ว.วิทย. มข. 42(1) 203-211 (2557) KKU Sci. J. 42(1) 203-211 (2014)

การวิเคราะห์หาสารประกอบฟีนอลในน้ำส้มควันไม้และควันจากการเผาถ่านกะลามะพร้าวด้วยเทคนิคเฮดสเปซโซลิดเฟสไมโครเอกซ์แทรกชัน-แก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโทรเมทรี

Analysis of Phenolic Compounds in Wood Vinegar and Smoke from Burning Coconut Shell by Head Space Solid Phase Micro Extraction-Gas Chromatography-Mass Spectrometry

ธัญวรรณ กฤษณะพุกต์[1*] *วัฒนาพร ลิ่มทองวิรัตน์*[1] *สาวิตรี โตกะหุต*[1] *และ สุวรรณ ไชยสิทธิ์*[1]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของไฟเบอร์ SPME ที่เคลือบด้วยสารดูดซับต่างกัน 2 ชนิดคือ Carboxen/PDMS ขนาด 75 ไมโครเมตร และ PDMS/DVB ขนาด 65 ไมโครเมตร ในการวิเคราะห์หาสารประกอบฟีนอลในน้ำส้มควันไม้จากกะลามะพร้าวเปรียบเทียบกับควันที่ได้จากการเผาถ่านกะลามะพร้าว ด้วยเทคนิคเฮดสเปซโซลิดเฟสไมโครเอกซ์แทรกชัน-แก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโทรเมทรี จากการศึกษาพบว่าในควันจากการเผาถ่านมีสารประกอบฟีนอลหลากหลายชนิดกว่าในน้ำส้มควันไม้ ซึ่งในการสกัดสารประกอบฟีนอลในน้ำส้มควันไม้ โดยใช้ไฟเบอร์ Carboxen/PDMS และไฟเบอร์ PDMS/DVB สามารถตรวจพบสารประกอบฟีนอล 10 และ 14 ชนิด ตามลำดับ ส่วนการสกัดสารประกอบฟีนอลในควันที่ได้จากการเผาถ่าน พบสารประกอบฟีนอลเท่ากันคือ 17 ชนิด ซึ่งพบปริมาณของฟีนอลมากที่สุดในทั้ง 2 ตัวอย่าง ดังนั้นไฟเบอร์ PDMS/DVB จึงมีประสิทธิภาพในการสกัดสารประกอบฟีนอลได้หลากหลายชนิดกว่าไฟเบอร์ Carboxen/PDMS

[1]สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ

[*]Corresponding Author, E-mail: snowhime_som@hotmail.com

ABSTRACT

The investigation of this project was to study the performance of 2 differences SPME fibers that is 75 μm Carboxen/PDMS and 65 μm PDMS/DVB. In this analysis, phenol compounds in wood vinegar were found and compared with smoke from burning coconut shell by Head Space Solid Phase Micro Extraction-Gas Chromatography-Mass Spectrometry. It was found that in wood vinegar using Carboxen/PDMS fiber we found 10 types of phenol compounds and using PDMS/DVB fiber we found 14 types of phenol compounds. In smoke from burning coconut shell we found 17 types of phenol compounds equally. Phenol is the most abundant phenolic compounds in both wood vinegar and smoke from burning coconut shell. PDMS/DVB is more effective for the extraction of phenolic compounds than Carboxen/PDMS.

คำสำคัญ: กะลามะพร้าว แก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโทรเมทรี น้ำส้มควันไม้ สารประกอบฟีนอล เฮดสเปซ-โซลิดเฟสไมโครเอกซ์แทรกชัน

Keywords: Coconut shells, Gas chromatography-mass spectrometry, Wood vinegar, Phenolic compound, Head space solid phase micro extraction

บทนำ

น้ำส้มควันไม้ (Wood vinegar) เป็นของเหลวที่ได้จากการสลายตัวของสารอินทรีย์ในเนื้อไม้ด้วยความร้อน (Wood pyrolysis) และเป็นผลพลอยได้จากการเผาถ่านแบบอับอากาศ (airless condition) โดยอาศัยกระบวนการถ่ายเทความร้อนจากปล่องเตาที่มีอุณหภูมิสูงสู่อากาศรอบปล่องที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ทำให้เกิดการควบแน่น (Condensed) เป็นหยดน้ำของควันจากการเผาถ่านไม้ในช่วงที่ไม้เปลี่ยนเป็นถ่าน (Carbonization) (สุพรชัย, 2550)

ในน้ำส้มควันไม้สามารถพบสารประกอบหลายชนิด โดยหนึ่งในนั้นคือ ฟีนอล ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของโปรตีน (Protein denature) ทำลายผนังเซลล์ และก่อให้เกิด coagulative tissue necrosis ซึ่งมีฤทธิ์กัดกร่อนเยื่อบุ ดังนั้นฟีนอลจึงสามารถส่งผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมได้ หากเกิดการสะสมเป็นระยะเวลานาน (http://www.chemtrack.org/MSDSSG/Trf/msdst/msdst108-95-2.html)

จากการศึกษาน้ำส้มควันไม้ ทำให้ผู้วิจัยคิดว่าในน้ำส้มควันไม้และควันที่เกิดจากการเผาถ่านจากกะลามะพร้าว น่าจะมีสารประกอบฟีนอลที่เหมือนกันหรือใกล้เคียงกันและสารประกอบเหล่านั้นส่งผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมหรือไม่ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาสารประกอบฟีนอลที่มีอยู่ในน้ำส้มควันไม้เปรียบเทียบกับในควันที่เกิดจากการเผาถ่านจากกะลามะพร้าว และศึกษาประสิทธิภาพของไฟเบอร์ของ SPME 2 ชนิด ในการสกัดสารประกอบฟีนอล ได้แก่ ไฟเบอร์ Carboxen/Polydimethylsiloxane (Carboxen/ PDMS) และ Polydimethylsiloxane /Divinylbenzene (PDMS/DVB) โดยใช้เทคนิคเฮดสเปซโซลิดเฟสไมโครเอกซ์แทรกชัน-แก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโทรเมทรี (HS-SPME-GC-MS)

วิธีการวิจัย

1. เครื่องมือและอุปกรณ์

1.1 เครื่อง GC-MS รุ่น 6890N บริษัท Agilent Technologies ประเทศสหรัฐอเมริกา

1.2 GC คอลัมน์ HP-1 (30 m × 0.25 m × 0.25 μm film thickness) รุ่น 5973N บริษัท Agilent Technologies ประเทศสหรัฐอเมริกา

1.3 Solid Phase Micro Extraction (SPME) บริษัท Supelco ประเทศสหรัฐอเมริกา 2 ชนิด ได้แก่ 1) Polydimethylsiloxane/ divinyl benzene (PDMS/DVB) ขนาด 65 ไมโครเมตร 2) Carboxen/Polydimethylsiloxane (Car/PDMS) ขนาด 75 ไมโครเมตร

1.4 ขวด Vial ที่มีฝาแบบ Septum

1.5 เครื่องให้ความร้อน

1.6 เครื่องตรวจวัดฝุ่นละอองติดตัวบุคคล รุ่น PCXR8 ประเทศสหรัฐอเมริกา

1.7 อิมพิงเจอร์แก้วแบบมิดเกจ

1.8 Helium Gas ความบริสุทธิ์ 99.999 % (Praxair CO.,Ltd.)

2. การเก็บตัวอย่างควันจากการเผาถ่าน

เก็บตัวอย่างควันจากการเผาถ่าน ในช่วงเวลาที่น้ำส้มควันไม้เริ่มออกมา คือหลังจากเริ่มเผาถ่านได้ประมาณ 20 นาที หรือสังเกตจากสีควันเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีเทา โดยการใช้เครื่องเก็บอากาศแบบส่วนตัว ใส่น้ำกลั่นลงในอิมพิงเจอร์ 20 มิลลิลิตร และตั้งอัตราการไหลของเครื่องที่ 500 มิลลิลิตรต่อนาที ใช้เวลาในการเก็บอากาศ 30 นาที เมื่อครบเวลาที่กำหนดถ่ายใส่ขวดรูปชมพู่ ปิดฝาแล้วหุ้มด้วยฟอยด์ปิดให้มิด นำน้ำตัวอย่างควัน 5 มิลลิลิตร ใส่ในขวด Vial ที่มีฝาแบบ Septum ขนาด 20 มิลลิลิตร จากนั้นปิดฝาขวดแล้วตั้งบนเครื่องให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (ปวีณา, 2549)

3. การเตรียมไฟเบอร์ก่อนการใช้งาน

นำ SPME ไฟเบอร์ใส่ใน manual holder จากนั้นแทงเข็มผ่าน Septum ของส่วน injection port ของเครื่อง GC-MS กดปลาย holder เพื่อเลื่อนให้ส่วนของไฟเบอร์ที่อยู่ด้านในเข็มโผล่ออกมาจากปลายเข็มเมื่อให้ความร้อนภายในบริเวณ injection port ของ GC-MS จะทำให้สิ่งสกปรกต่างๆที่ติดอยู่บนไฟเบอร์กลายเป็นไอหลุดออกไป ซึ่งเป็นการทำความสะอาด (clean up) ไฟเบอร์ก่อนใช้งาน ใช้เวลาประมาณ 40 นาที จากนั้นเก็บส่วนไฟเบอร์กลับเข้ามาไว้ในเข็มก่อนดึง holder ออกจาก injection port (วราภรณ์และคณะ, 2547)

4. การสกัดสารตัวอย่าง

นำ SPME ไฟเบอร์ที่ผ่านการ clean up ตามหัวข้อ 3 แทงผ่าน Septum ของขวดใส่สารตัวอย่างที่เตรียมพร้อมไว้ ให้ส่วนของ holder ที่เป็นสีดำชนจุกยางพอดี กดปลาย holder เพื่อให้ส่วนไฟเบอร์โผล่ออกมาจากปลายเข็มอยู่ในบริเวณ headspace ของสารตัวอย่าง (เหนือสารตัวอย่าง 3-4 เซนติเมตร) เป็นเวลา 40 นาที ในขณะทำการสกัดต้องทำการคนสารตัวอย่างด้วย จากนั้นเก็บไฟเบอร์เข้าไว้ในส่วนของเข็มก่อนจะดึง holder ออกจากขวดสารตัวอย่างแล้วนำไปฉีดเข้าเครื่อง GC-MS เพื่อทำการวิเคราะห์ (วราภรณ์และคณะ, 2547)

5. การวิเคราะห์สารตัวอย่าง

นำ SPME ที่ทำการสกัดสารตัวอย่างแล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยวิธี gas chromatography and mass spectrometry โดยตั้งสภาวะของเครื่อง GC-MS แสดงดังตารางที่ 1

ผลและวิจารณ์ผล

1. ศึกษาหาสารประกอบฟีนอลในน้ำส้มควันไม้เปรียบเทียบกับควันที่ได้จากการเผาถ่าน

ในการศึกษาชนิดของสารประกอบฟีนอลในน้ำส้มควันไม้และควันจากการเผาถ่าน ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

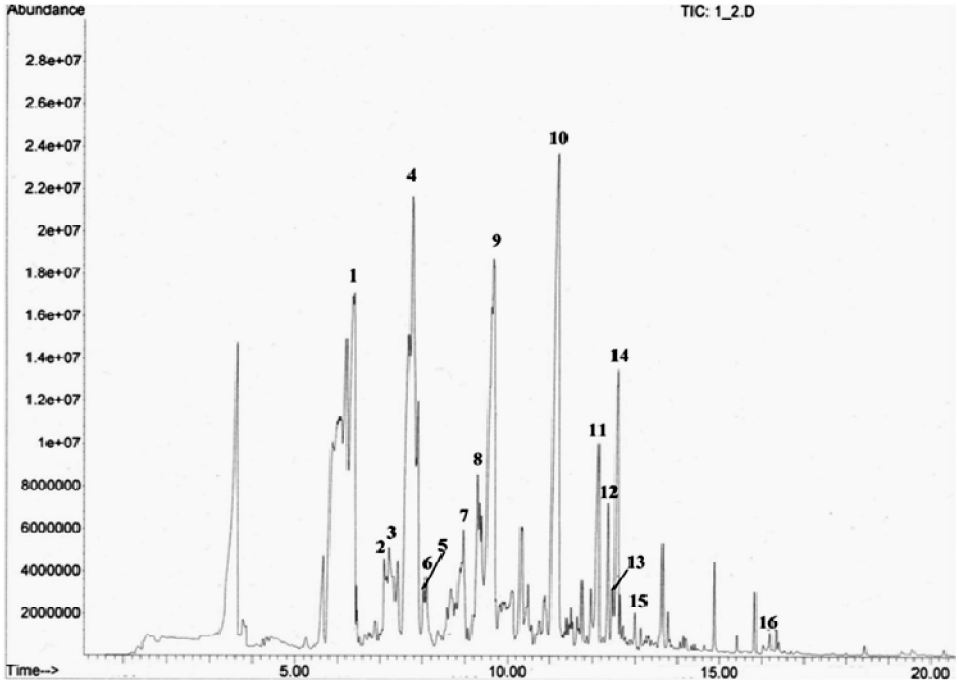
1.1 น้ำส้มควันไม้จากกะลามะพร้าว

จากการศึกษาน้ำส้มควันไม้โดยใช้ไฟเบอร์ Carboxen/PDMS พบสารประกอบฟีนอลจำนวน 10 ชนิด และใช้ไฟเบอร์ PDMS/DVB พบสารประกอบฟีนอลจำนวน 16 ชนิด ซึ่งพบว่ามี Phenol มากที่สุด รองลงมาคือ 2-methoxyphenol, 2-methoxy-4-methylphenol และ 4-ethyl-2-methoxyphenol ตามลำดับ ซึ่งปริมาณของสารที่พบนั้นเป็นเพียงการเทียบ relative peak area เท่านั้น เนื่องจากไม่มีการฉีดสารมาตรฐานเปรียบเทียบ โดยไฟเบอร์ Carboxen/PDMS สามารถสกัด Phenol ได้ปริมาณมากกว่าไฟเบอร์ PDMS/DVB ทั้งนี้เป็นเพราะไฟเบอร์ Carboxen/PDMS มีขั้วมากกว่า PDMS/DVB ดังนั้นจึงเหมาะกับการสกัดสารประกอบที่มีขั้ว ทำให้สกัด Phenol ซึ่งมีขั้วมากกว่าสารประกอบฟีนอลชนิดอื่นได้มากกว่า และไฟเบอร์ PDMS/DVB จึงสามารถสกัดสารประกอบฟีนอลชนิดอื่นที่มีขั้วน้อยกว่า Phenol ได้หลากหลายชนิดกว่าไฟเบอร์ Carboxen/PDMS ได้ผลดังรูปที่ 1 และรูปที่ 2

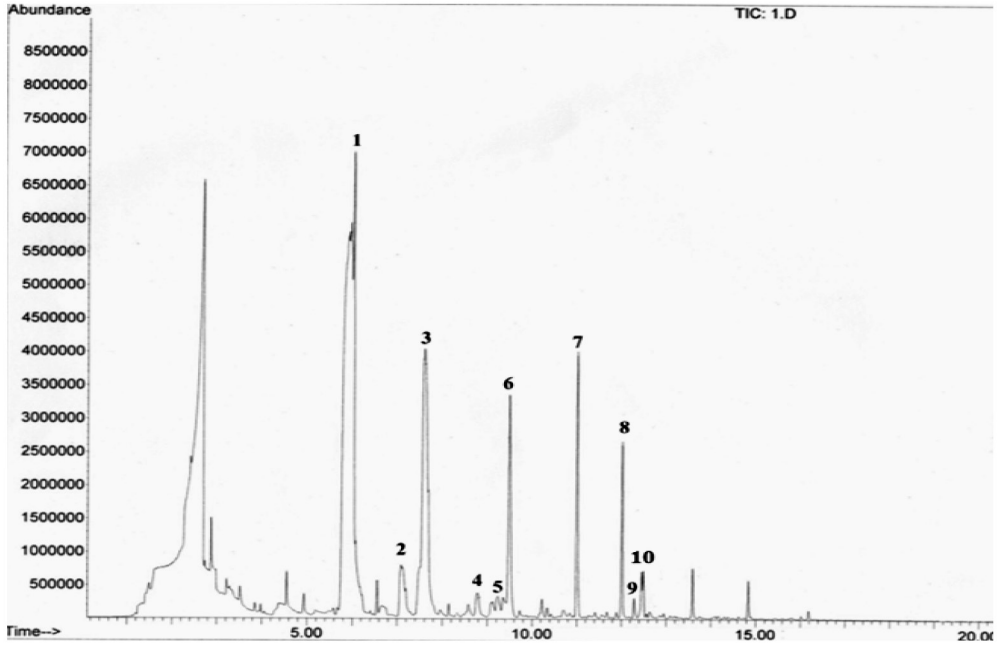
ตารางที่ 1 สภาวะในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำส้มควันไม้ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ-แมสสเปกโทรโฟรโตมิเตอร์ (GC-MS) (วรรณธิดาและคณะ, 2550)

พารามิเตอร์	สภาวะ
Time	40 นาที
Temperature Program	อุณหภูมิขณะฉีดสารตัวอย่าง 230 ºC อุณหภูมิภายในเตาอบ 50 ºC ทิ้งไว้ 8 นาที จากนั้นค่อย ๆ เพิ่มอุณหภูมิที่อัตรา 4 ºC/นาที จนอุณหภูมิถึง 160 ºC ทิ้งไว้เป็นเวลา 1 นาที
He carrier gas	อัตราการไหล 1 มิลิลิตร/นาที
Mass Spectrometer Mode	EI mode
Mass Range / Scan Speed	30 – 500 amu/ 3.12 sec.
Transfer Line Temperature	180 ºC
Detector Temperature	160 ºC
Data System	Wiley Library และฐานข้อมูลโครงสร้างทางเคมี

รูปที่ 1 โครมาโตแกรมของสารประกอบฟีนอลในน้ำส้มควันไม้จากกะลามะพร้าวที่สกัดได้ โดยใช้ไฟเบอร์ PDMS/DVB



รูปที่ 2 โครมาโตแกรมของสารประกอบฟีนอลในน้ำส้มควันไม้จากกะลามะพร้าวที่สกัดได้ โดยใช้ ไฟเบอร์ Carboxen/PDMS



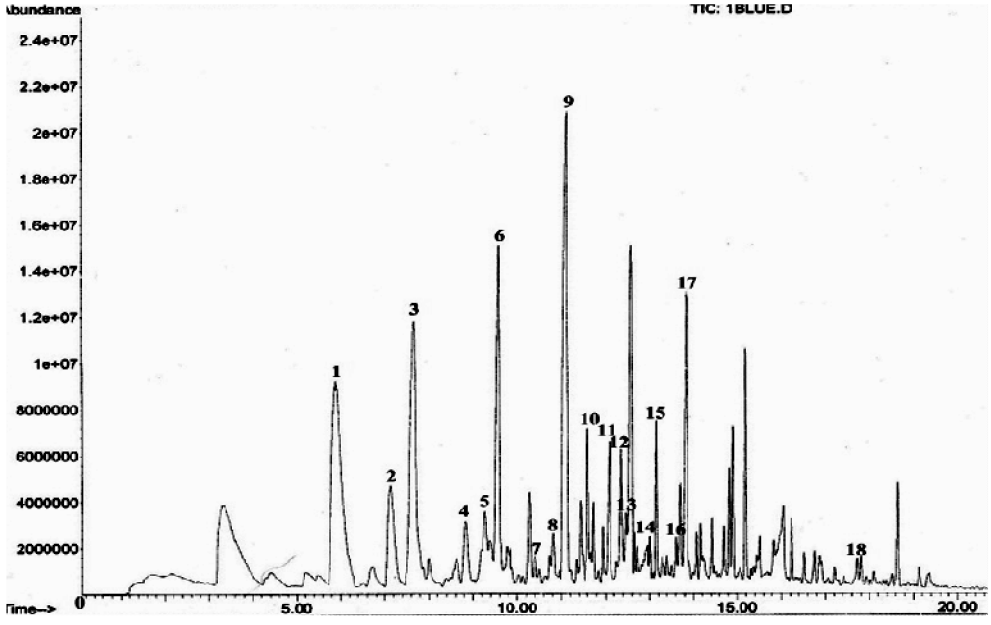
ตารางที่ 2 ชนิดของสารประกอบฟีนอลในน้ำส้มควันไม้ที่สกัดได้ โดยใช้ไฟเบอร์ Carboxen/PDMS และไฟเบอร์ PDMS/DVB

ลำดับ	ไฟเบอร์ PDMS/DVB			ไฟเบอร์ Carboxen/PDMS		
	ชื่อสาร	Retention Time (min)	% of total	ชื่อสาร	Retention Time (min)	% of total
1	Phenol	6.425	28.025	Phenol	6.027	36.719
2	2-methyl phenol	7.108	1.330	2-methylphenol	7.084	2.299
3	2-methoxyphenol	7.229	2.049	2-methoxyphenol	7.597	13.496
4	2-methoxyphenol	7.784	17.106	2,4-dimethylphenol	8.778	0.898
5	2,6-dimethylphenol	8.030	0.437	2-methoxy-3-methylphenol	9.237	0.684
6	2,6-dimethylphenol	8.087	0.590	2-methoxy-4-methylphenol	9.485	4.482
7	3,5-dimethylphenol	8.968	2.623	4-ethyl-2-methoxyphenol	11.007	3.696
8	2-ethylphenol	9.298	1.910	2,6-dimethoxphenol	12.016	1.963
9	2-methoxy-4-methylphenol	9.681	11.108	2-methoxy-4-(2-propenyl)phenol	12.280	0.264
10	4-ethyl-2-methoxyphenol	11.207	12.248	2-methoxy-4-propylphenol	12.490	0.500
11	2,6-dimethoxyphenol	12.149	2.616			
12	2-methoxy-4-(2-propenyl) phenol	12.376	1.237			
13	2-methoxy-4-ethyl-6-methylphenol	12.475	0.491			
14	2-methoxy-4-propylphenol	12.596	3.22			
15	2-methoxy-4-(1-propenyl)phenol	13.139	0.158			
16	2,6-Dimethyl-4-propylphenol	16.202	0.165			

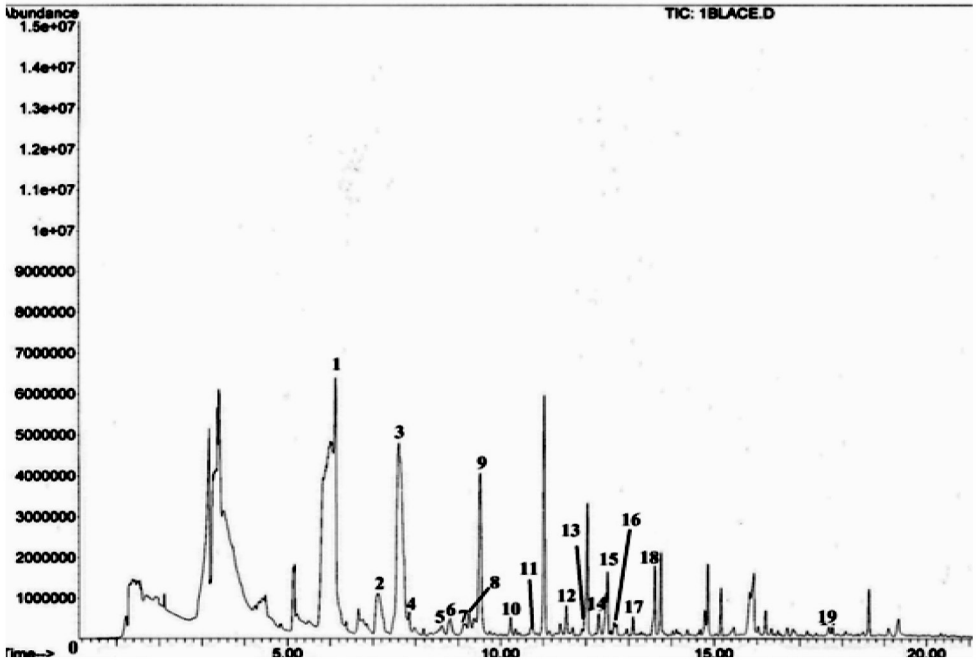
1.2 ควันจากการเผาถ่านกะลามะพร้าว

จากการศึกษาควันจากการเผาถ่านกะลามะพร้าว โดยใช้ไฟเบอร์ Carboxen/PDMS และไฟเบอร์ PDMS/DVB พบสารประกอบฟีนอลจำนวน 19 และ 18 ชนิด ตามลำดับ และพบว่ามี Phenol มากที่สุด รองลงมาคือ 2-methoxy phenol, 2-methoxy-4-methylphenol และ 4-ethyl-2-methoxyphenol ตามลำดับ ซึ่งปริมาณของสารที่พบนั้นเป็นเพียงการเทียบ relative peak area เท่านั้น เนื่องจากไม่มีการฉีดสารมาตรฐานเปรียบเทียบ โดยที่สารทั้ง 4 ชนิดนี้ สามารถพบได้ในน้ำส้มควันไม้เช่นกัน โดยเมื่อใช้ไฟเบอร์ทั้ง 2 ชนิดสกัดสารประกอบฟีนอล จะสกัดสารประกอบฟีนอลได้แตกต่างชนิดกัน เนื่องจากคุณสมบัติในการสกัดของไฟเบอร์ทั้ง 2 ชนิด ที่สามารถสกัดสารประกอบฟีนอลที่มีความมีขั้วที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 3

รูปที่ 3 โครมาโตแกรมของสารประกอบฟีนอลในควันจากการเผาไม้กะลามะพร้าวที่สกัด โดยใช้ไฟเบอร์ PDMS/DVB



รูปที่ 4 โครมาโทแกรมของสารประกอบฟีนอลในควันจากการเผาไม้กะลามะพร้าวที่สกัดไ โดยใช้ไฟเบอร์ Carboxen/PDMS



ตารางที่ 3 ชนิดของสารประกอบฟีนอลในควันจากการเผาถ่านกะลามะพร้าวที่สกัดได้ โดยใช้ไฟเบอร์ Carboxen/PDMS และไฟเบอร์ PDMS/DVB

ลำดับ	ไฟเบอร์ PDMS/DVB			ไฟเบอร์ Carboxen/PDMS		
	ชื่อสาร	Retention Time (min)	% of total	ชื่อสาร	Retention Time (min)	% of total
1	Phenol	5.901	12.547	Phenol	6.128	28.000
2	3-methylphenol	7.138	3.967	2-methylphenol	7.122	2.695
3	2-methoxyphenol	7.681	10.013	2-methoxyphenol	7.605	12.404
4	2,4-dimethylphenol	8.831	1.675	2,6-dimethylphenol	7.973	0.221
5	2-methoxy-3-methylphenol	9.271	2.438	2-ethylphenol	8.615	0.508
6	2-methoxy-4-methylphenol	9.598	6.783	2,4-dimethylphenol	8.804	0.747
7	2-ethyl-5-methylphenol	10.406	0.450	3-ethylphenol	9.123	0.528
8	2,4,6-trimethoxyphenol	10.809	0.922	2-methoxy-3-methylphenol	9.248	0.693
9	4-ethyl-2-methoxyphenol	11.146	10.597	2-methoxy-4-methylphenol	9.514	4.869
10	2-methoxy-4-vinylphenol	11.602	1.685	3,4,5-trimethylphenol	10.349	0.152
11	2,6-dimethoxyphenol	12.103	1.990	4-ethyl-2-methoxyphenol	10.706	0.193
12	2-methoxy-4-(2-propenyl)phenol	12.365	1.935	4-ethenyl-2-methoxyphenol	11.537	0.537
13	2-methoxy-4-ethyl-6-methylphenol	12.464	0.826	2,6-dimethoxyphenol	12.034	0.221
14	2-methoxy-4-propylphenol	12.649	0.346	2-methoxy-4-(2-propenyl) phenol	12.296	0.410
15	2-methoxy-4-(1-propenyl)phenol	13.154	1.434	2-methoxy-4-propylphenol	12.505	0.782
16	2-methoxy-4-(1-propenyl)phenol	13.853	1.237	2-methoxy-4-propylphenol	12.577	0.058
17	1,1-dimethyl-4-methoxyphenol	13.602	0.547	2-methoxy-4-(1-propenyl)phenol	13.097	0.267
18	2,6-Dimethyl-4-(2-propyl) phenol	17.717	0.319	2-methoxy-4-(1-propenyl)phenol	13.754	1.105
19				2,6-Dimethyl-4-(2-propyl)phenol	17.697	0.213

สรุปผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์หาสารประกอบฟีนอลในน้ำส้มควันไม้จากกะลามะพร้าวเปรียบเทียบกับควันที่ได้จากการเผากะลามะพร้าวด้วยเทคนิค HS-SPME-GC-MS และศึกษาการใช้ไฟเบอร์ SPME ที่เคลือบด้วยสารดูดซับต่างกัน 2 ชนิด ในการสกัดหาสารประกอบฟีนอลคือ PDMS/DVB และ Carboxen/PDMS ในการวิเคราะห์หาชนิดของสารประกอบฟีนอลในน้ำส้มควันไม้ โดยใช้ไฟเบอร์ Carboxen/PDMS ตรวจพบสารประกอบฟีนอล 10 ชนิด และเมื่อใช้ไฟเบอร์ PDMS/DVB พบสารประกอบฟีนอล 16 ชนิด และจากการวิเคราะห์หาสารประกอบฟีนอลในควันที่ได้จากการเผาถ่านโดยใช้โดยใช้ไฟเบอร์ Carboxen/PDMS และไฟเบอร์ PDMS/DVB พบสารประกอบฟีนอลจำนวน 19 และ 18 ชนิด ตามลำดับ โดยจากการศึกษาพบว่าทั้งในน้ำส้มควันไม้และควันจากการเผาถ่านมีสารประกอบฟีนอลที่ใกล้เคียงกันคือ มีฟีนอลมากที่สุดรองลงมาคือ 2-methoxyphenol, 2-methoxy-4-methylphenol และ 4-ethyl-2-methoxyphenol ตามลำดับ ซึ่งสารประกอบฟีนอลเหล่านี้ จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ถ้ามีการสะสมในปริมาณมาก โดยฟีนอลมีโทษต่อมนุษย์ คือ เมื่อสัมผัสทางผิวหนังจะเกิดแผลไหม้ หากสูดดมอาจทำให้เนื้อเยื่อในระบบทางเดินหายใจถูกทำลาย นอกจากนี้หากเกิดการปนเปื้อนในน้ำ จะทำให้เป็นมลพิษในแหล่งน้ำ

จากการศึกษาและเปรียบเทียบการใช้ไฟเบอร์ SPME ในการสกัดสารประกอบฟีนอลพบว่าไฟเบอร์ Carboxen/PDMS เหมาะสำหรับการใช้วิเคราะห์ฟีนอล และไฟเบอร์ PDMS/DVB สามารถใช้ในการวิเคราะห์หาสารประกอบฟีนอลได้ดีกว่า ดังนั้นไฟเบอร์ PDMS/DVB จึงมีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลได้หลากหลายชนิดกว่าไฟเบอร์ Carboxen/PDMS

เอกสารอ้างอิง

คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้. สารประกอบฟีนอล. แหล่งข้อมูล: http://coursewares.mju.ac.th:81/e-learning47/section2/pt331/08.html. สืบค้นเมื่อ 23 สิงหาคม 2555.

งานวิชาการเกษตร ศูนย์ศึกษาการพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบนฯ. น้ำส้มควันไม้. แหล่งข้อมูล http://www.fisheries.go.th/cf-kung_krabaen/agricul1.htm. สืบค้นเมื่อ 23 สิงหาคม 2555.

บริษัท Sigma-Aldrich จำกัด. 1998. Solid Phase Micro extraction: Theory and Optimization of Conditions. สืบค้นเมื่อ 17 กันยายน 2555.

บริษัท Sigma-Aldrich จำกัด. 1998. Fiber selection guide. สืบค้นเมื่อ 17 กันยายน 2555.

ปวีณา พงษ์พิพัฒน์. 2549. การวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลโดยเทคนิคโซลิด-เฟสไมโครเอกซ์แทรกชัน-แก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโทรเมทรี. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. หน้า 3-4.

พุทธวิธีบริหาร. น้ำส้มควันไม้. แหล่งข้อมูล: http://www.budmgt.com/agri/agri02/wood-vinegar-cs.html. สืบค้นเมื่อ 21 สิงหาคม 2555.

วราภรณ์ ตองอ่อนและพัชราภรณ์ ไตรรัตน์. 2547. การวิเคราะห์หาสารอินทรีย์ที่ระเหยได้จากน้ำหอมโดยวิธีแก๊สโครมาโทกราฟและแมสสเปกโทรเมทรีด้วยเทคนิคเฮดสเปซโซลิดเฟสไมโครเอกซ์แทรกวัน. มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี. หน้า 3-5.

วรรณธิดา สว่างเมืองวรกุล, วิชชุดา แสงมณี, ศิริภางค์ แก้วสุนทร. 2550. การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตน้ำส้มควันไม้จากเปลือกสบู่ดำ. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. หน้า 5-7.

ศูนย์บริการเครื่องมือวิทยาศาสตร์. Solid-Phase Microextraction (SPME). แหล่งข้อมูล: http://www.kmitl.ac.th/sisc/GC-MS/SPME.htm. สืบค้นเมื่อ 17 กันยายน 2555.

ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. เทคนิคการสกัดด้วยตัวดูดซับของแข็งปริมาณน้อย (solid phase microextraction, SPME)แหล่งข้อมูล: http://share.psu.ac.th/blog/sci-discus/17227. สืบค้นเมื่อ 17 กันยายน 2555.

สุพรชัย มั่งมีสิทธิ์. 2550. น้ำส้มควันไม้ผลพลอยได้จากธรรมชาติ. สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยศิลปกร. หน้า 13–34.

❑❑❑❑❑