

# สารระเหยในกาแฟโรบัสต้าของไทย

## Volatile Compounds in Thai Robusta Coffee

จิรสวัสดิ์ ภูวิกรมย์ และ สิริ ชัยเสรี<sup>1</sup>

Jirasawat Puvipirom and Siree Chaiseri

### บทคัดย่อ

กาแฟโรบัสต้าจากจังหวัดชุมพร ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 240 °C เป็นระยะเวลา 15 นาที เมื่อนำมาวิเคราะห์สารระเหยในกาแฟโดยใช้ gas-chromatography-mass spectrometry (GC-MS) พบสารระเหย 52 ชนิด ได้แก่ ไพราซีน (pyrazine) 15 ชนิด ฟูแรน (furan) 11 ชนิด ฟีนอล (phenol) 5 ชนิด ไพร์โรล (pyrrole) 4 ชนิด คีโตน (ketone) 4 ชนิด อัลดีไฮด์ (aldehyde) 2 ชนิด กรดคาร์บอกซิลิก (carboxylic acid) 2 ชนิด ไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon) 1 ชนิด ไพริดีน (pyridine) 1 ชนิด ไทโอเฟน (thiophene) 1 ชนิด ไทอะโซล (thiazole) 1 ชนิด และสารประกอบอื่น ๆ อีก 5 ชนิด สารระเหยที่มีปริมาณสูงที่สุด ได้แก่ สารในกลุ่มไพราซีน ฟูแรน ฟีนอล และไพริดีน ตามลำดับ จากการวิเคราะห์โดยใช้ gas-chromatography-olfactometry (GCO) พบสารระเหยที่มีความสำคัญต่อกลิ่นกาแฟ 8 ชนิด ได้แก่ 2,3-pentanedione ให้กลิ่นกาแฟ 2-ethyl-3,5-dimethylpyrazine ให้กลิ่นเนยถั่ว 2-ethyl-6-methylpyrazine ให้กลิ่นถั่วเน่า 2-ethyl-3-methylpyrazine ให้กลิ่นข้าวโพดคั่ว 5-methylfurfural และ 2-furanmethanol ให้กลิ่นเหม็นเขียว 2-methoxyphenol ให้กลิ่นพริกคั่ว และ N-furfuryl pyrrole ให้กลิ่นคั่ว

### ABSTRACT

Green robusta coffee beans from Chumporn Province were roasted in a forced air oven at 240 °C for 15 min. Analysis of volatile compounds by gas-chromatography-mass spectrophotometry (GC-MS) identified 52 compounds. They were 15 pyrazines, 11 furans, 5 phenols, 4 pyrroles, 4 ketones, 2 aldehydes, 2 carboxylic acids, 1 hydrocarbon, 1 pyridine, 1 thiophene, 1 thiazole, and 5 miscellaneous compounds. The most abundant volatile compounds in Thai robusta coffee were pyrazines, furans, phenols, and pyridines, respectively. Eight key aroma components were identified by gas-chromatography-olfactometry (GCO). The predominant aroma components were 2,3-pentanedione (coffee), 2-ethyl-3,5-dimethylpyrazine (peanut butter), 2-ethyl-6-methylpyrazine (rotten bean), 2-ethyl-3-methylpyrazine (popcorn), 5-methylfurfural (green), 2-furanmethanol (green), 2-methoxyphenol (roasted chilli), and N-furfuryl pyrrole (roasted).

<sup>1</sup> ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
Department of Food Science and Technology, Faculty of Agro-Industry, Kasetsart University

## คำนำ

กาแฟ (*Coffea Spp.*) เป็นพืชที่เจริญในลักษณะภูมิอากาศเขตร้อนชื้น แหล่งที่ปลูกคืออเมริกาใต้ แอฟริกา และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เมล็ดกาแฟเมื่อนำมาคั่วจะเกิดไพโรไลซิส (pyrolysis) และปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ได้สารที่ให้กลิ่นรส (Heyn, 1979) การคั่วกาแฟในระยะแรกจะเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด เปลี่ยนกรดอะมิโน เปปไทด์ สารประกอบเชิงซ้อนของโปรตีน และน้ำตาลรีดิวซ์ ให้เป็นอัลดีไฮด์ คีโตน อะมีน ฟิวแรน และไพราซีน เมื่ออุณหภูมิในการคั่วสูงขึ้นจะเกิดไพโรไลซิสเกิดสารให้กลิ่นอื่น ๆ ที่มีความสำคัญต่อกลิ่นกาแฟ จากการศึกษาสารระเหยในกาแฟพบว่า ชนิดและปริมาณของสารระเหยในกาแฟขึ้นกับสายพันธุ์ของกาแฟตลอดจนแหล่งที่เพาะปลูก กาแฟโรบัสต้าจะมีฟีนอล ไพโรโรล และสารประกอบซัลเฟอร์สูงกว่ากาแฟอาราบิก้า (Tressl และคณะ, 1978; Vitzthum และคณะ, 1990) Amorim และคณะ (1977) ได้ศึกษาสารระเหยในกาแฟอาราบิก้าจากแหล่งเพาะปลูกต่างๆ กันในบริเวณ Sao Paulo และ Minas Gerais ในบราซิล พบว่ากาแฟสายพันธุ์เดียวกันแต่มาจากแหล่งเพาะปลูกที่แตกต่างกัน จะมีปริมาณของสารให้กลิ่นแตกต่างกัน กลิ่นเฉพาะของกาแฟแต่ละท้องถิ่นเกิดจากสารระเหยที่พบมากในกาแฟนั้น เช่น กลิ่นดินซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของกาแฟโรบัสต้าจากอินโดนีเซียเกิดจาก 2-ethenyl-3, 5 dimethylpyrazine และ 2-ethenyl-3-ethyl-5-methylpyrazine เป็นต้น (Czerny และคณะ, 1996)

จากการที่กาแฟแต่ละแหล่งมีสารให้กลิ่นที่ไม่เหมือนกัน และยังไม่มีการศึกษาสารให้กลิ่นของกาแฟที่ปลูกในประเทศไทย จึงเป็นจุดสนใจในการศึกษาสารให้กลิ่นในกาแฟ โดยเฉพาะกาแฟโรบัสต้าซึ่งปลูกมากทางภาคใต้และมีความสำคัญกับอุตสาหกรรมกาแฟในประเทศไทย เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการศึกษาวิจัยหรือพัฒนาการผลิตกาแฟในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

## อุปกรณ์และวิธีการ

### การเตรียมตัวอย่าง

เมล็ดกาแฟแห้งสายพันธุ์โรบัสต้า (*Coffea Canephora var robusta*) จากจังหวัดชุมพร ได้จากบริษัทเนสท์เล่ (ประเทศไทย) จำกัด นำเมล็ดกาแฟแห้ง 500 กรัม อบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 240 °C เป็นเวลา 15 นาที นำมาทิ้งให้เย็นแล้วบดกาแฟผสมน้ำแข็งแห้งด้วยเครื่องบดละเอียด

### การสกัดสารระเหย

นำตัวอย่าง 40 กรัม เติม 2-methyl-3-heptanone เพื่อเป็น internal standard แล้วทำการสกัดสารระเหยด้วยวิธี Simultaneous Distillation Extraction (SDE) ที่ดัดแปลงจาก Spadone และคณะ (1990)

### การวิเคราะห์สารระเหย

การวิเคราะห์สารระเหยที่สกัดได้ ทำโดยใช้เครื่อง gas-chromatography (HP-6890, Hewlett Packard, USA) ใช้วิธีการฉีดสารระเหยที่สกัดได้เข้าคอลัมน์ (HP-Innowax 60m × 0.25 mm × 0.25 μm) โดยตรง อุณหภูมิคอลัมน์เพิ่มจาก 40 °C ถึง 220 °C อัตราการเพิ่ม 3 °C ต่อนาที ใช้ฮีเลียมเป็น Carrier gas อัตราการไหล 40 ซมต่อวินาที การฉีดใช้แบบ Split (10:1) อุณหภูมิ Injector 250 °C (Spadone และคณะ, 1990)

## การวิเคราะห์สารให้กลิ่นที่สำคัญ

วิเคราะห์สารให้กลิ่นที่สำคัญด้วยวิธี Gas-Chromatography-Olfactometry (GCO) โดยต่อ sniff port เข้ากับคอลัมน์ก่อนที่จะเข้า flame ionization detector (FID) สภาวะการวิเคราะห์ด้วยแก๊สโครมาโตกราฟีดัดแปลงจากวิธีของ Spadone และคณะ (1990) การดมกลิ่นสารระเหยที่ผ่านการแยกจากคอลัมน์แล้ว ใช้ผู้ทดสอบ 2 คนที่ผ่านการฝึกเทคนิค GCO ให้มีความคุ้นเคยกับลักษณะกลิ่นกาแฟ ทำการวิเคราะห์ตัวอย่าง 2 ซ้ำ ตามวิธีของ Suriyaphan และคณะ (2001)

## ผลและวิจารณ์

สารระเหยที่เกิดจากการอบกาแฟโรบัสต้าจากจังหวัดชุมพร ที่อุณหภูมิ 240 °C 5 นาที มีทั้งหมด 52 ชนิด ได้แก่ ไพราซีน 15 ชนิด ฟูแรน 11 ชนิด ฟีนอล 5 ชนิด ไพริโวล 4 ชนิด คีโตน 4 ชนิด อัลดีไฮด์ 2 ชนิด กรดคาร์บอกซิลิก 2 ชนิด ไฮโดรคาร์บอน 1 ชนิด ไพรีดีน 1 ชนิด ไทโอฟิน 1 ชนิด ไทอะโซล 1 ชนิด และสารประกอบอื่น ๆ อีก 5 ชนิด (ตารางที่ 1)

สารระเหยที่พบปริมาณมากที่สุดเป็นสารในกลุ่มไพราซีนและยังพบมากชนิดที่สุดด้วย (ตารางที่ 1) ไพราซีนเกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดระหว่างกรดอะมิโนและน้ำตาลรีดิวซ์ โดยเกิดขึ้นได้ตั้งแต่วัยแรกของการให้ความร้อน จากการวิเคราะห์ลักษณะกลิ่นของกาแฟด้วย GCO พบไพราซีนที่มีความสำคัญต่อกลิ่นกาแฟทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ 2-ethyl-3,5-dimethylpyrazine ให้กลิ่นเนยถั่ว ซึ่งสารนี้มีค่า odor threshold ต่ำประมาณ 1 ng/g จึงมีความแรงของกลิ่นมาก อีก 2 ชนิด ได้แก่ 2-ethyl-6-methylpyrazine ให้กลิ่นถั่วเน่า และ 2-ethyl-3-methylpyrazine ให้กลิ่นข้าวโพดคั่ว (ตารางที่ 2 )

สารในกลุ่มฟูแรนจากกาแฟอบพบทั้งหมด 11 ชนิด มีปริมาณรองจากไพราซีน มี 2 ชนิดที่ให้กลิ่นคือ 5-methylfurfural และ 2-furanmethanol ซึ่งจากการวิเคราะห์ด้วย GCO พบว่าสารทั้งสองชนิดมีบทบาทสำคัญต่อกลิ่นหมิ่นเขียวในกาแฟ

สารระเหยในกลุ่มฟีนอลมีปริมาณรองลงมาจากฟูแรน ฟีนอลเกิดจากการสลายตัวด้วยความร้อนของกรดคลอโรเจนิค (chlorogenic acid) หรือ decarboxylation ของ phenolic carboxylic acids (Tressl และคณะ, 1978) ในการอบกาแฟที่อุณหภูมิ 240 °C เป็นระยะเวลา 15 นาที พบฟีนอล 5 ชนิด ปกติฟีนอลจะให้กลิ่นเครื่องเทศ กลิ่นไหม้ กลิ่นควัน และให้รสฝาดในกาแฟ (Sanz และคณะ, 2001) การวิเคราะห์กลิ่นของกาแฟโรบัสต้าด้วย GCO พบฟีนอลที่เป็นสารให้กลิ่นที่สำคัญ ได้แก่ 2-methoxyphenol ซึ่งมีลักษณะกลิ่นพริกคั่ว ส่วน 4-vinyl-2-methoxyphenol ซึ่งพบในปริมาณ 1,703.1 µg/g ควรจะมีความแรงของกลิ่นมากเนื่องจากมีค่า odor threshold ที่ต่ำประมาณ 3 ng/g แต่ไม่สามารถตรวจพบได้วิเคราะห์ด้วย GCO อาจเนื่องจากเป็นสารที่แยกออกมาจากคอลัมน์ที่อุณหภูมิสูง อุณหภูมิขณะที่ดมและการแทรกซ้อนของกลิ่นจากสารอื่นที่เกิดขึ้นภายใน GC ระหว่างที่อุณหภูมิ GC มีค่าสูงอาจทำให้ผู้ดมสามารถตรวจจับกลิ่นได้น้อยลง

ไพรีดีนเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกรดอะมิโนกับน้ำตาล หรืออาจเกิดจาก aldolization ของอัลดีไฮด์กับแอมโมเนีย (Ledl และ Severin, 1973) พบไพรีดีนทั้งหมด 1 ชนิด สารในกลุ่มไพรีดีนปกติจะให้กลิ่นคั่ว ไหม้ ให้รสขมและฝาด (Maga, 1975; Sanz และคณะ, 2001) การวิเคราะห์กลิ่นของกาแฟโรบัสต้าด้วย GCO ผู้ดมไม่ได้กลิ่นจากไพรีดีน

สารในกลุ่มไพโรโรลจากกาแฟโรบัสต้าพบทั้งหมด 4 ชนิด จากการวิเคราะห์โดยใช้ GCO พบ N-furfurylpyrrole ซึ่งเป็นสารที่ให้กลิ่นคั่ว

สารในกลุ่มคีโตนเกิดจากการสลายตัวของน้ำตาลซูโครสได้เป็นสารตั้งต้นของไดคีโตน (diketone) หรืออาจเกิดจากไพโรไลซิสของคาร์โบไฮเดรตชนิดอื่นๆ ที่พบในกาแฟ (Nishimura และ Mihara, 1990) คีโตนที่พบในกาแฟโรบัสต้าไทยมี 4 ชนิด โดยพบว่า 2,3-pentanedione ให้กลิ่นกาแฟ (ตารางที่ 2) ซึ่งเป็นการบรรยายลักษณะกลิ่นที่ต่างจากที่ Leffingwell (1998) ได้รวบรวมไว้ว่าให้กลิ่นครีม หรือกลิ่นคล้ายนม อาจเนื่องจากมีสารชนิดอื่นที่ให้กลิ่นของกาแฟออกจากคอลัมน์ในระยะเวลาใกล้เคียงกัน แต่มีความเข้มข้นต่ำเพราะมีค่า threshold ต่ำ จึงไม่ปรากฏในโครมาโตแกรมแต่สามารถบดบังกลิ่นครีมของ 2,3-pentanedione ได้

อัลดีไฮด์ที่พบในกาแฟเกิดจาก oxidative degradation ของกรดอะมิโนระหว่างการทำปฏิกิริยากับน้ำตาลที่อุณหภูมิสูง อัลดีไฮด์ที่พบในกาแฟโรบัสต้ามีทั้งหมด 2 ชนิด ได้แก่ hexanal และ benzaldehyde โดยที่ hexanal มี threshold ของกลิ่นที่ต่ำประมาณ 4.5  $\mu\text{g/g}$  จึงควรมีความแรงของกลิ่นมาก แต่ไม่พบว่าสารในกลุ่มอัลดีไฮด์มีความสำคัญมากนักต่อกลิ่นของกาแฟ เมื่อเทียบกับสารระเหยชนิดอื่น

การวิเคราะห์ทาง GCO และการเทียบค่า retention index ในการทดลองนี้ไม่พบไทโอฟินซึ่งเกิดจากการไพโรไลซิสของ cystein, cystine และ ไรโบส (ribose) มีการตรวจพบในรายงานฉบับอื่นว่าไทโอฟินให้ลักษณะกลิ่นคล้ายกาแฟ (Kato และคณะ, 1973)

จากผลการทดลองจะเห็นว่าทำให้ความร้อนต่อเมล็ดกาแฟจะทำให้เกิดสารระเหยหลายชนิด กลิ่นโดยรวมของกาแฟโรบัสต้าไทยเกิดจากสารให้กลิ่นที่สำคัญ 8 ชนิด ซึ่งให้กลิ่นกาแฟ เนยถั่ว กลิ่นคั่ว ข้าวโพดคั่ว พริกคั่ว และให้กลิ่นเหม็นเขียว (ตารางที่ 2) ซึ่งเราจะพบกลิ่นเหม็นเขียวในกาแฟสำเร็จรูปที่ผลิตในประเทศไทย

Table 1 Volatile compounds identified in Thai robusta coffee roasted at 240 °C for 15 min.

RI <sup>a</sup>	Compounds	Conc. ( $\mu\text{g/g}$ )	Threshold in water ( $\eta\text{g/g}$ )	Odor description <sup>b</sup>
<b><u>Aldehydes</u></b>				
1068	hexanal	31.4	4.5	Strong, penetrating, fatty-green, grassy unripe fruit odor
1521	benzaldehyde	124.9	350	Odor of bitter almond oil; characteristic sweet cherry taste
<b><u>Carboxylic acids</u></b>				
1675	3-methyl butanoic acid	56.4	120-700	Very sour, "sweaty", cheesy, odor; fruity on dilution
2906	hexadecanoic acid (palmitic acid)	389.3	-	-
<b><u>Furans</u></b>				
1184	2-propenylfuran	39.6	-	-

RI <sup>a</sup>	Compounds	Conc. ( $\mu\text{g/g}$ )	Threshold in water ( $\eta\text{g/g}$ )	Odor description <sup>b</sup>
1223	2-methoxymethylfuran	92.5	-	-
1455	2-furancarboxaldehyde	1,432.0	-	-
1460	2-furfuryl methylsulfide	112.6	-	-
1531	furfuryl acetate	895.1	-	Ethereal, floral odor; weak, warm, fruity taste
1575	5-methylfurfural	1,319.0	20,000	Sweet spicy, bready, caramellic odor and taste
1588	2,2'-methylenebis furan	157.9	-	-
1656	5-methylfuran	122.3	-	-
1671	2-furanmethanol	2,848.6	-	-
1836	3-phenylfuran	52.9	-	-
1976	furan	253.86	-	-
	<u>Hydrocarbons</u>			
2027	benzeneacetaldehyde	56.8	-	-
	<u>Ketones</u>			
1054	2,3-pentanedione	394.0	900-1,000	Oily-buttery, fatty odor; butter, cream, milk taste
1170	cyclopentanone	43.6	-	-
1297	1-hydroxy-2-propanone	67.4	-	-
1351	2-methyl-2-cyclopentan-1-one	67.4	-	-
	<u>Phenols</u>			
1869	2-methoxyphenol	226.7	-	-
2012	phenol	159.7	-	-
2024	4-ethyl-2-methoxyphenol	1,111.3	50	Sweet, spicy, phenolic-medicinal, mildly smoky
2175	4-ethylphenol	51.8	-	Strong, woody-phenolic, somewhat sweet, smoky odor
2210	4-vinyl-2-methoxyphenol	1,703.1	3	Sweet, spicy, clove-like, smoky odor; sweet taste
	<u>Pyrazines</u>			
1201	pyrazine	365.5	-	-
1264	methylpyrazine	2,985.7	60	Green, nutty, cocoa, musty,

RI <sup>a</sup>	Compounds	Conc. ( $\mu\text{g/g}$ )	Threshold in water ( $\eta\text{g/g}$ )	Odor description <sup>b</sup>
				potato, fishy-ammoniacal notes
1319	2,5-dimethylpyrazine	1,271.3	1,700	Chocolate, roasted nuts, earthy
1325	2,6-dimethylpyrazine	2,067.7	200	Chocolate, roasted nuts, fried potato odor
1330	2,3-dimethylpyrazine	343.2	2,500	Green, nutty, potato, cocoa, coffee, caramel, meaty notes
1362	2-ethyl-6-methylpyrazine	1,050.2	-	-
1369	2-ethyl-5-methylpyrazine	724.4	100	Nutty, roasted, somewhat "grassy"
1383	2-ethyl-3-methylpyrazine	431.3	-	-
1392	propylpyrazine	58.7	-	-
1410	2,6-diethylpyrazine	176.3	-	-
1434	3-ethyl-2,5-dimethylpyrazine	875.6	1	Cocoa, chocolate, nutty (burnt almond, hazelnut) notes
1440	2-ethyl-3,5-dimethylpyrazine	344.8	1	Cocoa, chocolate, nutty (burnt almond, hazelnut) notes
1472	3,5-dimethyl-2-methylpyrazine	208.4	-	-
1594	2-isoamyl-6-methylpyrazine	55.7	-	-
1725	pyrazinecarboxamide	132.2	-	-
	<b><u>Pyrroles</u></b>			
1129	1-methylpyrrole	291.2	-	-
1162	1-ethylpyrrole	228.5	-	-
1590	1-ethyl-2-formylpyrrole	54.8	-	-
1824	N-furfuryl pyrrole	486.4	-	Pungent, somewhat alliaceous earthy-smoky odor and taste
	<b><u>Pyridines</u></b>			
1174	pyridine	2,910.3	820	Strong, amine-like, fishy, burnt odor
	<b><u>Thiazoles</u></b>			
1265	4-methylthiazole	227.1	-	Green, nutty odor
	<b><u>Thiophenes</u></b>			
1681	2-thiophenecarboxaldehyde	58.2	-	-

RI <sup>a</sup>	Compounds	Conc. (µg/g)	Threshold in water (ng/g)	Odor description <sup>b</sup>
<u>Miscellaneous compounds</u>				
1007	chloroform	642.3	-	-
1022	toluene	49.8	-	-
1194	2-methyl-1-butanol	20.8	-	-
2185	hexadecanoic acid methyl ester	90.6	-	-
2406	indole	80.0	140	Floral odor and taste in dilution

<sup>a</sup> Retention index calculated for the HP-Innowax capillary column.

<sup>b</sup> Odor description from Leffingwell (1998)

**Table 2** Odor description of aroma compounds in roasted Thai robusta coffee identified by GCO.

RI <sup>a</sup>	Compounds	Odor description <sup>b</sup>
1053	2,3-pentanedione	coffee-like
1356	2-ethyl-6-methylpyrazine	spoiled beans
1377	2-ethyl-3-methylpyrazine	popcorn
1440	2-ethyl-3,5-dimethylpyrazine	peanut butter
1561	5-methylfurfural	greeny
1655	2-furanmethanol	greeny, nutty, burnt
1806	N-furfuryl pyrrole	roasted
1849	2-methoxyphenol	roasted chilli

<sup>a</sup> Retention index calculated for the HP-Innowax capillary column

<sup>b</sup> Odor description analysed by GCO for the HP-Innowax capillary column

### สรุป

กาแฟโรบัสต้าของไทย เมื่อผ่านการอบที่อุณหภูมิ 240 °C เป็นระยะเวลา 15 นาที จะให้กลิ่นกาแฟซึ่งเกิดจากสารให้กลิ่นที่สำคัญอย่างน้อย 8 ชนิด ได้แก่ 2,3-pentanedione, 2-ethyl-3,5-dimethylpyrazine, 2-ethyl-6-methylpyrazine, 2-ethyl-3-methylpyrazine, 5-methylfurfural และ 2-furanmethanol, 2-methoxyphenol และ N-furfuryl pyrrole สารระเหยที่ตรวจพบทั้งหมดมี 52 ชนิด ซึ่งส่วนใหญ่จะจัดอยู่ในกลุ่มไพราซีน ฟูแรน ฟีนอล ไพโรล และคีโตน ส่วนสารระเหยที่มีปริมาณสูงที่สุดได้แก่ ไพราซีน ฟูแรน ฟีนอลและไพรีดีน ตามลำดับ

## เอกสารอ้างอิง

- Amorim, H.V., L.C. Basso, O.J. Crocomo, and A.A. Teixeira. 1977. Polyamines in green and roasted Coffee. *J. Agric. Food Chem.* 25: 957-958.
- Czerny, M., R. Wagner, and W. Grosch. 1996. Detection of odor-active ethenylalkylpyrazines in roasted coffee. *J. Agric. Food Chem.* 44: 3268-3272.
- Heyn, K. 1979. Aspects scientifiques de la recherche sur le cafe. 8<sup>th</sup>. *Int. Colloq. Chem. Coffee*:13-20. Cited. I. Flament. 2002. *Coffee Flavor Chemistry*. John Wiley & Sons, Ltd. Chichester, England. 410p.
- Kato, S., T. Kurata, and M. Fujimaki. 1973. Volatiles compound produced by the reaction of L-cystein or L-cystine with carbonyl compounds. *Agric. Biol. Chem.* 37: 539-544.
- Ledl F. and T. Severin. 1973. Therminche zersetzung von cystein und xylose in tributyrin. *Chem. Mikrobiol. Technol. Lebensm.* 2:155-160. Cited. I. Flament. 2002. *Coffee Flavor Chemistry*. John Wiley & Sons, Ltd. Chichester, England. 410p.
- Leffingwell, J.C. 1998. Flavor-Base '98. Flavor-Base Database, Version Date July 01, 1998.
- Maga, J.A. 1975. The role of sulfur compounds in food flavor. Part II, Thiophene. *CRC Crit. Rev. Food. Technol.* 6:241-270. Cited. I. Flament. 2002. *Coffee Flavor Chemistry*. John Wiley & Sons, Ltd. Chichester, England. 410p.
- Nishimura, O. and S. Mihara. 1990. Investigation of 2-hydroxy-2-cyclopenten-1-ones in roasted coffee. *J. Agric. Food Chem.* 38: 1038-1041.
- Sanz, C., D. Ansorena, J. Bello, and C. Cid. 2001. Optimizing headspace temperature and time sampling for identification of volatile compounds in ground roasted Arabica coffee. *J. Agric. Food Chem.* 49: 1436-1369.
- Spadone, J.C., G. Takeoka, and R. Liardon. 1990. Analytical investigation of Rio off-flavor in germ coffee. *J. Agric. Food Chem.* 38: 226-233.
- Suriyaphan, O., M.A. Drake, X.Q. Chen, and K.R. Cadwallader. 2001. Characteristic aroma components of British farmhouse cheddar cheese. *J. Agric. Food Chem.* 49: 1382-1387.
- Tressl, R., D. Bahri, H. Kopper and A. Jensen. 1978. Diphenole und caramelkomponenten in rostkaffees verschiedener sorten. II. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.* 167: 111-114. Cited. I. Flament. 2002. *Coffee Flavor Chemistry*. John Wiley & Sons, Ltd. Chichester, England. 410p.
- Vitzthum, O.G., C. Weisemann, R. Becker, and H.S. Kohler. 1990. Identification of aroma key compounds in roasted coffee. *Café' Cacao, The.* 34:27-36. Cited I. Flament. 2002. *Coffee Flavor Chemistry*. John Wiley & Sons, Ltd. Chichester. England. 410p.