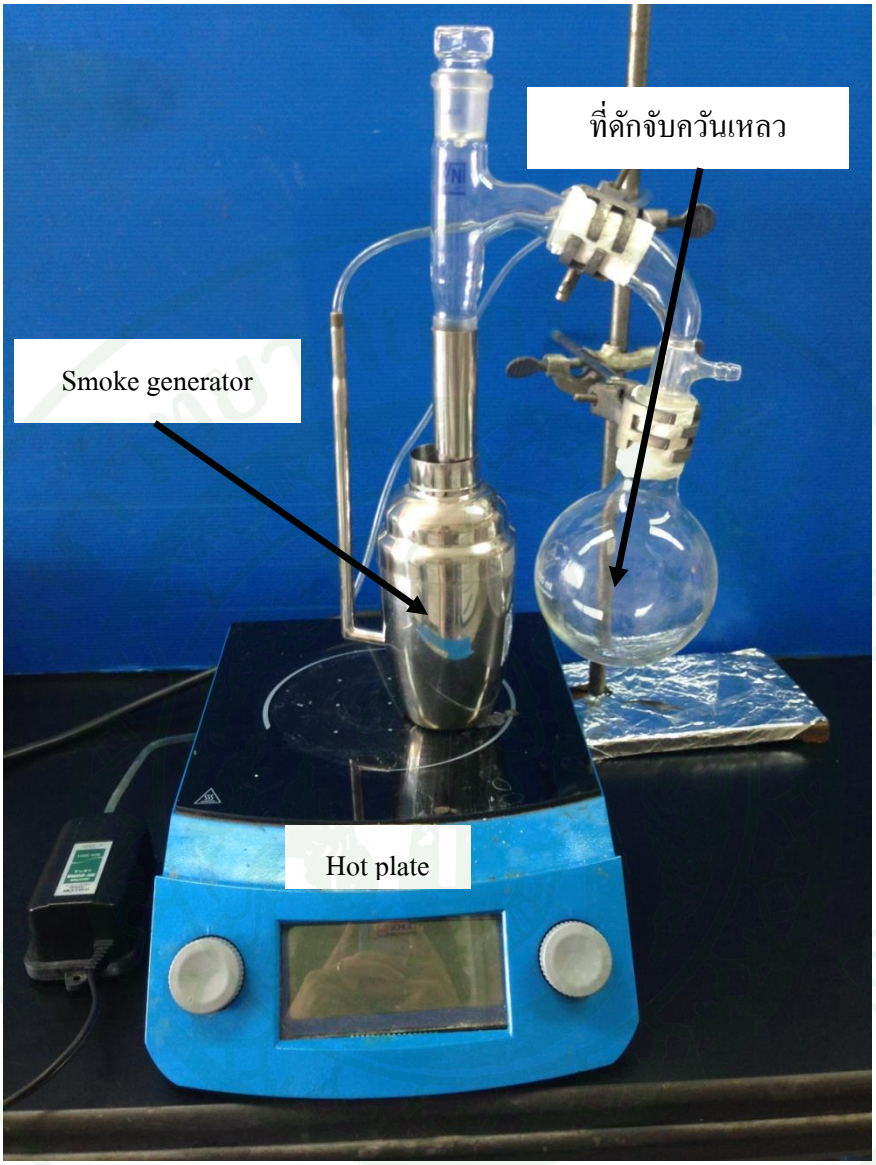
% คาร์โบไฮเดรต = 100 – (% ความชื้น + % เถ้า + % ไขมัน + % โปรตีน+%เยื่อใยหยาบ)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ข

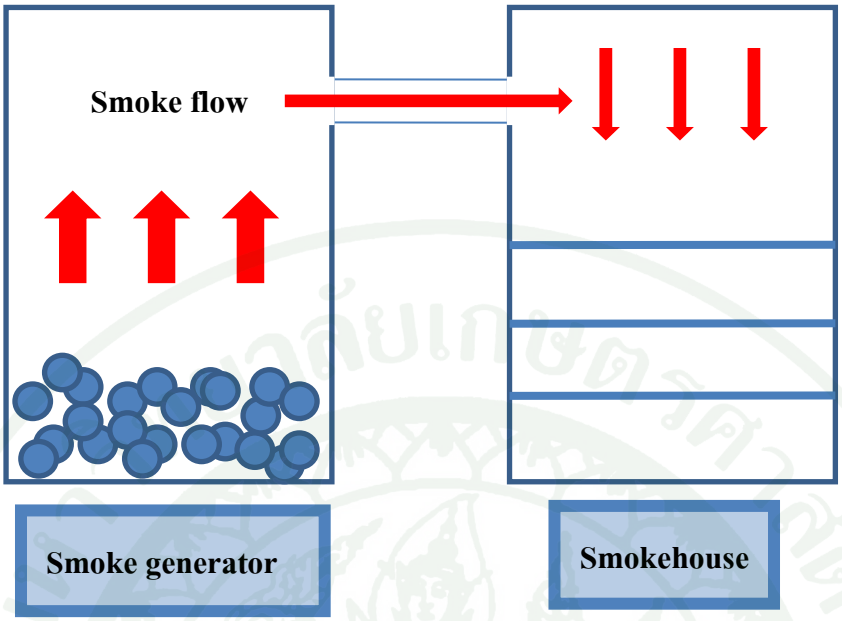
ชุดอุปกรณ์ในการผลิตควัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพผนวก ข1 ชุดอุปกรณ์ผลิตควันเหลว

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพผนวก ข2 ไดอะแกรมของการผลิตควันในการรมควันไส้กรอก

Smokehouse จะประกอบด้วยส่วนที่แยกออกมาสำหรับสร้างควัน (smoke generators) ควันจะไหลจากเครื่องผลิตควัน (smoke generators) ไปตามท่อสู่ smokehouse ซึ่งจะมีการลดอุณหภูมิของควันลงภายในท่อนั้นก่อนเข้าสู่ smokehouse และควบคุมอุณหภูมิของควันภายใน smokehouse ตามที่ต้องการ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ค

วิธีการคำนวณค่า Retention Index (RI) และความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารระเหย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1. การคำนวณค่า Retention Index (RI)

$$RI = 100N + 100n \frac{t_{Ra} - t_{RN}}{t_{R(N+n)} - t_{RN}} \quad \text{(สมการที่ 1)}$$

เมื่อ N = จำนวนอะตอมของคาร์บอนในสารมาตรฐานอัลเคนที่มีคาร์บอนน้อยกว่า

n = ความแตกต่างระหว่างจำนวนอะตอมของคาร์บอนในสารมาตรฐานอัลเคน 2 ตัวที่มีค่า Retention time (RT) ของตัวอย่างอยู่ระหว่างกลาง

t_{Ra} = RT ของตัวอย่างสารระเหยที่ต้องการวิเคราะห์ RI

t_{RN} = RT ของสารมาตรฐานอัลเคนที่มีคาร์บอนน้อยกว่า

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

ตัวอย่างการคำนวณ

ต้องการหา RI ของสาร Furfural

สาร furfural มี t_{Ra} อยู่ระหว่างสารมาตรฐานอัลเคนที่มีจำนวนอะตอมของคาร์บอน 8 และ 9 อะตอม

ดังนั้น N = 8; n = 9 – 8 = 1; t_{Ra} = 7.239; t_{RN} = 6.242; $t_{R(N+n)}$ = 9.362 แทนค่าในสมการที่ 1

$$RI = 100(8) + 100(1) \frac{7.239 - 6.242}{9.362 - 6.242}$$

RI = 832

ดังนั้นสาร furfural มีค่า Retention Index = 832

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. การคำนวณความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารละลาย

$$C_S = \frac{C_I \times A_S \times V_I \times r \times 1000}{A_I \times W_S}$$

เมื่อ C_S = ความเข้มข้นสัมพัทธ์ของตัวอย่าง (ng/g)

C_I = ความเข้มข้นของ internal standard (mg/ml ในเมทานอล)

A_S = พื้นที่ใต้พีคของตัวอย่าง

A_I = พื้นที่ใต้พีคของ internal standard

V_I = ปริมาตรของ internal standard ที่ใช้ (µl)

W_S = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์ (g)

r = response factor ของสารระเหยเท่ากับ 1

ตัวอย่างการหาความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสาร furfural

$C_I = 13.1$ mg/ml ; $A_S = 7.65 \times 10^7$; $A_I = 2.35 \times 10^8$; $V_I = 20$ µl ; $W_S = 30.11$ g

$$C_S = \frac{13.1 \times 7.65 \times 10^7 \times 20 \times 1 \times 1000}{2.35 \times 10^8 \times 30.11}$$

$C_S = 2832.59$ ng/g

ดังนั้นสาร furfural มีความเข้มข้นสัมพัทธ์ 2832.59 ng/g

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ง

ตารางการวิเคราะห์ทางสถิติ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ง1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความเป็นกรดเบสของควันเหลวจากกากกาแฟพันธุ์โรบัสต้าและอะราบิก้าที่อุณหภูมิการผลิตควันต่างกัน

Source	Degree of Freedom	Sum of Square	Mean Square	F value	P-Level
A	2	0.754	0.377	51.245	0.000*
B	1	1.400	1.400	190.192	0.000*
AB	2	0.025	0.012	1.678	0.228 NS

หมายเหตุ A หมายถึง อุณหภูมิในการผลิต และ B หมายถึง ชนิดของกากกกาแฟ

* แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

NS ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางผนวกที่ ง2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีควันเหลวจากกากกาแฟพันธุ์โรบัสต้าและอะราบิก้าที่อุณหภูมิการผลิตควันต่างกัน

Color	Source	Degree of Freedom	Sum of Square	Mean Square	F value	P-Level
L*	A	2	27.192	13.596	3418.001	0.000*
	B	1	4.128	4.128	1037.771	0.000*
	AB	2	0.952	0.476	119.683	0.000*
a*	A	2	4.718	2.359	53080.125	0.000*
	B	1	0.020	0.020	450.000	0.000*
	AB	2	0.471	0.236	5303.625	0.000*

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ง2 (ต่อ)

Color	Source	Degree of Freedom	Sum of Square	Mean Square	F value	P-Level
b*	A	2	552.284	271.142	1743056.714	0.000*
	B	1	70.845	70.845	455430.036	0.000*
	AB	2	8.155	4.077	26212.429	0.000*

หมายเหตุ A หมายถึง อุณหภูมิในการผลิต และ B หมายถึง ชนิดของกากกกาแฟ

* แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

NS ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ง3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารระเหยกลุ่มต่างๆโดยรวมของควันเหลวจากกากกาแฟพันธุ์โรบัสต้าและอะราบิก้าที่อุณหภูมิการผลิตควันต่างกัน

Total concentrations volatile compounds	Source	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F value	P-level
Phenols	A	2	2152.984	1076.492	3448.085	0.000*
	B	1	949.097	946.097	3040.027	0.000*
	AB	2	674.329	337.165	1079.964	0.000*
Furans	A	2	1182.388	591.194	3763.37	0.000*
	B	1	7.696	7.696	48.991	0.000*
	AB	2	128.304	64.152	408.375	0.000*
Aldehydes	A	2	2781.144	1390.572	2289.102	0.000*
	B	1	23.102	23.102	38.029	0.001*
	AB	2	1080.53	540.266	889.364	0.000*

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ง3 (ต่อ)

Total concentrations volatile compounds	Source	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F value	P-level
Ketones	A	2	1057.995	528.998	14673.999	0.000*
	B	1	57.816	57.816	1603.781	0.000*
	AB	2	44.813	22.406	621.539	0.000*
Polycyclic aromatic hydrocarbons	A	2	3807.773	1903.886	124981.602	0.000*
	B	1	10.305	10.305	676.446	0.000*
	AB	2	265.453	132.727	8712.902	0.000*

หมายเหตุ A หมายถึง อุณหภูมิในการผลิต และ B หมายถึง ชนิดของกากกกาแฟ

* แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

NS ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ง4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารระเหยกลุ่มต่างๆ โดยรวมของไส้กรอกรมควันจากกากกาแฟพันธุ์โรบัสต้าและอะราบิก้าที่อุณหภูมิการผลิตควันต่างกัน

Total concentrations volatile compounds	Source	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F value	P-level
Phenols	A	2	1395.232	697.616	11013.335	0.000*
	B	1	64.311	64.311	1015.279	0.000*
	AB	2	147.765	73.882	1166.387	0.000*
Furans	A	2	267.947	133.973	341.321	0.000*
	B	1	2552.083	2552.083	6501.886	0.000*
	AB	2	40.178	20.089	51.181	0.000*
Aldehydes	A	2	1080.689	540.345	3955.465	0.000*
	B	1	57.772	57.772	422.909	0.000*
	AB	2	26.683	13.341	97.662	0.000*

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ง4 (ต่อ)

Total concentrations volatile compounds	Source	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F value	P-level
Ketones	A	2	332.151	166.075	1085.561	0.000*
	B	1	6.931	6.931	45.306	0.000*
	AB	2	155.519	77.759	508.279	0.000*
Polycyclic aromatic hydrocarbons	A	2	55.459	27.730	185.359	0.000*
	B	1	12.444	12.444	83.182	0.000*
	AB	2	1.207	0.604	4.035	0.000*

หมายเหตุ A หมายถึง อุณหภูมิในการผลิต และ B หมายถึง ชนิดของกากกกาแฟ

* แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

NS ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ง5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบฟีนอลของควันเหลวจากกากกาแฟพันธุ์โรบัสต้าและอะราบิก้าที่อุณหภูมิการผลิตควันต่างกัน

Volatile compounds	Source	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F value	P-level
2-methoxyphenol	A	2	47.461	23.730	308.152	0.000*
	B	1	85.280	85.280	1107.413	0.000*
	AB	2	47.461	23.730	308.152	0.000*
trans-1-phenyl-1-pentene	A	2	28.643	14.321	3879.375	0.000*
	B	1	29.047	29.047	7868.372	0.000*
	AB	2	26.309	13.155	3563.325	0.000*
4-ethyl-2-methoxyphenol	A	2	243.312	121.656	3741.337	0.000*
	B	1	46.099	46.099	1417.710	0.000*
	AB	2	24.444	12.222	375.870	0.000*

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ง5 (ต่อ)

Volatile compounds	Source	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F value	P-level
4-vinyl-2-methoxyphenol	A	2	19.657	9.828	145.604	0.000*
	B	1	9.828	9.828	145.604	0.000*
	AB	2	19.657	9.828	145.604	0.000*
Biphenyl	A	2	69.521	34.761	1500.999	0.000*
	B	1	11.860	11.860	512.144	0.000*
	AB	2	13.622	6.811	294.116	0.000*

หมายเหตุ A หมายถึง อุณหภูมิในการผลิต และ B หมายถึง ชนิดของกากกกาแฟ

* แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

NS ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ง6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบฟูแรนของควันเหลวจากกากกาแฟพันธุ์โรบัสต้าและอะราบิก้าที่อุณหภูมิการผลิตควันต่างกัน

Volatile compounds	Source	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F value	P-level
Furfural	A	2	12.789	6.395	2250.326	0.000*
	B	1	1.353	1.353	476.273	0.000*
	AB	2	0.985	0.492	173.282	0.000*
1-(2-furanyl)-ethanone	A	2	78.232	39.116	1828.565	0.000*
	B	1	2.176	2.176	101.722	0.000*
	AB	2	1.089	0.544	25.445	0.001*
2-pentyl furan	A	2	14.872	7.436	170.091	0.000*
	B	1	3.478	3.478	79.549	0.000*
	AB	2	13.396	6.698	153.216	0.000*

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ง6 (ต่อ)

Volatile compounds	Source	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F value	P-level
2-methylbenzofuran	A	2	84.615	42.308	238.543	0.000*
	B	1	0.244	0.244	1.374	0.286NS
	AB	2	0.559	0.279	1.576	0.282NS

หมายเหตุ A หมายถึง อุณหภูมิในการผลิต และ B หมายถึง ชนิดของกากกาแฟ

* แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

NS ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ง7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบแอลดีไฮด์ของควันเหลวจากกากกาแฟพันธุ์โรบัสต้าและอะราบิก้าที่อุณหภูมิการผลิตควันต่างกัน

Volatile compounds	Source	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F value	P-level
Benzaldehyde	A	2	156.457	78.229	341.709	0.000*
	B	1	3.652	3.652	15.952	0.007*
	AB	2	1.496	0.748	3.268	0.110NS
Nonanal	A	2	78.021	39.011	1926.451	0.000*
	B	1	23.019	23.019	1136.726	0.000*
	AB	2	1.466	0.733	36.193	0.000*
Decanal	A	2	18.228	9.114	2063.549	0.000*
	B	1	20.646	20.646	4674.483	0.000*
	AB	2	35.889	17.944	4062.851	0.000*

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ง7 (ต่อ)

Volatile compounds	Source	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F value	P-level
3-(4-methylphenyl)-2-propenal	A	2	84.928	42.464	4450.357	0.000*
	B	1	87.318	87.318	9151.239	0.000*
	AB	2	84.928	42.464	4450.357	0.000*
(E,E)-2,4-decadienal	A	2	320.272	160.136	5862.211	0.000*
	B	1	39.676	39.676	1452.448	0.000*
	AB	2	48.356	24.178	885.094	0.000*

หมายเหตุ A หมายถึง อุณหภูมิในการผลิต และ B หมายถึง ชนิดของกากกกาแฟ

* แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

NS ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ง8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบคีโตนของควันเหลวจากกากกาแฟพันธุ์โรบัสต้าและอะราบิก้าที่อุณหภูมิการผลิตควันต่างกัน

Volatile compounds	Source	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F value	P-level
3-methyl-2-cyclopenten-1-one	A	2	79.498	39.749	4999.849	0.000*
	B	1	0.015	0.015	1.849	0.223NS
	AB	2	0.029	0.015	1.849	0.237NS
Acetophenone	A	2	42.199	21.099	2539.538	0.000*
	B	1	36.227	36.227	4360.306	0.000*
	AB	2	36.083	18.042	2171.522	0.000*
2,3,4-trimethyl-2-cyclopenten-1-one	A	2	38.203	19.102	3979.507	0.000*
	B	1	19.102	19.102	3979.507	0.000*
	AB	2	38.203	19.102	3979.507	0.000*

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ง8 (ต่อ)

Volatile compounds	Source	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F value	P-level
1-phenyl-1-hexanone	A	2	51.492	25.746	2726.823	0.000*
	B	1	3.050	3.050	323.058	0.000*
	AB	2	1.528	0.764	80.914	0.000*

หมายเหตุ A หมายถึง อุณหภูมิในการผลิต และ B หมายถึง ชนิดของกากกาแฟ

* แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

NS ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ง9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนของควันเหลวจากกากกาแฟพันธุ์โรบัสต้าและอะราบิก้าที่อุณหภูมิการผลิตควันต่างกัน

Volatile compounds	Source	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F value	P-level
1-methyl-1H-Indene	A	2	50.576	25.288	1040.660	0.000*
	B	1	25.288	25.288	1040.660	0.000*
	AB	2	50.576	25.288	1040.660	0.000*
Naphthalene	A	2	235.011	117.506	5640.275	0.000*
	B	1	32.802	32.802	1574.502	0.000*
	AB	2	42.824	21.412	1027.782	0.000*
2-methylnaphthalene	A	2	30.372	15.186	2089.821	0.000*
	B	1	22.304	22.304	3069.376	0.000*
	AB	2	30.372	15.186	2089.821	0.000*

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ง9 (ต่อ)

Volatile compounds	Source	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F value	P-level
1-methylnaphthalene	A	2	189.956	94.978	7806.422	0.000*
	B	1	1.056	1.056	86.805	0.000*
	AB	2	2.112	1.056	86.805	0.000*
1,3-dimethyl-naphthalene	A	2	28.128	14.064	1924.403	0.000*
	B	1	40.297	40.297	5513.798	0.000*
	AB	2	28.128	14.064	1924.403	0.000*
2,7-dimethylnaphthalene	A	2	24.453	12.227	1255.075	0.000*
	B	1	2.262	2.262	232.199	0.000*
	AB	2	1.646	0.823	84.488	0.000*

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ง9 (ต่อ)

Volatile compounds	Source	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F value	P-level
1,2,3,4-tetrahydro-1,1,6-trimethylnaphthalene	A	2	20.907	10.453	8711.111	0.000*
	B	1	10.453	10.453	8711.111	0.000*
	AB	2	20.907	10.453	8711.111	0.000*
1,4-dimethylnaphthalene	A	2	19.082	9.541	297.841	0.000*
	B	1	9.541	9.541	297.841	0.000*
	AB	2	19.082	9.541	297.841	0.000*

หมายเหตุ A หมายถึง อุณหภูมิในการผลิต และ B หมายถึง ชนิดของกากกกาแฟ

* แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

NS ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ง10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบฟีนอลของไส้กรอกรมควันจากกากกาแฟพันธุ์โรบัสต้าและอะราบิก้าที่อุณหภูมิการผลิตควันต่างกัน

Volatile compounds	Source	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F value	P-level
Phenol	A	2	14.386	7.193	183.634	0.000*
	B	1	0.230	0.230	5.862	0.046*
	AB	2	0.357	0.179	4.558	0.054NS
2-methylphenol	A	2	9.261	4.630	240.803	0.000*
	B	1	2.151	2.151	111.841	0.000*
	AB	2	1.446	0.723	37.612	0.000*
4-methylphenol	A	2	35.367	17.683	610.375	0.000*
	B	1	2.901	2.901	100.127	0.000*
	AB	2	10.623	5.311	183.333	0.000*

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ง10 (ต่อ)

Volatile compounds	Source	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F value	P-level
2-methoxyphenol	A	2	59.999	29.999	585.273	0.000*
	B	1	52.334	52.334	1021.002	0.000*
	AB	2	22.657	11.329	221.016	0.000*
4-methyl-2-methoxyphenol	A	2	9.153	4.577	199.480	0.000*
	B	1	0.011	0.011	0.471	0.515NS
	AB	2	0.735	0.367	16.009	0.002*
4-ethyl-2-methoxyphenol	A	2	39.071	19.536	553.195	0.000*
	B	1	12.567	12.567	355.848	0.000*
	AB	2	3.333	1.666	47.189	0.000*

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ง10 (ต่อ)

Volatile compounds	Source	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F value	P-level
2,6-dimethoxyphenol	A	2	7.526	3.763	489.636	0.000*
	B	1	0.048	0.048	6.263	0.041*
	AB	2	0.096	0.048	6.263	0.028*
4-vinyl-2-methoxyphenol	A	2	24.621	12.310	307.541	0.000*
	B	1	1.456	1.456	36.375	0.001*
	AB	2	2.380	1.190	29.735	0.000*

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ง10 (ต่อ)

Volatile compounds	Source	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F value	P-level
Biphenyl	A	2	2.882	1.441	71.047	0.000*
	B	1	0.000	0.000	0.002	0.969NS
	AB	2	0.530	0.265	13.075	0.004*

หมายเหตุ A หมายถึง อุณหภูมิในการผลิต และ B หมายถึง ชนิดของกากกาแฟ

* แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

NS ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ง11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบฟูแรนของไส้กรอกรมควันจากกากกาแฟพันธุ์โรบัสต้าและอะราบิก้าที่อุณหภูมิการผลิตควันต่างกัน

Volatile compounds	Source	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F value	P-level
Furfural	A	2	11.266	5.633	407.960	0.000*
	B	1	43.586	43.586	3156.801	0.000*
	AB	2	0.108	0.054	3.908	0.072NS
2-furanmethanol	A	2	3.766	1.883	67.603	0.000*
	B	1	10.566	10.566	379.279	0.000*
	AB	2	4.249	2.125	76.269	0.000*
1-(2-furanyl)Ethanone	A	2	13.546	6.773	218.687	0.000*
	B	1	7.270	7.270	234.721	0.000*
	AB	2	11.011	5.506	177.765	0.000*

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ง11 (ต่อ)

Volatile compounds	Source	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F value	P-level
5-methyl-2-furancarboxaldehyde	A	2	60.386	30.193	407.071	0.000*
	B	1	1182.068	1182.068	15936.966	0.000*
	AB	2	7.717	3.858	52.019	0.000*
Benzofuran	A	2	38.811	19.406	381.571	0.000*
	B	1	0.441	0.441	8.668	0.022*
	AB	2	0.882	0.441	8.668	0.013*
1-(2-furanyl)-1-propanone	A	2	0.936	0.468	49.045	0.000*
	B	1	0.555	0.555	58.127	0.000*
	AB	2	0.756	0.378	39.621	0.000*

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ง11 (ต่อ)

Volatile compounds	Source	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F value	P-level
2-methylbenzofuran	A	2	4.590	2.295	260.799	0.000*
	B	1	0.087	0.087	9.852	0.016*
	AB	2	0.163	0.082	9.284	0.011*
2-(2-furanylmethyl)-5-methylfuran	A	2	7.115	3.558	750.103	0.000*
	B	1	0.011	0.011	2.277	0.175NS
	AB	2	0.678	0.339	71.497	0.000*

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ง11 (ต่อ)

Volatile compounds	Source	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F value	P-level
5-butyldihydro-2(3H)-furanone	A	2	6.562	3.281	196.311	0.000*
	B	1	0.034	0.034	2.042	0.196NS
	AB	2	0.004	0.002	0.128	0.882NS

หมายเหตุ A หมายถึง อุณหภูมิในการผลิต และ B หมายถึง ชนิดของกากกาแฟ

* แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

NS ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ง12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบแอลดีไฮด์ของไส้กรอกรมควันจากกากกาแฟพันธุ์โรบัสต้าและอะราบิก้าที่อุณหภูมิการผลิตควันต่างกัน

Volatile compounds	Source	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F value	P-level
Benzaldehyde	A	2	121.903	60.952	12548.866	0.000*
	B	1	242.640	242.640	49955.322	0.000*
	AB	2	121.903	60.952	12548.866	0.000*
Benzeneacetaldehyde	A	2	6.398	3.199	100.149	0.000*
	B	1	3.674	3.674	115.022	0.000*
	AB	2	0.772	0.386	12.091	0.005*
(E)-2-octenal	A	2	12.725	6.363	199.366	0.000*
	B	1	12.485	12.485	391.198	0.000*
	AB	2	1.110	0.555	17.393	0.002*

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ง12 (ต่อ)

Volatile compounds	Source	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F value	P-level
Nonanal	A	2	33.798	16.899	1030.441	0.000*
	B	1	4.839	4.839	295.043	0.000*
	AB	2	2.521	1.260	76.848	0.000*
Decanal	A	2	2.622	1.311	88.209	0.000*
	B	1	0.452	0.452	30.436	0.001*
	AB	2	6.057	3.029	203.754	0.000*
3-(4-methylphenyl)-2-propenal	A	2	15.358	7.679	2584.357	0.000*
	B	1	20.541	20.541	6912.780	0.000*
	AB	2	15.358	7.679	2584.357	0.000*

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ง12 (ต่อ)

Volatile compounds	Source	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F value	P-level
(E,E)-2,4-decadienal	A	2	87.067	43.534	377.616	0.000*
	B	1	2.576	2.576	22.346	0.002*
	AB	2	7.940	3.970	34.438	0.000*

หมายเหตุ A หมายถึง อุณหภูมิในการผลิต และ B หมายถึง ชนิดของกากกาแฟ

* แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

NS ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ง13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบคีโตนของไส้กรอกรมควันจากกากกาแฟพันธุ์โรบัสต้าและอะราบิก้าที่อุณหภูมิการผลิตควันต่างกัน

Volatile compounds	Source	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F value	P-level
2-methylcyclopentanone	A	2	2.062	1.031	70.472	0.000*
	B	1	0.000	0.000	0.002	0.963NS
	AB	2	0.209	0.104	7.139	0.020*
3-methyl-2-cyclopenten-1-one	A	2	3.748	1.874	79.211	0.000*
	B	1	2.117	2.117	89.478	0.000*
	AB	2	4.111	2.056	86.896	0.000*
3-methyl-2-cyclohexen-1-one	A	2	7.107	3.553	319.706	0.000*
	B	1	0.411	0.411	36.952	0.001*
	AB	2	3.823	1.912	172.004	0.000*

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ง13 (ต่อ)

Volatile compounds	Source	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F value	P-level
2,3-dimethyl-2-cyclopenten-1-one	A	2	45.770	22.885	409.082	0.000*
	B	1	0.832	0.832	14.875	0.006*
	AB	2	17.967	8.984	160.586	0.000*
Acetophenone	A	2	5.420	2.710	58.797	0.000*
	B	1	1.562	1.562	33.897	0.001*
	AB	2	4.199	2.100	45.552	0.000*
3,4,4-trimethyl-2-cyclopenten-1-one	A	2	4.145	2.073	187.933	0.000*
	B	1	8.201	8.201	743.572	0.000*
	AB	2	4.145	2.073	187.933	0.000*

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ง13 (ต่อ)

Volatile compounds	Source	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F value	P-level
1-(3-methylphenyl)ethanone	A	2	1.111	0.555	15.882	0.003*
	B	1	0.276	0.276	7.893	0.026*
	AB	2	0.626	0.313	8.951	0.012*

หมายเหตุ A หมายถึง อุณหภูมิในการผลิต และ B หมายถึง ชนิดของกากกาแฟ

* แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

NS ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ง14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโรคาร์บอนของไส้กรอกรมควันจากกากกาแฟพันธุ์โรบัสต้าและอะราบิก้าที่อุณหภูมิการผลิตควันต่างกัน

Volatile compounds	Source	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F value	P-level
2-methylindene	A	2	1.322	0.661	25.990	0.001*
	B	1	1.779	1.779	69.949	0.000*
	AB	2	1.322	0.661	25.990	0.001*
Naphthalene	A	2	3.064	1.532	71.791	0.000*
	B	1	2.168	2.168	101.556	0.000*
	AB	2	13.215	6.607	309.579	0.000*
2,3-dihydro-2-methyl-1H-Inden-1-ol	A	2	6.670	3.335	131.161	0.000*
	B	1	6.424	6.424	252.631	0.000*
	AB	2	6.670	3.335	131.161	0.000*

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ง14 (ต่อ)

Volatile compounds	Source	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F value	P-level
2,3-dihydro-1H-Inden-1-one	A	2	10.906	5.453	1263.925	0.000*
	B	1	0.028	0.028	6.498	0.038*
	AB	2	0.544	0.272	63.077	0.000*
1-methylnaphthalene	A	2	0.327	0.163	7.292	0.019*
	B	1	0.163	0.163	7.292	0.031*
	AB	2	0.327	0.163	7.292	0.019*
2,3-dihydro-2-methyl-1H-Inden-1-one	A	2	0.129	0.065	7.815	0.016*
	B	1	0.065	0.065	7.815	0.027*
	AB	2	0.129	0.065	7.815	0.016*

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ง14 (ต่อ)

Volatile compounds	Source	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F value	P-level
2-methylnaphthalene	A	2	0.047	0.024	7.070	0.021*
	B	1	0.094	0.094	28.010	0.001*
	AB	2	0.047	0.024	7.070	0.021*

หมายเหตุ A หมายถึง อุณหภูมิในการผลิต และ B หมายถึง ชนิดของกากกกาแฟ

* แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

NS ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก จ

ตารางแสดงสารระเหยที่พบในควันเหลวและไส้กรอกรมควัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ จ1 สารระเหยในควันเหลวจากกากกาแฟพันธุ์โรบัสต้าและอะราบิก้าที่อุณหภูมิการเผาไหม้ 200,250 และ 300 องศาเซลเซียส

RI[a]	ชนิดของสารให้กลิ่น	ปริมาณสาร (ไมโครกรัมต่อกรัม)					
		กากกาแฟพันธุ์โรบัสต้า			กากกาแฟพันธุ์อะราบิก้า		
		200	250	300	200	250	300
Alcohol							
800	1-methyl cyclopentanol	0.78	0.60	-	-	-	-
1066	1-Octanol	0.74	-	-	-	-	-
1146	1-(1-methyl-2(2-propenyloxy)ethoxy)-2-propanol	1.10	-	-	-	-	-
1227	2,3-dihydro-2-methyl-1H-Inden-1-ol	-	3.49	-	-	-	-
1402	trans-2-dodecen-1-ol	-	-	6.12	-	-	-
1519	cis-9-tetradecen-1-ol	-	-	3.49	-	-	-
Aldehydes							
808	Hexanal	1.02	-	-	-	1.54	1.68
960	Benzaldehyde	2.71	8.34	11.65	1.50	8.15	9.73

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ จ1 (ต่อ)

RI[a]	ชนิดของสารให้กลิ่น	ปริมาณสาร (ไมโครกรัมต่อกรัม)					
		กากกาแฟพันธุ์โรบัสต้า			กากกาแฟพันธุ์อะราบิก้า		
		200	250	300	200	250	300
1000	Octanal	1.59	-	-	-	2.79	-
1318	(E,E)-2,4-heptadienal	-	-	-	-	1.32	-
1055	(E)-2-Octanal	2.50	4.58	-	-	4.72	-
1074	3-methylbenzadehyde	-	-	-	-	0.88	2.10
1100	Nonanal	3.65	7.14	8.96	-	4.42	7.02
1200	Decanal	1.43	-	-	-	2.27	7.02
1234	3-(4-methylphenyl)-2-propenal	-	-	-	-	3.55	12.64
1302	Undecanal	1.17	-	-	-	-	3.60
1314	(E,E)-2,4-decadienal	7.91	9.93	15.39	-	5.19	17.13
1702	Tetradecanal	0.14	1.79	-	-	-	1.90

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ จ1 (ต่อ)

RI[a]	ชนิดของสารให้กลิ่น	ปริมาณสาร (ไมโครกรัมต่อกรัม)					
		กากกาแฟพันธุ์โรบัสต้า			กากกาแฟพันธุ์อะราบิก้า		
		200	250	300	200	250	300
Ketones							
902	3-methyl-2-cyclopenten-1-one	-	-	5.36	-	-	5.57
1062	Acetophenone	-	4.95	8.21	-	2.73	-
1082	2,3,4-trimethyl-2-cyclopenten-1-one	-	-	-	-	-	7.57
1326	5-phenyl-3-penten-2-one	-	-	7.50	-	-	-
1453	1-phenyl-1-hexanone	-	2.34	5.70	-	0.79	4.23
Phenols							
1081	2-methoxyphenol	-	6.45	9.55	-	-	-
1152	1-phenyl-1-butene	-	-	7.17	-	-	-
1218	trans-1-phenyl-1-pentene	-	4.04	7.10	-	1.80	-

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ จ1 (ต่อ)

RI[a]	ชนิดของสารให้กลิ่น	ปริมาณสาร (ไมโครกรัมต่อกรัม)					
		กากกาแฟพันธุ์โรบัสต้า			กากกาแฟพันธุ์อะราบิก้า		
		200	250	300	200	250	300
1269	4-ethyl-2-methoxy-phenol	-	6.72	13.30	-	-	8.26
1304	2-methoxy-4-vinylphenol	-	-	5.43	-	-	-
1374	Biphenyl	-	4.21	8.18	1.02	0.91	4.47
1591	2,6-difluorobenzophenone	-	-	-	-	-	2.32
Furans							
831	Furfural	-	1.50	2.79	-	0.10	2.17
908	1-(2-furanyl)-Ethanone	-	3.48	6.88	-	2.18	5.62
987	2-pentyl furan	4.68	4.17	5.12	0.62	4.57	5.56
1103	2-methylbenzofuran	-	2.00	6.28	-	1.10	6.27
1170	2-(2-furanylmethyl)-5-methylfuran	-	-	-	-	1.30	4.50

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ จ1 (ต่อ)

RI[a]	ชนิดของสารให้กลิ่น	ปริมาณสาร (ไมโครกรัมต่อกรัม)					
		กากกาแฟพันธุ์โรบัสต้า			กากกาแฟพันธุ์อะราบิก้า		
		200	250	300	200	250	300
1414	2-methylbenzofurane-3-carboxaldehyde	-	-	-	-	-	7.71
Esters							
1514	Methyldodecanoate	-	-	4.59	-	-	-
Pyridines							
819	2-methyl pyridine	-	0.30	-	-	-	0.29
1190	2-propyl pyridine	-	-	4.85	-	-	4.55
Pyrroles							
814	1-ethyl-1H-pyrrole	-	-	-	-	-	0.28

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ จ1 (ต่อ)

RI[a]	ชนิดของสารให้กลิ่น	ปริมาณสาร (ไมโครกรัมต่อกรัม)					
		กากกาแฟพันธุ์โรบัสต้า			กากกาแฟพันธุ์อะราบิก้า		
		200	250	300	200	250	300
1048	1-pentyl-1H-pyrrole	-	-	-	-	-	3.14
1174	1-(2-furanylmethyl)-1H-pyrrole	-	-	-	-	-	3.89
Pyrazoles							
832	1,4-dimethylpyrazole	-	-	-	-	-	3.16
Imidazoles							
1210	2-ethyl-1H-benzimidazole	-	2.50	4.17	-	-	4.89
1214	5,6-dimethyl-1H-Benzimidazole	-	-	3.21	-	-	-
1345	2,5,6-trimethylbenzimidazole	-	-	-	-	-	5.09

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ จ1 (ต่อ)

RI[a]	ชนิดของสารให้กลิ่น	ปริมาณสาร (ไมโครกรัมต่อกรัม)					
		กากกาแฟพันธุ์โรบัสต้า			กากกาแฟพันธุ์อะราบิก้า		
		200	250	300	200	250	300
Alkyl aryl ethers							
870	1,3-dimethylbenzene	-	1.11	1.56	0.51	-	-
975	1-ethyl-2-methylbenzene	-	1.64	2.57	0.59	1.60	2.59
1023	1-ethenyl-2-methylbenzene	-	1.50	3.08	-	1.40	5.11
1040	1-propynylbenzene	-	-	-	-	-	6.31
1061	1-methyl-4-propylbenzene	-	-	-	-	-	2.70
1120	2-butenylbenzene	-	-	-	0.43	2.31	7.44
1161	1-methyl-4-(2-methylpropyl)benzene	-	-	-	-	-	6.81
1219	1-pentenylbenzene	-	-	-	-	-	7.16
1257	(1,3-dimethylbutyl)benzene	-	-	3.22	1.46	1.66	9.42
1330	2-ethyl-1,4-dimethylbenzene	-	-	5.59	0.17	-	-

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ จ1 (ต่อ)

RI[a]	ชนิดของสารให้กลิ่น	ปริมาณสาร (ไมโครกรัมต่อกรัม)					
		กากกาแฟพันธุ์โรบัสต้า			กากกาแฟพันธุ์อะราบิก้า		
		200	250	300	200	250	300
Hydrocarbons							
1362	1-methyl-2-n-hexylbenzene	-	-	5.48	-	-	4.28
1430	1-heptenylbenzene	-	-	-	-	-	4.80
1686	(1-methyldecyl)-benzene	-	0.94	6.27	-	-	-
Hydrocarbons							
1087	5-undecene	-	3.95	6.30	-	-	5.07
1095	Undecane	-	2.27	4.59	1.48	1.29	4.35
1187	1-methyl-2-octylcyclopropane	-	-	-	-	-	7.79
1186	Cyclodecane	-	4.10	6.71	-	-	1.55
1195	Dodecane	-	3.87	7.40	1.41	1.55	6.31

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ จ1 (ต่อ)

RI[a]	ชนิดของสารให้กลิ่น	ปริมาณสาร (ไมโครกรัมต่อกรัม)					
		กากกาแฟพันธุ์โรบัสต้า			กากกาแฟพันธุ์อะราบิก้า		
		200	250	300	200	250	300
1286	(z)-6-tridecene	-	5.33	9.64	-	1.51	6.32
1294	Tridecane	-	-	11.02	-	-	1.85
1299	(E)-2-tridecene	-	-	3.75	-	-	2.34
1380	(Z)-7-tetradecene	-	-	-	-	-	5.20
1386	(E)-2-tetradecene	-	6.18	16.68	1.50	1.58	10.11
1395	Tetradecane	-	5.44	13.95	1.66	1.36	12.62
1398	(E)-5-tetradecene	-	2.44	4.89	-	-	3.82
1402	1,13-tetradecadiene	-	-	6.15	-	-	-
1486	1-pentadecene	-	6.20	18.79	1.22	1.80	9.66
1499	Pentadecane	-	9.39	36.58	2.28	2.75	24.47
1568	Cyclotetradecane	-	-	4.53	-	-	2.72

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ จ1 (ต่อ)

RI[a]	ชนิดของสารให้กลิ่น	ปริมาณสาร (ไมโครกรัมต่อกรัม)					
		กากกาแฟพันธุ์โรบัสต้า			กากกาแฟพันธุ์อะราบิก้า		
		200	250	300	200	250	300
1581	1-nonadecene	-	-	-	-	-	3.68
1588	Hexadecane	-	2.77	11.54	-	0.23	4.22
1592	(Z)-3-hexadecene	-	-	5.81	-	-	0.17
1657	6,9-heptadecadiene	-	-	-	-	-	2.55
1658	1,11-dodecadiene	-	-	8.41	-	-	-
1667	8-heptadecene	-	2.24	10.42	-	-	2.44
1682	(Z)-3-heptadecene	-	-	7.72	-	-	-
1690	Heptadecane	-	1.18	8.39	-	-	1.49
Aromatic Hydrocarbons							
860	Ethylbenzene	-	2.41	4.04	1.18	1.56	3.76

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ จ1 (ต่อ)

RI[a]	ชนิดของสารให้กลิ่น	ปริมาณสาร (ไมโครกรัมต่อกรัม)					
		กากกาแฟพันธุ์โรบัสต้า			กากกาแฟพันธุ์อะราบิก้า		
		200	250	300	200	250	300
951	Propylbenzene	-	2.00	3.84	1.02	1.65	5.50
982	Benzonitrile	-	3.92	9.40	-	-	-
1052	Butylbenzene	-	0.30	6.77	2.62	6.69	15.51
1134	benzyl nitrile	-	2.80	-	-	-	6.83
1152	Pentylbenzene	-	10.39	18.59	4.04	8.01	22.38
1254	Hexylbenzene	-	6.23	12.87	1.81	2.49	15.89
1357	Heptylbenzene	-	11.38	14.70	1.21	2.28	13.24
1421	1-heptenylbenzene	-	-	4.64	-	-	-
1460	Octylbenzene	-	5.61	12.34	-	-	9.16
1561	Nonylbenzene	-	4.11	13.43	0.41	0.88	6.13
1693	N,N-diheptyl-2-methylbenzylamine	-	-	-	-	-	1.12

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ จ1 (ต่อ)

RI[a]	ชนิดของสารให้กลิ่น	ปริมาณสาร (ไมโครกรัมต่อกรัม)					
		กากกาแฟพันธุ์โรบัสต้า			กากกาแฟพันธุ์อะราบิก้า		
		200	250	300	200	250	300
Polycyclic Aromatic Hydrocarbons							
1144	1-methyl-1H-Indene	-	-	-	-	-	8.71
1180	Naphthalene	-	9.14	15.09	2.00	3.72	8.59
1304	2-methylnaphthalene	-	-	-	-	0.99	7.19
1307	1-methylnaphthalene	-	-	9.33	-	-	7.55
1413	1,3-dimethyl-naphthalene	-	3.50	7.50	-	-	-
1418	2,7-dimethylnaphthalene	-	1.81	3.78	-	-	2.98
1441	1,2,3,4-tetrahydro-1,1,6-trimethylnaphthalene	-	-	-	-	-	5.60
1449	1,4-dimethylnaphthalene	-	-	-	-	-	5.35
1574	Fluorine	-	-	-	-	-	3.02

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ จ1 (ต่อ)

RI[a]	ชนิดของสารให้กลิ่น	ปริมาณสาร (ไมโครกรัมต่อกรัม)					
		กากกาแฟพันธุ์โรบัสต้า			กากกาแฟพันธุ์อะราบิก้า		
		200	250	300	200	250	300
Miscellaneous							
869	p-xylene	-	-	-	-	0.97	2.01
890	Styrene	-	-	7.24	-	3.25	7.18
1885	Pentadecanenitrile	-	-	2.71	-	-	0.55

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ

[a] Retention index ซึ่งคำนวณจากข้อมูลของ GC-MS คอลัมน์ DB-5

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ จ2 สารระเหยของไส้กรอกรมควันจากกากกาแฟพันธุ์โรบัสต้าและอะราบิก้าที่อุณหภูมิการเผาไหม้ 200-300 องศาเซลเซียส

RI[a]	Compounds	NSS[1]	Concentration (µg/g)					
			Robusta			Arabica		
			200	250	300	200	250	300
Alcohol								
800	1-methyl cyclopentanol	-	-	0.90	9.50	5.61	4.89	4.67
803	3-Hexanol	-	2.07	2.12	4.53	2.58	1.87	3.54
806	2-Hexanol	-	-	-	-	1.24	1.11	1.75
845	3-methylcyclopentanol	-	3.10	3.20	5.09	4.15	3.59	5.45
912	3-penten-2-ol	-	-	3.32	3.53	4.24	4.00	5.06
977	1-octen-3-ol	-	-	-	2.13	-	-	3.85
Aldehydes								
960	Benzaldehyde	-	-	14.03	12.15	-	-	-
1039	Benzeneacetaldehyde	-	1.40	2.57	3.38	3.07	3.01	4.59

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ จ2 (ต่อ)

RI[a]	Compounds	Concentration (μg/g)						
		NSS[1]	Robusta			Arabica		
			200	250	300	200	250	300
1053	(E)-2-octenal	-	1.83	-	2.96	3.18	2.83	4.90
1057	1H-pyrrole-2-carboxaldehyde	-	-	-	1.06	-	-	-
1100	Nonanal	-	1.68	-	4.97	-	-	2.84
1200	Decanal	-	1.02	-	-	-	-	2.29
1255	(E)-2-decanal	-	1.12	-	1.54	-	-	-
1234	3-(4-methylphenyl)-2-propenal	-	-	-	-	-	2.33	5.52
1314	(E,E)-2,4-decadienal	-	2.83	1.84	6.30	2.37	1.87	9.51
Ketones								
798	2-hexanone	-	-	-	8.43	-	-	-
801	2-methylcyclopentanone	2.52	1.28	1.46	2.43	1.65	1.34	2.19
850	(R)-(+)-3-methylcyclopentanone	5.24	2.69	2.73	3.48	3.96	3.33	4.73

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ จ2 (ต่อ)

RI[a]	Compounds	Concentration (µg/g)						
		NSS[1]	Robusta			Arabica		
			200	250	300	200	250	300
902	3-methyl-2-cyclopenten-1-one	-	2.11	4.90	3.73	4.44	4.37	4.45
1018	3-methyl-2-cyclohexen-1-one	-	-	1.90	1.49	-	-	2.28
1028	2,3-dimethyl-2-cyclopenten-1-one	-	1.73	8.25	1.40	3.38	5.38	4.20
1062	Acetophenone	-	1.54	4.03	3.76	3.62	3.23	4.64
1119	3,4,4-trimethyl-2-cyclopenten-1-one	-	-	2.33	2.63	-	-	-
1165	1-(3-methylphenyl)Ethanone	-	-	0.94	1.16	0.76	0.65	1.24
Phenols								
976	Phenol	-	3.41	5.69	5.83	3.74	6.36	5.66
1046	2-methylphenol	-	-	1.68	2.78	1.81	1.88	3.31
1067	4-methylphenol	-	-	4.85	5.50	3.40	3.66	6.24
1078	2-methoxyphenol	2.55	6.66	13.29	14.21	6.11	6.09	9.43

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ จ2 (ต่อ)

RI[a]	Compounds	Concentration (µg/g)						
		NSS[1]	Robusta			Arabica		
			200	250	300	200	250	300
1181	2-methoxy-4-methylphenol	-	1.27	2.10	3.12	1.49	1.49	3.69
1269	4-ethyl-2-methoxyphenol	1.44	1.78	3.57	7.29	1.11	1.33	4.06
1336	2,6-dimethoxyphenol	-	-	-	1.49	-	-	1.87
1304	2-methoxy-4-vinylphenol	-	-	1.39	4.45	0.42	0.64	2.69
1374	Biphenyl	-	-	0.52	0.89	-	-	1.40
Furans								
831	Furfural	-	2.59	3.55	5.14	6.51	7.52	8.69
851	2-furanmethanol	-	-	2.01	2.73	3.50	3.46	3.41
908	1-(2-furanyl)Ethanone	-	8.73	13.35	11.52	12.23	12.30	13.74
957	5-methyl-2-furancarboxaldehyde	-	9.74	4.51	2.53	27.46	24.75	24.12
992	Benzofuran	-	-	-	4.75	-	-	4.39

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ จ2 (ต่อ)

RI[a]	Compounds	Concentration (µg/g)						
		NSS[1]	Robusta			Arabica		
			200	250	300	200	250	300
1002	1-(2-furanyl)-1-propanone	-	-	1.11	1.09	1.12	1.05	1.32
1026	2-acetyl-5-methylfuran	-	-	-	-	-	-	2.13
1103	2-methylbenzofuran	-	-	1.20	1.10	-	1.70	1.11
1170	2-(2-furanylmethyl)-5-methylfuran	-	-	0.67	1.53	-	-	2.02
1247	5-butyldihydro-2(3H)-furanone	-	1.16	0.80	2.49	1.08	0.64	2.41
1409	2-methyl benzofuran-3-carboxadehyde	-	-	-	-	-	0.23	1.42
Esters								
999	1-methyloctylbutanoate	-	-	-	3.35	-	-	-
1090	Methylbenzoate	-	-	-	1.39	-	-	-

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ จ2 (ต่อ)

RI[a]	Compounds	Concentration (μg/g)						
		NSS[1]	Robusta			Arabica		
			200	250	300	200	250	300
Pyridines								
1012	N-acetyl-4H-pyridine	-	-	-	-	-	-	3.13
1190	2-propyl pyridine	-	-	-	-	0.69	0.86	1.70
1190	2-butylpyridine	-	-	0.90	1.61	-	-	-
Pyrroles								
1170	1-(2-furanylmethyl)-1H-pyrrole	-	-	1.32	3.37	-	1.72	1.52
Pyrazines								
994	2-ethyl-5-methylpyrazine	-	0.76	-	1.30	-	-	-

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ จ2 (ต่อ)

RI[a]	Compounds	Concentration (µg/g)						
		NSS[1]	Robusta			Arabica		
			200	250	300	200	250	300
Imidazoles								
1208	2,5-dimethyl-1H-benzimidazole	-	-	-	1.49	-	0.81	2.10
1345	2,5,6-trimethylbenzimidazole	-	-	-	-	-	-	1.38
Alkyl aryl ethers								
1257	(1,3-dimethylbutyl)benzene	-	-	1.66	-	0.63	0.87	2.39
1426	(5-methyl-1-hexenyl)benzene	-	-	-	-	-	-	1.24
1533	1,2,3-trimethoxy-5-(2-propenyl)benzene	-	-	-	0.99	-	-	0.99
Hydrocarbons								
869	2-methyl-1-heptene	-	-	-	1.20	-	-	-
1025	4-ethenyl-1,4-dimethylcyclohexene	-	-	-	1.60	-	-	-

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ จ2 (ต่อ)

RI[a]	Compounds	Concentration (µg/g)						
		NSS[1]	Robusta			Arabica		
			200	250	300	200	250	300
965	Bromocyclohexane	-	-	-	-	-	-	15.30
986	methyl ethyl cyclopentene	-	-	-	-	-	-	4.01
988	1-decene	-	-	-	2.00	-	-	-
1095	Undecane	-	-	0.99	-	-	0.76	2.73
1119	2,6-dimethyl-2,4-heptadiene	-	-	-	-	-	-	3.20
1185	(Z)-2-dodecene	-	-	-	-	-	-	1.90
1195	Dodecane	-	0.49	1.43	1.52	0.55	1.15	2.30
1286	(Z)-6-tridecene	-	-	-	-	-	-	4.57
1386	(E)-2-tetradecene	-	-	1.06	2.70	0.35	0.87	4.35
1395	Tetradecane	-	-	1.33	3.35	0.55	0.89	4.96
1486	1-pentadecene	-	-	0.60	2.18	0.19	0.57	3.40
1499	Pentadecane	-	-	1.49	5.20	0.73	2.04	8.90

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ จ2 (ต่อ)

RI[a]	Compounds	Concentration (µg/g)						
		NSS[1]	Robusta			Arabica		
			200	250	300	200	250	300
1579	Z-8-hexadecene	-	-	0.99	-	-	-	
1588	Hexadecane	-	-	-	0.90	-	0.20	1.14
1667	8-heptadecene	-	-	-	0.71	-	-	0.70
1690	Heptadecane	-	-	-	-	-	-	0.70
Aromatic Hydrocarbons								
860	Ethylbenzene	-	-	-	-	1.19	1.19	1.12
1052	Butylbenzene	-	1.35	2.08	1.70	1.85	2.12	3.33
1134	benzyl nitrile	-	-	2.19	2.66	-	1.70	3.56
1152	Pentylbenzene	-	1.56	2.71	-	-	2.73	5.40
1230	Benzenepropanenitrile	-	0.67	1.90	3.16	-	-	-
1254	Hexylbenzene	-	0.74	1.75	-	0.60	1.12	3.56

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ จ2 (ต่อ)

RI[a]	Compounds	Concentration (µg/g)						
		NSS[1]	Robusta			Arabica		
			200	250	300	200	250	300
1340	Cyclopropylbenzene	-	-	-	0.98	-	-	-
1357	Heptylbenzene	-	-	1.32	2.79	-	0.55	3.48
1561	Nonylbenzene	-	-	-	0.92	-	0.20	1.33
Polycyclic Aromatic Hydrocarbons								
1146	2-methylindene	-	-	-	-	-	1.62	0.69
1180	Naphthalene	-	-	3.68	1.71	1.34	-	1.50
1227	2,3-dihydro-2-methyl-1H-Inden-1-ol	-	-	-	-	-	3.51	0.88
1271	2,3-dihydro-1H-Inden-1-one	-	-	1.42	2.72	0.69	1.13	2.61
1307	1-methylnaphthalene	-	-	-	-		-	0.70
1298	2,3-dihydro-2-methyl-1H-Inden-1-one	-	-	-	-	-	-	0.44

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ จ2 (ต่อ)

RI[a]	Compounds	Concentration (µg/g)						
		NSS[1]	Robusta			Arabica		
			200	250	300	200	250	300
1304	2-methylnaphthalene	-	-	-	-	0.28	-	0.25
Miscellaneous								
890	Styrene	-	-	2.31	1.99	3.88	3.31	4.19
1004	3-carene	-	-	1.04	2.55	1.70	1.19	2.00
1108	2-methylbenzoxazole	-	-	-	1.82	-	1.06	1.84
1284	Indole	-	-	-	3.47	-	-	-
1369	Copaene	-	-	0.79	1.48	0.94	0.83	2.18
1376	3-methyl-1H-Indole	-	-	0.65	1.50	-	-	-
1413	Caryophyllene	-	2.11	2.46	5.87	2.12	1.62	8.10

หมายเหตุ NSS หมายถึงไส้กรอกที่ไม่ผ่านการรมควัน, ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ

[a] Retention index ซึ่งคำนวณจากข้อมูลของ GC-MS คอลัมน์ DB-5

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ	นางสาวณัฐกานต์ อึ้งศิริสวัสดิ์
เกิดวันที่	25 กันยายน 2530
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร) มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
การนำเสนอผลงานทางวิชาการ	ณัฐกานต์ อึ้งศิริสวัสดิ์, วรรณวิบูลย์ กาญจนกุญชร และ วรรณี จิรภาคย์กุล. 2557. การระบุชนิดของสารระเหยในควันที่ผลิตจากกากกาแฟสด. น. 130-137. *ใน* **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 52 (สาขาอุตสาหกรรมเกษตร)**. 4-7 กุมภาพันธ์ 2557. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์