ผลของการใช้ยีสต์สกัดทดแทนปลาป่นบางส่วนในอาหารต่อการเติบโตของกุ้งกุลาดำ *Penaeus monodon*

นางสาวชนิกา คงสวัสดิ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2546
ISBN: 974-17-4169-3
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECT OF YEAST EXTRACT AS PARTIAL SUBSTITUTE FOR FISH MEAL IN DIETS ON GROWTH OF BLACK TIGER SHRIMP *Penaeus monodon*

Miss Chanika Kongsawat

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Marine Science
Department of Marine Science
Faculty of Science
Chulalongkorn University
Academic Year 2003

ISBN 974-17-4169-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของการใช้ยีสต์สกัดทดแทนปลาป่นบางส่วนในอาหารต่อการเติบโตของกุ้งกุลาดำ *Penaeus monodon*
โดย	นางสาวชนิกา คงสวัสดิ์
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์ทางทะเล
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.วรณพ วิยกาญจน์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร.นลิน นิลอุบล

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

…….. คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

…… ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ วิมล เหมะจันทร)

……... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร.วรณพ วิยกาญจน์)

……. อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รองศาสตราจารย์ ดร.นลิน นิลอุบล)

……. กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นางสาวชนิกา คงสวัสดิ์ : ผลของการใช้ยีสต์สกัดทดแทนปลาป่นบางส่วนในอาหารต่อการเติบโตของกุ้งกุลาดำ *Penaeus monodon*. (EFFECT OF YEAST EXTRACT AS PARTIAL SUBSTITUTE FOR FISH MEAL IN DIETS ON GROWTH OF BLACK TIGER SHRIMP *Penaeus monodon*) อ. ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร. วรณพ วิยกาญจน์, อ. ที่ปรึกษาร่วม: รศ. ดร. นลิน นิลอุบล, 83 หน้า. ISBN 974-17-4169-3.

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาอาหารสำเร็จรูปที่ใช้ในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ *Penaeus monodon* โดยการใช้ยีสต์สกัดทดแทนปลาป่นบางส่วนในอาหารต่อการเติบโตของกุ้ง ออกแบบการทดลองแบบ 2x4 factorial design โดยมี 2 ระดับโปรตีน (ร้อยละ 25 และ 35) และ 4 ระดับของยีสต์สกัด (ร้อยละ 0, 4, 8 และ 12) ที่ใช้เป็นส่วนผสมในอาหาร โดยทำการทดลอง 3 ครั้ง ผลการทดลองพบว่า กุ้งกลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีนและส่วนผสมของยีสต์สกัดสูง จะมีการเติบโตดีที่สุดและมีอัตรารอดสูง ในขณะที่กุ้งกลุ่มที่ได้รับอาหารที่ไม่มีส่วนผสมของยีสต์สกัดมีการเติบโตต่ำทั้งในกลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีนร้อยละ 25 และ 35 ทั้งนี้กุ้งกลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีนและส่วนผสมของยีสต์สกัดที่สูงกว่ามีการเติบโตที่ดีกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีนและส่วนผสมของยีสต์สกัดต่ำ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิทยาศาสตร์ทางทะเล	ลายมือชื่อนิสิต……
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์ทางทะเล	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา……
ปีการศึกษา 2546	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม……

4372241123 : MAJOR MARINE SCIENCE

KEY WORD: YEAST EXTRACT / PROTEIN / *Penaeus monodon* / DIETS / GROWTH

CHANIKA KONGSAWAT: EFFECT OF YEAST EXTRACT AS PARTIAL SUBSTITUTE FOR FISH MEAL IN DIETS ON GROWTH OF BLACK TIGER SHRIMP *Penaeus monodon*. THESIS ADVISOR : VORANOP VIYAKARN, Ph.D. THESIS COADVISOR : ASSO. PROF. NALINE NILUBOL, Ph.D. 83 pp. ISBN 974-17-4169-3

The aim of the present study was to develop diets for black tiger shrimp, *Penaeus monodon* using yeast extract to partially replace fish meal. The design of the experiment is a 2x4 factorial design in completely randomized design with 2 protein levels (25% and 35%) and 4 levels of yeast extract (0%, 4%, 8% and 12%) and conducted in 3 different trial. Shrimps fed high protein and yeast extract (35% protein, 12% yeast extract) showed the highest growth ($p<0.05$). Shrimps fed diets without yeast extract in both protein levels showed the lowest growth and elicited better growth when they were fed diet with higher level of yeast extract.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department ……Marine Science…….. Student's signature ……..

Field of study…….Marine Science……..… Advisor's signature……..

Academic year……2003……. Co-advisor's signature……..……..

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความอนุเคราะห์อย่างสูงจากอาจารย์ ดร.วรณพ วิยกาญจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์ ดร.นลิน นิลอุบล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆในระหว่างทำการวิจัย และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ จึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล ที่กรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นในการทำวิจัย ตลอดจนอาจารย์ประจำภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล ทุกท่านที่ให้ความรู้และอบรมสั่งสอนข้าพเจ้ามาโดยตลอด

ขอขอบคุณ คุณจริยา ฐิติเวศน์ คุณสามารถ อ่อนแป้น คุณเสรี ดอนเหนือ และพี่ๆ น้องๆ ที่ให้ความช่วยเหลือต่าง ๆ ในระหว่างการทำวิจัย

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดาผู้ให้กำเนิดและพี่ ที่ทำทุกสิ่งทุกอย่างอันเต็มเปี่ยมด้วยความรักและเมตตาแก่ข้าพเจ้าตลอดมา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย……..……..ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ……..จ

กิตติกรรมประกาศ……..ฉ

สารบัญ……..ช

สารบัญตาราง……..ซ

สารบัญรูป……..ฌ

บทที่ 1. บทนำ……1

- ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา……1
- วัตถุประสงค์……2
- ขอบเขตของการวิจัย……2
- ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ……2

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง……3
- ระบบทางเดินอาหารของกุ้งกุลาดำ……4
- สารอาหารที่กุ้งกุลาดำต้องการ……5
- ความแตกต่างระหว่างยีสต์กับยีสต์สกัด……11

3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง……18
- การวางแผนการทดลอง……18
- สถานที่ทดลอง……18
- อาหารทดลอง……18
- การเตรียมการทดลอง……24
- การเก็บข้อมูล……25
- การวิเคราะห์ผลการทดลอง……26

4. ผลการทดลอง……27
- คุณภาพอาหารทดลอง……27
- การเติบโตของกุ้งกุลาดำ……29
- อัตรารอดของกุ้งกุลาดำ……35
- คุณภาพน้ำ……37
- การเปรียบเทียบมูลค่าผลผลิตกับต้นทุนค่าอาหาร……38

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

5. สรุปและอภิปรายผลการทดลอง……..44
6. ข้อเสนอแนะ.....…….....47
รายการอ้างอิง.....….....…….48
ภาคผนวก.....……..…..52
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์……..…….83

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

1 ระดับกรดอะมิโนจำเป็นในปลาป่น ยีสต์สกัดและระดับกรดอะมิโนที่ควรมีในอาหารกุ้ง……8

2 องค์ประกอบของวิตามินบีในยีสต์……14

3 ปริมาณยีสต์สกัดและปลาป่นในสูตรอาหารโปรตีนร้อยละ 25 และ 35……19

4 คุณภาพวัตถุดิบที่ใช้ผลิตอาหารทดลอง……19

5 ปริมาณกรดอะมิโนจำเป็นในปลาป่นและยีสต์สกัด……20

6 ส่วนประกอบของอาหารทดลอง……21

7 คุณภาพและคุณสมบัติของอาหารทดลอง 8 สูตร……28

8 น้ำหนักเฉลี่ย (กรัมต่อตัว) ที่ได้รับอาหารทดลอง 8 สูตร……33

ก. การทดลองครั้งที่ 1……33

ข. การทดลองครั้งที่ 2……33

ค. การทดลองครั้งที่ 3……33

9 ความยาวเฉลี่ยกุ้ง (เซนติเมตรต่อตัว) ที่ได้รับอาหารทดลอง 8 สูตร……34

ก. การทดลองครั้งที่ 1……34

ข. การทดลองครั้งที่ 2……34

ค. การทดลองครั้งที่ 3……34

10 อัตรารอดของกุ้งกุลาดำที่ได้รับอาหารทดลอง 8 สูตร……36

11 คุณภาพน้ำระหว่างการทดลองของอาหาร 8 สูตร……37

12 ต้นทุนการผลิตอาหาร……41

13 เปรียบเทียบน้ำหนัก ความยาว อัตราการเติบโตและการตายของกุ้งกุลาดำที่ได้รับอาหารทดลอง 8 สูตร……62

14 คุณภาพน้ำที่สัตว์น้ำสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้อย่างปกติ……70

15 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของน้ำหนักเฉลี่ยกุ้งที่ได้รับอาหารทดลอง 8 สูตร……76

16 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความยาวเฉลี่ยกุ้งที่ได้รับอาหารทดลอง 8 สูตร……81

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

1. กุ้งกุลาดำ *Penaeus monodon* Fabricus…….…… 4
2. การทำงานของ digestive gland fluid ในลำไส้ส่วนหน้าของกุ้งสกุล *Penaeus* sp. เส้นประเป็นทางเดินของอาหารแข็งและเส้นทึบเป็นทางเดินของอาหารเหลวประกอบด้วย anterior chamber (AC), anterior diverticulum (AD), digestive gland opening (DG), filter press (FP), lateral grooves (LG), midgut (MG), ossicle of gastric mill (O), oesophagus (OES), posterior chamber (PC), dorsolater grooves (PCG), ventral grooves (VG).....…….....5
3. กรดอะมิโนและไดเปปไทด์…..... ..7
4. ลักษณะเซลล์ยีสต์……..….13
5. ขั้นตอนการเตรียมอาหารทดลอง……..……22
6. วิธีการทำอาหารทดลอง……..23
7. บ่อคอนกรีตขนาด 75x75x60 (กว้าง xยาว xสูง) เซนติเมตรระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิด…….....25
8. น้ำหนักเฉลี่ยของกุ้งกุลาดำที่ได้รับอาหารทดลอง 8 สูตร.....31
9. น้ำหนักรวมของกุ้งกุลาดำที่ได้รับอาหารทดลอง 8 สูตร…….....….31
10. น้ำหนักเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ได้รับอาหารทดลอง 8 สูตร.....…32
11. น้ำหนักรวมเมื่อสิ้นสุดการเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ได้รับอาหารทดลอง 8 สูตร.....…32
12. อัตรารอดของกุ้งกุลาดำที่ได้รับอาหารทดลอง 8 สูตร.....…….35

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันกุ้งกุลาดำเป็นสัตว์ที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศ เนื่องจากได้รับความนิยมจากผู้บริโภคต่างประเทศอย่างกว้างขวาง ทำให้จำนวนผู้เลี้ยงและพื้นที่ทำการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำเพิ่มมากขึ้นทุกปี และมีปริมาณรวมถึงมูลค่าในการส่งออกเพิ่มขึ้น การเลี้ยงโดยทั่วไปนิยมเลี้ยงแบบหนาแน่น (intensive) มีอัตราการปล่อยกุ้งประมาณ 50-60 ตัวต่อตารางเมตร และใช้อาหารสำเร็จรูป ตลอดจนนำเทคนิคที่ทันสมัยมาใช้พัฒนาระบบการเลี้ยง ทั้งนี้เพื่อเพิ่มผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่ให้สูงสุดภายในระยะเวลาอันสั้น

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเติบโตของกุ้ง ได้แก่ ปัจจัยด้านสภาวะแวดล้อมและปัจจัยด้านอาหาร ซึ่งปัจจัยด้านอาหารมีความสำคัญมากในการเร่งการเติบโตและเพิ่มผลผลิตของกุ้ง ซึ่งต้นทุนส่วนใหญ่ในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำมาจากค่าอาหารถึงร้อยละ 50-60 ด้วยสาเหตุดังกล่าว จึงมีการศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาคุณภาพของอาหารเพื่อให้กุ้งเติบโตดี มีสุขภาพแข็งแรงและปลอดต่อโรค การเสริมสารอาหารประเภทต่างๆ ในอาหารกุ้ง เช่น วิตามิน กรดอะมิโนจำเป็น หรือโปรไบโอติก (probiotic) จัดเป็นการเพิ่มคุณภาพของกุ้งให้ดีขึ้นเช่นกัน อย่างไรก็ตามอาหารกุ้งกุลาดำต้องประกอบด้วยโภชนาการครบถ้วน ได้แก่ กลุ่มโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรท เกลือแร่ และวิตามินที่เพียงพอต่อความต้องการในการดำรงชีวิต (maintenance) และการเติบโต (growth) ซึ่งมี 2 แบบ ได้แก่การเติบโตทางด้านร่างกาย (somatic growth) และ การเจริญพันธุ์ (reproductive growth)

การที่กุ้งกุลาดำมีกระเพาะอาหารและลำไส้ที่สั้นและตรง อาหารที่ให้กุ้งจึงควรเป็นอาหารที่ย่อยง่าย สามารถดูดซึมไปใช้ได้อย่างรวดเร็ว ลักษณะโปรตีนที่อยู่ในรูปของยีสต์สกัด (yeast extract) เป็นโครงสร้างที่กุ้งสามารถย่อยและดูดซึมไปใช้ได้ง่ายกว่าลักษณะโปรตีนจากพืชและสัตว์ที่ไม่ได้ผ่านการย่อยซึ่งโดยมากจะอยู่ในรูปโปรตีนที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่มีโครงสร้างซับซ้อน เปปไทด์ (peptides) ต่อกันเป็นสายยาวหรือมีขนาดใหญ่ การที่ยีสต์สกัดผ่านกรรมวิธีการย่อยมาก่อนทำให้เปปไทด์สั้นมีลักษณะเป็น short chain และมีกรดอะมิโนอิสระ (free amino acid) ประมาณร้อยละ 35-40 นอกจากนั้นยีสต์สกัดยังเป็นแหล่งของวิตามินบี ได้แก่ ไทอามีน (thiamine) ไรโบเฟลวิน (riboflavin) กรดนิโคตินิก (nicotinic acid) กรดแพนโทเทนิก (pantothenic acid) ไบโอติน (biotin) กรดพาราอะมิโนเบนโซอิก (p-amino benzoic acid) อินอซิตอล (inositol) ไพริดอกซีน (pyridoxine) โคลีน (choline) และกรดโฟลิก (folic acid) รวม

ทั้งเอนไซม์ชนิดต่างๆ เช่น เอสเทอเรส (esterase) ไรโบนิวคลีโอส (ribonuclease) และโปรตีโอส (protease) เป็นต้น ลักษณะเช่นนี้ทำให้กุ้งกุลาดำสามารถดูดซึมสารอาหารได้เร็วขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพการใช้อาหารดีขึ้น นอกจากนั้น วิตามินต่างๆ ในยีสต์สกัดยังช่วยส่งเสริมกระบวนการเมแทบอลิซึมด้านต่างๆ ของกุ้งด้วย ทำให้กุ้งกุลาดำเติบโตเร็ว มีสุขภาพแข็งแรง มีความสามารถในการต้านทานโรคสูง และมีอัตรารอดสูงขึ้น ดังนั้นการศึกษาการใช้ยีสต์สกัดทดแทนปลาป่นในอาหารกุ้ง (สัดส่วนปลาป่นต่อยีสต์สกัด 19:0, 15:4, 11:8 และ 7:12 ในอาหารทดลองโปรตีนร้อยละ 25 และสัดส่วน 36:0, 32:4, 28:8 และ 24:12 ในอาหารทดลองโปรตีนร้อยละ 35) จึงมีประโยชน์ในการพัฒนาอาหารกุ้งกุลาดำให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น กุ้งกุลาดำสามารถใช้โปรตีนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งมีผลต่ออัตราการเติบโตที่ดีขึ้น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ศึกษาผลของยีสต์สกัดและสัดส่วนที่เหมาะสมในอาหารต่อการเติบโตของกุ้งกุลาดำ

ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาผลของยีสต์สกัดและสัดส่วนที่เหมาะสม เพื่อการเติบโตของกุ้งกุลาดำอายุ 1 เดือน โดยใช้อาหารที่มีส่วนประกอบของโปรตีน 2 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 25 และร้อยละ35 โดยมีสัดส่วนของยีสต์สกัด 4 ระดับ ได้แก่ ไม่มีส่วนผสมของยีสต์สกัด และมีส่วนสัดของยีสต์สกัด ร้อยละ 4, 8 และ 12

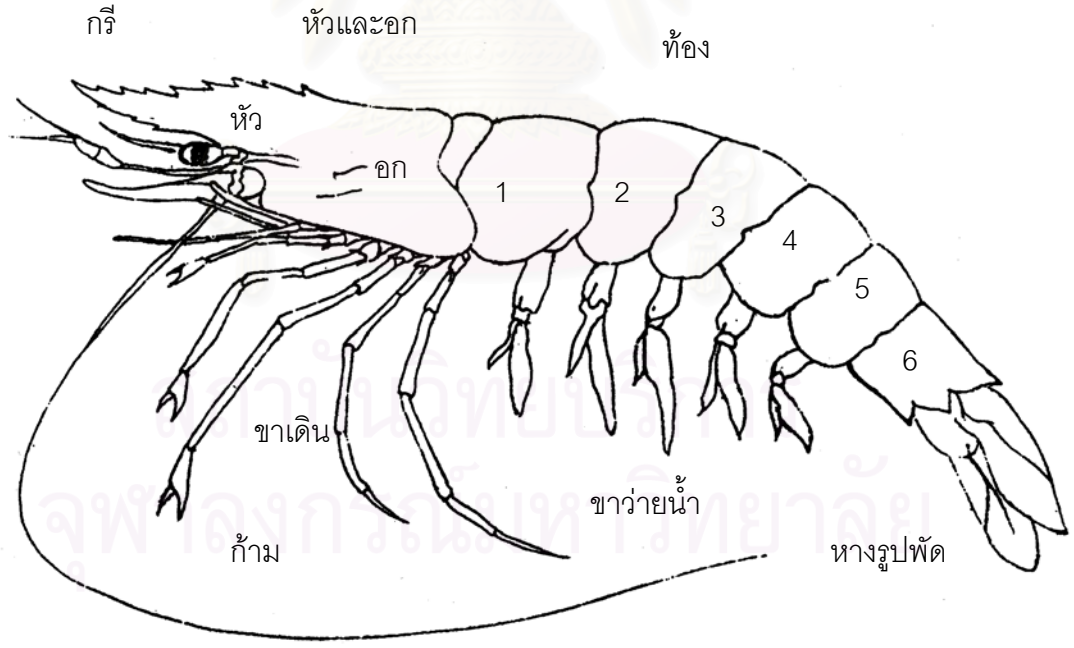
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

พัฒนาการผลิตอาหารกุ้งโดยใช้ยีสต์สกัดเป็นส่วนประกอบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กุ้งกุลาดำ (รูปที่ 1) หรือกุ้งกะลาหรือกุ้งม้าลาย เป็นกุ้งทะเลชนิดหนึ่งที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในวงศ์ Penaeidae มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Penaeus monodon* Fabricius ชื่อสามัญภาษาอังกฤษ giant black tiger prawn, grass shrimp หรือ jumbo tiger prawn กุ้งกุลาดำเป็นกุ้งที่กินทั้งพืชและสัตว์ (omnivores) ซากพืชซากสัตว์ (scarvenger) และเศษตะกอนต่างๆ (detritus feeder) เป็นอาหาร ชอบอาหารที่มีกลิ่นคาวมาก สามารถรับความรู้สึกถึงอาหารโดยปมประสาทรับความรู้สึกที่หนวดบริเวณริมปาก ขาเดิน หัว และเหงือก ดังนั้นอาหารที่ใช้ในการเลี้ยงกุ้งจึงควรมีสารที่ดึงดูดให้กุ้งเข้าหาอาหาร ได้แก่ กลุ่มของกรดอะมิโน (amino acid) เช่น กลูตาเมท (glutamate) หรือ บีเทน (betaine) และ ไกลซีน (glycine) ซึ่งแตกต่างจากสารดึงดูดที่ใช้ในอาหารปลาที่เป็นกรดไขมัน (มะลิ บุณยรัตผลิน, 2531) โดยปกติอาหารที่ไม่ย่อยหรือกากอาหารที่เหลือจากการย่อยต่างๆ จะถูกขับออกทางทวารหนักภายในเวลา 4 ชั่วโมงหลังการกินอาหาร (Tacon and Akiyama, 1997)



รูปที่ 1 กุ้งกุลาดำ *Penaeus monodon* Fabricius
ที่มา: Motoh (1981)

ระบบทางเดินอาหารของกุ้งกุลาดำ

กุ้งกุลาดำมีกระเพาะอาหาร และลำไส้ที่สั้นและตรง ปากแบบกัดแทะ ชอบกินอาหารที่พื้นผิวดินในเวลากลางวัน สัมผัสอาหารโดยใช้เซลล์รับความรู้สึกทางกลิ่นจากหนวดและรยางค์มากกว่าการมองเห็น เมื่อพบอาหารจะใช้ขาเดิน 3 คู่แรก คู่ใดคู่หนึ่งหรือร่วมกันจับอาหารแล้วถือแทะ อาหารจะถูกเคี้ยวให้ละเอียดต่อในปากก่อนถูกกลืนเข้าสู่กระบวนการใช้ประโยชน์ในขั้นต่อไป (เวียง เชื้อโพธิ์หัก, 2537) บริเวณลำไส้ส่วนหน้าและส่วนกลางทำหน้าที่สำคัญในการย่อยอาหาร ซึ่งปกติลำไส้กุ้งเป็นท่อตรงทอดตามยาวของลำตัวจากปากที่อยู่ด้านล่าง จบถึงทวารหนักที่ปล้องสุดท้ายของลำตัว

อวัยวะที่ช่วยในการย่อยอาหารได้แก่

1. ลำไส้ส่วนหน้า (foregut) เปรียบเสมือนกระเพาะอาหารของกุ้งเป็นบริเวณที่เกิดการย่อยอาหาร โดยส่วนปลายของลำไส้ส่วนหน้าที่จะเชื่อมกับลำไส้ส่วนกลางเรียกโพรเวนทริคูลู่ (proventriculu) (รูปที่ 2) มีหน้าที่รับน้ำย่อยจากต่อมสร้างน้ำย่อยที่อยู่บริเวณลำไส้ส่วนกลางเพื่อใช้ย่อยอาหาร

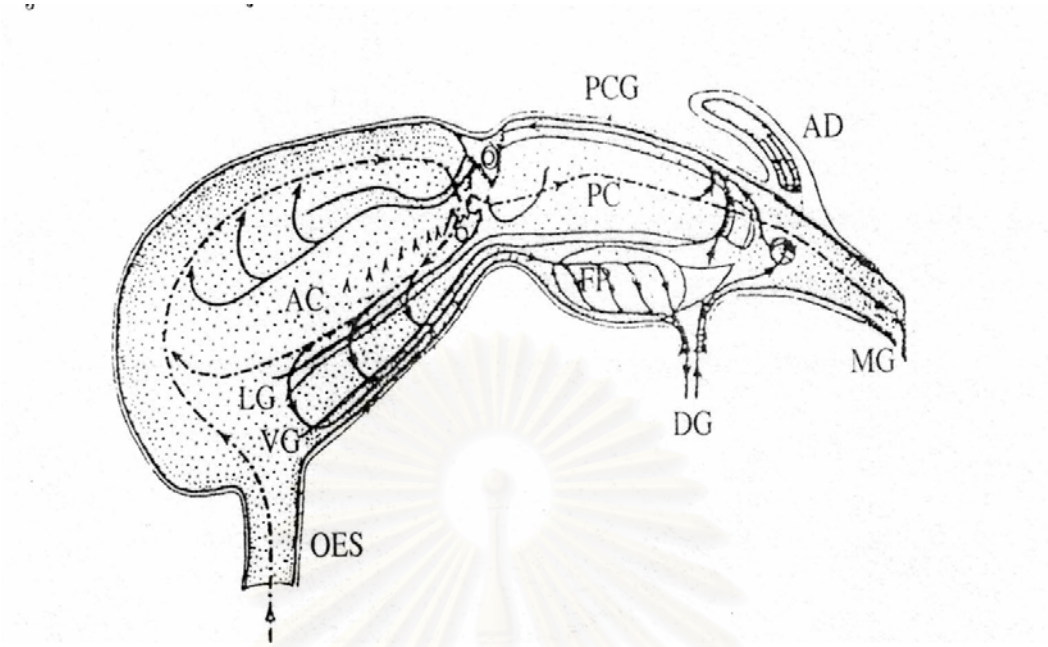
2. ลำไส้ส่วนกลาง (midgut) อยู่ภายในเฮพพาโตแพนเครียส (hepatopancreas) ภายในลำไส้ส่วนกลางมีต่อมสร้างน้ำย่อย (digestive gland) ซึ่งมีหน้าที่หลั่งเอนไซม์ (enzyme secretion) ส่งไปยังลำไส้ส่วนหน้าเพื่อใช้ย่อยอาหารและหน้าที่อีกประการของลำไส้ส่วนกลางคือการดูดซึมสารอาหารจากอาหารที่ผ่านกระบวนการย่อยแล้ว

3. ลำไส้ส่วนหลัง (hindgut) ทำหน้าที่พักกากอาหารก่อนที่จะขับออกจากร่างกาย (Waterman, 1960)

เอนไซม์ย่อยโปรตีนในสัตว์กลุ่มครัสเตเซียได้แก่ โปรตีเนส (proteinases) ซึ่งเป็นเอนไซม์รวม ได้แก่

1. เอนไซม์ทริปซิน (trypsin) มีคุณสมบัติเฉพาะคือเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการสลายด้วยน้ำ (hydrolysis) ของเอสเทอร์และเปปไทด์ที่มีหมู่คาร์บอกซิล (carboxyl group) ซึ่งได้แก่กรดอะมิโนอาร์จินีน (arginine) ไลซีน (lysine) เซอรีน (serine) และฮิสติดีน (histidine)

2. เอนไซม์เปปทิเดส (peptidases) ประกอบด้วยเอนไซม์ carboxypeptidase A, carboxypeptidase B, arylamidase และ dipeptidase (ประจวบ หล่ำอุบล,2537)



รูปที่ 2 การทำงานของ digestive gland fluid ในลำไส้ส่วนหน้าของกุ้งสกุล *Penaeus* sp. เส้นประเป็นทางเดินของอาหารแข็งและเส้นทึบเป็นทางเดินของอาหารเหลวประกอบด้วย
anterior chamber (AC), anterior diverticulum (AD), digestive gland opening (DG), filter press (FP), lateral grooves (LG), midgut (MG), ossicle of gastric mill (O), oesophagus (OES), posterior chamber (PC), dorsolater grooves (PCG), ventral grooves (VG)

ที่มา: Mantel (1983)

สารอาหารที่กุ้งกุลาดำต้องการ

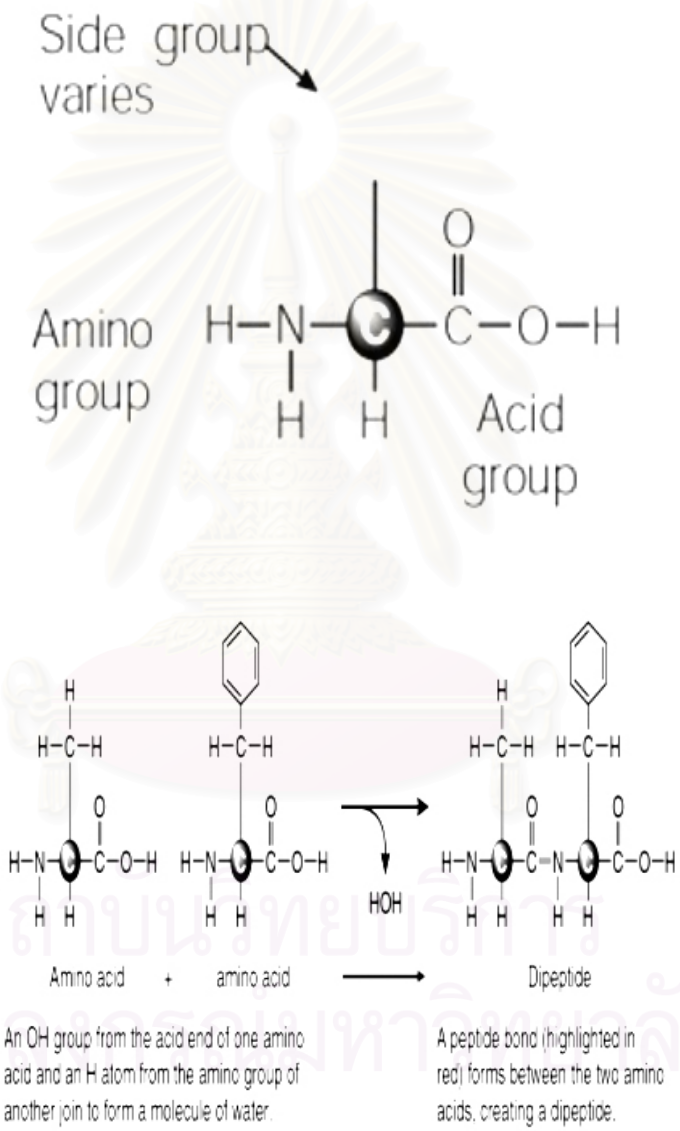
โปรตีนเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของสิ่งมีชีวิตและเป็นสารอาหารหลักในการเสริมสร้างเนื้อเยื่อต่างๆ ของร่างกาย โปรตีนประกอบด้วย ธาตุคาร์บอนร้อยละ 50-55 ออกซิเจนร้อยละ 21.5-23.5 ไนโตรเจนร้อยละ 15.5-18 ไฮโดรเจนร้อยละ 6.5-7.5 และธาตุอื่นอีกร้อยละ 0.5-2 มีโครงสร้างเป็นโมเลกุลเชิงซ้อนที่มีขนาดใหญ่และมีหลายชนิด (มนตรี จุฬาวัฒนทล และคณะ, 2542) ซึ่งจะถูกย่อยด้วยเอนไซม์กลุ่มโปรตีเอส (proteases) อันได้แก่ ทริปซิน (trypsin) และเปปติเดส (peptidases) โปรตีนเป็นส่วนประกอบในร่างกายของสัตว์ประมาณร้อยละ 65-75 ของน้ำหนักแห้ง เมื่อสัตว์ได้รับโปรตีนในอาหาร โปรตีนจะถูกย่อยให้เป็นกรดอะมิโนและซึมผ่านลำไส้เล็กเข้าสู่ส่วนต่างๆ ของร่างกายเพื่อสังเคราะห์โปรตีนขึ้นใหม่ให้แก่อวัยวะนั้นๆ โปรตีนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของอาหารกุ้ง มีหน้าที่ทำให้กุ้งเติบโต ซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอของร่างกาย และให้พลังงาน ความต้องการโปรตีนของสัตว์น้ำจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดและปัจจัยหลายอย่าง เช่น ขนาดของสัตว์น้ำ อุณหภูมิ ปริมาณพลังงานที่ร่างกายได้รับจากอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต และ

ไขมัน (เวียง เชื้อโพธิ์หัก, 2537) ระดับโปรตีนที่เหมาะสมอยู่ในช่วงร้อยละ 35-45 เช่นระดับโปรตีนที่เหมาะสมของกุ้ง *Penaeus setiferus* อยู่ในช่วงร้อยละ 28-32 (Andrews *et al.*, 1997) กุ้ง *Penaeus stylirostris* ระดับโปรตีนอยู่ในช่วงร้อยละ 30-35 (Colvin and Brand, 1972) และกุ้ง *Penaeus indicus* ต้องการโปรตีนน้อยกว่าร้อยละ 40 (Colvin, 1976) เป็นต้น สำหรับระดับโปรตีนในอาหารกุ้งกุลาดำที่มีผลต่ออัตรารอดและการเติบโตสูงสุดอยู่ที่ระดับโปรตีนร้อยละ 35 (คณิต ไชยาคำและบุญส่ง สิริกุล, 2533; Lin *et al.*,1986 อ้างโดย เบ็ญจมาศ จันทะภา, 2539) อย่างไรก็ตามเนื่องจากกุ้งวัยอ่อนและกุ้งขนาดเล็กมีความต้องการโปรตีนมากกว่ากุ้งวัยรุ่นและกุ้งโตเต็มวัย ทำให้อาหารกุ้งกุลาดำที่เหมาะสมควรมีโปรตีนในช่วงร้อยละ 35-45 โดยปกติอาหารกุ้งสำเร็จรูปจะมีระดับโปรตีนในอาหารสัมพันธ์กับขนาดกุ้ง โดยอาหารที่ใช้เลี้ยงกุ้งขนาดต่ำกว่า 0.5 กรัม มีระดับโปรตีนร้อยละ 45 กุ้งขนาด 0.5-0.3 กรัม มีระดับโปรตีนร้อยละ 40 กุ้งขนาด 3.0-15.0 กรัม มีระดับโปรตีนร้อยละ 38 และกุ้งขนาด 15.0-40.0 กรัม มีระดับโปรตีนร้อยละ 36 (พรศรี ประรักกะโม, 2541)

แหล่งโปรตีนที่ใช้ในอาหารกุ้ง ส่วนมากมาจากสัตว์ เช่น หมึก ปลา และเปลือกหรือหัวกุ้ง ในขณะที่แหล่งโปรตีนจากพืชจะนำมาจาก กากถั่วเหลือง ถั่วเหลืองไม่อัดน้ำมัน เป็นต้น (มะลิ บุณยรัตผลิน, 2531)

กรดอะมิโนเป็นหน่วยเล็กที่สุดของโปรตีน ซึ่งมีทั้งหมด 20 ชนิด ทุกชนิดประกอบด้วยธาตุหลัก 4 ธาตุ ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน และไนโตรเจน นอกจากนี้อาจมีธาตุอื่น เช่น กำมะถัน ฟอสฟอรัส ไอโอดีน และเหล็กเป็นส่วนประกอบ ธาตุเหล่านี้เมื่อเรียงตัวเข้าด้วยกันเป็นโมเลกุลของกรดอะมิโนมีสูตรโครงสร้างทั่วไปเป็นแบบสามมิติที่ประกอบด้วยหมู่อะมิโน (NH_2) หมู่คาร์บอกซิล (COOH) และหมู่อัลคีล (alkyl group-R) เปปไทด์ โพลีเปปไทด์และโปรตีนเป็นโมเลกุลที่ได้จากการเชื่อมโยงกรดอะมิโนด้วยพันธะโควาเลนท์ที่เรียกว่าพันธะเปปไทด์ (peptide bond) (รูปที่ 3) โปรตีนส่วนใหญ่ประกอบด้วยกรดอะมิโนตั้งแต่ 100 โมเลกุลขึ้นไปและมีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 5,000 ดาลตัน ส่วนโพลีเปปไทด์มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1,000-5,000 ดาลตัน ถึงแม้กรดอะมิโนในสิ่งมีชีวิตจะมีไม่กี่ชนิด แต่การจัดเรียงลำดับของกรดอะมิโนเหล่านี้ในลักษณะต่างๆ ก่อให้เกิดโปรตีนหลายประเภท (มนตรี จุฬาวัฒนทล และคณะ, 2542) ทางโภชนาการสัตว์น้ำแบ่งกรดอะมิโนโดยใช้ปฏิกิริยาการสังเคราะห์ในร่างกายของสัตว์น้ำออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กรดอะมิโนจำเป็น (essential amino acid) หมายถึงกรดอะมิโนที่ร่างกายของสัตว์น้ำไม่สามารถสังเคราะห์ขึ้นได้เอง และกรดอะมิโนไม่จำเป็น (non essential amino acid) หมายถึงกรดอะมิโนที่ร่างกายของสัตว์น้ำสามารถสังเคราะห์เองได้ โดยทั่วไปสัตว์กระเพาะเดี่ยวรวมทั้งกุ้ง

ต้องการกรดอะมิโนจำเป็นต่อร่างกายรวม 10 ชนิด ได้แก่ ทรีโอนีน (threonine) ไอโซลิวซีน (isoleucine) วาลีน (valine) ฟีนิลอะลานีน (phenyalanine) ลิวซีน (leucine) อาร์จินีน (arginine) ทริปโตเฟน (tryptophan) เมไธโอนีน (methionine) ไลซีน (lysine) และฮิสติดีน (histidine) ทั้งนี้ ระดับกรดอะมิโนที่จำเป็นที่มีอยู่ในวัตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนผสมของอาหารสัตว์น้ำ ได้แก่ ปลาป่นและยีสต์สกัด รวมทั้งปริมาณกรดอะมิโนจำเป็นที่ต้องมีในอาหารกุ้งแสดงในตารางที่ 1



รูปที่ 3 กรดอะมิโนและไดเปปไทด์

ที่มา: Monoca (2004)

ตารางที่ 1 ระดับกรดอะมิโนจำเป็นในปลาป่น ยีสต์สกัดและระดับกรดอะมิโนที่ควรมีในอาหารกุ้ง

กรดอะมิโนจำเป็น	อาหารกุ้ง* (ร้อยละน้ำหนักแห้ง)	ปลาป่น (ร้อยละน้ำหนักแห้ง)	ยีสต์สกัด (ร้อยละน้ำหนักแห้ง)
Arginine	2.32	2.7	-
Histidine	0.84	1.8	-
Isoleucine	1.40	3.3	3.07
Leucine	2.16	3.8	4.40
Lysine	2.12	6.4	5.28
Methionine	0.96	1.8	1.10
Phenylalanine	1.60	2.6	2.67
Threonine	1.44	2.8	2.80
Tryptophan	0.32	0.7	1.69
Valine	1.60	3.5	3.81

* ปริมาณกรดอะมิโนในอาหารกุ้งเทียบจากปริมาณกรดอะมิโนในอาหารกุ้งที่มีหน่วยเป็นร้อยละของโปรตีนเปลี่ยนเป็นหน่วยร้อยละน้ำหนักแห้ง (อาหารกุ้งโปรตีนร้อยละ 41.2)

ที่มา: อาหารกุ้งและปลาป่น (Akiyama and Chwang, 1989), ยีสต์สกัด (Deutsche Hefewerke,2002)

ทั้งนี้เนื่องจากกรดอะมิโนเป็นตัวกำหนดคุณภาพของโปรตีนทำให้โปรตีนที่มีกรดอะมิโนจำเป็นครบถ้วนทั้ง 10 ชนิด ในปริมาณที่มากเพียงพอ เรียกว่าโปรตีนชนิดสมบูรณ์ (complete protein) เป็นโปรตีนที่มีคุณภาพดีสำหรับสัตว์น้ำ ส่วนโปรตีนที่มีกรดอะมิโนชนิดจำเป็นไม่ครบทุกชนิด หรือมีครบแต่มีในปริมาณจำกัดจัดเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพไม่ดี หรือเรียกว่าโปรตีนชนิดไม่สมบูรณ์ (incomplete protein) (เวียง เชื้อโพธิ์หัก, 2537)

ปลาป่น หมึกป่นหรือหัวกุ้งป่นเป็นวัตถุดิบที่ใช้เป็นสารดึงดูด (attractants) ให้สัตว์น้ำรวมทั้งกุ้งเข้ากินอาหารด้วย ดังนั้นถ้ามีการลดปริมาณการใช้วัตถุดิบเหล่านี้ลงอาจทำให้มีสารดึงดูดไม่เพียงพอ จากการนำกรดอะมิโนบางชนิดที่มีคุณสมบัติเป็นสารเพิ่มกลิ่นและดึงดูดให้กุ้งเข้าหาอาหาร เช่น บีเทน (betaine) หรือ กลูตาเมท (glutamate) ไกลซีน (glysine) และ อะลานีน

(alanine) พบว่าการเสริม Finnstim ร้อยละ 1.5 ในอาหารกุ้งกุลาดำที่มีโปรตีนจากพืช ให้ผลการเติบโตของกุ้งกุลาดำได้ดีเท่ากับอาหารที่ใช้โปรตีนจากปลาป่นและหมึกป่น (เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต, 2534) ซึ่ง Finnstim เป็นกรดอะมิโน บีเทน ที่สกัดจากพืชและมีส่วนผสมของกรดอะมิโนอื่นอีก 5 ชนิดคือ ไอโซลิวซีน (isoleucine) อะลานีน (alanine) ลิวซีน (leucine) วาลีน (valine) และไกลซีน (glysine)

วิตามิน (vitamin) เป็นสารอินทรีย์ที่พบในธรรมชาติมีปริมาณน้อยและมีคุณสมบัติแตกต่างจากโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต วิตามินประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจนและออกซิเจน เป็นธาตุหลัก อาจมีไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และกำมะถันประกอบอยู่ สัตว์น้ำต้องการวิตามินเพียงเล็กน้อยแต่ขาดไม่ได้และไม่สามารถสังเคราะห์ขึ้นเองได้ในร่างกายทำให้ต้องได้รับจากอาหารเท่านั้น

วิตามินที่สัตว์น้ำต้องการแบ่งได้ 2 ประเภท คือ วิตามินที่ละลายในน้ำและละลายในไขมัน วิตามินที่ละลายในน้ำมี 11 ชนิด แบ่งออกเป็นกลุ่มที่ร่างกายต้องการมาก (macrovitamin) มี 3 ชนิด คือกรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) โคลีน และอินอซิตอล และกลุ่มที่ต้องการในปริมาณน้อย (microvitamin) แบ่งออกเป็น 8 ชนิด คือวิตามินบี1หรือไธอามีน (thiamin) วิตามินบี 2 หรือไรโบเฟลวิน (riboflavin) ไบโอติน (biotin) กรดแพนโทเธนิก (pantothenic acid) ไพริดอกซีน (pyridoxine) กรดโฟลิก (folic acid) ไซโนโคบาลามิน (cynocobalamin) ซึ่งทุกตัวทำหน้าที่เป็นโคเอนไซม์ สำหรับกลุ่มที่ละลายในไขมันมี 4 ชนิด ได้แก่ วิตามินเอ วิตามินดี วิตามินอี และวิตามินเค (วีระพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย, 2536)

ไธอามีน (thiamine) เป็นชื่อทางเคมีของวิตามินบี1 ซึ่งทำงานในรูปของ โคเอนไซม์ไธอามีนไพโรฟอสเฟต (thiamine pyrophosphate) เรียกโดยย่อว่า TPP ปฏิกิริยาสำคัญที่ต้องใช้ TPP ได้แก่การทำงานร่วมกับเอนไซม์โคคาร์บอกซิเลส (cocarboxylase) ในกระบวนการเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต พบมากในข้าวไม่ขัดสี ยีสต์ เนื้อหมู และถั่วเมล็ดต่างๆ (เวียง เชื้อโพธิ์หัก, 2543) แต่พบว่าปลาไม่สามารถใช้ประโยชน์ของไธอามีนจากโทรูลายีสต์ (torula yeast) ได้ เนื่องจากปลาไม่สามารถย่อยผนังเซลล์ของยีสต์ได้ ต้องผ่านกระบวนการทำให้ยีสต์ตายเสียก่อนปลาจึงนำสารอาหารไปใช้ได้ (ชลดา ปรีดา, 2526)

ไรโบเฟลวินหรือวิตามินบี 2 ทำงานในรูปของโคเอนไซม์เฟลวินโมโนนิวคลีโอไทด์ (flavin mononucleotide-FMN) หรือโคเอนไซม์เฟลวินอะดีนีนไดนิวคลีโอไทด์ (flavin adenine dinucleootide-FAD) โคเอนไซม์ทั้งสองนี้ทำหน้าที่รับส่งอีเล็กตรอนในปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน

ของคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน พบมากในตับ ไต หัวใจ ยีสต์ นม ไข่แดง เนื้อสัตว์ และถั่วเมล็ดต่างๆ

ไนอะซิน หรือ พี-พีแฟกเตอร์ (p-pfactor) โดยทำงานในรูปของโคเอนไซม์ นิโคตินาไมด์อะดีนีนไดนิวคลีโอไทด์ (nicotinamide adenine dinucleotide-NAD) ทำหน้าที่รับส่งไฮโดรเจนอะตอมในปฏิกิริยาออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรต โปรตีนและไขมัน พบมากในยีสต์ เนื้อสัตว์ ตับ และไต

กรดแพนโทเธนิก หรือ วิตามินบี5 เป็นส่วนหนึ่งของโคเอนไซม์เอ เป็นโคเอนไซม์ที่ทำหน้าที่รับส่งหมู่เอซิลในรูปของ acetyl CoA ในกระบวนการเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน นอกจากนี้ยังมีบทบาทในกระบวนการสร้างกรดอะมิโนลีวูลินิก (levulinic acid) ซึ่งเป็นตัวกลางในการสร้างฮีม โคเลสเตอรอล และสเตียรอยด์ฮอร์โมน พบในพืช และสัตว์ มีมากในตับ ไข่แดง ยีสต์ และถั่วลิสง

ไพริดอกซีน หรือ วิตามินบี 6 รวมสาร 3 ชนิด คือไพริดอกซีน (pyridoxine) ไพริดอกซาล (pyridoxal) และไพริดอกซามีน (pyridoxamine) แต่ที่เป็นโคเอนไซม์คือ ไพริดอกซาลฟอสเฟต (pyridoxal phosphate-PLP) เนื่องจากร่างกายสามารถเปลี่ยนสารทั้ง 3 ชนิดเป็นโคเอนไซม์ PLP ได้โดยง่าย โดยวิตามินบี 6 ต้องทำงานร่วมกับเอนไซม์ทรานส์อะมิเนส (transaminase) และเอนไซม์ดีคาร์บอกซิเลส (decarboxylase) ในกระบวนการย่อยสลายและสังเคราะห์กรดอะมิโนชนิดต่างๆ ไพริดอกซีนทนต่อความร้อนทั้งในสภาพกรดและด่าง พบในพืช ส่วนไพริดอกซามีนและไพริดอกซาล พบในสัตว์เป็นส่วนใหญ่ แหล่งที่พบวิตามินบี 6 คือยีสต์ ข้าวกล้อง ข้าวโพดและตับ (เวียง เชื้อโพธิ์หัก, 2537) ในอุตสาหกรรมการผลิตอาหารปลาหรืออาหารสัตว์น้ำทั่วไป โดยเฉพาะอาหารปลากินเนื้อนิยมผสมไพริดอกซีนไฮโดรคลอไรด์เข้าไป เพื่อช่วยควบคุมกระบวนการเมแทบอลิซึมของกรดอะมิโนให้เป็นปกติ ซึ่งจะส่งผลทำให้ปลาเจริญเติบโตได้เป็นปกติ (วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย, 2536) การได้รับวิตามินบี 6 เพียงพอต่อความต้องการของกุ้งมีผลต่อการเติบโต เนื่องจากวิตามินบี 6 เกี่ยวข้องกับการทำงานของเอนไซม์ที่ใช้ในกระบวนการเมแทบอลิซึมของโปรตีนและกรดอะมิโน โดยกุ้ง *Marsupenaeus japonicus* ต้องการวิตามินบี 6 ในอาหาร 120 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Deshimaru and Kuroki, 1979) แต่ Conklin (1997) พบว่ากุ้ง *Marsupenaeus japonicus* ต้องการวิตามินบี 6 ในอาหาร 60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ให้การเติบโตไม่แตกต่างกันทางสถิติกับสัดส่วนวิตามินบี 6 ที่สูงกว่านี้ ส่วนกุ้งกุลาดำ *Penaeus monodon* ต้องการวิตามินบี 6 ในอาหาร 10-550 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Morean *et al*., 1998) และพบว่ากุ้ง

กุลาดำที่ได้รับวิตามินบี 6 ปริมาณ 115.25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมให้การเติบโตดีที่สุด (Shiau and Wu, 2003) วิตามินบี 6 ยังเกี่ยวข้องกับระดับโปรตีนโดยมีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้โปรตีนและอัตรารอด กุ้งกุลาดำที่ได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีนเท่ากันแต่ปริมาณไพริดอกซีนที่ระดับ 0 กับ 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีค่าประสิทธิภาพของโปรตีน (protein efficiency ratio) และอัตรารอดต่างกันทางสถิต โดยอาหารที่มีไพริดอกซีน 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีค่าประสิทธิภาพของโปรตีนและอัตรารอดสูงกว่าอาหารที่ไม่มีไพริดอกซีน (Giri *et al*., 1997)

โคลีน เป็นวิตามินที่มีธาตุไนโตรเจนรวมอยู่ด้วย โมเลกุลของโคลีนประกอบด้วยหมู่เมทิล 3 หมู่ จึงได้ชื่อว่าเป็นสารที่ให้หมู่เมทิลในการสังเคราะห์โปรตีนที่เป็นส่วนประกอบของฮอร์โมนที่สำคัญ เช่น อีปิเนฟรีน (epinephrine) และอะดรีนาลิน (adrenalin) โคลีนทำปฏิกิริยากับอะซีติลโคเอนไซม์เอ (acetyl CoA) ได้สารอะซีติลโคลิน (acetyl choline) ที่จำเป็นในการนำความรู้สึกระบบประสาท นอกจากนั้นโคลีนยังเป็นส่วนประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ผิวหนัง ทำหน้าที่ให้ความยืดหยุ่นขณะร่างกายมีการเคลื่อนไหว โคลีนทนความร้อนในสภาพกรดแต่สลายตัวในสภาพด่าง พบมากในตับ ไต ไข่ ยีสต์ และเมล็ดพืช

อินอซิตอล นอกจากมีหน้าที่ในการควบคุมการผ่านเข้าออกในและนอกเซลล์ของสารแล้วยังมีหน้าที่รักษาระดับไขมันในร่างกายรวมทั้งเป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรตในกล้ามเนื้อด้วย ทนต่อสภาพการเก็บรักษาและการทำอาหารตามปกติ พบมากในหัวใจ ตับ ยีสต์และข้าวที่ไม่มีการขัดสี (เวียง เชื้อโพธิ์หัก, 2537)

ความแตกต่างระหว่างยีสต์กับยีสต์สกัด

ยีสต์ (yeast) เป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว มีลักษณะเป็นเซลล์เดี่ยว แตกต่างจากสาหร่ายเนื่องจากไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้ และแตกต่างจากโปรโตซัว (protozoa) (รูปที่ 4) เนื่องจากมีผนังเซลล์ที่แข็งแรง (นงลักษณ์ สุวรรณพินิจ และปรีชา สุวรรณพินิจ, 2539) ยีสต์บางชนิดมีบทบาทในการประกอบอาหารของมนุษย์ เช่น *Saccharomyces carlsbergensis* ใช้ในกระบวนการหมักเพื่อผลิตเบียร์ *Saccharomyces ellipsoideus* ใช้ในกระบวนการทำไวน์ และ *Saccharomyces cerevisiae* ใช้ในกระบวนการทำขนมปัง (Reed and Peppler, 1973)

องค์ประกอบของเซลล์ยีสต์ได้แก่

1. แคปซูล (capsule) เป็นสารเมือก สารเหนียว ที่ขับออกสู่ภายนอกเซลล์ที่พบในยีสต์บางชนิด ส่วนใหญ่ประกอบด้วยโพลีแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) ซึ่งมีทั้งเฮเทอโรโพลีแซ็กคาไรด์ (heteropolysaccharide) แมนโนส (mannose) และสารที่คล้ายแป้ง

2. ผนังเซลล์ (cell wall) ผนังเซลล์ของยีสต์มีขนาดบางในเชื้อที่อายุน้อยและหนาขึ้นตามอายุ องค์ประกอบส่วนใหญ่ของผนังเซลล์ *Saccharomyces cerevisiae* มีโพลีแซ็กคาไรด์ 2 ชนิด ได้แก่ กลูแคน (glucan) ประมาณร้อยละ 30-34 และ แมนแนน (mannan) ประมาณร้อยละ 30 กลูแคน (ประกอบด้วยดีกลูโคส) เป็นโพลีแซ็กคาไรด์ที่พบในยีสต์ต่างๆ แต่แมนแนน (ประกอบด้วยดี-แมนโนส) จะไม่พบในผนังเซลล์ของ *Schizosaccharomyces*, *Nadsonia*, *Rhodotorala* และราที่มีเส้นใยทุกชนิดผนังเซลล์ของยีสต์มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบ โดยที่ผนังเซลล์ของ *Saccharomyces cerevisiae* มีโปรตีนร้อยละ 6-8 โปรตีนบางชนิดทำหน้าที่เป็นเอนไซม์เนื่องจากมีการพบอินเวอร์เทส (invertase) และไฮโดรเลส (hydrolase) อื่นๆ ที่ผนังเซลล์ด้วย ไขมันมีอยู่ ประมาณร้อยละ 8.5-13.5 ปริมาณไคติน (chitin) เปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของยีสต์ เช่น *Schizosaccharomyces* spp.ไม่มีไคตินเป็นองค์ประกอบในขณะที่ *Saccharomyces cerevisiae* มีไคตินประมาณร้อยละ 1.0-2.0

3. เยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane) ประกอบด้วยไขมัน (รวมทั้งฟอสโฟลิพิด) โปรตีน และโพลีแซ็กคาไรด์

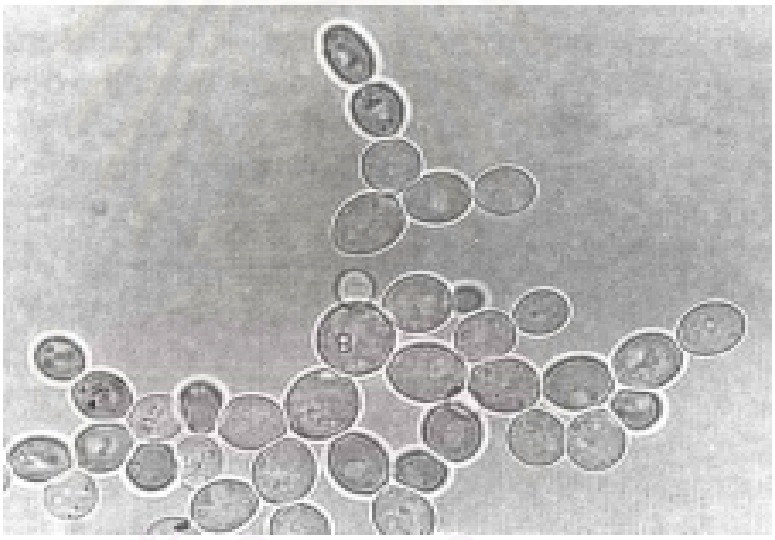
4. องค์ประกอบในโปรโทพลาซึม (protoplasm) เซลล์ยีสต์ประกอบด้วยไซโทพลาซึมซึ่งเป็นสารกึ่งเหลว ภายในมีเอนไซม์หลายชนิด

5. นิวเคลียส (nucleus) มีหน้าที่เกี่ยวกับกระบวนการเมแทบอลิซึม และการสืบพันธุ์ของสิ่งมีชีวิต

6. ไมโทคอนเดรีย (mitochondria) เป็นออร์แกเนลล์ที่มีเยื่อหุ้ม มีลักษณะคล้ายเส้นด้ายพับซ้อนกันอยู่ ประกอบด้วยลิโพโปรตีนจำนวนมาก มีกรดไรโบนิวคลีอิก (ribonucleic acid) และกรดดีออกซิไรโบนิวคลีอิก (deoxyribonucleic acid) เล็กน้อย เนื่องจากไมโทคอนเดรียมีเอนไซม์เกี่ยวกับการหายใจ จึงเรียกว่าเป็นแหล่งพลังงานของเซลล์

7. แวคิวโอล (vacuole) สารที่อยู่ในแวคิวโอล ได้แก่ เอนไซม์ที่เกี่ยวกับการไฮโดรไลซ์ปฏิกิริยาต่างๆ เช่น ไรโบนิวคลีเอส (ribonuclease) เอสเทอเรส (esterase) โปรตีเอส (protease)

8. อินคลูชัน (inclusion) เซลล์ยีสต์ที่แก่จะมีผนังเซลล์หนาขึ้นและสามารถทนต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้ บางชนิดสะสมสารต่างๆ ไว้จำนวนมาก เช่น ไขมัน คาร์โบไฮเดรต หรือโปรตีน บางชนิดใช้เป็นแหล่งไกลโคเจน เอนไซม์ และวิตามิน (ตารางที่ 2) ยีสต์บางชนิดสามารถใช้เป็นอาหารเสริมของมนุษย์และสัตว์ บางชนิดมีรงควัตถุสีเหลือง ส้ม ชมพู น้ำตาลหรือสีดำ รงควัตถุเหล่านี้ส่วนใหญ่เป็นคาโรทีนอยด์ที่ละลายในไขมัน นอกจากนี้ยังมีรงควัตถุอื่น เช่น ฮีโมโกบิน ไซโตโครมเฟลวิน และอื่นๆที่พบในพืชและสัตว์ชั้นสูงก็พบในยีสต์ด้วย (นงลักษณ์ สุวรรณพินิจ และ ปรีชา สุวรรณพินิจ, 2539)



รูปที่ 4 ลักษณะเซลล์ยีสต์

ที่มา: นงลักษณ์ สุวรรณพินิจและปรีชา สุวรรณพินิจ, 2544

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2 องค์ประกอบของวิตามินบีในยีสต์

วิตามิน	*Saccharomyces cerevisiae** (brewer's yeast) (µg/g)	*Cardida utilis* (µg/g)
Thiamine	50-360	130
Riboflavin	36-42	45
Niacin	320-1,000	400
Pyrodoxine	25-100	30
Pantothenic acid	100	40
Folic acid	15-80	21
Biotin	0.5-1.8	0.8
P-amino benzoic acid	9-102	11
Choline	3,800-4,000	2,860
Inositol	2,700-5,000	4,500

*ปริมาณวิตามินขึ้นอยู่กับการดูดซึมจากน้ำส่า (wort)

ที่มา: Reed and Peppler (1973)

ยีสต์หลายชนิดสามารถเลี้ยงโดยใช้ของเสียที่ได้จากโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งเป็นการลดปัญหามลภาวะและผลผลิตยีสต์ที่ได้สามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตอาหารสัตว์ เช่น การนำยีสต์มาเสริมในอาหารไก่ซึ่งทำให้ไก่มีการเติบโตดีขึ้น เนื่องจากยีสต์ประกอบด้วยธาตุไนโตรเจนประมาณร้อยละ 7-9 ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของโปรตีน ส่วนประกอบอื่นๆ ได้แก่ เพียวรีน (purine) พิริมิดีน (pyrimidine) กรดอะมิโน นิวคลีโอไทด์ และวิตามินบีรวม นอกจากนี้ยังประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต ไขมันอีกด้วย ผลผลิตของยีสต์ที่ได้ขึ้นกับสายพันธุ์ของยีสต์รวมทั้งสภาพการเพาะเลี้ยง (วิลาวัณย์ เจริญจิระตะกูล, 2539) ยีสต์ที่นิยมใช้เป็นอาหาร ได้แก่ *Cardida utilis* (torula yeast), *Saccharomyces cerevisiae, Saccharomyces fragilis* และ*Saccharomyces carlsbergenesis* (brewer's yeast) (Dabbah, 1970) ยีสต์มีโปรตีนประมาณร้อยละ 40-60 ของน้ำหนักแห้ง ในปริมาณนี้มีไนโตรเจนบางส่วนเป็นองค์ประกอบของสารที่ไม่มีคุณค่าทางอาหารซึ่งได้แก่ เพียวรีน

พิริมิดีนและอื่นๆ (Synder,1970) กรดอะมิโนในยีสต์มีลักษณะเด่นคือมีไลซีนสูงแต่มีเมทไธโอนีนต่ำ (Reed and Peppler, 1973) นอกจากยีสต์จะเป็นแหล่งโปรตีนแล้วยีสต์ยังเป็นแหล่งของวิตามินโดยเฉพาะวิตามินบีที่มีมากคือ ไธอามีน ไรโบเฟลวิน และ ไนอาซิน นอกจากนี้ยังมีไพริดอกซีน กรดพาราอะมิโนเบนโซอิก กรดแพนโทเทนิก และไบโอติน (Peppler,1986)

การใช้ยีสต์เพื่อเป็นอาหารมีข้อจำกัดอยู่ที่ผนังเซลล์ของยีสต์ไม่สามารถย่อยสลายได้ด้วยเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารของคนและสัตว์ชั้นสูงได้ (Synder, 1970) ผนังเซลล์ของยีสต์เป็นส่วนประกอบที่มีปริมาณหนึ่งในสามของน้ำหนักทั้งหมดของยีสต์ และเป็นสารจำพวกโพลีเมอร์ของน้ำตาลที่ cross-link ด้วยพันธะไฮโดรเจน น้ำตาลดังกล่าวได้แก่ กลูโคซามีน (glucosamine) กลูโคส (glucose) แมนโนส (mannose) และไคติน (Frazier and Westhoff, 1979) ดังนั้นการที่จะได้รับคุณค่าทางอาหารจากการบริโภคยีสต์จะต้องทำให้ยีสต์ตาย เพื่อให้สารต่างๆภายในเซลล์ไหลออกมาภายนอกเซลล์จึงจะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (Synder, 1970) ระบบการเตรียมยีสต์สกัดทำได้หลายวิธี ได้แก่กระบวนการ autolysis, กระบวนการ plasmolysis และกระบวนการ hydrolysis (Tannenbaum, 1978)

การนำเซลล์ยีสต์ *Cardida lypolytica* มาผสมในอาหารสำเร็จรูปเลี้ยงปลาเทร้า *Oncorhynchus mykiss* เพื่อใช้เป็นแหล่งโปรตีน พบว่าสามารถใช้แทนปลาป่นได้ร้อยละ 25-50 โดยพบการเติบโตสูงสุดของปลาที่ระดับยีสต์ร้อยละ 35 และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อมีค่าต่ำสุดที่ระดับยีสต์ร้อยละ 25 (Matty and Smith, 1978) ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการทดลองเติมเมทไธโอนีนลงในอาหารที่ใช้เซลล์ยีสต์ *Candida* sp. แทนปลาป่นสำหรับเลี้ยงปลาแซลมอน *Oncorhynchus kisutch* และปลาเทร้า *Oncorhynchus mykiss* โดยพบว่าสามารถใช้ยีสต์แทนปลาป่นได้ร้อยละ 25 ในการเลี้ยงปลาแซลมอน และร้อยละ 40 ในการเลี้ยงปลาเทร้า (Mahken *et al.*,1980) การทดลองเลี้ยงลูกปลากะพงขาว 6 สัปดาห์โดยใช้อาหารที่มียีสต์แทนปลาป่นร้อยละ 25 และ 50 พบว่าการเติบโตของลูกปลากะพงขาวไม่แตกต่างไปจากสูตรที่ใช้ปลาป่น (control) อย่างมีนัยสำคัญและค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อปลาของสูตรที่ใช้เซลล์ยีสต์แทนปลาป่นร้อยละ 50 ไม่แตกต่างไปจากสูตรที่ใช้เฉพาะปลาป่นอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน (ชลลดา ปรีดา, 2526) ซึ่ง Mahken *et al.* (1980) ได้ทดลองใช้ยีสต์ *Candida* sp. แทนปลาป่นในอาหารปลาเทร้าในปริมาณมากกว่าร้อยละ 50 ที่เสริมด้วยเมทไธโอนีนจะช่วยให้อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อดีขึ้น ส่วนการนำยีสต์มาเป็นแหล่งโปรตีนในอาหารกุ้งพบว่ากุ้งกุลาดำใช้เวลาในการย่อยยีสต์นานกว่าแหล่งโปรตีนอื่นๆ เช่น อาร์ทีเมีย ปลาป่น และถั่วเหลือง ทำให้ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนจากแหล่งโปรตีนไม่เต็มที่ ส่งผลให้กุ้งกุลาดำได้รับโปรตีนลดลง (Lan and Pan, 1993)

ยีสต์สกัด (yeast extract) คือยีสต์ที่ผ่านกระบวนการสกัดด้วยวิธี autolysis หรือ plasmolysis หรือ hydrolysis ทำให้สารภายในเซลล์ไหลออกมาอยู่ในสารละลาย หลังจากนั้นจึงนำของเหลวที่ได้มาระเหยจนได้ความเข้มข้นตามต้องการ พบว่ายีสต์สกัดเป็นแหล่งโปรตีน (กรดอะมิโนจำเป็น) วิตามินบีและแร่ธาตุปริมาณน้อย (trace minerals) คุณภาพของยีสต์สกัดมีความแตกต่างกันหลายระดับขึ้นอยู่กับยีสต์ที่นำมาใช้ในการสกัด วิธีการสกัด และระยะเวลาในการสกัด (Peppler,1986) โดยปกติการย่อยสลายตัวเองของยีสต์สามารถเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ แต่สามารถกระตุ้นให้กระบวนการย่อยสลายตัวเองของยีสต์เกิดได้เร็วขึ้นโดยการควบคุมภาวะต่างๆ เช่น อุณหภูมิ เวลา หรือสารเร่งการย่อยสลายให้เหมาะสม ภายใต้ภาวะที่เหมาะสมแก่การย่อยสลายตัวของยีสต์นี้ ระบบเอนไซม์สำคัญที่ทำหน้าที่ควบคุมกระบวนการเมแทบอลิซึมของเซลล์ยีสต์จะเกิดการทำงานผิดปกติส่งผลให้เซลล์ยีสต์ตาย เอนไซม์ภายในแวคิวโอ ซึ่งอยู่ในไซโทพลาซึม ถูกปล่อยออกมาย่อยสลายสารโมเลกุลใหญ่ เช่น โปรตีนและกรดนิวคลีอิคไปเป็นสารโมเลกุลเล็กที่สามารถละลายได้ ทำให้ผนังเซลล์สูญเสียสภาพที่เป็นเยื่อเลือกผ่าน (semi-permeable membranes) และปล่อยให้สารประกอบต่าง ๆ ภายในเซลล์ออกมาภายนอกเซลล์ได้ เอนไซม์ 4 ชนิดที่เป็นเอนไซม์หลักในกระบวนการดังกล่าวได้แก่ Proteinase ysc A, Proteinase ysc B, Carboxypeptide ysc Y และ Carboxypeptidase ysc S (Reed and Nagodawithana, 1991) Proteinase ysc A มีปริมาณมากที่สุดและทำหน้าที่ย่อยโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 5,000 ดาลตัน ที่ได้จากการย่อยโปรตีนโมเลกุลใหญ่ของเอนไซม์ชนิดอื่นๆ ไปเป็นกรดอะมิโนหรือเปปไทด์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำๆ ภาวะที่เหมาะสมกับการทำงานของเอนไซม์ทั้ง 4 ชนิดจะแตกต่างกันออกไปตามสายพันธุ์ของยีสต์ หรือแม้กระทั่งยีสต์ในสายพันธุ์เดียวกันที่มีภาวะในการเจริญเติบโตแตกต่างกัน (Hough and Maddox,1970) การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของยีสต์ออโตไลเสทที่ได้จากการย่อยสลายเป็นเวลา 4 ชั่วโมงและ 48 ชั่วโมง พบว่าความชื้นลดลงจากร้อยละ 52.36 เป็นร้อยละ 33.37 โปรตีนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 16.35 เป็นร้อยละ 42.0 น้ำตาลเพิ่มขึ้นร้อยละ 5.85 เป็นร้อยละ 7.38 ไขมันเพิ่มขึ้นน้อยมากเป็นร้อยละ 0.7 และเถ้าลดลงจากร้อยละ 24.92 เป็นร้อยละ 16.08 จำนวนของแข็งที่สกัดได้คือ อะมิโนไนโตรเจน กรดอะมิโน โดยเฉพาะกรดกลูตามิก อะลานีน และไลซีนจะเพิ่มสูงขึ้น เป็นผลิตภัณฑ์ที่ประกอบด้วยส่วนประกอบภายในเซลล์ยีสต์ ได้แก่กรดอะมิโน โปรตีน นิวคลีโอไทด์ โพลีเปปไทด์ ไกลโคเจน น้ำตาล วิตามินบี ทรีฮาโลส และสารให้กลิ่นรส (Goossens, 1974)

ยีสต์สกัดเป็นแหล่งโปรตีนที่สัตว์และจุลชีพต่างๆ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เนื่องจากมีการทำให้เกิดการย่อยสลายและนำผนังเซลล์ออก จากกระบวนการย่อยนี้ทำให้เปปไทด์ในยีสต์สกัดมีลักษณะเป็นเปปไทด์สั้นๆ โดยร้อยละ 40-50 มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า 600 ดาลตัน ซึ่งน้ำ

หนักเปปไทด์ปกติเท่ากับ 5,000 – 10,000 ดาลตัน ในอุตสาหกรรมอาหารมีการใช้ยีสต์สกัดอย่างกว้างขวาง เช่น การนำยีสต์สกัดมาเป็นส่วนประกอบในอาหารคนเพื่อแต่งกลิ่นรส ส่วนในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์มีการเสริมยีสต์สกัดในอาหารเม็ดให้ลูกสุนัข หรืออาหารปลา นอกจากนี้ยังสามารถนำยีสต์สกัดมาเป็นอาหารเลี้ยงเชื้อต่างๆ โดยการทดลองถึงผลของยีสต์สกัดต่อการเติบโตและเพิ่มจำนวนเซลล์ของ *Sphingomonas paucimobilis* ในอาหารที่เสริมด้วยยีสต์สกัดมีการเติบโตและเพิ่มจำนวนเซลล์ได้ดีกว่าอาหารที่ไม่ได้เสริมด้วยยีสต์สกัด (West and Fullenkamp, 2000) เช่นเดียวกับการทดลองของ Pereira and Kilihian (2001) พบว่าอาหารเลี้ยงเชื้อที่เสริมด้วยยีสต์สกัดประมาณร้อยละ 5 จะมีการเติบโตและการเพิ่มจำนวนเส้นใยของเชื้อรา *Monascus purpures* ได้ดีกว่าอาหารที่ไม่ได้เสริมยีสต์สกัด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

การวางแผนการทดลอง

ศึกษาผลของการใช้ยีสต์สกัดเสริมแทนปลาป่นบางส่วนในอาหารต่อการเติบโตของกุ้งกุลาดำโดยใช้อาหารทดลองที่มีระดับโปรตีนร้อยละ 25 และ 35 กำหนดให้แต่ละระดับโปรตีนมีอาหารที่มีส่วนผสมของยีสต์สกัดแตกต่างกันคือ ไม่มีส่วนผสมของยีสต์สกัดและมีส่วนผสมของยีสต์สกัดร้อยละ 4, 8 และ12 ของอาหารตามลำดับ (ตารางที่ 3)

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ที่มี 2x4 Factorials โดยทำการทดลอง 3 ครั้ง เพื่อเป็นซ้ำการทดลอง จัดหน่วยทดลองและสัตว์ทดลองแบบสุ่ม เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test

สถานที่ทดลอง

ทำการผลิตอาหาร วิเคราะห์อาหารและทดลองเลี้ยง ณ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อาหารทดลอง

อาหารที่ใช้ในการทดลองเป็นอาหารสำเร็จรูปอัดเม็ด (practical diet) ที่ผลิตขึ้นโดยเครื่องอัดเม็ดอาหาร (pelleting machine) จากบริษัท CPM ประเทศอเมริกา อาหารทดลองใช้ยีสต์สกัดแทนปลาป่นในสัดส่วนร้อยละ 0, 4, 8 และ12 โดยกำหนดระดับโปรตีนในอาหารที่ร้อยละ 25 และ 35 รวมทั้งสิ้น 8 สูตร นำวัตถุดิบในการประกอบอาหารกุ้งกุลาดำมาวิเคราะห์โปรตีนและไขมัน (ตารางที่ 4) ข้อมูลปริมาณของกรดอะมิโนจำเป็นของปลาป่น ปริมาณของกรดอะมิโนจำเป็นและกรดอะมิโนอิสระ (free amino acid) ของยีสต์สกัด มาจากโรงงานที่ผลิตปลาป่นและยีสต์สกัด (ตารางที่ 5) เพื่อนำไปใช้ในการกำหนดส่วนประกอบของสูตรอาหารกุ้งกุลาดำ (ตารางที่ 6)

ยีสต์สกัดที่นำมาทำอาหารทดลองคือ OHLY-Yeast Extract type KAT น้ำหนักแห้งร้อยละ 95.3 เกลือ (NaCl) ร้อยละ 0.9 และโปรตีนร้อยละ 72.6 (น้ำหนักแห้ง)

ตารางที่ 3 ปริมาณยีสต์สกัดและปลาป่นในสูตรอาหารโปรตีนร้อยละ 25 และ 35

ระดับโปรตีน (ร้อยละ)	ยีสต์สกัด (ร้อยละ)	สูตรอาหาร
25	0	25/0
	4	25/4
	8	25/8
	12	25/12
35	0	35/0
	4	35/4
	8	35/8
	12	35/12

ตารางที่ 4 คุณภาพวัตถุดิบที่ใช้ผลิตอาหารทดลอง

วัตถุดิบ/คุณภาพ	ปริมาณโปรตีน (ร้อยละ)	ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)	หมายเหตุ
ปลาป่น	70.3±0.4	9.6	แหล่งโปรตีน
ยีสต์สกัด	72.0±1.2	8.4	แหล่งโปรตีน
รำสกัดน้ำมัน	16.9±0.3	1.3	แหล่งคาร์โบไฮเดรต
แป้งสาลี	12.0±0.4	2.3	แหล่งคาร์โบไฮเดรต
กลูเตนจากข้าวสาลี	70.3±0.6	-	ช่วยยึดเกาะอาหาร
หัวกุ้งป่น	27.7±0.3	-	ช่วยดึงดูดอาหาร

ที่มา: วิเคราะห์ปริมาณโปรตีนและไขมันด้วยวิธี AOAC (1990)

ตารางที่ 5 ปริมาณกรดอะมิโนจำเป็นในปลาป่นและยีสต์สกัด

กรดอะมิโน	กรดอะมิโนใน ปลาป่น (ร้อยละ)	กรดอะมิโนใน ยีสต์สกัด (ร้อยละ)	กรดอะมิโนอิสระใน ยีสต์สกัด (ร้อยละ)
Arginine	3.25	1.24	-
Histidine	1.26	2.76	-
Isoleucine	2.59	3.07	2.31
Leucine	4.19	4.40	3.44
Lysine	4.47	5.28	2.68
Methionine	1.57	1.10	0.79
Phenylalanine	2.65	2.67	2.63
Threonine	-	6.51	1.45
Tryptophan	2.44	1.69	1.17
Valine	2.95	3.81	2.62

ที่มา: ปลาป่น (ข้อมูลจากบริษัท PC ยูเนี่ยน) และ ยีสต์สกัด (ข้อมูลจากบริษัท Deutsche Hefewerke ประเทศเยอรมันนี นำเข้าโดย บริษัท Nutrition Group)

หมายเหตุ: ไม่มีรายงานการวิเคราะห์กรดอะมิโนอิสระในปลาป่นคาดว่าถ้ามีคงพบปริมาณน้อยมาก เนื่องจากกระบวนการผลิตปลาป่นคือการให้ความร้อนโดยการนึ่งอุณหภูมิประมาณ 120-140 องศาเซลเซียส บีบปลาแล้วจึงบดให้ละเอียดซึ่งไม่ได้ผ่านกระบวนการย่อยโปรตีนหรือกระบวนการหมักจึงพบกรดอะมิโนอิสระต่ำมาก (ข้อมูลจากบริษัท PC ยูเนี่ยน)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6 ส่วนประกอบของอาหารทดลอง

ระดับโปรตีนในอาหาร (ร้อยละ)								
วัตถุดิบ (ร้อยละ)	25				35			
	สูตร 25/0	สูตร 25/4	สูตร 25/8	สูตร 25/12	สูตร 35/0	สูตร 35/4	สูตร 35/8	สูตร 35/12
ปลาป่น[1]	19	15	11	7	36	32	28	24
ยีสต์สกัด[2]	-	4	8	12	-	4	8	12
รำสกัดน้ำมัน	30	30	30	30	30	30	30	30
แป้งสาลี	20	20	20	20	20	20	20	20
กลูเตนจากข้าวสาลี	5	5	5	5	5	5	5	5
เลซิทิน[3]	1	1	1	1	1	1	1	1
น้ำมันปลา[4]	3	3	3	3	3	3	3	3
แร่ธาตุรวม[5]	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
วิตามินรวม[6]	1	1	1	1	1	1	1	1
หัวกุ้งป่น	2	2	2	2	2	2	2	2
คอเลสเทอรอล	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
เซลลูโลส	17	17	17	17	0	0	0	0
รวม	100	100	100	100	100	100	100	100

[1] บริษัท PC ยูเนี่ยนจำกัด (โปรตีนร้อยละ 70.3 และไขมันร้อยละ 9.6)

[2] บริษัท Deutsche Hefewerke ประเทศเยอรมันนี นำเข้าโดย บริษัท Nutrition Group (โปรตีนร้อยละ 72 และไขมันร้อยละ8.4)

[3] Feed Grade

[4] บริษัท ทีซี ยูเนี่ยน ประกอบด้วย Oleic acid ร้อยละ16-18, Linolenic acid ร้อยละ 0.40-0.60, Arachidonic acid ร้อยละ 2.2-2.8, DHA c22:3 ร้อยละ 21.5-26.6 และ EPA c20:3 ร้อยละ 3.3-3.8

[5] แคลพลัส บริษัทโคเดล (ประเทศไทย) จำกัด ประกอบด้วย แคลเซียม 147 กรัม ฟอสฟอรัส 147 กรัม เหล็ก 2,010 มิลลิกรัม ทองแดง 3,621 มิลลิกรัม สังกะสี 6,424 มิลลิกรัม แมงกานีส 10,062 มิลลิกรัม โคบอลต์ 105 มิลลิกรัม ไอโอดีน 1,000 มิลลิกรัมและ ซีลีเนียม 60 มิลลิกรัม ในปริมาณ 1 กิโลกรัม

[6] คอมพลีทดีวี บริษัทโคเดล (ประเทศไทย) จำกัด ประกอบด้วย วิตามินเอ 10,000,000 IU วิตามินดี$_3$ 1,000,000 IU วิตามินอี 1,000 IU วิตามินเค$_3$ 1,000 มิลลิกรัม วิตามินบี$_1$ 500 มิลลิกรัม วิตามินบี$_2$ 1500 มิลลิกรัม วิตามินซี 10,000 มิลลิกรัม โฟเลท 1,000 และ ดีแอลเมทไธโอนีน 16,038 มิลลิกรัม ในปริมาณ 1 กิโลกรัม

ทำการเตรียมอาหาร (รูปที่ 5) และผลิตอาหาร (รูปที่ 6) ดังนี้

1. เตรียมวัตถุดิบที่เป็นส่วนประกอบอาหาร (ตารางที่ 6) โดยบดให้ละเอียด ชั่งน้ำหนักและผสมวัตถุดิบโดยผสมวัตถุดิบปริมาณมากกับวัตถุดิบปริมาณมาก วัตถุดิบปริมาณน้อยกับวัตถุดิบปริมาณน้อยแล้วจึงนำทั้งสองส่วนผสมให้เข้ากันโดยการคลุกประมาณ 20 นาที

2. นำวัตถุดิบที่ผสมแล้วเข้าเครื่องอัดเม็ดปรับขนาดเม็ดอาหารผ่านเครื่องให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร

3. นำอาหารที่อัดเม็ดเสร็จแล้วเข้าตู้อบไอน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 3 นาที แล้วเข้าตู้อบแห้ง 60 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วคัดขนาดอาหารอัดเม็ดที่ต้องการผ่านตะแกรง คัดขนาด

4. บรรจุอาหารแต่ละขนาดใส่ถุงพลาสติกเก็บไว้ในตู้แช่เยือกแข็ง (-4 องศาเซลเซียส)

5. ทดสอบอาหารโดยนำอาหารที่ผลิตมาทำการทดสอบความคงทนในน้ำ รวมถึงตรวจสอบการยอมรับอาหารของกุ้งก่อนเริ่มการทดลอง

6. นำอาหารที่ผลิตไปวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารได้แก่ ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน ปริมาณเถ้า ปริมาณเยื่อใย และปริมาณความชื้นด้วยวิธี AOAC (1990)

วิเคราะห์โปรตีน และไขมันของวัตถุดิบ

วิเคราะห์กรดอะมิโนจำเป็นของปลาป่น และยีสต์สกัด

⇓

คำนวณสูตรอาหาร

⇓

ผลิตอาหารทดลอง

⇓

วิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของอาหารทดลอง

รูปที่ 5 ขั้นตอนการเตรียมอาหารทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 6 วิธีทำอาหารทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การเตรียมการทดลอง

<u>สัตว์ทดลอง</u>

ใช้กุ้งกุลาดำจากฟาร์มเอกชนในจังหวัดปทุมธานี ในซ้ำการทดลองที่1 และฟาร์มเอกชนในจังหวัดฉะเชิงเทรา ในซ้ำการทดลองที่ 2 และ 3 โดยนำกุ้งระยะหลังวัยอ่อน 15 (post larva15) มาเลี้ยงปรับสภาพให้คุ้นเคยกับอาหารและบ่อทดลอง ให้อาหารวันละ 4 ครั้ง (07.00, 11.00, 15.00 และ19.00 น.) เป็นระยะเวลา 3 สัปดาห์ เมื่อปรับสภาพกุ้งแล้วจึงสุ่มคัดกุ้งลงในแต่ละบ่อ ชั่งน้ำหนัก วัดความยาว และหาน้ำหนักเฉลี่ยเมื่อเริ่มการทดลอง โดยมีน้ำหนักและความยาวเริ่มต้น 0.05-0.26 กรัม และ 2.5-2.6 เซนติเมตร ตามลำดับ

<u>ระบบน้ำและวิธีการเลี้ยง</u>

1. เตรียมบ่อทดลองและน้ำที่ใช้ในการทดลองโดยใช้บ่อปูนที่มีระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด (รูปที่ 7) ตามวิธีของ Spotte (1979) ใช้ระบบ air lift โดยใช้อากาศดันน้ำเข้าสู่ระบบผ่านตัวกรองทางกายภาพที่ประกอบด้วยเปลือกหอยหยาบ เปลือกหอยละเอียด กรวด หิน ทรายละเอียดและใยสังเคราะห์ ให้อากาศตลอดเวลา ปริมาตรน้ำในการเลี้ยง 300 ลิตร เตรียมน้ำที่ใช้ในการเลี้ยงโดยใช้น้ำทะเลความเค็มสูงประมาณ 120-135 ส่วนในพันส่วน (ppt) เจือจางด้วยน้ำประปาปรับให้ได้ระดับความเค็ม 10 ส่วนในพันส่วน (ppt) อุณหภูมิของน้ำ 28-30 องศาเซลเซียส และทำการฆ่าเชื้อด้วยแคลเซียมไฮเปอร์คลอไรด์ (calcium hypochloride) ความเข้มข้น 60 ส่วนในล้านส่วน (ppm) ให้อากาศตลอดเวลา 1 สัปดาห์ เพื่อให้คลอรีนสลายตัว และกำจัดตะกอนและสิ่งแขวนลอยต่างๆ ก่อนเริ่มทำการทดลองเลี้ยง

2. การให้อาหาร

ปริมาณของอาหารและขนาดของอาหารที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

ระยะหลังวัยอ่อน 30 -	น้ำหนัก 0.5 กรัม		ปริมาณอาหารร้อยละ 15 ของน้ำหนักตัวต่อวัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอาหาร 0.5 มิลลิเมตร
ระยะที่กุ้งหนัก	0.5-2.0	กรัม	ปริมาณอาหารร้อยละ 10 ของน้ำหนักตัวต่อวัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอาหาร 1 มิลลิเมตร
ระยะที่กุ้งหนัก	2.0-5.0	กรัม	ปริมาณอาหารร้อยละ 8 ของน้ำหนักตัวต่อวัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอาหาร 2 มิลลิเมตร

3. ทำการทดลองเลี้ยงกุ้งกุลาดำโดยใช้ระบบเลี้ยงเดียวกับระยะการเตรียมการทดลอง ที่ระดับความเค็ม 10 ส่วนในพันส่วน (ppt) ในบ่อคอนกรีตขนาด 75x75x60 (กว้างxยาวxสูง) เซนติเมตร เติมน้ำปริมาตร 300 ลิตร ระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิดผ่านตัวกรองกายภาพ และให้อาหารกุ้งวันละ 4 ครั้ง (0.700,11.00,15.00 และ19.00 น.) ปิดฝาบ่อทดลองด้วยตาข่ายดำเพื่อให้ภายในบ่อมืดตลอดเวลาเนื่องจากกุ้งกุลาดำมีนิสัยการกินอาหารเวลากลางคืน ตรวจสอบคุณภาพน้ำโดยตรวจสอบปริมาณแอมโมเนีย ปริมาณไนไตรท ความเค็ม ความเป็นกรดเป็นด่าง อุณหภูมิ และปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำทุก 7 วัน ระยะเวลาในการเลี้ยง 56 วัน

รูปที่ 7 บ่อคอนกรีตขนาด 75x75x60 (กว้างxยาวxสูง) เซนติเมตร ระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิด

การเก็บข้อมูล

1. บันทึกการเติบโตโดยการชั่งน้ำหนัก (กรัม) และวัดความยาวเหยียด (เซนติเมตร) ของสัตว์ทดลองทุกตัวในแต่ละหน่วยทดลอง ทุก 14 วัน

2. บันทึกอัตรารอดของกุ้งกุลาดำ โดยการนับจำนวน และหาร้อยละของอัตรารอดจากสูตร

ร้อยละของอัตรารอด = (N_f/N_i) x 100

N_i = จำนวนกุ้งเมื่อเริ่มการทดลอง (ตัว)

N_f = จำนวนกุ้งเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (ตัว)

3. บันทึกข้อมูลจากการตรวจสอบคุณภาพน้ำขณะทำการทดลองเลี้ยงทุก 7 วัน ดังนี้

- ปริมาณแอมโมเนียและปริมาณไนเตรท ด้วยชุดทดสอบ Aqua-VBC

- ความเค็มด้วยเครื่อง Refractometer

- ความเป็นกรดด่างด้วยเครื่อง pH meter รุ่น HI 8424 microcomputer ของบริษัท Hanna

- ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ และอุณหภูมิด้วย YSI model 57 (ppmหรือmg/l) ของบริษัท Hanna

การวิเคราะห์ผลการทดลอง

1. วิเคราะห์อาหารสูตรต่างๆ โดยวิธี proximate analysis (AOAC,1990)

2. วิเคราะห์ความแปรปรวนของยีสต์สกัดต่อการเติบโตของกุ้งกุลาดำโดยใช้น้ำหนักเฉลี่ยกุ้งที่เพิ่มขึ้น การประเมินผลทางสถิติใช้โปรแกรม Statistic Analysis System (SAS,1985) ด้วยวิธีวิเคราะห์ Analysis of Variance และหาระดับความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4
ผลการทดลอง

คุณภาพอาหารทดลอง

จากการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของอาหารทดลองวิเคราะห์โดยใช้วิธี proximate analysis (ตารางที่ 7) พบว่าระดับโปรตีนมีค่าใกล้เคียงกับสูตรอาหารที่กำหนด โดยที่อาหารทดลองระดับโปรตีนร้อยละ 25 มีค่าโปรตีนร้อยละ 24.60-25.40 และอาหารทดลองระดับโปรตีนร้อยละ 35 มีค่าโปรตีนร้อยละ 34.30-35.40 อาหารทดลองโปรตีนร้อยละ 25 มีค่าไขมัน เถ้า เยื่อใย และความชื้น ร้อยละ 7.80-9.00, 14.03-14.98, 14.87-16.67 และ 6.80-7.10 ตามลำดับ ในขณะที่อาหารทดลองโปรตีนร้อยละ 35 มีค่าไขมัน เถ้า เยื่อใย และความชื้น ร้อยละ 12.00-12.80, 7.22-7.91, 4.71-5.28 และ 12.61-14.35 ตามลำดับ เม็ดอาหารที่ผลิตมีลักษณะสอดคล้องกับนิสัยการกินอาหารของกุ้งคือเป็นเม็ดเล็กยาว ไม่แตกง่ายและจมน้ำเนื่องจากกุ้งกุลาดำมีลักษณะการจับกินอาหารโดยใช้ขาเดินคู่ที่ 1 หรือ 2 จับอาหารแล้วถือแทะและกินอาหารที่อยู่บริเวณก้นบ่อ

เมื่อนำอาหารทดลองที่ผลิตขึ้นไปทดสอบความคงทนของอาหารพบว่าสูตรอาหาร 25/0 อาหารสามารถคงรูปในน้ำ 4.5 ชั่วโมง สูตรอาหาร 25/4, 25/8 และ 25/12 อาหารสามารถคงตัวในน้ำ 4 ชั่วโมง สูตรอาหาร 35/0 อาหารสามารถคงตัวในน้ำ 6.5 ชั่วโมง และ 6 ชั่วโมง สูตรอาหาร 35/4, 35/8 และ35/12 เนื่องจากอาหารทดลองโปรตีนร้อยละ 25 ประกอบด้วยเซลลูโลสร้อยละ 17 ทำให้เมื่อดูดซึมน้ำแล้วอาหารทดลองจะแตกได้ง่ายกว่าอาหารทดลองโปรตีนร้อยละ 35 ซึ่งไม่มีส่วนประกอบของเซลลูโลส และเมื่อทดสอบการยอมรับของกุ้งกุลาดำ พบว่ากุ้งกุลาดำกินอาหารทดลองทุกสูตรทั้งกลุ่มโปรตีนร้อยละ 25 และ 35

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 7 คุณภาพและคุณสมบัติของอาหารทดลอง 8 สูตร

สารอาหาร (ร้อยละ)	ระดับโปรตีนในอาหาร (ร้อยละ)							
	25				35			
	สูตร 25/0	สูตร 25/4	สูตร 25/8	สูตร 25/12	สูตร 35/0	สูตร 35/4	สูตร 35/8	สูตร 35/12
โปรตีน	24.6±0.80	24.9±0.30	25.4±0.70	25.1±0.70	34.3±1.50	35.2±1.80	34.8±1.20	35.4±0.50
ไขมัน	8.0±0.34	9.0±0.83	8.3±0.94	7.8±0.25	12.1±0.25	12.8±0.29	12.0±0.75	12.5±0.44
เถ้า	14.9±0.05	14.0±0.03	14.6±0.08	14.4±0.04	7.2±0.01	7.2±0.09	7.7±0.06	7.9± 0.04
เยื่อใย	16.6±0.44	14.8±1.01	15.9±0.32	15.5±0.66	4.9±0.27	5.2±0.30	4.7±0.69	5.0±0.73
ความชื้น	6.8±0.10	6.9± 0.20	7.1± 0.05	7.0± 0.10	12.6±0.07	14.3±0.20	14.0±0.70	13.1±0.06
ความคงตัวในน้ำ (ชั่วโมง)	4.5	4.0	4.0	4.0	6.5	6.0	6.0	6.0
การยอมรับอาหารของกุ้ง	ยอมรับ	ยอมรับ	ยอมรับ	ยอมรับ	ยอมรับ	ยอมรับ	ยอมรับ	ยอมรับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การเติบโตของกุ้งกุลาดำ

การเติบโตของกุ้งกุลาดำโดยน้ำหนักและความยาวที่ผ่านการเลี้ยงด้วยอาหารทดลองทั้ง 8 สูตร เป็นระยะเวลา 56 วัน ในแต่ละซ้ำของการทดลองแสดงในตารางที่ 8 และ 9 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่า ระดับโปรตีนและยีสต์สกัดมีปฏิสัมพันธ์ (interaction) ดังนั้นจึงแยกวิเคราะห์อาหารทั้ง 8 สูตร เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างสูตรอาหารทั้ง 8 สูตร ในการทดลองครั้งที่ 1 พบว่าน้ำหนักเฉลี่ยมีความแตกต่างทางสถิติ 4 กลุ่ม ($P<0.05$) คือกุ้งที่ได้รับอาหารสูตร 35/12 และ 35/8 น้ำหนักเฉลี่ย 3.60 ± 1.05^{A} และ 3.59 ± 0.74^{A} กรัม ตามลำดับ มีการเติบโตสูงที่สุด รองลงมาคือกุ้งที่ได้รับสูตรอาหาร 35/4 น้ำหนักเฉลี่ย 2.93 ± 0.75^{B} กรัม ซึ่งมีค่าสูงกว่ากุ้งที่ได้รับสูตรอาหาร 25/12, 25/8 และ 25/4 มีน้ำหนักเฉลี่ย 2.39 ± 0.74^{C}, 2.22 ± 0.82^{C} และ 2.19 ± 0.93^{C} กรัม ตามลำดับ และกุ้งมีการเติบโตต่ำที่สุดเมื่อได้รับสูตรอาหาร 25/0 และ 35/0 น้ำหนักเฉลี่ย 1.75 ± 0.64^{D} และ 1.61 ± 0.51^{D} กรัม ตามลำดับ ความยาวเฉลี่ยมีความแตกต่างทางสถิติ 4 กลุ่ม ($P<0.05$) คือ กุ้งที่ได้รับสูตรอาหาร 35/12 และ 35/8 มีความยาวเฉลี่ยสูงสุดคือ 7.67 ± 0.77^{A} และ 7.64 ± 0.54^{A} เซนติเมตร รองลงมาคือกุ้งที่ได้รับอาหารสูตร 35/4 ความยาวเฉลี่ย 7.25 ± 0.64^{B} เซนติเมตร สูงกว่ากุ้งที่ได้รับสูตรอาหาร 25/12, 25/8 และ 25/4 มีความยาวเฉลี่ย 6.71 ± 0.64^{C}, 6.62 ± 0.82^{C} และ 6.62 ± 0.87^{C} เซนติเมตร ตามลำดับ และกุ้งมีความยาวต่ำที่สุดเมื่อได้รับสูตรอาหาร 35/0 และ 25/0 เท่ากับ 5.97 ± 0.55^{D} และ 5.88 ± 0.75^{D} เซนติเมตร

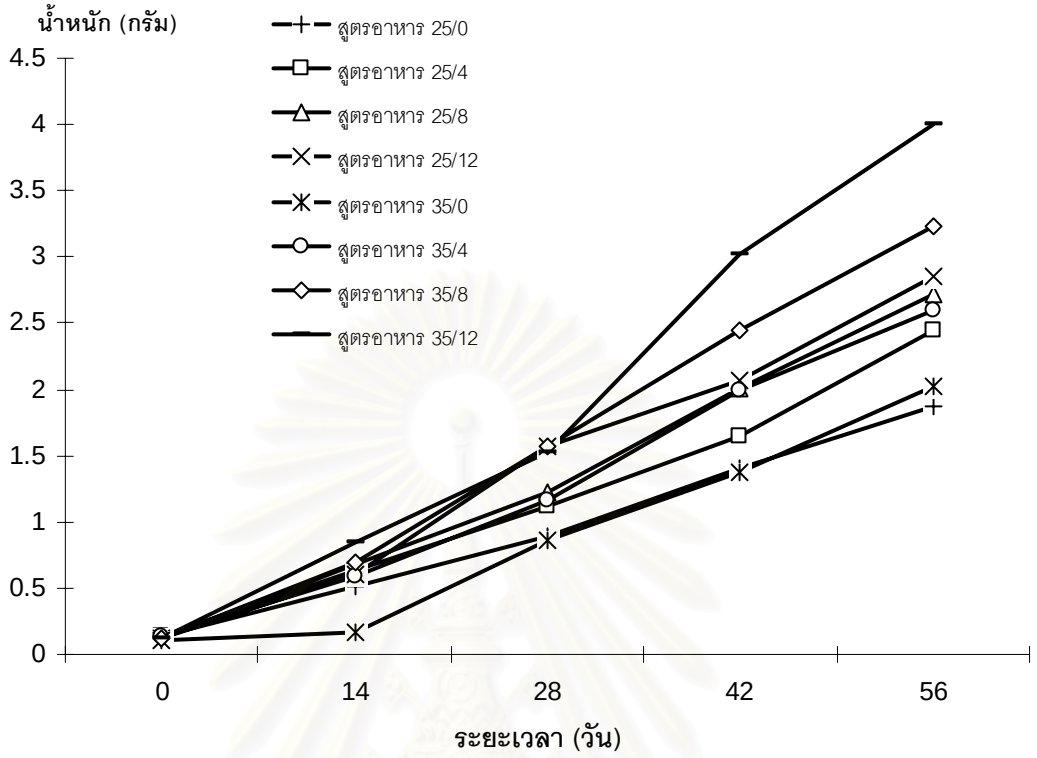
การทดลองครั้งที่ 2 พบความแตกต่างทางสถิติ 6 กลุ่ม ($P<0.05$) คือ กุ้งที่ได้รับสูตรอาหาร 35/12 มีน้ำหนักเฉลี่ยสูงที่สุด 4.92 ± 0.86^{A} กรัม รองลงมาคือกุ้งที่ได้รับสูตรอาหาร 25/12 น้ำหนักเฉลี่ย 4.13 ± 0.73^{B} กรัม มีค่าสูงกว่ากุ้งที่ได้รับอาหารสูตร 25/8 น้ำหนักเฉลี่ย 3.81 ± 0.84^{BC} ซึ่งไม่แตกต่างจากสูตร 35/8 น้ำหนักเฉลี่ย 3.70 ± 0.74^{CD} กรัม แต่แตกต่างกับกุ้งที่ได้รับสูตรอาหาร 25/4 น้ำหนักเฉลี่ย 3.38 ± 0.77^{D} กรัม โดยน้ำหนักเฉลี่ยของกุ้งที่ได้รับสูตรอาหาร 35/8 ไม่แตกต่างกับกุ้งที่ได้รับสูตรอาหาร 25/4 รองลงมาคือกุ้งที่ได้รับสูตรอาหาร 35/0 และ 35/4 น้ำหนักเฉลี่ย 2.81 ± 0.69^{E}, 2.80 ± 0.82^{E} กรัม ตามลำดับ และกุ้งที่ได้รับสูตรอาหาร 25/0 มีน้ำหนักเฉลี่ยต่ำที่สุดคือ 2.44 ± 0.65^{F} กรัม ความยาวเฉลี่ยมีความแตกต่างทางสถิติ 6 กลุ่ม ($P<0.05$) โดยกุ้งมีความยาวเฉลี่ยสูงสุดเมื่อได้รับสูตรอาหาร 35/12 มีความยาวเฉลี่ย 8.45 ± 0.55^{A} เซนติเมตร รองลงมาคือกุ้งที่ได้รับสูตรอาหาร 25/12, 25/8 และ 35/8 ความยาวเฉลี่ย 7.88 ± 0.56^{B}, 7.75 ± 0.70^{B} และ 7.60 ± 0.47^{C} เซนติเมตร ตามลำดับ แต่สูตรอาหาร 35/8 ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับกุ้งที่ได้รับสูตรอาหาร 25/4 ความยาวเฉลี่ย 7.38 ± 0.67^{C} รองลงมาคือกุ้งที่ได้รับสูตรอาหาร 35/0, 35/4 และ 25/0

มีความแตกต่างกันทุกสูตรอาหาร ความยาวเฉลี่ย 6.90±0.63^{D}, 6.55±0.81^{E} และ 6.24±0.70^{F} เซนติเมตร ตามลำดับ

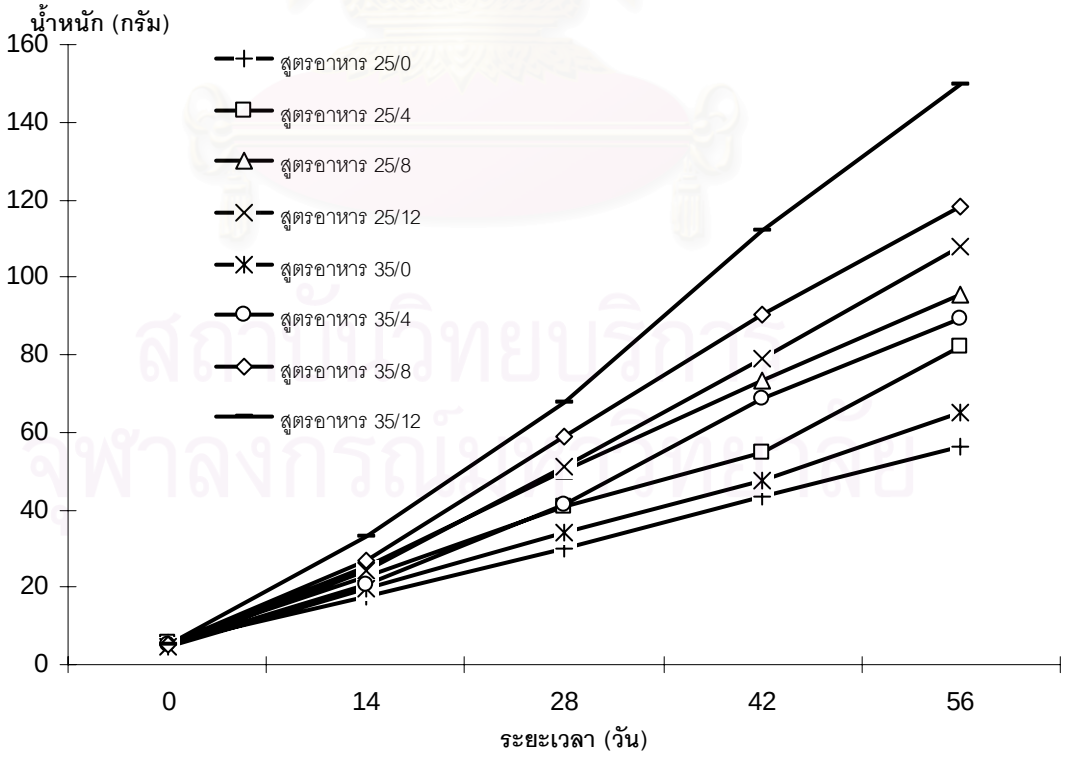
การทดลองที่ 3 พบความแตกต่างทางสถิติของน้ำหนักเฉลี่ย 4 กลุ่ม (P<0.05) คือกุ้งที่ได้รับอาหารสูตร 35/12 มีน้ำหนักเฉลี่ยสูงที่สุดคือ 3.60±1.00^{A} กรัม รองลงมาคือกุ้งที่ได้รับสูตรอาหาร 35/8 น้ำหนักเฉลี่ย 2.52±1.05^{B} กรัม ซึ่งสูงกว่ากุ้งที่ได้รับสูตรอาหาร 35/4, 25/12, 25/8, 25/4 และ 35/0 น้ำหนักเฉลี่ย 2.07±0.52^{C}, 1.98±0.81^{C}, 1.88±0.97^{C}, 1.66±1.00^{CD} และ 1.65±0.69^{CD} กรัม ตามลำดับ แต่สูตรอาหาร 25/4 และ 35/0 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับกุ้งที่ได้รับสูตรอาหาร 25/0 ซึ่งมีน้ำหนักเฉลี่ยต่ำสุด คือ 1.31±0.56^{D} กรัม ความยาวเฉลี่ยมีความแตกต่างทางสถิติ 5 กลุ่ม (P<0.05) คือ กุ้งที่ได้รับสูตรอาหาร 35/12 มีค่าสูงสุดคือ 7.55±0.61^{A} เซนติเมตร รองลงมาคือกุ้งที่ได้รับสูตรอาหาร 35/8 และ 25/12 ความยาวเฉลี่ย 6.64±1.05^{B} และ 6.27±0.80^{BC} เซนติเมตร ตามลำดับ แต่สูตรอาหาร 25/12 ไม่มีความแตกต่างกับกุ้งที่ได้รับสูตรอาหาร 35/4, 25/8 และ 25/4 ความยาวเฉลี่ย 6.03±0.59^{CD} และ 5.82±1.01^{CD} เซนติเมตร ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างกับกุ้งที่ได้รับสูตรอาหาร 35/0 ความยาวเฉลี่ย 5.70±0.80^{D} และกุ้งที่ได้รับสูตรอาหาร 25/0 มีความยาวต่ำที่สุดคือ 5.26±0.44^{E} เซนติเมตร

เมื่อนำน้ำหนักโดยเฉลี่ยและโดยรวมของกุ้งในแต่ละซ้ำการทดลองมาประเมินค่าเฉลี่ยได้ผลดังรูปที่ 8 และ 9 ตามลำดับ พบว่ากุ้งที่ได้รับอาหารระดับโปรตีนร้อยละ 35และยีสต์สกัดสูงสุดให้การเติบโตดีที่สุด ในขณะที่กุ้งที่ได้รับอาหารระดับโปรตีนร้อยละ 25 และไม่มีส่วนผสมของยีสต์สกัด ให้การเติบโตต่ำที่สุด แต่ไม่แตกต่างกับกุ้งที่ได้รับอาหารโปรตีนร้อยละ 35 ทั้งนี้กุ้งที่ได้รับอาหารระดับโปรตีนและยีสต์สกัดในอาหารสูง ให้ผลการเติบโตดีกว่ากุ้งที่ได้รับอาหารระดับโปรตีนและยีสต์สกัดต่ำกว่า โดยที่ความแตกต่างจะเพิ่มมากขึ้น เมื่อระดับโปรตีนและยีสต์สกัดสูงขึ้น ดังรูปที่ 10 และ 11 ตามลำดับ

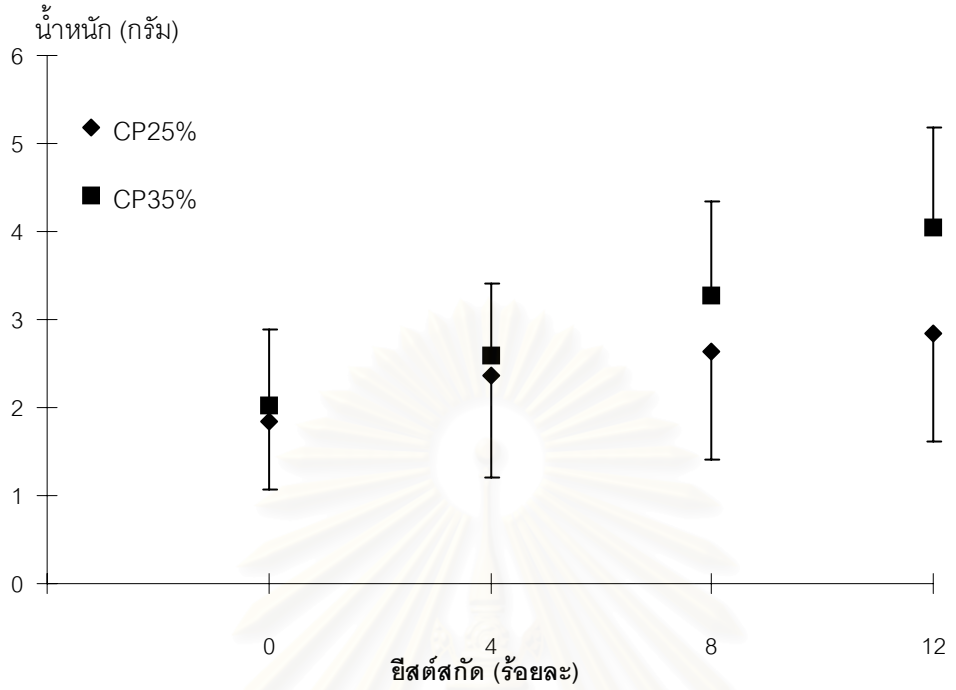
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



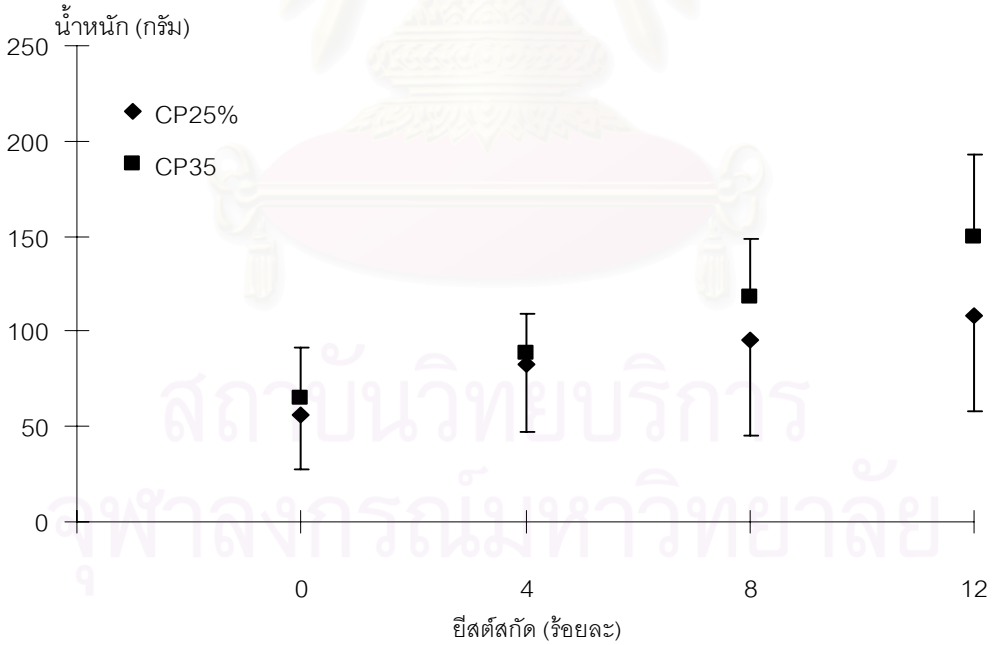
รูปที่ 8 น้ำหนักเฉลี่ยของกุ้งกุลาดำที่ได้รับอาหารทดลอง 8 สูตร



รูปที่ 9 น้ำหนักรวมของกุ้งกุลาดำที่ได้รับอาหารทดลอง 8 สูตร



รูปที่ 10 น้ำหนักเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ได้รับอาหารทดลอง 8 สูตร



รูปที่ 11 น้ำหนักรวมเมื่อสิ้นสุดการเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ได้รับอาหารทดลอง 8 สูตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 8 น้ำหนักเฉลี่ยกุ้ง (กรัมต่อตัว) ที่ได้รับอาหารทดลอง 8 สูตร

ก. การทดลองครั้งที่ 1

เวลา (วัน)	สูตร 25/0	สูตร 25/4	สูตร 25/8	สูตร 25/12	สูตร 35/0	สูตร 35/4	สูตร 35/8	สูตร 35/12
เริ่มต้น	0.25	0.26	0.23	0.24	0.20	0.23	0.23	0.24
14	0.32	0.44	0.31	0.43	0.30	0.44	0.53	0.52
28	0.58	0.76	0.65	0.74	0.56	1.26	1.58	1.17
42	1.26	1.63	1.84	1.78	1.19	2.54	2.95	2.84
56	1.75^{D}	2.19^{C}	2.22^{C}	2.39^{C}	1.61^{D}	2.93^{B}	3.59^{A}	3.60^{A}

ข. การทดลองครั้งที่ 2

เวลา (วัน)	สูตร 25/0	สูตร 25/4	สูตร 25/8	สูตร 25/12	สูตร 35/0	สูตร 35/4	สูตร 35/8	สูตร 35/12
เริ่มต้น	0.10	0.08	0.09	0.07	0.06	0.07	0.06	0.06
14	0.76	0.89	1.11	0.88	0.68	0.59	0.73	1.14
28	1.37	1.75	2.06	2.10	1.32	1.23	1.70	2.35
42	1.88	2.39	2.73	2.91	1.80	1.85	2.51	3.44
56	2.44^{F}	3.38^{D}	3.81^{BC}	4.13^{B}	2.81^{E}	2.80^{E}	3.70^{CD}	4.92^{A}

ค. การทดลองครั้งที่ 3

เวลา (วัน)	สูตร 25/0	สูตร 25/4	สูตร 25/8	สูตร 25/12	สูตร 35/0	สูตร 35/4	สูตร 35/8	สูตร 35/12
เริ่มต้น	0.06	0.05	0.05	0.05	0.06	0.09	0.08	0.06
14	0.39	0.49	0.56	0.52	0.47	0.63	0.80	0.90
28	0.55	0.74	0.87	0.98	0.72	0.99	1.43	1.79
42	0.90	0.85	1.36	1.46	1.10	1.51	1.98	2.82
56	1.31^{D}	1.66^{CD}	1.88^{C}	1.98^{C}	1.65^{CD}	2.07^{C}	2.52^{B}	3.60^{A}

^{A,B,C,D,E,F} ค่าเฉลี่ยที่มีตัวยกต่างกันในแถวเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (α=0.05)

ตารางที่ 9 ความยาวเฉลี่ย (เซนติเมตรต่อตัว) ที่ได้รับอาหารทั้ง 8 สูตร

ก. การทดลองครั้งที่ 1

เวลา (วัน)	สูตร 25/0	สูตร 25/4	สูตร 25/8	สูตร 25/12	สูตร 35/0	สูตร 35/4	สูตร 35/8	สูตร 35/12
เริ่มต้น	3.35	3.59	3.25	3.48	3.24	3.44	3.28	3.50
14	3.48	3.96	3.52	3.99	3.59	4.05	4.38	4.38
28	4.31	4.79	4.48	4.66	4.22	5.50	5.84	5.29
42	5.40	5.81	6.10	6.03	5.10	6.78	7.23	7.07
56	5.88^{D}	6.62^{C}	6.62^{C}	6.71^{C}	5.97^{D}	7.25^{B}	7.64^{A}	7.67^{A}

ข. การทดลองครั้งที่ 2

เวลา (วัน)	สูตร 25/0	สูตร 25/4	สูตร 25/8	สูตร 25/12	สูตร 35/0	สูตร 35/4	สูตร 35/8	สูตร 35/12
เริ่มต้น	2.25	1.99	2.29	2.19	2.16	2.25	2.28	2.21
14	4.51	4.86	5.21	4.86	4.57	4.24	4.60	5.27
28	5.36	5.78	6.23	6.20	5.33	5.09	6.01	6.60
42	6.05	6.47	6.78	7.00	5.84	5.65	6.61	7.30
56	6.24^{F}	7.38^{C}	7.75^{B}	7.88^{B}	6.90^{D}	6.55^{E}	7.60^{BC}	8.45^{A}

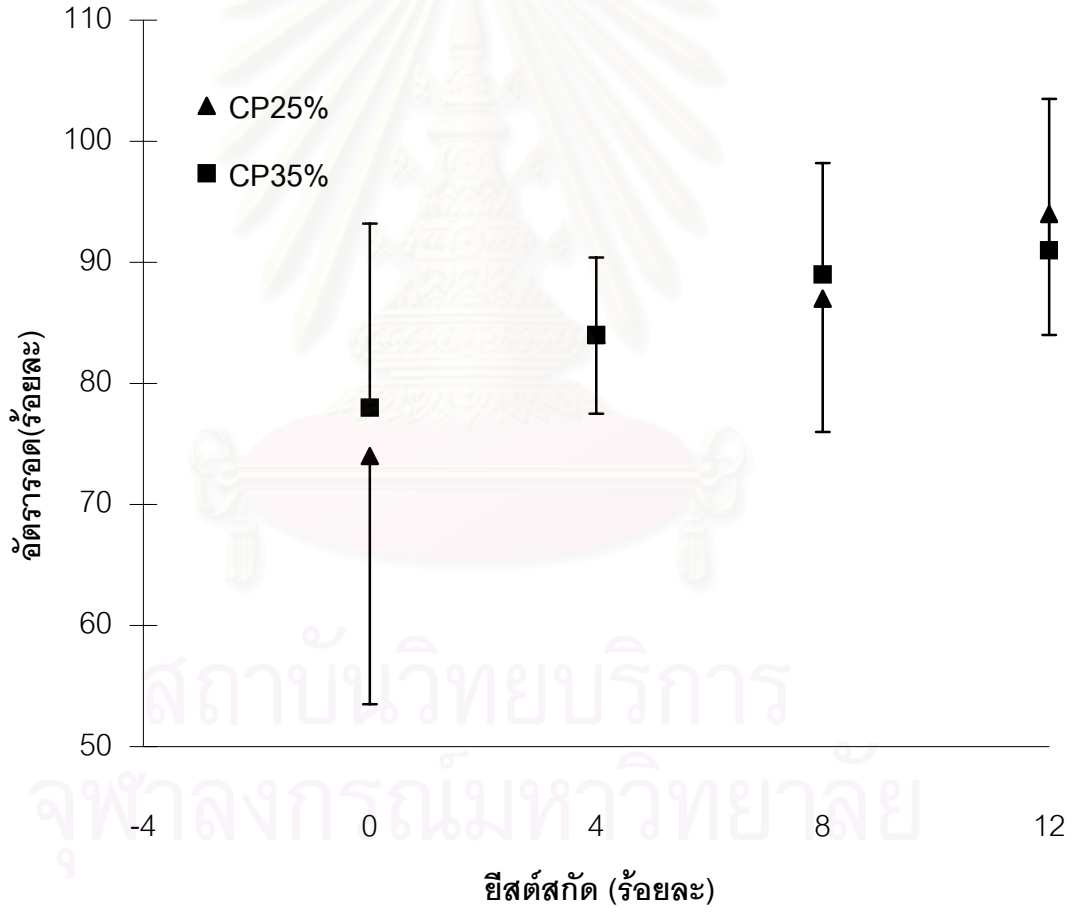
ค. การทดลองครั้งที่ 3

เวลา (วัน)	สูตร 25/0	สูตร 25/4	สูตร 25/8	สูตร 25/12	สูตร 35/0	สูตร 35/4	สูตร 35/8	สูตร 35/12
เริ่มต้น	2.01	2.05	1.97	2.00	2.07	2.14	2.06	2.05
14	3.85	3.78	4.28	4.07	4.05	4.41	4.73	5.75
28	3.98	4.37	4.74	4.71	4.41	4.85	5.21	5.83
42	4.84	4.74	5.38	5.58	4.99	5.49	6.11	6.82
56	5.26^{E}	5.82^{CD}	6.00^{CD}	6.27^{BC}	5.70^{D}	6.03^{CD}	6.64^{B}	7.55^{A}

^{A,B,C,D,E,F} ค่าเฉลี่ยที่มีตัวยกต่างกันในแถวเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (α=0.05)

อัตรารอดของกุ้งกุลาดำ

อัตรารอดของกุ้งกุลาดำที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 8 สูตร ดังรูปที่ 12 และตารางที่ 10 โดยที่กุ้งกลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีนและยีสต์สกัดสูงกว่าจะมีอัตรารอดที่ดีกว่า แต่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติทุกชุดการทดลอง ($P>0.05$) กุ้งที่ได้รับสูตรอาหาร 25/0, 25/4, 25/8, 25/12, 35/0, 35/4, 35/8 และ 35/12 มีอัตรารอดร้อยละ 76.83$\pm$22.91, 86.83$\pm$8.22, 87.50$\pm$10.89, 94.17$\pm$10.10, 79.67$\pm$15.77, 85.17$\pm$6.90, 90.17$\pm$8.95 และ 91.83$\pm$12.45 ตามลำดับ



รูปที่ 12 อัตรารอดของกุ้งกุลาดำที่ได้รับอาหารทดลอง 8 สูตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 10 อัตรารอดของกุ้งกุลาดำที่ได้รับอาหารทดลอง 8 สูตร

อาหารทดลอง	ซ้ำการทดลอง	14 วัน	28 วัน	42 วัน	56 วัน
25/0	1	67.5	62.5	52.5	52.5
	2	100.0	100.0	100.0	98.0
	3	85.0	85.0	80.0	80.0
	เฉลี่ย	84.17±16.27	82.50±18.87	77.50±23.85	76.83±22.91
25/4	1	90.0	90.0	77.5	77.5
	2	100.0	100.0	90.0	90.0
	3	93.0	93.0	93.0	93.0
	เฉลี่ย	94.33±7.64	94.33±7.64	86.83±6.29	86.83±8.22
25/8	1	87.5	87.5	82.5	82.5
	2	100.0	100.0	100.0	100.0
	3	93.0	93.0	90.0	80.0
	เฉลี่ย	93.5±6.26	93.5±6.26	90.83±8.77	87.50±10.89
25/12	1	95.0	92.5	85.5	82.5
	2	100.0	100.0	100.0	100.0
	3	100.0	100.0	100.0	100.0
	เฉลี่ย	98.33±2.89	97.50±4.33	95.17±8.37	94.17±10.10
35/0	1	100.0	87.5	62.5	62.5
	2	100.0	100.0	97.5	83.0
	3	100.0	100.0	93.0	93.5
	เฉลี่ย	100.00±0.00	95.83±7.22	84.33±20.48	79.67±15.77
35/4	1	77.5	82.5	82.5	82.5
	2	100.0	100.0	98.0	93.0
	3	90.0	83.0	80.0	80.0
	เฉลี่ย	89.17±11.27	88.50±9.96	86.83±9.75	85.17±6.90
35/8	1	85.5	85.0	85.0	82.5
	2	100.0	100.0	100.0	100.0
	3	100.0	95.0	88.0	88.0
	เฉลี่ย	95.17±8.37	93.33±7.46	91.00±7.94	90.17±8.95
35/12	1	80.0	80.0	78.0	77.5
	2	100.0	100.0	100.0	100.0
	3	100.0	100.0	98.0	98.0
	เฉลี่ย	93.33±11.55	93.33±11.55	92.00±12.17	91.83±12.45

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คุณภาพน้ำ

ข้อมูลคุณภาพน้ำของบ่อทดลองที่เก็บระหว่างการเลี้ยง มีค่าความเค็ม 10-11 ส่วนในพันส่วน (ppt) อุณหภูมิ 26-30 องศาเซลเซียส ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ 6.1- 7.9 ส่วนในล้านส่วน (ppm) ไนไตรท 0-0.5 ส่วนในล้านส่วน (ppm) แอมโมเนีย 0-0.25 ส่วนในล้านส่วน (ppm) (ตารางที่ 11) พบว่ามีค่าอยู่ในช่วงใกล้เคียงกันในแต่ละสูตรอาหารและซ้ำการทดลอง ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับค่าคุณภาพที่กุ้งสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้อย่างปกติ (ตารางที่ 14 ภาคผนวก ค.) จากการเก็บข้อมูลคุณภาพน้ำตั้งแต่เริ่มต้นการทดลองจนสิ้นสุดการทดลองพบว่ามีค่าเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก เนื่องจากบ่อทดลองมีระบบกรองกายภาพ ช่วยในการบำบัดน้ำทำให้คุณภาพน้ำมีค่าใกล้เคียงกันตลอดการทดลอง บ่อทดลองมีการให้ออกซิเจนตลอดเวลาทำให้มีออกซิเจนมากเพียงพอทำให้แอมโมเนีย (NH_3) เปลี่ยนเป็น ไนไตรท์ (NO_2^-) และ ไนเตรท (NO_3^-) ตามลำดับ ซึ่งเมื่ออยู่ในรูปของไนเตรทจะไม่เป็นพิษต่อกุ้ง ขณะที่แอมโมเนียและไนไตรท์จะมีผลต่อการเติบโตของกุ้งทำให้ประสิทธิภาพการใช้อาหารลดลงและมีความเป็นพิษเพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 11 คุณภาพน้ำระหว่างการทดลองอาหารทดลอง 8 สูตร

วันที่	ความเค็ม (ppm)	อุณหภูมิ ($^{\circ}C$)	ความเป็นกรดเป็นด่าง	ออกซิเจนละลายในน้ำ (ppm)	ไนไตรท์ (ppm)	แอมโมเนีย (ppm)
เริ่มต้น	10	29-30	7.60-7.85	7.2-8.3	0	0
7	10	29-30	7.91-8.07	7.1-7.8	0	0
14	10	27-28	8.00-8.05	7.7-7.9	0	0
21	10	26-28	7.91-8.07	7.4-7.9	0-0.1	0-0.25
28	10	30	7.90-8.07	6.7-7.5	0.1-0.25	0-0.25
35	10	30	7.96-8.07	6.9-9.6	0.05-0.1	0-0.25
42	10-11	29-30	7.98-8.09	6.1-9.8	0.1-0.25	0.25
49	10-11	29-30	7.95-8.04	6.8-9.7	0.1-0.5	0.25
56	10-11	29-30	7.96-8.06	6.9-9.5	0.1-0.25	0.25

การเปรียบเทียบมูลค่าผลผลิตกับต้นทุนค่าอาหาร

จากการเปรียบเทียบมูลค่าผลผลิตกับต้นทุนอาหารพบว่า ถึงแม้การใช้ยีสต์สกัดทดแทนปลาป่นส่งผลให้ผลผลิตกุ้งเพิ่มมากขึ้น แต่ราคาต้นทุนค่าอาหารได้สูงขึ้นตามไปด้วยเนื่องจากยีสต์สกัดมีราคาสูง เมื่อทำการเปรียบเทียบต้นทุนค่าอาหารและผลผลิตกุ้งที่เพิ่มขึ้นโดยคำนวณค่าอาหารจากราคายีสต์ 2 ระดับ คือยีสต์สกัดกิโลกรัมละ 700 บาท เป็นยีสต์สกัดที่ใช้ในการทดลองซึ่งนำเข้าจากประเทศเยอรมันนี และกิโลกรัมละ 200 บาท ซึ่งเป็นราคายีสต์สกัดที่สามารถจะผลิตได้ในประเทศในอนาคต (ตารางที่ 12) จากการทดลองเลี้ยงเป็นระยะเวลา 56 วัน ต้นทุนค่าอาหารที่เพิ่มขึ้นของสูตรอาหาร 25/4, 25/8, 25/12, 35/4, 35/8 และ 35/12 เมื่อใช้ยีสต์สกัดที่นำเข้าจากต่างประเทศ (กิโลกรัมละ 700 บาท) คือ 6.08, 12.11, 18.48, 6.41, 15.08 และ 26.80 บาท ตามลำดับ ถ้าในอนาคตมีการผลิตยีสต์สกัดภายในประเทศคาดการณ์ว่าราคากิโลกรัมละ 200 บาท ค่าอาหารที่เพิ่มขึ้นคือ 2.52, 4.39, 6.24, 2.53, 5.84 และ 10.18 บาท ตามลำดับ มูลค่าผลผลิตกุ้งที่เพิ่มขึ้นคือ 8.97, 13.46, 17.94, 8.28, 18.28 และ 29.32 บาท ตามลำดับ

<u>สูตรอาหาร 25/0</u>

ปริมาณอาหารที่ใช้ตลอดการเลี้ยง		0.140	กิโลกรัม
ค่าอาหารกิโลกรัมละ		36.28	บาท
ค่าอาหารคิดเป็นเงิน	= 0.140x36.28 =	5.08	บาท
น้ำหนักรวมของกุ้งเมื่อสิ้นสุดการทดลอง		0.056	กิโลกรัม
ราคากุ้งกุลาดำกิโลกรัมละ		345	กิโลกรัม
มูลค่าผลผลิตกุ้งคิดเป็นเงิน	= 0.056x345 =	19.32	บาท

<u>สูตรอาหาร 25/4</u>

ปริมาณอาหารที่ใช้ตลอดการเลี้ยง		0.178	กิโลกรัม
เมื่อยีสต์สกัดกิโลกรัมละ 700 บาท ดังนั้นค่าอาหารกิโลกรัมละ		62.68	บาท
ค่าอาหารคิดเป็นเงิน	= 0.178x62.68 =	11.16	บาท
เมื่อยีสต์สกัดกิโลกรัมละ 200 บาท ดังนั้นค่าอาหารกิโลกรัมละ		42.68	บาท
ค่าอาหารคิดเป็นเงิน	= 0.178x42.68 =	7.60	บาท
น้ำหนักรวมของกุ้งเมื่อได้รับสูตรอาหาร 25/4		0.082	กิโลกรัม
มูลค่าผลผลิตกุ้ง	= 0.082x345 =	28.29	บาท

ต้นทุนค่าอาหารที่เพิ่มขึ้นเมื่อใช้สูตรอาหาร 25/4 = ค่าอาหารสูตร 25/4 – ค่าอาหารสูตร 25/0

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อยีสต์สกัดกิโลกรัมละ 700 บาท ดังนั้นค่าอาหารเพิ่มขึ้น = 11.16 - 5.08 = **6.08** บาท

เมื่อยีสต์สกัดกิโลกรัมละ 200 บาท ดังนั้นค่าอาหารเพิ่มขึ้น = 7.60 - 5.08 = **2.52** บาท

มูลค่าผลผลิตกุ้งที่เพิ่มขึ้นเมื่อได้รับสูตรอาหาร 25/4 = มูลค่ากุ้งสูตร 25/4 – มูลค่ากุ้งสูตร 25/0

= 28.29 - 19.32 = **8.97** บาท

<u>สูตรอาหาร 25/8</u>

ปริมาณอาหารที่ใช้ตลอดการเลี้ยง		0.193	กิโลกรัม
เมื่อยีสต์สกัดกิโลกรัมละ 700 บาท ดังนั้นค่าอาหารกิโลกรัมละ		89.08	บาท
ค่าอาหารคิดเป็นเงิน	= 0.193x89.08 =	17.19	บาท
เมื่อยีสต์สกัดกิโลกรัมละ 200 บาท ดังนั้นค่าอาหารกิโลกรัมละ		49.08	บาท
ค่าอาหารคิดเป็นเงิน	= 0.193x49.08 =	9.47	บาท
น้ำหนักรวมของกุ้งเมื่อได้รับสูตรอาหาร 25/8		0.095	กิโลกรัม
มูลค่าผลผลิตกุ้ง	= 0.095x345 =	32.78	บาท

ต้นทุนค่าอาหารที่เพิ่มขึ้นเมื่อใช้สูตรอาหาร 25/8 = ค่าอาหารสูตร 25/8 – ค่าอาหารสูตร 25/0

เมื่อยีสต์สกัดกิโลกรัมละ 700 บาท ดังนั้นค่าอาหารเพิ่มขึ้น = 17.19 – 5.08 = **12.11** บาท

เมื่อยีสต์สกัดกิโลกรัมละ 200 บาท ดังนั้นค่าอาหารเพิ่มขึ้น = 9.47 - 5.08 =**4.39** บาท

มูลค่าผลผลิตกุ้งที่เพิ่มขึ้นเมื่อได้รับสูตรอาหาร 25/8 = มูลค่ากุ้งสูตร 25/8 – มูลค่ากุ้งสูตร 25/0

= 32.78 – 19.32 = **13.46** บาท

<u>สูตรอาหาร 25/12</u>

ปริมาณอาหารที่ใช้ตลอดการเลี้ยง		0.204	กิโลกรัม
เมื่อยีสต์สกัดกิโลกรัมละ 700 บาท ดังนั้นค่าอาหารกิโลกรัมละ		115.48	บาท
ค่าอาหารคิดเป็นเงิน	= 0.204x115.48 =	23.56	บาท
เมื่อยีสต์สกัดกิโลกรัมละ 200 บาท ดังนั้นค่าอาหารกิโลกรัมละ		55.48	บาท
ค่าอาหารคิดเป็นเงิน	= 0.204x55.48 =	11.32	บาท
น้ำหนักรวมของกุ้งเมื่อได้รับสูตรอาหาร 25/12		0.108	กิโลกรัม
มูลค่าผลผลิตกุ้ง	= 0.108x345 =	37.26	บาท

ต้นทุนค่าอาหารที่เพิ่มขึ้นเมื่อใช้สูตรอาหาร 25/12 = ค่าอาหารสูตร 25/12 – ค่าอาหารสูตร 25/0

เมื่อยีสต์สกัดกิโลกรัมละ 700 บาท ดังนั้นค่าอาหารเพิ่มขึ้น = 23.56 - 5.08 = **18.48** บาท

เมื่อยีสต์สกัดกิโลกรัมละ 200 บาท ดังนั้นค่าอาหารเพิ่มขึ้น = 11.32- 5.08 = **6.24** บาท

มูลค่าผลผลิตกุ้งที่เพิ่มขึ้นเมื่อได้รับสูตรอาหาร 25/12 = มูลค่ากุ้งสูตร 25/12 – มูลค่ากุ้งสูตร 25/0

= 37.26 - 19.32 = **17.94** บาท

สูตรอาหาร 35/0

ปริมาณอาหารที่ใช้ตลอดการเลี้ยง		0.164	กิโลกรัม
ค่าอาหารกิโลกรัมละ		43.08	บาท
ค่าอาหารคิดเป็นเงิน	= 0.164x43.08 =	**7.07**	บาท
น้ำหนักรวมของกุ้งเมื่อสิ้นสุดการทดลอง		0.065	กิโลกรัม
มูลค่าผลผลิตกุ้งคิดเป็นเงิน	= 0.065x345 =	**22.43**	บาท

สูตรอาหาร 35/4

ปริมาณอาหารที่ใช้ตลอดการเลี้ยง		0.194	กิโลกรัม
เมื่อยีสต์สกัดกิโลกรัมละ 700 บาท ดังนั้นค่าอาหารกิโลกรัมละ		69.48	บาท
ค่าอาหารคิดเป็นเงิน	= 0.194x69.48 =	13.48	บาท
เมื่อยีสต์สกัดกิโลกรัมละ 200 บาท ดังนั้นค่าอาหารกิโลกรัมละ		49.48	บาท
ค่าอาหารคิดเป็นเงิน	= 0.194x49.48 =	9.60	บาท
น้ำหนักรวมของกุ้งเมื่อได้รับสูตรอาหาร 35/4		0.089	กิโลกรัม
มูลค่าผลผลิตกุ้ง	= 0.089x345 =	30.71	บาท

ต้นทุนค่าอาหารที่เพิ่มขึ้นเมื่อใช้สูตรอาหาร 35/4 = ค่าอาหารสูตร 35/4 – ค่าอาหารสูตร 35/0

เมื่อยีสต์สกัดกิโลกรัมละ 700 บาท ดังนั้นค่าอาหารเพิ่มขึ้น = 13.48 – 7.07 = **6.41** บาท

เมื่อยีสต์สกัดกิโลกรัมละ 200 บาท ดังนั้นค่าอาหารเพิ่มขึ้น = 9.60 - 7.07 = **2.53** บาท

มูลค่าผลผลิตกุ้งที่เพิ่มขึ้นเมื่อได้รับสูตรอาหาร 35/4 = มูลค่ากุ้งสูตร 35/4 – มูลค่ากุ้งสูตร 35/0

= 30.71 – 22.43 = **8.28** บาท

สูตรอาหาร 35/8

ปริมาณอาหารที่ใช้ตลอดการเลี้ยง		0.231	กิโลกรัม
เมื่อยีสต์สกัดกิโลกรัมละ 700 บาท ดังนั้นค่าอาหารกิโลกรัมละ		95.88	บาท
ค่าอาหารคิดเป็นเงิน	= 0.231x95.88 =	22.15	บาท
เมื่อยีสต์สกัดกิโลกรัมละ 200 บาท ดังนั้นค่าอาหารกิโลกรัมละ		55.88	บาท
ค่าอาหารคิดเป็นเงิน	= 0.231x55.88 =	12.91	บาท
น้ำหนักรวมของกุ้งเมื่อได้รับสูตรอาหาร 35/8		0.118	กิโลกรัม
มูลค่าผลผลิตกุ้ง	= 0.118x345 =	40.71	บาท

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ต้นทุนค่าอาหารที่เพิ่มขึ้นเมื่อใช้สูตรอาหาร 35/8 = ค่าอาหารสูตร 35/8 – ค่าอาหารสูตร 35/0
เมื่อยีสต์สกัดกิโลกรัมละ 700 บาท ดังนั้นค่าอาหารเพิ่มขึ้น = 22.15 – 7.07 = **15.08** บาท
เมื่อยีสต์สกัดกิโลกรัมละ 200 บาท ดังนั้นค่าอาหารเพิ่มขึ้น = 12.91 - 7.07 = **5.48** บาท
มูลค่าผลผลิตกุ้งที่เพิ่มขึ้นเมื่อได้รับสูตรอาหาร 35/8 = มูลค่ากุ้งสูตร 35/8 – มูลค่ากุ้งสูตร 35/0
= 40.71 – 22.43 = **18.28** บาท

สูตรอาหาร 35/12

ปริมาณอาหารที่ใช้ตลอดการเลี้ยง		0.277	กิโลกรัม
เมื่อยีสต์สกัดกิโลกรัมละ 700 บาท ดังนั้นค่าอาหารกิโลกรัมละ		122.28	บาท
ค่าอาหารคิดเป็นเงิน	= 0.277x122.28 =	33.87	บาท
เมื่อยีสต์สกัดกิโลกรัมละ 200 บาท ดังนั้นค่าอาหารกิโลกรัมละ		62.28	บาท
ค่าอาหารคิดเป็นเงิน	= 0.277x62.28 =	17.25	บาท
น้ำหนักรวมของกุ้งเมื่อได้รับสูตรอาหาร 35/12		0.150	กิโลกรัม
มูลค่าผลผลิตกุ้ง	= 0.150x345 =	51.75	บาท

ต้นทุนค่าอาหารที่เพิ่มขึ้นเมื่อใช้สูตรอาหาร 35/12 = ค่าอาหารสูตร 35/12 – ค่าอาหารสูตร 35/0
เมื่อยีสต์สกัดกิโลกรัมละ 700 บาท ดังนั้นค่าอาหารเพิ่มขึ้น = 33.87 – 7.07 = **26.80** บาท
เมื่อยีสต์สกัดกิโลกรัมละ 200 บาท ดังนั้นค่าอาหารเพิ่มขึ้น = 17.25 - 7.07 = **10.18** บาท
มูลค่าผลผลิตกุ้งที่เพิ่มขึ้นเมื่อได้รับสูตรอาหาร 35/12 = มูลค่ากุ้งสูตร 35/12– มูลค่ากุ้งสูตร 35/0
= 51.75 – 22.43 = **29.32** บาท

หมายเหตุ:

1. คิดตามราคากุ้งกุลาดำ ณ. วันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2547 ตลาดมหาชัย ราคากิโลกรัมละ 345 บาท (ธีระพัฒน์ หงสกุล, 2547)
2. การใช้ยีสต์สกัดเป็นส่วนผสมในอาหารกุ้งมีผลให้ต้นทุนค่าอาหารเพิ่มขึ้นเพียงอย่างเดียวมิได้มีผลให้ต้นทุนอื่นๆเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงเปรียบเทียบเฉพาะต้นทุนค่าอาหารกับผลผลิตกุ้งที่เพิ่มขึ้นเท่านั้น (ต้นทุนค่าอาหารประมาณร้อยละ 50-60 ของต้นทุนทั้งหมดในการเลี้ยงกุ้ง)
3. อาหารกุ้งที่ผลิตเพื่อทำการทดลองมีราคาสูงกว่าอาหารที่ผลิตจากโรงงานอาหารกุ้งเนื่องจากราคาวัตถุดิบที่ใช้ในการประกอบสูตรอาหารสูงกว่าโรงงานเพราะโรงงานสามารถซื้อวัตถุดิบอาหารในราคาขายส่งซึ่งถูกกว่าราคาขายปลีก

ตารางที่ 12 ต้นทุนการผลิตอาหาร

สูตรอาหาร	ราคาอาหาร [a] เมื่อใช้ยีสต์สกัด 700 บาท/ก.ก. (บาทต่อกิโลกรัม)	ราคาอาหาร[b] เมื่อใช้ยีสต์สกัด 200บาท/ก.ก. (บาทต่อกิโลกรัม)	ราคาอาหารโรงงาน[c] เมื่อใช้ยีสต์สกัด 700บาท/ก.ก. (บาทต่อกิโลกรัม)	ราคาอาหารโรงงาน[d] เมื่อใช้ยีสต์สกัด 200บาท/ก.ก. (บาทต่อกิโลกรัม)
25/0	36.28[1]*	36.28	-	-
25/4	62.68[2]*	42.68	-	-
25/8	89.08[3]*	49.08	-	-
25/12	115.48[4]*	55.48	-	-
35/0	43.08[5]	43.08	30	30
35/4	69.48[6]	49.48	58	38
35/8	95.88[7]	55.88	86	46
35/12	122.28[8]	62.28	114	54

[a] ต้นทุนในการผลิตอาหารทดลองเมื่อยีสต์สกัดที่ใช้มาจากบริษัท Deutsche Hefewerke ประเทศเยอรมัน มีราคากิโลกรัมละ 700 บาท

[b] ต้นทุนในการผลิตอาหารทดลองเมื่อยีสต์สกัดที่ผลิตภายในประเทศไทย ราคากิโลกรัมละ 200 บาท (ถ้ามีการผลิตยีสต์สกัดภายในประเทศ)

[c] ราคาอาหารกุ้งโปรตีนร้อยละ 35 จากโรงงานผลิตจำหน่ายกิโลกรัมละ 30 บาท และราคาที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการใช้ยีสต์สกัดกิโลกรัมละ 700 บาท

[d] ราคาอาหารกุ้งโปรตีนร้อยละ 35 จากโรงงานผลิตจำหน่ายกิโลกรัมละ 30 บาท และราคาที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการใช้ยีสต์สกัดที่ผลิตภายในประเทศไทย ราคากิโลกรัมละ 200 บาท (ถ้ามีการผลิตยีสต์สกัดภายในประเทศ)

*ราคาไม่รวมเซลลูโลส 119 บาทต่ออาหาร 1 กิโลกรัม

[1] ปลาป่น 7.6 บาท รำข้าวสกัดน้ำมัน 2.4 บาท แป้งสาลี 4 บาท กลูเตนจากข้าวสาลี 4 บาท เลซิทิน 0.55 บาท น้ำมันปลา 1.5 บาท แร่ธาตุรวม 2.25 บาท วิตามินรวม 3.5 บาท คอเลสเทอรอล 10 บาท หัวกุ้งป่น 0.48 บาท

[2] ปลาป่น 6 บาท ยีสต์สกัด 28 บาท รำข้าวสกัดน้ำมัน 2.4 บาท แป้งสาลี 4 บาท กลูเตนจากข้าวสาลี 4 บาท เลซิทิน 0.55 บาท น้ำมันปลา 1.5 บาท แร่ธาตุรวม 2.25 บาท วิตามินรวม 3.5 บาท หัวกุ้งป่น 0.48 บาท คอเลสเทอรอล 10 บาท

[3] ปลาป่น 4.4 บาท ยีสต์สกัด 56 บาท รำข้าวสกัดน้ำมัน 2.4 บาท แป้งสาลี 4 บาท กลูเตนจากข้าวสาลี 4 บาท เลซิทิน 0.55 บาท น้ำมันปลา 1.5 บาท แร่ธาตุรวม 2.25 บาท วิตามินรวม 3.5 บาท หัวกุ้งป่น 0.48 บาท คอเลสเทอรอล 10 บาท

[4] ปลาป่น 2.8 บาท ยีสต์สกัด 84 บาท รำข้าวสกัดน้ำมัน 2.4 บาท แป้งสาลี 4 บาท กลูเตนจากข้าวสาลี 4 บาท เลซิทิน 0.55 บาท น้ำมันปลา 1.5 บาท แร่ธาตุรวม 2.25 บาท วิตามินรวม 3.5 บาท หัวกุ้งป่น 0.48 บาท คอเลสเทอรอล 10 บาท

[5] ปลาป่น 14.4 บาท รำข้าวสกัดน้ำมัน 2.4 บาท แป้งสาลี 4 บาท กลูเตนจากข้าวสาลี 4 บาท เลซิทิน 0.55 บาท น้ำมันปลา 1.5 บาท แร่ธาตุรวม 2.25 บาท วิตามินรวม 3.5 บาท หัวกุ้งป่น 0.48 บาท คอเลสเทอรอล 10 บาท

[6] ปลาป่น 12.8 บาท ยีสต์สกัด 28 บาท รำข้าวสกัดน้ำมัน 2.4 บาท แป้งสาลี 4 บาท กลูเตนจากข้าวสาลี 4 บาท เลซิทิน 0.55 บาท น้ำมันปลา 1.5 บาท แร่ธาตุรวม 2.25 บาท วิตามินรวม 3.5 บาท หัวกุ้งป่น 0.48 บาท คอเลสเทอรอล 10 บาท

[7] ปลาป่น 11.2 บาท ยีสต์สกัด 56 บาท รำข้าวสกัดน้ำมัน 2.4 บาท แป้งสาลี 4 บาท กลูเตนจากข้าวสาลี 4 บาท เลซิทิน 0.55 บาท น้ำมันปลา 1.5 บาท แร่ธาตุรวม 2.25 บาท วิตามินรวม 3.5 บาท หัวกุ้งป่น 0.48 บาท คอเลสเทอรอล 10 บาท

[8] ปลาป่น 9.6 บาท ยีสต์สกัด 84 บาท รำข้าวสกัดน้ำมัน 2.4 บาท แป้งสาลี 4 บาท กลูเตนจากข้าวสาลี 4 บาท เลซิทิน 0.55 บาท น้ำมันปลา 1.5 บาท แร่ธาตุรวม 2.25 บาท วิตามินรวม 3.5 บาท หัวกุ้งป่น 0.48 บาท คอเลสเทอรอล 10 บาท

หมายเหตุ:

ปลาป่น (นำเข้าจากประเทศเดนมาร์ก)	40	บาทต่อกิโลกรัม
ยีสต์สกัด	700	บาทต่อกิโลกรัม
รำข้าวสกัดน้ำมัน	8	บาทต่อกิโลกรัม
แป้งสาลี	20	บาทต่อกิโลกรัม
กลูเตนจากข้าวสาลี	80	บาทต่อกิโลกรัม
เลซิทิน	55	บาทต่อกิโลกรัม
น้ำมันปลา	60	บาทต่อกิโลกรัม
แร่ธาตุรวม	150	บาทต่อกิโลกรัม
วิตามินรวม	350	บาทต่อกิโลกรัม
หัวกุ้งป่น	24	บาทต่อกิโลกรัม
คอเลสเทอรอล	2,000	บาทต่อกิโลกรัม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5
สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

ผลของการใช้ยีสต์สกัดทดแทนปลาป่นบางส่วนต่อการเติบโตของกุ้งกุลาดำ

การเติบโตของกุ้งที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 8 สูตรมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) และกุ้งที่ได้รับอาหารที่มีส่วนผสมของยีสต์สกัดทั้ง 2 ระดับโปรตีนมีการเติบโตดีกว่าอาหารที่ไม่มีส่วนผสมยีสต์สกัด โดยกุ้งที่ได้รับอาหารทดลองสูตร 35/12 มีการเติบโตดีที่สุด และจากการทดลองพบว่า กุ้งที่ได้รับอาหารระดับโปรตีนร้อยละ 25 ซึ่งมีส่วนผสมยีสต์สกัด (สูตรอาหาร 25/4, 25/8 และ 25/12) และมีระดับโปรตีนต่ำกว่าความต้องการของกุ้ง แต่ให้การเติบโตสูงกว่ากุ้งที่ได้รับอาหารทดลองสูตร 35/0 (ระดับโปรตีนร้อยละ 35 ไม่มีส่วนผสมของยีสต์สกัด) เนื่องจาก

1. ยีสต์สกัดมีส่วนประกอบของวิตามินอี ไบโอทิน กรดโฟลิก กรดนิกโคตินิก โคลีน กรดแพนโทเธนิก และ วิตามินบี 1, 2, 6 และ 12 ในปริมาณมาก ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของยีสต์ที่นำมาสกัดและวิธีการสกัด (Walker,1997) และกุ้งกุลาดำมีความต้องการวิตามินบี 6 เพื่อนำไปสร้างโคเอนไซม์ pyridoxal phosphate ซึ่งมีผลต่อการเติบโตและอัตรารอดโดยเฉพาะกุ้งระยะวัยอ่อน (larvae) และวัยรุ่น (juvenile) เนื่องจาก โคเอนไซม์ pyridoxal phosphate เป็นส่วนสำคัญในกระบวนการเมแทบอลิซึมของโปรตีน และกรดอะมิโน (Baker and Davies,1995)

กุ้ง *Penaeus japonicus* เมื่อได้รับอาหารที่เสริมวิตามินบี 6 ปริมาณ 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีการเติบโตดีกว่ากุ้งที่ได้รับอาหารที่ไม่เสริมวิตามินบี 6 (Giri *et al.*,1997) เป็นไปในแนวทางเดียวกันเมื่อทำการทดลองเลี้ยงกุ้งกุลาดำ *Penaeus monodon* ด้วยอาหารที่มีปรตีนร้อยละ 37.30 และมีวิตามินบี 6 ปริมาณ 0.37, 7.02, 22.43, 50.41, 81.79, 115.23 และ 550.03 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบว่ากุ้งที่ได้รับอาหารที่มีวิตามินบี 6 ปริมาณ 115.23 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมขึ้นไปมีการเติบโตที่ดีกว่ากุ้งที่ได้รับอาหารที่มีวิตามินบี 6 ต่ำกว่า 115.23 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Shaiu and Wu, 2003) เมื่อเสริมยีสต์สกัดลงในอาหารกุ้งกุลาดำมีผลให้การเติบโตดีขึ้นเนื่องจากยีสต์สกัดมีวิตามินบีสูง โดยเฉพาะวิตามินบี 6 เป็นวิตามินที่นำไปใช้ในกระบวนการสร้างโคเอนไซม์ pyridoxal phosphate ซึ่งเป็นโคเอนไซม์ที่ส่งเสริมกระบวนการแมตาบอลิซึมของโปรตีนและกรดอะมิโน ส่งผลให้ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนดีขึ้น

2.ยีสต์สกัดเกิดจากกระบวนการย่อยสลายส่วนประกอบของเซลล์ยีสต์ เนื่องมาจากการย่อยนี้ทำให้โปรตีนถูกย่อย (hydrolyzed protein) กลายเป็นเปปไทด์ที่มีลักษณะเป็นเปปไทด์สั้นๆ

โดยร้อยละ 40-50 มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า 600 ดาลตัน ขณะที่น้ำหนักเปปไทด์ปกติเท่ากับ 5,000-10,000 ดาลตัน (Deutsche Hefeweke company, 2002) และมีปริมาณกรดอะมิโนอิสระ (free amino acid) ร้อยละ 5-20 (Nagodawithana and Reed,1995) ซึ่งไม่พบในปลาป่น (Karen, 2001) ลักษณะเปปไทด์สายสั้นๆ และกรดอะมิโนอิสระของยีสต์สกัดนี้ ทำให้การย่อยและการดูดซึมดีขึ้น ช่วยให้กุ้งนำโปรตีนไปใช้เพื่อการเติบโตและซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอได้รวดเร็วกว่าแหล่งโปรตีนอื่นๆ เนื่องจากกุ้งจะใช้โปรตีนจากอาหารก่อนที่อาหารจะถูกบีบออกจากลำไส้ เพราะกุ้งมีลำไส้สั้นและตรง ทำให้มีประสิทธิภาพการดูดซึมสารอาหารต่ำส่งผลให้ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากโปรตีนต่ำลง และปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนที่มีคุณภาพดีสำหรับปลาแต่มีคุณภาพต่ำสำหรับกุ้งกุลาดำ (Colvin, 1976) ดังนั้นกุ้งที่ได้รับอาหารที่มียีสต์สกัดจึงมีการเติบโตดีขึ้นและมีการเติบโตที่สูงขึ้น เมื่อสัดส่วนของยีสต์สกัดในอาหารเพิ่มขึ้น

3.กุ้งกุลาดำเป็นสัตว์ที่กินอาหารทุกชนิดทั้งพืชและสัตว์ แต่ชอบอาหารเนื้อสัตว์ที่มีกลิ่นคาวมากเพราะกุ้งรับความรู้สึกหรือหาอาหารโดยใช้ประสาทรับความรู้สึกทางกลิ่นที่หนวด ขาเดิน หัว เหงือก ลำตัวและแพนหาง ดังนั้นอาหารกุ้งจึงจำเป็นต้องมีสารดึงดูดให้กุ้งเข้าหาอาหารอันได้แก่ กรดอะมิโนบางชนิด เช่น ไกลซีน อะลานีน ทูรีน กลูตาเมท และบีเทน (พนมรักษ์ ผดุงกุล, 2535)

ปลาป่นที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ protease จะดึงดูดกุ้งมังกรพันธุ์อเมริกันเข้าหาอาหารได้ดีกว่าปลาป่นที่ผ่านกระบวนการย่อยแบบ acidified และปลาป่นธรรมดา ซึ่งดึงดูดกุ้งได้น้อยที่สุดเนื่องจากปลาป่นที่ผ่านกระบวนการย่อยมี กรดอะมิโนอิสระและลักษณะเปปไทด์สายสั้นๆ จึงให้กลิ่นดึงดูดกว่าปลาป่นที่ไม่ผ่านกระบวนการย่อย (Daniel and Bayer,1989 อ้างโดย นครินร์ เรืองพานิช, 2540) สอดคล้องกับคุณสมบัติของยีสต์สกัดซึ่งเป็นสารดึงดูดกุ้งเข้าหาอาหารที่ดีเพราะประกอบด้วย เปปไทด์สายสั้นๆ กรดอะมิโนอิสระและกรดอะมิโนอีกหลายชนิด จึงช่วยดึงดูดให้กุ้งเข้าหาและกินอาหารได้มากขึ้น

ผลผลิตและค่าอาหารที่เพิ่มขึ้น

เมื่อทดลองใช้ยีสต์สกัดทดแทนปลาป่นบางส่วนในอาหารทดลองทำให้กุ้งกุลาดำเติบโตได้ดีขึ้น แต่อาหารทดลองมีต้นทุนการผลิตสูงขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากยีสต์สกัดมีราคาสูงเพราะต้องนำเข้าจากต่างประเทศ แต่ถ้ามีการผลิตยีสต์สกัดได้ในประเทศไทยจะทำให้ราคาของยีสต์สกัดลดต่ำลงมาก (ยีสต์สกัดที่นำเข้าจากประเทศเยอรมันมีราคากิโลกรัมละ 700 บาท แต่ถ้ามีการผลิตยีสต์สกัดภายในประเทศคาดการณ์ว่าจะมีราคาประมาณกิโลกรัมละ 200 บาท) โดยพบว่าการใช้

ยีสต์สกัดทดแทนปลาป่นบางส่วนในอาหารกุ้งให้ผลผลิตกุ้งคุ้มค่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าอาหารที่เพิ่มขึ้น ยกเว้นสูตรอาหาร 25/12 นอกจากนี้การใช้ยีสต์สกัดแทนปลาป่นทำให้กุ้งโตเร็วขึ้น และใช้ระยะเวลาเลี้ยงน้อยลงทำให้ผู้เลี้ยงประหยัดค่าใช้จ่ายและลดความเสี่ยงที่ผู้เลี้ยงต้องแบกรับระหว่างการเลี้ยง และถ้าในอนาคตมีการผลิตยีสต์สกัดได้ภายในประเทศจะส่งผลให้ยีสต์สกัดมีราคาต่ำลงมากและทำให้ต้นทุนค่าอาหารต่ำลง ซึ่งจะทำให้ผู้เลี้ยงได้กำไรมากขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6
ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะ

1. ยีสต์อบแห้ง (ยีสต์จากโรงเบียร์ที่ทำความสะอาดด้วยน้ำจากนั้นกรองและอบแห้งเพื่อให้เซลล์ยีสต์แตก) จะมีสาร α-glucan ซึ่งเป็นสารที่พบมากในผนังเซลล์ (ชลลดา ปรีดา,2526) เมื่อนำมาเป็นส่วนประกอบในอาหารกุ้ง ควรมีการศึกษาเรื่องภูมิคุ้มกันของกุ้งด้วย เนื่องจากสาร α-glucan เป็นส่วนประกอบในเม็ดเลือดขาวของกุ้งซึ่งมีส่วนในการสร้างภูมิคุ้มกันของกุ้ง (Scholz *et.al*.,1999)

2. การทดลองครั้งนี้ทำการทดลองโดยเลี้ยงกุ้งในบ่อปูนซีเมนต์ขนาด 75x75x60 เซนติเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับสถานที่เลี้ยงกุ้งเพื่อการค้าจะเป็นบ่อดินขนาดครึ่งไร่ทำให้อัตราการเติบโตของกุ้งมีความแตกต่างกัน โดยกุ้งที่เลี้ยงในบ่อดินจะมีอัตราการเติบโตดีกว่ากุ้งที่เลี้ยงในบ่อปูนฉะนั้นจึงควรทดลองเลี้ยงในบ่อดินขนาดใหญ่ด้วย

3. จากเอกสารพบว่าขนาดของกุ้งกุลาดำมีผลต่อการประสิทธิภาพการใช้โปรตีนและอัตราการเติบโต ดังนั้นการใช้ยีสต์สกัดในอาหารกุ้งอาจทำให้การเติบโตของกุ้งต่างกันไปตามขนาดหรืออายุของกุ้ง ซึ่งควรทำการศึกษาผลของยีสต์สกัดในอาหารกุ้งในแต่ละขนาดของกุ้งด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

คณิต ไชยาคำ และบุญส่ง สิริกุล. 2533. การทดลองเลี้ยงกุ้งกุลาดำด้วยอาหารผสมสูตรต่างๆกันในบ่อดิน. เอกสารวิชาการ. สถานีประมงจังหวัดสงขลา กองประมงน้ำกร่อย กรมประมง. กรุงเทพมหานคร.

ชลลดา ปรีดา. 2526. การใช้ยีสต์จากโรงงานเบียร์แทนปลาป่นในอาหารปลา.วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 96 น.

ชลอ ลิ้มสุวรรณ. 2535. คัมภีร์การเลี้ยงกุ้งกุลาดำ. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์ฐานเศรษฐกิจ. 202น.

ธีระพัฒน์ หงสกุล. 2547. [Online]. Available from : http://www.siammarine.com.[2004 March 23]

นครินทร์ เรืองพานิช. 2540. การใช้การถั่วเหลืองและโปรตีนข้าวโพดทดแทนหัวกุ้งป่นและปลาหมึกป่นร่วมกับสารชวนกินในอาหารกุ้งกุลาดำ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต คณะประมง มหาลัยเกษตรศาสตร์. 121 น.

นงลักษณ์ สุวรรณพินิจ และปรีชา สุวรรณพินิจ. 2539. จุลชีววิทยาทั่วไป. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 735 น.

เบ็ญจมาศ จันทะภา. 2539. อัตราส่วนระหว่างโปรตีนและพลังงานที่เหมาะสมในอาหารกุ้งกุลาดำวัยรุ่น. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 116 น.

เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต. 2534. อาหารสำหรับการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ. วารสารการประมง 4 : 329-342.

ประจวบ หลำอุบล. 2537. สรีรวิทยาของกุ้ง. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พนมรักษ์ ผดุงกุล.2535. การผลิตอาหารกุ้งกุลาดำ *Penaeus monodon* Fabricius วัยรุ่น. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.89 น.

พรศรี ประรักกะโม. 2541. การขับถ่ายแอมโมเนียและยูเรียของกุ้งกุลาดำขนาดต่างๆที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีระดับโปรตีนและความเค็มแตกต่างกัน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 103 น.

มนตรี จุฬาวัฒนทล ชิษณุสรร สวัสดิวัตน์ ยงยุทธ ยุทธวงศ์ ภิญโญ พานิชพันธ์ ประหยัด โกมารทัต พิณทิพ รื่นวงษา ธีรยศ วิทิตสุวรรณกุล บุรชัย สนธยานนท์ สุมาลี ตั้งประดับกุล และมธุรส พงษ์ลิขิตมงคล. 2542. ชีวเคมี. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จิรรัชการพิมพ์จำกัด. 589 น.

มะลิ บุณยรัตผลิน. 2531. อาหารและการให้อาหารกุ้งกุลาดำ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ช่องนนทรี จำกัด.

วิลาวัณย์ เจริญจิระตะกูล. 2539. จุลินทรีย์ที่มีความสำคัญด้านอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. 258 น.

วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย. 2536. อาหารปลา. พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ โอ.เอส.พริ้นติ้ง เฮ้าส์ จำกัด.

เวียง เชื้อโพธิ์หัก. 2537. โภชนศาสตร์ และการให้อาหารสัตว์น้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 255 น.

ภาษาอังกฤษ

Andrews, J.W., L.V. Sick and G.L. Baptist..1972. The Influence of Dietary Protein and Energy Levels on Growth and Survival of Penaeid Shrimp. Aquaculture 1: 341-347.

Association of Official Analytical Chemists. 1990. Official Methods Analysis. 14th ed. Washington D.C.Association of Official Analytical Chemists.

Akiyama, D.M. and N.L.M, Chwang. 1989. Shrimp Feed Requirements and Feed Management. Proceedings of The Southeast Asia Shrimp Farm Management Workshop Philippines, Indonesia and Thailand. July 26 to August 11. American Soybean Association, Singapore: 5-82.

Baker, R.T.M. and S.J. Davies. 1995. The Effect of Pyridoxine Supplementation on Dietary Protein Utilization in Gilthead Sea Bream Fry. Animal Science.60: 157-162.

Colvin, L.B. and C.W. Brand. 1997. The Protein Requirement of Penaeid Shrimp at Various Life Cycle Stages in Controlled Systems. Proceeding of The World Mariculture Society. 8: 821-840.

Colvin, P.M. 1976. Nutritional Studies on Penaeid Prawns: Protein Requirements in Compounded Diets for Juvenile *Penaeus indicus* (Miline Edwards). Aquaculture 7 : 315-326.

Conklin, D.E. 1997. Vitamin. In Crustacean Nutrition, The World Aquaculture Society.Baton Rouge: 130-131.

Dabbah, R. 1970. Protein from Microorganisms. Food technology. 24:35-43.

Deshimaru, O. and K. Kuroki. 1979. Requirement of Prawns for Dietary Thiamins Pyridoxine and Choline Chloride. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.45:363-367.

Deutsche Hefewerke Company.2002. Yeast Extract. [Online]. Available from: http:www.ohly.com. [2002 February 23].

Frazier, W.C. and D.C. Westhoff. 1979. Food Microbiology. 3rd.McGraw-Hill Publishing.New Delhi.324 pp.

Giri, I.N.A., S. Teshima, A. Kanazawa and M.Issikawa. 1997. Effect of Dietary Pyridoxine and Protein Levels on Growth, vitamin B6 Content, and Free Amino Acid Profile of Juvenile *Penaeus japonicus*. Aquaculture 157: 263-275.

Goossens, A.E. 1974. Protein food-flavors and off-flavors. Food Eng 10:59-60.

Hough, J.S. and I.S. Maddox. 1970. Yeast Autolysis.Process Biochem 5:50-53.

Karen G. Fish Meal. 2001. [Online]. Available from: http://www.ingredient101.com. [2001 December].

Lan, C.C. and B.S. Pan.1993. Invitro Digestibility Simulating The Proteinlysis of Feed Protein in the Midgut Gland of Grass Shrimp *Penaeus monodon*. Aquaculture109: 59-70.

Mahken, V.M, J. Spinelli and F.W. Waknitz. 1980. Evaluation of an Alkane Yeast Candida sp. as a Subtitute for Fish Meal in Oregon Moist Pellet: Feeding Trials with Coho Salmon *Oncorhynchus kisutch* and Rainbow Trout *Salmon gairdneri*. Aquaculture 20: 41-56.

Mantel, L.H. 1983. The biology of Crustaceae : Internal anatomy and physiological regulation. Vol. 5. New York: Academic Press.

Matty, A.J. and P. Smith. 1978. Evaluation of a Yeast, a Bacterium and an Alga as a Protein Source for Rainbow Trout. Aquaculture14: 235-246.

Monica, H. 2004. Protein. [Online]. Available from: htpp://www.aglg.uidaho.edu. [2004 March].

Morean, R., G. Cuzon and J. Gabaudan. 1998. Efficacy of Silicon-Coated Ascorby L-2-Phosphate to Fast-Growing Tiger Shrimp *Penaeus monodon*. Aquac.Nutri.4: 23-29.

Motoh,H. 1981. Studies on the fisheries biology of the giant tiger prawn, *Penaeus monodon* in the Philippines. Technical Report No.7,SEAFDEC,Aquaculture Deparment, Tigbauan. Iloilo. 128 p.

Nagodawithana, T.W. and G. Reed. 1995. Biotechnology Volume.9 Enzymes, Biomass, Food and Feed.2nd ed. VCH.Weinheim.804 pp.

Peppler, H.J. 1986. Single Cell Protein I. Massachusetts: The MIT Press. 242 pp.

Pereira, D.G. and B.V. Kilihian. 2001. Effect of Yeast Extract on Growth Kinetics of Monascus purpureus. Applied Biochemistry and Biotechnology 91:311-316.

Reed, G. and H.J. Peepler. 1973. Yeast Technology. Connecticus: The AVI Publishing. 449 pp.

Reed, G. and T.W.Nagodawithana. 1991. Yeast technology. 2nd ed. New York.

SAS. 1985. The statistic analysis system. USA: SAS Institute Inc.

Scholz U, G. Garcai Diaz, D.Ricque, L.E. Cruz Suarez, F.Vargas Albores and J. Latchford.1999. Enhancement of Vibriosis Resistance in Juvenile *Penaeus vannamei* by Supplementation of Diets with Different Yeast Products. Aquaculture 176:271-283.

Shiau, S.Y., and M.H. Wu. 2003. Dietary Vitamin B6 Requirement of Grass Shrimp, *Penaeus monodon*. Aquaculture 225: 397-404.

Spotte, S.1979. Seawater Aquariums. WILEY Publication. New York. 552 pp.

Synder, H.E. 1970. Advances in Food Research. New York. Academic Press.140 pp.

Tacon, A.G.J., and D.M. Akiyama. 1997. Feed Ingredients In World Aquaculture Society. Book of Abstracts World Aquaculture'97. February 19-23,1997. Washington State Convertion Center Settle, Washington, U.S.A.

Tannenbaum, S.R. 1978. Single Cell Protein II. The MIT Press. Massachusettes. 454 pp.

Walker, G.M. 1997. Yeast Physiology and Biotechnology. WILEY Publication. NY.652 pp.

Waterman, T.H. 1960. The Physiology of Crustacea. Academic Press Inc. New York. 316pp.

West, T.P. and N.A. Fullenkamp. 2000. Ability of Amino Acid to Support Gellan Production by Sphingomonas paucimobilis ATIC 31461. Microbios102: 89-100.

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

วิธีวิเคราะห์อาหารแบบ proximate analysis (AOAC,1990)

1. การวิเคราะห์โปรตีน (crude protein) ในอาหารสัตว์

หลักการ

วิธีหาปริมาณไนโตรเจนที่เป็นส่วนประกอบของโปรตีนซึ่งโดยทั่วไปโปรตีนประกอบด้วยไนโตรเจนประมาณร้อยละ 16 ดังนั้นเมื่อทราบปริมาณไนโตรเจนแล้วนำมาคูณกับแฟคเตอร์ 6.25 ผลที่ได้คือ โปรตีนทั้งหมด (crude protein) ในอาหารสัตว์ ขั้นตอนในการวิเคราะห์มี 3 ขั้นตอน คือ

1. การย่อยตัวอย่างอาหารให้อยู่ในรูปสารละลาย
2. การหาปริมาณโปรตีนโดยการกลั่นสารละลายที่ได้จากข้อ 1
3. การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของกรด H_2SO_4

อุปกรณ์

1. เครื่อง erhardt kjeldatherm digestion unit
2. เครื่อง erhardt vapodast 1
3. ชุดไตเตรท

สารเคมี

1. สารละลายกรด H_2SO_4เข้มข้น
2. สารละลายกรด H_2SO_4เข้มข้น 0.1 N
3. สารละลาย NaOH เข้มข้นร้อยละ 50
4. สารละลายกรด Boric เข้มข้นร้อยละ 4
5. protein catalyst
6. tashiro indicator

การเตรียมสารเคมี

1. Protein catalyst เตรียมจาก $CuSO_4$ 7 กรัม ผสมกับ K_2SO_4 100 กรัม
2. boric acid ร้อยละ 4 เตรียมจาก boric acid 40 กรัม ละลายในน้ำกลั่นเป็น 1ลิตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. tashiro indicator เตรียมจาก methyl red : methylene blue สัดส่วน 3 ต่อ 2 โดยละลาย methyl red 1 กรัม ใน NaOH เข้มข้น 0.1N ปริมาตร 37 มิลลิลิตรและน้ำกลั่น ให้มีปริมาตรรวมเป็น 1 ลิตร ผสมกับสารละลาย methylene blue 1 กรัม ในน้ำกลั่น 1 ลิตร

4. 0.5 N H_2SO_4 เตรียมจาก สูตร

$$V = (100 \times M \times N)/ a \times p \times d$$

เมื่อ V = ปริมาตรของสารที่ใช้เตรียมสารละลาย 1 ลิตร

M = น้ำหนักโมเลกุลของสาร

N = ความเข้มข้นเป็นนอร์มอล

a = จำนวนโปรตอนของกรดที่ทำปฏิกิริยาได้

p = เปอร์เซนต์ความบริสุทธิ์

d = ความหนาแน่นของสาร

5. การเตรียม 0.5 N Na_2CO_3 ชั่ง Na_2CO_3 26.5 g อบที่ 100 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้น ละลายในน้ำกลั่นอุ่นที่ต้มไล่ CO_2 ออกแล้ว ทำให้เป็น 1 ลิตร

6. การเตรียม 0.131 N NaOH เตรียมจาก สูตร

$$V = (100 \times M \times N)/ a \times p \times d$$

เมื่อ V = ปริมาตรของสารที่ใช้เตรียมสารละลาย 1 ลิตร

M = น้ำหนักโมเลกุลของสาร

N = ความเข้มข้นเป็นนอร์มอล

a = จำนวนอิเลคตรอนที่ทำปฏิกิริยาได้

p = ร้อยละความบริสุทธิ์

d = ความหนาแน่นของสาร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของกรด H_2SO_4(Skoog and West, 1986)

วิธีการทดลอง

1. เตรียมสารละลาย 0.5 N H_2SO_4 และ 0.5 N Na_2CO_3

2. ปิเปต 0.5 N Na_2CO_3 25 ml ใส่ใน flask หยด methyl orange 2-3 หยด ไตเตรตกับ0.5 N H_2SO_4 จนถึงจุดยุติ จะได้สีชมพูเหลือง

คำนวณหาความเข้มข้นของ H_2SO_4 จาก

$$N_{acid} = (N_{base} \times V_{base}) / V_{acid}$$

โดย N_{acid} = ความเข้มข้นของสารละลาย H_2SO_4 เป็นนอร์มอล

N_{base} = ความเข้มข้นของสารละลาย Na_2CO_3 เป็นนอร์มอล

V_{base} = ปริมาตรของสารละลาย Na_2CO_3 เป็นมิลลิลิตร

V_{acid} = ปริมาตรของสารละลาย H_2SO_4 เป็นมิลลิลิตร

การย่อยตัวอย่างอาหาร(Kjeldatherm digestion)

วิธีการทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างอาหารแห้งประมาณ 2 กรัม ใส่ใน digestion tube

2. เติม catalyst 10.01 กรัม ลงไปแล้วเติม H_2SO_4 เข้มข้น 25 มิลลิลิตร

3. นำ digestion tube ใส่ใน rack แล้วนำ rack ไปใส่ใน kjeldatherm digestion block พร้อมทั้งประกอบท่อดูดควันระบบสุญญากาศทิ้งให้เกิดการย่อยจนได้สารประกอบสีดำประมาณ 20 นาที

4. เริ่มตั้งอุณหภูมิเครื่อง kjeldatherm digestion block ไว้ที่ประมาณ 100 องศาเซลเซียส แล้วเพิ่มอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ทุกๆประมาณ 15-20 นาที จนอุณหภูมิถึง 380 องศาเซลเซียส

5. ปล่อยให้เกิดการย่อยสมบูรณ์ (โดยสีของสารละลายใน digestion tube จะขึ้นกับชนิดของ catalyst ในการย่อยนี้จะได้สีฟ้า)

6. ปล่อยทิ้งไว้ให้สารละลายมีอุณหภูมิลดลงถึงอุณหภูมิห้อง

7. เติมน้ำกลั่นลงใน digestion tube ให้น้ำใน tube มีปริมาณมากพอที่จะนำไปกลั่นได้ (เติมประมาณ 100-150 องศาเซลเซียส)

การกลั่นสารละลายเพื่อนำไปหาโปรตีน

วิธีการทดลอง

1. เปิดเครื่องมือ vapodest 1 โยกคันโยกมาอยู่ในตำแหน่ง fill เพื่อปล่อยน้ำเข้าสู่ boiler จนได้ระดับน้ำประมาณ 6/10 ของ boiler แล้วโยกคันโยกมาอยู่ที่ตำแหน่ง stand by น้ำใน boiler จะเริ่มเดือด ไม่ควรเติมน้ำมากเกินไปเพราะเวลาน้ำเดือดจะล้นเข้ามาอยู่ใน digestion tube

2. เติม 4% boric acid 100 ml ลงใน Erlenmeyer flask ขนาด 500 มิลลิลิตร หยด tashiro indicator ลงไป 5-6 หยด จะได้สารละลายสีม่วง วาง flask ที่มี boric acid ไว้ในตำแหน่งที่มี drainage tube โดยปล่อยให้ปลาย drainage tube จุ่มอยู่ในสารละลาย boric acid ตลอดเวลา

3. นำ digestion tube ที่มีตัวอย่างที่ dilute แล้วไปวางบน clamp โดยให้ส่วนปลายของ tube แนบสนิทกับ cone-shape rubber stopper

4. เมื่อน้ำเริ่มเดือดเป็นไอให้กดปุ่ม “added NaOH” เพื่อให้ 50%NaOH solution ไหลเข้าสู่ digestion tube สารละลายใน digestion tube จะเกิดฟองก๊าซขึ้น กดปุ่ม added NaOH ไปเรื่อยๆ จนไม่เกิดฟองขึ้น (สารละลายใน digestion tube จะขุ่นมีตะกอน) เติม 50%NaOH solution ให้มากเกินพออีกประมาณ 10 มิลลิลิตร ถ้าในตัวอย่างอาหารมีสารประกอบไนโตรเจนมาก สีของสารละลาย boric acid และ tashiro indicator จะเริ่มเปลี่ยนจากสีม่วงเป็นสีเขียว ในขั้นตอนนี้จะต้องปล่อยน้ำให้ไหลเข้า condenser ตลอดเวลา เพื่อให้ก๊าซ NH_3 ควบแน่นไหลเข้าสู่ flask ที่บรรจุ boric acid

5. โยกคันโยกมาที่ตำแหน่ง distillation เพื่อให้ไอน้ำเข้าไปใน digestion tube และ ปล่อยให้เกิดการกลั่นจนได้สารละลายใน flask ที่มี boric acid จนได้ปริมาตรเป็น 300 มิลลิลิตร แล้วให้โยกคันโยกมาที่ตำแหน่ง stand by ถอด digestion tube ออก

6. นำ flask ที่มี boric acid และ tashiro indicator ไปไตเตรตกับสารละลาย standard H_2SO_4 ความเข้มข้นประมาณ 0.5 N จนถึงจุดยุติซึ่งสารละลายใน flask จะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วงอ่อน

การคำนวณหาปริมาณโปรตีน

$$\text{โปรตีน (ร้อยละ)} = \frac{1400 \times V_s \times N_s \times N_p}{\text{น้ำหนักของตัวอย่าง(กรัม)} \times 1000}$$

โดย V_s = ปริมาตรของ H_2SO_4 ที่ใช้ในการไตเตรต เป็น มิลลิลิตร

N_s = ความเข้มข้นของสารละลาย H_2SO_4 ใช้ในการไตเตรตเป็นนอร์มอล

N_p = conversion factor (มีค่า 6.25)

2. การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น

หลักการ

ความชื้นของตัวอย่างอาหารสัตว์จะถูกดึงไปโดยการระเหยด้วยความร้อนจนกระทั่งได้น้ำหนักของอาหารที่เหลืออยู่คงที่ น้ำหนักที่สูญหายไปของอาหารก็คือความชื้นของอาหารนั่นเอง

อุปกรณ์

1. ตู้อบแห้ง (hot air oven)
2. โหลดูดความชื้น (desiccator)
3. ถ้วยอะลูมิเนียม
4. คีมคีบ (tong)

วิธีการทดลอง

1. อบถ้วยอะลูมิเนียมที่ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโหลดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนักละเอียด
2. ชั่งตัวอย่างอาหาร (รู้น้ำหนักละเอียด) ประมาณ 2 กรัม ใส่ในถ้วยอะลูมิเนียม
3. อบอาหารที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
4. ทิ้งให้เย็นในโหลดูดความชื้นชั่งน้ำหนักละเอียด
5. คำนวณ ความชื้น (ร้อยละ) จากสูตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$\text{ความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{(\text{น้ำหนักอาหารก่อนอบ} - \text{น้ำหนักอาหารหลังอบ}) \times 100}{\text{น้ำหนักอาหารก่อนอบ}}$$

การหาปริมาณเถ้า (AOAC, 1980)

หลักการ

เมื่อนำตัวอย่างอาหารสัตว์ไปเผาไหม้ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส พวกสารอินทรีย์ทั้งหมดจะถูกเผาไหม้ไป ส่วนที่เหลืออยู่คืออนินทรีย์สาร โดยอนินทรีย์สารทั้งหมดที่ไม่ได้ระเหยไปในอุณหภูมิดังกล่าวเรียกว่าเถ้า (ash) เถ้าคือแร่ธาตุที่มีอยู่ในอาหารนั่นเอง

อุปกรณ์

1. เตาเผาอุณหภูมิความร้อนสูง (muffle furnace)
2. ถ้วยกระเบื้อง (porcelain crucibles)
3. โหลดูดความชื้น (desiccator)
4. ตู้ดูดควัน (fume hood)
5. เตาเผา (hot plate)
6. คีมคีบ (tong)

วิธีการทดลอง

1. อบ crucible ที่ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโหลดูดความชื้นชั่งน้ำหนักละเอียด

2. ชั่งน้ำหนักแห้ง (รู้น้ำหนักละเอียด) ประมาณ 2 กรัม ใส่ใน crucible

3. วาง crucible บน hotplate ปล่อยให้เกิดการ ignite ในตู้ควันจนหมดควัน

4. ย้าย crucible ไปเผาใน muffle furnace ที่ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

5. ทิ้งให้เย็นในโหลดูดความชื้นชั่งน้ำหนักละเอียด

6. คำนวณร้อยละความชื้นจากสูตร

$$\text{เถ้า (ร้อยละ)} = \frac{\text{ปริมาณเถ้าที่เหลือ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}} \times 100$$

4. การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน(AOAC, 1980)

หลักการ

อีเทอร์จะถูกระเหยเป็นไอติดต่อกันหลังจากนั้นไอของอีเทอร์กระทบความเย็นจากเครื่องควบแน่นแล้วกลั่นตัวกลับเป็นของเหลว และไหลผ่านตัวอย่างอาหารสัตว์ พร้อมทั้งสกัดสารที่สามารถละลายได้ในอีเทอร์ออกมาด้วยจนกระทั่งกระบวนการเสร็จสิ้นอีเทอร์จะถูกระเหยหรือทำให้แห้งไปจนหมดสิ่งที่เหลืออยู่คือไขมัน (crude fat) หรือที่เรียกว่า ether extract

อุปกรณ์

1. เครื่องสกัดไขมัน (soxtherm automatic) รุ่น S-11 ของบริษัท erhardt ประเทศเยอรมนี ประกอบด้วย cooler, oil bate โดยมี silicone oil เป็นตัวถ่ายเทความร้อน, pressure control pump และ condenser
2. thimble ชนิด double layer ขนาด 28x80 มิลลิเมตร
3. ขวดสกัดไขมัน (extraction beaker)
4. กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1
5. โถดูดความชื้น (desiccator)

สารเคมี

1. petroleum ether (AR grade)

วิธีการทดลอง

1. อบขวดสกัดไขมันของเครื่องที่ 130 องศาเซลเซียส จนได้น้ำหนักคงที่ ใช้เวลาอบประมาณ 2-3 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโหลดูดความชื้นชั่งน้ำหนักละเอียด
2. ชั่งตัวอย่างแห้ง (รู้น้ำหนักละเอียด) ประมาณ 2 กรัม ห่อด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1
3. ใส่ตัวอย่างที่ห่อด้วยกระดาษกรองแล้วใส่ใน thimble หลังจากนั้นใส่ thimble ลงในขวดสกัดไขมันของเครื่อง แล้วเติม petroleum ether 90 มิลลิลิตร ลงไปในขวดสกัดไขมัน (ระวังอย่าให้ thimble แช่อยู่ใน petroleum ether)
4. นำขวดสกัดไขมันไปประกอบกับเครื่อง soxtherm เปิดสวิตช์ oil bath แล้วตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 150 องศาเซลเซียส แล้วเปิดสวิตช์ที่ pressure control pump เปิด cooler ให้น้ำเย็นไหลเข้าสู่ condenser ของเครื่อง soxtherm

5. เลื่อนคันโยกที่เครื่อง soxtherm มายังตำแหน่งที่จะทำให้เกิดการ reflux กลับของ petroleum ether ปล่อยให้เกิดการสกัดเป็นเวลา 6 ชั่วโมง
6. เลื่อนคันโยกที่เครื่อง soxtherm มาที่ตำแหน่งที่ทำให้เกิดการกลั่นเก็บของ petroleum ether รอจน petroleum ether แห้งเกือบหมด
7. นำขวดสกัดไขมันไปอบที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นใน desiccator
8. นำขวดสกัดไขมันไปชั่งน้ำหนักละเอียด
9. คำนวณร้อยละของไขมันจากสูตร

$$\text{ไขมัน (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักของไขมัน}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}} \times 100$$

5. การหาปริมาณเยื่อใย (fiber) (AOAC, 1978)

หลักการ

นำอาหารที่สกัดไขมันออกแล้วไปย่อยด้วยสารละลายกรดเจือจางหลังจากนั้นอาหารจะถูกย่อยต่อไปด้วยสารละลายด่างเจือจางสารที่เหลืออยู่ถูกกรองเก็บไว้ในกระดาษกรองใน crucible แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส น้ำหนักที่สูญหายไปในการเผาคือเยื่อใยทั้งหมดที่มีอยู่ในอาหารนั่นเอง

อุปกรณ์

1. crude fiber digestion apparatus ประกอบด้วย digestion beaker และ condenser
2. กระดาษกรองชนิดไม่มีเถ้า (Whatman เบอร์ 41)
3. เตาเผาอุณหภูมิความร้อนสูง (muffle furnace)
4. ถ้วยกระเบื้อง (porcelain crucibles)
5. โหลดูดความชื้น (desiccator)
6. กรวยกรอง (funnel)
7. กระดาษลิตมัส

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารเคมี

1. H_2SO_4 เข้มข้น 0.255 N
2. NaOH เข้มข้น 0.313 N
3. 95 % ethyl alcohol

วิธีการทดลอง

1. อบกระดาษกรองเบอร์ 41 และ crucible ที่ 105°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโหลดูดความชื้นจนได้น้ำหนักคงที่ ชั่งน้ำหนักละเอียด
2. นำตัวอย่างที่สกัดไขมันออกไปแล้ว (ทราบน้ำหนักละเอียดเริ่มต้นของตัวอย่างก่อนสกัดไขมัน) ใส่ลงใน beaker ทรงสูงขนาด 600 มิลลิลิตร เติม H_2SO_4 เข้มข้น 0.225 N ลงไป 200 มิลลิลิตร ต่อ condenser เข้ากับ beaker เพื่อรักษาระดับของกรดให้คงที่ เปิด heater ให้ความร้อนกับกรดจนเดือด ทำการย่อยต่อเป็นเวลา 30 นาที
3. กรองสารละลายที่ได้จากข้อ 2 ด้วยกระดาษกรองเบอร์ 41 จนหมด (ไม่ควรให้มีตะกอนเหลือค้างอยู่ใน beaker) ล้างตะกอนที่ค้างอยู่บนกระดาษกรองด้วยน้ำกลั่นจนหมดความเป็นกรด
4. นำส่วนที่เหลือบนกระดาษกรองใส่ลงใน beaker ในข้อ 2 จนหมด เติมสารละลาย NaOH เข้มข้น 0.131 N ลงไป 200 มิลลิลิตร ใช้สารละลายนี้ล้างสารตัวอย่างบนกระดาษกรองให้หมดแล้วจึงต้มให้เดือดเป็นเวลา 30 นาที
5. กรองเอาสารละลายจากข้อ 4 ด้วยกระดาษกรองแผ่นเดิมแล้วล้างตัวอย่างจนหมดความเป็นด่างด้วยน้ำกลั่น ล้างตะกอนด้วย 95% ethyl alcohol ประมาณ 30 มิลลิลิตร นำตัวอย่างที่เหลือบนกระดาษกรองไปอบให้แห้งที่ 100 องศาเซลเซียส (ประมาณ 2 ชั่วโมง) ทิ้งให้เย็นใน desiccator จนได้น้ำหนักคงที่ ชั่งน้ำหนักละเอียด
6. นำตะกอนพร้อมกระดาษกรองไปเผาเพื่อหาเถ้าโดยใส่ไว้ใน crucible ที่ทราบน้ำหนักละเอียดแล้ว ทิ้งให้เย็นใน desiccator แล้วนำไปชั่งน้ำหนักละเอียด
7. คำนวณร้อยละของเยื่อใยจากสูตร

$$\text{เยื่อใย (ร้อยละ)} = \frac{[(\text{น้ำหนักตะกอน+กระดาษกรอง})-\text{น้ำหนักกระดาษกรอง}-\text{ปริมาณเถ้า}] \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}}$$

ภาคผนวก ข.

ตารางที่ 13 เปรียบเทียบน้ำหนัก ความยาว อัตราการเติบโตและการตายของกุ้งกุลาดำที่ได้รับอาหารทดลอง 8 สูตร

Diet no.	Block	Initial					14 day					SGC (%/14day)		Mortality rate(%)
		No.of Shrimp	Body weight		Body length		No.of Shrimp	Body weight		Body length				
			Total	Mean±S.D.	Total	Mean±S.D.		Total	Mean±S.D.	Total	Mean±S.D.	Total	Mean	
25/0	B-I	40	10.3	3.35±0.41	94.10	3.35±0.41	27	8.76	0.32±0.14	94.10	3.48±0.52	-1.15	1.65	32.5
	B-II	40	4.06	2.25±0.26	180.40	2.25±0.26	40	30.7	0.76±0.31	180.40	4.51±0.68	14.45	14.45	0
	B-III	40	2.57	2.01±0.16	131.00	2.01±0.16	34	13.29	0.39±0.22	131.00	3.85±0.72	11.73	12.89	15
	Mean	40	5.64±4.1	2.5±0.60	135.17±43.30	2.5±0.60	33.67±6.50	17.58±11.5	0.52±0.31	135.17±43.30	4.0±0.77	8.34±8.33	9.66±6.89	15.83±16.26
25/4	B-I	40	10.49	3.59±0.46	142.70	3.59±0.46	36	15.89	0.44±0.16	142.70	3.96±0.48	2.96	3.71	10
	B-II	40	3.58	1.99±0.18	194.70	1.99±0.18	40	35.84	0.89±0.21	194.70	4.86±0.43	16.44	16.44	0
	B-III	40	2.38	2.05±0.16	124.46	2.05±0.16	34	16.75	0.49±0.36	124.46	3.70±0.90	14.98	16.14	15
	Mean	40	5.48±4.3	2.5±0.80	153.95±36.45	2.5±0.80	36.67±3.05	22.83±11.2	0.65±0.43	153.95±36.45	4.2±0.88	11.46±7.39	12.10±7.26	8.33±7.63
25/8	B-I	40	9.24	3.25±0.35	123.20	3.25±0.35	35	10.94	0.31±0.13	123.20	3.52±0.42	1.20	2.16	12.5
	B-II	40	3.99	2.29±0.35	208.60	2.29±0.35	40	44.79	1.11±0.25	208.60	5.21±0.44	17.27	17.27	0
	B-III	40	2.26	1.97±0.16	158.50	1.97±0.16	37	20.85	0.56±0.29	158.50	4.28±0.61	15.87	16.42	7.5
	Mean	40	5.16±3.6	2.5±0.62	163.43±42.91	2.5±0.62	37.33±2.51	25.53±17.4	0.68±0.41	163.43±42.91	4.4±0.85	11.45±8.89	11.95±8.49	6.66±6.29
25/12	B-I	40	9.71	3.48±0.32	151.80	3.48±0.32	38	16.47	0.43±0.2	151.80	3.99±0.47	3.77	4.14	5
	B-II	40	2.88	2.19±0.21	194.50	2.19±0.21	40	35.27	0.88±0.22	194.50	4.86±0.43	17.89	17.89	0
	B-III	40	2.12	2.00±0.18	162.80	2.00±0.18	40	21.05	0.52±0.2	162.80	4.07±0.49	16.39	16.39	0
	Mean	40	4.90±4.1	2.6±0.7	169.70±22.17	2.6±0.7	39.33±1.15	24.26±9.8	0.62±0.28	169.70±22.17	4.3±0.61	12.68±7.75	12.81±7.54	1.66±2.88

ตารางที่ 13 (ต่อ) เปรียบเทียบน้ำหนัก ความยาว อัตราการเติบโตและการตายของกุ้งกุลาดำที่ได้รับอาหารทดลอง 8 สูตร

Diet no.	Block	Initial					14 day					SGC (%/14day)		Mortality rate(%)
		No.of Shrimp	Body weight		Body length		No.of Shrimp	Body weight		Body length				
			Total	Mean±S.D.	Total	Mean±S.D.		Total	Mean±S.D.	Total	Mean±S.D.	Total	Mean	
35/0	B-I	40	8.08	0.20±0.07	129.60	3.24±0.40	40	12.02	0.30±0.11	143.80	3.59±0.45	2.83	2.83	0.00
	B-II	40	2.68	0.06±0.03	86.60	2.16±0.24	40	27.35	0.68±0.19	183.10	4.57±0.42	16.59	16.59	0.00
	B-III	40	2.69	0.06±0.03	82.80	2.07±0.14	40	18.88	0.47±0.22	162.00	4.05±0.48	13.91	13.91	0.00
	Mean	40	4.48±3.1	0.11±0.08	99.67±25.99	2.5±0.60	40±0.00	19.42±7.6	0.49±0.24	162.97±19.67	4.1±0.60	11.11±7.29	11.11±7.29	0.00
35/4	B-I	40	9.32	0.23±0.10	137.60	3.44±0.48	33	14.63	0.43±0.17	133.80	3.93±0.52	3.22	4.59	17.50
	B-II	40	2.93	0.07±0.04	90.20	2.25±0.27	40	23.75	0.59±0.15	169.60	4.24±0.45	16.17	16.17	0.00
	B-III	40	3.73	0.09±0.04	85.60	2.14±0.13	36	23.03	0.63±0.19	158.90	4.41±0.40	13.00	13.75	10.00
	Mean	40	5.33±3.4	0.13±0.10	104.47±28.79	2.6±0.67	36.33±3.51	20.47±5.0	0.60±0.46	154.10±18.38	4.2±0.47	10.79±6.75	11.50±6.10	9.16±8.78
35/8	B-I	40	9.5	0.23±0.08	131.50	3.28±0.32	34	18.33	0.53±0.16	149.20	4.38±0.51	4.69	5.85	15.00
	B-II	40	2.51	0.06±0.03	91.60	2.23±0.22	40	29.3	0.73±0.15	184.20	4.60±0.40	17.55	17.55	0.00
	B-III	40	3.48	0.08±0.05	82.40	2.06±0.18	40	32.18	0.80±0.25	189.50	4.73±0.45	15.88	15.88	0.00
	Mean	40	5.16±3.7	0.13±0.09	101.83±26.10	2.5±0.59	38.00±3.46	26.60±7.3	0.70±0.22	174.27±21.88	4.60±0.47	12.71±6.99	13.09±6.32	5.00±8.66
35/12	B-I	40	9.71	0.24±0.07	140.30	3.50±0.34	32	16.65	0.52±0.22	140.40	4.38±0.58	3.85	5.44	20.00
	B-II	40	2.65	0.06±0.03	88.70	2.21±0.25	40	45.85	1.14±0.18	211.10	5.24±0.50	20.36	20.36	0.00
	B-III	40	2.76	0.06±0.03	82.00	2.05±0.14	40	36.35	0.90±0.22	230.30	5.75±0.93	18.41	18.41	0.00
	Mean	40	5.04±4.0	0.13±0.10	103.67±31.90	2.6±0.7	37.33±4.61	32.95±14.8	0.88±0.32	193.30±47.34	5.2±0.89	14.21±9.02	14.74±8.10	6.66±11.5

ตารางที่ 13 (ต่อ) เปรียบเทียบน้ำหนัก ความยาว อัตราการเติบโตและการตายของกุ้งกุลาดำที่ได้รับอาหารทดลอง 8 สูตร

Diet no.	Block	14 day					28 day					SGC (%/14day)		Mortality rate(%)
		No.of Shrimp	Body weight		Body length		No.of Shrimp	Body weight		Body length				
			Total	Mean±S.D.	Total	Mean±S.D.		Total	Mean±S.D.	Total	Mean±S.D.	Total	Mean	
25/0	B-I	27	8.76	0.32±0.14	94.10	3.48±0.52	25	15.69	0.62±0.24	107.80	4.35±0.5	3.70	4.25	7.41
	B-II	40	30.7	0.76±0.31	180.40	4.51±0.68	40	54.99	1.37±0.6	214.40	5.36±0.70	4.16	4.16	0
	B-III	34	13.29	0.39±0.22	131.00	3.85±0.72	34	18.89	0.55±0.34	135.40	3.98±0.67	2.51	2.51	0
	Mean	33.67±6.50	17.58±11.5	0.52±0.31	135.17±43.30	4.0±0.77	33.00±7.54	29.86±21.8	0.89±0.58	152.53±55.33	4.6±0.89	3.46±0.85	3.64±0.98	2.46±4.27
25/4	B-I	36	15.89	0.44±0.16	142.70	3.96±0.48	36	27.7	0.76±0.26	172.50	4.79±0.53	3.97	3.97	0
	B-II	40	35.84	0.89±0.21	194.70	4.86±0.43	40	70.2	1.75±0.4	231.40	5.78±0.61	4.80	4.80	0
	B-III	34	16.75	0.49±0.36	124.46	3.70±0.90	34	25.2	0.74±0.4	148.80	4.37±0.69	1.86	1.86	0
	Mean	36.67±3.05	22.83±11.2	0.65±0.43	153.95±36.45	4.2±0.88	36.67±3.05	41.03±25.2	1.12±0.61	184.23±42.53	5.0±0.85	3.54±1.51	3.54±1.51	0
25/8	B-I	35	10.94	0.31±0.13	123.20	3.52±0.42	35	22.95	0.65±0.21	156.80	4.48±0.47	5.29	5.29	0
	B-II	40	44.79	1.11±0.25	208.60	5.21±0.44	40	82.66	2.06±0.4	249.30	6.23±0.55	4.37	4.37	0
	B-III	37	20.85	0.56±0.29	158.50	4.28±0.61	37	32.23	0.87±0.43	175.70	4.74±0.86	3.11	3.11	0
	Mean	37.33±2.51	25.53±17.4	0.68±0.41	163.43±42.91	4.4±0.85	37.33±2.51	45.95±32.1	1.23±0.73	193.93±48.87	5.2±1.01	4.26±1.09	4.26±1.09	0
25/12	B-I	38	16.47	0.43±0.2	151.80	3.99±0.47	37	30.1	0.75±0.55	172.10	4.30±0.61	9.37	9.56	2.63
	B-II	40	35.27	0.88±0.22	194.50	4.86±0.43	40	84.08	2.1±0.4	248.10	6.20±0.40	6.20	6.20	0
	B-III	40	21.05	0.52±0.2	162.80	4.07±0.49	40	39.31	0.98±0.48	188.70	4.71±0.73	4.46	4.46	0
	Mean	39.33±1.15	24.26±9.8	0.62±0.28	169.70±22.17	4.3±0.61	39.00±1.73	51.16±28.8	1.58±3.2	202.97±39.96	5.2±0.93	6.68±2.49	6.74±2.59	0.87±1.51

ตารางที่ 13 (ต่อ) เปรียบเทียบน้ำหนัก ความยาว อัตราการเติบโตและการตายของกุ้งกุลาดำที่ได้รับอาหารทดลอง 8 สูตร

Diet no.	Block	14 day					28 day					SGC (%/14day)		Mortality rate(%)
		No.of Shrimp	Body weight		Body length		No.of Shrimp	Body weight		Body length				
			Total	Mean±S.D.	Total	Mean±S.D.		Total	Mean±S.D.	Total	Mean±S.D.	Total	Mean	
35/0	B-I	40	12.02	0.30±0.11	143.80	3.59±0.45	35	19.65	0.56±0.21	147.70	4.22±0.68	3.51	4.46	12.50
	B-II	40	27.35	0.68±0.19	183.10	4.57±0.42	40	53	1.32±0.40	213.40	5.33±0.51	4.72	4.72	0.00
	B-III	40	18.88	0.47±0.22	162.00	4.05±0.48	40	28.83	0.72±0.27	176.50	4.41±0.59	3.02	3.02	0.00
	Mean	40±0.00	19.42±7.6	0.49±0.24	162.97±19.67	4.1±0.60	38.33+2.88	33.83±17.2	0.88±0.44	179.20±32.93	4.7±0.77	3.75±0.87	4.07±0.91	4.167±7.21
35/4	B-I	33	14.63	0.43±0.17	133.80	3.93±0.52	33	41.6	1.26±0.43	181.80	5.50±0.59	7.46	7.46	0.00
	B-II	40	23.75	0.59±0.15	169.60	4.24±0.45	40	49.58	1.23±0.40	203.80	5.09±0.62	4.03	4.03	0.00
	B-III	36	23.03	0.63±0.19	158.90	4.41±0.40	33	32.97	0.99±0.36	160.20	4.85±0.70	2.56	3.18	8.33
	Mean	36.33±3.51	20.47±5.0	0.60±0.46	154.10±18.38	4.2±0.47	35.33+4.04	41.38±8.3	1.17±0.40	181.93±21.80	5.1±0.67	4.68±2.51	4.89±2.26	2.77±4.81
35/8	B-I	34	18.33	0.53±0.16	149.20	4.38±0.51	34	54.05	1.58±0.39	198.60	5.84±0.74	7.72	7.72	0.00
	B-II	40	29.3	0.73±0.15	184.20	4.60±0.40	40	68.12	1.70±0.40	240.50	6.01±0.52	6.02	6.02	0.00
	B-III	40	32.18	0.80±0.25	189.50	4.73±0.45	38	54.6	1.43±0.54	198.30	5.21±0.66	3.77	4.14	5.00
	Mean	38.00±3.46	26.60±7.3	0.70±0.22	174.27±21.88	4.6±0.47	37.33+3.05	58.92±7.9	1.58±0.46	212.47±24.28	5.7±0.71	5.84±1.98	5.96±1.79	1.66±2.88
35/12	B-I	32	16.65	0.52±0.22	140.40	4.38±0.58	32	37.56	1.17±0.46	169.30	5.29±0.83	5.81	5.81	0.00
	B-II	40	45.85	1.14±0.18	211.10	5.24±0.50	40	94.24	2.35±0.40	264.20	6.60±0.30	5.14	5.14	0.00
	B-III	40	36.35	0.90±0.22	230.30	5.75±0.93	40	71.78	1.79±0.81	233.50	5.83±0.86	4.86	4.86	0.00
	Mean	37.33±4.61	32.95±14.8	0.88±0.32	193.30±47.34	5.2±0.89	37.33+4.61	67.86±28.5	1.82±0.77	222.33±48.43	6.0±0.88	5.27±0.48	5.27±0.48	0.00

ตารางที่ 13 (ต่อ) เปรียบเทียบน้ำหนัก ความยาว อัตราการเติบโตและการตายของกุ้งกุลาดำที่ได้รับอาหารทดลอง 8 สูตร

Diet no.	Block	28 day					42 day					SGC (%/14day)		Mortality rate(%)
		No.of Shrimp	Body weight		Body length		No.of Shrimp	Body weight		Body length				
			Total	Mean±S.D.	Total	Mean±S.D.		Total	Mean±S.D.	Total	Mean±S.D.	Total	Mean	
25/0	B-I	25	15.69	0.62±0.24	107.80	4.35±0.5	21	26.57	1.26±0.48	113.50	5.40±0.58	4.21	5.46	16
	B-II	40	54.99	1.37±0.6	214.40	5.36±0.70	40	75.25	1.88±0.59	242.00	6.05±0.73	2.24	2.24	0
	B-III	34	18.89	0.55±0.34	135.40	3.98±0.67	32	28.86	0.9±0.51	155.10	4.84±0.93	3.02	3.46	5.88
	Mean	33.00±7.54	29.86±21.8	0.89±0.58	152.53±55.33	4.6±0.89	31.00±9.53	43.56±27.4	1.41±0.69	170.20±65.57	5.5±0.93	3.16±0.99	3.72±1.62	7.29±8.09
25/4	B-I	36	27.7	0.76±0.26	172.50	4.79±0.53	31	49.13	1.63±0.63	174.40	5.81±0.67	4.09	5.39	16.67
	B-II	40	70.2	1.75±0.4	231.40	5.78±0.61	36	86.33	2.39±0.72	233.20	6.47±0.70	1.47	2.23	10.00
	B-III	34	25.2	0.74±0.4	148.80	4.37±0.69	34	29.22	0.85±0.52	161.35	4.74±0.90	1.05	1.05	0
	Mean	36.67±3.05	41.03±25.2	1.12±0.61	184.23±42.53	5.0±0.85	33.33±3.05	54.89±28.9	1.65±0.90	189.65±38.28	5.7±1.06	2.20±1.64	2.89±2.24	8.88±8.38
25/8	B-I	35	22.95	0.65±0.21	156.80	4.48±0.47	33	60.97	1.84±0.6	201.60	6.10±0.73	6.97	7.39	5.71
	B-II	40	82.66	2.06±0.4	249.30	6.23±0.55	40	109.32	2.73±0.65	271.30	6.78±0.61	1.99	1.99	0
	B-III	37	32.23	0.87±0.43	175.70	4.74±0.86	36	48.97	1.36±0.86	193.90	5.38±1.08	2.98	3.18	2.70
	Mean	37.33±2.51	45.95±32.1	1.23±0.73	193.93±48.87	5.2±1.01	36.33±3.51	73.09±31.9	2.01±0.92	222.27±42.64	6.1±1.01	3.98±2.63	4.19±2.83	2.80±2.85
25/12	B-I	37	30.1	0.75±0.55	172.10	4.30±0.61	34	60.72	1.78±0.67	205.30	6.03±0.71	-0.057	0.54	8.11
	B-II	40	84.08	2.1±0.4	248.10	6.20±0.40	40	116.7	3.43±0.63	280.30	8.24±0.38	2.34	2.34	0
	B-III	40	39.31	0.98±0.48	188.70	4.71±0.73	40	58.7	1.46±0.78	223.40	5.58±0.88	2.86	2.86	0
	Mean	39.00±1.73	51.16±28.8	1.58±3.2	202.97±39.96	5.2±0.93	38.00±3.46	78.71±32.9	2.07±0.94	236.33±39.41	6.2±0.91	1.71±1.55	1.91±1.21	2.70±4.68

ตารางที่ 13 (ต่อ) เปรียบเทียบน้ำหนัก ความยาว อัตราการเติบโตและการตายของกุ้งกุลาดำที่ได้รับอาหารทดลอง 8 สูตร

Diet no.	Block	28 day					42 day					SGC (%/14day)		Mortality rate(%)
		No.of Shrimp	Body weight		Body length		No.of Shrimp	Body weight		Body length				
			Total	Mean±S.D.	Total	Mean±S.D.		Total	Mean±S.D.	Total	Mean±S.D.	Total	Mean	
35/0	B-I	35	19.65	0.56±0.21	147.70	4.22±0.68	25	29.83	1.19±0.55	25	5.10±0.89	2.98	5.38	28.57
	B-II	40	53	1.32±0.40	213.40	5.33±0.51	39	70.43	1.80±0.52	39	5.84±0.91	2.03	2.21	2.50
	B-III	40	28.83	0.72±0.27	176.50	4.41±0.59	37	42.06	1.13±0.54	37	5.12±0.78	2.69	3.25	7.50
	Mean	38.33+2.88	33.83±17.2	0.88±0.44	179.20±32.93	4.7±0.77	33.67±7.57	47.44±20.8	1.41±0.62	33.67+7.57	5.4±0.82	2.57±0.48	3.61±1.61	12.85±13.83
35/4	B-I	33	41.6	1.26±0.43	181.80	5.50±0.59	33	83.95	2.54±0.60	33	6.78±0.57	5.01	5.01	0.00
	B-II	40	49.58	1.23±0.40	203.80	5.09±0.62	39	74.23	1.90±0.55	39	5.80±0.91	2.88	3.06	2.50
	B-III	33	32.97	0.99±0.36	160.20	4.85±0.70	32	48.52	1.51±0.50	32	5.49±0.54	2.76	2.98	3.03
	Mean	35.33+4.04	41.38±8.3	1.17±0.40	181.93±21.80	5.1±0.67	34.67±3.78	68.90±18.3	1.99±0.69	34.67±3.78	6.00±0.89	3.55±1.26	3.68±1.15	1.84±1.61
35/8	B-I	34	54.05	1.58±0.39	198.60	5.84±0.74	34	100.4	2.95±0.90	34	7.23±0.69	4.42	4.42	0.00
	B-II	40	68.12	1.70±0.40	240.50	6.01±0.52	40	100.6	2.51±0.62	40	6.61±0.44	2.78	2.78	0.00
	B-III	38	54.6	1.43±0.54	198.30	5.21±0.66	35	69.31	1.98±0.94	35	6.12±0.90	1.70	2.29	7.89
	Mean	37.33+3.05	58.92±7.9	1.58±0.46	212.47±24.28	5.7±0.71	36.33±3.21	90.10±18.0	2.48±0.90	36.33±3.21	7.10±4.7	2.97±1.36	3.16±1.11	2.63±4.55
35/12	B-I	32	37.56	1.17±0.46	169.30	5.29±0.83	31	88.3	2.84±0.90	31	7.07±0.69	6.10	6.33	3.13
	B-II	40	94.24	2.35±0.40	264.20	6.60±0.30	40	137.7	3.44±0.68	40	7.30±0.56	2.70	2.70	0.00
	B-III	40	71.78	1.79±0.81	233.50	5.83±0.86	39	109.98	2.82±0.96	39	6.82±0.76	3.04	3.22	2.50
	Mean	37.33+4.61	67.86±28.5	1.82±0.77	222.33±48.43	6.0±0.88	36.67±4.93	111.99±24.7	3.05±0.90	36.67±4.93	7.10±0.7	3.95±1.87	4.09±1.95	1.87±1.65

ตารางที่ 13 (ต่อ) เปรียบเทียบน้ำหนัก ความยาว อัตราการเติบโตและการตายของกุ้งกุลาดำที่ได้รับอาหารทดลอง 8 สูตร

Diet no.	Block	42 day					56 day					SGC (%/14day)		Mortality rate(%)
		No.of Shrimp	Body weight		Body length		No.of Shrimp	Body weight		Body length				
			Total	Mean±S.D.	Total	Mean±S.D.		Total	Mean±S.D.	Total	Mean±S.D.	Total	Mean	
25/0	B-I	21	26.57	1.26±0.48	113.50	5.40±0.58	21	36.91	1.75± 0.64	123.50	5.88±0.75	2.34	2.34	0.00
	B-II	40	75.25	1.88±0.59	242.00	6.05±0.73	37	90.29	2.44±0.65	231.00	6.24±0.70	1.30	1.85	7.50
	B-III	32	28.86	0.9±0.51	155.10	4.84±0.93	32	42.2	1.31±0.56	168.50	5.26±0.44	2.71	2.71	0.00
	Mean	31.00±9.53	43.56±27.4	1.41±0.69	170.20±65.57	5.5±0.93	30.00±8.18	56.47±29.4	1.88±0.78	174.33±53.99	5.8±0.9	2.12±0.73	2.30±0.42	2.50±4.33
25/4	B-I	31	49.13	1.63±0.63	174.40	5.81±0.67	31	68.04	2.06±0.93	205.30	6.22±0.84	2.32	2.09	0.00
	B-II	36	86.33	2.39±0.72	233.20	6.47±0.70	36	122	3.38±0.77	266.00	7.38±0.67	2.47	2.47	0.00
	B-III	34	29.22	0.85±0.52	161.35	4.74±0.90	34	56.58	1.66±1	198.00	5.82±1.01	4.72	4.72	0.00
	Mean	33.33±3.05	54.89±28.9	1.65±0.90	189.65±38.28	5.7±1.06	33.67±2.51	82.21±34.9	2.44±1.16	223.10±37.33	6.6±1.06	3.17±1.34	3.09±1.42	0.00
25/8	B-I	33	60.97	1.84±0.6	201.60	6.10±0.73	33	73.4	2.22±0.82	218.70310	6.62±0.82	1.32	1.32	0.00
	B-II	40	109.32	2.73±0.65	271.30	6.78±0.61	40	152.54	3.81±0.84	310.10	7.75±0.70	2.38	2.38	0.00
	B-III	36	48.97	1.36±0.86	193.90	5.38±1.08	32	60.43	1.88±0.97	192.20	6.00±1.16	1.50	2.34	11.11
	Mean	36.33±3.51	73.09±31.9	2.01±0.92	222.27±42.64	6.1±1.01	35.00±4.35	95.46±49.8	2.73±1.23	240.33±61.86	6.9±1.16	1.73±0.56	2.01±0.59	3.70±6.41
25/12	B-I	34	60.72	1.78±0.67	205.30	6.03±0.71	33	78.95	2.31±0.74	221.50	6.71±0.64	1.87	2.08	2.94
	B-II	40	116.7	3.43±0.63	280.30	8.24±0.38	40	165.31	4.13±0.73	315.40	7.88±0.56	2.48	2.48	0.00
	B-III	40	58.7	1.46±0.78	223.40	5.58±0.88	40	79.52	1.98±0.81	250.80	6.27±0.80	2.16	2.16	0.00
	Mean	38.00±3.46	78.71±32.9	2.07±0.94	236.33±39.41	6.2±0.91	37.67±4.04	107.93±49.7	2.87±1.22	262.57±48.04	7.0±0.97	2.17±0.30	2.24±0.21	0.98±1.69

ตารางที่ 13 (ต่อ) เปรียบเทียบน้ำหนัก ความยาว อัตราการเติบโตและการตายของกุ้งกุลาดำที่ได้รับอาหารทดลอง 8 สูตร

Diet no.	Block	42 day					56 day					SGC (%/14day)		Mortality rate(%)
		No.of Shrimp	Body weight		Body length		No.of Shrimp	Body weight		Body length				
			Total	Mean±S.D.	Total	Mean±S.D.		Total	Mean±S.D.	Total	Mean±S.D.	Total	Mean	
35/0	B-I	25	29.83	1.19±0.55	25	5.10±0.89	25	40.28	1.61±0.51	149.30	5.97±0.55	2.14	2.14	0.00
	B-II	39	70.43	1.80±0.52	39	5.84±0.91	33	92.81	2.81±0.69	227.90	6.90±0.63	1.97	3.16	15.38
	B-III	37	42.06	1.13±0.54	37	5.12±0.78	37	61.29	1.65±0.69	21.10	5.70±0.80	2.68	2.68	0.00
	Mean	33.67±7.57	47.44±20.8	1.41±0.62	33.67±7.57	5.4±0.82	31.67±6.11	64.79±26.4	2.05±0.85	196.10±41.39	6.2±0.86	2.26±0.37	2.66±0.50	5.12±8.88
35/4	B-I	33	83.95	2.54±0.60	33	6.78±0.57	33	96.9	2.93±0.75	239.40	7.25±0.64	1.02	1.02	0.00
	B-II	39	74.23	1.90±0.55	39	5.80±0.91	37	103.8	2.80±0.82	242.40	6.55±0.81	2.39	2.77	5.13
	B-III	32	48.52	1.51±0.50	32	5.49±0.54	32	66.49	2.07±0.52	193.10	6.03±0.59	2.25	2.25	0.00
	Mean	34.67±3.78	68.90±18.3	1.99±0.69	34.67±3.78	6.00±0.89	34.00±2.64	89.06±19.8	2.62±0.80	224.97±27.64	6.6±0.84	1.89±0.75	2.01±0.89	1.70±2.96
35/8	B-I	34	100.4	2.95±0.90	34	7.23±0.69	33	118.68	3.59±0.94	252.40	7.64±0.54	1.19	1.40	2.94
	B-II	40	100.6	2.51±0.62	40	6.61±0.44	40	148.19	3.70±0.74	304.30	7.60±0.47	2.76	2.76	0.00
	B-III	35	69.31	1.98±0.94	35	6.12±0.90	35	88.41	2.52±1.05	232.60	6.64±1.05	1.73	1.73	0.00
	Mean	36.33±3.21	90.10±18.0	2.48±0.90	36.33±3.21	7.10±4.7	36.00±3.60	118.43±29.8	3.29±1.05	263.10±37.03	7.3±0.84	1.90+0.79	1.97±0.70	0.98±1.68
35/12	B-I	31	88.3	2.84±0.90	31	7.07±0.69	31	111.78	3.60±1.05	238.00	7.67±0.77	1.68	1.68	0.00
	B-II	40	137.7	3.44±0.68	40	7.30±0.56	40	196.91	4.92±0.86	338.20	8.45±0.55	2.55	2.55	0.00
	B-III	39	109.98	2.82±0.96	39	6.82±0.76	39	140.48	3.60±1.00	294.80	7.55±0.61	1.74	1.74	0.00
	Mean	36.67±4.93	111.99±24.7	3.05±0.90	36.67±4.93	7.10±0.7	36.67±4.93	149.72±43.3	4.08±1.15	290.33±50.25	7.9±0.76	1.99±0.48	1.99±0.48	0.00

ภาคผนวก ค.

ตารางที่ 14 คุณภาพน้ำที่สัตว์น้ำสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้อย่างปกติ

ค่าคุณภาพน้ำ	ช่วงที่เหมาะสม	แหล่งที่มา	หมายเหตุ
อุณหภูมิ (°C)	25-30	Boy and Tucker (1992)	สำหรับกุ้ง
	25-30	กรมประมง (2536)	สำหรับกุ้ง
ความเค็ม (ppt)	23-25	Cheng and Laio (1986)	สำหรับกุ้ง
	15-30	Boy and Tucker (1992)	สำหรับกุ้ง
	15-25	กรมประมง	สำหรับกุ้ง
ความเป็นกรดเป็นด่าง	7-9	Boy and Tucker (1992)	สำหรับกุ้ง
	7.5-8.5	ชะลอ ลิ้มสุวรรณ (2534)	สำหรับกุ้ง
	7.5-8.5	กรมประมง (2534)	สำหรับกุ้ง
ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (ppm)	≥3.5-อิ่มตัว	Boy and Tucker (1992)	สำหรับกุ้ง
	5-7.5	กรมประมง (2534)	สำหรับกุ้ง
แอมโมเนีย (ppm)	0.4-2.0	Boy and Tucker (1992)	สำหรับกุ้ง
	0.4-2.0	กรมประมง (2534)	สำหรับกุ้ง
ไนเตรท (ppm)	ไม่เป็นพิษ	Wetzel	น้ำธรรมชาติอยู่ในช่วง 0.01-0.5 ppm

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง.

1. การวิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบทางสถิติของน้ำหนักเฉลี่ยของกุ้ง

---------- BLOCK=1 ----------

General Linear Models Procedure

Class Level Information Class Levels Values

FORMULA 8 2500 2504 2508 2512 3500 3504 3508 3512

Number of observations in by group = 240

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: WEIGHT

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	7	118.36640495	16.90948642	24.69	0.0001
Error	232	158.86111338	0.68474618		
Corrected Total	239	277.22751833			

R-Square	C.V.	Root MSE	WEIGHT Mean
0.426965	31.77882	0.82749391	2.60391667

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
FORMULA	7	118.36640495	16.90948642	24.69	0.0001

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
FORMULA	7	118.36640495	16.90948642	24.69	0.0001

General Linear Models Procedure

Duncan's Multiple Range Test for variable: WEIGHT

NOTE: This test controls the type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate

Alpha= 0.05 df= 232 MSE= 0.684746

WARNING: Cell sizes are not equal.

Harmonic Mean of cell sizes= 29.2668

Number of Means	2	3	4	5	6	7	8
Critical Range	.4262	.4487	.4636	.4747	.4833	.4903	.4961

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	FORMULA
A	3.6058	31	3512
A	3.5964	33	3508
B	2.9364	33	3504
C	2.3924	33	2512
C	2.2242	33	2508
C	2.1948	31	2504
D	1.7576	21	2500
D	1.6112	25	3500

---------- BLOCK=2 ----------

General Linear Models Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
FORMULA	8	2500 2504 2508 2512 3500 3504 3508 3512

Number of observations in by group = 303

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: WEIGHT

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	7	177.61526290	25.37360899	43.01	0.0001
Error	295	174.01928033	0.58989587		
Corrected Total	302	351.63454323			

R-Square	C.V.	Root MSE	WEIGHT Mean
0.505113	21.71182	0.76804679	3.53745875

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
FORMULA	7	177.61526290	25.37360899	43.01	0.0001

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
FORMULA	7	177.61526290	25.37360899	43.01	0.0001

General Linear Models Procedure

Duncan's Multiple Range Test for variable: WEIGHT

NOTE: This test controls the type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate

Alpha= 0.05 df= 295 MSE= 0.589896

WARNING: Cell sizes are not equal.

Harmonic Mean of cell sizes= 37.71186

Number of Means	2	3	4	5	6	7	8
Critical Range	.3481	.3665	.3787	.3878	.3948	.4006	.4054

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	FORMULA
A	4.9228	40	3512
B	4.1328	40	2512
C B	3.8135	40	2508
C D	3.7048	40	3508
D	3.3889	36	2504
E	2.8124	33	3500
E	2.8054	37	3504
F	2.4403	37	2500

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

---------- BLOCK=3 ----------

General Linear Models Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
FORMULA	8	2500 2504 2508 2512 3500 3504 3508 3512

Number of observations in by group = 281

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: WEIGHT

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	7	129.46073417	18.49439060	25.46	0.0001
Error	273	198.33930142	0.72651759		
Corrected Total	280	327.80003559			

R-Square	C.V.	Root MSE	WEIGHT Mean
0.394938	40.22727	0.85236001	2.11886121

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
FORMULA	7	129.46073417	18.49439060	25.46	0.0001

General Linear Models Procedure

Duncan's Multiple Range Test for variable: WEIGHT

NOTE: This test controls the type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate

Alpha= 0.05 df= 273 MSE= 0.726518

WARNING: Cell sizes are not equal.

Harmonic Mean of cell sizes= 34.87339

Number of Means	2	3	4	5	6	7	8
Critical Range	.4019	.4230	.4372	.4476	.4558	.4624	.4679

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping		Mean	N	FORMULA
A		3.6021	39	3512
B		2.5260	35	3508
C		2.0778	32	3504
C		1.9880	40	2512
C		1.8884	32	2508
D	C	1.6641	34	2504
D	C	1.6565	37	3500
D		1.3188	32	2500

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 15 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของน้ำหนักเฉลี่ยกุ้งที่ได้รับอาหารทดลอง 8 สูตร

ก. การทดลองครั้งที่ 1

เวลา	การทดลองครั้งที่ 1							
(วัน)	25/0	25/4	25/8	25/12	35/0	35/4	35/8	35/12
เริ่มต้น	0.25750^{A}	0.26225^{A}	0.23100^{AB}	0.24275^{AB}	0.20200^{AB}	0.23300^{AB}	0.23750^{AB}	0.24275^{AB}
14	0.32444^{D}	0.44139^{BC}	0.31257^{D}	0.43342^{C}	0.30050^{D}	0.44333^{AC}	0.53912^{A}	0.52031^{AB}
28	0.58880^{DE}	0.76944^{C}	0.65571^{CDE}	0.74243^{CD}	0.56143^{E}	1.26061^{B}	1.58971^{A}	1.17375^{B}
42	1.2652^{D}	1.6377^{C}	1.8476^{C}	1.7859^{C}	1.1932^{D}	2.5439^{B}	2.9529^{A}	2.8484^{AB}
56	1.7576^{D}	2.1948^{C}	2.2242^{C}	2.3924^{C}	1.6112^{D}	2.9364^{B}	3.5964^{A}	3.6058^{A}

ข. การทดลองครั้งที่ 2

เวลา	การทดลองครั้งที่ 2							
(วัน)	25/0	25/4	25/8	25/12	35/0	35/4	35/8	35/12
เริ่มต้น	0.10150^{A}	0.08950^{AB}	0.09975^{A}	0.07200^{BC}	0.06700^{C}	0.07325^{BC}	0.06275^{C}	0.06625^{C}
14	0.76750^{C}	0.89600^{B}	1.11975^{A}	0.88175^{B}	0.68375^{CD}	0.59375^{D}	0.73250^{C}	1.14625^{A}
28	1.37475^{D}	1.75500^{C}	2.06650^{B}	2.10200^{B}	1.32500^{D}	1.23950^{D}	1.70300^{C}	2.35600^{A}
42	1.88130^{E}	2.39810^{D}	2.73300^{BC}	2.91750^{B}	1.80599^{E}	1.85570^{E}	2.51500^{CD}	3.44250^{A}
56	2.44030^{F}	3.38890^{D}	3.81350^{BC}	4.13280^{B}	2.81240^{E}	2.80540^{E}	3.70480^{CD}	4.92280^{A}

ค. การทดลองครั้งที่ 3

เวลา	การทดลองครั้งที่ 3							
(วัน)	25/0	25/4	25/8	25/12	35/0	35/4	35/8	35/12
เริ่มต้น	0.06425^{DC}	0.05950^{DC}	0.05650^{DC}	0.05300^{C}	0.067250^{BC}	0.09325^{A}	0.08700^{A}	0.06900^{B}
14	0.39088^{D}	0.49265^{CD}	0.56351^{BC}	0.52625^{BC}	0.47200^{CD}	0.63972^{B}	0.80450^{A}	0.90875^{A}
28	0.55560^{E}	0.74120^{DE}	0.87110^{CD}	0.98280^{C}	0.72070^{DE}	0.99910^{C}	1.43680^{B}	1.79450^{A}
42	0.90199^{E}	0.85940^{E}	1.36030^{CD}	1.46750^{CD}	1.10680^{DE}	1.51630^{C}	1.98030^{B}	2.82000^{A}
56	1.31880^{D}	1.66410^{CD}	1.88840^{C}	1.98800^{C}	1.6565^{CD}	2.07780^{C}	2.52600^{B}	3.60210^{A}

^{A,B,C,D,E,F} ค่าเฉลี่ยที่มีตัวยกต่างกันในแถวเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (α=0.05)

2. การวิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบทางสถิติของความยาวเฉลี่ยของกุ้ง

---------- BLOCK=1 ----------

General Linear Models Procedure

Class Level Information Class Levels Values

FORMULA 8 2500 2504 2508 2512 3500 3504 3508 3512

Number of observations in by group = 240

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: LENGTH

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	7	90.45394180	12.92199169	26.21	0.0001
Error	232	114.37601653	0.49300007		
Corrected Total	239	204.82995833			

R-Square	C.V.	Root MSE	LENGTH Mean
0.441605	10.22471	0.70213964	6.86708333

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
FORMULA	7	90.45394180	12.92199169	26.21	0.0001

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
FORMULA	7	90.45394180	12.92199169	26.21	0.0001

General Linear Models Procedure

Duncan's Multiple Range Test for variable: LENGTH

NOTE: This test controls the type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate

Alpha= 0.05 df= 232 MSE= 0.493

WARNING: Cell sizes are not equal.

Harmonic Mean of cell sizes= 29.2668

Number of Means	2	3	4	5	6	7	8
Critical Range	.3616	.3807	.3934	.4028	.4101	.4160	.4210

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	FORMULA
A	7.6774	31	3512
A	7.6485	33	3508
B	7.2545	33	3504
C	6.7121	33	2512
C	6.6273	33	2508
C	6.6226	31	2504
D	5.9720	25	3500
D	5.8810	21	2500

---------- BLOCK=2 ----------

General Linear Models Procedure

Class Level Information Class Levels Values

FORMULA 8 2500 2504 2508 2512 3500 3504 3508 3512

Number of observations in by group = 303

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: LENGTH

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	7	144.67778461	20.66825494	50.25	0.0001
Error	295	121.33508668	0.41130538		
Corrected Total	302	266.01287129			

R-Square	C.V.	Root MSE	LENGTH Mean
0.543875	8.693387	0.64133094	7.37722772

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
FORMULA	7	144.67778461	20.66825494	50.25	0.0001

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
FORMULA	7	144.67778461	20.66825494	50.25	0.0001

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

General Linear Models Procedure

Duncan's Multiple Range Test for variable: LENGTH

NOTE: This test controls the type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate

Alpha= 0.05 df= 295 MSE= 0.411305

WARNING: Cell sizes are not equal.

Harmonic Mean of cell sizes= 37.71186

Number of Means 2 3 4 5 6 7 8

Critical Range .2907 .3060 .3162 .3238 .3297 .3345 .3385

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	FORMULA
A	8.4550	40	3512
B	7.8850	40	2512
B	7.7525	40	2508
C B	7.6075	40	3508
C	7.3889	36	2504
D	6.9061	33	3500
E	6.5514	37	3504
F	6.2432	37	2500

---------- BLOCK=3 ----------

General Linear Models Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
FORMULA	8	2500 2504 2508 2512 3500 3504 3508 3512

Number of observations in by group = 281

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: LENGTH

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	7	123.05725744	17.57960821	22.84	0.0001
Error	273	210.10843651	0.76962797		

Corrected Total 280 333.16569395

R-Square	C.V.	Root MSE	LENGTH Mean
0.369358	14.15869	0.87728443	6.19608541

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
FORMULA	7	123.05725744	17.57960821	22.84	0.0001

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
FORMULA	7	123.05725744	17.57960821	22.84	0.0001

General Linear Models Procedure

Duncan's Multiple Range Test for variable: LENGTH

NOTE: This test controls the type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate

Alpha= 0.05 df= 273 MSE= 0.769628

WARNING: Cell sizes are not equal.

Harmonic Mean of cell sizes= 34.87339

Number of Means	2	3	4	5	6	7	8
Critical Range	.4136	.4354	.4500	.4607	.4691	.4759	.4816

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping		Mean	N	FORMULA
A		7.5590	39	3512
B		6.6457	35	3508
C	B	6.2700	40	2512
C	D	6.0344	32	3504
C	D	6.0063	32	2508
C	D	5.8235	34	2504
D		5.7054	37	3500
E		5.2656	32	2500

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 16 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความยาวเฉลี่ยกุ้งที่ได้รับอาหารทดลอง 8 สูตร

ก. การทดลองครั้งที่ 1

เวลา	การทดลองครั้งที่ 1							
(วัน)	25/0	25/4	25/8	25/12	35/0	35/4	35/8	35/12
เริ่มต้น	3.35000^{BCD}	3.59000^{A}	3.25000^{D}	3.48250^{AD}	3.24000^{D}	3.44000^{ABC}	3.28750^{CD}	3.50750^{AD}
14	3.48520^{C}	3.96390^{B}	3.52000^{C}	3.99470^{B}	3.59500^{C}	4.05450^{B}	4.38820^{A}	4.38750^{A}
28	4.31200^{D}	4.79170^{C}	4.48000^{CD}	4.66490^{C}	4.22000^{D}	5.50910^{B}	5.84120^{A}	5.29060^{B}
42	5.40480^{D}	5.81330^{C}	6.10910^{C}	6.03820^{C}	5.10800^{D}	6.78480^{B}	7.23530^{A}	7.07420^{AB}
56	5.88100^{D}	6.62260^{C}	6.62730^{C}	6.71210^{C}	5.97200^{D}	7.25450^{B}	7.64850^{A}	7.67740^{A}

ข. การทดลองครั้งที่ 2

เวลา	การทดลองครั้งที่ 2							
(วัน)	25/0	25/4	25/8	25/12	35/0	35/4	35/8	35/12
เริ่มต้น	2.25500^{A}	1.99000^{B}	2.29000^{A}	2.19500^{A}	2.16500^{A}	2.25500^{A}	2.28750^{B}	2.21750^{A}
14	4.51000^{C}	4.86750^{B}	5.21500^{A}	4.86250^{B}	4.57750^{C}	4.24000^{D}	4.6025^{C}	5.27750^{A}
28	5.36000^{D}	5.78500^{C}	6.23250^{B}	6.2025^{B}	5.33500^{D}	5.09500^{E}	6.01250^{BC}	6.6050^{A}
42	6.05000^{D}	6.47780^{C}	6.78250^{BC}	7.00750^{AB}	5.84870^{DE}	5.65750^{E}	6.61250^{C}	7.30250^{A}
56	6.24320^{F}	7.38890^{C}	7.75250^{B}	7.88500^{B}	6.90610^{D}	6.55140^{E}	7.60750^{BC}	8.45500^{A}

ค. การทดลองครั้งที่ 3

เวลา	การทดลองครั้งที่ 3							
(วัน)	25/0	25/4	25/8	25/12	35/0	35/4	35/8	35/12
เริ่มต้น	2.01750^{BC}	2.05500^{B}	1.97250^{C}	2.00500^{BC}	2.07000^{B}	2.14000^{A}	2.06000^{B}	2.05000^{B}
14	3.85290^{E}	3.78760^{E}	4.28380^{CD}	4.07000^{DE}	4.05000^{DE}	4.41390^{C}	4.73750^{B}	5.75740^{A}
28	3.98240^{F}	4.37650^{E}	4.74860^{CD}	4.71750^{CDE}	4.41250^{DE}	4.85450^{C}	5.21840^{B}	5.83750^{A}
42	4.84690^{E}	4.74560^{E}	5.38610^{CD}	5.5850^{C}	4.99210^{DE}	5.49060^{C}	6.11710^{B}	6.82560^{A}
56	5.26560^{E}	5.82350^{CD}	6.00630^{CD}	6.27000^{BC}	5.705400^{D}	6.03440^{CD}	6.64570^{B}	7.55900^{A}

^{A,B,C,D,E,F} ค่าเฉลี่ยที่มีตัวยกต่างกันในแถวเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (α=0.05)

3. การวิเคราะห์ความแปรปรวนอัตรารอดของกุ้ง

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Between Group	7	731.073	104.439	.621	.731
Within Group	16	2689.667	168.104		
Total	23	3420.740			

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวชนิกา คงสวัสดิ์ เกิดเมื่อวันที่ 25 ตุลาคม พ.ศ. 2521 ที่เขตจตุจักร จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสาธิตวัดพระศรีมหาธาตุสถาบันราชภัฏพระนคร ระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การประมง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2542 และเข้าศึกษาในหลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ทางทะเล ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2543

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย