



การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย

ระดับชาติ ครั้งที่ 20 วันที่ 14-15 มีนาคม 2562

ณ โรงแรมฮาร์ดร็อค พัทยา จังหวัดชลบุรี

Available online at www.tsae.asia

การใช้ตะกอนจากบ่อปลาที่เลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนเพื่อเป็นปุ๋ยในการปลูกพืชแบบไร้ดิน

Utilization of sediment from water recirculation fishpond as fertilizer in hydroponic system

เนตรนภา พิทักษ์หมู^{1*}, ชิวิน อรรถสาสน¹, ปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธ์¹, วิมลศิริ ปรีดาสวัสดิ์¹

Natnapa Pitakmoo¹, Shewin Attasat¹, Piyaubutr Wanichpongpan¹, Wimolsiri Pridasawas¹

¹สาขาวิชาวิศวกรรม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพมหานคร 10140

¹School of Aquaculture Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok 10140

*Corresponding author: Tel: +66-9-0451-4403, Email: natnapa.pitakmoo@gmail.com

บทคัดย่อ

ตะกอนจากบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำประกอบไปด้วยสารอินทรีย์ และธาตุอาหารต่าง ๆ ได้แก่ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ซึ่งเป็นสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการนำตะกอนเหล่านี้มาใช้เป็นปุ๋ยในการปลูกพืชไร้ดิน โดยนำตะกอนจากการเลี้ยงปลาในบ่อในระบบน้ำหมุนเวียนมาผสมกับน้ำที่สัดส่วนต่าง ๆ เพื่อปรับสภาพให้เหมาะสมสำหรับการปลูกผักกาดหอมในระบบการปลูกพืชไร้ดินแบบน้ำลึก (Deep Flow Technique, DFT) ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า ตะกอนบ่อปลาสามารถนำมาใช้เป็นปุ๋ยสำหรับการปลูกพืชไร้ดินได้ และสัดส่วนของตะกอนต่อน้ำที่ใช้มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยสัดส่วนตะกอนต่อน้ำที่ 1:5 (โดยปริมาตร) จะให้ผลผลิตผักกาดหอมสูงที่สุด เนื่องจากมีปริมาณธาตุอาหารมากที่สุด รองลงมาคือที่สัดส่วน 1:10 และ 1:20 ตามลำดับ และจากผลการทดลองยังพบว่า การปลูกพืชไร้ดินระบบ DFT ที่ใช้ตะกอนบ่อปลาเป็นปุ๋ย โดยไม่มีการเติมอากาศ สามารถเพิ่มผลผลิตของผักกาดหอมได้ประมาณ 2.8 เท่าของการปลูกแบบเติมอากาศ เนื่องจากการฟุ้งกระจายของตะกอนทำให้การดูดซึมธาตุอาหารของผักกาดหอมลดลง ทำให้พืชได้รับสารอาหารไม่เต็มที่ และให้ผลผลิตต่ำ ผลการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ พบว่า การปลูกผักกาดหอมโดยใช้สัดส่วนตะกอนบ่อปลาต่อน้ำ 1:5 โดยไม่มีการเติมอากาศ สามารถสร้างรายได้สุทธิเป็นเงิน 109 บาทต่อตารางเมตรต่อการปลูก 1 ครั้ง จึงสามารถใช้เป็นทางเลือกในการสร้างมูลค่าให้กับของเสียที่เกิดจากการเลี้ยงปลาในระบบน้ำหมุนเวียน ซึ่งนอกจากจะช่วยลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานได้แล้ว ยังช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากตะกอนที่เกิดขึ้นจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอีกด้วย

คำสำคัญ: การปลูกพืชไร้ดิน, ตะกอนบ่อปลา, ปลาไนล์, ระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำแบบน้ำหมุนเวียน

Abstract

Sediment from aquaculture ponds composed of organic matter and inorganic nutrients such as nitrogen and phosphorus, which were the essential nutrients for plant growth. In this study, these sediments were used as hydroponic fertilizers. The sediments collected from tilapia ponds in water recirculation systems were mixed with water at various proportions in order to adjust their properties and used for growing lettuce in the deep flow technique (DFT) hydroponic system. The results showed that fishpond sediments were able to use as hydroponic fertilizers. The sediment to water ratio has an effect on the plant growth. The ratio of 1:5 (by volume) gave the highest plant yield, because of its highest nutrient contents, followed by the ratio of 1:10 and 1:20, respectively. The experimental results also indicated that omitting the aeration in DFT system enhanced the plant yield about 2.8 times of that with the aeration. Since aeration promoted bacteria growth which reduce plant nutrient uptake. The feasibility study showed that using fishpond sediments at the ratio of 1:5 as hydroponic fertilizers without the aeration gave the most net income. It could be used as an option value added from aquaculture wastes. That was not only able to reduce the operating cost in recirculating aquaculture systems, but it also reduced the environmental impacts of aquaculture sediments.

Keywords: Fishpond sediment, Hydroponic, Recirculating Aquaculture Systems, Tilapia

1 บทนำ

ในปัจจุบันระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำได้พัฒนาจากแบบดั้งเดิมที่เลี้ยงในบ่อดินหรือกระชัง ไปสู่ระบบปิดที่มีการหมุนเวียนน้ำที่จากบ่อเลี้ยงที่ผ่านการบำบัดแล้วกลับมาใช้ใหม่ หรือที่เรียกว่า การเลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียน (Recirculating Aquaculture System, RAS) โดยไม่มีการทิ้งของเสียออกจากระบบการเลี้ยง ซึ่งมีข้อดี คือ ประหยัดทรัพยากรน้ำ ป้องกันการระบาดของโรค ลดมลพิษสู่สิ่งแวดล้อม และสามารถควบคุมคุณภาพน้ำระหว่างการเลี้ยง ทำให้สามารถทำการเลี้ยงได้ด้วยความหนาแน่นสูง

อย่างไรก็ตาม การเลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนก็มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานสูงกว่าการเลี้ยงแบบดั้งเดิม ทั้งในด้านพลังงานที่ต้องใช้ในการหมุนเวียนน้ำและการเติมอากาศ ด้วยเหตุนี้การนำของเสียที่เกิดจากการเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบน้ำหมุนเวียนมาใช้ให้เกิดประโยชน์หรือสร้างมูลค่า จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยลดค่าใช้จ่ายของการเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบน้ำหมุนเวียนได้

เนื่องจากของเสียจากระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำ ทั้งในรูปของน้ำเสียและตะกอน จะประกอบไปด้วยสารอินทรีย์ และธาตุอาหารต่าง ๆ ได้แก่ ไนโตรเจน (N) และฟอสฟอรัส (P) ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นในการเจริญเติบโตของพืช จึงมีแนวคิดในการนำของเสียเหล่านี้มาใช้เป็นปุ๋ยในการปลูกพืชแบบไร้ดิน (Hydroponic) โดยงานวิจัยส่วนใหญ่จะเน้นศึกษาการนำน้ำเสียจากระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำไปใช้ในการปลูกพืชแบบไร้ดิน หรือที่เรียกว่า ระบบอควาโปนิคส์ (Aquaponic) ส่วนการนำตะกอนจากระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำมาใช้ในการปลูกพืชแบบไร้ดินนั้น ยังมีผู้ทำการศึกษาอยู่น้อย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมายในการศึกษาความสามารถในการใช้ตะกอนจากบ่อปลาที่เลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียน เพื่อเป็นปุ๋ยในการปลูกพืชแบบไร้ดิน ซึ่งนอกจากจะสามารถบำบัดสารประกอบไนโตรเจนในตะกอนได้แล้ว ยังช่วยควบคุมคุณภาพน้ำระหว่างการเลี้ยงปลาและเป็นการสร้างรายได้ให้เกษตรกรอีกทางหนึ่งด้วย

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การเลี้ยงปลาในในระบบน้ำหมุนเวียน

ทำการเลี้ยงปลาในขนาดน้ำหนักตัวเฉลี่ย 170 g ในถังพลาสติกทรงกลมขนาด 500 l ปริมาณน้ำสำหรับการเลี้ยง 400 l ที่ความหนาแน่นการเลี้ยง 2 kg m⁻³ ให้อาหารเม็ดชนิดโปรตีนร้อยละ 30 ในอัตราร้อยละ 2 ของน้ำหนักตัวต่อวัน ให้อากาศภายในบ่อเลี้ยงผ่านหัวทราย ปริมาณออกซิเจนละลายในบ่อไม่ต่ำกว่า 4 mg l⁻¹ ระยะเวลาการเลี้ยง 30 วัน โดยน้ำที่จากบ่อปลาจะไหลผ่านระบบดักตะกอน ลงสู่ระบบถังกรองชีวภาพ ก่อนถูกสูบกลับเข้าสู่ถังเลี้ยงปลา (Figure 1) โดยทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำในระหว่างการเลี้ยง ได้แก่ แอมโมเนียรวม (TAN), ไนไตรท์ (NO₂⁻) และไนเตรท (NO₃⁻) ตามวิธีมาตรฐานของ Parsons et al. (1984) และทำการเก็บตะกอนที่ได้ในระบบดักตะกอนเมื่อครบระยะเวลาการเลี้ยง วัดปริมาณ และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณ NO₂⁻, NO₃⁻ และปริมาณ Total Kjeldahl Nitrogen (TKN) ตามวิธีมาตรฐาน

ของ APHA (1980) เพื่อคำนวณหาปริมาณไนโตรเจนรวม (TN) ในตะกอน ทั้งนี้ การเลี้ยงปลาในในระบบน้ำหมุนเวียนจะดำเนินการเลี้ยงปลาทั้งสิ้นจำนวน 3 ครั้ง

2.2 การปลูกพืชแบบไร้ดิน

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้การปลูกพืชแบบไร้ดินในระบบ Deep Flow Technique (DFT) หมายถึง การปลูกโดยใช้รากพืชแช่อยู่ในภาชนะบรรจุสารละลายธาตุอาหาร ความลึก 15 - 20 cm ซึ่งเป็นระบบที่ง่าย ไม่ซับซ้อน ในการปลูกจะใช้กระบะปลูกขนาด 54 x 34 x 28 cm เติมน้ำผสมปุ๋ยเคมีหรือตะกอนบ่อปลาที่สัดส่วนต่าง ๆ ให้ได้ความลึก 15 cm คิดเป็นปริมาตรน้ำในกระบะปลูก 27.5 l ปิดด้านบนด้วยแผ่นโฟมที่เจาะช่องสำหรับปลูกพืชเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 cm ระยะห่างระหว่างช่องปลูก 20 cm โดยนำต้นกล้าผักกาดหอมพันธุ์กรีนคอสที่มีอายุ 14 วัน ลงปลูกในระบบจนถึงเก็บเกี่ยวเป็นระยะเวลา 35 วัน ในแต่ละกระบะปลูกจะมีผักกาดหอมจำนวน 5 ต้น (Figure 2) มีการเติมอากาศแก่รากพืชในกระบะปลูกผ่านหัวทราย วางกระบะปลูกในโรงเรือนคลุมด้วยแผ่นพลาสติกใสและติดตั้งหัวพ่นละอองน้ำในโรงเรือนเพื่อลดความร้อนและการคายน้ำของพืช (Figure 3)

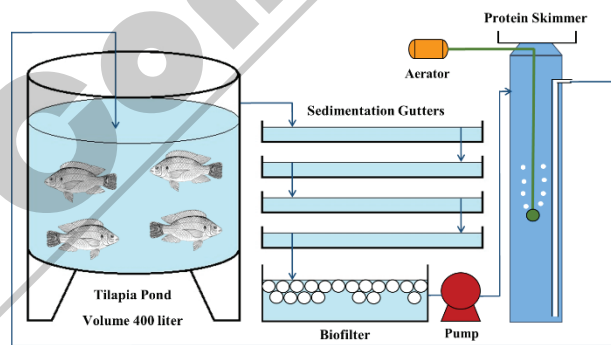


Figure 1 Diagram of tilapia pond in water recirculation systems



Figure 2 Lettuce in the DFT hydroponic system



Figure 3 Greenhouses for hydroponic system

2.3 สภาวะการทดลอง

ในการศึกษานี้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชั้น คือ

1) การหาสัดส่วนตะกอนที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นปุ๋ยในการปลูกพืชแบบไร้ดิน

การนำตะกอนจากการเลี้ยงปลานิลในระบบน้ำหมุนเวียนมาใช้เป็นปุ๋ยนั้น จำเป็นต้องนำตะกอน (เปียก) มาผสมกับน้ำ เพื่อปรับสภาพให้เหมาะสมสำหรับการปลูกพืชแบบไร้ดินก่อน ซึ่งในการทดลองนี้ เลือกใช้สัดส่วนระหว่างตะกอนต่อน้ำ (โดยปริมาตร) ที่ 1:5, 1:10 และ 1:20 นำส่วนผสมของน้ำและตะกอนที่สัดส่วนต่าง ๆ ใส่ลงในกระเบปปลูกที่ปริมาตรกระเบปละ 27.5 ลิ เพื่อใช้ปลูกผักกาดหอม เปรียบเทียบผลที่ได้กับการปลูกโดยใช้ปุ๋ยเคมีสูตร Hoagland and Arnon (1938) วัดการเจริญเติบโตของผัก และเก็บตัวอย่างน้ำจากกระเบปปลูกพืชแต่ละชุดการทดลอง เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณภาพน้ำสัปดาห์ละครั้ง

2) การเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้ตะกอน การทดลองในส่วนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาแนวทางในการเพิ่ม

ผลผลิตและลดค่าใช้จ่ายของการใช้ตะกอนบ่อปลาเพื่อเป็นปุ๋ยในการปลูกพืชแบบไร้ดิน โดยมีแนวคิดในการเติมธาตุอาหารหลักได้แก่ ฟอสฟอรัส และ โพแทสเซียม ลงในตะกอนบ่อปลาเพื่อให้มีธาตุอาหารพืชที่สมบูรณ์ขึ้น และการงดเติมอากาศในระบบการปลูกพืชไร้ดินแบบ DFT เพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการปลูกพืชแบบไร้ดิน

ในการศึกษาจะเลือกใช้ปริมาณสัดส่วนตะกอนบ่อปลาต่อน้ำที่ให้ผลผลิตพืชสูงสุดจากการทดลองในชั้นที่ 1 มาดำเนินการทดลองต่อ โดยมีทั้งสิ้น 4 ชุดการทดลอง ดังแสดงใน Table 1

Table 1 Testing conditions for using fishpond sediment as hydroponic fertilizer

Experiment	Source of nutrients	Addition of P and K	Aeration
1	Chemical	No	Yes
2	Sediment	Yes	Yes
3	Sediment	No	Yes
4	Sediment	No	No

3 ผลและวิจารณ์

3.1 การเลี้ยงปลานิลในระบบน้ำหมุนเวียน

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำระหว่างการทดลองในถังเลี้ยงปลานิล พบว่า การเลี้ยงปลาทั้ง 3 ครั้ง ไม่มีการสะสมของแอมโมเนียรวมและไนไตรท์ โดยสารประกอบไนโตรเจนที่พบส่วนใหญ่อยู่ในรูปของไนเตรท และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง แสดงถึงกระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification) ที่สมบูรณ์ ทำให้สามารถควบคุมความเข้มข้นของแอมโมเนียรวมและไนไตรท์ให้อยู่ในปริมาณที่ต่ำได้ (Figure 4)

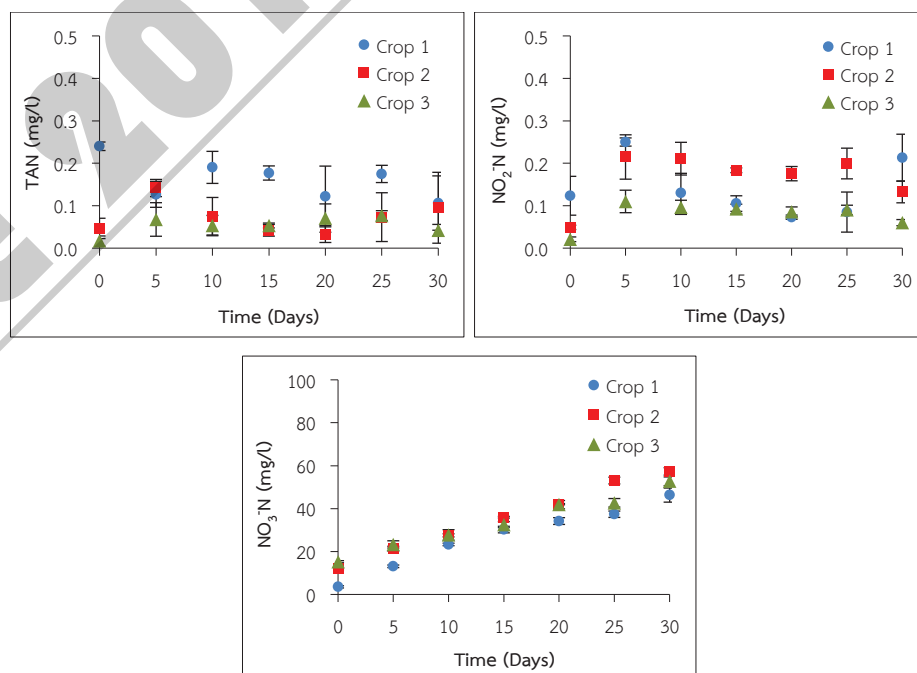


Figure 4 Changes of water quality in fishponds

การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติ ครั้งที่ 20 วันที่ 14-15 มีนาคม 2562

ประสิทธิภาพการเลี้ยงปลานิลในระบบน้ำหมุนเวียนจำนวน 3 ครั้ง พบว่า มีค่าอัตราการแลกเนื้อ (FCR) อยู่ในช่วง 1.68 - 1.71 และมีค่าอัตราเจริญเติบโตจำเพาะ (SGR) อยู่ในช่วง 0.99 - 1.08 % ต่อวัน

3.2 สัดส่วนตะกอนที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นปุ๋ย

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า พีชที่ปลูกโดยใช้ปุ๋ยเคมีให้ผลผลิตสูงสุด รองลงมา คือ สัดส่วนตะกอนต่อน้ำ 1:5, 1:10 และ 1:20 ดังแสดงใน Table 2

Table 2 The average of shoot length, leaves number and root length on green cos (collected data from 3 crops)

Parameters	Chemical fertilizer	Sediment to water ratio		
		1:5	1:10	1:20
shoot length (cm)	18.8±3.9 ^a	12.9±6.4 ^b	13.3±4.8 ^b	9.8±5.7 ^b
leaves number	17±2.6 ^a	11±3.7 ^b	12±5.1 ^b	8±0.4 ^b
root length (cm)	9.5±2.6 ^a	11.1±4.0 ^b	12.2±4.8 ^b	11.4±1.8 ^b
Crop yield (g m ⁻²)	755.2 ^a	147.5 ^b	113.6 ^b	68.5 ^b

Remark: Mean followed by same letter do not significantly differ (p<0.05) (n=3)

เมื่อพิจารณาคูณภาพน้ำและธาตุอาหารจากการทดลอง พบว่า ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity; EC) ของทั้ง 4 ชุดการทดลอง มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง แสดงว่าพีชสามารถดูดธาตุอาหารไปใช้ในการเจริญเติบโต โดยค่า EC และค่า pH ในกระบะปลูกที่ใช้ปุ๋ยเคมี มีค่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการปลูกผักกาดหอม คือ มีค่า EC อยู่ในช่วง 0.5 - 2.0 mS cm⁻¹ (Tongaram, 2007) และค่า pH อยู่ในช่วง 6.00 - 6.50 (Jones, 2005) ขณะที่ชุดการทดลองที่ใช้ตะกอนบ่อปลาเป็นปุ๋ย มีค่า EC ต่ำกว่าช่วงที่เหมาะสมสำหรับการปลูกผักกาดหอม แสดงให้เห็นว่ามีความเข้มข้นของสารอาหารต่ำ ซึ่งอาจไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช และมีค่า pH ที่สูงกว่าช่วงที่เหมาะสมสำหรับการปลูกผักกาดหอม ซึ่งอาจเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้พืชไม่สามารถ ดูดธาตุอาหารต่าง ๆ ไปใช้ประโยชน์ได้เต็มที่

ในส่วนของธาตุอาหาร ได้แก่ NO₃⁻, TN, PO₄³⁻ และ K⁺ สำหรับกระบะปลูกที่ใช้ปุ๋ยเคมี มีค่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการปลูก

ผักกาดหอม คือ 70 - 200 mg l⁻¹, 150 - 200 mg l⁻¹, 30 - 90 mg l⁻¹ และ 200 - 400 mg l⁻¹ ตามลำดับ (Hanger, 1992; Jones, 2005) จึงทำให้พีชมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ลำต้นแข็งแรง อวบน้ำ สมบูรณ์ ใบมีลักษณะยาวรี ซ้อนกันเป็นข้อ มีสีเขียวสด รากมีลักษณะยาวและแตกแขนงเป็นพุ่ม มีสีเขียว ในส่วนของการปลูกผักกาดหอมโดยใช้ตะกอนเป็นปุ๋ยทั้ง 3 ชุดการทดลอง พบว่า ค่า NO₃⁻, TN, PO₄³⁻ และ K⁺ อยู่ในช่วงที่ต่ำกว่าช่วงที่เหมาะสมสำหรับการปลูกผักกาดหอม พีชจึงเจริญเติบโตช้า ลำต้นแคระแกร็น ใบมีลักษณะเรียวยาวเล็ก สีเขียวอมเหลือง รากมีลักษณะยาว แต่ไม่แตกแขนงเป็นพุ่ม มีสีเหลือง ซึ่งเป็นอาการที่พืชได้รับธาตุอาหารไม่เพียงพอ ทำให้การเจริญเติบโตจึงช้า ลำต้นมีความแคระแกร็น รากจะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง หรือสีน้ำตาล และส่งผลต่อคุณภาพของพืชทั้งขนาดและน้ำหนัก (Riablshirun, 2007) ดังแสดงใน Table 3

Table 3 The average of water quality and nutrient concentrations in grow beds of each treatment

Parameters	Chemical fertilizer		Sediment to water ratio					
			1:5		1:10		1:20	
	Min.-Max.	Avg.±S.D.	Min.-Max.	Avg.±S.D.	Min.-Max.	Avg.±S.D.	Min.-Max.	Avg.±S.D.
EC (mS cm ⁻¹)	0.8-2.0	1.3±0.4	0.4-0.8	0.5±0.1	0.3-0.5	0.4±0.1	0.3-0.4	0.3±0.0
pH	6.0-6.8	6.4±0.4	7.1-7.5	7.3±0.1	7.1-7.7	7.4±0.2	7.3-7.7	7.5±0.2
NO ₃ ⁻ (mg l ⁻¹)	132.6-162.2	147.4±10.8	2.1-14.1	9.3±4.2	1.4-11.0	7.3±3.5	1.0-4.2	2.3±1.1
TN (mg l ⁻¹)	151.6-222.1	196.2±30.6	65.7-91.0	76.1±9.0	38.5-56.1	48.6±6.5	8.1-25.0	14.2±6.0
P (mg l ⁻¹)	35.1-53.9	43.0±6.3	14.9-32.6	23.9±6.0	7.0-21.2	13.1±5.1	3.0-9.1	5.7±2.2
K (mg l ⁻¹)	91.0-231.6	-	13.6-18.9	-	12.2-16.6	-	9.0-14.9	-

3.3 การเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้ตะกอน

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า พีชที่ปลูกโดยใช้ปุ๋ยเคมีให้ผลผลิตสูงสุด รองลงมา คือ สัตส่วนตะกอนต่อน้ำ 1:5 ไม่เติมอากาศ, เติมอากาศ และเติม PO_4^{3-} และ K^+ ดังแสดงใน Table 4

และเมื่อเปรียบเทียบการปลูกพีชโดยใช้ตะกอนเป็นปุ๋ยนั้น พีชที่ปลูกโดยสัตส่วนตะกอนต่อน้ำ 1:5 ไม่เติมอากาศ มีการเจริญเติบโตได้สูงที่สุด อาจเนื่องมาจากเมื่อไม่มีการเติมอากาศทำให้ไม่เกิดการฟุ้งกระจายของตะกอนในระบบปลูกพีช ตะกอนจึงจมตัวอยู่ที่ก้นบ่อ ทำให้ไม่ไปเกาะติดที่รากพีช ซึ่งในตะกอนเหล่านี้จะมีจุลินทรีย์เจริญเติบโตอยู่ ซึ่งจะไปแย่งธาตุอาหารและอากาศจาก

รากพีช รากพีชจึงไม่สามารถดูดซึมธาตุอาหารและอากาศไปใช้ได้ อย่างเต็มที่ ลักษณะดังกล่าวใกล้เคียงกับปัญหาการเกิดจุลสาหร่ายหรือตะไคร่น้ำเกาะติดรากพีช ซึ่งเป็นปัญหาที่พบบ่อยในการปลูกพีชแบบไร้ดิน พีชจะถูกจุลินทรีย์เหล่านี้แย่งใช้สารอาหารและอากาศ ทำให้เจริญเติบโตช้า อ่อนแอ และเป็นโรคร่วง (Morgan, 2014)

สำหรับการเติมธาตุอาหารหลัก PO_4^{3-} และ K^+ ลงในตะกอนพบว่า ไม่สามารถเพิ่มผลผลิตได้ เนื่องจาก ค่า pH ที่สูง โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 7.2 ซึ่งสูงกว่าช่วงที่เหมาะสมสำหรับการปลูกพีชแบบไร้ดิน อาจทำให้ธาตุอาหารที่เติมลงไปเกิดการตกตะกอน พีชจึงไม่สามารถนำธาตุอาหารไปใช้ได้

Table 4 The average of shoot length, leaves number and root length on green cos (collected data from 3 crops)

Parameters	Chemical fertilizer	Sediment to water ratio (1:5)		
		Addition of P and K	Aeration	Non Aeration
shoot length (cm)	40.1±1.6 ^a	11.4±4.0 ^b	12.5±0.9 ^b	15.4±0.6 ^c
leaves number	25.7±0.5 ^a	8.5±3.1 ^b	11.6±1.6 ^c	13.7±1.2 ^c
root length (cm)	16.8±1.1 ^a	7.7±3.4 ^b	7.0±1.2 ^b	7.2±1.2 ^b
Crop yield (g m ⁻²)	1,668.6 ^a	10.7 ^b	23.5 ^b	65.1 ^c

Remark: Mean followed by same letter do not significantly differ (p<0.05) (n=3)

เมื่อพิจารณาคุณภาพน้ำและธาตุอาหารจากการทดลอง พบว่า ค่า EC ของทั้ง 4 ชุดการทดลอง มีค่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการปลูกผักกาดหอม และค่า pH ในระบบปลูกที่ใช้ปุ๋ยเคมี มีค่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสม ขณะที่ในระบบที่ใช้ตะกอนเป็นปุ๋ยมีค่า pH สูงกว่าช่วงที่เหมาะสมสำหรับการปลูกผักกาดหอม

ในส่วนของธาตุอาหาร ได้แก่ NO_3^- , TN และ PO_4^{3-} สำหรับระบบปลูกที่ใช้ปุ๋ยเคมี มีค่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการปลูก

ผักกาดหอม จึงทำให้พีชมีการเจริญเติบโตดี ลักษณะของลำต้น ใบ และรากมีความสมบูรณ์ ในส่วนของการปลูกผักกาดหอมโดยใช้ตะกอนเป็นปุ๋ย พบว่า ค่า NO_3^- , TN และ PO_4^{3-} อยู่ในช่วงที่ต่ำกว่าช่วงที่เหมาะสมสำหรับการปลูกผักกาดหอม จึงทำให้พีชมีการเจริญเติบโตช้า ลักษณะของลำต้น ใบ และราก ไม่สมบูรณ์ สาเหตุเกิดจากพีชได้รับธาตุอาหารไม่เพียงพอ ดังแสดงใน Table 5

Table 5 The average of water quality and nutrient concentrations in grow beds of each treatment

Parameters	Chemical fertilizer		Sediment as fertilizer (1:5)					
	Min.-Max.	Avg.±S.D.	Min.-Max.	Avg.±S.D.	Min.-Max.	Avg.±S.D.	Min.-Max.	Avg.±S.D.
EC (mS cm ⁻¹)	0.6-1.9	1.5±0.5	0.5-0.8	0.6±0.1	0.6-1.0	0.8±0.1	0.5-0.7	0.7±0.1
pH	5.7-6.7	6.2±0.4	7.0-7.6	7.2±0.2	6.6-7.1	6.8±0.2	6.9-7.3	7.1±0.2
NO_3^- (mg l ⁻¹)	39.8-116.5	98.3±29.5	3.1-17.5	12.2±5.2	2.5-4.4	3.7±0.7	2.4-4.3	3.3±0.8
TN (mg l ⁻¹)	52.1-175.0	138.5±46.2	36.0-83.9	59.2±16.0	42.7-90.8	67.3±16.1	49.2-87.4	68.1±12.6
P (mg l ⁻¹)	23.5-55.1	46.3±11.6	1.2-33.0	19.9±14.7	18.6-35.7	26.8±7.0	22.6-42.5	33.3±8.8

3.4 ประสิทธิภาพการบำบัดสารประกอบไนโตรเจน

ผลการทดลอง พบว่า การใช้สัดส่วนตะกอนต่อน้ำที่ 1:5 นอกจากจะให้ผลผลิตที่สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับที่สัดส่วนอื่นแล้ว ยังมีอัตราการบำบัดไนโตรเจนสูงที่สุดด้วย ดังแสดงใน Table 6

Table 6 Total nitrogen concentrations at the start and the end of each treatment from the experiment Part 1

Time	Chemical fertilizer	Sediment to water ratio		
		1:5	1:10	1:20
Started conc. (mgN l ⁻¹)	220.5	91.0	56.1	25.0
Ended (mgN l ⁻¹)	151.6	65.7	38.5	8.1
Removal rate (mgN l ⁻¹ d ⁻¹)	2.0	0.7	0.5	0.5

และถึงแม้ว่าการปลูกผักกาดหอมแบบไร้ดินที่ไม่มีการเติมอากาศจะให้ผลผลิตที่สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับที่ปลูกแบบที่มีการเติมอากาศ แต่พบว่า มีอัตราการบำบัดไนโตรเจนที่ต่ำ เนื่องจากออกซิเจนเป็นปัจจัยสำคัญในการย่อยสลายสารอินทรีย์ การไม่เติมอากาศจึงทำให้อัตราการบำบัดไนโตรเจนต่ำ ดังแสดงใน Table 7 นอกจากนี้ ความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจนหลังการปลูกพืชยังคงมีค่าสูงกว่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด (Pollution Control Department, 2011) อย่างไรก็ตาม การนำตะกอนของเสียจากการเลี้ยงปลามาใช้เพื่อเป็นปุ๋ย นับเป็นวิธีหนึ่งในการนำของเสียมาใช้ประโยชน์ จึงเป็นการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้

Table 8 The comparison of expenses, gross income and net income (Baht m⁻² crop⁻¹) of each experiment condition

	Chemical fertilizer	Sediment to water ratio (1:5)	
		Aeration	Non Aeration
1) Operating costs (Baht m ⁻² crop ⁻¹)			
1.1 Plant Seed	3	3	3
1.2 Electricity			
- Aeration	112	112	-
- Sprayed water	2	2	2
1.3 Water in hydroponic system	10	10	10
1.4 Chemical fertilizer	90	-	-
Total expense (Baht)	217	127	15
2) Gross income (Baht m ⁻² crop ⁻¹)	227	44	124
3) Net income (Baht m ⁻² crop ⁻¹)	10	-83	109

Table 7 Total nitrogen concentrations at the start and the end of each treatment from the experiment Part 2

Time	C+A	S+PK+A	S+A	S
Started conc. (mgN l ⁻¹)	175.0	83.9	90.8	87.4
Ended (mgN l ⁻¹)	52.1	36.0	42.7	49.2
Removal rate (mgN l ⁻¹ d ⁻¹)	3.5	1.4	1.4	1.1

Remark: C= Using chemical fertilizer, S= Using sediment as fertilizer, PK=Added PO₄³⁻ and K⁺, A=Aeration

3.5 บทวิเคราะห์ข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์

การประเมินและการคำนวณในเบื้องต้นเป็นการวิเคราะห์ต้นทุนด้านการดำเนินงาน (Operating Costs) เท่านั้น โดยราคาผลผลิตเป็นราคาจำหน่ายเฉลี่ยของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิคส์ในห้างสรรพสินค้า ราคา กิโลกรัมละ 300 บาท

ผลการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ พบว่า การปลูกผักกาดหอมมีต้นทุนด้านพลังงานไฟฟ้าและค่าปุ๋ยเคมี การปลูกพืชโดยใช้ตะกอนจากบ่อปลาเป็นการช่วยลดต้นทุนด้านปุ๋ยเคมี และเพิ่มมูลค่าให้กับของเสีย ทั้งนี้ การปลูกพืชแบบไม่เติมอากาศช่วยลดต้นทุนด้านพลังงานไฟฟ้า ดังแสดงใน Table 8 วิธีการดังกล่าวจึงเป็นทางเลือกให้กับผู้ที่ต้องการเพิ่มมูลค่าให้กับของเสียและลดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการเลี้ยงปลา

4 สรุป

จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า ตะกอนจากบ่อปลาที่เลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนสามารถนำมาใช้เป็นปุ๋ยสำหรับการปลูกพืชแบบไร้ดินได้ พบว่า สัดส่วนตะกอนต่อน้ำ 1:5 (โดยปริมาตร) จะให้ผลผลิตพืชสูงสุด ซึ่งการงดเติมอากาศในการปลูกพืชแบบไร้ดินสามารถเพิ่มผลผลิตได้ประมาณ 2.8 เท่าของการปลูกแบบเติมอากาศ ผลการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ พบว่า การใช้สัดส่วนตะกอนจากบ่อปลาต่อน้ำ 1:5 โดยไม่เติมอากาศ สำหรับการปลูกผักกาดหอม ก่อให้เกิดรายได้มากที่สุด จึงเป็นทางเลือกในการสร้างมูลค่าให้กับของเสียที่เกิดจากการเลี้ยงปลาในระบบน้ำหมุนเวียน เพราะนอกจากจะช่วยลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานได้แล้ว ยังช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากตะกอนที่เกิดขึ้นหลังการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอีกด้วย

5 กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย ปีงบประมาณ 2560 ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จ ลุล่วงไปด้วยดี

6 เอกสารอ้างอิง

- APHA. 1980. Standard Methods for the examination of water and wast water. American Pubic Health Association. 1015 fifteen street NW Washington. 15:1-1134.
- Hanger, B. 1992. The Nutrient Solution and Its Preparation. Hydroponic for School and the Home Grower. Victoria: Natural Resources Conservation Leauge. p 22.
- Hoagland, D.R. and Arnon, D.I. 1938. The Water Culture Method for Growing Plants without Soil. University of California. College of Agricultural Experiment Station. Circulation 347. Berkeley.
- Jones, J.B. 2005. Hydroponics: A Practical Guide for the Soilless Grower. 2nd ed. CRC Press. Florida. 423 pp.
- Morgan, L. 2014. Maintaining Healthy Hydroponic Root Systems. Available at: <https://www.maximumyield.com/maintaining-healthy-hydroponic-root-systems/2/1403>. Accessed on 1 December 2018.
- Parsons, T.R., Maita, Y., Lalli, C.M. 1984. A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis. Pergamon. Oxford. UK. 187 p.
- Pollution Control Department. 2011. Guide to Assessment of Wast Water and Pollution from Aquaculture Activities. Ministry of Natural Resources and Environment. Bangkok. 66 p. (in Thai)

Riablshirun, N. 2007. Soilless Culture. Suveeriyasarn. Bangkok. 172 p. (in Thai)

Tongaram, D. 2007. Soilless Culture. 3rd ed. Pimdeekampim. Bangkok. 816 p. (in Thai)