รายงานผลการวิจัย

เรื่อง ระบบกำจัดกลิ่นไม่พึงประสงค์ (จีออสมินและเอ็มไอบี) ในน้ำจากบ่อเลี้ยงปลา โดยใช้ปลานิลและถ่านไม้

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

โครงการย่อยภายใต้ชุดโครงการ: ระบบการผลิตสัตว์น้ำที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเพื่ออาหารปลอดภัยและเพิ่มมูลค่าของทรัพยากรสัตว์น้ำ

ได้รับจัดสรรงบประมาณวิจัย ประจำปี 2557
จำนวน 185,000 บาท

หัวหน้าโครงการ นายนิวุฒิ หวังชัย
ผู้ร่วมโครงการ นายเทพรัตน์ อึ้งเศรษฐพันธ์
Mr. Nakao Nomura

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ให้การสนับสนุนในการจัดสรรงบประมาณวิจัย ประจำปี 2557 จำนวนเงิน 185,000 บาท สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้และขอขอบคุณคณาจารย์ ข้าราชการและเจ้าหน้าที่ คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้และบุคคลอื่นที่มิได้กล่าวถึงในที่นี้ ที่ได้ให้ความเกื้อหนุนทำให้การวิจัยในครั้งนี้เสร็จสิ้นอย่างสมบูรณ์

ผู้วิจัย

กันยายน 2558

สารบัญ

	หน้า
สารบัญตาราง	ข
สารบัญภาพ	ค
บทคัดย่อ	1
Abstract	2
บทนำ	3
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการวิจัย	13
ผลการวิจัย	17
วิจารณ์ผลการวิจัย	25
สรุปการวิจัย	26
การนำไปใช้ประโยชน์	26
บรรณานุกรม	27

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1	ลักษณะทางเคมีและฟิสิกส์ของกลิ่นไม่พึงประสงค์ (เอ็มไอบี และจีออสมิน)	7
ตารางที่ 2	ชนิดของแอคติโนมัยซิสที่ผลิตสารจีออสมิน และเอ็มไอบี	8
ตารางที่ 3	ค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำจากการทดลองประสิทธิภาพของการใช้ถ่านไม้ที่มี biofilm ต่อการลดกลิ่นไม่พึงประสงค์ในน้ำ	17
ตารางที่ 4	ปริมาณแพลงก์ตอนพืชในการทดลองประสิทธิภาพของการใช้ถ่านไม้ที่มี biofilm ต่อการลดกลิ่นไม่พึงประสงค์ในน้ำ	19
ตารางที่ 5	กลิ่นไม่พึงประสงค์ (จีออสมินและเอ็มไอบี) ในน้ำที่ผ่าน Bioreactor ที่แตกต่างกัน	24

สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพที่ 1	การสังเคราะห์สารจีออสมิน และเอ็มไอบีในวิถีเทอร์ปีน (terpene pathway)	6
ภาพที่ 2	การวิเคราะห์สารจีออสมินและเอ็มไอบี โดยใช้เครื่อง GC/MS (ตามวิธีของ Grimm *et al.* ,2004)	15
ภาพที่ 3	การเตรียมถ่านไม้เป็นชิ้นเล็กๆขนาด 2-3 เซนติเมตร	15
ภาพที่ 4	การออกแบบ Bioreactor ที่ใช้ถ่านไม้	15
ภาพที่ 5	การติดตั้ง Bioreactor ที่ใช้ถ่านไม้ในบ่อปลานิล	16
ภาพที่ 6	ปริมาณแพลงก์ตอนพืชรวมทั้งหมดที่พบในแต่ละ Bioreactor	18
ภาพที่ 7	ชนิดของแพลงก์ตอนพืชในการทดลองประสิทธิภาพของการใช้ถ่านไม้ที่มี biofilm ต่อการลดกลิ่นไม่พึงประสงค์ในน้ำ (A) : *Chlorella* sp., (B) : *Dictyophaerium* sp., (C) : *Phacus* sp., (D) : *Microcystis* sp., (E) : *Euglena* sp. และ (F) : *Scenedesmus* sp.	22
ภาพที่ 8	ชนิดของแพลงก์ตอนพืชในการทดลองประสิทธิภาพของการใช้ถ่านไม้ที่มี biofilm ต่อการลดกลิ่นไม่พึงประสงค์ในน้ำ (A) *Merismopedia* sp., (B) *Anabaena* sp., (C) *Microcystis* sp. และ (D) *Oscillatoria* sp.	23
ภาพที่ 9	เปรียบเทียบน้ำจากบ่อปลาที่ผ่าน Bioreactor ไม่บรรจุถ่านไม้กับน้ำที่ผ่าน Bioreactor ที่บรรจุถ่านไม้	24

ระบบกำจัดกลิ่นไม่พึงประสงค์ (จีออสมินและเอ็มไอบี) ในน้ำจากบ่อเลี้ยงปลา โดยใช้ปลานิลและถ่านไม้

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

นิวุฒิ หวังชัย[1] เทพรัตน์ อึ้งเศรษฐพันธ์[1] และ Nakao Nomura[2]

Niwooti Whangchai[1], Thepparath Ungsethaphand[1] and Nakao Nomura[2]

[1]คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

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

---

บทคัดย่อ

การแพร่กระจายของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินชนิดเส้นสายในบ่อเลี้ยงปลาส่งผลให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ (off-flavor) ในน้ำและเนื้อปลา จึงได้มีการคิดค้นวิธีกำจัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและกำจัดกลิ่นในน้ำ ซึ่งการใช้ถ่านไม้ในการกำจัดสารที่ก่อให้เกิดกลิ่นอีกวิธีหนึ่งที่น่าสนใจเนื่องจากมีความปลอดภัยมากกว่าใช้สารเคมีในการกำจัดสาหร่าย งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการใช้ถ่านไม้ที่มี biofilm ต่อการลดกลิ่นไม่พึงประสงค์ในน้ำ โดยทำการเปรียบเทียบผลของ Bioreactor ไม่บรรจุถ่านไม้ (ชุดควบคุม) (T1) กับ Bioreactor ที่บรรจุถ่านไม้ไม่ติด Biofilm (T2) และ Bioreactor ที่บรรจุถ่านไม้ติด Biofilm (T3) ต่อการลดกลิ่นไม่พึงประสงค์ในน้ำในบ่อเลี้ยงปลานิล เป็นเวลา 6 เดือน จากการทดลองที่ผ่านมา พบว่า Bioreactor ที่บรรจุถ่านไม้ไม่ติด Biofilm (T2) และ Bioreactor ที่บรรจุถ่านไม้ติด Biofilm (T3) สามารถลดสามารถลดปริมาณแพลงก์ตอนพืชเฉลี่ยรวมทั้งหมดได้ถึง 89.4 และ 95.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ส่วนปริมาณจีออสมินในน้ำจากทุกชุดการทดลองมีค่าน้อยกว่าระดับที่ยอมรับได้ (threshold level) คือ 0.9 ไมโครกรัมต่อลิตร และปริมาณสารเอ็มไอบีในน้ำตัวอย่างจาก Bioreactor ที่บรรจุถ่านไม้ไม่ติด Biofilm (T2) และ Bioreactor ที่บรรจุถ่านไม้ติด Biofilm (T3) มีค่าเฉลี่ยปริมาณสารเอ็มไอบีต่ำกว่าระดับที่ยอมรับได้ 0.6 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม และยังมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

คำสำคัญ: กลิ่นไม่พึงประสงค์, จีออสมิน, เอ็มไอบี, ปลานิล, ถ่านไม้, biofilm, bioreactor

ABSTRACT

The presence of filamentous blue-green algae blooms in fish ponds can impart off-flavor to water and fish. The application of physiological and biological technique to control blue green algae is an attractive alternative because it is safer than using chemicals to kill algae. This study aims to investigate the performance of a charcoal wood and biofilm on reduction of chlorophyll a and odors in the water. The performance of bioreactor withouth wood charchoal (T1) and bioreactor with wood charchoal with and without Biofilm (T2 and T3). The experiment was conducted for 60 days. Results show that T2 and T3 could reduce chlorophyll-a and total suspended solids in water significantly. The relative percent removals were 89.4% and 95.7% respectively. In addition, this system of T2 and T3 showed the reduction of MIB effectively. The removal mechanism may cause by porous traping and biodegradation.

Key word: Off-flavor; Geosmin; MIB; Nile tilapia; Wood charcoal; Biofilm; Bioreactor

บทนำ

การเลี้ยงปลาเพื่อการส่งออกเป็นธุรกิจหนึ่งที่เกษตรกรให้ความสนใจ โดยเฉพาะการเลี้ยงปลาเชิงพาณิชย์ 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 การใช้สารเคมีหรือการตายของแพลงก์ตอนจะทำให้ มีสาร off flavor ออกมาจากเซลล์ที่แตกหักหรือตาย (post bloom effect) ซึ่งถ่านไม้จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำในบ่อเลี้ยงปลา โดยเศษอินทรีย์วัตถุต่างๆ ในน้ำจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ ที่อยู่ในรูพรุนของถ่านไม้ (วินัย และคณะ, 2547)

ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งเน้นความปลอดภัยของอาหาร (Food safety) ที่ผลิตโดยไม่ใช้สารเคมีในการกำจัดแพลงก์ตอน แต่ใช้ถ่านไม้ที่มี biofilm ในการลดแพลงก์ตอนและตะกอนที่ก่อให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ในน้ำ

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการใช้ถ่านไม้ที่มี biofilm ต่อคุณภาพน้ำและปริมาณของแพลงก์ตอนในบ่อเลี้ยงปลา

2. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการใช้ถ่านไม้ที่มี biofilm ต่อการลดกลิ่นไม่พึงประสงค์ในน้ำจากบ่อเลี้ยงปลา

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เขียนบทความทางวิชาการตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ เช่น วารสารการประมง วารสารเทคโนโลยีชาวบ้าน หรือเสนอผลงานในที่ประชุมวิชาการ อย่างน้อย 2 เรื่อง

2. เจ้าหน้าที่ประมง กรมประมง สามารถนำผลการวิจัยไปเผยแพร่สู่เกษตรกรได้

3. ผลิตนักศึกศึกษาระดับปริญญาโท 1คน/ปี

4. ถ่านไม้สามารถลดปริมาณแพลงก์ตอนและกลิ่นไม่พึงประสงค์ในบ่อเลี้ยงปลาได้ โดยไม่ต้องใช้สารเคมี

การตรวจเอกสาร

1. การกินอาหารของปลานิล

ปลานิลเป็นปลาที่ประชาชนนิยมเลี้ยงกันมากชนิดหนึ่งทั้งในรูปแบบการค้า และเลี้ยงไว้บริโภคในครัวเรือน ทั้งนี้ เนื่องจากปลานิลเป็นปลาที่เลี้ยงง่าย กินอาหารได้แทบทุกชนิด เนื้อมีรสชาติดีตลาดมีความต้องการสูง การเลี้ยงปลาชนิดนี้เพื่อผลิตจำหน่ายจึงมีความจำเป็นที่จะต้องพิจารณาช่วยลดต้นทุนการผลิตให้มากที่สุดในเรื่องอาหารปลาที่จะนำไปใช้เลี้ยง

การเลี้ยงปลานิลแบบผสมผสาน เป็นระบบการเกษตรที่ใช้ประโยชน์จากของเหลือระบบหนึ่งแล้วก่อให้เกิดประโยชน์อีกระบบ เป็นระบบการเลี้ยงปลาที่นิยมปฏิบัติกันทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ เช่น จีน ไต้หวัน ฮ่องกง ญี่ปุ่น ฮังการี เนื่องจากเป็นระบบการผลิตสัตว์น้ำและสัตว์บกที่เอื้ออำนวยประโยชน์ให้แก่กันและกันเป็นอย่างดี ซึ่งเป็นระบบการผลิตทางการเกษตรที่มีประสิทธิภาพสูงมากระบบหนึ่ง ข้อดี คือ เศษเหลือจากสัตว์บกสามารถนำกลับมาใช้ได้อีก เช่น มูลสัตว์ ซึ่งจะกลายเป็นอาหารปลา และเป็นปุ๋ยสำหรับบ่อปลา ทำให้ลดค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ได้ เช่น ค่าอาหารปลา ค่าอาหารสัตว์ ค่าปุ๋ย (ปกรณ์ และคณะ, 2541) ส่วนการเลือกสัตว์ที่จะนำมาเลี้ยงในระบบการผสมผสานร่วมกับปลานั้นจำเป็นต้องมีคอกเพื่อใช้เลี้ยงสัตว์ และคอกสัตว์ต้องมีความสัมพันธ์กับการเลี้ยงปลาด้วย

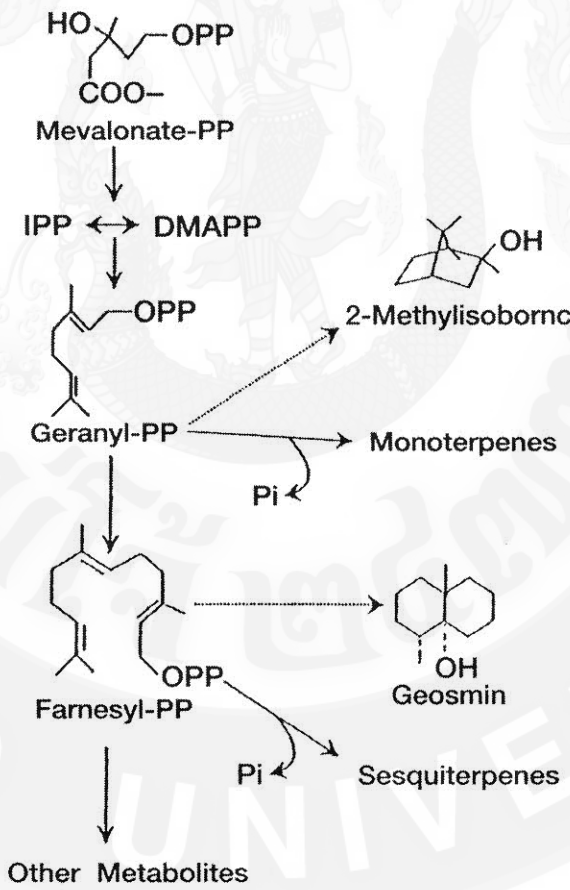
Lovell (1989) รายงานว่าปลานิล สกุล *Oreochromis* จัดเป็นพวก Microphagous ที่กินพวกพืช แพลงก์ตอนพืชแพลงก์ตอนสัตว์ขนาดเล็ก นอกจากนี้ *Staphylococcus aureus* สามารถย่อย Filamentous green algae ได้ 63-70 เปอร์เซ็นต์ และ ย่อย *Microcystis sp.* ได้ 57-68 เปอร์เซ็นต์

2. กลิ่นโคลนหรือกลิ่นไม่พึงประสงค์ (off-flavor)

กลิ่นโคลน (musty/earthy off-flavor) ส่งผลกระทบต่อการส่งออกสัตว์น้ำและอุตสาหกรรมทางด้านประมงอย่างมาก เนื่องจากกลิ่นโคลนเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผู้บริโภคสัตว์น้ำไม่ยอมรับ (Persson, 1982)

กลิ่นโคลนเกิดจากสารที่จำเพาะเจาะจงหลายอย่าง ซึ่งทำให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ในสัตว์น้ำ แต่สารที่เป็นตัวหลักที่ก่อให้เกิดกลิ่นโคลนมี 2 ชนิด คือ จีออสมิน (1α, 10β-dimethyl-9 α-decalol: geosmin) และเอ็มไอบี (2-methylisoborneol: MIB) โดยเป็นสารประกอบแอลกอฮอล์อิ่มตัว (Saturated cyclic tertiary alcohol) ที่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและแบคทีเรียบางชนิดสังเคราะห์ขึ้นในวิถีเทอร์ปีน (terpene pathway) โดยสารประกอบจีออสมินสร้างขึ้นจากสารประกอบฟานิซิล-ไพโรฟอสเฟต (Farnesyl-PP) และสารประกอบเอ็มไอบีสร้างขึ้นจาก

สารประกอบเจอรานิล-ไพโร ฟอสเฟต (Geranyl-PP) จีออสมินเป็นสาร secondary product จากปฏิกิริยาเมตาบอลิซึมที่เกิดขึ้นจากการสังเคราะห์ทางชีวภาพในไอโซพรีนอยด์ พาทเวย์ (isoprenoid pathway) ในสิ่งมีชีวิตกลุ่มสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินโดยจีออสมินจะเกิดจากการสังเคราะห์ทางชีวภาพในคาโรทีนอยด์ พาทเวย์ (carotenoid pathway) และขั้นตอนการเกิดโฟโตเทล (phototial) ของคลอโรฟิลล์ เอ (chlorophyll *a*) ดังนั้น จีออสมินจึงเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ เอ ด้วยเหตุนี้เมื่ออยู่ภายใต้สภาวะการเจริญเติบโตที่จำกัดสารประกอบจีออสมินจึงถูกสะสมเพิ่มขึ้น แต่ก็พบว่าสัดส่วนของจีออสมินกับคลอโรฟิลล์ เอจะมีความไม่แน่นอน ส่วนสารประกอบเอ็มไอบีถูกสังเคราะห์โดยไอโซพรีนอยด์ พาทเวย์ เช่นเดียวกับจีออสมินในสิ่งมีชีวิตกลุ่ม *Actinomycetes* spp. และสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (Van Der Ploeg, 1989)



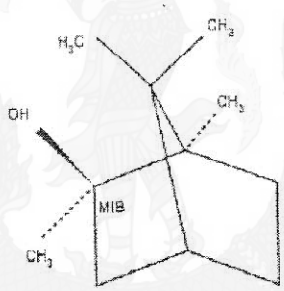
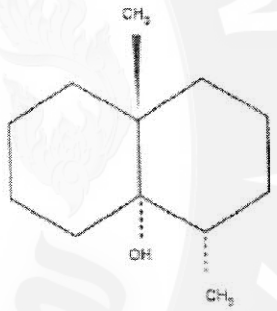
ภาพที่ 1 การสังเคราะห์สารจีออสมิน และเอ็มไอบีในวิถีเทอร์ปีน (terpene pathway)

IPP = isopentenyl pyrophosphate DMAPP = dimethylallyl pyrophosphate

Pi = inorganic phosphate

ที่มา : Johnsen and Dionigi (1994)

ตารางที่ 1 ลักษณะทางเคมีและฟิสิกส์ของกลิ่นไม่พึงประสงค์ (เอ็มไอบี และจีออสมิน)

Parameter	MIB (2-methylisoborneol)	Geosmin
Full Name	(1-R-exo)-1,2,7,7-tetramethyl bucyclo-[2,2,1]-heptan-2-1	Tran-1, 10-dimethyl-trans-9-decalol
Molecular Fomula	$C_{11}H_{20}O$	$C_{12}H_{22}O$
Molecular Weight (g/mole)	168	182
Boiling Point (^{0}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)	$5.76x10^{-5}$	$6.66x10^{-5}$
Structure		

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

สารประกอบจีออสมิน (trans–1, 10,–dimethyl–trans–9–decalol) ($C_{12}H_{20}O$) และสารประกอบเอ็มไอบี (2–methylisoborneol) หรือ 1,2,7,7-tetramethyl bucyclo-[2,2,1]-heptan-2-1 heptan–2–ol ($C_{11}H_{20}O$) เป็นสารประกอบพวกแอลกอฮอล์อิ่มตัวที่ระเหยได้ โครงสร้างประกอบด้วยหมู่เมทิลและหมู่ไฮดรอกซิล (Izaguirre *et al*., 1982) (ตาราง 1) สารประกอบทั้งสองชนิดมีคุณสมบัติทั่วไป คือ ละลายในไขมันได้ดี โดยกระจายตัวและสะสมในเนื้อเยื่อที่มีส่วนประกอบของไขมันสูง เมื่อเกิดการสะสมในร่างกายจะกำจัดออกได้ยากจึงก่อให้เกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ (Johnsen *et al*., 1996) แต่อย่างไรก็ตาม สารประกอบทั้งสองชนิดไม่เป็นพิษต่อเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต และไม่ก่อให้เกิดการกลายพันธุ์ (Dionigi *et al*., 1993)

ปัญหากลิ่นโคลนอาจเกิดขึ้นเนื่องจากปลากินสารประกอบกลิ่นโคลนเข้าไปโดยตรงหรือมีการปนเปื้อนกับสิ่งที่ปลากิน หรือผ่านเข้าสู่ตัวปลาโดยการดูดซึมในส่วนของอวัยวะต่างๆ (Tanchotikul, 1990) สัตว์น้ำสามารถดูดซึมสารเมททาบอไลต์ที่ก่อให้เกิดกลิ่นโคลนผ่าน

เหงือกหรือเนื้อเยื่อต่างๆ ที่สัมผัสน้ำ มากกว่าการกินสาหร่ายหรือแบคทีเรียที่ผลิตสารโดยตรง (Form and Horlyck, 1984) ไปสะสมอยู่ในร่างกายโดยเฉพาะเนื้อเยื่อที่มีไขมันสูง (Martin *et al.*, 1990) ส่วน Rungreungwudhikrai (1995) ที่พบว่าปลานิลจากบ่อเลี้ยงในภาคกลางมีความเข้มข้นของสารกลิ่นโคลนในเนื้อที่สูง เมื่อใช้อาหารสำเร็จรูปร่วมกับการใช้ปุ๋ยในบ่อ โดยบ่อที่ใส่ปุ๋ยยูเรียมีผลให้ปริมาณสารกลิ่นโคลนในเนื้อสูงกว่าการใช้ปุ๋ยมูลสัตว์ ส่วนบ่อที่ให้อาหารสำเร็จรูปอย่างเดียวพบว่ามีผลให้สารกลิ่นโคลนในเนื้อปลาต่ำ

ตารางที่ 2 ชนิดของแอคติโนมัยซิสที่ผลิตสารจีออสมิน และเอ็มไอบี

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

ที่มา : Jüttner and Watson (2007)

Casey *et al.* (2004) ได้ทำการทดสอบหากลิ่นโคลนในเนื้อปลากดอเมริกัน โดยใช้วิธีการทดสอบทางประสาทสัมผัส วิธีการสกัดของแข็งและวิธีเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟฟี พบว่าปลากดอเมริกันที่ทำการสุ่มตรวจพบว่ามีสารประกอบเอ็มไอบีมีค่าอยู่ที่ 0.1 และ 0.2 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนสารประกอบจีออสมินมีค่าอยู่ที่ 0.25 และ 0.5 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งพบว่าปริมาณสารประกอบจีออสมินมีปริมาณมากกว่าสารประกอบเอ็มไอบี Yamprayoon and Noomhorm (2000) ได้ทำการศึกษาการดูดซึมและการแพร่กระจายทางชีวภาพของสารจีออสมินใน

ปลานิล พบว่า การพักปลานิลในน้ำที่มีสารละลายจีออสมินเข้มข้น 5 ไมโครกรัมต่อลิตร ทำให้ปลานิลค่อยๆ ดูดซึมสารจีออสมินเข้าสู่ตัวเพิ่มขึ้น โดยแพร่กระจายไปยังส่วนต่างๆ ของร่างกายปลาตั้งแต่เวลา 0-72 ชั่วโมง สุพรรษา และคณะ (2551) ศึกษาผลของอาหารต่อการเจริญเติบ โตและการสะสมกลิ่นไม่พึงประสงค์ในปลาบึก พบว่าปลาที่ได้รับอาหารในอัตรา 100 % ของปริมาณอาหารที่ให้ปลากินจนอิ่ม จะมีการเจริญเติบโตดีที่สุด และทำให้การสะสมปริมาณสารจีออสมินและเอ็มไอบีน้อยที่สุด ส่วนสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินก็เป็นสาเหตุหนึ่งที่มีผลต่อปริมาณสารเอ็มไอบีและจีออสมินในน้ำ ถ้าในบ่อเลี้ยงมีสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินจำนวนมาก ก็จะพบว่าความเข้มข้นของจีออสมินและเอ็มไอบีในน้ำก็จะมีความเข้มข้นที่สูงเช่นกัน (Van Der Ploeg and Boyd, 1991) สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเจริญได้ดี ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนละลายในน้ำอยู่น้อย เนื่องมาจากหากสภาวะที่น้ำมีปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำสูง จะส่งผลทำให้สาหร่ายกลุ่มนี้ไม่สามารถจับกับไนโตรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ได้ เมื่อสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเติบโต และรวมตัวกันอย่างหนาแน่นบริเวณพื้นผิว ทำให้การส่องผ่านของแสงแดดลงสู่น้ำลดลง มีผลไปยับยั้งการเจริญของพืชน้ำชนิดอื่นๆ ที่ผลิตออกซิเจนในน้ำ (Milie *et al*., 1992)

ปัจจัยที่ส่งผลทำให้เกิดการสะสมกลิ่นโคลนในสัตว์น้ำ ได้แก่ ปริมาณสารอาหารในน้ำ โดย Sivonen (1982) รายงานว่า ในสภาวะที่ธาตุอาหารในน้ำสูงมาก ซึ่งเป็นผลมาจากการให้อาหารสัตว์น้ำที่มากเกินไป ส่งผลทำให้มีอาหารตกค้างภายในบ่อ หรือเกิดจากการเลี้ยงปลาที่หนาแน่นเกินไป และระบบการจัดการในการเลี้ยงที่ไม่ดี ก็เป็นสาเหตุทำให้มีการสะสมของธาตุอาหารโดยเฉพาะไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่ก้นบ่อมาก ดังนั้น เพื่อป้องกันปัญหาควรมีการจัดการเกี่ยวกับระบบน้ำที่ใช้ทำการเพาะเลี้ยง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเชิงชีวภาพ (Yurkowski and Tabachek, 1980) สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสามารถเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วในน้ำที่มีอุณหภูมิสูงช่วง 25–35 องศาเซลเซียส โดย Martin *et al*. (1987) พบว่าน้ำที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 30 องศาเซลเซียส จะทำให้ปลามีกลิ่นโคลนเกิดขึ้นได้ ส่วน Johnsen and Lloyd (1992) กล่าวว่า การดูดซึมและสะสมสารที่ก่อให้เกิดกลิ่นโคลนขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น อุณหภูมิของน้ำ ปริมาณไขมันในปลา โดยปลาที่มีปริมาณไขมันมากสามารถสะสมสารประกอบกลิ่นได้มากกว่าปลาที่มีไขมันต่ำ

3. การป้องกันและกำจัดกลิ่นไม่พึงประสงค์

3.1 การป้องกันกลิ่นโคลนที่เกิดขึ้นในระหว่างการเพาะเลี้ยง ปัญหากลิ่นโคลนที่พบในสัตว์น้ำมักเกิดขึ้นกับฟาร์มที่มีระบบการจัดการที่ไม่ดี ส่งผลกระทบต่ออุตสาหกรรมต่อเนื่องอื่นๆ ดังนั้น ฟาร์มต่างๆ ควรมีระบบการควบคุมและป้องกันไม่ให้เกิดกลิ่นโคลนขึ้น (ทวีทรัพย์, 2542) แต่เนื่องจากการควบคุมการเจริญของสิ่งมีชีวิตที่สร้างสารให้กลิ่นโคลนเป็นสิ่งที่ทำได้ยาก ถ้า

สภาพน้ำที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงมีสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตที่ผลิตสารให้กลิ่นโคลนอยู่มาก แต่ก็ทำได้ Lovell (1976) แนะนำว่า ควรมีวิธีการให้อาหารและการควบคุมปริมาณอาหารให้เหมาะสม และให้อาหารที่ดีมีของเสียเหลือน้อยที่สุด เพื่อไม่ให้มีสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญของสาหร่ายที่ทำให้เกิดกลิ่นโคลนหรือถ้าเป็นไปได้ควรทำการเปลี่ยนน้ำในบ่อเลี้ยงเพื่อกำจัดเศษสารอาหารที่เหลือในบ่อ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อปลาเกิดปัญหามีกลิ่นโคลนรุนแรงทำให้ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค เกษตรกรจึงหาวิธีการต่างๆ เพื่อที่จะกำจัดและควบคุมไม่ให้ปลามีกลิ่นโคลน ก็มีการปฏิบัติกันมากในเกษตรกรผู้เลี้ยงปลา catfish ในประเทศสหรัฐอเมริกาโดยใช้สารคอปเปอร์ซัลเฟต เติมลงในน้ำเพื่อทำลายเซลล์สาหร่าย แต่วิธีนี้ก็เป็นสาเหตุที่ทำให้ปริมาณออกซิเจนในบ่อลดลงและเป็นการแก้ปัญหาเพียงชั่วคราวเท่านั้น เพราะสารให้กลิ่นโคลนที่สะสมอยู่ในอนุภาคต่างๆ ของเซลล์แตก และถูกดูดซึมเข้าสู่ตัวปลาอย่างรวดเร็ว (Van Der Ploeg and Boyd, 1991) อีกทั้ง สารประกอบที่ให้กลิ่นโคลนทั้งจีออสมินและเอ็มไอบียังทนต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีจึงยากที่จะใช้สารเคมีกำจัดให้หมดไป

3.2 การกำจัดกลิ่นโคลนในปลามีชีวิต ปัจจุบันมีรายงานการศึกษาวิธีการกำจัดกลิ่นโคลนที่เหมาะสมและให้ผลดี คือ การย้ายปลามาพักในบ่อที่มีน้ำสะอาดหลังจากจับปลามาในสภาพยังมีชีวิต เพื่อให้ปลากำจัดกลิ่นออกจนกว่าคุณภาพทางด้านกลิ่น-รสจะเป็นที่ยอมรับ อย่างไรก็ตามยังคงไม่ทราบกลไกที่แน่ชัดในการกำจัดกลิ่นโคลนออกจากตัวอย่าง (Johnson *et al.*, 1996) ในปลากดอเมริกันสามารถลดกลิ่นโคลนลงได้ด้วยการพักปลาไว้ในน้ำสะอาดที่ผ่านการกรองมาแล้วเป็นเวลาหลายๆ วัน (Yurkowski and Tabachek, 1980)

4. ถ่านไม้ (Charcoal)

โดยทั่วไปแล้วถ่านไม้จะมีสีดำ นุ่มและมีเปลือกไม้ติดอยู่ มีสมบัติที่ติดไฟง่ายและมีพลังงานความร้อนเพียงพอที่จะหลอมละลายโลหะและเหล็กได้ ถ่านเกือบทั้งหมดที่มีการผลิตทั่วโลกจะมีความคล้ายคลึงกับถ่านชนิดนี้เผาที่อุณหภูมิระหว่าง 500 – 700 องศาเซลเซียส ส่วนประกอบของเนื้อไม้ทุกชนิด ประกอบไปด้วยแร่ธาตุและสารต่างๆ เมื่อนำมาเป็นเชื้อเพลิงทั้งในรูปของฟืนและถ่าน ขณะเผาไหม้ส่วนประกอบของแร่ธาตุและสารต่างๆ จะระเหยออกมาในรูปของไอร้อนและกลิ่น ซึ่งสำคัญที่สุดคือควัน ส่วนประกอบและสารต่างๆ ดังกล่าวจะมีสารตัวหนึ่งคือ สารทาร์(Tar) ถูกสกัดออกมาด้วยซึ่งวงการแพทย์ยอมรับว่า สารทาร์ คือสารก่อมะเร็งตัวหนึ่ง ถ่านที่นำมาเป็นเชื้อเพลิงในการหุงหาอาหาร หรือใช้ถ่าน ปิ้ง ย่าง อาหาร จึงควรใช้ถ่านที่ผ่านกรรมวิธีการผลิตที่ทำให้ไม้กลายเป็นถ่านสมบูรณ์ที่สุด (วินัย และคณะ, 2547)

4.1 การใช้ประโยชน์จากถ่านไม้

ผลผลิตถ่านไม้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากกว่าที่หลายท่านเข้าใจกันเพียงแต่นำไปใช้เพื่อเป็นเชื้อเพลิงหุงต้มในครัวเรือนเท่านั้น

4.1.1. การใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม

ถ่านบริสุทธิ์เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมผลิตสารเคมีต่าง ๆ เช่น คาร์บอนไดซัลไฟด์ (Carbondisulfide), โซเดียมไซยาไนด์ (Sodium Cyanide) ซิลิคอนคาร์ไบด์ (Silicon Carbide) หรือถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) เป็นต้น ถ่านกัมมันต์ ที่ได้จากถ่านไม้ที่มีค่าคาร์บอนเสถียรสูง (High Fixed Carbon) ใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอีกหลากหลาย อาทิใช้ในระบบกรองและบำบัดอุตสาหกรรมน้ำดื่ม ระบบผลิตน้ำประปา ระบบบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้ประโยชน์จากคาร์บอนในอุตสาหกรรมโลหะหรือใช้ขี้เถ้าเพื่อเพิ่มคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ ให้แข็งตัวช้า และมีความแข็งแกร่งขึ้น ฯลฯ (วินัย และคณะ, 2547)

4.1.2. การใช้ประโยชน์ในครัวเรือน

คุณสมบัติในการดูดซับกลิ่นและความชื้นของถ่าน เป็นที่รับรู้กันดีแล้วสำหรับผู้อ่าน แต่ในต่างประเทศ อุตสาหกรรมผลิตเครื่องประดับจากถ่านเพื่อใช้ประโยชน์ในบ้านเรือนได้รับความนิยมมาก คนญี่ปุ่น เป็นตัวอย่างของผู้ที่มองเห็นคุณประโยชน์ของถ่านอย่างชัดเจนการใช้ถ่านเพื่อทำหน้าที่ลดกลิ่นในห้องปรับอากาศ มีประสิทธิภาพที่ดีมาก ในห้องแอร์ ที่ทำงานหรือในรถ โดยเฉพาะที่ที่มีผู้สูบบุหรี่ หรืออาจจะมีเชื่อจุลินทรีย์ ควรนำถ่านไม้ไปวางดักไว้ที่ช่องดูดอากาศกลับของเครื่องดูดอากาศ รูพรุนและจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในถ่านไม้จะดูดซับกลิ่นและเชื้อโรคต่าง ๆ เอาไว้ ช่วยลดกลิ่นไม่พึงประสงค์ได้อย่างดี หรือจะใช้ถ่านเพื่อการบำบัดน้ำเสียจากครัวเรือน ก่อนปล่อยสู่ท่อระบายสาธารณะก็ยังเป็นผลดีต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย (วินัย และคณะ, 2547)

4.1.3. การใช้ประโยชน์ในการเกษตร

ในภาคการผลิตเชิงเกษตร การนำถ่านไม้มาใช้ประโยชน์นับว่ามีคุณค่าที่น่าสนใจไม่น้อย เนื่องจากถ่านมีคุณสมบัติที่ไม่เป็นพิษภัยต่อพืชและสัตว์จึงสามารถใช้ทดแทนสารเคมีราคาแพงได้อย่างกว้างขวางและมีประสิทธิภาพไม่แพ้กันทีเดียว (วินัย และคณะ, 2547)

-ใช้เป็นสารปรับปรุงดิน ถ่านไม้จะมีรูพรุนมากมาย เมื่อใส่ถ่านป่นลงในดินจะช่วยปรับสภาพดินให้ร่วนซุย อุ้มน้ำได้ดีขึ้นส่งผลให้รากพืชขยายตัวอย่างรวดเร็วช่วยลดการใช้ปุ๋ยเพราะสมบัติต่าง ๆ ของจุลธาตุที่มีอยู่หลายชนิดในแท่งถ่าน จะเป็นประโยชน์ให้แก่พืชที่ปลูก (วินัย และคณะ, 2547)

-ถ่านไม้ที่นำมาใช้ปรับปรุงดินควรเป็นเศษถ่าน ขนาดไม่เกิน 5 มิลลิเมตร โดยอาจจะเป็นถ่านแกลบหรือถ่านชานอ้อย แต่ควรระวังขี้เถ้าซึ่งมีฤทธิ์เป็นด่างสูงเพราะพืชก็ไม่ชอบดินที่มีค่าเป็นด่างสูงควรรักษาค่าเป็นกรดด่างของดินไว้ที่ pH 6.0 – 6.8 (วินัย และคณะ, 2547)

-ปรับปรุงคุณภาพแหล่งน้ำ นำถ่านไม้ใส่กระสอบ (ในปริมาณที่สอดคล้องกับประมาณแหล่งน้ำ) ไว้ที่ก้นบ่อ และจัดให้มีการไหลเวียนน้ำบริเวณกระสอบถ่านนั้น เศษอินทรีย์วัตถุต่าง ๆ ในน้ำจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ ที่อยู่ในรูพรุนของถ่าน ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพระบบบำบัดน้ำในบ่อเลี้ยงปลาหรือกุ้งได้ เช่นกัน (วินัย และคณะ, 2547)

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

1. การวางแผนการทดลอง

เตรียมถ่านไม้ที่หาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาด ทำให้เป็นชิ้นขนาด 2-3 เซนติเมตร บรรจุไว้ในตะกร้าขนาด 0.5x0.5x0.5 ลูกบาศก์เมตร และหุ้มด้วยอวนมุ้งฟ้า ซึ่งใช้เป็น Bioreactor และผ่านน้ำจากบ่อโดยใช้ปั๊มน้ำขนาด 0.5 นิ้ว เพื่อดูดน้ำออกจาก Bioreactor เป็นเวลา 6 เดือน การติด Biofilm ทำได้โดยการแช่ ถ่านไม้ในถังไฟเบอร์ เป็นเวลา 30 วัน และวางแผนการทดลองแบบ CRD (Completely randomized design) แบ่งการทดลองเป็น 3 ชุดการทดลอง แต่ละชุดการทดลองมี 3 ซ้ำ ได้แก่

ชุดการทดลองที่ 1 Bioreactor ไม่บรรจุถ่านไม้ (control)

ชุดการทดลองที่ 2 Bioreactor ที่บรรจุถ่านไม้ไม่ติด Biofilm

ชุดการทดลองที่ 3 Bioreactor ที่บรรจุถ่านไม้ติด Biofilm

2. การวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำ

- อุณหภูมิน้ำ โดยใช้ Thermometer
- ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ โดยใช้ TOA multimeter รุ่น WQC-22A
- ค่าความเป็นกรด-ด่างโดยใช้ pH meter (Schott-Gerate CG 840)
- 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 ดัดแปลงจากวิธี Lee (2000)

3. การวิเคราะห์ความหลากหลายและองค์ประกอบของแพลงก์ตอนพืช

เก็บตัวอย่างแพลงก์ตอนพืช โดยใช้ถุงกรองแพลงก์ตอน กรองน้ำปริมาตร 5 ลิตร ปล่อยน้ำให้ไหลออกจากตาข่ายจนเหลือน้ำประมาณ 35 มิลลิลิตร ทำการเทใส่ในขวดเก็บตัวอย่าง แล้วเก็บรักษาสภาพด้วย Lugol s' solution หลังจากนั้นนำมาจัดจำแนกชนิด และนับปริมาณแพลงก์ตอนพืช ตามวิธีของ ลัดดา (2542)

4. การวิเคราะห์กลิ่นไม่พึงประสงค์ในน้ำ (ภาพ 2 ตามวิธีของ Grimm *et al.* (2004))

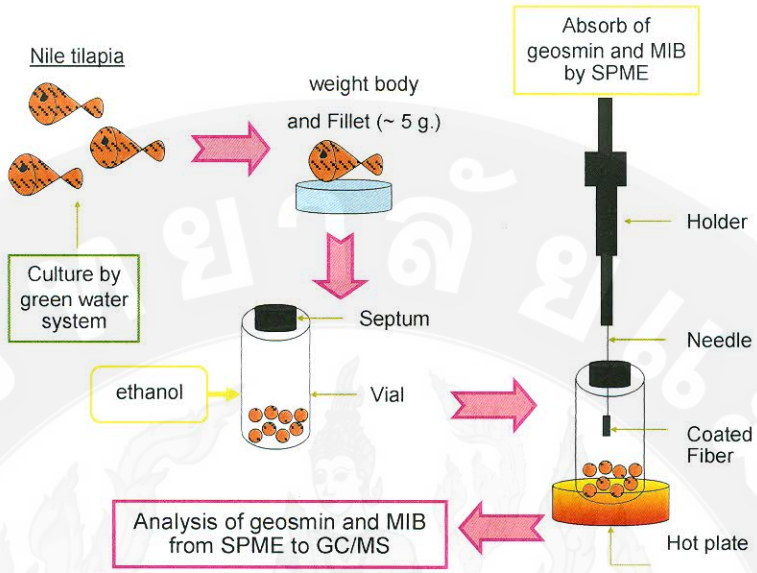
1. เก็บตัวอย่างน้ำ จำนวน 1 ลิตรต่อหน่วยการทดลอง และปลานิลในกระชังในบ่อเลี้ยงปลาเผาะลูกผสม จำนวน 3 ตัวต่อกระชัง ทุกๆ 30 วัน เพื่อนำมาตรวจสอบกลิ่นไม่พึงประสงค์ (จีออสมินและเอ็มไอบี) โดยเตรียมตัวอย่างน้ำ 10 มิลลิลิตร และเนื้อปลานิลที่ปั่นละเอียดนำไปใส่ในขวดไวอัล 5 กรัม พร้อมกับเติมเมทธานอล 10 มิลลิลิตร

2. นำขวดไวอัลที่มีตัวอย่างพร้อมวิเคราะห์ มาเติมโซเดียมคลอไรด์ 1.9 กรัม และใส่ magnetic bar จากนั้นปิดฝาด้วยจุกยางทนความร้อนสูง และฝาอะลูมิเนียม นำขวดไวอัลวางบนเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า และถาดให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 65-70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที แล้วแทงเข็มไฟเบอร์ที่ประกอบเข้ากับอุปกรณ์ SPME เข้าไปในขวดตัวอย่างทิ้งไว้เป็นเวลา 12 นาที เพื่อให้ไฟเบอร์ทำการจับกับสารจีออสมิน และเอ็มไอบีในตัวอย่างน้ำ และเนื้อปลานิล

3. นำชุดอุปกรณ์ SPME ฉีดเข้ากับเครื่อง GC/MS (Agilent Technologies 6890 N Network GC system) เข้าไปตรงตำแหน่งที่ฉีดสารของเครื่อง โดยใช้ Splitless mode ผ่านแคบปิลารีคอลัมน์ (DB-DURABOND) HP-5 (30 m.×0.32 mm. μm. film thickness) ใช้แก๊สฮีเลียมเป็นตัวพาด้วยอัตรา 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)

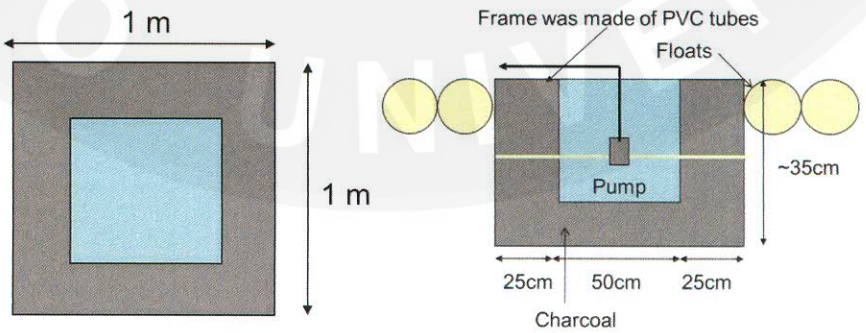
5. สถานที่ทำการทดลอง

คณะเทคโนโลยีการประมงฯ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ สำหรับวิเคราะห์คุณภาพน้ำ สถาบันบริการตรวจสอบคุณภาพและมาตรฐานผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ สำหรับวิเคราะห์สารกลิ่นโคลน (จีออสมินและเอ็มไอบี) โดยใช้เครื่อง GC/MS และบ่อเลี้ยงปลานิลของเกษตรกร อำเภอดอกคำใต้ จังหวัดพะเยา สำหรับติดตั้ง Bioreactor เพื่อการวิจัย



ภาพที่ 2 การวิเคราะห์สารจีออสมินและเอ็มไอบี โดยใช้เครื่อง GC/MS (ตามวิธีของ Grimm *et al.* ,2004)

ภาพที่ 3 การเตรียมถ่านไม้เป็นชิ้นเล็กๆขนาด 2-3 เซนติเมตร



ภาพที่ 4 การออกแบบ Bioreactor ที่ใช้ถ่านไม้

ภาพที่ 5 การติดตั้ง Bioreactor ที่ใช้ถ่านไม้ในบ่อปลานิล

ผลการวิจัย

1. การตรวจสอบคุณสมบัติของน้ำ

จากการทดลองการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการใช้ถ่านไม้ที่มี biofilm ต่อคุณภาพน้ำ โดยแบ่งเป็น 3 ชุดการทดลอง คือ ชุดการทดลองที่ 1 Bioreactor ไม่บรรจุถ่านไม้ (control) (T1) ชุดการทดลองที่ 2 Bioreactor ที่บรรจุถ่านไม้ไม่ติด Biofilm (T2) และชุดการทดลองที่ 3 Bioreactor ที่บรรจุถ่านไม้ติด Biofilm (T3) หลังจาก 6 เดือน พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ระหว่าง 6.9±2.1-8.5±2.2 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 3.9±2.2-8.2±2.8 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ชุดการทดลองที่ 3 (T3) มีค่าต่ำที่สุดค่า Total suspended solid (TSS) มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 24.5±11.7-182.0±68.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่างมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 30.58±75.1-408.4±182.2 ไมโครกรัมต่อลิตร แอมโมเนียรวม 0.7±0.51-3.3±1.7 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.03±0.09-0.2±0.10 มิลลิกรัมต่อลิตรไนไตรท์-ไนโตรเจนมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.002±0.002-0.005±0.002 มิลลิกรัมต่อลิตร และออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.003±0.002-0.011±0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตาราง 3)

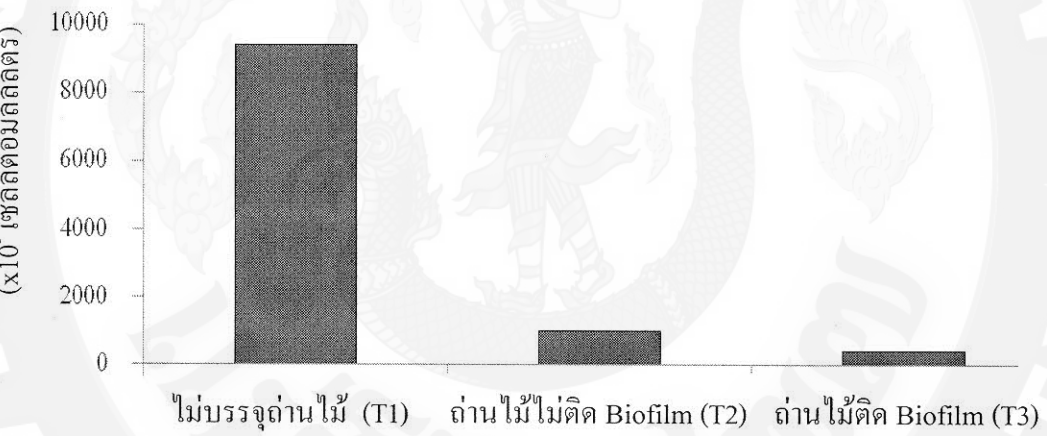
ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำจากการทดลองประสิทธิภาพของการใช้ถ่านไม้ที่มี biofilm ต่อการลดกลิ่นไม่พึงประสงค์ในน้ำ

พารามิเตอร์	Bioreactor		
	ไม่บรรจุถ่านไม้ (T1)	ถ่านไม้ไม่ติด Biofilm (T2)	ถ่านไม้ติด Biofilm (T3)
pH	8.3±2.1[a]	7.2±1.5[a]	7.0±1.7[a]
DO (mg/l)	8.2±2.8[a]	5.9±2.4[a]	3.9±2.2[a]
TSS (mg/l)	182.0±68.6[a]	37.5±15.3[b]	24.5±11.7[b]
Chlorophyll a (µg/l)	408.4±182.2[a]	52.3±62.4[b]	30.5±75.1[b]
Total Ammonia (mg/l)	0.7±0.51[a]	1.1±1.3[b]	3.3±1.7[b]
Nitrate (mg/l)	0.03±0.09[a]	0.1±0.11[b]	0.2±0.10[b]
Nitrite (mg/l)	0.002±0.002[a]	0.005±0.002[a]	0.002±0.002[a]
Phosphate (mg/l)	0.003±0.002[a]	0.009±0.004[b]	0.011±0.005[b]

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในสดมภ์เดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

2. การวิเคราะห์ความหลากหลายและองค์ประกอบของแพลงก์ตอนพืช

จากการทดลองการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการใช้ถ่านไม้ที่มี biofilm ต่อปริมาณของแพลงก์ตอน โดยแบ่งเป็น 3 ชุดการทดลอง คือ ชุดการทดลองที่ 1 Bioreactor ไม่บรรจุถ่านไม้ (control) (T1) ชุดการทดลองที่ 2 Bioreactor ที่บรรจุถ่านไม้ไม่ติด Biofilm (T2) และชุดการทดลองที่ 3 Bioreactor ที่บรรจุถ่านไม้ติด Biofilm (T3) หลังจาก 6 เดือน พบว่า ชุดการทดลองที่ 1 (T1) มีปริมาณแพลงก์ตอนพืชเฉลี่ยรวมทั้งหมดเท่ากับ $9,403x10^3$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร (คิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์) และชุดการทดลองที่ 2 (T2) มีปริมาณแพลงก์ตอนพืชเฉลี่ยรวมทั้งหมดเท่ากับ $1,006x10^3$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร (คิดเป็น 10.6 เปอร์เซ็นต์) ส่วนชุดการทดลองที่ 3 (T3) มีปริมาณแพลงก์ตอนพืชเฉลี่ยรวมทั้งหมดเท่ากับ $402x10^3$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร (คิดเป็น 4.3 เปอร์เซ็นต์) (ภาพ 6)



ภาพที่ 6 ปริมาณแพลงก์ตอนพืชรวมทั้งหมดที่พบในแต่ละ Bioreactor

ตารางที่ 4 ปริมาณแพลงก์ตอนพืชในการทดลองประสิทธิภาพของการใช้ถ่านไม้ที่มี biofilm ต่อการลดกลิ่นไม่พึงประสงค์ในน้ำ

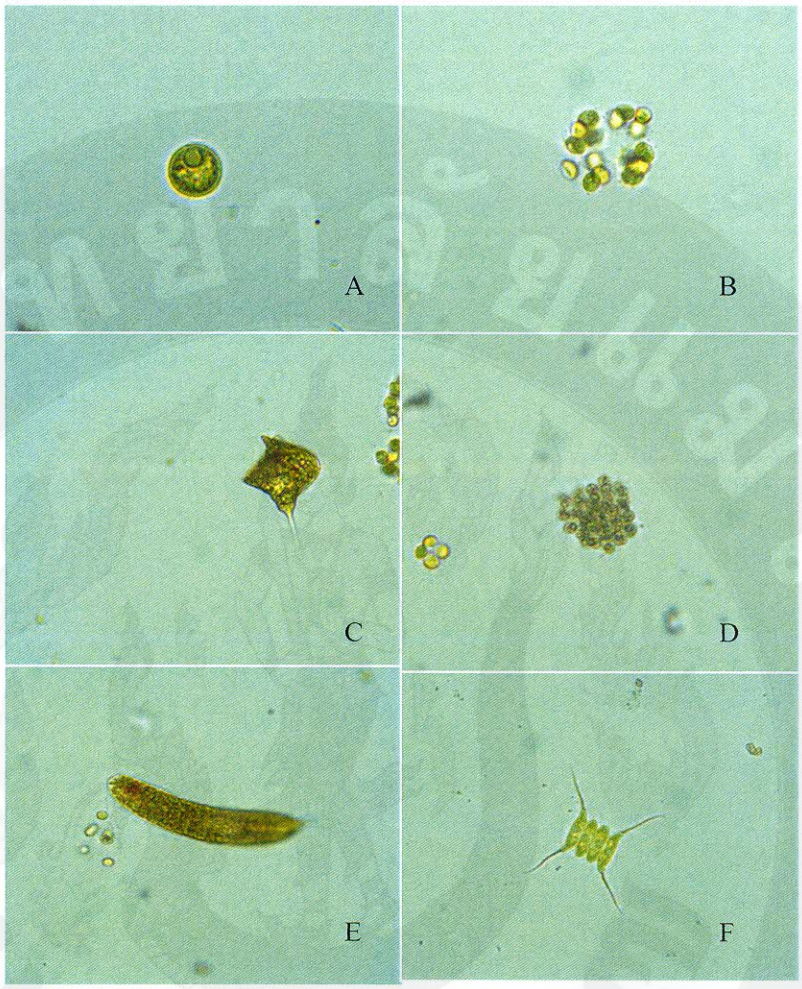
แพลงก์ตอนพืช	Bioreactor		
($x10^3$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร)	ไม่บรรจุถ่านไม้ (T1)	ถ่านไม้ไม่ติด Biofilm (T2)	ถ่านไม้ติด Biofilm (T3)
Cyanophyta			
Anabaena sp.	51	12	
Aphanothece sp.		63	
Cylindrospermum sp.		41	
Cylindrospermopsis sp.	99		
Chroococcidiopsis sp.	22	4	
Chlamydomonas sp.	8	16	
Dictyosphaerium sp.	464	132	13
Eucapsis sp.	2	48	
Merismopedia sp.	283	82	52
Microcystis sp.	311	92	21
Oscillatoria sp.	3		
Planktolyngbya sp.	157	12	10
Pseudanabaena sp.	57	43	
Synechococcus sp.	82	32	9
Chrysophyta			
Aulacoseira sp.	713	17	17
Bacillaria sp.	68		2
Cyclotella sp.	140	21	
Fragilaria sp.	14		
Achnanthes sp	*21*		
Fusbalia sp.	9		
Nitzschia sp.	43		

ตารางที่ 4 (ต่อ) ปริมาณแพลงก์ตอนพืชในการทดลองประสิทธิภาพของการใช้ถ่านไม้ที่มี biofilm ต่อการลดกลิ่นไม่พึงประสงค์ในน้ำ

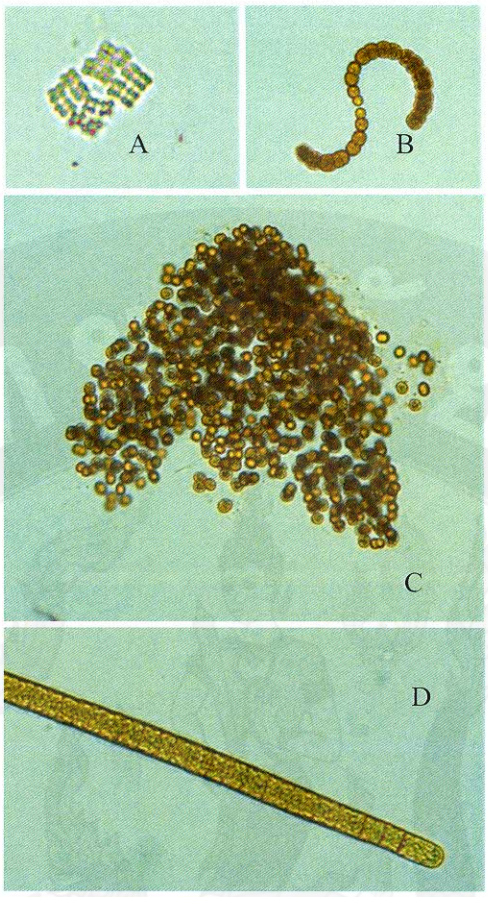
แพลงก์ตอนพืช	Bioreactor		
($x10^3$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร)	ไม่บรรจุถ่านไม้ (T1)	ถ่านไม้ไม่ติด Biofilm (T2)	ถ่านไม้ติด Biofilm (T3)
Chlorophyta			
Actinastrum sp.	724		
Ankistrodesmus sp.	6	61	
Closterium sp.	41	4	
Coelastrum sp.	811		64
Crucigeniella sp.	609		
Cylindrocystis sp.	42		
Chlorella sp.	291	71	55
Chaetophora sp.		7	
Cosmarium sp.	580		
Eudorina sp.	910		
Gonatozygon sp.	4	2	
Gonium sp.	116		7
Micractinium sp.			3
Monoraphidium sp.	323	38	51
Oocystis sp.			36
Pandorina sp.	546	35	14
Penium sp.	43	1	3
Pediastrum sp.	249		
Scenedesmus sp.	305	63	34
Staurastrum sp.	52		
Sirogonium sp.	15		
Spondylosium sp.	89	6	

ตารางที่ 4 (ต่อ) ปริมาณแพลงก์ตอนพืชในการทดลองประสิทธิภาพของการใช้ถ่านไม้ที่มี biofilm ต่อการลดกลิ่นไม่พึงประสงค์ในน้ำ

แพลงก์ตอนพืช	Bioreactor		
($x10^3$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร)	ไม่บรรจุถ่านไม้ (T1)	ถ่านไม้ไม่ติด Biofilm (T2)	ถ่านไม้ติด Biofilm (T3)
Tetraspora sp.	2		
Tetrasdron sp.	51	2	
Ulothrix sp.		3	
Dimorphococcus sp.	16		
Elakatothrix sp.	2		
Kirchneriella sp.	450		41
Netrium sp.	6		
Nephrocytium sp.	98		
Oedogonium sp.	6		
Treubaria sp.	6		
Cryptophyta			
Cryptomonas sp.	32		
Euglenophyta			
Euglena sp.	264	52	
Phacus sp	7		
Strombomonas sp.	2		
Trachelomonas sp.	94	2	9



ภาพที่ 7 ชนิดของแพลงก์ตอนพืชในการทดลองประสิทธิภาพของการใช้ถ่านไม้ที่มี biofilm ต่อการลดกลิ่นไม่พึงประสงค์ในน้ำ (A) : *Chlorella* sp., (B) : *Dictyophaerium* sp., (C) : *Phacus* sp., (D) : *Microcystis* sp., (E) : *Euglena* sp. และ (F) : *Scenedesmus* sp.



ภาพที่ 8 ชนิดของแพลงก์ตอนพืชในการทดลองประสิทธิภาพของการใช้ถ่านไม้ที่มี biofilm ต่อการลดกลิ่นไม่พึงประสงค์ในน้ำ (A) *Merismopedia* sp., (B) *Anabaena* sp., (C) *Microcystis* sp. และ (D) *Oscillatoria* sp.

3. การวิเคราะห์กลิ่นไม่พึงประสงค์ในน้ำ

จากการทดลองประสิทธิภาพของการใช้ถ่านไม้ที่มี biofilm ต่อการลดกลิ่นไม่พึงประสงค์ในน้ำ โดยแบ่งเป็น 3 ชุดการทดลอง คือ ชุดการทดลองที่ 1 Bioreactor ไม่บรรจุถ่านไม้ (control) (T1) ชุดการทดลองที่ 2 Bioreactor ที่บรรจุถ่านไม้ไม่ติด Biofilm (T2) และชุดการทดลองที่ 3 Bioreactor ที่บรรจุถ่านไม้ติด Biofilm (T3) หลังจาก 6 เดือน ตรวจพบปริมาณสารจีออสมินในน้ำตัวอย่างจากชุดการทดลองที่ 1 (T1) มีค่าเฉลี่ยสูงสุด 0.34±0.13 ไมโครกรัมต่อลิตร รองลงมาคือ ชุดการทดลองที่ 2 (T2) และชุดการทดลองที่ 3 (T3) 0.08±0.06 และ 0.05±0.02 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และพบว่าปริมาณสารจีออสมินในน้ำตัวอย่างที่ได้จากชุดการทดลองที่ 2 (T2) และชุดการทดลองที่ 3 (T3) มีค่าเฉลี่ยปริมาณสารจีออสมินต่ำ และยังมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

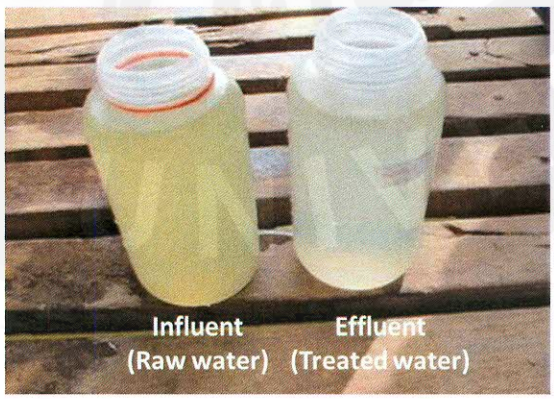
($p<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างน้ำที่ได้จากชุดการทดลองที่ 1 Bioreactor ไม่บรรจุถ่านไม้ (control) (T1)

ส่วนปริมาณสารเอ็มไอบีในน้ำตัวอย่างจากชุดการทดลองที่ 1 (T1) พบว่า มีปริมาณสารเอ็มไอบีเฉลี่ยสูงสุด 1.12±0.17 ไมโครกรัมต่อลิตร รองลงมา คือ ชุดการทดลองที่ 2 (T2) และชุดการทดลองที่ 3 (T3) โดยมีปริมาณสารเอ็มไอบีเฉลี่ย 0.09±0.04 และ 0.07±0.03 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และพบว่า ปริมาณสารเอ็มไอบีเฉลี่ยในน้ำตัวอย่างที่ได้จากชุดการทดลองที่ 2 (T2) และชุดการทดลองที่ 3 (T3) มีค่าเฉลี่ยปริมาณสารเอ็มไอบีต่ำ และยังมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างน้ำที่ได้จากชุดการทดลองที่ 1 Bioreactor ไม่บรรจุถ่านไม้ (control) (T1) (ตาราง 5)

ตารางที่ 5 กลิ่นไม่พึงประสงค์ (จีออสมินและเอ็มไอบี) ในน้ำที่ผ่าน Bioreactor ที่แตกต่างกัน

กลิ่นไม่พึงประสงค์	Bioreactor		
	ไม่บรรจุถ่านไม้ (T1)	ถ่านไม้ไม่ติด Biofilm (T2)	ถ่านไม้ติด Biofilm (T3)
สารจีออสมิน			
น้ำ (µg/l)	0.34±0.13 [a]	0.08±0.06 [b]	0.05±0.02 [b]
สารเอ็มไอบี			
น้ำ (µg/l)	1.12±0.17 [a]	0.09±0.04 [b]	0.07±0.03 [b]

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในแนวนอนเดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)



ภาพที่ 9 เปรียบเทียบน้ำจากบ่อปลาที่ผ่าน Bioreactor ไม่บรรจุถ่านไม้กับน้ำที่ผ่าน Bioreactor ที่บรรจุถ่านไม้

วิจารณ์ผลการวิจัย

จากการศึกษาคุณภาพน้ำครั้งนี้ พบว่า ปริมาณความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เอ ในชุดการทดลองที่ 2 และชุดการทดลองที่ 3 มีค่าลดลง โดยเฉพาะชุดการทดลองที่ 3 เนื่องจากถูกกรองด้วยถ่านไม้และถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ ที่อยู่ในรูพรุนของถ่านไม้ ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพระบบบำบัดน้ำในบ่อเลี้ยงปลาได้ดี (วินัย และคณะ, 2547) ส่วนปริมาณแอมโมเนีย ไนเตรท และออร์โธฟอสเฟต ในชุดการทดลองที่ 2 และชุดการทดลองที่ 3 มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองที่ 1 เนื่องมาจากกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ (Rodrigo *et al.*, 2013) แต่อย่างไรก็ตาม ค่าคุณภาพน้ำที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานแหล่งน้ำผิวดิน ประเภทที่ 3 (ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2537)

สำหรับชนิดและปริมาณแพลงก์ตอนพืช พบว่า ชุดการทดลองที่ 2 และชุดการทดลองที่ 3 มีปริมาณแพลงก์ตอนพืชเฉลี่ยรวมทั้งหมดเท่ากับ $1{,}006 \times 10^3$ และ 402×10^3 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ซึ่งถ่านไม้ใน Bioreactor ทั้ง 2 ชุดการทดลอง สามารถกรองแพลงก์ตอนพืชในน้ำได้ดี ส่วนในชุดการทดลองที่ 3 Bioreactor บรรจุถ่านไม้ที่ติด Biofilm อยู่จึงทำให้กรองแพลงก์ตอนได้ดีกว่าเพราะมีการย่อยสลายของจุลินทรีย์เกิดขึ้นอีกหนึ่งขั้นตอน

จากการศึกษาประสิทธิภาพของการใช้ถ่านไม้ที่มี biofilm ต่อการลดกลิ่นไม่พึงประสงค์ในน้ำ ในชุดการทดลองที่ 1, 2 และ 3 พบว่าปริมาณจีออสมิน มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.05 – 0.34 มิลลิกรัมต่อลิตร และเอ็มไอบี มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.07 – 1.12 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งปริมาณจีออสมินและเอ็มไอบีมากที่สุดในชุดการทดลองที่ 1 มีค่าเท่ากับ 0.34 และ 1.12 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ จากการศึกษาในครั้งนี้สังเกตเห็นว่าในชุดการทดลองที่ 1 มีปริมาณสารจีออสมินและเอ็มไอบีมากกว่าชุดการทดลองที่ 2 และ 3 ทั้งนี้การสะสมของกลิ่นไม่พึงประสงค์จีออสมินสะสมอยู่ในปริมาณมากกว่าระดับที่ยอมรับได้ ซึ่งปัจจุบันระดับที่ยอมรับได้ (threshold level) ของปริมาณสารจีออสมิน คือ 0.9 ไมโครกรัมต่อลิตร (Robertson *et al.*, 2006) ส่วนสารเอ็มไอบี คือ 0.6 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม (Persson, 1980) ซึ่งในชุดการทดลองที่ 1 มีปริมาณสารเอ็มไอบีมากกว่าระดับที่ยอมรับ

สรุปการวิจัย

1. จากการทดลองประสิทธิภาพของการใช้ถ่านไม้ที่มี biofilm ต่อคุณสมบัติของน้ำ พบว่า Bioreactor ที่บรรจุถ่านไม้ สามารถลดปริมาณความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เอ ปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ได้ดี โดยเฉพาะ Bioreactor ที่บรรจุถ่านไม้ติด Biofilm (T3)

2. การวิเคราะห์ความหลากหลายและองค์ประกอบของแพลงก์ตอนพืช พบว่า ในชุดการทดลองที่ 2 (T2) และ 3 (T3) มีปริมาณแพลงก์ตอนพืชเฉลี่ยรวมทั้งหมดลดลงจากชุดควบคุม คิดเป็น 89.4 และ 95.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม

3. ปริมาณจีออสมินและเอ็มไอบี ในชุดการทดลองที่ 1 (T1) มีมากกว่าชุดการทดลองที่ 2 (T2) และ 3 (T3) ในแต่ละเดือนที่มีการวิเคราะห์ และในแต่ละชุดการทดลองมีปริมาณสารจีออสมินน้อยกว่าระดับที่ยอมรับได้ (threshold level) ของปริมาณสารจีออสมิน คือ 0.9 ไมโครกรัมต่อลิตร ส่วนปริมาณสารเอ็มไอบีในน้ำตัวอย่างจากชุดการทดลองที่ 1 (T1) มากกว่าชุดการทดลองที่ 2 (T2) และ 3 (T3) และในชุดการทดลองที่ 1 (T1) ยังมีปริมาณสารเอ็มไอบีมากกว่าระดับที่ยอมรับได้ 0.6 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม

การนำไปใช้ประโยชน์

การใช้ Bioreactor ที่มีบรรจุถ่านไม้ สามารถลดปริมาณแพลงก์ตอนพืชและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในน้ำ เพื่อลดกลิ่นไม่พึงประสงค์ และสามารถนำไปใช้ได้ในบ่อปลาที่มีการเลี้ยงแบบหนาแน่น เช่น ปลาดุก ปลาช่อน และปลาสวาย ซึ่งวิธีการนี้เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่เกษตรกรสามารถนำไปใช้ได้เพื่อหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมีในการลดปริมาณสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน และได้รับผลผลิตที่มีคุณภาพ และปลอดภัยเป็นที่ยอมรับของตลาด

การตีพิมพ์บทความทางวิชาการ

1.1 Redel G., N. Whangchai, K. Ruangrit and T. Itayama. 2013. Control of Off-flavor Cyanobacteria in Ponds using Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and Charcoal Bioreactor System. Journal of Agricultural Research and Extension: Maejo University. 30:14-28

1.2 Alounxay Pasithi, Redel Gutierrez, วิรวุฒิ แต้มประสิทธิ์, สุธิดา วันโน, นิวุฒิ หวังชัย, จงกล พรมยะ และ ชนกันต์ จิตมนัส. 2556. ผลของการใช้ปลานิลต่อการลดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่สร้างกลิ่นในน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาเพาะลูกผสม. วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 45-51 น.

เอกสารอ้างอิง

ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. 2537. พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา. 8 (111): 234-240.

ลัดดา วงค์รัตน์. 2542. **แพลงค์ตอนพืช**. กรุงเทพฯ: ภาควิชาชีววิทยาประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 787 น.

วินัย ปัญญาธัญญะ, จิระพงษ์ คูหากาญจน์ และ มยุรี จิตต์แก้ง. 2547. **เทคนิคการผลิตฉ่านไม้.** สำนักวิจัยเศรษฐศาสตร์และผลิตป่าไม้ กรมป่าไม้: กรุงเทพมหานคร. 38 น.

สุพรรษา ทับทิมหิน วิทยา ทาวงศ์ สุปราณี วิกรัยบูรณ์ สุดาพร ตงศิริ และนิวุฒิ 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.

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.

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.

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. Akiiro, 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 Phytocoloy. 28: 28-290.

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.

Pirbazari, M., B.N. Badriyha and V. Ravindran. 1992. Microfiltration-Powder Activated Carbon (MF-PAC) for the tratment of waters containing natural and synthetic organics. **American Water Works Association**. 84(13) : 95-103.

Rodrigo S., Rafael A., Manecas F. B., Patricia F. S. C., Luis V. A., Walter Q. S. and Edemar R. A., 2013. Use of artificial substrates in the culture of Litopenaeus vannamei (Biofloc System) at different stocking densities : Effects on microbial activity, water quality and production rates. **Aquacultural Engineering**. 1676, 1-11.

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.

Sivonen, K. 1982. **Factor influencing odor production by actinomycetes**. Hydrobioloia. 86: 165-170.

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.

Turker H., A.G. Eversole and D.E. Brune, 2003. 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 Missisippi**. 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.

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.