



รายงานผลงานวิจัย

เรื่อง การผลิตปลานิลร่วมกับปลาช่อนในระบบอะควาโปนิคส์เพื่อเพิ่มผลผลิตสัตว์น้ำให้มีคุณภาพและปลอดภัย

Production of Tilapia and Snake head fish in aquaponic system for production increasing under food safety

โครงการย่อยภายใต้ชุดโครงการ : ระบบการผลิตสัตว์น้ำที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเพื่ออาหารปลอดภัยและเพิ่มมูลค่าของทรัพยากรสัตว์น้ำ

ได้รับการจัดสรรงบประมาณวิจัย ประจำปี2557

จำนวน178,100บาท

หัวหน้าโครงการ

นายประจวบ ฉายบุญ

ผู้ร่วมโครงการ

นายสุฤทธิ สมบูรณ์ชัย

งานวิจัยเสร็จสิ้นสมบูรณ์

สิงหาคม 2559

สารบัญ

	หน้า
สารบัญตาราง	ข
สารบัญภาพ	ค
บทคัดย่อ	ง
Abstract	ฉ
คำนำ	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
การตรวจเอกสาร	3
วิธีการวิจัย	23
ผลการวิจัยและวิจารณ์	27
สรุปผลการวิจัย	38
เอกสารอ้างอิง	40

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1	การวิเคราะห์คุณภาพน้ำในห้องปฏิบัติการ	24
ตารางที่ 2	ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของปลานิลที่เลี้ยงด้วยอัตราปล่อย 50 ตัวต่อตารางเมตรรวมกับการปล่อยปลาช่อนที่ความหนาแน่นแตกต่างกัน ระยะเวลาเลี้ยง 90 วัน	28
ตารางที่ 3	ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของปลาช่อนที่ความหนาแน่นต่างกันในบ่อซีเมนต์ในระบบน้ำหมุนเวียน ที่เลี้ยงร่วมกับความหนาแน่นปลานิล 50 ตัวต่อตารางเมตร ในบ่อทดลองขนาด 1.0X 1.0 X 1.5 ตารางเมตร ระยะเวลาทดลอง 90 วัน	29
ตารางที่ 4	ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ปลูกในระบบพีชไร์ดินรวมกับการเลี้ยงปลาแบบอะควาโปนิคส์ปลานิลที่เลี้ยงร่วมกับปลาช่อนที่อัตราความหนาแน่นต่างกัน (ระยะทดลอง 40วัน)	30
ตารางที่ 5	ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของผักบุ้ง ที่ปลูกในระบบพีชไร์ดินรวมกับการเลี้ยงปลาแบบ อะควาโปนิคส์ปลานิลที่เลี้ยงร่วมกับปลาช่อนที่อัตราความหนาแน่นต่างกัน (ระยะทดลอง 40วัน)	31
ตารางที่ 6	ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของผักขึ้นช่าย ที่ปลูกในระบบพีชไร์ดินรวมกับการเลี้ยงปลาแบบอะควาโปนิคส์ปลานิลที่เลี้ยงร่วมกับปลาช่อนที่อัตราความหนาแน่นต่างกัน (ระยะทดลอง 40วัน)	32
ตารางที่ 7	ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของมะเขือเทศ ที่ปลูกในระบบพีชไร์ดินรวมกับการเลี้ยงปลาแบบอะควาโปนิคส์ปลานิลที่เลี้ยงร่วมกับปลาช่อนที่อัตราความหนาแน่นต่างกัน (ระยะทดลอง 40วัน)	32
ตารางที่ 8	คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลานิลที่เลี้ยงร่วมกับปลาช่อนที่อัตราความหนาแน่นต่างกันในระบบอะควาโปนิคส์ (ระยะทดลอง 90 วัน)	34

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1	ปฏิกิริยาและการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ	6
ภาพที่ 2	ขั้นตอนต่างๆ ในกระบวนการกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพ	7
ภาพที่ 3	กระบวนการเกิดฟิล์มชีวภาพ	12
ภาพที่ 4	เซลล์ของจุลินทรีย์และลักษณะการยึดเกาะของจุลินทรีย์	13
ภาพที่ 5	เปรียบเทียบการเกาะยึดของจุลินทรีย์บนวัสดุที่มีลักษณะพื้นผิวแตกต่างกัน	13
ภาพที่ 6	ระบบปลูกพืชไม่ใช้ดินร่วมกับการเลี้ยงปลานิลและปลาช่อนแบบอะควาโปนิคส์	26
ภาพที่ 7	ศึกษาการเจริญเติบโตปลาช่อนและปลานิลในการทดลอง(ชั่งน้ำหนักและวัดขนาด)	26
ภาพที่ 8	พืชผักในระบบการทดลอง	26

การผลิตปลานิลร่วมกับปลาช่อนในระบบอะควาโพนิกส์เพื่อเพิ่มผลผลิตสัตว์น้ำ ให้มีคุณภาพและปลอดภัย

Production of Tilapia and Snake head fish in aquaponic system for production increasing under food safety

ประจวบ ฉายบุญและ สุฤทธิ สมบูรณ์ชัย

PrachubChaibu and SuritSomboonchai

คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

.....

บทคัดย่อ

ทดลองเลี้ยงปลานิลร่วมกับปลาช่อนในระบบน้ำหมุนเวียนแบบอะควาโพนิกส์ในบ่อซีเมนต์ขนาด 1 X 1 X 1.5 เมตร รวมระยะเวลา 3 เดือน แบ่งการทดลองเป็น 4 ชุด ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ โดยให้ชุดการทดลองที่ 1 เลี้ยงปลานิลเพียงอย่างเดียวที่อัตราความหนาแน่น 50 ตัว/บ่อ เป็นชุดควบคุม โดยใช้ปั้มน้ำให้หมุนเวียนผ่านระบบอะควาโพนิกส์และเติมอากาศตลอดเวลา ส่วนชุดการทดลองที่ 2, 3 และ 4 เลี้ยงปลานิลร่วมกับปลาช่อนและระบบการปลูกพืชผักรวม 4 ชนิด (ผักกาดหอม ผักบุ้งจีน ขึ้นฉ่าย และมะเขือเทศ) โดยปล่อยปลาช่อน ความหนาแน่น 0, 15, 20 และ 25 ตัวต่อตารางเมตร ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า น้ำหนักปลานิลเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 155.94 ± 14.38 , 150.22 ± 7.03 , 149.09 ± 9.58 และ 144.89 ± 14.14 กรัม ตามลำดับ ปลานิลในชุดการทดลองที่ 1 ให้น้ำหนักเพิ่มสูงสุดที่ 78.57 ± 3.09 กรัม ส่วนชุดการทดลองที่ 2, 3 และ 4 ให้น้ำหนักเพิ่มขึ้นเท่ากับ 74.12 ± 8.81 , 71.39 ± 9.98 และ 68.38 ± 2.19 กรัม ตามลำดับ ความยาวเมื่อสิ้นสุดการทดลองเท่ากับ 22.35 ± 0.79 , 21.43 ± 0.48 , 21.32 ± 0.63 และ 21.27 ± 1.51 เซนติเมตร ตามลำดับ อัตราการเจริญเติบโตต่อวันมีค่าเฉลี่ย 0.87 ± 0.77 , 0.82 ± 0.29 , 0.79 ± 0.33 และ 0.76 ± 0.39 กรัมต่อวัน ตามลำดับ อัตราการรอดตายปลานิลชุดการทดลองที่ 1 สูงสุดคือ 98.25 ± 0.70 % ในขณะที่ชุดการทดลองที่ 2, 3 และ 4 มีอัตราการรอดตายเท่ากับ 97.63 ± 0.57 % , 97.41 ± 0.38 % และ 97.26 ± 0.56 % ตามลำดับ ผลผลิตรวมมีค่าเท่ากับ 8.31 ± 1.27 , 7.84 ± 1.54 , 7.32 ± 1.53 และ 7.10 ± 1.17 กิโลกรัม ตามลำดับ ปลาช่อนในชุดการทดลองที่ 2 ให้น้ำหนักเพิ่มสูงสุดที่ 80.91 ± 5.06 กรัม ส่วนชุดการทดลองที่ 3 และ 4 ให้น้ำหนักเพิ่มขึ้นเท่ากับ 79.34 ± 4.84 และ 74.28 ± 5.42 กรัม ตามลำดับ ความยาวเมื่อสิ้นสุดการทดลองเท่ากับ 21.58 ± 3.16 , 21.07 ± 2.25 และ 20.40 ± 2.70 เซนติเมตร ตามลำดับ อัตราการเจริญเติบโตต่อวันมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 0.80 ± 0.09 , 0.79 ± 0.06 และ 0.73 ± 0.07 กรัม/วัน ตามลำดับ อัตราการรอดตายของปลาช่อนในชุดการทดลองที่ 1 สูงสุดคือ 74.42 ± 2.15 % ในขณะที่ชุดการทดลองที่ 2, 3 และ 4 มีอัตราการรอดตายเท่ากับ, 64.54 ± 3.12 และ 61.20 ± 4.41 ตามลำดับ ผลผลิตรวมมีค่าเท่ากับ 1.10 ± 0.12 , 1.03 ± 0.33 และ 1.11 ± 0.22 กิโลกรัม ตามลำดับ ด้านผลผลิตพืชผัก 4 ชนิด พบว่า ผักกาดหอมเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า

ชุดการทดลองที่ 3 มีค่าสูงที่สุดที่ 209.29 กรัม รองลงมาคือชุดการทดลองที่ 4,3 และ 2 ตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 206.07, 205.09 และ 204.04 กรัมตามลำดับ ผลผลิตผักบุ้งของชุดการทดลองที่ 3 มีค่าสูงที่สุดที่ 339.23 กรัม รองลงมาคือชุดการทดลองที่ 2,4 และ 1 ตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 315.67, 306.0 และ 269.33 กรัมตามลำดับ ผลผลิตผักขึ้นซ้ายของชุดการทดลองที่ 4 มีค่าสูงที่สุดที่ 202.70 กรัม รองลงมาคือชุดการทดลองที่ 2,3 และ 1 ตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 200.19, 199.28 และ 194.84 กรัมตามลำดับ และ ความสูงที่เพิ่มขึ้นของมะเขือเทศ ในชุดการทดลองที่ 4 ชุดการทดลองที่ 3 ชุดการทดลองที่ 2 และ ชุดการทดลองที่ 1 (ชุดควบคุม) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 58.10 ± 4.83 , 52.67 ± 5.44 , 46.77 ± 5.13 และ 45.80 ± 5.64 เซนติเมตร ตามลำดับ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ด้านคุณภาพน้ำตลอดการทดลองพบว่าค่าไนโตรเจนที่ระหว่างชุดทดลอง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $0.972 - 1.384$ มิลลิกรัมต่อลิตร อุณหภูมิของน้ำ ค่าความเป็นกรด-ด่าง แอมโมเนีย ไนเตรทและฟอสฟอรัส ของแต่ละชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) จากผลการทดลองพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมกับการเลี้ยงปลานิลร่วมกับปลาช่อน การปลูกพืชผัก 4 ชนิด อยู่ที่ 15 ตัวต่อตารางเมตร ที่มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นสูงสุด และมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อต่ำสุด เป็นแนวทางส่งเสริมอาชีพการเลี้ยงปลานิลร่วมกับปลาช่อนและผลิตพืชผักให้กับเกษตรกรในระบบน้ำหมุนเวียนแบบอะควาโปนิคส์ต่อไป

คำสำคัญ : ปลานิล, ปลาช่อน, อะควาโปนิคส์, อาหารปลอดภัย

Abstract

Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, and Striped snakehead fish (*Channa striata*) were cultured in recirculating aquaponic system in the 1 X 1 X 1.5 m. cement ponds, a total period of 3 months. Four treatments with 3 replications each were carried out. Treatment 1, control, the fish were raised at density 50 fish/tank without Striped snakehead fish (*Channa striata*) and any vegetables (*Lactuca sativa* Linn, *Ipomoea reptans* L., *Apium graveolens*, and *Lycopersicon Esculentum* Mil) while treatment 2, 3 and 4 Striped snakehead fish were raised at different densities including 15, 20 and 25 fish/tank with vegetables. By the end of experiment, the mean The tilapia fish weight gains were 155.94 ± 14.38 , 150.22 ± 7.03 , 149.09 ± 9.58 , and 144.89 ± 14.14 grams, respectively. The tilapia in treatment 1 trended to provide the highest mean weight gain (78.57 ± 3.09 grams), while fish in treatment 1, 2, and 4 had the mean weight gain as 66.57 ± 0.23 , 75.12 ± 0.20 , and 76.38 ± 0.25 , grams respectively. The mean Length gains were 21.32 ± 0.79 , 21.45 ± 0.48 , 21.22 ± 0.63 , and 20.57 ± 1.51 centimeters, respectively. The average daily gains were 0.73 ± 0.01 , 0.83 ± 0.01 , 0.87 ± 0.01 , and 0.85 ± 0.01 g/day, respectively. The highest survival rate was 98.25 % found in treatment 1, while the fish survival rates in treatment 2, 3, and 4 were 97.63%, 97.41%, and 97.26%, respectively. Tilapia productions were 8.31 ± 1.27 , 7.84 ± 1.54 , 7.32 ± 1.53 7.10 ± 1.17 kilograms, respectively. For Striped snakehead fish, snakehead fish in treatment 2 provided the highest increased weight, 80.91 ± 5.06 gram while the ones in treatments 3 and 4 were 79.34 ± 4.84 and 74.28 ± 5.42 g, respectively. The lengths of fish at the end of experiment were 21.58 ± 3.16 21.07 ± 2.25 , and 20.40 ± 2.70 cm, respectively. The daily growth rates were 0.80 ± 0.09 , 0.79 ± 0.06 and 0.73 ± 0.07 g/day, respectively. The snakehead fish survival rates were highest in treatment 1, 74.42 ± 2.15 % while the ones in treatments 2, 3, and 4 were 64.54 ± 3.12 , and 61.20 ± 4.41 %, respectively. Total productions were 1.10 ± 0.12 , 1.03 ± 0.33 , and 1.11 ± 0.22 kilograms, respectively. Production of *Lactuca sativa* Linn, *Ipomoea reptans* L., and *Apium graveolens* at the end of experiment were 204.04 -209.29, 269.33 - 339.23 and 194.84 -202.70 grams, respectively. The increasing height of *Lycopersicon esculentum* Mil were 45.80 ± 5.64 - 58.10 ± 4.83 centimeters. It was not significantly different ($P > 0.05$) in the temperature, pH, ammonia, nitrate and phosphorus among treatments. However, the value of nitrite was significant differences ($p < 0.05$) ranging between 0.972 – 1.384 mg/l. The results showed that appropriate density of recirculating system Nile tilapia (50 fish/tank) and Striped snakehead fish for aquaponics culture were 15 fish/tank. which trended to provide the highest mean weight gain with lowest food conversion ratio. The findings about suitable fish stocking density

for recirculating aquaponic system will be promoted to farmers, entrepreneurs or anyone who are interested in commercially raising fish in recirculating system to meet quality standards.

Key word: Nile Tilapia, Snake Head Fish , Aquaponic System ,Food safety



คำนำ

จากนโยบายอาหารปลอดภัย และการมุ่งสู่ครัวของโลกของประเทศไทย ประกอบกับกระแสสากลในการรักษาสิ่งแวดล้อม ทำให้แนวทางการเลี้ยงสัตว์น้ำที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมจึงเป็นทางออกในการสร้างผลผลิตที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภคและรักษาสิ่งแวดล้อม จำเป็นที่ต้องมุ่งไปสู่ระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีการพัฒนาเพื่อการส่งออกและได้ผลผลิตปลาที่มีคุณภาพดีตรงตามมาตรฐานที่กำหนด และปลอดภัยได้ผลผลิตสูงคุ้มค่าการลงทุนและขบวนการผลิตจะต้องปลอดภัยต่อเกษตรกรและผู้บริโภค ใช้ทรัพยากรที่เกิดประโยชน์สูงสุด มุ่งสู่ความยั่งยืนทางการเกษตรและไม่ทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม โดยหลักการนี้ได้รับการกำหนดโดยองค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) สอดคล้องกับกระแสของผู้บริโภคที่มีความตระหนักในเรื่องอาหารปลอดภัย (Food safety) กันอย่างแพร่หลาย

ปัจจุบันการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เข้ามามีบทบาทสำคัญ หลังจากการจับสัตว์น้ำจากแหล่งน้ำตามธรรมชาติ เริ่มมีความไม่แน่นอน และมีแนวโน้มในปริมาณที่ลดลงอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากปัญหาทางด้านสภาพแวดล้อมของแหล่งน้ำ ปัญหาความตื้นเขินของแหล่งน้ำ และต้นทุนน้ำมันเชื้อเพลิงที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ประกอบกับความต้องการทางด้านการอุปโภค และบริโภคสัตว์น้ำมีจำนวนเพิ่มขึ้น ทำให้สัตว์น้ำยังไม่เพียงพอกับความต้องการ การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำโดยเฉพาะอย่างยิ่ง การเลี้ยงปลายังมีข้อจำกัดหลายอย่างอาทิเช่น ปัญหาทางด้านเทคโนโลยี ระบบการเพิ่มผลผลิต การเลือกพันธุ์ปลาที่เหมาะสม พื้นที่รวมถึงสถานที่ในการเลี้ยง ตลอดจนธุรกิจด้านการส่งออกต่างประเทศ อีกทั้งปัจจุบันการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีแนวโน้มเปลี่ยนจากการเลี้ยงในระดับความหนาแน่นต่ำซึ่งนิยมทำในระบบปิดโดยใช้น้ำจากธรรมชาติเข้าสู่การเลี้ยงแบบพัฒนา ในระบบปิดที่มีการหมุนเวียนน้ำภายในระบบ การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบปิดนี้มีข้อดีคือสามารถ ป้องกันการติดโรค และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการปล่อยน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยง แต่การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในรูปแบบนี้มีกฏระเบียบปัญหาแอมโมเนียสะสมในระดับความเข้มข้นสูง ซึ่งมีสาเหตุจากการให้อาหารในปริมาณมากมีเศษอาหารเหลือ การขับถ่ายของสัตว์น้ำ และจากการย่อยสลายของโปรตีนในอาหารที่เหลือจากการบริโภค โดยแบคทีเรียภายในบ่อการพัฒนาระบบการเลี้ยงเป็นการเลี้ยงระบบปิด โดยการวิจัยครั้งนี้มีแนวคิดในการพัฒนาการเลี้ยงปลาช่อนร่วมกับปลานิลในระบบปิดโดยใช้ระบบกรองชีวภาพร่วมกับการปลูกพืชแบบไรดิคที่สามารถผลิตได้ทั้งปลาและพืชผักได้ในคราวเดียวกัน และเป็นแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจในการลดของเสียในระบบการเลี้ยง คือการเลี้ยงปลาหลายชนิดรวมกัน โดยมีการเกื้อกูลกัน โดยการเลี้ยงปลาช่อนร่วมกับปลานิลนั้น โดยปลานิล กินเศษเหลืออาหารจากปลาช่อนได้จะ สามารถเพิ่มผลผลิต ป้องกันโรค ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการปล่อยน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงและควบคุมคุณภาพน้ำได้ เป็นวิธีที่เหมาะสมในการลดของเสียในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้อีก ที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมมาใช้ เป็นทางเลือกหนึ่งของเกษตรกรเพาะเลี้ยงปลานิลเพื่อให้การผลิตปลานิลให้ได้มาตรฐานและมีคุณภาพเพื่อการส่งออกได้เพิ่มขึ้น

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของปลานิลและปลาช่อนที่เลี้ยงร่วมกันและพืชผักบางชนิดในระบบบะควาโปนิคส์
2. เพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในระบบการเลี้ยงปลานิลและปลาช่อนที่เลี้ยงร่วมกันและพืชผักบางชนิดในระบบบะควาโปนิคส์
3. ศึกษาเปรียบเทียบการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชผักบางชนิดในการปลูกที่แตกต่างกันโดยใช้น้ำจากการเลี้ยงปลาในระบบบะควาโปนิคส์
4. เพื่อเปรียบเทียบผลผลิตของระบบการเลี้ยงปลานิลและปลาช่อนในระบบบะควาโปนิคส์

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงวิธีการเลี้ยงที่เหมาะสมในการเลี้ยงปลานิลและปลาช่อนที่เลี้ยงร่วมกันและพืชผักบางชนิดในระบบบะควาโปนิคส์
2. ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในระบบการเลี้ยงปลานิลและปลาช่อนที่เลี้ยงร่วมกันและพืชผักบางชนิดในระบบบะควาโปนิคส์
3. แนวทางการเลี้ยงปลานิลร่วมสัตว์น้ำชนิดอื่นๆ เพื่อสร้างรายได้เสริมของเกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ
4. เพื่อเปรียบเทียบผลผลิตของระบบการเลี้ยงปลานิลและปลาช่อนในระบบบะควาโปนิคส์
5. เป็นแหล่งข้อมูลทางวิชาการในการส่งเสริมความรู้แก่เกษตรกร สถาบันการศึกษาและบุคคลทั่วไป
6. เพื่อนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์และบูรณาการเข้ากับหลักสูตรของสถานศึกษาที่เกี่ยวข้อง และยังสามารถถ่ายทอดไปยังหน่วยงานของรัฐและเอกชนที่เกี่ยวข้อง

ตรวจเอกสาร

การเลี้ยงปลาแบบระบบปิดที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental friendly closed – system) เป็นระบบการเลี้ยงที่ใช้ประโยชน์จากระบบการบำบัดน้ำที่มีประสิทธิภาพ ทั้งการใช้วัสดุกรองแบบไม่มีชีวิต เช่น ไบโอบอล ฟองน้ำ เศษปะการัง เป็นต้นและวัสดุกรองแบบมีชีวิต เช่น พืชน้ำหรือการปลูกพืชแบบไร้ดินเพื่อดูดซับธาตุอาหารต่างๆ ในบ่อเลี้ยงปลาทำให้ไม่ต้องเปลี่ยนถ่ายน้ำและยังป้องกันการเกิดโรคที่มาจากน้ำได้อีกทางด้วย และยังมีผลพลอยได้ที่เป็นตะกอนจากสิ่งขับถ่ายของปลาซึ่งสามารถนำมาพัฒนาเป็นปุ๋ยหมักหรือเป็นปุ๋ยเม็ดอัดแห้งเพื่อใช้ประโยชน์ในการปลูกไม้ประดับต่างๆ

การเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบอะควาโปนิคส์ เป็นการเลี้ยงปลาในระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิดร่วมกับระบบการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิคส์ เป็นระบบการใช้ปัจจัยการผลิตที่มีประสิทธิภาพ เนื่องจากปริมาณธาตุอาหารที่เกิดจากการขับถ่ายของเสียในปลา มาเป็นธาตุอาหารของพืช เป็นอีกทางเลือกหนึ่งของเกษตรกรที่มีพื้นที่ทำกินขนาดเล็กหรือมีปัญหา พื้นที่ขาดความอุดมสมบูรณ์ มีรูปแบบ ที่หลากหลายของชนิดสัตว์น้ำและชนิดพืช รวมถึงวิธีการที่แตกต่างกัน เป็นระบบที่ประยุกต์มาจากความสัมพันธ์ของปลากับสิ่งแวดล้อม โดยการทำให้ของเสียจากการเลี้ยงปลา (By – product) ซึ่งอยู่ในรูปของไนโตรเจนประมาณ 70 - 75 เปอร์เซ็นต์ถูกกำจัดออกจากระบบ และถูกนำไปเป็นสารอาหารที่ใช้ในการเจริญเติบโตของพืช แทนการถ่ายเทน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาเพื่อกำจัดของเสียออกไป ในระบบบำบัดน้ำพืชจะทำหน้าที่ดึงไนโตรเจนด้วยกลไกต่างๆ เช่น การดูดซึมแอมโมเนีย หรือไนเตรต การระเหยของแอมโมเนีย การตกตะกอนของอนุภาคไนโตรเจน ขบวนการ Nitrification และ Denitrification (นงนุช, 2544) ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบระบบปิดหรือระบบหมุนเวียน เป็นระบบที่มีการใช้ประโยชน์ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าเพราะระบบดังกล่าวสามารถรักษาความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชให้อยู่ในระดับที่เพียงพอต่อความต้องการ ของระบบการปลูกพืชไฮโดรโปนิคส์ได้ สัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างปลากับพืช และความเข้มข้นของสารอาหารที่พืชใช้เหมาะสมที่สามารถรักษาไว้ได้ในระยะเวลาที่ยาวนาน โดยไม่จำเป็นต้องมีการเติมธาตุอาหารเสริม อย่างไรก็ตามอาหารที่ใช้จะต้องทำให้ปลามีการเติบโตได้ในอัตราที่ยอมรับได้ การเลี้ยงปลาแบบปิดจะมีของเสียเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกวัน ซึ่งของเสียเหล่านี้มาจากสิ่งขับถ่ายที่ปลาขับถ่ายออกมา และมาจากเศษอาหารที่เหลือสะสมอยู่ในบ่อเลี้ยงปลา การกำจัดของเสียขั้นต้นในสามารถทำได้โดยใช้การกรองทางกายภาพ ส่วนของเสียที่ผ่านการกรองทางกายภาพจะถูกย่อยสลายผ่านกระบวนการแอมโมนิฟิเคชันและไนตริฟิเคชันด้วยจุลินทรีย์ที่อยู่ในธรรมชาติ เกิดเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่เป็นสารพิษ เช่น แอมโมเนีย และไนไตรท์ของเสียเหล่านี้เมื่อสะสมอยู่จนถึงระดับหนึ่งจะเกิดความเป็นพิษต่อปลาได้ ในขณะเดียวกันแอมโมเนียและไนไตรท์ก็ถูกทำลายได้ด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชัน อีกทั้งปัจจุบันการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีแนวโน้มเปลี่ยนจากการเลี้ยงในระดับความหนาแน่นต่ำซึ่งนิยมทำในระบบเปิดโดยใช้น้ำจากธรรมชาติเข้าสู่การเลี้ยงแบบพัฒนา (ระดับความหนาแน่นสูง) และในระบบปิดซึ่งมีการบำบัดและหมุนเวียนน้ำอยู่ภายในระบบ สามารถลดของเสียเพื่อเพิ่มผลผลิต ป้องกันการติดโรค และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการปล่อยน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยง แต่การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในรูปแบบนี้มักประสบปัญหาแอมโมเนียสะสมใน

ระดับความเข้มข้นสูง ซึ่งมีสาเหตุจากการให้อาหารในปริมาณมาก การขับถ่ายของสัตว์น้ำ และจากการย่อยสลายของโปรตีนในอาหารที่เหลือจากการบริโภคโดยแบคทีเรียภายในบ่อ ระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำหมุนเวียนสามารถผสมผสานกับระบบการปลูกพืชที่มีมูลค่าสูงทางเศรษฐกิจในสระละลายได้ดี

ระบบในการกำจัดของเสียในการเลี้ยงสัตว์น้ำระบบปิด

Landau (1992) ได้ให้คำจำกัดความของระบบปิดไว้ว่า เป็นระบบที่มีการหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่เกือบทั้งหมด (95 - 100 %) โดยมีการกรองเอาเศษอาหารที่เหลือตกค้าง สิ่งขับถ่ายของปลาและของเสียอื่น ๆ ออกก่อนที่จะหมุนเวียนน้ำมาใช้ใหม่ จะมีน้ำเพียงบางส่วนเท่านั้นที่หายไปเนื่องจากการระเหยและการทำงานของระบบ ซึ่งน้ำส่วนที่หายไปนี้อาจมีการเติมเข้าไปทดแทนได้เพื่อเป็นการรักษาปริมาณน้ำในระบบให้คงที่ สอดคล้องกับที่ Lee and Newman (1997) ได้กล่าวไว้ว่า ระบบปิดเป็นระบบที่ไม่มี การเติมน้ำใหม่เข้าไปในระบบ แต่จะมีการหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่ โดยจะมีการกรองเอาเศษอาหารที่เหลือ สิ่งขับถ่ายของสัตว์น้ำ และของเสียอื่น ๆ ออกก่อนที่จะนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ โดยข้อดีของระบบปิดคือ ใช้น้ำในปริมาณที่น้อย และไม่ก่อปัญหามลพิษให้กับสิ่งแวดล้อม แต่ข้อเสียของระบบปิดก็คือ จะมีการสะสมเศษอาหารที่เหลือและของเสียที่ปลาขับถ่ายออกมา ซึ่งถ้าสะสมมากขึ้นจะทำให้น้ำที่ใช้เลี้ยงปลาเกิดการเน่าเสียอย่างรวดเร็ว เกิดการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำที่ใช้ในการเลี้ยงปลา การแก้ปัญหาหานี้โดยทั่วไปใช้วิธีการเปลี่ยนถ่ายน้ำทุก 7 - 10 วัน ซึ่งระยะเวลาในการเปลี่ยนถ่ายน้ำจะมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับชนิดของปลาขนาดของปลา ความหนาแน่นของการเลี้ยง เป็นต้น การเปลี่ยนถ่ายน้ำบ่อย ๆ อาจก่อความยุ่งยากและเสียเวลา ในที่สุดผู้เลี้ยงปลาจึงอาจเกิดความเบื่อหน่ายในการเลี้ยงได้

ปัญหาหลักที่เกิดขึ้นในการเลี้ยงปลาในระบบปิด

ปัญหาหลักที่เกิดขึ้นจากการเลี้ยงปลาในระบบปิดคือ การเกิดการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลา อันเนื่องมาจากสาเหตุสำคัญ 2 ประการ ดังนี้

1. อาหารที่ใช้เลี้ยงปลา ถ้ามีการให้อาหารปลามากเกินไป และคุณภาพของอาหารปลาไม่ดีทำให้อาหารจมตัวเร็ว ก็จะเหลือเศษอาหารตกค้างอยู่ในตู้เลี้ยงปลา และเมื่อมีเศษอาหารเหลือจุลินทรีย์ที่อยู่ในน้ำก็จะใช้เศษอาหารที่เหลือเพื่อการเจริญเพิ่มจำนวนทำให้น้ำขุ่นได้ และสารต่าง ๆ ที่เกิดจากเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์ก็อาจเป็นพิษต่อปลาได้เช่นกัน นอกจากนั้นถ้าเกิดการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรคอาจทำให้ปลาติดโรค ปลาจะอ่อนแอ และในที่สุดอาจตายได้ ดังนั้นอาหารที่ใช้เลี้ยงปลาจึงควรเหมาะสมกับชนิดและขนาดของปลา คุณภาพของอาหารและปริมาณที่ให้แก่ปลาโดย Pe'nzses (1986) แนะนำว่าปริมาณอาหารปลาที่ให้ปลาควรจะกินให้หมดภายใน 2 - 3 นาทีหรือไม่ควรเกิน 30 นาที

2. การขับถ่ายของเสียจากปลา ของเสียนี้เกิดจากกระบวนการเมตาบอลิซึมของปลาและขับถ่ายออกมาจากตัวปลา โดย Spotte (1979) ได้อธิบายไว้ว่า ปลาจะขับถ่ายของเสียออกมาทั้งทางเหงือก ทางไต และทางผิวหนังการสะสมของเศษอาหารที่เหลือ และสิ่งขับถ่ายจากปลาในตู้เลี้ยงปลาแบบปิด ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำในตู้เลี้ยงปลา โดยน้ำเกิดการเน่าเสียและเกิดสารประกอบไนโตรเจนขึ้นในตู้เลี้ยงปลา เช่น แอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท ซึ่งถ้าเกิดการสะสมจนถึง ระดับหนึ่งจะเกิดความ

เป็นพืชต่อปลาได้ Gross *et al.* (2000) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบไนโตรเจนในบ่อปลา และได้รายงานว่า อาหารปลาสำเร็จรูปที่ให้แก่ปลาจะประกอบด้วยโปรตีน 3-25 เปอร์เซ็นต์ หรือไนโตรเจนอินทรีย์ 4 – 5.8 เปอร์เซ็นต์ และปลานำไนโตรเจนในอาหารไปใช้ได้ 25 – 30 เปอร์เซ็นต์ นอกนั้นจะเข้าสู่ระบบนิเวศในบ่อปลา ปริมาณไนโตรเจนในบ่อปลาจะมาจากอาหารที่ให้แก่ปลามากที่สุด และเกิดการ mineralization ไปเป็นแอมโมเนีย โดยเฉลี่ย 59 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อตารางเมตรต่อวัน ซึ่งปลาจะขับแอมโมเนียออกมาจากเหงือกมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ นอกจากแอมโมเนียแล้วยังมีของเสียอื่นๆ ที่ปลาค้นออกมาปนอยู่ด้วยเล็กน้อย เช่น กรดอะมิโน ยูเรีย และกรดยูริก (วีระพงศ์, 2536)

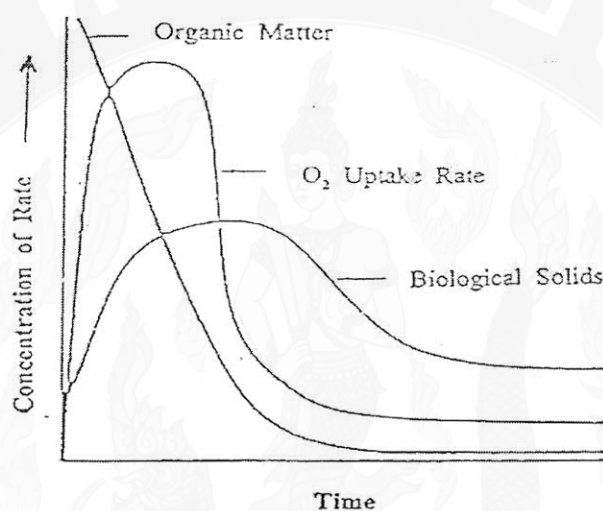
การจัดการของเสียและสารประกอบไนโตรเจนในบ่อปลาระบบปิด

วิธีการกำจัดของเสียและสารประกอบไนโตรเจนในบ่อปลาระบบปิด โดยเฉพาะแอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรทจะมีวิธีการขั้นพื้นฐานอยู่ 3 วิธี ได้แก่ วิธีการทางกายภาพ วิธีการทางเคมี และวิธีการทางชีวภาพ ซึ่งอาจใช้เพียงวิธีเดียวหรือใช้ร่วมกันหลายวิธีก็ได้ (Alderton, 1983; Wilkie, 1985; Scott, 1996) ได้แก่ วิธีการทางกายภาพ (**mechanical method**) เช่น การกรองตะกอนด้วยวัสดุต่างๆ (ศิริวัฒน์, 2544 ; Wungkobkiat *et al.*, 1997) วิธีการทางเคมี (**chemical I method**) เช่น การนำผงถ่านกัมมันต์ (activated carbon) มาใช้ดูดซับและเก็บสารอินทรีย์ และสารประกอบอื่น ๆ ที่ละลายปนอยู่ในน้ำไว้ผงถ่านกัมมันต์จึงมีอายุการใช้งานสั้น นอกจากนั้นยังมีวิธีการทางเคมีอื่น ๆ อีก เช่น การใช้ ionexchange resin หรือ reverse osmosis หรือ electrodialysis เพื่อกำจัดสารพิษในน้ำ (Haugen *et al.*, 2002) และวิธีการทางชีวภาพ (**biological method**) เช่นอาศัยจุลินทรีย์ตามธรรมชาติและที่ใส่เพิ่มลงไปภายหลังเพื่อช่วยย่อยสลาย และกำจัดของเสียต่างๆ ในน้ำและเปลี่ยนสารประกอบที่เป็นพิษให้กลายเป็นสารประกอบที่ไม่เป็นพิษ เช่น ammonia stripping, breakpoint chlorination (Gonzales, 1995) หรือการใช้ระบบไนตริฟิเคชัน/ดีไนตริฟิเคชัน เพื่อเปลี่ยนแอมโมเนียให้กลายเป็นไนไตรท์ และเปลี่ยนไนไตรท์ให้กลายเป็นไนเตรท ซึ่งมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำน้อยที่สุด

การบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ

การบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ สามารถกำจัดสิ่งสกปรกซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ รวมทั้งของแข็งแขวนลอยในรูปสารอินทรีย์ที่มีเสถียรภาพ โดยอาศัยสิ่งมีชีวิต ได้แก่ จุลินทรีย์ เช่นแบคทีเรีย (bacteria) เชื้อรา (fungi) โปรโตซัว (protozoa) โรติเฟอร์ (rotifer) และสาหร่าย (algae) ในการกิน ทำลายย่อยสลาย ดูดซับ หรือเปลี่ยนรูปของมวลสารต่างๆ ในน้ำเสียให้มีค่าความสกปรกน้อยลงด้วยปฏิกิริยาชีวเคมีกระบวนการบำบัดสารอินทรีย์สารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียจะถูกจุลินทรีย์ใช้เป็นอาหารในการดำรงชีวิตเพื่อการเจริญเติบโตและสร้างพลังงาน ในการใช้สารอาหารหรือในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์อาจจะมีการทำงานร่วมกันหลายชนิดก็ได้ โดยจุลินทรีย์บางชนิดเริ่มทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ซับซ้อนก่อน จากนั้นจะมีชนิดอื่นๆ ย่อยสลายส่วนที่เหลือ หรือมีฉะนั้นก็อาจจะเป็นการเอาผลหรือของเสียที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ มาทำการย่อยสลายต่อจนเป็นสารที่ไม่สามารถย่อยสลายได้อีกต่อไป (end products) เมื่อเริ่มการทำงานค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์

ในน้ำเสียจะมีค่าสูง ส่วนปริมาณจุลินทรีย์จะมีค่าต่ำและมีอัตราการใช้ออกซิเจนต่ำ ต่อจากนั้นจุลินทรีย์เริ่มทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ก็จะเริ่มใช้ออกซิเจนเพิ่มมากขึ้นและเจริญเติบโต เป็นผลให้มีจำนวนจุลินทรีย์เพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็วแต่เมื่ออาหารเริ่มขาดแคลนจนไม่เพียงพอในการดำรงชีพของจุลินทรีย์ ปริมาณจุลินทรีย์และอัตราความต้องการออกซิเจนก็จะลดลงตามลำดับ ดังภาพที่ 1 สำหรับในระบบบำบัดน้ำเสียจริงซึ่งมีน้ำเสียไหลเข้าระบบอย่างต่อเนื่อง จุลินทรีย์ก็จะย่อยสลายสารอินทรีย์และเพิ่มปริมาณอยู่ตลอดเวลาและอัตราการใช้ออกซิเจนสูงตลอดเวลาเช่นเดียวกัน



ภาพที่ 1 ปฏิกริยาและการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ ที่มา : สุรพล (2531)

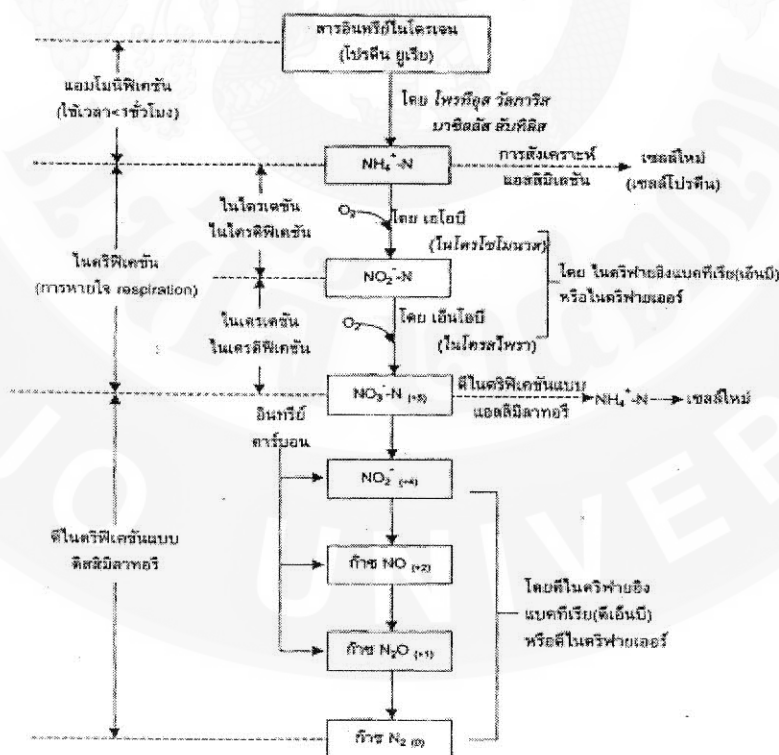
วิธีการทางชีวภาพเป็นวิธีการที่อาศัยจุลินทรีย์ตามธรรมชาติและที่ใส่เพิ่มลงไปภายหลังเพื่อช่วยย่อยสลาย และกำจัดของเสียต่างๆในน้ำ และเปลี่ยนสารประกอบที่เป็นพิษให้กลายเป็นสารประกอบที่ไม่เป็นพิษ เช่น ammonia stripping, breakpoint chlorination หรือ การใช้ระบบไนตริฟิเคชัน/ดีไนตริฟิเคชัน เพื่อเปลี่ยนแอมโมเนียให้กลายเป็นไนโตรที่ และเปลี่ยนไนโตรที่ให้กลายเป็นไนเตรท ซึ่งมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำน้อยที่สุด (วิฐ , 2546)

วิฐ (2546) กล่าวว่า การเกิดไนเตรทการเลี้ยงปลาในระบบปิดเกิดจากกระบวนการไนตริฟิเคชัน ซึ่งเกี่ยวข้องกับวงจรไนโตรเจน โดยเมื่อปลากินอาหารแล้วจะขับถ่ายของเสียออกมา รวมทั้งเศษอาหารที่ปลากินไม่หมด ของเสียและเศษอาหารเหล่านี้จะถูกแบคทีเรีย ในกลุ่ม heterotrophs ย่อยสลาย ต่อไปกลายเป็นแอมโมเนียในสภาวะที่มีและไม่มีออกซิเจนก็ได้โดยกระบวนการที่เรียกว่าแอมโมนิฟิเคชัน (ammonification) จากนั้นแอมโมเนียจะถูกออกซิไดส์กลายเป็นไนโตรที่และไนเตรทในที่สุด โดยกระบวนการที่เรียกว่า ไนตริฟิเคชัน(nitrification)โดยจุลินทรีย์ในกลุ่มไนตริไฟอิงแบคทีเรีย กระบวนการไนตริฟิเคชันเป็นกระบวนการออกซิเดชันแอมโมเนียให้กลายเป็นไนโตรที่และออกซิไดส์ไนโตรที่ให้กลายเป็นไนเตรท โดยแบคทีเรียพวกเฮเทอโรโทรป (heterotrophs) หรือออโตโทรป (autotrophs) ก็ได้ แต่ส่วนใหญ่จะเกิดจากพวกออโตโทรปเป็นสำคัญ กระบวนการไนตริฟิเคชันจะ

ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนด้วยกัน ได้แก่ ขั้นตอนการออกซิไดส์แอมโมเนียได้เป็นไนโตรที่ ดังแสดงในสมการที่ 1 โดย ammonia oxidizing bacteria ตัวอย่างแบคทีเรียในกลุ่มนี้ที่รู้จักกันดีได้แก่ *Nitrosomonas* sp. และขั้นตอนการออกซิไดส์ไนโตรที่ได้เป็นไนเตรท ดังแสดงในสมการที่ 2 โดย nitrite oxidizing bacteria ตัวอย่างของแบคทีเรียในกลุ่มนี้ที่รู้จักกันดี ได้แก่ *Nitrobacter* sp.



ธงชัย (2544) กล่าวว่าเป็นการกำจัดไนโตรเจนทางชีววิทยาที่อาศัยจุลินทรีย์หรือแบคทีเรียเนื่องจากจุลินทรีย์ต้องการไนโตรเจนเป็นธาตุอาหาร ระบบบำบัดน้ำเสียจึงต้องได้รับไนโตรเจนที่เพียงพอ แหล่งไนโตรเจนอาจเป็นสารอินทรีย์ไนโตรเจนหรือแอมโมเนีย รวมทั้งไนเตรทก็อาจเป็นแหล่งไนโตรเจนได้เช่นกันแบคทีเรียทำให้การกำจัดไนโตรเจนเกิดได้สมบูรณ์มีอยู่ 2 กลุ่ม กลุ่มแรกมีหน้าที่ออกซิไดส์ไนโตรเจน (ไนโรปริคซ์) ให้เป็นไนเตรต จากนั้นแบคทีเรียอีกกลุ่มหนึ่งจะถูกกลุ่บในไนโตรเจนนี้ให้กลายเป็นก๊าซไนโตรเจนออกจากระบบ ซึ่งขั้นตอนทั้งหมดที่เกิดขึ้นในระบบนี้จะเริ่มต้นที่กระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน (ammonification) ก่อนกระบวนการอื่นๆ



ภาพที่ 2 ขั้นตอนต่างๆ ในกระบวนการกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพ ที่มา: ธงชัย (2544)

1. ปฏิกริยาแอมโมนิฟิเคชัน

ปฏิกริยาแอมโมนิฟิเคชัน คือ กระบวนการที่เปลี่ยนรูปสารประกอบอินทรีย์ในโตรเจน (โปรตีน และยูเรีย) ไปอยู่ในรูปสารประกอบอนินทรีย์ในโตรเจน (แอมโมเนีย) หรือสามารถเรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่าในโตรเจนมีเนอรัลไลเซชัน (Nitrogen Mineralization) ซึ่งมีจุลินทรีย์หลายชนิดที่เกี่ยวข้องกับปฏิกริยาดังกล่าว และแอมโมเนียในปฏิกริยาเกิดขึ้นมาจากการคละมิโนที่แปรรูปมาจากสารประกอบอินทรีย์ในโตรเจน ถูกกลดรูปอะมีน ซึ่งมีทั้งแบบออกซิเดทีฟและรีดักทีฟ ส่วนการไฮโดรไลซ์ของยูเรียโดยเอนไซม์ยูรีเอสก็จะปล่อยแอมโมเนียได้เช่นกัน แอมโมเนียที่เกิดจากปฏิกริยาแอมโมนิฟิเคชันอาจถูกกำจัดได้ 2 ทาง ทางที่หนึ่ง คือ ถูกจุลินทรีย์ดึงไปใช้เป็นสารอาหารและใช้ในการสร้างเซลล์ หรือทางที่สอง คือ ถูกจุลินทรีย์พวกออกโตโทรฟเปลี่ยนให้เป็นไนโตรัสและไนเตรตามลำดับ ซึ่งเรียกการกำจัดทางที่สองนี้ว่า ปฏิกริยาไนตริฟิเคชัน (มันสัน, 2547)

2. ปฏิกริยาไนตริฟิเคชัน

ปฏิกริยาไนตริฟิเคชัน คือ ปฏิกริยาออกซิเดชันทางชีวภาพที่ทำให้สารประกอบแอมโมเนียในโตรเจนเปลี่ยนเป็นสารประกอบไนโตรัส (NO_2) และสารประกอบไนเตรท (NO_3) ตามลำดับ ในปฏิกริยานี้จำเป็นต้องใช้ออกซิเจน จึงเกิดในสภาวะที่มีออกซิเจนอย่างเพียงพอ และเกิดขึ้นบริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ (Cell Membrane) ของแอมโมเนียออกซิไดซิงแบคทีเรีย โดยมีแอมโมเนียเป็นตัวให้อิเลคตรอน (Electron Donor) มีออกซิเจนเป็นตัวรับอิเลคตรอนตัวสุดท้าย (Terminal Electron Acceptor) และมีเอนไซม์แอมโมเนียโมโนออกซิเจนเนส (Ammonia monooxygenase, AMO) ทำหน้าที่ออกซิไดซ์แอมโมเนีย ได้เป็นไฮดรอกซิลเอมีน (NH_2OH) (สัทธิโชค, 2547)

3. ปฏิกริยาดีไนตริฟิเคชัน

ปฏิกริยาดีไนตริฟิเคชัน คือ ปฏิกริยารีดักชันที่ทำให้สารประกอบไนเตรทเปลี่ยนเป็นสารประกอบไนโตรัสและก๊าซไนโตรเจน ตามลำดับ โดยอาศัยแบคทีเรียดีไนตริฟายอิง (Denitrifying Bacteria) ซึ่งสามารถใช้ไนเตรท (NO_3) เป็นตัวรับอิเลคตรอนแทนออกซิเจน ปฏิกริยาดีไนตริฟิเคชันประเภทนี้จะเกิดขึ้นในกรณีที่ไม่มีแหล่งคาร์บอนภายนอก โดยใช้แหล่งคาร์บอนภายในเซลล์ของจุลินทรีย์ (มันสัน, 2547)

แบคทีเรียที่พบในกระบวนการชีวภาพ

1. ไนตริฟายอิงแบคทีเรีย (Nitrifying bacteria)

ไนตริฟายอิงแบคทีเรียเป็นแบคทีเรียกลุ่ม Strictly aerobic chemolithotrophic bacteria พบได้ทั้งในดิน น้ำจืด น้ำทะเลหรือน้ำเสีย ใช้ออกซิเจนในการหายใจแหล่งคาร์บอนได้จากสารอนินทรีย์คาร์บอนไดออกไซด์หรือไบคาร์บอเนต (ธงชัย, 2544) และใช้ในการออกซิไดซ์สารประกอบไนโตรเจนให้เป็นพลังงาน เจริญเติบโตช้า โดยเจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส พีเอช 7.5-8.0 จะหยุดการเจริญเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 5 องศาเซลเซียสหรือสูงกว่า 42 องศาเซลเซียส ไนตริฟายอิงแบคทีเรียแบ่งการทำงานออกเป็น 2 กลุ่มคือ (สุทธาสินี, 2546)

(1) แบคทีเรียออกซิไดซ์แอมโมเนีย (Ammonia Oxidizing Bacteria: AOB) แบคทีเรียกลุ่มนี้สามารถออกซิไดซ์แอมโมเนียไปเป็นไนไตรต์ แอมโมเนียออกซิไดซิงแบคทีเรียประกอบด้วยแบคทีเรีย 2 กลุ่ม คือ beta-proteobacteria และ gamma-proteobacteria ที่รู้จักกันดีคือ สกุล *Nitromonas*, *Nitrosospira*, *Nitrosococcus* และ *Nitrosolobus* ปริมาณและสกุลที่พบเป็นชนิดเด่นขึ้นอยู่กับลักษณะของน้ำเสียในระบบบำบัด

AOB เป็นแบคทีเรียชนิด obligate chemolithoautotroph แต่บางครั้ง AOB สามารถใช้สารประกอบอินทรีย์ได้ ปัจจุบันพบว่า autotrophic AOB บางชนิดเมื่ออยู่ในสภาวะออกซิเจนต่ำสามารถใช้ไนไตรต์เป็นตัวรับอิเล็กตรอนเกิดเป็น N_2O หรือ NO ตัวอย่างเช่น *Nitrosomonas eutropha* และ *Nitrosomonas europaea* สามารถทำให้เกิดได้ทั้งปฏิกิริยานิไตรฟิเคชันและดีไนไตรฟิเคชันเมื่อเจริญในสภาวะที่มีออกซิเจนจำกัด โดยสามารถออกซิไดซ์แอมโมเนียให้เป็น ไนไตรต์ได้ภายใต้สภาวะ Anoxic

(2) แบคทีเรียออกซิไดซ์ไนไตรต์ (Nitrite Oxidizing Bacteria : NOB) ได้แก่แบคทีเรียสกุล *Nitrococcus* และ *Nitrobacter* ซึ่งเป็น alpha-proteobacteria และ *Nitrospira* โดยสกุลที่รู้จักกันดีคือ *Nitrobacter* แต่ในปัจจุบันพบว่าสกุลที่มีบทบาทมากในน้ำทะเลคือ *Nitrospira* แบคทีเรียกลุ่มนี้สามารถออกซิไดซ์ไนไตรต์ให้เป็นไนเตรตโดยใช้เอนไซม์ nitrite oxidoreductase ที่ membrane-bound ได้ ATP และ NADH

2. ดีไนไตรฟายอิงแบคทีเรีย (Denitrifying bacteria) ดีไนไตรฟายอิงแบคทีเรียเป็นแบคทีเรียในกลุ่ม Facultative anaerobic bacteria พบในดินแหล่งน้ำจืด น้ำกร่อย และในทะเล ดีไนไตรฟายอิงแบคทีเรียมีหลายสกุลเช่น *Bacillus*, *Citrobacter*, *Clostridium*, *Corynebacterium*, *Enterobacter*, *Halobacterium* และ *Pseudomonas* สามารถหายใจได้ทั้งแบบใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน ไม่สามารถสร้างอาหารเองได้จึงต้องใช้สารอินทรีย์ได้แก่ เมทานอล เอทานอล อะซิเตท กลูโคส ฯลฯ เป็นแหล่งคาร์บอน) ดีไนไตรฟายอิงแบคทีเรียสามารถเปลี่ยนไนเตรตให้เป็นก๊าซไนโตรเจนได้โดยปฏิกิริยาดีไนไตรฟิเคชัน ซึ่งแบคทีเรียจะใช้ไนเตรต ไนไตรต์ ไนตริกออกไซด์ เป็นตัวรับอิเล็กตรอนและใช้เมทานอลเป็นตัวให้อิเล็กตรอนในกระบวนการ (สุชาสินี, 2546)

ตัวกรองชีวภาพ (Biofilter) สำหรับระบบกรองชีวภาพ

สุชาสินี (2546) กล่าวว่าหลักการของระบบกรองทางชีวภาพคือมีวัสดุที่เรียกว่าตัวกรองชีวภาพ Biofilter ซึ่งก็คือวัสดุที่มีแบคทีเรียยึดเกาะอยู่ เช่น ดีไนไตรฟายอิงแบคทีเรียจะสร้าง Lipopolysaccharide ออกมาเป็นเมือกจับกับพื้นผิวของตัวกรอง การยึดเกาะดังกล่าวอาจเรียกว่าการตรึง (Immobilization) เกิดเป็นชั้นเรียกว่าฟิล์มชีวภาพ (Biofilm) ที่สามารถนำมาใช้บำบัดน้ำเสียที่ไหลผ่านตัวกรองชีวภาพได้ แบคทีเรียในระบบบำบัดส่วนใหญ่จะเติบโตเพิ่มจำนวนในตัวกรองชีวภาพ โดยเฉพาะ ดีไนไตรฟายอิงแบคทีเรียซึ่งมีอัตราการเจริญช้า จึงต้องใช้การตรึงเซลล์แบคทีเรียกับวัสดุเพื่อนำมาใช้เป็นตัวกรองชีวภาพ การเกาะของแบคทีเรียบนผิวดังกล่าวจะกลายเป็นชั้นหนาขึ้นเรื่อยๆ

วัสดุที่ใช้เป็นตัวกรองชีวภาพ ต้องพิจารณาถึงด้านกายภาพของผิวดักรองซึ่งมีความสำคัญต่อการยึดเกาะของแบคทีเรีย ยิ่งใช้วัสดุที่มีพื้นที่ผิวมาก มีความพรุนหรือขรุขระ ปริมาณแบคทีเรียที่ยึดเกาะจะมากตามไปด้วย มูทิตาและคณะ (2546) ศึกษาผลของการใช้ตัวกรองชีวภาพที่มีลักษณะเป็นเส้นใยพลาสติกสานเป็นรูปท่อ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.5 เซนติเมตร ในบ่อเลี้ยงปลาที่บ่อขนาด 30x30x1.2 เมตร จังหวัดปทุมธานี โดยจัดให้มีบ่อควบคุมที่มีการเติมอากาศผ่านสายยางพลาสติก ที่วางพาดจากขอบบ่อด้านหนึ่งไปยังฝั่งตรงข้าม ตลอดระยะความยาวของบ่อเป็นแถวขนานกันจำนวน 10 แถว เป่าอากาศผ่านหัวทรายเติมอากาศที่ต่ออยู่กับสายท่ออากาศทุกๆ ระยะ 1.5 เมตร โดยที่หัวทรายทุกหัวจะถูกต่อท่อให้หย่อนลงไปใต้น้ำที่ระดับความลึกประมาณ 30 เซนติเมตร สำหรับบ่อชุดทดลองจะมีระบบเติมอากาศแบบเดียวกับบ่อชุดควบคุมทุกประการ แต่จะมีการผูกตัวกรองชีวภาพที่มีความยาวเส้นละ 27 เมตร กับไม้ไผ่ที่ปักอยู่เป็นแนว เพื่อตรึงให้ตัวกรองจมลงได้ระดับผิวน้ำประมาณ 10 ซม. จัดเป็น 10 แถว วางตัวขนานในแนวเดียวกับท่อเติมอากาศ และจัดแนวให้ฟองอากาศที่พุ่งออกมาจากหัวทรายขึ้นผ่านที่ตัวกรองชีวภาพ ปล่อยปลาที่บ่อนี้หนักเริ่มต้นตัวละ 5.9 กรัม ความหนาแน่น 11 ตัว/ตารางเมตร ลงเลี้ยงในบ่อทดลองทั้งสองบ่อ มีการตรวจวัดคุณภาพน้ำ (สารอาหาร ฟิเอช ออกซิเจนละลายน้ำ อัลคาไลน์ดีบีโอดี ความโปร่งแสงของน้ำ คลอโรฟิลล์-เอ แพลงก์ตอนพืช แพลงก์ตอนสัตว์) ทุก 2 สัปดาห์ และสุ่มซังวัดปลาทุก 4 สัปดาห์ตลอดระยะเวลาทดลอง 140 วัน ผลการทดลองพบว่าตัวกรองชีวภาพสามารถช่วยลดแอมโมเนียในน้ำของบ่อทดลอง ทำให้ปริมาณแอมโมเนียในบ่อชุดทดลองต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification) แต่ประสิทธิภาพของตัวกรองยังไม่เพียงพอที่จะบำบัดแอมโมเนียทั้งหมดที่เกิดขึ้นในบ่อ ส่วนคุณภาพน้ำอื่นๆ ของทั้งสองบ่ออยู่ในระดับที่เหมาะสมกับการเลี้ยงสัตว์น้ำ ผลผลิตปลาที่บ่อที่ได้จากบ่อทดลองทั้งสองบ่อไม่แตกต่างกัน โดยได้ผลผลิตปลาในบ่อทดลอง 4,320 กิโลกรัม/ไร่ และในบ่อควบคุม 4,368 กิโลกรัม/ไร่ อัตราแลกเนื้อในบ่อทดลองเป็น 1.27 และในบ่อควบคุมเป็น 1.24

1. วัสดุตัวกลาง (Supporting Media)

สิทธิโชค (2547) กล่าวว่าวัสดุตัวกลาง (Supporting Media) คือ วัสดุที่ใส่ลงไปในระบบบำบัดเพื่อให้จุลินทรีย์ยึดเกาะและเจริญเติบโต วัสดุตัวกลางมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากวัสดุตัวกลางมีส่วนช่วยในการกักชีวมวลไว้ภายในระบบบำบัด โดยชีวมวลจะเกาะอยู่ที่ผิวของวัสดุตัวกลาง ในการเลือกวัสดุหรือชนิดของวัสดุตัวกลางจึงมีความสำคัญมาก ดังนั้นในการสร้างและออกแบบระบบบำบัดเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการดำเนินงานสูงควรต้องคำนึงถึงการเลือกใช้วัสดุตัวกลางที่จุลินทรีย์สามารถเกาะได้ดี อีกทั้งไม่ก่อให้เกิดปัญหาการอุดตันหรือการไหลลัดวงจรภายในระบบ ซึ่งอาจจะเลือกใช้วัสดุต่างๆ ได้แก่ หิน ถ่านหิน อิฐ แก้ว ดินเหนียว เปลือกหอย และวัสดุสังเคราะห์พลาสติก เป็นต้น

(1) วัสดุตัวกลางสังเคราะห์

ปัจจุบันวัสดุตัวกลางสังเคราะห์กำลังได้รับความนิยมอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ที่มีความเข้มข้นสูง วัสดุตัวกลางสังเคราะห์สามารถผลิตได้จากวัสดุต่างๆ หลายชนิด เช่น พลาสติก เซรามิก และโลหะ เป็นต้น ขนาดและรูปร่างของวัสดุสังเคราะห์จะมีหลากหลายชนิด เช่น ทรงกระบอก ทรงกลม รูปร่างอื่น ๆ ขนาดตั้งแต่ขึ้นขนาดเล็กๆ จนกระทั่งถึงขนาดใหญ่ก็ได้ ไม่ว่าจะเป็นขนาดและรูปร่างอย่างไรทุกแบบจะมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงมาก มีช่องว่างมากน้ำหนักเบา และไม่อุดตัน

(2) วัสดุตัวกลางธรรมชาติ จากคุณสมบัติของวัสดุตัวกลางข้างต้น นอกจากวัสดุตัวกลางสังเคราะห์แล้วยังสามารถนำวัสดุตามธรรมชาติที่มีคุณสมบัติของวัสดุตัวกลางที่เหมาะสมมาใช้เป็นวัสดุตัวกลางธรรมชาติเพื่อทดแทนวัสดุตัวกลางสังเคราะห์ เพราะวัสดุตัวกลางสังเคราะห์ถึงแม้จะมีประสิทธิภาพสูง แต่จะมีปัญหาทางสิ่งแวดล้อมและเศรษฐกิจตามมา ได้แก่ ปัญหาขยะมูลฝอยพลาสติก และปัญหาการขาดดุลการค้า เป็นต้น วัสดุตัวกลางธรรมชาติธรรมชาติบางชนิดมีประสิทธิภาพเทียบเท่าหรือมากกว่าวัสดุตัวกลางสังเคราะห์ ตัวอย่างวัสดุตัวกลางธรรมชาติ ได้แก่ หิน กรวด อิฐหัก ไม้ ไม้ไผ่ ดินเหนียว กระเบื้องเผา เชือกและเปลือกหอย เป็นต้น

Mohammad and Emmanuel (2000) ได้ทดสอบประสิทธิภาพของ biofilter media (polypropylene plastic chips และ polyethylene blocks) ซึ่งเป็นการทดสอบเป็นเวลา 172 วัน สำหรับความสัมพันธในการบำบัดแอมโมเนีย, คุณภาพน้ำ, การสะสมของเสีย, ต้นทุน, การเจริญเติบโต, การเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ, อัตราการรอดและการผลิตพันธุ์ปลา ผลที่ได้นั้นแสดงอัตราไนตริฟิเคชัน (กระบวนการออกซิไดซ์แอมโมเนียซึ่งมีความเป็นพิษสูงต่อสัตว์น้ำให้เป็นไนไตรท์ และไนเตรท โดยอาศัยทำหน้าที่ของแบคทีเรีย) และ parameter คุณภาพน้ำไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) ระหว่างสื่อตัวกรองทั้ง 2 สื่อตัวกรองทั้ง 2 มีประสิทธิภาพในการดึงเอาความเป็นพิษของแอมโมเนียและการรักษาคุณภาพ parameter ที่มีการยอมรับและมีขีดจำกัดความปลอดภัยสำหรับการเจริญเติบโตและการรอด อย่างไรก็ตาม จะมีการประหยัมากกว่าเมื่อใช้ plastic chips ที่มีราคาถูก ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) เมื่อมีการทดลองระหว่าง chip และ block ในค่าเฉลี่ยของน้ำหนักตัว (264.1 และ 267.4 g. , ตามลำดับ) อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (1.17 และ 1.18 g. /ปลา/วัน) , FCR (2.04 และ 1.98 , ตามลำดับ) และอัตราการรอด (97.6 และ 98.2% , ตามลำดับ) กำลังการผลิตเฉลี่ยของปลา tilapia 215.0 kg.

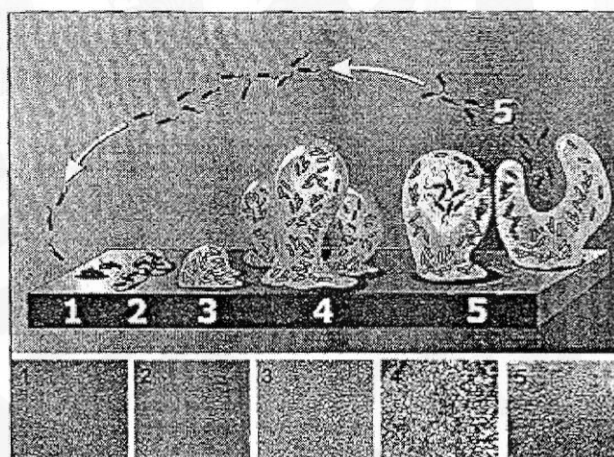
2. **ฟิล์มชีวภาพ (Biofilms)** สิทธิโชค (2547) กล่าวว่าฟิล์มชีวภาพหรือชีวฟิล์ม หมายถึง กลุ่มเซลล์ของจุลินทรีย์และผลิตภัณฑ์ที่จุลินทรีย์สร้างขึ้นและขับออกมานอกเซลล์ (Extracellular Polymer) โดยยึดเกาะอยู่บนผิวของของแข็ง (Substratum) ซึ่งของแข็งที่ใช้เป็นตัวยึดเกาะของจุลินทรีย์ อาจเป็นสิ่งที่มีชีวิตหรือไม่มีชีวิตก็ได้

3. **กระบวนการเกิดฟิล์มชีวภาพ** จากการศึกษาสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำ จะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ที่สามารถแบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้ 2 กลุ่ม คือ จุลินทรีย์ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ และจุลินทรีย์ที่เกาะติดกับ

พื้นผิววัสดุ (Fixed film) ซึ่งกลุ่มจุลินทรีย์ที่ยึดเกาะกับตัวกลางนั้น มีความสามารถเกาะติดกับพื้นผิววัสดุได้ทุกสภาพ โดยจะมีความสามารถในการเกาะติดกับวัสดุที่มีความหยาบได้ดีกว่าพื้นผิวที่เรียบ ซึ่งการเจริญเติบโตของฟิล์มชีวภาพบนผิวของตัวกลางเป็นผลมาจากกระบวนการทางกายภาพ และชีววิทยา ดังนี้

- ขั้นตอนที่ 1 การขนส่ง (Transportation) และการดูดซับ (Absorption) ของโมเลกุลสารอินทรีย์ไปยังผิวของตัวกลาง
- ขั้นตอนที่ 2 การขนส่ง (Transportation) ของเซลล์จุลินทรีย์ไปยังผิวของตัวกลาง
- ขั้นตอนที่ 3 การเกาะยึด (Attachment) ของจุลินทรีย์
- ขั้นตอนที่ 4 การแปลงรูป (Transformation) ของจุลินทรีย์เป็นฟิล์มชีวภาพ ณ บริเวณผิวของตัวกลาง
- ขั้นตอนที่ 5 การหลุด (Detachment) ของฟิล์มชีวภาพบางส่วน เนื่องจากแรงเฉือนของน้ำ

คุณสมบัติของฟิล์มชีวภาพที่เกาะบนผิวของวัสดุต่างๆ นั้น ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการ เช่น ชนิดของสารอินทรีย์ต่างๆ ในน้ำ ความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านผิวของวัสดุ ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ ลักษณะผิววัสดุที่ฟิล์มชีวภาพยึดเกาะ เป็นต้น

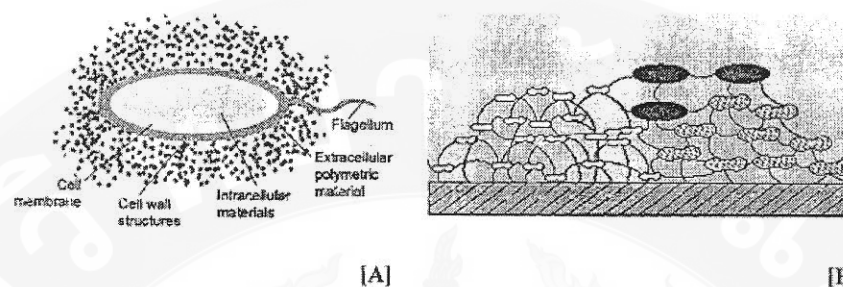


ภาพที่ 3 กระบวนการเกิดฟิล์มชีวภาพ (สิทธิโชค , 2547)

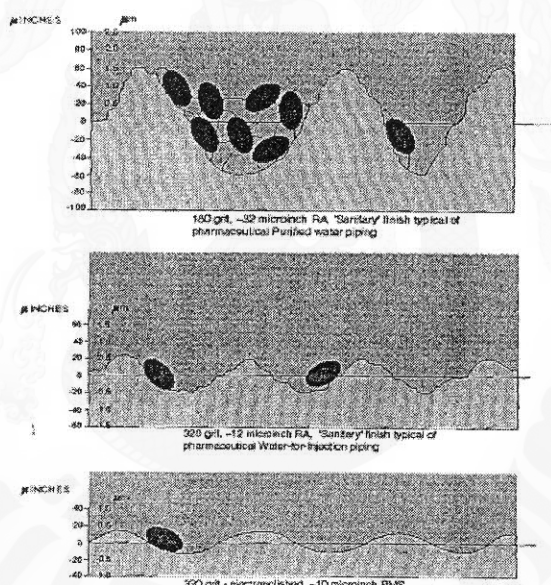
4. การเกาะยึดของฟิล์มชีวภาพ

กลไกในการเกาะยึดของจุลินทรีย์มีด้วยกันหลายรูปแบบ แต่ส่วนใหญ่เกิดขึ้นโดยจุลินทรีย์จะสร้างเส้นใยขนาดเล็กกรอบตัวเซลล์ เส้นใยเหล่านี้จะเกาะจับกันแน่นกับเส้นใยของเซลล์อื่นๆ ทำให้จุลินทรีย์สามารถเกาะติดหนาเป็นฟิล์มบนผิวตัวกลางได้ เส้นใยเหล่านี้ประกอบด้วย Polysaccharides และ Glycoprotein เรียกเส้นใยเหล่านี้ว่า Glycocalyx เป็นเส้นใยสายโมเลกุลน้ำตาลชนิดที่มีกิ่ง (Branching sugar molecules) ตัวเซลล์ของจุลินทรีย์จะฝังจมอยู่ในเส้นใยดังกล่าวการรับสารอาหารและ

อากาศจะซึมผ่านเส้นใย โดยที่เส้นใยมีเอนไซม์ย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีขนาดใหญ่ทำให้โมเลกุลเล็กลงก่อนที่จะเข้าสู่เซลล์จุลินทรีย์ และจุลินทรีย์จะสามารถเกาะติดกับวัสดุที่มีความหยาบได้ดีกว่าพื้นผิวที่เรียบ



ภาพที่ 4 (A) เซลล์ของจุลินทรีย์ (B) ลักษณะการยึดเกาะของจุลินทรีย์ (สิทธิโชค ,2547)



ภาพที่ 5 เปรียบเทียบการเกาะยึดของจุลินทรีย์บนวัสดุที่มีลักษณะพื้นผิวแตกต่างกัน (สิทธิโชค,2547)

5. การดำรงชีพของจุลินทรีย์ในฟิล์มชีวภาพ

เซลล์ของจุลินทรีย์ที่เกาะอยู่บนผิววัสดุ จะนำสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์เข้าสู่เซลล์ เช่น สารอาหารออกซิเจน และตัวรับอิเล็กตรอน (Electron acceptor) พลังงานที่ได้จากกระบวนการเมตาบอลิซึม จุลินทรีย์จะนำไปใช้สร้างเซลล์ใหม่ ซ่อมแซมโครงสร้างภายในเซลล์ การเจริญเติบโต และสร้างผลิตภัณฑ์ โดยผลิตภัณฑ์ที่เซลล์สร้างขึ้นนี้มีทั้งที่คงอยู่ในฟิล์มชีวภาพ เช่น Extracellular polysaccharide และแพร่ออกสู่ชั้นของเหลว

กระบวนการต่างๆ จะสามารถดำเนินต่อไปได้ เซลล์จะต้องอยู่ในที่ที่มีสารอาหารเพียงพอ ฟิล์มชีวภาพที่อยู่ในสถานะที่มีสารอาหารน้อยจะบางกว่าฟิล์มชีวภาพที่อยู่ในที่ที่มีสารอาหารมาก ถ้าวินิจฉัย

ของฟิล์มชีวภาพมีความเข้มข้นของสารอาหารต่ำ สารอาหารจะแพร่ลงไปในฟิล์มชีวภาพได้ไม่มากนัก ทำให้เซลล์ที่อยู่ลึกลงไปไม่สามารถดำรงชีพได้ ซึ่งเป็นสาเหตุให้ฟิล์มชีวภาพบาง แต่ถ้าที่ผิวฟิล์มชีวภาพมีสารอาหารมากเพียงพอที่จะมีการสะสมของฟิล์มชีวภาพขึ้น ทั้งจากการแบ่งเซลล์ของเซลล์ที่เกาะอยู่เดิม และเซลล์ใหม่ที่เข้ามาเกาะ เมื่อถึงจุดความหนาวิกฤติ (Critical thickness) ก็จะเกิดการหลุดลอกของฟิล์มชีวภาพ

6. ความหนาแน่นของจุลินทรีย์

เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของฟิล์มชีวภาพจะประกอบด้วยน้ำเป็นส่วนใหญ่ คือประมาณ 87-69% โดยน้ำหนัก และเซลล์จุลินทรีย์ยังประกอบด้วยน้ำสูงถึง 90% ดังนั้นค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ของฟิล์มชีวภาพจึงใกล้เคียงกับน้ำ ความหนาแน่นของจุลินทรีย์ในฟิล์มชีวภาพ จะขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมต่างๆ เช่น ความเร็วของน้ำที่ไหลผ่าน อุณหภูมิ และชั้นความหนาของฟิล์มชีวภาพ

การเกาะติดของฟิล์มชีวภาพเมื่อมีความหนามาก ลักษณะชั้นของฟิล์มชีวภาพอาจแบ่งเป็น 2 ชั้น คือ แอโรบิกและแอนแอโรบิก ดังแสดงใน โดยความหนาของชั้นแอโรบิกประมาณ 250-300 ไมโครเมตร โดยความหนาของชั้นนี้จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารอินทรีย์ ซึ่งฟิล์มชีวภาพในระบบบำบัดน้ำเสียต่างๆ การกำจัดสารอินทรีย์จะเกิดขึ้นเฉพาะผิวนอกบางๆ เท่านั้น ดังนั้นการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบกำจัด สามารถทำได้โดยเพิ่มความหนาของชั้นแอโรบิก

7. กระบวนการกำจัดสารอินทรีย์ของฟิล์มชีวภาพ

ในการกำจัดสารอินทรีย์ในฟิล์มชีวภาพจะประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

1. การขนส่งสารให้อิเล็กตรอนและออกซิเจน โดยจะถ่ายเทผ่านผิวสัมผัสระหว่างของเหลวและผิวน้ำของฟิล์มชีวภาพ
2. สารอินทรีย์และออกซิเจนละลายน้ำแพร่ (Diffusion) ผ่านผิวสัมผัสสู่ชั้นของฟิล์มชีวภาพ
3. เกิดปฏิกิริยาชีวเคมี มีการใช้สารอินทรีย์และออกซิเจนโดยจุลินทรีย์ในชั้นของฟิล์มชีวภาพ
4. การแพร่ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาชีวเคมี คือ คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำไปยังผิวของฟิล์มชีวภาพที่สัมผัสกับของเหลวและจะแพร่สู่ชั้นของของเหลว

แต่อย่างไรก็ตามในน้ำเสีย จะมีอนุภาคของสารอินทรีย์ที่ไม่สามารถแพร่กระจายได้ปะปนอยู่ในน้ำเสีย ซึ่งอนุภาคของสารอินทรีย์นี้จะถูกกำจัดโดยชั้นแรกจะเข้าไปเกาะที่ผิวของฟิล์มชีวภาพ และจะถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์อยู่ภายนอกฟิล์มชีวภาพ เมื่อกลายเป็นสารละลายถึงสามารถแพร่เข้าสู่ชั้นของฟิล์มชีวภาพต่อไป (สิทธิโชค, 2547)

สุวิมล (2545) ได้ทดลองพัฒนาระบบบำบัดในตรทสำหรับใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเค็ม โดยใช้ระบบบำบัดแบบท่อยาวที่ภายในบรรจุด้วยวัสดุพลาสติกรวมสำหรับเป็นที่ยึดอาศัยของแบคทีเรีย งานวิจัยนี้แบ่งการศึกษาออกเป็น 3 การทดลองโดยการทดลองแรกเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ของอัตราการใช้ออกซิเจนของแบคทีเรีย อัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันและการเกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์

(H₂S) ในถังปฏิกรณ์ขนาด 1 ลิตร ที่สร้างขึ้นจากพลาสติกอคริลิกใสภายในบรรจุวัสดุกรองทรงกลมและน้ำเสียเทียมที่มีความเข้มข้นของไนเตรตตั้งแต่ 20-60 mgNO₃-N/L หลังจากการเติมเมธานอลเป็นแหล่งคาร์บอนพบว่าแบคทีเรียในระบบสามารถลดปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ลงได้ด้วยอัตรา 1.25, 2.30 microgramO₂/bioball/h และเมื่อ DO ลดลงต่ำกว่า 1 mgO₂/L จึงตรวจพบการลดลงของไนเตรตโดยมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันเท่ากับ 1.46, 13.69 microgramNO₃-N/bioball/h และค่าศักย์ออกซิเคชันรีดักชัน (ORP) ในขณะที่เกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันอยู่ระหว่าง 0 ถึง 100 mV และเมื่อค่า ORP ต่ำกว่า 300 mV จะเกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ขึ้นในระบบ สำหรับการทดลองที่ 2 เป็นการศึกษาปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันในระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อความยาว 25 m ซึ่งภายในบรรจุวัสดุกรองทรงกลมโดยอาศัยแบคทีเรียในส่วนต้นของท่อในการลดปริมาณออกซิเจนให้ต่ำลงจนถึงระดับที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันได้ในส่วนปลายของท่อ พบว่ายังมีประสิทธิภาพไม่ดีเท่าที่ควร เนื่องจากแม้ว่าระบบจะสามารถลดปริมาณออกซิเจนให้ลดลงต่ำในส่วนปลายท่อได้ แต่เนื่องจากท่อที่สั้นเกินไปทำให้มีระยะเวลากักเก็บน้ำในท่อไม่เพียงพอต่อการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันที่สมบูรณ์ ในการทดลองส่วนที่ 3 ได้เพิ่มความยาวของระบบบำบัดแบบท่อขึ้นเป็น 50 m พบว่าระบบสามารถบำบัดไนเตรตได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยในช่วงแรกที่เดินระบบโดยมีระยะเวลากักเก็บเท่ากับ 2.3 ชั่วโมง และมีการเติมเมธานอลเข้าสู่ระบบจะทำให้เกิดการลดลงของไนเตรตแต่เกิดการสะสมไนไตรท์ขึ้นมาแทนซึ่งแสดงว่าเป็นปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันแบบไม่สมบูรณ์ แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลากักเก็บเป็น 4.2 ชั่วโมง พบว่าระบบสามารถบำบัดไนเตรตได้อย่างสมบูรณ์โดยมีค่า ORP ในระหว่างที่เกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันอยู่ระหว่าง 0 ถึง 200 mV และเมื่อนำระบบบำบัดไนเตรตมาต่อเข้ากับบ่อเลี้ยงกุ้งขนาด 352 ลิตร โดยปรับตั้งสภาวะของระบบบำบัดตามการทดลองที่ได้ทำไว้ก่อน พบว่าระบบบำบัดแบบท่อยาวสามารถบำบัดไนเตรตได้โดยมีประสิทธิภาพการบำบัด 84-97% โดยเป็นปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันที่สมบูรณ์ และระหว่างการบำบัดไม่พบการเกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ รวมทั้งน้ำที่ผ่านออกจากระบบบำบัดไม่มีผลกระทบต่อกุ้งที่เลี้ยงอยู่ในถัง

ระบบการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์

1. ระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินมีหลายหลายระบบ ได้แก่

1.1 ระบบเอ็นเอฟที (Nutrient Film Technique, NFT) เป็นระบบที่ให้สารละลายไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบางๆ เป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมอย่างมากเป็นการปลูกพืชโดยรากแช่อยู่ในสารละลายโดยตรง สารละลายจะไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ (โดยทั่วไปมักกำหนดให้น้ำที่ไหลผ่านมีความหนาประมาณ 2-3 มิลลิเมตร) สารละลายจะไหลหมุนเวียนผ่านรากตลอดเวลา ระบบเอ็นเอฟทีสามารถแบ่งได้เป็น การปลูกในราง ปลูกในร่อง ปลูกในท่อ

1.2 ระบบดีเอฟที (Deep Floating Technique, DFT) เป็นระบบที่ปลูกพืชโดยรากแช่อยู่ในสารละลายลึกประมาณ 15-20 เซนติเมตร โดยจะมีการปลูกพืชบนแผ่นโฟม หรือวัสดุที่ลอยน้ำได้ เพื่อยึดลำต้นแต่จะปล่อยให้รากเป็นอิสระในน้ำ ระบบนี้ไม่มีความลาดเอียงเป็นระบบที่มีการหมุนเวียน

สารละลาย โดยการใช้ปุ๋ยคูละลายจากถังพักขึ้นมาใช้ใหม่ในระบบ เพื่อให้เกิดการหมุนเวียน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้กับระบบน้ำที่ใช้ในการผลิตผักระบบนี้อาจมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ระบบไฮโดรโพนิกส์ลอยน้ำ

1.3 ระบบดีอาร์เอฟ (Dynamic Root Floating, DRF) เป็นระบบการปลูกพืชที่พัฒนามาจากระบบของ ดร.เกอร์ริค (Prof. Dr. William F. Gericke) ที่เน้นการปลูกพืชให้รากพืชแช่อยู่ในน้ำส่วนหนึ่ง และอีกส่วนหนึ่งสร้างรากอากาศเพื่อช่วยในการหายใจ โดยจะทำให้พืชที่ปลูกในระบบนี้สามารถเจริญเติบโตได้ดีในอุณหภูมิของสารละลายที่สูงมากกว่าระบบอื่นๆ (อิทธิสุนทร และคณะ, 2544)

ศุภาพร (2544) กล่าวว่า การปลูกผักแบบไฮโดรโพนิกส์เป็นลักษณะของการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดินแยกเป็น 2 ประเภทคือ การปลูกพืชในน้ำยาเรียกว่า ไฮโดรโพนิกส์ และการปลูกผักในวัสดุปลูกชนิดอื่นๆ ที่ไม่ใช่ดินเรียกว่า ซอยเลส การปลูกผักโดยไม่ใช้ดินเป็นการปลูกผักโดยให้รากอยู่ในวัสดุปลูกที่ไม่ใช่ดินได้แก่ การปลูกให้รากแช่อยู่ในน้ำ ปลูกให้รากอยู่ในอากาศ และปลูกให้รากอยู่ในวัสดุปลูกอื่นๆ ได้แก่ วัสดุอินทรีย์ เช่น ขุยมะพร้าว จี๊เล้าแกลบ จี๊เลื่อย วัสดุผสมต่างๆ และวัสดุอนินทรีย์ เช่น ทราย กรวด ฟองน้ำ โยหิน เพอไลต์ และเวอร์มิคูไลต์ เป็นต้น ซึ่งการปลูกในวัสดุปลูกที่ไม่ใช่ดินเหล่านี้ ต้องให้สารละลายธาตุอาหารแก่พืชอย่างพอเหมาะ และต่อเนื่องจึงจะทำให้พืชเจริญเติบโต การปลูกผักในลักษณะนี้ถือเป็นการปลูกพืชแบบไร้ดินอีกวิธีหนึ่ง ไฮโดรโพนิกส์ เป็นการปลูกพืชไร้ดินในรูปแบบของการปลูกพืชให้รากแช่อยู่ในน้ำ หรือสารละลายธาตุอาหารพืช การปลูกพืชไม่ใช้ดิน (hydroponics) เป็นการปลูกพืชที่ไม่ใช้วัสดุปลูกเป็นการปลูกพืชลงบนสารละลายธาตุอาหาร โดยให้รากพืชสัมผัสกับสารอาหารโดยตรง

2. ปัจจัยที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของการปลูกพืชแบบไฮโดรโพนิกส์

2.1 อุณหภูมิ พืชแต่ละชนิดต้องการอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตที่แตกต่างกันทำให้สามารถจำแนกพืชผักตามนิสัยการเจริญเติบโตในสภาพอุณหภูมิที่ต่างกันเป็น 2 พวก คือ พืชผักฤดูร้อนและพืชผักฤดูหนาว อุณหภูมิมีผลต่อสรีรวิทยาของพืช กระบวนการหายใจ และการสังเคราะห์แสง ในสภาพอุณหภูมิที่สูงหรือต่ำเกินไปมีผลต่อเอนไซม์ในปฏิกิริยาต่างๆ ในพืช อุณหภูมิที่ต่ำทำให้พืชผักมีการสะสมน้ำตาลสูงขึ้นปริมาณเส้นใยลดลง ในทางตรงกันข้ามที่อุณหภูมิสูงพืชผักจะเจริญเติบโตเร็วเนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีสูงขึ้นผักจึงแก่เร็ว

2.2 แสง มีลักษณะเป็นอนุภาค แต่ละอนุภาคเรียกว่า โฟตอน ซึ่งให้พลังงานในระดับต่างๆ กันตามความยาวคลื่นของแสง แสงส่วนที่เป็นประโยชน์ต่อการสังเคราะห์แสงมีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 400-700 นาโนเมตร (nm) ซึ่งเป็นแสงที่มองด้วยตาเปล่า เมื่อแสงตกกระทบใบพืชจะถูกดูดซับไว้โดยคลอโรฟิลล์ และพืชมีความสามารถดูดซับแสงสีต่างๆ ไม่เท่ากัน เมื่อคลอโรฟิลล์ ดูดซับแสงไว้จะเปลี่ยนโฟตอนไปเป็นพลังงานเคมีในกระบวนการสังเคราะห์แสง เพื่อสร้างอาหารโดยเปลี่ยนจากโมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำไปเป็นคาร์โบไฮเดรต คือ แป้ง และน้ำตาล รวมทั้งปลดปล่อยออกซิเจนออกมา

2.3 ปริมาณน้ำที่พืชได้รับ การใช้น้ำของพืชเป็นผลมาจากการเปิด-ปิดของปากใบ หรือพืชต้องการน้ำเพื่อการคายน้ำและลำเลียงธาตุอาหาร พืชแต่ละชนิดมีความต้องการน้ำในแต่ละช่วงการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน ฤดูกาลมีผลต่อการใช้น้ำของพืช ในสภาพอากาศร้อนและมีแสงแดดจัด พืชมีการคายน้ำมากกว่าในสภาพที่แสงน้อยและอุณหภูมิต่ำ ในการปลูกพืชไม่ใช้ดินในระบบปิดการคายน้ำของพืชจึงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร ในสภาพที่พืชคายน้ำมากแต่มีการใช้ธาตุอาหารน้อยสารละลายในระบบจะมีความเข้มข้นสูงขึ้น ในทางกลับกันหากในช่วงที่พืชคายน้ำน้อยแต่มีความต้องการธาตุอาหารมากทำให้ความเข้มข้นของสารอาหารน้อยลง

2.4 ความชื้นในอากาศ ในสภาพโรงเรือนที่อากาศถ่ายเทไม่ดี ความชื้นภายในโรงเรือนจะสูงกว่าภายนอก ทำให้ปากใบปิดพืชคายน้ำน้อยลง การดูดใช้ธาตุอาหารและการสังเคราะห์แสงจึงลดลง และภายใต้สภาพดังกล่าวยังเหมาะสมสำหรับการการเจริญและการแพร่กระจายของเชื้อสาเหตุโรคหลายชนิด ทำให้เกิดการระบาดของโรคอย่างรุนแรงโดยเฉพาะโรคทางใบ

2.5 ลม และการถ่ายเทอากาศ ในกระบวนการเจริญเติบโตของพืช พืชตรึงคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศใช้ในกิจกรรมการสังเคราะห์แสง เพื่อให้ได้แป้งและน้ำตาลและปลดปล่อยออกซิเจนสู่อากาศ ขณะเดียวกันยังใช้ออกซิเจนในกระบวนการหายใจ เพื่อให้ได้พลังงานและปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ในช่วงเวลากลางวันพืชมีการสังเคราะห์และใช้คาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าที่ปลดปล่อยออกมา อัตราความเร็วลมที่เหมาะสมทำให้เกิดการถ่ายเทอากาศบริเวณต้นพืชไม่ให้มีการสะสมของก๊าซที่ปลดปล่อยออกมา แต่หากกระแสลมแรงเกินไปทำให้เกิดความเสียหายแก่ต้นพืช หรือทำความเสียหายแก่โรงเรือนได้

2.6 ออกซิเจน พืชต้องการออกซิเจนเพื่อการหายใจให้ได้พลังงานสำหรับดึงดูดธาตุอาหารและน้ำในสภาพการปลูกในดินหรือปลูกในวัสดุ เนื่องจากมีช่องว่างระหว่างเม็ดดินหรือวัสดุปลูกทำให้สามารถระบายถ่ายเทอากาศได้ รากพืชจึงมีอากาศหายใจแต่สำหรับการปลูกใน สารละลายรากพืชแช่อยู่ในน้ำตลอดเวลา การหายใจต้องอาศัยออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำซึ่งมีปริมาณเพียงเล็กน้อยและหมดได้รวดเร็ว ทำให้เกิดความเสียหายแก่รากพืชได้หากไม่ได้รับการเติมอากาศแก่สารละลายอย่างเพียงพอ สำหรับการเติมอากาศในสารละลายทำได้โดยการใช้ปั๊มลมเป่าอากาศเข้าในสารละลาย แต่ไม่จำเป็นสำหรับระบบที่มีการไหลหมุนเวียนสารละลายผ่านรากพืชและระบบแอโรโพนิกส์

2.7 ธาตุอาหารพืช ธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชมีด้วยกัน 16 ธาตุ ได้แก่ คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ออกซิเจน (O) ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) แมกนีเซียม (Mg) แคลเซียม (Ca) สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) ซัลเฟอร์ (S) โบรอน (B) เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) โมลิบดีนัม (Mo) คลอรีน (Cl) โดย 3 ธาตุแรกพืชได้จากน้ำและอากาศ ส่วนธาตุอื่นๆ ที่เหลือพืชได้จากดิน หากเป็นการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินจะต้องเตรียมให้แก่พืชในรูปสารละลายธาตุอาหาร

2.8 บทบาทของโรงเรือน ในการปลูกพืชไม่ใช้ดินปัจจัยภายนอกที่เกี่ยวข้องกับ การเจริญเติบโตของพืช หากสามารถควบคุมปัจจัยต่างๆ เหล่านั้นให้เหมาะสมกับชนิดและพันธุ์ ทำให้พืช

แสดงศักยภาพของพันธุ์กรรมได้อย่างสมบูรณ์ ปัจจัยของแสง อุณหภูมิ และอากาศมีความสำคัญต่อการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน โดยเฉพาะในเขตหนาวซึ่งมีข้อจำกัดทั้ง 3 ปัจจัย จึงทำให้มีผู้ให้ความสนใจศึกษากันมาก เพื่อหาแนวทางการส่งเสริมให้พืชได้ผลผลิตสูงขึ้น (กิตติ, 2547)

การเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบอะควาโปนิคส์

เป็นการเลี้ยงปลาในระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิดร่วมกับระบบการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิคส์ เป็นระบบการใช้ปัจจัยการผลิตที่มีประสิทธิภาพ เนื่องจากปริมาณธาตุอาหารที่เกิดจากการขับถ่ายของเสียในปลา มาเป็นธาตุอาหารของพืช เป็นอีกทางเลือกหนึ่งของเกษตรกรที่มีพื้นที่ทำกินขนาดเล็กหรือมีปัญหาพื้นที่ขาดความอุดมสมบูรณ์ มีรูปแบบที่หลากหลายของชนิดสัตว์น้ำและชนิดพืช รวมถึงวิธีการที่แตกต่างกัน เป็นระบบที่ประยุกต์มาจากความสัมพันธ์ของปลากับสิ่งแวดล้อม โดยการทำให้ของเสียจากการเลี้ยงปลาซึ่งอยู่ในรูปของไนโตรเจนประมาณ 70-75 เปอร์เซ็นต์ถูกกำจัดออกจากระบบ และถูกนำไปเป็นสารอาหารที่ใช้ในการเจริญเติบโตของพืช แทนการถ่ายเทน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาเพื่อกำจัดของเสียออกไป ในระบบบำบัดน้ำ พืชจะทำหน้าที่ดึงไนโตรเจนด้วยกลไกต่างๆ เช่น การดูดซึมแอมโมเนีย หรือไนเตรต การระเหยของแอมโมเนีย การตกตะกอนของอนุภาคไนโตรเจน เป็นต้น ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบระบบปิดหรือระบบหมุนเวียน เป็นระบบที่มีการใช้ประโยชน์ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าเพราะระบบดังกล่าวสามารถรักษาความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชให้อยู่ในระดับที่เพียงพอต่อความต้องการ ของระบบการปลูกพืชไฮโดรโปนิคส์ได้ โดยในทางทฤษฎีปริมาณธาตุอาหารในอาหารสัตว์สามารถปรับปรุงเพื่อให้เกิดความสมดุลกับพืชได้ อาหารสัตว์ดังกล่าวนี้จะคงสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างปลากับพืช และความเข้มข้นของสารอาหารที่พืชใช้เหมาะสมที่สามารถรักษาไว้ได้ในระยะเวลาที่ยาวนาน โดยไม่จำเป็นต้องมีการเติมธาตุอาหารเสริม อย่างไรก็ตามอาหารสัตว์ที่ใช้จะต้องทำให้ปลามีการเติบโตได้ในอัตราที่ยอมรับได้ การเลี้ยงปลาแบบปิดจะมีของเสียเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกวัน ซึ่งของเสียเหล่านี้มาจากสิ่งขับถ่ายที่ปลาขับถ่ายออกมา และมาจากเศษอาหารที่เหลือสะสมอยู่ในบ่อเลี้ยงปลา การกำจัดของเสียขั้นต้นในสามารถทำได้โดยการให้การกรองทางกายภาพ ส่วนของเสียที่ผ่านการกรองกายภาพจะถูกย่อยสลายผ่านกระบวนการแอมโมนิฟิเคชันและไนตริฟิเคชันด้วยจุลินทรีย์ที่อยู่ในธรรมชาติ เกิดเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่เป็นสารพิษ เช่น แอมโมเนียและไนไตรท์ ของเสียเหล่านี้เมื่อสะสมอยู่จนถึงระดับหนึ่งจะเกิดความเป็นพิษต่อปลาได้ ในขณะเดียวกันแอมโมเนียและไนไตรท์ก็ถูกทำลายได้ด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชัน อีกทั้งปัจจุบันการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีแนวโน้มเปลี่ยนจากการเลี้ยงในระดับความหนาแน่นต่ำซึ่งนิยมทำในระบบเปิดโดยใช้น้ำจากธรรมชาติเข้าสู่การเลี้ยงแบบพัฒนา (ระดับความหนาแน่นสูง) และในระบบปิดซึ่งมีการบำบัดและหมุนเวียนน้ำอยู่ภายในระบบ การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบปิดมีข้อดีคือสามารถเพิ่มผลผลิต ป้องกันการติดโรค และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการปล่อยน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยง แต่การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในรูปแบบนี้มักประสบปัญหาแอมโมเนียสะสมในระดับความเข้มข้นสูง ซึ่งมีสาเหตุจากการให้อาหารในปริมาณมาก การขับถ่ายของสัตว์น้ำ และจากการย่อยสลายของโปรตีนในอาหารที่เหลือจากการบริโภคโดยแบคทีเรียภายในบ่อเลี้ยง

ระบบการเลี้ยงปลาร่วมกันในระบบการปลูกพืชอะควาโปนิคส์

Anon (751) กล่าวว่า Aquaponic system คือ ระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืชไร้ดิน โดยของเสียจากการเลี้ยงปลาจะถูกย่อยสลายด้วยแบคทีเรียกลุ่ม nitrification ซึ่งสามารถออกซิไดส์ แอมโมเนียให้เป็นไนไตรท์และจากไนไตรท์ให้เป็นไนเตรต ซึ่งพืชสามารถดูดซับไนเตรตที่ละลายอยู่ในน้ำได้ Aquaponic system นี้ กำลังเป็นที่นิยมเป็นการเพิ่มผลผลิตทางพาณิชย์ ปลาที่นิยมเลี้ยงในระบบคือ ปลานิล (*Oreochromis niloticus*) นอกจากนี้ยังมีปลาเรนโบทราต์ ปลาคาร์พ และปลาคู ส่วนพืชที่นิยมปลูกในระบบนี้คือ ผักกาดหอม ผักสลัด รวมทั้งพืชเศรษฐกิจด้วย เช่น มะเขือเทศ แตงกวา พริกไทย และพืชจำพวกแตง Rakocy *et al.* (1993) พบว่า การเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบหมุนเวียนแบบปิดที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำน้อยมาก หรือแทบไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเลย พวกธาตุอาหารในรูปที่ละลายในน้ำจะมีการสะสมอยู่ในปริมาณที่มาก และมีระดับความเข้มข้นที่ใกล้เคียงกับระดับความเข้มข้นของธาตุอาหารที่ใช้กัน ในสารละลายสำหรับการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน และยังรายงานอีกว่าการเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบหมุนเวียนแบบปิดจะเกิดการสะสมของสารประกอบไนโตรเจนในปริมาณที่สูง สอดคล้องกับการศึกษาของ Chen and Lin. (1995) ที่พบว่าสัตว์น้ำจะขับถ่ายของเสียออกมาในรูปของสารละลายต่างกันหลายรูป แต่ที่ขับถ่ายออกมามากที่สุดจะอยู่ในรูปแอมโมเนีย-ไนโตรเจน โดยคิดเป็น 60-70 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ ยูเรีย ยูริก ไนไตรท์-ไนโตรเจน และไนเตรต-ไนโตรเจน โดยแอมโมเนีย-ไนโตรเจนและไนไตรท์-ไนโตรเจนมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ แต่ไนเตรต-ไนโตรเจนจะมีความเป็นพิษต่ำ และยังเป็นแหล่งไนโตรเจนสำหรับพืชชั้นสูงได้ด้วย

Lewis *et al.* (1978) ได้เลี้ยงปลาในระบบกรองชีวภาพ และการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (มะเขือเทศ) มารวมเข้าด้วยกันเพื่อสร้างเป็นระบบการเลี้ยงหมุนเวียนน้ำแบบปิดขึ้น โดยทำการเลี้ยงปลา Channel catfish พบว่า ระบบดังกล่าวมีประสิทธิภาพดีทุกด้าน ไม่ว่าจะเป็นการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำ ผลผลิตของมะเขือเทศ การเจริญเติบโต และอัตราการรอดของปลา และยังกล่าววาระบบกรองชีวภาพนั้นเป็นตัวช่วยของเสียต่างๆ ให้เป็นไนเตรต-ไนโตรเจน และฟอสเฟต ซึ่งจะถูกนำไปใช้โดยมะเขือเทศต่อไป ปริมาณผลผลิตของมะเขือเทศที่จากการศึกษาครั้งนี้ มีค่าสูงกว่าการปลูกมะเขือเทศโดยวิธีการทั่วไป

Nair *et al.* (1985) กล่าวว่า การพัฒนานำวิธีการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินมาผสมผสานกับระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดถือว่าเป็นวิธีการที่เหมาะสมอย่างยิ่ง เพราะธาตุอาหารที่เกิดจากของเสียจะถูกพืชนำไปใช้ในขบวนการเจริญเติบโตได้เป็นอย่างดี แต่ยังพบว่าบ่อยครั้งจะเกิดปัญหาการขาดแคลนธาตุอาหารและพืชให้ผลผลิตต่ำ ในช่วงระยะเวลาที่ศึกษาโดยสาเหตุมาจากปริมาณธาตุอาหารในสารละลายไม่เพียงพอและเกิดการสะสมของสารประกอบไนโตรเจนของเกลือมากเกินไป เพราะฉะนั้นการจะควบคุมระดับความเข้มข้นของธาตุอาหารในสารละลายที่ใช้ปลูกพืชทำได้ยาก ถ้าคุณภาพของอาหารที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำไม่แน่นอน (Rakocy *et al.*, 1993)

Chen and Lin (1995) กล่าวว่า การเลี้ยงปลาในระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิดสามารถผสมผสานร่วมกับการปลูกพืชไม่ใช้ดินที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจในสารละลายที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชรวมกันเรียก

ได้ว่า Aquaponics system น้ำในบ่อเลี้ยงปลาจะไหลมาพักในถังตกตะกอน จากนั้นคูน้ำจากถังตกตะกอนผ่านระบบกรองชีวภาพโดยผ่านใยแก้วกรอง จากนั้นจะไหลผ่านวัสดุกรองที่ใช้ น้ำที่ผ่านระบบกรองชีวภาพจะไหลไปตามท่อเพื่อผ่านรากพืชแล้ว รากพืชจะดูดธาตุอาหารไปใช้ในการเจริญเติบโต น้ำที่ผ่านไปยังรากพืชจะถูกส่งต่อไปยังบ่อเลี้ยงปลาอีกครั้ง (Lewis *et al.*, 1978)

มีการศึกษาการเลี้ยงปลาร่วมกันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตหลายรูปแบบ เช่น Yi และคณะ (2003), Lin และ Yi (2003), Yi และ Lin (2001) โดยการทดลองเลี้ยงปลาตู้บักกียในกระชังในบ่อเลี้ยงปลานิล โดยปลานิลได้ใช้ประโยชน์จากแพลงก์ตอนในบ่อที่เกิดจากสารอาหารในการเลี้ยงปลาตู้บักกีย มีรายงานว่า การเลี้ยงปลาตู้บักกียร่วมกับปลานิลนั้นสามารถให้ผลผลิตปลาตู้บักกียถึง 50 ตัน และปลานิล 10.6 ตัน/เฮกตาร์/ปี Lin และ Diana (1995) ทดลองเลี้ยงปลาตู้บักกียในกระชัง 3.2 ลบ.ม. ด้วยความหนาแน่น 275 ตัว/ลบ.ม. จำนวน 2 กระชัง ในบ่อดินขนาด 250 ตร.ม. ที่เลี้ยงปลานิลด้วยอัตรา 2 ตัว/ตร.ม. พบว่าความเหมาะสมของอัตราส่วนปลาตู้บักกียต่อปลานิล เท่ากับ 4:1 Sethteethunyan (1998) ทดลองเลี้ยงปลาตู้ลูกผสม (*Clarias macrocephalus* x *Clarias gariepinus*) ร่วมกับปลานิลแปลงเพศ เพื่อเปรียบเทียบรูปแบบการหมุนเวียนน้ำโดยเลี้ยงในระบบปิดที่มีการเลี้ยงปลาตู้เพียงอย่างเดียว และระบบหมุนเวียนที่การเปลี่ยนถ่ายน้ำจากถังเลี้ยงปลาตู้ไปเลี้ยงปลานิลทุกๆ 3 และ 7 วัน ก่อนหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง 90 วัน ปรากฏว่า ไม่พบความแตกต่างในแง่ของอัตราการรอดและปริมาณผลผลิตทั้งหมดของปลาตู้ลูกผสมในระบบการเลี้ยงแบบต่างๆ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 90.37 - 98.52 เปอร์เซ็นต์ และ 2.66 - 2.97 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ปลาช่อน (*Channa striata*) เป็นปลาน้ำจืดที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจของไทย เป็นที่ต้องการของตลาด และมีราคาค่อนข้างแพง แต่เกษตรกรต้องประสบปัญหาในเรื่องของการให้อาหาร และการเน่าเสียของน้ำ เนื่องจากปลาช่อนเป็นปลากินเนื้อ ต้องการโปรตีนในปริมาณสูง อาหารที่เกษตรกรนิยมใช้เลี้ยงปลาช่อน คือ อาหารสด และอาหารสำเร็จรูป มีปัญหาด้านคุณภาพน้ำ เกษตรกรต้องมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำอย่างสม่ำเสมอ มีการระบายของเสียออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ มีผลให้คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติลดต่ำลง กรมควบคุมมลพิษ (2547) ในส่วนการศึกษาแนวทางการเลี้ยงสัตว์น้ำร่วมกันเพื่อลดของเสียจากระบบการเลี้ยงนั้น สุทธาจริและคณะ (2548) ; และ สุทธาจริและคณะ (2549) พบว่า การใช้ปลานิลบำบัดน้ำทิ้ง และปลาซวยบำบัดน้ำทิ้ง มีประสิทธิภาพการลดของเสียในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาช่อน และปลาซวย มีประสิทธิภาพในการลด Turbidity และ NH_3 ใกล้เคียงกัน ระบบบำบัดโดยใช้ปลานิลมีประสิทธิภาพในการลด NO_3^- และระบบบำบัดโดยใช้ปลาซวยมีประสิทธิภาพในการลด TKN และ TN สูงกว่า น้ำทิ้งจากการเลี้ยงปลาช่อนมีผลให้ปลานิลมีการเจริญเติบโตดี อีกทั้งปัจจุบันการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีแนวโน้มเปลี่ยนจากการเลี้ยงในระดับความหนาแน่นต่ำซึ่งนิยมทำในระบบเปิดโดยใช้น้ำจากธรรมชาติเข้าสู่การเลี้ยงแบบพัฒนา (ระดับความหนาแน่นสูง) และในระบบปิดซึ่งมีการบำบัดและหมุนเวียนน้ำอยู่ภายในระบบ การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบปิดมีข้อดีคือสามารถเพิ่มผลผลิต ป้องกันการติดโรค และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการปล่อยน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยง แต่การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในรูปแบบนี้มักประสบปัญหาแอมโมเนียสะสมในระดับความเข้มข้นสูง

ซึ่งมีสาเหตุจากการให้อาหารในปริมาณมาก การจับถ่ายของสัตว์น้ำ และจากการย่อยสลายของโปรตีนในอาหารที่เหลือจากการบริโภคโดยแบคทีเรียภายในบ่อเลี้ยง ผลการศึกษาของ Nair และคณะ(1985) และ McMurtry และคณะ(1997) ได้ศึกษา ผลของอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างปลาไนล์ และ ต้นมะเขือเทศ ต่อปริมาณน้ำหนึ่งลิตร พบว่า ที่อัตราส่วนที่สูงขึ้นอัตราการบำบัดจะมีประสิทธิภาพมากขึ้น และปริมาณผลผลิตจะเพิ่มขึ้นด้วย Lewis และคณะ (1978) ได้เลี้ยงปลาในระบบกรองชีวภาพและการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน(มะเขือเทศ) มารวมเข้าด้วยกัน เพื่อสร้างเป็นระบบการเลี้ยงหมุนเวียนน้ำแบบปิดขึ้น โดยทำการเลี้ยงปลา chanel catfish พบว่า ระบบดังกล่าวมีประสิทธิภาพดีทุกด้านไม่ว่าจะเป็นการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำ ผลผลิตของมะเขือเทศ การเจริญเติบโตและอัตราการรอดของปลาและยังกล่าวว่า ระบบกรองชีวภาพนั้นเป็นตัวช่วยของเสียต่าง ๆ ให้เป็นไนเตรท-ไนโตรเจน และฟอสเฟต ซึ่งจะถูกนำไปใช้โดยมะเขือเทศต่อไป สุฤทธิ(2552) ศึกษาการเลี้ยงปลาคูกผสมในบ่อซีเมนต์ระบบหมุนเวียนร่วมกับระบบการปลูกพืชไฮโดรโปนิคส์โดยหมุนเวียนน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาเข้าสู่ระบบกำจัดตะกอน และระบบกรองชีวภาพปริมาณธาตุอาหารของพืชสะสมอยู่ในปริมาณมากพอ มีระดับความเข้มข้นใกล้เคียงกับระบบการปลูกพืชไฮโดรโปนิคส์ สำหรับการเปรียบเทียบวัสดุกรองที่ใช้กับระบบกรองชีวภาพจากบ่อเลี้ยงปลาคูกผสม สรุปได้ว่า วัสดุกรองอิฐ มีแนวโน้มทำให้ประสิทธิภาพการผลิต อัตรารอดของปลาคูกผสม และผักกาดหอมห่อ ดีที่สุด มีผลทำให้คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงไม่เป็นอันตรายต่อปลา และช่วยลดปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ไนไตรท์-ไนโตรเจน และไนเตรท-ไนโตรเจน ในบ่อเลี้ยงได้ดีกว่าวัสดุกรองชนิดอื่น ส่วนการศึกษาสัดส่วนระหว่างการปลูกผัก และการเลี้ยงปลาที่เหมาะสมพบว่า สัดส่วน 1 ต่อ 10 มีแนวโน้มทำให้ประสิทธิภาพการผลิต น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการแลกเนื้อ และอัตราการรอดของปลาคูกผสมดีที่สุด และทำให้การเจริญเติบโต อัตรารอดของผักกาดหอมห่อดีที่สุดเช่นกัน

ปลาช่อน (Striped snakehead) ปลาน้ำจืดเศรษฐกิจที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งของประเทศไทย มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Channa striata* ปลาช่อนเป็นปลาที่มีรสชาติดี ก้างน้อย สามารถนำมาประกอบอาหารได้หลายชนิด จึงทำให้การบริโภคปลาช่อนได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย แต่ปัจจุบันปริมาณปลาช่อนที่จับได้จากแหล่งน้ำธรรมชาติมีจำนวนลดน้อยลง เนื่องจากการทำประมงเกินศักยภาพการผลิตตลอดจนสภาพแวดล้อมของแหล่งน้ำเสื่อมโทรมตื้นเขิน ไม่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิต ทำให้ปริมาณปลาช่อนในธรรมชาติไม่เพียงพอต่อการใช้ประโยชน์และความต้องการบริโภค การเลี้ยงปลาช่อนจึงเป็นแนวทางหนึ่งซึ่งจะช่วยแก้ปัญหาการขาดแคลนได้ ปลาช่อนเป็นปลากินเนื้อ อาหารที่ใช้เลี้ยงปลาช่อนเป็นอาหารที่มีโปรตีนสูง เลี้ยงจากขนาดปลารุ่น 20 ตัว / กิโลกรัม ถึงขนาดตลาดต้องการ ใช้เวลาเลี้ยงอีก 5 เดือน น้ำหนักจะอยู่ระหว่าง 0.6 – 1.0 กิโลกรัม โดยทั่วไปน้ำหนักปลาที่ตลาดต้องการขนาด 0.5 – 0.7 กิโลกรัม สำหรับอัตราแลกเนื้อประมาณ 5 – 6:1 กิโลกรัม ผลผลิต 12 ตัน/ไร่ (กมลศิริ ,2545)

ผักกาดหอม (*Lactuca sativa* Linn.) ชื่ออื่นๆ ผักสลัด ลักษณะทั่วไป ไม้ล้มลุก ลำต้นตั้ง ตรง สูงได้ถึง 1 เมตร ใบเดี่ยวเรียงสลับ รูปขอบขนานกว้างหรือรูปไข่กลับแกมขอบขนาน กว้าง 2.5-10 เซนติเมตร ยาว 6-14 เซนติเมตร ดอกช่อออกเป็นกระจุกที่ปลายยอด การใช้ประโยชน์ รับประทานเป็น

ผักสด และทำยาโดยใบทำให้หลับ แก้ไอเรื้อรัง แก้ไข้ ขับปัสสาวะ(จุไรรัตน์, 2548) ผักบุ้งจีน *Ipomoea reptans* L. ชื่อสามัญ : Water Convolvulus, Kang-Kong จัดเป็นพืชผักที่นิยมปลูก และรับประทาน เนื่องจาก เติบโตเร็ว มีระยะปลูกไม่ถึงเดือน นิยมใช้รับประทานสด และเป็นผักสำคัญที่ใช้ใส่ก๋วยเตี๋ยว มีความกรอบ ไม่มีกลิ่นเหม็นเขียว ใบเป็นใบเดี่ยว ใบเป็นรูปหอก เรียวยาว โคนใบกว้างเป็นรูปหัวใจ ปลายใบแหลม แผ่นใบ และขอบใบเรียบ ก้านใบยาว 4-8 เซนติเมตร แผ่นใบยาวประมาณ 6-15 เซนติเมตร ผักบุ้งจีนมีการปลูกเพื่อการค้า และใช้สำหรับการรับประทานเป็นหลัก ขึ้นฉ่าย หรือเซเลอรี *Apium graveolens* เป็นผักและสมุนไพรที่มีกลิ่นหอม นิยมใช้ในการปรุงอาหารที่ต้องการดับกลิ่นคาว หรือเพิ่มความหอมของน้ำซุป หรือนำไปผัดเพื่อดับคาวปลา ขึ้นฉ่ายเป็นผักที่ใกล้เคียงกับผักชี แต่ใบใหญ่กว่าและกลิ่นฉุน โดยขึ้นฉ่ายเป็นชื่อผักที่มีจากภาษาจีน หรือที่คนไทยเรียกว่า ผักข้าวปิ่น, ผักปิ่น, ผักปืม เป็นต้น ผักขึ้นฉ่าย มีอยู่ 2 สายพันธุ์ สายพันธุ์แรกก็คือ ขึ้นฉ่ายฝรั่ง ลักษณะต้นจะอวบใหญ่มาก ลำต้นมีความสูงประมาณ 40-60 เซนติเมตร ลำต้นขาวใบเหลืองอมเขียว และอีกสายพันธุ์คือ ขึ้นฉ่ายจีน หรือ “Chinese Celery” ซึ่งจะมีขนาดของลำต้นที่เล็กกว่า มีความสูงประมาณ 30 เซนติเมตร และใบค่อนข้างแก่ สมุนไพรขึ้นฉ่าย ผักสมุนไพรที่มีกลิ่นหอม นิยมนำมาใช้ในการปรุงอาหารเพื่อช่วยในการดับกลิ่นคาวต่าง ๆ หรือนำมาใช้เพิ่มความหอมให้น้ำซุป มะเขือเทศ (*Lycopersicon Esculentum* Mil) จัดเป็นผลไม้ชนิดหนึ่งซึ่งหลายท่านอาจจะเข้าใจผิดเพราะถ้าพูดถึงพืชผักสวนครัว มะเขือเทศเป็นผลไม้ที่มีผู้คนนิยมมากที่สุดในโลกเพราะนอกจากจะรับประทานผลสดแล้วยังนำมาแปรรูปอยู่ในรูปของ ซอสมะเขือเทศ น้ำมะเขือเทศจึงนิยทานกันทั่วโลก

ดังนั้น การศึกษาการผลิตสัตว์น้ำร่วมกันในระบบดังกล่าวนี้จึงจำเป็นที่ต้องทราบข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของน้ำจากการเลี้ยงปลาที่เลี้ยงในระบบ ต้องทราบถึงสัดส่วนของชนิดปลาทั้งสองที่เลี้ยงร่วมกัน ขนาดของปลาที่มีผลต่อปริมาณธาตุอาหารจากบ่อเลี้ยงปลาที่ผ่านระบบกำจัดตะกอนเข้าสู่ระบบกรองชีวภาพ สัดส่วนที่เหมาะสมของการปลูกพืชผัก ได้แก่ ชนิดพืชผักและสัดส่วนที่เหมาะสมกับระบบการเลี้ยงปลานิลร่วมกับปลาช่อนในระบบบะควาโปนิคส์ เพื่อนำมาซึ่งข้อมูลที่สามารถนำไปใช้เป็นแนวทาง เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพยิ่งขึ้นยังขาดข้อมูลหรือเทคนิคที่เกษตรกรปฏิบัติได้ โดยผู้วิจัยได้มีความคาดหวังว่า ผลการวิจัยที่ได้จะเป็นประโยชน์ต่อการนำไปใช้ได้กับเกษตรกร ผู้ประกอบการ การเลี้ยงปลานิลให้มีความยั่งยืน ซึ่งเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการเพิ่มรายได้จากผลผลิตปลาช่อนของเกษตรกรและผู้ประกอบในระหว่างการเลี้ยงปลานิลได้เป็นอย่างดี

วิธีการดำเนินการวิจัย

เลี้ยงปลานิลร่วมกับปลาช่อนและใช้พืชผักในระบบผลิตสัตว์น้ำแบบอะควาโปนิคส์

ในแต่ละหน่วยทดลอง เป็นการเลี้ยงปลานิลร่วมกับปลาช่อนในบ่อซีเมนต์ในระบบน้ำหมุนเวียน ในบ่อทดลองขนาด 2.0 X 1.5 ตารางเมตร ขณะเดียวกันมีการปลูกพืชผักแบบไม่ใช้ดิน โดยใช้ น้ำจากบ่อเลี้ยงปลาผ่านรางปลูกพืชผัก ใช้ท่อ PVC ขนาด 2 นิ้ว ยาว 30 ซม วางขนานกันจำนวน 6 ราง ซึ่งสามารถปลูกพืชผัก 30 ต้น ขณะทดลองมีการเก็บข้อมูล เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำที่ใช้เลี้ยง และน้ำที่ผ่านระบบบำบัดเข้าสู่ระบบการปลูกพืช การเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตและรายได้ที่เพิ่มขึ้น ขณะเดียวกันจะศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างจำนวนปลานิลและปลาช่อนและพืชผักที่ปลูกในระบบนี้ รวมถึงวิเคราะห์ธาตุอาหารในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาและพืชที่ปลูก เพื่อปรับปริมาณธาตุอาหารในน้ำให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืชและปลาที่เลี้ยงในระบบผลิตสัตว์น้ำแบบอะควาโปนิคส์

ขั้นตอนและวิธีวิจัยระบบการเลี้ยงปลานิลและปลาช่อนแบบอะควาโปนิคส์

1.การเตรียมบ่อ บ่อทดลอง เป็นบ่อซีเมนต์ ขนาด 1X1 X 1.5 เมตร ทำการล้างทำความสะอาด และตากบ่อทิ้งไว้ประมาณ 2 วัน เติมน้ำลงบ่อในระดับความสูงประมาณ 80 ซม. และเปิดอุปกรณ์ให้อากาศทิ้งไว้ประมาณ 3-4 วัน ก่อนเริ่มการทดลอง

2.การเตรียมลูกปลานิลและปลาช่อน ใช้ลูกปลานิลอายุ 2 เดือนและปลาช่อน ขนาด 10 กรัม ที่ซื้อมาจากฟาร์มเอกชน นำมาพักในบ่อ เพื่อให้ลูกปลาปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมโดยให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปที่ขายตามท้องตลาดเพื่อให้ปลาชินกับอาหาร จากนั้นคัดขนาดลูกปลาให้มีขนาดใกล้เคียงกัน สุ่มชั่งน้ำหนักและนับจำนวนปลาลงบ่อทดลอง

3.การดำเนินการวิจัย

3.1การดำเนินการวิจัย การวิจัยที่ 1 ศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของอัตราการเลี้ยงปลานิลและปลาช่อน ร่วมกับการปลูกพืชผักแบบไม่ใช้ดินในระบบอะควาโปนิคส์

โดยปล่อยลูกปลานิล ขนาด 3-4 นิ้ว ที่คัดขนาดให้ใกล้เคียงกันลงเลี้ยงในบ่อทดลองด้วยอัตราความหนาแน่น 50 ตัว/ตรม และปล่อยปลาช่อน ขนาด 10 กรัม ลงเลี้ยงร่วมกันในอัตราปล่อยสัดส่วนต่าง ๆ กัน (treatment) โดยใช้อัตราการให้อาหาร และความถี่ในการให้อาหารที่เหมาะสม ร่วมกับการปลูกพืชผักที่สำคัญแบบไม่ใช้ดิน วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design : CRD) จำนวน 4 treatment ๆ ละ 3 ซ้ำ ระยะเวลาทดลอง 3 เดือน

Treatment ที่ 1 อัตราปล่อยปลานิล 50 ตัวต่อตารางเมตร ไม่มีการเลี้ยงปลาช่อน

Treatment ที่ 2 อัตราปล่อยปลานิล 50 ตัวต่อตารางเมตร ปลาช่อน 15 ตัวต่อตารางเมตร

Treatment ที่ 3 อัตราปล่อยปลานิล 50 ตัวต่อตารางเมตร ปลาช่อน 20 ตัวต่อตารางเมตร

Treatment ที่ 4 อัตราปล่อยปลานิล 50 ตัวต่อตารางเมตร ปลาช่อน 25 ตัวต่อตารางเมตร

โดยทุกหน่วยทดลองการปลูกพืชผักแบบไม่ใช้ดิน แบบ Nutrient film technique (NFT) ใช้น้ำจากบ่อเลี้ยงปลาผ่านรางปลูกพืชผัก ใช้ท่อ PVC ขนาด 2 นิ้ว ยาว 30 ซม วางขนานกันจำนวน 6 ราง ซึ่งสามารถปลูกพืชผัก 4 ชนิด ๆ ละ 8 ต้น รวม 32 ต้น

4. การจัดการอาหาร การให้อาหารปลาในระหว่างการทดลอง แต่ละบ่อทดลองได้รับอาหารวันละ 2 ครั้ง คือเวลา 8.00 น. และ 16.00 น. โดยให้อาหารในอัตราส่วน 5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว หว่านให้ทั่วบ่อ และอาหารใช้เป็นอาหารปลาคุณภาพขนาดเล็กชนิดเม็ดสำเร็จรูปลอยน้ำ โปรตีน 35 % ไขมัน ไม่น้อยกว่า 8% ที่มีขายในท้องตลาด มีการปรับปริมาณการให้อาหารทุก 15 วัน ตลอดการทดลอง บันทึกปริมาณอาหารที่ให้แต่ละบ่อทดลอง

5. การจัดการน้ำ การปรับปริมาณของน้ำในบ่อเลี้ยงปลา ทำการเติมน้ำลงบ่อในกรณีปริมาณน้ำลดลงต่ำกว่า 80 เซนติเมตร ตรวจสอบคุณสมบัติของน้ำ ก่อนทดลอง และระหว่างการทดลองทุกๆ 15 วัน จนถึงสิ้นสุดการทดลอง โดยทำการศึกษาคูณสมบัติของน้ำดังต่อไปนี้(ศิริเพ็ญ , 2543)

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำในห้องปฏิบัติการ

ดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำ	วิธีการวิเคราะห์
ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)	pH meter(HI 9812)
ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO)	Azide modification
อุณหภูมิ (น้ำ, อากาศ)	Thermometer
แอมโมเนีย-ไนโตรเจน	Phenol method
ไนไตรท์-ไนโตรเจน	Coupling method
ไนเตรท-ไนโตรเจน	Hydrazine nitrate
ฟอสฟอรัสรวม	Stannous chloride method

6. การเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลด้านประสิทธิภาพการผลิตปลานิลร่วมกับปลาช่อนระบบผลิตสัตว์น้ำแบบอะควาโปนิคส์ ตรวจสอบการเจริญเติบโต และอัตราการรอดปลานิลและปลาช่อน โดยชั่งน้ำหนักลูกปลา เมื่อเริ่มการทดลอง เพื่อหาค่าเฉลี่ยน้ำหนักปลาต่อตัวเมื่อเริ่มต้นการทดลอง และสุ่มปลาปลานิลและปลาช่อน จำนวน 20 ตัว หาน้ำหนักเฉลี่ยของปลาระหว่างการเลี้ยงทุก 15 วัน เก็บข้อมูลทั้งหมดจนจบการทดลองและนับอัตราการรอดของปลาแต่ละ การทดลองเมื่อสิ้นสุดการทดลองจากนั้นบันทึกและคำนวณข้อมูลเมื่อเสร็จสิ้นการทดลองนำข้อมูลมาคำนวณเปรียบเทียบน้ำหนักที่เพิ่มของปลา อัตราการรอดตาย และน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ดังนี้

6.1 น้ำหนักที่เพิ่มเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (WT.GAIN)

= น้ำหนักเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง - น้ำหนักเฉลี่ยเมื่อเริ่มการทดลอง

6.2 อัตราการเจริญเติบโต (ADG) กรัม/วัน

$$= \frac{\text{น้ำหนักเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} - \text{น้ำหนักเฉลี่ยเมื่อเริ่มการทดลอง}}{\text{ระยะเวลาในการทำการทดลอง}}$$

6.3 อัตราการรอด (Survival Rate) เปอร์เซ็นต์

$$= \frac{\text{จำนวนปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง}}{\text{จำนวนปลาเมื่อเริ่มการทดลอง}} \times 100$$

7. ศึกษาผลผลิตพืชผักในระบบผลิตสัตว์น้ำแบบอะควาโปนิคส์ (ปลานิลร่วมกับปลาช่อน)

7.1 การเตรียมระบบการปลูกพืชผักแบบไม่ใช้ดิน

เตรียมอุปกรณ์ในระบบการปลูกพืชผักที่ไม่ใช้ดิน จำนวน 12 ชุด เป็นท่อ PVC ขนาด 2 นิ้ว ประกอบด้วยข้องอสามทาง ถังเก็บน้ำ และรวมถึงอุปกรณ์ที่ใช้กรองน้ำและใช้บำบัดน้ำเสีย ทำการล้างท่อ PVC เพื่อทำความสะอาดประกอบเข้ากับระบบ โดยใช้ปั้มน้ำดูดน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาปล่อยลงในถังพักน้ำ ปล่อยลงในชุดอุปกรณ์ที่กรองตะกอน ผ่านลงชั้นกรองชีวภาพเสร็จแล้ว ไหลผ่านลงมาที่ระบบการปลูกพืชผักท่อ PVC ที่เตรียมไว้ จากนั้น น้ำที่ผ่านระบบการปลูกพืชผักจะไหลกลับไปยังบ่อซีเมนต์ที่ใช้เลี้ยงปลานิลต่อไป

7.2 การเตรียมกล้าพืชผัก

เตรียมแผ่นฟองน้ำ ความหนา 1 นิ้ว นำมาตัดให้ได้ขนาดพอดีกับกับถาดที่ใช้เพาะใช้มีดกรีดฟองน้ำให้ได้ ขนาด 1x1 นิ้ว โดยกรีดไม่ให้ขาดออกจากกัน ทำรอยบากทแยงมุมความลึก ประมาณกึ่งกลางของฟองน้ำ แฉ่ฟองน้ำก่อนทำการเพาะเมล็ดพืชผัก ทำการหยอดเมล็ดพืชผักลงในช่องบาก 1 ช่อง ต่อ 1 เมล็ด เสร็จแล้วนำฟองน้ำที่หยอดเมล็ดพืชผักใส่ในถาดเพาะเมล็ดปิดฝาหรือเก็บไว้ในที่มืด 3 วัน เมล็ดจะเริ่มงอก จากนั้น ปล่อยต้นกล้าให้มีใบจริง 3 ใบ

7.3 การปลูกพืชผัก และการจัดการดูแล

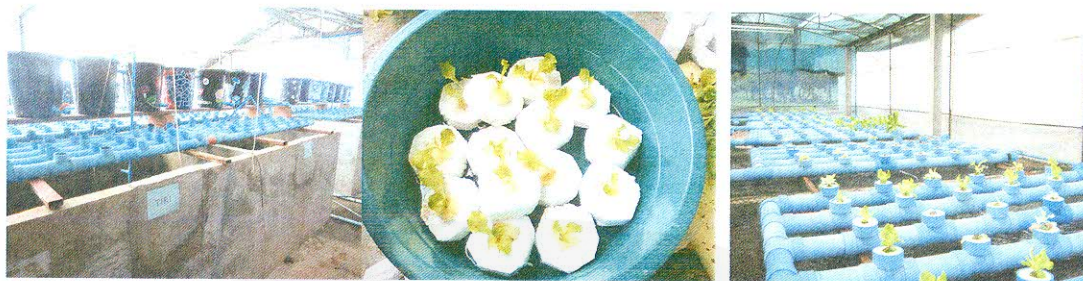
เตรียมแผ่นโฟม ให้เป็นวงกลม ขนาดพอดีกับท่อ PVC ทำการเจาะรูเป็นรูสี่เหลี่ยมให้ได้ขนาดเท่ากับฟองน้ำที่เพาะต้นกล้า ขนาด 1 X1 นิ้ว เมื่อต้นกล้า มีใบจริง 2-3 ใบ ให้จิกฟองน้ำพร้อมต้นกล้าที่เพาะใส่ ลงในแผ่นโฟม แล้วใส่ลงระบบปลูกพืชผักที่ไม่ใช้ดินในท่อ PVC ที่เตรียมไว้

7.4 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการปลูกพืชผัก

การบันทึกและคำนวณข้อมูล เมื่อเสร็จสิ้นการทดลองนำข้อมูลของพืชผัก มาคำนวณเปรียบเทียบความสูง การรอดตายและน้ำหนักผลผลิตรวมทั้งหมด ดังนี้

1. ความสูงเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

$$= \text{ความสูงเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} - \text{ความสูงเฉลี่ยเมื่อเริ่มการทดลอง}$$



ภาพที่ 6 ระบบปลูกพืชไม่ใช้ดินร่วมกับการเลี้ยงปลานิลและปลาช่อนแบบอะควาโปนิคส์



ภาพที่ 7 ศึกษาการเจริญเติบโตปลาช่อนและปลานิลในการทดลอง(ชั่งน้ำหนักและวัดขนาด)



ภาพที่ 8 พืชผักในระบบการทดลอง

การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลไปหาค่าเฉลี่ยและวิเคราะห์ทางสถิติ โดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อศึกษาความแตกต่างค่าเฉลี่ยของการเจริญเติบโตและผลผลิตของปลานิล ปลาช่อนและพืชผักแต่ละชนิดของแต่ละทรีตเมนต์ จากนั้นเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์ โดยวิธีของ Tukey's Test ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$) โดยใช้โปรแกรมทางสถิติสำเร็จรูป

ผลการวิจัยและการวิจารณ์

1.เปรียบเทียบอัตราการเลี้ยงปลานิลร่วมกับปลาช่อนในระบบอะควาโปนิคส์ที่เหมาะสม

จากการศึกษาอัตราการเลี้ยงปลานิลในระบบน้ำหมุนเวียนร่วมกับการปลูกพืชผักแบบอะควาโปนิคส์ ที่ความหนาแน่นต่างกันที่ 50 (ชุดควบคุม)เลี้ยงปลานิลเพียงอย่างเดียว, ปล่อยปลาช่อน 15 , 20 และ 25 ตัว/ตารางเมตรเลี้ยงปลานิลร่วมกับปลาช่อนการปลูกพืชผักแบบไม่ใช้ดินโดยเลี้ยงในบ่อซีเมนต์ ขนาด 1 X 1 X 1.5 เมตร ระยะเวลาการเลี้ยง 90 วัน เมื่อสิ้นสุดการทดลองให้ผลดังนี้

1.1.อัตราการเจริญเติบโตและผลผลิตของปลานิลที่เลี้ยงร่วมกับปลาช่อนในระดับความหนาแน่นต่างกัน

เมื่อสิ้นสุดการทดลองแสดงดังตารางที่ 3 พบว่า

น้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลองของชุดการทดลองที่ 1,2,3 และ4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 155.94 ± 14.38 , 150.22 ± 7.03 , 149.09 ± 9.58 และ 144.89 ± 14.14 กรัม ตามลำดับ โดยชุดการทดลองที่ 1 มีค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับชุดการทดลองที่ 2,3 และ4 ในชุดการทดลองที่ 1เลี้ยงปลานิล ในความหนาแน่น 50 ตัว เพียงอย่างเดียว ให้น้ำหนักเพิ่มขึ้นสูงสุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 78.57 ± 3.09 กรัม ส่วนชุดการทดลองที่ 2, 3 และ 4 ให้น้ำหนักเพิ่มขึ้นเท่ากับ 74.12 ± 8.81 , 71.39 ± 9.98 และ 68.38 ± 2.19 กรัม ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยทางสถิติพบว่าชุดการทดลองที่ 1 มีความแตกต่างกับชุดการทดลองที่ 2,3และ4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ความยาวเมื่อสิ้นสุดการทดลองเท่ากับ 22.35 ± 0.79 , 21.43 ± 0.48 , 21.32 ± 0.63 และ 21.27 ± 1.51 เซนติเมตร ตามลำดับ และความยาวเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นของชุดการทดลองที่ 1,2,3 และ4 มีค่าเท่ากับ 10.09 ± 1.34 , 9.22 ± 1.40 , 9.27 ± 1.32 และ 9.08 ± 1.48 เซนติเมตร ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยทางสถิติพบว่าทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

อัตราการเจริญเติบโตของชุดการทดลองที่ 1 มีค่าเฉลี่ยสูงสุดที่ 0.87 ± 0.77 กรัมต่อวัน และชุดการทดลองที่ 2,3 และ4 มีค่าเท่ากับ 0.82 ± 0.29 , 0.79 ± 0.33 , และ 0.76 ± 0.39 กรัมต่อวัน เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยทางสถิติของแต่ละชุดการทดลองพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

อัตราการรอดตายของชุดการทดลองที่ 1,2,3 และ4 อยู่ที่ $98.25 \pm 0.70\%$, $97.63 \pm 0.57\%$, $97.41 \pm 0.38\%$ และ $97.26 \pm 0.56\%$ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยทางสถิติพบว่าทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ผลผลิตของปลานิลเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า น้ำหนักปลารวมของชุดการทดลองที่ 1,2,3 และ 4 มีค่าเท่ากับ 8.31 ± 1.27 , 7.84 ± 1.54 , 7.32 ± 1.53 และ 7.10 ± 1.17 กิโลกรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของปลานิลที่เลี้ยงด้วยอัตราปล่อย 50 ตัวต่อตารางเมตรร่วมกับการปล่อยปลาช่อนที่ความหนาแน่นแตกต่างกัน ระยะเวลาเลี้ยง 90 วัน

รายละเอียดข้อมูล	อัตราความหนาแน่นปลาช่อน (ตัว/บ่อ)			
	0	15	20	25
	(ชุดควบคุม)			
น้ำหนักเมื่อเริ่มต้นการทดลอง (กรัม)	77.37±19.62	76.10±0.15	77.70±18.93	76.51±16.27
น้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (กรัม)	155.94±14.38 ^a	150.22±7.03 ^b	149.09±9.58 ^b	144.89±14.14 ^b
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	78.57±3.09 ^a	74.12±8.81 ^b	71.39±9.98 ^b	68.38±2.19 ^b
ความยาวเริ่มต้นการทดลอง (เซนติเมตร)	12.26±1.89 ^a	12.21±1.63 ^a	12.05±1.72 ^a	12.19±1.68 ^a
ความยาวสิ้นสุดการทดลอง (เซนติเมตร)	22.35±0.79 ^a	21.43±0.48 ^a	21.32±0.63 ^a	21.27±1.51 ^a
ความยาวที่เพิ่มขึ้น (เซนติเมตร)	10.09±1.34 ^a	9.22±1.40 ^a	9.27±1.32 ^a	9.08±1.48 ^a
อัตราการเจริญเติบโต (กรัมต่อวัน)	0.87±0.77 ^a	0.82±0.29 ^a	0.79±0.33 ^a	0.76±0.39 ^a
อัตราการรอดตาย(%)	98.25±0.70 ^a	97.63±0.57 ^a	97.41±0.38 ^a	97.26±0.56 ^a
ผลผลิต (กิโลกรัม)	8.31±1.27	7.84±1.54	7.32±1.53	7.10±1.17

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันแถวเดียวกันแสดงความแตกต่างทางสถิติ ($p<0.05$) ($n=10$)

1.2 อัตราการเจริญเติบโตและผลผลิตของปลาช่อนที่ระดับความหนาแน่นต่างกันในการเลี้ยงร่วมกับปลานิลที่ 50 ตัว/ตารางเมตร

จากการปล่อยปลาช่อนขนาดเริ่มทดลอง ขนาดเฉลี่ย ในชุดการทดลองที่ 2 , 3 และ 4 เท่ากับ 8.66 ± 0.88 , 8.30 ± 8.04 และ 8.50 ± 0.90 กรัม เมื่อสิ้นสุดการทดลองเป็นระยะเวลา 90 วัน (ตารางที่ 4) พบว่า

น้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลองของชุดการทดลองที่ 2,3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 80.91 ± 5.06 , 79.34 ± 4.84 และ 74.28 ± 5.42 กรัม ตามลำดับ โดยชุดการทดลองที่ 2 และ 3 ที่อัตราการปล่อยปลาช่อน 15 และ 20 ตัว/ตารางเมตร มีค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันกับชุดการทดลองที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เช่นเดียวกับ น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของการทดลองที่ 2(อัตราการปล่อยปลาช่อน 15 ตัว/ตารางเมตร) และ 3(อัตราการปล่อยปลาช่อน 20 ตัว/ตารางเมตร) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดการทดลองที่ 4 (อัตราการปล่อยปลาช่อน 25 ตัว/ตารางเมตร)

ความยาวเมื่อสิ้นสุดการทดลองของชุดการทดลองที่ 2,3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 21.58 ± 3.16 , 21.07 ± 2.25 และ 20.40 ± 2.70 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยชุดการทดลองที่ 2 , 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยความยาวเมื่อสิ้นสุดการทดลองไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เช่นเดียวกับความยาวของปลาช่อนที่เพิ่มขึ้นของชุดการทดลองที่ 2 , 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยความยาวที่เพิ่มขึ้น เมื่อสิ้นสุดการ

ทดลองเท่ากับ 11.98 ± 3.57 , 10.99 ± 1.43 และ 10.13 ± 1.91 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยค่าเฉลี่ยทั้ง 3 ชุดการทดลอง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$)

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง อัตราการเจริญเติบโตของชุดการทดลองที่ 2, 3 และ 4 มีค่าอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยเท่ากับ 0.80 ± 0.09 , 0.79 ± 0.06 และ 0.73 ± 0.07 กรัม/วัน ทั้ง 3 ชุดการทดลอง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 3 ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของปลาช่อนที่ความหนาแน่นต่างกันในปีซีเมนต์ในระบบน้ำหมุนเวียน ที่เลี้ยงร่วมกับความหนาแน่นปลานิล 50 ตัวต่อตารางเมตร ในบ่อทดลองขนาด $1.0 \times 1.0 \times 1.5$ ตารางเมตร ระยะเวลาทดลอง 90 วัน

รายละเอียดข้อมูล		อัตราความหนาแน่นปลานิล 50 ตัวและปลาช่อนต่างกัน (ตัวต่อตารางเมตร)			
		0 (ชุดควบคุม)	15	20	25
น้ำหนักเมื่อเริ่มการทดลอง (กรัม)	-		8.66 ± 0.88^a	8.30 ± 0.84^a	8.50 ± 0.90^a
น้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (กรัม)	-		80.91 ± 5.06^b	79.34 ± 4.84^b	74.28 ± 5.42^a
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	-		72.25 ± 13.40^a	71.04 ± 17.61^a	65.78 ± 13.99^a
ความยาวเริ่มต้นการทดลอง (เซนติเมตร)	-		10.68 ± 0.52^a	10.08 ± 0.12^a	10.27 ± 0.76^a
ความยาวสิ้นสุดการทดลอง (เซนติเมตร)	-		21.58 ± 3.16^a	21.07 ± 2.25^a	20.40 ± 2.70^a
ความยาวที่เพิ่มขึ้น (เซนติเมตร)	-		11.98 ± 3.57^a	10.99 ± 1.43^a	10.13 ± 1.91^a
อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/วัน)	-		0.80 ± 0.09^a	0.79 ± 0.06^a	0.73 ± 0.07^a
อัตราการรอดตาย%	-		74.42 ± 2.15^b	64.54 ± 3.12^a	61.20 ± 4.41^a
ผลผลิต (กิโลกรัม)	-		1.10 ± 0.12^a	1.03 ± 0.33^a	1.11 ± 0.22^a
หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันแถวเดียวกันแสดงความแตกต่างในทางสถิติ ($p < 0.05$) ($n=10$)					

อัตราการรอดตายปลาช่อนของชุดการทดลองที่ 2, 3 และ 4 เท่ากับ 74.42 ± 2.15 , 64.54 ± 3.12 และ 61.20 ± 4.41 ตามลำดับ โดยชุดการทดลองที่ 2 มีอัตราการรอดตายสูงสุด มีแตกต่างกับชุดการทดลองที่ 3 และ 4 อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ได้ผลผลิตปลาช่อนเฉลี่ยในชุดการทดลองที่ 2, 3 และ 4 เท่ากับ 1.10 ± 0.12 , 1.03 ± 0.33 และ 1.11 ± 0.22 กิโลกรัม ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ดังแสดงในตาราง ที่ 4

3. ผลผลิตของพืชผัก 4 ชนิด ได้แก่ ผักกาดหอม ผักบุ้ง มะเขือเทศและคื่นช่ายที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์ใช้น้ำจากระบบกรองชีวภาพจากบ่อเลี้ยงปลานิลที่เลี้ยงด้วยอัตราปล่อย 50 ตัวต่อตารางเมตร ร่วมกับการปล่อยปลาช่อนที่ความหนาแน่นแตกต่างกัน

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ระยะเวลา 40 วัน พบว่า

3.1 ผักกาดหอม

ความสูงเมื่อสิ้นสุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยผักกาดหอมที่ปลูกร่วมกับการเลี้ยงปลานิลที่อัตราความหนาแน่น 50 ตัวต่อบ่อเพียงชนิดเดียว (ชุดควบคุม) มีความสูงมากที่สุด (22.83 ± 0.34 เซนติเมตร) รองลงมาคือ ชุดการทดลองที่ 2 (22.04 ± 0.46 เซนติเมตร), ชุดการทดลองที่ 4 (22.00 ± 0.31 เซนติเมตร) และชุดการทดลองที่ 3 (21.65 ± 0.11 เซนติเมตร) ตามลำดับ ดังตารางที่ 5

ความสูงที่เพิ่มขึ้นของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 1 (ชุดควบคุม) ชุดการทดลองที่ 2 ชุดการทดลองที่ 4 และ ชุดการทดลองที่ 3 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 19.75 ± 0.64 , 18.94 ± 0.19 , 18.89 ± 0.53 และ 18.57 ± 2.41 เซนติเมตร ตามลำดับ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

ด้านผลผลิต ชุดการทดลองที่ 3 มีค่าสูงที่สุดที่ 209.29 กรัม รองลงมาคือชุดการทดลองที่ 4, 3 และ 2 ตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 206.07, 205.09 และ 204.04 กรัมตามลำดับ

ตารางที่ 4 ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ปลูกในระบบพีชไร์ดินร่วมกับการเลี้ยงปลาแบบอะควาโปนิคส์ปลานิลที่เลี้ยงร่วมกับปลาช่อนที่อัตราความหนาแน่นต่างกัน (ระยะทดลอง 40 วัน)

ประสิทธิภาพการผลิต	อัตราความหนาแน่นปลานิล 50 ตัวและปลาช่อนต่างกัน (ตัวต่อตารางเมตร)			
	0 (ชุดควบคุม)	15	20	25
ความสูงเริ่มต้นการทดลอง (เซนติเมตร)	3.08 ± 0.37^a	3.10 ± 0.21^a	3.08 ± 0.51^a	3.11 ± 0.28^a
ความสูงเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (เซนติเมตร)	22.83 ± 0.34^a	22.04 ± 0.46^a	21.65 ± 0.11^a	22.00 ± 0.31^a
ความสูงที่เพิ่มขึ้น (เซนติเมตร)	19.75 ± 0.64^a	18.94 ± 0.19^a	18.57 ± 2.41^a	18.89 ± 0.53^a
ผลผลิต (กรัม)	204.04	205.09	209.29	206.07

หมายเหตุ 1. เป็นข้อมูลเฉลี่ยต่อรอบการผลิตที่ 40 วัน

2. ตัวอักษรที่ต่างกันแถวเดียวกันแสดงความแตกต่างในทางสถิติ ($p < 0.05$) ($n=8$)

3.2 ผักบุ้ง

ความสูงเมื่อสิ้นสุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยผักบุ้งที่ปลูกร่วมกับการเลี้ยงปลานิลที่อัตราความหนาแน่น 50 ตัวต่อตารางเมตร ร่วมกับการปล่อยปลาช่อน 25 ตัวต่อตารางเมตร (ชุดการทดลองที่ 4) มีความสูงมากที่สุด (47.60 ± 22.1 เซนติเมตร) รองลงมาคือ ชุดการ

ทดลองที่ 2 (44.02 ± 1.86 เซนติเมตร), ชุดการทดลองที่ 3 (40.88 ± 2.42 เซนติเมตร) และชุดการทดลองที่ 1 (40.01 ± 1.94 เซนติเมตร) ตามลำดับ ดังตารางที่ 6

ความสูงที่เพิ่มขึ้นของผักบุ้งในชุดการทดลองที่ 4 ชุดการทดลองที่ 2 ชุดการทดลองที่ 3 และชุดการทดลองที่ 1 (ชุดควบคุม) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 44.82 ± 2.52 , 41.11 ± 2.99 , 40.88 ± 2.42 และ 40.01 ± 1.94 เซนติเมตร ตามลำดับ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ด้านผลผลิตผักบุ้งของชุดการทดลองที่ 3 มีค่าสูงที่สุดที่ 339.23 กรัม รองลงมาคือชุดการทดลองที่ 2, 4 และ 1 ตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 315.67, 306.0 และ 269.33 กรัมตามลำดับ ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 5 ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของผักบุ้ง ที่ปลูกในระบบพีซีไควนร่วมกับการเลี้ยงปลาแบบอะควาโปนิคส์ปลานิลที่เลี้ยงร่วมกับปลาช่อนที่อัตราความหนาแน่นต่างกัน (ระยะทดลอง 40 วัน)

ประสิทธิภาพการผลิต	อัตราความหนาแน่นปลานิล 50 ตัวและปลาช่อนต่างกัน (ตัวต่อตารางเมตร)			
	0 (ชุดควบคุม)	15	20	25
ความสูงเริ่มต้นการทดลอง (เซนติเมตร)	2.80 ± 0.37	2.91 ± 0.12	2.81 ± 0.27	2.78 ± 0.18
ความสูงเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (เซนติเมตร)	42.81 ± 1.74^a	44.02 ± 1.86^{ab}	43.69 ± 2.11^a	47.60 ± 2.21^b
ความสูงที่เพิ่มขึ้น (เซนติเมตร)	40.01 ± 1.94^a	41.11 ± 2.99^a	40.88 ± 2.42^a	44.82 ± 2.52^a
ผลผลิต (กรัม)	269.33	315.67	339.23	306.0

หมายเหตุ 1. เป็นข้อมูลเฉลี่ยต่อรอบการผลิตที่ 40 วัน

2. ตัวอักษรที่ต่างกันแถวเดียวกันแสดงความแตกต่างในทางสถิติ ($p < 0.05$) ($n=8$)

3.3 ผักขึ้นช่าย

ความสูงของผักขึ้นช่าย เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยผักขึ้นช่ายที่ปลูกร่วมกับการเลี้ยงปลานิลที่อัตราความหนาแน่น 50 ตัวต่อตารางเมตร ร่วมกับปล่อยปลาช่อน 25 ตัวต่อตารางเมตร (ชุดการทดลองที่ 4) มีความสูงมากที่สุด (31.10 ± 2.42 เซนติเมตร) รองลงมาคือ ชุดการทดลองที่ 3 (30.64 ± 2.21 เซนติเมตร), ชุดการทดลองที่ 2 (29.41 ± 2.61 เซนติเมตร) และชุดการทดลองที่ 1 (28.81 ± 1.53 เซนติเมตร) ตามลำดับ ดังตารางที่ 7

ความสูงที่เพิ่มขึ้นของผักขึ้นช่ายในชุดการทดลองที่ 3 ชุดการทดลองที่ 4 ชุดการทดลองที่ 2 และชุดการทดลองที่ 1 (ชุดควบคุม) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 28.23 ± 2.41 , 27.64 ± 2.53 , 26.12 ± 0.19 และ 25.23 ± 1.69 เซนติเมตร ตามลำดับ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ด้านผลผลิตผักขึ้นช่ายของชุดการทดลองที่ 4 มีค่าสูงที่สุดที่ 202.70 กรัม รองลงมาคือชุดการทดลองที่ 2, 3 และ 1 ตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 200.19, 199.28 และ 194.84 กรัมตามลำดับ ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 6 ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของผักขึ้นช่าย ที่ปลูกในระบบพีชไร้ดินร่วมกับการเลี้ยงปลาแบบอะควาโปนิคส์ปลานิลที่เลี้ยงร่วมกับปลาช่อนที่อัตราความหนาแน่นต่างกัน (ระยะทดลอง 40 วัน)

ประสิทธิภาพการผลิต	อัตราความหนาแน่นปลานิล 50 ตัวและปลาช่อนต่างกัน (ตัวต่อตารางเมตร)			
	0(ชุดควบคุม)	15	20	25
ความสูงเริ่มต้นการทดลอง (เซนติเมตร)	3.58±0.52	3.29±0.28	3.41±0.91	3.46±0.28
ความสูงเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (เซนติเมตร)	28.81±1.53 ^a	29.41±2.61 ^a	30.64±2.21 ^a	31.10±2.42 ^a
ความสูงที่เพิ่มขึ้น (เซนติเมตร)	25.23±1.69	26.12±0.19	28.23±2.41	27.64±2.53
ผลผลิต (กรัม)	194.84	200.19	199.28	202.70

หมายเหตุ 1. เป็นข้อมูลเฉลี่ยต่อรอบการผลิตที่ 40 วัน

2. ตัวอักษรที่ต่างกันแถวเดียวกันแสดงความแตกต่างในทางสถิติ ($p<0.05$) ($n=8$)

3.4 มะเขือเทศ

ความสูงของมะเขือเทศ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมะเขือเทศ ที่ปลูกร่วมกับการเลี้ยงปลานิลที่อัตราความหนาแน่น 50 ตัวต่อตารางเมตร ร่วมกับปล่อยปลาช่อน 25 ตัวต่อตารางเมตร (ชุดการทดลองที่ 4) มีความสูงมากที่สุด (61.20±4.71 เซนติเมตร) รองลงมาคือ ชุดการทดลองที่ 3 (55.67±5.11 เซนติเมตร), ชุดการทดลองที่ 2 (49.74±4.54^a เซนติเมตร) และชุดการทดลองที่ 1 (48.81±5.38 เซนติเมตร) ตามลำดับ ดังตารางที่ 8

ความสูงที่เพิ่มขึ้นของมะเขือเทศ ในชุดการทดลองที่ 4 ชุดการทดลองที่ 3 ชุดการทดลองที่ 2 และ ชุดการทดลองที่ 1 (ชุดควบคุม) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 58.10±4.83, 52.67±5.44, 46.77±5.13 และ 45.80±5.64 เซนติเมตร ตามลำดับ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ด้านผลผลิตมะเขือเทศ ของชุดการทดลองที่ 1 มีค่าสูงที่สุดที่ 854.04 กรัม รองลงมาคือชุดการทดลองที่ 2, 4 และ 3 ตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 850.79, 846.77 และ 819.28 กรัมตามลำดับ ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 7 ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของมะเขือเทศ ที่ปลูกในระบบพีชไร้ดินร่วมกับการเลี้ยงปลาแบบอะควาโปนิคส์ปลานิลที่เลี้ยงร่วมกับปลาช่อนที่อัตราความหนาแน่นต่างกัน (ระยะทดลอง 40 วัน)

ประสิทธิภาพการผลิต	อัตราความหนาแน่นปลานิล 50 ตัวและปลาช่อนต่างกัน (ตัวต่อตารางเมตร)			
	0(ชุดควบคุม)	15	20	25
ความสูงเริ่มต้นการทดลอง (เซนติเมตร)	3.01±0.17 ^a	2.97±0.27 ^a	3.00±0.41 ^a	3.10±0.48 ^a
ความสูงเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (เซนติเมตร)	48.81±5.38 ^a	49.74±4.54 ^a	55.67±5.11 ^{ab}	61.20±4.71 ^b
ความสูงที่เพิ่มขึ้น (เซนติเมตร)	45.80±5.64 ^a	46.77±5.13 ^a	52.67±5.44 ^{ab}	58.10±4.83 ^b
ผลผลิต (กรัม)	854.04	850.79	819.28	846.77

หมายเหตุ 1. เป็นข้อมูลเฉลี่ยต่อรอบการผลิตที่ 40 วัน

2. ตัวอักษรที่ต่างกันแถวเดียวกันแสดงความแตกต่างในทางสถิติ ($p<0.05$) ($n=8$)

4.คุณภาพน้ำ ในบ่อเลี้ยงปลานิลที่เลี้ยงร่วมกับปลาช่อนที่อัตราความหนาแน่นต่างกัน

เมื่อสิ้นสุดการทดลองเป็นระยะเวลา 90 วัน (ตารางที่ 9) พบว่า

อุณหภูมิของน้ำในแต่ละชุดการทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 25 องศาเซลเซียส ความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำในชุดการทดลองที่ 1 (ชุดควบคุม), 2, 3 และ 4 มีค่าอยู่ที่ 7.22 ± 0.15 , 7.21 ± 0.17 , 7.15 ± 0.17 และ 7.21 ± 0.15 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยทางสถิติของแต่ละชุดการทดลองพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ ในชุดการทดลองที่ 2 มีปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำสูงที่สุด อยู่ที่ 3.30 ± 0.13 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมาคือชุดการทดลองที่ 1 (ชุดควบคุม), 3 และ 4 มีค่าอยู่ที่ 3.03 ± 0.12 , 2.90 ± 0.13 และ 2.87 ± 0.08 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยทางสถิติพบว่าชุดการทดลองที่ 2 มีความแตกต่างกับชุดการทดลองที่ 1 (ชุดควบคุม), 3 และ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน พบว่า ปริมาณแอมโมเนียของชุดการทดลองที่ 4 มีค่าน้อยที่สุด อยู่ที่ 0.067 ± 0.008 รองลงมาคือ ชุดการทดลองที่ 1 (ชุดควบคุม), 2 และ 3 โดยมีค่าอยู่ที่ 0.083 ± 0.046 , 0.091 ± 0.055 และ 0.095 ± 0.036 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เมื่อนำค่าเฉลี่ยของแต่ละชุดการทดลองมาเปรียบเทียบทางสถิติของแต่ละชุดการทดลองพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน พบว่า ปริมาณไนไตรท์ของชุดการทดลองที่ 1 (ชุดควบคุม) มีค่าน้อยที่สุดมีค่าอยู่ที่ 0.972 ± 0.156 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมาคือชุดการทดลองที่ 4, 3 และ 2 มีค่าอยู่ที่ 1.125 ± 0.165 , 1.315 ± 0.147 และ 1.384 ± 0.154 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เมื่อนำค่าเฉลี่ยในแต่ละชุดการทดลองมาเปรียบเทียบทางสถิติพบว่าชุดการทดลองที่ 1 (ชุดควบคุม) และ 4 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับชุดการทดลองที่ 2 และ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน พบว่า ปริมาณไนเตรทของชุดการทดลองที่ 3 มีค่าสูงสุด อยู่ที่ 0.261 ± 0.158 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมาคือชุดการทดลองที่ 2, 4 และ 1 (ชุดควบคุม) มีค่าอยู่ที่ 0.217 ± 0.158 , 0.163 ± 0.082 และ 0.157 ± 0.018 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เมื่อนำค่าเฉลี่ยของแต่ละชุดการทดลองมาเปรียบเทียบทางสถิติของแต่ละชุดการทดลองพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ฟอสฟอรัสรวม พบว่า ฟอสฟอรัสของชุดการทดลองที่ 1 (ชุดควบคุม), 2, 3 และ 4 มีค่าอยู่ที่ 0.803 ± 0.162 , 0.716 ± 0.187 , 0.827 ± 0.274 และ 0.794 ± 0.204 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยทางสถิติพบว่าทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 8 คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลานิลที่เลี้ยงร่วมกับปลาช่อนที่อัตราความหนาแน่นต่างกันในระบบอะควาโปนิคส์ ระยะเวลา 90 วัน

	อัตราความหนาแน่นปลาช่อน (ตัวต่อบ่อ)			
	0 (ชุดควบคุม)	15	20	25
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	25.56±0.03	25.56±0.03	25.66±0.03	25.63±0.03
ความเป็นกรดเป็นด่าง	7.22±0.15	7.21±0.17	7.15±0.17	7.21±0.15
ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (มก/ล)	3.33±0.12 ^a	3.30±0.13 ^b	2.90±0.13 ^a	2.87±0.08 ^a
แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (มก/ล)	0.081±0.041	0.089±0.035	0.095±0.026	0.097±0.008
ไนไตรท์-ไนโตรเจน (มก/ล)	0.972±0.156 ^a	1.184±0.154 ^c	1.315±0.147 ^{bc}	1.325±0.165 ^{ab}
ไนเตรท-ไนโตรเจน (มก/ล)	0.157±0.018	0.217±0.158	0.261±0.076	0.263±0.082
ฟอสฟอรัสรวม(มก/ลิ)	0.703±0.162	0.786±0.187	0.827±0.274	0.894±0.204

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวกันแสดงความแตกต่างในทางสถิติ ($p<0.05$) ($n=10$)

5. อัตราส่วนที่เหมาะสมของการเลี้ยงปลานิลร่วมกับการปล่อยปลาช่อนในอัตรา 15, 20 และ 25 ตัว ในระบบการเลี้ยงอะควาโปนิคส์

จากการศึกษาระบบการเลี้ยงปลานิลร่วมกับการปล่อยปลาช่อนที่มีความหนาแน่นแตกต่างกันกับระบบการปลูกพืชผักแบบไม่ใช้ดิน โดยแบ่งการทดลองเป็น 4 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ คือ ชุดการทดลองที่ 1 (ชุดควบคุม) เลี้ยงปลานิลที่อัตราความหนาแน่น 50 ตัวต่อบ่อ ชุดการทดลองที่ 2, 3 และ 4 เลี้ยงปลานิลร่วมกับการปล่อยปลาช่อนที่อัตราความหนาแน่น 15, 20, และ 25 ตัวต่อบ่อร่วมกับการปลูกพืชผักแบบไม่ใช้ดิน เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ประสิทธิภาพของการเจริญเติบโตของปลานิลของแต่ละชุดการทดลอง พบว่า ปลานิลมีน้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลองเฉลี่ย ระหว่าง 144.89 ± 14.14 - 155.94 ± 14.38 กรัม น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ในชุดการทดลองที่ 1 เลี้ยงปลานิล ในความหนาแน่น 50 ตัว เพียงอย่างเดียว ให้น้ำหนักเพิ่มขึ้นสูงสุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 78.57 ± 3.09 กรัม ส่วนชุดการทดลองที่ 2, 3 และ 4 ให้น้ำหนักเพิ่มขึ้นเท่ากับ 74.12 ± 8.81 , 71.39 ± 9.98 และ 68.38 ± 2.19 กรัม ความยาวเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ค่าเฉลี่ยระหว่าง 21.27 ± 1.51 - 22.35 ± 0.79 เซนติเมตร ความยาวที่เพิ่มขึ้น 9.08 ± 1.48 - 10.09 ± 1.34 เซนติเมตร อัตราการเจริญเติบโต 0.76 ± 0.39 - 0.87 ± 0.77 กรัมต่อวัน อัตราการรอดตาย 97.26 ± 0.56 - 98.25 ± 0.70 %, อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ชุดการทดลองที่ 1 ให้อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 1.06 ± 0.02 รองลงมาเป็นชุดการทดลองที่ 2, 3 และ 4 มีค่าเท่ากับ 1.10 ± 0.1 , 1.18 ± 0.2 และ 1.29 ± 0.02 ตามลำดับ โดยชุดการทดลองที่ 3 และ 4 ไม่มีความแตกต่างกัน แต่มีความแตกต่างกันกับชุดการทดลองที่ 1 และ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ผลผลิตของปลานิลเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า น้ำหนักปลารวมของชุดการทดลองที่ 1,2,3 และ 4 มีค่าเท่ากับ 8.31 ± 1.27 , 7.84 ± 1.54 , 7.32 ± 1.53 และ 7.10 ± 1.17 กิโลกรัม ตามลำดับ

การเจริญเติบโตของปลานิล พบว่า น้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลอง น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ความยาวเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ความยาวที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโต อัตราการรอด ในแต่ละชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) สอดคล้องกับ จิระภา และคณะ (2554) พบว่าการเลี้ยงปลาบู่ที่อัตราความหนาแน่น 25-75 ตัวต่อตารางเมตร ไม่มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโต เช่นเดียวกับ สุพรรณและคณะ(2548)ที่ได้ทดลองการเลี้ยงปลาแขยงใบข้าวพบว่าอัตราความหนาแน่นไม่มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโต เมื่อพิจารณาจากผลการทดลองในชุดการทดลองที่ 3 เลี้ยงปลานิลในอัตราความหนาแน่น 50 ตัวเพียงอย่างเดียวมีค่าอัตราการแลกเนื้อที่ดีและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับการเลี้ยงร่วมกับการปล่อยปลาช่อน 15, 20 และ 25 ตัว ร่วมกับการปลูกพืชผักแบบไม่ใช้ดิน โดยมีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นสูงที่สุด และมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อต่ำที่สุด เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมกับการเลี้ยงปลานิลในระบบนี้ เช่นเดียวกับปฐมพงษ์ (2557) ที่ปลูกผักกาดหอมร่วมกับการเลี้ยงปลานิลในระบบอควาโปนิคส์

เมื่อพิจารณาจากอัตราการเจริญเติบโตและผลผลิตของปลาช่อนที่ระดับความหนาแน่นต่างกันในการเลี้ยงร่วมกับปลานิลที่ 50 ตัว/ตารางเมตร นั้น พบว่า จากการปล่อยปลาช่อนขนาดเริ่มทดลอง ขนาดเฉลี่ย ในชุดการทดลองที่ 2 , 3 และ 4 เท่ากับ 8.66 ± 0.88 , 8.30 ± 0.84 และ 8.50 ± 0.90 กรัม สอดคล้องกับ สุชาจรีและคณะ(2548) ; สุชาจรีและคณะ(2549) ที่ใช้ปลานิลบำบัดน้ำทิ้ง และปลาสวายบำบัดน้ำทิ้ง มีประสิทธิภาพการลดของเสียในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาช่อน และปลาสวาย มีประสิทธิภาพในการลด Turbidity และ NH_3 ใกล้เคียงกัน ระบบบำบัดโดยใช้ปลานิลมีประสิทธิภาพในการลด NO_3^- และระบบบำบัดโดยใช้ปลาสวายมีประสิทธิภาพในการลด TKN และ TN สูงกว่า น้ำทิ้งจากการเลี้ยงปลาช่อนมีผลให้ปลานิลมีการเจริญเติบโตดี

น้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลองของชุดการทดลองที่ 2,3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 80.91 ± 5.06 , 79.34 ± 4.84 และ 74.28 ± 5.42 กรัม ตามลำดับ โดยชุดการทดลองที่ 2 และ 3 ที่อัตราการปล่อยปลาช่อน 15 และ 20 ตัว/ตารางเมตร มีค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกับชุดการทดลองที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และผลผลิตรวม และ 61.20 ± 4.41 ตามลำดับ โดยชุดการทดลองที่ 2 มีอัตราการอดตายสูงสุด มีแตกต่างกับชุดการทดลองที่ 3 และ 4 อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ผลผลิตปลาช่อนเฉลี่ยในชุดการทดลองที่ 2 , 3 และ 4 เท่ากับ 1.10 ± 0.12 , 1.03 ± 0.33 และ 1.11 ± 0.22 กิโลกรัม ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

โดยเมื่อพิจารณาน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ความยาวที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโต และอัตราการรอดตาย การทดลองที่ 2 การปล่อยปลาช่อนในอัตรา 15 ตัว เหมาะสมที่สุดในการเลี้ยงร่วมกับปลานิลในระบบอะควาโปนิคส์ เนื่องจากพฤติกรรมการกินอาหารของปลาช่อนแย่งแย่งสู้ปลานิลไม่ได้ ทำให้มีผลการเจริญเติบโตปลาช่อนด้วย

ผลผลิตของผักกาดหอม ผักบุ้ง ผักขึ้นชาย และมะเขือเทศ พบว่า ความสูงเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ของทุกชุดการทดลองที่เลี้ยงปลานิลในอัตราความหนาแน่น 50 ตัวต่อบ่อร่วมกับการปล่อยปลาช่อน 15, 20 และ 25 ตัว ร่วมกับการปลูกพืชผักแบบไม่ใช้ดิน โดยอัตราการปล่อยสัตว์น้ำที่มาก น่าจะมีผลมาจากปริมาณไนโตรเจน-ไนโตรเจน ที่สูงกว่าชุดการทดลองอื่นๆ ส่วนความสูงที่เพิ่มขึ้น พบว่า แต่ละชุดการทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) สอดคล้องกับ ผลการศึกษาของ Andreas Grab er and Ranka Junge (2008) ได้ทดลองการใช้สารอาหารจากน้ำทิ้งในระบบบำบัดของการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเพื่อผลิตพืชในระบบอควาโปนิคส์ เปรียบเทียบกับการผลิตพืชในระบบไฮโดรโปนิคส์ โดยประเมินประสิทธิภาพในการเจริญเติบโตในด้านผลผลิตของพืชสามชนิด ได้แก่ มะเขือม่วง มะเขือเทศและแตงกวา พบว่า ทั้งสองระบบ ไม่แตกต่างกันในการให้ผลผลิตของพืชทั้งสามชนิด

เมื่อพิจารณาคูณสมบัติของคุณภาพน้ำในบ่อทดลองของแต่ละชุดการทดลอง พบว่า มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของน้ำอยู่ที่ $28.56 \pm 0.03 - 28.66 \pm 0.03$ องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ $8.15 \pm 0.17 - 8.21 \pm 0.17$ โดยอุณหภูมิของน้ำและค่าความเป็นกรด-ด่าง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) อุณหภูมินี้เหมาะสมสำหรับสัตว์น้ำมีค่าอยู่ในช่วง 25.0-32.0 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 6.5-9.0 (มันสินและไพรวรรณ, 2538) ธรรมรักษ์ (2541) รายงานว่าปริมาณไนโตรเจน-ไนโตรเจนมากกว่า 0.66 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีผลเป็นพิษต่อปลาน้ำจืด และส่งผลต่อการเจริญเติบโตถาวร (2530) ได้รายงานว่าการเลี้ยงปลาอุกแบบหนาแน่นในบ่อคอนกรีต พบว่า ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนอยู่ในช่วง 0.685-19.45 มิลลิกรัมไนโตรเจน จันทร์สว่าง (2538) ได้ทดลองเลี้ยงปลาอุกในระบบน้ำหมุนเวียนแบบกึ่งปิดพบว่า ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนอยู่ในช่วง 0.010-16.395 มิลลิกรัมไนโตรเจน ซึ่งค่าดังกล่าวอยู่ในช่วงของการทดลองเลี้ยงปลานิลครั้งนี้ ประเทือง (2538) รายงานว่า เมื่อปลากินอาหารจะขับถ่ายของเสียออกมาซึ่งจะเป็นสารประกอบไนโตรเจนจะส่งผลต่อปริมาณไนโตรเจน-ไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น ในการทดลองครั้งนี้มีปริมาณฟอสฟอรัส 0.716-0.827 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์คุณภาพน้ำสำหรับสัตว์น้ำที่ควรมีปริมาณฟอสฟอรัสไม่เกิน 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร (ประเทือง, 2538) โดยไมตรีและจารุวรรณ (2528) คุณสมบัติของน้ำอยู่ในระดับปกติในการอาศัยของปลาในเขตร้อนมีความเหมาะสมไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ และชลฤทัยและคณะ (2554) ที่ได้ทำการศึกษาการเปรียบเทียบการเจริญเติบโตและคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลาทุทรายระบบปิด เช่นเดียวกับ สุฤทธิ์ (2552) และ Ridha and Cruz (2001) รายงานว่า ชนิดของวัสดุกรองชีวภาพไม่มีผลต่อน้ำหนักตัว อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน อัตราการแลกเนื้อ และอัตราการรอดของปลานิลที่เลี้ยงในระบบหมุนเวียน แต่มีความสำคัญในการควบคุมคุณภาพน้ำให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยและเป็นผลดีต่อการเจริญเติบโตของปลานิลที่เลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิดที่ต้องใช้ระบบกรองชีวภาพร่วมด้วยโดยทำให้ประสิทธิภาพของระบบการผลิตสัตว์น้ำได้เหมาะสมสอดคล้องกับ Wiley (1992) รายงานว่าในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้มีการนำเอาระบบกรองชีวภาพเข้ามาใช้กันมากขึ้นซึ่งระบบการกรองชีวภาพไม่ได้ออกแบบมาเพื่อกำจัดวัตถุที่มีขนาดใหญ่ที่

แขวนลอยในน้ำแต่ถูกออกแบบมาเพื่อกำจัดสารอาหารที่ละลายในน้ำมีอนุภาคขนาดเล็ก โดยระบบจะเปลี่ยนสารอาหารที่เป็นพิษไปเป็นสารอาหารในรูปที่ไม่มีพิษ เช่น เปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไนเตรท ประสิทธิภาพของระบบกรองชีวภาพขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น แสง อุณหภูมิ ปริมาณแอมโมเนียในน้ำ ค่าความสกปรกในระบบ ปัจจัยเหล่านี้มีผลต่ออัตราเมตาบอลิซึมของแบคทีเรีย นอกจากนี้ยังมี การออกแบบรูปทรงของถังกรอง ขนาดและปริมาตรของวัสดุกรอง ปริมาณน้ำที่บำบัด และอัตราการไหลผ่านวัสดุกรอง ด้วย เช่นเดียวกับ วิรัช. (2552) กล่าวว่าสารประกอบไนไตรท์เป็นผลผลิตขั้นกลาง จากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ของสารประกอบแอมโมเนีย ที่มีชื่อเฉพาะเรียกว่ากระบวนการไนตริฟิเคชันซึ่งไนไตรท์ที่เกิดขึ้นในสภาพแวดล้อมที่มีแก๊สออกซิเจนเพียงพอ จะถูกเปลี่ยนเป็นไนเตรทจนหมด ในแหล่งน้ำที่มีการสะสมของไนไตรท์สูง 3 mg/l จะส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำ และ Ebeling et al. (1993) รายงานว่าความเข้มข้นของไนไตรท์ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำควรจะมีค่าไม่เกิน 0.5 mg N/L จะทำให้ความสามารถในการรับออกซิเจนของสัตว์น้ำต่ำกว่าปกติ ซึ่งจะมีผลเสียมากหากสภาพภายในบ่อเลี้ยงมีออกซิเจนต่ำและอุณหภูมิสูง ในด้านของไนเตรทส่วนใหญ่ไม่เป็นปัญหาใหญ่ต่อการเลี้ยงสัตว์น้ำซึ่งสัตว์น้ำแต่ละชนิดมีความสามารถในการต้านความเข้มข้นของไนเตรทจะสูงมาก (มากกว่า 100 mg/l) รวมถึง Midlen and Redding (1998) กล่าวว่าระดับไนไตรท์ที่มากกว่า 100 mg/l จะกลายเป็นพิษต่อปลาส่วนใหญ่

สรุปผลการวิจัย

การเลี้ยงปลานิลร่วมกับปลาช่อนในระบบน้ำหมุนเวียนแบบอะควาโปนิคส์ในบ่อซีเมนต์ร่วมกับการปลูกพืชผัก 4 ชนิด (ผักกาดหอม ผักบุ้งจีน ขึ้นช่าย และมะเขือเทศ) รวมระยะเวลา 90 วัน ในอัตราความหนาแน่นปลาช่อน ที่ 0, 15, 20 และ 25 ตัวต่อตารางเมตร ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า

1.ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของปลานิลของแต่ละชุดการทดลอง พบว่า น้ำหนักปลานิลเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 155.94 ± 14.38 , 150.22 ± 7.03 , 149.09 ± 9.58 และ 144.89 ± 14.14 กรัม ตามลำดับ ปลานิลในชุดการทดลองที่ 1 ให้น้ำหนักเพิ่มสูงสุดที่ 78.57 ± 3.09 กรัม ส่วนชุดการทดลองที่ 2, 3 และ 4 ให้น้ำหนักเพิ่มขึ้นเท่ากับ 74.12 ± 8.81 , 71.39 ± 9.98 และ 68.38 ± 2.19 กรัม ตามลำดับ ความยาวเมื่อสิ้นสุดการทดลองเท่ากับ 22.35 ± 0.79 , 21.43 ± 0.48 , 21.32 ± 0.63 และ 21.27 ± 1.51 เซนติเมตร ตามลำดับ อัตราการเจริญเติบโตต่อวันมีค่าเฉลี่ย 0.87 ± 0.77 , 0.82 ± 0.29 , 0.79 ± 0.33 และ 0.76 ± 0.39 กรัมต่อวัน ตามลำดับ อัตราการรอดตายของปลานิลในชุดการทดลองที่ 1 สูงสุดคือ $98.25 \pm 0.70\%$ ในขณะที่ชุดการทดลองที่ 2, 3 และ 4 มีอัตราการรอดตายเท่ากับ $97.63 \pm 0.57\%$, $97.41 \pm 0.38\%$ และ $97.26 \pm 0.56\%$ ตามลำดับ ผลผลิตรวมมีค่าเท่ากับ 8.31 ± 1.27 , 7.84 ± 1.54 , 7.32 ± 1.53 และ 7.10 ± 1.17 กิโลกรัม ตามลำดับ

2.ปลาช่อนในชุดการทดลองที่ 2 ให้น้ำหนักเพิ่มสูงสุดที่ 80.91 ± 5.06 กรัม ส่วนชุดการทดลองที่ 3 และ 4 ให้น้ำหนักเพิ่มขึ้นเท่ากับ 79.34 ± 4.84 และ 74.28 ± 5.42 กรัม ตามลำดับ ความยาวเมื่อสิ้นสุดการทดลองเท่ากับ 21.58 ± 3.16 , 21.07 ± 2.25 และ 20.40 ± 2.70 เซนติเมตร ตามลำดับ เซนติเมตร ตามลำดับ อัตราการเจริญเติบโตต่อวันมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 0.80 ± 0.09 , 0.79 ± 0.06 และ 0.73 ± 0.07 กรัม/วัน ตามลำดับ อัตราการรอดตายของปลาช่อนในชุดการทดลองที่ 1 สูงสุดคือ $74.42 \pm 2.15\%$ ในขณะที่ชุดการทดลองที่ 2, 3 และ 4 มีอัตราการรอดตายเท่ากับ 64.54 ± 3.12 และ 61.20 ± 4.41 ตามลำดับ ตามลำดับ ผลผลิตรวมมีค่าเท่ากับ 1.10 ± 0.12 , 1.03 ± 0.33 และ 1.11 ± 0.22 กิโลกรัมกิโลกรัม ตามลำดับ

3.ด้านผลผลิตพืชผัก 4 ชนิด พบว่า ผักกาดหอมเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าชุดการทดลองที่ 3 มีค่าสูงที่สุดที่ 209.29 กรัม รองลงมาคือชุดการทดลองที่ 4, 3 และ 2 ตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 206.07, 205.09 และ 204.04 กรัมตามลำดับ ผลผลิตผักบุ้งของชุดการทดลองที่ 3 มีค่าสูงที่สุดที่ 339.23 กรัม รองลงมาคือชุดการทดลองที่ 2, 4 และ 1 ตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 315.67, 306.0 และ 269.33 กรัมตามลำดับ ผลผลิตผักขึ้นช่ายของชุดการทดลองที่ 4 มีค่าสูงที่สุดที่ 202.70 กรัม รองลงมาคือชุดการทดลองที่ 2, 3 และ 1 ตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 200.19, 199.28 และ 194.84 กรัมตามลำดับ และ ความสูงที่เพิ่มขึ้นของมะเขือเทศ ในชุดการทดลองที่ 4 ชุดการทดลองที่ 3 ชุดการทดลองที่ 2 และ ชุดการทดลองที่ 1 (ชุดควบคุม) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 58.10 ± 4.83 , 52.67 ± 5.44 , 46.77 ± 5.13 และ 45.80 ± 5.64 เซนติเมตร ตามลำดับ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

4.คุณภาพน้ำตลอดการทดลองพบว่าค่าไนไตรท์ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $0.972 - 1.384$ มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนในด้านอุณหภูมิของน้ำ ค่าความเป็นกรด-ด่าง แอมโมเนีย ไนเตรทและฟอสฟอรัส ของแต่ละชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกัน จากผล

การทดลองในครั้งนี้สรุปได้ว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมกับการเลี้ยงปลานิลร่วมกับปลาช่อน การปลูกพืชผัก 4 ชนิด อยู่ที่ 15 ตัวต่อตารางเมตร ที่มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นสูงสุด และมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อต่ำสุด ซึ่งเหมาะที่จะนำอัตราส่วนนี้ไปเป็นแนวทางส่งเสริมอาชีพการเลี้ยงปลานิลร่วมกับปลาช่อนและผลิตพืชผักให้กับเกษตรกร ผู้ประกอบการ หรือผู้สนใจ ในการเลี้ยงปลานิลเชิงพาณิชย์ในระบบน้ำหมุนเวียน แบบอะควาโปนิคส์ให้มีคุณภาพได้มาตรฐานและเป็นที่ยอมรับต่อไป



เอกสารอ้างอิง

- กมลศิริ พันธนียะ. 2545. การเพาะเลี้ยงปลาช่อน.[ออนไลน์] เข้าถึงจากhttp://www.nicaonline.com/articles1/site/view_article.asp?idarticle=112 (1 กันยายน 2554)
- กรมควบคุมมลพิษ. 2547. การพัฒนามาตรฐานการจัดการน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 170 น.
- จันทร์สว่าง งามพ่องใส. 2538. คุณภาพน้ำและการใช้จุลินทรีย์อีเอ็มในการเลี้ยงปลาดุกลูกผสมในระบบน้ำหมุนเวียนแบบกึ่งปิด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 115 น.
- นนุช เลหาะวิสุทธิ. 2544. ระบบการเลี้ยงปลาสวยงามร่วมกับพืชน้ำแบบไร้ดิน (Aquaponics) เทคโนโลยีการเกษตร. 25(7) หน้า 205-215.
- นันทิมา สุทธิวรรณกุล. 2546. ผลการปลูกพันธุ์ไม้น้ำร่วมกับระบบเลี้ยงปลาในระบบต่าง ๆ ที่มีต่อผลผลิตและคุณภาพน้ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 71 น.
- มันสิน ตันกุลเวศม์ และ มันรัช ตันกุลเวศม์. 2536. เคมินวิทยาของน้ำและน้ำเสีย. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มันสิน ตันกุลเวศม์ และ ไพพรรณ พรประภา. 2544. การจัดการคุณภาพน้ำและการบำบัดน้ำเสียในบ่อเลี้ยงปลาและสัตว์น้ำอื่นๆ เล่ม 1. กรุงเทพฯ: การจัดการคุณภาพน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 319 น.
- ไมตรี ดวงสวัสดิ์. 2530. เกณฑ์คุณภาพน้ำเพื่อการคุ้มครองทรัพยากรน้ำจืด. เอกสารวิชาการฉบับที่ 75. กรุงเทพฯ: สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ กรมประมง. 104 น.
- ยงยุทธ เจริญไชยศรี. 2548. สารละลายธาตุอาหารพืช. เอกสารประกอบการบรรยายในการฝึกอบรมเรื่องการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน รุ่นที่ 13. 29-30 ตุลาคม 2548 โรงแรมมิราเคิลแกรนด์. กรุงเทพฯ: ธรรมรักษ์การพิมพ์.
- ศิริเพ็ญ ตรีไชยาพร. 2543. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. เชียงใหม่: ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 125 น.
- สุฤทธิ สมบูรณ์ชัย, ประจวบ ฉายบุญ, เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน และอานัฐ ดันโซ.. 2551. การศึกษาวัสดุกรองทางชีวภาพเพื่อใช้ในระบบการเลี้ยงปลาดุกลูกผสมร่วมกับระบบการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิคส์. วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง 2(1). หน้า 55-65.
- สุฤทธิ สมบูรณ์ชัย. 2552. การเลี้ยงปลาดุกลูกผสมในบ่อซีเมนต์ระบบหมุนเวียนร่วมกับระบบการปลูกพืชไฮโดรโปนิคส์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการประมง, มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 102 หน้า.

สุชาจรี เย็นมาก, อรพินท์ จินตสถาพร,และประทีพย์ ตามทิพย์วรรณ. 2548. ประสิทธิภาพของปลานิล (*Oreochromis niloticus*) ในการบำบัดของเสียจากอาหารปลาช่อน(*Channa striata*). ในเรื่องเดิมการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 43: สาขาประมง สาขาการจัดการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม.กรุงเทพฯ. หน้า 108-119.

สุชาจรี เย็นมาก; อรพินท์ จินตสถาพร; ประทีพย์ ตามทิพย์วรรณ; ณรงค์ วีระไวทยะ. 2549. ประสิทธิภาพของปลานิลและปลาสร้อยในการบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อปลาช่อน (*Channa striata*) ในเรื่องเดิมการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 44 : สาขาประมง. กรุงเทพฯ, หน้า 577-588.

อานัฐ ต้นโซ . 2542. ระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน. วารสาร โครงการหลวง 3 (1) : 1-4.

อานัฐ ต้นโซ. 2548. การศึกษาการจัดการธาตุอาหารพืช: พืชในระบบปลูกพืชผักไร้ดิน. เชียงใหม่: Anon. 751. Greenhouse and Hydroponic System. [Online]:[http p://www.adumfarmine.com](http://www.adumfarmine.com)(10 August 758).

APHA, AWWA and WEF 1992 Standard Method for the Examination of Water and Wastewater.18th ed. APHA, Washington,D.C.

Boyd, C.E. 1982. Water Quality Management for Pond Fish Culture. New York: Elsevier Scientific Publish Company. 318 p .

Chen, J.C. and C.Y, Lin. 1995. Responses of oxygen consumption, Ammonia –N excretion and Urea-N excretion of *Penaeus chinensis* exposed to ambient ammonia at different salinity and pH levels. Aquaculture 136: 243-255.

Eding E. and A. Kamstra. 2001. Design and performance of recirculation systems for European eel *Anguilla anguilla* and African Catfish *Clarias gariepinus*. pp. 18–28. In Proceeding of AES Workshop. January 23 Orlando, Florida. USA.

Lewis, W.M., J.H. Yoop, H.L Schramm and A.M. Brandenburg. 1978. Use of hydroponics to maintain water quality of recirculated water in a fish culture system. Transl. Am. Fish Soc. 107(1): 92-99.

Losordo, T. M., M. P. M. Masser and J. Rakocy. 1999. Recirculating aquaculture tank production system:an overview of critical considerrations. SRAC Publication No.451.

McMurty, M. R .D. C. Sanders, S. D .Cure and R.G. Hodson. 1997. Effect of biofilter/culture tank volume ratio on productivity of a recirculating fish/ vegetable co-culture system. Journal of Applied Aquaculture 7(4): 33-51.

- Nair, A., J. E. Rakocy and J.A. Hargreaves. 1985. Water quality characteristics of a closed recirculating system for tilapia culture and tomatoe hydroponics. pp.223-254 In Proc. 2nd Int.Conf. on Warm water Aquaculture –Finfish.
- Nair, A., J. E. Rakocy and J.A. Hargreaves. 1985. Water quality characteristics of a closed recirculating system for tilapia culture and tomatoe hydroponics. pp. 223-254 In Proc. 2nd Int.Conf. on Warm water Aquaculture –Finfish.
- Reyes, A.A. and T. B. Lawson. 1995. Combination of a bead filter and rotating biological contactor in a recirculating fish culture system. Aquacult. Eng 15: 27-39.
- Ridha, M.T. and E.M.Cruz. 2001. Effect of biofilter media on water quality and biological performance of the Nile tiapia *Oreochromis niloticus* L. reared in a simple recirculating system. Aquacult. Eng. 24:157-166.
- Rokocy, J. E., J. A. Hargreaves and D. S. Bailey. 1993. Nutrient accumulation in a recirculatingaquaculture system integrated with hydroponics vegetable production. pp. 148-158. In Wang, J. K. (Ed). Techniques for Modern Aquaculture. Proceeding of a Conference 21-23 June 1993. Spokane.
- Schwrightt, M.F. and C.E., R. R. Stickney and R. B. Walker. 1998. Nutrient dynamics in integrated aquaculture-hydroponics system. Aquaculture 160: 215-237.
- Sethteethunyathan, R. 1998. Recycling Wastewater From Intensive Hybrid Catfish (*Clarias ma crocepharus* X *Clarias g ariepinus*) Culture for Semi-Intensive Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Culture in Cement Tank. Master's thesis. AIT. 75 p.
- Tarnchalanukit, W.,W. Chuapoehuk, P. suraniranat and U.N.Nakron. 1982. Pla Duk Dan culture in circulation contrete pond with water recirculating system. pp. 56-73. In The Seminar on inland and Coastal Aquaculture 6-9 April, 1982 Food and Fertilized Technology Center for the Asian and Pacific Region. Bangkok: Kasetsart University.
- Van Rijn, J. 1996. The potential for integrated biological treatment system in recirculaing fish culture a review. Aquaculture 139: 181-201.
- Watten, B.J. and Bush, R.L. 1984. Tropical production of tilapia (*Sarotherodon aorea*) and Tomato (*Lycopersicon esculentum*) in a small-scale recirculating water system. Aquaculture 41: 271-283.
- Yi Yang and C.K. Lin (2001). Effects of biomass of caged Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and aeration on the growth and yields of all Nile tilapia in an integrated cage-cum-pond system. Aquaculture, 195(3-4): 253-267

Yi Yang, C.K. Lin and J.S. Diana (2003). Hybrid catfish (*Clarias macrocephalus* x *C. gariepinus*) and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) culture in an integrated pen-cum-pond system: growth performance and nutrient budgets. *Aquaculture* 217(1-4):395-408.

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประจวบ ฉายบุญ)

หัวหน้าโครงการวิจัย

