



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ)

ปริญญญา

เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การศึกษาสาเหตุการตายของการเลี้ยงปูม้า (*Portunus pelagicus* Linnaeus, 1758)
ในบ่อดิน

Study on Mortality Causes of Cultured Blue Swimming Crab
(*Portunus pelagicus* Linnaeus, 1758) in Earthen Ponds

นามผู้วิจัย นายวุฒิชัย อ่อนเอี่ยม

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์วราห์ เทพาคูดี, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุริยัน ชาญกิจจานุกิจ, Dr.Scient)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์ยนต์ มุสิก, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พงศ์เชษฐา พิชิตกุล, วท.ม.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่

เดือน

พ.ศ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาสาเหตุการตายของการเลี้ยงปูม้า (*Portunus pelagicus* Linnaeus, 1758) ในบ่อดิน

Study on Mortality Causes of Cultured Blue Swimming Crab
(*Portunus pelagicus* Linnaeus, 1758) in Earthen Ponds

โดย

นายวุฒิชัย อ่อนเอี่ยม

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ)

พ.ศ. 2554

วุฒิชัย อ่อนเอี่ยม 2554: การศึกษาสาเหตุการตายของการเลี้ยงปูม้า (*Portunus pelagicus* Linnaeus, 1758) ในบ่อดิน ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ) สาขาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์วราห์ เทพาหุดี, Ph.D.
134 หน้า

การศึกษานี้ได้แบ่งขั้นตอนการศึกษออกเป็น 2 ส่วน คือ ศึกษาอัตราการตายของปูม้าที่เลี้ยงเนื่องจากการกินกันเอง และศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินพื้นบ่อระหว่างการเลี้ยง รวมไปถึงผลกระทบที่อาจมีต่อ การเจริญเติบโต และอัตรา การตายของปูม้า โดย ทำการศึกษาในระบบการเลี้ยงจำลองภายในบ่อคอนกรีตขนาด 1.5 x 2.5 x 1.0 เมตร ปล่อยลูกปูม้าขนาดความกว้างกระดองเฉลี่ยเท่ากับ 1.80 ± 0.23 ซม., ความยาวกระดองเฉลี่ยเท่ากับ 0.97 ± 0.16 ซม. และน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับ 0.50 ± 0.16 กรัม ที่อัตราความหนาแน่น 3 ตัว/ตร.ม. เลี้ยงปูม้าในแต่ละชุดการทดลองด้วยอาหารสำเร็จรูป (อาหารกุ้งขาว) นาน 120 วัน ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ ซึ่งผลการศึกษาในการทดลองที่ 1 พบว่า อัตราการตายของ การเลี้ยงปูม้าแบบปกติ (ชุดการทดลองที่ 1), การเลี้ยงปูม้าแยกกัน ภายในบ่อ โดยการกั้นคอกด้วยตาข่ายพลาสติกขนาดตา 1.2 ซม. ขนาดความกว้าง x ยาวคอกละ 0.5 x 0.6 เมตร จำนวน 12 คอก/บ่อ (ชุดการทดลองที่ 2) และการเลี้ยงปูม้าโดย ใส่แผ่นพลาสติกขนาดกว้าง 20 ซม. ยาว 30 ซม. สูง 10 ซม. ทำมุม 90 องศา ลงไปในบ่อเพื่อใช้เป็นที่หลบซ่อน จำนวน 1 ที่หลบซ่อน/ตารางเมตร (ชุดการทดลองที่ 3) พบว่า ปูม้ามีอัตราการตายเนื่องจากการกินกันเอง เท่ากับ 0.00-21.42%, 0.00% และ 0.00-9.39% ตามลำดับ และปูม้าของทั้งสามชุดการทดลองมีอัตราการตายเนื่องจากปัจจัยอื่นเท่ากับ 0.00-6.48% ซึ่งในช่วง 60 วันแรกของการเลี้ยง สาเหตุหลักการตายของปูม้า จะเกิดจากการกินกันเอง ส่วนที่ระยะเวลาการเลี้ยงประมาณ 90 วันขึ้นไปสาเหตุหลักการตายของปูม้าจะเกิดจากปัจจัยอื่น และการใส่วัสดุหลบซ่อนลงไปบ่อเลี้ยงปูม้าสามารถลดการตายเนื่องจากการกินกันเองของปูม้าที่เลี้ยงได้ โดยเฉพาะในช่วง 45 วันแรกของการเลี้ยง ซึ่งพบว่าการเลี้ยงปูม้าแบบใส่วัสดุหลบซ่อนจะมีอัตราการตายเนื่องจากการกินกันเองต่ำกว่าปูม้าที่เลี้ยงแบบปกติ ($P < 0.05$) ส่วนผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินพื้น บ่อการเลี้ยงปูม้า ในระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่า (ชุดการทดลองที่ 1) และบ่อเลี้ยงใหม่ (ชุดการทดลองที่ 2) พบว่า ดินพื้นบ่อของชุดการทดลองที่ 1 มีปริมาณแอมโมเนีย และค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยสูงกว่าดินพื้นบ่อของชุดการทดลองที่ 2 ($P < 0.05$) ส่วนปริมาณซัลไฟด์ และสารอินทรีย์รวมเฉลี่ยในดินของทั้งสองชุดการทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) และพบว่า อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน และอัตราการรอดตายเฉลี่ยของปูม้าทั้งสองชุดการทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่เมื่อคิดเป็นผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่พบว่า ปูม้าที่เลี้ยงในชุดการทดลองที่ 1 มีผลผลิตเฉลี่ยต่ำ (0.06 ± 0.00 กก./ตร.ม.) และมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ เฉลี่ยสูง (4.01 ± 0.11) กว่าปูม้าที่เลี้ยงในชุดการทดลองที่ 2 ที่ให้ผลผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 0.11 ± 0.02 กก./ตร.ม. และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อเฉลี่ยเท่ากับ 3.41 ± 0.23 ($P < 0.05$) การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า ปริมาณแอมโมเนีย และค่าความเป็นกรด-ด่างของดินพื้นบ่อน่าจะเป็นปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิต และ FCR ของปูม้าที่เลี้ยง

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Vutthichai Oniam 2011: Study on Mortality Causes of Cultured Blue Swimming Crab (*Portunus pelagicus* Linnaeus, 1758) in Earthen Ponds. Master of Science (Aquaculture), Major Field: Aquaculture, Department of Aquaculture. Thesis Advisor: Associate Professor Wara Taparhudee, Ph.D. 134 pages.

This study was to study on mortality rate of blue swimming crab (*Portunus pelagicus*) due to cannibalism, and to study on effect of pond bottom soil properties on growth and mortality rate of cultured crab. In the experiments, crabs were raised under simulated earthen pond conditions in 1.5 x 2.5 m² concrete ponds, at a density of 3 crabs/m² for 120 days. Initial average carapace width, carapace length and body weight of crab were 1.80±0.23 cm, 0.97±0.16 cm and 0.50±0.16 g, respectively. Crabs were fed with shrimp feed. In the first experiment, three models used were a normal culture system (treatment 1), crabs raised individually in 0.5 x 0.6 m² plastic net fences at 12 fences/pond (treatment 2), crabs raised with 90 degree bent plastic plates (20 cm x 30 cm x 10 cm) as a shelter on pond bottom, at a density of 1 shelter/m² (treatment 3). All treatments had three replicates. Results showed that the mortalities of the crab caused by cannibalism (during the culture period of 1st, 2nd and 3rd models) were 0.00-21.42%, 0.00% and 0.00-9.39%, respectively. The death rate caused by other factors was 0.00-6.48% in all treatments. This study contends that during the first 60 days of the culture period, the leading factor of high mortality of the crabs was cannibalism, and that after 90 days of culture, other factors outweighed cannibalism. In addition, the shelter on pond bottom was important for reducing cannibalism especially, during the first 45 days of the culture period, crabs raised as a shelter was significantly lower mortality rate due to cannibalism than the normal culture systems (P<0.05). In addition, the study on changing properties of pond bottom soil on the crab raised in simulated earthen ponds with old soil substrate of bottom area (treatment 1) and new soil substrate of bottom area (treatment 2). Results showed that pond bottom soil in treatment 1 had a significantly higher ammonia concentration and pH compared to those treatment 2 (P<0.05). While concentrations of sulfide and organic matter in both treatments were not significantly different (P>0.05). The average daily growth (ADG) and survival rate of the crab in both treatments were not significantly different (P>0.05). However productivity per area showed that the crab raised in treatment 1 had a significantly lower productivity (0.06±0.00 kg/m²) and higher FCR (4.01±0.11) compared to those treatment 2 had productivity at 0.11±0.02 kg/m² and FCR at 3.41±0.23 (P<0.05). This study indicated that ammonia concentration and soil pH in pond bottom soil show the effect on productivity and FCR.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้า ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.วราห์ เทพาคูดี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุริยัน รัชฎกิจจานุกิจ และรองศาสตราจารย์ ดร.ยนต์ มุสิก อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำปรึกษาในการเรียน การค้นคว้าวิจัย ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ และกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เรืองวิชัย ชื่นพันธ์ ประธานการสอบปากเปล่าขั้นสุดท้าย อาจารย์ ดร.อัจฉรี เรืองเดช ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกในการสอบปากเปล่าขั้นสุดท้าย ที่ได้ให้ความกรุณาตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอน และมอบความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป ขอขอบคุณ คุณวาสนา อกรรัตน์ นักวิชาการประมงประจำสถานีวิจัยประมงคลองวาฬ คุณกนกวรรณ ขาวค่อน นักวิชาการประมงประจำสถานีวิจัยประมงศรีราชา และบุคลากรประจำสถานีฯทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ และให้คำแนะนำต่างๆ

สุดท้ายนี้ ด้วยความดีหรือประโยชน์อันใดเนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่ บิดามารดา และมลฑิชา ร่มตระกูลที่เป็นแรงบันดาลใจ และกำลังใจให้แก่ข้าพเจ้ามาโดยตลอด

วุฒิชัย อ่อนเอี่ยม
สิงหาคม 2554

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	4
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	33
อุปกรณ์	33
วิธีการ	34
ผลและวิจารณ์	41
ผล	41
วิจารณ์	72
สรุปและข้อเสนอแนะ	87
สรุป	87
ข้อเสนอแนะ	88
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	89
ภาคผนวก	104
ภาคผนวก ก ข้อมูลประกอบการรายงานผล	105
ภาคผนวก ข วิธีการวิเคราะห์เนื้อดิน พีเอช แอมโมเนีย ซัลไฟด์รวม และ	
สารอินทรีย์รวมในดิน	121
ภาคผนวก ค ภาพประกอบการทำวิทยานิพนธ์	129
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	134

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ผลของความเค็มน้ำต่อการเพาะเลี้ยงปูม้า	15
2 ผลของอุณหภูมิของน้ำต่อการเพาะเลี้ยงปูม้า	16
3 แสดง LC_{50} ของแอมโมเนียต่ออัตราการตายของปูม้า	17
4 แสดงแหล่งพันธุ์ สภาวะการเลี้ยง และปัจจัยอื่นๆบางประการที่เกี่ยวข้องกับการเพาะเลี้ยงปูม้า (<i>Portunus pelagicus</i> , Linnaeus 1758)	20
5 เกณฑ์ในการพิจารณากำหนดประเภทเนื้อดินจากปริมาณของอนุภาคในกลุ่มขนาดเล็ก	25
6 พารามิเตอร์ และวิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำระหว่างการทดลอง	37
7 พารามิเตอร์ และวิธีการวิเคราะห์คุณภาพดินระหว่างการทดลอง	38
8 อัตราการตายเฉลี่ยของปูม้าที่เลี้ยงแบบปกติในแต่ละช่วงการเลี้ยง (Mean±SD)	43
9 ผลการเปรียบเทียบอัตราการตายเฉลี่ยของปูม้าในแต่ละช่วงการเลี้ยงของในแต่ละชุดการทดลอง (Mean±SD)	44
10 ขนาดความกว้างของกระดอง (CW) น้ำหนักตัว (WT) และเปอร์เซ็นต์การตายของปูม้าที่เลี้ยงเนื่องจากการกินกันเอง และเนื่องจาก กปัจจัยอื่นของในแต่ละชุดการทดลอง	46
11 ความกว้างของกระดอง (CW) ความยาวของกระดอง (CL) น้ำหนักตัว (WT) อัตราการรอดตาย (SV) อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (ADG) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) และผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่ของปูม้าที่เลี้ยงในระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่า และบ่อเลี้ยงใหม่ (Mean±SD)	50
12 แสดงค่าพีเอชของดินพื้นบ่อขณะเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่า และบ่อเลี้ยงใหม่ (Mean±SD)	53
13 แสดงปริมาณซัลไฟด์ในดินพื้นบ่อ (มก./ก. นน.ดินแห้ง) ขณะเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่า และบ่อเลี้ยงใหม่ (Mean±SD)	57
14 แสดงปริมาณแอมโมเนียในดินพื้นบ่อ (มก./กก.) ขณะเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่า และบ่อเลี้ยงใหม่ (Mean±SD)	60

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
15 แสดงปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินพื้นบ่อ (%) ขณะเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่า และบ่อเลี้ยงใหม่ (Mean±SD)	63
16 อัตราการตายเฉลี่ยของปูม้าที่เลี้ยงในระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่า และบ่อเลี้ยงใหม่ (Mean±SD)	67
ตารางผนวกที่	
ก1 แสดงอัตราการรอดตายของปูม้าที่เลี้ยงแบบปกติ เลี้ยงแยก และเลี้ยงแบบใส่วัสดุหลบซ่อนของในแต่ละช่วงการเลี้ยง และอัตราการตายเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง	106
ก2 แสดงอัตราการตายของปูม้าที่เลี้ยงแบบปกติ เลี้ยงแยก และเลี้ยงแบบใส่วัสดุหลบซ่อนของในแต่ละช่วงการเลี้ยง	107
ก3 แสดงการเจริญเติบโตของปูม้าที่เลี้ยงแบบปกติ เลี้ยงแยก และเลี้ยงแบบใส่วัสดุหลบซ่อน	108
ก4 แสดงการเจริญเติบโตเฉลี่ย อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (ADG) และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) ของปูม้าที่เลี้ยงแบบปกติ เลี้ยงแยก และเลี้ยงแบบใส่วัสดุหลบซ่อน	109
ก5 แสดงการเจริญเติบโตของปูม้าที่เลี้ยงในระบบจำลองบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำเก่า และบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำที่ปรับปรุงใหม่	110
ก6 อัตราการรอดตายของปูม้าระหว่างการเลี้ยงในระบบจำลองบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำเก่า และบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำที่ปรับปรุงใหม่	111
ก7 อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (ADG) ของปูม้าที่เลี้ยงในระบบจำลองบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำเก่า และบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำที่ปรับปรุงใหม่ที่ระยะเวลาการเลี้ยง 120 วัน	112
ก8 ปริมาณอาหารที่ให้อุปม้าในแต่ละช่วงการเลี้ยง (กรัม) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) และผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่ของปูม้าที่เลี้ยงในระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่า และบ่อเลี้ยงใหม่	113

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ก9 แสดงสัดส่วนของอนุภาคดินทราย (Sand) อนุภาคทรายแป้ง (Silt) อนุภาคดินเหนียว (Clay) และประเภทเนื้อดิน (Soil texture) ของการเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำเก่า และบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำใหม่ที่ระดับความลึกของดิน 0 -10 เซนติเมตร	114
ก10 แสดงค่าพีเอชของดินพื้นบ่อขณะเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำเก่า และบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำที่ปรับปรุงใหม่	115
ก11 แสดงปริมาณซัลไฟด์ (AVS) ในดินพื้นบ่อขณะเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำเก่า และบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำที่ปรับปรุงใหม่	116
ก12 แสดงปริมาณแอมโมเนียในดินพื้นบ่อขณะเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำเก่า และบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำที่ปรับปรุงใหม่	117
ก13 แสดงปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินพื้นบ่อขณะเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำเก่า และบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำที่ปรับปรุงใหม่	118
ก14 ค่าคุณภาพน้ำของการเลี้ยงปูม้าแบบปกติ เลี้ยงแยกกันภายในบ่อ และเลี้ยงโดยใส่วัสดุหลบซ่อน	119
ก15 ค่าคุณภาพน้ำของการเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่า และบ่อเลี้ยงใหม่	120

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ลักษณะโดยทั่วไปของปูม้า (<i>Portunus pelagicus</i> Linnaeus, 1758) (ซ้าย) ปูม้าเพศเมีย (ขวา) ปูม้าเพศผู้	7
2	การแพร่กระจายของปูม้าทั่วโลก โดยวงกลมทึบสีแดงเป็นบริเวณที่มีการแพร่กระจายของปูม้า	10
3	แหล่งความชุกชุม และการแพร่กระจายของปูม้าในประเทศไทย โดยวงกลมทึบสีแดงเป็นบริเวณที่มีการแพร่กระจายของปูม้า	10
4	สี และระยะของไข่นอกกระดองของแม่ปูม้า (a) ไข่นอกกระดองสีเหลืองระยะคลีเวจ-บลาสตูลา และระยะแกสตรูลา (b) ไข่นอกกระดองสีน้ำตาลระยะเกิดจุดตา และเมื่อดสี (c) ไข่นอกกระดองสีเทาดำระยะหัวใจเด่น	12
5	ลักษณะของลูกปูวัยอ่อน (a) ระยะ zoea (b) ระยะ megalopa (c) ระยะ first crab	13
6	แสดงอัตราการตายของปูม้าของในแต่ละชุดการทดลอง ชุดการทดลองที่ 1 = ปูม้าที่เลี้ยงแบบปกติ ชุดการทดลองที่ 2 = ปูม้าที่เลี้ยงแยกกันภายในบ่อ ชุดการทดลองที่ 3 = ปูม้าที่เลี้ยงโดยใส่วัสดุหลบซ่อน	41
7	แสดงอัตราการตายของปูม้าในแต่ละช่วงการเลี้ยงของในแต่ละชุดการทดลอง ชุดการทดลองที่ 1 = ปูม้าที่เลี้ยงแบบปกติ ชุดการทดลองที่ 2 = ปูม้าที่เลี้ยงแยกกันภายในบ่อ ชุดการทดลองที่ 3 = ปูม้าที่เลี้ยงโดยใส่วัสดุหลบซ่อน	42
8	แสดงอัตราการตายของปูม้าในแต่ละช่วงการเลี้ยงอันเนื่องมาจากการกินกันเอง และเนื่องจากปัจจัยอื่นของในแต่ละชุดการทดลอง	47
9	แสดงเส้นแนวโน้มอัตราการตายอันเนื่องมาจากการกินกันเอง และเนื่องจากปัจจัยอื่นของปูม้าที่เลี้ยงแบบปกติ (a) ปูม้าที่เลี้ยงแยกกันภายในบ่อด้วยการกั้นคอก (b) และปูม้าที่เลี้ยงแบบใส่วัสดุหลบซ่อน จำนวน 1 ที่หลบซ่อน/ตารางเมตร (c)	48
10	อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (a) อัตราการตาย (b) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (c) และผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่ (d) ของปูม้าที่เลี้ยงในระบบจำลองบ่อเก่า และบ่อใหม่ โดยค่าที่กำกับด้วยอักษรต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$)	51

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
11	แสดงสัดส่วนของอนุภาคทราย (sand), อนุภาคทรายแป้ง (silt) และอนุภาคดินเหนียว (clay) ของดินพื้นบ่อของระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่า	54
12	แสดงสัดส่วนของอนุภาคทราย (sand) อนุภาคทรายแป้ง (silt) และอนุภาคดินเหนียว (clay) ของดินพื้นบ่อของระบบจำลองบ่อเลี้ยงที่ปรับปรุงใหม่	54
13	แสดงการเปลี่ยนแปลงพีเอชของดินพื้นบ่อที่ระดับความลึก 0 – 5 เซนติเมตร ขณะเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่า และบ่อเลี้ยงที่ปรับปรุงใหม่	55
14	แสดงการเปลี่ยนแปลงพีเอชของดินพื้นบ่อที่ระดับความลึก 6 – 10 เซนติเมตร ขณะเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่า และบ่อเลี้ยงที่ปรับปรุงใหม่	55
15	แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณซัลไฟด์ (AVS) ในดินพื้นบ่อที่ระดับความลึก 0 – 5 เซนติเมตร ขณะเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่า และบ่อเลี้ยงที่ปรับปรุงใหม่	58
16	แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณซัลไฟด์ (AVS) ในดินพื้นบ่อที่ระดับความลึก 6 – 10 เซนติเมตร ขณะเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่า และบ่อเลี้ยงที่ปรับปรุงใหม่	58
17	แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียในดินพื้นบ่อที่ระดับความลึก 0 – 5 เซนติเมตร ขณะเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่า และบ่อเลี้ยงที่ปรับปรุงใหม่	61
18	แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียในดินพื้นบ่อที่ระดับความลึก 6 – 10 เซนติเมตร ขณะเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่า และบ่อเลี้ยงที่ปรับปรุงใหม่	61
19	แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินพื้นบ่อที่ระดับความลึก 0 – 5 เซนติเมตร ขณะเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่า และบ่อเลี้ยงที่ปรับปรุงใหม่	64
20	แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินพื้นบ่อที่ระดับความลึก 6 – 10 เซนติเมตร ขณะเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่า และบ่อเลี้ยงที่ปรับปรุงใหม่	64

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
21	ค่าเฉลี่ยของพีเอช (a) ปริมาณแอมโมเนีย (b) ปริมาณซัลไฟด์ (c) และปริมาณสารอินทรีย์รวม (d) ตลอดระยะเวลาการเลี้ยงของดินฟ้นบ่อในระบบจำลองบ่อเก่า และบ่อใหม่ โดยค่าที่กำกับด้วยอักษรต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$)	66
22	การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินฟ้นบ่อเฉลี่ยที่ระดับความลึก 0-10 เซนติเมตร กับอัตราการตายเฉลี่ยของปูม้าที่เลี้ยงในระบบจำลองบ่อเก่า	68
23	การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินฟ้นบ่อเฉลี่ยที่ระดับความลึก 0-10 เซนติเมตร กับอัตราการตายเฉลี่ยของปูม้าที่เลี้ยงในระบบจำลองบ่อใหม่	69
24	แสดงค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำของการเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่า และบ่อเลี้ยงใหม่ โดยค่าที่กำกับด้วยอักษรต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$)	71
25	แสดงลักษณะปูม้าที่ตายเนื่องจากการกินกันเอง (cannibalism) ของปูม้าที่เลี้ยงในบ่อ	75
26	ผลของคุณสมบัติของดินต่อลักษณะภายนอก และการตายของปูม้าที่เลี้ยง (a) ลักษณะภายนอกของปูม้าที่เหมือนมีตะกอนดิน หรือโคลนติดอยู่ที่กระดอง และรยางค์ (b) เมื่อเปิดส่วนท้อง หรือ จับปิ้งของ ปูม้าที่ตาย พบว่าจะมีลักษณะเป็นสีดำ	77
27	แสดงอวัยวะภายในของปูม้าที่ตายเนื่องจากคุณสมบัติของดินฟ้นบ่อไม่เหมาะสม	77

ภาพผนวกที่

ก1	บ่อทดลองขนาด 1.5x2.5x1.0 เมตร ที่ใส่ดินรองฟ้นบ่อสูงประมาณ 20 เซนติเมตร	130
ก2	การกั้นคอกภายในบ่อทดลองด้วยตะข่ายพลาสติกขนาดตา 1.2 เซนติเมตร ขนาดความกว้างxยาวคอกละ 0.5x0.6 เมตร จำนวน 12 คอก/บ่อ	130

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ก3 ลักษณะของแผ่นพลาสติกขนาดกว้าง 20 ซม. ยาว 30 ซม. สูง 10 ซม. ที่ใช้เป็นที่ยึด ก้าง หรือวัสดุหลบซ่อนภายในบ่อทดลองจำนวน 1 ที่หลบซ่อน/ตารางเมตร	130
ก4 การวัดขนาดโดยใช้เวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์ (a) และชั่งน้ำหนักตัวปูด้วยเครื่องชั่ง ทศนิยม 2 ตำแหน่ง (b) เพื่อปรับปริมาณอาหารที่ให้ทุก 15 วัน	131
ก5 การเก็บตัวอย่างดินในบ่อทดลองที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตร ด้วยท่อ พลาสติกใสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 เซนติเมตร	131
ก6 การวิเคราะห์ปริมาณซัลไฟด์รวมในดิน (AVS) โดยต่อสายยางจาก sulfide reaction column ไปยัง hedrotek column จากนั้นต่อเข้ากับเครื่องดูดสุญญากาศ (a) แล้วอ่านค่าปริมาณซัลไฟด์จากสารซึ่งบรรจุอยู่ภายใน hedrotek column ที่ เปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีน้ำตาลแดง (b)	132
ก7 การหาขนาดอนุภาคของดินโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์ (a) หย่อนลงไปในกระบอก ตกตะกอนแล้วอ่านค่าที่ไฮโดรมิเตอร์ (b และ c)	132
ก8 ปูม้าจับคู่ผสมพันธุ์กันภายในบ่อทดลองเมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ 120 วัน	133

การศึกษาสาเหตุการตายของการเลี้ยงปูม้า (*Portunus pelagicus* Linnaeus, 1758) ในบ่อดิน

Study on Mortality Causes of Cultured Blue Swimming Crab (*Portunus pelagicus* Linnaeus, 1758) in Earthen Ponds

คำนำ

สัตว์น้ำเป็นหนึ่งในอาหารที่สำคัญของประชากรในประเทศ แต่การประมงของประเทศไทยในปัจจุบันนั้น กำลังประสบปัญหาต่างๆ มากมาย เช่น ความเสื่อมโทรมของทรัพยากรสัตว์น้ำ อันเนื่องมาจากการทำการประมงมากเกินไปจนเกินศักยภาพของการผลิต การประกาศเขตเศรษฐกิจจำเพาะ 200 ไมล์ทะเล การขยายตัวทางด้านอุตสาหกรรม และความเจริญของบ้านเมืองที่ทำให้เกิดความเสื่อมโทรมของแหล่งน้ำธรรมชาติ เป็นต้น ด้วยเหตุนี้การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจึงเป็นอีกหนทางหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มผลผลิตสัตว์น้ำที่มีแนวโน้มลดลงให้สูงขึ้น และมีเพียงพอต่อความต้องการของประชากร ทั้งยังช่วยให้เกิดการสร้างงาน หรือสร้างอาชีพที่ยั่งยืนให้กับเกษตรกร และอาชีพที่จะผลิตสัตว์น้ำเพื่อการส่งออกไปจำหน่ายยังตลาดต่างประเทศ เพื่อเป็นการลดดุลการค้า และช่วยภาวะเศรษฐกิจของประเทศ

ปูม้า (*Portunus pelagicus*) เป็นสัตว์น้ำชายฝั่งเศรษฐกิจอีกชนิดหนึ่งที่กำลังได้รับความนิยมอย่างมาก นอกจากเป็นสัตว์น้ำที่นิยมบริโภคโดยทั่วไปแล้ว ปูม้ายังเป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญซึ่งผลิตภัณฑ์จากปูคิดเป็นมูลค่าหลายพันล้านบาทต่อปี ทำให้เป็นที่ต้องการของโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปเพื่อการส่งออก นอกจากนี้ปูม้ามายังมีศักยภาพสูงในการทำอุตสาหกรรมผลิตปูนิ่มเพื่อที่จะเพิ่มมูลค่าสินค้า และสามารถส่งออกไปขายยังต่างประเทศได้ เนื่องจากปูม้าในประเทศไทยมีรูปลักษณ์คล้ายคลึงกับปู blue crab (*Callinectes sapidus*) ในต่างประเทศ ซึ่งเป็นที่นิยมบริโภคมากกว่าปูทะเลนิ่ม (*Scylla spp.*) เพราะมีสีส้ม และรูปลักษณ์น่าบริโภคมากกว่า (วารินทร์, 2548; บุญรัตน์, 2550) ทำให้มีความต้องการปูม้าสูงขึ้น เป็นผลให้มีการจับปูม้าจากทะเลขึ้นมาใช้ประโยชน์มากขึ้นไป จนปูในธรรมชาติเกิดทดแทนไม่ทันส่งผลให้ผลผลิตปูม้าในท้องทะเลไทยลดลง และมีแนวโน้มที่จะลดลงอีกเรื่อยๆ ซึ่งในปี พ.ศ. 2551 ปริมาณปูม้าที่จับได้มีประมาณ 23,600 ตัน ลดลงไป 20.10% จากปริมาณปูม้าที่จับได้ในปี พ.ศ. 2547 (กรมประมง, 2553) ด้วยเหตุนี้การเพาะเลี้ยงปู

มั่วจึงจำเป็นต้องเข้ามามีบทบาทมากขึ้น เพื่อให้ผลผลิตของปุ๋ยที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเข้ามารองรับกับความต้องการของตลาด และเพื่อให้อีกทางเลือกหนึ่งสำหรับเกษตรกร โดยเฉพาะกับเกษตรกรที่เลี้ยงกุ้งทะเลที่กำลังประสบปัญหาหาค่ากุ้งตกต่ำ และปัญหาอื่นๆ จนทำให้ขาดทุนเล็กน้อยกันไปหลายราย แต่ในปัจจุบันยังไม่มีเกษตรกรฟาร์มใดที่สามารถเลี้ยงปุ๋ยให้มีผลผลิตที่คุ้มค่ากับการลงทุนได้ จากรายงานผลการวิจัยการเลี้ยงปุ๋ยในบ่อดินที่ระยะเวลาการเลี้ยง 90 – 120 วัน พบว่า จะได้ปุ๋ยขนาด 66 – 119 กรัม/ตัว อัตรารอด 2.97- 59.59% ผลผลิตที่ได้จะอยู่ที่ 26.74 -140.50 กิโลกรัม/ไร่ (กอบศักดิ์ และคณะ, 2547; อารมณ์ และสำรวย, 2548; วารินทร์ และคณะ, 2548; อารมณ์ และคณะ, 2551) ซึ่งผลผลิตที่ได้ยังต่ำอยู่ บรรจง (2547) กล่าวเอาไว้ว่าถ้าผลิตปุ๋ยขนาด 10 ตัว/กิโลกรัม ขายได้กิโลกรัมละ 70 บาท จุดคุ้มทุนของฟาร์มจะอยู่ที่ผลิตปุ๋ยได้ประมาณ ไร่ละ 286 กิโลกรัม/รุ่น ทั้งนี้จุดคุ้มทุนของฟาร์มขึ้นอยู่กับความสามารถในการผลิตของแต่ละบ่อ ต้นทุนในการผลิต และราคาปุ๋ยที่ขาย ณ พื้นที่นั้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าองค์ความรู้ที่มีอยู่ ณ ปัจจุบันนี้ ยังไม่สามารถส่งเสริมให้เกษตรกรหันมาเลี้ยงปุ๋ยเชิงพาณิชย์ได้

จากการวิเคราะห์ปัญหาของการเลี้ยงปุ๋ย พบว่า ปัญหาของการเลี้ยงปุ๋ยในปัจจุบันคือผลผลิตต่ำ เพราะมีอัตราการรอดน้อย ซึ่งสาเหตุที่ปุ๋ยมีอัตราการรอดน้อยนั้นเนื่องมาจากปุ๋ยมีพฤติกรรมการกินกันเอง (cannibalism) (Marshall *et al.*, 2005; Maheswarudu *et al.*, 2008) แต่อย่างไรก็ตามจากการสังเกตการเลี้ยงปุ๋ยในบ่อดินที่สถานีวิจัยประมงคลองวาฬ พบว่า ระหว่างการเลี้ยงจะพบปุ๋ยตายตามขอบบ่อด้วย โดยเฉพาะเมื่ออายุการเลี้ยงประมาณ 3 เดือนขึ้นไปจะพบมากกว่าปกติ ซึ่งชี้ให้เห็นว่าอาจมีสาเหตุ หรือปัจจัยอื่นอีกที่ทำให้อัตราการตายของปุ๋ยในบ่อดินต่ำ นอกเหนือจากการกินกันเอง จึงสันนิษฐานว่าน่าจะเกิดจากการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของดินพื้นบ่อระหว่างการเลี้ยง หรือคุณสมบัติของดินพื้นบ่อไม่เหมาะสม เนื่องจากปุ๋ยมีพฤติกรรมการดำรงชีวิตอยู่ที่พื้นหน้าดิน ทั้งการหาอาหาร, การลอกคราบเพื่อการเจริญเติบโต และการพัฒนาการของไข่ เป็นต้น (Kangas, 2000) และนอกจากนี้ดินพื้นบ่อเป็นปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่สำคัญในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยเฉพาะสัตว์น้ำในกลุ่มครัสเตเชียนที่อาศัยอยู่ตามพื้นหน้าดิน ตัวอย่างเช่น ในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ดินพื้นบ่อ นอกจากถูกใช้เป็นที่ฝังตัวอยู่อาศัยของกุ้งแล้ว ยังเป็นบริเวณที่มีการสะสมของของเสียที่เป็นสิ่งขับถ่ายจากกุ้ง เศษอาหารที่เหลือตกค้างอยู่ภายในบ่อตลอดช่วงระยะเวลาที่เลี้ยง และซากตายของแพลงก์ตอน รวมทั้งตะกอนสารอินทรีย์ที่ปะปนมากับน้ำ ซึ่งดินพื้นบ่อที่เน่าเสียอันเนื่องมาจากการสะสมของสารอินทรีย์สูง จะมีผลต่อคุณภาพน้ำ และคุณภาพของตัวกุ้ง เป็นต้น จึงกล่าวได้ว่า ดินพื้นบ่อมีความสำคัญต่อผลผลิตของสัตว์น้ำ (สามารถ และคณะ 2532; Hajek and Boyd, 1994)

ด้วยเหตุนี้งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาถึงสาเหตุการตายของปูม้าระหว่างการเลี้ยง โดยจะศึกษาถึงอัตราการตายของปูม้าที่เกิดจากการกินกันเอง รวมไปถึงการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินพื้นบ่อที่อาจมีผลกระทบต่ออัตราการตายของปูม้า องค์ความรู้ที่ได้รับจากการวิจัยนี้จะช่วยทำให้ทราบถึงสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นกับการเลี้ยงปูม้าในปัจจุบัน และแนวทางแก้ไขปัญหานั้นชัดเจนยิ่งขึ้น



วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาอัตราการตายของปูม้าที่เลี้ยงเนื่องจากการกินกันเอง
2. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินพื้นบ่อระหว่างการเลี้ยง และผลกระทบต่อ
การเจริญเติบโต และอัตราการตายของปูม้า



การตรวจเอกสาร

1. ปูม้า

1.1 อนุกรมวิธานของปูม้า

ปูม้าจัดอยู่ในครอบครัว Portunidae มีชื่อสามัญว่า Blue swimming crab มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Portunus pelagicus* (Linnaeus, 1758) ซึ่งสามารถจัดลำดับหมวดหมู่ตามหลักอนุกรมวิธานได้ดังนี้

Phylum Arthropoda

Subphylum Crustacea

Class Malacostraca

Subclass Eumalacostraca

Superorder Eucarida

Order Decapoda

Suborder Pleocyemata

Infraorder Brachyura

Section Brachyrhyncha

Superfamily Portunoidea

Family Portunidae

Genus *Portunus*

Species *pelagicus*

1.2 ชีววิทยาและสรีระวิทยาของปูม้า

ลักษณะทั่วไปของปูม้าแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนที่หนึ่งส่วนหัว (Head) ประกอบด้วย 5 ปล้อง มีรยางค์ 5 คู่ ได้แก่ หนวดคู่ที่ 1 (antennule), หนวดคู่ที่ 2 (antenna), mandible และ maxilla คู่ที่ 1 และ 2 ด้านหน้าของส่วนหัวมีตาซึ่งเป็นตาประกอบ (compound eye) ตั้งอยู่บนก้านตา (eyestalk) ส่วนที่สองส่วนอก (Thorax) ประกอบด้วย 8 ปล้อง มีรยางค์ 8 คู่ ได้แก่ maxilliped

3 คู่ และ pereopod 5 คู่ pereopod คู่ที่ 1 มีลักษณะเป็นก้ามหนีบ (chelate) และมีขนาดใหญ่กว่า pereopod คู่อื่นๆ pereopod คู่ที่ 2, 3 และ 4 จะมีขนาดเล็กปลายแหลมใช้เป็นขาเดิน (Walking legs) ส่วน pereopod คู่สุดท้ายตอนปลายจะมีลักษณะเป็นใบพายใช้ในการว่ายน้ำ (Swimming legs) และส่วนที่สามส่วนท้อง (Abdomen) ประกอบด้วย 6 ปล้อง มีรยางค์ 5 คู่ ได้แก่ pleopod คู่ที่ 1 ถึง 5 บริเวณขอบด้านท้ายของปล้องท้องคู่ที่ 6 มีส่วนหาง (telson) ซึ่งรวมกับ uropod อยู่ตรงกลาง เป็นบริเวณที่ทวารหนัก (anus) มีรูเปิดออก ร่างกายปกคลุมด้วยโครงร่างแข็งภายนอก (exoskeleton) เป็นสารประกอบพวกไคติน ส่วนหัว และส่วนนอกจะเชื่อมรวมกันเรียกว่า cephalothorax มี carapace หรือกระดองหุ้มปกคลุมอยู่ carapace มีรูปล้างแบนจากบนลงล่าง และขยายออกทางด้านข้าง ทางด้านข้างทั้งสองของ carapace จะเป็นรอยหยักคล้ายฟันเลื่อยเป็นหนามแหลมข้างละ 9 อัน เรียกว่า Anterolateral tooth (สุเมธ, 2527)

ความแตกต่างระหว่างเพศสามารถสังเกตได้จากสี ซึ่งสีของปูม้าเพศผู้บริเวณกระดอง ก้าม ขาเดิน และขาว่ายน้ำจะออกเป็นสีฟ้า หรือฟ้าอ่อน และจะมีจุดสีขาวกระจายอยู่ทั่วไปบนกระดอง, ก้าม และขาว่ายน้ำ ส่วนสีของปูม้าเพศเมียบริเวณกระดอง ก้าม ขาเดิน และขาว่ายน้ำจะออกเป็นเขียวอมน้ำตาล และจะมีจุดสีขาวกระจายอยู่ทั่วไปเช่นกัน นอกจากนี้ยังสังเกตได้จากรูปร่างของ abdomen หรือชื่อที่เรียกตามท้องถื่นว่าจับปิ้ง หรือตะปิ้ง โดยเพศผู้จะมี abdomen เป็นรูปสามเหลี่ยม แคบ และมี pleopod คู่แรกดัดแปลงเป็นอวัยวะที่ช่วยในการสืบพันธุ์ เรียกว่า gonopod หรือ penis ที่ช่วยในการส่งเชื้อตัวผู้ไปยังเพศเมีย ส่วนเพศเมียมี abdomen เป็นรูปครึ่งวงกลม หรือสามเหลี่ยมกว้าง และมี pleopod 5 คู่ เป็นที่ยึดเกาะของไข่ที่ได้รับการปฏิสนธิแล้ว (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 ลักษณะโดยทั่วไปของปูม้า (*Portunus pelagicus* Linnaeus, 1758)

(ซ้าย) ปูม้าเพศเมีย (ขวา) ปูม้าเพศผู้

1.3 การเจริญเติบโตของปูม้า

เนื่องจากร่างกายของปูม้ามามีโครงร่างแข็งภายนอกซึ่งไม่สามารถขยายใหญ่ขึ้นได้ ดังนั้นการเจริญเติบโตจึงถูกจำกัด ปูม้าจะขยายขนาดได้ต้องสลัด หรือลอกคราบ (Molting) ออกไป ก่อน วงจรในการลอกคราบของปูม้าจะมีอยู่ 3 ช่วงใหญ่ๆ คือ Intermolt, Premolt และ Postmolt ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 7 ระยะหลัก ได้แก่

ระยะ A (Early postmolt stage) เป็นระยะที่ปูเพิ่งลอกคราบเสร็จ ลักษณะกระดองมีความอ่อนนุ่ม ระยะนี้ปูเริ่มสะสมแร่ธาตุในการสร้างเปลือก ปูเคลื่อนที่น้อย ไม่กินอาหาร ระยะนี้จะใช้เวลาประมาณ 1 วัน

ระยะ B (Postmolt stage) เป็นระยะที่เปลือกเริ่มแข็ง มีอัตราการสะสมแร่ธาตุสูงขึ้น มีการเคลื่อนที่มากขึ้น เริ่มกินอาหาร ระยะนี้จะใช้เวลานาน 2-3 วัน

ระยะ C (Intermolt stage) เป็นระยะที่ปูมีการสร้างเปลือกอย่างต่อเนื่อง มีอัตราสะสมแร่ธาตุสูงมาก มีการเคลื่อนที่เป็นปกติ กินอาหารเป็นปกติ ระยะนี้จะใช้เวลานานประมาณ 10-20 วัน

ระยะ D1 (Early premolt stage) ปูมีการเคลื่อนที่เร็ว มีพฤติกรรมก้าวร้าว เริ่มชะลอการสร้างเปลือก และจะกินอาหารน้อยลงกว่าระยะ C ประมาณ 10-20% ระยะนี้จะใช้เวลานานประมาณ 5 วัน

ระยะ D2 (Mid-premolt stage) ปูมีการเคลื่อนที่เร็ว มีพฤติกรรมก้าวร้าว เริ่มมีการนำสารอาหารจากเปลือกมาเก็บสะสมในร่างกาย ปูจะกินอาหารน้อยลงกว่าระยะ C ประมาณ 20-30% ระยะนี้จะใช้เวลานานประมาณ 5 วัน

ระยะ D3 (Late premolt stage) ปูมีการเคลื่อนที่ช้าลง มีการนำสารอาหารจากเปลือกมาเก็บสะสมในร่างกายมากขึ้น เปลือกมีความหนาแน่นลดลง ปูจะกินอาหารน้อยลงกว่าระยะ C ประมาณ 70-80% ระยะนี้จะใช้เวลานานประมาณ 3-5 วัน

ระยะ D4 (Very late premolt stage) ปูมีการเคลื่อนที่ช้าลงมาก มีการนำสารอาหารจากเปลือกมาเก็บสะสมในร่างกายสูงมาก เปลือกปูมีความบาง และมีความหนาแน่นลดลงมาก ปูไม่กินอาหาร ระยะนี้จะใช้เวลาประมาณ 2-3 วัน ก่อนจะลอกคราบ

อย่างไรก็ตามระยะเวลาที่ใช้ในการลอกคราบของปูในแต่ละครั้งนั้นขึ้นอยู่กับขนาด อายุ ความสมบูรณ์ของปู อาหาร และสิ่งแวดล้อมภายนอก ได้แก่ อุณหภูมิ ความเค็ม น้ำ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ความเข้มแสง และข้างขึ้นข้างแรม เป็นต้น (บุญรัตน์, 2550; Marshall *et al.*, 2005)

1.4 ถิ่นที่อยู่อาศัย และการแพร่กระจายของปูม้า

ปูในครอบครัว Portunidae จะมีการแพร่กระจาย และพบทั่วไปในเขตร้อนบริเวณใกล้ชายฝั่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแถบมหาสมุทรอินเดียทั้งฝั่งตะวันออก และฝั่งตะวันตก มหาสมุทรแปซิฟิก แถบประเทศญี่ปุ่น ฟิลิปปินส์ แทนซาเนีย ออสเตรเลีย ทางตอนบนของนิวซีแลนด์ จีน คาบสมุทรมาลายู เป็นต้น (ภาพที่ 2) ในประเทศไทยพบปูม้าได้ทั่วไปตามชายฝั่งของประเทศในทุกจังหวัด (ภาพที่ 3) ในบริเวณพื้นที่ท้องทะเลที่เป็นโคลนทราย และโคลนปนทราย ตลอดจนบริเวณหาดหิน อย่างไรก็ตามปูม้ามักจะชอบอาศัยอยู่บริเวณพื้นทราย หรือทรายปนโคลนมากกว่า ปูม้ามีพฤติกรรมเกี่ยวกับการสร้างอาณาเขต โดยบริเวณความกว้างของอาณาเขตของปูม้าจะขึ้นอยู่กับ

ขนาดของตัวปูม้า คือปูม้าที่ตัวใหญ่จะมีอาณาเขตกว้างกว่าปูม้าที่มีขนาดเล็ก และจะต่อสู้ป้องกันอาณาเขตเมื่อถูกบุกรุกจากปูตัวอื่น ซึ่งปูม้าที่แข็งแรงจะเป็นผู้ครอบครองอาณาเขต โดยทั่วไปจะพบปูม้ามากที่สุดที่ระดับความลึก 7-20 เมตร ถ้าความลึกมากขึ้นจะพบปูม้าน้อยลง บริเวณที่เป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของปูม้าขนาดเล็กที่มีความกว้างกระดอง 3-6 ซม. จะพบมากที่ระยะห่างฝั่งไม่เกิน 3 ไมล์ทะเล และความลึกไม่เกิน 10 เมตร ปูม้าที่มีขนาดความกว้างกระดอง 6.1-9.0 ซม. มีกระจายเป็นบริเวณกว้างในจำนวนที่ใกล้เคียงกันในทุกๆ ระยะที่ห่างจากฝั่งตั้งแต่ 1 – 7 ไมล์ทะเล และทุกๆ ระดับความลึกน้ำ ตั้งแต่ 3-20 เมตร และมากกว่า 20 เมตร ปูม้าที่มีขนาดความกว้างกระดอง 9.1-12.0 ซม. จะพบมากที่ระยะห่างชายจากฝั่งมากกว่า 3 ไมล์ทะเล และที่ความลึกน้ำมากกว่า 10 เมตร ส่วนแม่ปูม้าไข่นอกกระดองจะพบร้อยละ 6.46, 6.53, 9.40 และ 11.11 ที่ระดับความลึก 5-10, 10-15, 15-20 และมากกว่า 20 เมตร ตามลำดับ ส่วนที่ระดับความลึก 3-5 เมตร จะไม่พบปูม้าไข่นอกกระดองเลย และจะไม่พบปูม้าเลยที่ระดับความลึก 50 เมตรขึ้นไป ที่อุณหภูมิประมาณ 30-32 องศาเซลเซียส จะพบปูม้าในปริมาณมากกว่าบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 29 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ปูม้าชอบอาศัยอยู่ในน้ำทะเลความเค็มระหว่าง 28-29 ppt และถ้าความเค็มของน้ำสูงขึ้นกว่านี้ปริมาณของปูม้าจะลดลง (จินตนา และคณะ, 2551; วุฒิ, 2543; สุเมธ, 2527; Edgar, 1990; Warner, 1977; Xiao and Kumar, 2004)



ภาพที่ 2 การแพร่กระจายของปฐมาทั่วโลก โดยวงกลมทึบสีแดงเป็นบริเวณที่มีการแพร่กระจายของปฐมา



ภาพที่ 3 แหล่งความชุ่มชื้น และการแพร่กระจายของปฐมาในประเทศไทย โดยวงกลมทึบสีแดงเป็นบริเวณที่มีการแพร่กระจายของปฐมา

1.5 การสืบพันธุ์ และการพัฒนาการของกัพะ

ปูม้าในธรรมชาติจะมีไข่นอกกระดองได้ตลอดทั้งปี โดยมีปริมาณมากที่สุด 2 ช่วง คือ ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนพฤษภาคม และเดือนกันยายนถึงเดือนธันวาคม โดยขนาดของเพศเมียจะมีความกว้างกระดองแรกเริ่มสืบพันธุ์ที่ร้อยละ 50 เท่ากับ 9.47 ซม. หรือมีอายุประมาณ 144 วัน

การผสมพันธุ์ของปูม้า จะเกิดขึ้นขณะที่ปูเพศเมียกำลังจะลอกคราบ ก่อนผสมพันธุ์ปูเพศผู้จะลอกคราบก่อนประมาณ 7-10 วัน เมื่อกระดองแข็งมีความสมบูรณ์เต็มที่ก็จะเริ่มหาปูเพศเมียที่โตเต็มวัย และมีความพร้อมที่จะร่วมผสมพันธุ์ เช่น โกลีจะลอกคราบ เมื่อพบแล้วปูเพศผู้จะเกาะหลังปูเพศเมีย โดยใช้ขาเดินคู่ที่ 2-4 พงปูเพศเมียไว้ประมาณ 3-4 วัน จนกระทั่งปูเพศเมียลอกคราบ ลำตัวนึ่ม ตัวผู้จะพลิกตัวเอาด้านท้องขึ้นมาประกบกัน และสอดจับบึงเข้าไปในจับบึงตัวเมีย ช่วงนี้ปูเพศผู้จะใช้ขาพุงตัวเองไว้เพื่อไม่ให้ปูเพศเมียที่นึ่มเป็นอันตราย ปูเพศผู้จะปล่อยน้ำเชื้อไปไว้ในถุงเก็บน้ำเชื้อภายในปูเพศเมีย รอระยะเวลาผสมกับไข่ที่ส่งมาตามท่อนำไข่ในภายหลัง ขั้นตอนการผสมพันธุ์นี้จะใช้เวลาประมาณ 6 ชั่วโมง หลังจากผสมพันธุ์แล้ว ปูเพศเมียก็จะกลับตัวอยู่ในท่าปกติ ตัวผู้จะเกาะหลังปูเพศเมียอีก 1-2 วัน จนกระทั่งตัวเมียกระดองแข็งจึงแยกตัวออก จากนั้นประมาณ 20-30 วัน ไข่จะถูกส่งมาตามท่อนำไข่เพื่อผสมกับน้ำเชื้อ โดยในระยะแรกไข่จะอยู่ภายในกระดอง ต่อมากระดองทางด้านท้องเปิดออกทำให้สามารถเห็นไข่ปูม้าได้ชัดเจน จึงมักเรียกปูม้าในระยะนี้ว่า “ปูม้าไข่นอกกระดอง”

ไข่นอกกระดองนี้จะติดอยู่ที่จับบึง (abdomen) ขณะที่เจริญแบ่งเซลล์อยู่ภายในเปลือกไข่ สีของไข่จะค่อยๆ เปลี่ยนจากสีเหลือง เป็นสีเหลืองอมส้ม สีนํตาล สีนํตาลอมเทา และสีเทาอมดำ ตามลำดับ จากนั้นปูม้าที่มีไข่สีเทาอมดำจะวางไข่ภายใน 1-2 วัน

การศึกษาพัฒนาการของกัพะที่อยู่ในไข่นั้น สามารถแบ่งระยะการพัฒนาได้เป็น 4 ระยะ คือ

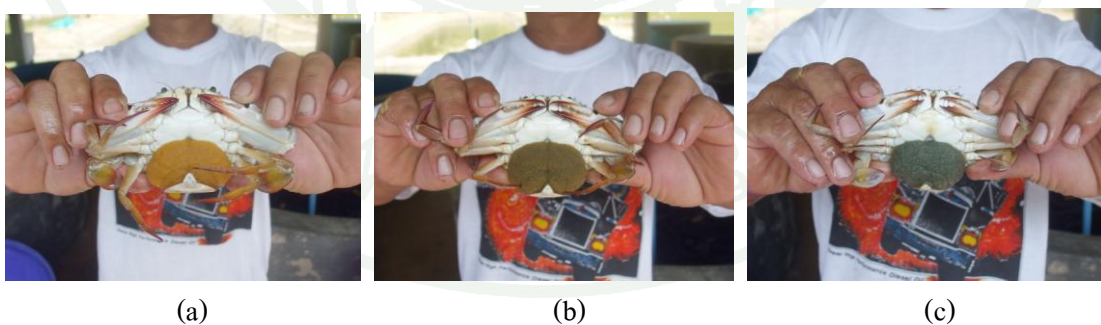
1. ระยะคลีเวจ-บลาสตูลา (Cleavage-Blastula stages) ไข่มีสีเหลืองนวล ภายในไข่มีไข่แดง (yolk) บรรจุอยู่เต็ม และมีการแบ่งเซลล์ ในตอนท้ายระยะนี้ จะเห็นการแบ่งเซลล์จำนวนมาก

2. ระยะแกสตรูลา (Gastrula stage) ไข่มีสีเหลืองส้ม ภายในไข่มีการคอดเว้าของเซลล์ไข่แดง ทำให้เกิดช่องว่าง (blastocoel) ภายใน บริเวณช่องว่างจะสังเกตเห็นเป็นเนื้อเยื่อใสๆ ขอบเป็นก้อน

3. ระยะเกิดจุดตาและเม็ดสี (Eyespot-Pigmentation stages) ไข่มีสีน้ำตาลดำ ภายในไข่มองเห็นเป็นเนื้อเยื่อของคัพพะ และมีจุดสีแดงเล็กๆ รูปร่างเป็นเส้นยาว 2 จุด เป็นจุดสีดำ (eye pigment) ของคัพพะ ระยะนี้เป็นระยะที่เกิดเนื้อเยื่อของคัพพะ ในตอนท้ายของระยะนี้จะมีปริมาณของเม็ดสี (pigment) เพิ่มมากขึ้น

4. ระยะหัวใจเต้น (Heart-beating stage) ไข่มีสีเทาดำ และขนาดใหญ่ขึ้นมากเมื่อเทียบกับระยะคลีเวจ ส่วนของตาจะมีขนาดใหญ่เห็นเป็นสีดำชัดเจน และสามารถมองเห็นเป็นโครงร่างของคัพพะที่อยู่ภายในไข่ได้ชัดเจน พบการเต้นของหัวใจของคัพพะที่อยู่ในไข่ ในช่วงแรกจะมีการเต้นอย่างช้าๆ และช่วงท้ายจะเห็นการเต้นของหัวใจชัดเจน และเร็วขึ้น (ภาพที่ 4)

โดยขนาดของไข่จากสีเหลืองจนถึงสีเทาดำจะอยู่ที่ 0.25-0.45 มม. (250-450 ไมครอน) ตามลำดับ หรือเฉลี่ย 0.34 ± 0.038 มม. (340 ไมครอน) และจากการศึกษาปริมาณของไข่แม่ปูม้า พบว่า ปริมาณไข่ของแม่ปูม้าขึ้นอยู่กับขนาดของแม่ปู และพื้นที่ที่ปูม้าอาศัยอยู่ (กรรณา และสุชาติ, 2532; จินตนา และคณะ, 2551; นงนุช และศุภางค์, 2550; วารินทร์, 2548; วุฒิชัย และวราห์, 2553; สุเมธ, 2527; Arshad *et al.*, 2006)

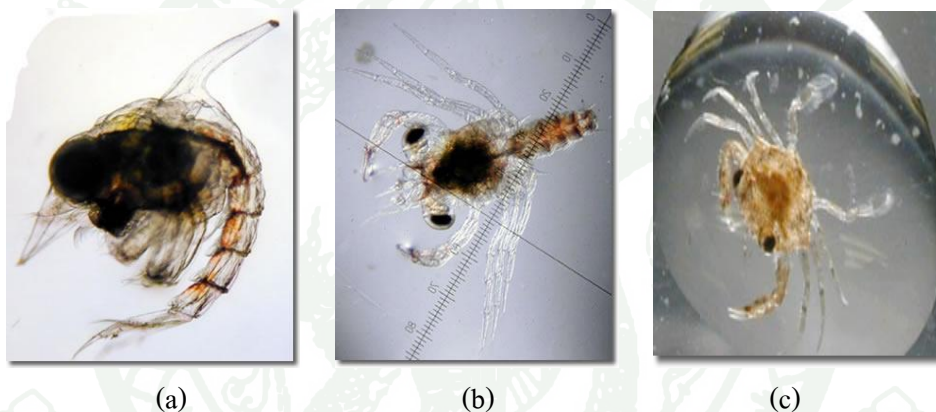


ภาพที่ 4 สี และระยะของไข่นอกกระดองของแม่ปูม้า

- (a) ไข่นอกกระดองสีเหลืองระยะคลีเวจ-บลาสตูลา และระยะแกสตรูลา
- (b) ไข่นอกกระดองสีน้ำตาลระยะเกิดจุดตา และเม็ดสี
- (c) ไข่นอกกระดองสีเทาดำระยะหัวใจเต้น

1.6 การพัฒนาการของลูกปูม้าวัยอ่อน

การพัฒนาการของลูกปูม้าวัยอ่อนจะเริ่มจากระยะซุเอีย (zoea stage) ซึ่งเป็นตัวอ่อนระยะแรกของลูกปูม้าหลังฟักออกจากไข่ แบ่งออกเป็น 4 ระยะย่อย คือ ซุเอีย 1-4 ใช้ระยะเวลาประมาณ 11-16 วัน จากนั้นลูกปูม้าจะเข้าสู่ระยะเมกาโลปา (megalopa stage) และอยู่ในระยะนี้ประมาณ 4-5 วัน จึงเข้าสู่ระยะลูกปูที่มีรูปร่างเหมือนพ่อแม่ หรือเรียกว่า first crab stage (ภาพที่ 5) ปูม้าตลอดทั้งวงจรชีวิตจัดเป็นพวกสัตว์กินเนื้อ (canivorous) อาศัยอยู่ในทะเล โดยในระยะวัยอ่อน (zoea, megalopa และ first crab) จะกินแพลงก์ตอนสัตว์ขนาดเล็ก เมื่อโตขึ้นก็จะกินพวกอาหารที่มีขนาดใหญ่ขึ้น (วารินทร์, 2548)



ภาพที่ 5 ลักษณะของลูกปูวัยอ่อน (a) ระยะ zoea (b) ระยะ megalopa (c) ระยะ first crab

ที่มา : SEAFDEC (2011)

1.7 อาหาร และการกินอาหารของปูม้า

ปูม้ามีนิสัยชอบออกหากินเวลากลางคืน กินอาหารได้หลายชนิด อาหารที่พบในกระเพาะปูม้าในธรรมชาติส่วนใหญ่จะเป็นหอย (51.3%), ครัสเตเชียน (24.1%), ปลา (18.0%) และอื่นๆ (6.6%) อย่างไรก็ตามจากการทดสอบการชอบกินอาหารต่างๆของปูม้า พบว่า ปูม้าชอบเนื้อหอยมากกว่าเนื้อปลา และหมึก นอกจากนี้ ปูม้ายังเป็นสัตว์ที่มีการกินกันเองสูง (Cannibalism) โดยเฉพาะขณะที่มีการลอกคราบ ซึ่งเป็นสาเหตุที่สำคัญประการหนึ่งที่ทำให้การเลี้ยงปูม้าเชิงพาณิชย์ไม่ประสบผลสำเร็จ (วารินทร์, 2548; วุฒิ, 2543; สุเมธ, 2527; Chande and Mgaya, 2004; Edgar, 1990; Soundarapandian and Dominic Arul Raja, 2008; Williams, 1982)

osmotic) ซึ่งจะเป็นระดับความเค็มที่ไม่ทำให้เกิดความเครียด และมีโอกาสได้รับธาตุอาหารในปริมาณที่เหมาะสมต่อร่างกาย และสูญเสียพลังงานน้อยในการควบคุมสรีระเคมีภายในร่างกายจึงจะส่งผลให้มีการเจริญเติบโตดี และมีอัตราการตายสูง (ภาณุ และคณะ, 2551; Mantel and Farmer, 1983; Lignot *et al.*, 2000; Pequeux, 1995) ซึ่งผลของระดับความเค็มน้ำต่อการเพาะเลี้ยงปูม้ามีดังต่อไปนี้ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ผลของความเค็มน้ำต่อการเพาะเลี้ยงปูม้า

ความเค็มน้ำ	ผลกระทบ	เอกสารอ้างอิง
5 ppt	ปูตายเนื่องจากไม่ลอกคราบ (Molt Death Syndrome)	Romana and Zeng (2006)
ต่ำกว่า 17 ppt	อัตราการตายสูง ไม่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของลูกปูม้าวัยอ่อน	วารินทร์ และคณะ (2548)
23-25 ppt	เหมาะสมต่อการอนุบาลลูกปูม้าระยะ zoea IV- first crab	วารินทร์ และคณะ (2548)
25-30 ppt	เหมาะสมต่อการอนุบาลลูกปูม้าระยะ zoea I-zoea IV	วารินทร์ และคณะ (2548)
25 - 35 ppt	เหมาะสมต่อการเลี้ยงปูม้าระยะ crab ขนาด 0.02-8.9 กรัม (C4-C9)	Romana and Zeng (2006)
30-35 ppt	เหมาะสมต่อการฟักไข่ปูม้า	วารินทร์ และคณะ (2548)
40 – 45 ppt	อัตราการตายสูง, การเจริญเติบโตต่ำ	Romana and Zeng (2006)

2.2 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

เนื่องจากปูม้าเป็นสัตว์ที่กินเนื้อตลอดวงจรชีวิต ในระยะของลูกปูวัยอ่อนจึงต้องให้อาหารประเภทแพลงก์ตอนสัตว์ ซึ่งถ้าให้แพลงก์ตอนสัตว์ในปริมาณที่มากเกินไปจะมีผลต่อปริมาณออกซิเจนในน้ำ ซึ่งจะส่งผลถึงลูกปูได้ โดยทั่วไปแล้วลูกปูวัยอ่อน 1 ตัว จะใช้ออกซิเจนประมาณ 0.05-0.09 ไมโครกรัม/ชม. ถ้าปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำลดลงอยู่ระหว่าง 1.5-1 mg/L จะทำให้ลูกปูอ่อนแอ และถ้าปริมาณออกซิเจนลดลงต่ำไปอีกจนอยู่ระหว่าง 0.7-0.5 mg/L ลูกปูจะตาย ปริมาณออกซิเจนที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงปูม้าจะอยู่ที่ 5 mg/L (สุเมธ, 2527; Soundarapandian and Dominic Arul Raja, 2008)

2.3 อุณหภูมิ

อุณหภูมิมีผลโดยตรงต่อการพัฒนาการ หรือการเจริญเติบโตของปูม้า ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจะมีผลต่อพฤติกรรมการกินอาหาร โดยการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจะทำให้ metabolism ของปูเพิ่มขึ้น ทำให้มีความต้องการพลังงานในรูปของอาหารมากขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิลดลง metabolism ของร่างกายก็จะลดลงทำให้ความต้องการอาหารลดลง มีผลให้การเจริญเติบโตของปูม้าช้าลงไปด้วย (วารินทร์ และชัยยุทธ, 2548; Arshad *et al.*, 2006; Maheswarudu *et al.*, 2008; Soundarapandian *et al.*, 2007) โดยผลของอุณหภูมิต่อการเพาะเลี้ยงปูม้ามียังคงต่อไปนี้ (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ผลของอุณหภูมิของน้ำต่อการเพาะเลี้ยงปูม้า

อุณหภูมิ	ผลกระทบ	เอกสารอ้างอิง
18.3 – 28 °C	เหมาะสมกับการลำเลียงจับปิ้งไข่แม่ปูม้าเพื่อนำมาเพาะฟัก	วารินทร์ และชัยยุทธ (2548)
17 – 23 °C	การพัฒนาการของลูกปูม้าจากระยะ zoea – crab จะใช้เวลา 39.5 - 62.2 วัน	Arshad <i>et al.</i> (2006)
25 °C	การพัฒนาการของลูกปูม้าจากระยะ zoea – crab จะใช้เวลา 21 วัน	Arshad <i>et al.</i> (2006)
26 – 27 °C	เหมาะสมกับการเพาะฟักไข่ปูม้า	Arshad <i>et al.</i> (2006)
28 – 31 °C	เหมาะสมกับการอนุบาล และเลี้ยงปูม้า	Maheswarudu <i>et al.</i> (2008) Soundarapandian <i>et al.</i> (2007)

2.4 แอมโมเนีย

แอมโมเนียเป็นสารพิษที่เกิดจากการเน่าเสียของสารอินทรีย์ในโตรเจน ซึ่งได้แก่ เศษอาหารเหลือ, ซากสิ่งมีชีวิต และสิ่งขับถ่ายจากสัตว์ แอมโมเนียสามารถอยู่ในน้ำได้ 2 รูปแบบคือ แอมโมเนียที่ไม่แตกตัว (unionized ammonia; NH_3) ซึ่งจะมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำสูง กับ แอมโมเนียม อีออน (ionized ammonia; NH_4^+) ซึ่งแตกตัวได้ง่าย ไม่มีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ ในปูม้าพิษของแอมโมเนียที่เพิ่มขึ้นจะมีผลต่อเหงือก โดยจะไปทำลายเยื่อเหงือก ซึ่งจะส่งผลถึงกระบวนการแลกเปลี่ยนก๊าซ, osmoregulation และอัตราการรอดตายของปู (Romana and Zeng,

2007; Weihrauch *et al.*, 2004) โดยค่าปริมาณความเข้มข้นของแอมโมเนียที่ทำให้ปูม้าระยะ first crab, ระยะ crab อายุ 7, 22 และ 40 วัน ตาย 50% ภายในเวลา 96 ชั่วโมง มีดังต่อไปนี้ (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 แสดง LC₅₀ ของแอมโมเนียต่ออัตราการตายของปูม้า

ระยะปูม้า	ความยาวเฉลี่ย (มม.)	อายุ (วัน)	96 hr-LC ₅₀ (mg/l)
C1	2.45	-	1.65
C3	4.12	7	1.80
C5	7.45	22	2.67
C7	11.53	40	3.62

ที่มา : Romana and Zeng (2007)

2.5 ความเป็นค่า

การศึกษาผลของความเป็นค่าของน้ำที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต และอัตราการตายของปูม้า ได้มีรายงานไว้ว่า การอนุบาลลูกปูม้าระยะ zoea จนถึงระยะปูเล็ก (young crab) ที่ใช้น้ำทะเลที่ไม่ได้ปรับความเป็นค่า (ความเป็นค่า 100-120 มก./ลิตร) มีขนาดความกว้างกระดองเฉลี่ย (0.613±0.084 ซม.) และน้ำหนักเฉลี่ย (0.021±0.008 กรัม) สูงกว่าลูกปูม้าที่อนุบาลในน้ำทะเลที่ปรับความเป็นค่าให้เป็น 140 มก./ลิตร (0.563±0.082 ซม. และ 0.017±0.007 กรัม) และ 160 มก./ลิตร (0.551±0.080 ซม. และ 0.016±0.006 กรัม) และมีอัตราการตายเฉลี่ย 18.26, 15.48 และ 13.63% ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการปรับน้ำทะเลให้มีความเป็นค่าสูงขึ้นโดยใช้ Na₂CO₃ ทำให้ลูกปูม้าโตช้า แล้วยังส่งผลให้อัตราการรอดตายต่ำลง เนื่องจาก เมื่อ Na₂CO₃ ละลายน้ำ Na⁺ จะเข้าไปเร่งกระบวนการทางเคมีในน้ำทำให้ CO₃²⁻ เข้าไปจับ และทำปฏิกิริยากับ Ca²⁺ กลายเป็นผลึก CaCO₃ และตกตะกอน ทำให้ Ca²⁺ ในน้ำมีน้อยลง เป็นผลให้ลูกปูไม่สามารถลอกคราบได้ หรือลอกคราบผิดปกติ อ่อนแอ และตายได้ เนื่องจากขาด Ca²⁺ ทั้งนี้กระบวนการที่ทำให้ Ca²⁺ ในน้ำตกตะกอนจะเกี่ยวข้องกับสารประกอบปูน หรือด่าง หลายตัวเช่น โซดาไฟ (NaOH), ปูนขาว (Ca(OH)₂), ปูนโซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO₃) และ โซดาแอช (Na₂CO₃) (พริตต์ และคณะ, 2551; Rahardianto *et al.*, 2007)

2.6 อาหาร

การเพาะเลี้ยงปูม้าเพื่อให้ได้ผลที่คุ้มค่ากับการลงทุนนั้นต้องคำนึงถึงอาหารที่ใช้เลี้ยงด้วย ซึ่งรวมไปถึงคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร ความถี่ในการให้อาหาร ขนาดของอาหารที่เหมาะสม และราคาของอาหาร ในการอนุบาลลูกปูม้าอาหารที่เหมาะสมแก่การอนุบาลลูกปูระยะ zoea – young crab ได้แก่แพลงก์ตอนพืช (*Chaetoceros* sp., *Chlorella* sp.) แพลงก์ตอนสัตว์ (โรติเฟอร์ อาร์ทีเมีย) และเนื้อมีดปลาสดหรือสับละเอียด ส่วนในการเลี้ยงปูม้าให้มีขนาดใหญ่ขึ้นอาหารที่มีระดับโปรตีน 42.8 - 44.98%, ไขมัน 12-16%, วิตามิน 2% และปริมาณแร่ธาตุรวม 4% จะทำให้ปูม้ามีการเจริญเติบโต อัตรารอดตาย และการลอกคราบดี หรือให้อาหารสดที่มีความหลากหลาย (mixed feed) ก็จะทำให้ปูม้ามีอัตราการเจริญเติบโตดีขึ้น และถ้าสามารถลดระดับโปรตีนลงตามระยะเวลาการเลี้ยงจาก 42-38% ก็จะช่วยลดต้นทุนการผลิตลงมาได้ (กอบศักดิ์ และคณะ, 2547; มณฑานากันติ และคณะ, 2551; วารินทร์ และคณะ, 2549; สุพิศ และคณะ, 2548; อากรณ์ และคณะ, 2551; Maheswarudu *et al.*, 2008; Soundarapandian and Dominic Arul Raja, 2008)

2.6 ความหนาแน่น

ความหนาแน่นก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเจริญเติบโต และอัตราการรอดตายของปูม้า โดยระดับความหนาแน่นที่เหมาะสมต่อการอนุบาลลูกปูม้าระยะ zoea I – zoea IV อยู่ที่ 50,000 - 70,000 ตัว/ลบ.ม. ระยะ zoea IV – young crab อยู่ที่ 10,000 – 20,000 ตัว/ลบ.ม. ส่วนการเลี้ยงปูม้าในบ่อดินที่อัตราความหนาแน่น 1 ตัว/ตร.ม. จะให้ผลตอบแทนดีที่สุด (ภมรพรหม และวารินทร์, 2548; อากรณ์ และสำรวย, 2548)

2.7 ที่กำบัง หรือวัสดุหลบซ่อน

นอกจากปัจจัยต่างๆที่เหมาะสมต่อการอนุบาล และเลี้ยงปูม้างข้างต้นแล้ว การให้ที่หลบซ่อนแก่ปูม้างก็เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่จะช่วยลดปัญหาการกินกันเองของปูม้างได้ ซึ่งจะทำให้อัตราการรอดตายของปูม้างสูงขึ้น (กรุณา และสุชาติ, 2532; วารินทร์ และคณะ, 2547; Marshall *et al.*, 2005)

3. สรุปองค์ความรู้ด้านการเพาะเลี้ยงปูม้า

จากรายงานผลการวิจัยด้านการเพาะเลี้ยงปูม้า สามารถสรุปองค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับการเพาะเลี้ยงปูม้าได้ดังนี้ (ตารางที่ 4)



องค์ความรู้ด้านการเพาะเลี้ยงปูม้า (*Portunus pelagicus*, Linnaeus 1758)

ตารางที่ 4 แสดงแหล่งพันธุ์ สภาพการเลี้ยง และปัจจัยอื่นๆ บางประการที่เกี่ยวข้องกับการเพาะเลี้ยงปูม้า (*Portunus pelagicus*, Linnaeus 1758)

แหล่งพันธุ์	ระยะปู หรือขนาด ปู	สภาพการเลี้ยง					สถานที่	ชนิดอาหาร	ระยะเวลา เลี้ยง	ผลผลิต	ผู้ศึกษา
		อุณหภูมิ (°C)	ความเค็ม (ppt)	ออกซิเจน (mg/l)	pH	ความ หนาแน่น					
จับปั้งแม่ปู	เพาะฟัก	26-27	30	-	8.0-8.3	30 กรัม/ โหล	โหลแก้ว (6 ลิตร)	-	-	อัตราฟัก 22-36%	วารินทร์ และคณะ (2545)
ธรรมชาติ	zoea-crab	28-30	32-34	-	-	50 ตัว/ลิตร	ถังไฟเบอร์ (1 ตัน)	โรติเฟอร์ อาร์ทีเมีย	15 วัน	อัตราการรอด 0.78%	โกวิทย์ และทวี (2547)
บ่อดิน	เพาะฟัก	29±1	30	7.7-8.0	8.2-8.3	1 ตัว/ถัง	ถังพลาสติก (200 ลิตร)	-	-	อัตราฟัก 56-74%	วุฒิชัย และคณะ (2552)
ธรรมชาติ	เพาะฟัก	26±1	34±1.5	-	-	-	ถังไฟเบอร์ (300 ลิตร)	-	-	-	Romana and Zeng (2006)
	zoea-crab	29±1	25	-	-	500 ตัว/ลิตร	ถังไฟเบอร์ (300 ลิตร)	แพลงก์ ตอนพืช และสัตว์	-	-	
	Crab 1-4	27±2	32±2	-	-	2 ตัว/ลิตร	ถังไฟเบอร์ (300 ลิตร)	อาร์ทีเมีย, อาหาร สำเร็จรูป	-	-	

ตารางที่ 4 (ต่อ)

แหล่งพันธุ์	ระยะปู หรือขนาด ปู	สภาวะการเลี้ยง					สถานที่	ชนิดอาหาร	ระยะเวลา เลี้ยง	ผลผลิต	ผู้ศึกษา
		อุณหภูมิ (°C)	ความเค็ม (ppt)	ออกซิเจน (mg/l)	pH	ความ หนาแน่น					
ธรรมชาติ	เพาะฟัก	26-27	30-32	7.0-7.3	7.7-7.9	1 ตัว/ถัง	ถังไฟเบอร์ (300 ลิตร)	เนื้อหอย	ระยะเวลา เพาะฟัก 12-24 ชม.	-	Arshad <i>et al.</i> (2006)
	zoea-crab	28-30	28-30	6.0	7.8	30 ตัว/3ลิตร	ถังพลาสติก	แพลงก์ ตอนพืช และสัตว์	15-18 วัน	-	
ธรรมชาติ	เพาะฟัก	28-31	33-35	5.0-6.0	7.5-8.0	1 ตัว/ถัง	ถังไฟเบอร์ (50 ลิตร)	เนื้อหอย	-	-	Soundarapandian <i>et al.</i> (2007)
	zoea-crab	28-31	33-35	5.0-6.0	7.5-8.0	50 ตัว/ลิตร	ถังพลาสติก (50 ลิตร)	โรติเฟอร์, อาร์ทีเมีย	17-20 วัน	อัตราการรอด 4.3%	
ธรรมชาติ	crab (63.6- 124.0 กรัม)	26-31	30	5	7.5-8.2	1ตัว/100 ลิตร	ถังไฟเบอร์ (100 ลิตร)	เนื้อหอยสด เนื้อปลาสด	11-18 วัน	อัตราการรอด 100%	Soundarapandian and Dominic Arul Raja (2008)

ตารางที่ 4 (ต่อ)

แหล่งพันธุ์	ระยะปู หรือขนาด ปู	สภาวะการเลี้ยง					สถานที่	ชนิดอาหาร	ระยะเวลา เลี้ยง	ผลผลิต	ผู้ศึกษา
		อุณหภูมิ (°C)	ความเค็ม (ppt)	ออกซิเจน (mg/l)	pH	ความ หนาแน่น					
ธรรมชาติ	zoea-crab	24-27	31.32	-	-	50,000- 100,000 ตัว/ตัน	ถังไฟเบอร์ (5 ตัน)	แพลงก์ ตอนสัตว์	20 วัน	อัตรารอด 0.8-16.6%	Maheswarudu <i>et al.</i> (2008)
	crab	27-29	32-33	-	-	0.25 ตัว/ ลิตร	ถังไฟเบอร์ (5 ตัน)	เนื้อหอย ,เนื้อกุ้ง, เนื้อปลาสด	15 วัน	อัตรารอด 8.6%	
	crab	25.2-28.5	28-39	3.9-4.1	8.2-8.8	2.6 ตัว/ตร. ม. ขนาด 0.06 ha	บ่อดิน ขนาด 0.06 ha	อาหารกุ้ง เบอร์ 1-6	135 วัน	อัตรารอด 32.0% FCR 1.8 หนัก 112 กรัม/ตัว	

4. พฤติกรรมการกินกันเอง (Cannibalism) ของครัสเตเชียน

พฤติกรรมการกินกันเอง (cannibalism) เป็นปัญหาสำคัญของการเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจหลายชนิดโดยเฉพาะสัตว์น้ำในกลุ่ม decapod crustaceans เช่น กุ้ง *Penaeus monodon* (Abdussamad and Thampy, 1994), ปู *Chionoecetes opilio* (Lovich and Sainte-Marie, 1997) และปู *Cancer magister* (Fernandez, 1999) เป็นต้น ซึ่งการกินกันเองของ decapod crustaceans นั้นมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องอยู่หลายปัจจัย ตัวอย่างเช่น การพัฒนารูปร่าง หรือการพัฒนาระยะความหนาแน่น การมีพื้นที่จำกัด การมีอาหารไม่เพียงพอ ความเข้มแสง และช่วงแสง

Borisov *et al.* (2007) รายงานว่าการพัฒนารูปร่าง หรือการพัฒนาระยะของ red king crab (*Paralichodes camtschaticus*) วัยอ่อนจากระยะ zoea I-II, zoea II-III และ zoea III-IV จะมีการกินกันเองเกิดขึ้น 32%, 38% และ 27% ตามลำดับ และการกินกันเองของลูกปู *P. camtschaticus* จะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราความหนาแน่นของลูกปูเพิ่มขึ้น คือ ที่อัตราความหนาแน่น 50, 75 และ 100 ตัว/ลิตร จะมีการกินกันเอง 39%, 45% และ 54% ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับ Soundarapandian *et al.* (2007) ที่ได้รายงานไว้ว่าความหนาแน่นของประชากรปูที่เพิ่มขึ้น หรือการมีพื้นที่จำกัดก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งในการกินกันเองของปู นอกจากนี้การที่อาหารไม่เพียงพอ หรืออาหารมีจำกัดก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งของการตายเนื่องจากการกินกันเองของลูกกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) ระยะ post-larvae (Abdussamad and Thampy, 1994) Gardner and Maguire (1998) รายงานว่า ความเข้มแสงและช่วงแสงเป็นปัจจัยหนึ่งในการกินกันเองของ Australian giant crab (*Pseudocarcinus gigas*) วัยอ่อน โดยลูกปู *P. gigas* ระยะ megalopa ที่เลี้ยงในที่ความเข้มแสงต่ำ (2 lux) จะเกิดการกินกันเองต่ำกว่าลูกปูที่เลี้ยงที่ความเข้มแสงสูง (500 lux) ทั้งนี้เพราะลูกปูที่เลี้ยงที่ความเข้มแสงต่ำจะมีพฤติกรรมการกินอาหารลดลงเนื่องจากลูกปูวัยอ่อนจัดเป็นพวกเคลื่อนที่เข้าหาแสง (photopositive reaction) ซึ่งการว่ายน้ำเข้าหาแสงของลูกปูนอกจากเพื่อการรวมกลุ่มแล้วยังช่วยให้ลูกปูหาอาหารกินได้มากขึ้นด้วย เพราะแพลงก์ตอนสัตว์ที่ใช้นูบาล เช่น อาร์ทีเมียก็จัดเป็นพวก photopositive reaction เช่นกัน ส่วนพฤติกรรมการกินกันเองของปูม้าที่เลี้ยงจะมากหรือน้อยนั้น ได้มีผู้ศึกษาเอาไว้ว่าจะขึ้นอยู่กับระยะลอกคราบ, ขนาดของปู และที่หลบซ่อน โดยการลอกคราบในระยะ Intermoult (ระยะ C), Whiteliner (ระยะ D1, D2, D3), Redliner (ระยะ D4) และ Postmoult (ระยะ A, B) นั้น อัตราการกินกันเองของปูม้าจะสูงขึ้นตามลำดับ และปูม้าที่มีขนาดเล็ก (ความกว้างของกระดอง < 60 mm) จะมีการกินกันเองมากกว่าปูม้าที่มีขนาดใหญ่ (ความกว้างของกระดอง > 65 mm) เนื่องจากว่าปูม้าขนาด

เล็กลงจะมีความถี่ในการลอกคราบสูงกว่าปูม้าขนาดใหญ่ และอัตราการกินกันเองของปูม้าวัยอ่อนจะลดลงเมื่อมีการใส่ที่หลบซ่อนลงไปใบบ่ออนุบาล (วารินทร์ และคณะ, 2547; Marshall *et al.*, 2005)

5. คุณสมบัติของดินพื้นบ่อต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ดินพื้นบ่อเป็นปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่สำคัญต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เพราะดินพื้นบ่อจะทำหน้าที่ในการขังน้ำ เป็นที่อยู่อาศัยของสัตว์ และพืช เป็นที่เก็บสารต่างๆ เป็นศูนย์กลางการหมุนเวียนของธาตุอาหารต่างๆ ภายในบ่อ เป็นตัวบัฟเฟอร์ (buffer) และเป็นตัวกรองชีวภาพ โดยดูดซับสารอินทรีย์ที่ตกค้าง สิ่งขับถ่าย และสารเมตาบอไลต์ต่างๆ ภายในบ่อ (Ray and Chien, 1992; Boyd, 1995) ซึ่งกระบวนการทางฟิสิกส์ เคมี และชีวภาพของดินพื้นบ่อจะเกี่ยวข้องกับคุณภาพน้ำ อัตราการเจริญเติบโต การเกิดโรค และการตายของสัตว์น้ำ ตัวอย่างเช่น ในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา ดินพื้นบ่อนอกจากถูกใช้เป็นที่ฝังตัวอยู่อาศัยของกุ้งแล้ว ยังเป็นบริเวณที่มีการสะสมของของเสียที่เป็นสิ่งขับถ่ายจากกุ้ง เศษอาหารที่เหลือตกค้างอยู่ภายในบ่อตลอดช่วงระยะเวลาที่เลี้ยง และซากตายของแพลงก์ตอน รวมทั้งตะกอนสารอินทรีย์ที่ปะปนมากับน้ำ ซึ่งดินพื้นบ่อที่เน่าเสียอันเนื่องมาจากการสะสมของสารอินทรีย์สูง จะมีผลต่อคุณภาพน้ำ และคุณภาพของตัวกุ้ง (สามารถ และคณะ 2532; Hajek and Boyd, 1994) ซึ่งการตายของกุ้งมักจะเกิดขึ้นบ่อยในบ่อที่มีการเลี้ยงกุ้งอย่างหนาแน่น แม้ว่าได้ทดสอบคุณภาพน้ำแล้วว่า คุณภาพน้ำอยู่ในระดับที่กุ้งสามารถอยู่ได้ สภาพดินที่ไม่ดีจึงเป็นข้อจำกัดต่อการเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนา และกึ่งพัฒนา (Ray and Chien, 1992) จึงกล่าวได้ว่า ดินพื้นบ่อเป็นปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่สำคัญต่อการเลี้ยงสัตว์น้ำ

เมฆ (2530) ได้กล่าวว่า ดินมีความสำคัญต่อผลผลิตของบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ คุณสมบัติของดินที่ดีก็คือ ความสามารถในการดูดซับ และปลดปล่อยธาตุอาหารลงในน้ำเพื่อก่อให้เกิดผลผลิต และยังได้กล่าวถึงบทบาทของดินไว้ว่า ดินที่อยู่ในที่ใกล้เคียงกันอาจมีความสามารถในการผลิตแตกต่างกัน ส่วนประกอบทางเคมีของดินที่มีผลต่อการผลิต จึงเป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องศึกษา บางทีผลผลิตของบ่อที่ไม่ได้ใส่ปุ๋ยก็ให้ผลผลิตเท่ากัน หรือมากกว่าบ่อที่ใส่ปุ๋ย จึงจำเป็นต้องวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีของดิน

5.1 เนื้อดิน

เนื้อดิน (Soil texture) เป็นคุณสมบัติของดินที่บ่งถึงขนาดของชิ้นส่วนของสารต่างๆ ที่ประกอบกันขึ้นเป็นดิน กลุ่มขนาดหลักของอนุภาคดินมี 3 กลุ่ม คือ กลุ่มขนาดทราย (sand separate หรือ sand size class) กลุ่มขนาดซิลต์ (silt separate หรือ silt size class) และกลุ่มขนาดดินเหนียว (clay separate หรือ clay size class) น้ำหนักของกลุ่มขนาดหลักแต่ละกลุ่มเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งทั้งหมดของดินเป็นสิ่งที่ใช้วินิจฉัยประเภทเนื้อดินของดินนั้น (สมเจตน์ และ คณะ, 2526) ซึ่งสามารถจัดกลุ่มประเภทของเนื้อดินได้ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 เกณฑ์ในการพิจารณากำหนดประเภทเนื้อดินจากปริมาณของอนุภาคในกลุ่มขนาดเล็ก

ประเภทเนื้อดิน	ปริมาณของอนุภาคในกลุ่มขนาดหลัก (เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง)		
	ทราย	ซิลต์	เหนียว
เหนียว (clay)	0-45	0-40	40-100
เหนียวปนซิลต์ (silty clay)	0-20	40-60	40-60
เหนียวปนทราย (sandy clay)	45-65	0-20	35-55
ร่วนเหนียวปนทราย (silty clay loam)	0-20	40-70	30-40
ร่วนเหนียว (clay loam)	20-45	15-50	30-40
ร่วนเหนียวปนทราย (sandy clay loam)	0-20	80-100	0-12
ซิลต์ (silt)	0-50	50-88	0-30
ร่วนปนซิลต์ (silt loam)	20-52	28-50	7-30
ร่วน (loam)	45-85	0-50	0-20
ร่วนปนทราย (sandy loam)	70-90	0-15	0-15
ทรายร่วน (loamy sand)	85-100	0-15	0-10
ทราย (sand)			

ที่มา : สมเจตน์ และคณะ (2526)

ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเนื้อดินมีความสำคัญต่อการสร้างบ่อ แต่ในแง่ของการจัดการบ่อจะมีความสำคัญน้อยมาก เนื่องจากประเภทของเนื้อดินภายในบ่อจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่เนื้อดินในแต่ละจุดภายในบ่ออาจจะเปลี่ยนแปลงได้จากการกัดเซาะ และการตกตะกอนภายในบ่อ (สุวณิช, 2540) ยนต์ และพรพันธุ์ (2534) ได้ทำการศึกษาเนื้อดินของดินพื้นบ่อเลี้ยงกุ้ง และบ่อพักน้ำในพื้นที่จังหวัดสมุทรสงคราม พบว่า เนื้อดินของบ่อพักน้ำเป็นประเภทดินเหนียว ดินเหนียวปนทราย และดินร่วนเหนียวปนทราย ลักษณะของเนื้อดินที่มีอนุภาคดินเหนียวมีค่าเฉลี่ยเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 33.0-40.6%, อนุภาคซิลที่มีค่าเฉลี่ยเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 14.5-22.0% และอนุภาคทรายมีค่าเฉลี่ยเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 41.7-49.0% ส่วนเนื้อดินพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งลักษณะเนื้อดินเป็นประเภทดินร่วนเหนียว และดินร่วนเหนียวปนทราย อนุภาคดินเหนียวมีค่าเฉลี่ยเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 26.7-39.3%, อนุภาคซิลที่มีค่าเฉลี่ยเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 18.3-25.9% และอนุภาคทรายมีค่าเฉลี่ยเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 42.0-47.8%

ดินพื้นบ่อที่มีการสะสมของสารอินทรีย์มากจะมีผลต่อคุณภาพน้ำ และคุณภาพของตัวกุ้ง สารพิษจากการเน่าเสียของสารอินทรีย์ เช่น แอมโมเนีย คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจนซัลไฟด์ นอกจากจะเป็นแหล่งปล่อยสารพิษแล้ว ยังมีส่วนดึงออกซิเจนจากน้ำไป ทำให้ปริมาณออกซิเจนในแหล่งน้ำลดลงอีกด้วย (ยนต์ และพรพันธุ์, 2534) ปริมาณซัลไฟด์อิสระ และสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของดินตะกอน คือ ยิ่งอนุภาคเล็กจะดูดซับสารอินทรีย์ได้มาก เช่น ตะกอนละเอียดมีปริมาณสารอินทรีย์มากกว่าตะกอนหยาบที่เป็นทรายประมาณ 2 เท่า ส่วนโคลนมีปริมาณสารอินทรีย์มากกว่าตะกอนหยาบที่เป็นทรายประมาณ 4 เท่า เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบว่า ตะกอนที่มีขนาดใหญ่ (coarse grain) จะให้ออกซิเจนแพร่กระจายลงไปได้ดีกว่าตะกอนขนาดเล็ก (fine grain) ทำให้ปริมาณซัลไฟด์สูงในดินตะกอนที่มีขนาดเล็ก (Bordovskiy, 1965)

5.2 พีเอชดิน

พีเอชดิน (Soil pH) หมายถึง ความเป็นกรด หรือความเป็นด่างของดิน โดยความเป็นกรด หรือความเป็นด่างของดินจะเกี่ยวข้องกับไฮโดรเจนไอออน (H^+) และไฮดรอกซิลไอออน (OH^-) ในสารละลายดิน ซึ่งอนุภาคคอลลอยด์ของดิน และโคลน ล้วนมีประจุไฟฟ้าลบบนผิว และสามารถดึงดูดไอออนประจุบวกในน้ำให้เข้ามาหาได้ ปริมาณไอออนบวกทั้งหมดที่อยู่ในน้ำ และติดผิวคอลลอยด์ของดินรวมเรียกว่า ไอออนบวกที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable cation) บริเวณที่มีไอออน

บวกมาเกาะติดบนผิวคอลลอยด์ เรียกว่า พื้นที่แลกเปลี่ยน (exchange site) แหล่งที่มาของไฮโดรเจนไอออนที่ก่อให้เกิดความเป็นกรดที่สำคัญของดิน ได้แก่ กรดต่างๆ เช่น H_2CO_3 , HNO_3 , H_2SO_4 , กรดอินทรีย์ และจากกระบวนการไฮโดรไลซิสของไอออนกรดบวก (acidic cation) ได้แก่ Al_3^+ , Fe_3^+ และ H^+ ที่ exchange site บนผิวคอลลอยด์ของดิน ส่วนแหล่งที่มาของไฮดรอกซิลไอออนที่ก่อให้เกิดความเป็นด่าง เกิดจากไฮโดรเจนไอออน และอลูมิเนียมไอออนเข้าแทนที่ไอออนด่างบวก (basic cation) เช่น Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ และ Na^+ ที่ exchange site (มันสิน และไพพรรณ, 2544)

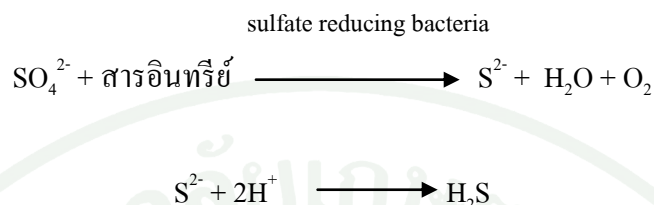
การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำมักจะได้รับอิทธิพลจากพื้นดินซึ่งเป็นแหล่งรองรับน้ำ หากดินมีสภาพเป็นกรด น้ำก็จะมีสภาพเป็นกรดตามไปด้วย ซึ่งความเป็นกรดของดินนั้นมีผลต่อปฏิกิริยาทางเคมี และชีวเคมีซึ่งจะถูกเปลี่ยนแปลงไปในทางที่ไม่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตในน้ำ เช่น ดินที่เป็นกรดจัดจะทำให้ไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงขาดความอุดมสมบูรณ์ของอาหารธรรมชาติ และในสภาพดินกรดก็จะมีธาตุโลหะต่างๆ ละลายออกมามาก เช่น อลูมิเนียม เหล็ก แมงกานีส ซึ่งจะก่อให้เกิดอันตรายต่อสัตว์น้ำได้ จะทำให้การรักษาสสมดุลของไอออนในร่างกายของสัตว์น้ำผิดปกติ มีผลทำให้สัตว์น้ำเจริญเติบโตช้าลง เกิดโรคได้ง่าย ตัวอย่างเช่น กุ้งที่เลี้ยงในบ่อดินที่เป็นกรดจะมีเปลือกนิ่ม เนื่องจากขาดแคลเซียม และแร่ธาตุที่จำเป็นต่อการสร้างเปลือก เป็นต้น (ยนต์, 2529; โชคชัย, 2548)

Boyd (1995) ได้ทำการศึกษาค่าพีเอชของดินในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำจืด จำนวน 358 บ่อ พบว่า มีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 3.9-8.0 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.69 และจากบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำจืดจำนวน 346 บ่อ พบว่า มีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 1.2-9.8 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.50

5.3 ชัลไฟด์ในดิน

ไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นสารที่มีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำสูง โดยปกติแล้ว ชัลไฟด์ในแหล่งน้ำแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ ชัลไฟด์ไม่มีไอออน (unionized form) ได้แก่ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (hydrogen sulfide; H_2S) และพวกที่มีไอออน (ionized form) ได้แก่ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออน (hydrogen sulfide ion; HS^-) และซัลไฟด์ไอออน (sulfide ions; S^{2-}) ซึ่ง H_2S จะมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำสูงกว่า HS^- และ S^{2-} ปฏิกิริยาการเกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในดินพื้นบ่อเกิดจากกิจกรรม anaerobic respiration ของจุลินทรีย์สกุล *Desulfovibrio* ซึ่งจุลินทรีย์จะย่อยสลายสารอินทรีย์ที่สะสมอยู่ในดิน

ในสถานะที่ไม่มีออกซิเจน โดยใช้ซัลเฟต (SO_4^{2-}) เป็นตัวรับอิเล็กตรอน และซัลเฟตจะถูกรีดิวซ์เป็น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ตามสมการ (โชคชัย, 2548; Boyd, 1989)



การเกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในบ่อเลี้ยงกุ้งส่วนใหญ่มาจากการให้อาหารมากเกินไป ทำให้อาหารเหลือตกค้าง และสะสมอยู่บริเวณพื้นบ่อ หรือแพลงก์ตอนพืชตายเป็นจำนวนมากแล้วเกิดการเน่าสลาย หรือของเสีย และสิ่งขับถ่ายจากกุ้งกุลาดำ ซึ่งส่วนมากจะเป็นสารโปรตีนที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบในกรดอะมิโน เช่น เมไทโอนีน, ซีสทีน และซิสเทอีน เป็นต้น เมื่อเกิดการย่อยสลายโปรตีนจะทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ดีพร้อม, 2531) นอกจากนี้อาจเกิดจากการเน่าเปื่อยของซากพืช ซากสัตว์ทับถมกันนาน ๆ ทำให้เกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์บริเวณพื้นบ่อซึ่งมีสีดำ มีกลิ่นเหม็น และเป็นอันตรายต่อกุ้ง (ประจวบ, 2537)

ไฮโดรเจนซัลไฟด์สามารถใช้เป็นพื้นฐานในการบอกถึงความสามารถในการรองรับการดูดซึมของสารอินทรีย์ที่เป็นของเสียลงสู่ดินตะกอน และค่าไฮโดรเจนซัลไฟด์ในดินพื้นบ่อสามารถบ่งบอกถึงภาวะวิกฤตของสิ่งแวดล้อมภายในบ่อปลาได้ ซึ่งค่าไฮโดรเจนซัลไฟด์ในดินพื้นบ่อไม่ควรมีค่ามากกว่า 2.5 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักดินแห้ง (Yokoyama, 2003) ดุสิต และคณะ (2536) ศึกษาคุณภาพตะกอนดินในบ่อพักน้ำและบ่อเลี้ยงกุ้งที่มีอัตราการปล่อยต่างกัน คือ 30, 40, 50, 60 และ 70 ตัว/ตร.ม. พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ในช่วง 0.100-27.160, 0.530-39.160, 0.850-82.350, 0.220-44.830, 0.330-38.220 และ 0.370-59.770 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (มก./กก.) ตามลำดับ ขณะที่พุทธ และคณะ (2533) ตรวจพบว่าในดินบ่อเลี้ยงกุ้งที่ปล่อยเลี้ยง 2 ระดับความหนาแน่น คือ 23 และ 30 ตัว/ตร.ม. มีค่าไฮโดรเจนซัลไฟด์ในช่วง 2.00-167.00 มก./กก. ถึงแม้ว่าเป็นปริมาณที่สูงแต่ความเป็นพิษที่กุ้งได้รับจะไม่รุนแรงมากนัก เนื่องจากดินตะกอนชายทะเลมีอนุมูลของเหล็ก (Fe_2^+) อยู่มาก และอนุมูลนี้จะเข้าไปทำปฏิกิริยากับซัลไฟด์ เกิดเป็นเหล็กซัลไฟด์ (FeS) ซึ่งไม่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ อีกประการหนึ่งไฮโดรเจนซัลไฟด์เมื่อหลุดออกมาเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์อิสระที่ละลายอยู่ในน้ำจะถูกสลายตัวไปอย่างรวดเร็ว ถ้าหากว่าในน้ำนั้นมี

ออกซิเจนอยู่เพียงพอ แต่อย่างไรก็ตามไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีเหลืออยู่ในดินก็อาจเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำได้

ความเป็นพิษของไฮโดรเจนซัลไฟด์จะมีลักษณะคล้ายคลึงกับการขาดออกซิเจน เนื่องจากไปขัดขวางออกซิเจนภายในเซลล์ทำให้ปริมาณแลกเตท (lactate) ในเลือดสูงขึ้น ความเป็นพิษของไฮโดรเจนซัลไฟด์จะรุนแรงกว่าการขาดออกซิเจน ระดับความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงสุดที่ไม่เป็นอันตรายต่อกุ้งกุลาดำ คือ 0.03 มก./ลิตร น้ำที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างต่ำ จะมีเปอร์เซ็นต์ของไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงขึ้น แต่เมื่อค่าความเป็นกรดเป็นด่างสูงขึ้น เปอร์เซ็นต์ของไฮโดรเจนซัลไฟด์จะลดลง แต่มี HS^- และ S^{2-} มากขึ้น ซึ่งความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำจะลดลงด้วย (ชโล, 2543)

5.4 ไนโตรเจนในดิน

ไนโตรเจนเป็นธาตุที่มีความสำคัญต่อพืช และสัตว์ เพราะไนโตรเจนเป็นธาตุหลักของโปรตีน ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของสิ่งมีชีวิต พืชได้ไนโตรเจนจากสารประกอบไนโตรเจนที่มีอยู่ในน้ำเพื่อนำมาสังเคราะห์แสง ส่วนสัตว์ไม่สามารถใช้ไนโตรเจนในอากาศรวมทั้งสารประกอบไนโตรเจนในน้ำได้ ดังนั้นสัตว์จึงต้องบริโภคโปรตีนจากพืช หรือสัตว์อื่นๆ แทน ในน้ำธรรมชาติ สารประกอบไนโตรเจนมีอยู่หลายรูปแบบ ซึ่งอาจแบ่งออกเป็นอนินทรีย์ไนโตรเจนและอินทรีย์ไนโตรเจน อนินทรีย์ไนโตรเจน ได้แก่ ก๊าซไนโตรเจน (N_2) แอมโมเนีย (NH_3) แอมโมเนียม (NH_4^+) ไนไตรท์ (NO_2^-) และ ไนเตรท (NO_3^-) ส่วนอินทรีย์ไนโตรเจนที่ละลายน้ำได้แก่ กรดอะมิโน และยูเรีย เป็นต้น (โชคชัย, 2548)

จากผลการศึกษาของ Smitch (1996) พบว่าไนโตรเจนทั้งหมดในดินพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำเป็นอินทรีย์ไนโตรเจน 88% ก๊าซไนโตรเจนในอากาศเป็นแหล่งใหญ่ของธาตุไนโตรเจนในดิน โดยแบคทีเรียและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้ เมื่อตายไปก็จะเปลี่ยนรูปไปเป็น NH_3 และ NH_4^+

ไนโตรเจนในดินตะกอนส่วนใหญ่เกิดจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ที่เหลือตกค้างอยู่ในดิน จากการศึกษาของ Munsiri *et al.* (1995) พบว่า ปริมาณสูงสุดของอินทรีย์คาร์บอนและอินทรีย์ไนโตรเจนอยู่ที่ระดับ 0-2.5 ซม. ของชั้นตะกอนดิน ผลจากการย่อยสลายจะได้

แอมโมเนียละลายออกมาอยู่ในน้ำที่แทรกอยู่ระหว่างเม็ดดิน (พุทธร และคณะ, 2533) และที่ pH ดิน ในช่วง 5-8 ไนโตรเจน 90% หรือมากกว่า จะอยู่ในรูป NH_4^+ และเปลี่ยนไปเป็น NO_3^- โดยกระบวนการ nitrification (Boyd, 1995)

คูสิต และคณะ (2536) ศึกษาคุณภาพของดินตะกอนในบ่อพักน้ำ 1 บ่อ และบ่อเลี้ยง กุ้ง 5 บ่อ พบว่าปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ($\text{NH}_3\text{-N}$) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.67 และ 30.27-44.41 มก./กก. ตามลำดับ ส่วนไนเตรท-ไนโตรเจน ($\text{NO}_3\text{-N}$) มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.59-0.72 มก./กก.

คูสิต และคณะ (2537) รายงานว่าปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน และไนเตรท-ไนโตรเจน ในตะกอนดินพื้นบ่อเลี้ยงกุ้ง จังหวัดปัตตานี จำนวน 26 บ่อ มีค่าอยู่ในช่วง 19.35-50.10 และ 0.44-0.77 มก./กก. ตามลำดับ

5.5 สารอินทรีย์ในดิน

สารอินทรีย์ (organic matter หรือ organic soils) หมายถึง สารที่ประกอบด้วยธาตุคาร์บอน และไฮโดรเจน และอนุพันธ์ของธาตุนี้มักมีออกซิเจน, ไนโตรเจน และธาตุอื่นๆ ประกอบอยู่ด้วย โดยมีธาตุที่เป็นองค์ประกอบสำคัญโดยประมาณ คือ คาร์บอน 58 เปอร์เซ็นต์ ไฮโดรเจน 10 เปอร์เซ็นต์ ออกซิเจน 20 เปอร์เซ็นต์ ไนโตรเจน 5 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส และกำมะถันอย่างละ 1 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังมีสารอื่นๆ อีกเล็กน้อย (Jackson, 1958)

แหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำได้แก่ อาหารเหลือ การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ การตายของแพลงก์ตอน และของเสียที่สัตว์น้ำปล่อยออกมา รวมทั้งตะกอนที่มากับน้ำ ซึ่งปริมาณสารอินทรีย์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึกของบ่อ สารอินทรีย์ในดินพื้นบ่อเป็นปัจจัยที่จำเป็นต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยทั่วไปสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นในดินพื้นบ่อจะมี 2 รูปแบบ คือ สารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่าย และสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ช้ามาก สารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่าย ประกอบด้วย โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน ส่วนสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ช้ามากจะเป็นสารประกอบที่มีรูปร่าง และโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น ซากพืช ซากสัตว์ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ดินมีสีเข้ม (Boyd, 1995; Sonnenholzner and Boyd, 2000)

ชัยฤกษ์ (2536) ได้กล่าวถึงการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน โดยใช้เปอร์เซ็นต์ สารอินทรีย์ในดินเป็นดัชนีบ่งบอกความอุดมสมบูรณ์ของดิน ซึ่งได้จัดระดับไว้เป็นกลุ่มๆ ดังนี้

ระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน	ปริมาณสารอินทรีย์ในดิน (%)
ต่ำมาก	< 0.5
ต่ำ	0.5 – 1.0
ค่อนข้างต่ำ	1.0 – 1.5
ปานกลาง	1.5 – 2.5
ค่อนข้างสูง	2.5 – 3.5
สูง	3.5 – 4.5
สูงมาก	> 4.5

ปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินมีอิทธิพล หรือเกี่ยวข้องต่อสมบัติ หรือกระบวนการเกือบทั้งหมดที่เกิดขึ้นในดิน ทั้งทางด้านฟิสิกส์ เคมี และชีวะ ซึ่งมีผลต่อเรื่องความอุดมสมบูรณ์ของดิน ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณสารอินทรีย์ในดินตะกอน คือ ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน เนื่องจากแบคทีเรียกลุ่ม nitrifying bacteria จะเจริญเติบโต และย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดีในสถานะที่ดินที่มีพีเอชเป็นกรดอ่อน หรือเป็นกลาง (สมเจตน์ และคณะ, 2526), ปริมาณอนุภาคของดิน โดยดินตะกอนขนาดเล็กจะสามารถดูดซับสารอินทรีย์ได้มากกว่าดินตะกอนขนาดใหญ่ เช่น ตะกอนละเอียด (silt) จะมีปริมาณสารอินทรีย์มากกว่าตะกอนหยาบที่เป็นทราย (sand) ประมาณ 2 เท่า ส่วนโคลน (mud) จะมีปริมาณสารอินทรีย์มากกว่าตะกอนหยาบที่เป็นทรายประมาณ 4 เท่า (Bordovskiy, 1965) และนอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณสารอินทรีย์มีความสัมพันธ์ในทางผกผันกับการเปลี่ยนถ่ายน้ำด้วย คือ ปริมาณสารอินทรีย์ในบ่อจะลดลงเมื่อมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำมากขึ้น หรือถี่ขึ้น (นิวุฒิ, 2534)

Banerja (1967) พบว่าศักยภาพการผลิตปลาในบ่อเลี้ยงที่ประเทศอินเดียมีสูงสุดเมื่อดินพื้นบ่อมีปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอน (organic carbon) 1.50-2.50% และมีแนวโน้มลดลงเมื่อสารอินทรีย์สูงหรือต่ำกว่าระดับนี้ แต่การเพิ่มขึ้นที่มากเกินไปเกินความสามารถของบ่อที่จะรองรับได้ (carrying capacity) เป็นการเพิ่มความต้องการออกซิเจน และเร่งโอกาสการเกิดสภาพปราศจากออกซิเจนให้เร็วขึ้น (Sonnenholzner and Boyd, 2000)

ปริมาณสารอินทรีย์ในดินบริเวณต่างๆ ที่ใช้เลี้ยงกุ้งกุลาดำของประเทศไทยจะแตกต่างกันไป จากการศึกษาของชญา (2535) พบว่าปริมาณสารอินทรีย์ที่บริเวณคันบ่อ พื้นบ่อเลี้ยงกุ้ง และป่าชายเลนบริเวณข้างเคียง อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี อยู่ในช่วง 0.40-6.28, 0.20-5.27 และ 7.38-11.2% ตามลำดับ บริเวณนาุ้งและป่าชายเลนจังหวัดตราดอยู่ในช่วง 0.10-80.66 และ 2.10-13.80% ตามลำดับ (พยุ่ง, 2532) บ่อเลี้ยงกุ้งจังหวัดสมุทรสาครอยู่ในช่วง 3.76-4.22% (ยนต์ และพรพันธุ์, 2534)

นิวุฒิ (2534) ได้ศึกษาปริมาณสารอินทรีย์ในดินพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบหนาแน่นรอบๆ บริเวณป่าชายเลน และบ่อเลี้ยงบริเวณป่าชายเลนเป็นเวลา 4 เดือน พบว่า ปริมาณสารอินทรีย์ที่ระดับผิวดินพื้นบ่อบริเวณป่าชายเลนมีระดับสูงมาก คือมีค่าอยู่ระหว่าง 5.05-6.01% ตลอดการเลี้ยง ส่วนที่ระดับผิวดินพื้นบ่อบริเวณรอบๆ ป่าชายเลน ปริมาณสารอินทรีย์ตลอดการเลี้ยงอยู่ในช่วง 1.76-2.05% และพบว่าปริมาณสารอินทรีย์ที่ความลึก 3 ระดับ คือ ระดับผิว ระดับความลึก 10 และ 20 ซม. ของดินพื้นบ่อ ที่ระดับความลึก 20 ซม. มีปริมาณสารอินทรีย์สูงสุด ขณะที่ระดับผิวมีปริมาณสารอินทรีย์น้อยที่สุด

อุปกรณ์ และวิธีการ

อุปกรณ์

1. บ่อทดลองขนาด 1.5 x 2.5 x 1.0 เมตร (บ่อซีเมนต์)
2. ตาข่ายพลาสติกขนาดตา 1.2 ซม.
3. แผ่นพลาสติกขนาดกว้าง 20 ซม. ยาว 30 ซม. สูง 10 ซม. ทำมุม 90 องศา
4. กระบอกพลาสติกสำหรับเก็บตัวอย่างน้ำ (Water sampler)
5. ท่อพลาสติกใสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 ซม. สำหรับเก็บตัวอย่างดิน (Hand corer)
6. สารเคมี เครื่องแก้ว และวัสดุอุปกรณ์วิทยาศาสตร์สำหรับวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ และดิน
7. DO meter รุ่น YSI 501A
8. pH meter ยี่ห้อ Cyber Scan pH 11
9. Salinity Refractometer ยี่ห้อ Prima tech
10. Spectrophotometer รุ่น Spectro 2000 RS
11. ตู้เผา (Hot-air oven)
12. โถดูดความชื้น (Desiccator)
13. เครื่องดูดอากาศ (Vacuum pump)
14. เครื่องชั่งทศนิยม 2 และ 4 ตำแหน่ง
15. เวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์
16. แผ่นอลูมิเนียม (Aluminium foil)
17. ถุงซิปล

วิธีการ

การศึกษานี้ได้แบ่งขั้นตอนการศึกษาออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ การศึกษาอัตราการตายของปูม้าที่เลี้ยงเนื่องจากการกินกันเอง และการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินพื้นบ่อระหว่างการเลี้ยง รวมไปถึงผลกระทบที่อาจมีต่อการเจริญเติบโต และอัตราการตายของปูม้า โดยศึกษาในระบบการเลี้ยงจำลอง ซึ่งในแต่ละหัวข้อมีวิธีการศึกษาดังต่อไปนี้

1. การศึกษาอัตราการตายของปูม้าที่เลี้ยงเนื่องจากการกินกันเอง

1.1 การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design ; CRD) โดยดำเนินการเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองภายในบ่อคอนกรีต แบ่งชุดการทดลองออกเป็น 3 ชุดการทดลอง (Treatment) ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ (Replication) ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 เลี้ยงปูม้ารวมกันภายในบ่อ (เลี้ยงแบบปกติ)

ชุดการทดลองที่ 2 เลี้ยงปูม้าแยกกันโดยการกั้นคอกภายในบ่อ

ชุดการทดลองที่ 3 เลี้ยงปูม้าโดยใส่วัสดุหลบซ่อนลงไปภายในบ่อ

1.2 การเตรียมสัตว์ทดลอง

นำแม่ปูม้าไข่แก่นอกกระดองสีเทาดำที่ได้จากการเลี้ยงในบ่อดินของสถานีวิจัยประมงคลองวาฬ มาเพาะฟักในถังพลาสติกทรงกลมขนาด 200 ลิตร ปล่อยแม่ปู 1 ตัว/ถัง ที่ปริมาตรน้ำ 150 ลิตร ความเค็ม 30 ppt เมื่อลูกปูฟักออกเป็นตัวแยกแม่ปูออก ทำการสุ่มนับลูกปูโดยใช้ปิเกตอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร สุ่มตกลงไปในถังเพาะฟัก สุ่มนับลูกปู 3 ครั้ง ต่อ 1 ถัง และหาค่าเฉลี่ย และนำค่าที่ได้มาเทียบกับปริมาตรน้ำทั้งหมดภายในถังเพาะฟัก ซึ่งจะทำให้ทราบถึงปริมาณของลูกปูในถัง (วุฒิชัย และคณะ, 2552) จากนั้นย้ายลูกปูไปอนุบาลในบ่อซีเมนต์ขนาด 3 ตัน ที่อัตราความ

หนาแน่นของลูกปูประมาณ 100,000 ตัว/น้ำ 1 ตัน (กมรพรรณ และวารินทร์, 2548) ความเค็ม 30 ppt (วารินทร์ และคณะ, 2548) และความเป็นกรดเป็นด่าง 8.0-8.5 (วารินทร์ และธรรมบุญ, 2549)

อาหารที่ใช้ในการอนุบาลลูกปูมีระยะ zoea I, zoea II-IV, zoea IV-first crab ได้แก่ คีโตเซอโรส คีโตเซอโรส+โรติเฟอร์ และอาร์ทีเมียแรกฟัก ตามลำดับ (ลีลา, 2544) สำหรับอาหารที่ใช้ในการอนุบาลลูกปูมีระยะ crab อายุ 1 วันเป็นต้นไป จะใช้อาหารกึ่งขาวเบอร์ 2 โดยให้ในปริมาณที่ลูกปูกินจนอิ่ม และอนุบาลลูกปูจนมีอายุประมาณ 40-45 วัน หรือให้ได้ขนาดความกว้างกระดองประมาณ 1.5 ซม. จึงสุ่มลูกปูเพื่อนำไปทดลองต่อไป

1.3 การเตรียมบ่อทดลอง

เตรียมบ่อคอนกรีตกลางแจ้งขนาด 1.5 x 2.5 x 1.0 เมตร จำนวน 9 บ่อ ใส่ดินร่อนพื้นบ่อสูงประมาณ 20 ซม. ดินที่ใช้รองพื้นบ่อจะนำมาจากคันบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งของสถานีวิจัยประมงคลองวาฬ เตรียมบ่อทดลอง 3 บ่อไว้สำหรับชุดการทดลองที่ 1 (ภาพผนวกที่ 1) ส่วนชุดการทดลองที่ 2 จะกั้นคอกภายในบ่อทดลองด้วยตะข่ายพลาสติกขนาดตา 1.2 ซม. ขนาดความกว้างxยาวคอกละ 0.5x0.6 เมตร จำนวน 12 คอก/บ่อ (ภาพผนวกที่ 2) และในชุดการทดลองที่ 3 จะใส่แผ่นพลาสติกขนาดกว้าง 20 ซม. ยาว 30 ซม. สูง 10 ซม. ทำมุม 90 องศา ลงไปในบ่อเพื่อใช้เป็นที่พักหลบซ่อน จำนวน 1 ที่หลบซ่อน/ตารางเมตร (ภาพผนวกที่ 3) ภายในบ่อทดลองทั้ง 9 บ่อ จะจัดระบบการให้อาหารที่เหมือนกัน โดยใส่หัวทรายวางกระจายไว้ภายในบ่อ บ่อละ 3 หัว (หัวบ่อ กลางบ่อ และท้ายบ่อ) เติมน้ำทะเลระดับความลึกประมาณ 80 ซม. เตรียมไว้ 1 สัปดาห์ ก่อนปล่อยสัตว์ทดลอง

1.4 การดำเนินการทดลอง

ปล่อยลูกปูมีขนาดความกว้างกระดองประมาณ 1.5 ซม. ที่อัตราความหนาแน่น 3 ตัว/ตร.ม. เลี้ยงปูม้าในแต่ละชุดการทดลองด้วยอาหารกึ่งขาวเบอร์ 2 ในช่วง 30 วันแรกในอัตรา 10% ของน้ำหนักตัว/วัน เบอร์ 4 ในช่วง 31-60 วัน และเบอร์ 5 ในช่วง 61-120 วัน ในอัตรา 5% ของน้ำหนักตัว/วัน วันละ 2 มื้อ เวลาประมาณ 9.00 น. และ 16.00 น. (อาภรณ์ และคณะ, 2551; Maheswarudu *et al.*, 2008; Soundarapandian and Dominic Arul Raja, 2008) การให้อาหารของชุดการทดลองที่ 1 และ 3 จะหว่านอาหารให้กระจายทั่วบ่อ ส่วนชุดการทดลองที่ 2 จะหว่านลงไปในแต่ละคอก บันทึกปริมาณอาหารที่ให้ทุกวัน ระหว่างการทดลองจะตรวจสอบอัตราการรอดตายของปูม้า

โดยการนับจำนวนปูที่เหลืออยู่ พร้อมกับวัดความกว้าง ความยาวของกระดองโดยใช้เวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์ และชั่งน้ำหนักตัวปูด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง เพื่อปรับปริมาณอาหารที่ให้ทุก 15 วัน เลี้ยงปูมาเป็นระยะเวลา 120 วัน จึงจับผลผลิตทั้งหมด

2. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินพื้นบ่อระหว่างการเลี้ยง และผลกระทบต่อการเจริญเติบโต และอัตราการตายของปูม้า

2.1 การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองโดยแบ่งชุดการทดลองออกเป็น 2 ชุดการทดลอง (treatment) ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ (replication) ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 เลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่า

ชุดการทดลองที่ 2 เลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อใหม่

2.2 การเตรียมบ่อทดลอง

เตรียมบ่อคอนกรีตกลางแจ้งขนาด $1.5 \times 2.5 \times 1.0$ ม. จำนวน 6 บ่อ ใส่ดินรองพื้นบ่อสูง 20 ซม. โดยดินที่ใช้เป็นตัวแทนของบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำเก่าจะนำมาจากดินพื้นก้นบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งของสถานีวิจัยประมงคลองวาฬ ซึ่งผ่านการใช้งานมาแล้วไม่ต่ำกว่า 10 ปี และดินที่ใช้เป็นตัวแทนของบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำที่ปรับปรุงใหม่ หรือบ่อใหม่ จะนำมาจากก้นบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งของสถานีวิจัยประมงคลองวาฬ อย่างละ 3 บ่อ ภายในบ่อทดลองทั้ง 6 บ่อ จัดระบบการให้อากาศที่เหมือนกัน โดยใส่หัวทรายวางกระจายไว้ภายในบ่อ บ่อละ 3 หัว (หัวบ่อ กลางบ่อ และท้ายบ่อ) เติมน้ำทะเลระดับความลึกประมาณ 80 ซม. เตรียมไว้ 1 สัปดาห์ ก่อนปล่อยสัตว์ทดลอง

2.3 การดำเนินการทดลอง

ปล่อยลูกปูม้าขนาดความกว้างกระดองประมาณ 1.5 ซม. ที่อัตราความหนาแน่น 3 ตัว/ตร.ม. เลี้ยงปูม้าในแต่ละชุดการทดลองด้วยอาหารกุ้งขาวเบอร์ 2 ในช่วง 30 วันแรกในอัตรา 10%

ของน้ำนักตัว/วัน เบอร์ 4 ในช่วง 31-60 วัน และเบอร์ 5 ในช่วง 61-120 วัน ในอัตรา 5% ของน้ำนักตัว/วัน วันละ 2 มื้อ เวลาประมาณ 9.00 น. และ 16.00 น. (อาภรณ์ และคณะ, 2551; Maheswarudu *et al.*, 2008; Soundarapandian and Dominic Arul Raja, 2008) โดยหว่านอาหารให้กระจายทั่วบ่อ บันทึกปริมาณอาหารที่ให้ทุกวัน

ระหว่างการทดลองจะตรวจสอบอัตราการรอดตายของปูม้าโดยการนับจำนวนปูที่เหลืออยู่ พร้อมกับวัดความกว้าง ความยาวของกระดองโดยใช้เวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์ และชั่งน้ำหนักตัวปูด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง เพื่อปรับปริมาณอาหารที่ให้ทุก 15 วัน เลี้ยงปูม้าเป็นระยะเวลา 120 วัน จึงจับผลผลิตทั้งหมด

3. การตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำ และดิน

ระหว่างการทดลองจะเปลี่ยนถ่ายน้ำประมาณ 50% ทุกสัปดาห์ นอกจากนี้มีการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำ และคุณภาพดินดังตารางที่ 6 และ 7

ตารางที่ 6 พารามิเตอร์ และวิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำระหว่างการทดลอง

ลำดับที่	พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์	เวลาเก็บตัวอย่างน้ำ	ความถี่
1	ออกซิเจน	DO meter รุ่น YSI 550A	6-7 น. และ 14-15 น.	สัปดาห์ละครั้ง
2	อุณหภูมิ	DO meter รุ่น YSI 550A	6-7 น. และ 14-15 น.	สัปดาห์ละครั้ง
3	pH	pH meter ยี่ห้อ CyberScan pH 11	6-7 น. และ 14-15 น.	สัปดาห์ละครั้ง
4	ความเค็ม	Salinity Refractometer Prima tech	ประมาณ 9.00 น.	สัปดาห์ละครั้ง
5	แอมโมเนียรวม	Koroleff's Indophenol blue method (Grasshoff, 1976)	ประมาณ 9.00 น.	สัปดาห์ละครั้ง
6	ไนไตรท์	Colorimetric method (APHA <i>et al.</i> , 1998)	ประมาณ 9.00 น.	สัปดาห์ละครั้ง
7	ความเป็นด่าง	APHA <i>et al.</i> , (1998)	ประมาณ 9.00 น.	สัปดาห์ละครั้ง

ตารางที่ 7 พารามิเตอร์ และวิธีการวิเคราะห์คุณภาพดินระหว่างการทดลอง

ลำดับที่	พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์	ความถี่ในการเก็บตัวอย่างดิน
1	เนื้อดิน	Hydrometer method (APHA <i>et al.</i> , 1998)	เดือนละ 1 ครั้ง
2	pH	Dewis and Freitas (1976)	เดือนละ 1 ครั้ง
3	ซัลไฟด์	Meksumpun and Meksumpun (1999)	เดือนละ 1 ครั้ง
4	แอมโมเนียรวม	Chuan and Sugahara (1984)	เดือนละ 1 ครั้ง
5	สารอินทรีย์รวม	Ignition loss (Chareonpanich and Seurungreong, 1997)	เดือนละ 1 ครั้ง

สำหรับการวัดการดูดกลืนคลื่นแสงในการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ จะวัดด้วยเครื่อง Spectrophotometer รุ่น Spectro 2000 RS

การเก็บตัวอย่างดินพื้นบ่อจะเก็บโดยใช้ท่อพลาสติกใส (Hand corer) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 ซม. โดยจะสุ่มเก็บตัวอย่างดินในระบบการเลี้ยงจำลองบ่อละ 1 จุด ให้ได้ระดับความลึกประมาณ 10 ซม. และแบ่งตัวอย่างดินออกเป็น 2 ระดับความลึก คือ 0-5 และ 5-10 ซม. เก็บดินใส่ในถุงซิปล็อคอากาศออกให้หมดก่อนปิดปากถุง จากนั้นนำตัวอย่างดินไปเก็บไว้ในตู้แช่แข็ง เพื่อป้องกันการเกิดกระบวนการต่างๆ ในดินตะกอน ก่อนนำตัวอย่างดินมาวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการ

4. การเก็บข้อมูลเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

เมื่อสิ้นสุดการทดลองของในแต่ละชุดการทดลองจะจับผลผลิตทั้งหมดเพื่อหาอัตราการรอด (Survival rate, SV), อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (Average daily growth, ADG) ตามวิธีการคำนวณของ Brown (1957) และหาอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (Food conversion rate, FCR) ตามวิธีของ Halver (1986) ดังนี้

$$SV (\%) = \frac{\text{จำนวนปูม้าที่เก็บเกี่ยวได้ทั้งหมด}}{\text{จำนวนปูม้าเริ่มต้น}} \times 100$$

$$\text{ADG (กรัม/วัน)} = \frac{\text{น้ำหนักเฉลี่ยสุดท้าย} - \text{น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น}}{\text{จำนวนวันที่เลี้ยง}}$$

$$\text{FCR} = \frac{\text{น้ำหนักอาหารที่ให้ทั้งหมด}}{\text{น้ำหนักผลผลิต} - \text{น้ำหนักปูที่ปล่อยลงเลี้ยง}}$$

สำหรับการหาอัตราการตาย (Mortality rate, MR) ของปูม้าในแต่ละช่วงการเลี้ยง อัตราการตายของปูม้าที่เลี้ยงเนื่องจากการกินกันเอง และเนื่องจากปัจจัยอื่นของการศึกษาอัตราการตายของปูม้าที่เลี้ยงเนื่องจากการกินกันเองคำนวณได้จาก

$$\text{MR (\%)} = 100 - \left(\frac{\text{จำนวนปูที่เหลือของในแต่ละช่วงการเลี้ยง} \times 100}{\text{จำนวนปูเริ่มต้นของในแต่ละช่วงการเลี้ยง}} \right)$$

$$\text{โดยที่ MR (\%)} = \%C + \%O$$

%C คือ การตายเนื่องจากการกินกันเอง = MR ของชุดการทดลองที่ 1 หรือ 3 – MR ของชุดการทดลองที่ 2

%O คือ การตายเนื่องจากปัจจัยอื่น

5. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเพื่อหาความแตกต่างของข้อมูล โดยชุดการทดลองที่มี 2 ชุดการทดลองใช้วิธี T-test ส่วนชุดการทดลองที่มี 3 ชุดการทดลองใช้วิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิเคราะห์ และประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Statistic 17.0

6. สถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

สถานีวิจัยประมงคลองวาฬ เลขที่ 447 ม.1 ต.คลองวาฬ อ.เมือง จ.ประจวบคีรีขันธ์ 77000

7. สถานที่วิเคราะห์คุณภาพน้ำ และดิน

7.1 ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ สถานีวิจัยประมงคลองวาฬ

7.2 ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ดิน ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง

7.3 ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ดิน อาคารปฏิบัติการสมุทรศาสตร์ สถานีวิจัยประมงศรีราชา

8. ระยะเวลาทำการวิจัย

มิถุนายน – ธันวาคม 2553

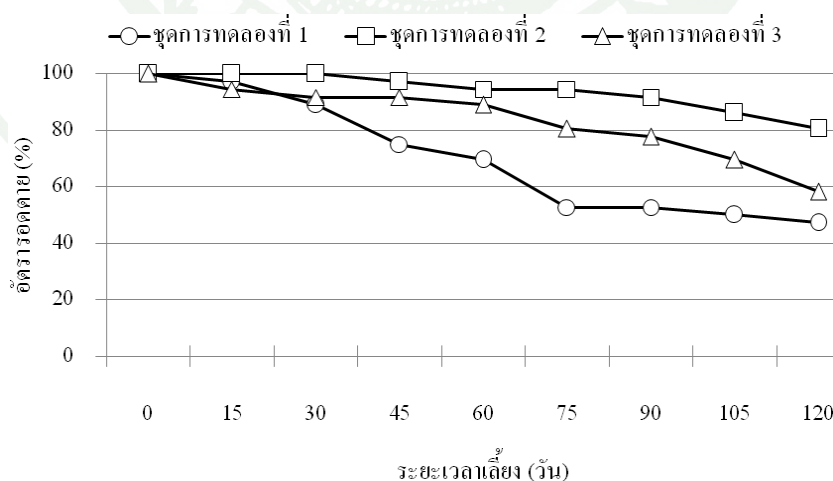
ผล และวิจารณ์

ผล

1. การศึกษาอัตราการตายของปูม้าที่เลี้ยงเนื่องจากการกินกันเอง

1.1 อัตราการตายของปูม้าที่เลี้ยงแบบปกติ, เลี้ยงแยกกัน และเลี้ยงแบบใส่วัสดุหลบซ่อน

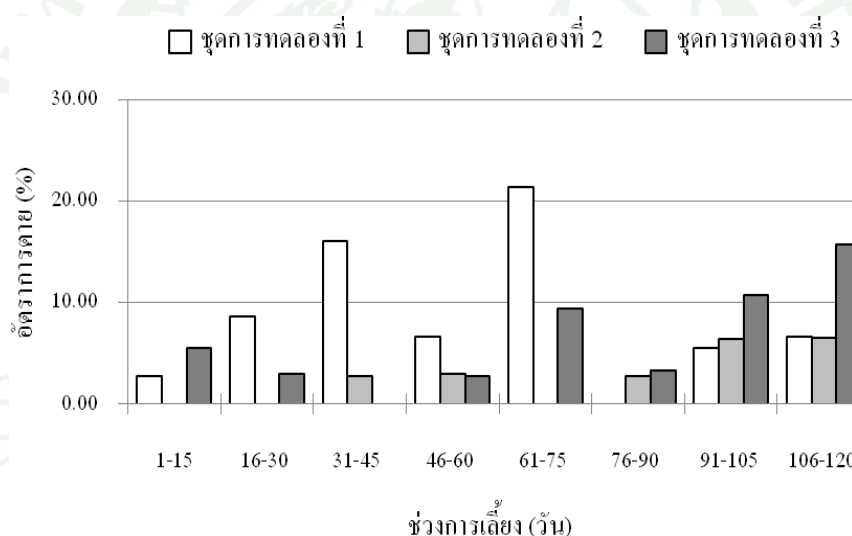
จากการศึกษาพบว่า ปูม้าที่เลี้ยงแบบปกติ เลี้ยงแยกกันภายในบ่อด้วยการกั้นคอก และเลี้ยงแบบใส่วัสดุหลบซ่อนในวันที่ 15 มีอัตราการรอดตายเฉลี่ยเท่ากับ 97.22 ± 4.81 , 100 และ $94.44 \pm 4.81\%$ วันที่ 30 มีอัตราการรอดตายสะสมเฉลี่ยเท่ากับ 88.88 ± 4.80 , 100 และ $91.66 \pm 8.33\%$ วันที่ 45 มีอัตราการรอดตายสะสมเฉลี่ยเท่ากับ 74.99 ± 14.43 , 97.22 ± 4.81 และ $91.66 \pm 8.33\%$ วันที่ 60 มีอัตราการรอดตายสะสมเฉลี่ยเท่ากับ 52.77 ± 12.72 , 94.44 ± 9.62 และ $88.88 \pm 4.80\%$ วันที่ 75 มีอัตราการรอดตายสะสมเฉลี่ยเท่ากับ 52.77 ± 12.72 , 94.44 ± 9.62 และ $80.55 \pm 4.80\%$ วันที่ 90 มีอัตราการรอดตายสะสมเฉลี่ยเท่ากับ 52.77 ± 12.72 , 91.66 ± 8.33 และ $77.77 \pm 4.80\%$ วันที่ 105 มีอัตราการรอดตายสะสมเฉลี่ยเท่ากับ 49.99 ± 14.43 , 86.11 ± 12.72 และ $69.44 \pm 4.81\%$ และวันที่ 120 มีอัตราการรอดตายสะสมเฉลี่ยเท่ากับ 47.21 ± 17.34 , 80.55 ± 12.72 และ $58.33 \pm 8.33\%$ ตามลำดับ (ภาพที่ 6)



ภาพที่ 6 แสดงอัตราการรอดตายของปูม้าของในแต่ละชุดการทดลอง

ชุดการทดลองที่ 1 = ปูม้าที่เลี้ยงแบบปกติ ชุดการทดลองที่ 2 = ปูม้าที่เลี้ยงแยกกันภายในบ่อ และชุดการทดลองที่ 3 = ปูม้าที่เลี้ยงโดยใส่วัสดุหลบซ่อน

เมื่อคำนวณหาอัตราการตายของปูม้าในแต่ละช่วงการเลี้ยง พบว่า ปูม้าที่เลี้ยงแบบปกติ เลี้ยงแยกกัน และเลี้ยงแบบใส่วัสดุหลบซ่อนในช่วงวันที่ 1-15 มีอัตราการตายเฉลี่ยเท่ากับ 2.78 ± 4.81 , 0.00 และ $5.56 \pm 4.81\%$ ช่วงวันที่ 16-30 มีอัตราการตายเฉลี่ยเท่ากับ 8.58 ± 0.43 , 0.00 และ $3.02 \pm 5.24\%$ ในช่วงวันที่ 31-45 มีอัตราการตายเฉลี่ยเท่ากับ 16.05 ± 12.07 , 2.78 ± 4.81 และ 0.00% ในช่วงวันที่ 46-60 มีอัตราการตายเฉลี่ยเท่ากับ 6.68 ± 11.54 , 3.02 ± 5.24 และ $2.78 \pm 4.81\%$ ในช่วงวันที่ 61-75 มีอัตราการตายเฉลี่ยเท่ากับ 21.42 ± 25.75 , 0.00 และ $9.39 \pm 0.52\%$ ในช่วงวันที่ 76-90 มีอัตราการตายเฉลี่ยเท่ากับ 0.00, 2.78 ± 4.81 และ $3.33 \pm 5.77\%$ ในช่วงวันที่ 91-105 มีอัตราการตายเฉลี่ยเท่ากับ 5.56 ± 9.63 , 6.36 ± 5.52 และ $10.74 \pm 0.64\%$ และในช่วงวันที่ 106-120 มีอัตราการตายเฉลี่ยเท่ากับ 6.66 ± 11.54 , 6.48 ± 5.78 และ $15.73 \pm 13.70\%$ ตามลำดับ (ภาพที่ 7)



ภาพที่ 7 แสดงอัตราการตายของปูม้าในแต่ละช่วงการเลี้ยงของในแต่ละชุดการทดลอง

ชุดการทดลองที่ 1 = ปูม้าที่เลี้ยงแบบปกติ ชุดการทดลองที่ 2 = ปูม้าที่เลี้ยงแยกกันภายในบ่อ และชุดการทดลองที่ 3 = ปูม้าที่เลี้ยงโดยใส่วัสดุหลบซ่อน

จากการคำนวณหาอัตราการตายของปูม้าโดยเฉพาะการเลี้ยงปูม้าในชุดการทดลองที่ 1 ซึ่งจะใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงของการเลี้ยงปูม้าโดยทั่วไป พบว่า อัตราการตายเฉลี่ยของปูม้าในช่วงการเลี้ยง 1-15, 16-30, 31-45, 46-60, 61-75, 76-90, 91-105 และ 106-120 วัน นั้นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 8)

ตารางที่ 8 อัตราการตายเฉลี่ยของปูม้าที่เลี้ยงแบบปกติในแต่ละช่วงการเลี้ยง (Mean±SD)

ช่วงการเลี้ยง	อัตราการตายเฉลี่ยของปูม้า (%)
	ปูม้าที่เลี้ยงแบบปกติ
1-15 วัน	2.78±4.81
16-30 วัน	8.58±0.43
31-45 วัน	16.05±12.07
46-60 วัน	6.68±11.54
61-75 วัน	21.42±25.75
76-90 วัน	0.00
91-105 วัน	5.56±9.63
106-120 วัน	6.66±11.54

แต่เมื่อนำอัตราการตายของปูม้าในแต่ละชุดการทดลองมาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเพื่อหาความแตกต่างของข้อมูล พบว่า ที่ระยะเวลาการเลี้ยง 1-15 วัน ปูม้าที่เลี้ยงแบบปกติ เลี้ยงแยกกัน และเลี้ยงแบบใส่วัสดุหลบซ่อนมีอัตราการตายเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ที่ระยะเวลาการเลี้ยง 16-45 วัน พบว่า ปูม้าที่เลี้ยงแยก และเลี้ยงแบบใส่วัสดุหลบซ่อนมีอัตราการตายเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) และมีอัตราการตายเฉลี่ยต่ำกว่าของปูม้าที่เลี้ยงแบบปกติ ($P<0.05$) ที่ระยะเวลาเลี้ยง 46-60 วัน พบว่า อัตราการตายเฉลี่ยของปูม้าในแต่ละชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ที่ระยะเวลาเลี้ยง 61-75 วัน พบว่า ปูม้าที่เลี้ยงแบบแยกจะมีอัตราการตายเฉลี่ยต่ำกว่าปูม้าที่เลี้ยงแบบใส่วัสดุหลบซ่อน ($P<0.05$) และอัตราการตายเฉลี่ยของปูม้าที่เลี้ยงแบบปกติไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับของปูม้าที่เลี้ยงแบบแยก และเลี้ยงแบบใส่วัสดุหลบซ่อน ($P>0.05$) ส่วนที่ระยะเวลาการเลี้ยง 76-120 วัน พบว่า อัตราการตายเฉลี่ยของปูม้าในแต่ละชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) (ตารางที่ 9)

ตารางที่ 9 ผลการเปรียบเทียบอัตราการตายเฉลี่ยของปูม้าในแต่ละช่วงการเลี้ยงของในแต่ละชุดการทดลอง (Mean±SD)

ช่วงการเลี้ยง	อัตราการตายเฉลี่ยของปูม้า (%)		
	ปูม้าที่เลี้ยงแบบปกติ	ปูม้าที่เลี้ยงแยกกันภายในบ่อ	ปูม้าที่เลี้ยงโดยใส่วัสดุหลบซ่อน
1-15 วัน	2.78±4.81 ^a	0.00 ^a	5.56±4.81 ^a
16-30 วัน	8.58±0.43 ^b	0.00 ^a	3.02±5.24 ^a
31-45 วัน	16.05±12.07 ^b	2.78±4.81 ^a	0.00 ^a
46-60 วัน	6.68±11.54 ^a	3.02±5.24 ^a	2.78±4.81 ^a
61-75 วัน	21.42±25.75 ^{ab}	0.00 ^a	9.39±0.52 ^b
76-90 วัน	0.00 ^a	2.78±4.81 ^a	3.33±5.77 ^a
91-105 วัน	5.56±9.63 ^a	6.36±5.52 ^a	10.74±0.64 ^a
106-120 วัน	6.66±11.54 ^a	6.48±5.78 ^a	15.73±13.70 ^a

หมายเหตุ : ค่าที่กำกับด้วยอักษรต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ (P<0.05)

1.2 อัตราการตายของปูม้าที่เลี้ยงอันเนื่องมาจากการกินกันเอง และเนื่องจากปัจจัยอื่น

เมื่อวิเคราะห์สาเหตุการตายของปูม้าในแต่ละช่วงการเลี้ยง โดยอ้างอิงจากอัตราการตายเฉลี่ยของปูม้าที่เลี้ยงแบบแยกกันภายในบ่อด้วยการกั้นคอก พบว่า ที่ระยะเวลาเลี้ยง 1-15 และ 16-30 วัน อัตราการตายที่เกิดขึ้นกับปูม้าที่เลี้ยงแบบปกติ และที่เลี้ยงแบบใส่วัสดุหลบซ่อนนั้นจะเป็นการตายที่น่าเกิดจากการกินกันเองทั้งหมด เพราะปูม้าที่เลี้ยงแบบแยกไม่มีการตายเกิดขึ้นซึ่งแสดงให้เห็นว่ายังไม่มีปัจจัยอื่นที่มีผลต่อการตายของปูม้าเกิดขึ้นในช่วงการเลี้ยงนี้ ที่ระยะเวลาเลี้ยง 31-45 วัน พบว่า อัตราการตาย 16.05% ที่เกิดกับปูม้าที่เลี้ยงแบบปกติ น่าเกิดจากการกินกันเอง 13.27% และเกิดจากปัจจัยอื่น 2.78% เพราะปูม้าที่เลี้ยงแบบแยกมีการตายที่เกิดจากปัจจัยอื่นที่ไม่ใช่การตายที่เกิดจากการกินกันเองเกิดขึ้น 2.78% ส่วนปูม้าที่เลี้ยงแบบใส่วัสดุหลบซ่อนจะไม่พบการตายเนื่องจากการกินกันเองในช่วงนี้ ที่ระยะเวลาเลี้ยง 46-60 วัน พบว่า อัตราการตาย 6.68% ที่เกิดกับปูม้าที่เลี้ยงแบบปกติ น่าเกิดจากการกินกันเอง 3.66% และเกิดจากปัจจัยอื่น 3.02% ส่วนอัตราการตาย 2.78% ที่เกิดขึ้นกับปูม้าที่เลี้ยงแบบใส่วัสดุหลบซ่อนนั้นไม่น่าเกิดจากการกินกันเอง แต่น่าเกิดจากปัจจัยอื่น

เพราะปูม้าที่เลี้ยงแบบแยกมีการตายที่เกิดจากปัจจัยอื่นเกิดขึ้น 3.02% ที่ระยะเวลาเลี้ยง 61-75 วัน พบว่า อัตราการตาย 21.42% ที่เกิดกับปูม้าที่เลี้ยงแบบปกติที่เกิดจากการกินกันเองทั้งหมด เช่นเดียวกันกับอัตราการตาย 9.39% ที่เกิดขึ้นกับปูม้าที่เลี้ยงแบบใส่วัสดุหลบซ่อน เพราะปูม้าที่เลี้ยงแบบแยกไม่มีการตายเกิดขึ้น ที่ระยะเวลาเลี้ยง 76-90 วัน พบว่า อัตราการตาย 3.33% ที่เกิดกับปูม้าที่เลี้ยงแบบใส่วัสดุหลบซ่อนจะเป็นการตายที่เกิดจากการกินกันเอง 0.55% และเกิดจากปัจจัยอื่น 2.78% เพราะปูม้าที่เลี้ยงแบบแยกมีการตายที่เกิดจากปัจจัยอื่นเกิดขึ้น 2.78% ส่วนปูม้าที่เลี้ยงแบบปกติของการศึกษาครั้งนี้จะไม่พบการตายในช่วงนี้ ที่ระยะเวลาเลี้ยง 91-105 วัน พบว่า อัตราการตาย 5.56% ที่เกิดกับปูม้าที่เลี้ยงแบบปกติไม่น่าเกิดจากการกินกันเองแต่จะเกิดจากปัจจัยอื่นทั้งหมด ส่วนอัตราการตาย 10.74% ที่เกิดขึ้นกับปูม้าที่เลี้ยงแบบใส่วัสดุหลบซ่อนนั้น น่าเกิดจากการกินกันเอง 4.38% และเกิดจากปัจจัยอื่น 6.36% เพราะปูม้าที่เลี้ยงแบบแยกมีการตายที่เกิดจากปัจจัยอื่นเกิดขึ้น 6.36% และที่ระยะเวลาเลี้ยง 106-120 วัน พบว่า อัตราการตาย 6.66% ที่เกิดกับปูม้าที่เลี้ยงแบบปกติ น่าเกิดจากการกินกันเอง 0.81% และเกิดจากปัจจัยอื่น 6.48% ส่วนอัตราการตาย 15.73% ที่เกิดขึ้นกับปูม้าที่เลี้ยงแบบใส่วัสดุหลบซ่อนนั้น น่าเกิดจากการกินกันเอง 9.25% และเกิดจากปัจจัยอื่น 6.48% เพราะปูม้าที่เลี้ยงแบบแยกมีการตายที่เกิดจากปัจจัยอื่นที่ไม่ใช่การตายที่เกิดจากการกินกันเองเกิดขึ้น 6.48% (ตารางที่ 10, ภาพที่ 8)

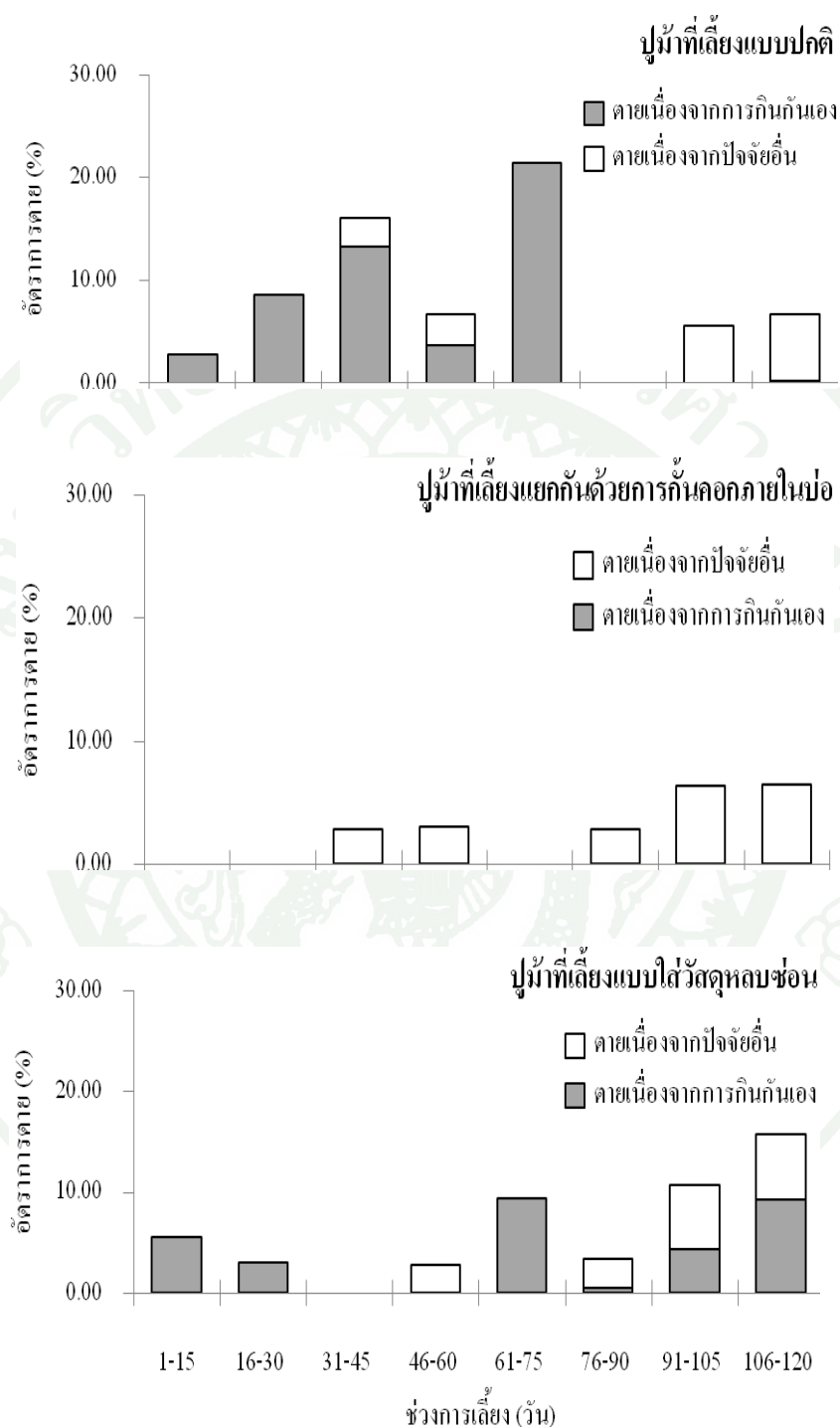
นอกเหนือจากนี้ ระหว่างการเลี้ยงปูม้าพบว่า แนวโน้มการตายเนื่องจากการกินกันเองของปูม้าที่เลี้ยงจะลดลงเมื่อระยะเวลาการเลี้ยงเพิ่มขึ้น และแนวโน้มการตายเนื่องจากปัจจัยอื่นจะเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาการเลี้ยงที่เพิ่มขึ้น (ภาพที่ 9)

ตารางที่ 10 ขนาดความกว้างของกระดอง (CW) น้ำหนักตัว (WT) และเปอร์เซ็นต์การตายของปูม้าที่เลี้ยงเนื่องจากการกินกันเอง และเนื่องจากปัจจัยอื่นของใน
แต่ละชุดการทดลอง

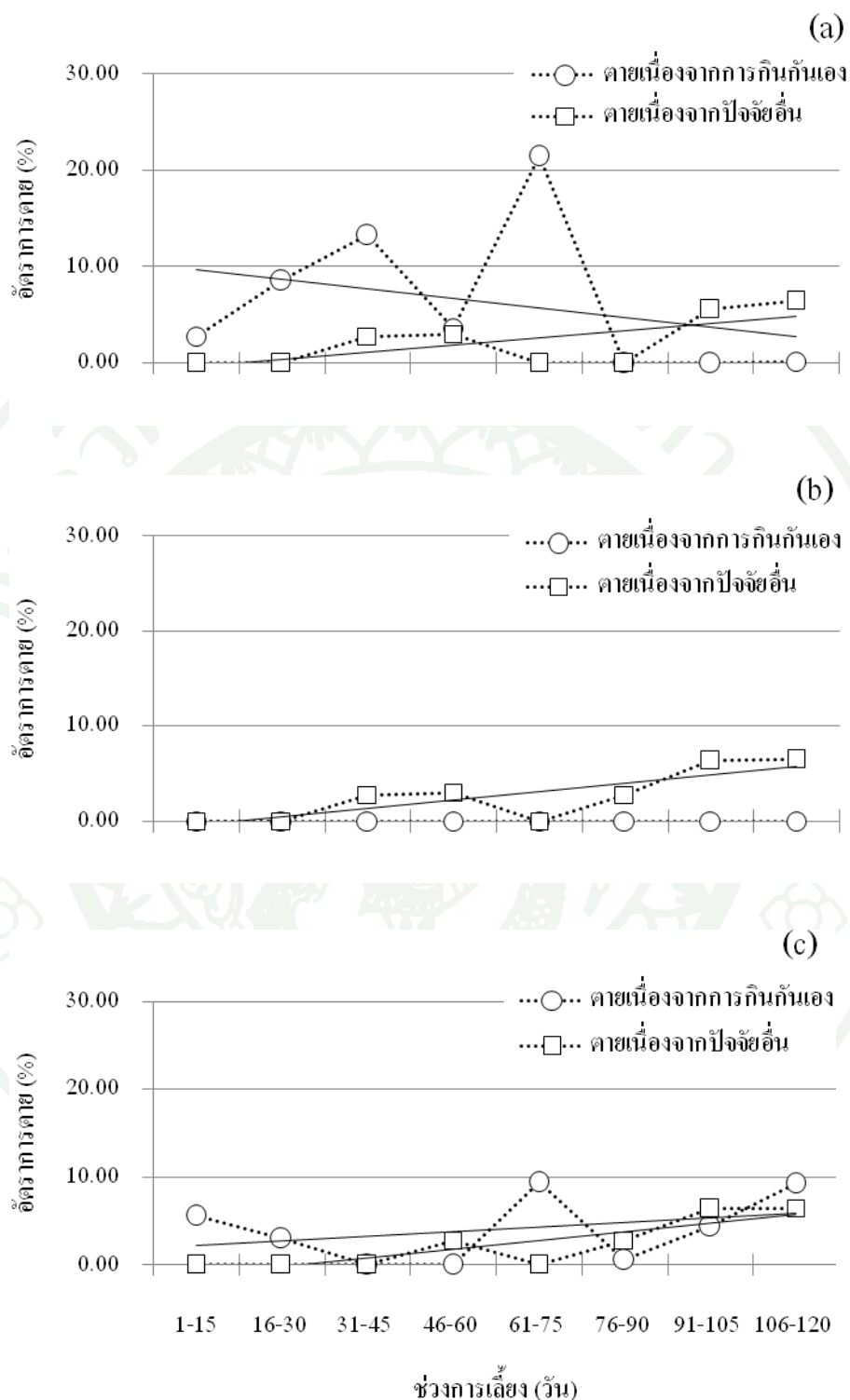
ช่วงการ เลี้ยง	ปูม้าที่เลี้ยงแบบปกติ (ชุดการทดลองที่ 1)				ปูม้าที่เลี้ยงแยกกันภายในบ่อ (ชุดการทดลองที่ 2)				ปูม้าที่เลี้ยงโดยใส่วัสดุหลบซ่อน (ชุดการทดลองที่ 3)			
	CW (ซม.)	WT (กรัม)	%C	%O	CW (ซม.)	WT (กรัม)	%C	%O	CW (ซม.)	WT (กรัม)	%C	%O
1-15 วัน	3.27±0.61	7.94±1.58	2.78%	0.00%	3.14±0.49	7.44±0.77	0.00%	0.00%	3.50±0.30	9.48±1.18	5.56%	0.00%
16-30 วัน	4.41±0.21	20.85±1.80	8.58%	0.00%	4.30±0.24	19.01±2.02	0.00%	0.00%	4.32±0.14	17.58±1.44	3.02%	0.00%
31-45 วัน	7.51±0.48	26.45±3.04	13.27%	2.78%	7.33±0.19	27.46±1.63	0.00%	2.78%	7.42±0.20	26.59±1.18	0.00%	0.00%
46-60 วัน	7.60±0.12	32.39±2.66	3.66%	3.02%	7.41±0.13	32.34±3.08	0.00%	3.02%	7.48±0.12	33.24±1.51	0.00%	2.78%
61-75 วัน	8.19±0.27	44.12±4.05	21.42%	0.00%	8.12±0.20	44.61±5.01	0.00%	0.00%	7.91±0.22	37.78±4.98	9.39%	0.00%
76-90 วัน	9.01±0.52	59.71±10.62	0.00%	0.00%	8.58±0.20	47.72±4.51	0.00%	2.78%	8.73±0.24	52.14±2.36	0.55%	2.78%
91-105 วัน	9.45±0.77	57.85±14.86	0.00%	5.56%	8.86±0.43	53.77±5.73	0.00%	6.36%	9.11±0.17	60.31±7.50	4.38%	6.36%
106-120 วัน	10.33±0.43	75.68±14.92	0.18%	6.48%	9.20±0.41	60.62±6.06	0.00%	6.48%	10.02±0.23	74.13±9.56	9.25%	6.48%

หมายเหตุ : เปอร์เซ็นต์การตายของปูม้าที่เลี้ยงเนื่องจากการกินกันเอง และเนื่องจากปัจจัยอื่นในตารางนี้ได้มาจากการคำนวณ ดังนี้

อัตราการตาย (%) = %C + %O โดยที่ %C คือ การตายเนื่องจากการกินกันเอง = อัตราการตายของชุดการทดลองที่ 1 หรือ 3 – อัตราการตายของชุดการทดลองที่ 2 และ %O คือ การตายเนื่องจากปัจจัยอื่น



ภาพที่ 8 แสดงอัตรการตายของปูมำในแต่ละช่วงการเลียงอันเนื่องมาจากการกินกันเอง และเนื่องจากปัจจัยอื่นของในแต่ละชุดการทดลอง



ภาพที่ 9 แสดงเส้นแนวโน้มอัตราการตายอันเนื่องมาจากการกินกันเอง และเนื่องจากปัจจัยอื่นของ
ปูม้าที่เลี้ยงแบบปกติ (a), ปูม้าที่เลี้ยงแยกกันภายในบ่อด้วยการกั้นคอก (b) และปูม้าที่เลี้ยง
แบบใส่วัสดุหลบซ่อน จำนวน 1 ที่หลบซ่อน/ตารางเมตร (c)

2. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินพื้นบ่อระหว่างการเลี้ยง และผลกระทบต่อ การเจริญเติบโต และอัตราการตายของปูม้า

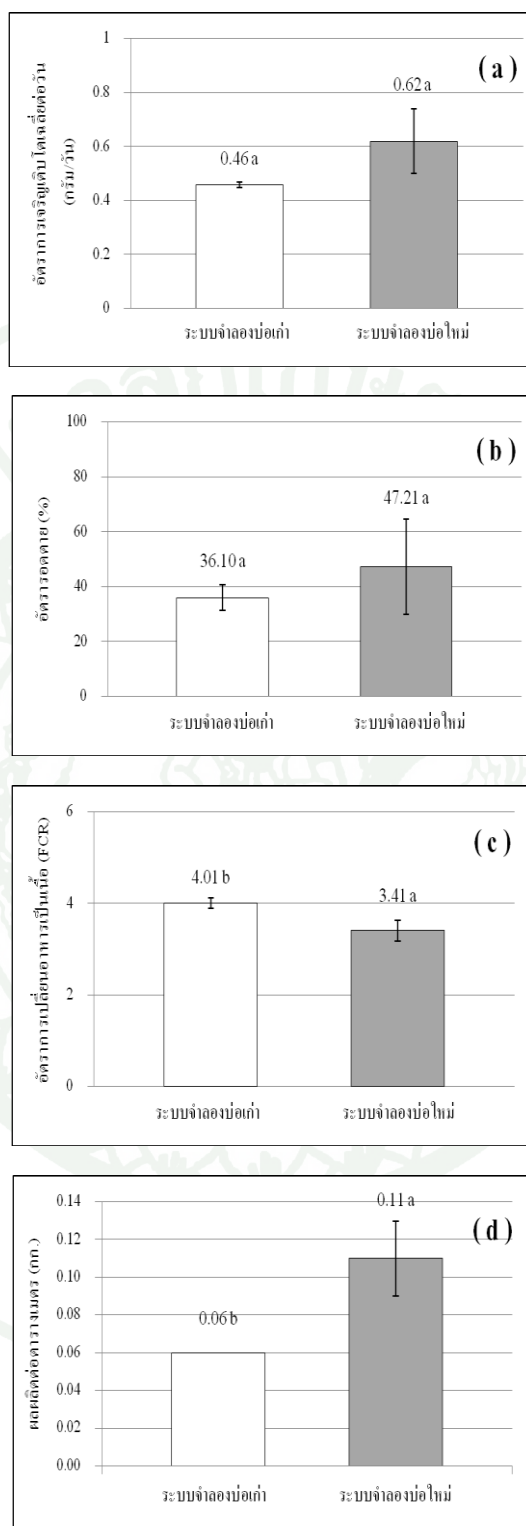
2.1 อัตราการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) และผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่ของปูม้าที่เลี้ยงในระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่า และบ่อเลี้ยงใหม่

เมื่อสิ้นสุดการเลี้ยงพบว่า ปูม้าที่เลี้ยงในระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่ามีขนาดความกว้างกระดองเฉลี่ยเท่ากับ 9.15 ± 0.17 เซนติเมตร ความยาวกระดองเฉลี่ยเท่ากับ 4.57 ± 0.11 เซนติเมตร น้ำหนักตัวเฉลี่ยเท่ากับ 56.59 ± 1.51 กรัม อัตราการรอดตายเฉลี่ยเท่ากับ $36.10 \pm 4.80\%$ อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย (ADG) เท่ากับ 0.46 ± 0.01 กรัม/วัน และมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) เฉลี่ยเท่ากับ 4.01 ± 0.11 ส่วนปูม้าที่เลี้ยงในระบบจำลองบ่อเลี้ยงใหม่มีขนาดความกว้างกระดองเฉลี่ยเท่ากับ 10.33 ± 0.43 เซนติเมตร ความยาวกระดองเฉลี่ยเท่ากับ 4.79 ± 0.33 เซนติเมตร น้ำหนักตัวเฉลี่ยเท่ากับ 75.86 ± 14.92 กรัม อัตราการรอดตายเฉลี่ยเท่ากับ $47.21 \pm 17.34\%$ อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยเท่ากับ 0.62 ± 0.12 กรัม/วัน และมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อเฉลี่ยเท่ากับ 3.41 ± 0.23 และเมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ผลทางสถิติปรากฏว่า ขนาดความยาวกระดองเฉลี่ย น้ำหนักตัวเฉลี่ย อัตราการรอดตายเฉลี่ย และอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันของปูม้าที่เลี้ยงในระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่า และบ่อเลี้ยงใหม่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่ปูม้าที่เลี้ยงในระบบจำลองบ่อเลี้ยงใหม่จะมีขนาดความกว้างกระดองเฉลี่ยสูงกว่า และมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อต่ำกว่าปูม้าที่เลี้ยงในระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่า ($P < 0.05$) ส่วนการวิเคราะห์ผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่พบว่า การเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่ามีผลผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 0.24 ± 0.03 กิโลกรัม/3.75 ตร.ม. หรือ 0.06 ± 0.00 กิโลกรัม/ตร.ม. การเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเลี้ยงใหม่มีผลผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 0.40 ± 0.08 กิโลกรัม/3.75 ตร.ม. หรือ 0.11 ± 0.02 กิโลกรัม/ตร.ม. ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่า ปูม้าที่เลี้ยงในระบบจำลองบ่อเลี้ยงใหม่มีผลผลิตเฉลี่ยต่อตารางเมตรสูงกว่าปูม้าที่เลี้ยงในระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่า ($P < 0.05$) (ตารางที่ 11, ภาพที่ 10)

ตารางที่ 11 ความกว้างของกระดูก (CW) ความยาวของกระดูก (CL) น้ำหนักตัว (WT) อัตรารอดตาย (SV) อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (ADG) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) และผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่ของปูม้าที่เลี้ยงในระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่า และบ่อเลี้ยงใหม่ (Mean±SD)

ระยะ เวลาเลี้ยง	ขนาดของปูม้าในระบบจำลองบ่อเก่า				ขนาดของปูม้าในระบบจำลองบ่อใหม่			
	CW (ซม.)	CL (ซม.)	WT (กรัม)	SV (%)	CW (ซม.)	CL (ซม.)	WT (กรัม)	SV (%)
15 วัน	3.50±0.65 ^a	1.79±0.25 ^a	8.41±2.57 ^a	94.94±4.81 ^a	3.27±0.61 ^a	1.69±0.25 ^a	7.94±1.58 ^a	97.22±4.81 ^a
30 วัน	4.59±0.36 ^a	2.48±0.20 ^a	17.97±1.17 ^a	77.77±9.62 ^a	4.41±0.21 ^a	2.43±0.23 ^a	20.85±1.80 ^a	88.88±4.80 ^a
45 วัน	6.90±0.25 ^a	3.58±0.07 ^a	23.99±1.60 ^a	63.88±9.62 ^a	7.51±0.48 ^a	3.58±0.18 ^a	26.45±3.04 ^a	74.99±14.43 ^a
60 วัน	7.09±0.35 ^a	3.60±0.16 ^a	27.86±2.63 ^a	61.10±4.80 ^a	7.60±0.12 ^a	3.79±0.22 ^a	32.39±2.66 ^a	69.44±12.72 ^a
75 วัน	7.61±0.14 ^b	4.07±0.10 ^a	30.36±1.11 ^b	49.99±8.33 ^a	8.19±0.27 ^a	4.04±0.13 ^a	44.12±4.05 ^a	52.77±12.72 ^a
90 วัน	8.31±0.25 ^a	4.05±0.16 ^b	42.57±3.59 ^b	41.66±8.33 ^a	9.01±0.52 ^a	4.51±0.12 ^a	59.71±10.62 ^a	52.77±12.72 ^a
105 วัน	8.58±0.33 ^a	4.17±0.14 ^b	47.70±2.66 ^a	38.88±4.80 ^a	9.45±0.77 ^a	4.98±0.45 ^a	57.85±14.86 ^a	49.99±14.43 ^a
120 วัน	9.15±0.17 ^b	4.57±0.11 ^a	56.59±1.51 ^a	36.10±4.80 ^a	10.33±0.43 ^a	4.79±0.33 ^a	75.68±14.92 ^a	47.21±17.34 ^a
ADG (กรัม/วัน)	0.46±0.01 ^a				0.62±0.12 ^a			
FCR	4.01±0.11 ^b				3.41±0.23 ^a			
ผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่ (กก./ตร.ม.)	0.06±0.00 ^b				0.11±0.02 ^a			

หมายเหตุ : ค่าที่กำกับด้วยอักษรต่างกันในแนวนอนที่เป็นข้อมูลเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ (P<0.05)



ภาพที่ 10 อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (a) อัตราการอดตาย (b) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (c) และผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่ (d) ของปูม้าที่เลี้ยงในระบบจำลองบ่อเก่า และบ่อใหม่ โดยค่าที่กำกับด้วยอักษรต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$)

2.2 เนื้อดิน

การวิเคราะห์ประเภทเนื้อดินของดินพื้นบ่อที่นำมาใช้เลี้ยงปูม้าในการศึกษาครั้งนี้พบว่า ตลอดระยะเวลาการเลี้ยงเนื้อดินของระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่าเป็นประเภทดินทราย (sand) โดยมีสัดส่วนของอนุภาคทราย (sand) 93.14-95.14%, อนุภาคทรายแป้ง (silt) 2.86-4.86% และอนุภาคดินเหนียว (clay) 2% ส่วนเนื้อดินของระบบจำลองบ่อเลี้ยงใหม่เป็นประเภทดินร่วนปนทราย (sandy loam) โดยมีสัดส่วนของอนุภาคทราย 73.14-81.14%, อนุภาคทรายแป้ง 6.86-12.86% และอนุภาคดินเหนียว 12-14% ดังแสดงในตารางผนวกที่ 9 (ภาพที่ 11 และ 12)

2.3 พีเอชดิน

การวิเคราะห์พีเอชของดินพื้นบ่อของการเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่า และบ่อเลี้ยงใหม่ พบว่า ตลอดระยะเวลาการเลี้ยงพีเอชของดินที่ระดับความลึก 0 - 10 เซนติเมตร ในระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่า มีค่าอยู่ระหว่าง 7.02 – 8.36 ในระบบจำลองบ่อเลี้ยงใหม่มีค่าอยู่ระหว่าง 6.27 – 8.00 ดังแสดงในตารางผนวกที่ 10

ค่าพีเอชของดินพื้นบ่อเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่าที่ระดับความลึก 0-5 และ 6-10 เซนติเมตร เริ่มต้นการเลี้ยงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.95 ± 0.11 และ 8.02 ± 0.14 ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าค่าพีเอชของดินพื้นบ่อเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเลี้ยงใหม่ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.65 ± 0.27 และ 6.45 ± 0.28 ตามลำดับ ($P < 0.05$) เมื่อระยะเวลาเลี้ยงผ่านไป 30 และ 60 วัน พบว่า พีเอชของดินพื้นบ่อเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่าที่ระดับความลึก 0-5 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.77 ± 0.08 และ 7.77 ± 0.09 ตามลำดับ ที่ระดับความลึก 6-10 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.86 ± 0.41 และ 8.04 ± 0.05 ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าพีเอชของดินในระบบจำลองบ่อเลี้ยงใหม่เมื่อระยะเวลาเลี้ยงผ่านไป 30 และ 60 วัน คือ ที่ระดับความลึก 0-5 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.09 ± 0.26 และ 6.80 ± 0.45 ตามลำดับ ที่ระดับความลึก 6-10 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.00 ± 0.07 และ 6.67 ± 0.22 ตามลำดับ ($P < 0.05$) เมื่อระยะเวลาเลี้ยงผ่านไป 90 วัน พบว่า พีเอชของดินพื้นบ่อในระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่าและบ่อใหม่ที่ระดับความลึก 0 – 5 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 7.52 ± 0.44 และ 7.30 ± 0.33 ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) ที่ระดับความลึก 6 -10 เซนติเมตร พีเอชของดินพื้นบ่อในระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.95 ± 0.17 ซึ่งจะสูงกว่าในระบบจำลองบ่อเลี้ยงใหม่ ที่มีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 7.36 ± 0.28 ($P < 0.05$) และที่ระยะเวลาเลี้ยง 120 วัน พบว่า พีเอชของดินพื้นบ่อใน

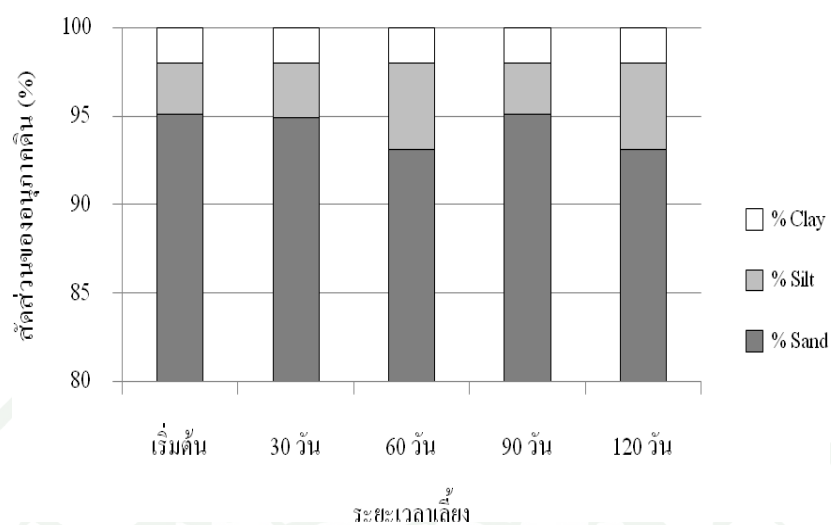
ระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่าที่ระดับความลึก 0-5 และ 6-10 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.82 ± 0.40 และ 8.10 ± 0.36 ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับฟิโชนของดินในระบบจำลองบ่อเลี้ยงใหม่ ที่ระดับความลึก 0-5 และ 6-10 เซนติเมตร ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.27 ± 0.79 และ 7.83 ± 0.22 ตามลำดับ ($P > 0.05$) (ตารางที่ 12)

ตารางที่ 12 แสดงค่าฟิโชนของดินพื้นบ่อขณะเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่า และบ่อเลี้ยงใหม่ (Mean $\pm$ SD)

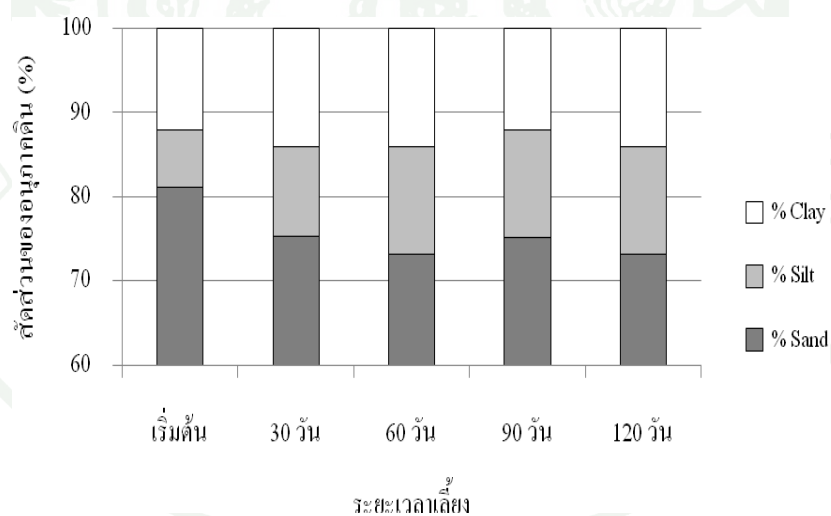
อายุการเลี้ยง	ค่าฟิโชนของดินในระบบจำลองบ่อเก่า		ค่าฟิโชนของดินในระบบจำลองบ่อใหม่	
	ระดับ 0 – 5 ซม.	ระดับ 6 – 10 ซม.	ระดับ 0 – 5 ซม.	ระดับ 6 – 10 ซม.
เริ่มต้น	7.95 ± 0.11^a	8.02 ± 0.14^a	6.65 ± 0.27^b	6.45 ± 0.28^b
30 วัน	7.77 ± 0.08^a	7.86 ± 0.41^a	7.09 ± 0.26^b	7.00 ± 0.07^b
60 วัน	7.77 ± 0.09^a	8.04 ± 0.05^a	6.80 ± 0.45^b	6.67 ± 0.22^b
90 วัน	7.52 ± 0.44^a	7.95 ± 0.17^a	7.30 ± 0.33^a	7.36 ± 0.28^b
120 วัน	7.82 ± 0.40^a	8.10 ± 0.36^a	7.27 ± 0.79^a	7.83 ± 0.22^a

หมายเหตุ : ค่าที่กำกับด้วยอักษรต่างกันในแนวนอนที่เป็นข้อมูลเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$)

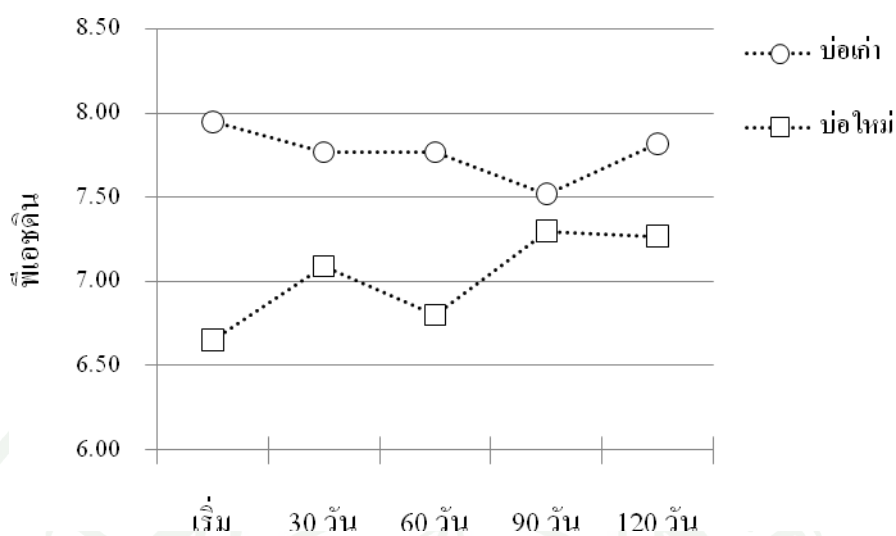
การเปลี่ยนแปลงฟิโชนของดินพื้นบ่อเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่า และบ่อเลี้ยงใหม่ของการศึกษาครั้งนี้ พบว่า ค่าฟิโชนของดินพื้นบ่อเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่าที่ระดับความลึก 0 – 5 เซนติเมตร มีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก คือ จะอยู่ในช่วง 7.52 – 7.95 ที่ระดับความลึก 6 – 10 เซนติเมตร ก็มีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก คือ จะอยู่ในช่วง 7.86 – 8.10 ส่วนค่าฟิโชนของดินพื้นบ่อเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเลี้ยงใหม่ก็มีการเปลี่ยนแปลงมากเมื่อเทียบกับการเปลี่ยนแปลงฟิโชนของดินพื้นบ่อของการเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่า คือ ที่ระดับความลึก 0 – 5 เซนติเมตร ค่าฟิโชนจะอยู่ในช่วง 6.65 – 7.30 ที่ระดับความลึก 6 – 10 เซนติเมตร ค่าฟิโชนจะอยู่ในช่วง 6.45 – 7.83 (ภาพที่ 13 และ 14)



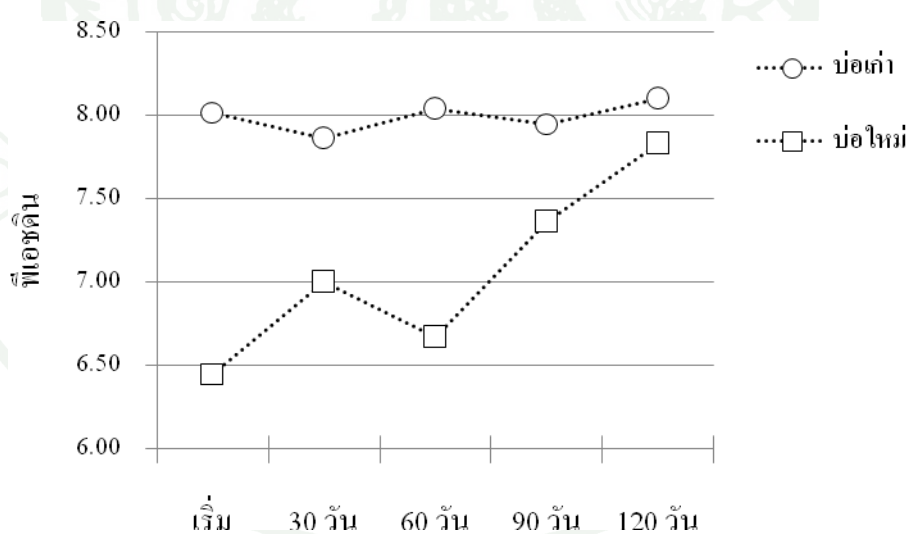
ภาพที่ 11 แสดงสัดส่วนของอนุภาคทราย (sand), อนุภาคทรายแป้ง (silt) และอนุภาคดินเหนียว (clay) ของดินพื้นบ่อของระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่า



ภาพที่ 12 แสดงสัดส่วนของอนุภาคทราย (sand), อนุภาคทรายแป้ง (silt) และอนุภาคดินเหนียว (clay) ของดินพื้นบ่อของระบบจำลองบ่อเลี้ยงที่ปรับปรุงใหม่



ภาพที่ 13 แสดงการเปลี่ยนแปลงพีเอชของดินพื้นบ่อที่ระดับความลึก 0 – 5 เซนติเมตร ขณะเลี้ยงปู
ม้าในระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่า และบ่อเลี้ยงที่ปรับปรุงใหม่



ภาพที่ 14 แสดงการเปลี่ยนแปลงพีเอชของดินพื้นบ่อที่ระดับความลึก 6 – 10 เซนติเมตร ขณะเลี้ยงปู
ม้าในระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่า และบ่อเลี้ยงที่ปรับปรุงใหม่

2.4 ปริมาณซัลไฟด์ในดิน

การวิเคราะห์ซัลไฟด์ในดินพื้นบ่อของการเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่า และบ่อเลี้ยงใหม่ พบว่า ตลอดระยะเวลาการเลี้ยงปริมาณซัลไฟด์ในดินพื้นบ่อที่ระดับความลึก 0 - 10 เซนติเมตร ของระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่ามีค่าอยู่ระหว่าง 0.0035 – 0.2043 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักดินแห้ง (มก./ก. นน.ดินแห้ง) ในระบบจำลองบ่อเลี้ยงใหม่มีค่าอยู่ระหว่าง 0.0000 – 0.6746 มก./ก. นน.ดินแห้ง ดังแสดงในตารางผนวกที่ 11

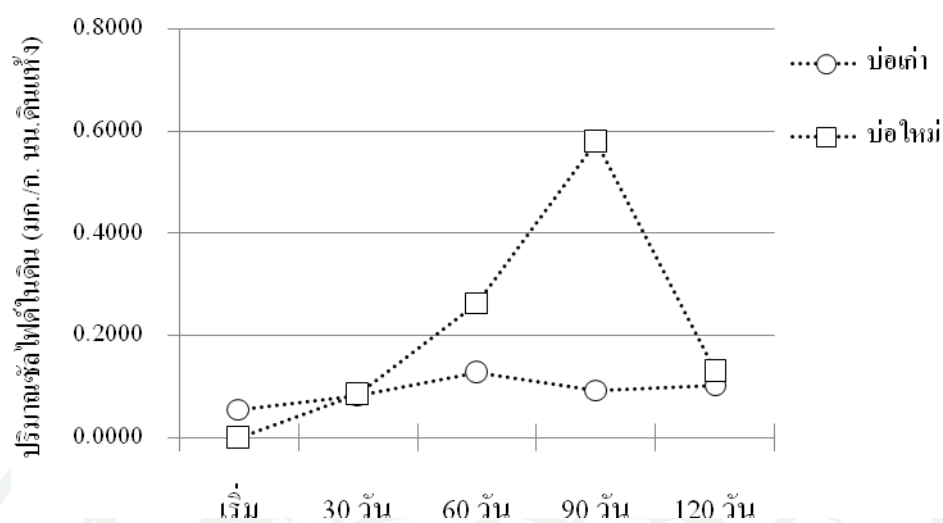
ก่อนการเลี้ยงปูม้าในระบบจำลอง พบว่า ปริมาณซัลไฟด์ในดินพื้นบ่อระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่าที่ระดับความลึก 0-5 และ 6-10 เซนติเมตร มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 0.0558 ± 0.0239 และ 0.0329 ± 0.0400 มก./ก. นน.ดินแห้ง ตามลำดับ และไม่พบปริมาณซัลไฟด์ในดินพื้นบ่อระบบจำลองบ่อเลี้ยงใหม่ทั้ง 2 ระดับความลึก เมื่อการเลี้ยงผ่านไป 30 วัน พบว่า ซัลไฟด์ในดินระบบจำลองบ่อเก่า และบ่อใหม่ที่ระดับความลึก 0-5 เซนติเมตร มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 0.0823 ± 0.0119 และ 0.0842 ± 0.0571 มก./ก. นน.ดินแห้ง ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) ที่ระดับความลึก 6-10 เซนติเมตร ซัลไฟด์ในดินระบบจำลองบ่อเก่ามีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 0.0418 ± 0.0081 มก./ก. นน.ดินแห้ง ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าซัลไฟด์ในดินระบบจำลองบ่อใหม่ที่มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 0.0067 ± 0.0022 มก./ก. นน.ดินแห้ง ($P < 0.05$) เมื่อระยะเวลาเลี้ยงผ่านไป 60 วัน พบว่า ซัลไฟด์ในดินระบบจำลองบ่อเก่า และบ่อใหม่ที่ระดับความลึก 0-5 เซนติเมตร มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 0.1272 ± 0.0843 และ 0.2640 ± 0.3479 มก./ก. นน.ดินแห้ง ที่ระดับความลึก 6-10 เซนติเมตร มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 0.0903 ± 0.0753 และ 0.2223 ± 0.3464 มก./ก. นน.ดินแห้ง ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) เมื่อระยะเวลาเลี้ยงผ่านไป 90 วัน พบว่า ซัลไฟด์ในดินระบบจำลองบ่อใหม่ที่ระดับความลึก 0-5 เซนติเมตร มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 0.5788 ± 0.0722 มก./ก. นน.ดินแห้ง ซึ่งสูงกว่าซัลไฟด์ในดินระบบจำลองบ่อเก่าที่มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 0.0875 ± 0.0534 มก./ก. นน.ดินแห้ง ($P < 0.05$) แต่ที่ระดับความลึก 6-10 เซนติเมตร ปริมาณซัลไฟด์ในดินระบบจำลองบ่อเก่า และใหม่ไม่มีความแตกต่างกัน ($P > 0.05$) ซึ่งมีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 0.0875 ± 0.0534 และ 0.4305 ± 0.2996 มก./ก. นน.ดินแห้ง ตามลำดับ และเมื่อสิ้นสุดการเลี้ยงที่ 120 วัน พบว่า ซัลไฟด์ในดินระบบจำลองบ่อเก่า และบ่อใหม่ที่ระดับความลึก 0-5 เซนติเมตร มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 0.1032 ± 0.0231 และ 0.1304 ± 0.0108 มก./ก. นน.ดินแห้ง ที่ระดับความลึก 6-10 เซนติเมตร มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 0.0395 ± 0.0334 และ 0.0346 ± 0.0201 มก./ก. นน.ดินแห้ง ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตารางที่ 13)

ตารางที่ 13 แสดงปริมาณซัลไฟด์ในดินพื้นบ่อ (มก./ก. นน.ดินแห้ง) ขณะเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่า และบ่อเลี้ยงใหม่ (Mean±SD)

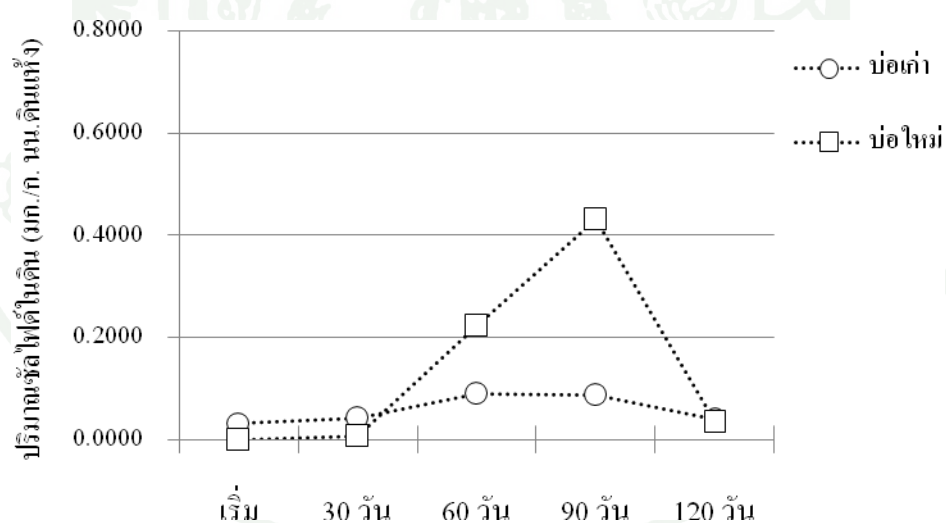
อายุการเลี้ยง	ซัลไฟด์ในดินระบบจำลองบ่อเก่า		ซัลไฟด์ในดินระบบจำลองบ่อใหม่	
	ระดับ 0 – 5 ซม.	ระดับ 6 – 10 ซม.	ระดับ 0 – 5 ซม.	ระดับ 6 – 10 ซม.
เริ่มต้น	0.0558±0.0239 ^b	0.0329±0.0400 ^a	0.0000 ^a	0.0000 ^a
30 วัน	0.0823±0.0119 ^a	0.0418±0.0081 ^b	0.0842±0.0571 ^a	0.0067±0.0022 ^a
60 วัน	0.1272±0.0843 ^a	0.0903±0.0753 ^a	0.2640±0.3479 ^a	0.2223±0.3464 ^a
90 วัน	0.0939±0.0531 ^a	0.0875±0.0534 ^a	0.5788±0.0722 ^b	0.4305±0.2996 ^a
120 วัน	0.1032±0.0231 ^a	0.0395±0.0334 ^a	0.1304±0.0108 ^a	0.0346±0.0201 ^a

หมายเหตุ : ค่าที่กำกับด้วยอักษรต่างกันในแนวนอนที่เป็นข้อมูลเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$)

การเปลี่ยนแปลงปริมาณซัลไฟด์ในดินพื้นบ่อของระบบจำลองการเลี้ยงปูม้าในการศึกษาครั้งนี้ พบว่า ระหว่างการเลี้ยงพบปริมาณซัลไฟด์สูงสุดในวันที่ 60 และ 90 ของการเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเก่า และระบบจำลองบ่อใหม่ตามลำดับ (ภาพที่ 15 และ 16)



ภาพที่ 15 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณซัลไฟด์ (AVS) ในดินพื้นบ่อที่ระดับความลึก 0 – 5 เซนติเมตร ขณะเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่า และบ่อเลี้ยงที่ปรับปรุงใหม่



ภาพที่ 16 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณซัลไฟด์ (AVS) ในดินพื้นบ่อที่ระดับความลึก 6 – 10 เซนติเมตร ขณะเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่า และบ่อเลี้ยงที่ปรับปรุงใหม่

2.5 ปริมาณแอมโมเนียในดิน

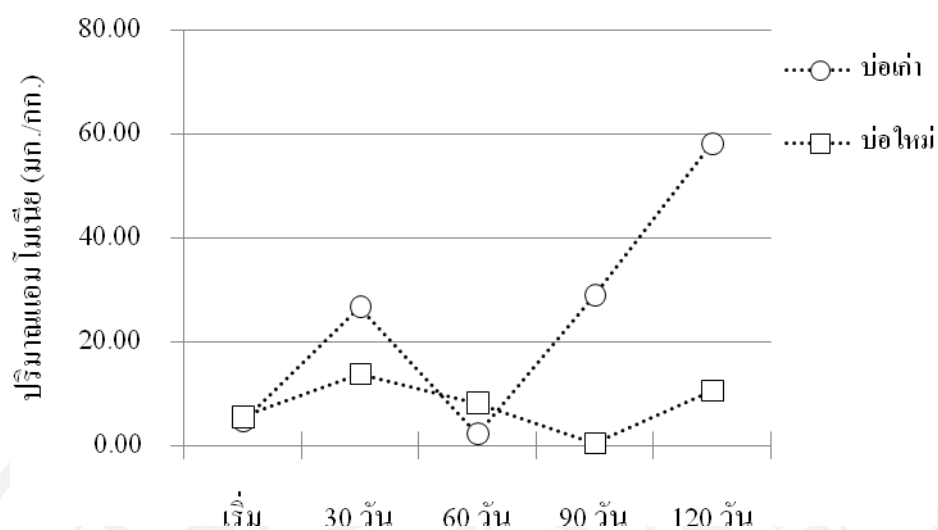
การวิเคราะห์หาแอมโมเนียในดินพื้นบ่อของการเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่า และบ่อเลี้ยงใหม่ พบว่า ตลอดระยะเวลาการเลี้ยงปริมาณแอมโมเนียในดินพื้นบ่อที่ระดับความลึก 0 - 10 เซนติเมตร ของระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่ามีค่าอยู่ระหว่าง 0.00 – 94.87 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (มก./กก.) ในระบบจำลองบ่อเลี้ยงใหม่มีค่าอยู่ระหว่าง 0.00 – 20.51 มก./กก. ดังแสดงในตารางผนวกที่ 12

ก่อนการเลี้ยงปูม้าในระบบจำลอง พบว่า ปริมาณแอมโมเนียในดินพื้นบ่อระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่า และบ่อเลี้ยงใหม่ที่ระดับความลึก 0-5 เซนติเมตร มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 4.59 ± 7.95 และ 5.54 ± 1.03 มก./กก. ที่ระดับความลึก 6-10 เซนติเมตร มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 10.67 ± 9.33 และ 3.21 ± 1.13 มก./กก. ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) เมื่อระยะเวลาเลี้ยงผ่านไป 30, 60, 90 และ 120 วัน พบว่า ปริมาณแอมโมเนียในดินพื้นบ่อระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่าที่ระดับความลึก 0-5 เซนติเมตร มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 26.71 ± 46.26 , 2.14 ± 3.70 , 28.91 ± 48.56 และ 58.26 ± 50.54 มก./กก. ที่ระดับความลึก 6-10 เซนติเมตร มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 28.17 ± 48.80 , 3.10 ± 2.69 , 25.92 ± 44.89 และ 57.75 ± 50.69 มก./กก. ตามลำดับ และปริมาณแอมโมเนียในดินพื้นบ่อระบบจำลองบ่อเลี้ยงใหม่ที่ระดับความลึก 0-5 เซนติเมตร มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 13.81 ± 1.96 , 8.21 ± 6.35 , 0.42 ± 0.73 และ 10.67 ± 8.64 มก./กก. ที่ระดับความลึก 6-10 เซนติเมตร มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 11.80 ± 8.69 , 10.14 ± 6.03 , 0.53 ± 0.48 และ 2.93 ± 2.80 มก./กก. ตามลำดับ เมื่อนำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติปรากฏว่า ปริมาณแอมโมเนียในดินพื้นบ่อเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่า และบ่อเลี้ยงใหม่ในแต่ละช่วงการเลี้ยงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตารางที่ 14)

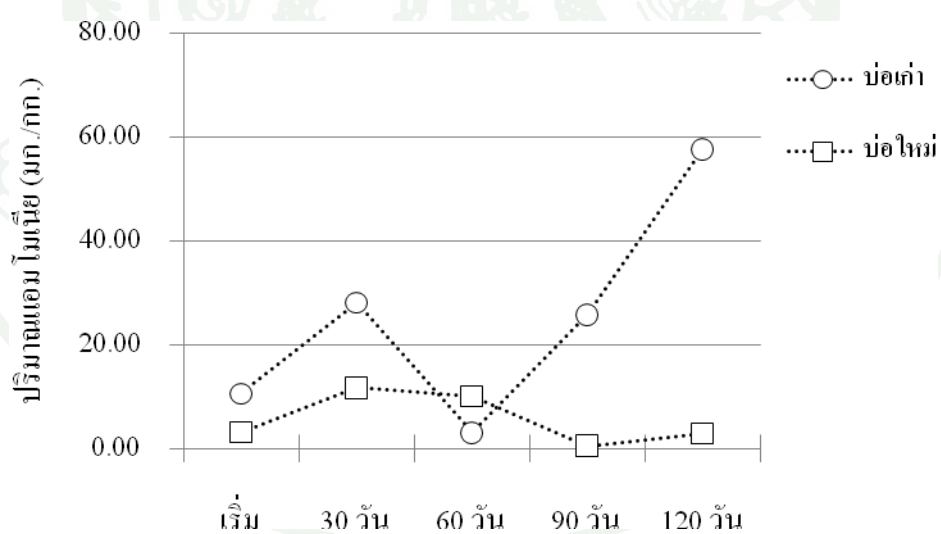
ตารางที่ 14 แสดงปริมาณแอมโมเนียในดินพื้นบ่อ (มก./กก.) ขณะเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่า และบ่อเลี้ยงใหม่ (Mean±SD)

อายุการเลี้ยง	แอมโมเนียในดินระบบจำลองบ่อเก่า		แอมโมเนียในดินระบบจำลองบ่อใหม่	
	ระดับ 0 – 5 ซม.	ระดับ 6 – 10 ซม.	ระดับ 0 – 5 ซม.	ระดับ 6 – 10 ซม.
เริ่มต้น	4.59±7.95	10.67±9.33	5.54±1.03	3.21±1.13
30 วัน	26.71±46.26	28.17±48.80	13.81±1.96	11.80±8.69
60 วัน	2.14±3.70	3.10±2.69	8.21±6.35	10.14±6.03
90 วัน	28.91±48.56	25.92±44.89	0.42±0.73	0.53±0.48
120 วัน	58.26±50.54	57.75±50.69	10.67±8.64	2.93±2.80

การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียในดินพื้นบ่อของระบบจำลองการเลี้ยงปูม้าในการศึกษานี้ พบว่า แอมโมเนียในดินของระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่ามีปริมาณสูงสุดในวันที่ 120 ของการเลี้ยง ส่วนปริมาณแอมโมเนียในดินของระบบจำลองบ่อเลี้ยงใหม่มีปริมาณสูงสุดในวันที่ 30 ของการเลี้ยง (ภาพที่ 17 และ 18)



ภาพที่ 17 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียในดินพื้นบ่อที่ระดับความลึก 0 – 5 เซนติเมตร ขณะเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่า และบ่อเลี้ยงที่ปรับปรุงใหม่



ภาพที่ 18 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียในดินพื้นบ่อที่ระดับความลึก 6 – 10 เซนติเมตร ขณะเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่า และบ่อเลี้ยงที่ปรับปรุงใหม่

2.6 ปริมาณสารอินทรีย์รวมในดิน

การวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินพื้นบ่อของการเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่า และบ่อเลี้ยงใหม่ พบว่า ตลอดระยะเวลาการเลี้ยงปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินพื้นบ่อที่ระดับความลึก 0 – 10 เซนติเมตร ของระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่ามีค่าอยู่ระหว่าง 1.13-12.95% ในระบบจำลองบ่อเลี้ยงใหม่มีค่าอยู่ระหว่าง 1.14-21.71% ดังแสดงในตารางผนวกที่ 13

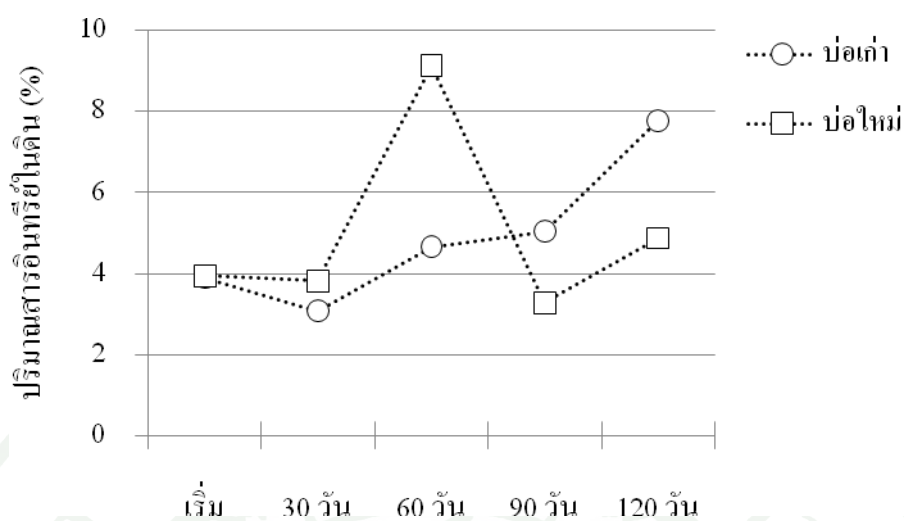
ก่อนการเลี้ยงปูม้าในระบบจำลอง พบว่า ปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินพื้นบ่อระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่า และบ่อเลี้ยงใหม่ที่ระดับความลึก 0-5 เซนติเมตร มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 3.91 ± 2.18 และ $3.95 \pm 2.18\%$ ที่ระดับความลึก 6-10 เซนติเมตร มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 2.39 ± 1.84 และ $3.36 \pm 1.95\%$ ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) เมื่อระยะเวลาการเลี้ยงผ่านไป 30, 60, 90 และ 120 วัน พบว่า ปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่าที่ระดับความลึก 0-5 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.08 ± 1.82 , 4.67 ± 3.71 , 5.04 ± 4.24 และ $7.78 \pm 3.00\%$ ที่ระดับความลึก 6-10 เซนติเมตร มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 4.50 ± 3.37 , 6.87 ± 5.27 , 7.23 ± 5.74 และ $9.48 \pm 2.74\%$ ตามลำดับ ส่วนปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินระบบจำลองบ่อเลี้ยงใหม่ที่ระดับความลึก 0-5 เซนติเมตร มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 3.82 ± 2.22 , 9.13 ± 10.96 , 3.28 ± 1.87 และ $4.88 \pm 1.04\%$ ที่ระดับความลึก 6-10 เซนติเมตร มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 3.57 ± 2.02 , 3.67 ± 1.14 , 3.55 ± 0.95 และ $4.15 \pm 1.25\%$ ตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่า ปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินพื้นบ่อเลี้ยงปูม้าของระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่า และบ่อเลี้ยงใหม่ที่ระยะเวลาเลี้ยง 30-90 วันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่เมื่อระยะเวลาเลี้ยงผ่านไป 120 วัน พบว่า ปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินพื้นบ่อที่ระดับความลึก 6-10 เซนติเมตรของระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่า จะสูงกว่าของระบบจำลองบ่อเลี้ยงใหม่ ($P < 0.05$) (ตารางที่ 15)

ตารางที่ 15 แสดงปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินพื้นบ่อ (%) ขณะเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่า และบ่อเลี้ยงใหม่ (Mean±SD)

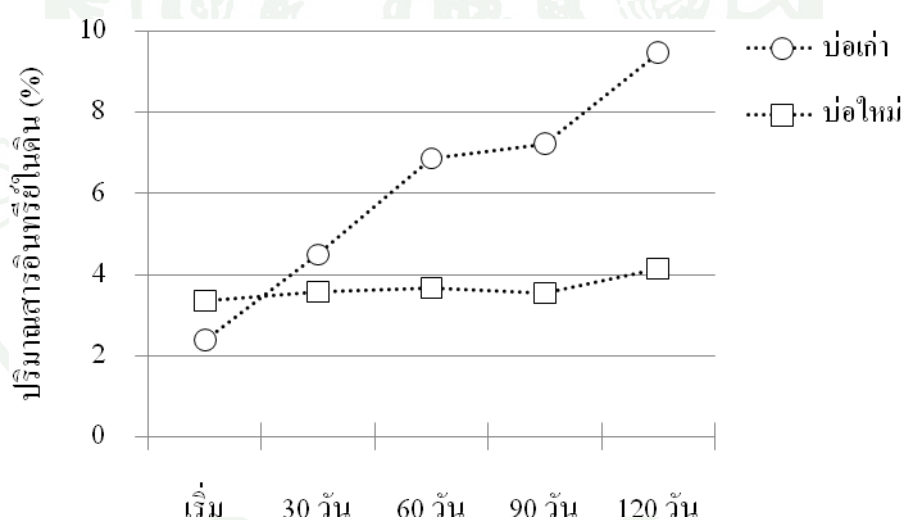
อายุการเลี้ยง	สารอินทรีย์ในดินระบบจำลองบ่อเก่า		สารอินทรีย์ในดินระบบจำลองบ่อใหม่	
	ระดับ 0 – 5 ซม.	ระดับ 6 – 10 ซม.	ระดับ 0 – 5 ซม.	ระดับ 6 – 10 ซม.
เริ่มต้น	3.91±2.18 ^a	2.39±1.84 ^a	3.95±2.18 ^a	3.36±1.95 ^a
30 วัน	3.08±1.82 ^a	4.50±3.37 ^a	3.82±2.22 ^a	3.57±2.02 ^a
60 วัน	4.67±3.71 ^a	6.87±5.27 ^a	9.13±10.96 ^a	3.67±1.14 ^a
90 วัน	5.04±4.24 ^a	7.23±5.74 ^a	3.28±1.87 ^a	3.55±0.95 ^a
120 วัน	7.78±3.00 ^a	9.48±2.74 ^b	4.88±1.04 ^a	4.15±1.25 ^a

หมายเหตุ : ค่าที่กำกับด้วยอักษรต่างกันในแนวนอนที่เป็นข้อมูลเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ (P<0.05)

การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินพื้นบ่อของระบบจำลองการเลี้ยงปูม้าในการศึกษาครั้งนี้ พบว่า ระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่ามีปริมาณสารอินทรีย์รวมสูงสุดในวันที่ 120 ของการเลี้ยง และระบบจำลองบ่อเลี้ยงใหม่มีปริมาณสารอินทรีย์รวมสูงสุดในวันที่ 60 ของการเลี้ยง (ภาพที่ 19 และ 20)



ภาพที่ 19 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินพื้นบ่อที่ระดับความลึก 0 – 5 เซนติเมตร ขณะเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่า และบ่อเลี้ยงที่ปรับปรุงใหม่

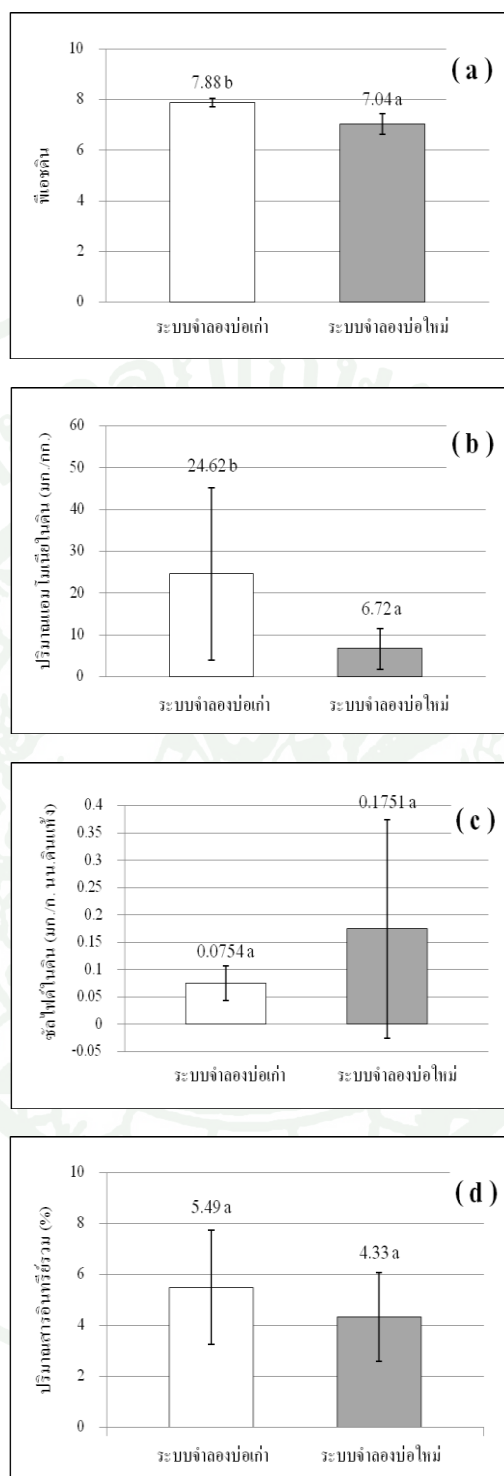


ภาพที่ 20 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินพื้นบ่อที่ระดับความลึก 6 – 10 เซนติเมตร ขณะเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่า และบ่อเลี้ยงที่ปรับปรุงใหม่

2.7 การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินพื้นบ่อเก็บอัตราการตายของปูม้าที่เลี้ยง

จากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติดินพื้นบ่อเลี้ยงปูม้าทั้ง 2 ชุดการทดลอง พบว่า คุณสมบัติของดินพื้นบ่อเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเก่าที่ระดับความลึก 0-10 เซนติเมตร ตลอดระยะเวลาการเลี้ยงมีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 7.88 ± 0.17 , ปริมาณแอมโมเนียเฉลี่ยเท่ากับ 24.62 ± 20.36 มก./กก., ปริมาณซัลไฟด์เฉลี่ยเท่ากับ 0.075 ± 0.0313 มก./ก. นน.ดินแห้ง และปริมาณสารอินทรีย์รวมเฉลี่ยเท่ากับ $5.49 \pm 2.25\%$ ส่วนคุณสมบัติของดินพื้นบ่อเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อใหม่ที่ระดับความลึก 0-10 เซนติเมตร ตลอดระยะเวลาการเลี้ยงมีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 7.04 ± 0.41 , ปริมาณแอมโมเนียเฉลี่ยเท่ากับ 6.72 ± 4.84 มก./กก., ปริมาณซัลไฟด์เฉลี่ยเท่ากับ 0.1751 ± 0.1994 มก./ก. นน.ดินแห้ง และปริมาณสารอินทรีย์รวมเฉลี่ยเท่ากับ $4.33 \pm 1.74\%$ และเมื่อนำค่าคุณสมบัติของดินพื้นบ่อเลี้ยงปูม้าที่ระดับความลึก 0-10 เซนติเมตร ตลอดระยะเวลาการเลี้ยงของทั้งสองชุดการทดลองมาวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่า ค่าพีเอชของดินพื้นบ่อระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่าจะมีความเป็นด่างมากกว่าค่าพีเอชของดินพื้นบ่อระบบจำลองบ่อใหม่ ($P < 0.05$) และปริมาณแอมโมเนียเฉลี่ยในดินพื้นบ่อระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่าจะมีค่าสูงกว่าปริมาณแอมโมเนียเฉลี่ยในดินพื้นบ่อระบบจำลองบ่อใหม่ ($P < 0.05$) ส่วนปริมาณซัลไฟด์ และปริมาณสารอินทรีย์รวมเฉลี่ยในดินของทั้งสองชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) (ภาพที่ 21)

และจากการคำนวณหาอัตราการตายของปูม้าในช่วงการเลี้ยง 1-30, 31-60, 61-90 และ 91-120 วัน พบว่า อัตราการตายเฉลี่ยของปูม้าในแต่ละช่วงการเลี้ยงของแต่ละชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบอัตราการตายเฉลี่ยของปูม้าทั้ง 2 ชุดการทดลองก็พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตารางที่ 16)

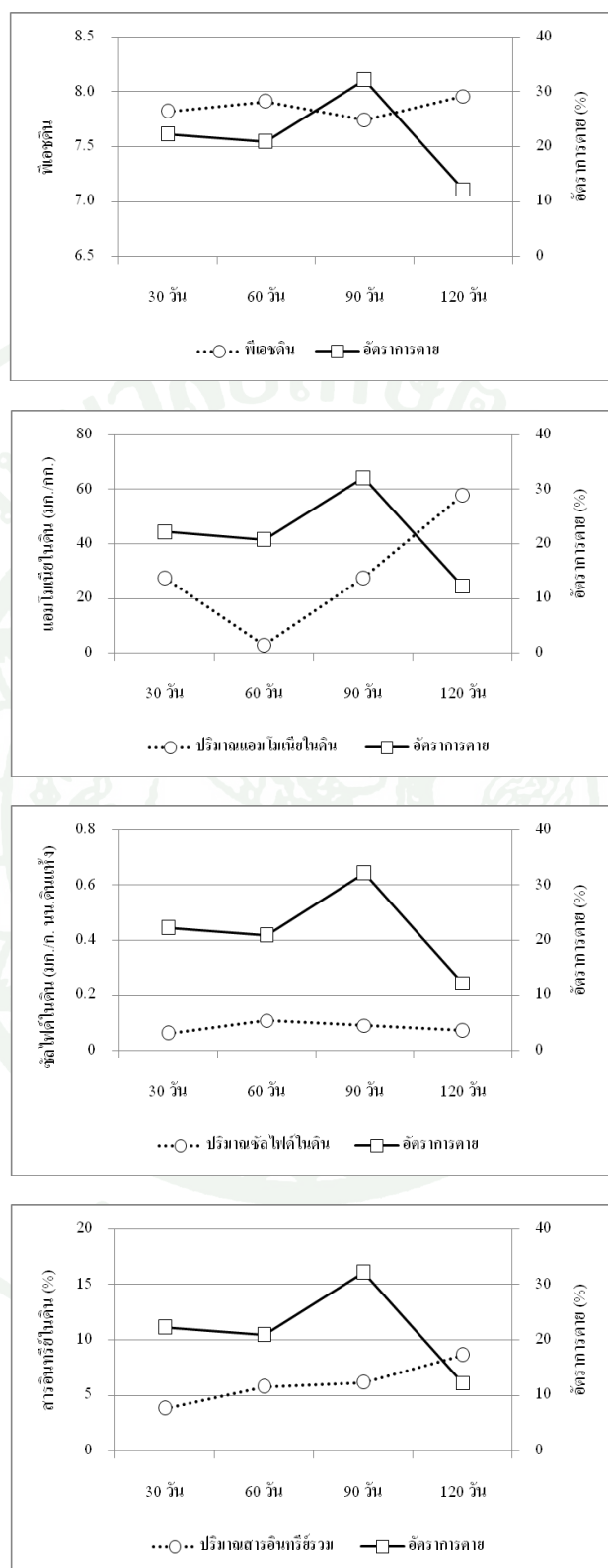


ภาพที่ 21 ค่าเฉลี่ยของพีเอช (a) ปริมาณแอมโมเนีย (b) ปริมาณชัดไฟใต้ดิน (c) และปริมาณสารอินทรีย์รวม (d) ตลอดระยะเวลาการเลี้ยงของดินพื้นบ่อในระบบจำลองบ่อเก่า และบ่อใหม่ โดยค่าที่กำกับด้วยอักษรต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$)

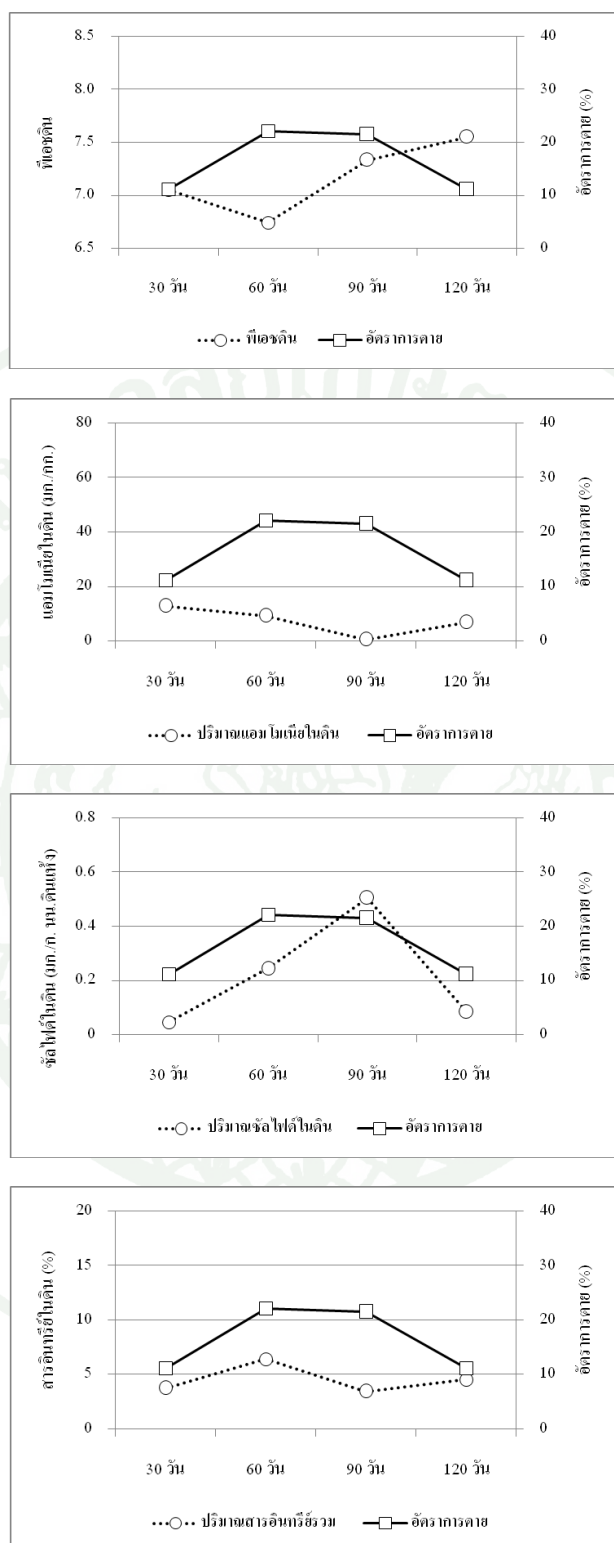
ตารางที่ 16 อัตราการตายเฉลี่ยของปูม้าที่เลี้ยงในระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่า และบ่อเลี้ยงใหม่
(Mean±SD)

ช่วงการเลี้ยง	อัตราการตายเฉลี่ย (%)	
	ปูม้าในระบบจำลองบ่อเก่า	ปูม้าในระบบจำลองบ่อใหม่
1-30 วัน	22.23±9.62	11.12±4.81
31-60 วัน	20.83±8.78	22.12±11.37
61-90 วัน	32.14±9.45	21.43±25.75
91-120 วัน	12.22±10.71	11.11±19.24

เมื่อเปรียบเทียบอัตราการตายของปูม้า กับการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินพื้นบ่อที่ระดับความลึก 0-10 เซนติเมตร ในแต่ละช่วงการเลี้ยง พบว่า ในช่วงวันที่ 90 ของการเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเก่า ปูม้าจะมีอัตราการตายเฉลี่ยสูงถึง 32.14±9.45% โดยในช่วงนี้ดินพื้นบ่อจะมีพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 7.74±0.30, มีปริมาณซัลไฟด์เฉลี่ยเท่ากับ 0.0907±0.0045 มก./ก. นน.ดินแห้ง, มีปริมาณแอมโมเนียเฉลี่ยเท่ากับ 27.42±2.11 มก./กก. และมีปริมาณสารอินทรีย์รวมเฉลี่ยเท่ากับ 6.14±1.55 % (ภาพที่ 22) และปูม้าที่เลี้ยงในระบบจำลองบ่อใหม่จะมีอัตราการตายเฉลี่ยสูงถึง 22.12±11.37% ในช่วงวันที่ 60 ของการเลี้ยง โดยในช่วงนี้ดินพื้นบ่อจะมีพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 6.74±0.09, มีปริมาณซัลไฟด์เฉลี่ยเท่ากับ 0.2432±0.0295 มก./ก. นน.ดินแห้ง, มีปริมาณแอมโมเนียเฉลี่ยเท่ากับ 9.18±1.36 มก./กก. และมีปริมาณสารอินทรีย์รวมเฉลี่ยเท่ากับ 6.40±3.86% (ภาพที่ 23)



ภาพที่ 22 การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินพื้นบ่อเฉลี่ยที่ระดับความลึก 0-10 เซนติเมตร กับอัตรา
การตายเฉลี่ยของปูม้าที่เลี้ยงในระบบจำลองบ่อเก่า

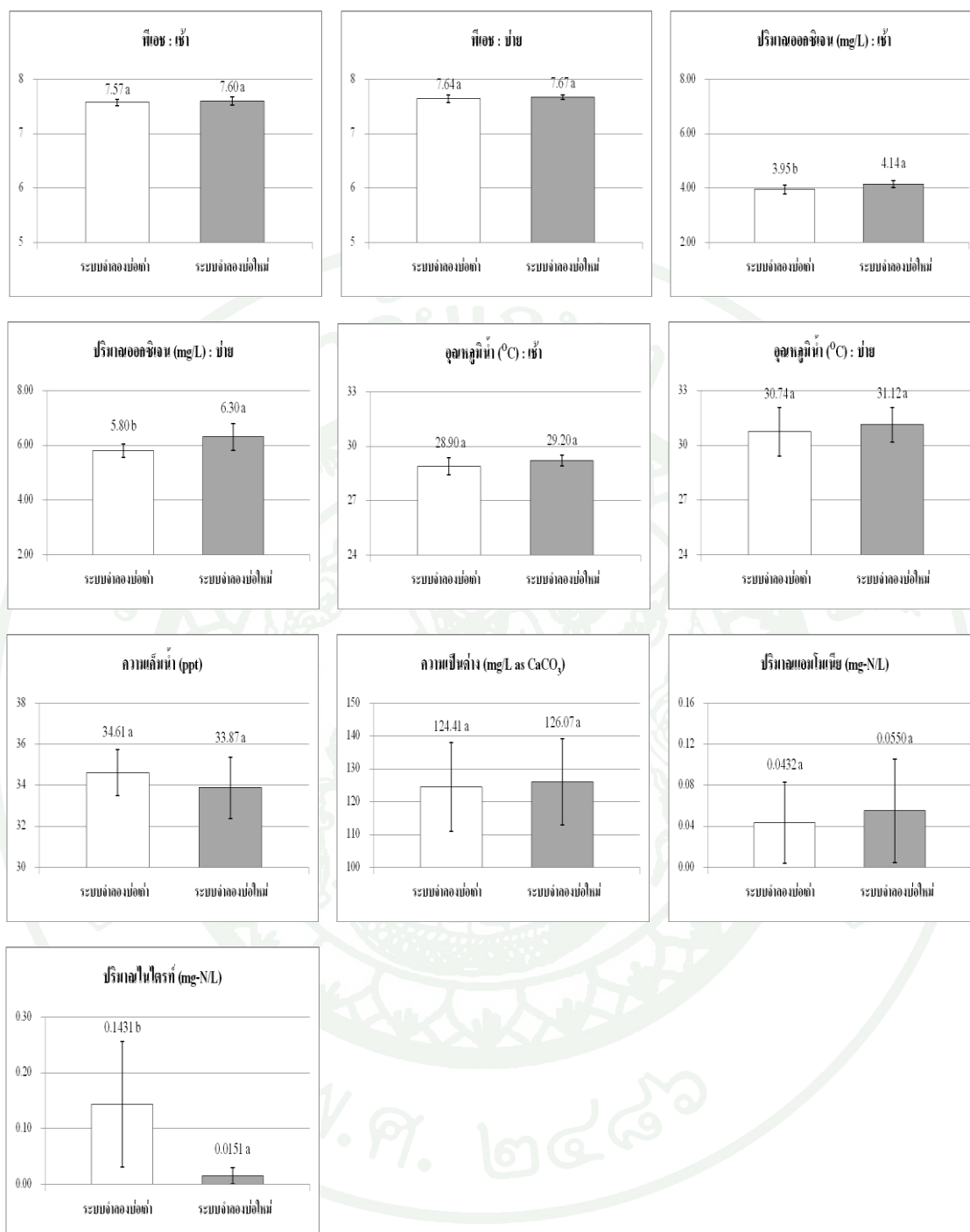


ภาพที่ 23 การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินพื้นที่บ่อเฉลี่ยที่ระดับความลึก 0-10 เซนติเมตร กับอัตรา
การตายเฉลี่ยของปูม้าที่เลี้ยงในระบบจำลองบ่อใหม่

2.8 คุณภาพน้ำระหว่างการเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่า และบ่อเลี้ยงใหม่

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำระหว่างการเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่า และบ่อเลี้ยงใหม่ของการศึกษาครั้งนี้ พบว่า คุณภาพน้ำของระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่ามีปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) อยู่ในช่วง 3.74-6.18 มก./ลิตร (เฉลี่ยเช้า 3.95 ± 0.16 และบ่าย 5.80 ± 0.24 มก./ลิตร) พีเอชอยู่ในช่วง 7.4-7.7 (เฉลี่ยเช้า 7.57 ± 0.06 และบ่าย 7.64 ± 0.07) อุณหภูมิอยู่ในช่วง $26.2-31.5^{\circ}\text{C}$ (เฉลี่ยเช้า 28.90 ± 0.48 และบ่าย $30.74 \pm 1.33^{\circ}\text{C}$) ความเค็มอยู่ในช่วง 30-35 ppt (เฉลี่ย 34.61 ± 1.13 ppt) ค่าความเป็นด่างอยู่ในช่วง 93-154 มก./ลิตร (เฉลี่ย 124.41 ± 13.47 มก./ลิตร) แอมโมเนียอยู่ในช่วง 0.000-0.141 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร (เฉลี่ย 0.0432 ± 0.0395 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร) และไนไตรท์อยู่ในช่วง 0.007-0.339 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร (เฉลี่ย 0.1431 ± 0.1122 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร) ส่วนคุณภาพน้ำของระบบจำลองบ่อเลี้ยงใหม่มีปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำอยู่ในช่วง 3.86-6.98 มก./ลิตร (เฉลี่ยเช้า 4.14 ± 0.12 และบ่าย 6.30 ± 0.50 มก./ลิตร) พีเอชอยู่ในช่วง 7.4-7.8 (เฉลี่ยเช้า 7.60 ± 0.08 และบ่าย 7.67 ± 0.04) อุณหภูมิอยู่ในช่วง $28.2-31.9^{\circ}\text{C}$ (เฉลี่ยเช้า 29.20 ± 0.29 และบ่าย $31.12 \pm 0.95^{\circ}\text{C}$) ความเค็มอยู่ในช่วง 30-35 ppt (33.87 ± 1.50 ppt) ค่าความเป็นด่างอยู่ในช่วง 98-149 มก./ลิตร (126.07 ± 13.12 มก./ลิตร) แอมโมเนียอยู่ในช่วง 0.000-0.184 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร (0.0550 ± 0.0503 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร) และไนไตรท์อยู่ในช่วง 0.000-0.064 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร (0.0151 ± 0.0145 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร) (ตารางผนวกที่ 15)

เมื่อนำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติปรากฏว่า ค่าเฉลี่ยของพีเอช, อุณหภูมิ, ความเค็ม, ความเป็นด่าง และแอมโมเนียของน้ำในระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่า และระบบจำลองบ่อเลี้ยงใหม่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่ค่าเฉลี่ยของปริมาณออกซิเจนในน้ำของระบบจำลองบ่อเลี้ยงใหม่จะสูงกว่าปริมาณออกซิเจนในน้ำของระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่า ($P < 0.05$) และคุณภาพน้ำของระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่าจะมีปริมาณไนไตรท์เฉลี่ยสูงกว่าของระบบจำลองบ่อเลี้ยงใหม่ ($P < 0.05$) (ภาพที่ 24)



ภาพที่ 24 แสดงค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำของการเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่า และบ่อเลี้ยงใหม่ โดยค่าที่กำกับด้วยอักษรต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$)

วิจารณ์

1. การศึกษาอัตราการตายของปูม้าที่เลี้ยงเนื่องจากการกินกันเอง

การเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองภายในบ่อคอนกรีต โดยปล่อยปูม้าลงเลี้ยงที่อัตราความหนาแน่น 3 ตัว/ตารางเมตร ให้อาหารกุ้งขาวเบอร์ 2 ในช่วง 30 วันแรกที่อัตรา 10% ของน้ำหนักตัว/วัน เบอร์ 4 ในช่วง 31-60 วัน และเบอร์ 5 ในช่วง 61-120 วัน ที่อัตรา 5% ของน้ำหนักตัว/วัน วันละ 2 มื้อ เลี้ยงปูม้าเป็นระยะเวลา 120 วัน ปูม้าที่เลี้ยงแบบปกติ และปูม้าที่เลี้ยงแยกกันภายในบ่อด้วยการกั้นคอก เริ่มเลี้ยงวันที่ 12 กรกฎาคม 2553 โดยมีขนาดความกว้างกระดองเริ่มต้น 1.42-2.23 เซนติเมตร (เฉลี่ย 1.80 ± 0.23 เซนติเมตร), ความยาวกระดองเริ่มต้น 0.78-1.40 เซนติเมตร (เฉลี่ย 0.97 ± 0.16 เซนติเมตร) และน้ำหนักตัวเริ่มต้น 0.23-0.71 กรัม (เฉลี่ย 0.50 ± 0.16 กรัม) ซึ่งเป็นลูกพันธุ์ที่ได้จากแม่ปูม้าไข่แก่นอกกระดองสีเทาดำที่มีขนาดความกว้างกระดอง 10.2 เซนติเมตร ความยาวกระดอง 4.8 เซนติเมตร และน้ำหนักตัว 80.57 กรัม และเป็นแม่พันธุ์ที่ได้จากการเลี้ยงในบ่อดินที่อายุประมาณ 150 วัน ส่วนปูม้าที่เลี้ยงแบบใส่วัสดุหลบซ่อนลงไปใบบ่อ จำนวน 1 ที่หลบซ่อน/ตารางเมตร เริ่มเลี้ยงวันที่ 9 สิงหาคม 2553 โดยมีขนาดความกว้างกระดองเริ่มต้น 1.53-2.12 เซนติเมตร (เฉลี่ย 1.86 ± 0.20 เซนติเมตร), ความยาวกระดองเริ่มต้น 0.82-1.24 เซนติเมตร (เฉลี่ย 1.06 ± 0.15 เซนติเมตร) และน้ำหนักตัวเริ่มต้น 0.28-0.72 กรัม (เฉลี่ย 0.55 ± 0.15 กรัม) ซึ่งเป็นลูกพันธุ์ที่ได้จากแม่ปูม้าไข่แก่นอกกระดองสีเทาดำที่มีขนาดความกว้างกระดอง 9.9 เซนติเมตร ความยาวกระดอง 4.8 เซนติเมตร และน้ำหนักตัว 74.91 กรัม และเป็นแม่พันธุ์จากบ่อดินเช่นกัน และเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า อัตราการเจริญเติบโตของปูม้าที่เลี้ยงในระบบจำลองของการศึกษาครั้งนี้ (ตารางผนวกที่ 3 และ 4) สอดคล้อง และเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับอัตราการเจริญเติบโตของปูม้าที่เลี้ยงในบ่อดินที่ได้มีการรายงานไว้ว่า ปูม้าที่เลี้ยงในบ่อดินอายุ 90-120 วัน จะมีขนาดความกว้างของกระดองเท่ากับ 6.2-11.0 เซนติเมตร และน้ำหนักตัวเท่ากับ 56.78-99.40 กรัม/ตัว หรือ มีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย (ADG) เท่ากับ 0.41-0.81 กรัม/วัน (กอบศักดิ์ และคณะ, 2547; อาภรณ์ และสำรวย, 2548; อาภรณ์ และคณะ, 2551; กอบศักดิ์ และคณะ, 2553; Maheswarudu *et al.*, 2008) และนอกจากนี้เมื่อสิ้นสุดการทดลองยังพบปูม้าจับกลุ่มผสมพันธุ์กันภายในบ่ออีกด้วย (ภาพผนวกที่ 8) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบจำลองบ่อเลี้ยงภายในบ่อคอนกรีตที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ไม่มีผลกระทบต่ออัตราการเจริญเติบโตของปูม้าที่เลี้ยงเมื่อเทียบกับการเลี้ยงปูม้าในสภาพพื้นที่จริง

นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำระหว่างการเลี้ยงปูม้าของทั้ง 3 ชุดการทดลองพบว่า ตลอดระยะเวลาเลี้ยงความเค็มของน้ำอยู่ในช่วง 28-35 ppt อุณหภูมิอยู่ในช่วง 26.5-31.9 °C ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำอยู่ในช่วง 3.74-8.14 มิลลิกรัม/ลิตร พีเอชอยู่ในช่วง 7.4-7.7 ปริมาณแอมโมเนียอยู่ในช่วง 0.000-0.184 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร ไนไตรท์อยู่ในช่วง 0.000-0.208 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร และความเป็นด่างอยู่ในช่วง 91-151 มิลลิกรัม/ลิตร (ตารางผนวกที่ 14) ซึ่งค่าคุณภาพน้ำในแต่ละชุดการทดลองของการศึกษาครั้งนี้อยู่ในระดับที่ไม่ส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของปูม้า และไม่มีผลต่ออัตราการตายของปูม้าที่เลี้ยง (Lignot *et al.*, 2000; Romana and Zeng, 2006 and 2007; Maheswarudu *et al.*, 2008; Oniam *et al.*, 2010)

จากการศึกษาอัตราการตายของปูม้าของการศึกษาครั้งนี้ทำให้ทราบว่า ที่ระยะเวลาเลี้ยง 30 วันแรก สาเหตุการตายของปูม้าในช่วงนี้น่าเกิดจากการกินกันเองโดยปูม้าที่เลี้ยงแบบปกติ จะมีอัตราการตายเนื่องจากการกินกันเอง 8.58% ซึ่งสูงกว่าปูม้าที่เลี้ยงแบบใส่วัสดุหลบซ่อนที่มีการตายเนื่องจากการกินกันเอง 3.02% ($P < 0.05$) ส่วนปูม้าที่เลี้ยงแยกจะไม่พบการตายในช่วงนี้ ที่ระยะ 31-45 วันของการเลี้ยงปูม้า พบว่า ปูม้าที่เลี้ยงแบบปกติจะมีอัตราการตายเฉลี่ย ($16.05 \pm 12.07\%$) สูงกว่าของปูม้าที่เลี้ยงแยก ($2.78 \pm 4.81\%$) และเลี้ยงแบบใส่วัสดุหลบซ่อน (0.00%) ($P < 0.05$) และสาเหตุการตายของปูม้าที่เลี้ยงแบบปกติในช่วงนี้น่าเกิดจากการกินกันเอง 13.27% และเกิดจากปัจจัยอื่น 2.78% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเริ่มมีปัจจัยอื่นเข้ามาเกี่ยวข้องต่ออัตราการตายของปูม้าที่เลี้ยงในช่วงนี้แล้ว ที่ระยะเวลาเลี้ยง 46-60 วัน พบว่า อัตราการตายเฉลี่ยของปูม้าที่เลี้ยงแบบปกติ ($6.68 \pm 11.54\%$), เลี้ยงแบบแยก ($3.02 \pm 5.24\%$) และเลี้ยงแบบใส่วัสดุหลบซ่อน ($2.78 \pm 4.81\%$) ไม่มีความแตกต่างกัน ($P > 0.05$) ซึ่งสาเหตุการตายของปูม้าในช่วงนี้น่าเกิดจากการกินกันเอง 3.66% และเกิดจากปัจจัยอื่น 2.78-3.02% และที่ระยะเวลาเลี้ยง 61-120 วัน พบว่า อัตราการตายเฉลี่ยของปูม้าที่เลี้ยงแบบปกติไม่มีความแตกต่างกันกับอัตราการตายเฉลี่ยของปูม้าที่เลี้ยงแยก และเลี้ยงแบบใส่วัสดุหลบซ่อน ($P > 0.05$) และสาเหตุหลักของการตายของปูม้าที่เลี้ยงจะมาจากปัจจัยอื่นที่ไม่ใช่การกินกันเอง เพราะแนวโน้มการตายเนื่องจากการกินกันเองลดลงเมื่อระยะเวลาเลี้ยงเพิ่มขึ้น แต่แนวโน้มการตายเนื่องจากปัจจัยอื่นจะเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาการเลี้ยงที่เพิ่มขึ้น

พฤติกรรมการกินกันเอง (cannibalism) เป็นปัญหาสำคัญของการเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจหลายชนิดโดยเฉพาะสัตว์น้ำในกลุ่ม decapod crustaceans เช่น กุ้ง *Penaeus monodon* (Abdussamad and Thampy, 1994), ปู *Chionoecetes opilio* (Lovrich and Sainte-Marie, 1997) และปู *Cancer magister* (Fernandez, 1999) เป็นต้น ส่วนพฤติกรรมการกินกันเองของปูม้าใน

การศึกษาครั้งนี้ พบว่าปูม้าที่เลี้ยงแบบปกติจะมีการตายเนื่องจากการกินกันเองเกิดขึ้นมากในช่วง 60 วันแรกของการเลี้ยง เนื่องจากปูม้าที่มีขนาดเล็กจะมีความถี่ของการลอกคราบ (molting) มากกว่าปูที่มีขนาดใหญ่ ทำให้ปูม้าที่เพิ่งลอกคราบเสร็จมีโอกาสมากที่จะถูกกิน หรือตกเป็นเหยื่อของปูที่ไม่ได้อยู่ในช่วงระยะของการลอกคราบ เพราะระยะหลังการลอกคราบ หรือ postmolt ลักษณะกระดองของปูจะมีความอ่อนนุ่ม ปูจะไม่เคลื่อนที่ หรือเคลื่อนที่น้อย และไม่สามารถป้องกันตัวเองได้จึงทำให้ปูที่อยู่ในระยะนี้มีโอกาสถูกปูตัวอื่นกินมากที่สุด ซึ่ง Marshall *et al.* (2005) ได้รายงานไว้ว่า ปูม้าที่อยู่ในระยะ postmolt จะมีอัตราการกินกันเองสูงกว่าปูม้าที่อยู่ในระยะก่อนการลอกคราบ (premolt) และระยะที่ไม่มีมีการลอกคราบ (intermolt) ตามลำดับ ส่วนการเลี้ยงปูม้าแบบใส่วัสดุหลบซ่อนของการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า วัสดุหลบซ่อนก็มีส่วนช่วยลดการตายเนื่องจากการกินกันเองของปูม้าที่เลี้ยงได้ โดยเฉพาะช่วง 45 วันแรกของการเลี้ยงจะเห็นว่าอัตราการตายเนื่องจากการกินกันเองของปูม้าที่เลี้ยงแบบใส่วัสดุหลบซ่อนจะน้อยกว่าของปูม้าที่เลี้ยงแบบปกติ ($P < 0.05$) และจากการสังเกตพฤติกรรมของปูม้า พบว่า เมื่อมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำในบ่อปูม้าที่เลี้ยงแบบใส่วัสดุหลบซ่อนมักพบปูม้าขนาดเล็กหลบอยู่ใต้วัสดุหลบซ่อน ซึ่งวัสดุหลบซ่อนบางอันมีปูม้าอยู่ถึง 2 ตัว ส่วนปูม้าที่มีขนาดใหญ่กว่ามักพบกระจายอยู่ตามขอบบ่อ หรือตามมุมบ่อ ซึ่งจะต่างกับบ่อที่เลี้ยงปูม้าแบบปกติ คือ เมื่อเปลี่ยนถ่ายน้ำจะพบปูม้าทั้งขนาดเล็ก และใหญ่กว่ากระจายปะปนกันตามขอบบ่อ และตามมุมบ่อ นอกจากนี้บางครั้งจะพบซากปูม้าที่ตายเนื่องจากการกินกันเองอยู่ในบ่อด้วย ซึ่งซากปูม้าที่พบจะมีลักษณะยางค์ฉีกขาด กระดองนิ่ม แสดงให้เห็นว่าเพิ่งลอกคราบเสร็จน่าจะถูกจับกินเลย (ภาพที่ 25) และซากปูม้าที่พบมักเป็นปูที่มีขนาดเล็กกว่าปูที่อยู่ในบ่อ แสดงว่าปูม้าที่มีขนาดใหญ่กว่ามักจับปูม้าที่มีขนาดเล็กกว่า และเพิ่งลอกคราบเสร็จกินเป็นอาหารซึ่งสอดคล้องกับที่ Marshall *et al.* (2005) ได้รายงานไว้ว่า ขนาดของปูม้าก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งของการกินกันเอง โดยเฉพาะปูม้าที่มีขนาดความกว้างของกระดองน้อยกว่า 60 มิลลิเมตร จะถูกกินมากกว่าปูที่มีขนาดความกว้างกระดองมากกว่า 65 มิลลิเมตร นอกจากนี้ Marshall *et al.* (2005) ได้รายงานไว้อีกว่าถ้าในบ่อมีวัสดุหลบซ่อนที่เหมาะสมการตายของปูม้าขนาดเล็กก็จะลดลง และจากการสังเกตการใช้แผ่นพลาสติกเป็นวัสดุหลบซ่อนของการศึกษาครั้งนี้ พบว่า แผ่นพลาสติกที่ใส่อาจมีขนาดเล็กเกินไป หรือมีความสูงไม่มากพอ คือ กว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร และสูง 10 เซนติเมตร (ภาพผนวกที่ 3) ทำให้ไม่เหมาะกับปูม้าที่มีขนาดใหญ่ เนื่องจากว่ามักจะพบปูม้าขนาดเล็กเข้าไปหลบซ่อน และแผ่นพลาสติกที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้จะมีประสิทธิภาพในการลดการตายของปูม้าที่เลี้ยงเนื่องจากการกินกันเองได้ดีในช่วง 45 วันแรกของการเลี้ยง หลังจากนั้นแนวโน้มการตายของปูม้าที่เลี้ยงเนื่องจากการกินกันเองจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเลี้ยงที่เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันกับแนวโน้มการตายของปูม้าที่เลี้ยงเนื่องจากปัจจัยอื่น ทั้งนี้เป็นเพราะปูม้าในบ่อที่ใส่วัสดุหลบซ่อนจะเสียพื้นที่อยู่อาศัยเนื่องจากสภาพ

ดินพื้นบ่อที่มีแผ่นพลาสติกปกคลุมอยู่มีสภาพเป็นเนื้อดินสีดำ ซึ่งบ่งบอกถึงมีการสะสมของของเสียสูง จนกลายเป็นจุดที่ขาดออกซิเจนจนเกิดการสะสมของไฮโดรเจนซัลไฟด์ขึ้น (ดีพร้อม, 2531) ด้วยเหตุนี้ปูม้าจึงสูญเสียที่หลบซ่อน หรือสูญเสียพื้นที่อยู่อาศัยทำให้จำนวนปูต่อหน่วยพื้นที่เพิ่มสูงขึ้นเป็นผลให้มีการกินกันเองเกิดขึ้นในช่วงเวลาต่อมา เพราะความหนาแน่นของประชากรปูที่เพิ่มขึ้น หรือการมีพื้นที่จำกัดก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งในการกินกันเองของปู (Soundarapandian *et al.*, 2007)



ภาพที่ 25 แสดงลักษณะปูม้าที่ตายเนื่องจากการกินกันเอง (cannibalism) ของปูม้าที่เลี้ยงในบ่อ

แต่อย่างไรก็ตาม การใส่วัสดุหลบซ่อนในบ่อเลี้ยงปูม้าก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มผลผลิตของปูม้าที่เลี้ยงได้ แต่ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องของคุณภาพของวัสดุหลบซ่อนที่ใช้ เช่น ชนิด ขนาด รวมไปถึงจำนวนของวัสดุหลบซ่อนที่ใช้ต่อหน่วยพื้นที่ ทั้งนี้เพื่อให้การใส่วัสดุหลบซ่อนเกิดประสิทธิภาพสูงสุดต่อการเลี้ยงปูม้า เพราะ Juliana and Alan (2000) ได้รายงานไว้ว่า ชนิดของวัสดุหลบซ่อนภายในบ่อมีผลต่ออัตราการรอดตายของลูกปู *Scylla serrata* โดยการใส่โคลนเป็นวัสดุรองพื้นเพียงอย่างเดียวจะทำให้ลูกปูมีอัตราการรอดสูงกว่าการใช้โคลนเป็นวัสดุรองพื้นร่วมกับการใส่ใบมะพร้าว และกิ่งโกกงเป็นวัสดุหลบซ่อน วิวรรณ และ บังอร (2552) รายงานไว้ว่าการเลี้ยงปูทะเล (*S. paramamosain*) โดยมีแผ่นกระเบื้องลอนคู่ความยาว 1.20 เมตร ตัดแบ่งครึ่งเป็น 2 ส่วนยาวเท่ากันแล้วปักลงในดินพื้นบ่อโดยให้ทำมุมประมาณ 45 องศา เพื่อให้เป็นที่หลบซ่อนจำนวน 50 แผ่น/พื้นที่ 200 ตร.ม. จะให้ผลผลิตเฉลี่ยของปูทะเล (26.81 ± 1.10 กก./200 ตร.ม.) สูงกว่าบ่อที่ใส่ยางรถยนต์เก่าจำนวน 27 เส้น/พื้นที่ 200 ตร.ม. เป็นที่หลบซ่อน (24.25 ± 2.14 กก./200 ตร.ม.) เป็นต้น ซึ่งกอบศักดิ์ และคณะ (2553) ได้ให้ข้อเสนอแนะในการเลี้ยงปูม้าไว้ว่า การเลี้ยงปูม้าไม่จำเป็นต้องเลี้ยงแบบแยกเพศแต่ควรมีการเพิ่มวัสดุเพื่อเป็นที่หลบซ่อน และจากรายงานการใช้ที่กำบัง หรือวัสดุหลบซ่อนต่อการเลี้ยงสัตว์น้ำกลุ่ม decapod crustaceans พบว่า Tidwell *et al.* (1998) รายงานไว้ว่ามีความเป็นไปได้ในการเพิ่มผลผลิตของลูกกุ้ง *Macrobrachium rosenbergii* โดยการใส่

วัสดุหลบซ่อนลงไปใบบ่ออนุบาล เช่นเดียวกับที่สิริวรรณ และสุพากร (2553) ได้รายงานไว้ว่าการเลี้ยงปูแสม (*Episesarma mederi*) โดยใส่ต้นโกงกางใบเล็กให้เป็นที่ยกำบังเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการเพิ่มผลผลิตปูแสม และเป็นรูปแบบการเลี้ยงที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ผลผลิตปูแสมมากขึ้น วิวรรณ (2546) ได้ศึกษาการเลี้ยงปูทะเล (*Scylla paramamosain*) ในบ่อดินขนาด 400 ตร.ม. โดยใส่ที่หลบซ่อนซึ่งทำด้วยทางจากที่มัดปลายรวมกัน 3-4 ทาง แล้วปักลงไปในพื้นที่บ่อจำนวน 20 จุด พบว่า บ่อที่ใส่วัสดุหลบซ่อนจะให้ผลผลิตเฉลี่ยของปูทะเล (32.65 ± 4.02 กก./400 ตร.ม.) สูงกว่าบ่อที่ไม่ใส่วัสดุหลบซ่อน (12.64 ± 1.70 กก./400 ตร.ม.) ด้วยเหตุนี้จึงกล่าวได้ว่า การใส่วัสดุหลบซ่อนมีความจำเป็นต่อการเลี้ยงปูม้าในบ่อดิน

2. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินพื้นบ่อระหว่างการเลี้ยง และผลกระทบต่ออาการเจริญเติบโต และอัตราการตายของปูม้า

ปูม้าเป็นสัตว์ที่มีพฤติกรรมการดำรงชีพอยู่ที่พื้นน้ำดินทั้งการหาอาหาร, การลอกคราบเพื่อการเจริญเติบโต และการพัฒนาการของไข่ (Kangas, 2000) จึงกล่าวได้ว่าคุณสมบัติของดินพื้นบ่อเป็นปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่สำคัญต่อการเลี้ยงปูม้า ซึ่งจากการสังเกตการเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองของศึกษาครั้งนี้พบว่า ลักษณะภายนอกของปูม้าที่เลี้ยงบางตัวจะมีลักษณะเหมือนตะกอนดิน หรือโคลนติดอยู่ที่กระดอง และรยางค์ และมักจะพบมากขึ้นเมื่อระยะเวลาการเลี้ยงเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่า การเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมภายในบ่อมีผลต่อลักษณะภายนอกของปูม้าที่เลี้ยง โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินพื้นบ่อที่เป็นปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่สำคัญต่อการเลี้ยงปูม้า เนื่องจากว่าปูม้าที่เลี้ยงโดยการกั้นคอกภายในบ่อจะพบลักษณะเช่นนี้มากกว่าปูที่เลี้ยงแบบปล่อยปกติ ทั้งนี้เป็นเพราะปูที่เลี้ยงโดยการกั้นคอกจะมีพื้นที่อยู่อาศัยจำกัด ซึ่งเมื่อเกิดการสะสมของเสียที่พื้นบ่อ ปูจะสูญเสียพื้นที่อยู่อาศัย และไม่สามารถหลีกเลี่ยงพื้นที่ที่ไม่น่าเสียนี้ได้ ปูจำเป็นต้องดำรงชีวิตอยู่ในสภาพพื้นที่ที่จำกัดนี้ และยิ่งไปกว่านั้นการเลี้ยงปูม้าแบบแยกโดยการกั้นคอกที่ระยะเวลาเลี้ยง 75 วันขึ้นไป พบว่า อัตราการตายเฉลี่ยของปูม้าที่เลี้ยงจะลดลงจาก 91.66% เป็น 80.55% ที่ระยะเวลาเลี้ยง 120 วัน และลักษณะของปูม้าที่ตายก็คล้ายกับลักษณะของปูม้าที่ตายตามขอบบ่อดินที่พบที่สถานีวิจัยประมงคลองวาฬ คือ บริเวณกระดอง และรยางค์ต่างๆ จะมีลักษณะเป็นสีน้ำตาลปนดำ ซึ่งมีลักษณะเหมือนมีตะกอนดิน หรือโคลนติดอยู่ และเมื่อเปิดส่วนท้อง หรือ จับปิ้งของปูที่ตาย พบว่าจะมีลักษณะเป็นสีดำ (ภาพที่ 26) เมื่อเปิดกระดองเพื่อดูอวัยวะภายในของปู พบว่าบริเวณเหงือก และอวัยวะภายในของปูม้าจะมีสีดำเหมือนมีดินโคลนติดอยู่ (ภาพที่ 27) ซึ่งลักษณะที่พบนี้คล้ายคลึงกับอาการที่เรียกว่า “Gill discoloration” ที่มีรายงานว่าสาเหตุมาจากสภาพแวดล้อม

ในการเลี้ยงเลื่อมโทรม คือ มีการสะสมของของเสียที่พื้นบ่อ หรือมีตะกอนสารอินทรีย์สูงทำให้เกิดการอุดตันที่ซี่เหงือก ซึ่งจะส่งผลถึงระบบการหายใจของปู ปูจะใช้ออกซิเจนได้น้อยลง ทำให้ปูอ่อนแอ กินอาหารน้อยลง และเกิดการติดเชื้อจากแบคทีเรีย, เชื้อรา และโปรโตซัว หรือส่งผลถึงการตายของปูได้ (SEAFDEC, 2011) จึงกล่าวได้ว่า สภาพพื้นบ่อที่มีการสะสมของของเสียจนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินพื้นบ่อมีผลกระทบต่อคุณภาพของลักษณะภายนอกของปูม้า และการตายของปูม้าที่เลี้ยง



(a)



(b)

ภาพที่ 26 ผลของคุณสมบัติของดินต่อลักษณะภายนอก และการตายของปูม้าที่เลี้ยง

(a) ลักษณะภายนอกของปูม้าที่เหมือนมีตะกอนดิน หรือโคลนติดอยู่ที่กระดองและขา

(b) เมื่อเปิดส่วนท้อง หรือ จับปิ้งของปูม้าที่ตาย พบว่าจะมีลักษณะเป็นสีดำ



ภาพที่ 27 แสดงอวัยวะภายในของปูม้าที่ตายเนื่องจากคุณสมบัติของดินพื้นบ่อไม่เหมาะสม

จากข้อมูลการเลี้ยงปูม้าที่ผ่านมา พบว่า ระหว่างการเลี้ยงจะพบปูม้าตายตามขอบบ่อด้วย โดยเฉพาะเมื่ออายุการเลี้ยงประมาณ 3 เดือนขึ้นไปจะพบปูม้าตายมากกว่าปกติ นั้น จากผลการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินพื้นบ่อระหว่างการเลี้ยงปูม้าของการศึกษาครั้งนี้ ตอบได้ว่า ระหว่างการเลี้ยงปูม้าปริมาณซัลไฟด์ในดิน ปริมาณแอมโมเนียในดิน และปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินที่ระดับความลึก 0-10 เซนติเมตร จะมีการสะสมเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเลี้ยงที่เพิ่มขึ้น โดยในช่วงวันที่ 90 ของการเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเก่า ปูม้าจะมีอัตราการตายเฉลี่ยสูงถึง $32.14 \pm 9.45\%$ ซึ่งในช่วงนี้ดินพื้นบ่อจะมีพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 7.74 ± 0.30 ปริมาณซัลไฟด์เฉลี่ยเท่ากับ 0.0907 ± 0.0045 มก./ก. นน.ดินแห้ง ปริมาณแอมโมเนียเฉลี่ยเท่ากับ 27.42 ± 2.11 มก./กก. และมีปริมาณสารอินทรีย์รวมเฉลี่ยเท่ากับ $6.14 \pm 1.55\%$ ส่วนปูม้าที่เลี้ยงในระบบจำลองบ่อใหม่จะมีอัตราการตายเฉลี่ยสูงถึง $22.12 \pm 11.37\%$ ในช่วงวันที่ 60 ของการเลี้ยง โดยในช่วงนี้ดินพื้นบ่อจะมีพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 6.74 ± 0.09 ปริมาณซัลไฟด์เฉลี่ยเท่ากับ 0.2432 ± 0.0295 มก./ก. นน.ดินแห้ง ปริมาณแอมโมเนียเฉลี่ยเท่ากับ 9.18 ± 1.36 มก./กก. และมีปริมาณสารอินทรีย์รวมเฉลี่ยเท่ากับ $6.40 \pm 3.86\%$ และจากผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินพื้นบ่อต่ออัตราการเจริญเติบโต และการรอดตายของปูม้า พบว่า อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย และอัตราการรอดตายเฉลี่ยของปูม้าทั้งสองชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่เมื่อคิดเป็นผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่ พบว่า ที่ระยะเวลาเลี้ยง 120 วัน การเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเก่าจะให้ผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่ 0.06 ± 0.00 กก./ตร.ม. หรือ 102.40 ± 15.38 กก./ไร่ ซึ่งต่ำกว่าผลผลิตของปูม้าที่เลี้ยงในระบบจำลองบ่อใหม่ที่ให้ผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่เฉลี่ยเท่ากับ 0.11 ± 0.02 กก./ตร.ม. หรือ 173.51 ± 36.28 กก./ไร่ ($P < 0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบผลผลิตของปูม้าที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้กับผลผลิตของปูม้าที่มีรายงานมาก่อนหน้านี้ พบว่า ผลผลิตเฉลี่ยของปูม้าที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้จะสูงกว่า โดยเฉพาะผลผลิตของปูม้าที่ได้จากการเลี้ยงในระบบจำลองบ่อใหม่จะสูงกว่าอย่างเห็นได้ชัด คือ มีรายงานว่าที่ระยะเวลาเลี้ยง 90 วัน จะได้ผลผลิตปูม้าเฉลี่ยเท่ากับ 26.74-140.50 กิโลกรัม/ไร่ ส่วนที่ระยะเวลาเลี้ยง 120 วัน จะได้ผลผลิตปูม้าเฉลี่ยเท่ากับ 29.55-64.50 กิโลกรัม/ไร่ (กอบศักดิ์ และคณะ, 2547; วารินทร์ และคณะ, 2548; อารณ และสำรว, 2548; อารณ และคณะ, 2551; กอบศักดิ์ และคณะ, 2553)

นอกจากนี้ ปูม้าที่เลี้ยงในระบบจำลองบ่อใหม่จะมี FCR ต่ำกว่าปูม้าที่เลี้ยงในระบบจำลองบ่อเก่า ($P < 0.05$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติของดินพื้นบ่อเป็นปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลถึงผลผลิตของปูม้าที่เลี้ยง โดยเฉพาะค่าพีเอช และปริมาณแอมโมเนียในดินน่าจะเป็นปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิต และ FCR ของปูม้าที่เลี้ยง เนื่องจากค่าพีเอช และปริมาณแอมโมเนียเฉลี่ยในดินพื้นบ่อของระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่าจะสูงกว่าในดินพื้นบ่อของระบบจำลองบ่อใหม่ ($P < 0.05$) ส่วนปริมาณ

ซัลไฟด์ และปริมาณสารอินทรีย์รวมเฉลี่ยในดินของทั้งสองชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ซึ่งโดยภาพรวมแล้วจากข้อมูลที่ได้นี้สามารถกล่าวได้ว่า ช่วงที่วิกฤตที่สุดของการเลี้ยงปูม้าในบ่อดิน น่าจะอยู่ในช่วงวันที่ 60 - 90 ของการเลี้ยงมากกว่าช่วงการเลี้ยงอื่นๆ ทั้งนี้เนื่องจากว่า ในช่วงนี้ปูม้ามีอัตราการตายเฉลี่ยสูง และดินพื้นบ่อดินมีการสะสมของของเสียสูง

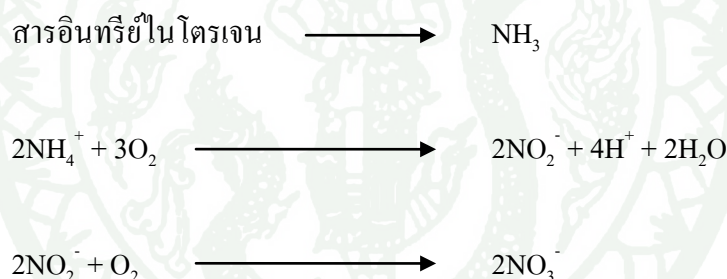
Boyd (1995) ได้กล่าวเอาไว้ว่า ดินพื้นบ่อเป็นปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่สำคัญในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ ดินพื้นบ่อในระบบจำลองบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำเก่าที่นำมาจากดินพื้นบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งของสถานีวิจัยประมงคลองวาฬ ที่ผ่านการใช้งานมาแล้วไม่ต่ำกว่า 10 ปี เนื้อดินจะเป็นดินทราย (sand) ที่มีสัดส่วนของอนุภาคทราย (sand) 93.14-95.14%, อนุภาคทรายแป้ง (silt) 2.86-4.86% และอนุภาคดินเหนียว (clay) 2% ส่วนดินที่ใช้เป็นตัวแทนของบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำที่ปรับปรุงใหม่ หรือบ่อใหม่ จะนำมาจากคันบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งของสถานีวิจัยประมงคลองวาฬ เนื้อดินจะเป็นดินร่วนปนทราย (sandy loam) ที่มีสัดส่วนของอนุภาคทราย 73.14-81.14% อนุภาคทรายแป้ง 6.86-12.86% และอนุภาคดินเหนียว 12-14% ซึ่งการที่ดินพื้นบ่อของบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำเก่ามีอนุภาคดินเหนียวน้อยเพราะบ่อมีการใช้งานมานาน อนุภาคดินเหนียวซึ่งเป็นอนุภาคที่เล็กสุดของเนื้อดิน คือ น้อยกว่า 2 ไมครอน จะมีการสูญเสียอนุภาคดินเหนียวไปกับการเปลี่ยนถ่ายน้ำมากที่สุด หรือจะถูกเคลื่อนย้ายได้ง่ายที่สุด ขณะที่อนุภาคทราย และทรายแป้งมีขนาดใหญ่กว่า คือ 50-2000 ไมครอน และ 2-50 ไมครอน ตามลำดับ จะยากต่อการถูกพัดพาเคลื่อนย้าย (จารุมาศ, 2545) ประกอบกับเมื่อสิ้นสุดการเลี้ยงสัตว์น้ำแต่ละครั้งจะมีการนำตะกอนเลนที่พื้นบ่อออกเป็นเหตุให้ปริมาณดินเหนียวลดลงตามอายุการใช้งานของบ่อ แต่ถึงประเภทของเนื้อดินในการศึกษาครั้งนี้จะต่างกัน เนื้อดินก็ไม่น่าเป็นปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลกระทบต่อผลผลิต และ FCR ของปูม้า เนื่องจากว่าในธรรมชาติจะพบปูม้าแพร่กระจายอยู่บริเวณพื้นที่ท้องทะเลที่เป็นโคลน ทราย และโคลนปนทราย ตลอดจนบริเวณที่เป็นหาดหิน (สุเมธ, 2527) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าประเภทของเนื้อดินที่ต่างกันของการศึกษาครั้งนี้ไม่น่าใช่ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลกระทบต่อผลการเลี้ยงปูม้า

ส่วนสารอินทรีย์รวมเฉลี่ยในดินของระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่า ($5.49\pm 2.28\%$) และบ่อใหม่ ($4.33\pm 1.74\%$) ของการศึกษาครั้งนี้ จัดได้ว่ามีปริมาณสูง (3.5-4.5%) ถึงสูงมาก ($>4.5\%$) ตามการจัดระดับของซัยฤกษ์ (2536) และมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาการเลี้ยงที่เพิ่มขึ้น สามารถอธิบายได้ว่าระยะเวลาในการเลี้ยงจะส่งผลต่อการสะสมปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินตะกอน และปัจจัยที่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณสารอินทรีย์ในดิน คือ ปริมาณอาหารที่ใช้เลี้ยงปู ที่มีการให้อาหารเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเลี้ยง และขนาดของปูที่เพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการ

สะสมของของเสีย เช่น เศษอาหารเหลือ และสิ่งขับถ่าย เป็นผลให้มีการสะสมปริมาณสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สอดคล้องกับการศึกษาของ Sonnenholzner and Boyd (2000) ที่รายงานว่า สารอินทรีย์มีการสะสมอยู่ตลอดเวลา และมีแนวโน้มการสะสมเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาการเลี้ยง ซึ่งปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินพื้นบ่อของระบบจำลองบ่อเลี้ยงกุ้ง และบ่อใหม่ของการศึกษาครั้งนี้ ไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) และจากการสืบค้นข้อมูลรายงานการวิจัย หรือการศึกษาเกี่ยวกับการสะสมของสารอินทรีย์ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำในประเทศไทย โดยเฉพาะสัตว์น้ำในกลุ่ม decapod crustaceans เช่น กุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) พบว่า ปริมาณสารอินทรีย์เฉลี่ยในดินพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งของประเทศไทยจะแตกต่างกันไป คือ จะอยู่ในช่วง 0.20-14.36% (พุง, 2532; ยนต์ และพรพันธุ์, 2534; ชญา, 2535; ดุสิต และคณะ, 2536; สุวนิช, 2540; ชนินทร์ และคณะ, 2544) ซึ่งปริมาณสารอินทรีย์เฉลี่ยในดินพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งจะสูงกว่า หรืออยู่ในช่วงที่กว้างกว่าปริมาณสารอินทรีย์เฉลี่ยในดินพื้นบ่อเลี้ยงปูม้าของการศึกษาครั้งนี้ที่พบว่าอยู่ในช่วง 2.39-9.48% พุทธ (2537) ได้อธิบายถึงความแตกต่างของปริมาณสารอินทรีย์ที่ตรวจพบในแต่ละแหล่งเลี้ยงกุ้งไว้ว่า ปริมาณสารอินทรีย์ที่แตกต่างกันนี้เกิดจากปัจจัยประกอบที่แตกต่างกันของแต่ละแหล่ง เช่น รูปแบบการเลี้ยง ระบบการเลี้ยง ความหนาแน่นที่ปล่อย การจัดการเรื่องอาหาร ทักษะ และประสบการณ์ของผู้เลี้ยง ตลอดจนระยะเวลาการเลี้ยง นอกจากนี้ปริมาณของสารอินทรีย์รวมในดินตะกอนจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับขนาดอนุภาคของดินตะกอน โดยดินตะกอนขนาดเล็กจะสามารถดูดซับสารอินทรีย์ได้มากกว่าดินตะกอนขนาดใหญ่ เช่น ตะกอนละเอียด (silt) จะมีปริมาณสารอินทรีย์มากกว่าตะกอนหยาบที่เป็นทราย (sand) ประมาณ 2 เท่า ส่วนโคลน (mud) จะมีปริมาณสารอินทรีย์มากกว่าตะกอนหยาบที่เป็นทรายประมาณ 4 เท่า (Bordovskiy, 1965) ซึ่งจากรายงานการวิจัย หรือการศึกษาเกี่ยวกับการสะสมของสารอินทรีย์ในดินพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งดังที่ได้กล่าวมานี้ สามารถนำมาอ้างอิงได้ว่า ปริมาณสารอินทรีย์รวมเฉลี่ยในดินพื้นบ่อเลี้ยงปูม้าทั้งสองชุดการทดลองของการศึกษาครั้งนี้ไม่น่าใช่ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลกระทบต่อผลผลิต และ FCR ของปูม้าที่เลี้ยง แต่ถึงอย่างไรก็ตาม ถ้าสามารถควบคุมปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินพื้นบ่อเลี้ยงปูม้าให้มีปริมาณต่ำกว่านี้ หรือให้อยู่ในระดับปานกลาง คือ 1.5-2.5% อาจส่งผลให้ผลผลิตของปูม้าเพิ่มสูงขึ้นกว่านี้ก็เป็นได้ เนื่องจาก Yuvanatemya (2007) ได้รายงานไว้ว่า ปริมาณสารอินทรีย์ในดินพื้นบ่อมีผลต่อการผลิตกุ้ง *P. monodon* โดยบ่อดินที่มีประสิทธิภาพในการผลิตกุ้งได้มากกว่า 500 กิโลกรัม/ไร่ จะมีปริมาณสารอินทรีย์ในดินเฉลี่ยเท่ากับ $1.82 \pm 0.49\%$ ส่วนบ่อดินที่มีประสิทธิภาพในการผลิตกุ้งได้ต่ำกว่า 500 กิโลกรัม/ไร่ จะมีปริมาณสารอินทรีย์ในดินเฉลี่ยเท่ากับ $2.99 \pm 0.13\%$ Banerja (1967) รายงานไว้ว่า ศักยภาพการผลิตปลาในบ่อเลี้ยงที่ประเทศอินเดียมีสูงสุดเมื่อดินพื้นบ่อมีปริมาณสารอินทรีย์ 1.50-2.50% และมีแนวโน้มลดลงเมื่อสารอินทรีย์สูง หรือต่ำกว่าระดับนี้

ปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินมีอิทธิพล หรือเกี่ยวข้องต่อสมบัติ หรือกระบวนการเกือบทั้งหมดที่เกิดขึ้นในดินซึ่งมีผลต่อเรื่องความอุดมสมบูรณ์ของดิน แต่การเพิ่มขึ้นของสารอินทรีย์ที่มากจนเกินความสามารถของบ่อที่รองรับได้ (carrying capacity) กลับกลายเป็นผลเสียมากกว่าผลดี เพราะเป็นการเพิ่มความต้องการออกซิเจน และเร่งโอกาสการเกิดสภาพปราศจากออกซิเจนให้เร็วขึ้น (Sonnenholzner and Boyd, 2000) ทำให้ดินพื้นบ่อที่เน่าเสียอันเนื่องมาจากการสะสมของสารอินทรีย์สูงเกิดแอมโมเนีย (NH_3), ไนไตรท์ (NO_2) และไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ซึ่งมีผลต่อคุณภาพน้ำ และคุณภาพของสัตว์น้ำ (สามารถ และคณะ 2532; Boyd, 1995) โดยเฉพาะปริมาณแอมโมเนียในดินพื้นบ่อของการศึกษาครั้งนี้ พบว่า ปริมาณแอมโมเนียเฉลี่ยในดินของระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่ามีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาการเลี้ยงที่เพิ่มขึ้น และมีปริมาณเฉลี่ยในดินตลอดระยะเวลาการเลี้ยง (24.62 ± 20.36 มก./กก.) สูงกว่า ปริมาณแอมโมเนียเฉลี่ยในดินพื้นบ่อของระบบจำลองบ่อเลี้ยงใหม่ (6.72 ± 4.84 มก./กก.) ที่มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงลดลงตามระยะเวลาการเลี้ยงที่เพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ในตะกอนดินพื้นบ่อเลี้ยงเก่าเมื่อระยะเวลาเลี้ยงนานขึ้น จะเกิดการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในดินโดย heterotrophic bacteria มากขึ้น ซึ่งผลจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในโตรเจนจะได้แอมโมเนียละลายออกมาอยู่ในน้ำที่แทรกอยู่ระหว่างเม็ดดิน แอมโมเนียที่เกิดขึ้นจะถูกแบคทีเรียย่อยสลายต่อไปเป็นอนินทรีย์ในโตรเจนในสภาวะที่มีออกซิเจน แต่เมื่อมีการใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของแบคทีเรียเพิ่มขึ้นจนเกิดสภาวะขาดออกซิเจนในตะกอนดิน จะส่งผลให้กระบวนการย่อยสลายแอมโมเนียให้เป็นไนไตรท์ และไนเตรทโดย nitrifying bacteria หรือ กระบวนการ Nitrification เกิดได้น้อยลง เป็นเหตุให้มีการสะสมของแอมโมเนียในดินเพิ่มสูงขึ้น (จุฑารัตน์ และคณะ, 2551) ส่วนสาเหตุที่ดินพื้นบ่อใหม่มีปริมาณแอมโมเนียสะสมน้อยกว่า เพราะดินพื้นบ่อใหม่น่าจะมีการย่อยสลายสารอินทรีย์ในโตรเจน หรือเกิดกระบวนการ Nitrification ได้ดีกว่า เนื่องจากแบคทีเรียกลุ่ม nitrifying bacteria จะเจริญเติบโต และย่อยสลายแอมโมเนียได้ดีในสภาวะที่ดินมีฟิเอชเป็นกรดอ่อน หรือเป็นกลาง (สมเจตน์ และคณะ, 2526) ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ดินพื้นบ่อใหม่มีฟิเอชเฉลี่ยอยู่ในช่วง 6.45-7.83 หรือมีค่าเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการเลี้ยงเท่ากับ 7.04 ± 0.41 ซึ่งจะมีความเป็นกลางมากกว่าดินพื้นบ่อเก่าที่มีฟิเอชเฉลี่ยอยู่ในช่วง 7.52-8.10 หรือมีค่าเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการเลี้ยงเท่ากับ 7.88 ± 0.17 ($P < 0.05$) นอกจากนี้ค่าฟิเอชในดินพื้นบ่อของทั้งสองชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาการเลี้ยงเพิ่มขึ้น ซึ่งหมายความว่า สภาพความเป็นกรดในดินพื้นบ่อลดลงเมื่อระยะเวลาการเลี้ยงเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะปริมาณกรดบางส่วนถูกทำลายด้วยน้ำทะเล และเกิดปฏิกิริยามากขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำมากขึ้น เนื่องจากน้ำทะเลมีสภาพเป็นด่าง (มันสิน และไพพรรณ, 2544) Boyd (1995) ได้ทำการศึกษาค่าฟิเอชของดินในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำกร่อยจำนวน 346 บ่อ พบว่า มีค่าฟิเอชอยู่ในช่วง 1.2-9.8 มีค่าเฉลี่ย

เท่ากับ 6.50 ซึ่งค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินนั้นมีผลต่อการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตในน้ำ ดินที่เป็นกรดจัดจะทำให้ไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงขาดความอุดมสมบูรณ์ของอาหารธรรมชาติ และในสภาพดินกรดก็จะมีธาตุโลหะต่างๆ ละลายออกมามาก เช่น อลูมิเนียม เหล็ก แมงกานีส ซึ่งจะทำให้เกิดอันตรายต่อสัตว์น้ำ ทำให้การรักษาสสมดุลของอ็อกซิเจนในร่างกายของสัตว์น้ำผิดปกติ มีผลทำให้สัตว์น้ำเจริญเติบโตช้าลง เกิดโรคได้ง่าย (โชคชัย, 2548) และกุ้งที่เลี้ยงในบ่อดินที่เป็นกรดจะมีเปลือกนูนเนื่องจากขาดแคลเซียม และแร่ธาตุที่จำเป็นต่อการสร้างเปลือก (ชนต์, 2529) ส่วนดินที่มีสภาพเป็นกรดอ่อน หรือเป็นกลางจะส่งผลให้กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในดินเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ เพราะ heterotrophic bacteria ส่วนใหญ่จะเจริญเติบโตได้ดี (สมเจตน์ และคณะ, 2526; Boyd and Pippopinyo, 1994) และถ้าดินมีพีเอชอยู่ในช่วง 5-8 ไนโตรเจน 90% หรือมากกว่า จะอยู่ในรูปของแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) และเปลี่ยนไปเป็นไนเตรต (NO_3^-) โดยกระบวนการ Nitrification (พุทธ และคณะ, 2533; Boyd, 1995) ทำให้ความเป็นพิษของแอมโมเนียต่อสัตว์น้ำลดลง ดังสมการ (โชคชัย, 2548)



ดินพื้นบ่อที่มีแอมโมเนียสะสมอยู่มากจะส่งผลกระทบทั้งทางตรง และทางอ้อม ซึ่งคูสิต และคณะ (2537) ได้ตรวจ และติดตามคุณภาพน้ำและดินจากฟาร์มเลี้ยงกุ้งกุลาดำ จังหวัดปัตตานี พบว่า ในการเลี้ยงกุ้งบ่อที่มีแอมโมเนียสูงจะมีผลให้กุ้งเจริญเติบโตช้า และมีผลผลิตต่ำ ซึ่งปริมาณแอมโมเนียที่ตรวจพบในตะกอนดินพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งจำนวน 26 บ่อ จะมีค่าอยู่ในช่วง 19.35-50.10 มก./กก. จุฑารัตน์ และคณะ (2551) รายงานว่า ตะกอนดินพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาจะมีปริมาณแอมโมเนียสะสมอยู่ในช่วง 1.72-13.69 มก./กก. และจะมีปริมาณมากขึ้นตามระยะเวลาการเลี้ยงที่เพิ่มขึ้น จนส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศของบ่อเลี้ยงกุ้ง รวมถึงผลผลิตของกุ้ง ปูม้าเป็นสัตว์ที่มีพฤติกรรมการดำรงชีพอยู่ที่พื้นหน้าดิน (Kangas, 2000) ดังนั้น การมีแอมโมเนียสะสมอยู่ในดินในปริมาณมากน่าจะก่อให้เกิดผลเสียแก่ปูม้าโดยตรง เนื่องจากพิษของแอมโมเนียที่เพิ่มขึ้นจะมีผลต่อเหงือก โดยจะไปทำลายเยื่อเหงือก ซึ่งจะส่งผลให้กระบวนการแลกเปลี่ยนก๊าซ และ osmoregulation ของปูด้อยลง เป็นเหตุให้ปูอ่อนแอ ไม่กินอาหาร ไม่ลอกคราบ และตายในที่สุด (Romano and Zeng, 2007;

Weihrauch *et al.*, 2004) ซึ่งสอดคล้องกับที่มีรายงานว่า แอมโมเนียจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของกุ้ง เพราะน้ำที่มีแอมโมเนียน้อยจะทำให้กุ้งสามารถขับถ่ายแอมโมเนียได้ดี และมีการเจริญเติบโตที่ดี แต่ถ้ามีแอมโมเนียในน้ำมากจะสามารถแพร่ย้อนกลับเข้าไปในเลือดได้ เมื่อแอมโมเนียในเลือดสูงจะทำให้ฟิเอชในเลือดสูงขึ้น มีความเป็นพิษมากขึ้น ฟิเอชของเลือดที่สูงทำให้เอนไซม์ในเลือดทำงานไม่ปกติในสภาวะเช่นนี้จะทำให้กุ้งโตช้า และถ้าแอมโมเนียมีความเข้มข้นสูงมาก แอมโมเนียจะทำให้เนื้อเยื่อกุ้งใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้น ลดความสามารถของเลือดในการลำเลียงออกซิเจน ทำให้กุ้งเครียดมีโอกาสดิเค่ได้ง่าย และกุ้งตายได้ในที่สุด (Boyd and Fast, 1992) ด้วยเหตุนี้จึงกล่าวได้ว่าการเปลี่ยนแปลงฟิเอช และปริมาณแอมโมเนียของดินพื้นบ่อเลี้ยงปูม้าจะส่งผลกระทบต่อผลผลิต และ FCR ของปูม้าที่เลี้ยงโดยเฉพาะการเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเก่า หรือบ่อที่ดินพื้นบ่อที่มีค่าฟิเอชเป็นค่าอ่อน (7.88 ± 0.17) จะส่งผลให้กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ไม่สมบูรณ์ เป็นเหตุให้มีปริมาณแอมโมเนียในดินสูง (เฉลี่ย 24.62 ± 20.36 มก./กก.) ซึ่งแอมโมเนียเป็นพิษต่อสัตว์น้ำทั้งในสภาพไม่มีไอออน (un-ionized form, NH_3) และมีไอออน (ionized form, NH_4^+) แต่ในรูป NH_3 จะมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำสูงกว่า นอกจากนี้สัดส่วนของปริมาณแอมโมเนียอิสระ หรือ NH_3 จะเพิ่มขึ้นตามระดับฟิเอช และอุณหภูมิที่สูงขึ้น (Boyd, 1990) ซึ่งจากการศึกษาครั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ NH_3 ของดินพื้นบ่อระบบจำลองบ่อเก่าที่มีฟิเอชเฉลี่ย 7.8 อุณหภูมิน้ำเฉลี่ย $28-30^\circ\text{C}$ ตามตารางแสดงเปอร์เซ็นต์แอมโมเนียอิสระในน้ำของ Boyd (1990) พบว่า มี NH_3 อยู่ $4.24-4.88\%$ ของปริมาณแอมโมเนียที่มีอยู่ จึงน่าส่งผลให้ปูม้าที่เลี้ยงในระบบจำลองบ่อเก่ามีผลผลิตต่ำ และมี FCR สูงกว่าการเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อใหม่ เนื่องจากดินพื้นบ่อมีค่าฟิเอชเป็นกรดอ่อน หรือเป็นกลาง (เฉลี่ย 7.04 ± 0.41) ซึ่งจะส่งผลให้กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ ทำให้ดินมีการสะสมของแอมโมเนียต่ำ (เฉลี่ย 6.72 ± 4.84 มก./กก.) และเมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ NH_3 ของดินพื้นบ่อระบบจำลองบ่อใหม่ที่มีฟิเอชเฉลี่ย 7.0 อุณหภูมิน้ำเฉลี่ย $28-30^\circ\text{C}$ พบว่า มี NH_3 อยู่ $0.70-0.81\%$ ของปริมาณแอมโมเนียที่มีอยู่ จึงน่าส่งผลให้ผลผลิต และ FCR ของปูม้าที่เลี้ยงในระบบจำลองบ่อใหม่ดีกว่า

ส่วนปริมาณซัลไฟด์ในดินของการศึกษาครั้งนี้ พบว่า ปริมาณซัลไฟด์ในดินพื้นบ่อของระบบจำลองบ่อเก่า และบ่อใหม่มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาการเลี้ยงที่เพิ่มขึ้น โดยปริมาณซัลไฟด์ในดินพื้นบ่อเลี้ยงปูม้าของทั้งสองชุดการทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง $0.0455-0.5047$ มก./ก. นน.ดินแห้ง ซึ่งค่าความเป็นกรด-ด่างจะเป็นตัวควบคุมการแตกตัวของซัลไฟด์ให้อยู่ในรูปซัลไฟด์ไม่มีไอออน (unionized form) หรือ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และพวกที่มีไอออน (ionized form) หรือ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออน (HS^-) และซัลไฟด์ไอออน (S^{2-}) ซึ่ง H_2S จะมี

ความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำสูงกว่า HS^- และ S^{2-} และเปอร์เซ็นต์ของ H_2S จะเพิ่มขึ้นเมื่อความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิลดลง (Boyd and Tucker, 1992) ซึ่งจากการศึกษาครั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ H_2S ตามตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ไฮโดรเจนซัลไฟด์ในน้ำของ Boyd and Tucker (1992) พบว่า ในช่วงที่ปูม้าที่เลี้ยงในระบบจำลองบ่อเก่ามีอัตราการตายเฉลี่ย $32.14 \pm 9.45\%$ ดินพื้นบ่อจะมีพีเอชเฉลี่ย 7.7 อุณหภูมิน้ำเฉลี่ย $28-30^\circ\text{C}$ จะพบว่ามี H_2S อยู่ประมาณ 21.6-22.7% ของปริมาณซัลไฟด์ที่มีอยู่ ส่วนในช่วงที่ปูม้าที่เลี้ยงในระบบจำลองบ่อใหม่มีอัตราการตายเฉลี่ย $22.12 \pm 11.37\%$ ดินพื้นบ่อจะมีพีเอชเฉลี่ย 6.7 อุณหภูมิน้ำเฉลี่ย $28-30^\circ\text{C}$ จะพบว่ามี H_2S อยู่ประมาณ 73.4-74.6% ของปริมาณซัลไฟด์ที่มีอยู่ ซึ่งปริมาณซัลไฟด์ในดินที่พบจะอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกับปริมาณซัลไฟด์ในดินที่มีรายงานในการเลี้ยงสัตว์น้ำกลุ่ม decapod crustaceans อื่นๆ เช่น กุ้งกุลาดำ (*P. monodon*) โดยพุทธ และคณะ (2533) รายงานไว้ว่า ในดินพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่อัตราความหนาแน่น 23 และ 30 ตัว/ตารางเมตร ค่าซัลไฟด์ในดินจะอยู่ในช่วง 2.00-167.00 มก./กก. (0.002-0.167 มก./ก.) ดุสิต และคณะ (2536) รายงานว่า คุณภาพตะกอนดินในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่มีอัตราการปล่อย 30-70 ตัว/ตารางเมตร จะมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณซัลไฟด์อยู่ในช่วง 0.220-82.350 มก./กก. (0.0002-0.0823 มก./ก.) บุญทริกา (2547) รายงานไว้ว่า ปริมาณซัลไฟด์รวมในดินตะกอนที่พบในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำในเขตพื้นที่ชายฝั่งและเขตพื้นที่น้ำจืดมีค่าอยู่ระหว่าง 0.001-3.149 และ 0.005-3.387 มก./ก. นน.ดินแห้ง ตามลำดับ Boyd et al. (1994) รายงานว่า ปริมาณซัลไฟด์รวมของดินตะกอนจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาแถบภาคใต้ของประเทศไทยในดินพื้นบ่อใหม่ ดินพื้นบ่อที่เพิ่งจับกุ้ง ดินพื้นบ่อที่ตากทิ้งไว้ 2-3 เดือน และดินพื้นบ่อที่ตากทิ้งไว้ 6-18 เดือน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.490, 1.710, 1.000 และ 0.420 มก./ก. ตามลำดับ ถึงแม้ว่าค่าไฮโดรเจนซัลไฟด์ในดินพื้นบ่อสามารถบ่งบอกถึงสภาวะวิกฤตของสิ่งแวดล้อมภายในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำได้ (Yokoyama, 2003) แต่จากรายงานระดับของปริมาณซัลไฟด์ในดินที่พบในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำกลุ่ม decapod crustaceans นั้น พบว่า ปริมาณซัลไฟด์ในดินไม่ได้อยู่ในระดับที่ส่งผลกระทบต่อตัวสัตว์น้ำ (พุทธ และคณะ, 2533; ดุสิต และคณะ, 2536; บุญทริกา, 2547; Boyd et al. 1994) ประกอบกับ พุทธ และคณะ (2533) ได้รายงานไว้อีกว่า ถึงแม้ว่าปริมาณซัลไฟด์ในดินจะสูงขึ้นตามระยะเวลาการเลี้ยง แต่ความเป็นพิษที่กุ้งกุลาดำได้รับจะไม่รุนแรงมากนัก เนื่องจากดินตะกอนชายทะเลมีอนุมูลของเหล็ก (Fe_2^+) อยู่มาก และอนุภาคนี้อาจเข้าไปทำปฏิกิริยากับซัลไฟด์ เกิดเป็นเหล็กซัลไฟด์ (FeS) ซึ่งไม่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ อีกประการหนึ่งไฮโดรเจนซัลไฟด์เมื่อหลุดออกมาเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์อิสระที่ละลายอยู่ในน้ำ ไฮโดรเจนซัลไฟด์จะถูกสลายตัวไปอย่างรวดเร็ว ถ้าหากว่าในน้ำนั้นมีออกซิเจนอยู่เพียงพอ ดังนั้น จึงน่าจะกล่าวได้ว่าปริมาณซัลไฟด์ในดินพื้นบ่อเลี้ยงปูม้าของการศึกษาครั้งนี้ยังไม่อยู่ในระดับที่ส่งผลกระทบต่ออัตราการตาย หรือผลผลิตของปูม้าที่เลี้ยง

ส่วนผลของคุณสมบัติของดินต่อคุณภาพน้ำระหว่างการเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่า และบ่อเลี้ยงใหม่ของการศึกษาครั้งนี้ พบว่า ค่าเฉลี่ยของพีเอช, อุณหภูมิ, ความเค็ม, ความเป็นด่าง และแอมโมเนียของน้ำในระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่า และระบบจำลองบ่อเลี้ยงใหม่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) แต่ค่าเฉลี่ยของปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำของระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่าจะต่ำกว่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำของระบบจำลองบ่อเลี้ยงใหม่ ($P<0.05$) ทั้งนี้เป็นเพราะเมื่อพื้นบ่อเกิดการสะสมของสารอินทรีย์ ได้แก่ เศษอาหารเหลือ และสิ่งขับถ่ายจากสัตว์น้ำ แบคทีเรียกลุ่ม heterotrophic จะนำออกซิเจนไปใช้เพื่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่สะสมอยู่ที่พื้นก้นบ่อ หรือมีกระบวนการ nitrification เกิดขึ้น เป็นผลให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดต่ำลง ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ปริมาณแอมโมเนียเฉลี่ยในดินของระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่า (24.62 ± 20.36 มก./กก.) มีค่าสูงกว่าปริมาณแอมโมเนียเฉลี่ยในดินของระบบจำลองบ่อใหม่ (6.72 ± 4.84 มก./กก.) หมายความว่าในระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่าจะเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ในดิน หรือมีการใช้ออกซิเจนโดย heterotrophic bacteria มากกว่าเป็นผลให้ค่าเฉลี่ยปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำของระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่าต่ำกว่าของระบบจำลองบ่อใหม่ และระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่าจะมีปริมาณไนโตรเจนเฉลี่ยสูงกว่าปริมาณไนโตรเจนเฉลี่ยของระบบจำลองบ่อเลี้ยงใหม่ ($P<0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของปริมาณไนโตรเจน-ไนโตรเจนในน้ำมีแนวโน้มที่คล้ายคลึงกับปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำที่มีการสะสมเพิ่มมากขึ้นในช่วงปลายของการเลี้ยง โดยในช่วงปลายของการเลี้ยงพบปริมาณสารอินทรีย์ในดินอยู่ในระดับสูง ซึ่งจะส่งผลถึงกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายในบ่อ โดยชุมพล (2541) รายงานว่า สภาพพื้นที่ที่มีการสะสมสารอินทรีย์มากเกินไป ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของน้ำผ่านบริเวณชั้นบนสุดของตะกอนช้า เพราะมีความหนืดสูงกว่าน้ำที่หมุนเวียนอยู่ข้างบน ออกซิเจนจะซึมผ่านได้น้อย ซึ่งอาจไม่เพียงพอต่อความต้องการของแบคทีเรีย ทำให้เกิดการสะสมของสารรีดิวซ์ เช่น ไนไตรท์ และไฮโดรเจนซัลไฟด์ เป็นต้น ดังนั้นจึงอาจทำให้เกิดผลกระทบต่อประสิทธิภาพการย่อยสลายของ heterotrophic bacteria ได้ จากสมการที่ (1) เห็นได้ว่า ออกซิเจนเป็นปัจจัยสำคัญที่สามารถควบคุมการเปลี่ยนแปลงของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน เช่นเดียวกับสมการที่ (2) ที่ออกซิเจนสามารถควบคุมการเปลี่ยนแปลงแอมโมเนียม-ไนโตรเจน แต่แตกต่างตรงผลผลิตสุดท้ายที่พบจะได้เป็นไนไตรท์-ไนโตรเจน และไนเตรท-ไนโตรเจน ตามลำดับ



ซึ่งสารตั้งต้นในสมการ (1) และ (2) จะขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรดเป็นด่าง โดยในช่วงการเลี้ยงถ้าพบว่ามีค่าความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มขึ้นสารตั้งต้นในสมการที่ (1) จะมีโอกาสเกิดขึ้นได้มาก (ชุมพล, 2541) และจากข้อมูลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าดินพื้นบ่อในระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่ามีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 7.88 ± 0.17 ซึ่งมีความเป็นด่างสูงกว่าดินพื้นบ่อในระบบจำลองบ่อใหม่ที่มีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 7.04 ± 0.41 ดังนั้นระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่าจึงมีปริมาณไนโตรเจนที่เฉลี่ยสูงกว่าระบบจำลองบ่อเลี้ยงใหม่ แต่อย่างไรก็ตาม ค่าคุณภาพน้ำของทั้งสองชุดการทดลองในการศึกษาครั้งนี้ จัดว่าอยู่ในระดับที่ไม่ส่งผลกระทบต่อการศึกษาเจริญเติบโต และอัตราการตายของปูม้าที่เลี้ยง (Lignot *et al.*, 2000; Romana and Zeng, 2006 and 2007; Maheswarudu *et al.*, 2008; Oniam *et al.*, 2010) จึงกล่าวได้ว่า คุณภาพน้ำของการศึกษาครั้งนี้ไม่ใช่ว่าปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลกระทบต่อการศึกษาปูม้า

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. การศึกษาสาเหตุการตายของการเลี้ยงปูม้าในบ่อดินครั้งนี้ทำให้ทราบว่า อัตราการตายของปูม้าที่เลี้ยงในบ่อดินช่วง 60 วันแรกน่ามีสาเหตุหลักมาจากการกินกันเอง (cannibalism) ส่วนที่ระยะเวลาการเลี้ยงประมาณ 90 วันเป็นต้นไป พบว่า สาเหตุหลักการตายของปูม้าที่เลี้ยงจะมาจากปัจจัยอื่นที่ไม่ใช่การกินกันเอง เพราะแนวโน้มการตายเนื่องจากการกินกันเองจะลดลง ส่วนแนวโน้มการตายเนื่องจากปัจจัยอื่นจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาการเลี้ยงเพิ่มขึ้น และการใส่วัสดุหลบซ่อนลงไปในการเลี้ยงปูม้าสามารถลดการตายเนื่องจากการกินกันเองของปูม้าที่เลี้ยงได้ โดยเฉพาะในช่วง 45 วันแรกของการเลี้ยง ซึ่งพบว่าการเลี้ยงปูม้าแบบใส่วัสดุหลบซ่อนจำนวน 1 ที่หลบซ่อน/ตารางเมตร จะมีอัตราการตายเนื่องจากการกินกันเองต่ำกว่าปูม้าที่เลี้ยงแบบปกติ หรือเลี้ยงแบบไม่ได้ใส่วัสดุหลบซ่อน

2. คุณสมบัติของดินพื้นบ่อเป็นปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่สำคัญต่อการเลี้ยงปูม้าเพราะสภาพพื้นบ่อที่มีการสะสมของของเสียจนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินพื้นบ่อจะไปมีผลกระทบต่อคุณภาพของลักษณะภายนอก และผลผลิตของปูม้าที่เลี้ยง โดยช่วงที่วิกฤตที่สุดของการเลี้ยงปูม้าในบ่อดินน่าจะอยู่ในช่วงวันที่ 60 - 90 ของการเลี้ยงมากกว่าช่วงการเลี้ยงอื่นๆ ทั้งนี้เนื่องจากว่า ในช่วงนี้ปูม้ามีอัตราการตายเฉลี่ยสูง และดินพื้นบ่อมีการสะสมของของเสียสูง ซึ่งค่าพีเอช และปริมาณแอมโมเนียในดินพื้นบ่อเป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อผลผลิต และ FCR ของปูม้าที่เลี้ยง โดยปูม้าที่เลี้ยงในระบบจำลองบ่อเก่า หรือบ่อที่ดินพื้นบ่อมีสภาพพีเอชเป็นด่างอ่อน (7.88 ± 0.17) และมีปริมาณแอมโมเนียในดินเฉลี่ยสูง (24.62 ± 20.36 มก./กก.) จะส่งผลให้ปูม้ามีผลผลิตต่ำ และมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) สูงกว่าปูม้าที่เลี้ยงในระบบจำลองบ่อใหม่ หรือบ่อที่ดินพื้นบ่อมีสภาพพีเอชเป็นกลาง (7.04 ± 0.41) และมีปริมาณแอมโมเนียในดินเฉลี่ยต่ำ (6.72 ± 4.84 มก./กก.)

ข้อเสนอแนะ

1. ปุ๋ยที่เลี้ยงในบ่อดินจะมีการตายเนื่องจากการกินกันเองสูงในช่วงแรก ซึ่งการใส่วัสดุหลบซ่อนในบ่อเลี้ยงปูม้าเป็นวิธีที่ช่วยลดการตายของปูม้าที่เลี้ยงเนื่องจากการกินกันเองได้ แต่ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องของคุณภาพของวัสดุหลบซ่อนที่ใช้ เช่น ชนิด ขนาด และจำนวนของวัสดุหลบซ่อนต่อหน่วยพื้นที่ ทั้งนี้เพื่อให้การใส่วัสดุหลบซ่อนเกิดประโยชน์สูงสุดต่อการเลี้ยงปูม้า
2. ดินพื้นบ่อมีความสำคัญต่อลักษณะภายนอก และผลผลิตของปูม้าที่เลี้ยง ดังนั้น ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องของการจัดการคุณภาพของดินพื้นบ่อระหว่างการเลี้ยงปูม้าโดยนำองค์ความรู้ด้านการจัดการดินพื้นบ่อ หรือตะกอนสารอินทรีย์ในบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลที่มีอยู่ในปัจจุบันมาประยุกต์ใช้
3. นอกจากนี้ จากการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าปริมาณแอมโมเนียในดินพื้นบ่อเป็นปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลกระทบต่อผลผลิต และ FCR ของปูม้าที่เลี้ยง ดังนั้น ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องของผลกระทบของปริมาณแอมโมเนียในดินต่อการตายของปูม้าที่เลี้ยง ซึ่งน่าจะทำให้ทราบถึงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติดินพื้นบ่อต่อการเลี้ยงปูม้าได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมประมง. 2553. สถิติการประมงแห่งประเทศไทย พ.ศ. 2551. เอกสารฉบับที่ 12/2553. ศูนย์
สารสนเทศ, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กรุณา สัตยมาศ. 2532. การอนุบาลปูม้าวัยอ่อนให้มีอัตราการรอดสูง. เอกสารวิชาการฉบับที่ 2.
กลุ่มพัฒนาแหล่งประมง, ศูนย์วิจัยประมงทะเลอันดามัน, กองประมงทะเล, กรมประมง,
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

_____ และ สุชาติ ยंत्रพิชัย. 2532. การเลี้ยงปูม้าโดยใช้พื้นที่และที่กำบังชนิดต่างๆ. เอกสาร
วิชาการฉบับที่ 1. กลุ่มพัฒนาแหล่งประมง, ศูนย์วิจัยประมงทะเลอันดามัน, กองประมง
ทะเล, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กอบศักดิ์ เกตุเหมือน, ก่อเกียรติ ภูถั่วแก้ว และ สุภาวดี จิตต์หมั่น. 2547. การเลี้ยงปูม้า *Portunus
pelagicus* (Linnaeus, 1758) ในบ่อดิน. เอกสารวิชาการฉบับที่ 38/2547. ศูนย์วิจัยและ
พัฒนาประมงชายฝั่งสงขลา, สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง, กรมประมง, กระทรวง
เกษตรและสหกรณ์.

_____, วิลาสินี คงเล่ง, สุกัญญา เจริญศรี และ สุภาวดี จิตต์หมั่น. 2553. การเลี้ยงปูม้า (*Portunus
pelagicus* Linnaeus, 1758) แบบแยกเพศ. เอกสารวิชาการฉบับที่ 12/2553. สำนักวิจัยและ
พัฒนาประมงชายฝั่ง, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

โกวิท เก้าเอี้ยน และ ทวี จินดามัยกุล. 2547. การเพาะและอนุบาลลูกปูม้า (*Portunus pelagicus
Linnaeus, 1758*). เอกสารวิชาการฉบับที่ 19/2547. ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งพังงา,
สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

เจียน สีนอนวงศ์. 2520. การศึกษาชีววิทยาของปูม้า *Portunus pelagicus* (Linnaeus) ในอ่าวไทย.
รายงานวิชาการฉบับที่ 14/2520. งานสัตว์น้ำอื่นๆ, กองประมงทะเล, กรมประมง.

จารุมาศ เมฆสัมพันธ์. 2545. ดินตะกอน. ภาควิชาชีววิทยา, คณะประมง, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

จินตนา จินดาลิขิต, จักรพันธ์ ปิ่นพุทธศิลป์, ขนิษฐา เสรีรักษ์ และ สุวรัศม์ วงษ์โท. 2551. ชีววิทยาและการประเมิณทรัพยากรปูม้า *Portunus pelagicus* (Linnaeus, 1758) บริเวณอ่าวไทยตอนบน. เอกสารวิชาการฉบับที่ 3/2551. ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงทะเลอ่าวไทยตอนบน (สมุทรปราการ), สถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีประมงทะเล, สำนักวิจัยและพัฒนาประมงทะเล, กรมประมง.

จุฑารัตน์ กิตติวานิช, นรินทร์ สงสัจจันทร์ และ ทวี จินดามัยกุล. 2551. การแลกเปลี่ยนสารอาหารผ่านแนวพื้นที่รอยต่อระหว่างน้ำและตะกอนดินพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei* Boone, 1931) แบบพัฒนาที่เป็นดินเหนียวและดินทราย. เอกสารวิชาการฉบับที่ 27/2551. สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ชฎา ณรงค์ฤทธิ์. 2535. ผลกระทบจากการทำนาในพื้นที่ป่าชายเลนต่อคุณสมบัติของดินบริเวณอำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชนินทร์ แสงรุ่งเรือง, แสงเทียน อัจฉิมามกุล และ บริสุทธิ์ คำรักษ์. 2544. การศึกษาคุณสมบัติของสารอินทรีย์ในดินพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ. เอกสารวิชาการฉบับที่ 6/2544. กองเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง, กรมประมง, กรุงเทพฯ.

ชลอ ลีสุวรรณ. 2543. กุ้ง 2000. ภาควิชาชีววิทยาประมง, คณะประมง, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ชุมพล ศรีทอง. 2541. การศึกษาเปรียบเทียบระบบการจัดการตะกอน โดยการแขวนลอยตะกอน และการดูดตะกอนเป็นช่วง ๆ ต่อการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon* Fabricius) ในระบบปิด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

โชคชัย เหลืองธูปราณีต. 2548. หลักการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ. สำนักพิมพ์โพธิ์เพช, บริษัทก้าวหน้าใหม่ จำกัด, กรุงเทพฯ.

ชัยฤกษ์ สุวรรณรัตน์. 2536. ความอุดมสมบูรณ์ของดิน. ภาควิชาปฐพีวิทยา, คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ดีพร้อม ไชยวงศ์เกียรติ. 2531. ระบบน้ำ และของเสียในปอ์ก. ภาควิชาจุลชีววิทยา, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

คุดิต ต้นวิไล, พุทธ ส่องแสง และ คณิต ไชยคำ. 2536. การเปลี่ยนแปลงปริมาณ และคุณภาพตะกอนดินในปอ์เลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา. เอกสารวิชาการฉบับที่ 5/2536. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง, กรมประมง, กรุงเทพฯ.

_____, คณิต ไชยคำ, ยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร และ เซวี่ ศรีวิชัย. 2537. การตรวจและติดตามคุณภาพน้ำและดินจากฟาร์มเลี้ยงกุ้งกุลาดำ จังหวัดปัตตานี. เอกสารวิชาการฉบับที่ 5/2537. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง, กรมประมง, กรุงเทพฯ.

นงนุช ตั้งเกริกโอฬาร และ สุภาภรณ์ ชำปฏี. 2550. พัฒนาการของคัพภะและระยะเวลาของการฟักไข่ในปูม้าเพศเมียที่มีไข่นอกกระดอง. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา 12 (2): 55-62.

นิวุฒิ หวังชัย. 2534. การสะสม และการสลายตัวของสารอินทรีย์ในดินพื้นปอ์เลี้ยงกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงแบบหนาแน่น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บรรจง เทียนส่งศรี. 2547. เทคโนโลยีการเพาะเลี้ยงปูม้า. สตาร์ทีม แมเนจ กรุ๊ป, กรุงเทพฯ.

บุญทริกา ทองดอนพุ่ม. 2547. ความสัมพันธ์ของคุณภาพน้ำ คุณภาพดิน ความขรุขระของแหล่งกักต่อน้ำ และผลผลิตของกุ้งกุลาดำในระบบการเลี้ยงแบบพัฒนา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บุญรัตน์ ประทุมชาติ. 2550. การผลิตปูทะเลและปูน้ำจืด. น. 51-65. ใน มยุรี จัยวัฒน์ และปัทมา
ระตะนะอาพร. **มองลอดกระดองปูน้ำจืด**. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.),
กรุงเทพฯ.

ประจวบ หล้าอุบล. 2537. **สรีรวิทยาของกุ้ง**. เจริญรัฐการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

พรรัตน์ สุขประเสริฐ, ปิยาลย์ เหมทานนท์ และ สรรเสริญ ช่อเจียง. 2551. ความเป็นต่างของน้ำที่
เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและอัตราการตายของลูกปูม้า (*Portunus pelagicus*
Linnaeus, 1758) ที่อนุบาลในบ่อคอนกรีต. เอกสารวิชาการฉบับที่ 59/2551. ศูนย์วิจัยและ
พัฒนาประมงชายฝั่งนครศรีธรรมราช, สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง, กรมประมง.

พยุ่ง ภัทรกุลชัย. 2532. สมบัติของดินและความต้องการปูนของดินในบริเวณนาุ้ง และป่าไม้ชายเลน
ของจังหวัดตราด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พุทธ ส่องแสงจินดา. 2537. สหสัมพันธ์เชิงเส้นของตัวแปรคุณภาพน้ำกับข้อมูลการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ
แบบพัฒนาในเขตอำเภอระโนด จังหวัดสงขลา. เอกสารวิชาการฉบับที่ 10/2537. สถาบัน
วิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง, กรมประมง, กรุงเทพฯ.

_____, ขงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร, ศุภาโชค สุวรรณมณี และ วิชาญ ชูสุวรรณ. 2533. ข้อสังเกต
เกี่ยวกับคุณสมบัติดินบางประการในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา. เอกสารวิชาการ ฉบับที่
12/2533. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง.

ภมรพรรณ ฉัตรภูมิ และ วรินทร์ ธนาสมหวัง. 2548. ผลของความหนาแน่นต่ออัตราการตายของ
ลูกปูม้า (*Portunus pelagicus* Linnaeus, 1758) ที่อนุบาลในถังไฟเบอร์. เอกสารวิชาการ
ฉบับที่ 10/2548. ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งสมุทรสาคร, สำนักวิจัยและพัฒนาประมง
ชายฝั่ง, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ภาณุ เข้มชื่น, อรรถพล ธาตุมี และ บุญรัตน์ ประทุมชาติ. 2551. ผลของความเค็มต่อการเปลี่ยนแปลงออสโมลาลิตีในเลือด ความเข้มข้นของโปรตีน คาร์โบไฮเดรต โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และคลอรีนในพลาสมาปูม้า (*Portunus pelagicus*). น. 119-127. ใน เรื่องเติมการประชุมทางวิชาการครั้งที่ 46: สาขาประมง. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

มนทกานติ ท้ามดิน, สุพิศ ทองรอด และ สิริพร ลือชัย ชัยกุล. 2551. ระดับโปรตีนที่เหมาะสมในอาหารต่อการเจริญเติบโตของลูกปูม้า (*Portunus pelagicus* Linnaeus, 1758) ถึงระยะ 10 กรัม. เอกสารวิชาการฉบับที่ 15/2551. สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

เมฆ บุญพราหมณ์. 2530. การเลี้ยงปลา. ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ, คณะประมง, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

มันสิน ตันทุลเวศม์ และ ไพพรรณ พรประภา. 2544. การจัดการคุณภาพน้ำและการบำบัดน้ำเสียในบ่อเลี้ยงปลาและสัตว์น้ำอื่นๆ เล่ม 1 การจัดการคุณภาพน้ำ. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ยนต์ มุสิก. 2529. การเพาะเลี้ยงกุ้งก้ามกราม. คณะประมง, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____ และ พรพันธ์ ยุทธรักษานุกูล. 2534. อัตราการตกตะกอน คุณสมบัติของตะกอน และดินพื้นบ่อในบ่อพักน้ำ และบ่อเลี้ยงในระบบการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบหนาแน่นบริเวณกันอ่าวไทย. วารสารวิทยาศาสตร์การประมง 1 (1): 47-55.

ลิลา เรืองแป้น. 2544. ศพช.สมุทรสาครตั้งเป้าการเลี้ยงปูม้าเชิงพาณิชย์. วารสารสัตว์น้ำ 12 (ส319): 77-80.

วารินทร์ ธนาสมหวัง. 2548. การเพาะเลี้ยงปูม้าเชิงพาณิชย์. เอกสารเผยแพร่ โครงการการผลิตพันธุ์และการเลี้ยงปูม้า (*Portunus pelagicus* Linnaeus, 1758) เชิงพาณิชย์. ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งสมุทรสาคร, กรมประมง, กรุงเทพฯ.

วารินทร์ ธนาสมหวัง และ ชัยยุทธ พุทธิจิน. 2548. ผลของอุณหภูมิต่อการฟักไข่ปูม้า (*Portunus pelagicus* Linnaeus, 1758) ระหว่างการลำเลียงตัวปิ้งที่มีไข่. วารสารการประมง 58 (5): 439-447.

_____, ชัยยุทธ พุทธิจิน, วัฒนา ฉิมแก้ว และ สุพิศ ทองรอด. 2548. การเลี้ยงปูม้าในบ่อดิน. น. 339-369. ใน วารินทร์ ธนาสมหวัง, สุพิศ ทองรอด และลิดา เรืองแป้น. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์โครงการการผลิตพันธุ์และการเลี้ยงปูม้า (*Portunus pelagicus* Linnaeus, 1758)เชิงพาณิชย์. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.), กรุงเทพฯ.

_____, และ ธรรมนูญ วุ่นซึ่งชี. 2549. ผลของความเป็นกรด-ด่างของน้ำต่ออัตราการรอดและการเจริญเติบโตของลูกปูม้า (*Portunus pelagicus* Linnaeus, 1758) ที่อนุบาลในถังไฟเบอร์. เอกสารวิชาการฉบับที่ 38/2549. ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งสมุทรสาคร, สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

_____, พรทิพย์ อังสุกาญจนกุล และ จิราวุธวัฒน์ ชูเพชร. 2545. การฟักไข่ปูม้า (*Portunus Pelagicus* Linnaeus, 1758) จากตัวปิ้งของแม่ปูไข่นอกกระดอง. วารสารการประมง 55 (4): 319 - 323.

_____, พรทิพย์ ทองป่อ, ฉลอง ทองป่อ และ วุฒิชัย ทองล้ำ. 2547. การอนุบาลลูกปูม้า (*Portunus pelagicus* Linnaeus, 1758) ในที่กักขังโดยให้ที่หลบซ่อนต่างชนิด. เอกสารวิชาการฉบับที่ 35/2547. ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งสมุทรสาคร, สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

_____, และ ภมรพรรณ นัตรภูมิ. 2548. ผลของความเค็มของน้ำต่ออัตราการฟักไข่ของปูม้า (*Portunus pelagicus* Linnaeus, 1758) จากตัวปิ้งปูไข่นอกกระดอง. เอกสารวิชาการฉบับที่ 1/2548. ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งสมุทรสาคร, สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

วารินทร์ หนาสมหวัง, ภูมิพรพรณ ฉัตรภูมิ และ ศิริภรณ์ โคตะมี. 2549. ผลของอาหารต่ออัตราการรอดตายและการเจริญเติบโตของลูกปูม้า (*Portunus pelagicus* Linnaeus, 1758) ที่อนุบาลในที่กักขัง. เอกสารวิชาการฉบับที่ 24/2549. ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งสมุทรสาคร, สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

_____ และ วัฒนา จิมแก้ว. 2549. ผลของความเป็นด่างของน้ำต่ออัตราการรอดตายและการเจริญเติบโต ของลูกปูม้า (*Portunus pelagicus* Linnaeus, 1758) ที่อนุบาลในถังไฟเบอร์. เอกสารวิชาการที่ 39/2549. ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งสมุทรสาคร, สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

_____, สง่า สิงห์ และ ชัยยุทธ พุทธิจัน. 2547. ปริมาณการลำเลียงคั้งปูม้า (*Portunus pelagicus* Linnaeus, 1758) ต่ออัตราการฟักไข่. เอกสารวิชาการฉบับที่ 36/2547. ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งสมุทรสาคร, สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

_____, _____ และ นลอง ทองบ่อ. 2548. ผลของความเค็มของน้ำต่ออัตราการรอดตาย และการเจริญเติบโตของลูกปูม้า (*Portunus pelagicus* Linnaeus, 1758) ที่อนุบาลในที่กักขัง. เอกสารวิชาการฉบับที่ 19/2548. ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งสมุทรสาคร, สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

_____, สามารถ เปรมกิจ, วัฒนา จิมแก้ว และ ชัยยุทธ พุทธิจัน. 2550. อัตราการรอดตายของลูกปู (*Portunus pelagicus* Linnaeus, 1758) ม้าที่อนุบาลในบ่อดิน. เอกสารวิชาการฉบับที่ 20/2550. ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งสมุทรสาคร, สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

วิวรรณ สิงห์ทวีศักดิ์. 2546. การเลี้ยงปูทะเล, *Scylla paramamosain* (Estampador, 1949), ในบ่อดินโดยมีที่หลบซ่อน. เอกสารวิชาการฉบับที่ 18/2546. สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

วิวรรณ สิงห์ทวีศักดิ์ และ บังอร ศรีมุกดา. 2552. การเลี้ยงลูกปูทะเล *Scylla paramamosain* (Estampador, 1949) โดยมีวัสดุหลบซ่อนต่างกันในบ่อดิน. เอกสารวิชาการฉบับที่ 2/2552. ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งจันทบุรี, สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

วุฒิ คุปตะวาทีน. 2543. การเพาะและอนุบาลลูกปูม้าเพื่อปล่อยลงสู่แหล่งธรรมชาติเพื่อเป็นการเพิ่มทรัพยากรสัตว์น้ำ. เอกสารวิชาการฉบับที่ 1/2543. สถานีเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งจังหวัดระยอง, กองเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง, กรมประมง.

วุฒิชัย อ่อนเยี่ยม, เทพบุตร เวชกามา และ โสภี วิชัยเมือง. 2552. อัตรารอดตายของลูกปูม้า (*Portunus pelagicus* Linnaeus, 1758) ที่ได้จากพ่อแม่พันธุ์ในบ่อดิน. น. 381-387. ใน เรื่องเติมการประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 47: สาขาประมง. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____ และ วราห์ เทพาหุดี. 2553. ความสัมพันธ์ทางกายภาพต่อปริมาณไข่ และอัตราการฟักไข่ของแม่ปูม้า (*Portunus pelagicus* Linnaeus, 1758) ที่ได้จากการเลี้ยงในบ่อดิน. น. 99-107. ใน เรื่องเติมการประชุมทางวิชาการครั้งที่ 48: สาขาประมง. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สมเจตน์ จันทวัฒน์, ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา, จงรักย์ จันทรเจริญสุข, วิโรจน์ อิมพิทักษ์ และ อัญชลี สุทธิปรากร. 2526. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. ภาควิชาปฐพี, คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สามารถ เปรมกิจ, บุญชัย เอี่ยมปรีชา และ สมยศ สิทธิโชคพันธ์. 2532. การแก้ไขปัญหาพื้นบ่อในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา. วารสารการประมง 42 (5): 381-385.

สิริวรรณ หนูแข่ง และ สุพาภร แก้วอักษร. 2553. การเลี้ยงปูแสม (*Episesarma mederi* H. Milne Edward, 1854) โดยใส่ต้นโกงกางใบเล็ก (*Rhizophora apiculata*) เป็นที่กำบัง. เอกสารวิชาการฉบับที่ 5/2553. สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สุเมธ ตันติกุล. 2527. **ชีววิทยาการประมงปูม้าในอ่าวไทย**. เอกสารเผยแพร่วิชาการ ฉบับที่ 1/2527. ฝ่ายสัตว์น้ำอื่นๆ, กองประมงทะเล, กรมประมง, กรุงเทพฯ.

สุวณิช ชัยนาค. 2540. **การเปลี่ยนแปลงสมบัติของดินพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำบริเวณอ่าวไทยตอนใน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุรชาติ นวีกักดี, ชิดาพร นวีกักดี และ วริษฐา หนูปิ่น. 2550. **การอนุบาลลูกปูม้า, *Portunus pelagicus* (Linnaeus, 1758) จากระยะ megalopa ถึง crab stage ในกระชังและบ่อคอนกรีต**. เอกสารวิชาการฉบับที่ 4/2550. สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สุพิศ ทองรอด, วรินทร์ ธนาสมหวัง, มณฑกานติ ท้ามั่น, จีรัตน์ เกื้อแก้ว และ สิริพร ลือชัย ชัยกุล. 2548. **การผลิตอาหารสำเร็จรูปสำหรับการเลี้ยงปูม้า**. น. 277-338. ใน วรินทร์ ธนาสมหวัง, สุพิศ ทองรอด และลิดา เรืองแป้น. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์โครงการการผลิตพันธุ์และการเลี้ยงปูม้า (*Portunus pelagicus* Linnaeus, 1758) เชิงพาณิชย์. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.), กรุงเทพฯ.

อาภรณ์ เทพพานิช และ ลำรวย ชุมวรฐายี. 2548. **การเลี้ยงปูม้า (*Portunus pelagicus* Linnaeus 1758) ที่ระดับความหนาแน่นต่างกันบ่อดิน**. เอกสารวิชาการฉบับที่ 16/2548. ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งสุราษฎร์ธานี, สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

_____, สิริวรรณ หนูเซ่ง, นิธิวัฒน์ วงศ์วัฒน์ และ ลำรวย ชุมวรฐายี. 2551. **การเลี้ยงปูม้า (*Portunus pelagicus* Linnaeus, 1758) ด้วยอาหาร 3 ชนิด ในบ่อดิน**. เอกสารวิชาการฉบับที่ 44/2551. สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

Abdussamad, E.M. and D.M. Thamby. 1994. Cannibalism in the tiger shrimp *Penaeus monodon* fabricius in nursery rearing phase. **J. Aqua. Trop.** 9: 67-75.

APHA, AWWA and WEF .1998. **Standard Method for the Examination of Water and Wastewater**. 20th ed. American Public Health Association, Washington.

Arshad, A., Efrizal, M.S. Kamarudin and C.R. Saad. 2006. Study on Fecundity, Embryology and Larval Development of Blue Swimming Crab *Portunus pelagicus* (Linnaeus, 1758) under Laboratory Conditions. **Res. J. Fish. & Hydrobilo**. 1 (1): 35-44.

Banerja, S.M. 1967. Water quality and soil condition of fish ponds in some state of India in relation to fish production. **Indian Journal of Fisheries** 14: 113-144.

Bordovskiy, O.K. 1965. Organic matter in marine sediment. **J. Mar. Biol**. 3: 3-114.

Borisov, R.R., A.B. Epelbaum, N.V. Kryakhova, A.G. Tertitskaya and N.P. Kovatcheva. 2007. Cannibalistic Behavior in Red King Crabs Reared Under Artificial Conditions. **Russian Journal of Marine Biology** 33 (4): 227-231.

Boyd, C.E. 1989. **Water Quality Management and Aeration in Shrimp Farming**. Fisheries and Allied Aquaculture Department Series No.2 Alabana Agr. Exp. Sta Auburn University.

_____. 1990. **Water Quality in Ponds for Aquaculture**. Alabama Agricultural Experiment Station, Alabama University, Auburn, Alabama.

_____. 1995. **Bottom Soil Sediment and Pond Aquaculture**. Department of Fisheries and Allied Aquaculture University, Alabama.

_____ and A.W. Fast. 1992. Pond monitoring and management, pp. 497 -513. *In* A. W. Fast and L. J. Lester, eds. **Marine Shrimp Culture: Principles and Practices**. Elsevier Science B. V., Amsterdam.

Boyd, C.E., P. Munsiri and B.J. Hajek. 1994. Composition of sediment from intensive shrimp ponds in Thailand. **World Aquaculture** 25: 53-55.

_____ and C.S. Tucker. 1992. **Water Quality in Pond Soil Analyses for Aquaculture**. Alabama Agricultural Experiment Station, Alabama University, Auburn, Alabama.

_____ and S. Pippopinyo. 1994. Factors affecting respiration in dry pond bottom soils. **Aquaculture** 120: 283-293.

Brown, M.E. 1957. **The Physiology of Fishes**. Vol.1. Academic Press, New York.

Chande, A.L. and Y.D. Mgaya. 2004. Food Habits of the Blue Swimming Crab *Portunus pelagicus* along the Coast of Dar es Salaam, Tanzania. **Western Indian Ocean J. Mar. Sci.** 3 (1): 37-42.

Chareonpanich, C. and S. Seurungreong. 1997. Some physicals and chemicals characteristics of bottom sediments in the south china sea, Area I : Gulf of Thailand and the east coast of Pennisular Malasia. pp. 12-33. **In Proceeding of The 1st Technical Seminar the Marine Fishery Resources Survey in the South China Sea Area I (Gulf of Thailand East Coast of the Pennisular Malaysia)**. Bangkok, Thailand.

Chuan, L.L. and I. Sugahara. 1984. **A manual on chemical analysis of coastal water and bottom sediment**. Primary Production Department/Marine Fisheries Research Department, SEAFDEC, Singapore.

Dewis, J. and F. Freitas. 1976. **Physical and chemical method of soil and water analysis**. Soil Bulletin. No. 10, FAO. Rome.

- Edgar, G.J. 1990. Predator-prey interaction in seagrass beds. II. Distribution and diet of the blue manna crab *Portunus pelagicus* Linnaeus at Cliff Head, Western Australia. **L. Exp. Mar. Biol. Ecol.** 139: 23-32.
- Fernandez, M. 1999. Cannibalism in Dungeness crab *Cancer magister* : effects of predator-prey size ratio, density and habitat type. **Mar. Ecol. Prog. Ser.** 182: 221-230.
- Grasshoff, K. 1976. **Methods for Seawater Analysis.** Verlag Chemie, New York.
- Gardner, C. and G.B. Maguire. 1998. Effect of photoperiod and light intensity on survival, development and cannibalism of larvae of the Australian giant crab *Pseudocarcinus gigas* (Lamarck). **Aquaculture** 165: 51-63.
- Halver, V.E. 1986. **Fish Nutrition.** Second Edition. Academic Press, New York.
- Hajek, B.B. and C.E. Boyd. 1994. Rating soil and water information for aquaculture. **Aquaculture Engineering** 13: 115-128.
- Jackson, M.L. 1958. **Organic Matter Determination for Soils in the Soil Chemical Analysis.** Prentice-Hall, Inc., New York.
- Juliana, C. and N. Alan. 2000. **Larval Rearing of Mud crab *Scylla serrata* in the Philippines.** Division of Biological Sciences, University of the Philippines in the Visayas.
- Kangas, M.I. 2000. Synopsis of the biology and exploitation of the blue swimmer crab, *Portunus pelagicus* Linnaeus, in Western Australia. **Fish. Res. Rep. Fish. West. Aust.** 121: 1-22.
- Lignot, J.H., C. Spanings-Pierrot and G. Charmantier. 2000. Osmoregulatory capacity as a tool in monitoring the physiological condition and the effect of stress in crustaceans. **Aquaculture** 191: 209-245.

- Lovrich, G.A. and B. Sainte-Marie. 1997. Cannibalism in the snow crab, *Chionoecetes opilio* (O. Fabricius) (Brachyura: Majidae), and its potential importance to recruitment. **J. Exp. Mar. Biol. Ecol.** 211: 225-245.
- Mantel, L.H. and L.L. Farmer. 1983. Osmotic and Ionic Regulation. pp. 53-161. *In* Mantel, L.H. (ed.) **The Biology of Crustacea, Volume 5: Internal Anatomy and Physiological Regulation.** Academic Press, New York.
- Marshall, S., K. Warburton, B. Paterson and D. Mann. 2005. Cannibalism in juvenile blue-swimmer crab *Portunus pelagicus* (Linnaeus, 1766): effects of body size, moult stage and refuge availability. **Applied Animal Behaviour Science** 90: 65-82.
- Maheswarudu, G., Josileen Jose, K.R. Manmadhan Nair, M.R. Arputharaj, A. Ramakrishna, A. Vairamani and N. Ramamoorthy. 2008. Evaluation of the seed production and grow out culture of blue swimming crab *Portunus pelagicus* (Linnaeus, 1758) in India. **Indian J. Mar. Sci.** 37 (3): 313-321.
- Meksumpun, C. and S. Meksumpun. 1999. Polychaete-sediment relations in Rayong, Thailand. **Environment Pollution** 105: 447-456.
- Munsiri, P., C.E. Boyd and B.F. Hajek. 1995. Physical and chemical characteristics of bottom soil profiles in ponds at Auburn, Alabama, USA and a proposed system for describing pond soil horizons. **J. World Aqua. Soc.** 26: 346-377.
- Oniam, V., U. Buathee, L. Chuchit and T. Wechakama. 2010. Growth and Sexual Maturity of Blue Swimming Crab (*Portunus pelagicus* Linnaeus, 1758) Reared in the Earthen Ponds. **KU. Fish. Res. Bull.** 34 (1): 20-27.
- Pequeux, A. 1995. Osmotic regulation in crustaceans. **J. Crustae. Biol.** 15: 1-60.

- Rahardianto A., J. Gao, C.J. Gabelich, M.D. Williams and Y. Cohen. 2007. High recovery membrane desalting of low-salinity brackish water: Integration of accelerated precipitation softening with membrane RO. **Journal of Membrane Science** 289: 123-137.
- Ray, W.M. and Y.H. Chien. 1992. Effect of Stocking Density and Aged Sediment on Tiger Prawn, *Penaeus monodon*, nursery system. **Aquaculture** 104: 231-248.
- Romana, N. and C. Zeng. 2006. The effects of salinity on the survival, growth and haemolymph osmolality of early juvenile blue swimmer crab, *Portunus pelagicus*. **Aquaculture** 260: 151-162.
- _____ and _____. 2007. Ontogenetic changes in tolerance to acute ammonia exposure and associated gill histological alterations during early juvenile development of the blue swimmer crab, *Portunus pelagicus*. **Aquaculture** 266: 246-254.
- Smitch, P.T. 1996. Physical and chemical characteristics of sediments from prawn farms and mangrove habitats on the Clarence River, Australia. **Aquaculture** 146: 47-83.
- Sonnenholzner, S. and C.E. Boyd. 2000. Vertical gradient organic matter concentration and respiration rate in pond bottom soils. **J. World Aqua. Soc.** 31: 346-380.
- Soundarapandian, P. and S. Dominic Arul Raja. 2008. Fattening of the blue swimming crab *Portunus pelagicus* (Linnaeus). **J. Fish. Aquat. Sci.** 3 (1): 97-101.
- _____, E. Thamizhazhagan and N. John Samuel. 2007. Seed Production of Commercially Important Blue Swimming Crab *Portunus pelagicus* (Linnaeus). **J. Fish. Aquat. Sci.** 2 (4): 302-309.

Tidwell, J.H., S.D. Coyle and G. Schulmeister. 1998. Effects of added substrate on the production and population characteristics of fresh water prawns *Macrobrachium rosenbergii* in ponds. **J. World. Aquacult. Soc.** 29: 17-22.

Yokoyama, H. 2003. Enviromental quality criteria for fish farms in Japan. **Aquaculture** 226: 45-56.

Yuvanatemya, Y. 2007. Effect of organic matter concentration on production efficiency of shrimp pond soil. **Environment and Natural Resources Journal** 5 (1): 44-49.

Warner, G.F. 1977. **The Biology of Crabs**. Paul Elek (Scientific Books) Ltd., London.

Weihrauch, D., Morris and D.W. Towle. 2004. Ammonia excretion in aquatic and terrestrial crabs. **J. Exp. Biol.** 207: 4491-4504.

Williams, M.J. 1982. Natural food and feeding in the commercial sand crab *Portunus pelagicus* Linnaeus, 1766 (Crustacea: Decapoda: Portunidae) in Moreton Bay, Queensland. **J. Exp. Mar. Biol. Ecol.** 59: 165-176.

Xiao, Y. and M. Kumar. 2004. Sex ratio, and probability of sexual maturity of females at size, of the blue swimmer crab, *Portunus pelagicus* Linnaeus, off Southern Australia. **Fisheries Research** 68: 271-282.

SEAFDEC. 2011. **Diseases in Juveniles and Adults**. Available Source:

<http://www.rfdp.seafdec.org.ph/.../crab/chapter2.html>, March 14, 2011.



ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก1 แสดงอัตราการรอดตายของปูม้าที่เลี้ยงแบบปกติ เลี้ยงแยก และเลี้ยงแบบใส่วัสดุหลบซ่อนของในแต่ละช่วงการเลี้ยง และอัตราการรอดตายเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

ระยะเวลาเลี้ยง	อัตราการรอดตาย (%)								
	ปูม้าที่เลี้ยงแบบปกติ			ปูม้าที่เลี้ยงแยกกันภายในบ่อ			ปูม้าที่เลี้ยงโดยใส่วัสดุหลบซ่อน		
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3
15 วัน	100	91.66	100	100	100	100	91.66	100	91.66
30 วัน	91.66	83.33	91.66	100	100	100	83.33	100	91.66
45 วัน	83.33	58.33	83.33	91.66	100	100	83.33	100	91.66
60 วัน	66.66	58.33	83.33	83.33	100	100	83.33	91.66	91.66
75 วัน	66.66	50.00	41.66	83.33	100	100	75.00	83.33	83.33
90 วัน	66.66	50.00	41.66	83.33	91.66	100	75.00	83.33	75.00
105 วัน	66.66	41.66	41.66	75.00	83.33	100	66.66	75.00	66.66
120 วัน	66.66	33.33	41.66	66.66	83.33	91.66	66.66	58.33	50.00
เฉลี่ย (Mean±SD)	47.21±17.34			80.55±12.72			58.33±8.33		

ตารางผนวกที่ ก2 แสดงอัตราการตายของปูม้าที่เลี้ยงแบบปกติ เลี้ยงแยก และเลี้ยงแบบใส่วัสดุหลบซ่อนของในแต่ละช่วงการเลี้ยง

ช่วงการเลี้ยง	อัตราการตายของปูม้า (%)								
	ปูม้าที่เลี้ยงแบบปกติ			ปูม้าที่เลี้ยงแยกกันภายในบ่อ			ปูม้าที่เลี้ยงโดยใส่วัสดุหลบซ่อน		
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3
1-15 วัน	0.00	8.34	0.00	0.00	0.00	0.00	8.34	0.00	8.34
16-30 วัน	8.34	9.09	8.34	0.00	0.00	0.00	9.09	0.00	0.00
31-45 วัน	9.09	30.00	9.09	8.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
46-60 วัน	20.00	0.00	0.00	9.09	0.00	0.00	0.00	8.34	0.00
61-75 วัน	0.00	14.28	50.01	0.00	0.00	0.00	10.00	9.09	9.09
76-90 วัน	0.00	0.00	0.00	0.00	8.34	0.00	0.00	0.00	10.00
91-105 วัน	0.00	16.68	0.00	10.00	9.09	0.00	11.12	10.00	11.12
106-120 วัน	0.00	20.00	0.00	11.12	0.00	8.34	0.00	22.23	24.99

หมายเหตุ : อัตราการตายของปูม้า (%) = $100 - \left(\frac{\text{จำนวนปูที่เหลือของในแต่ละช่วงการเลี้ยง} \times 100}{\text{จำนวนปูเริ่มต้นของในแต่ละช่วงการเลี้ยง}} \right)$

ตารางผนวกที่ ก3 แสดงการเจริญเติบโตของปูม้าที่เลี้ยงแบบปกติ เลี้ยงแยก และเลี้ยงแบบใส่วัสดุหลบซ่อน

ระยะเวลาเลี้ยง	การเจริญเติบโต								
	ปูม้าที่เลี้ยงแบบปกติ			ปูม้าที่เลี้ยงแยกกันภายในบ่อ			ปูม้าที่เลี้ยงโดยใส่วัสดุหลบซ่อน		
	CW (ชม.)	CL (ชม.)	WT (กรัม)	CW (ชม.)	CL (ชม.)	WT (กรัม)	CW (ชม.)	CL (ชม.)	WT (กรัม)
เริ่มต้น	1.42-2.23	0.78-1.40	0.23-0.71	1.42-2.23	0.78-1.40	0.23-0.71	1.53-2.12	0.82-1.24	0.23-0.72
15 วัน	2.85-3.98	1.51-1.98	6.12-9.00	2.82-3.71	1.49-1.87	6.60-8.13	3.18-3.79	1.68-2.01	8.42-10.76
30 วัน	4.17-4.60	2.20-2.67	19.22-22.79	4.03-4.51	2.17-2.51	17.29-21.24	4.23-4.49	2.33-2.48	15.96-18.72
45 วัน	6.96-7.82	3.39-3.76	22.94-28.32	7.18-7.55	3.28-3.55	25.82-29.08	7.20-7.59	3.41-3.55	25.23-27.31
60 วัน	7.46-7.71	3.54-3.97	29.59-34.90	7.27-7.53	3.78-3.89	28.84-34.68	7.35-7.60	3.70-3.81	31.61-34.66
75 วัน	7.88-8.36	3.89-4.15	39.48-46.99	7.90-8.29	3.94-4.20	39.43-49.45	7.65-8.08	3.89-4.05	32.06-41.13
90 วัน	8.52-9.56	4.37-4.60	47.66-67.73	8.36-8.76	4.08-4.35	44.21-52.82	8.46-8.94	4.22-4.43	49.59-54.27
105 วัน	8.83-10.32	4.46-5.26	57.75-84.93	8.44-9.31	4.39-4.70	50.16-60.39	8.95-9.29	4.58-4.72	52.49-67.46
120 วัน	9.85-10.68	4.49-5.16	59.60-89.19	8.89-9.68	4.34-4.83	54.80-66.91	9.95-10.28	4.65-5.02	63.42-81.82

หมายเหตุ : CW = ความกว้างกระดอง CL = ความยาวกระดอง WT = น้ำหนักตัว

ตารางผนวกที่ ก4 แสดงการเจริญเติบโตเฉลี่ย อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (ADG) และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) ของปูม้าที่เลี้ยงแบบปกติ เลี้ยงแยก และเลี้ยงแบบใส่วัสดุหลบซ่อน

ระยะเวลาเลี้ยง	ปูม้าที่เลี้ยงแบบปกติ			ปูม้าที่เลี้ยงแยกกันภายในบ่อ			ปูม้าที่เลี้ยงโดยใส่วัสดุหลบซ่อน		
	CW (ชม.)	CL (ชม.)	WT (กรัม)	CW (ชม.)	CL (ชม.)	WT (กรัม)	CW (ชม.)	CL (ชม.)	WT (กรัม)
เริ่มต้น	1.80±0.23	0.97±0.16	0.50±0.16	1.80±0.23	0.97±0.16	0.50±0.16	1.86±0.20	1.06±0.15	0.55±0.15
15 วัน	3.27±0.61	1.69±0.25	7.94±1.58	3.14±0.49	1.65±0.19	7.44±0.77	3.50±0.30	1.85±0.16	9.48±1.18
30 วัน	4.41±0.21	2.43±0.23	20.85±1.80	4.30±0.24	2.34±0.17	19.01±2.02	4.32±0.14	2.38±0.08	17.58±1.44
45 วัน	7.51±0.48	3.58±0.18	26.45±3.04	7.33±0.19	3.37±0.15	27.46±1.63	7.42±0.20	3.46±0.07	26.59±1.18
60 วัน	7.60±0.12	3.79±0.22	32.39±2.66	7.41±0.13	3.84±0.05	32.34±3.08	7.48±0.12	3.77±0.06	33.24±1.51
75 วัน	8.19±0.27	4.04±0.13	44.12±4.05	8.12±0.20	4.07±0.13	44.61±5.01	7.91±0.22	3.96±0.08	37.78±4.98
90 วัน	9.01±0.52	4.51±0.12	59.71±10.62	8.58±0.20	4.23±0.14	47.72±4.51	8.73±0.24	4.34±0.10	52.14±2.36
105 วัน	9.45±0.77	4.98±0.45	57.85±14.86	8.86±0.43	4.49±0.17	53.77±5.73	9.11±0.17	4.59±0.11	60.31±7.50
120 วัน	10.33±0.43	4.79±0.33	75.68±14.92	9.20±0.41	4.62±0.25	60.62±6.06	10.02±0.23	4.82±0.18	74.13±9.56
ADG		0.62±0.12			0.49±0.05			0.60±0.07	
FCR		3.41±0.23			3.25±0.25			3.34±0.14	

หมายเหตุ : CW = ความกว้างกระดอง CL = ความยาวกระดอง WT = น้ำหนักตัว

ตารางผนวกที่ ก5 แสดงการเจริญเติบโตของปมไม้ที่เลี้ยงในระบบจำลองบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำเก่า และบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำที่ปรับปรุงใหม่

ระยะ เวลาเลี้ยง	ขนาดของปมไม้ในระบบจำลองบ่อเก่า			ขนาดของปมไม้ในระบบจำลองบ่อใหม่		
	CW (ซม.)	CL (ซม.)	WT (กรัม)	CW (ซม.)	CL (ซม.)	WT (กรัม)
15 วัน	3.09-4.26	1.60-2.08	5.44-9.96	2.85-3.98	1.51-1.98	6.12-9.00
30 วัน	4.25-4.98	2.25-2.64	16.62-18.75	4.17-4.60	2.20-2.67	19.22-22.79
45 วัน	6.71-7.19	3.50-3.63	22.40-25.61	6.96-7.82	3.39-3.76	22.94-28.32
60 วัน	6.69-7.34	3.41-3.70	24.90-29.95	7.46-7.71	3.54-3.97	29.59-34.90
75 วัน	7.47-7.76	3.96-4.14	29.22-31.45	7.88-8.36	3.89-4.15	39.48-46.99
90 วัน	8.12-8.60	3.88-4.20	38.47-45.18	8.52-9.56	4.37-4.60	47.66-67.73
105 วัน	8.32-8.96	4.03-4.32	44.91-50.23	8.83-10.32	4.46-5.26	57.75-84.93
120 วัน	8.98-9.33	4.48-4.70	54.35-57.57	9.85-10.68	4.49-5.16	59.60-89.19

หมายเหตุ : CW = ความกว้างกระดอง CL = ความยาวกระดอง WT = น้ำหนักตัว

ตารางผนวกที่ ก6 อัตรารอดตายของปูม้าระหว่างการเลี้ยงในระบบจำลองบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำเก่า และ บ่อเลี้ยงสัตว์น้ำที่ปรับปรุงใหม่

ระยะ เวลาเลี้ยง	ระบบจำลองบ่อเก่า			ระบบจำลองบ่อใหม่		
	บ่อที่ 1	บ่อที่ 2	บ่อที่ 3	บ่อที่ 1	บ่อที่ 2	บ่อที่ 3
15 วัน	100%	91.66%	91.66%	100%	91.66%	100%
30 วัน	83.33%	83.33%	66.66%	91.66%	83.33%	91.66%
45 วัน	75.00%	58.33%	58.33%	83.33%	58.33%	83.33%
60 วัน	66.66%	58.33%	58.33%	66.66%	58.33%	83.33%
75 วัน	50.00%	41.66%	58.33%	66.66%	50.00%	41.66%
90 วัน	50.00%	33.33%	41.66%	66.66%	50.00%	41.66%
105 วัน	41.66%	33.33%	41.66%	66.66%	41.66%	41.66%
120 วัน	41.66%	33.33%	33.33%	66.66%	33.33%	41.66%

ตารางผนวกที่ ก7 อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (ADG) ของปูม้าที่เลี้ยงในระบบจำลองบ่อเลี้ยง
สัตว์น้ำเก่า และบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำที่ปรับปรุงใหม่ที่ระยะเวลาการเลี้ยง 120 วัน

ชุดทดลองที่	พารามิเตอร์	บ่อที่ 1	บ่อที่ 2	บ่อที่ 3
1	น้ำหนักตัวเริ่มต้นเฉลี่ย (กรัม)	0.50	0.50	0.50
	น้ำหนักตัวสุดท้ายเฉลี่ย (กรัม)	57.35	57.57	54.85
	อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย (กรัม/วัน)	0.47	0.47	0.45
2	น้ำหนักตัวเริ่มต้นเฉลี่ย (กรัม)	0.50	0.50	0.50
	น้ำหนักตัวสุดท้ายเฉลี่ย (กรัม)	59.60	78.27	89.19
	อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย (กรัม/วัน)	0.49	0.64	0.73

หมายเหตุ : ชุดทดลองที่ 1 = การเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเก่า
ชุดทดลองที่ 2 = การเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อใหม่

ตารางผนวกที่ 8 ปริมาณอาหารที่ให้ปูม้าในแต่ละช่วงการเลี้ยง (กรัม) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) และผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่ของปูม้าที่เลี้ยงในระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่าและบ่อเลี้ยงใหม่

ช่วงการเลี้ยง	ปริมาณอาหารที่ให้ปูม้า ในระบบจำลองบ่อเก่า			ปริมาณอาหารที่ให้ปูม้า ในระบบจำลองบ่อใหม่		
	บ่อที่ 1	บ่อที่ 2	บ่อที่ 3	บ่อที่ 1	บ่อที่ 2	บ่อที่ 3
1-15 วัน	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4
16-30 วัน	151.2	152.6	91.0	145.6	93.8	151.2
31-45 วัน	128.8	130.2	92.4	147.0	158.2	158.2
46-60 วัน	161.0	116.2	109.2	196.0	112.0	197.4
61-75 วัน	159.6	145.6	121.8	182.0	170.8	205.8
76-90 วัน	131.6	106.4	142.8	219.8	196.0	159.6
91-105 วัน	189.0	106.4	154.0	355.6	198.8	236.6
106-120 วัน	175.0	124.6	166.6	322.0	190.4	296.8
รวมปริมาณ อาหารที่ให้ทั้งหมด (กรัม)	1104.6	890.4	886.2	1576.4	1128.4	1414.0
น้ำหนักผลผลิตสุดท้าย (กรัม)	286.46	230.28	219.41	476.77	313.06	445.95
น้ำหนักผลผลิตเริ่มต้น (กรัม)	6	6	6	6	6	6
FCR	3.93	3.97	4.15	3.35	3.67	3.21
ผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่ (กก./ตร.ม.)	0.07	0.06	0.06	0.13	0.08	0.12
ผลผลิตต่อไร่ (กก./ไร่)	119.47	98.13	89.60	200.53	132.27	187.73

ตารางผนวกที่ ก9 แสดงสัดส่วนของอนุภาคดินทราย (Sand) อนุภาคทรายแป้ง (Silt) อนุภาคดินเหนียว (Clay) และประเภทเนื้อดิน (Soil texture) ของการเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำเก่า และบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำใหม่ที่ระดับความลึกของดิน 0 -10 เซนติเมตร

ชุดการทดลอง	อายุการเลี้ยง	สัดส่วนของอนุภาคดิน			ประเภทเนื้อดิน
		% Sand	% Silt	% Clay	
การเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเก่า	เริ่มต้น	95.14	2.86	2.00	Sand
	30 วัน	94.92	3.08	2.00	Sand
	60 วัน	93.14	4.86	2.00	Sand
	90 วัน	95.14	2.86	2.00	Sand
	120 วัน	93.14	4.86	2.00	Sand
การเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อใหม่	เริ่มต้น	81.14	6.86	12.00	Sandy loam
	30 วัน	75.28	10.72	14.00	Sandy loam
	60 วัน	73.14	12.86	14.00	Sandy loam
	90 วัน	75.14	12.86	12.00	Sandy loam
	120 วัน	73.14	12.86	14.00	Sandy loam

ตารางผนวกที่ ก10 แสดงค่าฟิเอชของดินพื้นบ่อขณะเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำเก่า และบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำที่ปรับปรุงใหม่

อายุ การเลี้ยง	การเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเก่า			การเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อใหม่		
	บ่อที่	ชั้นดิน	pH	บ่อที่	ชั้นดิน	pH
เริ่มต้น	1	0-5 ซม.	8.08	1	0-5 ซม.	6.97
		6-10 ซม.	8.18		6-10 ซม.	6.78
	2	0-5 ซม.	7.88	2	0-5 ซม.	6.54
		6-10 ซม.	7.99		6-10 ซม.	6.30
	3	0-5 ซม.	7.90	3	0-5 ซม.	6.45
		6-10 ซม.	7.89		6-10 ซม.	6.27
30 วัน	1	0-5 ซม.	7.85	1	0-5 ซม.	7.34
		6-10 ซม.	8.26		6-10 ซม.	6.92
	2	0-5 ซม.	7.80	2	0-5 ซม.	7.13
		6-10 ซม.	7.43		6-10 ซม.	7.05
	3	0-5 ซม.	7.65	3	0-5 ซม.	6.81
		6-10 ซม.	7.90		6-10 ซม.	7.04
60 วัน	1	0-5 ซม.	7.84	1	0-5 ซม.	6.39
		6-10 ซม.	8.11		6-10 ซม.	6.41
	2	0-5 ซม.	7.66	2	0-5 ซม.	7.29
		6-10 ซม.	8.01		6-10 ซม.	6.82
	3	0-5 ซม.	7.82	3	0-5 ซม.	6.73
		6-10 ซม.	8.02		6-10 ซม.	6.78
90 วัน	1	0-5 ซม.	7.02	1	0-5 ซม.	7.02
		6-10 ซม.	7.75		6-10 ซม.	7.68
	2	0-5 ซม.	7.84	2	0-5 ซม.	7.67
		6-10 ซม.	8.05		6-10 ซม.	7.27
	3	0-5 ซม.	7.72	3	0-5 ซม.	7.23
		6-10 ซม.	8.06		6-10 ซม.	7.14
120 วัน	1	0-5 ซม.	7.49	1	0-5 ซม.	6.42
		6-10 ซม.	7.69		6-10 ซม.	7.58
	2	0-5 ซม.	7.70	2	0-5 ซม.	7.43
		6-10 ซม.	8.36		6-10 ซม.	7.91
	3	0-5 ซม.	8.28	3	0-5 ซม.	7.98
		6-10 ซม.	8.26		6-10 ซม.	8.00

ตารางผนวกที่ ก11 แสดงปริมาณซัลไฟด์ (AVS) ในดินพื้นบ่อขณะเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำเก่า และบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำที่ปรับปรุงใหม่

อายุ การเลี้ยง	การเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเก่า			การเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อใหม่		
	บ่อที่	ชั้นดิน	AVS (มก./ก. นน.ดินแห้ง)	บ่อที่	ชั้นดิน	AVS (มก./ก. นน.ดินแห้ง)
เริ่มต้น	1	0-5 ซม.	0.0804	1	0-5 ซม.	0
		6-10 ซม.	0.0786		6-10 ซม.	0
	2	0-5 ซม.	0.0325	2	0-5 ซม.	0
		6-10 ซม.	0.0035		6-10 ซม.	0
	3	0-5 ซม.	0.0547	3	0-5 ซม.	0
		6-10 ซม.	0.0168		6-10 ซม.	0
30 วัน	1	0-5 ซม.	0.0803	1	0-5 ซม.	0.0911
		6-10 ซม.	0.0491		6-10 ซม.	0.0079
	2	0-5 ซม.	0.0951	2	0-5 ซม.	0.0240
		6-10 ซม.	0.0434		6-10 ซม.	0.0041
	3	0-5 ซม.	0.0715	3	0-5 ซม.	0.1376
		6-10 ซม.	0.0331		6-10 ซม.	0.0081
60 วัน	1	0-5 ซม.	0.1402	1	0-5 ซม.	0.0042
		6-10 ซม.	0.1762		6-10 ซม.	0.0041
	2	0-5 ซม.	0.2043	2	0-5 ซม.	0.6593
		6-10 ซม.	0.0595		6-10 ซม.	0.6218
	3	0-5 ซม.	0.0371	3	0-5 ซม.	0.1286
		6-10 ซม.	0.0352		6-10 ซม.	0.0412
90 วัน	1	0-5 ซม.	0.0663	1	0-5 ซม.	0.6565
		6-10 ซม.	0.0532		6-10 ซม.	0.6746
	2	0-5 ซม.	0.1552	2	0-5 ซม.	0.5663
		6-10 ซม.	0.1491		6-10 ซม.	0.5210
	3	0-5 ซม.	0.0604	3	0-5 ซม.	0.5136
		6-10 ซม.	0.0602		6-10 ซม.	0.0961
120 วัน	1	0-5 ซม.	0.0929	1	0-5 ซม.	0.1202
		6-10 ซม.	0.0063		6-10 ซม.	0.0161
	2	0-5 ซม.	0.0871	2	0-5 ซม.	0.1418
		6-10 ซม.	0.0391		6-10 ซม.	0.0318
	3	0-5 ซม.	0.1298	3	0-5 ซม.	0.1294
		6-10 ซม.	0.0732		6-10 ซม.	0.0561

ตารางผนวกที่ ก12 แสดงปริมาณแอมโมเนียในดินพื้นบ่อขณะเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเลี้ยง
สัตว์น้ำเก่า และบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำที่ปรับปรุงใหม่

อายุ การเลี้ยง	การเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเก่า			การเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อใหม่		
	บ่อที่	ชั้นดิน	ปริมาณแอมโมเนีย (มก./กก.)	บ่อที่	ชั้นดิน	ปริมาณแอมโมเนีย (มก./กก.)
เริ่มต้น	1	0-5 ซม.	0.00	1	0-5 ซม.	5.60
		6-10 ซม.	0.00		6-10 ซม.	3.21
	2	0-5 ซม.	0.00	2	0-5 ซม.	6.55
		6-10 ซม.	17.34		6-10 ซม.	2.08
	3	0-5 ซม.	13.78	3	0-5 ซม.	4.49
		6-10 ซม.	14.67		6-10 ซม.	4.35
30 วัน	1	0-5 ซม.	0.00	1	0-5 ซม.	15.54
		6-10 ซม.	0.00		6-10 ซม.	19.23
	2	0-5 ซม.	0.00	2	0-5 ซม.	11.68
		6-10 ซม.	84.53		6-10 ซม.	2.24
	3	0-5 ซม.	80.13	3	0-5 ซม.	14.22
		6-10 ซม.	0.00		6-10 ซม.	13.94
60 วัน	1	0-5 ซม.	0.00	1	0-5 ซม.	5.46
		6-10 ซม.	4.49		6-10 ซม.	7.83
	2	0-5 ซม.	6.42	2	0-5 ซม.	16.48
		6-10 ซม.	4.82		6-10 ซม.	16.99
	3	0-5 ซม.	0.00	3	0-5 ซม.	3.69
		6-10 ซม.	0.00		6-10 ซม.	5.60
90 วัน	1	0-5 ซม.	1.76	1	0-5 ซม.	0.00
		6-10 ซม.	0.00		6-10 ซม.	0.00
	2	0-5 ซม.	84.98	2	0-5 ซม.	0.00
		6-10 ซม.	77.76		6-10 ซม.	0.96
	3	0-5 ซม.	0.00	3	0-5 ซม.	1.28
		6-10 ซม.	0.00		6-10 ซม.	0.64
120 วัน	1	0-5 ซม.	90.43	1	0-5 ซม.	7.18
		6-10 ซม.	94.87		6-10 ซม.	5.60
	2	0-5 ซม.	0.00	2	0-5 ซม.	20.51
		6-10 ซม.	0.00		6-10 ซม.	0.00
	3	0-5 ซม.	84.35	3	0-5 ซม.	4.32
		6-10 ซม.	78.40		6-10 ซม.	3.21

ตารางผนวกที่ ก13 แสดงปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินพื้นบ่อขณะเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อ
เลี้ยงสัตว์น้ำเก่า และบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำที่ปรับปรุงใหม่

อายุ การเลี้ยง	การเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเก่า			การเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อใหม่		
	บ่อที่	ชั้นดิน	ปริมาณสารอินทรีย์รวม (%)	บ่อที่	ชั้นดิน	ปริมาณสารอินทรีย์รวม (%)
เริ่มต้น	1	0-5 ซม.	5.51	1	0-5 ซม.	4.46
		6-10 ซม.	1.55		6-10 ซม.	4.79
	2	0-5 ซม.	4.80	2	0-5 ซม.	5.84
		6-10 ซม.	4.51		6-10 ซม.	4.16
	3	0-5 ซม.	1.42	3	0-5 ซม.	1.56
		6-10 ซม.	1.13		6-10 ซม.	1.14
30 วัน	1	0-5 ซม.	4.93	1	0-5 ซม.	4.68
		6-10 ซม.	4.28		6-10 ซม.	4.44
	2	0-5 ซม.	3.04	2	0-5 ซม.	5.49
		6-10 ซม.	7.99		6-10 ซม.	5.01
	3	0-5 ซม.	1.28	3	0-5 ซม.	1.29
		6-10 ซม.	1.25		6-10 ซม.	1.26
60 วัน	1	0-5 ซม.	3.75	1	0-5 ซม.	21.71
		6-10 ซม.	11.98		6-10 ซม.	4.95
	2	0-5 ซม.	8.77	2	0-5 ซม.	4.17
		6-10 ซม.	7.19		6-10 ซม.	3.36
	3	0-5 ซม.	1.51	3	0-5 ซม.	1.53
		6-10 ซม.	1.44		6-10 ซม.	2.72
90 วัน	1	0-5 ซม.	9.59	1	0-5 ซม.	4.83
		6-10 ซม.	7.28		6-10 ซม.	4.59
	2	0-5 ซม.	4.35	2	0-5 ซม.	3.82
		6-10 ซม.	12.95		6-10 ซม.	5.80
	3	0-5 ซม.	1.18	3	0-5 ซม.	1.19
		6-10 ซม.	1.47		6-10 ซม.	1.60
120 วัน	1	0-5 ซม.	11.01	1	0-5 ซม.	5.14
		6-10 ซม.	11.60		6-10 ซม.	5.24
	2	0-5 ซม.	5.07	2	0-5 ซม.	5.77
		6-10 ซม.	6.38		6-10 ซม.	4.44
	3	0-5 ซม.	7.28	3	0-5 ซม.	3.73
		6-10 ซม.	10.47		6-10 ซม.	2.78

ตารางผนวกที่ ก14 ค่าคุณภาพน้ำของการเลี้ยงปูม้าแบบปกติ เลี้ยงแยกกันภายในบ่อ และเลี้ยงโดยใช้วัสดุหลบซ่อน

ชุดการทดลอง	ซ้ำที่	ออกซิเจน (mg/l)		พีเอช		อุณหภูมิ (°C)		ความเค็ม	ความเป็นด่าง	แอมโมเนีย	ไนไตรท์
		เช้า	บ่าย	เช้า	บ่าย	เช้า	บ่าย	(ppt)	(mg/l as CaCO ₃)	(mg-N/l)	(mg-N/l)
1	1	3.94-4.25	4.71-6.59	7.4-7.6	7.6-7.7	27.6-29.8	28.3-31.9	33-35	98-134	0.000-0.090	0.000-0.064
	2	4.00-4.28	5.05-6.98	7.5-7.7	7.6-7.7	28.7-29.6	28.2-31.9	30-36	101-149	0.000-0.184	0.000-0.035
	3	3.86-4.33	4.96-6.93	7.6-7.8	7.6-7.7	28.6-29.5	28.2-31.9	28-35	105-144	0.000-0.140	0.000-0.037
	เฉลี่ย	4.14±0.12 ^b	6.30±0.50 ^b	7.60±0.08 ^a	7.67±0.04 ^a	29.20±0.29 ^a	31.12±0.95 ^a	33.87±1.50 ^a	126.07±13.12 ^a	0.0550±0.0503 ^a	0.0151±0.0145 ^b
2	1	4.21-4.69	4.88-7.12	7.5-7.8	7.5-7.7	28.7-29.8	28.2-31.7	28-36	100-148	0.000-0.174	0.000-0.134
	2	4.25-4.96	4.88-8.14	7.5-7.7	7.5-7.7	28.7-29.9	28.0-31.8	28-36	101-149	0.000-0.177	0.000-0.091
	3	4.22-4.60	4.91-7.97	7.6-8.0	7.6-7.9	28.9-29.8	26.5-31.8	31-35	91-1561	0.000-0.164	0.000-0.150
	เฉลี่ย	4.50±0.19 ^a	6.67±0.69 ^a	7.66±0.09 ^a	7.70±0.09 ^a	29.30±0.28 ^a	31.17±1.14 ^a	33.17±2.23 ^a	125.41±17.45 ^a	0.0824±0.0538 ^a	0.0459±0.0473 ^a
3	1	3.97-4.50	6.33-6.98	7.4-7.7	7.6-7.7	28.6-29.4	31.0-31.7	33-35	98-149	0.000-0.174	0.000-0.134
	2	3.94-4.60	6.45-7.41	7.4-7.7	7.7-7.8	28.8-29.6	31.0-31.7	32-35	98-149	0.000-0.184	0.000-0.099
	3	3.74-4.18	5.13-6.14	7.6-7.8	7.6-7.7	27.6-29.8	29.4-31.9	28-35	105-139	0.000-0.174	0.000-0.208
	เฉลี่ย	4.13±0.24 ^b	6.31±0.48 ^b	7.60±0.08 ^a	7.70±0.04 ^a	29.10±0.39 ^a	31.30±0.44 ^a	33.66±1.54 ^a	122.97±13.52 ^a	0.0702±0.0619 ^a	0.0415±0.0558 ^a

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ (P<0.05)

ชุดการทดลองที่ 1 = ปูม้าที่เลี้ยงแบบปกติ

ชุดการทดลองที่ 2 = ปูม้าที่เลี้ยงแยกกันภายในบ่อ

ชุดการทดลองที่ 3 = ปูม้าที่เลี้ยงโดยใช้วัสดุหลบซ่อน

ตารางผนวกที่ ก15 ค่าคุณภาพน้ำของการเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเลี้ยงเก่า และบ่อเลี้ยงใหม่

ชุดการทดลอง	ซ้ำที่	ออกซิเจน (mg/l)		พีเอช		อุณหภูมิ (°C)		ความเค็ม (ppt)	ความเป็นด่าง (mg/l as CaCO ₃)	แอมโมเนีย (mg-N/l)	ไนไตรท์ (mg-N/l)
		เช้า	บ่าย	เช้า	บ่าย	เช้า	บ่าย				
1	1	3.74-3.93	5.13-6.18	7.5-7.7	7.4-7.7	28.1-29.7	26.6-31.5	34-36	108-154	0.000-0.141	0.029-0.239
	2	3.81-4.29	5.71-5.99	7.5-7.7	7.4-7.7	27.7-29.5	26.2-31.5	34-35	93-141	0.000-0.098	0.007-0.339
	3	3.87-4.25	5.59-5.87	7.5-7.7	7.6-7.7	27.8-29.3	26.7-31.4	34-35	100-142	0.000-0.093	0.014-0.325
	เฉลี่ย	3.95±0.16 ^b	5.80±0.24 ^b	7.57±0.06 ^a	7.64±0.07 ^a	28.90±0.48 ^a	30.74±1.33 ^a	34.61±1.13 ^a	124.41±13.47 ^a	0.0432±0.0395 ^a	0.1431±0.1122 ^a
2	1	3.94-4.25	4.71-6.59	7.4-7.6	7.6-7.7	27.6-29.8	28.3-31.9	33-35	98-134	0.000-0.090	0.000-0.064
	2	4.00-4.28	5.05-6.98	7.5-7.7	7.6-7.7	28.7-29.6	28.2-31.9	30-36	101-149	0.000-0.184	0.000-0.035
	3	3.86-4.33	4.96-6.93	7.6-7.8	7.6-7.7	28.6-29.5	28.2-31.9	28-35	105-144	0.000-0.140	0.000-0.037
	เฉลี่ย	4.14±0.12 ^a	6.30±0.50 ^a	7.60±0.08 ^a	7.67±0.04 ^a	29.20±0.29 ^a	31.12±0.95 ^a	33.87±1.50 ^a	126.07±13.12 ^a	0.0550±0.0503 ^a	0.0151±0.0145 ^b

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรต่างกันในแนวดิ่งแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ (P<0.05)

ชุดทดลองที่ 1 = การเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อเก่า

ชุดทดลองที่ 2 = การเลี้ยงปูม้าในระบบจำลองบ่อใหม่



ภาคผนวก ข

วิธีการวิเคราะห์เนื้อดิน พีเอช แอมโมเนีย ซัลไฟด์รวม และสารอินทรีย์รวมในดิน

การวิเคราะห์เนื้อดินโดย Hydrometer method (APHA *et al.* 1995)

หลักการ

การหาขนาดอนุภาคดินตะกอนโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์ อาศัยหลักการตกตะกอนของอนุภาคของสารแขวนลอยที่มีน้ำเป็นตัวกลางของการแขวนลอย อนุภาคเดี่ยวแต่ละขนาดจะต้องกระจายอย่างสม่ำเสมอในทุก ๆ ส่วนของสารแขวนลอยในขณะที่เริ่มทำการวิเคราะห์ ปล่อยให้อนุภาคเหล่านี้ตกตะกอนตามแรงโน้มถ่วงของโลก ถ้ากำหนดความลึก และระยะเวลาในการตกตะกอนก็สามารถหาการกระจายของอนุภาคต่าง ๆ ในสารแขวนลอยนั้นได้

สารเคมี

1. สารละลาย Calgon 5%

ละลาย Sodium hexametaphosphate (NaPO_3)₆ 35.7 กรัม และ Sodium carbonate anhydrous (Na_2CO_3) 37.94 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตรใน Volumetric flask (สารละลายแคลกอนนี้ให้โซเดียมไอออน ซึ่งเป็นตัวช่วยส่งเสริมการกระจายของอนุภาคดินเหนียวของดิน)

2. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) 36%

วิธีการ

1. เตรียมดินโดยการกำจัดอินทรีย์วัตถุด้วย H_2O_2 แล้วร่อนดินในน้ำผ่านตะแกรงขนาดตา 2 มิลลิเมตร เพื่อล้างเกลือที่ละลายได้ออกไปจากดิน ทำให้แห้ง

2. ชั่งตัวอย่างดินตะกอนแห้งที่ร่อนผ่านตะแกรง 2 มิลลิเมตร จำนวน 50 กรัม เติมสารละลาย Calgon 5% 50 มิลลิลิตร และน้ำกลั่นประมาณ 300 มิลลิลิตร คนให้ทั่ว ทิ้งไว้ค้างคืน

3. ปั่นกวนส่วนผสมโดยใช้เครื่องผสมไฟฟ้าประมาณ 1-2 นาที เพื่อให้เม็ดดินที่จับเป็นก้อนแยกออกกัน เทลงในกระบอกตักตะกอน ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างเศษดินตะกอนจากเครื่องผสมลงให้หมดเติมให้ได้ 1 ลิตร

4. ใส่สารละลาย Calgon 5% ลงในกระบอกตวงไว้ข้างๆ อีก 1 กระบอก ไว้เพื่ออ่านค่าปรับแก้ผลเนื่องจากอุณหภูมิ และแก้ไขไฮโดรมิเตอร์ในระหว่างที่ไม่ใช้วัด

5. ใช้จุกยางปิดปากกระบอกตักตะกอน เขย่าส่วนผสมให้เข้าโดยสม่ำเสมอ แล้ววางลงเริ่มจับเวลาทันที

6. หย่อนไฮโดรมิเตอร์ลงไป อ่านค่าที่เวลา 40 วินาทีแรก จดบันทึกค่าที่อ่านได้ และวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมมิเตอร์ พร้อมกับบันทึกค่าที่วัดได้

7. ทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง วัดด้วยไฮโดรมิเตอร์ (จับเวลา 40 วินาที แล้วอ่านค่า) บันทึกผลและวัดอุณหภูมิอีกครั้ง

คำนวณเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของทราย ทรายแป้ง และดินเหนียวโดยใช้สูตร

$$\% \text{ silt + clay} = \frac{(R_s - R_b) + 0.36 (t_s - t_b)}{W_d} \times 100$$

เมื่อ	R_s	คือ ค่าไฮโดรมิเตอร์ ของตัวอย่างที่ 40 วินาทีแรก
	R_b	คือ ค่าไฮโดรมิเตอร์ ของ blank ที่ 40 วินาทีแรก
	t_s	คือ ค่าอุณหภูมิ ของตัวอย่าง ที่ 40 วินาทีแรก
	t_b	คือ ค่าอุณหภูมิ ของ blank ที่ 40 วินาทีแรก
	W_d	คือ น้ำหนักดินแห้ง (g)

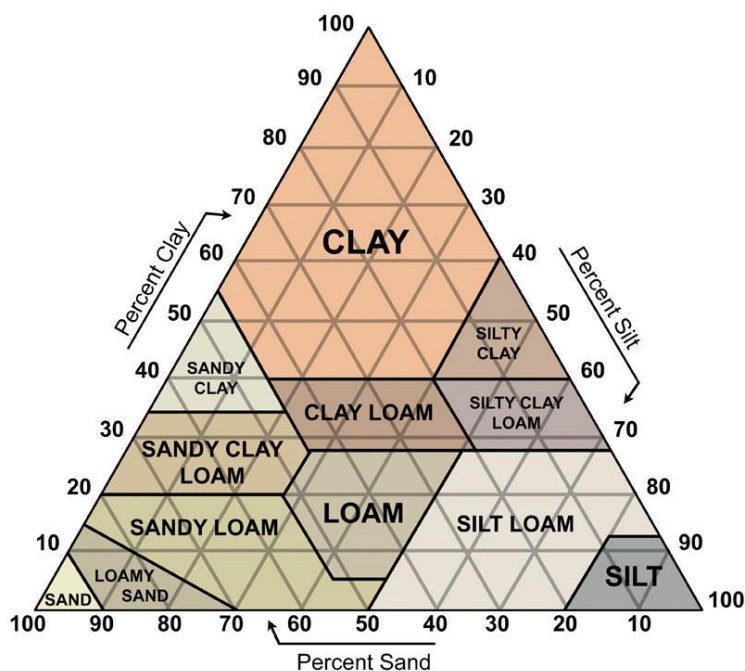
$$\% \text{ clay} = \frac{(R_{s2} - R_{b2}) + 0.36 (t_{s2} - t_{b2})}{W_d} \times 100$$

เมื่อ R_s คือ ค่าไฮโดรมิเตอร์ ของตัวอย่าง ที่ 2 ชั่วโมง
 R_b คือ ค่าไฮโดรมิเตอร์ ของ blank ที่ 2 ชั่วโมง
 t_s คือ ค่าอุณหภูมิ ของตัวอย่าง ที่ 2 ชั่วโมง
 t_b คือ ค่าอุณหภูมิ ของ blank ที่ 2 ชั่วโมง
 W_d คือ น้ำหนักดินแห้ง (g)

$$\% \text{ silt} = (\% \text{ silt} + \text{clay}) - \% \text{ clay}$$

$$\% \text{ sand} = 100 - (\% \text{ silt} + \text{clay})$$

เมื่อทราบค่าเปอร์เซ็นต์ทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว แล้วนำตัวเลขนี้ไปเทียบกับตารางสามเหลี่ยมสำหรับพิจารณาประเภทเนื้อดิน ก็จะทราบว่าเนื้อดินชนิดใด



การวิเคราะห์หาพีเอชของดิน (Dewis and Freitas, 1976)

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างดินตะกอนเปียกมาประมาณ 10 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
2. กรณีที่เป็นตัวอย่างดินตะกอนในเขตน้ำจืด เติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร แต่ถ้าเป็นตัวอย่างดินตะกอนบริเวณที่น้ำมีความเค็มเติมสารละลาย 1N KCl แทน โดยเตรียม 1N KCl ได้จากละลาย KCl 71.6 กรัม ในน้ำกลั่น 1000 มิลลิลิตร
3. กวนให้เนื้อดินตะกอนผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที จึงวัดความเป็นกรดต่างจากสารละลายใส่ที่อยู่ส่วนบนด้วยวิธีการเดียวกันกับการวัดความเป็นกรดต่างของน้ำ

การวิเคราะห์หาแอมโมเนียในดินตะกอน (Chuan and Sugahara, 1984)

วิธีการ

1. เตรียมสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 3% โดยละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) 30 กรัม ในน้ำกลั่น เจือจางให้ได้ 1000 มิลลิลิตร
2. การสกัดแอมโมเนียจากดินตะกอน
 - 2.1 ชั่งดินตะกอนเปียกประมาณ 25 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 – 250 มิลลิลิตร จดบันทึกน้ำหนักดินตะกอนเปียกที่ชั่งได้
 - 2.2 เติมสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 3% 100 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ ใช้แท่งแก้วกวนให้ดินตะกอนเข้ากับสารละลาย เทลงในขวดพลาสติกขนาด 500 มิลลิลิตร เติมสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 3 % อีก 300 มิลลิลิตร ปิดฝาให้สนิท เขย่าแล้วแช่ในตู้เย็น ทิ้งไว้ 1 คืน

2.3 คู่มือสารละลายส่วนที่ใส่มากรองผ่านแผ่นกรอง GF/C แล้วทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีการเช่นเดียวกับการวิเคราะห์แอมโมเนียในน้ำ

การวิเคราะห์ปริมาณซัลไฟด์ในดิน (Meksumpun and Meksumpun, 1999)

หลักการ

วิเคราะห์ในรูปของ acid voltaic sulfides ซึ่งมีหลักการคือ เปลี่ยนรูปซัลไฟด์ในดินตะกอนจากรูปต่างๆ เช่น HS^- , S^{2-} , FeS และ FeS_2 ให้อยู่ในรูปก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) โดยใช้กรดซัลฟูริก 18N ลงไปทำปฏิกิริยา หลังจากนั้นจึงวัดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ทั้งหมดในดินตะกอนโดยใช้ Hedrotek column หรือเรียกว่า AVS test column

การที่ Hedrotek column สามารถวัดปริมาณซัลไฟด์ทั้งหมดในรูปก๊าซที่ผ่าน column ได้เนื่องจากภายในของ Hedrotek column จะประกอบด้วยสารที่สามารถทำปฏิกิริยากับซัลไฟด์แล้วเกิดการเปลี่ยนสีจากสีขาวเป็นสีน้ำตาลแดง

วิธีการ

1. ชั่งน้ำหนักดินเปียกประมาณ 1-2 กรัม นำไปใส่ในหลอด sulfide reaction column และใช้น้ำกลั่นฉีดล้างเศษดินตะกอนที่ติดอยู่ข้างหลอดให้ตัวอย่างดินลงไปอยู่ก้นหลอดให้หมด แล้วปิดฝา column

2. ต่อสายยางเชื่อมระหว่าง sulfide reaction column ไปยัง Hedrotek column ที่หักปลายทั้งสองข้างออกแล้ว และเชื่อมไปยังเครื่องสูญญากาศ

3. ใส่ 18 N sulfuric acid ลงใน sulfide reaction column ทางช่องใส่กรดจำนวน 2 มิลลิลิตร เพื่อให้กรดซัลฟูริกลงไปทำปฏิกิริยากับซัลไฟด์รูปต่างๆ ให้อยู่ในรูปก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์พร้อมกันนั้นก็เปิดเครื่องดูดอากาศ เพื่อดูดไอระเหยของซัลไฟด์ผ่านเข้าสู่ Hedrotek column นานประมาณ 2 นาที

4. อ่านค่าปริมาณซัลไฟด์ จากการที่สารซึ่งบรรจุอยู่ภายใน Hedrotek column เปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีน้ำตาลแดง โดยการอ่านค่าจะเทียบความยาวของสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นกับสเกล Hedrotek column เรียกค่านี้ว่า red value โดยค่าที่อ่านได้นี้จะมีหน่วยเป็นมิลลิกรัมของซัลไฟด์ทั้งหมด จากน้ำหนักดินเปียกที่ใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งจะต้องนำค่านี้ไปคำนวณเพื่อเปลี่ยนหน่วยของซัลไฟด์ให้อยู่ในรูปมิลลิกรัมต่อกรัมของน้ำหนักแห้ง ดังนี้

$$\text{ปริมาณซัลไฟด์ (AVS) (มก./ก. นน. ดินแห้ง)} = \frac{\text{read value}}{\text{น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)}}$$

โดยน้ำหนักดินแห้งคำนวณได้ดังนี้

$$\text{น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)} = \frac{\text{น้ำหนักดินเปียก (กรัม)} \times (100 - \text{ปริมาณน้ำในดิน})}{100}$$

5. การหาปริมาณน้ำในดิน (Water content)

5.1 นำตัวอย่างดินตะกอนเปียกมาทำให้เป็นเนื้อเดียวกันก่อนที่จะตัดตัวอย่างลงในกระทง aluminium foil ที่ผ่านการชั่งน้ำหนักแล้ว น้ำหนัก aluminium foil ที่ได้ควรใกล้เคียงกับ 0.1 มิลลิกรัม

5.2 ใส่ดินตะกอนเปียกประมาณ 1-2 กรัม ลงในกระทง aluminium foil แล้วชั่งน้ำหนัก ทำซ้ำ 3 ครั้ง จดบันทึกน้ำหนักดินเปียกที่ชั่งไว้ทุกครั้ง

5.3 นำตัวอย่างทั้งหมดไปอบที่ตู้อบ ที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เพื่อให้ น้ำที่มีอยู่ในดินระเหยออกไปให้หมด ปล่อยให้ดินตะกอน และ aluminium foil เย็นตัวในโถดูดความชื้น (dessicator) แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก จดบันทึกค่าที่ชั่งได้ เพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณน้ำในดินโดยใช้สูตร

$$\text{Water content (\%)} = \frac{(W_1 + W_2) - W_3}{W_2} \times 100$$

W_1 = น้ำหนัก aluminium foil
 W_2 = น้ำหนักดินตะกอนก่อนอบ
 W_3 = น้ำหนักดินตะกอน และ aluminium foil หลังอบ

การวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์รวมโดยวิธี Ignition loss

(Chareonpanich and Seurungreong, 1997)

วิธีการ

1. นำตัวอย่างดินตะกอนมาอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 °C นานประมาณ 1 วัน ปลอบให้เย็น
2. คัดเลือกเศษใบไม้ รากไม้ ตลอดจนสิ่งแปลกปนอื่นๆออกให้หมด แล้วนำมาบดให้ละเอียด ชั่งตัวอย่างดินที่บดแล้วใส่ใน crucible ที่ไล่ความชื้นออกแล้ว (โดยการนำ crucible ไปอบที่อุณหภูมิ 105 °C นาน 2 ชั่วโมง แล้วปลอบให้เย็นในโถดูดความชื้น)
3. หลังจากนั้นนำตัวอย่างดินที่ชั่งใส่ใน crucible ไปเผาที่อุณหภูมิ 500 °C นาน 3 ชั่วโมง แล้วปลอบให้เย็นในโถดูดความชื้นอีกครั้ง
4. ชั่งน้ำหนักหลังเผาแล้วคำนวณหาถ่าน้ำหนักที่หายไป และคำนวณค่า total organic matter ดังนี้

$$\text{total organic matter (TOM, \%)} = \frac{\text{นน.ดินก่อนเผา} - \text{นน.ดินหลังเผา}}{\text{นน.ดินก่อนเผา}} \times 100$$



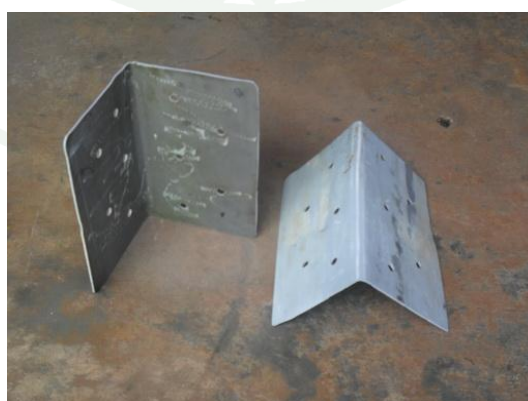
ภาคผนวก ค
ภาพประกอบการทำวิทยานิพนธ์



ภาพผนวกที่ ค1 บ่อทดลองขนาด 1.5x2.5x1.0 เมตร ที่ใส่ดินร่อนพื้นบ่อสูงประมาณ 20 เซนติเมตร



ภาพผนวกที่ ค2 การกั้นคอกภายในบ่อทดลองด้วยตะข่ายพลาสติกขนาดตา 1.2 เซนติเมตร ขนาดความกว้างxยาวคอกละ 0.5x0.6 เมตร จำนวน 12 คอก/บ่อ



ภาพผนวกที่ ค3 ลักษณะของแผ่นพลาสติกขนาดกว้าง 20 ซม. ยาว 30 ซม. สูง 10 ซม. ที่ใช้เป็นก้บัง หรือวัสดุหลบซ่อนภายในบ่อทดลองจำนวน 1 ที่หลบซ่อน/ตารางเมตร



(a)



(b)

ภาพผนวกที่ ค4 การวัดขนาดโดยใช้เวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์ (a) และชั่งน้ำหนักตัวปูด้วยเครื่องชั่ง
ทศนิยม 2 ตำแหน่ง (b) เพื่อปรับปริมาณอาหารที่ให้ทุก 15 วัน



ภาพผนวกที่ ค5 การเก็บตัวอย่างดินในบ่อทดลองที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตร ด้วยท่อพลาสติก
ใสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 เซนติเมตร



(a)



(b)

ภาพผนวกที่ ค6 การวิเคราะห์ปริมาณซัลไฟด์รวมในดิน (AVS) โดยต่อสายยางจาก sulfide reaction column ไปยัง hedrotek column จากนั้นต่อเข้ากับเครื่องดูดสุญญากาศ (a) แล้วอ่านค่าปริมาณซัลไฟด์จากสารซึ่งบรรจุอยู่ภายใน hedrotek column ที่เปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีน้ำตาลแดง (b)



(a)



(b)



(c)

ภาพผนวกที่ ค7 การหาขนาดอนุภาคของดินโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์ (a) หย่อนลงไปในกระบอกตักตะกอนแล้วอ่านค่าที่ไฮโดรมิเตอร์ (b และ c)



ภาพผนวกที่ ค8 ปูม้าจับคู่ผสมพันธุ์กันภายในบ่อทดลองเมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ 120 วัน

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ-นามสกุล	นายวุฒิชัย อ่อนเอี่ยม
วัน เดือน ปีเกิด	7 พฤศจิกายน 2519
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (ประมง) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	นักวิชาการประมง
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	สถานีวิจัยประมงคลองวาฬ ฝ่ายสนับสนุนวิชาการ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เลขที่ 447 หมู่ 1 ตำบลคลองวาฬ อำเภอเมือง จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ 77000 โทรศัพท์/โทรสาร 0-3266-1168
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ - ทุนการศึกษาที่ได้รับ -	