

การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบระเหย และกรดอินทรีย์ระหว่างกระบวนการหมักของกาแฟ
อาราบิก้าที่ปลูกในประเทศไทย

โดย

นายณนพัชร ชิตวิสัย

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-464-607-1

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

CHANGES OF VOLATILE COMPOUNDS AND ORGANIC ACIDS DURING
FERMENTATION OF ARABICA COFFEE IN THAILAND

By

Nontawat Chitwilai

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree

MASTER OF SCIENCE

Department of Food Technology

Graduate School

SILPAKORN UNIVERSITY

2004

ISBN 974-464-607-1

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้วิทยานิพนธ์เรื่อง “การเปลี่ยนแปลงของ สารประกอบระเหย และกรดอินทรีย์ระหว่างกระบวนการหมักของกาแฟอาราบิก้าที่ปลูกในประเทศไทย” เสนอโดย นายนนทวัชร ชิตวิสัย เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร. จีราวรรณ คงคล้าย)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

- ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์
1. อาจารย์ ดร. อรุณศรี ลีจรรย์เนียร
 2. อาจารย์ ดร. เอกพันธ์ แก้วมณีชัย
 3. อาจารย์ ดร. ปราโมทย์ คุวิจิตรจากร

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์
คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร. สุขเชษฐีย์ สมุหเสนีโต)
...../...../.....

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร. อรุณศรี ลีจรรย์เนียร)
...../...../.....

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร. เอกพันธ์ แก้วมณีชัย)
...../...../.....

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร. ปราโมทย์ คุวิจิตรจากร)
...../...../.....

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร. บุษราภรณ์ งามปัญญา)
...../...../.....

K 45403201 : MAJOR : FOOD TECHNOLOGY

KEY WORD: COFFEE / ARABICA / ORGANIC ACIDS / VOLATILE COMPOUNDS / FLAVOUR

NONTAWAT CHITWILAI : CHANGES OF VOLATILE COMPOUNDS AND ORGANIC ACIDS DURING FERMENTATION OF ARABICA COFFEE IN THAILAND. THESIS ADVISORS: ARUNSRI LEEGEERAJUMNEAN, Ph.D., EAKAPHUN KAEMANEECHAI, Ph. D., AND PRAMOTE KHUWIJITJARU, Ph. D. 80 pp. ISBN 974-464-607-1.

The objective of this research was to study the volatile compounds and organic acids in green beans and medium roasted arabica coffee beans produced by wet process and manufacturing in Thailand. The volatile compounds were extracted by Purge & Trap and Head Space–Solid Phase Microextraction (HS-SPME), then the volatile compounds were analyzed by Gas Chromatography–Mass Spectrometry (GC-MS). The organic acids produced in fermentation process were determined by High Performance Liquid Chromatography (HPLC) technique. The changes of microorganisms during the wet process were also investigated. The results found that the predominant species involved in the wet process were lactic acid bacteria and the second group was *Bacillus sp.*, whereas yeasts were isolated at the final stage of fermentation. The pH of coffee fermentation changed from 7.07 to 4.10 within 10 hours and remained at 4.10 until the end of fermentation (48 hours). The decrease of pH was a result of the growth of lactic acid bacteria.

The organic acids found in green beans were citric acid, oxalic acid and tartaric acid. The total acids were not significant different from 0 to 48 hours of fermentation process ($p>0.05$). While acetic acid, citric acid, oxalic acid, pyruvic acid and tartaric acid were found in roasted coffee beans. The total acids and individual acid in roasted coffee beans were not significant different from 0 to 48 hours of fermentation ($p>0.05$).

The most abundant volatile compounds in green beans were aldehydes. After roasting the green beans, aldehydes were disappeared while furans, pyrazines, pyridines, phenols and derivatives of pyrroles were formed. The results showed that the volatile compounds occurred during the fermentation from 0 to 48 hours ($p>0.05$) were not significant different neither detected by Purge & Trap or HS-SPME technique.

In conclusion, the fermentation of coffee beans has no significant difference ($p>0.05$) of organic acids and volatile compounds during the time of fermentation from 0 to 48 hours. According to the aim of fermentation process was to eliminate the mucilage, so the results suggested that the fermentation step should be stopped at 24 hours because by that time the mucilage were removed from coffee beans.

Department of Food Technology Graduate School, Silpakorn University Academic Year 2004

Student's signature

Thesis Advisors's signature 1. 2. 3.

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. อรุณศรี ลีจรรย์เนียร ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่กรุณาให้คำปรึกษา ให้กำลังใจ เสนอแนะแนวทางในการทำการวิจัย และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ถูกต้อง และสมบูรณ์ กราบขอบพระคุณ อาจารย์ ศุภชัย ลีจรรย์เนียร ที่ให้ความรู้เกี่ยวกับกาแฟตลอดจนให้ความอนุเคราะห์เมล็ดกาแฟ และคั่วกาแฟ กราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. เอกพันธ์ แก้วมณีชัย และอาจารย์ ดร. ปราโมทย์ คุวิจิตรจากรู ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาเทคโนโลยีอาหารทุกท่านที่กรุณาอบรม และให้ความรู้ในระหว่างการศึกษา ขอขอบคุณ พี่โจ พี่น้ำ ที่กรุณาอำนวยความสะดวกด้านสถานที่ อุปกรณ์เครื่องมือ และสารเคมีในการทำงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณ พี่กุ้ง พี่มัย พี่โอ พี่ตอง พี่ช และ น้อย ที่ไปช่วยเก็บกาแฟที่ดอยมูเซอ และช่วยปลูกเปลี่ยนกาแฟ คอยให้กำลังใจ และเป็นเพื่อนที่ดีตลอดการทำงานวิจัย ขอขอบคุณ ท็อปพี่ ที่ช่วยวาดภาพประกอบ ขอขอบคุณหนึ่ง น้องออย ที่ช่วยอ่านบททวน ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ข้าพเจ้าประสบความสำเร็จในการทำงานวิจัยวิทยานิพนธ์ เรื่องการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบระเหย และกรดอินทรีย์ระหว่างกระบวนการหมักของกาแฟอาราบิก้าในประเทศไทยครั้งนี้

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้การอบรมสั่งสอน สนับสนุนการศึกษา ตลอดจนความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ และคอยเป็นกำลังใจในการศึกษาตลอดมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญภาพ	ญ
บทที่	
1.บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2. ความมุ่งหมาย และวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3. สมมติฐานของการศึกษา	2
1.4. ขอบเขตของการศึกษา.....	2
2.เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ประวัติกาแฟ	4
2.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์.....	4
2.3 สายพันธุ์กาแฟ.....	5
2.4 กระบวนการแปรรูปกาแฟในอุตสาหกรรม	6
2.5 ความแตกต่างทางด้านกลิ่น และรสชาติของกาแฟโรบัสต์ด้ากับกาแฟอาราบิก้า.....	11
2.6 กลิ่น และรสชาติของกาแฟ.....	12
2.7 สารประกอบในเมล็ดกาแฟ	13
2.8 กระบวนการคั่วเมล็ดกาแฟ	17
2.9 ปฏิกริยาไฟโรไลซิส.....	18
2.10 การเปลี่ยนแปลงของเมล็ดกาแฟในระหว่างการคั่ว	18
2.11 อิทธิพลของระดับการคั่ว	23
2.12 องค์ประกอบของสารระเหยในกาแฟ	24
3.อุปกรณ์ และวิธีการดำเนินการวิจัย	27
3.1 วัตถุประสงค์	27
3.2 เครื่องมือ และอุปกรณ์.....	27

บทที่	หน้า
3.3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	28
4.ผล และวิจารณ์ผลการทดลอง	34
4.1 ศึกษาชนิด การเปลี่ยนแปลงของเชื้อจุลินทรีย์ และค่าความเป็นกรด-ด่าง ในระหว่างการหมัก	34
4.2 การหาปริมาณกรดทั้งหมดในตัวอย่างกาแฟโดยการไตเตรทด้วยเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter).....	38
4.3 การวิเคราะห์หาปริมาณกรดอินทรีย์ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC)	39
4.4 การศึกษาชนิด และปริมาณของสารประกอบระเหยในกาแฟอาราบิก้าด้วยเครื่อง Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)	43
5.สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ.....	58
บรรณานุกรม.....	60
ภาคผนวก	64
ภาคผนวก ก. วิธีการวิเคราะห์	65
ภาคผนวก ข. ข้อมูลผลการทดลอง.....	66
ภาคผนวก ค. สูตรโครงสร้างสารประกอบระเหยที่พบในกาแฟ.....	75
โปสเตอร์.....	79
ประวัติผู้วิจัย.....	80

มหาวิทยาลัยศิลปากร ส่วนลิขสิทธิ์

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1	ข้อดี และข้อเสียของการผลิตเมล็ดกาแฟด้วยกระบวนการแบบเปียก และแบบแห้ง 8
2	องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดกาแฟดิบ (โดยน้ำหนักแห้ง)..... 15
3	องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดกาแฟคั่ว (โดยน้ำหนักแห้ง) 16
4	ระดับการคั่วเมล็ดกาแฟ 18
5	ค่าต่ำสุดการรับรู้กลิ่นของสารประกอบในกลุ่มไพราซีน 26
6	ค่าต่ำสุดการรับรู้รสของสารประกอบที่พบในกาแฟ..... 26
7	ความเข้มข้นสารละลายกรดอินทรีย์มาตรฐาน 31
8	ปริมาณกรดทั้งหมดในตัวอย่งกาแฟดิบ และกาแฟคั่วที่ระยะเวลาการหมักต่างกัน..... 38
9	สมการคำนวณปริมาณกรดอินทรีย์..... 39
10	พื้นที่ของสารประกอบระเหยในกาแฟดิบที่ระยะเวลาการหมักของเมล็ดกาแฟต่างกัน (สกัดแบบ Purge & Trap)..... 50
11	พื้นที่ของสารประกอบระเหยในกาแฟคั่วที่ระยะเวลาการหมักของเมล็ดกาแฟต่างกัน (สกัดแบบ Purge & Trap)..... 52
12	พื้นที่ของสารประกอบระเหยในกาแฟคั่วที่ระยะเวลาการหมักของเมล็ดกาแฟต่างกัน (วิธีการสกัดแบบ SPME) 55
13	ค่าความเป็นกรด-ด่างในน้ำหมักกาแฟที่เวลา 0-48 ชั่วโมง..... 66
14	ค่าความชื้น และค่าความสว่างในกาแฟคั่วแบบกลาง 66
15	ปริมาณกรดอินทรีย์ในกาแฟดิบที่ระยะเวลาการหมักเมล็ดกาแฟต่างกัน (โดยน้ำหนักแห้ง)..... 71
16	ปริมาณกรดอินทรีย์ในกาแฟคั่วที่ระยะเวลาการหมักเมล็ดกาแฟต่างกัน (โดยน้ำหนักแห้ง)..... 72
17	แสดงค่าพื้นที่รวมของสารประกอบระเหยทั้งหมดในกาแฟดิบ และกาแฟคั่ว..... 73

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1	กระบวนการผลิตเมล็ดกาแฟดิบโดยกระบวนการแปรรูปแบบเปียก และแบบแห้ง..... 11
2	สารประกอบที่ให้กลิ่นรสจากการแตกตัวของคาร์โบไฮเดรต และโปรตีน..... 22
3	ปฏิกิริยา Strecker degradation 23
4	การเกิด Furfural และ 5-Hydroxymethylfurfural 25
5	ตัวอย่างการสกัดแบบ Purge & Trap 33
6	ตัวอย่างไฟเบอร์ และวิธีการสกัดแบบ HS-SPME..... 33
7	การเปลี่ยนแปลงของเชื้อจุลินทรีย์ และค่าความเป็นกรด-ด่าง ระหว่างการหมัก..... 35
8	การเปลี่ยนแปลงของแลคติกแอซิคแบคทีเรียระหว่างการหมักในอาหาร MRS..... 36
9	การเปลี่ยนแปลงของเชื้อจุลินทรีย์ระหว่างการหมักในอาหาร PCA..... 36
10	การเปลี่ยนแปลงของเชื้อจุลินทรีย์ระหว่างการหมักในอาหาร PDA..... 37
11	ปริมาณกรดอินทรีย์ในกาแฟดิบที่ระยะเวลาการหมักเมล็ดกาแฟต่างกัน..... 42
12	ปริมาณกรดอินทรีย์ในกาแฟคั่วที่ระยะเวลาการหมักเมล็ดกาแฟต่างกัน..... 42
13	พื้นที่รวมของสารประกอบระเหยในกาแฟที่ผ่านการสกัดด้วยวิธี Purge & Trap ในกาแฟที่ผ่านการหมักที่ระยะเวลาต่างกัน..... 48
14	พื้นที่กลุ่มของสารประกอบระเหยในกาแฟคั่วที่ผ่านการสกัดด้วยวิธี HS-SPME ในกาแฟที่ผ่านการหมักที่ระยะเวลาต่างกัน..... 49
15	พื้นที่รวมของสารประกอบระเหยในกาแฟที่ผ่านการสกัดด้วยวิธี HS-SPME ในกาแฟที่ผ่านการหมักที่ระยะเวลาต่างกัน..... 49
16	โครมาโตแกรมของกรดอินทรีย์ในกาแฟดิบจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC 67
17	โครมาโตแกรมของกรดอินทรีย์ในกาแฟคั่วจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC..... 67
18	กราฟมาตรฐานของกรดอะซิติก..... 68
19	กราฟมาตรฐานของกรดซิตริก 68
20	กราฟมาตรฐานของกรดออกซาลิก 69
21	กราฟมาตรฐานของกรดไพรูวิก..... 69
22	กราฟมาตรฐานของกรดทาร์ทาริก 70
23	โครมาโตแกรมของสารประกอบระเหยในกาแฟคั่วจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-MS โดยใช้การสกัดแบบ HS-SPME 74

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา

กาแฟ (*Coffea sp.*) เป็นพืชเศรษฐกิจที่สร้างรายได้ให้กับประเทศมูลค่าปีละหลายล้านบาท (มกราคม-มิถุนายน 2546 มูลค่าการส่งออก 78.392 ล้านบาท: กองการค้าสินค้าข้อตกลงการค้าระหว่างประเทศ) และในปัจจุบันกาแฟเป็นเครื่องดื่มที่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภคภายในประเทศมากขึ้น พันธุ์ที่นิยมปลูกเป็นการค้าคือ พันธุ์อาราบิก้า (*arabica*) และโรบัสต้า (*robusta*) ในประเทศไทยมีการปลูกทั้งสองพันธุ์ อาราบิก้าปลูกในภาคเหนือ ส่วนโรบัสต้าปลูกทางภาคใต้ ซึ่งกาแฟทั้งสองพันธุ์จะให้กลิ่นรส และความเข้มข้นที่ต่างกัน

การควบคุมคุณภาพของกาแฟพันธุ์อาราบิก้าในด้านกลิ่นรสเกี่ยวข้องกับปัจจัยหลายอย่าง นับตั้งแต่ พื้นที่ สภาพภูมิประเทศที่ปลูก รวมทั้งเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวที่มีกระบวนการผลิตหลักคือ การคั่วผลกาแฟ การลอกเปลือกผลกาแฟ และการคั่วเมล็ดกาแฟ ซึ่งแต่ละขั้นตอนจะมีผลต่อกลิ่นรสของกาแฟ โดยกระบวนการผลิตกาแฟโดยทั่วไปจะมีด้วยกันสองวิธี ได้แก่ การแปรรูปแบบแห้ง (*dry process*) และการแปรรูปแบบเปียก (*wet process*) ซึ่งแต่ละวิธีก็จะให้กลิ่นรสของกาแฟที่แตกต่างกัน นอกจากนี้กระบวนการในการคั่วเมล็ดกาแฟก็มีความสำคัญที่จะทำให้เกิดกลิ่นรสของกาแฟที่แตกต่างกันด้วย กระบวนการคั่วโดยทั่วไปจะแบ่งได้เป็น 3 ระดับคือ อ่อน (*light*) ปานกลาง (*medium*) และเข้ม (*dark*) ซึ่งแต่ละระดับของการคั่วจะใช้อุณหภูมิ และเวลาที่แตกต่างกัน (Sivetz, 1963) ในขั้นตอนนี้จะทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีมากมายในเมล็ดกาแฟ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีต่าง ๆ เช่น การลดลงของค่าความเป็นกรด-ด่าง การเกิดกรดอะซิติกจากการสลายตัวของน้ำตาล โดยเฉพาะน้ำตาลกลูโคส จะให้ สี กลิ่นรส ความรู้สึกรูขม (*bitterness*) และความเปรี้ยว (*sourness*) นอกจากนี้ยังเกิดการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนด้วย ซึ่งการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบต่าง ๆ มีผลต่อการเกิดสารระเหยที่ให้กลิ่นรสในกาแฟ (Clarke และ Macrae, 1985) นอกจากนี้เมล็ดกาแฟที่ผ่านการหมักจะมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้นเล็กน้อยซึ่งมีส่วนช่วยให้กาแฟมีกลิ่นรสที่ดีขึ้น (Coffee Research Institute, 2001)

การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับสารประกอบระเหย และกรดอินทรีย์ของกาแฟพันธุ์อาราบิก้ายังมีน้อยในประเทศไทยทั้งที่มีการปลูกกาแฟเพื่อบริโภคในประเทศ และการส่งออก อีกทั้งการวิเคราะห์สารประกอบระเหย และกรดอินทรีย์ที่เปลี่ยนแปลงระหว่างการผลิตกาแฟทำให้ทราบว่าในการหมักเมล็ดกาแฟอาราบิก้าของไทยจะมีการเปลี่ยนแปลงสารประกอบระเหย และกรดอินทรีย์ที่มีความสำคัญต่อการเกิดกลิ่นรสในกาแฟชนิดใดบ้าง นอกจากนี้ยังทราบระยะเวลาที่เหมาะสมกับการหมักเมล็ดกาแฟ ซึ่งเป็นแนวทางในการควบคุมคุณภาพในกระบวนการผลิตเมล็ดกาแฟเพื่อให้เกิดกลิ่นรสที่ดีตามความต้องการของตลาด ลดต้นทุน ลดเวลาในการผลิต และเป็นการเพิ่มมูลค่าของเมล็ดกาแฟด้วย

1.2. ความมุ่งหมาย และวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาชนิด และการเปลี่ยนแปลงของเชื้อจุลินทรีย์ในระหว่างการแปรรูปแบบเปียกของกาแฟอาราบิก้าที่ปลูกในประเทศไทย

1.2.2 เพื่อศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดอินทรีย์ระหว่างกระบวนการแปรรูปแบบเปียกในกาแฟอาราบิก้าที่ปลูกในประเทศไทย

1.2.3 เพื่อศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบระเหยระหว่างกระบวนการแปรรูปแบบเปียกในกาแฟอาราบิก้าที่ปลูกในประเทศไทย

1.3. สมมติฐานของการศึกษา

1.3.1 ระยะเวลาการหมักเมล็ดกาแฟที่ต่างกันในช่วงขั้นตอนการแปรรูปแบบเปียกมีผลทำให้ชนิด และปริมาณของเชื้อจุลินทรีย์ที่พบต่างกัน

1.3.2 ระยะเวลาการหมักเมล็ดกาแฟที่ต่างกันมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดอินทรีย์ในตัวอย่างกาแฟอาราบิก้าในประเทศไทย

1.3.3 ระยะเวลาการหมักเมล็ดกาแฟที่ต่างกันมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสารประกอบระเหย ในตัวอย่างกาแฟอาราบิก้าในประเทศไทย

1.4. ขอบเขตของการศึกษา

1.4.1 ศึกษาชนิด และการเปลี่ยนแปลงของเชื้อจุลินทรีย์ในระหว่างการหมักเมล็ดกาแฟอาราบิก้าที่ปลูกในประเทศไทยซึ่งผ่านกระบวนการแปรรูปแบบเปียก

1.4.2 ศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดอินทรีย์ที่ระยะเวลาการหมักเมล็ดกาแฟต่างกัน คือ 0, 2, 4, 6, 10, 18, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง ในตัวอย่างกาแฟอาราบิก้าที่ผ่านการคั่วแบบกลาง และในกาแฟดิบด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

1.4.3 ศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงสารประกอบระเหยที่ระยะเวลาการหมักต่างกันคือ 0, 2, 4, 6, 10, 18, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง ในตัวอย่างกาแฟอาราบิก้าที่ผ่านการคั่วแบบกลาง และในกาแฟดิบด้วยเครื่อง Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) โดยใช้การสกัดแบบ Purge & Trap และการสกัดแบบ Headspace Solid Phase Microextraction (HS-SPME) ในกาแฟที่คั่วแบบกลาง

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

บทที่ 2

เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ประวัติกาแฟ

กาแฟเป็นพืชพื้นเมืองของอาบิซีเนีย และอาราเบีย ซึ่งได้ค้นพบเมื่อศตวรรษที่ 5 ที่ประเทศอาราเบีย สมัยนั้นไม่มีใครให้ความสนใจเท่าใดนักจนกระทั่งล่วงเลยมาถึงศตวรรษที่ 9 มีคนเลี้ยงแพะชาวอาราเบียคนหนึ่งชื่อ คาลดี (Kaldi) นำแพะออกไปเลี้ยงตามปกติ แพะได้กินผล และใบกาแฟแล้วเกิดความคึกคะนองผิดปกติ จึงได้นำเรื่องไปเล่าให้พระมุสลิมองค์หนึ่งฟัง พระมุสลิมองค์นั้นจึงได้เก็บผลกาแฟมากระเทาะเปลือกเอาเมล็ดกาแฟไปคั่วแล้วต้มในน้ำร้อนดื่ม เห็นว่ามีความกระปรี้กระเปร่าดี จึงได้เล่าให้ผู้อื่นฟังต่อไป ชาวอาราเบียจึงได้เริ่มรู้จักต้นกาแฟมากขึ้น จึงทำให้กาแฟแพร่หลายเพิ่มขึ้นจากประเทศอาราเบีย เข้าสู่ชนชาวอิตาลี ดัตช์ เยอรมัน ฝรั่งเศส และกระบวนการผลิตกาแฟก็ได้พัฒนาขึ้นเรื่อย ๆ ในระยะต่อมา

ตามบันทึกของพระศาสตราจารย์พลซันท์ (นายเจรีนี ชาวอิตาลี) เมื่อปี พ.ศ. 2454 กล่าววาประเทศไทยปลูกกาแฟพันธุ์อาราบิก้าตั้งแต่ปี พ.ศ. 2393 ส่วนพันธุ์โรบัสต่านั้น มีชาวไทยอิสลามผู้หนึ่งชื่อ นายตีหมุน เป็นผู้นำมาปลูกคนแรกที่บ้านอ่าวสับ้าย้อย จังหวัดสงขลา เมื่อปี พ.ศ. 2447 แล้วแพร่หลายไปตามจังหวัดต่าง ๆ ของประเทศไทยในปัจจุบัน

ประเทศที่มีชื่อเสียงทางการผลิตกาแฟมากที่สุดคือ ประเทศบราซิล ผลิตกาแฟได้ร้อยละ 72 ของผลผลิตกาแฟทั่วโลก ซึ่งถือว่าผลิตได้มากที่สุด ส่วนประเทศที่ซื้อกาแฟมากที่สุดคือ สหรัฐอเมริกา และยุโรป ประมาณร้อยละ 85 ของผลผลิตที่ได้ทั่วโลก (สมศักดิ์, 2545)

2.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

กาแฟ (coffee) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Coffea sp.* จัดเป็นไม้พุ่มขนาดกลาง สูงประมาณ 3-5 เมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของกาแฟ โดยทั่วไปกาแฟมีลักษณะทางพฤกษศาสตร์ดังต่อไปนี้

2.2.1 ลำต้นกาแฟ

โดยธรรมชาติแล้วกาแฟมีลักษณะลำต้นตรง ในระยะแรกของการเจริญจะไม่แตกกิ่ง แต่มีใบแตกออกเป็นข้อตรงข้ามกันเป็นคู่ ๆ เมื่อโตมากขึ้นจะมีการแตกกิ่งออกจากลำต้นในลักษณะที่

แยกออกจากกัน และอยู่ตรงข้ามกัน กิ่งที่แตกออกมาใหม่จะมีใบแตกออกเป็นคู่ ๆ อยู่ตรงข้อ เช่นเดียวกับลำต้น กิ่งจะขนานไปกับพื้นดินหรือห้อยต่ำลงดิน ซึ่งเป็นที่เกิดของดอก และต่อไป นอกจากกิ่งแล้วยังมีการแตกหน่อออกจากตาของลำต้นอีกเป็นจำนวนมาก ทำให้หน่อที่เกิดขึ้นใหม่ ไปเบียดกับลำต้นเดิม ถ้าหากปล่อยให้เจริญต่อไปเรื่อย ๆ โดยไม่มีการแต่งกิ่งจะทำให้กาแฟมีทรง พุ่มที่แน่นทึบเป็นที่สะสมของโรค ผลผลิตต่ำลง และต้นกาแฟจะตายในที่สุด

2.2.2 ดอกกาแฟ

ดอกกาแฟมีสีขาวบริสุทธิ์ กลิ่นหอมคล้ายดอกมะลิ รูปคล้ายดาวมีก้านสั้น อยู่รวมกันเป็น กลุ่ม จะเกิดตามข้อต้นกาแฟบ้างเป็นส่วนน้อย แต่ส่วนใหญ่ดอกกาแฟจะออกจากข้อของกาแฟ โดยเริ่มจากข้อที่อยู่ใกล้ลำต้นออกไปหาปลายกิ่ง กาแฟมีลักษณะพิเศษคือ ข้อของกิ่งจะสั้น สามารถที่จะเกิดดอก และติดได้มาก ดอกกาแฟเป็นดอกสมบูรณ์เพศ มีทั้งเกสรตัวผู้ และเกสรตัว เมียอยู่ในดอกเดียวกัน เกสรตัวเมียจะอยู่สองส่วน ส่วนเกสรตัวผู้จะมีเท่ากับกลีบดอกคือ ประมาณ 2-4 อัน กาแฟบางพันธุ์อาจมีการผสมข้ามพันธุ์กันได้หากปลูกอยู่ใกล้กัน เวลาออกดอกของกาแฟ ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำ ถ้าในท้องถิ่นที่มีฝนตกเป็นฤดู ดอกจะออกหลังจากฝนตกประมาณ 1 เดือน แต่ถ้าหากอากาศชุ่มชื้นอยู่ตลอดทั้งปี หรือมีการชลประทานเพียงพอ กาแฟจะออกดอกตลอดทั้งปี

2.2.3 ผลกาแฟ

แม้ว่ากาแฟจะออกดอกจำนวนมากก็ตาม แต่การติดผลจะมีเพียงร้อยละ 16-26 เมื่อกลิบ ดอกร่วงแล้ว กาแฟจะติดเป็นผล มีลักษณะคล้ายลูกหว้า ซึ่งภายในจะแบ่งออกเป็นสองส่วน ส่วน หนึ่งมีเมล็ดกาแฟ 1 เมล็ด ซึ่งมีลักษณะแบนยาวไปตามรูปของเปลือกหุ้ม ถ้าหากเมล็ดหนึ่งเมล็ด ใดลึบไปเนื่องจากการผสมพันธุ์ไม่ดี เมล็ดที่เหลืออยู่จะมีรูปกลม ส่วนยาวจะมีรูปโค้งเป็นรูป กระจับอกตัด เมื่อเมล็ดสุกจะมีสีน้ำตาลปนแดง

2.2.4 เมล็ดกาแฟ

มีสีเขียวอมเทา ความยาวประมาณ $\frac{1}{2}$ นิ้ว เป็นส่วนที่อยู่ในกะลาซึ่งห่อหุ้มด้วยเยื่อบาง ๆ (silver skin) และมีเปลือกแข็ง (parchment) หุ้มอีกชั้นหนึ่ง ส่วนเนื้อกาแฟที่ห่อหุ้มกะลา เมื่อสุก เต็มที่จะมีรสหวานเล็กน้อย ลักษณะเป็นยางเหนียว ๆ (สมศักดิ์, 2545)

2.3 สายพันธุ์กาแฟ (coffee species)

ปัจจุบันทั่วโลกมีกาแฟอยู่มากกว่า 6,000 พันธุ์ แต่มีเพียง 2 พันธุ์เท่านั้นที่ได้รับความนิยม ปลูกเป็นการค้าคือ พันธุ์อาราบิก้ากับพันธุ์โรบัสต้า

2.3.1 กาแฟพันธุ์อาราบิก้า (*Coffea arabica*) เป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกกันมากที่สุดในโลก มีถิ่นกำเนิดดั้งเดิมบริเวณประเทศเอธิโอเปีย เนื่องจากกาแฟพันธุ์นี้จะสามารถเจริญเติบโตได้ดีใน

สภาพอากาศค่อนข้างเย็น อุณหภูมิประมาณ 15-24 องศาเซลเซียส เป็นพืชกิ่งเมืองหนาว กาแฟพันธุ์นี้จะมีคุณภาพดีที่สุดในมีรสชาติดมหวานชวนดื่ม และมีความเป็นกรดเล็กน้อย ปลูกกันมากบนพื้นที่สูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 1,500-2,000 เมตร (Varnam และ Sutherland, 1994) ระยะเวลาตั้งแต่ออกดอกจนถึงเก็บเกี่ยวใช้เวลาประมาณ 6-8 เดือน โดยกาแฟพันธุ์อาราบิก้าจะมีปริมาณคาเฟอีนประมาณร้อยละ 0.5-1.4 (สมเจตต์, 2546)

2.3.2 กาแฟพันธุ์โรบัสต้า (*Coffea canephora* var. *robusta*) เป็นพันธุ์ที่สามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดีมากเป็นกาแฟสายพันธุ์ดั้งเดิมแถบศูนย์สูตร มีรสชาติดมเข้ม มีความทนทานต่อโรคมากกว่ากาแฟพันธุ์อาราบิก้า สามารถเจริญเติบโตได้ในสภาพอากาศอบอุ่นกว่ากาแฟพันธุ์อาราบิก้าคือ ประมาณ 20-32 องศาเซลเซียส สามารถปลูกได้ตั้งแต่ระดับน้ำทะเลจนถึงระดับความสูง 1,200 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล ระยะเวลาตั้งแต่ออกดอกจนถึงเก็บเกี่ยวประมาณ 9-11 เดือน กาแฟพันธุ์นี้เป็นพันธุ์ที่ต้องการความชุ่มชื้น และมีฝนตกสม่ำเสมอสามารถเจริญเติบโตได้ดีทั้งในที่ร่ม และกลางแจ้ง แต่จะชอบร่มเงามากกว่า สามารถทนทานต่อความชื้นในดินสูงหรือดินที่ระบายน้ำได้ไม่ดี กาแฟพันธุ์โรบัสต้าให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์อาราบิก้าเล็กน้อย แม้ว่าผลจะมีขนาดเล็กกว่ากาแฟพันธุ์อาราบิก้าก็ตาม แต่จะมีข้อเสีย คือ หลังจากให้ผลผลิตสูงในปีหนึ่งๆ แล้วกิ่งแขนงมักจะมีการแห้งตายเป็นจำนวนมาก ทำให้ผลผลิตในปีต่อไปลดต่ำลง โดยกาแฟพันธุ์โรบัสต้าจะมีปริมาณคาเฟอีนประมาณร้อยละ 1.7-4.0 (สมเจตต์, 2546)

2.4 กระบวนการแปรรูปกาแฟในอุตสาหกรรม

กรรมวิธีการผลิตที่ดีจะส่งผลถึงคุณภาพของเมล็ดกาแฟที่ผลิตได้ การผลิตเมล็ดกาแฟสามารถทำได้ 2 วิธี คือ การแปรรูปแบบเปียก และแบบแห้งซึ่งขั้นตอนต่าง ๆ แสดงในภาพที่ 1

2.4.1 กระบวนการแปรรูปแบบแห้ง หรือแบบธรรมชาติ (dry process หรือ natural process) เป็นกระบวนการแปรรูปที่มีมานานง่าย และนิยมใช้กับกาแฟโรบัสต้าแต่ในประเทศบราซิลจะใช้กับกาแฟอาราบิก้าด้วยเนื่องจากผลผลิตกาแฟในประเทศบราซิลมีปริมาณมาก จึงใช้ผลกาแฟสุก ผลกาแฟดิบ ผลที่สุกจนแห้งคาต้นมาผ่านกระบวนการแปรรูปแบบแห้ง ส่งผลให้กาแฟที่ได้มีคุณภาพไม่ดี ราคาที่ขายในท้องตลาดจึงมีราคาต่ำ (Varnam และ Sutherland, 1994) นอกจากนี้ความชื้นของเมล็ดกาแฟยังแตกต่างกันมากจากร้อยละ 30 ถึงร้อยละ 65 เมื่อความชื้นต่างกันคุณภาพของกาแฟจะแตกต่างกัน ผลกาแฟสุกเต็มที่ที่จะร่วงลงดิน ทำให้เกิดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ และเมื่อฝนตกทำให้ผลกาแฟเปียกอาจมีการเจริญของเชื้อราได้ (Clarke, 1986)

ผลกาแฟสุกจะมีเมือก (mucilage) และจะค่อย ๆ สลายจากนั้นจะถูกดูดซึมเข้าสู่ภายในเมล็ด ทำให้เกิดกลิ่นรสที่ดีขึ้น แต่ยากที่จะควบคุมจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนได้ ความผันแปรของดินฟ้า

อากาศทำให้กาแฟเสื่อมเสียคุณภาพ ถ้าหากมีการควบคุมความชื้นให้ได้เช่นเดียวกระบวนการแปรรูปแบบเปียกจะได้เมล็ดกาแฟที่มีคุณภาพดีขึ้น (Varnam และ Sutherland, 1994) หลังจากรับผลกาแฟที่สุกเต็มที่แห้งคั่วแต่ความชื้นก็ยังสูงอยู่ จำเป็นต้องนำมาผึ่งแดดให้แห้ง (sun drying) ซึ่งจะใช้เวลาจนถึง 3 เท่าของแบบเปียกเนื่องจากความชื้นระเหยออกลำบาก ทำให้มีโอกาสติดเชื้อเนื่องจากจุลินทรีย์มีมากขึ้น

การตากแห้งเป็นการลดความชื้นของเมล็ดกาแฟให้เหลือประมาณร้อยละ 12±1 ถ้าหากความชื้นประมาณร้อยละ 15 เชื้อรา แบคทีเรีย สามารถเจริญ และทำลายคุณภาพเมล็ดกาแฟได้ ถ้าหากความชื้นประมาณร้อยละ 20 จะเกิดการงอกของเมล็ดกาแฟก็จะมีการใช้สารอาหารในเมล็ด ถ้าหากความชื้นประมาณร้อยละ 8 เมล็ดกาแฟจะหดตัวลงมากคุณภาพก็จะด้อยลง ดังนั้นต้องพยายามควบคุมความชื้นให้ได้ประมาณร้อยละ 12

การตากแห้งมี 2 ระบบคือ การใช้แสงอาทิตย์ แต่ต้องใช้พื้นที่มากการควบคุมไม่ให้อากาศเปลี่ยนแปลงค่อนข้างยาก มีการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์ง่าย ต้องใช้แรงงานสูงเนื่องจากต้องเกี่ยวบ่อยครั้ง ใช้เวลาในการทำแห้งนาน อีกวิธีคือการใช้ตู้อบไฟฟ้า ซึ่งสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ ใช้พื้นที่ในการตากแห้งน้อยควบคุมอากาศเข้าออกได้ ใช้แรงงานต่ำ และใช้เวลาในการตากแห้งน้อย ซึ่งกระบวนการแปรรูปแบบแห้งนี้มีข้อดีตรงที่ขั้นตอนในการแปรรูปนั้นไม่ยุ่งยาก และใช้เวลารวดเร็วกว่ากระบวนการแปรรูปแบบเปียก แต่อย่างไรก็ตามคุณภาพของกาแฟที่ผ่านกระบวนการแปรรูปแบบแห้งจะได้กาแฟดิบที่มีคุณภาพต่ำกว่าการผ่านกระบวนการแปรรูปแบบเปียกเนื่องจากเมล็ดกาแฟจะมีความไวต่อการดูดกลืนได้ดีจึงดูดกลืนอับจากเปลือกในระหว่างการตากเพราะใช้เวลาในการทำแห้งนานกว่ากระบวนการแปรรูปแบบเปียก (Sivetz และ Foote, 1963)

2.4.2 กระบวนการแปรรูปแบบเปียก (wet process) การเก็บผลกาแฟจะเก็บเฉพาะผลกาแฟที่สุกเท่านั้น ถ้ามีผลดิบ หรือผลที่สุกเกินไปติดมาจะทำให้คุณภาพด้อยลงเนื่องจากการสุกของผลกาแฟจะไม่เท่ากัน ดังนั้นการเก็บเมล็ดกาแฟต้องใช้ต้นทุนที่สูง การเก็บผลกาแฟแบบนี้จะได้กาแฟที่สะอาดซึ่งต่างจากแบบแห้ง ผลกาแฟที่เก็บมาจะมีความชื้นประมาณร้อยละ 60-75 การเก็บมักเก็บในตอนเช้าถึงบ่าย และต้องนำมาแปรรูปภายในวันที่เก็บ หรือปล่อยทิ้งไว้ไม่เกิน 12-24 ชั่วโมง จึงเป็นกระบวนการที่ทำให้ได้เมล็ดกาแฟที่มีคุณภาพสูง (Varnam และ Sutherland, 1994)

การปลอกเปลือกผลกาแฟที่เก็บมาแล้วควรปลอกในวันนั้น ถ้าไม่ทันไม่ควรเก็บเกิน 1 คืน เพราะจะเกิดการหมัก ทำให้เมล็ดกาแฟเสื่อมคุณภาพ การปลอกเปลือกจะให้ผลดีถ้าใช้เครื่องปลอกเปลือก หลังจากปลอกเปลือกแล้วจะเห็นว่ายังมีอีกชั้นที่หุ้มเมล็ดไว้มีลักษณะเป็นเมือก มีความ

หนาราว 0.8 มิลลิเมตร ซึ่งประกอบด้วยน้ำ และเอนไซม์ต่าง ๆ ร้อยละ 80 ของเอนไซม์ ได้แก่ protopectinase, pectinesterase และ pectinase และ อีกร้อยละ 20 เป็น insoluble mucilage ซึ่งใน insoluble mucilage ร้อยละ 80 เป็นน้ำตาล และอีกร้อยละ 20 เป็นสารประเภท pectin, protopectin, pectinester (methyl pectin ester) และ pectin acid ส่วนของเมือกเป็นส่วนที่เกิดขึ้นเมื่อเมล็ดค่อย ๆ สุกไม่สามารถนำมาล้างน้ำออกได้ เพราะว่าจะติดอยู่กับเมล็ดกาแฟ ถ้าหากปล่อยให้สุกคาคั้นจะมีเอนไซม์มาย่อยโพลีเมอร์เหล่านี้ให้น้ำตาลกาแลคโตส ซึ่งจุลินทรีย์สามารถใช้ได้ ถ้าทิ้งไว้จะทำให้คุณภาพของกาแฟลดลง (Sivetz และ Foote, 1963)

จากนั้นจะผ่านขั้นตอนที่มีความสำคัญคือ ขั้นตอนในการหมักเพื่อนำเมือกที่ติดเมล็ดกาแฟออกซึ่งขั้นตอนดังกล่าวเป็นขั้นตอนที่สำคัญทำให้เกิดกลิ่นรสเฉพาะ (specific flavour) ในกาแฟเนื่องจากการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ทำให้น้ำหมักกาแฟมีสภาพเป็นกรด และเชื้อจุลินทรีย์ยังสร้างเอนไซม์เพคตินเนส ซึ่งช่วยในการกำจัดเมือก สายพันธุ์ของแบคทีเรียที่สร้างกรดคือ Enterococcus ซึ่งเป็นกลุ่มของแบคทีเรียที่มีความสามารถในการสร้างกรดแลคติก ทำให้น้ำหมักมีค่าความเป็นกรดต่างลดลงจาก 6.8 เหลือ 4.3 จากค่าความเป็นกรดที่ลดลงส่งผลให้เกิดการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ เพคตินเนส แต่ก็มีผลดีในแง่ของการป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสีย แต่การหมักเมล็ดกาแฟเป็นเวลานานมีผลทำให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่ดีในกาแฟ ซึ่งโดยทั่วไปจะทำการหมัก 24-36 ชั่วโมง (Varnam และ Sutherland, 1994) การแปรรูปแบบเปียกทำให้เมล็ดกาแฟแห้งเร็ว ดังนั้นเมล็ดกาแฟที่ผ่านการแปรรูปแบบเปียกจะมีกลิ่นหอม และเป็นที่นิยมมากกว่าเมล็ดกาแฟที่ผ่านการแปรรูปแบบแห้ง (Sivetz และ Foote, 1963) กระบวนการแปรรูปทั้ง 2 วิธีมีข้อดีข้อเสียต่างกันดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อดี และข้อเสียของการผลิตเมล็ดกาแฟด้วยกระบวนการแบบเปียก และแบบแห้ง

วิธีการผลิต	ข้อดี	ข้อเสีย
แบบแห้ง	1. เป็นวิธีที่ง่าย และต้นทุนต่ำ 2. ผลกาแฟไม่จำเป็นต้องสุกสม่ำเสมอ 3. ไม่ต้องใช้ความรู้ความชำนาญมาก 4. เหมาะสมกับพื้นที่ที่มีน้ำจำกัด	1. เมล็ดกาแฟดิบที่ได้มีคุณภาพต่ำกว่าวิธีเปียก 2. ใช้เวลาในการตากนาน
แบบเปียก	1. ใช้เวลาและพื้นที่ในการตากน้อยกว่าวิธีแห้ง 2. มีเมล็ดแตกหักน้อยกว่าในขั้นตอนการคั่ว 3. เมล็ดกาแฟมีคุณภาพดีกว่าวิธีแห้ง	1. ต้นทุนสูง ต้องใช้ความรู้ไม่สามารถทำได้กับผลกาแฟดิบ 2. ต้องใช้น้ำปริมาณมาก

ที่มา : พงษ์ศักดิ์ อังกสิทธิ์ และบัณฑิต วาฤทธิ์ (2542)

หลักในการทำลายเมือก

1. โดยการหมัก (fermentation)

เมล็ดกาแฟที่ผ่านการปลอกเปลือกแล้ว เมื่อทิ้งไว้จะเกิดการหมักโดยเอนไซม์ที่มีอยู่ในตัวของเมือกเอง เมื่อเอนไซม์ย่อยแล้วเมือกจะแตกตัวให้สารที่มีโมเลกุลเล็ก ๆ ในระหว่างการหมักเชื้อจุลินทรีย์ในกลุ่มของแบคทีเรีย จะสร้างกรดอินทรีย์ทำให้น้ำหมักมีสภาพเป็นกรดจึงส่งผลให้เกิดการเจริญของยีสต์ในช่วงท้ายของการหมัก (Varnam และ Sutherland, 1994) โดยยีสต์จะเปลี่ยนน้ำตาลกาแลคโตส ได้เป็นแอลกอฮอล์จากนั้นแบคทีเรียจะเปลี่ยนแอลกอฮอล์เป็น กรดอะซิติก (acetic acid) กรดบิวทริก (butyric acid) หรือกรดที่มีคาร์บอนสายยาว การเกิดกรดพวกนี้ จะทำให้เกิดกลิ่นฉุนเป็นเหตุให้คุณภาพของกาแฟต่ำลง จึงมีการควบคุมไม่ให้กรดพวกนี้เกิดขึ้น โดยปกติจะหมักไว้ที่ 24-36 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดแล้วขยี้เมือกออกให้หมด โดยสังเกตว่าเมล็ดกาแฟจะไม่ลื่น

2. โดยการใช้สารเคมี (chemical treatment)

วิธีนี้ใช้เวลาสั้น โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้นร้อยละ 3-5 หรืออาจใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ความเข้มข้นร้อยละ 6-8 ใช้เวลา 1-3 ชั่วโมง ทดสอบโดยการใช้มือจับเมล็ดกาแฟถ้ากำจัดเมือกออกหมดแล้วจะไม่ลื่น

3. โดยการใช้เอนไซม์ (enzyme treatment)

การใช้เอนไซม์เพกตินเนส (pectinase) ที่สกัดมาจากเชื้อรา จะมีขายตามท้องตลาดในรูปแบบผง เพื่อที่จะได้กระจายตัวได้ดี วิธีการใช้เอนไซม์จะมีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดเมือกทำให้ใช้เวลาในการย่อยสลายเร็วขึ้น

4. โดยการใช้ความร้อน (heat treatment)

จากการทดลองพบว่ากรดเพคตินิก (pectinic acid) เมื่อให้ความร้อน 50 องศาเซลเซียส สามารถทำให้สารเหล่านี้ละลายได้ หลักการ คือ แช่เมล็ดกาแฟในน้ำร้อนอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20-30 นาที แต่ถ้าใช้อุณหภูมิสูงกว่านี้จะมีผลทำให้คุณภาพของกาแฟด้อยลง

5. โดยการใช้วิธีขัดสี (physical treatment)

การกำจัดเมือกออกด้วยการขัดสี โดยอาศัยการขัดสีของตัวเมล็ดกาแฟเอง ใช้เครื่องมือที่เรียกว่า aquapulper เป็นเครื่องที่กำจัดเนื้อ และเมือกออกโดยใช้น้ำเป็นตัวนำ เครื่องมือนี้มีลักษณะเป็นรูปกรวย จะมีการขัดสี และต้องปรับขนาดของช่องให้มีขนาดเหมาะสมกับขนาดเมล็ดกาแฟเพื่อป้องกันการแตกของเมล็ด ข้อเสียของวิธีนี้ คือ ต้องใช้น้ำมาก และใช้พลังงานสูงจึงส่งผลให้มีต้นทุนที่สูงตามไปด้วย แต่มีข้อดี คือ ประหยัดเวลา และใช้กับกาแฟที่มีปริมาณมากเหมาะกับการผลิตในระดับอุตสาหกรรมหลังจากนำเมือกออกจากเมล็ดแล้ว จะผ่านเมล็ดกาแฟมาเข้าเครื่อง

ล้าง วิธีการล้างนี้เป็นการขจัดเมือกที่เหลืออยู่ออกให้หมด ทำให้เมล็ดกาแฟสะอาดมากขึ้น (Sivetz และ Foote, 1963)

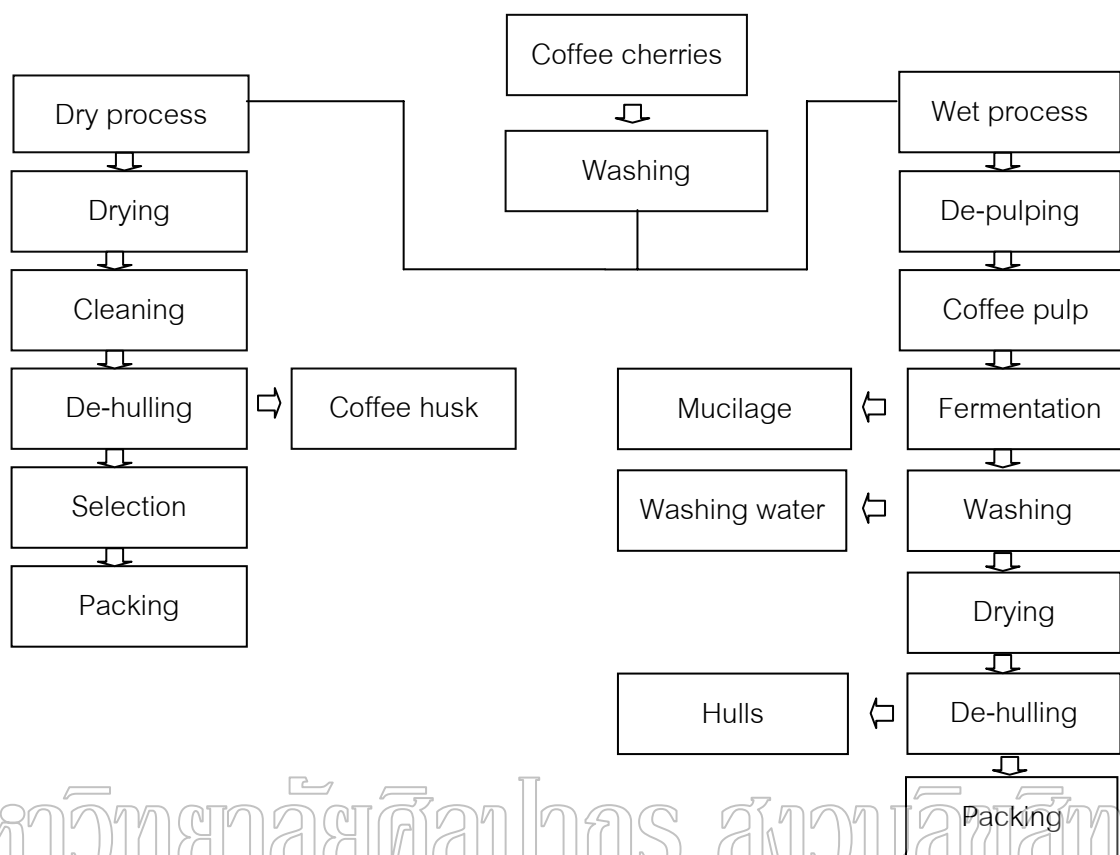
การตากแห้งเมล็ดกาแฟ

กาแฟที่ผลิตแบบเปียกจะมีความชื้นประมาณร้อยละ 55-60 อาจใช้การตากแห้งแบบตู้อบไฟฟ้า หรือผึ่งแดดเกลี่ยบนพื้น การตากแห้งใช้เวลาประมาณ 7 วัน ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ การตากจะตากกันในตอนเช้า และเก็บกองเป็นภูเขาในตอนบ่ายแล้วนำผ้าใบมาคลุมไว้เพื่อให้ความชื้นของเมล็ดกาแฟใกล้เคียงกัน เนื่องจากบางเมล็ดจะมีความชื้นต่ำเมื่อเก็บกองจะมีการถ่ายเทความชื้น ในวันต่อมาให้เกลี่ยตากใหม่ กระทำแบบนี้ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งเมล็ดกาแฟมีความชื้นประมาณร้อยละ 12 จากนั้นนำเมล็ดกาแฟไปกะเทาะเอาเปลือกหุ้มเมล็ดออก ที่ความชื้นร้อยละ 12 จะทำการกะเทาะออกง่าย การกะเทาะจะใช้เครื่องมือที่มีลักษณะคล้ายกับเครื่องสีข้าว แยกเอาเปลือกหุ้มเมล็ดออก เมล็ดภายในจะขัดสีกันเองจนไม่มีเปลือกติดอยู่ คัดเมล็ดที่เสียออกและบรรจุลงกระสอบ

คุณภาพของกาแฟที่มีการย่อยเมือกออก (digested mucilage) คุณภาพจะดีกว่าเมล็ดกาแฟที่ล้างแบบธรรมดา (washed bean) และดีกว่ากาแฟที่ไม่เอาเมือกออก (mucilage bean) เนื่องจากกาแฟที่ไม่ได้นำเมือกออกเมื่อนำไปตาก เมือกจะเหนียวติดกับพื้น และเมือกทำให้กาแฟแห้งยากโอกาสปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์จึงมีมาก และความร้อนจากดวงอาทิตย์ไม่เพียงพอที่จะทำลายเอนไซม์ เอนไซม์จะทำการย่อยเมือกให้เป็น galacturonic acid จากนั้นยีสต์จะเข้าไปเปลี่ยนให้เป็นแอลกอฮอล์ และแบคทีเรียจะเปลี่ยนต่อเป็น กรดอะซิติก และกรดบิวทริก ทำให้กาแฟมีกลิ่นที่ไม่ดี (Clarke, 1986)

การกะเทาะเปลือกเมล็ดกาแฟ

เป็นการนำส่วนของเปลือกนอก เปลือกแข็งหุ้มเมล็ด และส่วนของเยื่อออก แต่ในการแปรรูปแบบเปียกจะเป็นการนำส่วนของ เปลือกแข็งหุ้มเมล็ด และเยื่อออกเท่านั้น เพราะว่าเปลือกนอกได้นำออกไปก่อนที่จะมีการกำจัดเมือกแล้ว จึงใช้แรงขัดสีน้อยกว่าแบบแห้ง ส่วนการแปรรูปกาแฟแบบแห้ง กาแฟจะแห้งทั้งเมล็ดจึงต้องนำส่วนของเปลือกนอก เปลือกแข็งหุ้มเมล็ด และส่วนของเยื่อออก เมล็ดกาแฟจะสีกันเอง จากนั้นใช้ลมเป่าเปลือกแข็งหุ้มเมล็ด และส่วนของเยื่อออก



มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ภาพที่ 1 กระบวนการผลิตเมล็ดกาแฟดิบโดยกระบวนการแปรรูปแบบเปียก และแบบแห้ง
ที่มา : Pandey และคณะ (2000)

2.5 ความแตกต่างทางด้านกลิ่น และรสชาติของกาแฟโรบัสต้ากับกาแฟอาราบิก้า

กาแฟพันธุ์อาราบิก้าเป็นพันธุ์สำคัญในตลาดกาแฟโลก เนื่องจากกาแฟพันธุ์อาราบิก้ามีปริมาณการผลิตทั่วโลกประมาณร้อยละ 80 ส่วนกาแฟโรบัสต้ามีเพียงร้อยละ 20 ลักษณะเด่นของกาแฟพันธุ์อาราบิก้า คือ มีรสชาติความขมที่น่าพึงพอใจอย่างเด่นชัดประกอบกับมีกลิ่นหอมเป็นลักษณะเฉพาะตัว จึงทำให้กาแฟพันธุ์อาราบิก้ามีราคาสูงกว่ากาแฟชนิดอื่น ๆ แต่ตลาดกาแฟในประเทศไทยนั้นจะมีกาแฟโรบัสต้าเป็นหลักซึ่งพิจารณาจากจำนวนผลผลิตกาแฟที่ผลิตได้ในประเทศ กาแฟพันธุ์โรบัสต้าในภาคใต้มีผลผลิตปีละประมาณ 80,000 ตัน ส่วนกาแฟพันธุ์อาราบิก้าในภาคเหนือผลิตได้เพียงปีละประมาณ 400 ตัน (พงษ์ศักดิ์ และ บัณฑุรย์, 2542)

กาแฟพันธุ์อาราบิก้ามีกลิ่น และรสชาติแตกต่างจากกาแฟโรบัสต้าคือ กาแฟพันธุ์อาราบิก้ามีรสชาติคล้ายไวน์ (winey) มีรสเปรี้ยวคล้ายรสเปรี้ยวของกรดน้ำส้มหรือน้ำส้มสายชู (sour) มีรสชาติคล้ายน้ำนม (milky) มีรสชาติ หรือกลิ่นกาแฟที่คล้ายถั่วคั่ว (nutty) มีกลิ่นหอมของกาแฟที่

คล้ายดอกไม้ (fragrant) มีกลิ่นหอมของกาแพที่คล้ายกับผลไม้จำพวกส้ม (citrus) และจะมีกลิ่นหอมของกาแพที่คล้ายผลแบล็คเคอเรนท (black currant) มากกว่ากาแพพันธุ์โรบัสต้า

กาแพโรบัสต้าจะมีกลิ่น และรสชาติที่แตกต่างจากกาแพอาราบิก้าคือ กาแพโรบัสต้าจะมีกลิ่นคล้ายของเสีย (rotten) มีกลิ่นเหม็นอับ หรือกลิ่นหืน (rancid) มีกลิ่นคล้ายกับกลิ่นสาบของสัตว์ (animal-like) มีกลิ่น และรสชาติคล้ายกับอาหารไหม้ (burnt) รสชาติคล้ายไขมันละลายอยู่ในกาแพ (motor oil) มีกลิ่นคล้ายยาง (rubber-like) มีกลิ่นคล้ายขี้เถ้าหรือเถ้าถ่าน (ashy) และจะมีกลิ่นสาบ หรือเหม็นอับมากกว่ากาแพอาราบิก้า (musty) (พงษ์ศักดิ์ และ บัณชุกรย์, 2542)

2.6 กลิ่น และรสชาติของกาแพ

เมล็ดกาแพสดที่ได้จากต้นหลังจากผ่านกระบวนการผลิตเมล็ดกาแพแล้วจะมีสีเขียว และกลิ่นเหม็นเขียว ซึ่งกลิ่น และสีของเมล็ดกาแพที่แท้จริงจะเกิดขึ้นในระหว่างการคั่วเมล็ดกาแพ โดยทั่วไปจะคั่วเมล็ดกาแพที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 6-10 นาที น้ำมันกาแพจะอยู่ในเมล็ดกาแพที่ผ่านการคั่วประมาณร้อยละ 10 โดยน้ำมันกาแพจะเป็นตัวให้กลิ่นหอมของกาแพ ซึ่งมีความเข้มข้นประมาณร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนักของสารประกอบระเหย ซึ่งสารประกอบเหล่านี้จะสามารถแยกออกมาได้โดยใช้วิธีการกลั่นด้วยไอน้ำ และสกัดออกมาโดยใช้ตัวทำละลายประเภท ลิโพฟิลิก เช่น อีเทอร์ เป็นต้น โดยกลิ่น และรสชาติของกาแพจะบ่งบอกถึงคุณภาพของเมล็ดกาแพ กลิ่น และรสชาติของกาแพจะประกอบด้วยสารประกอบที่ระเหยได้ และสารประกอบที่ระเหยไม่ได้ โดยสารประกอบที่ระเหยไม่ได้จะเป็นสารที่ให้เฉพาะรสชาติ คือ จะให้รสขม และรสเปรี้ยว ส่วนสารประกอบที่ระเหยได้จะเป็นสารให้กลิ่น ซึ่งจะเป็นสารที่ทำให้เกิดกลิ่นรสในปาก และในโพรงจมูก ซึ่งเป็นไปได้ว่าโพรงจมูกของมนุษย์จะสามารถแยกความแตกต่างระหว่างกลิ่นรสของกาแพที่ดีกับกลิ่นรสที่ไม่ดี (off flavor) ในกาแพได้ และยังสามารถแยกความแตกต่างระหว่างกาแพแต่ละพันธุ์ได้อีกด้วย

กาแพจะประกอบด้วยสารประกอบจำนวนมากสามารถแยกออกได้จากกลิ่นของกาแพ ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นสารพวกเฮเทอโรไซคลิก (heterocyclics) คือ สารในกลุ่มของ พูแรน ไพโรล ไทโอพีน ไพราซีน และ ไพริดีน โดยสารที่เกี่ยวข้องกับกลิ่นของกาแพโดยตรงคือ สารประกอบเฮเทอโรไซคลิกที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ เมล็ดกาแพที่ไม่ผ่านการคั่วจะมีสาร methoxypyrazines ซึ่งให้กลิ่นเหม็นเขียวในกาแพ ซึ่งจะมีความเข้มข้นประมาณ 10 ส่วนในหนึ่งล้านส่วน (ppm) องค์ประกอบพื้นฐานของเมล็ดกาแพจะประกอบด้วย pyridines, quindines, aromatic amines และ alkyipyrazines องค์ประกอบของเมล็ดกาแพในธรรมชาติจะประกอบด้วย furans, aromatic aldehydes และแอลกอฮอล์ ส่วนสารประกอบที่ไม่ระเหยของเมล็ดกาแพดิบจะเป็นสารตั้งต้นใน

การทำให้เกิดกลิ่นรสกาแฟ คือ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน เปปไทด์ กรดอะมิโนอิสระ polyamines, tryptamines, lipids, phenolic acids, trigonelline และพวกกรดที่ไม่ระเหยชนิดต่าง ๆ ส่วนประกอบหลักของเมล็ดกาแฟที่สูญเสียไปในระหว่างการคั่ว คือ น้ำตาลซูโครสร้อยละ 0.3-7.3 chlorogenic acid ร้อยละ 3.5-7.6 โปรตีนร้อยละ 3.1-11.6 และปริมาณของกรดอะมิโนจะมีการเปลี่ยนแปลงไปโดยกรดอะมิโนพวกอะจินีน (arginine) ซีสเตอีน (cysteine) ไลซีน (lysine) ซิสตีน (cystine) และทรีโอนีน (threonine) จะถูกทำลายไปในระหว่างการคั่ว (Maarse, 1991) แต่จะเป็นตัวหลักที่ช่วยทำให้เกิดสารประกอบที่ให้กลิ่นรสของกาแฟในช่วง 5 นาทีแรกของการคั่วที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส (Maier, 1987)

2.7 สารประกอบในเมล็ดกาแฟ

1. สารประกอบไนโตรเจน

กาแฟจะให้รสขม (bitter) มีค่าต่ำสุดการรับรู้รส 15-75 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณกาแฟในเมล็ดกาแฟจะขึ้นกับสายพันธุ์ (Coffee Research Institute, 2001) ปริมาณกาแฟในกาแฟดิบของกาแฟอาราบิก้ามีร้อยละ 1.2 ในกาแฟโรบัสต้าร้อยละ 2.2 โดยน้ำหนักแห้ง ส่วน trigonelline เมื่อแตกตัวจะให้ทั้งกลิ่นรสและสารอาหารพบในกาแฟสายอาราบิก้าร้อยละ 1.0 ของน้ำหนักแห้ง ส่วนในโรบัสต้ามีร้อยละ 0.7 ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งให้รสขมอ่อน ๆ (ประมาณ ร้อยละ 25 ของกาแฟอื่น) ในเครื่องต้มกาแฟ การแตกสลายของ trigonelline จะเป็นสัดส่วนกับระดับของการคั่ว จะทำให้ได้ ไพรีดีน ซึ่งให้กลิ่นของการคั่ว (roasty) นอกจากนี้โปรตีน และกรดอะมิโนอิสระจะมีความสำคัญต่อการเกิดกลิ่นรสในกาแฟ เนื่องจากจะรวมตัวกับสารประกอบที่อยู่ในเมล็ดกาแฟเกิดเป็นสารที่ให้กลิ่นรส เช่น สารประกอบในกลุ่มของ ไพราซีน และไพรีดีน โดยปริมาณโปรตีนขึ้นกับสายพันธุ์ของกาแฟ และจะพบโปรตีนอยู่ในส่วนของไซโตพลาส (cytoplasm) หรือจับอยู่กับโพลีแซคคาไรด์ที่ผนังเซลล์ (Varnam and Sutherland, 1994)

2. คาร์โบไฮเดรต

ในเมล็ดกาแฟที่ยังไม่ผ่านกระบวนการคั่วพบคาร์โบไฮเดรตในรูปของน้ำตาลอิสระ และโพลีแซคคาไรด์ โดยน้ำตาลอิสระส่วนมากเป็นน้ำตาลซูโครส ปริมาณจะขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ ระดับความแก่ของเมล็ด โดยในอาราบิก้าพบร้อยละ 6.0-8.3 ส่วนในโรบัสต้าพบร้อยละ 3.3-4.1 โดยน้ำหนักแห้ง นอกนั้นพบว่าเป็นน้ำตาลรีดิวิซ์ เช่น arabinose, galactose, raffinose, rhamnose, ribose, fructose และ glucose ซึ่งน้ำตาลมีความสำคัญในการเกิดกลิ่นรส และการเกิดสี (pigmentation) ระหว่างกระบวนการคั่ว (Varnam and Sutherland, 1994)

Oosterveld และคณะ (2003) รายงานว่าเมล็ดกาแฟสายพันธุ์อาราบิก้าที่ยังไม่ผ่านกระบวนการคั่ว ประกอบด้วยโพลีแซคคาไรด์ร้อยละ 48-60 ซึ่งมีองค์ประกอบหลักเป็น arabinogalactan และ galactomannans โดยกระบวนการคั่วจะมีผลต่อการสลายตัวของโพลีแซคคาไรด์ ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ซึ่งมีผลต่อการลดมวลโมเลกุลของโพลีแซคคาไรด์ นอกจากนี้ระดับ branching ของ arabinogalactan และ galactomannans ลดลง จึงมีผลในการลดความสามารถในการละลายของโพลีแซคคาไรด์ ซึ่งการแตกสลายของโพลีแซคคาไรด์จะทำให้เกิด oligosaccharide และน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (monosaccharide) ซึ่งขึ้นกับระดับของการคั่ว Redgwell และคณะ (2002) พบว่าเมล็ดกาแฟที่คั่วในระดับเข้ม (dark roast) จะเกิดการแตกสลายของโพลีแซคคาไรด์ถึงร้อยละ 40 ซึ่งมากกว่าการคั่วในระดับอ่อน (light roast) และระดับกลาง (medium roast)

3. ไขมัน

องค์ประกอบของไขมันในเมล็ดกาแฟที่ยังไม่ผ่านกระบวนการคั่วประกอบด้วยน้ำมันกาแฟ (coffee oil) ซึ่งส่วนมากพบใน endosperm และ coffee wax ซึ่งพบที่ผิวชั้นนอกของเมล็ดกาแฟ โดยพบในกาแฟสายพันธุ์อาราบิก้าร้อยละ 15 ของน้ำหนักแห้งน้ำมัน ส่วนในโรบัสต้าพบร้อยละ 10 ของน้ำหนักแห้งน้ำมัน โดยประกอบด้วย triacylglycerols และไขมันอื่น ๆ (Varnam and Sutherland, 1994)

4. กรดอินทรีย์

กรดในเมล็ดกาแฟคั่วแบ่งเป็น 3 กลุ่มได้แก่ aliphatic, alicyclic, carboxylic และ phenolic acids (Coffee Research Institute, 2001) ซึ่งมีการพบเช่นเดียวกับในเมล็ดกาแฟที่ยังไม่ผ่านกระบวนการคั่ว มีรายงานว่ากาแฟสายพันธุ์อาราบิก้ามีกรดซิตริกร้อยละ 0.5 กรดมาลิก ร้อยละ 0.46 กรดออกซาลิกร้อยละ 0.2 และ กรดทาร์ทาริกร้อยละ 0.4 โดยขณะทำการเก็บรักษา เมล็ดกาแฟความเป็นกรดจะเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากเอนไซม์จะย่อยสลายไขมันให้เกิดเป็นกรดไขมันอิสระ (Varnam and Sutherland, 1994)

ในกาแฟอาราบิก้าที่ผ่านการคั่วแบบกลางจะมีปริมาณกรดที่สำคัญดังต่อไปนี้กรดซิตริก กรดมาลิก กรดแลคติก กรดไพรูวิก และกรดอะซิติก ร้อยละ 0.30, 0.22, 0.13, 0.07 และร้อยละ 0.27 ตามลำดับ ในกาแฟที่คั่วแบบอ่อนปริมาณกรดทั้งหมดจะมีร้อยละ 1.58 แต่เมื่อผ่านการคั่วแบบเข้มปริมาณกรดทั้งหมดจะเหลือเพียงร้อยละ 0.71 เท่านั้น (Clarke, 1986) โดยโมเลกุลของกรดที่อยู่ในรูปที่ไม่แตกตัว (undissociate acids) จะมีอิทธิพลในการควบคุมการเกิดกลิ่นรสที่ดี ในกาแฟ (Clarke และ Macrae, 1985) องค์ประกอบของสารที่อยู่ในเมล็ดกาแฟดิบ และในกาแฟ

คั่วจะแตกต่างกัน ทั้งในด้านของชนิด และปริมาณ โดยสารประกอบที่อยู่ในเมล็ดกาแฟดิบ จะเป็นสารตั้งต้นที่จะเปลี่ยนแปลงไปเป็นสารประกอบที่พบในกาแฟคั่ว ซึ่งแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 2 และ ตารางที่ 3

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดกาแฟดิบ (โดยน้ำหนักแห้ง)

Classes and Components	Per Cent of Green Coffee	
	Soluble	Insoluble
1. Carbohydrates (60%)		
Reducing sugars	1.0	-
Sucrose	7.0	-
Pectins	2.0	-
Starch	-	10.0
Pentosans	-	5.0
Hemi-celluloses	-	15.0
Holo-celluloses	-	18.0
Lignin	-	2.0
2. Oil	-	13.0
3. Protein (N x 6.25)	9.0	4.0
4. Ash as oxide	2.0	2.0
5. Non-volatile acids		
Chlorogenic	6.8	-
Oxalic	0.2	-
Malic	0.3	-
Citric	0.3	-
Tartaric	0.4	-
6. Trigonelline	-	1.0
7. Caffeine** (Arabica 1.0 %, robusta 2.0%)	-	1.0
Total	29.0	71.0

ที่มา : Sivetz (1963)

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดกาแฟคั่ว (โดยน้ำหนักแห้ง)

Classes and Components	Per Cent	
	Soluble	Insoluble
1. Carbohydrates (53%)		
Reducing sugars	1.0 - 2.0	-
Caramelized sugars	10.0 - 17.0	7.0 - 0.0
Hemi-celluloses (hydrolysable)	1.0	14.0
Fiber (not hydrolysable)	-	22.0
2. Oil	-	15.0
3. Proteins (N x 6.25) ; amino acids are soluble	1.0 - 2.0	11.0
4. Ash (oxide)	3.0	1.0
5. Acids , non-volatile		-
Chlorogenic	4.5	-
Caffeic	0.5	-
Quinic	0.5	-
Oxalic, Malic ,Citric, Tartaric	1.0	-
Volatile acids	0.35	-
6. Trigonelline	1.0	-
7.Caffeine (Arabica 1.0%, Robusta 2.0%)	1.2	-
8. Phenolics (estimate)	2.0	-
9. Volatiles		-
Carbon dioxide	Trace	2.0
Essence of aroma and flavor	0.04	-
Total	27.0 to 35.0	65.0 to 73.0

ที่มา : Sivetz (1963)

2.8 กระบวนการคั่วเมล็ดกาแฟ (roasting process)

ในระหว่างการคั่วเมล็ดกาแฟจะเกิดการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีทำให้ได้กลิ่นและรสชาติของกาแฟที่กลมกลืนกัน โดยในขั้นตอนแรกของการคั่วเมล็ดกาแฟจะเริ่มดูดความร้อนและเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองอ่อน ๆ มีกลิ่นคล้ายกับกลิ่นของข้าวโพดคั่ว เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึง 205 องศาเซลเซียส เมล็ดกาแฟจะเริ่มพองตัวเป็นสองเท่า และเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอ่อน ๆ มีการสูญเสียน้ำหนักประมาณร้อยละ 5 และค่าสีออกตรอน (agtron number) อยู่ประมาณ 90-95 เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึง 220 องศาเซลเซียส สีของเมล็ดกาแฟจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล และค่าสีออกตรอนจะลดลงเหลือ 60-65 มีการสูญเสียน้ำหนักไปร้อยละ 13 โดยในขั้นตอนนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีที่เรียกว่ากระบวนการไพโรไลซิส (pyrolysis) ซึ่งมีส่วนสำคัญทำให้สารประกอบในกลุ่มของคาร์โบไฮเดรตเกิดการแตกตัว และมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา เมื่อสิ้นสุดการคั่วต้องทำให้เมล็ดกาแฟเย็นตัวลง (Coffee Research Institute, 2001) ซึ่งระยะเวลาในการคั่วจะแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับระดับการคั่วว่าจะเป็นการคั่วแบบใด โดยทั่วไปการคั่วกาแฟสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ระดับ คือการคั่วแบบอ่อน (light roast) ใช้อุณหภูมิประมาณ 193-199 องศาเซลเซียส การคั่วแบบกลาง (medium roast) ใช้อุณหภูมิประมาณ 204 องศาเซลเซียส และการคั่วแบบเข้ม (heavy roast) ใช้อุณหภูมิประมาณ 218-221 องศาเซลเซียส (Clarke, 1985) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความชอบของผู้บริโภค เนื่องจากระดับของการคั่วจะส่งผลต่อกลิ่นและรสชาติของกาแฟที่แตกต่างกันออกไป (ตารางที่ 4) และระดับการคั่วส่วนมากจะดูจากค่าสีหลังจากการคั่วเสร็จโดยใช้เครื่อง Agtron roast analyzer (Coffee Research Institute, 2001)

การควบคุมสภาวะในการคั่วมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีของเมล็ดกาแฟจึงมีการวัด และควบคุมตัวแปรต่างๆ เช่น การถ่ายเทความร้อน อัตราการสูญเสีย น้ำ อุณหภูมิในการคั่ว และอุณหภูมิของเมล็ดกาแฟ ซึ่งช่วยในการควบคุมอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ที่จะมีผลต่อคุณภาพของกาแฟ (Schenker และคณะ, 2002)

ตารางที่ 4 ระดับการคั่วเมล็ดกาแฟ

ระดับการคั่ว	คุณลักษณะ
แบบอ่อน	มีสีน้ำตาลคล้ายกับสีของอบเชย ความชื้นหนืดน้อย มีความเป็นกรดอ่อนๆ และการเกิดกลิ่นรสยังเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์
แบบอ่อน-กลาง	มีสีน้ำตาลอ่อน ๆ มีความเป็นกรด และความชื้นหนืดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย
แบบกลาง	มีสีน้ำตาล ความเป็นกรด และความชื้นหนืดเพิ่มขึ้น
แบบกลาง-เข้ม	มีสีน้ำตาลอ่อนเข้ม มีหยดน้ำมันเคลือบที่ผิวของเมล็ดกาแฟเล็กน้อย ความเป็นกรดเริ่มลดลง และความชื้นหนืดเพิ่มขึ้น เหมาะสำหรับการทำ กาแฟเอสเปรสโซ
แบบเข้ม	มีสีน้ำตาลดำ และหยดน้ำมันเคลือบรอบเมล็ดกาแฟ กลิ่นกาแฟเริ่ม หายไป แต่ความชื้นหนืดจะเพิ่มขึ้น
แบบเข้มมาก	กาแฟสีดำสนิท มีน้ำมันออกมาเคลือบผิวด้านนอกมาก กลิ่นกาแฟ และ ความชื้นหนืดค่อนข้างน้อย

ที่มา : Coffee Research Institute (2001)

2.9 ปฏิกิริยาไพโรไลซิส (pyrolysis)

เป็นปฏิกิริยาที่สารอินทรีย์เกิดการสลายตัวไปสู่องค์ประกอบที่มีขนาดเล็กลงในสภาวะที่มีความร้อนสูง ปราศจากออกซิเจน และมีการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่บรรยากาศ การเกิดปฏิกิริยาไพโรไลซิสขึ้นอยู่กับสารตั้งต้น และอุณหภูมิที่ใช้ โดยทั่วไปอุณหภูมิจะอยู่ในช่วง 220 องศาเซลเซียส ขึ้นไป ส่งผลให้เมล็ดกาแฟมีสีน้ำตาลเข้ม พองตัว และเปราะ แตกง่าย มีน้ำมันออกมา และมีสารให้กลิ่นรสเกิดขึ้น (Janssen, 1997)

2.10 การเปลี่ยนแปลงของเมล็ดกาแฟในระหว่างการคั่ว

การคั่วกาแฟเป็นขั้นตอนเกี่ยวกับการปรับปรุงกลิ่นรสของกาแฟ โดยการให้ความร้อนแก่เมล็ดกาแฟเพื่อไล่ความชื้น อีกทั้งก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และทางกายภาพ น้ำซึ่งอยู่ในรูปของความชื้นในเมล็ดกาแฟจะกลายเป็นไอออกจากเมล็ดที่อุณหภูมิของเมล็ดกาแฟประมาณ 100 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิของเมล็ดสูงขึ้นถึง 180 องศาเซลเซียส จะเกิดการสลายตัวเนื่องจากความร้อน หรือที่เรียกว่าไพโรไลซิส รวมถึงการเปลี่ยนแปลงทางเคมีภายในเมล็ด ซึ่งจะ

เปลี่ยนสารประกอบอินทรีย์บางส่วนในเมล็ดไปเป็นสารที่ให้กลิ่น และรส (aroma and flavour) เช่น เปลี่ยนโปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไปเป็น อัลดีไฮด์ คีโตน แอลกอฮอล์ ฯลฯ ปฏิกิริยาที่เกิดจากไฟโรไลซิสบางชนิดเป็นแบบคายความร้อน (exothermic reaction) ทำให้เมล็ดกาแฟมีอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 200-210 องศาเซลเซียส กาแฟที่ผ่านการคั่วจะมีน้ำหนักน้อยกว่าเดิม น้ำหนักที่หายไปอยู่ในช่วงร้อยละ 12-20 ขึ้นอยู่กับระดับของการคั่ว โดยน้ำหนักที่หายไปคิดจากเมล็ดกาแฟที่มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 10-12 ในช่วงที่น้ำหนักหายไปอย่างรวดเร็วเมล็ดกาแฟจะเริ่มเปลี่ยน เป็นสีน้ำตาล และสีของเมล็ดจะเข้มขึ้นเมื่อน้ำหนักหายไปมากขึ้น นอกจากนี้เมล็ดกาแฟจะเกิดการพองตัว และเพิ่มขนาดเป็นสองเท่าจากเดิม (สมหมาย, 2528)

การเปลี่ยนแปลงทางด้านกายภาพ

กาแฟที่ผ่านการคั่วจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านกายภาพ ทำให้รูปร่าง ขนาด และคุณสมบัติทางกายภาพอื่น ๆ เปลี่ยนไป ได้แก่

1. น้ำหนักที่หายไปทั้งหมด (total weight loss)

โดยทั่วไปมีค่าประมาณร้อยละ 15-18 คิดจากกาแฟที่มีความชื้นร้อยละ 10-12 และเป็นน้ำหนักที่หายไปหลังจากเกิดไฟโรไลซิส ร้อยละ 4-6 องค์ประกอบที่หายไปมากที่สุดคือ กรดคลอโรเจนิค (chlorogenic acid) โดยกรดชนิดนี้เริ่มต้นจะมีปริมาณร้อยละ 7 และหลังการคั่วจะลดลงเหลือเพียงร้อยละ 4 เนื่องจากการสลายตัวไปเป็นสารประกอบในกลุ่มของ ฟีนอล (Ky และคณะ, 2001) ซึ่งจะมีผลต่อรสชาติของกาแฟมาก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นผลจากไฟโรไลซิสก็สูญเสียไปบางส่วน ในขณะที่คาเฟอีนมีการสูญเสียไปเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

2. การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างของกาแฟเกิดเนื่องจากไฟโรไลซิสของคาร์โบไฮเดรตกลายเป็นกรดคาร์บอกซิลิก ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของกาแฟลดลงจาก 5.5-4.9 โดยจะขึ้นกับระดับการคั่วกาแฟ กาแฟที่คั่วเข้มมาก ๆ ค่าความเป็นกรด-ด่างจะลดลง เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจะทำให้กรดสลายตัวของกรด และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก็ถูกขับออกไป

3. การเปลี่ยนแปลงสี และรสชาติ

สีของกาแฟที่เปลี่ยนแปลงหลังการคั่วเกิดขึ้นได้เพราะไฟโรไลซิสของคาร์บอน และโปรตีน แต่รสชาติเปลี่ยนแปลงเนื่องจากโปรตีน และกรดไขมันที่ถูกไฮโดรไลซ์ (Sivetz และ Foote, 1963)

การเปลี่ยนแปลงทางด้านเคมี

ขั้นตอนของการคั่วกาแฟส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาที่สำคัญเช่น ปฏิกิริยาเมลลาร์ด การเกิดคาราเมล Strecker degradation และ กระบวนการไพโรไลซิส ซึ่งก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของกาแฟอย่างมาก รวมทั้งการเกิดสารประกอบใหม่ องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของกาแฟที่เกิดการเปลี่ยนแปลง ได้แก่

1. กรดที่ระเหยได้ (volatile acids)

ในกระบวนการคั่วกาแฟสิ่งที่ยึดเหนี่ยวกันคือ ความสัมพันธ์ระหว่างกรดที่ระเหยได้กับ อุณหภูมิ สี และน้ำหนักที่หายไปของเมล็ดกาแฟ การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดมีผลต่อรสชาติของกาแฟมากกว่าการเปลี่ยนแปลงทางด้านสีของกาแฟ หรืออุณหภูมิของเมล็ด โดยพบว่ากรดฟอร์มิก (formic acid) และกรดอะซิติก (acetic acid) จะถูกขับออกมาในช่วงแรกของการคั่ว รวมทั้งกรดที่ไม่ระเหย (non volatile acids) ด้วย กรดที่ระเหยได้จะมีปริมาณสูงสุดก่อนการเกิดไพโรไลซิส แต่เมื่อทำการคั่วไปนาน ๆ สีของเมล็ดกาแฟจะเข้มขึ้น ส่วนปริมาณกรดระเหยก็จะลดลง การคั่วที่พอเหมาะจะทำให้มีกรดระเหยอยู่ในระดับที่ทำให้กาแฟมีรสชาติดี แต่ถ้าเกิดไพโรไลซิสมากเกินไป กรดระเหยจะถูกขับออกหมด (Sivetz และ Foote, 1963)

2. น้ำตาลซูโครส

มีประมาณร้อยละ 7 น้ำตาลซูโครสอาจเกิดปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชัน (caramelization) ได้สารโพลีเมอร์ หรือสลายตัวได้เป็นสารประกอบคาร์บอนสายสั้น ๆ (short chain carbon) ซึ่งจะทำปฏิกิริยาได้เป็นสารประกอบคาร์บอนที่ซับซ้อน หรืออาจทำปฏิกิริยากับโปรตีน เกิดสารประกอบที่ซับซ้อน และให้รสชาติที่ดี (ภาพที่ 2) เมื่อดึงน้ำออกจากน้ำตาลซูโครส (dehydration) และทำการย่อย (hydrolyze) จะให้น้ำตาลรีดิคัลซิง แต่ถ้าทำโพลีเมอร์ไรซ์ (polymerize) จะทำให้เกิดสารที่มีสีน้ำตาล หรืออาจถูกย่อยให้สารประกอบอินทรีย์ที่ระเหย น้ำ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Sivetz และ Foote, 1963)

3. กรดที่ไม่ระเหย (non volatile acids)

กรดคาร์บอกซิลิก เป็นกรดที่ไม่ระเหยที่เกิดจากการสลายตัวของคาร์โบไฮเดรตเมื่อได้รับความร้อน กรดนี้มีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างของกาแฟ แต่กรดฟีนอลิกมีอยู่ในปริมาณต่ำจึงไม่มีผลต่อค่าความเป็นด่าง แต่จะไปมีผลต่อกลิ่นรสของกาแฟมากกว่าเนื่องจากจะให้กลิ่นรสที่แรง และโดยทั่วไปกาแฟที่คั่วแบบกลางจะให้ค่าความเป็นกรดมากกว่ากาแฟที่คั่วแบบเข้ม จากการศึกษพบว่ากรดอินทรีย์ที่มีความสำคัญในกาแฟ คือ กรดคลอโรเจนิก กรดอะซิติก และกรดซิตริก ซึ่งกรด

คลอโรเจนิกจะพบในกาแฟดิบร้อยละ 7 แต่ส่วนใหญ่จะถูกทำลายไปในระหว่างที่คั่ว (Sivetz และ Foote, 1963)

4. สารประกอบระเหย (volatile compounds)

เป็นสารที่ทำให้เกิดกลิ่นในกาแฟ เกิดจากการสลายตัวโดยความร้อนของสารประกอบอินทรีย์บางตัว และถูกกักเก็บไว้ในเซลล์ของเมล็ด สารประกอบระเหยนี้แม้จะมีปริมาณน้อย (ร้อยละ 0.04 ของน้ำหนักกาแฟคั่ว) แต่ก็มีผลต่อรสชาติของกาแฟเป็นอย่างมาก สารที่ระเหยนี้จะเป็นสารในกลุ่มของ อัลดีไฮด์ และคีโตน ที่เกิดจากการแตกตัวของโปรตีน และคาร์โบไฮเดรตเมื่อได้รับความร้อน (Sivetz และ Foote, 1963)

5. โปรตีน

มีอยู่ประมาณร้อยละ 13 โดยน้ำหนัก สารประกอบที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนจะมีผลต่อรสชาติของกาแฟมาก โปรตีนที่ถูกเปลี่ยนแปลงสภาพจะมีความสามารถในการละลายน้ำลดลง โปรตีนสามารถถูกไฮโดรไลซ์ต่อไปได้ เปปไทด์ กรดอะมิโน เอมีน ไดซัลไฟด์ ซึ่งถูกกักอยู่ในเมล็ดกาแฟ และละลายออกมาเมื่อทำการสกัด การไฮโดรไลซ์โปรตีนนอกจากจะให้สารที่ให้กลิ่นรสแล้วยังทำให้เกิดสารที่จะทำปฏิกิริยากับสารอื่น เกิดกลิ่น และรสได้เช่นกัน (Sivetz และ Foote, 1963)

6. คาเฟอีน (caffeine)

คาเฟอีนจะไม่สลายตัวในระหว่างการคั่ว แต่อาจมีบางส่วนที่ระเหิดไปบ้าง และเมื่อลดอุณหภูมิลง การระเหิดจะน้อยลง กาแฟที่สกัดคาเฟอีนออกจึงไม่มีผลทำให้กลิ่นของกาแฟเปลี่ยนไป (Sivetz และ Foote, 1963)

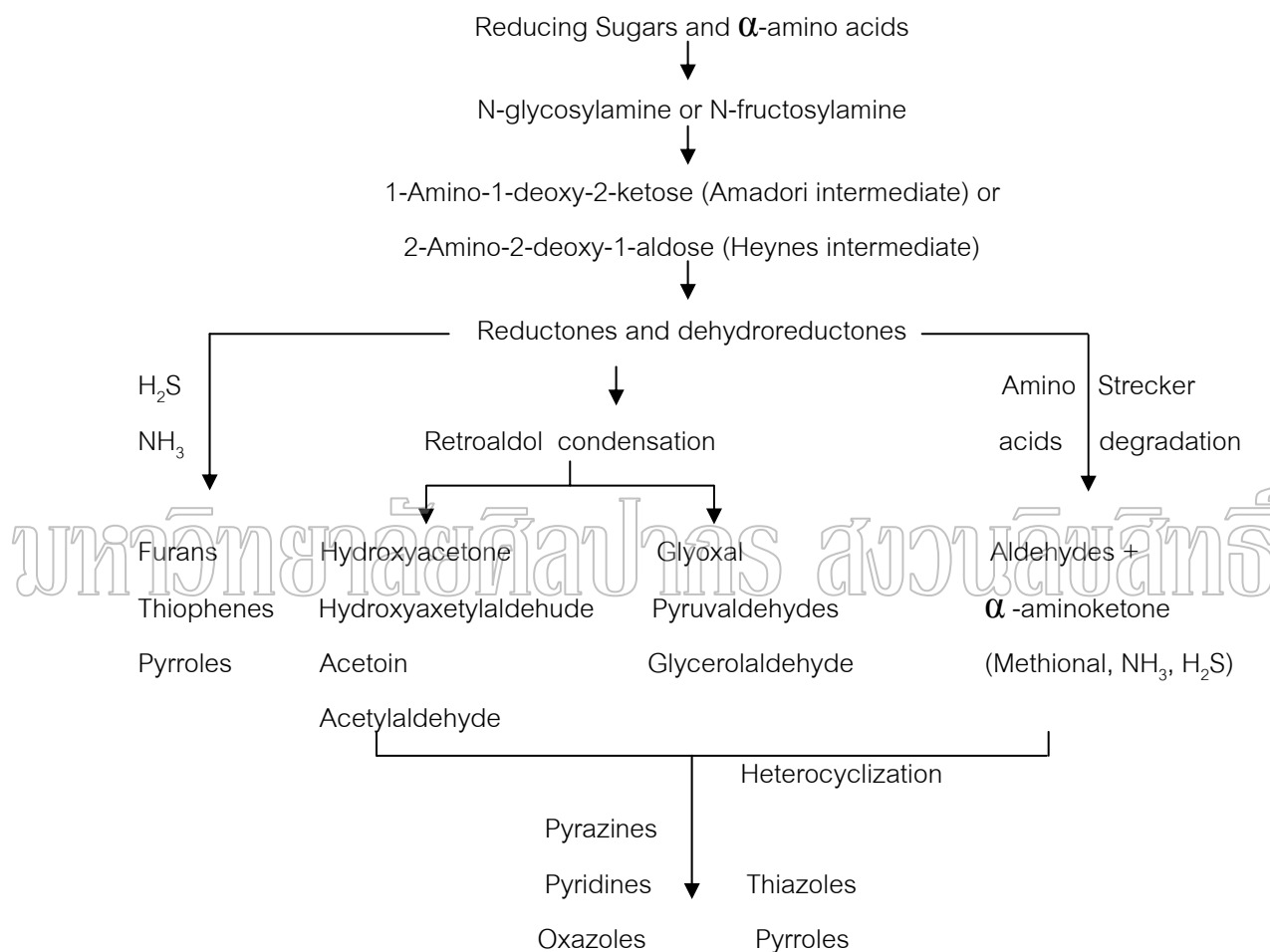
7. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

โดยปกติเมล็ดกาแฟจะไม่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ แต่จะเกิดขึ้นระหว่างการคั่ว โดยมากเกิดจากการสลายตัวของกรดคาร์บอกซิลิกในกระบวนการไพโรไลซิส และให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาประมาณร้อยละ 1-2 กาแฟคั่วที่ยังไม่ได้บดจะมีความสามารถในการเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้มากกว่ากาแฟที่บดแล้ว ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ในเมล็ดจะช่วยป้องกันการแพร่เข้าของอากาศ และความชื้น เป็นการยับยั้งการเกิดกลิ่นเหม็นหืนจึงทำให้เก็บรักษาได้นาน (Sivetz และ Foote, 1963)

8. น้ำมัน

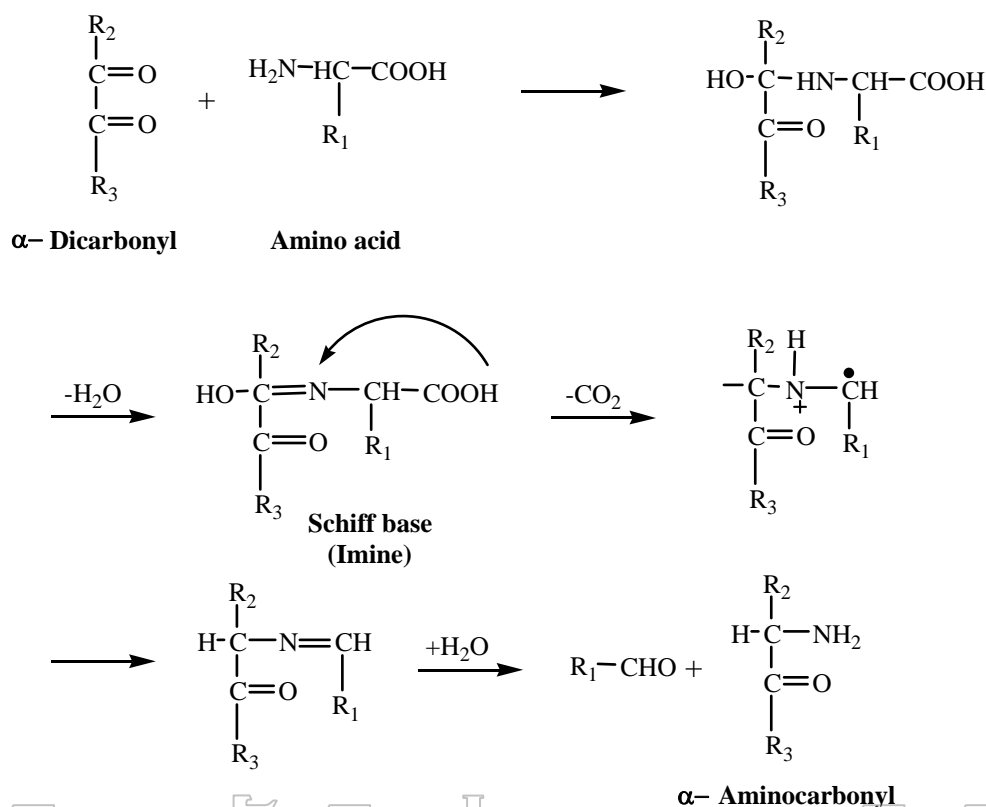
เมล็ดกาแฟจะมีน้ำมันอยู่ประมาณร้อยละ 12 และในจำนวนนี้ร้อยละ 95 จะไม่เปลี่ยนแปลงในขณะที่ทำการคั่ว แต่น้ำมันที่มีกรดไม่อิ่มตัวเป็นส่วนประกอบ เช่น กลีเซอไรด์ (glyceride) จะถูกไฮโดรไลซ์ไปเป็นกรดไขมันอิสระ (free fatty acids) และ กลีเซอริน (glycerine)

เกิดเป็นกลิ่นกาแฟ เวลาชงกาแฟจึงมีน้ำมันลอยอยู่ที่ผิว โดยขณะที่ให้ความร้อนจะทำให้โปรตีนที่ปนอยู่กับน้ำมันเปลี่ยนสภาพไปจากเดิม น้ำมันที่ถูกกักไว้จะถูกปล่อยออกมา และเกิดการรวมตัวเป็นหยด และในขณะที่คั่วผิวของเมล็ดกาแฟจะอ่อนตัวลง ทำให้น้ำมันผ่านออกมา ผิวของเมล็ดกาแฟจึงถูกเคลือบด้วยน้ำมัน (Sivetz และ Foote, 1963)



ภาพที่ 2 สารประกอบที่ให้กลิ่นรสจากการแตกตัวของคาร์โบไฮเดรต และโปรตีน
ที่มา : Scarpellino และ Soukup (1993)

การสลายตัวแบบ Strecker degradation เป็นปฏิกิริยาระหว่างไดคาร์บอนิลกับกรดอะมิโนเป็นทั้ง 1-deoxyosone และ 3-deoxyosone เกิด retroaldolization ได้ไดคาร์บอนิล ซึ่งเป็นสารมัธยันต์อีกชนิดหนึ่ง คือ อัลดีไฮด์และแอลฟา-อะมิโนคีโตน (α -amino ketone) ซึ่งอาจเกิดการรวมตัวกันต่อไปเกิดเป็นสารให้กลิ่นรส เช่น ไพริดีน ไพราซีนและ imidazole และในระหว่างปฏิกิริยา Strecker degradation จะเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แสดงดังภาพที่ 3



มหาวิทยาลัยศิลปากร ส่วนวลักษณ์

ภาพที่ 3 ปฏิกิริยา Strecker degradation

ที่มา : Scarpellino และ Soukup (1993)

2.11 อิทธิพลของระดับการคั่ว (effect of degree of roasting)

เวลาที่ใช้ในการคั่วมีผลต่อสีของกาแฟเป็นอย่างมาก รวมถึงคุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีด้วย นอกจากนี้ระดับการคัวยังมีผลต่อคุณสมบัติอื่น ๆ ของกาแฟ คือ

1. ความเป็นกรด (acidity) ค่าความเป็นกรดของกาแฟจะขึ้นอยู่กับระดับการคั่ว คือ กาแฟที่คั่วอย่างอ่อนจะให้ค่าความเป็นกรดสูง แต่ถ้ากาแฟที่คั่วเข้มมาก ๆ จะส่งผลให้ค่าความเป็นกรดต่ำลง
2. ส่วนที่สามารถละลายน้ำได้ (water solubles) ซึ่งระดับการคั่วจะมีผลต่อปริมาณของส่วนที่สามารถละลายน้ำได้ โดยใช้น้ำสกัดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส กาแฟที่คั่วแบบกลางจะสามารถถูกน้ำสกัดออกมาได้มากกว่ากาแฟที่ผ่านการคั่วแบบเข้ม เนื่องจากกาแฟที่คั่วแบบเข้มจะมีน้ำมันออกมามากจึงมีผลต่อการสกัดของสารที่ละลายน้ำได้ (Sivetz, 1963)

Maria และคณะ (1996) ได้ทำการวิเคราะห์กาแฟสายพันธุ์อาราบิก้าโดยใช้ High Resolution Gas Chromatography-Mass Spectrometry (HRGC-MS) พบว่ากระบวนการคั่ว

เมล็ดกาแฟทำให้เกิดการแตกสลาย (degradation) ของ trigonelline น้ำตาลซูโครส กรดอะมิโน และ arabinogalactan และเกิดสารประกอบประเภท ฟูแรน ไพราซีน ไพริดีน และไพโรล

การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของเมล็ดกาแฟระหว่างกระบวนการคั่วนี้มีความสำคัญ โดยเมล็ดกาแฟจะเกิดการขยายตัว (popping) เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างขนาดเล็ก (microstructure) ของเมล็ด ทำให้เมล็ดกาแฟเพิ่มปริมาตร ความหนาแน่นจะลดลง และเกิดช่องว่างขนาดใหญ่ (large micropore) ในผนังเซลล์ ซึ่งทำให้ความสามารถในการสกัด (extractability) เพิ่มสูงขึ้น จึงมีผลดีในขั้นตอนการสกัดในการผลิตกาแฟสำเร็จรูป (instant coffee) (Clarke, 1985; Redgwell และคณะ, 2002)

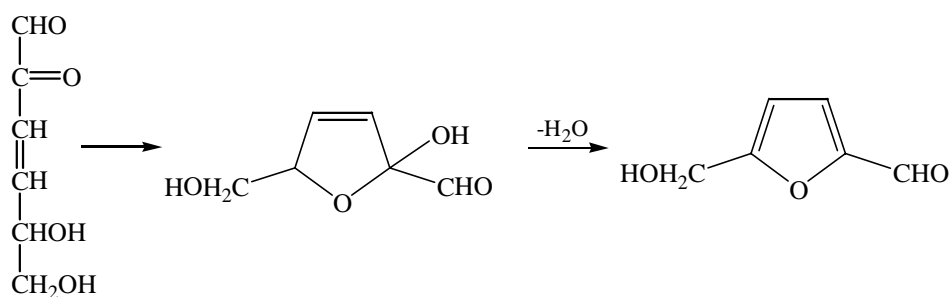
2.12 องค์ประกอบของสารระเหยในกาแฟ

องค์ประกอบของสารระเหยในเมล็ดกาแฟที่ยังไม่ผ่านกระบวนการคั่ว (green bean) พบว่ามีจำนวนมาก แต่ให้คุณลักษณะของกลิ่นที่ไม่ดี โดยจะมีความแตกต่างกันขึ้นกับปัจจัยทางด้านต่าง ๆ เช่น สายพันธุ์ สภาพะในการปลูก และกระบวนการแปรรูป โดยองค์ประกอบของสารระเหยเหล่านี้จะเกิดการเปลี่ยนแปลง และมีจำนวนเพิ่มขึ้น เมื่อเมล็ดกาแฟผ่านกระบวนการคั่ว มีการรายงานว่าพบองค์ประกอบของสารระเหยมากกว่า 800 ตัว (Kumazawa และ Masupa, 2003) ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด Strecker degradation การแตกสลายของโปรตีน trigonelline น้ำตาล ไขมัน และ สารประกอบฟีนอล (Flament, 2002; Varman และ Sutherland, 1994) โดยสามารถดูโครงสร้างสารประกอบที่ให้กลิ่นรสในกาแฟได้ในภาคผนวก ค.

เมล็ดกาแฟที่ผ่านการคั่วแล้วพบว่า สารประกอบฟูแรนจะมีอิทธิพลต่อกลิ่นรสของกาแฟมากกว่าองค์ประกอบอื่น (ภาพที่ 4) โดยสารในกลุ่มนี้เกิดจากปฏิกิริยาไพโรไลซิสของน้ำตาล ซึ่งให้กลิ่นคาราเมล ส่วนสารในกลุ่มไพราซีนจะพบมากเป็นอันดับสอง โดยจะให้กลิ่นคั่ว (roasted) กลิ่นธัญพืช (cereal) กลิ่นขนมปังกรอบ (cracker) หรือ กลิ่นขนมปังปิ้ง (toast) ซึ่งสารในกลุ่มนี้จะมีค่าต่ำสุดของการรับรู้รสต่ำ (threshold) (ตารางที่ 5) จึงมีความสำคัญในการให้กลิ่นรสของกาแฟ สารกลุ่มไพโรลจะให้กลิ่นหวาน (sweet) กลิ่นคาราเมล (caramel) และ กลิ่นเห็ด (mushroom) นอกจากนี้ยังพบไทโอพีนซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด โดยให้กลิ่นเนื้อ (meaty) นอกจากนี้ยังพบสารไทอะโซล (thiazole) ซึ่งมีน้อยเมื่อเทียบกับองค์ประกอบอื่น ๆ ซึ่งได้จากการแตกสลายของน้ำตาล (Coffee Research Institute, 2001) นอกจากนี้ยังมีสารประกอบอื่น ๆ อีกที่เกิดขึ้นจากการคั่ว และมีค่าระดับการรับรู้รสต่ำสุดแตกต่างกันไปตามตารางที่ 6

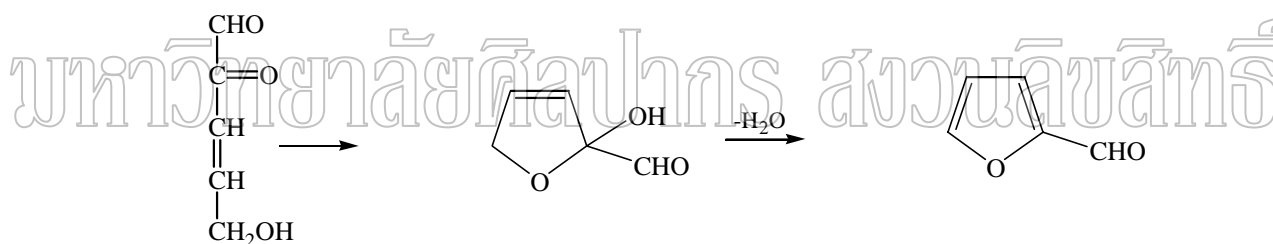
Kumazawa และ Masupa (2003) พบว่าสารประกอบซัลเฟอร์ 3 ชนิด ได้แก่ 2-furfurylthiol, methional และ 3-mercapto-3-methylbutylformate มีปริมาณลดลง เมื่อเครื่องคั่ว

กาเผ่นการให้ความร้อน ซึ่งเกิดการเปลี่ยนแปลงจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน การแตกตัวเนื่องจากความร้อน (thermal degradation) หรือการย่อยสลายโดยมีน้ำเข้าร่วม (hydrolysis) โดย 2-furfurylthiol เป็นองค์ประกอบของสารระเหยที่สำคัญเพราะให้กลิ่น sulfury-roasty ที่ให้คุณลักษณะที่ดีกับเครื่องดื่มกาแฟ ซึ่งตรงกับการรายงานของ Hofmann และ Schieberle (2002)



**Dehydroreductone
from hexose**

5-hydroxymethylfurfural



**Dehydroreductone
from pentose**

furfural

ภาพที่ 4 การเกิด Furfural และ 5-Hydroxymethylfurfural

ที่มา : Scarpellino และ Soukup (1993)

ตารางที่ 5 ค่าต่ำสุดการรับรู้กลิ่นของสารประกอบในกลุ่มไพราซีน

Pyrazines	Thresholds in water (ppb)
pyrazine	175,000
2,3-dimethylpyrazine	1,800
2-methoxypyrazine	700
2-methoxy-3-methylpyrazine	4.0
2-methoxy-3-ethylpyrazine	0.4
2- (2-methyl-propyl)-3-methoxypyrazine	0.002
2-methoxy-3-hexylpyrazine	0.001

ที่มา : Flath และคณะ (1981)

ตารางที่ 6 ค่าต่ำสุดการรับรู้รสของสารประกอบที่พบในกาแฟ

Compounds	Taste Threshold (ppm)
Hexanal	5
Quinic	10
Tartaric acid	20
Furfuryl Alcohol	19-40
Caffeic Acid	10-90
Chlorogenic Acid	20-27
Acetic Acid	22-70
Caffeine	78-155
Citric Acid	96-590
Malic Acid	107-350
Lactic Acid	144-400
5-Hydroxymethylfurfural	200

ที่มา : McCamey และคณะ (1990); Mottram (2001)

บทที่ 3

อุปกรณ์ และวิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุดิบ

เมล็ดกาแฟพันธุ์อาราบิก้า (*Coffea arabica*) จากศูนย์บริการวิชาการด้านพืช และปัจจัยการผลิตตาก 1 กรมวิชาการเกษตร ตำบลแม่ท้อ อำเภอเมือง จังหวัดตาก

3.2 เครื่องมือ และอุปกรณ์

สารเคมี

1. กรดทาร์ทาริก (tartaric acid) ของ AJAX Chemicals, Australia.
2. กรดออกซาลิก (oxalic acid) ของ APS Finechem, Australia.
3. กรดซิตริก (citric acid) ของ APS Finechem, Australia .
4. กรดอะซิติก (acetic acid) ของ BDH, England.
5. กรดไพรูวิก (pyruvic acid) ของ Fluka, Switzerland.
6. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide) ของ Mallinckrodt, Sweden.
7. โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (potassium dihydrogen phosphate) ของ Fluka, Switzerland.
8. กรดฟอสฟอริก (phosphoric acid) ของ J.T. Baker, USA.
9. อะซิโตนไนไตรล์ (acetonitrile) ของ J.T. Baker, USA.
10. เมทานอล (methanol) ของ Merck, Darmstadt, Germany.

อาหารเลี้ยงเชื้อ

1. Methylred Rogosa and Shape Agar (MRS) ของ Merck, Darmstadt, Germany .
2. Potato Dextrose Agar (PDA) ของ Merck, Darmstadt, Germany.
3. Plate Count Agar (PCA) ของ Merck, Darmstadt, Germany.

เครื่องมือ

1. เครื่องชั่งน้ำหนักชนิดละเอียด (รุ่น BP 3100S, SARTORIUS AG GoTTINGEN, Germany.)
2. เครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี (รุ่น 6890, Agilent Technology, USA.)
3. เครื่องแมสสเปกโตรมิเตอร์ (รุ่น 5973, Agilent Technology, USA.)
4. คอลัมน์ของเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี ยาว 30 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.32 มิลลิเมตร ความหนาของฟิล์ม 0.25 ไมโครเมตร (HP-5, Agilent Technology, USA.)
5. Purge & Trap (Tekmar 3100 Sample Conc Extraction, Tekmar Dohrman, USA.)
6. โฟเบอร์ Polydimethylsiloxane (PDMS) ขนาดอนุภาค 100 ไมโครเมตร (Supelco, USA)
7. เครื่องโครมาโตกราฟีของเหลวแบบความดันสูง (HPLC รุ่น 800, Water, USA.)
8. คอลัมน์ของเครื่องโครมาโตกราฟีของเหลวแบบความดันสูง (LiChroCART 250-4 LiChrosorb RP-18, Merck, KGaA, Germany.)
9. เครื่องอัลตราไวโอเลตดีเทคเตอร์ (UV Detector รุ่น 510, Water, USA.)
10. ตู้อบไฟฟ้าควบคุมอุณหภูมิได้ (Oven, Scientific Promotion, Thailand.)
11. เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter, รุ่น PHM 210, Meter lab, France.)
12. กระดาษกรองชนิดละเอียดขนาด 0.45 ไมโครเมตร (Gelman Science, Merck, Germany.)
13. เครื่องปิดผนึกสุญญากาศ (รุ่น Henkovac 1000, Europac, Thailand .)
14. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (รุ่น SBS 30, Stuart Scientific, England.)
15. เครื่องวัดค่าสี (Colorimeter Color-view™ Spectrophotometer รุ่น 9000, USA.)
16. เครื่องคั่วกาแฟ (Precision Coffee Roaster, 40201, USA.)
17. เครื่องบดกาแฟ (Princess Café' Grinder, 2199, USA.)

3.3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.3.1 กระบวนการแปรรูปเมล็ดกาแฟ

3.3.1.1 การคัดเลือกผลกาแฟ

นำผลกาแฟสดที่เก็บได้จากต้นคัดผลที่ไม่สุก และผลที่แก่เกินไปออก จากนั้นนำมาแช่น้ำ เพื่อคัดผลกาแฟที่ลอยทิ้งไป ล้างให้สะอาดเพื่อนำไปผ่านขั้นตอนการแปรรูปต่อไป

3.3.1.2 กระบวนการแปรรูปแบบเปียก (wet process)

นำผลกาแฟที่ได้ไปแช่น้ำเพื่อให้ผิวเปลือกผลกาแฟนั้นขยี้ส่วนที่เป็นเปลือกออก (ถ้ามีเครื่องลอกเปลือก (Pulper) สามารถแยกเปลือกออกได้ทันทีที่เก็บผลกาแฟสุกมาจากต้น) ล้าง และเลือกเปลือกส่วนที่ปะปนมาออกให้หมด นำเมล็ดกาแฟที่ลอกเปลือกแล้วใส่ภาชนะ และเติมน้ำกลั่นให้ท่วมเมล็ดกาแฟ เก็บตัวอย่างที่เวลา 0, 2, 4, 6, 10, 18, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง แล้วล้างเมือกออก โดยใช้น้ำสะอาดล้าง ประมาณ 3-4 ครั้ง ขยี้จนเมือกหมด จากนั้นทำการสะอาดน้ำ และผึ่งให้แห้ง นำไปตากแดดบนพื้นซีเมนต์ (ตอนกลางวันต้องคลุมผ้าเพื่อป้องกันความชื้นจากน้ำค้าง) โดยใช้เวลาประมาณ 3-4 วัน จนเมล็ดแห้ง และมีความชื้นต่ำกว่า 12 เปอร์เซ็นต์ นำไปเข้าเครื่องขดสีจนได้เมล็ดกาแฟดิบ เก็บในถุงแบบสุญญากาศ (ดัดแปลงจาก Sivetz และ Foote, 1963)

3.3.2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเชื้อจุลินทรีย์ และค่าความเป็นกรด-ด่าง ในระหว่างการหมัก

3.3.2.1 สุ่มตัวอย่างน้ำหมักเมล็ดกาแฟที่เวลาการหมักต่าง ๆ กัน คือ 0, 2, 4, 6, 10, 18, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง มาเลี้ยงในอาหาร MRS (Methylred Rogosa and Shape Agar), PDA (Potato Dextrose Agar) และ PCA (Plate Count Agar) บ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง จากนั้นนับจำนวนโคโลนีแยกตามชนิดของเชื้อจุลินทรีย์ บ่มต่อที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 2-3 วัน เพื่อการเจริญของรา

3.3.2.2 วัดการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำหมัก ด้วยเครื่องพีเอชมิเตอร์ (pH meter)

3.3.3 การเตรียมตัวอย่าง

3.3.3.1 การคั่วเมล็ดกาแฟ ใช้เครื่องคั่วกาแฟ (Precision Coffee Roaster, 40201, USA.) คั่วที่อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส โดยสังเกตจากการเปลี่ยนสีของเมล็ดกาแฟ (ใช้เวลาประมาณ 4-5 นาที) จะได้กาแฟที่คั่วแบบกลาง (medium) ทิ้งไว้ให้เย็น นำเมล็ดกาแฟที่คั่วแล้วไปผ่านขั้นตอนการเตรียมเพื่อใช้เป็นตัวอย่างในการวิเคราะห์ต่อไป (Redwel และคณะ, 2002)

3.3.3.2 การบดเมล็ดกาแฟคั่ว ใช้เครื่องบดเมล็ดกาแฟ (Princess Café' Grinder, 2199, USA.) และร่อนด้วยตะแกรงขนาดช่องผ่าน 500 ไมโครเมตร

3.3.4 การคำนวณค่าความชื้น และการวัดค่าสีของเมล็ดกาแฟ

การคำนวณความชื้นจากเมล็ดกาแฟใช้วิธีของ The Official Analytical Chemists (AOAC, 2000) และวัดค่าความสว่าง (L^*) ของเมล็ดกาแฟคั่ว โดยใช้เครื่องวัดสี Colorimeter Color-view™ Spectrophotometer รุ่น 9000, USA (ภาคผนวก ก.)

3.3.5 การหาปริมาณกรดทั้งหมดในตัวอย่างกาแฟ

3.3.5.1 ชั่งตัวอย่างกาแฟบดมา 4 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ต้มตัวอย่างที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 25 นาที

3.3.5.2 ดูดตัวอย่างกาแฟที่ผ่านการต้มมาปริมาตร 25 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 75 มิลลิลิตร จากนั้นไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ จนกระทั่งถึงจุดยุติที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง 8.20

3.3.5.3 บันทึกปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ และคำนวณหาปริมาณกรดทั้งหมด (ดัดแปลงจาก Alcazar และคณะ, 2003)

3.3.6 การวิเคราะห์หาปริมาณกรดอินทรีย์ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

3.3.6.1 ใช้เครื่อง HPLC 810 Water, USA คอลัมน์ LiChroCART 250-4 LiChrosorb RP-18 ขนาดของอนุภาค 5 ไมโครเมตร (Merck KGaA, Germany, Cat.No.1.51355) และตรวจวัดด้วย UV detector (Water, USA) ความยาวคลื่น 206 นาโนเมตร ฉีดตัวอย่างปริมาตร 20 ไมโครลิตร

3.3.6.2 ตัวทำละลายเคลื่อนที่ ใช้สารละลาย 0.01 M potassium dihydrogen phosphate buffer pH 2.25 ละลายด้วยน้ำกลั่นเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อนาที (ดัดแปลงจาก Gomis, 1987)

3.3.6.3 การเตรียมตัวอย่าง บดเมล็ดกาแฟ และร่อนด้วยตะแกรงขนาดช่องผ่าน 500 ไมโครเมตร ชั่งตัวอย่าง 4 กรัม แล้วต้มในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 25 นาที กรองตัวอย่างด้วยกระดาษกรองอย่างหยาบเพื่อนำกากกาแฟออก จากนั้นปรับปริมาตรในขวดปริมาตร 100 มิลลิลิตร เก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส กรองตัวอย่างด้วยกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร ก่อนฉีดเข้าเครื่อง HPLC (ดัดแปลงจาก Alcazar และคณะ, 2003)

3.3.6.4 การเตรียมกราฟมาตรฐานของกรดอินทรีย์

ตารางที่ 7 ความเข้มข้นสารละลายกรดอินทรีย์มาตรฐาน

กรดอินทรีย์	ความเข้มข้นที่เตรียม (ส่วนในล้านส่วน)				
กรดอะซิติก	100	200	300	500	
กรดซิตริก	250	500	750	1,000	
กรดออกซาลิก	20	40	60	80	100
กรดไพรูวิก	5	10	25	50	100
กรดทาร์ทาริก	20	50	100	200	250

3.3.6.5 การหาเปอร์เซ็นต์ Recovery ของกรดอินทรีย์ โดยเตรียมสารละลายกรดที่ต้องการใช้งาน (working solution) ละลายในน้ำกลั่นให้ได้ความเข้มข้นมากกว่ากรดในตัวอย่างกาแฟ ประมาณ 1-2 เท่า (ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างกาแฟก่อนที่จะทำการสกัดตัวอย่างเช่นเดียวกับข้อ 3.3.3) จากนั้น ชั่งตัวอย่างกาแฟบด 4 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร 2 ขวด โดยขวดแรก เติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร (original sample) ส่วนขวดที่สองเติมสารละลายกรดพร้อมใช้งานที่เตรียมไว้ 100 มิลลิลิตรแทนน้ำกลั่น (spiked sample) ผ่านขั้นตอนการสกัดตัวอย่าง และฉีดเข้าเครื่อง HPLC เช่นเดียวกับข้อ 3

3.3.6.6 การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ Recovery

$$= \frac{[\text{ความเข้มข้นกรดในตัวอย่างที่ได้เติมสารละลายกรด} - \text{ความเข้มข้นกรดในตัวอย่าง}]}{\text{ความเข้มข้นสารละลายกรดที่เติม}} \times 100$$

3.3.7 การศึกษาชนิด และปริมาณของสารประกอบระเหยในกาแฟอาราบิก้าด้วยเครื่อง Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)

3.3.7.1 การสกัดสารประกอบระเหยแบบ Purge&Trap (Tekmar 3100 Sample Conc Extraction, Tekmar Dohrman) โดยการใช้ก๊าซฮีเลียมผ่านตัวอย่างเมล็ดกาแฟบด 0.5 กรัม ใส่ในหลอดแก้วรูปตัวยู (sparker) ให้ความร้อนตัวอย่างที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ทำการไล่ด้วยก๊าซ (purge) อัตราเร็ว 60 มิลลิลิตรต่อนาที ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จากนั้น สารประกอบระเหยที่สกัดได้จะถูกเก็บไว้ในตัว Trap (Tenax, silicagel/charcoal) (ภาพที่ 5) ให้ความร้อน Trap ที่ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที สารจึงถูกปล่อยเข้าสู่ GC คอลัมน์

3.3.7.2 การสกัดสารประกอบระเหยด้วยวิธี Headspace Solid Phase Microextraction (HS-SPME) โดยใช้ไฟเบอร์ Polydimethylsiloxane (PDMS) ขนาดอนุภาค 100 ไมโครเมตร

(Supelco, USA) ใช้ตัวอย่างกาแฟบด 2.5 กรัม ใส่ในขวดกลมที่มีแผ่นยางปิด (septum) ให้ อุณหภูมิตัวอย่าง 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 40 นาที (ภาพที่ 6) จากนั้นนำเข็มฉีดเข้าเครื่อง GC-MS ที่ตั้งอุณหภูมิของ splitless mode ไว้ 250 องศาเซลเซียส นาน 1 นาที (ดัดแปลงจาก Martorell และคณะ, 2002)

3.3.7.3 การเตรียมสภาวะเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี ใช้เครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี ของ Hewlett-Packard (HP) รุ่น 6890 Gas Chromatography (Agilent Technology Inc.) และตรวจ วิเคราะห์ด้วย Mass Spectrometry (MS) ใช้คอลัมน์ HP-5 (Agilent Technology Inc.) เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 0.32 มิลลิเมตร ยาว 30 เมตร ความหนาของฟิล์ม 0.25 ไมโครเมตร ใช้ ก๊าซฮีเลียมความบริสุทธิ์ 99.999 เปอร์เซ็นต์ ผ่านด้วยอัตราเร็ว 0.8 มิลลิลิตรต่อนาที สำหรับการ สกัดแบบ Purge & Trap และ 1.2 มิลลิลิตรต่อนาที สำหรับการสกัดแบบ HS-SPME เตาอบ (oven) ของเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี ตั้งอุณหภูมิเริ่มต้นที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตรา 5 องศาเซลเซียสต่อนาที จนมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึง 200 องศา เซลเซียส (ดัดแปลงจาก Freitas, 1999) Detector ตั้งอุณหภูมิ ion source ที่ 230 องศาเซลเซียส อุณหภูมิ Quadapole ที่ 150 องศาเซลเซียส และ MS interface ที่ 280 องศาเซลเซียส โดยตรวจ วิเคราะห์มวล (m/z) ด้วยเครื่อง Mass Spectrometer Detector (รุ่น 5973, Agilent Technology, USA.) ใช้แหล่งกำเนิดไอออนแบบอิเล็กตรอนอิมแพคต์ (electron impact ionization, EI) ค่า พลังงานไอออนไนเซชัน 70 อิเล็กตรอนโวลต์ สแกนมวลในช่วง 40-400 amu ความเร็วในการสแกน 3.99 สแกนต่อวินาที เปรียบเทียบสารประกอบระเหยจากมวลที่สแกนได้กับ NIST98 Library (NIST98, USA)

3.3.8 การวางแผนการทดลอง และวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

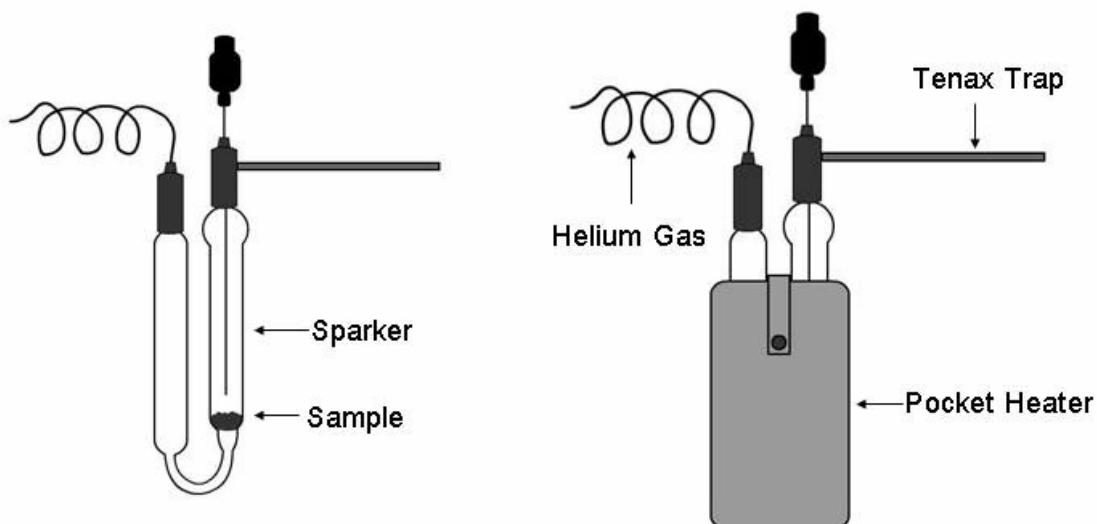
เปรียบเทียบผลการทดลอง โดยวางแผนการทดลองแบบ Complete Randomized Design (CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SAS Version 8.1 และเปรียบเทียบความแตกต่างโดยใช้ The Least Significant Difference (LSD)

3.3.9 สถานที่ทำวิจัย

ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร และภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิศวกรรมศาสตร์และ เทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ นครปฐม

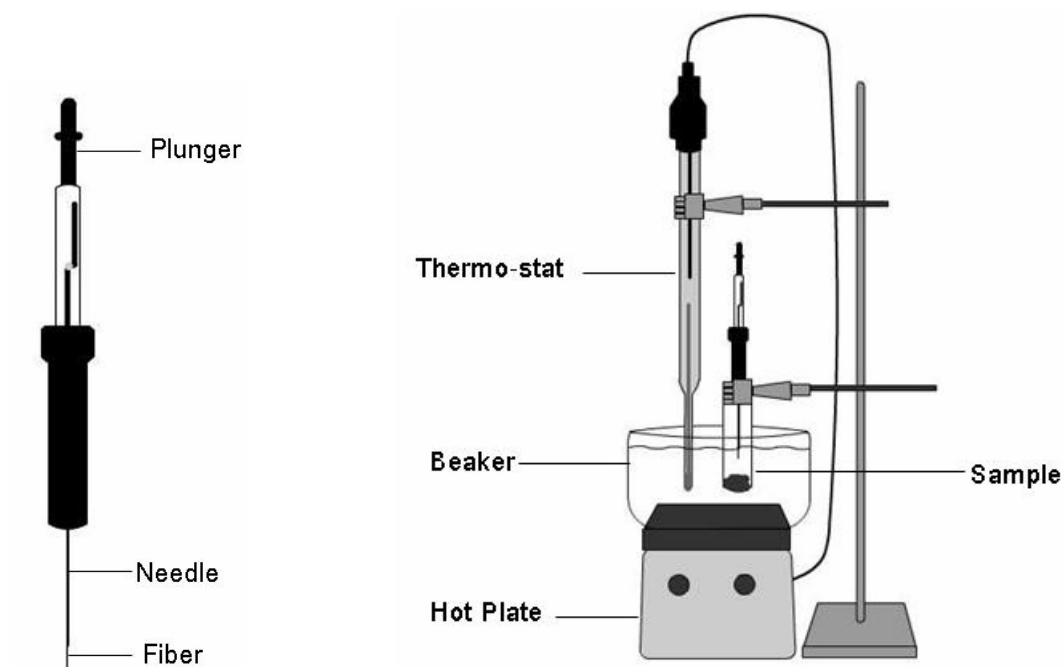
3.3.10 ระยะเวลาทำวิจัย

เริ่มการทดลองในเดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2546 สิ้นสุดเดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2547



ภาพที่ 5 ตัวอย่างการสกัดแบบ Purge & Trap

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



ภาพที่ 6 ตัวอย่างไฟเบอร์ และวิธีการสกัดแบบ HS-SPME

บทที่ 4

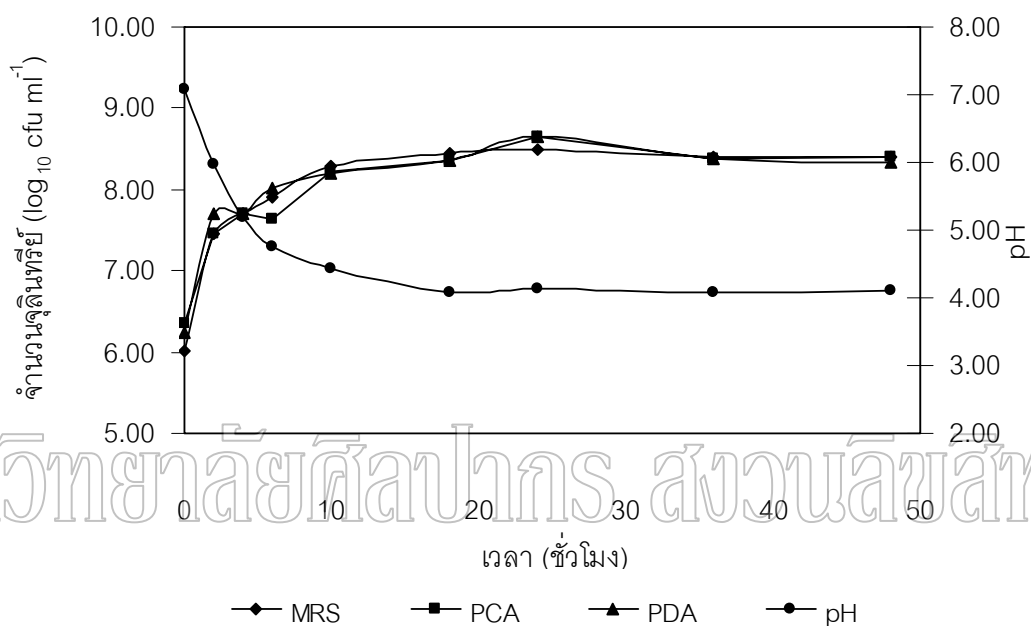
ผล และวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ศึกษาชนิด การเปลี่ยนแปลงของเชื้อจุลินทรีย์ และค่าความเป็นกรด-ด่าง ในระหว่างการหมัก

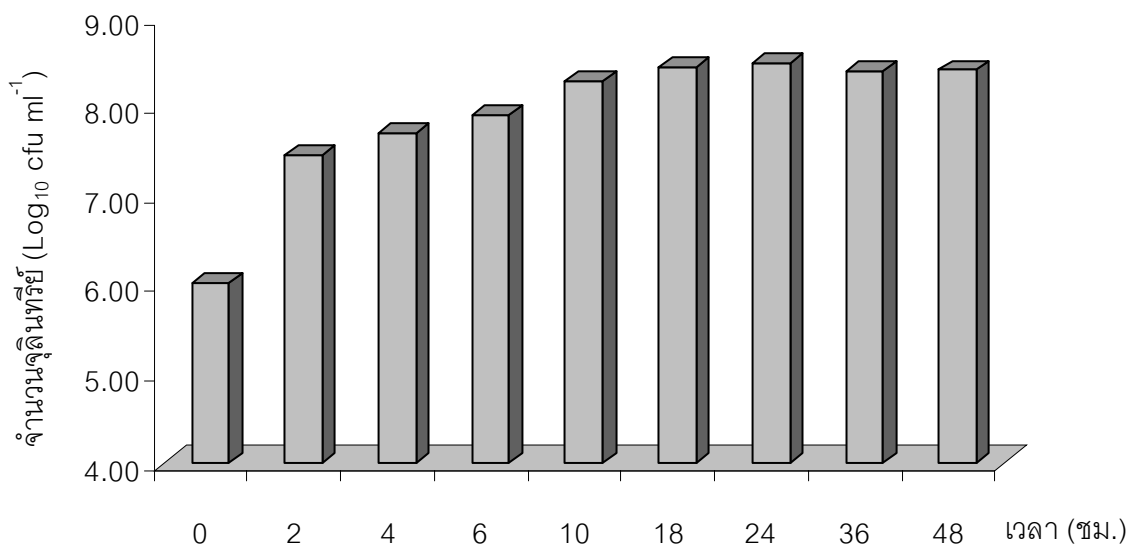
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำหมักกาแฟจะลดลงในช่วง 0-10 ชั่วโมงแรกของการหมักอย่างรวดเร็ว โดยค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นการหมักอยู่ที่ 7.07 และลดลงเหลือ 4.10 จากนั้นจะเริ่มคงที่จนถึงสิ้นสุดเวลาหมักที่ 48 ชั่วโมง ในขณะที่เดียวกันจำนวนเชื้อจุลินทรีย์จะเพิ่มขึ้นในช่วง 0-10 ชั่วโมง ของการหมักอย่างรวดเร็ว จากนั้นจะเริ่มคงที่จนถึงสิ้นสุดการหมักที่ 48 ชั่วโมง ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการลดลงของค่าความเป็นกรด-ด่าง (ภาพที่ 7 และตารางที่ 13) ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากเชื้อจุลินทรีย์ในกลุ่มของแลคติกแอซิดแบคทีเรียที่สร้างกรดแลคติกขึ้นมา และปล่อยกรดออกสู่น้ำหมัก ซึ่งกลุ่มของจุลินทรีย์ที่พบคือ แลคติกแอซิดแบคทีเรีย บาซิลลัส และยีสต์ แต่จำนวนจะแตกต่างกันตามช่วงเวลา และชนิดของอาหารเลี้ยงเชื้อดังนี้ ในอาหาร MRS จะพบแต่เชื้อในกลุ่มของ แลคติกแอซิดแบคทีเรีย จำนวน 10^6 - 10^8 โคโลนีต่อมิลลิลิตร เนื่องจาก MRS เป็นอาหารคัดจำเพาะของเชื้อในกลุ่มนี้ (ภาพที่ 8) ในอาหาร PCA จะพบ แลคติกแอซิดแบคทีเรีย และบาซิลลัส แต่กลุ่มที่พบมากที่สุดคือ แลคติกแอซิดแบคทีเรีย มีจำนวน 10^6 - 10^8 โคโลนีต่อมิลลิลิตร ส่วนบาซิลลัส พบในปริมาณ 10^6 โคโลนีต่อมิลลิลิตร (ภาพที่ 9) ในอาหาร PDA จะพบแลคติกแอซิดแบคทีเรีย บาซิลลัส และยีสต์ แต่กลุ่มที่พบมากที่สุดคือ แลคติกแอซิดแบคทีเรีย มีจำนวน 10^6 - 10^8 โคโลนีต่อมิลลิลิตร ส่วนยีสต์จะพบในช่วงท้ายของการหมักที่เวลา 24-48 ชั่วโมง มีจำนวน 10^6 โคโลนีต่อมิลลิลิตร (ภาพที่ 10) ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับรายงานของ Varnam และ Sutherland (1994) ที่กล่าวว่าเชื้อจุลินทรีย์ในกลุ่มของแบคทีเรีย จะสร้างกรดอินทรีย์ทำให้น้ำหมักมีสภาพเป็นกรด และส่งผลให้ยีสต์เจริญในช่วงท้ายของการหมัก

การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง และการเพิ่มของจำนวนของจุลินทรีย์จะมีความสัมพันธ์กันเนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ที่พบในทุกอาหารเลี้ยงเชื้อคือ กลุ่มของแลคติกแอซิดแบคทีเรีย ซึ่งจะสร้างกรดแลคติกขึ้นมาทำให้น้ำหมักมีสภาพเป็นกรด ในขณะที่เชื้อในกลุ่มนี้มีการเพิ่มจำนวน ค่าความเป็นกรด-ด่างจึงลดลง เมื่อการเจริญของเชื้อเริ่มคงที่ค่าความเป็นกรด-ด่างก็

คงที่เช่นกัน ซึ่งมีความสอดคล้องกับรายงานของ Clarke และ Macrae (1987) โดยพบว่าในขณะที่มีการหมักค่าความเป็นกรด-ด่างจะลดลงจนมีค่าต่ำกว่า 4.20 เป็นผลเนื่องมาจากเชื้อจุลินทรีย์ในกลุ่มของแลคติกแอซิดแบคทีเรีย เช่น *Streptococcus*, *Leuconostoc*, *Lactobacillus* และ *Pediococcus* และจะยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียด้วย

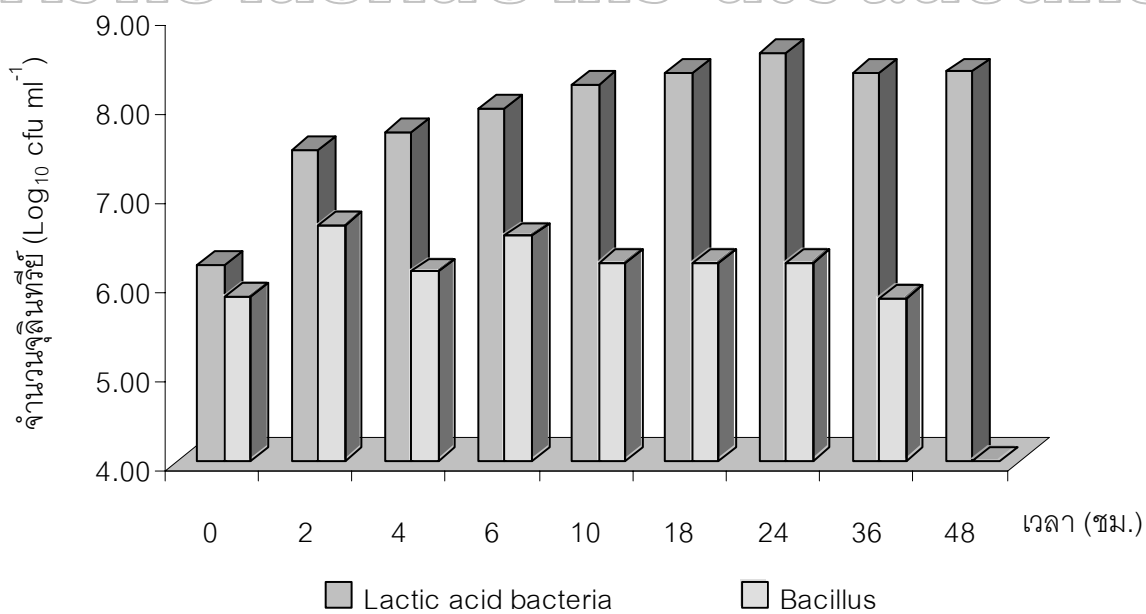


ภาพที่ 7 การเปลี่ยนแปลงของเชื้อจุลินทรีย์ และค่าความเป็นกรด-ด่าง ระหว่างการหมัก

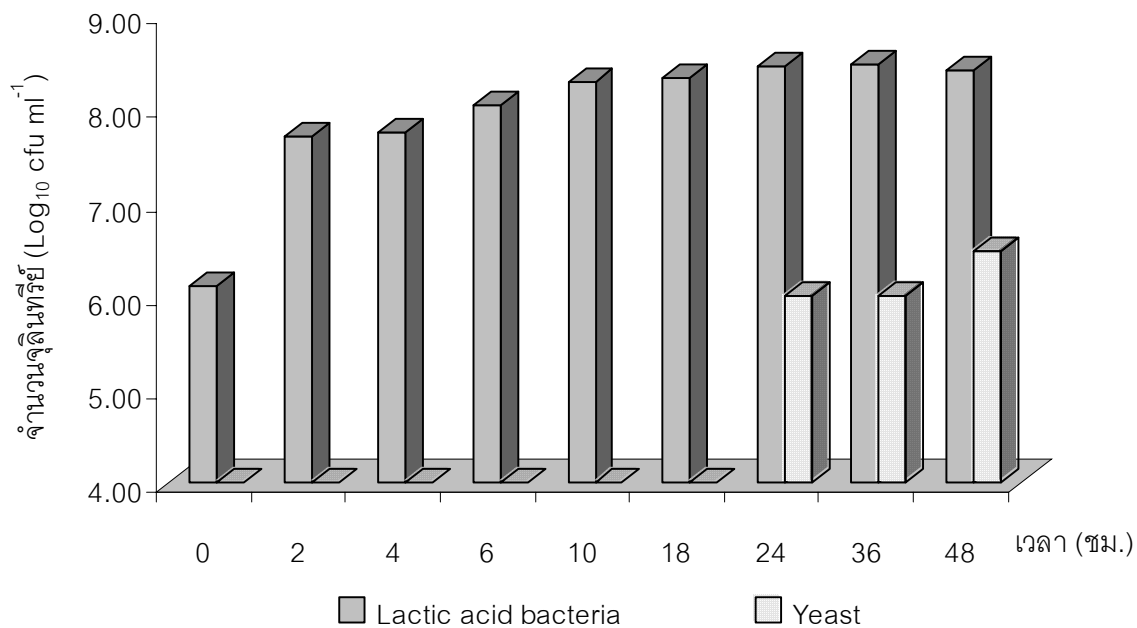


ภาพที่ 8 การเปลี่ยนแปลงของแลคติกแอซิดแบคทีเรียระหว่างการหมักในอาหาร MRS

มหาวิทยาลัยศิลปากร ลงวันลขสิทธิ์



ภาพที่ 9 การเปลี่ยนแปลงของเชื้อจุลินทรีย์ระหว่างการหมักในอาหาร PCA



ภาพที่ 10 การเปลี่ยนแปลงของเชื้อจุลินทรีย์ระหว่างการหมักในอาหาร PDA

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

4.2 การหาปริมาณกรดทั้งหมดในตัวอย่างกาแฟโดยการไตเตรทด้วยเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter)

ปริมาณกรดทั้งหมด (total acidity) ที่ได้จากการไตเตรทตัวอย่างน้ำกาแฟโดยอาศัยจุดยุติด้วยเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่างในตัวอย่างกาแฟดิบ และในกาแฟคั่ว พบว่าค่าความเป็นกรดทั้งหมดในกาแฟดิบ และกาแฟคั่วไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) ที่ระยะเวลาการหมักเมล็ดกาแฟต่างกัน โดยในตัวอย่างกาแฟคั่ว จะพบว่ามีความกรดทั้งหมดมากกว่าในกาแฟดิบ (ตารางที่ 8) โดยปริมาณกรดทั้งหมดคำนวณเทียบกับกรดอะซิติก เนื่องจากเป็นกรดที่พบมากในกาแฟคั่ว และถ้ามีปริมาณมากจะทำให้กาแฟมีกลิ่นฉุน ซึ่งมีผลต่อกลิ่นรสของกาแฟ

ตารางที่ 8 ปริมาณกรดทั้งหมดในตัวอย่างกาแฟดิบ และกาแฟคั่วที่ระยะเวลาการหมักต่างกัน

เวลาในการหมัก (ชม.)	ปริมาณกรดทั้งหมด/100 กรัมตัวอย่าง (โดยน้ำหนักแห้ง) (คิดเป็นกรดอะซิติก)	
	กาแฟดิบ	กาแฟคั่ว
0	0.926 ± 0.027	1.032 ± 0.014
2	0.933 ± 0.016	1.080 ± 0.005
4	0.918 ± 0.016	1.028 ± 0.010
6	0.956 ± 0.016	1.049 ± 0.010
10	0.975 ± 0.011	1.080 ± 0.034
18	0.960 ± 0.021	1.039 ± 0.043
24	0.948 ± 0.059	1.080 ± 0.043
36	0.963 ± 0.027	1.076 ± 0.029
48	0.926 ± 0.027	1.069 ± 0.019

หมายเหตุ จำนวนข้อมูลในตาราง n=6

4.3 การวิเคราะห์หาปริมาณกรดอินทรีย์ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

4.3.1 การคำนวณปริมาณกรดอินทรีย์จากสมการกราฟมาตรฐาน

สมการที่ใช้ในการคำนวณปริมาณกรดอินทรีย์ในตัวอย่างกาแฟซึ่งได้จากการทำกราฟมาตรฐาน แสดงดังตารางที่ 9 ส่วนกราฟมาตรฐาน แสดงอยู่ในภาคผนวก ข. (ภาพที่ 18-22)

ตารางที่ 9 สมการคำนวณปริมาณกรดอินทรีย์

กรดอินทรีย์	สมการ ¹	R square
กรดอะซิติก	$X = \text{ค่าพื้นที่} / 490.71$	0.9997
กรดซิตริก	$X = \text{ค่าพื้นที่} / 816.51$	0.9996
กรดออกซาลิก	$X = \text{ค่าพื้นที่} / 7510.30$	0.9995
กรดไพรูวิก	$X = \text{ค่าพื้นที่} / 9839.00$	0.9998
กรดทาร์ทาริก	$X = \text{ค่าพื้นที่} / 1176.50$	0.9997

หมายเหตุ¹ ค่า X มีหน่วยเป็นส่วนในล้านส่วน (ppm)

4.3.2 การวิเคราะห์ปริมาณกรดอินทรีย์จากตัวอย่างกาแฟอาราบิก้าด้วยเครื่อง HPLC

จากการวิเคราะห์ปริมาณกรดอินทรีย์ในกาแฟอาราบิก้าทั้งในกาแฟดิบ และกาแฟคั่วด้วยเครื่อง HPLC พบกรดอินทรีย์ที่สนใจศึกษาในตัวอย่างกาแฟดิบทั้งหมด 3 ชนิด คือ กรดซิตริก กรดออกซาลิก และกรดทาร์ทาริก และในกาแฟคั่ว 5 ชนิด คือ กรดอะซิติก กรดซิตริก กรดออกซาลิก กรดไพรูวิก และ กรดทาร์ทาริก โดยการคั่วจะมีปริมาณกรดเพิ่มขึ้นซึ่งอาจเกิดมาจากการแตกตัวของสารประกอบที่อยู่ในเมล็ดกาแฟขณะที่มีการคั่ว กรดที่พบจัดอยู่ในกลุ่มของกรดคาร์บอกซิลิก มีทั้งกรดที่ระเหยได้ และกรดที่ไม่ระเหย ซึ่งมีการรายงานจาก Blank และ Grosch (1991) ว่ากรดดังกล่าวมีความสำคัญต่อการเกิดกลิ่นรสในกาแฟ โดยกรดอินทรีย์ที่พบมีดังต่อไปนี้

กรดอะซิติก (acetic acid) เป็นกรดที่ระเหยได้จากการแตกสลายตัวของน้ำตาลซูโครสเมื่อได้รับความร้อน และพบมากในกาแฟที่คั่วแบบกลาง กาแฟที่คั่วแบบเข้มปริมาณกรดอะซิติกจะลดปริมาณลง (Coffee Research Institute, 2001) กรดอะซิติกสามารถพบได้ทั้งในกาแฟดิบ และ

กาแฟคั่ว จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC พบกรดอะซิติกเฉพาะตัวอย่างกาแฟคั่วเท่านั้น แต่จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-MS จะพบกรดอะซิติกทั้งในกาแฟดิบ และในกาแฟคั่ว แต่ในกาแฟคั่วจะพบในปริมาณที่มากกว่า จากภาพที่ 11 จะเห็นว่าในช่วงเวลา 0 ถึง 48 ชั่วโมง กรดอะซิติกในกาแฟคั่วมีปริมาณ 22.28-23.53 มิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่าง และผลการทดสอบทางสถิติพบว่าที่ระยะเวลาการหมักเมล็ดกาแฟต่างกันไม่มีผลต่อปริมาณกรดอะซิติกในกาแฟที่ผ่านการคั่ว ($p>0.05$) (ตารางที่ 16)

กรดซิตริก (citric acid) สามารถพบได้ทั้งในกาแฟดิบ และกาแฟคั่ว แต่ปริมาณในกาแฟคั่วจะมีมากกว่าในกาแฟดิบประมาณ ร้อยละ 50 (Coffee Research Institute, 2001) กรดซิตริกที่พบในกาแฟดิบอาจได้มาจากการสังเคราะห์ของพืช แต่ในกาแฟคั่วได้มาจากการแตกตัวของสารประกอบในเมล็ดกาแฟในขณะที่มีการคั่ว ในกาแฟดิบกรดซิตริกที่วิเคราะห์ได้จะมีปริมาณไม่แตกต่างกันในช่วงเวลาการหมักที่ 0-36 ชั่วโมง (12.59-14.53 มิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่าง) แต่จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อสิ้นสุดการหมักที่เวลา 48 ชั่วโมง (14.90 มิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่าง) ($p<0.05$) ส่วนในกาแฟคั่ว ปริมาณกรดอะซิติกจะอยู่ในช่วง 24.85-28.22 และไม่มี ความแตกต่างทางปริมาณที่ระยะเวลาการหมักเมล็ดกาแฟต่างกัน ($p>0.05$) (ตารางที่ 15 และ 16)

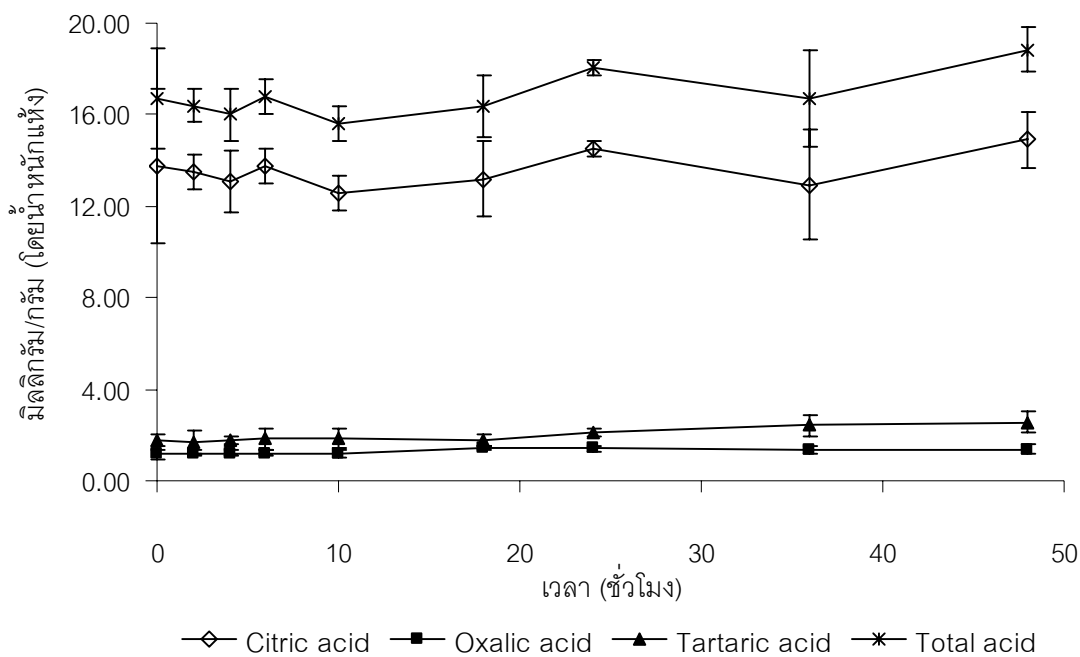
กรดออกซาลิก (oxalic acid) สามารถพบได้ทั้งในกาแฟดิบ และกาแฟคั่วแต่จะมีปริมาณต่างกันเล็กน้อย โดยในกาแฟดิบที่เวลา 0-10 ชั่วโมงของการหมักจะพบในปริมาณ 1.15-1.22 มิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่าง และจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเป็น 1.36-1.43 มิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่าง ที่เวลา 18 ชั่วโมง จนสิ้นสุดเวลาการหมักที่เวลา 48 ชั่วโมง ($p<0.05$) ส่วนในกาแฟคั่วที่เวลาการหมักต่างกันตั้งแต่เวลา 0-48 ชั่วโมง พบว่ามีปริมาณกรดออกซาลิกอยู่ในช่วง 0.72-0.85 มิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่าง ($p>0.05$) โดยสังเกตว่าในกาแฟดิบจะมีปริมาณกรดออกซาลิกมากกว่าในกาแฟคั่ว อาจเป็นผลเนื่องมาจากการสลายตัวของกรดออกซาลิกในระหว่างการคั่ว (ตารางที่ 15 และ 16)

กรดไพรูวิก (pyruvic acid) พบในกาแฟคั่วแต่ไม่พบในกาแฟดิบ เนื่องจากกรดไพรูวิกได้มาจากการแตกสลายของสารประกอบในกลุ่มของคาร์โบไฮเดรต (Scarpellino และ Soukup, 1993) โดยที่ช่วงเวลาการหมักต่างกันตั้งแต่เวลา 0-48 ชั่วโมง พบว่ากรดไพรูวิกมีปริมาณ 0.21-0.25 มิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่าง ($p>0.05$) (ตารางที่ 16)

กรดทาร์ทาริก (tartaric acid) สามารถพบได้ทั้งในตัวอย่างกาแฟดิบ และในกาแฟคั่วแต่มีปริมาณแตกต่างกันโดยในกาแฟดิบจะมีปริมาณน้อยกว่าในกาแฟคั่ว และในช่วงแรกของการหมักที่เวลา 0-18 ชั่วโมง จะมีปริมาณใกล้เคียงกันอยู่ที่ 1.70-1.84 มิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่าง และมีปริมาณเพิ่มขึ้นเป็น 2.13-2.57 มิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่าง ในช่วงเวลา 24-48 ชั่วโมง ($p < 0.05$) ส่วนในกาแฟคั่วที่เวลา 0-48 ชั่วโมง มีปริมาณกรดทาร์ทาริกอยู่ในช่วง 4.63-5.46 มิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่าง ($p > 0.05$) (ตารางที่ 15 และ 16)

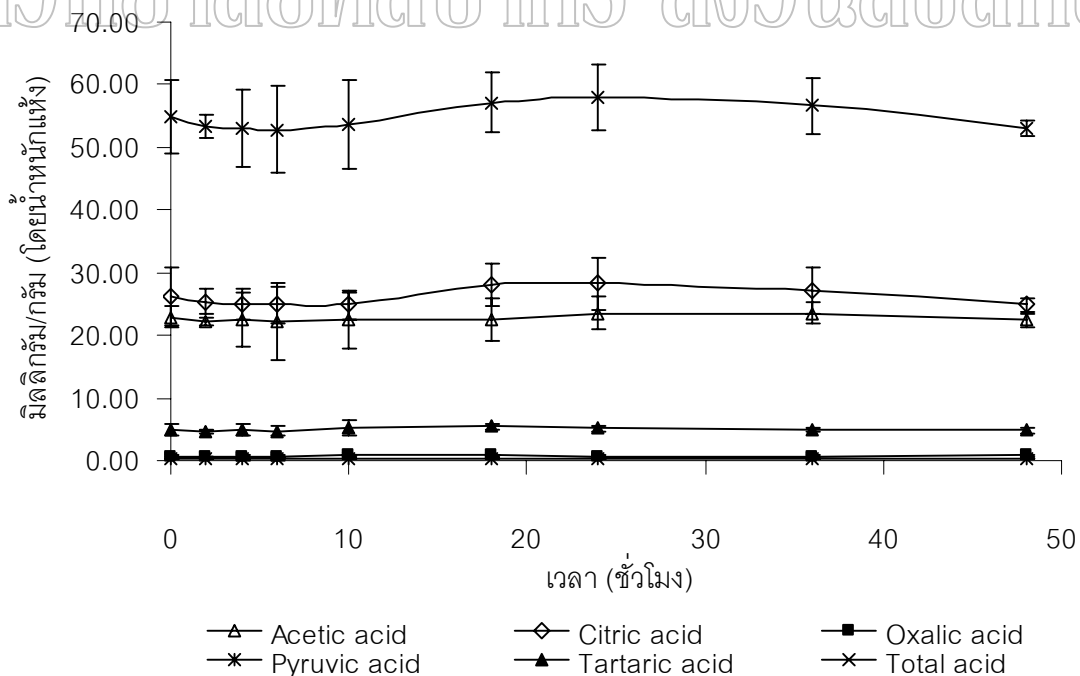
จากผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดอินทรีย์ในตัวอย่างกาแฟดิบพบว่าที่เวลาการหมักเมล็ดกาแฟ 0-48 ชั่วโมง ส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของกรดเล็กน้อยในกรดอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด คือ กรดซิตริก กรดออกซาลิก และกรดทาร์ทาริก แต่เมื่อนำปริมาณกรดที่พบในตัวอย่างกาแฟดิบทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้มารวมกัน และทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าปริมาณของกรดที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันที่เวลา 0-48 ชั่วโมง ($p > 0.05$) ส่วนในตัวอย่างกาแฟคั่วพบกรดอินทรีย์ทั้งหมด 5 ชนิด และมีปริมาณไม่แตกต่างกันในช่วงเวลาการหมัก 0-48 ชั่วโมง ($p > 0.05$) และเมื่อนำปริมาณกรดที่วิเคราะห์ได้มารวมกันก็ให้ผลไม่แตกต่างกันทางสถิติเช่นกัน ($p > 0.05$)

ดังนั้นการวิเคราะห์ปริมาณกรดอินทรีย์ในเมล็ดกาแฟซึ่งผ่านการหมักที่เวลา 0-48 ชั่วโมง โดยใช้เครื่อง HPLC พบว่าปริมาณกรดอินทรีย์ที่วิเคราะห์ได้ในตัวอย่างกาแฟดิบคือ กรดซิตริก กรดออกซาลิก และกรดทาร์ทาริก และในตัวอย่างกาแฟคั่วคือ กรดอะซิติก กรดซิตริก กรดออกซาลิก กรดไพรูวิก และกรดทาร์ทาริก ไม่มีความแตกต่างกันที่ระยะเวลาการหมักเมล็ดกาแฟต่างกัน ($p > 0.05$) โดยสามารถดูข้อมูลผลการทดลองได้ในตารางที่ 15-16 และภาพที่ 11 และ 12



ภาพที่ 11 ปริมาณกรดอินทรีย์ในกาแฟดิบที่ระยะเวลาการหมักเมล็ดกาแฟต่างกัน

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



ภาพที่ 12 ปริมาณกรดอินทรีย์ในกาแฟคั่วที่ระยะเวลาการหมักเมล็ดกาแฟต่างกัน

4.4 การศึกษาชนิด และปริมาณของสารประกอบระเหยในกาแฟอาราบิก้าด้วยเครื่อง Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)

4.4.1 ชนิด และสารประกอบระเหยที่พบในกาแฟดิบ

เมล็ดกาแฟดิบจะยังไม่มีสารประกอบที่ให้กลิ่นรสในกาแฟ เนื่องจากการพัฒนาของกลิ่นรสในกาแฟจะเกิดขึ้นระหว่างที่เมล็ดกาแฟผ่านการคั่วที่อุณหภูมิ 180-240 องศาเซลเซียส ดังนั้น สารประกอบที่พบในเมล็ดกาแฟดิบจะเป็นสารที่ได้มาจากกระบวนการสังเคราะห์ของพืช (biosynthesis) เช่น สารประกอบในกลุ่มของ แอลดีไฮด์ ซึ่งเป็นกลุ่มที่พบมากที่สุดในการคั่วซึ่งจะให้กลิ่นเหม็นเขียว (Mottram, 2001) ในการวิเคราะห์สารประกอบระเหยในกาแฟดิบด้วยวิธีการสกัดแบบ Purge & Trap พบสารประกอบทั้งหมด 11 ชนิด โดยแบ่งกลุ่มของสารประกอบระเหยออกเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ได้ 3 ประเภทคือ กรดอินทรีย์ แอลดีไฮด์ และฟูแรน

กรดอินทรีย์ (organic acids) ที่พบในกาแฟดิบมีเพียงชนิดเดียวคือ กรดอะซิติก (acetic acid) ซึ่งเป็นกรดที่สามารถระเหยง่าย โดยกรดอะซิติกจะพบมากที่สุดที่เวลาเริ่มต้นของการคั่วคือ ที่เวลา 0 ชั่วโมง จากนั้นจะค่อย ๆ ลดลง และเพิ่มขึ้นอีกครั้งที่เวลา 36 ชั่วโมง และลดลงอีกครั้งจนถึงสุดระยะเวลาการคั่วที่เวลา 48 ชั่วโมง (ตารางที่ 10) โดยถ้าเปรียบเทียบกับปริมาณกรดอะซิติกในกาแฟคั่วกับกาแฟดิบ ปริมาณกรดอะซิติกในกาแฟคั่วจะพบมากกว่าในกาแฟดิบซึ่งผลการทดลองมีความสอดคล้องกับรายงานของ Van และ Duijn (1988) เนื่องจากกรดอะซิติกที่พบในกาแฟคั่วเป็นผลมาจากการแตกตัวของน้ำตาล และคาร์โบไฮเดรตที่อยู่ภายในเมล็ดกาแฟ

แอลดีไฮด์ (aldehydes) ส่วนใหญ่จะพบในกาแฟดิบแต่เมื่อผ่านการคั่วสารประกอบในกลุ่มนี้จะสลายตัวเนื่องจากความร้อนในขณะที่คั่วกาแฟ แต่ก็จะมีแอลดีไฮด์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด และ Strecker degradation สารแอลดีไฮด์บางส่วนจะรวมตัวกับสารประกอบอื่น ๆ ได้เป็นสารที่ให้กลิ่นรสในกาแฟ โดยในกาแฟดิบพบสารในกลุ่มของแอลดีไฮด์ทั้งหมด 8 ชนิด กลุ่มที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาการคั่ว คือ Hexanal; Undecanal และ 2-Nonenal, (E)- กลุ่มที่มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในระหว่างการคั่ว คือ Butanal, 3-methyl- และ Octanal ส่วนในกลุ่มสุดท้าย คือ Decanal; Nonanal และ 2-Heptenal, (E)- จะมีการเปลี่ยนแปลงลดลงเล็กน้อยในช่วง 2-10 ชั่วโมง จากนั้นจะเพิ่มขึ้น และคงที่จนถึงสุดระยะเวลาการคั่วที่เวลา 48 ชั่วโมง (ตารางที่ 10)

สารประกอบในกลุ่มฟูแรน (furans) จะพบน้อยในกาแฟดิบเนื่องจากสารประกอบในกลุ่มนี้เป็นสารที่ให้กลิ่นรสที่ดีในกาแฟคั่ว โดยในกาแฟดิบพบสารประกอบ ฟูแรน เพียง 2 ชนิด คือ Furan, 2-pentyl- และ 2-Furanmethanol และที่เวลาการหมักเมล็ดกาแฟ 0-48 ชั่วโมง พบว่าปริมาณของ 2-Furanmethanol ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) ส่วน Furan, 2-pentyl- มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่จะมีค่าสูงสุดที่เวลาการหมัก 10 ชั่วโมง ($p < 0.05$) (ตารางที่ 10)

จากการทดสอบทางสถิติพบว่า สารประกอบระเหยที่พบในตัวอย่างกาแฟดิบอาราบิก้า ที่ผ่านการหมักที่ระยะเวลาต่างกัน (0-48 ชั่วโมง) คือ กรดอินทรีย์ แอลดีไฮด์ และฟูแรน มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก หรือไม่ค่อยพบการเปลี่ยนแปลง และเมื่อนำค่าพื้นที่ทั้งหมด (corrected area) ของสารประกอบทุกตัวที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-MS ในตัวอย่างกาแฟดิบมาวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างทางปริมาณที่เวลา 0-48 ชั่วโมง ($p > 0.05$) (ภาพที่ 13 ตารางที่ 10 และ 17)

4.4.2 ชนิด และสารประกอบระเหยที่พบในกาแฟคั่ว

สารประกอบระเหยที่พบในกาแฟคั่วเกิดจากการสลายตัวขององค์ประกอบภายในเมล็ดกาแฟในขณะที่มีการคั่ว ซึ่งมีหลายปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องด้วยกันคือ ปฏิกิริยาเมลลาร์ด ปฏิกิริยาไพโรไลซิส Strecker degradation การแตกตัวของสารประกอบน้ำตาล กรดอะมิโน trigonelline และสารประกอบอื่น ๆ (Coffee Research Institute, 2001) ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง และรวมตัวเกิดเป็นสารประกอบที่ให้กลิ่นรส โดยตัวอย่างกาแฟคั่วจะทำการสกัด 2 วิธี วิธีแรกใช้การสกัดแบบ Purge & Trap วิธีที่สองใช้การสกัดแบบ Headspace Solid Phase Microextraction (HS-SPME) ซึ่งทั้งสองวิธีนี้จะวิเคราะห์ชนิด และปริมาณของสารประกอบระเหย ตลอดจนความสามารถในการทำซ้ำต่างกัน โดยจากทดลองพบว่าการสกัดตัวอย่างแบบ HS-SPME จะให้ผลดีว่าการสกัดโดยใช้วิธี Purge & Trap เนื่องจากค่าที่ได้จากการฉีดซ้ำในตัวอย่างเดียวกันมีค่าใกล้เคียงมากกว่าวิธีการสกัดแบบ Purge & Trap และพบสารประกอบระเหยอย่างสม่ำเสมอในตัวอย่างกาแฟที่เวลาการหมักต่างๆ กัน

การสกัดตัวอย่างกาแฟคั่วโดยใช้วิธี Purge & Trap สามารถวิเคราะห์สารประกอบระเหยได้ทั้งหมด 22 ชนิด (ตารางที่ 11) ส่วนการสกัดแบบ HS-SPME พบสารประกอบระเหย 26 ชนิด (ตารางที่ 12) แบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ได้ 7 กลุ่ม คือ กรดอินทรีย์ ฟูแรน ฟีนอล ไพราซีน ไพริดีน ไพโรล และกลุ่มอื่น ๆ

กรดอินทรีย์ (organic acids) การสกัดตัวอย่างกาแฟคั่วโดยใช้วิธี Purge & Trap พบกรดอินทรีย์เพียงชนิดเดียวคือ กรดอะซิติก (acetic acid) เกิดจากการสลายตัวของน้ำตาลซูโครสเมื่อได้รับความร้อน ในช่วงแรกของการหมักที่เวลา 0 ชั่วโมง และช่วงท้ายของการหมัก ที่เวลา 36 และ 48 ชั่วโมง ไม่พบกรดอะซิติก แต่ที่เวลา 2-24 ชั่วโมง พบกรดอะซิติก และมีปริมาณไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) (ตารางที่ 11) โดยกรดอะซิติกจะพบมากในกาแฟที่คั่วแบบกลาง และคั่วแบบเข้ม เพราะต้องใช้ความร้อนสูงเพื่อให้น้ำตาลซูโครสแตกตัว ในกาแฟอาราบิก้าจะพบกรดอะซิติกประมาณร้อยละ 0.2 และในกาแฟโรบัสต้าร้อยละ 0.36-0.55 (Ramos และ คณะ, 1998) แต่ในความเป็นจริงกรดอินทรีย์ที่พบในกาแฟคั่วจะมีหลายชนิดด้วยกัน และกรดที่มีความสำคัญต่อกลิ่นรสของกาแฟจะอยู่ในกลุ่มของกรดคาร์บอกซิลิก เช่น กรดซิตริก กรดมาริก กรดออกซาลิก กรดทาร์ทาริก กรดไพรูวิก และกรดแลคติก เป็นต้น (Blank และ Grosch, 1991) แต่เนื่องจากกรดที่กล่าวมาจัดอยู่ในกลุ่มของกรดที่ไม่ระเหยจึงไม่สามารถวิเคราะห์ได้ด้วยเครื่อง GC-MS ได้ แต่จากที่ได้ทำการวิเคราะห์กรดอินทรีย์บางชนิดด้วยเครื่อง HPLC ซึ่งสามารถดูรายละเอียดได้ในหัวข้อที่ 4.3

ฟูแรน (furans) สารประกอบในกลุ่มฟูแรนเกิดจากการแตกสลายตัวขององค์ประกอบภายในเมล็ดกาแฟจากกระบวนการไพโรไลซิส และเป็นกลุ่มสารที่มีความสำคัญต่อกลิ่นรสของกาแฟมากที่สุด ให้กลิ่นคล้ายคาราเมล (Coffee Research Institute, 2001) จากการสกัดตัวอย่างกาแฟคั่วโดยใช้วิธี Purge & Trap สามารถวิเคราะห์สารประกอบฟูแรนในกาแฟคั่วได้ทั้งหมด 8 ชนิด คือ 2-Furanmethanol; 2-Furancarboxaldehyde, 5-methyl-; 2-Furanmethanol, acetate; Furan, 2,2'-methylenebis-; 2-Furanmethanol, propanoate; Benzofuran, 2-methyl-; Furan, 2-(2-furanylmethyl)-5-methyl- และ Furan, 2-[(methylthio)methyl]- โดยสารประกอบฟูแรนทุกชนิดมีปริมาณไม่แตกต่างกันที่เวลาการหมักต่างกัน ($p > 0.05$) (ตารางที่ 11) ส่วนการสกัดแบบ HS-SPME พบสารประกอบฟูแรน 7 ชนิด คือ 2-Furanmethanol; 2-Furancarboxaldehyde, 5-methyl-; 2-Furanmethanol, acetate; Furan, 2-(2-furanylmethyl)-5-methyl-; Butanoic acid, 3-methyl-, 2-furan; Furan, 2,2'-[oxybis(methylene)] และ Furan, 2-[(methylthio)methyl]- และปริมาณที่วิเคราะห์ได้ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบที่เวลาการหมักต่างกันทั้งในส่วนของพื้นที่ของฟูแรนแต่ละชนิด หรือพื้นที่รวมของสารประกอบฟูแรนทั้งหมด นอกจากนี้ชนิดของสารประกอบฟูแรนที่พบมีความใกล้เคียงกันกับวิธีการสกัดแบบ Purge & Trap (ตารางที่ 12)

ฟีนอล (phenols) สารประกอบฟีนอล ซึ่งมีความสำคัญต่อกลิ่นรสของกาแฟ คือ Phenol, 2-methoxy- ให้กลิ่นคล้ายข้าวโพดคั่ว (จิรสวัสดิ์, 2546) ฟีนอลเป็นกลุ่มของสารที่ให้กลิ่นคั่ว และกลิ่นใหม่ในกาแฟ โดยเกิดจากปฏิกิริยาไฟโรไลซิสของกรดคลอโรเจนิค และคาเฟอีน (Belitz และ Grosch, 1999; Ky และคณะ, 2001) จากการสกัดตัวอย่างกาแฟคั่วโดยใช้วิธี Purge & Trap สามารถวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลได้เพียงชนิดเดียวคือ phenol, 2-(methylthio)- และจากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าปริมาณไม่แตกต่างที่เวลาการหมักต่างกัน ($p > 0.05$) (ตารางที่ 11) แต่การสกัดแบบ HS-SPME พบสารประกอบฟีนอล 2 ชนิด คือ phenol, 4-ethyl-2-methoxy- และ 2-methoxy-4-vinylphenol ซึ่งสารประกอบฟีนอลทั้งสองชนิดมีปริมาณลดลงเล็กน้อยในช่วงท้ายของการหมักที่เวลา 36-48 ชั่วโมง ($p < 0.05$) (ตารางที่ 12)

ไพราซีน (pyrazines) เป็นสารที่พบมากเป็นอันดับที่สองรองจากกลุ่มของฟูแรน ให้กลิ่นคล้ายกับถ่านไหม้ และมีค่าการรับรู้รสต่ำ (ตารางที่ 5) จึงมีความสำคัญต่อการให้กลิ่นรสในกาแฟคั่ว (Coffee Research Institute, 2001) สามารถเกิดได้จากปฏิกิริยาเมลลาร์ดระหว่างกรดอะมิโนกับน้ำตาลรีดิวซ์ ปฏิกิริยาไฟโรไลซิส และการแตกสลายของ trigonelline (Varnam และ Sutherland, 1994) จากการสกัดด้วยวิธี Purge & Trap พบสารประกอบในกลุ่มของไพราซีนทั้งหมด 4 ชนิด คือ Pyrazine, methyl-; Pyrazine, 2,5-dimethyl-; Pyrazine, 2,3-dimethyl- และ Pyrazine, 3-ethyl-2,5-dimethyl- ไพราซีนทุกตัวให้ผลทางปริมาณไม่แตกต่างทางสถิติ ยกเว้น Pyrazine, 2,3-dimethyl- ที่มีแนวโน้มลดปริมาณลงเมื่อเวลาการหมักเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 11) ส่วนการสกัดแบบ HS-SPME พบสารประกอบไพราซีน 4 ชนิด คือ Pyrazine, 2,5-dimethyl-; Pyrazine, 2,3-dimethyl-; Pyrazinamide และ Pyrazine, 3-ethyl-2,5-dimethyl- และปริมาณที่วิเคราะห์ได้ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบที่เวลาการหมักต่างกันทั้งในส่วนของพื้นที่ไพราซีนแต่ละชนิด และพื้นที่รวมของสารประกอบในกลุ่มของไพราซีน (ตารางที่ 12)

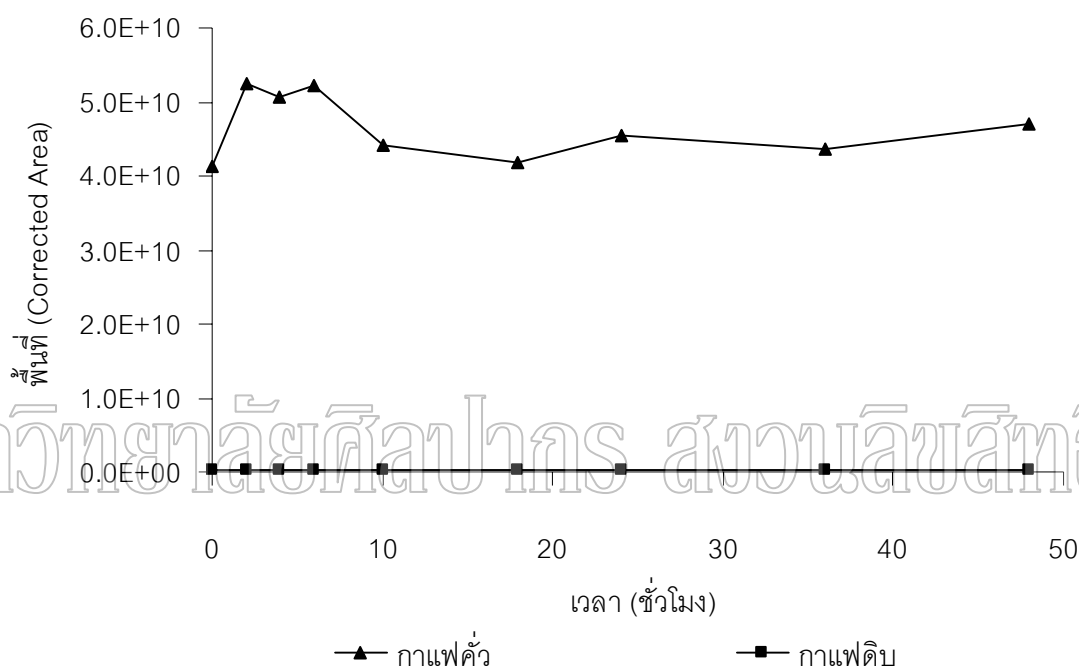
ไพริดีน (pyridines) เกิดจากปฏิกิริยาไฟโรไลซิสของกรดอะมิโน และน้ำตาล หรืออาจเกิดจากการสลายตัวด้วยความร้อนของสารมัธยันต์ Amadori (Fujimaki และคณะ, 1969) และการแตกสลายของ trigonelline (Varnam และ Sutherland, 1994) ในการการสกัดด้วยวิธี Purge & Trap พบไพริดีนเพียงชนิดเดียวคือ Pyridine และมีปริมาณไม่แตกต่างทางสถิติที่ระยะเวลาการหมักต่างกัน ($p > 0.05$) (ตารางที่ 11) ส่วนการสกัดแบบ HS-SPME พบสารประกอบไพริดีน 3 ชนิด คือ Pyridine; 4-Pyridamine และ Pyridine, 3-ethyl- และปริมาณที่วิเคราะห์ได้ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบที่เวลาการหมักต่างกันทั้งในส่วนของพื้นที่แยกตามชนิด และพื้นที่รวมของสารประกอบในกลุ่มของไพริดีน (ตารางที่ 12)

ไพโรล (pyrroles) เกิดจากการสลายตัวด้วยความร้อนของสารมัยซ์ยันต์ Amadori หรือเกิดจากปฏิกิริยาของอนุพันธ์ฟูแรนกับกรดอะมิโน ซึ่งสารไพโรลจะให้กลิ่นหวานคล้ายกลิ่นคาราเมล และกลิ่นควีน (Rizzi, 1974) และสามารถเกิดการแตกสลายของ trigonelline หรือเกิดจากการรวมตัวของ proline กับ hydroxyproline (Varnam และ Sutherland, 1994) การสกัดด้วยวิธี Purge & Trap พบสารประกอบไพโรล 2 ชนิด คือ 1H-Pyrrole, 1-butyl- และ 1H-Pyrrole, 1-(2-furanylmethyl)- จากการทดสอบทางสถิติให้ผลไม่แตกต่างทางปริมาณที่ระยะเวลาการหมักต่างกัน ($p > 0.05$) (ตารางที่ 11) ส่วนการสกัดแบบ HS-SPME พบสารประกอบไพโรล 1 ชนิด คือ 1H-Pyrrole-2-acetonitrile, 1-methyl- และปริมาณที่วิเคราะห์ได้มีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) เนื่องจากมีปริมาณลดลงเล็กน้อยในช่วงเวลาการหมักที่ 36 ชั่วโมง (ตารางที่ 12)

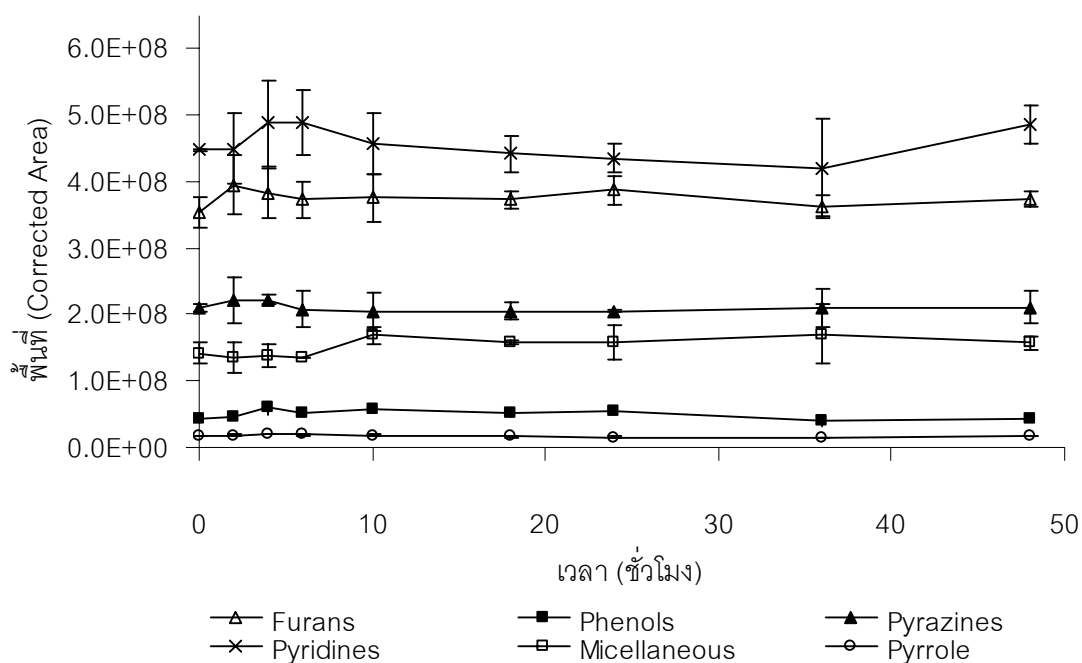
สารในกลุ่มอื่น ๆ ที่พบจากการสกัดด้วยวิธี Purge & Trap นอกเหนือจากกลุ่มที่กล่าวถึงในข้างต้น คือ 2,4-Pentadienenitrile; N-Vinylpyridinium bromide และ Pyrimidine 4,6-dimethyl-, จากการทดสอบทางสถิติให้ผลไม่แตกต่างทางปริมาณที่ระยะเวลาการหมักต่างกัน ($p > 0.05$) และสารประกอบในกลุ่มของเอมีน (amine) ซึ่งได้จากการสลายตัวของกรดอะมิโน แล้วรวมตัวกับสารประกอบอื่น ๆ ได้เป็นสารประกอบที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ จากการวิเคราะห์พบสารประกอบเอมีนทั้งหมด 2 ชนิด คือ 1,4-Benzenediamine และ 4-Pyridinamine และปริมาณที่วิเคราะห์ได้ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบที่เวลาการหมักต่างกัน (ตารางที่ 11) ส่วนการสกัดแบบ HS-SPME พบสารประกอบกลุ่มอื่น ๆ 9 ชนิด คือ Spiro[2.4]heptan-4-one; Cyclohexene, 1-methyl-4-(1-methyl)-; Ethanone, 1-(1H-pyrrol-2-yl)-; 2-Cyclopenten-1-one, 3-ethyl-2-methyl-; 2(1H)-Quinolinone, 3-methyl-; Benzene, 4-ethenyl-1,2-dimethoxy-; Megastigmatrienone; Caffeine และ Hexadecanoic acid, methyl ester ซึ่งสารประกอบทุกตัวให้ผลทางปริมาณไม่แตกต่างกันที่ระยะเวลาการหมักต่าง (0-48 ชั่วโมง) ยกเว้น Spiro[2.4]heptan-4-one; Ethanone, 1-(1H-pyrrol-2-yl)- และ Hexadecanoic acid, methyl ester ให้ผลต่างกันเล็กน้อยที่ระยะเวลาการหมักต่าง ๆ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 12)

จากผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่าสารประกอบระเหยที่ได้จากกาแฟที่ผ่านการคั่วแบบกลางในตัวอย่างกาแฟอาราบิก้าเมื่อทำการเปรียบเทียบที่เวลาการหมักต่างกัน คือ 0, 2, 4, 6, 10, 18, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง ไม่มีความแตกต่างกันทั้งในด้านชนิด และปริมาณของสารประกอบที่ได้ เนื่องจากสารประกอบที่ได้จากการวิเคราะห์จะอยู่ในกลุ่มเดียวกัน และมีปริมาณพื้นที่ใกล้เคียงกัน โดยผลการทดลองที่ได้เป็นไปในแนวทางเดียวกันทั้งวิธีการสกัดแบบ Purge & Trap และการสกัดแบบ HS-SPME แต่การสกัดตัวอย่างแบบ HS-SPME จะให้ผลการทำซ้ำดีกว่าการสกัดแบบ Purge

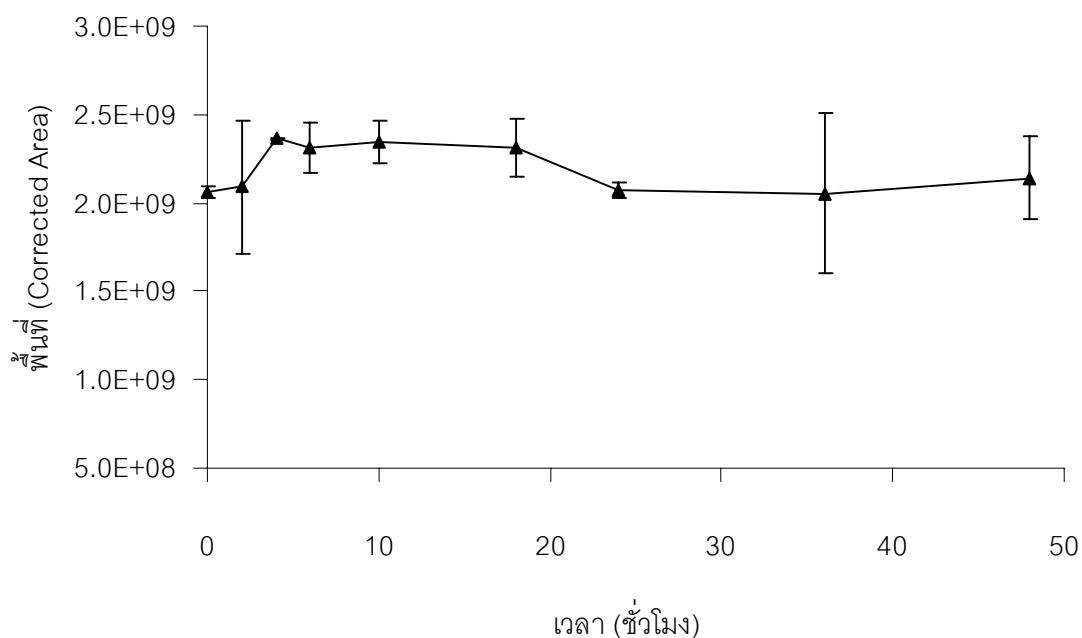
& Trap โดยเป็นผลเนื่องมาจากการใช้ไฟเบอร์ต่างชนิดกัน จึงส่งผลให้มีประสิทธิภาพการจับของสารประกอบระเหยได้ต่างกัน เมื่อนำพื้นที่ใต้พีคของสารประกอบทุกชนิด (corrected area) ที่วิเคราะห์ได้จากเครื่อง GC-MS มารวมกันแล้ววิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างทางปริมาณที่เวลาการหมักเมล็ดกาแฟต่างกัน ($p > 0.05$) ทั้งในการสกัดด้วยแบบ Purge & Trap และการสกัดแบบ HS-SPME (รายละเอียดที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 4.4 สามารถดูข้อมูลประกอบได้ที่ ภาพที่ 13-15 ตารางที่ 10-12 และตารางที่ 17)



ภาพที่ 13 พื้นที่รวมของสารประกอบระเหยในกาแฟที่ผ่านการสกัดด้วยวิธี Purge & Trap ในกาแฟที่ผ่านการหมักที่ระยะเวลาต่างกัน



ภาพที่ 14 พื้นที่กลุ่มของสารประกอบระเหยในกาแฟที่ผ่านการสกัดด้วยวิธี HS-SPME ในกาแฟที่ผ่านการหมักที่ระยะเวลาต่างกัน



ภาพที่ 15 พื้นที่รวมของสารประกอบระเหยในกาแฟที่ผ่านการสกัดด้วยวิธี HS-SPME ในกาแฟที่ผ่านการหมักที่ระยะเวลาต่างกัน

ตารางที่ 10 พื้นที่ของสารประกอบระเหยในกาแฟดิบที่ระยะเวลาการหมักของเมล็ดกาแฟต่างกัน (สกัดแบบ Purge & Trap)

RT	สารประกอบ	พื้นที่ของสารประกอบ ¹ (Corrected Area)								
		0 ชม.	2 ชม.	4 ชม.	6 ชม.	10 ชม.	18 ชม.	24 ชม.	36 ชม.	48 ชม.
<i>Acids</i>										
5.74	Acetic acid	32.46 ^a	12.92 ^b	1.92 ^c	2.17 ^c	1.56 ^c	35.03 ^a	6.95 ^{bc}	2.84 ^c	1.65 ^c
<i>Aldehydes</i>										
3.11	Butanal,3-methyl-	3.28 ^b	43.70 ^{ab}	44.25 ^{ab}	43.42 ^{ab}	50.84 ^{ab}	72.37 ^a	37.81 ^{ab}	-	54.49 ^{ab}
4.24	Hexanal	40.36 ^a	58.91 ^a	21.39 ^b	50.43 ^a	54.81 ^a	54.63 ^a	58.30 ^a	47.28 ^a	67.88 ^a
8.35	2-Heptenal, (E)-	11.52 ^b	12.69 ^b	-	5.81 ^c	13.73 ^{ab}	8.02 ^b	16.83 ^a	4.54 ^c	15.16 ^a
9.73	Octanal	7.49 ^{ab}	7.58 ^{ab}	6.23 ^{ab}	5.99 ^{ab}	6.26 ^{ab}	10.97 ^a	7.90 ^{ab}	6.16 ^{ab}	7.73 ^{ab}
13.01	Nonanal	22.32 ^{abc}	17.83 ^{cd}	6.31 ^f	9.72 ^f	14.10 ^{de}	26.19 ^{ab}	21.58 ^{bc}	19.65 ^{bcd}	28.22 ^a
14.85	2-Nonenal, (E)-	4.83	2.08	2.42	2.55	3.14	2.32	2.63	1.90	3.65
16.19	Decanal	8.53 ^{ab}	5.76 ^{cd}	2.67 ^e	3.96 ^{de}	4.07 ^{de}	10.14 ^a	7.72 ^{abc}	7.39 ^{bc}	7.81 ^{abc}
19.20	Undecanal	1.64	2.68	-	-	2.49	3.06	1.43	-	1.25
	Subtotal	99.98	151.24	30.37	121.87	149.44	187.69	151.57	86.92	186.19

ตารางที่ 10 (ต่อ) พื้นที่ของสารประกอบระเหยในกาเพดิบที่ระยะเวลาการหมักของเมล็ดกาแฟต่างกัน (สกัดแบบ Purge & Trap)

RT	สารประกอบ	พื้นที่ของสารประกอบ ¹ (Corrected Area)								
		0 ชม.	2 ชม.	4 ชม.	6 ชม.	10 ชม.	18 ชม.	24 ชม.	36 ชม.	48 ชม.
<i>Furans</i>										
7.17	2-Furanmethanol	8.38	8.13	-	1.05	-	5.06	1.84	2.30	3.93
9.29	Furan, 2-pentyl-	19.68 ^{ab}	16.44 ^{bc}	5.33 ^c	15.11 ^{bc}	31.99 ^a	14.52 ^{bc}	14.71 ^{bc}	9.61 ^{bc}	19.85 ^{ab}
	Subtotal	28.06	24.58	5.33	16.17	31.99	19.58	16.55	11.90	23.78

หมายเหตุ^{a,b,c,d} ตัวอักษรแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ของข้อมูลที่เปรียบเทียบ ณ เวลาต่างกัน
¹พื้นที่ $\times 10^6$ ของเวลาที่ใช้หมักเมล็ดกาแฟดิบที่ 0, 2, 4, 6, 10, 18, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง
 จำนวนข้อมูลในตาราง n=6

ตารางที่ 11 พื้นที่ของสารประกอบระเหยในกาแฟคั่วที่ระยะเวลาการหมักของเมล็ดกาแฟต่างกัน (สกัดแบบ Purge & Trap)

RT	สารประกอบ	พื้นที่ของสารประกอบ ¹ (Corrected Area)								
		0 ชม.	2 ชม.	4 ชม.	6 ชม.	10 ชม.	18 ชม.	24 ชม.	36 ชม.	48 ชม.
<i>Acids</i>										
4.18	Acetic acid	-	6,525.24	5,334.51	3,279.07	6,152.40	6,274.96	3,455.19	-	-
<i>Furans</i>										
8.85	2-Furanmethanol	1,780.16	6,103.43	6,439.27	6,656.13	7,317.38	1,342.52	3,523.78	3,331.86	6,806.94
10.07	2-Furancarboxaldehyde, 5-methyl-	833.77	822.78	708.82	814.57	967.77	970.55	912.88	1,444.26	1,422.34
10.60	2-Furanmethanol, acetate	5,104.63 ^{ab}	6,548.44 ^a	6,320.90 ^{ab}	6,236.32 ^{ab}	6,329.63 ^{ab}	5,394.85 ^{ab}	4,603.93 ^a	5,283.92 ^{ab}	6,303.64 ^{ab}
12.96	Furan, 2,2'-methylenebis-	476.74	579.42	601.70	543.91	494.84	444.12	449.93	467.42	532.86
13.31	2-Furanmethanol, propanoate	111.31	104.97	114.03	130.73	119.46	104.99	63.13	121.58	111.78
13.50	Benzofuran, 2-methyl-	21.56	22.09	41.07	32.71	33.06	31.84	37.69	17.21	32.15
15.76	Furan, 2-(2-furanylmethyl)-5-methyl-	28.93	39.51	40.70	26.53	31.93	25.02	23.16	23.46	26.73
15.89	Furan, 2-[(methylthio)methyl]-	4.22	6.90	6.46	5.51	6.76	5.25	5.19	4.28	5.17
	Subtotal	8,361.32	14,227.54	14,272.95	14,446.40	15,300.83	8,319.13	9,619.69	10,694.00	15,241.63
<i>Phenol</i>										
16.00	Phenol, 2-(methylthio)-	6.95	5.71	7.26	6.93	8.46	7.96	6.69	9.08	6.74

ตารางที่ 11 (ต่อ) พื้นที่ของสารประกอบระเหยในกาแฟคั่วที่ระยะเวลาการหมักของเมล็ดกาแฟต่างกัน (สกัดแบบ Purge & Trap)

RT	สารประกอบ	พื้นที่ของสารประกอบ ¹ (Corrected Area)								
		0 ชม.	2 ชม.	4 ชม.	6 ชม.	10 ชม.	18 ชม.	24 ชม.	36 ชม.	48 ชม.
<i>Pyrazines</i>										
6.23	Pyrazine, methyl-		2,914.74	2,796.80	2,696.34	2,895.19	2,542.00	2,799.53	2,781.03	2,719.34
7.67	Pyrazine, 2,5-dimethyl-	5,347.66	5,412.65	5,139.51	5,832.11	7,110.30	5,500.59	6,007.94	4,380.36	5,163.49
8.26	Pyrazine, 2,3-dimethyl-		14,730.65 ^a	12,214.57 ^b	-	7,775.13 ^c	8,458.76 ^c	-	-	-
13.32	Pyrazine, 3-ethyl-2,5-dimethyl-	109.57	90.77	114.60	-	-	-	126.58	-	97.61
	Subtotal	8,160.73	23,148.32	20,265.47	8,528.45	17,780.62	16,501.36	8,934.06	7,161.39	7,980.44
<i>Pyridines</i>										
3.96	Pyridine	7,743.31	6,181.13	8,709.33	8,417.97	7,692.64	6,465.56	7,536.72	8,802.59	8,772.00
<i>Pyrroles</i>										
11.91	1H-Pyrrole, 1-butyl-	109.42	66.45	85.85	91.97	61.83	87.89	103.39	63.55	82.30
15.68	1H-Pyrrole, 1-(2-furanylmethyl)-	-	-	5.32	5.23	4.73	-	1.93	4.54	-
	Subtotal	109.42	66.45	91.17	97.20	66.56	87.89	105.32	68.09	82.30

ตารางที่ 11 (ต่อ) พื้นที่ของสารประกอบระเหยในกาแฟคั่วที่ระยะเวลาการหมักของเมล็ดกาแฟต่างกัน (สกัดแบบ Purge & Trap)

RT	สารประกอบ	พื้นที่ของสารประกอบ ¹ (Corrected Area)								
		0 ชม.	2 ชม.	4 ชม.	6 ชม.	10 ชม.	18 ชม.	24 ชม.	36 ชม.	48 ชม.
<i>Miscellaneous Compounds</i>										
4.06	2,4-Pentadienenitrile	4,931.22	3,789.14	3,386.17	3,858.51	3,855.22	4,241.60	3,540.95	3,753.94	4,192.62
4.17	N-Vinylpyridinium bromide	1,917.69	1,994.11	1,937.03	2,062.05	2,116.66	1,540.15	1,989.61	1,116.19	2,264.86
6.24	4-Pyridinamine	352.88	348.83	476.89	388.48	362.79	373.77	313.00	760.33	325.50
8.39	Pyrimidine, 4,6-dimethyl-	-	12,284.99 ^a	10,826.28 ^a	10,321.79 ^{ab}	10,908.32 ^a	1,044.22 ^c	751.68 ^c	-	5,405.62 ^{bc}
8.47	1,4-Benzenediamine	5,884.00	5,624.93	5,527.98	5,327.13	7,818.03	7,249.98	5,851.97	6,059.53	4,751.16
	Subtotal	13,085.78	24,042.00	22,154.35	21,957.95	25,061.03	14,449.72	12,447.21	11,289.99	16,939.76

หมายเหตุ^{a,b,c} ตัวอักษรแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ของข้อมูลที่เปรียบเทียบ ณ เวลาต่างกัน

¹พื้นที่ $\times 10^6$ ของเวลาที่ใช้หมักเมล็ดกาแฟดิบที่ 0, 2, 4, 6, 10, 18, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง

จำนวนข้อมูลในตาราง n=6

ตารางที่ 12 พื้นที่ของสารประกอบระเหยในกาแฟคั่วที่ระยะเวลาการหมักของเมล็ดกาแฟต่างกัน (วิธีการสกัดแบบ SPME)

RT	สารประกอบ	พื้นที่ของสารประกอบ ¹ (Corrected Area)								
		0 ชม.	2 ชม.	4 ชม.	6 ชม.	10 ชม.	18 ชม.	24 ชม.	36 ชม.	48 ชม.
<i>Furans</i>										
3.73	2-Furanmethanol	148.93	156.52	161.91	154.88	148.60	165.14	161.14	154.16	152.33
7.94	2-Furancarboxaldehyde, 5-methyl-	12.46	12.58	11.82	10.57	12.15	12.68	11.92	12.93	12.09
9.19	2-Furanmethanol, acetate	132.02	161.49	142.16	141.52	149.59	131.35	151.76	143.89	156.44
15.49	Furan, 2-(2-furanylmethyl)-5-methyl-	27.80	25.44	30.87	29.63	26.78	24.37	25.98	20.76	22.81
16.73	Butanoic acid, 3-methyl-, 2-furan	5.47 ^{ab}	7.17 ^a	6.62 ^{ab}	6.13 ^{ab}	7.01 ^a	5.52 ^{ab}	5.59 ^{ab}	5.24 ^b	4.89 ^b
19.04	Furan, 2,2'-[oxybis(methylene)]	18.06 ^{ab}	22.04 ^{ab}	18.80 ^{ab}	21.37 ^{ab}	22.88 ^a	19.94 ^{ab}	19.69 ^{ab}	18.21 ^{ab}	17.18 ^a
23.59	Furan, 2-[(methylthio)methyl]-	9.61	9.89	10.40	8.61	8.81	13.88	11.24	8.32	7.14
	Subtotal	354.34	395.13	382.59	372.71	375.82	372.88	387.32	363.51	372.88
<i>Phenols</i>										
18.35	Phenol, 4-ethyl-2-methoxy-	23.11 ^{ab}	23.20 ^{ab}	27.32 ^{ab}	27.82 ^{ab}	25.77 ^{ab}	25.25 ^{ab}	29.77 ^a	20.70 ^b	22.33 ^b
19.33	2-Methoxy-4-vinylphenol	21.37 ^{ab}	23.27 ^{ab}	31.94 ^a	24.64 ^{ab}	31.66 ^a	26.92 ^{ab}	23.78 ^{ab}	20.02 ^b	20.85 ^b
	Subtotal	44.48 ^{bc}	46.47 ^{abc}	59.25 ^a	52.46 ^{abc}	57.44 ^{ab}	52.17 ^{abc}	53.55 ^{abc}	40.72 ^c	43.18 ^c

ตารางที่ 12 (ต่อ) พื้นที่ของสารประกอบระเหยในกาแฟคั่วที่ระยะเวลาการหมักของเมล็ดกาแฟต่างกัน (วิธีการสกัดแบบ SPME)

RT	สารประกอบ	พื้นที่ของสารประกอบ ¹ (Corrected Area)								
		0 ชม.	2 ชม.	4 ชม.	6 ชม.	10 ชม.	18 ชม.	24 ชม.	36 ชม.	48 ชม.
<i>Pyrazines</i>										
5.93	Pyrazine, 2,5-dimethyl-	123.09	128.35	126.63	121.24	114.17	122.86	118.29	128.23	129.97
9.59	Pyrazine, 2-ethyl-3-methyl-	41.55	52.30	49.32	39.27	41.10	39.96	43.36	36.92	39.27
10.13	Pyrazinamide	14.24	12.61	15.82	11.89	16.78	11.54	11.40	14.25	13.16
12.33	Pyrazine, 3-ethyl-2,5-dimethyl-	30.31	27.70	31.10	35.15	32.22	30.97	32.24	29.50	28.77
	Subtotal	209.19	220.95	222.87	207.54	204.26	205.33	205.29	208.90	211.18
<i>Pyridines</i>										
1.64	Pyridine	316.35	320.16	351.84	348.44	326.85	310.29	301.54	305.92	341.09
2.93	4-Pyridinamine	101.97	101.39	103.80	108.04	97.46	101.53	104.58	90.84	116.28
8.24	Pyridine, 3-ethyl-	29.68	28.28	32.16	32.49	32.91	29.92	28.99	23.58	28.74
	Subtotal	448.01	449.83	487.80	488.97	457.22	441.75	435.11	420.33	486.11
<i>Pyrrole</i>										
13.33	1H-Pyrrole-2-acetonitrile, 1-methyl-	16.80 ^{ab}	18.61 ^{ab}	19.04 ^a	18.74 ^a	18.29 ^{ab}	15.93 ^{ab}	15.35 ^{ab}	14.78 ^b	15.84 ^{ab}

ตารางที่ 12 (ต่อ) พื้นที่ของสารประกอบระเหยในกาแฟคั่วที่ระยะเวลาการหมักของเมล็ดกาแฟต่างกัน (สกัดแบบ SPME)

RT	สารประกอบ	พื้นที่ของสารประกอบ ¹ (Corrected Area)								
		0 ชม.	2 ชม.	4 ชม.	6 ชม.	10 ชม.	18 ชม.	24 ชม.	36 ชม.	48 ชม.
<i>Miscellaneous Compounds</i>										
10.96	Spiro[2.4]heptan-4-one	10.02 ^a	7.13 ^{abc}	5.56 ^{bc}	6.07 ^{abc}	6.89 ^{abc}	7.01 ^{abc}	4.21 ^c	9.26 ^{ab}	8.88 ^{ab}
11.13	Cyclohexene, 1-methyl-4-(1-methyl)-	6.80	7.30	6.50	5.94	6.83	5.85	5.89	10.00	5.38
11.93	Ethanone, 1-(1H-pyrrol-2-yl)-	7.10 ^{ab}	6.45 ^b	8.04 ^{ab}	7.37 ^{ab}	8.78 ^a	7.91 ^{ab}	6.95 ^{ab}	5.96 ^b	6.69 ^{ab}
13.68	2-Cyclopenten-1-one, 3-ethyl-2-...	10.17	10.84	14.31	11.89	13.37	11.75	12.46	8.84	11.31
20.35	2(1H)-Quinolinone, 3-methyl-	18.72	20.46	26.26	19.61	28.32	24.24	19.11	23.57	17.50
20.83	Benzene, 4-ethenyl-1,2-dimethoxy-	10.01	10.41	13.95	9.94	11.87	10.29	15.35	12.33	12.26
25.66	Megastigmatrienone	10.10	9.08	8.87	8.80	11.80	12.25	10.26	8.94	8.83
31.88	Caffeine	67.79	61.30	51.30	64.04	78.52	76.55	81.46	88.92	83.86
33.41	Hexadecanoic acid, methyl ester	1.54 ^b	1.96 ^{ab}	2.48 ^{ab}	1.91 ^{ab}	2.81 ^a	2.72 ^{ab}	2.59 ^{ab}	2.76 ^{ab}	2.12 ^{ab}
	Subtotal	142.26	134.93	137.27	135.56	169.18	158.58	158.29	170.57	156.84

หมายเหตุ^{a,b,c,d} ตัวอักษรแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ของข้อมูลที่เปรียบเทียบ ณ เวลาต่างกัน

¹พื้นที่ $\times 10^6$ ของเวลาที่ใช้หมักเมล็ดกาแฟดิบที่ 0, 2, 4, 6, 10, 18, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง

จำนวนข้อมูลในตาราง n=6

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

1. จุลินทรีย์ที่พบในการหมักเมล็ดกาแฟ และมีผลทำให้น้ำหมักกาแฟมีค่าความเป็นกรด-ต่างลดลงคือ กลุ่มของแลคติกแอซิคแบคทีเรีย โดยการเจริญของเชื้อจะมีความสัมพันธ์กับค่าความเป็นต่างของน้ำหมักคือ เมื่อเชื้อเริ่มเจริญค่าความเป็นกรด-ต่างก็ลดลง เมื่อเชื้อมีการเจริญคงที่ ค่าความเป็นกรด-ต่างก็คงที่เช่นกัน และจะคงที่ที่ค่าความเป็นกรด-ต่าง 4.10 จนถึงสิ้นสุดการหมัก และสภาพความเป็นกรด-ต่างที่ลดลงของน้ำหมักส่งผลให้มีการเจริญของยีสต์ โดยยีสต์จะเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคส ได้เป็นแอลกอฮอล์ จากนั้นแบคทีเรียจะเปลี่ยนแอลกอฮอล์เป็น กรดอะซิติก (acetic acid) และกรดบิวทริก (butyric acid) การเกิดกรดพวกนี้จะทำให้เกิดกลิ่นฉุนเป็นเหตุให้คุณภาพของกาแฟต่ำลง และจากผลการทดลองพบว่าที่เวลา 24 ชั่วโมงจะเริ่มมีการเจริญของยีสต์ ดังนั้นจึงควรหยุดการหมักเมล็ดกาแฟไว้ที่ 24 ชั่วโมง จากนั้นขยี้ และล้างเมือกออกให้หมด

เนื่องจากที่เวลาการหมัก 24 ชั่วโมง เมือกจะเริ่มหลุดออกจากเมล็ด

2. จากการวิเคราะห์ปริมาณกรดอินทรีย์ในเมล็ดกาแฟซึ่งผ่านการหมักที่เวลา 0-48 ชั่วโมง โดยใช้เครื่อง HPLC พบว่าไม่มีความแตกต่างที่ระยะเวลาการหมักเมล็ดกาแฟต่างกัน ทั้งในกาแฟดิบ และในกาแฟคั่ว ($p > 0.05$) โดยในกาแฟดิบพบกรดซิตริก (citric acid) กรดออกซาลิก (oxalic acid) และกรดทาร์ทาริก (tartaric acid) ส่วนกาแฟคั่วพบกรดอะซิติก (acetic acid) กรดซิตริก กรดออกซาลิก กรดไพรูวิก (pyruvic acid) และกรดทาร์ทาริก ในกาแฟคั่วพบชนิดของกรดอินทรีย์มากกว่าในกาแฟดิบ และมีปริมาณมากกว่าเมื่อเปรียบในกรดชนิดเดียว ยกเว้นกรดออกซาลิกที่มีปริมาณใกล้เคียงกันในกาแฟดิบ และกาแฟคั่ว ส่วนกรดที่มีปริมาณมากที่สุดในกาแฟคั่ว คือ กรดอะซิติก และกรดซิตริก มีประมาณ 22-23 และ 25-28 มิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่าง ตามลำดับ (ตารางที่ 15 และ 16)

3. การวิเคราะห์สารประกอบระเหยด้วยเครื่อง GC-MS โดยวิธีการสกัดตัวอย่างแบบ Purge & Trap ถึงแม้ว่าจะให้ผลการทำซ้ำดีน้อยกว่าการสกัดแบบ HS-SPME แต่เมื่อพิจารณาผลรวมของพื้นที่สารประกอบทั้งหมดแล้วก็ให้ผลการทดลองเป็นไปในทางเดียวกันคือ ไม่มีความแตกต่างทางปริมาณของสารประกอบที่พบทั้งในตัวอย่างกาแฟดิบ และในกาแฟคั่ว ที่ระยะเวลาการหมักเมล็ดกาแฟต่างกัน (0-48) ชั่วโมง (ตารางที่ 17)

4. สารประกอบระเหยที่พบในกาแฟดิบส่วนใหญ่จะอยู่ในกลุ่มของ แอลดีไฮด์ แต่เมื่อกาแฟผ่านการคั่วสารประกอบแอลดีไฮด์จะหายไป และปรากฏสารในกลุ่มที่มีความสำคัญ และให้กลิ่นรสที่ดีในกาแฟคือ ฟูแรน ไพราซีน ไพรีดีน ไพโรล และฟีนอล ขึ้นมาแทน (ตารางที่ 10-12)

5. จากข้อมูลผลการทดลองทางด้านกรดอินทรีย์ ค่ากรดทั้งหมด และสารประกอบระเหย พบว่าการผลิตเมล็ดกาแฟโดยกระบวนการแปรรูปแบบเปียกที่ระยะเวลาการหมักต่างกันไม่ส่งผลให้เกิดความแตกต่างกันของกรดอินทรีย์ ค่ากรดทั้งหมด และสารประกอบระเหยในกาแฟอาราบิก้า ที่ผ่านการคั่วแบบกลาง

ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองได้แสดงให้เห็นว่าระยะเวลาการหมักเมล็ดกาแฟที่ต่างกันไม่มีผลทำให้ปริมาณของกรดอินทรีย์ และสารประกอบระเหยแตกต่างกัน อาจเนื่องมาจากสารที่เกิดขึ้นในการหมักไม่สามารถซึมผ่านส่วนของเปลือกแข็ง (parchment) เข้าไปในเมล็ดกาแฟได้ ดังนั้นสิ่งที่จะตอบคำถามว่ากาแฟที่ผ่านการหมักโดยการแปรรูปแบบเปียกที่ใช้เวลาการหมักต่างกันั้นจะให้กลิ่นรสของกาแฟที่ดีหรือไม่นั้นควรทำการทดลองต่อไปเพื่อยืนยันผลการที่ได้ทำในงานวิจัยครั้งนี้ โดยการให้เครื่อง Gas Chromatography Olfactory (GCO) ก็เป็นอีกแนวทางหนึ่งแต่วิธีนี้ผู้ทำการทดลองต้องได้รับการฝึกฝนเกี่ยวกับการจำแนกกลิ่น และมีความเชี่ยวชาญในกลิ่นของกาแฟเป็นอย่างดี และอีกวิธีหนึ่งซึ่งเป็นที่นิยมในการทดสอบกลิ่นรสของกาแฟว่ามีคุณภาพในเรื่องของกลิ่นดีหรือไม่ก็คือ การทดสอบการชิม หรือที่เรียกว่า cup test เนื่องจากความสามารถในด้านการดมกลิ่น และการรับรสของมนุษย์จะมีประสิทธิภาพดีกว่าเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ และไม่ว่าจะเป็นการทดสอบด้วยเครื่องมือชนิดใดก็ตาม สุดท้ายบุคคลที่จะตัดสินใจว่ากาแฟมีกลิ่นรสที่ดีหรือไม่นั้นก็คือผู้บริโภค

บรรณานุกรม

- กองการค้าสินค้าข้อตกลง กรมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์
จิรัชสวัสดิ์ ภูวิกรมย์. 2546. “ปัจจัยการผลิตที่มีผลต่อสารให้กลิ่นรสของกาแฟผสมแบบไทย.”
วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ .
- พงษ์ศักดิ์ อังกลสิทธิ์ และบัณฑิต วาฤทธิ. 2542. การปลูก และผลิตกาแฟอาราบิก้าบนที่สูง
เกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- สมเจตน์ ชิมเจริญ. 2546. “ผลการวิเคราะห์ดินจากแปลงปลูกกาแฟโรบัสต้าในประเทศไทย”.
วารสารกาแฟเนสท์เล่, ฉบับที่ 2, หน้า 2-7.
- สมศักดิ์ วรรณศิริ. 2545. การปลูกกาแฟ. สำนักพิมพ์ฐานเกษตรกรรม. นนทบุรี. 69 หน้า.
- สมหมาย ตรีชัยพร. 2528. “การคั่วกาแฟในฟลูอิดไคซ์เบด”. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Alcazar, A., Caceeres, F.P.L., Martin, M.J., Pablos, F. and Gonzalez, A.G. 2003. Ion
chromatographic determination of some organic acids, chloride and phosphate in
coffee and tea. Talanta 61: 95-101.
- AOAC Assoc. Official Analytical Chemists. 2000. The official methods of analysis.
Arlington. Va.: AOAC.
- Arctander, S. 1967. Perfume and Flavor Chemicals. Stephender.
- Blank, I., Sen, A., and Grosch, W. 1991. 14th ASIC Colloq. San Francisco. 117-129 p.
- Beiltz, H.D. and Grosch, W. 1999. Food Chemistry 2nd ed. Springer-Verlag. Berlin.
- Clarke, R.J. and Macrae, R., editors. 1985. Coffee, Vol: 1: Chemistry. 1st ed. London:
Elsevier. 306 p.
- Clarke, R.J. 1986. The Flavour of Coffee. Department of Food Science. University of
Reading, UK. 1-47 p.
- Clarke, R.J. and Macrae, R. 1987. Coffee Technology. Vol: 2. Department of Food
Science. University of Reading, UK. 321 p.
- Coffee Research Institute. 2001. <http://www.coffeeresearch.org/science/aromaman.htm>

- Gomis, B.D. 1987. Separation of organic acids. *Journal of Chromatographia* . Vol. 24.
- Feldman, J. R., Ryder, W. S. and Kung, J.T. 1969. Importance of nonvolatile compounds in the flavor of coffee. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 17: 733-739.
- Flament, V. 2002. *Coffee Flavor Chemistry*. England: John Wiley & Sons, Ltd. 396 p.
- Flath, R.A., Sugisawa, H. and Teranishi, R. 1981. In *Flavor Research: Recent Advances*, ed. Teranishi, R., Flath, R.A., and Sugisawa, H. New York: Marcel Dekker.
- Freitas, C.A.M. and Mosca, A.I. 1999. Coffee geographic origin-an aid to coffee differentiation. *Journal of Food Research International*. 32: 565-573.
- Fujimaki, M., Kato, H. and Kurata, T. 1969. Pyrolysis of sulfur containing amino acids. *Agric. Biol. Chem.* 33: 1144-1151.
- Grosch, W. 1995. 16th ASIC Colloq. Kyoto. 147-156 p.
- Hofmann, T. and Schieberle, P. 2002. Chemical Interactions Between Odor-Active Thiols and Melanoidins Involved in Aroma Staling of Coffee Beverages. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 50: 319-326.
- Janssen, M.M.T. 1997. Pyrolysis product occurring in food, pp. 90-92. In J. de Vrijs, ed. *Food Safety and Toxicity*. CRC press, Boca Raton, New York.
- Kumazawa, K. and Masupa, H. 2003. Investigation of the Change in the Flavor of a Coffee Drink During Heat Processing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51: 2674-2678.
- Ky, L.C., Louarn, J., Dussert, S., Guyot, B., Hamon, S. and Noiro, M. 2001. Caffeine, trigonelline, chlorogenic acids and sucrose diversity in wild *Coffea Arabica* L. and *C. canephora* P. accessions. *Journal of Food Chemistry*. 75: 223-230.
- Maarse, H. 1991. "Coffee, Cocoa and Tea", *Volatile Compounds in Foods and Beverages*, 1st ed. New York: Marcel Dekker, Inc. 764 p.
- Maier, H.G. 1987. *Proc 12th ASIC Colloq.* 229-237.
- Maria, C.A.B. De., Trugo, L.C., Neto, F.R., Aquino, Moreira, R.F.A. and Alviano, C.S. 1996. Composition of Green Coffee Water-Soluble Fraction and Identification of Volatiles Formed During Roasting. *Journal of Food Chemistry* 55(3): 203-207.

- Martorell, N., Marti, M.P., Mestres, M., Busto, O. and Guasch, J. 2002. Determination of 4-ethylgiaoacol in red wines using headspace solid phase microextraction gas chromatography. *Journal of Chromatography A*. 975: 349-354.
- McCamey, D.A., Thorpe, T.M. and McCarthy, J. P. 1990. Coffee Bitterness. In "Developments in Food Science." Vol 25. 169-182.
- Mottram, D.S. 2001. Food Flavour. School of Food Biosciences. The University of Reading, UK.
- Oosterveld, A., Harmsen, J.S., Voragen, A.G.J. and Scols, H.A. 2003. Extraction and Characterization of Polysaccharides from Green and Roasted Coffea Arabica Beans. *Journal of Carbohydrate Polymers* 52: 285-296.
- Oosterveld, A., Voragen, A.G.J. and Scols, H.A. 2003. Effect of Roasting on Carbohydrate Composition of Coffea Arabica Beans. *Journal of Carbohydrate Polymers* 54: 183-192.
- Pandey, A., Soccol, G.R., Nigam, P. and Brand, D. 2000. Biotechnology Potential of Coffee Pulp and Coffee Husk for Bioprocesses. *Journal of Biochemical Engineering* 6: 153-162.
- Redgwell, J.R., Trovato, V., Curti, D. and Fischer, M. 2002. Effect of Roasting on Degradation and Structural Features of Polysaccharides in Arabica Coffee Beans. *Journal of Carbohydrate Research* 337: 421-431.
- Rizzi, G. P. 1974. Formation of N-alkyl-2-acylpyrroles and aliphatic aldimines in model nonenzymatic browning reaction . *Journal of Agricultural and Food Chemistry* . 22: 279-282.
- Ramos, E., Valero, E., Ibanez, E., Regler, G. and Tabera, J. 1998. Obtention of a brewed coffee aroma extract by an optimized supercritical CO₂-based process. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 46: 4011-4016.
- Scarpellino, R. and Soukup, R.J. 1993. Key flavor from heat reactions of food ingredients, pp 310-335. In Acree, T.E. and Teranishi, R. eds. *Flavor Science*. American Chemical Society: Washington, DC.

- Schenker, S., Heinemann, C., Huber, M., Pompizzi, R., Perren, R. and Escher, F. 2002. Impact of Roasting Conditions on the Formation of Aroma Compounds in Coffee Beans. *Journal of Food Science* 67: 60-66.
- Sivetz, M. and Foote, H.E. 1963. *Coffee Processing Technology. Vol 1: Fruit-Green, Roast and soluble Coffee.* London. 598 p.
- Sivetz, M. 1963. *Coffee Processing Technology. Vol: 2: Aromatization, Properties, Brewing, Decaffeination and Plant Design.* London. 598 p.
- Van Der Stegen, G.H.D. and Van, D.J. 1988. Analysis of normal organic acids in coffee. 12th INT. Colloq. Chem. Coffee (Montreux.29.6-3.7.1987) (ASIC, 1988), 238-246.
- Varnam, H.A. and Sutherland, P.J. 1994. *Beverage Technology Chemistry and Microbiology.* New York: Chapman&Hall. 191-254 p.
- Vitzthum, O.G. and Werkhoff, P. 1975. Cycloalkapyrazines in Coffee Aroma. *Journal of Agriculture and Food Chemistry.* Vol: 23, No.3, 510-516.
- Wohrmann, R., Hojabr-Kalali, B. and Maier, H.G. 1997. Volatile minor acids in coffee. I. Contents of green and roasted coffee. *Dtsch. Lebensm. Rundsch.* 93: 191-194.

ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ภาคผนวก ก.
วิธีการวิเคราะห์

1. การหาความชื้นในเมล็ดกาแฟ (AOAC Official Method 968.11, 2000)

ซึ่งตัวอย่างกาแฟทั้งเมล็ดประมาณ 5 กรัม ให้ได้น้ำหนักแน่นอนในภาชนะอะลูมิเนียมมีฝาปิดที่ผ่านการอบจนน้ำหนักคงที่ นำไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 98 ± 100 องศาเซลเซียส ประมาณ 5.5 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ (Desiccator) แล้วชั่งน้ำหนัก ทดลองอบซ้ำอีก 1 ชั่วโมง หรือจนได้น้ำหนักคงที่

คำนวณปริมาณความชื้นจากน้ำหนักเปียก (wet basis)

$$\text{ร้อยละความชื้น} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}}$$

คำนวณปริมาณความชื้นโดยน้ำหนักแห้ง (dry basis)

$$\text{ร้อยละความชื้น} = \frac{\text{ร้อยละความชื้นโดยน้ำหนักเปียก} \times 100}{100 - \text{ร้อยละความชื้นโดยน้ำหนักเปียก}}$$

2. การค่าวัดสี

นำตัวอย่างกาแฟคั่ววิเคราะห์ค่าความสว่าง (L^*) ด้วยเครื่องวัดสี (Colorimeter Color-view™ Spectrophotometer Model: 9000) โดยใช้แหล่งกำเนิดแสง (Illuminant) D65 มุมตกกระทบของแสง 10 องศา

ภาคผนวก ข.

ข้อมูลผลการทดลอง

ตารางที่ 13 ค่าความเป็นกรด-ด่างในน้ำหมักกาแฟที่เวลา 0-48 ชั่วโมง

เวลา ¹ (ชม.)	pH
0	7.07 ± 0.16
2	5.98 ± 0.06
4	5.19 ± 0.04
6	4.76 ± 0.04
10	4.43 ± 0.05
18	4.08 ± 0.06
24	4.14 ± 0.07
36	4.08 ± 0.06
48	4.10 ± 0.07

หมายเหตุ

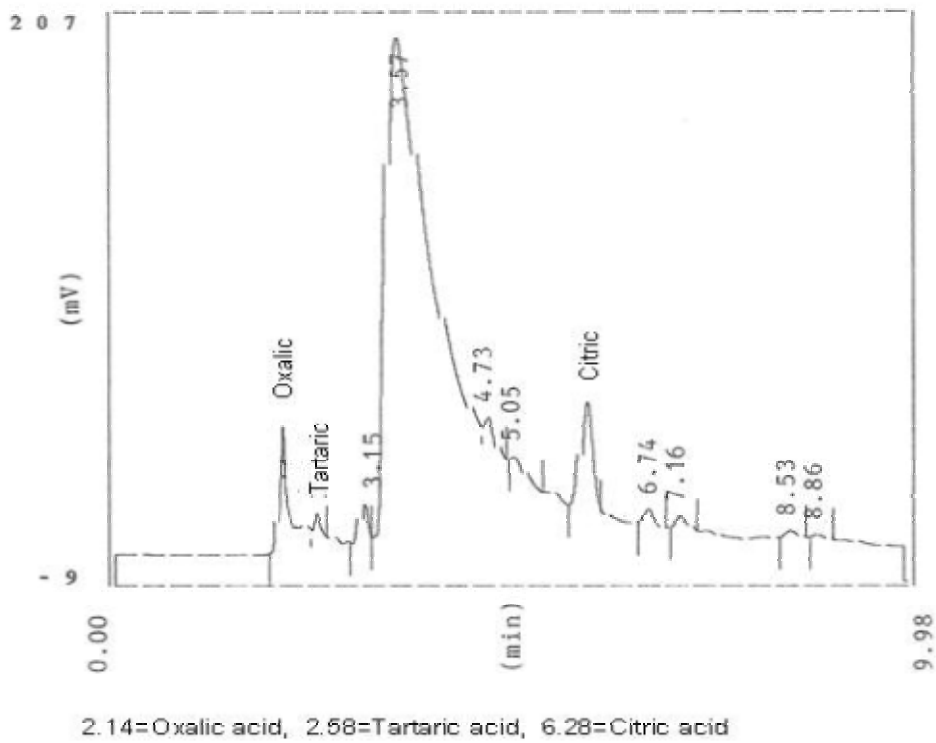
¹เวลาที่ใช้ในการหมักเมล็ดกาแฟดิบ, จำนวนข้อมูลในตาราง n=6

ตารางที่ 14 ค่าความชื้น และค่าความสว่างในกาแฟคั่วแบบกลาง

เวลา ¹ (ชม.)	ความชื้น (dry basis)	ค่าความสว่าง (L*)
0	1.21 ± 0.03	20.95 ± 0.48
2	1.28 ± 0.07	19.82 ± 0.55
4	1.28 ± 0.08	19.41 ± 0.61
6	1.41 ± 0.07	19.36 ± 0.37
10	1.36 ± 0.06	21.00 ± 0.90
18	1.21 ± 0.05	21.84 ± 0.52
24	1.26 ± 0.08	21.58 ± 0.43
36	1.24 ± 0.04	21.78 ± 0.55
48	1.22 ± 0.21	21.98 ± 0.81

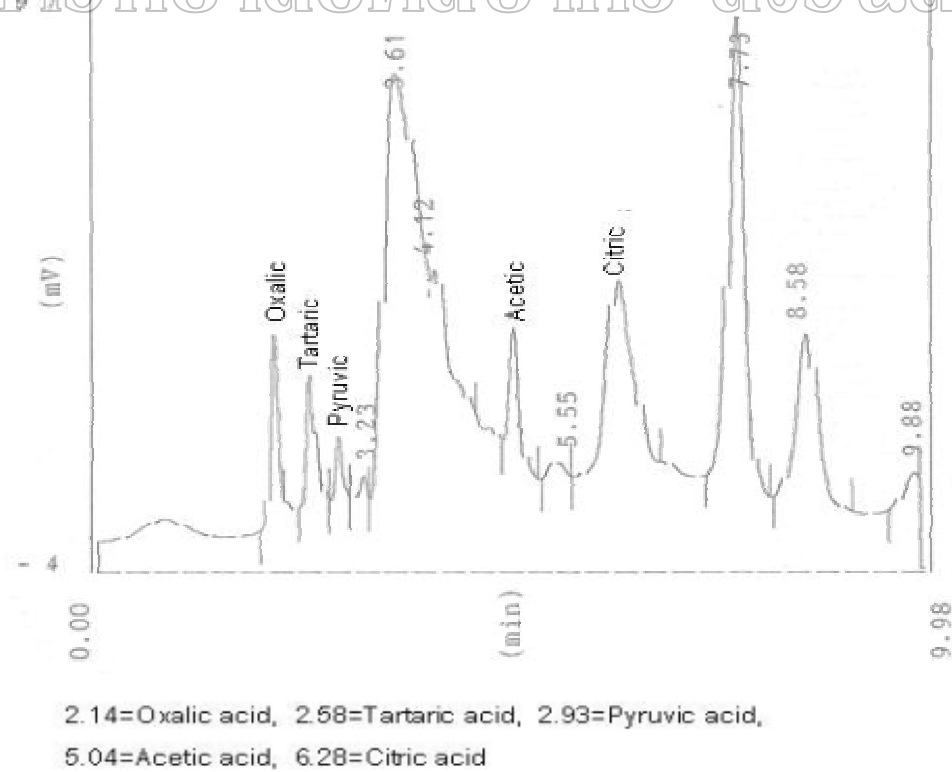
หมายเหตุ

¹เวลาที่ใช้ในการหมักเมล็ดกาแฟดิบ, จำนวนข้อมูลในตาราง n=9



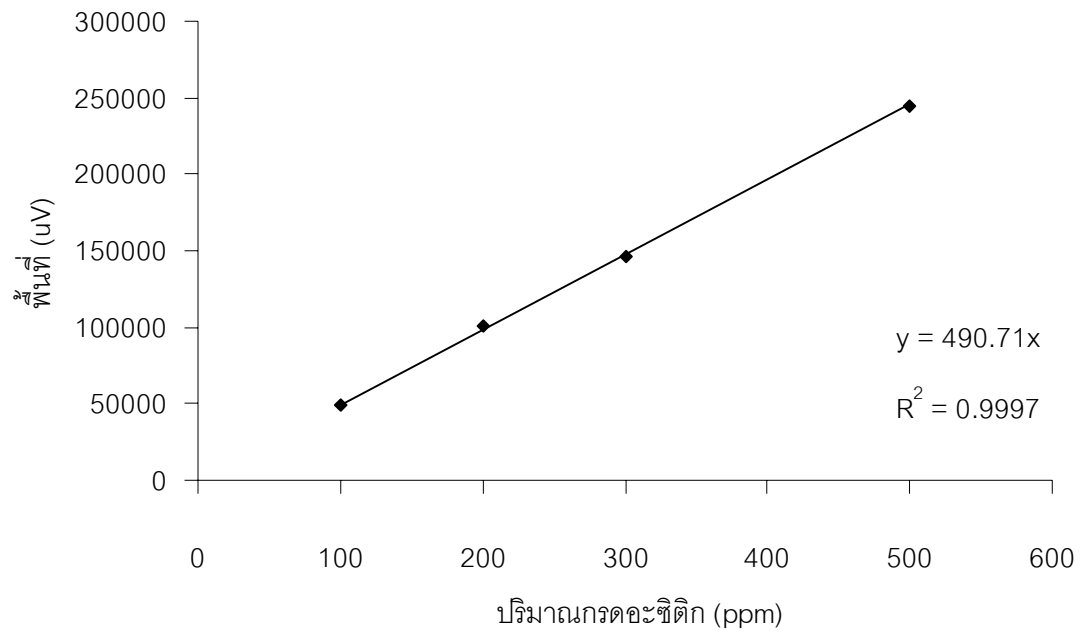
ภาพที่ 16 โครมาโตแกรมของกรดอินทรีย์ในกาแฟดิบจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



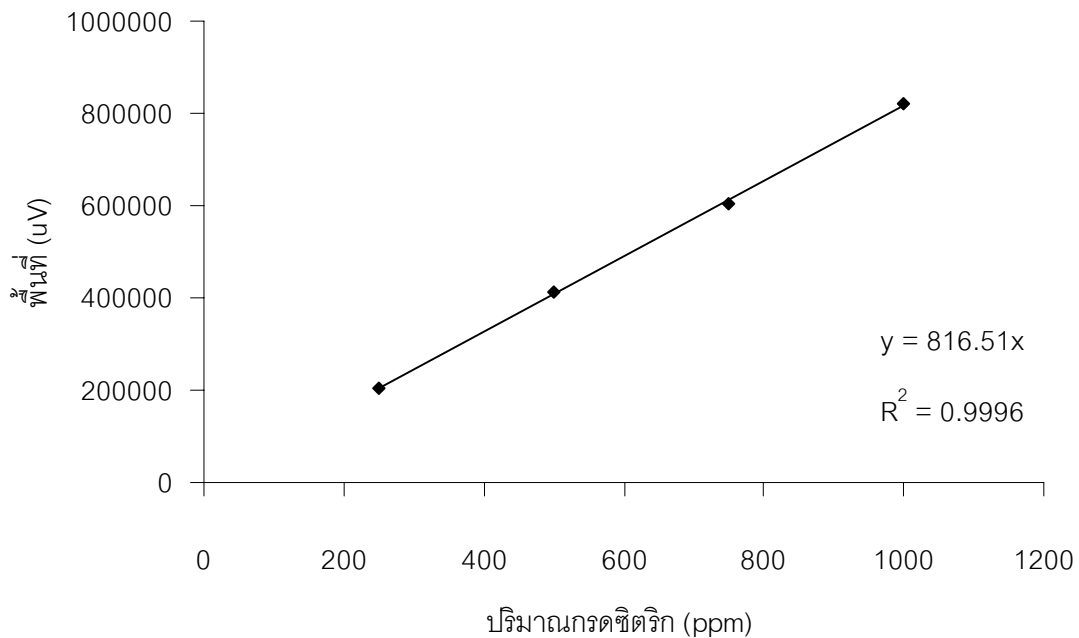
ภาพที่ 17 โครมาโตแกรมของกรดอินทรีย์ในกาแฟคั่วจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC

กราฟกรดอินทรีย์มาตรฐาน

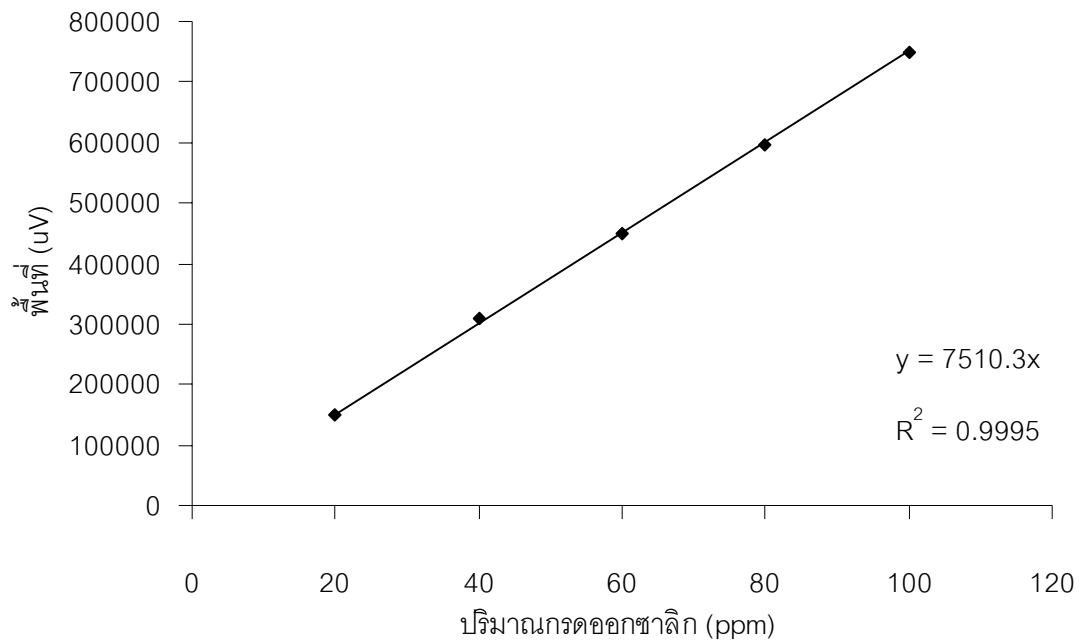


ภาพที่ 18 กราฟมาตรฐานของกรดอะซีติก

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

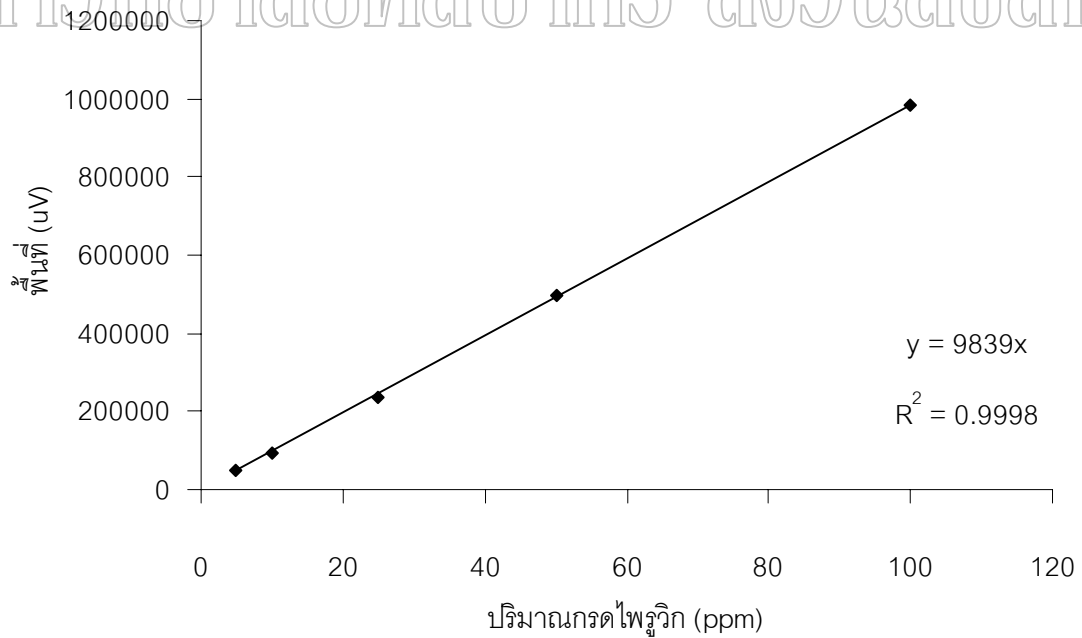


ภาพที่ 19 กราฟมาตรฐานของกรดซิตริก

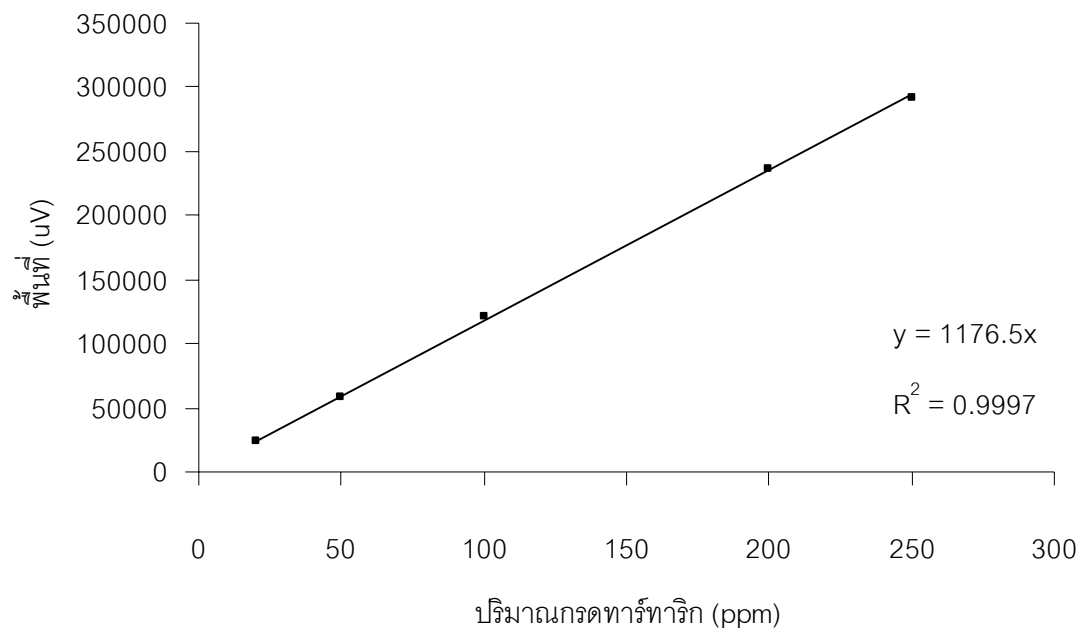


ภาพที่ 20 กราฟมาตรฐานของกรดออกซาลิก

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



ภาพที่ 21 กราฟมาตรฐานของกรดไพรูวิก



ภาพที่ 22 กราฟมาตรฐานของกรดทาร์ทาริก

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ 15 ปริมาณกรดอินทรีย์ในกาแฟดิบที่ระยะเวลาการหมักเมล็ดกาแฟต่างกัน (โดยน้ำหนักแห้ง)

ชนิดกรด	ปริมาณกรด ¹ (มิลลิกรัม / กรัมตัวอย่าง)									%Recovery
	0 ชม.	2 ชม.	4 ชม.	6 ชม.	10 ชม.	18 ชม.	24 ชม.	36 ชม.	48 ชม.	
Citric acid	13.77 ± 2.67 ^{ab}	13.49 ± 0.85 ^{ab}	13.07 ± 1.55 ^{ab}	13.76 ± 0.87 ^{ab}	12.59 ± 0.84 ^b	13.20 ± 1.86 ^{ab}	14.53 ± 0.37 ^{ab}	12.94 ± 2.70 ^{ab}	14.90 ± 1.39 ^a	96.41 ± 4.41
Oxalic acid	1.15 ± 0.26 ^c	1.22 ± 0.16 ^{abc}	1.22 ± 0.10 ^{abc}	1.22 ± 0.12 ^{abc}	1.17 ± 0.20 ^{bc}	1.43 ± 0.08 ^a	1.40 ± 0.13 ^{ab}	1.36 ± 0.22 ^{abc}	1.39 ± 0.26 ^{ab}	95.33 ± 1.22
Tartaric acid	1.80 ± 0.28 ^b	1.70 ± 0.59 ^b	1.74 ± 0.19 ^b	1.83 ± 0.54 ^b	1.84 ± 0.47 ^b	1.77 ± 0.31 ^b	2.13 ± 0.18 ^{ab}	2.43 ± 0.52 ^a	2.57 ± 0.49 ^a	97.89 ± 0.06
Total	16.72 ± 2.21	16.41 ± 0.74	16.03 ± 1.14	16.81 ± 0.78	15.60 ± 0.77	16.40 ± 1.35	18.06 ± 0.36	16.73 ± 2.10	18.86 ± 0.99	

หมายเหตุ^{a-c} ตัวอักษรแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ของข้อมูลที่เปรียบเทียบ ณ เวลาต่างกัน

¹ปริมาณกรดในกาแฟ ณ เวลาที่ใช้หมักเมล็ดกาแฟดิบต่างกันที่ 0, 2, 4, 6, 10, 18, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง

ค่าข้อมูลในตาราง คือค่าเฉลี่ย ± SD (n=6)

ตารางที่ 16 ปริมาณกรดอินทรีย์ในกาแฟคั่วที่ระยะเวลาการหมักเมล็ดกาแฟต่างกัน (โดยน้ำหนักแห้ง)

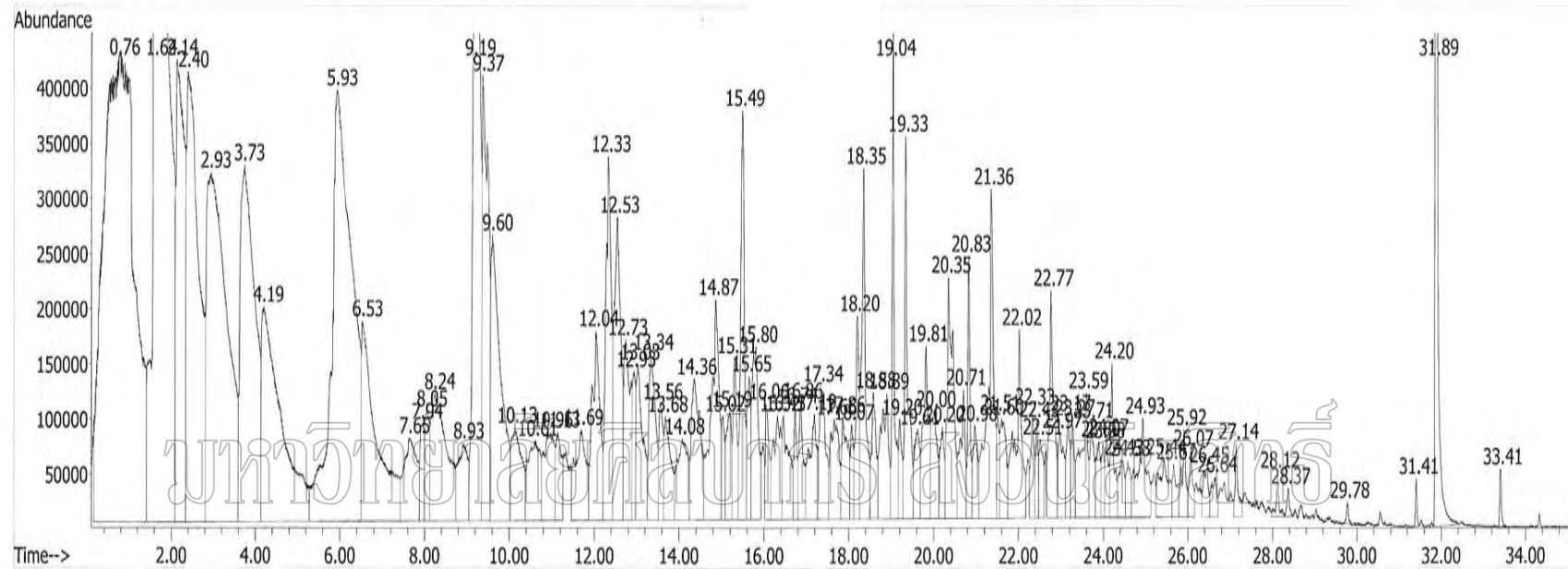
ชนิดกรด	ปริมาณกรด ¹ (มิลลิกรัม / กรัมตัวอย่าง)									%Recovery
	0 ชม.	2 ชม.	4 ชม.	6 ชม.	10 ชม.	18 ชม.	24 ชม.	36 ชม.	48 ชม.	
Acetic acid	22.94 ± 1.61	22.30 ± 0.62	22.44 ± 4.43	22.28 ± 6.27	22.43 ± 4.90	22.51 ± 3.40	23.53 ± 2.67	23.50 ± 1.67	22.39 ± 1.12	77.15 ± 4.96
Citric acid	26.17 ± 5.27	25.42 ± 2.25	24.85 ± 2.77	24.85 ± 3.18	24.93 ± 2.55	28.02 ± 3.91	28.22 ± 4.84	27.15 ± 4.20	24.87 ± 1.25	103.00 ± 2.02
Oxalic acid	0.73 ± 0.08	0.72 ± 0.07	0.73 ± 0.19	0.76 ± 0.18	0.82 ± 0.11	0.85 ± 0.08	0.75 ± 0.11	0.75 ± 0.06	0.80 ± 0.16	103.15 ± 5.49
Pyruvic acid	0.25 ± 0.05	0.23 ± 0.01	0.23 ± 0.09	0.25 ± 0.10	0.24 ± 0.06	0.25 ± 0.04	0.25 ± 0.01	0.21 ± 0.01	0.21 ± 0.01	92.46 ± 0.75
Tartaric acid	4.86 ± 0.86	4.63 ± 0.45	4.85 ± 0.95	4.74 ± 0.81	5.24 ± 1.18	5.46 ± 0.46	5.18 ± 0.49	5.00 ± 0.31	4.83 ± 0.45	96.43 ± 0.04
Total	54.95 ± 5.82	53.30 ± 1.79	53.10 ± 6.12	52.88 ± 7.07	53.66 ± 7.16	57.09 ± 4.79	57.93 ± 5.18	56.61 ± 4.49	53.10 ± 1.31	

หมายเหตุ ¹ปริมาณกรดในกาแฟ ณ เวลาที่ใช้หมักเมล็ดกาแฟดิบต่างกันว่า 0, 2, 4, 6, 10, 18, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง
 ค่าข้อมูลในตาราง คือค่าเฉลี่ย ± SD (n =6)

ตารางที่ 17 แสดงค่าพื้นที่รวมของสารประกอบระเหยทั้งหมดในกาแฟดิบ และกาแฟคั่ว

เวลา ¹ (ชม.)	พื้นที่ (Corrected area)		
	กาแฟดิบ	กาแฟคั่ว	
	Purge & Trap	Purge & Trap	HS-SPME
0	180,558,704	41,332,244,278	2,061,520,729
2	168,257,580	52,365,771,229	2,090,106,411
4	197,032,827	50,763,873,821	2,365,061,905
6	153,631,832	52,207,588,175	2,315,554,418
10	249,917,969	44,223,817,966	2,344,715,279
18	236,300,147	41,798,641,586	2,314,020,082
24	245,811,115	45,350,775,677	2,073,508,700
36	223,586,587	43,653,382,134	2,053,844,700
48	239,360,104	47,065,514,174	2,141,091,886

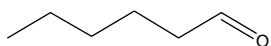
มหาวิทยาลัยศรีปทุม สงวนลิขสิทธิ์
 หมายเหตุ เวลาที่ใช้ในการหมักเมล็ดกาแฟดิบ
 จำนวนข้อมูลในตาราง n=6



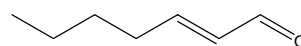
ภาพที่ 23 โครมาโตแกรมของสารประกอบระเหยในกาแฟคั่วจากที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-MS โดยใช้การสกัดแบบ HS-SPME

ภาคผนวก ค.

สูตรโครงสร้างสารประกอบระเหยที่พบในกาแฟ



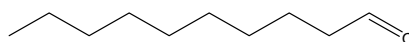
Hexanal



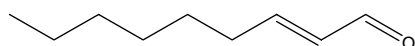
2-Heptenal, E



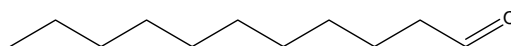
Nonanal



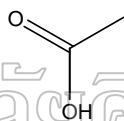
Decanal



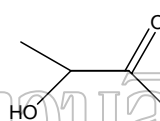
2-Nonenal, E



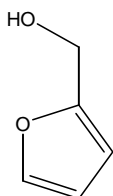
Undecanal



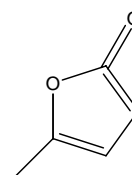
Acetic acid



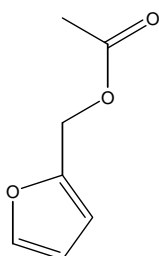
2-Butanone, 3-hydroxy



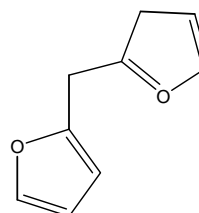
2-Furanmethanol



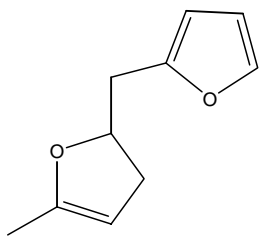
2-Furancarboxylaldehyde, 5-methyl



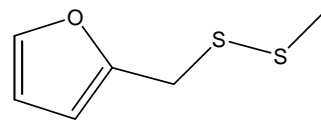
2-Furanmethanol, acetate



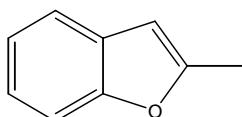
Furan, 2,2'-methylenebis



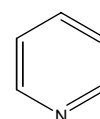
Furan, 2- (2-furanylmethyl) -5-methyl



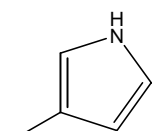
Furan, 2- (methylthio)methyl



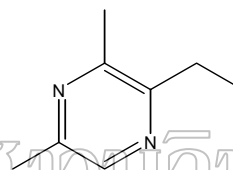
Benzofuran, 2 -methyl



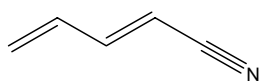
Pyridine



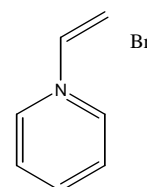
1H-Pyrrole, 3-ethyl



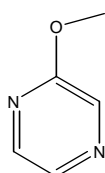
Pyrazine, 2-ethyl, 3, 5 -dimethyl



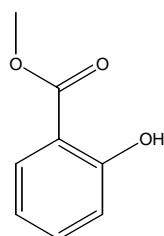
2, 4- Pentadienenitrile



N-vinylpyridinium bromide



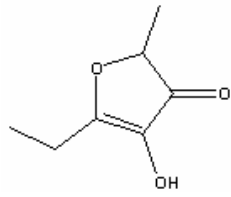
Methoxypyrazine



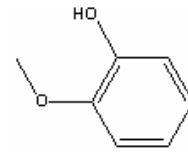
Methyl salicylate



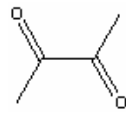
Tetradecane



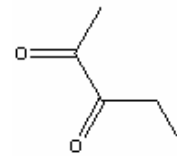
5-Ethyl-4-hydroxy-2-methyl-3[2H] furanone



2-Methoxyphenol



Diacetyl

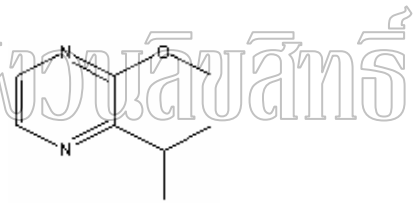


2,3-pentanedione

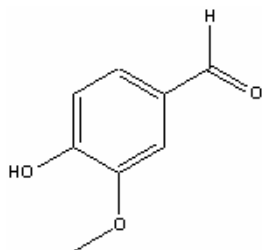
มหาวิทยาลัยศิลปากร สาขาวิชาเคมี



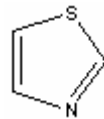
3-(Methylthio)-propionaldehyde



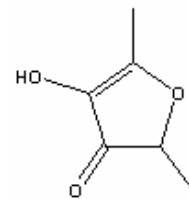
2-Isopropyl-3-methoxypyrazine



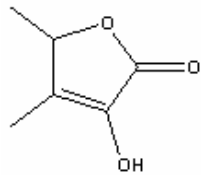
Vanillin



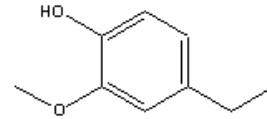
Thiazole



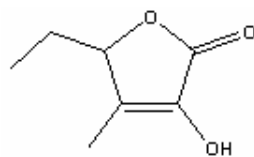
Furaneol



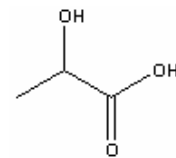
3-hydroxy-4,5-dimethyl-2(5H)-furanone



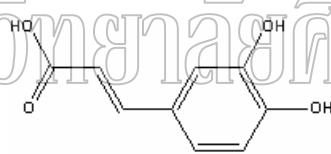
1-Hydroxy-2-methoxy-4-ethyl benzene



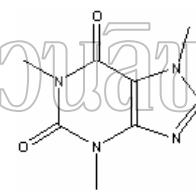
5-Ethyl-3-hydroxy-4-methyl-2(5H)-furanone



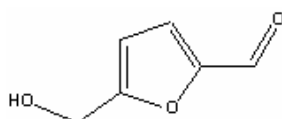
Lactic acid



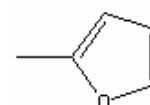
Caffeic acid



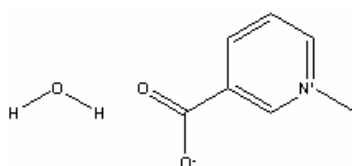
Caffeine



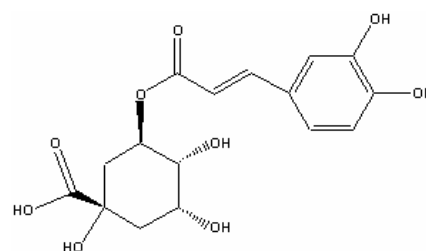
5-Hydroxymethylfurfural



Methyl furan



Trigonelline



Chlorogenic acid



เปรียบเทียบสารประกอบระเหยในกาแฟอาราบิก้าระหว่างกระบวนการผลิตแบบเปียกและแบบแห้ง

นนทวัชร ชิตวิสัย ศุภชัย ลีจิวำเนียร* และ อรุณศรี ลีจิวำเนียร

ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร

*กลุ่มวิจัยโรคพืช สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร

โทรศัพท์และโทรสาร : (034) 219361, E-mail: arunsi@su.ac.th, nontawat_tew@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาเกี่ยวกับสารประกอบระเหยในกาแฟอาราบิก้าที่ปลูกในประเทศไทย โดยเปรียบเทียบสารประกอบระเหยระหว่างกระบวนการผลิตแบบเปียก และแบบแห้ง กาแฟที่ผ่านการแปรรูปแบบเปียกจะมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยการทำงานของจุลินทรีย์ ซึ่งจุลินทรีย์ที่พบมากที่สุดในกลุ่มของ แลคติกแอซิด แบคทีเรีย รอมมาค็อก บาซิลลัส ซีสดี และรา ค่าความเป็นกรด-ด่างจะลดลงในช่วง 10 ชั่วโมงแรกของการหมักจาก 7.1 เหลือประมาณ 4.1 และคงที่จนถึงเวลา 48 ชั่วโมง เมล็ดกาแฟดิบ (Green bean) จะพบสารในกลุ่มของ Aldehydes เป็นหลัก รองลงมาคือ Acids เมื่อผ่านการคั่วระดับกลาง (Medium roasted) พบว่าสารระเหยในกลุ่ม Aldehydes จะหายไป และปรากฏสารในกลุ่มของ Furans, Pyridines และ Pyrazines แทน โดยสารทั้งสามกลุ่มนี้เกิดจากการแตกตัวของสารประกอบในเมล็ดกาแฟเมื่อได้รับความร้อนในระหว่างการคั่ว และเป็นสารกลุ่มหลักที่ก่อให้เกิดรสในกาแฟ โดยในกาแฟที่ผ่านการแปรรูปแบบเปียกจะพบสารประกอบระเหยประเภท Pyridines และ Pyrazines มากกว่ากาแฟที่ผ่านการแปรรูปแบบแห้ง ส่วนในกาแฟที่ผ่านการแปรรูปแบบแห้งจะพบสารประกอบระเหยประเภท Furans มากกว่ากระบวนการผลิตแบบเปียก โดยทั่วไปพบว่าสารประกอบระเหยที่พบจากทั้งสองกระบวนการจะเป็นสารกลุ่มเดียวกันแต่มีปริมาณต่างกัน

บทนำ

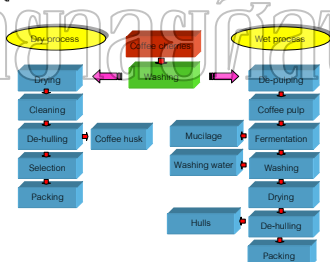
กาแฟเป็นพืชเศรษฐกิจที่สร้างรายได้ให้กับประเทศมูลค่าปีละหลายล้านบาทและเป็นเครื่องดื่มที่ได้รับความนิยมของผูบริโภคในปัจจุบัน ซึ่งกระบวนการแปรรูปเมล็ดกาแฟจะส่งผลต่อคุณภาพและกลิ่นรสของกาแฟโดยตรง ดังนั้นการศึกษาสารประกอบที่ก่อให้เกิดรสในกาแฟจึงเป็นแนวทางในการควบคุมคุณภาพกระบวนการผลิตกาแฟให้ได้คุณภาพตามความต้องการของตลาดและเพิ่มมูลค่าของเมล็ดกาแฟ

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาชนิดของเชื้อจุลินทรีย์และค่าความเป็นกรด-ด่างระหว่างกระบวนการผลิตแบบเปียกในกาแฟอาราบิก้าที่ปลูกในประเทศไทย
2. เพื่อศึกษาผลของวิธีการแปรรูปเมล็ดกาแฟที่แตกต่างกันต่อสารประกอบระเหยในกาแฟอาราบิก้าที่ปลูกในประเทศไทย

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

กระบวนการแปรรูปเมล็ดกาแฟ



ภาพที่ 1 แผนภาพการแปรรูปเมล็ดกาแฟแบบเปียกและแบบแห้ง

2. ศึกษาชนิดของเชื้อจุลินทรีย์และค่าความเป็นกรด-ด่างระหว่างกระบวนการผลิตแบบเปียก
 สุ่มตัวอย่างน้ำหมักเลี้ยงในอาหาร MRS (Methylated Rogosa and Shape Agar), PDA (Potato Dextrose Agar) และ PCA (Plate Count Agar)
3. ศึกษาสารประกอบระเหยที่ก่อให้เกิดรสในกาแฟด้วยเครื่อง Gas Chromatography – Mass Spectrometry (GC – MS)

การเตรียมตัวอย่าง ใช้เครื่องคั่วกาแฟ (Precision Coffee Roaster, 40201, USA) คั่วที่อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4-5 นาที ใช้เครื่องบดเมล็ดกาแฟ (Princess Café Grinder, 2199, USA)

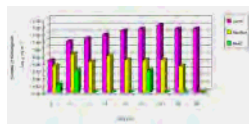
การสกัดสารประกอบระเหย ใช้วิธีการสกัดแบบ Purge & Trap (Tekma 3100 Sample Conc Extraction, Tekma Dohman) โดยการใช้ก๊าซฮีเลียมผ่านตัวอย่างเมล็ดกาแฟ 0.5 กรัม ใช้เครื่อง GC ของ HP-5890 Gas Chromatograph (Agilent Technology Inc.) และตรวจวิเคราะห์ด้วย Mass Spectrometry (MS), mass (m/z) ในช่วง 40-400 amu ใช้คอลัมน์ HP-5 (Agilent Technology Inc.)

ผลและการวิจารณ์ผลการทดลอง

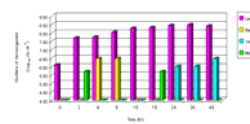
ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเชื้อจุลินทรีย์ และค่าความเป็นกรด-ด่างระหว่างกระบวนการผลิตแบบเปียก การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง และการเพิ่มจำนวนของเชื้อจุลินทรีย์ซึ่งมีความสัมพันธ์กัน

เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ที่พบในกาแฟเลี้ยงเชื้อคือ กลุ่มของแลคติกแอซิด แบคทีเรีย ซึ่งจะทำให้เกิดกรดแลคติกขึ้นมาทำให้น้ำหมักมีสภาพเป็นกรด ในขณะที่เชื้อในกลุ่มนี้มีการเพิ่มจำนวนค่าความเป็นกรด-ด่าง จึงลดลง และเมื่อการเจริญของเชื้อเริ่มคงที่ค่าความเป็นกรด-ด่างก็ถึงเช่นกัน

ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงของเชื้อจุลินทรีย์ และค่าความเป็นกรด-ด่าง ระหว่างกระบวนการผลิตแบบเปียก



ภาพที่ 3 การเปลี่ยนแปลงของเชื้อจุลินทรีย์ระหว่างกระบวนการผลิตแบบเปียกในอาหาร PCA



ภาพที่ 4 การเปลี่ยนแปลงของเชื้อจุลินทรีย์ระหว่างกระบวนการผลิตแบบเปียกในอาหาร PDA

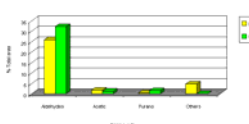
ผลการวิเคราะห์สารประกอบระเหยจากเครื่อง GC-MS

เมล็ดกาแฟที่ผ่านการคั่วมีผลทำให้สารประกอบที่อยู่ในเมล็ดกาแฟ (คาร์โบไฮเดรต โปรตีน เปปไทด์ ไขมัน กรดอะมิโน และ Trigonelline) เกิดการแตกตัว และรวมกันเป็นสารประกอบที่ก่อให้เกิดรสในกาแฟ ซึ่งสารประกอบระเหยที่พบในงานวิจัยนี้ เป็นสารในกลุ่มของเฮเทอร์ไอโซลิก และเกี่ยวข้องกับกลิ่นรสกาแฟโดยตรง (ตารางที่ 1)

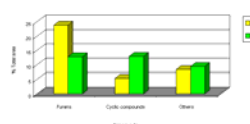
สารประกอบระเหยในกลุ่มของ Furans ได้จากการแตกตัวของน้ำตาล (pyrolysis) ส่วนสารในกลุ่มของ Pyridines และ Pyrazines ได้จากการรวมตัวของสารประกอบที่มีอยู่ในเมล็ดกาแฟกับกรดอะมิโนได้ เป็นสารประกอบประเภทเฮเทอร์ไอโซลิกที่มีโมโรจาเป็นองค์ประกอบ

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบสารประกอบระเหยระหว่างกระบวนการผลิตแบบเปียก และแบบแห้งในกาแฟอาราบิก้า

Volatile Compounds	Retention Time (min)	% Of Total Area			
		Green Beans		Roasted Beans	
		Dry Process	Wet Process	Dry Process	Wet Process
Aldehydes					
Hexanal	4.24	10.00 ± 0.44	18.73 ± 0.31	-	-
2-Heptenal (E)-	8.34	3.31 ± 0.02	-	-	-
Nonanal	12.90	9.20 ± 0.26	6.99 ± 0.96	-	-
Decanal	16.14	2.03 ± 0.06	3.62 ± 0.46	-	-
Acid					
Acetic acid	6.79	1.68 ± 0.26	1.20 ± 0.11	-	-
Furans					
2-Furanone, 3-Hydroxy-	6.28	1.04 ± 0.16	-	-	-
Furan					
2-Furanmethoxy	7.83	0.42 ± 0.14	1.45 ± 1.49	10.39 ± 1.77	-
2-Furanmethoxyethyl, 6-methyl-	9.40	-	-	0.79 ± 0.04	-
2-Furanmethoxy, acetyl	10.88	-	-	11.22 ± 0.26	11.62 ± 0.34
Furan, 2,2'-methylenebis-	13.03	-	-	1.02 ± 0.04	1.07 ± 0.03
Furan, 2-(2-furanmethoxy)-	16.63	-	-	0.14 ± 0.04	0.06 ± 0.01
Furan, 2-(2-furanmethoxy)ethyl-	16.67	-	-	0.06 ± 0.04	0.01 ± 0.00
Cyclic compounds					
Pyridine					
Pyridine	3.97	-	-	5.18 ± 0.66	12.81 ± 1.80
3-Pyridyl, 3-ethyl-	11.91	-	-	0.16 ± 0.06	-
Pyrazine, 2-ethyl-3,4-dihydro-	13.28	-	-	0.10 ± 0.01	0.02 ± 0.00
Methyl sulfones					
2-Methylsulfone	4.52	-	-	0.06 ± 0.01	0.32 ± 0.04
Thiobenzofuran	21.67	1.71 ± 0.07	-	-	-



ภาพที่ 5 สารประกอบระเหยของเมล็ดกาแฟดิบ (green beans) ที่ผ่านการแปรรูปแบบเปียก และแบบแห้ง



ภาพที่ 6 สารประกอบระเหยของกาแฟคั่ว (roasted beans) ที่ผ่านการแปรรูปแบบเปียก และแบบแห้ง

สรุป

1. ในกระบวนการผลิตแบบเปียกพบเชื้อจุลินทรีย์ในกลุ่มแลคติกแอซิด แบคทีเรียมากที่สุด และมีผลทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำหมักลดลง รอมมาค็อก บาซิลลัส ซีสดี และรา
2. ในเมล็ดกาแฟดิบ (Green bean) สารประกอบระเหยที่มีชนิด และปริมาณมากที่สุดคือ สารประกอบในกลุ่มของ Aldehydes เช่น Nonanal, 2-Nonenal, (E)- Decanal และ Undecanal นอกจากนี้ยังพบ Acetic acid
3. เมื่อผ่านการคั่วสารในกลุ่มของ Aldehydes จะหายไป และปรากฏสารในกลุ่มของ Furans, Pyridines และ Pyrazines โดยสารทั้งสามกลุ่มนี้ ได้มาจากการแตกตัวของสารประกอบในเมล็ดกาแฟเพื่อให้ความร้อนในระหว่างการคั่ว และเป็นสารกลุ่มหลักที่ก่อให้เกิดรสในกาแฟ
4. กาแฟคั่วที่ผ่านการแปรรูปแบบเปียกจะพบสารประกอบระเหยประเภท Pyridines และ Pyrazines มากกว่ากระบวนการผลิตแบบแห้ง ส่วนในกาแฟคั่วที่ผ่านการแปรรูปแบบแห้งจะพบสารประกอบระเหยประเภท Furans มากกว่ากระบวนการผลิตแบบเปียก
5. ในกระบวนการผลิตแบบแห้งทั้งกาแฟที่ผ่านการคั่ว และคั่วจะพบชนิดของสารประกอบระเหยมากกว่ากระบวนการผลิตแบบเปียก ซึ่งสารที่พบจากทั้งสองกระบวนการจะอยู่ในกลุ่มเดียวกันแต่มีปริมาณต่างกัน

เอกสารอ้างอิง

Clarke, R.J., Macrae, R., editors. 1985. Coffee, Vol. 1: Chemistry. 1st ed. London: Elsevier. 306 p.
 Clarke, R.J. and Macrae, R. 1987. Coffee Technology. Vol 2. Department of Food Science, University of Reading, UK. 321 p.
 Coffee Research Institute. 2001. <http://www.coffeeresearch.org/science/aromaman.htm>
 Svetz, M. and Foote, H.E., 1963. Coffee Processing Technology. Vol 1: Fruit-Green, Roast and soluble Coffee. London. 598 p.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล นายนนทวัชร ชิตวิสัย
ที่อยู่ 24/3 หมู่ 6 หมู่บ้านอุดมทรัพย์ ถนนเศรษฐสุกิจ ตำบลหนองรี
 อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี 20000
 โทรศัพท์ 0-6382-0165

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2545 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา
 มหาวิทยาลัยศิลปากร พระราชวังสนามจันทร์ นครปฐม

พ.ศ. 2545 ศึกษาต่อระดับปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร บัณฑิต
 วิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร พระราชวังสนามจันทร์ นครปฐม

ประวัติการทำงาน

พ.ศ. 2546-2547 ผู้ช่วยอาจารย์ ประจำภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์
 และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร

ผลงานทางวิชาการ

พ.ศ. 2547 แสดงผลงานโปสเตอร์ในการประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร ครั้งที่ 6
 ในงาน THAIFEX & HALFEX 2004 ณ อิมแพคอารีนา เมืองทองธานี กทม.