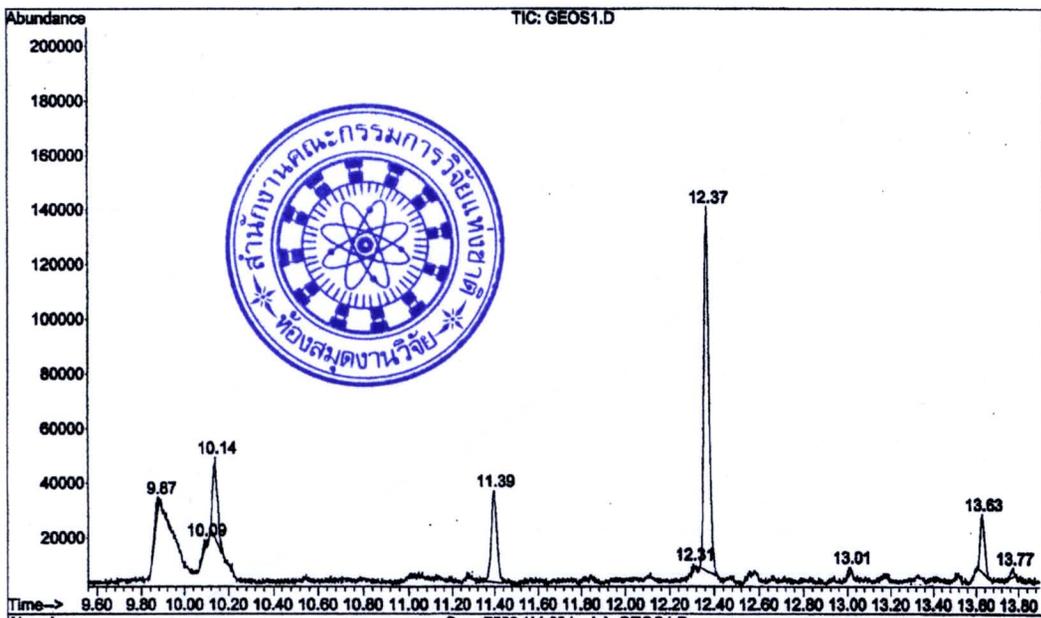


## ผลการทดลองและวิจารณ์

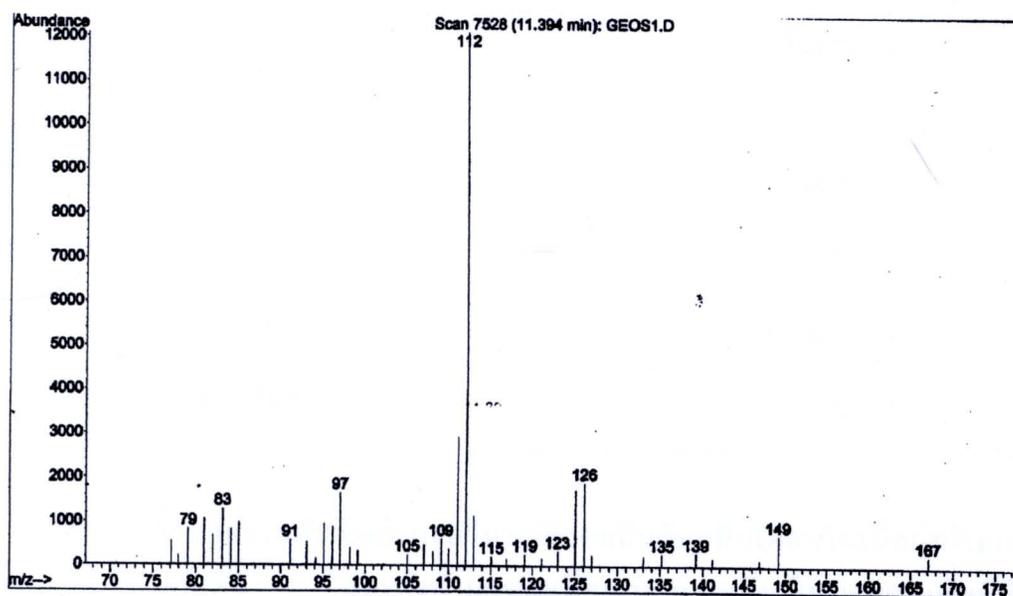
1. การวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารมาตรฐาน geosmin โดยเครื่อง gas chromatograph/mass spectrophotometry และการวิเคราะห์ก๊อลินโคลนโดยวิธีประสาทสัมผัส

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 corrected area (x) กับ ปริมาณ geosmin คือ  $y = 0.002x + 0.0003$  (ภาพที่ 15) และการทดสอบทางประสาทสัมผัสชิมรส (ตารางที่ 1)

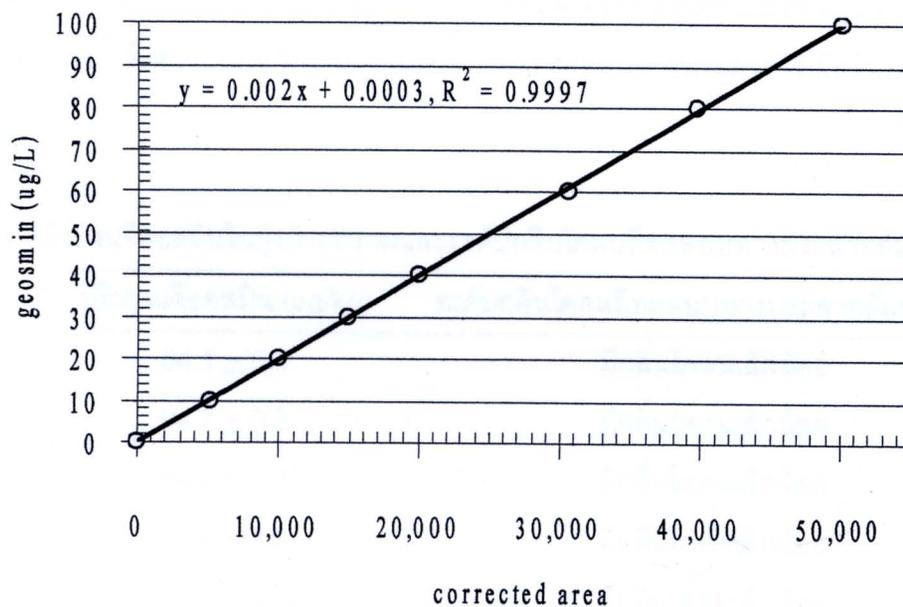


ภาพที่ 13 chromatograms ของสารละลายมาตรฐาน geosmin ที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC/MS





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



ภาพที่ 15 ความสัมพันธ์พื้นที่ใต้กราฟ (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*) 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

## 2.2 ความสัมพันธ์ของปริมาณจีโอสมินกับกลิ่นโคลนในเนื้อกุ้งก้ามกรามกับคุณภาพน้ำในบ่อ

ผลการศึกษาคูณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกรามที่พบกลิ่นโคลน 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

เมื่อนำไปหาความสัมพันธ์ของปริมาณจือออสมิน (ตารางที่ 4) กับปัจจัยคุณภาพน้ำ พบว่าปัจจัยต่างๆ มีความสัมพันธ์กับปริมาณจือออสมินในเนื้อกุ้งก้ามกรามต่างกัน ความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณฟอสเฟตทั้งหมดมีความสัมพันธ์กับปริมาณจือออสมินในเนื้อกุ้งก้ามกรามมากที่สุด โดยค่าความเป็นกรด-ด่าง มีความสัมพันธ์เชิงเส้น  $y = 61.99x + 391.00$  ( $R^2 = 0.565$ ) และฟอสเฟตทั้งหมด  $y = 82.65x + 69.79$  ( $R^2 = 0.533$ ) ซึ่งพบว่าปริมาณฟอสเฟตสามารถใช้เป็นปัจจัยบอกแนวโน้มในการสังเคราะห์จือออสมินและคลอโรฟิลล์ (Davies et al., 2004) และ Robertson et al. (2006) ศึกษาพบว่าปริมาณจือออสมินจะเปลี่ยนแปลงตามปริมาณฟอสเฟตซึ่งในแหล่งน้ำที่มีธาตุอาหารอุดมสมบูรณ์และในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีการย่อยสลายของเสียจากสิ่งขับถ่าย และอาหารที่เหลือตกค้างในบ่อทำให้เกิดธาตุอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายแต่ละชนิด (Pillay, 1992)

ตารางที่ 4 ความสัมพันธ์ปัจจัยคุณภาพน้ำกับการเกิดกลิ่นโคลนในบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกราม

ปัจจัยต่างๆ	สมการเชิงเส้น	R <sup>2</sup>
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 ความสัมพันธ์ของปริมาณจือออสมินกับการลดกลิ่นโคลนในเนื้อกุ้งก้ามกรามที่นำมาเลี้ยงแบบแยกเดี่ยวในบ่อคอนกรีตที่มีระบบหมุนเวียนน้ำ

ผลการศึกษานำกุ้งก้ามกรามที่มีกลิ่นโคลนจากบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกรามจำนวน 10 บ่อ มาเลี้ยงแบบแยกเดี่ยวในบ่อคอนกรีตที่มีระบบหมุนเวียนน้ำ เป็นระยะเวลา 7 วัน หลังจากนั้นนำกุ้งไปวิเคราะห์ปริมาณจือออสมิน พบว่าในเนื้อกุ้งก้ามกรามไม่มีปริมาณจือออสมินตกค้าง และเมื่อทดสอบทางประสาทสัมผัสชิมรสจะไม่มีกลิ่นโคลน (ตารางที่ 5) แสดงว่าการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามแบบแยกเดี่ยวในบ่อคอนกรีตที่มีระบบหมุนเวียนน้ำสามารถลดปริมาณจือออสมินที่สะสมในกุ้งก้ามกรามได้เป็นการแก้ปัญหาไม่ให้เกิดกลิ่นโคลนในเนื้อกุ้งก้ามกรามได้

ตารางที่ 5 ปริมาณจืออสมินในกึ่งกำมกรามและระดับกลิ่นโคลนที่ทดสอบทางประสาทสัมผัสชิมรสที่  
 เลี้ยงแบบแยกเดี่ยวในบ่อคอนกรีตที่มีระบบหมุนเวียนน้ำ

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

#### 2.4 ศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณจืออสมินในเนื้อกึ่งกำมกรามกับคุณภาพน้ำในบ่อ 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  
 แยกเดี่ยวในบ่อคอนกรีตที่มีระบบหมุนเวียนน้ำไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณจืออสมินที่เป็นสาเหตุของ  
 การเกิดกลิ่นโคลนในกึ่งกำมกราม ซึ่งการเกิดกลิ่นโคลนมีปัจจัยอื่น ที่พบในบ่อดินที่เลี้ยงกึ่งกำมกราม  
 เช่นการศึกษาของ Saadoun *et al.* (2001) พบว่าปริมาณแอมโมเนียมีผลต่อการสังเคราะห์ปริมาณ  
 คลอโรฟิลล์-เอ จืออสมิน และมวลน้ำหนักราย Anabaena โดยมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณ  
 แอมโมเนียเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณไนเตรทจะมีผลทำให้สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล Anabaena ใน  
 การสังเคราะห์ปริมาณจืออสมิน อัตราส่วนของจืออสมิน/มวลน้ำหนักราย และ จืออสมิน/คลอโรฟิลล์-  
 เอ สูงสุด เมื่อมีปริมาณไนเตรท  $124$  ไมโครกรัม/ลิตร ส่วนมวลน้ำหนักรายและคลอโรฟิลล์-เอ จะมี  
 ปริมาณเพิ่มขึ้นตามปริมาณไนเตรท

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 น่าจะเป็นดัชนีบอกแนวโน้มการเจริญเติบโตของ *Oscillatoria* และ *Microcystis* ในแหล่งน้ำที่มีธาตุอาหารอุดมสมบูรณ์ได้ทางหนึ่ง นอกจากนี้ในสาหร่าย *Anabaena* sp. (Saadoun *et al.*, 2001) ปริมาณไนโตรเจน และฟอสเฟตสามารถใช้เป็นปัจจัยบอกแนวโน้มในการสังเคราะห์จีโอสมินและคลอโรฟิลล์ได้ (Davies *et al.*, 2004) และ Robertson *et al.* (2006) พบว่าปริมาณจีโอสมินจะเปลี่ยนแปลงตามปริมาณฟอสเฟต

ตารางที่ 6 คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกรามแบบแยกเดี่ยวในบ่อคอนกรีตที่มีระบบหมุนเวียนน้ำ

บ่อที่	อุณหภูมิ (°C)	ความเป็น กรด-ด่าง	ความเป็นด่าง (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

## สรุป

1. บ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกรามที่พบกลิ่นโคลนในเนื้อกุ้งจำนวน 10 บ่อ มีปริมาณจีออสมินเฉลี่ยในเนื้อกุ้งก้ามกราม 84.2-147.7  $\mu\text{g}/\text{kg}$  เมื่อทดสอบทางประสาทสัมผัสชิมรสมีระดับคะแนนอยู่ในช่วง 1-3 ซึ่งทดสอบทางประสาทสัมผัสชิมรสจะมีกลิ่นโคลนเล็กน้อย

2. คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกรามที่พบกลิ่นโคลน 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. กุ้งก้ามกรามที่เลี้ยงแบบแยกเดี่ยวในบ่อคอนกรีตที่มีระบบหมุนเวียนน้ำ ไม่พบปริมาณจีออสมินตกค้าง เมื่อทดสอบทางประสาทสัมผัสชิมรสไม่พบว่ามึกลิ่นโคลน แสดงว่าการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามสามารถแก้ปัญหาไม่ให้เกิดกลิ่นโคลนในเนื้อกุ้งก้ามกรามได้ โดยการเลี้ยงแบบแยกเดี่ยวในบ่อคอนกรีตที่มีระบบหมุนเวียนน้ำ

4. คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกรามแบบแยกเดี่ยวในบ่อคอนกรีตที่มีระบบหมุนเวียนน้ำมีค่าอุณหภูมิ 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 จากผลการทดลองแสดงว่าคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกรามแบบแยกเดี่ยวในบ่อคอนกรีตที่มีระบบหมุนเวียนน้ำไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณจีออสมินที่เป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นโคลนในกุ้งก้ามกราม

