

อภิธานนาการ



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การบำบัดน้ำในระบบเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืชแบบไร้ดินเสริมด้วยถ่านชีวภาพ

Water treatment for aquaponics system with biochar-supplemented hydroponic system

คณะผู้วิจัย

รศ.ดร. สัมฤทธิ์ ไม้พวง

ผศ.ดร. วิจิตร อุดอ้าย

ผศ.ดร. ศุภลักษณ์ วิรัชพินทุ

ดร.นงลักษณ์ ยิ้มตระกูล

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

วันลงทะเบียน..... 3 มี.ค. 2565

เลขทะเบียน..... 1049/01

เลขเรียกหนังสือ..... 58

126

.5

๓๖๑๖

๒๕๖๒

สนับสนุนโดย

งบประมาณแผ่นดินจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ปีงบประมาณ 2562

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การบำบัดน้ำในระบบเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืชแบบไร้ดินเสริมด้วยถ่านชีวภาพ

Water treatment for aquaponics system with biochar-supplemented
hydroponic system

คณะผู้วิจัย

รศ.ดร. สัมฤทธิ์ ไม้พวง

ผศ.ดร. วิจิตร อุดอ้าย

ผศ.ดร. ศุภลักษณ์ วิรัชพินทุ

ดร.นงลักษณ์ ยิ้มตระกูล

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

สนับสนุนโดย

งบประมาณแผ่นดินจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ปีงบประมาณ 2562

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยเรื่อง การบำบัดน้ำในระบบเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืชแบบไร้ดินเสริมด้วยถ่านชีวภาพ (Water treatment for aquaponics system with biochar-supplemented hydroponic system) ได้รับงบประมาณจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (ผ่านมหาวิทยาลัยนเรศวร) ประจำปีงบประมาณ 2562 ซึ่งได้ดำเนินการทดลองที่คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร และได้เผยแพร่ผลการศึกษาสู่เกษตรกรสมาชิกสหกรณ์เพื่อการตลาดอาหารปลอดภัยกรีนมาร์เก็ตพิษณุโลก จำกัด ตำบลพันเสา อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก ผ่านไปด้วยดี ทั้งนี้ได้รับการสนับสนุนจากภาควิชาเคมี ในการใช้ห้องปฏิบัติการและเครื่องมือบางส่วน และจากคณะวิทยาศาสตร์ในส่วนของการใช้เครื่องมือวิเคราะห์จากศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ เป็นอย่างดี อีกทั้งยังได้รับการสนับสนุนทั้งร่างกายและกำลังใจจากครอบครัว ที่ทำให้การวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

จากผลงานวิจัยนี้คณะผู้วิจัยหวังว่าจะเป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจนำไปปฏิบัติต่อไป ซึ่งสามารถปรับการทำระบบอควาโพนิกที่ทำเป็นอาชีพได้ และยังเป็นการอนุรักษ์ทรัพยากรให้ใช้ได้อย่างยั่งยืน รวมทั้งยังสามารถลดมลภาวะสู่สิ่งแวดล้อมได้ด้วย

คณะผู้วิจัย



บทสรุปผู้บริหาร

Executive Summary

การวิจัยเรื่องการบำบัดน้ำในระบบเลี้ยงปลา ร่วมกับการปลูกพืชแบบไร้ดินเสริมด้วยถ่านชีวภาพ ได้รับงบประมาณจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ 2562 มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาการบำบัดน้ำในระบบอควาโพนิกส์ด้วยถ่านชีวภาพจากแกลบข้าวให้สามารถใช้น้ำในระบบจนครบรอบการเลี้ยงปลาในบ่อและปลูกพืชในระบบไฮโดรโพนิกส์ และถ่ายทอดระบบอควาโพนิกส์ที่บำบัดน้ำด้วยถ่านชีวภาพสู่เกษตรกร ซึ่งได้รับการพิจารณารับรองจรรยาบรรณการใช้สัตว์ด้วย โดยได้ทำการออกแบบระบบการทดลองด้วยบ่อเลี้ยงปลาที่ก่อด้วยอิฐประสานและปูด้วยพลาสติกปูพื้นบ่อ ขนาด 2 ม x 2 ม ความลึกของน้ำ 50 ซม. (ปริมาตรน้ำ 2 ลูกบาศก์เมตร) และแผงปลูกผักสร้างโครงด้วยเหล็กฉากปูพื้นด้วยฟิวเจอร์บอร์ดและรองพื้นด้วยถ่านแกลบข้าว โดยปลาที่เลี้ยงเป็นปลาหมอชุมพร และพืชที่ปลูกเป็นผักบุงจิ้น ใช้เวลาในการเก็บข้อมูลช่วงรอบการเลี้ยงละ 49 วัน ทำการวิเคราะห์สมบัติน้ำและการเจริญเติบโตของปลาและผัก จากการศึกษาพบว่าถ่านแกลบข้าวสามารถช่วยให้คุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลาอยู่ในมาตรฐานของน้ำเลี้ยงปลา มีสารพิษ เช่น ไนไตรท์ ไม่เกินมาตรฐาน และมีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำได้ เพียงพอสำหรับปลา อีกทั้งการเจริญเติบโตของปลาและพืชดีกว่าชุดควบคุมอย่างเห็นได้ชัด จากผลการทดลองที่ได้นับว่าได้ผลตามที่ได้คาดหวังไว้ ซึ่งส่งผลให้คณะผู้วิจัยได้ทำการเผยแพร่สู่เกษตรกรสมาชิกสหกรณ์เพื่อการตลาดอาหารปลอดภัยกรีนมาร์เก็ต พืชมูลโลก จำกัด ตำบลพันเสา อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก เพื่อนำผลการวิจัยนี้ไปเสริมเป็นอาชีพในการปลูกผักอินทรีย์ต่อไป เพื่อลดพื้นที่ น้ำ ปุ๋ยและอาหารปลาที่ใช้ในการปลูกพืชและเลี้ยงปลา อีกทั้งยังช่วยลดมลภาวะทางน้ำในระบบนิเวศน์ ที่ไม่ปล่อยของเสียลงแหล่งน้ำ แต่อย่างไรก็ตาม เกษตรกรส่วนใหญ่ก็ยังไม่เห็นความสำคัญของระบบอควาโพนิก เนื่องจากว่า เกษตรกรยังมีพื้นที่ในการทำเกษตรมากอยู่ จึงยังไม่จำเป็นมากนักสำหรับการทำระบบอควาโพนิก ผู้วิจัยมีความเห็นว่าจะเผยแพร่สำหรับเกษตรกรที่มีพื้นที่จำกัด โดยเฉพาะบ้านในเขตเมืองที่ต้องการใช้พื้นที่ให้เป็นประโยชน์สูงสุดในการเลี้ยงปลา ร่วมกับการปลูกผักไฮโดรโพนิกต่อไป

สำหรับถ่านแกลบข้าว ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากโรงสีข้าว ที่หาได้ง่ายและราคาถูก มีสมบัติเป็นตัวกรองที่ดีสำหรับกรองของแข็งไม่ละลาย และสามารถลดปริมาณของแข็งละลายได้ รวมทั้งสารเป็นพิษต่อไป ได้แก่ไนไตรท์ แอมโมเนีย เป็นต้น ได้ส่วนหนึ่ง นอกจากนี้ทำให้มีปริมาณออกซิเจนละลายได้ในน้ำเพิ่มขึ้น จากการที่มีรูพรุนและพื้นที่ผิวสูง จึงเป็นการใช้วัสดุที่มีราคาถูกให้มีประโยชน์มากขึ้น

ในส่วนของมูลค่าทางเศรษฐกิจ ในการลงทุนสร้างบ่อขนาด 2 ม x 2 ม x 0.7 ม และแผงปลูกผัก ขนาด 2 ม x 2 ม x สูง 1.20 ม ใช้ทุนประมาณ 5000 บาท ค่าพันธุ์ปลาหมอและผักบุงจิ้น ประมาณ 120 บาท ค่าอาหารปลา ประมาณ 1000 บาท ได้ปลาน้ำหนัก ประมาณ 30 กิโลกรัมต่อรอบการเลี้ยง และผักบุงจิ้น ประมาณ 10 กิโลกรัมต่อรอบการปลูก รวบขายผลผลิตได้ประมาณ 2600 บาทต่อรอบการผลิต จะได้กำไรต่อรอบการเลี้ยงและปลูกประมาณ 1500 บาท ดังนั้น จุดคุ้มทุนในการดำเนินการอควาโพนิกประมาณ 4 รอบ ซึ่งใช้เวลาประมาณ 200 วัน สรุปได้ว่า ประมาณ 6 เดือน จะเริ่มได้กำไร ถ้าดำเนินการอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้

แล้ว ผลที่ได้ตามมาคือการลดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม ประหยัดการใช้น้ำและสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับถ่านชีวภาพ แกลบข้าวให้มากขึ้น รวมทั้งยังถือได้ว่าระบบนี้เป็นการผลิตปลาอินทรีและผักอินทรีย์ที่ไม่มีการใช้สารเคมีอีกด้วย ซึ่งน่าจะส่งผลทำให้ราคาผลผลิตที่จำหน่ายมีสูงขึ้น

อย่างไรก็ตาม การผลิตในระบบบอควาโปนิกนี้ ผู้ดำเนินการจำเป็นที่จะต้องมีความเอาใจใส่และดูแลเป็นประจำ และร่วมกันทำเป็นกลุ่มหรือเครือข่าย เพื่อให้ได้ผลผลิตอย่างต่อเนื่องและมีปริมาณมากพอสำหรับการจำหน่ายในเชิงการค้า โดยการที่จะให้ได้ผลผลิต ปลาหมอ 30 กิโลกรัมต่อวันและผักบุ้งจีน 20 กิโลกรัมต่อวัน จะมีบ่อขนาด 2 ม x 2 ม x 0.7 ม และแผงลูก 2 ม x 2 ม จำนวน ประมาณ 50 บ่อและแผง ตามลำดับ

จากการศึกษาวิจัยนี้ คาดว่าในอนาคตระบบบอควาโปนิกจะได้รับความนิยมและขยายขนาดให้มากขึ้น เนื่องจากสามารถพัฒนาไปสู่ระบบการควบคุมด้วยวิทยาการสมัยใหม่หรือเป็นเกษตรอัจฉริยะในภายภาคหน้าได้



บทคัดย่อ

ถ่านชีวภาพแกลบข้าวได้เตรียมโดยการคาร์บอนเซชันที่อุณหภูมิ 400-600°C ทำการวิเคราะห์ผลผลิตที่ได้ด้วย FTIR, SEM-EDS, BET และการวิเคราะห์โดยประมาณ เพื่อหาผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติที่ดีที่สุดและใช้อุณหภูมิคาร์บอนเซชันต่ำที่สุด จากการศึกษาพบว่าถ่านชีวภาพที่คาร์บอนเซชันที่ 500°C มีความเหมาะสมสำหรับใช้เป็นวัสดุเสริมรากในระบบบอควาโปนิค ซึ่งระบบบอควาโปนิคประกอบด้วยระบบเลี้ยงปลากับระบบไฮโดรโปนิคที่ไม่เสริมถ่านชีวภาพ ระบบที่ใช้การทดลองควบคุมประกอบด้วยบ่อเลี้ยงปลากับแผงปลูกผักที่เสริมด้วยถ่านชีวภาพโดยไม่เชื่อมต่อกัน และระบบบ่อเลี้ยงปลากับแผงปลูกผักที่เสริมด้วยถ่านชีวภาพที่เชื่อมต่อกัน ปลาหมอและผักบุ้งจีนใช้สำหรับศึกษาการเจริญเติบโต ทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำจากทุกบ่อเลี้ยงปลาทุกๆ ช่วง 10 วัน เป็นเวลา 47 วัน ผลที่ได้พบว่า การเจริญเติบโตของปลาหมอและผักบุ้งจีนในทั้งสองของระบบบอควาโปนิคใกล้เคียงกัน แต่สูงกว่าระบบที่ใช้ควบคุมอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งสอดคล้องกับคุณภาพน้ำในแต่ละบ่อเลี้ยงปลา อย่างไรก็ตาม การเจริญเติบโตของปลาหมอและผักบุ้งจีนในระบบที่เสริมด้วยถ่านชีวภาพ มีแนวโน้มที่สูงกว่าระบบที่ไม่ได้เสริมถ่านชีวภาพ มันได้แสดงว่าถ่านชีวภาพเปลือกข้าวสามารถช่วยบำบัดน้ำในระบบเลี้ยงปลาได้ โดยสามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายได้ในน้ำเลี้ยงปลาและเปลี่ยนสารประกอบที่เป็นพิษไปเป็นสารประกอบที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืช

คำสำคัญ: บำบัดน้ำ ระบบบอควาโปนิค ระบบแผงปลูกพืช ถ่านชีวภาพเปลือกข้าว

Abstract

Rice husk biochars were prepared by carbonization at 400-600°C. The products were analyzed by FTIR, SEM-EDS, BET and approximate analysis for finding final products with the best properties and the lowest carbonization temperature. It has been found that biochar at 500°C is suitable for use as a root supplement in aquaponic system. The aquaponic systems consist of aquaculture and hydroponic system with and without biochar supplement. The control experiment consists of an aquaculture and planting panel with biochar supplement by disconnection together. Tilapia and Morning glory are used for growth studies. The water quality from all aquaculture ponds also have been analyzed at an interval of 10 days for 47 days. The results showed that the growths of Tilapia and Chinese morning glory in both aquaponic systems were similar, but clearly higher than the control experiment, which are in accordance with the water quality in each aquaculture pond. However, the growths of Tilapia and Morning glory in supplemented biochar system tend to be higher than the non-supplemented biochar system. It has been shown that rice husk biochar can help treat water in the aquaponic system by increasing the amount of dissolved oxygen in the aquaculture water and conversion toxic compounds to be beneficial to plant growth.

Keywords: Water treatment, aquaculture system, planting panel system, rice husk biochar

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	๗
Executive Summary	๘
บทคัดย่อ	๙
Abstract	๑๐
สารบัญ	๑๑
สารบัญรูป	๑๒
สารบัญตาราง	๑๓
บทที่ 1	1
1.1	1
1.2	2
1.3	2
1.4	3
1.5	3
1.6	3
1.7	4
1.8	6
1.9	6
1.10	7
1.11	7
บทที่ 2	8
2.1	8
2.2	9
2.3	11
2.4	11
2.5	11
2.6	13
2.7	13
2.8	13
บทที่ 3	14
3.1	14
3.2	14
3.3	15
3.4	15
3.5	15
3.6	15

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	๗
Executive Summary	๘
บทคัดย่อ	๙
Abstract	๑๐
สารบัญ	๑๑
สารบัญรูป	๑๒
สารบัญตาราง	๑๓
บทที่ 1	
บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
1.4 ทฤษฎี สมมุติฐานและกรอบแนวคิดของโครงการวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.6 ระยะเวลาการทำวิจัย	3
1.7 ผลผลิต (Output) จากงานวิจัย	4
1.8 ผลลัพธ์ (Outcome) ที่คาดว่าจะได้ตลอดระยะเวลาโครงการ	6
1.9 ผลกระทบ (Impact) ที่คาดว่าจะได้รับ	6
1.10 มาตรฐานการวิจัย	7
1.11 สถานที่ทำการวิจัย	7
บทที่ 2	
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	8
2.1 อควาโปนิคส์ (Aquaponics)	8
2.2 ไฮโดรโปนิคส์ (Hydroponics)	9
2.3 ถ่านชีวภาพ (Biochar)	11
2.4 คาร์บอนในเซชัน	11
2.5 คุณภาพของน้ำในการเลี้ยงปลา	11
2.6 แกลบข้าว	13
2.7 ผักบุง	13
2.8 ปลาหมอ	13
บทที่ 3	
วิธีการดำเนินงานวิจัย	14
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์	14
3.2 สารเคมีและวัตถุดิบ	14
3.3 การวิเคราะห์หาองค์ประกอบในวัตถุดิบ	15
3.4 การเตรียมถ่านชีวภาพจากแกลบข้าว เเผาที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 °C	15
3.5 การวิเคราะห์หาองค์ประกอบในถ่านชีวภาพ	15
3.6 การหาปริมาณของความชื้น สารระเหย เถ้า และ คาร์บอนคงตัว ของวัตถุดิบ	15

	โดยเทคนิค Proximate Analysis	
3.7	สร้างบ่อเลี้ยงปลา, แปลงปลุกผักเสริมด้วยถ่านชีวภาพ, แปลงปลุกผักไม่เสริมด้วยถ่านชีวภาพ เชื่อมต่อกับระบบไฮโดรโปนิคส์ และ แปลงปลุกผักเสริมด้วยถ่านชีวภาพไม่เชื่อมต่อกับระบบไฮโดรโปนิคส์	16
3.8	การวิเคราะห์น้ำจากบ่อเลี้ยงปลาและระบบไฮโดรโปนิคส์	18
บทที่ 4	ผลการวิจัยและอภิปรายผล	23
4.1	ผลการวิเคราะห์โดยวิธี proximate analysis, ร้อยละผลผลิตของผลิตภัณฑ์ถ่านชีวภาพจากแกลบข้าว	23
4.2	ผลการวิเคราะห์ FT-IR	24
4.3	ผลการวิเคราะห์ด้วย SEM-EDS	25
4.4	ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวและรูพรุนของถ่านชีวภาพแกลบข้าว	27
4.5	การวิเคราะห์น้ำ	27
4.6	การเจริญเติบโตของพืชและปลา	29
	4.6.1 การเจริญเติบโตของพืช	29
	4.6.2 การเจริญเติบโตของปลา	30
4.7	ผลของ SEM และ EDS ของถ่านชีวภาพแกลบข้าวหลังจากใช้ในการบำบัดน้ำ	31
4.8	การวิเคราะห์ทางเศรษฐกิจ	31
4.9	การถ่ายทอดเทคโนโลยี	32
	4.9.1 การดำเนินงาน	32
	4.9.2 ผลการประเมินกิจกรรมการอบรม	33
	4.9.3 ผลการติดตามภายหลังการอบรม	34
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัย	36
บรรณานุกรม		39
ภาคผนวก		42
ก	กราฟมาตรฐานของไนโตรเจนและออร์โทฟอสเฟต	42
ข	ข้อมูลการเจริญเติบโตของปลาและผักบุ้ง	43
ค	สภาพบ่อเลี้ยงปลาที่ใช้ในการวิจัย	45
ง	ลักษณะน้ำจากบ่อเลี้ยงปลา	46
จ	บทความเผยแพร่	47
ฉ	กิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการนำผลจากโครงการไปใช้ประโยชน์	63
ช	รายชื่อเกษตรกรที่เข้ารับการอบรม	65
ซ	ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์	66
ฌ	กิจกรรมที่วางแผนไว้เทียบกิจกรรมที่ทำได้จริง	67
ญ	ผลที่ได้รับตลอดโครงการ	68

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ระบบอควาโปนิกส์	8
2.2	ระบบไฮโดรโปนิกส์	10
3.1	แบบบ่อเลี้ยงปลา	16
3.2	การสร้างบ่อเลี้ยงปลา	17
3.3	ระบบไฮโดรโปนิกส์แบบถาดที่ใส่ถ่านชีวภาพจากแกลบข้าว (แปลงที่ 1 และ 3)	17
3.4	ระบบไฮโดรโปนิกส์แบบถาดที่ซึ่งด้านบนด้วยตาข่ายและใส่ฟองน้ำ (แปลงที่ 2)	17
3.5	บ่อเลี้ยงปลาและแปลงปลูกผักที่เชื่อมต่อกับระบบไฮโดรโปนิกส์	18
4.1	สเปกตรัม FTIR transmission ของ (a) แกลบข้าว (b) ถ่านชีวภาพแกลบข้าวที่ 400°C (c) ถ่านชีวภาพแกลบข้าวที่ 500°C และ (d) ถ่านชีวภาพแกลบข้าวที่ 600°C	24
4.2	ภาพ SEM ของ (a) ถ่านชีวภาพแกลบข้าวเตรียมที่ 400°C (b) ถ่านชีวภาพแกลบข้าวเตรียมที่ 500°C (c) ถ่านชีวภาพแกลบข้าวเตรียมที่ 600°C และ (d) ถ่านชีวภาพแกลบข้าวเตรียมที่ 500°C หลังจากในเสริมรากพืชเป็นเวลา 47 วัน	26
4.3	กราฟแสดงการเจริญเติบโตของปลาตามระยะเวลา (a) บ่อหมายเลข 1 (b) บ่อหมายเลข 2 และ (c) บ่อหมายเลข 3	31
ผ1	กราฟมาตรฐานของไนโตรเจนเทคนิค Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 540 nm	42
ผ2	กราฟมาตรฐานของออร์โทฟอสเฟตเทคนิค Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 880 nm	42
ผ3	ลักษณะบ่อเลี้ยงปลาที่ใช้ในงานวิจัย	45
ผ4	ลักษณะแปลงผักที่ใช้ในงานวิจัย	45
ผ5	สีของน้ำที่ได้ออกมาจากระบบไฮโดรโปนิกส์	46

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ในการเลี้ยงปลาบ่อ ทั้งทางการค้าและระดับครัวเรือนได้มีปัญหากเกี่ยวกับน้ำที่ใช้เลี้ยง ซึ่งมีสารอาหารพืชจำพวกไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่สูงเกินไป อีกทั้งยังมีสารอินทรีย์และอนินทรีย์อีกหลายชนิดที่ปนเปื้อน ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของปลา และถ้าหากมีการปล่อยทิ้งลงสู่ระบบน้ำธรรมชาติหรือชุมชน จะก่อให้เกิดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อม เช่นมีการเจริญเติบโตของวัชพืชน้ำที่มากเกินไป ทำให้น้ำเน่าเสีย นอกจากนี้ถ้าหากมีการบำบัดก่อนปล่อยทิ้ง จะทำให้มีค่าใช้จ่ายที่ไปเพิ่มต้นทุนการเลี้ยงปลาด้วย ทางหนึ่งในการแก้ปัญหาดังกล่าวคือการนำน้ำจากระบบเลี้ยงปลาไปใช้เป็นแหล่งน้ำและธาตุอาหารสำหรับปลูกพืช โดยเฉพาะในการเพาะปลูกแบบไฮโดรโปนิคส์ ซึ่งนอกจากจะช่วยบำบัดน้ำแล้วยังสามารถนำน้ำกลับมาใช้ในการเลี้ยงปลาได้อีก ซึ่งจะช่วยลดค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับการบำบัดน้ำ ค่าปุ๋ย และลดภาวะมลพิษที่เกิดกับสิ่งแวดล้อมได้อย่างยั่งยืน แต่ยังมีปัญหาเกี่ยวกับของแข็งแขวนลอยในน้ำเลี้ยงปลาที่ยังคงเหลืออยู่ในน้ำหลังจากผ่านระบบไฮโดรโปนิคส์ ซึ่งน่าจะทำการกรองก่อนนำกลับไปเลี้ยงปลา โดยวัสดุตัวกรองที่เป็นวัสดุในการปลูกพืชไฮโดรโปนิคส์ด้วย ดังเช่นถ่านชีวภาพ ซึ่งจะมีการดูดซับและดักจับของแข็งจากน้ำเลี้ยงปลา ทำให้น้ำมีคุณภาพที่ดีสำหรับการนำกลับไปเลี้ยงปลาได้อีก ส่วนสารหรือธาตุที่ดูดซับหรือถูกดักจับในถ่านชีวภาพก็จะถูกใช้สำหรับการเจริญเติบโตของพืชต่อไป นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มมูลค่าแก่วัสดุเหลือทางการเกษตรสำหรับผลิตเป็นถ่านชีวภาพด้วย

ถ่านชีวภาพเป็นวัสดุที่มีคาร์บอนสูง ซึ่งผลิตได้จากกระบวนการไพโรไลซิสของชีวมวลในระบบปิดที่เกิดด้วยปฏิกิริยารีดักชัน (Awad et al., 2017) ถ่านชีวภาพมีความสามารถในการดูดซับ น้ำ สารอาหาร สูงและมีความเสถียรสูง (Vaughn et al., 2015) สามารถเพิ่มการเจริญเติบโตของพืชด้วยสมบัติทางฟิสิกส์เคมีและชีวภาพของดิน และกักเก็บปุ๋ย สารปนเปื้อนทางอินทรีย์และอนินทรีย์ ซึ่งได้ใช้เป็นวัสดุพุงุรงรากพืชประเภทรับประธานไบในระบบไฮโดรโปนิค (Awad et al., 2017). และยังสามารถผสมกับทรายสำหรับการบำบัดน้ำและกักเก็บปุ๋ยสำหรับการเจริญเติบโตของพืช (Vaughn et al., 2015) ปัจจุบัน การเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นส่วนหนึ่งที่เป็นที่ต้องการสำหรับการผลิตปลา ซึ่งได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในช่วงสิบปีที่ผ่านมา ได้มีการพัฒนาให้ได้ผลผลิตมากขึ้นด้วยการเพิ่มความหนาแน่นของปลา ซึ่งก็ทำให้เกิดปัญหาการเกิดน้ำเสียที่มีผลต่อระบบนิเวศ (Brooks & Conkle, 2019; Dauda et al., 2019) จึงได้มีการศึกษาถึงวิธีการลดปัญหาในการเกิดน้ำเสียจากระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำ วิธีแก้หนึ่งคือการเชื่อมต่อระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำเข้ากับระบบไฮโดรโปนิค (Buzby et al., 2016) ซึ่งพืชในระบบไฮโดรโปนิคสามารถดูดซึมและใช้สารประกอบที่ละลายน้ำได้ในน้ำเสีย (Pan et al., 2007) สารประกอบละลายน้ำได้มีสองสารประกอบหลักคือไนโตรเจนและฟอสฟอรัสซึ่งมาจากอาหารปลา ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจะคงอยู่ในตัวปลาและบางส่วนจะถ่ายโอนไปสู่ น้ำเลี้ยงปลา (Dauda et al., 2019) การเชื่อมต่อระบบเลี้ยงปลา (ผลิตปลา) กับระบบไฮโดรโปนิค (ผลิตพืช) เข้าด้วยกัน เรียกว่าอควาโปนิคส์ (aquaponics) ซึ่งสามารถลดปัจจัยในการผลิตลงได้ (น้ำ อาหารและพื้นที่) และยังได้ลดพื้นที่สำหรับดำเนินการและการถ่ายน้ำเสียทิ้งสู่สิ่งแวดล้อม รวมทั้งผลิตภัณฑ์ที่ได้ถือว่าเป็นผลไม้และพืชผักอินทรีย์ด้วย

(Wongkiew et al., 2017; Pérez-Urrestarazu et al., 2019) ในระบบบอควาโปนิคส์ ส่วนของการเลี้ยงสัตว์น้ำจะได้ประโยชน์สำหรับการปรับปรุงคุณภาพน้ำ ซึ่งทำให้เพิ่มความหนาแน่นในการเลี้ยงได้ หรือลดต้นทุนเกี่ยวกับการบำบัดน้ำทิ้ง ในส่วนของไฮโดรโปนิคส์จะได้รับประโยชน์ในแง่ของการลดต้นทุนเกี่ยวกับปุ๋ยและแรงงาน หรือสิ่งอำนวยความสะดวกที่จำเป็นในการรักษาระดับความชื้นให้เพียงพอ (Buzby et al., 2016) อย่างไรก็ตาม การบำบัดน้ำและการนำกลับมาใช้ในระบบบอควาโปนิคส์ขึ้นอยู่กับรูปแบบของไฮโดรโปนิคส์ อัตรการปลูก ชนิดพืช และอัตราส่วนพืช:ปลา (Nuwansi et al., 2019) แต่ยังมีปัญหาที่เกิดขึ้นจากระบบไฮโดรโปนิคส์คือมีความสามารถต่ำสำหรับการขจัดของแข็งแขวนลอย ซึ่งมีความสามารถในการดักจับสารแขวนลอยน้อย (Pan et al., 2007) วัสดุสำหรับการเจริญเติบโตของพืชในระบบไฮโดรโปนิคส์สามารถจัดสารแขวนลอยและกักเก็บสารอาหารพืชได้ดี เช่นเดียวกับการเพิ่มช่องว่างอากาศสำหรับการหายใจรอบๆ รากพืช (Oladimeji et al., 2018) วัสดุปลูกพืชที่มีการใช้ในระบบไฮโดรโปนิคส์ ได้แก่ คอร์ก แกลบข้าว พิต โยมะพร้าว (Martínez et al., 2013) เปลือกและกะลาปาล์ม (Oladimeji et al., 2018) แต่วัสดุเพาะปลูกเหล่านี้ยังคงไม่เสถียรและมีรูพรุนน้อยกว่าถ่าน

ดังนั้นในการวิจัยนี้จะศึกษาการใช้วัสดุตัวกรองที่มีคุณภาพสูง มีความเสถียรและผลิตได้ง่าย โดยใช้ถ่านชีวภาพแกลบข้าวเป็นวัสดุปลูกสำหรับระบบไฮโดรโปนิคส์ในบอควาโปนิคส์ ศึกษาเปรียบระบบไฮโดรโปนิคส์ที่ใช้ถ่านชีวภาพแกลบข้าวกับระบบไฮโดรโปนิคส์ที่ไม่ใช้ถ่านชีวภาพแกลบข้าวสำหรับปลูกพืช โดยวัดอัตราการเจริญเติบโตของปลาและพืช และคุณภาพน้ำในระบบบอควาโปนิคส์

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการบำบัดน้ำในระบบบอควาโปนิคส์ด้วยถ่านชีวภาพจากแกลบข้าวให้สามารถใช้น้ำในระบบจนครบรอบการเลี้ยงปลาในบ่อและปลูกพืชในระบบไฮโดรโปนิคส์
2. ถ่ายทอดระบบบอควาโปนิคส์ที่บำบัดน้ำด้วยถ่านชีวภาพสู่เกษตรกรอย่างน้อย 10 ราย

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

- 1.3.1 สร้างบ่อเลี้ยงปลาและระบบไฮโดรโปนิคส์แบบถาด จำนวน 3 ชุด
- 1.3.2 ผลิตถ่านชีวภาพจากแกลบข้าวและวิเคราะห์สมบัติ
- 1.3.3 ดำเนินการทดลองระบบบอควาโปนิคส์โดยใช้ปลาหมอและพืชใบ โดยดำเนินปลูกพืชและเก็บเกี่ยว
 - (1) เปรียบเทียบ
 - การเลี้ยงปลาโดยไม่มีระบบไฮโดรโปนิคส์
 - ปลูกผักแบบไฮโดรโปนิคส์โดยไม่เชื่อมต่อกับระบบเลี้ยงปลา
 - เลี้ยงปลากับระบบไฮโดรโปนิคส์ที่ไม่เสริมถ่านชีวภาพ
 - เลี้ยงปลากับระบบไฮโดรโปนิคส์เสริมวัสดุถ่านชีวภาพ
 - (2) เก็บตัวอย่างน้ำ 4 จุด และวิเคราะห์สมบัติน้ำ
 - (3) วัดการเจริญเติบโตของปลาและผัก
- 1.3.4 สรุปผลการศึกษา

1.7 ผลผลิต (Output) จากงานวิจัย

ผลงานที่คาดว่าจะได้รับ	รายละเอียดของผลผลิต	จำนวนนับ						หน่วยนับ	ระดับความสำเร็จ
		ปี 2562	ปี 2563	ปี 2564	ปี 2565	ปี 2566	รวม		
1. ต้นแบบผลิตภัณฑ์ โดยระบุ ดังนี้									
1.1 ระดับอุตสาหกรรม								ต้นแบบ	Primary Result
1.2 ระดับกึ่งอุตสาหกรรม								ต้นแบบ	Primary Result
1.3 ระดับภาคสนาม								ต้นแบบ	Primary Result
1.4 ระดับห้องปฏิบัติการ								ต้นแบบ	Primary Result
2. ต้นแบบเทคโนโลยี โดยระบุ ดังนี้									
2.1 ระดับอุตสาหกรรม								ต้นแบบ	Primary Result
2.2 ระดับกึ่งอุตสาหกรรม								ต้นแบบ	Primary Result
2.3 ระดับภาคสนาม	ระบบอควาโปนิคส์ที่ใช้ถ่านชีวภาพจากแกลบบำบัดน้ำ						1	ต้นแบบ	Primary Result
2.4 ระดับห้องปฏิบัติการ								ต้นแบบ	Primary Result
3. กระบวนการใหม่ โดยระบุ ดังนี้									
3.1 ระดับอุตสาหกรรม								กระบวนการ	Primary Result
3.2 ระดับกึ่งอุตสาหกรรม								กระบวนการ	Primary Result
3.3 ระดับภาคสนาม								กระบวนการ	Intermed iate Result
3.4 ระดับห้องปฏิบัติการ								กระบวนการ	Primary Result
4. องค์ความรู้ (โปรดระบุ)									
4.1								เรื่อง	Primary Result
4.2								เรื่อง	Primary Result
4.3								เรื่อง	Primary Result
5. การใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์									
5.1 การถ่ายทอดเทคโนโลยี								ครั้ง	Primary Result
5.2 การฝึกอบรม								ครั้ง	Primary Result
5.3 การจัดสัมมนา								ครั้ง	Primary Result
6. การใช้ประโยชน์เชิงสาธารณะ									
6.1 การถ่ายทอดเทคโนโลยี								ครั้ง	Primary Result

ผลงานที่คาดว่าจะได้รับ	รายละเอียดของผลผลิต	จำนวนนับ						หน่วยนับ	ระดับความสำเร็จ
		ปี 2562	ปี 2563	ปี 2564	ปี 2565	ปี 2566	รวม		
6.2 การฝึกอบรม	ให้กับเกษตรกรในสหกรณ์เพื่อการตลาดอาหารปลอดภัย กรีนมาร์เก็ต พืชผลโลก จำกัด ตำบลพันเสา อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก อย่างน้อย 10 ราย						1	ครั้ง	Primary Result
6.3 การจัดสัมมนา								ครั้ง	Primary Result
7. การพัฒนากำลังคน									
7.1 นศ.ระดับปริญญาโท								คน	Primary Result
7.2 นศ.ระดับปริญญาเอก								คน	Primary Result
7.3 นักวิจัยหลังปริญญาเอก								คน	Primary Result
7.4 นักวิจัยจากภาคเอกชน ภาคบริการ และภาคสังคม								คน	Primary Result
8. ทรัพย์สินทางปัญญา ได้แก่ สิทธิบัตร/ลิขสิทธิ์/เครื่องหมายการค้า/ความลับทางการค้า เป็นต้น (โปรดระบุ)									
8.1								เรื่อง	Primary Result
8.2								เรื่อง	Primary Result
8.3								เรื่อง	Primary Result
9. บทความทางวิชาการ									
9.1 วารสารระดับชาติ								เรื่อง	Primary Result
9.2 วารสารระดับนานาชาติ	การใช้อ่านชีวภาพในการบำบัดและเป็นวัสดุปลูกพืชในระบบบอควาโปนิคส์						1	เรื่อง	Primary Result
10. การประชุม/สัมมนาระดับนานาชาติ									
10.1 นำเสนอแบบปากเปล่า								ครั้ง	Primary Result
10.2 นำเสนอแบบโปสเตอร์								ครั้ง	Primary Result

1.8 ผลลัพธ์ (Outcome) ที่คาดว่าจะได้ตลอดระยะเวลาโครงการ

ชื่อผลลัพธ์	ประเภท	ปริมาณ	รายละเอียด
1.8.1 ระบบอควาโปนิคส์ที่บำบัดน้ำด้วยถ่านชีวภาพจากแกลบ	เชิงปริมาณ	1 ระบบ	ระบบเลี้ยงปลาหมอบในบ่อเชื่อมต่อกับระบบไฮโดรโปนิคส์ที่ปลูกพืชในถาดที่มีถ่านชีวภาพแกลบข้าวเป็นตัวกรองและตัวค้ำรากพืช ขนาด กว้าง 2 ม x ยาว 2 ม x สูง 1.5 ม
1.8.2 ลดมลภาวะจากการปล่อยน้ำเสียในระบบบ่อเลี้ยงปลา	เชิงคุณภาพ	น้ำหมุนเวียนในระบบเลี้ยงปลาอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน	น้ำในระบบสามารถใช้เพาะปลูกพืชในระบบไฮโดรโปนิคส์และนำกลับมาใช้เลี้ยงปลาได้ โดยสามารถกรองสารของแข็งและสารที่เป็นพิษกับปลาได้
1.8.3 ลดต้นทุนการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิคส์	เชิงต้นทุน	อย่างน้อยร้อยละ 10	มีต้นทุนการผลิตทั้งปลาและผักเมื่อเทียบกับระบบดั้งเดิมลดลงประมาณ 10%

1.9 ผลกระทบ (Impact) ที่คาดว่าจะได้รับ

ชื่อผลงาน	ลักษณะผลงาน	กลุ่มเป้าหมาย / ผู้ใช้ประโยชน์	ผลกระทบที่คาดว่าจะได้รับ
ระบบอควาโปนิคส์ระดับครัวเรือน	เป็นการรวมระบบเลี้ยงปลากับระบบไฮโดรโปนิคส์ปลูกพืชแบบ	ให้กับเกษตรกรในสหกรณ์เพื่อการตลาด	1. เพิ่มอาหารในครัวเรือนให้กับเกษตรกร จำนวน 10 ครอบครั้ว
บำบัดน้ำด้วยถ่านชีวภาพแกลบข้าว	ถาดเสริมด้วยวัสดุปลูกถ่านชีวภาพเพื่อช่วยในการบำบัดน้ำให้เหมาะสำหรับการเลี้ยงปลาและปลูกพืชใบ โดยไหลเวียนน้ำใช้ในสองระบบตลอดระยะเวลาการเพาะปลูกพืชและเลี้ยงปลา	เกษตรกร จำกัด ตำบลพันเสา อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก อย่างน้อย 10 ราย	2. เพิ่มปริมาณผักอินทรีย์และปลาในสหกรณ์เพื่อการตลาด อาหารปลอดภัยกรีนมาร์เก็ตพิษณุโลก จำกัด 3. เพิ่มมูลค่าแกลบข้าวและลดมลภาวะสิ่งแวดล้อม

1.10 มาตรฐานการวิจัย

- มีการใช้สัตว์ทดลอง

ได้รับการรับรองโครงการจากคณะกรรมการกำกับดูแลการดำเนินการต่อสัตว์เพื่องานวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร (คกส) เลขที่โครงการ NU-AQ0610718 เลขที่เอกสารรับรอง 61 01 007 ประเภทรับรอง เต็มรูปแบบ วันที่รับรอง 8 พฤศจิกายน 2561 วันสิ้นสุดการรับรอง 8 พฤศจิกายน 2564

ผู้ควบคุม

เลขที่ใบอนุญาตการใช้สัตว์เพื่องานทดลองทางวิทยาศาสตร์ U1-03310-2559 ดร.นงลักษณ์ ยิ้มตระกูล

เลขที่ใบอนุญาตการใช้สัตว์เพื่องานทดลองทางวิทยาศาสตร์ U1-02970-2559 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภลักษณ์ วิรัชพินทุ

- มีการวิจัยในมนุษย์

- มีการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานด้านเทคโนโลยีชีวภาพสมัยใหม่

- มีการใช้ห้องปฏิบัติการที่เกี่ยวกับสารเคมี

ห้องปฏิบัติการวิจัยเคมี SC4-318 ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร (เลขทะเบียน: 2-0100-0020-0)

1.11 สถานที่ทำการวิจัย

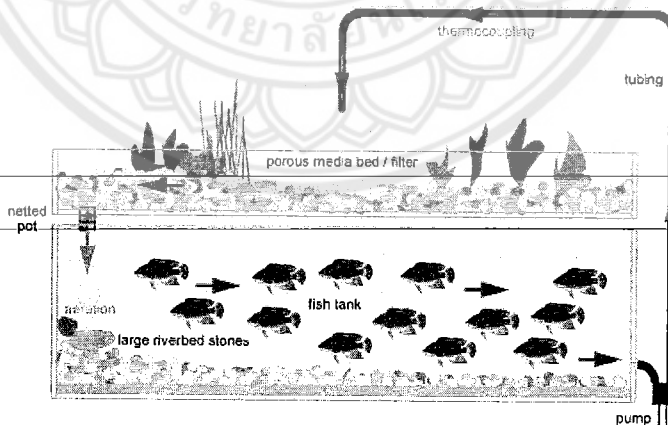
ในประเทศ/ ต่างประเทศ	ชื่อ ประเทศ/ จังหวัด	พื้นที่ที่ทำวิจัย	ชื่อสถานที่	พิกัดสถานที่ GPS (ถ้ามี)	
				ละติจูด	ลองจิจูด
ในประเทศ	พิษณุโลก	ห้องปฏิบัติการ	ห้องปฏิบัติการวิจัยเคมี SC4-318 ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร (เลขทะเบียน: 2-0100-0020-0)		
ในประเทศ	พิษณุโลก	ภาคสนาม	สหกรณ์เพื่อการตลาดอาหารปลอดภัยกรีนมาร์เก็ต		
			พิษณุโลก จำกัด ตำบลพันเสา อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก		

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 อควาโปนิคส์ (Aquaponics)

อควาโปนิคส์ (Aquaponics) เป็นระบบรวมระหว่างการผลิตปลาดุก (aquaculture) กับการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิคส์ (hydroponics) เพื่อรักษาสมดุลสิ่งแวดล้อมระหว่างกันและกัน โดยเฉพาะในระบบขนาดเล็ก กำลังได้รับความนิยมสำหรับชาวเมืองที่มีพื้นที่น้อย ด้วยการปลูกพืชในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาสำหรับเสริมเป็นปุ๋ย โดยน้ำที่ใช้ในการเลี้ยงปลาจะถูกใช้เป็นแหล่งน้ำและธาตุอาหารสำหรับพืชในระบบไฮโดรโปนิคส์ ซึ่งสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของน้ำ (อุณหภูมิ ความเข้มข้นของสารอาหาร และ ฯลฯ) จากระบบเลี้ยงปลา ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของปลาที่เลี้ยง โดยปกติจะควบคุมการนำไฟฟ้าของน้ำให้คงที่อยู่ระหว่าง 1 ถึง 3 ds/m และ pH 5.5-6 ซึ่ง pH มีผลต่อการคงอยู่หรือการเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนในระบบน้ำเลี้ยงปลา พบว่าประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของไนโตรเจนสูงสุดถึง 50.9% ที่ pH 6.0 และมีระดับที่ต่ำกว่าความเป็นพิษ (Zou et al., 2016) ซึ่งในระบบอควาโปนิคส์สามารถบำบัดคุณภาพน้ำในระบบเลี้ยงปลาที่จะนำมาใช้ใหม่ได้ พร้อมกับลดค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับการบำบัดน้ำ ส่วนผลที่เกิดกับระบบไฮโดรโปนิคส์คือจะช่วยลดปริมาณการใช้ปุ๋ยและแรงงานหรือเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ต้องใช้สำหรับการรักษาปริมาณและคุณภาพน้ำให้เหมาะสมต่อการปลูกพืช การเชื่อมต่อระบบการเลี้ยงปลากับระบบการปลูกพืชจะทำให้ลดปัจจัยการผลิตและก่อให้เกิดระบบที่ยั่งยืน รวมทั้งยังช่วยเพิ่มรายได้ของเกษตรกรด้วย (Buzby, 2016) นอกจากนี้ยังถือว่าผลผลิตที่ได้จากระบบอควาโปนิคส์เป็นผลิตภัณฑ์อาหารอินทรีย์ที่มีความปลอดภัยต่อสุขภาพมนุษย์ (Khater et al., 2015)



รูปที่ 2.1 ระบบอควาโปนิคส์

(<https://www.organicfarmthailand.com/what-is-aquaponics/>, อควาโปนิคส์ สืบค้นเมื่อ 20 พฤศจิกายน 2561)

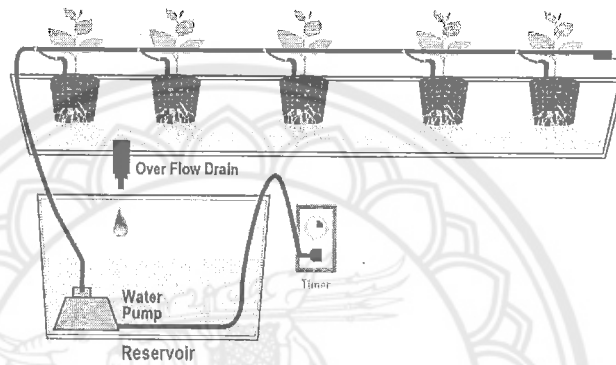
2.2 ไฮโดรโปนิคส์ (Hydroponics)

สำหรับในส่วนของไฮโดรโปนิคส์ ซึ่งเป็นเทคโนโลยีทางอุตสาหกรรมนิเวศที่พัฒนาอย่างรวดเร็ว สำหรับการผลิตพืชในเชิงการค้าในสารละลายที่มีสารอาหารพืชสูงเพื่อแทนการใช้ดิน ซึ่งไฮโดรโปนิคส์มีข้อดีหลายประการ เช่นสามารถเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของพืชผัก สามารถจัดการให้อาหารพืชได้ในปริมาณพอเหมาะ ควบคุมโรคพืชและสภาพแวดล้อมได้ มีระยะเวลาการปลูกสั้น ได้ผลผลิตที่ปลอดภัย โดยการปลูกพืชในระบบไฮโดรโปนิคส์จะมีการใช้วัสดุปลูกได้แก่ ขุยมะพร้าว ฟิต หินภูเขาไฟ (Awad et al., 2017) ปุ๋ยหมัก (Martínez et al., 2013) เป็นต้น เพื่อช่วยค้ำระบบรากและรักษาความเข้มข้นของสารอาหารพืชในสารละลายบริเวณรอบรากพืชให้เหมาะสม (Awad et al., 2017) นอกจากนี้ยังช่วยในการบำบัดน้ำเสียเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ โดยน้ำเสียจะเป็นแหล่งสำหรับให้ปุ๋ยแก่ต้นพืช เช่น ธาตุอาหารหลัก N P และ K และธาตุอาหารรอง ได้แก่ Ca Mg S Mn B Zn และ Mo โดยไม่ต้องให้ปุ๋ยเสริม (Chekli et al., 2017) รวมทั้งสามารถดูดซึมสารประกอบที่ละลายน้ำในน้ำเสียได้ (Pan et al., 2007) ดังเช่นการปลูกพืชระบบไฮโดรโปนิคส์แบบรากแช่ สามารถจัด nitrate-nitrite-nitrogen ($\text{NO}_x\text{-N}$) ได้ 91%, 97% and 71% ในระยะเวลา 3, 2 และ 1 วัน ตามลำดับ รวมทั้งสามารถจัด COD ได้ 17-47% ไนโตรเจนรวม 31-64% และฟอสฟอรัสรวม 8-15% และมีความเข้มข้น DO ต่ำถึง 0.7 mg/L แสดงให้เห็นถึงเกิดการสลายและขจัด $\text{NH}_3\text{-N}$ และ $\text{NO}_x\text{-N}$ ในระบบน้ำได้ดี (Yang et al., 2008)

นอกจากนี้การปลูกพืชในระบบไฮโดรโปนิคส์ มีข้อดีที่สามารถกำหนดปริมาณสารอาหารพืชในสารละลายได้ ซึ่งจะช่วยลดการคายก๊าซเรือนกระจกหรือผลของปริมาณฟอสฟอรัสและไนโตรเจนที่มากเกินไปก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำที่ชุมชนหรือสิ่งแวดล้อม ซึ่งมีผลทำให้เกิดการเจริญเติบโตของวัชพืชน้ำมากเกินไป เช่นเดียวกับการให้อาหารกับสัตว์น้ำ ที่มีผลทำให้น้ำในระบบการเลี้ยงมีแร่ธาตุที่เกิดจากการย่อยของสัตว์น้ำมีเป็นจำนวนมาก ซึ่งหากระบายทิ้งลงสู่แหล่งน้ำชุมชนหรือแหล่งน้ำธรรมชาติ ก็จะทำให้เกิดการปนเปื้อนได้ ทางหนึ่งคือการบำบัดด้วยการนำน้ำไปใช้ในระบบไฮโดรโปนิคส์ โดยตรง ซึ่งสารอาหารที่เหลือจากการย่อยสลายของปลา โดยเฉพาะสารประกอบที่เป็นพิษกับปลา เช่น แอมโมเนีย จะถูกกรองหรือตรึงโดยพืช ทำให้ระดับความเป็นพิษลดลงและยังสามารถนำน้ำไหลเวียนมาเลี้ยงปลาได้อีก เป็นการแก้ปัญหาได้อย่างยั่งยืน (Wortman, 2015)

แต่ทั้งนี้ระบบไฮโดรโปนิคส์ยังมีความสามารถในการขจัดของแข็งแขวนลอยได้ต่ำ เพราะไม่มีวัสดุตัวกลางที่ดักจับของแข็ง สำหรับระบบไฮโดรโปนิคส์ที่ปลูกหญ้าข้าวไรเพื่อบำบัดน้ำเสียจากระบบเลี้ยงปลา โดยเสริมด้วยผ้าฝ้ายวางเป็นชั้นๆ ในถาดพลาสติกกรุพูน ด้วยการพ่นน้ำผ่านในแนวตั้ง สามารถขจัดของแข็งรวมได้ 48-63% ของแข็งระเหยง่าย ได้ 48- 69% และของแข็งแขวนลอยได้ 4-25% เมื่อใช้ผ้าจำนวน 3-7 ชั้น สำหรับการบำบัดน้ำใน 1 วัน โดยใช้แผงพลาสติกขนาดพื้นที่ 0.8 m^2 สามารถขจัดของแข็งรวมได้ 66% ของแข็งระเหยง่าย 71% และของแข็งแขวนลอย 91% รวมทั้งดูดซับไนโตรเจนรวม ได้ 72% ฟอสฟอรัสรวมได้ 80% COD ได้ 63% และแอมโมเนีย-ไนโตรเจนรวม 85% (Pan et al., 2007) จากการศึกษาของ Sikawa et al. (2010) ได้ใช้ทรายและกรวด เป็นวัสดุกรองน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาถูกไปใช้ในการปลูกผักกาดหอมในระบบไฮโดรโปนิคส์บนแพไม้ไผ่ที่ลอยในบ่อดินเลี้ยงปลาถูก สามารถกรองของแข็งไม่ละลายได้ดี

สำหรับวัสดุปลูกพืชจำพวกอินทรีย์ที่ใช้ในระบบไฮโดรโปนิค มีข้อเสียคือ ยังเกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติที่เกิดจากการสลายอินทรีย์สารในระหว่างฤดูการปลูก โดยกระบวนการทางกายภาพ เช่น การกระทำเชิงกลของรากพืชที่ไปทำให้โครงสร้างสารแตกสลาย และผลทางเคมี เช่น การเปลี่ยนแปลง pH หรือผลทางชีวภาพ เช่น การกระทำของจุลินทรีย์ การสลายอินทรีย์สารนี้จะมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช ที่เกิดจากการตรึงไนโตรเจน การเป็นพิษต่อพืชที่เกิดจากสารประกอบอินทรีย์ใหม่ การเปลี่ยนแปลงความจุการแลกเปลี่ยนไอออนบวก หรือการเพิ่มความเค็มของวัสดุปลูกพืช ซึ่งการสูญเสียอินทรีย์สารและการเปลี่ยนโครงสร้างของวัสดุปลูกพืชทำให้ปลดการไหลเวียนของอากาศในดิน เป็นผลทำให้รากพืชขาดออกซิเจนและตายในที่สุดได้ (Domeño et al., 2010)



รูปที่ 2.2 ระบบไฮโดรโปนิคส์

(<https://www.epicgardening.com/hydroponic-systems>)

การเลี้ยงปลาบ่อได้มีการขยายเป็นจำนวนมากเช่นกัน เนื่องจากมีความต้องการในด้านอาหารเนื้อปลาเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก ซึ่งการเพาะเลี้ยงปลาก็ก่อปัญหามลพิษที่สูง โดยไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในอาหารที่ใช้เลี้ยงปลา มีเพียง 25% เท่านั้น ที่ถูกใช้ไปสำหรับการเจริญเติบโตของปลา ที่เหลือนอกจากนั้นจะถูกปล่อยทิ้งสู่แหล่งน้ำ เป็นแหล่งให้สารอาหารที่ขุ่นน้ำสูงและยังทำให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมด้วย ดังเช่นไนโตรเจนซึ่งเป็นธาตุหนึ่งที่มีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตทุกชนิด ในอาหารปลาจะมีองค์ประกอบของโปรตีนสูงที่จะถูกย่อยโดยปลา โดยไนโตรเจนส่วนใหญ่จะถูกขับออกมาในรูปของแอมโมเนีย ซึ่งเป็นพิษต่อปลา อย่างไรก็ตาม มีแบคทีเรียจำพวก nitrifying ในน้ำเลี้ยงปลาสามารถเปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็น nitrite (NO_2^-) ในขั้นแรก จากนั้นเปลี่ยนไปเป็นไนเตรต (NO_3^-) ผ่านกระบวนการ nitrification แล้วไนเตรตจะถูกรีดิวซ์ไปเป็น N_2 ผ่านกระบวนการ denitrification อย่างไรก็ตามไนเตรตเป็นปุ๋ยที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช (Zou et al., 2016) ซึ่งจากการศึกษาในการใช้น้ำจากบ่อเลี้ยงปลาในการปลูกพืช ที่มีความเข้มข้นเฉลี่ยของแอมโมเนีย ไนเตรตและฟอสเฟต เท่ากับ 0.35, 0.34 และ 0.19 mg/L ตามลำดับ สามารถปลูกพืช ได้แก่ ผักกาดหอม, ผักสีเขียวยาว, มัสตาร์ด mustards, สะระแหน่ กระเทียม คื่นฉ่าย ผักและสมุนไพร ได้ดี (Buzby, 2016)

ปลาหมอมักมีการเลี้ยงในบ่อดินอย่างกว้างขวางในแถบเอเชียเฉียงใต้ โดยมีอัตราการเลี้ยงที่ความหนาแน่น 100 ตัว/ลูกบาศก์เมตร ด้วยอาหารในหลายรูปแบบ เช่น อาหารเม็ด ปลาป่น ของเสียจากการเลี้ยงสัตว์ปีก

และรำข้าว ซึ่งอาหารเหล่านี้มีผลต่อน้ำในบ่อเลี้ยง หลังจากที่ได้ปลาได้ย่อยและขับถ่ายออกมา ซึ่งสามารถใช้เสริมเป็นปุ๋ยสำหรับปลูกพืชได้ จึงมีความเป็นไปได้สำหรับการผสมผสานเป็นระบบบ่อควาโปนิคส์ ซึ่งเลี้ยงในหลายรูปแบบ เช่น ราง ตู้ ถังไฟเบอร์กลาส บ่อคอนกรีต ถังพลาสติกทรงกระบอก และบ่อดิน เป็นต้น (Grewal et al., 2011)

2.3 ถ่านชีวภาพ (Biochar)

ถ่านชีวภาพเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีองค์ประกอบของคาร์บอนในปริมาณสูง ได้จากการไพโรไลซิสหรือคาร์บอนในเข้ช้ชีวมวล เช่น ไม้ วัสดุเหลือทิ้งทางเกษตรกรรมและมูลสัตว์ ในสภาวะภาวะขาดอากาศที่มีออกซิเจนน้อยหรือไม่มีออกซิเจน ถ่านชีวภาพจะเพิ่มการเจริญเติบโตของพืชโดยไปปรับปรุงสมบัติทางกายภาพ ทางเคมีและชีวภาพของดิน รวมทั้งสามารถตรึงปุ๋ยและสารปนเปื้อนอินทรีย์/อนินทรีย์ในดินได้ด้วย (Awad et al., 2017) ซึ่งถ่านชีวภาพมีโครงสร้างพรุนและหมู่ฟังก์ชันพื้นผิว ที่มีศักยภาพในการยึดเหนี่ยวกับไอออนโลหะ โดยกระบวนการ (1) การแลกเปลี่ยนโลหะกับไอออนบวกพื้นผิว (เช่น K^+ และ Na^+) (2) เกิดเชิงซ้อนภายในกับสารอินทรีย์หรือสารประกอบออกไซด์ของถ่านชีวภาพ (3) การเชิงซ้อนรอบพื้นผิวกับหมู่ฟังก์ชัน (4) เกิดการตกตะกอนในรูปเกลือ (Mosa et al., 2016)

2.4 คาร์บอนในเข้ช้

คาร์บอนในเข้ช้เป็นวิธีหรือเทคโนโลยีที่จะได้ถ่านออกมาเป็นผลิตภัณฑ์หลัก โดยการให้ความร้อนแก่ชีวมวลที่อุณหภูมิ 400-600 °C ในภาวะที่มีออกซิเจนหรืออากาศเพียงเล็กน้อยหรือไม่มีเลย คาร์บอนในเข้ช้ตามหลัก หมายถึงการผลิตถ่าน คาร์บอนในเข้ช้เป็นวิธีการเปลี่ยนสารชีวมวลเป็นพลังงานแบบดั้งเดิมคล้ายกับการเผาไหม้ จุดประสงค์หลักเพื่อจะเพิ่มค่าความร้อนของของแข็งผลิตภัณฑ์ถ่าน มีข้อดีในด้านอุตสาหกรรมเนื่องจากอุปกรณ์มีราคาไม่แพงและมีการ ดำเนินระบบง่ายซึ่งสำคัญต่ออุตสาหกรรมที่ผลิตเชื้อเพลิงของแข็ง ราคาถูกที่มีค่าความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้สูง

ปฏิกิริยาคาร์บอนในเข้ช้คล้ายกับปฏิกิริยาของไพโรไลซิสในก๊าซเฉื่อย เช่น ไนโตรเจน สำหรับไม้หลังจากจากน้ำทั้งหมดระเหยที่อุณหภูมิ ต่ำกว่า 200 °C สามารถประกอบหลักได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน สลายตัวเพื่อผลิตของเหลวและก๊าซซึ่งประกอบด้วยคาร์บอนมอนอกไซด์ และคาร์บอนไดออกไซด์เป็นหลัก ที่อุณหภูมิ 200-500 °C ด้วยเหตุนี้ทำให้น้ำหนักลดลงอย่างรวดเร็ว (<http://www.huaysaicenter.org/Uploads/files>)

2.5 คุณภาพของน้ำในการเลี้ยงปลา

น้ำที่นำมาใช้เลี้ยงปลา มีอยู่ 3 ประเภทหลัก ๆ คือ 1. น้ำประปา (Tap Water) น้ำประปาจัดว่าเป็นน้ำที่มีคุณภาพดี เหมาะสำหรับนำมาใช้เลี้ยงปลาได้ เนื่องจากมีการปรับสภาพ ฆ่าเชื้อโรคมมาแล้ว แต่น้ำประปายังคงมีปัญหาสำคัญ คือ คลอรีน ซึ่งปัญหานี้ สามารถแก้ไขได้โดย การนำน้ำประปามาพักไว้ก่อนประมาณ 1-2 วัน เพื่อให้คลอรีนได้ระเหยออก 2. น้ำบาดาล (Ground Water) ปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำบาดาลจะต่ำมาก ก่อนนำมาใช้เลี้ยงปลาควรมีภาชนะพักน้ำ และเป่าอากาศใต้น้ำเพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำ ใน

น้ำบาดาลมักจะมีแร่ธาตุบางอย่างที่อาจเป็นอันตรายต่อปลา เช่น สนิมเหล็ก, โลหะหนัก ฯลฯ ดังนั้นควรนำน้ำมาพักก่อนใช้ เพื่อให้มีการตกตะกอน ของแร่ธาตุบางอย่างที่เราไม่ต้องการ นอกจากนั้น ยังสามารถใช้เครื่องกรองน้ำที่มีวัสดุกรองเป็นเรซิน มาช่วยกรองได้³. น้ำฝน (Rain Water) ในบริเวณเมืองที่มีประชากร การคมนาคมหนาแน่น และบริเวณโรงงานอุตสาหกรรม น้ำฝนมักจะมีสภาพเป็นกรด เนื่องจากได้ละลายก๊าซบางอย่าง เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ อีกทั้งยังมีฝุ่นละออง เชื้อโรคปะปน อันอาจก่อให้เกิดโรคแก่ปลาได้ ดังนั้น ในพื้นที่ดังกล่าว จึงไม่ควรนำน้ำฝนมาใช้เลี้ยงปลา

คุณภาพของน้ำพิจารณาที่ค่าทางเคมีของน้ำ ซึ่งถ้าอย่างละเอียดจะดูที่ค่าหลายๆ ค่า ได้แก่ แอมโมเนีย, ไนไตรท์, ไนเตรท, ค่า pH ความเป็นกรดต่าง, ปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ, ความเค็มของน้ำ, อุณหภูมิ และ ความกระด้างของน้ำ แต่สำหรับ ทัว ๆ ไปแล้ว จะพิจารณาเฉพาะค่า ไนไตรท์, pH ความเป็นกรดต่าง และ อุณหภูมิ

ระดับไนไตรท์ที่วัดได้จะเป็นตัวบ่งชี้ถึงสภาวะการทำงานของระบบกรองชีวภาพตามวัฏจักรไนโตรเจน การเพิ่มระดับของไนไตรท์ยังอาจเกิดจากการเพิ่มปลาเข้ามาเลี้ยงในบ่อจำนวนมาก ขณะที่แบคทีเรียไม่สามารถย่อยสลายไปเป็นไนเตรทได้ทัน ไนไตรท์ปริมาณที่จัดว่าปกติ มีค่าเป็นศูนย์ หากตรวจพบแสดงว่า แบคทีเรียยังทำงานได้ไม่สมบูรณ์ จากผลการเก็บข้อมูลจาก ศูนย์วิจัย และพัฒนาประมงชายฝั่ง จันทบุรี ระบุว่าในแหล่งน้ำธรรมชาติ มักจะพบค่าไนไตรท์ อยู่ที่ $0.000x$, $0.0xxx$ mg/L โดยปกติสำหรับการเลี้ยงปลาสวยงาม จะกำหนดค่าไว้ที่ น้อยกว่า 0.3 mg/L และในการเลี้ยงปลาน้ำจืดในพิพิธภัณฑ์สัตว์น้ำนั้นกำหนดค่าไว้ไม่ให้ไนไตรท์สูงเกิน 2.0 mg/L ความเป็นพิษของไนไตรท์ต่อปลาจะมีน้อยกว่าแอมโมเนีย แต่ก็มีผลต่อปลารุนแรงพอสมควร คือไนไตรท์จะไปทำปฏิกิริยากับฮีโมโกลบิน (hemoglobin) ได้เมทฮีโมโกลบิน (methaemoglobin) ส่งผลให้ไม่สามารถขนถ่ายออกซิเจนได้ ทำให้ เกิดอาการเลือดเป็นพิษ และจะทำลายระบบประสาท ตับ ไต ของปลา กรณีแม้มีไนไตรท์ในระดับต่ำ แต่มีอยู่เป็นระยะเวลานาน จะทำให้ขอบฝาปิดเหงือกของปลาอ้า วิธีแก้ปัญหาเมื่อค่าเกินมาตรฐานในระยะสั้นการลดปริมาณไนไตรท์ทำได้โดยการเปลี่ยนถ่ายน้ำ การเติมเกลือ แต่ในระยะยาวผู้เลี้ยงจะต้องพยายามเพิ่มประสิทธิภาพในการกรองกรองให้ดีขึ้น

ค่าความเป็นกรด ต่าง (pH) โดยทั่วไปแล้ว ปลาแต่ละชนิดจะชอบที่จะอยู่ในน้ำที่มีค่าความเป็นกรดเป็นต่าง ต่างกัน โดยจะขึ้นกับสภาพน้ำในถิ่นที่อยู่อาศัยเดิม ปลาที่เลี้ยงสวยงามในตู้สามารถอยู่ในน้ำที่มีค่า pH ที่ $6.5-7.5$ ในส่วนปลาที่เลี้ยงในบ่อ อย่างเช่นปลานิลสามารถอยู่ในน้ำที่มีค่า pH ที่ $6-9$ หากน้ำในบ่อมีค่าความเป็นกรด ต่ำมากจะทำให้แบคทีเรียในระบบกรองที่ทำหน้าที่ย่อยไนโตรเจนหยุดการทำงาน แต่หากมีความเป็นด่างสูง จะเป็นการเพิ่มความเค็มของแอมโมเนียในน้ำ และหากมีค่าความเป็นด่างสูงมาก ๆ ก็จะทำให้ระบบการทำงานของในตัวปลาผิดปกติ ปลาจะเริ่มมีอาการไม่กินอาหาร มีการขับเมือกตามลำตัวออกมา มาก แยกตัวโดดเดี่ยว และมักจะอยู่บริเวณพื้นน้ำ หากมีอาการ มากขึ้น ครีบปลาจะแตกออกเป็นริ้วๆ หาก pH มีค่าความเป็นด่างสูงเกินไป ปลาจะผลัดเมือกออกมาตามลำตัวจำนวนมาก และจะลอยหัวบริเวณผิวน้ำหายใจเอาอากาศ วิธีแก้ปัญหาเมื่อค่าเกินมาตรฐานทำได้โดยการเปลี่ยนถ่ายน้ำ แต่ห้ามเปลี่ยนน้ำที่ละมาก ๆ ในครั้งเดียว เพราะอาจจะทำให้ค่า pH เปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหัน จนอาจจะเกิดอาการช็อคของปลาได้ และล้างทำความสะอาดระบบกรอง

อุณหภูมิในการเลี้ยงปลานั้นมีผลต่อปลามากเนื่องจากปลาเป็นสัตว์เลือดเย็น หากอุณหภูมิอยู่ในช่วงเดียวกับอุณหภูมิทางสรีระจะทำให้ระบบภูมิคุ้มกันโรคของปลาทำงานปกติ โดยปกติปลาจะมีอัตราการเผาผลาญเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยปลาส่วนใหญ่ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น 10 °C ปลาจะมีอัตราการเผาผลาญเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าของปกติ ผลที่เกิดขึ้นจะทำให้ออกซิเจนถูกใช้ไปในจำนวนมากทำให้ในน้ำเหลือออกซิเจนน้อยน้ำอาจเสียได้ (<http://www.arohouse.com/article/?action=view&catID=0000120&pid=0000257>)

2.6 แกลบข้าว (จุฬาทิพย์ นมะหุต, 2552)

แกลบข้าวเป็นวัสดุเหลือทิ้งที่ได้จากกระบวนการสีข้าวเปลือกซึ่งทำให้เกิดเศษของเปลือกข้าวออกมามีลักษณะสีเหลืองทอง สีเหลืองอ่อน สีน้ำตาลแดงขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ข้าวแสดงดังรูปที่ 2.2 แกลบประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และซิลิกา ปริมาณสารอินทรีย์จะประกอบด้วยธาตุคาร์บอนประมาณร้อยละ 51 ออกซิเจนร้อยละ 42 ส่วนที่เหลือจะเป็นไฮโดรเจน และไนโตรเจน ส่วนซิลิกาจะพบมากบริเวณผิวนอกของแกลบจึงทำให้แกลบมีความแข็งสูง แกลบที่ได้จากการสีข้าวเปลือกจะมีประมาณร้อยละ 22-25 โดยน้ำหนักจากเมล็ดข้าวเปลือก ทำให้การสีข้าวเปลือกแต่ละครั้งจะเกิดแกลบจำนวนมาก

2.7 ผักบุ้ง

ผักบุ้งจีน เป็นพืชที่อยู่ในวงศ์ผักบุ้ง (Convolvulaceae) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Ipomoea aquatica* Forsk. Var. *reptan* เป็นพืชที่พบทั่วไปในเขตร้อน และเป็นผักที่คนไทยนิยมนำมาประกอบอาหาร เช่นเดียวกับผักบุ้งไทย ผักบุ้งจีนมีใบสีเขียว ก้านใบมีสีเหลืองหรือขาว ก้านดอกและดอกมีสีขาว โดยทั่วไปแล้ว ผักบุ้งจีนจะนิยมนำมาประกอบอาหารมากกว่าผักบุ้งไทย จึงมีการปลูกอย่างแพร่หลายในประเทศไทย สำหรับเกษตรกรปลูกเพื่อนำลำต้นไปขาย ผักบุ้งจีนเป็นผักที่เจริญเติบโตไวใช้เวลาเพียง 25-30 วัน หรือต้นสูงประมาณ 30-35 ซม. ก็สามารถเก็บเกี่ยวได้ (<https://puechkaset.com/>, ผักบุ้งจีน)

2.8 ปลาหมอ

ปลาหมอ ปลาน้ำจืดชนิดหนึ่ง มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Anabas testudineus* ในวงศ์ปลาหมอ (Anabantidae) มีรูปร่างป้อม ลำตัวแบนข้าง ตาโต ปากกว้าง ขอบฝาปิดเหงือกหยักแข็ง เกือบใหญ่คลุมทั้งลำตัว มีขอบเกล็ดแบบหยัก ผิวสาก เส้นข้างลำตัวขาดตอน ครีบหลังยาวเกือบเท่าความยาวลำตัว มีก้านครีบแข็งแหลมคมจำนวนมากเช่นเดียวกับครีบกัน แต่ครีบกันสั้นกว่า ครีบอกเล็กเป็นรูปไข่ ครีบหางปลายมนตัวมีสีเขียวมะกอกและมีลายประสีคล้ำที่ข้างลำตัว ครีบใส ลำตัวด้านท้องมีสีเหลือง ขอบฝาปิดเหงือกตอนบนมีแต้มสีคล้ำ มีอวัยวะช่วยหายใจเป็นแผ่นริ้วขน ๆ อยู่ตอนบนของช่องเหงือก จึงสามารถสูบอากาศจากบนผิวน้ำได้โดยตรงโดยไม่ต้องรอให้ออกซิเจนละลายในน้ำ และสามารถอยู่บนบกหรือพื้นที่ขาดน้ำได้เป็นระยะเวลาสั้น ๆ ซึ่งในฤดูฝนบางครั้งจะพบปลาหมอแฉกเหงือกไกลศึบคลานไปบนบกเพื่อหาที่อยู่ใหม่ได้ ความยาวยาวประมาณ 10-13 cm มีพฤติกรรมการวางไข่โดยตัวผู้และตัวเมียช่วยกันปรับที่วางไข่ โดยวางไข่ลอยเป็นแพแต่จะปล่อยให้ลูกปลาเติบโตขึ้นมาเอง ปลาหมอเป็นปลาที่สามารถพบได้ในทุกแหล่งน้ำ กระจายอยู่ทั่วไปในทวีปเอเชีย สำหรับในประเทศไทยพบทุกภาค และเป็นปลาที่คนไทยรู้จักกันเป็นอย่างดี ด้วยใช้เป็นอาหารมาช้านาน และนิยมเลี้ยงเป็นปลาเศรษฐกิจในปัจจุบัน อีกทั้งในปลาที่มีสีกลายไปจากสีปกติ เช่น สีทองยังนิยมเลี้ยงเป็นปลาสวยงาม (<https://pasusat.com/>, ปลาหมอ)

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (Analytical balance) Satorious Basic
2. ตู้อบ (Oven) SL 1357 SHEL LAB 1350 FX
3. เตาเผา, Fish Scientific Isotenp® Muffle furnace U.S.A
4. เครื่องร่อน, Retsch, F .Kurt Retsch Gmbh & Co.KG 42781 Haan, Germany
5. ตะแกรงร่อนขนาด 60 เมช, Retsch, D-42759, HAAN, Germany
6. เครื่อง UV-visible spectrophotometer (Double beam) ยี่ห้อ Jusco รุ่น V650
7. ปีกเกอร์ขนาด 100 mL
8. ปิเปตขนาด 1, 10, 25 mL
9. กระดาษกรอง
10. ชุดกรองสุญญากาศ
11. ขวดปรับปริมาตรขนาด 250, 1000 mL
12. เครื่องวัดค่า pH (pH Meter) Mettler Toledo
13. ครุฑซีบีล

3.2 สารเคมีและวัสดุดิบ

1. กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (Conc HCl) [A.R. grade] RCI Labscan.
2. ซัลฟานิลไมด์ ($C_6H_8N_2O_2S$) [A.R. grade] Kemaus
3. เอ็น-วัน-แนพทิลเอทธิลีนไดเอมีน ไดไฮโดรคลอไรด์ ($C_{10}H_{17}NHCH_2CH_2NH_2 \cdot 2HCl$, M.W. 259.17 g/mol, Fiaber Chemical)
4. โพแทสเซียมไนไตรท์ (KNO_2 M.W. 85.103 g/mol, Sigma-Aldrich)
5. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (Conc H_2SO_4) [A.R. grade] RCI Labscan.
6. ฟีนอล์ฟทาลีน ($C_{20}H_{14}O_4$, M.W. 318.32 g/mol, Merck)
7. โพแทสเซียมแอนติโมนิลทาเทรท ($(K(SbO)-C_4H_4O_6 \cdot \frac{1}{2}H_2O)$, M.W.333.93 g/mol, Unilab)
8. แอมโมเนียมโมลิบเดต ($(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$, M.W. 1235.99 g/mol, Sigma-Aldrich)
9. แอสคอร์บิกแอซิด ($C_6H_8O_6$), M.W. 176.12 g/mol, Merck)
10. โพแทสเซียม ไดไฮโดรเจน ฟอสเฟต (KH_2PO_4 , M.W. 136.09 g/mol, LOBA Chemie PVT.LTD.)
11. สารละลายแมงกานีสซัลเฟต ($MnSO_4 \cdot 4H_2O$, M.W. 151.01 g/mol, Merck)
12. โซเดียมไฮโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$, M.W. 248.18 g/mol, Merck)
13. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH, M.W. 39.99 g/mol, Sigma-Aldrich)
14. โซเดียมไอโอดัด (NaI, M.W. 149.89 g/mol, Merck)
15. โซเดียมเอไซด์ (NaN_3 , M.W. 65.01 g/mol, Sigma-Aldrich)
16. แกลบข้าว จาก จังหวัดพิษณุโลก

3.3 การวิเคราะห์หาลองค์ประกอบในวัตถุดิบ

1. ชั่งวัตถุดิบ(แกลบข้าว) จำนวน 30 g
2. นำวัตถุดิบไปบดด้วยครกหินให้ละเอียด จากนั้นนำวัตถุดิบไปร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 60 เมช
3. นำวัตถุดิบที่ได้ไปอบเพื่อกำจัดความชื้นที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น

3.3.1 การวิเคราะห์วัตถุดิบโดยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectrometer (FT-IR)

วิเคราะห์ FT-IR ณ ศูนย์ปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

3.3.2 การวิเคราะห์วัตถุดิบโดยเทคนิค Scanning Electron Microscope (SEM) Energy Dispersive X-ray Spectrometer (EDS)

วิเคราะห์ SEM-EDS ณ ศูนย์ปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

3.4 การเตรียมถ่านชีวภาพจากแกลบข้าว เเผาที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 °C

1. ชั่งวัตถุดิบจำนวน 30 g ใส่ในครุชีเบล
2. นำวัตถุดิบและครุชีเบลไปอบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น
3. นำไปเผาที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 °C คงที่เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3.5 การวิเคราะห์หาลองค์ประกอบในถ่านชีวภาพ

1. นำถ่านชีวภาพที่เผาที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 °C มาบดให้ละเอียด จากนั้นนำวัตถุดิบไปร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 60 เมช
2. นำถ่านชีวภาพที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น

3.5.1 การวิเคราะห์ถ่านชีวภาพโดยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR)

วิเคราะห์ FT-IR ณ ศูนย์ปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

3.5.2 การวิเคราะห์ถ่านชีวภาพโดยเทคนิค Surface area and porosity analyzer ด้วยเทคนิค Gas Adsorption (BET)

วิเคราะห์ BET ณ ศูนย์ปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

3.5.3 การวิเคราะห์ถ่านชีวภาพโดยเทคนิค Scanning Electron Microscope (SEM) Energy Dispersive X-ray Spectrometer (EDS)

วิเคราะห์ SEM-EDS ณ ศูนย์ปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

3.6 การหาปริมาณของคาร์บอน สารระเหย เถ้า และ คาร์บอนคงตัว ของวัตถุดิบโดยเทคนิค Proximate Analysis

1. ชั่งน้ำหนักครุชีเบลพร้อมฝาที่ถูกเผาแล้ว บันทึกค่า

2. ชั่งวัตถุดิบ(แกลบข้าว)ในครูชิบีล จำนวน 3 g
3. นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 °C 6 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักที่ได้จัดบันทึกค่า
4. นำไปเผาที่อุณหภูมิ 500 °C ปิดฝา คงที่ 7 นาที ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักที่ได้จัดบันทึกค่า
5. นำไปเผาที่อุณหภูมิ 900 °C ปิดฝา คงที่ 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักที่ได้จัดบันทึกค่า

คำนวณหาปริมาณความชื้น (Moisture Content)

$$\text{ปริมาณความชื้น(\%)} = \left(\frac{\text{น้ำหนักก่อนอบ} - \text{น้ำหนักหลังอบ}}{\text{น้ำหนักก่อนอบ}} \right) \times 100$$

คำนวณหาปริมาณสารระเหย (Volatile Matter)

$$\text{Weight loss (\%)} = \left(\frac{\text{น้ำหนักก่อนเผา} - \text{น้ำหนักหลังเผา}}{\text{น้ำหนักก่อนเผา}} \right) \times 100$$

$$\text{ปริมาณสารระเหย(\%)} = \text{ปริมาณความชื้น} - \text{Weight loss}$$

คำนวณหาปริมาณเถ้า (Ash Content)

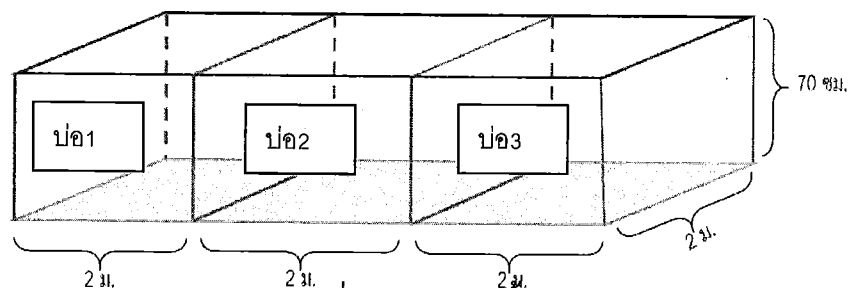
$$\text{ปริมาณเถ้า(\%)} = \left(\frac{\text{น้ำหนักสุดท้ายหลังเผา}}{\text{น้ำหนักก่อนเผา}} \right) \times 100$$

คำนวณหาปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon)

$$\text{ปริมาณคาร์บอนคงตัว(\%)} = 100 - (\% \text{ปริมาณความชื้น} + \% \text{ปริมาณเถ้า} + \% \text{ปริมาณสารระเหย})$$

3.7 สร้างบ่อเลี้ยงปลา, แปลงปลุกผักเสริมด้วยถ่านชีวภาพ, แปลงปลุกผักไม่เสริมด้วยถ่านชีวภาพ เชื่อมต่อกับระบบไฮโดรโปนิคส์ และ แปลงปลุกผักเสริมด้วยถ่านชีวภาพไม่เชื่อมต่อกับระบบไฮโดรโปนิคส์

1. สร้างบ่อเลี้ยงปลาขนาด กว้าง 2 ม. × ยาว 2 ม. × สูง 70 ซม. จำนวน 3 บ่อ โดยใช้อิฐประสาน จำนวน 560 ก้อน ก่ออิฐเป็นโครงด้านข้างของบ่อโดยตรงกลางไม่ปูพื้น ดังรูปที่ 3.2 จากนั้นปูด้วยแผ่นพลาสติก 2 ชั้นเพื่อรองพื้นทั้ง 3 บ่อ และใส่น้ำลงไป 3/4 ของบ่อ

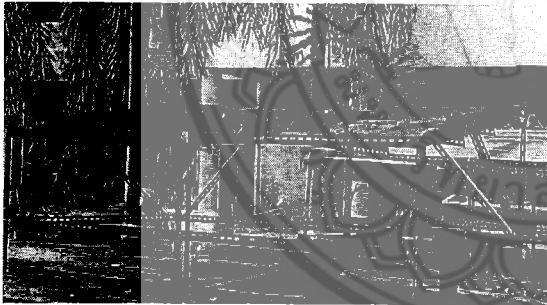


รูปที่ 3.1 แบบบ่อเลี้ยงปลา

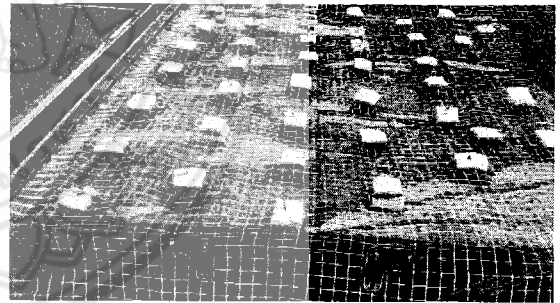


รูปที่ 3.2 การสร้างบ่อเลี้ยงปลา

2. นำตาข่ายมาซึ่งด้านบนของบ่อเลี้ยงปลาเพื่อป้องกันเศษใบไม้และอื่น ๆ ตกลงไปบ่อ
3. สร้างระบบไฮโดรโปนิคส์แบบภาคจำนวน 3 แผงโดยใช้เหล็กฉากทำเป็นโครงยึดด้วยน๊อต ขนาดกว้าง 2 ม. x ยาว 2 ม. มีความชัน 2 % สูงห่างจากบ่อเลี้ยงปลาประมาณ 30 ซม
4. บูพื้นด้านบนด้วยแผ่นพลาสติกลูกฟูก ทั้ง 3 แผง
5. จากนั้นใส่ถ่านชีวภาพจากแกลบข้าวที่เผาที่อุณหภูมิประมาณ 500 °C ลงไปในแผงที่ 1 และ 3 ดังรูป หลังจากนั้นรดน้ำ
6. ในแผงที่ 2 ซึ่งด้านบนด้วยตาข่ายและใส่ฟองน้ำลงไปห่างกัน 15 ซม. ดังรูปที่ 3.4

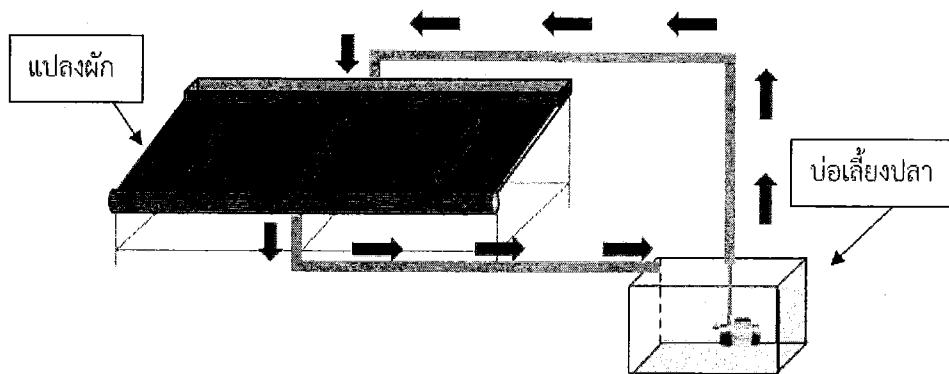


รูปที่ 3.3 ระบบไฮโดรโปนิคส์แบบภาคที่ใส่ถ่านชีวภาพจากแกลบข้าว (แปลงที่ 1 และ 3)



รูปที่ 3.4 ระบบไฮโดรโปนิคส์แบบภาคที่ซึ่งด้านบนด้วยตาข่ายและใส่ฟองน้ำ (แปลงที่ 2)

7. ตัดรางน้ำที่เจาะรูห่างกัน 5 ซม. ที่ขอบด้านบนของแผงเพื่อเก็บชะลอและกระจายน้ำสำหรับรดน้ำ ผักแบบน้ำหยดตลอดเวลา และ ตัดรางน้ำที่ขอบด้านล่างของแปลงผักต่อกับท่อน้ำไปที่บ่อเลี้ยงปลา เพื่อส่งน้ำที่ถูกกรองแล้วกลับสู่อ่างเลี้ยงปลา ดังข้างต้นติดตั้งทั้งแผงที่ 2 และ 3
8. ติดตั้งระบบสูบน้ำโดยใช้ปั๊มสูบน้ำขนาดเล็ก ในบ่อเลี้ยงปลาที่ 2 ต่อระบบไปยังระบบไฮโดรโปนิคส์แบบภาค แผงที่ 2 เชื่อมต่อกันตรงรางน้ำด้านบน และ ติดตั้งระบบสูบน้ำโดยใช้ปั๊มสูบน้ำขนาดเล็ก ในบ่อเลี้ยงปลาที่ 3 ต่อระบบไปยังระบบไฮโดรโปนิคส์แบบภาคที่ 3 เชื่อมต่อกันตรงรางน้ำด้านบน



รูปที่ 3.5 บ่อเลี้ยงปลาและแปลงปลูกผักที่เชื่อมต่อกับระบบไฮโดรโปนิคส์

3.7.1 เลี้ยงปลาในระบบเพื่อวัตถุประสงค์เจริญเติบโต

1. ซื้อลูกปลาหม่อจากฟาร์มเลี้ยงปลาจำนวน 3 ถุง ถุงละ 200 ตัว
2. นำลูกปลามาพักเป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นนำปลาใส่ในบ่อเลี้ยงปลา บ่อละ 200 ตัว
3. นำปลามาชั่งน้ำหนัก และวัดความยาว สัปดาห์ละ 1 ครั้ง ครั้งละ 5 ตัว บันทึกผล
4. ให้อาหารปลา 2 ครั้งต่อวันเวลาเช้าและเย็น ปริมาณอาหารปลาให้ในปริมาณ 3% ของน้ำหนักปลาเฉลี่ยของแต่ละบ่อ

3.7.2 ปลูกพืชในระบบเพื่อวัตถุประสงค์เจริญเติบโต

1. นำเมล็ดผักบั้งจีนมาแช่น้ำไว้เป็นเวลาประมาณ 12 ชั่วโมง
2. นำเมล็ดที่ได้ไปปลูกในแปลงผักที่เตรียมไว้ ในแปลงที่ 1 และ 3 ปลูกระยะห่างกัน 15 ซม×15 ซม กลบปากหลุมและรดน้ำ ในแปลงที่ 2 ปลูกโดยใส่เมล็ดลงไปในพื้นที่ถูกขุ่นน้ำ และเจาะรูไว้
3. ในแปลงที่ 1 รดน้ำผักด้วยน้ำประปาทุกวัน
4. เปิดระบบน้ำที่เชื่อมต่อกับบ่อเลี้ยงปลา ในแปลงที่ 2 และ 3
5. สังเกต วัดความสูง และจำนวนใบของผักบั้งทุก 1 สัปดาห์ บันทึกผล

3.8 การวิเคราะห์น้ำจากบ่อเลี้ยงปลาและระบบไฮโดรโปนิคส์

3.8.1 การเก็บตัวอย่างน้ำในบ่อเลี้ยงปลาและระบบไฮโดรโปนิคส์ เพื่อนำไปวิเคราะห์

1. บ่อที่ 1
 - เก็บตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาใส่ในขวดพลาสติกและปิดฝา
2. บ่อที่ 2
 - เก็บตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาใส่ในขวดพลาสติกและปิดฝา
 - เก็บตัวอย่างน้ำจากน้ำที่ไหลออกมาจากระบบไฮโดรโปนิคส์ใส่ในขวดพลาสติกและปิดฝา
3. บ่อที่ 3
 - เก็บตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาใส่ในขวดพลาสติกและปิดฝา

- เก็บตัวอย่างน้ำจากน้ำที่ไหลออกมาจากระบบไฮโดรโปนิคส์ในขวดพลาสติกและปิดฝา

3.8.2 การวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งทั้งหมด(Total Solids : TS) ในน้ำของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาและระบบไฮโดรโปนิคส์

1. เตรียมบีกเกอร์ 5 อันนำไปอบที่อุณหภูมิ 103 °C ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้องใน โถดูดความชื้น แล้วนำมาชั่งน้ำหนักบันทึกน้ำหนักที่ได้ (B กรัม) และนำไปเก็บใน โถดูดความชื้น
2. ตวงปริมาณตัวอย่างน้ำ 50 มิลลิลิตร เทตัวอย่างน้ำใส่บีกเกอร์ ดังนี้
 - บีกเกอร์ที่ 1 ตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาที่ 1
 - บีกเกอร์ที่ 2 ตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาที่ 2
 - บีกเกอร์ที่ 3 ตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาที่ 3
 - บีกเกอร์ที่ 4 ตัวอย่างน้ำจากระบบไฮโดรโปนิคส์บ่อเลี้ยงปลาที่ 2
 - บีกเกอร์ที่ 5 ตัวอย่างน้ำจากระบบไฮโดรโปนิคส์บ่อเลี้ยงปลาที่ 3
3. นำบีกเกอร์ที่ใส่ตัวอย่างน้ำไปอบจนระเหยแห้ง แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 103 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
4. ปลอบให้เย็นที่อุณหภูมิห้องในโถดูดความชื้น แล้วนำมาชั่งน้ำหนักบันทึกน้ำหนักที่ได้ (A กรัม)

การคำนวณหาปริมาณของแข็งทั้งหมด(Total Solids : TS)

$$\text{Total Solids (mg/L)} = \frac{(A-B) \times 10^6}{\text{mL of sample}}$$

Total Solids (mg/L) คือ ปริมาณของแข็งทั้งหมด หน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร

A คือ น้ำหนักของบีกเกอร์และน้ำตัวอย่าง (กรัม)

B คือ น้ำหนักของบีกเกอร์ (กรัม)

mL of sample คือ ปริมาณของตัวอย่างน้ำ (มิลลิลิตร)

3.8.3 การวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งที่ไม่ละลายน้ำ (Suspended Solids or SS) ในน้ำของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาและระบบไฮโดรโปนิคส์

1. อบกระดาษกรอง 5 แผ่นที่วางบนจานเพาะเชื้อให้แห้งที่อุณหภูมิ 103 °C แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น 1 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักบันทึกน้ำหนักที่ได้ (B กรัม) และนำไปเก็บใน โถดูดความชื้น
2. เขย่าตัวอย่างน้ำ แล้วเทตัวอย่างน้ำใส่กระบอกตวงปริมาณ 50 mL เทใส่บีกเกอร์ ดังนี้
 - บีกเกอร์ที่ 1 ตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาที่ 1
 - บีกเกอร์ที่ 2 ตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาที่ 2
 - บีกเกอร์ที่ 3 ตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาที่ 3
 - บีกเกอร์ที่ 4 ตัวอย่างน้ำจากระบบไฮโดรโปนิคส์บ่อเลี้ยงปลาที่ 2
 - บีกเกอร์ที่ 5 ตัวอย่างน้ำจากระบบไฮโดรโปนิคส์บ่อเลี้ยงปลาที่ 3
3. เตรียมชุดกรองสุญญากาศ
4. นำกระดาษกรองไปวางบนกรวยกรองฉีดย้ำกั้นให้ทั่วจนเปียก เปิดชุดกรองสุญญากาศ
5. กรองตัวอย่างน้ำที่เตรียมไว้ ใช้น้ำล้างล้างของแข็งที่อาจติดอยู่ข้างกระบอกตวง และ ชุดกรองจนหมด รอจนกว่ากระดาษกรองแห้ง แล้วจึงปิดชุดกรองสุญญากาศ

5. นำกระดาษกรองที่ได้วางบนจานเพาะเชื้ออันเดิมและนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 103 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้องใน โถดูดความชื้น แล้วนำมาชั่งน้ำหนักบนตึกน้ำหนักที่ได้ (A กรัม)

การคำนวณหาปริมาณของแข็งทั้งหมด (Suspended Solids or SS)

$$\text{Suspended Solids (mg/L)} = \frac{(A-B) \times 10^6}{\text{mL of sample}}$$

Suspended Solids (mg/L) คือ ปริมาณของแข็งที่ไม่ละลายน้ำ หน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร

A คือ น้ำหนักของกระดาษกรองที่ถูกกรองแล้ว (กรัม)

B คือ น้ำหนักของกระดาษกรอง (กรัม)

mL of sample คือ ปริมาณของตัวอย่างน้ำ (มิลลิลิตร)

3.8.4 การวิเคราะห์ความเป็นกรด - ด่าง (pH) ในน้ำของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาและระบบไฮโดรโปนิคส์

1. เปิดเครื่องวัดค่า pH ทิ้งไว้ประมาณ 5-10 นาที เพื่ออุ่นเครื่อง
2. ล้างแท่งอิเล็กโทรดให้สะอาดด้วยน้ำกลั่นและซับให้แห้ง
3. จุ่มอิเล็กโทรดลงในสารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐานเพื่อเปรียบเทียบเครื่องมือโดยกดปุ่มปรับเทียบ (Calibrate) แล้วจุ่มอิเล็กโทรดลงในสารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐานที่มี pH 7 กดปุ่ม READ รอจนอ่านค่าพีเอช 7 เสร็จ จากนั้นจุ่มอิเล็กโทรดลงในสารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐานที่มีค่า pH 4 กดปุ่ม READ รอจนอ่านค่า pH 4 เสร็จ จากนั้นเครื่องจะแสดงค่า slope กดปุ่ม EXIT นำอิเล็กโทรดออกแล้วล้างให้สะอาดด้วยน้ำกลั่นและซับให้แห้ง
4. เหย้าตัวอย่างน้ำให้เข้ากัน แล้วเทตัวอย่างน้ำใส่กระบอกตวงปริมาณ 50 mL เทใส่บีกเกอร์ดังนี้
 - บีกเกอร์ที่ 1 ตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาที่ 1
 - บีกเกอร์ที่ 2 ตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาที่ 2
 - บีกเกอร์ที่ 3 ตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาที่ 3
 - บีกเกอร์ที่ 4 ตัวอย่างน้ำจากระบบไฮโดรโปนิคส์บ่อเลี้ยงปลาที่ 2
 - บีกเกอร์ที่ 5 ตัวอย่างน้ำจากระบบไฮโดรโปนิคส์บ่อเลี้ยงปลาที่ 3

5. วัดค่าพีเอชของตัวอย่างน้ำ โดยจุ่มอิเล็กโทรดลงในตัวอย่างน้ำ บันทึกค่าพีเอชที่อ่านได้

3.8.5 การวิเคราะห์หาปริมาณไนไตรท์ (Nitrite) ในน้ำของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาและระบบไฮโดรโปนิคส์

1. การเตรียมสารละลาย

- เตรียมสารละลายซัลฟานิลาไมด์ $C_6H_8N_2O_2S$ ความเข้มข้น 0.06M
ชั่ง $C_6H_8N_2O_2S$ 2.5056 g ใส่ในสารละลายผสมของ HCl เข้มข้น 25 mL กับน้ำกลั่นประมาณ 150 mL ปรับปริมาตรให้เป็น 250 mL
- เตรียมสารละลายเอ็น-วัน-แนพทิลเอทิลีนไดเอมีน ไดไฮโดรคลอไรด์ $C_{10}H_{17}NHCH_2CH_2NH_2 \cdot 2HCl$ ความเข้มข้น 0.003 M
ชั่ง $C_{10}H_{17}NHCH_2CH_2NH_2 \cdot 2HCl$ 0.2544 g ละลายในน้ำกลั่น 250 mL เก็บในขวดสีชา
- เตรียมสารละลายสต็อกไนไตรท์ ความเข้มข้น 0.007 M

ชั่ง KNO_2 0.6027 g นำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 100°C (ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง) ผสมน้ำกลั่นและปรับปริมาตรให้เป็น 1000 mL

- เตรียมสารละลายมาตรฐานไนไตรท์ ความเข้มข้น 7.1×10^{-3} M
เจือจาง 10.0 มิลลิลิตร ของ Stock Solution ให้เป็น 1,000 mL

2. การวิเคราะห์

- การเตรียมกราฟมาตรฐาน โดยใช้ Stock Solution ในข้อ 5 ทำอนุกรมของสารละลายมาตรฐานไนไตรท์ ไนโตรเจน ความเข้มข้น 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 mg/L โดยนำสารละลายมาตรฐาน 50 มิลลิลิตร เติม Sulfanilamide 7 mL และ N-(1-Naphthyl)-Ethylenediamine Dihydrochloride 1 mL ผสมให้เข้ากันเพื่อทำให้เกิดสี แล้วนำไปอ่านค่าโดยใช้ Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 540 nm
- ปิเปตตัวอย่างที่ผ่านการกรอง 50 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร เติม Sulfanilamide 1 mL คนด้วยแท่งแก้วทิ้งไว้ 2-8 นาที จากนั้นเติมสารละลาย N-(1-Naphthyl)-Ethylenediamine Dihydrochloride 1 มิลลิลิตร และผสมให้เข้ากันทันที ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที
- วัดหาปริมาณโดยใช้ Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตรเปรียบเทียบกับ Blank

3.8.6 การวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัสในรูปของออร์โธฟอสเฟต ในน้ำของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาและระบบไฮโดรโปนิคส์

1. การเตรียมสารละลาย

- สารละลายโพแทสเซียมแอนติโมนิธาเทรท ($\text{K(SbO)} \cdot \text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$) ความเข้มข้น 0.02M
ละลาย 1.3715 g $\text{K(SbO)} \cdot \text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ ในน้ำกลั่น 200 mL เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 500 mL
- สารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต ($(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) ความเข้มข้น 0.03M
ละลาย 20 g $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ในน้ำกลั่น 500 mL
- สารละลายแอสคอร์บิกแอซิด ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$) ความเข้มข้น 0.1M
ละลาย 1.76 g แอสคอร์บิกแอซิด ในน้ำกลั่น 100 mL

- สารละลายกรดซัลฟิวริก H_2SO_4 5 N

เติม CONC. H_2SO_4 70 มิลลิลิตร ลงในน้ำกลั่น แล้วเติมน้ำกลั่นจนครบ 500 มิลลิลิตร

- สารละลายสต็อกฟอสเฟต เข้มข้น 1.65×10^{-3} M

ละลาย 219.5 mg KH_2PO_4 (Anhydrous) เติมน้ำกลั่นจนครบ 1,000 mL

- น้ำยารวม (Combined Reagent)

ผสม 50 mL H_2SO_4 5 N, 5 mL สารละลายโพแทสเซียมแอนติโมนิธาเทรท, 15 mL สารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต และ 30 mL กรดแอสคอร์บิก เข้าด้วยกัน

2. การวิเคราะห์

- เตรียมอนุกรมของสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัสความเข้มข้น 0, 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 mg/L ทำกราฟมาตรฐาน (Calibration Curve) โดยนำสารละลายมาตรฐาน 50 มิลลิลิตร เติม

น้ำยารวมจำนวน 8 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 10 นาที แล้วนำไปวัดโดยใช้เครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 880 nm

- ปิเปตตัวอย่างที่กรองแล้ว 50 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ เติม Phenolphthalein 1 หยด เติมน้ำยารวม 8 mL ใช้แท่งแก้วคนให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 10 นาที
- วัดปริมาณโดยใช้ Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 880 นาโนเมตร แล้วเปรียบเทียบกับ Blank

3.8.7 การวิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจนละลาย (Dissolved Oxygen, DO)

1. การเตรียมสารละลาย

- สารละลายแมงกานีสซัลเฟต $MnSO_4 \cdot 4H_2O$
ละลาย $MnSO_4 \cdot 4H_2O$ 480 g ในน้ำกลั่นแล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1000 mL
- สารละลายอัลคาไล-ไดโอดด์-เอไซด์
ละลาย 500 g NaOH และ 135 g NaI ในน้ำกลั่นจนละลายหมดแล้วผสมสารละลายทั้ง 2 เข้าด้วยกันแล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1000 mL ละลาย 10 g NaN_3 ในน้ำกลั่น 40 mL แล้วเติมลงในสารละลายข้างต้น
- สารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต ความเข้มข้น 0.0250 N
ละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$) 6.205 g ในน้ำกลั่น แล้วเติมน้ำกลั่นจนครบ 1000 mL

2. การวิเคราะห์

- เก็บตัวอย่างน้ำด้วยขวดบีโอดีโดยใช้น้ำตัวอย่างล้างภาชนะที่จะบรรจุตัวอย่างน้ำ 1-2 ครั้ง บรรจุตัวอย่างน้ำให้เต็มขวดและปิดฝาได้น้ำ เทน้ำที่ฝาทิ้ง
- เติมน้ำสารละลายแมงกานีสซัลเฟต 2 mL และสารละลายอัลคาไล-ไดโอดด์-เอไซด์ 2 มิลลิลิตร ขณะเติมน้ำสารเคมีให้ปลายหลอดจุ่มอยู่ในตัวอย่างน้ำ
- ปิดจุกขวด ระวังอย่าให้มีฟองอากาศอยู่ในขวด ผสมสารเคมีให้เข้ากันโดย เขย่าขวดขึ้นลงอย่างน้อย 15 ครั้ง
- ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนนอนกัน เปิดจุกแล้วเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 2mL โดยให้กรดค่อยๆ ไหลลงไปตามคอขวดปิดจุก แล้วเขย่าขวดขึ้นลงจนตะกอนละลายหมด
- ตวงน้ำจากขวดบีโอดีมา 203-mL แล้วเทลงในขวดรูปชมพู่
- ไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต 0.0250 N เมื่อใกล้ถึงจุดยุติจะได้สารละลายสีฟางอ่อนเติมน้ำแบ่งได้สารละลายสีน้ำเงินไตเตรทต่อจนกระทั่งถึงจุดยุติได้สารละลายไม่มีสี

การคำนวณ

ออกซิเจนละลาย(mg/L)= ปริมาณโซเดียมไฮโอซัลเฟต 0.0250N ที่ใช้ไตเตรท,(mL)

3.8.8 การวิเคราะห์ถ่านชีวภาพหลังใช้งานโดยเทคนิค Scanning Electron Microscope (SEM) Energy Dispersive X-ray Spectrometer (EDS)

1. นำตัวถ่านชีวภาพหลังการใช้งานแล้วมาอบที่อุณหภูมิ 105 °C เพื่อไล่ความชื้น
2. วิเคราะห์ SEM-EDS ณ ศูนย์ปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 ผลการวิเคราะห์โดยวิธี proximate analysis, ร้อยละผลผลิตของผลิตภัณฑ์ถ่านชีวภาพจากแกลบข้าว

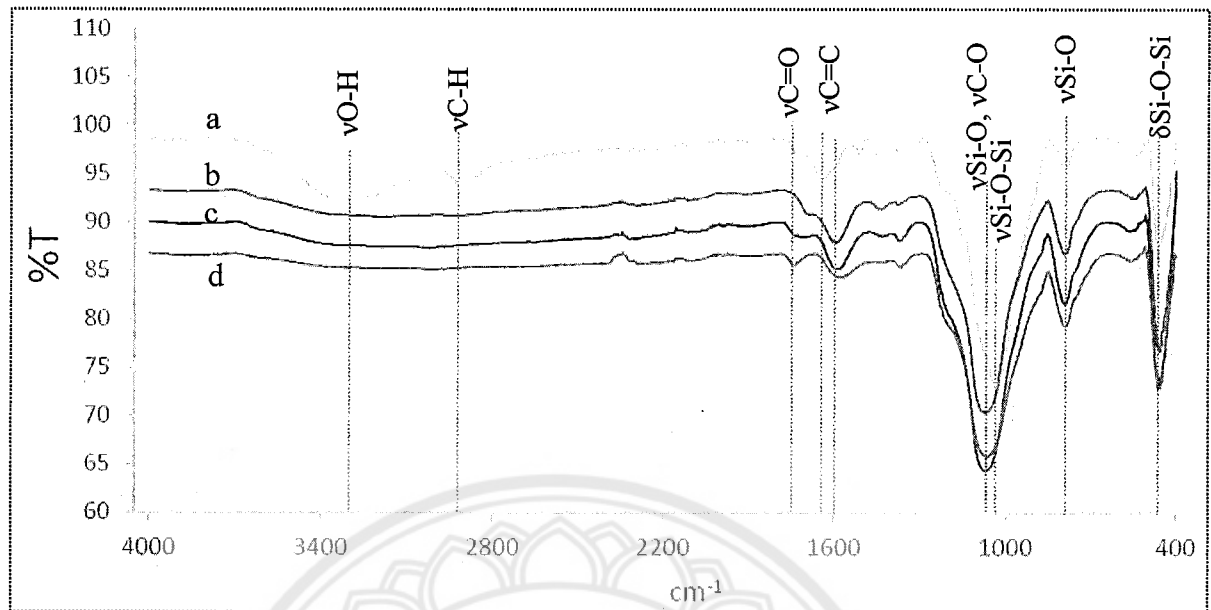
วัตถุดิบที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้แก่ แกลบข้าว จากการนำวัตถุดิบมาทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี ลักษณะทางกายภาพ และขนาดของรูพรุน ได้ผลดังต่อไปนี้

ตาราง 4.1 ผลการวิเคราะห์โดยวิธี proximate analysis, ร้อยละผลผลิตของผลิตภัณฑ์ถ่านชีวภาพจากแกลบข้าว

ตัวอย่าง	Proximate analysis				ผลผลิตร้อยละ
	% ความชื้น	% สารระเหย	% คาร์บอนคงตัว	% เถ้า	
แกลบข้าว	10.08±0.62	69.98±2.85	9.85±0.68	10.08±0.27	-
ถ่านชีวภาพแกลบข้าวที่ 400°C	2.83±0.31	20.13±1.32	56.75±0.54	20.29±0.43	43.23±0.10
ถ่านชีวภาพแกลบข้าวที่ 500°C	2.81±0.57	7.36±0.72	68.64±2.32	21.19±0.36	37.86±0.11
ถ่านชีวภาพแกลบข้าวที่ 600°C	2.61±0.52	5.85±0.75	69.46±2.74	22.08±0.31	37.41±0.38

ผลผลิตร้อยละของถ่านชีวภาพแกลบข้าวลดลงตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิคาร์บอนไนเซชันจาก 400°C ถึง 600°C อย่างไรก็ตาม ร้อยละผลผลิตของถ่านชีวภาพจะคงที่เมื่ออุณหภูมิคาร์บอนไนเซชันเพิ่มขึ้นจาก 500°C ไปเป็น 600°C ทั้งนี้เพราะว่า เฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส และลิกนินจะสลายที่อุณหภูมิต่ำกว่า 500°C (Abbas et al., 2018) สอดคล้องกับการลดลงของสารระเหยง่ายเมื่อเพิ่มอุณหภูมิคาร์บอนไนเซชันจาก 400°C ไป 500°C ปริมาณสารระเหยง่ายจะคงที่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิคาร์บอนไนเซชันจนถึง 600°C เพราะฉะนั้น สามารถกล่าวได้ว่าอุณหภูมิคาร์บอนไนเซชันที่ต้องการผลิตถ่านชีวภาพจากแกลบข้าวอย่างสมบูรณ์คือที่ 500°C ซึ่งให้ผลผลิตร้อยละ 37.86 ± 0.11 ปริมาณที่สูงของคาร์บอนคงตัวและปริมาณที่ต่ำของสารระเหยง่าย (< 10%) ของถ่านชีวภาพแกลบข้าวที่เตรียมที่อุณหภูมิคาร์บอนไนเซชันที่ 500°C ชี้ให้เห็นว่าถ่านชีวภาพแกลบข้าวมีความเสถียรและเหมาะสมสำหรับใช้เป็นสารดูดซับในสิ่งแวดล้อม (Abbas et al., 2018) ดังนั้นจึงได้เลือกถ่านชีวภาพแกลบข้าวที่ 500°C เป็นวัสดุเสริมรากสำหรับระบบไฮโดรโปนิค

4.2 ผลการวิเคราะห์ FT-IR



รูปที่ 4.1 สเปกตรัม FTIR transmission ของ (a) แกลบข้าว (b) ถ่านชีวภาพแกลบข้าวที่ 400°C (c) ถ่านชีวภาพแกลบข้าวที่ 500°C และ (d) ถ่านชีวภาพแกลบข้าวที่ 600°C

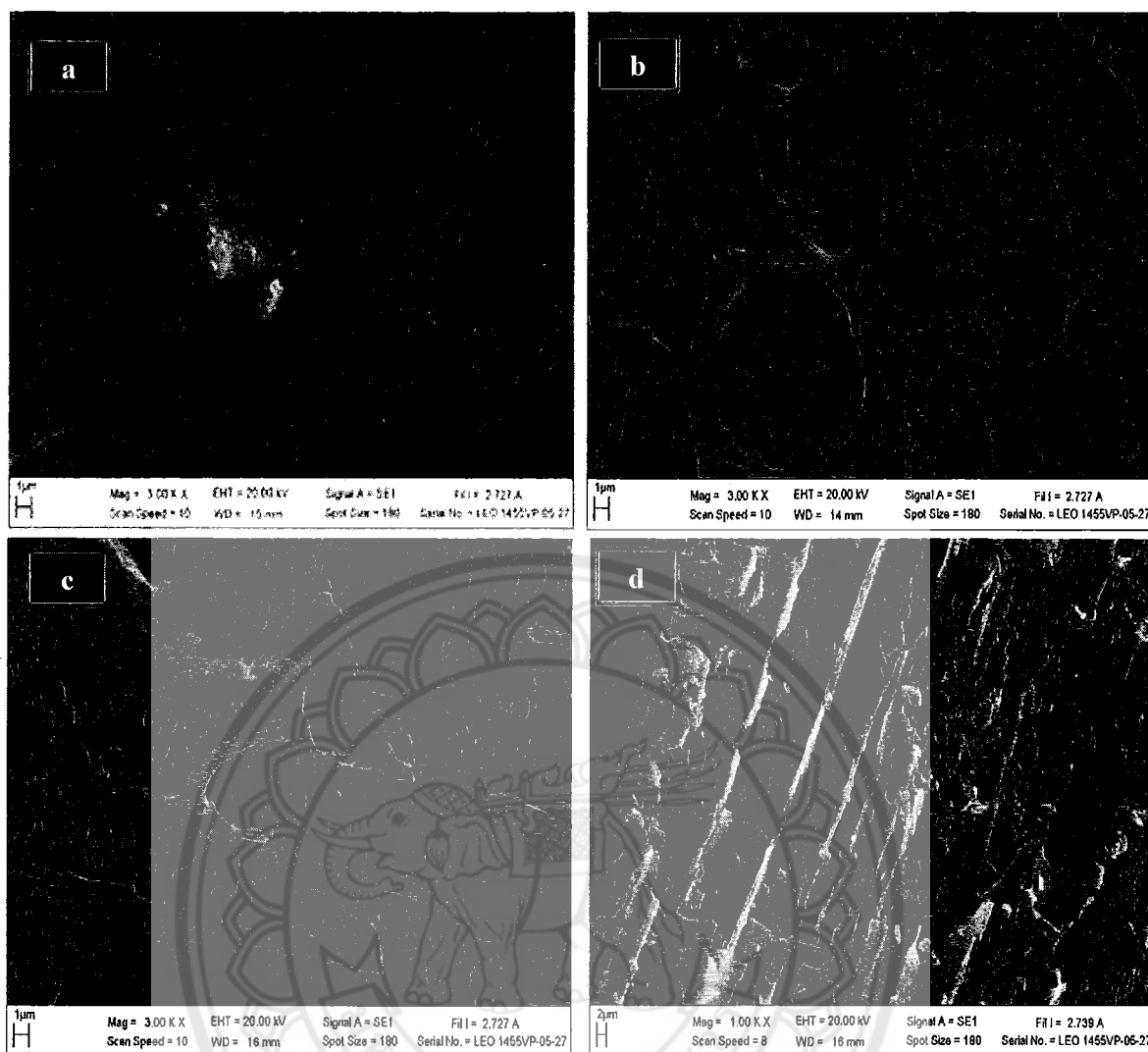
สเปกตรัม FTIR transmission ของแกลบข้าว (รูป 4.2a) แสดงแถบที่ 3239 cm^{-1} , 2919 cm^{-1} , 1745 cm^{-1} , และ 1660 cm^{-1} สอดคล้องกับ ν O-H ของกรดหรือแอลกอฮอล์, สายโซ่อัลคิล C-H อะลิฟาติกและไฮโดรอะโรมาติกของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและลิกนิน, หมู่คาร์บอนิลในแบบการสั่นแบบยืดของอัลดีไฮด์และคีโตนในเฮมิเซลลูโลสกับลิกนิน, และคาร์บอนิล (ν C=O) ของเอสเทอร์ในเฮมิเซลลูโลส, และพันธะ C=C ในสารประกอบอินทรีย์ (de Cordoba et al., 2019) ตามลำดับ แถบที่ 1745 cm^{-1} และ 1660 cm^{-1} ก็สอดคล้องกับการการสั่นแบบยืดของพันธะ CO bond ในหมู่คาร์บอกซิล (Uzunov et al., 2012) นอกจากนี้สเปกตรัมยังมีแถบอื่นที่ 1040 cm^{-1} , 806 cm^{-1} , และ 465 cm^{-1} ซึ่งสอดคล้องกับซิลิกาที่เกิดจากสิ่งมีชีวิต (biogenic silica) (Azat et al., 2019; Abbas et al., 2018; Wen et al., 2019; Ullah et al., 2019) แถบที่ 1040 cm^{-1} สอดคล้องกับการสั่นแบบยืดไม่สมมาตร (asymmetric stretching vibration) ของ Si-O-Si ในซิลิกาที่เกิดจากสิ่งมีชีวิต และแถบนี้อย่างสอดคล้องกับ ν CO และ δ CO (Uzunov et al., 2012) ด้วยสุดท้าย แถบที่ 806 cm^{-1} และ 465 cm^{-1} สอดคล้องกับการสั่นแบบสมมาตร (symmetric vibrations) ของพันธะ Si-O ในเตตระฮีดรอลซิลิกอน-ออกซิเจน (silicon-oxygen tetrahedrons, SiO_4 และการสั่นแบบงอ (bending vibrations) ของ Si-O-Si (de Cordoba et al., 2019) หลังจากผ่านกระบวนการคาร์บอนไนเซชันที่ 400-600°C แถบ FTIR ของถ่านชีวภาพแกลบข้าวที่ 400°C (รูป 4.2b) แสดงแถบที่ 1090 cm^{-1} ซึ่งเลื่อนจาก 1040 cm^{-1} และสอดคล้องกับ biogenic silica ที่เป็นลักษณะของ tridymite ซึ่งเป็น ν Si-O พิกที่ 804 cm^{-1} และ 465 cm^{-1} สัมพันธ์กับโครงสร้างวงแหวนของ SiO_4 tetrahedra ของ silica ที่เป็นผลึกชนิด cristobalite และ δ Si-O-Si ตามลำดับ (Uzunov et al., 2012) ยิ่งกว่านั้น เห็นได้ว่าแถบของ ν O-H, ν C-



H, และ $\text{VC}=\text{O}$ ของ hemicellulose, cellulose และ lignin ได้หายไป ในขณะที่แถบของ $\text{VC}=\text{O}$ (1710 cm^{-1}) และ $\text{VC}=\text{C}$ (1615 cm^{-1}) เริ่มปรากฏขึ้น แสดงได้ว่าสารอินทรีย์ได้สลายไปแล้วพร้อมกับเกิดโครงสร้างอโรแมติกในระหว่างการคาร์บอนไนเซชัน ได้แก่ dehydration, demethylation, demethoxylation, decarbonylation, และ decarboxylation ของหมู่ hydroxyl และหมู่ฟังก์ชันที่มีออกซิเจนอื่นๆ จากผลการเกิดปฏิกิริยาเหล่านี้เป็นสาเหตุทำให้เกิดพันธะ $\text{C}=\text{C}$ และวงแหวนอโรแมติกที่เล็กลง (Abbas et al., 2018) ซึ่งยืนยันได้โดยการเพิ่มความเข้มของแถบที่ 1615 cm^{-1} ทำนองเดียวกับถ่านชีวภาพแกลบที่เตรียมที่ $500\text{-}600^{\circ}\text{C}$ (รูป 4.2c-4.2d) ได้แสดงลักษณะของถ่านชีวภาพและซิลิกามากขึ้นด้วยแถบเด่นของ $\text{VC}=\text{O}$, $\text{VC}=\text{C}$, VSi-O , และ $\delta\text{Si-O-Si}$ โดยเฉพาะแถบของ $\text{VC}=\text{O}$, $\text{VC}=\text{C}$ ที่แยกห่างกันมากขึ้นทำให้เปลี่ยนตำแหน่งจาก 1618 cm^{-1} ไปเป็น 1708 cm^{-1} และที่ 1615 cm^{-1} ไปเป็น 1755 cm^{-1} ซึ่งชี้ให้เห็นว่าเกิดโครงสร้างคาร์บอนควบแน่นที่เสถียรมากขึ้น

4.3 ผลการวิเคราะห์ด้วย SEM-EDS

รูป 4.3 แสดงภาพ SEM ของถ่านชีวภาพแกลบข้าวที่เตรียมโดยการคาร์บอนไนเซชันที่อุณหภูมิระหว่าง 400°C ถึง 600°C ภาพแสดงถ่านชีวภาพแกลบข้าวที่เตรียมที่ 400°C (รูป 4.3a) มีพื้นผิวที่ค่อนข้างเรียบกับอนุภาคเล็กจำนวนเล็กน้อย แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการคาร์บอนไนเซชันไปเป็น 500°C และ 600°C เป็นผลทำให้เกิดรูเปิดที่เป็นทอกลวง และมีอนุภาคเล็กๆบนผนังท่อของถ่านชีวภาพ ผลเหล่านี้สัมพันธ์กับการสลายของสารระเหยง่าย เช่น cellulose, hemi-cellulose, และ lignin ตัวอย่างเช่น hemi-cellulose สลายตัวอุณหภูมิช่วงระหว่าง 220°C ถึง 350°C cellulose สลายช่วงระหว่าง 315°C ถึง 400°C และ lignin สลายที่อุณหภูมิมากกว่า 400°C ขึ้นไป (Abbas et al., 2018) ได้มีการรายงานว่าการเกิดถ่านที่สมบูรณ์จะเกิดเมื่อการไพโรไลซิสของลิกนินที่สมบูรณ์ (Uzunov et al., 2012) เพราะฉะนั้น รูพรุนเปิดจะพบได้ในถ่านชีวภาพแกลบข้าวเมื่อทำการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิมากกว่า 400°C ขึ้นไป โดยจะยังไม่ปรากฏที่อุณหภูมิ 400°C ผลเหล่านี้สอดคล้องกับผลของ FTIR ที่หมู่ฟังก์ชันของ cellulose, hemi-cellulose, และ lignin ของถ่านชีวภาพที่เตรียมที่ 500°C และ 600°C ได้หายไป ซึ่งสามารถยืนยันได้จากผลของ EDS (ตาราง 2) โดยที่ปริมาณคาร์บอนของถ่านชีวภาพแกลบข้าวที่เตรียมที่อุณหภูมิ $500\text{-}600^{\circ}\text{C}$ มีค่าคงที่และมีปริมาณออกซิเจนต่ำ ยืนยันได้ว่าระดับการคาร์บอนไนเซชันของแกลบข้าวมีความสมบูรณ์ที่ประมาณ 500°C รวมทั้งปริมาณของ Si ในถ่านชีวภาพที่ค่อนข้างสูงจากผลการวิเคราะห์ด้วย FTIR



รูปที่ 4.2 ภาพ SEM ของ (a) ถ่านชีวภาพเคลือบข้าวเตรียมที่ 400°C (b) ถ่านชีวภาพเคลือบข้าวเตรียมที่ 500°C (c) ถ่านชีวภาพเคลือบข้าวเตรียมที่ 600°C และ (d) ถ่านชีวภาพเคลือบข้าวเตรียมที่ 500°C หลังจากในเสริมรากพืชเป็นเวลา 47 วัน

ตาราง 4.2 องค์ประกอบธาตุของถ่านชีวภาพเคลือบข้าวที่วิเคราะห์ด้วย EDS

ถ่านชีวภาพเตรียม ที่	องค์ประกอบธาตุ (%wt)					
	C	O	Si	K	P	Ca
400 °C	74.62	22.02	2.94	0.42	-	-
500 °C	77.44	16.54	5.39	0.63	-	-
600 °C	78.41	13.71	6.95	0.92	-	-
หลังจากใช้	62.20	18.90	16.92	-	1.11	0.86

4.4 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวและรูพรุนของถ่านชีวภาพแกลบข้าว

ตาราง 4.3 พื้นที่ผิวและรูพรุนของถ่านชีวภาพแกลบข้าวที่วิเคราะห์โดย BET

ถ่านชีวภาพ เตรียมที่	พื้นที่ผิว BET (m ² /g)	ปริมาตร micropore (cm ³ /g)	พื้นที่ผิวรูพรุนขนาด ระหว่าง 17Å ถึง 3,000 Å (m ² /g)	ปริมาตรรูพรุนระหว่าง 17 Å ถึง 3,000 Å (cm ³ /g)
400 °C	7.6311	0.000278	2.2491	0.006805
500 °C	341.0776	0.136639	23.0061	0.024664
600 °C	414.5242	0.149359	31.7760	0.025080

จากตาราง 4.3 แสดงข้อมูลพื้นที่ผิวและรูพรุนของถ่านชีวภาพแกลบข้าว ซึ่งได้แสดงว่าพื้นที่ผิวและรูพรุนของถ่านชีวภาพแกลบข้าวที่เตรียมที่ 400°C มีค่าต่ำมาก มันได้ยืนยันว่าการคาร์บอนเซชันแกลบข้าวที่ 400°C ได้ผลิตถ่านชีวภาพที่ยังไม่สมบูรณ์ ซึ่งสอดคล้องกับภาพผลการวิเคราะห์ด้วย SEM (รูป 4.2a) ส่วนถ่านชีวภาพแกลบข้าวที่เตรียมโดยการคาร์บอนเซชันที่ 500-600°C มีพื้นที่ผิวและรูพรุน (micropore และ mesopore) เพิ่มขึ้นอย่างมาก โดยเฉพาะปริมาตร mesopores เพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการคาร์บอนเซชันจาก 500°C ไปที่ 600°C มีสาเหตุจากการที่มีการสลายของสารระเหยง่ายเกิดสมบรูณ์ที่อุณหภูมิมากกว่า 400°C ขึ้นไป ยิ่งกว่านั้น พื้นที่ผิวและรูพรุน mesopores เพิ่มขึ้นสูงมากช่วงระหว่าง 500°C ถึง 600°C เป็นผลมากจากการสลายตัวในขั้นสุดท้ายขององค์ประกอบถ่านชีวภาพพร้อมกับการขยายขนาดของโครงสร้าง microporous ไปเป็นโครงสร้าง mesoporous เมื่ออุณหภูมิการไพโรไลซิสเพิ่มขึ้น (Abbas et al., 2018) อย่างไรก็ตาม พื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนของถ่านชีวภาพแกลบข้าวที่เตรียมที่ 500-600°C ก็ยังมีค่าต่ำอยู่ เนื่องมาจากความจริงที่ว่าถ่านชีวภาพมีอนุภาคขนาดเล็กละเอียดและเข้าสะสมอยู่ดังแสดงในภาพ SEM image (รูป 4.2b-c)

4.5 การวิเคราะห์น้ำ

ตาราง 4.4 แสดงข้อมูลที่ได้จากบ่อเลี้ยงปลาหมายเลข 1-3 ระหว่างวันที่ 7 ถึง วันที่ 47 แสดงว่าการเสริมด้วยถ่านชีวภาพในแผงปลูกพืชที่เชื่อมต่อกับบ่อเลี้ยงปลา (หมายเลข 3) สามารถลดปริมาณของแฉะรวมของแฉะแขวนลอย ไนโตรเจน และออร์โทฟอสเฟตในน้ำเลี้ยงปลาได้ดีเมื่อเทียบกับน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาหมายเลข 1 และน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาที่เชื่อมต่อกับระบบไฮโดรโปนิกโดยไม่มีการเสริมด้วยถ่านชีวภาพ (หมายเลข 2) ขณะที่ถ่านชีวภาพสามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายได้ (dissolved oxygen, DO) ในน้ำเลี้ยงปลา ทั้งนี้เนื่องจากของแฉะแขวนลอยเป็นสาเหตุของการทำให้น้ำขุ่น (Nuwansi et al., 2019) ได้ถูกกรองออกไปด้วยถ่านชีวภาพและรากพืช ขณะที่ของแฉะละลายได้ ไนโตรเจนและออร์โทฟอสเฟตถูกดูดซับโดยถ่านชีวภาพแกลบข้าวและถูกดูดซึมโดยรากพืชสำหรับนำไปใช้ในการเจริญเติบโต อย่างไรก็ตาม ปริมาณองค์ประกอบสารเหล่านี้ถูกขจัดออกไปมากขึ้นหลังจากวันที่ 17 ของการเลี้ยงปลา ซึ่งเกี่ยวข้องกับกรกรองและการดูดซึมของราก

ผักบุงเงินหลังจากที่เจริญเติบโตได้เต็มที่สมบูรณ์แล้ว ซึ่งของแข็งแขวนลอยจะถูกกรองได้มากเมื่อมีรากพืชมากขึ้น ซึ่งรากพืชมีการกระจายไปทั่วในถ่านชีวภาพ ขณะที่ของแข็งละลายได้ ไนโตรเจนและออร์โทฟอสเฟตบางส่วนถูกนำไปใช้สำหรับการเจริญเติบโตของราก ลำต้นและใบของผักบุงเงินและการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย (Estim et al., 2019) ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นในบ่อเลี้ยงปลาที่เชื่อมต่อกับระบบไฮโดรโปนิคที่ไม่เสริมถ่านชีวภาพแกลบข้าว (หมายเลข 2) เช่นกัน จะเห็นได้ว่าปริมาณไนโตรเจนในน้ำของบ่อเลี้ยงปลาที่เชื่อมต่อกับแผงปลูกพืชที่เสริมด้วยถ่านชีวภาพแกลบข้าวมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐาน (2.0 mg/L) สำหรับน้ำที่ใช้เลี้ยงปลา (Estim et al., 2019) แสดงว่าการเสริมถ่านชีวภาพสำหรับปลูกพืชในระบบไฮโดรโปนิคมีหน้าที่สำคัญในการขจัดสารเหล่านี้ในระบบบ่อน้ำเลี้ยงปลา อย่างไรก็ตาม ระบบไฮโดรโปนิคที่ไม่เสริมด้วยถ่านชีวภาพก็สามารถลดปริมาณไนโตรเจนได้ต่ำกว่า 2.0 mg/L เมื่อเวลานานขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากในระหว่างที่ระยะเวลาปลูกนานขึ้น ปริมาณรากของผักบุงเงินแผ่ขยายมากขึ้น ซึ่งสามารถเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสสำหรับการดูดซึมไนโตรเจน (ดูดซึมในรูปแบบไนเตรตที่เปลี่ยนมาจากไนโตรเจนด้วยกระบวนการ nitrification) ส่วนปริมาณของออร์โทฟอสเฟตเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อเวลาการเลี้ยงปลานานขึ้นในทุกบ่อเลี้ยงปลา ทั้งนี้เนื่องจากพืชใช้ออร์โทฟอสเฟตในปริมาณสูงสำหรับการเจริญเติบโตของรากในช่วงแรกๆ เท่านั้น (Estim et al., 2019) จึงมีการสะสมมากขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเลี้ยงปลานานขึ้น ในส่วนของค่าออกซิเจนละลายในน้ำมีแนวโน้มมีค่าเพิ่มขึ้นจากบ่อหมายเลข 1 จนถึงบ่อหมายเลข 3 เนื่องจากจากการเลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียน (water circulating systems) ซึ่งสามารถเพิ่มการสัมผัสของน้ำกับอากาศในบรรยากาศได้มากขึ้น ทำให้มีออกซิเจนสะสมในน้ำได้มากขึ้น สำหรับทุกบ่อเลี้ยงปลา โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อมีการเสริมด้วยถ่านชีวภาพแกลบข้าวในระบบแผงปลูกพืชที่สามารถไปเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างน้ำกับอากาศได้มากขึ้น เนื่องจากถ่านชีวภาพมีพื้นที่ผิวและรูพรุนสูง ซึ่งเป็นช่องทางลำเลียงอากาศและเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส ในทุกกรณี ระดับ DO มีค่าสูงกว่าค่าระดับต่ำสุด (5 mg/L) สำหรับการเลี้ยงในเขตนํ้าอุ่น (warm water fish farming) (Nuwansi et al., 2019) อย่างไรก็ตาม ค่า DO ที่ต่ำในบ่อเลี้ยงปลาหมายเลข 1 เกิดจากการทำหน้าที่อย่างมากของจุลินทรีย์และการสลายอย่างมากของของแข็งละลายได้ ซึ่งมีการใช้ออกซิเจนในปริมาณที่สูง (Suhl et al., 2019) ประการสุดท้าย ค่า pH ของน้ำเลี้ยงปลาในทุกบ่อมีค่าอยู่ในช่วงเป็นกรดอ่อนมากจนถึงเป็นกลาง ค่า pH เพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากบ่อหมายเลข 1 ไปบ่อหมายเลข 3 แสดงว่าสารที่เป็นกรดที่ได้จากระบบเลี้ยงปลา (CO₂ จากการหายใจของปลา) ได้ถูกขจัดออกไปโดยการดูดซึมของพืชและการดูดซับของถ่านชีวภาพ อย่างไรก็ตาม ค่า pH ของน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาทุกบ่อยังคงมีค่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับเลี้ยงปลา (6.5-9.0) ซึ่งเป็ยสภาวะที่เหมาะสมสูงสุดสำหรับการเปลี่ยนรูปแอมโมเนียโดยแบคทีเรีย รวมทั้งยังเป็นช่วงปกติสำหรับระบบไฮโดรโปนิคซึ่งโดยทั่วไปอยู่ในช่วงระหว่าง 5-7.5 (Estim et al., 2019)

ตาราง 4.4 ปริมาณของแข็งรวม ของแข็งแขวนลอย ไนโตรเจน ออร์โทฟอสเฟต ออกซิเจนละลายน้ำ และ pH ของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาและระบบไฮโดรโปนิก

บ่อ หมายเลข	ของแข็ง รวม (mg/L)	ของแข็ง แขวนลอย (mg/L)	ไนโตรเจน (mg/L)	ออร์โทฟอสเฟต (mg/L)	ออกซิเจนละลายน้ำ (mg/L)	pH
วันที่ 7						
1	162	94	1.2083	0.2347	5.34	6.542
2	150	80	0.9439	0.2234	6.35	6.568
3	132	54	0.1613	0.1435	6.41	6.983
วันที่ 17						
1	204	172	2.1611	0.3253	5.73	6.573
2	83	96	1.1123	0.2023	6.65	6.751
3	56	43	0.1216	0.1364	7.34	7.163
วันที่ 27						
1	290	228	3.6583	0.3425	5.54	6.625
2	72	64	2.8732	0.1958	6.52	6.356
3	42	34	0.1486	0.1743	7.31	6.923
วันที่ 37						
1	328	280	3.0708	0.4173	5.38	6.831
2	60	47	1.6521	0.2042	6.75	6.259
3	36	25	0.1209	0.1725	6.40	7.038
วันที่ 47						
1	373	302	3.1937	0.4264	5.30	6.878
2	43	32	1.6190	0.2273	6.78	7.078
3	35	28	0.1641	0.1755	7.40	7.048

บ่อหมายเลข 1 = บ่อเลี้ยงปลา, บ่อหมายเลข 2 = บ่อเลี้ยงปลาเชื่อมต่อกับระบบไฮโดรโปนิกที่ไม่เสริมผ่านชีวภาพแกลบข้าว, และบ่อหมายเลข 3 = บ่อเลี้ยงปลาเชื่อมต่อกับแผงปลูกพืชที่เสริมด้วยถ่านชีวภาพแกลบข้าว

4.6 การเจริญเติบโตของพืชและปลา

4.6.1 การเจริญเติบโตของพืช

ตาราง 4.5 แสดงข้อมูลการเจริญเติบโตของผักบุ้งจีนหลังจากปลูกเป็นเวลา 25 วัน (ปกติใช้เวลาปลูกเพียง 21 วันแล้วเก็บเกี่ยว) เห็นได้ว่าการเจริญเติบโตทุกค่าของผักบุ้งจีนสำหรับแผงปลูกหมายเลข 3 (เสริมด้วยถ่านชีวภาพแกลบข้าวและเชื่อมต่อกับบ่อเลี้ยงปลา) มีค่าสูงกว่าแผงปลูกพืชหมายเลข 1 (แผงปลูกเสริมด้วยถ่านชีวภาพแกลบข้าวโดยไม่มีการเชื่อมต่อกับบ่อเลี้ยงปลา) และแผงปลูกพืชหมายเลข 2 (ไม่เสริมถ่านชีวภาพแกลบข้าวแต่เชื่อมต่อกับบ่อเลี้ยงปลา) การเจริญเติบโตของผักบุ้งจีนในแผงปลูกหมายเลข 1 มีต่ำเพราะว่าแผงปลูกหมายเลข 1 ซึ่งเป็นชุดควบคุม ไม่ได้ให้ปุ๋ยอาหารพืชและไม่มีน้ำจากระบบหมุนเวียนเข้ามา อย่างไรก็ตาม พารามิเตอร์การเจริญเติบโตของทั้งแผงปลูกหมายเลข 2 และ 3 เกือบเท่ากัน แสดงว่าผักบุ้งจีนในทั้งสองแผงได้รับปริมาณธาตุอาหารเกือบเท่าๆกัน จากระบบน้ำหมุนเวียน ซึ่งได้แสดงว่าการเจริญเติบโตของ

พืชที่สูงเป็นผลจากการได้รับสารอาหารในปริมาณมากในระบบน้ำหมุนเวียน โดยเฉพาะเมื่อรากพืชยาวขึ้น ซึ่งมีพื้นที่ผิวสัมผัสสูง สามารถดูดซึมสารอาหารด้วยประสิทธิภาพสูง ดังจากรายงานของ Estim et al, (2019) พืชที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสของรากสูงจะมีพื้นที่ผิวสำหรับการยึดเกาะของจุลินทรีย์ที่จะเปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไนไตรต์ และจากไนไตรต์ไปเป็นไนไตรต์ได้มาก รวมทั้งความเข้มข้นของ DO ที่สูงก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่จะเหนี่ยวนำให้เพิ่มมวลของพืช เห็นได้ว่าปริมาณของไนไตรต์ในน้ำของบ่อเลี้ยงปลาหมายเลข 2 และ 3 มีค่าต่ำ เมื่อเทียบกับบ่อเลี้ยงปลาหมายเลข 1 ขณะที่ค่า DO มีค่าสูง ยิ่งกว่านั้น การใช้ถ่านชีวภาพกลับซ้ำเป็นวัสดุเสริมราก จะเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำและการดูดซึมสารอาหารพืชของรากพืชโดยที่มีพื้นที่ผิวมากสำหรับการยึดเกาะของแบคทีเรีย ยิ่งกว่านั้น เมื่อพิจารณาการเจริญเติบโตของรากพืช จะเห็นได้ว่ารากพืชในแผงปลูกที่เชื่อมต่อกับบ่อเลี้ยงปลาหมายเลข 2 เจริญเติบโตสูงกว่ารากพืชในแผงปลูกที่เชื่อมต่อกับบ่อเลี้ยงปลาหมายเลข 3 อาจมีสาเหตุจากการใช้ฟองน้ำเป็นวัสดุเสริมรากในแผงปลูกที่ 2 ซึ่งไม่มีการกระจายเต็มตลอดทั้งพื้นที่ของแผงปลูก เป็นสาเหตุทำให้มีน้ำปริมาณจำกัดรอบๆบริเวณรากพืช ในอีกสาเหตุหนึ่งคือแผงปลูกพืชที่เชื่อมต่อกับบ่อเลี้ยงปลาหมายเลข 3 ที่ได้ใช้ถ่านชีวภาพกลับซ้ำเป็นวัสดุเสริมรากสามารถกระจายน้ำได้ทั่วพื้นที่ของแผงปลูกพืช ทำให้น้ำและสารอาหารพืชในแผงปลูกพืชนี้ถูกดูดซึมอย่างมีประสิทธิภาพ พร้อมกับการทำงานที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นของแบคทีเรีย (Estim et al., 2019) ดังนั้น รากพืชในแผงปลูกพืชหมายเลข 2 มีการกระจายมากกว่าในแผงปลูกพืชหมายเลข 3 การเจริญเติบโตของลำต้นและใบของผักบุงจิ้นในแผงปลูกพืชหมายเลข 2 และ 3 มีค่าสูง เกิดจากมีการเจริญเติบโตของรากฝอยที่สูง (Yang and Kim, 2019).

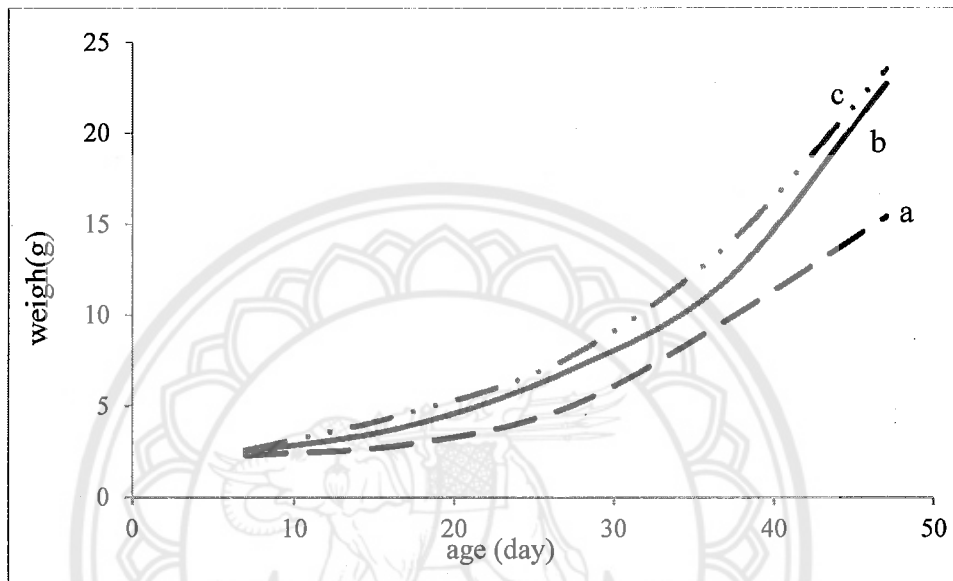
ตาราง 4.5 ผลการวัดการเจริญเติบโตของผักบุงจิ้นหลังจากปลูกได้ 25 วัน

แผงปลูก หมายเลข	ความสูง ลำต้น (cm)	จำนวน ใบ/ต้น	น้ำหนัก ลำต้นสด (g/ต้น)	น้ำหนัก รากสด (g/ต้น)	น้ำหนัก ลำต้นแห้ง (g/ต้น)	น้ำหนัก รากแห้ง (g/ต้น)	เส้นผ่าน ศูนย์กลาง ลำต้น (cm)
1	16.34	6.6	1.000	0.542	0.1402	0.0560	0.25
2	23.65	8.9	2.609	1.899	0.3710	0.1390	0.48
3	23.77	9.7	3.907	1.418	0.3872	0.1130	0.47

4.6.2 การเจริญเติบโตของปลา

รูปที่ 4.3 แสดงกราฟการเจริญเติบโตของปลาในช่วง 47 วัน ในรูป 4.3a แสดงการเจริญเติบโตของปลาในบ่อหมายเลข 1 ที่ช้ากว่าปลาในบ่อหมายเลข 2 และ 3 (รูป 4.3b-c) ตลอดในช่วงการศึกษา ความแตกต่างระหว่างบ่อหมายเลข 1 กับบ่อหมายเลข 2 และ 3 มากขึ้นเมื่อเพิ่มเวลาในการเลี้ยงมากขึ้น ในขณะที่การเจริญเติบโตของปลาบ่อหมายเลข 2 กับ 3 มีความแตกต่างกันเล็กน้อยและมีแนวโน้มใกล้เคียงกันมากขึ้นเมื่อระยะเวลาการเลี้ยงนานขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากน้ำในบ่อเลี้ยงปลาหมายเลข 2 และ 3 มีคุณภาพดี ซึ่งมีสาเหตุจากพืชได้ดูดซึมสารประกอบที่เป็นพิษต่อปลาจากน้ำเลี้ยงปลา จะเห็นได้จากการเจริญเติบโตที่ดีของพืช ดังนั้นจึงทำให้น้ำเลี้ยงปลาในบ่อหมายเลข 2 และ 3 ดีกว่าสำหรับการเจริญเติบโตของปลาเมื่อเทียบกับบ่อหมายเลข 1 สำหรับบ่อเลี้ยงปลาหมายเลข 1 น้ำไม่ได้หมุนเวียนผ่านแผงปลูกพืช ดังนั้นสารที่เป็นพิษต่อปลายังไม่ได้ขจัดออกไป ปัจจัยเหล่านี้จึงเป็นสาเหตุทำให้ปลามีความเครียดสูงกว่า ส่วนบ่อเลี้ยงปลาหมายเลข 2 และ 3 ปลาในทั้ง 2 บ่อนี้มีอัตราการเจริญเติบโตใกล้เคียงกัน โดยเฉพาะเมื่อระยะเวลาในการเลี้ยงนานขึ้น ทั้งนี้เพราะว่า

รากพืชได้มีการกระจายไปทั่วทั้งแผงปลูกพืชหมายเลข 2 เมื่อเลานานขึ้น อย่างไรก็ตาม การเจริญเติบโตของปลาในบ่อเลี้ยงปลาหมายเลข 3 ก็ยังดีกว่าปลาในบ่อเลี้ยงปลาหมายเลข 2 แสดงว่าถ่านชีวภาพแกลบข้าวมีผลต่อการบำบัดน้ำ เนื่องจากถ่านชีวภาพแกลบข้าวมีพื้นที่ผิวสูงสำหรับการยึดเกาะของแบคทีเรียที่ช่วยในการเปลี่ยนสารพิษไปเป็นสารที่ไม่เป็นพิษ โดยทำให้น้ำมีคุณภาพดีและการดูดซึมสารอาหารผ่านรากพืช (Estim et al., 2019).



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงการเจริญเติบโตของปลาตามระยะเวลา (a) บ่อหมายเลข 1 (b) บ่อหมายเลข 2 และ (c) บ่อหมายเลข 3

4.7 ผลของ SEM และ EDS ของถ่านชีวภาพแกลบข้าวหลังจากใช้ในการบำบัดน้ำ

จากรูป 4.2d และตาราง 4.2 แสดงภาพ SEM และองค์ประกอบธาตุของถ่านชีวภาพแกลบข้าวที่เตรียมจากการคาร์บอนไนเซชันที่ 500°C หลังจากใช้เป็นวัสดุเสริมรากพืชเป็นเวลา 47 วัน ผลที่ได้ชี้ให้เห็นว่ามวลของถ่านชีวภาพบางส่วนได้ถูกทำลายไป ซึ่งอาจมีสาเหตุจากการสอตแทรกของรากฝอยพืชเข้าไปในเนื้อถ่านชีวภาพและการบวมตัวของถ่านชีวภาพ เป็นผลทำให้ไปลดปริมาณของคาร์บอนและเพิ่มปริมาณของ Si รวมทั้งปริมาณของออกซิเจนเพิ่มขึ้นด้วยจากการใช้วัสดุนี้ ซึ่งสัมพันธ์กับการเพิ่มค่า DO ในน้ำเลี้ยงปลาและการออกซิเดชันของรากพืช ส่วนองค์ประกอบของ P และ Ca ได้จากการย่อยอาหารของปลา ซึ่งสะสมอยู่ในถ่านชีวภาพ

4.8 การวิเคราะห์ทางเศรษฐกิจ

การพิจารณามูลค่าทางเศรษฐกิจคร่าวๆ โดยไม่ได้คำนึงถึงการใช้แรงงานและเวลา เพราะเกษตรกรทั้งหมดมีอาชีพการเกษตรเป็นหลัก เพียงแต่ใช้เวลาเล็กน้อยในการดูแลระบบบ่อควาโปนิค

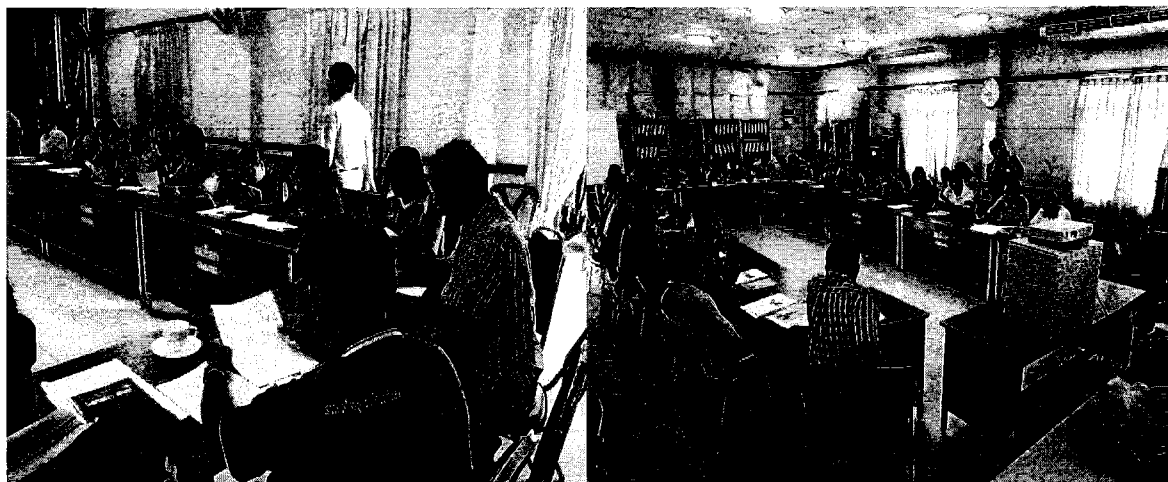
โดยในการลงทุนสร้างบ่อขนาด 2 ม x 2 ม x 0.7 ม และแผงปลูกผัก ขนาด 2 ม x 2 ม x สูง 1.20 ม ใช้ทุนประมาณ 5000 บาท ค่าพันธุ์ปลาหมอและผักบุงจีน ประมาณ 120 บาท ค่าอาหารปลา ประมาณ 1000 บาท ได้ปลาน้ำหนัก ประมาณ 30 กิโลกรัมต่อรอบการเลี้ยง และผักบุงจีนประมาณ 10 กิโลกรัมต่อรอบการปลูก รวมขายผลผลิตได้ประมาณ 2600 บาทต่อรอบการผลิต จะได้กำไรต่อรอบการเลี้ยงและปลูกประมาณ 1500 บาท ดังนั้น จุดคุ้มทุนในการดำเนินการอควาโปนิคประมาณ 4 รอบ ซึ่งใช้เวลาประมาณ 200 วัน สรุปได้ว่า ประมาณ 6 เดือน จะเริ่มได้กำไร ถ้าดำเนินการอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้แล้ว ผลที่ได้ตามมาคือการลดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม ประหยัดการใช้น้ำและสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับด้านชีวภาพแก่ปลาน้ำจืดให้มากขึ้น รวมทั้งยังถือได้ว่าระบบนี้เป็นการผลิตปลาอินทรีย์และผักอินทรีย์ที่ไม่มีการใช้สารเคมีอีกด้วย ซึ่งน่าจะส่งผลทำให้ราคาผลผลิตที่จำหน่ายมีสูงขึ้น

4.9 การถ่ายทอดเทคโนโลยี

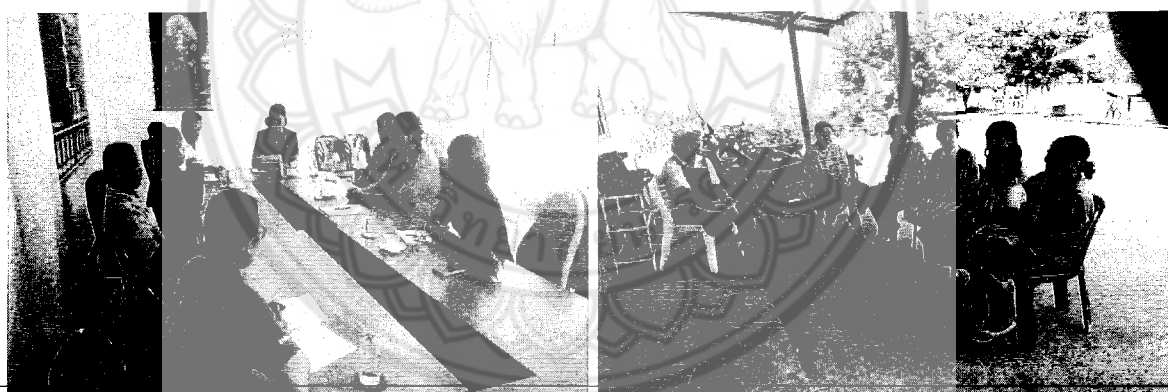
4.9.1 การดำเนินงาน

ได้ดำเนินการถ่ายทอดเทคโนโลยีในโครงการการเลี้ยงปลาหมอร่วมกับการปลูกผักไปโดยการบำบัดน้ำด้วยถ่านแกลบข้าว เป็นเวลา 1 วัน (ดังรายละเอียดในภาคผนวก ฉ) มีสมาชิกสหกรณ์เพื่อการตลาดอาหารปลอดภัยกรีนมาร์เก็ตพิษณุโลก จำกัด ตำบลพันเสา อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก เข้ารับการอบรมจำนวน 30 ราย (ดังรายชื่อในภาคผนวก ช)





ทำการถ่ายทอดให้แก่สมาชิกสหกรณ์เพื่อการตลาดอาหารปลอดภัยกรีนมาร์เก็ตพิษณุโลก จำกัด ตำบลพันเส้า อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก ในหัวข้อเรื่อง “การเลี้ยงปลาหมอร่วมกับการปลูกผักใบโดยการบำบัดน้ำด้วยถ่านแกลบข้าว” จำนวนผู้เข้ารับการอบรมจำนวน 30 คน ซึ่งในจำนวนนี้มีบ่อเลี้ยงปลาจำนวน 23 บ่อ โดยส่วนใหญ่เลี้ยงปลาดุกเพื่อรับประทานในครัวเรือนและจำหน่ายบางส่วน ในราคาเฉลี่ยอยู่ในระหว่าง 38-45 บาทต่อกิโลกรัม



4.9.2 ผลการประเมินกิจกรรมการอบรม

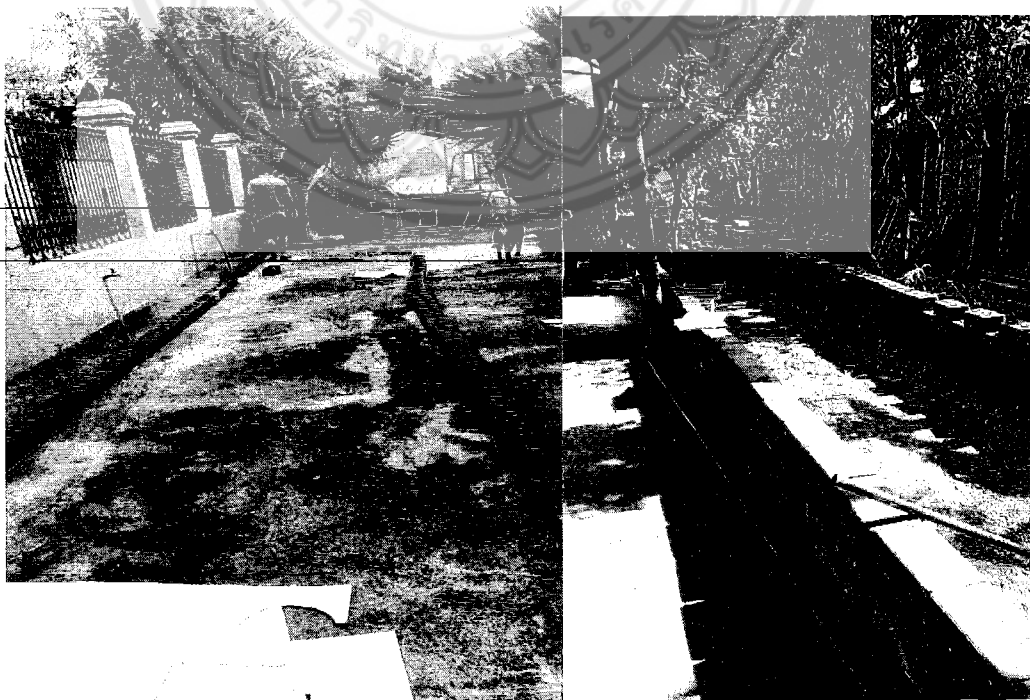
จากผลการประเมินผู้เข้ารับการอบรมโครงการการเลี้ยงปลาหมอร่วมกับการปลูกผักใบโดยการบำบัดน้ำด้วยถ่านแกลบข้าว พบว่าผู้เข้ารับการอบรมมีความพึงพอใจในด้านกระบวนการอบรม อยู่ในระดับดี (ดังในตาราง 4.6) และผลการประเมินในด้านหลักสูตรก็อยู่ในระดับดีเช่นกัน

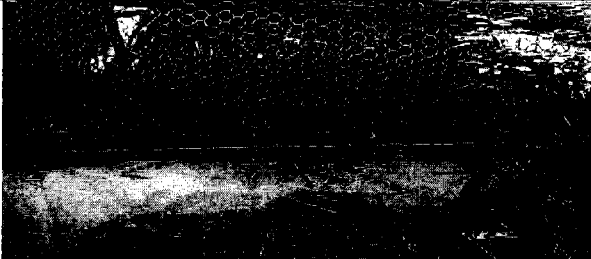
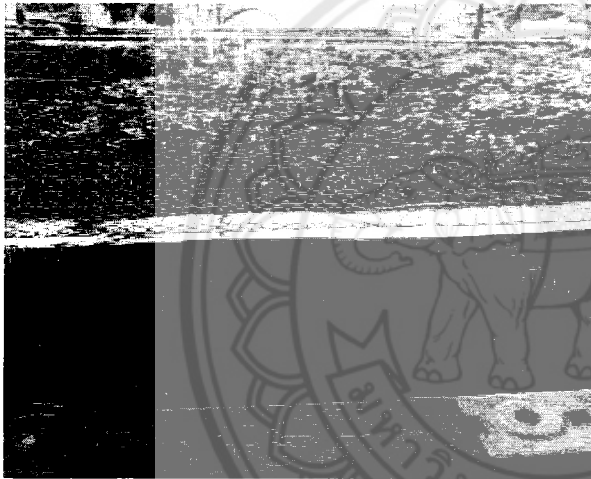
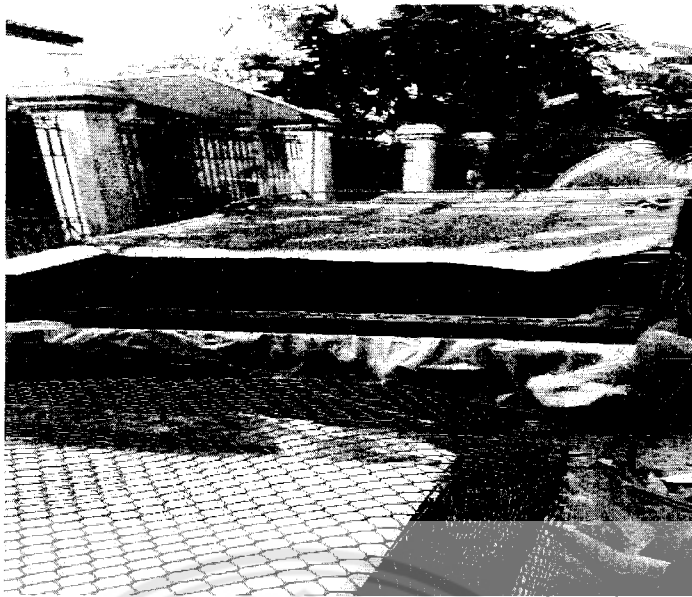
ตาราง 4.6 ผลการประเมินผู้เข้าร่วมการอบรมโครงการการเลี้ยงปลาหมอร่วมกับการปลูกผักใบโดยการบำบัดน้ำด้วยถ่านแกลบข้าว

รายละเอียดผลการประเมิน	คิดเป็นร้อยละ				
	5	4	3	2	1
ข้อมูลวัดความพึงพอใจ					
1. ด้านกระบวนการ ขั้นตอนการให้บริการ (เช่น การประชาสัมพันธ์ การติดต่อเชิญอบรม การประสานงานและไปช่วยดูแล การดูแล และการดำเนินงานอย่างมีขั้นตอน ฯลฯ)	24%	69%	7%	0%	0%
2. เจ้าหน้าที่ผู้ให้บริการ (เช่น ทัศนคติ อิมเมจแห่งมืออาชีพในการให้บริการ ฯลฯ)	47%	49%	4%	0%	0%
3. สิ่งอำนวยความสะดวก (สถานที่อบรม อาหาร เครื่องใช้ เอกสารอบรม ฯลฯ)	31%	58%	11%	0%	0%
ข้อมูลเพื่อการปรับปรุงหลักสูตร					
4. การนำความรู้ไปใช้ประโยชน์ (ใช้ประกอบการอาชีพหรือใช้ในชีวิตประจำวัน)	36%	53%	11%	0%	0%
5. ความเหมาะสมของเนื้อหาหลักสูตร	29%	58%	13%	0%	0%
6. ความเหมาะสมของวิทยากร (ความรู้ ความสามารถ เทคนิคการสอน)	42%	51%	7%	0%	0%
7. ระยะเวลาการอบรม (จำนวนวัน)	13%	60%	16%	9%	2%
8. ช่วงเวลาการอบรม (วัน/เดือน/ฤดูที่อบรม)	15%	67%	11%	7%	0%
9. ความคุ้มค่าเมื่อเทียบกับเวลาและค่าใช้จ่าย (ประโยชน์ที่ได้รับมากกว่าเวลาและค่าใช้จ่ายที่เสียไป)	20%	67%	13%	0%	0%

4.9.3 ผลการติดตามภายหลังการอบรม

การนำไปใช้ประโยชน์ พบว่าผู้เข้าร่วมการอบรมสามารถนำไปใช้ประโยชน์เป็นรายได้เสริมเป็นร้อยละ 76 โดยมีรายได้อยู่ในช่วง 2,000-3,000 บาท และสามารถลดค่าใช้จ่ายต่อเดือนประมาณ 1,000-2,000 บาท ส่วนผลในด้านคุณภาพชีวิตสามารถนำความรู้ไปใช้พัฒนาอาชีพได้ รวมทั้งมีความคิดถึงความจำเป็นของสังคมหรือสิ่งแวดล้อมส่วนรวม ซึ่งหลังจากอบรมเกษตรกรส่วนใหญ่ได้เริ่มนำความรู้ที่ได้รับไปปฏิบัติหลังการอบรมทันที จำนวน 29 คน โดยส่วนใหญ่่นำความรู้ที่ได้รับไปใช้ในครอบครัว และประมาณร้อยละ 30 ได้นำความรู้ใช้ในชุมชน/กลุ่ม โดยเป็นวิทยากรถ่ายทอดเทคโนโลยี/เผยแพร่ต่อ





บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการนำถ่านชีวภาพจากแกลบข้าวไปใช้เป็นวัสดุปลูกพืชในระบบไฮโดรโปนิคส์ที่มีการเลี้ยงปลาพร้อมด้วย เพื่อบำบัดน้ำในบ่อเลี้ยงปลาและนำน้ำเสียจากบ่อเลี้ยงปลาไปเป็นธาตุอาหารให้แก่พืช

วัตถุดิบที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือแกลบข้าว เมื่อนำวัตถุดิบมาหาร้อยละผลผลิตที่เหลือจากการคาร์บอนไนซ์เผาที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 °C พบว่า ร้อยละผลผลิตจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ส่วนร้อยละของความชื้น สารระเหย เถ้า และ คาร์บอนคงตัว พบว่าในแกลบข้าวมีปริมาณความชื้น เกลี่ยอยู่ที่ 10.08 ± 0.62 มีปริมาณสารระเหย เกลี่ยอยู่ที่ 69.98 ± 2.85 มีปริมาณเถ้า เกลี่ยอยู่ที่ 10.08 ± 0.27 และพบว่ามีปริมาณคาร์บอนคงตัว เกลี่ยอยู่ที่ 9.85 ± 0.68 ภายในแกลบข้าวนั้นมีหมู่ฟังก์ชัน O-H, C-H, C=C, C-O, Si-C และ Si-H ธาตุองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็น Si, C และ O เมื่อนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ SEM พบว่าพื้นผิวของแกลบข้าวนั้นมีลักษณะเรียบที่ผิวด้านนอกส่วนผิวด้านในจะมีลักษณะที่ขรุขระและมีรูพรุนเพียงเล็กน้อย

จากการศึกษาองค์ประกอบและลักษณะถ่านชีวภาพที่เกิดจากกระบวนการคาร์บอนไนซ์แกลบข้าวที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 °C พบว่าในถ่านชีวภาพเผาที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 °C หมู่ฟังก์ชันของ O-H stretching และ C-H stretching จะหายไปเนื่องจากหมู่ฟังก์ชันดังกล่าวถูกทำลายไประหว่างกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน เมื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค BET พบว่า ในถ่านชีวภาพที่ 400 °C 500 และ 600 °C ส่วนใหญ่มีพื้นที่ผิวและปริมาตรเป็นแบบ micropore แต่ในถ่านชีวภาพเผาที่อุณหภูมิ 400 °C จะมีปริมาตรของ mesopore มากกว่าปริมาตร micro pore อยู่ประมาณ 24 เท่า แต่พื้นที่ผิว BET ถ่านเผาที่อุณหภูมิ 600 °C มีมากที่สุด และ ถ่านชีวภาพเผาที่อุณหภูมิ 400 °C มีน้อยที่สุด เนื่องจากการเผาที่อุณหภูมิสูง โครงสร้างภายในจะถูกทำลายทำให้เกิดช่องว่าง และ รูพรุน จึงทำให้มีพื้นที่ผิวมาก จากการวิเคราะห์ถ่านชีวภาพด้วยการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ SEM จะเห็นว่า ถ่านชีวภาพเผาที่อุณหภูมิ 400 °C จะมีลักษณะพื้นที่ผิวและรูพรุนคล้ายกับวัตถุดิบ ถ่านชีวภาพเผาที่อุณหภูมิ 500 °C พื้นผิวด้านนอกจะขรุขระเล็กน้อย มีรูพรุนที่มีกระจายอยู่ด้านด้านในและภายในรูพรุนจะมีรูพรุนขนาดเล็กกว่าอยู่ ถ่านชีวภาพเผาที่อุณหภูมิ 600 °C ผิวด้านนอกมีความขรุขระพบว่าเป็นรูพรุนที่มีขนาดใหญ่ภายในขรุขระและมีความซับซ้อนมีช่องว่างเรียงต่อกันและซ้อนกันเป็นชั้นคล้ายกับผนังเซลล์ ภายในช่องว่างนั้นมีรูพรุนกระจายอยู่ในช่องว่างที่เรียงซ้อนกัน ธาตุองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็น Si, C และ O และมีปริมาณคาร์บอนที่สูงทั้ง 3 อุณหภูมิ

จากการศึกษาคุณสมบัติต่าง ๆ ของถ่านชีวภาพเผาที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 °C จึงเลือกถ่านชีวภาพที่อุณหภูมิ 500 °C มาเป็นวัสดุปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์ แต่ในการที่จะนำถ่านชีวภาพมาใช้เป็นวัสดุปลูกในงานวิจัยนี้จะต้องใช้ในปริมาณที่มากจึงไม่มีการนำแกลบข้าวที่ถูกเผาจากโรงสีข้าวมาใช้ร่วมด้วย โดยการเลี้ยงปลาใน 3 ระบบดังนี้ 1) การเลี้ยงปลาโดยไม่มีระบบไฮโดรโปนิคส์ 2) ปลูกผักแบบไฮโดรโปนิคส์โดยไม่

เชื่อมต่อกับระบบเลี้ยงปลา 3) เลี้ยงปลากับระบบไฮโดรโปนิคส์ที่ไม่เสริมวัสดุผ่านชีวภาพ และ 4) เลี้ยงปลากับระบบไฮโดรโปนิคส์เสริมวัสดุผ่านชีวภาพ โดยพืชที่ใช้ปลูกในการทดลองคือผักบุ้ง และชนิดของปลาที่ใช้เลี้ยงในบ่อคือ ปลาหมอ เพื่อดูการเจริญเติบโต

วิเคราะห์ตัวอย่างน้ำจากบ่อหมายเลข 1 (ระบบการเลี้ยงปลาโดยไม่มีระบบไฮโดรโปนิคส์), บ่อหมายเลข 2 (เลี้ยงปลากับระบบไฮโดรโปนิคส์ที่ไม่เสริมวัสดุผ่านชีวภาพ) และบ่อหมายเลข 3 (เลี้ยงปลากับระบบไฮโดรโปนิคส์เสริมวัสดุผ่านชีวภาพ) จากผลการวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำและการวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งที่ไม่ละลายน้ำ นั้นจะพบว่าในบ่อหมายเลข 3 ระบบสามารถกรองของแข็งทั้งหมดได้ดีที่สุด รองลงมาคือบ่อที่ 2 และ บ่อที่ 1 น้อยที่สุด จากผลการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนในน้ำ พบว่าระบบกรองของบ่อหมายเลข 3 จะสามารถกรองและขจัดไนโตรเจนออกจากน้ำได้ น้ำที่ออกมาจากระบบกรองมีปริมาณไนโตรเจนเพียง 0.04672.0 mg/L ซึ่งทำให้น้ำในบ่อเลี้ยงปลามีค่าไนโตรเจนที่ไม่เกินค่าที่กำหนดคือ 2.0 mg/L ส่วนในบ่อหมายเลข 1 และ 2 นั้นมีปริมาณไนโตรเจนในน้ำอยู่ที่ 4.1937 mg/L และ 3.2085 mg/L ซึ่งเกินค่าที่กำหนด ทำให้น้ำในบ่อหมายเลข 1 และ 2 มีผลกระทบต่อกรเจริญเติบโตของปลาอาจทำให้ปลาโตช้าและเกิดโรคได้ การวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัสในรูปของออร์โธฟอสเฟตในน้ำ พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำในบ่อหมายเลข 1, 2 และ 3 นั้นมีปริมาณฟอสฟอรัสเพียงเล็กน้อยมีค่า ไม่เกิน 1.0 mg/L จากการวิเคราะห์ความเป็นกรด - ด่าง (pH) ในน้ำพบว่า ระดับค่า pH ของทุกบ่อ เมื่อเวลาผ่านไปมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย และค่า pH เหมาะสมกับการเลี้ยงปลา คือ pH 6-9 การวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ พบว่า บ่อหมายเลข 3 มีปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำมากที่สุด ถัดมาเป็นบ่อหมายเลข 2 และบ่อหมายเลข 3 ซึ่งปริมาณออกซิเจนมีผลต่อการหายใจของปลา และปริมาณไนโตรเจนในน้ำโดยปริมาณจะแปรผกผันกัน

ถ่านชีวภาพหลังใช้งานเป็นวัสดุปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์ ลักษณะพื้นผิวและรูพรุนไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก ธาตุองค์ประกอบที่พบคือ C, O, Si, P และ Ca ธาตุที่เพิ่มมาคือ P และ Ca ซึ่งเกิดจากน้ำและของแข็งแขวนลอยจากน้ำในบ่อเลี้ยงปลา

การเจริญเติบโตของปลาในการทดลองเลี้ยงปลาร่วมกับปลูกผักในระบบไฮโดรโปนิคส์ จากบ่อหมายเลข 1 (ระบบการเลี้ยงปลาโดยไม่มีระบบไฮโดรโปนิคส์), บ่อหมายเลข 2 (เลี้ยงปลากับระบบไฮโดรโปนิคส์ที่ไม่เสริมวัสดุผ่านชีวภาพ) และบ่อหมายเลข 3 (เลี้ยงปลากับระบบไฮโดรโปนิคส์เสริมวัสดุผ่านชีวภาพ) พบว่าปลาในบ่อหมายเลข 1 การเจริญเติบโตของปลาช้าที่สุด เนื่องจากน้ำในบ่อมีไม่มีความเหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของปลา ในขณะที่ปลาในบ่อหมายเลข 3 ปลามีการเจริญเติบโตที่ดี เนื่องจากน้ำในบ่อมีความเหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของปลา

การเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกในแผงปลูกที่เชื่อมกับบ่อเลี้ยงปลาพบว่า ผักบุ้งจีนที่มีการเจริญเติบโตดีในแผงปลูกที่ 3, 2 และ 1 ตามลำดับ ดังนั้นจากผลงานวิจัยข้างต้น สามารถสรุปได้ว่า ถ่านชีวภาพที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์แกลบข้าวนั้นสามารถบำบัดน้ำเสียโดยการกรองของแข็งและดูดซับสารหรือธาตุอาหารต่างๆ จากระบบเลี้ยงปลาได้ดี

สรุปได้ว่าจากการเตรียมถ่านชีวภาพจากแกลบข้าวที่อุณหภูมิคาร์บอนเซชันที่ 400-600°C ได้พบว่าถ่านชีวภาพแกลบข้าวที่ 500°C มีความเสถียรและมีสมบัติความพรุนเพียงพอสำหรับเป็นวัสดุเสริมรากในระบบปลูกพืช โดยมีร้อยละผลผลิตถึง 37.86±0.11 ซึ่งมีราคาถูกและหาได้ง่าย เมื่อใช้เป็นวัสดุเสริมรากพืชในระบบอะควาโพนิกส์ให้เห็นว่าการเจริญเติบโตของปลาหมอและผักบุ้งจีนสูงกว่าการปลูกพืชที่ไม่เสริมด้วยถ่าน

ชีวภาพแกลบข้าว โดยเฉพาะเมื่อเทียบกับระบบควบคุมของระบบเลี้ยงปลาที่ไม่เชื่อมต่อแผงปลูกผัก การเจริญเติบโตของทั้งปลาหมอและผักบุงจิ้นมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน ถ่านชีวภาพแกลบข้าวได้ปรับปรุงคุณภาพน้ำในระบบเลี้ยงปลาที่ทำให้ค่า DO สูงกว่าค่าจำกัด คือ 6.40-7.40 mg/L ขณะที่ปริมาณไนโตรเจนมีค่าต่ำกว่าระดับเป็นพิษ คือมีค่า 0.1216-0.1641 mg/L นอกจากนี้ยังสามารถลดปริมาณของแข็งรวมและของแข็งแขวนลอยได้อย่างมาก ถ่านชีวภาพแกลบข้าวสามารถทำหน้าที่เป็นตัวกรองและตัวดูดซับที่เกิดจากสมบัติความพรุนและพื้นที่ผิวสูง นอกจากนี้ถ่านชีวภาพแกลบข้าวยังช่วยทำให้รากพืชได้รับสารอาหารมากขึ้น สำหรับการเจริญเติบโตของรากและลำต้น เพราะว่าถ่านชีวภาพสามารถสะสมสารอาหารได้ดี โดยเฉพาะเมื่อทำการเลี้ยงปลาและปลูกพืชในระยะเวลานานๆ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำในระบบเลี้ยงปลาเมื่อรากพืชมีการเจริญเติบโตมากและกระจายมากขึ้น



บรรณานุกรม

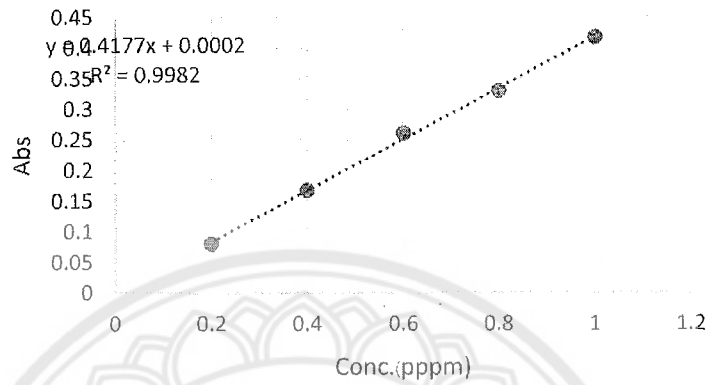
- จุฑาทิพย์ นมะหุต, ผลของแกลบในองค์ประกอบสโตนแวร์, รายงานวิจัย, มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2552.
- วิมลมาศ สดาร์ตน์, การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ, คู่มือการปฏิบัติงานการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ, กลุ่มงานเคมี ส่วนวิจัยและพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์ สำนักงานวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน, 2550.
- สโรชา สมรูป, การผลิตเส้นใยคาร์บอนก้ำมันต์จากเส้นใยใบสับปะรด, รายงานวิจัย, มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2555.
- Abbas, Q., Liu, G., Yousaf, B., Ali, M.U., Ullah, H., Munir, M.A.M., Ruijia Liu, R. Contrasting effects of operating conditions and biomass particle size on bulk characteristics and surface chemistry of rice husk derived-biochars. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 134, 2018, 281-292.
- Awad, Y.M., Lee, S.-E., Bedair M. Ahmed, M.B.M., Vu, N.T., Farooq, M., Kim, I.S., Kim, H.S., Vithanage, M., Usman, A.R.A., Al-Wabel, M., Meers, E., Kwon, E.E., Ok, Y.S. Biochar, a potential hydroponic growth substrate, enhances the nutritional status and growth of leafy vegetables. *Journal of Cleaner Production*. 156 (2017) 581-588.
- APHA, 2005 APHA Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater (21st edn), American Public Health Association, Washington, DC(2005).
- Azat, S., Korobeinyk, A.V., Moustakas, K., Inglezakis, V.J. Sustainable production of pure silica from rice husk waste in Kazakhstan. *Journal of Cleaner Production*, 217, 2019, 352-359.
- Brooks, B.W., Conkle, J.L. Commentary: Perspectives on aquaculture, urbanization and water quality *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 217, 2019, 1-4.
- Carpenter, J.H. The Chesapeake Bay Institute technique for the Winkler dissolved oxygen method. *Limnol. Oceanogr.*, 10 (1), 1965, 141-143.
- Buzby, K.M., Waterland, N.L., Semmens, K.J., Lina, L.-S., Evaluating aquaponic crops in a freshwater flow-through fish culture system. *Aquaculture* 460 (2016) 15-24.
- Dauda, A.B., Ajadi, A., Tola-Fabunmi, A.S., Akinwale, A.O. Waste production in aquaculture: Sources, components and managements in different culture systems. *Aquaculture and Fisheries*, 4(3), 2019, 81-88.
- de Cordoba, M.C.F., Juan Matos, J., Montaña, R., Poon, P.S., Lanfredi, S., Praxedes, F.R., Hernández-Garrido, J.C., Calvino, J.J., Rodríguez-Aguado, E., Rodríguez-Castellón, E., Ania, C.O. Sunlight photoactivity of rice husks-derived biogenic silica. *Catalysis Today*, 328, 2019, 125-135.
- Domeno, I., Irigoyen, I., Muro, J. Comparison of traditional and improved methods for estimating the stability of organic growing media. *Scientia Horticulture*, 130, (2011) 335-340.

- Estim, A., Saufie, S., Mustafa, S. Water quality remediation using aquaponics sub-systems as biological and mechanical filters in aquaculture. *Journal of Water Process Engineering*, 30, 2019, Article 100566.
<http://www.arohouse.com/article/?action=view&catID=0000120&pid=0000257>, คุณภาพน้ำเลี้ยงปลา สืบค้นเมื่อ 19 พฤศจิกายน 2561
- <https://www.epicgardening.com/hydroponic-systems/>, ระบบไฮโดรโปนิคส์ สืบค้นเมื่อ 20 พฤศจิกายน 2561.
- https://www.fisheries.go.th/if-ubon_arnat/web2/images/downloads/21081.pdf, คุณภาพน้ำที่เหมาะสมกับการเลี้ยงปลานิล สืบค้นเมื่อ 19 พฤศจิกายน 2561.
- <http://www.huaysaicenter.org/Uploads/files/เอกสารองค์ประกอบความรู้เกี่ยวกับถ่านชีวภาพB.pdf>, สืบค้นเมื่อ 20 พฤศจิกายน 2561.
- <https://www.kodamakoifarm.com/tips-nitrogen-cycle-koi-pond/>, ไนโตรเจนในน้ำ สืบค้นเมื่อ 20 พฤศจิกายน 2561
- <https://www.organicfarmthailand.com/what-is-aquaponics/>, อควาโปนิคส์ สืบค้นเมื่อ 20 พฤศจิกายน 2561.
- <https://pasusat.com/%E0%B8%9B%E0%B8%A5%E0%B8%B2%E0%B8%AB%E0%B8%A1%E0%B8%AD/>, ปลาหมอ สืบค้นเมื่อ 19 พฤศจิกายน 2561
- <https://puechkaset.com/>, ผักบุ้งจีน สืบค้นเมื่อ 19 พฤศจิกายน 2561
- Martínez, F., Castillo, S., Borrero, C., Pérez, S., Palencia, P., Avilés, M. Effect of different soilless growing systems on the biological properties of growth media in strawberry. *Scientia Horticulturae*, 150, 2013, 59-64.
- Mosa, A., El-Banna, M.F., Gao, B. Biochar filters reduced the toxic effects of nickel on tomato grown in nutrient film technique hydroponic system. *Chemosphere*, 149(2016) 254-262.
- Nuwansi, K.K.T., Verma A.K., Rathore G., Chandra Prakash, Chandrakant M.H., Prabhath G.P.W.A. Utilization of phyto-remediated aquaculture wastewater for production of koi carp (*Cyprinus carpio* var. koi) and gotukola (*Centella asiatica*) in an aquaponics. *Aquaculture*, 507, 2019, 361-369.
- Oladimeji, A.S., Olufeagba, S.O., Ayuba, V.O., Sololmon, S.G., Okomoda, V.T. Effects of different growth media on water quality and plant yield in a catfish-pumpkin aquaponics system. *Journal of King Saud University – Science*. In press, Available online 6 February 2018. xxx (2018) xxx-xxx
- Pan, J., Sun, H., Nduwimana, A., Wang, Y., Zhou, G., Ying, Y., Zhang, R. Hydroponic plate/fabric/grass system for treatment of aquacultural wastewater. *Aquacultural Engineering* 37 (2007) 266-273.
- Pérez-Urrestarazu, L., Lobillo-Eguibar, J., Fernández-Cañero, R., Fernández-Cabanás, V.M. Suitability and optimization of FAO's small-scale aquaponics systems for joint production

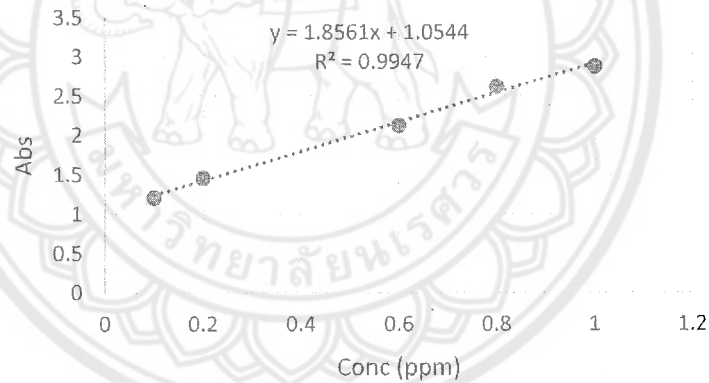
- of lettuce (*Lactuca sativa*) and fish (*Carassius auratus*). *Aquacultural Engineering*, 85, 2019, 129-137.
- Sikawa, D.C., Yakupitiahge, A. The hydroponic production of lettuce (*Lactuca sativa* L) by using hybrid catfish pond water: Potentials and constraints. *Agricultural Water Management* 97 (2017) 1317-1325.
- Suhl, J., Dannehl, D., Kloas, W., Baganz, D., Jobs, S., Scheibe, G., Schmidt, U. Advanced aquaponics: Evaluation of intensive tomato production in aquaponics vs. conventional hydroponics *Agricultural Water Management*, 178, 2016, 335-344.
- Ullah, Z., Man, Z., Khan, A.S., Muhammad, N., Mahmood, H., Ghanem, O.B., Ahmad, P., Shah, M.U.H., Rashid, M.-R., Raheel, M. Extraction of valuable chemicals from sustainable rice husk waste using ultrasonic assisted ionic liquids technology. *Journal of Cleaner Production*, 220, 2019, 620-629.
- Uzunov, I., Uzunova, S., Angelova, D., Gigova, A. Effects of the pyrolysis process on the oil sorption capacity of rice husk. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 98, 2012, 166-176.
- Vaughn, S.F., Dinelli, F.D., Tisserat, B., Joshee, N., Vaughan, M.M., Peterson, S.C. Creeping bent grass growth in sand-based root zones with or without biochar. *Scientia Horticulturae* 197 (2015) 592-596.
- Wen, N., Zhao, Y., Yu, Z., Liu, M. A sludge and modified rice husk ash-based geopolymer: synthesis and characterization analysis. *Journal of Cleaner Production*, 226, 2019, 805-814.
- Wongkiew, S., Hu, Z., Chandran, K., Lee, J.W., Khanal, S.K. Nitrogen transformations in aquaponic systems: A review. *Aquacultural Engineering*, 76, 2017, 9-19.
- Yang, T., Kim, H.-J. Nutrient management regime affects water quality, crop growth, and nitrogen use efficiency of aquaponic systems. *Scientia Horticulturae*, 256, 2019, Article 108619.
- Zou, Y., Hu, Z., Zhang, J., Xie, H. Effect of pH on nitrogen transformation in media-based aquaponics. *Bioresource Technology*, 210 (2016) 81-87

ภาคผนวก ก

กราฟมาตรฐานของไนไตรต์และออร์โทฟอสเฟต



รูปที่ ผ1 กราฟมาตรฐานของไนไตรต์เทคนิค Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 540 nm



รูปที่ ผ2 กราฟมาตรฐานของออร์โทฟอสเฟตเทคนิค Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 880 nm

ภาคผนวก ข

ข้อมูลการเจริญเติบโตของปลาและผักบุง

ตาราง ผ1 น้ำหนักของปลาเฉลี่ยของแต่ละบ่อ

น้ำหนักของปลาเฉลี่ย (g)			
ช่วงครั้งที่	บ่อที่ 1	บ่อที่ 2	บ่อที่ 3
1	2.6	2.3	2.3
2	4.2	2.9	4
3	6.9	4.9	7.1
4	10.7	11.9	13.8

ตาราง ผ2 ข้อมูลผักบุงของแต่ละแปลง

ข้อมูลผักบุงของแต่ละแปลง							
แปลงที่1	ความสูง	จำนวนใบ	น้ำหนักสด	น้ำหนักสดราก	น้ำหนักแห้ง	น้ำหนักแห้งราก	เส้นผ่านศูนย์กลาง
1	19.4	6	1.27	0.98	0.14	0.09	0.3
2	16	6	0.89	0.41	0.1	0.04	0.3
3	16.5	7	0.94	0.67	0.1	0.07	0.3
4	16.2	8	1.04	0.6	0.1	0.06	0.3
5	14	6	0.76	0.63	0.08	0.06	0.2
6	16	6	1.07	0.36	0.12	0.05	0.3
7	15	8	0.91	0.44	0.09	0.04	0.2
8	18	6	1.05	0.61	0.132	0.07	0.2
9	18.3	7	1.14	0.3	0.12	0.04	0.2
10	14	6	0.93	0.42	0.42	0.04	0.2
แปลงที่2							
1	24	8	3.1	1.87	0.39	0.14	1.5
แปลงที่1	ความสูง	จำนวน	น้ำหนัก	น้ำหนัก	น้ำ	น้ำหนัก	เส้นผ่าน

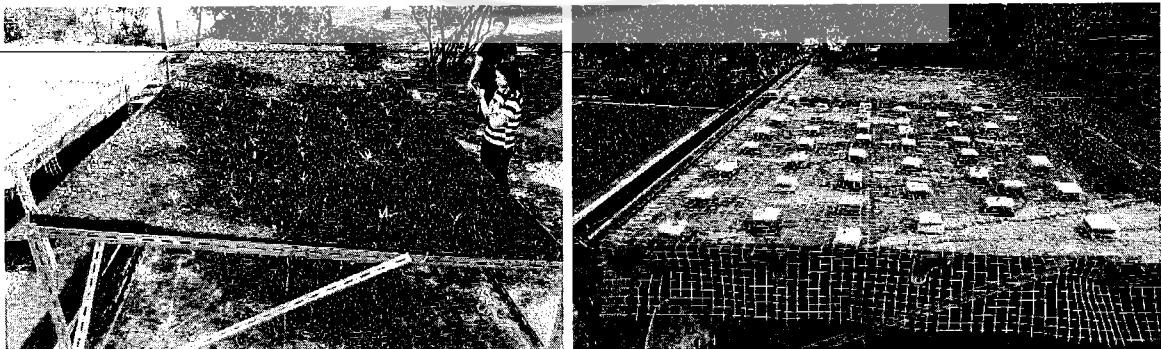
		ใบ	สด	สดรวม	หน้แห้ง	แห้งรวม	ศูนย์กลาง
2	22.5	9	1.76	1.05	0.24	0.08	0.2
3	23.8	9	2.71	1.75	0.37	0.11	0.5
4	24.2	9	2.9	1.77	0.44	0.13	0.5
5	23	9	2.36	2.02	0.33	0.15	0.4
6	25	9	3.59	2.01	0.53	0.17	0.5
7	26	10	3.3	2.35	0.45	0.16	0.4
8	28	10	3.13	3.15	0.52	0.23	0.4
9	19	8	1.03	2	0.17	0.12	0.2
10	21	8	2.21	1.02	0.27	0.1	0.2
แปลงที่3							
1	43.5	17	14.41	4.2	1.33	0.3	1
2	3.7	17	7.15	1.76	0.79	0.14	0.7
3	33.5	6	3.33	0.54	0.31	0.06	0.5
4	25.5	8	2.5	2.29	0.36	0.16	0.3
5	25.5	9	3.04	1.92	0.34	0.14	0.5
6	21.5	9	2.21	0.86	0.2	0.07	0.5
7	25.5	8	1.81	0.23	0.12	0.02	0.2
8	20	8	1.5	0.4	0.15	0.06	0.4
9	21	8	2.2	1.64	0.012	0.06	0.4
10	18	7	0.92	0.34	0.26	0.12	0.2

ภาคผนวก ค

สภาพบ่อเลี้ยงปลาที่ใช้ในการวิจัย



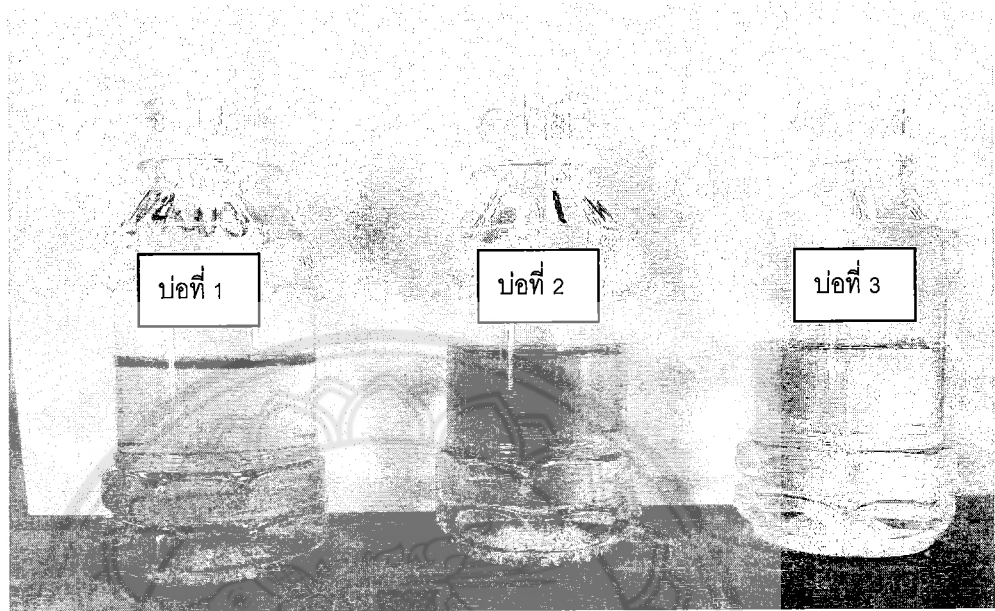
รูปที่ ผ3 ลักษณะบ่อเลี้ยงปลาที่ใช้ในงานวิจัย



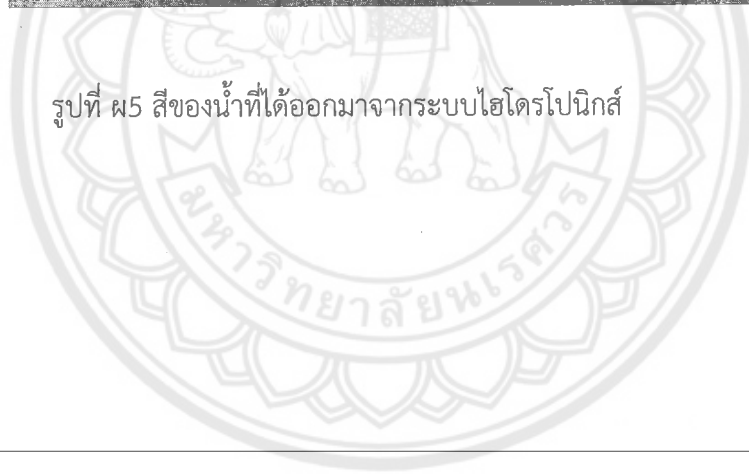
รูปที่ ผ4 ลักษณะแปลงผักที่ใช้ในงานวิจัย

ภาคผนวก ง

ลักษณะน้ำจากบ่อเลี้ยงปลา



รูปที่ ผ5 สีของน้ำที่ได้ออกมาจากระบบไฮโดรโปนิคส์



ภาคผนวก จ

บทความเผยแพร่



25/8/2563

Mail - Sumrit Mopoung - Outlook

7901362: Your manuscript has been accepted

Richard A. Smith <tswj@hindawi.com>

Mon 8/3/2020 2:13 PM

To: Sumrit Mopoung <sumritm@nu.ac.th>

Cc: vijitr udeye <vijitru@nu.ac.th>; supalucky <supalucky@nu.ac.th>; Nonglak Phumyu <nonglakpi@nu.ac.th>;
visaruto2013@gmail.com <visaruto2013@gmail.com>

Dear Dr. Mopoung,

The review process of Research Article 7901362 titled "Water treatment for fish aquaculture system by biochar- supplemented planting panel system" by Sumrit Mopoung, Vijitr Udeye, Supaluck Viruhpintu, Nonglak Yimtragool and Visarut Unhong submitted to The Scientific World Journal has been completed. I am pleased to inform you that your manuscript has now been accepted for publication in the journal.

The publication process of your manuscript will be initiated upon the receipt of electronic files. Please log in to the Manuscript Tracking System at the link below using your username and password, and upload the electronic files of your final accepted version within the next 2-3 days.

http://mts.hindawi.com/author/7901362/upload_files/

The electronic files should include the following:

- 1- Source file of the final accepted manuscript (Word or TeX/LaTeX).
- 2- PDF file of the final accepted manuscript.
- 3- Editable figure files (each figure in a separate EPS/PostScript/Word file) if any, taking into consideration that TIFF, JPG, JPEG, BMP formats are not editable.

If you have deposited your manuscript on a preprint server (e.g. arXiv, bioRxiv, chemRxiv), now would be a good time to update it with the accepted version. If you have not deposited your manuscript on a preprint server, you are free to do so.

Thank you again for submitting your manuscript to The Scientific World Journal.

Best regards,

Richard A. Smith

The Scientific World Journal
Article ID 7901362
Research Article

Water Treatment for Fish Aquaculture System by Biochar-Supplemented Planting Panel System

Sumrit Mopoung^{*},¹ Vijitr Udeye,¹ Supaluck Viruhpintu,² Nonglak Yimtragool,² and Visarut Unhong¹

¹Department of Chemistry, Faculty of Science, Naresuan University, Phitsanulok, Thailand

²Department of Biology, Faculty of Science, Naresuan University, Phitsanulok, Thailand

Correspondence should be addressed to Sumrit Mopoung

Received 9 October 2019; Accepted 3 August 2020

Academic Editor: Richard A. Smith

Copyright © 2020 Sumrit Mopoung et al. This is an open access article distributed under the [Creative Commons Attribution License](#), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract

Rice husk biochars were prepared by carbonization at 400–600°C. The products were analyzed by FTIR, SEM-EDS, BET, and approximate analysis in order to find final products with the best properties and the lowest carbonization temperature. It has been found that the biochar prepared at 500°C, which has 37.86 ± 0.11% yield, 341.0776 m²/g of BET surface area, and 0.136639 cm³/g of micropore volume, is suitable for use as a root supplement in the aquaponic system. The aquaponic systems consist of aquaculture and a hydroponic system with and without biochar supplement. The control experiment consists of an aquaculture and planting panel with biochar supplement disconnected from each other. Tilapia and Chinese morning glory were used for growth studies. The water quality from all aquaculture ponds has also been analyzed at an interval of 10 days for 47 days. The results showed that the growth rates of Tilapia and Chinese morning glory in the aquaponic system with biochar were clearly higher than in the control experiment, which is in accordance with the water quality in each aquaculture pond. However, the growth rates of Tilapia (23.5 g/body vs. 22.7 g/body) and morning glory (3.907 g/stem vs. 2.609 g/stem) in supplemented biochar system tend to be higher than the nonsupplemented biochar system. It has been shown that rice husk biochar can help in treating water in the aquaponic system by increasing the amount of dissolved oxygen in the aquaculture water and conversion of toxic compounds to those beneficial for plant growth.

1. Introduction

Biochar is a carbon-rich material which is produced from the pyrolysis process of biomass in a closed system using the reduction reaction [1]. Biochar materials have high adsorption for water and nutrients and are highly stable [2]. Biochar materials

could increase plant growth by improving the physicochemical and biological properties of soil and retained soil fertility. Furthermore, biochar materials can also remediate organic/inorganic contaminants. Biochar has been used as hydroponic substrate for production of leafy vegetables [1]. It has also been added to sand for improved water and fertilizer retention for plant growth [2]. At present, aquaculture is utilized for fish production and has been very popular in the past decades. It has been developed to increase productivity by increasing the density of fish, which has caused problem of wastewater release to ecology systems [3, 4]. Therefore, it is of interest to develop solutions, which will reduce wastewater problems from aquaculture systems. One solution to this problem is to connect an aquaculture system to a hydroponics system [5], in which hydroponic plants could absorb and uptake soluble compounds from the wastewater [6]. The soluble compounds have two major components. These are nitrogen and phosphorus compounds, which originate from fish feed. The nitrogen and phosphorus are retained in the body of the fish and some quantities are transferred into the culture water [4]. The combination of aquaculture (fish production) and hydroponics (plants production) is called aquaponics, which is beneficial as it reduces the use of resources (water, nutrients, and land) and also reduces the operation area and wastewater discharge to the environment. In addition, the products from aquaponics are organic fruits and vegetables [7, 8]. In an aquaponic system, the aquaculture operation could be benefited by improving the quality of water, which increases stocking densities, or by reducing costs associated with treating the effluent. On the other hand, the hydroponic operation can benefit from the reduction of fertilizer inputs and labor or facilities needed to maintain adequate moisture levels [5]. However, wastewater improvement and water reuse ability in aquaponics vary depending on the hydroponic medium, hydraulic loading rate, plant species, and the plant: fish ratio [9]. One of the problems that occurs in the hydroponic part is the limited ability to remove suspended solids, which is due to the lack of culture media that can trap solids [6]. Growth media for hydroponic system could remove the suspended solids and could as well create a nutrient pool and provide adequate air space for respiration around the plant roots [10]. Cork, rice hulls, peat, coir fiber [11], Palm kernel shells, and periwinkle shells [10] have been used as growth media for hydroponic systems. These growth media are still unstable and less porous than charcoal.

Thus, this research will study the use of rice husk biochar, which is stable and can be produced using simple procedure in high quantity. The rice husk biochar was used as growth medium for hydroponic system in aquaponics. The hydroponic system with rice husk biochar was studied in comparison to hydroponic system without rice husk biochar and only with rice husk biochar for planting. The growth rates of fish and plants and the quality of water in aquaponics were studied.

2. Materials and Methods

2.1. Preparation and Analyzation of Biochar from Rice Husk

The rice husk was carbonized at 400, 500, and 600°C for 1 h. The rice husk biochar products and rice husk were characterized by Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR, Spectrum GX, Perkin Elmer, USA), Scanning Electron Microscope coupled with Energy Dispersive X-Ray Spectrometer (SEM-EDS, a LEO 1455 VP Electron Microscopy, England), and surface area and porosity analyzer using

BET gas adsorption (Micromeritics TriStar II). The approximate analysis of samples was also used for their analysis. The biochar product with the best characteristics and lowest carbonization temperature was collected as growth material for planting panel system.

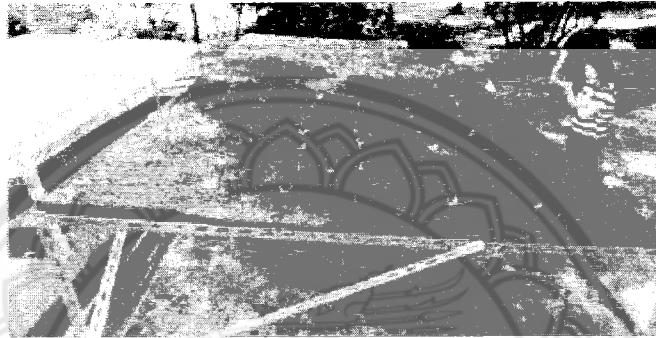
2.2. The Aquaponic Construction

Three aquatic ponds with width, length, and height of 2 m, 2 m, and 70 cm, respectively were constructed using interlocking bricks (10 cm × 10 cm × 20 cm) (Figure 1(a)). A plastic sheet was used to cover the bottom and sides, up to 50 cm depth, of the brick structure to enable water storage (volume 2 m³) inside each pond. Subsequently, three crop panels were also constructed with width and length of 2 m and 2 m, respectively, and a 2% slope. Each panel is 30 cm above the aquatic pond and covered with plastic. The first crop panel (Figure 1(b)) was filled with 15 cm of rice husk biochar and was not connected to an aquatic pond. This panel represents the control experiment. The first aquatic pond also acted as a control experiment. The second crop panel was covered with a net, equipped with planting sponges placed 15 cm apart (Figure 1(c)), and connected to the second aquatic pond. Finally, the third crop panel was filled with 15 cm of rice husk biochar and connected to an aquatic pond (Figure 1(d)). Morning glory (*Ipomoea aquatica*) was planted in each crop panel with individual plant separation of 15 cm × 15 cm. For aquatic system, 200 climbing perch fish (*Anabas testudineus*) were raised in each pond and fed twice a day (morning-evening) with 40% protein in a food mixture which amounted to 3% total weight of the fish. The water in the first and second pond was circulated with a rate flow of 200 L/h using a pump and flowing through the second and third crop panels, respectively. The first pond was constructed in the same way as the second and third ponds but without a connection to a crop panel. The growth rates of morning glory (height and number of leaves) and climbing perch (body weight and body length) for all experiments were measured every week during the 47 days of the experiment. At the same time, the pH (Mettler Toledo), total solids [12], suspended solids [12], nitrite by spectrophotometer (double beam, Jasco V650) at 540 nm, phosphorus in the orthophosphate formed by spectrophotometer at 880 nm, and dissolved oxygen (DO) by titration with sodium thiosulphate [13] of water from all aquatic ponds were also analyzed at an interval of 10 days.

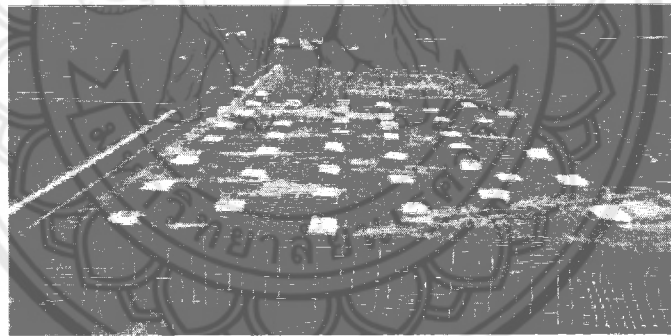
Fish pond



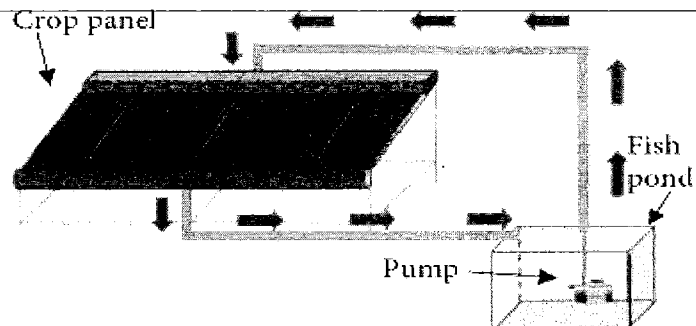
(a)



(b)



(c)



(d)

Figure 1: (a) Aquatic pond, (b) the first crop panel, (c) the second crop panel, and (d) the third crop panel.

3. Results and Discussion

The percent yield of rice husk biochar decreased with increasing carbonization temperature from 400°C to 600°C (Table 1). However, the percent yield of biochar remained steady when the carbonization temperature was increased from 500°C to 600°C. This is because the hemicellulose, cellulose, and lignin decompose at temperatures below 500°C [14]. This is associated with the decrease of volatile matter observed upon increasing the carbonization temperature from 400°C to 500°C. The volatile matter content then remains nearly constant upon the increase of carbonization temperature to 600°C. Therefore, it can be said that the temperature needed to achieve complete carbonization of rice husk is 500°C, which gives a yield of $37.86 \pm 0.11\%$. The high content of fixed carbon and low content of volatile matter (<10%) of rice husk biochar prepared using carbonization at 500°C indicate that the rice husk biochar is stable and suitable for use as adsorbent in the environment [14]. So, the rice husk biochar prepared at 500°C was collected as supplemented material for the hydroponic system.

Table 1: Proximate analysis and % yield of rice husk and rice husk biochar products.

Sample	Proximate analysis				% yield
	% moisture content	% volatile matter	% fixed carbon	% ash	
Rice husk	10.08 ± 0.62	69.98 ± 2.85	9.85 ± 0.68	10.08 ± 0.27	—
Rice husk biochar prepared at 400°C	2.83 ± 0.31	20.13 ± 1.32	56.75 ± 0.54	20.29 ± 0.43	43.23 ± 0.10
Rice husk biochar prepared at 500°C	2.81 ± 0.57	7.36 ± 0.72	68.64 ± 2.32	21.19 ± 0.36	37.86 ± 0.11
Rice husk biochar prepared at 600°C	2.61 ± 0.52	5.85 ± 0.75	69.46 ± 2.74	22.08 ± 0.31	37.41 ± 0.38

3.1. Result of FT-IR Analysis

The FTIR transmission spectrum of rice husk (Figure 2) shows bands at 3239 cm^{-1} , 2919 cm^{-1} , 1745 cm^{-1} , and 1660 cm^{-1} corresponding to ν O-H of an acid or alcohol, the aliphatic and hydroaromatic residual C-H alkyl chains of cellulose, hemicellulose and lignin, carbonyl groups in the stretching mode of aldehydes and ketones in the association of hemicelluloses with lignin, and carbonyl (ν -C=O) of the esters in hemicellulose, and C=C bonds in organic components [15], respectively. The bands at 1745 cm^{-1} and 1660 cm^{-1} are also related to the elastic vibrations of the CO bond in carboxyl groups [16]. The spectrum also contains other bands at 1040 cm^{-1} , 806 cm^{-1} , and 465 cm^{-1} , which correspond to the biogenic silica [14, 17–19]. The band at 1040 cm^{-1} is associated with the asymmetric stretching vibration of Si-O-Si in the biogenic silica. This band also corresponds to ν CO and δ CO [16]. Finally, the bands at 806 cm^{-1} and 465 cm^{-1} correspond to the symmetric vibrations of the Si-O bonds in the silicon-oxygen tetrahedrons (SiO_4) and Si-O-Si bending vibrations [15]. After the carbonization process at 400–600°C, the FTIR bands of the rice husk biochar obtained at 400°C (Figure 2) show a band at 1090 cm^{-1} , which shifted from 1040 cm^{-1} and corresponds to the biogenic silica. It is a characteristic of the tridymite, which is due to the ν Si-O. The peaks at 804 cm^{-1} and 465 cm^{-1} related to the ring structure of the SiO_4 tetrahedra of silica belonging to the cristobalite type and δ Si-O-Si, respectively [16]. Furthermore, it was observed that the bands of ν O-H, ν C-H,

and $\nu\text{C}=\text{O}$ of hemicellulose, cellulose, and lignin disappeared, while the bands of $\nu\text{C}=\text{O}$ (1710 cm^{-1}) and $\nu\text{C}=\text{C}$ (1615 cm^{-1}) began to appear. This shows that organic substances have decomposed and that aromatic carbon structures begin to develop at 400°C . Reactions leading to the development of aromatic structures during carbonization are dehydration, demethylation, demethoxylation, decarbonylation, and decarboxylation of hydroxyl groups and other oxygen-containing functional groups. The results of these reactions cause the development of $\text{C}=\text{C}$ bonds and smaller aromatic rings [14], which is confirmed by the increased intensity of the band at 1615 cm^{-1} . Similarly, the rice husk biochars prepared at $500\text{--}600^\circ\text{C}$ (Figure 2) show more characteristics of biochar and silica with dominant $\nu\text{C}=\text{O}$, $\nu\text{C}=\text{C}$, $\nu\text{Si}-\text{O}$, and $\delta\text{Si}-\text{O}-\text{Si}$ bands. The bands of $\nu\text{C}=\text{O}$, $\nu\text{C}=\text{C}$, especially, become more separated changing their positions from 1618 cm^{-1} to 1708 cm^{-1} and 1615 cm^{-1} to 1755 cm^{-1} . This indicates the formation of more stable condensed carbon structures.

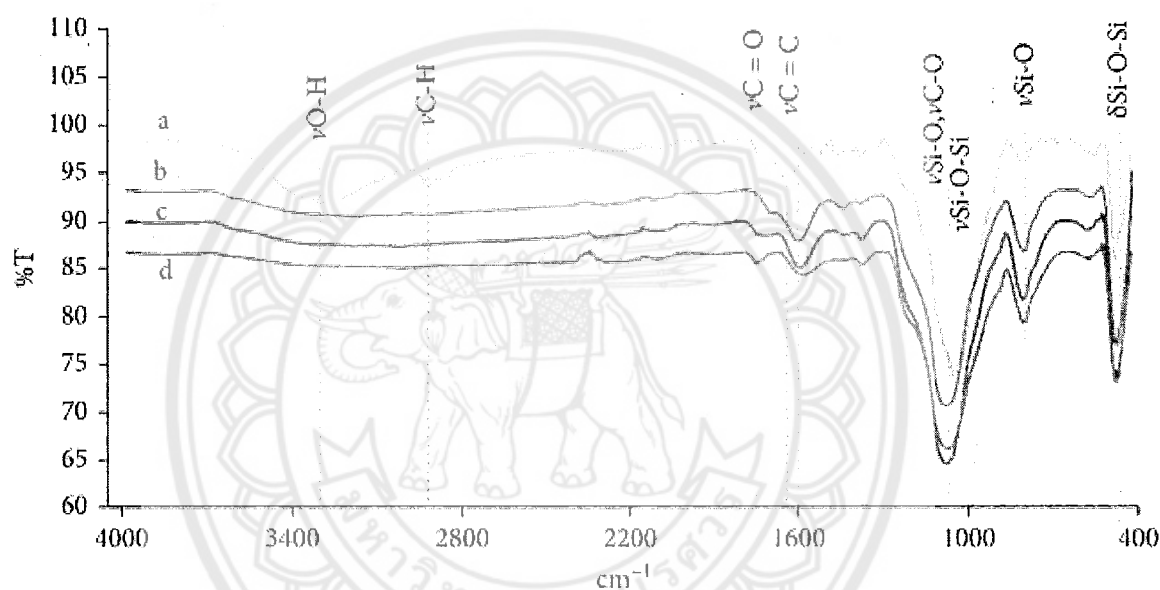


Figure 2: FTIR transmission spectra of (a) rice husk, (b) rice husk biochar at 400°C , (c) rice husk biochar at 500°C , and (d) rice husk biochar at 600°C .

3.2. Result of SEM-EDS Analysis

Figure 3 shows SEM images of rice husk biochar prepared by carbonization at temperatures between 400°C and 600°C . The image showed that rice husk biochar prepared at 400°C (Figure 3(a)) has smooth embossed surface with some small particles. However, increasing the carbonization temperature to 500°C and 600°C results in the formation of hollow tunnels with open pores. The presence of small particles on the walls of the tunnels of the biochar can be observed. These results are related to the degradation of volatile matter, for example, cellulose, hemicellulose, and lignin. For example, hemicellulose decomposes between 220°C and 350°C , cellulose decomposes between 315°C and 400°C , and lignin decomposes above 400°C [14]. It has been reported that the completion of charcoal formation is due to the complete pyrolysis of lignin [16]. Therefore, the open pores are observed in rice husk biochars prepared at temperatures above 400°C but did not appear on the surface of rice husk biochar prepared at 400°C . These results correspond to the results of FTIR in which the functional groups belonging to cellulose, hemicellulose, and lignin of biochar

disappear for materials prepared at 500°C and 600°C. As can be seen from the results of EDS (Table 2), the carbon content of rice husk biochar materials prepared at 500–600°C is constant with low oxygen content. This confirms that the degree of carbonization of rice husk is completed at about 500°C. In addition, the amount of Si of biochar is quite high which is consistent with the results of FTIR.

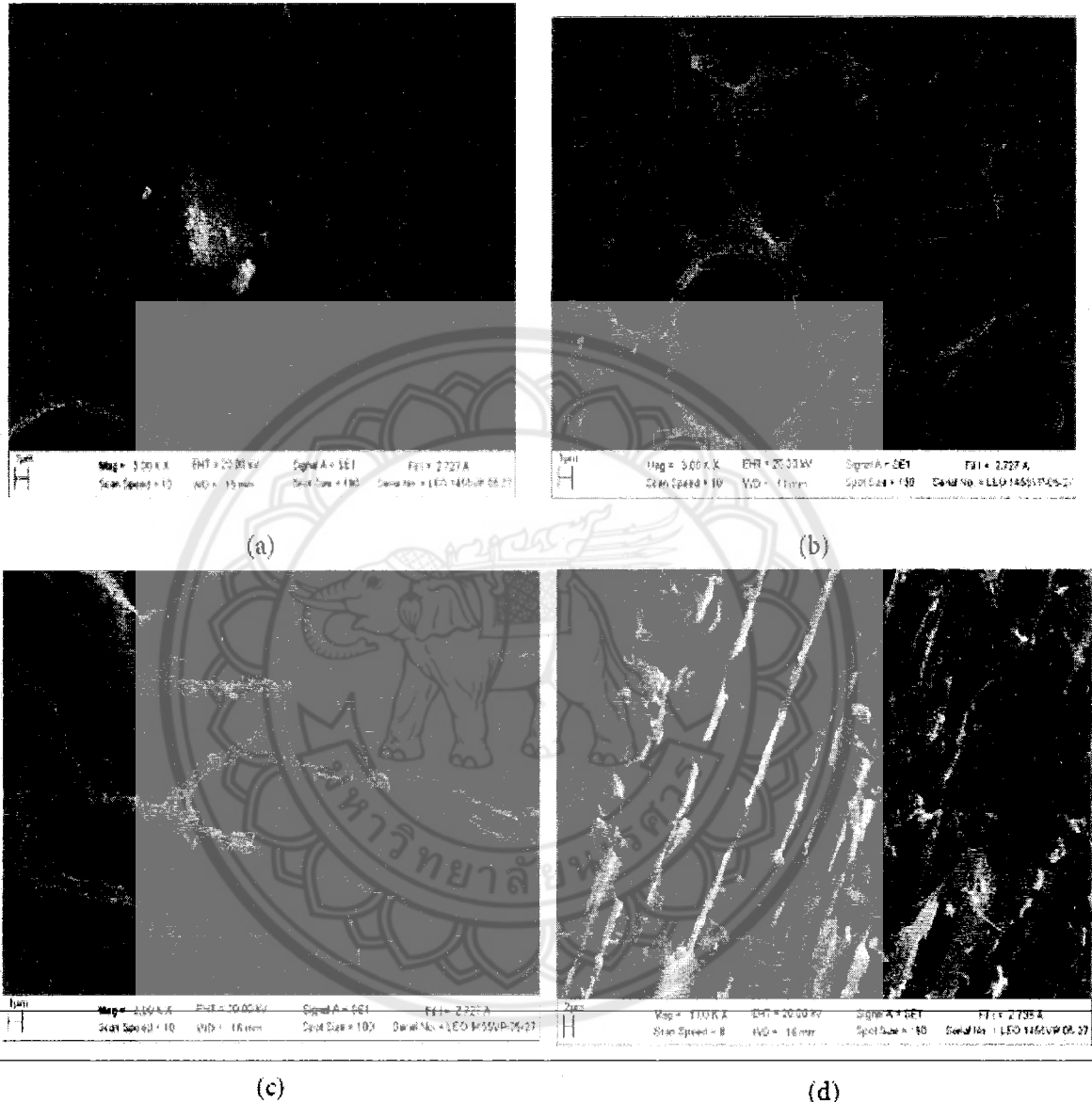


Figure 3: SEM images of (a) rice husk biochar prepared at 400°C, (b) rice husk biochar prepared at 500°C, (c) rice husk biochar prepared at 600°C, and (d) rice husk biochar prepared at 500°C after being used as supplemented plant root for 47 days.

Table 2: Elemental composition of rice husk biochar from EDS.

Samples of biochar prepared at	Elements composition (%wt)					
	C	O	Si	K	P	Ca
400°C	74.62	22.02	2.94	0.42	—	—
500°C	77.44	16.54	5.39	0.63	—	—
600°C	78.41	13.71	6.95	0.92	—	—
After use	62.20	18.90	16.92	—	1.11	0.86

3.3. Surface Area and Porosity Analysis of Rice Husk Biochar

Data on surface area and porosity of rice husk biochar are shown in Table 3. It can be seen that the surface area and pore volume of biochar prepared at 400°C are very low. This confirms that the carbonization of rice husk at 400°C results in incomplete biochar production which corresponds to the results of the above analyses especially images from SEM (Figure 3(a)). For biochars prepared by carbonization of rice husk at 500–600°C, the surface area and pore volume (micropore and mesopore) are drastically increased. The content of mesopores, especially, increases upon increasing the carbonization temperature from 500°C to 600°C. This is caused by complete degradation of volatile matter above 400°C. Furthermore, the surface area and volume of mesopores are highly increased between 500°C and 600°C. This is the result of secondary decomposition of the biochar components together with the collapse of the microporous structures, which consequently pave the way for the formation of the mesoporous structure when the pyrolysis temperature is increased [14]. However, surface area and pore volume of rice husk biochars prepared at 500–600°C are still low. This may be caused by the fact that the pores of the biochar contain fine particles and ash as shown in the SEM image (Figures 3(b) and 3(c)).

Table 3: Surface area and porosity of rice husk biochar by BET.

Samples of biochar prepared at	BET surface area (m ² /g)	Micropore volume (cm ³ /g)	Surface area of pores between 17 Å and 3,000 Å (m ² /g)	Volume of pores between 17 Å and 3,000 Å (cm ³ /g)
400°C	7.6311	0.000278	2.2491	0.006805
500°C	341.0776	0.136639	23.0061	0.024664
600°C	414.5242	0.149359	31.7760	0.025080

3.4. Water Analysis

Table 4 shows the data of water analysis resulting from aquatic ponds numbers 1–3 on 7th–47th days. This shows that the supplementation of biochar in the plant panel connected to the aquatic pond (number 3) could reduce the total solid, suspended solid, nitrite, and orthophosphate content in water samples as compared to the aquatic pond (number 1) and aquatic pond connect to hydroponic system without rice husk biochar (number 2) while it could increase the dissolved oxygen (DO) content in the

water samples. This is because the suspended solids, which were the cause of water turbidity [8], were filtered by biochar and plant roots while dissolved solid, nitrite, and orthophosphate were adsorbed by the rice husk biochar and absorbed by plant root for growth. However, this content is more reduced after 17th day. This is attributed to filtering and absorption by root of the Chinese morning glory after full growth. The suspended solid was more extensively filtered as there are more roots, which have spread all over the biochar, while some of the dissolved solids, nitrite, and orthophosphate were used for the growth of the root, stem, and leaf of Chinese morning glory as well as bacteria [20]. This phenomenon has occurred in the aquatic pond connected to the hydroponic system without rice husk biochar (number 2) as well. It can be seen that the nitrite content in water of the aquatic pond connect to plant panel with rice husk biochar has a value not exceeding the specified (2.0 mg/L) for fish pond water [20]. This shows that supplementing biochar has an important role in the elimination of these substances in aquatic pond. However, the hydroponic system without biochar can also reduce the nitrite amount below 2.0 mg/L for a substantial amount of time. This is because, during the long planting time, the Chinese morning glory root becomes enlarged, which can increase the surface area for absorption of nitrite (in nitrate form that is converted from nitrite by nitrification). The content of orthophosphate has increased steadily with experimental duration for all aquaponic ponds. This is because plants use high amount of phosphate for root growth at the early stage of development [20]. The dissolved oxygen value exhibits an increasing trend from pond 1 to pond 3. There were water circulating systems, which can increase contact of water and atmosphere air, installed in all ponds. The addition of biochar in the plant bed system, especially, can increase the contact surface area between water and air. This is caused by high porosity and surface area of the biochar that can be a channel for air and create contact surfaces. In all cases, the DO levels are higher than the lowest levels (5 mg/L) required for warm water fish farming [8]. However, the low DO in aquatic pond number 1 is due to a higher microorganism activity and higher decomposition of soluble solids, which use high amounts of oxygen [21]. Finally, the pH values of the aquatic waters in all ponds are in the very weakly acidic to neutral range. The value increases slightly from pond 1 to pond 3. It shows that acidic substances made by fish farming (CO₂ from fish breathing) have been eliminated by absorption in the plants and the adsorption on the biochar. However, the pH values of the water from all fish ponds are still within the limited range (6.5–9.0) which is an optimum condition for the conversion of ammonia to nitrite by bacteria. It is also in the normal range for the hydroponic system, which is generally between 5 and 7.5 [20].

Table 4: Total solids, suspended solids, nitrite, orthophosphate, dissolved oxygen, and pH of water in aquatic ponds and hydroponic system.

Pond number	Total solids (mg/L)	Suspended solids (mg/L)	Nitrite (mg/L)	Orthophosphate (mg/L)	Dissolved oxygen (mg/L)	pH
7 th day						
1	162	94	1.2083	0.2347	5.34	6.542
2	150	80	0.9439	0.2234	6.35	6.568
3	132	54	0.1613	0.1435	6.41	6.983
17 th day						
1	204	172	2.1611	0.3253	5.73	6.573
2	83	96	1.1123	0.2023	6.65	6.751
3	56	43	0.1216	0.1364	7.34	7.163
27 th day						
1	290	228	3.6583	0.3425	5.54	6.625
2	72	64	2.8732	0.1958	6.52	6.356
3	42	34	0.1486	0.1743	7.31	6.923
37 th day						
1	328	280	3.0708	0.4173	5.38	6.831
2	60	47	1.6521	0.2042	6.75	6.259
3	36	25	0.1209	0.1725	6.40	7.038
47 th day						
1	373	302	3.1937	0.4264	5.30	6.878
2	43	32	1.6190	0.2273	6.78	7.078
3	35	28	0.1641	0.1755	7.40	7.048

Pond number 1 = aquatic pond, pond number 2 = aquatic pond connect to hydroponic system without rice husk biochar, and pond number 3 = aquatic pond connect to planting panel with rice husk biochar.

4. Growth of Plant and Fish

4.1. Growth of Plant

Table 5 shows data for the growth of the Chinese morning glory after planting for 47 days (normally, it takes only 21 days to grow until harvesting). It can be seen that all of the growth parameters of the Chinese morning glory for crop panel number 3 (supplemented with rice husk biochar and connected to aquatic pond) are higher than crop panel number 1 (plant bed supplemented with rice husk biochar and disconnect from aquatic pond) and crop panel number 2 (without biochar and connected to aquatic pond). The growth of the Chinese morning glory in crop panel number 1 is low. This is because crop panel number 1, which is a control experiment, was not supplemented with a fertilizer and did not have water from the circulating aquatic system. However, the growth parameters of both crop panels numbers 2 and 3 are almost equal. This shows that the Chinese morning glory of both crop panels received roughly equal number of nutrients for growth from the circulating water. It has been shown that high plant growth results in a large number of substances in the water being used. Long plant roots, especially, which have a high surface area could absorb nutrients with high efficiency. As reported by Estim et al. [20], plants with larger root surface area provide greater surface area for attachment of microbial organisms that convert ammonia to nitrite and nitrite to nitrate. In addition, high concentration of DO

is one of the factors that could be leading to increased mass of the plants. It can be seen that the amount of nitrite in the aquatic ponds 2 and 3 is low in comparison to aquatic pond 1, while the DO is high. Moreover, using rice husk biochar as a root supplement increased the efficiency of water treatment and nutrient absorption of plant roots by providing surface area for attachment of bacteria. Furthermore, considering the plant root growth, it can be seen that the plant roots in aquatic pond 2 exhibit higher growth than the plant roots in aquatic pond 3. This may be due to the use of sponge as a root supplement for plant panel 2, which is not distributed completely throughout planting panels, causing limited amount of water around the roots. On the other hand, the plant panel connected to aquatic pond 3 used rice husk biochar to spread water evenly in the full area of the plant panel. In this panel, water and nutrient absorption proceed efficiently, which facilitates the beneficial bacterial activity [20]. Therefore, the plant roots in the plant panel 2 were more dispersed than in the plant panel 3. The growth of the stems and leaves in the planting panels 2 and 3 is high due to the high growth of plant fine roots [22].

Table 5: The results of the growth measurement of the morning glory after 47 days.

Crop panel number	Stem height (cm)	Number of leaves (stem)	Fresh stem weight (g/stem)	Fresh root weight (g/stem)	Dried stem weight (g/stem)	Dried root weight (g/stem)	Trunk diameter (cm)
1	16.34	6.6	1.000	0.542	0.1402	0.0560	0.25
2	23.65	8.9	2.609	1.899	0.3710	0.1390	0.48
3	23.77	9.7	3.907	1.418	0.3872	0.1130	0.47

4.2. Growth of Fish

Figure 4 shows the graph of fish growth over the 47 days. The graph shows that the growth of fish in pond number 1 (Figure 4) is slower than in ponds numbers 2 and 3 (Figure 4) throughout the trial period. This difference between pond 1 and ponds 2 and 3 becomes more evident with increasing farming time. The growth of fish in ponds numbers 2 and 3 are slightly different and tend to come closer together with extended periods of time. This is because of the good quality of water in aquatic culture pond numbers 2 and 3, which is caused by plants absorbing compounds that are toxic to fish from aquatic water. This can be seen from the good growth of the plants. Therefore, the resulting water quality is better for the fish growth in aquatic ponds 2 and 3 in comparison to aquatic pond 1. For aquatic pond 1, water is not passed through the planting panel and therefore substances which can be toxic to fish are not being eliminated in this case. These effects cause the fish to have higher stress. For aquatic ponds 2 and 3, fish in both aquatic ponds grow with similar rate, especially at longer time points. This is because the plant roots have spread more extensively in the planting panel 2 at later times. However, the growth of fish in aquatic pond 3 is still likely better than aquatic pond 2. This shows that rice husk biochar has effect on water treatment as it provides surface area for attachment of bacteria that help in conversion of toxic chemicals into nontoxic substances, improving water quality and absorption of nutrients through the plant roots [20].

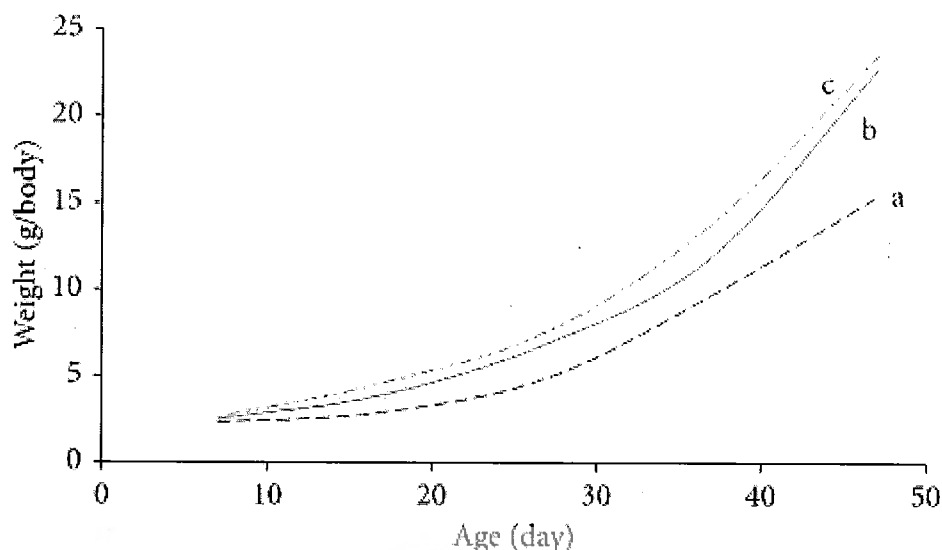


Figure 4: Graph showing the growth of fish by the time in (a) pond number 1, (b) pond number 2, and (c) pond number 3.

4.3. SEM and EDS of Biochar after Being Used for Water Treatment

Figure 3(d) and Table 2 show the SEM image and elemental composition of rice husk biochar prepared at 500°C after its use as supplemental plant root material for 47 days. The results indicate that some mass of biochar has been destroyed, which may be caused by insertion of the plant fibrous roots and swelling with water. As a result, decreased amount of C and increased amount of Si are observed. In addition, the amount of O is also increased in the used material, which may be related to the increase in DO values in aquatic water and oxidation of plant roots. The contents of P and Ca are derived from the feed digestion by fish, which may get accumulated on the biochar.

5. Conclusion

Investigation of the preparation of biochar at carbonization temperatures in the range 400–600°C found that the biochar prepared at 500°C had stable and porous properties making it suitable to act as root supplement in the planting system. The biochar material was prepared with the yield of $37.86 \pm 0.11\%$. Using this biochar as a root supplement in the aquaponic system indicated that the growth of Tilapia and Chinese morning glory was increased in its presence in comparison to experiments without the inclusion of the biochar. Clear differences are observed especially with the control systems of isolated aquaculture and planting panel, where the growth of both Tilapia and morning glory was clearly retarded. Rice husk biochar has improved the water quality in the aquaculture system by helping to maintain the DO level above the specified limit of 6.40–7.40 mg/L while the nitrite content remained below the toxicity level of 0.1216–0.1641 mg/L. The biochar, also a tendency, reduces the number of total solids and suspended solids in the water. The biochar can act as a filter and adsorbent due to its porosity and high surface area. Rice husk biochar also helped plant roots get more nutrients for root and stem growth as the biochar is able to store nutrients well. In this regard, as the time frame for fish farming and plant growth in the aquaponic system increases, the efficiency of water treatment in the system is improved as the roots of plants grow and spread out more.

Data Availability

The data used to support the findings of this study are included within the article.

Conflicts of Interest

The authors declare that there are no conflicts of interest regarding the publication of this paper.

Authors' Contributions

Sumrit Mopoung designed the research plan, organized the study, and wrote of all paragraphs. Vijitr Udeye and Visarut Unhong are coresearchers who have reported and analyzed the data presented in this paper. Supaluck Viruhpintu and Nonglak Yimtragool are coresearchers who have supervised animal operations for scientific purposes in studying the growth of Tilapia.

Acknowledgments

The authors acknowledge Science Lab Center, Faculty of Science, Naresuan University, for all of the analysis. This research was under the supervision of the Committee on Animal Execution for Science, Naresuan University (project no. NU-AQ610718 and certification no. 61 61 00 007). The National Research Council of Thailand and Naresuan University are financial supporters under project code R2562B062.

References

1. Y. M. Awad, S.-E. Lee, M. B. M. Ahmed et al., "Biochar, a potential hydroponic growth substrate, enhances the nutritional status and growth of leafy vegetables," *Journal of Cleaner Production*, vol. 156, pp. 581–588, 2017.
2. S. F. Vaughn, F. Dan Dinelli, B. Tisserat, N. Joshee, M. M. Vaughan, and S. C. Peterson, "Creeping bentgrass growth in sand-based root zones with or without biochar," *Scientia Horticulturae*, vol. 197, pp. 592–596, 2015.
3. B. W. Brooks and J. L. Conkle, "Commentary: perspectives on aquaculture, urbanization and water quality," *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, vol. 217, pp. 1–4, 2019.
4. A. B. Dauda, A. Ajadi, A. S. Tola-Fabunmi, and A. O. Akinwole, "Waste production in aquaculture: sources, components and managements in different culture systems," *Aquaculture and Fisheries*, vol. 4, no. 3, pp. 81–88, 2019.
5. K. M. Buzby, N. L. Waterland, K. J. Semmens, and L.-S. Lin, "Evaluating aquaponic crops in a freshwater flow-through fish culture system," *Aquaculture*, vol. 460, pp. 15–24, 2016.
6. J. Pan, H. Sun, A. Nduwimana et al., "Hydroponic plate/fabric/grass system for treatment of aquacultural wastewater," *Aquacultural Engineering*, vol. 37, no. 3, pp. 266–273, 2007.
7. S. Wongkiew, Z. Hu, K. Chandran, J. W. Lee, and S. K. Khanal, "Nitrogen transformations in aquaponic systems: a review," *Aquacultural Engineering*, vol. 76, pp. 9–19, 2017.
8. L. Pérez-Urrestarazu, J. Lobillo-Eguibar, R. Fernández-Cañero, and V. M. Fernández-Cabanás, "Suitability and optimization of FAO's small-scale aquaponics systems for joint production of lettuce (*Lactuca sativa*) and fish (*Carassius auratus*)," *Aquacultural Engineering*, vol. 85, pp. 129–137, 2019.

9. K. K. T. Nuwansi, A. K. Verma, G. Rathore, C. Prakash, M. H. Chandrakant, and G. P. W. A. Prabhath, "Utilization of phytoremediated aquaculture wastewater for production of koi carp (*Cyprinus carpio* var. koi) and gotukola (*Centella asiatica*) in an aquaponics," *Aquaculture*, vol. 507, pp. 361–369, 2019.
10. A. S. Oladimeji, S. O. Olufeagba, V. O. Ayuba, S. G. Sololmon, and V. T. Okomoda, "Effects of different growth media on water quality and plant yield in a catfish-pumpkin aquaponics system," *Journal of King Saud University–Science*, vol. 32, no. 1, pp. 60–66, 2020, In press.
11. F. Martínez, S. Castillo, C. Borrero, S. Pérez, P. Palencia, and M. Avilés, "Effect of different soilless growing systems on the biological properties of growth media in strawberry," *Scientia Horticulturae*, vol. 150, pp. 59–64, 2013.
12. APHA, 2005 APHA Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater, American Public Health Association, Washington DC, USA, 21st edition, 2005.
13. J. H. Carpenter, "The Chesapeake bay institute technique for the Winkler dissolved oxygen method," *Limnology and Oceanography*, vol. 10, no. 1, pp. 141–143, 1965.
14. Q. Abbas, G. Liu, B. Yousaf et al., "Contrasting effects of operating conditions and biomass particle size on bulk characteristics and surface chemistry of rice husk derived-biochars," *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, vol. 134, pp. 281–292, 2018.
15. M. C. F. De Cordoba, J. Matos, R. Montaña et al., "Sunlight photoactivity of rice husks-derived biogenic silica," *Catalysis Today*, vol. 328, pp. 125–135, 2019.
16. I. Uzunov, S. Uzunova, D. Angelova, and A. Gigova, "Effects of the pyrolysis process on the oil sorption capacity of rice husk," *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, vol. 98, pp. 166–176, 2012.
17. S. Azat, A. V. Korobeinyk, K. Moustakas, and V. J. Inglezakis, "Sustainable production of pure silica from rice husk waste in Kazakhstan," *Journal of Cleaner Production*, vol. 217, pp. 352–359, 2019.
18. N. Wen, Y. Zhao, Z. Yu, and M. Liu, "A sludge and modified rice husk ash-based geopolymer: synthesis and characterization analysis," *Journal of Cleaner Production*, vol. 226, pp. 805–814, 2019.
19. Z. Ullah, Z. Man, A. S. Khan et al., "Extraction of valuable chemicals from sustainable rice husk waste using ultrasonic assisted ionic liquids technology," *Journal of Cleaner Production*, vol. 220, pp. 620–629, 2019.
20. A. Estim, S. Saufie, and S. Mustafa, "Water quality remediation using aquaponics sub-systems as biological and mechanical filters in aquaculture," *Journal of Water Process Engineering*, vol. 30, Article ID 100566, 2019.
21. J. Suhl, D. Dannehl, W. Kloas et al., "Advanced aquaponics: evaluation of intensive tomato production in aquaponics vs. conventional hydroponics," *Agricultural Water Management*, vol. 178, pp. 335–344, 2016.
22. T. Yang and H. J. Kim, "Nutrient management regime affects water quality, crop growth, and nitrogen use efficiency of aquaponic systems," *Scientia Horticulturae*, vol. 256, Article ID 108619, 2019.

ภาคผนวก ฉ

กิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการนำผลจากโครงการไปใช้ประโยชน์

โครงการในแผนงานถ่ายทอดเทคโนโลยี

กิจกรรมอบรมโครงการการเลี้ยงปลาหมอร่วมกับการปลูกผักใบโดยการบำบัดน้ำด้วยถ่านแกลบข้าว
ผู้รับผิดชอบและหรือผู้ร่วมโครงการ

รศ.ดร.สัมพันธ์ ไม้พวง

ผศ. ดร. วิจิตร อุดอ้าย

วัตถุประสงค์

1. เพื่อส่งเสริมให้เกษตรกรกลุ่มปลูกพืชผักอินทรีย์มีทักษะการปลูกพืชผักใบร่วมกับการเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน

กลุ่มเป้าหมาย สมาชิกสหกรณ์เพื่อการตลาดอาหารปลอดภัยกรีนมาร์เก็ตพิษณุโลก จำกัด ตำบลพันเสา อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก จำนวน 18 ราย

พื้นที่ดำเนินการ ห้องประชุมเทศบาลตำบลพันเสา ตำบลพันเสา อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก

ระยะเวลาดำเนินการ วันที่ 7 กันยายน 2562 เวลา 8.00-17.00

งบประมาณในการดำเนินงานโครงการอบรม

รายการ	รายละเอียด	จำนวนเงิน (บาท)
ค่าตอบแทน	1 ค่าตอบแทนวิทยากร (6 ชั่วโมงx600 บาท)	3,600
ค่าใช้จ่าย	1 ค่าอาหาร (18 คน x 80 บาทx1 วัน)	1,440
	2 ค่าอาหารว่างและเครื่องดื่ม (18 คน x 25 บาท x 2 มื้อ x 1 วัน)	420
ค่าวัสดุ	1 ค่าวัสดุสำนักงาน	6,000
	2 ค่าวัสดุการเกษตร	5,000
	3 วัสดุงานบ้านงานครัว	5,000
	4 ค่าวัสดุอื่นๆ	1,000
ค่าจ้างเหมา	1 ค่าถ่ายเอกสาร	2,000
บริการ	2 ค่าจ้างพิมพ์งาน	2,000
ค่าใช้จ่ายอื่นๆ		3,900
รวม	สามหมื่นสามร้อยหกสิบบาทถ้วน	30,360

หมายเหตุตัวเลขเฉลี่ยทุกรายการ

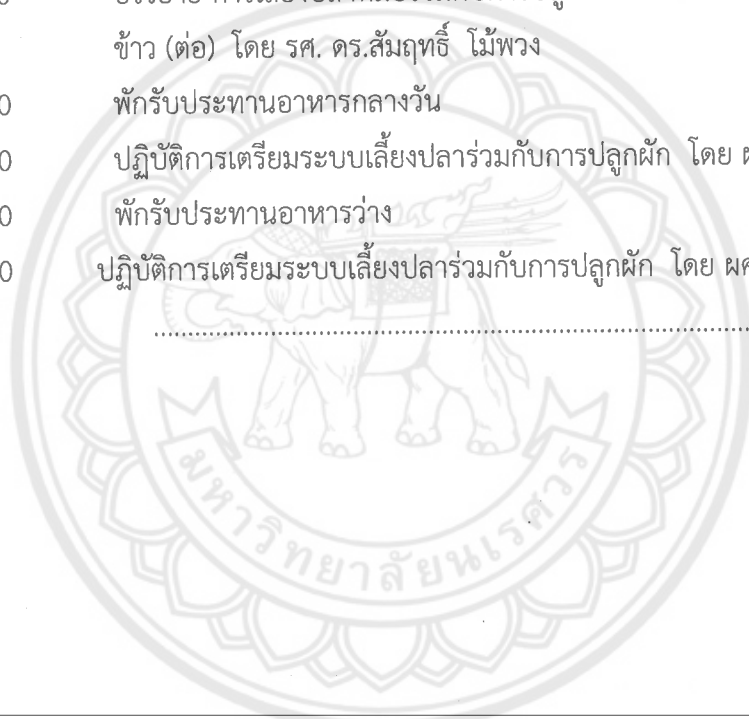
9. ผลที่คาดว่าจะได้รับ มีเกษตรกรเข้าร่วมโครงการ 18 คน

กำหนดการอบรมโครงการการเลี้ยงปลาหมอร่วมกับการปลูกผักใบโดยการบำบัดน้ำด้วยถ่านแกลบข้าว

วันเสาร์ ที่ 7 กันยายน 2562

ณ ห้องประชุมเทศบาลตำบลพันเสา ตำบลพันเสา อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก

8.00-8.20 น.	ลงทะเบียน
8.20-8.30	ความเป็นมาและจุดประสงค์ของโครงการฯ โดย รศ.ดร.สัมพันธ์ ไม้พวง
8.30-10.30	บรรยาย การเลี้ยงปลาหมอร่วมกับการปลูกผักใบโดยการบำบัดน้ำด้วยถ่านแกลบข้าว โดย รศ. ดร.สัมพันธ์ ไม้พวง
10.30-10.45	พักรับประทานอาหารว่าง
10.45-12.00	บรรยาย การเลี้ยงปลาหมอร่วมกับการปลูกผักใบโดยการบำบัดน้ำด้วยถ่านแกลบข้าว (ต่อ) โดย รศ. ดร.สัมพันธ์ ไม้พวง
12.00-13.00	พักรับประทานอาหารกลางวัน
13.00-14.30	ปฏิบัติการเตรียมระบบเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกผัก โดย ผศ.ดร.วิจิตร อุดอ้าย
14.30-14.40	พักรับประทานอาหารว่าง
14.40-17.00	ปฏิบัติการเตรียมระบบเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกผัก โดย ผศ.ดร.วิจิตร อุดอ้าย



ภาคผนวก ข

รายชื่อเกษตรกรสมาชิกสหกรณ์เพื่อการตลาดอาหารปลอดภัยกรีนมาร์เก็ตพิษณุโลก จำกัด เข้ารับการอบรมโครงการการเลี้ยงปลาหมอร่วมกับการปลูกผักใบโดยการบำบัดน้ำด้วยถ่านแกลบข้าว

สมาชิกกลุ่มปลูกพืชผักเกษตรอินทรีย์

ที่	ชื่อ - นามสกุล	หมายเลขบัตรประชาชน	ที่อยู่	เบอร์โทรศัพท์	ตำแหน่ง
1	พจนวาท คุ้มเมือง	315030000448	45/1 ม.3 ต.เนินทราย อ.เมือง	081-878081	ผู้ประสานงาน
2	พจนวาทศรี คุ้มเมือง	3150300081919	48/1 ม.3 ต.เนินทราย อ.เมือง	081-644491	รองประธานฯ
3	พจนวาทศรี คุ้มเมือง	3150400139688	42/2 ม.3 ต.เนินทราย อ.เมือง		กรรมการฯ
4	พจนวาทศรี คุ้มเมือง	3150400384289	41 ม.3 ต.เนินทราย อ.เมือง	081-843268	ผู้ดูแลฯ
5	พจนวาทศรี คุ้มเมือง	3150400861971	21/1 ม.3 ต.เนินทราย อ.เมือง	081-7997341	ผู้ดูแลฯ (ตลาด)
6	พจนวาทศรี คุ้มเมือง	3150400855050	41/1 ม.3 ต.เนินทราย อ.เมือง	089-276887	"
7	พจนวาทศรี คุ้มเมือง	3150400866053	41/1 ม.3 ต.เนินทราย อ.เมือง	081-7995192	ผู้ดูแลฯ (สวนไม้ผล)
8	พจนวาทศรี คุ้มเมือง	3150400873710	41/1 ม.3 ต.เนินทราย อ.เมือง		ผู้ดูแลฯ
9	พจนวาทศรี คุ้มเมือง	3150400887118	42/4 ม.3 ต.เนินทราย อ.เมือง		ผู้ดูแลฯ
10	พจนวาทศรี คุ้มเมือง	315040100474	40/1 ม.3 ต.เนินทราย อ.เมือง		ผู้ดูแลฯ
11	พจนวาทศรี คุ้มเมือง	3150400885164	25 ม.3 ต.เนินทราย อ.เมือง		"
12	พจนวาทศรี คุ้มเมือง	3150400811287	41/1 ม.3 ต.เนินทราย อ.เมือง		"
13	พจนวาทศรี คุ้มเมือง	3150400882379	44 ม.3 ต.เนินทราย อ.เมือง	081-878081	"
14	พจนวาทศรี คุ้มเมือง	3150400811910	45 ม.3 ต.เนินทราย อ.เมือง	089-644491	"
15	พจนวาทศรี คุ้มเมือง	3150400867082	42/4 ม.3 ต.เนินทราย อ.เมือง	081-878081	"
16	พจนวาทศรี คุ้มเมือง	3150400899916	46/1 ม.3 ต.เนินทราย อ.เมือง	081-878081	"
17	พจนวาทศรี คุ้มเมือง	3150400899980	43 ม.3 ต.เนินทราย อ.เมือง		ผู้ดูแลฯ (สวนไม้ผล)
18	พจนวาทศรี คุ้มเมือง	3150400884117	43/3 ม.3 ต.เนินทราย อ.เมือง		ผู้ดูแลฯ

ภาคผนวก ซ

ตารางเปรียบเทียบวัสดุประสงค์

วัสดุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการบำบัดน้ำในระบบอควาโปนิคส์ด้วยถ่านชีวภาพจากแกลบข้าวให้สามารถใช้ได้ในระบบจนครบรอบการเลี้ยงปลาในบ่อและปลูกพืชในระบบไฮโดรโปนิคส์
2. ถ่ายทอดระบบอควาโปนิคส์ที่บำบัดน้ำด้วยถ่านชีวภาพสู่เกษตรกรอย่างน้อย 10 ราย



ภาคผนวก ฅ

กิจกรรมที่วางแผนไว้เทียบกิจกรรมที่ทำได้จริง

กิจกรรมที่วางแผนไว้	กิจกรรมที่ทำได้จริง
1. สร้างบ่อเลี้ยงปลา	1. สร้างบ่อเลี้ยงปลา
2. เฝ้าถ่านชีวภาพจากแกลบข้าว	2. เฝ้าถ่านชีวภาพจากแกลบข้าว
3. ดำเนินการทดลองระบบอควาโปนิคส์	3. ดำเนินการทดลองระบบอควาโปนิคส์
4. เปรียบเทียบผลการทดลอง	4. เปรียบเทียบผลการทดลอง
5. เก็บตัวอย่าง น้ำ	5. เก็บตัวอย่าง น้ำ
6. วัดการเจริญเติบโตของปลาและผัก	6. วัดการเจริญเติบโตของปลาและผัก
7. สรุปผลการศึกษา	7. สรุปผลการศึกษา
8. ถ่ายทอดและฝึกอบรมกับเกษตรกร	8. ถ่ายทอดและฝึกอบรมกับเกษตรกร
9. รายงานผลการวิจัย	9. อยู่ระหว่างรอผลการตอบรับการตีพิมพ์



ภาคผนวก ญ
ผลที่ได้รับตลอดโครงการ

ตัวชี้วัดที่ตั้งไว้

- ตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติ (ไม่มีค่า Impact Factor) (ที่อยู่ในฐานข้อมูล Web of Science (ISI เดิม) หรือ Scopus) จำนวน 1 เรื่อง
- ฝึกอบรมถ่ายทอดความรู้ให้กับเกษตรกรในสหกรณ์เพื่อการตลาดอาหารปลอดภัยรีนมาร์เก็ต พิชญโลก จำกัด ตำบลพันเสา อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก อย่างน้อย 10 ราย

รายละเอียดตัวชี้วัด ดังนี้

- (1) ชื่อบทความที่จะตีพิมพ์ Water treatment for fish aquaculture system by biochar- supplemented planting panel system
- (2) ชื่อวารสารที่ตีพิมพ์ The Scientific World Journal

