บทที่ 3
ผลและวิจารณ์การศึกษา

1. การเลี้ยงหอยเป๋าฮื้อระยะวัยรุ่นในตู้กระจกที่ระดับความหนาแน่นเชิงพาณิชย์โดยมีระดับความถี่การเปลี่ยนถ่ายน้ำแตกต่างกัน

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอดโดยให้สาหร่ายหนามเป็นอาหาร ตั้งแต่วันที่ 8 มีนาคม ถึง 11 เมษายน 2547 เป็นเวลา 35 วัน การทดลองแบ่งระดับความถี่การเปลี่ยนถ่ายน้ำออกเป็น 5 ชุดการทดลองๆละ 3 ซ้ำ คือ การเปลี่ยนถ่ายน้ำโดยให้น้ำไหลผ่านตลอดเวลาในอัตรา 0.1 ลิตร/นาที เป็นชุดควบคุม ชุดการทดลองเปลี่ยนถ่ายน้ำอัตรา 100% ที่มีความถี่ 1, 2, 3 และ 4 วัน/ครั้ง เพื่อนำผลการวิจัยครั้งนี้ไปกำหนดอัตราความถี่การเปลี่ยนถ่ายน้ำหรือกำหนดระยะเวลาการบำบัดน้ำที่เหมาะสมต่อไป การเลี้ยงหอยเป๋าฮื้อที่มีความหนาแน่นสูงมักมีปริมาณการสะสมของเสียจากเศษอาหารและสิ่งขับถ่ายปริมาณมาก หากไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำอย่างเพียงพอทำให้น้ำเกิดการเน่าเสียจนถึงจุดวิกฤตได้ การเปลี่ยนถ่ายน้ำจัดเป็นวิธีการที่สามารถขจัดของเสียโดยการพัดพาไปพร้อมกับน้ำที่ถูกเปลี่ยนถ่าย ในเวลาเดียวกันน้ำที่เติมเข้ามาแทนที่จะมีสารอาหารมาด้วย เช่น Ca, Mg เป็นต้น ทั้งนี้ความสามารถในการขจัดของเสียและการนำสารอาหารเข้ามาจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณและอัตราการถ่ายเทน้ำ (มะลิ, 2545) การศึกษาครั้งนี้ให้สาหร่ายหนาม (*Acanthophora spicifera*) เป็นอาหารตลอดการทดลอง เนื่องจากสาหร่ายหนามมีองค์ประกอบของกรดอะมิโนโปรตีนใกล้เคียงกับหอยเป๋าฮื้อมากกว่าสาหร่ายผมนาง นอกจากนี้สาหร่ายหนามสามารถทำให้อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของหอยมีน้อยกว่าสาหร่ายผมนางและมีอัตราการเจริญเติบโตที่ดีกว่าสาหร่ายผมนาง (สุพิศและคณะ, 2545) จากการวิเคราะห์ข้อมูลตลอดการทดลองพบว่าค่าเฉลี่ยตัวแปรคุณภาพน้ำและข้อมูลผลการเลี้ยงหอยมีการเปลี่ยนแปลงไปตามความถี่การเปลี่ยนถ่ายน้ำที่ต่างกัน อีกทั้งยังมีความสัมพันธ์ที่พบทั้งในเชิงบวกและในเชิงลบ ดังนี้

1.1 การเจริญเติบโตของหอยเป๋าฮื้อ ความยาวเปลือกเมื่อเริ่มต้นการทดลองของชุดควบคุม ชุดการทดลองเปลี่ยนถ่ายน้ำที่มีความถี่ 1, 2, 3 และ 4 วัน/ครั้ง มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>$ 0.05) ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.083$\pm$0.196, 1.059$\pm$0.197, 1.099$\pm$0.175, 1.061$\pm$0.185 และ 1.055$\pm$0.197 เซนติเมตร/ตัว ตามลำดับ แต่การเจริญเติบโตโดยความยาวเปลือกเฉลี่ยของหอยเป๋าฮื้อระหว่างชุดการทดลองในแต่ละสัปดาห์และเมื่อสิ้นสุดการทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<$0.05) ความยาวเปลือกเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลองชุดควบคุม ชุดการทดลองที่เปลี่ยนถ่ายน้ำความถี่ 1, 2, 3 และ 4 วัน/ครั้ง เพิ่มเป็น 1.418$\pm$0.231,

1.349±0.269, 1.478±0.265, 1.366±0.231 และ 1.337±0.235 เซนติเมตร/ตัว ตามลำดับ การเจริญเติบโตโดยความยาวเปลือกสูงที่สุดพบในความถี่การเปลี่ยนถ่ายน้ำ 2 วัน/ครั้ง มีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกับชุดควบคุมแต่แตกต่างกับชุดการทดลองอื่นๆ (รูปที่ 9(ก) และตารางภาคผนวกที่ 1)

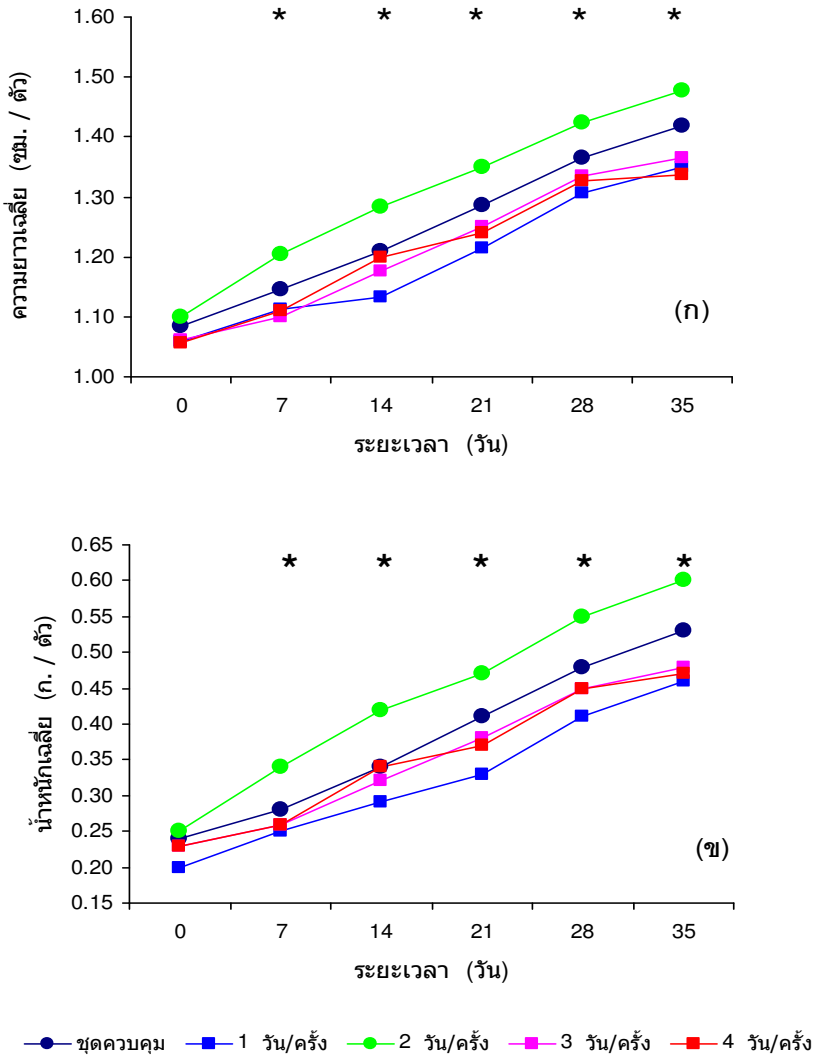
หอยเป๋าฮื้อที่เลี้ยงในชุดควบคุม ชุดการทดลองที่เปลี่ยนถ่ายน้ำความถี่ 1, 2, 3 และ 4 วัน/ครั้ง น้ำหนักตัวรวมเปลือกเฉลี่ยเมื่อเริ่มต้นการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.24±0.14, 0.20±0.13, 0.25±0.14, 0.23±0.15 และ 0.23±0.16 กรัม/ตัว ตามลำดับ แต่การเจริญเติบโตโดยน้ำหนักตัวรวมเปลือกระหว่างชุดการทดลองในแต่ละสัปดาห์และเมื่อสิ้นสุดการทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) มีค่าเฉลี่ยเพิ่มเป็น 0.53±0.26, 0.46±0.31, 0.60±0.31, 0.48±0.25 และ 0.45±0.26 กรัม/ตัว ตามลำดับ ชุดการทดลองที่มีความถี่เปลี่ยนถ่ายน้ำ 2 วัน/ครั้ง หอยเจริญเติบโตโดยน้ำหนักตัวรวมเปลือกเฉลี่ยสูงที่สุดและไม่แตกต่างกับชุดควบคุมแต่แตกต่างกับชุดการทดลองอื่นๆ (รูปที่ 9(ข) และตารางภาคผนวกที่ 2)

1.2 อัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนัก (WGR) เมื่อสิ้นสุดการทดลองได้แสดงไว้ในตารางที่ 2 มีค่าแตกต่างกัน (P<0.05) ค่าเฉลี่ยสูงที่สุดอยู่ในความถี่การเปลี่ยนถ่ายน้ำ 2 วัน/ครั้ง (0.010±0.001 กรัม/วัน) และรองลงมา คือ ชุดควบคุม ชุดการทดลองที่เปลี่ยนถ่ายน้ำความถี่ 1, 3 และ 4 วัน/ครั้ง ตามลำดับ

1.3 อัตราการรอดตายของหอย (SURVR) เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าชุดควบคุม ชุดการทดลองเปลี่ยนถ่ายน้ำที่มีความถี่ 1, 2, 3 และ 4 วัน/ครั้ง ที่แสดงไว้ในตารางที่ 2 มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) หอยเป๋าฮื้อที่เลี้ยงโดยการเปลี่ยนถ่ายน้ำความถี่ 1 วัน/ครั้ง มีอัตราการรอดตายเฉลี่ยสูงสุด (98.89±0.51%) ซึ่งไม่แตกต่างกับชุดควบคุมและชุดการทดลองที่เปลี่ยนถ่ายน้ำความถี่ 2 วัน/ครั้ง แต่แตกต่างกับชุดการทดลองที่เปลี่ยนถ่ายน้ำ 3 และ 4 วัน/ครั้ง

1.4 อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของหอย (FCR) เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าชุดควบคุม ชุดการทดลองเปลี่ยนถ่ายน้ำที่มีความถี่ 1, 2, 3 และ 4 วัน/ครั้ง ที่แสดงไว้ในตารางที่ 2 มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) หอยเป๋าฮื้อที่เลี้ยงโดยการเปลี่ยนถ่ายน้ำความถี่ 3 วัน/ครั้ง มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อเฉลี่ยสูงที่สุด (14.08±4.78) ชุดการทดลองที่เปลี่ยนถ่ายน้ำความถี่ 2 วัน/ครั้ง มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อเฉลี่ยต่ำที่สุด (9.87±0.31)

1.5 ผลผลิตของน้ำหนักต่อพื้นที่ (PRODUCT) เมื่อสิ้นสุดการทดลองที่แสดงไว้ในตารางที่ 2 พบว่า ชุดควบคุม ชุดการทดลองที่เปลี่ยนถ่ายน้ำความถี่ 1, 2, 3 และ 4 วัน/ครั้ง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ชุดการทดลองที่เปลี่ยนถ่ายน้ำความถี่ 2 วัน/ครั้ง ให้ผลผลิตของน้ำหนักต่อพื้นที่สูงที่สุดซึ่งไม่แตกต่างกับชุดควบคุมแต่แตกต่างกับชุดการทดลองที่เปลี่ยนถ่ายน้ำความถี่ 3, 1 และ 4 วัน/ครั้ง โดยมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 532.74±14.12, 468.74±81.14, 422.81±34.57, 410.37±16.78 และ 398.82±39.84 กรัม/ตารางเมตร ตามลำดับ



* มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$)

รูปที่ 9 การเจริญเติบโต โดย (ก) ความยาวเปลือกเฉลี่ย และ (ข) น้ำหนักตัวรวมเปลือกเฉลี่ยของหอยเป๋าฮื้อที่ระดับความถี่การเปลี่ยนถ่ายน้ำแตกต่างกัน เป็นระยะเวลา 35 วัน

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ย (Mean±SD) อัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนัก (WGR) อัตราการรอดตาย (SURVR) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) ผลผลิตของน้ำหนักต่อพื้นที่ (PRODUCT) และกำไรสุทธิ จากการเลี้ยงหอยเป๋าฮื้อที่ระดับความถี่การเปลี่ยนถ่ายน้ำแตกต่างกัน ตลอดการทดลองเป็นระยะเวลา 35 วัน

ข้อมูลผลการเลี้ยง	ความถี่การเปลี่ยนถ่ายน้ำ				
	ชุดควบคุม	1 วัน/ครั้ง	2 วัน/ครั้ง	3 วัน/ครั้ง	4 วัน/ครั้ง
WGR (กรัม/วัน)	0.008±0.003^{ab}	0.007±0.001^{ab}	0.010±0.001^{b}	0.007±0.002^{a}	0.006±0.001^{a}
SURVR (%)	98.78±0.51^{bc}	98.89±0.51^{c}	98.55±0.39^{bc}	97.33±0.67^{b}	94.78±1.35^{a}
FCR	11.05±1.89^{a}	11.50±1.32^{a}	9.87±0.31^{a}	14.08±4.78^{a}	13.57±1.14^{a}
PRODUCT (กรัม/ตารางเมตร)	468.74±81.14^{ab}	410.37±16.78^{a}	532.74±14.12^{b}	422.81±34.57^{a}	398.82±39.84^{a}
กำไรสุทธิ (บาท/ตัว)	0.74±0.05^{a}	0.90±0.13^{a}	1.82±0.04^{b}	2.05±0.04^{c}	2.03±0.06^{c}

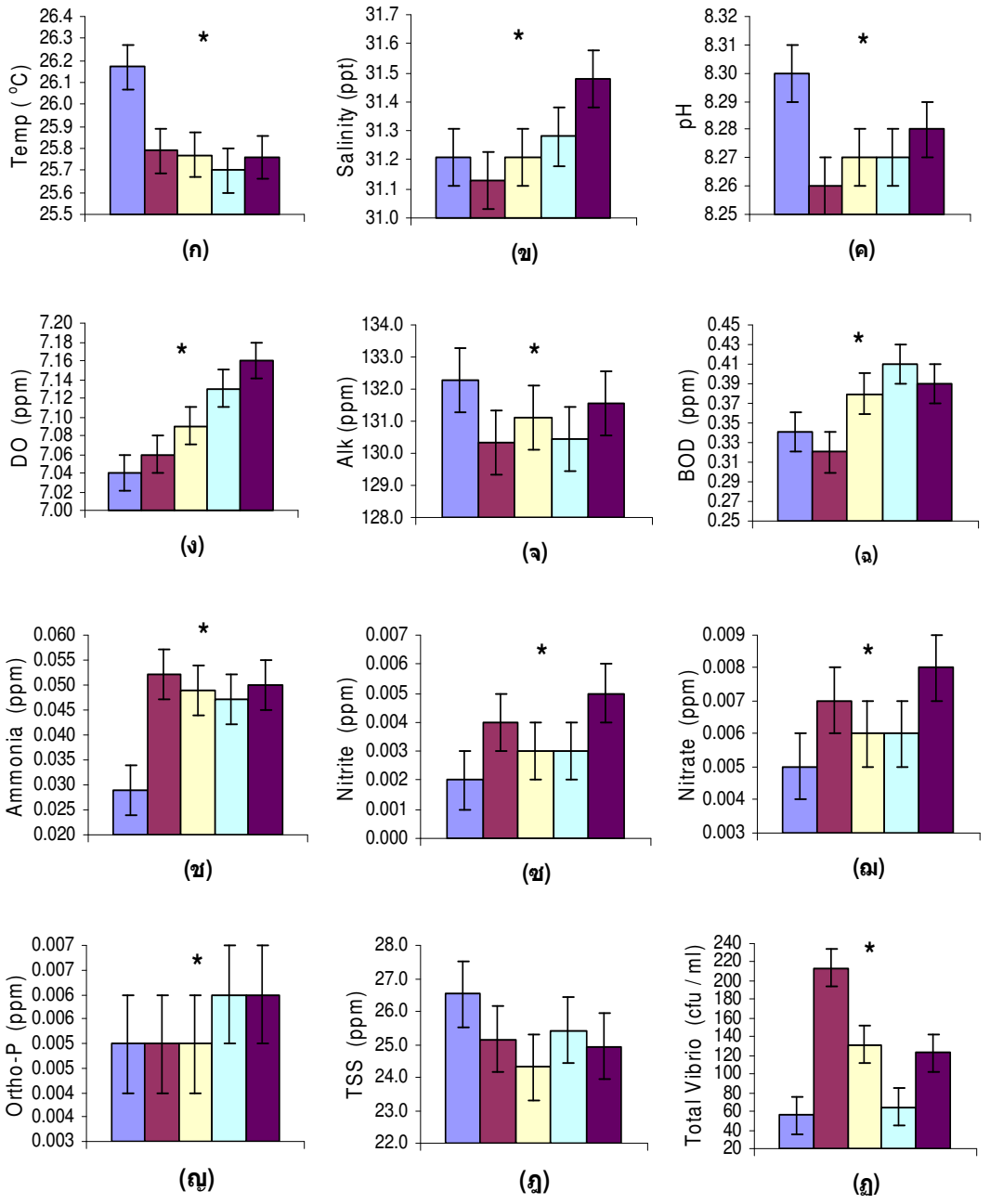
ในแนวนอนค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษที่เหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

1.6 ต้นทุนการผลิตและผลตอบแทนซึ่งแสดงไว้ในตารางภาคผนวกที่ 4 ในการเลี้ยงลูกหอยเป๋าฮื้อระยะวัยรุ่นที่มีอายุประมาณ 90 วัน เป็นระยะเวลา 35 วัน โดยต้นทุนการผลิตทั้งหมดแยกออกเป็น 2 ประเภท คือ ต้นทุนผันแปรและต้นทุนคงที่ เมื่อสิ้นสุดการทดลองนำต้นทุนทั้งสองประเภทมารวมกันและเปรียบเทียบข้อมูลทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง พบว่าค่าเฉลี่ยต้นทุนการผลิตของชุดควบคุม ชุดการทดลองเปลี่ยนถ่ายน้ำที่มีความถี่ 1, 2, 3 และ 4 วัน/ครั้ง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ค่าเฉลี่ยสูงที่สุดอยู่ในชุดควบคุม (9.14±0.01 บาท/ตัว) รองลงมา คือ ชุดการทดลองที่เปลี่ยนถ่ายน้ำความถี่ 1, 2, 3 และ 4 วัน/ครั้ง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.63±0.00, 8.06±0.01, 7.86±0.00 และ 7.76±0.00 บาท/ตัว ตามลำดับ การประเมินผลตอบแทนซึ่งเป็นรายได้จากการจำหน่ายหอยที่รอดตายทั้งหมดของแต่ละชุดการทดลองที่ราคาเฉลี่ย 10 บาท/ตัว ซึ่งนำมาหักลบกับต้นทุนการผลิตทั้งหมดในแต่ละชุดการทดลองที่ได้เป็นผลกำไรสุทธิ พบว่าลูกหอยที่เลี้ยงในชุดการทดลองที่เปลี่ยนถ่ายน้ำความถี่ 3 วัน/ครั้ง ให้กำไรสุทธิสูงที่สุด (2.05±0.04 บาท/ตัว) รองลงมา คือ ชุดการทดลองที่เปลี่ยนถ่ายน้ำความถี่ 4, 2, 1 วัน/ครั้ง และชุดควบคุม โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.03±0.06, 1.82±0.04, 0.90±0.13 และ 0.74±0.05 บาท/ตัว ตามลำดับ (ตารางที่ 2)

1.7 ข้อมูลคุณภาพน้ำ

ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตัวแปรคุณภาพน้ำที่พบตลอดระยะเวลาการทดลอง และผลการศึกษาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ของตัวแปรคุณภาพน้ำกับข้อมูลการเลี้ยงหอยเป๋าฮื้อที่มีระดับความถี่การเปลี่ยนถ่ายน้ำแตกต่างกัน 5 ระดับ คือ การเปลี่ยนถ่ายน้ำโดยให้น้ำไหลผ่านตลอดเวลาอัตรา 0.1 ลิตร/นาที เป็นชุดควบคุม ชุดการทดลองที่เปลี่ยนถ่ายน้ำอัตรา 100% ความถี่ 1, 2, 3, และ 4 วัน/ครั้ง มีดังนี้

1.7.1 อุณหภูมิน้ำ (Temp) ที่แสดงไว้ในรูปที่ 10(ก) และตารางภาคผนวกที่ 3 พบว่าชุดควบคุมกับชุดการทดลองที่เปลี่ยนถ่ายน้ำมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ชุดควบคุมมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด (26.17 ± 0.63 °C) รองลงมา คือ ชุดการทดลองที่เปลี่ยนถ่ายน้ำความถี่ 1, 2, 4 และ 3 วัน/ครั้ง ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 25.79 ± 0.61, 25.77 ± 0.60, 25.76 ± 0.65, และ 25.70 ± 0.60 °C ตามลำดับ ชุดควบคุมที่ปล่อยให้น้ำไหลผ่านตลอดเวลามีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำสูงที่สุดและแตกต่างกับชุดการทดลองอื่นๆ อาจเป็นเพราะมีน้ำใหม่ไหลเข้าแทนที่มวลน้ำเดิมที่อยู่ภายในตู้ทดลองอย่างต่อเนื่อง จึงได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศที่เกิดขึ้นทั้งในเวลากลางวันและกลางคืนมากกว่าชุดการทดลองอื่นๆ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้ำที่เกิดขึ้นแต่ละครั้งมีผลกระทบโดยตรงต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ โดยเฉพาะกระบวนการทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นในร่างกาย เช่น การเจริญเติบโต การบริโภคออกซิเจน การกินอาหาร และการตาย เป็นต้น โดยทั่วไปหอยเป๋าฮื้อจัดเป็นสัตว์เลือดเย็นมีการปรับอุณหภูมิของร่างกายให้ใกล้เคียงกับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา หากอุณหภูมิน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว 2-3 °C มีผลทำให้หอยเป๋าฮื้อกินอาหารลดลงและมีอัตราการเจริญเติบโตช้าลง (Fallu, 1991) สอดคล้องกับข้อมูลการทดลองในครั้งนี้ซึ่งพบว่าอุณหภูมิน้ำที่เพิ่มสูงขึ้น ส่งผลทำให้อัตราการรอดตายลดลงโดยแสดงความสัมพันธ์ในเชิงลบ ($P<0.01$) สูงที่สุด ($r = -0.69$) แต่ไม่มีผลกระทบต่อข้อมูลผลการเลี้ยงอื่นๆ (ตารางที่ 3) อย่างไรก็ตามจากการสังเกตลักษณะการตายของหอยตลอดการทดลองพบว่าหลังจากแกะหอยซึ่งเกาะอยู่กับวัสดุที่ยึดเกาะเพื่อนำมาสุ่มชั่ง-วัดในทุกครั้งๆ ละ 30 ตัว/ตู้ พบว่ามีหอยตายทุกชุดการทดลองในวันถัดมาและตายติดต่อกัน 2-3 วัน ต่อจากนั้นปริมาณการตายของหอยจะลดลงและหยุดตาย ดังนั้นการตายของหอยที่ทดลองครั้งนี้ส่วนหนึ่งอาจจะมาจากการได้รับความบอบช้ำจากการแกะหอยที่ทำการสุ่มชั่ง-วัด เนื่องจากค่าเฉลี่ยอุณหภูมิที่พบตลอดระยะเวลาการทดลองของทุกชุดการทดลองมีความผันแปรอยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต การกินอาหาร และการรอดตายของหอยเป๋าฮื้อ (Chen, 1984; Britz *et al.*, 1997; Poomtong *et al.*, 1998) (ตารางภาคผนวกที่ 9)



*มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$)

รูปที่ 10 คุณภาพน้ำ (ก) อุณหภูมิ (ข) ความเค็ม (ค) ความเป็นกรดเป็นด่าง (ง) ออกซิเจนละลายน้ำ (จ) ความเป็นด่าง (ฉ) บีโอดี (ช) แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (ซ) ไนไตรท์-ไนโตรเจน (ฌ) ไนเตรต-ไนโตรเจน (ญ) ออร์โธฟอสเฟต (ฎ) ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (ฏ) วิบริโอรวม ในน้ำที่ทดลองเลี้ยงหอยเป๋าฮื้อในระดับความถี่การเปลี่ยนถ่ายน้ำแตกต่างกันตลอดระยะเวลาการทดลอง 35 วัน

ตารางที่ 3 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ของตัวแปรคุณภาพน้ำแต่ละระดับความถี่การเปลี่ยนถ่ายน้ำกับข้อมูลการเลี้ยงหอยที่ประกอบด้วย การเจริญเติบโตโดยความยาวเปลือก (BLF) การเจริญเติบโตโดยน้ำหนัก (BWF) อัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนัก (WGR) อัตราการรอดตาย (SURVR) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) ผลผลิตของน้ำหนักต่อพื้นที่ (PRODUCT) และกำไรสุทธิที่ได้รับเมื่อสิ้นสุดการทดลองเป็นระยะเวลา 35 วัน

คุณภาพน้ำ	BLF	BWF	WGR	SURVR	FCR	PRODUCT	กำไรสุทธิ
Temp	-0.03	-0.07	-0.15	-0.69**	0.07	-0.07	-0.17
Salinity	-0.10	-0.09	-0.14	-0.37	0.01	-0.09	-0.35
pH	0.09	0.04	-0.16	-0.57*	0.16	0.04	0.01
Alkalinity	0.27	0.23	-0.02	-0.26	-0.05	0.23	-0.03
DO	-0.08	-0.07	-0.11	0.19	-0.05	-0.07	-0.04
BOD_5	0.27	0.25	0.25	0.11	-0.16	0.25	0.68**
NH_3-N	-0.04	-0.01	0.26	0.43	-0.20	-0.01	-0.15
NO_2^--N	-0.40	-0.38	-0.18	-0.13	0.05	-0.38	-0.45
NO_3^--N	-0.32	-0.28	-0.13	-0.08	-0.19	-0.28	-0.56*
Ortho-P	-0.35	-0.36	-0.32	-0.22	0.12	-0.36	-0.11
TSS	-0.20	-0.26	-0.54*	-0.24	0.48	-0.26	-0.14
Total Vibrio	-0.15	-0.16	-0.10	-0.15	0.14	-0.16	-0.39

*มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) **มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$)

1.7.2 ความเค็ม (Salinity) ที่แสดงไว้ในรูปที่ 10(ข) และตารางภาคผนวกที่ 3 พบว่าค่าเฉลี่ยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหากมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำน้อยลงและมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ชุดการทดลองที่เปลี่ยนถ่ายน้ำความถี่ 1 วัน/ครั้ง มีค่าเฉลี่ยความเค็มต่ำสุดเท่ากับ 31.13$\pm$0.96 ppt และชุดการทดลองที่เปลี่ยนถ่ายน้ำอัตรา 100% ความถี่ 4 วัน/ครั้ง มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด 31.48$\pm$1.13 ppt ซึ่งแตกต่างกับชุดการทดลองอื่นๆ และยังพบว่าหอยมีอัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนักต่ำที่สุด (0.006$\pm$0.001 กรัม/วัน) (ตารางที่ 2) ความสัมพันธ์ของความเค็มแต่ละความถี่การเปลี่ยนถ่ายน้ำกับข้อมูลการเลี้ยงหอยเมื่อสิ้นสุดการทดลองทั้งหมดไม่มีนัยสำคัญ ($P>0.05$) (ตารางที่ 3) Singhagraiwan และคณะ (1992) รายงานว่าหอยเป๋าฮื้อชนิด *H. asinina* ที่เลี้ยงในระดับความเค็มตั้งแต่ 22.5-32.5 ppt มีอัตราการรอดตายสูงที่สุดและความเค็มที่เหมาะสมมากที่สุด คือ 32.5 ppt นอกจากนี้ Singhagraiwan และ Doi (1992) รายงานเพิ่มเติมว่าหอยเป๋าฮื้อชนิด *H. asinina* ตายภายใน 24 ชั่วโมง หากความเค็ม

ต่ำกว่า 15 ppt อย่างไรก็ตามความเค็มเฉลี่ยทุกชุดการทดลองที่พบตลอดระยะเวลาการทดลองจัดอยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงหอยเป๋าฮื้อชนิด *H. asinina* (ตารางภาคผนวกที่ 9) อัตราการรอดตายของหอยที่ทดลองครั้งนี้สูงมากกว่า 90% ซึ่งใกล้เคียงกับรายงานของนักวิจัยอื่นๆที่อยู่ในช่วง 85-98% (Fallu, 1991; Singhagraiwan and Doi, 1993; Poomtong *et al*., 1998; Bautista -Teruel and Millamena, 1999; Capinpin *et al*., 1999)

1.7.3 ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ที่แสดงไว้ในรูปที่ 10(ค) และตารางภาคผนวกที่ 3 พบว่าชุดควบคุม ชุดการทดลองเปลี่ยนถ่ายน้ำที่มีความถี่ 1, 2, 3 และ 4 วัน/ครั้ง มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) โดยชุดควบคุมมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 8.30$\pm$0.04 รองลงมา คือ ชุดการทดลองเปลี่ยนถ่ายน้ำที่มีความถี่ 4 วัน/ครั้ง (8.28$\pm$0.03) ชุดการทดลองเปลี่ยนถ่ายน้ำที่มีความถี่ 2 และ 3 วัน/ครั้ง มีค่าเฉลี่ยเท่ากัน คือ 8.27$\pm$0.03 และชุดการทดลองเปลี่ยนถ่ายน้ำความถี่ 1 วัน/ครั้ง มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 8.26$\pm$0.04 นอกจากนี้ความเป็นกรดเป็นด่างในแต่ละชุดการทดลองมีความสัมพันธ์กับอัตราการรอดตาย ($r = -0.57$) อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) (ตารางที่ 3) จากข้อมูลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าหากความเป็นกรดเป็นด่างสูงขึ้นมีผลทำให้อัตราการรอดตายเฉลี่ยลดลง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของความเป็นกรดเป็นด่างในแต่ละครั้งทำให้หอยเป๋าฮื้อต้องปรับความสมดุลของความเป็นกรดเป็นด่างในร่างกายให้เหมาะสมอยู่ตลอดเวลาอาจจะเป็นสาเหตุที่ทำให้หอยมีอาการเครียดและอ่อนแอได้ จากการศึกษาค่าเฉลี่ยความเป็นกรดเป็นด่างตลอดระยะเวลาการทดลองของทุกชุดการทดลองครั้งนี้พบว่าความเป็นกรดเป็นด่างมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกับเพ็ญแขและคณะ (2538) ที่รายงานผลการทดลองเลี้ยงหอยเป๋าฮื้อชนิด *H. asinina* ด้วยสาหร่ายทะเล 3 ชนิด ซึ่งพบว่ามีความเป็นกรดเป็นด่างเฉลี่ยตลอดการทดลอง เท่ากับ 8.09$\pm$0.07

1.7.4 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ที่แสดงไว้ในรูปที่ 10(ง) และตารางภาคผนวกที่ 3 พบว่าชุดควบคุม ชุดการทดลองที่เปลี่ยนถ่ายน้ำความถี่ 1, 2, 3 และ 4 วัน/ครั้ง มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ชุดการทดลองที่เปลี่ยนถ่ายน้ำความถี่ 4 วัน/ครั้ง มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 7.16$\pm$0.33 มิลลิกรัม/ลิตร รองลงมา คือ ชุดการทดลองที่เปลี่ยนถ่ายน้ำความถี่ 3, 2, 1 วัน/ครั้ง และชุดควบคุม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.13$\pm$0.30, 7.09$\pm$0.33, 7.06$\pm$0.33 และ 7.04$\pm$0.32 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำกับข้อมูลการเลี้ยงหอยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าความสัมพันธ์ทั้งหมดไม่มีนัยสำคัญ ($P>0.05$) (ตารางที่ 3) ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำตลอดระยะเวลาการทดลองของทุกชุดการทดลองอยู่ในระดับที่

เหมาะสมต่อการเลี้ยงหอยเป๋าฮื้อ สิริและคณะ (2529) รายงานปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่พบในแหล่งอาศัยตามธรรมชาติของหอยเป๋าฮื้ออยู่ระหว่าง 4.2-7.5 มิลลิกรัม/ลิตร สอดคล้องกับ Chen (1984) ที่รายงานว่าหากปริมาณออกซิเจนละลายน้ำลดต่ำลงที่ระดับ 4.2-4.9 มิลลิกรัม/ลิตร ทำให้หอยเป๋าฮื้อมีอัตราการรอดตายต่ำและกินอาหารน้อยลง โดยทั่วไปหอยเป๋าฮื้อจะมีชีวิตอยู่ได้ในบริเวณที่มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำสูงกว่า 4.0 มิลลิกรัม/ลิตร

1.7.5 ความเป็นด่าง (Alkalinity) ที่แสดงไว้ในรูปที่ 10(จ) และ ตารางภาคผนวกที่ 3 พบว่าชุดควบคุม ชุดการทดลองเปลี่ยนถ่ายน้ำที่มีความถี่ 1, 2, 3 และ 4 วัน/ครั้ง มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ชุดควบคุมมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 132.28$\pm$8.83 มิลลิกรัม/ลิตร และชุดการทดลองที่เปลี่ยนถ่ายน้ำความถี่ 1 วัน/ครั้ง มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด (130.35$\pm$7.69 มิลลิกรัม/ลิตร) โดยไม่แตกต่างกับชุดการทดลองที่เปลี่ยนถ่ายน้ำความถี่ 2, 3 และ 4 วัน/ครั้ง ความเป็นด่างในน้ำมีความสำคัญต่อการผันแปรของสิ่งแวดล้อมในน้ำ ทั้งนี้เนื่องจากความเป็นด่างจะทำปฏิกิริยากับคุณภาพน้ำอื่นๆ ซึ่งส่งผลต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำและความอุดมสมบูรณ์หรือกำลังผลิตของแหล่งน้ำ (มั่นสิน, 2542) ความเป็นด่างที่เกิดขึ้นจากความถี่การเปลี่ยนถ่ายน้ำต่างกันไม่มีผลต่อข้อมูลผลการเลี้ยงหอยที่เกิดขึ้น โดยพบว่าความสัมพันธ์ทั้งหมดไม่มีนัยสำคัญ ($P>0.05$) (ตารางที่ 3) ความเป็นด่างที่พบตลอดการทดลองครั้งนี้มีค่าใกล้เคียงกับเพ็ญแขและคณะ (2538) ที่รายงานความเป็นด่างในการเลี้ยงหอยเป๋าฮื้อชนิด *H. asinina* ด้วยสาหร่ายทะเล 3 ชนิดตลอดการทดลองอยู่ในช่วง 108-142 มิลลิกรัม/ลิตร ที่มีอัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนักและอัตราการรอดตายใกล้เคียงกับการทดลองครั้งนี้

1.7.6 บีโอดี (Biochemical oxygen demand : BOD_5) บีโอดี คือ ปริมาณของออกซิเจนที่ถูกใช้ในการย่อยสารอินทรีย์ชนิดที่ย่อยสลายได้ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน (aerobic) โดยจุลินทรีย์ในช่วงเวลา 5 วัน ณ อุณหภูมิ 20 °C บีโอดีเป็นตัวแปรที่มีผลต่อดุลของปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Oxygen budget) ที่เกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาการบริโภคออกซิเจนผ่านกระบวนการทางชีวเคมี (การหายใจ) ของสิ่งที่มีชีวิตในแหล่งน้ำและกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เกิดจากจุลินทรีย์ซึ่งอยู่ภายใต้สภาวะที่มีการใช้ออกซิเจน (aerobic) จึงทำให้บีโอดีมีความสัมพันธ์ต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (เกรียงศักดิ์, 2539; พุทธและคณิต, 2537) บีโอดีตลอดการทดลองที่แสดงไว้ในรูปที่ 10(ฉ) และตารางภาคผนวกที่ 3 พบว่าชุดควบคุม ชุดการทดลองที่เปลี่ยนถ่ายน้ำความถี่ 1, 2, 3 และ 4 วัน/ครั้ง มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ชุดการทดลองที่เปลี่ยนถ่ายน้ำความถี่ 3 วัน/ครั้ง มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด

เท่ากับ 0.41±0.26 มิลลิกรัม/ลิตร ชุดการทดลองที่เปลี่ยนถ่ายน้ำความถี่ 1 วัน/ครั้ง มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 0.32±0.27 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ความสัมพันธ์ของบีโอดีกับข้อมูลการเลี้ยงหอยทั้งหมดเมื่อสิ้นสุดการทดลองไม่มีนัยสำคัญ ($P>0.05$) ยกเว้นกับกำไรสุทธิมีความสัมพันธ์ในเชิงบวก ($r = 0.68$) อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$) (ตารางที่ 3) ปริมาณของบีโอดีที่ผันแปรตลอดระยะเวลาการทดลองในทุกชุดการทดลองครั้งนี้มีค่าตามเกณฑ์มาตรฐานของบีโอดีที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งกำหนดไว้เท่ากับ 0-3 มิลลิกรัม/ลิตร (คณิตและคณะ, 2537)

1.7.7 แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (NH_3-N) ที่แสดงไว้ในรูปที่ 10(ช) และตารางภาคผนวกที่ 3 พบว่าชุดควบคุมแตกต่างกับชุดการทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ชุดการทดลองที่เปลี่ยนถ่ายน้ำความถี่ 1 วัน/ครั้ง มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 0.052±0.052 มิลลิกรัม/ลิตร รองลงมา คือ ชุดการทดลองที่เปลี่ยนถ่ายน้ำความถี่ 4, 2, 3 วัน/ครั้ง และชุดควบคุมมีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุดเท่ากับ 0.050±0.045, 0.049±0.060, 0.047±0.037 และ 0.029±0.014 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ การเปลี่ยนถ่ายน้ำความถี่ต่างกันทำให้การสะสมแอมโมเนีย-ไนโตรเจนต่างกัน แต่ไม่มีผลกระทบต่อหอยที่เลี้ยงมากนักเนื่องจากความสัมพันธ์ของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนกับข้อมูลการเลี้ยงหอยทั้งหมดเมื่อสิ้นสุดการทดลองไม่มีนัยสำคัญ ($P>0.05$) (ตารางที่ 3) ปริมาณการสะสมของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเกิดจากปัจจัยหลายประการและเป็นตัวกำหนดขีดการให้ผลผลิตของสัตว์น้ำ (Harris *et al*., 1998) ผลจากการศึกษาครั้งนี้พบว่าปริมาณการเปลี่ยนถ่ายน้ำจัดเป็นปัจจัยสำคัญอีกประการหนึ่งที่สามารถกำหนดถึงปริมาณการสะสมของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่มีอยู่ในน้ำ โดยพบว่าในชุดควบคุมที่มีน้ำไหลผ่านตลอดเวลา สารอนินทรีย์ไนโตรเจนทั้งหมด (Inorganic nitrogen) ได้แก่ แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (NH_3-N) ไนไตรท์-ไนโตรเจน (NO_2^--N) และไนเตรต-ไนโตรเจน (NO_3^--N) ได้ถูกถ่ายเทออกไปพร้อมกับมวลน้ำอย่างต่อเนื่องและมีการสะสมน้อยที่สุด (ตารางภาคผนวกที่ 3) เมื่อนำปริมาณของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในทุกชุดการทดลองไปทำการประเมินเพื่อหาค่าแอมโมเนียที่อยู่ในรูปอิสระที่ระดับอุณหภูมิและความเป็นกรดเป็นด่างต่างๆ ซึ่งเสนอโดย Boyd (1990) พบว่าปริมาณแอมโมเนียในรูปอิสระในทุกชุดการทดลองมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยไม่มีผลกระทบต่อหอยที่ทดลอง มีรายงานว่าปริมาณความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่จัดอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อหอยเป๋าฮื้อควรมีไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร (Basuyaux and Mathieu, 1999) และความเป็นพิษที่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและอัตรารอดตายของหอยเป๋าฮื้อมีความเข้มข้นประมาณ 3.0 มิลลิกรัม/ลิตร ขึ้นไป (Fallu, 1991)

1.7.8 ไนไตรท์-ไนโตรเจน (NO_2^--N) ที่แสดงไว้ในรูปที่ 10(ซ) และตารางภาคผนวกที่ 3 พบว่าชุดควบคุม ชุดการทดลองที่เปลี่ยนถ่ายน้ำความถี่ 1, 2, 3 และ 4 วัน/ครั้ง มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ชุดการทดลองที่เปลี่ยนถ่ายน้ำความถี่ 4 วัน/ครั้ง มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 0.005±0.004 มิลลิกรัม/ลิตร ไม่แตกต่างกับชุดการทดลองที่เปลี่ยนถ่ายน้ำความถี่ 1 วัน/ครั้ง (0.004±0.005 มิลลิกรัม/ลิตร) ชุดการทดลองที่เปลี่ยนถ่ายน้ำความถี่ 2, 3 วัน/ครั้ง ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากัน คือ 0.003±0.004 มิลลิกรัม/ลิตร และชุดควบคุมมีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด เท่ากับ 0.002±0.003 มิลลิกรัม/ลิตร ความสัมพันธ์ของไนไตรท์-ไนโตรเจนกับข้อมูลการเลี้ยงหอยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าทั้งหมดไม่มีนัยสำคัญ ($P>0.05$) (ตารางที่ 3) ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนที่พบทุกชุดการทดลองอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อหอยเป๋าฮื้อ และมีรายงานว่าปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนในน้ำที่มีมากกว่า 5.0 มิลลิกรัม/ลิตร มีผลกระทบโดยตรงต่ออัตราการเจริญเติบโตของหอยเป๋าฮื้อที่เลี้ยง และปริมาณความเข้มข้นของไนไตรท์-ไนโตรเจนระดับที่ปลอดภัยต่อหอยเป๋าฮื้อควรมีไม่เกิน 5.0 มิลลิกรัม/ลิตร (Basuyaux and Mathieu, 1999)

1.7.9 ไนเตรต-ไนโตรเจน (NO_3^--N) ที่แสดงไว้ในรูปที่ 10(ฌ) และตารางภาคผนวกที่ 3 พบว่าชุดควบคุม ชุดการทดลองที่เปลี่ยนถ่ายน้ำความถี่ 1, 2, 3 และ 4 วัน/ครั้ง มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ชุดการทดลองที่เปลี่ยนถ่ายน้ำความถี่ 4 วัน/ครั้ง มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 0.008±0.006 มิลลิกรัม/ลิตร รองลงมา คือ ชุดการทดลองเปลี่ยนถ่ายน้ำที่มีความถี่ 1 วัน/ครั้ง (0.007±0.009 มิลลิกรัม/ลิตร) ชุดการทดลองเปลี่ยนถ่ายน้ำที่มีความถี่ 2 และ 3 วัน/ครั้ง มีค่าเฉลี่ยเท่ากัน คือ 0.006±0.006 มิลลิกรัม/ลิตร และชุดควบคุมมีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 0.005±0.007 มิลลิกรัม/ลิตร ไนเตรต-ไนโตรเจนกับข้อมูลการเลี้ยงหอยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าความสัมพันธ์ทั้งหมดไม่มีนัยสำคัญ ($P>0.05$) ยกเว้นมีความสัมพันธ์ ($P<0.05$) ในเชิงลบกับกำไรสุทธิ ($r = -0.56$) (ตารางที่ 3) ไนเตรต-ไนโตรเจนที่มีปริมาณมากจะเป็นอันตรายกับสัตว์น้ำโดยเฉพาะในกระบวนการ Osmoregulation ของสัตว์น้ำวัยอ่อนและระดับความปลอดภัยของไนเตรต-ไนโตรเจนที่ไม่มีผลกระทบต่อหอยเป๋าฮื้อควรอยู่ระหว่าง 100-250 มิลลิกรัม/ลิตร (Basuyaux and Mathieu, 1999)

1.7.10 ออร์โธฟอสเฟต (Ortho-P) ที่แสดงไว้ในรูปที่ 10(ญ) และตารางภาคผนวกที่ 3 พบว่าระหว่างชุดการทดลองมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ชุดการทดลองที่เปลี่ยนถ่ายน้ำความถี่ 3 และ 4 วัน/ครั้ง มีค่าเฉลี่ยเท่ากัน คือ 0.006±0.006 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งแตกต่างกับชุดควบคุมและชุดการทดลองที่เปลี่ยนถ่ายน้ำความถี่ 1, และ 2 วัน/ครั้ง ปริมาณ

ออร์โธฟอสเฟตของแต่ละความถี่การเปลี่ยนถ่ายน้ำกับข้อมูลการเลี้ยงหอยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าความสัมพันธ์ทั้งหมดไม่มีนัยสำคัญ ($P>0.05$) (ตารางที่ 3) ค่าเฉลี่ยที่พบดังกล่าวจัดอยู่ในช่วงปริมาณของออร์โธฟอสเฟตที่พบในแหล่งอาศัยตามธรรมชาติของหอยเป๋าฮื้อชนิด *H. asinina* ซึ่งรายงานโดย สิริและคณะ (2529) ที่พบอยู่ระหว่าง 0.000-0.100 มิลลิกรัม/ลิตร

1.7.11 ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ที่แสดงไว้ในรูปที่ 10(ฎ) และตารางภาคผนวกที่ 3 พบว่าทุกชุดการทดลองมีค่าแตกต่างกันโดยไม่มีนัยสำคัญ ($P>0.05$) ชุดควบคุมมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 26.52$\pm$6.62 มิลลิกรัม/ลิตร และการเปลี่ยนถ่ายน้ำความถี่ 2 วัน/ครั้ง มีปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 24.31$\pm$3.80 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ การเปลี่ยนถ่ายน้ำที่มีความถี่แตกต่างกันส่งผลให้ค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งแขวนลอยและข้อมูลผลการเลี้ยงหอยแตกต่างกันไม่มากนัก ค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดที่พบสูงสุดในชุดควบคุมมีค่าสูงกว่าเกณฑ์คุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำที่กำหนดของแข็งแขวนลอยทั้งหมดไว้ไม่เกิน 25.0 มิลลิกรัม/ลิตร (สมทิพย์และคณะ, 2541) และความสัมพันธ์ของปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดกับข้อมูลการเลี้ยงหอยทั้งหมดเมื่อสิ้นสุดการทดลองไม่มีนัยสำคัญ ($P>0.05$) ยกเว้นอัตราการเจริญเติบโตเพียงตัวแปรเดียวที่มีความสัมพันธ์ในเชิงลบ ($r = -0.54$) อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) (ตารางที่ 3) จะเห็นได้ว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดที่มีการสะสมมากขึ้นมีส่วนทำให้อัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนักของหอยเป๋าฮื้อลดลง ทั้งนี้เนื่องจากหอยเป๋าฮื้อที่พบในแหล่งธรรมชาติมักอาศัยอยู่ในบริเวณที่น้ำใสสะอาด หากมีของแข็งแขวนลอยทั้งหมดสะสมในปริมาณมากจะไปรบกวนระบบการหายใจของหอย ทำให้หอยอ่อนแอและกินอาหารน้อยลงส่งผลให้การเจริญเติบโตช้าลงได้ (นิพนธ์, 2543)

1.7.12 ปริมาณวิบริโอรวมในน้ำ (Total Vibrio) ที่แสดงไว้ในรูปที่ 10(ฎ) และตารางภาคผนวกที่ 3 พบว่าชุดควบคุมและชุดการทดลองที่เปลี่ยนถ่ายน้ำความถี่ 3 วัน/ครั้ง กับชุดการทดลองที่เปลี่ยนถ่ายน้ำความถี่ 1 วัน/ครั้ง มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) การเปลี่ยนถ่ายน้ำที่มีความถี่ 1 วัน/ครั้ง มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 213.60$\pm$493.51 cfu/ml รองลงมา คือ ชุดการทดลองที่เปลี่ยนถ่ายน้ำความถี่ 2, 4, 3 วัน/ครั้ง และชุดควบคุม ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 131.73$\pm$162.01, 123.03$\pm$375.55, 64.40$\pm$119.05 และ 56.09$\pm$86.55 cfu/ml ตามลำดับ ปริมาณวิบริโอรวมในน้ำของแต่ละความถี่การเปลี่ยนถ่ายน้ำกับข้อมูลการเลี้ยงหอยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าความสัมพันธ์ทั้งหมดไม่มีนัยสำคัญ ($P>0.05$) (ตารางที่ 3) ปริมาณเชื้อวิบริโอรวมในน้ำทุกชุดการทดลองอยู่ในระดับที่ปลอดภัยที่ยังไม่มีผลกระทบต่อการเลี้ยงหอยเป๋าฮื้อ มีรายงานว่าสาเหตุการก่อโรคติดเชื้อกลุ่มวิบริโอที่พบโดยทั่วไป

เกิดมาจากการเลี้ยงที่มีความหนาแน่นมากเกินไปและไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำอย่างเพียงพอ ก่อให้เกิดการสะสมของสารอินทรีย์และของเสียในปริมาณมาก หากเกิดการเน่าเสียทำให้คุณภาพน้ำสกปรกเป็นที่หมักหมมของเชื้อโรค (นันทริกา, 2541) โดยทั่วไปในโรงเพาะฟักที่มีปริมาณเชื้อวิบริโอสูงเกินไปมักก่อให้เกิดโรคได้เสมอ แต่หากรักษาระดับปริมาณวิบริโอไม่ให้เกินกว่า 10^2 cfu/ml ได้ในทุกขั้นตอนสามารถลดปัญหาการก่อโรคได้ (Jeffries, 1982) นอกจากนี้ Anguiano และคณะ (1998) กล่าวเพิ่มเติมว่าปริมาณเชื้อ *V. alginolyticus* ที่มีมากกว่า 10^5 cfu/ml ทำให้หอยเป๋าฮื้อระยะวัยรุ่นเกิดการตายเป็นอย่างมากภายใน 24 ชั่วโมง

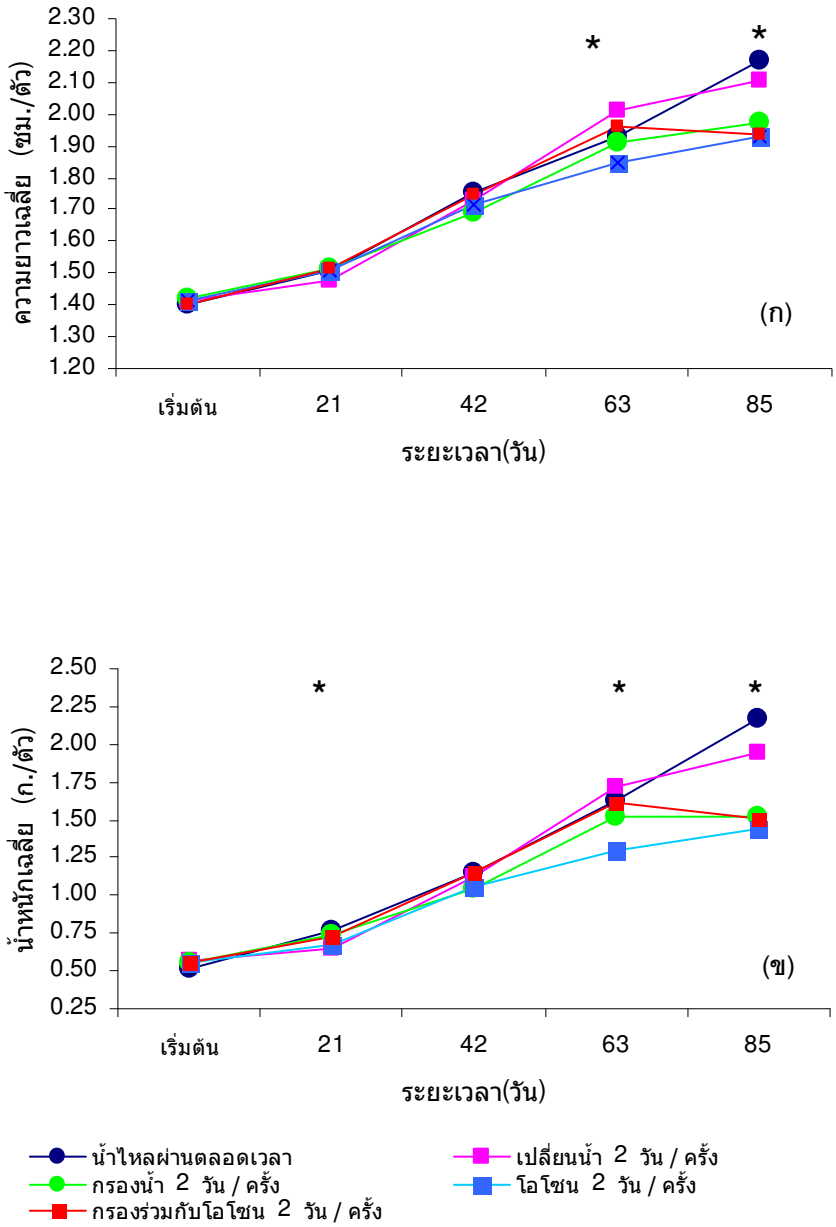
2. การเลี้ยงหอยเป๋าฮื้อระยะวัยรุ่นที่ระดับความหนาแน่นเชิงพาณิชย์ โดยใช้ระบบน้ำหมุนเวียน

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอดโดยแบ่งการทดลองออกเป็น 5 ชุดการทดลองๆ ละ 3 ซ้ำ ประกอบด้วย ชุดการทดลองที่ 1 เปลี่ยนถ่ายน้ำโดยให้น้ำไหลผ่านตลอดเวลาในอัตรา 0.1 ลิตร/นาที ชุดการทดลองที่ 2 เปลี่ยนถ่ายน้ำอัตรา 100% ความถี่ 2 วัน/ครั้ง ชุดการทดลองที่ 3, 4 และ 5 บำบัดและหมุนเวียนน้ำด้วยวิธีการกรอง การใช้โอโซน และการกรองร่วมกับการใช้โอโซน ตามลำดับ ใช้ความถี่บำบัดและหมุนเวียนน้ำ 2 วัน/ครั้ง ซึ่งเป็นผลที่ได้จากการทดลองที่ 1 ของระดับความถี่การเปลี่ยนถ่ายน้ำที่มีค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโตโดยความยาวเปลือก การเจริญเติบโตโดยน้ำหนักตัวรวมเปลือก อัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนัก ผลผลิตของน้ำหนักต่อพื้นที่ของหอย และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อดีที่สุด รวมทั้งตัวแปรคุณภาพน้ำทุกตัวแปรตลอดการทดลองของชุดการทดลองดังกล่าวมีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงหอยเป๋าฮื้อ การทดลองครั้งนี้ใช้ลูกหอยเป๋าฮื้อระยะวัยรุ่นชนิด *H. asinina* อายุประมาณ 90 วัน มีความยาวเปลือกเฉลี่ย เท่ากับ 1.408 ± 0.143 เซนติเมตร/ตัว และน้ำหนักตัวรวมเปลือกเฉลี่ย (น้ำหนักเปียก) เท่ากับ 0.54 ± 0.17 กรัม/ตัว สุ่มชั่ง-วัดหอยห่างกันทุก 3 สัปดาห์ การเก็บรวบรวมข้อมูลทั้งหมดกระทำต่อเนื่องกันจนสิ้นสุดการทดลองตั้งแต่วันที่ 14 ธันวาคม 2547 ถึงวันที่ 8 มีนาคม 2548 เป็นเวลา 85 วัน ตลอดการทดลองให้สาหร่ายหนามเป็นอาหารและตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำทุก 2 วัน (ก่อนการบำบัด เวลา 08.30-09.00 น. และหลังการบำบัด เวลา 13.30-14.00 น.) มีผลการทดลองดังนี้

2.1 การเจริญเติบโต จากการสุ่มตัวอย่างลูกหอยเป๋าฮื้อในแต่ละชุดการทดลองจำนวน 30 ตัวต่อตู้ (10% ของจำนวนหอยทั้งหมด) เมื่อเริ่มต้นการทดลองความยาวเปลือกเฉลี่ยและน้ำหนักตัวรวมเปลือกเฉลี่ย (น้ำหนักเปียก) ในแต่ละชุดการทดลองไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$) โดยความยาวเปลือกเริ่มต้นอยู่ในช่วง 1.398-1.419 เซนติเมตร/ตัว (ตารางภาคผนวกที่ 5)

ส่วนน้ำหนักตัวรวมเปลือกซึ่งเป็นน้ำหนักเปียกอยู่ในช่วง 0.51-0.56 กรัม/ตัว (ตารางภาคผนวกที่ 6) จากการสุ่มชั่ง-วัดในแต่ละชุดการทดลองทุก 3 สัปดาห์ ต่อเนื่องไปจนสิ้นสุดการทดลองที่แสดงไว้ในตารางภาคผนวกที่ 5 และ รูปที่ 11(ก) พบว่า การเจริญเติบโตโดยความยาวเปลือกที่ระยะเวลา 63 วัน และ 85 วัน แตกต่างกันระหว่างชุดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ในชุดการทดลองที่ 1 (2.167$\pm$0.234 เซนติเมตร/ตัว) และมีค่าไม่แตกต่างกับชุดการทดลองที่ 2 ซึ่งเปลี่ยนถ่ายน้ำอัตรา 100% ความถี่ 2 วัน/ครั้ง (2.103$\pm$0.233 เซนติเมตร/ตัว) แต่มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าชุดการทดลองที่บำบัดและหมุนเวียนน้ำโดยระบบกรอง การใช้โอโซน และการกรองร่วมกับการใช้โอโซน ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.975$\pm$0.290, 1.932$\pm$0.259 และ 1.933$\pm$0.282 เซนติเมตร/ตัว ตามลำดับ ส่วนการเจริญเติบโตโดยน้ำหนักตัวรวมเปลือกเฉลี่ยของแต่ละชุดการทดลองที่แสดงไว้ในตารางภาคผนวกที่ 6 และ รูปที่ 11(ข) ที่ระยะเวลา 21, 63 และ 85 วัน มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P <0.05$) เมื่อสิ้นสุดการทดลองการเจริญเติบโตโดยน้ำหนักเฉลี่ยในชุดการทดลองที่ 1 มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด (2.17$\pm$0.78 กรัม/ตัว) และชุดการทดลองที่ใช้โอโซนมีค่าเฉลี่ยต่ำสุด (1.44$\pm$0.70 กรัม/ตัว) ผลจากการศึกษาครั้งนี้จะเห็นได้ว่าการเจริญเติบโตโดยความยาวเปลือกของหอยทุกชุดการทดลองมีค่าเฉลี่ยน้อยกว่า ธานินทร (2534) ที่รายงานว่าลูกหอยเมื่อมีอายุ 150 วัน และ 180 วัน ควรมีค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโตโดยความยาวเปลือก เท่ากับ 2.310 และ 3.014 เซนติเมตร/ตัว ตามลำดับ

พอสรุปได้ว่าการเลี้ยงหอยเป๋าฮื้อระยะวัยรุ่นในระบบเปิดการเจริญเติบโตทั้งในด้านความยาวของเปลือกและน้ำหนักตัวรวมเปลือกดีกว่าการเลี้ยงในระบบปิด สอดคล้องกับรายงานของ ธานินทร (2536) ที่พบว่าการใช้ระบบน้ำไหลเวียนหรือระบบเปิดที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำอย่างต่อเนื่อง ส่งผลทำให้หอยเป๋าฮื้อเจริญเติบโตดีกว่าและแตกต่างกับการเลี้ยงในระบบปิดหมุนเวียนโดยเฉพาะการเจริญเติบโตเริ่มแสดงผลแตกต่างกันเมื่อการทดลองผ่านไปเพียง 15 วัน หอยที่เลี้ยงในระบบเปิดเมื่อมีอายุ 150 วัน มีความยาวเฉลี่ยเท่ากับ 2.208 เซนติเมตร/ตัว และมีน้ำหนักตัวเฉลี่ยเท่ากับ 2.083 กรัม/ตัว แต่ในเวลาเดียวกันหอยที่เลี้ยงในระบบน้ำนิ่งหรือระบบปิดกลับมีความยาวเปลือกเฉลี่ยเท่ากับ 1.944 เซนติเมตร/ตัว และมีน้ำหนักตัวเฉลี่ยเท่ากับ 1.26 กรัม/ตัว



* มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$)

รูปที่ 11 การเจริญเติบโตโดย (ก) ความยาวเปลือกเฉลี่ย และ (ข) น้ำหนักตัวรวมเปลือกเฉลี่ยของหอยเป๋าฮื้อระยะวัยรุ่นที่ระดับความหนาแน่นเชิงพาณิชย์ โดยใช้ระบบน้ำหมุนเวียนเป็นระยะเวลา 85 วัน

2.2 อัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนัก (WGR) ที่เลี้ยงในชุดการทดลองที่ 1-5 เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ชุดการทดลองที่ 1 มีอัตราการเจริญเติบโตสูงที่สุด (0.002±0.002 กรัม/วัน) ซึ่งไม่แตกต่างกับชุดการทดลองที่ 2 (0.002±0.003 กรัม/วัน) แต่แตกต่างกับการเลี้ยงในระบบบำบัดและหมุนเวียนน้ำโดยการใช้ระบบกรอง (0.001±0.002 กรัม/วัน) การใช้โอโซน (0.001±0.003 กรัม/วัน) และการกรองร่วมกับการใช้โอโซน (0.001±0.003 กรัม/วัน) (ตารางที่ 4) Chen (1984) รายงานว่าการเลี้ยงหอยเป๋าฮื้อชนิด *H. diversicolor* ในระบบน้ำที่ไม่มีการถ่ายเทหรือถ่ายเทน้อยจะทำให้อัตราการเจริญเติบโตของหอยลดลง เนื่องจากการเจริญเติบโตของหอยมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับคุณภาพน้ำที่สะอาดมาก และคุณภาพน้ำที่ดีควรมีการสะสมของสารอินทรีย์และเชื้อแบคทีเรียในปริมาณน้อย โดยเฉพาะภายใต้อากาศร้อนอย่างประเทศไทยทำให้สิ่งขับถ่ายและเศษอาหารที่ตกค้างหลงเหลือจากการกินของหอยจะเน่าเปื่อยได้ง่าย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำความสะอาดพื้นที่อยู่อาศัยของหอยอย่างสม่ำเสมอและควรมีการกรองน้ำให้สะอาดก่อนใช้เลี้ยง รวมทั้งการเปลี่ยนถ่ายน้ำในอัตราสูงสามารถทำให้การเจริญเติบโตดีกว่าการเปลี่ยนถ่ายน้ำที่มีอัตราน้อยกว่า แต่ทั้งนี้ความเค็มของน้ำไม่ควรผันแปรมากนัก จากการศึกษาครั้งนี้จะเห็นได้ว่าหอยที่ทดลองทั้งหมดมีอัตราการเจริญเติบโตค่อนข้างต่ำ อาจจะมีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนถ่ายน้ำในแต่ละครั้งรวมทั้งการใช้ระยะเวลาและอัตราการบำบัดน้อยกว่างานวิจัยอื่นๆ ทั้งนี้เพื่อต้องการลดต้นทุนการผลิตในด้านการจัดการคุณภาพน้ำให้ได้มากที่สุด อย่างไรก็ตามอัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนักของหอยทุกชุดการทดลองยังจัดอยู่ในเกณฑ์ปกติเมื่อเปรียบเทียบกับ ธานินทร (2534) และ Bautista-Teruel และ Millamena (1999) ดังนั้นการใช้น้ำที่ผ่านการบำบัดในระบบปิดทั้ง 3 ระบบ ตลอดช่วงระยะเวลา 85 วัน ไม่มีผลกระทบต่ออัตราการเจริญเติบโตของหอยเป๋าฮื้อระยะวัยรุ่นมากนัก

2.3 อัตราการรอดตายของหอย (SURVR) พบว่าชุดการทดลองที่ 1-5 เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) โดยชุดการทดลองที่ 1 มีอัตราการรอดตายสูงสุด (86.66±0.58%) ชุดการทดลองที่ 3 ใช้ระบบการกรองน้ำมีอัตรการรอดตายต่ำที่สุด (70.00±6.64%) (ตารางที่ 4) โดยทั่วไปการตายของหอยเป๋าฮื้อในระหว่างการเลี้ยงมีหลายสาเหตุ เช่น การเปลี่ยนแปลงของระดับความเค็ม (Singhagraiwan and Doi, 1992) การเกิดภาวะมลพิษในแหล่งเลี้ยงที่นำไปสู่การแพร่ระบาดของโรค (นันทริกา, 2541) จากการสังเกตลักษณะการตายของหอยทุกชุดการทดลองตลอดการทดลองมีลักษณะเช่นเดียวกับผลของการทดลองที่ 1 คือ หลังจากแกะหอยออกจากวัสดุที่ยึดเกาะเพื่อนำมาสุ่มชั่ง-วัดมักมีหอยตายในวันถัดมาและตายติดต่อกัน 2-3 วัน ต่อจากนั้นปริมาณการตายของหอยจะลดลงและหยุดตาย

สอดคล้องกับ ทรงชัยและธเนศ (2539) รายงานว่าการบาดเจ็บเป็นแผลที่มาจากการจับย้ายทำให้หอยอ่อนแอ มีอาการท้องบวม การบาดเจ็บทำให้ติดเชื้อได้ง่ายและตายในที่สุด เมื่อทำการตรวจสอบเชื้อส่วนใหญ่พบว่าเป็นพวก *Vibrio* sp. จากการตรวจสอบคุณภาพน้ำที่พบในการทดลองครั้งนี้ทั้งก่อนและหลังการบำบัด (ตารางภาคผนวกที่ 7) คุณภาพน้ำในทุกตัวแปรจัดอยู่ในระดับที่เหมาะต่อการเลี้ยงหอยเป๋าฮื้อ (ตารางภาคผนวกที่ 9) ดังนั้นการตายของหอยที่ทดลองอาจจะมีสาเหตุมาจากการบาดเจ็บและบอบช้ำจากการแกะหอยในขณะที่ทำการสุ่มชั่ง-วัดมากกว่าการได้รับผลกระทบที่มาจากสาเหตุอื่นๆ ดังที่กล่าวข้างต้น

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ย (Mean±SD) อัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนัก (WGR) อัตราการรอดตาย (SURVR) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) ผลผลิตของน้ำหนักต่อพื้นที่ (PRODUCT) และกำไรสุทธิจากการเลี้ยงหอยเป๋าฮื้อที่ระดับความหนาแน่นเชิงพาณิชย์ โดยใช้ระบบน้ำหมุนเวียนเป็นระยะเวลา 85 วัน

ข้อมูลผลการเลี้ยง	ชุดการทดลอง				
	น้ำไหลผ่านตลอดเวลา	เปลี่ยนถ่ายน้ำ 2 วัน/ครั้ง	กรองน้ำบำบัด 2 วัน/ครั้ง	โอโซนบำบัด 2 วัน/ครั้ง	กรองร่วมกับโอโซนบำบัด 2 วัน/ครั้ง
WGR (กรัม/วัน)	0.002±0.002 [c]	0.002±0.003 [bc]	0.001±0.002 [ab]	0.001±0.003 [a]	0.001±0.003 [ab]
SURVR (%)	86.66±0.58 [c]	83.33±4.51 [bc]	70.00±6.64 [a]	80.22±1.39 [bc]	77.44±4.11 [b]
FCR	6.81±0.60 [a]	8.76±1.69 [a]	16.43±5.99 [b]	13.37±4.05 [ab]	14.15±4.65 [ab]
PRODUCT (กรัม/ตารางเมตร)	1,665.34±103.06 [b]	1,445.09±149.38 [b]	962.07±176.32 [a]	1,036.93±129.37 [a]	1,051.67±171.09 [a]
กำไรสุทธิ (บาท/ตัว)	4.16±0.11 [a]	6.67±0.72 [bc]	6.08±1.25 [b]	7.86±0.21 [c]	7.37±0.66 [bc]

ในแนวนอนค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษที่เหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

2.4 อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของหอย (FCR) เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ชุดการทดลองที่ใช้การกรองน้ำมีค่า FCR สูงที่สุด (16.43±5.99) และชุดการทดลองที่ 1 มีค่า FCR ต่ำที่สุด (6.81±0.60) (ตารางที่ 4) มีแนวโน้มที่เป็นไปได้ว่าการเปลี่ยนถ่ายน้ำที่นำน้ำใหม่เข้ามาแทนที่น้ำเก่าแต่ละครั้งของระบบเปิด

สามารถนำสารอาหารที่มีประโยชน์เข้ามาให้หอยใช้ได้ ในทางตรงกันข้ามการเลี้ยงระบบปิดที่ใช้ระยะเวลาติดต่อกันเป็นเวลานานๆ อาจจะทำให้สารอาหารหรือแร่ธาตุต่างๆที่ละลายอยู่ในน้ำบางชนิดมีปริมาณลดลงเนื่องจากหอยได้นำไปใช้เป็นประโยชน์เพื่อการดำรงชีวิตอยู่ตลอดเวลา (มะลิ, 2545) การได้รับสารอาหารที่อยู่ในน้ำไม่เพียงพอทำให้เกิดสภาวะการขาดสารอาหารหรือขาดแร่ธาตุได้และเป็นมูลเหตุสำคัญที่หอยต้องกินอาหารเพิ่มปริมาณมากขึ้น ทั้งนี้เพื่อชดเชยต่อสภาวะการขาดสารอาหารที่เกิดขึ้นดังกล่าว นอกจากนี้จากการสังเกตลักษณะของเปลือกหอยในตู้ทดลองและขณะทำการสุ่มชั่ง-วัด พบว่าเปลือกหอยที่เลี้ยงในระบบปิดมีความหนาน้อยกว่าและแตกหักได้ง่ายกว่าเปลือกหอยที่เลี้ยงในระบบเปิด และสีของเปลือกหอยที่เลี้ยงในระบบปิดมีสีขาวซีดจางลงเมื่อผ่านการทดลองไปประมาณ 42 วัน ซึ่งแตกต่างไปจากสีของเปลือกหอยที่เลี้ยงในระบบเปิดหรือสีของเปลือกหอยที่พบอยู่ตามแหล่งธรรมชาติที่เปลือกมีสีเขียวมะกอกหรือสีเขียวปนน้ำตาล (อนุวัฒน์และฮิลลิแบร์ก, 2529)

2.5 ผลผลิตของน้ำหนักต่อพื้นที่ (PRODUCT) เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีทิศทางเช่นเดียวกับการเจริญเติบโตของหอย กล่าวคือ การเลี้ยงหอยในระบบเปิดของชุดการทดลองที่ 1 สามารถให้ผลผลิตของน้ำหนักต่อพื้นที่สูงกว่าการเลี้ยงในระบบปิดหมุนเวียนที่มีการบำบัดน้ำทั้ง 3 ระบบอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ชุดการทดลองที่ 1 มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด (1,665.34$\pm$103.06 กรัม/ตารางเมตร) ไม่แตกต่างกับชุดการทดลองที่ 2 (1,445.09$\pm$149.38 กรัม/ตารางเมตร) แต่แตกต่างกับชุดการทดลองที่ 5 (1,051.67$\pm$171.09 กรัม/ตารางเมตร), ชุดการทดลองที่ 4 (1,036.93$\pm$129.37 กรัม/ตารางเมตร) และชุดการทดลองที่ 3 (962.07$\pm$176.32 กรัม/ตารางเมตร) ตามลำดับ (ตารางที่ 4) ความสัมพันธ์ของตัวแปรคุณภาพน้ำซึ่งเป็นผลมาจากการเลี้ยงหอยในระบบการเปลี่ยนถ่ายน้ำและระบบบำบัดที่ต่างกันจะเห็นได้ว่า ความเค็ม และความเป็นกรดเป็นด่าง มีความสัมพันธ์ในเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$) กับผลผลิตของน้ำหนักต่อพื้นที่ (ตารางที่ 5) อธิบายได้ว่าผลผลิตของน้ำหนักต่อพื้นที่ของหอยมีค่าสูงขึ้นเมื่อระดับความเค็มและความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มขึ้น โดยสอดคล้องกับผลที่พบว่าความเค็มและความเป็นกรดเป็นด่างในชุดการทดลองที่ 1 และชุดการทดลองที่ 2 มีค่าสูงและแตกต่างจากชุดการทดลองอื่นๆ (ตารางภาคผนวกที่ 7) และมีผลผลิตของน้ำหนักต่อพื้นที่มากกว่าชุดการทดลองอื่นๆ

ตารางที่ 5 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ของตัวแปรคุณภาพน้ำในแต่ละชุดการทดลองทั้งก่อนการบำบัดและหลังการบำบัดกับการเจริญเติบโตโดยความยาวเปลือก (BLF) การเจริญเติบโตโดยน้ำหนัก (BWF) อัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนัก (WGR) อัตราการรอดตาย (SURVR) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) ผลผลิตของน้ำหนักต่อพื้นที่ (PRODUCT) และกำไรสุทธิจากการเลี้ยงหอยเป๋าฮื้อเมื่อสิ้นสุดการทดลอง เป็นเวลา 85 วัน

คุณภาพน้ำ		BLF	BWF	WGR	SURVR	PRODUCT	FCR	กำไรสุทธิ
Temp	ก่อนบำบัด	-0.56*	-0.60*	-0.64*	-0.23	-0.56*	0.43	0.54*
	หลังบำบัด	-0.52*	-0.50	-0.45	-0.50	-0.53*	0.58*	0.06
Salinity	ก่อนบำบัด	0.76**	0.81**	0.77**	0.65**	0.85**	-0.68**	-0.57*
	หลังบำบัด	0.74**	0.78**	0.75**	0.66**	0.83**	-0.66**	-0.56*
pH	ก่อนบำบัด	0.75**	0.79**	0.76**	0.58*	0.81**	-0.61*	-0.68**
	หลังบำบัด	0.73**	0.74**	0.69**	0.61*	0.78**	-0.63*	-0.50
Alkalinity	ก่อนบำบัด	0.23	0.23	0.21	-0.37	0.06	0.05	-0.39
	หลังบำบัด	-0.19	-0.26	-0.25	-0.68**	-0.42	0.43	-0.13
DO	ก่อนบำบัด	-0.23	-0.28	-0.29	-0.64*	-0.43	0.44	0.05
	หลังบำบัด	-0.63*	-0.71**	-0.71**	-0.57*	-0.74**	0.63*	0.45
BOD_5	ก่อนบำบัด	-0.13	-0.21	-0.20	-0.33	-0.29	0.03	0.60*
	หลังบำบัด	-0.15	-0.18	-0.18	0.13	-0.10	-0.05	0.58*
NH_3-N	ก่อนบำบัด	-0.69**	-0.71**	-0.73**	-0.74**	-0.79**	0.79**	0.45
	หลังบำบัด	-0.66**	-0.68**	-0.68**	-0.82**	-0.79**	0.82**	0.27
NO_2^--N	ก่อนบำบัด	-0.84**	-0.87**	-0.84**	-0.63*	-0.89**	0.72**	0.66**
	หลังบำบัด	-0.83**	-0.86**	-0.82**	-0.61*	-0.87**	0.71**	0.63*
NO_3^--N	ก่อนบำบัด	-0.72**	-0.78**	-0.74**	-0.63*	-0.82**	0.63*	0.60*
	หลังบำบัด	-0.65**	-0.72**	-0.66**	-0.58*	-0.76**	0.54*	0.57*
PO_4^{3-}-P	ก่อนบำบัด	0.31	0.28	0.31	0.37	0.35	-0.27	-0.06
	หลังบำบัด	-0.80**	-0.80**	-0.76**	-0.79**	-0.87**	0.81**	0.36
TSS	ก่อนบำบัด	0.25	0.33	0.32	0.38	0.38	-0.31	-0.04
	หลังบำบัด	0.24	0.35	0.36	0.36	0.39	-0.37	-0.27
Total Vibrio	ก่อนบำบัด	0.52*	0.52*	0.50	-0.12	0.37	-0.25	-0.55*
	หลังบำบัด	0.61*	0.63*	0.63*	0.63*	0.60*	-0.34	-1.00**

*มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) **มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$)

ในเวลาเดียวกันพบว่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ไนไตรท์-ไนโตรเจน ไนเตรต-ไนโตรเจน และออร์โธฟอสเฟต หลังการบำบัดที่มีค่าลดลงก็จะส่งผลทำให้ผลผลิตของน้ำหนักต่อพื้นที่มีค่าเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากมีความสัมพันธ์ในเชิงลบอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$) กับผลผลิตของน้ำหนักต่อพื้นที่

2.6 ต้นทุนการผลิตและผลตอบแทน ในการอนุบาลลูกหอยเป๋าฮื้อระยะวัยรุ่นที่มีอายุประมาณ 90 วัน เป็นระยะเวลา 85 วัน แสดงไว้ในตารางภาคผนวกที่ 8 โดยต้นทุนการผลิตทั้งหมดแยกออกเป็น 2 ประเภท คือ ต้นทุนผันแปรและต้นทุนคงที่ เมื่อนำต้นทุนการผลิตทั้งสองประเภทมารวมกันและเปรียบเทียบข้อมูลทางสถิติ พบว่าต้นทุนการผลิตทั้งหมดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดอยู่ในชุดการทดลองที่ 1 (15.84$\pm$0.00 บาท/ตัว) รองลงมา คือ ชุดการทดลองที่ 3, 2, 5 และ 4 ตามลำดับ การประเมินผลตอบแทนซึ่งเป็นรายได้จากการจำหน่ายหอยที่รอดตายทั้งหมดของแต่ละชุดการทดลองราคาเฉลี่ย 20 บาท/ตัว มาหักลบกับต้นทุนการผลิตทั้งหมดในแต่ละชุดการทดลองได้เป็นผลกำไรสุทธิ พบว่าผลกำไรสุทธิแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) โดยชุดการทดลองที่ 4 ที่บำบัดน้ำด้วยโอโซนมีกำไรสุทธิสูงที่สุด (7.86$\pm$0.21 บาท/ตัว) และชุดการทดลองที่ 1 มีกำไรสุทธิน้อยที่สุด (4.16$\pm$0.11 บาท/ตัว) (ตารางที่ 4) เนื่องจากต้นทุนผันแปรของค่าน้ำทะเลที่ใช้ในการเปลี่ยนถ่ายน้ำซึ่งให้น้ำไหลผ่านตลอดเวลาการทดลองมีค่าสูงกว่าชุดการทดลองอื่นๆ คิดเป็นเงินทั้งหมด 1,224.00 บาท สูงกว่าชุดการทดลองที่ 2 ที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ 100% ความถี่ 2 วัน/ครั้ง ที่ใช้เงินค่าน้ำทะเลตลอดการทดลองเท่ากับ 430.00 บาท และมีค่าสูงกว่าชุดการทดลองที่ 3, 4 และ 5 ที่เลี้ยงในระบบปิดหมุนเวียนซึ่งใช้เงินค่าน้ำทะเลตลอดการทดลองเท่ากันคิดเป็นเงินเท่ากับ 4.00 บาท อย่างไรก็ตามเมื่อนำต้นทุนการผลิตทั้งหมดมารวมกันและหาค่าเฉลี่ยพบว่าชุดการทดลองที่ 4 มีต้นทุนการผลิตเฉลี่ยต่อตัวน้อยที่สุด (12.14 บาท/ตัว) มีอัตราการรอดตายใกล้เคียงกับชุดการทดลองอื่นๆ จึงทำให้มีผลกำไรสุทธิมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองอื่นๆ (ตารางภาคผนวกที่ 8)

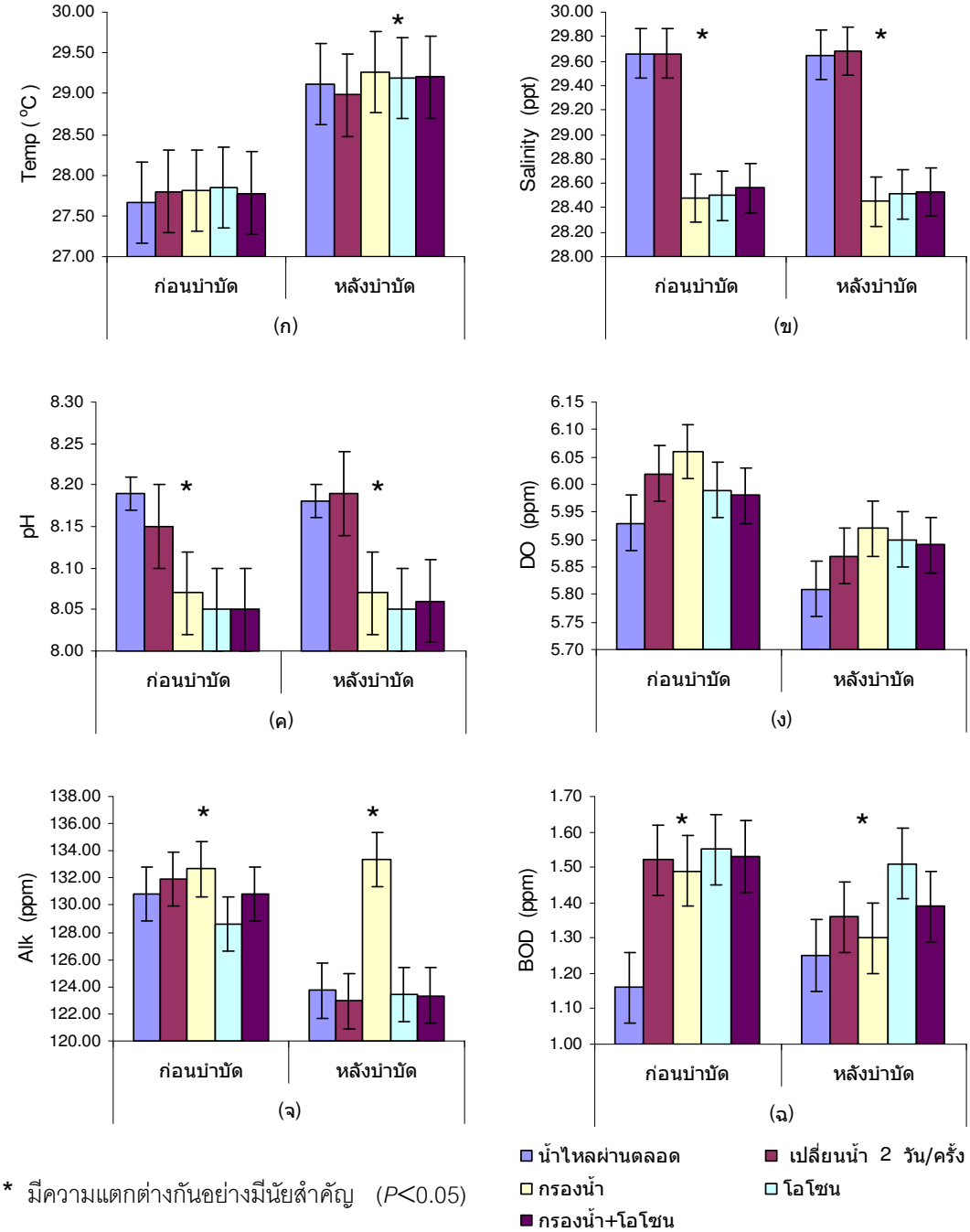
2.7 ข้อมูลคุณภาพน้ำ

ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตัวแปรของคุณภาพน้ำทุกตัวแปรในชุดการทดลองที่ 1-5 โดยค่าเฉลี่ยตัวแปรคุณภาพน้ำทุกตัวแปรเมื่อเริ่มต้นการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) (ตารางภาคผนวกที่ 7) ค่าเฉลี่ยตัวแปรคุณภาพน้ำและสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรคุณภาพ

น้ำกับข้อมูลผลการเลี้ยงหอยในแต่ละชุดการทดลองทั้งก่อนและหลังการบำบัดเมื่อสิ้นสุดการทดลอง มีดังนี้

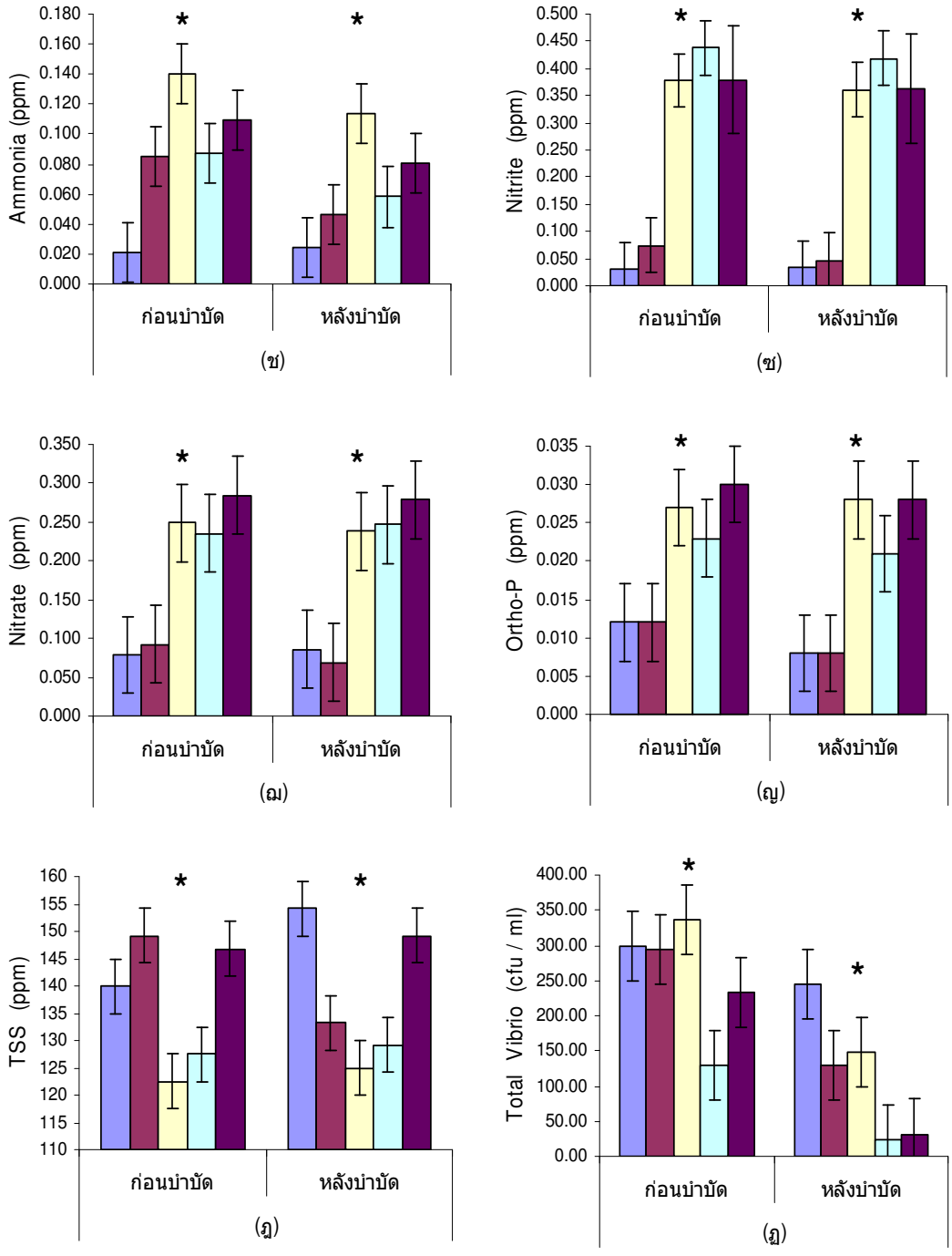
2.7.1 อุณหภูมิน้ำ (Temp) ก่อนการบำบัดในแต่ละชุดการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) การบำบัดน้ำโดยใช้โอโซนเพียงอย่างเดียวมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด (27.85$\pm$0.80 °C) และชุดควบคุมที่มีน้ำไหลผ่านตลอดเวลามีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด (27.66$\pm$0.80 °C) (รูปที่ 12(ก) และตารางภาคผนวกที่ 7) อุณหภูมิน้ำก่อนการบำบัดตลอดระยะเวลาการทดลองพบว่ามีความสัมพันธ์ในเชิงลบสูงที่สุดกับอัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนัก (r = -0.64) รองลงมากับการเจริญเติบโตโดยน้ำหนัก (r = -0.60) การเจริญเติบโตโดยความยาวเปลือก (r = -0.56) และผลผลิตของน้ำหนักต่อพื้นที่ (r = -0.56) อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับกำไรสุทธิ (r = 0.54) อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) (ตารางที่ 5) ส่วนอุณหภูมิน้ำหลังการบำบัดในชุดการทดลองที่ 3 มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด (29.26$\pm$0.69 °C) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) กับชุดการทดลองที่ 2 (28.98$\pm$0.73 °C) (รูปที่ 12(ก) และตารางภาคผนวกที่ 7) อุณหภูมิน้ำหลังการบำบัดมีความสัมพันธ์ในเชิงลบสูงที่สุดกับผลผลิตของน้ำหนักต่อพื้นที่ (r = -0.53) รองลงมามีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตความยาวเปลือก (r = -0.52) อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) (ตารางที่ 5) ส่วนประสิทธิภาพในการบำบัดอุณหภูมิน้ำเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าทุกชุดการทดลองมีประสิทธิภาพในการบำบัดเป็นลบและมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) การกรองร่วมกับการใช้โอโซนมีประสิทธิภาพการบำบัดสูงที่สุด (-3.45$\pm$3.00%) และชุดการทดลองที่ 1 มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ -5.30$\pm$0.47% (ตารางที่ 6)

การเลี้ยงหอยในระบบบำบัดและการเปลี่ยนถ่ายน้ำแตกต่างกันส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับอุณหภูมิถึงแม้เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยแต่มีอิทธิพลต่อการดำรงชีวิตของหอยได้อย่าง ชัดเจน ผลจากการทดลองครั้งนี้จะเห็นได้ว่าการเลี้ยงที่มีการถ่ายเทน้ำในชุดการทดลองที่ 1 และ 2 มีส่วนทำให้ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำต่ำกว่าการเลี้ยงในระบบปิดเพียงเล็กน้อย อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับหอยเป๋าฮื้อสายพันธุ์ *H. asinina* ซึ่งจัดเป็นหอยที่อยู่ในเขตอบอุ่นและเป็นพันธุ์พื้นเมืองของประเทศไทยต้องการอุณหภูมิในช่วง 27-31 °C หากอุณหภูมิต่ำจะทำให้หอยเจริญเติบโตช้าและหากต่ำกว่า 24 °C หอยจะกินอาหารน้อยลง ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิจัดเป็นคุณภาพน้ำทางกายภาพที่มีความสำคัญต่อกระบวนการเมตาโบลิซึมและกระบวนการทางชีวเคมีในร่างกายของหอย (Fallu, 1991; Britz *et al.*, 1997; Poomtong *et al.,* 1998)



* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

รูปที่ 12 คุณภาพน้ำ (ก) อุณหภูมิ (ข) ความเค็ม (ค) ความเป็นกรดเป็นด่าง (ง) ออกซิเจนละลายน้ำ (จ) ความเป็นด่าง (ฉ) บีโอดี (ช) แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (ซ) ไนไตรท์-ไนโตรเจน (ฌ) ไนเตรต-ไนโตรเจน (ญ) ออร์โธฟอสเฟต (ฎ) ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด และ (ฏ) ปริมาณวิบริโอรวม ในน้ำของแต่ละชุดการทดลองที่เลี้ยงหอยเป๋าฮื้อด้วยระดับความหนาแน่นเชิงพาณิชย์โดยใช้ระบบน้ำหมุนเวียน เป็นระยะเวลา 85 วัน



* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

รูปที่ 12 (ต่อ)

ตารางที่ 6 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำ (Mean±SD : %) แต่ละชุดการทดลองที่เลี้ยงหอยเป๋าฮื้อในระดับความหนาแน่นเชิงพาณิชย์โดยใช้ระบบน้ำหมุนเวียนเป็นระยะเวลา 85 วัน

ตัวแปรคุณภาพน้ำ	ชุดการทดลอง				
	น้ำไหลผ่านตลอดเวลา	เปลี่ยนถ่ายน้ำ 2 วัน/ครั้ง	กรองน้ำบำบัด 2 วัน/ครั้ง	โอโซนบำบัด 2 วัน/ครั้ง	กรองน้ำ+โอโซนบำบัด 2 วัน/ครั้ง
Temp	-5.30±0.47 [a]	-4.26±0.29 [a]	-5.22±0.60 [a]	-4.84±0.44 [a]	-3.45±3.00 [a]
Salinity	-0.03±0.06 [a]	-0.07±0.06 [a]	0.12±0.20 [a]	-0.04±0.06 [a]	0.12±0.20 [a]
pH	0.12±0.00 [b]	-0.57±0.26 [a]	0.04±0.07 [b]	-0.08±0.07 [b]	-0.17±0.19 [b]
Alkalinity	5.45±0.42 [c]	6.82±0.11 [d]	-0.57±0.80 [a]	4.07±0.35 [b]	5.69±0.49 [c]
DO	2.02±0.76 [a]	2.49±0.81 [a]	2.42±1.04 [a]	1.33±0.86 [a]	1.56±1.51 [a]
BOD_5	-7.46±4.84 [a]	10.81±3.15 [a]	12.66±6.18 [a]	1.44±12.16 [a]	8.58±17.33 [a]
NH_3 - N	-12.85±21.30 [a]	45.84±1.95 [c]	17.87±6.06 [b]	32.25±6.30 [bc]	25.77±3.05 [b]
NO_2^- - N	-7.79±15.47 [a]	36.08±12.15 [b]	5.05±5.46 [a]	4.27±0.87 [a]	4.85±2.64 [a]
NO_3^- - N	-9.44±10.65 [a]	22.30±8.31 [b]	5.11±9.21 [a]	-5.17±5.14 [a]	1.71±8.01 [a]
PO_4^{3-} - P	55.28±33.10 [b]	56.75±32.44 [b]	-5.66±17.40 [a]	11.30±8.36 [a]	5.66±4.90 [a]
TSS	-11.49±25.08 [a]	9.99±14.76 [a]	-2.08±6.08 [a]	-1.40±13.06 [a]	-1.82±3.15 [a]
Total Vibrio	17.99±2.96 [a]	55.54±10.33 [b]	54.82±17.36 [b]	81.27±4.09 [c]	85.74±4.52 [c]

ในแนวนอนค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษที่เหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

2.7.2 ความเค็ม (Salinity) ก่อนการบำบัดในชุดการทดลองที่ 2 มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 29.66±2.88 ppt ไม่แตกต่างกับชุดการทดลองที่ 1 (29.64±2.87 ppt) แต่แตกต่างกับชุดการทดลองอื่นๆ (รูปที่ 12(ข) และตารางภาคผนวกที่ 7) ความเค็มก่อนการบำบัดมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับผลผลิตของน้ำหนักต่อพื้นที่ (r = 0.85) การเจริญเติบโตโดยน้ำหนัก (r = 0.81) อัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนัก (r = 0.77) การเจริญเติบโตโดยความยาวเปลือก (r = 0.76) และอัตราการรอดตาย (r = 0.65) อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$) มีความสัมพันธ์ในเชิงลบอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$) กับอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (r = -0.68) (ตารางที่ 5) ความเค็มหลังการบำบัดในชุดการทดลองที่ 2 มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 29.68±2.86 ppt ไม่แตกต่างกับชุดการทดลองที่ 1 (29.65±2.80 ppt) แต่แตกต่าง ($P<0.05$) กับชุดการทดลอง

อื่นๆ (รูปที่ 12(ข) และตารางภาคผนวกที่ 7) ความเค็มหลังการบำบัดมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับผลผลิตของน้ำหนักต่อพื้นที่ (r = 0.83) การเจริญเติบโตโดยน้ำหนัก (r = 0.78) อัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนัก (r = 0.75) การเจริญเติบโตโดยความยาวเปลือก (r = 0.74) และอัตราการรอดตาย (r = 0.66) อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$) แต่มีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (r = -0.66) อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$) (ตารางที่ 5) ชี้ให้เห็นว่าการให้ผลผลิตของน้ำหนักต่อพื้นที่ การเจริญเติบโตโดยน้ำหนัก อัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนัก การเจริญเติบโตโดยความยาวเปลือก และอัตราการรอดตายของหอยสูงขึ้นตามระดับความเค็มของน้ำเพิ่มสูงขึ้น ในทางกลับกันทำให้อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อลดลง

ประสิทธิภาพการบำบัดของความเค็มเมื่อสิ้นสุดการทดลองในแต่ละชุดการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) การบำบัดน้ำด้วยวิธีการกรองและด้วยวิธีการกรองร่วมกับการใช้โอโซนมีประสิทธิภาพในการบำบัดเป็นบวกสูงสุดและเท่ากัน ($0.12\pm0.20\%$) ส่วนชุดการทดลองอื่นๆมีประสิทธิภาพในการบำบัดเป็นลบโดยชุดการทดลองที่ 2 มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ $-0.07\pm0.06\%$ (ตารางที่ 6) การเปลี่ยนแปลงของระดับความเค็มก่อนและหลังการบำบัดที่เป็นผลจากระบบการเลี้ยงต่างกันส่งผลกระทบโดยตรงกับข้อมูลผลการเลี้ยงหอยทุกตัวแปรและทำให้ผลผลิตที่ได้รับลดลง เนื่องจากความเค็มของน้ำมีบทบาทสำคัญต่อการดำรงชีวิตของหอย และเกี่ยวข้องโดยตรงกับกระบวนการออสโมซีส (osmosis) ที่ทำให้หอยเป๋าฮื้อต้องปรับตัวและรักษาความสมดุลของร่างกายให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลงของระดับความเค็ม Chen (1984) รายงานว่าระดับความเค็มที่ต่างกันมีผลต่ออัตราการรอดตายและการเจริญเติบโตของหอยเป๋าฮื้อระยะวัยรุ่น การเปลี่ยนแปลงของระดับความเค็มเกิดขึ้นในช่วงกว้างอย่างรวดเร็วทำให้หอยเครียดจัดหรืออาจจะถึงตายได้ เนื่องจากความเค็มของน้ำทะเลมีผลต่อหอยเป๋าฮื้อ เพราะโดยธรรมชาติหอยเป๋าฮื้อเป็นสัตว์ที่อาศัยอยู่ในความเค็มปกติของน้ำทะเลและมหาสมุทรที่มีระดับความเค็มไม่ผันแปรมากนัก (อนุวัฒน์ และฮิลลิแบร์ก, 2529) นอกจากนี้ Singhagraiwan และ Doi (1992) รายงานเพิ่มเติมว่าโดยทั่วไปความเค็มที่เหมาะสมของหอยเป๋าฮื้อชนิด *H. asinina* ควรอยู่ระหว่าง 24.1-36.3 ppt ถ้าต่ำกว่า 15 ppt หอยจะตายภายใน 24 ชั่วโมง และหอยเป๋าฮื้อชนิด *H. asinina* เจริญเติบโตดีที่ระดับความเค็ม 32.5 ppt (Singhagraiwan *et al.,* 1992) ความเค็มนอกจากจะมีผลกระทบโดยตรงกับข้อมูลผลการเลี้ยงหอยดังกล่าวแล้วยังมีผลต่อความเป็นพิษของแอมโมเนียรวม (NH_3-N) เมื่อน้ำมีความเค็มเพิ่มสูงขึ้นสามารถทำให้ความเป็นพิษของแอมโมเนียอิสระ (NH_3) และไนไตรท์ (NO_2^--N) ลดลง ทำให้ความสามารถในการละลายของออกซิเจนลดลงและมีผลต่อการบริโภคออกซิเจนของหอยได้ (Harris *et al.*, 1998)

2.7.3 ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ในแต่ละชุดการทดลองก่อนการบำบัดมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ชุดการทดลองที่ 1 มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 8.19±0.07 รองลงมา คือ ชุดการทดลองที่ 2, 3, 5 และ 4 ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.15±0.12, 8.07±0.13, 8.05±0.12 และ 8.05±0.13 ตามลำดับ (รูปที่ 12(ค) และตารางภาคผนวกที่ 7) ความเป็นกรดเป็นด่างน้ำก่อนการบำบัดมีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (r = -0.61) อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) และมีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับกำไรสุทธิ (r = -0.68) อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$) แต่มีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับผลผลิตของน้ำหนักต่อพื้นที่ (r = 0.81) การเจริญเติบโตโดยน้ำหนัก (r = 0.79) อัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนัก (r = 0.76) การเจริญเติบโตโดยความยาวเปลือก (r = 0.75) อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$) และมีความสัมพันธ์กับอัตราการรอดตาย (r = 0.58) อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) (ตารางที่ 5) มีความเป็นไปได้ว่าการเติมน้ำอย่างต่อเนื่องในระบบเปิดทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างสูงกว่าระบบปิดเนื่องจากมีการไหลข้าวของแร่ธาตุที่ปะปนอยู่ในน้ำที่นำมาเปลี่ยนถ่ายทำให้ความเป็นกรดเป็นด่างหลังการบำบัดในแต่ละชุดการทดลองมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ชุดการทดลองที่ 2 มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 8.19±0.14 รองลงมา คือ ชุดการทดลองที่ 1, 3, 5 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.18±0.14, 8.07±0.16, 8.06±0.18 และ 8.05±0.16 ตามลำดับ (รูปที่ 12(ค) และตารางภาคผนวกที่ 7)

ประสิทธิภาพการบำบัดความเป็นกรดเป็นด่างน้ำในชุดการทดลองที่ 2 มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) กับชุดการทดลองอื่นๆ โดยประสิทธิภาพการบำบัดเป็นบวกมีค่าสูงสุด คือ ชุดการทดลองที่ 1 (0.12±0.00%) รองลงมาพบในชุดการทดลองที่ 3 (0.04±0.07%) ในชุดการทดลองที่ 4, 5 และ 2 มีค่าเป็นลบทั้งหมดเท่ากับ -0.08±0.07%, -0.17±0.19% และ -0.57±0.26% ตามลำดับ (ตารางที่ 6) สอดคล้องกับรายงานของ ยุทธนา และคณะ (2541) และ กมลกาญจน์และคณะ (2545) ที่รายงานว่าการกรองและใช้โอโซนในการบำบัดน้ำระยะสั้นๆ ไม่ส่งผลต่อความเป็นกรดเป็นด่างมากนัก โดยทั่วไปความเป็นกรดเป็นด่างมีความสัมพันธ์กับปริมาณไอออนของไฮโดรเจนและความเป็นด่างของน้ำ โดยมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่มีอิทธิพลต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ มีรายงานว่าความเป็นกรดเป็นด่างที่สูงขึ้นทำให้สัดส่วนของแอมโมเนียที่อยู่ในรูปอิสระเพิ่มสูงขึ้นและแอมโมเนียในรูปอิสระเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำสูงขึ้น (มั่นสินและไพพรรณ, 2536; เวียง, 2525; Boyd, 1990)

2.7.4 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ก่อนการบำบัดในแต่ละชุดการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) โดยชุดการทดลองที่ 3 ซึ่งบำบัดน้ำด้วยวิธีการกรองมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 6.06±0.55 มิลลิกรัม/ลิตร และชุดการทดลองที่ 1 มีค่าต่ำที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 5.93±0.82 มิลลิกรัม/ลิตร (รูปที่ 12(ง) และตารางภาคผนวกที่ 7) ค่าเฉลี่ยปริมาณออกซิเจนละลายน้ำก่อนการบำบัดกับข้อมูลการเลี้ยงหอยเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าความสัมพันธ์ทั้งหมดไม่มีนัยสำคัญ ($P>0.05$) ยกเว้นกับอัตราการรอดตายมีความสัมพันธ์ในเชิงลบ (r = -0.64) อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) (ตารางที่ 5) ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำหลังการบำบัดในแต่ละชุดการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ชุดการทดลองที่ 3 มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 5.92±0.69 มิลลิกรัม/ลิตร และชุดการทดลองที่ 1 มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 5.81±0.84 มิลลิกรัม/ลิตร (รูปที่ 12(ง) และ ตารางภาคผนวกที่ 7) ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำหลังการบำบัดมีความสัมพันธ์ในเชิงลบอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$) กับผลผลิตของน้ำหนักต่อพื้นที่ (r = -0.74) อัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนัก (r = -0.71) และการเจริญเติบโตโดยน้ำหนัก (r = -0.71) และมีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับการเจริญเติบโตโดยความยาวเปลือก (r = -0.63) และอัตราการรอดตาย (r = -0.57) อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่าค่าเฉลี่ยปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีความสัมพันธ์ในเชิงบวก ($P<0.05$) กับอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (r = 0.63) (ตารางที่ 5) ผลจากการศึกษาปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่พบทั้งก่อนและหลังการบำบัดในแต่ละชุดการทดลองมีทิศทางการเปลี่ยนแปลงคล้ายกันและมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (>4.0 มิลลิกรัม/ลิตร) ที่เสนอโดย ยงยุทธและคณิต (2537)

ประสิทธิภาพการบำบัดของปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าทุกชุดการทดลองแสดงผลเป็นบวกและมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) โดยชุดการทดลองที่ 2 ซึ่งเปลี่ยนถ่ายน้ำ 2 วัน/ครั้ง มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุดเท่ากับ 2.49±0.81% และชุดการทดลองที่ 4 ซึ่งบำบัดน้ำด้วยโอโซนมีประสิทธิภาพการบำบัดต่ำสุดเท่ากับ 1.33±0.86% (ตารางที่ 6) พุทธและคณิต (2537) กล่าวว่าค่าบีโอดีเป็นตัวแปรที่จะมีผลต่อดุลของออกซิเจน (Oxygen budget) ในบ่อเลี้ยงที่เกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาการบริโภคออกซิเจนผ่านกระบวนการทางชีวเคมี (การหายใจ) ของทั้งพืชและสัตว์รวมไปถึงพวกจุลินทรีย์ต่างๆ โดยเฉพาะในเวลากลางคืนจะเกิดขึ้นมากกว่าในเวลากลางวันจึงทำให้ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำในเวลากลางคืนมีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจำนวนน้อยกว่าเวลากลางวัน Harris และคณะ (1999) รายงานว่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเป็นตัวกำหนดที่ส่งผลต่อปริมาณการกินอาหาร อัตราการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย การบริโภคออกซิเจน และการให้ผลผลิตของหอยเป๋าฮื้อ โดยเฉพาะการเลี้ยงหอย

เป๋าฮื้อชนิด *H. laevigata* ในระยะวัยรุ่นที่มีอัตราการรอดตายและการเจริญเติบโตโดยน้ำหนักดีที่สุดเมื่อมีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำอยู่ในช่วง 7.7-8.9 มิลลิกรัม/ลิตร ในเวลาเดียวกันหากปริมาณออกซิเจนละลายน้ำลดลงก็จะทำให้อัตราการรอดตายและการเจริญเติบโตโดยน้ำหนักลดลง โดยปกติหอยเป๋าฮื้อมีชีวิตอยู่ได้ในบริเวณที่มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำสูงกว่า 4.0 มิลลิกรัม/ลิตร (Chen, 1984)

2.7.5 ความเป็นด่าง (Alkalinity) ก่อนการบำบัดตลอดระยะเวลาการทดลองในแต่ละชุดการทดลองมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ชุดการทดลองที่ 3 มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 132.65$\pm$8.13 มิลลิกรัม/ลิตร รองลงมา คือ ชุดการทดลองที่ 2, 1, 5 และ 4 ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 131.93$\pm$8.78, 130.83$\pm$7.90, 130.81$\pm$7.66 และ 128.61$\pm$8.52 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ (รูปที่ 12(จ) และตารางภาคผนวกที่ 7) ความเป็นด่างของน้ำก่อนการบำบัดกับข้อมูลการเลี้ยงหอยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าความสัมพันธ์ทั้งหมดไม่มีนัยสำคัญ ($P>0.05$) ความเป็นด่างหลังการบำบัดตลอดระยะเวลาการทดลอง ชุดการทดลองที่ 3 มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 133.40$\pm$10.09 มิลลิกรัม/ลิตร และแตกต่างจากชุดการทดลองอื่นๆ ($P<0.05$) ส่วนชุดการทดลองที่ 2 มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 122.93$\pm$6.40 มิลลิกรัม/ลิตร (รูปที่ 12(จ) และตารางภาคผนวกที่ 7) ความเป็นด่างของน้ำหลังการบำบัดกับข้อมูลการเลี้ยงหอยพบว่าความสัมพันธ์ทั้งหมดไม่มีนัยสำคัญ ($P>0.05$) ยกเว้นกับอัตราการรอดตายที่มีความสัมพันธ์ในเชิงลบ ($r = -0.68$) อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$) (ตารางที่ 5)

ประสิทธิภาพการบำบัดของความเป็นด่างเมื่อสิ้นสุดการทดลองในทุกชุดการทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ชุดการทดลองที่ 2 ซึ่งเปลี่ยนถ่ายน้ำ 2 วัน/ครั้ง มีประสิทธิภาพการบำบัดเป็นบวกและมีค่าสูงสุดเท่ากับ 6.82$\pm$0.11% รองลงมาพบในชุดการทดลองที่ 5 (5.69$\pm$0.49%), ชุดการทดลองที่ 1 (5.45$\pm$0.42%) และชุดการทดลองที่ 4 (4.07$\pm$0.35%) ตามลำดับ ส่วนชุดการทดลองที่ 3 มีประสิทธิภาพการบำบัดเป็นลบและมีค่าต่ำสุด เท่ากับ -0.57$\pm$0.80% (ตารางที่ 6) ในปัจจุบันยังไม่มีรายงานการศึกษาระดับที่เหมาะสมของความเป็นด่างในการเลี้ยงหอยเป๋าฮื้อ แต่จากรายงานของ เพ็ญแขและคณะ (2538) พบว่าความเป็นด่างเฉลี่ยในการเลี้ยงหอยเป๋าฮื้อตลอดการทดลองมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 118.33$\pm$6.61 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งใกล้เคียงกับการศึกษาในครั้งนี้

2.7.6 บีโอดี (BOD_5) จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของบีโอดีในแต่ละชุดการทดลองก่อนการบำบัดตลอดระยะเวลาการทดลอง พบว่าแตกต่างกันโดยมีนัยสำคัญทางสถิติ

($P<0.05$) ในชุดการทดลองที่บำบัดน้ำด้วยโอโซนมีค่าบีโอดีสูงที่สุดเท่ากับ 1.55±1.11 มิลลิกรัม/ลิตร และชุดการทดลองที่ 1 ที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำโดยให้น้ำไหลผ่านตลอดเวลามีค่าบีโอดีต่ำสุดเท่ากับ 1.16±0.88 มิลลิกรัม/ลิตร (รูปที่ 12(ฉ) และตารางภาคผนวกที่ 7) เมื่อนำบีโอดีก่อนการบำบัดไปศึกษาความสัมพันธ์กับข้อมูลการเลี้ยงหอยทั้งหมด พบว่าบีโอดีมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับตัวแปรเพียงตัวเดียวคือกำไรสุทธิ ($r = 0.60$) อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) (ตารางที่ 5) หลังจากทำการบำบัด พบว่าบีโอดีในแต่ละชุดการทดลองตลอดระยะเวลาการทดลอง มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ชุดการทดลองที่ 4 ซึ่งใช้โอโซนในการบำบัดมีบีโอดีสูงที่สุดเท่ากับ 1.51±1.08 มิลลิกรัม/ลิตร และชุดการทดลองที่ 1 มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 1.25±0.95 มิลลิกรัม/ลิตร (รูปที่ 12(ฉ) และตารางภาคผนวกที่ 7) ค่าบีโอดีหลังการบำบัดกับข้อมูลการเลี้ยงหอยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าความสัมพันธ์ทั้งหมดไม่มีนัยสำคัญ ($P>0.05$) ยกเว้นกับกำไรสุทธิเพียงตัวแปรเดียวที่มีความสัมพันธ์เป็นบวก ($r = 0.58$) อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) (ตารางที่ 5)

ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีในทุกชุดการทดลองเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) ในชุดการทดลองที่ 3 ที่บำบัดน้ำโดยวิธีการกรองมีประสิทธิภาพเป็นบวกสูงสุดเท่ากับ 12.66±6.18% รองลงมา คือ ชุดการทดลองที่ 2, 5, และ 4 เท่ากับ 10.81±3.15%, 8.58±17.33% และ 1.44±12.16% ตามลำดับ ในชุดการทดลองที่ 1 มีประสิทธิภาพการบำบัดเป็นลบ เท่ากับ -7.46±4.84% (ตารางที่ 6) มีรายงานการบำบัดน้ำที่สามารถลดปริมาณบีโอดีในน้ำได้หลายวิธี เช่น ก่อเกียรติและกอบศักดิ์ (2544) รายงานผลการศึกษาการใช้ Danish Cleaner Technology หรือการบำบัดน้ำด้วยระบบกรองชีวะภายในบ่อเลี้ยงกุ้งที่ประกอบด้วยตัวกรอง 3 ส่วนได้แก่ กรองกายภาพ กรองชีวะแบบแช่จมใต้น้ำ และกรองชีวะแบบโปรยกรอง ผลจากการใช้ระบบดังกล่าวสามารถลดสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปบีโอดีได้เท่ากับ 62.1% ยนต์และคณะ (2535) ศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งโดยวิธีตกตะกอนและเติมอากาศโดยให้น้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งไหลลงสู่บ่อตกตะกอนนาน 12 ชั่วโมง แล้วสูบน้ำทิ้งนั้นเข้าสู่บ่อเติมอากาศแก่น้ำนาน 3 วัน พบว่าวิธีการดังกล่าวสามารถลดบีโอดีได้เฉลี่ย 30.4% เมื่อให้อากาศต่อไปจนครบ 7 วัน พบว่าสามารถลดบีโอดีได้เฉลี่ย 35.1% กัญญาจิต (2543) รายงานผลการศึกษาประสิทธิภาพการใช้โอโซนในการควบคุมคุณภาพน้ำที่ผ่านการเลี้ยงกุ้งกุลาดำโดยใช้โอโซนในปริมาณสูงกว่า 424.24 มิลลิกรัม/ลิตร สามารถลดบีโอดีได้ 4.89%

2.7.7 แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (NH_3-N) ปริมาณการสะสมทั้งก่อนและหลังการบำบัดตลอดระยะเวลาการทดลองมีทิศทางการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายกัน โดยพบว่าก่อนการบำบัดในแต่ละครั้งของทุกชุดการทดลองปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

($P<0.05$) ชุดการทดลองที่ 3 ซึ่งบำบัดน้ำด้วยวิธีการกรองมีปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนสะสมสูงที่สุดเท่ากับ 0.140±0.284 มิลลิกรัม/ลิตร รองลงมา คือ ชุดการทดลองที่ 5, 4, 2 และ 1 โดยมีค่าเท่ากับ 0.109±0.156, 0.087±0.169, 0.085±0.137 และ 0.021±0.022 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ (รูปที่ 12(ช) และตารางภาคผนวกที่ 7) ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนก่อนทำการบำบัดตลอดระยะเวลาการทดลองส่งผลต่อข้อมูลการเลี้ยงหอยโดยมีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับผลผลิตของน้ำหนักต่อพื้นที่ (r = -0.79) อัตราการรอดตาย (r = -0.74) อัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนัก (r = -0.73) การเจริญเติบโตโดยน้ำหนัก (r = -0.71) การเจริญเติบโตโดยความยาวเปลือก (r = -0.69) อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$) และมีความสัมพันธ์ในเชิงบวก ($P<0.01$) กับอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (r = 0.79) (ตารางที่ 5) สำหรับปริมาณการสะสมของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนหลังจากทำการบำบัดตลอดระยะเวลาการทดลองมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) โดยชุดการทดลองที่ 3 มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 0.114±0.252 มิลลิกรัม/ลิตร รองลงมา คือ ชุดการทดลองที่ 5, 4, 2 และ 1 โดยมีค่าเท่ากับ 0.081±0.108, 0.058±0.074, 0.046±0.064 และ 0.024±0.035 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ (รูปที่ 12(ช) และตารางภาคผนวกที่ 7) แอมโมเนีย-ไนโตรเจนหลังการบำบัดมีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับอัตราการรอดตาย (r = -0.82) ผลผลิตของน้ำหนักต่อพื้นที่ (r = -0.79) การเจริญเติบโตโดยน้ำหนัก (r = -0.68) อัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนัก (r = -0.68) การเจริญเติบโตโดยความยาวเปลือก (r = -0.66) อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$) และมีความสัมพันธ์ในเชิงบวก ($P<0.01$) กับอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของหอย (r = 0.82) อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ตารางที่ 5) สอดคล้องกับ Harris และคณะ (1998) ที่รายงานว่าปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนมีความสัมพันธ์กับอัตราการเจริญ เติบโตโดยความยาวเปลือกและน้ำหนักตัว อัตราการรอดตาย การกินอาหารและการบริโภคออกซิเจนของหอยเป๋าฮื้อชนิด *H. laevigata* โดยปกติแอมโมเนีย-ไนโตรเจนจะอยู่ในรูปของ NH_4^+ เมื่อระดับ pH เท่ากับ 7 จะไม่แสดงความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ ถ้าหาก pH เพิ่มมากขึ้นจะทำให้แอมโมเนีย-ไนโตรเจนเปลี่ยนสภาพเป็นแอมโมเนียอิสระ (NH_3) (มั่นสิน, 2542) Basuyaux และ Mathieu (1999) พบว่าระดับความปลอดภัยของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่มีผลต่อหอยเป๋าฮื้อควรมีได้ไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร

ผลจากการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในทุกชุดการทดลอง พบว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ชุดการทดลองที่ 2 ซึ่งเปลี่ยนถ่ายน้ำในอัตรา 100% ความถี่ 2 วัน/ครั้ง มีประสิทธิภาพการบำบัดที่แสดงผลเป็นบวกสูงสุดเฉลี่ย เท่ากับ

45.84±1.95% ใกล้เคียงกับชุดการทดลองที่ 4 ที่บำบัดน้ำด้วยโอโซน (32.25±6.30%) ผลของประสิทธิภาพการบำบัดโดยการใช้โอโซนที่พบในครั้งนี้มีค่าสูงกว่า กัญญาจิต (2543) ซึ่งรายงานผลการใช้โอโซนในการควบคุมคุณภาพน้ำที่ใช้เลี้ยงกุ้งกุลาดำโดยให้โอโซนตกค้างในน้ำด้วยอัตราส่วนคงที่ 0.180 มิลลิกรัม/ลิตร เป็นเวลา 6 ชั่วโมง สามารถลดค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจนได้เพียง 17% ประสิทธิภาพการบำบัดในชุดการทดลองที่ 5 กับชุดการทดลองที่ 3 มีค่าใกล้เคียงกัน เท่ากับ 25.77±3.05% และ 17.87±6.06% การเปลี่ยนถ่ายน้ำโดยให้น้ำไหลผ่านตลอดเวลาในชุดการทดลองที่ 1 มีประสิทธิภาพการบำบัดแสดงผลเป็นลบ เท่ากับ -12.85±21.30% (ตารางที่ 6) ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่มีค่าเป็นบวกซึ่งพบในชุดการทดลองที่ 2, 3, 4 และ 5 แสดงว่าระบบบำบัดมีความสามารถในการบำบัดหรือขจัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจนได้ ในทางกลับกันชุดการทดลองที่ 1 มีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าเป็นลบมีความเป็นไปได้ว่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจนได้ปะปนมาพร้อมกับน้ำที่ไหลผ่านเข้ามาทดแทนน้ำเก่าภายในตู้ทดลอง การบำบัดน้ำโดยใช้ระบบกรองร่วมกับการใช้โอโซนครั้งนี้มีประสิทธิภาพการบำบัดใกล้เคียงกับรายงานของ พุทธและคณะ (2543) ที่บำบัดน้ำจากบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลในระบบปิดหมุนเวียน โดยใช้ระบบบ่อออกซิเดชั่นและระบบกรองด้วยทรายที่มีประสิทธิภาพการบำบัดสามารถลดแอมโมเนีย-ไนโตรเจนได้ 36%

2.7.8 ไนไตรท์-ไนโตรเจน (NO_2^--N) ก่อนการบำบัดตลอดระยะเวลาการทดลองในชุดการทดลองที่ 1 และ 2 มีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) กับชุดการทดลองอื่นๆ โดยชุดการทดลองที่ 4 ซึ่งบำบัดน้ำด้วยโอโซนมีค่าสูงที่สุดเฉลี่ยเท่ากับ 0.438±0.340 มิลลิกรัม/ลิตร รองลงมา คือ ชุดการทดลองที่ 5, 3, 2 และ 1 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.379±0.291, 0.378±0.274, 0.074±0.097 และ 0.029±0.030 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ (รูปที่ 12(ซ) และตารางภาคผนวกที่ 7) ค่าเฉลี่ยของไนไตรท์-ไนโตรเจนก่อนการบำบัดมีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับผลผลิตที่เพิ่มขึ้น (r = -0.89) การเจริญเติบโตโดยน้ำหนัก (r = -0.87) อัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนัก (r = -0.84) การเจริญเติบโตโดยความยาวเปลือก (r = -0.84) อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$) และสัมพันธ์ในเชิงลบกับอัตราการรอดตาย (r = -0.63) อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) แต่มีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (r = 0.72) อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$) (ตารางที่ 5) ไนไตรท์-ไนโตรเจนตลอดระยะเวลาการทดลองในชุดการทดลองที่ 1 และ 2 หลังจากทำการบำบัดมีค่าแตกต่าง ($P<0.05$) กับชุดการทดลองอื่นๆ โดยชุดการทดลองที่ 4 มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 0.419±0.351 มิลลิกรัม/ลิตร รองลงมา คือ ชุดการทดลองที่ 5, 3, 2 และ 1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.362±0.300, 0.361±0.277, 0.047±0.045 และ 0.033±0.054

มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ (รูปที่ 12(ซ) และตารางภาคผนวกที่ 7) ไนไตรท์-ไนโตรเจนหลังทำการบำบัดมีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับผลผลิตของน้ำหนักต่อพื้นที่ (r = -0.87) การเจริญเติบโตโดยน้ำหนัก (r = -0.86) การเจริญเติบโตโดยความยาวเปลือก (r = -0.83) อัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนัก (r = -0.82) อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$) และมีความสัมพันธ์กับอัตราการรอดตาย (r = -0.61) อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) แต่มีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (r = 0.71) อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$) (ตารางที่ 5)

ประสิทธิภาพการบำบัดของค่าไนไตรท์-ไนโตรเจนทุกชุดการทดลอง เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ชุดการทดลองที่ 2 ซึ่งเปลี่ยนถ่ายน้ำ 2 วัน/ครั้ง มีประสิทธิภาพการบำบัดเป็นบวกสูงสุดเท่ากับ 36.08$\pm$12.15% และมีค่าแตกต่าง ($P < 0.05$) กับชุดการทดลองอื่นๆ ประสิทธิภาพการบำบัดที่พบรองลงมาอยู่ในชุดการทดลองที่ 3, 5 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.05$\pm$5.46%, 4.85$\pm$2.64% และ 4.27$\pm$0.87% ตามลำดับ สำหรับในชุดการทดลองที่ 1 มีประสิทธิภาพการบำบัดน้อยที่สุดและแสดงผลเป็นลบเท่ากับ -7.79$\pm$15.47% (ตารางที่ 6) จะเห็นได้ว่าปริมาณของไนไตรท์-ไนโตรเจนที่พบก่อนการบำบัดและหลังการบำบัดส่วนใหญ่มีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางเดียวกัน ผลของระบบบำบัดทุกชุดการทดลองที่ทำการศึกษาครั้งนี้มีประสิทธิภาพต่ำกว่า Summerfelt และคณะ (1997) ที่บำบัดน้ำในการเลี้ยงปลา Rainbow trout ระบบปิดหมุนเวียนด้วยโอโซน พบว่าโอโซนสามารถลดความเข้มข้นของไนไตรท์-ไนโตรเจนได้สูงถึง 82% และโอโซนสามารถเปลี่ยนรูปของไนไตรท์-ไนโตรเจนให้ไปเป็นไนเตรต-ไนโตรเจน ในสัดส่วนของโอโซนประมาณ 1.04 มก./ 1 มก. ของไนไตรท์-ไนโตรเจน (Bablon *et al*., 1991 อ้างโดย Summerfelt *et al*., 1997) นอกจากนี้ พุทธและคณะ (2543) รายงานการบำบัดน้ำจากบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลระบบปิดหมุนเวียนโดยใช้บ่อออกซิเดชั่นและระบบกรองทราย พบว่าสามารถลดไนไตรท์-ไนโตรเจนได้สูงถึง 74% โดยปกติไนไตรท์-ไนโตรเจนที่อยู่ในน้ำมีปริมาณน้อยมาก การเกิดไนไตรท์-ไนโตรเจนในน้ำส่วนใหญ่มาจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่น (เติมออกซิเจน) ของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน โดยแบคทีเรียกลุ่ม *Nitrobacter* sp. หรืออาจจะเกิดมาจากการลดออกซิเจนที่เป็นปฏิกิริยารีดักชั่นของไนเตรต-ไนโตรเจนโดยสาหร่ายเซลล์เดียวสกุล *Chlorella* (ชัชวาลและคณะ, 2543) จากรายงานการวิจัยของ Basuyaux และ Mathieu (1999) พบว่าระดับความปลอดภัยของไนไตรท์-ไนโตรเจนที่มีผลต่อหอยเป๋าฮื้อควรมีได้ไม่เกิน 5.0 มิลลิกรัม/ลิตร หากไนไตรท์-ไนโตรเจนมีค่าสูงขึ้นประมาณ 5.0-10.0 มิลลิกรัม/ลิตร จะมีผลต่อการเจริญเติบโตและปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนที่มีค่าอยู่ระหว่าง 8.5-15.5 มิลลิกรัม/ลิตร ทำให้หอยเป๋าฮื้อตาย 50% ภายใน 96 ชั่วโมง

2.7.9 ไนเตรต-ไนโตรเจน (NO_3^--N) ก่อนการบำบัดตลอดระยะเวลาการทดลองในชุดการทดลองที่ 1 และ 2 มีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) กับชุดการทดลองอื่นๆ โดยชุดการทดลองที่ 5 ซึ่งบำบัดน้ำด้วยวิธีการกรองร่วมกับการใช้โอโซน มีค่าสูงที่สุดเฉลี่ยเท่ากับ 0.284±0.280 มิลลิกรัม/ลิตร รองลงมา คือ ชุดการทดลองที่ 3, 4, 2 และ 1 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.249±0.261, 0.235±0.293, 0.092±0.124 และ 0.079±0.063 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ (รูปที่ 12(ฌ) และตารางภาคผนวกที่ 7) ไนเตรต-ไนโตรเจนก่อนการบำบัดตลอดระยะเวลาการทดลองกับข้อมูลผลการเลี้ยงหอยมีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับผลผลิตของน้ำหนักต่อพื้นที่ (r = -0.82) การเจริญเติบโตโดยน้ำหนัก (r = -0.78) อัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนัก (r = -0.74) การเจริญเติบโตโดยความยาวเปลือก (r = -0.72) อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$) มีความสัมพันธ์กับอัตราการรอดตาย (r = -0.63) อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) และมีความสัมพันธ์ในเชิงบวก ($P < 0.05$) กับอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (r = 0.63) (ตารางที่ 5) ไนเตรต-ไนโตรเจนหลังการบำบัดตลอดระยะเวลาการทดลองในชุดการทดลองที่ 1 และ 2 มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) กับชุดการทดลองอื่นๆ ชุดการทดลองที่ 5 มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 0.279±0.273 มิลลิกรัม/ลิตร รองลงมา คือ ชุดการทดลองที่ 4, 3, 1 และ 2 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.247±0.298, 0.238±0.246, 0.086±0.063 และ 0.069±0.049 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ (รูปที่ 12(ฌ) และตารางภาคผนวกที่ 7) ไนเตรต-ไนโตรเจนหลังการบำบัดกับข้อมูลการเลี้ยงหอยมีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับผลผลิตของน้ำหนักต่อพื้นที่ (r = -0.76) การเจริญเติบโตโดยน้ำหนักหอย (r = -0.72) อัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนัก (r = -0.66) การเจริญเติบโตโดยความยาวเปลือก (r = -0.65) อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$) และอัตราการรอดตาย (r = -0.58) อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) แต่มีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (r = 0.54) อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) (ตารางที่ 5) ผลจากการศึกษาของคุณภาพน้ำและข้อมูลผลการเลี้ยงหอยเมื่อสิ้นสุดการทดลองทั้งก่อนและหลังการบำบัด สรุปได้ว่าการเลี้ยงหอยในระบบปิดทำให้การสะสมของไนเตรต-ไนโตรเจนมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าการเลี้ยงในระบบเปิด ยิ่งไปกว่านั้นจะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณไนเตรต-ไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้การเจริญเติบโตโดยน้ำหนัก การเจริญเติบโตโดยความยาวเปลือก อัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนัก และอัตราการรอดตายมีแนวโน้มลดลงแต่อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อกลับมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณไนเตรต-ไนโตรเจน Basuyaux และ Mathieu (1999) รายงานว่าไนเตรต-ไนโตรเจนมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำค่อนข้างน้อยและระดับความปลอดภัยของไนเตรต-ไนโตรเจนที่มีต่อการเจริญเติบโตของหอยเป๋าฮื้อควรมีไม่เกิน 100.0 มิลลิกรัม/ลิตร

โดยทั่วไปไนเตรต-ไนโตรเจนเมื่อมีปริมาณมากก็จะเพิ่มสารอินทรีย์ให้กับแหล่งน้ำที่สามารถเป็นปุ๋ยให้กับการเจริญเติบโตแก่สาหร่ายในแหล่งน้ำ ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนไนเตรต-ไนโตรเจนและไนไตรท์-ไนโตรเจนสามารถเปลี่ยนไปเป็นแอมโมเนีย-ไนโตรเจน โดยกระบวนการ denitrification และปฏิกิริยาดำเนินไปจนถึงได้ก๊าซไนโตรเจนสู่บรรยากาศ จากการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดของไนเตรต-ไนโตรเจนพบว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) การเปลี่ยนถ่ายน้ำอัตรา 100% ความถี่ 2 วัน/ครั้ง ในชุดการทดลองที่ 2 มีประสิทธิภาพการบำบัดเป็นบวกสูงสุด (22.30$\pm$8.31%) และแตกต่างกับชุดการทดลองอื่นๆ เนื่องจากปริมาณไนเตรต-ไนโตรเจนที่มีการสะสมได้ถูกกำจัดไปพร้อมกับน้ำจนหมดทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าการบำบัดน้ำที่ใช้วิธีการกรองในชุดการทดลองที่ 3 และชุดการทดลองที่ 5 สามารถลดปริมาณไนเตรต-ไนโตรเจนได้เช่นกันโดยมีประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ 5.11$\pm$9.21% และ 1.71$\pm$8.01% ตามลำดับ ส่วนในชุดการทดลองที่ 4 ที่ใช้โอโซนบำบัดและชุดการทดลองที่ 1 มีประสิทธิภาพการบำบัดเป็นลบทำให้มีปริมาณการสะสมของไนเตรต-ไนโตรเจนเพิ่มขึ้นหลังจากการบำบัด ประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ -5.17$\pm$5.14% และ -9.44$\pm$10.65% ตามลำดับ (ตารางที่ 6) สอดคล้องกับ ชัชวาลและคณะ (2543) ที่รายงานว่าโอโซนสามารถเพิ่มปริมาณไนเตรต-ไนโตรเจนได้ สามารถลดปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนและไนไตรท์-ไนโตรเจนจากน้ำตัวอย่างบ่อเลี้ยงกุ้งลดลงได้ 15% และ 98% ตามลำดับ ที่ความเข้มข้นของโอโซน 638.118 มิลลิกรัม/ลิตร ใช้เวลาสัมผัส 120 นาที

2.7.10 ออร์โธฟอสเฟต (Ortho-P) ก่อนการบำบัดตลอดระยะเวลาการทดลองในชุดการทดลองที่ 1 และ 2 มีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) กับชุดการทดลองอื่นๆ ชุดการทดลองที่ 5 มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 0.030$\pm$0.028 มิลลิกรัม/ลิตร รองลงมา คือ ชุดการทดลองที่ 3 และ 4, 1 และ 2 เท่ากับ 0.027$\pm$0.023, 0.023$\pm$0.025, 0.012$\pm$0.024 และ 0.012$\pm$0.021 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ (รูปที่ 12(ญ) และตารางภาคผนวกที่ 7) ออร์โธฟอสเฟตก่อนการบำบัดกับข้อมูลการเลี้ยงหอยพบว่าความสัมพันธ์ทั้งหมดไม่มีนัยสำคัญ ($P>0.05$) (ตารางที่ 5) ออร์โธฟอสเฟตหลังการบำบัดตลอดระยะเวลาการทดลองมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ชุดการทดลองที่ 3 และ 5 มีค่าไม่แตกต่างกัน คือ 0.028$\pm$0.027 และ 0.028$\pm$0.016 มิลลิกรัม/ลิตร รองลงมา คือชุดการทดลองที่ 4 ,1 และ 2 มีค่าเท่ากับ 0.021$\pm$0.022, 0.008$\pm$0.081 และ 0.008$\pm$0.004 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ (รูปที่ 12(ญ) และตารางภาคผนวกที่ 7) ออร์โธฟอสเฟตหลังการบำบัดมีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับผลผลิตของน้ำหนักต่อพื้นที่ ($r = -0.87$) การเจริญเติบโตโดยน้ำหนัก ($r = -0.80$) การเจริญเติบโตโดย

ความยาวเปลือก (r = -0.80) อัตราการรอดตาย (r = -0.79) และอัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนัก (r = -0.76) อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$) แต่มีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (r = 0.81) อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$) (ตารางที่ 5)

ประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟตมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ชุดการทดลองที่ 2 มีประสิทธิภาพการบำบัดเป็นบวกสูงสุด (56.75±32.44%) และมีค่าไม่แตกต่างกับชุดการทดลองที่ 1 (55.28±33.10%) ประสิทธิภาพการบำบัดที่พบรองลงมาอยู่ในชุดการทดลองที่ 4 และ 5 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 11.30±8.36% และ 5.66±4.90% ตามลำดับ ในชุดการทดลองที่ 3 มีประสิทธิภาพการบำบัดเป็นลบเท่ากับ -5.66±17.40% (ตารางที่ 6) การเลี้ยงในระบบเปิดปริมาณออร์โธฟอสเฟตสามารถลดลงได้มากกว่าการเลี้ยงในระบบปิดที่มีการบำบัดทั้งสามระบบ โดยเฉพาะในชุดการทดลองที่ 3 ที่ใช้วิธีการบำบัดด้วยวิธีการกรองนอกจากไม่สามารถลดปริมาณออร์โธฟอสเฟตลงได้แล้วยังทำให้มีปริมาณออร์โธฟอสเฟตเพิ่มขึ้น การกำจัดออร์โธ-ฟอสเฟตมีหลายวิธีโดยพบว่าการบำบัดด้วยพืชสามารถบำบัดหรือกำจัดออร์โธฟอสเฟตได้ดี เนื่องจากออร์โธฟอสเฟตเป็นธาตุที่มีความจำเป็นในการเจริญเติบโตของพืชในน้ำที่เรียกว่า Growth limiting nutrient ของพืชน้ำ ปริมาณออร์โธฟอสเฟตในน้ำที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์จะอยู่ในรูปของ Orthophosphates (Ortho-P) โดยทั่วไปปริมาณของออร์โธฟอสเฟตในแหล่งน้ำชายฝั่งแหล่งน้ำผิวดินจะมีไม่เกิน 0.100 มิลลิกรัม/ลิตร หรือประมาณ 5-20 ไมโครกรัม/ลิตร นอกจากนั้นปริมาณออร์โธฟอสเฟตในน้ำสามารถดูดซับลงสู่ตะกอนดินได้โดยง่าย (สมชายและกิ่งกาญจน์, 2539) การบำบัดน้ำในชุดการทดลองที่ 4 และ 5 ที่ใช้โอโซนในการบำบัดพบว่ามีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับรายงานของ ยนต์และคณะ (2545) ซึ่งได้ศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งโดยวิธีตกตะกอนและเติมอากาศโดยให้น้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งไหลลงสู่บ่อตกตะกอนนาน 12 ชั่วโมง แล้วสูบน้ำทิ้งนั้นเข้าสู่บ่อเติมอากาศแก่น้ำนาน 3 วัน พบว่าวิธีการดังกล่าวสามารถลดออร์โธ-ฟอสเฟตได้ 12.8% เมื่อให้อากาศต่อไปจนครบ 7 วัน พบว่าสามารถลดออร์โธฟอสเฟตได้ 42.2% นอกจากนี้ Deviller และคณะ (2004) รายงานการใช้สาหร่ายจำนวนมาก (high rate algae pond : HRAP) บำบัดน้ำเพื่อกลับมาใช้ใหม่ในบ่อเลี้ยงปลากะพงขาว โดยพบว่าสาหร่ายสามารถลดความเข้มข้นของฟอสเฟตและสารประกอบไนโตรเจนได้ 9%

2.7.11 ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ก่อนการบำบัดตลอดระยะเวลาการทดลองมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ชุดการทดลองที่ 2 มีปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดสูงที่สุดเท่ากับ 149.17±72.14 มิลลิกรัม/ลิตร รองลงมา คือ ชุดการทดลองที่

5, 1, 4 และ 3 โดยมีค่าเท่ากับ 146.67±70.29, 140.00±74.33, 127.50±69.24, และ 122.50±55.61 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ (รูปที่ 12(ฎ) และตารางภาคผนวกที่ 7) ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดก่อนการบำบัดกับข้อมูลการเลี้ยงหอยพบว่าทั้งหมดมีความสัมพันธ์โดยไม่มีนัยสำคัญ ($P>0.05$) (ตารางที่ 5) ค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดหลังการบำบัดตลอดระยะเวลาการทดลอง ชุดการทดลองที่ 1 มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 154.17±103.98 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งแตกต่าง ($P<0.05$) กับชุดการทดลองอื่นๆ รองลงมา คือ ชุดการทดลองที่ 5, 2, 4 และ 3 โดยมีค่าเท่ากับ 149.17±93.31, 133.33±74.02, 129.17±77.32 และ 125.00±54.21 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ (รูปที่ 12(ฎ) และตารางภาคผนวกที่ 7) ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดหลังการบำบัดกับข้อมูลการเลี้ยงหอยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าทั้งหมดมีความสัมพันธ์โดยไม่มีนัยสำคัญ ($P>0.05$) (ตารางที่ 5)

ประสิทธิภาพการบำบัดในทุกชุดการทดลองของปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ชุดการทดลองที่ 2 มีประสิทธิภาพการบำบัดเป็นบวกเพียงชุดการทดลองเดียว เท่ากับ 9.99±14.76% ส่วนชุดการทดลองที่ 4, 5, 3 และ 1 มีประสิทธิภาพการบำบัดเป็นลบทั้งหมดเท่ากับ -1.40±13.06%, -1.82±3.15%, -2.08±6.08% และ -11.49±25.08% ตามลำดับ (ตารางที่ 6) ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่พบทั้งหมดส่วนใหญ่เกิดมาจากการขับถ่ายของเสียออกมาจากหอยที่เลี้ยงและเศษอาหารที่เหลือ ชุดการทดลองที่ 2 พบประสิทธิภาพการบำบัดเป็นบวกเนื่องจากมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเก่าที่ใช้เลี้ยงหอยออกไปจนหมด (100% ของน้ำที่อยู่ภายในตู้ทดลอง) ประกอบกับน้ำที่นำมาเติมในตู้ทดลองทุกๆครั้งได้ผ่านการฆ่าเชื้อและตกตะกอนติดต่อกันอย่างน้อย 1 คืน ทำให้น้ำที่อยู่ภายในตู้เลี้ยงหอยของชุดการทดลองที่ 2 มีตะกอนของแข็งแขวนลอยทั้งหมดหลังจากเปลี่ยนถ่ายน้ำลดลง อย่างไรก็ตามหลังจากผ่านการเปลี่ยนถ่ายน้ำและเลี้ยงหอยผ่านไปเป็นเวลา 1 วัน กลับพบว่าตะกอนของแข็งแขวนลอยทั้งหมดที่พบก่อนการเปลี่ยนถ่ายน้ำมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นและมีมากกว่าชุดการทดลองอื่นๆ สำหรับการเลี้ยงหอยในชุดการทดลองที่ 1 และการเลี้ยงหอยในระบบบำบัดน้ำหมุนเวียนทุกชุดการทดลองกลับพบว่ามีประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมดเป็นลบ อธิบายได้ว่าในระหว่างการเลี้ยงมีการสะสมปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในตู้ทดลองเพิ่มขึ้นในสัดส่วนที่เกินกว่าระบบบำบัดจะสามารถบำบัดได้ทัน และ/หรืออาจจะเป็นผลมาจากการเก็บตัวอย่างน้ำที่นำไปตรวจวิเคราะห์ในทุกๆครั้ง โดยจะเห็นได้จากตะกอนที่อยู่ในตู้ทดลองก่อนทำการบำบัดมีการรวมตัวกันเป็นกลุ่มๆ และส่วนใหญ่สะสมอยู่บริเวณพื้นตู้ซึ่งอยู่ใต้ที่หลบซ่อนของหอย ในขณะที่ทำการบำบัดน้ำในเวลาเดียวกันก็จะเติมน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วกลับเข้าไปในตู้พร้อมๆกัน

กระแสน้ำที่เติมเข้าไปทำให้ตะกอนที่สะสมอยู่บริเวณพื้นตู้ทดลองเกิดการฟุ้งกระจายออกมา ส่งผลทำให้ตัวอย่างน้ำที่เก็บมาตรวจวิเคราะห์ก่อนการบำบัดมีปริมาณตะกอนน้อยกว่าและแตกต่างกับน้ำที่เก็บหลังจากทำการบำบัดที่มีตะกอนปะปนไปกับน้ำที่นำไปตรวจวิเคราะห์ อาจจะเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอยเป็นลบ ผลการศึกษาครั้งนี้แตกต่างจากพุทธและคณะ (2543) ที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดโดยวิธีออกซิเดชั่นและการกรองด้วยกระบะทรายตัวแปรที่เป็นของแข็งแขวนลอยทั้งหมดลดลงสูงถึง 69% และ 63% โดยประสิทธิภาพนี้เกิดขึ้นจากการกรองทางกายภาพที่สามารถขจัดตะกอนอินทรีย์ เช่น แพลงก์ตอนและแบคทีเรียไม่ให้ไหลกลับเข้าไปยังบ่อเลี้ยงได้ สมชายและกิ่งกาญจน์ (2539) กล่าวว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำประกอบด้วยอินทรีย์สาร อนินทรีย์สาร และสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก ซึ่งมีขนาดระหว่าง 1-10 ไมครอน โดยปรากฏอยู่ในลักษณะสารแขวนลอย เช่น อนุภาคดิน แพลงก์ตอน และจุลินทรีย์บางชนิด เช่น แบคทีเรีย เป็นต้น ปริมาณของแข็งแขวนลอยเป็นดัชนีที่บ่งชี้ถึงปริมาณของสารอินทรีย์ ผลกระทบของการมีของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในน้ำมากอาจเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำโดยตรงซึ่งตะกอนจะอุดช่องเหงือกทำให้หายใจติดขัด หากสารอินทรีย์มีการสะสมอยู่ปริมาณมากในเวลานานจะทำให้เกิดเป็นของเสียที่มีพิษและเป็นแหล่งสะสมของเชื้อโรค หากมีปริมาณมากถึงระดับวิกฤติอาจทำให้สัตว์น้ำตายได้ (Boyd, 1989; Basuyaux and Mathieu, 1999)

2.7.12 ปริมาณวิบริโอรวมในน้ำ (Total Vibrio) ก่อนการบำบัดมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ชุดการทดลองที่ 3 ที่มีการบำบัดและหมุนเวียนน้ำด้วยวิธีการกรองมีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 336.04$\pm$333.67 cfu/ml รองลงมา คือ ชุดการทดลองที่ 1, 2, 5 และ 4 โดยมีค่าเท่ากับ 298.75$\pm$226.94, 293.85$\pm$255.59, 232.92$\pm$330.57 และ 130.00$\pm$85.50 cfu/ml ตามลำดับ (รูปที่ 12(ฎ) และตารางภาคผนวกที่ 7) ปริมาณวิบริโอรวมในน้ำก่อนการบำบัดกับข้อมูลการเลี้ยงหอย เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับกำไรสุทธิ (r = -0.55) อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) (ตารางที่ 5) ปริมาณวิบริโอรวมในน้ำหลังการบำบัดมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ชุดการทดลองที่ 1 มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 245.00$\pm$162.99 cfu/ml รองลงมา คือ ชุดการทดลองที่ 3, 2, 5 และ 4 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 148.75$\pm$277.05, 129.17$\pm$107.44, 31.25$\pm$24.55 และ 24.06$\pm$19.82 cfu/ml ตามลำดับ (รูปที่ 12(ฎ) และตารางภาคผนวกที่ 7) ปริมาณเชื้อวิบริโอรวมในน้ำหลังการบำบัดกับข้อมูลการเลี้ยงหอยมีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับกำไรสุทธิ (r = -1.00) อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$) (ตารางที่ 5)

ประสิทธิภาพการบำบัดปริมาณวิบริโอรวมในน้ำมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ชุดการทดลองที่ 5 ที่บำบัดน้ำโดยการกรองร่วมกับโอโซนมีประสิทธิภาพการบำบัดเป็น

บวกสูงสุด (85.74±4.52%) และมีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกับชุดการทดลองที่ 4 (81.27±4.09%) ที่บำบัดน้ำด้วยโอโซนเพียงอย่างเดียว สำหรับประสิทธิภาพการบำบัดที่พบรองลงมาอยู่ในชุดการทดลองที่ 2 (55.541±10.33%) โดยมีค่าไม่แตกต่างกับชุดการทดลองที่ 3 (54.82±17.36%) ส่วนในชุดการทดลองที่ 1 มีประสิทธิภาพการบำบัดที่เป็นบวกน้อยที่สุดเท่ากับ 17.99±2.96% (ตารางที่ 6) ชี้ให้เห็นว่าการบำบัดน้ำโดยการใช้โอโซนสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำและเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการป้องกันและลดปริมาณเชื้อวิบริโอรวมได้ อย่างไรก็ตามหากมีการนำเอาระบบการกรองน้ำเข้ามาใช้ร่วมกับโอโซนก็จะสามารถลดปริมาณเชื้อวิบริโอรวมได้มากยิ่งขึ้น มีรายงานการใช้โอโซนในการกำจัดเชื้อโรค เช่น Bullock และคณะ (1997) ใช้โอโซนในการกำจัดเชื้อแบคทีเรียที่เกิดบริเวณเหงือกปลา Rainbow trout โดยเติมโอโซนในอัตรา 3.6-3.9 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่าสามารถลดการตายของปลาที่เกิดจากเชื้อชนิดนี้ได้ Chang และคณะ (1998) ใช้โอโซนที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 2.0 มิลลิกรัม/ลิตร ใช้เวลาสัมผัสเพียง 2 นาที สามารถกำจัดเชื้อไวรัสที่เป็นสาเหตุของโรคจุดขาวในกุ้งได้ นอกจากนี้ Arimoto และคณะ (1996) ใช้โอโซนที่มีความเข้มข้น เท่ากับ 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร ใช้เวลาสัมผัส 2.5 นาที สามารถยับยั้งเชื้อไวรัส striped jack nervous necrosis virus (SJNNV) ได้อย่างสมบูรณ์