



รายงานผลการวิจัย

ระบบกำจัดกลิ่นไม่พึงประสงค์ (geosmin และ MIB) ในน้ำจากบ่อเลี้ยงปลา
โดยใช้ปลานิลและถ่านไม้

Removal of Musty Odors (geosmin and MIB) from Fish Ponds Water
Using Tilapia and Wood Charcoal

โครงการย่อยภายใต้ชุดโครงการ: ระบบการผลิตสัตว์น้ำที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเพื่ออาหาร
ปลอดภัยและเพิ่มมูลค่าของทรัพยากรสัตว์น้ำ

โดย

นิวุฒิ หวังชัย เทพรัตน์ อึ้งเศรษฐพันธ์ และ Nakao Nomura

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

2557

รหัสโครงการวิจัย มจ.1-56-023.6



รายงานผลการวิจัย

เรื่อง ระบบกำจัดกลิ่นไม่พึงประสงค์ (geosmin และ MIB) ในน้ำจากบ่อเลี้ยงปลา
โดยใช้ปลานิลและถ่านไม้
Removal of Musty Odors (geosmin and MIB) from Fish Ponds Water
Using Tilapia and Wood Charcoal

โครงการย่อยภายใต้ชุดโครงการ: ระบบการผลิตสัตว์น้ำที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเพื่ออาหาร
ปลอดภัยและเพิ่มมูลค่าของทรัพยากรสัตว์น้ำ

ได้รับจัดสรรงบประมาณวิจัย ประจำปี 2556

จำนวน 253,000 บาท

หัวหน้าโครงการ

นายนิวุฒิ หวังชัย

ผู้ร่วมโครงการ

นายเทพรัตน์ อึ้งเศรษฐพันธ์

Mr. Nakao Nomura

งานวิจัยเสร็จสิ้นสมบูรณ์

30 กันยายน 2556

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ให้การสนับสนุนในการจัดสรรงบประมาณวิจัยประจำปี 2556 จำนวนเงิน 253,000 บาท สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้และขอขอบคุณคณาจารย์ ข้าราชการและเจ้าหน้าที่ คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้และบุคคลอื่นที่มีได้กล่าวถึงในที่นี้ ที่ได้ให้ความเกื้อหนุน ทำให้การวิจัยในครั้งนี้เสร็จสิ้นอย่างสมบูรณ์

ผู้วิจัย

กันยายน 2556



สารบัญ

	หน้า
สารบัญตาราง	ข
สารบัญภาพ	ค
บทคัดย่อ	1
Abstract	2
บทนำ	3
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการวิจัย	11
ผลการวิจัย	17
สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย	32
บรรณานุกรม	36



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1	ลักษณะทางเคมีและฟิสิกส์ของกลิ่นไม่พึงประสงค์ (เอเอ็มไอบี และจีโอสมิน)
ตารางที่ 2	ชนิดของแอคติโนไมซีตที่ผลิตสารจีโอสมิน และเอเอ็มไอบี
ตารางที่ 3	ปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมด (mg/l) ที่ระดับความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ ต่างกัน
ตารางที่ 4	ค่าความขุ่น (NTU) ที่ระดับความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ ต่างกัน
ตารางที่ 5	ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ที่ระดับความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ ต่างกัน
ตารางที่ 6	อุณหภูมิ (°C) ที่ระดับความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ ต่างกัน
ตารางที่ 7	ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (mg/l) ที่ระดับความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ ต่างกัน
ตารางที่ 8	ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (mg/l) ที่ระดับความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ ต่างกัน
ตารางที่ 9	ปริมาณออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส (mg/l) ที่ระดับความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ ต่างกัน
ตารางที่ 10	ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน (mg/l) ที่ระดับความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ ต่างกัน
ตารางที่ 11	ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน (mg/l) ที่ระดับความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ ต่างกัน
ตารางที่ 12	ชนิดและปริมาณของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน และอัตราการกรอกกินของปลานิล ของชุดการทดลองความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ 138 และ 359 ไมโครกรัมต่อลิตร
ตารางที่ 13	ชนิดและปริมาณของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน และอัตราการกรอกกินของปลานิล ของชุดการทดลองความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ 650 และ 1373 ไมโครกรัมต่อลิตร
ตารางที่ 14	อัตราการเจริญเติบโตของปลานิลในกระชังที่ระดับความหนาแน่นที่ต่างกัน
ตารางที่ 15	ปริมาณกลิ่นไม่พึงประสงค์ (จีโอสมินและเอเอ็มไอบี) ของการเลี้ยงปลานิลในกระชังที่ระดับความหนาแน่นที่ต่างกัน โดยเปรียบเทียบก่อนและหลังการใส่ปลานิล
ตารางที่ 16	ค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำของการเลี้ยงปลานิลในกระชังที่ระดับความหนาแน่นที่ต่างกัน
ตารางที่ 17	ปริมาณแพลงก์ตอนพืชในบ่อเลี้ยงปลาเพาะลูกผสมและปลานิลในกระชังที่ระดับความหนาแน่นที่ต่างกัน

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1	การสังเคราะห์สารจีโอสมิน และเอ็มไอบีในวิถีเทอร์ปีน (terpene pathway)
ภาพที่ 2	การทดลองแปลงกักตอนพืชในรูปคลอโรฟิลล์ เอ ที่ความเข้มข้นต่างๆ ในถังไฟเบอร์
ภาพที่ 3	บ่อเลี้ยงปลาเผาะที่มีการใส่ปลานิลในกระชัง
ภาพที่ 4	การวิเคราะห์สารจีโอสมินและเอ็มไอบี โดยใช้เครื่อง GC/MS (ตามวิธีของ Grimm <i>et al.</i> , 2004)
ภาพที่ 5	Mass spectrum ของสารจีโอสมิน (trans-1, 10-Dimethyl-trans-9-decalinol)
ภาพที่ 6	Mass spectrum ของสารเอ็มไอบี (2-methylisoborneol)
ภาพที่ 7	ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เอ (ไมโครกรัมต่อลิตร) ในแต่ละชุดการทดลอง
ภาพที่ 8	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ ($\mu\text{g/l}$) และ ปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมด (mg/l)
ภาพที่ 9	ปริมาณแปลงกักตอนพืชเฉลี่ยรวมทั้งหมดที่พบในการทดลอง
ภาพที่ 10	เปอร์เซ็นต์ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินรวมทั้งหมดที่พบในการทดลอง
ภาพที่ 11	ตัวอย่างชนิดของแปลงกักตอนพืชที่พบในปลานิลที่เลี้ยงในกระชังในบ่อเลี้ยงปลาเผาะ ถูกผสมที่ระดับความหนาแน่นที่ต่างกัน

ระบบกำจัดกลิ่นไม่พึงประสงค์ (geosmin และ MIB) ในน้ำจากบ่อเลี้ยงปลา โดยใช้ปลานิล
และถ่านไม้

Removal of musty odors (geosmin and MIB) from Fish ponds water using tilapia
and wood charcoal

นิวุฒิ หวังชัย¹ เทพรัตน์ อึ้งเศรษฐพันธ์¹ และ Nakao Nomura²

Niwooti Whangchai¹, Thepparath Ungsethaphand¹ and Nakao Nomura²

¹คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

²Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba,
Ibaraki 305-8576, Japan

บทคัดย่อ

การแพร่กระจายของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในบ่อเลี้ยงปลาส่งผลให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ (off-flavor) ในน้ำและเนื้อปลา จึงได้มีการคิดค้นวิธีการกำจัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ซึ่งการใช้ปลานิลในการกำจัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเป็นอีกวิธีหนึ่งที่น่าสนใจเนื่องจากมีความปลอดภัยมากกว่าใช้สารเคมีในการกำจัดสาหร่าย งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของปลานิลต่อการลดแพลงก์ตอนพืชในน้ำ และการลดกลิ่นไม่พึงประสงค์ในน้ำ โดยทำการทดลองเลี้ยงปลานิลขนาด 15.0 ± 0.95 กรัม ในถังพลาสติกขนาด 200 ลิตร อัตรา 30 ตัวต่อถัง เป็นระยะเวลา 10 วัน โดยใช้ความเข้มข้นแพลงก์ตอนพืชในรูปคลอโรฟิลล์ เอ 138.63 ± 7.80 , 359.42 ± 25.80 , 650.07 ± 27.84 และ 1373.33 ± 53.64 ไมโครกรัมต่อลิตร และได้ทำการทดลองเลี้ยงปลานิลขนาด 20.6 ± 3.4 กรัม ในกระชังในบ่อเลี้ยงปลาเพาะที่ระดับความหนาแน่นปลานิล 0, 0.5 และ 1 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร เป็นเวลา 6 เดือน ผลการศึกษาพบว่าปลานิลสามารถกรองกินสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินได้ทุกชุดการทดลอง และคลอโรฟิลล์ เอ มีปริมาณลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาการเลี้ยงปลานิลในกระชังในบ่อเลี้ยงปลาเพาะ โดยปลานิลสามารถกรองกินแพลงก์ตอนพืชในบ่อได้ ส่งผลให้ปริมาณกลิ่นไม่พึงประสงค์ (geosmin) ในน้ำลดลง จากผลการวิจัยในครั้งนี้จะเห็นได้ว่าปลานิลมีประสิทธิภาพในการกรองกินสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดกลิ่นโคลน และนำไปสู่การลดการสะสมกลิ่นไม่พึงประสงค์ในน้ำได้

คำสำคัญ: กลิ่นไม่พึงประสงค์; จีออสมิน; เอ็มไอบี; ปลานิล; สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน

ABSTRACT

The presence of blue-green algae blooms in fish ponds can impart off-flavor to water and fish. The application of Nile Tilapia to control blue green algae is an attractive alternative because it is safer than using chemicals to kill algae. This study evaluated the effectiveness of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in reducing phytoplankton and off-flavor in algal-rich water contained in twelve 200-L polyethylene tanks for 10 days and in Thai panga ponds using varying densities (0, 0.5 and 1.0 m⁻³ density at an initial weight of 20.6±3.4 g) of Nile tilapia in cages for 6 months. Nile tilapias (15.0±0.95 g) were stocked at 30 fish per tank containing algal-rich water at 138.63±7.80, 359.42±25.80, 650.07±27.84 and 1373.33±53.64 µg/L concentrations. Results show that Nile tilapia could filter blue-green algae and reduce chlorophyll-a concentrations in all treatments. Field experiments in Thai hybrid panga earthen ponds similarly showed that Nile tilapia in pond cages can feed on phytoplankton which led to the reduction of geosmin levels in water. These indicate that Nile tilapias are capable of controlling blue-green algae especially those that cause off-flavor, minimizing the accumulation of odors in water.

Key word: Off-flavor; Geosmin; MIB; Nile tilapia; Blue-green algae

บทนำ

การเลี้ยงปลาเพื่อการส่งออกเป็นธุรกิจหนึ่งที่เกษตรกรให้ความสนใจ โดยเฉพาะการเลี้ยงปลาเชิงพาณิชย์ (Organic Farm) ทั้งนี้เพราะปัจจุบันผู้บริโภคได้ให้ความสำคัญกับสุขภาพและความปลอดภัยของอาหารกันอย่างแพร่หลาย เช่น การผลิตปลานิลเพื่อการส่งออก การผลิตปลาหนังเนื้อขาว อย่างไรก็ตามการผลิตปลาดังกล่าวในประเทศไทยยังเป็นการผลิตจากบ่อดิน เนื้อปลามีการสะสมของกลิ่นไม่พึงประสงค์ (off-flavor) และเป็นปัญหาด้านคุณภาพการส่งออก และเกิดได้บ่อยโดยเฉพาะในเขตร้อน

การสะสมกลิ่นไม่พึงประสงค์ในเนื้อปลา มีสาเหตุเนื่องมาจากแบคทีเรียกลุ่ม Actinomycete และสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินบางชนิด เช่น *Anabaena* sp., *Oscillatoria* sp., *Lyngbya* sp., *Symploca* sp., *Phormidium* sp. ที่สามารถสร้างกลิ่นโคลนหรือกลิ่นไม่พึงประสงค์ในเนื้อปลาได้ สารประกอบหลักที่ก่อให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ ได้แก่ จีออสมิน (geosmin) และเอ็มไอบี (MIB) ทำให้สัตว์น้ำไม่เป็นที่นิยมบริโภค เกิดขึ้นจากการที่ปลากินสารประกอบกลิ่นไม่พึงประสงค์เข้าไปโดยตรงหรือมีการปนเปื้อนกับสิ่งที่ปลากิน หรือผ่านเข้าสู่ตัวปลาโดยการดูดซึมในส่วนของอวัยวะต่างๆ (Tanchotikul, 1990) และที่สำคัญมากคือแม้มีการสะสมในปริมาณน้อยก็ส่งผลกระทบต่อคุณภาพสัตว์น้ำได้

ในการกำจัดแพลงก์ตอนด้วยสารเคมีที่นิยมใช้ ได้แก่ โซเดียมไฮโปคลอไรด์ โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต คอปเปอร์ซัลเฟต ยูเรีย โพแทสเซียมซัลเฟต แต่วิธีการทางเคมียังมีปัญหาด้านสารตกค้างในสินค้าส่งออก นอกจากนี้ การใช้สารเคมีหรือการตายของแพลงก์ตอนจะทำให้มีสาร off flavor ออกมาจากเซลล์ที่แตกหักหรือตาย (post bloom effect) ปลานิลเป็นปลาชนิดหนึ่งที่มีศักยภาพในการกินแพลงก์ตอนพืช (Tucker et., al., 2003)

ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งเน้นความปลอดภัยของอาหาร (Food safety) ที่ผลิตไม่ใช้สารเคมีในการกำจัดสาหร่าย แต่ใช้ปลานิลกินสาหร่าย รวมทั้งแพลงก์ตอนและตะกอน และใช้ถ่านไม้ที่มี biofilm ในการลดกลิ่นที่มีอยู่ในน้ำ (โดย adsorption และ biofilm effect) นำมากำจัดสารจีออสมินและเอ็มไอบี ที่มีในปริมาณน้อย

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของปลานิลต่อการลดแพลงก์ตอนพืชในน้ำ
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของปลานิลต่อการลดกลิ่นไม่พึงประสงค์ในน้ำ

3. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการใช้ถ่านไม้ที่มี biofilm ต่อการลดกลิ่นไม่พึงประสงค์ในน้ำ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เกิดองค์ความรู้ทางด้านเทคนิคการลดกลิ่นไม่พึงประสงค์
2. เจ้าหน้าที่ประมง กรมประมง สามารถนำผลการวิจัยไปเผยแพร่สู่เกษตรกรได้
3. เป็นการลดกลิ่นโคลนแบบต้นทุนต่ำ ทำให้เกษตรกรได้กำไรเพิ่มขึ้น
4. ผู้บริโภคปลอดภัยจากสารเคมีตกค้างและเพิ่มคุณภาพปลาเพื่อการส่งออก สามารถส่งปลาแข่งขันกับต่างประเทศได้



การตรวจเอกสาร

การกินอาหารของปลานิล

ปลานิลเป็นปลาที่ประชาชนนิยมเลี้ยงกันมากชนิดหนึ่งทั้งในรูปแบบการค้ำ และเลี้ยงไว้บริโภคในครัวเรือน ทั้งนี้เนื่องจากปลานิลเป็นปลาที่เลี้ยงง่าย กินอาหารได้แทบทุกชนิด เมื่อมีรสชาติดีตลาดมีความต้องการสูง การเลี้ยงปลาชนิดนี้เพื่อผลิตจำหน่ายจึงมีความจำเป็นที่จะต้องพิจารณาช่วยลดต้นทุนการผลิตให้มากที่สุดในเรื่องอาหารปลาที่จะนำไปใช้เลี้ยง

การเลี้ยงปลานิลแบบผสมผสาน เป็นระบบการเกษตรที่ใช้ประโยชน์จากของเหลือระบบหนึ่งแล้วก่อให้เกิดประโยชน์อีกระบบ เป็นระบบการเลี้ยงปลาที่นิยมปฏิบัติกันทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ เช่น จีน ไต้หวันฮ่องกง ญี่ปุ่น อังกฤษ เนื่องจากเป็นระบบการผลิตสัตว์น้ำและสัตว์บกที่เอื้ออำนวยประโยชน์ให้แก่กันและกันเป็นอย่างดี ซึ่งเป็นระบบการผลิตทางการเกษตรที่มีประสิทธิภาพสูงมากระบบหนึ่ง ข้อดี คือ เศษเหลือจากสัตว์บกสามารถนำกลับมาใช้ได้อีก เช่น มูลสัตว์ ซึ่งจะกลายเป็นอาหารปลา และเป็นปุ๋ยสำหรับบ่อปลา ทำให้ลดค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ได้ เช่น ค่าอาหารปลา ค่าอาหารสัตว์ ค่าปุ๋ย (ปกรณ และคณะ, 2541) ส่วนการเลือกสัตว์ที่จะนำมาเลี้ยงในระบบการผสมผสานร่วมกับปลานั้นจำเป็นต้องมีคอกเพื่อใช้เลี้ยงสัตว์ และคอกสัตว์ต้องมีความสัมพันธ์กับการเลี้ยงปลาด้วย เช่น การเลี้ยงปลานิลร่วมกับไก่ โดยอัตราปล่อยปลา ลูกปลา ขนาด 3-5 เซนติเมตร ลงเลี้ยงในอัตรา 1-3 ตัว/ตารางเมตร หรือ 2,000-5,000 ตัว/ไร่ อัตราการปล่อยปลาที่เลี้ยงในบ่อขึ้นขึ้นอยู่กับคุณภาพน้ำ อาหารและการจัดการการให้อาหาร ปริมาณที่ให้ไม่ควรเกิน 4 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักปลาที่เลี้ยง หรือใช้วิธีสังเกตการกินอาหารจากจุดที่ให้เป็นประจำ ถ้ายังมีปลานิลออกมาออกกันมากเพื่อรอกินอาหารก็เพิ่มจำนวนอาหารมากขึ้นตามลำดับทุก 1-2 สัปดาห์ ข้อควรระวังคือ หากปลากินอาหารไม่หมด อาหารที่เหลือจะทำให้เน่าเสียเป็นอันตรายต่อปลาที่เลี้ยงและสิ้นเปลือง (กรมประมง, 2546)

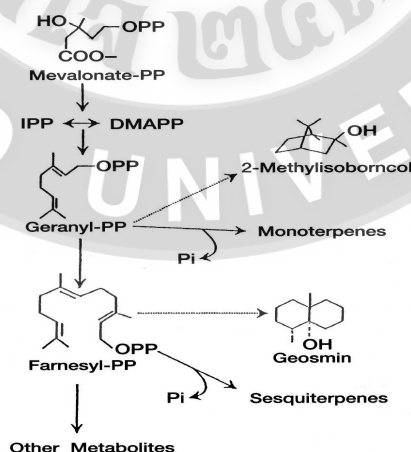
Lovell (1989) รายงานว่าปลานิล จีนัส *Oreochromis* จัดเป็นพวก Microphagous ที่กินพวกพืช แพลงก์ตอนพืชและแพลงก์ตอนสัตว์ขนาดเล็ก นอกจากนี้ *S. Aureus* สามารถย่อย Filamentous green algae ได้ 63-70% และ ย่อย *Microcystis* sp. ได้ 57-68%

กลิ่นโคลนหรือกลิ่นไม่พึงประสงค์ (off-flavor)

กลิ่นโคลน ที่สำคัญซึ่งพบในสัตว์น้ำที่ได้จากการเพาะเลี้ยง คือ กลิ่นโคลน (musty/earthy off-flavor) ส่งผลกระทบต่อการนำเข้าสู่ตัวน้ำและอุตสาหกรรมทางด้านประมงอย่างมาก เนื่องจากกลิ่นโคลนเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผู้บริโภคสัตว์น้ำไม่ยอมรับ (Persson, 1982) โดยสัตว์น้ำที่พบ

ปัญหาดังกล่าว ได้แก่ ปลาหมออเมริกัน (Martin *et al.*, 1990) ปลาแซลมอน (Farmer *et al.*, 1995) ปลาเรนโบว์เทราท์ (Form and Horlyck, 1984) ปลาแฮร์ริ่ง และปลาคาร์พ (Yurkowski and Tabachek, 1980) หอยกาบ (Tanchotikul and Hsieh, 1990) กุ้ง (Lovell and Broce, 1985)

กลิ่นโคลนเกิดจากสารที่จำเพาะเจาะจงหลายอย่าง ซึ่งทำให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ในสัตว์น้ำ แต่สารที่เป็นตัวหลักที่ก่อให้เกิดกลิ่นโคลนมี 2 ชนิด คือ จีออสมิน (1α , 10β -dimethyl-9 α -decalol: geosmin) และเอ็มไอบี (2-methylisoborneol: MIB) โดยเป็นสารประกอบแอลกอฮอล์อิ่มตัว (Saturated cyclic tertiary alcohol) ที่สหายสายสีเขียวแกมน้ำเงินและแบคทีเรียบางชนิดสังเคราะห์ขึ้นในวิถีเทอร์ปีน (terpene pathway) โดยสารประกอบจีออสมินสร้างขึ้นจากสารประกอบฟานิล-ไพโรฟอสเฟต (Farnesyl-PP) และสารประกอบเอ็มไอบีสร้างขึ้นจากสารประกอบเจอร์รานิล-ไพโรฟอสเฟต (Geranyl-PP) จีออสมินเป็นสาร secondary product จากปฏิกิริยาเมตาบอลิซึมที่เกิดขึ้นจากการสังเคราะห์ทางชีวภาพในไอโซพรีนอยด์ พาทเวย์ (isoprenoid pathway) ในสิ่งมีชีวิตกลุ่มสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินโดยจีออสมินจะเกิดจากการสังเคราะห์ทางชีวภาพในควาโรทีนอยด์ พาทเวย์ (carotenoid pathway) และขั้นตอนการเกิดโฟโตเทล (phototial) ของคลอโรฟิลล์ เอ (chlorophyll *a*) ดังนั้น จีออสมินจึงเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ เอ ด้วยเหตุนี้เมื่ออยู่ภายใต้สภาวะการเจริญเติบโตที่จำกัดสารประกอบจีออสมินจึงถูกสะสมเพิ่มขึ้น แต่ก็พบว่าสัดส่วนของจีออสมินกับคลอโรฟิลล์ เอจะไม่แน่นอน ส่วนสารประกอบเอ็มไอบีถูกสังเคราะห์โดยไอโซพรีนอยด์ พาทเวย์ เช่นเดียวกับจีออสมินในสิ่งมีชีวิตกลุ่ม *Actinomycetes* spp. และสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (Van Der Ploeg, 1989)



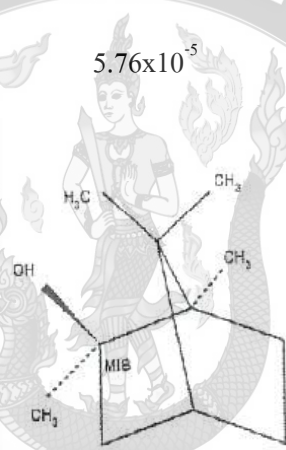
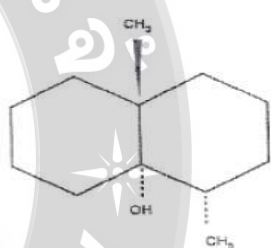
ภาพที่ 1 การสังเคราะห์สารจีออสมิน และเอ็มไอบีในวิถีเทอร์ปีน (terpene pathway)

IPP = isopentenyl pyrophosphate, DMAPP = dimethylallyl pyrophosphate

Pi = inorganic phosphate

ที่มา : Johnsen and Dionigi (1994)

ตารางที่ 1 ลักษณะทางเคมีและฟิสิกส์ของกลิ่นไม่พึงประสงค์ (เอ็มไอปี และจีโอสมิน)

Parameter	MIB (2-methylisoborneol)	Geosmin
Full Name	(1-R-exo)-1,2,7,7-tetramethyl bicyclo-[2,2,1]-heptan-2-ol	Tran-1, 10-dimethyl-trans-9- decalol
Molecular Formula	$C_{11}H_{20}O$	$C_{12}H_{22}O$
Molecular Weight (g/mole)	168	182
Boiling Point ($^{\circ}C$)	196.7	165.1
Aqueous Solubility (mg/L)	194.5	150.2
K_{ow}	3.13	3.7
Henry's Law Constant ($atm\ m^3/mole$)	5.76×10^{-5}	6.66×10^{-5}
Structure		

ที่มา : Pirbazari *et al*, 1992 อ้างตาม Pei (2003)

สารประกอบจีโอสมิน (trans-1, 10,-dimethyl-trans-9-decalol) ($C_{12}H_{20}O$) และสารประกอบเอ็มไอปี (2-methylisoborneol) หรือ 1,2,7,7-tetramethyl bicyclo-[2,2,1]-heptan-2-ol ($C_{11}H_{20}O$) เป็นสารประกอบพวกแอลกอฮอล์ที่มีที่ระเหยได้ โครงสร้างประกอบด้วยหมู่เมทิลและหมู่ไฮดรอกซิล (Izaguirre *et al.*, 1982) (ตารางที่ 1) สารประกอบทั้งสองชนิดมีคุณสมบัติทั่วไปคือ ละลายในไขมันได้ดี โดยกระจายตัวและสะสมในเนื้อเยื่อที่มีส่วนประกอบของไขมันสูง เมื่อเกิดการสะสมในร่างกายจะกำจัดออกได้ยากจึงก่อให้เกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ (Johnsen *et al.*, 1996) แต่อย่างไรก็ตาม สารประกอบทั้งสองชนิดไม่เป็นพิษต่อเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต และไม่ก่อให้เกิดการกลายพันธุ์ (Dionigi *et al.*, 1993)

ปัญหากลิ่นโคลนอาจเกิดขึ้นเนื่องจากปลากินสารประกอบกลิ่นโคลนเข้าไปโดยตรงหรือมีการปนเปื้อนกับสิ่งที่ปลา กิน หรือผ่านเข้าสู่ตัวปลาโดยการดูดซึมในส่วนของอวัยวะต่างๆ (Tanchotikul, 1990) สัตว์น้ำสามารถดูดซึมสารเมแทบอลิต์ที่ก่อให้เกิดกลิ่นโคลนผ่านเหงือกหรือ

เนื้อเยื่อต่างๆ ที่สัมผัสน้ำ มากกว่าการกินสาหร่ายหรือแบคทีเรียที่ผลิตสารโดยตรง (Form and Horlyck, 1984) ไปสะสมอยู่ในร่างกายโดยเฉพาะเนื้อเยื่อที่มีไขมันสูง (Martin *et al.*, 1990) ส่วน Rungreungwudhikrai (1995) ที่พบว่าปลานิลจากบ่อเลี้ยงในภาคกลางมีความเข้มข้นของสารกลีโคไลนในเนื้อที่สูง เมื่อให้อาหารสำเร็จรูปรวมกับการใช้ปุ๋ยในบ่อ โดยบ่อที่ใส่ปุ๋ยยูเรียมีผลให้ปริมาณสารกลีโคไลนในเนื้อสูงกว่าการใช้ปุ๋ยมูลสัตว์ ส่วนบ่อที่ให้อาหารสำเร็จรูปอย่างเดียว พบว่ามีผลให้สารกลีโคไลนในเนื้อปลาค่ำ

ตารางที่ 2 ชนิดของแอคติโนมัยซิสที่ผลิตสารจีโอสมิน และเอ็มไอบี

VOC	Taxa
MIB, GE	<i>Penicillium, Aspergillus</i> species
GE	<i>P. expansum</i>
GE	<i>Streptomyces albidoflavus</i>
GE	<i>S. avermitilis</i>
GE	<i>S. citreus</i>
GE	<i>S. griseu</i>
GE, MIB	<i>S. griseofuscus</i>
GE	<i>S. halstedii</i>
GE	<i>S. psammoticus</i>
GE	<i>S. psammoticus</i>
GE	<i>S. tendae</i>
GE, MIB	<i>Streptomyces</i> spp.
GE	<i>Symphyogyna brongniartii</i> (liverwort)
GE	<i>Vannella</i> sp. (heterotrophic amoeba)

ที่มา : Jüttner and Watson (2007)

Casey *et al.* (2004) ได้ทำการทดสอบหาปริมาณกลีโคไลนในฟาร์มปลาคอดอเมริกัน โดยใช้วิธีการทดสอบทางประสาทสัมผัส วิธีการสกัดของแข็งและวิธีเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี พบว่าปลาคอดอเมริกันที่ทำการสุ่มตรวจพบว่ามีสารประกอบเอ็มไอบีมีค่าอยู่ที่ 0.1 และ 0.2 ไมโครกรัม/กิโลกรัม ส่วนสารประกอบจีโอสมินมีค่าอยู่ที่ 0.25 และ 0.5 ไมโครกรัม/กิโลกรัม ซึ่งพบว่าปริมาณสารประกอบจีโอสมินมีปริมาณมากกว่าสารประกอบเอ็มไอบี Matsuyasu *et al.* (1996) ได้ทดสอบ

ผลของสารประกอบจืออสมิน และสารประกอบเอ็มไอบีต่อการพัฒนาการของหอยเม่น พบว่าระดับ LC_{50} ของสารประกอบจืออสมินที่มีผลต่อการปฏิสนธิของหอยเม่นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 16.67 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนระดับ LC_{50} ของสารประกอบเอ็มไอบีที่ผลการปฏิสนธิของหอยเม่นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 68.77 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนระดับ LC_{50} ของสารประกอบจืออสมินที่มีผลต่อรูปแบบของการแบ่งเซลล์ของหอยเม่นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 16.58 มิลลิกรัม/ลิตร และระดับ LC_{50} ของสารประกอบเอ็มไอบีที่มีผลต่อรูปแบบของการแบ่งเซลล์ของหอยเม่นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 66.58 มิลลิกรัม/ลิตร Yamprayoon and Noomhorm (2000) ได้ทำการศึกษาการดูดซึมและการแพร่กระจายทางชีวภาพของสารจืออสมินในปลาฉลาม พบว่าการพักปลาฉลามในน้ำที่มีสารละลายจืออสมินเข้มข้น 5 ไมโครกรัมต่อลิตร จะทำให้ปลาฉลามจะค่อยๆ ดูดซึมสารจืออสมินเข้าสู่ตัวเพิ่มขึ้น โดยแพร่กระจายไปยังส่วนต่างๆ ของร่างกายปลา ตั้งแต่วเวลา 0-72 ชั่วโมง สุพรรณยา และคณะ (2551) ศึกษาผลของอาหารต่อการเจริญเติบโตและการสะสมกลิ่นไม่พึงประสงค์ในปลาบึก พบว่าปลาที่ได้รับอาหารในอัตรา 100 % ของปริมาณอาหารที่ให้ปลากินจนอิ่ม จะมีการเจริญเติบโตดีที่สุด และทำให้การสะสมปริมาณสารจืออสมินและเอ็มไอบีน้อยที่สุด ส่วนสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินก็เป็นสาเหตุหนึ่งที่มีผลต่อปริมาณสารเอ็มไอบีและจืออสมินในน้ำ ถ้าในบ่อเลี้ยงมีสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินจำนวนมาก ก็จะพบว่าความเข้มข้นของจืออสมินหรือเอ็มไอบีในน้ำก็จะมีค่าเข้มข้นที่สูงเช่นกัน (Van Der Ploeg and Boyd, 1991) สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินจะเจริญได้ดี ภายใต้สภาวะที่มีอากาศอยู่น้อย เนื่องจากหากสภาวะที่น้ำมีปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำสูง จะส่งผลทำให้สาหร่ายกลุ่มนี้ไม่สามารถจับกับไนโตรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ได้ เมื่อสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเติบโต และรวมตัวกันอย่างหนาแน่นบริเวณพื้นผิว ทำให้การส่องผ่านของแสงแดงลงสู่ด้านล่าง มีผลไปยับยั้งการเจริญของพืชน้ำชนิดอื่นๆ ที่ผลิตออกซิเจนในน้ำ (Milie *et al.*, 1992)

ปัจจัยที่ส่งผลทำให้เกิดการสะสมกลิ่นโคลนในสัตว์น้ำ ได้แก่ ปริมาณสารอาหารในน้ำ โดย Sivonen (1982) รายงานว่า ในสภาวะที่ธาตุอาหารในน้ำสูงมาก ซึ่งเป็นผลมาจากการให้อาหารสัตว์น้ำที่มากเกินไป ส่งผลทำให้มีอาหารตกค้างภายในบ่อ หรือเกิดจากการเลี้ยงปลาที่หนาแน่นเกินไป และระบบการจัดการในการเลี้ยงที่ไม่ดี ก็เป็นสาเหตุทำให้มีการสะสมของธาตุอาหารโดยเฉพาะไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่เกินพอดี ดังนั้นเพื่อป้องกันปัญหาควรมีการจัดการเกี่ยวกับระบบน้ำที่จะใช้ทำการเพาะเลี้ยง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเชิงชีวภาพ (Yurkowski and Tabachek, 1980) สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสามารถเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วในน้ำที่มีอุณหภูมิสูงช่วง 25–35 °C โดย Martin *et al.* (1987) พบว่าน้ำที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 30 °C จะทำให้ปลาเกิดกลิ่นโคลนเกิดขึ้นได้ ส่วน Johnsen and Lloyd (1992) กล่าวว่า การดูดซึมและสะสมสารที่ก่อให้เกิดกลิ่นโคลนขึ้นอยู่กับ

ปัจจัยต่างๆ เช่น อุณหภูมิของน้ำ ปริมาณไขมันในปลา โดยปลาที่มีปริมาณไขมันมากสามารถสะสมสารประกอบกลิ่นได้มากกว่าปลาที่มีไขมันต่ำ

การป้องกันและกำจัดกลิ่นไม่พึงประสงค์

1. การป้องกันกลิ่นโคลนที่เกิดขึ้นในระหว่างการเพาะเลี้ยง ปัญหากลิ่นโคลนที่พบในสัตว์น้ำมักเกิดขึ้นกับฟาร์มที่มีระบบการจัดการที่ไม่ดี ส่งผลกระทบต่ออุตสาหกรรมต่อเนื่องอื่นๆ ดังนั้นฟาร์มต่างๆ ควรมีระบบการควบคุมและป้องกันไม่ให้เกิดกลิ่นโคลนขึ้น (ทวิทรัพย์, 2542) แต่เนื่องจากการควบคุมการเจริญของสิ่งมีชีวิตที่สร้างสารให้กลิ่นโคลนเป็นสิ่งที่ทำได้ยาก ถ้าสภาพน้ำที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงมีสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตที่ผลิตสารให้กลิ่นโคลนอยู่มาก แต่ก็ทำได้ Lovell (1976) แนะนำว่า ควรมีวิธีการให้อาหารและการควบคุมปริมาณอาหารให้เหมาะสม และให้อาหารที่มีไขมันของเสียเหลือน้อยที่สุด เพื่อไม่ให้มีสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญของสาหร่ายที่ทำให้เกิดกลิ่นโคลนหรือถ้าเป็นไปได้ควรทำการเปลี่ยนน้ำในบ่อเลี้ยงเพื่อกำจัดเศษอาหารที่เหลือในบ่อ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อปลาเกิดปัญหามีกลิ่นโคลนรุนแรงทำให้ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค เกษตรกรจึงหาวิธีการต่างๆ เพื่อที่จะกำจัดและควบคุมไม่ให้ปลามีกลิ่นโคลน ก็มีการปฏิบัติกันมากในเกษตรกรผู้เลี้ยงปลา catfish ในประเทศสหรัฐอเมริกาโดยใช้สารคอปเปอร์ซัลเฟต เติมนลงในน้ำเพื่อทำลายเซลล์สาหร่าย แต่วิธีนี้ก็เป็นที่เสียดายที่ทำให้ปริมาณออกซิเจนในบ่อลดลงและเป็นการแก้ปัญหาเพียงชั่วคราวเท่านั้น เพราะสารให้กลิ่นโคลนที่สะสมอยู่ในอนุภาคต่างๆ ของเซลล์แตก และถูกดูดซึมเข้าสู่ตัวปลาอย่างรวดเร็ว (Van Der Ploeg and Boyd, 1991) อีกทั้ง สารประกอบที่ให้กลิ่นโคลนทั้งจีโอสมินและเอ็มไอบียังทนต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีจึงยากที่จะใช้สารเคมีกำจัดให้หมดไป

2. การกำจัดกลิ่นโคลนในปลามีชีวิต ปัจจุบันมีรายงานการศึกษาวิธีการกำจัดกลิ่นโคลนที่เหมาะสมและให้ผลดี คือ การกักปลาไว้ในบ่อจนกว่ากลิ่น-รสจะดีขึ้นหรือย้ายปลามาพักในบ่อที่มีน้ำสะอาดหลังจากจับปลามาในสภาพยังมีชีวิต เพื่อให้ปลากำจัดกลิ่นออกจนกว่าคุณภาพทางด้านกลิ่น-รสจะเป็นที่ยอมรับ อย่างไรก็ตาม ยังคงไม่ทราบกลไกที่แน่ชัดในการกำจัดกลิ่นโคลนออกจากตัวอย่าง (Johnson *et al.*, 1996) ในปลาคอดอเมริกันสามารถลดกลิ่นโคลนลงได้ด้วยการพักปลาไว้ในน้ำสะอาดที่ผ่านการกรองมาแล้วเป็นเวลาหลายวัน แต่ก็จะพบว่าการลดกลิ่นไม่พึงประสงค์ในปลาจะช้าลงเมื่อระดับของสารให้กลิ่นโคลนที่พบมีระดับต่ำลง (Yurkowski and Tabachek, 1980)

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. งานวิจัยปีที่ 1 ระยะเวลาในการทำวิจัย ตั้งแต่เดือนเดือนตุลาคม 2555 ถึง เดือนกันยายน 2556

1.1 การวิจัยเรื่อง ประสิทธิภาพของปลานิลต่อการลดปริมาณแพลงก์ตอนพืช

การเตรียมหน่วยทดลองและสัตว์ทดลอง

การวางแผนงานวิจัยครั้งนี้จะเป็นแบบสุ่มตลอด (Completely randomized design) ใช้ถังไฟเบอร์ขนาด 100 ลูกบาศก์เมตร จำนวน 12 ถึง การทดลองประกอบด้วย 4 ชุดการทดลองๆละ 3 ซ้ำ ชุดการทดลอง ที่ 1, 2, 3 และ 4 คือการเลี้ยงปลานิลที่ความเข้มข้นของแพลงก์ตอนพืชในรูปคลอโรฟิลล์ เอ 100, 400, 700 และ 1100 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักปลา 100 กรัม



ภาพที่ 2 การทดลองแพลงก์ตอนพืชในรูปคลอโรฟิลล์ เอที่ความเข้มข้นต่างๆ ในถังไฟเบอร์

การจัดการระหว่างการทดลอง

ในการทดลองไม่ให้อาหารตลอดการเลี้ยง และปรับความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ทุก 5 วัน ในขณะที่ทดลองมีการเก็บตรวจวัดปัจจัยคุณภาพน้ำ ทางเคมี และทางชีวภาพ 5 วัน/ครั้ง ได้แก่

- อุณหภูมิน้ำ โดยใช้ Thermometer
- ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ โดยใช้ TOA multimeter รุ่น WQC-22A
- ค่าความเป็นกรด-ด่างโดยใช้ pH meter (Schott-Gerate CG 840)
- ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ โดยวิธี Azide modification
- ปริมาณออร์โธฟอสเฟตฟอสฟอรัส โดยวิธี Stannous chloride method ตามวิธีของ Boyd and Tucker (1992)
- ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน โดยวิธี โดยวิธี Phenate method
- ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน โดยวิธี Diazotizing colorimetric method

- ปริมาณไนเตรทไนโตรเจน โดยวิธี Phenoldisulfonic acid
- คลอโรฟิลล์-เอ คัดแปลงจากวิธี Lee (2000)
- ปริมาณกลิ่นไม่พึงประสงค์: จีออสมินและเอ็มไอบี ในน้ำ ตามวิธีของ Grimm *et al.* (2004)

วิเคราะห์ความหลากหลายและองค์ประกอบของแพลงก์ตอนพืช

เก็บตัวอย่างแพลงก์ตอนพืช โดยใช้ถุงกรองแพลงก์ตอน กรองน้ำปริมาตร 100 มิลลิลิตร ปล่อยให้ไหลออกจากตาข่ายจนเหลือน้ำประมาณ 35 มิลลิลิตร ทำการเทใส่ในขวดเก็บตัวอย่าง แล้วเก็บรักษาสภาพด้วย Lugol's solution หลังจากนั้นนำมาจัดจำแนกชนิด และนับปริมาณแพลงก์ตอนพืช ตามวิธีของ ลัดดา (2542)

1.2 การวิจัยเรื่อง ระบบกำจัดกลิ่นไม่พึงประสงค์ (จีออสมินและเอ็มไอบี) ในบ่อเลี้ยงปลาโดยใช้ปลานิล

การทดลองนี้ได้วางแผนการทดลองแบบ CRD (Complete randomized design) แบ่งการทดลองเป็น 3 ชุดการทดลอง แต่ละชุดการทดลองมี 4 ซ้ำ ระยะเวลาการเลี้ยง 6 เดือน ดังนี้

- ชุดการทดลองที่ 1 ควบคุม (ไม่มีการเลี้ยงปลานิล)
- ชุดการทดลองที่ 2 ปลอยปลานิลที่ระดับความหนาแน่น 0.5 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร
- ชุดการทดลองที่ 3 ปลอยปลานิลที่ระดับความหนาแน่น 1.0 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร

การเตรียมลูกพันธุ์ปลานิล

เตรียมลูกพันธุ์ปลานิล ขนาด 5-10 กรัมต่อตัว ปลอยลงในกระชังที่ติดตั้งไว้ในบ่อเลี้ยงปลาเพาะลูกผสม เพื่อให้ลูกปลานิลปรับสภาพให้เข้ากับสภาพแวดล้อมภายในบ่อปลาเพาะลูกผสมได้ และทำการคัดเลือกลูกปลานิลที่ใช้ทดลองให้ได้ขนาดใกล้เคียง

การให้อาหาร

ปลาเพาะลูกผสมให้อาหารเม็ดสำเร็จรูป วันละ 2 ครั้ง เช้า-เย็น ปริมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักตัวต่อวัน สำหรับปลานิลไม่มีการให้อาหาร



ภาพที่ 3 บ่อเลี้ยงปลาเพาะที่มีการใส่ปลานิลในกระชัง

การเก็บข้อมูล

การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตและผลผลิต

สุ่มวัดความยาว และน้ำหนัก ในแต่ละหน่วยการทดลอง ทุก 30 วัน เพื่อทำการเก็บข้อมูลการเจริญเติบโต เพื่อทำการประเมินจากการกินอาหารที่ให้และเพื่อคำนวณหาค่าอัตราการเจริญเติบโตต่อวัน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ อัตราการรอด และผลผลิต ดังนี้

น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัมต่อตัว)

$$= \text{น้ำหนักสุดท้าย} - \text{น้ำหนักเริ่มต้น}$$

อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (กรัมต่อวัน)

$$= \frac{\text{น้ำหนักเฉลี่ยสุดท้าย} - \text{น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น}}{\text{จำนวนวัน}}$$

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ

$$= \frac{\text{น้ำหนักอาหารที่ให้}}{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น}}$$

อัตราการรอด (เปอร์เซ็นต์)

$$= \frac{\text{จำนวนปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง}}{\text{จำนวนปลาเมื่อเริ่มการทดลอง}} \times 100$$

ผลผลิต

$$= \text{น้ำหนักเฉลี่ยสุดท้าย} \times \text{จำนวนปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง}$$

การวิเคราะห์กลิ่นไม่พึงประสงค์ในน้ำและเนื้อปลา

1. เก็บตัวอย่างน้ำ จำนวน 1 ลิตรต่อหน่วยการทดลอง และปลานิลในกระชังในบ่อเลี้ยงปลาเพาะลูกผสม จำนวน 3 ตัวต่อกระชัง ทุกๆ 30 วัน เพื่อนำมาตรวจสอบกลิ่นไม่พึงประสงค์ (จีโอสมินและเอ็มไอบี) โดยเตรียมตัวอย่างน้ำ 10 มิลลิลิตร และเนื้อปลานิลที่ปั่นละเอียดนำไปใส่ในขวดไวอัล 5 กรัม พร้อมกับเติมเมทานอล 10 มิลลิลิตร

2. นำขวดไวอัลที่มีตัวอย่างพร้อมวิเคราะห์ มาเติมโซเดียมคลอไรด์ 1.9 กรัม และใส่ magnetic bar จากนั้นปิดฝาด้วยจุกยางทนความร้อนสูง และใส่อะลูมิเนียม นำขวดไวอัลวางบนเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 65-70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที แล้วเพิ่มไฟเบอร์ที่ประกอบเข้ากับอุปกรณ์ SPME เข้าไปในขวดตัวอย่างทิ้งไว้เป็นเวลา 12 นาที เพื่อให้ไฟเบอร์ทำการจับกับสารจีโอสมิน และเอ็มไอบีในตัวอย่างน้ำ และเนื้อปลานิล

3. นำชุดอุปกรณ์ SPME ถอดเข้ากับเครื่อง GC/MS (Agilent Technologies 6890 N Network GC system) เข้าไปตรงตำแหน่งที่ติดตั้งของเครื่อง โดยใช้ Splitless mode ผ่านแคปิลลารีคอลัมน์ (DB-DURABOND) HP-5 (30 m.×0.32 mm. μ m. film thickness) ใช้แก๊สฮีเลียมเป็นตัวพา ด้วยอัตรา 2.5 มิลลิลิตรต่อนาที อุณหภูมิของเตาอบตั้งโปรแกรมอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นเพิ่มเป็น 220 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราเร็ว 15 องศาเซลเซียสต่อนาที และคงอุณหภูมิไว้ที่ 220 องศาเซลเซียส นาน 8 นาที และจดบันทึกผลจากเครื่อง GC/MS (Grimm *et al.*, 2004)

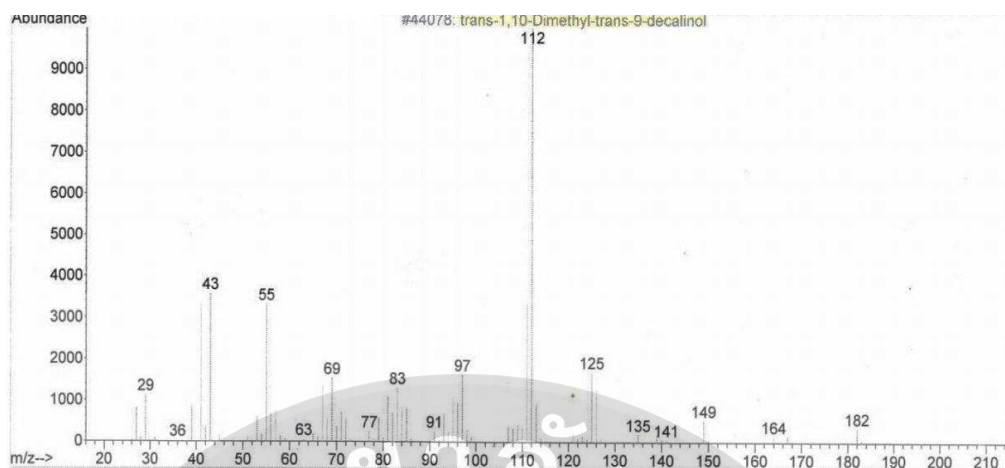
2. ปีที่ 2 การวิจัยเรื่อง ประสิทธิภาพของการใช้ถ่านไม้ต่อการลดกลิ่นไม่พึงประสงค์ในน้ำ

(ระยะเวลาในการทำวิจัย ตั้งแต่เดือนเดือนตุลาคม 2556 ถึง เดือนกันยายน 2557)

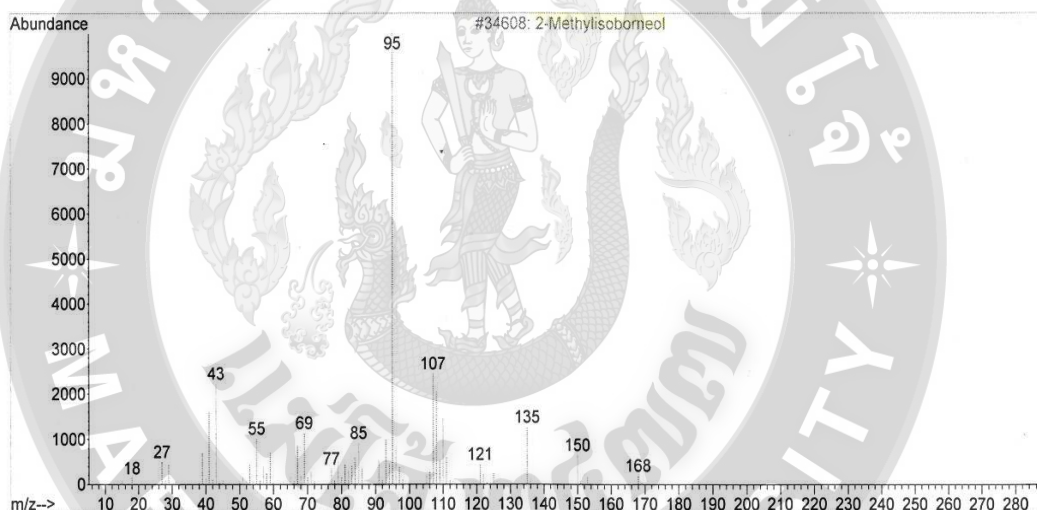
การเตรียมหน่วยทดลอง

เตรียมถ่านไม้ที่หาซื้อง่ายทำให้เป็นชิ้นขนาด 2-3 เซนติเมตร ในชุดการทดลองที่ 1 ถ่านไม้ไม่ติด Biofilm และถ่านกัมมันต์ติด Biofilm (control) ในชุดการทดลองที่ 2 ถ่านไม้ติด Biofilm และถ่านไม้ไม่ติด Biofilm (control)

Bioreactor ที่ใช้ จำนวน 6 ชุด (2 treatments 3 replication) โดยมี ขนาด 0.5x0.5x0.5 ล.บ. เมตร หุ้มด้วยอวนฟ้า ชั้นในบรรจุถ่านไม้ การติด Biofilm ทำได้โดยการแช่ ถ่านไม้ในถังไฟเบอร์ และผ่านน้ำจากบ่อโดยใช้ปั๊มน้ำขนาด 0.5 นิ้วเป็นเวลา 30 วัน



ภาพที่ 5 Mass spectrum ของสารจืออสมิน (trans-1, 10-Dimethyl-trans-9-decalinol)



ภาพที่ 6 Mass spectrum ของสารเอ็มไอบี (2-methylisoborneol)

สถานที่ทำการทดลอง คณะเทคโนโลยีการประมงฯ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อำเภอสันทราย
จังหวัดเชียงใหม่ วิเคราะห์สารกลิ่นโคลน (จืออสมินและเอ็มไอบี) โดยใช้เครื่อง GC/MS วิเคราะห์
ที่ central lab มหาวิทยาลัยแม่โจ้

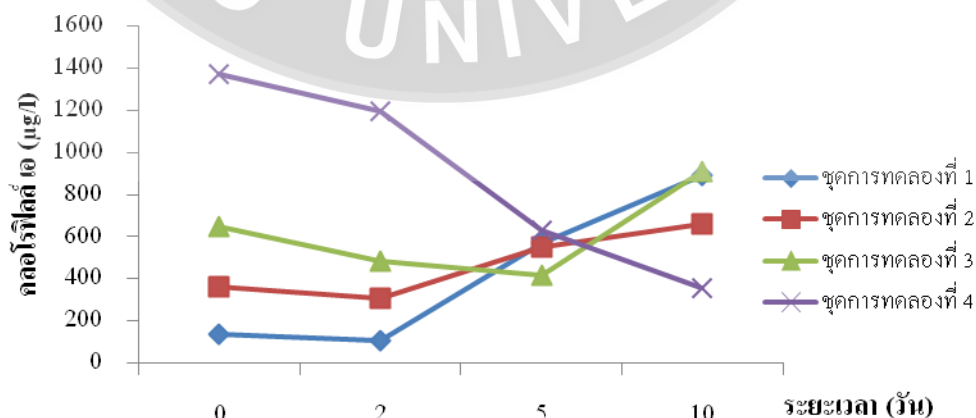
ผลการวิจัย

1. ประสิทธิภาพของปลานิลต่อการลดปริมาณแพลงก์ตอนพืช

1.1 ปัจจัยคุณภาพน้ำทางด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพ

ชุดการทดลอง ที่ 1, 2, 3 และ 4 คือการเลี้ยงปลานิลที่ความเข้มข้นของแพลงก์ตอนพืชในรูปคลอโรฟิลล์ เอ 100, 400, 700 และ 1100 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักปลา 100 กรัม ในการเตรียมการทดลองได้ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เอ ก่อนการทดลอง ดังนี้ ชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าเท่ากับ 138.63 ± 7.80 , 359.42 ± 25.80 , 650.07 ± 27.84 และ 1373.33 ± 53.64 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ภาพที่ 7) ซึ่งคลอโรฟิลล์ เอ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยมีปริมาณน้อยลงในทุกชุดการทดลองในวันที่ 2 เนื่องจากปลานิลกินแพลงก์ตอนพืชเหล่านี้เป็นอาหาร แต่หลังจากวันที่ 2 ชุดการทดลองที่ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เอ 138, 359 และ 650 ไมโครกรัมต่อลิตร มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ เพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดจากการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช ในขณะที่ชุดการทดลองที่ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เอ 1373 ไมโครกรัมต่อลิตร มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ลดลงตามระยะเวลาการทดลอง

สำหรับปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมดมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ตารางที่ 3) และเมื่อนำข้อมูลหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ กับปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมด โดยใช้สมการเชิงเส้นพบว่า ตัวแปรทั้ง 2 แปรผันตรงต่อกัน โดยมีค่า $R^2 = 0.6638$ และได้สมการคือ $y = 5.0883x + 77.018$ แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ ที่สูงจะทำให้ปริมาณของปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น (ภาพที่ 8)

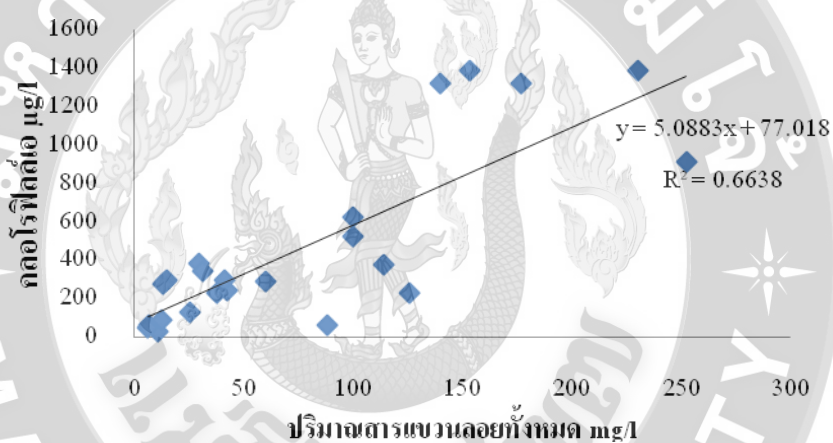


ภาพที่ 7 ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เอ (ไมโครกรัมต่อลิตร) ในแต่ละชุดการทดลอง

ตารางที่ 3 ปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมด (mg/l) ที่ระดับความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ ต่างกัน

ชุดการทดลอง	ระยะเวลา(วัน)			
	0	2	5	10
คลอโรฟิลล์ เอ 138 $\mu\text{g/l}$	44.61 $\pm$ 7.06 ^a	7.49 $\pm$ 2.25 ^a	37.94 $\pm$ 7.63 ^a	44.63 $\pm$ 4.65 ^a
คลอโรฟิลล์ เอ 359 $\mu\text{g/l}$	81.00 $\pm$ 6.56 ^a	60.83 $\pm$ 16.31 ^b	62.19 $\pm$ 10.99 ^b	68.33 $\pm$ 8.25 ^b
คลอโรฟิลล์ เอ 650 $\mu\text{g/l}$	128.42 $\pm$ 26.08 ^b	83.50 $\pm$ 14.55 ^b	69.94 $\pm$ 10.07 ^b	104.00 $\pm$ 36.97 ^c
คลอโรฟิลล์ เอ 1373 $\mu\text{g/l}$	373.33 $\pm$ 20.00 ^c	255.56 $\pm$ 39.49 ^c	240.83 $\pm$ 26.96 ^c	130.78 $\pm$ 15.12 ^c

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในแนวนอน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)



ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ ($\mu\text{g/l}$) และ ปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมด (mg/l)

ค่าความชันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) และมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกันกับปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมด โดยในช่วงเริ่มต้นของการทดลอง ชุดการทดลองที่ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เอ 138 และ 359 ไมโครกรัมต่อลิตรลดลงในวันที่ 2 หลังจากนั้นจะเพิ่มขึ้นในวันที่ 5 และ 10 ยกเว้นชุดการทดลองที่ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เอ 650 และ 1373 ไมโครกรัมต่อลิตร มีความขุ่นลดลงตามระยะเวลาการทดลอง (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 ค่าความขุ่น (NTU) ที่ระดับความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ ต่างกัน

ชุดการทดลอง	ระยะเวลา(วัน)			
	0	2	5	10
คลอโรฟิลล์ เอ 138 $\mu\text{g/l}$	67.13 $\pm$ 2.75 ^a	9.57 $\pm$ 1.01 ^a	23.43 $\pm$ 2.20 ^a	132.47 $\pm$ 15.84 ^b
คลอโรฟิลล์ เอ 359 $\mu\text{g/l}$	129.93 $\pm$ 3.02 ^b	28.17 $\pm$ 8.95 ^a	53.57 $\pm$ 10.89 ^a	73.53 $\pm$ 12.75 ^a
คลอโรฟิลล์ เอ 650 $\mu\text{g/l}$	252.30 $\pm$ 33.21 ^c	114.67 $\pm$ 1.50 ^b	51.23 $\pm$ 10.24 ^a	44.50 $\pm$ 3.35 ^a
คลอโรฟิลล์ เอ 1373 $\mu\text{g/l}$	439.37 $\pm$ 13.76 ^d	268.50 $\pm$ 22.17 ^c	176.77 $\pm$ 70.82 ^b	136.73 $\pm$ 24.90 ^b

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในแนวดิ่ง แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

จากการตรวจวัดคุณภาพน้ำภายในถังไฟเบอร์ทั้ง 4 ชุดการทดลอง พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 7 - 9 อุณหภูมิระหว่างการทดลองมีค่าเฉลี่ย 29-33 องศาเซลเซียส และปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีค่าระหว่าง 6-9 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำไปวิเคราะห์ค่าทางสถิติ พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ และปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) (ตารางที่ 5-7)

ตารางที่ 5 ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ที่ระดับความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ ต่างกัน

ชุดการทดลอง	ระยะเวลา(วัน)			
	0	2	5	10
คลอโรฟิลล์ เอ 138 $\mu\text{g/l}$	7.18 $\pm$ 0.50 ^a	7.52 $\pm$ 0.15 ^a	8.80 $\pm$ 0.27 ^a	8.04 $\pm$ 1.22 ^a
คลอโรฟิลล์ เอ 359 $\mu\text{g/l}$	7.09 $\pm$ 0.46 ^a	7.53 $\pm$ 0.14 ^a	8.59 $\pm$ 0.38 ^a	8.00 $\pm$ 1.11 ^a
คลอโรฟิลล์ เอ 650 $\mu\text{g/l}$	7.11 $\pm$ 0.53 ^a	7.60 $\pm$ 0.27 ^a	8.05 $\pm$ 0.64 ^a	7.83 $\pm$ 0.81 ^a
คลอโรฟิลล์ เอ 1373 $\mu\text{g/l}$	7.12 $\pm$ 0.48 ^a	7.92 $\pm$ 0.70 ^a	8.07 $\pm$ 0.72 ^a	7.43 $\pm$ 0.29 ^a

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในแนวดิ่ง แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ตารางที่ 6 อุณหภูมิ (°C) ที่ระดับความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ ต่างกัน

ชุดการทดลอง	ระยะเวลา(วัน)			
	0	2	5	10
คลอโรฟิลล์ เอ 138 µg/l	31.07±0.61 ^a	31.87±2.80 ^a	32.63±0.95 ^a	29.23±5.03 ^a
คลอโรฟิลล์ เอ 359 µg/l	31.30±0.50 ^a	32.07±2.85 ^a	32.83±0.76 ^a	32.23±1.87 ^a
คลอโรฟิลล์ เอ 650 µg/l	31.63±0.60 ^a	31.80±2.95 ^a	32.57±1.03 ^a	32.27±2.06 ^a
คลอโรฟิลล์ เอ 1373 µg/l	32.40±1.13 ^a	31.63±2.65 ^a	32.60±0.53 ^a	31.90±2.59 ^a

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในแนวดิ่ง แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ตารางที่ 7 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (mg/l) ที่ระดับความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ ต่างกัน

ชุดการทดลอง	ระยะเวลา(วัน)			
	0	2	5	10
คลอโรฟิลล์ เอ 138 µg/l	7.57±0.99 ^a	7.20±0.95 ^a	7.84±1.10 ^a	8.12±2.05 ^a
คลอโรฟิลล์ เอ 359 µg/l	7.81±1.73 ^a	7.05±0.86 ^a	7.54±0.51 ^a	8.18±1.91 ^a
คลอโรฟิลล์ เอ 650 µg/l	7.55±1.46 ^a	6.96±0.84 ^a	7.24±0.86 ^a	7.86±1.31 ^a
คลอโรฟิลล์ เอ 1373 µg/l	8.49±1.82 ^a	6.90±0.64 ^a	6.56±0.26 ^a	7.27±1.45 ^a

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในแนวดิ่ง แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

สำหรับปริมาณแอมโมเนียมีค่าอยู่ระหว่าง 0.19-1.99 มิลลิกรัมต่อลิตร และไม่มี ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) (ตารางที่ 8) ปริมาณออร์โธฟอสเฟต มีค่าอยู่ระหว่าง 0.35-3.79 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยวันที่ 2 ปริมาณออร์โธฟอสเฟตมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) (ตารางที่ 9) ปริมาณไนโตรเจนมีค่าอยู่ระหว่าง 0.01-9.18 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยวันที่ 5 ปริมาณไนโตรเจนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) (ตารางที่ 10) และปริมาณไนเตรทมีค่าอยู่ระหว่าง 0.01-7.06 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยวันที่ 5 และ 10 ปริมาณไนเตรทมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) (ตารางที่ 11) ซึ่งปริมาณไนเตรทมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาทดลอง

ตารางที่ 8 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (mg/l) ที่ระดับความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ ต่างกัน

ชุดการทดลอง	ระยะเวลา(วัน)			
	0	2	5	10
คลอโรฟิลล์ เอ 138 µg/l	0.62±0.52 ^a	1.82±1.19 ^a	0.74±0.35 ^a	0.94±0.43 ^a
คลอโรฟิลล์ เอ 359 µg/l	0.74±0.44 ^a	1.99±1.46 ^a	0.38±0.33 ^a	0.99±0.51 ^a
คลอโรฟิลล์ เอ 650 µg/l	1.02±0.41 ^a	1.77±1.44 ^a	0.59±0.32 ^a	0.56±0.28 ^a
คลอโรฟิลล์ เอ 1373 µg/l	1.15±0.44 ^a	1.73±1.90 ^a	0.19±0.02 ^a	0.27±0.07 ^a

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในแนวดิ่ง แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ตารางที่ 9 ปริมาณออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส (mg/l) ที่ระดับความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ ต่างกัน

ชุดการทดลอง	ระยะเวลา(วัน)			
	0	2	5	10
คลอโรฟิลล์ เอ 138 µg/l	0.61±0.79 ^a	0.43±0.29 ^a	0.88±1.19 ^a	1.13±1.60 ^a
คลอโรฟิลล์ เอ 359 µg/l	0.35±0.26 ^a	0.77±0.40 ^b	1.08±1.23 ^a	1.93±3.12 ^a
คลอโรฟิลล์ เอ 650 µg/l	0.37±0.28 ^a	1.00±0.61 ^b	1.38±0.92 ^a	2.34±2.29 ^a
คลอโรฟิลล์ เอ 1373 µg/l	0.76±0.58 ^a	1.81±0.99 ^c	2.48±1.49 ^a	3.79±2.28 ^a

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในแนวดิ่ง แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ตารางที่ 10 ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน (mg/l) ที่ระดับความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ ต่างกัน

ชุดการทดลอง	ระยะเวลา(วัน)			
	0	2	5	10
คลอโรฟิลล์ เอ 138 µg/l	0.01±0.01 ^a	0.06±0.04 ^a	0.30±0.04 ^a	2.01±3.09 ^a
คลอโรฟิลล์ เอ 359 µg/l	0.01±0.02 ^a	0.72±0.56 ^a	3.58±2.60 ^{ab}	3.09±0.82 ^a
คลอโรฟิลล์ เอ 650 µg/l	0.01±0.01 ^a	1.69±2.56 ^a	4.43±2.45 ^{ab}	4.02±3.22 ^a
คลอโรฟิลล์ เอ 1373 µg/l	0.02±0.01 ^a	2.27±2.33 ^a	9.18±4.76 ^b	2.75±4.16 ^a

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในแนวดิ่ง แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ตารางที่ 11 ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน (mg/l) ที่ระดับความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ ต่างกัน

ชุดการทดลอง	ระยะเวลา(วัน)			
	0	2	5	10
คลอโรฟิลล์ เอ 138 $\mu\text{g/l}$	0.02 $\pm$ 0.01 ^a	0.14 $\pm$ 0.12 ^a	0.11 $\pm$ 0.13 ^a	0.37 $\pm$ 0.35 ^a
คลอโรฟิลล์ เอ 359 $\mu\text{g/l}$	0.02 $\pm$ 0.01 ^a	0.04 $\pm$ 0.03 ^a	0.24 $\pm$ 0.27 ^a	1.59 $\pm$ 0.95 ^{ab}
คลอโรฟิลล์ เอ 650 $\mu\text{g/l}$	0.02 $\pm$ 0.01 ^a	0.12 $\pm$ 0.10 ^a	0.97 $\pm$ 0.79 ^{ab}	3.31 $\pm$ 2.91 ^{ab}
คลอโรฟิลล์ เอ 1373 $\mu\text{g/l}$	0.01 $\pm$ 0.01 ^a	0.62 $\pm$ 0.94 ^a	2.04 $\pm$ 1.29 ^b	7.06 $\pm$ 3.79 ^b

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในแนวนอน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

1.2 ชนิดและปริมาณแพลงก์ตอนพืช

จากการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณแพลงก์ตอนพืชในความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เอ 138, 359, 650 และ 1373 ไมโครกรัมต่อลิตร ในวันที่ 0 และวันที่ 10 ของการทดลองพบสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินจำนวน 10 ชนิด ได้แก่ *Anabaena* sp., *Calothrix* sp., *Cylindrospermopsis* sp., *Cyanobacterium* sp., *Microcystis* sp., *Oscillatoria* sp., *Phormidium* sp., *Planktolyngbya* sp., *Pseudanabaena* sp. และ *Synechococcus* sp. ปริมาณของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เอ 138, 359, 650 และ 1373 ไมโครกรัมต่อลิตร มีปริมาณอยู่ในช่วง 82.5-1982.5 x 10⁴ cell/ml, 82.5-4195 x 10⁴ cell/ml, 265-22990 x 10⁴ cell/ml และ 357.5-211103.7 x 10⁴ cell/ml ตามลำดับ และชนิดของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่มีปริมาณมากที่สุด ได้แก่ *Microcystis* sp. โดยพลาไนต์ที่เลี้ยงในความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เอ 138 และ 359 ไมโครกรัมต่อลิตรสามารถรองรับสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินได้ 100 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 9 ชนิดจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่พบ 10 ชนิด โดยชนิดที่ไม่สามารถรองรับได้คือ *Synechococcus* sp. (ตารางที่ 12) พลาไนต์ที่เลี้ยงในความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เอ 650 ไมโครกรัมต่อลิตร สามารถรองรับสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินได้ 100 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 7 ชนิด ส่วนพลาไนต์ที่เลี้ยงในความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เอ 1373 ไมโครกรัมต่อลิตร สามารถรองรับสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินได้ 100 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 6 ชนิด (ตารางที่ 13) แต่พลาไนต์สามารถรองรับปริมาณของแพลงก์ตอนพืชที่ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เอ 1373 ไมโครกรัมต่อลิตร ได้มากกว่าที่ความเข้มข้น 650, 359 และ 138 ไมโครกรัมต่อลิตร

ตารางที่ 12 ชนิดและปริมาณของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน และอัตราการกรองกินของปลานิลของ
ชุดการทดลองความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ 138 และ 359 ไมโครกรัมต่อลิตร

สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน	คลอโรฟิลล์ เอ 138 $\mu\text{g/l}$			คลอโรฟิลล์ เอ 359 $\mu\text{g/l}$		
	0 วัน	10 วัน	อัตราการ	0 วัน	10 วัน	อัตราการ
	($\times 10^4$ cell/ml)	($\times 10^4$ cell/ml)	กรองกิน (%)	($\times 10^4$ cell/ml)	($\times 10^4$ cell/ml)	กรองกิน (%)
<i>Anabaena</i> sp.	165	0	100	330	0	100
<i>Calothrix</i> sp.	82.5	0	100	82.5	0	100
<i>Cylindrospermopsis</i> sp.	82.5	0	100	165	0	100
<i>Cyanobacterium</i> sp.	165	0	100	247.5	0	100
<i>Microcystis</i> sp.	1,982.5	0	100	4,195	0	100
<i>Oscillatoria</i> sp.	577.5	0	100	742.5	0	100
<i>Phormidium</i> sp.	330	0	100	660	0	100
<i>Planktolyngbya</i> sp.	1,382.5	0	100	2,970	0	100
<i>Pseudanabaena</i> sp.	742.5	0	100	1,402.5	0	100
<i>Synechococcus</i> sp.	165	1,465	-888	907.5	2,475	-273

ตารางที่ 13 ชนิดและปริมาณของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน และอัตราการกรองกินของปลานิลของ
ชุดการทดลองความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ 650 และ 1373 ไมโครกรัมต่อลิตร

สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน	คลอโรฟิลล์ เอ 650 $\mu\text{g/l}$			คลอโรฟิลล์ เอ 1373 $\mu\text{g/l}$		
	0 วัน	10 วัน	อัตราการ	0 วัน	10 วัน	อัตราการ
	($\times 10^4$ cell/ml)	($\times 10^4$ cell/ml)	กรองกิน (%)	($\times 10^4$ cell/ml)	($\times 10^4$ cell/ml)	กรองกิน (%)
<i>Anabaena</i> sp.	660	0	100	2,145	0	100
<i>Calothrix</i> sp.	550	0	100	715	110	15
<i>Cylindrospermopsis</i> sp.	265	0	100	357.5	0	100
<i>Cyanobacterium</i> sp.	7,370	962.5	13	32,711.2	0	100
<i>Microcystis</i> sp.	22,990	0	100	211,103.7	0	100
<i>Oscillatoria</i> sp.	2,117.5	0	100	8,937.5	0	100
<i>Phormidium</i> sp.	990	96.25	10	893.7	0	100
<i>Planktolyngbya</i> sp.	5,280	577.5	11	61,132.5	27,500	45
<i>Pseudanabaena</i> sp.	7,480	0	100	10,903.7	2,090	19
<i>Synechococcus</i> sp.	1,320	2,385	-181	15,193.7	17,110	-113

2. ระบบกำจัดกลิ่นไม่พึงประสงค์ (จีออสมินและเอ็มไอบี) ในบ่อเลี้ยงปลาโดยใช้ปลานิล

2.1 อัตราการเจริญเติบโต อัตรารอด และผลผลิตของปลานิลในกระชังที่ระดับความหนาแน่นที่ต่างกัน

จากการทดลองเลี้ยงปลาเพาะลูกผสมและปลานิลในกระชังที่ระดับความหนาแน่นต่างกัน คือ 0, 0.5 และ 1 ตัวต่อลูกบาศก์เมตรเมื่อเลี้ยงผ่านไป 6 เดือน พบว่า น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน และผลผลิตไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) (ตารางที่ 14) เนื่องจากการทดลองครั้งนี้มีการให้อาหารเฉพาะปลาเพาะ ส่วนปลานิลจะได้รับอาหารธรรมชาติคือแพลงก์ตอนพืชภายในบ่อ ในขณะที่อัตรารอดมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยชุดการทดลองที่ใส่ปลานิลในกระชังที่ระดับความหนาแน่น 0.5 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีอัตรารอดสูงสุด คือ 84.6 ± 3.6 เปอร์เซ็นต์ และปลานิลในกระชังที่ระดับความหนาแน่น 1 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีอัตรารอด 67.0 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 14)

ตารางที่ 14 อัตราการเจริญเติบโตของปลานิลในกระชังที่ระดับความหนาแน่นที่ต่างกัน

พารามิเตอร์	ระดับความหนาแน่นของปลานิล (ตัวต่อลูกบาศก์เมตร)		
	0 (ควบคุม)	0.5	1.0
น้ำหนักปลานิลเริ่มต้นเฉลี่ย (กรัม)	-	20.6 ± 3.4^a	20.6 ± 2.1^a
น้ำหนักปลานิลสุดท้ายเฉลี่ย (กรัม)	-	228.4 ± 4.2^a	222.7 ± 3.9^a
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัมต่อตัว)	-	207.8 ± 10.8^a	202.1 ± 13.2^a
อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (กรัมต่อวัน)	-	1.2 ± 0.7^a	1.1 ± 0.4^a
อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ	-	-	-
อัตรารอด (%)	-	84.6 ± 3.6^b	67.0 ± 5.2^a
ผลผลิต (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)	-	0.09 ± 0.03^a	0.14 ± 0.07^a

หมายเหตุ: ระดับความหนาแน่น 0 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร ไม่มีกระชัง

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในแนวนอน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

2.2 ปริมาณกลิ่นไม่พึงประสงค์ (จีออสมินและเอ็มไอบี)

2.2.1 ปริมาณจีออสมินและเอ็มไอบีในน้ำ จากการทดลองเลี้ยงปลาเพาะลูกผสมและปลานิลในกระชังที่ระดับความหนาแน่นต่างกัน คือ 0, 0.5 และ 1 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อเลี้ยงผ่าน

ไป 6 เดือน พบว่าปริมาณจืออสมินในน้ำมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยก่อนที่ใส่ปลานิลในกระชังที่ระดับความหนาแน่น 0, 0.5 และ 1 ตัวต่อลูกบาศก์เมตรมีค่า 0.46 ± 0.33 , 0.36 ± 0.06 และ 0.39 ± 0.02 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ แต่เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ปริมาณจืออสมินมีค่าลดลง ซึ่งปลานิลในกระชังที่ระดับความหนาแน่น 0.5 และ 1 ตัวต่อลูกบาศก์เมตรมีค่า 0.18 ± 0.04 และ 0.12 ± 0.02 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนปริมาณเอ็มไอบีในน้ำไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ซึ่งปลานิลในกระชังความหนาแน่น 0 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีปริมาณเอ็มไอบีเฉลี่ยสูงสุดคือ 1.48 ± 0.23 ไมโครกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 15)

2.2.2 ปริมาณจืออสมินและเอ็มไอบีในเนื้อปลา จากการทดลองเลี้ยงปลาเพาะลูกผสมและปลานิลในกระชังที่ระดับความหนาแน่นต่างกัน คือ 0, 0.5 และ 1 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อเลี้ยงผ่านไป 6 เดือน พบว่าปริมาณจืออสมินและเอ็มไอบีในเนื้อปลานิลที่เลี้ยงในกระชังไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยปริมาณจืออสมินในเนื้อปลานิลที่ระดับความหนาแน่น 0.5 และ 1 ตัวต่อลูกบาศก์เมตรมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.07 ± 0.02 และ 0.02 ± 0.01 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนปริมาณเอ็มไอบีในเนื้อปลานิลที่ระดับความหนาแน่น 0.5 และ 1 ตัวต่อลูกบาศก์เมตรมีค่าเฉลี่ย 0.47 ± 0.21 และ 0.30 ± 0.15 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 15)

ตารางที่ 15 ปริมาณกลิ่นไม่พึงประสงค์ (จืออสมินและเอ็มไอบี) ของการเลี้ยงปลานิลในกระชังที่ระดับความหนาแน่นที่ต่างกัน โดยเปรียบเทียบก่อนและหลังการใส่ปลานิล

(ไมโครกรัมต่อ กิโลกรัม)	ระดับความหนาแน่นของปลานิล (ตัวต่อลูกบาศก์เมตร)				
	0		0.5		1
	ควบคุม	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
สารจืออสมินในน้ำ	0.46 ± 0.33^a	0.36 ± 0.06^a	0.18 ± 0.04^b	0.39 ± 0.02^a	0.12 ± 0.02^b
สารจืออสมินในปลานิล	-	-	0.07 ± 0.02^a	-	0.02 ± 0.01^a
สารเอ็มไอบีในน้ำ	1.48 ± 0.23^a	1.17 ± 0.27^a	0.93 ± 0.14^a	1.09 ± 0.11^a	0.71 ± 0.12^a
สารเอ็มไอบีในปลานิล	-	-	0.47 ± 0.21^a	-	0.30 ± 0.15^a

หมายเหตุ: ระดับความหนาแน่น 0 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร ไม่มีกระชัง

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในแนวนอน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

2.3 ปัจจัยคุณภาพน้ำทางด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพ

จากการทดลองเลี้ยงปลาเพาะลูกผสมและปลานิลในกระชังที่ระดับความหนาแน่นต่างกัน คือ 0, 0.5 และ 1 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อเลี้ยงผ่านไป 6 เดือนพบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างมี

ค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 7.1 ± 1.7 - 8.1 ± 2.1 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 6.5 ± 2.4 - 10.5 ± 3.7 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมดมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 56.5 ± 22.7 - 181.0 ± 63.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 177.7 ± 176.4 - 432.6 ± 116.3 ไมโครกรัมต่อลิตร แอมโมเนีย-ไนโตรเจนมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.7 ± 1.1 - 1.1 ± 3.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.02 ± 0.0 - 0.1 ± 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนไตรท์-ไนโตรเจนมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.001 ± 0.0 - 0.005 ± 0.0 มิลลิกรัมต่อลิตร และออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.004 ± 0.0 - 0.009 ± 0.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 16)

ตารางที่ 16 ค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำของการเลี้ยงปลานิลในกระชังที่ระดับความหนาแน่นที่ต่างกัน

พารามิเตอร์	ระดับความหนาแน่นของปลานิล (ตัวต่อลูกบาศก์เมตร)		
	0	0.5	1
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	8.1 ± 2.1^a	7.1 ± 1.7^a	7.8 ± 2.7^a
ออกซิเจนละลายน้ำ (mg/l)	10.5 ± 3.7^a	6.9 ± 2.4^a	6.5 ± 2.4^a
สารแขวนลอยทั้งหมด (mg/l)	181.0 ± 63.4^a	97.5 ± 18.3^a	56.5 ± 22.7^b
คลอโรฟิลล์ เอ (µg/l)	432.6 ± 116.3^a	213.0 ± 172.4^a	177.7 ± 176.4^a
แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (mg/l)	0.7 ± 1.1^a	1.1 ± 3.3^a	0.9 ± 5.2^a
ไนเตรท-ไนโตรเจน (mg/l)	0.02 ± 0.0^a	0.1 ± 0.1^a	0.06 ± 0.0^a
ไนไตรท์-ไนโตรเจน (mg/l)	0.003 ± 0.0^a	0.005 ± 0.0^a	0.001 ± 0.0^a
ออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส (mg/l)	0.004 ± 0.0^a	0.009 ± 0.0^b	0.008 ± 0.01^b

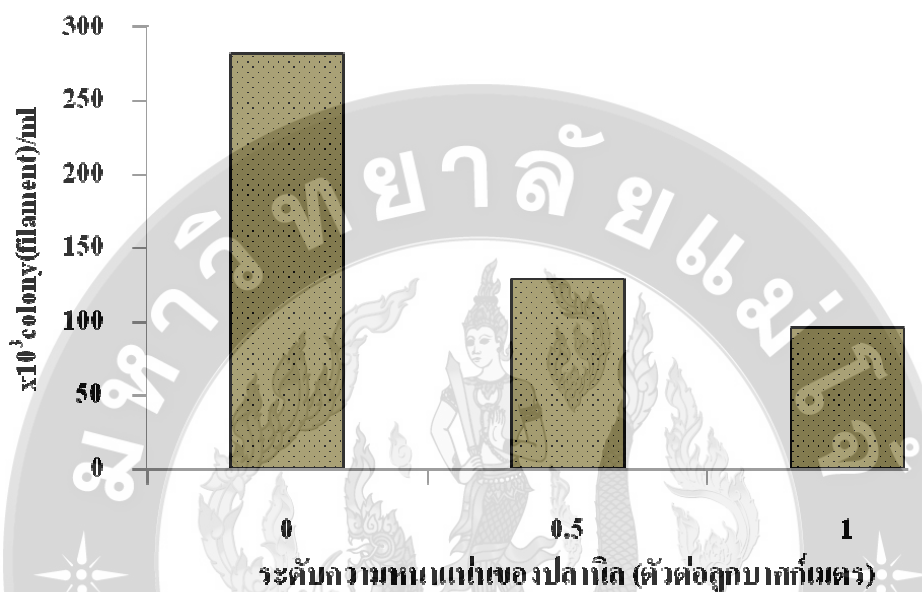
หมายเหตุ: ระดับความหนาแน่น 0 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร ไม่มีกระชัง

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในแนวนอน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

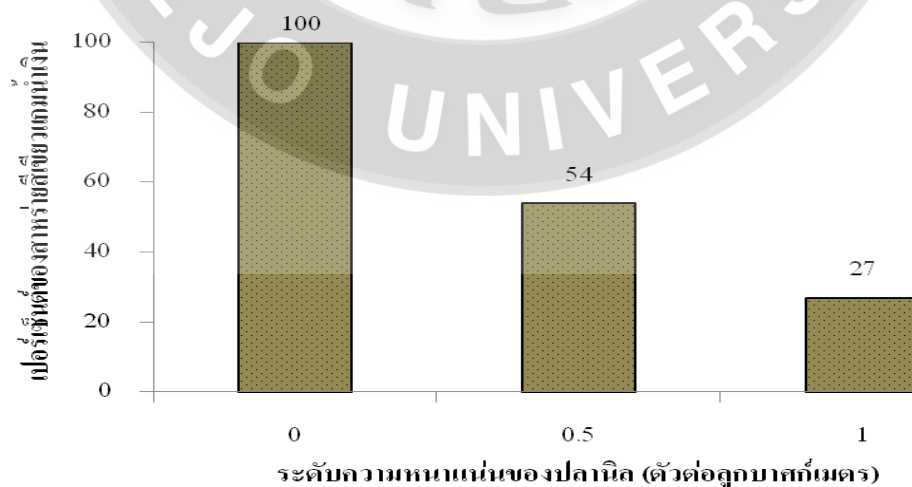
2.4 ชนิดและปริมาณแพลงก์ตอนพืช

จากการทดลองเลี้ยงปลาเพาะลูกผสมและปลานิลในกระชังที่ระดับความหนาแน่นต่างกัน คือ 0, 0.5 และ 1 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อเลี้ยงผ่านไป 6 เดือน พบว่า ระดับความหนาแน่นที่ 0 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีปริมาณแพลงก์ตอนพืชเฉลี่ยรวมทั้งหมดเท่ากับ 281.56×10^3 colony(filament)/ml และระดับความหนาแน่นที่ 0.5 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีปริมาณแพลงก์ตอนพืชเฉลี่ยรวมทั้งหมด 128.84×10^3 colony(filament)/ml ส่วนระดับความหนาแน่นที่ 1 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีปริมาณแพลงก์ตอนพืชเฉลี่ยรวมทั้งหมด 95.69×10^3 colony(filament)/ml (ภาพที่ 9) โดยมี

แพลงก์ตอนพืชรวมทั้งหมด 63 ชนิด (ตารางที่ 17) และเมื่อเปรียบเทียบจำนวนเปอร์เซ็นต์ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินรวมทั้งหมดที่พบในการทดลอง พบว่า ที่ระดับความหนาแน่น 0.5 และ 1 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีจำนวนเปอร์เซ็นต์ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินลดลง (ภาพที่ 10)



ภาพที่ 9 ปริมาณแพลงก์ตอนพืชเฉลี่ยรวมทั้งหมดที่พบในการทดลอง



ภาพที่ 10 เปอร์เซนต์ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินรวมทั้งหมดที่พบในการทดลอง

ตารางที่ 17 ปริมาณแฟลกก์ตอนพืชในบ่อเลี้ยงปลาเพาะลูกผสมและปลานิลในกระชังที่ระดับความหนาแน่นที่ต่างกัน

แฟลกก์ตอนพืช ($\times 10^3$ colony(filament)/ml)	ระดับความหนาแน่นปลานิล (ตัวต่อลูกบาศก์เมตร)		
	0	0.5	1
<i>Anabaena</i> spp.	61	23	17
<i>Achnanthes</i> spp.	9	11	3
<i>Actinastrum</i> spp.	36	28	24
<i>Ankistrodesmus</i> spp.	361	124	3
<i>Aphanothece</i> spp.		278	
<i>Aulacoseira</i> spp.	118	56	358
<i>Bacillaria</i> spp.	97	11	31
<i>Closterium</i> spp.	34	17	22
<i>Cylindrospermum</i> spp.	540	391	
<i>Coelastrum</i> spp.	1435		407
<i>Cruciginiella</i> spp.	551		88
<i>Chroococciopsis</i> spp.	129	9	14
<i>Cryptomonas</i> spp.			31
<i>Cylindrospermopsis</i> spp.			248
<i>Cyclotella</i> spp.		76	330
<i>Cylindrocystis</i> spp.			71
<i>Chlorella</i> spp.	270	163	346
<i>Chlamydomonas</i> spp.		92	12
<i>Chaetophora</i> spp.		33	12
<i>Cosmarium</i> spp.			81
<i>Dictyosphaerium</i> spp.	776	415	204
<i>Euglena</i> spp.	460	135	405

ตารางที่ 17 (ต่อ) ปริมาณแพลงก์ตอนพืชในบ่อเลี้ยงปลาเพาะลูกผสมและปลานิลในกระชังที่ระดับความหนาแน่นที่ต่างกัน

แพลงก์ตอนพืช ($\times 10^3$ colony(filament)/ml)	ระดับความหนาแน่นปลานิล (ตัวต่อลูกบาศก์เมตร)		
	0	0.5	1
<i>Eucapsis</i> spp.		96	
<i>Fragilaria</i> spp.			361
<i>Gonatozygon</i> spp.	23	2	4
<i>Gonium</i> spp.	102	28	111
<i>Hyalotheca</i> spp.			8
<i>Kirchneriella</i> spp.	557		112
<i>Luticola</i> spp.			3
<i>Merismopedia</i> spp.	631	472	206
<i>Microcystis</i> spp.	813	360	154
<i>Micractinium</i> spp.	47	13	
<i>Monoraphidium</i> spp.	263	227	154
<i>Nitzschia</i> spp.			28
<i>Netrium</i> spp.			21
<i>Newicula</i> spp.		35	24
<i>Navicula</i> spp.	45		
<i>Nephrocytium</i> spp.	14		
<i>Oscillatoria</i> spp.		35	
<i>Oocystis</i> spp.	36	299	
<i>Pandorina</i> spp.	443	365	137
<i>Penium</i> spp.	44	19	4
<i>Plonoraphidium</i> spp.		2	

ตารางที่ 17 (ต่อ) ปริมาณแพลงก์ตอนพืชในบ่อเลี้ยงปลาเพาะลูกผสมและปลานิลในกระชังที่ระดับความหนาแน่นที่ต่างกัน

แพลงก์ตอนพืช ($\times 10^3$ colony(filament)/ml)	ระดับความหนาแน่นปลานิล (ตัวต่อลูกบาศก์เมตร)		
	0	0.5	1
<i>Pediastrum</i> spp.	313	338	91
<i>Pinnularia</i> spp.	2	12	
<i>Planktolyngbya</i> spp.	107	31	89
<i>Pseudanabaena</i> spp.	486	226	55
<i>Scenedesmus</i> spp.	386	246	104
<i>Synechococcus</i> spp.	219	72	25
<i>Staurodesmus</i> spp.	4		
<i>Scytonema</i> spp.		6	
<i>Synedra</i> spp.		6	
<i>Staurastrum</i> spp.	355	42	17
<i>Selenastrum</i> spp.			16
<i>Sirogonium</i> spp.			6
<i>Stigeoclonium</i> spp.			26
<i>Spirogyra</i> spp.			4
<i>Spondylosium</i> spp.	148	98	37
<i>Tetraspora</i> spp.	16		
<i>Trachelomonas</i> spp.	709	514	66
<i>Treubaria</i> spp.		2	2
<i>Tetraedron</i> spp.	243	78	21
<i>Ulothrix</i> spp.	98	54	
<i>Zygnema</i> spp.			8



ภาพที่ 11 ตัวอย่างชนิดของแพลงก์ตอนพืชที่พบในปลานิลที่เลี้ยงในกระชังในบ่อเลี้ยงปลาเพาะ
ลูกผสมที่ระดับความหนาแน่นที่ต่างกัน

(A) *Merismopedia* spp., (B) *Anabaena* spp.,

(C) *Cyndrospermopsis* spp., (D) *Microcystis* spp.

และ (E) *Oscillatoria* spp.

สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย

1. ประสิทธิภาพของพลาเน็ตต่อการลดปริมาณแพลงก์ตอนพืช

จากการศึกษาในงานวิจัยนี้พบว่าพลาเน็ตสามารถลดปริมาณแพลงก์ตอนพืชได้ ซึ่งดูได้จากความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เอ โดยทุกชุดการทดลองมีปริมาณน้อยลงในวันที่ 2 แต่หลังจากวันที่ 2 ชุดการทดลองที่ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เอ 138, 359 และ 650 ไมโครกรัมต่อลิตร มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ เพิ่มขึ้น ซึ่งน่าจะมีสาเหตุมาจากการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช เนื่องจากมีสภาพที่เหมาะสมในการเจริญเติบโต อย่างเช่น อุณหภูมิระหว่างการทดลองมีค่าเฉลี่ย 29-33 องศาเซลเซียส ซึ่งสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสามารถสังเคราะห์แสงและ เจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วในน้ำที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 25 องศาเซลเซียส (Jöhnk *et al.* 2008) รวมทั้งยังมีสารอาหารที่เพียงพอในการเจริญเติบโต ในขณะที่ชุดการทดลองที่ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เอ 1373 ไมโครกรัมต่อลิตร มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ลดลงตามระยะเวลาการทดลอง เนื่องจากชุดการทดลองนี้มีปริมาณแพลงก์ตอนพืชในปริมาณสูงอยู่แล้ว ทำให้มีข้อจำกัดในการเจริญเติบโต โดยเฉพาะปริมาณแอมโมเนียในวันที่ 5 และ 10 มีปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่น ซึ่งแพลงก์ตอนพืชสามารถนำไปตรึงไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ดีกว่าไนเตรท นอกจากนี้แล้วปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมดและค่าความขุ่นมีปริมาณลดลงทุกชุดการทดลอง เนื่องจากงานวิจัยนี้ไม่มีการให้อาหารพลาเน็ต ซึ่งพลาเน็ตได้รับอาหารจากธรรมชาติ และ Jauncey (2000) ได้กล่าวไว้ว่าพลาเน็ตสามารถใช้อาหารธรรมชาติ เช่น แพลงก์ตอนพืช พืชน้ำ สัตว์ขนาดเล็ก ตะกอนสารอินทรีย์ได้เป็นอย่างดี

สำหรับชนิดและปริมาณแพลงก์ตอนพืชในความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เอ 138, 359, 650 และ 1373 ไมโครกรัมต่อลิตร พบว่ามีสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินจำนวน 10 ชนิด ได้แก่ *Anabaena* sp., *Calothrix* sp., *Cylindrospermopsis* sp., *Cyanobacterium* sp., *Microcystis* sp., *Oscillatoria* sp., *Phormidium* sp., *Planktolyngbya* sp., *Pseudanabaena* sp. และ *Synechococcus* sp. ปริมาณของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เอ 138, 359, 650 และ 1373 ไมโครกรัมต่อลิตร มีปริมาณอยู่ในช่วง $82.5-1982.5 \times 10^4$ cell/ml, $82.5-4195 \times 10^4$ cell/ml, $265-22990 \times 10^4$ cell/ml และ $357.5-211103.7 \times 10^4$ cell/ml ตามลำดับ และชนิดของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่มีปริมาณมากที่สุด ได้แก่ *Microcystis* sp. โดยพลาเน็ตที่เลี้ยงในความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เอ 138 และ 359 ไมโครกรัมต่อลิตร สามารถกรองกินสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินได้ 100 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 9 ชนิดจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่พบ 10 ชนิด โดยชนิดที่ไม่สามารถกรองกินได้คือ *Synechococcus* sp. (ตารางที่ 12) พลาเน็ตที่เลี้ยงในความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เอ 650 ไมโครกรัม

ต่อลิตร สามารถรองรับกินสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินได้ 100 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 7 ชนิด ส่วนพลาไนล ที่เลี้ยงในความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เอ 1373 ไมโครกรัมต่อลิตร สามารถรองรับกินสาหร่ายสีเขียว แกมน้ำเงินได้ 100 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 6 ชนิด (ตารางที่ 13) แต่อย่างไรก็ตามปริมาณของแพลงก์ ตอนพืชที่ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เอ 1373 ไมโครกรัมต่อลิตร พลาไนลสามารถรองรับกินได้ มากกว่าที่ความเข้มข้น 650, 359 และ 138 ไมโครกรัมต่อลิตร และสามารถสังเกตได้ว่า *Synechococcus* sp. พลาไนลไม่สามารถรองรับกินได้ทั้ง 4 ชุดการทดลอง แต่ถึงอย่างไรการศึกษาครั้งนี้ แสดงให้เห็นว่าพลาไนลสามารถลดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง *Microcystis* sp. ในน้ำ และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Teferi et al. (2000) ที่ศึกษาเกี่ยวกับ การกินอาหารของปลา นิลในทะเลสาบ Chamo, Ethiopia จากกระเพาะอาหารของปลา พบว่า พลาไนลกินแพลงก์ตอนพืช เป็นหลักโดยเฉพาะจำพวกสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน และเมื่อทดลองในห้องปฏิบัติการพลาไนล สามารถลดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ได้ดี เช่น *Microcystis* sp. *Pseudanabaena* sp. และ *Cyanobacterium* sp. ยกเว้น *Synechococcus* sp. และ *Planktolyngbya* sp. โดยพลาไนลจะรองรับกิน สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่มีรูปร่างขนาดใหญ่ได้มากกว่าสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่มีรูปร่าง ขนาดเล็ก และจากการทดลองของ Turker et al. (2003c) พบว่าสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่อยู่ใน บ่อปลาสวย พลาไนลสามารถลดได้ทุกชนิดที่พบ เช่น *Anabaena* sp. *Aphanothece* sp. *Chroococidiopsis* sp. *Cylindrospermum* sp. *Eucapsis* sp. *Merismopedia* sp. *Microcystis* sp. *Oscillatoria* sp. *Planktolyngbya* sp. *Pseudanabaena* sp. *Scytonema* sp. *Synechococcus* sp. ซึ่ง แสดงให้เห็นว่าพลาไนลสามารถรองรับกินสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินได้ โดยการรองรับกินสาหร่ายสี เขียวแกมน้ำเงินขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของแพลงก์ตอนพืชในน้ำในบ่อเลี้ยงปลาและขนาดของปลา นิล

2. ระบบกำจัดกลิ่นไม่พึงประสงค์ (จีออสมินและเอ็มไอบี) ในบ่อเลี้ยงปลาโดยใช้พลาไนล

จากการศึกษาการเลี้ยงปลาเพาะลูกผสมและพลาไนลในกระชังที่ระดับความหนาแน่น ต่างกัน คือ 0, 0.5 และ 1 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร พบว่า น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตวัน และผลผลิตไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ในขณะที่อัตราการรอดมีความ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยชุดการทดลองที่ใส่พลาไนลในกระชังที่ระดับความ หนาแน่น 0.5 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีอัตราการรอดดีกว่าที่ระดับความหนาแน่น 1 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร เนื่องจากการวิจัยครั้งนี้มีการให้อาหารเฉพาะปลาเพาะ จึงทำให้พลาไนลที่เลี้ยงในกระชังที่ระดับ ความหนาแน่นสูงมีอัตราการรอดน้อยกว่าการเลี้ยงพลาไนลในกระชังที่ระดับความหนาแน่นต่ำ เนื่องจาก ไม่ได้ให้อาหารแก่พลาไนล โดยพลาไนลสามารถใช้อาหารธรรมชาติ เช่น แพลงก์ตอนพืช พืชน้ำ สัตว์

ขนาดเล็ก ตะกอนสารอินทรีย์ได้เป็นอย่างดี (Jauncey, 2000) อีกทั้งปลานิลยังสามารถลดปริมาณแพลงก์ตอนพืชและช่วยปรับปรุงสภาพน้ำในการเลี้ยงปลา channel catfish ที่เลี้ยงแบบหนาแน่น (Perschbacher, 1995)

สำหรับปริมาณกลิ่นไม่พึงประสงค์ (จืออสมินและเอ็มไอบี) ในเนื้อปลานิลในกระชังที่ระดับความหนาแน่นต่างกัน คือ 0.5 และ 1 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร พบปริมาณสารจืออสมินในเนื้อปลานิลมีปริมาณน้อย คือ 0.07 ± 0.02 และ 0.02 ± 0.01 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนปริมาณเอ็มไอบีในเนื้อปลานิลมีปริมาณสูงกว่าปริมาณจืออสมิน คือ 0.47 ± 0.21 และ 0.30 ± 0.15 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าปลาจากการวิจัยครั้งนี้มีการสะสมของกลิ่นไม่พึงประสงค์สะสมอยู่ในปริมาณต่ำกว่าระดับที่ยอมรับได้ ซึ่งปัจจุบันระดับที่ยอมรับได้ (threshold level) ของปริมาณสารจืออสมิน คือ 0.9 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม (Robertson *et al.*, 2006) และสารเอ็มไอบี คือ 0.6 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม (Persson, 1980) และปริมาณกลิ่นไม่พึงประสงค์ (จืออสมินและเอ็มไอบี) ในน้ำพบว่าปริมาณจืออสมินในน้ำมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยก่อนที่ใส่ปลานิลในกระชังที่ระดับความหนาแน่น 0, 0.5 และ 1 ตัวต่อลูกบาศก์เมตรมีค่า 0.46 ± 0.33 , 0.36 ± 0.06 และ 0.39 ± 0.02 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ แต่เมื่อสิ้นสุดการทดลองปริมาณจืออสมินมีค่าลดลง ซึ่งปลานิลในกระชังที่ระดับความหนาแน่น 0.5 และ 1 ตัวต่อลูกบาศก์เมตรมีค่า 0.18 ± 0.04 และ 0.12 ± 0.02 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนปริมาณเอ็มไอบีในน้ำไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) นอกจากปลานิลจะช่วยลดปริมาณแพลงก์ตอนพืชแล้ว ปลานิลยังช่วยลดปริมาณจืออสมินในน้ำให้น้อยลงด้วย ซึ่งจะส่งผลดีต่อปลาเศรษฐกิจอย่างเช่น ปลานิล ปลาเพาะลูกผสม และปลาอุก เป็นต้น

ชนิดและปริมาณของแพลงก์ตอนพืชตลอดการเลี้ยงในบ่อเลี้ยงปลา พบว่ามีปริมาณแพลงก์ตอนพืชเฉลี่ยรวมทั้งหมดในกระชังที่ระดับความหนาแน่น 0, 0.5 และ 1 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีค่าเท่ากับ $10,555 \times 10^3$, $5,540 \times 10^3$ และ $4,601 \times 10^3$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ และมีชนิดของแพลงก์ตอนพืชรวมทั้งหมด 63 ชนิด อย่างเช่น *Oscillatoria* spp., *Microcystis* spp., *Cylindrospermopsis* sp., *Merismopedia* spp., *Anabaena* spp., *Gloeocapca* sp., และ *Chroococcus* sp. เป็นต้น ซึ่งสอดคล้องกับรายงาน Tabachek และ Yurkowski (1976); Lovell และ Broce, (1985); ชลอ (2536) กล่าวว่าสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่สำคัญที่มีผลต่อการเกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ประกอบด้วยสกุล *Anabaena* sp., *Oscillatoria* sp., *Lyngbya* sp., *Symploca* sp., *Phormidium* sp. เช่นเดียวกับ Van Der Ploeg and Boyd (1991) กล่าวว่าไว้ว่าการสะสมของสารสร้างกลิ่นไม่พึงประสงค์มาจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินโดยเฉพาะสกุล *Anabaena* sp., *Symploca* sp. ถ้าในบ่อเลี้ยงมีสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินจำนวนมาก ก็จะพบว่าความเข้มข้นของจืออสมินหรือเอ็มไอบีในน้ำก็จะมีความเข้มข้นที่สูง

เช่นกัน จากผลการวิจัยในครั้งนี้จะเห็นว่าปลานิลที่เลี้ยงในกระชังสามารถกรองกินและลดปริมาณแพลงก์ตอนพืชที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดกลิ่นโคลน และนำไปสู่การลดการสะสมกลิ่นไม่พึงประสงค์ในน้ำได้



บรรณานุกรม

- กรมประมง. 2546. การเพาะเลี้ยงปลานิล. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.fisheries.go.th> (20 สิงหาคม 2548)
- ชลอ ลีสุวรรณ. 2536. แนวทางการเลี้ยงกุ้งน้ำฝน. วารสารอะควาฟาร์มมิ่ง 5: 30-36.
- ทวีทรัพย์ ศรีนาถ. 2542. การกำจัดกลิ่นโคลนในปลานิล. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.
- ปกรณ อุ่นประเสริฐ, วิรุพระนอง ศรีณรงค์ และ อาภรณ์ ภูนิคม. 2541. การเพาะเลี้ยงปลานิล. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.fisheries.go.th> (13 มีนาคม 2548)
- ลัดดา วงศ์รัตน์. 2542. แพลงค์ตอนพืช. กรุงเทพฯ: ภาควิชาชีววิทยาประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 787 น.
- สุพรรณษา ทับทิมหิน วิทยา ทาวงศ์ สุปราณี วิกรัยบุรณ์ สุดาพร ตงศิริ และนิวัติ หวังชัย. 2551. ผลของอาหารต่อการเจริญเติบโตและการสะสมกลิ่นไม่พึงประสงค์ในปลาบึก. ประชุมวิชาการ “เสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 2” มหาวิทยาลัยแม่โจ้, เชียงใหม่.
- Boyd, C.E. and C. S. Tucker. 1992. **Water quality and soil analyses for Aquaculture**. Alabama agriculture experiment station, Auburn University, Alabama, USA. 183 p.
- Casey, C. G., W.L. Steven, and V.Z. Paul. 2004. **Instrumental versus sensory detection of off-flavors in farm-raised channel catfish**. *Aquaculture*. 236: 309-319.
- Dionigi, C. P., T.E. Lawlor, J.E.M. Farland and P.B. Johnsen. 1993. **Evaluation of geosmin and 2-methylisoborneol on the histidine dependence of TA98 and TA100 *Salmonella typhimurium* tester strain**. *Water Research*. 27: 1615-1618.
- 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. *Water Science and Technology*. 31(11): 259-264.
- Form, J. and V. Horlyck. 1984. **Site of uptake geosmin a cause of earthy-flavor in rainbow trout (*Salmo gairdneri*)**. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 41: 1224-1226.
- Grimm, C. C., W.L. Steven and V.Z. Paul. 2004. **Instrumental versus sensory detection of off-flavors in farm-raised channel catfish**. *Aquaculture* 236(1-4): 309-319.
- Izaguirre, G., C. J. Hwang, S.W. Krasner and J. Micheal. 1982 . Geosmin and 2-methylisoborneol from cyanobacteria in three water supply system. *App. Envi. Micro.* 43(3): 708-714.

- Jauncey, K.. 2000. Nutritional requirement. In: Beveridge, M.C.M., McAndrew, B.J. (Bds.),
Tilapias: Biology and Exploitation. Kluwer Academic Publishers, London, UK, pp.327-
375.
- Jöhnk, K.D., J. Huisman, J. Sharples, B. Sommeijer, P.M. Visser and J.M. Stroom. 2008.
Summer heat waves promote blooms of harmful cyanobacteria. Glob. Change Biol.,
14: 495–512.
- Johnsen, P.B. and P.C. Dionigi. 1994. **Effect of temperature on uptake and depuration of 2-methylisoborneol in channel catfish (*Ictalurus punctatus*).** J. World Aqua. Soc. 27(1): 15-20.
- Johnsen, P.B. and S.W. Lloyd. 1992. **Influence of fat content on uptake and depuration of the off-flavor 2-methylisoborneol by channel catfish (*Ictalurus punctatus*).** Can. J. Fish. Aquat. Sci. 49 : 2406-2411.
- Johnsen, P.B., S.W. Lloyd, B.T. Vingad and P.C. Dionigi. 1996. **Effect of temperature on uptake and depuration of 2-methylisoborneol in channel catfish (*Ictalurus punctatus*).** J. World Aqua. Soc. 27(1): 15-20.
- Jüttner, F. and S.B. Watson. 2007. **Biochemical and Ecological Control of Geosmin and 2-Methylisoborneol in Source-Waters.** New York: American Society for Microbiology.
- Lee, T. G. 2000. Development of ultrasonic irradiation process for the control of cyanobacteria bloom in eutrophic lake. Doctoral dissertation. Tsukuba University. 130 pp.
- Lovell, R.T. 1976. Flavor Problems in Fish Culture. FAO. Technical Conference on Aquaculture Kyoto, Japan. 9 p.
- Lovell, R.T. and D. Broce. 1985. **Cause of musty flavor in pond culture penaeid shrimp.** Aquaculture penaeid shrimp. Aquaculture. 50: 169-174.
- Lovell T. 1989. **Nutrition and feeding of fish.** Van Nostrand Reinhold. 260 pp.
- Martin, J.F., C.P. McCoy, W. Greenleaf and L.W. Bennett. 1987. **Analysis of 2-methylisoborneol in water, mud and channel catfish (*Ictalurus punctatus*) from commercial culture ponds in Mississippi.** Can. J. Fish. Aquat. Sci. 45: 909-912.

- Martin, J.F., M.S. Plakas, H.J. Holley, J.V. Kitzman and A.M. Guaino. 1990. **Pharmacokinetics and tissue disposition of the off-flavor compound 2-methylisoborneol in the channel catfish (*Ictalurus punctatus*)**. Can. J. Fish. Aqua. Sci. 47: 544-547.
- Matsuyasu, N., O. Takahoro, K. Yoshiyuki, I. Noriyuki, I. Taichi, A. Akihiro, S. Toshiaki, H. Euichi and S. Michio. 1996. **Inhibitory effects of odor substances, geosmin and 2-methylisoborneol, on early development of sea urchins**. Elsevier Science Ltd. PII: S0043-1354(96)00104-2.
- Milie, D.F., M.C. Baker, C.S. Tucker, B.T. Vinyard and C.P. Dionigi. 1992. High-resolution Airborne remote sensing of bloom-forming phytoplankton. J. of Phytocology. 28: 28-290.
- Pei, P. 2003. Methyl Isoborneol (MIB) and geosmin removal during ozone biofiltration treatment. Master's thesis, University of Arizona state.
- Perschbacher, P.W. 1995. **Algal management in intensive channel catfish production trials**. World Aquaculture. 26(3): 65-68.
- Persson, P.E. 1980. **Sensory properties and analysis of two muddy of two muddy odour compounds geosmin and 2-methylisoborneol in water and fish**. Water Research 14: 1113-1118.
- Persson, P.E. 1982. **Muddy odor: a problem associated with extreme eutrophication**. Hydrobiologia 89: 161 p.
- Pirbazari, M., B.N. Badriyha and V. Ravindran. 1992. Microfiltration-Powder Activated Carbon (MF-PAC) for the treatment of waters containing natural and synthetic organics. American Water Works Association. 84(13) : 95-103.
- Robertson, L.A., C.E. Kleinschmidt, D.G. White, G.A. Payne, C.M. Maragos, and J.B. Holland. 2006. **Heritabilities and correlations of Fusarium ear rot resistance and fumonisin contamination resistance in two maize populations**. Crop Sci. 46:353-361.
- Rungreungwudhikrai, E. 1995. **Characterization and classification of off-flavor of Nile tilapia**. M.S. Thesis no. AE-95-24. Bangkok: Asian Institute of technology.
- Sivonen, K. 1982. **Factor influencing odor production by actinomycetes**. Hydrobiologia. 86: 165-170.

- Tabachek, J.L. and M. Yurkowski. 1976. **Isolation and identification of blue-green algae producing muddy odor metabolites and 2-methylisoborneol in saline lake in Manitoba.** J. Fish Res. Board Can. 33: 25-35.
- Tanchotikul, U. 1990. Studies on important volatile flavor compounds in Louisiana rangia clam (*Rangia cuneata*). Doctoral dissertation. Louisiana state university. 96 p.
- Tanchotikul, U. and T.C.Y. Hsieh. 1990. **Methodology for quantification of geosmin and Levelin raggia clam (*Rangia cuneata*).** J. Food Sci. 55(5): 235-312.
- Teferi, Y., D. Admassu and S. Mengistou. 2000. **The food and feeding habit of *Oreochromis niloticus* L. (Pisces: Cichlidae) in Lake Chamo, Ethiopia.** Ethiopian J. Science, 23(1): 1-12.
- Tucker H., A. G Eversole and D. E Brune. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848602001333> - AFF2#AFF2. 2003. Filtration of green algae and cyanobacteria by Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, in the Partitioned Aquaculture System. Aquaculture. 215: 1-4, 93-101.
- Turker H., A.G. Eversole and D.E. Brune, 2003c. Comparative Nile tilapia and silver carp filtration rates of the PAS phytoplankton. Aquaculture. 220:449-457.
- Van Der Ploeg, M. 1989. **Seasonal trends in flavor quality of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) from commercial pond in Mississippi.** J. of Applied Aquaculture. 2(3): 22-31.
- Van Der Ploeg, M. and C.E. Boyd. 1991. **Geosmin production in cyanobacteria (blue green algae) in fish pond at Auburn.** Alabama: J. of the World Aquaculture Society. 22(4): 207-216.
- Yamada, N., N. Marakami, N. Kawamura and J. Sakakibara. 1994. Mechanism of an early lysis by fatty acid from *Axenic Phormidium tenue* (Musty odor-producing cyanobacterium) and its growth prolongation by bacteria. Biol. Pharm. Bull. 17(9): 1277-1281.
- Yamprayoom, J. and A. Noomhorm. 2000. **Geosmin and Off-flavor in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*).** J. of Aquatic product technology 9(2): 29-41.
- Yurkowski, M. and J.L. Tabachek. 1980. **Geosmin and 2-methylisoborneol implicated as a cause of muddy odor and flavor in commercial fish from Cedar Lake.** Manitoba. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 37: 1449-1450.