

บทนำ

อุตสาหกรรมเกี่ยวกับอาหารประเภทสัตว์น้ำมีการขยายตัวมากขึ้นทั้งสัตว์น้ำจากทะเล และน้ำจืด โดยปลาน้ำจืดตัวหลักที่ส่งออกได้แก่ ปลานิล ซึ่งมีแนวโน้มสูงการส่งออกสูงขึ้นทุกปี ในปี 2544 ปริมาณการเพาะเลี้ยงปลานิลมีปริมาณสูงถึง 84,500 ตัน ซึ่งเป็นสัตว์น้ำที่มีการเพาะเลี้ยงมากที่สุดรองลงมาได้แก่ ปลาดุก ปลาดู ปลาตะเพียน ปลาสร้อย ปลาสาวย ตามลำดับ (ศูนย์สารสนเทศ, 2547) ซึ่งปลานิลที่ได้ส่วนใหญ่มาจากการเลี้ยงแบบบ่อ กระชัง และการเลี้ยงแบบผสมผสาน ส่วนการบริโภคปลาน้ำจืดได้รับความนิยมอย่างมากโดยเฉพาะในเขตภาคเหนือมีอัตราการบริโภคสัตว์น้ำจืดต่อคนต่อปีสูงถึง 32 กิโลกรัม (Piomsombun, 2001) และจากข้อมูลของสหกรณ์ผู้เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดจังหวัดเชียงใหม่ พบว่าความต้องการสัตว์น้ำประเภทปลาน้ำจืดในจังหวัดเชียงใหม่สูงถึง 40,000 กิโลกรัมต่อวัน (เทพรัตน์ และคณะ, 2545) ในปัจจุบันเกษตรกรที่เลี้ยงปลาในกระชังในแม่น้ำมีความเสี่ยงมากขึ้น เนื่องจากคุณภาพน้ำที่เริ่มไม่เหมาะสมต่อการเลี้ยงปลาและมีการแพร่ระบาดของโรคปลาทั้งเชื้อแบคทีเรียและพาราไอซิดอย่างรวดเร็ว ดังนั้นเกษตรกรจึงหันมาเลี้ยงปลาในบ่อดิน ซึ่งคุณภาพปลาที่เลี้ยงในบ่อดินส่วนใหญ่จะพบปัญหาที่สำคัญต่อการส่งออกอันหนึ่งคือ ปริมาณกลิ่นไม่พึงประสงค์ในเนื้อปลา

กลิ่นไม่พึงประสงค์ หรือกลิ่น โคลน (Off-flavor) เป็นปัจจัยสำคัญต่อการส่งออก ซึ่งเกิดจากแบคทีเรียกลุ่ม Actinomycete และสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินบางชนิดสามารถสร้างกลิ่นโคลนหรือกลิ่นไม่พึงประสงค์ และสารพิษตกค้างในเนื้อปลาได้ (Klapper 1991, Yamada et al. 1994) จีออสมิน ($1\alpha, 10\beta$ -dimethyl-9 α -decalol : geosmin) และเอ็มไอบี (2-methylisborneol : MIB) เป็นสารประกอบแอลกอฮอล์อิ่มตัว (saturated cyclic tertiary alcohol) ที่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและแบคทีเรียบางชนิดสังเคราะห์ขึ้นในวิถีเทอร์ปีน (terpene pathway) สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่ก่อให้เกิดกลิ่นโคลน ได้แก่ สกุล *Anabena* sp., *Oscillatoria* sp., *Lyngbya* sp., *Symploca* sp., *Microcystis* sp., *Phormidium* sp. (Tabachek และ Yurkowski 1976; Lovell และ Broce, 1985) ส่วนแบคทีเรียที่สร้างสารจีออสมิน และเอ็มไอบี ได้แก่ สกุล *Streptomyces* sp., *Nocardia* sp., *Actinomadura* sp. และ *Actinomycete* sp. (Sivonen, 1982; Martin และคณะ, 1988) โดยเฉพาะสกุล *Streptomyces* sp. จะทำให้เกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์มากที่สุด (Van Der Ploeg และ Boyd, 1991)

ปัญหามลพิษทางน้ำและดินซึ่งเกิดจากกระบวนการผลิตปลาที่ยาวนาน ส่งผลกระทบโดยตรงต่อผู้บริโภค ปัจจุบันอุตสาหกรรมผลิตสินค้าประเภทสัตว์น้ำ มีแนวโน้มที่จำหน่ายต่างประเทศมากขึ้น และได้ตระหนักในเรื่องความปลอดภัย (Food safety) กันอย่างแพร่หลาย การประกอบการเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างถูกต้อง (Good Aquacultural Practice, GAQP) ซึ่งยังไม่มีการศึกษา

ก่อนที่อำเภอพาน จังหวัดเชียงรายซึ่งเป็นแหล่งผลิตปลาที่ใหญ่ที่สุดในภาคเหนือตอนบนจึงยังขาดข้อมูลหรือเทคนิคที่เกษตรกรปฏิบัติได้

แนวทางในการทำการเกษตร เพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพดีตรงตามมาตรฐานที่กำหนด ได้ผลผลิตสูงคุ้มค่าการลงทุนและขบวนการผลิตจะต้องปลอดภัยต่อเกษตรกรและผู้บริโภค มีการใช้ทรัพยากรที่เกิดประโยชน์สูงสุด เกิดความยั่งยืนทางการเกษตรและไม่ทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม

การใส่ปุ๋ยในบ่อปลามีวัตถุประสงค์หลัก 2 ด้าน คือ 1. เพื่อเพิ่มอาหารธรรมชาติให้แก่ปลาบางชนิด 2. เพื่อสร้างแพลงก์ตอนพืช และแพลงก์ตอนพืชช่วยในการสังเคราะห์แสง และเพิ่มออกซิเจนในน้ำ นอกจากนี้แพลงก์ตอนพืชยังช่วยลดปริมาณสารพิษ เช่น แอมโมเนียในบ่อได้อีกด้วย จากการเลี้ยงปลาของเกษตรกรในปัจจุบันพบว่า เกษตรกรยังอาศัยปุ๋ยอินทรีย์สดเป็นหลัก

ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาเชิงรุกที่เน้นการใช้ประโยชน์ในการจัดการเชิงระบบเกษตรที่เป็นประโยชน์ต่อการเพิ่มมูลค่า เพื่อการแข่งขันและส่งออก โดยได้แบ่งการวิจัยเพื่อศึกษาผลของปุ๋ยอินทรีย์หมักเปรียบเทียบกับการเลี้ยงระบบเดิม คือ ปุ๋ยอินทรีย์สด ปัจจัยที่ทำการศึกษาคือ ปริมาณกลิ่นโคลนสะสมหลักในเนื้อปลาที่เลี้ยงในบ่อดิน

6. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อทราบระดับของกลิ่นไม่พึงประสงค์ (Geosmin และ MIB) ในน้ำ, ดินพื้นบ่อ และเนื้อปลานิล ที่เลี้ยงด้วยระบบผสมผสาน และทราบความสัมพันธ์ระหว่างอายุบ่อ, ปริมาณการใส่ปุ๋ย และชนิดของแพลงก์ตอน ต่อปริมาณกลิ่นไม่พึงประสงค์ (Geosmin และ MIB)

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบความสัมพันธ์ระหว่างอายุบ่อ, ปริมาณการใส่ปุ๋ย และชนิดของแพลงก์ตอน ต่อปริมาณสารกลิ่นไม่พึงประสงค์ (Geosmin และ MIB) ในน้ำ, ดินพื้นบ่อ และเนื้อปลานิล ที่เลี้ยงด้วยระบบผสมผสาน
2. เกิดองค์ความรู้ในการพัฒนาระบบการเลี้ยงปลานิลปลอดกลิ่นไม่พึงประสงค์ เพื่อสามารถถ่ายทอดองค์ความรู้สู่เกษตรกร
3. ผลผลิตปลานิลที่มีคุณภาพ เป็นที่ยอมรับ และช่วยให้ผู้บริโภคหันมาบริโภคปลานิลที่มาจากฟาร์มผสมผสานมากขึ้น และช่วยเพิ่มมูลค่า เพื่อการแข่งขันและส่งออกต่อไป

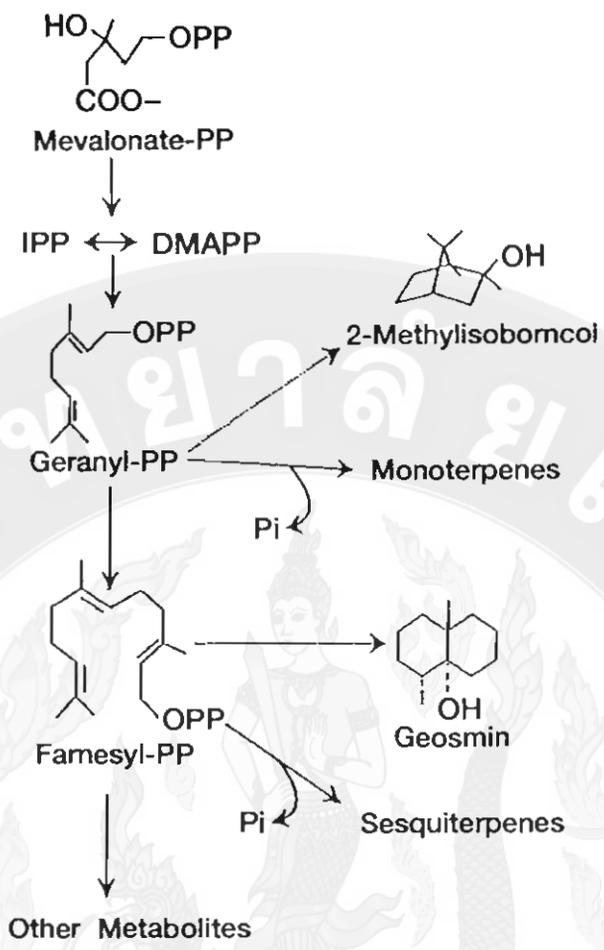
การตรวจเอกสาร

1. กลิ่นไม่พึงประสงค์หรือกลิ่นโคลน (Off-flavor)

กลิ่น โคลน (off-flavor) ที่สำคัญซึ่งพบในสัตว์น้ำที่ได้จากการเพาะเลี้ยง คือกลิ่น โคลน (musty/earthy off-flavor) ส่งผลกระทบต่อ การนำสัตว์น้ำและอุตสาหกรรมทางด้านประมงอย่างมาก เนื่องจากกลิ่น โคลนเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผู้บริโภคสัตว์น้ำไม่ยอมรับ (Persson, 1982) โดยสัตว์น้ำที่พบปัญหาดังกล่าวได้แก่ ปลาโคอเมริกัน (Martin *et al.*, 1990) ปลาแซลมอล (Farmer *et al.*, 1995) ปลาเรนโบว์เทราท์ (Yurkowski and Tabachek, 1974; Form and Horlyck, 1984) ปลาแฮร์ริง (herring) และปลาคาร์พ (carp) (Yurkowski and Tabachek, 1980) หอยกาบ (Tanchotikul and Hsieh, 1990) กุ้ง (Lovell and Broce, 1985)

กลิ่น โคลนเกิดจากสารที่จำเพาะเจาะจงหลายอย่าง ซึ่งทำให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ในสัตว์น้ำ แต่สารที่เป็นตัวหลักที่ก่อให้เกิดกลิ่น โคลนมี 2 ชนิด คือ จีออสมิน ($1\alpha, 10\beta$ -dimethyl-9- α -decalol: geosmin) และเอ็มไอบี (2-methylisoborneol: MIB) โดยเป็นสารประกอบแอลกอฮอล์อิ่มตัว (Saturated cyclic tertiary alcohol) ที่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและแบคทีเรียบางชนิดสังเคราะห์ขึ้นในวิถีเทอร์ปีน (terpene pathway) โดยสารประกอบจีออสมินสร้างขึ้นจากสารประกอบฟานิลิล-ไพโรฟอสเฟต (Famesyl-PP) และสารประกอบเอ็มไอบีสร้างขึ้นจากสารประกอบเจอร์านิล-ไพโร ฟอสเฟต (Geranyl-PP) (Van Der Ploeg, 1989)

จีออสมินเป็นสาร secondary product จากปฏิกิริยาเมตาบอลิซึมที่เกิดขึ้นจากการสังเคราะห์ทางชีวภาพในไอโซพรีนอยด์ พาทเวย์ (isoprenoid pathway) ในสิ่งมีชีวิตกลุ่มสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน โดยจีออสมินจะเกิดจากการสังเคราะห์ทางชีวภาพในคาโรทีนอยด์ พาทเวย์ (carotenoid pathway) และขั้นตอนการเกิดโฟโตเทล (phototial) ของคลอโรฟิลล์ เอ (chlorophyll a) ดังนั้นจีออสมินจึงเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ เอ ด้วยเหตุนี้ เมื่ออยู่ภายใต้สภาวะการเจริญเติบโตที่จำกัดสารจีออสมินจึงถูกสะสมเพิ่มขึ้น แต่ก็พบว่าสัดส่วนของจีออสมินกับคลอโรฟิลล์ เอ จะมีความไม่แน่นอน ส่วนสารประกอบเอ็มไอบีถูกสังเคราะห์โดยไอโซพรีนอยด์ พาทเวย์ เช่นเดียวกับจีออสมินในสิ่งมีชีวิตกลุ่ม *Actinomycetes spp.* และสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (Van Der Ploeg, 1989)



ภาพ 1 การสังเคราะห์สารให้กลิ่นโคลน (จืออสมิน และเอ็มไอบี) ในวิถีเทอร์ปีน

IPP = isopentenyl pyrophosphate
DMAPP = dimethylallyl pyrophosphate
Pi = inorganic phosphate

ที่มา : Johnsen and Dionigi (1994)

สารประกอบจืออสมิน(trans-1, 10,-dimethyl-trans-9-decalol)(C₁₂H₂₀O)และสารประกอบเอ็มไอบี (2-methylisoborneol) หรือ 1,2,7,7-tetramethylexo-bicyclo (2.2.1) heptan-2-ol (C₁₁H₂₀O) เป็นสารประกอบพวกแอลกอฮอล์อิมตัวที่ระเหยได้ โครงสร้างประกอบด้วยหมู่เมทิลและหมู่ไฮดรอกซิล (Izaguirre *et al.*, 1982) สารประกอบทั้งสองชนิดมีคุณสมบัติทั่วไปคือ ละลายในไขมันได้ดี ไม่ชอบน้ำสูง เป็นสารแปลกปลอมสำหรับสิ่งมีชีวิต โดยกระจายตัวและสะสมในเนื้อเยื่อที่มีส่วนประกอบของไขมันสูง เมื่อเกิดการสะสมในร่างกายจะกำจัดออกได้ยากจึงก่อให้เกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ (Johnsen *et al.*, 1996) แต่อย่างไรก็ตามสารประกอบทั้งสองชนิดไม่เป็นพิษต่อเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต และไม่ก่อให้เกิดการกลายพันธุ์ (Dionigi *et al.*, 1993)

ปัญหาคลื่นโคลนอาจเกิดขึ้นเนื่องจากปลากินสารประกอบคลื่นโคลนเข้าไปโดยตรง หรือมีการปนเปื้อนกับสิ่งที่ปลา กิน หรือผ่านเข้าสู่ตัวปลาโดยการดูดซึมในส่วนของอวัยวะต่างๆ (Tanchotikul, 1990) สัตว์น้ำสามารถดูดซึมสารเมแทบอลิต์ที่ก่อให้เกิดคลื่นโคลนผ่านเหงือก หรือเนื้อเยื่อต่างๆ ที่สัมผัสน้ำ มากกว่าการกินสาหร่ายหรือแบคทีเรียที่ผลิตสารโดยตรง (Form and Horlyck, 1984) ไปสะสมอยู่ในร่างกายโดยเฉพาะเนื้อเยื่อที่มีไขมันสูง (Martin *et al.*, 1990) ส่วน Rungreungwudhikrai (1995) ที่พบว่าปลานิลจากบ่อเลี้ยงในภาคกลางมีความเข้มข้นของสารคลื่นโคลนในเนื้อที่สูง เมื่อให้อาหารสำเร็จรูปร่วมกับการใช้ปุ๋ยในบ่อ โดยบ่อที่ใช้ปุ๋ยยูเรียมีผลให้ปริมาณสารคลื่นโคลนในเนื้อสูงกว่าการใช้ปุ๋ยมูลสัตว์ ส่วนบ่อที่ให้อาหารสำเร็จรูปอย่างเดียวพบว่ามีผลให้สารคลื่นโคลนในเนื้อปลาดำ

สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่สำคัญที่มีผลต่อการเกิดคลื่นโคลนประกอบด้วยสกุล *Anabena* sp., *Oscillatoria* sp., *Lyngbya* sp., *Symploca* sp., *Microcystis* sp., *Phormidium* sp. (Tabachek และ Yurkowski 1976; Lovell and Broce, 1985; ชะลอ, 2536) ส่วนแบคทีเรียที่สามารถสร้างสารจีโอสมิน และสารเอ็มไอบี ได้แก่สกุล *Streptomyces* sp., *Nocardia* sp., *Actinomadura* sp. และ *Actinomycete* sp. สามารถสร้างคลื่นโคลนหรือคลื่นไม่พึงประสงค์ และสารพิษตกค้างในเนื้อปลาได้ (Sivonen, 1982; Martin *et al.*, 1988; Klapper, 1991; Yamada *et al.*, 1994) โดยเฉพาะสกุล *Streptomyces* sp. จะทำให้เกิดคลื่น-รสที่ไม่พึงประสงค์มากที่สุด (Van Der Ploeg and Boyd, 1991)

Martin *et al.* (1990) ได้ทำการศึกษาการสะสมสารเอ็มไอบีเนื้อเยื่อของปลาคอดอเมริกัน (channel catfish) ขนาด 0.6–0.7 กิโลกรัม โดยฉีดสารละลายเอ็มไอบีเข้มข้น 1 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม เข้าไปในเส้นเลือดบริเวณใกล้หัวใจ จากนั้นทำการฆ่าปลาที่ระยะเวลา 2, 24 และ 96 ชั่วโมง แล้วนำตัวอย่างจากอวัยวะส่วนต่างๆ ได้แก่ ดับ ไต ผิวหนัง เนื้อช่องท้อง และกล้ามเนื้อ เพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณสารเอ็มไอบี โดยวิธีแก๊สโครมาโทกราฟี พบว่าเนื้อเยื่อส่วนผิวหนัง และเนื้อท้อง ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อส่วนที่มีปริมาณไขมันสูง มีความเข้มข้นของสารเอ็มไอบีสูงกว่าในเนื้อเยื่อส่วนอื่นๆ

Johnsen and Lloyd (1992) ได้ทำการศึกษาในปลาคอดอเมริกันขนาด 500±100 กรัมที่มีปริมาณไขมันในระดับต่างกัน โดยได้นำตัวอย่างปลาที่ได้มาทำการแช่ในสารละลายเอ็มไอบี 1 ไมโครกรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 25.5±1 °C แล้วทำการสุ่มเก็บตัวอย่างปลาที่ระยะเวลา 0, 2, 4, 8 และ 24 ชั่วโมง เพื่อวิเคราะห์ปริมาณสารเอ็มไอบีด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี และแมสสเปคโตรโฟโตมิตรี โดยแบ่งปลาเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่มีไขมันสูงกว่าร้อยละ 2 (2.5, 4.0 และ 6.0) และกลุ่มที่มีไขมันต่ำกว่าร้อยละ 2 (0.5, 1.0 และ 1.5) พบว่าหลังจากการแช่ในสารละลายเอ็มไอบี 24 ชั่วโมง

สามารถตรวจพบสารเอ็มไอบีในเนื้อปลาที่มีปริมาณไขมันร้อยละ 2.5, 4.0 และ 6.0 เท่ากับ 20.1, 24.3 และ 20.8 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

Casey *et al.* (2004) ได้ทำการทดสอบหากลิ้นโคลนในฟาร์มปลาคออเมริกัน (channel catfish) โดยใช้วิธีการทดสอบทางประสาทสัมผัส วิธีการสกัดของแข็ง และวิธีเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี พบว่าปลาคออเมริกันที่ทำการสุ่มตรวจพบว่ามีสารประกอบเอ็มไอบีมีค่าอยู่ที่ 0.1 และ 0.2 ไมโครกรัม/กิโลกรัม ส่วนสารประกอบจืออสมินมีค่าอยู่ที่ 0.25 และ 0.5 ไมโครกรัม/กิโลกรัม ซึ่งพบว่าปริมาณสารประกอบจืออสมินมีประมาณมากกว่าสารประกอบเอ็มไอบี

Lovell and Broce (1985) ทำการตรวจสอบหากลิ้นโคลนของประเทศเอกวาดอร์ ในปี 1983 พบปัญหากุ้งมีกลิ่นโคลนเกิดขึ้น ซึ่งพบว่ามีสารประกอบจืออสมินที่มีความเข้มข้นสูงที่บริเวณก้ามเนื้อกุ้ง โดยมีปริมาณความเข้มข้น 78 ไมโครกรัม/กิโลกรัม ซึ่งเป็นปริมาณสารประกอบจืออสมินที่สูงกว่าในปลา channel catfish ซึ่งมีปริมาณสารประกอบจืออสมินเพียง 9.8 ไมโครกรัม/กิโลกรัม โดยสาเหตุที่ทำให้กุ้งเกิดกลิ่นโคลนที่มีความเข้มข้นสูง อาจเนื่องมาจากมีความเค็มของน้ำระหว่างเลี้ยงมีปริมาณความเค็มที่ลดต่ำลง ทำให้สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น

Matsuyasu *et al.* (1996) ได้ทดสอบผลของสารประกอบจืออสมิน และสารประกอบเอ็มไอบีต่อการพัฒนาการของหอยเม่น พบว่าระดับ IC_{50} ของสารประกอบจืออสมินที่มีผลต่อการปฏิสนธิของหอยเม่นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 16.67 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนระดับ IC_{50} ของสารประกอบเอ็มไอบีที่ผลการปฏิสนธิของหอยเม่นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 68.77 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนระดับ IC_{50} ของสารประกอบจืออสมินที่มีผลต่อรูปแบบของการแบ่งเซลล์ของหอยเม่นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 16.58 มิลลิกรัม/ลิตร และระดับ IC_{50} ของสารประกอบเอ็มไอบีที่มีผลต่อรูปแบบของการแบ่งเซลล์ของหอยเม่นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 66.58 มิลลิกรัม/ลิตร

Yamprayoon and Noombhorn (2000) ได้ทำการศึกษาการดูดซึมและการแพร่กระจายทางชีวภาพของสารจืออสมินในปลานิล พบว่า การพักปลานิลในน้ำที่มีสารละลายจืออสมินเข้มข้น 5 ไมโครกรัมต่อลิตร จะทำให้ปลานิลจะค่อยๆ ดูดซึมสารจืออสมินเข้าสู่ตัวเพิ่มขึ้น โดยแพร่กระจายไปยังส่วนต่างๆ ของร่างกายปลา ตั้งแต่เวลา 0-72 ชั่วโมง

ชนิดและปริมาณของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ก็เป็นสาเหตุหนึ่งที่มีผลต่อปริมาณสารเอ็มไอบีและจืออสมินในน้ำ ถ้าในบ่อเลี้ยงมีสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินจำนวนมาก ก็จะพบว่าความเข้มข้นของจืออสมินหรือเอ็มไอบีในน้ำก็จะมีความเข้มข้นที่สูงเช่นกัน (Van Der Ploeg and Boyd, 1991) สาหร่ายในกลุ่มสีเขียวแกมน้ำเงินจะเจริญได้ดี ภายใต้สภาวะที่มีอากาศอยู่น้อย เนื่องจากหากสภาวะที่น้ำมีปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำสูง จะส่งผลทำให้สาหร่ายกลุ่มนี้ไม่สามารถจับกับไนโตรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ได้ เมื่อสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเติบโตและรวมตัวกันอย่าง

หนาแน่นบริเวณพื้นผิว ทำให้การส่องผ่านของแสงแดงลงสู่ก้นน้ำลดลง มีผลไปยังการเจริญของพืช น้ำชนิดอื่นๆ ที่ผลิตออกซิเจนในน้ำ (Milie *et al.*, 1992)

ปัจจัยที่ส่งผลทำให้เกิดการสะสมกลิ่นโคลนในสัตว์น้ำ ได้แก่ ปริมาณสารอาหารในน้ำ โดย Sivonen (1982) รายงานว่าในสภาวะที่ธาตุอาหารในน้ำสูงมาก (eutrophic water condition) ซึ่งเป็นผลมาจากการให้อาหารสัตว์น้ำที่มากเกินไป ส่งผลทำให้มีอาหารตกค้างภายในบ่อ หรือเกิดจากการเลี้ยงปลาที่หนาแน่นเกินไป และระบบการจัดการในการเลี้ยงที่ไม่ดี ก็เป็นสาเหตุทำให้มีการสะสมของธาตุอาหาร โดยเฉพาะไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่ก้นบ่อมาก ดังนั้นหากเพื่อป้องกันปัญหาควรมีการจัดการเกี่ยวกับระบบน้ำที่จะใช้ทำการเพาะเลี้ยง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเชิงชีวภาพ (Yurkowski and Tabachek, 1980) สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน สามารถเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วในน้ำที่มีอุณหภูมิสูงช่วง 25–35 °C โดย Marin *et al.* (1987) พบว่าน้ำที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 30 °C จะทำให้ปลาเกิดกลิ่นโคลนเกิดขึ้นได้ ส่วน Johnsen and Lloyd (1992) กล่าวว่า การดูดซึมและสะสมสารที่ก่อให้เกิดกลิ่นโคลนขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น อุณหภูมิของน้ำ ปริมาณไขมันในปลา โดยปลาที่มีปริมาณไขมันมากสามารถสะสมสารประกอบกลิ่นได้มากกว่าปลาที่มีไขมันต่ำ

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

งานวิจัย: การติดตามตรวจสอบความสัมพันธ์ของกลิ่นไม่พึงประสงค์ ในปลา น้ำและดินพื้นบ่อ ระหว่าง บ่อปลานิลที่ผ่านGAP และบ่อปลานิลที่เลี้ยงด้วยระบบเดิม

การทดลองที่ 1 : ศึกษาความสัมพันธ์ของกลิ่นไม่พึงประสงค์ ในปลา น้ำและดินพื้นบ่อ ระหว่าง บ่อปลานิลที่ผ่านGAP และบ่อปลานิลที่เลี้ยงด้วยระบบเดิม

1.1 วิธีการดำเนินการวิจัย

การติดตามตรวจสอบความสัมพันธ์ของกลิ่นไม่พึงประสงค์ ในปลา น้ำและดินพื้นบ่อ ระหว่าง บ่อปลานิลที่ผ่านGAP และบ่อปลานิลที่เลี้ยงด้วยระบบเดิม

พื้นที่ของการสำรวจตรวจสอบระบบการเลี้ยงปลานิลในบ่อที่ผ่าน GAP จำนวน 3 ฟาร์ม และบ่อที่เลี้ยงระบบผสมผสาน จำนวน 3 ฟาร์ม มีพื้นที่อยู่ในจังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งจัดว่าเป็นพื้นที่ที่มีการเพาะเลี้ยงปลานิลเพื่อการส่งขายในท้องตลาดมาก ระยะเวลาในการตรวจสอบ 1 ครั้ง/เดือน เป็นเวลา 5 เดือน



ภาพ 2 A: บ่อเลี้ยงปลานิลที่เลี้ยงด้วยระบบเดิม, B: บ่อเลี้ยงปลานิลที่ผ่าน GAP

การทดลองที่ 2: ศึกษาตรวจสอบความสัมพันธ์ของกลิ่นไม่พึงประสงค์ ในปลานิล ปลาอุก และปลาบึก ที่เลี้ยงในแบบน้ำเขียวและระบบ GAP

2.1 วิธีการดำเนินการวิจัย

การติดตามตรวจสอบความสัมพันธ์ของกลิ่นไม่พึงประสงค์ในปลานิล ปลาอุกและปลาบึก ที่เลี้ยงในแบบน้ำเขียวและระบบ GAP

พื้นที่ของการสำรวจตรวจสอบระบบการเลี้ยงปลานิลในบ่อที่ผ่าน GAP จำนวน 3 ฟาร์ม และบ่อที่เลี้ยงระบบผสมผสาน จำนวน 3 ฟาร์ม มีพื้นที่อยู่ในจังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งจัดว่าเป็นพื้นที่ที่มีการเพาะเลี้ยงปลานิลเพื่อการส่งขายในท้องตลาดมาก ระยะเวลาในการตรวจสอบ 1 ครั้ง/เดือน เป็นเวลา 5 เดือน

ปัจจัยที่ทำการศึกษา

1. การตรวจสอบปริมาณกลิ่นไม่พึงประสงค์ในน้ำและเนื้อปลานิล

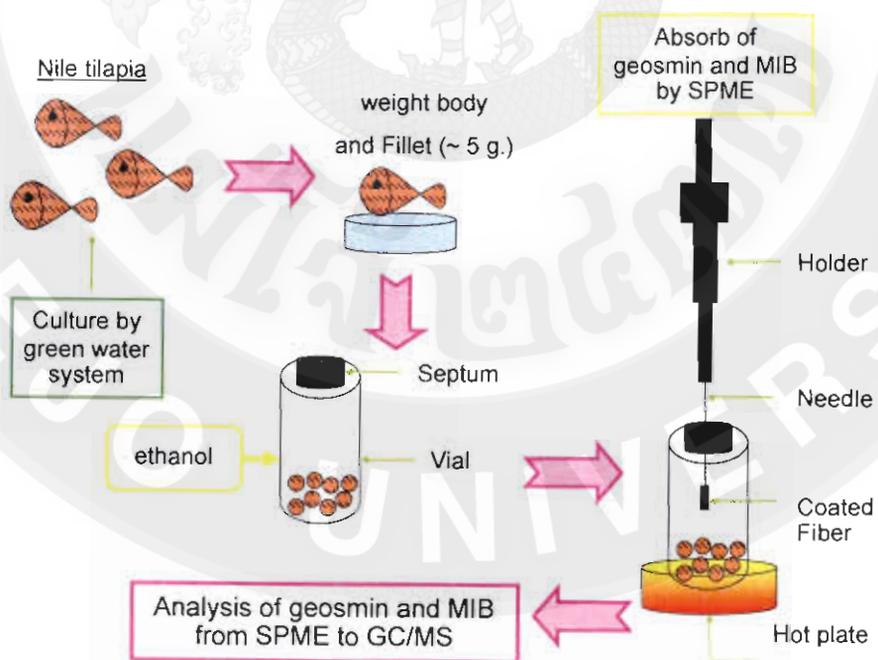
1.1 เก็บตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลา ดินพื้นบ่อ และปลานิล เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณสารจีโอสมินและเอ็มไอบี โดยการวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารจีโอสมินและเอ็มไอบีในน้ำจากบ่อเลี้ยงจะใช้ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ส่วนการวิเคราะห์ปริมาณสารจีโอสมินและเอ็มไอบีในดินพื้นบ่อจะใช้ดินประมาณ 5 กรัม ผสมกับน้ำกลั่นปริมาตร 10 มิลลิลิตร ในขวดไวอัล ขนาด 20 มิลลิลิตร และการวิเคราะห์ความเข้มข้นของจีโอสมินและเอ็มไอบีในเนื้อปลานิลโดยนำตัวอย่างเนื้อปลานิลมาคั่วให้ละเอียด ใส่ในขวดไวอัล 5 กรัม พร้อมเติมเมทานอล 10 มิลลิลิตร

1.2 นำขวดไวอัลที่มีตัวอย่างพร้อมวิเคราะห์ มาเติมโซเดียมคลอไรด์ 1.9 กรัม และใส่ magnetic bar จากนั้นปิดฝาด้วยจุกยางทนความร้อนสูง และฝาอะลูมิเนียม นำขวดไวอัลวางบนเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า และถาดให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 65–70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นแทงเข็มไฟเบอร์ที่ประกอบเข้ากับอุปกรณ์ SPME เข้าไปในขวดตัวอย่างทิ้งไว้เป็นเวลา 12 นาที เพื่อให้ไฟเบอร์ทำการจับกับสารประกอบจีโอสมิน และเอ็มไอบีในตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์

1.3 นำชุดอุปกรณ์ SPME ฉีดเข้ากับเครื่อง GC/MS (Agilent Technologies 6890 N Network GC system) เข้าไปตรงตำแหน่งที่ฉีดสารของเครื่อง โดยใช้ Splitless mode ผ่านแคปปีลาตีคอลลัมน์ (DB-DURABOND) HP-5 (30 m.×0.32 mm. μ m. film thickness) ใช้แก๊สฮีเลียมเป็นตัวพา ด้วยอัตรา 2.5 มิลลิลิตร/นาที อุณหภูมิของเตาอบ (oven temperature) ตั้งโปรแกรมอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นเพิ่มเป็น 220 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราเร็ว 15 องศาเซลเซียส/นาที และคงอุณหภูมิไว้ที่ 220 องศาเซลเซียส นาน 8 นาที



ภาพ 3 (A-D) การเตรียมตัวอย่างเนื้อปลาตรวจสอบปริมาณกลิ่นไม่พึงประสงค์โดยใช้เครื่อง GC/MS



ภาพ 4 การวิเคราะห์สารพิษ Geosmin และ MIB โดยใช้เครื่อง GC/MS

2. ตรวจวัดปัจจัยคุณภาพน้ำ ทางเคมี และทางชีวภาพ ในบ่อเลี้ยงปลานิลระบบผสมผสาน ทุกๆ 1 เดือน/ครั้ง ได้แก่

- อุณหภูมิน้ำ โดยใช้ Thermometer
- ค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยใช้ pH meter (Schott-Gerate CG 840)
- ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ โดยวิธี Azide modification
- ปริมาณออร์โทฟอสเฟตฟอสฟอรัส โดยวิธี Stannous chloride
- ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน โดยวิธี Direct Nesslerization
- ปริมาณไนเตรทไนโตรเจน โดยวิธี Phenoldisulfonic acid

3. วิเคราะห์ความหลากหลายและองค์ประกอบของแพลงก์ตอนพืช

เก็บตัวอย่างแพลงก์ตอนพืช ทุก 30 วัน โดยใช้ถุงกรองแพลงก์ตอน แล้วเก็บรักษาสภาพด้วย Lugol's solution หลังจากนั้นนำมาจัดจำแนกชนิด

2. สถานที่ทำการทดลองและ / หรือเก็บข้อมูล

เก็บตัวอย่างฟาร์มเอกชน พื้นที่ของการสำรวจตรวจสอบระบบการเลี้ยงปลานิลในบ่อที่ผ่าน GAP จำนวน 4 ฟาร์ม ได้แก่

1. ฟาร์มปลานิลที่มหาวิทยาลัยแม่โจ้
2. ฟาร์มปลานิลที่จังหวัดพะเยาที่เก็บตัวอย่างและไม่มี GAP
3. ฟาร์มปลานิลที่จังหวัดเชียงใหม่ ที่เก็บตัวอย่างและมี GAP
4. ฟาร์มปลานิล และปลาเพาะลูกผสมที่จังหวัดกาฬสินธุ์ ที่เก็บตัวอย่างและมี GAP

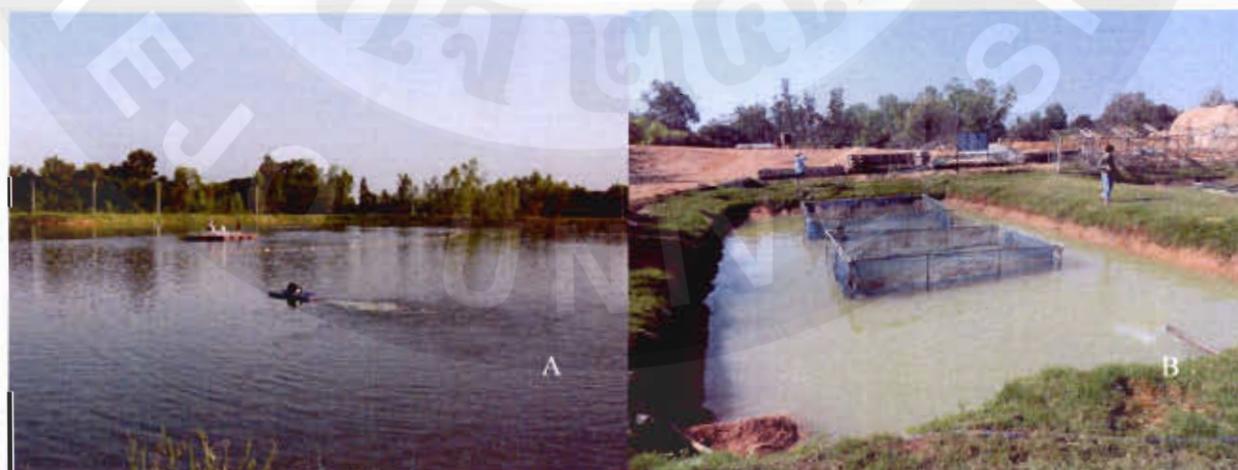
ความหลากหลายและองค์ประกอบของแพลงก์ตอนพืชที่สารกลินโคลน (geosmin และ MIB) โดยใช้เครื่อง GC/MS วิเคราะห์ที่ มหาวิทยาลัยแม่โจ้



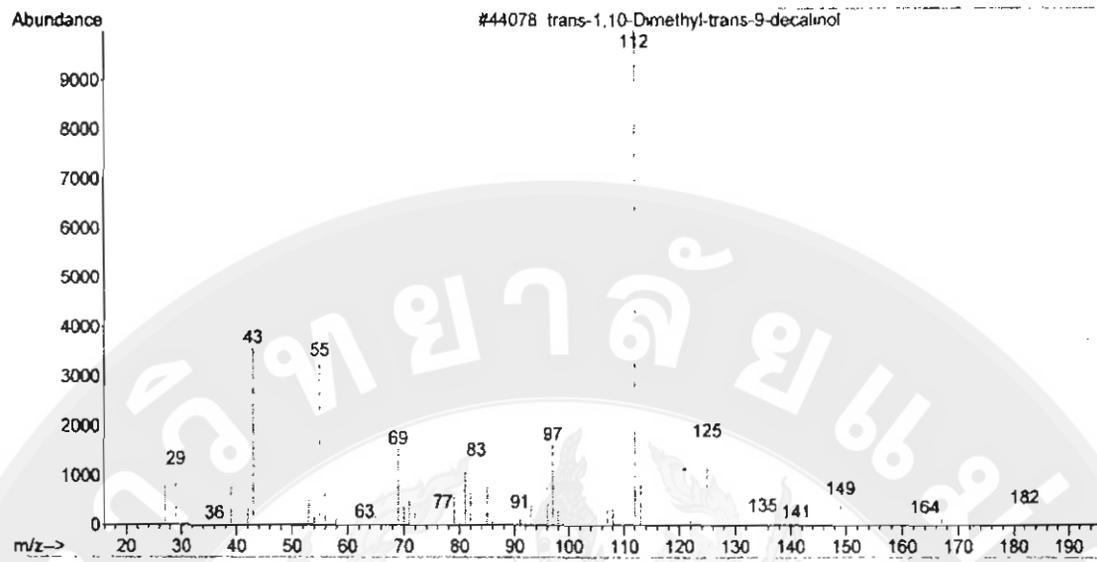
ภาพ 5 A: บ่อเลี้ยงปลานิลที่เลี้ยงด้วยระบบเดิม, B: บ่อเลี้ยงปลานิลที่ผ่าน GAP



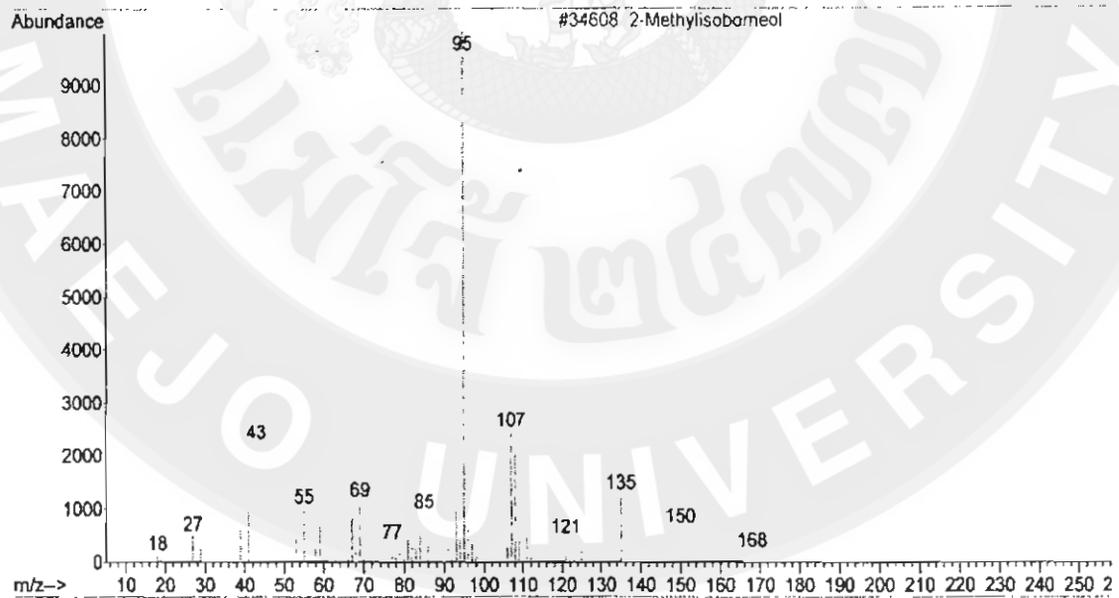
ภาพ 6 A: บ่อเลี้ยงปลาชุกที่เลี้ยงด้วยระบบเดิม, B: บ่อเลี้ยงปลาชุกที่ผ่าน GAP



ภาพ 7 A: บ่อปลาเพาะลูกผสมที่เลี้ยงด้วยระบบเดิม, B: บ่อปลาเพาะลูกผสมที่ผ่าน GAP



ภาพ 8 Mass spectrum ของสารจืออสมิน (trans-1, 10-Dimethyl-trans-9-decalinol)



ภาพ 9 การวิเคราะห์สารพิษ Geosmin และ MIB โดยใช้เครื่อง GC/MS

ผลการวิจัย

การทดลองที่ 1 : ศึกษาความสัมพันธ์ของกลิ่นไม่พึงประสงค์ ในปลา น้ำและดินพื้นบ่อ ระหว่าง บ่อปลาที่ผ่าน GAP และบ่อปลาที่เลี้ยงด้วยระบบเดิม

การตรวจสอบปริมาณกลิ่นไม่พึงประสงค์ในเนื้อปลานิล น้ำและดินพื้นบ่อ

จากการศึกษาศึกษาความสัมพันธ์ของกลิ่นไม่พึงประสงค์ ในเนื้อปลา ในน้ำและดินพื้นบ่อ ระหว่าง บ่อปลาที่ผ่าน GAP และบ่อปลาที่เลี้ยงด้วยระบบเดิม เมื่อเลี้ยงผ่านไป 5 เดือน พบว่า ในบ่อเลี้ยงปลานิลที่เลี้ยงด้วยระบบเดิมมีปริมาณจีโอสมินและเอ็มไอบีเฉลี่ยทั้งในดินพื้นบ่อ ในน้ำ และเนื้อปลา สูงกว่าบ่อปลาที่ผ่าน GAP โดย ความเข้มข้น จีโอสมินเฉลี่ยจากตัวอย่างดิน น้ำ และเนื้อปลานิล คือ 0.67 ± 0.26 , 1.58 ± 0.35 และ 1.59 ± 0.60 ไมโครกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ มีความเข้มข้นเอ็มไอบีเฉลี่ยจากตัวอย่างดิน น้ำ และเนื้อปลานิล คือ 6.51 ± 1.54 , 1.61 ± 0.55 และ 2.11 ± 0.50 ไมโครกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนบ่อปลาที่เลี้ยงด้วยระบบเดิม พบว่า ความเข้มข้นจีโอสมินเฉลี่ยจากตัวอย่างดิน น้ำ และเนื้อปลานิล คือ 4.32 ± 1.67 , 15.64 ± 7.23 และ 2.44 ± 1.02 ไมโครกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ มีความเข้มข้นเอ็มไอบีเฉลี่ยจากตัวอย่างดิน น้ำ และเนื้อปลานิล คือ 21.22 ± 7.05 , 43.34 ± 10.07 และ 2.71 ± 0.90 ไมโครกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ (ตาราง 1) และพบว่า บ่อที่เลี้ยงด้วยระบบเดิมมีค่าความเข้มข้นของจีโอสมินและเอ็มไอบีเฉลี่ยสูงกว่าบ่อที่ผ่าน GAP ทั้งตัวอย่างดิน น้ำ และเนื้อปลานิล (ตาราง 1)

ตาราง 1 ความเข้มข้นของสารจีโอสมินและสารเอ็มไอบี (mean±SE) ในตัวอย่างดิน น้ำ และเนื้อปลานิลจากบ่อปลาที่ผ่าน GAP และบ่อปลาที่เลี้ยงด้วยระบบเดิม

ตัวอย่าง	บ่อที่ผ่าน GAP		บ่อที่เลี้ยงด้วยระบบเดิม	
	Geosmin ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	MIB ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	Geosmin ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	MIB ($\mu\text{g}/\text{kg}$)
ดินพื้นบ่อ ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	0.67 ± 0.26	6.51 ± 1.54	4.32 ± 1.67	21.22 ± 7.05
น้ำ ($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	1.58 ± 0.35	1.61 ± 0.55	15.64 ± 7.23	43.34 ± 10.07
เนื้อปลา ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	1.59 ± 0.60	2.11 ± 0.50	2.44 ± 1.02	2.71 ± 0.90

ปัจจัยคุณภาพน้ำ ทางเคมี และทางชีวภาพ ในบ่อเลี้ยงปลานิล

จากการตรวจวัดคุณภาพน้ำทางกายภาพ เคมีและ ชีวภาพ ของบ่อเลี้ยงปลานิลที่ผ่าน GAP และบ่อปลานิลที่เลี้ยงด้วยระบบเดิม ระยะเวลา 5 เดือน จากการตรวจวัดคุณภาพน้ำในการทดลอง พบว่าคุณภาพน้ำส่วนใหญ่มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ (ตาราง 2) โดย ความเข้มข้นของ คลอโรฟิลล์ เอ และ แอมโมเนีย ของบ่อเลี้ยงปลานิลที่ผ่าน GAP ต่ำกว่าบ่อปลานิลที่เลี้ยงด้วยระบบเดิม ส่วนความขุ่นและฟอสเฟตของบ่อเลี้ยงปลานิลที่ผ่าน GAP สูงกว่าบ่อปลานิลที่เลี้ยงด้วยระบบเดิม (ตาราง 2)

ตาราง 2 คุณภาพน้ำทางกายภาพ เคมีและ ชีวภาพ (mean±SE) ของบ่อปลานิลที่ผ่าน GAP และบ่อปลานิลที่เลี้ยงด้วยระบบเดิม

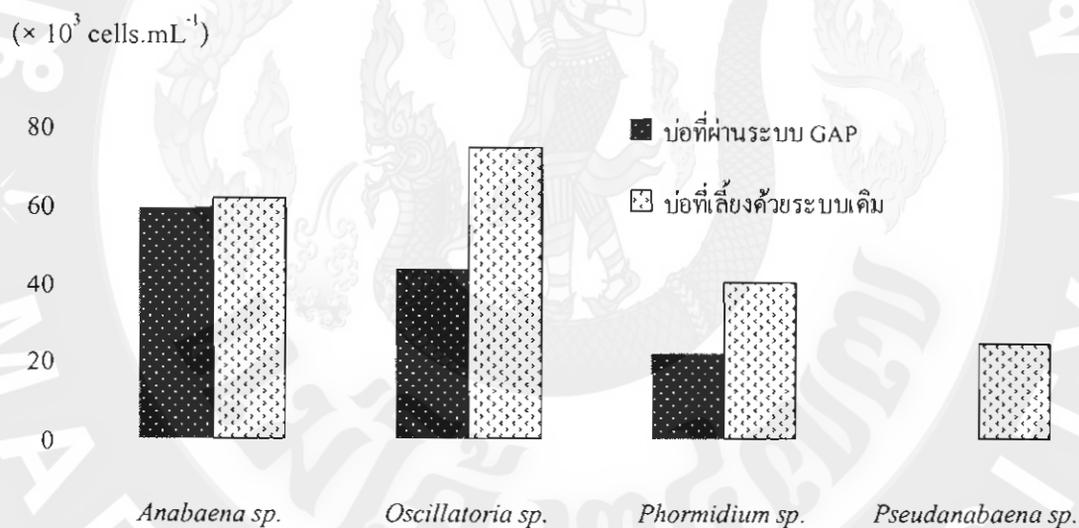
Parameters	ค่า คุณภาพน้ำ	
	บ่อที่ผ่านระบบ GAP	บ่อที่เลี้ยงด้วยระบบเดิม
1. อุณหภูมิ (C°)	31.3±1.2	27.7±1.7
2. pH	7.8±0.2	8.1±0.5
3. ความขุ่น (NTU)	159.0±37.8	77.2±6.0
3. ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (mg/l)	7.2±1.3	8.7±0.9
5. คลอโรฟิลล์ เอ (mg/l)	379±50.0	622.5±133.0
6.ฟอสเฟต ฟอสฟอรัส (mg/l)	0.37±0.11	0.19±0.06
7. แอมโมเนียรวม (mg/l)	0.33±0.07	0.75±0.15
8. ไนโตรเจนไนโตรเจน (mg/l)	0.04±0.01	0.10±0.04
9. ไนเตรท ไนโตรเจน (mg/l)	0.08±0.02	0.06±0.01

ความหลากหลายและองค์ประกอบของแพลงก์ตอนพืช

จากการตรวจปริมาณความหลากหลายและองค์ประกอบของแพลงก์ตอนพืชในบ่อเลี้ยงปลานิลที่ผ่าน GAP และบ่อปลานิลที่เลี้ยงด้วยระบบเดิม ระยะเวลา 5 เดือน พบว่า บ่อปลานิลที่ผ่าน GAP พบสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่สร้างกลิ่นไม่พึงประสงค์ 3 ชนิด คือ *Anabaena* sp., *Oscillatoria* sp. และ *Phormidium* sp. ส่วนบ่อปลานิลที่เลี้ยงด้วยระบบเดิมพบสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่สร้างกลิ่นไม่พึงประสงค์ 4 ชนิด คือ *Anabaena* sp., *Oscillatoria* sp., *Phormidium* sp. และ *Pseudanabaena* sp. (ตาราง 3, ภาพที่ 10)

ตาราง 3 ปริมาณสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่สร้างกลิ่นไม่พึงประสงค์ในบ่อปลานิลที่ผ่าน GAP และบ่อปลานิลที่เลี้ยงด้วยระบบเดิม

สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน	บ่อที่ผ่านระบบ GAP ($\times 10^3$ cells.mL ⁻¹)	บ่อที่เลี้ยงด้วยระบบเดิม ($\times 10^3$ cells.mL ⁻¹)
<i>Anabaena</i> sp.	58.97	61.11
<i>Oscillatoria</i> sp.	43.12	74.17
<i>Phormidium</i> sp.	21.53	39.57
<i>Pseudanabaena</i> sp.	-	24.29



ภาพ 10 สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่สร้างกลิ่นไม่พึงประสงค์ในบ่อปลานิลที่ผ่าน GAP และบ่อปลานิลที่เลี้ยงด้วยระบบเดิม

การทดลองที่ 2: ศึกษาตรวจสอบความสัมพันธ์ของกลิ่นไม่พึงประสงค์ ในปลานิล ปลาชุกและปลาเผาสุกผสม ที่เลี้ยงด้วยระบบเดิมและระบบที่ผ่าน GAP

จากการศึกษาตัวอย่างดิน น้ำ และเนื้อปลานิลจากบ่อที่มีใบผ่าน GAP เปรียบเทียบกับบ่อที่เลี้ยงด้วยระบบเดิม พบว่า บ่อปลานิลที่ผ่าน GAP มีกลิ่นโคลนสะสมน้อยกว่า โดยมีค่าจีโอสมินในตัวอย่างดิน น้ำ และเนื้อปลานิลเฉลี่ย คือ 0.67 ± 0.26 , 1.58 ± 0.35 และ 1.59 ± 0.60 ไมโครกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ และมีค่าเอ็มไอบีในตัวอย่างดิน น้ำ และเนื้อปลานิลเฉลี่ย คือ 6.51 ± 1.54 , 1.61 ± 0.55 และ 2.11 ± 0.50 ไมโครกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ และพบว่า บ่อที่เลี้ยงด้วยระบบเดิมมีความเข้มข้นของจีโอสมินและเอ็มไอบีเฉลี่ยสูงกว่าบ่อที่ผ่าน GAP ทั้งตัวอย่างดิน น้ำ และเนื้อปลานิล (ตาราง 4)

ตาราง 4 ความเข้มข้นของสารจีโอสมินและสารเอ็มไอบี (mean \pm SE) ในตัวอย่างดิน น้ำ และเนื้อปลานิลจากบ่อปลานิลที่ผ่าน GAP และบ่อปลานิลที่เลี้ยงด้วยระบบเดิม

ตัวอย่าง	บ่อที่ผ่านระบบ GAP		บ่อที่เลี้ยงด้วยระบบเดิม	
	Geosmin ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	MIB ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	Geosmin ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	MIB ($\mu\text{g}/\text{kg}$)
ดินพื้นบ่อ ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	0.67 ± 0.26	6.51 ± 1.54	4.32 ± 1.67	21.22 ± 7.05
น้ำ ($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	1.58 ± 0.35	1.61 ± 0.55	15.64 ± 7.23	43.34 ± 10.07
เนื้อปลานิล ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	1.59 ± 0.60	2.11 ± 0.50	2.44 ± 1.02	2.71 ± 0.90

ส่วนการศึกษาตัวอย่างดิน น้ำ และเนื้อปลาชุกจากบ่อที่มีใบผ่าน GAP เปรียบเทียบกับบ่อที่เลี้ยงด้วยระบบเดิม พบว่า บ่อปลาชุกที่ผ่าน GAP มีกลิ่นโคลนสะสมน้อยกว่า โดยมีค่าจีโอสมินในตัวอย่างดิน น้ำ และเนื้อปลาชุกเฉลี่ย คือ 0.72 ± 0.17 , 2.33 ± 0.33 และ 0.48 ± 0.12 ไมโครกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ และมีค่าเอ็มไอบีในตัวอย่างดิน น้ำ และเนื้อปลาชุกเฉลี่ย คือ 5.16 ± 1.35 , 0.81 ± 0.20 และ 9.82 ± 2.22 ไมโครกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ และพบว่า บ่อที่เลี้ยงด้วยระบบเดิมมีความเข้มข้นของจีโอสมินและเอ็มไอบีเฉลี่ยสูงกว่าบ่อที่ผ่าน GAP ทั้งตัวอย่างดิน น้ำ และเนื้อปลาชุก (ตาราง 5)

ตาราง 5 ความเข้มข้นของสารจีโอสมินและสารเอ็มไอบี (mean±SE) ในตัวอย่างดิน น้ำ และเนื้อปลาจากบ่อปลานิลที่ผ่าน GAP และบ่อปลานิลที่เลี้ยงด้วยระบบเดิม

ตัวอย่าง	บ่อที่ผ่านระบบ GAP		บ่อที่เลี้ยงด้วยระบบเดิม	
	Geosmin ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	MIB ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	Geosmin ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	MIB ($\mu\text{g}/\text{kg}$)
ดินพื้นบ่อ ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	0.72±0.17	5.16±1.35	1.37±0.47	7.41±1.80
น้ำ ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	2.33±0.33	0.81±.20	2.00±0.50	1.78±0.56
เนื้อปลา ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	0.48±0.12	9.82±2.22	0.56±0.11	9.48±2.72

บ่อเลี้ยงปลาเพาะลูกผสมที่ผ่าน GAP พบค่าจีโอสมินในตัวอย่างดิน น้ำ และเนื้อปลาเพาะลูกผสมเฉลี่ย คือ 0.55±0.50, 0.41±0.45 และ 0.53±0.52 ไมโครกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ และมีค่าเอ็มไอบีในตัวอย่างดิน น้ำ และเนื้อปลาเพาะลูกผสมเฉลี่ย คือ 0.16±0.71, 0.36±0.83 และ 0.44±0.82 ไมโครกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ และพบว่า บ่อที่เลี้ยงด้วยระบบเดิมมีค่าความเข้มข้นของจีโอสมินและเอ็มไอบีเฉลี่ยสูงกว่าบ่อที่ผ่าน GAP ทั้งตัวอย่างดิน น้ำ และเนื้อปลาเพาะลูกผสม (ตาราง 6)

ตาราง 6 ความเข้มข้นของสารจีโอสมินและสารเอ็มไอบี (mean±SE) ในตัวอย่างดิน น้ำ และเนื้อปลาเพาะลูกผสมจากบ่อที่ผ่าน GAP และบ่อที่เลี้ยงด้วยระบบเดิม

ตัวอย่าง	บ่อที่ผ่านระบบ GAP		บ่อที่เลี้ยงด้วยระบบเดิม	
	Geosmin ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	MIB ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	Geosmin ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	MIB ($\mu\text{g}/\text{kg}$)
ดินพื้นบ่อ ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	0.55±0.50	0.16±0.71	3.62±0.83	1.05±0.11
น้ำ ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	0.41±0.45	0.36±0.83	2.53±0.51	2.95±0.39
เนื้อปลา ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	0.53±0.52	0.44±0.82	3.39±0.72	1.39±0.10

การเปรียบเทียบปริมาณสารจีโอสมินและสารเอ็มไอบี ในเนื้อปลาจากบ่อที่ผ่าน GAP และบ่อที่เลี้ยงด้วยระบบเดิม จากการศึกษาผลการเปรียบเทียบเปรียบเทียบปริมาณสารจีโอสมินและสารเอ็มไอบีในเนื้อ พบว่าปลาที่เลี้ยงในระบบ GAP มีปริมาณจีโอสมินและเอ็มไอบีเฉลี่ยต่ำที่สุด และยังพบว่าปลาจากบ่อที่เลี้ยงในระบบดั้งเดิม มีปริมาณสารเอ็มไอบีเฉลี่ยสูงที่สุด (ตาราง 7)

ตาราง 7 ความเข้มข้นสารจืออสมินและสารเอ็มไอบี (mean±SE)ในเนื้อปลาจากบ่อที่ผ่าน GAP และบ่อที่เลี้ยงด้วยระบบเดิม

ตัวอย่าง	Geosmin ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)			MIB ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)		
	ปลานิล	ปลาดุก	ปลาเผา ลูกผสม	ปลานิล	ปลาดุก	ปลาเผา ลูกผสม
	บ่อที่ผ่าน GAP	1.59±0.60	0.48±0.12	0.53±0.52	2.11±0.50	9.82±2.22
บ่อที่เลี้ยงด้วย ระบบเดิม	2.44±1.02	0.56±0.11	3.39±0.72	2.71±0.90	9.48±2.72	1.39±0.10

จากการตรวจวัดคุณภาพน้ำทางกายภาพ เคมีและ ชีวภาพ ของบ่อปลานิลที่ผ่าน GAP, บ่อปลานิลที่เลี้ยงด้วยระบบเดิม, บ่อปลาดุกผ่าน GAP, บ่อปลาดุกที่เลี้ยงด้วยระบบเดิม, บ่อปลาเผาลูกผสมที่ผ่าน GAP และ บ่อปลาเผาลูกผสมที่เลี้ยงด้วยระบบเดิม ระยะเวลาการทดลอง 5 เดือน พบว่า คุณภาพน้ำส่วนใหญ่มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ (ตาราง 8)

ตาราง 8 คุณภาพน้ำทางกายภาพ เคมีและ ชีวภาพ (mean±SE)ของบ่อปลาที่ผ่าน GAP และบ่อปลาที่เลี้ยงด้วยระบบเดิม

Parameters	บ่อปลา					
	บ่อปลานิล		บ่อปลาดุก		บ่อปลาเผาลูกผสม	
	บ่อที่เลี้ยงในระบบ GAP	บ่อที่เลี้ยงด้วย ระบบเดิม	บ่อที่เลี้ยงในระบบ GAP	บ่อที่เลี้ยงด้วย ระบบเดิม	บ่อที่เลี้ยงในระบบ GAP	บ่อที่เลี้ยงด้วย ระบบเดิม
1. อุณหภูมิ (C°)	31.3±1.2	27.7±1.7	26.6±4.8	30.8±1.1	29.9±0.2	27.1±1.28
2. pH	7.8±0.2	8.1± 0.5	7.4±0.1	7.5±0.1	7.3±0.2	7.1±0.3
3. ความขุ่น (NTU)	159.0±37.8	77.2±6.0	153.5±34.6	168.4±42.9	-	-
3. ปริมาณออกซิเจนที่ละลายใน น้ำ (mg/l)	7.2±1.3	8.7±0.9	6.4±0.9	6.3±0.9	4.0±0.3	6.2±0.02
5. คลอโรฟิลล์ เอ (mg/l)	379±50.0	622.5±133.0	369±66.7	276±40.3	930.7±284.6	114±34.9
6. ฟอสเฟต- ฟอสฟอรัส (mg/l)	0.37±0.11	0.19±0.06	0.38±0.10	0.34±0.07	*0.30±0.20	0.29±0.14
7. แอมโมเนีย (mg/l)	0.33±0.07	0.75±0.15	0.45±0.06	0.37±0.08	0.54±0.11	0.25±0.05
8. ไนโตรท-ไนโตรเจน (mg/l)	0.04±0.01	0.10±0.04	0.04±0.01	0.05±0.01	0.06±0.05	0.02±0.01
9. ไนเตรท- ไนโตรเจน (mg/l)	0.08±0.02	0.06±0.01	0.08±0.02	0.08±0.02	0.07±0.02	0.04±0.01

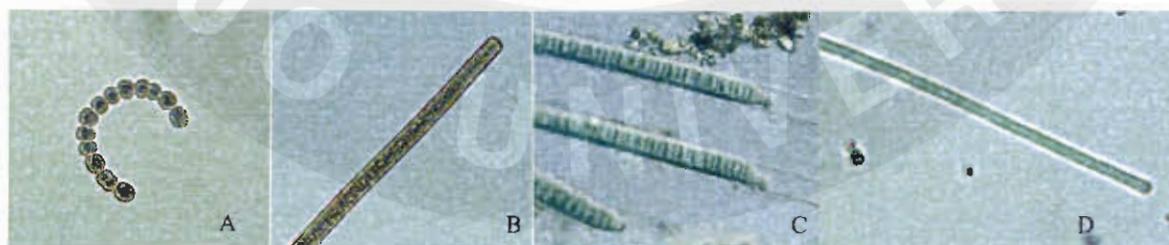
หมายเหตุ * ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (mg/l)

ความหลากหลายและองค์ประกอบของแพลงก์ตอนพืช

จากการตรวจปริมาณความหลากหลายและองค์ประกอบของแพลงก์ตอนพืชในบ่อกวนที่ผ่าน GAP บ่อกวนที่เลี้ยงด้วยระบบเดิม บ่อกวนที่เลี้ยงด้วยระบบเดิม บ่อกวนที่เลี้ยงด้วยระบบเดิม บ่อกวนที่เลี้ยงด้วยระบบเดิม บ่อกวนที่เลี้ยงด้วยระบบเดิม ระยะเวลาการทดลอง 5 เดือน พบว่า สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่สร้างกลิ่นไม่พึงประสงค์ 4 ชนิด คือ *Anabaena* sp., *Oscillatoria* sp., *Phormidium* sp. และ *Pseudanabaena* sp. (ตาราง 9, ภาพที่ 11)

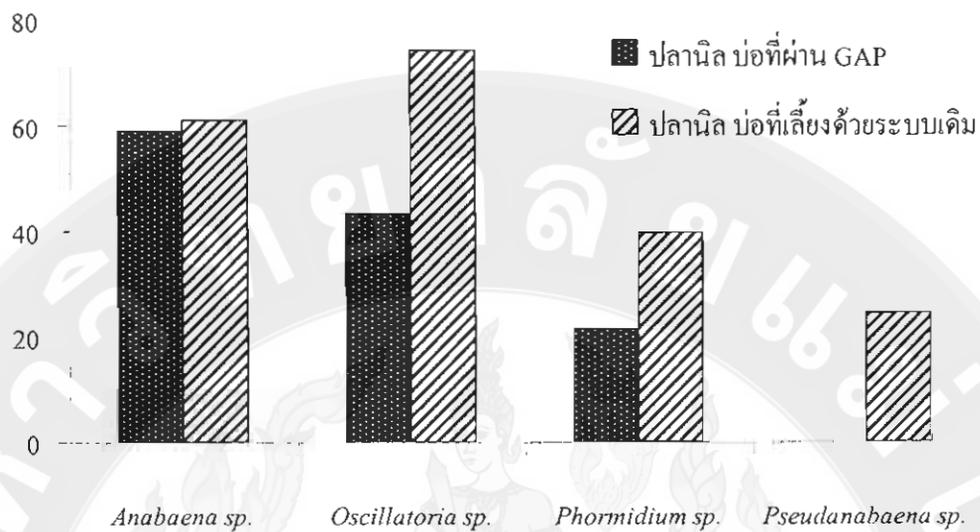
ตาราง 9 ปริมาณสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่สร้างกลิ่นไม่พึงประสงค์ในบ่อกวนที่ผ่าน GAP, บ่อกวนที่เลี้ยงด้วยระบบเดิม, บ่อกวนที่เลี้ยงด้วยระบบเดิม, บ่อกวนที่เลี้ยงด้วยระบบเดิม, บ่อกวนที่เลี้ยงด้วยระบบเดิม และ บ่อกวนที่เลี้ยงด้วยระบบเดิม

ตัวอย่าง	ชนิดของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ($\times 10^3$ cells.mL ⁻¹)			
	<i>Anabaena</i> sp.	<i>Oscillatoria</i> sp.	<i>Phormidium</i> sp.	<i>Pseudanabaena</i> sp.
บ่อกวนที่เลี้ยงในระบบ GAP	58.97	43.12	21.53	-
บ่อกวนที่เลี้ยงด้วยระบบเดิม	61.11	74.17	39.57	24.29
บ่อกวนที่เลี้ยงในระบบ GAP	102.67	98.41	56.09	-
บ่อกวนที่เลี้ยงด้วยระบบเดิม	138.09	95.73	85.29	-
บ่อกวนที่เลี้ยงในระบบ GAP	98.75	105.30	-	47.58
บ่อกวนที่เลี้ยงด้วยระบบเดิม	157.13	101.19	94.63	-



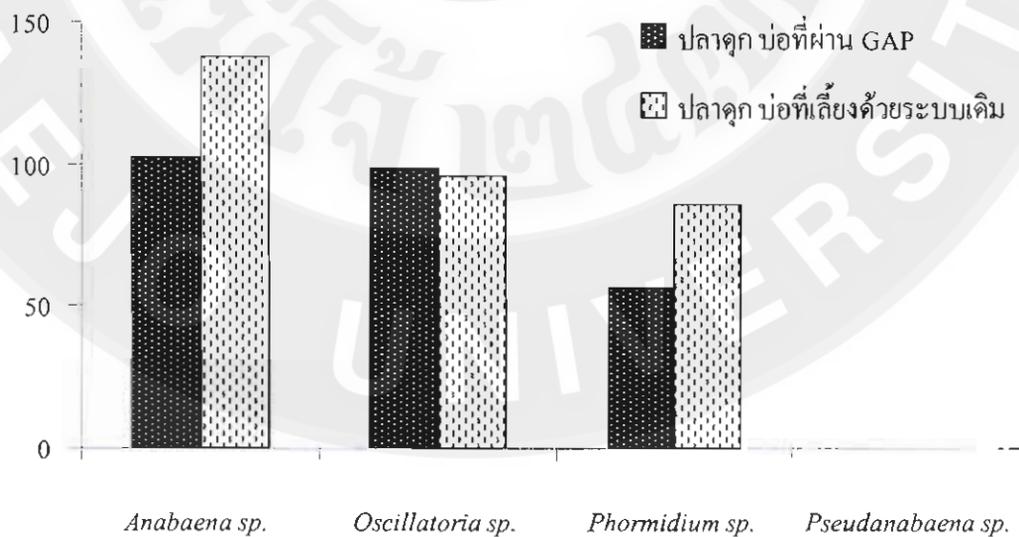
ภาพ 11 ชนิดของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่สร้างกลิ่นไม่พึงประสงค์ที่พบในการทดลอง (A) *Anabaena* sp., (B) *Oscillatoria* sp., (C) *Phormidium* sp. และ (D) *Pseudanabaena* sp.

($\times 10^3 \text{ cells.mL}^{-1}$)



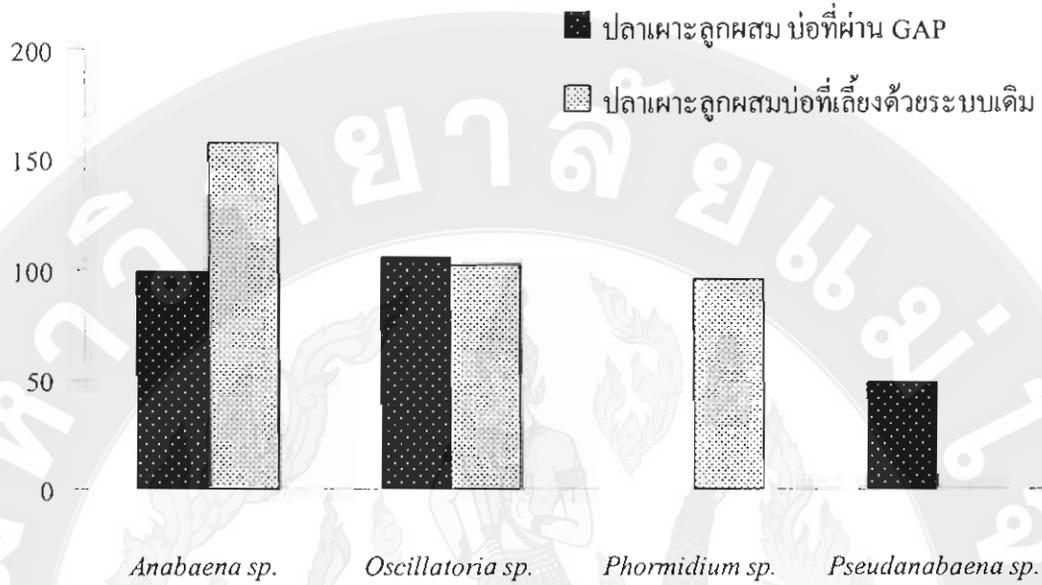
ภาพ 12 ชนิดของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่สร้างกลิ่นไม่พึงประสงค์ที่พบในบ่อเลี้ยงปลานิลที่ผ่าน GAP และเลี้ยงด้วยระบบเดิม

($\times 10^3 \text{ cells.mL}^{-1}$)



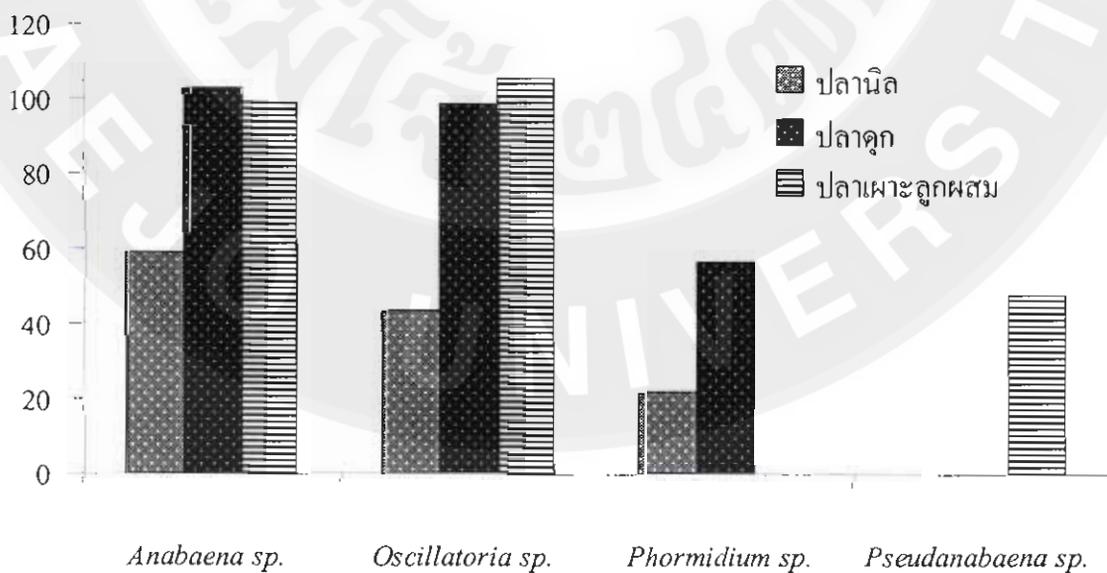
ภาพ 13 ชนิดของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่สร้างกลิ่นไม่พึงประสงค์ที่พบในบ่อเลี้ยงปลาจุกที่ผ่าน GAP และเลี้ยงด้วยระบบเดิม

($\times 10^3 \text{ cells.mL}^{-1}$)



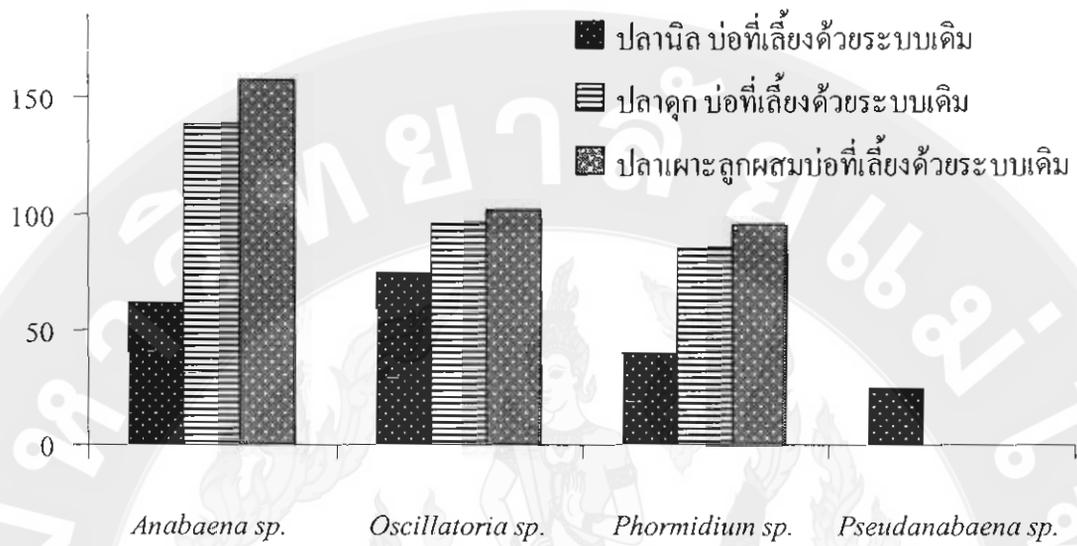
ภาพ 14 ชนิดของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่สร้างกลิ่นไม่พึงประสงค์ที่พบในบ่อเลี้ยงปลาเผา
ลูกผสมที่ผ่าน GAP และเลี้ยงด้วยระบบเดิม

($\times 10^3 \text{ cells.mL}^{-1}$)



ภาพ 15 ชนิดของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่สร้างกลิ่นไม่พึงประสงค์ที่พบในบ่อเลี้ยงปลานิล, ปลา
คูและปลาเผา ลูกผสมที่ผ่าน GAP

($\times 10^3 \text{ cells.mL}^{-1}$)



ภาพ 16 ชนิดของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่สร้างกลิ่นไม่พึงประสงค์ที่พบในบ่อเลี้ยงปลานิล, ปลาตูกและปลาเผาะลูกผสมที่เลี้ยงด้วยระบบเดิม

สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย

จากการตรวจสอบติดตามกลิ่นไม่พึงประสงค์ในตัวอย่างปลาที่ได้จากการเลี้ยง 2 ระบบ คือ ระบบเดิมและระบบการเลี้ยงที่ผ่าน GAP พบว่า ปลาที่ได้จากระบบการเลี้ยงที่ผ่าน GAP มีการสะสมของกลิ่นน้อยกว่าปลาที่ได้จากระบบเดิม ซึ่งระบบการเลี้ยงปลาในปัจจุบันมุ่งเน้นเพื่อเป็นอาหารที่ปลอดภัย โดยมีมาตรการควบคุมระบบการเลี้ยงภายใต้ข้อกำหนดต่าง เช่น การเลี้ยงในระบบแนวปฏิบัติที่ดี (Good Aquaculture practice, GAP) การเลี้ยงปลาภายใต้เงื่อนไขนี้ กรมประมงเป็นหน่วยงานที่กำกับดูแล โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้สัตว์น้ำมีคุณภาพปลอดภัย

กลิ่นโคลนที่สะสมในตัวปลาเป็นเรื่องที่เกษตรกรให้ความสำคัญ โดยเฉพาะปลาที่ส่งออก เช่น ปลา นิล ปลาเพาะลูกผสม และปลาดุก โดยมีงานวิจัยที่ผ่านมาได้ศึกษาในปลาหลายชนิด (ตาราง 10) เช่น กลิ่นที่สะสมในปลานิลที่เลี้ยงต่างกัน 4 รูปแบบคือ ปลานิลในบ่อดิน ในกระชัง ปลานิลในบ่อดินร่วมกับปลาดุกในกระชัง และ การเลี้ยงปลานิลในกระชังร่วมกับปลาดุกในบ่อดิน พบว่า การสะสมของจืออสมินในปลานิลที่เลี้ยงในกระชังร่วมกับปลาดุกในบ่อดิน (T4) มีค่าต่ำที่สุด ($p > 0.05$) แต่สูงกว่าระดับที่ยอมรับได้ (Threshold level) ที่กำหนดไว้ที่ 0.6 ไมโครกรัม/กิโลกรัม ของจืออสมินและที่ 0.9 ไมโครกรัม/กิโลกรัม ของเอ็มไอบี ปลานิลที่เลี้ยงบ่อดิน(ทั้งในกระชังหรือในบ่อดินโดยตรง) มีโอกาสรับจืออสมินและเอ็มไอบีได้ทั้งการกินและการดูดซึมผ่านเหงือกได้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารทั้งสองในน้ำหรือขึ้นกับแหล่งผลิต (filamentous cyanobacteria บางตัวและ Actinomycetes บางตัว) นอกจากนี้ยังพบว่า ปลานิลที่เลี้ยงในกระชังในแม่น้ำมีการปนเปื้อนของกลิ่นไม่พึงประสงค์น้อยมาก โดยมีค่าจืออสมินและเอ็มไอบีต่ำกว่าระดับที่ยอมรับได้ (Threshold level) 100% ของตัวอย่าง ($n=18$) รายงานอื่นๆ ที่ผ่านมาในปลาและในกุ้ง (ตารางที่ 10) พบการปนเปื้อนของกลิ่นไม่พึงประสงค์ในเนื้อปลาที่แตกต่างกัน จากการตรวจสอบปริมาณกลิ่นไม่พึงประสงค์ในน้ำพบสารจืออสมิน (0-0.23 ไมโครกรัม/ลิตร) และเอ็มไอบี (0-0.23 ไมโครกรัม/ลิตร)

ปลานิลที่เลี้ยงในบ่อดินได้รับสารจืออสมินและเอ็มไอบีทั้งการกินสาหร่าย แพลงก์ตอนพืช และแบคทีเรียที่สร้างกลิ่น หรือการซึมผ่านเหงือกแล้วสะสมในร่างกายของปลา ในธรรมชาติปลาอาศัยอยู่ในน้ำที่มีการละลายของกลิ่นไม่พึงประสงค์ เมื่อดูดซึมเข้าสู่ร่างกายปลาสามารถกำจัดออกได้ด้วยการทำงานของเอนไซม์ไซโตโครม พี 450 ไมโนออกซิเจเนส รูปแบบ CYP 1A ในเซลล์ตับ โดยการเปลี่ยนโครงสร้างของสารไม่มีขั้วให้อยู่ในรูปของสารมีขั้วและสามารถกำจัดออกจากร่างกายได้ (Schlenk, 1994) Yamprayoon and Noomhorn (2000) รายงานว่า กลิ่นไม่พึงประสงค์สามารถเข้าสู่ร่างกายสัตว์น้ำได้ง่ายในช่วงสั้น แต่การลดหรือกำจัดกลิ่นไม่พึงประสงค์ออกอาจต้องใช้เวลาอันนานเป็นสัปดาห์

จากการตรวจสอบชนิดของสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวที่สร้างกลิ่นไม่พึงประสงค์ตลอดการเลี้ยงใน T1, T2, T3 และ T4 พบ *Anabaena* sp. เป็นกลุ่มเด่น และรองลงมาคือ *Oscillatoria* sp. และ *Pseudanabaena* sp. สอดคล้องกับ Smith *et al.* (2008) พบว่าสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวที่สร้างกลิ่นไม่พึงประสงค์ ได้แก่ *Anabaena* sp. *Oscillatoria* sp. *Aphanizomenon* sp. *Phormidium* sp. และ *Pseudanabaena* sp. และยังสอดคล้องกับรายงานของ Juttner and Watson (2007) พบว่า *Oscillatoria splendida*, *Oscillatoria brevis*, *Oscillatoria tenuis*, *Lyngbia subtilis* และ *Oscillatoria allogei* เป็นสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวที่สร้างกลิ่นไม่พึงประสงค์ที่สามารถเจริญเติบโตเกาะอยู่กับผิววนและพื้นกระชังได้ดี

Klausen *et al.*, (2005) พบว่าเชื้อแอคติโนมัยซีทจำนวนมากในแม่น้ำและบ่อปลาของประเทศเดนมาร์กผลิตสาร geosmin และ 2-methylisoborneol ซึ่งเป็นสาเหตุของกลิ่นไม่พึงประสงค์ได้ Zuo *et al.*, (2009) แยกเชื้อแอคติโนมัยซีทที่สร้างกลิ่นไม่พึงประสงค์จากดินตะกอนก้นทะเลสาบ Lotus ในประเทศจีน พบว่า ทุกไอโซเลทเป็นสมาชิกในสกุล *Streptomyces* สอดคล้องกับงานวิจัยของ Zuo *et al.*, (2010) ที่รายงานการตรวจพบสาร geosmin ปริมาณสูงในตะกอนก้นอ่างเก็บน้ำ Xionghe ประเทศจีนซึ่งมีความลึกเฉลี่ย 13 เมตร ซึ่งพบว่า สาร geosmin ดังกล่าวถูกผลิตโดยเชื้อแอคติโนมัยซีทในสกุล *Streptomyces* ที่อาศัยอยู่ในดินตะกอนก้นอ่างเก็บน้ำ จากผลการทดลองครั้งนี้พบว่า Actinomycetes เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้การสะสมกลิ่นในตัวปลา Actinomycetes ทั้ง 4 isolates นั้นได้มาจากกระเพาะปลานิลที่เลี้ยงในกระชัง ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่มีการสะสมของ ตะกอนของเสียที่ก้นกระชัง และส่งผลให้มีการเจริญเติบโตแล้วปลานิลได้รับการกินอาหาร

Sugiura *et al.*, (1994) ได้แสดงให้เห็นว่า actinomycetes ที่พื้นทะเลสาบ สามารถเจริญได้ดีเนื่องจากได้ใช้แหล่งคาร์บอนจาก *Microcystis* sp. ที่ตายแล้วจมตัวลงสู่พื้นทะเลสาบ

ตาราง 10 ปริมาณกลิ่นไม่พึงประสงค์ที่สะสมในสัตว์น้ำ

ชนิดปลา	GSM	MIB	อ้างอิง
Bream	-	0.095 $\mu\text{g.kg}^{-1}$	
Pike	-	0.085 $\mu\text{g.kg}^{-1}$	Presson (1980)
Rainbow trout	-	0.055 $\mu\text{g.kg}^{-1}$	
Shrimp	78 $\mu\text{g.kg}^{-1}$	-	Lovell and Broce (1985)

ตาราง 10 (ต่อ) ปริมาณกลิ่นไม่พึงประสงค์ที่สะสมในสัตว์น้ำ

ชนิดปลา	GSM	MIB	อ้างอิง
Channel catfish	-	20.1–20.8 $\mu\text{g.kg}^{-1}$	Johnsen and Lloyd (1992)
Channel catfish	0.7 $\mu\text{g.kg}^{-1}$	-	Johnsen and Kelly (1990); Dionigi <i>et al.</i> (2000)
Channel catfish	0.25-0.5 $\mu\text{g.kg}^{-1}$	0.1–0.2 $\mu\text{g.kg}^{-1}$	Casey <i>et al.</i> (2004)
Channel catfish	250-500 ng.kg^{-1}	100-200 ng.kg^{-1}	Grimm <i>et al.</i> (2004)
Rainbow trout	900 ng.kg^{-1}	-	Robertson <i>et al.</i> (2006)
	7.2 $\mu\text{g.kg}^{-1}$	-	
Red tilapia	4.6-41.0 $\mu\text{g.kg}^{-1}$	10.0-74.0 $\mu\text{g.kg}^{-1}$	Whangchai <i>et al.</i> (2008)
Nile tilapia	1.57 \pm 0.15 (0.00–5.91) $\mu\text{g.kg}^{-1}$	3.12 \pm 0.27 (0.00–12.44) $\mu\text{g.kg}^{-1}$	Whangchai <i>et al.</i> (2008)
บ่อที่เลี้ยงด้วยระบบเดิม			
Nile tilapia	1.59 \pm 0.60 $\mu\text{g.kg}^{-1}$	2.11 \pm 0.50 $\mu\text{g.kg}^{-1}$	
Catfish	0.48 \pm 0.12 $\mu\text{g.kg}^{-1}$	9.82 \pm 2.22 $\mu\text{g.kg}^{-1}$	
Pangasius	0.53 \pm 0.52 $\mu\text{g.kg}^{-1}$	0.44 \pm 0.82 $\mu\text{g.kg}^{-1}$	การวิจัยครั้งนี้
บ่อที่ผ่าน GAP			
Nile tilapia	2.44 \pm 1.02 $\mu\text{g.kg}^{-1}$	2.71 \pm 0.90 $\mu\text{g.kg}^{-1}$	
Catfish	0.56 \pm 0.11 $\mu\text{g.kg}^{-1}$	9.48 \pm 2.72 $\mu\text{g.kg}^{-1}$	
Pangasius	3.39 \pm 0.72 $\mu\text{g.kg}^{-1}$	1.39 \pm 0.10 $\mu\text{g.kg}^{-1}$	

ปัจจุบันระดับที่ยอมรับได้ (threshold level) ของปริมาณสารจืออสมิน คือ 0.9 ไมโครกรัม/กิโลกรัม (Robertson *et al.*, 2006) และสารเอ็มไอบี คือ 0.6 ไมโครกรัม/กิโลกรัม (Persson, 1980) และเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยนี้จะเห็นได้ว่า ปลานิลที่เลี้ยงในกระชังมีปริมาณสารจืออสมินต่ำกว่าค่าที่ยอมรับได้ คือ 0.9 ไมโครกรัม/กิโลกรัม แสดงให้เห็นว่า ปลานิลที่เลี้ยงในกระชังก่อนจับ

ขายมีการปนเปื้อนกลิ่นไม่พึงประสงค์ในระดับที่ยอมรับได้ แต่อย่างไรก็ดี เกษตรกรและผู้ประกอบการเลี้ยงปลานิลรวมถึงสัตว์น้ำเศรษฐกิจชนิดอื่น เพื่อการส่งออกควรมีการตรวจสอบกลิ่นไม่พึงประสงค์ในเนื้อสัตว์น้ำก่อนจับขาย

