แหล่งคาร์บอนและอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมในการสร้างไบโอฟลอค

Suitable Carbon Sources and C/N Ratio for Biofloc Production

พัชราวลัย ศรียะศักดิ์ [1*] สุพันธ์ณี สุวรรณภักดี [1] ณัทธิยา ชำนาญค้า [1] และ พรพิมล พิมลรัตน์ [2]

Patcharawalai Sriyasak [1*], Supannee Suwanpakdee [1], Nattiya Chumnanka [1] and Pornpimol Pimolrat [2]

Received: 8 June 2020, Revised: 5 January 2021, Accepted: 8 April 2021

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาแหล่งคาร์บอนและอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมในการสร้างไบโอฟลอค มี 2 การทดลอง การทดลองที่ 1 เป็นการศึกษาแหล่งคาร์บอนที่เหมาะสมในการสร้างไบโอฟลอคจากแป้งข้าวเจ้า รำละเอียด และกากน้ำตาล ผลการศึกษาพบว่าชุดการทดลองที่ใช้แป้งข้าวเจ้า รำละเอียด และกากน้ำตาลเป็นแหล่งคาร์บอนมีปริมาณแอมโมเนียรวมต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) โดยรำละเอียดสามารถลดปริมาณแอมโมเนียในน้ำได้สูงที่สุด นอกจากนี้ชุดการทดลองที่ใช้รำละเอียดเป็นแหล่งคาร์บอนยังมีปริมาณสารแขวนลอยในน้ำสูงกว่าแป้งข้าวเจ้า กากน้ำตาล และชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) ดังนั้นในการทดลองที่ 2 จึงเลือกรำละเอียดเป็นแหล่งคาร์บอนในการสร้างไบโอฟลอคและใช้ยูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจน เพื่อศึกษาอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมในการสร้างไบโอฟลอค โดยแบ่งสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเป็นดังนี้ (C/N ratio) 10:1; 15:1; 20:1 และ ชุดควบคุม (ไม่ใส่คาร์บอน) ผลการศึกษาพบว่าชุดการทดลองที่ C/N ratio 20:1 สามารถลดแอมโมเนียในน้ำได้มากที่สุด (91.62%) และมีปริมาณสารแขวนลอยในน้ำมากกว่าชุดการทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) ในการศึกษาครั้งนี้แหล่งคาร์บอนที่เหมาะสมคือรำละเอียด สำหรับอัตราส่วนของคาร์บอนกับไนโตรเจนที่เหมาะสมในการสร้างไบโอฟลอค คือ C/N ratio 20:1 เนื่องจากสามารถลดปริมาณแอมโมเนียในน้ำได้ดีที่สุด

คำสำคัญ: ไบโอฟลอค, แหล่งคาร์บอน, อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

---

[1] สาขาวิชาประมง คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร อำเภอพังโคน จังหวัดสกลนคร 47160

[1] Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, Rajamangala University of Technology Isan, Sakon Nakhon Campus, Phanh khon, Sakon Nakhon 47160, Thailand.

[2] สาขาวิชาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง คณะมหาวิทยาลัยแม่โจ้-ชุมพร อำเภอละแม จังหวัดชุมพร 86170

[2] Department of Coastal Aquaculture, Faculty of Maejo University at Chumphon, Lamae, Chumphon 86170, Thailand.

[*] ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): patcharawalai.sriyasal@gmail.com

ABSTRACT

This study aims to investigate the appropriate carbon sources and C/N ratio required for biofloc formation. This study involves two experiments. The first experiment compares the use of three different carbon sources i.e. rice flour, rice bran and molasses for biofloc formation. The results showed that total ammonia of the treatment groups that added rice flour, rice bran, and molasses was statistically lower than that of the control group (p<0.05). The treatment group that added rice bran could reduce total ammonia most effectively. Besides, total suspended solids in the water of the treatment group with added rice bran were statistically higher than those of the treatment groups with added rice flour and molasses and those of the control group (p<0.05). Therefore, in the second experiment, rice bran was chosen as a potential carbon source for biofloc formation while urea was selected as a source of nitrogen to find out a suitable carbon-nitrogen (C/N) ratio for biofloc formation. The effect of four different initial C/N ratios (10:1, 15:1, 20:1 and no carbon sources) were evaluated. The results indicated that a C/N ratio of 20:1 could reduce total ammonia most effectively (91.62%) and total suspended solids in water were statistically higher (p<0.05) than using the other ratios. In conclusion, the most suitable carbon source was rice bran and the appropriate C/N ratio for biofloc formation was 20:1 as they could reduce total ammonia most effectively.

Key words: biofloc, carbon sources, C/N ratio

บทนำ

ปัจจุบันการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีการขยายตัวมากขึ้นจากความต้องการสินค้าสัตว์น้ำที่เพิ่มขึ้นของผู้บริโภค ทำให้การเลี้ยงสัตว์น้ำส่วนใหญ่เป็นการเลี้ยงแบบพัฒนา คือมีการปล่อยสัตว์น้ำที่ระดับความหนาแน่นสูงเพื่อให้ได้ผลผลิตสูง ส่งผลให้คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำเสื่อมโทรม เนื่องจากมีของเสียจำพวกไนโตรเจนที่เกิดจากอาหารเหลือที่สัตว์น้ำไม่กินและของเสียที่ขับถ่ายจากสัตว์น้ำสะสมเป็นจำนวนมาก (Avnimelech *et al*., 1995; Hargreaves, 1998; Cao *et al.*, 2007) ทำให้ต้องมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำบ่อยครั้ง ซึ่งน้ำเสียที่ปล่อยจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะส่งผลกระทบต่อการนำน้ำไปใช้ของฟาร์มใกล้เคียงและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การใช้เทคโนโลยีไบโอฟลอค (biofloc technology) เป็นแนวทางหนึ่งในการจัดการของเสียที่เกิดขึ้นในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ เป็นการพัฒนาระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และทำให้เกิดความยั่งยืนในการเลี้ยงสัตว์น้ำ (Naylor *et al*., 2000; Avnimelech, 2009) โดยช่วยบำบัดน้ำในระหว่างการเลี้ยง ลดความถี่ในการเปลี่ยนถ่ายน้ำ ลดต้นทุนค่าอาหาร และยังช่วยป้องกันการเกิดโรคสัตว์น้ำจากการใช้น้ำจากแหล่งน้ำสาธารณะอีกด้วย (Wasielesky *et al.*, 2006; Hargreaves, 2013; Wankanapol *et al*., 2017)

เทคโนโลยีไบโอฟลอค เป็นการใช้ตะกอนจุลินทรีย์ (biofloc) มาช่วยในการย่อยสลายซากของเสียจำพวกแอมโมเนียและเปลี่ยนของเสียนั้นให้กลายเป็นอาหารของสัตว์น้ำ (Crab *et al*., 2007; Roselien *et al*., 2012) ตะกอนจุลินทรีย์หรือไบโอฟลอคเกิดจากการรวมกลุ่มกันของสาหร่าย แบคทีเรีย

โปรโตซัว และสารอินทรีย์ (Hargreaves, 2013) ตะกอนจุลินทรีย์นี้เป็นจุลินทรีย์กลุ่มเฮทเทอโรโทรฟิค (Heterotrophic bacteria) ซึ่งใช้สารอินทรีย์เป็นอาหารในการสร้างเซลล์ใหม่และเป็นพลังงานในการดำรงชีวิต (Anand *et al*., 2013; Wankanapol *et al*., 2017) จุลินทรีย์กลุ่มนี้จะมีการดึงไนโตรเจน ได้แก่ แอมโมเนีย (NH_3) และไนไตรท์ (NO_2^-) มาใช้เพื่อสร้างเซลล์ใหม่ในการเจริญเติบโต ทำให้ปริมาณของแอมโมเนียในน้ำลดลง ตะกอนจุลินทรีย์นี้เป็นสารประกอบโปรตีน ซึ่งสัตว์น้ำสามารถกินเป็นอาหารได้ (Azim and Little, 2008; Avnimelech, 2009; Crab *et al*., 2012) การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์นี้ต้องใช้คาร์บอนและไนโตรเจนเป็นแหล่งพลังงานหลัก (Anand *et al*., 2013) หลักการสำคัญของระบบไบโอฟลอคคือการหมุนเวียนของธาตุอาหาร โดยการจัดการอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำให้มีปริมาณเหมาะสมเพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์กลุ่มเฮทเทอโรโทรฟิค (Avnimelech, 1999; Azim and Little, 2008) การเพิ่มอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนจาก 10/1 เป็น 20/1 จะช่วยลดสารประกอบไนโตรเจนในน้ำได้ เนื่องจากระบบไบโอฟลอคจะมีปริมาณจุลินทรีย์กลุ่มเฮทเทอโรโทรฟิคในน้ำและตะกอนเพิ่มมากขึ้น (Asaduzzaman *et al*., 2008) ซึ่งแบคทีเรียนี้จะดึงไนโตรเจนไปใช้ในการสร้างเซลล์ในการเจริญเติบโต ทำให้ปริมาณของแอมโมเนียในน้ำลดลง (Asaduzzaman *et al*., 2010) อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในน้ำควรอยู่ระหว่าง 10-20/1 (Hargreaves, 2013) แต่ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำทั่วไปจะมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนอยู่ที่ 3-5/1 ดังนั้นในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจะต้องมีการเติมแหล่งคาร์บอน เช่น แป้ง กากน้ำตาล เพิ่มลงไปเพื่อกระตุ้นให้เกิดไบโอฟลอค (Koydon, 2014) แหล่งคาร์บอนเป็นปัจจัยสำคัญในการจัดการระบบไบโอฟลอค (Crab *et al*., 2012) ซึ่งแหล่งคาร์บอนที่ดีจะต้องมีคุณค่าทางโภชนาการ ราคาถูก และทำให้เกิดจุลินทรีย์กลุ่มเฮทเทอโรโทรฟิค ซึ่งทำให้ปริมาณแอมโมเนียลดลงได้ การศึกษามีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแหล่งคาร์บอนจากวัสดุที่มีในท้องถิ่นและอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมในการสร้างไบโอฟลอคในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เพื่อเป็นข้อมูลในการพัฒนาการเลี้ยงสัตว์น้ำด้วยเทคโนโลยีไบโอฟลอคต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาแหล่งคาร์บอนที่เหมาะสมในการสร้างไบโอฟลอค

ในการทดลองนี้จะทำการศึกษาแหล่งคาร์บอนที่เหมาะสมในการสร้างไบโอฟลอค โดยใช้แป้งข้าวเจ้า รำละเอียด และกากน้ำตาลเป็นแหล่งคาร์บอน ทำการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอน (organic carbon) (Boyd and Tucker, 1992) พบว่าในแป้งข้าวเจ้ามีปริมาณคาร์บอน 42.34% รำละเอียดมี 55.52% และกากน้ำตาลมี 40.08% วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Complete randomized design; CRD) โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 ชุดควบคุม (ไม่ใส่แหล่งคาร์บอน)

ชุดการทดลองที่ 2 ใช้แป้งข้าวเจ้าแหล่งคาร์บอน

ชุดการทดลองที่ 3 ใช้รำละเอียดแหล่งคาร์บอน

ชุดการทดลองที่ 4 ใช้กากน้ำตาลแหล่งคาร์บอน

ทำการทดลองในถังขนาด 6 ลิตร เติมน้ำประปาที่พักให้หมดคลอรีนจำนวน 5 ลิตร จากนั้นใช้ยูเรีย ($CO(NH_2)_2$) ความเข้มข้น 2 mg/L เป็นแหล่ง

ไนโตรเจน พร้อมเติมอากาศตลอดเวลา ตรวจวัดคุณภาพน้ำในถังทดลองเวลาประมาณ 10.00 น. ในวันที่ 0 1 3 5 7 10 และ 14 ของการทดลอง โดยแหล่งคาร์บอนที่ทำให้เกิดไบโอฟลอคมากที่สุดและสามารถลดปริมาณแอมโมเนียในน้ำได้สูงที่สุดในการทดลองนี้จะนำไปใช้ในการศึกษาอัตราส่วนของคาร์บอนกับไนโตรเจนที่เหมาะสมในการสร้างไบโอฟลอคต่อไป

การศึกษาอัตราส่วนของคาร์บอนกับไนโตรเจนที่เหมาะสมในการสร้างไบโอฟลอค

ศึกษาอัตราส่วนของคาร์บอนกับไนโตรเจนที่เหมาะสมในการสร้างไบโอฟลอค (ใช้แหล่งคาร์บอนที่ดีที่สุดจากการทดลองที่ 1) โดยใช้ยูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจน และใช้รำละเอียดเป็นแหล่งคาร์บอน วิธีการสร้างไบโอฟลอคดัดแปลงจากวิธีของ Burford *et al.* (2004) วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Complete randomized design; CRD) แบ่งการทดลองเป็น 4 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ชุดการทดลองในการศึกษาอัตราส่วนของคาร์บอนกับไนโตรเจนในการสร้างไบโอฟลอค

ชุดการทดลอง	คาร์บอน (mg/L)	ไนโตรเจน (mg/L)
ชุดควบคุม (ไม่ใส่คาร์บอน)	0	2
ชุดการทดลองที่ 2 สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) = 10:1	20	2
ชุดการทดลองที่ 3 สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) = 15:1	30	2
ชุดการทดลองที่ 4 สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) = 20:1	40	2

ทำการทดลองในถังขนาด 6 ลิตร พร้อมเติมอากาศตลอดเวลา ตรวจวัดคุณภาพน้ำเวลาประมาณ 10.00 น. ในวันที่ 0 1 3 5 7 10 และ 14 ของการทดลอง

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

ตรวจวัดคุณภาพน้ำในแต่ละชุดการทดลอง ได้แก่ อุณหภูมิน้ำ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) และปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (dissolved oxygen) ด้วย multi probe system (YSI model 556) แอมโมเนียรวม (total ammonia-N) ด้วยวิธี phenate ไนไตรท์ (nitrite-N) ด้วยวิธี diazotizing colorimetric ไนเตรท (nitrate-N) ด้วยวิธี cadmium reduction (Boyd and Tucker, 1992) ปริมาณสารแขวนลอยในน้ำ (Total suspended solid; TSS) (APHA, 1980) และ ตรวจวัดปริมาณตะกอนทั้งหมด (Total settleable solids) ด้วย Imhoff cone เพื่อตรวจสอบปริมาณไบโอฟลอค (Hargreaves, 2013)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลคุณภาพน้ำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance; ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

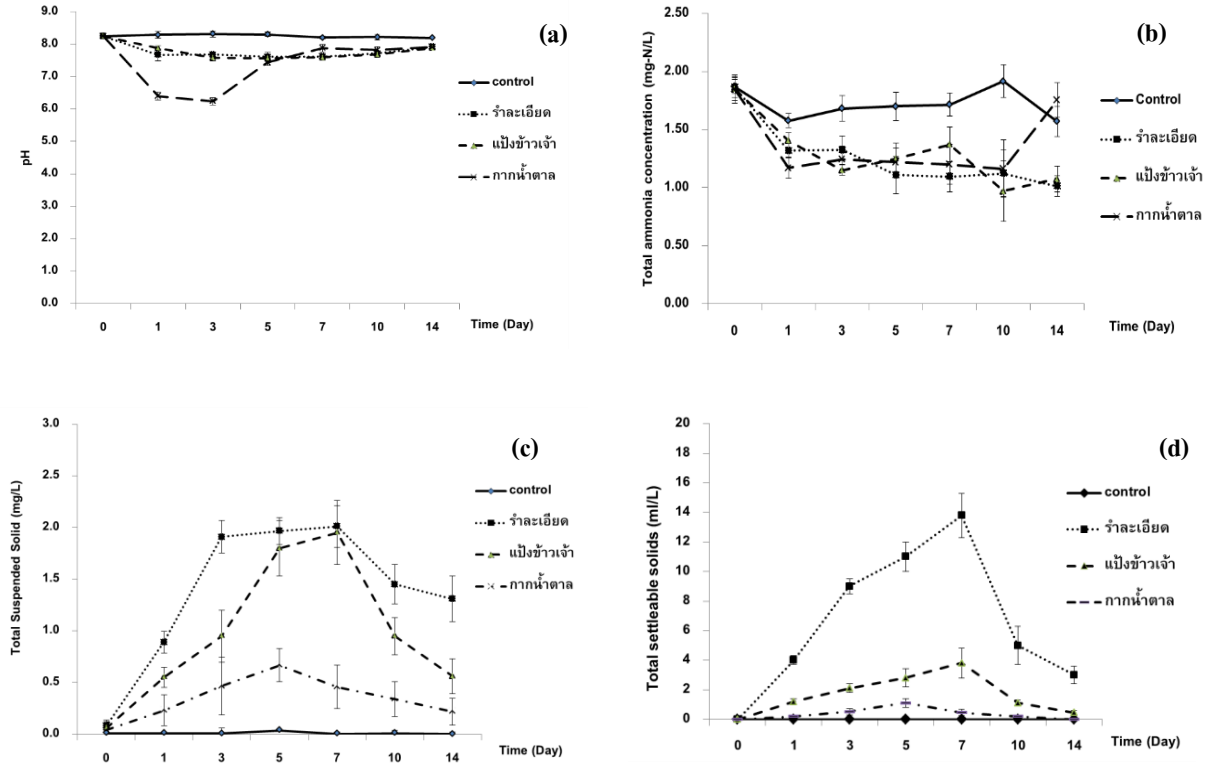
ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

แหล่งคาร์บอนที่เหมาะสมในการสร้างไบโอฟลอค

การทดลองแหล่งคาร์บอนที่เหมาะสมในการสร้างไบโอฟลอค พบว่าชุดควบคุมมีค่า pH ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ และปริมาณแอมโมเนีย

รวมสูงกว่าชุดการทดลองที่เติมรำละเอียด แป้งข้าวเจ้าและกากน้ำตาลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) (ตารางที่ 2) จากการทดลองพบว่าค่า pH ของชุดที่ใช้กากน้ำตาลเป็นแหล่งคาร์บอนมีค่า pH ลดต่ำลงในวันที่ 1 และ 3 ของการทดลอง (ภาพที่ 1a) ส่วนปริมาณแอมโมเนียรวมของชุดที่ใช้กากน้ำตาลมีค่าเพิ่มมากขึ้นในวันที่ 14 ของการทดลอง (ภาพที่ 1b) ปริมาณสารแขวนลอยในน้ำและปริมาณตะกอนทั้งหมดพบว่าชุดการทดลองที่เติมรำละเอียดมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดการทดลองอื่นๆ (p<0.05) โดยชุดการทดลองที่เติมรำละเอียดมีปริมาณสารแขวนลอยในน้ำและปริมาณตะกอนทั้งหมดมากที่สุด รองลงมาคือชุดการทดลองที่เติมแป้งข้าวเจ้า ชุดการทดลองที่เติมกากน้ำตาล และชุดควบคุม ตามลำดับ (ภาพที่ 1c และ 1d) ซึ่งปริมาณสารแขวนลอยได้มีการนำไปตรวจสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์ พบว่ามีลักษณะเป็นไบโอฟลอคที่มีแพลงก์ตอนและโปรโตซัวเป็นองค์ประกอบเป็นตะกอนแขวนลอยในมวลน้ำ (ภาพที่ 3) ส่วนอุณหภูมิของน้ำ ความเข้มข้นของไนไตรท์ และไนเตรทในทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) (ตารางที่ 2)

จากผลการทดลองครั้งนี้ ผู้วิจัยได้เลือกรำละเอียดเป็นแหล่งคาร์บอนที่เหมาะสมในการสร้างไบโอฟลอค สำหรับการศึกษาอัตราส่วนของคาร์บอนกับไนโตรเจนที่เหมาะสมในการสร้างไบโอฟลอคต่อไป เนื่องจากทำให้เกิดไบโอฟลอคมากที่สุด สามารถลดปริมาณแอมโมเนียในน้ำได้สูงที่สุด และมีราคาถูกกว่าแหล่งคาร์บอนชนิดอื่นๆ



ภาพที่ 1 คุณสมบัติของน้ำในการทดสอบแหล่งคาร์บอน (a) ค่า pH (b) ปริมาณแอมโมเนียรวม (c) ปริมาณสารแขวนลอยในน้ำ และ (d) ปริมาณตะกอนทั้งหมด

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของน้ำในการทดสอบแหล่งคาร์บอนในการสร้างไบโอฟลอค

พารามิเตอร์	ชุดการทดลอง			
	ชุดควบคุม	รำละเอียด	แป้งข้าวเจ้า	กากน้ำตาล
อุณหภูมิของน้ำ (°C)	27.3±0.5[a]	27.5±0.4[a]	27.7±0.4[a]	27.9±0.4[a]
pH	8.26±0.04[a]	7.78±0.06[b]	7.78±0.04[b]	7.42±0.04[c]
Dissolved oxygen (mg/L)	7.78±0.05[a]	6.86±0.07[b]	6.50±0.05[c]	6.05±0.08[d]
แอมโมเนียรวม (mg-N/L)	1.72±0.13[a]	1.26±0.19[b]	1.30±0.22[b]	1.37±0.20[b]
ไนไตรท์ (mg-N/L)	0.061±0.026[a]	0.054±0.035[a]	0.045±0.031[a]	0.062±0.027[a]
ไนเตรท (mg-N/L)	0.030±0.016[a]	0.030±0.022[a]	0.028±0.019[a]	0.030±0.017[a]
TSS (mg/L)	0.01±0.02[d]	1.37±0.06[a]	0.97±0.09[b]	0.35±0.07[c]
Total settleable solids (ml/L)	0.00±0.00[d]	6.54±2.82[a]	1.64±0.77[b]	0.35±0.22[c]

หมายเหตุ: ตัวอักษรอังกฤษที่ต่างกันในแนวนอนของค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

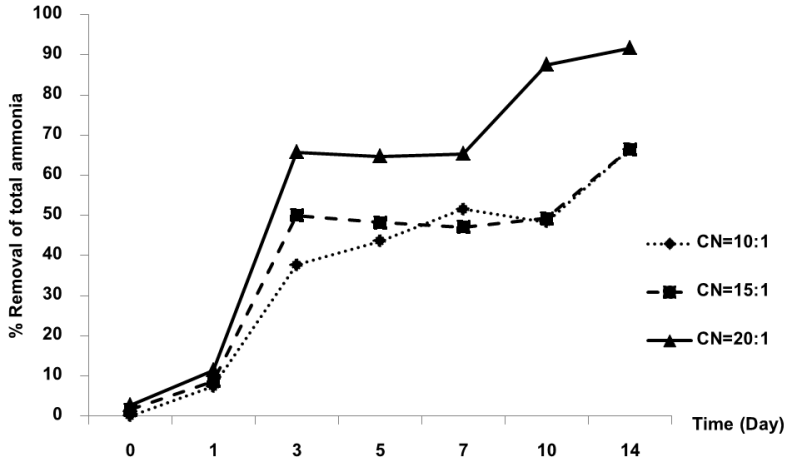
อัตราส่วนของคาร์บอนกับไนโตรเจนที่เหมาะสมในการสร้างไบโอฟลอค

การทดลองนี้ใช้รำละเอียดเป็นแหล่งคาร์บอนและใช้ยูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจน เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียรวมในชุดการทดลองที่ C/N ratio = 20:1 มีปริมาณแอมโมเนียรวมน้อยที่สุด (p<0.05) รองลงมาคือชุดการทดลองที่ C/N ratio = 15:1 ชุดการทดลองที่ C/N ratio = 10:1 และชุดควบคุม ตามลำดับ (ตารางที่ 3, ภาพที่ 2) โดยชุดการทดลองที่ C/N ratio = 20:1 สามารถลดแอมโมเนียได้สูงสุดที่ 91.62% และชุดการทดลองที่ C/N ratio = 15:1 และ C/N ratio = 10:1 สามารถลดแอมโมเนียได้สูงสุดที่ 66.50% เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (ภาพที่ 2) ค่า pH และปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำชุดการทดลองที่ C/N ratio = 10:1 C/N ratio = 15:1 และ C/N ratio = 20:1 มีค่าต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) สำหรับปริมาณสารแขวนลอยในน้ำพบว่าชุดการทดลองที่ C/N ratio = 20:1 มีปริมาณสารแขวนลอยในน้ำมากที่สุด ซึ่งเป็นการบ่งบอกได้ว่ามีปริมาณไบโอฟลอคมากที่สุด รองลงมาคือชุดการทดลองที่ C/N ratio = 15:1 ชุดการทดลองที่ C/N ratio = 10:1 และชุดควบคุม ตามลำดับ (ตารางที่ 3) ปริมาณไบโอฟลอคจะมีลักษณะเป็นตะกอนแขวนลอยในมวลน้ำ ยึดเกาะเป็นกลุ่ม (ภาพที่ 3) ส่วนอุณหภูมิของน้ำ ความเข้มข้นของไนไตรท์ และไนเตรทในทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) (ตารางที่ 3)

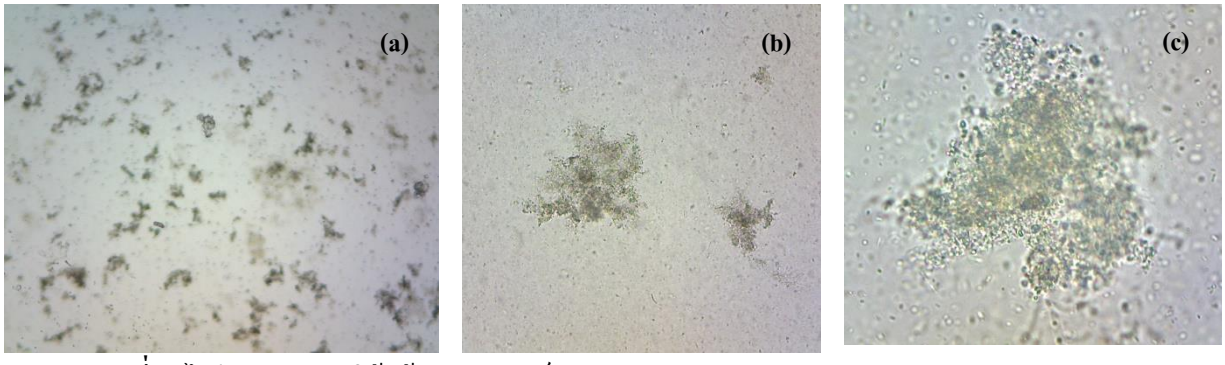
ตารางที่ 3 คุณสมบัติของน้ำในทดสอบแหล่งคาร์บอนในการทดสอบอัตราส่วนคาร์บอนกับไนโตรเจนในการสร้างไบโอฟลอค

พารามิเตอร์	ชุดการทดลอง			
	ชุดควบคุม	C/N=10:1	C/N=15:1	C/N=20:1
อุณหภูมิของน้ำ (°C)	27.5±0.3[a]	27.7±0.4[a]	27.7±0.3[a]	27.5±0.4[a]
pH	8.06±0.02[a]	7.92±0.02[b]	7.89±0.04[b]	7.85±0.05[b]
Dissolved oxygen (mg/L)	7.69±0.04[a]	6.86±0.11[b]	6.75±0.09[b]	6.89±0.10[b]
แอมโมเนียรวม (mg-N/L)	1.82±0.09[a]	1.17±0.08[b]	1.13±0.07[b]	0.83±0.05[c]
ไนไตรท์ (mg-N/L)	0.334±0.034[a]	0.309±0.037[a]	0.306±0.051[a]	0.304±0.067[a]
ไนเตรท (mg-N/L)	0.026±0.021[a]	0.036±0.029[a]	0.021±0.021[a]	0.033±0.032[a]
TSS (mg/L)	0.01±0.02[d]	0.66±0.04[c]	0.94±0.06[b]	1.37±0.04[a]

หมายเหตุ: ตัวอักษรอังกฤษที่ต่างกันในแนวนอนของค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)



ภาพที่ 2 อัตราการลดแอมโมเนียรวม (%) ของการทดสอบอัตราส่วนคาร์บอนกับไนโตรเจนเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม



ภาพที่ 3 ไบโอฟลอคภายใต้กล้องจุลทรรศน์ (a) กำลังขยาย 4x (b) กำลังขยาย 10x (c) กำลังขยาย 40x

การศึกษาแหล่งคาร์บอนที่เหมาะสมในการสร้างไบโอฟลอค อุณหภูมิของน้ำ ปริมาณไนไตรท์และไนเตรทของทุกชุดการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05) อุณหภูมิของน้ำอยู่ในช่วง 26.67-28.47 °C ปริมาณไนไตรท์อยู่ในช่วง 0.01-0.11 mg-N/L และปริมาณไนเตรทอยู่ระหว่าง 0.00-0.06 mg-N/L ซึ่งไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ ค่าความเข้มข้นของไนไตรท์ที่เหมาะสมในการเลี้ยงสัตว์น้ำไม่ควรเกิน 1 mg-N/L (Forteath, 1990) และไนเตรทในระดับที่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำคือมีค่ามากกว่า 60 mg-N/L (Van Wyk and Scarpa, 1999) ค่า pH ในชุดควบคุมจะมีค่าสูงกว่าชุดการทดลองอื่นๆ แต่ค่า pH ของทุกชุดการทดลองอยู่ในช่วงที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ คือ 7.5-8.5 (Boyd and Fast, 1992) ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำอยู่ในระดับที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยทุกชุดการทดลองมีปริมาณออกซิเจนเกินกว่า 5 mg/L (Boyd and Fast, 1992) สำหรับปริมาณสารแขวนลอยในน้ำในทุกชุดการทดลองมีค่าที่ไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ เนื่องจากมีปริมาณไม่เกิน 15 mg/L (Boyd and Tucker, 1998)

ปริมาณแอมโมเนียรวมของชุดการทดลองที่เติมรำละเอียด แป้งข้าวเจ้า และกากน้ำตาลมีปริมาณแอมโมเนียรวมน้อยกว่าชุดควบคุม การเติมแหล่งคาร์บอนในการสร้างไบโอฟลอคส่งผลให้มีปริมาณจุลินทรีย์กลุ่มเฮทเทอโรโทรฟิคในน้ำเพิ่มมากขึ้น ซึ่งแบคทีเรียเหล่านี้จึงมีการดึงไนโตรเจนมาใช้ในการสร้างเซลล์ใหม่เพื่อการเจริญเติบโตมากขึ้น ทำให้ปริมาณแอมโมเนียในน้ำลดลง (Crab *et al*., 2012) การที่ปริมาณแอมโมเนียรวมของชุดการทดลองที่ใช้กากน้ำตาลมีค่าเพิ่มมากขึ้นในวันที่ 14 ของการทดลอง เนื่องจากกากน้ำตาลสามารถละลายน้ำและปล่อยคาร์บอนได้อย่างรวดเร็ว (Serra *et al*., 2015) จึงสามารถลดปริมาณแอมโมเนียได้ดีในช่วงวันแรกๆ ของการทดลอง เมื่อแบคทีเรียใช้กากน้ำตาลหมดทำให้ไม่มีการดึงแอมโมเนียไปใช้ในการสร้างเซลล์ใหม่ จึงทำให้ปริมาณแอมโมเนียเพิ่มขึ้น ในขณะที่การใช้รำละเอียดเป็นแหล่งคาร์บอนมีปริมาณแอมโมเนียลงช้าๆ อย่างต่อเนื่อง (ภาพ 1b) เนื่องจากรำละเอียดเป็นแหล่งคาร์บอนที่ได้จากพืชจะมีการละลายและปล่อยคาร์บอนออกมาได้ช้า (Avnimelech 2009; Crab *et al*., 2009) ทำให้แบคทีเรียกลุ่มเฮทเทอโรโทรฟิคสามารถใช้แหล่งคาร์บอนได้เรื่อยๆ ซึ่งจะเห็นได้จากปริมาณสารแขวนลอยในน้ำของชุดที่ใช้รำละเอียดเป็นแหล่งคาร์บอนที่มีปริมาณสูงกว่าการใช้แหล่งคาร์บอนจากกากน้ำตาลและแป้งข้าวเจ้า

ในการทดลองนี้ผู้วิจัยได้เลือกแหล่งคาร์บอนที่เหมาะสมที่สุดในการสร้างไบโอฟลอคคือรำละเอียด เนื่องจากเป็นชุดการทดลองที่สร้างไบโอฟลอคได้ดี สามารถลดปริมาณแอมโมเนียรวมได้ดี และไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำและสัตว์น้ำ อีกทั้งเป็นแหล่งคาร์บอนจากพืชที่มีโปรตีนต่ำ หาง่าย และราคาถูก เหมาะสำหรับเกษตรกรที่จะนำไปใช้ในการเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบไบโอฟลอค ซึ่ง Crab *et al*. (2009) และ Asaduzzaman *et al*. (2010) ได้กล่าวว่าการใช้แหล่งคาร์บอนจากพืชในการสร้างไบโอฟลอคเป็นการลดต้นทุนในการผลิตเนื่องจากมีราคาถูก ทำให้เกิดความยั่งยืนในการเลี้ยงสัตว์น้ำและช่วยเพิ่มประสิทธิภาพทางโภชนาการในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอีกด้วย

การศึกษาอัตราส่วนของคาร์บอนกับไนโตรเจนที่เหมาะสมในการสร้างไบโอฟลอคนั้น ค่าคุณสมบัติของน้ำ ได้แก่ อุณหภูมิของน้ำ ค่า pH ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ ปริมาณแอมโมเนียรวม ไนไตรท์ และไนเตรทมีค่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงสัตว์น้ำ ในการศึกษานี้พบว่าชุดการทดลองที่ C/N ratio = 20:1 สามารถลดแอมโมเนียได้สูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Asaduzzaman *et al*. (2008) ที่พบว่าการเพิ่มอัตราส่วนคาร์บอนต่อ

ไนโตรเจนจาก 10:1 เป็น 20:1 สามารถลดสารประกอบไนโตรเจนในน้ำได้ดี การเพิ่มอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนจะทำให้ปริมาณแบคทีเรียกลุ่มเฮทเทอโรโทรฟิคเพิ่มขึ้น ซึ่งจะช่วยในการย่อยสลายสารอินทรีย์และมีการดึงไนโตรเจนมาใช้ในการสร้างเซลล์ใหม่เพื่อการเจริญเติบโต ทำให้ปริมาณของแอมโมเนียลดลง จำนวนเซลล์ใหม่ที่ถูกสร้างขึ้นใหม่เมื่อมีการรวมตัวกันจึงเรียกกันว่าไบโอฟลอค (Asaduzzaman *et al*., 2010) สำหรับประสิทธิภาพของการบำบัดแอมโมเนียโดยไบโอฟลอค จะให้ความสำคัญกับสัดส่วนระหว่างคาร์บอนกับไนโตรเจน (C/N ratio) เป็นหลัก ซึ่ง C/N ratio ที่เหมาะสมจะสามารถกำจัดสารประกอบไนโตรเจนได้ดี (Hari *et al*., 2004; Hargreaves, 2013) ทั้งนี้การใช้ระบบไบโอฟลอคในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำควรมีการเติมแหล่งคาร์บอนทุก 7 วัน เนื่องจากปริมาณไบโอฟลอคจะลดลงหลังจาก 7 วัน เพื่อช่วยในการรักษาอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในให้คงอยู่ในระดับที่เหมาะสม

สรุป

การศึกษาครั้งนี้แหล่งคาร์บอนที่เหมาะสมคือรำละเอียด สำหรับอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมในการสร้างไบโอฟลอค คือ 20:1 เนื่องจากสามารถลดปริมาณแอมโมเนียได้ดีที่สุด และมีปริมาณไบโอฟลอคมากที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ปีงบประมาณ 2562 สัญญาเลขที่ SKC2562REV074

เอกสารอ้างอิง

Anand, P.S., Kohli, M.P.S., Kumar, S., Sundaray, J.K., Roy, S., Venkateshwarlu, G., Sinha, A. and Pailan, G.H. 2013. Effect of dietary supplementation of biofloc on growth performance and digestive enzyme activities in *Penaeus monodon*. **Aquaculture** 418-419: 108-115.

APHA. 1980. **Standard methods for the examination of water and wastewater.** American public health association, Washington DC.

Asaduzzaman, M., Wahab, M.A., Verdegem, M.C.J., Huque, S., Salam, M.A. and Azim, M.E. 2008. C/N ratio control and substrate addition for periphyton development jointly enhance freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* production in ponds. **Aquaculture** 280: 117 -123.

Asaduzzaman, M., Wahab, M.A., Verdegem, M.C.J., Adhikary, R.K., Rahman, S.M.S., Azim, M.E. and Verreth, J.A.J. 2010. Effects of carbohydrate source for maintaining a high C:N ratio and fish driven re-suspension on pondecology and production in periphyton-based freshwater prawn culture systems. **Aquaculture** 37: 46-301.

Avnimelech, Y., Mozes, N., Shaher Diab, S. and Kochba, M. 1995. Rates of organic carbon and nitrogen degradation in intensive fish ponds. **Aquaculture** 134: 211-216.

Avnimelech, Y. 1999. C/N ratio as a control element in aquaculture systems. **Aquaculture** 176(3-4): 227-235.

Avnimelech, Y. 2009. **Biofloc Technology-A Practical Guide Book.** 1st ed. World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA.

Azim, M.E. and Little, D.C. 2008. The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: Water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture** 283: 29-35.

Boyd, C.E. and Fast, A.W. 1992. Pond monitoring and management, pp. 497-513. *In* Fast, A.W. and Lester, L.J., eds. **Marine shrimp culture: principles and practices**. **Developments in aquaculture and fisheries science, volume 23.** 1st ed. Elsevier Science Publisher B.V., Amsterdam.

Boyd, C.E. and Tucker, C.S. 1992. **Water quality and pond soil analyses for aquaculture.** 1st ed. Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, Alabama.

Boyd, C.E. and Tucker, C.S. 1998. **Pond aquaculture water quality management.** 1st ed. Kluwer academic publishers, New York.

Burford, M.A., Preston, N.P., Glibert, P.M. and Dennison, W.C. 2004. Tracing the fate of 15N enriched feed in an intensive shrimp system. **Aquaculture** 206: 199-216.

Cao, L., Wang, W., Yang, Y., Yang, C., Yuan, Z., Xiong, S. and Diana, J. 2007. Environmental impact of aquaculture and countermeasures to aquaculture pollution in China. **Environment Science Pollution Research** 14(7): 452-462.

Crab, R., Avnimelech, Y., Defoirdt, T., Bossier, P. and Verstraete, W. 2007. Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. **Aquaculture** 270: 1-14.

Crab, R., Kochva, M., Verstraete, W. and Avnimelech, Y. 2009. Bio-flocs technology application in over-wintering of tilapia. **Aquaculture Engineering** 40: 105-112.

Crab, R., Defoirdt, T., Bossier, P. and Verstraete, W. 2012. Biofloc technology in aquaculture: beneficial effects and future challenges. **Aquaculture** 356: 351-356.

Forteath, N. 1990. **A handbook on recirculating systems for aquatic organisms.** 1st ed. Fishing industry training board of Tasmania Inc, Hobart.

Hargreaves, J.A. 1998. Nitrogen biogeochemistry of aquaculture ponds. **Aquaculture** 166: 181-212.

Hargreaves, J.A. 2013. **Biofloc production systems for aquaculture.** SRAC publication, United States.

Hari, B., Kurup, M.B., Varghese, T., Schrama, J.W. and Verdegem, M.C.S. 2004. Effects of carbohydrate addition on production in extensive shrimp culture systems. **Aquaculture** 241: 179-194.

Koydon, S. 2014. Nitrogen elimination in zero waste aquaculture system. **RMUTSB Academic Journal** 2(1): 66-80. (in Thai)

Naylor, R.L., Goldburg, R.J., Primavera, J.H., Kautsky, N., Beveridge, M.C.M., Clay, J., Folke, C., Lubchenco, J., Mooney, H. and Troell, M. 2000. Effect of aquaculture on world fish supplies. **Nature** 405: 1017-1024.

Roselien, C., Tom, D., Peter, B. and Willy, V. 2012. Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effect and future challenges. **Aquaculture** 356-357: 351-356.

Serra, P.T., Gaona, A.C., Furtado, S.P., Poersch, H.L. and Wasielesky, W. 2015. Use of different carbon sources for the biofloc system adopted during the nursery and grow-out culture of *Litopenaeus vannamei*. **Aquaculture International** 23(6): 1-16.

Van Wyk, P. and Scarpa, J. 1999. Water quality and management, pp 128-138. *In* Van Wyk, P., Hodgkins, M.D., Laramore, R., Main, K.L., Mountain, J. and Scarpa, J., eds. **Farming marine shrimp in recirculating freshwater systems.** Harbor Branch Oceanographic Institution, Tallahassee.

Wankanapol, A., Chaibu, P. and Soonthornvipat, S. 2017. Evaluation of different carbon sources for biofloc production in tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) culture. **Silpakorn University Sciences & Technology Journal** 11(3): 17-24.

Wasielesky, W., Atwood, H., Stokes, A. and Browdy, C.L. 2006. Effect of natural production in a zero-exchange suspended microbial floc based super-intensive culture system for white shrimp *Litopenaeus vannamei*. **Aquaculture** 258: 396-403.