

ชื่อโครงการ ความสัมพันธ์ของปริมาณจีออสมินกับการเกิดกลิ่นโคลน
ในกุ้งก้ามกราม

The relationship of geosmin on off-flavor in giant freshwater
prawn (*Macrobrachium rosenbergii*)

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจาก เงินงบประมาณ

ประจำปีงบประมาณ 2553



T126198

จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 300,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่เดือนตุลาคม 2552 ถึง กันยายน 2553

ผู้ดำเนินการวิจัย รศ.ดร. สมชาย หวังวิบูลย์กิจ

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์และประมง

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

นางสาวบุปผา จงพัฒน์

RCM

SI4

380.62

.T5

ส241ค

ด.1

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์และประมง

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

b12524967

เลขหมู่..... 126198

เลขทะเบียน.....

วันเดือนปี... 6 ก.ย. 2556

.b.....
.i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์ของปริมาณจีโอสมินกับการเกิดกลิ่นโคลนในกึ่งก้ามกราม

บทคัดย่อ

การศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณจีโอสมินกับการเกิดกลิ่นโคลนในกึ่งก้ามกราม โดยการเก็บตัวอย่างกึ่งก้ามกรามและน้ำจากบ่อเลี้ยงของเกษตรกรจำนวน 10 บ่อ ในเขตอำเภอบ้านโพธิ์ จังหวัดฉะเชิงเทรา นำตัวอย่างกึ่งก้ามกรามและน้ำมาวิเคราะห์ พบว่า บ่อเลี้ยงกึ่งก้ามกรามที่พบกลิ่นโคลนในเนื้อกึ่ง จะมีปริมาณจีโอสมินเฉลี่ยในเนื้อกึ่งก้ามกราม 84.2-147.7 $\mu\text{g}/\text{kg}$ เมื่อทดสอบทางประสาทสัมผัสชิมรสมีระดับคะแนนอยู่ในช่วง 1-3 ซึ่งทดสอบทางประสาทสัมผัสชิมรสจะมีกลิ่นโคลนเล็กน้อย คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกึ่งก้ามกรามที่พบกลิ่นโคลน มีค่าอุณหภูมิ 28.4-28.8 °C ความเป็นกรด-ด่าง 7.5-8.3 ความเป็นด่าง 74-94 ppm สารแขวนลอย 0.273-0.992 mg/L ไนโตรเจนทั้งหมด 1.029-2.054 ppm และฟอสเฟตทั้งหมด 0.113-0.774 ppm โดยความเป็นกรด-ด่างและฟอสเฟตทั้งหมดมีความสัมพันธ์กับปริมาณจีโอสมินในเนื้อกึ่งก้ามกราม เมื่อนำกึ่งก้ามกรามที่มีกลิ่นโคลนมาเลี้ยงแบบแยกเดี่ยวในบ่อคอนกรีตที่มีระบบหมุนเวียนน้ำ เป็นเวลา 7 วัน พบว่าสามารถลดปริมาณจีโอสมินที่ตกค้างได้ และเมื่อทดสอบทางประสาทสัมผัสชิมรสจะไม่พบกลิ่นโคลน แสดงว่าการเลี้ยงกึ่งก้ามกรามแบบแยกเดี่ยวในบ่อคอนกรีตที่มีระบบหมุนเวียนน้ำ สามารถลดกลิ่นโคลนในเนื้อกึ่งก้ามกรามได้ และวิเคราะห์คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกึ่งก้ามกรามแบบแยกเดี่ยวในบ่อคอนกรีตที่มีระบบหมุนเวียนน้ำมีค่าอุณหภูมิ 28.2-28.5 °C ความเป็นกรด-ด่าง 7.4-7.7 ความเป็นด่าง 83-90 ppm สารแขวนลอย 0.023-0.074 mg/L ไนโตรเจนทั้งหมด 0.284-0.540 ppm และฟอสเฟตทั้งหมด 0.108-0.213 ppm

คำสำคัญ: จีโอสมิน, กลิ่นโคลน, กึ่งก้ามกราม

The relationship of geosmin on off-flavor in giant freshwater prawn
(*Macrobrachium rosenbergii*)

Abstract

The studies were conducted to determine the relationship of geosmin on off-flavor in giant freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*). The sampling of prawn and water from 10 ponds-culture giant freshwater prawn in Ban Pho district, Chachoengsao province were analyzed off-flavor in prawn muscle and water quality. The results showed that off-flavor in giant freshwater prawn, cultured in pond accumulates geosmin in muscle were 84.2-147.7 µg/kg (sensory score 1-3). The water quality parameters in ponds; temperature, pH, alkalinity, total suspended solids, total nitrogen and total phosphate were 28.4-28.8 °C, 7.5-8.3, 74-94 ppm, 0.273-0.992 mg/L, 1.029-2.054 ppm and 0.113-0.774 ppm, respectively. Furthermore, pH and total phosphate parameters were related to geosmin in prawn. The method of reducing geosmin in prawn without off-flavor were individual culture in concrete tank with recirculating. The water quality parameters in concrete tank; temperature, pH, alkalinity, total suspended solids, total nitrogen and total phosphate were 28.2-28.5 °C, 7.4-7.7, 83-90 ppm, 0.023-0.074 mg/L, 0.284-0.540 ppm and 0.108-0.213 ppm, respectively.

Keyword: geosmin, off flower, giant freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii*

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	i
สารบัญตาราง	ii
สารบัญภาพ	iii
คำนำ	1
ตรวจเอกสาร	2
อุปกรณ์และวิธีการ	7
ผลการทดลองและวิจารณ์	13
สรุป	21
เอกสารอ้างอิง	22



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ระดับคะแนนตรวจสอบกลิ่นโคลนโดยวิธีทางประสาทสัมผัสชิมรส	15
2	ปริมาณจีออสมินในกึ่งก้ามกรามและระดับกลิ่นโคลนที่ทดสอบทางประสาทสัมผัสชิมรส	15
3	คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกึ่งก้ามกรามที่เกิดกลิ่นโคลนในเนื้อกึ่งก้ามกราม	16
4	ความสัมพันธ์ปัจจัยคุณภาพน้ำกับการเกิดกลิ่นโคลนในบ่อเลี้ยงกึ่งก้ามกราม	17
5	ปริมาณจีออสมินในกึ่งก้ามกรามและระดับกลิ่นโคลนที่ทดสอบทางประสาทสัมผัสชิมรสที่เลี้ยงแบบแยกเดี่ยวในบ่อคอนกรีตที่มีระบบหมุนเวียนน้ำ	18
6	คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกึ่งก้ามกรามแบบแยกเดี่ยวในบ่อคอนกรีตที่มีระบบหมุนเวียนน้ำ	20

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	รูปแบบโครงสร้างของจีออสมิน I) $m/z = 182$, II) $m/z = 112$ และ III) $m/z = 126$	5
2	mass spectrum ของจีออสมิน ที่แตกตัว I) $m/z = 182$, II) $m/z = 112$ และ III) $m/z = 126$	5
3	chromatograms ของสารละลายมาตรฐานจีออสมิน (d)	6
4	บ่อเลี้ยงกึ่งก้ามกรามขณะจับกึ่ง	8
5	กึ่งก้ามกรามที่สุ่มตัวอย่างจากบ่อเลี้ยงเพื่อวิเคราะห์ปริมาณจีออสมินและทดสอบกลิ่นโคลน	9
6	เครื่อง GC/MS สำหรับวิเคราะห์ปริมาณ geosmin	9
7	ถังแก๊สฮีเลียมสำหรับใช้กับเครื่อง GC/MS สำหรับวิเคราะห์ปริมาณ geosmin	9
8	ชุดคอมพิวเตอร์สำหรับใช้ในการวิเคราะห์และประมวลผล	10
9	ให้ความร้อนกับตัวอย่าง โดยมี SPME fiber เป็นตัวดึงสาร geosmin	10
10	นำ SPME fiber ซีดตัวอย่างเข้าเครื่อง GC/MS	11
11	คอมพิวเตอร์ประมวลผลการวิเคราะห์สาร geosmin	11
12	mass spectrum จากการวิเคราะห์สาร geosmin	12
13	chromatograms ของสารละลายมาตรฐาน geosmin ที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC/MS	13
14	mass spectrum ของสารละลาย geosmin มาตรฐาน $m/z = 112$	14
15	ความสัมพันธ์พื้นที่ใต้กราฟ (corrected area) กับปริมาณ geosmin จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC/MS-SPME	14

คำนำ

การเจริญเติบโตของสาหร่ายขนาดเล็กในบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกราม เป็นปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของกุ้งก้ามกรามที่เลี้ยง บ่อยครั้งจะพบสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในน้ำจืด การเจริญเติบโตของสาหร่ายจะมีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติของน้ำ และธาตุอาหารหลัก ได้แก่ไนโตรเจนและฟอสเฟตที่มีอยู่ในน้ำ และตะกอนดิน (Yusoff *et al.*, 2001; Hillebrand and Kahler, 2002; Saha, 2003) ปริมาณไนโตรเจนและฟอสเฟต เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์-เอ และปริมาณจีออสมิน (geosmin) ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินหลายสกุล จีออสมินเป็นสารที่ทำให้เกิดกลิ่นโคลนในเนื้อกุ้งก้ามกราม ซึ่งการทดสอบกลิ่นโคลนจะใช้วิธีการประเมินทางประสาทสัมผัส (sensory evaluation) จากผู้เชี่ยวชาญทางด้านนี้โดยเฉพาะ หรือตรวจวิเคราะห์ปริมาณจีออสมินโดยใช้เครื่อง Gas Chromatograph/Mass Spectrophotometry (GC/MS) ซึ่งจะได้ผลที่แน่นอน แต่เสียค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ค่อนข้างแพง ดังนั้น ในการวิจัยครั้งนี้จึงศึกษาหาความสัมพันธ์ของปริมาณจีออสมินในเนื้อกุ้งก้ามกรามและคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยง และการลดกลิ่นโคลนในเนื้อกุ้งก้ามกรามที่เลี้ยงแบบแยกเดี่ยวในบ่อคอนกรีตที่มีระบบหมุนเวียนน้ำ ซึ่งผลการวิจัยจะทำให้สามารถนำมาจัดการเพื่อลดปัญหาการเกิดกลิ่นโคลนได้ ทำให้คุณภาพของกุ้งขาวที่เลี้ยงได้มาตรฐานเพื่อการบริโภคและการส่งออก

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณจีออสมินกับกลิ่นโคลนในเนื้อกุ้งก้ามกรามที่เลี้ยงในบ่อ
2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณจีออสมินกับกลิ่นโคลนในเนื้อกุ้งก้ามกรามกับคุณภาพน้ำในบ่อ
3. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณจีออสมินกับการลดกลิ่นโคลนในเนื้อกุ้งก้ามกรามที่นำมาเลี้ยงแบบแยกเดี่ยวในบ่อคอนกรีตที่มีระบบหมุนเวียนน้ำ
4. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณจีออสมินในเนื้อกุ้งก้ามกรามกับคุณภาพน้ำในบ่อคอนกรีตที่มีระบบหมุนเวียนน้ำ

การตรวจเอกสาร

การเกิดกลิ่นโคลนในสัตว์น้ำเป็นผลมาจากสารจีออสมิน

การเลี้ยงสัตว์น้ำจืดบ่อยครั้งจะพบปัญหาคุณภาพสัตว์น้ำ เรื่องกลิ่นโคลนในเนื้อสัตว์น้ำ ซึ่งสาเหตุเกิดจากปัจจัยสภาพแวดล้อมภายในบ่อเลี้ยงที่ทำให้เกิดกลิ่นโคลน เช่น แบคทีเรียสกุล *Actinomycetes*, *Streptomyces*, *Fossombronia*, *Nocardia* และ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria*, *Microcystis*, *Anabaena*, *Lyngbya*, *Aphanizomenon*, *Symploca* และ *Phormidium* ที่สามารถสร้างสารจีออสมิน (geosmin, trans - 1, 10 - dimethyl - trans - 9 - decalol) และ 2 - methylisoborneol (1, 2, 7, 7 - tetramethyl - exo - bicyclo - [2,2,1] - heptan - 2 - ol หรือ MIB) ที่ทำให้เกิดกลิ่นโคลนในน้ำ ในสัตว์น้ำและอาหาร ปริมาณจีออสมินจะมีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินแต่ละชนิด (Jones and Wolfgang, 1995; Hu and Chiang, 1996; Durrer et al., 1999) และสามารถซึมผ่านเนื้อเยื่อสัตว์น้ำเข้าไปสะสมภายในส่วนต่างๆ ของสัตว์น้ำ ปัญหาการเกิดกลิ่นโคลนที่พบบ่อยในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ มักจะมีสาเหตุมาจากการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่สามารถสร้างสารจีออสมิน หรือ MIB ได้ หลังจากนั้นจะมีการตายของสาหร่ายและเกิดการย่อยสลายซากสาหร่ายเป็นสาเหตุทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดลง (Krom and Neori, 1989) และเกิดกลิ่นเหม็นในบ่อเลี้ยงมีผลทำให้เกิดกลิ่นโคลนในเนื้อสัตว์น้ำ สัตว์น้ำที่พบปัญหากลิ่นโคลน เช่น ปลา bream (*Abramis brama*) ปลา carp (*Cyprinus carpio*) ปลา walleye (*Stizostedion vitreum*) และ ปลา lake herring (*Coregonu artedii*) ส่วนปลา channel catfish (*Ictalurus punctatus*) เป็นปลาที่มีการศึกษาปัญหาการเกิดกลิ่นโคลนจากสารจีออสมิน และ MIB กันมาก เนื่องจากเป็นปลาที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจนิยมเลี้ยงกันมากในหลายมลรัฐทางภาคใต้ของประเทศสหรัฐอเมริกา ในบ่อเลี้ยงที่เนื้อปลามีกลิ่นโคลนราคาปลาจะต่ำกว่าปกติมาก (Lovell and Broce, 1985; Lorio et al., 1992; Jones and Wolfgang, 1995; Hu and Chiang, 1996; Schrader et al., 1998; Sugiura et al., 1998; Tucker and Ploeg, 1999; Walker and Higginbotham, 2000; Saadoun et al., 2001; Zimba and Grimm, 2002) สำหรับสัตว์น้ำในประเทศไทยที่พบว่ามีการเกิดกลิ่นโคลนบ่อยครั้ง เช่น ปลาชวาย (*Pangasius sutchi*) ปลานิล (*Oreochromis niloticus*) กุ้งก้ามกราม (*Macrobrachium rosenbergii*) ปลากะพงขาว (*Lates calcarifer*) ที่เลี้ยงในน้ำจืด กุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) และกุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*) ที่เลี้ยงในน้ำที่มีความเค็มต่ำ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์-เอ และจีโอสมินในสาหร่าย

การเจริญเติบโตของสาหร่ายมีธาตุอาหารเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญโดยเฉพาะธาตุอาหารหลักไนโตรเจนและฟอสเฟต ซึ่งพบว่าในแหล่งน้ำที่มีธาตุอาหารอุดมสมบูรณ์ และในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำซึ่งมีการขับถ่ายของเสียของสัตว์น้ำและอาหารที่เหลือตกค้างในบ่อเลี้ยง เมื่อของเสียเหล่านั้นถูกย่อยสลายทำให้เกิดธาตุอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายแต่ละชนิด (Pillay, 1992) การเปลี่ยนแปลงชนิดและปริมาณสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินจะเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่อยู่ในน้ำและตะกอนดินซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพแวดล้อมทางฟิสิกส์และเคมี (Hillebrand and Kahlert, 2002)

ปริมาณไนโตรเจนเป็นปัจจัยที่มีผลต่อกลไกทางสรีรวิทยาของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน Saha (2003) พบว่าในสภาวะที่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Oscillatoria willei* BDU 130511 ขาดไนโตรเจนเป็นเวลานานจะทำให้ลักษณะของเซลล์สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมีสีเหลือง และเซลล์จะแตกหักออกจากเส้นสายเป็นจำนวนมาก การเจริญเติบโตจะลดลง 17 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักสด Funge-Smith and Briggs (1998) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนกับปริมาณคลอโรฟิลล์-เอในบ่อเลี้ยง กุ้งพบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์-เอจะเปลี่ยนแปลงเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับปริมาณไนโตรเจน

นอกจากนี้ Saadoun *et al.* (2001) พบว่าปริมาณแอมโมเนียมีผลต่อการสังเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ จีโอสมิน และมวลน้ำหนักรวมของสาหร่าย *Anabaena* โดยมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณแอมโมเนียเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณไนเตรทจะมีผลทำให้สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Anabaena* ในการสังเคราะห์ปริมาณจีโอสมิน อัตราส่วนของจีโอสมิน/มวลน้ำหนักรวม และ จีโอสมิน/คลอโรฟิลล์-เอ สูงสุด เมื่อมีปริมาณไนเตรท 124 ไมโครกรัม/ลิตร ส่วนมวลน้ำหนักรวมและคลอโรฟิลล์-เอ จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามปริมาณไนเตรท

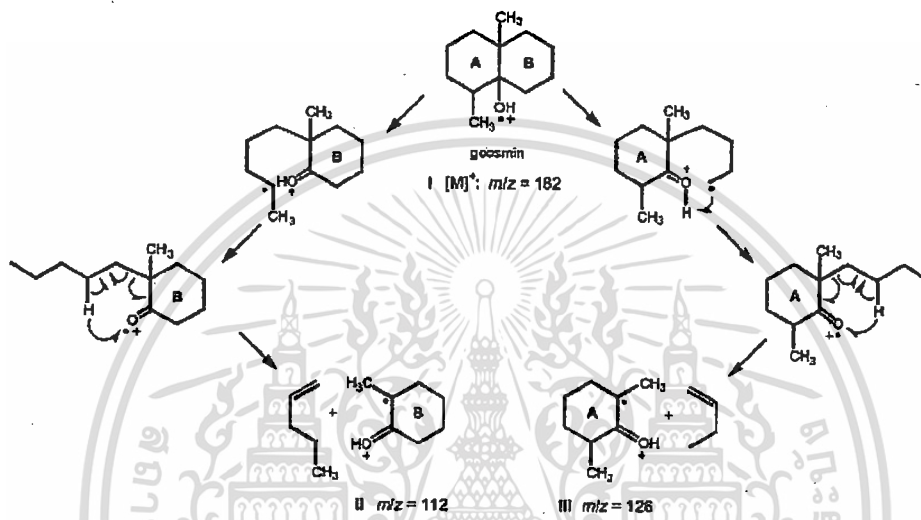
ปริมาณฟอสเฟตในแหล่งน้ำเป็นอีกปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตต่อสาหร่าย (Hillebrand and Kahlert, 2002; Xie *et al.*, 2003 a) เนื่องจากฟอสเฟตที่อยู่ในตะกอนดินจะแตกตัวและปล่อยฟอสเฟตออกสู่แหล่งน้ำทำให้ปริมาณฟอสเฟตในน้ำเพิ่มขึ้น (Boyd, 1995; Boyd and Munsiri, 1996; Xie *et al.*, 2003a) ปริมาณฟอสเฟตที่เพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้การสังเคราะห์ปริมาณจีโอสมินคลอโรฟิลล์-เอ และมวลน้ำหนัก ของสาหร่าย *Anabaena* sp. นอกจากนี้ Yusoff *et al.* (2001) ได้ทดลองสกัดตะกอนดินจากบ่อเลี้ยงกุ้งและนำน้ำที่ได้จากการสกัดมาเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria* พบว่าสาหร่ายสามารถเจริญเติบโตได้ดี เมื่อวิเคราะห์ธาตุอาหารในน้ำที่สกัดพบว่ามีปริมาณฟอสเฟต 25.98 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณไนโตรเจน 65.45 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งปริมาณธาตุอาหารมีมากพอต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Oscillatoria* การปล่อยฟอสเฟตจากตะกอนดินสู่แหล่งน้ำธรรมชาติเพิ่มขึ้นเป็นผลทำให้สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ซึ่งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในช่วงที่ปริมาณฟอสเฟตในน้ำเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณไนโตรเจนในน้ำไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก จึงทำให้อัตราส่วนไนโตรเจนกับฟอสเฟต (TN:TP ratio) มีอัตราส่วนต่ำกว่า 29 (Havens *et al.*, 2003; Xie *et al.*, 2003 b) และพบว่า ในช่วงที่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria* และ *Microcystis* ถ้าปริมาณฟอสเฟตลดลงจนอัตราส่วนไนโตรเจนกับฟอสเฟตมีอัตราส่วนมากกว่า 29 ก็จะทำให้การเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินลดลง และจะพบการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินน้อยมากถ้ามีปริมาณไนโตรเจนและฟอสเฟตน้อยถึงแม้ว่าจะมีอัตราส่วนไนโตรเจนกับฟอสเฟตจะมีอัตราส่วนมากกว่า 29 (Xie *et al.*, 2003 b) ดังนั้น อัตราส่วนของ TN:TP น่าจะเป็นดัชนีบอกแนวโน้มการเจริญเติบโตของ *Oscillatoria* และ *Microcystis* ในแหล่งน้ำที่มีธาตุอาหารอุดมสมบูรณ์ได้ทางหนึ่ง นอกจากนี้ในสาหร่าย *Anabaena* sp. (Saadoun *et al.*, 2001) ปริมาณไนโตรเจน และฟอสเฟตสามารถใช้เป็นปัจจัยบอกแนวโน้มในการสังเคราะห์จีโอสมินและคลอโรฟิลล์ได้ (Davies *et al.*, 2004) และ Robertson *et al.* (2006) พบว่าปริมาณจีโอสมินจะเปลี่ยนตามปริมาณฟอสเฟต

การวิเคราะห์ปริมาณสารจีโอสมินในสิ่งแวดล้อมน้ำ

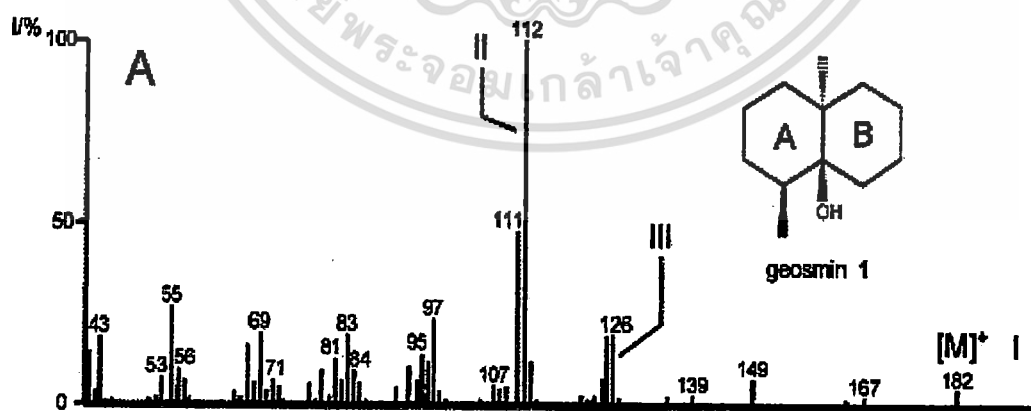
การวิเคราะห์ปริมาณจีโอสมิน สามารถวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Gas Chromatograph/Mass Spectrophotometry (GC/MS) ซึ่งสามารถวิเคราะห์ปริมาณจีโอสมิน และ MIB ได้ในระดับความเข้มข้น ng/L และมีการพัฒนาเทคนิคการวิเคราะห์ปริมาณจีโอสมิน ต่างๆ กัน ซึ่งจากการวิเคราะห์จีโอสมิน ด้วยเครื่อง GC/MS จะได้ quantitative ions (m/z) มีค่า 112, 126 และ 182 ดังภาพที่ 1 และ 2 (Martin *et al.*, 1992; Farmer *et al.*, 1995; Sunesson *et al.*, 1995; Nilsson *et al.*, 1996; Bao *et al.*, 1997; Zander and Pingert, 1997; Lloyd *et al.*, 1998; Palmentier *et al.*, 1998; Saito *et al.*, 1999; Zhu *et al.*, 1999; Watson *et al.* 2000; Silva *et al.*, 2002; Nakamura and Daishima, 2005; Zhang *et al.* 2005; Zhang *et al.* 2006) และสามารถแสดง chromatograms ในการวิเคราะห์ของสารต่างๆ ดังภาพที่ 3 การวิเคราะห์จีโอสมิน มีปัจจัยต่างๆ ที่ต้องควบคุม เช่น เครื่องมือ อุปกรณ์ อุณหภูมิ และความดัน ซึ่งจะมีผลต่อประสิทธิภาพการวิเคราะห์ที่แตกต่างกัน (Sung *et al.*, 2005; Zhang *et al.*, 2005; Zhang *et al.*, 2006) จากการศึกษาของ Lovell and Broce (1985) พบว่า ปริมาณ geosmin 78 ug/kg เป็นความเข้มข้นต่ำสุดที่ทำให้เกิดกลิ่นโคลนในเนื้อกุ้ง การศึกษากลิ่นโคลนในสิ่งแวดล้อมน้ำ มีการศึกษากันแพร่หลายในปลา โดยการเปรียบเทียบกลิ่นโคลนที่ทดสอบโดยใช้วิธีประสาทสัมผัสผสมกับวิธีวิเคราะห์ปริมาณ geosmin โดยเครื่อง GC/MS เช่น ในปลา rainbow trout (*Onchorynchus mykiss*) การประเมินกลิ่นโคลนโดยใช้วิธีประสาทสัมผัสไม่มีกลิ่นโคลนเมื่อปริมาณจีโอสมิน น้อยกว่า $1.12 \pm 0.38 \mu\text{g/kg}$ (Robin *et al.*, 2006) ส่วน Robertson *et al.* (2005) พบว่า ปลา rainbow trout ที่มีปริมาณจีโอสมิน น้อยกว่า $0.9 \mu\text{g/kg}$ จะทำให้ไม่มีกลิ่นโคลนในเนื้อปลา

สำหรับปัญหากลิ่นโคลนในปอเลียงกุ้งทะเลในประเทศไทย ส่วนมากมีรายงานจากปอเลียงกุ้งกุลาดำ (ชลอ, 2535) โดยเฉพาะปอที่เลี้ยงด้วยน้ำความเค็มต่ำ (ชลอ, 2543) ซึ่งใช้วิธีการประเมินทางประสาทสัมผัส (sensory evaluation) จากผู้เชี่ยวชาญทางด้านนี้โดยเฉพาะ (พจมาน, 2549) จากการศึกษาของสมชาย (2551) พบว่าปริมาณจีออสมินมีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. โดยพบว่า *Oscillatoria* sp. ในปอเลียงน้อยกว่า 1.17×10^5 filaments/ml จะพบปริมาณจีออสมินในเนื้อกุ้งขาวน้อยกว่า 2.5 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม และเมื่อนำมาประเมินทางประสาทสัมผัสชิมรสจะไม่พบกลิ่นโคลนในเนื้อกุ้งขาว



ภาพที่ 1 รูปแบบโครงสร้างของจีออสมิน I) $m/z = 182$, II) $m/z = 112$ และ III) $m/z = 126$

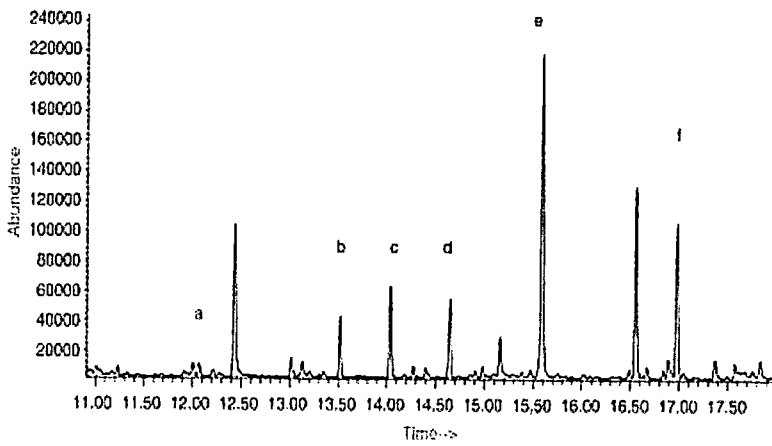
ที่มา: Spiteller *et al.* (2001)



ภาพที่ 2 mass spectrum ของจีออสมิน ที่แตกตัว I) $m/z = 182$, II) $m/z = 112$ และ III) $m/z = 126$

ที่มา: Spiteller *et al.* (2002)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3 chromatograms ของสารละลายมาตรฐานจื๋ออสมิน (d)

ที่มา: Zhang *et al.* (2006)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

สำรวจบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกรามของเกษตรกรในเขตอำเภอบ้านโพธิ์ จังหวัดฉะเชิงเทรา สุ่มตัวอย่างกุ้งก้ามกรามที่เลี้ยงในบ่อดินขนาดมากกว่า 20 ไร่ ที่มีกลิ่นโคลนโดยแบ่งเป็น 4 ระดับ ระดับละ 5 ตัว เก็บรักษาในกล่องโฟมที่บรรจุน้ำแข็งและนำตัวอย่างมาวิเคราะห์ปริมาณจีออสมินในห้องปฏิบัติการ นำกุ้งก้ามกราม 25 ตัว มาเลี้ยงแบบแยกเดี่ยวในตะกร้าขนาด 10x15x10 เซนติเมตร ในบ่อคอนกรีตขนาด 1.0x1.2x1.0 เมตร ที่มีระบบหมุนเวียนน้ำ ให้อาหารวันละ 2 มื้อ เลี้ยงกุ้งก้ามกรามเป็นระยะเวลา 7 วัน หลังจากนั้นสุ่มกุ้งก้ามกรามจำนวน 3 ตัว มาวิเคราะห์ปริมาณจีออสมิน

1. ศึกษาปริมาณจีออสมินในเนื้อกุ้งก้ามกรามจากบ่อดิน

1.1 สุ่มตัวอย่างกุ้งก้ามกราม (ภาพที่ 4, 5) จากฟาร์มเลี้ยงกุ้งก้ามกราม เก็บรักษากุ้งก้ามกรามในกล่องโฟมบรรจุน้ำแข็ง และนำกลับมาแช่แข็งที่ห้องปฏิบัติการก่อนนำมาวิเคราะห์ปริมาณจีออสมิน

1.2 เตรียมกราฟและสมการความเข้มข้นมาตรฐานของจีออสมิน

โดยวิเคราะห์ด้วยเครื่อง gas chromatograph/mass spectrophotometry (ภาพที่ 6-12) นำสารละลายมาตรฐานจีออสมิน (sigma) ความเข้มข้น 2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ที่มี methanol เป็นตัวทำละลาย เตรียมสารละลายมาตรฐานจีออสมินให้ได้ความเข้มข้น 20 ไมโครกรัม/ลิตร เจือจางด้วย deionized water ให้ได้ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานจีออสมิน 0, 10, 20, 30, 40, 60, 80 และ 100 ไมโครกรัม/ลิตร ใช้ micropipette ดูดสารละลายมาตรฐานจีออสมิน แต่ละความเข้มข้น 20 มิลลิลิตร ใส่ในขวด vial สีขาวขนาด 40 มิลลิลิตร ปิดด้วยฝาที่มี septum ก่อนการวิเคราะห์เติม NaCl 5 กรัม นำไปสกัดด้วย column SPME (solid phase micro-extraction) supelco 57330-u USA โดยใช้ SPME fiber divinylbenzen/ carboxen/polydimethyl siloxane supelco 57550-u USA ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที พร้อมทั้งกวนสารละลายตลอดการสกัด หลังจากนั้นนำก๊าซที่สกัดได้ไปวิเคราะห์ทันทีด้วย เครื่อง GC/MS Agilent technologies 6890N network GC system/Agilent technologies 5973 network mass selective detector โดยใช้ column HP-5 (30m x 0.25 mm ID x 0.25 um) ปรับอุณหภูมิเริ่มต้นในการวิเคราะห์ที่ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6.13 นาที เพิ่มอุณหภูมิเป็น 200 องศาเซลเซียส โดยมีอัตราการอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 20 องศาเซลเซียส/นาที หลังจากนั้นเพิ่มอุณหภูมิเป็น 250 องศาเซลเซียส โดยมีอัตราการอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 10 องศาเซลเซียส/นาที นำค่าข้อมูลจากการวิเคราะห์ไปสร้างกราฟและคำนวณหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานจีออสมิน กับ corrected area เพื่อใช้ในการคำนวณหาปริมาณจีออสมินในตัวอย่างที่วิเคราะห์

1.3 วิเคราะห์ปริมาณสารจีโอสมินในเนื้อกุ้งก้ามกราม โดยวิเคราะห์ด้วยเครื่อง gas chromatograph/mass spectrophotometry นำเนื้อกุ้งก้ามกรามที่สุ่มมาจากบ่อเลี้ยงและกุ้งก้ามกรามที่นำมาเลี้ยงแบบแยกเดี่ยวในบ่อคอนกรีตที่มีระบบหมุนเวียนน้ำ เก็บรักษาแช่แข็งก่อนนำมาวิเคราะห์โดยชั่งน้ำหนักเนื้อกุ้งก้ามกราม 10 กรัม บดให้ละเอียด เติม methanol 5 มิลลิลิตร ปริมาตรด้วย deionized water ให้ได้ 20 มิลลิลิตร ใส่ในขวด vial สีชาขนาด 40 มิลลิลิตร ปิดด้วยฝาที่มี septum ก่อนการวิเคราะห์เติม NaCl 5 กรัม และนำไปสกัดด้วย column SPME และวิเคราะห์ปริมาณจีโอสมินด้วยเครื่อง gas chromatograph/mass spectrophotometry ตามวิธีการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานจีโอสมิน นำข้อมูลที่วิเคราะห์ไปคำนวณปริมาณจีโอสมิน โดยเปรียบเทียบกับกราฟและสมการความสัมพันธ์มาตรฐานของจีโอสมิน

2. ศึกษาคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกราม

สุ่มเก็บตัวอย่างน้ำ จากบ่อเลี้ยงที่กุ้งก้ามกรามที่มีกลิ่นโคลน และกุ้งก้ามกรามที่นำมาเลี้ยงแบบแยกเดี่ยวในบ่อคอนกรีตที่มีระบบหมุนเวียนน้ำ นำตัวอย่างน้ำมาวิเคราะห์ปัจจัยคุณภาพน้ำ ได้แก่ อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง ความเป็นด่าง ปริมาณสารแขวนลอย ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดและฟอสเฟตทั้งหมดตามวิธีของ APHA *et al.* (1995)

3. วิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปริมาณจีโอสมินในเนื้อกุ้งก้ามกรามที่เลี้ยงในบ่อดิน และที่เลี้ยงแบบแยกเดี่ยวในบ่อคอนกรีตที่มีระบบหมุนเวียนน้ำ หาความสัมพันธ์ของปริมาณจีโอสมินกับคุณภาพน้ำ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป

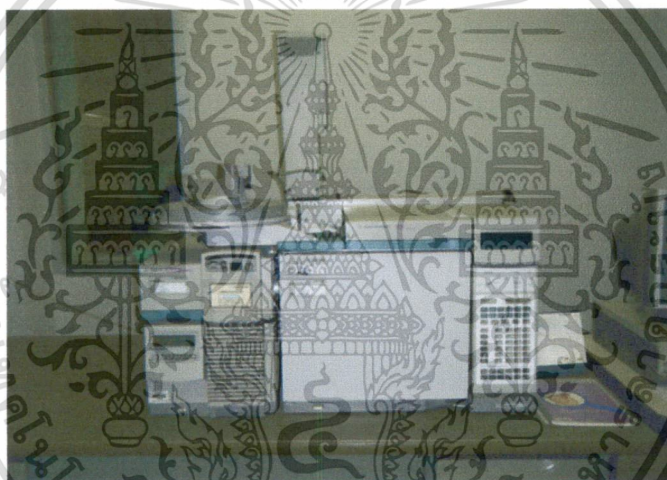


ภาพที่ 4 บ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกรามขณะจับกุ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5 กุ้งก้ามกรามที่สุ่มตัวอย่างจากบ่อเลี้ยงเพื่อวิเคราะห์ปริมาณจีออสมินและทดสอบกลิ่นโคลน



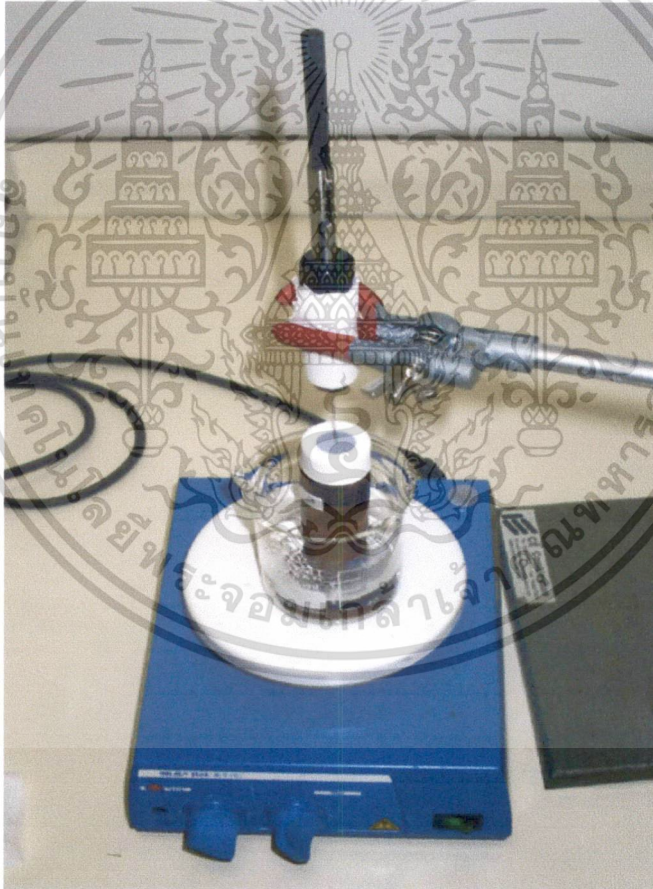
ภาพที่ 6 เครื่อง GC/MS สำหรับวิเคราะห์ปริมาณ geosmin



ภาพที่ 7 ถังแก๊สฮีเลียมสำหรับใช้กับเครื่อง GC/MS สำหรับวิเคราะห์ปริมาณ geosmin
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติเห็นาไปเซประยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

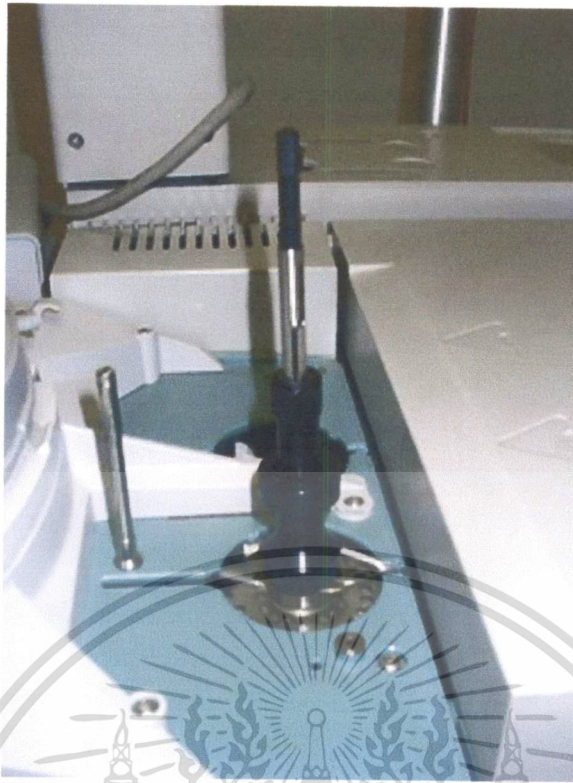


ภาพที่ 8 ชุดคอมพิวเตอร์สำหรับใช้ในการวิเคราะห์และประมวลผล



ภาพที่ 9 ให้ความร้อนกับตัวอย่าง โดยมี SPME fiber เป็นตัวดึงสาร geosmin

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

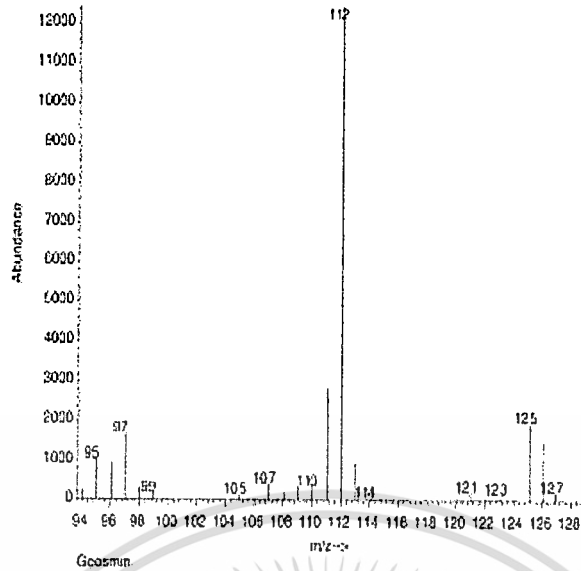


ภาพที่ 10 นำ SPME fiber ซีดตัวอย่างเข้าเครื่อง GC/MS



ภาพที่ 11 คอมพิวเตอร์ประมวลผลการวิเคราะห์สาร geosmin

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 12 mass spectrum จากการวิเคราะห์สาร geosmin

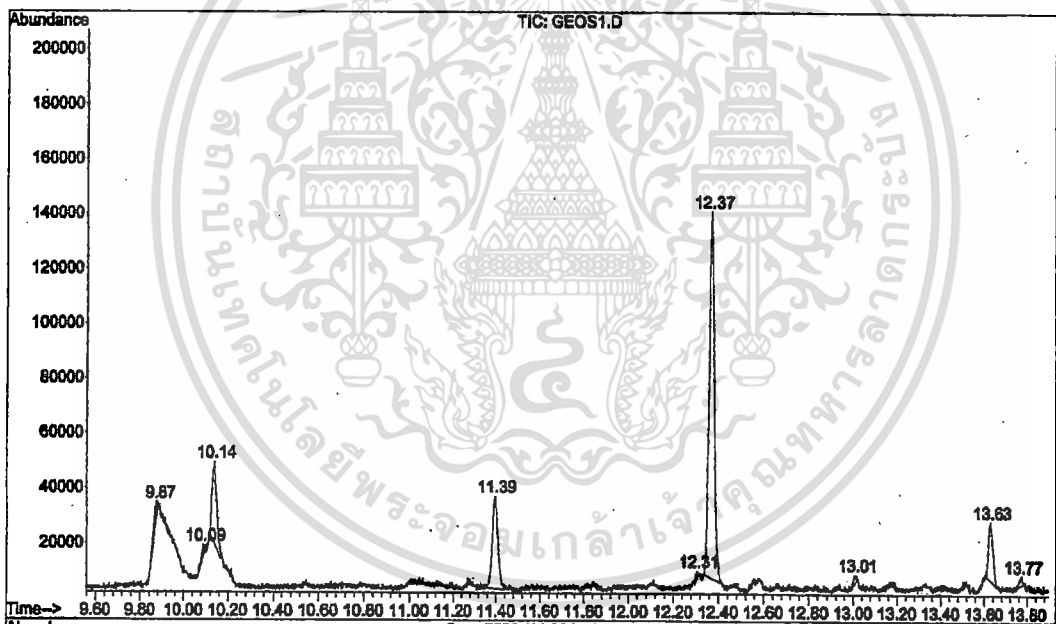


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

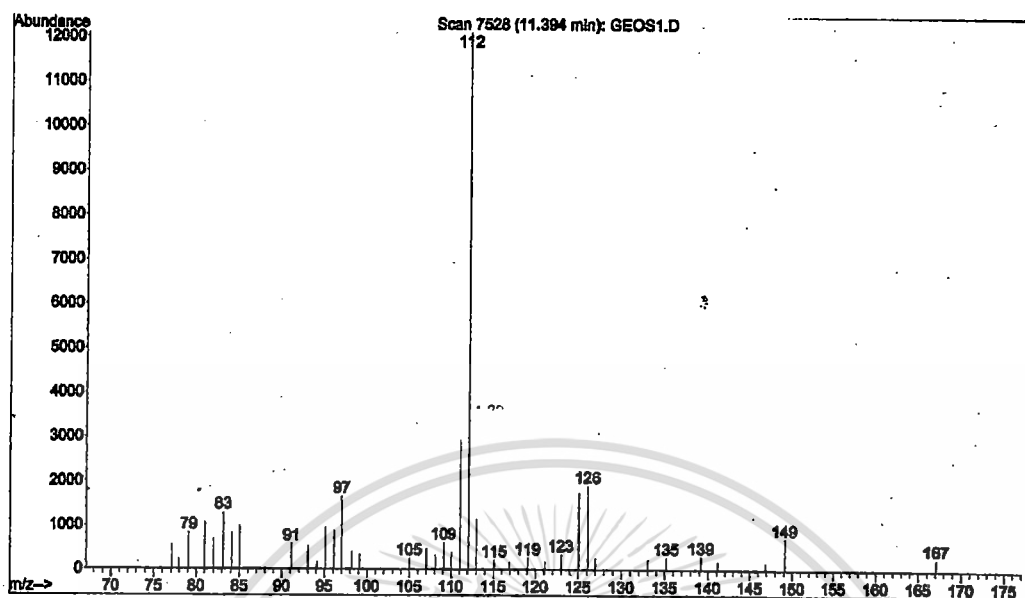
ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารมาตรฐาน geosmin โดยเครื่อง gas chromatograph/mass spectrophotometry และการวิเคราะห์กลิ่นโคลนโดยวิธีประสาทสัมผัส

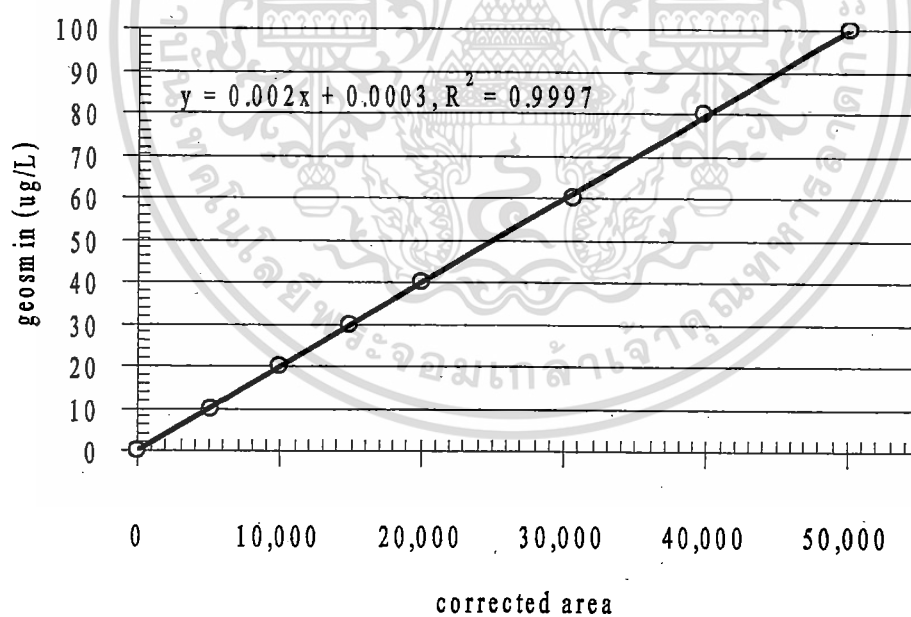
ผลการวิเคราะห์สารมาตรฐาน geosmin ที่ระดับความเข้มข้น 0, 10, 20, 30, 40, 60, 80 และ 100 ไมโครกรัม/ลิตร ด้วยเครื่อง GC/MS จะได้ chromatograms ของสารละลายมาตรฐาน geosmin (ภาพที่ 13) มีค่า mass spectrum ของสารละลาย geosmin มาตรฐาน $m/z = 112$ (ภาพที่ 14) และได้ความสัมพันธ์ของพื้นที่ที่ได้กราฟ (corrected area) กับปริมาณ geosmin จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC/MS-SPME โดยมีความสัมพันธ์เชิงเส้น $\text{corrected area (x)}$ กับ ปริมาณ geosmin คือ $y = 0.002x + 0.0003$ (ภาพที่ 15) และการทดสอบทางประสาทสัมผัสชิมรส (ตารางที่ 1)



ภาพที่ 13 chromatograms ของสารละลายมาตรฐาน geosmin ที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC/MS



ภาพที่ 14 mass spectrum ของสารละลาย geosmin มาตราฐาน $m/z = 112$



ภาพที่ 15 ความสัมพันธ์พื้นที่ที่ได้กราฟ (corrected area) กับปริมาณ geosmin จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC/MS-SPME

ตารางที่ 1 ระดับคะแนนตรวจสอบกลิ่นโคลนโดยวิธีทางประสาทสัมผัสชิมรส

ประสาทสัมผัสชิมรส	ระดับคะแนน
ไม่มีกลิ่นโคลน	< 1
มีกลิ่นโคลนเล็กน้อย	≥ 1 และ < 2
มีกลิ่นโคลนปานกลาง	≥ 2 และ < 3
มีกลิ่นโคลนมาก	≥ 3 และ < 4
มีกลิ่นโคลนมากที่สุด	≥ 5

2. ผลการศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณจีออสมินกับกลิ่นโคลนในเนื้อกุ้งก้ามกราม และคุณภาพน้ำในบ่อดิน และกุ้งก้ามกรามเลี้ยงแบบแยกเดี่ยวในบ่อกอนกรีตที่มีระบบหมุนเวียนน้ำ

2.1 ความสัมพันธ์ของปริมาณจีออสมินกับกลิ่นโคลนในเนื้อกุ้งก้ามกรามที่เลี้ยงในบ่อดิน ผลการศึกษากลิ่นโคลนในเนื้อกุ้งก้ามกรามจำนวน 10 บ่อ พบว่ามีปริมาณจีออสมินเฉลี่ยในเนื้อกุ้งก้ามกราม 84.2-147.7 µg/kg เมื่อทดสอบทางประสาทสัมผัสชิมรสมีระดับคะแนนอยู่ในช่วง 1-3 (ตารางที่ 2) ซึ่งจำนวนบ่อกุ้งก้ามกรามส่วนมากจะทดสอบทางประสาทสัมผัสชิมรสมีกลิ่นโคลนเล็กน้อย

ตารางที่ 2 ปริมาณจีออสมินในกุ้งก้ามกรามและระดับกลิ่นโคลนที่ทดสอบทางประสาทสัมผัสชิมรส

บ่อที่	ปริมาณจีออสมิน (µg/kg)	ระดับกลิ่นโคลนที่ทดสอบทางประสาทสัมผัสชิมรส
1	84.1 ± 0.4	มีกลิ่นโคลนเล็กน้อย
2	94.7 ± 0.3	มีกลิ่นโคลนเล็กน้อย
3	84.2 ± 0.2	มีกลิ่นโคลนเล็กน้อย
4	93.4 ± 0.6	มีกลิ่นโคลนเล็กน้อย
5	104.8 ± 0.3	มีกลิ่นโคลนเล็กน้อย
6	93.5 ± 0.4	มีกลิ่นโคลนเล็กน้อย
7	83.8 ± 0.5	มีกลิ่นโคลนเล็กน้อย
8	147.7 ± 0.4	มีกลิ่นโคลนปานกลาง
9	99.3 ± 0.3	มีกลิ่นโคลนเล็กน้อย
10	88.9 ± 0.6	มีกลิ่นโคลนเล็กน้อย

สอดคล้องกับการศึกษาของ Lovell and Broce (1985) พบว่าปริมาณ geosmin 78 ug/kg เป็นความเข้มข้นต่ำสุดที่ทำให้เกิดกลิ่นโคลนในเนื้อกุ้ง ซึ่งการศึกษากลิ่นโคลนในสัตว์น้ำ มีการศึกษากันแพร่หลายในปลา โดยการเปรียบเทียบกลิ่นโคลนที่ทดสอบโดยใช้วิธีประสาทสัมผัสชิมรสกับวิธีวิเคราะห์ปริมาณ geosmin โดยเครื่อง GC/MS เช่น ในปลา rainbow trout (*Onchorynchus mykiss*) การประเมินกลิ่นโคลนโดยใช้วิธีประสาทสัมผัสไม่มีกลิ่นโคลนเมื่อปริมาณจือออสมิน น้อยกว่า $1.12 \pm 0.38 \mu\text{g/kg}$ (Robin *et al.*, 2006) ส่วน Robertson *et al.* (2005) พบว่า ปลา rainbow trout ที่มีปริมาณจือออสมิน น้อยกว่า $0.9 \mu\text{g/kg}$ จะทำให้ไม่มีกลิ่นโคลนในเนื้อปลา

2.2 ความสัมพันธ์ของปริมาณจือออสมินกับกลิ่นโคลนในเนื้อกุ้งก้ามกรามกับคุณภาพน้ำในบ่อ

ผลการศึกษาคคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกรามที่พบกลิ่นโคลน พบว่ามีค่าอุณหภูมิ 28.4-28.8 °C ความเป็นกรด-ด่าง 7.5-8.3 ความเป็นด่าง 74-94 ppm สารแขวนลอย 0.273-0.992 mg/L ไนโตรเจนทั้งหมด 1.029-2.054 ppm และฟอสเฟตทั้งหมด 0.113-0.774 ppm ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกรามที่เกิดกลิ่นโคลนในเนื้อกุ้งก้ามกราม

บ่อที่	อุณหภูมิ (°C)	ความเป็น กรด-ด่าง	ความเป็นด่าง (ppm)	สารแขวนลอย (mg/L)	ไนโตรเจน ทั้งหมด (ppm)	ฟอสเฟต ทั้งหมด (ppm)
1	28.8	7.7	84±0.4	0.754±0.005	1.384±0.002	0.323±0.004
2	28.5	7.9	74±0.2	0.323±0.004	1.114±0.003	0.252±0.003
3	28.6	7.5	85±0.4	0.273±0.006	1.350±0.002	0.453±0.003
4	28.7	7.8	94±0.2	0.593±0.004	1.495±0.004	0.113±0.004
5	28.7	7.9	79±0.2	0.294±0.005	1.179±0.002	0.238±0.002
6	28.6	8.2	84±0.4	0.362±0.006	2.054±0.003	0.313±0.003
7	28.4	7.8	94±0.2	0.684±0.004	1.124±0.002	0.250±0.004
8	28.5	8.3	90±0.4	0.992±0.003	1.490±0.003	0.734±0.005
9	28.8	7.9	79±0.2	0.984±0.005	1.029±0.004	0.390±0.003
10	28.7	7.8	87±0.2	0.854±0.003	1.273±0.002	0.279±0.002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำไปหาความสัมพันธ์ของปริมาณจืออสมิน (ตารางที่ 4) กับปัจจัยคุณภาพน้ำ พบว่า ปัจจัยต่างๆ มีความสัมพันธ์กับปริมาณจืออสมินในเนื้อกุ้งก้ามกรามต่างกัน ความเป็นกรด-ด่าง และ ปริมาณฟอสเฟตทั้งหมดมีความสัมพันธ์กับปริมาณจืออสมินในเนื้อกุ้งก้ามกรามมากที่สุด โดยค่า ความเป็นกรด-ด่าง มีความสัมพันธ์เชิงเส้น $y = 61.99x + 391.00$ ($R^2 = 0.565$) และฟอสเฟตทั้งหมด $y = 82.65x + 69.79$ ($R^2 = 0.533$) ซึ่งพบว่าปริมาณฟอสเฟตสามารถใช้เป็นปัจจัยบอกแนวโน้มในการ สังเคราะห์จืออสมินและคลอโรฟิลล์ (Davies et al., 2004) และ Robertson et al. (2006) ศึกษา พบว่าปริมาณจืออสมินจะเปลี่ยนแปลงตามปริมาณฟอสเฟตซึ่งในแหล่งน้ำที่มีธาตุอาหารอุดมสมบูรณ์ และในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีการย่อยสลายของเสียจากสิ่งขับถ่าย และอาหารที่เหลือตกค้างในบ่อทำให้เกิด ภาวะธาตุอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายแต่ละชนิด (Pillay, 1992)

ตารางที่ 4 ความสัมพันธ์ปัจจัยคุณภาพน้ำกับการเกิดกลิ่นโคลนในบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกราม

ปัจจัยต่างๆ	สมการเชิงเส้น	R ²
อุณหภูมิ (°C)	$y = 30.07x + 958.40$	0.045
ความเป็นกรด-ด่าง	$y = 61.99x + 391.00$	0.565
ความเป็นด่าง (ppm)	$y = 0.174x + 83.640$	0.003
ปริมาณสารแขวนลอย (mg/L)	$y = 25.85x + 81.63$	0.150
ไนโตรเจนทั้งหมด (ppm)	$y = 7.355x + 87.510$	0.013
ฟอสเฟตทั้งหมด (ppm)	$y = 82.65x + 69.79$	0.533

2.3 ความสัมพันธ์ของปริมาณจืออสมินกับการลดกลิ่นโคลนในเนื้อกุ้งก้ามกรามที่ นำมาเลี้ยงแบบแยกเดี่ยวในบ่อคอนกรีตที่มีระบบหมุนเวียนน้ำ

ผลการศึกษานำกุ้งก้ามกรามที่มีกลิ่นโคลนจากบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกรามจำนวน 10 บ่อ มาเลี้ยง แบบแยกเดี่ยวในบ่อคอนกรีตที่มีระบบหมุนเวียนน้ำ เป็นระยะเวลา 7 วัน หลังจากนั้นนำกุ้งไปวิเคราะห์ ปริมาณจืออสมิน พบว่าในเนื้อกุ้งก้ามกรามไม่มีปริมาณจืออสมินตกค้าง และเมื่อทดสอบทางประสาท สัมผัสชิมรสจะไม่มีการเกิดกลิ่นโคลน (ตารางที่ 5) แสดงว่าการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามแบบแยกเดี่ยวในบ่อคอนกรีต ที่มีระบบหมุนเวียนน้ำสามารถลดปริมาณจืออสมินที่สะสมในเนื้อกุ้งก้ามกรามได้เป็นการแก้ปัญหาไม่ ให้ เกิดกลิ่นโคลนในเนื้อกุ้งก้ามกรามได้

ตารางที่ 5 ปริมาณจือออสมินในกึ่งกำมกรามและระดับกลินโคลนที่ทดสอบทางประสาทสัมผัสชิมรสที่
เลี้ยงแบบแยกเดี่ยวในบ่อคอนกรีตที่มีระบบหมุนเวียนน้ำ

บ่อที่	ปริมาณจือออสมิน ($\mu\text{g}/\text{kg}$)		ระดับกลินโคลนที่ทดสอบทางประสาทสัมผัสชิมรส
	บ่อดินเริ่มต้น	บ่อคอนกรีต	
1	84.1 ± 0.4	0	ไม่มีกลินโคลน
2	94.7 ± 0.3	0	ไม่มีกลินโคลน
3	84.2 ± 0.2	0	ไม่มีกลินโคลน
4	93.4 ± 0.6	0	ไม่มีกลินโคลน
5	104.8 ± 0.3	0	ไม่มีกลินโคลน
6	93.5 ± 0.4	0	ไม่มีกลินโคลน
7	83.8 ± 0.5	0	ไม่มีกลินโคลน
8	147.7 ± 0.4	0	ไม่มีกลินโคลน
9	99.3 ± 0.3	0	ไม่มีกลินโคลน
10	88.9 ± 0.6	0	ไม่มีกลินโคลน

2.4 ศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณจือออสมินในเนื้อกึ่งกำมกรามกับคุณภาพน้ำในบ่อ คอนกรีตที่มีระบบหมุนเวียนน้ำ

ผลการศึกษาคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกึ่งกำมกรามแบบแยกเดี่ยวในบ่อคอนกรีตที่มีระบบ
หมุนเวียนน้ำ พบว่ามีค่าอุณหภูมิ $28.2-28.5$ °C ความเป็นกรด-ด่าง 7.4-7.7 ความเป็นด่าง 83-90
ppm สารแขวนลอย 0.023-0.074 mg/L ไนโตรเจนทั้งหมด 0.284-0.540 ppm และฟอสเฟตทั้งหมด
0.108-0.213 ppm ดังตารางที่ 6 จากผลการทดลองแสดงว่าคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกึ่งกำมกรามแบบ
แยกเดี่ยวในบ่อคอนกรีตที่มีระบบหมุนเวียนน้ำไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณจือออสมินที่เป็นสาเหตุของ
การเกิดกลินโคลนในกึ่งกำมกราม ซึ่งการเกิดกลินโคลนมีปัจจัยอื่น ที่พบในบ่อดินที่เลี้ยงกึ่งกำมกราม
เช่นการศึกษาของ Saadoun *et al.* (2001) พบว่าปริมาณแอมโมเนียมีผลต่อการสังเคราะห์ปริมาณ
คลอโรฟิลล์-เอ จือออสมิน และมวลน้ำหนักรของสาหร่าย *Anabaena* โดยมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณ
แอมโมเนียเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณไนเตรทจะมีผลทำให้สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Anabaena* ใน
การสังเคราะห์ปริมาณจือออสมิน อัตราส่วนของจือออสมิน/มวลน้ำหนักร และ จือออสมิน/คลอโรฟิลล์-
เอ สูงสุด เมื่อมีปริมาณไนเตรท 124 ไมโครกรัม/ลิตร ส่วนมวลน้ำหนักรและคลอโรฟิลล์-เอ จะมี
ปริมาณเพิ่มขึ้นตามปริมาณไนเตรท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณฟอสเฟตในแหล่งน้ำเป็นอีกปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตต่อสาหร่าย (Hillebrand and Kahlert, 2002; Xie *et al.*, 2003 a) เนื่องจากฟอสเฟตที่อยู่ในตะกอนดินจะแตกตัวและปล่อยฟอสเฟตออกสู่แหล่งน้ำทำให้ปริมาณฟอสเฟตในน้ำเพิ่มขึ้น (Boyd, 1995; Boyd and Munsiri, 1996; Xie *et al.*, 2003a) ปริมาณฟอสเฟตที่เพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้การสังเคราะห์ปริมาณจีโอสมิน คลอโรฟิลล์-เอ และมวลน้ำหนัก ของสาหร่าย *Anabaena* sp. นอกจากนี้ Yusoff *et al.* (2001) ได้ทดลองสกัดตะกอนดินจากบ่อเลี้ยงกุ้งและนำน้ำที่ได้จากการสกัดมาเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria* พบว่าสาหร่ายสามารถเจริญเติบโตได้ดี เมื่อวิเคราะห์ธาตุอาหารในน้ำที่สกัดพบว่ามีปริมาณฟอสเฟต 25.98 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณไนโตรเจน 65.45 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งปริมาณธาตุอาหารมีมากพอต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Oscillatoria* การปล่อยฟอสเฟตจากตะกอนดินสู่แหล่งน้ำธรรมชาติเพิ่มขึ้นเป็นผลทำให้สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ซึ่งในช่วงที่ปริมาณฟอสเฟตในน้ำเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณไนโตรเจนในน้ำไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก จึงทำให้อัตราส่วนไนโตรเจนกับฟอสเฟต (TN:TP ratio) มีอัตราส่วนต่ำกว่า 29 (Havens *et al.*, 2003; Xie *et al.*, 2003 b) และพบว่า ในช่วงที่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria* และ *Microcystis* ถ้าปริมาณฟอสเฟตลดลงจนอัตราส่วนไนโตรเจนกับฟอสเฟตมีอัตราส่วนมากกว่า 29 ก็จะทำให้การเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินลดลง และจะพบการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินน้อยมากถ้ามีปริมาณไนโตรเจนและฟอสเฟตน้อยถึงแม้ว่าจะมีอัตราส่วนไนโตรเจนกับฟอสเฟตจะมีอัตราส่วนมากกว่า 29 (Xie *et al.*, 2003 b) ดังนั้น อัตราส่วนของ TN:TP น่าจะเป็นดัชนีบอกระยะการเจริญเติบโตของ *Oscillatoria* และ *Microcystis* ในแหล่งน้ำที่มีธาตุอาหารอุดมสมบูรณ์ได้ทางหนึ่ง นอกจากนี้ในสาหร่าย *Anabaena* sp. (Saadoun *et al.*, 2001) ปริมาณไนโตรเจน และฟอสเฟตสามารถใช้เป็นปัจจัยบอกระยะการสังเคราะห์จีโอสมินและคลอโรฟิลล์ได้ (Davies *et al.*, 2004) และ Robertson *et al.* (2006) พบว่าปริมาณจีโอสมินจะเปลี่ยนแปลงตามปริมาณฟอสเฟต

ตารางที่ 6 คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกรามแบบแยกเดี่ยวในบ่อคอนกรีตที่มีระบบหมุนเวียนน้ำ

บ่อที่	อุณหภูมิ (°C)	ความเป็น กรด-ด่าง	ความเป็นต่าง (ppm)	สารแขวนลอย (mg/L)	ไนโตรเจน ทั้งหมด (ppm)	ฟอสเฟต ทั้งหมด (ppm)
1	28.2	7.5	83±0.1	0.045±0.002	0.453±0.002	0.213±0.003
2	28.3	7.6	86±0.2	0.023±0.002	0.414±0.003	0.122±0.004
3	28.4	7.6	86±0.1	0.054±0.002	0.520±0.002	0.153±0.003
4	28.5	7.7	84±0.2	0.064±0.001	0.425±0.004	0.113±0.004
5	28.3	7.4	89±0.2	0.074±0.002	0.329±0.002	0.108±0.003
6	28.4	7.5	90±0.1	0.051±0.001	0.284±0.003	0.123±0.003
7	28.2	7.4	86±0.1	0.064±0.002	0.297±0.002	0.210±0.004
8	28.3	7.5	84±0.2	0.072±0.002	0.394±0.003	0.134±0.003
9	28.3	7.6	88±0.1	0.058±0.002	0.321±0.004	0.160±0.003
10	28.2	7.7	84±0.2	0.067±0.001	0.423±0.002	0.172±0.002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป

1. ป่อเลี้ยงกุ้งก้ามกรามที่พบกลิ่นโคลนในเนื้อกุ้งจำนวน 10 ป่อ มีปริมาณเชื้อออสโมซิลเลียในเนื้อกุ้งก้ามกราม 84.2-147.7 µg/kg เมื่อทดสอบทางประสาทสัมผัสชิมรสมีระดับคะแนนอยู่ในช่วง 1-3 ซึ่งทดสอบทางประสาทสัมผัสชิมรสจะมีกลิ่นโคลนเล็กน้อย

2. คุณภาพน้ำในป่อเลี้ยงกุ้งก้ามกรามที่พบกลิ่นโคลน มีค่าอุณหภูมิ 28.4-28.8 °C ความเป็นกรด-ด่าง 7.5-8.3 ความเป็นด่าง 74-94 ppm สารแขวนลอย 0.273-0.992 mg/L ไนโตรเจนทั้งหมด 1.029-2.054 ppm และฟอสเฟตทั้งหมด 0.113-0.774 ppm

3. กุ้งก้ามกรามที่เลี้ยงแบบแยกเดี่ยวในป่อคอนกรีตที่มีระบบหมุนเวียนน้ำ ไม่พบปริมาณเชื้อออสโมซิลเลียในเนื้อกุ้งก้ามกราม เมื่อทดสอบทางประสาทสัมผัสชิมรสไม่พบว่าพบว่ามีกลิ่นโคลน แสดงว่าการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามสามารถแก้ปัญหาไม่ให้เกิดกลิ่นโคลนในเนื้อกุ้งก้ามกรามได้ โดยการเลี้ยงแบบแยกเดี่ยวในป่อคอนกรีตที่มีระบบหมุนเวียนน้ำ

4. คุณภาพน้ำในป่อเลี้ยงกุ้งก้ามกรามแบบแยกเดี่ยวในป่อคอนกรีตที่มีระบบหมุนเวียนน้ำมีค่าอุณหภูมิ 28.2-28.5 °C ความเป็นกรด-ด่าง 7.4-7.7 ความเป็นด่าง 83-90 ppm สารแขวนลอย 0.023-0.074 mg/L ไนโตรเจนทั้งหมด 0.284-0.540 ppm และฟอสเฟตทั้งหมด 0.108-0.213 ppm จากผลการศึกษาทดลองแสดงว่าคุณภาพน้ำในป่อเลี้ยงกุ้งก้ามกรามแบบแยกเดี่ยวในป่อคอนกรีตที่มีระบบหมุนเวียนน้ำไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณเชื้อออสโมซิลเลียที่เป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นโคลนในเนื้อกุ้งก้ามกราม

เอกสารอ้างอิง

- พจมาน เขยเดช. 2549. การศึกษาคุณภาพกุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*) ที่เลี้ยงด้วยน้ำความเค็มต่ำในสภาวะการเลี้ยงที่แตกต่างกัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สมชาย หวังวิบูลย์กิจ. 2551. ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Oscillatoria* sp. และ *Microcystis* sp. และความสัมพันธ์ของปริมาณสาหร่ายต่อกลิ่นโคลนในกุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*) ในปอเลี้ยง. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 110 หน้า.
- APHA, AWWA and WPCF. 1995. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 19th ed.** American Public Health Association, Washington, DC.
- Bao, M.L., K Barbieri, D. Burrini, O. Griffini and F. Pantini. 1997. Determination of trace levels of taste and odor compounds in water by microextraction and gas chromatography ion trap detection mass spectrometry. **Wat. Res.** 31:1719-1722.
- Boyd, C. E. 1995. **Bottom Soils, Sediment, and Pond Aquaculture.** Chapman and Hall, New York.
- Boyd, C.E. and P. Munsiri. 1996. Phosphorus absorption capacity as an index of phosphorus status in soils of aquaculture areas of Thailand. pp. 45-46. In R.L., Creswell, ed. **World Aquaculture'96 Book of Abstracts.** Department of Fisheries and the Chulabhorn Research Institute. Bangkok.
- Davies, J.M., M. Roxborough and A. Mazumder. 2004. Origins and implications of drinking water odours in lakes and reservoirs of British Columbia, Canada. **Wat. Res.** 38: 1900-1910.
- Durrer, M., U. Zimmemann and F. Juttner. 1999. Dissolved and particle-bound geosmin in a mesotrophic lake (lake Zurich): spatial and seasonal distribution and the effect of grazers. **Wat. Res.** 33(17):3628-3636.
- Farmer, L.J., J.M. McConnell, T.D.J. Hagan and D.B. Harper. 1995. Flavor and off-flavor in wild and farmed Atlantic salmon from locations around Northern Ireland. **Wat. Sci. Technol.** 31:259-264.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Funge-Smith, S.J. and M.R.P. Briggs. 1998. Nutrient budgets intensive shrimp ponds: implications for sustainability. *Aquaculture* 164:117-133.
- Havens, K.E., R.T. Jame, T.L. East and V. H. Smith. 2003. N:P ratios, light limitation, and cyanobacterial dominance in a subtropical lake impacted by non-point source nutrient pollution. *Envi. Poll.* 122:379-390.
- Hillebrand, H. and M. Kahlert. 2002. Effect of grazing and water column nutrient supply on biomass and nutrient content of sediment microalgae. *Aqua. Bot.* 72:143-159.
- Hu, T.L. and P.C. Chiang, 1996. Odorous compounds from a cyanobacterium in a water purification plant in central Taiwan. *Wat. Res.* 30(10):2522-2525.
- Jones, G.J. and W. Wolfgang. 1995. In situ production of volatile odour compounds by river and reservoir phytoplankton populations in Australia. *Wat. Sci. Tech.* 31(11):145-151.
- Krom, M.D. and A. Neori. 1989. A total nutrient budget for an experimental intensive fish pond with circularly moving seawater. *Aquaculture* 83:345-358.
- Lloyd, S.W., J.M. Lea, P.V. Zimba and C.C. Grimm. 1998. Rapid analysis of geosmin and 2-methylisoborneol in water using solid phase micro extraction procedures. *Wat. Res.* 32(7):2140-2146.
- Lorio, W.J., P.W. Perschbacher and P.B. Johnsen. 1992. Relationship between water quality, phytoplankton community and off-flavors in channel catfish (*Ictalurus punctatus*) production ponds. *Aquaculture* 106:285-292.
- Lovell, R. T. and D. Broce. 1985. Cause of musty flavor in pond-cultured penaeid shrimp. *Aquaculture* 50(1-2):169-174.
- Martin, J.F. 1992. The use of sodium carbonate peroxyhydrate to treat off-flavor in commercial catfish ponds. *Wat. Sci. Technol.* 25:315-321.

- Nakamura, S. and S. Daishima. 2005. Simultaneous determination of 22 volatile organic compounds, methyl-*tert*-butyl ether, 1,4-dioxane, 2 methylisoborneol and geosmin in water by headspace solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry. *Analytica Chimica Acta*. 548:79-85.
- Nilsson T., T.O. Larsen, L. Montanarella and J. Maden. 1996. Application of head-space solid-phase microextraction for the analysis of volatile metabolites emitted by *Penicillium* species. *J. Micro. Meth.* 25: 245-255.
- Palmentier, F.P., V.Y.Taguchi, S.W.D.Jenkins, D.T. Wang, K.Ngo and D.Robinson. 1998. The determination of geosmin and 2-methylisoborneol in water using isotope dilution high resolution mass spectrometry. *Wat. Res.* 32 (2):287-294.
- Pillay, T.V.R. 1992. **Aquaculture and the Environment**. John Wiley & Sons Inc., New York.
- Robertson, R.F., A. Hammond, K. Jauncey, M.C.M. Beveridge and L.A. Lawton. 2006. An investigation into the occurrence of geosmin responsible for earthy-musty taints in UK farmed rainbow trout, *Onchorhynchus mykiss*. *Aquaculture* 259:153-163.
- Robertson, R.F., K. Jauncey, M.C.M. Beveridge and L.A. Lawton. 2005. Depuration rates and the sensory threshold concentration of geosmin responsible for earthy-musty taint in rainbow trout, *Onchorhynchus mykiss*. *Aquaculture* 245:89-99.
- Robin, J., J. Cravedi, A. Hillenweck, C.Deshayes and D. Vallod. 2006. Off flavor characterization and origin in French trout farming. *Aquaculture* 260:128-138.
- Saadoun, I.M.K., K.S. Schrader, and W.T. Blevins. 2001. Environmental and nutritional factors affecting geosmin synthesis by *Anabaena* sp. *Wat. Res.* 35(5):1209-1218.
- Saha, K.S., L Uma and G. Subramanian. 2003. Nitrogen stress induced changes in the marine cyanobacterium *Oscillatoria willei* BDU 130511. *FEMS Micro. Ecol.* 45:263-272.
- Saito, A., T. Tokuyama, A. Tanaka, T. Oritani and K. Fuchigami. 1999. Microbiological degradation of (-)-geosmin. *Wat. Res.* 33(13):3033-3036.

- Schrader, K.K., M.Q. Regt, P.D. Tidwell, C.S. Tucker and S.O. Duke. 1998. Compounds with selective toxicity towards the off-flavor metabolite-producing cyanobacterium *Oscillatoria cf. chalybea*. **Aquaculture** 163:85-99.
- Silva, J.L., R.A. Bazemore and T. Kim. 2002. Influence of physical and chemical intervention methods on geosmin and 2-MIB in channel catfish flesh. http://www.ift.confex.com/ift/2002/techprogram/paper_14423.htm, December 2003.
- Spiteller, D., A. Jux, J. Piel and W. Boland. 2002. Feeding of [5,5-2H₂]-1-desoxy-d-xylulose and [4,4,6,6,6-2H₅]-mevalolactone to a geosmin-producing *Streptomyces* sp. and *Fossombronia pusilla*. **Phytochem.** 61:827-834.
- Sugiura, N., N. Iwami, Y. Inamori, O. Nishimura and T. Sudo. 1998. Significance of Attached Cyanobacteria relevant to the occurrence of musty odor in lake Kasumigaura. **Wat. Res.** 32(12):3549-3554.
- Sunesson, A., C. Nilsson and B. Andersson. 1995. Evaluation of adsorbents for sampling and quantitative analysis of microbial volatiles using thermal desorption-gas chromatography. **J. Chromatography A** 699:203-214.
- Sung, Y., T. Li and S. Huang. 2005. Analysis of earthy and musty odors in water samples by solid-phase microextraction coupled with gas chromatography/ion trap mass spectrometry. **Talanta** 65:518-524.
- Tucker, C.S. and M. Ploeg. 1999. **Managing off-flavor problems in pond-raised catfish.** SRAC Publication No. 192. Mississippi State University. Netherlands.
- Walker H.L. and L.R. Higginbotham. 2000. An aquatic bacterium that lyses cyanobacteria associated with off-flavor of channel catfish (*Ictalurus punctatus*). **Biol. Cont.** 18:71-78.
- Watson, S.B., B. Brownlee, T. Satchwill and E.E. Hargesheimer. 2000. Quantitative analysis of trace levels of geosmin and MIB in source and drinking water using headspace SPME. **Wat. Res.** 34(10):2818-2828.
- Xie, L.Q., P. Xie and H.J. Tang. 2003a. Enhancement of dissolved phosphorus release from sediment to lake water by *Microcystis* blooms an enclosure experiment in a hyper-eutrophic, subtropical Chinese lake. **Envi. Poll.** 122:391-399.

- Xie, L., P. Xie, S. Li, H. Tang and H. LiU. 2003b. The low TN:TP ratio, a cause or a result of *Microcystis* blooms?. **Wat. Res.** 37:2073-2080.
- Yusoff, F.M., H.B. Matias, Z.A. Khalid and S. Phang. 2001. Culture of microalgae using interstitial water extracted from shrimp pond bottom sediments. **Aquaculture** 201:263-270.
- Zander, A.K. and P. Pingert. 1997. Membrane-based extraction for detection of tastes and odors in water. **Wat. Res.** 31:301-109.
- Zhu, M., F.J. Aviles, E.D. Conte, D.W. Miller and P.W. Perschbacher. 1999. Microwave mediated distillation with solid-phase microextraction: determination of off-flavor, geosmin and methylisoborneol, in catfish tissue. **J. Chrom. A** 833:223-230.
- Zhang, L., R. Hu and Z. Yang. 2005. Simultaneous pictogram determination of "earthy-musty" odorous compounds in water using solid-phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry coupled with initial cool programmable temperature vaporizer inlet. **J. Chrom. A** 1098:7-13.
- Zhang, L., R. Hu and Z. Yang. 2006. Routine analysis of off-flavor compounds in water at sub-part-trillion level by large-volume injection GC/MS with programmable temperature vaporizing inlet. **Wat. Res.** 40:699-709.
- Zimba, P.V. and C.C. Grimm. 2003. A synoptic survey of musty/muddy odor metabolites and microcystin toxin occurrence and concentration in southeastern USA channel catfish (*Ictalurus punctatus* Rafinesque) production ponds. **Aquaculture** 218(1-4):81-87.