

บทที่ 2

เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ประวัติและสายพันธุ์กาแฟ

กาแฟเป็นพืชในตระกูล Rubiaceae มีถิ่นกำเนิดมาจากประเทศเอธิโอเปีย ชื่อ Coffee มาจากคำว่า Kaffa ซึ่งเป็นชื่อจังหวัดในเอธิโอเปียที่มีการพบต้นกาแฟ (Clarke และ Macrae, 1985) กาแฟเริ่มนำมาใช้เป็นเครื่องดื่มโดยชาวอาราเบียในศตวรรษที่ 15 ในปี ค.ศ.1865 สองพี่น้องตระกูลอาร์บัคเกิ้ล (Arbuckle) เป็นผู้ริเริ่มคั่วกาแฟใส่ในถุงกระดาษขายในเมืองพิทซเบิร์ก (Pittsburgh) ประเทศอเมริกา (Sivetz และ Foote, 1963) ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของการซื้อขายกาแฟคั่ว กาแฟเป็นเครื่องดื่มที่ได้รับความนิยมทั่วโลก โดยประเทศบราซิลเป็นผู้ผลิตรายใหญ่ที่สุดของโลก (Pandey และคณะ, 2000) สายพันธุ์กาแฟที่เป็นที่นิยมในทางการค้ามี 2 สายพันธุ์ คือ *Coffea arabica* ชื่อทางการค้าคือ อาราบิก้า (Arabica) และ *Coffea canephora* ชื่อทางการค้าคือ โรบัสต้า (Robusta) ในประเทศไทยมีการปลูกกาแฟทั้ง 2 สายพันธุ์

2.1.1 กาแฟอาราบิก้า (*Coffea arabica*) เป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกกันมากที่สุดในโลก

(Mendes และคณะ, 2001) มีปริมาณผลผลิตถึงร้อยละ 90 ของผลผลิตโลก (Clarke และ Macrae, 1985) กาแฟอาราบิก้าสามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพอากาศค่อนข้างเย็น อุณหภูมิประมาณ 15–24 องศาเซลเซียส (จิรสวัสดิ์, 2546) ในประเทศไทยนิยมปลูกมากในภาคเหนือ ในปัจจุบันยังมีผลผลิตเพียงเพื่อการบริโภคภายในประเทศเท่านั้น กาแฟอาราบิก้าเป็นกาแฟคุณภาพดีให้ทั้งรสชาติและกลิ่นที่หอมนุ่มนวล มีอัตราส่วนของคาเฟอีนต่ำ ราคาต่อกิโลกรัมสูงกว่ากาแฟโรบัสต้า กาแฟอาราบิก้านิยมนำมาคั่ว บด ชง โดยการกรอกกากออกหรือที่นิยมเรียกว่ากาแฟสด

2.1.2 กาแฟโรบัสต้า (*Coffea canephora*) เป็นพันธุ์ที่สามารถปรับตัวเข้ากับ

สภาพแวดล้อมได้ดีมากเป็นกาแฟสายพันธุ์ดั้งเดิมแถบศูนย์สูตร มีความทนทานต่อโรคมากกว่ากาแฟพันธุ์อาราบิก้า สามารถเจริญเติบโตได้ในสภาพอากาศอบอุ่นกว่ากาแฟพันธุ์อาราบิก้า ชอบอากาศประมาณ 24 – 30 องศาเซลเซียส สามารถปลูกได้ตั้งแต่ระดับน้ำทะเลจนถึงระดับความสูง 1,200 เมตร เหนือระดับน้ำทะเล กาแฟอาราบิก้าต้องการความชุ่มชื้นและฝนตกสม่ำเสมอ สามารถเจริญเติบโตได้ดีทั้งในที่ร่ม และกลางแจ้ง ปลูกมากในแถบจังหวัดชุมพรและภาคใต้ของประเทศ

กาแฟโรบัสต้า มีคุณภาพต่ำกว่ากาแฟอาราบิก้าทั้งกลิ่นและรสชาติ (Mendes และคณะ, 2001) แต่มีเนื้อกาแฟและอัตราส่วน กาแฟอื่นสูงกว่า กาแฟโรบัสตานิยมนำไปทำกาแฟสำเร็จรูปชนิดละลายหมด (Clarke และ Macrae, 1985)

2.2 กระบวนการแปรรูปเมล็ดกาแฟ

ผลกาแฟสุกจะมีสีแดงเรียกว่า เชอร์รี่ (cherries) เมื่อนำส่วนของเปลือกหุ้มเมล็ด (mucilaginous pulp) ออกจะได้เมล็ดกาแฟ (green coffee bean) 2 เมล็ด ด้านหนึ่งของเมล็ดกาแฟจะแบนเรียบและมีเปลือกบางหุ้มอยู่ เรียกว่า silver skin ผลของกาแฟสุกที่ให้เมล็ดกลมเพียง 1 เมล็ดเป็นลักษณะผิดปกติจะเรียกว่าพีเบอร์รี่ (peaberry) ซึ่งพบได้ในบางครั้ง กระบวนการแปรรูปเมล็ดกาแฟสามารถทำได้ 2 วิธี คือ

2.2.1 กระบวนการแปรรูปเมล็ดกาแฟแบบแห้ง (dry process หรือ natural process) เป็นกระบวนการแปรรูปที่มีมานาน และนิยมใช้กับกาแฟโรบัสต้า ในประเทศบราซิลจะใช้กับกาแฟอาราบิก้าด้วยเนื่องจากผลผลิตกาแฟในประเทศบราซิลมีปริมาณมาก (Pandey และคณะ, 2000) ขั้นตอนการแปรรูปเริ่มตั้งแต่การเก็บผลกาแฟสุกนำมาตากแดดให้แห้ง ไม่ควรกองเมล็ดกาแฟหนาเกิน 5 เซนติเมตร และกลับกองกาแฟวันละหลายๆ ครั้ง และในเวลากลางคืนควรจะมีการปิดคลุมเมล็ดกาแฟ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการทำแห้ง ตากแห้งจนเมล็ดกาแฟมีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 12 (Clarke และ Macrae, 1985) ในขั้นตอนสุดท้ายจะนำเมล็ดกาแฟตากแห้งมาลอกเอาเปลือกออกจึงได้เมล็ดกาแฟ

2.2.2 กระบวนการแปรรูปแบบเปียก (wet process) เป็นกระบวนการที่ทำให้ได้เมล็ดกาแฟที่มีคุณภาพสูง นิยมใช้ในการแปรรูปเมล็ดกาแฟสายพันธุ์อาราบิก้า เริ่มจากการเก็บผลกาแฟสุก มาลอยน้ำเพื่อคัดเฉพาะผลกาแฟสุก และแยกสิ่งแปลกปลอมออก จากนั้นจึงนำไปผ่านเครื่องแยก pulp เพื่อแยกส่วนของเนื้อของผลกาแฟออก นำเมล็ดกาแฟที่ได้ไปหมัก เป็นเวลา 72 ชั่วโมง เพื่อกำจัดเปลือกหุ้มเมล็ดออกโดยอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ หลังจากนั้นนำเมล็ดกาแฟไปล้างน้ำและตากแห้งจนความชื้นของเมล็ดกาแฟน้อยกว่าร้อยละ 12 ± 1 ถ้าหากความชื้นมากถึงร้อยละ 15 เชื้อราและแบคทีเรียสามารถเจริญ และทำลายคุณภาพเมล็ดกาแฟได้ (นนทวัชร, 2547)

2.3 กระบวนการคั่วเมล็ดกาแฟ

เมล็ดกาแฟหลังจากผ่านกระบวนการแปรรูปแล้วจะมีสีออกเหลือง และมีกลิ่นเหม็นเขียว เมื่อผ่านกระบวนการคั่วจะให้กลิ่นและรสที่เป็นลักษณะเฉพาะของกาแฟ อุณหภูมิเริ่มต้นที่ใช้ใน

การคั่วเมล็ดกาแฟประมาณ 200 องศาเซลเซียส ระดับของการคั่วกาแฟสามารถดูได้ง่ายโดยใช้เครื่องวัดค่าสี Hunterlab meter (L, a, b) (Clarke และ Macrae, 1987) หรือดูจากน้ำหนักแห้ง ดังตารางที่ 2 ระดับการคั่วกาแฟขึ้นกับอุณหภูมิและเวลา น้ำหนักที่ลดลงเนื่องจากการระเหยของน้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ระดับการคั่วไม่เพียงแต่ส่งผลต่อสีของเมล็ดกาแฟ แต่ยังส่งผลต่อรสชาติของกาแฟ ในกาแฟอาราบิก้าที่คั่วระดับต่ำ (light) จะมีรสชาติของกรด เนื้อกาแฟ (body) น้อย และให้กลิ่นน้อย เมื่อระดับการคั่วมากขึ้นจะเพิ่มกลิ่นหอมมากขึ้นและมีรสขมเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 2 ร้อยละโดยประมาณของน้ำหนักแห้งที่ลดลงที่ระดับการคั่วต่างๆ

ระดับการคั่ว	ร้อยละของน้ำหนักแห้งที่หายไป
ระดับต่ำ (light)	1-5
ระดับปานกลาง (medium)	5-8
ระดับเข้ม (dark)	8-12
ระดับเข้มมาก (very dark)	มากกว่า 12

ที่มา: Clarke และ Macrae (1987)

ในการคั่วเมล็ดกาแฟจะใช้อุณหภูมิสูงกว่า 200 องศาเซลเซียสเพื่อให้เกิดกลิ่นรสที่มีลักษณะเฉพาะ สี และสารหอมระเหย ซึ่งพบว่า ก๊าซที่ปล่อยออกมาในการคั่วกาแฟเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถึงร้อยละ 87 (Anderson และคณะ, 2003) ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระหว่างการคั่วกาแฟขึ้นกับชนิดของกาแฟ มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพเกิดขึ้นในกระบวนการคั่วซึ่งมี 2 ขั้นตอน คือ ในตอนแรกจะมีการสูญเสียน้ำอิสระ ประมาณร้อยละ 12 ซึ่งใช้เวลาร้อยละ 80 ของเวลาทั้งหมดในการคั่วกาแฟ สีของเมล็ดกาแฟจะเปลี่ยนจากสีออกเหลืองเป็นสีน้ำตาลอ่อน ในขั้นตอนที่สองเป็นขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาไพโรไลซิส (Pyrolysis reaction) จะสังเกตได้โดย เมล็ดจะขยายตัวร้อยละ 40-60 (Clarke และ Macrae, 1985) สีจะเข้มขึ้นอย่างรวดเร็ว มีน้ำมันระเหย (oily smoke) ออกมา และมีเสียงแตก (crack) ของเมล็ดเกิดขึ้น มีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีอย่างรวดเร็ว เกิดสารประกอบระเหยจำนวนมาก เมื่อถึงขั้นตอนนี้จะต้องทำให้เย็นอย่างรวดเร็ว โดยการใช้ลมเป่า เรียกว่า tempering

นอกจากนี้ในการคั่วกาแฟยังมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากปฏิกิริยาหลายแบบ ได้แก่ ปฏิกิริยาการสลายตัวแบบสเตอร์เกอร์ (Strecker degradation) ปฏิกิริยาไพโรไลซิสของน้ำตาล (Pyrolysis of sugar) และปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) สารให้กลิ่นรสของกาแฟที่เกิดขึ้นจะถูกกักเก็บไว้ในเมล็ดกาแฟ และแพร่ออกมาอย่างช้าๆ พร้อมกับการระเหยของก๊าซ

คาร์บอนไดออกไซด์ ในระหว่างการคั่วกาแฟและบดเมล็ดกาแฟ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในระหว่างการคั่วกาแฟขึ้นกับชนิดของกาแฟ และสภาวะในการคั่วกาแฟ ถ้ากาแฟถูกบรรจุทันที หลังการคั่ว ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะทำให้ความดันภายในภาชนะบรรจุสูงขึ้น ซึ่งอาจทำให้บรรจุภัณฑ์ พองและแตกออก หรือทำความเสียหายให้ภาชนะบรรจุ ในช่วงของการ tempering จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารต่างๆได้ง่าย ทำให้กาแฟสูญเสียกลิ่นรสที่ดีไป และอาจมีกลิ่นเหม็นหืน โดยมีการสูญเสียคุณภาพร้อยละ 10 ของอายุการเก็บทุกๆ 24 ชั่วโมงที่เก็บไว้ในที่อุณหภูมิห้อง (Anderson และคณะ, 2003) ดังนั้นควรรีบบรรจุกาแฟทันทีหลังช่วงของการ tempering

2.4 องค์ประกอบทางเคมีในเมล็ดกาแฟดิบ

องค์ประกอบของสารที่อยู่ในเมล็ดกาแฟดิบ และในกาแฟคั่วจะแตกต่างกันทั้งในด้าน ชนิดและปริมาณ โดยสารประกอบที่อยู่ในเมล็ดกาแฟดิบ จะเป็นสารตั้งต้นที่จะเปลี่ยนแปลงไปเป็น สารประกอบที่พบในกาแฟคั่ว ซึ่งแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 3

2.4.1 คาร์โบไฮเดรต (carbohydrate)

คาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบที่มีมากสุดในเมล็ดกาแฟดิบ ถึงร้อยละ 50-60 (Sivetz และ Foote, 1963) ในเมล็ดกาแฟดิบพบคาร์โบไฮเดรตในรูปของน้ำตาลรีดิคซ์ น้ำตาลไดแซคคาไรด์ ไตรโอส เซลลูโลส และ โพลีแซคคาไรด์ น้ำตาลซูโครสพบเป็นอัตราส่วนมากที่สุด ในคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด โดยพบในกาแฟอาราบิก้ามากกว่าโรบัสต้า น้ำตาลมีความสำคัญในการเกิดกลิ่นรส และการเกิดสี ระหว่างกระบวนการคั่ว (Varnam และ Sutherland, 1994)

2.4.2 สารประกอบไนโตรเจน

2.4.2.1 คาเฟอีน (caffeine)

คาเฟอีนมีรสขมเล็กน้อย ไม่มีกลิ่น (Sivetz และ Foote, 1963) ปริมาณคาเฟอีนในเมล็ดกาแฟจะขึ้นกับสายพันธุ์ ปริมาณคาเฟอีนโดยเฉลี่ยของสายพันธุ์อาราบิก้าคือ ร้อยละ 1.2 ส่วนสายพันธุ์โรบัสต้า ร้อยละ 2.2 (Varnam และ Sutherland, 1994) คาเฟอีนละลายได้เล็กน้อยในน้ำเย็น และละลายได้ถึงร้อยละ 40 ในน้ำอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และระเหิดได้ที่อุณหภูมิ 178 องศาเซลเซียส (Sivetz และ Foote, 1963) คาเฟอีนมีฤทธิ์กระตุ้นระบบประสาทส่วนกลาง เพิ่มอัตราการสูบฉีดโลหิตและอัตราการเต้นของหัวใจ เมื่อผ่านความร้อนปริมาณคาเฟอีนจะลดลงเล็กน้อย (Belitz และ Grosch, 1999)

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดกาแฟดิบ (green beans)

องค์ประกอบทางเคมี	% dry matter basis (w/w)
Nitrogen compounds	
Caffeine	1.2
Trigonelline	1.0
Protein and free amino acid	9.2
Carbohydrates	
Sucrose	6-8.3
Reducing sugar	0.1
Polysaccharide	40-50
Cellulose	5.0
Chlorogenic acid	5-7.5
Citric acid	0.5
Malic acid	0.5
Oxalic acid	0.2
Tartaric acid	0.4
Lipids	
Triacylglycerols	75.2
Esters of terpene alcohols and fatty acids	18.5
Diterpene alcohols	0.4
Esters of sterols and fatty Acids	3.2
Sterols	22.2
Tocopherols	0.04-0.06
Phosphatides	0.1-0.5

ที่มา: Varnam และ Sutherland (1994)

2.4.2.2 ไตรโกเนลลีน (trigonelline)

ไตรโกเนลลีนส่วนใหญ่พบได้ในเมล็ดกาแฟ พบในเมล็ดกาแฟดิบถึงร้อยละ 1.0-1.3 (Sivetz และ Foote, 1963) มีรสขมน้อยกว่าคาเฟอีน ปริมาณไตรโกเนลลีนลดลงร้อยละ 10 ในระหว่างการคั่ว (Sivetz และ Foote, 1963) การสลายตัวของไตรโกเนลลีนจะให้สารประกอบที่ให้กลิ่นรสในกาแฟโดยเกิดเป็นสารประกอบระเหยจำพวกไพรีดีน (pyridine) ไพโรล (pyrrole) และไนอาซิน (niacin) (จิรสวัสดิ์, 2546)

2.4.2.3 กรดคลอโรเจนิค (chlorogenic acid)

ปริมาณที่พบกรดคลอโรเจนิคในกาแฟดิบคือ ร้อยละ 8 การสลายตัวของกรดคลอโรเจนิคจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในระหว่างการคั่ว เมล็ดกาแฟจะให้สารประกอบกรดคาเฟอิก (caffeic acid) และกรดควินิก (quinic acid) ซึ่งให้รสเปรี้ยวเมื่อมีหมู่กรดคาร์บอกซิลิก (carboxylic acid groups) เป็นองค์ประกอบ และให้รสขมและฝาดเมื่อมีหมู่ฟีนอลิก (phenolic groups)

2.4.2.4 โปรตีนและกรดอะมิโน (protein and amino acids)

ปริมาณที่พบโปรตีนและกรดอะมิโนในเมล็ดกาแฟดิบคือ ร้อยละ 14 (Sivetz และ Foote, 1963) โปรตีนมีการเปลี่ยนแปลงทั้งชนิดและโครงสร้างอย่างมากเมื่อได้รับความร้อน โดยการเปลี่ยนแปลงสัมพันธ์กับการสูญเสียในระหว่างการคั่ว โปรตีนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่ทำให้เกิดสารประกอบระเหยจากปฏิกิริยาไพโรไลซิสหลังการคั่ว (Sivetz และ Foote, 1963)

2.4.3 ไขมัน (lipid)

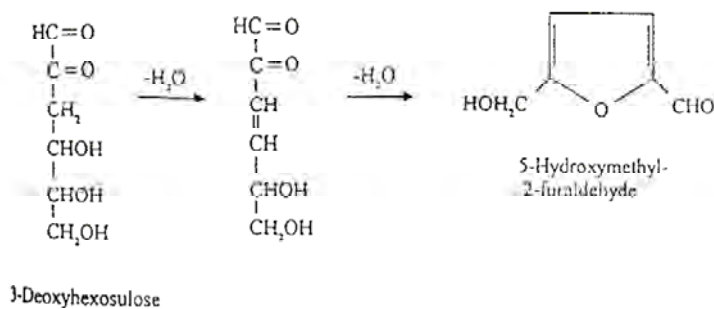
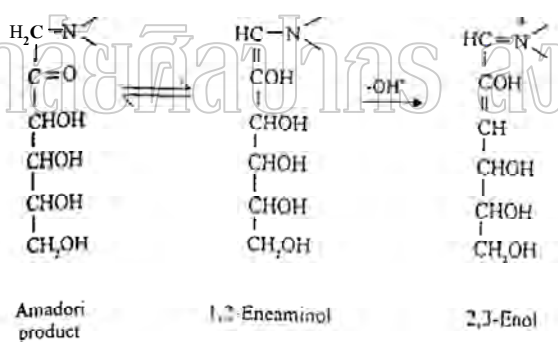
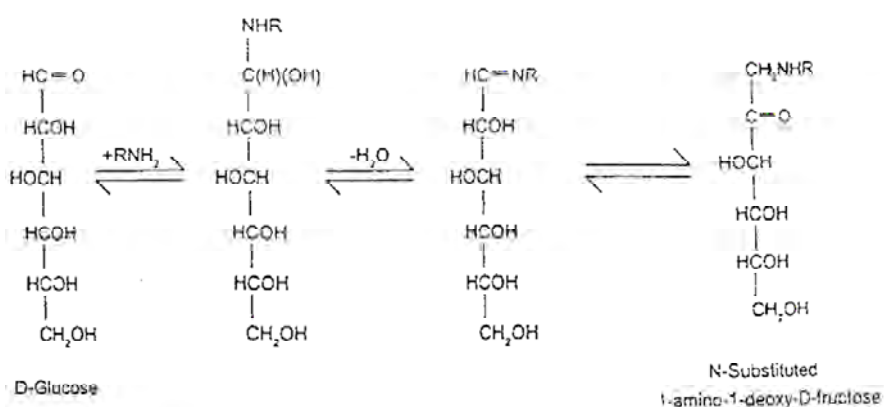
ในเมล็ดกาแฟดิบที่ยังไม่ผ่านกระบวนการคั่วประกอบด้วย coffee oil โดยพบในกาแฟสายพันธุ์อาราบิก้าร้อยละ 15 ของน้ำหนักแห้ง ส่วนในโรบัสต้าพบร้อยละ 10 ของน้ำหนักแห้ง โดยประกอบด้วย triacylglycerols และไขมันอื่นๆ (Varnam และ Sutherland, 1994)

2.5 กระบวนการเกิดสารประกอบระเหยในกาแฟ

ชนิดของสารประกอบระเหยที่ให้กลิ่นรสที่สำคัญในกาแฟมีความซับซ้อน สารประกอบระเหยที่พบมีมากกว่า 800 ชนิด (Czerny และคณะ, 1999; Sarrazin และคณะ, 2000) และพบว่าปฏิกิริยาที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสารประกอบระเหยในกาแฟได้แก่

2.5.1 ปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction)

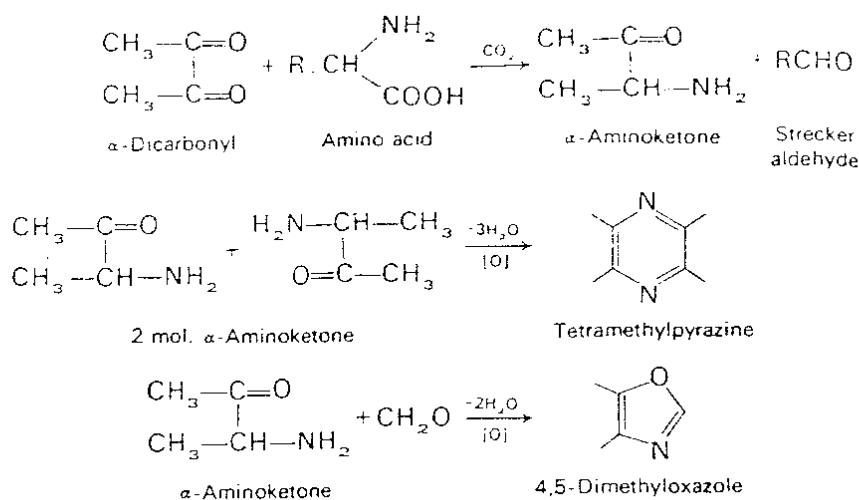
เป็นปฏิกิริยาที่น้ำตาลรีดิวซ์ หรือสารประกอบอัลดีไฮด์หรือคีโตนทำปฏิกิริยากับสารประกอบไนโตรเจน โดยในขั้นต้นของปฏิกิริยาจะยังไม่เกิดสารสีน้ำตาล หรือเกิดสารให้กลิ่น แต่จะทำให้คุณค่าของอาหารลดลงเนื่องจากการสูญเสียน้ำตาลและกรดอะมิโนซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 การเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด

ที่มา: นิธิยา (2545)

ขั้นตอนต่อมาเป็นขั้นตอนสำคัญที่ทำให้เกิดกลิ่นรสคือ ปฏิกิริยาการสลายตัวแบบสเตรกเกอร์ แสดงได้ดังรูปที่ 2 ซึ่งเป็นปฏิกิริยาระหว่างสารประกอบไดคาร์บอนิล (dicarbonyl compounds) กับกรดอะมิโน (amino acids) ได้สารประกอบอัลดีไฮด์ (aldehydes) และอัลฟาอะมิโนคีโตน (alpha aminoketones) โดยสารประกอบอัลดีไฮด์ที่ได้จะมีจำนวนคาร์บอนอะตอมลดลง 1 อะตอม จากกรดอะมิโนเริ่มต้น และจากปฏิกิริยานี้จะเกิดกาซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้น ซึ่งแหล่งของสารประกอบไดคาร์บอนิลในปฏิกิริยาการสลายตัวแบบสเตรกเกอร์ คือ ไดอะเซทิล (diacetyl) และ เพนแทนไดโอน (pentanedione) และขั้นตอนสุดท้ายเป็นการเกิดการรวมตัวกันของสารประกอบต่างๆ เรียกว่าการเกิดโพลิเมอร์ไรเซชัน (polymerization) ระหว่างเฟอฟูรัล (furfurals) ฟูราโนน (furanones) และ ไดคาร์บอนิล (dicarbonyls) กับ เอมีน (amines) กรดอะมิโน (amino acids) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (hydrogen sulphides) อัลดีไฮด์ (aldehydes) ไทออล (thiols) และ อะเซทัลดีไฮด์ (acetaldehydes) ซึ่งเกิดเป็นสารให้กลิ่นรสที่สำคัญที่มีโครงสร้างเป็นเฮเทอโรไซคลิก (heterocyclics) ได้แก่ ไพโรล (pyroles) ไพริดีน (pyridines) ไพราซีน (pyrazines) ฟูราน (furans) ไทโอฟิน (thiophenes) ออกซาโซล (oxazoles) ฟูรานไทออล (furanthiol) และอิมิดาโซล (imidazoles) ซึ่งสารประกอบระเหยดังกล่าวหากเกิดปฏิกิริยาอย่างต่อเนื่องจะได้ผลผลิตสุดท้ายเป็นสารสีน้ำตาลเรียกว่าเมลานอยดิน (melanoidins)



รูปที่ 2 การเกิดปฏิกิริยา Strecker degradation

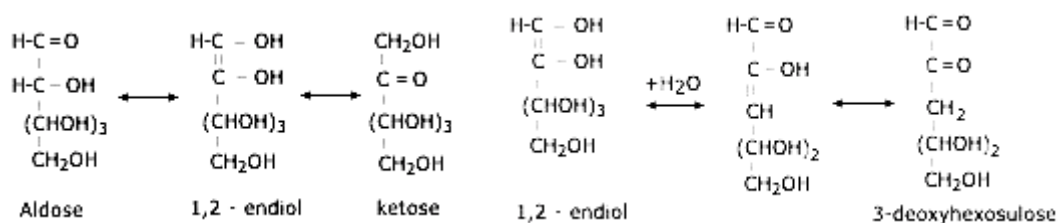
ที่มา : Clarke และคณะ (1985)

2.5.2 ปฏิกิริยาการเกิดคาราเมล (Caramelization)

ปฏิกิริยาการเกิดคาราเมลเกิดจากการแตกสลายของน้ำตาลเมื่อได้รับความร้อนในสภาวะไม่มีน้ำ ทำให้เกิดสารประกอบระเหย (volatile compounds) หรือกลิ่นรสคาราเมล (caramel flavour) และเกิดสีน้ำตาลหรือสีคาราเมล สารประกอบที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาการเกิดคาราเมล ได้แก่ hydroxymethylfuranone (HMF), hydroxydimethylfuranone (HDF) และ hydroxyacetyl furan (HAF) (Coca และคณะ, 2004) สารประกอบที่ให้กลิ่นคาราเมลส่วนใหญ่จะมีโครงสร้างเป็นเฮกเทอโรไซคลิกที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ ปฏิกิริยาการเกิดคาราเมลแสดงได้ดังรูปที่ 3

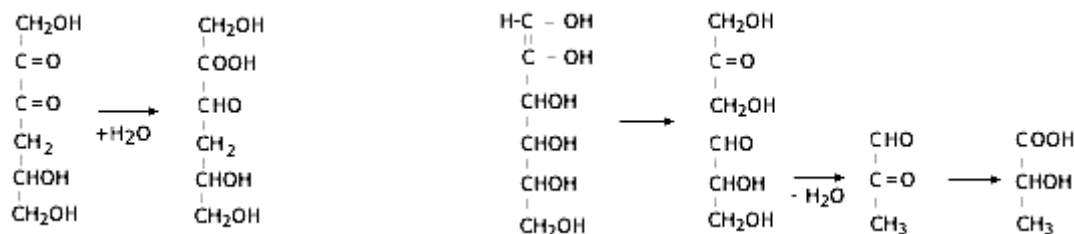
Step 1: Enolization

Step 2: Dehydration or β -Elimination



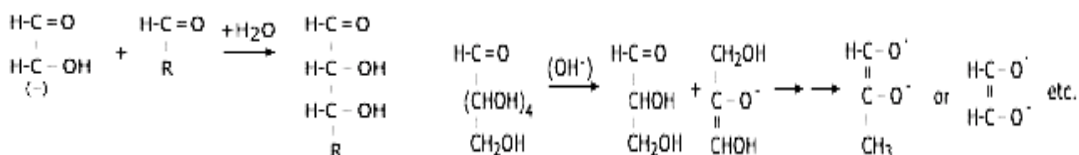
Step 3: Dicarboxylic Cleaving

Step 4: Retro-Aldol Reaction



Step 5: Aldol Condensation

Step 6: Radical Reaction

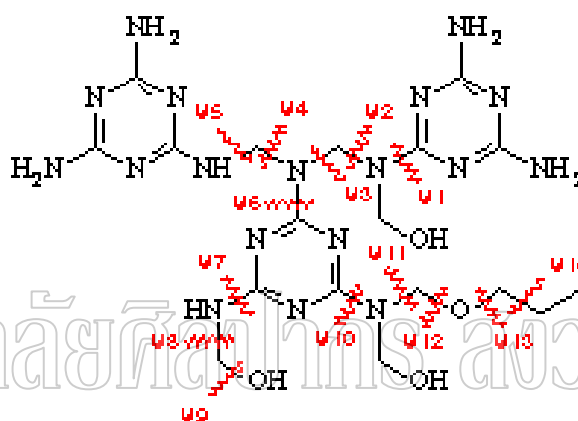


รูปที่ 3 ปฏิกิริยาการเกิดคาราเมล

ที่มา : http://www.landfood.ubc.ca/courses/fnh/410/colour/3_81.htm

2.5.3 ปฏิกริยาไพโรไลซิส (Pyrolysis)

เป็นปฏิกิริยาที่สารประกอบอินทรีย์เกิดการสลายตัวไปเป็นสารประกอบที่มีขนาดเล็กลงในสภาวะที่มีความร้อนสูง และปราศจากออกซิเจน ผลของปฏิกิริยาไพโรไลซิสจะมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้น การเกิดปฏิกิริยาไพโรไลซิสขึ้นอยู่กับชนิดของสารตั้งต้นและอุณหภูมิที่ใช้ โดยทั่วไปอุณหภูมิอยู่ในช่วง 220 องศาเซลเซียสขึ้นไป ในทางปฏิบัติเป็นไปได้ยากที่จะไม่มีออกซิเจนในบรรยากาศ เพราะจะมีออกซิเจนปรากฏขึ้นบ้างในแต่ละขั้นตอนของปฏิกิริยาไพโรไลซิส ส่งผลให้เมล็ดกาแฟมีสีน้ำตาลเข้ม เปราะ แตกง่าย พองตัว มีน้ำมันซึมออกมา และมีสารให้กลิ่นเกิดขึ้น (Janssen, 1997) ลักษณะของปฏิกิริยาไพโรไลซิสแสดงได้ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 การเกิดปฏิกิริยาไพโรไลซิส

ที่มา : Chamot และ Porankiewicz (1999)

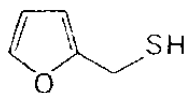
2.6 ชนิดและองค์ประกอบของสารประกอบระเหยในกาแฟและการวิเคราะห์สารประกอบระเหยในกาแฟ

องค์ประกอบของสารระเหยในเมล็ดกาแฟที่ยังไม่ผ่านกระบวนการคั่ว (green beans) พบว่ามีจำนวนมาก แต่ให้คุณลักษณะของกลิ่นที่ไม่เป็นที่ต้องการซึ่งประกอบด้วย อัลเคน (alkanes) อัลคีน (alkenes) ไพราซีน (pyridines) ควิโนลีน (quinolines) ไพโรล (pyrroles) แอริลเอมีน (arylamines) และ โพลีเอมีน (polyamines) (Varnam และ Sutherland, 1994) ซึ่งสารประกอบระเหยในกาแฟมีความแตกต่างกันขึ้นกับปัจจัยทางด้านต่างๆ เช่น สายพันธุ์ สภาพในการปลูก และกระบวนการแปรรูป (Teranishi และคณะ, 1999) องค์ประกอบของสารระเหยเหล่านี้จะเกิดการเปลี่ยนแปลง และมีจำนวนเพิ่มขึ้น เมื่อเมล็ดกาแฟผ่านการคั่ว สารประกอบระเหยที่เกี่ยวข้องกับกลิ่นของกาแฟโดยตรง คือ สารประกอบเฮเทอโรไซคลิกที่มีไนโตรเจน ออกซิเจน และซัลเฟอร์ เป็นองค์ประกอบ แสดงได้ดังรูปที่ 5 ส่วนสารประกอบที่ไม่ระเหยในกาแฟจะเป็นสารตั้งต้นในการ

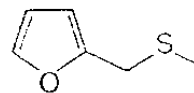
ทำให้เกิดกลิ่นรสกาแฟ คือ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไตรโกนีน และกรดอะมิโนอิสระ ไขมัน และพวกกรดที่ไม่ระเหยชนิดต่างๆ



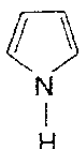
Furan



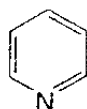
Furfurylthiol



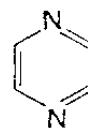
Furfuryl methyl sulphide



Pyrrole



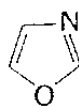
Pyridine



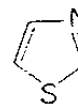
Pyrazine



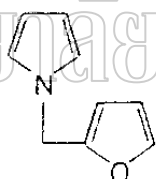
Thiophene



Oxazole



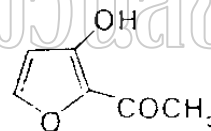
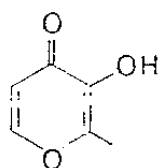
Thiazole



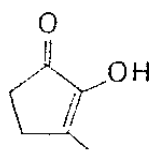
N-Furfurylpyrrole



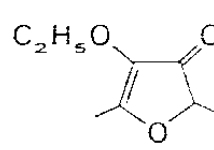
Kahweofuran

2-Acetyl-3-hydroxyfuran
(isomaltol)

3-Hydroxy-2-methyl-4-pyrone



2-Hydroxy-3-methylcyclopent-2-enone



4-Ethoxy-2,5-dimethyl-2H-furan-3-one

รูปที่ 5 โครงสร้างสารประกอบเฮเทอโรไซคลิก (heterocyclic) ที่พบในกาแฟ

ที่มา : Clarke และคณะ (1985)

เมื่อดื่กาแฟที่ผ่านการคั่วแล้วพบว่า สารประกอบฟuranจะมีอิทธิพลต่อกลิ่นรสของกาแฟมากกว่าองค์ประกอบอื่น โดยสารในกลุ่มนี้เกิดจากปฏิกิริยาไฟโรโรซิสของน้ำตาล ซึ่งให้กลิ่นคาราเมล (caramel) ส่วนสารในกลุ่มไพราซีนจะพบมากเป็นอันดับสอง โดยจะให้กลิ่นคั่ว (roasted) กลิ่นธัญพืช (cereal) กลิ่นขนมปังกรอบ (cracker) หรือ กลิ่นขนมปังปิ้ง (toast) ซึ่งสารในกลุ่มนี้จะมี

ค่าต่ำสุดของการรับรู้รสต่ำ (threshold value) จึงมีความสำคัญในการให้กลิ่นรสของกาแฟ สารกลุ่มไพโรลจะให้กลิ่นคาราเมล และกลิ่นเห็ด (mushroom) นอกจากนี้ยังพบสารประกอบไทโอฟิน (thiophenes) ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด โดยให้กลิ่นเนื้อ (meaty) นอกจากนั้นยังพบสารประกอบไทอาโซล (thiazoles) ซึ่งมีน้อยเมื่อเทียบกับองค์ประกอบอื่นๆ ซึ่งได้จากการแตกสลายของน้ำตาล (Coffee Research Institute, 2001)

Clarke และ Macrae (1985) ได้กล่าวถึงองค์ประกอบที่สำคัญที่มีผลต่อกลิ่นรสในกาแฟ ดังนี้

1. สารประกอบซัลเฟอร์ (sulphur) สารประกอบในกลุ่มนี้เป็นกลุ่มที่มีความสำคัญต่อกลิ่นรสของกาแฟอย่างมากที่สุด เนื่องจากสารประกอบกลุ่มนี้มีค่าต่ำสุดของการรับรู้รส (threshold value) ต่ำมาก (Gerbersmann และคณะ, 1995) ค่าต่ำสุดของการรับรู้รสที่พบคือ 2-3 ppm สารประกอบซัลเฟอร์ที่ตรวจวัดได้คือ 10-4000 ppb เฟอฟูริลไทออล (furfurylthiol) พบได้ในกาแฟคั่วใหม่ในระดับ 0.01- 0.5 ppb ไดเมทิลไดซัลไฟด์ (dimethyl disulphide) เป็นสารประกอบระเหยที่สำคัญที่บอกถึงกาแฟมีคุณภาพด้านกลิ่นรสที่ดี ไทโอฟิน มีกลิ่นรสคล้ายหัวหอม และมัสตาร์ด สารประกอบไทโอฟินที่มี เอสเทอร์ (ester) อัลดีไฮด์ (aldehyde) และคีโตน (ketone) เป็นองค์ประกอบจะให้กลิ่นออกหวาน (sweet) กลิ่นน้ำผึ้งที่คล้ายคาราเมล (honey-like caramel) และกลิ่นถั่ว (nutty) ซึ่งเป็นกลิ่นที่หอม ไทอาโซล (thiazole) เป็นสารประกอบประเภทเฮเทอโรไซคลิกที่มีไนโตรเจนและซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบจะมีแนวโน้มของกลิ่นรสที่แปลกออกไป

2. สารประกอบไพราซีน (pyrazines) ไพราซีนมีรสขม และหวาน มีกลิ่นคล้ายข้าวโพด อนุพันธ์ของไพราซีนที่มีหมู่อัลคิล (alkyl) เป็นองค์ประกอบให้กลิ่นถั่ว (nutty) กลิ่นคั่ว กลิ่นไหม้ (burnt) กลิ่นฉุน (pungent) และกลิ่นหญ้า (grassy) หมู่ไทออลของอนุพันธ์ไพราซีน ให้กลิ่นถั่ว อัลคิลไพราซีน (alkyl pyrazines) เกิดขึ้นในระหว่างการคั่วกาแฟ และ ไพราซีน บางชนิดหายไปในช่วงการคั่วกาแฟ ในกาแฟที่คั่วระดับต่ำ (light) จะพบไพราซีน ได้ในระดับสูงสุด เมทิล (methyl) และไดเมทิลไพราซีน (dimethyl pyrazines) มีน้ำหนักโมเลกุลสูงและพบได้มากที่สุดในระดับความเข้มข้นต่ำ

3. สารประกอบไพริดีน (pyridine) พบในอาหารน้อยชนิด ไพริดีนให้กลิ่นที่ไม่ค่อยเป็นที่ยอมรับ 2-methylpyridine ให้กลิ่นฝาดของเฮเซลนัท (astringent hazelnut) 3-ethylpyridine ให้กลิ่นเนย (buttery) กลิ่นเหม็นเขียว (green) และกลิ่นคาราเมล ชนิดของไพริดีนที่พบขึ้นกับระดับของการคั่ว และพบได้ในปริมาณที่สูงในกาแฟที่คั่วระดับเข้ม (dark)

4. สารประกอบไพโรล (pyrroles) ถึงแม้ไพโรลจะมีโครงสร้างคล้ายไพริดีนแต่ให้คุณภาพด้านกลิ่นรสแตกต่างกัน ความเข้มข้นมีผลต่อกลิ่นของไพโรล เช่น อัลคิลไพโรล (alkylpyrroles) ที่ความเข้มข้นสูงๆ ให้กลิ่นคล้ายปิโตรเลียม (petroleum) แต่เมื่อความเข้มข้นเจือจางมากๆ จะให้กลิ่นหวานและกลิ่นไหม้บ้าง (slightly burnt) ไพโรลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระดับการคั่ว ในกาแฟที่ระดับเข้ม (dark) พบไพโรลจำนวนมาก

5. สารประกอบออกซาโซล (oxazoles) ออกซาโซลให้กลิ่นถั่ว กลิ่นหวาน และกลิ่นเหม็นเขียว

6. สารประกอบฟูราน (furans) พบได้หลายรูปได้แก่ อัลดีไฮด์ คีโตน เอสเทอร์ อัลกอฮอล์ อีเทอร์ แอซิด ไทออล และ ซัลไฟด์ และพบในรูปที่รวมกับสารประกอบเฮเทอโรไซคลิกอื่นๆ เช่น ไพราซีน และไพโรล สารประกอบฟูรานเกิดจากปฏิกิริยาไพโรไลซิสของน้ำตาลทำให้เกิดกลิ่นคล้ายน้ำตาลไหม้ และคาราเมล 4-hydroxy-2,5-dimethyl-3(2H)-furanones ให้กลิ่นหอม (fragrant) กลิ่นคาราเมล กลิ่นไหม้หวาน (burnt sweet) กลิ่นคล้ายสับปะรดไหม้ (burnt pineapple-like) กลิ่นหวานของถั่วอัลมอนด์ (nutty sweet) furfuryl alcohol พบได้ในปริมาณสูงในกาแฟที่คั่วระดับเข้ม (dark) ให้กลิ่นขม (bitter) และกลิ่นไหม้

7. สารประกอบอัลดีไฮด์ (aldehydes) เป็นองค์ประกอบของสารประกอบระเหยจำนวนมาก สารประกอบอัลดีไฮด์ส่วนใหญ่สูญหายเนื่องจากการระเหย และปฏิกิริยาออกซิเดชัน กาแฟคั่วที่มีความสดใหม่จะพบสารประกอบอัลดีไฮด์ในปริมาณสูง

8. สารประกอบคีโตน (ketones) มีความหลากหลายของการให้กลิ่นของสารประกอบคีโตน กลิ่นที่พบได้แก่ กลิ่นหวาน กลิ่นฉุน และกลิ่นผลไม้ (fruity) ใน propanone สารประกอบ 2,3-butanedione ให้กลิ่นเนย กลิ่นของคีโตนสัมพันธ์กับสารประกอบอัลดีไฮด์ และมีการสูญหายไปในช่วงการเก็บไซคลิกคีโตน (cyclic ketone) เช่น มอลทอล (maltol) และ 3-methylcyclopenten-2-one เกิดจากปฏิกิริยาการเกิดคาราเมล ให้กลิ่นหวาน กลิ่นผลไม้ และกลิ่นน้ำตาลไหม้

9. สารประกอบฟีนอล (phenols) โดยทั่วไปพบสารประกอบฟีนอลในปริมาณน้อย สารประกอบฟีนอลเพิ่มขึ้นตามระดับการคั่ว ให้กลิ่นควัน (smoky) กลิ่นไหม้ กลิ่นเครื่องเทศ (spicy) กลิ่นขม บางครั้งให้กลิ่นฝาด (astringent) ในกาแฟที่คั่วระดับเข้มและในกาแฟโรบัสต้าพบสารประกอบฟีนอลในระดับสูง

10. สารประกอบอื่นๆ (miscellaneous) สารประกอบที่มีความสำคัญ ได้แก่ คาวิโอฟูราน (kahweofuran) เป็นสารประกอบเฮเทอโรไซคลิก (heterocyclic) ที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ ให้กลิ่นซัลเฟอร์ที่แรง ในระดับที่เจือจางแล้วให้กลิ่นที่น่าพอใจได้แก่ กลิ่นคั่ว และกลิ่นควัน

Maria และคณะ (1996) ได้ศึกษาองค์ประกอบที่สำคัญที่ทำให้เกิดกลิ่นรสของกาแฟคั่ว โดยใช้ high resolution gas chromatography / mass spectrometry (HRGC/MS) ในกระบวนการคั่วกาแฟมีการสลายตัวของไตรโกเนลลีน (trigonelline) น้ำตาลซูโครส กรดอะมิโน และ อาราบิโนกาแลคแทน (arabinogalactan) ในการวิเคราะห์สารประกอบในกาแฟคั่วพบว่า ฟูรานไม่ได้เกิดจากการสลายตัวของน้ำตาลเท่านั้น แต่ยังเกิดจากการไพโรไลซิสของอาราบิโนกาแลคแทน ไพราซีนเกิดจากปฏิกิริยาไพโรไลซิสของกรดอะมิโนไฮดรอกซิล (hydroxyl amino acid) เป็นหลัก และไพรีดีนในกาแฟคั่วไม่ได้เกิดจากการสลายตัวของไตรโกเนลลีน (trigonelline) เพียงอย่างเดียวแต่เกิดจากปฏิกิริยาไพโรไลซิสของโปรตีนด้วย

Sarrazin และคณะ(2000) ได้เปรียบเทียบการสกัด 5 วิธี ได้แก่ supercritical fluid extraction with carbondioxide, silmutaneous distillation extraction, oil recovery under pressure vacuum, steam-stripping with water และ vacuum steam-stripping with organic solvent ในเมล็ดกาแฟอาราบิก้าที่ผ่านการคั่วและในเมล็ดกาแฟดิบ และใช้การทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน สามารถจำแนกองค์ประกอบที่พบในกาแฟคั่วนี้ ในเมล็ดกาแฟดิบกลิ่นที่พบได้แก่ กลิ่นควัน กลิ่นเหินเขียว กลิ่นดอกไม้ (floral) กลิ่นนุ่ม (soft) กลิ่นมันฝรั่ง (potato) กลิ่นดิน (earthy) และกลิ่นผัก (vegetable) ในเมล็ดกาแฟที่ผ่านการคั่วระดับต่ำ (light) กลิ่นที่พบ ได้แก่ กลิ่นควัน กลิ่นนุ่ม กลิ่นดิน กลิ่นคั่ว กลิ่นอัลมอนด์ (almond) กลิ่นธัญพืช กลิ่นมอลต์ (malt) กลิ่นคาราเมล กลิ่นขนมปังกรอบ (biscuit) กลิ่นถั่วลิสง (peanut) และกลิ่นขนมปังปิ้ง ในเมล็ดกาแฟที่ผ่านการคั่วระดับปานกลาง (medium) กลิ่นที่พบมี 13 ชนิด ได้แก่ กลิ่นควัน กลิ่นแฉก (curry) กลิ่นผลไม้ กลิ่นซัลเฟอร์ (sulphurous) กลิ่นคั่ว กลิ่นไหม้ กลิ่นดอกไม้ กลิ่นไขมัน (fatty) กลิ่นคาราเมล กลิ่นถั่วลิสง กลิ่นดิน กลิ่นขนมปังปิ้ง และกลิ่นกาแฟ

จากรายงานของ Teranishi และคณะ (1999) ได้กล่าวถึงคุณภาพของกาแฟในด้านกลิ่นรสว่า มีสารประกอบระเหยที่สำคัญได้แก่ ไพราซีน ฟีนอล และสเตรกเกอร์อัลดีไฮด์ (strecker aldehyde) โดยจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบกลิ่นคั่ว (roast) เป็นกลิ่นของไพราซีน กลิ่นยาง (rubbery) เกิดจากสารประกอบไทออล และพบว่า อัตราส่วนของสารประกอบ methylfuran กับ 2-butanone ซึ่งเรียกว่า aroma index เป็นสิ่งที่บ่งชี้ถึงความสดใหม่ของกาแฟคั่ว ซึ่งสารประกอบทั้งสองชนิดไม่สามารถทดสอบทางประสาทสัมผัสได้ และไม่สามารถตรวจพบในกาแฟที่บรรจุใน

ภาชนะบรรจุสุญญากาศหรือในกระป๋อง และการเก็บเพื่อรักษาความสดใหม่ของกาแฟคั่ว คือน่าจะเก็บในตู้เย็นหรือตู้แช่แข็ง

จากรายงานของ Deiber และ Delwiche (2004) ได้ศึกษาถึงสารประกอบที่ให้กลิ่นรสในเมล็ดกาแฟคั่วในระหว่างการบดโดยใช้วิธีการสกัดแบบ solid phase microextraction โดยใช้ค่า L value เป็นดัชนีบอกถึงระดับการคั่ว พบว่ากลิ่นหอมของกาแฟที่เกิดขึ้นระหว่างการบดดึงดูดใจได้พอๆกับกลิ่นหอมของกาแฟที่นำมาชงเป็นเครื่องดื่ม แต่กลิ่นหอมเหล่านี้สามารถระเหยได้ง่ายและไม่คงทน กลิ่นหอมนี้จะหายไปในช่วงผ่านกระบวนการต่างๆ หรือในรูปของเครื่องดื่ม ซึ่งในการศึกษาของเขาได้ใช้ไฟเบอร์ในการสกัดสารประกอบระเหย 3 แบบ คือ polydimethylsiloxane (PDMS) ความหนา 100 μm PDMS/divinylbenzene (DVB) ความหนา 65 μm และ carboxane (CAR)/PDMS ความหนา 75 μm เมล็ดกาแฟที่ผ่านการคั่วจะถูกเก็บที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส จนกระทั่งใช้งาน สารประกอบระเหยที่พบในระหว่างการบดกาแฟ ได้แก่ 2-methylfuran; pyridine; 2-methylpyrazine; 2,5-dimethylpyrazine; 2,6 dimethylpyrazine; 2-ethyl-3,5-dimethylpyrazine; 2-furancarboxaldehyde; 2-furanmethanol; 1-(1-H-pyrrol-1-yl)-2-propanone โดยพบว่า 4-ethyl-2-methoxyphenol ซึ่งให้กลิ่นฟีนอล (phenolic) มีการเพิ่มขึ้นตามระดับการคั่ว 4-hydroxy-2,5-dimethyl-3(2H)-furanone เป็นสารประกอบระเหยที่ให้กลิ่นหอมหวานและกลิ่นคล้ายคาราเมล

จากรายงานของ Ryan และคณะ (2004) ได้ทำการวิเคราะห์สารประกอบระเหยในกาแฟคั่ว โดยใช้วิธีการสกัดแบบ solid phase microextraction และตรวจวิเคราะห์สารประกอบระเหย โดยวิธี two-dimensional gas chromatography-time-of-flight ในกาแฟอาราบิก้า และโรบัสต้า ภาวะที่เลือกใช้ในการสกัดคือ ใช้เวลาในการสกัด 40 นาที ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส พบว่ามีสารประกอบระเหยจำนวนมาก ได้แก่ 2-methylfuran; 2,5-dimethylfuran; 2-butanone; pyridine; pyrazine; 2-ethyl-3,5-dimethylpyrazine; 2-furanmethanolacetate; 1-(1-H-pyrrole-2-yl)ethanone; 4-ethyl-2-methoxyphenol และในรายงานดังกล่าวพบว่าวิธีการสกัดโดยวิธี solid phase microextraction ไฟเบอร์ที่ใช้คือ 100% PDMS สารประกอบระเหยจะถึงจุดสมดุลได้ในเวลา 30 นาที นอกจากนี้ยังพบว่าพีกที่กว้าง (broad peak) เช่น สารประกอบไพรีดีน เกิดเนื่องจากการใส่ตัวอย่างมากเกินไป (overload)

จากรายงานของ Freitas และคณะ (2001) ได้ศึกษากลิ่นรสของกาแฟอาราบิก้า และโรบัสต้าโดยทำการเปรียบเทียบระหว่างวิธี electronic aroma-sensing device กับวิธี headspace solid phase microextraction gas chromatography-mass spectrometry Freitas พบว่าสถานะในการดูดซับตัวอย่างในระบบ solid phase microextraction ได้แก่ ปริมาตรว่างเหนือตัวอย่าง (headspace

volume) เวลา (time) และสมดุลของอุณหภูมิระหว่างที่วางเหนือตัวอย่าง (temperature of headspace equilibration) ในการสกัดใช้ไฟเบอร์ชนิด polydimethylsiloxane 100 μm ใช้ตัวอย่างกาแฟคั่วบด 2.5 กรัม บรรจุในขวดแก้วขนาด 20 มิลลิลิตร สารประกอบระเหยที่ตรวจพบได้แก่ pyridine; 2-butanone-3-hydroxy; methyl-ethyl-pyrazine; 2-propanone-1-acetyl(oxy); 5-methyl-2-furancarboxaldehyde; furanmethanol; acetyl pyrrole; methyl-2-pyrrole carboxaldehyde

2.7 วิธีการสกัดสารประกอบระเหย

สารประกอบระเหยที่ให้กลิ่นรสในอาหารส่วนใหญ่มิมีปริมาณน้อย การวิเคราะห์ในเชิงคุณภาพและปริมาณทำได้ยาก สารประกอบระเหยในกาแฟค่อนข้างซับซ้อน สารประกอบระเหยเหล่านี้มีโครงสร้างแตกต่างกันตามชนิดขององค์ประกอบทางเคมีได้แก่ ไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbons) อัลกอฮอล์ (alcohols) อีเทอร์ (ethers) อัลดีไฮด์ (aldehydes) คีโตน (ketones) แอซิด (acids) ซัลเฟอร์ (acids) เมอร์แคปแทน (mercaptans) ฟีนอล (phenols) ฟูราน (furans) ไพโรล (pyrroles) ไพรีดีน (pyridines) ไพราซีน (pyrazines) (Freitas และ Macrae, 1999) การพัฒนาวิธีการสกัดสารประกอบระเหยสิ่งที่จะต้องคำนึงถึงนอกจากประสิทธิภาพของการสกัดแล้วยังต้องคำนึงถึงในด้านราคา และเวลาด้วย วิธีการสกัด Freitas ได้ทดลองหาสารประกอบระเหยในเมล็ดกาแฟดิบและเมล็ดกาแฟคั่วโดยวิธี purge and trap ปัญหาที่พบในการทดลองคือ พีกที่กว้าง (broad peak) ซึ่งเขาแก้ปัญหานี้โดยใช้ liquid nitrogen cryofocus ที่ส่วนต้นคอลัมน์ สารประกอบที่ตรวจพบได้แก่ pyrazine-3-ethyl-2,5-dimethyl; 2-pyridinecarboxylic acid; methylpyrazine; 1H-pyrrole-2-carboxaldehyde-5-methyl; pyrazine และ 2-furanmethanolacetate

ในการวิเคราะห์เพื่อแยกสารชนิดและหาปริมาณสารด้วยวิธีโครมาโตกราฟี (chromatography) ให้ได้ผลดี กล่าวคือได้พีก (peak) ที่สวยงามและเด่นชัดปรากฏบนโครมาโตแกรม ตลอดจนได้ร้อยละการได้กลับคืน (recovery) สูง จำเป็นอย่างยิ่งที่สารที่เราจะนำมาวิเคราะห์นั้น ต้องผ่านขั้นตอนการเตรียมสารให้อยู่ในรูปสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงและมีสารอื่นเจือปนอยู่ด้วยน้อยที่สุด ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ยากที่สุดในการวิเคราะห์สารด้วยวิธีโครมาโตกราฟี วัตถุประสงค์ที่สำคัญของการสกัดสาร คือ เพื่อให้ได้สารที่สนใจที่มีความเข้มข้นพอเหมาะในการวิเคราะห์ วิธีการสกัดที่ดีจะป้องกันการสลายตัวของสารประกอบที่สนใจ และไม่ถูกรบกวนจากสารประกอบอื่นๆ

การสกัดมีความสำคัญสำหรับการวิเคราะห์โดยวิธีแก๊สโครมาโตกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี เนื่องจากแก๊สโครมาโตกราฟีเป็นวิธีที่มีความไวสูงและการแยกชนิดของสารถูกจำกัดด้วย

เมตริกซ์ของตัวอย่าง (sample matrix) (Hinshaw, 2003) วิธีการสกัดสารประกอบระเหยที่นิยมใช้มีหลายวิธี ได้แก่ headspace, purge trap, liquid-liquid extraction, liquid-liquid extraction with ultrasound, simultaneous stream distillation extraction, solid phase microextraction (Cai และคณะ, 2001)

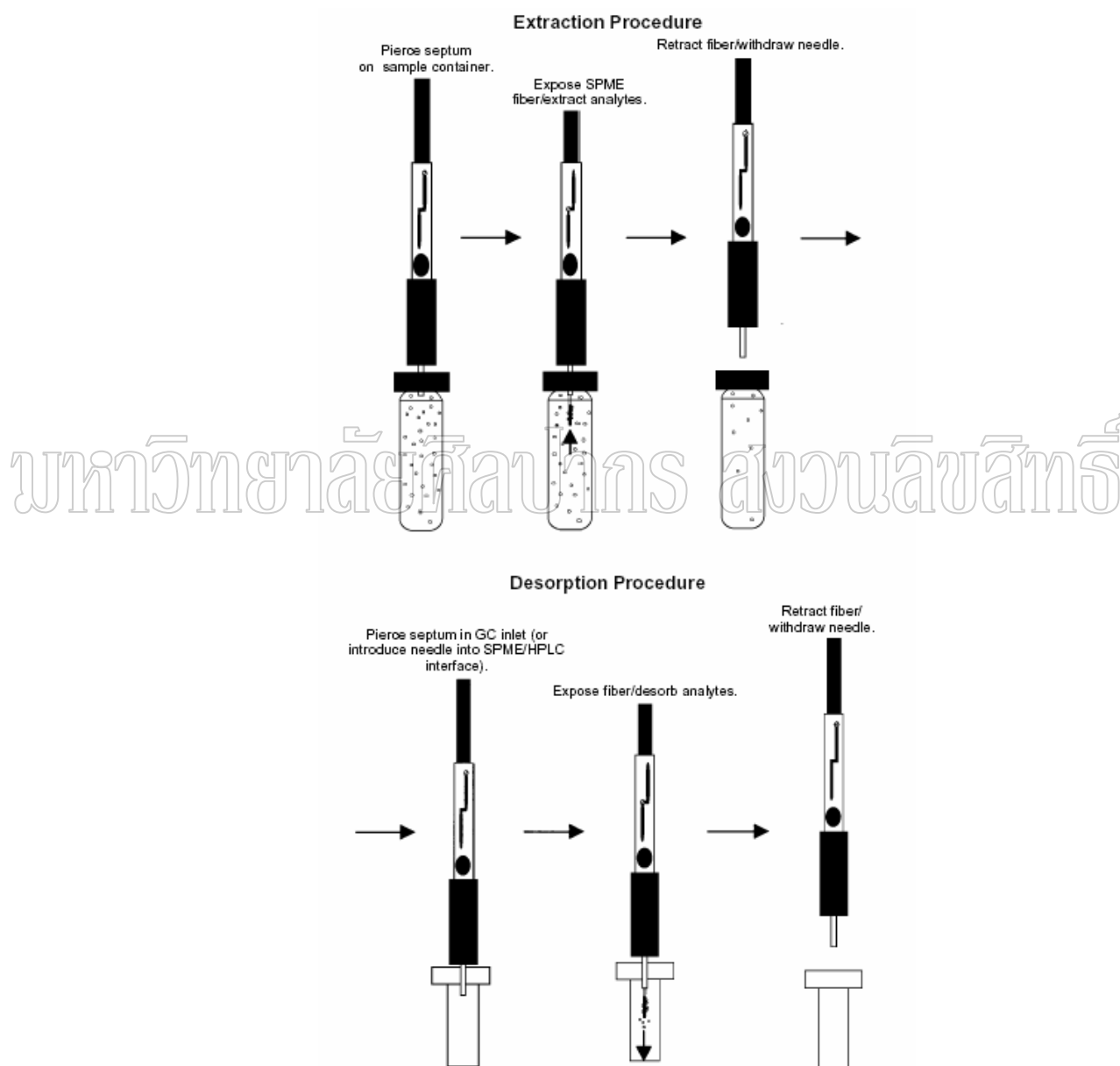
วิธีการสกัดแบบ solid phase microextraction มีลักษณะเด่นหลายประการ ได้แก่ ไม่มีตัวทำละลาย ลดเวลาในการเตรียมตัวอย่าง ง่าย ราคาไม่แพง (Ibanez และคณะ, 1998) วิธีการสกัดแบบ solid phase microextraction อาศัยหลักการดูดซับ ตัวดูดซับของ solid phase microextraction (SPME) ได้แก่ polydimethylsiloxane (PDMS) polydimethylsiloxane /divinylbenzene (PDMS/DVB) polydimethylsiloxane/carboxen (PDMS/Carboxen) solid phase microextraction เป็นวิธีใหม่ที่สามารถสกัดสารในลักษณะ headspace ได้ (Cai และคณะ, 2001) solid phase microextraction ประกอบด้วยส่วนที่เป็นแท่ง fused silica fiber เล็กๆ ที่บริเวณส่วนปลายเคลือบด้วยสารโพลีเมอร์ เช่น polydimethyl siloxane ซึ่งสารโพลีเมอร์ทำหน้าที่เป็นเฟสของเหลว (liquid phase) คอยดูดซับสารที่เราต้องการวิเคราะห์แยกออกจากตัวอย่างให้มาดูดซับอยู่ที่แท่งไฟเบอร์ โดยที่แท่งไฟเบอร์นี้มีคุณสมบัติทนต่อสภาวะต่าง ๆ เช่น ทนต่ออุณหภูมิสูง ทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมีและมีคุณสมบัติคล้ายเฟสอยู่นิ่ง (stationary phase) ในกาซโครมาโตกราฟี (Cai และคณะ, 2001) แท่งไฟเบอร์นี้ติดอยู่กับปลั๊นเจอร์ (plunger) ที่มีลักษณะเหมือนเป็นไมโครไซริงจ์ (modified microlitre syringe) ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 อุปกรณ์สำหรับการสกัดโดยวิธี solid phase microextraction

ลักษณะการใช้งานทำได้โดยแทงผ่านเซปตัม (septum) ของขวดบรรจุสารตัวอย่าง (sample vial) ซึ่งเป็นภาชนะปิดบรรจุตัวอย่างอยู่ภายใน กดปลั๊นเจอร์ (plunger) ให้ส่วนปลายของแท่งไฟเบอร์ที่มีโพลีเมอร์เคลือบอยู่จุ่มลงในสารละลายตัวอย่าง หรือ อยู่บริเวณที่ว่างเหนือสารตัวอย่าง (headspace) ในขวดบรรจุสารตัวอย่างสารที่เราต้องการวิเคราะห์จะถูกดูดซับบนโพลีเมอร์

ด้วยพันธะทางเคมี เป็นเวลาประมาณ 2 ถึง 30 นาที จะถึงจุดสมดุลการดูดซับ ต่อมาไฟเบอร์จะถูกชักกลับเข้าไปในเข็มกลวง และนำเข็มออกจากขวดบรรจุสารตัวอย่าง และนำไปฉีดเข้าเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี ตรงบริเวณนี้มีการให้ความร้อนเพื่อให้สารที่ถูกดูดซับหลุดออกจากตัวดูดซับ (desorption) เข้าสู่คอลัมน์ในเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี (Bulletin 923, 1998) ลักษณะการทำงานแสดงได้ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 การทำงานของ solid phase microextraction

ที่มา : Bulletin 923 (1998)

สิ่งสำคัญในการวิเคราะห์โดยวิธีแก๊สโครมาโตกราฟี คือ ความจำเพาะเจาะจง (selectivity) ของการสกัด ซึ่งสามารถเลือกเฟสของเหลว (liquid phase) ที่เคลือบบนไฟเบอร์ได้ตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน (Cai และคณะ, 2001) นอกจากนี้แล้วความจำเพาะเจาะจง (selectivity) ของวิธีการสกัดแบบ solid phase microextraction ยังขึ้นอยู่กับความหนาของเฟสของเหลว (liquid phase) ที่เคลือบอยู่บนผิวของ fused silica fiber (Bulletin 923, 1998) ชนิดของไฟเบอร์และความจำเพาะเจาะจงของการใช้งาน แสดงได้ดังตารางที่ 4

สมดุลการดูดซับเกิดระหว่างความเข้มข้นของสารที่ต้องการวิเคราะห์ในตัวอย่าง ในบริเวณที่วางเหนือสารตัวอย่าง และในโพลิเมอร์ที่เคลือบบนไฟเบอร์ ปริมาณสารที่ถูกดูดซับโดยไฟเบอร์ขึ้นอยู่กับความหนาของโพลิเมอร์ที่เคลือบอยู่และขึ้นกับค่าคงที่ของการกระจายตัว (distribution constant) เวลาในการสกัด คือเวลาที่ใช้ในการสกัดสารที่ต้องการวิเคราะห์จนกระทั่ง distribution constant มีค่าสูงที่สุด โดยทั่วไป distribution constant มีค่ามากขึ้นเมื่อมวลโมเลกุล และจุดเดือดของสารที่ต้องการวิเคราะห์เพิ่มขึ้น (Bulletin 923, 1998)

ตารางที่ 4 ชนิดของไฟเบอร์ในการสกัดโดยวิธี solid phase microextraction

Type of fiber	Application
polydimethylsiloxane 100 μm	volatiles
polydimethylsiloxane 30 μm	nonpolar semi-volatiles
polydimethylsiloxane 7 μm	nonpolar high molecular weight compounds
polydimethylsiloxane/divinylbenzene	volatiles, Amines, nitroaromatic compounds
Polyacrylate	polar semivolatiles
Carbowax/divinylbenzene	alcohols, polar compound
Carboxen/ polydimethylsiloxane	gases, low molecular weight compounds
divinylbenzene/	volatiles and semivolatiles flavours and odours
carboxen/polydimethylsiloxane	

ที่มา : Pillonel และคณะ (2002)

บรรณานุกรม

- จิรสวัสดิ์ ภูวิกรมย์. 2546. “ปัจจัยการผลิตที่มีผลต่อสารให้กลิ่นรสของกาแฟผสมแบบไทย”
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นนทวัชร ชิตวิสัย. 2547. “การเปลี่ยนแปลงสารประกอบระเหย และกรดอินทรีย์ระหว่าง
กระบวนการหมักของกาแฟอาราบิก้าที่ปลูกในประเทศไทย” วิทยานิพนธ์ปริญญา
มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยศิลปากร.
- นิธิยา รัตนานนท์. 2545. เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ. 504 น.
- Anderson, B.A., Shimoni, E., Liardon, R. and Labuza, T.P. 2003. The diffusion kinetics of
carbondioxide in fresh roasted and ground coffee. *Journal of Food Engineering* 59:
71-78.
- Belitz, H.D. and Grosch, W. 1999. *Food Chemistry* 2nd ed. Springer-Verlag. Berlin. 362 p.
- Bulletin 923. 1998. SUPELCO. Supelco park, Bellefonte, PA 16823-0048 USA.
- Cai, J., Liu, B. and Su, Q. 2001. Comparison of simultaneous distillation extraction and solid-
phasemicroextraction for the determination of volatile flavor components. *Journal of*
Chromatography A 930: 1-7
- Chamot, E. and Porankiewicz, B. 1999. Characterization Symposium, American Chemical
Society 34th Midwest Regional Meeting, Quincy, October 27-29.
- Clarke, R.J., and Macrae, R. 1985. *Coffee, Vol. 1: Chemistry*. 1st ed. Elsevier Science
Publishers, London. 306 p.
- Clarke, R.J. and Macrae, R. 1987. *Coffee, Vol 2: Technology*. 1st ed. Elsevier Science
Publishers, London. 321 p.
- Coca, M., Garcia, M.T., Gonzalez, G., Pena, M., and Garcia, J.A. 2004 Study of colored
components formed in sugar beet processing. *Food Chemistry*. 86: 421-433.
- Coffee Research Institute. 2001. <http://www.coffeeresearch.org/science/aromaman.htm>
- Czerny, M., Mayer, F. and Grosch, W. 1999. Sensory Study on the Character Impact Odorants
of Roasted Arabica Coffee. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 47: 695-699.

- Deiber, K.D. and Delwiche, J. 2004. Handbook of Flavor and Characterization. Marcel Dekker, Inc. New York. 231-257 p.
- De Maria, C.A.B., Trugo, L.C., Neto, F.R.A., Moreira, R.F.A. and Alviano, C.S. 1996. Composition of green coffee water-soluble fractions and identification of volatiles formed during roasting. Food Chemistry. 55(3): 203-207.
- Freitas, A.M.C. and Moaca, A.I. 1999. Coffee geographic origin an aid to coffee differentiation. Food Research International 32: 565-573.
- Freitas, A.M.C., Parreira, C. and Vilas-Boas, V. 2001. The use of an Electronic Aroma-sensing Device to Assess Coffee Differentiation-Comparison with SPME Gas Chromatography-Mass Spectrometry Aroma Patterns. Journal of Food Composition and Analysis 14: 513-522.
- Gerbersmann, C., Lobinski, R. and Adams, F.C. 1995. Determination of volatile sulfur compounds in water samples, beer and coffee with purge and trap gas chromatography-microwave-induced plasma atomic emission spectrometry. Analytica Chimica Acta 316: 93-104.
- Hinshaw, J.V. 2003. Solid-phase microextraction. LC-GC Europe. December: 2-4.
- http://www.landfood.ubc.ca/courses/fnh/410/colour/3_81.htm
- Ibanez, E., Lopez-Sebastian, S., Ramos, E., Tabera, J. and Reglero, G. 1998. Analysis of volatile fruit components by headspace solid-phase microextraction. Food Chemistry 63 (2): 281-286
- Janssen, M.M.T. 1997. Pyrolysis product occurring in food, CRC Press, Boca Raton, New York. 90-92 p.
- Mendes, L.C., De Menezes, H.C., Aparecida, M. and Da Silva, A.P. 2001. Optimization of the roasting of robusta coffee (*C. canephora* conillon) using acceptability tests and RSM. Food Quality and Preference 12: 153-162.
- Pandey, A., Soccol, C.A., Nigam, P. and Brand, D. 2000. Biotechnological potential of coffee pulp and coffee husk for bioprocesses. Biochemical Engineering Journal 6: 153-162.
- Pillonel, L., Bosset, J.O. and Tabacchi, R. 2002. Rapid preconcentration and enrichment techniques for the analysis of food volatile. Lebensm.-Wiss. U.-Technol 35: 1-14.
- Ryan, D., Shellie, R., Tranchida, P., Casilli, A., Mondello, L. and Marriott, P. 2004. Analysis of

roasted coffee bean volatiles by using comprehensive two-dimensional gas chromatography-time-of-flight mass spectrometry. *Journal of Chromatography A* 1054: 57-65.

Sivetz, M. and Foote, H.E., 1963. *Coffee Processing Technology*. Vol 1: Fruit-Green, Roast and soluble Coffee. The AVI Publishing Company, London. 598 p.

Sarrazin, C., Quere, J. L., Gretsch, C. and Liardon, R. 2000. Representativeness of coffee aroma extracts: a comparison of different extraction methods. *Food Chemistry* 70: 99-106.

Teranishi, R., Wick, E.L. and Hornstein, I. 1999. *Flavor Chemistry*. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York. 258p.

Varnam, H.A. and Sutherland, P.J. 1994. *Beverage Technology Chemistry and Microbiology*. Chapman&Hall, New York. 254 p.

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์