รายงานวิจัย

# การศึกษาความต้องการกรดอะมิโนด้านปริมาณของปลากดเหลือง (*Mystus nemurus* Cuv. & Val.)

# Quantitative Amino Acid Requirements of Yellow Mystus (*Mystus nemurus* Cuv. & Val.)


ผศ. ชุติมา ตันติกิตติ

ดร. อมรรัตน์ เสริมวัฒนากุล

ดร. วิมล จันทรโรทัย

รศ. กิจการ ศุภมาตย์

ภาควิชาวาริชศาสตร์

คณะทรัพยากรธรรมชาติ

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



QL 638.313 T64 2545 ฉ.2

Bib Key 228731

# บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระดับที่เหมาะสมของกรดอะมิโนที่จำเป็น 5 ชนิด ได้แก่ ไลซีน อาร์จินีน เมทไธโอนีน ลูซีน และไอโซลูซีนในอาหารสำหรับปลากดเหลือง โดยใช้อาหารทดลองกึ่งบริสุทธิ์ ซึ่งมีปลาป่น เจลาติน และกรดอะมิโนรูปผลึกเป็นแหล่งโปรตีน และมีระดับของกรดอะมิโนที่จำเป็นที่ใกล้เคียงกับองค์ประกอบของกรดอะมิโนของปลากดเหลือง ยกเว้นกรดอะมิโนที่ต้องการทดสอบ ซึ่งมีระดับที่แตกต่างกันไปจากน้อยไปหามาก สำหรับอาหารสูตรเปรียบเทียบจะมีปลาป่นคุณภาพดี (โปรตีน 60%) เป็นแหล่งโปรตีนในอาหารเพียงอย่างเดียว โดยอาหารทดลองในแต่ละการศึกษาจะมีระดับของโปรตีน ไขมัน และพลังงานที่ใกล้เคียงกัน ในการกำหนดระดับความต้องการของกรดอะมิโนแต่ละชนิดนั้นใช้ข้อมูลการเจริญเติบโตของปลามาคำนวนด้วยวิธี non-linear regression ที่มี 4 พารามิเตอร์

จากการศึกษาพบว่าระดับความต้องการไลซีน อาร์จินีน เมทไธโอนีน ลูซีน และไอโซลูซีนของปลากดเหลืองมีค่าคิดเป็นร้อยละของโปรตีนเท่ากับ 3.47 4.74 2.69 3.78 และ 2.46 ตามลำดับ และมีค่าที่ใกล้เคียงมากกับระดับความต้องการของปลา channel catfish ทั้งนี้อาจเนื่องจากปลาทั้ง 2 ชนิดมีพฤติกรรมการกินอาหารที่ใกล้เคียงกัน ในการศึกษาถึงการเป็นปฏิปักษ์ของกรดอะมิโนที่มีโครงสร้างคล้ายคลึงกันได้แก่ ไลซีนและอาร์จินีนนั้น พบว่าระดับของกรดอะมิโนทั้ง 2 ชนิดที่เพิ่มขึ้นในอาหารในระดับที่สูงกว่าระดับที่เหมาะสมมาก ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลากดเหลือง แต่พบว่าความไม่สมดุลระหว่างกรดอะมิโนที่จำเป็นและไม่จำเป็นมีผลทำให้ปลาไม่อยากกินอาหาร และมีการเจริญเติบโตต่ำ ในการศึกษาถึงสัดส่วนของซีสทีนในการทดแทนเมทไธโอนีนนั้น สัดส่วนเมทไธโอนีนต่อซีสทีนที่ระดับ 50:50 มีแนวโน้มที่ให้การเจริญเติบโตประสิทธิภาพการใช้อาหารและโปรตีนที่ดีที่สุดใกล้เคียงกับปลาที่ได้รับอาหารที่มีเมทไธโอนีนต่อซีสทีนที่ระดับ 100:0 นอกจากนั้นยังพบว่าปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีกรดอะมิโนที่จำเป็นสูงกว่าระดับความต้องการจะมีปริมาณไขมันในซากปลาที่สูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีระดับของกรดอะมิโนที่เหมาะสมหรือระดับที่ต่ำกว่าความต้องการ

# Abstract

The lysine, arginine, methionine, leucine and isoleucine requirements of yellow mystus (*Mystus numerus* Cuv. & Val.) were determined using semipurified diets containing fishmeal, gelatin and crystalline amino acids. The experimental diets were formulated to have an essential amino acid profile similar to that of the muscle tissue of the fish except of the amino acid being tested. The reference diet contained fishmeal as the sole source of protein. All diets were formulated to have similar levels of protein, lipid and energy. The dietary requirement of the amino acids was estimated using four parameter non-linear regression of the values of specific growth rate against the dietary amino acid levels.

The results showed requirements for lysine, arginine, methionine, leucine and isoleucine of yellow mystus were 3.47, 2.69, 3.78, and 2.46 g/16 gN, respectively. These estimated requirements are very similar to those of channel catfish indicating that the two species may have similar feeding habits. In a lysine-arginine antagonism study, increasing concentrations of lysine and arginine to almost 100% of the requirement levels did not have any influence on growth, feed efficiency and nutrient utilization of the fish. However, an imbalance of essential and non-essential amino acids in the diets reduced feed intake and growth. Replacement of methionine with cystine was also studied. A 50:50 methionine to cystine ratio gave growth, feed efficiency and nutrient utilization comparable to a diet containing a 100:0 methionine to cystine ratio. Fish on diets containing essential amino acids exceeding required levels had greater carcass lipid composition than did fish on diets containing amino acids at or less than required levels.

# สารบัญ


| | หน้า |
|---|---|
| กิตติกรรมประกาศ | (1) |
| บทคัดย่อ | (2) |
| Abstract | (3) |
| สารบัญ | (4) |
| รายการตาราง | (6) |
| รายการภาพ | (13) |
| บทนำ | 1 |
| วิธีการศึกษา | 3 |
| โครงการย่อยที่ 1 : การศึกษาองค์ประกอบกรดอะมิโนของร่างกายปลากดเหลือง และความเหมาะสมของอาหารทดลองในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนของปลากดเหลือง (*Mystus nemurus* Cuv. & Val.) | 4 |
| โครงการย่อยที่ 2 : ความต้องการกรดอะมิโนไลซีนของปลากดเหลือง (*Mystus nemurus* Cuv. & Val.) | 18 |
| โครงการย่อยที่ 3 : ความต้องการกรดอะมิโนอาร์จินีนของปลากดเหลือง (*Mystus nemurus* Cuv. & Val.) | 37 |
| โครงการย่อยที่ 4 : การเป็นปฏิปักษ์ของกรดอะมิโนอาร์จินีน-ไลซีน ต่อการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลากดเหลือง (*Mystus nemurus* Cuv. & Val.) | 50 |
| โครงการย่อยที่ 5 : ความต้องการกรดอะมิโนเมทไธโอนีนของปลากดเหลือง (*Mystus nemurus* Cuv. & Val.) | 59 |
| โครงการย่อยที่ 6 : การศึกษาปริมาณและสัดส่วนที่เหมาะสมของกรดอะมิโนเมทไธโอนีนและซีสทีนในอาหารปลากดเหลือง (*Mystus nemurus* Cuv. & Val.) | 73 |
| โครงการย่อยที่ 7 : ความต้องการกรดอะมิโนลูซีนของปลากดเหลือง (*Mystus nemurus* Cuv. & Val.) | 82 |

# สารบัญ (ต่อ)


| | หน้า |
|---|---|
| โครงการย่อยที่ 8 : ความต้องการกรดอะมิโนไอโซลูซีนของปลากดเหลือง (*Mystus nemurus* Cuv. & Val.) | 96 |
| วิจารณ์และสรุปผลการศึกษา | 110 |
| เอกสารอ้างอิง | 122 |
| ภาคผนวก | 129 |
| - งานวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่จากการวิจัย | |

# รายการตาราง


| ตารางที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1 | องค์ประกอบของอาหารสูตรพื้นฐานในการศึกษาความเหมาะสมของอาหารทดลอง | 6 |
| 2 | องค์ประกอบกรดอะมิโนของอาหารสูตรพื้นฐาน (กรัม/อาหาร 1 กิโลกรัม) ในการศึกษาความเหมาะสมของอาหารทดลอง | 7 |
| 3 | ปริมาณไลซีนและกรดกลูตามิค (กรัม/อาหาร 1 กิโลกรัม) ในอาหารทดลองในการศึกษาความเหมาะสมของอาหารทดลอง | 8 |
| 4 | องค์ประกอบของอาหารสูตรเปรียบเทียบในการศึกษาความเหมาะสมของอาหารทดลอง | 8 |
| 5 | องค์ประกอบทางเคมีของร่างกายปลากดเหลืองที่นำมาศึกษาองค์ประกอบกรดอะมิโน (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง) | 11 |
| 6 | องค์ประกอบกรดอะมิโนของร่างกายปลากดเหลือง (ร้อยละของโปรตีน) | 12 |
| 7 | องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง (ร้อยละของน้ำหนักอาหารแห้ง) ในการศึกษาความเหมาะสมของอาหารทดลอง | 12 |
| 8 | น้ำหนักเริ่มต้น น้ำหนักสุดท้าย เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่ม อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และอัตราการรอดตายของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีไลซีนระดับต่างๆ เป็นเวลา 70 วัน ในการศึกษาความเหมาะสมของอาหารทดลอง | 14 |
| 9 | น้ำหนักอาหารที่ปลากิน ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ โปรตีนสะสมต่อวัน และไขมันสะสมต่อวันของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีไลซีนระดับต่างๆ เป็นเวลา 70 วัน ในการศึกษาความเหมาะสมของอาหารทดลอง | 15 |
| 10 | องค์ประกอบทางเคมีของซากปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีไลซีนระดับต่างๆ (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง) ในการศึกษาความเหมาะสมของอาหารทดลอง | 17 |
| 11 | องค์ประกอบของอาหารสูตรพื้นฐานในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนไลซีนของปลากดเหลือง | 19 |
| 12 | องค์ประกอบกรดอะมิโนของอาหารสูตรพื้นฐาน (กรัม/อาหาร 1 กิโลกรัม) ในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนไลซีนของปลากดเหลือง | 20 |
| 13 | ปริมาณไลซีนและกรดกลูตามิค (กรัม/อาหาร 1 กิโลกรัม) ในอาหารทดลอง ในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนไลซีนของปลากดเหลือง | 21 |

# รายการตาราง (ต่อ)


| ตารางที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 14 | องค์ประกอบของอาหารสูตรเปรียบเทียบในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนไลซีนของปลากดเหลือง | 21 |
| 15 | องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง (ร้อยละของน้ำหนักอาหารแห้ง) ในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนไลซีนของปลากดเหลือง | 25 |
| 16 | องค์ประกอบกรดอะมิโนของอาหารทดลอง (ร้อยละของโปรตีน) ในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนไลซีนของปลากดเหลือง | 26 |
| 17 | น้ำหนักเริ่มต้น น้ำหนักสุดท้าย เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่ม อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และอัตราการรอดตายของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีไลซีนระดับต่างๆ เป็นเวลา 90 วัน | 29 |
| 18 | น้ำหนักอาหารที่ปลากิน ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ โปรตีนสะสมต่อวัน และไขมันสะสมต่อวันของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีไลซีนระดับต่างๆ เป็นเวลา 90 วัน | 31 |
| 19 | องค์ประกอบทางเคมีของซากปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีไลซีนระดับต่างๆ (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง) | 32 |
| 20 | ระดับแอมโมเนียในพลาสมาของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีไลซีนระดับต่างๆ | 34 |
| 21 | คุณภาพน้ำตลอดการทดลอง 90 วัน | 35 |
| 22 | ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนในอาหารทดลองที่ใช้ศึกษาความต้องการกรดอะมิโนไลซีนของปลากดเหลือง | 36 |
| 23 | องค์ประกอบของอาหารสูตรพื้นฐานในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนอาร์จินีนของปลากดเหลือง | 38 |
| 24 | องค์ประกอบกรดอะมิโนของอาหารสูตรพื้นฐาน (กรัม/อาหาร 1 กิโลกรัม) ในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนอาร์จินีนของปลากดเหลือง | 39 |
| 25 | ปริมาณอาร์จินีนและกรดกลูตามิค (กรัม/อาหาร 1 กิโลกรัม) ในอาหารทดลองในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนอาร์จินีนของปลากดเหลือง | 40 |
| 26 | องค์ประกอบของอาหารสูตรเปรียบเทียบในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนอาร์จินีนของปลากดเหลือง | 40 |

# รายการตาราง (ต่อ)


| ตารางที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 27 | องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง (ร้อยละของน้ำหนักอาหารแห้ง) ในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนอาร์จินีนของปลากดเหลือง | 41 |
| 28 | องค์ประกอบกรดอะมิโนของอาหารทดลอง (ร้อยละของโปรตีน) ในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนอาร์จินีนของปลากดเหลือง | 42 |
| 29 | น้ำหนักเริ่มต้น น้ำหนักสุดท้าย เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่ม อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และอัตราการรอดตายของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีอาร์จินีนระดับต่างๆ เป็นเวลา 90 วัน | 44 |
| 30 | น้ำหนักอาหารที่ปลากิน ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ โปรตีนสะสมต่อวัน และไขมันสะสมต่อวันของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีอาร์จินีนระดับต่างๆ เป็นเวลา 90 วัน | 47 |
| 31 | องค์ประกอบทางเคมีของซากปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีอาร์จินีนระดับต่างๆ (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง) | 49 |
| 32 | องค์ประกอบของอาหารสูตรพื้นฐานในการศึกษาการเป็นปฏิปักษ์ของกรดอะมิโนอาร์จินีน-ไลซีนต่อการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลากดเหลือง | 51 |
| 33 | องค์ประกอบกรดอะมิโนของอาหารสูตรพื้นฐาน (กรัม/อาหาร 1 กิโลกรัม) ในการศึกษาการเป็นปฏิปักษ์ของกรดอะมิโนอาร์จินีน-ไลซีนต่อการเจริญเติบโตและประสิทธิการใช้อาหารของปลากดเหลือง | 52 |
| 34 | ปริมาณอาร์จินีน:ไลซีน, กรดกลูตามิค และไกลซีน (กรัม/อาหาร 1 กิโลกรัม) ในอาหารทดลองในการศึกษาการเป็นปฏิปักษ์ของกรดอะมิโนอาร์จินีน-ไลซีนต่อการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลากดเหลือง | 53 |
| 35 | องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง (ร้อยละของน้ำหนักอาหารแห้ง) ในการศึกษาการเป็นปฏิปักษ์ของกรดอะมิโนอาร์จินีน-ไลซีนต่อการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลากดเหลือง | 54 |
| 36 | น้ำหนักเริ่มต้น น้ำหนักสุดท้าย เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่ม อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และอัตราการรอดตายของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีอาร์จินีน-ไลซีนระดับต่างๆ เป็นเวลา 57 วัน | 56 |

# รายการตาราง (ต่อ)


| ตารางที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 37 | น้ำหนักอาหารที่ปลากิน ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ โปรตีนสะสมต่อวัน ไขมันสะสมต่อวันและดัชนีตับของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีอาร์จินีน-ไลซีน ระดับต่างๆ เป็นเวลา 57 วัน | 57 |
| 38 | องค์ประกอบทางเคมีของซากปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีอาร์จินีน-ไลซีน ระดับต่างๆ (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง) | 58 |
| 39 | องค์ประกอบของอาหารสูตรพื้นฐานในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนเมทไธโอนีนของปลากดเหลือง | 60 |
| 40 | องค์ประกอบกรดอะมิโนของอาหารสูตรพื้นฐาน (กรัม/อาหาร 1 กิโลกรัม) ในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนเมทไธโอนีนของปลากดเหลือง | 61 |
| 41 | ปริมาณเมทไธโอนีนและกรดกลูตามิค (กรัม/อาหาร 1 กิโลกรัม) ในอาหารทดลองในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนเมทไธโอนีนของปลากดเหลือง | 62 |
| 42 | องค์ประกอบของอาหารสูตรเปรียบเทียบ ในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนเมทไธโอนีนของปลากดเหลือง | 62 |
| 43 | องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง (ร้อยละของน้ำหนักอาหารแห้ง) ในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนเมทไธโอนีนของปลากดเหลือง | 63 |
| 44 | องค์ประกอบกรดอะมิโนของอาหารทดลอง (ร้อยละของโปรตีน) ในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนเมทไธโอนีนของปลากดเหลือง | 64 |
| 45 | น้ำหนักเริ่มต้น น้ำหนักสุดท้าย เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่ม อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และอัตราการรอดตายของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีเมทไธโอนีนระดับต่างๆ เป็นเวลา 90 วัน | 66 |
| 46 | น้ำหนักอาหารที่ปลากิน ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ โปรตีนสะสมต่อวัน และไขมันสะสมต่อวันของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีเมทไธโอนีนระดับต่างๆ เป็นเวลา 90 วัน | 70 |
| 47 | องค์ประกอบทางเคมีของซากปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีเมทไธโอนีนระดับต่างๆ (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง) | 72 |
| 48 | องค์ประกอบของอาหารสูตรพื้นฐานในการศึกษาปริมาณและสัดส่วนที่เหมาะสมของกรดอะมิโนเมทไธโอนีนและซีสทีนในอาหารปลากดเหลือง | 74 |

# รายการตาราง (ต่อ)


| ตารางที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 49 | องค์ประกอบกรดอะมิโนของอาหารสูตรพื้นฐาน (กรัม/อาหาร 1 กิโลกรัม) ในการศึกษาปริมาณและสัดส่วนที่เหมาะสมของกรดอะมิโนเมทไธโอนีนและซีสทีนในอาหารปลากดเหลือง | 75 |
| 50 | ปริมาณเมทไธโอนีน-ซีสทีน, และกรดกลูตามิค (กรัม/อาหาร 1 กิโลกรัม) ในอาหารทดลองในการศึกษาปริมาณและสัดส่วนที่เหมาะสมของกรดอะมิโนเมทไธโอนีนและซีสทีนในอาหารปลากดเหลือง | 76 |
| 51 | องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง (ร้อยละของน้ำหนักอาหารแห้ง) ในการศึกษาปริมาณและสัดส่วนที่เหมาะสมของกรดอะมิโนเมทไธโอนีนและซีสทีนในอาหารปลากดเหลือง | 77 |
| 52 | น้ำหนักเริ่มต้น น้ำหนักสุดท้าย เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่ม อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และอัตราการรอดตายของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีเมทไธโอนีนและซีสทีนในสัดส่วนที่ต่างกัน เป็นเวลา 90 วัน | 79 |
| 53 | น้ำหนักอาหารที่ปลากิน ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ โปรตีนสะสมต่อวัน และไขมันสะสมต่อวันของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีเมทไธโอนีนและซีสทีนในสัดส่วนที่ต่างกัน เป็นเวลา 90 วัน | 80 |
| 54 | องค์ประกอบทางเคมีของซากปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีเมทไธโอนีนและซีสทีนในสัดส่วนที่ต่างกัน (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง) | 81 |
| 55 | องค์ประกอบของอาหารสูตรพื้นฐานในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนลูซีนของปลากดเหลือง | 83 |
| 56 | องค์ประกอบกรดอะมิโนของอาหารสูตรพื้นฐาน (กรัม/อาหาร 1 กิโลกรัม) ในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนลูซีนของปลากดเหลือง | 84 |
| 57 | ปริมาณลูซีนและกรดกลูตามิค (กรัม/อาหาร 1 กิโลกรัม) ในอาหารทดลองในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนลูซีนของปลากดเหลือง | 85 |
| 58 | องค์ประกอบของอาหารสูตรเปรียบเทียบในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนลูซีนของปลากดเหลือง | 85 |

# รายการตาราง (ต่อ)


| ตารางที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 59 | องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง (ร้อยละของน้ำหนักอาหารแห้ง) ในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนลูซีนของปลากดเหลือง | 86 |
| 60 | องค์ประกอบกรดอะมิโนของอาหารทดลอง (ร้อยละของโปรตีน) ในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนลูซีนของปลากดเหลือง | 87 |
| 61 | น้ำหนักเริ่มต้น น้ำหนักสุดท้าย เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่ม อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และอัตราการรอดตายของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีลูซีนระดับต่างๆ เป็นเวลา 70 วัน | 91 |
| 62 | น้ำหนักอาหารที่ปลากิน ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ โปรตีนสะสมต่อวัน ไขมันสะสมต่อวันและดัชนีตับของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีลูซีนระดับต่างๆ เป็นเวลา 70 วัน | 93 |
| 63 | องค์ประกอบทางเคมีของซากปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีลูซีนระดับต่างๆ (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง) | 95 |
| 64 | องค์ประกอบของอาหารสูตรพื้นฐานในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนไอโซลูซีนของปลากดเหลือง | 97 |
| 65 | องค์ประกอบกรดอะมิโนของอาหารสูตรพื้นฐาน (กรัม/อาหาร 1 กิโลกรัม) ในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนไอโซลูซีนของปลากดเหลือง | 98 |
| 66 | ปริมาณไอโซลูซีนและกรดกลูตามิค (กรัม/อาหาร 1 กิโลกรัม) ในอาหารทดลองในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนไอโซลูซีนของปลากดเหลือง | 99 |
| 67 | องค์ประกอบของอาหารสูตรเปรียบเทียบในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนไอโซลูซีนของปลากดเหลือง | 99 |
| 68 | องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง (ร้อยละของน้ำหนักอาหารแห้ง) ในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนไอโซลูซีนของปลากดเหลือง | 100 |
| 69 | องค์ประกอบกรดอะมิโนของอาหารทดลอง (ร้อยละของโปรตีน) ในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนไอโซลูซีนของปลากดเหลือง | 101 |
| 70 | น้ำหนักเริ่มต้น น้ำหนักสุดท้าย เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่ม อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะและอัตราการรอดตายของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีไอโซลูซีนระดับต่างๆ เป็นเวลา 70 วัน | 105 |

# รายการตาราง (ต่อ)


| ตารางที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 71 | น้ำหนักอาหารที่ปลากิน ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ โปรตีนสะสมต่อวัน ไขมันสะสมต่อวันและดัชนีตับของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีไอโซลูซีนระดับต่างๆ เป็นเวลา 70 วัน | 107 |
| 72 | องค์ประกอบทางเคมีของซากปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีไอโซลูซีนระดับต่างๆ (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง) | 109 |

# รายการภาพ


| ภาพที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1 | ความสัมพันธ์ระหว่างระดับไลซีนในอาหารกับการเจริญเติบโตจำเพาะของปลากดเหลือง | 30 |
| 2 | ระดับแอมโมเนียในพลาสมาของปลากดเหลืองที่ระยะเวลาต่างๆ หลังจากได้รับอาหารสูตรที่ 6 (มีไลซีนร้อยละ 7.71) | 33 |
| 3 | ความสัมพันธ์ระหว่างระดับอาร์จินีนในอาหารกับการเจริญเติบโตจำเพาะของปลากดเหลือง | 45 |
| 4 | ความสัมพันธ์ระหว่างระดับเมทไธโอนีนในอาหารกับการเจริญเติบโตจำเพาะของปลากดเหลือง | 67 |
| 5 | ความสัมพันธ์ระหว่างระดับลูซีนในอาหารกับการเจริญเติบโตจำเพาะของปลากดเหลือง | 92 |
| 6 | ความสัมพันธ์ระหว่างระดับไอโซลูซีนในอาหารกับการเจริญเติบโตจำเพาะของปลากดเหลือง | 106 |

# บทนำ

ปลากดเหลือง *(Mystus nemurus* Cuv. & Val.) เป็นปลาที่มีเนื้อนุ่ม และรสชาติอร่อย ผู้บริโภคจึงเริ่มหันมาบริโภคปลาชนิดนี้กันเพิ่มมากขึ้น ทำให้เกษตรกรเริ่มให้ความสนใจการเลี้ยงปลาชนิดนี้เป็นอาชีพกันมากขึ้น และเนื่องจากเป็นปลาที่จัดว่ามีราคาดี จึงมีแนวโน้มว่าปลากดเหลืองจะเป็นสัตว์เศรษฐกิจที่ทำรายได้ที่ดีให้กับเกษตรกรอีกทางหนึ่ง

การเลี้ยงปลากดเหลืองในปัจจุบันเป็นการเลี้ยงแบบหนาแน่นในบ่อดิน โดยเกษตรกรส่วนใหญ่ใช้อาหารพื้นบ้านที่ประกอบด้วยปลาเป็ดและรำในอัตราส่วนที่แตกต่างกันไปโดยไม่ทราบระดับความต้องการสารอาหารต่างๆ ของปลา นอกจากนั้นการใช้ปลาป่นเป็นส่วนผสมหลักที่ให้โปรตีนนั้นยังมีปัญหาในเรื่องของคุณภาพของปลาเป็ด ปริมาณปลาเป็ดที่ไม่สม่ำเสมอ การขนส่งลำเลียง การเตรียมอาหารที่ต้องทำเกือบทุกวัน และการเก็บรักษา นอกจากนั้นยังก่อให้เกิดปัญหาน้ำเน่าเสีย อันอาจจะเป็นสาเหตุที่ทำให้ปลาอ่อนแอและติดโรคได้ง่าย

การศึกษาทางด้านอาหารและความต้องการสารอาหารต่างๆ ของปลากดเหลือง จึงนับว่ามีความจำเป็นอย่างมากในการผลิตอาหารที่มีคุณภาพสำหรับปลาชนิดนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในปัจจุบันที่กำลังประสพปัญหาเรื่องการขาดแคลน และคุณภาพของปลาเป็ดหรือปลาป่น ซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักที่เป็นแหล่งของโปรตีน ทำให้ผู้ผลิตอาหารมีความจำเป็นที่จะต้องหาวัตถุดิบอื่นมาเป็นแหล่งของโปรตีนแทนปลาเป็ด หรือปลาป่น เช่น กากถั่วเหลือง และวัตถุดิบจากพืชชนิดอื่นๆ (Jantrarotai *et al.*, 1992) ปัญหาของการนำวัตถุดิบดังกล่าวมาใช้ คือ ความสมดุลของกรดอะมิโนที่ด้อยกว่าของปลาป่น ด้วยเหตุนี้การทราบถึงระดับของกรดอะมิโนที่จำเป็นที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลาจะสามารถทำให้การนำวัตถุดิบต่างๆ มาใช้แทนปลาเป็ด ปลาป่น หรือเป็นส่วนประกอบของอาหารในการผลิตอาหารเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

การศึกษาความต้องการกรดอะมิโนของปลาโดยทั่ว ๆ ไปนั้น กระทำโดยการให้ปลากินอาหารชนิดที่มีความบริสุทธิ์สูง ซึ่งอาจจะเป็นชนิด purified หรือ semipurified diet ทั้งนี้เพื่อเป็นการควบคุมสารอาหารอื่นๆ ให้อยู่ในระดับที่คงที่และเพียงพอต่อความต้องการของปลา ยกเว้นกรดอะมิโนที่ต้องการทดสอบ จากนั้นจึงติดตามการเจริญเติบโต การรอดตาย และประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของปลา (Cowey, 1992) จากการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนของปลาชนิดต่างๆ ที่เป็นสัตว์เศรษฐกิจในต่างประเทศด้วยวิธีดังกล่าว พบว่าปลาหลายชนิด เช่น ปลา chinook salmon, rainbow trout, channel catfish, nile tilapia และ ปลา carp มีความต้องการกรดอะมิโนที่จำเป็นด้วยกันทั้งหมด 10 ชนิด คือ arginine, histidine, isoleucine, leucine, lysine, methionine, phenylalanine, threonine, tryptophan, และ valine (Wilson, 1989) หากอาหารที่ใช้เลี้ยงปลาไม่มี

กรดอะมิโนตัวใดตัวหนึ่ง จะมีผลทำให้ปลาไม่มีการเจริญเติบโต (Ketola, 1982) หรือถ้ามีอยู่ในระดับที่น้อยกว่าระดับที่ปลาต้องการ จะทำให้ปลาเจริญเติบโตช้าลง และแสดงอาการของการขาดกรดอะมิโน ดังเช่นที่พบ bilateral cataracts ในปลา rainbow trout ที่ได้รับอาหารที่มีระดับของกรดอะมิโน methionine ต่ำ หรือไม่มีเลย (Rumsey *et al.*, 1983 และ Cowey *et al.*, 1992) และอาการกระดูกคดงอ (scoliosis) ในปลา rainbow trout อันเป็นผลเนื่องมาจากการขาดกรดอะมิโน tryptophan (Kloppel and Post, 1975) และในทางตรงกันข้ามระดับของกรดอะมิโนที่จำเป็นบางชนิดที่มีมากเกินความต้องการก็อาจจะเป็นพิษต่อปลาได้เช่นกัน (Lovell, 1988)

สำหรับระดับความต้องการกรดอะมิโนที่จำเป็นที่เหมาะสมของปลาแต่ละชนิดจะมีความแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิของน้ำ พันธุกรรม ขนาดของปลา และนิสัยการกินอาหารของปลา (Lovell, 1988) ตัวอย่างเช่น ความต้องการกรดอะมิโน histidine ของปลา common carp มีค่าเท่ากับ 2.1% (คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของโปรตีน) ในขณะที่ความต้องการกรดอะมิโนชนิดนี้ของปลา nile tilapia มีค่าเท่ากับ 1.7% (NRC, 1993) นอกจากนั้นยังพบว่า กรดอะมิโนที่จำเป็นและไม่จำเป็นบางชนิด มีผลต่อความต้องการกรดอะมิโนที่จำเป็นที่มีโครงสร้างทางเคมีที่คล้ายคลึงกัน และมีบทบาทในขบวนการ metabolism ในแง่ของการยับยั้ง หรือแข่งขันกันในการทำปฏิกริยา (antagonism) ตัวอย่างเช่น ระดับของกรดอะมิโน cystine ที่มีอยู่ในอาหารจะมีผลต่อความต้องการกรดอะมิโน methionine ของปลา และระดับของกรดอะมิโนในกลุ่ม branched-chain amino acids อันได้แก่ isoleucine, leucine และ valine ที่ไม่สมดุล ก็จะมีผลต่อความต้องการของกรดอะมิโนตัวใดตัวหนึ่งในกลุ่มนี้ เช่น ระดับของ leucine ที่มีมากเกินไปจะมีผลให้ระดับความต้องการของกรดอะมิโน isoleucine มีเพิ่มมากขึ้น

ดังนั้นจะเห็นได้ว่า ปริมาณของกรดอะมิโนที่จำเป็นที่มีอยู่ในอาหารที่ใช้เลี้ยงปลา จึงจะต้องมีอยู่ในระดับที่เพียงพอต่อความต้องการของปลา และมีสัดส่วนที่เหมาะสม เพื่อที่ปลาจะได้มีการเจริญเติบโตที่ดีถึงขนาดที่ตลาดต้องการในระยะเวลาอันสั้น ด้วยเหตุนี้เองจึงได้มีการศึกษาถึงความต้องการกรดอะมิโนทางด้านปริมาณของปลาชนิดต่าง ๆ ที่มีการเลี้ยงและมีความสำคัญเชิงเศรษฐกิจในต่างประเทศ เช่น ปลา chinook salmon, atlantic salmon, channel catfish, common carp และ Japanese eel (Nose and Murai, 1990) สำหรับในประเทศไทยนั้น ไม่เคยปรากฏว่ามีการศึกษาทางด้านนี้ในปลาชนิดต่าง ๆ ที่มีการเลี้ยงกันอยู่ ข้อมูลด้านความต้องการกรดอะมิโนที่จำเป็นของปลากดเหลืองจึงนับว่ามีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการพัฒนาการเลี้ยงสัตว์น้ำชนิดนี้ การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความต้องการกรดอะมิโนที่จำเป็น 5 ชนิด ได้แก่ lysine, arginine, methionine, leucine และ isoleucine

# วิธีการศึกษา

ดำเนินการวิจัยตั้งแต่เดือนตุลาคม 2539 – เดือนกันยายน 2544 โดยได้รับงบประมาณการวิจัย 3 ปี คือ ปีงบประมาณ 2540 2541 และ 2543

ในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนทางด้านปริมาณของปลากดเหลืองนี้ ได้ศึกษาความต้องการกรดอะมิโนที่จำเป็น 5 ชนิด ได้แก่ ไลซีน อาร์จินีน เมทไธโอนีน ลูซีน และไอโซลูซีน รวมถึงการศึกษาปฏิสัมพันธ์ของกรดอะมิโนอาร์จินีน-ไลซีน และสัดส่วนที่เหมาะสมของกรดอะมิโนเมทไธโอนีนและซีสทีน ซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่มีโครงสร้างคล้ายคลึงกันซึ่งมีผลต่อเมแทบอลิซึมของสัตว์น้ำ โดยประกอบด้วยโครงการย่อยจำนวน 8 โครงการ ดังนี้

1. การศึกษาองค์ประกอบกรดอะมิโนของร่างกายปลากดเหลืองและความเหมาะสมของอาหารทดลองในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนของปลากดเหลือง
2. ความต้องการกรดอะมิโนไลซีนของปลากดเหลือง
3. ความต้องการกรดอะมิโนอาร์จินีนของปลากดเหลือง
4. ความสัมพันธ์ของระดับกรดอะมิโนอาร์จินีน-ไลซีนต่อการเจริญเติบโตของปลากดเหลือง
5. ความต้องการกรดอะมิโนเมทไธโอนีนของปลากดเหลือง
6. การศึกษาปริมาณและสัดส่วนที่เหมาะสมของกรดอะมิโนเมทไธโอนีนและซีสทีนในอาหารปลากดเหลือง
7. ความต้องการกรดอะมิโนลูซีนของปลากดเหลือง
8. ความต้องการกรดอะมิโนไอโซลูซีนของปลากดเหลือง

สำหรับรายละเอียดของวิธีการศึกษาและผลการศึกษาซึ่งมีความแตกต่างกันระหว่างการศึกษาได้นำเสนอในโครงการย่อยที่ 1 – 8 ตามลำดับ

# วิจารณ์และสรุปผลการศึกษา

## ความเหมาะสมของอาหารทดลองและความต้องการกรดอะมิโนไลซีน

การศึกษาความต้องการกรดอะมิโนของสัตว์น้ำชนิดต่างๆ นั้น อาหารทดลองที่ใช้มักเป็นอาหารประเภทที่มีความบริสุทธิ์สูง (purified diet) ทั้งนี้เพื่อควบคุมปัจจัยทางด้านสารอาหารที่อาจมีผลต่อการเจริญเติบโต ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการศึกษาเบื้องต้นเพื่อทดสอบสูตรอาหารพื้นฐานที่มีความบริสุทธิ์สูงโดยดัดแปลงจากสูตรอาหารทดลอง NRC (1993) ซึ่งมีเคซีนและเจลาตินเป็นแหล่งโปรตีนคิดเป็นร้อยละ 8.5 ของน้ำหนักอาหารและมีกรดอะมิโนรูปผลึกร้อยละ 26.5 ของน้ำหนักอาหาร โดยมีองค์ประกอบของกรดอะมิโนคล้ายคลึงกับในตัวปลากดเหลือง และเพื่อชะลอการดูดซึมของกรดอะมิโน ได้ทำการเคลือบกรดอะมิโนรูปผลึกด้วยวุ้น ซึ่งจะทำให้อัตราการดูดซึมกรดอะมิโนจากการย่อยเคซีนและเจลาติน และกรดอะมิโนรูปผลึกมีอัตราที่ใกล้เคียงกัน สำหรับแหล่งของไขมันได้แก่น้ำมันข้าวโพดและน้ำมันปลา จากผลการศึกษาพบว่าปลาไม่ยอมรับอาหารทดลอง โดยกินอาหารเพียง 9.72 $\pm$ 0.73 ถึง 13.42 $\pm$ 2.12 กรัม/ตัว ในระยะเวลา 70 วันที่ทำการทดลอง และมีอัตราการเจริญเติบโตต่ำ และไม่แตกต่างกันในระหว่างกลุ่มปลาที่ได้รับอาหารทดลองทุกสูตร ถึงแม้ระดับของไลซีนจะเพิ่มมากขึ้นและมีระดับของกรดอะมิโนที่จำเป็นในปริมาณที่ใกล้เคียงกับองค์ประกอบของตัวปลา (อาหารสูตรที่ 4) นอกจากนั้นปลาที่ได้รับอาหารทดลองมีอัตรารอดค่อนข้างต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Moon และ Gatlin III (1991) ซึ่งพบว่าปลา red drum ที่ได้รับอาหารทดลองที่มีเคซีน เจลาตินและกรดอะมิโนรูปผลึก เป็นแหล่งโปรตีนมีการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารที่ต่ำมาก และสอดคล้องกับการศึกษาของ Robinson และคณะ (1980) ที่พบว่าปลาดุกที่ศึกษานั้นมีอัตราการตายสูงเนื่องจากอาหารทดสอบมีปริมาณกรดอะมิโนรูปผลึกในปริมาณที่สูง และมีโปรตีนธรรมชาติในปริมาณที่ต่ำ เพียงร้อยละ 4.36 ของน้ำหนักอาหาร และปลาที่ได้รับอาหารสูตรทดสอบติดโรคง่าย แสดงให้เห็นว่าอาหารทดสอบที่มีส่วนประกอบดังกล่าวในการศึกษาเบื้องต้น ไม่มีความน่ากิน อันส่งผลต่อการเจริญเติบโตของปลาและอัตราการรอดตายของปลา จึงได้ปรับสูตรอาหารพื้นฐานที่ใช้ทดลองในโครงการย่อยที่ 2 โดยใช้ปลาป่นแทนเคซีน และใช้น้ำมันปลาเป็นแหล่งของไขมันเพียงแหล่งเดียว

จากการศึกษาความต้องการไลซีนในโครงการย่อยที่ 2 ที่ใช้อาหารทดลองที่มีการปรับองค์ประกอบของอาหาร พบว่าปลาที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่ 2 ซึ่งให้การเจริญเติบโตสูงที่สุดมีประสิทธิภาพการใช้อาหาร และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนสูงถึงร้อยละ 79 และ 83 เมื่อเปรียบเทียบกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนเพียงอย่างเดียว ซึ่งเป็นระดับที่สูงกว่าผลการศึกษาของ Berge และคณะ (1997) ที่ศึกษาความต้องการกรดอะมิโนอาร์จินีนโดยใช้อาหารทดลอง

ที่มีสวนประกอบของโปรตีนจากข้าวโพดและกรดอะมิโนรูปผลึกเป็นแหล่งโปรตีนและพบว่าปลาที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่มีระดับอาร์จินีนใกล้เคียงกับสูตรที่มีปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีน มีประสิทธิภาพการใช้อาหาร และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนเพียงร้อยละ 45 และ 65 เมื่อเปรียบเทียบกับปลาที่ได้รับอาหารที่มีปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีน นอกจากนี้ยังมีรายงานการศึกษาถึงการใช้อาหารทดลองชนิดบริสุทธิ์ (purified) และกึ่งบริสุทธิ์ (semipurified) ต่อการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลาที่ต่ำกว่าอาหารที่ประกอบด้วยโปรตีนธรรมชาติอีก เช่นการศึกษาของ Kim และคณะ (1987) Kaushik และคณะ (1988) และ Walton และคณะ (1986) อาหารสูตรพื้นฐานที่มีส่วนผสมของปลาป่นและกรดอะมิโนรูปผลึกเป็นแหล่งโปรตีน และมีน้ำมันปลาเป็นแหล่งไขมันในการศึกษาครั้งนี้จึงนับว่ามีคุณภาพดีและเหมาะสมสำหรับการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนของปลากดเหลือง

สำหรับการประเมินความต้องการกรดอะมิโนไลซีน อาร์จินีน เมทไธโนนีน ลูซีน และไอโซลูซีน ในการศึกษาครั้งนี้ประเมินจากผลการเจริญเติบโตของปลาที่ได้รับอาหารที่มีระดับของกรดอะมิโนที่เพิ่มขึ้น (Dose-response experiments) โดยใช้ non-linear regressions ในการประเมินค่าความต้องการ ซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสมมากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากการตอบสนองของสัตว์น้ำต่อปริมาณของกรดอะมิโนที่เพิ่มขึ้นในอาหารนั้นเป็นการตอบสนองที่ไม่เป็นเส้นตรง (Cowey, 1992; Mercer *et al.*, 1989; Rodehutscord *et al.*, 1997)

ในการศึกษาความต้องการไลซีน (โครงการย่อยที่ 2) พบว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ซึ่งมีระดับไลซีนต่ำสุด (ร้อยละ 2.00 ของโปรตีนในอาหาร) มีการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารต่ำที่สุด และปริมาณไลซีนในอาหารทีเพิ่มขึ้นทำให้การเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารดีขึ้น สอดคล้องกับผลการศึกษาในปลา rainbow trout ปลาลิ้นหมา ปลา red sea bream ปลากะพง และปลา Indian carp (Kim *et al.*, 1992; Forster and Ogata, 1998; Tibaldi and Lanari, 1991; Ravi and Devaraj, 1991) เมื่อนำระดับของไลซีนในอาหารและอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของปลากดเหลืองมาหาความสัมพันธ์ โดยใช้ non-linear regression ที่มี 4 พารามิเตอร์ พบว่าระดับของไลซีนในอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลากดเหลืองมีค่าร้อยละ 3.47 ของโปรตีนในอาหาร (ภาพที่ 1) ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับความต้องการของปลาหลายชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากการศึกษาในระยะหลังๆ เช่น ปลา mossambique tilapia ปลา coho salmon ปลา rainbow trout และปลา Atlantic salmon ซึ่งมีค่าความต้องการร้อยละ 4.1 3.8 3.7 และ 4.0 ของโปรตีนในอาหารตามลำดับ (Jackson and Capper, 1982; Arai and Ogata, 1991 อ้างโดย Forster and Ogata, 1998; Kim *et al.*, 1992; Anderson *et al.*, 1993) ในขณะที่มีค่าต่ำกว่าปลาบางชนิดและปลาชนิดเดียวกันที่มีการศึกษาในระยะแรกๆ ได้แก่ปลา rainbow trout ปลา carp

เป็นที่น่าสังเกตว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 6 และ 7 ซึ่งมีระดับไลซีนสูงถึงร้อยละ 7.71 และ 8.86 ของโปรตีนในอาหาร ซึ่งมีปริมาณมากกว่าระดับที่เหมาะสม 1-2 เท่านั้น มีแนวโน้มว่าปลามีการเจริญเติบโตที่ลดลง และมีการสะสมของไขมันในเนื้อเยื่อสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีไลซีนระดับต่ำกว่า (ตารางที่ 17 และ 19) ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อปลาได้รับอาหารที่มีระดับไลซีนสูงเกินความต้องการจะมีการสลายกรดอะมิโนส่วนเกินสูงขึ้นด้วย ส่วนโครงสร้างคาร์บอนที่เกิดจากการสลายกรดอะมิโนจะถูกนำไปใช้เป็นพลังงาน หรือสังเคราะห์สารประกอบชีวโมเลกุลโดยผ่านวัฏจักรต่างๆ เช่น gluconeogenesis, citric acid cycle และ lipogenesis สะสมในเนื้อเยื่อ (Walton, 1985 อ้างโดย Anderson *et al.*, 1993) ปลาที่ได้รับอาหารที่มีไลซีนสูงเกินความต้องการในปริมาณมาก จึงมีปริมาณไขมันในเนื้อเยื่อสูง ข้อสันนิษฐานนี้สอดคล้องกับผลการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการย่อยของอาหารทดลองสูตรที่ 6 (มีกรดอะมิโนเป็นแหล่งโปรตีนหลัก) และสูตรที่ 8 (มีปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนหลัก) ซึ่งพบว่าอาหารทดลองสูตรที่ 6 มีค่าประสิทธิภาพการย่อยถึง ร้อยละ 94.19 $\pm$ 0.44 สูงกว่าสูตรที่ 8 ซึ่งมีค่าร้อยละ 73.08 $\pm$ 4.69 แสดงให้เห็นว่าปลามีการย่อยและดูดซึมโปรตีนจากอาหารสูตรที่ 6 ได้มากกว่า ทั้งนี้เพราะแหล่งโปรตีนในอาหารสูตรนี้มีกรดอะมิโนสังเคราะห์สูงถึงร้อยละ 28.05 ของน้ำหนักอาหาร หรือคิดเป็นร้อยละ 80.14 ของโปรตีนในอาหาร ปลาสามารถดูดซึมไปใช้โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการย่อย และเนื่องจากอาหารสูตรที่ 6 และ 7 มีระดับกรดอะมิโนไลซีนสูงเกินกว่าระดับที่ต้องการมาก ปริมาณที่ดูดซึมกรดอะมิโนซึ่งมากขึ้นเกินพอทำให้มีการสลายกรดอะมิโนไลซีนส่วนเกินสูงขึ้นและเปลี่ยนเป็นไขมันสะสมในเนื้อเยื่อมากขึ้นด้วย

ในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนของปลานอกจากจะใช้การเจริญเติบโตเป็นดัชนีบ่งชี้ระดับกรดอะมิโนในอาหารที่ปลาต้องการแล้ว ระดับแอมโมเนียในพลาสมาเป็นอีกพารามิเตอร์ที่นำมาใช้เป็นดัชนีบ่งชี้ในการประเมินระดับที่เหมาะสม เนื่องจากปริมาณแอมโมเนียที่ขับออกจากตัวปลาจะขึ้นอยู่กับปริมาณและคุณภาพของโปรตีนที่ปลาได้รับ เมื่อปลาได้รับโปรตีนที่มีความสมดุลของกรดอะมิโนน้อย การใช้โปรตีนที่ย่อยได้เพื่อการสังเคราะห์โปรตีนของร่างกายจะเกิดได้น้อย กรดอะมิโนที่ไม่ได้ใช้จะถูกกำจัดหมู่อะมิโนและขับออกเป็นสารประกอบไนโตรเจนซึ่งจะอยู่ในรูปแอมโมเนียเป็นส่วนใหญ่ (Lovell, 1988) ดังเช่น Barash (1984) พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่มีไลซีนต่ำกว่าความต้องการ จะมีการสังเคราะห์โปรตีนได้น้อย กรดอะมิโนอิสระที่มีมากเกินพอจึงถูกสลาย ทำให้มีระดับแอมโมเนียในพลาสมาสูง และมีการขับแอมโมเนียสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีไลซีนสูงกว่าและเพียงพอกับความต้องการ การศึกษาครั้งนี้ได้ทำการศึกษาระดับของแอมโมเนียในพลาสมาของปลาที่ได้รับอาหารสูตรต่างๆ (ตารางที่ 16) แต่พบว่าระดับของแอมโมเนียในพลาสมาของปลาที่ได้รับอาหารทดลองทุกสูตรไม่มีความแตกต่างกัน ทำให้ค่าแอมโมเนียในพลาสมาที่ศึกษาในครั้งนี้ไม่สามารถนำมาใช้เป็นดัชนีในการประเมินระดับไลซีนในอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของ

ปลาได้ จึงไม่จำเป็นต้องมีการศึกษาระดับแอมโมเนียในพลาสมาของปลาในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนในการทดลองต่อไปของการศึกษาครั้งนี้

**ความต้องการกรดอะมิโนอาร์จินีน**

ในการศึกษาความต้องการอาร์จินีน (โครงการย่อยที่ 3) พบว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ซึ่งระดับของอาร์จินีนต่ำที่สุดคือร้อยละ 1.92 ของโปรตีนในอาหารมีอัตราการรอดตายต่ำที่สุดเพียงร้อยละ 65 และมีการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหารและโปรตีนต่ำที่สุด เมื่อปริมาณของอาร์จินีนสูงขึ้นทำให้การเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารดีขึ้น และมีค่าสูงที่สุดในกลุ่มของปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 ซึ่งมีระดับของอาร์จินีนร้อยละ 4.85 ของโปรตีนในอาหาร เมื่อนำระดับของอาร์จินีนในอาหารและอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะมาหาความสัมพันธ์เพื่อประเมินระดับความต้องการโดยวิธีการเดียวกับโครงการย่อยที่ 2 พบว่าระดับของอาร์จินีนที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลากดเหลืองมีค่าร้อยละ 4.74 ของโปรตีนในอาหาร (ภาพที่ 3) ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับที่ได้มีการศึกษาในปลาหลายชนิดได้แก่ ปลา catla (Ravi and Devaraj, 1991) ปลา Japanese eel (Nose, 1979) ปลา channel catfish (Robinson *et al.*, 1981) ปลา common carp (Nose, 1979) ปลา Gilthead bream (Luquet and Sabaut, 1974) และปลา Atlantic salmon (Berge *et al.*, 1997) ซึ่งมีค่าความต้องการเป็นร้อยละของโปรตีนเท่ากับ 4.8 4.5 4.3 4.3 5.0 และ 5.0-5.1 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามระดับความต้องการที่มีการศึกษาในปลาบางชนิดมีค่าสูงกว่าค่าที่ประเมินจากการศึกษาครั้งนี้ โดยมีค่าสูงถึงร้อยละ 6 ของโปรตีนในอาหารได้แก่ปลา Chinook salmon Chum salmon coho salmon และปลา rainbow trout (Wilson, 1994)

เนื่องจากกรดอะมิโนอาร์จินีนถูกสังเคราะห์ได้จากวัฏจักรของยูเรียดังเช่นที่พบในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ทำให้สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมไม่มีความต้องการกรดอะมิโนชนิดนี้ อย่างไรก็ตามการเสริมอาร์จินีนในสัตว์วัยอ่อนอาจจะมีความจำเป็นทั้งนี้เนื่องจากวัฏจักรของยูเรียอาจจะยังไม่สมบูรณ์ (Scott and Eagleson, 1988) สำหรับในปลานั้นพบว่าความต้องการอาร์จินีนในระดับที่ต่ำดังเช่นที่พบในปลาบางชนิดโดยเฉพาะอย่างยิ่งปลาทะเลนั้นอาจมีส่วนเกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพของเอนไซม์ (enzyme activities) ของวัฏจักรยูเรียที่สามารถสังเคราะห์อาร์จินีนได้ (Lall *et al.*, 1994; Huggins *et al.*, 1969) ดังเช่นที่พบในปลา rainbow trout ซึ่งมี citrulline เป็น substrate ในวัฏจักรยูเรียในการสังเคราะห์อาร์จินีนได้ที่ระดับหนึ่ง และทำให้ระดับความต้องการของอาร์จินีนมีระดับต่ำ (Chiu *et al.*, 1986) สำหรับในปลากดเหลืองนี้ยังไม่มีการศึกษาถึงหน้าที่และประสิทธิภาพของวัฏจักรยูเรียจึงควรได้มีการศึกษาต่อไป

**การเป็นปฏิปักษ์ของกรดอะมิโนอาร์จินีน-ไลซีน** (Arginine-lysine antagonism)

การเป็นปฏิปักษ์ของกรดอะมิโนเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างกรดอะมิโนที่มีโครงสร้างคล้ายกันและมีผลต่อสุขภาพและการเจริญเติบโตของสัตว์ลดลง โดยการเป็นปฏิปักษ์ของอาร์จินีน-ไลซีน ได้มีการศึกษาในหมูและสัตว์ปีก และพบว่าปริมาณไลซีนในอาหารที่เพิ่มมากขึ้นจะมีผลต่อการนำอาร์จินีนไปใช้ประโยชน์ลดลงและทำให้การเจริญเติบโตของสัตว์ลดลง ถึงแม้ว่าปริมาณของอาร์จินีนที่มีในอาหารเพียงพอกับความต้องการ ซึ่งปฏิกิริยาระหว่างกรดอะมิโนไลซีนและอาร์จินีนนี้อาจจะเกิดขึ้นในกระบวนการเมแทบอลิซึม หรือที่กระบวนการดูดซึม หรืออาจจะเกิดได้ทั้ง 2 ขบวนการ (Nesheim, 1968; D'Mello, 1994) เมื่อระดับของอาร์จินีนในอาหารเพิ่มมากขึ้นในปริมาณที่เหมาะสมจะสามารถแก้ปัญหาการเกิดปฏิปักษ์ของกรดอะมิโนทั้ง 2 ชนิดได้ (D'Mello, 1994) สำหรับในปลานั้นปฏิกิริยาการเป็นปฏิปักษ์ของไลซีนและอาร์จินีนยังไม่ชัดเจน เนื่องจากผลการศึกษาในปลาชนิดต่างๆ และปลาชนิดเดียวกันมีความขัดแย้งกัน เช่น Kaushik และ Fauconneau (1984) พบว่าระดับไลซีนในอาหารที่เพิ่มสูงขึ้นมีผลต่อระดับของอาร์จินีนและยูเรียในพลาสมา และการขับถ่ายแอมโมเนียของปลา rainbow trout อันเป็นผลเนื่องมาจากปริมาณของไลซีนที่เพิ่มสูงขึ้นมีผลต่อเมแทบอลิซึมของอาร์จินีน ทำให้การสลายอาร์จินีนลดลง เช่นเดียวกับการศึกษาของ Barash (1984) ในปลาชนิดเดียวกันซึ่งพบว่าปริมาณไลซีนที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้ระดับของอาร์จินีนในพลาสมาลดลง นอกจานนั้นในปลา Atlantic salmon ปริมาณของไลซีนในอาหารที่เพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้ระดับของไลซีนในพลาสมาและกล้ามเนื้อลดลง และปริมาณของอาร์จินีนในอาหารที่เพิ่มสูงขึ้นจะมีผลให้ระดับของไลซีนในพลาสมาลดลง (Berge *et al.*, 1997) จากการศึกษาของ Berge และคณะ (1999) ซึ่งทำการศึกษาในปลาชนิดเดียวกัน พบว่าปริมาณการดูดซึมของกรดอะมิโนจะขึ้นอยู่กับปริมาณของกรดอะมิโนคู่แข่งเนื่องจากกรดอะมิโนทั้ง 2 ชนิดใช้ carrier ร่วมกัน และพบว่าไลซีนมีผลทั้งส่งเสริมและยับยั้งการดูดซึมของอาร์จินีน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณของกรดอะมิโนของทั้ง 2 ชนิด สำหรับอาร์จินีนจะมีผลยับยั้งการดูดซึมไลซีน

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาผลการศึกษาในด้านการเจริญเติบโต Kim และคณะ (1992) ไม่พบปฏิกิริยาการเป็นปฏิปักษ์ระหว่างไลซีนและอาร์จินีนในปลา rainbow trout เช่นเดียวกับการศึกษาในปลา channel catfish (Robinson *et al.*, 1981) และสอดคล้องกับผลการศึกษาในปลากดเหลืองครั้งนี้ ซึ่งปริมาณของทั้งไลซีนและอาร์จินีนที่เพิ่มขึ้นในอาหารไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลากดเหลือง ถึงแม้ว่าระดับของไลซีนและอาร์จินีนในอาหารจะสูงถึงร้อยละ 13.86 และ 15.08 ของโปรตีนในอาหารก็ตาม แต่ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ซึ่งมีอาร์จินีนและไลซีนในระดับที่ปลาต้องการ มีอัตราการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และการใช้ประโยชน์จากสารอาหารต่ำที่สุด ต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2-4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนั้นยังพบว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 มีอัตราการรอดต่ำ และมี

น้ำหนักเฉลี่ยของอาหารที่กินเพียง 13.16 กรัมต่อตัว คิดเป็นร้อยละ 47 ของปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 ซึ่งกินอาหารในปริมาณที่ใกล้เคียงกันกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 และ 4 จากการศึกษาในสัตว์บก เช่น หนู และไก่ พบว่าเมื่ออาหารมีองค์ประกอบของกรดอะมิโนที่ไม่สมดุล สัตว์จะมีการตอบสนองโดยมีการกินอาหารน้อยลง ซึ่งทำให้ได้รับกรดอะมิโนที่จำเป็นน้อยลงและส่งผลให้การเจริญเติบโตลดลง (D'Mello, 1994) แสดงให้เห็นว่าอาหารสูตรที่ 1 ซึ่งมีอาร์จินีนและไลซีนในระดับที่ปลาต้องการนั้น อาจจะไม่มีความสมดุลของกรดอะมิโนชนิดต่างๆ ในอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งความสมดุลของกรดอะมิโนที่จำเป็นและไม่จำเป็น เนื่องจากอาหารสูตรที่ 1 มีกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็นสูงถึง 189.5 กรัม ในปริมาณ 284.73 ของกรดอะมิโนรูปผลึก คิดเป็นร้อยละถึง 66.6 ในขณะที่อาหารสูตรที่ 2 3 และ 4 มีกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็นเพียงร้อยละ 51.51 49.44 และ 39.22 ตามลำดับ ในการศึกษาในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมพบว่า อัตราส่วนระหว่างกรดอะมิโนที่จำเป็นและกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็นที่ให้การเจริญเติบโตที่ดี คือประมาณ 1:1 และอัตราส่วนสามารถเพิ่มขึ้นได้ถึง 4:1 โดยที่จะต้องมีความสมดุลของกรดอะมิโนที่จำเป็น (Mercer *et al.*, 1989) จะเห็นได้ว่าอาหารสูตรที่ 2 3 และ 4 ในการศึกษาครั้งนี้มีอัตราส่วนของกรดอะมิโนที่จำเป็นเป็นอยู่ในช่วงดังกล่าว และให้ผลการเจริญเติบโตที่ดี ความไม่สมดุลระหว่างกรดอะมิโนที่จำเป็นและไม่จำเป็นจึงเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ไม่อยากกินอาหาร ทำให้ได้รับอาหารรวมถึงกรดอะมิโนที่จำเป็นลดน้อยลงถึงแม้ว่าในอาหารจะมีกรดอะมิโนที่จำเป็นในระดับที่เพียงพอต่อความต้องการของปลาก็ตาม ดังนั้นในการศึกษาที่มีกรดอะมิโนรูปผลึกเป็นแหล่งโปรตีนหลักในอาหารจึงจำเป็นต้องให้ความสำคัญกับความสมดุลของกรดอะมิโนที่จำเป็นและไม่จำเป็น

**ความต้องการกรดอะมิโนเมทไธโอนีน และปริมาณและสัดส่วนที่เหมาะสมของกรดอะมิโนเมทไธโอนีนและซีสทีน**

ในการศึกษาความต้องการเมทไธโอนีน (โครงการย่อยที่ 4) พบว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ซึ่งเป็นสูตรที่มีระดับเมทไธโอนีนต่ำที่สุดคือร้อยละ 0.79 ของโปรตีนในอาหาร มีการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหารและโปรตีนต่ำที่สุด โดยมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเพียงร้อยละ 0.08 ต่อวัน เมื่อปริมาณเมทไธโอนีนในอาหารเพิ่มสูงขึ้น มีผลให้การเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลาดีขึ้น โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 – 8 มีการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารในระดับที่ใกล้เคียงกัน แต่ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 6 ซึ่งมีระดับเมทไธโอนีนร้อยละ 3.24 มีการเจริญเติบโตดีที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อนำระดับเมทไธโนนีนในอาหารและอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะมาหาค่าความสัมพันธ์เพื่อประเมินระดับความต้องการโดยวิธีการเดียวกับโครงการย่อยที่ 2 พบว่าระดับเมทไธโอนีนที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลากดเหลืองมีค่าร้อยละ 2.64 ของโปรตีนในอาหาร (ภาพที่ 4) ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับที่ได้มีการศึกษาในปลา Japanese

flounder, *Paralichthys olivaceus* (Alam *et al*., 2001) ปลา Indian major carp, *Labeo rohita* (Murthy and Varghese, 1998) ปลา rainbow trout (Rumsey *et al*., 1983) ปลา yellowtail, *Seriola quingkeradiata* (Ruchimat *et al*., 1997) ปลา hybrid striped bass, *Morone chrysops* (Keembiyehetty and Gatlin, 1993) และปลา Asia sea bass, *Lates calcarifer* ( Coloso *et al*.,1999) ซึ่งมีค่าความต้องการเป็นร้อยละของโปรตีนเท่ากับ 2.98 2.88 2.69 2.56 2.53 และ 2.23 ตามลำดับ และเมื่อคิดเป็นระดับความต้องการกรดอะมิโนที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบซึ่งรวมถึงระดับของซีสทีนในอาหาร พบว่าปลากดเหลืองมีระดับความต้องการร้อยละ 3.05 ของโปรตีนในอาหาร และสอดคล้องกับระดับความต้องการของปลาในกลุ่มที่ได้กล่าวถึงข้างต้น รวมถึงปลา carp, *Cyprinus carpio* (Schwarz *et al*., 1998) และปลา African catfish, *Clarias gariepinus* (Fagbenro *et al*., 1998) ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 2.87–3.23 ของโปรตีนในอาหาร

อาหารที่ขาดเมทไธโอนีนหรือมีระดับที่ต่ำกว่าความต้องการของปลาอาจทำให้เกิดอาการทางพยาธิสภาพได้แก่ การเกิดต้อแก้วตา และสามารถป้องกันได้โดยการเพิ่มระดับของเมทไธโอนีนให้เพียงพอต่อความต้องการ โดยกลไกที่ช่วยในการป้องกันการเกิดต้อแก้วตานี้ คือหมู่ Sulfhydryl ของกรดอะมิโนเมทไธโอนีน ที่มีบทบาทในขบวนการเมทตาโบลิซึมของกำมะถัน โดยปลาที่ได้รับเมทไธโอนีนไม่เพียงพอจะมีระดับของ sulfhydryl ลดน้อยลง นอกจากนั้นยังพบว่าการสังเคราะห์ glutathione ของแก้วตาลดน้อยลงด้วย การเกิดต้อแก้วตาอันเกิดเนื่องมาจากได้รับเมทไธโอนีนไม่เพียงพอนั้น พบในปลา rainbow trout ปลา lake trout ปลา hybrid striped bass และปลา Arctic charr (Poston *et al*., 1977; Keembiyehetty and Gatlin, 1993; Simmons *et al*., 1999) แต่ไม่พบในปลาชนิดอื่น อย่างไรก็ตามอาหารที่มีเมทไธโอนีนในระดับต่ำ ๆ อาจทำให้ปลาไม่กินอาหาร มีประสิทธิภาพการใช้อาหารต่ำ มีการเจริญเติบโตลดลง และมีอัตราการตายสูงดังเช่นที่พบในปลา African catfish ปลา Atlantic salmon ปลา Asian sea bass และปลา hybrid striped bass (Fagbenro *et al*, 1998; Rollin *et al*.,1994; Griffin *et al*., 1994) สำหรับในปลากดเหลืองไม่พบว่ามีอาการต้อแก้วตา แต่ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 และ 2 ซึ่งมีระดับของเมทไธโอนีนร้อยละ 0.79 และ 1.32 ของโปรตีนในอาหารจะไม่อยากกินอาหาร มีประสิทธิภาพการใช้อาหารและการเจริญเติบโตที่ต่ำที่สุด โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเพียงร้อยละ 7.14 $\pm$ 4.52 และมีประสิทธิภาพการใช้อาหารเพียงร้อยละ 0.05$\pm$0.03 ต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 6 ซึ่งมีการเจริญเติบโตดีที่สุด คือมีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นสูงถึงร้อยละ 114.5 $\pm$ 36.88 และประสิทธิภาพการใช้อาหารสูงถึง 0.47 $\pm$ 0.12

เนื่องจากกรดอะมิโนซีสทีนสามารถสังเคราะห์ขึ้นได้ในปลาและสัตว์ชนิดอื่นๆ โดยใช้เมทไธโอนีนเป็นสารประกอบตั้งต้น ดังนั้นถ้าปลาได้รับอาหารที่มีซีสทีนในปริมาณน้อย เมทไธโอนีนส่วน

หนึ่งจะถูกนำไปใช้ในการสังเคราะห์ซีสทีนเพื่อให้เพียงพอในการสังเคราะห์โปรตีน ซึ่งปริมาณและสัดส่วนของซีสทีนที่สามารถทดแทนเมทไธโอนีนมีสัดส่วนที่ต่างกันในปลาชนิดต่างๆ จากผลการศึกษาในปลา channel catfish พบว่าซีสทีนสามารถทดแทนได้ถึงร้อยละ 60 (Harding *et al.*, 1977) สำหรับในปลา rainbow trout ปลา red drum (*Sciaenops ocellatus*) และปลา hybrid striped bass มีค่าที่ใกล้เคียงกันคือร้อยละ 42 40 และ 40 ตามลำดับ ผลจากการศึกษาครั้งนี้ถึงแม้ว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างชุดทดลอง แต่ปลาที่ได้รับอาหารที่มีสัดส่วนของเมทไธโอนีนต่อซีสทีนที่ระดับ 50:50 มีการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และอัตราการรอดตายดีที่สุดใกล้เคียงกับปลาที่ได้รับอาหารที่มีเมทไธโอนีนต่อซีสทีนที่ระดับ 100:0 และ 80:20 ดังนั้นเมื่อพิจารณาในแง่ของประสิทธิภาพการใช้สารอาหารและต้นทุนการผลิตอาหาร ระดับของเมทไธโอนีนต่อซีสทีนที่เหมาะสมคือที่ระดับ 50:50

ในการศึกษาความต้องการเมทไธโอนีนในปลากดเหลืองครั้งนี้ได้ใช้กรดอะมิโนรูปผลึก L-Methionine เป็นแหล่งของกรดอะมิโนชนิดนี้ซึ่งมีองค์ประกอบสำคัญที่ปลาต้องการคือ กำมะถัน อย่างไรก็ตามได้มีการศึกษาถึงแหล่งของกำมะถันที่สามารถนำมาใช้ในอาหารแทน L-Methionine และพบว่า DL-Methionine สามารถใช้ทดแทน L-Methionine ได้ในอาหารสำหรับปลา channel catfish และ D-Methionine สามารถทดแทน L-Methionine ได้ในอาหารสำหรับปลา rainbow trout (Robinson *et al.*, 1978; Kim *et al.*, 1992) ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาถึงสารประกอบที่สามารถนำมาใช้แทน L-Methionine ในอาหารสำหรับปลาชนิดนี้ เพื่อประโยชน์ทางด้านต้นทุนการผลิตอาหาร เช่น DL-Methionine เนื่องจากมีราคาที่ถูกกว่า

**ความต้องการกรดอะมิโนลูซีน**

ในการศึกษาความต้องการลูซีน (โครงการย่อยที่ 7) พบว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ซึ่งเป็นสูตรที่มีระดับของลูซีนต่ำที่สุด คือร้อยละ 1.34 ของโปรตีนในอาหารมีอัตราการเจริญเติบโตต่ำสุดอย่างมีนัยสำคัญเพียงร้อยละ 0.48 $\pm$ 0.04 ต่อวัน และมีประสิทธิภาพการใช้อาหาร ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และโปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ต่ำที่สุดเช่นเดียวกัน เมื่อปริมาณของลูซีนในอาหารเพิ่มสูงขึ้นมีผลทำให้การเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารดีขึ้น และมีค่าสูงที่สุดในกลุ่มของปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 ซึ่งมีระดับของลูซีนร้อยละ 5.09 ของโปรตีนในอาหร โดยมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงถึง ร้อยละ 1.77 $\pm$ 0.20 ต่อวัน เมื่อนำระดับของลูซีนในอาหารและอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะมาหาความสัมพันธ์เพื่อประเมินระดับความต้องการโดยวิธีการเดียวกับโครงการย่อยที่ 2 พบว่าระดับลูซีนที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลากดเหลืองมีค่าร้อยละ 3.78 ของโปรตีนในอาหาร (ภาพที่ 5) ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับปลาชนิดต่างๆ ที่ได้มีการศึกษาส่วนใหญ่ได้แก่ ปลา rainbow trout (Rodehutscord, *et al.*, 1997) ปลา chinook salmon (Chance *et al.*, 1964) ปลา

chum salmon (Akiyama, 1987) ปลา catla (Ravi and Devaraj, 1991) ปลา channel catfish (Wilson *et al.*, 1980) ปลา nile tilapia (Santiago and Lovell, 1988) และปลา carp (Nose, 1979) ซึ่งมีค่าความต้องการเป็นร้อยละของโปรตีนเท่ากับ 4.0 3.9 3.8 3.58 3.5 3.39 3.3 ตามลำดับ โดยค่าความต้องการลูซีนที่มีการศึกษาในปลา Japanese eel, ปลาดุก *Clarias gariepinus* และปลาดุก *Clarias anguillaris* มีระดับที่สูงกว่าในผลการศึกษาข้างต้นโดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 4.8 – 5.3 ของโปรตีนในอาหาร

ลูซีนเป็นกรดอะมิโนที่อยู่ในกลุ่มของกรดอะมิโนที่เรียกว่า "branched-chain amino acid(BCAA)" ประกอบด้วยกรดอะมิโนลูซีน ไอโซลูซีน และวาลีน เนื่องจากโครงสร้างของโมเลกุลที่คล้ายคลึงกัน ปริมาณของกรดอะมิโนที่ไม่เหมาะสมอาจมีผลในแง่การเป็นปฏิปักษ์ระหว่างกรดอะมิโนในกลุ่มนี้และอาจส่งผลต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมและการเจริญเติบโตของสัตว์ได้ ดังเช่นที่มีรายงานในหมู ที่ได้รับอาหารที่มีปริมาณของลูซีนสูงเกินความต้องการ มีผลทำให้ระดับของกรดอะมิโนไอโซลูซีนและวาลีนในพลาสมาลดลง และจากการศึกษาในหนูและไก่ พบว่าระดับของไอโซลูซีนและวาลีนในพลาสมาที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อได้รับอาหารที่มีลูซีนในปริมาณที่สูงเกินความต้องการนั้นอาจเกิดเนื่องจากการ oxidation ของกรดอะมิโนไอโซลูซีนและวาลีนที่เพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณของลูซีนที่มากเกินพอนั้นมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ aminotransferase ที่ดับที่เพิ่มขึ้น นอกจากนั้นปริมาณของกรดอะมิโนในกลุ่ม BCAA ที่มากเกินความต้องการนี้อาจจะทำให้ปริมาณของกรดอะมิโนชนิดต่างๆในสมองลดน้อยลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรดอะมิโนที่เป็นสารตั้งต้นของ neurotransmitters เช่น noradrenaline, dopamine และ 5- hydroxytryptamine ซึ่งกระบวนการเมแทบอลิซึมของกรดอะมิโนในสมองที่เปลี่ยนแปลงไปนี้อาจจะมีผลต่อพฤติกรรมการกินอาหารและปริมาณอาหารที่สัตว์กินลดน้อยลง (D' Mello, 1994)

การศึกษาการเป็นปฏิปักษ์ของกรดอะมิโนในกลุ่ม BCAA มีผลต่อกระบวนการเมแทบอลิซึม และการเจริญเติบโตของปลายังไม่มีความชัดเจน ดังเช่น Choo *et al.*(1991) สันนิษฐานว่าระดับของลูซีนในอาหารที่เกินความต้องการในปริมาณมากนั้นอาจมีผลต่อการเจริญเติบโตและการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของปลา เนื่องจากพบว่าปลา rainbow trout และปลา lake trout มีการเจริญเติบโตลดลงเมื่ออาหารมีลูซีนมากกว่า 92 กรัม และ 50 กรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ ในขณะที่ Rodehutscord และคณะ (1997) ได้ศึกษาในปลาชนิดเดียวกันคือปลา rainbow trout และไม่พบผลในเชิงปฏิปักษ์ดังกล่าวเมื่อปลาได้รับอาหารที่มีลูซีนเกินความต้องการ เช่นเดียวกับการศึกษาครั้งนี้ซึ่งไม่พบความผิดปกติ หรือการเจริญเติบโตของปลาที่ลดลงเมื่อปลาได้รับอาหารสูตรที่ 8 และ 9 ซึ่งมีระดับของลูซีนในอาหารมากเกิน 2 เท่าของระดับความต้องการที่ประเมินได้ (ร้อยละ 3.78 ของโปรตีนในอาหาร) นอกจากนั้นยังไม่พบความแตกต่างขององค์ประกอบทางโภชนาการของซากปลา

ที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3-9 ซึ่งมีระดับของลูซีนในอาหารอยู่ในช่วงร้อยละ 3.20-8.86 ของโปรตีนในอาหาร ปริมาณของลูซีนที่มากเกินความต้องการที่ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหารและองค์ประกอบทางโภชนาการของซากปลานี้อาจเป็นเพราะว่าระดับของกรดอะมิโนไอโซลูซีนและวาลีนในอาหารมีปริมาณที่เพียงพอและเหมาะสม การศึกษาเพิ่มเติมในกรณีที่วัตถุดิบที่นำมาใช้ในการทำอาหารให้แก่ปลาชนิดนี้มีระดับกรดอะมิโนในกลุ่มนี้ไม่เหมาะสมจะเป็นประโยชน์ในการทำอาหารสำหรับปลาชนิดนี้ในอนาคต

**ความต้องการกรดอะมิโนไอโซลูซีน**

ในการศึกษาความต้องการไอโซลูซีน (โครงการย่อยที่ 8) พบว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ซึ่งมีระดับไอโซลูซีนต่ำที่สุดเพียงร้อยละ 0.85 ของโปรตีนในอาหาร มีปริมาณอาหารที่กินต่อตัว อัตราการรอดตาย อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ ประสิทธิภาพการใช้อาหารและการใช้โปรตีนและโปรตีนสะสมต่อวันต่ำที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งอัตราการรอดตายที่ต่ำมากเพียงร้อยละ 57.41 $\pm$ 17.86 เมื่อระดับไอโซลูซีนในอาหารเพิ่มสูงในสูตรที่ 2 ทำให้อัตราการรอดตาย อัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารและโปรตีนของปลาดีขึ้น แต่ก็ยังมีค่าต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3-8 โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 ซึ่งมีระดับของไอโซลูซีนในอาหารร้อยละ 3.00 มีอัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารและโปรตีนสูงที่สุด และเมื่อพิจารณาปริมาณโปรตีนที่สะสมต่อวันพบว่ามีค่าสูงถึง 6.09 $\pm$ 0.02 กรัมโปรตีน/กิโลกรัม/วัน ซึ่งเป็นระดับที่ต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนหลัก (สูตรที่ 9) เพียง 0.61 $\pm$ 0.09 กรัมโปรตีน/กิโลกรัม/วัน เมื่อนำระดับของไอโซลูซีนในอาหารและอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะมาหาความสัมพันธ์เพื่อประเมินระดับความต้องการโดยวิธีการเดียวกับโครงการย่อยที่ 2 พบว่าระดับไอโซลูซีนที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลากดเหลืองมีค่าร้อยละ 2.46 ของโปรตีนในอาหาร ซึ่งเป็นระดับที่ใกล้เคียงมากกับระดับความต้องการของปลาหลายชนิดที่ได้มีการศึกษา ได้แก่ ปลา chinook salmon (Chance *et al.*, 1964) ปลา catla (Ravi and Devaraj, 1991) ปลา chum salmon (Akiyama, 1987) ปลา common carp (Nose, 1979) ปลา channel catfish (Wilson *et al.*, 1980) และปลาดุก *Clarias anguillaris* (Fagbenro, 1998) โดยมีค่าความต้องการเป็นร้อยละของโปรตีนเท่ากับ 2.2 2.3 2.4 2.5 2.6 และ 2.7 ตามลำดับ สำหรับปลา major carp ปลาดุก *C. gairiepinus* และปลา Nile tilapia มีระดับความต้องการที่สูงกว่าเพียงเล็กน้อยคือมีค่าอยู่ในช่วง 3.0-3.1 (Murthy and Varghese, 1996; Fagbenro, 1998; Santiago and Lovell, 1988)

การเป็นปฏิปักษ์ระหว่างกรดอะมิโนในกลุ่ม branched–chain amino acid ได้มีการศึกษาในสัตว์บกหลายชนิด สำหรับในปลานั้นผลของการศึกษาในปลาชนิดต่างๆ ยังมีความแตกต่าง เช่น ไม่พบการเป็นปฏิปักษ์ของกรดอะมิโนในกลุ่มนี้ในปลา common carp และปลา channel catfish

ขณะที่ chance และคณะ (1964) พบว่าความต้องการไอโซลูซีนของปลา chinook salmon เพิ่มสูงขึ้นเมื่อระดับของลูซีนในอาหารเพิ่มมากขึ้น และ Nose (1979) พบว่าปลาไนที่ได้รับอาหารที่มีไอโซลูซีนสูงมีการเจริญเติบโตที่ลดลง นอกจากนั้นยังมีการศึกษาผลของไอโซลูซีนที่ปลาได้รับต่อระดับของไอโซลูซีน ลูซีน และวาลีนในซีรัมและพลาสมาของปลาบางชนิด และพบว่าระดับของไอโซลูซีนที่เสริมในอาหารมีผลต่อระดับของลูซีนและวาลีนทั้งด้านปริมาณและ profile ในซีรัมและพลาสมา ดังเช่นที่พบในปลา channel catfish และปลา rainbow trout และปลา channel catfish ที่ได้รับอาหารที่ขาดกรดอะมิโนไอโซลูซีนมีอัตราตายค่อนข้างสูง (Wilson *et al.*, 1980; Tantikitti and March, 1995) ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ในการศึกษาครั้งนี้มีอัตราการตายค่อนข้างสูง อาจจะเป็นผลเนื่องมาจากการเป็นปฏิปักษ์ของกรดอะมิโนในกลุ่มนี้ เนื่องมาจากอาหารสูตรนี้มีไอโซลูซีนที่ต่ำมากเพียงร้อยละ 0.85 ของโปรตีนในอาหาร ในขณะที่ลูซีนสูงถึงร้อยละ 6.97 ของโปรตีนในอาหาร ซึ่งสูงกว่าระดับความต้องการลูซีนถึงเกือบ 100% ปริมาณของลูซีนในอาหารที่สูงเกินความต้องการในปริมาณมากในขณะที่มีไอโซลูซีนต่ำมากนี้อาจมีผลทำให้มีการ oxidize (สลาย) ไอโซลูซีนเพิ่มมากขึ้น โดยการทำปฏิกิริยาของ aminotransferase และกระบวนการ oxidative decarboxylation ที่ไม่ย้อนกลับ และมีผลให้ไอโซลูซีนในพลาสมาลดน้อยลงไปอีก ดังเช่นที่พบในแกะ (D'Mello, 1994) ซึ่งมีผลให้เกิดความต้องการไอโซลูซีนเพิ่มมากขึ้นและอาจมีผลต่อเมแทบอลิซึมของกรดอะมิโนชนิดอื่นในร่างกายที่สำคัญ เช่นบริเวณสมองที่ควบคุมการกินอาหารของสัตว์ โดยอาจทำให้ไม่อยากกินอาหารและตายในที่สุด

ผลการศึกษาระดับของกรดอะมิโนที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลาชนิดต่างๆ มีความแตกต่างกันเนื่องจากลักษณะนิสัย และธรรมชาติการกินอาหารของปลาชนิดต่างๆ ที่แตกต่างกันโดยปลากินพืชมีแนวโน้มความต้องการกรดอะมิโนชนิดต่างๆ ที่ต่ำกว่าปลากินเนื้อ (NRC, 1993) จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าระดับความต้องการกรดอะมิโนอาร์จินีน เมทไธโอนีน ลูซีน และไอโซลูซีนมีค่าใกล้เคียงมากกับระดับความต้องการของปลา channel catfish ยกเว้นไลซีน ซึ่งมีค่าต่ำกว่าของปลา channel catfish ทั้งนี้อาจเนื่องจากปลาทั้ง 2 ชนิดนี้มีพฤติกรรมการกินอาหารที่คล้ายคลึงกัน

สำหรับในปลาชนิดเดียวกันค่าความต้องการกรดอะมิโนที่ได้จากการศึกษาของนักวิจัยกลุ่มต่างๆ มีความแตกต่างกัน อาจเกิดเนื่องจากปัจจัยหลายประการเช่น ความแตกต่างในเรื่องวัตถุดิบอาหาร เช่น แหล่งโปรตีนในอาหาร ปริมาณกรดอะมิโนในรูปผลึกที่นำมาใช้เป็นแหล่งโปรตีนร่วมกับแหล่งโปรตีนธรรมชาติ ความแตกต่างของแหล่งพลังงานในอาหาร ปลาทดลองที่ใช้ในการศึกษาที่มีขนาด อายุ ชนิด สายพันธุ์ รวมถึงความหนาแน่นที่แตกต่างกัน (Kim *et al.*, 1992) ความแตกต่างในเรื่องเทคนิคที่ใช้ในการคำนวณระดับความต้องการกรดอะมิโน และความแตกต่างของสภาพการทดลองเช่น อุณหภูมิและการไหลเวียนของน้ำ และการให้อาหาร (Forster and Ogata, 1998)

ระดับความต้องการไลซีน อาร์จินีน เมทไธโอนีน ลูซีน และไอโซลูซีนของปลากดเหลืองจากการศึกษาครั้งนี้ซึ่งมีค่าคิดเป็นร้อยละของโปรตีนเท่ากับ 3.47 4.74 2.69 3.78 และ 2.46 มีความแตกต่างจากการประมาณระดับความต้องการกรดอะมิโนในการศึกษาของ Khan และคณะ (1994) ซึ่งมีค่าคิดเป็นร้อยละของโปรตีนเท่ากับ 4.50 3.50 2.20 5.50 และ 3.25 ตามลำดับ ความแตกต่างนี้เกิดเนื่องจากการวางแผนการทดลอง และอาหารที่ใช้ในการศึกษา โดยอาหารที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นอาหารประเภทกึ่งบริสุทธิ์ ซึ่งมีปลาป่น เจลาติน และกรดอะมิโนรูปผลึกเป็นแหล่งโปรตีนหลัก ขณะที่อาหารที่ใช้ในการศึกษาของ Khan และคณะ (1994) เป็นอาหารประเภท Practical diet ที่มีระดับโปรตีนแตกต่างกันตั้งแต่ร้อยละ 27 ถึง 50 โดยมีวัตถุดิบธรรมชาติเป็นแหล่งโปรตีน การปรับระดับโปรตีนกระทำโดยการปรับปริมาณของวัตถุดิบโปรตีนชนิดต่างๆ ทำให้องค์ประกอบของกรดอะมิโนในอาหารแต่ละสูตรแตกต่างกัน

จากการศึกษาเมแทบอลิซึมของกรดอะมิโนในปลาที่ได้รับไลซีนที่ระดับต่างๆ กัน โดยการติดตามระดับของคาร์บอนไดอ๊อกไซด์ ที่เกิดเนื่องจากการสลายกรดอะมิโนพบว่าในปลากลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีไลซีนในระดับต่ำมาก มีการ oxidation ของไลซีนในระดับที่ต่ำมาก แต่ปลาที่ได้รับไลซีนเกินความต้องการมีระดับของการ oxidation ที่สูงมาก ซึ่งสอดคล้องกับสมมุติฐานที่กล่าวว่า เมื่ออาหารมีกรดอะมิโนชนิดใดชนิดหนึ่งที่ต่ำหรือไม่เพียงพอ กรดอะมิโนส่วนใหญ่จะถูกใช้ไปเพื่อการสังเคราะห์โปรตีน และการ oxidation จะเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย ในขณะที่ถ้ามีกรดอะมิโนชนิดใดชนิดหนึ่งอยู่ในระดับที่มากเกินพอสำหรับการสังเคราะห์โปรตีน จะเกิดการ oxidation ของกรดอะมิโนเพิ่มมากขึ้น และโครงสร้างส่วนที่เป็น carbon skeleton จะถูกนำมาใช้ในกระบวนการเมแทบอลิซึมเพื่อสังเคราะห์ไขมัน (Wilson, 1994; Cowey, 1980) ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีไลซีน อาร์จินีน เมทไธโอนีนและไอโซลูซีน สูงกว่าระดับความต้องการจะมีปริมาณของไขมันในซากปลาที่สูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีระดับของกรดอะมิโนที่เหมาะสมหรือระดับที่ต่ำกว่าความต้องการ

ผลจากการศึกษาครั้งนี้นับว่าเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญในการผลิตอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลากดเหลืองและชนิดที่มีพฤติกรรมการกินอาหารที่ใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามเพื่อให้ข้อมูลด้านความต้องการกรดอะมิโนของปลาชนิดนี้มีความสมบูรณ์ควรจะมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงความต้องการกรดอะมิโนวาลีน ซึ่งเป็นกรดอะมิโนในกลุ่ม branched–chain amino acid และการนำระดับความต้องการกรดอะมิโนที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ไปใช้ในการผลิตอาหารโดยใช้วัตถุดิบธรรมชาติที่หาได้ในท้องถิ่น ทั้งนี้เพื่อให้สามารถนำความรู้ที่ได้จากการศึกษาไปประยุกต์ใช้ในการเพาะเลี้ยงปลาชนิดนี้เพื่อได้ผลผลิตที่สูงขึ้นและช่วยลดต้นทุนการผลิตให้ต่ำลง

## โครงการย่อยที่ 1 : การศึกษาองค์ประกอบกรดอะมิโนของร่างกายปลากดเหลืองและความเหมาะสมของอาหารทดลองในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนของปลากดเหลือง (*Mystus numerus* Cuv. & Val.)

Amino acid composition of yellow mystus (*Mystus numerus* Cuv. & Val.) and the preliminary study on utilization of purified diet for the study of amino acid requirement of yellow mystus (*Mystus numerus* Cuv. & Val.)

**อุปกรณ์และวิธีการทดลอง**

**1. การศึกษาองค์ประกอบกรดอะมิโนของร่างกายปลากดเหลือง**

นำปลากดเหลืองน้ำหนักเฉลี่ย 165.47 ± 15.07 กรัม (ช่วง 146.49 ถึง 181.85 กรัม) จำนวน 6 ตัว จากสถานีประมงน้ำจืดจังหวัดสงขลา ฆ่าปลาและเอาส่วนของทางเดินอาหารออก นำปลาแช่แข็ง บดปลาขณะที่ยังแข็ง แล้วทำให้แห้งด้วยวิธีการ lyophilization เมื่อเนื้อปลาแห้งดีแล้วจึงนำมาบดให้ละเอียดอีกครั้ง เก็บไว้ในตู้แช่แข็งเพื่อรอการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (proximate analysis) ตามวิธีการของ AOAC (1985) และองค์ประกอบกรดอะมิโน

**2. ความเหมาะสมของอาหารทดลองในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนของปลากดเหลือง**

2.1 การเตรียมปลาทดลอง

นำปลากดเหลืองน้ำหนักเฉลี่ย 0.5 กรัม จากสถานีประมงน้ำจืด จังหวัดสงขลามาอนุบาลในถังไฟเบอร์กลาส ขนาด 1.2 ลูกบาศก์เมตร โดยใส่น้ำในถัง 0.3 ลูกบาศก์เมตร เมื่อลูกปลามีน้ำหนักประมาณ 4 กรัม ทำการคัดใส่ตู้ทดลองขนาด 40x60x50 เซนติเมตร ปริมาตรน้ำ 80 ลิตร ที่มีการให้อากาศตลอดเวลา จำนวน 30 ตัวต่อตู้ทดลอง จำนวนทั้งหมด 24 ตู้ ปรับสภาพปลาให้คุ้นเคยกับสภาพแวดล้อมและอาหารทดลองเป็นเวลา 17 วัน หลังจากปลาคุ้นเคยกับสภาพแวดล้อมและอาหารทดลองแล้ว ทำการชั่งหาน้ำหนักเริ่มต้นของปลาพร้อมคัดปลาให้เหลือตู้ละ 23 ตัว และเก็บตัวอย่างปลาทดลองเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของปลาเมื่อเริ่มต้นการทดลอง โดยก่อนชั่งปลาทำการสลบปลาด้วย 2-Phenoxyethanol ความเข้มข้น 0.5 มิลลิลิตร ต่อน้ำ 1 ลิตร

2.2 การเตรียมอาหารทดลอง

อาหารทดลองสูตรพื้นฐาน (basal diet) (ตารางที่ 1) มีเคซีนและเจลาติน เป็นแหล่งโปรตีน และเติมกรดอะมิโนรูปผลึก (crystalline L-amino acid) เพื่อให้มีองค์ประกอบของกรดอะมิโนเช่นเดียวกับองค์ประกอบกรดอะมิโนในตัวปลากดเหลือง (ตารางที่ 2) อาหารทดลองที่ใช้ศึกษาความเหมาะสมของอาหารทดลองในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนของปลากดเหลือง มี 7 สูตร

โดยมีปริมาณของกรดอะมิโนไลซีน ในอาหารร้อยละ 0.70 (2.0) 1.10 (3.14) 1.50 (4.29) 1.90 (5.43) 2.30 (6.57) 2.70 (7.71) และ 3.10 (8.86) ของน้ำหนักอาหาร (ร้อยละของโปรตีนในอาหาร) ปรับระดับโปรตีนในอาหารโดยการลดปริมาณกรดอะมิโนกลูตามิคตามปริมาณของไลซีนที่เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 3) สำหรับอาหารสูตรเปรียบเทียบ (reference diet) ใช้ปลาป่นที่เตรียมจากปลากดเหลืองเป็นแหล่งโปรตีน และมีวัสดุอาหารดังแสดงในตารางที่ 4 อาหารทดลองมีระดับโปรตีนร้อยละ 35 ของน้ำหนักอาหารและพลังงาน 4,067 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม เท่ากันทุกสูตร

การเตรียมอาหารทดลอง ทำโดยชั่งวัสดุอาหารตามตารางที่ 1 จากนั้นนำส่วนผสมทั้งหมดยกเว้นกรดอะมิโนรูปผลึกมาผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมอาหาร Hobart สำหรับกรดอะมิโนรูปผลึกนำไปผ่านการเคลือบวุ้นก่อนที่จะผสมในอาหารโดยการต้มผงวุ้นให้ละลายจากนั้นจึงเติมกรดอะมิโนรูปผลึกเมื่ออุณหภูมิของสารละลายผงวุ้นลดลงเหลือ 45 องศาเซลเซียส โดยกวนให้วุ้นเคลือบกรดอะมิโนอย่างทั่วถึง นำกรดอะมิโนที่ผ่านการเคลือบวุ้นผสมลงในอาหารให้เป็นเนื้อเดียวกัน แล้วนำไปอัดเม็ดอาหารให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร ทำให้แห้งโดยวิธี lyophilize นำไปบรรจุในถุงพลาสติกโพลีเอทธีลีน และเก็บในถุงดำเพื่อป้องกันแสง และเก็บที่อุณหภูมิ –20 องศาเซลเซียส

สำหรับอาหารสูตรสูตรเปรียบเทียบ เตรียมโดยชั่งวัสดุอาหารตามตารางที่ 4 จากนั้นผสมวัสดุอาหารให้เป็นเนื้อเดียวกัน และทำการอัดเม็ดอาหารให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร ทำให้แห้งและเก็บรักษาเช่นเดียวกับวิธีการเก็บรักษาอาหารสูตรทดลอง นำอาหารทุกสูตรวิเคราะห์องค์ประกอบเคมี ได้แก่ โปรตีน ไขมัน เถ้า และความชื้น ตามวิธีการของ AOAC (1985)

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของอาหารสูตรพื้นฐานในการศึกษาความเหมาะสมของอาหารทดลอง

| วัสดุอาหาร | กรัม / อาหาร 1 กิโลกรัม |
|---|---|
| เคซีน | 80 |
| เจลาติน | 20 |
| กรดอะมิโนรูปผลึก[1] | 205* |
| กรดกลูตามิค/ไลซีน[2] | 60 |
| แป้งข้าวโพด | 325 |
| น้ำมันข้าวโพด | 50 |
| น้ำมันปลา[3] | 40 |
| แร่ธาตุรวม[4] | 30 |
| วิตามินรวม[5] | 30 |
| วิตามินซี | 1 |
| carboxy methyl cellulose | 30 |
| ผงวุ้น | 5 |
| เซลลูโลส | 124 |

[1]กรดอะมิโนรูปผลึก ของบริษัท Ajinomoto Co., Inc Tokyo โดยปริมาณของกรดอะมิโนแต่ละชนิดในอาหารดังแสดงในตารางที่ 2

[2]ปริมาณกรดกลูตามิค/ไลซีนแตกต่างกันในอาหารแต่ละสูตร ดังแสดงในตารางที่ 3

[3]โอเมก้า ออย ของบริษัทแอควาเทค

[4]แร่ธาตุรวม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม): calcium carbonate (40.04% Ca) 20,701.8; calcium phosphate (39.89% Ca, 18.50% P) 24324.3; sodium chloride 1,800; potassium sulfate (45% K) 9577.8 ; magnesium sulfate (20.20% Mg) 3465.3; ferrous sulfate (36.77% Fe) 298.5; manganous sulfate (36.38% Mn) 14.8; zinc sulfate (40.5% Zn) 175.8; cupric sulfate (39.81% Cu) 19.6; cobalt chloride (45.39% Co) 1.9; potassium iodide (76.45% I) 2.6; sodium selenite (45.65% Se) 17.0 (NRC, 1993)

[5]วิตามินรวม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม): vitamin A ( retinyl acetate) 1.89; vitamin $D_3$ (cholecalciferol) 0.0625; vitamin E (∝-tocopherol) 181.82; vitamin $K_3$ (menadione sodium bisulfate) 10; thiamine (thiamine HCl) 40; riboflavin 40; pyridoxine (pyridoxol HCl) 30; pantothenic acid (calcium-d-pantothenate) 120; nicotinic acid 300; biotin 0.3; folic acid 5.0; $B_{12}$ (cyanocobalamin) 0.2; choline chloride 2,000; inositol 500 (NRC, 1993)

* เป็นส่วนประกอบกรดอะมิโนรูปผลึก 202.63 กรัม และแป้งข้าวโพด 2.37 กรัม

ตารางที่ 2 องค์ประกอบกรดอะมิโนของอาหารสูตรพื้นฐาน (กรัม/อาหาร 1 กิโลกรัม) ในการศึกษาความเหมาะสมของอาหารทดลอง

| กรดอะมิโน | กรดอะมิโนจากเคซีน และเจลาติน[1] | กรดอะมิโนรูปผลึก | องค์ประกอบกรดอะมิโนของตัวปลากดเหลืองที่ระดับโปรตีนร้อยละ 35 |
|---|---|---|---|
| **กรดอะมิโนที่จำเป็น** | | | |
| อาร์จินีน | 4.11 | 15.40 | 19.50 |
| ฮิสทิดีน | 2.21 | 5.40 | 7.60 |
| ไอโซลูซีน | 4.28 | 8.10 | 12.40 |
| ลูซีน | 7.32 | 17.10 | 24.40 |
| ไลซีน | 6.25 | 0.70 | 27.00 |
| เมทไธโอนีน | 2.29 | 7.80 | 10.10 |
| เฟนิลอะลานีน | 3.96 | 6.20 | 9.60 |
| ทรีโอนีน | 3.41 | 11.20 | 14.60 |
| ทริฟโทเฟน | 0.97 | 1.73 | 2.73 |
| วาลีน | 5.79 | 8.10 | 13.90 |
| **รวม** | 40.29 | 81.73 | 141.83 |
| **กรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น** | | | |
| ซีสทีน | | 3.00 | 3.3 |
| ไทโรซีน | | 6.00 | 9.8 |
| ซีรีน | | 17.50 | 13.8 |
| โปรลีน | | 22.30 | 17.8 |
| ไกลซีน | | 22.10 | 28.1 |
| กรดกลูตามิค | | - | 40.2 |
| กรดแอสปาร์ติก | | 30.00 | 23.7 |
| อะลานีน | | 20.00 | 20.7 |
| **รวม** | | 120.90 | 157.4 |

[1]ค่าจากการคำนวณในเคซีน 80 กรัม และเจลาติน 20 กรัม ( ข้อมูลเคซีนและ เจลาติน จาก NRC,1993)

ตารางที่ 3 ปริมาณไลซีนและกรดกลูตามิค (กรัม/อาหาร 1 กิโลกรัม) ในอาหารทดลองในการศึกษาความเหมาะสมของอาหารทดลอง

| สูตรอาหาร | ระดับไลซีนในอาหาร | | ปริมาณไลซีนที่เติม[1] | ปริมาณกรดกลูตามิคที่เติม[2] |
|---|---|---|---|---|
| | ร้อยละของน้ำหนักอาหาร | ร้อยละของโปรตีน | | |
| 1 | 0.70 | 2.00 | - | 60.0 |
| 2 | 1.10 | 3.14 | 4.0 | 56.0 |
| 3 | 1.50 | 4.29 | 8.0 | 52.0 |
| 4 | 1.90 | 5.43 | 12.0 | 48.0 |
| 5 | 2.30 | 6.57 | 16.0 | 44.0 |
| 6 | 2.70 | 7.71 | 20.0 | 40.0 |
| 7 | 3.10 | 8.86 | 24.0 | 36.0 |

[1] L-lysine (L-lysine HCl, 80.04%)

[2] L-glutamic acid

ตารางที่ 4 องค์ประกอบของอาหารสูตรเปรียบเทียบในการศึกษาความเหมาะสมของอาหารทดลอง

| วัสดุอาหาร | กรัม / อาหาร 1 กิโลกรัม |
|---|---|
| ปลาป่นกดเหลือง | 474.5 |
| แป้งข้าวโพด | 325.0 |
| น้ำมันข้าวโพด | 50.0 |
| น้ำมันปลา | 25.2 |
| แร่ธาตุรวม | 30.0 |
| วิตามินรวม | 30.0 |
| วิตามินซี | 1.0 |
| carboxy methyl cellulose | 30.0 |
| เซลลูโลส | 34.3 |

2.3 การทดลองและการเก็บรวบรวมข้อมูล

ทำการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design, CRD) โดยใช้อาหาร 8 สูตรและให้อาหารแต่ละสูตรแก่ปลา 3 ตู้ทดลอง โดยให้ปลากินอาหารจนอิ่มวันละ 2 ครั้งคือ ช่วงเช้า 09.00 น. และช่วงเย็น 16.30 น. เป็นระยะเวลา 70 วัน บันทึกน้ำหนักอาหารเพื่อทราบปริมาณอาหารที่ปลากินในแต่ละวัน ทำการดูดตะกอนและเปลี่ยนถ่ายน้ำ 50 เปอร์เซ็นต์ทุกวัน

เมื่อสิ้นสุดการทดลองทำการชั่งน้ำหนักปลาหลังจากปลากินอาหารมื้อสุดท้าย 6 ชั่วโมง โดยทำให้ปลาสลบด้วยยาสลบ 2-Phenoxyethanol ความเข้มข้น 0.5 มิลลิลิตรต่อน้ำ 1 ลิตร ชั่งปลาทุกตัวและเก็บตัวอย่างปลาในแต่ละตู้ จำนวน 5 ตัวต่อตู้ นำไปแช่แข็ง จากนั้นบดเนื้อปลาให้ละเอียดและทำให้แห้งโดยวิธีการ lyophilization บดให้ละเอียดอีกครั้ง ก่อนนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบเคมี ได้แก่ โปรตีน ไขมัน เถ้า และความชื้น ของซากปลาที่ได้รับอาหารแต่ละสูตร ตามวิธีการของ AOAC (1985)

นำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณค่าต่าง ๆ ได้แก่ อัตราการรอดตาย (survival rate) เปอร์เซ็นต์น้ำหนักปลาที่เพิ่ม (% weight gain) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (specific growth rate) ประสิทธิภาพการใช้อาหาร (feed conversion efficiency) ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (protein efficiency ratio) โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ (productive protein value) (Steffens, 1989) โปรตีนสะสมต่อวัน (daily protein retention) และไขมันสะสมต่อวัน (daily lipid retention) (Berge *et al.*, 1997) ของปลาในแต่ละชุดการทดลอง จากสูตร ดังนี้

$$\text{อัตราการรอดตาย (\%)} = \frac{\text{จำนวนปลาที่เหลือ}}{\text{จำนวนปลาเริ่มต้น}} \times 100$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์น้ำหนักปลาที่เพิ่ม} = \frac{\left[\text{น้ำหนักสุดท้าย (กรัม/ตัว)} - \text{น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม/ตัว)}\right]}{\text{น้ำหนักปลาเริ่มต้น (กรัม/ตัว)}} \times 100$$

$$\text{อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (\%/วัน)} = \frac{\ln W_2 - \ln W_1}{t_2 - t_1} \times 100$$

$$\text{ประสิทธิภาพการใช้อาหาร} = \frac{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม)}}{\text{น้ำหนักอาหารที่ปลากิน (กรัม)}}$$

$$\text{ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน} = \frac{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม)}}{\text{น้ำหนักโปรตีนที่ปลากิน (กรัม)}}$$

$$\text{โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ (\%)} = \frac{\text{โปรตีนของตัวปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักโปรตีนที่ปลากินตลอดการทดลอง (กรัม)}}$$

$$\text{โปรตีนสะสมต่อวัน} = \frac{\text{โปรตีนของตัวปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัมโปรตีน/กิโลกรัม)}}{\text{น้ำหนักปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (กิโลกรัม)x จำนวนวันที่ทำการทดลอง}}$$

$$\text{ไขมันสะสมต่อวัน} = \frac{\text{ไขมันของตัวปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัมไขมัน/กิโลกรัม)}}{\text{น้ำหนักปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (กิโลกรัม)x จำนวนวันที่ทำการทดลอง}}$$

นำค่าที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ CRD และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Tukey HSD Test (Zar,1984)

# ผลการทดลอง

## องค์ประกอบกรดอะมิโนของร่างกายปลากดเหลือง

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของร่างกายปลากดเหลืองขนาดเฉลี่ย 165.47± 15.07 กรัม แสดงในตารางที่ 5 พบว่ามีความชื้นร้อยละ 93.95 ± 0.04 โปรตีนร้อยละ 50.55 ± 0.45 ไขมันร้อยละ 33.75 ± 0.22 และเถ้าร้อยละ 12.92 ± 0.36 ของน้ำหนักแห้ง

เมื่อนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบกรดอะมิโน พบว่ากรดกลูตามิคเป็นกรดอะมิโนที่มีมากโดยมีค่าร้อยละ 12.60 ของโปรตีน ส่วนกรดอะมิโนจำเป็นนั้นพบว่าไลซีนมีปริมาณมากที่สุด คือร้อยละ 7.72 ของโปรตีน สำหรับซีสทีนมีปริมาณน้อย โดยมีค่าร้อยละ 0.86 ของโปรตีน (ตารางที่ 6) ผลจากการวิเคราะห์องค์ประกอบกรดอะมิโนนี้นำไปใช้ในการกำหนดปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นในอาหารทดลองแบบบริสุทธิ์ในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนที่จำเป็นของปลาชนิดนี้

ตารางที่ 5 องค์ประกอบทางเคมีของร่างกายปลากดเหลืองที่นำมาศึกษาองค์ประกอบกรดอะมิโน (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)[1]

| องค์ประกอบ | ร้อยละของน้ำหนักแห้ง |
|---|---|
| ความชื้น | 93.95 ± 0.04 |
| โปรตีน | 50.55 ± 0.45 |
| ไขมัน | 33.75 ± 0.22 |
| เถ้า | 12.92 ± 0.36 |

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 5)

ตารางที่ 6 องค์ประกอบกรดอะมิโนของร่างกายปลากดเหลือง (ร้อยละของโปรตีน)

| กรดอะมิโนจำเป็น | | กรดอะมิโนไม่จำเป็น | |
|---|---|---|---|
| อาร์จินีน | 5.58 | อะลานีน | 6.35 |
| ไอโซลูซีน | 3.54 | กรดแอสปาร์ติก | 9.17 |
| ลูซีน | 6.98 | ซีสทีน | 0.86 |
| ไลซีน | 7.72 | กรดกลูตามิค | 12.60 |
| เมทไธโอนีน | 2.89 | ไกลซีน | 8.18 |
| เฟนิลอะลานีน | 2.93 | โปรลีน | 4.60 |
| ทรีโอนีน | 4.17 | ซีรีน | 4.17 |
| วาลีน | 3.97 | | |

**ความเหมาะสมของอาหารในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนของปลากดเหลือง**

1. **องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง**

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารสูตรต่างๆ แสดงในตารางที่ 7 โดยมีระดับความชื้นร้อยละ 9.71 ±0.04 ถึง 25.11 ±0.43 โปรตีนร้อยละ 33.80 ±0.45 ถึง 36.14 ±0.94 ไขมันร้อยละ 4.05±1.50 ถึง 10.68±0.39 เถ้าร้อยละ 4.34 ±0.06 ถึง 7.33 ±0.30 ของน้ำหนักอาหารแห้ง

ตารางที่ 7 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง (ร้อยละของน้ำหนักอาหารแห้ง) ในการศึกษาความเหมาะสมของอาหารทดลอง[1]

| สูตรอาหาร | ความชื้น | โปรตีน | ไขมัน | เถ้า |
|---|---|---|---|---|
| 1 (2.00)[2] | 19.06 ±0.31 | 33.90 ±0.46 | 7.03 ±0.35 | 5.03 ±0.24 |
| 2 (3.14) | 20.48 ±0.40 | 33.80 ±0.45 | 6.23 ±0.12 | 4.62 ±0.04 |
| 3 (4.29) | 25.11 ±0.43 | 34.81 ±0.26 | 6.72 ±0.89 | 4.34 ±0.06 |
| 4 (5.43) | 19.51 ±0.36 | 33.83 ±0.27 | 7.76 ±0.49 | 4.60 ±0.03 |
| 5 (6.57) | 20.52 ±0.35 | 34.10 ±0.32 | 4.05 ±1.50 | 4.64 ±0.17 |
| 6 (7.71) | 24.44 ±0.19 | 34.62 ±0.37 | 6.60 ±0.11 | 4.37 ±0.18 |
| 7 (8.86) | 21.52 ±0.42 | 33.85 ±0.65 | 6.63 ±0.44 | 4.45 ±0.03 |
| สูตรเปรียบเทียบ | 9.71 ±0.04 | 36.14 ±0.94 | 10.68 ±0.39 | 7.33 ±0.30 |

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3)

[2]ตัวเลขในวงเล็บเป็นระดับไลซีนในอาหาร (ร้อยละของโปรตีน)

**2. การยอมรับอาหาร ความผิดปกติ และพฤติกรรมของปลา**

ปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ถึง 7 ไม่มีความผิดปกติของพยาธิสภาพภายนอกแต่พบว่าปลากินอาหารน้อยมาก และปลามีพฤติกรรมไม่ยอมรับอาหาร โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ถึง 7 มีอัตราการรอดตายต่ำในช่วงร้อยละ 60.87 $\pm$ 6.15 ถึง 80.44 $\pm$ 3.08 และไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p\geq0.05$) แต่ต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรเปรียบเทียบซึ่งมีอัตรารอดตายร้อยละ 100.00 $\pm$ 0.00 อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

**3. การเจริญเติบโต**

น้ำหนักเริ่มต้น น้ำหนักสุดท้าย เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ ของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีไลซีนระดับต่างๆ แสดงในตารางที่ 8 พบว่าปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารสูตรเปรียบเทียบที่มีปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนมีการเจริญเติบโตดีที่สุด โดยมีน้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลองเฉลี่ย 50.52 $\pm$ 3.50 กรัมต่อตัว คิดเป็นน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น 1040.96 $\pm$ 51.75 เปอร์เซ็นต์ และมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะร้อยละ 3.48$\pm$0.07 สำหรับปลาที่ได้รับอาหารสูตรทดลองทุกสูตรมีการเจริญเติบโตที่ช้ากว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรเปรียบเทียบอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

**4. ประสิทธิภาพการใช้อาหาร โปรตีน และไขมัน**

น้ำหนักอาหารที่ปลากิน ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ โปรตีนสะสมต่อวัน และไขมันสะสมต่อวันของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีระดับไลซีนต่างๆ กัน เป็นระยะเวลา 70 วัน แสดงในตารางที่ 9 เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้อาหาร โปรตีน และไขมัน สูตรต่างๆ พบว่า สูตรเปรียบเทียบมีประสิทธิภาพดีที่สุด สูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารทดลองสูตรอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีค่าประสิทธิภาพการใช้อาหาร 0.93 $\pm$ 0.01 ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน 2.85 $\pm$ 0.02 โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ร้อยละ 41.58 $\pm$ 0.19 โปรตีนสะสมต่อวัน 7.28 $\pm$ 0.11 กรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน และไขมันสะสมต่อวัน 4.72 $\pm$ 0.10 กรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน สำหรับอาหารทดลองทุกสูตรไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ตารางที่ 8 น้ำหนักเริ่มต้น น้ำหนักสุดท้าย เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่ม อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และอัตราการรอดตายของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีไลซีนระดับต่างๆ เป็นเวลา 70 วัน ในการศึกษาความเหมาะสมของอาหารทดลอง[1]

| สูตรอาหาร | น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม/ตัว) | น้ำหนักสุดท้าย (กรัม/ตัว) | เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่ม[2] | อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ[3] (ร้อยละ/วัน) | อัตราการรอดตาย[4] (ร้อยละ) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 (2.00)[5] | 4.32 ± 0.08 | 6.94 ± 0.50[b] | 60.64 ± 8.74[b] | 0.68 ± 0.09[b] | 76.09 ± 9.22[b] |
| 2 (3.14) | 4.33 ± 0.03 | 7.59 ± 0.11[b] | 75.17 ± 1.31[b] | 0.81 ± 0.01[b] | 78.27 ± 12.30[b] |
| 3 (4.29) | 4.28 ± 0.01 | 7.73 ± 1.34[b] | 80.66 ± 31.99[b] | 0.83 ± 0.26[b] | 80.44 ± 3.08[b] |
| 4 (5.43) | 4.09 ± 0.01 | 8.23 ± 0.60[b] | 87.58 ± 14.01[b] | 0.89 ± 0.11[b] | 78.27 ± 12.30[b] |
| 5 (6.57) | 4.43 ± 0.03 | 7.54 ± 0.64[b] | 70.05 ± 13.44[b] | 0.77 ± 0.11[b] | 58.70 ± 9.23[b] |
| 6 (7.71) | 4.36 ± 0.01 | 7.39 ± 0.58[b] | 69.68 ± 13.04[b] | 0.75 ± 0.11[b] | 80.44 ± 3.08[b] |
| 7 (8.86) | 4.40 ± 0.14 | 7.57 ± 0.12[b] | 71.98 ± 2.80[b] | 0.78 ± 0.02[b] | 60.87 ± 6.15[b] |
| สูตรเปรียบเทียบ | 4.43 ± 0.11 | 50.52 ± 3.50[a] | 1040.96 ± 51.75[a] | 3.48 ± 0.07[a] | 100.00 ± 0.00[a] |

[1] ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=2) ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \geq 0.05$)

[2] เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่ม = (น้ำหนักสุดท้าย-น้ำหนักเริ่มต้น) x 100/น้ำหนักเริ่มต้น

[3] อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ = $\ln w_2 - \ln w_1 \times 100 / t_2 - t_1$

[4] อัตราการรอดตาย = จำนวนปลาที่เหลือ x 100/จำนวนปลาเริ่มต้น

[5] ตัวเลขในวงเล็บเป็นระดับไลซีนในอาหาร (ร้อยละของโปรตีน)

ตารางที่ 9 น้ำหนักอาหารที่ปลากิน ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ โปรตีนสะสมต่อวัน และไขมันสะสมต่อวัน ของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีไลซีน ระดับต่างๆ เป็นเวลา 70 วัน ในการศึกษาความเหมาะสมของอาหารทดลอง[1]

| สูตรอาหาร | น้ำหนักอาหารที่ปลากิน (กรัม/ตัว) | ประสิทธิภาพการใช้อาหาร[2] | ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน[3] | โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์[4] (%) | โปรตีนสะสมต่อวัน[5] (กรัมโปรตีน/กิโลกรัม/วัน) | ไขมันสะสมต่อวัน[6] (กรัมไขมัน/กิโลกรัม/วัน) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 (2.00)[7] | 9.72 ± 0.73[b] | 0.27 ±0.03[b] | 0.98 ±0.08[b] | 17.28 ±0.72[b] | 4.20 ±0.19[b] | 3.61 ±0.09[b] |
| 2 (3.14) | 11.71 ±0.37[b] | 0.28 ±0.01[b] | 1.03 ±0.05[b] | 7.72 ±0.44[c] | 3.01 ±0.03[c] | 3.15 ±0.02[c] |
| 3 (4.29) | 12.77 ±4.48[b] | 0.27 ±0.01[b] | 1.03 ±0.05[b] | 16.43 ±0.14[b] | 4.66 ±0.27[b] | 3.72 ±0.80[b] |
| 4 (5.43) | 13.42 + 2.12[b] | 0.29 ±0.00[b] | 1.05 ±0.00[b] | 16.33 ±0.04[b] | 4.79 ±0.20[b] | 3.60 ±0.28[b] |
| 5 (6.57) | 12.73 ±1.34[b] | 0.25 ±0.02[b] | 0.90 ±0.08[b] | 14.41 ±0.68[b] | 4.49 ±0.28[b] | 3.13 ±0.09[b] |
| 6 (7.71) | 11.48 ±0.37[b] | 0.26 ±0.04[b] | 1.01 ±0.16[b] | 18.00 ±0.39[b] | 4.84 ±0.00[b] | 3.02 ±0.30[b] |
| 7 (8.86) | 11.23 ±0.46[b] | 0.28 ±0.01[b] | 1.06 ±0.05[b] | 18.21 ±0.12[b] | 4.84 ±0.03[b] | 2.91 ±0.06[b] |
| สูตรเปรียบเทียบ | 49.67 ±3.34[a] | 0.93 ±0.01[a] | 2.85 ±0.02[a] | 41.58 ±0.19[a] | 7.28 ±0.11[a] | 4.72 ±0.10[a] |

[1] ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 2) ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \geq 0.05$)

[2] ประสิทธิภาพการใช้อาหาร = น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม)/น้ำหนักอาหารที่ปลากิน (กรัม)

[3] ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน = น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม)/น้ำหนักโปรตีนที่ปลากิน

[4] โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ = โปรตีนของตัวปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม) x 100 /น้ำหนักโปรตีนที่ปลากินตลอดการทดลอง (กรัม)

[5] โปรตีนสะสมต่อวัน = (โปรตีนของตัวปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัมโปรตีนต่อกิโลกรัม))/(น้ำหนักปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลองxจำนวนวันที่ทำการทดลอง)

[6] ไขมันสะสมต่อวัน = (ไขมันของตัวปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัมไขมันต่อกิโลกรัม))/(น้ำหนักปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลองxจำนวนวันที่ทำการทดลอง)

[7] ตัวเลขในวงเล็บเป็นระดับไลซีนในอาหาร (ร้อยละของโปรตีน)

**5. องค์ประกอบทางเคมีของซากปลากดเหลือง**

องค์ประกอบทางเคมีของซากปลากดเหลืองแสดงในตารางที่ 10 พบว่า ความชื้นของซากปลาที่ได้รับอาหารสูตรเปรียบเทียบมีค่าต่ำสุด เป็นร้อยละ 73.82±0.47 ต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารทดลองสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ส่วนปลาที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่มีไลซีนร้อยละ 3.14 ของโปรตีนในอาหาร มีความชื้นสูงที่สุดเป็นร้อยละ 84.81 ±0.16 สูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ส่วนปลาที่ได้รับอาหารทดลองสูตรอื่นๆ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิต ($p\geq0.05$)

โปรตีนของซากปลาพบว่า ปลาที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่มีไลซีนร้อยละ 2.00, 3.14, 4.29, 5.43 และ 6.57 ของโปรตีนในอาหาร ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และไม่มีความแตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรเปรียบเทียบอย่างมีนัยสำคัญ ($p\geq0.05$) ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีไลซีนร้อยละ 7.71 และ 8.86 ของโปรตีนในอาหารไม่มีความแตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีไลซีนร้อยละ 5.43 และ 6.57 ของโปรตีนในอาหาร แต่มีค่าสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

ไขมันของซากปลาพบว่า ปลาที่ได้รับอาหารสูตรเปรียบเทียบมีไขมันไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารทดลองทุกสูตรการทดลอง ส่วนปลาที่ได้รับอาหารที่มีไลซีนสูงสุดร้อยละ 8.86 ของโปรตีนในอาหาร มีไขมันต่ำที่สุดร้อยละ 31.61 ±0.55 ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งไม่มีความแตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารที่มีไลซีนร้อยละ 6.57 และ 7.71 ของโปรตีนในอาหาร แต่ต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารทดลองสูตรอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

เถ้าของซากปลาพบว่า ปลาที่ได้รับอาหารสูตรเปรียบเทียบมีค่าสูงสุด เป็นร้อยละ 10.61± 0.16 ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งไม่มีความแตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีไลซีนร้อยละ 2.00, 6.57 และ 7.71 ของโปรตีนในอาหาร ($p\geq0.05$) แต่สูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรอื่นๆ ($p<0.05$) ส่วนปริมาณเถ้าของปลาที่ได้รับอาหารสูตรทดลองพบว่า ซากปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีไลซีนร้อยละ 3.14 ของโปรตีนในอาหารมีค่าต่ำที่สุด ซึ่งไม่มีความแตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีไลซีนร้อยละ 4.29, 5.43, 7.71 และ 8.86 ของโปรตีนในอาหาร แต่ต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารทดลองสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

ตารางที่ 10 องค์ประกอบทางเคมีของซากปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีไลซีนระดับต่างๆ (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง) ในการศึกษาความเหมาะสมของอาหารทดลอง[1]

| สูตรอาหาร | ความชื้น | โปรตีน | ไขมัน | เถ้า |
|---|---|---|---|---|
| เริ่มต้น | 85.75 ± 0.04 | 60.92 ± 0.39 | 28.81 ± 0.88 | 10.15 ± 0.30 |
| 1 (2.00)[2] | 77.38 ± 0.06$^{b}$ | 53.32 ± 0.07$^{b}$ | 36.61 ± 2.09$^{ab}$ | 9.73 ± 0.21$^{ab}$ |
| 2 (3.14) | 84.81 ± 0.16$^{a}$ | 53.70 ± 0.80$^{b}$ | 37.46 ± 0.19$^{a}$ | 8.62 ± 0.10$^{c}$ |
| 3 (4.29) | 78.15 ± 2.04$^{b}$ | 54.36 ± 2.96$^{b}$ | 36.30 ± 3.29$^{ab}$ | 8.79 ± 0.91$^{bc}$ |
| 4 (5.43) | 78.45 ± 0.86$^{b}$ | 55.08 ± 1.03$^{ab}$ | 35.40 ± 0.77$^{abc}$ | 8.64 ± 0.76$^{c}$ |
| 5 (6.57) | 79.04 ± 0.08$^{b}$ | 55.87 ± 0.03$^{ab}$ | 33.48 ± 0.31$^{bcd}$ | 9.75 ± 0.26$^{ab}$ |
| 6 (7.71) | 78.37 ± 0.53$^{b}$ | 57.56 ± 1.25$^{a}$ | 32.32 ± 1.50$^{cd}$ | 9.58 ± 0.15$^{abc}$ |
| 7 (8.86) | 78.80 ± 0.54$^{b}$ | 57.69 ± 0.03$^{a}$ | 31.61 ± 0.55$^{d}$ | 9.43 ± 0.11$^{bc}$ |
| สูตรเปรียบเทียบ | 73.82 ± 0.47$^{c}$ | 53.88 ± 0.98$^{b}$ | 34.42 ± 0.59$^{abcd}$ | 10.61 ± 0.16$^{a}$ |

[1] ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=2)

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ($p \geq 0.05$)

[2] ตัวเลขในวงเล็บคือระดับไลซีนในอาหาร (ร้อยละของโปรตีน)

**โครงการย่อยที่ 2 : ความต้องการกรดอะมิโนไลซีนของปลากดเหลือง** (*Mystus nemurus* Cuv. & Val.)

Dietary Lysine Requirement of Yellow Mystus, (*Mystus nemurus* Cuv. & Val.)

## อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

### 1. การศึกษาความต้องการกรดอะมิโนไลซีนของปลากดเหลือง

1.1 การเตรียมปลาทดลอง

วิธีการอนุบาลและปรับสภาพปลาเพื่อการศึกษาเช่นเดียวกับโครงการย่อยที่ 1 โดยใช้ปลาเมื่อเริ่มปรับสภาพ 20 ตัวต่อตู้ทดลอง จำนวนทั้งหมด 24 ตู้ จากนั้นคัดปลาให้เหลือตู้ละ 17 ตัว

1.2 การเตรียมอาหารทดลอง

จากโครงการย่อยที่ 1 พบว่า อาหารทดลองแบบบริสุทธิ์ ซึ่งมีเคซีน เจลาติน เป็นแหล่งโปรตีน และเติมกรดอะมิโนรูปผลึกเพื่อให้มีองค์ประกอบของกรดอะมิโนคล้ายคลึงกับตัวปลานั้น เป็นอาหารที่ไม่มีความน่ากิน ซึ่งมีผลต่อการยอมรับอาหาร พฤติกรรมความก้าวร้าว อัตราการรอดตายที่ต่ำ และการเจริญเติบโตของปลาที่ต่ำ ในการทดลองนี้จึงได้มีการปรับสูตรอาหาร โดยในอาหารทดลองสูตรพื้นฐาน (basal diet) (ตารางที่ 11) ใช้ปลาป่นและเจลาติน เป็นแหล่งโปรตีน และเติมกรดอะมิโนรูปผลึก (crystalline L-amino acid) เพื่อให้มีองค์ประกอบของกรดอะมิโนเช่นเดียวกับองค์ประกอบกรดอะมิโนในตัวปลากดเหลือง (ตารางที่ 12)

อาหารทดลองที่ใช้ศึกษาความต้องการกรดอะมิโนไลซีนของปลากดเหลือง มี 7 สูตร โดยมีปริมาณของกรดอะมิโนไลซีน ในอาหารร้อยละ 0.70 (2.0) 1.10 (3.14) 1.50 (4.29) 1.90 (5.43) 2.30 (6.57) 2.70 (7.71) และ 3.10 (8.86) ของน้ำหนักอาหาร (ร้อยละของโปรตีนในอาหาร) โดยการลดปริมาณกรดอะมิโนกลูตามิคตามปริมาณของไลซีนที่เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 13) สำหรับอาหารสูตรเปรียบเทียบ (reference diet) ใช้ปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีน และมีวัสดุอาหารดังแสดงในตารางที่ 14 อาหารทดลองมีระดับโปรตีนร้อยละ 35 ของน้ำหนักอาหาร และพลังงาน 4067 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม เท่ากันทุกสูตร

การเตรียมอาหารทดลองและอาหารสูตรเปรียบเทียบ มีวิธีการเตรียมและการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและกรดอะมิโนเช่นเดียวกับโครงการย่อยที่ 1

ตารางที่ 11 องค์ประกอบของอาหารสูตรพื้นฐานในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนไลซีนของปลากดเหลือง

| วัสดุอาหาร | กรัม / อาหาร 1 กิโลกรัม |
|---|---|
| ปลาป่น | 132.00 |
| เจลาติน | 20.00 |
| กรดอะมิโนรูปผลึก[1] | 213.33 |
| กรดกลูตามิค/ไลซีน[2] | 67.21 |
| เด็กซตริน[3] | 300.00 |
| น้ำมันปลา[4] | 73.00 |
| แร่ธาตุรวม[5] | 65.00 |
| วิตามินรวม[6] | 20.00 |
| วิตามินซี | 1.00 |
| carboxy methyl cellulose | 30.00 |
| ผงวุ้น | 5.00 |
| เซลลูโลส | 73.45 |

[1]กรดอะมิโนรูปผลึก ของบริษัท Ajinomoto Co., Inc Tokyo โดยปริมาณของกรดอะมิโนแต่ละชนิดในอาหารดังแสดงในตารางที่ 12

[2]ปริมาณกรดกลูตามิค/ไลซีนแตกต่างกันในอาหารแต่ละสูตร ดังแสดงในตารางที่ 13

[3]เด็กซตรินจากข้าวโพด ของบริษัท Sigma

[4]โอเมก้า ออย ของบริษัทแอควาเทค

[5]แร่ธาตุรวม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม): calcium carbonate (40.04% Ca) 20,701.8; calcium phosphate (39.89% Ca, 18.50% P) 24,324.3; sodium chloride 1,800; potassium sulfate (45% K) 9,577.8; magnesium sulfate (20.20% Mg) 3,465.3; ferrous sulfate (36.77% Fe) 298.5; manganous sulfate (36.38% Mn) 14.8; zinc sulfate (40.5% Zn) 175.8; cupric sulfate (39.81% Cu) 19.6; cobalt chloride (45.39% Co) 1.9; potassium iodide (76.45% I) 2.6; sodium selenite (45.65% Se) 17.0 (NRC, 1993)

[6]วิตามินรวม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม): vitamin A (retinyl acetate) 1.89; vitamin $D_3$ (cholecalciferol) 0.0625; vitamin E (∝-tocopherol) 181.82; vitamin $K_3$ (menadione sodium bisulfate) 10; thiamine (thiamine HCl) 40; riboflavin 40; pyridoxine (pyridoxol HCl) 30; pantothenic acid (calcium-d-pantothenate) 120; nicotinic acid 300; biotin 0.3; folic acid 5.0; $B_{12}$ (cyanocobalamin) 0.2; choline chloride 2,000; inositol 500 (NRC, 1993)

Central Library
Prince of Songkla University

ตารางที่ 12 องค์ประกอบกรดอะมิโนของอาหารสูตรพื้นฐาน (กรัม/อาหาร 1 กิโลกรัม) ในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนไลซีนของปลากดเหลือง

| กรดอะมิโน | กรดอะมิโนจากปลาป่น และเจลาติน [1] | กรดอะมิโนรูปผลึก |
|---|---|---|
| **กรดอะมิโนที่จำเป็น** | | |
| อาร์จินีน | 6.17 | 13.33 |
| ฮิสทิดีน | 1.84 | 5.76 |
| ไอโซลูซีน | 2.68 | 9.72 |
| ลูซีน | 5.46 | 18.94 |
| ไลซีน | 5.23 | - |
| เมทไธโอนีน | 2.79 | 9.00 |
| เฟนิลอะลานีน | 5.06 | 6.68 |
| ทรีโอนีน | 3.28 | 11.32 |
| ทริฟโทเฟน | 0.87 | 1.83 |
| วาลีน | 3.15 | 10.75 |
| **รวม** | 36.53 | 87.33 |
| **กรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น** | | |
| ซีสทีน | | 2.0 |
| ไทโรซีน | | 8.5 |
| ซีรีน | | 15.0 |
| โปรลีน | | 19.0 |
| ไกลซีน | | 31.5 |
| กรดกลูตามิค | | - |
| กรดแอสปาร์ติก | | 25.0 |
| อะลานีน | | 25.0 |
| **รวม** | | 126.0 |

[1] ค่าจากการคำนวณในปลาป่น 132 กรัม และเจลาติน 20 กรัม (ข้อมูลปลาป่น 55% จาก ยุทธนา, 2537 และ เจลาติน จาก NRC,1993)

ตารางที่ 13 ปริมาณไลซีนและกรดกลูตามิค (กรัม/อาหาร 1 กิโลกรัม) ในอาหารทดลองในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนไลซีนของปลากดเหลือง

| สูตรอาหาร | ระดับไลซีนในอาหาร | | ปริมาณไลซีนที่เติม[1] | ปริมาณกรดกลูตามิคที่เติม[2] |
|---|---|---|---|---|
| | ร้อยละของน้ำหนักอาหาร | ร้อยละของโปรตีน | | |
| 1 | 0.70 | 2.00 | 2.21 | 65.0 |
| 2 | 1.10 | 3.14 | 7.21 | 60.0 |
| 3 | 1.50 | 4.29 | 12.21 | 55.0 |
| 4 | 1.90 | 5.43 | 17.21 | 50.0 |
| 5 | 2.30 | 6.57 | 22.21 | 45.0 |
| 6 | 2.70 | 7.71 | 27.21 | 40.0 |
| 7 | 3.10 | 8.86 | 32.21 | 35.0 |

[1] L-lysine (L-lysine HCl, 80.04%)

[2] L-glutamic acid

ตารางที่ 14 องค์ประกอบของอาหารสูตรเปรียบเทียบในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนไลซีนของปลากดเหลือง

| วัสดุอาหาร | กรัม / อาหาร 1 กิโลกรัม |
|---|---|
| ปลาป่น | 625 |
| เด็กซตริน | 268 |
| น้ำมันปลา | 6 |
| แร่ธาตุรวม | 65 |
| วิตามินรวม | 20 |
| carboxy methyl cellulose | 15 |
| วิตามินซี | 1 |

1.3 การทดลองและการเก็บรวบรวมข้อมูล

ทำการทดลองแบบสุ่มตลอด โดยใช้อาหาร 8 สูตรและให้อาหารแต่ละสูตรแก่ปลา 3 ตู้ทดลอง โดยให้อาหารปลาจนอิ่มวันละ 2 ครั้ง คือ ช่วงเช้าเวลา 09.00 น. และช่วงเย็นเวลา 16.30 น. เป็นระยะเวลา 90 วัน จัดการการเลี้ยง และเก็บรวบรวมข้อมูลเช่นเดียวกับโครงการย่อยที่ 1

เมื่อสิ้นสุดการทดลองทำการชั่งน้ำหนักโดยมีวิธีการเช่นเดียวกับโครงการย่อยที่ 1 และนำค่าที่ได้จากการคำนวณ ได้แก่ น้ำหนักสุดท้าย อัตราการรอดตาย เปอร์เซ็นต์น้ำหนักปลาที่เพิ่ม อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ โปรตีนสะสมต่อวัน และไขมันสะสมต่อวัน มาวิเคราะห์ทางสถิติ เช่นเดียวกับโครงการย่อยที่ 1

สำหรับการหาระดับของไลซีนที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลากดเหลืองนั้น นำค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะและระดับไลซีนในอาหารมาหาระดับไลซีนที่เหมาะสม โดยใช้ non-linear regression ที่มี 4 พารามิเตอร์ (Cho *et al.*, 1992; Mercer, 1982) โดยใช้สมการ

$$y = \frac{b\,(K_{0.5})^{n} + R_{max}\,(x)^{n}}{(K_{0.5})^{n} + (x)^{n}}$$

เมื่อ y คือ อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ

x คือ ระดับไลซีนในอาหาร

b คือ จุดตัดบนแกน y

$R_{max}$ คือ ค่าที่มากที่สุดของ y

$K_{0.5}$ คือ ค่าของ x ที่จุด ½ ($R_{max}$ + b)

n คือ ค่า kinetic order

1.4 การวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียในพลาสมาของปลา

การเก็บตัวอย่างพลาสมาเพื่อการหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการเก็บพลาสมาของปลาในช่วงที่มีปริมาณแอมโมเนียสูงสุดหลังจากปลากินอาหาร ทำได้โดยการดูดเลือดปลาด้วยหลอดฉีดยาที่เคลือบด้วย heparin ของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารสูตรที่ 6 ซึ่งมีไลซีนร้อยละ 7.71 ของโปรตีนในอาหาร โดยเก็บพลาสมา ในชั่วโมงที่ 3, 6, 9 และ 12 หลังจากปลากินอาหารเสร็จ แล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนียตามวิธีการของ Sigma procedure no.171-UV

จากการวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนียในชั่วโมงต่างๆ หลังจากปลากินอาหาร เมื่อได้ผลในชั่วโมงที่ปลามีปริมาณแอมโมเนียสูงสุดแล้ว ก็ใช้ระยะเวลานี้ทำการเก็บตัวอย่างพลาสมาจาก

ปลาทุกตู้และนำมาวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนียเช่นกัน เพื่อเปรียบเทียบปริมาณแอมโมเนียในพลาสมาของปลาที่ได้รับอาหารที่มีระดับไลซีนต่างๆ กัน และวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ

1.5 การตรวจสอบคุณภาพน้ำ

ในขณะทำการทดลอง มีการตรวจสอบคุณภาพน้ำในตู้ทดลองทุก 2 สัปดาห์ โดยวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมมิเตอร์ วัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ โดยใช้ DO meter ของ YSI model 57 และเก็บตัวอย่างน้ำก่อนถ่ายเปลี่ยนน้ำ โดยใช้ขวดเก็บตัวอย่างน้ำขนาด 1 ลิตร เพื่อนำไปวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยใช้ pH meter ของ Mettler Delta รุ่น 340 วิเคราะห์แอมโมเนีย ตามวิธีการของ Boyd และ Tucker (1992) และไนไตรท์และไนเตรท ตามวิธีการของ APHA (1989)

## 2. การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนในอาหารทดลองของปลากดเหลือง

2.1 การเตรียมปลาทดลอง

คัดปลากดเหลืองน้ำหนักเฉลี่ย 15.32±0.58 กรัม ใส่ตู้ทดลองขนาด 40x60x50 เซนติเมตร ปริมาตรน้ำ 80 ลิตร ตู้ละ 15 ตัว ทั้งหมด 6 ตู้ มีการให้อากาศตลอดเวลาในทุกตู้ ปรับสภาพปลาให้คุ้นเคยกับสภาพแวดล้อมและอาหารทดลองเป็นเวลา 2 สัปดาห์ หลังจากปลาคุ้นเคยกับสภาพแวดล้อมและอาหารทดลองแล้วจึงเริ่มเก็บมูลปลา

2.2 การเตรียมอาหารทดลอง

ใช้อาหารทดลองสูตรที่ 6 (ปริมาณไลซีนร้อยละ 7.71 ของโปรตีนในอาหาร) และสูตรเปรียบเทียบ (มีปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีน) จากการทดลองตอนที่ 1 โดยเติมโครมิคออกไซด์ ($Cr_2O_3$) ร้อยละ 0.5 ของน้ำหนักอาหาร เพื่อเป็นอินดิเคเตอร์และลดปริมาณของเซลลูโลสในอาหาร สำหรับการเตรียมและเก็บรักษาอาหารและการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีกระทำเช่นเดียวกับการทดลองตอนที่ 1

2.3 การทดลองและการรวบรวมข้อมูล

ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอด โดยให้อาหารแต่ละสูตรแก่ปลา 3 ตู้ วันละ 2 ครั้ง คือ ช่วงเช้า 9.00 น. และช่วงเย็น 17.00 น. โดยให้ปลากินจนอิ่ม และบันทึกน้ำหนักอาหารที่ให้เพื่อทราบปริมาณอาหารที่ปลากินในแต่ละวัน ทำการดูดตะกอนและเปลี่ยนถ่ายน้ำ 100 เปอร์เซ็นต์ หลังจากให้อาหารมื้อเย็นทุกวัน

เนื่องจากผลการศึกษาเบื้องต้นพบว่า อาหารเดินทางไปถึงลำไส้หลังจากปลาได้รับอาหาร 12 ชั่วโมง จึงได้เก็บรวบรวมมูลปลาหลังจากให้อาหารมื้อเย็น 15 ชั่วโมง ซึ่งเป็นเวลาที่ปลาขับมูลออกมา โดยวิธีการเก็บรวบรวมในน้ำด้วยการใช้สายพลาสติกขนาดเล็กดูดมูลปลาออกจากตู้ และนำไปแช่แข็ง เก็บรวบรวมมูลเป็นเวลา 30 วัน เพื่อให้ได้ตัวอย่างเพียงพอสำหรับการวิเคราะห์ ทำ

มูลปลาให้แห้งด้วยวิธีการ lyophilize หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน ตามวิธีการของ AOAC (1985) และปริมาณโครมิคออกไซด์ ตามวิธีการของ Furukawa และ Tsukahara (1966)

คำนวณค่าโครมิคออกไซด์ในอาหารและมูลปลา ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนเมื่อใช้โครมิคออกไซด์เป็นอินดิเคเตอร์ โดยใช้สมการ (De Silva and Anderson, 1995)

$$\text{ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีน (\%)} = 100 - \left( \frac{\%\ Cr_2O_3 \text{ ในอาหาร} \times \%\ \text{โปรตีนในมูล}}{\%\ Cr_2O_3 \text{ ในมูล} \times \%\ \text{โปรตีนในอาหาร}} \times 100 \right)$$

นำค่าประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนของอาหารสูตรที่ 6 และสูตรเปรียบเทียบที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์หาความแตกต่างค่าเฉลี่ยโดยใช้ t-test (Zar, 1984)

## ผลการทดลอง

### 1. องค์ประกอบทางเคมีและกรดอะมิโนของอาหารทดลอง

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร แสดงในตารางที่ 15 โดยมีระดับความชื้นร้อยละ 7.11 ± 0.07 ถึง 13.31 ± 0.46 โปรตีนร้อยละ 35.31 ± 0.06 ถึง 35.87 ± 0.25 ไขมันร้อยละ 10.49 ± 0.41 ถึง 11.85 ± 0.08 และเถ้าร้อยละ 10.00 ± 0.03 ถึง 22.42 ± 0.26 ของน้ำหนักอาหารแห้ง ส่วนพลังงานในอาหารมีค่าอยู่ในช่วง 4362.75 ± 11.66 ถึง 4495.96 ± 25.02 แคลอรีต่อน้ำหนักอาหารแห้ง 1 กิโลกรัม

สำหรับผลการวิเคราะห์องค์ประกอบกรดอะมิโนของอาหารสูตรที่ 1 แสดงในตารางที่ 16 โดยมีระดับไลซีนในอาหารร้อยละ 1.78 ของระดับโปรตีนในอาหาร

ตารางที่ 15 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง (ร้อยละของน้ำหนักอาหารแห้ง) ในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนไลซีนของปลากดเหลือง[1]

| สูตรอาหาร | ความชื้น | โปรตีน | ไขมัน | เถ้า | พลังงาน (แคลอรีต่อกิโลกรัม) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 (2.00)[2] | 11.59 ± 0.25 | 35.72 ± 0.21 | 10.78 ± 0.48 | 10.35 ± 0.09 | 4416.80 ± 14.25 |
| 2 (3.14) | 11.08 ± 0.52 | 35.31 ± 0.06 | 10.73 ± 0.33 | 10.14 ± 0.43 | 4444.25 ± 40.33 |
| 3 (4.29) | 12.49 ± 0.27 | 35.39 ± 0.10 | 11.01 ± 0.04 | 10.00 ± 0.03 | 4443.80 ± 13.02 |
| 4 (5.43) | 12.49 ± 0.50 | 35.87 ± 0.25 | 10.78 ± 0.37 | 10.29 ± 0.21 | 4477.08 ± 15.99 |
| 5 (6.57) | 11.75 ± 0.52 | 35.63 ± 0.13 | 11.05 ± 0.29 | 10.17 ± 0.25 | 4441.59 ± 39.42 |
| 6 (7.71) | 13.31 ± 0.46 | 35.51 ± 0.13 | 10.49 ± 0.41 | 10.17 ± 0.22 | 4495.96 ± 25.02 |
| 7 (8.86) | 12.43 ± 0.08 | 35.54 ± 0.37 | 10.93 ± 0.73 | 10.19 ± 0.06 | 4477.32 ± 18.23 |
| สูตรเปรียบเทียบ | 7.11 ± 0.07 | 35.85 ± 0.77 | 11.85 ± 0.08 | 22.42 ± 0.26 | 4362.75 ± 11.66 |

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3)

[2]ตัวเลขในวงเล็บเป็นระดับไลซีนในอาหาร (ร้อยละของโปรตีน)

ตารางที่ 16 องค์ประกอบกรดอะมิโนของอาหารทดลอง (ร้อยละของโปรตีน) ในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนไลซีนของปลากดเหลือง

| กรดอะมิโน | สูตรอาหาร |
|---|---|
| | 1(2.00)[1] |
| อาร์จินีน | 4.97 |
| ฮีสทิดีน | 1.85 |
| ไอโซลูซีน | 3.25 |
| ลูซีน | 6.31 |
| ไลซีน | 1.78 |
| เมทไธโอนีน | 2.90 |
| ซีสทีน | 0.86 |
| เฟนิลอะลานีน | 2.80 |
| ทรีโอนีน | 3.88 |
| ทริฟโตเฟน | nd |
| วาลีน | 3.73 |

[1]ตัวเลขในวงเล็บคือระดับไลซีนในอาหาร (ร้อยละของโปรตีน)

n.d.= not detected

## 2. ความผิดปกติและพฤติกรรมของปลากดเหลืองที่ศึกษาความต้องการไลซีน

ปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีไลซีนระดับต่าง ๆ ไม่มีความผิดปกติของพยาธิสภาพภายนอกแต่ปลาที่ได้รับอาหารที่มีไลซีนต่ำสุดคือร้อยละ 3.37 ของโปรตีนในอาหาร จะกินอาหารน้อยกว่าสูตรอื่น ๆ และมีอัตราการรอดตายต่ำเพียง 49.02 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 17)

## 3. การเจริญเติบโต

น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง เปอร์เซ็นต์น้ำหนักปลาที่เพิ่ม และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ ของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารทั้ง 8 สูตร เป็นระยะเวลา 90 วัน แสดงในตารางที่ 17 โดยน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวเมื่อเริ่มทดลองของปลาที่ได้รับอาหารแต่ละสูตรไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ปลาที่ได้รับอาหารสูตรเปรียบเทียบมีน้ำหนักเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง 70.82 $\pm$ 12.89 กรัมต่อตัว เปอร์เซ็นต์น้ำหนักปลาที่เพิ่มมีค่าร้อยละ 662.85 $\pm$ 132.42 และอัตรา

การเจริญเติบโตจำเพาะ ร้อยละ 2.22 ± 0.21 ต่อวัน ซึ่งมีความแตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ถึง 7 อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

สำหรับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ถึง 7 นั้นน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวเมื่อสิ้นสุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p\geq0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 15.85 ± 1.53 ถึง 27.29 ± 6.50 กรัมต่อตัว ปลาที่ได้รับอาหารที่มีไลซีน ร้อยละ 2.00 ของโปรตีนในอาหาร มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มต่ำสุดและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) กับปลาที่ได้รับอาหารที่มีไลซีนร้อยละ 3.14, 5.43, 6.57, 7.71 และ 8.86 ของโปรตีนในอาหาร แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับปลาที่ได้รับอาหารที่มีไลซีนร้อยละ 4.29 ของโปรตีนในอาหาร ($p\geq0.05$) นอกจากนี้ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีไลซีนร้อยละ 2.00 ของโปรตีนในอาหาร ยังมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะต่ำกว่าปลาที่ได้รับไลซีนในระดับที่สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

เมื่อนำอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ มาหาความสัมพันธ์กับระดับไลซีนในอาหาร โดยใช้ non-linear regression ที่มี 4 พารามิเตอร์ (Cho *et al.*, 1992; Mercer, 1982) พบว่าระดับไลซีนในอาหารที่ให้ค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะคิดเป็นร้อยละ 95 ของอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 3.53 ของโปรตีนในอาหาร (ภาพที่ 1) ซึ่งค่าดังกล่าวถือว่าเป็นระดับไลซีนในอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลากดเหลือง

**4. ประสิทธิภาพการใช้อาหาร โปรตีน และไขมัน**

ข้อมูลในตารางที่ 18 แสดงน้ำหนักอาหารที่ปลากิน ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ โปรตีนสะสมต่อวัน และไขมันสะสมต่อวันของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีไลซีนระดับต่าง ๆ เป็นเวลา 90 วัน เมื่อพิจารณาจากน้ำหนักอาหารที่ปลากิน พบว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ถึง 7 กินอาหารไม่แตกต่างกัน ($p\geq0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 16.78 ± 2.96 ถึง 29.98 ± 8.39 กรัมต่อตัว ซึ่งเป็นค่าที่น้อยกว่าปลาที่กินอาหารสูตรเปรียบเทียบอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรเปรียบเทียบกินอาหารมากกว่าสูตรที่ 1 ถึง 7 ประมาณ 2.67 ถึง 4.77 เท่า

ปลาที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่มีไลซีนร้อยละ 3.14 และ 5.43 ของโปรตีนในอาหาร มีค่าประสิทธิภาพการใช้อาหารไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p\geq0.05$) กับปลาที่ได้รับอาหารสูตรเปรียบเทียบ โดยมีค่า 0.61± 0.04 และ 0.61± 0.02 ตามลำดับ ส่วนปลาที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่มีไลซีนร้อยละ 2.00, 4.29, 6.57, 7.71 และ 8.86 ของโปรตีนในอาหาร มีค่าประสิทธิภาพการใช้อาหารอยู่ในช่วง 0.43 ± 0.02 ถึง 0.60 ± 0.06 ซึ่งมีความแตกต่างทางสถิติ ($p<0.05$) กับปลาที่ได้รับอาหารสูตรเปรียบเทียบซึ่งมีค่า 0.77 ± 0.14

พิจารณาค่าประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ถึง 7 พบว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีไลซีนร้อยละ 2.00 ของโปรตีนในอาหาร ซึ่งเป็นระดับไลซีนต่ำสุดนั้นมีค่าประสิทธิภาพการใช้โปรตีนแตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารที่มีระดับไลซีนร้อยละ 3.14, 5.43 และ 8.86 ของโปรตีนในอาหาร อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) แต่ไม่มีความแตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีไลซีนร้อยละ 4.29, 6.57 และ 7.71 ของโปรตีนในอาหาร ($p\geq0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรเปรียบเทียบ สามารถแบ่งปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ถึง 7 ออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีประสิทธิภาพการใช้โปรตีนไม่แตกต่างกับสูตรเปรียบเทียบ ซึ่งได้แก่ ปลาที่ได้รับอาหารที่มีไลซีนร้อยละ 3.14, 5.43, 6.57, 7.71 และ 8.86 ของโปรตีนในอาหาร สำหรับปลาที่ได้รับอาหารที่มีไลซีนร้อยละ 2.00 และ 4.29 ของโปรตีนในอาหาร มีประสิทธิภาพการใช้โปรตีนต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรเปรียบเทียบอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

เมื่อพิจารณาจากค่าโปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์และโปรตีนสะสมต่อวันพบว่า ปลาที่ได้รับอาหารสูตรเปรียบเทียบมีทั้ง 2 ค่านี้สูงสุดและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) กับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ถึง 7 เมื่อเปรียบเทียบกลุ่มปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ถึง 7 พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่มีไลซีนสูงสุดคือร้อยละ 8.86 ของโปรตีนในอาหาร มีค่าโปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) กับปลาที่ได้รับอาหารที่มีไลซีนร้อยละ 2.00 ของโปรตีนในอาหาร ซึ่งเป็นระดับไลซีนต่ำสุดแต่ไม่มีความแตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารที่มีไลซีนระดับที่สูงกว่า ($p\geq0.05$) เมื่อพิจารณาค่าโปรตีนสะสมต่อวันพบว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีไลซีนต่ำสุดมีค่าโปรตีนสะสมต่อวันต่ำสุดและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) กับปลาที่ได้รับอาหารที่มีไลซีนในระดับที่สูงกว่า

การสะสมไขมันต่อวันของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารสูตรเปรียบเทียบมีค่าสูงสุดคือ $3.60\pm0.53$ กรัมไขมันต่อกิโลกรัมต่อวัน และมีความแตกต่างกับปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีระดับไลซีนร้อยละ 2.00, 4.29 และ 5.43 ของโปรตีนในอาหารอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) แต่ไม่มีความแตกต่างกับปลาที่ได้รับไลซีนร้อยละ 3.14, 6.57, 7.71 และ 8.86 ของโปรตีนในอาหาร ($p\geq0.05$) เมื่อเปรียบเทียบการสะสมไขมันต่อวันของปลาที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่ 1-7 พบว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีระดับไลซีนต่ำสุดคือร้อยละ 2.00 มีการสะสมไขมันต่อวันในตัวต่ำที่สุด เพียง $2.19\pm0.31$ กรัมไขมันต่อกิโลกรัมต่อวัน และมีความแตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารที่มีระดับไลซีนร้อยละ 6.57, 7.71 และ 8.86 ของโปรตีนในอาหารอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับปลาที่ได้รับอาหารที่มีไลซีนร้อยละ 3.14, 4.29 และ 5.43 ของโปรตีนในอาหาร สำหรับปลาที่ได้รับอาหารที่มีไลซีนสูงกว่าร้อยละ 2.00 ของโปรตีนในอาหารมีการสะสมไขมันต่อวันในเนื้อเยื่อไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\geq0.05$)

ตารางที่ 17 น้ำหนักเริ่มต้น น้ำหนักสุดท้าย เปอร์เซ็นต์น้ำหนักปลาที่เพิ่ม อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และอัตราการรอดตายของปลากดเหลือง ที่ได้รับอาหารที่มีไลซีนระดับต่าง ๆ เป็นเวลา 90 วัน[1]

| สูตรอาหาร | น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม/ตัว) | น้ำหนักสุดท้าย (กรัม/ตัว) | เปอร์เซ็นต์น้ำหนักปลาที่เพิ่ม[2] | อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ[3] (ร้อยละ/วัน) | อัตราการรอดตาย[4] (ร้อยละ) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 (2.00)[5] | $8.73 \pm 0.48^{a}$ | $15.85 \pm 1.53^{b}$ | $81.31 \pm 9.41^{c}$ | $0.62 \pm 0.09^{c}$ | $49.02 \pm 8.99^{a}$ |
| 2 (3.14) | $8.87 \pm 0.70^{a}$ | $27.29 \pm 6.50^{b}$ | $205.26 \pm 54.75^{b}$ | $1.21 \pm 0.21^{b}$ | $64.71 \pm 17.65^{a}$ |
| 3 (4.29) | $8.72 \pm 0.66^{a}$ | $21.89 \pm 1.10^{b}$ | $151.39 \pm 0.28^{bc}$ | $1.01 \pm 0.02^{b}$ | $47.06 \pm 11.76^{a}$ |
| 4 (5.43) | $8.66 \pm 0.65^{a}$ | $25.67 \pm 4.24^{b}$ | $195.31 \pm 27.17^{b}$ | $1.19 \pm 0.10^{b}$ | $56.86 \pm 8.99^{a}$ |
| 5 (6.57) | $8.75 \pm 0.58^{a}$ | $25.40 \pm 2.63^{b}$ | $190.29 \pm 20.59^{b}$ | $1.17 \pm 0.07^{b}$ | $64.71 \pm 10.19^{a}$ |
| 6 (7.71) | $8.52 \pm 0.24^{a}$ | $23.84 \pm 2.17^{b}$ | $179.76 \pm 20.49^{b}$ | $1.13 \pm 0.08^{b}$ | $66.67 \pm 17.97^{a}$ |
| 7 (8.86) | $8.38 \pm 0.52^{a}$ | $22.85 \pm 2.20^{b}$ | $172.50 \pm 12.49^{b}$ | $1.10 \pm 0.05^{b}$ | $64.71 \pm 21.21^{a}$ |
| สูตรเปรียบเทียบ | $9.27 \pm 0.09^{a}$ | $70.82 \pm 12.89^{a}$ | $662.85 \pm 132.42^{a}$ | $2.22 \pm 0.21^{a}$ | $60.78 \pm 38.27^{a}$ |

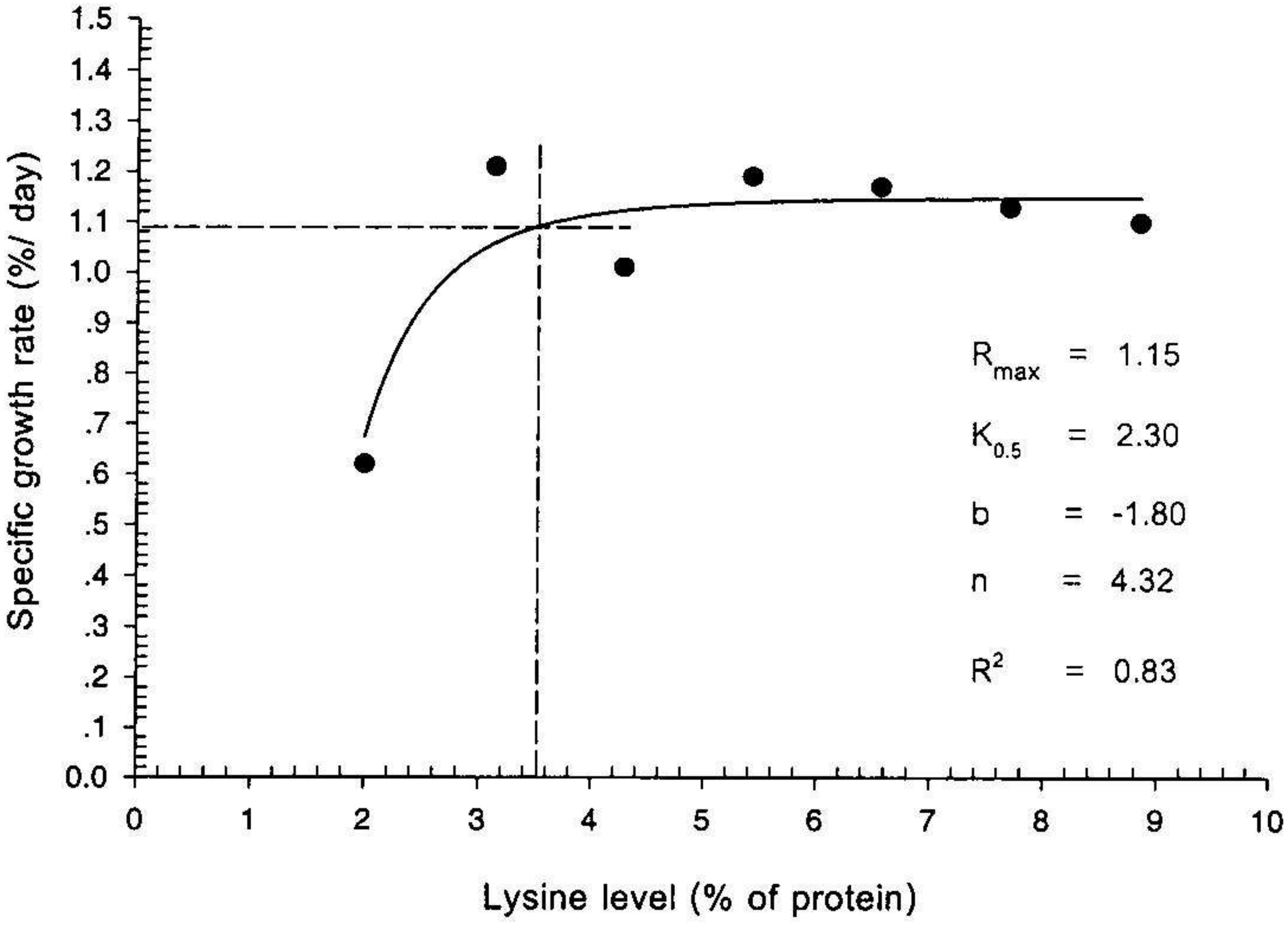
[1] ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \geq 0.05$)

[2] เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่ม = (น้ำหนักสุดท้าย (กรัม/ตัว) – น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม/ตัว)) x100/น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม/ตัว)

[3] อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ = $\ln w_2 - \ln w_1 \times 100 / t_2 - t_1$

[4] อัตราการรอดตาย = จำนวนปลาที่เหลือ x 100/จำนวนปลาเริ่มต้น

[5] ตัวเลขในวงเล็บเป็นระดับไลซีนในอาหาร (ร้อยละของโปรตีน)




**ภาพที่ 1** ความสัมพันธ์ระหว่างระดับไลซีนในอาหารกับการเจริญเติบโตจำเพาะของปลากดเหลือง จากการวิเคราะห์โดยใช้ non-linear regression โดยที่

y คือ อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ

x คือ ระดับไลซีนในอาหาร

b คือ จุดตัดบนแกน y

$K_{0.5}$ คือ ค่าของ x ที่จุด ½ ($R_{max}$ + b)

n คือ ค่า kinetic order

$R_{max}$ คือ อัตราการเจริญจำเพาะมากที่สุด

เส้นประตัดแกน y คือ ค่าที่ร้อยละ 95 ของอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด

เส้นประตัดแกน x คือ ระดับไลซีนในอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลากดเหลืองมีค่าร้อยละ 3.53 ของโปรตีนในอาหาร

ตารางที่ 18 น้ำหนักอาหารที่ปลากิน ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ โปรตีนสะสมต่อวัน และไขมันสะสมต่อวัน ของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีไลซีนระดับต่าง ๆ เป็นเวลา 90 วัน[1]

| สูตรอาหาร | น้ำหนักอาหารที่ปลากิน (กรัม/ตัว) | ประสิทธิภาพการใช้อาหาร[2] | ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน[3] | โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์[4] (%) | โปรตีนสะสมต่อวัน[5] (กรัมโปรตีน/กิโลกรัม/วัน) | ไขมันสะสมต่อวัน[6] (กรัมไขมัน/กิโลกรัม/วัน) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 (2.00)[7] | 16.78 ± 2.96$^{b}$ | 0.43 ± 0.02$^{c}$ | 1.35 ± 0.05$^{c}$ | 18.76 ± 2.52$^{c}$ | 2.67 ± 0.39$^{c}$ | 2.19 ± 0.31$^{c}$ |
| 2 (3.14) | 29.98 ± 8.39$^{b}$ | 0.61 ± 0.04$^{ab}$ | 1.94 ± 0.13$^{ab}$ | 25.36 ± 0.63$^{bc}$ | 3.80 ± 0.31$^{b}$ | 2.70 ± 0.21$^{abc}$ |
| 3 (4.29) | 24.31 ± 0.62$^{b}$ | 0.54 ± 0.01$^{bc}$ | 1.75 ± 0.02$^{bc}$ | 26.42 ± 0.36$^{bc}$ | 3.76 ± 0.07$^{b}$ | 2.55 ± 0.20$^{bc}$ |
| 4 (5.43) | 27.73 ± 5.64$^{b}$ | 0.61 ± 0.02$^{ab}$ | 1.95 ± 0.06$^{ab}$ | 26.61 ± 2.39$^{bc}$ | 3.93 ± 0.14$^{b}$ | 2.62 ± 0.35$^{bc}$ |
| 5 (6.57) | 28.26 ± 2.04$^{b}$ | 0.59 ± 0.04$^{bc}$ | 1.87 ± 0.12$^{abc}$ | 25.13 ± 2.67$^{bc}$ | 3.74 ± 0.32$^{b}$ | 3.22 ± 0.32$^{ab}$ |
| 6 (7.71) | 26.57 ± 2.87$^{b}$ | 0.58 ± 0.02$^{bc}$ | 1.87 ± 0.08$^{abc}$ | 26.99 ± 1.77$^{bc}$ | 3.58 ± 0.29$^{b}$ | 3.17 ± 0.36$^{ab}$ |
| 7 (8.86) | 24.24 ± 2.33$^{b}$ | 0.60 ± 0.06$^{b}$ | 1.92 ± 0.20$^{ab}$ | 27.29 ± 2.39$^{b}$ | 3.59 ± 0.06$^{b}$ | 3.18 ± 0.36$^{ab}$ |
| สูตรเปรียบเทียบ | 80.11 ± 17.94$^{a}$ | 0.77 ± 0.14$^{a}$ | 2.33 ± 0.44$^{a}$ | 36.63 ± 6.35$^{a}$ | 4.98 ± 0.28$^{a}$ | 3.60 ± 0.53$^{a}$ |

[1] ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \geq 0.05$)

[2] ประสิทธิภาพการใช้อาหาร = น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม)/น้ำหนักอาหารที่ปลากิน (กรัม)

[3] ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน = น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม)/น้ำหนักโปรตีนที่ปลากิน

[4] โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ = โปรตีนของตัวปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม) x 100 /น้ำหนักโปรตีนที่ปลากินตลอดการทดลอง (กรัม)

[5] โปรตีนสะสมต่อวัน = (โปรตีนของตัวปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัมโปรตีนต่อกิโลกรัม))/(น้ำหนักปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลองxจำนวนวันที่ทำการทดลอง)

[6] ไขมันสะสมต่อวัน = (ไขมันของตัวปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัมไขมันต่อกิโลกรัม))/(น้ำหนักปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลองxจำนวนวันที่ทำการทดลอง)

[7] ตัวเลขในวงเล็บเป็นระดับไลซีนในอาหาร (ร้อยละของโปรตีน)

## 5. องค์ประกอบทางเคมีของซากปลากดเหลือง

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของซากปลากดเหลืองเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (ตารางที่ 19) พบว่า ระดับไลซีนในอาหารเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความชื้นในร่างกายปลาลดลง แต่ไม่มีความแตกต่างกันในกลุ่มของปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ถึง 7 ($p \geq 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 72.34 $\pm$ 0.34 ถึง 75.35 $\pm$0.80 สำหรับปลาที่ได้รับอาหารสูตรเปรียบเทียบมีความชื้นในร่างกายร้อยละ 69.91 $\pm$1.51 ซึ่งเป็นค่าต่ำสุดและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) กับปลาที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่มีระดับไลซีนในอาหารร้อยละ 2.00 ถึง 6.57 ของโปรตีนในอาหาร แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับปลาที่ได้รับอาหารที่มีระดับไลซีนร้อยละ 7.71 และ 8.86 ของโปรตีนในอาหาร สำหรับปริมาณโปรตีนและไขมันในร่างกายของปลาที่ได้รับอาหารทุกสูตรไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \geq 0.05$) แต่มีแนวโน้มว่าปริมาณไขมันในร่างกายสูงขึ้นเมื่อปลาได้รับอาหารซึ่งมีไลซีนมากกว่าร้อยละ 6.57 ของโปรตีนในอาหาร ปลาที่ได้รับอาหารที่มีไลซีนร้อยละ 2.00 ของโปรตีนในอาหาร มีเถ้าสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรอื่น แต่ไม่มีความแตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารที่มีระดับไลซีนร้อยละ 3.14 และ 4.29 ของโปรตีนในอาหาร ($p \geq 0.05$) แต่มีความแตกต่างทางสถิติกับปลาที่ได้รับอาหารที่มีระดับไลซีนที่สูงกว่ารวมทั้งปลาที่ได้รับอาหารสูตรเปรียบเทียบ ($p<0.05$)

ตารางที่ 19 องค์ประกอบทางเคมีของซากปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีไลซีนระดับต่างๆ (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)[1]

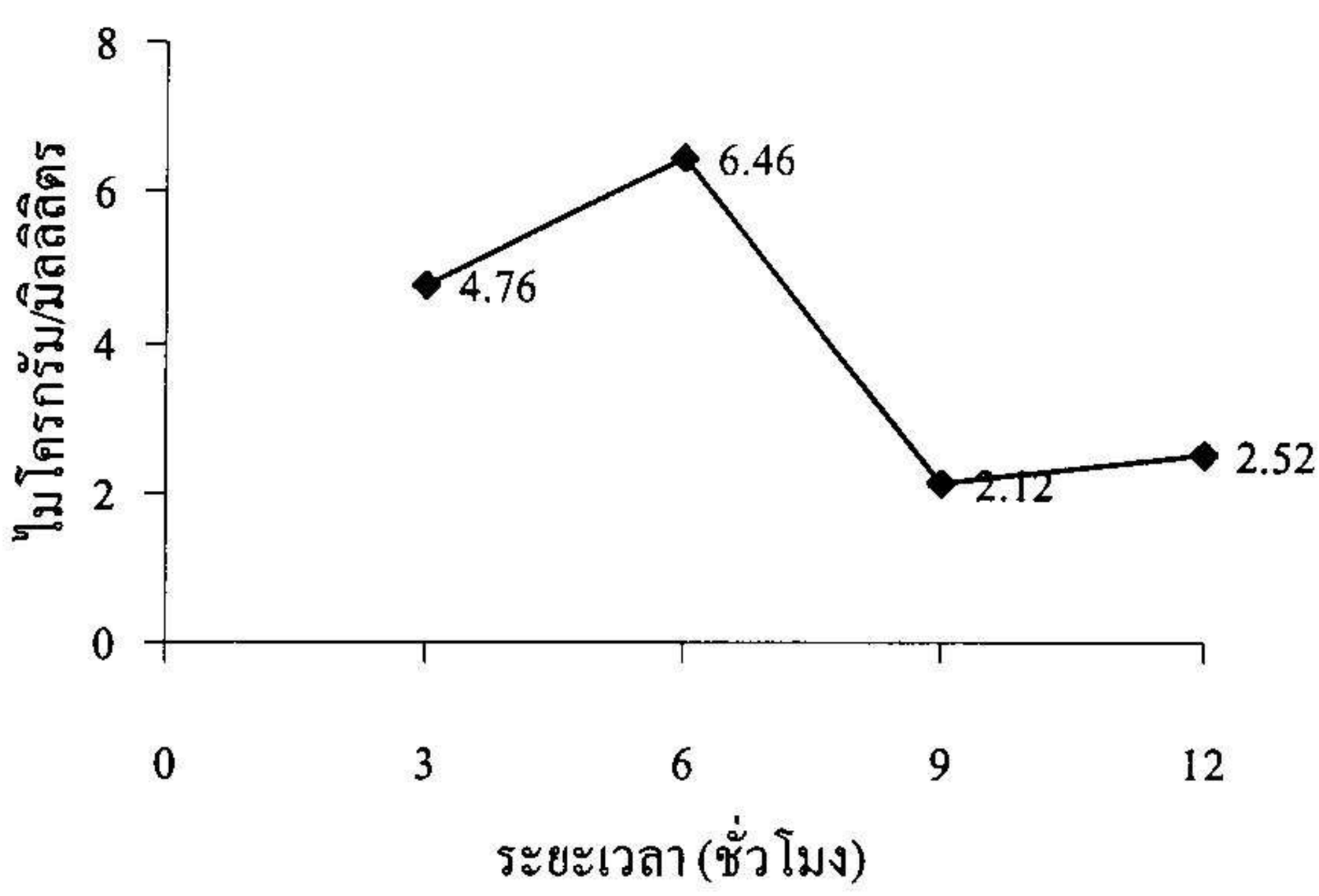
| สูตรอาหาร | ความชื้น | โปรตีน | ไขมัน | เถ้า |
|---|---|---|---|---|
| เริ่มต้น | 79.29 $\pm$ 0.06 | 57.29 $\pm$ 0.70 | 29.11 $\pm$ 0.69 | 12.54 $\pm$ 0.30 |
| 1 (2.00) | 74.35 $\pm$ 2.01$^{a}$ | 50.07 $\pm$ 0.45$^{a}$ | 32.57 $\pm$ 1.28$^{a}$ | 15.12 $\pm$ 0.63$^{a}$ |
| 2 (3.14) | 75.35 $\pm$ 0.80$^{a}$ | 50.74 $\pm$ 1.74$^{a}$ | 32.49 $\pm$ 0.83$^{a}$ | 14.61 $\pm$0.71$^{ab}$ |
| 3 (4.29) | 73.40 $\pm$ 0.58$^{a}$ | 51.95 $\pm$ 0.40$^{a}$ | 31.98 $\pm$ 1.41$^{a}$ | 13.86 $\pm$0.49$^{abc}$ |
| 4 (5.43) | 74.93 $\pm$ 0.97$^{a}$ | 51.87 $\pm$ 0.29$^{a}$ | 32.96 $\pm$ 1.01$^{a}$ | 13.00 $\pm$0.18$^{bc}$ |
| 5 (6.57) | 74.14 $\pm$ 1.56$^{a}$ | 49.92 $\pm$ 3.09$^{a}$ | 36.08 $\pm$ 3.00$^{a}$ | 12.80 $\pm$0.46$^{bc}$ |
| 6 (7.71) | 72.34 $\pm$0.34$^{ab}$ | 48.82 $\pm$ 1.30$^{a}$ | 36.36 $\pm$ 3.31$^{a}$ | 12.75 $\pm$0.55$^{bc}$ |
| 7 (8.86) | 72.51 $\pm$0.29$^{ab}$ | 48.56 $\pm$ 1.32$^{a}$ | 36.78 $\pm$ 2.97$^{a}$ | 11.89 $\pm$ 0.57$^{c}$ |
| สูตรเปรียบเทียบ | 69.91 $\pm$ 1.51$^{b}$ | 50.60 $\pm$ 3.26$^{a}$ | 35.40 $\pm$ 4.46$^{a}$ | 12.52 $\pm$ 1.37$^{c}$ |

[1] ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3)

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ($p \geq 0.05$)

**6. ระดับแอมโมเนียในพลาสมา**

ผลการศึกษาเบื้องต้นถึงระดับของแอมโมเนียในพลาสมาของปลากดเหลืองในชั่วโมงที่ 3, 6, 9 และ 12 (ภาพที่ 2) หลังจากได้รับอาหารสูตรที่ 6 ซึ่งมีไลซีนร้อยละ 7.71 ของโปรตีนในอาหาร และเป็นอาหารทดลองที่มีระดับไลซีนและกรดอะมิโนที่จำเป็นคล้ายคลึงกับองค์ประกอบกรดอะมิโนของเนื้อเยื่อปลากดเหลือง พบว่าระดับของแอมโมเนียในพลาสมามีค่าสูงสุด ในชั่วโมงที่ 6 และมีปริมาณลดลงเมื่อเวลาระยะเวลาเพิ่มขึ้น แสดงว่าหลังจากที่ปลาได้รับอาหารเป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง ปลาสามารถดูดซึมและสลายกรดอะมิโนในอาหารที่กินได้มากที่สุด ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาระดับแอมโมเนียในพลาสมาของปลากดเหลืองหลังจากกินอาหารไปแล้ว 6 ชั่วโมง เพื่อเปรียบเทียบผลของอาหารที่มีไลซีนระดับต่างๆ ต่อระดับแอมโมเนียในพลาสมา ซึ่งผลการศึกษาดังแสดงในตารางที่ 20 โดยพบว่าระดับแอมโมเนียมีค่าอยู่ในช่วง 3.33 $\pm$ 1.81 ถึง 4.36 $\pm$ 1.65 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร และจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าค่าที่ได้ไม่มีความแตกต่างกัน ($p \geq 0.05$)




ภาพที่ 2 ระดับแอมโมเนียในพลาสมาของปลากดเหลืองที่ระยะเวลาต่าง ๆ หลังจากได้รับอาหารสูตรที่ 6 (มีไลซีนร้อยละ 7.71)

ตารางที่ 20 ระดับแอมโมเนียในพลาสมาของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีไลซีนระดับ ต่าง ๆ[1]

| สูตรอาหาร | ระดับแอมโมเนียในพลาสมา ($\mu$g/mL) |
|---|---|
| 1 (2.00)[2] | 3.55 $\pm$ 0.27[a] |
| 2 (3.14) | 4.20 $\pm$ 2.89[a] |
| 3 (4.29) | 4.36 $\pm$ 1.65[a] |
| 4 (5.43) | 4.18 $\pm$ 0.66[a] |
| 5 (6.57) | 4.17 $\pm$ 2.32[a] |
| 6 (7.71) | 4.29 $\pm$ 0.76[a] |
| 7 (8.86) | 3.69 $\pm$ 0.99[a] |
| สูตรเปรียบเทียบ | 3.33 $\pm$ 1.81[a] |

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็น ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3)

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ($p \geq 0.05$)

[2]ตัวเลขในวงเล็บเป็นระดับไลซีนในอาหาร (ร้อยละของโปรตีน)

## 7. คุณภาพน้ำในการทดลอง

คุณภาพน้ำในตู้ทดลองตลอดการเลี้ยง 90 วัน แสดงในตารางที่ 21 โดยมีค่าความเป็นกรดด่าง (pH) อยู่ในช่วง 6.63 - 6.90 อุณหภูมิ อยู่ในช่วง 25.86 - 26.12 องศาเซลเซียส ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ อยู่ในช่วง 5.25-6.00 มิลลิกรัม/ลิตร แอมโมเนีย อยู่ในช่วง 0.35 -1.22 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร ไนไตรท์ 0.24-0.65 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร และไนเตรท มีค่าอยู่ในช่วง 0.58 -1.42 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร

ตารางที่ 21 คุณภาพน้ำตลอดการทดลอง 90 วัน[1]

| พารามิเตอร์ | สูตรอาหาร | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 (2.00)[2] | 2 (3.14) | 3 (4.29) | 4 (5.43) | 5 (6.57) | 6 (7.71) | 7 (8.86) | สูตรเปรียบเทียบ |
| ค่าความเป็นกรดด่าง | 6.90 ± 0.02 | 6.78 ± 0.07 | 6.83 ± 0.09 | 6.75 ± 0.05 | 6.69 ± 0.02 | 6.70 ± 0.12 | 6.70 ± 0.08 | 6.63 ± 0.05 |
| อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) | 25.86 ± 0.24 | 26.12 ± 0.37 | 26.07 ± 0.18 | 26.12 ± 0.38 | 25.95 ± 0.15 | 26.04 ± 0.29 | 26.05 ± 0.21 | 26.05 ± 0.21 |
| ออกซิเจนละลายน้ำ (มิลลิกรัม/ลิตร) | 5.85 ± 0.32 | 6.00 ± 0.18 | 5.87 ± 0.42 | 5.84 ± 0.06 | 5.68 ± 0.10 | 5.63 ± 0.39 | 5.70 ± 0.28 | 5.25 ± 0.77 |
| แอมโมเนีย (มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร) | 0.35 ± 0.02 | 0.53 ± 0.11 | 0.49 ± 0.22 | 0.71 ± 0.27 | 0.73 ± 0.13 | 0.73 ± 0.22 | 0.60 ± 0.04 | 1.22 ± 0.72 |
| ไนไตรท์ (มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร) | 0.24 ± 0.03 | 0.47 ± 0.26 | 0.33 ± 0.07 | 0.38 ± 0.06 | 0.38 ± 0.09 | 0.41 ± 0.04 | 0.34 ± 0.12 | 0.65 ± 0.16 |
| ไนเตรท (มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร) | 0.64 ± 0.16 | 0.76 ± 0.20 | 0.59 ± 0.15 | 0.61 ± 0.18 | 0.84 ± 0.11 | 0.82 ± 0.28 | 0.58 ± 0.27 | 1.42 ± 0.33 |

[1] ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3)

[2] ตัวเลขในวงเล็บเป็นระดับไลซีนในอาหาร (ร้อยละของโปรตีน)

**8. ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนในอาหารทดลองของปลากดเหลือง**

ผลการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนในอาหารสูตรที่ 8 ซึ่งมีปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนเปรียบเทียบกับอาหารสูตรที่ 6 ซึ่งเป็นสูตรที่มีองค์ประกอบกรดอะมิโนใกล้เคียงกับองค์ประกอบกรดอะมิโนในตัวปลากดเหลือง โดยมีปลาป่น เจลาติน และกรดอะมิโนรูปผลึกร้อยละ 13.2, 2.0 และ 28.05 ของน้ำหนักอาหารเป็นแหล่งโปรตีน พบว่า อาหารสูตรที่ 6 มีค่าประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนร้อยละ 94.19 $\pm$ 0.44 ในขณะที่อาหารสูตรเปรียบเทียบมีค่าร้อยละ 73.08 $\pm$ 4.69 ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) (ตารางที่ 22)

ตารางที่ 22 ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนในอาหารทดลองที่ใช้ศึกษาความต้องการกรดอะมิโนไลซีนของปลากดเหลือง

| สูตรอาหาร | ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีน[1] (ร้อยละ) |
|---|---|
| สูตรที่ 6 | 94.19 $\pm$ 0.44[a] |
| สูตรเปรียบเทียบ (สูตรที่ 8) | 73.08 $\pm$ 4.68[b] |

[1] ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3)

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p\geq0.05$)

## โครงการย่อยที่ 3 : ความต้องการกรดอะมิโนอาร์จินีนของปลากดเหลือง (*Mystus nemurus* Cuv.&Val.)

Dietary Arginine Requirement of Yellow Mystus, (*Mystus nemurus* Cuv. & Val.)

## อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

### 1. การเตรียมปลาทดลอง

วิธีการอนุบาลและปรับสภาพปลาเพื่อการศึกษาเช่นเดียวกับโครงการย่อยที่ 1 โดยใช้ปลาเมื่อเริ่มปรับสภาพ 25 ตัวต่อตู้ทดลอง จำนวนทั้งหมด 27 ตู้ จากนั้นคัดปลาเหลือตู้ละ 20 ตัว

### 2. การเตรียมอาหารทดลอง

อาหารทดลองสูตรพื้นฐาน (ตารางที่ 23) มีปลาป่นและเจลาติน เป็นแหล่งโปรตีน และเติมกรดอะมิโนรูปผลึก เพื่อให้มีองค์ประกอบของกรดอะมิโนเช่นเดียวกับองค์ประกอบกรดอะมิโนในตัวปลากดเหลือง (ตารางที่ 24) โดยอาหารทดลองที่ใช้ศึกษาความต้องการกรดอะมิโนอาร์จินีนของปลากดเหลือง มี 8 สูตร โดยมีปริมาณของกรดอะมิโนอาร์จินีน ในอาหารร้อยละ 0.67 (1.92) 0.95 (2.71) 1.20 (3.42) 1.45 (4.14) 1.70 (4.85) 1.95 (5.57) 2.20 (6.29) และ 2.45 (7.00) ของน้ำหนักอาหาร (ร้อยละของโปรตีนในอาหาร) และปรับระดับโปรตีนในอาหารโดยการลดปริมาณกรดอะมิโนกลูตามิคตามปริมาณของอาร์จินีนที่เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 25) สำหรับอาหารสูตรเปรียบเทียบ ใช้ปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนทั้งหมด และมีองค์ประกอบอาหารดังแสดงในตารางที่ 26

การเตรียมอาหารทดลองและอาหารสูตรเปรียบเทียบ มีวิธีการเตรียมและการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและกรดอะมิโนเช่นเดียวกับโครงการย่อยที่ 1

### 3. การทดลองและการเก็บรวบรวมข้อมูล

ทำการทดลองแบบสุ่มตลอด โดยใช้อาหาร 9 สูตรและให้อาหารแต่ละสูตรแก่ปลา 3 ตู้ทดลอง เป็นระยะเวลา 90 วัน จัดการการเลี้ยง และเก็บรวบรวมข้อมูลเช่นเดียวกับโครงการย่อยที่ 1

เมื่อสิ้นสุดการทดลองทำการชั่งน้ำหนักปลา วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี คำนวณข้อมูลและวิเคราะห์ทางสถิติ โดยมีวิธีการเช่นเดียวกับโครงการย่อยที่ 1

สำหรับการหาระดับอาร์จินีนที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลากดเหลืองนั้นนำค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะและระดับอาร์จินีนในอาหารมาหาระดับอาร์จินีนที่เหมาะสม เช่นเดียวกับโครงการย่อยที่ 2

ตารางที่ 23 องค์ประกอบของอาหารสูตรพื้นฐานในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนอาร์จินีนของปลากดเหลือง

| วัสดุอาหาร | กรัม / อาหาร 1 กิโลกรัม |
|---|---|
| ปลาป่น | 130.00 |
| เจลาติน | 20.00 |
| กรดอะมิโนรูปผลึก[1] | 229.56 |
| กรดอะมิโนกลูตามิค/อาร์จินีน[2] | 52.70 |
| เด็กซตริน[3] | 310.00 |
| น้ำมันปลา[4] | 74.00 |
| แร่ธาตุรวม[5] | 65.00 |
| วิตามินรวม[6] | 12.19 |
| วิตามินซี | 1.00 |
| carboxy methyl cellulose | 30.00 |
| ผงวุ้น | 5.00 |
| เซลลูโลส | 70.60 |

[1]กรดอะมิโนรูปผลึก ของบริษัท Ajinomoto Co., Inc Tokyo โดยปริมาณของกรดอะมิโนแต่ละชนิดในอาหารดังแสดงในตารางที่ 24

[2]ปริมาณกรดกลูตามิค/อาร์จินีนแตกต่างกันในอาหารแต่ละสูตร ดังแสดงในตารางที่ 25

[3]เด็กซตรินจากข้าวโพด ของบริษัท Sigma

[4]โอเมก้า ออย ของบริษัทแอควาเทค

[5]แร่ธาตุรวม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม): calcium carbonate (40.04% Ca) 20,701.8; calcium phosphate (39.89% Ca, 18.50% P) 24,324.3; sodium chloride 1,800; potassium sulfate (45 % K) 9,577.8; magnesium sulfate (20.20% Mg) 3,465.3; ferrous sulfate (36.77% Fe) 298.5; manganous sulfate (36.38% Mn) 14.8; zinc sulfate (40.5% Zn) 175.8; cupric sulfate (39.81% Cu) 19.6; cobalt chloride (45.39% Co) 1.9; potassium iodide (76.45% I) 2.6; sodium selenite (45.65% Se) 17.0 (NRC, 1993)

[6]วิตามินรวม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม): vitamin A (retinyl acetate) 1.89; vitamin $D_3$ (cholecalciferol) 0.0625; vitamin E (∝-tocopherol) 181.82; vitamin $K_3$ (menadione sodium bisulfate) 10; thiamine (thiamine HCl) 40; riboflavin 40; pyridoxine (pyridoxol HCl) 30; pantothenic acid (calcium-d-pantothenate) 120; nicotinic acid 300; biotin 0.3; folic acid 5.0; $B_{12}$ (cyanocobalamin) 0.2; choline chloride 2,000; inositol 500 (NRC, 1993)

ตารางที่ 24 องค์ประกอบกรดอะมิโนของอาหารสูตรพื้นฐาน (กรัม/อาหาร 1 กิโลกรัม) ในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนอาร์จินีนของปลากดเหลือง

| กรดอะมิโน | กรดอะมิโนจากปลาป่น และเจลาติน [1] | กรดอะมิโนรูปผลึก |
|---|---|---|
| **กรดอะมิโนที่จำเป็น** | | |
| อาร์จินีน | 6.89 | - |
| ฮิสทิดีน | 2.09 | 6.8 |
| ไอโซลูซีน | 3.05 | 9.3 |
| ลูซีน | 6.20 | 19.6 |
| ไลซีน | 5.91 | 26.4 |
| เมทไธโอนีน | 3.19 | 9.0 |
| เฟนิลอะลานีน | 3.90 | 7.4 |
| ทรีโอนีน | 2.56 | 12.0 |
| ทริฟโทเฟน | 1.01 | 2.7 |
| วาลีน | 3.56 | 10.7 |
| **รวม** | 38.36 | 103.9 |
| **กรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น** | | |
| ซีสทีน | | 2.0 |
| ไทโรซีน | | 8.5 |
| ซีรีน | | 15.0 |
| โปรลีน | | 19.0 |
| ไกลซีน | | 31.5 |
| กรดกลูตามค | | - |
| กรดแอสปาร์ติก | | 25.0 |
| อะลานีน | | 25.0 |
| **รวม** | | 126.0 |

[1] ค่าจากการคำนวณในปลาป่น 130 กรัม และเจลาติน 20 กรัม (ข้อมูลปลาป่น 55% จาก ยุทธนา, 2537 และ เจลาติน จาก NRC, 1993)

ตารางที่ 25 ปริมาณอาร์จินีนและกรดกลูตามิค (กรัม/อาหาร 1 กิโลกรัม) ในอาหารทดลองในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนอาร์จินีนของปลากดเหลือง

| สูตรอาหาร | ระดับอาร์จินีนในอาหาร | | ปริมาณอาร์จินีนที่เติม[1] | ปริมาณกรดกลูตามิคที่เติม[2] |
|---|---|---|---|---|
| | ร้อยละของน้ำหนักอาหาร | ร้อยละของโปรตีน | | |
| 1 | 0.67 | 1.92 | - | 52.7 |
| 2 | 0.95 | 2.71 | 2.8 | 49.9 |
| 3 | 1.20 | 3.42 | 5.3 | 47.4 |
| 4 | 1.45 | 4.14 | 7.8 | 44.9 |
| 5 | 1.70 | 4.85 | 10.3 | 42.4 |
| 6 | 1.95 | 5.57 | 12.8 | 39.9 |
| 7 | 2.20 | 6.29 | 15.3 | 37.4 |
| 8 | 2.45 | 7.00 | 17.8 | 34.9 |

[1] L-arginine

[2] L-glutamic acid

ตารางที่ 26 องค์ประกอบของอาหารสูตรเปรียบเทียบในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนอาร์จินีนของปลากดเหลือง

| วัสดุอาหาร | กรัม / อาหาร 1 กิโลกรัม |
|---|---|
| ปลาป่น | 535 |
| เด็กซตริน | 310 |
| แร่ธาตุรวม | 65 |
| วิตามินรวม | 12.19 |
| carboxy methyl cellulose | 30 |
| วิตามินซี | 1 |
| เซลลูโลส | 46.9 |

# ผลการทดลอง

## 1. องค์ประกอบทางเคมีและกรดอะมิโนของอาหารทดลอง

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารสูตรต่างๆ แสดงในตารางที่ 27 โดยมีระดับความชื้นร้อยละ 5.65 ± 0.03 ถึง 13.60 ± 0.30 โปรตีนร้อยละ 36.19 ± 0.83 ถึง 40.37 ± 0.16 ไขมันร้อยละ 10.32 ± 0.35 ถึง 12.93 ± 0.29 และเถ้าร้อยละ 7.76 ± 0.05 ถึง 13.21± 0.11 ของน้ำหนักอาหารแห้ง

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบกรดอะมิโนของอาหารสูตรที่ 1 และ 6 แสดงในตารางที่ 28 โดยอาหารสูตรที่ 1 มีระดับอาร์จินีนร้อยละ 2.30 ของระดับโปรตีนในอาหาร และสูตรที่ 6 มีระดับอาร์จินีน ร้อยละ 5.17 ของระดับโปรตีนในอาหาร

ตารางที่ 27 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง (ร้อยละของน้ำหนักอาหารแห้ง) ในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนอาร์จินีนของปลากดเหลือง[1]

| สูตรอาหาร | ความชื้น | โปรตีน | ไขมัน | เถ้า |
|---|---|---|---|---|
| 1 (1.92)[2] | 12.41 ± 0.23 | 36.29 ± 0.87 | 12.16 ± 1.33 | 7.91 ± 0.02 |
| 2 (2.71) | 13.60 ± 0.30 | 36.19 ± 0.83 | 12.93 ± 0.21 | 8.06 ± 0.04 |
| 3 (3.42) | 13.29 ± 0.20 | 36.55 ± 0.32 | 12.34 ± 2.04 | 7.99 ± 0.10 |
| 4 (4.14) | 12.67 ± 0.15 | 37.25 ± 0.27 | 12.93 ± 0.29 | 7.96 ± 0.04 |
| 5 (4.85) | 12.42 ± 0.06 | 36.95 ± 0.51 | 12.65 ± 0.54 | 8.07 ± 0.05 |
| 6 (5.57) | 13.25 ± 0.21 | 39.89 ± 0.39 | 12.72 ± 1.82 | 7.76 ± 0.05 |
| 7 (6.29) | 11.90 ± 0.14 | 38.65 ± 0.28 | 12.59 ± 0.85 | 7.95 ± 0.12 |
| 8 (7.00) | 11.91 ± 0.17 | 40.37 ± 0.16 | 12.85 ± 0.46 | 8.05 ± 0.02 |
| สูตรเปรียบเทียบ | 5.65 ± 0.03 | 40.01 ± 0.25 | 10.32 ± 0.35 | 13.21 ± 0.11 |

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3)

[2]ตัวเลขในวงเล็บเป็นระดับอาร์จินีนในอาหาร ( ร้อยละของโปรตีน)

ตารางที่ 28 องค์ประกอบกรดอะมิโนของอาหารทดลอง (ร้อยละของโปรตีน) ในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนอาร์จินีนของปลากดเหลือง

| กรดอะมิโน | สูตรอาหาร | |
|---|---|---|
| | 1(1.92)[1] | 6(5.57) |
| อาร์จินีน | 2.30 | 5.17 |
| ฮีสทิดีน | 3.37 | 3.21 |
| ไอโซลูซีน | 3.90 | 3.53 |
| ลูซีน | 6.67 | 6.79 |
| ไลซีน | 7.39 | 7.20 |
| เมทไธโอนีน | 2.86 | 2.60 |
| ซีสทีน | 0.98 | 0.92 |
| เฟนิลอะลานีน | 3.24 | 3.12 |
| ทรีโอนีน | 4.18 | 3.76 |
| ทริฟโตเฟน | n.d. | n.d. |
| วาลีน | 4.12 | 3.82 |

[1]ตัวเลขในวงเล็บเป็นระดับอาร์จินีนในอาหาร (ร้อยละของโปรตีน)

n.d.= not detected

2. **ความผิดปกติของปลากดเหลือง**

ผลการศึกษาในครั้งนี้พบว่า ปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีอาร์จินีนระดับต่าง ๆ ไม่มีความผิดปกติของพยาธิสภาพภายนอก แต่ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ที่ไม่ได้เสริมอาร์จินีนมีอัตราการรอดตายต่ำเพียง 65 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น (ตารางที่ 29)

3. **การเจริญเติบโต**

น้ำหนักเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลองเฉลี่ยต่อตัว เปอร์เซ็นต์น้ำหนักปลาที่เพิ่ม และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ ของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารทั้ง 9 สูตร เป็นระยะเวลา 90 วันแสดงในตารางที่ 29 โดยน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวเมื่อเริ่มทดลองของปลาที่ได้รับอาหารแต่ละสูตร มีค่าอยู่ในช่วง 6.67 $\pm$ 0.41 ถึง 7.73 $\pm$ 2.17 และไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \geq 0.05$) เมื่อสิ้นสุดการทดลองปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ถึง 8 ซึ่งมีระดับอาร์จินีนร้อยละ 1.92 ถึง 7.00 ของโปรตีนในอาหาร มีน้ำหนัก

ตัวอยู่ในช่วง 12.54 $\pm$ 0.41 ถึง 21.14 $\pm$ 9.36 กรัมต่อตัว โดยปลาที่ได้รับอาหารที่มีอาร์จินีน ร้อยละ 4.85 ของโปรตีนในอาหาร มีน้ำหนักสุดท้ายสูงที่สุด และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักปลาที่เพิ่มสูงที่สุด แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติของปลาที่ได้รับอาหารแต่ละสูตร ($p \geq 0.05$) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ค่อนข้างสูง เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลองและเปอร์เซ็นต์น้ำหนักปลาที่เพิ่ม ของปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ถึง 8 กับอาหารสูตรเปรียบเทียบ พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

เมื่อเปรียบเทียบอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ถึง 8 พบว่ามีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 0.63 $\pm$ 0.09 ถึง 1.14 $\pm$ 0.21 ต่อวัน โดยปลาที่ได้รับอาหารที่มีระดับอาร์จินีนต่ำสุด มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะต่ำสุด ขณะที่ปลาที่ได้รับอาหารที่มีอาร์จินีนร้อยละ 4.85 ของระดับโปรตีนในอาหาร มีค่าสูงสุด และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) กับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีอาร์จินีนต่ำสุด แต่ไม่มีความแตกต่างกับปลาสูตรอื่น ($p \geq 0.05$) ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรเปรียบเทียบ มีค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดและมีค่าสูงกว่าสูตรอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ($p<0.05$)

เมื่อนำอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ มาหาความสัมพันธ์กับระดับอาร์จินีนในอาหาร โดยใช้ non-linear regression ที่มี 4 พารามิเตอร์ (Cho *et al.*, 1992; Mercer, 1982) พบว่า ระดับอาร์จินีนในอาหารที่ให้ค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะคิดเป็นร้อยละ 95 ของอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 4.74 ของระดับโปรตีนในอาหาร (ภาพที่ 3) เป็นระดับอาร์จินีนในอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลากดเหลือง

ตารางที่ 29 น้ำหนักเริ่มต้น น้ำหนักสุดท้าย เปอร์เซ็นต์น้ำหนักปลาที่เพิ่ม อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และอัตราการรอดตายของปลากดเหลือง ที่ได้รับอาหารที่มีอาร์จินีนระดับต่าง ๆ เป็นเวลา 90 วัน[1]

| สูตรอาหาร | น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม/ตัว) | น้ำหนักสุดท้าย (กรัม/ตัว) | เปอร์เซ็นต์น้ำหนักปลาที่เพิ่ม[2] | อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ[3] (ร้อยละ/วัน) | อัตราการรอดตาย[4] (ร้อยละ) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 (1.92)[5] | 7.07 ± 0.34[a] | 12.54 ± 0.41[b] | 77.86 ± 13.91[b] | 0.63 ± 0.09[c] | 65.00 ± 10.00[b] |
| 2 (2.71) | 6.96 ± 0.24[a] | 14.17 ± 1.53[b] | 103.38 ± 17.10[b] | 0.79 ± 0.10[bc] | 78.33 ± 10.41[ab] |
| 3 (3.42) | 6.67 ± 0.41[a] | 13.82 ± 1.08[b] | 107.15 ± 5.37[b] | 0.81 ± 0.03[bc] | 80.00 ± 5.00[ab] |
| 4 (4.14) | 7.02 ± 0.17[a] | 16.91 ± 3.81[b] | 141.76 ± 59.81[b] | 0.96 ± 0.28[bc] | 78.33 ± 7.64[ab] |
| 5 (4.85) | 7.03 ± 0.38[a] | 19.85 ± 4.72[b] | 180.88 ± 51.83[b] | 1.14 ± 0.21[b] | 85.00 ± 7.07[ab] |
| 6 (5.57) | 6.97 ± 0.37[a] | 18.47 ± 0.45[b] | 165.54 ± 20.50[b] | 1.08 ± 0.08[bc] | 85.00 ± 0.00[ab] |
| 7 (6.25) | 7.30 ± 0.22[a] | 19.28 ± 2.09[b] | 164.78 ± 34.98[b] | 1.08 ± 0.14[bc] | 90.00 ± 8.66[a] |
| 8 (7.00) | 7.73 ± 2.17[a] | 21.14 ± 9.36[b] | 167.07 ± 47.03[b] | 1.08 ± 0.20[bc] | 92.50 ± 3.54[a] |
| สูตรเปรียบเทียบ | 6.98 ± 0.37[a] | 72.65 ± 4.78[a] | 941.24 ± 12.59[a] | 2.61 ± 0.01[a] | 97.50 ± 3.54[a] |

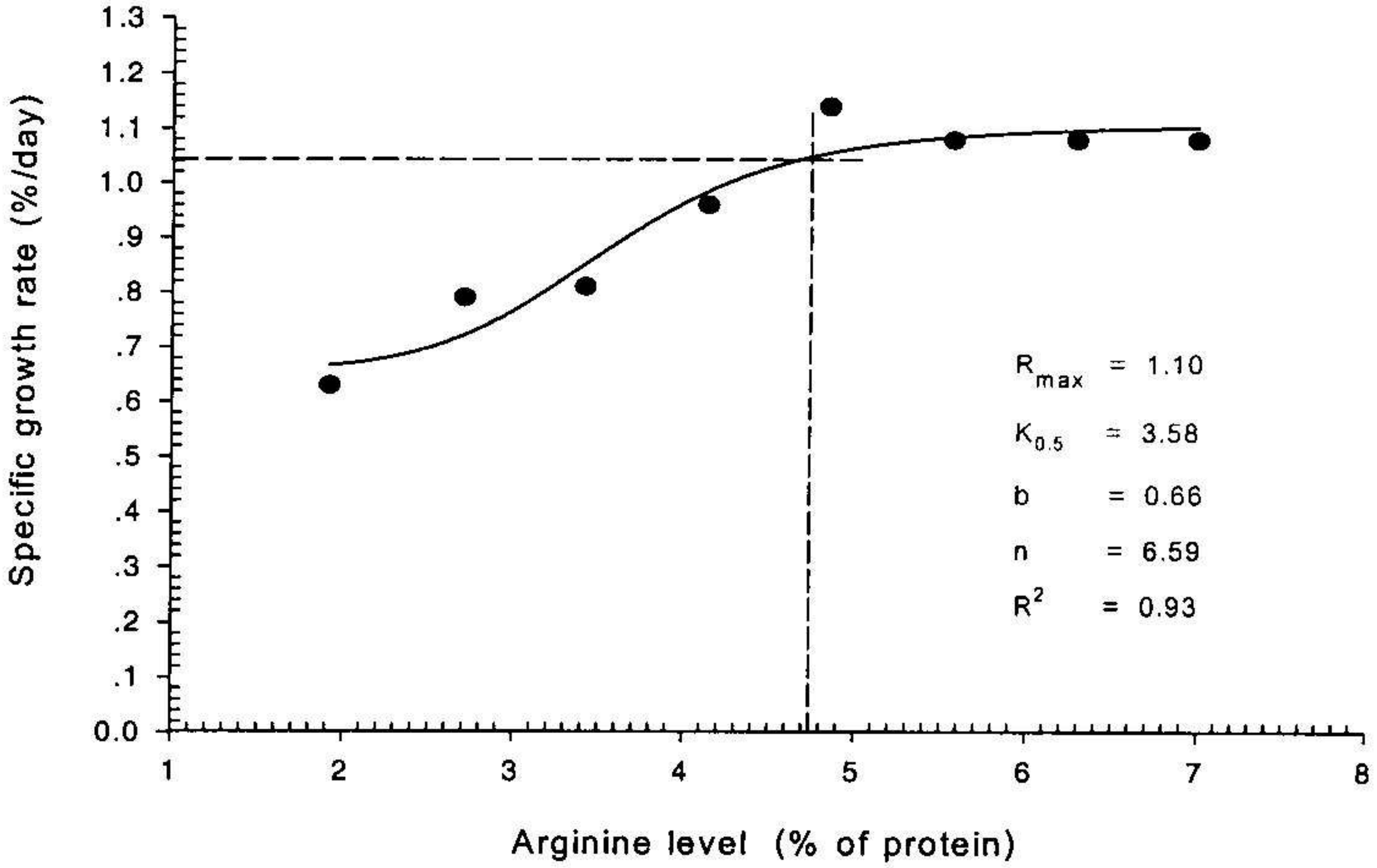
[1] ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \geq 0.05$)

[2] เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่ม = (น้ำหนักสุดท้าย (กรัม/ตัว) – น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม/ตัว)) x100/น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม/ตัว)

[3] อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ = $\ln w_2 - \ln w_1 \times 100 / t_2 - t_1$

[4] อัตราการรอดตาย = จำนวนปลาที่เหลือ x 100/จำนวนปลาเริ่มต้น

[5] ตัวเลขในวงเล็บเป็นระดับอาร์จินีนในอาหาร (ร้อยละของโปรตีน)




ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับอาร์จินีนในอาหารกับการเจริญเติบโตจำเพาะของปลากดเหลือง จากการวิเคราะห์โดยใช้ non – linear regression โดยที่

y คือ อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ

x คือ ระดับอาร์จินีนในอาหาร

b คือ จุดตัดบนแกน y

$K_{0.5}$ คือ ค่าของ x ที่จุด ½ ($R_{max}$ + b)

n คือ ค่า kinetic order

$R_{max}$ คือ อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะที่มากที่สุด

เส้นประตัดแกน y คือ ค่าที่ร้อยละ 95 ของอัตราการเจริญจำเพาะสูงสุด

เส้นประตัดแกน x คือ ระดับอาร์จินีนในอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลากดเหลืองมีค่า ร้อยละ 4.74 ของโปรตีนในอาหาร

**4. ประสิทธิภาพการใช้อาหาร โปรตีน และไขมัน**

น้ำหนักอาหารที่ปลากิน ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ โปรตีนสะสมต่อวัน และไขมันสะสมต่อวัน ของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีอาร์จินีนระดับต่าง ๆ ในอาหาร เป็นเวลา 90 วัน แสดงในตารางที่ 30 พบว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ถึง 8 ซึ่งมีระดับอาร์จินีนในอาหารร้อยละ 1.92 ถึง 7.00 ของโปรตีนในอาหาร มีการกินอาหารอยู่ในช่วง 18.08 $\pm$ 0.95 ถึง 31.39 $\pm$ 13.27 กรัมต่อตัว สำหรับปลาที่ได้รับอาหารสูตรเปรียบเทียบกินอาหารมากถึง 90.64 $\pm$ 12.34 กรัมต่อตัว มากกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ถึง 8 อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ซึ่งมีระดับอาร์จินีนต่ำสุด มีประสิทธิภาพการใช้อาหาร ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนและโปรตีนสะสมต่อวันต่ำสุด โดยมีค่า 0.30$\pm$0.05, 0.96$\pm$0.15 และ 2.53$\pm$0.26 ตามลำดับ และมีความแตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 และสูตรเปรียบเทียบอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

เมื่อพิจารณาโปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ของปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ถึง 8 พบว่ามีค่าในช่วงร้อยละ 14.11$\pm$ 2.38 ถึง 20.79 $\pm$ 2.62 และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\geq0.05$) แต่พบว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 4, 5, 7 และ 8 ซึ่งมีระดับอาร์จินีนร้อยละ 4.41, 4.85, 6.29 และ 7.00 ของโปรตีนในอาหาร มีค่าโปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ไม่แตกต่างจากปลาที่ได้รับอาหารสูตรเปรียบเทียบ ($p\geq0.05$) ซึ่งมีค่าสูงที่สุดคือ ร้อยละ 29.92 $\pm$ 2.77

สำหรับไขมันสะสมต่อวันของปลาที่ได้รับอาหารแต่ละสูตรนั้น พบว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 มีค่าต่ำสุด และไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 และ 3 แต่มีค่าต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีระดับอาร์จินีนสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) สำหรับปลาที่ได้รับอาหารสูตรเปรียบเทียบมีค่าไขมันสะสมต่อวันสูงสุดคือ 4.40 $\pm$ 0.05 กรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 4 ถึง 8 ($p\geq0.05$)

ตารางที่ 30 น้ำหนักอาหารที่ปลากิน ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ โปรตีนสะสมต่อวัน และไขมันสะสมต่อวัน ของปลาที่ได้รับอาหารที่มีอาร์จินีนระดับต่าง ๆ เป็นเวลา 90 วัน[1]

| สูตรอาหาร | น้ำหนักอาหารที่ปลากิน (กรัม/ตัว) | ประสิทธภาพการใช้อาหาร[2] | ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน[3] | โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์[4] (%) | โปรตีนสะสมต่อวัน[5] (กรัมโปรตีน/กิโลกรัม/วัน) | ไขมันสะสมต่อวัน[6] (กรัมไขมัน/กิโลกรัม/วัน) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 (1.92)[7] | 18.08 ± 0.95[b] | 0.30 ± 0.05[c] | 0.96 ± 0.15[c] | 14.11 ± 2.38[b] | 2.53 ± 0.26[c] | 2.30 ± 0.28[d] |
| 2 (2.71) | 20.29 ± 1.99[b] | 0.35 ± 0.03[bc] | 1.13 ± 0.11[bc] | 16.75 ± 2.22[b] | 2.88 ± 0.29[bc] | 2.96 ± 0.15[bcd] |
| 3 (3.42) | 20.47 ± 2.29[b] | 0.35 ± 0.02[bc] | 1.11 ± 0.07[bc] | 17.90 ± 1.91[b] | 3.11 ± 0.09[bc] | 2.89 ± 0.17[cd] |
| 4 (4.14) | 23.67 ± 6.07[b] | 0.41 ± 0.07[bc] | 1.25 ± 0.22[bc] | 18.53 ± 2.44[ab] | 3.15 ± 0.44[bc] | 3.40 ± 0.46[abc] |
| 5 (4.85) | 27.92 ± 7.14[b] | 0.46 ± 0.04[b] | 1.41 ± 0.12[b] | 20.79 ± 2.62[ab] | 3.44 ±0.27[b] | 3.77 ± 0.45[abc] |
| 6 (5.57) | 27.73 ± 0.51[b] | 0.42 ± 0.04[bc] | 1.20 ± 0.11[bc] | 17.59 ± 0.28[b] | 3.29 ± 0.03[bc] | 3.95 ± 0.07[ab] |
| 7 (6.25) | 27.71 ± 3.35[b] | 0.43 ± 0.03[bc] | 1.26 ± 0.08[bc] | 18.68 ± 1.91[ab] | 3.22 ± 0.27[bc] | 3.95 ± 0.30[ab] |
| 8 (7.00) | 31.39 ± 13.27[b] | 0.42 ± 0.05[bc] | 1.17 ± 0.15[bc] | 18.30 ± 1.65[ab] | 3.37 ± 0.19[bc] | 3.53 ± 0.58[abc] |
| สูตรเปรียบเทียบ | 90.64 ± 12.34[a] | 0.73 ±0.05[a] | 1.93 ± 0.13[a] | 29.92 ± 2.77[a] | 4.76 ± 0.18[a] | 4.40 ± 0.05[a] |

[1] ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \geq 0.05$)

[2] ประสิทธิภาพการใช้อาหาร = น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม)/น้ำหนักอาหารที่ปลากิน (กรัม)

[3] ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน = น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม)/น้ำหนักโปรตีนที่ปลากิน (กรัม)

[4] โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ = โปรตีนของตัวปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม) x 100 /น้ำหนักโปรตีนที่ปลากินตลอดการทดลอง (กรัม)

[5] โปรตีนสะสมต่อวัน = (โปรตีนของตัวปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัมโปรตีนต่อกิโลกรัม))/(น้ำหนักปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลองxจำนวนวันที่ทำการทดลอง)

[6] ไขมันสะสมต่อวัน = (ไขมันของตัวปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัมไขมันต่อกิโลกรัม))/(น้ำหนักปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลองxจำนวนวันที่ทำการทดลอง)

[7] ตัวเลขในวงเล็บเป็นระดับอาร์จินีนในอาหาร (ร้อยละของโปรตีน)

## 5. องค์ประกอบทางเคมีของซากปลากดเหลือง

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของซากปลากดเหลืองแสดงในตารางที่ 31 เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าระดับอาร์จินีนในอาหารส่งผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของซากปลา คือเมื่อระดับอาร์จินีนเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความชื้นของตัวปลาลดลง โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ซึ่งมีระดับอาร์จินีนต่ำสุด มีค่าความชื้นในตัวสูงสุด แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 ถึง 6 ($p \geq 0.05$) อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 7 และ 8 ซึ่งมีระดับอาร์จินีนในอาหารสูงกว่าและสูตรเปรียบเทียบ พบว่ามีค่าสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 ถึง 8 มีค่าความชื้นในตัวไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 ถึง 8 มีค่าความชื้นไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรเปรียบเทียบ ($p \geq 0.05$)

สำหรับระดับโปรตีนในซากของปลาที่ได้รับอาหารสูตรต่างๆ พบว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 และ 3 มีค่าร้อยละ $49.52 \pm 0.39$ และ $49.59 \pm 1.34$ ของน้ำหนักแห้ง สูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 6, 7 และ 8 ซึ่งมีค่าร้อยละ $45.88 \pm 0.46$, $45.24 \pm 0.23$ และ $46.22 \pm 0.95$ อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) แต่ไม่มีความแตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2, 4, 5 และสูตรเปรียบเทียบ ($p \geq 0.05$)

เมื่อพิจารณาปริมาณไขมันในซากปลา พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารสูตร 1 มีระดับไขมันในซากร้อยละ $34.42 \pm 1.24$ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีระดับอาร์จินีนสูงกว่า แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 และ 3 ซึ่งมีค่าร้อยละ $38.34 \pm 0.08$ และ $37.14 \pm 1.25$ ตามลำดับ สำหรับปลาที่ได้รับอาร์จินีนระดับสูงขึ้นตั้งแต่ร้อยละ 4.14 ถึง 7.00 ของโปรตีนในอาหาร มีการสะสมของไขมันสูงขึ้น โดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ $39.96 \pm 3.69$ ถึง $43.95 \pm 0.33$ ของน้ำหนักแห้ง และไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p \geq 0.05$) กับปลาที่ได้รับอาหารสูตรเปรียบเทียบ ซึ่งมีค่าไขมันในร่างกายร้อยละ $41.66 \pm 0.37$ ของน้ำหนักแห้ง

ปลาที่ได้รับอาหารที่มีระดับอาร์จินีนสูงขึ้น มีแนวโน้มว่าปริมาณเถ้าของซากจะลดลง โดยปลาที่ได้รับอาหารที่มีอาร์จินีนต่ำสุด มีปริมาณเถ้าสูงสุด แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 ถึง 5 และสูตรเปรียบเทียบ แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) กับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 6 ถึง 8 ซึ่งมีระดับอาร์จินีนสูงกว่า

ตารางที่ 31 องค์ประกอบทางเคมีของซากปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีอาร์จินีนระดับต่างๆ (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)[1]

| สูตรอาหาร | องค์ประกอบ | | | |
|---|---|---|---|---|
| | ความชื้น | โปรตีน | ไขมัน | เถ้า |
| เริ่มต้น | 75.75 ± 0.54 | 55.06 ± 0.08 | 28.29 ± 0.98 | 11.86 ± 0.22 |
| 1 (1.92)[2] | 71.81 ± 0.35 $^{a}$ | 49.52 ± 0.39 $^{a}$ | 34.42 ± 1.24 $^{c}$ | 11.45 ± 0.45 $^{a}$ |
| 2 (2.71) | 71.06 ± 0.87 $^{ab}$ | 48.72 ± 0.30 $^{ab}$ | 38.34 ± 0.08 $^{bc}$ | 11.00 ± 0.35 $^{abc}$ |
| 3 (3.42) | 70.14 ± 0.50 $^{abc}$ | 49.59 ± 1.34 $^{a}$ | 37.14 ± 1.25 $^{bc}$ | 11.20 ± 0.55 $^{ab}$ |
| 4 (4.14) | 70.31 ± 1.19 $^{abc}$ | 47.81 ± 1.43 $^{ab}$ | 40.58 ± 1.52 $^{ab}$ | 10.48 ± 0.85 $^{abc}$ |
| 5 (4.85) | 69.57 ± 2.00 $^{abc}$ | 47.01 ± 1.19 $^{abc}$ | 42.20 ± 2.00 $^{ab}$ | 9.64 ± 0.90 $^{abc}$ |
| 6 (5.57) | 69.09 ± 1.14 $^{abc}$ | 45.88 ± 0.46 $^{bc}$ | 43.95 ± 0.33 $^{a}$ | 9.57 ± 0.13 $^{bc}$ |
| 7 (6.29) | 68.52 ± 1.13 $^{bc}$ | 45.24 ± 0.23 $^{c}$ | 43.87 ± 1.80 $^{ab}$ | 9.19 ± 0.35 $^{c}$ |
| 8 (7.00) | 68.02 ± 0.36 $^{bc}$ | 46.22 ± 0.95 $^{bc}$ | 39.96 ± 3.69 $^{ab}$ | 9.55 ± 0.69 $^{bc}$ |
| สูตรเปรียบเทียบ | 67.32 ± 0.52 $^{c}$ | 46.79 ± 1.72 $^{abc}$ | 41.66 ± 0.37 $^{ab}$ | 10.18 ± 0.45 $^{abc}$ |

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3)

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์($p \geq 0.05$)

[2]ตัวเลขในวงเล็บเป็นระดับอาร์จินีนในอาหาร (ร้อยละของโปรตีน)

## โครงการย่อยที่ 4 : การเป็นปฏิปักษ์ของกรดอะมิโนอาร์จินีน-ไลซีนต่อการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลากดเหลือง (*Mystus nemurus* Cuv.&Val.)

Antagonism of Arginine-Lysine on growth and feed utilization of Yellow Mystus, (*Mystus nemurus* Cuv. & Val.)

**อุปกรณ์และวิธีการทดลอง**

**1. การเตรียมปลาทดลอง**

วิธีการอนุบาลและปรับสภาพปลาเพื่อการศึกษาเช่นเดียวกับโครงการย่อยที่ 1 โดยใช้ปลาเมื่อเริ่มปรับสภาพ 35 ตัวต่อตู้ทดลอง จำนวนทั้งหมด 12 ตู้ จากนั้นคัดปลาเหลือตู้ละ 18 ตัว

**2. การเตรียมอาหารทดลอง**

อาหารทดลองสูตรพื้นฐาน (ตารางที่ 32) มีปลาป่นและเจลาติน เป็นแหล่งโปรตีน และเติมกรดอะมิโนรูปผลึก เพื่อให้มีองค์ประกอบของกรดอะมิโนเช่นเดียวกับองค์ประกอบกรดอะมิโนในตัวปลากดเหลือง (ตารางที่ 33) โดยอาหารทดลองที่ใช้ศึกษาการเป็นปฏิปักษ์ของกรดอะมิโนอาร์จินีน-ไลซีนต่อการเจริญเติบโตของปลากดเหลือง มี 4 สูตร โดยมีปริมาณของกรดอะมิโนอาร์จินีนต่อไลซีนในอาหารร้อยละ 1.68:1.21 (4.8:3.46) 1.68:4.85 (4.8:13.86) 5.28:1.21 (15.08:3.46) 5.28:4.85 (15.08:13.86) ของน้ำหนักอาหาร (ร้อยละของโปรตีนในอาหาร) ปรับระดับโปรตีนในอาหารโดยการเติมกรดอะมิโนกลูตามิคและไกลซีน (ตารางที่ 34)

การเตรียมอาหารทดลอง มีวิธีการเตรียมและการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเช่นเดียวกับโครงการย่อยที่ 1

ตารางที่ 32 องค์ประกอบของอาหารสูตรพื้นฐานในการศึกษาการเป็นปฏิปักษ์ของกรดอะมิโนอาร์จินีน-ไลซีน ต่อการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลากดเหลือง

| วัสดุอาหาร | สูตรอาหาร (กรัม / อาหาร 1 กิโลกรัม) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| ปลาป่น | 130 | 130 | 130 | 130 |
| เจลาติน | 20 | 20 | 20 | 20 |
| กรดอะมิโนรูปผลึก[1] | 284.73 | 290.23 | 259.93 | 240.93 |
| เด็กซตริน[2] | 320 | 320 | 320 | 320 |
| น้ำมันปลา[3] | 74 | 74 | 74 | 74 |
| แร่ธาตุรวม[4] | 65 | 65 | 65 | 65 |
| วิตามินรวม[5] | 10.19 | 10.19 | 10.19 | 10.19 |
| วิตามินซี | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Carboxy methyl cellulose | 30 | 30 | 30 | 30 |
| ผงวุ้น | 5 | 5 | 5 | 5 |
| เซลลูโลส | 60.10 | 54.60 | 84.90 | 103.90 |

[1]กรดอะมิโนรูปผลึก ของบริษัท Ajinomoto Co., Inc Tokyo โดยปริมาณของกรดอะมิโนแต่ละชนิดในอาหารดังแสดงในตารางที่ 33 และ 34

[2]เด็กซตรินจากข้าวโพด ของบริษัท Sigma

[3]โอเมก้า ออย ของบริษัทแอควาเทค

[4]แร่ธาตุรวม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม): calcium carbonate (40.04% Ca) 20,701.8; calcium phosphate (39.89% Ca, 18.50% P) 24,324.3; sodium chloride 1,800; potassium sulfate (45% K) 9,577.8 ; magnesium sulfate (20.20% Mg) 3,465.3; ferrous sulfate (36.77% Fe) 298.5; manganous sulfate (36.38% Mn) 14.8; zinc sulfate (40.5% Zn) 175.8; cupric sulfate (39.81% Cu) 19.6; cobalt chloride (45.39% Co) 1.9; potassium iodide (76.45% I) 2.6; sodium selenite (45.65% Se) 17.0 (NRC, 1993)

[5]วิตามินรวม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม): vitamin A ( retinyl acetate) 1.89; vitamin $D_3$ (cholecalciferol) 0.0625; vitamin E (∝-tocopherol) 181.82; vitamin $K_3$ (menadione sodium bisulfate) 10; thiamine (thiamine HCl) 40; riboflavin 40; pyridoxine (pyridoxol HCl) 30; pantothenic acid (calcium-d-pantothenate) 120; nicotinic acid 300; biotin 0.3; folic acid 5.0; $B_{12}$ (cyanocobalamin) 0.2; choline chloride 2,000; inositol 500 (NRC, 1993)

ตารางที่ 33 องค์ประกอบกรดอะมิโนของอาหารสูตรพื้นฐาน (กรัม/อาหาร 1 กิโลกรัม) ในการศึกษาการเป็นปฏิปักษ์ของกรดอะมิโนอาร์จินีน-ไลซีนต่อการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลากดเหลือง

| กรดอะมิโน | กรดอะมิโนจากปลาป่น และเจลาติน [1] | กรดอะมิโนรูปผลึก |
|---|---|---|
| **กรดอะมิโนที่จำเป็น** | | |
| อาร์จินีน | 6.89 | - |
| ฮิสทิดีน | 2.09 | 6.8 |
| ไอโซลูซีน | 3.05 | 9.3 |
| ลูซีน | 6.20 | 19.6 |
| ไลซีน | 5.91 | - |
| เมทไธโอนีน | 3.19 | 9.0 |
| เฟนิลอะลานีน | 3.90 | 7.4 |
| ทรีโอนีน | 2.56 | 12.0 |
| ทริฟโทเฟน | 1.01 | 2.7 |
| วาลีน | 3.56 | 10.7 |
| **รวม** | 38.36 | 77.50 |
| **กรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น** | | |
| ซีสทีน | | 2.0 |
| ไทโรซีน | | 8.5 |
| ซีรีน | | 15 |
| โปรลีน | | 19.0 |
| ไกลซีน | | - |
| กรดกลูตามิค | | - |
| กรดแอสปาร์ติก | | 25.0 |
| อะลานีน | | 25.0 |
| **รวม** | | 94.50 |

[1] ค่าจากการคำนวณในปลาป่น 130 กรัม และเจลาติน 20 กรัม (ข้อมูลปลาป่น 55% จาก ยุทธนา, 2537 และ เจลาติน จาก NRC, 1993)

ตารางที่ 34 ปริมาณอาร์จินีน : ไลซีน, กรดกลูตามิค และไกลซีน (กรัม/อาหาร 1 กิโลกรัม) ในอาหารทดลองในการศึกษาการเป็นปฏิปักษ์ของกรดอะมิโนอาร์จินีน-ไลซีนต่อการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลากดเหลือง

| สูตรอาหาร | ระดับอาร์จินีน:ไลซีนในอาหาร | | ปริมาณอาร์จินีนที่เติม[1] | ปริมาณไลซีนที่เติม[2] | ปริมาณกรดกลูตามิคที่เติม[3] | ปริมาณไกลซีนที่เติม[4] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ร้อยละของน้ำหนักอาหาร | ร้อยละของโปรตีน | | | | |
| 1 | 1.68:1.21 | 4.80:3.46 | 9.90 | 7.83 | 33.00 | 62.00 |
| 2 | 1.68:4.85 | 4.80:13.86 | 9.90 | 53.33 | 26.00 | 29.00 |
| 3 | 5.28:1.21 | 15.08:3.46 | 46.10 | 7.83 | 34.00 | - |
| 4 | 5.28:4.85 | 15.08:13.86 | 46.10 | 53.33 | - | - |

[1] L-arginine

[2] L-lysine-HCl

[3] L-glutamic acid

[4] L-glycine

**3. การทดลองและการเก็บรวบรวมข้อมูล**

ทำการทดลองแบบสุ่มตลอด โดยใช้อาหาร 4 สูตรและให้อาหารแต่ละสูตรแก่ปลา 3 ตู้ทดลอง เป็นระยะเวลา 57 วัน จัดการการเลี้ยง และเก็บรวบรวมข้อมูลเช่นเดียวกับโครงการย่อยที่ 1

เมื่อสิ้นสุดการทดลองชั่งน้ำหนักปลา เก็บตัวอย่างปลาแต่ละตู้จำนวน 3 ตัว มาชั่งน้ำหนักตับ และคำนวณค่าการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้อาหารเช่นเดียวกับโครงการย่อยที่ 1 และนำน้ำหนักตับมาคำนวณค่าดัชนีตับ (Hepatosomatic index) ตามวิธีการของ Anwar และ Jafri (1995) โดยสมการ

$$\text{ดัชนีตับ (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักตับปลา (กรัม/ตัว)}}{\text{น้ำหนักตัวปลา (กรัม/ตัว)}} \times 100$$

นำค่าที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ CRD และวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติเช่นเดียวกับโครงการย่อยที่ 1

# ผลการทดลอง

## 1. องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารสูตรต่างๆแสดงในตารางที่ 35 โดยมีระดับความชื้นร้อยละ 4.54 ± 0.02 ถึง 7.95 ± 0.01 โปรตีนร้อยละ 35.52 ± 0.26 ถึง 36.92 ± 0.60 ไขมันร้อยละ 10.65 ± 1.40 ถึง 16.22 ± 0.80 และเถ้าร้อยละ 6.62 ± 0.01 ถึง 6.76 ± 0.03 ของน้ำหนักอาหารแห้ง

ตารางที่ 35 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง (ร้อยละของน้ำหนักอาหารแห้ง) ในการศึกษาการเป็นปฏิปักษ์ของกรดอะมิโนอาร์จินีน-ไลซีนต่อการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลากดเหลือง[1]

| สูตรอาหาร | ความชื้น | โปรตีน | ไขมัน | เถ้า |
|---|---|---|---|---|
| 1 (4.80,3.46)[2] | 4.54 ± 0.02 | 36.92 ± 0.60 | 10.65 ± 1.40 | 6.67 ± 0.03 |
| 2 (4.80,13.86) | 6.02 ± 0.04 | 36.71 ± 0.34 | 12.15 ± 0.49 | 6.62 ± 0.01 |
| 3 (15.08,3.46) | 7.95 ± 0.01 | 36.79 ± 0.24 | 16.22 ± 0.80 | 6.65 ± 0.00 |
| 4 (15.08,13.86) | 7.05 ± 0.00 | 35.52 ± 0.26 | 12.42 ± 0.54 | 6.76 ± 0.03 |

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3)

[2]ตัวเลขในวงเล็บเป็นระดับอาร์จินีนและไลซีนในอาหาร (ร้อยละของโปรตีน)

## 2. ความผิดปกติของปลากดเหลือง

ผลการศึกษาพบว่า ปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีกรดอะมิโนอาร์จินีน-ไลซีน ที่ระดับต่างๆ ไม่มีความผิดปกติของพยาธิสภาพภายนอก แต่ปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารสูตรที่มีระดับอาร์จินีน-ไลซีน ร้อยละ 4.80 และ 3.46 ของโปรตีนในอาหาร จะกินอาหารน้อยกว่าสูตรอื่นๆ และมีอัตราการรอดตายต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรอื่นๆ ถึงแม้จะไม่มีความแตกต่างทางสถิต ทั้งนี้อาจเกิดเนื่องจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 และ 4 มีค่าสูง (ตารางที่ 36)

## 3. การเจริญเติบโต

น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง น้ำหนักปลาที่เพิ่ม เปอร์เซ็นต์น้ำหนักปลาที่เพิ่ม และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ ของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารทั้ง 4 สูตรเป็นระยะเวลา

57 วัน แสดงในตารางที่ 36 โดยน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวเริ่มต้นการทดลองของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารแต่ละสูตรมีค่าอยู่ในช่วง 6.75 ± 0.22 ถึง 6.82 ± 0.40 และไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

เมื่อสิ้นสุดการทดลองปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ที่มีระดับอาร์จินีนและไลซีนร้อยละ 4.80 และ 3.46 ของโปรตีนในอาหาร มีน้ำหนักเฉลี่ย 14.39 ± 0.88 กรัมต่อตัว คิดเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มร้อยละ 112.11 ± 22.64 และมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะร้อยละ 1.31 ± 0.19 ต่อวัน ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำที่สุด และต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 ถึง 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) สำหรับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 ถึง 4 มีน้ำหนักเฉลี่ยอยู่ในช่วง 24.15 ± 0.71 ถึง 26.70 ± 1.31 กรัมต่อตัว คิดเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น 256.03 ± 14.78 ถึง 295.80 ± 18.58 และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะร้อยละ 2.19 ± 0.52 ถึง 2.41 ± 0.08 ต่อวัน โดยการเจริญเติบโตของปลาไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

**4. ประสิทธิภาพการใช้อาหาร โปรตีน และไขมัน**

น้ำหนักอาหารที่ปลากิน ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ โปรตีนสะสมต่อวัน ไขมันสะสมต่อวัน และค่าดัชนีตับ ของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารทั้ง 4 สูตร เป็นเวลา 57 วัน แสดงในตารางที่ 37 เมื่อพิจารณาค่าน้ำหนักอาหารที่ปลากิน ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และโปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ของปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ที่มีระดับของอาร์จินีนและไลซีนต่ำที่สุดร้อยละ 4.80 และ 3.46 ของโปรตีนในอาหาร พบว่ามีค่าเท่ากับ 13.16 ± 0.93 กรัมต่อตัว, 0.57 ± 0.06, 1.63 ± 0.18 และ ร้อยละ 24.95 ± 1.73 ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าของปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 ถึง 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

สำหรับการสะสมโปรตีนของปลา พบว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 มีการสะสมต่ำที่สุดและต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 ถึง 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 6.65 ± 0.66 ถึง 6.84 ± 0.12 และสำหรับการสะสมไขมัน พบว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 มีค่าไขมันสะสมต่อวันต่ำที่สุดเช่นกันและต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p<0.05$) และปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 ที่มีระดับอาร์จินีนสูงและไลซีนต่ำคือร้อยละ 15.08 และ 3.46 มีค่าไขมันสะสมต่อวันสูงที่สุด สูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

สำหรับค่าดัชนีตับ (Hepatosomatic index) ของปลาที่ได้รับอาหารทุกสูตรการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ 36 น้ำหนักเริ่มต้น น้ำหนักสุดท้าย เปอร์เซ็นต์น้ำหนักปลาที่เพิ่ม อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และอัตราการรอดตายของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีอาร์จีนีน-ไลซีน ระดับต่างๆ เป็นเวลา 57 วัน[1]

| สูตรอาหาร | น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม/ตัว) | น้ำหนักสุดท้าย (กรัม/ตัว) | เปอร์เซ็นต์น้ำหนักปลาที่เพิ่ม[2] | อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ[3] (ร้อยละ/วัน) | อัตราการรอดตาย[4] (ร้อยละ) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 (4.80,3.46)[5] | $6.81 \pm 0.42^{a}$ | $14.39 \pm 0.88^{b}$ | $112.11 \pm 22.64^{b}$ | $1.31 \pm 0.19^{b}$ | $72.22 \pm 16.67^{a}$ |
| 2 (4.80,13.86) | $6.79 \pm 0.11^{a}$ | $24.15 \pm 0.71^{a}$ | $256.03 \pm 14.78^{a}$ | $2.23 \pm 0.07^{a}$ | $90.74 \pm 3.21^{a}$ |
| 3 (15.08,3.46) | $6.75 \pm 0.22^{a}$ | $26.70 \pm 1.31^{a}$ | $295.80 \pm 18.58^{a}$ | $2.41 \pm 0.08^{a}$ | $94.44 \pm 5.56^{a}$ |
| 4 (15.08,13.86) | $6.82 \pm 0.40^{a}$ | $24.72 \pm 8.50^{a}$ | $258.51 \pm 103.32^{a}$ | $2.19 \pm 0.52^{a}$ | $81.48 \pm 22.45^{a}$ |

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ใช้จำนวนซ้ำ (n = 3) ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \geq 0.05$)

[2]เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่ม = (น้ำหนักสุดท้าย (กรัม/ตัว) –น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม/ตัว))x 100/น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม/ตัว)

[3]อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ = $\ln w_2 - \ln w_1 x100/t_2 - t_1$

[4]อัตราการรอดตาย = จำนวนปลาที่เหลือ x100/จำนวนปลาเริ่มต้น

[5]ตัวเลขในวงเล็บเป็นระดับอาจีนีนและไลซีนในอาหาร (ร้อยละของโปรตีน)

ตารางที่ 37 น้ำหนักอาหารที่ปลากิน ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ โปรตีนสะสมต่อวัน ไขมันสะสมต่อวัน และดัชนีตับของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีอาร์จีนีน-ไลซีนระดับต่างๆ เป็นเวลา 57 วัน[1]

| สูตรอาหาร | น้ำหนักอาหารที่ปลากิน (กรัม/ตัว) | ประสิทธิภาพการใช้อาหาร[2] | ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน[3] | โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์[4] (%) | โปรตีนสะสมต่อวัน[5] (กรัมโปรตีน/กิโลกรัม/วัน) | ไขมันสะสมต่อวัน[6] (กรัมไขมัน/กิโลกรัม/วัน) | ดัชนีตับ[7] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 (4.80,3.46)[8] | 13.16 ± 0.93$^{b}$ | 0.57 ± 0.06$^{b}$ | 1.63 ± 0.18$^{b}$ | 24.95 ± 1.73$^{b}$ | 5.14 ± 0.48$^{b}$ | 3.73 ± 0.28$^{c}$ | 1.48 ± 0.21$^{a}$ |
| 2 (4.80,13.86) | 23.60 ± 0.28$^{a}$ | 0.74 ± 0.03$^{a}$ | 2.13 ± 0.07$^{a}$ | 33.24 ± 1.92$^{a}$ | 6.78 ± 0.11$^{a}$ | 4.78 ± 0.40$^{b}$ | 1.68 ± 0.26$^{a}$ |
| 3 (15.08,3.46) | 27.98 ± 1.83$^{a}$ | 0.71 ± 0.02$^{a}$ | 2.11 ± 0.05$^{a}$ | 32.07 ± 2.26$^{a}$ | 6.84 ± 0.12$^{a}$ | 5.80 ± 0.10$^{a}$ | 1.77 ± 0.33$^{a}$ |
| 4 (15.08,13.86) | 25.33 ± 8.73$^{a}$ | 0.69 ± 0.09$^{a}$ | 2.08 ± 0.26$^{a}$ | 32.58 ± 4.12$^{a}$ | 6.65 ± 0.66$^{a}$ | 4.90 ± 0.65$^{b}$ | 1.54 ± 0.31$^{a}$ |

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \geq 0.05$)

[2]ประสิทธิภาพการใช้อาหาร = น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม)/น้ำหนักอาหารที่ปลากิน (กรัม)

[3]ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน = น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม)/น้ำหนักโปรตีนที่ปลากิน (กรัม)

[4]โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ = โปรตีนของตัวปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม) x100/น้ำหนักโปรตีนที่ปลากินตลอดการทดลอง (กรัม)

[5]โปรตีนสะสมต่อวัน = (โปรตีนของตัวปลาที่เพิ่มขึ้น(กรัมโปรตีนต่อกิโลกรัม)/(น้ำหนักปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (กิโลกรัม) x จำนวนวันที่ทำการทดลอง

[6]ไขมันสะสมต่อวัน = (ไขมันของตัวปลาที่เพิ่มขึ้น(กรัมไขมันต่อกิโลกรัม)/(น้ำหนักปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (กิโลกรัม) x จำนวนวันที่ทำการทดลอง

[7]ดัชนีตับ = น้ำหนักตับ (กรัม) x 100 / น้ำหนักตัว (กรัม)

[8]ตัวเลขในวงเล็บเป็นระดับอาร์จีนีนและไลซีนในอาหาร (ร้อยละของโปรตีน)

**5. องค์ประกอบทางเคมีของซากปลากดเหลือง**

องค์ประกอบทางเคมีของซากปลากดเหลือง เมื่อเริ่มต้นการทดลองและสิ้นสุดการทดลอง แสดงในตารางที่ 38 พบว่า ระดับโปรตีนของซากปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 มีค่าสูงที่สุดร้อยละ 53.90 ± 0.79 ซึ่งมีความแตกต่างทางสถิติ ($p<0.05$) กับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 ที่มีค่าโปรตีนต่ำที่สุดร้อยละ 51.29 ± 0.15 แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p\geq0.05$) กับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 และ 4 ที่มีค่าโปรตีนร้อยละ 52.40 ± 1.06 และ 52.38 ± 1.01 ตามลำดับ ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2, 3 และ 4 เปอร์เซ็นต์โปรตีนของร่างกายไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ไขมันของซากปลากดเหลืองพบว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 มีค่าสูงที่สุดคือร้อยละ 38.44 ± 0.37 และมีปริมาณไขมันสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1, 2 และ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

สำหรับเปอร์เซ็นต์เถ้าของซากปลากดเหลืองพบว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 มีค่าสูงที่สุดคือร้อยละ 15.05 ± 0.61 และสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2, 3 และ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 38 องค์ประกอบทางเคมีของซากปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีอาร์จินีน-ไลซีน ระดับต่างๆ (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)[1]

| สูตรอาหาร | ความชื้น | โปรตีน | ไขมัน | เถ้า |
|---|---|---|---|---|
| **เริ่มต้น** | 75.65 ± 0.22 | 58.28 ± 0.08 | 25.51 ± 1.25 | 12.87 ± 0.07 |
| 1 (4.80,3.46)[2] | 72.57 ± 0.79[a] | 53.90 ± 0.79[a] | 32.03 ± 0.99[b] | 15.05 ± 0.61[a] |
| 2 (4.80,13.86) | 71.01 ± 0.68[a] | 52.40 ± 1.06[ab] | 33.26 ± 2.16[b] | 12.67 ± 0.64[b] |
| 3 (15.08,3.46) | 70.83 ± 1.21[a] | 51.29 ± 0.15[b] | 38.44 ± 0.37[a] | 12.26 ± 0.10[b] |
| 4 (15.08,13.86) | 70.98 ± 2.25[a] | 52.38 ± 1.01[ab] | 34.22 ± 1.92[b] | 12.88 ± 0.96[b] |

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($n = 3$)

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p\geq0.05$)

[2]ตัวเลขในวงเล็บเป็นระดับอาร์จินีน-ไลซีนในอาหาร (ร้อยละของโปรตีน)

## โครงการย่อยที่ 5 : ความต้องการกรดอะมิโนเมทไธโอนีนของปลากดเหลือง (*Mystus Nemurus* Cuv.& Val.)

Dietary Methionine Requirement of Yellow Mystus, (*Mystus nemurus* Cuv.& Val.)

### อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

**1. การเตรียมปลาทดลอง**

วิธีการอนุบาลและปรับสภาพปลาเพื่อการศึกษาเช่นเดียวกับโครงการย่อยที่ 1 โดยใช้ปลาเมื่อเริ่มต้นการทดลอง 20 ตัวต่อตู้ จำนวนทั้งหมด 30 ตู้

**2. การเตรียมอาหารทดลอง**

อาหารทดลองสูตรพื้นฐาน (ตารางที่ 39) มีปลาป่นและเจลาติน เป็นแหล่งโปรตีน และเติมกรดอะมิโนรูปผลึก เพื่อให้มีองค์ประกอบของกรดอะมิโนเช่นเดียวกับองค์ประกอบกรดอะมิโนในตัวปลากดเหลือง (ตารางที่ 40) โดยอาหารทดลองที่ใช้ศึกษาความต้องการกรดอะมิโนเมทไธโอนีนของปลากดเหลือง มี 9 สูตร โดยมีปริมาณของกรดอะมิโนเมทไธโอนีน ในอาหารร้อยละ 0.28 (0.79) 0.46 (1.32) 0.64 (1.84) 0.83 (2.37) 1.01 (2.89) 1.20 (3.42) 1.38 (3.94) 1.56 (4.47) และ 1.74 (4.99) ของน้ำหนักอาหาร (ร้อยละของโปรตีนในอาหาร) ปรับระดับโปรตีนในอาหารโดยการลดปริมาณกรดอะมิโนกลูตามิคตามปริมาณของเมทไธโอนีนที่เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 41) สำหรับอาหารสูตรเปรียบเทียบ ใช้ปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีน และมีองค์ประกอบของอาหารดังแสดงในตารางที่ 42

การเตรียมอาหารทดลองและอาหารสูตรเปรียบเทียบมีวิธีการเตรียมและการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและกรดอะมิโนเช่นเดียวกับโครงการย่อยที่ 1

**3. การทดลองและการเก็บรวบรวมข้อมูล**

ทำการทดลองแบบสุ่มตลอด โดยใช้อาหาร 10 สูตรและให้อาหารแต่ละสูตรแก่ปลา 3 ตู้ทดลอง เป็นระยะเวลา 90 วัน จัดการการเลี้ยง และเก็บรวบรวมข้อมูลเช่นเดียวกับโครงการย่อยที่ 1

เมื่อสิ้นสุดการทดลองทำการชั่งน้ำหนักปลา วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี คำนวณข้อมูลและวิเคราะห์ทางสถิติ โดยมีวิธีการเช่นเดียวกับโครงการย่อยที่ 1

สำหรับการหาระดับเมทไธโอนีนที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลากดเหลืองนั้นนำค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะและระดับเมทไธโอนีนในอาหารมาหาระดับเมทไธโอนีนที่เหมาะสมเช่นเดียวกับโครงการย่อยที่ 2

ตารางที่ 39 องค์ประกอบของอาหารสูตรพื้นฐานในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนเมทไธโอนีนของปลากดเหลือง

| วัสดุอาหาร | กรัม / อาหาร 1 กิโลกรัม |
|---|---|
| ปลาป่น | 132.00 |
| เจลาติน | 20.00 |
| กรดอะมิโนรูปผลึก[1] | 229.56 |
| กรดอะมิโนกลูตามิค/เมทไธโอนีน[2] | 50.99 |
| เด็กซตริน[3] | 300.00 |
| น้ำมันปลา[4] | 73.00 |
| แร่ธาตุรวม[5] | 65.00 |
| วิตามินรวม[6] | 12.19 |
| วิตามินซี | 1.00 |
| carboxy methyl cellulose | 30.00 |
| ผงวุ้น | 5.00 |
| เซลลูโลส | 81.26 |

[1]กรดอะมิโนรูปผลึก ของบริษัท Ajinomoto Co., Inc Tokyo โดยปริมาณของกรดอะมิโนแต่ละชนิดในอาหารดังแสดงในตารางที่ 40

[2]ปริมาณกรดกลูตามิค/เมทไธโอนีน แตกต่างกันในอาหารแต่ละสูตร ดังแสดงในตารางที่ 41

[3]เด็กซตรินจากข้าวโพด ของบริษัท Sigma

[4]โอเมก้า ออย ของบริษัทแอควาเทค

[5]แร่ธาตุรวม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม): calcium carbonate (40.04% Ca) 20,701.8; calcium phosphate (39.89% Ca, 18.50% P) 24,324.3; sodium chloride 1,800; potassium sulfate (45% K) 9,577.8; magnesium sulfate (20.20% Mg) 3,465.3; ferrous sulfate (36.77% Fe) 298.5; manganous sulfate (36.38% Mn) 14.8; zinc sulfate (40.5% Zn) 175.8; cupric sulfate (39.81% Cu) 19.6; cobalt chloride (45.39% Co) 1.9; potassium iodide (76.45% I) 2.6; sodium selenite (45.65% Se) 17.0 (NRC, 1993)

[6]วิตามินรวม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม): vitamin A (retinyl acetate) 1.89; vitamin $D_3$ (cholecalciferol) 0.0625; vitamin E (∝-tocopherol) 181.82; vitamin $K_3$ (menadione sodium bisulfate) 10; thiamine (thiamine HCl) 40; riboflavin 40; pyridoxine (pyridoxol HCl) 30; pantothenic acid (calcium-d-pantothenate) 120; nicotinic acid 300; biotin 0.3; folic acid 5.0; $B_{12}$ (cyanocobalamin) 0.2; choline chloride 2,000; inositol 500 (NRC, 1993)

ตารางที่ 40 องค์ประกอบกรดอะมิโนของอาหารสูตรพื้นฐาน (กรัม/อาหาร 1 กิโลกรัม) ในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนเมทไธโอนีนของปลากดเหลือง

| กรดอะมิโน | กรดอะมิโนจากปลาป่น และเจลาติน [1] | กรดอะมิโนรูปผลึก |
|---|---|---|
| **กรดอะมิโนที่จำเป็น** | | |
| อาร์จินีน | 6.17 | 13.33 |
| ฮิสทิดีน | 1.84 | 5.76 |
| ไอโซลูซีน | 2.68 | 9.72 |
| ลูซีน | 5.46 | 18.94 |
| ไลซีน | 5.23 | 27.20 |
| เมทไธโอนีน | 2.79 | - |
| เฟนิลอะลานีน | 5.06 | 6.68 |
| ทรีโอนีน | 3.28 | 11.32 |
| ทริฟโทเฟน | 0.87 | 1.86 |
| วาลีน | 3.15 | 10.75 |
| **รวม** | 36.53 | 105.56 |
| **กรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น** | | |
| ซีสทีน | | - |
| ไทโรซีน | | 8.50 |
| ซีรีน | | 15.00 |
| โปรลีน | | 19.00 |
| ไกลซีน | | 31.50 |
| กรดกลูตามค | | - |
| กรดแอสปาร์ติก | | 25.00 |
| อะลานีน | | 25.00 |
| **รวม** | | 124.00 |

[1] ค่าจากการคำนวณในปลาป่น 132 กรัม และเจลาติน 20 กรัม (ข้อมูลปลาป่น 55% จาก ยุทธนา, 2537 และ เจลาติน จาก NRC, 1993)

ตารางที่ 41 ปริมาณเมทไธโอนีนและกรดกลูตามิค (กรัม/อาหาร 1 กิโลกรัม) ในอาหารทดลองในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนเมทไธโอนีนของปลากดเหลือง

| สูตรอาหาร | ระดับเมทไธโอนีนในอาหาร | | ปริมาณเมทไธโอนีนที่เติม[1] | ปริมาณกรดกลูตามิคที่เติม[2] |
|---|---|---|---|---|
| | ร้อยละของน้ำหนักอาหาร | ร้อยละของโปรตีน | | |
| 1 | 0.28 | 0.79 | - | 50.99 |
| 2 | 0.46 | 1.32 | 1.83 | 49.16 |
| 3 | 0.64 | 1.84 | 3.65 | 47.34 |
| 4 | 0.83 | 2.37 | 5.51 | 45.48 |
| 5 | 1.01 | 2.89 | 7.31 | 43.68 |
| 6 | 1.20 | 3.42 | 9.18 | 41.81 |
| 7 | 1.38 | 3.94 | 11.00 | 39.99 |
| 8 | 1.56 | 4.47 | 12.86 | 38.13 |
| 9 | 1.74 | 4.99 | 14.68 | 36.31 |

[1]L-Methionine

[2]L-glutamic acid

ตารางที่ 42 องค์ประกอบของอาหารสูตรเปรียบเทียบในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนเมทไธโอนีนของปลากดเหลือง

| วัสดุอาหาร | กรัม / อาหาร 1 กิโลกรัม |
|---|---|
| ปลาป่น | 625 |
| เด็กซตริน | 268 |
| แร่ธาตุรวม | 65 |
| วิตามินรวม | 12.19 |
| น้ำมันปลา | 6 |
| carboxy methyl cellulose | 15 |
| วิตามินซี | 1 |
| เซลลูโลส | 7.81 |

# ผลการทดลอง

## 1. องค์ประกอบทางเคมีและกรดอะมิโนของอาหารทดลอง

ผลการวิเคราะห์อาหารสูตรต่างๆ แสดงในตารางที่ 43 โดยมีระดับความชื้นร้อยละ 5.26 ถึง 10.56 โปรตีนร้อยละ 30.57 ถึง 32.35 ไขมันร้อยละ 8.39 ถึง 11.94 เถ้าร้อยละ 9.69 ถึง 22.43 ของน้ำหนักอาหารแห้ง

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบกรดอะมิโนของอาหารสูตรที่ 5 และ 6 แสดงในตารางที่ 44 โดยอาหารสูตรที่ 5 มีระดับเมทไธโอนีนร้อยละ 1.91 และ อาหารสูตรที่ 6 มีระดับเมทไธโอนีนร้อยละ 2.46 ของระดับโปรตีนในอาหาร

ตารางที่ 43 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง (ร้อยละของน้ำหนักอาหารแห้ง) ในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนเมทไธโอนีนของปลากดเหลือง

| สูตรอาหาร | ความชื้น | โปรตีน | ไขมัน | เถ้า |
|---|---|---|---|---|
| 1 (0.79)[1] | 9.20 | 32.19 | 8.49 | 9.87 |
| 2 (1.32) | 10.56 | 31.82 | 8.39 | 9.84 |
| 3 (1.84) | 6.95 | 30.72 | 10.07 | 9.78 |
| 4 (2.37) | 7.85 | 30.91 | 9.86 | 9.84 |
| 5 (2.89) | 8.04 | 30.70 | 11.55 | 9.69 |
| 6 (3.42) | 9.47 | 30.75 | 10.07 | 9.82 |
| 7 (3.94) | 6.51 | 30.57 | 10.18 | 9.95 |
| 8 (4.47) | 7.99 | 30.71 | 11.94 | 9.87 |
| 9 (4.99) | 9.50 | 31.67 | 10.45 | 9.73 |
| สูตรเปรียบเทียบ | 5.26 | 32.35 | 11.39 | 22.43 |

[1]ตัวเลขในวงเล็บเป็นระดับเมทไธโอนีนในอาหาร (ร้อยละของโปรตีน)

ตารางที่ 44 องค์ประกอบกรดอะมิโนของอาหารทดลอง (ร้อยละของโปรตีน) ในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนเมทไธโอนีนของปลากดเหลือง

| กรดอะมิโน | สูตรอาหาร | |
|---|---|---|
| | 4(2.57)[1] | 5(2.89) |
| อาร์จินีน | 5.25 | 5.08 |
| ฮีสทิดีน | 1.59 | 1.86 |
| ไอโซลูซีน | 3.41 | 3.19 |
| ลูซีน | 7.01 | 6.50 |
| ไลซีน | 7.23 | 7.29 |
| เมทไธโอนีน | 2.13 | 2.71 |
| ซีสทีน | 0.25 | 0.88 |
| เฟนิลอะลานีน | 3.09 | 3.00 |
| ทรีโอนีน | 3.95 | 3.91 |
| ทริฟโตเฟน | n.d. | n.d. |
| วาลีน | 3.85 | 3.69 |

[1] ตัวเลขในวงเล็บเป็นระดับเมทไธโอนีนในอาหาร (ร้อยละของโปรตีน)

n.d.= not detected

## 2. ความผิดปกติและพฤติกรรมของปลากดเหลือง

ปลาที่ได้รับอาหารที่มีเมทไธโอนีนที่ระดับต่าง ๆ ไม่มีความผิดปกติของพยาธิสภาพภายนอกแต่ปลาที่ได้รับอาหารที่มีระดับเมทไทโอนีนร้อยละ 0.79 (ไม่เสริมเมทไธโอนีน) และ 1.32 ของโปรตีนในอาหาร จะกินอาหารน้อยกว่าสูตรอื่น ๆ และมีอัตราการรอดตายต่ำ (ตารางที่ 45)

## 3. การเจริญเติบโต

น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง เปอร์เซ็นต์น้ำหนักปลาที่เพิ่ม และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ ของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารทั้ง 10 สูตรเป็นระยะเวลา 90 วัน แสดงในตารางที่ 45 โดยปลามีน้ำหนักเฉลี่ยเมื่อเริ่มต้นการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P \geq 0.05$)

ปลาที่ได้รับอาหารสูตรเปรียบเทียบมีน้ำหนักเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง 38.92 ± 0.01 กรัมต่อตัว โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักปลาที่เพิ่ม 308.38 ± 14.16 เปอร์เซ็นต์ และมีอัตราการ

เจริญเติบโตจำเพาะร้อยละ 1.56 ± 0.04 ต่อวัน ซึ่งมีความแตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ถึง 9 อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

เมื่อสิ้นสุดการทดลองปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 และ 2 มีน้ำหนักตัวเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกันคือ 10.49 ± 0.46 และ 13.15 ± 0.91 กรัมต่อตัว ตามลำดับ และมีน้ำหนักน้อยกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 ถึง 9 อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) สำหรับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีเมทไธโอนีนร้อยละ 1.84, 2.37, 2.89, 3.94, 4.47 และ 4.99 ของโปรตีนในอาหาร ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p\geq0.05$) ส่วนปลาที่ได้รับอาหารที่มีเมทไธโอนีนร้อยละ4.99 ของโปรตีนในอาหาร มีค่าต่ำสุด ต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีเมทไธโอนีนร้อยละ 3.42 ของโปรตีนในอาหารอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

เปอร์เซ็นต์น้ำหนักปลาที่เพิ่มของปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีเมทไธโอนีนร้อยละ 0.79 และ 1.32 ของโปรตีนในอาหารไม่มีความแตกต่างกัน ($p\geq0.05$) ส่วนปลาที่ได้รับอาหารที่มีเมทไธโอนีนร้อยละ 4.99 ของโปรตีนในอาหาร ไม่มีความแตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีเมทไธโอนีนร้อยละ 1.32 ของโปรตีนในอาหาร สำหรับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 ถึง 9 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\geq0.05$)

ปลาที่ได้รับอาหารที่มีเมทไธโอนีนร้อยละ 0.79 และ 1.32 ของระดับโปรตีนในอาหารมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะไม่แตกต่างกัน ($p\geq0.05$) แต่ต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีเมทไธโอนีนสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีเมทไธโอนีนร้อยละ 1.84, 2.37, 2.89, 3.94, 4.47 และ 4.49 ของโปรตีนในอาหาร ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\geq0.05$) สำหรับปลาที่ได้รับอาหารที่มีเมทไธโอนีนร้อยละ4.99 ของโปรตีนในอาหาร มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะต่ำสุด ต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีเมทไทโอนีนร้อยละ 3.42 ของโปรตีนในอาหารอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

เมื่อนำอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ มาหาความสัมพันธ์กับระดับเมทไธโอนีนในอาหาร โดยใช้ non-linear regression ที่มี 4 พารามิเตอร์ ( Cho *et al.*,1992 ;Mercer, 1982) พบว่าระดับเมทไธโอนีนในอาหารที่ให้ค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะคิดเป็นร้อยละ 95 ของอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 2.69 ของโปรตีนในอาหาร (ภาพที่ 4) ซึ่งค่าดังกล่าวถือว่าเป็นระดับเมทไธโอนีนที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลากดเหลือง

ตารางที่ 45 น้ำหนักเริ่มต้น น้ำหนักสุดท้าย เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และอัตราการรอดตายของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีเมทไธโอนีน ระดับต่างๆ เป็นเวลา 90 วัน[1]

| สูตรอาหาร | น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม/ตัว) | น้ำหนักสุดท้าย (กรัม/ตัว) | เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่ม[2] | อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ[3] (ร้อยละ/วัน) | อัตราการรอดตาย[4] (ร้อยละ) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 (0.79)[5] | 9.80 ± 0.53 | 10.49 ± 0.46$^{d}$ | 7.14 ± 4.52$^{d}$ | 0.08 ± 0.05$^{d}$ | 71.67 ± 7.64$^{bc}$ |
| 2 (1.32) | 10.18 ±0.23 | 13.15 ±0.91$^{d}$ | 29.08 ± 6.13$^{cd}$ | 0.28 ± 0.05$^{d}$ | 71.67 ± 2.89$^{bc}$ |
| 3 (1.84) | 10.09 ± 0.09 | 19.32 ± 3.14$^{bc}$ | 91.57 ± 32.09$^{b}$ | 0.71 ± 0.19$^{bc}$ | 75.00 ± 10.00$^{bc}$ |
| 4 (2.37) | 10.20 ± 0.15 | 19.57 ± 2.63$^{bc}$ | 92.11 ± 28.05$^{b}$ | 0.72 ± 0.17$^{bc}$ | 61.67 ± 2.89$^{c}$ |
| 5 (2.89) | 10.26 ± 0.13 | 19.66 ± 0.67$^{bc}$ | 91.67 ± 7.03$^{b}$ | 0.72 ± 0.04$^{bc}$ | 75.00 ± 13.23$^{bc}$ |
| 6 (3.42) | 10.15 ± 0.58 | 21.91 ± 4.90$^{b}$ | 114.50 ± 36.88$^{b}$ | 0.84 ± 0.20$^{b}$ | 75.00 ± 10.00$^{bc}$ |
| 7 (3.94) | 10.17 ± 0.06 | 20.77 ± 2.03$^{bc}$ | 104.16 ± 19.95$^{b}$ | 0.79 ± 0.11$^{bc}$ | 68.33 ± 2.89$^{bc}$ |
| 8 (4.47) | 9.74 ± 0.77 | 18.58 ± 1.40$^{bc}$ | 91.19 ± 15.11$^{b}$ | 0.72 ± 0.09$^{bc}$ | 81.67 ± 7.64$^{b}$ |
| 9 (4.99) | 10.30 ± 0.23 | 17.23 ± 1.37$^{c}$ | 67.49 ± 16.53$^{bc}$ | 0.57 ± 0.11$^{c}$ | 73.33 ± 15.28$^{bc}$ |
| สูตรเปรียบเทียบ | 9.54 ± 0.33 | 38.92 ± 0.01$^{a}$ | 308.38 ± 14.16$^{a}$ | 1.56 ± 0.04$^{a}$ | 100.00 ± 0.00$^{a}$ |

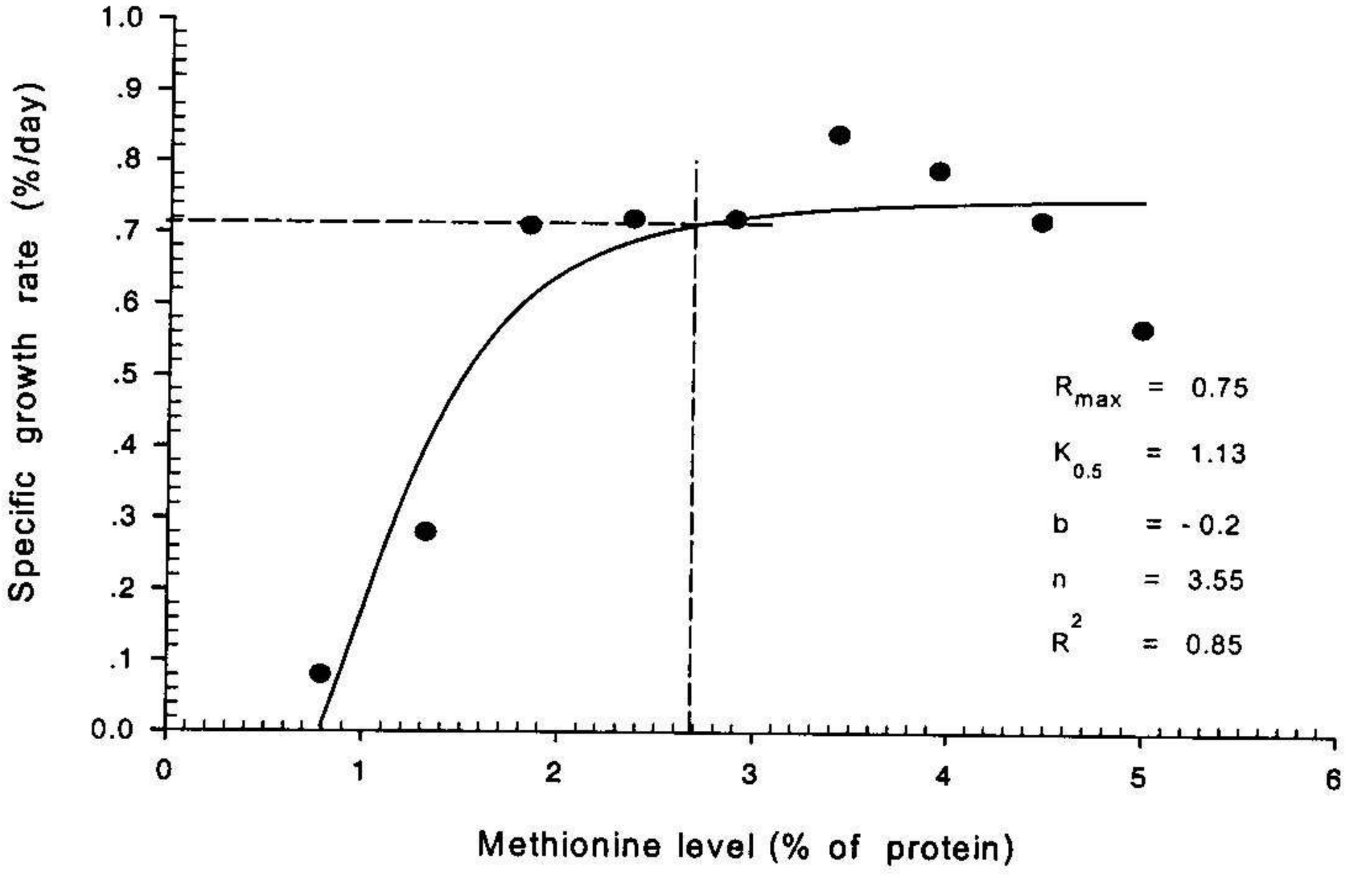
[1] ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( n = 3 ยกเว้นสูตรเปรียบเทียบ n = 2 ) ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \geq 0.05$)

[2] เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่ม = (น้ำหนักสุดท้าย (กรัม/ตัว) – น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม/ตัว)) x100/ น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม/ตัว)

[3] อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ = $\ln w_2 - \ln w_1 \times 100/t_2 - t_1$

[4] อัตราการรอดตาย = (จำนวนปลาที่เหลือ x 100)/ จำนวนปลาเริ่มต้น

[5] ตัวเลขในวงเล็บเป็นระดับเมทไธโอนีนในอาหาร (ร้อยละของโปรตีน)




ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับเมทไธโอนีนในอาหารกับการเจริญเติบโตจำเพาะของปลากดเหลือง จากการวิเคราะห์โดยใช้ non - linear regression โดยที่

y คือ อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ

x คือ ระดับเมทไธโอนีนในอาหาร

b คือ จุดตัดบนแกน y

$K_{0.5}$ คือ ค่าของ x ที่จุด ½ ($R_{max}$ + b)

n คือ ค่า kinetic order

$R_{max}$ คือ อัตราการเจริญจำเพาะสูงที่สุด

เส้นประตัดแกน y คือ ค่าที่ร้อยละ 95 ของการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด

เส้นประตัดแกน x คือ ระดับเมทไธโอนีนในอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลากดเหลือง มีค่า ร้อยละ 2.69 ของโปรตีนในอาหาร

**4. ประสิทธิภาพการใช้อาหาร โปรตีน และไขมัน**

น้ำหนักอาหารที่ปลากิน ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน เปอร์เซ็นต์โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ โปรตีนสะสมต่อวัน และไขมันสะสมต่อวัน ของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารทั้ง 10 สูตร เป็นระยะเวลา 90 วัน แสดงในตารางที่ 46 โดยน้ำหนักอาหารที่ปลากินพบว่าปลาในกลุ่มที่ได้รับอาหารสูตรเปรียบเทียบกินอาหารมากที่สุดเป็น 43.56 $\pm$ 0.46 กรัมต่อตัว แตกต่างจากปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ถึง 9 อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ถึง 9 พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่มีระดับเมทไธโอนีนต่ำสุดร้อยละ 0.79 ของระดับโปรตีนในอาหาร กินอาหารน้อยที่สุดไม่มีความแตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารที่มีเมทไธโอนีนร้อยละ 1.32 ของโปรตีนในอาหาร ($p\geq0.05$) แต่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารที่มีเมทไธโอนีนร้อยละ 1.84 ถึง 4.99 ของระดับโปรตีนในอาหาร อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีระดับเมทไธโอนีนร้อยละ 1.84 ถึง 4.99 ปลากินอาหารไม่แตกต่างกัน ($p\geq0.05$)

สำหรับประสิทธิภาพการใช้อาหารนั้นพบว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีระดับเมทไธโอนีนร้อยละ 0.79 และ 1.32 ของระดับโปรตีนในอาหาร ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p\geq0.05$) แต่มีค่าต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีระดับเมทไธโอนีนสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยปลาที่ได้รับอาหารที่มีระดับเมทไธโอนีนร้อยละ 1.84 ถึง 4.99 ของระดับโปรตีนในอาหารไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p\geq0.05$) ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรเปรียบเทียบนั้นมีค่าสูงที่สุด และมีความแตกต่างกับปลากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ถึง 9 พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1ซึ่งมีระดับเมทไธโอนีนเพียงร้อยละ 0.79 ของโปรตีนในอาหาร มีประสิทธิภาพการใช้โปรตีนต่ำที่สุดรองลงมาได้แก่ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 โดยมีค่าต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) และเมื่อพิจารณาปลาที่ได้รับอาหารที่มีเมทไธโอนีนร้อยละ 1.84 ถึง 4.99 ของโปรตีนในอาหาร พบว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีเมทไธโอนีนร้อยละ 3.42 ของโปรตีนในอาหารมีค่าสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีเมทไธโอนีนร้อยละ 4.99 ของโปรตีนในอาหาร อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ส่วนประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของปลาที่ได้รับอาหารสูตรเปรียบเทียบมีค่าสูงสุดและมีความแตกต่างกับปลากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

เมื่อพิจารณาค่าโปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์พบว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีเมทไธโอนีนร้อยละ 0.79 ของโปรตีนในอาหารมีค่าต่ำสุด รองลงมาได้แก่ ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีเมทไธโอนีนร้อยละ 1.32 ของโปรตีนในอาหาร โดยมีค่าต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) และเมื่อพิจารณาปลาที่ได้รับอาหารที่มีเมทไธโอนีนร้อยละ 1.84 ถึง 4.99 ของโปรตีนในอาหาร พบว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีเมทไธโอนีนร้อยละ 3.42 ของโปรตีนในอาหารมีค่าสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีเมทไธโอนีนร้อยละ 4.99 ของโปรตีนในอาหาร อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

ส่วนปลาที่ได้รับอาหารที่มีเมทไธโอนีนร้อยละ 1.84 , 2.37, 2.89, 3.94, 4.47 และ 4.99 ของโปรตีนในอาหารมีการนำโปรตีนไปใช้ประโยชน์ในระดับที่ใกล้เคียงกัน สำหรับโปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ของปลาที่ได้รับอาหารสูตรเปรียบเทียบมีค่าสูงสุดและมีความแตกต่างกับปลากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

พิจารณาการสะสมโปรตีนต่อวันของปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ถึง 9 นั้น พบว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ที่มีเมทไธโอนีนร้อยละ 0.79 ของโปรตีนในอาหาร มีค่าต่ำสุด รองลงมาได้แก่ ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 ที่มีเมทไธโอนีนร้อยละ 1.32 ของโปรตีนในอาหาร และมีค่าต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีเมทไธโอนีนร้อยละ 1.84 ถึง 4.99 ของโปรตีนในอาหารไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p\geq0.05$) และการสะสมโปรตีนต่อวันของปลาที่ได้รับอาหารสูตรเปรียบเทียบมีค่าสูงสุดและมีความแตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

พิจารณาการสะสมไขมันต่อวันของปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ถึง 9 นั้นพบว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ที่มีเมทไธโอนีนร้อยละ 0.79 ของโปรตีนในอาหารมีค่าต่ำสุดรองลงมาได้แก่ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 ที่มีเมทไธโอนีนร้อยละ 1.32 ของโปรตีนในอาหาร และมีค่าต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 9 ที่มีเมทไธโอนีนร้อยละ 4.99 ของโปรตีนในอาหารนั้นมีค่าไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีเมทไธโอนีนร้อยละ 2.37 ของโปรตีนในอาหารอย่างมีนัยสำคัญ ($p\geq0.05$) แต่มีความแตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีเมทไธโอนีนร้อยละ 1.84, 2.37, 2.89, 3.94 และ 4.47 ของโปรตีนในอาหารไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p\geq0.05$) สำหรับการสะสมไขมันต่อวันของปลาที่ได้รับอาหารสูตรเปรียบเทียบมีค่าสูงสุด ซึ่งไม่มีความแตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีเมทไธโอนีนร้อยละ 3.42 ของโปรตีนในอาหาร ($p\geq0.05$) แต่สูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

ตารางที่ 46 น้ำหนักอาหารที่ปลากิน ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ โปรตีนสะสมต่อวัน และไขมันสะสมต่อวัน ของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีเมทไธโอนีน ระดับต่างๆ เป็นเวลา 90 วัน[1]

| สูตรอาหาร | น้ำหนักอาหารที่ปลากิน (กรัม/ตัว) | ประสิทธิภาพการใช้อาหาร [2] | ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน[3] | โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์[4](%) | โปรตีนสะสมต่อวัน [5] (กรัมโปรตีน/กิโลกรัม/วัน) | ไขมันสะสมต่อวัน [6] (กรัมไขมัน/กิโลกรัม/วัน) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 (0.79)[7] | 13.72 ± 4.57$^{d}$ | 0.05 ± 0.03$^{c}$ | 0.17 ± 0.11$^{e}$ | 3.58 ± 1.04$^{e}$ | 0.74 ± 0.25$^{d}$ | -0.61 ± 0.47$^{f}$ |
| 2 (1.32) | 17.26 ± 2.04$^{cd}$ | 0.17 ± 0.03$^{c}$ | 0.61 ± 0.12$^{d}$ | 10.84 ± 2.14$^{d}$ | 2.04 ± 0.27$^{c}$ | 0.25 ± 0.19$^{e}$ |
| 3 (1.84) | 22.58 ± 4.81$^{bc}$ | 0.40 ± 0.07$^{b}$ | 1.41 ± 0.25$^{bc}$ | 20.70 ± 3.96$^{bc}$ | 3.33 ± 0.58$^{b}$ | 2.36 ± 0.63$^{bc}$ |
| 4 (2.37) | 23.44 ± 2.33$^{b}$ | 0.40 ± 0.09$^{b}$ | 1.38 ± 0.30$^{bc}$ | 22.12 ± 4.33$^{bc}$ | 3.78 ± 0.57$^{b}$ | 1.88 ± 0.53$^{cd}$ |
| 5 (2.89) | 21.55 ± 2.19$^{bc}$ | 0.44 ± 0.08$^{b}$ | 1.56 ± 0.28$^{bc}$ | 23.30 ± 4.21$^{bc}$ | 3.63 ± 0.33$^{b}$ | 2.15 ± 0.20$^{c}$ |
| 6 (3.42) | 24.71 ± 4.41$^{b}$ | 0.47 ± 0.12$^{b}$ | 1.68 ± 0.44$^{b}$ | 25.37 ± 4.76$^{b}$ | 3.72 ± 0.36$^{b}$ | 3.10 ± 0.44$^{ab}$ |
| 7 (3.94) | 23.60 ± 3.63$^{b}$ | 0.45 ± 0.03$^{b}$ | 1.57 ± 0.10$^{bc}$ | 22.82 ± 0.62$^{bc}$ | 3.67 ± 0.25$^{b}$ | 2.42 ± 0.57$^{bc}$ |
| 8 (4.47) | 20.32 ± 1.11$^{bc}$ | 0.43 ± 0.05$^{b}$ | 1.54 ± 0.18$^{bc}$ | 22.87 ± 2.83$^{bc}$ | 3.48 ± 0.40$^{b}$ | 2.27 ± 0.32$^{c}$ |
| 9 (4.99) | 20.54 ± 3.29$^{bc}$ | 0.34 ± 0.05$^{b}$ | 1.17 ± 0.16$^{c}$ | 18.52 ± 1.08$^{c}$ | 3.25 ± 0.42$^{b}$ | 1.29 ± 0.51$^{d}$ |
| สูตรเปรียบเทียบ | 43.56 ± 0.46$^{a}$ | 0.67 ± 0.01$^{a}$ | 2.20 ± 0.05$^{a}$ | 35.03 ± 1.52$^{a}$ | 5.69 ± 0.19$^{a}$ | 3.52 ± 0.08$^{a}$ |

[1] ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3 ยกเว้นสูตรเปรียบเทียบ n = 2) ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น95 เปอร์เซ็นต์ ($p \geq 0.05$)

[2] ประสิทธิภาพการใช้อาหาร = น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม) / น้ำหนักอาหารที่ปลากิน (กรัม)

[3] ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน = น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม) / น้ำหนักโปรตีนที่ปลากิน (กรัม)

[4] โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ = โปรตีนของตัวปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม) x 100 / น้ำหนักโปรตีนที่ปลากินตลอดการทดลอง (กรัม)

[5] โปรตีนสะสมต่อวัน = (โปรตีนของตัวปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัมโปรตีนต่อกิโลกรัม))/น้ำหนักปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง x จำนวนวันที่ทำการทดลอง

[6] ไขมันสะสมต่อวัน = (ไขมันของตัวปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัมไขมันต่อกิโลกรัม))/น้ำหนักปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง x จำนวนวันที่ทำการทดลอง

[7] ตัวเลขในวงเล็บเป็นระดับเมทไธโอนีนในอาหาร (ร้อยละของโปรตีน)

## 5. องค์ประกอบทางเคมีของซากปลากดเหลือง

องค์ประกอบทางเคมีของซากปลากดเหลืองเมื่อเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลองของปลาที่ได้รับอาหารที่มีระดับเมทไธโอนีนต่างๆ เป็นระยะเวลา 90 วัน แสดงในตารางที่ 47 เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าระดับความชื้นของซากปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีเมทไธโอนีนร้อยละ 3.42 มีค่าต่ำสุดร้อยละ 69.47 $\pm$ 0.87 ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรเปรียบเทียบและสูตรที่มีเมทไธโอนีนร้อยละ 1.84 และ 4.47 ของโปรตีนในอาหาร ($p \geq 0.05$) แต่ต่ำกว่าของปลาที่ได้รับอาหารสูตรอื่นๆ ($p < 0.05$) ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีเมทไธโอนีนร้อยละ 0.79 ของโปรตีนในอาหารมีระดับความชื้นสูงที่สุดร้อยละ 73.38$\pm$0.79 ของน้ำหนักแห้ง ไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีเมทไธโอนีนร้อยละ 1.32, 2.89 และ 4.99 ของโปรตีนในอาหาร ($p \geq 0.05$) แต่สูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรอื่นๆ ($p < 0.05$) ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีเมทไธโอนีนร้อยละ 1.32, 1.84, 2.37, 2.89, 3.94, 4.47 และ 4.99 ของโปรตีนในอาหารมีระดับความชื้นไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$)

ระดับโปรตีนของซากปลาพบว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ถึง 9 ไม่มีความแตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรเปรียบเทียบ ($p \geq 0.05$) โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีเมทไธโอนีนร้อยละ 3.42 ของโปรตีนในอาหารมีค่าต่ำที่สุดร้อยละ 47.49$\pm$1.70 ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีเมทไธโอนีนร้อยละ 1.84, 3.94 และ 4.47 ของโปรตีนในอาหาร ($p \geq 0.05$) แต่ต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรอื่นๆ ($p < 0.05$) ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีเมทไธโอนีนร้อยละ 0.79 ของโปรตีนในอาหาร มีค่าสูงสุดร้อยละ 53.45$\pm$2.58 ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งไม่ต่างกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีเมทไธโอนีนร้อยละ 1.32, 2.37, 2.89, และ 4.99 ของโปรตีนในอาหาร ($p \geq 0.05$) แต่สูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรอื่นๆ ($p < 0.05$)

ระดับไขมันพบว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีเมทไธโอนีนร้อยละ 3.42 ของโปรตีนในอาหารมีค่าสูงสุด ร้อยละ 35.63$\pm$0.62 ของน้ำหนักแห้ง และสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรอื่นๆ ($p < 0.05$) ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีเมทไธโอนีนร้อยละ 0.79, 1.32 และ 4.99 ของโปรตีนในอาหาร มีระดับไขมันต่ำอยู่ในช่วงร้อยละ 26.58$\pm$0.98 ถึง 28.41$\pm$2.34 ของน้ำหนักแห้ง และต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรอื่นๆ ($p < 0.05$) สำหรับปลาที่ได้รับอาหารสูตรเปรียบเทียบมีระดับไขมันไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารที่มีเมทไธโอนีนร้อยละ 1.84, 2.37, 2.89, 3.94 และ 4.47 ของโปรตีนในอาหาร ($p \geq 0.05$)

เถ้าของซากปลาที่ได้รับอาหารทดลองสูตรต่างๆ มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 12.06$\pm$0.36 ถึง 15.70$\pm$1.38 โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีเมทไธโอนีนร้อยละ 1.32 ของโปรตีนในอาหารมีค่าสูงสุดและปลาที่ได้รับอาหารสูตรเปรียบเทียบมีค่าต่ำสุดเท่ากับร้อยละ 12.06 $\pm$ 0.36

ตารางที่ 47 องค์ประกอบทางเคมีของซากปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีเมทไธโอนีนระดับต่างๆ (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)[1]

| สูตรอาหาร | ความชื้น | โปรตีน | ไขมัน | เถ้า |
|---|---|---|---|---|
| เริ่มต้น | 74.52 | 53.93 | 35.13 | 11.29 |
| 1 (0.79)[2] | 73.38 ± 0.79[a] | 53.45 ± 2.58[a] | 27.14 ± 2.00[cd] | 14.88 ± 1.31[ab] |
| 2 (1.32) | 71.93 ± 1.30[ab] | 52.35 ± 2.48[ab] | 26.58 ± 0.98[d] | 15.70 ± 1.38[a] |
| 3 (1.84) | 70.51 ± 0.86[bcd] | 48.16 ± 1.49[c] | 32.74 ± 1.39[b] | 13.19 ± 0.61[bcd] |
| 4 (2.37) | 71.53 ± 1.16[b] | 52.03 ± 1.64[ab] | 29.83 ± 2.25[bc] | 12.69 ± 0.43[cd] |
| 5 (2.89) | 71.91 ± 0.21[ab] | 50.94 ± 2.53[abc] | 31.66 ± 0.91[b] | 13.25 ± 0.85[bcd] |
| 6 (3.42) | 69.47 ± 0.87[d] | 47.49 ± 1.70[c] | 35.63 ± 0.62[a] | 12.30 ± 0.73[d] |
| 7 (3.94) | 71.20 ± 1.36[bc] | 49.22 ± 1.85[bc] | 32.31 ± 2.24[b] | 12.56 ± 0.75[cd] |
| 8 (4.47) | 71.01 ± 0.56[bcd] | 49.30 ± 1.49[bc] | 32.10 ± 1.44[b] | 14.21 ± 1.32[abc] |
| 9 (4.99) | 72.18 ± 0.86[ab] | 52.42 ± 0.77[ab] | 28.41 ± 2.34[cd] | 14.17 ± 0.64[abc] |
| สูตรเปรียบเทียบ | 69.62 ± 0.52[cd] | 50.92 ± 0.54[abc] | 31.65 ± 0.77[b] | 12.06 ± 0.36[d] |

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3)

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95เปอร์เซ็นต์ ($p \geq 0.05$)

[2]ตัวเลขในวงเล็บเป็นระดับเมทไธโอนีนในอาหาร (ร้อยละของโปรตีน)

## โครงการย่อยที่ 6 : การศึกษาปริมาณและสัดส่วนที่เหมาะสมของกรดะมิโนเมทไธโอนีนและซีสทีนในอาหารปลากดเหลือง (*Mystus nemurus* Cuv. & Val.)

Optimum Ratio of Methionine - Cystine in Diets for Yellow Mystus (*Mystus nemurus* Cuv. & Val.)

**อุปกรณ์และวิธีการทดลอง**

**1. การเตรียมปลาทดลอง**

วิธีการอนุบาลและปรับสภาพปลาเพื่อการศึกษาเช่นเดียวกับโครงการย่อยที่ 1 โดยใช้ปลาเมื่อเริ่มต้นการทดลองจำนวน 20 ตัวต่อตู้ จำนวนทั้งหมด 24 ตู้

**2. การเตรียมอาหารทดลอง**

อาหารทดลองสูตรพื้นฐาน (ตารางที่ 48) มีปลาป่นและเจลาติน เป็นแหล่งโปรตีน และเติมกรดอะมิโนรูปผลึก เพื่อให้มีองค์ประกอบของกรดอะมิโนเช่นเดียวกับองค์ประกอบกรดอะมิโนในตัวปลากดเหลือง (ตารางที่ 49) โดยอาหารทดลองที่ใช้ศึกษาปริมาณและสัดส่วนของกรดอะมิโนเมทไธโอนีนและซีสทีนที่เหมาะสม มี 7 สูตร ซึ่งมีสัดส่วนของเมทไธโอนีนต่อซีสทีนเท่ากับ 0:100, 20:80, 40:60, 50:50, 60:40, 80:20 และ 100:0 ตามลำดับ โดยสูตรที่ 6 เป็นสูตรทีมีเมทไธโอนีนในปริมาณที่ใกล้เคียงกับตัวปลากดเหลือง คือที่ร้อยละ 3.42 ของโปรตีนในอาหาร และปรับระดับโปรตีนในอาหารด้วยกรดอะมิโนกลูตามิค (ตารางที่ 50)

การเตรียมอาหารทดลองมีวิธีการเตรียมและการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเช่นเดียวกับโครงการย่อยที่ 1

**3. การทดลองและการเก็บรวบรวมข้อมูล**

ทำการทดลองแบบสุ่มตลอด โดยใช้อาหาร 7 สูตรและให้อาหารแต่ละสูตรแก่ปลา 3 ตู้ทดลอง เป็นระยะเวลา 90 วัน จัดการการเลี้ยง และเก็บรวบรวมข้อมูลเช่นเดียวกับโครงการย่อยที่ 1

เมื่อสิ้นสุดการทดลองทำการชั่งน้ำหนักปลา วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี คำนวณข้อมูลและวิเคราะห์ทางสถิติ โดยมีวิธีการเช่นเดียวกับโครงการย่อยที่ 1

ตารางที่ 48 องค์ประกอบของอาหารสูตรพื้นฐานในการศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของกรดอะมิโนเมทไธโอนีนและซีสทีนในอาหารปลากดเหลือง

| วัสดุอาหาร | กรัม / อาหาร 1 กิโลกรัม |
|---|---|
| ปลาป่น | 110.00 |
| เจลาติน | 20.00 |
| กรดอะมิโนรูปผลึก[1] | 280.55 |
| เด็กซตริน[2] | 320.00 |
| น้ำมันปลา[3] | 74.00 |
| แร่ธาตุรวม[4] | 65.00 |
| วิตามินรวม[5] | 12.19 |
| วิตามินซี | 1.00 |
| carboxy methyl cellulose | 30.00 |
| ผงวุ้น | 5.00 |
| เซลลูโลส | 82.26 |

[1]กรดอะมิโนรูปผลึก ของบริษัท Ajinomoto Co., Inc Tokyo โดยปริมาณของกรดอะมิโนแต่ละชนิดในอาหารดังแสดงในตารางที่ 49 และ 50

[2]เด็กซตรินจากข้าวโพด ของบริษัท Sigma

[3]โอเมก้า ออย ของบริษัทแอควาเทค

[4]แร่ธาตุรวม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม): calcium carbonate (40.04% Ca) 20,701.8; calcium phosphate (39.89% Ca, 18.50% P) 24,324.3; sodium chloride 1,800; potassium sulfate (45% K) 9,577.8 ; magnesium sulfate (20.20% Mg) 3,465.3; ferrous sulfate (36.77% Fe) 298.5; manganous sulfate (36.38% Mn) 14.8; zinc sulfate (40.5% Zn) 175.8; cupric sulfate (39.81% Cu) 19.6; cobalt chloride (45.39% Co) 1.9; potassium iodide (76.45% I) 2.6; sodium selenite (45.65% Se) 17.0 (NRC, 1993)

[5]วิตามินรวม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม): vitamin A ( retinyl acetate) 1.89; vitamin $D_3$ (cholecalciferol) 0.0625; vitamin E (∝-tocopherol) 181.82; vitamin $K_3$ (menadione sodium bisulfate) 10; thiamine (thiamine HCl) 40; riboflavin 40; pyridoxine (pyridoxol HCl) 30; pantothenic acid (calcium-d-pantothenate) 120; nicotinic acid 300; biotin 0.3; folic acid 5.0; $B_{12}$ (cyanocobalamin) 0.2; choline chloride 2,000; inositol 500 (NRC, 1993)

ตารางที่ 49 องค์ประกอบกรดอะมิโนของอาหารสูตรพื้นฐาน (กรัม/อาหาร 1 กิโลกรัม) ในการศึกษาปริมาณและสัดส่วนที่เหมาะสมของกรดะมิโนเมทไธโอนีนและซีสทีนในอาหารปลากดเหลือง

| กรดอะมิโน | กรดอะมิโนจากปลาป่น และเจลาติน [1] | กรดอะมิโนรูปผลึก |
|---|---|---|
| **กรดอะมิโนที่จำเป็น** | | |
| อาร์จินีน | 5.38 | 13.53 |
| ฮิสทิดีน | 1.55 | 6.92 |
| ไอโซลูซีน | 2.28 | 9.73 |
| ลูซีน | 4.64 | 20.20 |
| ไลซีน | 4.48 | 20.62 |
| เมทไธโอนีน | 2.35 | - |
| เฟนิลอะลานีน | 4.27 | 7.80 |
| ทรีโอนีน | 2.79 | 12.34 |
| ทริฟโทเฟน | 0.73 | 1.86 |
| วาลีน | 2.70 | 11.11 |
| **รวม** | 31.17 | 104.11 |
| **กรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น** | | |
| ซีสทีน | | - |
| ไทโรซีน | | 8.50 |
| ซีรีน | | 15.00 |
| โปรลีน | | 19.00 |
| ไกลซีน | | 31.50 |
| กรดกลูตามิค | | - |
| กรดแอสปาร์ติก | | 25.00 |
| อะลานีน | | 25.00 |
| **รวม** | | 124.00 |

[1] ค่าจากการคำนวณในปลาป่น 110 กรัม และเจลาติน 20 กรัม (ข้อมูลปลาป่น 55% จาก ยุทธนา, 2537 และเจลาติน จาก NRC, 1993)

ตารางที่ 50 ปริมาณเมทไธโอนีน : ซีสทีน และกรดกลูตามิค (กรัม/อาหาร 1 กิโลกรัม) ในอาหารทดลองในการศึกษาปริมาณและสัดส่วนที่เหมาะสมของกรดะมิโนเมทไธโอนีนและซีสทีนในอาหารปลากดเหลือง

| สูตรอาหาร | สัดส่วน เมทไธโอนีน:ซีสทีน | ปริมาณเมทไธโอนีน และซีสทีนที่เติม[1] | ปริมาณกรดกลูตามิค ที่เติม[2] |
|---|---|---|---|
| 1 | 0:100 | 0 : 10.20 | 42.24 |
| 2 | 20:80 | 2.04 : 8.16 | 42.24 |
| 3 | 40:60 | 4.08 : 6.12 | 42.24 |
| 4 | 50:50 | 5.10 : 5.10 | 42.24 |
| 5 | 60:40 | 6.12 : 4.08 | 42.24 |
| 6 | 80:20 | 8.16 : 2.04 | 42.24 |
| 7 | 100:0 | 10.20 :0 | 42.24 |

[1]L-methionine and L-cystine

[2]L-glutamic acid

# ผลการทดลอง

## 1. องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารสูตรต่างๆ แสดงในตารางที่ 51 โดยมีระดับความชื้นร้อยละ 8.34 ถึง 9.54 โปรตีนร้อยละ 34.15 ถึง 35.16 ไขมันร้อยละ 10.37 ถึง 12.66 เถ้าร้อยละ 6.85 ถึง 7.54 ของน้ำหนักอาหารแห้ง

ตารางที่ 51 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง (ร้อยละของน้ำหนักอาหารแห้ง) ในการศึกษาปริมาณและสัดส่วนที่เหมาะสมของกรดะมิโนเมทไธโอนีนและซีสทีนในอาหารปลากดเหลือง

| สูตรอาหาร | ความชื้น | โปรตีน | ไขมัน | เถ้า |
|---|---|---|---|---|
| 1 (0:100)[1] | 9.31 | 34.42 | 11.71 | 6.85 |
| 2 (20:80) | 8.90 | 34.75 | 12.45 | 7.46 |
| 3 (40:60) | 8.34 | 34.57 | 11.82 | 7.36 |
| 4 (50:50) | 8.59 | 34.48 | 12.66 | 6.92 |
| 5 (60:40) | 8.68 | 34.36 | 12.14 | 7.52 |
| 6 (80:20) | 9.54 | 34.15 | 10.37 | 7.54 |
| 7 (100:0) | 9.30 | 35.16 | 11.37 | 7.46 |

[1]ตัวเลขในวงเล็บเป็นระดับเมทไธโอนีน : ซีสทีนในอาหาร

## 2. ความผิดปกติและพฤติกรรมของปลากดเหลือง

ปลาที่ได้รับอาหารที่มีกรดอะมิโนเมทไธโอนีนและซีสทีน ในสัดส่วนต่าง ๆ กันมีการกินอาหารเป็นปกติ แต่พบว่า ปลาในทุกชุดการทดลองมีเชื้อราบริเวณครีบ และปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ถึง 3 ซึ่งมีปริมาณเมทไธโอนีนเพียงร้อยละ 40 ของสูตรที่ 7 มีอัตราการรอดตายต่ำอยู่ในช่วง 64.27$\pm$7.80 ถึง 68.52 $\pm$ 6.42 แต่ไม่มีความแตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรอื่นๆ (ตารางที่ 52)

**3. การเจริญเติบโต**

น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่ม และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ ของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารสูตรต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 90 วัน แสดงในตารางที่ 52 พบว่าปลาที่ได้รับอาหารทั้ง 7 สูตรไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ทั้งน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ

**4. ประสิทธิภาพการใช้อาหาร โปรตีน และไขมัน**

น้ำหนักอาหารที่ปลากิน ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ โปรตีนสะสมต่อวัน และไขมันสะสมต่อวันของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีระดับสัดส่วนเมทไธโอนีน-ซีสทีน ต่างๆ กัน เป็นเวลา 90 วัน แสดงในตารางที่ 53 ผลการทดลองพบว่าปลาที่ได้รับอาหารทั้ง 7 สูตรไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ของทั้งน้ำหนักอาหารที่กิน ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ และไขมันสะสมต่อวัน แต่พบว่าโปรตีนสะสมต่อวันของปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 4 และ 5 ซึ่งมีสัดส่วนของเมทไธโอนีน : ซีสทีน เท่ากับ 50 : 50 และ 60 : 40 นั้นมีค่าสูงถึง $3.20 \pm 0.40$ และ $3.05 \pm 0.18$ กรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน และมีค่าสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 และ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 52 น้ำหนักเริ่มต้น น้ำหนักสุดท้าย เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่ม อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และอัตราการรอดตายของปลากดเหลือง ที่ได้รับอาหารที่มีเมทไธโอนีนและซีสทีนในสัดส่วนที่ต่างกัน เป็นเวลา 90 วัน[1]

| สูตรอาหาร | น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม/ตัว) | น้ำหนักสุดท้าย (กรัม/ตัว) | เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่ม[2] | อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ[3] (ร้อยละ/วัน) | อัตราการรอดตาย[4] (ร้อยละ) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 (0 : 100)[5] | 5.93 ± 0.57 | 12.93 ± 0.98[a] | 118.54 ± 8.41[a] | 0.87 ± 0.04[a] | 68.52 ± 6.42[a] |
| 2 (20 : 80) | 5.85 ± 0.36 | 13.73 ± 1.32[a] | 116.59 ± 18.28[a] | 0.86 ± 0.10[a] | 64.27 ± 7.80[a] |
| 3 (40 : 60) | 6.08 ± 0.16 | 14.57 ± 1.84[a] | 140.17 ± 36.43[a] | 0.97 ± 0.16[a] | 67.21 ± 18.17[a] |
| 4 (50 : 50) | 5.97 ± 0.39 | 15.35 ± 1.88[a] | 158.16 ± 39.78[a] | 1.05 ± 0.16[a] | 83.01 ± 5.58[a] |
| 5 (60 : 40) | 6.34 ± 0.11 | 14.09 ± 0.79[a] | 141.00 ± 5.49[a] | 0.98 ± 0.03[a] | 77.78 ± 5.56[a] |
| 6 (80 : 20) | 5.82 ± 0.64 | 14.10 ± 0.85[a] | 144.36 ± 37.76[a] | 0.99 ± 0.15[a] | 84.64 ± 3.15[a] |
| 7 (100 : 0) | 6.11 ± 0.78 | 14.65 ± 2.44[a] | 139.14 ± 8.90[a] | 0.97 ± 0.04[a] | 76.39 ± 12.60[a] |

[1] ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \geq 0.05$)

[2] เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่ม = (น้ำหนักสุดท้าย (กรัม/ตัว) – น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม/ตัว)) x100/ น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม/ตัว)

[3] อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ = $(\ln w_2 - \ln w_1 \times 100)/t_2 - t_1$(วัน)

[4] อัตราการรอดตาย = (จำนวนปลาที่เหลือ x 100)/ จำนวนปลาเริ่มต้น

[5] ตัวเลขในวงเล็บคือสัดส่วนเมทไธโอนีน : ซีสทีน

ตารางที่ 53 น้ำหนักอาหารที่ปลากิน ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ โปรตีนสะสมต่อวัน และไขมันสะสมต่อวันของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีเมทไธโอนีนและซีสทีนในสัดส่วนที่ต่างกัน เป็นเวลา 90 วัน[1]

| สูตรอาหาร | น้ำหนักอาหารที่ปลากิน (กรัม/ตัว) | ประสิทธิภาพการใช้อาหาร[2] | ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน[3] | โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์[4] (%) | โปรตีนสะสมต่อวัน[5] (กรัมโปรตีน/กิโลกรัม/วัน) | ไขมันสะสมต่อวัน[6] (กรัมไขมัน/กิโลกรัม/วัน) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 (0 : 100)[7] | 25.39 ± 2.91 | 0.28 ± 0.03$^{a}$ | 0.81 ± 0.09$^{a}$ | 16.01 ± 1.74$^{a}$ | 2.48 ± 0.42$^{b}$ | 4.06 ± 0.12$^{a}$ |
| 2 (20 : 80) | 26.98 ± 3.90 | 0.27 ± 0.01$^{a}$ | 0.79 ± 0.04$^{a}$ | 15.49 ± 2.15$^{a}$ | 2.52 ± 0.27$^{b}$ | 4.02 ± 0.34$^{a}$ |
| 3 (40 : 60) | 30.92 ± 6.34 | 0.28 ± 0.09$^{a}$ | 0.82 ± 0.27$^{a}$ | 18.75 ± 7.08$^{a}$ | 2.82 ± 0.17$^{ab}$ | 4.20 ± 0.43$^{a}$ |
| 4 (50 : 50) | 26.20 ± 2.45 | 0.36 ± 0.04$^{a}$ | 1.03 ± 0.13$^{a}$ | 19.78 ± 0.91$^{a}$ | 3.20 ± 0.40$^{a}$ | 3.97 ± 0.45$^{a}$ |
| 5 (60 : 40) | 24.17 ± 1.41 | 0.34 ± 0.02$^{a}$ | 0.99 ± 0.07$^{a}$ | 25.33 ± 3.49$^{a}$ | 3.05 ± 0.18$^{a}$ | 4.17 ± 0.16$^{a}$ |
| 6 (80 : 20) | 24.24 ± 0.95 | 0.34 ± 0.04$^{a}$ | 1.00 ± 0.11$^{a}$ | 21.55 ± 2.12$^{a}$ | 2.84 ± 0.08$^{ab}$ | 4.16 ± 0.43$^{a}$ |
| 7 (100 : 0) | 26.47 ± 2.19 | 0.32 ± 0.06$^{a}$ | 0.92 ± 0.18$^{a}$ | 17.29 ± 4.89$^{a}$ | 2.71 ± 0.15$^{ab}$ | 4.15 ± 0.34$^{a}$ |

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \geq 0.05$)

[2]ประสิทธิภาพการใช้อาหาร = น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม)/น้ำหนักอาหารที่ปลากิน (กรัม)

[3]ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน = น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม)/น้ำหนักโปรตีนที่ปลากิน (กรัม)

[4]โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ = โปรตีนของตัวปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม)/น้ำหนักโปรตีนที่ปลากินตลอดการทดลอง (กรัม)

[5]โปรตีนสะสมต่อวัน = (โปรตีนของตัวปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัมโปรตีนต่อกิโลกรัม))/น้ำหนักปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง x จำนวนวันที่ทำการทดลอง

[6]ไขมันสะสมต่อวัน = (ไขมันของตัวปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัมไขมันต่อกิโลกรัม))/น้ำหนักปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง x จำนวนวันที่ทำการทดลอง

[7]ตัวเลขในวงเล็บคือสัดส่วนเมทไธโอนีน : ซีสทีน

**5. องค์ประกอบทางเคมีของซากปลากดเหลือง**

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของซากปลากดเหลืองเมื่อสิ้นสุดการทดลองแสดงในตารางที่ 54 พบว่า ทั้งระดับ ความชื้น โปรตีน ไขมัน และ เถ้า ของซากปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารทุกสูตรการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ 54 องค์ประกอบทางเคมีของซากปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีเมทไธโอนีนและซีสทีนในสัดส่วนต่างกัน (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)[1]

| สูตรอาหาร | ความชื้น | โปรตีน | ไขมัน | เถ้า |
|---|---|---|---|---|
| เริ่มต้น | 75.06 | 56.38 | 30.98 | 12.19 |
| 1 (0:100)[2] | 68.32 ± 4.54[a] | 42.95 ± 0.47[a] | 43.75 ± 1.00[a] | 11.25 ± 0.44[a] |
| 2 (20:80) | 70.07 ± 1.70[a] | 44.60 ± 1.51[a] | 43.84 ± 2.27[a] | 10.68 ± 0.22[a] |
| 3 (40:60) | 67.34 ± 2.32[a] | 43.68 ± 2.10[a] | 44.16 ± 2.70[a] | 10.45 ± 1.02[a] |
| 4 (50:50) | 67.86 ± 1.48[a] | 45.95 ± 2.54[a] | 41.73 ± 3.99[a] | 10.84 ± 0.38[a] |
| 5 (60:40) | 66.53 ± 1.71[a] | 44.94 ± 0.73[a] | 43.65 ± 1.67[a] | 9.96 ± 0.93[a] |
| 6 (80:20) | 68.57 ± 0.55[a] | 44.10 ± 2.97[a] | 43.96 ± 3.03[a] | 9.72 ± 0.58[a] |
| 7 (100:0) | 68.85 ± 1.63[a] | 43.32 ± 2.72[a] | 44.02 ± 2.60[a] | 10.07 ± 0.96[a] |

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3)

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95เปอร์เซ็นต์ ($p \geq 0.05$)

[2]ตัวเลขในวงเล็บเป็นสัดส่วนเมทไธโอนีน : ซีสทีนในอาหาร

## โครงการย่อยที่ 7 : ความต้องการกรดอะมิโนลูซีนของปลากดเหลือง (*Mystus nemurus* Cuv.& Val.)

Dietary Leucine Requirement of Yellow Mystus, (*Mystus nemurus* Cuv.&Val.)

## อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

### 1. การเตรียมปลาทดลอง

วิธีการอนุบาลและปรับสภาพปลาเพื่อการศึกษาเช่นเดียวกับโครงการย่อยที่ 1 โดยใช้ปลาเมื่อเริ่มปรับสภาพ 35 ตัวต่อตู้ จำนวนทั้งหมด 30 ตู้ จากนั้นคัดปลาให้เหลือตู้ละ 18 ตัว

### 2. การเตรียมอาหารทดลอง

อาหารทดลองสูตรพื้นฐาน (ตารางที่ 55) มีปลาป่นและเจลาติน เป็นแหล่งโปรตีน และเติมกรดอะมิโนรูปผลึก เพื่อให้มีองค์ประกอบของกรดอะมิโนเช่นเดียวกับองค์ประกอบกรดอะมิโนในตัวปลากดเหลือง (ตารางที่ 56) โดยอาหารทดลองที่ใช้ศึกษาความต้องการกรดอะมิโนลูซีนของปลากดเหลือง มี 9 สูตร โดยมีปริมาณของกรดอะมิโนลูซีน ในอาหารร้อยละ 0.47 (1.34) 0.79 (2.26) 1.12 (3.20) 1.45 (4.14) 1.78 (5.09) 2.11 (6.03) 2.44 (6.97) 2.77 (7.91) และ 3.10 (8.86) ของน้ำหนักอาหาร (ร้อยละของโปรตีนในอาหาร) และปรับระดับโปรตีนในอาหารโดยการลดปริมาณกรดอะมิโนกลูตามิคตามปริมาณของลูซีนที่เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 57) สำหรับอาหารสูตรเปรียบเทียบ ใช้ปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีน และมีองค์ประกอบของอาหารดังแสดงในตารางที่ 58

การเตรียมอาหารทดลองและอาหารสูตรเปรียบเทียบมีวิธีการเตรียมและการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและกรดอะมิโนเช่นเดียวกับโครงการย่อยที่ 1 แต่ทำให้แห้งโดยวิธีการตากแห้ง

### 3. การทดลองและการเก็บรวบรวมข้อมูล

ทำการทดลองแบบสุ่มตลอด โดยใช้อาหาร 10 สูตรและให้อาหารแต่ละสูตรแก่ปลา 3 ตู้ทดลอง เป็นระยะเวลา 70 วัน จัดการการเลี้ยง และเก็บรวบรวมข้อมูลเช่นเดียวกับโครงการย่อยที่ 1

เมื่อสิ้นสุดการทดลองทำการชั่งน้ำหนักปลา วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี คำนวณข้อมูลและวิเคราะห์ทางสถิติ โดยมีวิธีการเช่นเดียวกับโครงการย่อยที่ 1 และเก็บตัวอย่างปลาแต่ละตู้จำนวน 3 ตัวต่อตู้ ชั่งน้ำหนักตับ นำค่าที่ได้มาคำนวณค่าดัชนีตับ เช่นเดียวกับโครงการย่อยที่ 4

สำหรับการหาระดับลูซีนที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลากดเหลืองนั้นนำค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะและระดับลูซีนในอาหารมาหาระดับลูซีนที่เหมาะสม เช่นเดียวกับโครงการย่อยที่ 2

ตารางที่ 55 องค์ประกอบของอาหารสูตรพื้นฐานในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนลูซีนของปลากดเหลือง

| วัสดุอาหาร | กรัม / อาหาร 1 กิโลกรัม |
|---|---|
| ปลาป่น | 130.00 |
| เจลาติน | 20.00 |
| กรดอะมิโนรูปผลึก[1] | 223.00 |
| กรดอะมิโนกลูตามิค/ลูซีน[2] | 59.70 |
| เด็กซตริน[3] | 310.00 |
| น้ำมันปลา[4] | 70.00 |
| แร่ธาตุรวม[5] | 65.00 |
| วิตามินรวม[6] | 10.19 |
| วิตามินซี | 1.00 |
| carboxy methyl cellulose | 30.00 |
| ผงวุ้น | 5.00 |
| เซลลูโลส | 76.11 |

[1]กรดอะมิโนรูปผลึก ของบริษัท Ajinomoto Co., Inc Tokyo โดยปริมาณของกรดอะมิโนแต่ละชนิดในอาหารดัง แสดงในตารางที่ 56

[2]ปริมาณกรดกลูตามิค/ลูซีนแตกต่างกันในอาหารแต่ละสูตร ดังแสดงในตารางที่ 57

[3]เด็กซตรินจากข้าวโพด ของบริษัท Sigma

[4]โอเมก้า ออย ของบริษัทแอควาเทค

[5]แร่ธาตุรวม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม): calcium carbonate (40.04% Ca) 20,701.8; calcium phosphate (39.89% Ca, 18.50% P) 24,324.3; sodium chloride 1,800; potassium sulfate (45% K) 9,577.8; magnesium sulfate (20.20% Mg) 3,465.3; ferrous sulfate (36.77% Fe) 298.5; manganous sulfate (36.38% Mn) 14.8; zinc sulfate (40.5% Zn) 175.8; cupric sulfate (39.81% Cu) 19.6; cobalt chloride (45.39% Co) 1.9; potassium iodide (76.45% I) 2.6; sodium selenite (45.65% Se) 17.0 (NRC, 1993)

[6]วิตามินรวม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม): vitamin A (retinyl acetate) 1.89; vitamin $D_3$ (cholecalciferol) 0.0625; vitamin E (∝-tocopherol) 181.82; vitamin $K_3$ (menadione sodium bisulfate) 10; thiamine (thiamine HCl) 40; riboflavin 40; pyridoxine (pyridoxol HCl) 30; pantothenic acid (calcium-d-pantothenate) 120; nicotinic acid 300; biotin 0.3; folic acid 5.0; $B_{12}$ (cyanocobalamin) 0.2; choline chloride 2,000; inositol 500 (NRC, 1993)

ตารางที่ 56 องค์ประกอบกรดอะมิโนของอาหารสูตรพื้นฐาน (กรัม/อาหาร 1 กิโลกรัม) ในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนลูซีนของปลากดเหลือง

| กรดอะมิโน | กรดอะมิโนจากปลาป่น และเจลาติน [1] | กรดอะมิโนรูปผลึก |
|---|---|---|
| **กรดอะมิโนที่จำเป็น** | | |
| อาร์จินีน | 6.89 | 12.7 |
| ฮิสทิดีน | 2.09 | 6.8 |
| ไอโซลูซีน | 3.05 | 9.3 |
| ลูซีน | 6.20 | - |
| ไลซีน | 5.91 | 26.4 |
| เมทไธโอนีน | 3.19 | 9 |
| เฟนิลอะลานีน | 3.90 | 7.4 |
| ทรีโอนีน | 2.56 | 12.0 |
| ทริฟโทเฟน | 1.01 | 2.7 |
| วาลีน | 3.56 | 10.7 |
| **รวม** | 38.36 | 97.0 |
| **กรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น** | | |
| ซีสทีน | | 2.0 |
| ไทโรซีน | | 8.5 |
| ซีรีน | | 15.0 |
| โปรลีน | | 19.0 |
| ไกลซีน | | 31.5 |
| กรดกลูตามิค | | - |
| กรดแอสปาร์ติก | | 25.0 |
| อะลานีน | | 25.0 |
| **รวม** | | 126.0 |

[1] ค่าจากการคำนวณในปลาป่น 130 กรัม และเจลาติน 20 กรัม (ข้อมูลปลาป่น 55% จาก ยุทธนา, 2537 และ เจลาติน จาก NRC, 1993)

ตารางที่ 57 ปริมาณลูซีนและกรดกลูตามิค (กรัม/อาหาร 1 กิโลกรัม) ในอาหารทดลองในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนลูซีนของปลากดเหลือง

| สูตรอาหาร | ระดับลูซีนในอาหาร | | ปริมาณลูซีนที่เติม[1] | ปริมาณกรดกลูตามิคที่เติม[2] |
|---|---|---|---|---|
| | ร้อยละของน้ำหนักอาหาร | ร้อยละของโปรตีน | | |
| 1 | 0.47 | 1.34 | - | 59.70 |
| 2 | 0.79 | 2.26 | 3.20 | 56.50 |
| 3 | 1.12 | 3.20 | 6.50 | 53.20 |
| 4 | 1.45 | 4.14 | 9.80 | 49.90 |
| 5 | 1.78 | 5.09 | 13.10 | 46.60 |
| 6 | 2.11 | 6.03 | 16.40 | 43.30 |
| 7 | 2.44 | 6.97 | 19.70 | 40.00 |
| 8 | 2.77 | 7.91 | 23.00 | 36.70 |
| 9 | 3.10 | 8.86 | 26.30 | 33.40 |

[1] L-leucine

[2] L-glutamic acid

ตารางที่ 58 องค์ประกอบของอาหารสูตรเปรียบเทียบในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนลูซีนของปลากดเหลือง

| วัสดุอาหาร | กรัม / อาหาร 1 กิโลกรัม |
|---|---|
| ปลาป่น | 535 |
| เด็กซตริน | 310 |
| แร่ธาตุรวม | 65 |
| วิตามินรวม | 10.19 |
| carboxy methyl cellulose | 30 |
| วิตามินซี | 1 |
| เซลลูโลส | 48.81 |

# ผลการทดลอง

## 1. องค์ประกอบทางเคมีและกรดอะมิโนของอาหารทดลอง

ผลการวิเคราะห์อาหารสูตรต่างๆ แสดงในตารางที่ 59 โดยมีระดับความชื้นร้อยละ 7.54± 0.04 ถึง 16.54 ± 0.55 โปรตีนร้อยละ 35.81 ± 0.37 ถึง 39.79 ± 0.07 ไขมันร้อยละ 9.76 ± 0.83 ถึง 13.07 ± 0.63 และเถ้าร้อยละ 6.96 ± 0.05 ถึง 14.03 ± 0.22 ของน้ำหนักอาหารแห้ง

สำหรับองค์ประกอบกรดอะมิโนของอาหารทดลองสูตรที่ 1 แสดงในตารางที่ 60 โดยมีระดับลูซีนร้อยละ 2.07 ของระดับโปรตีนในอาหาร

ตารางที่ 59 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง (ร้อยละของน้ำหนักอาหารแห้ง) ในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนลูซีนของปลากดเหลือง[1]

| สูตรอาหาร | ความชื้น | โปรตีน | ไขมัน | เถ้า |
|---|---|---|---|---|
| 1 (1.34)[2] | 10.97 ± 0.12 | 36.89 ± 0.40 | 12.13 ± 0.81 | 7.09 ± 0.42 |
| 2 (2.26) | 13.43 ± 0.11 | 37.17 ± 1.98 | 12.04 ± 1.00 | 7.35 ± 0.09 |
| 3 (3.20) | 11.71 ± 0.01 | 37.44 ± 0.65 | 13.07 ± 0.63 | 7.17 ± 0.05 |
| 4 (4.14) | 9.03 ± 0.09 | 36.13 ± 0.34 | 12.96 ± 1.14 | 7.12 ± 0.01 |
| 5 (5.09) | 9.51 ± 0.03 | 35.81 ± 0.37 | 11.42 ± 0.57 | 7.09 ± 0.02 |
| 6 (6.03) | 7.66 ± 0.09 | 35.89 ± 0.45 | 11.54 ± 0.30 | 7.02 ± 0.05 |
| 7 (6.97) | 7.54 ± 0.04 | 36.82 ± 0.21 | 11.11 ± 0.42 | 7.09 ± 0.02 |
| 8 (7.91) | 8.37 ± 1.02 | 36.17 ± 0.55 | 11.25 ± 0.77 | 6.96 ± 0.05 |
| 9 (8.86) | 10.05 ± 0.05 | 37.63 ± 0.12 | 12.04 ± 0.75 | 7.17 ± 0.04 |
| สูตรเปรียบเทียบ | 16.54 ± 0.55 | 39.79 ± 0.07 | 9.76 ± 0.83 | 14.03 ± 0.22 |

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3)

[2]ตัวเลขในวงเล็บเป็นระดับลูซีนในอาหาร (ร้อยละของโปรตีน)

ตารางที่ 60 องค์ประกอบกรดอะมิโนของอาหารทดลอง (ร้อยละของโปรตีน) ในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนลูซีนของปลากดเหลือง

| กรดอะมิโน | สูตรอาหาร 1(1.34)[1] |
|---|---|
| อาร์จินีน | 6.36 |
| ฮีสทิดีน | 2.77 |
| ไอโซลูซีน | 3.65 |
| ลูซีน | 2.07 |
| ไลซีน | 7.92 |
| เมทไธโอนีน | 3.32 |
| ซีสทีน | 1.00 |
| เฟนิลอะลานีน | 3.08 |
| ทรีโอนีน | 4.57 |
| ทริฟโตเฟน | n.d. |
| วาลีน | 4.35 |

[1]ตัวเลขในวงเล็บเป็นระดับลูซีนในอาหาร (ร้อยละของโปรตีน)

n.d. = not detected

2. **ความผิดปกติของปลา**

ผลการศึกษาพบว่า ปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีลูซีนระดับต่างๆ ไม่มีความผิดปกติของพยาธิสภาพภายนอก ปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีระดับลูซีนต่ำสุดคือร้อยละ 1.34 ของโปรตีนในอาหาร กินอาหารน้อยกว่าสูตรอื่นๆ สำหรับอัตราการรอดตายของปลาที่ได้รับอาหารทุกสูตรการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 87.04 ± 12.83 ถึง 100.00 ± 0.00 (ตารางที่ 61)

3. **การเจริญเติบโต**

น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวเมื่อเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง เปอร์เซ็นต์น้ำหนักปลาที่เพิ่ม และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ ของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารทั้ง 10 สูตร เป็นระยะเวลา 70 วัน แสดงในตารางที่ 61 โดยน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวของปลาที่ได้รับอาหารแต่ละสูตรเมื่อเริ่มต้นการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 8.00 ± 0.14 ถึง 8.32 ± 0.39 กรัมต่อตัว และไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

เมื่อสิ้นสุดการทดลองปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 และ 2 มีน้ำหนักสุดท้าย เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มและอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ ต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารทดลองสูตรอื่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 จะมีค่าต่ำสุด โดยมีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเพียง 40.38 ± 3.48 เปอร์เซ็นต์ และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเพียงร้อยละ 0.48 ± 0.04 ต่อวัน สำหรับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 ถึง 9 ซึ่งมีระดับลูซีนในอาหารสูงขึ้น อยู่ในช่วงร้อยละ 3.20 ถึง 8.86 ของโปรตีนในอาหาร มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสุดท้าย เปอร์เซ็นต์น้ำหนักปลาที่เพิ่ม และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงขึ้นและไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \geq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรเปรียบเทียบที่มีปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนพบว่าน้ำหนักสุดท้าย เปอร์เซ็นต์น้ำหนักปลาที่เพิ่ม และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของปลาที่ได้รับอาหารสูตรเปรียบเทียบนั้นมีค่าสูงที่สุดทุกค่า คือ 54.52 ± 6.92 กรัมต่อตัว, ร้อยละ 569.90 ± 87.23 และร้อยละ 2.71 ± 0.19 ต่อวัน ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าของปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ถึง 9 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

เมื่อนำอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ มาหาความสัมพันธ์กับระดับลูซีนในอาหารโดยใช้ non-linear regression ที่มี 4 พารามิเตอร์ (Cho *et al.*, 1992; Mercer,1982) พบว่าระดับลูซีนในอาหารที่ให้ค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะคิดเป็นร้อยละ 95 ของอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 3.78 ของระดับโปรตีนในอาหาร (ภาพที่ 5) ซึ่งค่าดังกล่าวถือว่าเป็นระดับลูซีนในอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลากดเหลือง

**4. ประสิทธิภาพการใช้อาหาร โปรตีน และไขมัน**

น้ำหนักอาหารที่ปลากิน ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ โปรตีนสะสมต่อวัน ไขมันสะสมต่อวัน และค่าดัชนีตับ ของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีลูซีนระดับต่างๆ เป็นเวลา 70 วัน แสดงในตารางที่ 62 พบว่ากลุ่มปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 ถึง 9 ที่มีระดับลูซีนร้อยละ 3.20 ถึง 8.86 ของโปรตีนในอาหาร มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักอาหารที่กินอยู่ในช่วง 30.45 ± 1.77 ถึง 34.69 ± 2.62 และไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \geq 0.05$) แต่มีค่าสูงกว่าของปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีระดับลูซีนร้อยละ 1.34 และ 2.26 ของโปรตีนในอาหารอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยเฉพาะอย่างยิ่งปลาที่ได้รับอาหารที่มีระดับลูซีนต่ำสุดมีปริมาณอาหารที่กินต่ำสุดเพียง 11.59 ± 0.58 กรัมต่อตัว สำหรับปลาที่ได้รับอาหารสูตรเปรียบเทียบมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักอาหารที่กินสูงที่สุดคือ 75.43 ± 9.08 กรัมต่อตัว ซึ่งสูงกว่าของปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ถึง 9 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรเปรียบเทียบกินอาหารมากกว่าสูตรที่ 1 ถึง 9 ประมาณ 2.17 ถึง 6.08 เท่า

สำหรับประสิทธิภาพการใช้อาหารและโปรตีนนั้นพบว่าปลาที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่ 1 ที่มีระดับลูซีนต่ำสุดร้อยละ 1.34 ของโปรตีนในอาหาร มีค่าประสิทธิภาพการใช้อาหารและโปรตีนต่ำ

ที่สุด ซึ่งมีความแตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่ 2 ถึง 9 ที่มีระดับลูซีนร้อยละ 2.26 ถึง 8.86 ของโปรตีนในอาหาร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 ถึง 9 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p\geq0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรเปรียบเทียบซึ่งมีค่าประสิทธิภาพการใช้อาหารและโปรตีนเป็น 0.61 ± 0.02 และ 1.85 ± 0.06 ตามลำดับ สามารถแบ่งปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ถึง 9 เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีประสิทธิภาพการใช้อาหารและโปรตีนไม่แตกต่างกับสูตรเปรียบเทียบ ($p\geq0.05$) ซึ่งได้แก่ ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 ถึง 9 ซึ่งมีระดับลูซีนร้อยละ 3.20 ถึง 8.86 ของโปรตีนในอาหาร และกลุ่มที่มีประสิทธิภาพการใช้อาหารและโปรตีนต่ำกว่าสูตรเปรียบเทียบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ได้แก่ ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 และ 2 ซึ่งมีระดับลูซีนร้อยละ 1.34 และ 2.26 ของโปรตีนในอาหาร

เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ของปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ถึง 9 พบว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ซึ่งมีระดับลูซีนร้อยละ 1.34 ของโปรตีนในอาหาร มีค่าต่ำที่สุดคือร้อยละ 12.42 ± 0.42 มีความแตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 ถึง 9 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีระดับลูซีนอยู่ในช่วง 3.20 ถึง 8.86 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p\geq0.05$) ส่วนปลาที่ได้รับอาหารที่มีระดับลูซีนร้อยละ 2.26 ของโปรตีนในอาหารนั้นมีค่าต่ำกว่าของปลาที่ได้รับอาหารที่มีระดับลูซีนร้อยละ 5.09, 6.03 และ 7.91 ของโปรตีนในอาหาร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ไม่มีความแตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารที่มีระดับลูซีนร้อยละ 3.20, 4.14, 6.97 และ 8.86 ของโปรตีนในอาหาร ($p\geq0.05$) ปลาที่มีเปอร์เซ็นต์โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ต่ำและมีความแตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรเปรียบเทียบที่มีค่าสูงสุดเป็น 29.24 ± 1.94 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ได้แก่ปลาที่ได้รับอาหารที่มีระดับลูซีนร้อยละ 1.34, 2.26, 6.97 และ 8.86 ของโปรตีนในอาหาร ส่วนปลาที่มีเปอร์เซ็นต์โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ไม่แตกต่างกับสูตรเปรียบเทียบ ($p\geq0.05$) ได้แก่ปลาที่ได้รับอาหารที่มีระดับลูซีนร้อยละ 3.20, 4.14, 5.09, 6.03 และ 7.91 ของโปรตีนในอาหาร

โปรตีนสะสมต่อวันของปลาที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่ 3 ถึง 9 มีค่าอยู่ในช่วง 5.14 ± 0.28 ถึง 5.56 ± 0.23 และไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p\geq0.05$) ขณะที่ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ซึ่งมีระดับลูซีนร้อยละ 1.34 ของโปรตีนในอาหารมีค่าต่ำที่สุด รองลงมาคือปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 ที่มีระดับลูซีนร้อยละ 2.26 ของโปรตีนในอาหาร และมีค่าต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 ถึง 9 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรเปรียบเทียบมีค่าสูงที่สุดและสูงกว่าทุกสูตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

สำหรับไขมันสะสมต่อวันของปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 ถึง 9 มีค่าอยู่ในช่วง 2.91 $\pm$ 0.49 ถึง 3.43 $\pm$ 0.42 และไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p\geq0.05$) ขณะที่ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 มีค่า

ต่ำที่สุด รองลงมาคือปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 ที่มีระดับลูซีนร้อยละ 2.26 ของโปรตีนในอาหาร โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 มีค่าต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 ถึง 9 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 นั้นไม่มีความแตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 ที่มีระดับลูซีนร้อยละ 3.20 ของโปรตีนในอาหาร แต่ก็มีความแตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 4 ถึง 9 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) สำหรับปลาที่ได้รับอาหารสูตรเปรียบเทียบนั้นมีค่าสูงที่สุด และสูงกว่าทุกสูตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ค่าดัชนีตับ (Hepatosomatic index) ของปลาที่ได้รับอาหารทุกสูตรการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ตารางที่ 61 น้ำหนักเริ่มต้น น้ำหนักสุดท้าย เปอร์เซ็นต์น้ำหนักปลาที่เพิ่ม อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และอัตราการรอดตายของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีลูซีนระดับต่างๆ เป็นระยะเวลา 70 วัน[1]

| สูตรอาหาร | น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม/ตัว) | น้ำหนักสุดท้าย (กรัม/ตัว) | เปอร์เซ็นต์น้ำหนักปลาที่เพิ่ม[2] | อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ[3] (ร้อยละ/ต่อวัน) | อัตราการรอดตาย[4] (ร้อยละ) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 (1.34)[5] | 8.19 ± 0.34[a] | 11.50 ± 0.75[c] | 40.38 ± 3.48[c] | 0.48 ± 0.04[d] | 87.04 ± 12.83[a] |
| 2 (2.26) | 8.00 ± 0.14[a] | 16.85 ± 2.16[c] | 111.06 ± 30.35[c] | 1.06 ± 0.21[c] | 96.30 ± 8.49[a] |
| 3 (3.20) | 8.32 ± 0.39[a] | 25.91 ± 3.44[b] | 210.98 ± 26.78[b] | 1.62 ± 0.12[b] | 97.22 ± 3.93[a] |
| 4 (4.41) | 8.08 ± 0.54[a] | 27.26 ± 1.10[b] | 237.61 ± 8.89[b] | 1.74 ± 0.04[b] | 88.89 ± 0.00[a] |
| 5 (5.09) | 8.10 ± 0.11[a] | 28.03 ± 4.25[b] | 245.89 ± 47.96[b] | 1.77 ± 0.20[b] | 88.89 ± 7.86[a] |
| 6 (6.03) | 8.09 ± 0.26[a] | 27.32 ± 4.21[b] | 238.28 ± 55.29[b] | 1.73 ± 0.25[b] | 90.74 ± 11.56[a] |
| 7 (6.97) | 8.21 ± 0.22[a] | 24.74 ± 3.72[b] | 201.13 ± 41.45[b] | 1.57 ± 0.19[b] | 92.59 ± 11.56[a] |
| 8 (7.91) | 8.27 ± 0.28[a] | 27.41 ± 4.83[b] | 230.42 ± 47.53[b] | 1.70 ± 0.20[b] | 98.15 ± 3.21[a] |
| 9 (8.86) | 8.21 ± 0.16[a] | 24.49 ± 3.40[b] | 197.92 ± 37.51[b] | 1.55 ± 0.19[b] | 94.44 ± 5.56[a] |
| สูตรเปรียบเทียบ | 8.14 ± 0.24[a] | 54.52 ± 6.92[a] | 569.90 ± 87.23[a] | 2.71 ± 0.19[a] | 100.00 ± 0.00[a] |

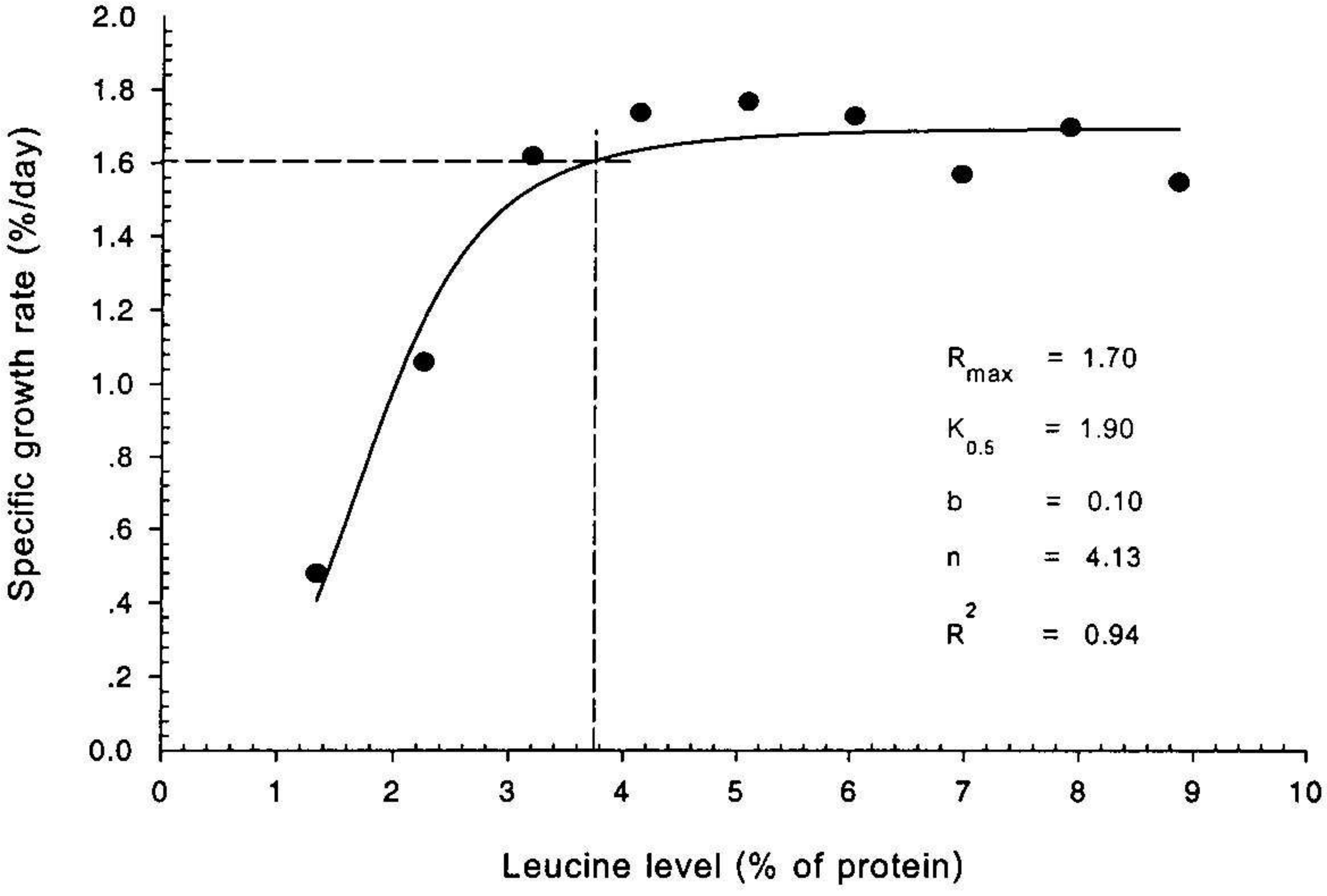
[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3 ยกเว้นสูตรที่ 2, 3 และ 5 n = 2) ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \geq 0.05$)

[2]เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่ม = (น้ำหนักสุดท้าย (กรัม/ตัว) – น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม/ตัว))x 100/น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม/ตัว)

[3]อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ = $\ln w_2 - \ln w_1 \times 100 / t_2 - t_1$

[4]อัตราการรอดตาย = จำนวนปลาที่เหลือ x100/จำนวนปลาเริ่มต้น

[5]ตัวเลขในวงเล็บเป็นระดับลูซีนในอาหาร (ร้อยละของโปรตีน)




ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับลูซีนในอาหารกับการเจริญเติบโตจำเพาะของปลากดเหลือง จากการวิเคราะห์โดยใช้ non-linear regression โดยที่

y คือ อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ

x คือ ระดับลูซีนในอาหาร

b คือ จุดตัดบนแกน y

$K_{0.5}$ คือ ค่าของ x ที่จุด ½ ($R_{max}$ + b)

n คือ ค่า kinetic order

$R_{max}$ คือ อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะมากที่สุด

เส้นประตัดแกน y คือ ค่าที่ร้อยละ 95 ของการเจริญจำเพาะสูงสุด

เส้นประตัดแกน x คือ ระดับลูซีนในอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลากดเหลืองมีค่า ร้อยละ 3.78 ของโปรตีนในอาหาร

ตารางที่ 62 น้ำหนักอาหารที่ปลากิน ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ โปรตีนสะสมต่อวัน ไขมันสะสมต่อวัน และค่าดัชนีตับ ของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีลูซีนระดับต่างๆ เป็นระยะเวลา 70 วัน[1]

| สูตรอาหาร | น้ำหนักอาหารที่ปลากิน (กรัม/ตัว) | ประสิทธิภาพการใช้อาหาร[2] | ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน[3] | โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์[4](%) | โปรตีนสะสมต่อวัน[5] (กรัมโปรตีน/กิโลกรัม/วัน) | ไขมันสะสมต่อวัน[6] (กรัมไขมัน/กิโลกรัม/วัน) | ดัชนีตับ[7] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 (1.34)[8] | 11.59 ± 0.58$^{d}$ | 0.29 ± 0.03$^{c}$ | 0.87 ± 0.08$^{c}$ | 12.42 ± 0.42$^{d}$ | 2.18 ± 0.08$^{d}$ | 1.60 ± 0.23$^{d}$ | 1.14 ± 0.51$^{a}$ |
| 2 (2.26) | 18.91 ± 2.14$^{c}$ | 0.46 ± 0.07$^{b}$ | 1.44 ± 0.23$^{b}$ | 21.31 ± 4.15$^{c}$ | 4.19 ± 0.66$^{c}$ | 2.35 ± 0.34$^{c}$ | 1.95 ± 0.42$^{a}$ |
| 3 (3.20) | 31.50 ± 1.31$^{b}$ | 0.56 ± 0.07$^{ab}$ | 1.69 ± 0.22$^{ab}$ | 24.61 ± 2.47$^{abc}$ | 5.27 ± 0.04$^{b}$ | 2.91 ± 0.49$^{bc}$ | 1.60 ± 0.20$^{a}$ |
| 4 (4.14) | 34.69 ± 2.62$^{b}$ | 0.55 ± 0.03$^{ab}$ | 1.69 ± 0.08$^{ab}$ | 24.86 ± 2.14$^{abc}$ | 5.14 ± 0.28$^{b}$ | 3.35 ± 0.28$^{b}$ | 1.93 ± 0.06$^{a}$ |
| 5 (5.09) | 34.13 ± 1.98$^{b}$ | 0.58 ± 0.08$^{ab}$ | 1.80 ± 0.28$^{ab}$ | 27.61 ± 3.83$^{ab}$ | 5.56 ± 0.23$^{b}$ | 3.42 ± 0.16$^{b}$ | 1.40 ± 0.00$^{a}$ |
| 6 (6.03) | 32.18 ± 3.58$^{b}$ | 0.59 ± 0.09$^{ab}$ | 1.79 ± 0.27$^{ab}$ | 26.52 ± 2.57$^{ab}$ | 5.42 ± 0.29$^{b}$ | 3.43 ± 0.42$^{b}$ | 1.84 ± 0.43$^{a}$ |
| 7 (6.97) | 30.45 ± 1.77$^{b}$ | 0.54 ± 0.09$^{ab}$ | 1.59 ± 0.26$^{ab}$ | 23.92 ± 2.64$^{bc}$ | 5.27 ± 0.09$^{b}$ | 3.06 ± 0.38$^{b}$ | 1.75 ± 0.23$^{a}$ |
| 8 (7.91) | 32.16 ± 3.94$^{b}$ | 0.59 ± 0.07$^{ab}$ | 1.78 ± 0.21$^{ab}$ | 26.29 ± 2.47$^{ab}$ | 5.47 ± 0.28$^{b}$ | 3.43 ± 0.30$^{b}$ | 1.87 ± 0.24$^{a}$ |
| 9 (8.86) | 31.85 ± 3.23$^{b}$ | 0.51 ± 0.06$^{ab}$ | 1.50 ± 0.17$^{ab}$ | 23.93 ± 1.74$^{bc}$ | 5.48 ± 0.22$^{b}$ | 3.21 ± 0.35$^{b}$ | 1.82 ± 0.10$^{a}$ |
| สูตรเปรียบเทียบ | 75.43 ± 9.08$^{a}$ | 0.61 ± 0.02$^{a}$ | 1.85 ± 0.06$^{a}$ | 29.24 ± 1.94$^{a}$ | 6.48 ± 0.34$^{a}$ | 4.42 ± 0.38$^{a}$ | 1.86 ± 0.13$^{a}$ |

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3 ยกเว้นสูตรที่ 2 , 3 และ 5 n = 2) ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \geq 0.05$)

[2]ประสิทธิภาพการใช้อาหาร = น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม)/น้ำหนักอาหารที่ปลากิน (กรัม)

[3]ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน = น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม)/น้ำหนักโปรตีนที่ปลากิน (กรัม)

[4]โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ = โปรตีนของตัวปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม) x100/น้ำหนักโปรตีนที่ปลากินตลอดการทดลอง (กรัม)

[5]โปรตีนสะสมต่อวัน = (โปรตีนของตัวปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัมโปรตีนต่อกิโลกรัม)/(น้ำหนักปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (กิโลกรัม)x จำนวนวันที่ทำการทดลอง

[6]ไขมันสะสมต่อวัน = (ไขมันของตัวปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัมไขมันต่อกิโลกรัม)/(น้ำหนักปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (กิโลกรัม)x จำนวนวันที่ทำการทดลอง

[7]ดัชนีตับ = น้ำหนักตับ (กรัม) x 100/น้ำหนักตัวปลา (กรัม)

[8]ตัวเลขในวงเล็บเป็นระดับลูซีนในอาหาร (ร้อยละของโปรตีน)

**5. องค์ประกอบทางเคมีของซากปลากดเหลือง**

องค์ประกอบทางเคมีของซากปลากดเหลืองแสดงในตารางที่ 63 โดยผลการวิเคราะห์เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าความชื้นของปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 ที่มีระดับลูซีนร้อยละ 2.26 ของโปรตีนในอาหาร มีค่าสูงที่สุดคือ ร้อยละ 73.82 ± 0.73 ของน้ำหนักแห้ง และสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ส่วนความชื้นของปลาที่ได้รับอาหารสูตรเปรียบเทียบมีค่าน้อยที่สุด คือร้อยละ 70.40 ± 0.60 ซึ่งต่ำกว่าของปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ถึง 9 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

สำหรับเปอร์เซ็นต์โปรตีนของซากปลานั้นพบว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 9 ซึ่งมีระดับลูซีนสูงที่สุดร้อยละ 8.86 ของโปรตีนในอาหาร นั้นมีค่าสูงที่สุดร้อยละ 55.83 ± 0.99 และไม่มีความแตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2, 3, 5, 7, และ 8 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) สำหรับปลาที่ได้รับอาหารสูตรเปรียบเทียบนั้นมีค่าต่ำที่สุดคือร้อยละ 52.63 ± 1.36 โดยปลาที่มีเปอร์เซ็นต์โปรตีนไม่แตกต่างกับสูตรเปรียบเทียบได้แก่ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีระดับลูซีนในอาหารร้อยละ 1.34, 3.20, 4.14, 5.09, 6.03, 6.97, และ 7.91 ของโปรตีนในอาหาร ส่วนปลาที่มีโปรตีนสูงกว่าสูตรเปรียบเทียบ ได้แก่ ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีระดับลูซีนในอาหารร้อยละ 2.26 และ 8.86 ของโปรตีนในอาหาร มีค่าร้อยละ 55.42 ± 1.30 และ 55.83 ± 0.99 ตามลำดับ

เปอร์เซ็นต์ไขมันของซากปลาพบว่าสูตรเปรียบเทียบมีค่าสูงที่สุด แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p\geq0.05$) ในปลาที่ได้รับอาหารสูตรต่างๆ

สำหรับเปอร์เซ็นต์เถ้าพบว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 ถึง 9 มีค่าอยู่ในช่วง 13.21 ± 0.63 ถึง 14.10 ± 0.80 และไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p\geq0.05$) ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ที่มีระดับลูซีนร้อยละ 1.34 ของโปรตีนในอาหาร มีเถ้าสูงที่สุดคือ ร้อยละ 14.99 ± 0.52 ซึ่งสูงกว่าของปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 ถึง 9 อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) แต่ไม่มีความแตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 ที่มีระดับลูซีนร้อยละ 2.26 ของโปรตีนในอาหารอย่างมีนัยสำคัญ ($p\geq0.05$) ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 นี้ไม่มีความแตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารที่มีระดับลูซีนร้อยละ 4.14, 6.03, 7.91, และ 8.86 ของโปรตีนในอาหาร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) สำหรับปลาที่ได้รับอาหารสูตรเปรียบเทียบมีเปอร์เซ็นต์เถ้าต่ำที่สุด คือร้อยละ 12.09 ± 0.28 และมีความแตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 63 องค์ประกอบทางเคมีของซากปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีลูซีนระดับต่างๆ (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)[1]

| สูตรอาหาร | ความชื้น | โปรตีน | ไขมัน | เถ้า |
|---|---|---|---|---|
| เริ่มต้น | 75.09 ± 0.50 | 56.89 ± 1.70 | 30.56 ± 0.84 | 13.04 ± 0.17 |
| 1 (1.34)[2] | 73.00 ± 0.60$^{ab}$ | 52.64 ± 0.42$^{c}$ | 31.27 ± 1.30$^{a}$ | 14.99 ± 0.52$^{a}$ |
| 2 (2.26) | 73.82 ± 0.73$^{a}$ | 55.42 ± 1.30$^{ab}$ | 30.52 ± 1.47$^{a}$ | 14.73 ± 0.38$^{ab}$ |
| 3 (3.20) | 73.14 ± 0.44$^{ab}$ | 53.91 ± 2.01$^{abc}$ | 29.53 ± 2.53$^{a}$ | 13.21 ± 0.63$^{c}$ |
| 4 (4.14) | 72.55 ± 1.91$^{ab}$ | 53.16 ± 1.29$^{bc}$ | 31.69 ± 2.32$^{a}$ | 13.31 ± 0.64$^{bc}$ |
| 5 (5.09) | 71.96 ± 0.06$^{b}$ | 53.63 ± 0.41$^{abc}$ | 31.87 ± 0.00$^{a}$ | 13.89 ± 0.55$^{bc}$ |
| 6 (6.03) | 72.67 ± 0.95$^{ab}$ | 53.57 ± 0.55$^{bc}$ | 32.39 ± 2.01$^{a}$ | 13.93 ± 0.07$^{bc}$ |
| 7 (6.97) | 72.78 ± 0.33$^{ab}$ | 54.40 ± 1.49$^{abc}$ | 30.83 ± 1.55$^{a}$ | 14.10 ± 0.80$^{bc}$ |
| 8 (7.91) | 73.23 ± 0.41$^{ab}$ | 54.51 ± 0.44$^{abc}$ | 32.76 ± 1.44$^{a}$ | 13.45 ± 0.41$^{bc}$ |
| 9 (8.86) | 72.49 ± 0.27$^{ab}$ | 55.83 ± 0.99$^{a}$ | 31.84 ± 1.27$^{a}$ | 13.93 ± 0.14$^{bc}$ |
| สูตรเปรียบเทียบ | 70.40 ± 0.60$^{c}$ | 52.63 ± 1.36$^{c}$ | 34.85 ± 2.98$^{a}$ | 12.09 ± 0.28$^{d}$ |

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3 ยกเว้นสูตรที่ 2, 3 และ 5 n = 2)
ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \geq 0.05$)

[2]ตัวเลขในวงเล็บเป็นระดับลูซีนในอาหาร (ร้อยละของโปรตีน)

**โครงการย่อยที่ 8 : ความต้องการกรดอะมิโนไอโซลูซีนของปลากดเหลือง** (*Mystus nemurus* Cuv.& Val.)

Dietary Isoleucine Requirement of Yellow Mystus, (*Mystus nemurus* Cuv.& Val.)

## อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

### 1. การเตรียมปลาทดลอง

วิธีการอนุบาลและปรับสภาพปลาเพื่อการศึกษาเช่นเดียวกับโครงการย่อยที่ 1 โดยใช้ปลาเมื่อเริ่มปรับสภาพ 35 ตัวต่อตู้ จำนวนทั้งหมด 27 ตู้ จากนั้นคัดปลาให้เหลือตู้ละ 18 ตัว

### 2. การเตรียมอาหารทดลอง

อาหารทดลองสูตรพื้นฐาน (ตารางที่ 64) มีปลาป่นและเจลาติน เป็นแหล่งโปรตีน และเติมกรดอะมิโนรูปผลึก เพื่อให้มีองค์ประกอบของกรดอะมิโนเช่นเดียวกับองค์ประกอบกรดอะมิโนในตัวปลากดเหลือง (ตารางที่ 65) โดยอาหารทดลองที่ใช้ศึกษาความต้องการกรดอะมิโนไอโซลูซีนของปลากดเหลือง มี 8 สูตร โดยมีปริมาณของกรดอะมิโนไอโซลูซีน ในอาหารร้อยละ 0.30 (0.85) 0.48 (1.37) 0.67 (1.91) 0.86 (2.46) 1.05 (3.00) 1.24 (3.54) 1.43 (4.08) และ 1.62 (4.63) ของน้ำหนักอาหาร (ร้อยละของโปรตีนในอาหาร) และปรับระดับโปรตีนในอาหารโดยการลดปริมาณกรดอะมิโนกลูตามิคตามปริมาณของไอโซลูซีนที่เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 66) สำหรับอาหารสูตรเปรียบเทียบ ใช้ปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีน และมีองค์ประกอบของอาหารดังแสดงในตารางที่ 67

การเตรียมอาหารทดลองและอาหารสูตรเปรียบเทียบมีการเตรียมและการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและกรดอะมิโนเช่นเดียวกับโครงการย่อยที่ 1

### 3. การทดลองและการเก็บรวบรวมข้อมูล

ทำการทดลองแบบสุ่มตลอด โดยใช้อาหาร 9 สูตรและให้อาหารแต่ละสูตรแก่ปลา 3 ตู้ทดลอง เป็นระยะเวลา 70 วัน จัดการการเลี้ยง และเก็บรวบรวมข้อมูลเช่นเดียวกับโครงการย่อยที่ 1

เมื่อสิ้นสุดการทดลองทำการชั่งน้ำหนักปลา วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี คำนวณข้อมูลและวิเคราะห์ทางสถิติ โดยมีวิธีการเช่นเดียวกับโครงการย่อยที่ 1 และเก็บตัวอย่างปลาแต่ละตู้จำนวน 3 ตัวต่อตู้ ชั่งน้ำหนักตับ นำค่าที่ได้มาคำนวณค่าดัชนีตับ เช่นเดียวกับโครงการย่อยที่ 4

สำหรับการหาระดับไอโซลูซีนที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลากดเหลืองนั้นนำค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะและระดับไอโซลูซีนในอาหารมาหาระดับไอโซลูซีนที่เหมาะสม เช่นเดียวกับโครงการย่อยที่ 2

ตารางที่ 64 องค์ประกอบของอาหารสูตรพื้นฐานในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนไอโซลูซีนของปลากดเหลือง

| วัสดุอาหาร | กรัม / อาหาร 1 กิโลกรัม |
|---|---|
| ปลาป่น | 130.00 |
| เจลาติน | 20.00 |
| กรดอะมิโนรูปผลึก[1] | 233.30 |
| กรดอะมิโนกลูตามิค/ไอโซลูซีน[2] | 49.40 |
| เด็กซตริน[3] | 310.00 |
| น้ำมันปลา[4] | 70.00 |
| แร่ธาตุรวม[5] | 65.00 |
| วิตามินรวม[6] | 10.19 |
| วิตามินซี | 1.00 |
| carboxy methyl cellulose | 30.00 |
| ผงวุ้น | 5.00 |
| เซลลูโลส | 76.11 |

[1]กรดอะมิโนรูปผลึก ของบริษัท Ajinomoto Co., Inc Tokyo โดยปริมาณของกรดอะมิโนแต่ละชนิดในอาหารดังแสดงในตารางที่ 65

[2]ปริมาณกรดกลูตามิค/ไอโซลูซีนแตกต่างกันในอาหารแต่ละสูตร ดังแสดงในตารางที่ 66

[3]เด็กซตรินจากข้าวโพด ของบริษัท Sigma

[4]โอเมก้า ออย ของบริษัทแอควาเทค

[5]แร่ธาตุรวม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม): calcium carbonate (40.04% Ca) 20,701.8; calcium phosphate (39.89% Ca, 18.50% P) 24,324.3; sodium chloride 1,800; potassium sulfate (45% K) 9,577.8 ; magnesium sulfate (20.20% Mg) 3,465.3; ferrous sulfate (36.77% Fe) 298.5; manganous sulfate (36.38% Mn) 14.8; zinc sulfate (40.5% Zn) 175.8; cupric sulfate (39.81% Cu) 19.6; cobalt chloride (45.39% Co) 1.9; potassium iodide (76.45% I) 2.6; sodium selenite (45.65% Se) 17.0 (NRC, 1993)

[6]วิตามินรวม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม): vitamin A ( retinyl acetate) 1.89; vitamin $D_3$ (cholecalciferol) 0.0625; vitamin E ($\alpha$-tocopherol) 181.82; vitamin $K_3$ (menadione sodium bisulfate) 10; thiamine (thiamine HCl) 40; riboflavin 40; pyridoxine (pyridoxol HCl) 30; pantothenic acid (calcium-d-pantothenate) 120; nicotinic acid 300; biotin 0.3; folic acid 5.0; $B_{12}$ (cyanocobalamin) 0.2; choline chloride 2,000; inositol 500 (NRC, 1993)

ตารางที่ 65 องค์ประกอบกรดอะมิโนของอาหารสูตรพื้นฐาน (กรัม/อาหาร 1 กิโลกรัม) ในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนไอโซลูซีนของปลากดเหลือง

| กรดอะมิโน | กรดอะมิโนจากปลาป่น และเจลาติน [1] | กรดอะมิโนรูปผลึก |
|---|---|---|
| **กรดอะมิโนที่จำเป็น** | | |
| อาร์จินีน | 6.89 | 12.7 |
| ฮิสทิดีน | 2.09 | 6.8 |
| ไอโซลูซีน | 3.05 | - |
| ลูซีน | 6.20 | 19.6 |
| ไลซีน | 5.91 | 26.4 |
| เมทไธโอนีน | 3.19 | 9.0 |
| เฟนิลอะลานีน | 3.90 | 7.4 |
| ทรีโอนีน | 2.56 | 12.0 |
| ทริฟโทเฟน | 1.01 | 2.7 |
| วาลีน | 3.56 | 10.7 |
| **รวม** | 38.36 | 107.3 |
| **กรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น** | | |
| ซีสทีน | | 2.0 |
| ไทโรซีน | | 8.5 |
| ซีรีน | | 15.0 |
| โปรลีน | | 19.0 |
| ไกลซีน | | 31.5 |
| กรดกลูตามิค | | - |
| กรดแอสปาร์ติก | | 25.0 |
| อะลานีน | | 25.0 |
| **รวม** | | 126.0 |

[1]ค่าจากการคำนวณในปลาป่น 130 กรัม และเจลาติน 20 กรัม (ข้อมูลปลาป่น 55% จาก ยุทธนา, 2537 และ เจลาติน จาก NRC, 1993)

ตารางที่ 66 ปริมาณไอโซลูซีนและกรดกลูตามิค (กรัม/อาหาร 1 กิโลกรัม) ในอาหารทดลองในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนไอโซลูซีนของปลากดเหลือง

| สูตรอาหาร | ระดับไอโซลูซีนในอาหาร | | ปริมาณไอโซลูซีนที่เติม[1] | ปริมาณกรดกลูตามิคที่เติม[2] |
|---|---|---|---|---|
| | ร้อยละของน้ำหนักอาหาร | ร้อยละของโปรตีน | | |
| 1 | 0.30 | 0.85 | - | 49.40 |
| 2 | 0.48 | 1.37 | 1.80 | 47.60 |
| 3 | 0.67 | 1.91 | 3.70 | 45.70 |
| 4 | 0.86 | 2.46 | 5.60 | 43.80 |
| 5 | 1.05 | 3.00 | 7.50 | 41.90 |
| 6 | 1.24 | 3.54 | 9.40 | 40.00 |
| 7 | 1.43 | 4.08 | 11.30 | 38.10 |
| 8 | 1.62 | 4.63 | 13.20 | 36.20 |

[1] L-Isoleucine

[2] L-glutamic acid

ตารางที่ 67 องค์ประกอบของอาหารสูตรเปรียบเทียบในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนไอโซลูซีนของปลากดเหลือง

| วัสดุอาหาร | กรัม / อาหาร 1 กิโลกรัม |
|---|---|
| ปลาป่น | 535.00 |
| เด็กซตริน | 310.00 |
| แร่ธาตุรวม | 65.00 |
| วิตามินรวม | 10.19 |
| carboxy methyl cellulose | 30.00 |
| วิตามินซี | 1.00 |
| เซลลูโลส | 48.81 |

# ผลการทดลอง

## 1. องค์ประกอบทางเคมีและกรดอะมิโนของอาหารทดลอง

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารสูตรต่างๆ แสดงในตารางที่ 68 โดยมีระดับความชื้นร้อยละ 11.23±0.02 ถึง 14.58 ± 0.03 โปรตีนร้อยละ 38.39 ± 0.35 ถึง 42.49 ± 0.37 ไขมันร้อยละ 9.13 ± 1.06 ถึง 12.57 ± 0.53 และเถ้าร้อยละ 7.13 ± 0.03 ถึง 13.72 ± 0.16 ของน้ำหนักอาหารแห้ง

สำหรับผลการวิเคราะห์องค์ประกอบกรดอะมิโนของอาหารสูตรที่ 1 แสดงในตารางที่ 69 โดยระดับไอโซลูซีนในอาหารสูตรที่ 1 มีค่าร้อยละ 1.21 ของโปรตีนในอาหาร

ตารางที่ 68 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง (ร้อยละของน้ำหนักอาหารแห้ง) ในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนไอโซลูซีนของปลากดเหลือง[1]

| สูตรอาหาร | ความชื้น | โปรตีน | ไขมัน | เถ้า |
|---|---|---|---|---|
| 1 (0.85)[2] | 12.22 ± 0.02 | 38.68 ± 0.58 | 12.57 ± 0.53 | 7.28 ± 0.02 |
| 2 (1.37) | 11.23 ± 0.02 | 38.39 ± 0.35 | 11.61 ± 0.21 | 7.29 ± 0.02 |
| 3 (1.91) | 11.77 ± 0.02 | 38.70 ± 0.67 | 12.14 ± 0.76 | 7.27 ± 0.03 |
| 4 (2.46) | 12.05 ± 0.01 | 39.27 ± 0.13 | 11.86 ± 0.56 | 7.33 ± 0.13 |
| 5 (3.00) | 14.13 ± 0.04 | 39.10 ± 0.24 | 12.51 ± 0.73 | 7.26 ± 0.05 |
| 6 (3.54) | 14.58 ± 0.03 | 39.29 ± 0.62 | 12.21 ± 0.40 | 7.24 ± 0.07 |
| 7 (4.08) | 14.22 ± 0.07 | 39.28 ± 0.50 | 12.37 ± 0.91 | 7.19 ± 0.04 |
| 8 (4.63) | 14.18 ± 0.02 | 39.50 ± 0.27 | 11.91 ± 1.70 | 7.13 ± 0.03 |
| สูตรเปรียบเทียบ | 13.28 ± 0.04 | 42.49 ± 0.37 | 9.13 ± 1.06 | 13.72 ± 0.16 |

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n= 3)

[2]ตัวเลขในวงเล็บเป็นระดับไอโซลูซีนในอาหาร (ร้อยละของโปรตีน)

ตารางที่ 69 องค์ประกอบกรดอะมิโนของอาหารทดลอง (ร้อยละของโปรตีน) ในการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนไอโซลูซีนของปลากดเหลือง

| กรดอะมิโน | สูตรอาหาร |
|---|---|
| | 1(0.85)[1] |
| อาร์จินีน | 5.71 |
| ฮีสทิดีน | 2.56 |
| ไอโซลูซีน | 1.21 |
| ลูซีน | 7.13 |
| ไลซีน | 7.92 |
| เมทไธโอนีน | 3.00 |
| ซีสทีน | 0.85 |
| เฟนิลอะลานีน | 2.92 |
| ทรีโอนีน | 4.21 |
| ทริฟโตเฟน | n.d. |
| วาลีน | 4.30 |

[1]ตัวเลขในวงเล็บเป็นระดับไอโซลูซีนในอาหาร ( ร้อยละของโปรตีน)

n.d.= not detected

## 2. ความผิดปกติของปลากดเหลือง

ผลการศึกษาในครั้งนี้พบว่า ปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีไอโซลูซีนระดับต่างๆ ไม่มีความผิดปกติของพยาธิสภาพภายนอก แต่ปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีระดับไอโซลูซีนต่ำสุดคือร้อยละ 0.85 ของโปรตีนในอาหาร จะกินอาหารน้อยกว่าสูตรอื่นๆ และมีอัตราการรอดตายต่ำที่สุดเป็น 57.41 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 70)

## 3. การเจริญเติบโต

น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง เปอร์เซ็นต์น้ำหนักปลาที่เพิ่ม และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารทั้ง 9 สูตร เป็นระยะเวลา 70 วัน แสดงในตารางที่ 70 โดยน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้นการทดลองของปลาที่ได้รับอาหารแต่ละสูตรไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ปลาที่ได้รับอาหารสูตรเปรียบเทียบมีน้ำหนักเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง 45.28±11.04 กรัมต่อตัว โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่ม 762.16±161.87 เปอร์เซ็นต์ และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะร้อยละ 3.06 ± 0.29 ต่อวัน ซึ่งสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ถึง 8 อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

น้ำหนักเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลองและเปอร์เซ็นต์น้ำหนักปลาที่เพิ่มของปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ที่มีระดับไอโซลูซีนต่ำที่สุดร้อยละ 0.85 ของโปรตีนในอาหาร มีค่าต่ำที่สุดเป็น 7.94 ± 0.61 กรัมต่อตัว และ 50.75 ± 11.71 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 ที่มีระดับไอโซลูซีนร้อยละ 1.37 ของโปรตีนในอาหาร แต่ต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 ถึง 8 อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 ที่มีระดับไอโซลูซีนร้อยละ 1.37 ของโปรตีนในอาหารนั้น มีค่าไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 ถึง 7 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

สำหรับอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ที่มีไอโซลูซีนร้อยละ 0.85 ของโปรตีนในอาหาร มีค่าต่ำที่สุดร้อยละ 0.58±0.11 ต่อวัน รองลงมาคือปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 ที่มีระดับไอโซลูซีนร้อยละ 1.37 ของโปรตีนในอาหาร และมีค่าต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 ถึง 8 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

เมื่อนำอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ มาหาความสัมพันธ์กับระดับไอโซลูซีนในอาหารโดยใช้ non-linear regression ที่มี 4 พารามิเตอร์ (Cho *et al.*,1992;Mercer,1982) พบว่าระดับไอโซลูซีนในอาหารที่ให้ค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะคิดเป็นร้อยละ 95 ของอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 2.46 ของโปรตีนในอาหาร (ภาพที่ 6) ซึ่งค่าดังกล่าวถือว่าเป็นระดับไอโซลูซีนในอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลากดเหลือง

## 4. ประสิทธิภาพการใช้อาหาร โปรตีน และไขมัน

น้ำหนักอาหารที่ปลากิน ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ โปรตีนสะสมต่อวัน ไขมันสะสมต่อวัน และค่าดัชนีตับ ของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีไอโซลูซีนระดับต่างๆ ในอาหารเป็นเวลา 70 วัน แสดงในตารางที่ 71 พิจารณาค่าน้ำหนักอาหารที่ปลากิน ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ และโปรตีนสะสมต่อวัน พบว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรเปรียบเทียบ มีค่าสูงที่สุดทุกค่า และสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ถึง 8 อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 ถึง 8 กินอาหารในปริมาณที่ไม่แตกต่างกันอยู่ในช่วง 29.50 ± 2.71 ถึง 38.66 ± 5.89 กรัมต่อตัว ขณะที่ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 และ 2 กินอาหารในปริมาณน้อยใกล้เคียงกัน คือ 16.00 ± 0.68 และ 25.15 ± 1.20 กรัมต่อตัว โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 กิน

อาหารน้อยกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 ถึง 8 อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 ปริมาณอาหารที่กินไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 ถึง 6 แต่กินน้อยกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 7 และ 8 ที่มีระดับไอโซลูซีนร้อยละ 4.08 และ 4.63 ของโปรตีนในอาหารอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

สำหรับประสิทธิภาพการใช้อาหารและโปรตีนของปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 ถึง 8 ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p\geq0.05$) ขณะที่ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ที่มีไอโซลูซีนต่ำที่สุดร้อยละ 0.85 ของโปรตีนในอาหาร มีค่าต่ำที่สุดและต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีระดับไอโซลูซีนสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 ที่มีไอโซลูซีนร้อยละ 1.37 ของโปรตีนในอาหาร มีค่าต่ำรองลงมาโดยประสิทธิภาพการใช้อาหารและโปรตีนไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีไอโซลูซีนร้อยละ 1.91 ถึง 4.08 ของโปรตีนในอาหาร ($p\geq0.05$) แต่ต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีระดับไอโซลูซีนสูงสุดร้อยละ 4.63 ของโปรตีนในอาหาร อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

สำหรับเปอร์เซ็นต์โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ของปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 ถึง 8 มีค่าอยู่ในช่วง $15.99 \pm 0.86$ ถึง $18.29 \pm 1.92$ เปอร์เซ็นต์ และไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p\geq0.05$) ขณะที่ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีไอโซลูซีนต่ำสุดร้อยละ 0.85 ของโปรตีนในอาหาร มีค่าต่ำที่สุดและต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีระดับไอโซลูซีนสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีไอโซลูซีนร้อยละ 1.37 ของโปรตีนในอาหารมีค่ารองลงมา โดยไม่มีความแตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 และ 7 ที่มีไอโซลูซีนร้อยละ 1.91 และ 4.08 ของโปรตีนในอาหาร ($p\geq0.05$) แต่ต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีไอโซลูซีนร้อยละ 2.46, 3.00, 3.54 และ 4.63 ของโปรตีนในอาหาร อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

โปรตีนสะสมต่อวันของปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 4 ถึง 8 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p\geq0.05$) ขณะที่ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีไอโซลูซีนร้อยละ 0.85 ของโปรตีนในอาหาร มีค่าต่ำที่สุดรองลงมาคือปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 ที่มีไอโซลูซีนร้อยละ 1.37 ของโปรตีนในอาหาร และมีค่าต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 ถึง 8 อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีไอโซลูซีนร้อยละ 1.91 ของโปรตีนในอาหาร ไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีไอโซลูซีนร้อยละ 4.08 และ 4.63 ของโปรตีนในอาหารอย่างมีนัยสำคัญ ($p\geq0.05$) แต่ต่ำกว่าของปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีไอโซลูซีนร้อยละ 2.46, 3.00 และ 3.54 ของโปรตีนในอาหาร อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

ไขมันสะสมต่อวันของปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 ถึง 7 ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p\geq0.05$) ขณะที่ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ที่มีไอโซลูซีนต่ำสุดร้อยละ 0.85 ของโปรตีนในอาหาร มีค่าต่ำที่สุด ต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 ถึง 8 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) สำหรับปลา

ที่ได้รับอาหารสูตรที่ 8 ที่มีไอโซลูซีนสูงที่สุดร้อยละ 4.63 ของโปรตีนในอาหารนั้นการสะสมของโปรตีนไม่มีความแตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรเปรียบเทียบ ($p \geq 0.05$)

สำหรับค่าดัชนีตับ พบว่าปลาที่ได้รับอาหารทุกสูตรการทดลองมีค่าไม่แแตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรเปรียบเทียบ ($p \geq 0.05$) โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรทีมีไอโซลูซีนร้อยละ 1.37 ของโปรตีนในอาหารมีค่าสูงสุด แต่ไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีไอโซลูซีนร้อยละ 0.85, 2.46 และ 3.00 ของโปรตีนในอาหาร ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีไอโซลูซีนร้อยละ 3.54 ของโปรตีนในอาหารมีค่าต่ำที่สุด และไม่มีความแตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีไอโซลูซีนร้อยละ1.91 ถึง 4.63 ของโปรตีนในอาหาร ($p \geq .05$) ต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีไอโซลูซีนร้อยละ 0.85 และ 1.37 อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

ตารางที่ 70 น้ำหนักเริ่มต้น น้ำหนักสุดท้าย เปอร์เซ็นต์น้ำหนักปลาที่เพิ่ม อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และอัตราการรอดตายของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีไอโซลูซีน ระดับต่างๆ เป็นระยะเวลา 70 วัน[1]

| สูตรอาหาร | น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม/ตัว) | น้ำหนักสุดท้าย (กรัม/ตัว) | เปอร์เซ็นต์น้ำหนักปลาที่เพิ่ม[2] | อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ[3] (ร้อยละ/วัน) | อัตราการรอดตาย[4] (ร้อยละ) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 (0.85)[5] | 5.27 ± 0.10$^{a}$ | 7.94 ± 0.61$^{d}$ | 50.75 ± 11.71$^{d}$ | 0.58 ± 0.11$^{e}$ | 57.41 ± 17.86$^{b}$ |
| 2 (1.37) | 5.33 ± 0.13$^{a}$ | 13.30 ± 0.87$^{cd}$ | 149.98 ± 22.45$^{cd}$ | 1.31 ± 0.13$^{d}$ | 68.52 ± 6.42$^{b}$ |
| 3 (1.91) | 5.04 ± 0.11$^{a}$ | 16.08 ± 0.83$^{bc}$ | 218.77 ± 9.75$^{bc}$ | 1.66 ± 0.04$^{c}$ | 92.59 ± 8.49$^{a}$ |
| 4 (2.46) | 5.04 ± 0.13$^{a}$ | 18.64 ± 1.50$^{bc}$ | 269.34 ± 24.01$^{bc}$ | 1.86 ± 0.09$^{bc}$ | 90.74 ± 11.56$^{a}$ |
| 5 (3.00) | 5.00 ± 0.19$^{a}$ | 18.37 ± 1.13$^{bc}$ | 267.60 ± 8.60$^{bc}$ | 1.86 ± 0.03$^{bc}$ | 97.22 ± 3.93$^{a}$ |
| 6 (3.54) | 5.16 ± 0.15$^{a}$ | 17.97 ± 4.26$^{bc}$ | 247.79 ± 78.95$^{bc}$ | 1.76 ± 0.31$^{bc}$ | 96.30 ± 3.21$^{a}$ |
| 7 (4.08) | 5.24 ± 0.10$^{a}$ | 19.35 ± 2.54$^{bc}$ | 269.10 ± 42.52$^{bc}$ | 1.86 ± 0.16$^{bc}$ | 94.44 ± 5.56$^{a}$ |
| 8 (4.63) | 5.28 ± 0.18$^{a}$ | 21.91 ± 3.19$^{b}$ | 315.77 ± 69.86$^{b}$ | 2.02 ± 0.23$^{b}$ | 90.74 ± 16.04$^{a}$ |
| สูตรเปรียบเทียบ | 5.21 ± 0.34$^{a}$ | 45.28 ± 11.04$^{a}$ | 762.16 ± 161.87$^{a}$ | 3.06 ± 0.29$^{a}$ | 100.00 ± 0.00$^{a}$ |

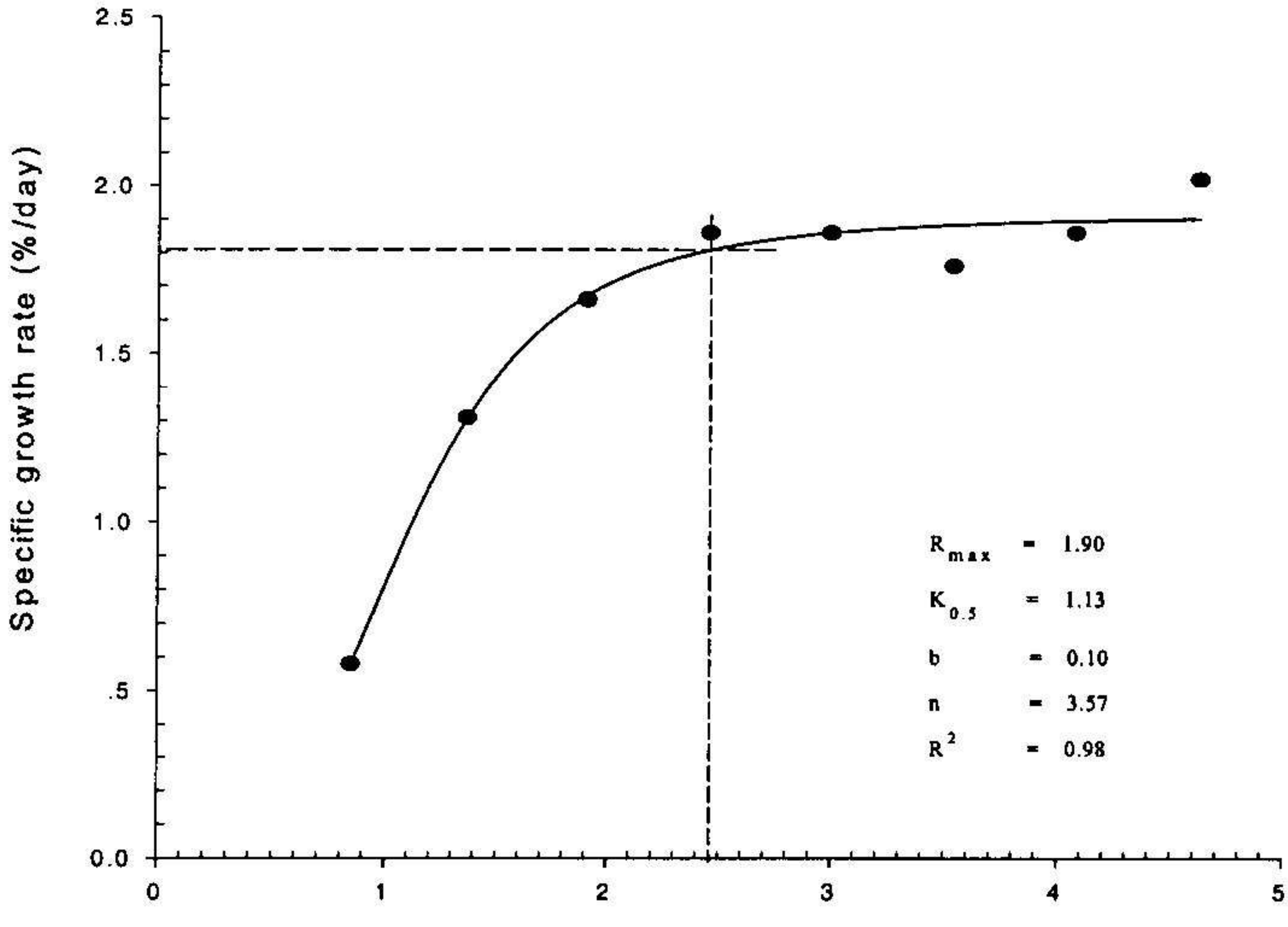
[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3 ยกเว้นสูตรที่ 5 n = 2) ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \geq 0.05$)

[2]เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่ม = (น้ำหนักสุดท้าย (กรัม/ตัว) – น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม/ตัว)x 100/น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม/ตัว)

[3]อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ = $\ln w_2 - \ln w_1 \times 100 / t_2 - t_1$

[4]อัตราการรอดตาย = จำนวนปลาที่เหลือ x100/จำนวนปลาเริ่มต้น

[5]ตัวเลขในวงเล็บเป็นระดับไอโซลูซีนในอาหาร (ร้อยละของโปรตีน)




ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับไอโซลูซีนในอาหารกับการเจริญเติบโตจำเพาะของปลากดเหลือง จากการวิเคราะห์โดยใช้ non-linear regression โดยที่

y คือ อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ

x คือ ระดับไอโซลูซีนในอาหาร

b คือ จุดตัดบนแกน y

$K_{0.5}$ คือ ค่าของ x ที่จุด ½ ($R_{max}$ + b)

N คือ ค่าkinetic order

$R_{max}$ คือ อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะที่มากที่สุด

เส้นประตัดแกน y คือ ค่าที่ร้อยละ 95 ของอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด

เส้นประตัดแกน x คือ ระดับไอโซลูซีนในอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลากดเหลืองมีค่าร้อยละ 2.46 ของโปรตีนในอาหาร

ตารางที่ 71 น้ำหนักอาหารที่ปลากิน ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ โปรตีนสะสมต่อวัน ไขมันสะสมต่อวัน และค่าดัชนีตับ ของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีไอโซลูซีน ระดับต่างๆ เป็นระยะเวลา 70 วัน[1]

| สูตรอาหาร | น้ำหนักอาหารที่ปลากิน (กรัม/ตัว) | ประสิทธิภาพการใช้อาหาร[2] | ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน[3] | โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์[4] (%) | โปรตีนสะสมต่อวัน[5] (กรัมโปรตีน/กิโลกรัม/วัน) | ไขมันสะสมต่อวัน[6] (กรัมไขมัน/กิโลกรัม/วัน) | ดัชนีตับ[7] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 (0.85)[8] | $16.00 \pm 0.68^{d}$ | $0.17 \pm 0.03^{d}$ | $0.49 \pm 0.09^{d}$ | $6.27 \pm 1.57^{d}$ | $2.26 \pm 0.45^{e}$ | $1.73 \pm 0.44^{c}$ | $2.06 \pm 0.38^{ab}$ |
| 2 (1.37) | $25.15 \pm 1.20^{cd}$ | $0.32 \pm 0.03^{c}$ | $0.93 \pm 0.10^{c}$ | $12.67 \pm 0.67^{c}$ | $4.25 \pm 0.15^{d}$ | $3.36 \pm 0.43^{b}$ | $2.19 \pm 0.28^{a}$ |
| 3 (1.91) | $29.50 \pm 2.71^{bc}$ | $0.38 \pm 0.03^{bc}$ | $1.10 \pm 0.09^{bc}$ | $16.20 \pm 2.23^{bc}$ | $5.41 \pm 0.28^{c}$ | $3.43 \pm 0.17^{b}$ | $1.56 \pm 0.15^{bc}$ |
| 4 (2.46) | $35.72 \pm 0.90^{bc}$ | $0.38 \pm 0.03^{bc}$ | $1.10 \pm 0.09^{bc}$ | $17.50 \pm 1.55^{b}$ | $5.98 \pm 0.16^{b}$ | $3.22 \pm 0.23^{b}$ | $1.80 \pm 0.39^{abc}$ |
| 5 (3.00) | $35.01 \pm 4.55^{bc}$ | $0.38 \pm 0.02^{bc}$ | $1.14 \pm 0.07^{bc}$ | $18.13 \pm 0.20^{b}$ | $6.09 \pm 0.02^{b}$ | $3.37 \pm 0.40^{b}$ | $1.79 \pm 0.05^{abc}$ |
| 6 (3.54) | $35.23 \pm 8.88^{bc}$ | $0.36 \pm 0.04^{bc}$ | $1.08 \pm 0.12^{bc}$ | $17.09 \pm 2.59^{b}$ | $5.97 \pm 0.47^{b}$ | $2.80 \pm 0.57^{b}$ | $1.32 \pm 0.21^{c}$ |
| 7 (4.08) | $38.09 \pm 5.20^{b}$ | $0.37 \pm 0.05^{bc}$ | $1.10 \pm 0.14^{bc}$ | $15.99 \pm 0.86^{bc}$ | $5.74 \pm 0.32^{bc}$ | $3.42 \pm 0.58^{b}$ | $1.59 \pm 0.36^{bc}$ |
| 8 (4.63) | $38.66 \pm 5.89^{b}$ | $0.43 \pm 0.02^{b}$ | $1.26 \pm 0.07^{b}$ | $18.29 \pm 1.92^{b}$ | $5.86 \pm 0.07^{bc}$ | $4.37 \pm 0.15^{a}$ | $1.40 \pm 0.11^{c}$ |
| สูตรเปรียบเทียบ | $73.08 \pm 11.92^{a}$ | $0.54 \pm 0.06^{a}$ | $1.47 \pm 0.18^{a}$ | $22.61 \pm 3.40^{a}$ | $6.70 \pm 0.17^{a}$ | $4.68 \pm 0.41^{a}$ | $1.76 \pm 0.11^{abc}$ |

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3 ยกเว้นสูตรที่ 5 n = 2) ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \geq 0.05$)

[2]ประสิทธิภาพการใช้อาหาร = น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม)/น้ำหนักอาหารที่ปลากิน (กรัม)

[3]ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน = น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม)/น้ำหนักโปรตีนที่ปลากิน (กรัม)

[4]โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ = โปรตีนของตัวปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม) x100/น้ำหนักโปรตีนที่ปลากินตลอดการทดลอง (กรัม)

[5]โปรตีนสะสมต่อวัน = (โปรตีนของตัวปลาที่เพิ่มขึ้น(กรัมโปรตีนต่อกิโลกรัม))/(น้ำหนักปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (กิโลกรัม) x จำนวนวันที่ทำการทดลอง

[6]ไขมันสะสมต่อวัน = (ไขมันของตัวปลาที่เพิ่มขึ้น(กรัมไขมันต่อกิโลกรัม))/(น้ำหนักปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (กิโลกรัม) x จำนวนวันที่ทำการทดลอง

[7]ดัชนีตับ = น้ำหนักตับ (กรัม) x 100/น้ำหนักตัวปลา (กรัม)

[8]ตัวเลขในวงเล็บเป็นระดับไอโซลูซีนในอาหาร (ร้อยละของโปรตีน)

**5. องค์ประกอบทางเคมีของซากปลากดเหลือง**

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของซากปลากดเหลืองเมื่อสิ้นสุดการทดลอง แสดงในตารางที่ 72 พบว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีไอโซลูซีนในระดับต่างๆ มีความชื้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ส่วนเปอร์เซ็นต์โปรตีนนั้นพบว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีไอโซลูซีนร้อยละ 0.85, 1.37 และ 4.63 ของโปรตีนในอาหารมีปริมาณโปรตีนต่ำ และไม่มีความแตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรเปรียบเทียบอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) ส่วนปลาที่ได้รับอาหารที่มีไอโซลูซีนร้อยละ 1.91, 2.46, 3.00 และ 4.08 ของโปรตีนในอาหาร มีปริมาณโปรตีนสูงขึ้นและไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีไอโซลูซีนร้อยละ 3.54 ของโปรตีนในอาหารมีค่าสูงที่สุด แต่ไม่มีความแตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีไอโซลูซีนร้อยละ 2.46 และ 3.00 ของโปรตีนในอาหาร($p \geq 0.05$)

สำหรับปริมาณไขมันพบว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรเปรียบเทียบมีค่าสูงที่สุดคือร้อยละ34.96 ± 2.32 โดยไม่มีความแตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีไอโซลูซีนร้อยละ 1.37 และ 4.63 ของโปรตีนในอาหารอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีไอโซลูซีนต่ำที่สุดร้อยละ 0.85 ของโปรตีนในอาหาร มีปริมาณไขมันต่ำที่สุด แต่ไม่มีความแตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีไอโซลูซีนร้อยละ 2.46, 3.00, 3.54 และ 4.08 ของโปรตีนในอาหารอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

สำหรับปริมาณเถ้าพบว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 ถึง 8 มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 12.94 ± 0.34 ถึง 14.15 ± 0.33 และไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ที่มีระดับไอโซลูซีนต่ำสุดร้อยละ 0.85 ของโปรตีนในอาหารมีค่าสูงที่สุดร้อยละ 17.41 ± 0.39 และสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารทดลองทุกสูตรการทดลอง ($p < 0.05$) รองลงมาคือปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 ที่มีระดับไอโซลูซีนร้อยละ 1.37 ของโปรตีนในอาหาร แต่ไม่มีความแตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารที่มีไอโซลูซีนร้อยละ 1.91, 2.46 และ 3.54 ของโปรตีนในอาหาร ($p \geq 0.05$) ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรเปรียบเทียบมีปริมาณเถ้าต่ำที่สุดร้อยละ 12.20 ± 0.72 และไม่มีความแตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีไอโซลูซีนร้อยละ 3.00, และ 4.63 ของโปรตีนในอาหารอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ 72 องค์ประกอบทางเคมีของซากปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีไอโซลูซีนระดับต่างๆ (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)[1]

| สูตรอาหาร | ความชื้น | โปรตีน | ไขมัน | เถ้า |
|---|---|---|---|---|
| เริ่มต้น | 76.39 ± 0.58 | 66.82 ± 0.59 | 22.52 ± 0.62 | 13.71 ± 0.23 |
| 1 (0.85)[2] | 73.00 ± 0.74$^{a}$ | 54.75 ± 0.89$^{cd}$ | 25.01 ± 3.02$^{e}$ | 17.41 ± 0.39$^{a}$ |
| 2 (1.37) | 72.54 ± 0.58$^{a}$ | 52.84 ± 0.82$^{d}$ | 31.27 ± 2.60$^{abc}$ | 15.06 ± 1.10$^{b}$ |
| 3 (1.91) | 73.39 ± 1.26$^{a}$ | 56.57 ± 1.11$^{bc}$ | 30.28 ± 1.44$^{bcd}$ | 14.09 ± 0.22$^{bc}$ |
| 4 (2.46) | 72.44 ± 0.54$^{a}$ | 57.37 ± 0.23$^{ab}$ | 27.73 ± 1.75$^{cde}$ | 14.15 ± 0.33$^{bc}$ |
| 5 (3.00) | 72.84 ± 1.45$^{a}$ | 58.44 ± 1.05$^{ab}$ | 28.92 ± 2.35$^{cde}$ | 13.51 ± 0.88$^{cd}$ |
| 6 (3.54) | 73.31 ± 1.77$^{a}$ | 59.54 ± 1.89$^{a}$ | 25.61 ± 2.65$^{de}$ | 14.02 ± 0.68$^{bc}$ |
| 7 (4.08) | 73.60 ± 0.51$^{a}$ | 56.46 ± 2.06$^{bc}$ | 29.43 ± 3.82$^{cde}$ | 13.68 ± 0.98$^{c}$ |
| 8 (4.63) | 71.93 ± 1.44$^{a}$ | 52.74 ± 0.52$^{d}$ | 34.58 ± 1.30$^{ab}$ | 12.94 ± 0.34$^{cd}$ |
| สูตรเปรียบเทียบ | 71.15 ± 1.38$^{a}$ | 53.45 ± 1.20$^{d}$ | 34.96 ± 2.32$^{a}$ | 12.20 ± 0.72$^{d}$ |

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3 ยกเว้นสูตรที่ 5 n = 2)
ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \geq 0.05$)

[2]ตัวเลขในวงเล็บเป็นระดับไอโซลูซีนในอาหาร (ร้อยละของโปรตีน)

# เอกสารอ้างอิง

ยุทธนา ศิริวัธนนุกูล. 2532. เทคโนโลยีการผลิตสุกร. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

Akiyama, T.1987. Studies on the essential amino acids and scoliosis caused by tryptophan deficiency of chum salmon fry. Unpublished Ph.D. Thesis, University of Kyushu, Japan.

Alam, M.S., Teshima, S.I., Ishikawa, M., Koshio, S. and Yaniharto, D. 2001. Methionine requirement of Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* juvenile estimated by the oxidation of [$^{14}$C] methionine. Aquaculture 2001 : Book of Abstracts 143 JM Parker Coliseum Louisiana State University Baton Rouge LA, USA, World Aquaculture Society 2001.

Anderson, J.S., Lall, S.P., Anderson, D.M. and McNiven, M.A. 1993. Quantitative dietary lysine requirement of Atlantic salmon (*Salmo salar*) fingerlings. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 50: 316-322.

Anwar, M.F. and Jafri, A.K. 1995. Effect of varying dietary lipid levels on growth, feed conversion, nutrient retention and carcass composition of fingerling catfish, *Heteropneustes fossilis*. Asian Fish. Sci. 8: 55-62.

AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1985. Official Methods of Analysis. Washington D.C.: AOAC.

APHA (American Public Health Association), American Water Works Association, and Water Pollution Control Federation. 1989. Standard Methods for the Examination of Water and Westewater. Washington D.C.: American Public Health Association.

Barash, H. 1984. The influence of the lysine level in the diet on nitrogen excretion and on the concentration of ammonia and free amino acids in the plasma of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). Nutr. Rep. Int. 29: 283-289.

Berge, G.E., Bakke-McKellep, A.M. and Lied, E. 1999. *In vitro* uptake and interaction between arginine and lysine in the intestine of Atlantic salmon (*Salmo salar*). Aquaculture 179: 181-193

Berge, G.E., Lied, E. and Sveier, H. 1997. Nutrition of Atlantic salmon (*Salmo salar*): the requirement and metabolism of arginine. Comp. Biochem. Physiol. 117A: 501-509.

Boyd, C.E. and Tucker, C.S.1992. Water Quality and Pond Soil Analyses for Aquaculture. Alabama: Auburn University.

Brown, P., Davis, D. and Robinson, E. 1988. An estimate of the dietary lysine requirement of juvenile red drum *Sciaenops ocellatus*. J. World Aquacult. Soc. 19: 109-112.

Chance, R.E., Mertz, E.T. and Halver, J.E. 1964. Nutrition of salmonoid fishes XII. Isoleucine, leucine, valine and phenylalanine requirements of chinook salmon and inter-relations between isoleucine and leucine for growth. J. Nutr. 83: 177-185.

Chiu, Y., Austic, R.E. and Rumsey, G.L. 1986. Urea cycle activity and arginine formation in rainbow trout (*Salmo gairdneri*) J. Nutr. 116: 1640-1650

Cho, C.Y., Kaushik, S. and Woodward, B. 1992. Dietary arginine requirement of young rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Comp. Biochem. Physiol. 102A : 211-216.

Choo, P., Smith, T.K., Cho, C.Y. and Ferguson, H.W. 1991. Dietary excesses of leucine influence growth and body composition of rainbow trout. J. Nutr. 121: 1932-1939.

Coloso, R.M., Murillo-Gurrea, D.P., Borlongan, I.G. and Catacutan, M.R. 1999. Sulphur amino acid requirement of juvenile Asian sea bass *Lates calcarifer*. J. Appl. Ichthyol 15: 54-58.

Cowey, C.B. 1980. Protein metabolism in fish. In: Buttery, P.G. and Lindsay, D.B. (eds), Protein Deposition in Animals. London: Butterworths.

Cowey, C.B. 1992. Nutrition: estimating requirements of rainbow trout. Aquaculture. 100: 177-189.

Cowey, C.B., Cho, C.Y., Sivak, J.G., Wurheim, J.A., and Stuart, D.D. 1992. Methionine intake in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), relationship to cataract formation and the metabolism of methionine. J. Nutr. 122: 1154-1163.

Cowey, C.B. and Walton, M. J. 1989. Intermediary metabolism. In: Halver, J.E. (ed), Fish Nutrition. Washington D.C.: Academic Press Inc. pp. 259-329.

De Silva, S.S. and Anderson, T.A. 1995. Fish Nutrition in Aquaculture. London: Chapman and Hall.

D'Mello, J.P.F. 1994. Amino acid imbalances, antagonisms and toxicities. In: D'Mello, J.P.F. (ed), Amino Acid in Farm Animal Nutrition. Willingford, UK: CAB International. pp. 63-97

Fagbenro, O.A. 1998. Quantitative essential amino acid requirements of catfishes, *Clarias gariepinus* (Clariidae) and *Clarias anguillaris* (Clariidae), assessed by the ideal protein concept. In: Coetzee, L., Gon, J., Kulongowski, C. (eds), African Fishes and Fisheries Diversity and Utilisation. Grahamstown South Africa FISA: PARADI. p. 205.

Fagbenro, O.A., Balogun, A.M. and Fasakin, E.A. 1998. Dietary methionine requirement of the African catfish, *Clarias gariepinus*. J. Appl. Aquacult. 8: 47-54.

Forster, I. and Ogata, H.Y. 1998. Lysine requirement of juvenile Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* and juvenile red sea bream *Pagrus major*. Aquaculture161: 131-142.

Furukawa, A. and Tsukahara, H. 1966. On the acid digestion method for the determination of chromic oxide as an index substance in the study of digestibility in fish feed. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 32: 502-506.

Griffin, M.E., Willson, K.A. and Brown, P.B. 1994. Dietary arginine requirement of juvenile hybrid striped bass. J. Nutr. 124: 888-893.

Harding, D.E., Allen, O.W. and Wilson, R.P. 1977. Sulfur amino acid requirement of channel catfish: L-methionine and L-cystine. J. Nutr. 107: 2031-2035.

Huggins, A.K., Skutsch, G. and Baldwin, E. 1969. Ornithine urea cycle enzymes in teleost fish. Comp. Biochem. Physiol. 28: 587-602.

Jackson, A.J. and Capper, B.S. 1982. Investigations into the requirements of the tilapia *Sarotherodon mossambicus* for dietary methionine, lysine and arginine in semi-synthetic diets. Aquaculture 29: 289-297.

Jantrarotai, W., Sitasit, P., Nasawan, P. and Sinmuk, S. 1992. Enhancing the optimum nutritive value of soybean meal for hybrid walking catfish. In: Proceedings of the Seminar on Fisheries 1992. Bangkhen, Bangkok, Thailand: National Inland Fisheries Institute. pp.17-23.

Kaushik, S.J. and Fauconneau, B. 1984. Effects of lysine administration on plasma arginine and on some nitrogenous catabolites in rainbow trout. Comp. Biochem. Physiol. 79A: 459-462.

Mercer, L.P., Dodds, S.J. and Smith, D.I. 1989. Dispensable, indispensable and conditionally indispensable amino acid ratios in the diet. In: Friedman, M. (ed), Absorption and Utilization of Amino Acids. Vol. 1. Florida: CRC Press Inc.

Mercer, L.P., May, H.E. and Dodds, S.J. 1989. The determination of nutritional requirements in rats: mathematical modeling of sigmoidal, inhibited nutrient-response curves. J. Nutr. 119: 1465-1471.

Moon, H.Y. and Gatlin, D.M. III. 1991. Total sulfur amino acid requirements of juvenile red drum, *Sciaenops ocellatus*. Aquaculture 95: 97-106.

Murthy, H.S. and Varghese, T.J. 1996. Quantitative dietary isoleucine requirement for growth and survival of Indian major carp, *Labeo rohita* (Hamilton) fry. Indian J. Exp. Biol. 34: 1141-1143.

Murthy, H.S. and Varghese, T.J. 1998. Total sulphur amino acid requirement of the Indian major carp, *Labeo rohita* (Hamilton). Aquacult. Nutr. 4: 61-65.

Nesheim, M.C. 1968. Kidney arginase activity and lysine tolerance in strains of chickens selected for a high or low requirement of arginine. J. Nutr. 95: 79-87.

Nose, T. 1979. Summary report on the requirements of essential amino acids for carp. In: Halver, J.E. and Tiews, K. (eds), Finfish Nutrition and Fishfeed Technology, Vol. 1. Berlin: Heenemann GmbH and Co. pp. 145-156.

Nose, T., and Murai, T. 1990. Amino acid requirements in fishes. In: Yoshida, A., Naito, H., Niyama, Y. and Suzuki, T. (eds), Nutrition: Proteins and Amino Acids. Tokyo: Japan Sci. Soc. Press. pp. 85-95.

NRC (National Research Council). 1993. Nutrient Requirement of Fish. Washington D.C.: National Academy of Science.

Ogino, C. 1980. Requirements of carp and rainbow trout for essential amino acids. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 46: 171-174.

Poston, H.A., Riis, R.C., Rumsey, G.L. and Ketola, H.G. 1977. The effect of supplemental dietary amino acids, minerals and vitamins on salmonids fed cataractogenic diets. Cornell Vet. 67: 472-509.

Ravi, J. and Devaraj, K.V.1991. Quantitative essential amino acid requirement for growth of catla, *Catla catla* (Hamilton). Aquaculture 96: 281-291.

Robinson, E.H., Allen, O.W.Jr, Poe, W.E. and Wilson, R.P. 1978. Utilization of dietary sulfur compounds by fingerling channel catfish : L-methionine, DL-methionine, methionine hydroxy analogue, taurine and inorganic sulfate. J. Nutr.108: 1932-1936.

Robinson, E.H., Wilson, R.P. and Poe, W.E. 1980. Re-evaluation of the lysine requirement and lysine utilization by fingerling channel catfish. J. Nutr. 110: 2313-2316.

Robinson, E.H., Wilson, R.P. and Poe, W.E. 1981. Arginine requirement and apparent absence of lysine-arginine antagonist in fingerling channel catfish. J. Nutr. 111: 46-52

Rodehutscord, M., Becker, A., Pack, M. and Pfeffer, E. 1997. Response of rainbow trout (*Oncorhychus mykiss*) to supplements of individual essential amino acids in a semipurified diet, including an estimate of the maintenance requirement for essential amino acids. J. Nutr. 126: 1166-1175.

Rollin, X., Hidalgo, V., Valdez, M., Teller, E. and Vanbelle, M.1994. Quantitative methionine requirement of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) juveniles. Aquaculture 124: 61.

Ruchimat, T., Masumoto, T., Hosokawa, H., Itoh, Y. and Shimeno, S. 1997. Quantitative lysine requirement of yellowtail (*Seriola quinqueradiata*). Aquaculture 158: 331-339.

Rumsey, G.L., Page, J.W., and Scott, M.L. 1983. Methionine and cystine requirements of rainbow trout. Prog. Fish Cult. 45: 139-143.

Santiago, C.B. and Lovell, R.T. 1988. Amino acid requirements for growth of Nile tilapia. J. Nutr. 118: 1540-1546.

Schwarz, F.J., Kirchgessner, M. and Deuringer, U. 1998. Studies on the methionine requirement of carp (*Cyprinus carpio* L.). Aquaculture 161: 121-129.

Scott, T. and Eagleson, M. 1988. Concise Encyclopedia of Biochemistry (2nd edition). Berlin: Walter de Gruyter & Co.

Simmons, L., Moccia, R.D., Bureau, D.P., Sivak, J.G. and Herbert, K. 1999. Dietary methionine requirement of juvenile Arctic charr *Salvelinus alpinus* (L.). Aquacult. Nutr. 5: 93-100.

Steffens, W. 1989. Principles of Fish Nutrition. New York: Ellis Horwood Limited.

Tantikitti, C. and March, B.E. 1995. Dynamics of plasma free amino acids in rainbow trout (*Oncorhynchus mukiss*) under variety of dietary conditions. Fish Physiol. Biochem. 14: 179 -194.

Tibaldi, E. and Lanari, D. 1991. Optimum dietary lysine levels for growth and protein utilisation of fingerling sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) fed semipurified diets. Aquaculture 95: 297-304.

Walton, M. J., Adron, J.W., Coloso, R.M. and Cowey, C.B. 1986. Dietary requirements of rainbow trout for tryptophan, lysine and arginine as determined by growth and biochemical measurements. Fish Physiol. Biochem. 2: 161-169.

Wilson, R.P. 1989. Amino acids and proteins. In: Halver, J.E. (ed), Fish Nutrition. California: Academic Press. pp.112-147.

Wilson, R.P. 1994. Amino acid requirement of finfish. In: D'Mello, J.P.F. (ed), Amino Acid in Farm Animal Nutrition. Wallingford, UK.: CAB International.

Wilson, R.P., Poe, W.E., and Robinson, E.H. 1980. Leucine, isoleucine, valine and histidine requirements of fingerling channel catfish. J. Nutr. 110: 627-633.

Zar, J.H. 1984. Biostatistical Analysis. New Jersey: Prentice-Hall Inc.

# ภาคผนวก

## งานวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่จากการวิจัย

ความต้องการกรดอะมิโนไลซีนของปลากดเหลือง (*Mystus numurus* Cuv. & Val.)

Dietary lysine requirement of freshwater catfish (*Mystus numurus* Cuv. & Val.)

Aquaculture Research. 2001. 32 (Suppl. 1). 135–141

# Dietary lysine requirement of freshwater catfish (*Mystus nemurus* Cuv. & Val.)

**C Tantikitti & N Chimsung**

Department of Aquatic Science. Faculty of Natural Resources. Prince of Songkla University. Hat Yai. Songkhla 90112. Thailand

**Correspondence:** Chutima Tantikitti. Department of Aquatic Science. Faculty of Natural Resources. Prince of Songkla University. Hat Yai. Songkhla 90112. Thailand. E-mail: tachutim@ratree.psu.ac.th

## Abstract

Production of freshwater catfish (*Mystus numerus* Cuv. & Val.) has soared to meet consumer demand, but little is known about the nutritional requirements of the species. This study was conducted to determine the dietary lysine requirement of juvenile *Mystus numerus* fed semipurified diets containing graded levels of lysine. The control diet contained fish meal, gelatin and crystalline amino acids simulating the amino acid profile of *Mystus nemurus* muscle protein except for lysine. Seven experimental diets were formulated to contain lysine as 0.7% (2.00%), 1.1% (3.14%), 1.5% (4.29%), 1.9% (5.43%), 2.3% (6.57%), 2.7% (7.71%) and 3.1% (8.86%) of the diet (% of protein). Triplicate groups of fish were fed to satiation for 90 days. Specific growth rate, feed efficiency ratio, protein efficiency ratio, productive protein value and daily net protein retention of fish fed diets containing lysine at 2.00% of protein were significantly lower than fish fed diets containing lysine at higher levels. Plasma ammonia concentrations were similar in all groups of fish. A digestibility trial between fish fed the experimental diet with 7.71% of lysine and a diet with fish meal as the sole source of protein showed that protein digestibility of the experimental diet was significantly higher than that of the fish meal based diet. Non-linear regression analysis of specific growth rate against dietary lysine levels indicated a lysine requirement of 3.47% of protein for this species.

**Keywords:** *Mystus nemurus*, lysine, requirement.

## Introduction

Freshwater catfish (*Mystus nemurus* Cuv. & Val.) is common from Thailand to Indonesia (Rainboth 1996) with production mainly from wild stock. Because of its highly valued texture and delicious taste, demand for the fish has increased, resulting in expansion of its culture both in earthen ponds and in cages. Without knowing the nutrient requirements or having commercial diets available for this fish, farmers routinely use trash fish or feed formulated for other fish species in raising the fish. Studies have been conducted to determine the vitamin requirements of this fish (Phromkunthong & Sengsidang 1997; Phromkunthong, Songpradit & Sangkanakin 1998), but information on other nutrient requirements, which would allow preparation of suitable cost-effective diets for the fish using locally available feed stuffs, is needed.

Amino acids are required by all fish species, and lysine is of particular concern because it is the indispensable amino acid found in the highest concentration in the carcass of many species of fish (Wilson & Cowey 1985; Wilson & Poe 1985; NRC 1993). Moreover, lysine is the limiting amino acid in cereal grains, which are important feed stuffs locally available for formulating fish diets. The present study was undertaken as a part of a program to study the amino acid requirements of this species of catfish, and its primary objective was to evaluate the optimal dietary lysine level for growth and protein utilization of this fish. To examine utilization and absorption of amino acids, the plasma ammonia concentrations in fish fed

© 2001 Blackwell Science Ltd

different levels of lysine and the digestibility of experimental diets were also measured.

## Materials and methods

### Lysine feeding study

*Carcass amino acid composition*

Six fish with an average weight of 150 g obtained from the Songkhla Freshwater Fisheries Station were sacrificed and ingesta of each fish was removed. The fish were frozen, ground, freeze-dried, reground and analysed for amino acid composition using ion exchange liquid chromatography (Amino Acid Analyzer: Hitachi 835–30).

*Diets*

Seven semipurified experimental diets were formulated to contain an amino acid profile simulating those obtained from the carcass composition, except for lysine, which was varied at 0.7% (2.0%), 1.10% (3.14%), 1.50% (4.29%), 1.90% (5.43%), 2.30% (6.57%), 2.70% (7.71%) and 3.10% (8.86%) of the diet (% of protein) for Diets 1–7, respectively. The lysine content of Diet 6 (2.7% of diet) corresponded to the content in the carcass. The basal mixture of the experimental diets (Table 1) contained a high-quality fish meal, gelatin and crystalline amino acids as protein sources. The amount of lysine added to Diets 1–7 replaced glutamic acid on a weight for weight basis. The diets were formulated to be isonitrogenous and isocaloric with protein and gross energy at approximately 35% and 4056 kcal $kg^{-1}$ of diet. An eighth treatment (control diet) containing fish meal as a sole source of protein was also included in the experiment. The composition of the diet is shown in Table 1.

Each diet was mixed and pelleted using a Hobart mixer. To prevent any loss and deterioration of amino acids and other vulnerable ingredients, the pellets were freeze-dried and kept at −20 °C until feeding.

**Table 1** Composition of basal experimental and control diets[1] (as fed basis)

| Ingredient | Experimental diet (g $kg^{-1}$) | Control diet (g $kg^{-1}$) |
|---|---|---|
| High-quality fish meal | 132.00 | 625.00 |
| Gelatin | 20.00 | – |
| Amino acid premix[2] | 280.55 | – |
| L-Lysine HCl[3] | + | – |
| Dextrin[4] | 300.00 | 268.00 |
| Fish oil | 73.00 | 6.00 |
| Mineral premix[5] | 65.00 | 65.00 |
| Vitamin premix[6] | 20.00 | 20.00 |
| Ascorbic acid | 1.00 | 1.00 |
| CMC | 30.00 | 15.00 |
| Agar | 5.00 | – |
| α-Cellulose[4] | 73.45 | – |

[1]Proximate analysis of basal experimental diet and control diet (dry matter basis): 35.72%, 35.85% protein, 10.78%, 11.85% lipid and 10.35%, 22.42% ash, respectively.
[2]Amino acid premix (g L-form $kg^{-1}$ of diet): arg 13.33, his 5.76, ile 9.72, leu 18.94, met 9.0, phe, 6.68, thr 11.32, trp 1.83, val 10.75, cys 2.0, tyr 8.5 ser 15.0, pro 19.0, gly 31.5, glu 40.0, asp 25.0, ala 25.0.
[3]Lysine-HCl in Diets 1–7 (g $kg^{-1}$): 2.21 Diet 1, 7.21 Diet 2, 12.21, Diet 3, 17.21 Diet 4, 22.21 Diet 5, 27.21 Diet 6, 32.21 Diet 7.
[4]Sigma.
[5]Units, mg $kg^{-1}$: calcium carbonate (40.04% Ca), 20701.8; calcium phosphate (39.89% Ca, 18.50% P), 24324.3; sodium chloride, 1800; potassium sulfate (45% K), 6577.8; magnesium sulfate (20.20% Mg), 3465.3; ferrous sulfate (36.77% Fe), 298.5; manganous sulfate (36.38% Mn), 14.8; zinc sulfate (40.5% Zn), 175.8; cupric sulfate (39.81% Cu), 19.6; cobalt chloride (45.39% Co), 1.9; potassium iodide (76.45% I), 2.6; sodium selenite (45.65% Se), 17.0.
[6]Units, mg $kg^{-1}$: vitamin A (retinyl acetate), 1.89; vitamin D3 (cholecalciferol), 0.0625; vitamin E (α-tocopherol), 181.82; vitamin K3 (menadione sodium bisulfate), 10; thiamine (thiamine HCl), 40; riboflavin, 40; pyridoxine (pyridoxol HCl), 30; pantothenic acid (calcium-d-pantothenate), 120; nicotinic acid, 300; biotin, 0.3; folic acid, 5.0; cyanocobalamin, 0.2; choline chloride, 2000; inositol, 500

*Fish management and feeding*

Seventeen fish averaging 4.0 g body weight were distributed into each of 24 80-L glass aquaria. Each aquarium was then randomly assigned to one of three replicates of the eight dietary treatments. The fish were acclimatized to the experimental conditions and their respective diets for 1 week prior to the start of the feeding study. The fish were fed with the respective diet until satiation twice daily for 90 days. Feed consumption and mortality were recorded daily.

A closed system with continuous aeration and daily replacement of water in the aquarium was used. The experimental units were under natural light and dark cycle. To ensure that quality of water in the aquaria was suitable for the fish, water


© 2001 Blackwell Science Ltd. 

samples from each aquarium were collected and analyzed for $NH_4$, $NO_3$, $NO_2$, and DO according to Boyd & Tucker (1992) weekly throughout the experiment.

*Sample collection and analysis*

Diets were analysed for crude protein, crude lipid and ash according to AOAC (1985). The amino acid composition of the basal diet was analysed by the same method as used for the fish muscle tissue.

At the beginning of the feeding study, 50 fish from the same population used in the experiment were sacrificed for determination of initial carcass proximate composition. At this time, the fish in each aquarium were also individually weighed after anesthetizing with 2-phenoxyethanol at 0.5 mL $L^{-1}$ of water. A final weight was determined by the same manner at the end of the study 6 h after the last feeding. Blood was then drawn, using heparinized syringes, from the caudal vein of four fish from each aquarium. The blood samples from two fish were then pooled (two fish replicate$^{-1}$ aquarium$^{-1}$) and centrifuged at 3500 r.p.m. for 10 min. Plasma was collected and kept at –60 °C for ammonia determination the next day. Determination of plasma ammonia concentration was carried out using Sigma diagnostic kit no. 171 UV (Berge, Lied & Sveier 1997).

After collection of blood samples, five fish from each aquarium were collected and frozen. The samples were later freeze-dried, ground and analysed for protein, lipid and ash composition.

*Calculations and statistical analyses*

Data on initial weight, final weight, feed intake and proximate composition of diets and carcass were used to calculate weight gain, percentage weight gain, specific growth rate, protein efficiency ratio, productive protein value, daily protein and daily lipid retention. All calculated parameters were subjected to analysis of variance procedure ($\alpha = 0.05$) and the differences among means were tabulated using the Tukey HSD test (Zar 1984). To determine the requirement level of lysine, the following nutrient-response relationship using four parameter nonlinear regression was employed (Mercer 1982; Cho, Kaushik & Woodward 1992).

$$Y = b(K_{0.5})^n + R_{max}(X)^n / [(K_{0.5})^n + (X)^n]$$

where $Y$ is the specific growth rate, $X$ is the dietary lysine level, $b$ is the intercept, $R_{max}$ is the maximal value of $Y$, $K_{0.5}$ is the value of $X$ for $\frac{1}{2}(R_{max} + b)$ and $n$ is the apparent kinetic order.

## Digestibility study

A digestibility study was conducted comparing Diet 6, which had an amino acid profile similar to the carcass composition, and the control fish meal based diet. The ingredients in the diets were the same as in the feeding study except for cellulose. Chromic oxide (0.5%) was included as an indicator with a corresponding reduction of cellulose.

Fifteen fish with an average individual weight of 15 g were distributed into each of six 80-L aquaria. The rearing conditions and feeding practice were the same as in the requirement study. The fish were acclimatized to the rearing conditions and diets for 2 weeks before collection of faeces.

Collection of faeces was done daily by siphoning at 15 h after the second feeding until the sample was sufficient for analysis (~30 days). Faecal samples were freeze-dried and analysed for proximate composition. The amount of chromic oxide in the diets and faeces was analyzed according to the method of Furukawa & Tsukahara (1966). Apparent digestibility coefficients were calculated according to De Silva & Anderson (1995). The coefficients were subjected to a *t*-test for mean differences (Zar 1984).

## Results

### Lysine feeding study

Composition of the diets had slight variations in ash and moisture content, but did not differ in protein or lipid content (Table 2). Tables 3 and 4 show growth and feed utilization parameters of fish fed the control diet or diets with varying levels of lysine. Feed intake did not vary among lysine dietary treatments, but fish fed these diets consumed less ($P < 0.05$) than did fish fed the control diet. However, specific growth rate and protein retention for fish on the diet containing lysine at 2.0% of protein were significantly lower than the fish fed diets containing the higher lysine concentration ($P < 0.05$). Weight gain, feed efficiency ratio, protein efficiency ratio and lipid retention also tended to be lower for the 2.0% lysine treatment, but results were inconsistent. The protein efficiency ratio of fish fed diets containing lysine at 3.14% of protein or higher were not significantly different

**Table 2** Proximate composition of fish fed diets containing varying levels of lysine for 90 days[1]

| Dietary lysine level (% protein) | Proximate composition | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Moisture (%) | Protein (%) | Lipid (%) | Ash (%) |
| Initial | 79.29 ± 0.06 | 57.29 ± 0.70 | 29.11 ± 0.69 | 12.54 ± 0.30 |
| 2.00 | 74.35 ± 2.01$^{a}$ | 50.07 ± 0.45$^{a}$ | 32.57 ± 1.28$^{a}$ | 15.12 ± 0.63$^{a}$ |
| 3.14 | 75.35 ± 0.80$^{a}$ | 50.74 ± 1.74$^{a}$ | 32.49 ± 0.83$^{a}$ | 14.61 ± 0.71$^{ab}$ |
| 4.29 | 73.40 ± 0.58$^{a}$ | 51.95 ± 0.40$^{a}$ | 31.98 ± 1.41$^{a}$ | 13.86 ± 0.49$^{abc}$ |
| 5.43 | 74.93 ± 0.97$^{a}$ | 51.87 ± 0.29$^{a}$ | 32.96 ± 1.01$^{a}$ | 13.00 ± 0.18$^{bc}$ |
| 6.57 | 74.14 ± 1.56$^{a}$ | 49.92 ± 3.09$^{a}$ | 36.08 ± 3.00$^{a}$ | 12.80 ± 0.46$^{bc}$ |
| 7.71 | 72.34 ± 0.34$^{ab}$ | 48.82 ± 1.30$^{a}$ | 36.36 ± 3.31$^{a}$ | 12.75 ± 0.55$^{bc}$ |
| 8.86 | 72.51 ± 0.29$^{ab}$ | 48.56 ± 1.32$^{a}$ | 36.78 ± 2.97$^{a}$ | 11.89 ± 0.57$^{c}$ |
| Control | 69.91 ± 1.51$^{b}$ | 50.60 ± 3.26$^{a}$ | 35.40 ± 4.46$^{a}$ | 12.52 ± 1.37$^{c}$ |

[1]Values are mean ± SD ($n$ = 3). Mean values within columns not sharing the same superscript are significantly different ($P < 0.05$).

**Table 3** Initial weight, final weight, percentage weight gain, specific growth rate and survival of fish fed diets containing varying levels of lysine for 90 days[1]

| Dietary lysine level (% protein) | Initial weight (g fish$^{-1}$) | Final weight (g fish$^{-1}$) | Weight gain[2] (%) | Specific growth rate[3] (% day$^{-1}$) | Survival rate[4] (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2.00 | 8.73 ± 0.48$^{a}$ | 15.85 ± 1.53$^{b}$ | 81.31 ± 9.41$^{c}$ | 0.62 ± 0.09$^{c}$ | 49.02 ± 8.99$^{a}$ |
| 3.14 | 8.87 ± 0.70$^{a}$ | 27.29 ± 6.50$^{b}$ | 205.26 ± 54.75$^{b}$ | 1.21 ± 0.21$^{b}$ | 64.71 ± 17.65$^{a}$ |
| 4.29 | 8.72 ± 0.66$^{a}$ | 21.89 ± 1.10$^{b}$ | 151.39 ± 0.28$^{bc}$ | 1.01 ± 0.02$^{b}$ | 47.06 ± 11.76$^{a}$ |
| 5.43 | 8.66 ± 0.65$^{a}$ | 25.67 ± 4.24$^{b}$ | 195.31 ± 27.17$^{b}$ | 1.19 ± 0.10$^{b}$ | 56.86 ± 8.99$^{a}$ |
| 6.57 | 8.75 ± 0.58$^{a}$ | 25.40 ± 2.63$^{b}$ | 190.29 ± 20.59$^{b}$ | 1.17 ± 0.07$^{b}$ | 64.71 ± 10.19$^{a}$ |
| 7.71 | 8.52 ± 0.24$^{a}$ | 23.84 ± 2.17$^{b}$ | 179.76 ± 20.49$^{b}$ | 1.13 ± 0.08$^{b}$ | 66.67 ± 17.97$^{a}$ |
| 8.86 | 8.38 ± 0.52$^{a}$ | 22.85 ± 2.20$^{b}$ | 172.50 ± 12.49$^{b}$ | 1.10 ± 0.05$^{b}$ | 64.71 ± 21.21$^{a}$ |
| Control | 9.27 ± 0.09$^{a}$ | 70.82 ± 12.89$^{a}$ | 662.85 ± 132.42$^{a}$ | 2.22 ± 0.21$^{a}$ | 60.78 ± 38.27$^{a}$ |

[1]Values are mean ± SD ($n$ = 3). Mean values within columns not sharing the same superscript are significantly different ($P < 0.05$).

[2]Percentage weight gain = [(final weight – initial weight)/initial weight] ×100.

[3]Specific growth rate = $[(\ln w_2 - \ln w_1)/(t_2 - t_1)] \times 100$ .

[4]Survival rate = [(final number of fish)/(initial number of fish) ×100].

from those of the fish meal control diet ($P \geq 0.05$). A similar, but inconsistent, trend also held for feed efficiency. Lipid deposition increased with the level of lysine to the amount similar to the control group in the fish fed the diets with lysine at 6.57%, 7.71% and 8.86% of protein (Table 4).

Non-linear regression of specific growth rate against dietary lysine levels is shown in Fig. 1. The analysis suggested that the lysine requirement level at 95% of the maximum slope was 3.47% of protein.

Except for the lower feed intake and slower growth rate as compared with the fish meal fed group, fish fed experimental diets did not show any sign of deficiency. The high mortality as noted in Table 3 was due mainly to aggressiveness of the fish in all treatments, including the control group. For water quality in the aquaria, temperature varied between 25.90 and 26.10 °C, pH between 6.63 and 6.90, DO between 5.25 and 6.00 mg $L^{-1}$, ammonia between 0.35 and 1.22 mg N $L^{-1}$ (the lowest value occurring in the 2.0% lysine fed fish and the highest value in the control aquaria), nitrate between 0.59 and 1.42 mg N $L^{-1}$, and nitrite between 0.24 and 0.65 mg N $L^{-1}$. All of these values are considered within acceptable ranges for the fish.

Plasma ammonia concentrations in fish fed experimental and control diets are shown in



© 2001 Blackwell Science Ltd. 

**Table 4** Feed intake, feed efficiency, protein efficiency ratio, productive protein value, daily protein retention, daily lipid retention of fish fed diets containing varying levels of lysine for 90 days[1]

| Dietary lysine level (% protein) | Feed intake (g fish$^{-1}$) | Feed efficiency ratio[2] | Protein efficiency ratio[3] | Productive protein value[4] (%) | Daily protein retention[5] (g protein kg$^{-1}$ day$^{-1}$) | Daily lipid retention[6] (g lipid kg$^{-1}$ day$^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2.00 | 16.78 ± 2.96$^{b}$ | 0.43 ± 0.02$^{c}$ | 1.35 ± 0.05$^{c}$ | 18.76 ± 2.52$^{c}$ | 2.67 ± 0.39$^{c}$ | 2.19 ± 0.31$^{c}$ |
| 3.14 | 29.98 ± 8.39$^{b}$ | 0.61 ± 0.04$^{ab}$ | 1.94 ± 0.13$^{ab}$ | 25.36 ± 0.63$^{bc}$ | 3.80 ± 0.3[illegible]$^{c}$ | 2.70 ± 0.21$^{abc}$ |
| 4.29 | 24.31 ± 0.62$^{b}$ | 0.54 ± 0.01$^{bc}$ | 1.75 ± 0.02$^{bc}$ | 26.42 ± 0.36$^{bc}$ | 3.76 ± 0.0[illegible]$^{c}$ | 2.55 ± 0.20$^{b}$ |
| 5.43 | 27.73 ± 5.64$^{b}$ | 0.61 ± 0.02$^{ab}$ | 1.95 ± 0.06$^{ab}$ | 26.61 ± 2.39$^{bc}$ | 3.93 ± 0.[illegible]$^{c}$ | 2.62 ± 0.35$^{b}$ |
| 6.57 | 28.26 ± 2.04$^{b}$ | 0.59 ± 0.04$^{bc}$ | 1.87 ± 0.12$^{abc}$ | 25.13 ± 2.67$^{bc}$ | 3.74 ± 0.3[illegible]$^{c}$ | 3.22 ± 0.32$^{ab}$ |
| 7.71 | 26.57 ± 2.87$^{b}$ | 0.58 ± 0.02$^{bc}$ | 1.87 ± 0.08$^{abc}$ | 26.99 ± 1.77$^{bc}$ | 3.58 ± 0.2[illegible]$^{c}$ | 3.17 ± 0.36$^{ab}$ |
| 8.86 | 24.24 ± 2.33$^{b}$ | 0.60 ± 0.06$^{ab}$ | 1.92 ± 0.20$^{ab}$ | 27.29 ± 2.39$^{b}$ | 3.59 ± 0.3[illegible]$^{c}$ | 3.18 ± 0.36$^{ab}$ |
| Control | 80.11 ± 17.94$^{a}$ | 0.77 ± 0.14$^{a}$ | 2.33 ± 0.44$^{a}$ | 36.63 ± 6.35$^{a}$ | 4.98 ± 0.2[illegible]$^{a}$ | 3.60 ± 0.53$^{a}$ |

[1]Values are mean ±SD ($n$ = 3). Mean values within columns not sharing the same superscript are significantly different ($P < 0.05$).

[2]Feed efficiency ratio = weight gain (g)/feed intake (g).

[3]Protein efficiency ratio = weight gain (g)/protein intake (g).

[4]Productive protein value = protein gain (g) ×100/protein intake (g).

[5]Daily protein retention = protein gain (g kg$^{-1}$)/average final body weight ×number of days.

[6]Daily lipid retention = lipid gain (g kg$^{-1}$)/average final body weight ×number of days.

Table 5. Although there was a trend for plasma ammonia concentrations to increase with increasing amounts of dietary lysine, the results were not consistent nor significant ($P \geq 0.05$).

### Digestibility study

The apparent protein digestibility coefficient of the experimental diet was significantly higher than that of the control diet as shown in Table 6.

## Discussion

Lysine requirements have been determined for several species of fish, but primarily those in the temperate zone. Lysine requirements vary between 3.32% and 6.61% of protein among the species and within the same species (NRC 1993; Forster & Ogata 1998). The results from growth and feed efficiency in the present study indicate that the lysine requirement for *Mystus nemurus* is at 3.47% of protein. This value is similar to recently reported values for sole (3.32% of protein; Forster & Ogata 1998), red sea bream (3.64% of protein; Forster & Ogata 1998), yellow tail (3.85% of protein; Ruchimat, Masumoto, Hosokawa, Itoh & Shimeno 1997), rainbow trout (3.71% of protein; Kim, Kayes, & Anderson 1992), coho salmon (3.8% of protein; Arai & Ogata 1991), Atlantic salmon (4.0% of protein; Anderson, Lall, Anderson & McNiven 1993) and hybrid striped bass (4.03% of protein; Keembiyehetty & Gatlin 1992).

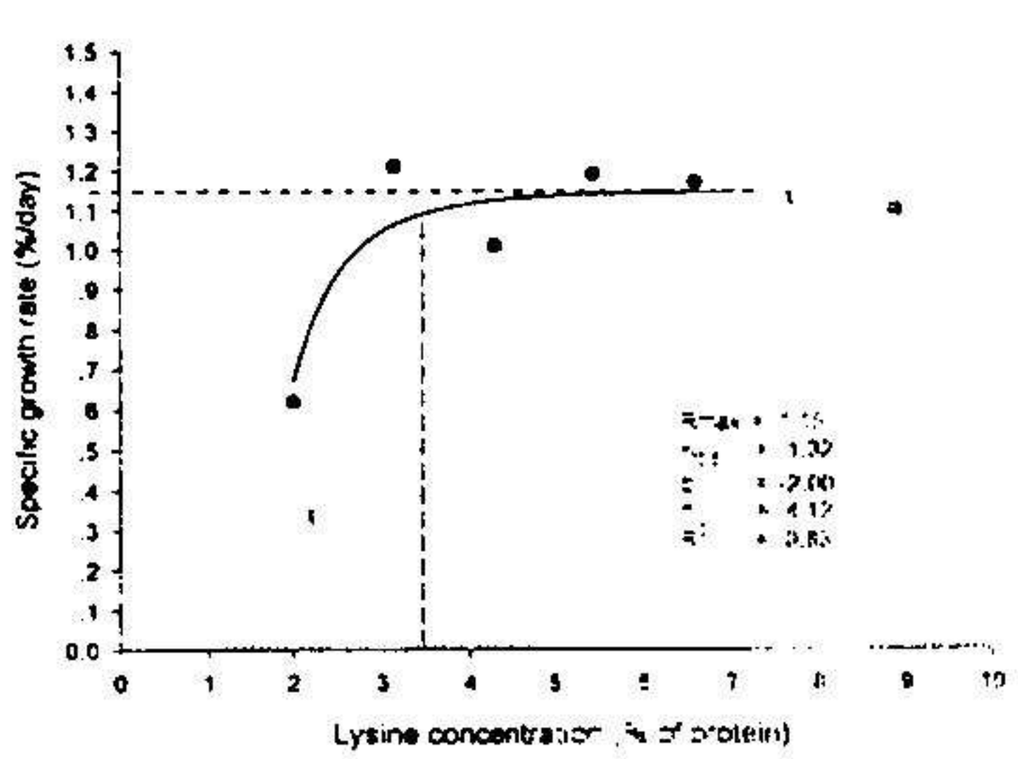



**Figure 1** Mean specific growth rate as a function of dietary lysine level. Each point is the mean of three replicates. Dietary lysine requirement is indicated by a vertical dotted line.

There has been an attempt to estimate dietary essential amino acid requirements for *Mystus nemurus* using natural ingredients to formulate diets that varied in protein levels from 27% to

**Table 5** Plasma ammonia concentration in fish fed diets containing varying levels of lysine for 90 days[1]

| Dietary lysine level (% protein) | Plasma ammonia concentration ($\mu g\ mL^{-1}$) |
|---|---|
| 2.00 | 3.55 ± 0.27[a] |
| 3.14 | 4.20 ± 2.89[a] |
| 4.29 | 4.36 ± 1.65[a] |
| 5.43 | 4,18 ± 0.66[a] |
| 6.57 | 4.17 ± 2.32[a] |
| 7.71 | 4.29 ± 0.76[a] |
| 8.86 | 3.69 ± 0.99[a] |
| Control | 3.33 ± 1.81[a] |

[1]Values are mean ± SD ($n$ = 3). Mean values within columns not sharing the same superscript are significantly different ($P < 0.05$).

**Table 6** Apparent protein digestibility coefficients[1] of experimental diet and the fish meal control diet

| Diet | Apparent protein digestibility coefficient |
|---|---|
| Experimental diet (7.71% lysine) | 94.26 = 0.56[a] |
| Control diet | 73.17 = 5.03[b] |

[1]Values are means ± SD. Mean values not sharing the same superscript are significantly different ($P < 0.05$).

50% (Khan. Ang & Das 1994). After the feeding trial, the amino acid profile of the fish with the best growth rate was determined and used to calculate the A/E ratio [(essential amino acid content/total essential amino acid content including cystine and tyrosine) ×1000] which was used as a reference for comparison with the formulated diets. The authors found that the essential amino acid pattern of the 42% protein diet contained the optimum dietary essential amino acid requirement. Considering only the lysine content in the diet. the value was 4.50% of protein. which is slightly greater than the value obtained in the present study. The differences could be attributed to the protein level and the amino acid profile of the experimental diets. The present study used semipurified diets with an amino acid profile simulating muscle tissue of the fish as a reference in a diet with 35% protein content. whereas Khan *et al.* (1994) used natural ingredients and formulated diets using linear programming techniques with 42% protein in the diet. However. they recognized the concerns with this approach and stressed that the quantitative amino acid requirement studies with a proper amino acid pattern should be conducted.

Earlier studies reported high lysine requirement levels. such as 6.1% of protein for rainbow trout. 5.1% of protein for channel catfish and 5.2% of protein for Nile tilapia (NRC 1993). These differences might be due to the ingredients used in test diets. rearing conditions and size of fish as mentioned earlier by Kim *et al.* (1992). One possible reason is improvement of experimental diet formulation and preparation. In the present study. the feed efficiency and protein efficiency ratio for most of the fish fed experimental diets containing synthetic amino acids at 28.05% of the diet were not different from those of the fish fed the fish meal based diet. Coating the amino acids with agar likely helped delay the passage time and absorption of amino acids. resulting in more amino acids being available for protein synthesis. The results on the digestibility of the experimental and fish meal control diets confirmed that the amino acids provided in the experimental diets were mostly absorbed. Protein synthesis in fish fed experimental diets was, however. lower than that of the control diet as indicated by the lower productive protein value and daily protein retention. This was possibly due to differences in the absorption rate between amino acids from intact protein (fish meal and gelatin) and free amino acids. even coated with agar. The experimental diets contained 28.05% free amino acids. which would have resulted in a faster absorption rate that may have resulted in an excess of plasma and tissue amino acids. The amino acids in excess would be catabolized and the carbon skeletons used in lipid synthesis and deposited in tissue. The higher lipid content in the fish fed diets containing high concentrations of free lysine (at 6.57%. 7.71% and 8.86% protein) supports this hypothesis.

Plasma ammonia concentrations correlate with requirements for amino acids such as those found in studies of the lysine requirement in rainbow trout (Barash 1984) and the arginine requirement in Atlantic salmon (Berge *et al.* 1997). Those studies found that when diets that were either deficient or imbalanced in amino acids were fed to the fish. the subsequent concentrations of plasma ammonia were elevated compared with that of fish fed diets that contained sufficient or a well-balanced supply of amino acids. Lower concentrations of plasma



© 2001 Blackwell Science Ltd. 

ammonia would occur with a fish meal based diet and their results (Berge *et al.* 1997) agreed with the growth studies of the present study. The results on plasma ammonia concentrations of fish fed diets containing different levels of lysine in the present study did not show such a relationship.

Although the results from the study demonstrated that the test diet used in the experiment provided satisfactory growth, further improvement of the test diets would provide better results comparable with those of a practical reference diet. For example, enhancing diet palatability with different coating techniques of the free amino acids would be beneficial, particularly when a large amount of free amino acids are used in the diets.

## Acknowledgements

The authors wish to thank the Government of Thailand for funding the study and Kyowa Hakko Kogyo Co., Ltd. for providing some free amino acids for experimental diets. We would also like to extend our appreciation to Prof Dr B.R. Moss and Dr Ian Forster for reviewing the manuscript.

## References

Anderson J.S., Lall S.P., Anderson D.M. & McNiven M.A. (1993) Quantitative dietary lysine requirement of Atlantic salmon (*Salmo salar*) fingerlings. *Canadian Journal of Fish Aquat Science* **50**, 316–322.

AOAC (1985) *Official Methods of Analysis*. Association of Official Analytical Chemists. Washington DC.

Arai S. & Ogata H. (1991) Quantitative amino acid requirements of fingerling coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). In: *Proceedings of the Twentieth US–Japan Symposium on Aquaculture Nutrition* (ed. by M.R. Collie & J.P. McVey). 19–28. Department of Commerce. New Port, OR.

Barash H. (1984) The influence of the lysine level in the diet on nitrogen excretion and on the concentration of ammonia and free amino acids in the plasma of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Nutr Report Internation* **29**, 283–289.

Berge G.E., Lied E. & Sveier H. (1997) Nutrition of Atlantic salmon (*Salmo salar*): The requirement and metabolism of arginine. *Comp Biochemistry and Physiology* **117A** (4), 501–509.

Boyd C.E. & Tucker C.S. (1992) *Water Quality and Pond Soil Analysis for Aquaculture*. Auburn University. Alabama.

Cho C.Y., Kaushik S. & Woodward B. (1992) Dietary arginine requirement of young rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Comp Biochemistry and Physiology* **102A**, 211–216.

De Silva S.S. & Anderson T.A. (1995) *Fish Nutrition in Aquaculture*. Chapman & Hall. London.

Forster I. & Ogata H.Y. (1998) Lysine requirement of juvenile Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* and juvenile red sea bream *Pagrus major*. *Aquaculture* **161**, 131–142.

Furukawa A. & Tsukahara H. (1966) On the acid digestion method for the determination of chromic oxide as an index substance in the study of digestibility in fish feed. *Bulletin of the Japanese Society of Science Fish* **32**, 502–506.

Keembiyehetty C.N. & Gatlin D.M. III (1992) Dietary lysine requirement of juvenile hybrid striped bass (*Morone chrysops* x *M. saxatilis*). *Aquaculture* **104**, 271–277.

Khan M.S., Ang K.J. & Das N.N. (1994) Amino acid nutrition in formulating the diets for a tropical freshwater catfish. In: *Mystus Nemurus C. & V. in Malaysia* (ed. by L.M. Chou, A.D. Munro, T.J. Lam, T.W. Chen, L.K.K. Cheong, J.K. Ding, K.K. Hooi, H.W. Khoo, V.P.E. Phang, K.F. Shim & C.H. Tan). 678–680. The Third Asian Fisheries Forum. Manila. Philippines.

Kim K.I., Kayes T.B. & Anderson C.H. (1992) Requirement for lysine and arginine by rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* **106**, 333–344.

Mercer L.P. (1982) The quantitative nutrient-response relationship. *Journal of Nutrition* **112**, 560–566.

NRC (National Research Council) (1993) *Nutrient Requirements of Fish*. National Academic of Science. Washington DC.

Phromkunthong W. & Sengsidang P. (1997) Water soluble vitamin requirements of yellow mystus: II pantothenic acid requirement. *Songklanakarin Journal of Science Technology* **19** (4), 417–427.

Phromkunthong W., Songpradit A. & Sangkanakin P. (1998) Use ascorbyl-2-sulfate as a dietary vitamin C source for yellow mystus. *Mystus nemurus*. *Songklanakarin Journal of Science Technology* **20** (2), 149–156.

Rainboth W.J. (1996) *FAO Species Identification Field Guide for Fishery Purposes. Fishes of the Cambodian Mekong*. FAO. Rome.

Ruchimat T., Masumoto T., Hosokawa H., Itoh Y. & Shimeno S. (1997) Quantitative lysine requirement of yellowtail (*Seriola quinqueradiata*). *Aquaculture* **158**, 331–339.

Wilson R.P. & Cowey C.B. (1985) Amino acid composition of whole body tissue of rainbow trout and Atlantic salmon. *Aquaculture* **48**, 373–376.

Wilson R.P. & Poe W.E. (1985) Relationship of whole body and egg essential amino acid patterns to amino acid requirement patterns in channel catfish, *Ictalurus punctatus*. *Comp Biochemistry and Physiology* **80B**, 385–388.

Zar J.H. (1984) *Biostatistical Analysis*. Prentice Hall. New Jersey.

© 2001 Blackwell Science Ltd. 