



กลิ่นโคลนในสัตว์น้ำ: ผลกระทบ สาเหตุ และการแก้ไขปัญห Musty/earthy off-flavor in aquatic animals: impact, causes, and solutions

พรพิมล พิมลรัตน์^{1*} นิวุฒิ หวังชัย¹ ชนกกันต์ จิตมนัส¹ และหลุยส์ เลอเบล²

Pornpimol Pimolrat^{1*}, Niwooti Whangchai¹, Chanagun Chitmanat¹ and Louis Lebel²

¹ คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

² หน่วยวิจัยสังคมและสิ่งแวดล้อม คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

¹ Faculty of Fisheries Technology and Aquatic Resources, Maejo University

² Unit for Social and Environmental Research, Chiang Mai University

* Correspondent author: paqua50@gmail.com

บทคัดย่อ

กลิ่นสาบดินหรือกลิ่นโคลนที่ไม่พึงประสงค์ในสัตว์น้ำเป็นปัญหาทั่วโลก แม้ว่าจะไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพมนุษย์ แต่กลิ่นโคลนก็เป็นสาเหตุที่ทำให้ผู้บริโภคไม่ยอมรับ บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อรวบรวมบทความที่เกี่ยวข้องกับกลิ่นโคลนในสัตว์น้ำ จีออสมินและ 2-เมทิลไอโซบอร์เนอล (เอ็มไอบี) เป็นสารสำคัญที่ก่อให้เกิดกลิ่นโคลน สารทั้งสองชนิดนี้เป็นสารเมทาโบไลต์ที่ผลิตจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเช่น *Anabaena* sp., *Oscillatoria* sp., *Lyngbya* sp., *Symploca* sp., *Phormidium* sp., *Aphanizomenon* sp. และแบคทีเรียบางสายพันธุ์ เช่น *Streptomyces* ปลาที่มีปริมาณไขมันสูงหรือเลี้ยงในบ่อดินที่มีสาหร่ายและแบคทีเรียที่เรียกว่ามาข้างต้นมีความเสี่ยงสูงที่จะเกิดปัญหาการปนเปื้อนของกลิ่นโคลน อุณหภูมิ ฤดูกาล และการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศมีผลต่อการเกิดกลิ่นโคลน ตลอดจนทั้งมีการนำเสนอวิธีการต่างๆ เพื่อแก้ปัญหากลิ่นโคลน ข้อมูลเหล่านี้น่าจะมีประโยชน์สำหรับควบคุมและจัดการปัญหากลิ่นโคลนที่เกิดขึ้นในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำให้แก้เกษตรกรต่อไป

Abstract

Musty/earthy off-flavor in aquatic animals has been reported in aquatic organism worldwide. Although there is no negative effect on human health, it causes an unacceptable for consumer consumption. The purpose of this article is to review some of the available literature relating to musty/earthy off-flavor in aquatic animals. Geosmin (GSM) and 2-methylisoborneol (MIB) are two major off-flavor compounds. These compounds are caused by metabolites produced by blue-green algae including *Anabaena* sp., *Oscillatoria* sp., *Lyngbya* sp., *Symploca* sp., *Phormidium* sp., and *Aphanizomenon* sp. and some bacteria such as *Streptomyces*. Fish with high fat content or raised in earthen ponds with enriched algae and bacteria mentioned earlier increase in risk of off-flavor problem. The influences of temperature, season, and climate change had been also discussed. Finally, the various practical

methods for undesirable flavor were described. This information will be beneficial for fish farmers to control an off-flavor problem.

คำสำคัญ: กลิ่นโคลน สัตว์น้ำ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน สาเหตุ การป้องกัน

Keywords: off-flavor, aquatic animal, blue-green algae, cause, solution

1. กลิ่นโคลน (musty/earthy off-flavor) ในสัตว์น้ำ

การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นอุตสาหกรรมที่ทำรายได้เข้าสู่ประเทศจำนวนมากมูลค่าสัตว์น้ำที่ได้จากการเพาะเลี้ยงของไทยมีค่าสูงกว่าสัตว์น้ำที่ได้จากการจับ ซึ่งมีมูลค่าสูงกว่า 5 หมื่นล้านบาทต่อปี และมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง(1)ที่ทั้งอาหารทะเล ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงชายฝั่งและปลาน้ำจืดแต่ปัจจุบันพบว่าปลาน้ำจืดหรือสัตว์น้ำที่เพาะเลี้ยงในสภาวะความเค็มต่ำประสบกับปัญหาการสะสมของกลิ่นไม่พึงประสงค์ (off-flavor) โดยเฉพาะกลิ่นโคลน/ดิน (musty/earthy off-flavor) ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญที่พบได้ทั่วทุกภูมิภาคในหลายๆ ประเทศทั่วโลกเช่น อเมริกา จีน แคนาดา ไทย เอกวาดอร์(2,3) ทำให้ผู้บริโภคสัตว์น้ำไม่ยอมรับ(4) และไม่เป็นที่ต้องการของตลาดโดยเฉพาะตลาดส่งออกต่างประเทศ สัตว์น้ำที่พบปัญหาดังกล่าวได้แก่ ปลากรดอเมริกัน (5) ปลาแซลมอน(6) ปลาเรนโบว์เทราท์ (7,8) ปลาแฮร์ริ่ง (herring) ปลาคาร์พ (carp) (9) หอยกาบ (10) ปลานิล (11) ปลาอุก (12) และกุ้ง(13) โดยเฉพาะอย่างยิ่งกุ้งขาว *Litopenaeus vannamei* ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่สามารถทนความเค็มได้ในช่วงกว้างตั้งแต่ 1 – 40 พีพีที การเลี้ยงกุ้งที่ระดับความเค็มต่ำจึงเป็นวิธีการหนึ่งที่สำคัญในเชิงธุรกิจ พบว่า 55 เปอร์เซ็นต์ของกุ้งที่เลี้ยงในประเทศจีนเลี้ยงในเขตความเค็มต่ำ(14,15) โดยผู้บริโภคชอบกุ้งที่จับได้จากทะเลหรือเลี้ยงในน้ำทะเลมากกว่ากุ้งที่เลี้ยงในน้ำความเค็มต่ำเนื่องจากมีรสชาติและคุณภาพดีกว่า ส่วนกุ้งที่เลี้ยงด้วยความเค็มต่ำมีแนวโน้มที่จะมีเนื้อสัมผัสและเปลือกที่นุ่มและรสชาติที่ค็อยกว่า อีกทั้งยังมีการปนเปื้อนของกลิ่นโคลนเมื่อเปรียบเทียบกับกุ้งที่เลี้ยงในทะเล นำไปสู่คุณภาพที่ลดลงของผลิตภัณฑ์และเกิดการ

สูญเสียทางเศรษฐกิจสำหรับเกษตรกร(16)เพราะเกษตรกรผู้เลี้ยงปลากดอเมริกันต้องเสียค่าใช้จ่ายค่าอาหารเพิ่มสูงขึ้นและเสี่ยงต่อความสูญเสียจากการเป็นโรคระหว่างรอเวลาในการแก้ไขปัญหากลิ่นโคลน(17)

2. สาเหตุและการสะสมของกลิ่นโคลนในสัตว์น้ำ

การเกิดกลิ่นโคลนอาจจะเกิดจากสารตัวหลัก 2 ชนิด คือ จีออสมิน ($1\alpha, 10\beta$ -dimethyl-9 α -decalol: geosmin) และเอ็มไอบี (2-methylisoborneol: MIB) ซึ่งเป็นสารประกอบแอลกอฮอล์อิ่มตัว (Saturated cyclic tertiary alcohol) มีรายงานว่า สารจีออสมินเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดกลิ่นและรสชาติที่ผิดปกติในแหล่งเก็บน้ำดื่ม (18) โดยจีออสมินถูกแยกได้เป็นครั้งแรกจากแบคทีเรีย actinomycetes (19) ต่อมาพบว่าสามารถแยกได้จากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (20-23) โดยสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและแบคทีเรียบางชนิดสังเคราะห์สารประกอบทั้งสองชนิดนี้ขึ้นในวิถีเทอร์ปีน (terpene pathway) สารประกอบจีออสมินสร้างขึ้นจากสารประกอบฟานิซิล-ไพโรฟอสเฟต (Farnesyl-PP) (23) และสารประกอบเอ็มไอบีสร้างขึ้นจากสารประกอบเจอร์รานิล-ไพโรฟอสเฟต (Geranyl-PP)(23) จีออสมินและเอ็มไอบีเป็นสารประกอบที่ระเหยได้ โครงสร้างประกอบด้วยหมู่เมทิลและหมู่ไฮดรอกซิล(20)สารทั้งสองชนิดมีคุณสมบัติทั่วไป คือ ละลายในไขมันได้ดีเป็นสารแปลกปลอมสำหรับสิ่งมีชีวิต สามารถกระจายตัวและสะสมในเนื้อเยื่อที่มีส่วนประกอบของไขมันสูง เมื่อเกิดการสะสมในร่างกายจะกำจัดออกได้ยากจึงก่อให้เกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ (24) อย่างไรก็ตามสารประกอบทั้งสองชนิดไม่เป็นพิษต่อเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตและไม่ก่อให้เกิดการ

ลายพันธุ์(25) ระดับต่ำสุดของจีโอสมินที่สามารถตรวจพบโดยมนุษย์ในปลาหนัง (catfish) คือ 8.4 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม(26) และในปลาเทราต์ คือ 6.5 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม(7)และระดับที่ยอมรับได้ (Threshold level) ของจีโอสมินคือ 0.9 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม(27) และของเอ็มไอบี คือ 0.6 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม(4)

ปัญหากลิ่นโคลนอาจเกิดขึ้นเนื่องจากปลากินสารประกอบกลิ่นโคลนเข้าไปโดยตรง หรือมีการปนเปื้อนกับสิ่งที่ปลากิน หรือผ่านเข้าสู่ตัวปลาโดยการดูดซึมในส่วนของอวัยวะต่างๆ(28) สัตว์น้ำสามารถดูดซึมสารที่ก่อให้เกิดกลิ่นโคลนผ่านเหงือก หรือเนื้อเยื่อต่างๆ ที่สัมผัสน้ำ มากกว่าการกินสาหร่ายหรือแบคทีเรียที่ผลิตสารโดยตรง (8,29) และจะไปสะสมอยู่ในร่างกาย โดยเฉพาะเนื้อเยื่อที่มีไขมันสูง(5) ขณะที่ Johnsen and Lloyd (30) กล่าวว่า การดูดซึมและสะสมสารที่ก่อให้เกิดกลิ่นโคลนขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น อุณหภูมิของน้ำ ปริมาณไขมันในปลา โดยปลาที่มีปริมาณไขมันสูงสามารถสะสมสารประกอบกลิ่นโคลนได้มากกว่าปลาที่มีไขมันต่ำ ส่วน Rungreungwudhikrai (31) พบว่า ปลาชนิดจากบ่อเลี้ยงในภาคกลางมีความเข้มข้นของสารกลิ่นโคลนในเนื้อสูง เมื่อให้อาหารสำเร็จรูปรวมกับการใช้ปุ๋ยในบ่อ โดยบ่อที่ใช้ปุ๋ยมีปริมาณสารกลิ่นโคลนในเนื้อสูงกว่าการใช้ปุ๋ยมูลสัตว์ ส่วนบ่อที่ให้อาหารสำเร็จรูปอย่างเดียวพบว่ามีสารกลิ่นโคลนในเนื้อปลาค่า ถ้าในบ่อเลี้ยงมีสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินจำนวนมาก จะพบว่าความเข้มข้นของจีโอสมินหรือเอ็มไอบีในน้ำก็จะมีความเข้มข้นที่สูงเช่นกัน Van Der Ploeg and Boyd (32) กล่าวว่าบ่อเลี้ยงที่มีสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินชนิด *Anabaena* และ *Oscillatoria* เป็นจำนวนมากมีปริมาณความเข้มข้นจีโอสมินและเอ็มไอบีในน้ำสูงและมีผลทำให้เกิดกลิ่นโคลนพจมาน และคณะ (33) ทำการศึกษาคุณภาพของกุ้งขาวแวนนาไม (*L. vannamei*) ที่เลี้ยงในบ่อดินและบ่อที่ปูด้วยโพลีเอทิลีน(พีอี) ขนาดบ่อละ 2.5 ไร่ ความเค็มในระหว่างการเลี้ยง 7 – 8 ส่วนในพันส่วน (พีพีที) หลังจากเลี้ยงนาน 12 สัปดาห์ พบว่า กุ้งสดและกุ้งสุกจากบ่อพีอีมีกลิ่นโคลนมากกว่ากุ้งจากบ่อดิน ซึ่งกลิ่นโคลนมีความสัมพันธ์กับปริมาณแพลงก์ตอนพืชโดยเฉพาะกลุ่มของ

สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่มีปริมาณมากในบ่อพีอีตลอดระยะเวลาการเลี้ยง ขณะที่ในบ่อดินมีปริมาณแพลงก์ตอนพืชน้อยกว่า

ชนิดและปริมาณของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและแอกติโนมัยซิส ก็เป็นสาเหตุหนึ่งที่มีผลต่อปริมาณสารที่ทำให้เกิดกลิ่นโคลนในน้ำ มีสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมากกว่า 40 ชนิดที่สามารถผลิตสารจีโอสมินและเอ็มไอบีได้ และส่วนใหญ่จะมีรูปร่างเป็นเส้นสาย เช่น *Anabaena circinalis* Rabenhorst, *Oscillatoria tenuis* Agardh, *Lyngbya* sp., *Symplocasp.*, *Phormidium* sp. และ *Aphanizomenon* sp. (13, 34-36) ส่วนแบคทีเรียที่สามารถสร้างสารจีโอสมิน และสารเอ็มไอบีได้แก่กลุ่ม actinomycetes เช่น สกุล *Streptomyces*, *Actinomadura* และ *Micromonospora* (37-40) โดยเฉพาะ *Streptomyces* มีรายงานว่าสามารถทำให้เกิดกลิ่นและรสชาติที่ไม่พึงประสงค์มากที่สุด(32)

3. ผลของสภาพอากาศ และฤดูกาลต่อกลิ่นโคลนในสัตว์น้ำ

การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศในแต่ละช่วงฤดูหรือในแต่ละวัน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิ น้ำ การเปลี่ยนแปลงรังสีดวงอาทิตย์ ความเร็วลม ความถี่ และความรุนแรงของพายุอุณหภูมิ เป็นสิ่งที่สามารถวัดได้อย่างชัดเจน และอุณหภูมิของน้ำตามธรรมชาติจะผันแปรตามอุณหภูมิของอากาศ(41) ดังนั้น เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงฤดูกาลหรือสภาพอากาศจึงส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิ น้ำและส่งผลต่อคุณภาพน้ำอื่น ๆ ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำแตกต่างกันไปในแต่ละฤดูกาล

ในฤดูร้อนผิวน้ำชั้นบนและชั้นล่างมีความแตกต่างกันมาก จึงเกิดปรากฏการณ์เทอร์โมไคลน์ (thermocline) ซึ่งเป็นชั้นรอยต่อ น้ำบริเวณนี้มีความหนืดสูง ทำให้น้ำชั้นบนและชั้นล่างหมุนเวียนถึงกันไม่ได้ ดังนั้นแพลงก์ตอนพืชซึ่งเติบโตได้ดีในช่วงต้นของฤดูกาลเพราะยังมีสารอาหารอยู่บริเวณชั้นบนผิวน้ำ หลังจากนั้นไม่นานเมื่อสารอาหารหมดแพลงก์ตอนจะตาย อีกทั้งสภาพอากาศในฤดูร้อนที่มีอุณหภูมิอากาศสูงส่งผลทำให้อุณหภูมิ น้ำเพิ่มสูงขึ้น น้ำในแม่น้ำมีปริมาณน้อยลง น้ำไหล

ซ้ำ และคุณภาพน้ำลดต่ำลง ส่งผลต่อการขาดแคลนน้ำ ในการเลี้ยงปลาหรือมีปริมาณน้ำไม่เพียงพอสำหรับการ เปลี่ยนถ่ายน้ำภายในบ่อ ปริมาณน้ำที่แห้งขอด ต้นเงิน และไม่มีกรหมุนเวียนของธาตุอาหารในบ่อเลี้ยงส่งผล ต่อการเจริญของแพลงก์ตอนพืชโดยในช่วงที่มีการถ่าย เทนน้ำน้อยเช่น ฤดูร้อน ทำให้แพลงก์ตอนพืชและสาหร่าย มีการเติบโตที่มากเกินไป และเกิดการเพิ่มปริมาณอย่าง รวดเร็วของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน โดยเฉพาะสาย พันธุ์ที่สามารถสร้างสารที่ทำให้เกิดกลิ่นโคลนภายใน เซลล์ของสัตว์น้ำ เช่น *Anabaena* sp., *Oscillatoria* sp., *Lyngbya* sp. และ *Pseudoanabaena* sp. เป็นต้นสาหร่าย สีเขียวแกมน้ำเงิน สามารถเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว ในน้ำที่มีอุณหภูมิสูงช่วง 25-35°C เพราะสาหร่ายพวกนี้ มีซีทหุ้มเซลล์หนา และโมเลกุลของโปรตีนภายในโปร โตพลาสมซึมจับตัวกันแน่น จึงช่วยให้สาหร่ายพวกนี้ทน ต่ออุณหภูมิสูงหรือต่ำกว่าปกติได้ เช่นสามารถพบ *Phorm idium* ในบริเวณขั้วโลกในทะเลสาบ บริเวณทวีปแอนตาร์ ดิก ส่วนบริเวณเขตร้อน(อุณหภูมิ 36 – 40 °C) สามารถ พบ *Oscillatoria*, *Anabaena* และ *Chroococcus turgidus* และน้ำที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 30 °C จะทำให้ปลาเกิดกลิ่น โคลนเกิดขึ้นได้(42) จากการศึกษาในแม่น้ำ Arno (อิตาลี) จำนวนสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมีความสัมพันธ์กับ ระยะเวลาที่เกิดกลิ่นโคลนสูงในฤดูใบไม้ผลิและฤดูร้อน ขณะที่จำนวนแอกติโนมัยซีตสัมพันธ์กับระยะเวลาของ การผลิตกลิ่นสูงในฤดูใบไม้ร่วงและฤดูหนาว (43) ขณะที่ Lelana(44)พบว่าไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้น ของจีโอสมินและอุณหภูมิในบ่อเลี้ยงปลาที่มหาวิทยาลัย ออเบิร์น(Auburn University)

อุณหภูมิน้ำยังเกี่ยวข้องกับแสงที่ส่องผ่านลง ในน้ำ แสงที่ส่องลงใต้น้ำจะถูกดูดกลืนและเปลี่ยนรูปจาก พลังงานแสงเป็นพลังงานความร้อน เมื่อสะสมอยู่ในน้ำ จะทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้นในช่วงฤดูร้อนที่ความ เข้มแสงอาทิตย์มีมากจะทำให้ส่องลงสู่น้ำได้มาก ปริมาณ แพลงก์ตอนพืชและสาหร่ายในช่วงฤดูร้อนมีมากกว่า ในฤดูหนาว (45) แสงมีความสำคัญต่อกระบวนการ สังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืชและสาหร่ายสีเขียว แกมน้ำเงิน คลอโรฟิลล์เอเป็นสารสีที่มีความสำคัญใน

กระบวนการสังเคราะห์แสง ในสาหร่าย *Anabaena* sp. จากการศึกษาของ Bentley and Meganathan(46) รวมถึง Naes and Post (47) พบว่าการสังเคราะห์จีโอสมินและ คลอโรฟิลล์เออยู่ในพาหะเดียวกันโดยอัตราส่วนจีโอ สมินต่อคลอโรฟิลล์เอมีความสัมพันธ์กับความเข้มแสง โดยตรง การลดลงของคลอโรฟิลล์เอภายในเซลล์เกิดขึ้น พร้อมกับการสังเคราะห์สารจีโอสมินที่สูงขึ้นเมื่อเพิ่ม ความเข้มแสงภายใต้สภาวะที่อุณหภูมิคงที่ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปริมาณสารสีมีการลดลงที่ความเข้มแสงสูงกว่า ดังนั้นจีโอสมินจึงสังเคราะห์ได้เพิ่มขึ้น โดยที่ความเข้ม แสง 17 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสเป็นสภาวะ ที่เหมาะสมต่อการผลิตจีโอสมินของ *Anabaena* sp. ทำให้ มีปริมาณจีโอสมินต่อมวลชีวภาพสูงสุดเมื่อเพาะเลี้ยงที่ สภาวะดังกล่าว (48)

ในฤดูหนาวผิวน้ำถูกปกคลุมด้วยน้ำแข็ง ช่วง ต้นฤดูแพลงก์ตอนพืชเจริญได้บ้างเพราะแสงส่องผ่าน น้ำแข็งลงไปได้ แต่คาร์บอนไดออกไซด์ และออกซิเจน ไม่สามารถละลายผ่านไปได้ในไม่ช้าการสังเคราะห์แสง ก็จะหยุดลงสำหรับฤดูใบไม้ผลิหรือฤดูใบไม้ร่วงอุณหภูมิ ของผิวน้ำและบริเวณก้นบ่อไม่แตกต่างกันมาก จึงไม่เกิด การแบ่งชั้นรอยต่อ และมักมีลมพัดแรงทำให้เกิดการ หมุนเวียนน้ำแร่ธาตุจากกันแหล่งน้ำมาให้แพลงก์ตอน พืชได้ใช้ตลอดฤดูกาล แต่สำหรับประเทศในเขตร้อน อย่างประเทศไทย ปรากฏการณ์เทอร์โมไคลน์มักไม่ค่อย เกิดเพราะอุณหภูมิผิวน้ำกับส่วนที่ลึกลงไปไม่แตกต่างกัน มากนัก อีกทั้งความแตกต่างของฤดูกาลไม่ชัดเจน ทำให้ แพลงก์ตอนพืชมีความแตกต่างกันทางชนิดและปริมาณ อยู่บ้างในแต่ละฤดูกาล แต่ก็ไม่ชัดเจนเหมือนกับประเทศ ในเขตอบอุ่น (49)

ในศตวรรษที่ผ่านมาอุณหภูมิของโลกเพิ่มขึ้น ประมาณ 0.6 องศาเซลเซียส และแบบจำลองสภาพภูมิ อากาศโดย Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) ทำนายว่าในศตวรรษนี้อุณหภูมิโลกจะเพิ่มสูงขึ้น 1.4-6.4 องศาเซลเซียส (50) การเปลี่ยนแปลงนี้มีผลกระทบ ต่อคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำที่เปลี่ยนแปลงไป ตามสภาพอากาศ แวนโน้มอุณหภูมิของน้ำที่สูงขึ้นทำให้ กระบวนการย่อยสลายสารอาหารในบ่อเกิดเพิ่มขึ้นและ

ส่งผลต่อการเพิ่มจำนวนแพลงก์ตอนพืชโดยเฉพาะอย่างยิ่งพวกไซยาโนแบคทีเรียหรือสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ซึ่งเป็นกลุ่มสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวที่มีความหลากหลายสามารถอยู่ได้ในช่วงสภาวะแวดล้อมที่กว้างเพราะความสามารถในการปรับตัว และเนื่องมาจากความสามารถในการปรับตัวนี้เอง จึงทำให้สาหร่ายกลุ่มนี้มีอิทธิพลและเป็นกลุ่มสาหร่ายเด่นที่ทำให้เกิดกลิ่นโคลน มีการคาดการณ์ว่าสาหร่ายกลุ่มนี้น่าจะปรับตัวได้ดีในสภาวะที่สภาพอากาศเปลี่ยนแปลงในอนาคตเมื่อเปรียบเทียบกับชนิดอื่นๆ ทั้งนี้เนื่องมาจากสามารถอดทนต่ออุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น การเปลี่ยนแปลงการแบ่งชั้นความร้อนในแนวตั้งของระบบนิเวศทางน้ำ และการเปลี่ยนแปลงฤดูกาลและสภาพอากาศในระหว่างปี (51) Weyhenmeyer (52) รายงานว่าอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นมาพร้อมกับมวลชีวภาพของไซยาโนแบคทีเรียที่สูงขึ้น โดยเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอัตราการเจริญเติบโตสูงสุดของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินชนิด *Microcystis aeruginosa* เพิ่มขึ้นสูงเกือบจะเป็นสองเท่าของสาหร่ายสีเขียว *Scenedesmus quadricauda* และสูงมากกว่าไคอะตอม *Asterionella formosa* ห้าเท่า(53)เช่นเดียวกับผลการศึกษาของDomis et al.(54) ที่ได้ทำการศึกษาผลของการจำลองสถานการณ์ความร้อนในฤดูใบไม้ผลิต่อสาหร่ายในสามกลุ่ม คือ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ไคอะตอม และสาหร่ายสีเขียว ผลการศึกษาพบว่าสาหร่ายแต่ละกลุ่มมีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงความร้อนภายใต้สภาวะที่มีการจำกัดฟอสฟอรัส โดยสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินจะตอบสนองต่อสภาพภูมิอากาศที่ร้อนได้ดีกว่าไคอะตอมหรือสาหร่ายสีเขียว ทั้งอัตราการเจริญเติบโตและจำนวนสูงสุดของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในสถานการณ์ที่เป็นฤดูร้อนมีค่าสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญกับสถานการณ์ที่เป็นฤดูหนาว ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นอาจจะส่งผลกระทบต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำโดยอาจจะทำให้สัตว์น้ำโดยเฉพาะปลาน้ำจืดมีกลิ่นโคลนมากขึ้นจากการเติบโตอย่างรวดเร็วของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินชนิดที่สามารถผลิตสารที่ทำให้เกิดกลิ่นโคลนในแหล่งน้ำ

4. การจัดการเพื่อแก้ปัญหากลิ่นไม่พึงประสงค์หรือกลิ่นโคลน

ปัจจัยหลักที่ส่งผลทำให้เกิดการสะสมกลิ่นโคลนในสัตว์น้ำ ได้แก่ ปริมาณสารอาหารในน้ำ การศึกษาปัจจัยของธาตุอาหารที่ไปกระตุ้นการเจริญเติบโตและการผลิตสารจืออสมินในสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสามารถนำมาช่วยในการทำนายและควบคุมกลิ่นไม่พึงประสงค์ในแหล่งเก็บน้ำและบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งฟอสฟอรัสซึ่งเป็นแร่ธาตุที่เป็นปัจจัยจำกัดในหลายๆ แหล่งน้ำ ถ้าหากสามารถควบคุมระดับของฟอสฟอรัสและไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ อาจจะเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะยับยั้งและจัดการกับปัญหากลิ่นไม่พึงประสงค์ที่เกิดจากการผลิตจืออสมินได้เช่นจากการศึกษาของ Saadoun et al.(48) รายงานว่าปริมาณจืออสมินที่ตรวจพบมีค่าต่ำที่ระดับฟอสเฟตฟอสฟอรัส 118 µg phosphate-P/1 และที่ระดับต่ำกว่านั้น แต่เมื่อระดับฟอสเฟตสูงกว่านั้นปริมาณจืออสมินมีค่าเพิ่มขึ้นโดยพบความสัมพันธ์ที่สูงระหว่างความเข้มข้นของฟอสเฟตฟอสฟอรัสกับจืออสมิน มวลชีวภาพ และคลอโรฟิลล์เอแคในกรณีของปลานิล เนื่องจากปลานิลจะกินอาหารที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติและจากที่ให้สมทบเป็นจำนวนเกือบเท่าๆ กัน ดังนั้นในบ่อเลี้ยงปลาควรดูแลให้มีอาหารธรรมชาติเกิดขึ้นอยู่เสมอ โดยการใส่ปุ๋ยทั้งปุ๋ยคอกที่ได้จากมูลของสัตว์และปุ๋ยวิทยาศาสตร์ (55) ในบางกรณีการลดปริมาณฟอสเฟตในบ่อมากเกินไปอาจจะส่งผลกระทบต่อการเติบโตของปลาในบ่อได้ โดยเฉพาะลูกปลานขนาดเล็กที่มักจะปล่อยให้กินอาหารธรรมชาติภายในบ่อเป็นหลักเพื่อลดต้นทุนค่าอาหาร แต่หากฟอสเฟตน้อยทำให้แพลงค์ต่อน้อย อาจทำให้ปลาโตช้า ต้องเลี้ยงปลานานกว่าเดิม และต้นทุนอาจจะสูง เพราะต้องให้อาหารเม็ดมากขึ้น อาจจะแก้ปัญหาโดยการเลี้ยงปลานิลในกระชังในบ่อดิน ซึ่งมีรายงานว่าปลานิลที่เลี้ยงในกระชังในบ่อดิน มีปริมาณจืออสมินและเอเอ็มไอบีน้อยกว่าที่เลี้ยงในบ่อดินโดยตรง และพบว่าปลานิลร้อยละ 87.5 ที่เลี้ยงในกระชังมีปริมาณจืออสมินต่ำกว่าค่าที่ยอมรับได้ (36)

ระบบการเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน (Integrated culture system) เป็นการเลี้ยงปลาร่วมกับสัตว์บก เช่น ไก่ และสุกร โดยสิ่งขับถ่ายจากสัตว์เลี้ยงเหล่านี้ ทำให้เกิดอาหารธรรมชาติในบ่อ เพื่อช่วยลดต้นทุนการผลิตและมีขั้นตอนที่เกษตรกรสามารถทำเองได้ ปลาที่นิยมนำมาเลี้ยงได้แก่ ปลานิล ปลาตะกิม ซึ่งเป็นปลาที่สามารถใช้ประโยชน์จากอาหารธรรมชาติได้อย่างดีและเป็นที่ต้องการของตลาดแต่ระบบนี้มักประสบปัญหาการเน่าเสียของน้ำที่ใช้เลี้ยงเนื่องจากปริมาณของเสีย (ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส) ที่ปล่อยลงสู่อบ่อมีมากเกินไป โดยเฉพาะเมื่อระยะเวลาการเลี้ยงมากขึ้นหรือในช่วงที่มีการถ่ายเทน้ำน้อยเช่น ฤดูร้อน ทำให้แพลงก์ตอนพืชและสาหร่ายมีการเติบโตที่มากเกินไป Ilmavirta et al.(37)รายงาน ว่าในสภาวะที่ธาตุอาหารในน้ำสูงมาก (eutrophic water condition) ซึ่งเป็นผลมาจากการให้อาหารสัตว์น้ำที่มากเกินไป ทำให้มีอาหารตกค้างภายในบ่อ การเลี้ยงปลาที่หนาแน่นเกินไป ร่วมกับระบบการจัดการในการเลี้ยงที่ไม่ดี ทำให้มีการสะสมของธาตุอาหารโดยเฉพาะไนโตรเจน และฟอสฟอรัสที่ก้นบ่อมาก สอดคล้องกับรายงานของ ทวีทรัพย์(56)ที่กล่าวว่า ปัญหากลิ่นโคลนในสัตว์น้ำมักเกิดกับฟาร์มที่มีระบบการจัดการไม่ดี การควบคุมและป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาโคลนเป็นสิ่งที่ไม่ได้ยาก Robin et al.(57)เสนอแนะว่า หากเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบปิด จะต้องมีการบริหารจัดการที่ดี ไม่ให้เกิดการสะสมของสารอินทรีย์ซึ่งจะทำให้เนื่อปลามีกลิ่นโคลน หากสภาพน้ำที่ใช้เลี้ยงยังมีสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตที่ผลิตสารก่อกลิ่นโคลนอยู่มาก ควรมีการจัดการระบบน้ำที่จะใช้ทำการเพาะเลี้ยงให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเชิงชีวภาพให้มีปริมาณสารอาหารที่เหมาะสมก่อนนำมาใช้เลี้ยงหรือใช้เปลี่ยนถ่ายน้ำระหว่างการเลี้ยง(9) มีการปรับลดและควบคุมปริมาณอาหารให้เหมาะสมกับความหนาแน่นของปลาที่เลี้ยงในบ่อ เพื่อลดปริมาณสารอาหารที่เกิดจากอาหารที่เหลือตกค้างภายในบ่อ (35)การทำความสะอาดและตากพื้นบ่อก่อนลงปลารอบต่อไปเพื่อป้องกันการอันตรายจากการแบ่งชั้นของอุณหภูมิในแนวตั้งในช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงฤดูกาล และช่วยลดความเข้มข้นของสาหร่าย (58) และการมี

ระบบกรองน้ำที่ดีก็มีส่วนช่วยลดปัญหาได้เช่นกัน(57) คอปเปอร์ (copper) เป็นสารเคมีที่นิยมใช้สำหรับลดกลิ่นไม่พึงประสงค์ในบ่อปลาและอ่างเก็บน้ำสำหรับน้ำดื่มโดยจะเติมลงไปในรูปแบบของคอปเปอร์ซัลเฟต ซึ่งเมื่อแตกตัวจะให้ Cupric ion (Cu^{2+}) ความเข้มข้นโดยทั่วไปของคอปเปอร์ในบริเวณแหล่งน้ำจะผันแปรอยู่ในช่วง 5-100 $\mu\text{g/l}$ (59)เนื่องจากมีรายงานว่าคอปเปอร์มีผลในการยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์แสง(60) โดยจะมีผลไปยับยั้งทั้งทางสัณฐานวิทยาและสรีรวิทยาของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน(61) การขัดขวางกระบวนการสังเคราะห์แสงใน *Anacystis nidulans*(60) และใน *Aphanizomenon* และ *Anabaena*(62)ได้มีการศึกษา โดยพบว่าคอปเปอร์ที่เข้มข้นสูงกว่า 1 μM สามารถขัดขวางการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนในกระบวนการสังเคราะห์แสง (60) การเติมคอปเปอร์ลงในอาหารเพาะเลี้ยงที่ระดับ 6.92 $\mu\text{g Cu}^{2+}/\text{l}$ ของคอปเปอร์ซัลเฟต รวมถึงที่ระดับความเข้มข้นสูงกว่านั้นทำให้ไม่สามารถตรวจสอบสารจีโอสมินใน *Anabaena sp.* เนื่องจากคอปเปอร์สามารถจะไปจับกับคาร์บอนเนต หรือ chelated เป็นสารประกอบเชิงซ้อนร่วมกับ organic matter และค่อนข้างจะชัดเจนว่าความเข้มข้นของ Cu^{2+} ที่สูงจะไปยับยั้งมวลชีวภาพ คลอโรฟิลล์เอ และการสังเคราะห์จีโอสมิน(48) จากรายงานของ Rosen (63)พบว่าที่ระดับ 0.3 และ 1 mg/l ของคอปเปอร์ซัลเฟต การขาดออกเป็นท่อน (fragmentation) ของ *Anabaena sp.* จะเกิดขึ้นภายในชั่วโมงแรก พร้อมด้วยการลดลงของ filament 40 เปอร์เซ็นต์ภายใน fragment ที่เล็กกว่า โดย filament เดิมจะเหลืออยู่เพียง 3 เปอร์เซ็นต์เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม การใช้สารละลายคอปเปอร์ที่ความเข้มข้นต่ำในการลดการเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ซึ่งระดับที่อนุญาตให้ใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำคือ 1 พีพีเอ็ม คอปเปอร์ต่อสัปดาห์ ในการลดปัญหาโคลนในสัตว์น้ำ (64)แต่การใช้คอปเปอร์นั้นต้องระมัดระวังการตกค้างภายในบ่อปลา เนื่องจากในบางประเทศมีการจำกัดการใช้ และแนะนำให้หาทางเลือกอื่นในการกำจัดสาหร่ายภายในบ่อแทนการใช้สารเคมี เช่น การใช้เทคนิคอัลตราโซนิก (ultrasonic)(65) หรือใช้การสั่นของคลื่นเสียงที่มีความถี่

สูงเกินกว่าที่หุมนุขย์จะได้อินไปควบคุมสำหรับสี่เขียวแกมน้ำเงิน โดยเทคนิคนี้ได้รับการยอมรับว่าสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เพราะไม่มีการตกค้างของสารเคมี อัลตราโซนิกจะมีกลไกที่เรียกว่า ultrasonic cavitation เช่น สภาวะความดันสูง มีการสั่นของคลื่นเสียง และเกิดแรงเฉือนที่สามารถไปทำลายเวสิเคิล (vesicle) หรือยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ภายในเซลล์ของสาหร่าย (66,67) มีการศึกษาพบว่าอัลตราโซนิกที่มีความถี่ 640 kHz สามารถลดสารเอ็มไอบีและจีโอสมินได้อย่างรวดเร็ว (68) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Srisuksomwong et al. (69) ในการใช้เทคโนโลยีอัลตราโซนิกลดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Microcystis* sp. และสารที่ก่อให้เกิดกลิ่นโคลนของน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาพบว่าที่ความถี่ 200 kHz มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการตกตะกอนสาหร่าย *Microcystis* sp. โดยจะไม่ก่อให้เกิดการแตกของเซลล์ อีกทั้งที่ความถี่นี้ยังสามารถลดสารพิษไมโครซิสติน (microcystin) และสารก่อกลิ่นโคลนจากน้ำในบ่อเลี้ยงปลาได้ดีที่สุด นอกจากนี้ยังมีการใช้ตัวดูดซับซึ่งเป็นสารพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ ในการลดปริมาณสารจีโอสมินที่ละลายน้ำ เช่น การศึกษาของ Gutierrez et al. (70) ที่เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดสารจีโอสมินที่ละลายน้ำด้วยตัวดูดซับพอลิเมอร์ชนิด cyclodextrin (CDPs) สามชนิดคือ α , β และ γ cyclodextrin พบว่า ทั้ง β -CDP และ γ -CDP มีประสิทธิภาพในการลดจีโอสมินสูงสุด 93.4 และ 96 เปอร์เซ็นต์ ภายใน 240 นาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พีเอช 7 ตามลำดับ โดยพีเอชของสารละลายที่เหมาะสมอยู่ที่ พีเอช 7 แต่สามารถนำไปใช้ได้ในช่วงพีเอช 3 ถึง 11 ดังนั้นอัลตราโซนิกและสารดูดซับพอลิเมอร์จึงน่าจะเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ลดการปนเปื้อนของกลิ่นโคลนในน้ำประปาหรือน้ำจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้

สารประกอบจีโอสมินและเอ็มไอบีไม่สามารถกำจัดออกได้โดยวิธีการล้างธรรมดา ล้างด้วยคลอรีนหรือน้ำไอโซน หรือแม้แต่การให้ความร้อนระหว่างการแปรรูป จึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาถึงวิธีการที่ง่าย สะดวก และใช้ระยะเวลาน้อยในการลดและกำจัดสารประกอบดังกล่าวให้ได้มากที่สุด หรือให้เหลือใน

ระดับที่ผู้บริโภคสามารถยอมรับได้ ซึ่งจากการศึกษาพบว่า วิธีการกำจัดกลิ่นโคลนสามารถทำได้ทั้งขณะที่ปลามีชีวิตอยู่ และในเนื้อปลาก่อนนำมาแปรรูป เช่น การย้ายปลาหรือแยกปลาที่ต้องการจำหน่ายไปยังไว้นบ่อที่มีน้ำสะอาดปราศจากการปนเปื้อนของสารที่ก่อให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ (30) วรพงษ์ และคณะ (71) รายงานว่า จีโอสมินสามารถกำจัดออกไปได้โดยการนำปลามาพักในน้ำสะอาด ความเต็ม 10 พีพีที นาน 7 วัน ที่ความเต็ม 5 พีพีที นาน 10 วัน โดยจะหลงเหลือปริมาณจีโอสมินในระดับที่ผู้บริโภคยอมรับได้คือ 8.99 และ 4.11 ไมโครกรัมต่อเนื้อปลาหนึ่งกิโลกรัม ตามลำดับ แต่การพักปลาในสภาวะดังกล่าวจะทำให้มีการสูญเสียน้ำหนักไปร้อยละ 16 – 18 และยังคงการฟื้นคืนในการนำปลาไปพักไว้ ซึ่งอาจจะไม่เหมาะสมกับเกษตรกรที่มีเนื้อที่จำกัด นอกจากนี้ยังมีความพยายามใช้สารเคมีเพื่อกำจัดหรือลดกลิ่นไม่พึงประสงค์ในเนื้อปลาหลังจากการเก็บเกี่ยว เช่น การใช้ฟริกไทยหรือมะนาวลดกลิ่นในขณะปรุงรส แต่ก็ยังไม่ประสบความสำเร็จเท่าที่ควร (72) การแช่ล้างเนื้อปลานิลด้วยสารละลายที่เฝ้าจากกล้วยน้ำว้าหรือสารละลายเกลือเข้มข้นร้อยละ 5 นาน 5 นาที จะสามารถลดปริมาณจีโอสมินในเนื้อปลาลงได้ประมาณร้อยละ 90 แต่ลักษณะเนื้อสัมผัสของชิ้นปลาจะแข็งขึ้น (71) ซึ่งอาจจะไม่เหมาะสมสำหรับนำไปประกอบอาหารบางประเภท

5. สรุป

ปัญหาการปนเปื้อนกลิ่นโคลนเป็นปัญหาที่สามารถพบได้ในสัตว์น้ำที่ได้จากการเพาะเลี้ยงทั่วทุกภูมิภาค เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ผู้บริโภคสัตว์น้ำไม่ยอมรับ และไม่เป็นที่ต้องการของตลาดโดยเฉพาะตลาดส่งออกต่างประเทศ สารที่เป็นตัวหลักที่ก่อให้เกิดกลิ่นโคลน คือ จีโอสมิน และเอ็มไอบี ซึ่งมีคุณสมบัติทั่วไปคือ ละลายในไขมันได้ดี ไม่ชอบน้ำสูง สามารถกระจายตัวและสะสมในเนื้อเยื่อที่มีส่วนประกอบของไขมันสูง สารประกอบทั้งสองชนิดนี้สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและแบคทีเรียบางชนิดสังเคราะห์ขึ้นภายในเซลล์และมีการหลั่งออกมาภายนอกเซลล์สู่แหล่งน้ำทำให้เกิดการปน

เป็นอินสแตนท์น้ำชนิดต่างๆ ซึ่งในช่วงฤดูร้อนหรือสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงจะมีการผลิตสารชนิดนี้สูงกว่าฤดูกาลอื่น เพราะสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ร้อนหรือหนาวจัดได้ดี เนื่องจากมีซีทที่หนาหุ้มเซลล์อยู่ ปัจจุบันการแก้ปัญหากลิ่นโคลนที่เกิดขึ้นมีหลากหลายวิธีการ เช่น การควบคุมระดับของฟอสฟอรัสและไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำด้วยการควบคุมปริมาณอาหารที่ใส่สัตว์น้ำ การเปลี่ยนถ่ายน้ำ การตากบ่อ หรือการใช้สารเคมีพวกคอปเปอร์ซัลเฟต และการใช้เทคนิคอัลตราโซนิก การที่จะเลือกใช้วิธีการใดนั้นขึ้นอยู่กับความจำเป็น ระยะเวลา ความปลอดภัยของผู้บริโภค ดังนั้นการศึกษาถึงปัจจัยที่ไปกระตุ้นการเจริญเติบโตและการผลิตสารจือสมีนหรือเอ็มไอบีในสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสามารถนำมาช่วยในการทำนายและควบคุมกลิ่นไม่พึงประสงค์ในแหล่งเก็บน้ำและบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้

6. กิตติกรรมประกาศ

การเตรียมบทความฉบับนี้สำเร็จด้วยดีทางผู้วิจัยขอขอบคุณทุนสนับสนุนจาก the International Development Research Centre, Ottawa, Canada ภายใต้การดำเนินงานของโครงการ AQUADAPT โดยหน่วยวิจัยสังคมและสิ่งแวดล้อม คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

7. เอกสารอ้างอิง

- (1) Department of Fisheries. Fisheries statistics of Thailand 2009. Information technology center: Department of Fisheries Ministry of Agriculture and Cooperatives. 2011;9/2011. Thai.
- (2) Izaguirre G, Taylor WD. A pseudanabaena species from Castaic Lake, California, that produces 2-methylisoborneol. Water Research. 1998;32(5):1673-7.

- (3) Kannika K, Whangchai N, Ungsethaphand T, Tawong W, Wigraiboon S. Growth performance and accumulation of off-flavor in red tilapia cultured in green water system. Journal of Fisheries Technology Research. 2009;3(1):63-74. Thai.
- (4) Persson PE. Muddy odour: a problem associated with extreme eutrophication. Hydrobiologia. 1982;86(1-2):161-4.
- (5) Martin JF, Plakas SM, Holley JH, Kitzman JV, Guarino AM. Pharmacokinetics and Tissue Disposition of the Off-Flavor Compound 2-Methylisoborneol in the Channel Catfish (*Ictalurus punctatus*). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 1990;47(3):544-7.
- (6) Farmer LJ, McConnell JM, Hagan TDJ, Harper DB. Flavour and off-flavour in wild and farmed Atlantic salmon from locations around Northern Ireland. Water Science and Technology. 1995;31(11):259-64.
- (7) Yurkowski M, Tabachek J-AL. Identification, Analysis, and Removal of Geosmin from Muddy-Flavored Trout. Journal of the Fisheries Research Board of Canada. 1974;31(12):1851-8.
- (8) Form J, Horlyck V. Sites of Uptake of Geosmin, a Cause of Earthy-Flavor, in Rainbow Trout (*Salmo gairdneri*). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 1984;41(8):1224-6.
- (9) Yurkowski M, Tabachek JAL. Geosmin and 2-Methylisoborneol Implicated as a Cause of Muddy Odor and Flavor in Commercial Fish from Cedar Lake, Manitoba. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 1980;37(9):1449-50.
- (10) Tanchotikul U, Hsieh TCY. Methodology for Quantification of Geosmin and Levels in Rangia Clam (*Rangia cuneata*). Journal of Food Science. 1990;55(5):1233-5.

- (11) Gutierrez RL, Itayama T, Iwami N, Whangchai N. Analysis of Geosmin and 2-Methylisoborneol Off-flavors In Tilapia Cage-Cultures in Thailand. Proceeding of the 2nd MJU-Phrae National Research Conference; 2011; Phrae. 2011.
- (12) Forrester PGN, Prinyawiwatkul W, Godber JS, Phlak LC. Treatment of Catfish Fillets with Citric Acid Causes Reduction of 2-Methylisoborneol, but not Musty Flavor. *Journal of Food Science*. 2002;67(7):2615-8.
- (13) Lovell RT, Broce D. Cause of musty flavor in pond-cultured penaeid shrimp. *Aquaculture*. 1985;50(1-2):169-74.
- (14) Saoud PI, Davis DA, Rouse DB. Suitability studies of inland well waters for *Litopenaeus vannamei* culture. *Aquaculture*. 2003;217:373-83.
- (15) Cheng MK, Hui QC, Liu NY, Zheng XS, Qi JX. Dietary magnesium requirement and physiological responses of marine shrimp *Litopenaeus vannamei* reared in low salinity water. *Aquac Nutr*. 2005;11:385-93.
- (16) Liang M, Wang S, Wang J, Chang Q, Mai K. Comparison of flavor components in shrimp *Litopenaeus vannamei* cultured in sea water and low salinity water. *Fisheries Science*. 2008;74(5):1173-9.
- (17) Zimba PV, Grimm CC. A synoptic survey of musty/muddy odor metabolites and microcystin toxin occurrence and concentration in southeastern USA channel catfish (*Ictalurus punctatus* Rafinesque) production ponds. *Aquaculture*. 2003;218(1-4):81-7.
- (18) Weete JD, Blevins WT, Wilt GR, Durham D. Chemical, biological, and environmental factors responsible for the earthy odor in the Auburn City Water Supply. Auburn University. Agric Exp Station Bull. 1977;490:1-46.
- (19) Gerber NN, Lechevalier HA. Geosmin, an earthy-smelling substance isolated from actinomycetes. *Appl Microbiol*. 1965;13(6):935-8.
- (20) Izaguirre G, Hwang CJ, Krasner SW, McGuire MJ. Geosmin and 2-methylisoborneol from cyanobacteria in three water supply systems. *Appl Environ Microbiol* 1982;43:708-14.
- (21) Medsker LL, Jenkins D, Thomas JF. Odorous compounds in natural waters. An earthy-smelling compound associated with blue-green algae and actinomycetes. *Environ Sci Technol*. 1968; 2:461-4.
- (22) Negoro T, Ando M, Ichiwaka N. Blue-green algae in Lake Biwa which produce earthy-musty odors. *Water Sci Technol*. 1988;20:117-23.
- (23) Ploeg MVD, Tucker CS. Seasonal Trends in Flavor Quality of Channel Catfish, *Ictalurus punctatus*, from Commercial Ponds in Mississippi. *Journal of Applied Aquaculture*. 1994;3(1-2):121-40.
- (24) Johnsen PB, Lloyd SW, Vinyard BT, Dionigi CP. Effects of Temperature on the Uptake and Depuration of 2-Methylisoborneol (MIB) in Channel Catfish *Ictalurus punctatus*. *Journal of the World Aquaculture Society*. 1996;27(1):15-20.
- (25) Dionigi CP, Lawlor TE, McFarland JE, Johnsen PB. Evaluation of geosmin and 2-methylisoborneol on the histidine dependence of TA98 and TA100 *Salmonella typhimurium* tester strains. *Water Research*. 1993;27(11):1615-8.
- (26) Lelana IYB. Sensory and Objective Analysis of Geosmin in Channel Catfish [MSc thesis]. Auburn, AL, USA: Auburn University; 1983.
- (27) Robertson RF, Hammond A, Jauncey K, Beveridge MCM, Lawton LA. An investigation into the occurrence of geosmin responsible

- for earthy-musty taints in UK farmed rainbow trout, *Onchorhynchus mykiss*. *Aquaculture*. 2006;259:153–63.
- (28) Tanchotikul U. Studies on important volatile flavor compounds in Louisiana rangia clam (*Rangia cuneata*) [PhD thesis]: Louisiana state university; 1990.
- (29) Howgate P. Tainting of farmed fish by geosmin and 2-methyl-iso-borneol: a review of sensory aspects and of uptake/depuration. *Aquaculture*. 2004;234(1-4):155-81.
- (30) Johnsen PB, Lloyd SW. Influence of Fat Content on Uptake and Depuration of the Off-flavor 2-Methylisoborneol by Channel Catfish (*Ictalurus punctatus*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 1992;49(11):2406-11.
- (31) Rungreungwudhikrai E. Characterization and classification of off-flavor of Nile tilapia [MSc thesis]. Bangkok: Asian Institute of Technology; 1995.
- (32) Van der Ploeg M, Boyd CE. Geosmin Production by Cyanobacteria (Blue-green Algae) in Fish Ponds at Auburn, Alabama. *Journal of the World Aquaculture Society*. 1991;22(4):207-16.
- (33) Choeydach P, Limsuwan C, Chuchird N, Pansawat N. Study on quality of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) reared in earthen pond and pond lined with polyethylene in low salinity water. *Proceedings of the 44th Kasetsart University Annual Conference : Fisheries*, Bangkok (Thailand); 2006; Kasetsart University. Bangkhen Campus, Bangkok (Thailand). Thai.
- (34) Tabachek J-AL, Yurkowski M. Isolation and Identification of Blue-Green Algae Producing Muddy Odor Metabolites, Geosmin, and 2-Methylisoborneol, in Saline Lakes in Manitoba. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*. 1976;33(1):25-35.
- (35) Smith JL, Boyer GL, Zimba PV. A review of cyanobacterial odorous and bioactive metabolites: Impacts and management alternatives in aquaculture. *Aquaculture*. 2008;280(1-4):5-20.
- (36) Whangchai N, Wigraiboon S, Shimizu K, Iwami N, Itayama T. Off-flavor in Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Reared in Cages and Earthen Ponds in Northern Thailand. *Thai Journal of Agricultural Science*. 2011;44(5):270-6.
- (37) Ilmavirta V, Jones RI, Persson PE, Sivonen K. Factors influencing odour production by actinomycetes. *Lakes and Water Management: Springer Netherlands*; 1982. p. 165-70.
- (38) Martin JF, Bennett LW, Graham WH. Off-Flavor in the Channel Catfish (*Ictalurus punctatus*) Due to 2-Methylisoborneol and its Dehydration Products. *Water Science & Technology* 1988;20(8-9):99–105.
- (39) Klapper H. *Control of Eutrophication in Inland Waters* (Ellis Horwood Series in Water and Wastewater Technology). New York: Ellis Horwood Ltd; 1991.
- (40) Yamada N, Marakami N, Kawamura N, Sakakibara J. 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*. 1994;17 (9):1277-81.
- (41) Vass KK, Das MK, Srivastava PK, Dey S. Assessing the impact of climate change on inland fisheries in River Ganga and its plains in India. *Aquatic Ecosystem Health & Management*. 2009;12(2):138-51.
- (42) Martin JF, McCoy CP, Greenleaf W, Bennett L. Analysis of 2-Methylisoborneol in Water, Mud, and Channel Catfish (*Ictalurus punctatus*) from

- Commercial Culture Ponds in Mississippi. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 1987;44(4):909-12.
- (43) Lanciotti E, Santini C, Lupi E, Burrini D. Actinomycetes, cyanobacteria and algae causing tastes and odours in water of the River Arno used for the water Supply of Florence. J Water Supply Res Technol-aqua. 2003; 52(7):489–500.
- (44) Lelana IYB. Geosmin and off-flavor in channel catfish [PhD thesis]. Alabama: Auburn University, Alabama; 1987.
- (45) Xu L, Xiong B, Pan Y, Wang J, Cao H, Zhao W. Relationship between concentrations of odorous compounds and biomass of phytoplankton and actinomycetes in freshwater ponds of Beijing, China. Aquacult Int. 2010;18:245-54.
- (46) Bentley R, Meganathan R. Geosmin and methylisoborneol biosynthesis in *Streptomyces*. FEBS Letters. 1981;125:220-2.
- (47) Naes H, Post A. Transient states of geosmin, pigments, carbohydrates and proteins in continuous cultures of *Oscillatoria brevis* induced by changes in nitrogen supply. Archives of Microbiology. 1988;150(4):333-7.
- (48) Saadoun IMK, Schrader KK, Blevins WT. Environmental and nutritional factors affecting geosmin synthesis by *Anabaena* sp. Water Research. 2001;35(5):1209-18.
- (49) Peerapornpisal Y. Phycology. Department of Biology, Chiangmai University; 2006.Thai.
- (50) Pandit NP, Nakamura M. Effect of High Temperature on Survival, Growth and Feed Conversion Ratio of Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*. Our Nature. 2010;8(1):219-24.
- (51) Journey CA, Beaulieu KM, Bradley PM. Environmental factors that influence cyanobacteria and geosmin occurrence in reservoirs. In: Bradley PM, editor. Current Perspectives in Contaminant Hydrology and Water Resources Sustainability. Rijeka, Croatia: InTech; 2013.30 p.
- (52) Weyhenmeyer GA. Warmer winters: are planktonic algal populations in Sweden's largest lakes affected? Ambio 2001;30:565-71.
- (53) Reynolds CS. Vegetation Processes in the Pelagic. A Model for Ecosystem Theory. Ecology Institute, D-21385 Oldendorf/Luhe; 1997.
- (54) Domis S, Lisette N, Mooij WM, Huisman J. Climate-induced shifts in an experimental phytoplankton community: a mechanistic approach. Hydrobiologia. 2007;584(1):403-13.
- (55) Ko-anantakul K, Sinchaipanich C. Cage Culture of Tilapia. Department of fisheries ministry of agriculture and cooperatives. 2006. Thai.
- (56) Srinak T. Removal of muddy flavor from Tilapia (*Oreochromis niloticus*) [Master thesis]. Songkhla: Prince of Songkla University, Songkhla; 1999. Thai.
- (57) Robin J, Cravedi J-P, Hillenweck A, Deshayes C, Vallod D. Off flavor characterization and origin in French trout farming. Aquaculture. 2006;260(1-4):128-38.
- (58) Mitrovic SM, Chessman BC, Bowling LC, Cooke RH. Modelling suppression of cyanobacterial blooms by flow management in a lowland river. River Research and Applications. 2006;22(1):109-14.
- (59) Boyd CE. Water Quality in Ponds for Aquaculture. Birmingham, Al.: Birmingham Publ. Co.; 1990.
- (60) Singh DP, Singh SP. Action of Heavy Metals on Hill Activity and O₂ Evolution in *Anacystis nidulans*. Plant Physiology. 1987;83(1):12-4.

- (61) Gupta AB, Arora A. Morphology and Physiology of *Lyngbya nigra* with Reference to Copper Toxicity. *Physiologia Plantarum*. 1978;44(3):215-20.
- (62) Horne AJ, Goldman CR. Suppression of Nitrogen Fixation by Blue-Green Algae in a Eutrophic Lake with Trace Additions of Copper. *Science*. 1974;183 (4123):409-11.
- (63) Rosen BH. Geosmin production and copper control of Hillsborough River reservoir algae: Final report submitted to City of Tampa, FL.; 1990.
- (64) Schrader KK, Rubio SA, Piedrahita RH, Rimando AM. Geosmin and 2-Methylisoborneol Cause Off-Flavors in Cultured Largemouth Bass and White Sturgeon Reared in Recirculating-Water Systems. *North American Journal of Aquaculture*. 2005;67(3):177-80.
- (65) Tang JW, Wu QY, Hao HW, Chen Y, Wu M. Effect of 1.7 MHz ultrasound on a gas-vacuolate cyanobacterium and a gas-vacuole negative cyanobacterium. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 2004;36(2):115-21.
- (66) Shu TG, Yuan BL, Wang SR. Studies on the removal of *Microcystis aeruginosa* by low-power ultrasonic. *J Huaqiao Uni (Nat Sci)*. 2008;29:72-5.
- (67) Zhang G, Zhang P, Wang B, Liu H. Ultrasonic frequency effects on the removal of *Microcystis aeruginosa*. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2006;13:446-50.
- (68) Song W, O'Shea KE. Ultrasonically Induced Degradation of 2-methylisoborneol and geosmin. *Water Research*. 2007;41(12):2672-8.
- (69) Srisuksomwong P, Whangchai N, Yagita Y, Okada K, Peerapornpisal Y, Nomura N. Effects of ultrasonic irradiation on degradation of microcystin in fish ponds. *Int J Agric Biol*. 2011;11:67-70.
- (70) Gutierrez R, Whangchai N, Nomura N. Geosmin Sorption on Cyclodextrin Polymers. *International Journal of Geosciences*. 2013;4:24-9.
- (71) Nalinanon W, Jaiwat M, Raksakulthai N, Yamprayoon J. Removal of Off-odor in Nile tilapia flesh. *Agricultural Sci J*. 2002;33 Suppl 6:387-90. Thai.
- (72) Bett KL, Ingram DA, Grimm CC, Vinyard BT, Boyette KDC, Dionigi CP. Alteration of the sensory perception of the muddy/earth odorant 2-methylisoborneol in channel catfish *Ictalurus punctatus* fillet tissues by addition of seasonings. *Journal of Sensory Studies*. 2000;15 (4):459-72.