

ผลและวิจารณ์

การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของการสูญเสียปริมาณโภชนะจากอาหาร 2 ชนิด คือ อาหารปลาเปิดผสมรำ และอาหารผสมสำเร็จ

1. การสูญเสียปริมาณ โภชนะจากอาหารปลาเปิดผสมรำและอาหารผสมสำเร็จ

ผลจากการศึกษาการสูญเสียปริมาณ โภชนะจากอาหารปลาเปิดผสมรำและอาหารผสมสำเร็จ ที่ระยะเวลา 1 นาที 1 ชั่วโมง 2 ชั่วโมง 3 ชั่วโมง และ 4 ชั่วโมง ผลการศึกษาในภาพที่ 3 และ 4 พบว่าเมื่ออาหารทดลองทั้ง 2 ชนิดอยู่ในน้ำที่ระยะเวลา 1 นาที มีการสูญเสียวัตถุแห้ง โปรตีน ไขมัน และฟอสฟอรัสต่ำที่สุด ($p \leq 0.05$) โดยอาหารปลาเปิดผสมรำมีเปอร์เซ็นต์สูญเสีย 11.33, 1.26, 1.51 และ 0.55 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 3 ส่วนอาหารผสมสำเร็จมีเปอร์เซ็นต์สูญเสีย 4.46, 1.10, 1.78 และ 0.11 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4 เปอร์เซ็นต์สูญเสียวัตถุแห้ง โปรตีน ไขมัน และฟอสฟอรัสมีค่าสูงขึ้นเมื่ออาหารอยู่ในน้ำนานขึ้น โดยมีเปอร์เซ็นต์สูญเสียวัตถุแห้ง โปรตีน ไขมัน และฟอสฟอรัสสูงที่สุดเมื่ออาหารทดลองทั้ง 2 ชนิดอยู่ในน้ำที่ระยะเวลา 4 ชั่วโมง โดยอาหารปลาเปิดผสมรำมีเปอร์เซ็นต์สูญเสีย 31.02, 16.74, 8.09 และ 1.79 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนในอาหารผสมสำเร็จมีเปอร์เซ็นต์สูญเสีย 25.77, 15.24, 4.77 และ 1.71 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้อาหารทดลองทั้ง 2 ชนิดยังมีเปอร์เซ็นต์เถ้าและเยื่อใยเพิ่มขึ้นเมื่อแช่อาหารไว้ในน้ำนานขึ้นดังแสดงในภาพที่ 3 และ 4 โดยมีค่าต่ำสุดเมื่อแช่อาหารในน้ำนาน 1 นาที ($p \leq 0.05$) อาหารปลาเปิดผสมรำมีเปอร์เซ็นต์เพิ่มขึ้น +0.92 และ +2.90 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนในอาหารผสมสำเร็จมีเปอร์เซ็นต์เพิ่มขึ้น +0.60 และ +0.26 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เปอร์เซ็นต์เถ้าและเยื่อใยเพิ่มขึ้นมากที่สุดเมื่ออาหารทดลองอยู่ในน้ำนาน 4 ชั่วโมง (ภาพที่ 3 และ 4) โดยอาหารปลาเปิดผสมรำมีเปอร์เซ็นต์เพิ่มขึ้น +5.48 และ +48.39 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนในอาหารผสมสำเร็จมีเปอร์เซ็นต์เพิ่มขึ้น +1.84 และ +17.21 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 3 และ 4) เช่นเดียวกับ เปอร์เซ็นต์สูญเสียวัตถุแห้ง โปรตีน ไขมัน และฟอสฟอรัส

ผลการศึกษาในภาพที่ 3 และ 4 แสดงให้เห็นว่าอาหารปลาเปิดผสมรำและอาหารผสมสำเร็จ ต่างก็มีเปอร์เซ็นต์สูญเสียโภชนะต่าง ๆ มากขึ้นตามระยะเวลาที่ผ่านไป ในการศึกษาทำการทดลอง สูงสุดที่ระยะเวลา 4 ชั่วโมง เนื่องจากในการทดลองที่ศึกษาการเจริญเติบโตของปลาช่อนได้ให้

อาหารปลาที่ไว้เป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมงแล้วเก็บอาหารเหลือออก และทำการทดลองที่ระยะเวลาต่ำสุดที่ 1 นาที เนื่องจากการสูญเสียโภชนะจะเกิดขึ้นทันทีเมื่ออาหารตกลงสู่ผิวน้ำและจะมีการสูญเสียโภชนะมากขึ้นตามระยะเวลาที่ผ่านไป โดยน้ำจะละลายสารอาหารออกมา (กรมควบคุมมลพิษ, 2545) นอกจากนี้การใช้เวลาในการกินอาหารนานเกินไปทำให้อาหารสูญเสียทั้งน้ำหนักแห้งและปริมาณโภชนะได้เช่นเดียวกัน (Lovell, 1989) ดังแสดงในภาพที่ 5 และ 6

จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าทันทีที่อาหารทั้ง 2 ชนิดตกลงสู่ผิวน้ำมีเปอร์เซ็นต์สูญเสียไขมันและโปรตีน โดยพบว่าเปอร์เซ็นต์สูญเสียไขมันจะสูงกว่าโปรตีน เนื่องจากไขมันเป็นสารอาหารที่ไม่รวมตัวกับน้ำจึงแยกออกจากอาหารทันทีเมื่ออาหารลงสู่ผิวน้ำ สอดคล้องกับการศึกษาของบรรเจิด (2546) ที่ทำการศึกษการสูญเสียปริมาณโภชนะจากอาหารปลาชนิดแดงสู่แหล่งน้ำที่ระยะเวลา 1, 10, 20 และ 30 นาที พบว่ามีการสูญเสียปริมาณโภชนะเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาที่อาหารอยู่ในน้ำ ทั้งปริมาณของน้ำหนักแห้ง เถ้า โปรตีน ไขมัน และฟอสฟอรัส โดยเฉพาะไขมันจากอาหารจะละลายออกมาทันทีเมื่ออาหารตกลงสู่ผิวน้ำ และมีอัตราการละลายสูงที่สุดเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของปริมาณทั้งหมดในอาหาร

เปอร์เซ็นต์เถ้าและเยื่อใยในอาหารปลาเป็ดผสมรำและอาหารผสมสำเร็จกลับค่าสูงขึ้น แม้อาหารจะอยู่ในน้ำที่ระยะเวลา 1 นาที ดังแสดงในภาพที่ 7 และ 8 เนื่องจากการสูญเสียวัตถุแห้งไปซึ่งเป็นตัวนำสารอาหาร โปรตีนและไขมันไปด้วย ดังนั้นโภชนะที่เหลืออยู่จึงเป็นพวกเศษกระดูกปลาและกากอาหาร (บรรเจิด, 2546) เมื่อสัตว์น้ำกินอาหารที่อยู่ในน้ำเป็นระยะเวลานาน จะได้รับโภชนะที่มีคุณค่าต่อร่างกายน้อยลงทั้งไขมันและโปรตีน ตลอดจนวิตามินและแร่ธาตุ นอกจากนี้ยังได้รับเถ้าและเยื่อใยในสัดส่วนที่สูงขึ้น ซึ่งเป็นโภชนะที่สัตว์น้ำย่อยและใช้ประโยชน์ได้น้อย จึงส่งผลเป็นของเสียในรูปของมูลตกลงสู่แหล่งน้ำ ดังนั้นจึงควรให้สัตว์น้ำกินอาหารทันทีที่อาหารตกลงสู่แหล่งน้ำ และควรให้อาหารในปริมาณที่กินหมดภายใน 10 นาที จะทำให้สัตว์น้ำได้รับโภชนะที่มีคุณค่าสูงจากอาหาร และลดการสูญเสียโภชนะสู่แหล่งน้ำ (กรมควบคุมมลพิษ, 2546 ข)

เปอร์เซ็นต์สูญเสียฟอสฟอรัสในอาหารปลาเป็ดผสมรำและอาหารผสมสำเร็จมีค่าค่อนข้างต่ำ เนื่องจากฟอสฟอรัสในอาหารรวมตัวอยู่กับสารประกอบอื่น ๆ จึงต้องผ่านกระบวนการย่อยเสียก่อนจึงจะละลายออกมาและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (บรรเจิด, 2546)

ตารางที่ 3 เปอร์เซ็นต์สูญเสียโภชนะในอาหารปลาเปิดผสมรำเมื่ออาหารตกสู่แหล่งน้ำที่ระยะเวลาต่าง ๆ

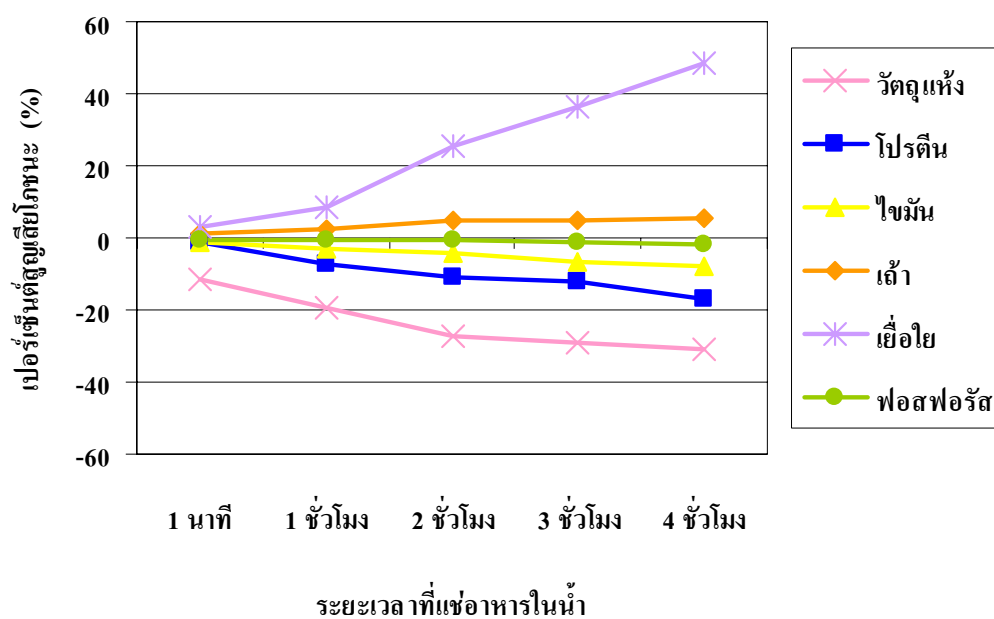
คุณสมบัติที่ตรวจวัด (เปอร์เซ็นต์)	เวลาที่แช่อาหารในน้ำ					ผลวิเคราะห์ทางสถิติ	
	1 นาที	1 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง	3 ชั่วโมง	4 ชั่วโมง	p-value	pool-SE
วัตถุแห้ง	11.33 ^c	19.63 ^d	27.16 ^c	29.15 ^b	31.02 ^a	0.0001	0.801
โปรตีน	1.26 ^c	7.57 ^d	10.77 ^c	12.00 ^b	16.74 ^a	0.0001	0.321
ไขมัน	1.51 ^c	2.76 ^d	4.03 ^c	6.39 ^b	8.09 ^a	0.0001	0.412
เถ้า	+0.92 ^c	+2.71 ^d	+4.64 ^c	+5.06 ^b	+5.48 ^a	0.0001	0.216
เยื่อใย	+2.90 ^c	+8.36 ^d	+25.66 ^c	+36.26 ^b	+48.39 ^a	0.0001	1.344
ฟอสฟอรัส	0.55 ^c	0.74 ^d	0.82 ^c	0.92 ^b	1.79 ^a	0.0001	0.045

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษร a b c ที่ต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอด
 += เปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้น

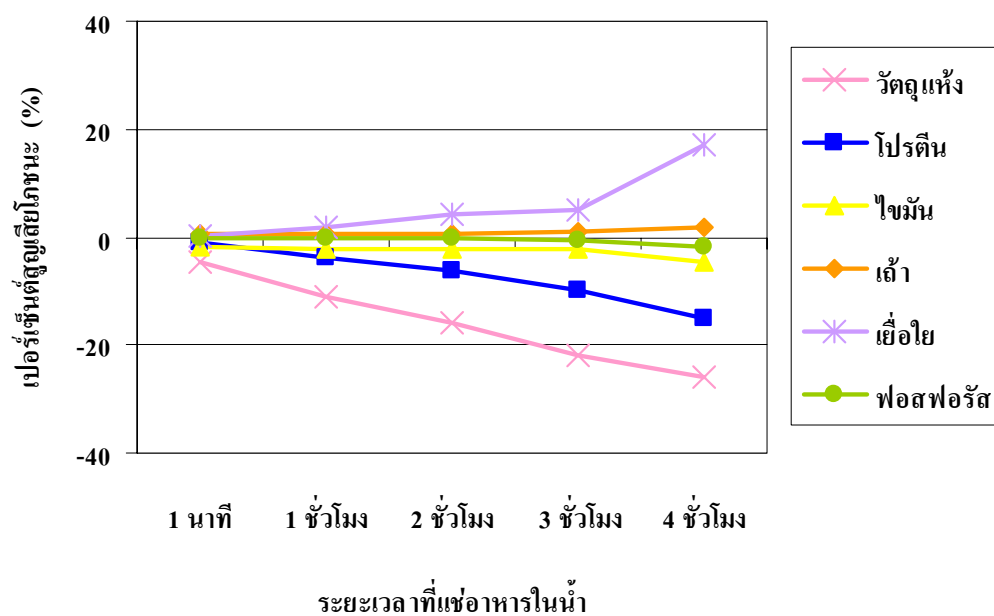
ตารางที่ 4 เปอร์เซ็นต์สูญเสียโภชนะในอาหารผสมสำเร็จเมื่ออาหารตกสู่แหล่งน้ำที่ระยะเวลาต่าง ๆ

คุณสมบัติที่ตรวจวัด (เปอร์เซ็นต์)	เวลาที่แช่อาหาร					ผลวิเคราะห์ทางสถิติ	
	1 นาที	1 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง	3 ชั่วโมง	4 ชั่วโมง	p-value	pool-SE
วัตถุแห้ง	4.46 ^c	10.92 ^d	16.08 ^c	21.96 ^b	25.77 ^a	0.0001	0.470
โปรตีน	1.10 ^c	3.96 ^d	6.08 ^c	9.65 ^b	15.24 ^a	0.0001	0.417
ไขมัน	1.78 ^c	2.03 ^{bc}	2.11 ^{bc}	2.35 ^b	4.77 ^a	0.0001	0.148
เถ้า	+0.60 ^c	+0.66 ^c	+0.80 ^c	+1.11 ^b	+1.84 ^a	0.0001	0.138
เยื่อใย	+0.26 ^c	+1.99 ^d	+4.35 ^c	+5.14 ^b	+17.21 ^a	0.0001	0.357
ฟอสฟอรัส	0.11 ^d	0.18 ^c	0.21 ^c	0.71 ^b	1.71 ^a	0.0001	0.031

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษร a b c ที่ต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอด
 += เปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้น



ภาพที่ 3 เปอร์เซ็นต์สูญเสียโภชนะในอาหารปลาเปิดผสมรำเมื่ออาหารตกสู่แหล่งน้ำที่ระยะเวลาต่าง ๆ

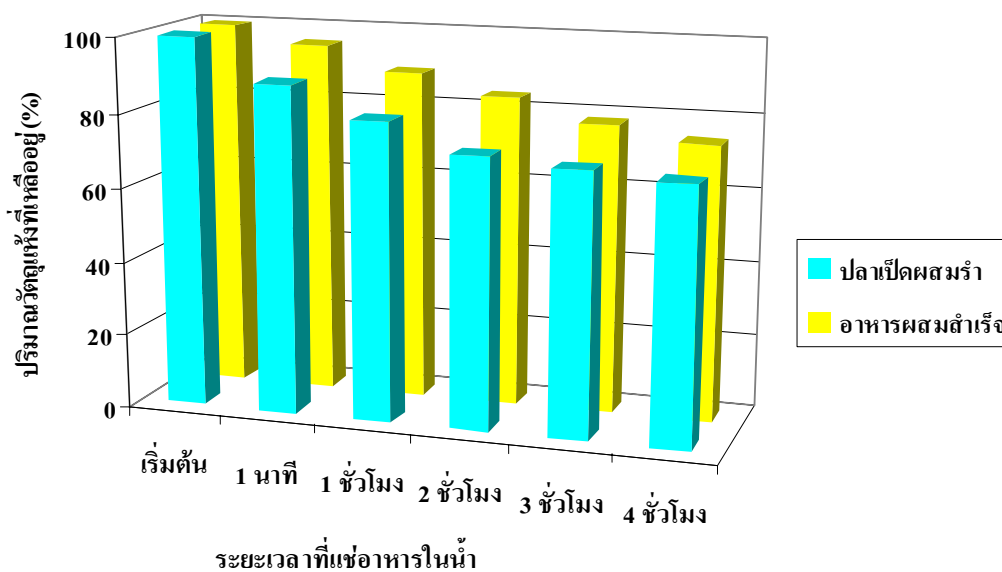


ภาพที่ 4 เปอร์เซ็นต์สูญเสียโภชนะในอาหารผสมสำเร็จเมื่ออาหารตกสู่แหล่งน้ำที่ระยะเวลาต่าง ๆ

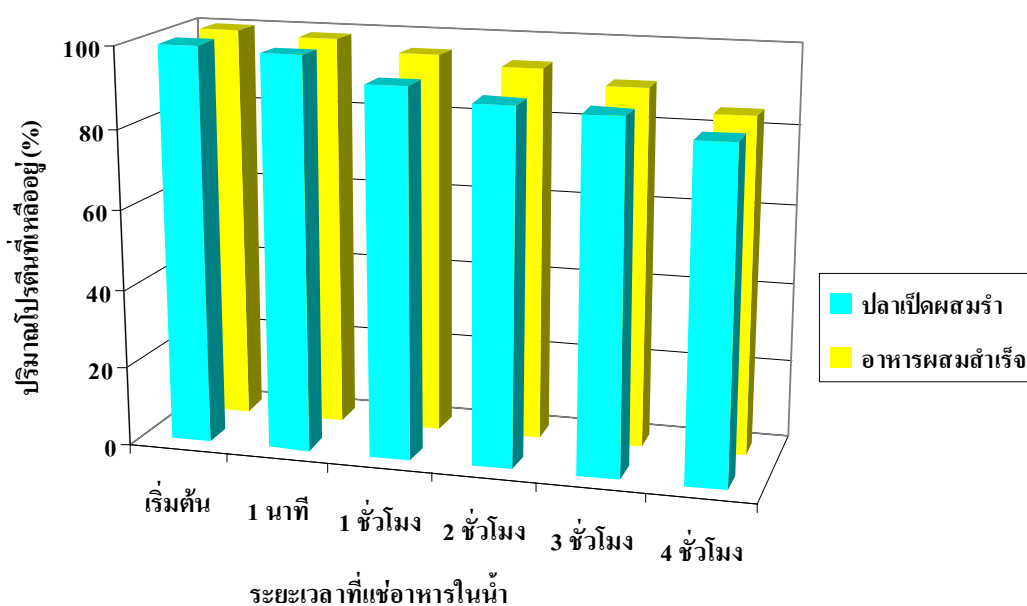
เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์สูญเสียปริมาณโภชนะของอาหารปลาเปิดผสมรำ และอาหารผสมสำเร็จที่ระยะเวลาเดียวกัน เมื่อแช่อาหารในน้ำที่ระยะเวลา 1 นาที, 1 ชั่วโมง, 2 ชั่วโมง, 3 ชั่วโมง และ 4 ชั่วโมง ดังแสดงในตารางที่ 5 พบว่าที่ระยะเวลา 1 นาทีอาหารปลาเปิดผสมรำมีเปอร์เซ็นต์สูญเสียวัตถุแห้งและฟอสฟอรัสสูงกว่าอาหารผสมสำเร็จ ($p \leq 0.05$) โดยมีเปอร์เซ็นต์สูญเสีย 11.33 และ 0.55 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนอาหารผสมสำเร็จมีเปอร์เซ็นต์สูญเสีย 4.46 และ 0.11 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ระยะเวลา 1 ชั่วโมงอาหารปลาเปิดผสมรำมีเปอร์เซ็นต์สูญเสียวัตถุแห้ง โปรตีน และฟอสฟอรัสสูงกว่าอาหารผสมสำเร็จ ($p \leq 0.05$) โดยมีเปอร์เซ็นต์สูญเสีย 19.63, 7.57 และ 0.74 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนอาหารผสมสำเร็จมีเปอร์เซ็นต์สูญเสีย 10.92, 3.96 และ 0.18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ระยะเวลา 2 ชั่วโมงอาหารปลาเปิดผสมรำมีเปอร์เซ็นต์สูญเสียวัตถุแห้ง โปรตีน ไขมัน และฟอสฟอรัสสูงกว่าอาหารผสมสำเร็จ ($p \leq 0.05$) โดยอาหารปลาเปิดผสมรำมีเปอร์เซ็นต์สูญเสีย 27.16, 10.77, 4.03 และ 0.82 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนอาหารผสมสำเร็จมีเปอร์เซ็นต์สูญเสีย 16.08, 6.08, 2.11 และ 0.21 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ระยะเวลา 3 ชั่วโมงอาหารปลาเปิดผสมรำมีเปอร์เซ็นต์สูญเสียวัตถุแห้ง โปรตีน ไขมัน และฟอสฟอรัสสูงกว่าอาหารผสมสำเร็จ ($p \leq 0.05$) เช่นเดียวกับที่ระยะเวลา 2 ชั่วโมง โดยอาหารปลาเปิดผสมรำมีเปอร์เซ็นต์สูญเสีย 29.15, 12.00, 6.39 และ 0.92 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนอาหารผสมสำเร็จมีเปอร์เซ็นต์สูญเสีย 21.96, 9.65, 2.35 และ 0.71 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ระยะเวลา 4 ชั่วโมงอาหารปลาเปิดผสมรำมีเปอร์เซ็นต์สูญเสียวัตถุแห้ง โปรตีน และไขมันสูงกว่าอาหารผสมสำเร็จ ($p \leq 0.05$) โดยอาหารปลาเปิดผสมรำมีเปอร์เซ็นต์สูญเสีย 31.02, 16.74 และ 8.09 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนอาหารผสมสำเร็จมีเปอร์เซ็นต์สูญเสีย 25.77, 15.23 และ 4.77 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่เปอร์เซ็นต์สูญเสียฟอสฟอรัสในอาหารทดลองทั้ง 2 ชนิดไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) ส่วนเส้นและเยื่อใยในอาหารปลาเปิดผสมรำมีเปอร์เซ็นต์เพิ่มสูงขึ้นมากกว่าในอาหารผสมสำเร็จ ($p \leq 0.05$) ทั้งที่ระยะเวลา 1 นาที, 1 ชั่วโมง, 2 ชั่วโมง, 3 ชั่วโมง และ 4 ชั่วโมง (ภาพที่ 7 และ 8)

จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าชนิดของอาหาร มีผลต่อเปอร์เซ็นต์สูญเสียโภชนะเมื่ออาหารตกลงสู่แหล่งน้ำ เนื่องจากอาหารปลาเปิดผสมรำเป็นอาหารผสมเปียก จึงทำให้แตกตัวละลายลงสู่แหล่งน้ำได้ง่าย เช่นเดียวกับการศึกษาของ Nia (2004) ที่พบว่าอาหารสด (wet feed) ก่อให้เกิดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อม เพราะมีส่วนที่ถูกชะและละลายลงสู่แหล่งน้ำได้ง่าย เนื่องจากชิ้นอาหารมีทั้งส่วนที่ใหญ่และเล็กเกินกว่าที่ปลาจะกินได้ ทำให้เกิดการตกค้างในบ่อในปริมาณมาก ส่วนอาหารผสมสำเร็จสำหรับปลาช่อนเป็นอาหารปั้น ซึ่งเป็นอาหารผสมแห้ง ก่อนใช้ต้องทำให้เปียกโดยผสมกับน้ำประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ปั้นเป็นก้อนใส่กระบะให้ปลากินเช่นเดียวกับ

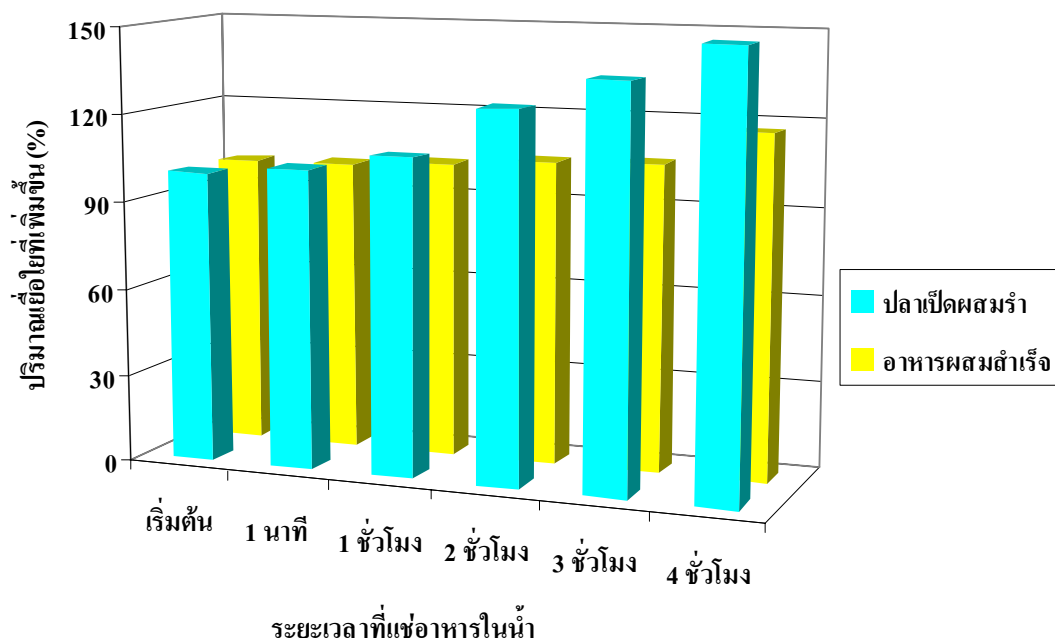
อาหารผสมเป็ยก เนื่องจากอาหารผสมสำเร็จมีความชื้นต่ำกว่าดังแสดงในตารางที่ 9 ดังนั้นอาหารผสมสำเร็จจึงสามารถจับตัวกันเป็นก้อนได้ดีกว่าอาหารปลาเป็ดผสมรำ เปรอร์เซ็นต์สูญเสียโภชนะในอาหารผสมสำเร็จจึงน้อยกว่าในอาหารปลาเป็ดผสมรำ ทั้งนี้เนื่องจากชนิดและลักษณะทางกายภาพของอาหารที่แตกต่างกัน



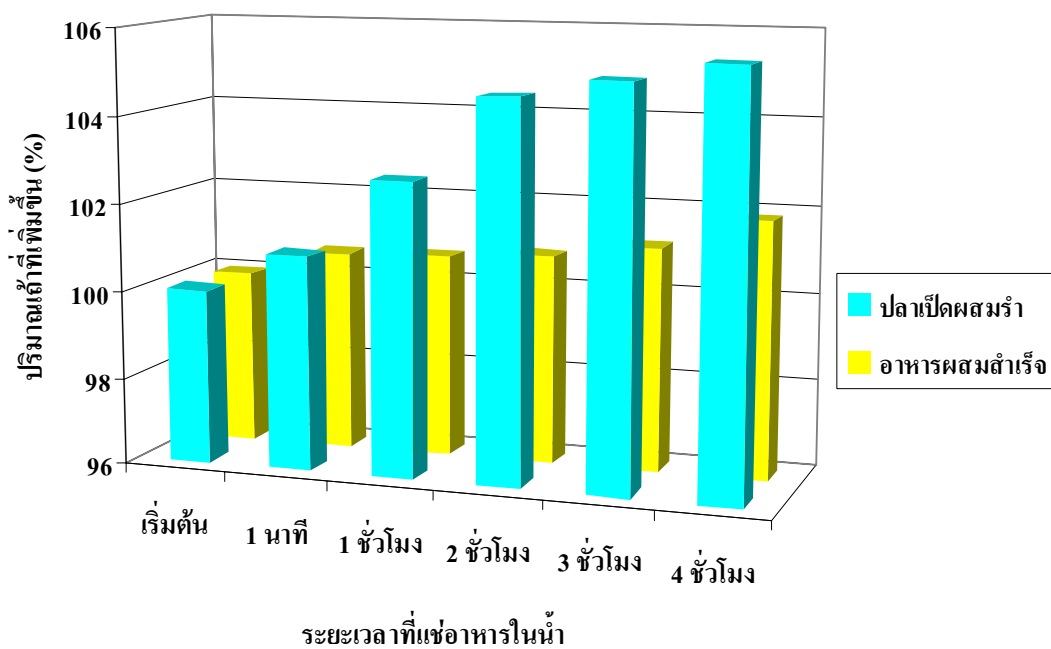
ภาพที่ 5 ปริมาณวัตถุแห้งที่เหลืออยู่ในตัวอาหารเมื่ออาหารตกลงสู่แหล่งน้ำที่ระยะเวลาต่าง ๆ



ภาพที่ 6 ปริมาณโปรตีนที่เหลืออยู่ในตัวอาหารเมื่ออาหารตกลงสู่แหล่งน้ำที่ระยะเวลาต่าง ๆ



ภาพที่ 7 ปริมาณเชื้อใยที่เพิ่มขึ้นในตัวอย่างอาหารเมื่ออาหารตกลงสู่แหล่งน้ำที่ระยะเวลาต่าง ๆ



ภาพที่ 8 ปริมาณเถ้าที่เพิ่มขึ้นในตัวอย่างอาหารเมื่ออาหารตกลงสู่แหล่งน้ำที่ระยะเวลาต่าง ๆ

ตารางที่ 5 เปรอร์เซ็นต์สูญเสียโภชนะในปลาเปิดผสมรำและอาหารผสมสำเร็จที่เวลาเดียวกัน เมื่ออาหารตกลงสู่แหล่งน้ำที่ระยะเวลาต่าง ๆ

คุณสมบัติที่ตรวจวัด (เปอร์เซ็นต์)	อาหารทดลอง		p-value
	ปลาเปิดผสมรำ	อาหารผสมสำเร็จ	
1 นาที			
วัตถุแห้ง	11.33±0.23 ^a	4.46±0.51 ^b	<0.0001
โปรตีน	1.26±0.15	1.10±0.08	0.1913
ไขมัน	1.51±0.03	1.78±0.13	0.0995
เถ้า	+0.92±0.06 ^a	+0.60±0.07 ^b	0.0041
เยื่อใย	+2.90±0.12 ^a	+0.26±0.02 ^b	0.0006
ฟอสฟอรัส	0.55±0.06 ^a	0.11±0.01 ^b	0.0003
1 ชั่วโมง			
วัตถุแห้ง	19.63±0.21 ^a	10.92±0.47 ^b	<0.0001
โปรตีน	7.57±0.36 ^a	3.96±0.43 ^b	0.0004
ไขมัน	2.76±0.67	2.03±0.01	0.3652
เถ้า	+2.72±0.20 ^a	+0.66±0.02 ^b	0.0031
เยื่อใย	+8.36±1.06 ^a	+1.99±0.15 ^b	0.0086
ฟอสฟอรัส	0.74±0.04 ^a	0.18±0.01 ^b	<0.0001
2 ชั่วโมง			
วัตถุแห้ง	27.16±1.59 ^a	16.08±0.69 ^b	0.0004
โปรตีน	10.77±0.15 ^a	6.08±0.36 ^b	<0.0001
ไขมัน	4.03±0.36 ^a	2.11±0.09 ^b	0.0190
เถ้า	+4.64±0.34 ^a	+0.80±0.12 ^b	0.0001
เยื่อใย	+25.66±2.51 ^a	+4.35±0.38 ^b	0.0044
ฟอสฟอรัส	0.82±0.06 ^a	0.21±0.02 ^b	0.0001

ตารางที่ 5 (ต่อ)

คุณสมบัติที่ตรวจวัด (เปอร์เซ็นต์)	อาหารทดลอง		p-value
	ปลาเปิดผสมรำ	อาหารผสมสำเร็จ	
3 ชั่วโมง			
วัตถุแห้ง	29.15±0.43 ^a	21.96±0.27 ^b	<0.0001
โปรตีน	12.00±0.20 ^a	9.65±0.58 ^b	0.0026
ไขมัน	6.39±0.49 ^a	2.35±0.03 ^b	0.0073
เถ้า	+5.06±0.10 ^a	+1.11±0.21 ^b	<0.0001
เยื่อใย	+36.26±0.36 ^a	+5.14±0.14 ^b	<0.0001
ฟอสฟอรัส	0.92±0.43 ^a	0.71±0.05 ^b	0.0060
4 ชั่วโมง			
วัตถุแห้ง	31.02±0.61 ^a	25.77±0.26 ^b	0.0002
โปรตีน	16.74±0.54 ^a	15.23±0.46 ^b	0.0213
ไขมัน	8.09±0.15 ^a	4.77±0.29 ^b	0.0048
เถ้า	+5.48±0.25 ^a	+1.84±0.16 ^b	<0.0001
เยื่อใย	+48.39±1.20 ^a	+17.21±0.64 ^b	<0.0001
ฟอสฟอรัส	1.79±0.01	1.71±0.04	0.0741

หมายเหตุ Mean ± SD

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษร a b c ที่ต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมี

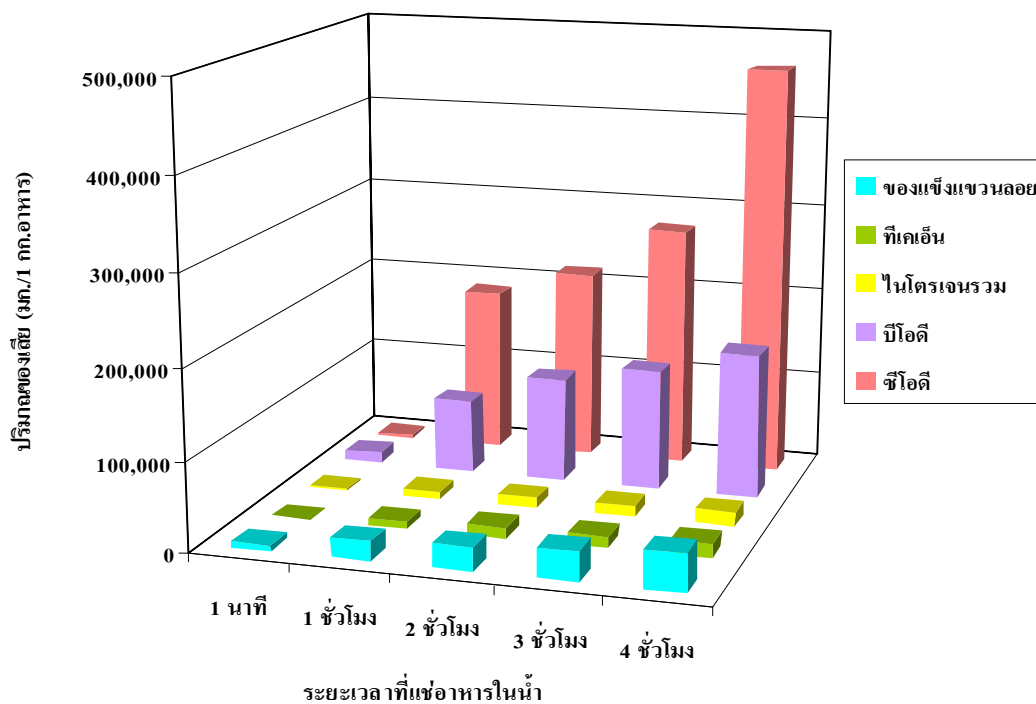
นัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

+ = เปอร์เซ็นต์โภชนะที่เพิ่มขึ้นเมื่ออาหารตกลงสู่แหล่งน้ำนานขึ้น

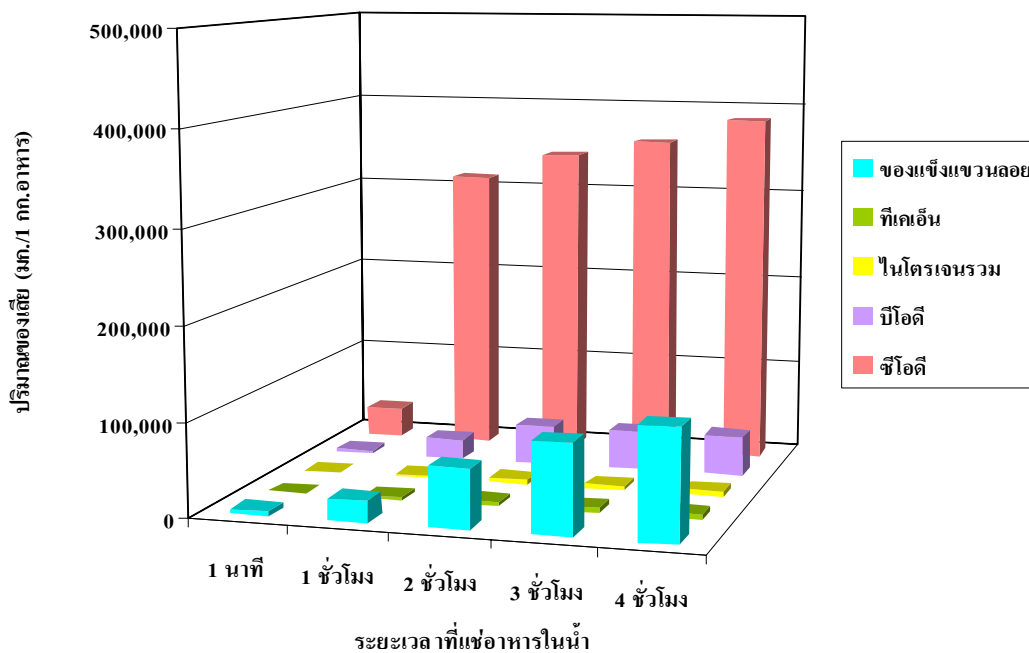
2. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำเมื่ออาหารทดลองตกลงสู่แหล่งน้ำที่ระยะเวลาต่าง ๆ

ผลจากการที่อาหารปลาเปิดผสมรำและอาหารผสมสำเร็จอยู่ในน้ำที่ระยะเวลา 1 นาที 1 ชั่วโมง 2 ชั่วโมง 3 ชั่วโมง และ 4 ชั่วโมง แล้วนำค่าคุณภาพน้ำที่วิเคราะห์ได้มาคำนวณปริมาณของเสียให้อยู่ที่ฐานเดียวกัน คือ ที่น้ำหนักอาหารทดลอง 1 กิโลกรัม ผลการศึกษาในตารางที่ 6 และ 7 พบว่าที่ระยะเวลา 4 ชั่วโมงมีปริมาณของเสียในรูป TDS, TSS, Turbidity, Alkaline, Hardness, TKN, TON, TN, Orthophosphate, Total phosphorus, BOD และ COD สูงที่สุดทั้งในอาหารปลาเปิดผสมรำและในอาหารผสมสำเร็จ และมีค่าต่ำสุดเมื่ออาหารอยู่ในน้ำที่ระยะเวลา 1 นาที ($p \leq 0.05$) ส่วนปริมาณของเสียในรูป Ammonia, Nitrite และ Nitrate ไม่ได้ขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่อาหารอยู่ในน้ำ เนื่องจากอนินทรีย์ไนโตรเจนทั้ง 3 รูปมีการเปลี่ยนแปลงรูปอยู่ตลอดเวลา จากตารางที่ 6 พบว่าอาหารปลาเปิดผสมรำมีของเสียในรูปแอมโมเนียสูงที่สุดเมื่อแช่อาหารในน้ำเป็นระยะเวลา 1 นาที โดยมีค่า 21.05 มก./1 กก.อาหาร ส่วนที่ระยะเวลาอื่น ๆ ของเสียในรูปแอมโมเนียมีค่าเป็นศูนย์ ($p \leq 0.05$) ของเสียในรูปไนไตรท์มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อแช่อาหารในน้ำนานขึ้น ($p \leq 0.05$) โดยมีค่า 0.11, 0.83, 0.74, 0.99 และ 1.45 มก./1 กก.อาหาร ตามลำดับ ของเสียในรูปไนเตรทมีค่าแปรปรวน ซึ่งมีค่าสูงสุดเมื่ออาหารอยู่ในน้ำที่ระยะเวลา 1 นาที ($p \leq 0.05$) โดยมีค่า 6.65 มก./1 กก.อาหาร สำหรับอาหารผสมสำเร็จมีของเสียในรูปแอมโมเนียสูงที่สุดเมื่อแช่อาหารในน้ำที่ระยะเวลา 2 ชั่วโมง โดยมีค่า 23.58 มก./1 กก.อาหาร และมีค่าลดลงเมื่อแช่อาหารในน้ำนานขึ้น ($p \leq 0.05$) ของเสียในรูปไนไตรท์มีค่าสูงสุดเมื่ออาหารอยู่ในน้ำที่ระยะเวลา 2 ชั่วโมงเช่นกัน ($p \leq 0.05$) โดยมีค่า 3.38 มก./1 กก.อาหาร ส่วนของเสียในรูปไนเตรทมีค่าสูงที่สุดเมื่ออาหารอยู่ในน้ำที่ระยะเวลา 1 นาที ($p \leq 0.05$) โดยมีค่า 4.75 มก./1 กก.อาหาร ดังแสดงในตารางที่ 7

ผลการศึกษาในตารางที่ 6 และ 7 แสดงให้เห็นว่าเมื่ออาหารทดลองทั้ง 2 ชนิดอยู่ในน้ำนานขึ้นปริมาณของเสียจากตัวอาหารนั้นจะถูกชะลงสู่สิ่งแวดล้อมมากขึ้นด้วย พร้อมกับเปอร์เซ็นต์สูญเสียปริมาณโภชนะต่าง ๆ ในตัวอาหารก็มากขึ้นดังได้กล่าวมาแล้ว (ภาพที่ 3 และ 4) โดยเฉพาะของเสียในรูป TSS, BOD และ COD ดังแสดงในภาพที่ 9 และ 10 ซึ่งปริมาณของเสียในรูป TSS เมื่ออาหารทดลองทั้ง 2 ชนิดอยู่ในน้ำที่ระยะเวลา 4 ชั่วโมงมีค่าสูงที่สุด เนื่องมาจากเมื่ออาหารที่อยู่ในน้ำนานขึ้น โภชนะจะถูกชะออกมาจากตัวอาหารมากขึ้น นั่นก็คือตัวสารอินทรีย์และอนินทรีย์นั่นเอง ส่งผลให้ปริมาณของเสียในรูป TKN, BOD และ COD สูงตามไปด้วย (ภาพที่ 9 และ 10)



ภาพที่ 9 ปริมาณของเสียเมื่ออาหารปลาเปิดผสมรำ 1 กิโลกรัมอยู่ในน้ำที่ระยะเวลาต่าง ๆ



ภาพที่ 10 ปริมาณของเสีย เมื่อแช่อาหารผสมสำเร็จ 1 กิโลกรัมที่ระยะเวลาต่าง ๆ

ตารางที่ 6 ปริมาณของเสียเมื่ออาหารปลาเปิดผสมรำ 1 กิโลกรัมอยู่ในน้ำที่ระยะเวลาต่าง ๆ

คุณสมบัติที่ตรวจวัด (มก./1 กก.อาหาร)	เวลาที่แช่อาหาร					ผลวิเคราะห์ทางสถิติ	
	1 นาที	1 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง	3 ชั่วโมง	4 ชั่วโมง	p-value	pool-SE
TDS	2754.98 ^c	11861.51 ^d	25233.18 ^c	47384.66 ^b	58254.32 ^a	0.0001	1706.51
TSS	6057.17 ^c	21575.66 ^d	26044.76 ^c	32962.35 ^b	41777.70 ^a	0.0001	1403.73
Turbidity ^{/1}	927.07 ^e	5777.12 ^d	14171.25 ^c	19073.25 ^b	23727.80 ^a	0.0001	685.49
Alkaline	840.47 ^d	5607.94 ^c	6191.70 ^c	8443.87	9258.16 ^a	0.0001	419.27
Hardness	1200.48 ^c	4615.89 ^d	5815.91 ^c	7035.31 ^b	8129.30 ^a	0.0001	218.03
Ammonia	21.05 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.0001	1.55
Nitrite	0.11 ^c	0.83 ^b	0.74 ^b	0.99 ^b	1.45 ^a	0.0001	0.16
Nitrate	6.65 ^a	4.17 ^{ab}	3.17 ^b	2.87 ^b	4.35 ^{ab}	0.0816	1.52
TKN	197.83 ^d	8586.56 ^c	11948.77 ^b	12793.64 ^b	15976.71 ^a	0.0001	509.59
TON	1957.78 ^d	8591.08 ^c	11954.00 ^b	12798.52 ^b	15981.74 ^a	0.0001	509.71
TN	1985.74 ^d	8591.70 ^c	11952.82 ^b	12797.66 ^b	15982.65 ^a	0.0001	509.89
Orthophosphate	76.14 ^d	88.23 ^c	92.12 ^{bc}	99.23 ^{ab}	104.26 ^a	0.0011	5.67
Total phosphorus	79.97 ^d	88.53 ^{cd}	94.14 ^{bc}	101.66 ^b	111.24 ^a	0.0003	5.24

ตารางที่ 6 (ต่อ)

คุณสมบัติที่ตรวจวัด (มก./1 กก.อาหาร)	เวลาที่แช่อาหาร					ผลวิเคราะห์ทางสถิติ	
	1 นาที	1 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง	3 ชั่วโมง	4 ชั่วโมง	p-value	pool-SE
BOD	12577.79 ^c	83391.01 ^d	117490.21 ^c	135697.81 ^b	163310.69 ^a	0.0001	8216.25
COD	3272.25 ^c	186303.15 ^d	215169.07 ^c	273594.63 ^b	462346.31 ^a	0.0001	11980.90

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษร a b c ที่ต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอด

^{/1} NTU/1 กก.อาหาร

ตารางที่ 7 ปริมาณของเสียเมื่ออาหารผสมสำเร็จ 1 กิโลกรัมอยู่ในน้ำที่ระยะเวลาต่าง ๆ

คุณสมบัติที่ตรวจวัด (มก./1 กก.อาหาร)	เวลาที่แช่อาหาร					ผลวิเคราะห์ทางสถิติ	
	1 นาที	1 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง	3 ชั่วโมง	4 ชั่วโมง	p-value	pool-SE
TDS	1949.64 ^b	12225.46 ^b	13480.94 ^b	15428.34 ^a	16288.34 ^a	0.0001	727.39
TSS	5320.47 ^c	23362.38 ^d	63519.84 ^c	96676.89 ^b	118634.46 ^a	0.0001	3014.79
Turbidity ^{/1}	1021.96 ^d	5930.65 ^c	21612.04 ^b	22443.16 ^b	33766.49 ^a	0.0001	922.97
Alkaline	822.83 ^c	2227.82 ^c	2695.46 ^c	3169.52 ^b	3596.21 ^a	0.0001	102.46
Hardness	619.00 ^d	669.53 ^d	958.65 ^c	2009.36 ^b	2767.04 ^a	0.0001	139.07
Ammonia	0.00 ^d	7.02 ^b	23.58 ^a	7.32 ^b	3.55 ^c	0.0001	1.86
Nitrite	0.42 ^d	1.55 ^c	3.38 ^a	2.32 ^b	2.88 ^{ab}	0.0001	0.36
Nitrate	4.75 ^a	0.33 ^b	0.00 ^b	1.87 ^b	0.00 ^b	0.0004	0.96
TKN	479.96 ^c	2788.65 ^d	4746.68 ^c	4950.31 ^b	5825.84 ^a	0.0001	82.08
TON	510.48 ^c	2781.73 ^d	4723.10 ^c	4923.14 ^b	5822.30 ^a	0.0001	83.73
TN	485.13 ^c	2789.21 ^d	4744.03 ^c	4934.04 ^b	5821.89 ^a	0.0001	83.76
Orthophosphate	66.04 ^c	167.88 ^d	180.34 ^c	191.73 ^b	208.64 ^a	0.0001	4.59
Total phosphorus	84.45 ^c	210.52 ^{ab}	203.06 ^b	207.80 ^{ab}	230.54 ^a	0.0001	13.00

ตารางที่ 7 (ต่อ)

คุณสมบัติที่ตรวจวัด (มก./1 กก.อาหาร)	เวลาที่แช่อาหาร					ผลวิเคราะห์ทางสถิติ	
	1 นาที	1 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง	3 ชั่วโมง	4 ชั่วโมง	p-value	pool-SE
BOD	2755.18 ^c	21784.09 ^b	43045.58 ^a	42830.08 ^a	43852.75 ^a	0.0001	621.19
COD	31405.73 ^d	312578.72 ^c	341154.37 ^b	358049.44 ^b	384587.80 ^a	0.0001	11055.97

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษร a b c ที่ต่างกัน ในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอด

¹ NTU/1 กก.อาหาร

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณของเสียจากการที่อาหารทดลอง 2 ชนิดอยู่ในน้ำที่ระยะเวลาเดียวกันโดยคำนวณปริมาณอาหารเป็น 1 กิโลกรัมเท่ากัน ผลการศึกษาในตารางที่ 8 พบว่าเมื่ออาหารทดลองทั้ง 2 ชนิดอยู่ในน้ำที่ระยะเวลา 1 นาที อาหารปลาเปิดผสมรำมีปริมาณของเสียในรูป TDS, Hardness, Ammonia, TKN, TON, TN และ BOD สูงกว่าอาหารผสมสำเร็จ ($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 8 แต่ในอาหารผสมสำเร็จจะมีปริมาณของเสียในรูป Turbidity และ COD สูงกว่าอาหารปลาเปิดผสมรำ ($p \leq 0.05$) โดยในอาหารผสมสำเร็จมีค่า 1,021.96 และ 31,405.73 มก./1 กก.อาหาร ตามลำดับ ที่ระยะเวลา 1 ชั่วโมงอาหารปลาเปิดผสมรำมีปริมาณของเสียในรูป Alkaline, Hardness, Nitrate, TKN, TON, TN และ BOD สูงกว่าอาหารผสมสำเร็จ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 8 แต่ในอาหารผสมสำเร็จมีปริมาณของเสียในรูป Ammonia, Nitrite, Orthophosphate, Total phosphorus และ COD สูงกว่าอาหารปลาเปิดผสมรำ ($p \leq 0.05$) โดยในอาหารผสมสำเร็จมีค่า 7.02, 1.55, 167.88, 210.52 และ 312,578.72 มก./1 กก.อาหาร ตามลำดับ จากตารางที่ 8 พบว่าที่ระยะเวลา 2 ชั่วโมงอาหารปลาเปิดผสมรำมีปริมาณของเสียในรูป TDS, Alkaline, Hardness, Nitrate, TKN, TON, TN และ BOD สูงกว่าอาหารผสมสำเร็จ ($p \leq 0.05$) แต่ในอาหารผสมสำเร็จมีปริมาณของเสียในรูป TSS, Turbidity, Ammonia, Nitrite, Orthophosphate, Total phosphorus และ COD สูงกว่าอาหารปลาเปิดผสมรำ ($p \leq 0.05$) โดยในอาหารผสมสำเร็จมีค่า 63,519.84, 21,612.04, 23.58, 3.38, 180.34, 211.15 และ 341,154.37 มก./1 กก.อาหาร ตามลำดับ ที่ระยะเวลา 3 ชั่วโมงอาหารปลาเปิดผสมรำมีปริมาณของเสียในรูป TDS, Alkaline, Hardness, TKN, TON, TN และ BOD สูงกว่าอาหารผสมสำเร็จ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 8 แต่ในอาหารผสมสำเร็จมีปริมาณของเสียในรูป TSS, Turbidity, Ammonia, Nitrite, Orthophosphate, Total phosphorus และ COD สูงกว่าอาหารปลาเปิดผสมรำ ($p \leq 0.05$) เช่นเดียวกับเมื่อแช่อาหารในน้ำที่ระยะเวลา 2 ชั่วโมง โดยในอาหารผสมสำเร็จมีค่า 96,676.89, 22,443.16, 5.72, 2.32, 191.73, 207.80 และ 358,049.44 มก./1 กก.อาหาร ตามลำดับ จากตารางที่ 8 พบว่าที่ระยะเวลา 4 ชั่วโมงอาหารปลาเปิดผสมรำมีปริมาณของเสียในรูป TDS, Alkaline, Hardness, Nitrate, TKN, TON, TN, BOD และ COD สูงกว่าอาหารผสมสำเร็จ ($p \leq 0.05$) แต่ในอาหารผสมสำเร็จมีปริมาณของเสียในรูป TSS, Turbidity, Ammonia, Nitrite, Orthophosphate และ Total phosphorus สูงกว่าอาหารปลาเปิดผสมรำ ($p \leq 0.05$) โดยในอาหารผสมสำเร็จมีค่า 118,634.46, 33,766.49, 3.55, 2.88, 208.64 และ 230.54 มก./1 กก.อาหาร ตามลำดับ

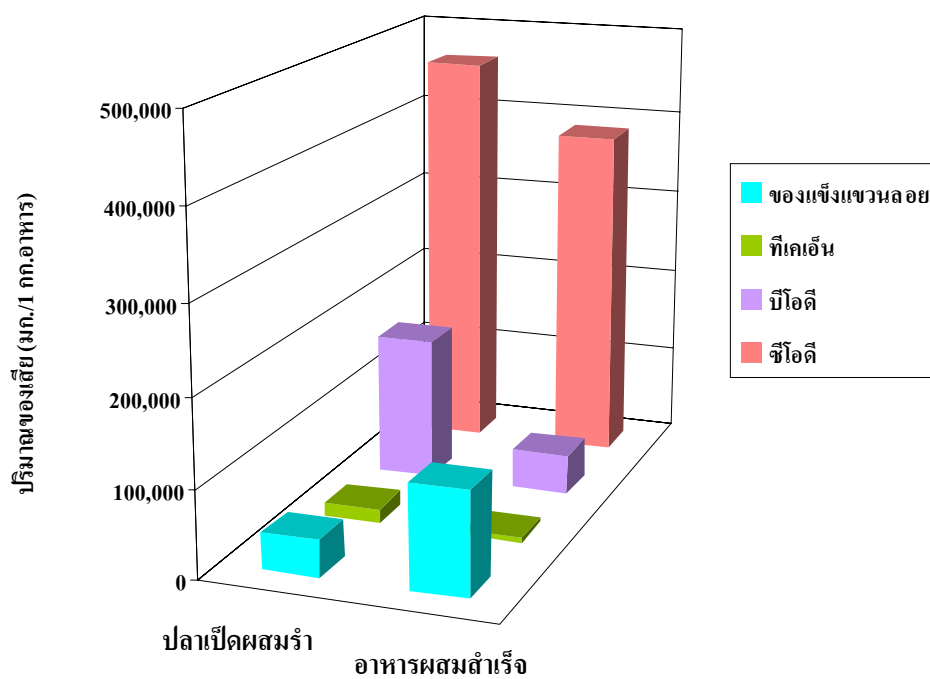
จากการเปรียบเทียบปริมาณของเสียจากอาหาร 2 ชนิดเมื่ออาหารอยู่ในน้ำที่ระยะเวลาเดียวกัน จากตารางที่ 8 แสดงให้เห็นว่าอาหารปลาเปิดผสมรำมีปริมาณของเสียในรูปสารอินทรีย์

สูงกว่า และมีการชะของโภชนะลงสู่สิ่งแวดล้อมได้มากกว่า ดังนั้นที่ทุก ๆ ระยะเวลาอาหารปลาเป็ดผสมรำจึงมีของเสียในรูป TKN, TON, TN และ BOD สูงกว่าในอาหารผสมสำเร็จ ($p \leq 0.05$) แม้ว่าปริมาณของเสียในรูป COD ในอาหารผสมสำเร็จจะสูงกว่าก็ตาม เนื่องมาจากในขั้นตอนของการทำอาหารปลาเป็ดผสมรำมีเพียงการเติมวิตามินซีลงในอาหารเท่านั้น แต่อาหารผสมสำเร็จมีทั้งการเติมวิตามินรวม แร่ธาตุรวม และวิตามินซีในอาหาร ซึ่งตัวแร่ธาตุในอาหารที่ถูกชะออกมาเมื่ออาหารแช่อยู่ในน้ำส่งผลให้ปริมาณของเสียในรูป COD ในอาหารผสมสำเร็จมีค่าสูงกว่าอาหารปลาเป็ดผสมรำ เนื่องจากค่า COD เป็นการวัดปริมาณออกซิเจนที่นำไปใช้ในการสลายสารอินทรีย์ที่มีในน้ำ ค่า COD ใช้บ่งชี้ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำได้ และค่า COD นั้นจะรวมถึงสารประกอบที่ไม่สามารถย่อยสลายโดยแบคทีเรียได้ (คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, 2545)

จากภาพที่ 11 พบว่าปริมาณของเสียในรูป TSS และ Turbidity ในอาหารผสมสำเร็จมีค่าสูงกว่าในอาหารปลาเป็ดผสมรำ เนื่องจากตะกอนของอาหารผสมสำเร็จที่ถูกชะออกมาจากตัวอาหารค่อนข้างเล็กและละเอียดมาก ส่งผลให้เศษอาหารแขวนลอยอยู่ในน้ำไม่ตกตะกอนที่พื้น และเห็นความแตกต่างอย่างชัดเจนเมื่ออาหารอยู่ในน้ำตั้งแต่ 2 ชั่วโมงเป็นต้นไป ($p \leq 0.05$)

ปริมาณของเสียในรูป TDS, Alkaline และ Hardness ในอาหารปลาเป็ดผสมรำมีค่าสูงกว่าในอาหารผสมสำเร็จ เนื่องจากอาหารปลาเป็ดผสมรำเป็นอาหารผสมเปียก มีความชื้นสูงจึงถูกชะได้ง่ายกว่า ส่งผลให้สารอินทรีย์และไอออนจากตัวอาหารถูกชะออกมาด้วย

ปริมาณของเสียในรูป Orthophosphate และ Total phosphorus ในอาหารผสมสำเร็จมีค่าสูงกว่าในอาหารปลาเป็ดผสมรำเมื่ออาหารอยู่ในน้ำที่ระยะเวลา 1 ชั่วโมงถึง 4 ชั่วโมง ($p \leq 0.05$) เนื่องมาจากแหล่งของฟอสฟอรัสในอาหารปลาเป็ดผสมรำอยู่ที่เศษกระดูกปลาที่ตกตะกอนอยู่ที่พื้น ก้นบ่อ ส่วนอาหารผสมสำเร็จแหล่งของฟอสฟอรัสอยู่ที่เศษอาหารที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ



ภาพที่ 11 ปริมาณของเสียเมื่ออาหารปลาเปิดผสมร่าและอาหารผสมสำเร็จ 1 กิโลกรัมอยู่ในน้ำเป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง

ตารางที่ 8 ปริมาณของเสียเมื่อปลาเปิดผสมร่าและอาหารผสมสำเร็จ 1 กิโลกรัมอยู่ในน้ำที่ระยะเวลาต่าง ๆ

คุณสมบัติที่ตรวจวัด (มก./1 กก.อาหาร)	อาหารทดลอง		p-value
	ปลาเปิดผสมร่า	อาหารผสมสำเร็จ	
1 นาที			
TDS	2754.98±253.94 ^a	1592.97±173.88 ^b	0.0117
TSS	6057.17±263.52	5320.47±646.80	0.1417
Turbidity ¹	881.74±0.92 ^b	1021.96±19.54 ^a	0.0024
Alkaline	840.47±119.98	822.83±80.30	0.8427
Hardness	1200.48±51.62 ^a	619.00±179.79 ^b	0.0058
Ammonia	21.05±3.46 ^a	0.00±0.00 ^b	0.0005
Nitrite	0.11±0.10	0.23±0.06	0.2293
Nitrate	6.65±2.03	4.75±1.56	0.2679
TKN	1978.83±56.41 ^a	479.96±36.44 ^b	0.0001
TON	1957.78±53.03 ^a	510.48±38.93 ^b	0.0001
TN	1985.74±58.17 ^a	485.13±37.41 ^b	0.0001
Orthophosphate	76.14±6.19	66.04±5.26	0.0976
Total phosphorus	79.97±5.90	84.45±12.66	0.6079
BOD	12577.79±235.04 ^a	2755.18±255.05 ^b	0.0001
COD	3272.25±418.30 ^b	31405.73±5613.34 ^a	0.0010
1 ชั่วโมง			
TDS	12316.00±379.29	11570.10±397.92	0.1950
TSS	21575.66±2211.71	20830.59±1583.52	0.7138
Turbidity ¹	5777.12±175.50	6439.39±346.79	0.0602
Alkaline	5607.94±128.20 ^a	2227.82±166.36 ^b	0.0001
Hardness	4615.89±352.42 ^a	669.53±94.16 ^b	0.0001
Ammonia	0.00±0.00 ^b	7.02±1.68 ^a	0.0019
Nitrite	0.83±0.17 ^b	1.55±0.38 ^a	0.0401
Nitrate	5.25±0.91 ^a	0.03±0.06 ^b	0.0017

ตารางที่ 8 (ต่อ)

คุณสมบัติที่ตรวจวัด (มก./1 กก.อาหาร)	อาหารทดลอง		p-value
	ปลาเปิดผสมรำ	อาหารผสมสำเร็จ	
1 ชั่วโมง			
TKN	8586.56±218.74 ^a	2788.65±157.56 ^b	0.0001
TON	8591.08±218.74 ^a	2781.73±156.17 ^b	0.0001
TN	8591.70±220.59 ^a	2789.21±156.60 ^b	0.0001
Orthophosphate	88.23±5.81 ^b	167.88±5.87 ^a	0.0001
Total phosphorus	88.53±4.32 ^b	210.52±20.53 ^a	0.0005
BOD	83391.01±5498.92 ^a	21784.09±1034.51 ^b	0.0001
COD	186303.15±5128.14 ^b	312578.72±21381.51 ^a	0.0006
2 ชั่วโมง			
TDS	25233.18±1892.73 ^a	13480.94±820.35 ^b	0.0006
TSS	26044.76±1779.58 ^b	63519.84±1464.16 ^a	0.0001
Turbidity ^{/1}	14171.25±707.04 ^b	21612.04±345.65 ^a	0.0001
Alkaline	6191.70±340.94 ^a	2695.46±125.12 ^b	0.0001
Hardness	5815.91±206.63 ^a	1028.10±19.39 ^b	0.0001
Ammonia	0.00±0.00 ^b	23.58±1.92 ^a	0.0001
Nitrite	0.74±0.25 ^b	3.38±0.34 ^a	0.0004
Nitrate	3.167±1.13 ^a	0.00±0.00 ^b	0.0084
TKN	11948.77±788.09 ^a	4746.68±84.93 ^b	0.0001
TON	11954.00±788.45 ^a	4723.10±86.53 ^b	0.0001
TN	11952.82±787.32 ^a	4744.03±84.45 ^b	0.0001
Orthophosphate	92.12±6.79 ^b	180.34±1.15 ^a	0.0001
Total phosphorus	94.14±5.90 ^b	211.15±6.65 ^a	0.0002
BOD	117490.21±12804.77 ^a	43045.58±543.89 ^b	0.0005
COD	215169.07±6554.09 ^b	341154.37±2912.83 ^a	0.0001

ตารางที่ 8 (ต่อ)

คุณสมบัติที่ตรวจวัด (มก./1 กก.อาหาร)	อาหารทดลอง		p-value
	ปลาเปิดผสมรำ	อาหารผสมสำเร็จ	
3 ชั่วโมง			
TDS	47384.66±2188.80 ^a	15428.34±303.23 ^b	0.0001
TSS	32962.35±802.49 ^b	96676.89±4115.31 ^a	0.0001
Turbidity ^{/1}	19073.25±792.67 ^b	22443.16±366.58 ^a	0.0026
Alkaline	8443.87±725.37 ^a	3169.52±51.77 ^b	0.0002
Hardness	7035.31±153.54 ^a	2009.36±38.93 ^b	0.0001
Ammonia	0.00±0.00 ^b	5.72±2.33 ^a	0.0185
Nitrite	0.99±0.14 ^b	2.32±0.05 ^a	0.0001
Nitrate	2.87±0.79	1.03±0.46	0.0637
TKN	12793.64±376.85 ^a	4950.31±13.46 ^b	0.0001
TON	12798.52±377.08 ^a	4923.14±39.26 ^b	0.0001
TN	12797.66±376.82 ^a	4934.04±43.02 ^b	0.0001
Orthophosphate	99.23±1.08 ^b	191.73±6.43 ^a	0.0001
Total phosphorus	101.66±0.86 ^b	207.80±6.48 ^a	0.0001
BOD	135697.81±8768.09 ^a	42830.08±679.73 ^b	0.0001
COD	273594.63±13417.96 ^b	358049.44±7886.72 ^a	0.0007
4 ชั่วโมง			
TDS	58254.32±2330.56 ^a	16288.34±340.86 ^b	0.0001
TSS	41777.70±1039.38 ^b	118634.46±2337.36 ^a	0.0001
Turbidity ^{/1}	23727.80±1088.24 ^b	33766.49±1780.03 ^a	0.0001
Alkaline	9258.16±453.53 ^a	3596.21±5.72 ^b	0.0001
Hardness	8129.30±211.07 ^a	2767.04±198.20 ^b	0.0001
Ammonia	0.00±0.00 ^b	3.55±0.69 ^a	0.0009
Nitrite	1.45±0.09 ^b	2.88±0.55 ^a	0.0111
Nitrate	4.35±1.30 ^a	0.00±0.00 ^b	0.0045

ตารางที่ 8 (ต่อ)

คุณสมบัติที่ตรวจวัด (มก./1 กก.อาหาร)	อาหารทดลอง		p-value
	ปลาเป็ดผสมรำ	อาหารผสมสำเร็จ	
4 ชั่วโมง			
TKN	15976.71±695.88 ^a	5825.84±11.70 ^b	0.0001
TON	15981.74±696.08 ^a	5822.30±11.20 ^b	0.0001
TN	15982.65±697.17 ^a	5821.89±13.01 ^b	0.0001
Orthophosphate	104.26±6.45 ^b	208.64±0.75 ^a	0.0001
Total phosphorus	111.24±6.96 ^b	230.54±1.52 ^a	0.0001
BOD	163310.69±8148.55 ^a	43852.75±190.56 ^b	0.0001
COD	462346.31±21638.84 ^a	384587.80±7197.83 ^b	0.0041

หมายเหตุ Mean ± SD

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษร a b c ที่ต่างกัน ในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{/1} NTU/1 กก.อาหาร

การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของการให้อาหาร 2 ชนิด คือ อาหารปลาเป็ดผสมรำ และอาหารผสมสำเร็จ ต่อการเจริญเติบโตของปลาช่อน และคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลา

1. การเจริญเติบโตของปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมสำเร็จ

จากการเลี้ยงลูกปลาช่อนที่มีน้ำหนักเริ่มต้น 10.06 กรัม และความยาวเฉลี่ย 10.66 เซนติเมตร ทั้ง 2 ชุดการทดลอง เป็นเวลา 8 สัปดาห์ เพื่อศึกษาผลของอาหารผสมสำเร็จเปรียบเทียบกับอาหารปลาเป็ดผสมรำ จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลองทั้ง 2 ชนิด ดังแสดงในตารางที่ 9 พบว่าอาหารปลาเป็ดผสมรำเป็นอาหารผสมเปียกมีความชื้นถึง 70.59 เปอร์เซ็นต์ ส่วนอาหารผสมสำเร็จเป็นอาหารบับมีความชื้น 40.22 เปอร์เซ็นต์ ($p \leq 0.05$) เมื่อคำนวณในรูปน้ำหนักแห้ง พบว่าอาหารปลาเป็ดผสมรำมีโปรตีน เยื่อใย เถ้า และฟอสฟอรัสสูงกว่าอาหารผสมสำเร็จ

ตารางที่ 9 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารปลาช่อน

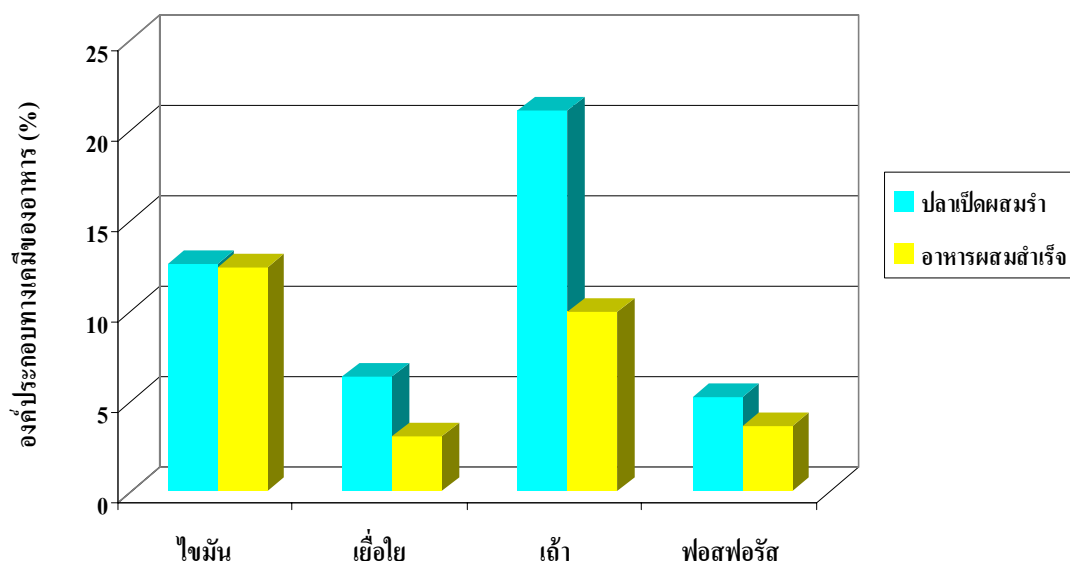
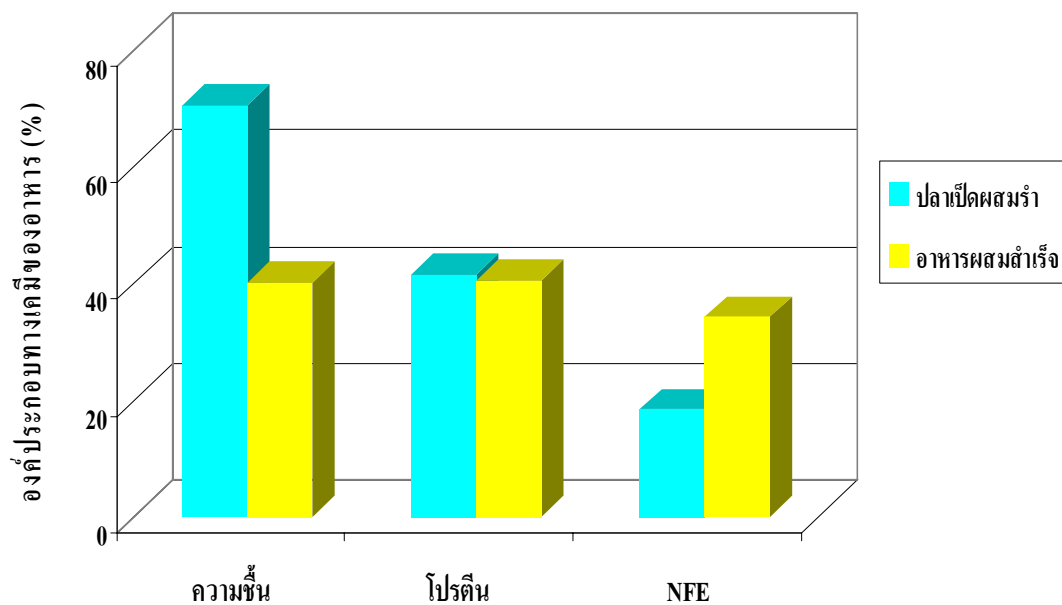
องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร (เปอร์เซ็นต์)	ปลาเป็ดผสมรำ	อาหารผสมสำเร็จ	p-value
ความชื้น	70.59±0.72 ^a	40.22±0.51 ^b	0.0001
วัตถุดิบ			
โปรตีน	41.42±0.41 ^a	40.43±0.27 ^b	0.0246
ไขมัน	12.60±0.01	12.41±0.07	0.0640
เยื่อใย	6.40±0.19 ^a	3.08±0.08 ^b	<0.0001
เถ้า	21.13±0.08 ^a	9.93±0.03 ^b	0.0001
NFE ¹	18.38±0.56 ^b	34.27±0.25 ^a	<0.0001
ฟอสฟอรัส	5.23±0.16 ^a	3.59±0.02 ^b	0.0001
พลังงานย่อยได้ ² (กิโลแคลอรี/100 กรัม)	328.44±0.53 ^b	354.61±0.43 ^a	<0.0001

หมายเหตุ Mean ± SD

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษร a b c ที่ต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

¹ NFE = 100 - (% ความชื้น - % โปรตีน - % ไขมัน - % เยื่อใย - % เถ้า)

² พลังงานย่อยได้ = (% โปรตีน x 4.0) + (% ไขมัน x 8.0) + (% NFE x 2.5) (NRC, 1983)



ภาพที่ 12 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารปลาช่อน

($p \leq 0.05$) โดยในอาหารปลาเป็ดผสมรำมีค่า 41.42, 6.40, 21.13 และ 5.23 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนอาหารผสมสำเร็จมี NFE และพลังงานย่อยได้สูงกว่าอาหารปลาเป็ดผสมรำ ($p \leq 0.05$) โดยในอาหารผสมสำเร็จมีค่า 34.27 เปอร์เซ็นต์ และ 354.61 กิโลแคลอรี/100 กรัม ตามลำดับ แต่เปอร์เซ็นต์ไขมันในอาหารทดลองทั้ง 2 ชนิดไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 12

ในการศึกษาผลของการใช้อาหารปลาเป็ดผสมรำและอาหารผสมสำเร็จในปลาช่อน ดังแสดงในตารางที่ 10 พบว่าที่ระยะเวลา 4 สัปดาห์ปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมสำเร็จมีน้ำหนักสุดท้าย, น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และการเจริญเติบโตต่อวันสูงกว่าปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารปลาเป็ดผสมรำ ($p \leq 0.05$) โดยมีค่า 15.62 กรัม/ตัว, 5.56 กรัม/ตัว และ 0.20 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ และที่ระยะเวลา 8 สัปดาห์ปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมสำเร็จมีน้ำหนักสุดท้าย น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และการเจริญเติบโตต่อวันสูงกว่าปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารปลาเป็ดผสมรำ (ภาพที่ 14) เช่นเดียวกับที่ระยะเวลา 4 สัปดาห์ ($p \leq 0.05$) โดยมีค่า 17.55 กรัม/ตัว, 7.48 กรัม/ตัว และ 0.29 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 13 เมื่อพิจารณาอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของอาหารทดลอง 2 ชนิดทั้งที่ระยะเวลา 4 และ 8 สัปดาห์ ดังแสดงในตารางที่ 10 พบว่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของอาหารปลาเป็ดผสมรำมีค่าสูงกว่าอาหารผสมสำเร็จ ($p \leq 0.05$) โดยในอาหารปลาเป็ดผสมรำที่ 4 สัปดาห์มีค่า 16.28 และที่ 8 สัปดาห์มีค่า 13.82 ส่วนในอาหารผสมสำเร็จที่ 4 สัปดาห์มีค่า 5.78 และที่ 8 สัปดาห์มีค่า 5.07 (ภาพที่ 15) ผลการศึกษาในตารางที่ 10 พบว่าอัตราการรอดของปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลองทั้ง 2 ชนิดที่ระยะเวลา 4 และ 8 สัปดาห์ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) เมื่อสิ้นสุดการทดลองนำปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลองทั้ง 2 ชนิด มาหาค่าดัชนีน้ำหนักตัว (HSI) ประโยชน์สุทธิของโปรตีน (NPU) และประสิทธิภาพของโปรตีน (PER) จากตารางที่ 10 พบว่าปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมสำเร็จมีค่า HSI, NPU และ PER สูงกว่าปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารปลาเป็ดผสมรำ โดยในอาหารผสมสำเร็จมีค่า 0.025, 0.33 และ 0.25 ตามลำดับ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 10

เมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ 8 สัปดาห์นำเลือดปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารปลาเป็ดผสมรำและอาหารผสมสำเร็จวิเคราะห์ค่าโลหิตวิทยา ซึ่งประกอบด้วยเม็ดเลือดแดง (red blood cell, RBC) ฮีโมโกลบิน (haemoglobin, HGB) และฮีมาโตคริต (haematocrit, HCT) ผลการศึกษาในตารางที่ 11 พบว่าปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมสำเร็จมีค่าเม็ดเลือดแดง 3.9×10^6 เซลล์ต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร ฮีโมโกลบิน 13.46 กรัม/เดซิลิตร และฮีมาโตคริต 36.70 เปอร์เซ็นต์ซึ่งสูงกว่าค่าที่วิเคราะห์ได้ในปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารปลาเป็ดผสมรำ ($p \leq 0.05$) ซึ่งมีแนวโน้มเช่นเดียวกับการเจริญเติบโต

ตารางที่ 10 การเจริญเติบโตของปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยปลาเป็ดผสมรำและอาหารผสมสำเร็จ

คุณสมบัติที่ตรวจวัด	อาหารทดลอง		p-value
	ปลาเป็ดผสมรำ	อาหารผสมสำเร็จ	
น้ำหนักปลาเริ่มต้น (กรัม/ตัว)	10.06±0.03	10.07±0.03	0.8007
สัปดาห์ที่ 4			
น้ำหนักสุดท้าย (กรัม/ตัว)	11.77±0.51 ^b	15.62±0.88 ^a	0.0028
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม/ตัว)	1.71±0.53 ^b	5.56±0.91 ^a	0.0032
การเจริญเติบโตต่อวัน (กรัม/ตัว/วัน)	0.06±0.02 ^b	0.20±0.03 ^a	0.0033
อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ	16.28±7.99 ^a	5.78±0.38 ^b	0.0424
อัตราการรอด (เปอร์เซ็นต์)	65.33±18.15	77.33±13.32	0.4081
สัปดาห์ที่ 8			
น้ำหนักสุดท้าย (กรัม/ตัว)	13.08±0.26 ^b	17.55±0.68 ^a	0.0005
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม/ตัว)	3.01±0.30 ^b	7.48±0.71 ^a	0.0006
การเจริญเติบโตต่อวัน (กรัม/ตัว/วัน)	0.11±0.01 ^b	0.29±0.03 ^a	0.0005
อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ	13.82±4.22 ^a	5.07±0.33 ^b	0.0096
อัตราการรอด (เปอร์เซ็นต์)	56.67±11.55	70.00±9.16	0.1923
ดัชนีน้ำหนักตัว	0.013±0.002 ^b	0.025±0.002 ^a	0.0009
NPU	0.20±0.01 ^b	0.33±0.02 ^a	0.0003
PER	0.09±0.01 ^b	0.25±0.02 ^a	0.0004

หมายเหตุ Mean ± SD

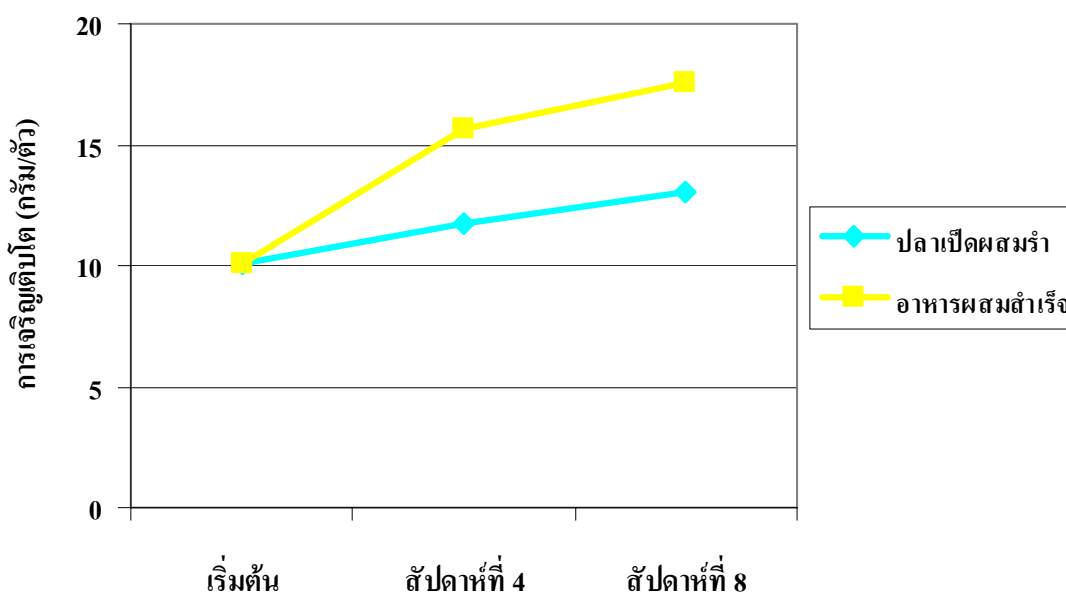
ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษร a b c ที่ต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 11 ค่าโลหิตวิทยาในปลาช่อนที่ใช้อาหารปลาเปิดผสมรำและอาหารผสมสำเร็จใน
ระยะเวลา 60 วัน

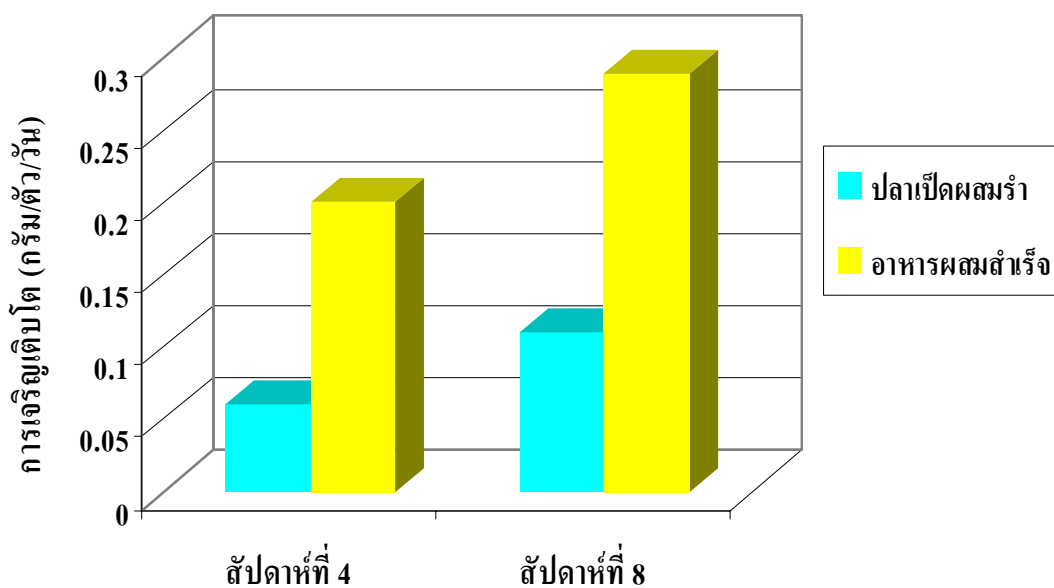
คุณสมบัติที่ตรวจวัด	อาหารทดลอง		p-value
	ปลาเปิดผสมรำ	อาหารผสมสำเร็จ	
เม็ดเลือดแดง ($\times 10^6$ เซลล์ต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร)	1.57 \pm 0.22 ^b	3.9 \pm 0.49 ^a	0.0007
ฮีโมโกลบิน (กรัม/เดซิลิตร)	5.37 \pm 0.91 ^b	13.46 \pm 1.31 ^a	0.0002
ฮีมาโตคริต (เปอร์เซ็นต์)	14.03 \pm 1.76 ^b	36.70 \pm 3.76 ^a	0.0001

หมายเหตุ Mean \pm SD

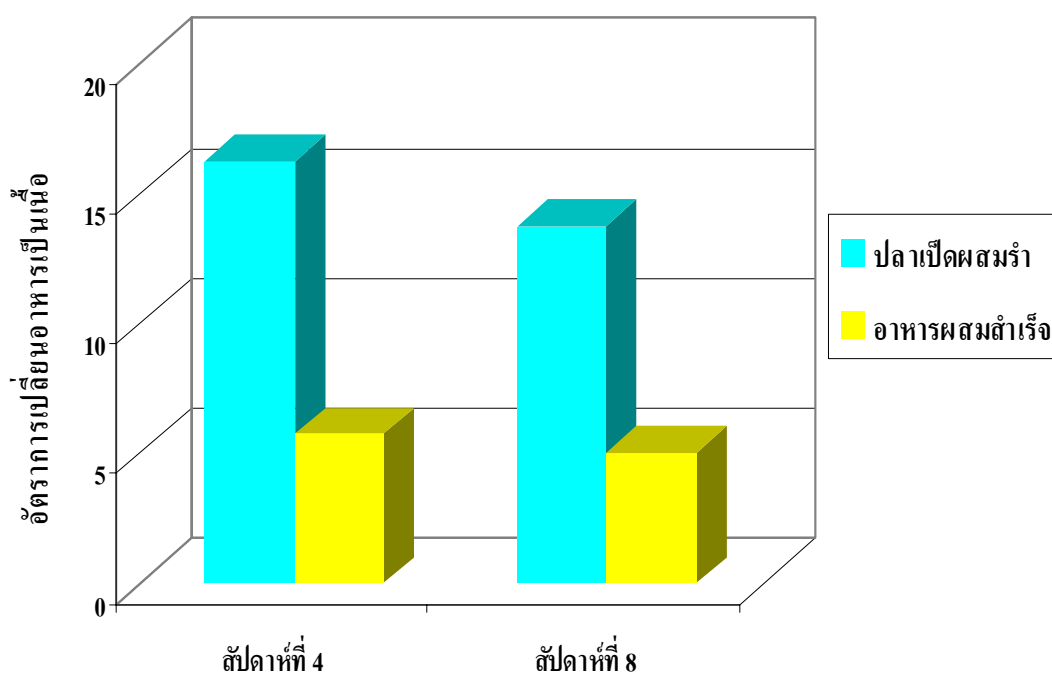
ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษร a b c ที่ต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมี
นัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



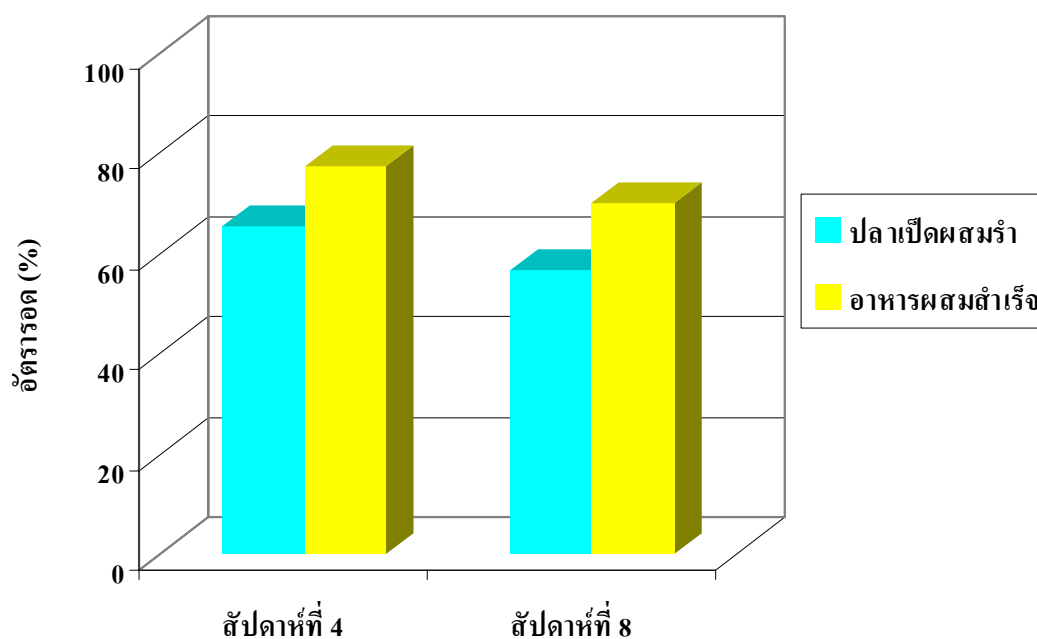
ภาพที่ 13 การเจริญเติบโตของปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยปลาเปิดผสมรำและอาหารผสมสำเร็จ



ภาพที่ 14 การเจริญเติบโตต่อวันของปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลอง 2 ชนิดที่ 4 และ 8 สัปดาห์



ภาพที่ 15 อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารปลาเป็ดผสมรำและอาหารผสมสำเร็จที่ 4 และ 8 สัปดาห์



ภาพที่ 16 อัตรารอดของปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลอง 2 ชนิดที่ 4 และ 8 สัปดาห์

จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า ชนิดของอาหารมีผลต่อการเจริญเติบโตและสุขภาพของปลาช่อน โดยสามารถนำอาหารผสมสำเร็จมาใช้แทนอาหารปลาเปิดผสมรำได้ แม้ว่าอาหารปลาเปิดผสมรำจะเป็นอาหารพื้นบ้านที่ใช้กันในทางปฏิบัติ เพื่อการอนุบาลและเลี้ยงลูกปลาช่อนในเขตจังหวัดภาคกลางและภาคตะวันออก แต่ก็ต้องประสบปัญหาความไม่สะดวกในการขนส่งปลาเปิด รวมทั้งปัญหาสิ่งแวดล้อมที่จะเกิดขึ้นจากการเลี้ยง ซึ่งหากได้มีการพัฒนาอาหารที่เหมาะสมในการเลี้ยงปลาช่อน ปัญหาดังกล่าวก็จะได้รับการแก้ไข

ในการทดลองครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมสำเร็จมีการเจริญเติบโตและสุขภาพดีกว่าปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารปลาเปิดผสมรำ ทั้งในด้านที่ทำให้ลูกปลามีการเจริญเติบโตต่อวัน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ดัชนีน้ำหนักตัว จำนวนเม็ดเลือดแดง ฮีโมโกลบิน และฮีมาโตคริตที่สูงกว่า ($p \leq 0.05$) ซึ่งอาหารผสมสำเร็จที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ได้ปรับให้มีคุณค่าทางอาหารที่เหมาะสมกับการเลี้ยงปลาช่อน โดยอ้างอิงจากการทดลองของ Sammantaray and Mohanty (1997) ที่ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระดับโปรตีนและพลังงานในอาหารปลาช่อนขนาด 12 กรัม พบว่าปลาช่อนมีความต้องการโปรตีนในอาหาร 40 เปอร์เซ็นต์ และมีสัดส่วนระหว่าง P/E 90.9 มก.โปรตีน/กิโลกรัมแคลอรี ส่วนการทดลองอื่น ๆ มักทำการ

ทดลองในลูกปลาช่อนวัยอ่อนจึงมีความต้องการ โปรตีนในระดับที่สูงกว่า แต่ระดับโปรตีนในอาหารผสมสำเร็จที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ก็เท่ากับการทดลองของจินตนา และ ทวี (2544) ที่ทำการศึกษาความต้องการโปรตีนที่เหมาะสมสำหรับลูกปลาช่อนขนาด 0.09 กรัม พบว่ามีความต้องการโปรตีน 40 เปอร์เซ็นต์ และพลังงานที่ย่อยได้ 328.54 กิโลแคลอรี/100 กรัม และใกล้เคียงกับการทดลองของมะลิ (2523) ที่รายงานระดับความต้องการโปรตีนในอาหารสำเร็จรูปที่ใช้อุบลลูกปลาช่อนวัยอ่อนมีค่าอย่างต่ำ 43 เปอร์เซ็นต์ และการศึกษาของวิริยากร (2540) ที่พบว่าระดับโปรตีนร้อยละ 47 และพลังงาน 315 กิโลแคลอรี/100 กรัม มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของลูกปลาช่อนขนาดน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 0.35 กรัม ซึ่งความต้องการโปรตีนของปลาช่อนขนาดนี้มีความต้องการค่อนข้างสูง เนื่องจากปลาช่อนเป็นปลากินเนื้อ ซึ่งโดยทั่วไปปลากินเนื้อต้องการโปรตีนร้อยละ 40 - 50 (อมรรัตน์ และ นุชกร, 2543) ในการทดลองจึงใช้อาหารผสมสำเร็จที่มีระดับโปรตีน 40 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งปลาขนาดใหญ่มีความต้องการโปรตีนต่ำกว่าปลาขนาดเล็ก เนื่องจากการสังเคราะห์โปรตีนของปลาขนาดใหญ่ต่ำกว่าปลาขนาดเล็ก (Walton, 1985) ส่วนในเรื่องความต้องการไขมันของปลาช่อนนั้นเวียง (2543) ได้รายงานไว้ว่าอาหารปลาช่อนควรมีไขมันไม่ต่ำกว่า 13.6 เปอร์เซ็นต์ จึงจะเพียงพอต่อความต้องการ แต่อาหารส่วนใหญ่ที่ใช้เลี้ยงปลาช่อนมีไขมันเพียง 7 - 8 เปอร์เซ็นต์ ส่วนพลังงานย่อยได้ในอาหารผสมสำเร็จที่ใช้ในการเลี้ยงปลาช่อนมีค่าอยู่ในช่วง 300 - 350 กิโลแคลอรี/100 กรัม (วิริยากร, 2540; จินตนา และ ทวี, 2544) และระดับคาร์โบไฮเดรตที่เหมาะสมในการเลี้ยงปลาช่อนอยู่ที่ระดับ 12 เปอร์เซ็นต์ (Arockiaraj, 1999)

จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมสำเร็จมีการเจริญเติบโตดีกว่าปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารปลาเป็ดผสมรำ แม้ว่าจะมีปริมาณโปรตีนและพลังงานใกล้เคียงกันก็ตาม ($p \leq 0.05$) เนื่องจากอาหารปลาเป็ดผสมรำเป็นอาหารสด มีเนื้อปลาปริมาณมาก ทำให้ปลาช่อนซึ่งเป็นปลากินเนื้อที่มีนิสัยชอบการไล่ล่าเหยื่อชอบกินมากกว่า (New, 1987) แต่อาหารปลาเป็ดผสมรำอาจมีการเน่าเสียได้ง่ายทำให้มีกลิ่นที่ผิดเพี้ยนไป นอกจากนี้โปรตีนที่มีการเน่าเสียจะอยู่ในรูปที่ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ และอาหารปลาเป็ดผสมรำที่มีปลาเป็ดต่อรำในสัดส่วน 8:1 ทำให้มีเปอร์เซ็นต์เถ้าสูงถึง 21.13 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับการศึกษาของอุไร (2542) ที่รายงานว่าพบเปอร์เซ็นต์เถ้าในอาหารปลาเป็ดผสมรำ 19.39 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นโทษะที่ไปขัดขวางการดูดซึมโทษะตัวอื่น ๆ การให้อาหารปลาช่อนปลาจะกินอาหารหมดภายใน 3 - 4 ชั่วโมงทำให้ความสดในตัวอาหารหายไป รวมทั้งในการทดลองที่ 1 ที่ได้ศึกษาการสูญเสียปริมาณโทษะในอาหารซึ่งพบว่าอาหารปลาเป็ดผสมรำมีการชะและละลายลงสู่แหล่งน้ำได้ง่ายกว่า และที่ระยะเวลา 4 ชั่วโมงอาหารปลาเป็ดผสมรำยังมีเปอร์เซ็นต์สูญเสียวัตถุแห้งและโปรตีนค่อนข้างสูง และมีเปอร์เซ็นต์เถ้า

และเชื้อไขเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ปลาช่อนในชุดการทดลองที่เลี้ยงด้วยอาหารปลาเป็ดผสมรำมีการเจริญเติบโตต่ำกว่าปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมสำเร็จ ซึ่งแตกต่างจากการทดลองของอุไร (2542) ที่ทำการศึกษาผลของอาหารปลาเป็ดผสมรำ และปลาเป็ดผสมหัวอาหารต่อการเจริญเติบโตของลูกปลาช่อน พบว่าการเลี้ยงปลาด้วยอาหารปลาเป็ดผสมรำมีผลให้ปลาช่อนมีการเจริญเติบโตและอัตราการรอดสูงกว่า เนื่องจากอาหารปลาเป็ดผสมหัวอาหารที่ใช้ในการทดลองเป็นอาหารเม็ดจึงมีผลต่อการยอมรับอาหาร และยังพบว่าไม่ควรเลี้ยงลูกปลาช่อนด้วยอาหารปลาเป็ดผสมรำเพียงชนิดเดียวเกินกว่า 8 สัปดาห์ เนื่องจากปลาเป็ดมีธาตุอาหารไม่ครบถ้วนกับความต้องการของปลา (ประเสริฐ และคณะ, 2525)

ส่วนในการทดลองของวิเชียร และ พรชัย (2530) ที่ทำการศึกษาเปรียบเทียบการเจริญเติบโตและผลผลิตของปลากะพงขาวที่เลี้ยงในกระชังด้วยอาหารปลาสดและอาหารผสม (moist mixed diet) พบว่าปลากะพงขาวยอมรับอาหารผสม (ความชื้นประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์) แต่คุณค่าทางอาหารของอาหารผสมครั้งนี้ไม่ดีพอ เนื่องจากมีระดับโปรตีนและไขมันเพียง 37.7 และ 7.4 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และมีปริมาณวิตามินซีไม่เพียงพออีกด้วย นอกจากนี้ยังส่งผลให้อัตรารอดของปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมสำเร็จสูงกว่าปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารปลาเป็ดผสมรำ ($p>0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 16 และสูงกว่าการทดลองของอุไร (2542) ที่รายงานอัตราการรอดเพียง 29.66 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากการไม่ยอมรับอาหารในช่วงแรก ส่วนปลาช่อนที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ได้รับการฝึกให้กินอาหารผสมสำเร็จ (ความชื้น 40.22 ± 0.51 เปอร์เซ็นต์) มาก่อน จึงไม่มีปัญหาในเรื่องของการยอมรับอาหาร และยังมีปริมาณวิตามินและแร่ธาตุที่เพียงพอกับความต้องการของปลา

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของอาหารผสมสำเร็จดีกว่าอาหารปลาเป็ดผสมรำ ดังแสดงในตารางที่ 10 เนื่องจากอาหารผสมสำเร็จเป็นอาหารปั้นมีความชื้น 40.22 ± 0.51 เปอร์เซ็นต์ จึงจับตัวกันเป็นก้อนได้ดีกว่าอาหารปลาเป็ดผสมรำ ซึ่งเป็นอาหารผสมเปียกมีความชื้นสูงถึง 70.59 ± 0.72 เปอร์เซ็นต์ รวมทั้งแตกตัวละลายน้ำได้ง่าย ก่อให้เกิดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อม และทำให้เกิดการตกค้างในบ่อในปริมาณมาก (Nia, 2004) สอดคล้องกับการทดลองที่ 1 ที่พบว่าอาหารปลาเป็ดผสมรำมีเปอร์เซ็นต์สูญเสียโภชนะสูงกว่าอาหารผสมสำเร็จ วิทย์ (2511) รายงานว่าเกษตรกรที่เลี้ยงปลาช่อนด้วยอาหารปลาเป็ดผสมรำละเอียดเป็นเวลาประมาณ 8 เดือน จะทำให้ปลามีน้ำหนัก 500 - 800 กรัม หรือในระยะเวลา 11 เดือน ปลาจะมีน้ำหนัก 700 - 1,100 กรัม โดยปลาจะมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อเท่ากับ 5 ซึ่งหมายความว่าถ้าปลาช่อนจะสร้างน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม ปลาจะต้องกินอาหารเข้าไปประมาณ 5 กิโลกรัม

จากตารางที่ 10 แสดงให้เห็นว่าปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมสำเร็จมีค่า HSI, NPU และ PER สูงกว่าปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารปลาเปิดผสมร้าสอดคล้องกับการเจริญเติบโต อุไร (2542) รายงานว่า PER ของลูกปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารปลาเปิดผสมหัวอาหาร (โปรตีน 54.51 เปอร์เซ็นต์) มีค่าสูงกว่าเลี้ยงด้วยอาหารปลาเปิดผสมร้า (โปรตีน 61.71 เปอร์เซ็นต์) โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.51

เมื่อสิ้นสุดการทดลองนำเลือดปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารปลาเปิดผสมร้า และอาหารผสมสำเร็จวิเคราะห์ค่าโลหิตวิทยา ซึ่งประกอบด้วยเม็ดเลือดแดง (red blood cell, RBC) ฮีโมโกลบิน (haemoglobin) และฮีมาโตคริต (haematocrit) ซึ่งการวิเคราะห์เลือดสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในแง่ของการประเมินสุขภาพของปลาได้ โดย Klinger *et al.* (1996) ได้รายงานว่าการศึกษาค่าโลหิตวิทยามีความสำคัญมากในการประเมินถึงความเหมาะสมของอาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์ เนื่องจาก การนำอาหารชนิดต่าง ๆ มาใช้ในการเลี้ยงสัตว์ย่อมมีผลต่อสุขภาพของสัตว์ Delany *et al.* (1990) รายงานว่าเลือดปลาจะแปรเปลี่ยนตามอาหารที่ปลาได้รับ ซึ่งจะมีผลต่อเม็ดเลือดแดง (RBC), packed cell volume (PCV) และระดับ glucose ส่วนค่าฮีมาโตคริต สามารถใช้บอกสุขภาพของปลาได้ ถ้าค่าฮีมาโตคริตต่ำกว่าปกติ ปลาอาจจะเป็นโรคโลหิตจาง หรือถ้าค่าฮีมาโตคริตสูง อาจเกิดจากความเครียด (สงศรี, 2524) จากการทดลองครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการใช้อาหารผสมสำเร็จส่งผลให้ปลาช่อนมีสุขภาพดีกว่าการใช้อาหารปลาเปิดผสมร้า

2. คุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลาช่อนด้วยอาหารปลาเป็ดผสมรำและอาหารผสมสำเร็จ

ในการศึกษาคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลาช่อนด้วยอาหารทดลอง 2 ชนิด นำค่าที่วิเคราะห์ได้มาคำนวณบนฐานเดียวกัน คือ ปริมาณของเสียจากปลาช่อน 1 กิโลกรัม และปริมาณของเสียจากการให้อาหารทดลอง 1 กิโลกรัม ในการทดลองนี้จะทำการศึกษาผลของปริมาณของเสียจากการให้อาหารทดลอง 2 ชนิดในบ่อเลี้ยงปลาช่อนที่ระยะเวลา 1 ชั่วโมง ปริมาณของเสียที่ลดลงในบ่อเลี้ยงปลาช่อนเมื่อเปลี่ยนถ่ายน้ำเป็นเวลา 4 ชั่วโมง และปริมาณของเสียในรูปของสิ่งขับถ่ายของปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลอง 2 ชนิด ที่ระยะเวลา 12 ชั่วโมง

2.1 ปริมาณของเสียจากการให้อาหารปลาเป็ดผสมรำและอาหารผสมสำเร็จในบ่อเลี้ยงปลาช่อนที่ระยะเวลา 1 ชั่วโมง

ศึกษาผลของปริมาณของเสียจากการให้อาหารทดลอง 2 ชนิดในบ่อเลี้ยงปลาช่อน เมื่อให้อาหารทดลองแก่ปลาช่อน 1 กิโลกรัมเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ผลการศึกษาในตารางที่ 12 พบว่าปริมาณของเสียที่เกิดจากอาหารทดลองทั้ง 2 ชนิดมีปริมาณแตกต่างกัน โดยอาหารปลาเป็ดผสมรำมีของเสียในรูป TDS, Turbidity, TKN, TON, TN, Orthophosphate, Total phosphorus, BOD และ COD สูงกว่าอาหารผสมสำเร็จ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 17 โดยมีค่า 323.57, 195.39 NTU, 36.98, 40.41, 36.96, 2.41, 3.24, 132.02 และ 486.50 มก./ลิตร ปลา ตามลำดับ ส่วน TSS, Nitrite และ Nitrate มีค่าไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$)

เมื่อคำนวณปริมาณของเสียจากการให้อาหารทดลอง 1 กิโลกรัมเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ผลการศึกษาในตารางที่ 13 พบว่าปริมาณของเสียที่เกิดจากอาหารทดลองทั้ง 2 ชนิดมีปริมาณแตกต่างกัน โดยอาหารปลาเป็ดผสมรำมีของเสียในรูป TDS, TKN, TON, TN, Orthophosphate, Total phosphorus และ BOD สูงกว่าอาหารผสมสำเร็จ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 18 โดยมีค่า 2,162.78, 249.42, 269.09, 249.28, 15.25, 17.44 และ 935.56 มก./ลิตร อาหาร ตามลำดับ ส่วนอาหารผสมสำเร็จมีปริมาณของเสียในรูป TSS และ Ammonia สูงกว่าอาหารปลาเป็ดผสมรำ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 12 และ 13 แสดงให้เห็นว่าปริมาณของเสียจากการเลี้ยงปลาช่อนด้วยอาหารปลาเป็ดผสมรำมีค่าสูงกว่า เนื่องจากอาหารปลาเป็ดผสมรำเป็นอาหารผสมเปียกมีความชื้นสูงถึง 70.59 ± 0.72 เปอร์เซ็นต์ จึงทำให้แตกตัวละลายน้ำได้ง่าย เศษอาหารที่ถูกชะออกมามีลักษณะเป็นเศษ

เนื้อปลาชิ้นเล็ก ๆ ตกที่พื้นก้นบ่อ เกิดการตกค้างในบ่อในปริมาณมาก ก่อให้เกิดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อม (Nia, 2004) ส่วนอาหารผสมสำเร็จสำหรับปลาช่อนเป็นอาหารบับที่มีความชื้น 40.22 ± 0.51 เปอร์เซ็นต์ สามารถจับกันเป็นก้อนได้ดีกว่าอาหารปลาเป็ดผสมรำ จากการทดลองพบว่าอาหารปลาเป็ดผสมรำมีชิ้นเนื้อเศษปลา และเศษกระดูกปลาตกลงสู่แหล่งน้ำในปริมาณมาก ส่งผลให้ปริมาณของเสียในรูปของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเพิ่มสูงขึ้น และเมื่อมีการย่อยสลายสารอินทรีย์ทำให้ปริมาณ BOD เพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน ดังแสดงในภาพที่ 17 และ 18 จากตารางที่ 13 แสดงให้เห็นว่าปริมาณของเสียในรูปของ TSS ในอาหารผสมสำเร็จมีค่าสูงกว่าในอาหารปลาเป็ดผสมรำ เนื่องจากอาหารผสมสำเร็จมีลักษณะเศษอาหารที่ตกลงสู่แหล่งน้ำเป็นชิ้นวัตถุบเล็ก ๆ เพราะในการทำอาหารมีการร่อนวัตถุดิบให้ละเอียดด้วยตะแกรงร่อนขนาด 500 ไมครอน เศษอาหารที่ถูกชะออกมาจึงไม่ตกตะกอนที่พื้นก้นบ่อ แต่แขวนลอยอยู่ในน้ำ ชนิดและลักษณะทางกายภาพของอาหารที่แตกต่างกัน ส่งผลให้ปริมาณของเสียจากการใช้อาหารทั้ง 2 ชนิดแตกต่างกันด้วย แม้ว่าจะมีปริมาณโปรตีนในอาหารที่ใกล้เคียงกันก็ตาม

ตารางที่ 12 ปริมาณของเสียระหว่างการกินอาหารทดลอง 2 ชนิดเป็นเวลา 1 ชั่วโมงในบ่อเลี้ยงปลาช่อนที่มีปลา 1 กิโลกรัม

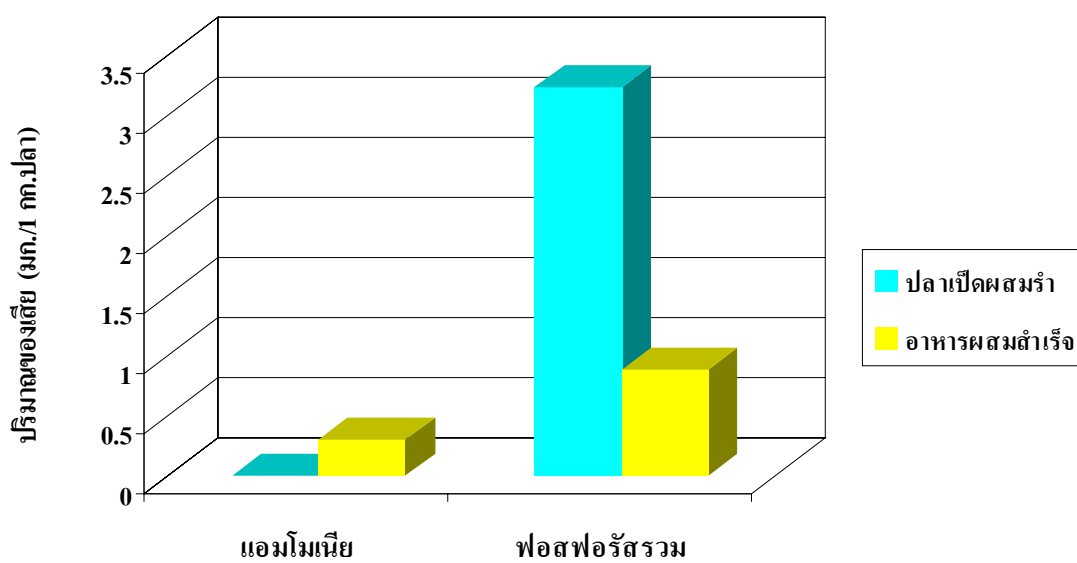
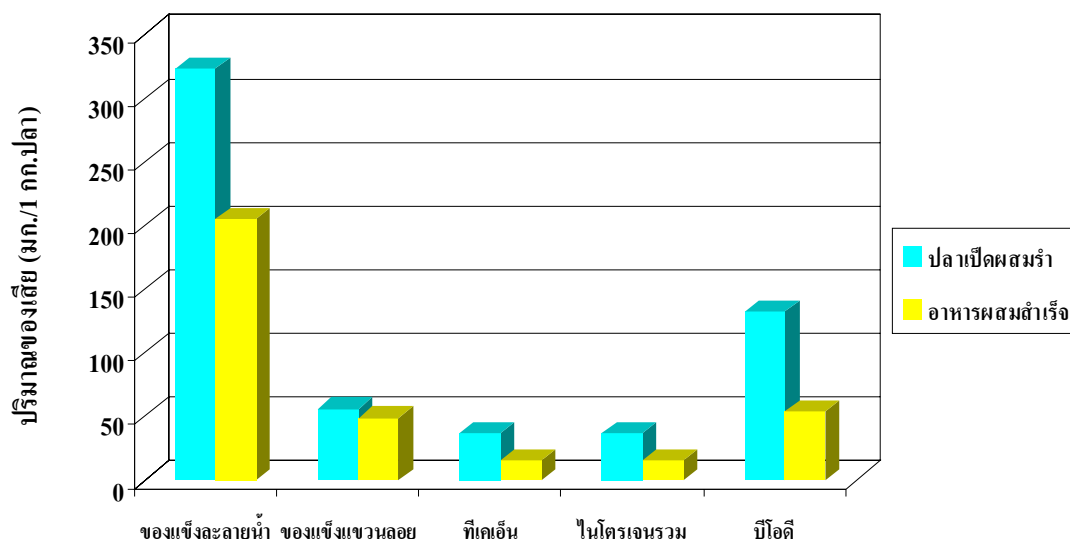
คุณสมบัติที่ตรวจวัด (มก./1 กก.ปลา)	อาหารทดลอง		p-value
	ปลาเป็ดผสมรำ	อาหารผสมสำเร็จ	
TDS	323.57±81.83 ^a	204.86±74.78 ^b	0.0002
TSS	56.07±20.46	48.83±14.64	0.2348
Turbidity ^{/1}	195.39±108.80 ^a	132.04±46.77 ^b	0.0499
Ammonia	0.00±0.00 ^b	0.30±0.59 ^a	0.0482
Nitrite	0.01±0.01	0.01±0.01	0.2338
Nitrate	0.00±0.00	0.00±0.00	0.1248
TKN	36.98±13.23 ^a	15.75±11.34 ^b	<0.0001
TON	40.41±13.81 ^a	16.19±11.34 ^b	<0.0001
TN	36.96±13.23 ^a	15.75±11.32 ^b	<0.0001
Orthophosphate	2.41±1.28 ^a	0.88±0.34 ^b	0.0001
Total phosphorus	3.24±1.19 ^a	0.89±0.56 ^b	0.0001
BOD	132.02±80.49 ^a	54.12±35.54 ^b	0.0027
COD	486.50±236.72 ^a	309.82±182.66 ^b	0.0361

หมายเหตุ Mean ± SD

FCR อาหารปลาเป็ดผสมรำ = 13.82, FCR อาหารผสมสำเร็จ = 5.07

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษร a b c ที่ต่างกัน ในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{/1} NTU/1 กก.ปลา



ภาพที่ 17 ปริมาณของเสียระหว่างการกินอาหารทดลอง 2 ชนิดเป็นเวลา 1 ชั่วโมงในบ่อเลี้ยงปลาช่อนที่มีปลา 1 กิโลกรัม

ตารางที่ 13 ปริมาณของเสียระหว่างการกินอาหารทดลอง 2 ชนิดเป็นเวลา 1 ชั่วโมงในบ่อเลี้ยงปลาช่อนเมื่อให้อาหาร 1 กิโลกรัม

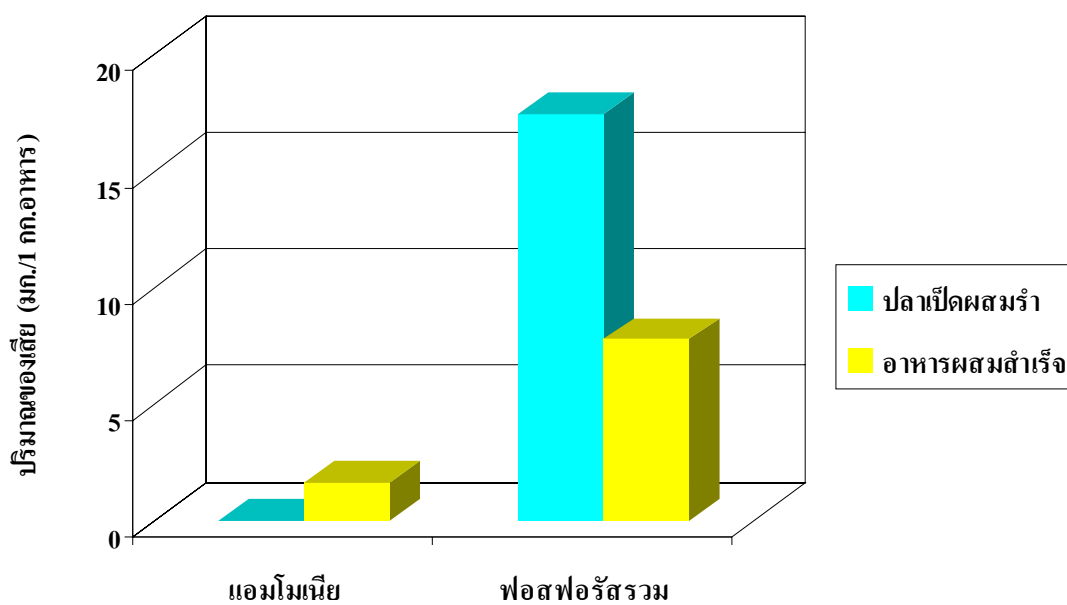
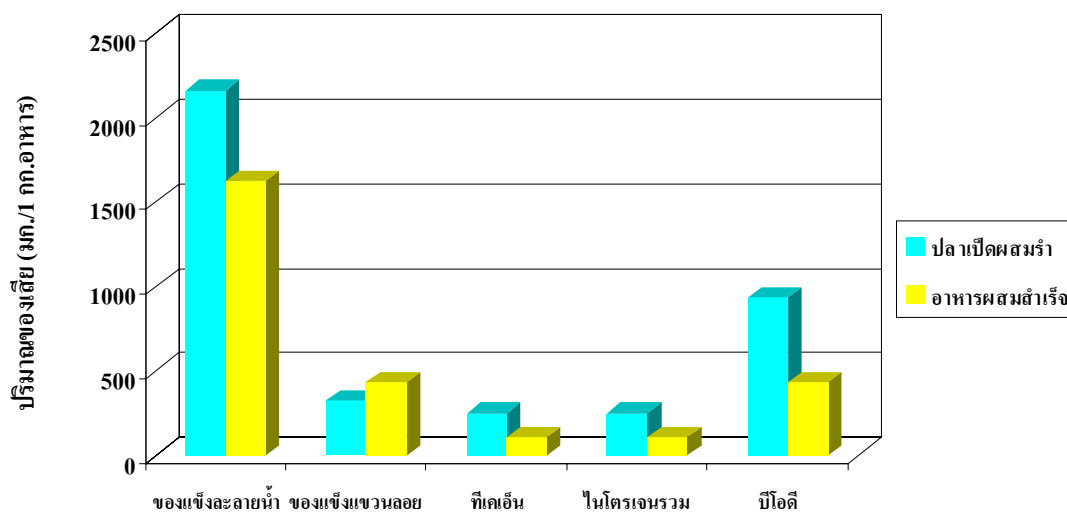
คุณสมบัติที่ตรวจวัด (มก./1 กก.อาหาร)	อาหารทดลอง		p-value
	ปลาเป็ดผสมรำ	อาหารผสมสำเร็จ	
TDS	2162.78±991.64 ^a	1623.74±490.99 ^b	0.0500
TSS	322.03±104.05 ^b	430.89±151.50 ^a	0.0218
Turbidity ^{/1}	1299.79±586.26	1104.24±409.66	0.2729
Ammonia	0.00±0.00 ^b	1.64±3.12 ^a	0.0463
Nitrite	0.06±0.10	0.13±0.11	0.0525
Nitrate	0.01±0.02	0.04±0.07	0.1013
TKN	249.42±108.54 ^a	105.67±49.94 ^b	0.0001
TON	269.09±106.07 ^a	109.74±54.77 ^b	0.0001
TN	249.28±108.52 ^a	105.69±49.94 ^b	0.0001
Orthophosphate	15.25±3.13 ^a	7.69±3.20 ^b	<0.0001
Total phosphorus	17.44±4.67 ^a	7.76±4.60 ^b	<0.0001
BOD	935.56±727.31 ^a	428.59±260.97 ^b	0.0230
COD	2934.03±1330.87	2432.10±1227.84	0.3092

หมายเหตุ Mean ± SD

FCR อาหารปลาเป็ดผสมรำ = 13.82, FCR อาหารผสมสำเร็จ = 5.07

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษร a b c ที่ต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{/1} NTU/1 กก.อาหาร



ภาพที่ 18 ปริมาณของเสียระหว่างการกินอาหารทดลอง 2 ชนิดเป็นเวลา 1 ชั่วโมงในบ่อเลี้ยงปลาช่อนเมื่อให้อาหาร 1 กิโลกรัม

2.2 ปริมาณของเสียที่ลดลงในบ่อเลี้ยงปลาช่อนเมื่อเปลี่ยนถ่ายน้ำ 60 เปอร์เซ็นต์/วัน

จากการศึกษาผลของปริมาณของเสียที่ลดลงในบ่อเลี้ยงปลาช่อน เมื่อเปลี่ยนถ่ายน้ำ 60 เปอร์เซ็นต์/วัน โดยเลี้ยงปลาช่อน 1 กิโลกรัม จากการศึกษาในตารางที่ 14 พบว่าปริมาณของเสียในรูป TDS, Turbidity, TKN, TON, TN, Orthophosphate, Total phosphorus และ BOD ในบ่อที่เลี้ยงด้วยอาหารปลาเป็ดผสมรำลดลงได้มากกว่าในบ่อที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมสำเร็จ ($p \leq 0.05$) โดยมีปริมาณของเสียลดลง 572.62, 243.85 NTU, 53.84, 53.27, 53.84, 2.35, 3.33 และ 197.14 มก./1 กก. ปลา ตามลำดับ ส่วนของเสียในรูป TSS, Nitrate และ COD จากการใช้อาหารทดลองทั้ง 2 ชนิด ปริมาณของเสียที่ลดลงในบ่อเลี้ยงปลาช่อนเมื่อเปลี่ยนถ่ายน้ำเป็นเวลา 4 ชั่วโมงไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) และพบว่าในบ่อเลี้ยงปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลองทั้ง 2 ชนิดมีปริมาณ Ammonia และ Nitrate เพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 19

การศึกษาในตารางที่ 15 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเลี้ยงปลาช่อนด้วยอาหารทดลอง 2 ชนิดในปริมาณ 1 กิโลกรัม พบปริมาณของเสียในรูป Nitrite, TKN, TON, TN และ Orthophosphate ในบ่อที่เลี้ยงด้วยอาหารปลาเป็ดผสมรำลดลงได้มากกว่าในบ่อที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมสำเร็จ ($p \leq 0.05$) โดยมีปริมาณของเสียลดลง 0.06, 256.79, 291.58, 243.21 และ 18.14 มก./1 กก.อาหาร ตามลำดับ และมีปริมาณของเสียในรูป Ammonia และ Nitrate เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับเมื่อคำนวณในรูปน้ำหนักปลา 1 กิโลกรัม ดังแสดงในภาพที่ 20

จากตารางที่ 14 และ 15 เมื่อใช้การวิเคราะห์แบบ t-test แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนถ่ายน้ำ 60 เปอร์เซ็นต์/วัน จากการใช้อาหารทดลอง 2 ชนิดไม่มีผลต่อการลด TSS ($p > 0.05$) เนื่องจากเศษอาหารหรือเศษตะกอนที่ถูกชะและหลุดล่องออกมาจากตัวอาหาร ส่วนหนึ่งเป็นตะกอนหนักตกอยู่ที่พื้นก้นบ่อ การเปลี่ยนถ่ายน้ำไม่สามารถกวาดตะกอนที่ก้นบ่อขึ้นมาและนำออกจากระบบได้ส่วนปริมาณ Ammonia และ Nitrate ในบ่อปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลองทั้ง 2 ชนิดมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากการเปลี่ยนรูปของ Ammonia, Nitrite และ Nitrate รวมทั้งน้ำที่เข้ามาในการเปลี่ยนถ่ายน้ำในบ่อเลี้ยงปลาช่อน ดังแสดงในตารางที่ 16 มีปริมาณ Ammonia และ Nitrate สูงทำให้ไม่สามารถลด Ammonia และ Nitrate ในระบบการเลี้ยงได้

ตารางที่ 14 ปริมาณของเสียที่ลดลงหลังการเปลี่ยนถ่ายน้ำ 60 เปอร์เซ็นต์/วัน ในบ่อเลี้ยงปลาช่อนที่มีปลา 1 กิโลกรัม

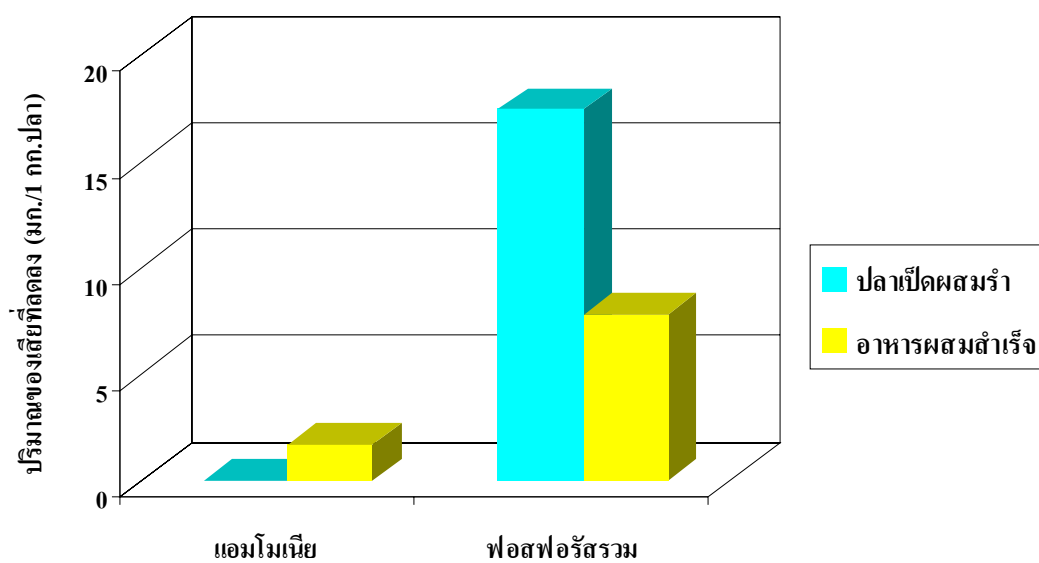
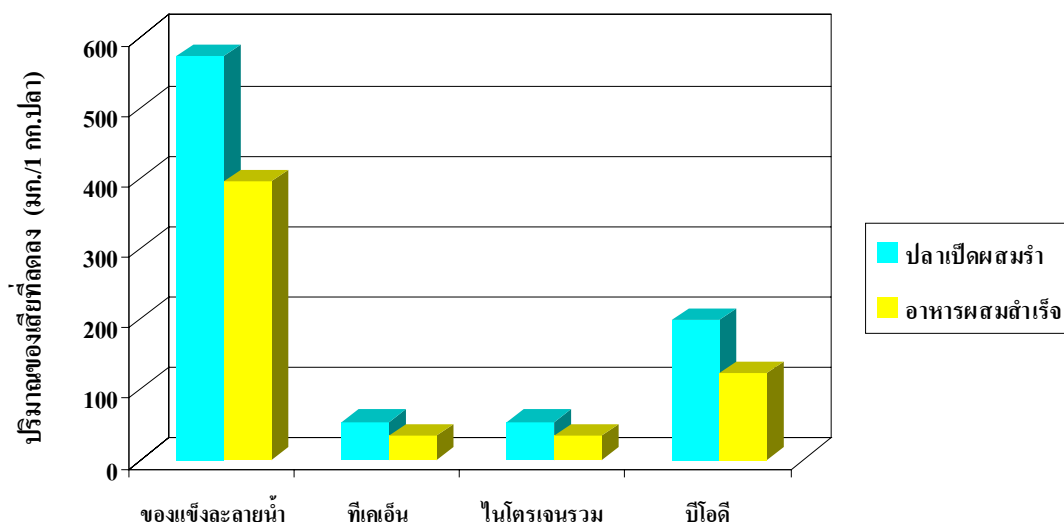
คุณสมบัติที่ตรวจวัด (มก./1 กก.ปลา)	อาหารทดลอง		p-value
	ปลาเปิดผสมรำ	อาหารผสมสำเร็จ	
TDS	572.62±110.36 ^a	393.81±102.14	<0.0001
TSS	57.19±22.67	47.14±15.13	0.1467
Turbidity ^{/1}	243.85±113.40 ^a	155.00±65.92 ^b	0.0081
Ammonia	+4.63±4.65 ^a	+0.17±4.17 ^b	0.0025
Nitrite	0.01±0.01 ^b	0.02±0.01 ^a	0.0094
Nitrate	+0.01±0.01	+0.02±0.03	0.2931
TKN	53.84±26.16 ^a	33.06±25.94 ^b	0.0409
TON	53.27±27.95 ^a	28.39±22.82 ^b	0.0077
TN	53.84±26.17 ^a	33.06±25.93 ^b	0.0409
Orthophosphate	2.35±1.68 ^a	1.04±0.45 ^b	0.0209
Total phosphorus	3.33±1.71 ^a	1.68±0.81 ^b	0.0039
BOD	197.14±100.10 ^a	122.07±71.50 ^b	0.0208
COD	819.13±452.42	622.13±133.13	0.1132

หมายเหตุ Mean ± SD

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษร a b c ที่ต่างกัน ในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{/1} NTU/1 กก.ปลา

+ = ปริมาณของเสียที่เพิ่มขึ้น



ภาพที่ 19 ปริมาณของเสียที่ลดลงหลังการเปลี่ยนถ่ายน้ำ 60 เปอร์เซ็นต์/วัน ในบ่อเลี้ยงปลาช่อนที่มีปลา 1 กิโลกรัม

หมายเหตุ ปริมาณของเสียในรูปแอมโมเนียมีค่าเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 15 ปริมาณของเสียที่ลดลงหลังการเปลี่ยนถ่ายน้ำ 60 เปอร์เซ็นต์/วัน ในบ่อเลี้ยงปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหาร 1 กิโลกรัม

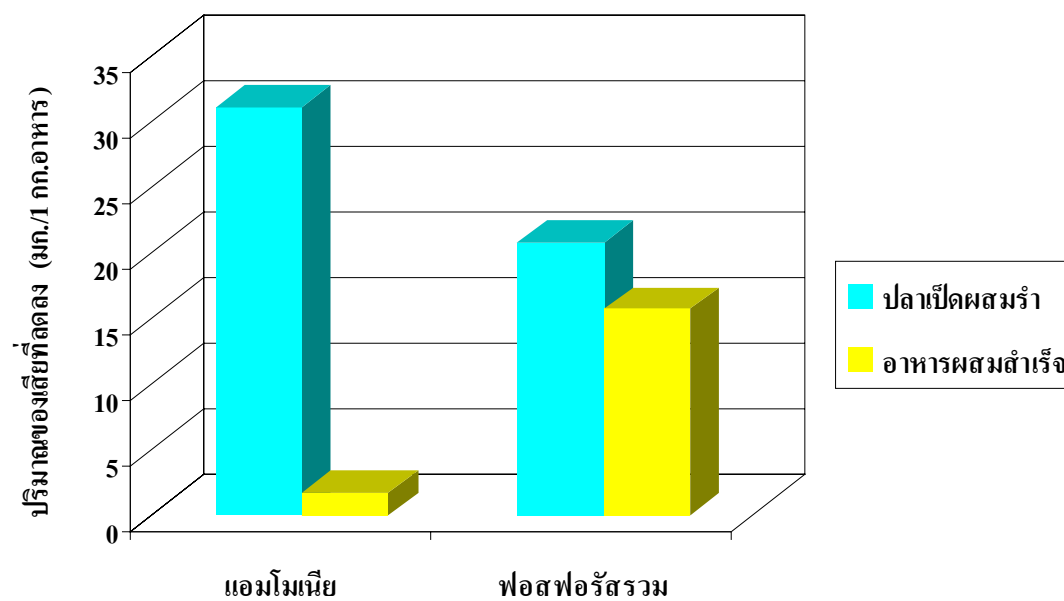
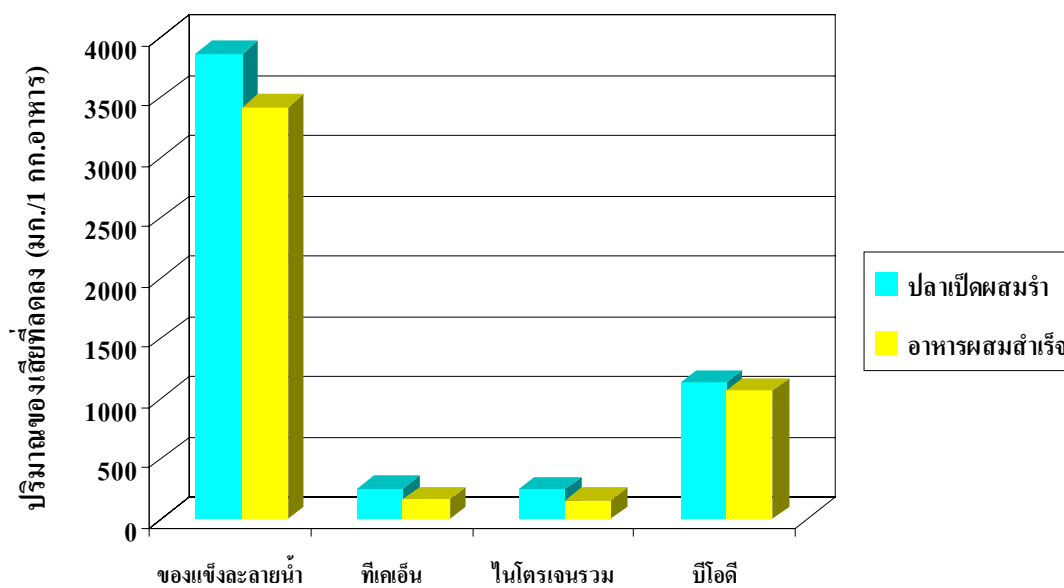
คุณสมบัติที่ตรวจวัด (มก./1 กก.อาหาร)	อาหารทดลอง		p-value
	ปลาเปิดผสมรำ	อาหารผสมสำเร็จ	
TDS	3860.21±812.22	3417.06±867.01	0.1353
TSS	355.88±202.42	442.34±182.94	0.1877
Turbidity ^{/1}	1459.81±445.61	1313.58±679.48	0.4504
Ammonia	+30.99±27.04 ^a	+1.64±0.95 ^b	0.0053
Nitrite	0.06±0.02 ^a	0.20±0.12 ^b	0.0026
Nitrate	+0.07±0.11	+0.18±0.25	0.1044
TKN	256.79±144.39 ^a	165.77±68.91 ^b	0.0495
TON	291.58±137.86 ^a	185.21±126.77 ^b	0.0394
TN	243.21±148.74 ^a	160.00±69.17 ^b	0.0466
Orthophosphate	18.14±10.36 ^a	10.54±3.20 ^b	0.0150
Total phosphorus	20.77±10.21	15.62±6.46	0.1063
BOD	1132.25±599.35	1062.00±646.70	0.7482
COD	4251.09±2568.57	5266.60±1937.77	0.2071

หมายเหตุ Mean ± SD

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษร a b c ที่ต่างกัน ในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{/1} NTU/1 กก.อาหาร

+ = ปริมาณของเสียที่เพิ่มขึ้น



ภาพที่ 20 ปริมาณของเสียที่ลดลงหลังการเปลี่ยนถ่ายน้ำ 60 เปอร์เซ็นต์/วันในบ่อเลี้ยงปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหาร 1 กิโลกรัม

หมายเหตุ ปริมาณของเสียในรูปแอมโมเนียค่าเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 16 คุณภาพน้ำที่ใช้ในการเปลี่ยนถ่ายน้ำในระหว่างการเลี้ยงปลาช่อน

คุณสมบัติที่ตรวจวัด	คุณภาพน้ำ (มก./ล)
Temperature ¹	28.33 ±0.50
DO	5.91±0.18
pH ²	7.13±0.10
TDS	203.33±5.00
TSS	3.62±0.48
Turbidity ³	39.78±1.86
Ammonia	0.25±0.04
Nitrite	0.01±0.00
Nitrate	0.43±0.04
TKN	14.56±3.90
TON	14.99±3.90
TN	28.33±3.07
Orthophosphate	0.03±0.01
Total phosphate	0.06±0.01
BOD	10.30±1.47
COD	15.14±2.99

หมายเหตุ Mean ± SD

¹ องศาเซลเซียส, ² ไม่มีหน่วย, ³ NTU

2.3 ปริมาณของเสียในรูปของสิ่งขับถ่ายของปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลอง 2 ชนิด ที่ระยะเวลา 12 ชั่วโมง

ในการศึกษาปริมาณของเสียในรูปของสิ่งขับถ่ายของปลาช่อน ที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลองทั้ง 2 ชนิดที่ระยะเวลา 12 ชั่วโมง เมื่อคำนวณให้อยู่ในรูปของน้ำหนักปลา 1 กิโลกรัม ผลการศึกษาในตารางที่ 17 พบว่าปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารปลาเปิดผสมรำมีปริมาณของเสียที่เป็นสิ่งขับถ่ายในรูป Orthophosphate, Total phosphorus และ BOD สูงกว่าในอาหารผสมสำเร็จ ($p \leq 0.05$) โดยมีค่า 3.30, 3.60 และ 316.63 มก./1 กก.ปลา ตามลำดับ ส่วนปริมาณของเสียในรูปของสิ่งขับถ่ายอื่น ๆ มีปริมาณไม่แตกต่างกันในอาหารทดลองทั้ง 2 ชนิด ($p > 0.05$) แต่ปริมาณของเสียในรูปของสิ่งขับถ่ายจากปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารปลาเปิดผสมรำมีแนวโน้มสูงกว่าเมื่อเลี้ยงด้วยอาหารผสมสำเร็จ

เมื่อคำนวณให้อยู่ในรูปของอาหารทดลอง 1 กิโลกรัม ผลการศึกษาในตารางที่ 18 พบว่าปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารปลาเปิดผสมรำและอาหารผสมสำเร็จ มีปริมาณของเสียในรูปของสิ่งขับถ่ายไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) ยกเว้นปริมาณของเสียในรูปของ Ammonia และ Nitrite ที่ปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมสำเร็จมีของเสียในรูปของสิ่งขับถ่ายสูงกว่าปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารปลาเปิดผสมรำ ($p \leq 0.05$) โดยปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมสำเร็จมีค่า 28.21 และ 0.15 มก./1 กก.อาหาร ตามลำดับ

จากการทดลองครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า ปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารปลาเปิดผสมรำมีปริมาณของเสียในรูปของสิ่งขับถ่ายในรูป Orthophosphate, Total phosphorus และ BOD สูงกว่าบ่อปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมสำเร็จ เนื่องจากในอาหารปลาเปิดผสมรำมีปริมาณไนโตรเจน และ ฟอสฟอรัสสูงกว่าในอาหารผสมสำเร็จ ดังแสดงในตารางที่ 9 จึงส่งผลให้ของเสียที่ออกมาในรูปของสิ่งขับถ่ายสูงกว่าด้วย เช่นเดียวกับการทดลองของอุไร (2542) ที่รายงานว่ามีปริมาณของเสียในรูป Ammonia, Nitrite และ Nitrate มีปริมาณค่อนข้างสูงในบ่อปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารปลาเปิดผสมรำ ทั้งนี้เนื่องจากอาหารปลาเปิดผสมรำมีปริมาณโปรตีนค่อนข้างสูง ซึ่งโปรตีนส่วนเกินบางส่วนถูกขับถ่ายออกมาในรูปของแอมโมเนียทำให้ปริมาณแอมโมเนียในน้ำสูงขึ้น ส่งผลให้ปริมาณ Nitrite และ Nitrate สูงตามไปด้วย แม้ว่าการทดลองครั้งนี้ปริมาณของเสียจากสิ่งขับถ่ายในรูป Ammonia เมื่อเลี้ยงด้วยอาหารผสมสำเร็จจะมีค่าสูงกว่าเลี้ยงด้วยอาหารปลาเปิดผสมรำ แต่ปริมาณ TKN, TON และ TN โดยรวมในบ่อที่เลี้ยงด้วยอาหารปลาเปิดผสมรำก็ยังมีค่าสูงกว่าบ่อที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมสำเร็จเมื่อคำนวณที่น้ำหนักปลา 1 กิโลกรัม

ส่วนปริมาณของเสียในรูป Orthophosphate และ Total phosphorus ที่ตรวจพบได้ในน้ำมีค่าต่ำกว่าปริมาณของเสียรูปอื่น ๆ เนื่องจากฟอสฟอรัสที่ปลาขับออกมาจะอยู่ในรูปของไฟเตรทซึ่งรวมอยู่กับมูล และฟอสฟอรัสที่ปลาขับออกมาสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกนั้นมีทั้งรูปที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ โดยรูปแบบของฟอสฟอรัสในอาหารจะมีผลต่อปริมาณและรูปแบบของฟอสฟอรัสที่ปลาขับถ่ายออกมาด้วย โดย Phillips *et al.* (1993) กล่าวว่าฟอสฟอรัสที่สูญเสียออกมาจากอาหารและมูลจะอยู่ในรูปสารละลายฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้ประมาณ 50 – 60 เปอร์เซ็นต์ และอยู่ในรูปของสารละลายฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ไม่ได้ประมาณ 30 – 40 เปอร์เซ็นต์ มะลิ และ จูอะดิ (2533) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการย่อย และการนำไปใช้ประโยชน์ของฟอสฟอรัสจากอาหารปลากระพงขาว พบว่าค่าการใช้ประโยชน์ของฟอสฟอรัสจากอาหารมีค่าต่ำ แสดงว่าปลามีการขับฟอสฟอรัสออกมากับมูลเป็นจำนวนมาก ซึ่งอาจมากถึง 30 เปอร์เซ็นต์ (Cowey, 1995) หรือสูงถึง 50 เปอร์เซ็นต์ (Phillips *et al.* 1993) ดังนั้นชนิดของอาหารและการจัดการวิธีการให้อาหารที่ถูกต้องมีผลต่อคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยง

ตารางที่ 17 ปริมาณของเสียในรูปของสิ่งขับถ่ายจากปลาช่อน 1 กิโลกรัมที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลอง 2 ชนิดที่ระยะเวลา 12 ชั่วโมง

คุณสมบัติที่ตรวจวัด (มก./1 กก.ปลา)	อาหารทดลอง		p-value
	ปลาเปิดผสมรำ	อาหารผสมสำเร็จ	
TDS	674.66±312.23	498.01±329.35	0.2600
TSS	167.77±187.71	156.00±197.54	0.9268
Turbidity ^{/1}	373.20±229.52	313.35±252.73	0.6277
Ammonia	4.58±3.03	5.57±1.95	0.4392
Nitrite	0.02±0.01	0.02±0.01	0.5904
Nitrate	0.00±0.00 ^b	0.01±0.01 ^a	0.0163
TKN	82.56±49.70	53.13±47.40	0.2476
TON	63.64±49.64	52.28±46.30	0.6340
TN	67.20±52.75	53.15±47.41	0.5606
Orthophosphate	3.30±1.25 ^a	1.57±0.13 ^b	0.0033
Total phosphorus	3.60±1.07 ^a	1.69±0.15 ^b	0.0007
BOD	316.63±108.42 ^a	172.44±55.94 ^b	0.0027
COD	928.48±348.42	810.41±164.22	0.3769

หมายเหตุ Mean ± SD

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษร a b c ที่ต่างกัน ในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{/1} NTU /1 กก.ปลา

ตารางที่ 18 ปริมาณของเสียในรูปของสิ่งขับถ่ายจากปลาช่อน ที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลอง 2 ชนิด 1 กิโลกรัมที่ระยะเวลา 12 ชั่วโมง

คุณสมบัติที่ตรวจวัด (มก./1 กก.อาหาร)	อาหารทดลอง		p-value
	ปลาเปิดผสมรำ	อาหารผสมสำเร็จ	
TDS	2289.86±1573	2114.07±1543.72	0.8139
TSS	287.36±123.18	285.20±119.67	0.9735
Turbidity ¹	857.49±262.38	906.37±315.51	0.7255
Ammonia	7.01±1.99 ^b	28.21±15.48 ^a	0.0033
Nitrite	0.05±0.07 ^b	0.15±0.11 ^a	0.0409
Nitrate	0.00±0.00	0.06±0.07	0.0565
TKN	148.62±43.14	166.95±53.94	0.4755
TON	142.39±46.63	138.74±45.99	0.8778
TN	148.58±43.09	167.07±53.99	0.4717
Orthophosphate	12.66±8.82	10.22±6.74	0.5199
Total phosphorus	13.68±8.43	10.51±6.86	0.3940
BOD	1162.20±739.31	953.50±623.51	0.5266
COD	3121.43±1637.52	4950.58±3502.60	0.1828

หมายเหตุ Mean ± SD

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษร a b c ที่ต่างกัน ในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

¹ NTU /1 กก.อาหาร

**การทดลองที่ 3 ศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาช่อน โดยศึกษา
ประสิทธิภาพของระบบบำบัดแบบบ่อฝิ่ง ระบบบำบัดแบบบ่อเติมอากาศเฉพาะผิวหน้า น้ำ ระบบ
บำบัดที่ใช้ปลานิลในการบำบัด และระบบบำบัดที่ใช้ปลาช้วยในการบำบัด**

1. ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาช่อน โดยระบบบำบัดน้ำทาง
ชีวภาพทั้ง 4 ระบบ

ในศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาช่อน โดยศึกษาประสิทธิภาพ
ของระบบบำบัดแบบบ่อฝิ่ง ระบบบำบัดแบบบ่อเติมอากาศเฉพาะผิวหน้า น้ำ ระบบบำบัดที่ใช้ปลา
นิลในการบำบัด และระบบบำบัดที่ใช้ปลาช้วยในการบำบัด ผลการศึกษาในตารางที่ 19 พบว่า
ปริมาณของเสียจากอาหารทดลองทั้ง 2 ชนิดที่เข้ามาในระบบบำบัดน้ำมีปริมาณแตกต่างกัน อาหาร
ปลาเปิดผสมรำมีของเสียในรูป TDS, Turbidity, Ammonia, TKN, TON, TN, Orthophosphate, Total
phosphorus และ BOD สูงกว่าในอาหารผสมสำเร็จ ($p \leq 0.05$) โดยมีค่า 257.22, 96.09 NTU, 3.38,
22.57, 19.19, 22.61, 1.32, 1.62 และ 98.33 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ แต่น้ำทิ้งจากอาหารปลาเปิด
ผสมรำมีปริมาณ DO ต่ำกว่าน้ำทิ้งจากอาหารผสมสำเร็จ ($p \leq 0.05$) โดยมีค่า 3.34 มิลลิกรัม/ลิตร ดัง
แสดงในภาพที่ 21

จากตารางที่ 19 แสดงให้เห็นว่าน้ำทิ้งจากอาหารปลาเปิดผสมรำมีสารอินทรีย์สูงกว่าน้ำทิ้ง
จากอาหารผสมสำเร็จ และปริมาณ DO ในน้ำทิ้งจากอาหารปลาเปิดผสมรำมีค่าต่ำกว่าน้ำทิ้งจาก
อาหารผสมสำเร็จ เนื่องจากน้ำทิ้งจากอาหารปลาเปิดผสมรำต้องการออกซิเจนในปริมาณสูงใน
การย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีสูงกว่าน้ำทิ้งจากอาหารผสมสำเร็จ ดังได้กล่าวในการทดลองที่ 1 และ
2 มาแล้ว ชนิดและลักษณะทางกายภาพของอาหารที่แตกต่างกัน ส่งผลให้ปริมาณของเสียจาก
การใช้อาหารทดลองทั้ง 2 ชนิดแตกต่างกันด้วย ดังนั้นเมื่อน้ำทิ้งจากการเลี้ยงปลาช่อนด้วยอาหาร
ทดลองทั้ง 2 ชนิดที่มีปริมาณของเสียที่แตกต่างกันเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำทางชีวภาพทั้ง 4 ระบบก็จะ
มีประสิทธิภาพในการลดของเสียแตกต่างกันด้วย

ตารางที่ 19 ปริมาณของเสียจากบ่อปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลอง 2 ชนิดก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำทิ้ง

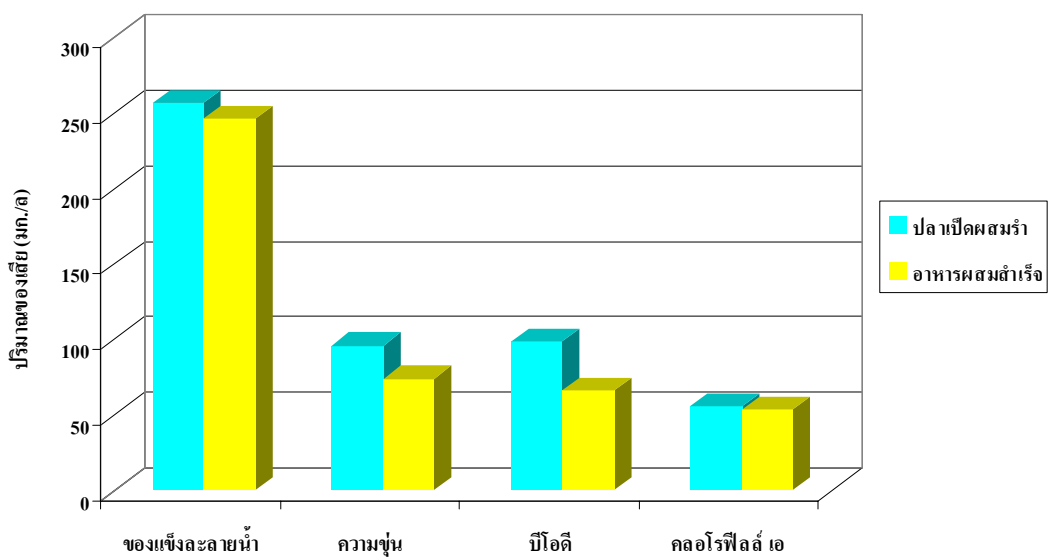
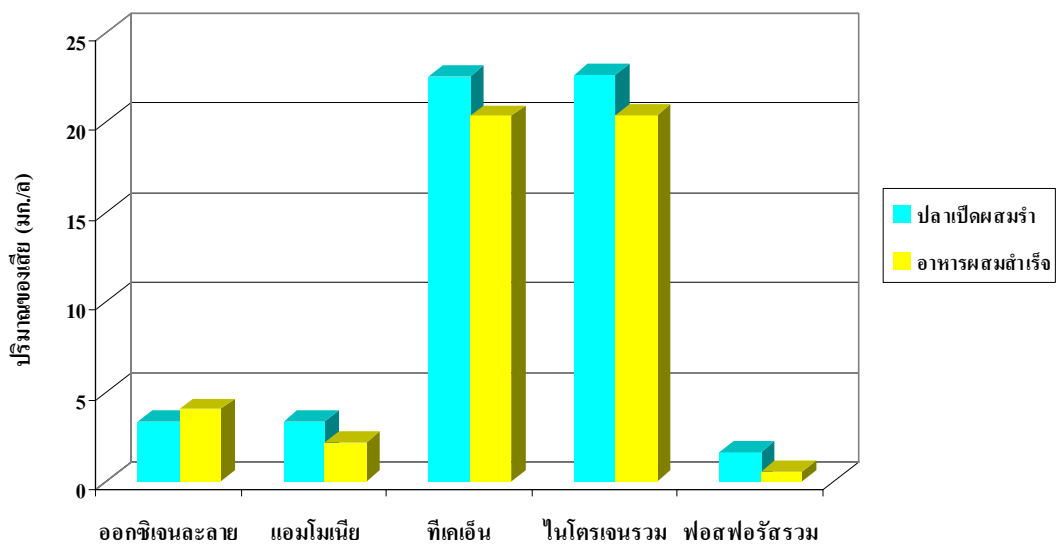
คุณสมบัติที่ตรวจวัด (มก./ล)	อาหารทดลอง		p-value
	ปลาเปิดผสมรำ	อาหารผสมสำเร็จ	
Temperature ^{/1}	29.00±0.00	29.00±0.00	-
DO	3.34±0.27 ^b	4.03±0.03 ^a	0.0001
pH ^{/2}	7.27±0.10	7.27±0.10	1.0000
TDS	257.22±9.72 ^a	246.67±10.00 ^b	0.0373
Turbidity ^{/3}	96.09±8.99 ^a	73.98±2.99 ^b	0.0001
Ammonia	3.38±0.40 ^a	2.20±0.11 ^b	0.0001
Nitrite	0.02±0.01	0.02±0.01	1.0000
Nitrate	0.02±0.01	0.02±0.01	0.8215
TKN	22.57±0.46 ^a	20.34±0.42 ^b	0.0001
TON	19.19±0.65 ^a	18.14±0.49 ^b	0.0013
TN	22.61±0.45 ^a	20.38±0.41 ^b	0.0001
Orthophosphate	1.32±0.03 ^a	0.46±0.03 ^b	0.0001
Total phosphorus	1.62±0.20 ^a	0.57±0.06 ^b	0.0001
BOD	98.33±10.50 ^a	65.87±8.71 ^b	0.0001
CHL a ^{/4}	55.83±16.86	53.40±18.40	0.8442

หมายเหตุ Mean ± SD

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษร a b c ที่ต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

^{/1} องศาเซลเซียส, ^{/2} ไม่มีหน่วย, ^{/3} NTU, ^{/4} มก./ม³



ภาพที่ 21 ปริมาณของเสียจากบ่อปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลอง 2 ชนิดก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำทิ้ง

หมายเหตุ ความขุ่น (NTU)

1.1 ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำทิ้ง 4 ชนิด เมื่อผ่านน้ำทิ้งจากบ่อปลาช่อน ที่เลี้ยงด้วยอาหารปลาเป็ดผสมรำ

เมื่อน้ำทิ้งจากบ่อปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารปลาเป็ดผสมรำ ผ่านระบบบำบัดน้ำทิ้งทางชีวภาพทั้ง 4 ระบบ ผลการศึกษาในตารางที่ 21 พบว่าระบบบำบัดแบบบ่อฝิ่งและบ่อเติมอากาศเฉพาะผิวหน้าน้ำมีประสิทธิภาพในการลด TDS ($p \leq 0.05$) โดยมีค่า 19.97 และ 20.89 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ระบบบำบัดแบบบ่อเติมอากาศเฉพาะผิวหน้าน้ำมีประสิทธิภาพในการลด Turbidity และ NH_3 ($p \leq 0.05$) โดยลด Turbidity ได้ 88.48 เปอร์เซ็นต์ และลด NH_3 ได้ 95.75 เปอร์เซ็นต์ ระบบบำบัดแบบบ่อฝิ่งมีประสิทธิภาพในการลด NO_2^- ($p \leq 0.05$) ระบบบำบัดโดยใช้ปลานิลมีประสิทธิภาพในการลด NO_3^{2-} ได้ดีที่สุด ($p \leq 0.05$) ระบบบำบัดโดยใช้ปลาสาวยมีประสิทธิภาพในการลด TKN, TON และ TN ได้ดี ($p \leq 0.05$) โดยลดได้ 28.89, 20.35 และ 25.04 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนระบบบำบัดแบบบ่อฝิ่งและบ่อเลี้ยงปลานิลมีประสิทธิภาพในการลด Orthophosphate และ Total phosphorus ($p \leq 0.05$) ได้ดีที่สุด โดยในระบบบำบัดแบบบ่อฝิ่งลดได้ 56.50 และ 56.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ระบบบำบัดโดยใช้ปลานิลลดได้ 52.40 และ 59.13 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ส่วนปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในระบบบำบัดน้ำทิ้ง 4 ระบบที่ผ่านน้ำทิ้งจากบ่อปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารปลาเป็ดผสมรำ ดังแสดงในตารางที่ 22 แสดงให้เห็นว่าระบบบำบัดแบบบ่อฝิ่งและระบบบำบัดแบบบ่อเลี้ยงปลานิลมีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ สูงที่สุดในวันที่ 1 ($p \leq 0.05$) ส่วนในวันที่ 3 ระบบบำบัดแบบบ่อเติมอากาศเฉพาะผิวหน้าน้ำเริ่มมีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ สูงขึ้นจนไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับระบบบำบัดแบบบ่อฝิ่งและระบบบำบัดแบบบ่อเลี้ยงปลานิล และในวันที่ 5 ระบบบำบัดแบบบ่อเลี้ยงปลานิลเริ่มมีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ลดลง ($p \leq 0.05$) ส่วนระบบบำบัดแบบบ่อเลี้ยงปลาสาวยมีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ต่ำที่สุดทั้งในวันที่ 1, 3 และ 5 ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 25 และเมื่อนำปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในวันที่ 1, 3 และ 5 มาเฉลี่ยรวมกัน ผลการศึกษาในตารางที่ 23 พบว่าในระบบบำบัดน้ำแบบบ่อฝิ่งและระบบบำบัดแบบบ่อเลี้ยงปลานิลมีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ สูงที่สุด และในระบบบำบัดแบบบ่อเลี้ยงปลาสาวยมีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ต่ำที่สุด ($p \leq 0.05$) ซึ่งเมื่อสังเกตจากสีของน้ำในระบบบำบัดทั้ง 4 ระบบตลอดการทดลอง (ตารางที่ 20) ก็พบว่าสีของน้ำในระบบบำบัดแบบบ่อฝิ่งและบ่อเลี้ยงปลานิลมีสีเขียวมึน ส่วนระบบบำบัดแบบบ่อเติมอากาศเฉพาะผิวหน้าน้ำสีของน้ำเป็นสีเขียวอ่อนสว่าง และสีของน้ำในระบบบำบัดแบบบ่อเลี้ยงปลาสาวยค่อนข้างใสมองเห็นพื้นก้นบ่อ

ตารางที่ 20 คุณภาพน้ำจากบ่อปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารปลาเป็ดผสมรำก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำและหลังจากจากระบบบำบัดน้ำทั้ง 4 ระบบ

คุณสมบัติที่ตรวจวัด	ก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำ (มก./ล)	หลังจากจากระบบบำบัดน้ำ (มก./ล)				ผลวิเคราะห์ทางสถิติ	
		บ่อฝัง	บ่อเติม อากาศ ⁵	บ่อเลี้ยง ปลานิล	บ่อเลี้ยง ปลาชวย	p-value	pool-SE
Temperature ¹	29.00	26.67	26.67	26.67	26.67	-	-
DO	3.34	1.27 ^c	6.70 ^a	6.88 ^a	4.22 ^b	0.0001	0.700
pH ²	7.27	7.79 ^c	8.13 ^a	7.93 ^b	7.66 ^c	0.0001	0.140
TDS	257.22	205.56 ^b	203.33 ^b	293.33 ^a	297.78 ^a	0.0001	6.561
Turbidity ³	96.09	32.77 ^a	11.15 ^{bc}	23.10 ^{ab}	9.50 ^c	0.0013	12.701
Ammonia	3.38	0.46 ^{ab}	0.14 ^b	0.64 ^a	0.32 ^{ab}	0.0393	0.360
Nitrite	0.02	0.03 ^c	0.50 ^b	0.73 ^a	0.68 ^a	0.0001	0.169
Nitrate	0.02	0.06 ^{cb}	0.11 ^b	00.00 ^c	0.35 ^a	0.0001	0.008
TKN	22.57	19.40 ^a	20.31 ^a	20.32 ^a	15.01 ^b	0.0001	2.162
TON	19.19	18.93 ^a	20.17 ^a	19.68 ^a	14.68 ^b	0.0001	2.010
TN	22.61	19.48 ^a	20.92 ^a	21.06 ^a	16.04 ^b	0.0001	2.136
Orthophosphate	1.32	0.57 ^c	0.80 ^b	0.64 ^c	1.01 ^a	0.0001	0.116
Total phosphorus	1.62	0.72 ^{bc}	0.86 ^b	0.68 ^c	1.17 ^a	0.0001	0.166

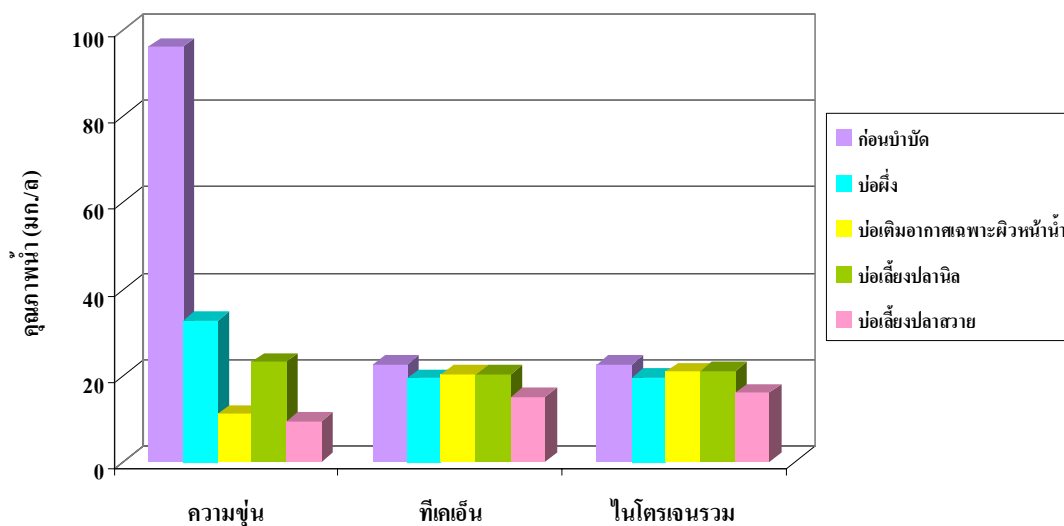
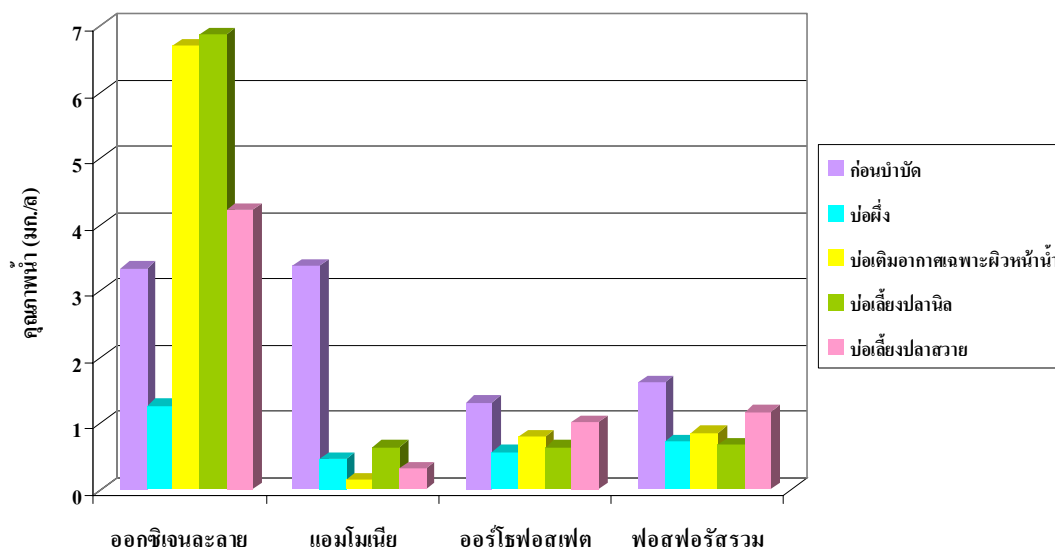
ตารางที่ 20 (ต่อ)

คุณสมบัติที่ตรวจวัด	ก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำ (มก./ล)	หลังออกจากระบบบำบัดน้ำ (มก./ล)				ผลวิเคราะห์ทางสถิติ	
		บ่อฝุ้ง	บ่อเติม อากาศ ⁵	บ่อเลี้ยง ปลานิล	บ่อเลี้ยง ปลาชวย	p-value	pool-SE
Chlorophyll a ⁴	55.83	384.18 ^a	267.59 ^b	398.72 ^a	18.10 ^c	0.0001	99.423
Color	ขุ่น	เขียวเข้ม	เขียวสว่าง	เขียวเข้ม	ใส	-	-

หมายเหตุ Mean ± SD

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษร a b c ที่ต่างกัน ในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอด

¹ องศาเซลเซียส, ² ไม่มีหน่วย, ³ NTU, ⁴ มก./ม³, ⁵ เฉพาะผิวหน้าน้ำ



ภาพที่ 22 คุณภาพน้ำจากบ่อปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารปลาเปิดผสมรำก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำและ
หลังออกจากระบบบำบัดน้ำทั้ง 4 ระบบ

หมายเหตุ ความขุ่น (NTU)

ตารางที่ 21 ประสิทธิภาพในการลดของเสียจากบ่อปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารปลาเป็ดผสมรำของระบบบำบัดน้ำแบบบ่อฝิ่ง, บ่อเติมอากาศเฉพาะผิวหน้า, บ่อเลี้ยงปลานิล และบ่อเลี้ยงปลาสวาย

คุณสมบัติที่ตรวจวัด	ก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำ (มก./ล)	ประสิทธิภาพระบบบำบัด (เปอร์เซ็นต์)				ผลวิเคราะห์ทางสถิติ	
		บ่อฝิ่ง	บ่อเติม อากาศ ⁴	บ่อเลี้ยง ปลานิล ⁵	บ่อเลี้ยง ปลาสวาย ⁵	p-value	pool-SE
Temperature	29.00 ¹	26.67	26.67	26.67	26.67	-	-
DO	3.34	1.27	6.70	6.88	4.22	-	-
pH	7.27 ²	7.79	8.13	7.93	7.66	-	-
TDS	257.22	19.97 ^a	20.89 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.0001	0.999
Turbidity	96.09 ³	67.42 ^c	88.48 ^a	77.83 ^b	77.84 ^b	0.0001	1.023
Ammonia	3.38	85.80 ^b	95.75 ^a	78.39 ^c	77.70 ^c	0.0001	1.325
Nitrite	0.02	5.45 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.0004	0.808
Nitrate	0.02	0.00 ^c	94.60 ^b	100.00 ^a	0.00 ^c	0.0001	3.339
TKN	22.57	14.05 ^b	11.86 ^{bc}	11.22 ^c	28.89 ^a	0.0003	2.573
TON	19.19	5.09 ^b	11.25 ^b	1.80 ^b	20.35 ^a	0.0001	1.742
TN	22.61	13.82 ^b	9.39 ^c	7.12 ^c	25.04 ^a	0.0002	2.403

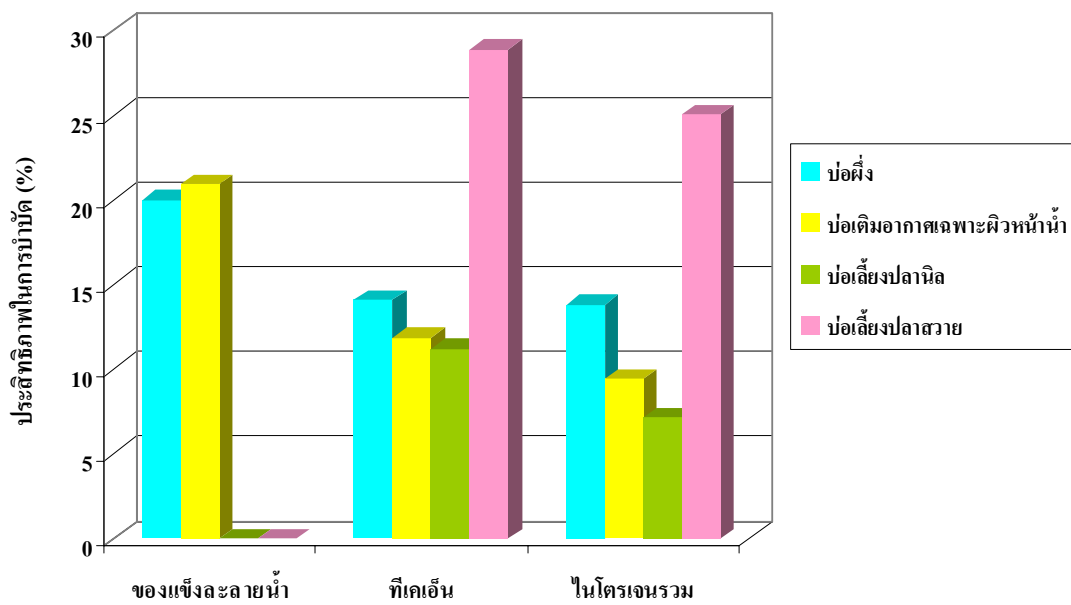
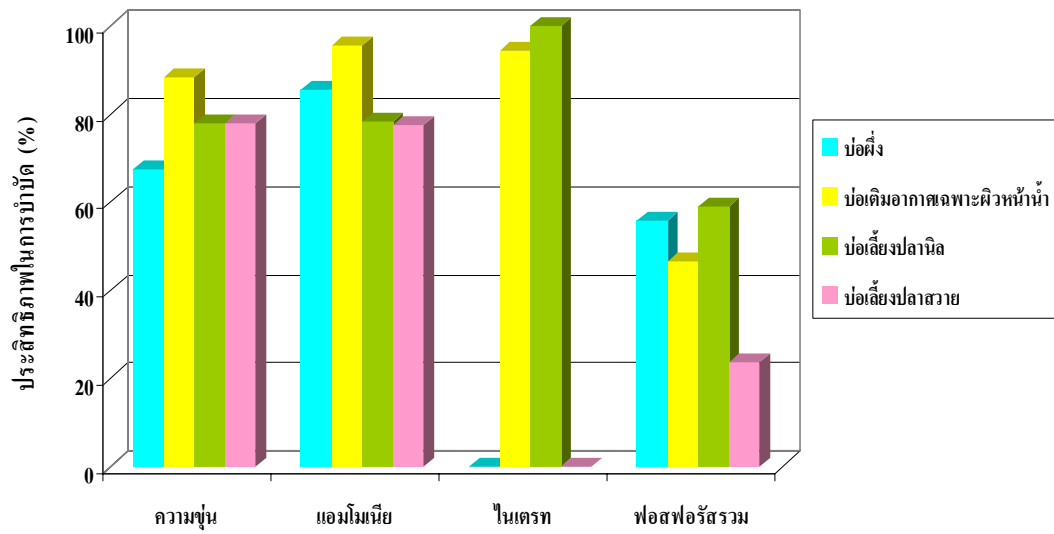
ตารางที่ 21 (ต่อ)

คุณสมบัติที่ตรวจวัด	ก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำ (มิลลิกรัม/ลิตร)	ประสิทธิภาพระบบบำบัด (เปอร์เซ็นต์)				ผลวิเคราะห์ทางสถิติ	
		บ่อผึ่ง	บ่อเติม อากาศ ⁴	บ่อเลี้ยง ปลานิล ⁵	บ่อเลี้ยง ปลาชวย ⁵	p-value	pool-SE
Orthophosphate	1.32	56.50 ^a	39.42 ^c	52.40 ^b	20.20 ^d	0.0001	1.226
Total phosphorus	1.62	56.00 ^a	46.59 ^b	59.13 ^a	23.60 ^c	0.0001	1.233

หมายเหตุ Mean ± SD

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษร a b c ที่ต่างกัน ในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอด

¹ องศาเซลเซียส, ² ไม่มีหน่วย, ³ NTU, ⁴ เฉพาะผิวหน้า, ⁵ 160 กรัมปลาต่อน้ำ 60 ลิตร



ภาพที่ 23 ประสิทธิภาพในการลดของเสียจากบ่อปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารปลาเป็ดผสมรำของระบบบำบัดน้ำทั้ง 4 ระบบ

ตารางที่ 22 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในระบบบำบัดน้ำทั้ง 4 ระบบ เมื่อผ่านน้ำทิ้งจากบ่อปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารปลาเปิดผสมรำและอาหารผสมสำเร็จ เมื่อเก็บตัวอย่างวันเว้นวัน

ชนิดอาหารที่เลี้ยงปลาช่อน	ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในระบบบำบัดน้ำ (มก./ม ³)				ผลวิเคราะห์ทางสถิติ	
	บ่อฝิ่ง	บ่อเติมอากาศ ¹	บ่อเลี้ยงปลานิล ²	บ่อเลี้ยงปลาชวย ²	p-value	pool-SE
วันที่ 1						
ปลาเปิดผสมรำ	451.23 ^a	283.91 ^b	530.44 ^a	13.35 ^c	0.0001	74.48
อาหารผสมสำเร็จ	83.66 ^b	89.89 ^b	420.97 ^a	10.68 ^b	0.0134	121.34
วันที่ 3						
ปลาเปิดผสมรำ	258.99 ^a	206.48 ^a	230.42 ^a	18.69 ^b	0.0007	45.02
อาหารผสมสำเร็จ	37.38 ^b	89.00 ^b	226.95 ^a	18.69 ^b	0.0085	52.35
วันที่ 5						
ปลาเปิดผสมรำ	442.33 ^a	312.39 ^{ab}	267.00 ^b	22.25 ^c	0.0012	72.44
อาหารผสมสำเร็จ	89.89 ^b	161.09 ^b	319.51 ^a	25.81 ^b	0.0012	83.67

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษร a b c ที่ต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอด

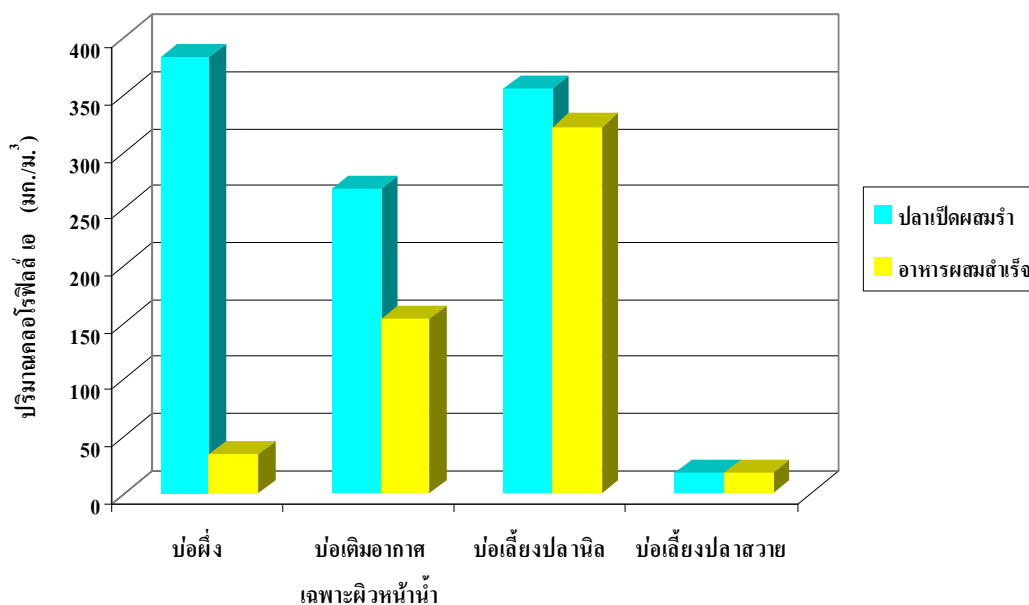
¹ เฉพาะผิวหน้า, ² 160 กรัมปลาต่อน้ำ 60 ลิตร

ตารางที่ 23 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในระบบบำบัดน้ำทั้ง 4 ระบบ เมื่อผ่านน้ำทิ้งจากบ่อปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยปลาเปิดผสมร่าและอาหารผสมสำเร็จ เมื่อใช้ค่าเฉลี่ยตลอดการทดลอง

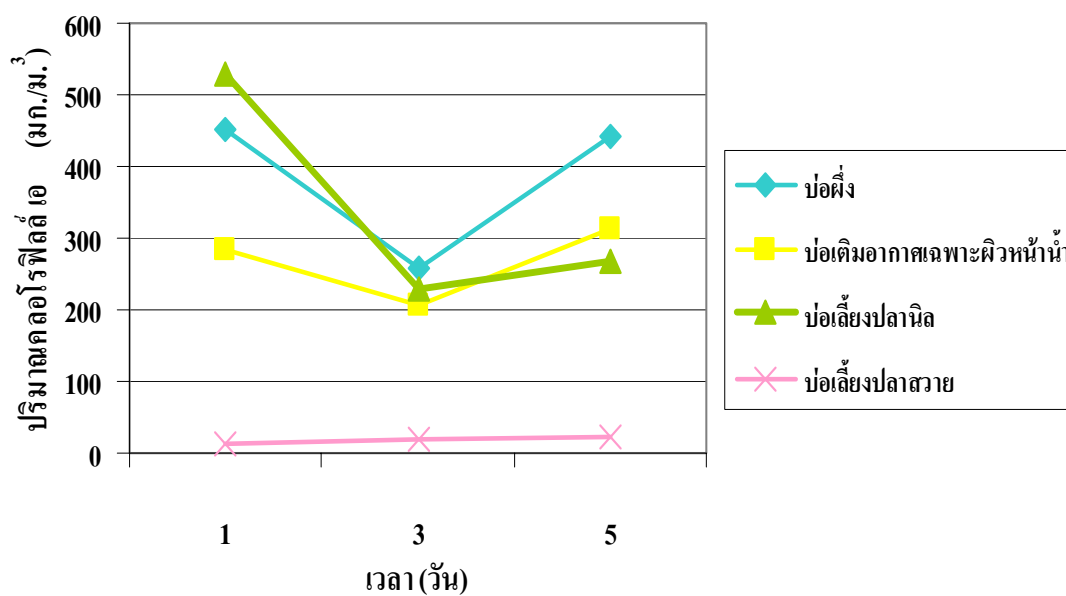
ชนิดอาหารที่เลี้ยงปลาช่อน	ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในระบบบำบัดน้ำ (มก./ม ³)				ผลวิเคราะห์ทางสถิติ	
	บ่อฝั่ง	บ่อเติมอากาศ ¹	บ่อเลี้ยงปลานิล ²	บ่อเลี้ยงปลาสร้อย ²	p-value	pool-SE
ปลาเปิดผสมร่า	384.18 ^a	267.59 ^b	356.10 ^a	18.10 ^c	0.0001	45.00
อาหารผสมสำเร็จ	34.49 ^c	153.97 ^b	322.48 ^a	17.65 ^c	0.0007	45.27

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษร a b c ที่ต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอด

¹ เฉพาะผิวหน้า, ² 160 กรัมปลาต่อน้ำ 60 ลิตร



ภาพที่ 24 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในระบบบำบัดน้ำทางชีวภาพทั้ง 4 ระบบ เมื่อผ่านน้ำทิ้งจากอาหารปลาเป็ดผสมรำและอาหารผสมสำเร็จ



ภาพที่ 25 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในระบบบำบัดทั้ง 4 ระบบเมื่อผ่านน้ำทิ้งปลาเป็ดผสมรำ

จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบบำบัดแบบบ่อฝิ่ง และบ่อเติมอากาศเฉพาะผิวหน้าน้ำ มีประสิทธิภาพในการลด TDS (ภาพที่ 23) เนื่องจากในระบบบำบัดน้ำทั้ง 2 ระบบไม่มีสิ่งขั้บถ่ายจากปลาซึ่งเป็นสารอินทรีย์เข้าไปเพิ่มปริมาณของเสียในระบบ โดยปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด (TDS) ในน้ำสามารถใช้ในการบ่งชี้ถึงปริมาณสารอินทรีย์ละลายน้ำได้ (คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, 2545)

ระบบบำบัดแบบบ่อเติมอากาศเฉพาะผิวหน้าน้ำมีประสิทธิภาพในการลด NH_3 (ภาพที่ 23) เนื่องจาก NH_3 ในระบบบำบัดน้ำมีการเปลี่ยนรูปไปอยู่ในรูปของ NO_2^- และ NO_3^{2-} ทั้งนี้เพราะระบบบำบัดมีการให้อากาศที่ผิวหน้าน้ำ ถึงแม้ว่าระบบบำบัดแบบบ่อเลี้ยงปลานิลและบ่อเลี้ยงปลาสาวยจะมีการให้อากาศที่ผิวหน้าน้ำเช่นกัน แต่ก็มีสิ่งขั้บถ่ายจากปลาไปเพิ่มปริมาณ NH_3 และไนโตรเจนรวมในระบบบำบัด ดังได้กล่าวมาแล้วในการทดลองที่ 2 ที่ศึกษาปริมาณของเสียจากสิ่งขั้บถ่ายของปลา ซึ่งพบว่าสัตว์น้ำจะขั้บถ่ายของเสียไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียเป็นส่วนใหญ่ ประสิทธิภาพในการลด NH_3 จึงน้อยกว่าระบบบำบัดแบบบ่อเติมอากาศเฉพาะผิวหน้าน้ำ

ระบบบำบัดแบบบ่อเลี้ยงปลานิลสามารถลด NO_3^{2-} ได้ดีที่สุด (ภาพที่ 23) เนื่องจากในระบบบำบัดแบบบ่อเลี้ยงปลานิลมีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ สูง ดังแสดงในภาพที่ 24 ซึ่งแพลงก์ตอนพืชในระบบบำบัดจะเป็นตัวดึง NO_3^{2-} ไปใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโตต่อไป ส่วนระบบบำบัดแบบบ่อเติมอากาศเฉพาะผิวหน้าน้ำก็มมีประสิทธิภาพในการลด NO_3^{2-} ได้ดีเช่นกันเพราะปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ที่เพิ่มสูงขึ้นในวันที่ 5 (ภาพที่ 25) และการให้อากาศที่ผิวหน้าน้ำส่งผลให้ NH_3 เปลี่ยนรูปไปอยู่ในรูปของ NO_2^- , NO_3^{2-} และก๊าซไนโตรเจนในที่สุด

ระบบบำบัดแบบบ่อเลี้ยงปลาสาวยมีประสิทธิภาพในการลด TKN, TON และ TN ได้ดี (ภาพที่ 23) เนื่องจากของเสีย (เศษอาหาร) ที่เข้ามาในระบบบำบัดมีไม่เพียงพอต่อความต้องการของปลาสาวย ดังแสดงในตารางที่ 27 ซึ่งพบว่าเมื่อเลี้ยงปลาสาวยในระบบบำบัดน้ำที่ระยะเวลา 4 สัปดาห์ ปลาสาวยมีน้ำหนักตัวลดลง (ภาพที่ 31) กล่าวคือ ปลาสาวยสามารถกำจัดเศษอาหารที่เข้ามาในระบบบำบัดได้โดยตรง และของเสียที่เข้ามาในระบบบำบัดมีปริมาณน้อยเกินไปเมื่อเทียบกับความต้องการของปลาสาวย ส่งผลให้ TKN, TON และ TN ในระบบบำบัดลดลงด้วย

ส่วนระบบบำบัดแบบบ่อฝิ่งและบ่อเลี้ยงปลานิลมีประสิทธิภาพในการลด Orthophosphate และ Total phosphorus ได้ดีที่สุด (ภาพที่ 23) เนื่องจากระบบบำบัดแบบบ่อฝิ่งและบ่อเลี้ยงปลานิล มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ โดยเฉลี่ยสูงกว่าระบบบำบัดแบบอื่น ๆ (ภาพที่ 24) ซึ่งแพลงก์ตอนพืชในระบบบำบัดจะเป็นตัวนำธาตุอาหารในรูปของฟอสฟอรัสไปใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโต เช่นเดียวกับ NO_3^{2-}

1.2 ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำทิ้ง 4 ชนิด เมื่อผ่านน้ำทิ้งจากบ่อปลาช่อน ที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมสำเร็จ

เมื่อน้ำทิ้งจากบ่อปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมสำเร็จผ่านระบบบำบัดน้ำทิ้งชีวภาพทั้ง 4 ระบบ ผลการศึกษาในตารางที่ 25 พบว่าระบบบำบัดแบบบ่อฝิ่งและบ่อเติมอากาศเฉพาะผิวหน้าน้ำมีประสิทธิภาพในการลด TDS ($p \leq 0.05$) โดยสามารถลดได้ 16.52 และ 17.91 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ระบบบำบัดแบบบ่อเติมอากาศเฉพาะผิวหน้าน้ำมีประสิทธิภาพในการลด Turbidity, NH_3 และ NO_2^- ($p \leq 0.05$) โดยมีประสิทธิภาพในการลด 88.04, 86.39 และ 24.55 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ระบบบำบัดแบบบ่อเลี้ยงปลานิลสามารถลด NO_3^{2-} ได้ดีที่สุด ($p \leq 0.05$) เช่นเดียวกับเมื่อน้ำทิ้งจากอาหารปลาเปิดผสมรำ ระบบบำบัดแบบบ่อเลี้ยงปลาสาวยมีประสิทธิภาพในการลด TKN, TON และ TN ได้ดี ($p \leq 0.05$) โดยสามารถลดได้ 18.03, 11.78 และ 13.68 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนระบบบำบัดแบบบ่อฝิ่งมีประสิทธิภาพในการลด Orthophosphate และ Total phosphorus ($p \leq 0.05$) โดยสามารถลดได้ 79.09 และ 76.15 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 27

ส่วนปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในระบบบำบัดน้ำทิ้ง 4 ระบบที่ผ่านน้ำทิ้งจากบ่อปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมสำเร็จ ดังแสดงในตารางที่ 22 แสดงให้เห็นว่าระบบบำบัดแบบบ่อเลี้ยงปลานิลมีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ สูงที่สุดทั้งในวันที่ 1, 3 และ 5 ($p \leq 0.05$) ระบบบำบัดแบบบ่อเติมอากาศเฉพาะผิวหน้าน้ำและระบบบำบัดแบบบ่อฝิ่งมีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ลดลงตามลำดับ ส่วนระบบบำบัดแบบบ่อเลี้ยงปลาสาวยมีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ต่ำที่สุด ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 28 และเมื่อนำปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในวันที่ 1, 3 และ 5 มาเฉลี่ยรวมกัน ผลการศึกษาในตารางที่ 23 พบว่าระบบบำบัดแบบบ่อเลี้ยงปลานิลมีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ สูงที่สุด ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 24 และในระบบบำบัดแบบบ่อเลี้ยงปลาสาวยมีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ต่ำที่สุด ($p \leq 0.05$) เช่นเดียวกับเมื่อน้ำทิ้งจากอาหารปลาเปิดผสมรำ แต่ระบบบำบัดที่ผ่านน้ำทิ้งจากอาหารผสมสำเร็จมีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ น้อยกว่าเมื่อน้ำทิ้งจากอาหารปลาเปิดผสมรำ โดยเฉพาะระบบบำบัดแบบบ่อเติมอากาศเฉพาะผิวหน้าน้ำและระบบบำบัดแบบบ่อฝิ่ง และเมื่อสังเกตจากสีของน้ำในระบบบำบัดทั้ง 4 ระบบตลอดการทดลองก็พบว่าสีของน้ำในระบบบำบัดแบบบ่อฝิ่งและบ่อเลี้ยงปลานิลมีสีเขียวมืด ระบบบำบัดแบบบ่อเติมอากาศเฉพาะผิวหน้าน้ำสีของน้ำเป็นสีเขียวอ่อนสว่างและสีของน้ำในระบบบำบัดแบบบ่อเลี้ยงปลาสาวยค่อนข้างใสมองเห็นพื้นก้นบ่อ เช่นเดียวกับเมื่อน้ำทิ้งบ่อปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารปลาเปิดผสมรำ

ตารางที่ 24 คุณภาพน้ำจากบ่อปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมสำเร็จก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำและหลังจากจากระบบบำบัดน้ำทั้ง 4 ระบบ

คุณสมบัติที่ตรวจวัด	ก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำ (มก./ล)	หลังจากจากระบบบำบัดน้ำ (มก./ล)				ผลวิเคราะห์ทางสถิติ	
		บ่อฝัง อากาศ ⁵	บ่อเติม	บ่อเลี้ยง ปลานิล	บ่อเลี้ยง ปลาชวย	p-value	pool-SE
Temperature ¹	29.00	26.67	26.67	26.67	26.67	-	-
DO	4.03	2.27 ^c	6.90 ^a	7.08 ^a	5.87 ^b	0.0001	0.502
pH ²	7.27	7.88 ^b	8.12 ^a	8.01 ^{ab}	7.58 ^c	0.0001	0.182
TDS	246.67	205.56 ^b	202.22 ^b	291.11 ^a	295.56 ^a	0.0001	6.821
Turbidity ³	73.98	16.80 ^{ab}	8.81 ^b	20.02 ^a	8.02 ^b	0.0398	10.078
Ammonia	2.20	0.49 ^b	0.29 ^c	0.75 ^a	0.14 ^c	0.0001	0.201
Nitrite	0.02	0.03 ^c	0.11 ^b	0.67 ^a	0.72 ^a	0.0001	0.069
Nitrate	0.02	0.14 ^b	0.11 ^b	00.00 ^c	0.34 ^a	0.0001	0.045
TKN	20.34	19.21 ^b	20.82 ^b	25.09 ¹	16.11 ^c	0.0001	2.057
TON	18.14	18.72 ^b	20.53 ^b	24.33 ^a	15.97 ^c	0.0001	2.114
TN	20.38	19.38 ^b	21.05 ^b	25.76 ^a	17.17 ^c	0.0001	2.045
Orthophosphate	0.46	0.09 ^d	0.18 ^c	0.28 ^b	0.80 ^a	0.0001	0.061
Total phosphorus	0.57	0.14 ^d	0.21 ^c	0.39 ^b	0.89 ^a	0.0001	0.077

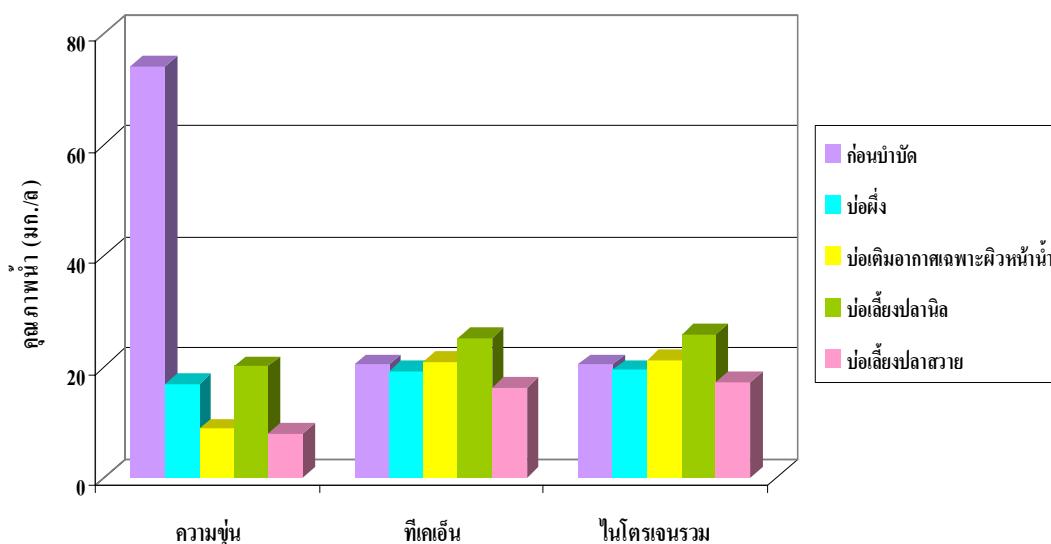
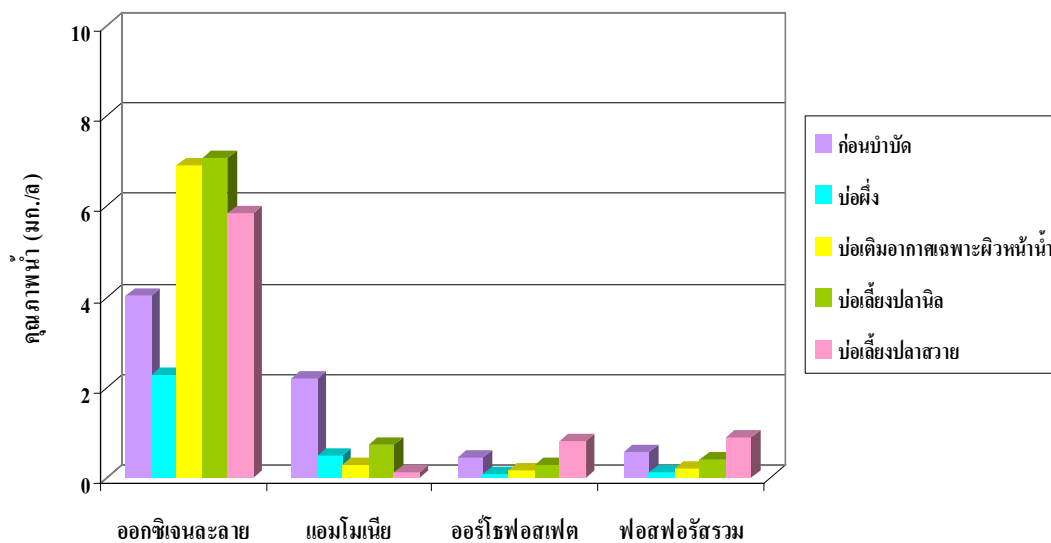
ตารางที่ 24 (ต่อ)

คุณสมบัติที่ตรวจวัด	ก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำ (มก./ล)	หลังออกจากระบบบำบัดน้ำ (มก./ล)				ผลวิเคราะห์ทางสถิติ	
		บ่อผึ่ง	บ่อเติม อากาศ ⁵	บ่อเลี้ยง ปลานิล	บ่อเลี้ยง ปลาชวย	p-value	pool-SE
Chlorophyll a ⁴	53.40	60.65 ^b	87.44 ^b	322.48 ^a	18.36 ^b	0.0001	83.534
Color	ขุ่น	เขียวเข้ม	เขียวสว่าง	เขียวเข้ม	ใส	-	-

หมายเหตุ Mean ± SD

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษร a b c ที่ต่างกัน ในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอด

¹ องศาเซลเซียส, ² ไม่มีหน่วย, ³ NTU, ⁴ เฉพาะผิวหน้า, ⁵ 160 กรัมปลาต่อน้ำ 60 ลิตร



ภาพที่ 26 คุณภาพน้ำจากบ่อปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมสำเร็จก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำและหลังออกจากระบบบำบัดน้ำทั้ง 4 ระบบ

หมายเหตุ ความขุ่น (NTU)

ตารางที่ 25 ประสิทธิภาพในการลดของเสียจากบ่อปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมสำเร็จของระบบบำบัดน้ำแบบบ่อฝิ่ง, บ่อเติมอากาศเฉพาะผิวหน้า, บ่อเลี้ยงปลานิล และบ่อเลี้ยงปลาสร้อย

คุณสมบัติที่ตรวจวัด	ก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำ (มก./ล)	ประสิทธิภาพระบบบำบัด (เปอร์เซ็นต์)				ผลวิเคราะห์ทางสถิติ	
		บ่อฝิ่ง	บ่อเติม อากาศ ⁴	บ่อเลี้ยง ปลานิล ⁵	บ่อเลี้ยง ปลาสร้อย ⁵	p-value	pool-SE
Temperature	29.00 ¹	26.67	26.67	26.67	26.67	-	-
DO	4.03	2.27	6.90	7.08	5.87	-	-
pH	7.27 ²	7.88	8.12	8.01	7.58	-	-
TDS	246.67	16.52 ^a	17.91 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.0001	0.712
Turbidity	73.98 ³	77.45 ^b	88.04 ^a	75.09 ^c	76.80 ^{bc}	0.0028	2.308
Ammonia	2.20	77.84 ^b	86.39 ^a	67.46 ^c	80.78 ^b	0.0003	2.340
Nitrite	0.02	21.56 ^a	24.55 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.0010	2.518
Nitrate	0.02	0.00 ^c	66.67 ^b	100.00 ^a	0.00 ^c	0.0001	0.000
TKN	20.34	10.35 ^b	4.17 ^c	0.00 ^d	18.03 ^a	0.0001	1.022
TON	18.14	10.29 ^b	0.00 ^c	0.00 ^c	11.78 ^a	0.0001	1.192
TN	20.38	9.64 ^b	3.02 ^c	0.00 ^d	13.68 ^a	0.0001	1.040

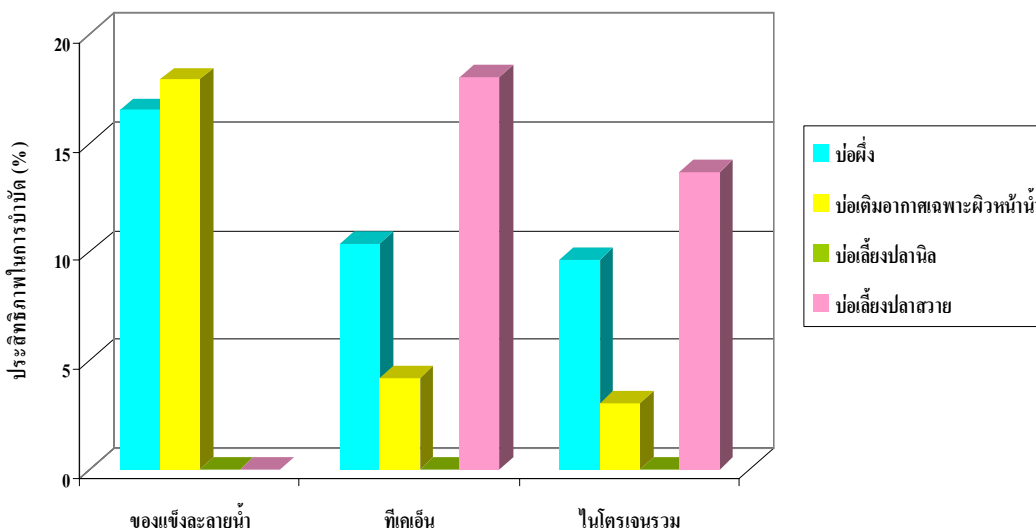
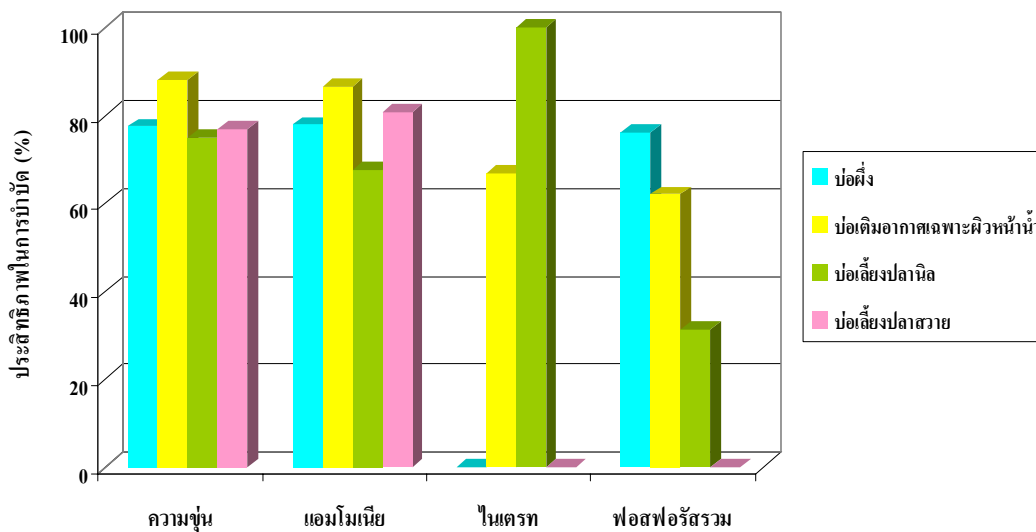
ตารางที่ 25 (ต่อ)

คุณสมบัติที่ตรวจวัด	ก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำ (มิลลิกรัม/ลิตร)	ประสิทธิภาพระบบบำบัด (เปอร์เซ็นต์)				ผลวิเคราะห์ทางสถิติ	
		บ่อผึ่ง	บ่อเติม อากาศ ⁴	บ่อเลี้ยง ปลานิล ⁵	บ่อเลี้ยง ปลาชวย ⁵	p-value	pool-SE
Orthophosphate	0.46	79.09 ^a	60.18 ^b	38.56 ^c	0.00 ^d	0.0001	3.518
Total phosphorus	0.57	76.15 ^a	61.97 ^b	31.35 ^c	0.00 ^d	0.0001	2.078

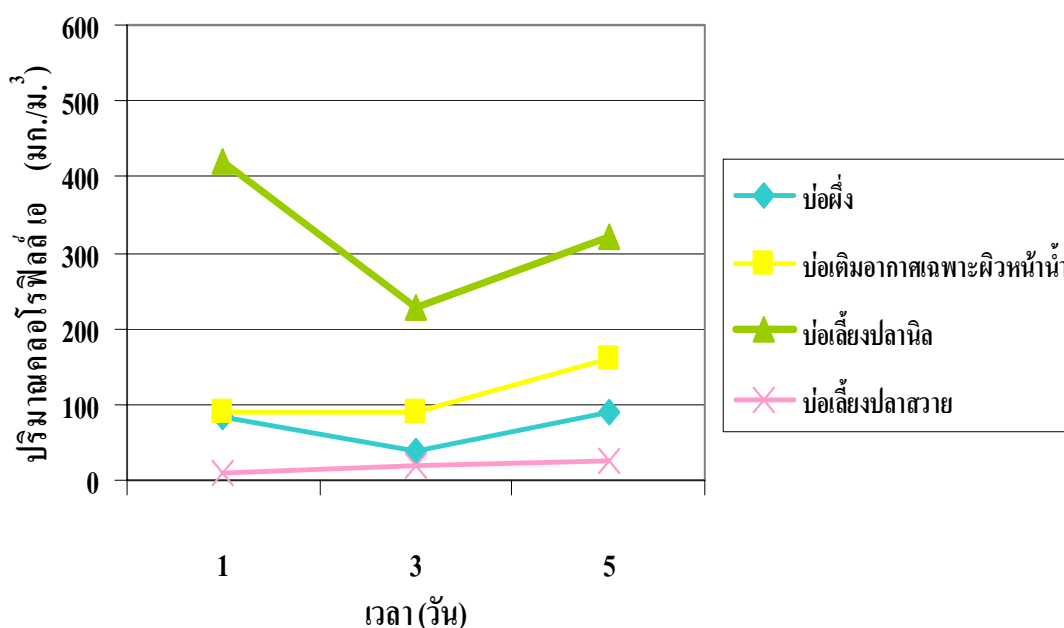
หมายเหตุ Mean ± SD

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษร a b c ที่ต่างกัน ในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอด

¹ องศาเซลเซียส, ² ไม่มีหน่วย, ³ NTU, ⁴ เฉพาะผิวหน้า, ⁵ 160 กรัมปลาต่อน้ำ 60 ลิตร



ภาพที่ 27 ประสิทธิภาพในการลดของเสียจากบ่อปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมสำเร็จของระบบ บำบัดน้ำทั้ง 4 ระบบ



ภาพที่ 28 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในระบบบำบัดทั้ง 4 ระบบเมื่อผ่านน้ำทิ้งอาหารผสมสำเร็จ

จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบบำบัดแบบบ่อฝั้ง และบ่อเติมอากาศเฉพาะผิวหน้ามีประสิทธิภาพในการลด TDS (ภาพที่ 27) เนื่องจากในระบบบำบัดน้ำทิ้ง 2 ระบบไม่มีสิ่งขับถ่ายจากปลาซึ่งเป็นสารอินทรีย์เข้าไปเพิ่มปริมาณของเสียในระบบ เช่นเดียวกับเมื่อผ่านน้ำทิ้งบ่อปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารปลาเป็ดผสมรำ

ระบบบำบัดแบบบ่อเติมอากาศเฉพาะผิวหน้ามีประสิทธิภาพในการลด NH_3 และ NO_2^- (ภาพที่ 27) เนื่องจาก NH_3 และ NO_2^- ในระบบบำบัดน้ำมีการเปลี่ยนรูปไปอยู่ในรูปของ NO_2^- และ NO_3^{2-} และระเหยเป็นก๊าซไนโตรเจน ทั้งนี้เพราะระบบบำบัดมีการให้อากาศที่ผิวหน้าน้ำ ถึงแม้ว่าระบบบำบัดแบบบ่อเลี้ยงปลาชนิดและบ่อเลี้ยงปลาสาวยจะมีการให้อากาศที่ผิวหน้าน้ำเช่นกัน แต่ก็มีสิ่งขับถ่ายจากปลาไปเพิ่มปริมาณ NH_3 และไนโตรเจนรวมในระบบบำบัด เช่นเดียวกับเมื่อผ่านน้ำทิ้งบ่อปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารปลาเป็ดผสมรำ

ระบบบำบัดแบบบ่อเลี้ยงปลาชนิดสามารถลด NO_3^{2-} ได้ดีที่สุด (ภาพที่ 27) เนื่องจากในระบบบำบัดแบบบ่อเลี้ยงปลาชนิดมีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ สูง ดังแสดงในภาพที่ 30 ซึ่งแพลงก์ตอนพืชในระบบบำบัดจะเป็นตัวดึง NO_3^{2-} ไปใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโตต่อไป ส่วนระบบบำบัดแบบ

บ่อเติมอากาศเฉพาะผิวน้ำน้ำก็มีประสิทธิภาพในการลด NO_3^- ได้ดีเช่นกัน เนื่องจากมีปริมาณ CHL a สูงรองจากระบบบำบัดแบบบ่อเลี้ยงปลาชนิด เช่นเดียวกับเมื่อผ่านน้ำทิ้งบ่อปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารปลาเป็ดผสมรำ

ระบบบำบัดแบบบ่อเลี้ยงปลาสาวยมีประสิทธิภาพในการลด TKN, TON และ TN ได้ดี (ภาพที่ 27) เนื่องจากของเสีย (เศษอาหาร) ที่เข้ามาในระบบบำบัดมีไม่เพียงพอต่อความต้องการของปลาสาวย ดังแสดงในภาพที่ 33 เช่นเดียวกับเมื่อผ่านน้ำทิ้งบ่อปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารปลาเป็ดผสมรำ

ส่วนระบบบำบัดแบบบ่อฝิ่งมีประสิทธิภาพในการลด Orthophosphate และ Total phosphorus ได้ดีที่สุดใน แม้ว่าจะมีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ น้อยกว่าระบบบำบัดแบบบ่อเลี้ยงปลาชนิด และระบบบำบัดแบบบ่อเติมอากาศเฉพาะผิวน้ำน้ำ เนื่องจากระบบบำบัดที่มีการเลี้ยงปลาในระบบสิ่งขับถ่ายจากปลาจะเป็นตัวเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำ ถึงแม้ว่าระบบบำบัดแบบบ่อเลี้ยงปลาชนิดจะมีปริมาณแพลงก์ตอนพืชสูงกว่าระบบบำบัดแบบอื่น ๆ ซึ่งเป็นตัวนำธาตุอาหารไปใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโตต่อไป แต่ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในระบบบำบัดก็ไม่สูงพอที่จะใช้ฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำให้หมดได้ ซึ่งเมื่อเทียบปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในระบบบำบัด พบว่าระบบบำบัดทุกระบบที่ผ่านน้ำทิ้งจากบ่อปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารปลาเป็ดผสมรำมีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ สูงกว่าระบบบำบัดที่ผ่านน้ำทิ้งจากบ่อปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมสำเร็จ ดังแสดงในภาพที่ 24 การทดลองข้างต้นแสดงให้เห็นว่าน้ำทิ้งจากอาหารปลาเป็ดผสมรำมีปริมาณของเสีย และธาตุอาหารสูงกว่าน้ำทิ้งจากอาหารผสมสำเร็จ (ตารางที่ 19)

2. สักยภาพในการผลิตปลานิลและปลาช้วยด้วยน้ำทิ้งจากการเลี้ยงปลาช่อน

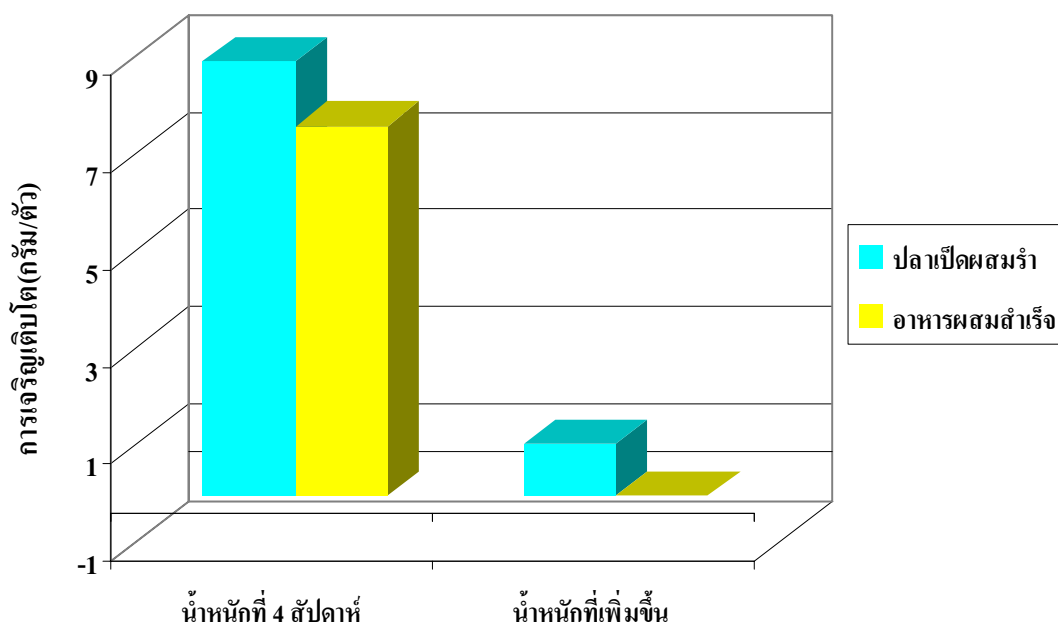
เมื่อนำน้ำทิ้งจากบ่อปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารทั้ง 2 ชนิด ผ่านระบบบำบัดน้ำแบบบ่อเลี้ยงปลานิลและบ่อเลี้ยงปลาช้วย เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของปลานิลที่ได้รับอาหารปลาเป็ดผสมรำและอาหารผสมสำเร็จในระบบบำบัดน้ำ ผลการศึกษาในตารางที่ 26 แสดงให้เห็นว่าน้ำทิ้งจากอาหารปลาเป็ดผสมรำ มีผลทำให้ปลานิลในระบบบำบัดมีการเจริญเติบโตดีกว่าน้ำทิ้งจากอาหารผสมสำเร็จ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 26 การเจริญเติบโตของปลานิลในระบบบำบัดน้ำเสียเมื่อนำน้ำทิ้งปลาเป็ดผสมรำและอาหารผสมสำเร็จ

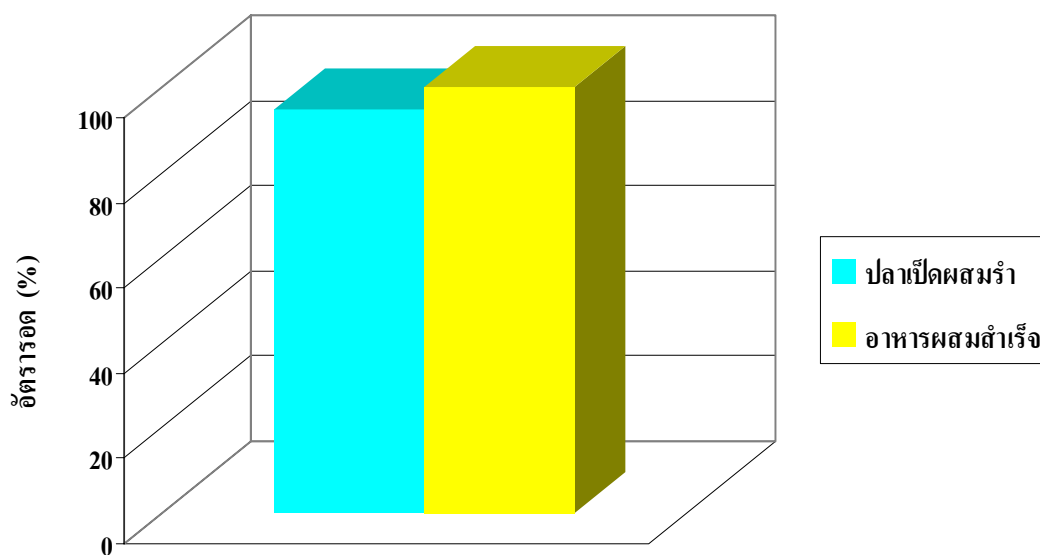
คุณสมบัติที่ตรวจวัด	ปลานิล		p-value
	ปลาเป็ดผสมรำ	อาหารผสมสำเร็จ	
น้ำหนักปลาเริ่มต้น (กรัม/ตัว)	7.87±0.12	7.65±0.22	0.2013
น้ำหนักที่ 4 สัปดาห์ (กรัม/ตัว)	8.93±0.18 ^a	7.59±0.41 ^b	0.0068
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม/ตัว)	1.06±0.22 ^a	-0.06±0.28 ^b	0.0053
การเจริญเติบโตต่อวัน(กรัม/ตัว/วัน)	0.038±0.01 ^a	-0.002±0.01 ^b	0.0053
อัตราการรอด (เปอร์เซ็นต์)	95.00±5.00	100.00±0.00	0.1583

หมายเหตุ Mean ± SD

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษร a b c ที่ต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 29 การเจริญเติบโตของปลานิลในระบบบำบัดน้ำเสียเมื่อน้ำทิ้งปลาเปิดสมร่าและอาหารผสมสำเร็จ



ภาพที่ 30 อัตรารอดของปลานิลในระบบบำบัดน้ำเสียเมื่อน้ำทิ้งปลาเปิดสมร่าและอาหารผสมสำเร็จ

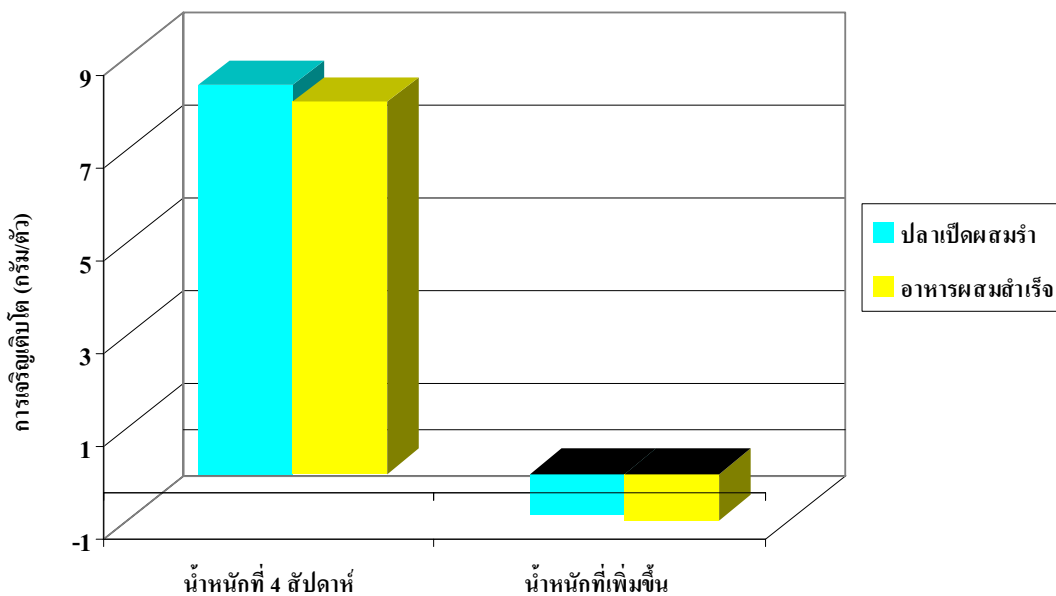
ปลาซวายในระบบบำบัดที่ผ่านน้ำทิ้งจากอาหารทดลองทั้ง 2 ชนิด มีการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 27 พบว่าปลาซวายทั้ง 2 ชุดการทดลองมีการเจริญเติบโตลดลง โดยปลาซวายที่ได้รับอาหารจากน้ำทิ้งอาหารผสมสำเร็จ มีการเจริญเติบโตลดลงมากกว่าชุดการทดลองที่ได้รับอาหารจากน้ำทิ้งอาหารปลาเป็ดผสมรำ เช่นเดียวกับในระบบบำบัดแบบบ่อเลี้ยงปลานิล

ตารางที่ 27 การเจริญเติบโตของปลาซวายในระบบบำบัดน้ำเสียเมื่อน้ำทิ้งปลาเป็ดผสมรำและอาหารผสมสำเร็จ

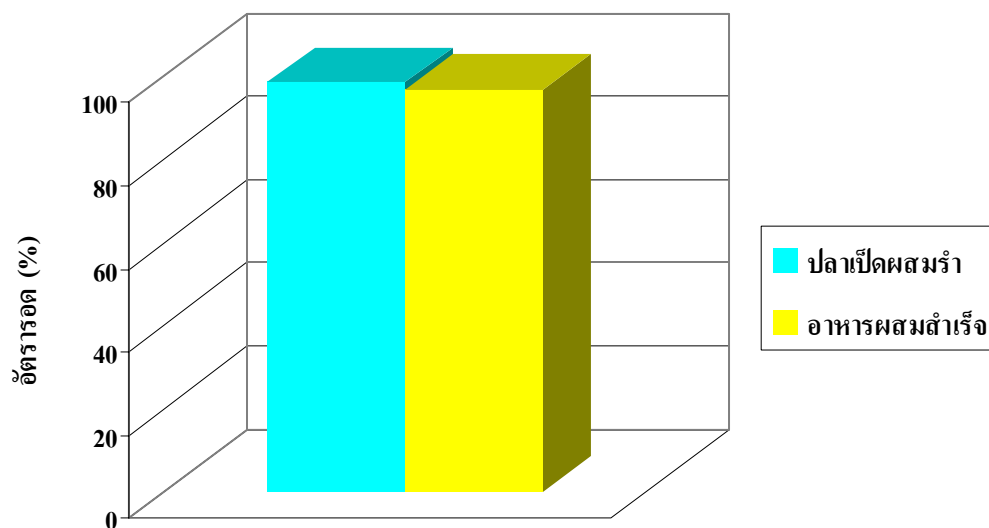
คุณสมบัติที่ตรวจวัด	ปลาซวาย		p-value
	ปลาเป็ดผสมรำ	อาหารผสมสำเร็จ	
น้ำหนักปลาเริ่มต้น (กรัม/ตัว)	9.30±0.05	9.29±0.10	0.8882
น้ำหนักที่ 4 สัปดาห์ (กรัม/ตัว)	8.39±0.47	8.02±0.22	0.2876
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม/ตัว)	-0.91±0.51	-1.27±0.20	0.3177
การเจริญเติบโตต่อวัน (กรัม/ตัว/วัน)	-0.032±0.02	-0.046±0.01	0.3010
อัตราการรอด (เปอร์เซ็นต์)	98.33±2.89	96.67±2.89	0.5185

หมายเหตุ Mean ± SD

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษร a b c ที่ต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)



ภาพที่ 31 การเจริญเติบโตของปลาสวายในระบบบำบัดน้ำเสียเมื่อน้ำที่ังปลาเปิดผสมร่าและอาหารผสมสำเร็จ



ภาพที่ 32 อัตรารอดของปลาสวายในระบบบำบัดน้ำเสียเมื่อน้ำที่ังปลาเปิดผสมร่าและอาหารผสมสำเร็จ

การทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าชนิดของอาหารมีผลต่อการเจริญเติบโตของปลาทั้ง 2 ชนิด และชนิดของปลามีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาช่อน ปลานิลและปลาสรวยที่ได้รับอาหารจากน้ำทิ้งอาหารปลาเป็ดผสมรำ มีการเจริญเติบโตดีกว่าได้รับน้ำทิ้งจากอาหารผสมสำเร็จ ดังแสดงในภาพที่ 29 และ 31 เนื่องจากเศษอาหารที่แตกตัวจากอาหารผสมสำเร็จมีลักษณะเป็นเศษวัตถุดิบชิ้นเล็ก ๆ ก่อนข้างละเอียด ในการทำอาหารทดลองมีการร่อนวัตถุดิบให้ละเอียดด้วยตะแกรงร่อนขนาด 500 ไมครอน ปลานิลและปลาสรวยกินเศษอาหารเหล่านั้นได้ยาก ส่งผลให้มีการเจริญเติบโตลดลง และส่งผลให้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งจากอาหารผสมสำเร็จมีประสิทธิภาพน้อยกว่าการบำบัดน้ำทิ้งจากอาหารปลาเป็ดผสมรำด้วย เศษอาหารที่ถูกชะออกมาจากอาหารปลาเป็ดผสมรำมีลักษณะเป็นเศษเนื้อปลาชิ้นเล็ก ๆ ปลานิลและปลาสรวยในระบบบำบัดสามารถเก็บกินได้โดยตรงเมื่อปล่อยลงสู่ระบบบำบัดน้ำทิ้ง ทำให้ปลาทั้ง 2 ชนิดในระบบบำบัดมีการเจริญเติบโตดีกว่าเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากอาหารผสมสำเร็จ ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งจากอาหารปลาเป็ดผสมรำสูงกว่าด้วย

เมื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของปลาทั้ง 2 ชนิดในระบบบำบัดน้ำทิ้ง พบว่าปลานิลมีการเจริญเติบโตดีกว่าปลาสรวย ซึ่งสอดคล้องกับประสิทธิภาพในการลด TKN, TON และ TN ในระบบบำบัดแบบบ่อเลี้ยงปลาสรวย ที่พบว่าของเสียที่เข้ามาในระบบบำบัดแบบบ่อเลี้ยงปลาสรวยไม่เพียงพอต่อความต้องการของปลาสรวย และปลาสรวยสามารถกำจัดเศษอาหารเหล่านั้นได้โดยตรง โดยเหลือเป็นสารอาหารแก่การเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชน้อยมาก ส่วนปลานิลแม้จะกำจัดเศษอาหารโดยการกินเศษอาหารโดยตรงเช่นกัน แต่ก็ยังมีสารอาหารเหลือมากพอต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชในระบบบำบัด ดังแสดงในภาพที่ 24

ดังนั้นน้ำทิ้งจากการเลี้ยงปลาช่อนด้วยอาหารทดลองทั้ง 2 ชนิดมีศักยภาพในการผลิตปลานิล โดยน้ำทิ้งจากอาหารปลาเป็ดผสมรำมีศักยภาพในการผลิตปลานิลสูงกว่าน้ำทิ้งจากอาหารผสมสำเร็จ แต่น้ำทิ้งจากอาหารทดลองทั้ง 2 ชนิดไม่มีศักยภาพในการผลิตปลาสรวย ดังนั้นหากต้องการเลี้ยงปลาสรวยหรือเพิ่มผลผลิตปลานิลในระบบบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาช่อนควรมีการให้อาหารสมทบ เพื่อเพิ่มศักยภาพในการผลิตปลาทั้ง 2 ชนิด แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นต้องคำนึงถึงผลกระทบต่อคุณภาพน้ำที่ระบายลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติด้วย

สรุป

จากการศึกษาผลของอาหารผสมสำเร็จในปลาช่อนต่อคุณภาพน้ำและการบำบัดน้ำทิ้ง แบ่งออกเป็น 3 การทดลอง ได้แก่ การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของการสูญเสียปริมาณโภชนะจากอาหารปลาเปิดผสมร่าและอาหารผสมสำเร็จ ที่ระยะเวลา 1 นาที 1 ชั่วโมง 2 ชั่วโมง 3 ชั่วโมง และ 4 ชั่วโมง การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของการใช้อาหาร 2 ชนิด คือ อาหารปลาเปิดผสมร่า และอาหารผสมสำเร็จ ต่อการเจริญเติบโตของปลาช่อน และคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลา ส่วนการทดลองที่ 3 ศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาช่อน โดยศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดแบบบ่อฝิ่ง ระบบบำบัดแบบบ่อเติมอากาศเฉพาะผิวหน้า น้ำ ระบบบำบัดที่ใช้ปลาชนิด 800 กิโลกรัม/ไร่ ในการบำบัด และระบบบำบัดที่ใช้ปลาสวาย 1,200 กิโลกรัม/ไร่ ในการบำบัด เมื่อมีระยะเวลาเก็บกักน้ำ 2 วัน พบว่า

1. การสูญเสียโภชนะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อแช่อาหารในน้ำนานขึ้น และการสูญเสียโภชนะเกิดขึ้นทันทีเมื่ออาหารตกลงสู่แหล่งน้ำ
2. เมื่อแช่อาหารในน้ำนานขึ้นเปอร์เซ็นต์เด้าและเชื้อยี่ที่เหลืออยู่ในอาหารจะเพิ่มสูงขึ้น
3. อาหารปลาเปิดผสมร่ามีการสูญเสียวัตถุแห้ง โปรตีน ไขมัน และฟอสฟอรัสสูงกว่าอาหารผสมสำเร็จ
4. ปริมาณของเสียจากอาหารปลาเปิดผสมร่าสูงกว่าอาหารผสมสำเร็จ และมีค่าสูงขึ้นเมื่อแช่อาหารในน้ำนานขึ้น
5. ปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมสำเร็จมีการเจริญเติบโต และสุขภาพดีกว่าปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารปลาเปิดผสมร่า
6. บ่อปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารปลาเปิดผสมร่ามีปริมาณของเสียในรูปแบบ TDS, Turbidity, TKN, TON, TN, Orthophosphate, Total phosphorus, BOD และ COD สูงกว่าบ่อปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมสำเร็จ

7. ปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารปลาเปิดผสมรำมีปริมาณของเสียในรูปของสิ่งขับถ่ายในรูป Orthophosphate, Total phosphorus และ BOD สูงกว่าบ่อปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมสำเร็จ
8. ระบบบำบัดแบบบ่อฝิ่งและบ่อเติมอากาศเฉพาะผิวหน้าน้ำ มีประสิทธิภาพในการลด TDS ได้ในช่วง 16.52 - 20.89 เปอร์เซ็นต์
9. ระบบบำบัดแบบบ่อเติมอากาศเฉพาะผิวหน้าน้ำมีประสิทธิภาพในการลด NH_3 ได้ในช่วง 86.39 – 95.75 เปอร์เซ็นต์
10. ระบบบำบัดแบบบ่อเลี้ยงปลานิลมีประสิทธิภาพในการลด NO_3^{2-} ได้ดีที่สุด
11. ระบบบำบัดแบบบ่อเลี้ยงปลาช้วยมีประสิทธิภาพในการลด TKN, TON และ TN ได้โดยสามารถลด TKN ได้ในช่วง 18.03 – 28.89 เปอร์เซ็นต์
12. ระบบบำบัดแบบบ่อฝิ่งมีประสิทธิภาพในการลด Total phosphorus ได้ในช่วง 56.00 – 76.15 เปอร์เซ็นต์