ผลของบริวเวอร์ยีสต์และนิวคลีโอไทด์ในอาหารต่อการเติบโตและการรอด ของปลากะพงขาว *Lates calcarifer*

นายธัชนนท์ พุ่มโภคัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECT OF BREWERS YEAST AND NUCLEOTIDES IN FEED ON GROWTH AND SURVIVAL OF SEA BASS *Lates calcarifer*

Mr. Tudchanon Phumpookai

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Science Program in Biotechnology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2008

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของบริวเวอร์ยีสต์และนิวคลีโอไทด์ในอาหารต่อการเติบโตและการรอดของปลากะพงขาว *(Lates calcarifer)*
โดย	นายธัชนนท์ พุ่มโภคัย
สาขาวิชา	เทคโนโลยีชีวภาพ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ศิริรัตน์ เร่งพิพัฒน์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ไทยถาวร เลิศวิทยาประสิทธิ)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร.มะลิ บุณยรัตผลิน)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ธัชนนท์ พุ่มโภคัย : ผลของบริวเวอร์ยีสต์และนิวคลีโอไทด์ในอาหารต่อการเติบโตและการรอดของปลากะพงขาว *Lates calcarifer*. (EFFECT OF BREWERS YEAST AND NUCLEOTIDES IN FEED ON GROWTH AND SURVIVAL OF SEA BASS *Lates calcarifer*) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล, 76 หน้า.

ทดลองเลี้ยงปลากะพงขาวด้วยอาหารเม็ดที่มีระดับของบริวเวอร์ยีสต์ 1% และ 2% และนิวคลีโอไทด์ 1% และ 2% น้ำหนัก/น้ำหนัก เปรียบเทียบกับอาหารควบคุมโดยใช้ปลากะพงขาวน้ำหนักเฉลี่ย 0.43±0.01 กรัม ความยาวเฉลี่ย 2.95±0.01 เซนติเมตร เลี้ยงในกระชังขนาด 35x60x70 เซนติเมตร กระชังละ 30 ตัว จำนวนทั้งหมด 20 กระชัง แบ่งเป็น 5 ชุดการทดลองที่มี 4 ซ้ำการทดลอง อาหารที่ศึกษามีโปรตีน 40% ไขมัน10% และมีค่าพลังงาน 3.9 กิโลแคลอรีต่อกรัม เมื่อทดลองเลี้ยงปลากะพงขาวเป็นระยะเวลา 16 สัปดาห์ พบว่า น้ำหนักตัวเฉลี่ยของปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 2% บริวเวอร์ยีสต์มีค่าสูงสุด น้ำหนักตัวเพิ่ม อัตราการเติบโตสัมพัทธ์ต่อวัน condition factor ผลผลิตรวม และอัตราการแลกเนื้อ ของปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 1%, 2% บริวเวอร์ยีสต์ และ 2% นิวคลีโอไทด์ แตกต่างกับปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 1% นิวคลีโอไทด์ และสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ *($P<0.05$)* ส่วนอัตราการบริโภคอาหารไม่มีความแตกต่างกันทุกชุดการทดลอง ในขณะที่อัตราการรอดของปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 1% บริวเวอร์ยีสต์ มีค่าสูงสุด เมื่อเทียบกับการทดลองอื่น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สาขาวิชา เทคโนโลยีชีวภาพ ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2551 ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

4972320623 : MAJOR BIOTECHNOLOGY

KEYWORDS : *Lates calcarifer* / BREWERS YEAST / NUCLEOTIDES / *Saccharomyces cerevisiae*

TUDCHANON PHUMPOOKAI : EFFECT OF BREWERS YEAST AND NUCLEOTIDES IN FEED ON GROWTH AND SURVIVAL OF SEA BASS *Lates calcarifer*. THESIS PRINCIPAL ADVISOR : ASSOC.PROF.SOMKIAT PIYATIRATITIVORAKUL, Ph.D., 76 pp.

Sea bass, *Lates calcarifer* was cultured using practical basal diet and diets supplemented with 1 and 2% w/w brewers yeast and 1 and 2% nucleotides. Sea bass, averaged weight of 0.43±0.01g and length of 2.95±0.01 cm were cultured in polyethylene net cages (35x60x70 cm^3) in closed recirculating water ponds at a density of 30 fish/cage. Each feeding treatment had 4 replications. All diets contained 40% protein, 10% lipid and digestible energy of 3.9 cal/g. After 16 weeks of feeding, fish fed 2% brewers yeast showed significantly *($P<0.05$)* higher average weight than those fish fed other diets. Weight gain, specific growth rate, condition factor, production and feed conversion ratio of fish fed 1%, 2% brewers yeast and 2% nucleotide was significantly higher than those fish fed 1% nucleotide and basal diet, However daily feed intake among diets was not significantly different. While survival of fish fed diet with 1% brewers yeast was significant higher than those fish fed other diets.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Field of Study : Biotechnology ..... Student's Signature : .....

Academic Year : 2008 ..... Advisor's Signature : .....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ สำหรับแนวทางในการปฏิบัติงาน และคำแนะนำต่างๆ ที่ดียิ่งในการทำวิทยานิพนธ์ รวมถึงการตรวจและแก้ไขเล่มวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ดร.มะลิ บุณยรัตผลิน รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริรัตน์ เร่งพิพัฒน์ และรองศาสตราจารย์ ดร.ไทยถาวร เลิศวิทยาประสิทธิ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ช่วยตรวจแก้ไขข้อผิดพลาดในการทำวิทยานิพนธ์นี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล ภาควิชาฟิสิกส์ และภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และเครื่องมือในการทำวิจัย และ คุณเสรี ดอนเหนือ รวมทั้งเพื่อนๆ ในภาควิชาทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยตลอดมา

ขอขอบคุณ บริษัท เบียร์ทิพย์ บริวเวอร์รี่ (1991) ที่ให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่าง บริวเวอร์ยีสต์ และบริษัท Alltech (ประเทศไทย) ที่ให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างนิวคลีโอไทด์เพื่อใช้ประโยชน์ในการทำวิจัย เพื่อให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา คุณธนวรรณ พุ่มโภคัย และคุณอานันท์ ไขลายหงษ์ ที่ทำทุกสิ่งอย่างอันเต็มเปี่ยมด้วยความรัก และความเมตตาแก่ข้าพเจ้าตลอดมา รวมถึงผู้ที่คอยเป็นกำลังใจทุกท่านที่ทำให้งานวิจัยชิ้นนี้ฝ่าฟันอุปสรรคจนกระทั่งสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย ……...	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ……	จ
กิตติกรรมประกาศ……..	ฉ
สารบัญ…….....	ช
สารบัญตาราง……	ฌ
สารบัญภาพ……	ญ
บทที่	
1 บทนำ……...	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย……...	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย……..……...	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ…….	2
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง……	3
แนวคิดและทฤษฎี……...	3
2.1 ชีววิทยาของปลากะพงขาว……..	3
2.2 ยีสต์ (Yeast)……...…..……	14
2.3 บริวเวอร์ยีสต์และยีสต์สกัด……..……..…….	23
2.4 นิวคลีโอไทด์……...……	27
3 วิธีดำเนินงานวิจัย……	30
3.1 การวางแผนการทดลอง……...	30
3.2 สถานที่ทดลอง……	30
3.3 อาหารทดลอง……..	30
3.4 การเตรียมและผลิตอาหาร……...	32
3.5 การเตรียมการทดลอง……..	33
3.6 การประเมินผลการเลี้ยง……..	34
3.7 การวิเคราะห์คุณภาพอาหาร โดยวิเคราะห์หาค่า Proximate composition……...…	35
3.8 วิเคราะห์คุณภาพน้ำ…….	35

3.9 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ…… 36
4 ผลการทดลอง…….. 37
4.1 คุณภาพอาหารทดลอง…… 37
4.2 การเติบโตของปลากะพงขาว…….. 37
4.3 อัตราการรอด/อัตราการแลกเนื้อ…… 42
4.4 คุณภาพน้ำ…….. 43
5 สรุปและอภิปรายผลการทดลอง…….. 46
6 ข้อเสนอแนะ..... 51
รายการอ้างอิง……. 52
ภาคผนวก……... 60
ภาคผนวก ก…….. 61
ภาคผนวก ข…….. 72
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์…….. 76

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	องค์ประกอบของผนังเซลล์ยีสต์……..	17
2-2	ปริมาณวิตามินบีในยีสต์……..…	24
2-3	ปริมาณกรดอะมิโนในยีสต์……..	25
2-4	องค์ประกอบทางเคมีของยีสต์เบียร์แห้……...	26
2-5	ปริมาณนิวคลีโอไทด์ในวัตถุดิบที่เป็นส่วนประกอบในอาหาร……..……	28
3-1	คุณภาพวัตถุดิบที่ใช้ผลิตอาหารทดลอง……	31
3-2	ส่วนประกอบของอาหารทดลอง…….....	32
4-1	คุณภาพของอาหารทดลอง 5 สูตร…….	37
4-2	น้ำหนักตัวเฉลี่ยของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารสูตรต่าง ๆ……	38
4-3	Weight gain (g gain/cage) ของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารสูตรต่าง ๆ…….....	38
4-4	อัตราการเติบโตสัมพัทธ์ (%) ต่อวันของปลากะพงขาวเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (สัปดาห์ที่ 16)……...…	39
4-5	Condition factor ของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารทดลอง 5 สูตร……	40
4-6	อัตราการบริโภคอาหาร (%) ต่อวันของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารสูตรต่าง ๆ …	40
4-7	อัตราการบริโภคอาหารเฉลี่ย (%) ต่อวันของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหาร สูตรต่าง ๆ (ตลอดการทดลอง 16 สัปดาห์)……..…….	41
4-8	ประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารสูตรต่างๆ …….....	41
4-9	ผลผลิตรวม (กรัม/กระชัง) ของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารสูตรต่าง ๆ (ตลอด 16 สัปดาห์)……...……...…….	42
4-10	อัตราการแลกเนื้อของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารสูตรต่างๆ……...…….....	43
4-11	อัตราการแลกเนื้อของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารสูตรต่าง ๆ (ตลอด 16 สัปดาห์)……..…….	43
4-12	อัตราการรอดของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารสูตรต่างๆ……..……..……	44
4-13	คุณภาพน้ำระหว่างการเลี้ยงปลากะพงขาวด้วยอาหารทดลอง 5 สูตร……	45

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2-1	ปลากะพงขาว white seabass *Lates calcarifer*……..…….	3
2-2	ลักษณะรูปร่างและโครงสร้างของเซลล์ยีสต์……	15
2-3	โครงสร้างผนังเซลล์ยีสต์……..	16
2-4	โครงสร้างของเบต้ากลูแคนในเซลล์ยีสต์……..	16
2-5	โครงสร้างของเบต้า 1,3 กลูแคน……..…..	18
2-6	โครงสร้างของเบต้า 1,6 กลูแคน……..…..	19
2-7	โครงสร้างไคตินในผนังเซลล์ยีสต์……	19
2-8	โครงสร้างโดยทั่วไปของนิวคลีโอไทด์…….	27
3-1	บ่อคอนกรีตขนาด 75x75x60 (กว้างxยาวxสูง) เซนติเมตร ระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิด……..	34

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อาชีพหลักของคนไทย คือ การเกษตร ซึ่งประกอบด้วยพืช ปศุสัตว์ ป่าไม้ ในอาชีพดังกล่าวการประมงนับว่าเป็นอาชีพที่สร้างผลผลิตทางการเกษตรก่อให้เกิดกิจกรรมการผลิตทางเศรษฐกิจที่สำคัญมากแขนงหนึ่งของประเทศไทย ผลผลิตทั้งหมดได้มาจากแหล่งน้ำธรรมชาติและจากการเพาะเลี้ยง แต่ในปัจจุบันแนวโน้มการจับสัตว์น้ำจากแหล่งธรรมชาติลดลง ปริมาณที่จับได้ไม่แน่นอน ทำให้มีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำกันอย่างแพร่หลาย และสัตว์น้ำเศรษฐกิจตัวที่สำคัญชนิดหนึ่งก็คือ ปลากะพงขาว เพราะเป็นปลาที่เลี้ยงง่าย โตเร็ว ให้ผลผลิตสูงจึงเป็นปลาที่ได้รับความสนใจจากบรรดาผู้เพาะเลี้ยง และมีแนวโน้มประกอบเป็นอาชีพหลักกันมากขึ้น

ปลากะพงขาว *(Lates calcarifer)* เป็นปลาที่มีการเพาะเลี้ยงเป็นอุตสาหกรรมมานานกว่า 20 ปี ทั้งในและต่างประเทศ แถบประเทศเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และออสเตรเลีย ปลาชนิดนี้มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงความเค็มสูง ในประเทศไทยนอกจากจะมีการเลี้ยงในกระชังตามชายฝั่งทะเลแล้ว ยังมีการเลี้ยงในบ่อน้ำจืดในหลายจังหวัด เช่น ปทุมธานี อ่างทอง ชลบุรี เป็นต้น ปลากะพงขาวเป็นปลาที่นิยมนำมาบริโภค เนื่องจากมีรสชาติดี สามารถนำมาปรุงแต่งเป็นอาหารได้หลายแบบ รวมทั้งมีคุณค่าทางโภชนาการมีส่วนประกอบของไขมันเพียงเล็กน้อย และมีวิตามินบี 12 ในปริมาณมาก (สมใจ พยุงศักดิสถาพร, 2527) ปลากะพงขาวจึงเป็นสัตว์เศรษฐกิจที่กรมประมงส่งเสริมให้เลี้ยง ปัจจุบันเกษตรกรไทยนิยมผลิตลูกปลาชนิดนี้ส่งไปจำหน่ายยังประเทศมาเลเซีย และไต้หวัน (กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2535) ในการเลี้ยงปลากะพงขาวให้มีสุขภาพแข็งแรงนั้นเป็นสิ่งสำคัญ บางครั้งผู้เลี้ยงประสบปัญหาต่าง ๆ อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลากะพง ได้แก่ สภาวะแวดล้อมและอาหาร ปัจจัยด้านอาหารมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโต สุขภาพ อัตราการรอด และต้นทุนการผลิต ซึ่งต้นทุนส่วนใหญ่ในการเลี้ยงปลามาจากค่าอาหาร จึงมีการศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาคุณภาพของอาหารเพื่อให้ปลามีการเจริญเติบโตดี มีสุขภาพแข็งแรงและปลอดต่อโรคโดยการเสริมสารอาหารประเภทต่างๆ ในอาหารปลา เช่น วิตามิน กรดอะมิโนจำเป็น และโพรไบโอติก (probiotic) เป็นต้น โปรตีนที่อยู่ในรูปของนิวคลีโอไทด์เป็นโครงสร้างที่ปลาสามารถย่อยและดูดซึมไปใช้ได้ง่าย เพราะมีโครงสร้างที่เป็นเปปไทด์สายสั้น (short chain) และมีกรดอะมิโนอิสระ 35-40 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้ประสิทธิภาพการใช้อาหารดีขึ้น นอกจากนี้ นิวคลีโอไทด์ยังช่วยส่งเสริมกระบวนการเมแทบอลิซึมด้านต่างๆ ซึ่งทำให้ปลาแข็งแรงมีความต้านทานโรคสูง และมีอัตรารอดสูงขึ้น นิวคลีโอไทด์ที่ใช้ คือ Nupro® ผลิตจาก *Saccharomyces*

cereviceae เป็นแหล่งโปรตีน และนิวคลีโอไทด์ ประกอบด้วย glutamic หรือ glutamate และ active nucleotide ตัวอย่างได้แก่ 5'-IMP และ 5'-GMP ซึ่งมีรายงานว่าสารดังกล่าวสามารถกระตุ้นการกินของปลา ทำให้ปลากินอาหารได้มากขึ้นและทำให้ปลาทนต่อการติดเชื้อแบคทีเรีย รวมทั้งดึงดูดพวกครัสเตเชียนให้กินอาหาร เพิ่มอัตราการแลกเนื้อของกุ้ง และกระตุ้นภูมิคุ้มกันของกุ้งให้สูงขึ้น บริวเวอร์ยีสต์ (*S. cerevisiae*) เป็นสารที่ได้จากธรรมชาติ ผลิตจากอุตสาหกรรมการหมักเบียร์ ซึ่งประกอบด้วยสารที่กระตุ้นภูมิคุ้มกันหลายชนิด เช่น β-glucan, nucleic acid รวมทั้ง mannan oligosaccharide สามารถช่วยเสริมระบบภูมิคุ้มกัน และ/หรือทำให้ปลาต้านทานโรคได้ดีขึ้น เช่น rainbow trout, gilthead sea beam และ hybrid striped bass

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ศึกษาผลของการเติมนิวคลีโอไทด์และบริวเวอร์ยีสต์ในอาหารต่อการเจริญและการรอดของปลากะพงขาว ระยะเวลาในการเลี้ยง 16 สัปดาห์

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาผลของนิวคลีโอไทด์และบริวเวอร์ยีสต์ในสัดส่วนที่เหมาะสม เพื่อการเติบโตของปลากะพงขาวอายุ 1 เดือน โดยใช้อาหารที่มีส่วนประกอบของนิวคลีโอไทด์และบริวเวอร์ยีสต์ 2 ระดับ ได้แก่ 1 และ 2 เปอร์เซ็นต์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้อาหารชนิดเม็ดแบบแห้งที่มีอัตราส่วนของบริวเวอร์ยีสต์หรือนิวคลีโอไทด์ที่เหมาะสม เป็นอาหารที่ให้ประสิทธิภาพสูงและลดต้นทุนการผลิตปลากะพงขาว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

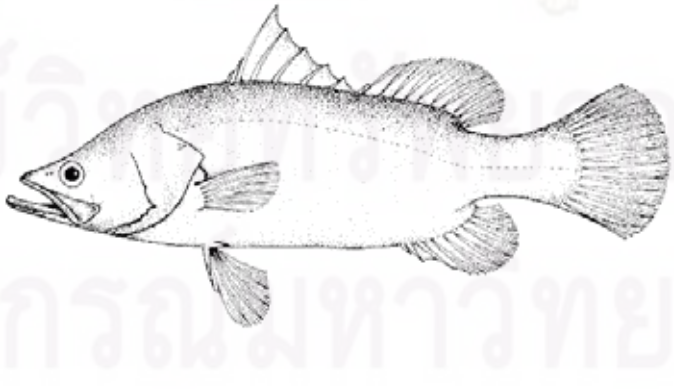
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แนวคิดและทฤษฎี

2.1 ชีววิทยาของปลากะพงขาว

2.1.1 ลักษณะทั่วไป (ภาพที่ 2-1)

ลักษณะลำตัวค่อนข้างยาว แบนข้าง บริเวณไหล่โค้งมน ส่วนตัวลาดชัน ขากรรไกรล่างยื่นยาวกว่าขากรรไกรบนเล็กน้อย ปากกว้าง ขอบปากบนเป็นแผ่นใหญ่ แยกเป็นตอนต้นและตอนท้ายอย่างชัดเจน บริเวณส่วนปากยืดหดได้บ้าง ช่องปากเฉลียงลงด้านล่างเล็กน้อย มีฟันเล็กละเอียดบนขากรรไกรบนและขากรรไกรล่างและที่เพดานปาก ตาของปลาชนิดนี้มีขนาดกลางไม่มีเยื่อที่เป็นไขมันหุ้ม แผ่นแก้มมีขนาดใหญ่ มีขอบหลังเป็นหนามแหลม 4 ซี่ และเรียงต่อด้วยซี่เล็ก ๆ จัดตามแนวหลัง ด้านบนส่วนหน้าและบนแผ่นเหงือกมีเกล็ดขนาดต่างๆ กัน เกล็ดบริเวณลำตัวค่อนข้างใหญ่ ด้านหลังมีสีเทาเงินหรือสีเขียวปนเทา ส่วนท้องมีสีน้ำเงินแกมเหลือง บริเวณด้านข้างของลำตัวมีสีเงิน ครีบหลัง ครีบก้น ครีบหาง จะมีสีเทาปนเงินบางๆ มีครีบหลังสองตอน ตอนแรกอยู่ตำแหน่งของครีบท้อง มีก้านครีบแข็งแหลมคม 7 – 8 ก้าน เชื่อมต่อกันด้วยเยื่อบาง ๆ ครีบหลังตอนที่ 2 แยกจากตอนแรกอย่างเห็นได้ชัด มีก้านครีบแข็ง 1 ก้าน ก้านครีบอ่อนมีปลายแตกแขนงมี 10 – 11 ก้าน ครีบหูและครีบอกยาวไม่ถึงรูทวาร ครีบก้นมีตำแหน่งใกล้เคียงกับหลังตอนที่ 2 ซึ่งประกอบด้วยก้านครีบแข็ง 3 ก้าน ก้านครีบอ่อน 7 – 8 ก้าน ข้อหางสั้น ครีบหางค่อนข้างกลม เส้นข้างตัวโค้งไปตามแนวสันหลัง มีเกล็ดบนเส้นข้างตัว 52 – 61 เกล็ด (สโมสรคณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2531)



ภาพที่ 2-1 ปลากะพงขาว seabass *Lates calcarifer*

ที่มา www.fao.org

2.1.2 การจัดลำดับอนุกรมวิธาน

ปลากะพงขาวมีชื่อวิทยาศาสตร์ (Scientific name) ว่า *Lates calcarifer* (Bloch, 1970)

Phylum Chordata

Sub-Phylum Vertebrata

Class Actinopterygii

Order Percomorphi

Family Latidae

Genus *Lates*

Species *Lates calcarifer*

2.1.3 แหล่งกำเนิดและการแพร่กระจาย

ปลากะพงขาวเป็นปลาน้ำกร่อยขนาดใหญ่ จัดเป็นตัวอย่างของปลาเขตร้อนที่มีการกระจายในบริเวณค่อนข้างกว้างมาก คือ บริเวณชายฝั่งทะเลของอ่าวเปอร์เซีย บังคลาเทศ อินเดีย ศรีลังกา สาธารณรัฐสังคมนิยมแห่งสหภาพพม่า ไทย มาเลเซีย กัมพูชาประชาธิปไตย สาธารณรัฐสังคมเวียดนาม ฟิลิปปินส์ อินโดนีเซีย ตอนเหนือของออสเตรเลีย และตอนใต้ของสาธารณรัฐประชาชนจีน (สมใจ พยุงศักดิสถาพร, 2527) เนื่องจากปลากะพงขาวพบในหลายประเทศทำให้มีชื่อเรียกแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับประเทศนั้น ๆ เช่น giant perch, white seabass, silver seaperch, palmer และ petcham เป็นต้น

ปลากะพงขาวเจริญเติบโตได้ดีในน้ำกร่อยและน้ำจืด จัดได้ว่าเป็นปลาสองน้ำ คือ ในช่วงชีวิตของปลากะพงขาวจะมีการเคลื่อนย้ายไปมาระหว่างน้ำจืดและน้ำเค็ม ปลากะพงขาวขนาดใหญ่จะอาศัยอยู่ในแหล่งน้ำที่ไม่ห่างไกลออกไปจากฝั่งมากนัก พบมากตามบริเวณปากแม่น้ำลำคลอง ปากทะเลสาบและปากอ่าวบริเวณที่เป็นป่าไม้ชายเลนที่มีน้ำเค็มท่วมถึง สำหรับประเทศไทยสามารถพบปลากะพงขาวตามชายฝั่งทะเลโดยเฉพาะบริเวณปากแม่น้ำใหญ่ ที่มีทางออกติดต่อกับทะเลมีป่าไม้ชายเลนขึ้นปกคลุม เช่น จังหวัดตราด จันทบุรี ฉะเชิงเทรา สมุทรปราการ สมุทรสงคราม ฯลฯ

ปลากะพงขาวจะผสมพันธุ์และวางไข่ในน้ำทะเลที่มีความเค็มประมาณ 28 – 32 ส่วนในพันส่วน (ppt) ในทะเลลึก หลังจากนั้นไข่จะถูกพัดเข้าสู่บริเวณชายฝั่งและฟักออกเป็นตัว ลูกปลากะพงขาวที่ฟักออกเป็นตัวจะดำรงชีวิตอยู่ในน้ำกร่อยและน้ำจืดจนมีอายุได้ 2 – 3 ปี มีขนาด 3 – 5 กิโลกรัม จะเคลื่อนตัวออกสู่ทะเลเพื่อทำการผสมพันธุ์และวางไข่ต่อไป (สมใจ พยุงศักดิสถาพร, 2527)

2.1.4 วิธีการเพาะเลี้ยง แบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ คือ

2.1.4.1 การเลี้ยงปลาในนากุ้ง ส่วนใหญ่มีพื้นที่ตั้งแต่ 2 ไร่ขึ้นไป ลูกปลาที่ปล่อยมีขนาด 1 – 2 เซนติเมตร ความหนาแน่นที่เลี้ยงไร่ละ 800 – 1,600 ตัว

2.1.4.2 การเลี้ยงปลาในบ่อน้ำกร่อย ขนาด 2.5 – 10 ไร่ ความหนาแน่นที่เลี้ยงไร่ละ 1,600 – 3,000 ตัว

2.1.4.3 การเลี้ยงปลาในกระชัง เป็นวิธีที่นิยมมาก เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการลงทุนต่ำกว่าการขุดบ่อเลี้ยงเป็นอย่างมาก รวมทั้งสามารถปล่อยปลาเลี้ยงได้เป็นจำนวนมากกว่าเพราะน้ำถ่ายเทได้ดี ช่วยให้ปลามีอัตราการรอดสูง ขนาดของกระชังที่นิยมใช้ คือ 5 x 5 เมตร สามารถปล่อยเลี้ยงได้ตั้งแต่ 10 – 20 ตัวต่อตารางเมตร (วิเศษ และ วิไลวรรณ, 2529)

2.1.5 สมบัติของน้ำในบ่อเลี้ยง (มั่นสิน และ ไพพรรณ, 2539)

2.1.5.1 อุณหภูมิ ควรมีค่าสม่ำเสมอตลอดฤดูการเพาะเลี้ยง อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงอยู่ระหว่าง 28 – 30 องศาเซลเซียส

2.1.5.2 ความเค็ม ควรอยู่ระหว่าง 27 – 32 ppt (ส่วนในพันส่วน) และมีการเปลี่ยนแปลงความเค็มในช่วงที่ไม่กว้างมากนัก อย่างไรก็ตามความเค็มของน้ำที่อยู่ในช่วง 10 – 12 ppt จะสามารถเลี้ยงปลากะพงขาวได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ปลากะพงขาวยังสามารถเจริญเติบโตในน้ำจืดได้เช่นกัน

2.1.5.3 ปริมาณของออกซิเจนในน้ำ ควรมีอยู่ในช่วงที่สูงพอสมควร และมีค่าคงที่อยู่เสมอไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก นักประมงได้สรุปอิทธิพลของออกซิเจนในน้ำไว้ดังนี้ หากมีออกซิเจนในน้ำน้อยกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร นานหลายชั่วโมงปลาอาจตายได้ ออกซิเจนในน้ำอยู่ระหว่าง 1 – 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ปลาสามารถมีชีวิตอยู่ได้แต่ถ้าเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องปลาจะเจริญเติบโตช้าและไม่สามารถขยายพันธุ์ได้ดี ออกซิเจนในน้ำมากกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ไม่เกินระดับอิ่มตัวเป็นช่วงที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตและขยายพันธุ์

2.1.5.4 ความเป็นกรด - ด่าง (pH) ปลาและสิ่งมีชีวิตในน้ำสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ดีที่ pH ที่เป็นกลางประมาณ 7.5-8.5 pH ที่สูงหรือต่ำเกินไปจะสร้างความเครียดให้กับปลา บางครั้งถึงกับทำให้สิ่งมีชีวิตในน้ำตายได้ทันที

2.1.5.5 ความเป็นด่าง (alkalinity) สภาพด่าง หมายถึง ความสามารถของน้ำที่จะรับ H^+ เพื่อให้กรดเป็นกลาง ความเป็นด่างจะวัดในรูปของ $CaCO_3$ ควรมีค่าอยู่ระหว่าง 100-120 ppm ผลของความเป็นด่างนั้นจะส่งผลต่อปริมาณฟอสเฟตและสารอาหารอื่นๆ ในน้ำด้วย

2.1.5.6 ฟอสเฟต (PO_4^{3+}) เป็นสารประกอบที่ให้ธาตุอาหารฟอสฟอรัสสำหรับแพลงก์ตอนพืชและแบคทีเรีย ที่จะทำให้เกิดความอุดมสมบูรณ์ของอาหารธรรมชาติในบ่อ ได้แก่ แพลงก์ตอนพืชและแพลงก์ตอนสัตว์ สัตว์หน้าดิน โดยปกติแล้วปริมาณฟอสเฟตในน้ำจะอยู่ในระดับต่ำ

ตลอดเวลา เนื่องจากฟอสเฟตสามารถดูดซึมอย่างรวดเร็ว โดยแพลงก์ตอนและแบคทีเรีย อีกทั้งยังตกตะกอนกับแคลเซียมในสภาพที่น้ำมี pH สูง และตกตะกอนกับอลูมิเนียมและเหล็กในสภาพที่น้ำมี pH ต่ำ การที่ปริมาณฟอสเฟตในน้ำสูงบ่งชี้ว่าน้ำมีของเสียมาก แพลงก์ตอนพืชจะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วจนอาจทำให้น้ำเน่าเสียซึ่งเป็นต้นเหตุให้ออกซิเจนในน้ำต่ำลง จนปลาเป็นอันตรายได้ โดยในแหล่งน้ำเค็มทั่วๆ ไปจะมีฟอสเฟตอยู่ 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร หากปริมาณของฟอสเฟตเปลี่ยนแปลงไปควรแก้ไขดังนี้ ปริมาณของฟอสเฟตในช่วง 0.0 – 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร แสดงว่าพื้นที่ดินเป็นกรด ควรปรับ pH ดินให้ได้มากกว่า 5.5 และเติมปุ๋ยทริปเปิลซุปเปอร์ฟอสเฟต 400 กรัม ทุก 7 วัน ปริมาณของฟอสเฟตในช่วง 1.0 – 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร แสดงว่า มีการเลี้ยงปลาในปริมาณที่หนาแน่นและอาจมีอาหารตกค้าง การเลี้ยงปลาในน้ำเค็มควรควบคุมให้น้อยกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ในน้ำจืดควรควบคุมให้น้อยกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.1.5.7 ไนไตรท์ (NO_2^-) เป็นผลผลิตที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของแอมโมเนียการสะสมไนไตรท์ในน้ำจะเกิดขึ้นเมื่อมีการเน่าสลายของสารอินทรีย์และปล่อยแอมโมเนียออกมามากในสภาวะที่มีออกซิเจนแอมโมเนียจะเปลี่ยนเป็นไนไตรท์และในกรณีที่มี pH สูงกว่า 8 ประสิทธิภาพการเปลี่ยนไนไตรท์ให้เป็นไนเตรทจะลดลงทำให้เกิดการสะสมไนไตรท์ในน้ำ ซึ่งไนไตรท์จะถูกดูดซึมเข้าสู่ปลาทางเหงือกและจะไปทำปฏิกิริยากับฮีโมโกลบินในเลือด ทำให้ไม่สามารถขนถ่ายออกซิเจนได้ เลือดจะเป็นสีน้ำตาลหรือเรียกว่าโรคเลือดสีน้ำตาล ความเป็นพิษของไนไตรท์จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีแอมโมเนียสูง ไนไตรท์ในระดับความเข้มข้นที่ต่ำกว่าระดับที่ทำให้สัตว์ตายจะทำให้สัตว์น้ำอ่อนแอและติดโรคที่มีสาเหตุจากแบคทีเรียได้ง่าย ในน้ำที่เลี้ยงปลาควรมีไนไตรท์น้อยกว่า 0.1 – 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.1.5.8 ไนเตรท (NO_3^-) เป็นสารประกอบที่ให้ธาตุอาหารไนโตรเจนสำหรับแพลงก์ตอนพืชและแบคทีเรียที่จะทำให้เกิดความอุดมสมบูรณ์ของอาหารธรรมชาติในบ่อ ได้แก่ แพลงก์ตอนพืช แพลงก์ตอนสัตว์ สัตว์หน้าดิน ไนเตรทเป็นพิษต่อสัตว์น้ำต่ำมาก แต่การสะสมของไนเตรทในน้ำปริมาณสูง ๆ อาจแสดงให้เห็นถึงสภาวะในแหล่งน้ำและในบางสภาวะที่เกิดการขาดออกซิเจนไนเตรทและถูกเปลี่ยนกลับไปในรูปของไนไตรท์ ซึ่งจะก่อให้เกิดปัญหาได้ ในแหล่งน้ำทั่วๆไป จะมีไนเตรทอยู่ 0 – 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณไนเตรทที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงปลาควรอยู่ในช่วง 0.01 – 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.1.5.9 แอมโมเนียรวม (NH_4^+ / NH_3) เป็นสารประกอบไนโตรเจนที่เกิดจากการปล่อยของเสียจากการกินอาหารพวกโปรตีนออกมาในรูปแอมโมเนียและการเน่าสลายของเศษอาหาร ซึ่งเกิดจากอาหารที่เหลือและเศษอาหารที่ขับถ่ายออกมาภายในบ่อแล้วเกิดการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ภายในบ่อ แอมโมเนียในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำมี 2 รูปแบบ คือ แอมโมเนีย (NH_3) ที่ยังไม่แตกตัวจะเป็นพิษกับสัตว์น้ำและแอมโมเนียไอออน (NH_4^+) ซึ่งไม่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ ปัจจัยที่มีผลต่อแอมโมเนียคือ ออกซิเจนในน้ำ และค่า pH ปริมาณแอมโมเนียรวมในน้ำ ช่วง 0.4 – 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร จะเป็น

อันตรายต่อสัตว์น้ำ ผลของแอมโมเนียจะทำให้สัตว์อ่อนแอ ติดเชื้อโรคง่าย ไม่สามารถขับถ่ายออกได้ ปริมาณแอมโมเนียรวมในน้ำควรน้อยกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.1.6 อาหาร

อาหารที่เกษตรกรนิยมใช้ในการเลี้ยงปลากะพงขาวในปัจจุบัน คือ ปลาสด เช่นเดียวกับอาหารที่ใช้ในการเลี้ยงปลาน้ำกร่อยชนิดอื่นๆ ทั้งนี้ ปลากะพงขาวมีความต้องการอาหารคล้ายคลึงกับปลาทะเลที่กินเนื้อชนิดอื่นๆ ไม่ว่าจะเป็นโปรตีน กรดอะมิโน กรดไขมัน คาร์โบไฮเดรต วิตามิน หรือเกลือแร่ แต่ปริมาณความต้องการนั้นแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของปลา ระยะการเติบโต และสภาพแวดล้อม (Boonyaratpalin, 1991a)

โปรตีนและกรดอะมิโน เป็นสารอาหารที่จำเป็นที่สุดที่สิ่งมีชีวิตต้องการ โปรตีนมีความสำคัญในการเจริญเติบโตของร่างกาย ซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ รวมทั้งเป็นส่วนประกอบของร่างกายและการสร้างอวัยวะ นอกจากนี้ ยังมีความสำคัญในการสร้างเอนไซม์และฮอร์โมนที่จำเป็นต่อกระบวนการเมทาบอลิซึม ถ้าร่างกายได้รับปริมาณโปรตีนไม่เพียงพอ จะมีผลทำให้การเติบโตช้าลงหรือหยุดการเจริญเติบโต เนื่องจากมีการดึงเอาโปรตีนจากเนื้อเยื่อมาทำหน้าที่ในการดำรงชีวิตหรือทดแทนเซลล์ที่ตายไป แต่ถ้าในอาหารมีโปรตีนมากเกินไป โปรตีนส่วนหนึ่งจะถูกเก็บสะสมในเนื้อเยื่อ ส่วนที่เหลือจะถูกเปลี่ยนไปใช้เป็นแหล่งของพลังงาน (Boonyaratpalin, 1991a) อาหารเลี้ยงปลากะพงขาวควรมีโปรตีน 45 – 55 เปอร์เซ็นต์

วิเชียร สาคเรศ, มะลิ บุณยรัตนผลิน และนันทิยา อุ่นประเสริฐ (2532) ทดลองเลี้ยงปลากะพงขนาดความยาวเฉลี่ย 7.57 เซนติเมตร น้ำหนักตัวเฉลี่ย 5.07 กรัม ด้วยอาหารผสม (Mixed Diet) และใช้ในรูปอาหารเม็ดแบบเปียก (Moist Pellet) เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ โดยใช้อาหารผสมที่มีโปรตีน 3 ระดับ คือ 45, 48 และ 54 เปอร์เซ็นต์ แต่ละระดับมีไขมัน 13 และ 18 เปอร์เซ็นต์ รวมเป็นอาหาร 6 สูตร พบว่า อาหารสูตรที่มีโปรตีน 45 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 18 เปอร์เซ็นต์ (จากการคำนวณ) มีอัตราการรอด 100 เปอร์เซ็นต์ และการเจริญเติบโตดีที่สุด จากการวิเคราะห์อาหารสูตรดังกล่าว พบว่า มีระดับโปรตีน 46.71 เปอร์เซ็นต์ และไขมัน 15.64 เปอร์เซ็นต์

Boonyaratpalin (1997) รายงานระดับสารอาหารที่ปลากะพงขาวต้องการไว้ว่า ปลากะพงขาวต้องการโปรตีน 45 – 55 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 15 – 18 เปอร์เซ็นต์ คาร์โบไฮเดรต ไม่เกิน 20 เปอร์เซ็นต์ ส่วนระดับและชนิดของวิตามิน แร่ธาตุขึ้นอยู่กับขนาดและระยะการเจริญของปลา

Williams et al. (2003) ทดลองเลี้ยงปลากะพงขาวน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 230 กรัม ด้วยอาหารผสมที่ระดับโปรตีน 38, 42.5 และ 52 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 7, 12.8 และ 18.3 เปอร์เซ็นต์ พบว่า สูตรอาหารที่มีระดับโปรตีน 52 เปอร์เซ็นต์ กับไขมัน 18.3 เปอร์เซ็นต์ ทำให้น้ำหนักและปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตมีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุด ส่วนการเลี้ยงปลากะพงขาวน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 80 กรัม ด้วยอาหารผสมที่ระดับโปรตีน 43.8 และ 64.7 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 11.5 และ

22.4 เปอร์เซ็นต์ พบว่า สูตรอาหารที่มีระดับโปรตีน 64.7 เปอร์เซ็นต์ กับไขมัน 22.4 เปอร์เซ็นต์ ทำให้น้ำหนักและปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตมีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุด นอกจากนั้นถ้าพลังงานในอาหารไม่เพียงพอจะไม่สามารถทำให้เกิดการสังเคราะห์โปรตีนได้ แต่ถ้าพลังงานมากเกินไปจะทำให้เกิดของเสียมาก สัตว์น้ำเครียดหรือทำให้สัตว์น้ำมีไขมันสะสมมากขึ้น (Cowey and Sargent, 1979 อ้างตาม Das et al. 1991) การเลี้ยงปลากินเนื้อส่วนใหญ่นิยมให้กินอาหารที่มีโปรตีนสูง เพื่อให้โปรตีนส่วนมากถูกนำไปใช้ในการเจริญเติบโต ส่วนที่เหลือถูกเปลี่ยนเป็นไขมันเก็บสะสมไว้ที่อวัยวะต่างๆ ของร่างกาย ซึ่งโปรตีนส่วนที่เหลือนี้สามารถทดแทนได้ โดยการเพิ่มปริมาณไขมันให้สูงขึ้น นอกจากจะทำให้ปลาเจริญเติบโตได้ดีแล้ว ซึ่งช่วยลดต้นทุนการผลิตได้อีกด้วย (วิสุทธิ์ ถิรสัตยวงศ์, 2526)

ไขมันและกรดไขมันที่จำเป็น (essential fatty acid ; EFA) เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญที่สุด สัตว์น้ำสามารถย่อยและดูดซึมไปใช้ได้ดี และไขมันยังให้พลังงานสูงที่สุด ซึ่งมีผลดีในการช่วยประหยัดโปรตีนในอาหารไม่ให้ถูกเผาผลาญเป็นพลังงาน ดังนั้น การเพิ่มไขมันในอาหารจะช่วยให้โปรตีน ที่ปลากินเข้าไปถูกนำไปใช้ในการดำรงชีพ การเสริมสร้างเซลล์ใหม่เพื่อการเจริญเติบโตที่เต็มที่ (สุพิศ ทองรอด, 2535) นอกจากไขมันมีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตและกระบวนการเมทาบอลิซึมของปลาแล้ว ไขมันยังมีอิทธิพลต่อรสชาติของอาหารปลาและรสสัมผัสของปลาอีกด้วย จากการศึกษาระดับความต้องการกรดไขมันที่จำเป็น (n3HUFA)ของปลากะพงขาววัยรุ่น พบว่า อยู่ในช่วง 1.0 – 1.7 เปอร์เซ็นต์ จึงจะทำให้มีการเจริญเติบโตสูงสุดและไม่เป็นโรคขาดกรดไขมันที่จำเป็น เช่น ตื่นตกใจง่าย ลำตัวเป็นสีชมพู และอัตราการรอดต่ำ (Boonyaratpalin, 1991b)

ระดับไขมันที่เหมาะสมในอาหารปลาส่วนมากควรอยู่ในช่วง 10-15 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งระดับไขมันดังกล่าวทำให้ปลาใช้โปรตีนอย่างมีประสิทธิภาพ มีการเติบโตปกติ และมีผลต่อคุณภาพเนื้อน้อยมาก (Cowey และ Sargent, 1979) และ อำนวย โชติญาณวงษ์ (2525) รายงานว่าระดับไขมันที่เหมาะสมในอาหารปลาเขตร้อน เช่น ปลานิล ปลาดุก และปลาไหล ควรมีประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ และสำหรับปลาคาร์พควรมีประมาณ 10-15 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ถ้าต้องการอาหารที่มีไขมันมากกว่ากำหนดก็อาจใช้วิธีพ่นเคลือบ (spray) ที่ผิวอาหารเม็ดหลังจากผลิตเสร็จสิ้นการอัดเม็ด การใช้น้ำมันเคลือบอาหารเม็ดมีข้อดีที่กลิ่นไปกระตุ้นให้ปลากินอาหารดีขึ้นแต่อาจมีปัญหาในการเก็บรักษา ซึ่งอาจจะเหม็นหืนได้เนื่องจากเกิดการออกซิเดชันในไขมัน (ทัณฑิมา พรหมดิเรก, 2539)

คาร์โบไฮเดรต เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญอีกแหล่งหนึ่งของสัตว์ แต่สัตว์น้ำมีข้อจำกัดในการใช้พลังงานจากคาร์โบไฮเดรต โดยเฉพาะอย่างยิ่งปลากินเนื้อ ปลากะพงขาวสามารถย่อยอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตได้น้อยกว่าไขมัน รวมทั้งความสามารถในการย่อยคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิดยังแตกต่างกัน แหล่งคาร์โบไฮเดรตที่ดีควรมาจากข้าว และ แป้งสาลี ถ้ามาจากถั่วเหลืองควรเป็นถั่วเหลืองอัดน้ำมัน เพื่อป้องกันการถูกออกซิไดซ์ไขมันก่อให้เกิดเป็นสารพิษ คาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งพลังงานที่ถูกที่สุด

เนื่องจากอาหารปลากะพงขาวส่วนใหญ่ประกอบด้วยโปรตีนและไขมันราคาแพง ฉะนั้นในอาหารปลาจึงควรมีวัตถุดิบจำพวกคาร์โบไฮเดรตรวมอยู่ด้วยในปริมาณหนึ่ง (วิมล จันทรโรทัย, 2536) แต่ถ้าให้คาร์โบไฮเดรตในปริมาณสูงเกินไป จะเป็นอุปสรรคต่อการเจริญเติบโต ในอาหารปลากะพงขาวควรมีคาร์โบไฮเดรตไม่เกิน 20 เปอร์เซ็นต์ (Boonyaratpalin, 1991a) นอกจากนี้คาร์โบไฮเดรตยังมีหน้าที่เป็นสารเหนียว (binder) ในอาหาร โดยช่วยให้ส่วนประกอบต่างๆ ของอาหารจับตัวกันได้ดีขึ้น และช่วยลดการละลายน้ำของอาหาร

วิตามินเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ร่างกายมีความต้องการในปริมาณน้อย แต่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิต การสืบพันธุ์ รวมทั้งกระบวนการเมทาบอลิซึมของร่างกายด้วย อาหารที่ขาดวิตามินชนิดใดชนิดหนึ่งที่ปลากะพงขาวต้องการ ในขั้นแรกทำให้ปลาเบื่ออาหาร โตช้า ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อต่ำ และมีอัตราการตายสูง (ถนอม และมะลิ, 2532)

เราสามารถใช้วิตามินรวม (Premix) ที่มีขายในท้องตลาดทั่วไปเพื่อทดแทนการขาดวิตามินในอาหารปลากะพงขาวได้ โดยการใช้วิตามินรวมไม่ต่ำกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์ (สุพจน์, มะลิ และ สุพักตร์, 2533) วิตามินมีผลต่ออัตรารอดของปลา (Post, 1987) การขาดวิตามินบางชนิดอาจทำให้ปลาติดเชื้อโรคได้ง่ายขึ้น ปลาบางชนิดสามารถสร้างวิตามิน B12 จากลำไส้ได้ หากมีการเติมสารโคบอลบางส่วนเข้าไปในอาหารแต่วิตามินบางชนิดจะไม่คงตัวยากในการเก็บรักษาโดยเฉพาะวิตามินซี ส่วนวิตามินเค และไทอามิน (Thiamine) จะโดนทำลายได้ง่ายด้วยความร้อน ดังนั้นจะต้องมีการเติมในอาหารในปริมาณที่มากเกินกว่าปกติ วิตามินอีจะใช้เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) สำหรับน้ำมันปลา เพื่อป้องกันการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและกลิ่นหืน ปัจจุบันจะไม่ค่อยพบปลาที่ขาดวิตามิน เนื่องจากมีการพัฒนาอาหารในด้านคุณภาพที่ดีขึ้น

เกลือแร่เป็นสารอาหารที่จำเป็นอย่างหนึ่ง ปลาต้องการเกลือแร่ประมาณ 12 ชนิด เพื่อใช้ในกระบวนการ Osmoregulation การหดตัวของกล้ามเนื้อ การขนส่งออกซิเจน และกระบวนการเมทาบอลิซึม (Boonyaratpalin , 1991a) ปลากะพงขาวอาจได้รับเกลือแร่รอง (trace mineral)จากน้ำและอาหารเพียงพอกับความต้องการ ส่วนเกลือแร่หลัก (Macro mineral)เพิ่มเติมในอาหารในรูปเกลือแร่รวมประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ อาหารที่ไม่เติมแคลเซียม จะทำให้ปลาเจริญเติบโตช้ากว่าปกติเล็กน้อย

ปลากะพงขาวกินอาหารตามช่วงอายุ ช่วงชีวิตส่วนใหญ่จะกินเนื้อหรือกินสัตว์ที่มีขนาดเล็กกว่าเป็นอาหาร จึงจัดเป็น Carnivorous fish เราสามารถแบ่งชนิดและระยะเวลาการให้อาหารในการเลี้ยงปลากะพงขาวได้ดังนี้

2.1.6.1. คลอเรลลา จัดเป็นแพลงก์ตอนพืชที่มีขนาดเล็กมาก เหมาะที่จะใช้เลี้ยงลูกปลากะพงขาวที่มีอายุ 2 – 10 วัน คลอเรลลาที่ใส่ลงในบ่ออนุบาลจะเป็นอาหารให้กับโรติเฟอร์ ช่วยบดบังแสงแดดให้กับลูกปลา และใช้ของเสียบางอย่างที่ละลายอยู่ในน้ำเป็นการช่วยปรับปรุงคุณภาพน้ำให้อยู่ในสภาพดีด้วย โดยลูกปลากินโรติเฟอร์กินเป็นอาหาร

2.1.6.2. โรติเฟอร์ เป็นไรน้ำขนาดเล็ก กินแพลงก์ตอนพืชเป็นอาหาร การให้โรติเฟอร์เป็นอาหารแก่ลูกปลานั้น ใช้ถุงแพลงก์ตอนเก็บรวบรวมโรติเฟอร์จากบ่อเพาะโรติเฟอร์ไปใส่ในบ่ออนุบาลลูกปลาให้เพียงพอ ประมาณ 5 – 10 ตัวต่อน้ำ 1 มิลลิลิตร ปกติจะให้โรติเฟอร์เป็นอาหารเมื่อลูกปลาอายุครบ 3 วัน จนลูกปลาอายุได้ 14 วัน

2.1.6.3. อาร์ทีเมีย เริ่มให้อาร์ทีเมียแก่ลูกปลา เมื่อลูกปลาอายุได้ 8 วัน เพราะมีลูกปลาตัวโตที่สามารถกินอาร์ทีเมียแทนโรติเฟอร์ได้ ปกติแล้วจะให้อาร์ทีเมียจนกว่าลูกปลาจะกินเนื้อปลาบดได้ หรือเมื่อลูกปลามีอายุได้ 20 วัน

2.1.6.4. เนื้อปลาสับละเอียด ลูกปลามีอายุครบ 21 วันขึ้นไป เริ่มฝึกให้กินเนื้อปลาสับละเอียดโดยในตอนแรกลูกปลาซึ่งไม่เคยกินและยังไม่ยอมกิน จึงต้องพยายามฝึกเป็นประจำ

2.1.6.5. เนื้อปลาเป็นชิ้น เมื่อปลาอายุได้ 2 – 3 เดือน ปลากะพงขาวจะชินกับเหยื่อที่ตายแล้วและปลาเริ่มโต ปลาที่ให้ไม่จำเป็นต้องสับละเอียดอีก ให้หั่นเป็นชิ้นๆ ใช้เลี้ยงปลากะพงขาวจนถึงขนาดที่จะบริโภคหรือขายได้ (สมใจ พยุงศักดิสถาพร, 2527)

นอกจากอาหารที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว เมื่อปลาผ่านพ้นช่วงอนุบาลลูกปลาสามารถฝึกปลากะพงขาวให้กินอาหารผสม (Mixed Diet) ในรูปอาหารเม็ดแบบเปียก (Moist Pellet) ได้โดยต้องมีระดับโปรตีนและพลังงานที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของปลา (วิเชียร และคณะ, 2532)

สุจินต์ และ นิเวศน์ (2521) ทดลองอนุบาลลูกปลากะพงขาววัยอ่อนโดยใช้โรติเฟอร์กับไรแดงเป็นอาหาร ปรากฏว่าลูกปลาเริ่มกินโรติเฟอร์จนอายุ 13 วัน ถึงเริ่มกินไรแดงได้ เมื่อลูกปลาอายุได้ 22 วันก็สามารถกินไรแดงได้หมดทุกตัวหลังจากอายุ 22 วันจึงให้กินไรแดงอย่างเดียว พอลูกปลาอายุได้ 25 วันจึงเริ่มให้กินเนื้อปลาสับละเอียด เมื่อลูกปลาอายุ 1 เดือนลูกปลาทุกตัวสามารถกินเนื้อปลาได้

ประวิม และสุวรรณี (2522) ให้ข้อสังเกตอย่างหนึ่งว่า การเติบโตของลูกปลากะพงขาวขึ้นอยู่กับสุขภาพปลาเป็นสำคัญ โดยลูกปลามีความสมบูรณ์หรือไม่ สังเกตได้จากการเปลี่ยนสีของลำตัวตามช่วงอายุ ลักษณะของลูกปลาที่แข็งแรงจะมีการเปลี่ยนสีลำตัวในช่วงอายุตามลำดับดังนี้ ระยะแรกๆ ลูกปลาจะมีลำตัวขาวใส เมื่อเข้าระยะผ่านตัวอ่อนจะมีสีดำ จากนั้นจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลหรือดำจางๆ มีลายและเปลี่ยนเป็นสีขาวเมื่ออายุมากขึ้น ถ้าลูกปลามีลำตัวเป็นสีน้ำตาลหรือดำจาง ๆและมีลายแล้วกลับมีการเปลี่ยนสีเป็นสีดำอีก แสดงว่าลูกปลานั้นเริ่มป่วยและมีสุขภาพไม่แข็งแรง

Williams et al. (2003) ทดลองเลี้ยงปลากะพงขาวที่มีน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 230 กรัม ด้วยอาหารผสมที่มีระดับโปรตีน 38, 42.5 และ 52 เปอร์เซ็นต์ พบว่าสูตรอาหารที่มีระดับโปรตีน 52 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 18.3 เปอร์เซ็นต์ ทำให้น้ำหนักและปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโต มีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุด ส่วนปลากะพงขาวน้ำหนักเฉลี่ย 80 กรัม เลี้ยงด้วยอาหารผสมที่มีระดับโปรตีน 43.8 และ 64.7 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 11.5 และ 22.4 เปอร์เซ็นต์ พบว่า

สูตรอาหารที่มีระดับโปรตีน 64.7 กับไขมัน 22.4 เปอร์เซ็นต์ ทำให้น้ำหนักและปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเติบโตมีอัตราการเติบโตสูงสุด

2.1.7 ระบบทางเดินอาหาร

ระบบทางเดินอาหารเริ่มต้นตั้งแต่ปากไปจนสุดที่รูทวารหนัก อาหารจะผ่านจากช่องปากของปลาเข้าไปในคอหอย (pharynx) ปลาบางชนิด เช่น พวกปลาหลังเขียว (herrings) จะมีคอหอยที่ดัดแปลงเป็นกล้ามเนื้อหนาช่วยในการบดอาหาร ทำหน้าที่คล้ายกระเพาะบดในพวกนก พวกปลากินเนื้อจะมีฟันที่คอหอยทำหน้าที่ช่วยในการกัดหรือบดอาหารให้เป็นชิ้นเล็กลง ปลากินพืชหรือหอยที่มีเปลือกแข็ง เช่น ปลาวงศ์ตะเพียน จะมีฟันที่คอหอยมีลักษณะคล้ายฟันกรามของมนุษย์

จากคอหอยเป็นกระเพาะอาหาร (stomach) มีลักษณะเป็นรูปถุงยาว ก้นถุงแคบ มีสีน้ำตาลอ่อน ผิวนอกเรียบ เรียกว่า หลอดคอ กระเพาะอาหารจะทอดไปตามยาวของตัวปลา ผิวภายในกระเพาะอาหารเป็นรอยย่นถี่ และมีต่อมทำหน้าที่ขับน้ำย่อยอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งเป็นส่วนของทางเดินอาหารที่ขยายใหญ่ และเจริญดีในพวกปลากินเนื้อที่จับเหยื่อขนาดใหญ่ ปลาหลายชนิดไม่มีกระเพาะอาหารที่แท้จริง มีแต่ท่อทางเดินอาหารที่ขยายใหญ่อยู่ทางด้านหน้าของลำไส้เล็ก (small intestine) ลำไส้เล็กแยกออกจากกระเพาะอาหารด้วยกล้ามเนื้อหูรูดลักษณะอาจเป็นท่อเหยียดตรงหรือม้วนทับกันเป็นก้อนใหญ่ ลำไส้เล็กของปลาแบ่งออกเป็น 3 ตอน คือ ส่วนต้น (duodenum) เป็นส่วนที่ยาวกว่าส่วนอื่นและมีกล้ามเนื้อหนาห่อหุ้มไว้ อยู่ถัดจากส่วนท้ายของกระเพาะอาหารทอดยาวไปทางหางหรืออาจขดงอเล็กน้อย ร่องรอยที่บ่งชี้ว่าแยกออกจากกระเพาะอาหาร คือ มีสีดำกว่ากระเพาะอาหารเพราะมีท่อน้ำดีมาเปิดเข้าในบริเวณนี้ ส่วนกลาง (jejunum) มีขนาดสั้นกว่า สี และขนาดไม่แตกต่างกัน ส่วนปลาย (ileum) มีขนาดสั้นและแคบกว่าส่วนอื่นๆ และตรงไปทางท้าย บริเวณส่วนต้นของลำไส้เล็กจะพบไส้ถั่ว (pyloric caeca) เป็นท่อปลายตัน มีลักษณะคล้ายนิ้วมือ มีความกว้างและยาวต่าง ๆ กัน ขึ้นกับชนิดของปลา มีหน้าที่ช่วยเพิ่มเนื้อที่ในการย่อยอาหาร ส่วนของทางเดินอาหารที่ต่อจากลำไส้เล็กคือ ลำไส้ใหญ่ (large intestine) แยกจากส่วนของลำไส้เล็กโดยรอยคอดทั่วผนังภายในจะมีรอยย่นมากกว่าของลำไส้เล็ก ลำไส้ใหญ่ของปลากระดูกแข็งมี rectum แล้วถึงช่องทวาร

นอกจากนี้ ยังมีอวัยวะที่เกี่ยวข้องกับระบบย่อยอาหารที่สำคัญ ได้แก่ ตับ (liver) มีหน้าที่ช่วยเก็บอาหารพวกน้ำตาลและไขมันไว้ใช้ในยามขาดแคลน ตับจะช่วยในการย่อยอาหารโดยการสร้างน้ำย่อยไปให้ลำไส้ ช่วยเก็บของเสียจากน้ำดี ถุงน้ำดี (gall bladder หรือ bile sac) เป็นถุงใสค่อนข้างกลม ภายในถุงมีน้ำดี (bile) ซึ่งผลิตจากตับบรรจุอยู่เต็ม น้ำดีมีรสขม จากถุงน้ำดีจะมีท่อเรียกว่า commonbile duct นำน้ำดีไปสู่ส่วนต้นของลำไส้เล็ก ช่วยในการย่อยอาหารประเภทไขมัน น้ำดีใช้เป็นสารกระจายไขมัน (emulsifying agent) และช่วยปรับค่าความเป็นกรด– ด่างในน้ำย่อย

อาหารให้เหมาะสม ตับอ่อน (pancrease) มีหน้าที่ผลิตน้ำย่อยและฮอร์โมน (วิมล จันทรโรทัย, 2540)

2.1.8 การควบคุมดูแลรักษาโรค

การป้องกันเป็นวิธีการที่ดีที่สุดในการควบคุมดูแลรักษาโรคปลา การเลี้ยงในสภาพแวดล้อมที่บริเวณแหล่งเลี้ยง อาจจะเปลี่ยนแปลงได้ง่ายอันเนื่องจากการสะสมของอาหารที่เหลือตกค้างจะทำให้ปลาเครียด จนอาจทำให้เกิดปัญหาโรคปลาตามมา คำแนะนำสำหรับการควบคุมดูแลโรคปลา มีดังต่อไปนี้

2.1.8.1 สุขภาพปลาทั่วไป

การดูแลสุขภาพปลาให้แข็งแรงอยู่เสมอ จะเป็นการป้องกันโรคที่ดีที่สุดซึ่งการจัดการให้ปลาแข็งแรงก็เริ่มต้นตั้งแต่ การเลือกลูกพันธุ์ปลาที่มีคุณภาพ แข็งแรง ไม่เป็นโรค ไม่นำพันธุ์ปลาที่ซื้อมาใหม่ปล่อยรวมกับปลาเก่าที่เลี้ยงอยู่เดิม เพราะปลาเก่าจะแข็งแรงกว่า แย่งอาหารได้ดีกว่า อาจทำร้ายปลาที่ปล่อยลงเลี้ยงใหม่ที่อ่อนแอกว่า แล้วเกิดการติดเชื้อขึ้นได้

ก่อนปล่อยปลาลงเลี้ยง ควรแช่ด่างทับทิมหรือยาเหลือง 10 ส่วนในล้านส่วน 20 – 30 นาที เพื่อเป็นการป้องกันการนำเชื้อโรคเข้ามาสู่บริเวณเลี้ยง

ในระหว่างการเลี้ยง ควรดูแลอย่างใกล้ชิด หากมีปลาตายให้รีบตรวจหาสาเหตุทันที การจับปลาเมื่อขนย้ายหรือคัดขนาดควรทำอย่างระมัดระวัง และเมื่อมีการระบาดของโรคสัตว์น้ำจะต้องแจ้งให้เจ้าหน้าที่รับผิดชอบทันที และมีวิธีการจัดการซากและน้ำทิ้งที่เหมาะสม

2.1.8.2 การป้องกันและรักษาโรค

การรักษาโรคขึ้นอยู่กับสาเหตุการเกิดโรค ทั้งนี้ การเน้นการจัดการสิ่งแวดล้อมให้ดีขึ้นเพื่อให้ปลาแข็งแรงขึ้นและหายจากโรค การใช้ยาและสารเคมี ควรเป็นทางเลือกสุดท้ายที่ใช้ในการรักษาโรค

2.1.8.2.1 โรคอิริโดไวรัส (Iridovirus diaease)

อาการ	อ่อนเพลีย ลำตัวซีด ไม่กินอาหาร ตายอย่างเฉียบพลันภายใน 2 – 3 วัน
วิธีการรักษา	ยังไม่มียาและสารเคมีในการรักษา
วิธีการป้องกัน	ควรหลีกเลี่ยงการคัดแยกหรือขนย้ายปลาในฤดูแล้ง และควรพิถีพิถันในการจับปลาเมื่อย้ายกระชัง

2.1.8.2.2 โรคหูดปลา

อาการ	มีตุ่มเล็กๆ ใสคล้ายเม็ดสาคูจับกันเป็นก้อน ติดอยู่ตามครีบและครีบหาง

วิธีการรักษา ไม่ต้องใช้ยา เพียงแต่อย่าไปรบกวนให้ปลาช้ำ อาการของโรคจะหายไปเองภายใน 2 – 3 เดือน

วิธีการป้องกัน อย่านำปลาเป็นโรคมาเลี้ยงรวมกับปลาปกติ ควรดูแลสุขภาพปลาให้แข็งแรงอยู่เสมอ

2.1.8.2.3 โรคสเตรปโตคอคคัส (Streptococcus disease)

อาการ ว่ายน้ำเฉื่อยมาก ตาโปนขาวและมีแผลนูนช้ำบริเวณโคนครีบหลัง เมื่อผ่าท้องดูจะเห็นตับช้ำเล็กน้อย ม้ามและไตบวม

วิธีการรักษา ใช้ยาปฏิชีวนะ เช่น ออกซิเตตราไซคลินผสมอาหารในอัตราส่วนยา 150 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ให้ปลากินติดต่อกัน 5 วัน

วิธีการป้องกัน ให้ปลากินอาหารที่สดอยู่เสมอ ไม่ควรนำปลาเป็นโรคมาเลี้ยงปนกับปลาที่ไม่เป็นโรค ควรผ่านการตรวจและรักษาให้หายเสียก่อน

2.1.8.2.4 โรคแฟลกซิแบคเตอร์ (Flexibacteriosis)

อาการ ในปลากะพงขาวที่เลี้ยงในน้ำจืด จะมีแผลเล็ก ๆ ตามตัว หางกุด มีตะกอนสีเหลืองบริเวณแผลเหล่านี้คล้ายโรคเหงือกเปื่อย แต่มีลักษณะที่แตกต่างออกไป คือ ปลาจะมีเกล็ดหลุดเป็นแถบ ๆ มองดูเหมือนแผลไฟไหม้หรือน้ำร้อนลวก

วิธีการรักษา ผสมยาออกซิเตตราไซคลินให้ปลากิน ในอัตราส่วน 150 – 200 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม พร้อมกับแช่ด่างทับทิม ความเข้มข้น 2 ส่วนในล้านส่วน นาน 30 นาที วันละ 1 ครั้ง ติดต่อกัน 3 วัน

วิธีการป้องกัน ต้องคัดปลาอย่างระมัดระวังไม่ให้เกล็ดหลุด หรือผิวหนังถลอก โดยเฉพาะในฤดูร้อน ควรคัดแยกปลาเฉพาะช่วงเช้าหรือช่วงเย็นเท่านั้น เพื่อลดความเครียดของปลา

2.1.8.2.5 โรคเห็บระฆัง

อาการ สีลำตัวจะคล้ำลง ครีบหลังหรือครีบหางจะขาดลุ่ย เหงือกอาจซีดและช้ำ

วิธีการรักษา แช่ในฟอร์มาลีนเข้มข้น 250 ส่วนในล้านส่วน นาน 30 นาที เพียงครั้งเดียว

วิธีการป้องกัน หมั่นทำความสะอาดกระชังเลี้ยง โดยการเปลี่ยนบ่อย ๆ (2 เดือนครั้งเป็นอย่างน้อย) ฆ่าเชื้อโรคที่กระชังโดยการแช่ในน้ำยาคลอรีนเข้มข้น 30 กรัมต่อน้ำ 1,000 ลิตร นาน 2 คืน แล้วนำไปตากให้แห้ง

2.1.8.2.6 โรคปลิงใส

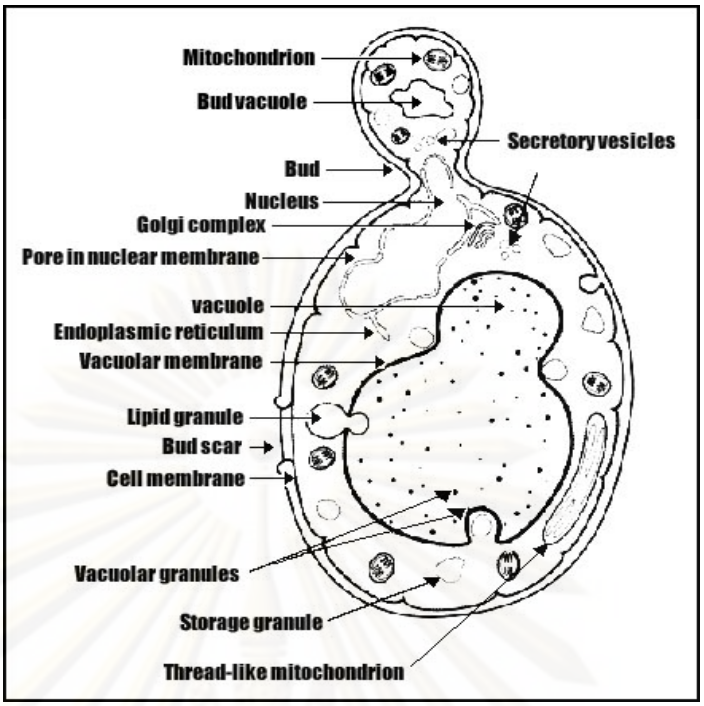
อาการ	สีลำตัวจะคล้ำลง อ้ากระพุ้งแก้มที่ผิวน้ำ เมื่อเปิดดูเหงือกจะเห็นสีซีดขาวเล็ก ๆ ติดอยู่และหากมีปรสิตเกาะอยู่มากๆ จะมองเห็นเหงือกมีสภาพแดงช้ำเป็นช่วง ๆ ปลากินอาหารน้อยลงกว่าปกติ และมีอัตราการตายสูงถึง 40 เปอร์เซ็นต์
วิธีการรักษา	แช่ในน้ำยาดิพเทอร์เร็กซิเข้มข้น 0.25 – 0.5 ส่วนในล้านส่วน นาน 2 – 3 วัน โดยเปลี่ยนน้ำและยาทุกวัน หรือแช่ในฟอร์มาลีนเข้มข้น 250 ส่วนในล้านส่วน นาน 30 นาที วันละ 1 ครั้ง ติดต่อกัน 3 วัน หรือจนกระทั่งหาย
วิธีการป้องกัน	เมื่อนำปลาใหม่จากที่อื่นมาเลี้ยง ควรสุ่มปลาตรวจก่อนลงเลี้ยง หากพบปลิงใสเพียงเล็กน้อยควรกำจัดด้วยน้ำยาฟอร์มาลีนเข้มข้น 250 ส่วนในล้านส่วน นาน 30 นาที ก่อนปล่อยลงเลี้ยงรวมกับปลาอื่น

2.2. ยีสต์ (Yeast)

ยีสต์เป็นจุลินทรีย์ที่กระจัดกระจายอยู่ทั่วไปในธรรมชาติ เช่น ในดินสวนผลไม้ ผลไม้ ผิวหนัง อากาศ ในน้ำจืด น้ำเค็ม และอาหารต่าง ๆ เป็นต้น ยีสต์เป็นจุลินทรีย์ในกลุ่มของราที่ส่วนใหญ่มีการดำรงชีวิตแบบเป็นเซลล์เดี่ยวอยู่ในชั้นแอสโคไมซีส (Class Ascomycetes) (พวงพร โชติกไกร, 2541)

2.2.1 รูปร่างลักษณะ

ยีสต์เป็นเซลล์เดียว ไม่มีคลอโรฟิลล์และออร์กาเนลที่ใช้ในการเคลื่อนที่ มีลักษณะใส ไม่มีสี แต่เมื่อเลี้ยงบนอาหารจะมีสีขาว ยีสต์บางชนิดมีเม็ดสีภายในเซลล์ ทำให้สีของโคโลนีแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับเม็ดสีที่มีอยู่ เช่น เหลือง ชมพู ส้ม เป็นต้น ยีสต์มีรูปร่างหลายแบบ คือ กลม (spherical) รี (ellipsoidal) หรือรูปไข่ (oval) สามเหลี่ยม (triangular) รีและปลายด้านหนึ่งแหลม (boat) รูปร่างแบบมะนาวฝรั่ง (apiculate) คนโฑหรือฟลาสก์ (flask) เป็นต้น ยีสต์มีรูปร่างใหญ่กว่าแบคทีเรีย ขนาดของเซลล์ยีสต์ผันแปร บางชนิดมีความยาวของเซลล์ 2-3 ไมโครเมตร ในขณะที่บางชนิดยาว 20-50 ไมโครเมตร ส่วนความกว้างของเซลล์ผันแปรน้อยกว่า คือ ระหว่าง 1-10 ไมโครเมตร (Phaff et al, 1978) สำหรับ *S. cerevisiae* เซลล์มีรูปร่างรี มีความกว้างของเซลล์ 1-7 ไมโครเมตร และความยาวของเซลล์ 5-10 ไมโครเมตร (ภาพที่ 2-2)



ภาพที่ 2-2 ลักษณะรูปร่างและโครงสร้างของเซลล์ยีสต์
ที่มา www. Bakeinfu.co.nz

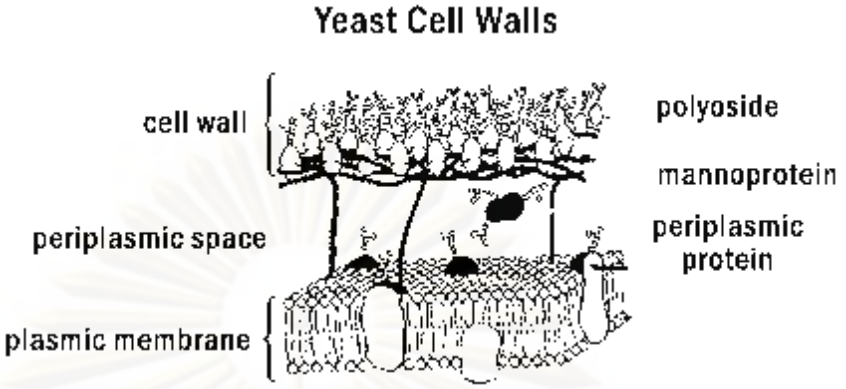
2.2.2 ภาวะการเจริญและการสืบพันธุ์

ยีสต์ต้องการอุณหภูมิในช่วง 25-40 องศาเซลเซียส ทนสภาพความเป็นกรดได้สูง คือ pH 3.5 ยีสต์เป็นพวกที่สามารถเจริญได้ทั้งในสภาพมีแก๊สออกซิเจนและไม่มีแก๊สออกซิเจน ซึ่งเป็นขบวนการทางชีวเคมีที่สำคัญต่ออุตสาหกรรมการหมัก (Cambell and Duffus, 1998) ยีสต์ส่วนใหญ่เพิ่มจำนวนแบบไม่อาศัยเพศโดยการแตกหน่อ (budding) มีน้อยชนิดที่มีการเพิ่มจำนวนโดยการแบ่งเซลล์แบบฟิสชัน (fission) หรือวิธีอื่นๆ มีทั้งชนิดที่สืบพันธุ์แบบอาศัยเพศโดยการสร้างแอสโคสปอร์ที่เรียกว่า แอสโคมัยซีตัสยีสต์ (ascomycetous yeast) และชนิดที่สร้างแบสิดิโอสปอร์ ที่เรียกว่า แบสิดิโอมัยซีตัสยีสต์ (basidiomycetous yeast) ซึ่งอาจจะไม่พบระยะที่มีการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ โดยการสร้างสปอร์แบบมีเพศที่สร้างขึ้นไม่ได้อยู่ในฟรูติ้งบอดี (fruiting body) (Spencer and Spencer, 1997)

2.2.3 โครงสร้างภายในเซลล์ยีสต์

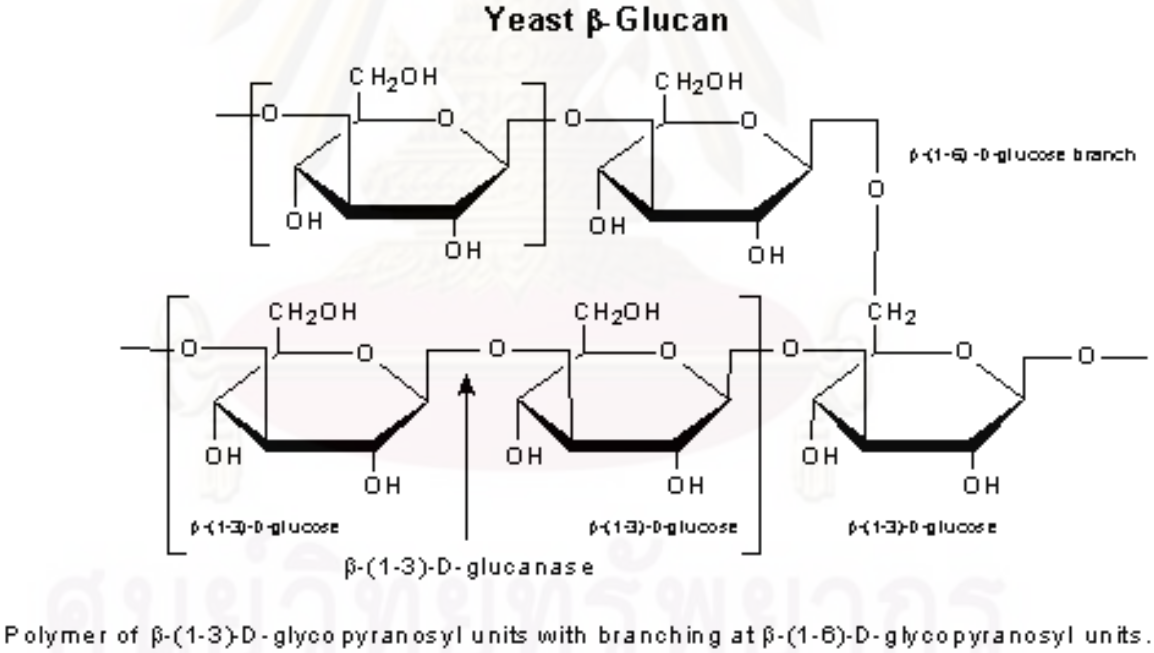
โครงสร้างภายในเซลล์ยีสต์ค่อนข้างซับซ้อน ประกอบด้วยโครงสร้างต่างๆ ดังนี้คือ ผนังเซลล์ (cell wall) เยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane หรือ plasma membrane) เพอริพลาสซึม (periplasm) ไซโทพลาสซึม (cytoplasm) นิวเคลียส (nucleus) ไมโทคอนเดรีย (mitichondria) แวคิวโอ (vacuole) และเอนโดพลาสมิกเรทิคิวลัม (endoplasmic reticulum) (Matile, Moor and Robinow, 1969 ; Walker, 1998)

2.2.3.1 ผนังเซลล์



ภาพที่ 2-3 โครงสร้างผนังเซลล์ยีสต์

ที่มา www.eurasyp.com



ภาพที่ 2-4 โครงสร้างของเบต้ากลูแคนในเซลล์ยีสต์

ที่มา www.nutribemmexico.com

ผนังเซลล์ (cell wall) (ภาพที่ 2-3) ของยีสต์ เป็นโครงสร้างที่มีความแข็งแรงเช่นเดียวกับผนังเซลล์ของสิ่งมีชีวิตอื่น มีความหนาประมาณ 100-200 นาโนเมตร และมีน้ำหนักร้อยละ 10-25 ของน้ำหนักเซลล์แห้ง องค์ประกอบของผนังเซลล์ส่วนใหญ่เป็นกลูแคน (glucan) (ภาพที่ 2-4) และแมนแนน (mannan) โดยยีสต์แต่ละสายพันธุ์จะมีองค์ประกอบของผนังเซลล์ที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 องค์ประกอบของผนังเซลล์ยีสต์

Source of wall	Glucan	Mannan	Protein	Lipid	Chitin
Saccharomyces cerevisiae	29	31	13	8.5	-
Schizosaccharomyces pombe	74-82	8-14	-	-	-
Paracoccidiodes brasiliensis					
Yeast form	36-47	-	7-14	5-10	37-48
Mould form	36-47	Trace	24-41	5-10	7-18
Trigonopsis variabilis					
Eilipsoidal form	91[a]	-	-	0.6[d]	2[c]
Triangular form	81[b]	-	-	1.4[d]	2[c]

ที่มา : Reed และ Nagodawithna (1991)

[a]An extensive tabulation of wall component is to be found in Bartnick-Garcia and Lippman (1982)

[b]Measure as total carbohydrate

[c]Measure as galactomannan

[d]Measure as phospolipid

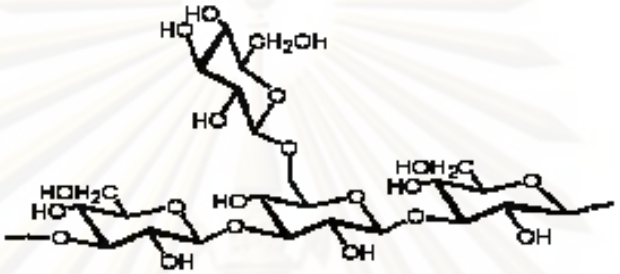
[e]Measure as hexamine

โครงสร้างของผนังเซลล์มีลักษณะเป็นโครงร่างตาข่าย (sive like structure) ของสารพวกพอลิแซ็คคาไรด์ ได้แก่ เบต้ากลูแคน (ß-glucan) พบประมาณร้อยละ 55-65 ของน้ำหนักผนังเซลล์ทั้งหมด (Klis et al, 2002) ซึ่งเบต้ากลูแคนเป็นส่วนที่มีความสำคัญต่อความแข็งแรงและความยืดหยุ่นของผนังเซลล์ เบต้ากลูแคนเป็นสารประกอบพวกโฮโมพอลิแซ็คคาไรด์ มีน้ำตาลกลูโคสเป็นโมโนเมอร์ โครงสร้างส่วนใหญ่เป็นเส้นตรง เกิดจากกลูโคสที่เชื่อมกันด้วย β-1,3 glycosidic linkage ประมาณร้อยละ 85 ของเบต้ากลูแคนทั้งหมดและส่วนที่เป็นแขนงเกิดจาก β-1,6 glycosidic linkage ประมาณร้อยละ 3-4 ของเบต้ากลูแคนทั้งหมด นอกจากนี้บริเวณของผนังเซลล์ยังพบแมนแนน (mannan) ไคติน (chitin) ฟอสเฟต (phosphate) และอาจพบสารพวกพอลิแซคคาไรด์จับ

อยู่กับสารอื่นๆ เช่น ไขมันและโปรตีน เป็นต้น ซึ่งอยู่ในรูปสารประกอบไกลโคโปรตีน (glycoprotein) และไลโปพอลิแซ็คคาไรด์ (lipopolysaccharide) ซึ่งสารประกอบเบต้ากลูแคนและแมนแนนที่จับกับโปรตีนมีปริมาณร้อยละ 80-90 ของน้ำหนักแห้งของผนังเซลล์ (Manners and Massos, 1973)

2.2.3.1.1 องค์ประกอบของผนังเซลล์ยีสต์

1. เบต้า- 1,3 กลูแคน (ß-1,3 glucan)



ภาพที่ 2-5 โครงสร้างของเบต้า 1,3 กลูแคน
ที่มา www.corenutritional.com

กลูแคนหรือเบต้ากลูแคน เป็นส่วนประกอบหลักของผนังเซลล์ยีสต์ เป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคส ประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสมาเรียงต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก โดยสูญเสียน้ำ 1 โมเลกุล ต่อการสร้างพันธะไกลโคซิดิก 1 พันธะระหว่างน้ำตาลกลูโคส 2 โมเลกุล เบต้ากลูแคนจะมีทั้งโมเลกุลที่เป็นเส้นตรง (linear beta-glucan) และโมเลกุลที่เป็นกิ่งก้าน (branched beta glucan) ซึ่งคล้ายกับโมเลกุลของไกลโคเจน หรือโมเลกุลของอะมิโลสและอะมิโลเพคตินที่เป็นส่วนประกอบของเม็ดแป้ง (starch granule) ที่สะสมในส่วนต่าง ๆ ของพืช (Thitipraphunkul et al, 2003)

มีรายงานการวิจัยกล่าวว่าเบต้ากลูแคนจากผนังเซลล์ของยีสต์และรา มีความสามารถในการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะ ในสิ่งมีชีวิตพวกไม่มีกระดูกสันหลัง (Francisco, Flor and Gloria, 1997) นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็น immunoadjuvant, antitumor และ radioprotective agent ได้ (Sandula et al, 1999)

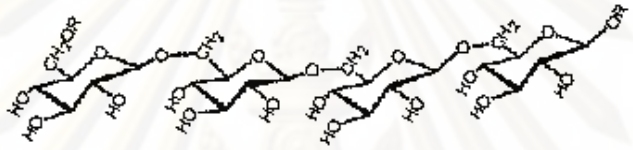
Sung, Yang and Song (1993) ทดลองแช่กุ้งกุลาดำในสารละลาย 1,3-เบต้ากลูแคน เป็นเวลา 3 ชั่วโมง พบว่าปริมาณความเข้มข้นของสารละลายเบต้ากลูแคนที่ทำให้กุ้งมีการเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตได้ คือ 0.5, 1.0 และ 2.0 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร แต่ถ้าความเข้มข้นสูงกว่านี้จะไม่มีผลต่อการเพิ่มอัตราการเติบโต และเมื่อนำกุ้งที่ผ่านการแช่สารละลายเบต้ากลูแคนไปแช่ในสารละลายที่มีเชื้อ *Vibrio vulnificus* ความเข้มข้น $5x10^7$ โคโลนีต่อมิลลิลิตร นาน 12 ชั่วโมง พบว่ากุ้งที่ผ่านการ

แช่สารละลายเบต้ากลูแคน 0.5 และ 1.0 มิลลิกรัมสามารถป้องกันการติดเชื้อได้ 18 วัน หลังจากเริ่มแช่ในสารละลายที่มีเชื้อ

Engstad, Robertsen and Frivold (1992) รายงานว่า กลูแคนสามารถที่จะกระตุ้นการสร้างภูมิต้านทานในปลาต่อแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคได้หลายชนิดโดยไม่มีความจำเพาะต่อชนิดของแบคทีเรีย

Robertson et al, (1990) ทดลองฉีด เบต้า-(1,3)-กลูแคน และเบต้า-(1,6)-กลูแคน จากยีสต์ *S. cerevisiae* เข้าไปยังต่อมหมวกไตของปลาแซลมอน และพบว่า ปลาสามารถต้านทานโรคที่เกิดจากแบคทีเรียพวก *Vibrio salmonicida*, *V. anguilarum* และ *Yersinia ruckeri*

2. เบต้า-1,6 กลูแคน (β-1,6 glucan)

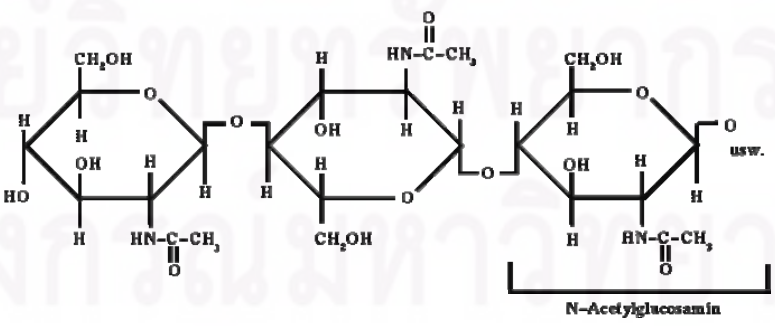


ภาพที่ 2-6 โครงสร้างของเบต้า-1,6 กลูแคน

ที่มา www.corenutritional.com

เบต้า-1,6 กลูแคน พบประมาณร้อยละ 5 ของน้ำหนักเซลล์แห้งของผนังเซลล์ ซึ่งจะพบรวมอยู่กับเบต้า-1,3 กลูแคน ในเซลล์ยีสต์ที่เจริญเต็มที่แล้ว (Kapteyn et al, 1999) มีลักษณะโครงสร้างเป็นแขนง มีบทบาทในการเชื่อมต่อระหว่าง GPI-dependent cell wall protein กับ ตาข่ายเบต้า-1,3 กลูแคน โดยเชื่อมส่วนปลายของเบต้า-1,3 กลูแคนด้วยพันธะโควาเลนต์ นอกจากนี้ยังมีหน้าที่เป็น acceptor site สำหรับไคติน (วรัญญา พรเจริญ, 2549)

3. ไคติน (Chitin)



ภาพที่ 2-7 โครงสร้างไคตินในผนังเซลล์ยีสต์

ที่มา www.faunistik.net

ไคตินเป็นองค์ประกอบอยู่ในส่วนผนังชั้นในของเซลล์ติดกับเยื่อหุ้มเซลล์ สารไคตินเป็นสารพอลิเมอร์ของเอ็น-แอซิทิลกลูโคซามีน (N-acetylglucosamine)ที่ต่อกันด้วยพันธะบีต้า (1,4) โมเลกุลของไคตินจะเชื่อมส่วนปลายของเบต้า 1,3 กลูแคนด้วยพันธะโควาเลนต์ พบมากที่ผนังกั้นแยกหน่อออกจากเซลล์แม่และที่บริเวณรอยแผลจากการแตกหน่อ (bud scar) พบประมาณร้อยละ 1-2 ของน้ำหนักแห้งของผนังเซลล์ (Kapteyn et al, 1999)

4. แมนแนน (mannan)

แมนแนนเป็นพอลิเซ็กคาไรด์ที่มีแมนโนสเป็นองค์ประกอบอยู่เป็นส่วนใหญ่ เกิดจากการเรียงต่อกันของน้ำตาลแมนโนสด้วยพันธะไกลโคซิดิก โดยสูญเสียน้ำ 1 โมเลกุล ต่อการสร้างพันธะระหว่างน้ำตาลแมนโนส 2 โมเลกุล ทั้งนี้โมเลกุลของน้ำตาลแมนโนสในสายโมเลกุลหลักจะเชื่อมต่อกันด้วย α-1,4 glycosidic linkage ของคาร์บอนอะตอมในโมเลกุลของน้ำตาลแมนโนส ในขณะที่สายรอง (side chain) จะเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิกที่ตำแหน่ง α-1,2 และ 1,3 (α-1,2 และ α-1,3 glycosidic linkage) สายโมเลกุลหลักของแมนแนนจะเชื่อมต่อกับโปรตีนด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างเอ็น-แอซิทิลกลูโคซามีน(N-acetylglucosamine) กับแอสพาราจีน (asparagine) แต่สำหรับโมเลกุลแมนแนนสายสั้นๆ จะเชื่อมต่อกับโมเลกุลของแมนแนนโดยผ่านกระบวนการ ฟอสโฟรีเลชัน (phosphorylation) (วรัญญา พรเจริญ, 2549) แมนแนนไม่ได้ช่วยให้เซลล์คงรูปร่าง แต่ทำหน้าที่ยึดเกาะส่วนประกอบต่าง ๆ ของผนังเซลล์ให้คงอยู่ด้วยกัน (สาวิตรี ลิ่มทอง, 2549)

นอกจากพอลิเซ็กคาไรด์แล้วองค์ประกอบส่วนน้อยที่พบในผนังเซลล์ยีสต์ คือ โปรตีน ไขมัน และสารอนินทรีย์ฟอสเฟต เช่น ยีสต์สำหรับหมักเบียร์หรือบริวเวอร์ยีสต์ พบโปรตีนร้อยละ 12 และไขมันร้อยละ 6 (Calleja, 1987)

2.2.3.2 เยื่อหุ้มเซลล์ (Cell Membrane)

เยื่อหุ้มเซลล์ของยีสต์มีความหนาประมาณ 7.5 นาโนเมตร เป็นส่วนที่อยู่ล้อมรอบเซลล์ยีสต์โดยอยู่ถัดจากผนังเซลล์ชั้นนอกเข้ามา มีหน้าที่หลักคือ เป็นตัวกำหนดว่าสารใดผ่านเข้าหรือออกจากไซโทพลาสซึมได้ โดยการเลือกนำสารอาหารบางชนิด เช่น น้ำตาล กรดอะมิโน และวิตามิน รวมทั้งควบคุมการปลดปล่อยสารบางอย่างออกจากเซลล์ เช่น เอทานอลและสารอื่นๆ ที่สร้างจากการหมัก (สาวิตรี ลิ่มทอง, 2549)

โครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์ยีสต์มีลักษณะเป็น double track structure เนื่องจากโครงสร้างมีลักษณะเป็นส่วนที่หนาทึบขนาบอยู่ทั้งด้านบนและด้านล่างและมีส่วนโปร่งใสอยู่ตรงกลาง เมมเบรน เยื่อหุ้มเซลล์ประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 3 ส่วนคือ ฟอสโฟลิปิด โปรตีน และ

พอลิเซ็กคาไรด์ ทั้งนี้โมเลกุลของฟอสโฟลิปิดประกอบด้วย กลุ่มมีขั้วและกลุ่มไม่มีขั้ว ซึ่งเป็นโครงสร้างหลักของเมมเบรนโดยมีการจัดเรียงตัวในลักษณะเป็น double layer คือ เป็นชั้นของฟอสโฟลิปิด 2 ชั้นเรียงตัวขนานกันโดยส่วนที่ไม่มีขั้วมีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) จะหันเข้าหากัน และส่วนมีขั้วมีคุณสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic) จะหันเข้าหาสิ่งแวดล้อมภายในและภายนอกเซลล์

2.2.3.3 เพอริพลาสซึม (periplasm)

เพอริพลาสซึมเป็นบริเวณแคบๆ มีความกว้าง 35-45 อังสตรอมอยู่ระหว่างผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ เรียกอีกอย่างว่าช่องว่างเพอริพลาสมิก (periplasmic space) (Arnold, 1991) เพอริพลาสซึมส่วนใหญ่ประกอบด้วยโปรตีนที่ไม่สามารถแทรกผ่านผนังเซลล์ออกไปได้ เช่น แมนโนโปรตีน รวมทั้งเอนไซม์ คือ อินเวอร์เทส และแอซิดฟอสฟาเทส ซึ่งเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ของซับสเตรตที่ไม่สามารถผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เข้าไปภายในเซลล์ได้

2.2.3.4 นิวเคลียส (nucleus)

นิวเคลียสมีรูปร่างกลมรี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.5 ไมโครเมตรเป็นโครงสร้างที่เห็นได้ชัดด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบเฟสคอนทราสท์ (phase contrast microscope) ใน *S. cerevisiae* เห็นได้ชัดในเซลล์ที่กำลังแตกหน่อโดยนิวเคลียสจะอยู่ระหว่างแวคิวโอกับหน่อ

2.2.3.5 ไมโทคอนเดรีย (mitichondria)

ไมโทคอนเดรียของยีสต์เป็นโครงสร้างที่ล้อมรอบด้วยเยื่อ 2 ชั้น เยื่อชั้นนอกประกอบด้วยเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับเมแทบอลิซึมกรดไขมัน และเยื่อชั้นในประกอบด้วยไซโทโครม (cytochrome) ของลูกโซ่หายใจ ATP ซักซิเนตดีไฮโดรจีเนส (succinate dehydrogenase) และ H^+- ATPase โดยเยื่อชั้นในมีส่วนที่เรียกว่าคริสตา (crista) ซึ่งเกิดจากการยื่นของผนังชั้นในเข้าไปในไมโทคอนเดรียที่เรียกว่าสโตรมา (stroma) ในสโตรมามีเอนไซม์สำหรับออกซิเดชันไขมันและเอนไซม์ในวงจรกรดซิตริก (citric acid cycle) (สาวิตรี ลิ่มทอง, 2549) องค์ประกอบทางเคมีของไมโทคอนเดรีย คือ ไขมันและฟอสโฟลิปิด ซึ่งพบเป็นส่วนประกอบของเยื่อหุ้มไมโทคอนเดรีย โดยเยื่อหุ้มด้านนอกประกอบด้วยฟอสโฟลิปิดปริมาณมากและโปรตีนปริมาณน้อยเช่นเดียวกับเยื่อหุ้มโครงสร้างอื่นในเซลล์ยีสต์ นอกจากนั้นพบดีเอ็นเอและอาร์เอ็นเอ โดยพบดีเอ็นเอเล็กน้อยคือประมาณ 1-4 ไมโครกรัมต่อมิลลิกรัมของโปรตีนในไมโทคอนเดรีย และดีเอ็นเอที่พบนั้นมีความหนาแน่นและมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่าดีเอ็นเอในนิวเคลียส นอกจากนั้นในไมโทคอนเดรียยังมีอาร์เอ็นเอปริมาณมากกว่าดีเอ็นเอ โดยเชื่อว่าอาร์เอ็นเอส่วนใหญ่เป็นอาร์เอ็นเอไรโบโซม

สำหรับหน้าที่สำคัญของไมโทคอนเดรีย คือ การสร้างพลังงานในรูปของ ATP จากการหายใจในสภาวะที่มีออกซิเจน โดยพบว่าในไมโทคอนเดรียมีเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการออกซิไดส์ซับสเตรตชนิดต่าง ๆ เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับระบบขนส่งอิเล็กตรอน (electron transport system) และเอนไซม์ที่เปลี่ยนพลังงานอิสระที่ได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชันไปเป็น ATP

2.2.3.6 เอนโดพลาสมิกเรทิคิวลัม (endoplasmic recticulum)

เอนโดพลาสมิกเรทิคิวลัม เป็นโครงสร้างภายในไซโทพลาสซึมที่ล้อมรอบด้วยเยื่อสองชั้น ช่องระหว่างเยื่อทั้งสองชั้นเรียกว่า ลูเมน (lumen) ภายในบรรจุด้วยถุงน้ำ ที่เรียกว่า เอนไคลีมา (enchylema) ที่ผิวของเยื่อมีลักษณะเป็นอนุภาคจำนวนมาก ประกอบด้วยเม็ดเล็กๆ ซึ่งอาจอยู่เดี่ยวๆ หรืออยู่เป็นกลุ่ม เข้าใจว่าอนุภาคบนเยื่อเป็นกลุ่มของไรโบโซมที่เรียกว่า พอลิโซม (polysome) หรือ พอลิไรโบโซม (polyribosome) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่มีการสังเคราะห์โปรตีน

หน้าที่ของเอนโดพลาสมิกเรทิคิวลัม คือ ช่วยในช่วงเริ่มต้นของการแตกหน่อ โดยการสร้างเวซิเคิล (vesicle) ที่บรรจุเอนไซม์ชนิดต่างๆ เวซิเคิลนี้จะไปหลอมรวมกับเยื่อหุ้มเซลล์ที่บริเวณจำกัดบริเวณหนึ่ง ซึ่งจะเป็นบริเวณที่หน่อเริ่มโผล่ออกมาให้เห็น

2.2.3.7 แวคิวโอ (vacuole)

แวคิวโอไม่ใช่โครงสร้างอิสระ แต่เป็นส่วนประกอบที่เกิดจากการรวมกันของโครงสร้างที่ล้อมรอบด้วยเยื่อซึ่งอยู่ภายในเซลล์ คือ เอนโดพลาสมิกเรทิคิวลัม กอลจิบอดี (golgi body) และเวซิเคิล แวคิวโอล้อมรอบด้วยเยื่อชั้นเดียวที่เรียกว่า โทโนพลาสต์ (tonoplast) ซึ่งประกอบด้วยฟอสโฟลิพิด กรดไขมันไม่อิ่มตัว และสเตรอล ที่ต่างจากในเยื่อหุ้มเซลล์ รวมทั้งมีความยืดหยุ่นมากกว่าทำให้ยังคงอยู่เมื่อโปรโตพลาสต์ (protoplast) แตก

แวคิวโอเป็นโครงสร้างหลักสำหรับการขนส่งโปรตีนในเซลล์ยีสต์ นอกจากนี้ยังทำหน้าที่คล้ายไลโซโซม (lysosome) ในการย่อยโปรตีนทั่วๆ ไปในเซลล์ นอกจากนี้แวคิวโอทำหน้าที่เก็บกรดอะมิโนที่เป็นด่าง พอลิฟอสเฟต (polyphosphate) และไอออนบางชนิด รวมทั้งมีบทบาทในการควบคุมแรงดันออสโมซิส (osmoergulation) และมีบทบาทสำคัญใน pH homeostasis และ ion-homeostasis (Thumm, 2000)

2.2.3.8 ไซโทพลาสซึม

ไซโทพลาสซึม (cytoplasm) เป็นของเหลวที่มีลักษณะคล้ายวุ้นและมีความเป็นกรด เช่น ใน *S. cerevisiae* พีเอชของไซโทพลาสซึมของเซลล์ในระยะเอกซ์โพเนนเชียลเมื่ออยู่ในน้ำเท่ากับ 5.25 (Cimprich, Slavik and Kotyl, 1995) ไซโทพลาสซึมมีสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำปานกลาง และใหญ่ที่ละลายได้ รวมทั้งมีโปรตีนที่สามารถละลายได้และไกลคอเจนละลายอยู่ ส่วนที่พบแขวนลอยอยู่ในไซโทพลาสซึม คือ ไมโครบอดี (microbody) ซึ่งเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่

ที่เกิดจากการรวมกลุ่มกัน เช่น ไรโบโซม โปรทีโซม (proteasome) และอนุภาคลิพิด (lipid particle) นอกจากนั้นใน ไซโทพลาสซึมยังประกอบด้วยไมโครทิวบูล และไมโครฟิลาเมนต์ ซึ่งเป็นโครงสร้างของเซลล์ (cytoskeleton) ยีสต์

ยีสต์หลายชนิดสามารถเลี้ยงโดยใช้ของเสียที่ได้จากโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งเป็นการลดมลภาวะและผลผลิตยีสต์ที่ได้สามารถเป็นวัตถุดิบในการผลิตอาหารสัตว์ เนื่องจากยีสต์ประกอบด้วยไนโตรเจนประมาณร้อยละ 7-9 ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของโปรตีน (วิลาวัณย์ เจริญจิระตะกูล, 2539) ยีสต์ที่นิยมใช้เป็นอาหาร ได้แก่ *Candida utilis* (torula yeast), *S. cerevisiae*, *S. fragilis* และ *S. carlsbergensis* (brewer's yeast) (Dabbah, 1970) ยีสต์มีโปรตีนประมาณร้อยละ 40-60 ของน้ำหนักแห้ง (ตารางที่ 2-2) ในปริมาณนี้มีไนโตรเจนบางส่วนเป็นองค์ประกอบของสารที่ไม่มีคุณค่าทางอาหาร ซึ่งได้แก่ เพียวรีน พิริมิดีน และอื่นๆ (Synder, 1970) กรดอะมิโนของยีสต์มีลักษณะเด่น คือ มีไลซีนสูงแต่มีเมทไธโอนีนต่ำ (Reed and Peppler, 1973) นอกจากยีสต์จะเป็นแหล่งโปรตีนแล้ว ยังเป็นแหล่งของวิตามินโดยเฉพาะวิตามินบีที่มีมาก คือ ไธอามีน ไรโบเฟลวิน และไนอาซิน (ตารางที่ 2-3) นอกจากนี้ยังมีไพริดอกซิน กรดพาราอะมิโนเบนโซอิก กรดแพนโทเทนิก และไบโอติน (Peppler, 1986)

ตารางที่ 2-2 องค์ประกอบทางเคมีของยีสต์เบียร์แห้ง

องค์ประกอบทางเคมี	% (dry matter)
โปรตีน	48
คาร์โบไฮเดรต	36
เถ้า	8
ไขมัน	1
ความชื้น	7

ที่มา : Thornton (1992)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2-3 ปริมาณวิตามินบีในยีสต์

วิตามิน	ยีสต์แห้ง (ug/g)
ไทอามีน (บี 1)	120
ไรโบฟลาวิน	40
ไนอาซิน	300
ไพริดอกซิน (บี 6)	28
กรดแพนโทธีนิค	70
ไบโอติน	1.3
กรดโฟลิค	13
วิตามินบี 12	0.001

ที่มา : Reed and Nagodathana (1991)

การใช้ยีสต์เป็นแหล่งอาหารมีข้อจำกัดอยู่ที่ผนังเซลล์ของยีสต์ไม่สามารถย่อยได้ด้วยเอนไซม์ภายในระบบทางเดินอาหารของคนและสัตว์ชั้นสูง ดังนั้นการที่จะได้รับคุณค่าทางอาหารจากการบริโภคยีสต์จะต้องทำให้ยีสต์ตาย เพื่อให้สารต่าง ๆ ภายในเซลล์ไหลออกมาภายนอกเซลล์จึงสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (Synder, 1970)

2.3. บริวเวอร์ยีสต์และยีสต์สกัด

บริวเวอร์ยีสต์ เป็นยีสต์ที่ใช้ในการผลิตเบียร์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จากกระบวนการผลิตเบียร์ เนื่องจากเซลล์ยีสต์ที่ผ่านการบ่มเพาะเลี้ยงภายใต้สภาวะการหมักจะอุดมไปด้วยสารอาหารที่มีประโยชน์มากมาย ได้แก่ กรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย (ตารางที่ 2-4) เกลือแร่ และวิตามิน นอกจากนี้ยังจัดเป็นแหล่งของวิตามินบีรวม ประกอบด้วย วิตามินบี 1 (thiamine) วิตามินบี 2 (riboflavin) วิตามินบี 3 (niacin) วิตามินบี 5 (pantothenic acid) วิตามินบี 6 (pyridoxin) วิตามินบี 9 (folic acid) และไบโอติน (biotin) (วรัญญา พรเจริญ, 2549)

ตารางที่ 2-4 ปริมาณกรดอะมิโนในยีสต์

กรดอะมิโน	ปริมาณ (ร้อยละของยีสต์โปรตีน)				
	S. cerevisiae[a]	*S cerevisiae*[b]	*K. marxianus*[c]	*C. rugosa*[d]	*C. utilis*[e]
Alanine	9.1	-	-	7.6	5.5
Arginine	-	5.0	-	4.7	5.4
Aspartic acid	-	-	-	10.4	8.8
Cysteine	1.8	1.6	-	1.3	0.4
Glutamic acid	21.0	-	-	15.4	14.6
Glycine	5.8	-	-	5.4	4.5
Histidine	3.5	4.0	2.1	2.2	2.1
Isoleucine*	5.8	5.5	4.0	4.4	4.5
Leucine*	9.0	7.9	6.1	7.7	7.1
Lysine*	9.4	8.2	6.9	7.4	6.6
Methionine*	-	2.5	1.9	1.7	1.4
Phenylalanine*	-	4.5	2.8	3.7	4.1
Proline	5.5	-	-	9.4	3.4
Serine	5.6	-	-	5.4	4.7
Threonine*	5.8	4.8	5.8	5.4	5.5
Tryptophan*	1.2	1.2	1.4	-	1.2
Tyrosine	5.4	5.0	2.4	3.7	3.3
Valine*	7.4	5.5	5.4	4.7	5.7

*กรดอะมิโนจำเป็น

a : Reed and Nagodawithana (1991)

b : Reed and Peppler (1973)

c : Bernstein and Plantz (1997)

d : Lee and Lee (1996)

e : Amoco Food Co. (1985)

การใช้ประโยชน์จากบริวเวอร์ยีสต์ที่เป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการหมัก ก่อให้เกิดประโยชน์ในอุตสาหกรรมที่หลากหลาย ไม่ว่าจะใช้เป็นส่วนประกอบของอาหารหรือสารปรุงรสอาหารและการผลิตสารสกัดจากยีสต์ (yeast extract) ซึ่งจะให้คุณลักษณะของกลิ่นรสที่พิเศษ เพิ่มความอร่อยให้กับอาหารและองค์ประกอบของสารอาหารที่อยู่ในเซลล์ยีสต์สามารถนำมาใช้ประโยชน์กับอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ คือ ใช้เป็นแหล่งโปรตีนที่เรียกว่า โปรไบโอติก (probiotic) ให้กับสัตว์เลี้ยงโดยใช้เป็นสารกระตุ้นภูมิคุ้มกันของสัตว์ (Reed and Nagodawithana, 1991) ช่วยให้สัตว์มีสุขภาพสมบูรณ์แข็งแรงและมีภูมิคุ้มกันโรคสูงขึ้น (Rengpipat et al, 2000)

บริวเวอร์ยีสต์เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากอุตสาหกรรมการผลิตเบียร์เป็นสารจากธรรมชาติ ซึ่งทำให้ระบบภูมิคุ้มกันที่ไม่จำเพาะ (non-specific immune responses) ในปลาบางชนิดสูงขึ้น เช่น rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) และ gilthed sea bream *Sparus auratus* (L.) (Siwicki et al, 1994)

บริวเวอร์ยีสต์แห้ง (brewer's dried yeast) ผลิตภัณฑ์ชนิดนี้เป็นผลผลิตพลอยได้จากการผลิตเบียร์ เพราะในการหมักเบียร์ได้ยีสต์ความเข้มข้นสูงออกมาด้วย โดยพบว่าความเข้มข้นของเซลล์เพิ่มขึ้น 3-8 เท่า ของปริมาณยีสต์ที่เพาะลงไปในระหว่างการหมัก เมื่อแยกเซลล์ยีสต์ออกจากเบียร์โดยปล่อยให้ตกตะกอนหรือเซนตริฟิวจ์ ถ้าต้องการยีสต์สำหรับเป็นอาหารสัตว์ทำได้โดยนำยีสต์ครีมที่มี 10-15 เปอร์เซ็นต์ของแข็งที่เป็นยีสต์มาทำให้แห้งโดยตรงด้วย drum drier หรือ spray drier ส่วนการผลิตยีสต์อาหารคนต้องทำให้รสขมหายไปโดยการล้างด้วยด่างที่มีพีเอชเท่ากับหรือมากกว่า 8 จากนั้นจึงล้างด้วยน้ำและปรับพีเอชให้เหลือ 5.5-5.7 ปกติบริวเวอร์ยีสต์แห้งใช้มากในอาหารสัตว์เพื่อเป็นแหล่งโปรตีนและวิตามินบี โดยกำหนดให้มีโปรตีน 40% นอกจากนั้นอาจใช้เป็นแหล่งของซีลีเนียมซึ่งช่วยในการเจริญพันธุ์และการเจริญเติบโตของสัตว์ (สาวิตรี ลิ่มทอง, 2549)

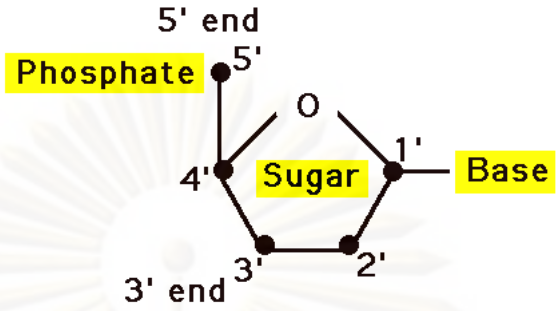
ยีสต์สกัด (yeast extract) คือ ยีสต์ที่ผ่านกระบวนการสกัดด้วยวิธี autolysis หรือ plasmolysis หรือ hydrolysis ทำให้สารภายในเซลล์ไหลออกมาอยู่ในสารละลาย หลังจากนั้นจึงนำของเหลวที่ได้มาระเหยจนได้ความเข้มข้นที่ต้องการ พบว่ายีสต์สกัดเป็นแหล่งของโปรตีน (กรดอะมิโนจำเป็น) วิตามินบีและแร่ธาตุรอง (trace minerals) (ชนิกา คงสวัสดิ์, 2546) การย่อยสลายตัวเองของยีสต์ (self digestion หรือ autolysis) สามารถเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ แต่สามารถกระตุ้นให้เกิดเร็วขึ้นได้โดยการควบคุมสภาวะต่างๆได้แก่ อุณหภูมิ ความเป็นกรดด่าง เวลาและความเข้มข้นให้เหมาะสม ซึ่งภายใต้สภาวะที่เหมาะสมแก่การย่อยสลายตัวเองของยีสต์ ระบบเอนไซม์สำคัญที่ทำหน้าที่ควบคุมเมตาบอลิซึมปกติของยีสต์จะทำงานผิดปกติ เอนไซม์ภายในแวคิวโอซึ่งอยู่ภายในไซโทพลาสซึมจะถูกปล่อยออกมาย่อยสลายสารโมเลกุลใหญ่ เช่น โปรตีนและกรดนิวคลีอิกไปเป็นสารโมเลกุลที่สามารถละลายน้ำได้ ผนังเซลล์จะสูญเสียสภาพที่เป็นเยื่อเลือกผ่าน และปล่อยสารประกอบต่าง ๆ ที่อยู่ภายในเซลล์ออกมา (Reed and Nagodawithana, 1991) การย่อยสลายตัวเอง

ของยีสต์ เริ่มจากการทำงานของเอนไซม์ β- (1-3) glucanase และ protease โดยมี β-(1-6) glucanase และ mannanase เป็นเอนไซม์ที่ยีสต์ใช้ในการย่อยผนังเซลล์ในกระบวนการแตกหน่อ ส่วนเอนไซม์ protease มีหน้าที่ย่อยสลายโปรตีนที่เซลล์ไม่ต้องการเป็นกรดอะมิโนเพื่อใช้ในการสังเคราะห์โปรตีนของเซลล์ต่อไป เอนไซม์นิวคลีเอสภายในเซลล์จะย่อยสลายอาร์เอ็นเอและดีเอ็นเอให้เป็นสารโพลีนิวคลีโอไทด์ โมโนนิวคลีไทด์ และนิวคลีโอไทด์ละลายน้ำออกมาสู่ภายนอกเซลล์ (Hough and Maddox, 1970 ; Nagodawithana, 1994) การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของยีสต์ออโตไลเสทที่ได้จากการย่อยสลายเป็นเวลา 4 ชั่วโมง และ 48 ชั่วโมง พบว่าความชื้นลดลงจากร้อยละ 52.36 เป็นร้อยละ 33.37 มีโปรตีนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 16.35 เป็นร้อยละ 42.0 น้ำตาลเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 5.85 เป็นร้อยละ 7.38 ไขมันเพิ่มขึ้นน้อยมากเป็นร้อยละ 0.7 และเถ้าลดลงจากร้อยละ 24.92 เป็นร้อยละ 16.08 จำนวนของแข็งที่สกัดได้ คือ อะมิโนไนโตรเจน กรดอะมิโนโดยเฉพาะ กรดกลูตามิก อะลานีน และไลซีน จะเพิ่มสูงขึ้น เป็นผลิตภัณฑ์ที่ประกอบด้วยส่วนประกอบภายในเซลล์ยีสต์ ได้แก่ กรดอะมิโน นิวคลีโอไทด์ โพลีเปปไทด์ ไกลโคเจน น้ำตาล วิตามินบี ทรีฮาโลส และสารให้กลิ่นรส (Goossens, 1974)

2.4 นิวคลีโอไทด์

นิวคลีโอไทด์ (ภาพที่ 2-8) เป็นฟอสโฟริกเอสเตอร์ของนิวคลีโอไซด์ เกิดจากกรดนิวคลีอิกถูกไฮโดรไลด์บางส่วนด้วยเอนไซม์นิวคลีเอส หน้าที่ของนิวคลีโอไทด์ คือ เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์กรดนิวคลีอิก (ดีเอ็นเอและอาร์เอ็นเอ) ใช้ในการสังเคราะห์ high energy phosphate เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของโคเอนไซม์ เช่น nicotinamide adenine dinucleotide (NAD), nicotinamide adenine dinucleotide phosphate (NADP), flavin adenine nucleotide (FAD) และโคเอนไซม์เอ ซึ่งทั้งหมดอยู่ในกระบวนการเมทาบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน (Mateo, 2005) นิวคลีโอไทด์มีการผลิตเชิงการค้าโดยบริษัท Alltech งานวิจัยนี้ใช้ผลิตภัณฑ์เรียกว่า Nupro® ซึ่งผลิตจากยีสต์สายพันธุ์ *S. cerecisiae* ในกระบวนการผลิตจะนำเซลล์ยีสต์มา ผ่านกระบวนการแยกผนังเซลล์ออกซึ่งได้ออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีชื่อว่า Bio-Mos® และ Mycosorb® ในขณะที่สารที่อยู่ภายในเซลล์นำมาผ่านกระบวนการต่อได้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ชื่อว่า Nupro® โดยสารประกอบต่าง ๆ ภายใน Nupro® จะประกอบด้วย โปรตีน วิตามิน นิวคลีโอไทด์ และกรดอะมิโนอิสระ Nupro® นับว่าเป็นแหล่งโปรตีนที่ดี มีโปรตีนประมาณ 47-50 เปอร์เซ็นต์ และมีนิวคลีโอไทด์ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง ส่วนใหญ่นิวคลีโอไทด์ใน Nupro® สามารถละลายและดูดซึมไปใช้ได้ง่ายกว่าที่อยู่ในรูปนิวคลีโอโปรตีน แหล่งของนิวคลีโอไทด์มาจากเซลล์พืชและสัตว์ ซึ่งนิวคลีโอไทด์ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของนิวคลีโอโปรตีน แหล่งที่มีนิวคลีโอไทด์สูง เช่น น้ำนึ่งปลา, ปลาป่น ยีสต์สกัด และ

สิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว เช่น ยีสต์ และแบคทีเรีย ซึ่งจะมีดีเอ็นเอหรือ อาร์เอ็นเอ ในปริมาณสูง (Deversse, 2000) โดยปริมาณของนิวคลีโอไทด์แสดงในตารางที่ 2-5



ภาพที่ 2-8 โครงสร้างโดยทั่วไปของนิวคลีโอไทด์

ที่มา : www.blog.ton-kla.com

ตารางที่ 2-5 ปริมาณนิวคลีโอไทด์ในวัตถุดิบที่เป็นส่วนประกอบในอาหาร

Ingredient	Nucleotide (micrograms/g)				
	CMP	AMP	GMP	UMP	IMP
Barley	2	1	1	0	1
Casein	1	0	0	0	0
Corn	3	2	3	0	1
Fish meal	26	11	2	1	35
Naked Oats	3	3	3	1	1
Plasma protein, spray dried	2	2	2	0	1
Red blood cells, spray dried	0	44	3	2	6
Soy protein concentrate	0	1	2	0	1
Soybean meal (44%)	16	8	3	9	2
Whey, dried	270	19	0	1	4

ที่มา : Mateo et al, 2004

หมายเหตุ

CMP-Cytocine monophosphate AMP-Adenosine monophosphate

GMP-Guanosine monophosphate UMP- Uridine monophosphate

IMP- Inosine monophosphate

Nupro® เป็นแหล่งของสารประกอบนิวคลีโอไทด์ในปริมาณสูง และยังมีกรดอะมิโนอิสระ ซึ่งมีผลต่อการกระตุ้นและดึงดูดการกินอาหาร Nupro® ยังมีสารที่สำคัญ คือ กรดกลูตามิก (glutamic acid), กลูตาเมต (glutamate) และ active nucleotide ตัวอย่างเช่น inosine-5'-monophosphate (5'-IMP) และ guanosine-5'-monophosphate (5'-GMP) (Diehl, 2004) Innosine monophosphate เป็นสารที่ช่วยเพิ่มการกินอาหารของปลาได้หลายชนิด เช่น mackerel, turbot และ largemouth bass และมีเซลล์ตัวรับเฉพาะ (receptor) สำหรับนิวคลีโอไทด์ที่พบในอวัยวะรับกลิ่นของปลา (Mackie and Adron, 1978; Ishida and Hidaka, 1987; Ikeda et al, 1988, 1991; Kubitza et al, 1997; Kiyohara et al, 1975) นิวคลีโอไทด์ผสมสังเคราห์ พบว่าสามารถดึงดูด crustaceans รวมทั้งกุ้ง ปูและ กุ้งมังกร ได้สูง (Mackie, 1973; Carr et al, 1984)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Peng and Gatlin, (2004) ศึกษาผลของ Grobiotic™AE ซึ่งเป็นพรีไบโอติก และ Brewers yeast โดยปริมาณของการใช้ Grobiotic™AE 1% และ 2% และ Brewers yeast 1% และ 2% ในอาหารของ juvenile hybrid striped bass พบว่าหลังจากการใช้ Grobiotic™AE 1% และ 2% เป็นเวลา 7 สัปดาห์ จะมี weight gain และ feed efficiency เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนการรอดชีวิตจากการติดเชื้อจาก *Streptococcus iniae* ในปลาที่เลี้ยงด้วย Grobiotic™AE และ Brewers yeast หลังจาก 4 สัปดาห์ มีการรอดชีวิตสูงกว่าปลาที่เลี้ยงด้วย Basal diet อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.01$) ส่วนการสร้าง Extracellular superoxide anion ของ head kindney cells จากปลาที่เลี้ยงด้วย Grobiotic™AE หรือ Brewers yeast เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

Peng et al, (2005) ศึกษาผลของ Brewers yeast และ Nucleotide ในปริมาณ 2% ของอาหาร หรือใช้ทั้ง Brewers yeast และ Nucleotide รวมกัน ในอาหารของ juvenile red drum พบว่า หลังจากการเลี้ยงเป็นเวลา 6 สัปดาห์ ไม่มีความแตกต่างของ weight gain, feed efficiency ratio และอัตราการรอดของปลา ส่วนผลของ hepatosomatic index, intraperitoneal fat ratio หรือ whole-body composition ไม่มีความแตกต่างทางสถิติเช่นเดียวกัน ยกเว้นในปลาที่เลี้ยงด้วย Nucleotide เพียงอย่างเดียวจะมี whole-body lipid content เพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับปลาที่เลี้ยงด้วย Basal diet

Peng และ Gatlin, (2005) ศึกษาผลของ Grobiotic®A เปรียบเทียบกับการใช้ Brewers yeast (Brewtech®) ในอาหารสำหรับ sub-adult hybrid striped bass โดยใช้ Brewers yeast 1% และ 2% และ Grobiotic®A 2% พบว่าปลาที่เลี้ยงด้วย Brewers yeast และGrobiotic®A มีการเติบโตเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าปลาที่เลี้ยงด้วย Basal diet อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) โดยสังเกตจาก weight gain ที่เพิ่มสูงขึ้นหลังจากการเลี้ยงเป็นเวลา 12 สัปดาห์ การรอดชีวิตจาก *Mycobacterium marinum* พบว่า ปลาที่เลี้ยงด้วย Grobiotic®A 2% มีการรอดชีวิตสูงสุด (80%) อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับ การทดลองอื่น (72-73%) หลังจาก 21 สัปดาห์

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 การวางแผนการทดลอง

ทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely randomized design) ศึกษาผลของบริวเวอร์ยีสต์ และนิวคลีโอไทด์ในอาหารต่อการเติบโตและการรอดของปลากะพงขาว ออกแบบการทดลองโดยใช้อาหารทดลองที่มีระดับบริวเวอร์ยีสต์ 1 และ 2 เปอร์เซ็นต์ และระดับนิวคลีโอไทด์ 1 และ 2 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารสูตรพื้นฐาน (ตารางที่ 3-2) ทำการทดลอง 4 ซ้ำต่อสูตรอาหาร

3.2 สถานที่ทดลอง

ทำการผลิตอาหารและและทดลองเลี้ยง ณ ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย วิเคราะห์อาหาร ณ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 อาหารทดลอง

วัตถุดิบและส่วนประกอบที่ใช้ในอาหารทดลอง แสดงในตารางที่ 3-1 การผสมและผลิตอาหารทดลองทำขึ้น ณ ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีอาหารสัตว์น้ำ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อาหารที่ใช้ในการทดลองเป็นอาหารสำเร็จรูปอัดเม็ด (practical diet) ผลิตขึ้นโดยเครื่องอัดเม็ดอาหาร (pelleting machine) จากบริษัท CPM ประเทศสหรัฐอเมริกา อาหารทดลองใช้บริวเวอร์ยีสต์ (บริษัท เบียร์ทิพย์ บริวเวอร์รี่ 1991) 1 และ 2 เปอร์เซ็นต์ และใช้นิวคลีโอไทด์ (บริษัท Alltech) 1 และ 2 เปอร์เซ็นต์ โดยกำหนดระดับโปรตีนในอาหาร 39 เปอร์เซ็นต์ ระดับไขมัน 9 เปอร์เซ็นต์ นำวัตถุดิบในการประกอบการทำอาหารปลากะพงขาวมาวิเคราะห์โปรตีนและไขมัน (ตารางที่ 3-2) เพื่อนำไปใช้ในการกำหนดส่วนประกอบของสูตรอาหารปลากะพงขาว

ตารางที่ 3-1 ส่วนประกอบของอาหารทดลอง

ส่วนประกอบ (%)	สูตรอาหาร				
	Control	1% บริวเวอร์ยีสต์	2% บริวเวอร์ยีสต์	1% นิวคลีโอไทด์	2%นิวคลีโอไทด์
ปลาป่น[1]	40	40	40	40	40
น้ำมัน[2]	8	8	8	8	8
กากถั่วเหลืองป่น	16	16	16	16	16
หัวกุ้งป่น	8	8	8	8	8
Wheat gluten	6	6	6	6	6
Wheat flour	15	15	15	15	15
Vitamin mix[3]	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4
Mineral mix[4]	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
บริวเวอร์ยีสต์[5]	0	1	2	0	0
นิวคลีโอไทด์[6]	0	0	0	1	2
วิตามินซี[7]	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
กากถั่วเหลืองป่น (50% โปรตีน)	2	1	0	1	0
รวม	100	100	100	100	100

[1]บริษัท PC ยูเนี่ยน จำกัด (โปรตีนร้อยละ 60.07)

[2]น้ำมันพืช 2 ส่วนและน้ำมันปลา 3 ส่วน

[3]คอมพลีทดีวี บริษัทโคเดล (ประเทศไทย) จำกัด ประกอบด้วย วิตามินเอ 10,000,000 IU วิตามินดี3 1,000,000 IU วิตามินอี1,000 IU วิตามินเค 1,000 มิลลิกรัม วิตามินบี1 500 มิลลิกรัม วิตามินบี2 1,500 มิลลิกรัม วิตามินซี 10,000 มิลลลิกรัม โฟเลท 1,000 มิลลิกรัมและดีเมทไธโอนีน 16,038 มิลลิกรัมในปริมาณ 1 กิโลกรัม

[4]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 มิลลิกรัม และซีลีเนียม 60 มิลลิกรัม ในปริมาณ 1 กิโลกรัม

[5]บริษัท เบียร์ทิพย์ บริวเวอร์รี่ (1991) จำกัด มหาชน

[6] บริษัท Alltech (ประเทศไทย)

[7]Stay c-25 (L-AScobylpolyphosphat-proporat) 25% Active vitamin C ผลิตภัณฑ์จากบริษัท Roche Co.,Ltd, Swiss

ตารางที่ 3-2 คุณภาพวัตถุดิบที่ใช้ผลิตอาหารทดลอง

วัตถุดิบ/คุณภาพ	ปริมาณโปรตีน (ร้อยละ)	ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)	หมายเหตุ
ปลาป่น	60.07	11.21	แหล่งโปรตีน
กากถั่วเหลืองป่น	46.26	4.37	แหล่งโปรตีน
แป้งสาลี	12.12	-	แหล่งคาร์โบไฮเดรต
กลูเตนจากข้าวสาลี	76.69	-	ช่วยยึดเกาะอาหาร
นิวคลีโอไทด์	40.27	-	แหล่งโปรตีน
บริวเวอร์ยีสต์	39.54	-	แหล่งโปรตีน
หัวกุ้งป่น	33.39	3.62	แหล่งโปรตีน

ที่มา : วิเคราะห์ปริมาณโปรตีนและไขมันด้วยวิธี AOAC (1990)

3.4 การเตรียมและผลิตอาหาร

วัตถุดิบและส่วนประกอบที่ใช้ในอาหารทดลองแสดงในตารางที่ 3-2 การผสมและผลิตอาหารทดลองทำขึ้น ณ ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยนำวัตถุดิบที่เป็นส่วนประกอบของอาหารมาบดให้ละเอียด และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 200 ไมครอน ชั่งน้ำหนักวัตถุดิบ คลุกเคล้าส่วนประกอบทั้งหมดให้เข้ากันเป็นเนื้อเดียว ประมาณ 20 นาที นำวัตถุดิบที่ผสมแล้วเข้าเครื่องอัดเม็ดอาหาร ปรับขนาดเม็ดอาหารให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 มิลลิเมตร ยาวประมาณ 3 มิลลิเมตร อาหารที่ได้มีลักษณะเป็นเม็ดกึ่งชื้น จากนั้นนำไปอบไอน้ำที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที นำอาหารที่ได้เข้าตู้อบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วคัดขนาดอาหารอัดเม็ดที่ต้องการผ่านตะแกรงคัดขนาด บรรจุอาหารแต่ละขนาดใส่ถุงพลาสติก เก็บไว้ในตู้แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -4 องศาเซลเซียส จนกว่าจะใช้

3.5 การเตรียมการทดลอง

3.5.1 สัตว์ทดลอง

การทดลองนี้ใช้ลูกปลากะพงขาวอายุ 30 วัน จำนวน 1,200 ตัว จากฟาร์มเอกชนในจังหวัดฉะเชิงเทรา โดยนำลูกปลามาเลี้ยงปรับสภาพในถังไฟเบอร์กลาสขนาดความจุ 1 ตัน เพื่อให้คุ้นเคยกับอาหาร ให้อาหารพื้นฐานวันละ 3 ครั้ง (เวลา 8.00, 12.00 และ 16.00) เป็นเวลา 2 สัปดาห์ (เปลี่ยนถ่ายน้ำทุกวันๆ ละ 80 เปอร์เซ็นต์) เมื่อปรับสภาพปลาแล้วจึงสุ่มคัดขนาดปลาที่มีร่างกายแข็งแรงสมบูรณ์ ลงในหน่วยทดลองชั่งน้ำหนัก วัดความยาว และหาน้ำหนักเฉลี่ยเมื่อเริ่มการทดลอง โดยมีน้ำหนัก และความยาวเริ่มต้นเฉลี่ย 0.43 กรัม และ 2.95 เซนติเมตร ตามลำดับ

การทดลองเริ่มตั้งแต่วันที่ 12 กรกฎาคม 2551 ถึงวันที่ 25 ตุลาคม 2551 รวมทั้งสิ้น 16 สัปดาห์

3.5.2 ระบบน้ำและวิธีการเลี้ยง

3.5.2.1 เตรียมบ่อทดลองและน้ำที่ใช้ในการทดลอง ใช้บ่อคอนกรีตที่มีระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิด (ภาพที่ 3-1) ตามวิธีของ Spotte (1979) ใช้ระบบ air lift ดันน้ำเข้าสู่ระบบตัวกรองกายภาพที่ประกอบด้วย เปลือกหอยหยาบ เปลือกหอยละเอียด กรวด หิน ทรายละเอียด และใยสังเคราะห์ ให้อากาศตลอดเวลา ปริมาณน้ำในการเลี้ยง 300 ลิตร เตรียมน้ำที่ใช้ในการเลี้ยงโดยใช้น้ำทะเลความเค็มสูงประมาณ 120-150 ส่วนในพันส่วน (ppt) เจือจางด้วยน้ำประปา ปรับความเค็มให้ได้ระดับความเค็ม 10 ส่วนในพันส่วน อุณหภูมิของน้ำ 26-29 องศาเซลเซียส และฆ่าเชื้อด้วยแคลเซียมไฮเปอร์คลอไรด์ (Calcium hypochloride) ความเข้มข้น 60 ส่วนในล้านส่วน (ppm) ให้อากาศตลอดเวลา 1 สัปดาห์ เพื่อให้คลอรีนสลายตัว กำจัดตะกอนและสิ่งแขวนลอยต่างๆ ก่อนเริ่มทำการทดลองเลี้ยง

3.5.2.2 ทดลองเลี้ยงปลากะพงขาว โดยเลี้ยงในกระชังขนาด 35x60x65 (กว้างxยาวxสูง) เซนติเมตร ในบ่อคอนกรีตขนาด 75x75x60 (กว้างxยาวxสูง) เซนติเมตร (ภาพที่ 3-1) เติมน้ำปริมาตร 300 ลิตร ระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิดผ่านตัวกรองกายภาพ สุ่มปลาที่เตรียมการทดลองด้วยอาหารทดลองพื้นฐาน (basal diet) เป็นเวลา 2 สัปดาห์ลงในกระชังเลี้ยง กระชังละ 30 ตัว ชั่งน้ำหนักและวัดความยาวของปลาแต่ละตัว ตรวจสอบการเจริญเติบโต โดยการชั่งน้ำหนักและวัดความยาวของปลาทุกตัวในแต่ละกระชังทุก 4 สัปดาห์ จนครบ 16 สัปดาห์ ให้อาหารแบบกินจนอิ่ม (satiation) วันละ 3 ครั้ง เวลา 8.00 12.00 และ 16.00 น. บันทึกปริมาณการให้อาหารทุกๆ สัปดาห์ ดูดตะกอนในกระชังเวลา 12.30 น. เปลี่ยนน้ำในบ่อซีเมนต์ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ทุกวัน และเปลี่ยนน้ำทั้งหมดบ่อทุกๆ 7 วัน ตรวจสอบคุณภาพน้ำโดยการตรวจสอบปริมาณแอมโมเนียไนไตรท์ ความเค็ม ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ และปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำทุก 7 วัน ระยะเวลาในการเลี้ยง 16 สัปดาห์

ภาพที่ 3-1 เลี้ยงปลากะพงขาวในกระชังที่ติดตั้งในบ่อคอนกรีตขนาด 75x75x60 (กว้างxยาวxสูง) เซนติเมตร ระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิด

3.6 การประเมินผลการเลี้ยง

1. อัตราการเติบโตสัมพัทธ์ต่อวัน (Daily relative growth rate)

$$= \frac{\text{น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)}}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม) x จำนวนวันที่เลี้ยง (วัน)}}$$

2. อัตราการแลกเนื้อ (Feed conversion ratio)

$$= \frac{\text{อาหารที่ได้รับทั้งหมด (กรัม)}}{\text{น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)}}$$

3. อัตราการรอด (Survival rate)

$$= \frac{\text{จำนวนปลาที่เหลืออยู่ในวันสิ้นสุดการทดลอง}}{\text{จำนวนปลาเมื่อเริ่มทดลอง}} \times 100$$

4. Condition factor

$$= \frac{\text{น้ำหนักตัวปลา (กรัม)}}{\text{ความยาวเหยียด}^3\text{(ซม.)}}$$

5. น้ำหนักที่เพิ่ม (Weight gain) (กรัม/กระชัง)

= น้ำหนักสุดท้าย (กรัม) – น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม)

6. อัตราการบริโภคอาหารเฉลี่ยต่อกรัมน้ำหนักปลาต่อวัน (daily feed intake; เปอร์เซ็นต์)

$$= \frac{\text{อาหารที่ได้รับทั้งหมด (กรัม)} \times 100}{\text{จำนวนวันที่ให้อาหาร (วัน)} \times \frac{\text{น้ำหนักสุดท้าย (กรัม)} + \text{น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม)}}{2}}$$

7. ประสิทธิภาพการใช้อาหาร (Feed efficiency)

$$= \frac{\text{น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)}}{\text{อาหารที่ได้รับทั้งหมด(กรัม)}}$$

8. ผลผลิตปลา (Production)

= น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม) x จำนวนปลา (ตัว)

3.7 การวิเคราะห์คุณภาพอาหารโดยวิเคราะห์หาค่า Proximate composition

โดยแบ่งเป็น การวิเคราะห์โปรตีน ไขมัน เถ้า ความชื้น เยื่อใย และพลังงาน รายละเอียดแสดงการวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ก ตามวิธีของ AOAC (1990)

- การวิเคราะห์โปรตีนใช้วิธี Semimicro-kjeldahl โดยใช้เครื่อง Kjeldahltherm
- การวิเคราะห์ไขมันใช้วิธี Ether Extraction Method โดยใช้เครื่อง Soxtherm
- การวิเคราะห์เถ้าใช้เครื่อง Electic Muffle Furnance
- การวิเคราะห์ความชื้นใช้เครื่อง Hot air oven
- การวิเคราะห์เยื่อใยใช้วิธี Acid-Alkali digestion
- การวัดพลังงานใช้เครื่อง 1261 ISOPERIBOL BOMB CALORIMETER ของ PARR PELLET PRESS

3.8 วิเคราะห์คุณภาพน้ำ

ระหว่างการทำการทดลองตรวจสอบคุณภาพน้ำ ดังนี้

1. ตรวจสอบความเค็มด้วยเครื่อง Refractometer สำหรับวัดความเค็ม
2. ตรวจสอบปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำและอุณหภูมิด้วย YSI model 57 (ppm หรือ mg/l)
3. ตรวจสอบความเป็นกรดด่างด้วยเครื่อง pH meter รุ่น HI 8424 microcomputer ของบริษัท Hanna
4. ตรวจสอบปริมาณแอมโมเนียและปริมาณไนไตรท์ ด้วยชุดทดสอบ Aqua-VBC (คณะสัตวแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

3.9 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

1. วิเคราะห์ความแปรปรวนของบริวเวอร์ยีสต์และนิวคลีโอไทด์ ต่อการเติบโตของปลากะพงขาว การประเมินผลทางสถิติโดยวิธีวิเคราะห์ Analysis of variance (one-way)

2. วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 คุณภาพอาหารทดลอง

การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของอาหารทดลองวิเคราะห์โดยใช้วิธี proximate analysis (ตารางที่ 4-1) พบว่าระดับโปรตีนมีค่าใกล้เคียงกับสูตรอาหารที่กำหนด โดยอาหารทดลองมีค่าโปรตีน 38.80-39.80%, ไขมัน 8.91-9.31%, เยื่อใย 2.77-2.95%, เถ้า 18.66 -19.83%, ความชื้น 8.76-9.56% และพลังงาน 3,819-3,984 cal/g เม็ดอาหารที่ผลิตมีลักษณะสอดคล้องกับนิสัยการกินของปลา คือ เป็นเม็ด ไม่แตกง่าย และจมน้ำ เนื่องจากปลากะพงขาวมีลักษณะการกินอาหารกลางน้ำ

ตารางที่ 4-1 คุณภาพของอาหารทดลอง 5 สูตร (เปอร์เซ็นต์)

สารอาหาร (ร้อยละ)	สูตรอาหาร				
	basal diet	1%บริวเวอร์ยีสต์	2% บริวเวอร์ยีสต์	1%นิวคลีโอไทด์	2%นิวคลีโอไทด์
โปรตีน	38.92±0.09	39.00±0.29	39.04±0.19	39.02±0.12	39.13±0.47
ไขมัน	8.91±0.11	9.16 ±0.11	9.24± 0.17	9.28±0.16	9.31±0.18
เถ้า	19.43±0.03	19.57±0.09	19.83± 0.03	18.27 ±0.34	18.66±0
เยื่อใย	2.77±0.17	2.82±0.18	2.84±0.15	2.95±0.14	2.91±0.23
ความชื้น	9.56±0.07	9.17±0.09	8.99±0.08	9.06± 0.16	8.76±0.11
พลังงาน(cal/g)	3,819±17.16	3,923±14.15	3,884±19.08	3,984±15.17	3,964±20.60

4.2 การเติบโตของปลากะพงขาว

ในสัปดาห์ที่ 4 พบว่า น้ำหนักตัวเฉลี่ยระหว่างปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 1%, 2% บริวเวอร์ยีสต์ และสูตรควบคุมไม่มีความแตกต่างกัน แต่มีความแตกต่างกันทางสถิติ *(P<0.05)* กับปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 1% และ 2% นิวคลีโอไทด์ สัปดาห์ที่ 8 และ 12 ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 1% และ 2% บริวเวอร์ยีสต์ มีน้ำหนักตัวเฉลี่ยแตกต่างจากปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 1%, 2% นิวคลีโอไทด์ และสูตรควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ *(P<0.05)* สัปดาห์ที่ 16 ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 1%, 2% บริวเวอร์ยีสต์ และ 2% นิวคลีโอไทด์มีน้ำหนักตัวเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน

แต่แตกต่าง กับปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลองสูตร 1% นิวคลีโอไทด์ และสูตรควบคุม อย่างมีนัยสำคัญ *(P<0.05)* (ตารางที่ 4-2)

ตารางที่ 4-2 น้ำหนักตัวเฉลี่ย (กรัม/ตัว) ของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารสูตรต่าง ๆ

สูตรอาหาร	0-4 สัปดาห์	5-8 สัปดาห์	9-12 สัปดาห์	13-16 สัปดาห์
1% บริวเวอร์ยีสต์	1.94±0.23[a]	8.41±0.91[a]	18.44±1.71[a,b]	29.83±1.34[a,b]
2% บริวเวอร์ยีสต์	1.95±0.16[a]	9.17±0.53[a]	21.26±0.74[a]	35.63±4.83[a]
1% นิวคลีโอไทด์	1.53±0.03[b]	5.25±0.52[c]	13.37±2.49[c]	26.58±2.67[b]
2% นิวคลีโอไทด์	1.59±0.21[b]	6.97±0.79[b]	17.06±1.92[b,c]	30.10±3.81[a,b]
Control	1.78±0.18[a,b]	6.32±0.99[b,c]	15.26±3.82[b,c]	28.46±4.95[b]

ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรเหมือนกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ *($P \geq 0.05$)*

น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของปลากะพงต่อกระชัง พบว่า สัปดาห์ที่ 4 ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 1%, 2% บริวเวอร์ยีสต์และอาหารสูตรควบคุมมีน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกัน แต่แตกต่างกับปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 1% และ 2% นิวคลีโอไทด์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ *(P<0.05)* สัปดาห์ที่ 8 และ 12 พบว่า ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 1% และ 2% บริวเวอร์ยีสต์ มีน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นต่อกระชังต่างจากปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 1%, 2% นิวคลีโอไทด์ และสูตรควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ *(P<0.05)* ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 2% นิวคลีโอไทด์ มีน้ำหนักเพิ่มสูงรองลงมา และสูงกว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรคบคุม และสูตร 1% นิวคลีโอไทด์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ *(P<0.05)* สัปดาห์ 16 ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 1%, 2% บริวเวอร์ยีสต์ และ 2% นิวคลีโอไทด์มีน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกัน แต่แตกต่างกับปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 1% นิวคลีโอไทด์ และสูตรควบคุม อย่างมีนัยสำคัญ *(P<0.05)*(ตารางที่ 4-3)

ตารางที่ 4-3 Weight gain (g/cage) ของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารสูตรต่าง ๆ

สูตรอาหาร	0-4 สัปดาห์	5-8 สัปดาห์	9-12 สัปดาห์	13-16 สัปดาห์
1% บริวเวอร์ยีสต์	43.73±5.60[a]	170.14±17.97[a]	268.23±14.06[a]	292.18±14.06[a]
[a]2% บริวเวอร์ยีสต์	42.74±4.56[a]	173.60±15.36[a]	259.26±6.06[a]	278.85±18.27[a]
1% นิวคลีโอไทด์	30.97±3.20[c]	91.24±9.83[c]	128.68±7.10[c]	205.10±17.55[b]
2% นิวคลีโอไทด์	33.33±4.84[b,c]	126.31±17.68[b]	190.92±30.22[b]	291.96±71.03[a]
Control	36.64±4.61[a,b]	95.99±32.32[c]	155.98±35.43[c]	220.81±21.96[b]

ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรเหมือนกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ *($P \geq 0.05$)*

อัตราการเติบโตสัมพัทธ์ต่อวัน เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 1%, 2% บริวเวอร์ยีสต์ และ 2% นิวคลีโอไทด์มีอัตราการเติบโตสัมพัทธ์ต่อวันไม่แตกต่างกัน แต่แตกต่างจากปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 1% นิวคลีโอไทด์ และ สูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ *(P<0.05)* (ตารางที่ 4-4)

ตารางที่ 4-4 อัตราการเติบโตสัมพัทธ์ต่อวัน (%) ของปลากะพงขาวเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (ตลอด 16 สัปดาห์)

สูตรอาหาร	อัตราการเติบโตสัมพัทธ์
1% บริวเวอร์ยีสต์	0.51±0.03 [a]
2% บริวเวอร์ยีสต์	0.52±0.02 [a]
1% นิวคลีโอไทด์	0.32±0.01 [b]
2% นิวคลีโอไทด์	0.45± 0.08 [a]
Control	0.36±0.03 [b]

ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรเหมือนกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ *($P \geq 0.05$)*

Condition factor ของปลากะพงขาว ในสัปดาห์ที่ 4 พบว่า ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลองสูตร 1% นิวคลีโอไทด์ มี Condition factor แตกต่างจากปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 2% นิวคลีโอไทด์ และอาหารสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ *(P<0.05)* แต่ไม่แตกต่างกับปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 1% และ 2% บริวเวอร์ยีสต์ สัปดาห์ที่ 8 พบว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลองทั้ง 5 สูตร มี Condition factor ไม่แตกต่างกัน สัปดาห์ที่ 12 ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลองสูตร 1% นิวคลีโอไทด์ มี Condition factor สูงกว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 2% บริวเวอร์ยีสต์, 2% นิวคลีโอไทด์ และอาหารสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ *(P<0.05)* แต่ไม่แตกต่างกับปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 1% บริวเวอร์ยีสต์ สัปดาห์ที่ 16 ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหาร 1% บริวเวอร์ยีสต์, 1%, 2% นิวคลีโอไทด์ และอาหารสูตรควบคุม มีค่า Condition factor ไม่แตกต่างกัน แต่แตกต่างกับปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 2% บริวเวอร์ยีสต์อย่างมีนัยสำคัญ *(P<0.05)* (ตารางที่ 4-5)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-5 Condition factor ของปลากะพงขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลอง 5 สูตร

สูตรอาหาร	0-4 สัปดาห์	5-8 สัปดาห์	9-12 สัปดาห์	13-16 สัปดาห์
1% บริวเวอร์ยีสต์	1.73±0.07[a,b]	1.67±0.05	1.55±0.02[a,b]	1.49±0.03[a,b]
2% บริวเวอร์ยีสต์	1.73±0.08[a,b]	1.64 ±0.03	1.48±0.02[c]	1.43±0.01[b]
1% นิวคลีโอไทด์	1.81±0.08[a]	1.65±0.07	1.58±0.03[a]	1.52±0.06[a]
2% นิวคลีโอไทด์	1.59±0.05[c]	1.58± 0.08	1.50±0.05[b,c]	1.48±0.04[a,b]
Control	1.66±0.13[b,c]	1.67± 0.03	1.52±0.02[b,c]	1.46±0.03[a]

ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรเหมือนกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ *($P \geq 0.05$)*

อัตราการบริโภคอาหารต่อวัน สัปดาห์ที่ 4 และ 8 ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลองทั้ง 5 สูตร มีอัตราการบริโภคอาหารไม่แตกต่างกัน สัปดาห์ที่ 12 ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 1% นิวคลีโอไทด์ มีอัตราการบริโภคอาหารแตกต่างจากปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 1%, 2% บริวเวอร์ยีสต์, 2% นิวคลีโอไทด์ และอาหารสูตรควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ *($P<0.05$)* สัปดาห์ที่ 16 อัตราการบริโภคอาหารของปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 1% และ 2% บริวเวอร์ยีสต์ ไม่มีความแตกต่างกัน แต่แตกต่างจากปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 1%, 2% นิวคลีโอไทด์ และสูตรควบคุม อย่างมีนัยสำคัญ *($P<0.05$)* (ตารางที่ 4-6) แต่เมื่อคิดอัตราการบริโภคอาหารต่อวันโดยรวมจะไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าระหว่าง4.54±2.04% ถึง 5.66±1.52% (ตารางที่ 4-7)

ตารางที่ 4-6 อัตราการบริโภคอาหาร (%) ต่อวันของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารสูตรต่าง ๆ

สูตรอาหาร	0-4 สัปดาห์	5-8 สัปดาห์	9-12 สัปดาห์	13-16 สัปดาห์
1% บริวเวอร์ยีสต์	6.92±0.60	6.39±0.62	3.38±0.17[b,c]	2.20±0.16[d]
2% บริวเวอร์ยีสต์	6.87±0.35	6.03±0.23	3.11±0.21[c]	2.16±0.79[d]
1% นิวคลีโอไทด์	7.59±0.38	6.48±0.30	4.39±0.49[a]	4.15±0.21[a]
2% นิวคลีโอไทด์	7.21±0.53	6.30±0.29	3.63±0.24[b]	3.06±0.10[c]
Control	7.79±1.37	6.23±0.57	3.59±0.19[b]	3.44±0.24[b]

ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรเหมือนกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ *($P \geq 0.05$)*

ตารางที่ 4-7 อัตราการบริโภคอาหารเฉลี่ย (%) ต่อวันของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารสูตรต่าง ๆ (ตลอดการทดลอง 16 สัปดาห์)

สูตรอาหาร	อัตราการบริโภคอาหาร
1% บริวเวอร์ยีสต์	4.72±2.09 [a]
2% บริวเวอร์ยีสต์	4.54±2.04 [a]
1% นิวคลีโอไทด์	5.66±1.52 [a]
2% นิวคลีโอไทด์	5.05± 1.83 [a]
Control	5.26±2.01 [a]

ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรเหมือนกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ *($P \geq 0.05$)*

ประสิทธิภาพการใช้อาหาร พบว่า สัปดาห์ที่ 4 ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร1% และ 2% บริวเวอร์ยีสต์ มีประสิทธิภาพการใช้อาหารสูงกว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 1% นิวคลีโอไทด์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ *($P<0.05$)* แต่ไม่แตกต่างกับปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 2% นิวคลีโอไทด์ และสูตรควบคุม สัปดาห์ที่ 8 ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 1%, 2% บริวเวอร์ยีสต์ และ 2% นิวคลีโอไทด์ มีประสิทธิภาพการใช้อาหารไม่แตกต่างกัน แต่แตกต่างกันกับปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 1% นิวคลีโอไทด์ และสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ *($P<0.05$)* สัปดาห์ 12 ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 1% และ 2% บริวเวอร์ยีสต์ มีประสิทธิภาพการใช้อาหารไม่แตกต่างกัน แต่แตกต่างกับปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 1%, 2% นิวคลีโอไทด์ และสูตรควบคุม อย่างมีนัยสำคัญ สัปดาห์ที่ 16 ประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 1%, 2% บริวเวอร์ยีสต์ และ 2% นิวคลีโอไทด์ ไม่มีความแตกต่างกัน แต่แตกต่างจากปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 1% นิวคลีโอไทด์ และสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ *($P<0.05$)* (ตารางที่ 4-8)

ตารางที่ 4-8 ประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารสูตรต่าง ๆ

สูตรอาหาร	0-4 สัปดาห์	5-8 สัปดาห์	9-12 สัปดาห์	13-16 สัปดาห์
1% บริวเวอร์ยีสต์	0.64±0.08 [a]	0.67±0.06 [a]	0.79±0.02 [a]	0.74±0.01 [a]
2% บริวเวอร์ยีสต์	0.64±0.06 [a]	0.72±0.03 [a]	0.83±0.03 [a]	0.73±0.05 [a]
1% นิวคลีโอไทด์	0.52±0.05 [b]	0.56±0.05 [b]	0.53±0.07 [c]	0.48±0.04 [c]
2% นิวคลีโอไทด์	0.57±0.07 [a,b]	0.65±0.01 [a]	0.70±0.03 [b]	0.66±0.05 [a,b]
Control	0.55±0.09 [a,b]	0.55±0.02 [b]	070±0.07 [b]	0.57±1.60 [b,c]

ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรเหมือนกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ *($P \geq 0.05$)*

ผลผลิตรวมของปลากะพงขาว พบว่า หลังจากการเลี้ยงเป็นเวลา 16 สัปดาห์ ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 1% และ 2% บริวเวอร์ยีสต์ มีผลผลิตรวมไม่แตกต่างกับปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 2% นิวคลีโอไทด์ แต่แตกต่างกับปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 1% นิวคลีโอไทด์ และสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ *(P<0.05)* และ ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 2% นิวคลีโอไทด์ มีผลผลิตรวมไม่แตกต่างกับปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรควบคุม แต่แตกต่างกับปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 1% นิวคลีโอไทด์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ *(P<0.05)* (ตารางที่ 4-9)

ตารางที่ 4-9 ผลผลิตรวม (กรัม/กระชัง) ของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารสูตรต่าง ๆ (ตลอดการทดลอง 16 สัปดาห์)

สูตรอาหาร	ผลผลิตรวม
1% บริวเวอร์ยีสต์	745.19±34.67 [a]
2% บริวเวอร์ยีสต์	753.92±68.72 [a]
1% นิวคลีโอไทด์	487.70±32.87 [c]
2% นิวคลีโอไทด์	648.50± 128.11 [a,b]
Control	577.24±113.13 [b,c]

ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรเหมือนกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ *($P \geq 0.05$)*

4.3 อัตราการรอด/อัตราการแลกเนื้อ

อัตราการแลกเนื้อในสัปดาห์ที่ 4 พบว่า ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลองสูตร 1%, 2% บริวเวอร์ยีสต์, 2% นิวคลีโอไทด์และอาหารสูตรควบคุม มีอัตราการแลกเนื้อไม่แตกต่างกัน แต่แตกต่างจากปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 1% นิวคลีโอไทด์อย่างมีนัยสำคัญมีความแตกต่างกันทางสถิติ *(P<0.05)* สัปดาห์ที่ 8 พบว่า ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลองสูตร 1%, 2% บริวเวอร์ยีสต์ และ 2% นิวคลีโอไทด์ มีอัตราการแลกเนื้อไม่แตกต่างกัน แต่แตกต่างจากปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 1% นิวคลีโอไทด์และอาหารสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ *(P<0.05)* ในสัปดาห์ที่ 12 พบว่า ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลอง 2% บริวเวอร์ยีสต์ มีอัตราการแลกเนื้อต่างจากปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลองสูตร 1%, 2% นิวคลีโอไทด์ และอาหารสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ *(P<0.05)* แต่ไม่แตกต่างจากปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 1% บริวเวอร์ยีสต์ ในสัปดาห์ที่ 16 อัตราการแลกเนื้อของปลาที่เลี้ยงด้วยอาหาร 1%, 2% บริวเวอร์ยีสต์ และ 2% นิวคลีโอไทด์ ไม่แตกต่างกัน แต่แตกต่างกับปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 1% นิวคลีโอไทด์ และสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ *(P<0.05)* (ตารางที่ 4-9)

ตารางที่ 4-10 อัตราการแลกเนื้อของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารสูตรต่าง ๆ

สูตรอาหาร	0-4 สัปดาห์	5-8 สัปดาห์	9-12 สัปดาห์	13-16 สัปดาห์
1% บริวเวอร์ยีสต์	1.58±0.23 [a,b]	1.50±0.15 [a]	1.26±0.04 [b,c]	1.34±0.04 [c]
2% บริวเวอร์ยีสต์	1.56±0.15 [b]	1.39±0.05 [a]	1.20±0.04 [c]	1.37±0.10 [c]
1% นิวคลีโอไทด์	1.94±0.20 [a]	1.79±0.18 [b]	1.91±0.25 [a]	2.08±0.17 [a]
2% นิวคลีโอไทด์	1.79±0.23 [a,b]	1.52±0.03 [a]	1.42±0.06 [b]	1.51±0.10 [b,c]
Control	1.85±0.31 [a,b]	1.81±0.07 [b]	1.44±0.15 [b]	1.84±0.52 [a,b]

ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรเหมือนกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ *($P \geq 0.05$)*

อัตราการแลกเนื้อรวมทั้ง 16 สัปดาห์ พบว่า ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 2% บริวเวอร์ยีสต์มีอัตราการแลกเนื้อไม่แตกต่างกับปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 1% บริวเวอร์ยีสต์ แต่แตกต่างกับปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 1%, 2% นิวคลีโอไทด์ และอาหารสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ *($P<0.05$)* และปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 1% บริวเวอร์ยีสต์ มีอัตราการแลกเนื้อไม่แตกต่างกับปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 2% นิวคลีโอไทด์

ตารางที่ 4-11 อัตราการแลกเนื้อของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารสูตรต่าง ๆ (ตลอด 16 สัปดาห์)

สูตรอาหาร	ผลผลิตรวม
1% บริวเวอร์ยีสต์	1.43±0.20 [c,d]
2% บริวเวอร์ยีสต์	1.37±0.16 [d]
1% นิวคลีโอไทด์	1.93±0.21 [a]
2% นิวคลีโอไทด์	1.56±0.18 [c]
Control	1.74±0.33 [b]

ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรเหมือนกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ *($P \geq 0.05$)*

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อัตราการรอดของปลากะพงขาว พบว่า ในสัปดาห์ที่ 4 ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลองทั้ง 5 สูตร ไม่มีความแตกต่างกัน สัปดาห์ที่ 8 อัตรารอดของปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 1%, 2% บริวเวอร์ยีสต์, 1% และ 2% นิวคลีโอไทด์ ไม่มีความแตกต่างกัน แต่แตกต่างกันกับอาหารสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ *(P<0.05)* ในสัปดาห์ที่ 12 และ 16 อัตรารอดของปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลองสูตร 1% บริวเวอร์ยีสต์ มีค่า 85.83% และ 83.33% ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ *(P<0.05)* กับปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลองสูตร 2% บริวเวอร์ยีสต์ 1% และ 2% นิวคลีโอไทด์ และอาหารสูตรควบคุม (ตารางที่ 4-10)

ตารางที่ 4-12 อัตราการรอดของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารสูตรต่าง ๆ

สูตรอาหาร	4 สัปดาห์	8 สัปดาห์	12 สัปดาห์	16 สัปดาห์
1% บริวเวอร์ยีสต์	98.33 ±3.33	89.17±7.88 [a]	85.83±5.00 [a]	83.33±3.85 [a]
2% บริวเวอร์ยีสต์	95.00±1.92	83.33±2.72 [a,b]	76.67±2.72 [b]	70.83±3.19 [b]
1% นิวคลีโอไทด์	95.00±5.77	86.67±2.72 [a,b]	73.33±4.71 [b]	61.67±7.94 [b]
2% นิวคลีโอไทด์	96.67±2.72	81.67±8.39 [a,b]	75.00±7.94 [b]	71.67±8.82 [b]
Control	92.50±5.00	76.67±7.20 [b]	70.83±5.69 [b]	66.67±6.09 [b]

ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรเหมือนกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ *($P \geq 0.05$)*

4.3 คุณภาพน้ำ

ข้อมูลคุณภาพน้ำทดลองระหว่างการเลี้ยง อุณหภูมิ 26-30 องศาเซลเซียส ความเค็ม 9-10 ส่วนในพันส่วน (ppt) ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ 5.8-7.9 ส่วนในล้านส่วน (ppm) ไนไตรต์ 0-0.5 ส่วนในล้านส่วน (ppm) แอมโมเนีย 0-0.25 ส่วนในล้านส่วน (ppm) (ตารางที่ 4-11) จากการเก็บข้อมูลคุณภาพน้ำตั้งแต่เริ่มต้นการทดลองจนสิ้นสุดการทดลอง พบว่ามีค่าเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก เนื่องจากบ่อทดลองมีระบบกรองกายภาพ ช่วยในการบำบัดน้ำทำให้คุณภาพน้ำมีค่าใกล้เคียงกันตลอดการทดลอง บ่อทดลองมีการให้ออกซิเจนตลอดเวลาทำให้มีออกซิเจนมากเพียงพอที่จะทำให้แอมโมเนีย (NH_3) เปลี่ยนเป็นไนไตรต์ (NO^{2-}) และไนเตรท (NO^{3-}) ตามลำดับ ซึ่งเมื่อสารอินทรีย์อยู่ในรูปของไนเตรทจะไม่เป็นพิษต่อปลา ขณะที่แอมโมเนียและไนไตรต์จะมีผลต่อการเติบโตของปลาทำให้ประสิทธิภาพการใช้อาหารลดลงและมีความเป็นพิษเพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 4-13 คุณภาพน้ำระหว่างการเลี้ยงปลากะพงขาวด้วยอาหารทดลอง 5 สูตร

สัปดาห์ที่	ความเค็ม (ppt)	ความเป็นกรดเป็นด่าง	อุณหภูมิ (°c)	ออกซิเจนละลายในน้ำ (ppm)	ไนไตรต์ (ppm)	แอมโมเนีย (ppm)
เริ่มต้น	10	7.63-7.84	26-27	6.7-6.9	0	0
2	10	7.93-8.08	26-27	6.6-6.9	0-0.05	0
4	10	7.87-8.02	26-28	6.4-6.8	0.05	0-0.25
6	10	7.98-8.07	25-28	6.2-6.7	0.05-0.1	0.25
8	10	7.95-8.05	25-27	6.1-6.4	0.05-0.1	0.25
10	10	7.96-8.07	25-27	6.1-6.5	0.1-0.25	0.25
12	9-10	7.94-8.04	25-28	6.0-6.6	0.1-0.25	0.25
14	9-10	7.89-8.02	26-27	5.9-6.4	0.25-0.5	0.25
16	10	7.92-8.05	26-28	5.7-5.9	0.25-0.5	0.25

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

การเติบโตของปลาโดยทั่วไปขึ้นกับปริมาณและคุณภาพของอาหารที่ให้เป็นหัวใจสำคัญของการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ อาหารที่ปลาได้รับต้องมีสัดส่วนขององค์ประกอบต่างๆ เหมาะสม (โปรตีน, ไขมัน, คาร์โบไฮเดรท และวิตามิน ฯลฯ) ซึ่งจะทำให้การเจริญเติบโตเป็นไปอย่างปกติ ในอาหารต้องมีสารอาหารที่สัตว์น้ำต้องการครบถ้วนและสมดุล มีกลิ่น รสชวนกิน คุณภาพน้ำและสภาพของการเลี้ยงอาจจะมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตได้ นอกจากนี้แล้วการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำวัยอ่อนยังขึ้นอยู่กับความถี่ของการได้รับอาหาร จากการทดลองครั้งนี้ปลาทดลองได้รับอาหาร 3 เวลา (เช้า กลางวัน และเย็น) ซึ่งเป็นความถี่การให้ปกติ ส่วนปริมาณอาหารให้แบบกินจนอิ่ม โดยสังเกตจากปลาจะไม่ขึ้นมากินอาหารอีก การใช้บริวเวอร์ยีสต์เป็นที่ยอมรับแล้วว่าสามารถใช้แทนอาหารสดในการผลิตอาหารปลาบางชนิด และมีศักยภาพที่สามารถใช้แทนปลาป่น (Oliva-Teles and Goncalves, 2001) โปรตีนที่ใช้ผลิตอาหารสัตว์ระดับอุตสาหกรรมมีการใช้ บริวเวอร์ยีสต์เป็นส่วนผสมในอาหารปลาหลายชนิด รวมทั้ง salmonids (National Research Council, 1993) องค์ประกอบทางเคมีของยีสต์เบียร์แห้งมีโปรตีน 48% ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งจะเห็นได้ว่ายีสต์เบียร์เป็นแหล่งโปรตีนที่ดี (Dziezak, 1987) ยีสต์เป็นแหล่งของวิตามินโดยเฉพาะวิตามินบี 1 วิตามินบี 2 และไนอาซิน และยังประกอบไปด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็นและกรดนิวคลีอิกในปริมาณที่สูง (ธีรวุฒิ ฤทธิ์เดชา, 2544)

น้ำหนักตัวเพิ่ม (weight gain) เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลองสูตร 1% และ 2% บริวเวอร์ยีสต์ และ 2% นิวคลีโอไทด์ มีค่าสูงสุดไม่แตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบกับอาหารสูตรควบคุม สอดคล้องกับรายงานของ Li and Gatlin (2003) พบว่า ปลา hybrid striped bass ที่เลี้ยงด้วยอาหารที่เติม 1% และ 2% บริวเวอร์ยีสต์มี weight gain เพิ่มขึ้น 20% เมื่อเปรียบเทียบกับอาหารควบคุมแต่ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารที่เติมบริวเวอร์ยีสต์ 4% มีน้ำหนักตัวเพิ่มเหมือนกับปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรควบคุม และผลจากการทดลอง พบว่า ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 2% นิวคลีโอไทด์มีน้ำหนักตัวเพิ่มในระยะสุดท้ายของการทดลอง (สัปดาห์ที่ 12 ถึง 16) สอดคล้องกับรายงานของ Li and Gatlin (2004) พบว่า ปลา hybrid striped bass ที่เลี้ยงด้วยอาหารที่เติมบริวเวอร์ยีสต์ และ Grobiotic® -A (พรีไบโอติก) มีน้ำหนักตัวเพิ่ม ในระยะหลังของการทดลอง (สัปดาห์ที่ 12 ถึง 16) แต่ไม่มีความแตกต่างกับอาหารสูตรที่เติมบริวเวอร์ยีสต์

ค่า condition factor ในการศึกษาครั้งนี้ปลากะพงขาวมีค่าอยู่ระหว่าง 1.43-1.81 อาหารสูตร 1% นิวคลีโอไทด์มีค่าสูงกว่าชุดการทดลองอื่น แสดงว่าปลาที่เลี้ยงด้วย 1% นิวคลีโอไทด์ อ้วนกว่าเล็กน้อย ซึ่งคล้ายคลึงกับการศึกษาของ สุนิตย์ และคณะ (2547) ทดลองเลี้ยงปลากะพงขาวด้วยอาหารสำเร็จรูปได้ค่า condition factor เท่ากับ 1.55 วิเชียร สาคเรศ (2533) พบว่าปลากะพงขาวที่กินอาหารปลาสดและอาหารเม็ดแบบแห้งมี condition factor เท่ากับ 1.30 และ 1.37 ตามลำดับ และการศึกษาของ ธีรยา สีรยาภรณ์ (2539) ทดลองเลี้ยงปลากะพงขาววัยรุ่นอายุ 30 วัน ที่มีระดับไขมันในอาหาร 10% และ โปรตีน 40% พบว่าปลากะพงขาวมีค่า condition factor เท่ากับ 1.34

การเติบโตสัมพัทธ์ของปลาทั้ง 5 ชุดการทดลอง มีการเติบโตสัมพัทธ์ในระยะเวลา 16 สัปดาห์มีค่าระหว่าง 0.32-0.52% โดยพบว่า ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารที่เติมบริวเวอร์ยีสต์มีอัตราการเติบโตสัมพัทธ์สูงสุด สุนิตย์ และคณะ (2547) เลี้ยงปลากะพงขาวขนาด 3-4 นิ้ว ด้วยอาหารสำเร็จรูปเป็นเวลา 4 เดือนมีการเติบโตสัมพัทธ์ 1.49-1.55% ต่อวัน ธีรยา สีรยาภรณ์ (2539) ทดลองเลี้ยงปลากะพงขาววัยรุ่นอายุ 30 วัน ที่มีระดับไขมันในอาหาร 10% และโปรตีน 40% พบว่าปลากะพงขาวมีการเติบโตสัมพัทธ์ 0.38%

อัตราการบริโภคอาหารมีค่าระหว่าง 2.16-7.79% โดยพบว่าอัตราการบริโภคอาหารจะมีค่าลดลงเรื่อยๆ ต่อวัน อัตราการบริโภคอาหารสัมพันธ์ผกผันกับขนาดของปลา โดยปลาตัวเล็กมีอัตราการบริโภคอาหารมากกว่าปลาตัวใหญ่ จึงทำให้อัตราการบริโภคอาหารลดลง แต่เมื่อคิดรวมทั้ง 16 สัปดาห์ อัตราการบริโภคอาหารจะอยู่ระหว่าง 4.54-5.66% ธีรยา สีรยาภรณ์ (2539) ทดลองเลี้ยงปลากะพงขาววัยรุ่นอายุ 30 วัน ที่มีระดับไขมันในอาหาร 10% และ โปรตีน 40% พบว่าปลากะพงขาวมีอัตราการบริโภคอาหาร 5.65%

ประสิทธิภาพการใช้อาหารมีค่าระหว่าง 0.48-0.83 Li and Gatlin (2005) ทดลองเลี้ยงปลา hybrid striped bass โดยใช้อาหารที่เติม 2% บริวเวอร์ยีสต์ เป็นเวลา 16 สัปดาห์ พบว่า ปลา hybrid striped bass มีประสิทธิภาพการใช้อาหาร เท่ากับ 0.82 ในงานวิจัยนี้พบว่าประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารที่เติมบริวเวอร์ยีสต์มีค่าสูงกว่าชุดการทดลองอื่นหลังจากเลี้ยง 12 สัปดาห์ และเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการบริโภคอาหาร พบว่า ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารที่เติมบริวเวอร์ยีสต์มีอัตราการบริโภคอาหารน้อยกว่าแต่มีการเติบโตสูงกว่า อาจเป็นเพราะการใช้บริวเวอร์ยีสต์เติมลงในอาหารสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลากะพงขาวให้สูงขึ้นได้ แต่อาหารสูตร 1% นิวคลีโอไทด์ปลามีประสิทธิภาพการใช้อาหารต่ำที่สุด

ผลผลิตรวมของปลากะพงขาวรวมทั้ง 16 สัปดาห์ พบว่า มีค่าระหว่าง 487.70±32.87-753.92±68.72 กรัม/กระชัง ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 1% และ 2% บริวเวอร์ยีสต์ให้ผลผลิตรวมสูงสุด แสดงว่าปลามีอัตราการเติบโตที่แตกต่างกัน

อัตราการแลกเนื้อของปลากะพงขาวจากการเลี้ยงรวมทั้ง 16 สัปดาห์ด้วยอาหารทดลอง 5 สูตร พบว่า มีค่าอยู่ระหว่าง 1.37-1.93 โดยอาหารทดลองสูตรที่เติมบริวเวอร์ยีสต์ให้อัตราการแลกเนื้อต่ำที่สุด ซึ่งแสดงถึงอัตราการแลกเนื้อที่ดีที่สุด สุนิตย์, เจนจิตต์ และ อัตรา (2547) ทดลองเลี้ยงปลากะพงขาวด้วยอาหารสำเร็จรูปที่มีระดับโปรตีนต่ำสลับกับอาหารที่มีโปรตีนปกติ พบว่ามีอัตราการแลกเนื้อ 1.36-1.38 Catacutan and Coloso (1995) และ William et al. (2003) ศึกษาเกี่ยวกับอาหารสำเร็จรูปของปลากะพงขาว พบว่า มีอัตราการแลกเนื้อ อยู่ระหว่าง 1.01-1.42 ธีรยา สีรยาภรณ์ (2539) ทดลองเลี้ยงปลากะพงขาวที่มีระดับไขมันในอาหาร 10% และ โปรตีน 40% พบว่าปลากะพงขาวมีอัตราการแลกเนื้อ 1.60 ธวัช, ฐานันดร์ และ วิชัย (2543) ทดลองใช้อาหารสำเร็จรูปลอยน้ำที่มีโปรตีน 40% พบว่า ปลากะพงขาวมีอัตราการแลกเนื้อ 1.97

อัตรารอดของปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 1% บริวเวอร์ยีสต์มีค่าสูงสุดตลอดการทดลองเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Li and Gatlin (2004) พบว่า การใช้ 1% บริวเวอร์ยีสต์ในอาหารของปลา hybrid striped bass ให้อัตรารอดสูงสุดหลังจากทดลองเลี้ยงเป็นเวลา 7 สัปดาห์ อย่างไม่มีนัยสำคัญ การศึกษาของ Li and Gatlin (2003) พบว่าการใช้บริวเวอร์ยีสต์ 2% และ 4% สามารถช่วยเพิ่มอัตราการรอดจากการติดเชื้อ *Streptococcus iniae* หลังจากการให้อาหารเป็นเวลา 2 สัปดาห์

ในงานวิจัยนี้พบว่า การใช้บริวเวอร์ยีสต์ในอาหารของปลากะพงขาวให้ผลการทดลองดีกว่าการใช้นิวคลีโอไทด์ทั้งในด้านการเจริญเติบโตและอัตรารอด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากองค์ประกอบของบริวเวอร์ยีสต์เป็นการใช้เซลล์ยีสต์ทั้งเซลล์ยังมีส่วนประกอบของผนังเซลล์อยู่ซึ่งมีสารเบต้ากลูแคนประมาณ 55-65% ของน้ำหนักเซลล์ทั้งหมด (Klis et al, 2002) บริวเวอร์ยีสต์ได้จากอุตสาหกรรมการผลิตเบียร์ เป็นสารจากธรรมชาติซึ่งทำให้ระบบภูมิคุ้มกันที่ไม่จำเพาะ (non-specific immune responses) ในปลาบางชนิดสูงขึ้น เช่น rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) และ gilthed sea bream *Sparus auratus* (L.) (Siwicki, Anderson and Rumsey, 1994) Yoshida et al (1995) พบว่า บริวเวอร์ยีสต์เป็นแหล่งของกรดนิวคลีอิกและพอลิแซ็กคาไรด์หลายชนิดรวมทั้งกลูแคน ซึ่งสารเบต้า 1,3 กลูแคนมีผลทำให้การทำงานของระบบภูมิคุ้มกันเพิ่มสูงขึ้นในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำหลายชนิดรวมถึง African catfish, Atlantic salmon (Engatad et al, 1992), rainbow trout (Jorgensen et al, 1993; Siwicki et al, 1994) และกุ้ง *Penaeus monodon* (Thanardkit et al,

2002) และ Gatlin (2002) พบว่า เบต้า-กลูแคนที่ได้จากบริวเวอร์ยีสต์สามารถเพิ่มการตอบสนองต่อภูมิคุ้มกันให้สูงขึ้นและทำให้ปลาหลายชนิดทนต่อโรคมากขึ้น Hussein and Brasel (2001) รายงานว่า ผลของสารเบต้ากลูแคนจะทำให้ร่างกายสร้างสารไซโตคายน์ (cytokines) ซึ่งเป็นเซลล์ที่สร้างในระบบภูมิคุ้มกัน โดยไซโตคายน์ที่หลั่งออกมาทำหน้าที่สื่อสัญญาณให้เซลล์เม็ดเลือดขาวมารวมกันตรงตำแหน่งที่มีสิ่งแปลกปลอมและทำลายสิ่งแปลกปลอมที่เข้าสู่ร่างกาย แต่พบว่าการใช้ 1% นิวคลีโอไทด์ (Nupro®) ปลามีประสิทธิภาพการใช้อาหารต่ำ ส่วนปลาทดลองที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 2% นิวคลีโอไทด์ ปลามีการเติบโตสูงขึ้นในระยะหลังของการทดลอง Burrells, William and Forno (2001) พบว่า นิวคลีโอไทด์ที่สกัดได้จากบริวเวอร์ยีสต์ สามารถช่วยเพิ่มการทนต่อการติดเชื้อก่อโรคใน Atlantic salmon (Burrells et al, 2001, Sakai et al, 2001 และ Low et al, 2003) รายงานว่า นิวคลีโอไทด์ที่เติมลงไปในอาหารสามารถช่วยกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันและช่วยเพิ่มการทนต่อโรคได้ในปลาหลายชนิด Takeda and Takii (1992) รายงานว่า ในอาหารที่มีกรดอะมิโนสามารถกระตุ้นการกินอาหาร และการเจริญเติบโตของปลาไหลญี่ปุ่น (*Anguilla japonica*)ได้ บริวเวอร์ยีสต์เป็นแหล่งของกรดนิวคลีอิก และพอลิแซ็กคาไรด์หลายชนิด รวมถึง β-1,3-กลูแคน ซึ่งสารนี้มีผลต่อการเพิ่มการทำงานของภูมิคุ้มกันของสัตว์น้ำหลายชนิด เช่น Afican trout (Jorgensen et al, 1995) และกุ้ง *Peneaus monodon* (Thanardkit et al, 2002) ผนังเซลล์ของยีสต์มีสารที่ไม่สามารถย่อยได้ที่สำคัญ ซึ่งอาจมีผลต่อสุขภาพของปลา เช่น แมนโนส, แมนโนโปรตีน, กลูโคสพอลิเมอร์ (กลูแคน), ไคติน (Cabib et al, 1982) รวมถึงกรดนิวคลีอิก (Rumsey et al, 1992) ในขณะที่ Rumsey et al. (1992) และ Cabib et al. (1982) กล่าวว่า เซลล์ยีสต์จะประกอบด้วย กลูแคนประมาณ 7.7% และไคติน 1% ซึ่งกลูแคนสามารถช่วยเพิ่มการตอบสนองของภูมิคุ้มกันแต่กำเนิด (innate immune) และซีรัมไลโซโซม (Jorgensen et al, 1993) ประโยชน์ของบริวเวอร์ยีสต์ที่ส่งผลต่อการเติบโตและการรอดของปลากะพงขาว อาจเนื่องจากไปเปลี่ยนแปลงแบคทีเรียประจำถิ่นภายในลำไส้ เช่น แบคทีเรียที่สร้างกรดแลคติก (lactic acid bacteria) ให้สร้างสารแบคทีริโอซิน (bacteriocin) เพื่อป้องกันการขยายตัวของเชื้อก่อโรค โดยสารเบต้ากลูแคน, แมนแนน และไคตินที่อยู่ในผนังเซลล์ของยีสต์ และกรดอะมิโน รวมทั้งคาร์โบไฮเดรตที่อยู่ในรูปอื่นทำให้ปลามีสุขภาพดี ซึ่งอาจส่งผลต่อประสิทธิภาพการใช้อาหารที่สูงขึ้นทำให้ปลามีการเจริญเติบโตที่สูงกว่า และเนื่องจากในยีสต์มีวิตามินบีสูง โดยวิตามินบี 6 เป็นวิตามินที่นำไปใช้ในกระบวนการสร้างโคเอนไซม์ pyridoxal phosphate ซึ่งเป็นโคเอนไซม์ที่เสริมกระบวนการเมทาบอลิซึมของโปรตีนและกรดอะมิโน ซึ่งอาจส่งผลให้ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนดีขึ้น (ชนิกา คงสวัสดิ์, 2546) อย่างไรก็ตามการศึกษาถึงรายละเอียดทางจุลชีววิทยาของแบคทีเรียประจำถิ่นภายในลำไส้ยังไม่เป็นที่แน่ชัด และมีบางรายงานแสดงให้เห็นว่า แลคโทส ซึ่งเป็นพรีไบโอติก อาจช่วยส่งเสริมแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติคและช่วยป้องกันการเพิ่มจำนวนของเชื้อก่อโรคในมนุษย์ได้ (Szilagyi, 2002) ดังนั้นปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีบริวเวอร์ยีสต์จึงมีอัตรารอดและการเติบโตสูงขึ้น

ในการทดลองเลี้ยงปลากะพงขาวระยะแรก ปลามีอาการขาดวิตามินซีโดยสังเกตอาการจากลำตัว สีคล้ำ เหงือกโผล่ ลำตัวคดงอ มีอาการเกร็งว่ายน้ำไม่ได้ ไม่กินอาหาร ซึ่งตรงกับรายงานของ กิจการ, วุฒิพร และ ฉวีวรรณ (2530) ทั้งนี้เนื่องจากวิตามินซี ทำหน้าที่เป็นตัวเร่ง (catalyst) ในปฏิกิริยาของการสร้างคอลาเจนซึ่งเป็นโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบหลักของกระดูกในร่างกาย (Durve and Lovell, 1982) ถ้าหากปลาขาดวิตามินซีจะทำให้การสร้างคอลาเจนลดน้อยลง ทำให้ปลาเกิดความเครียด ไม่อยากกินอาหารและทำให้การเติบโตต่ำ นอกจากนี้บาดแผลต่างๆ ที่เกิดขึ้นบนตัวปลาจะหายช้า และทำให้ปลารับเชื้อโรคต่างๆ ได้ง่ายขึ้น (Kosutarak, 1983) (Lin and Lovell, 1978) จึงต้องมีการปรับสูตรอาหารใหม่โดยการเติมวิตามินซีเพิ่มจากเดิมอีก 0.1% จากการใช้วิตามินในรูปของวิตามินรวมและเริ่มทดลองเลี้ยงใหม่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

ข้อเสนอแนะ

1. การทดลองครั้งนี้ทำการทดลองโดยเลี้ยงปลาในบ่อปูนซีเมนต์ขนาด 75x75x60 เซนติเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับสถานที่เลี้ยงปลาเพื่อการค้าจะเป็นบ่อดินขนาดครึ่งไร่ ทำให้อัตราการเติบโตของปลามีความแตกต่างกัน โดยปลาที่เลี้ยงในบ่อดินจะมีอัตราการเจริญเติบโตดีกว่าที่เลี้ยงในบ่อปูน ดังนั้นถ้าต้องการเลี้ยงเป็น pilot scale จึงต้องเลี้ยงในบ่อดิน เพื่อให้เป็นข้อมูลในการอบรมผู้เลี้ยงต่อไป

2. บริวเวอร์ยีสต์มีสารเบต้ากลูแคนเป็นองค์ประกอบ และนิวคลีโอไทด์เป็นสารกระตุ้นภูมิคุ้มกัน เมื่อนำมาเป็นส่วนประกอบของอาหารปลา จึงควรมีการศึกษาเรื่องระบบภูมิคุ้มกันด้วยในผู้ที่ต้องการศึกษาครั้งต่อไป

3. ขนาดของปลากะพงขาวอาจมีผลต่อประสิทธิภาพการใช้โปรตีนและอัตราการเติบโต ดังนั้นการใช้บริวเวอร์ยีสต์และนิวคลีโอไทด์ อาจทำให้การเติบโตของปลาแตกต่างกันไปตามขนาดหรืออายุของปลา ซึ่งควรทำการศึกษาผลของบริวเวอร์ยีสต์และนิวคลีโอไทด์ในอาหารของปลาแต่ละขนาด

4. อาหารของปลากะพงขาวที่ใช้เลี้ยง ลูกปลามีการยอมรับหรือการกินอาหารค่อนข้างดี แต่มีโอกาสสูญเสีย เพราะพฤติกรรมลูกปลาไม่กินอาหารที่แข็งและตกลงพื้น จึงต้องให้อาหารอย่างช้าๆ เพื่อให้ลูกปลากินอาหารทันก่อนที่จะตกลงพื้น เพื่อหลีกเลี่ยงอัตราการแลกเนื้อที่สูงกว่าปกติ

5. ปลากะพงขาวเป็นปลากินเนื้อ ดังนั้นโดยธรรมชาติปลาแต่ละรุ่นจะมีหัวปลา ปลาปกติหางปลา และหัวปลาหรือปลาที่โตเร็วกว่า จะรังแกปลาที่โตช้ากว่า ทำให้ปลาที่โตช้ายิ่งโตช้ามากขึ้น และมีโอกาสตายสูง ดังนั้น จำเป็นต้องคัดปลาทดลองให้เป็นปลาปกติ ที่ยอมรับอาหารสำเร็จแล้วและมีขนาดเท่ากันก่อนเริ่มการทดลอง ซึ่งจะไม่มีผลต่อการเจริญเติบโต อัตรารอดเนื่องจากปลาทดลอง และทำให้เห็นผลของแต่ละชุดการทดลองได้ชัดเจนขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

เกษตรและสหกรณ์, กระทรวง. กรมประมง. 2535. ภาพปลาและสัตว์น้ำของไทย. องค์การค้าคุรุสภา.

กิจการ ศุภมาตย์, วุฒิพร พรหมขุนทอง และ ฉวีวรรณ รัตนเลิศ. 2530. ผลของวิตามินซีต่อการเติบโต องค์ประกอบเลือด องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อ และความต้านทานโรคในปลากะพงขาว (*Lates calcarifer* Bloch). วารสารสงขลานครินทร์ 9 (3): 365-374.

ชนิกา คงสวัสดิ์. 2546. ผลของการใช้ยีสต์สกัดแทนปลาป่นบางส่วนในอาหารต่อการเติบโตของกุ้ง*กุลาดำ Penaeus monodon*. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธวัช ศรีวีระชัย, ฐานันดร์ ทัตตานนท์ และวิชัย ชัยชนะกสิกรรม. 2543. การใช้อาหารสำเร็จรูปทดแทนปลาสด ในการอนุบาลปลากะพงขาวจากขนาด 1 นิ้ว ให้มีขนาด 3 นิ้ว ในกระชัง. เอกสารวิชาการ ฉบับที่ 50/2543. ศูนย์พัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งนราธิวาส. 15 หน้า.

ธีรวุฒิ ฤทธิ์เดชา. 2544. การเลียนแบบกลิ่นรสเนื้อโดยใช้ยีสต์ออโตไลเสทเพื่อใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารมังสวิรัติ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร. คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พวงพร โชติกไกร. 2541. ยีสต์ที่สำคัญในอุตสาหกรรมอาหาร. ในจุลชีววิทยาของอาหารและนม, หน้า 43-57. กรุงเทพฯ: แสงจันทร์การพิมพ์.

ถนอม พิมลจินดา และ มะลิ บุณยรัตนผลิน. 2532. การศึกษาความต้องการวิตามินในปลากะพงขาว เอกสารวิชาการฉบับที่ 3/2532, ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งจังหวัดภูเก็ต, กองประมงน้ำกร่อย, กรมประมง. 26 หน้า.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และไพพรรณ พรประภา. 2539. การจัดการคุณภาพน้ำและการบำบัดน้ำเสียในบ่อเลี้ยงปลาและสัตว์น้ำอื่น. เล่ม 1. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

ประวิม วุฒิสินธุ์ และ สุวรรณ นอกกระโทก. 2522. การทดลองเลี้ยงปลากะพงขาวอายุ 15-45 วัน ด้วยอาหารชนิดต่าง ๆ กัน. รายงานประจำปี 2518-2522. สถานีประมงจังหวัดระยอง กรมประมง.

วรัญญา พรเจริญ. 2549. การผลิตกลูแคนจากยีสต์หมักแอลกอฮอล์และสมบัติเชิงหน้าที่ของกลูแคน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิเชียร สาคเรศ, มะลิ บุณยรัตนผลิน, นันทิยา อุ่นประเสริฐ และพรชัย ขำแป้ง. 2531. ระดับโปรตีนและพลังงานที่เหมาะสมในอาหารปลากะพงขาว-I. เอกสารวิชาการฉบับที่ 7/2531 สถานีประมงน้ำกร่อยจังหวัดระยอง กองประมงน้ำกร่อย กรมประมง 20 หน้า.

วิเชียร สาคเรศ, มะลิ บุณยรัตนผลิน และนันทิยา อุ่นประเสริฐ. 2532. ระดับโปรตีนและพลังงานที่เหมาะสมในอาหารปลากะพงขาว-II. เอกสารวิชาการ. 9/2532 มิถุนายน. สถานีประมงน้ำกร่อย กองประมงน้ำกร่อย กรมประมง.

วิเชียร สาคเรศ. 2533. การทดลองเลี้ยงปลากะพงขาว, *Lates calcarifer* (Bloch),ในกระชังด้วยอาหารสำเร็จรูป. เอกสารวิชาการฉบับที่ 5/2533. สถานีประมงน้ำกร่อยจังหวัดระยอง. 15 หน้า.

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

วิเศษ ชมเดช และวิไลวรรณ เหมศิริ. 2529. การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง. กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เอกสารประกอบการบรรยาย ณ คณะสัตวแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิสุทธิ์ ถิรสัตยวงศ์. 2526. ผลของอาหารต่างชนิดต่อการเติบโตและผลผลิตของปลากะรัง *Epinephelus tauvina* (Forkal) ที่เลี้ยงในกระชัง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิมล จันทรโรทัย. 2536. พลังงานอาหารเพื่อการอยู่รอดของปลา. วารสารกรมประมง ปีที่ 46 ฉบับที่ 5 กย.-ตค. 2536 หน้า 465-470.

วิเชียร สาคเรศ. 2526. การเลี้ยงปลากะพง. สถานีประมงจังหวัดระยอง กรมประมง. (อัดสำเนา)

ทัณฑิมา พรหมดิเรก. 2539. ผลของความเค็มและอัตราส่วนของ n-3 HUFA ต่อการเติบโตและการรอดของปลากะพงขาว *Lates calcarifer*. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และไพพรรณ พรประภา. 2539. การจัดการคุณภาพน้ำและการบำบัดน้ำเสียในบ่อเลี้ยงปลาและสัตว์น้ำอื่น. เล่ม 1, พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

สาวิตรี ลิ่มทอง, 2549. ยีสต์ : ความหลากหลายและเทคโนโลยีชีวภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สโมสรนิสิตคณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2531. การเพาะเลี้ยงปลากะพงขาว (หลักการและการปฏิบัติ). โครงการหนังสือเผยแพร่ความรู้ทางการประมง.

สมใจ พยุงศักดิสถาพร. 2527. ต้นทุนการเพาะเลี้ยงปลากะพงขาวในกระชัง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาบัญชี คณะพานิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุจินต์ มณีวงศ์ และนิเวศน์ เรืองพานิช. 2521. การทดลองเลี้ยงปลากะพงขาววัยอ่อนด้วยโรติเฟอร์ (*Brachionus plicatilis*) กับไรแดง (*Moina* spp.) รายงานผลการปฏิบัติงานทางวิชาการ ประจำปี 2521. สถานีประมงทะเลสงขลา กรมประมง.

สุพิศ ทองรอด. 2535. ความสำคัญของไขมันในอาหารสัตว์น้ำ. วารสารการประมง ปีที่ 45 ฉบับที่ 4 ก.ค.- ส.ค. 2535 หน้า 943-950.

สุพจน์ จึงแย้มปิ่น, มะลิ บุณยรัตนผลิน และ สุพักตร์ ร่อนร่า. 2533. การทดลองใช้น้ำมันชนิดต่างๆ ในอาหารผสมของปลากะพงขาว. รายงานการสัมมนาวิชาการประจำปี 2533, กรมประมง. หน้า 245.

สุนิตย์ โรจนพิทยากุล, เจนจิตต์ คงกำเนิด และ อัตรา ไชยมงคล. 2547. การเลี้ยงปลากะพงขาว *Lates calcarifer* (Bloch) ด้วยอาหารสำเร็จรูปที่มีระดับโปรตีนต่ำสลับกับอาหารที่มีโปรตีนปกติต่อการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหาร. เอกสารวิชาการฉบับที่ 9/2547. สถาบันวิจัยเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง. 19 หน้า.

อำนวย โชติญาณวงษ์. 2525. อาหารปลา. คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ภาษาอังกฤษ

Arnold, W. N. 1991. Periplasmic space. pp 279-295. In A.H. Rose and J.S. Herrison (eds). The Yeast. Vol 4. Yeast organelles. 2nd edition. Academic Press, London.

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

Bernstein, S. and Plantz, P.E. 1997. Production of yeast from whey. Food Eng. 49(11): 74-75.

Boonyaratpalin, M. 1997. Nutrient requirements of marine food fish cultured in southeast Asia. Aquaculture 151: 283-313.

Boonyaratpalin, M. 1988. Seabass feed. In: Manual for Training Porvincial Fisheries Officers. Prachuab Khiri Khun Coastal Aquaculture Research and Development Center, Thailand, 21 pp. (in Thai).

Boonyaratpalin, M. 1991a. Asian seabass, *Lates calcarifer*. In Handbook of Nutrient Requirements of Finfish. CRC Press. pp. 5-11.

Boonyaratpalin, M. 1991b. Nutrient studies on seabass (*Lates calcarifer*). In S.S. De Silva (ed.). Fish nutrition in Asia. Proceedings of The Fourth Asian Fish Nutrition Workshop. Asian Fish. Soc. Spec. Publ. 5, 205 p. Asian Fisheries Society, Manila, Philippines. pp. 33-41.

Burrells C., William P. D. and Forno P. F. 2001. Dietary nucleotides: a novel supplement in fish feeds 1. Effects on resistance to diseases in salmonids. Aquaculture 199: 159-169.

Cabib, E., Roberts, R. and Bower, B. 1982. Synthesis of the yeast cell wall and its regulation. Annu. Rev. Biochem. 51: 763-793.

Calleja, G.B. 1987. Cell aqqregation. pp 265-238. In A.H. Rose and J.S. Haarison (eds). The Yeast. Vol 2. Yeast and the Environment. Academic Press, London.

Campbell, B. and Duffus, J.H. 1998. Yeast:A Practical Approach. 3rd., Department of Brewing and Biological Science, Hriot-Watt University, Edinburgh EH1 1HX., UK.

Carr, W.E.S., Netherton, J.C. and Milstead, M.L. 1984. Chemo-attractants of the shrimp, *Palaemonetes pugio*: Variability in responsiveness and the stimulatory capacity of mixture containing amino acid, quaternary ammonium compounds, purines and other substances. Comp. Biochem. Physiol. 77A(3): 469-474.

Catacutan, M.R. and Coloso, R.M. 1997. Effect of dietary protein to energy ratio growth, survival, and body composition of juvenile Asian seabass. Aquaculture 131: 125-133.

Cowey, C.B., and Sargent J.R. 1979. Nutrition. In:Fish Physiology Vol. VIII. New York: Academic Press. pp 1-69.

Dabbah, R. 1970. Protein from Microorganism. Food Technology. 24 : 35-43.

Das, K.M., Mohanty, S.N. and Sarkar, S. 1991. Optimum dietary protein to energy ratio for *Labeo rohita* fingerlings. In S.S. De Silva (ed.). Fish Nutrition research in Asia. Proceedings of The Fourth Asian Fish Nutrition Workshop. Asian Fish. Soc. Spec. Publ. 5, 205 p. Asian Fisheries Society, Manila, Philippines. pp. 69-73.

Devresse, B. 2000. Nucleotides : a key nutrient for the immune system of shrimp? Feed Mix 8 (3) :20-22.

Durve, V.S. and Lovell, R.T. 1982. Vitamin C and disease resistance in channel catfish (*Ictalurus punctatus*). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 39: 948-951.

Engstad, R.E., Robertsen, B. and Frivold, E. 1992. Yeast glucan induces increase in lysozyme and complement-medicated haemolytic activity in atlantic salmon blood. Fishand Shellfish Immunol. 2 : 287-297.

Esteban, M.A., Cuesta A., Ortuno, J. and Meseguer, J. 2001. Immunomodulatory effect of dietary intake of chitin on Gilthead seabream (*Sparus aurata* L.) innate immune system. Fish shellfish Immunol. 11: 303-315.

Francisco, V.A., Flor, J.V., and Gloria, M. 1997. Purification and comparision of ß-1,3-glucan binding protein from White shrimp (*Penaeus monodon*). Biochemistry and Molecular Biology 116 : 453-458.

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

Hough, J.S., and Maddox, I.S. 1970. Yeast autolysis. Process Biochemistry 210 : 50-52

Ikeda, I., Hosokawa. H., Shimeno, S. and Takeda, M. 1988. Identification of feeding stimulant for jack mackerel in its muscle extract. Bull Jap. Soc. Sci. Fish. 54: 229-233.

Ikeda, I., Hosokawa. H., Shimeno, S. and Takeda, M. 1991. Feeding stimulant activities of nucleotide, tryptophan, and their related compounds for jack mackerel. Bull Jap. Soc. Sci Fish. 57: 1539-1542.

Ishida, Y. and Hidaka, I. 1987. Gustatory response profiles for amino acid, glycinebetaine, and nucleotide in several marine teleosts. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 53: 1391-1398.

Kapteyn, J.C., Van Den Ende H., and Klis, F.M. 1999. The contribution of cell wall proteins to the organization of the yeast cell wall. Biochimica et Biophysica Acta (BBA) 1426 : 373-383.

Klis, F.M., Mol, P., Hellingwerf, K., and Brul, S. 2002. Dynamics of cell wall structure in *Saccharomyces cerevisiae*. FEMS Microbiology Reviews 26 : 239-256.

Kosutarak, P. 1983. Effect of supplement of vitamins on feeding fish meat to juvenile seabass (*Lates calcarifer* Bloch). National Institut of Coastal Aquaculture, Songkla.

Kiyohara, S., Hidaka, I. and Tamura, T. 1975 Gustatory response in the puffer II. Single fiber analyses. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 41:383-391

Kubitza, F., Lovshin, L.L. and Lovell, R.T. 1997 Identification of feed enhancers for juvenile largemouth bass *Micropterus salmoides*. Aquaculture. 148: 191-200.

Lee, K and Lee, Y. 1996. Continuous process for yeast biomass production from sugar beet stillage by a novel strain of *Candida rogosa* and protein profile of the yeast. J. Chem. Tech. Biotechnol. 66: 349-354.

Li, P., Burr, G.S., Goff, J., Whiteman, K.W., Davis, K.B., Vega, R.R., Neill, W.H. and Gatlin, D.M. III. 2005. A preliminary study on the effect of dietary supplementation of brewers yeast and nucleotides, singularly or in combination, on juvenile red drum (*Sciaenops ocellatus*). Aquaculture Research 36: 1120-1127.

Li, P., and Gatlin, D.M. III. 2003. Evaluation of brewers yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) as a feed supplement for hybrid striped bass (*Morone chrysop* x *M. saxatilis*). Aquaculture 219 : 681-692.

Li, P., and Gatlin, D.M. III. 2004. Dietary brewers yeast and the prebiotic Grobiotic™ AE influence growth performance, immune responses and resistance of hybrid striped bass (*Morone chrysop* x *M. saxatilis*) to *Streptococcus iniae* infection. Aquaculture 231 : 445-456.

Li, P., and Gatlin, D.M. III. 2005. Evaluation of the prebiotic Grobiotic®-A and brewers yeast as dietary supplements for sub-adult hybrid striped bass (*Morone chrysop* x *M. saxatilis*) challenged in situ with *Mycobacterium marinum*. Aquaculture 248: 197-205.

Lim, C. and Lovell, R.T. 1978. Pathology of the vitamin C deficiency syndrome in channel catfish (*Ictarulus punctatus*). J. Nutr. 108: 1137-1146.

Low C., Wadsworth S., Burrells C. and Secombes C. J. 2003. Expression of immune gene in turbot (*Scophthalmun maximus*) fed a nucleotide-supplemented diet. Aquaculture 211: 23-40.

Mackie, A.M. 1973. The chemical basis of food detection in the lobster *Homarus dammarus*. Mar. Biol. 21: 103-108.

Mackie, A.M. and Adron, J.W. 1987. Identification of inosine and inosine-5'-monophosphate as the gustatory feeding stimulant foe the turbot, *Scophthalmus maximus*. Comp. Biochem. Physiol. 60A: 79-83.

Mateo, C.D. 2005. Aspcets of Nucleotide Nutrition in Pigs. Ph.D Dissertation, Department of Animal and Range Science, South Dakota State University, UAS, pp. 171.

Mateo, C.D. and Stein, H.H. 2004. Nucleotide and young animal health: can we enhance intestinal tract development and immune function? In: Nutritional Biotechnology in the fed and food Industry: Proceeding of Alltech' 20th Annual Symposium (T.P. Lyons and Jacques K.A. eds). Nottingham University Press, UK, pp. 159-168.

Matile, P.H., H Moor and C.F. Robinow. 1969. Yeast cytology. pp 219-302 In A.H. Rose and J.S. Harrison. The Yeasts Vol.1. Biology of Yeast. 1st edition. Academic Press, London.

Manners, D.J. and Massos, A.J. 1973. The structure of a ß-1,3-D-glucan from yeast cell wall. Biochemistry 135 : 19-30.

Nagodawithana, T.W. 1994. Savory Flavor. In Nagodawithana, T.W.(ed) Bioprocess Production of Flavor, Fragrance and Color Ingredients. New York : John Wiley & Sons.

National Research Council. 1993. Nutrient Requirements of Fish. National Academy Press, Washington, DC, USA. Pp. 114.

Oliva-Teles, A. and Goncalves, P. 2001. Partial replacement of fishmeal by brewers yeast *Saccharomyces cerevisiae* in diet for sea bass *Dicentrarchus labrax* juveniles. Aquaculture. 202: 269-278.

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

Phaff, H.J., Miller, M.W.,and Marak, E., 1978. The Life of Yea*st*. 2nd edition Harvard University Press, Cambridge.

Post, G. 1987. Textbook of Fish Health. 2nd ed. T.F.H. Publications. 288 p.

Reed, G. and Nagodawithana, T.W. 1991. Yeast Technology. 2nd ed. New York : Van nostrand Reinhold.

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

Rengpipat, S., Rukpratanporn, S., Piyatiratitivorakul, S., and Menasveta, P. 2000. Immunity enhancement I black tiger shrimp (*Penaus monodon*) by a probiont bacterium (*Bacilus* S11). Aquaculture 191 ; 271-288.

Robertson, B., Rorstad, G.,Engetad, R. and Raa, J. 1990. Enhancement of non characterization of *Schizosaccharomyces pombe* mutants defective in cell wall (1,3) –ß-D-glucan. J. Bacteroil. 173 : 3456-3462.

Rumsey, G.L., Winfree, R.A. and Hughes, S.G. 1992. Nutritional values of dietary nucleic acids and purine bases to rainbow trout. Aquaculture108: 97–110.

Sakai, M., Taniguchi, K., Mamoto, K., Ogawa, H. & Tabata, M. 2001. Immunostimulant effects of nucleotide isolated from yeast RNA on carp, *Cyprinus carpio* L. Journal of fish Disease 24: 433-438.

Sandula, J., Kogan, G., Kacurakova, M., and Machova, E. 1999. Microbial Beta-1,3-D-glucan their preparation, physio-chemical characterization and immunomodulatory activity. Carbohydrate polymer 38 : 247-253.

Siwicki, A.K., Anderson<, D.P., and Rumsey, G.L. 1994. Dietary intake of immunostimulants by rainbow trout affect non-specific immunity and protection against furuncolosis Veterinary Immunolog Immunopathology 41 : 125-139.

Spencer, J.F.T and D.M. Spencer. 1997. The Yeast: Sex and non sex, life cycles, sporulation and genetics. pp. 133-153. In J.F.T. Spencer and D.M. Spencer (eds). Yeast in Natural and Artificial Habitats. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.

Sung, H.H., Yang Y.L. and Song, Y.L. 1993. Vibriosis resistance induced by glucan treatment in the Tiger shrimp (*Penaeus monodon*). Fish Patho. 29(1) : 11-17.

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

Szilagyi, A. 2002. Lactose-a potential prebiotic. Aliment. Phamacol. Ther. 16: 1591-1602.

Takeda M. and K. Takii. 1992. Gustation and nutrition in fishes: application to aquaculture. In: Fish Chemoreception (T.J. Hara, ed.). Chapman and Hall, London, UK pp. 271- 287.

Thipraphunkul, K., Uttapap, D., Piyachomkwan, K., and Takda Y. 2003 A comparative study of dibble canna (*Canna edulis*) starch from different cultivars. Part II Molecular structure of amylase and amylopectin. Carbohydrate Polymer. 54 : 489-498.

Thornton, J. 1992. Brewer's yeast extract-a survey of the types available to the food processor. Food ingredient. 2: 40-43.

Thumm, M. 2000. Structure and function of the yeast vacuole and its role in autophagy. Microscopy Research and Technique. 51 : 563-572.

Walker, G.M. 1998. Yeast Physiology and Biotechnology. John Wiley and Sons, Chichester.

Williams, K.C., Barlow, C.G. Rodgers, L.J. and Ruscoe, L. 2003. Potential of meat meal to replace fish meal in extruded dry diets for barramundi, *Lates calcarifer* (Bloch) in growth performance. Aquaculture Research. 34: 23-32.

Yoshida, T., R. Kruger, and V. Inglis, 1995. Augmentation of non-specific protection in Afican catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell), by the long term oral administration of immunostimulants. J. fish Dis 18:195-198.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

วิธีวิเคราะห์อาหารแบบ proximate analysis (AOAC , 1990)

1. การวิเคราะห์โปรตีน (crude protein) ในอาหารสัตว์

หลักการ

วิธีหาปริมาณไนโตรเจนที่เป็นส่วนประกอบของโปรตีนซึ่งโดยทั่วไปโปรตีนประกอบด้วยไนโตรเจนประมาณร้อยละ 16 ดังนั้น เมื่อทราบปริมาณไนโตรเจนแล้วนำมาคูณกับแฟคเตอร์ 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 kjeldathern digestion unit
2. เครื่อง erhardt vapodast 1
3. ชุดไตเตรท

สารเคมี

1. สารละลายกรด H_2SO_4 เข้มข้น
2. สารละลายกรด H_2SO_4 เข้มข้น 0.1 N
3. สารละลาย NaOH เข้มข้นร้อยละ 50
4. สารละลายกรด Boric เข้มข้นร้อยละ 4
5. protein cataiyst
6. tastiro indicator

การเตรียมสารเคมี

1. Protein cataiyst เตรียมจาก $CuSO_4$ 7 กรัม ผสมกับ $K_2 SO_4$ 100 กรัม
2. boric acid ร้อยละ 4 เตรียมจาก boric acid 40 กรัม ละลายในน้ำกลั่นเป็น 1 ลิตร
3. tashiro indicator เตรียมจาก methyl red : methylene blue สัดส่วน 3 ต่อ 2 โดยละลาย methyl red 1 กรัม ใน NaOH เข้มข้น 0.1 N 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

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 ไตเตรดกับ 0.5 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 ทุก ๆ ประมาณ 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 Eelenmeyer flask ขนาด 500 มิลลิลิตร หยก tashiro indicator ลงไป 5 - 6 หยด จะได้สารละลายสีม่วง วาง flask ที่มี boric acid ไว้ในตำแหน่งที่มี digestion tube โดยปล่อยให้ปลาย digestion 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 ไปเรื่อย ๆ จนไม่เกิดฟองขึ้น (สารละลายใน digestion tube จะขุ่นมีตะกอน) เติม 50%NaOH solution ให้มากเกินพออีกประมาณ 10 มิลลิลิตร ถ้าในตัวอย่างอาหารมีสารประกอบไนโตรเจนมาก สีของสารละลาย boric acid และ tashiro indicator จะเริ่มเปลี่ยนจากสีม่วงเป็นสีเขียว ในขั้นตอนนี้จะต้องปล่อยน้ำให้ไหลเข้า condenser เพื่อให้ก๊าซ NH_3 ควบแน่นไหลเข้าสู่ flask ที่บรรจุ boric acid

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

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

การคำนวณหาปริมาณโปรตีน

$$\text{โปรตีน (ร้อยละ)} = \frac{1400 \times V_s \times N_s \times N_p}{\text{น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)} \times 100}$$

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. ทิ้งให้โหลเย็นในโหลดูดความชื้นชั่งน้ำหนักละเอียด
5. คำนวณ ความชื้น (ร้อยละ) จากสูตร

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

3. การหาปริมาณเถ้า (AOAC, 1980)

หลักการ

เมื่อนำตัวอย่างอาหารสัตว์ไปเผาไหม้ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส พวกสารอินทรีย์ทั้งหมดจะถูกเผาไหม้ไป ส่วนที่เหลืออยู่ คืออนินทรีย์สาร โดยอนินทรีย์สารทั้งหมดที่ไม่ได้ระเหยไปในอุณหภูมิดังกล่าวเรียกว่าเถ้า (ash) เถ้าคือแร่ธาตุที่มีอยู่ในสารอาหารนั่นเอง

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

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

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

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 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 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

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

6. การวิเคราะห์พลังงาน

หลักการ

นำสารตัวอย่างใส่ลง combustion bomb อัดก๊าซ O2 เข้าไปแล้วจึงเปิดสวิชเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ขึ้น วัดอุณหภูมิใน bucket ที่เพิ่มขึ้นแล้วนำมาคำนวณ ในตอนแรกต้องเผาสารตัวอย่างมาตรฐานที่ทราบค่าความร้อนของการเผาไหม้ก่อน เพื่อจะได้นำไปคำนวณความจุความร้อนของระบบ ตอนหลังจึงนำค่าความจุความร้อนของระบบมาคำนวณความร้อนของการเผาไหม้ของสารตัวอย่างอื่นๆ (กรณีใช้ Isoperibol bomb calorimeter ระบบคอมพิวเตอร์ใน calorimeter จะคำนวณให้)

อุปกรณ์

1. 1261 ISOPERIBOL BOMB CALORIMETER ของ PARR PELLET PRESS
2. fuse wire
3. บิวเรต
4. ปิเปต
5. บีกเกอร์
6. ขวดรูปกรวย

สารเคมี

1. กรดเบนโซอิก
2. ก๊าซออกซิเจน
3. แนฟทาลีน
4. ซูโคส
5. ฟีนอล์ฟทาลีน
6. 0.1 M NaoH
7. 0.1 M potassium hydrogen phthalate

วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1 เตรียมสารละลายมาตรฐาน

1. เตรียมสารละลายมาตรฐาน potassium hydrogen phthalate 0.1 M, 100 ml โดยชั่งสาร 2.0422 g ละลายในน้ำจนมีปริมาตรเป็น 100 ml

2. เตรียมสารละลาย NaOH 0.1 M , 100 ml โดยชั่ง NaOH ประมาณ 0.4 กรัม ละลายในน้ำ 100 ml

3. หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย NaOH โดยไทเทรตกับสารละลายมาตรฐาน potassium hydrogen phthalate ใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์

ตอนที่ 2 หาความจุความร้อนของระบบ

1. เปิดสวิทช์หลังเครื่อง ไฟจะติดตาม DATA ENTRY ต่างๆ และจะดับไป คงเหลือแต่ส่วนที่จะใช้งาน ซึ่งถ้าไฟไม่ติดแสดงว่า CIRCUIT BOARD อาจจะหลวม

2. กด F1 เพื่อให้ BOMB, HEATER, และน้ำเย็นเข้าเครื่อง โดย WARM UP ประมาณ 20 นาที เพื่อให้อุณหภูมิคงที่ เมื่ออุณหภูมิคงที่ ไฟ STANDBY จะปรากฏขึ้น (หมายถึงอุณหภมิที่ตั้งใช้ตาม MAIN MENU) ซึ่งการกด START ทุกครั้ง จะต้องมีไฟ STANDBY ปรากฏขึ้นมิฉะนั้นเครื่องจะไม้พร้อมที่จะทำงาน (F1 เป็น ON-OFF SWITCH)

3. ตรวจดู MAIN MENU โดย กด *50 เครื่องจะ PRINT MAIN MENU ออกมาให้ดู ซึ่งถ้าต้องการแก้ไขข้อใด ก็กดตัวเลขของข้อนั้น และ ENTER เข้าเครื่อง เครื่องจะพิมพ์ข้อที่เราเลือกออกมาให้ดู และ ENTER ข้อมูลที่ต้องการเข้าเครื่องอีกครั้ง ซึ่งเมื่อตรวจดูและแก้ไขจรครบแล้วจึงกด CLEAR

4. ตรวจดูหมายเลขของ SAMPLE ID ที่ MEMORY ไว้ในหน่วยความจำของเครื่องว่ามีเลขใดใช้แล้วบ้าง เพราะถ้ากดซ้ำกับเลขที่ใช้ไปแล้ว จะทำให้เกิด ERROR เครื่องจะไม่รับเลขทีซ้ำกับเลขที่ใช้ไปแล้ว การตรวจทำได้โดยการกด *4 และกด STEP KEY ดูว่ามีเลขใดบ้าง ซึ่งถ้าต้องการจะลบทิ้งก็ให้กด *20 และ ENTER หมายเลข SAMPLE ID นั้น ครั้งละเบอร์จนครบทุกตัวหรือต้องการจะลบทิ้งครั้งละหลายเบอร์โดยใช้ กดปุ่ม (.) แทนเช่น 0-100 ก็กด 0.100 เป็นต้น

5. เตรียมกรดเบนโซอิก โดยชั่งเบนโซอิก ประมาณ 0.8 กรัม นำมาทำให้เป็นเม็ดโดย PELLET PRESS แล้วนำไปชั่งอย่างละเอียดอีกครั้งใน combustion cup

6. ตัด fuse wire 10 เซนติเมตร (วัดความยาวที่แน่นอนอย่างละเอียด) ผูกกับขั้วไฟฟ้าใน combustion bomb เมื่อวางสารตัวอย่างลงในถ้วยแล้ว ปรับระดับ fuse wire ให้พอดี อย่าให้เตะถูกกับสารตัวอย่างหรือถ้วยที่ใส่สารตัวอย่าง และอย่าให้อยู่สูงจากสารตัวอย่างมากนัก

7. เติมน้ำลงใน combustion bomb เล็กน้อย(ประมาณ 1 ml) เพื่อทำหน้าที่ละลายออกไซด์ของไนโตรเจนซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ของอากาศภายใน bomb แล้วจึงปิดฝา bomb ให้แน่น

8. เติม O_2 ลงใน combustion bomb โดยตั้ง PRESSUE GAUGE ไว้ที่ 450 psi (ปกติจะปรับความดันไว้แล้วที่ 450 psi) จากนั้นบรรจุ O_2 เองโดยอัตโนมัติ ใช้เวลาประมาณ 60 วินาที เมื่อเสร็จสิ้นการทดลอง ก่อนจะปิดเครื่อง bomb ให้ drain O_2 ที่ค้างอยู่ในระบบออกให้หมดโดยปิดวาล์วที่ถังแก๊สก่อน แล้วกดปุ่ม O_2 FILL และ RESET

9. เติมน้ำลงใน BUCKET โดยใช้น้ำกลั่น 2000 ml (ไขออกมาจาเครื่องบรรจุน้ำกลั่นซึ่งผ่านการควบคุมอุณหภูมิโดยอัตโนมัติแล้ว) นำ BUCKET ที่บรรจุน้ำวางลงในเครื่องให้ถูกตำแหน่งที่กำหนดไว้ นำ combustion bomb วางใน BUCKET ต่อไฟฟ้าให้ครบวงจรแล้วปิดฝา calorimeter (การทดลองทุกครั้งต้องเปลี่ยนน้ำใหม่ น้ำที่ใช้แล้วให้เทกลับคืนลงในถังบรรจุน้ำกลั่น เพื่อควบคุมอุณหภูมิไว้ใช้ต่อไปอีก)

10. เลือก MODE ของการทดลองให้ถูกต้อง ถ้าหาความจุความร้อนของระบบใช้สารมาตรฐาน คือ กรดเบนโซอิก ให้เลือก MODE เป็น DETR การเลือก MODE ทำได้โดยการกด shift แล้วกด F2 จนได้ MODE ที่ต้องการ (ในตอนนี้ใช้ MODE เป็น STD)

11. เริ่มทดลองหาการเผาไหม้โดยกด START ไฟที่ CAL ID จะติดและกระพริบ ให้ใส่ number ของ CAL ID ที่จะใช้ลงไปแล้วกด ENTER ไฟจะติดที่ SAMPLE ID ให้ใส่ number ของ SAMPLE ID ลงไป แล้วกด ENTER (ถ้า number ซ้ำกับที่ทำไปแล้ว จะมี error เกิดขึ้น ให้กด CLEAR แล้วใส่ number ใหม่ลงไป) ต่อไป ไฟจะติดที่ WEIGHT ให้ใส่น้ำหนักที่ถูกต้องลงไป แล้วกด ENTER

12. เครื่องจะเริ่ม TEST RUN โดยไฟจะติดที่ PRE เครื่องจะหาจุดอุณหภูมิคงที่และจะ ALARM จากนั้นจะเริ่ม BOMB โดยไฟจะติดที่ POST หลังจาก FIRING 3-4 นาทีจะเผาไม้เสร็จ เครื่องจะมีเสียง ALARM เตือนอีกครั้ง และจะปรากฏค่า EE (ความจุความร้อนของระบบ) ขึ้นที่หน้าจอ

13. นำ combustion bomb ออกจากเครื่อง ปล่อย O_2 ที่เหลือออกจาก combustion bomb เปิดฝา bomb นำ fuse wire ที่เหลือจากการเผาไหม้อกมาวัดความยาว คำนวณความยาวของ fuse wire ที่เผาไหม้ไป คำนวณความร้อนจากการเผาไหม้ของ fuse wire จาก

ความร้อนจากการเผาไหม้ fuse wire = ความยาวของ fuse wire ที่เผาไหม้ x 2.3

14. เติมน้ำลงใน combustion bomb เพื่อละลายกรด HNO_3 ให้หมด นำสารละลายกรดมาไทเทรทกับสารละลายมาตรฐาน 0.1 M NaOH จะหาความร้อนจากการเกิด HNO_3 ได้

กรเกิด HNO3 1 โมล คายความร้อน 14,500 แคลอรี

15. กด SKIP เพื่อใสค่าต่าง ๆ ตามลำดับ

ใส่ค่า fuse wire (ความร้อนจากการเผาไหม้ fuse wire ในข้อ 13.)

ใส่ค่า ACID (ความร้อนจากการเกิด HNO3 จากข้อ 14. ถ้าไม่ได้ทดลองให้ใช้ค่าเฉลี่ยของ ACID =10 cal)

และใส่ค่า SULFER (ความร้อนจากการเผาไหม้ของ SULFER) ในที่นี้ SULFER = 0 cal เพราะสารตัวอย่างไม่มี SULFER)

เมื่อใส่ข้อมูลแต่ละครั้งกด ENTER และเมื่อใส่ครบแล้วให้กด DONE เครื่องจะ memory ไว้ และคำนวณค่า EE ของระบบให้ (พิมพ์ออกมาทาง printer)

หมายเหตุ ในระหว่างทำข้อ 13-14 ห้ามแก้ไขหรือกระทำการใดๆ ที่หน้าจอ เพราะกระบวนการทดลองยังไม่เสร็จ หลังจากทำข้อ 15 แล้ว จึงแก้ไขหน้าจอได้ตามต้องการ

ตอนที่ 3 หาความร้อนของการเผาไหม้ของสารตัวอย่าง

ทดลองเหมือนกับ ตอนที่ 2 เพียงแต่เปลี่ยนจาก กรดเบนโซอิก เป็นสารตัวอย่าง (เช่น แนฟทาลีน ใช้ประมาณ 0.7-0.8 กรัม)

ขณะที่เครื่องอยู่ที่ STANDBY ให้ทดลองต่อได้ทันทีโดยเริ่มต้นจากข้อ 5.

ข้อ 10. ให้เลือก MODE เป็น DETR (กด shift แล้วกด F2 จนได้ MODE เป็น DETR)

ข้อ 11. ให้ใส่ CAL ID ให้ถูกต้อง ตรงกับที่กำหนดไว้ในตอนที่ 2 ถ้าใส่ผิด เครื่องจะหาค่า EE ไม่พบ แล้วนำไปคำนวณผิดพลาด

ข้อ 15. หลังจากใสข้อมูลเพิ่มเติมครบแล้ว เครื่องจะคำนวณและพิมพ์ค่า GROSS HEAT (ความร้อนของการเผาไหม้) ของสารตัวอย่างให้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข.

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบน้ำหนัก ความยาว และการรอดของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารทดลอง 5 สูตร

Diet No.	Block	Initial				28 days				Survival rate (%)
		No. of fish	Body weight		Body length	No. of fish	Body weight		Body length	
			Total	Avg weight	Mean±S.D.		Total	Avg weight	Mean±S.D.	
1% BY	B-I	30	13.27	0.44	2.95	30	59.13	1.97	4.90	100
	B-II	30	13.47	0.44	2.95	28	61.61	2.20	4.97	93.33
	B-III	30	13.52	0.45	2.96	30	58.90	1.98	4.78	100
	B-VI	30	13.45	0.45	2.94	30	48.97	1.63	4.45	100
	Mean±S.D.	30±0.00	13.42±0.11	0.45±0.00	2.95±0.01	29.50±1.00	57.15±5.59	1.94±0.23	4.78±0.23	98.33±3.33
2% BY	B-I	30	12.80	0.43	2.94	29	60.78	2.07	4.87	96.67
	B-II	30	13.49	0.45	2.95	28	56.56	2.02	4.71	93.33
	B-III	30	12.99	0.43	2.96	28	56.07	2.00	4.85	93.33
	B-VI	30	13.02	0.43	2.96	29	49.86	1.72	4.60	96.67
	Mean±S.D.	30±0.00	13.08±0.29	0.44±0.01	2.95±0.01	28.50±0.58	55.82±4.50	1.95±0.16	4.76±0.13	95.00±1.92
1% NU	B-I	30	12.69	0.42	2.97	30	46.24	1.54	4.43	100
	B-II	30	12.42	0.41	2.95	30	46.27	1.54	4.42	100
	B-III	30	13.12	0.43	2.97	27	41.94	1.55	4.33	90.00
	B-VI	30	12.41	0.41	2.96	27	40.05	1.48	4.44	90.00
	Mean±S.D.	30±0.00	12.66±0.33	0.42±0.14	2.96±0.01	28.50±1.73	43.63±3.13	1.53±0.32	4.41±0.05	95.00±5.77
2% NU	B-I	30	12.40	0.41	2.96	29	41.73	1.44	4.44	96.67
	B-II	30	12.98	0.43	2.97	29	50.61	1.75	4.76	96.67
	B-III	30	12.76	0.43	2.97	28	50.18	1.80	4.68	93.33
	B-VI	30	12.33	0.41	2.96	30	41.28	1.78	4.31	100
	Mean±S.D.	30±0.00	12.62±0.31	0.42±0.12	2.96±0.01	29.00±0.82	45.95±5.14	1.59±0.21	4.55±0.21	96.67±2.72
Control	B-I	30	12.49	0.42	2.96	26	45.57	1.75	4.76	86.67
	B-II	30	12.88	0.43	2.96	29	53.19	1.83	4.87	96.67
	B-III	30	12.75	0.43	2.96	27	53.66	1.99	4.78	90.00
	B-VI	30	12.66	0.42	2.97	29	44.90	1.55	4.41	96.67
	Mean±S.D.	30±0.00	12.70±0.16	0.42±0.01	2.96±0.01	27.75±1.50	49.33±4.74	1.78±0.18	4.71±0.20	92.50±5.00

ตารางที่ 1 (ต่อ) เปรียบเทียบน้ำหนัก ความยาว และการรอดของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารทดลอง 5 สูตร

Diet No.	Block	28 days				56 days				Survival rate (%)
		No. of fish	Body weight		Body length	No. of fish	Body weight		Body length	
			Total	Avg weight	Mean±S.D.		Total	Avg weight	Mean±S.D.	
1% BY	B-I	30	59.13	1.97	4.90	27	241.33	8.93	7.80	90.00
	B-II	28	61.61	2.20	4.97	25	233.99	9.36	8.04	83.33
	B-III	30	58.90	4.78	4.78	30	240.88	8.03	7.43	100
	B-VI	30	48.97	4.45	4.45	25	183.02	7.32	7.38	83.33
	Mean±S.D.	29.50±1.00	57.15±5.59	4.78±0.23	4.78±0.23	26.75±2.36	224.78±28.04	8.41±0.91	7.66±0.31	89.17±7.88
2% BY	B-I	29	60.78	4.87	4.87	25	236.79	9.47	8.16	83.33
	B-II	28	56.56	4.71	4.71	26	250.95	9.65	8.04	86.67
	B-III	28	56.07	4.85	4.85	24	218.68	9.11	8.00	80.00
	B-VI	29	49.86	4.60	4.60	25	211.26	8.45	7.86	83.33
	Mean	28.50±0.58	55.82±4.50	4.76±0.13	4.76±0.13	25.00±0.82	229.42±17.92	9.17±0.53	8.02±0.12	83.33±2.72
1% NU	B-I	30	46.24	4.43	4.43	26	149.60	5.98	7.11	86.67
	B-II	30	46.27	4.42	4.42	26	125.57	4.83	6.44	86.67
	B-III	27	41.94	4.33	4.33	27	133.62	4.95	6.44	90.00
	B-VI	27	40.05	4.44	4.44	25	130.65	5.23	6.61	83.33
	Mean±S.D.	28.50±1.73	43.63±3.13	4.41±0.05	4.41±0.05	26.00±0.82	134.86±10.37	5.24±0.52	6.65±0.32	86.67±2.72
2% NU	B-I	29	41.73	4.44	4.44	25	155.36	6.21	6.76	83.33
	B-II	29	50.61	4.76	4.76	27	203.04	7.52	7.67	90.00
	B-III	28	50.18	4.68	4.68	21	171.28	7.79	7.47	70.00
	B-VI	30	41.28	4.31	4.31	25	159.34	6.37	7.10	83.00
	Mean±S.D.	29.00±0.82	45.95±5.14	4.55±0.21	4.55±0.21	24.50±2.52	172.26±21.61	6.97±0.79	7.25±0.40	81.67±8.39
Control	B-I	26	45.57	4.76	4.76	21	109.59	5.48	6.61	70.00
	B-II	29	53.19	4.87	4.87	23	164.38	7.15	7.13	76.67
	B-III	27	53.66	4.78	4.78	26	185.53	7.21	7.26	86.67
	B-VI	29	44.90	4.41	4.41	22	119.76	5.44	6.67	73.33
	Mean±S.D.	27.75±1.50	49.33±4.74	4.71±0.20	4.71±0.20	23.00±2.16	145.32±36.86	6.32±0.99	6.92±.33	76.67±7.20

ตารางที่ 1 (ต่อ) เปรียบเทียบน้ำหนัก ความยาว และการรอดของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารทดลอง 5 สูตร

Diet No.	Block	56 days				84 days				Survival rate (%)
		No. of fish	Body weight		Body length	No. of fish	Body weight		Body length	
			Total	Avg weight	Mean±S.D.		Total	Avg weight	Mean±S.D.	
1% BY	B-I	27	241.33	8.93	7.80	27	523.72	19.40	10.49	90.00
	B-II	25	233.99	9.36	8.04	24	487.74	20.33	10.78	80.00
	B-III	30	240.88	8.03	7.43	27	518.73	17.36	9.95	90.00
	B-VI	25	183.02	7.32	7.38	25	441.73	16.67	10.09	83.33
	Mean±S.D.	26.75±2.36	224.78±28.04	8.41±0.91	7.66±0.31	25.75±1.50	493.00±37.69	18.44±1.71	10.33±0.38	85.83±5.00
2% BY	B-I	25	236.79	9.47	8.16	23	491.56	20.94	11.01	76.67
	B-II	26	250.95	9.65	8.04	24	513.77	22.35	10.97	80.00
	B-III	24	218.68	9.11	8.00	22	472.20	21.01	10.85	73.33
	B-VI	25	211.26	8.45	7.86	23	477.17	20.75	10.93	76.67
	Mean±S.D.	25.00±0.82	229.42±17.92	9.17±0.53	8.02±0.12	23.00±0.82	488.68±18.64	21.26±0.74	10.94±0.07	76.67±2.72
1% NU	B-I	26	149.60	5.98	7.11	21	268.97	13.28	8.95	70.00
	B-II	26	125.57	4.83	6.44	21	254.96	16.90	10.10	70.00
	B-III	27	133.62	4.95	6.44	22	262.93	11.95	8.77	73.33
	B-VI	25	130.65	5.23	6.61	24	267.31	11.35	8.83	80.00
	Mean±S.D.	26.00±0.82	134.86±10.37	5.24±0.52	6.65±0.32	22.00±1.41	263.54±6.26	13.37±2.49	9.16±0.63	73.33±4.71
2% NU	B-I	25	155.36	6.21	6.76	21	316.37	15.07	9.25	70.00
	B-II	27	203.04	7.52	7.67	26	431.51	17.75	10.40	86.67
	B-III	21	171.28	7.79	7.47	21	372.62	19.41	10.37	70.00
	B-VI	25	159.34	6.37	7.10	22	332.21	16.01	9.92	73.33
	Mean±S.D.	24.50±2.52	172.26±21.61	6.97±0.79	7.25±0.40	22.50±2.38	363.18±51.34	17.06±1.92	9.99±0.54	75.00±7.94
Control	B-I	21	109.59	5.48	6.61	21	255.25	13.63	9.04	70.00
	B-II	23	164.38	7.15	7.13	19	377.11	19.85	10.50	63.33
	B-III	26	185.53	7.21	7.26	23	381.27	16.58	9.89	76.67
	B-VI	22	119.76	5.44	6.67	22	231.55	10.98	8.32	73.33
	Mean±S.D.	23.00±2.16	145.32±36.86	6.32±0.99	6.92±.33	21.25±1.71	301.30±69.91	15.26±3.82	9.43±0.96	70.83±5.69

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1 (ต่อ) เปรียบเทียบน้ำหนัก ความยาว และการรอดของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารทดลอง 5 สูตร

Diet No.	Block	84 days				112 days				Survival rate (%)
		No. of fish	Body weight		Body length	No. of fish	Body weight		Body length	
			Total	Avg weight	Mean±S.D.		Total	Avg weight	Mean±S.D.	
1% BY	B-I	27	523.72	19.40	10.49	26	836.09	30.62	12.28	86.67
	B-II	24	487.74	20.33	10.78	24	778.12	30.76	12.49	80.00
	B-III	27	518.73	17.36	9.95	26	804.44	27.86	11.97	86.67
	B-VI	25	441.73	16.67	10.09	24	722.09	30.09	12.29	80.00
	Mean±S.D.	25.75±1.50	493.00±37.69	18.44±1.71	10.33±0.38	25.00±1.15	785.19±48.28	29.83±1.34	12.26±0.21	83.33±3.85
2% BY	B-I	23	491.56	20.94	11.01	22	789.65	33.17	12.90	73.33
	B-II	24	513.77	22.35	10.97	20	770.83	42.82	14.28	66.67
	B-III	22	472.20	21.01	10.85	21	743.56	33.98	13.08	70.00
	B-VI	23	477.17	20.75	10.93	22	766.05	32.55	12.85	73.33
	Mean±S.D.	23.00±0.82	488.68±18.64	21.26±0.74	10.94±0.07	21.25±0.96	767.52±18.95	35.63±4.83	13.28±0.68	70.83±3.19
1% NU	B-I	21	268.97	13.28	8.95	17	450.12	26.01	11.82	56.67
	B-II	21	254.96	16.90	10.10	16	468.03	30.38	12.22	53.33
	B-III	22	262.93	11.95	8.77	20	484.93	25.81	11.68	66.67
	B-VI	24	267.31	11.35	8.83	21	471.48	24.12	12.10	70.00
	Mean±S.D.	22.00±1.41	263.54±6.26	13.37±2.49	9.16±0.63	18.5±2.38	468.64±14.33	26.58±2.67	11.96±0.25	61.67±7.94
2% NU	B-I	21	316.37	15.07	9.25	20	556.96	26.52	11.31	66.67
	B-II	26	431.51	17.75	10.40	25	828.58	33.14	12.91	83.33
	B-III	21	372.62	19.41	10.37	19	639.25	33.64	12.64	63.33
	B-VI	22	332.21	16.01	9.92	22	595.77	27.08	11.68	73.33
	Mean±S.D.	22.50±2.38	363.18±51.34	17.06±1.92	9.99±0.54	21.50±2.65	655.14±120.41	30.10±3.82	12.14±0.76	71.67±8.82
Control	B-I	21	255.25	13.63	9.04	18	489.19	27.18	11.94	60.00
	B-II	19	377.11	19.85	10.50	19	557.67	36.19	12.99	63.33
	B-III	23	381.27	16.58	9.89	22	571.44	30.65	12.23	73.33
	B-VI	22	231.55	10.98	8.32	21	470.68	22.41	10.72	70.00
	Mean±S.D.	21.25±1.71	301.30±69.91	15.26±3.82	9.43±0.96	20.00±1.83	522.25±49.75	28.96±5.76	11.97±0.94	66.67±6.09

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายธัชนนท์ พุ่มโภคัย เกิดวันที่ 26 มีนาคม 2525 ภูมิลำเนา จังหวัด สมุทรสาคร สำเร็จชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนมัธยมวัดหนองแขม เข้าศึกษาต่อที่คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันราชภัฏนครปฐม สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิตเมื่อปี พ.ศ. 2547 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2549 ในระหว่างการศึกษาได้เสนอผลงานการวิจัยในการประชุมวิชาการดังนี้

ธัชนนท์ พุ่มโภคัย และ สมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล.2552. ผลของบริวเวอร์ยีสต์และนิวคลีโอไทด์ในอาหารต่อการเติบโตและการรอดของปลากะพงขาว *(Lates calcarifer)*. การประชุมวิชาการครั้งที่ 47 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางแขน วันที่ 17-20 มีนาคม 2552 (นำเสนอผลงานแบบโปสเตอร์)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย