บทที่ 4
ผลการทดลองและการอภิปรายผลการทดลอง

การทดลองที่ 1 ระดับไขมันต่อคาร์โบไฮเดรตที่เหมาะสมในอาหารเพื่อการเจริญเติบโตและการรอดของกุ้งกุลาดำวัยรุ่น (optimal lipid carbohydrate level for growth and survival)

คุณค่าทางโภชนาการอาหารทดลอง

ก่อนเริ่มการทดลองมีการวิเคราะห์อาหารทดลอง 5 สูตร โดยวิธี proximate analysis เพื่อทดสอบว่าปริมาณอาหารที่จะใช้ในการทดลองตรงตามที่กำหนดไว้หรือไม่ ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ (ตารางที่ 3) พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับที่กำหนดไว้ในสูตรอาหารที่ใช้ทดลอง (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 3. ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของอาหารที่ใช้ในการทดลองที่ 1

ส่วนประกอบอาหาร			โปรตีน (%)	ไขมัน (%)	เยื่อใย (%)	เถ้า (%)	ความชื้น(%)	พลังงาน (kcal/100g)
สูตรอาหารที่	CL[1]	CS[2]						
1	4	38.50	34.85	3.55	17.14	2.42	2.51	330.76
2	7	31.75	34.13	7.13	20.58	2.13	2.49	330.58
3	10	25.00	35.28	9.28	23.00	2.36	2.39	331.12
4	13	18.25	35.31	13.77	26.35	2.38	3.18	331.23
5	16	11.50	34.78	16.31	29.05	2.34	3.29	331.14

[1] CL ย่อมาจาก ไขมันจากการคำนวณ (calculated lipid)

[2] CS ย่อมาจาก คาร์โบไฮเดรตจากการคำนวณ (calculated carbohydrate)

คุณภาพน้ำในการทดลอง

ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำในระหว่างการทดลองที่ 1 แสดงในตารางที่ 4 ความเค็มอยู่ในช่วง 23-25 ppt อุณหภูมิอยู่ในช่วง 26.5-28.5 องศาเซลเซียส ความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วง 7.5-8.0 ออกซิเจนที่ละลายในน้ำอยู่ในช่วง 6.4-7.8 ppm แอมโมเนียอยู่ในช่วง 0-0.5 ppm และปริมาณไนเตรทอยู่ในช่วง 10-30 ppm ซึ่งมีค่าที่ใกล้เคียงกันในแต่ละชุดทดลอง เมื่อนำค่าคุณภาพน้ำดังกล่าวมาเปรียบเทียบกับค่าคุณภาพน้ำที่กุ้งสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้อย่างปกติจากรายงานอื่น ๆ (ภาคผนวก ช) พบว่ามีค่าอยู่ในช่วงเดียวกันจึงไม่ควรมีผลต่อกุ้ง อาจเนื่องจากว่าการมีระบบกรองน้ำซึ่งดัดแปลงจาก Spotte (1979) ที่ใช้ระบบ air lift (อากาศ) ดันน้ำเข้าสู่ระบบกรองทำให้เศษอาหารหรือเศษตะกอนต่าง ๆ ถูกกักที่ระบบกรอง ทำให้คุณภาพน้ำในตู้ทดลองดีขึ้น นอกจากนี้ก็มีการทำความสะอาดและเปลี่ยนถ่ายน้ำทุก ๆ 3 วัน โดยเปลี่ยนถ่ายน้ำประมาณ 50 เปอร์เซนต์ โดยปริมาตร ดังนั้นคุณภาพน้ำจึงไม่เป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและการรอดของกุ้งในการทดลอง

ตารางที่ 4. ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในระหว่างการทดลองที่ 1

สัปดาห์ที่	ความเค็ม (ppt)	อุณหภูมิ (°C)	ความเป็นกรดเป็นด่าง	ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ(ppm)	แอมโมเนีย (ppm)	ไนเตรต (ppm)
1	23-24	27.0-28.5	7.7-8.0	6.5-7.7	0-0.5	10-30
2	23-24	26.5-28.0	7.5-8.0	6.5-7.8	0-0.5	10-30
3	23-25	27.0-28.5	7.5-8.0	6.5-7.7	0-0.5	10-25
4	23-24	26.5-28.0	7.7-8.0	6.4-7.7	0-0.5	10-25

การเจริญเติบโต

จากการศึกษาความต้องการระดับไขมันต่อคาร์โบไฮเดรตของกุ้งเมื่อได้รับโปรตีน 35 เปอร์เซนต์ และระดับพลังงาน 330 kcal/100g ด้วยอาหารที่มีระดับไขมันต่อคาร์โบไฮเดรตต่างกัน 5 ระดับ คือ 4:38.5, 7:31.75, 10:25, 13:18.25 และ 16:11.5 เปอร์เซนต์ เป็นระยะเวลา 30 วัน พบว่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะโดยน้ำหนัก (%) และความยาวเหยียด (%) ของกุ้งกุลาดำวัยรุ่น (ตารางที่ 5 และ รูปที่ 3) ที่ได้รับปริมาณไขมันต่อคาร์โบไฮเดรต 7:31.75 เปอร์เซนต์ มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะโดยน้ำหนักและความยาวเหยียดดีที่สุด และแตกต่างจากกุ้งกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ในกุ้งที่ได้รับไขมันต่อคาร์โบไฮเดรต 16:11.50 เปอร์เซนต์ มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะโดยน้ำหนักและความเหยียดต่ำที่สุดแต่ไม่มีนัยสำคัญกับสูตรอาหารที่มีระดับไขมันต่อคาร์โบไฮเดรต 4:38.5, 10:25 และ 13:18.25 เปอร์เซนต์ กุ้งที่ได้รับระดับไขมันต่อคาร์โบไฮเดรต 4:38.50 เปอร์เซนต์ มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะโดยน้ำหนักและโดยความยาวเหยียดต่ำกว่ากุ้งที่ได้รับระดับไขมันต่อคาร์โบไฮเดรต 7:31.75 เปอร์เซนต์ ซึ่งจากการสังเกตพบว่ากุ้งกลุ่มนี้จะกินอาหารได้มากขึ้นกว่ากลุ่ม 7:31.75 เปอร์เซนต์ เพราะพลังงานที่ได้จากไขมันที่ระดับ 4 เปอร์เซนต์ น้อยกว่าที่ได้จากไขมันที่ระดับ 7 เปอร์เซนต์ อย่างไรก็ตามปริมาณที่มากขึ้นนี้ยังไม่เพียงพอต่อความต้องการโปรตีนของกุ้ง จึงทำให้กุ้งมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะต่ำกว่าที่ควรจะเป็น Andrews *et al.* (1972) และ Akiyama *et al.* (1992) รายงานว่าระดับไขมันที่เหมาะสมในอาหารกุ้งควรอยู่ในช่วง 6-7.5 เปอร์เซนต์ ซึ่งตรงกับผลการทดลองในครั้งนี้ที่กุ้งได้รับระดับไขมัน 7 เปอร์เซนต์ (ไขมันต่อคาร์โบไฮเดรต 7:31.75 เปอร์เซนต์) มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะโดยน้ำหนักและความยาวเหยียดดีที่สุดเนื่องจากระดับไขมันที่กุ้งได้รับเพียงพอต่อความต้องการ และที่ระดับคาร์โบไฮเดรต 31.75 เปอร์เซนต์ ทำให้กุ้งกินอาหารได้มากขึ้นเพื่อจะให้ได้พลังงานเพียงพอต่อความต้องการจึงทำให้กุ้งได้รับโปรตีนสูงตามไปด้วย ซึ่งสอดคล้องกับ มะลิ บุณยรัตยผลิน (2531); Sick and Andrews (1973) และ Cuzon, Guillaume and Cahu (1994) รายงานว่าระดับคาร์โบไฮเดรตที่เหมาะสมในอาหารสัตว์น้ำอยู่ประมาณ 20-40 เปอร์เซนต์ การศึกษาครั้งนี้พบว่ากุ้งที่ได้รับปริมาณไขมันต่อคาร์โบไฮเดรต 10:25, 13:18.25, และ 16:11.50 เปอร์เซนต์ มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะโดยน้ำหนักและความยาวเหยียดที่ค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับกุ้งกลุ่มที่ได้รับไขมันต่อคาร์โบ

ไฮเดรต 4:38.50 และ 7:31.75 เปอร์เซนต์ นอกจากนี้อาหารทั้ง 3 สูตรนี้ยังมีปริมาณไขมันสูงเกินความต้องการของกุ้ง การให้ไขมันมากเกิน 12 เปอร์เซนต์ จะทำให้กุ้งมีอัตราการเจริญเติบโตไม่ดีหรืออาจจะยับยั้งอัตราการเจริญเติบโตได้ และเป็นผลเสียเนื่องจากกุ้งจะเก็บไขมันส่วนที่เกินไว้ในตับอ่อนทำให้ประสิทธิภาพการทำงานผิดปกติไปและเกิดการบวมน้ำของตับ (D'Abramo *et al.*, 1980) ที่อาจมีผลต่อการสร้างน้ำย่อยจากตับอ่อน ทำให้การย่อยอาหารของกุ้งไม่ดีเท่าที่ควร และการที่ได้รับระดับไขมันที่มากเกินไปจะมีผลทำให้กุ้งกินอาหารในปริมาณน้อยลงเพราะกุ้งจะอิ่มเร็วขึ้นเนื่องจากไขมันให้พลังงานสูงเกินไป (NRC, 1983) อาจทำให้กุ้งได้รับปริมาณโปรตีนน้อยลง ดังนั้นกุ้งกลุ่มที่ได้รับไขมันสูงจึงมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะโดยน้ำหนักและความยาวเหยียดต่ำ (ตารางที่ 5 และ รูปที่ 4) อัตราการเจริญเติบโตโดยความยาวเหยียดได้ผลการทดลองที่มีแนวโน้มเหมือนกับอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะโดยน้ำหนัก

ตารางที่ 5. อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะโดยน้ำหนักและโดยความยาวเหยียดและอัตรารอดของกุ้งกุลาดำวัยรุ่นเมื่อเลี้ยงด้วยอาหารระดับไขมันต่อคาร์โบไฮเดรตต่างกันในการทดลองที่ 1 เป็นระยะเวลา 30 วัน

สูตรอาหาร	ระดับ[1]	อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ		อัตรารอด[2]
		น้ำหนัก[2] (%)	ความยาวเหยียด[2] (%.)	(%)
1	4:38.5	$0.57^{b} \pm 0.04$	$0.13^{b} \pm 0.00$	80.00 ± 6.67
2	7:31.75	$0.83^{a} \pm 0.02$	$0.20^{a} \pm 0.00^{a}$	80.00 ± 0.00
3	10:25	$0.52^{b} \pm 0.11$	$0.12^{b} \pm 0.04$	84.44 ± 3.85
4	13:18.25	$0.51^{b} \pm 0.19$	$0.11^{b} \pm 0.02$	82.22 ± 3.85
5	16:11.5	$0.45^{b} \pm 0.03$	$0.11^{b} \pm 0.02$	77.78 ± 13.88

[1] ระดับไขมันต่อคาร์โบไฮเดรตในอาหาร (%)

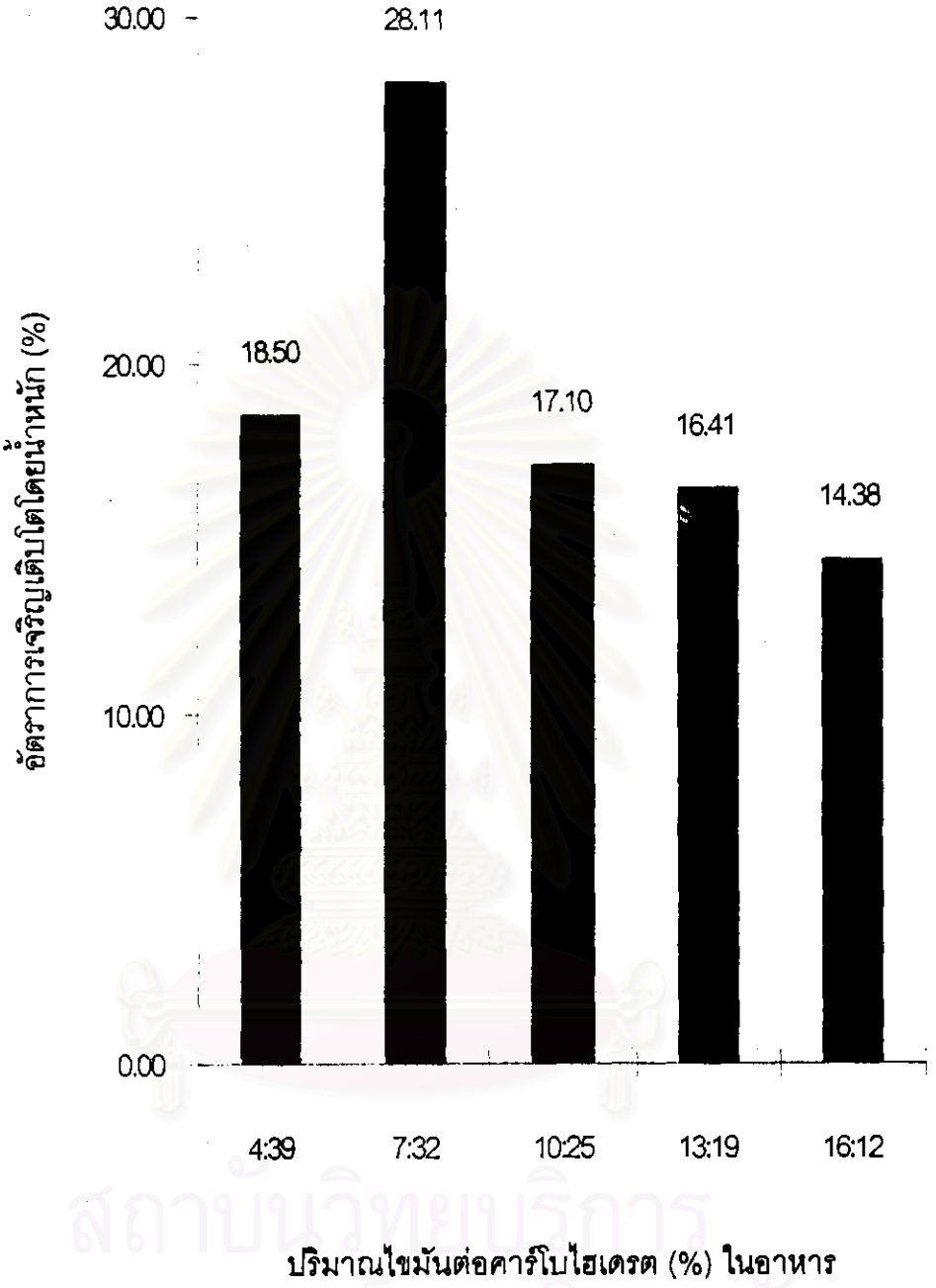
[2] ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

[a,b,c] ค่าเฉลี่ยที่มีตัวยกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (α=0.05)

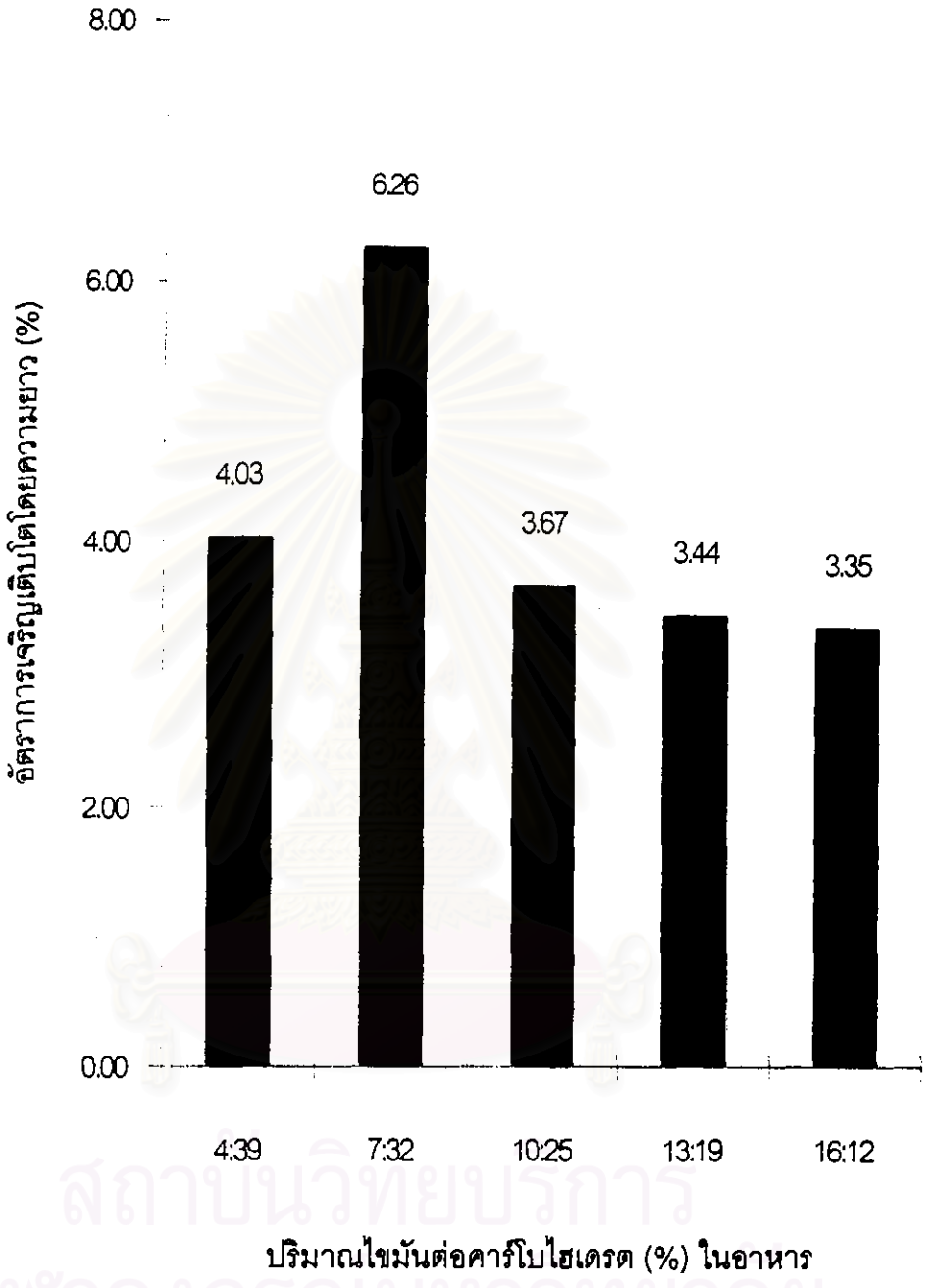
อัตรารอด

เมื่อเปรียบเทียบอัตรารอดพบว่ากุ้งที่เลี้ยงด้วยสูตรอาหารทั้ง 5 สูตร มีอัตรารอดไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 5 และ รูปที่ 5) อย่างไรก็ดีอัตรารอดสูงสุดคือกุ้งที่ได้รับไขมันต่อคาร์โบไฮเดรต 10:25 เปอร์เซนต์ และกุ้งที่มีอัตรารอดต่ำที่สุดคือกุ้งที่ได้รับไขมันต่อคาร์โบไฮเดรต 16:11.50 เปอร์เซนต์ สาเหตุที่กุ้งมีอัตรารอดไม่แตกต่างกันน่าจะเนื่องจากอาหารกุ้งที่เตรียมขึ้นมีพลังงานเพียงพอต่อการดำรงชีพในแต่ละชุดทดลอง และการขาดสารอาหารบางอย่างที่ไม่รุนแรงภายในระยะเวลาที่ทำการทดลองอาจไม่มีผลต่ออัตรารอดของกุ้ง

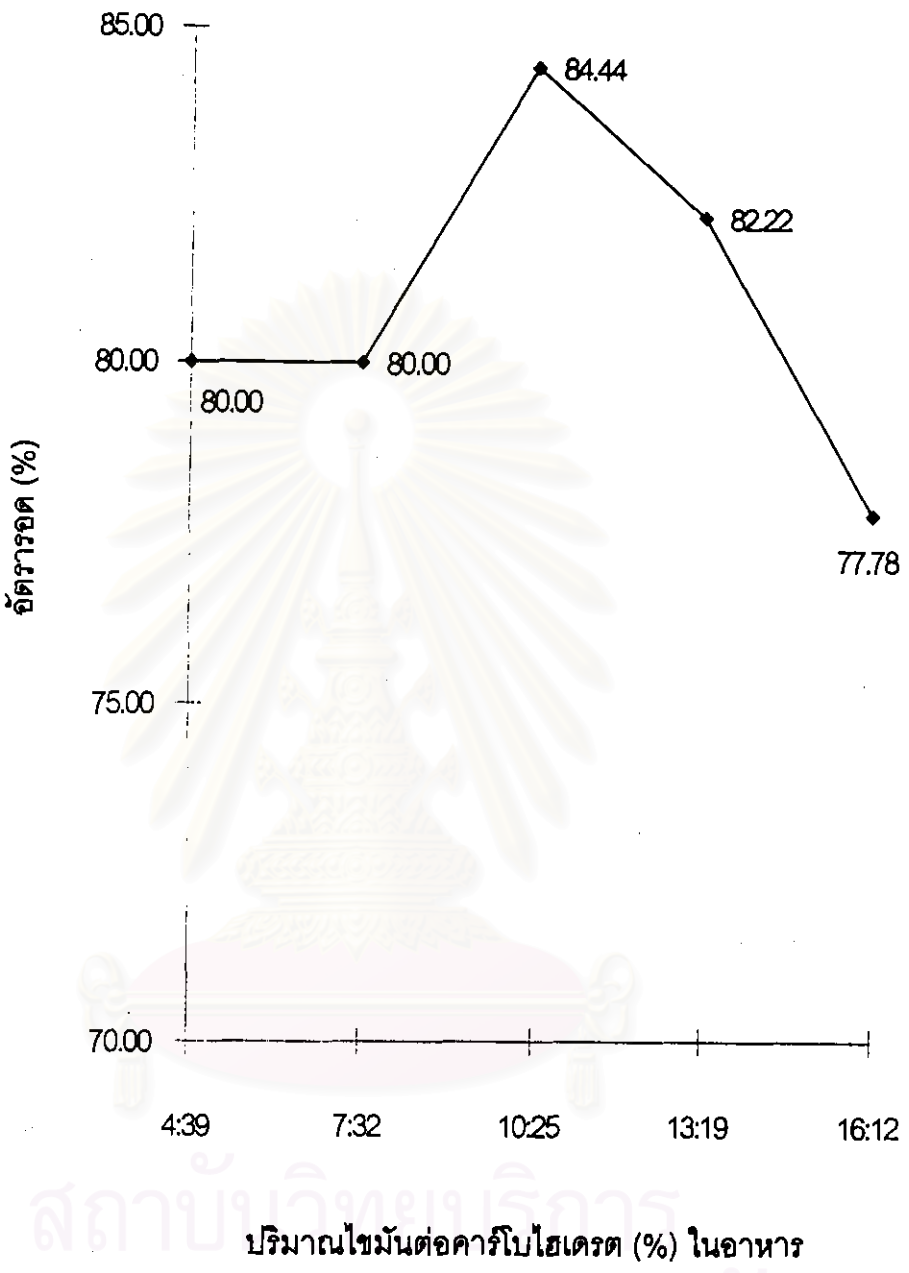
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3. อัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนักของกุ้งกุลาดำวัยรุ่นที่เลี้ยงด้วยปริมาณไขมันต่อคาร์โบไฮเดรตต่างกันในอาหารในการทดลองที่ 1 ระยะเวลา 30 วัน



รูปที่ 4. อัตราการเจริญเติบโตโดยความยาวเหยียดของกุ้งกุลาดำวัยรุ่นที่เลี้ยงด้วยปริมาณไขมันต่อคาร์โบไฮเดรตต่างกันในอาหารในการทดลองที่ 1 ระยะเวลา 30 วัน



รูปที่ 5. อัตรารอดของกุ้งกุลาดำวัยรุ่นที่เลี้ยงด้วยปริมาณไขมันต่อคาร์โบไฮเดรตต่างกันในอาหารในการทดลองที่ 1 ระยะเวลา 30 วัน

การทดลองที่ 2 การศึกษาอัตราส่วนโปรตีนต่อพลังงานที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการรอดของกุ้งกุลาดำวัยรุ่น (optimal protein energy ratio for growth and survival)

คุณค่าทางโภชนาการอาหารทดลอง

การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการและการเก็บรักษาคุณภาพของอาหารทดลองปฏิบัติเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ (ตารางที่ 6) พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับที่กำหนดไว้ในสูตรอาหารที่ใช้ทดลอง (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 6. ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของอาหารที่ใช้ในการทดลองที่ 2

ส่วนประกอบอาหาร			โปรตีน (%)	ไขมัน (%)	เยื่อใย (%)	เถ้า (%)	ความชื้น(%)	พลังงาน (kcal/100g)
สูตรอาหารที่	CP[1]	P/E ratio[2]						
6	30	148	29.12	3.25	46.02	2.35	3.75	197.85
7	35	157	34.13	3.50	40.25	3.14	3.72	220.41
8	45	171	44.09	4.10	30.41	2.98	3.54	261.70
9	25	86	23.58	7.45	28.00	2.78	2.96	286.65
10	35	106	34.03	7.03	19.00	3.14	3.58	330.05
11	45	121	44.15	8.24	9.13	2.95	3.87	367.23
12	25	63	26.16	11.56	6.05	2.56	3.45	396.45
13	35	80	33.10	11.00	0	2.78	3.15	438.10
14	40	87	36.15	11.25	0	3.16	3.00	457.59

[1] CP ย่อมาจากโปรตีนจากการคำนวณ (calculated protein)

[2] P/E ratio; อัตราส่วนโปรตีนต่อพลังงานในอาหาร มีหน่วยเป็น mg protein/kcal

คุณภาพน้ำในการทดลอง

ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำในระหว่างการทดลองที่ 2 แสดงในตารางที่ 7 ความเค็มอยู่ในช่วง 23-25 ppt อุณหภูมิอยู่ในช่วง 26.0-28.0 องศาเซลเซียส ความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วง 7.5-8.5 ออกซิเจนที่ละลายในน้ำอยู่ในช่วง 6.4-7.7 ppm ปริมาณแอมโมเนียอยู่ในช่วง 0-0.5 ppm และปริมาณไนเตรทอยู่ในช่วง 10-30 ppm ซึ่งมีค่าที่ใกล้เคียงกันในแต่ละชุดทดลองและมีค่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงกุ้ง (ภาคผนวก ช) เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

ตารางที่ 7. ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในระหว่างการทดลองที่ 2

สัปดาห์ที่	ความเค็ม (ppt)	อุณหภูมิ (°C)	ความเป็นกรดเป็นด่าง	ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ(ppm)	แอมโมเนีย (ppm)	ไนเตรต (ppm)
1	23-24	26.5-27.5	7.5-8.5	6.5-7.5	0-0.5	10-30
2	23-24	26.5-27.5	7.5-8.0	6.5-7.5	0-0.5	10-30
3	23-25	26.5-27.0	7.7-8.0	6.5-7.7	0-0.5	10-25
4	23-24	26.0-27.5	7.7-8.0	6.4-7.7	0-0.5	10-25
5	23-25	26.5-28.0	7.7-8.5	6.4-7.5	0-0.5	10-30
6	23-24	26.0-27.5	7.7-8.0	6.5-7.5	0-0.5	10-25

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การเจริญเติบโต

จากการทดลองหาอัตราส่วนโปรตีนต่อพลังงานที่เหมาะสมโดยมีระดับโปรตีนในช่วง 25-45 เปอร์เซนต์ และพลังงานในช่วง 203-459 kcal/100g พบว่าสามารถแบ่งกุ้งตามอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะโดยน้ำหนักและความยาวเหยียด ออกได้ 2 กลุ่มอย่างเห็นได้ชัด (ตารางที่ 8, รูปที่ 6 และ 7) ได้แก่กลุ่มที่มีอัตราการเจริญเติบโตต่ำ (โปรตีน

I17162488

อยู่ในช่วง 25-30 เปอร์เซนต์ ระดับพลังงาน 399, 291 และ 203 kcal/100g) และอีกกลุ่มมีอัตราการเจริญเติบโตสูง (โปรตีนอยู่ในช่วง 35-45 เปอร์เซนต์ ระดับพลังงาน 223, 331, 439, 459, 263 และ 371 kcal/100g) โดยกุ้งที่ได้รับโปรตีน 25 เปอร์เซนต์ พลังงาน 291 และ 399 kcal/100g มีอัตราการเจริญเติบโตใกล้เคียงกันและไม่แตกต่างกับกุ้งที่ได้รับโปรตีน 30 เปอร์เซนต์ พลังงาน 203 kcal/100g ซึ่งที่ระดับโปรตีน 25 เปอร์เซนต์ พลังงาน 291 kcal/100g กุ้งมีการเจริญเติบโตไม่ดีแม้จะเพิ่มพลังงานในอาหารให้สูงมากขึ้นถึง 399 kcal/100g ก็ไม่ช่วยให้มีการเจริญเติบโตที่ดีขึ้น เนื่องจากระดับโปรตีนในอาหารไม่เพียงพอต่อความต้องการ อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มโปรตีนจาก 25 เปอร์เซนต์ เป็น 30 เปอร์เซนต์ แต่ถ้ายังมีพลังงานต่ำก็ได้ผลเช่นเดียวกัน ซึ่งผลจากการทดลองครั้งนี้สอดคล้องกับผลการทดลองของ Bautista (1986) ที่รายงานว่าอาหารที่มีระดับโปรตีน 30 เปอร์เซนต์ และพลังงานในช่วง 205-335 kcal/100g เมื่อนำไปเลี้ยงกุ้งกุลาดำขนาดเฉลี่ย 0.60-0.80 กรัม ให้การเจริญเติบโตที่ไม่ดีซึ่งอาจจะเกิดจากระดับโปรตีนไม่เพียงพอต่อความต้องการของกุ้ง ในขณะที่กุ้งอีกกลุ่มหนึ่งที่ไม่ว่าจะได้รับอาหารที่มีพลังงานต่ำ (223 kcal/100g) หรือได้พลังงานสูง (459 kcal/100g) แต่ถ้ามีโปรตีนสูงขึ้นอยู่ในช่วง 35-45 เปอร์เซนต์ แล้วอัตราการเจริญเติบโตจะดีกว่าอย่างมีนัยสำคัญ กุ้งที่ได้รับโปรตีน 35 เปอร์เซนต์ พลังงาน 223 และ 331 kcal/100g พบว่ากุ้งมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงใกล้เคียงกันแต่เมื่อเพิ่มพลังงานให้สูงขึ้นเป็น 439 kcal/100g แล้วทำให้กุ้งมีแนวโน้มว่าการเจริญเติบโตลดลง เนื่องจากการที่กุ้งได้รับพลังงานสูงขึ้นอาจทำให้กุ้งกินอาหารน้อยลงจึงทำให้ได้รับโปรตีนในอาหารน้อยลงตามไปด้วย นอกจากนั้นอาจมีสาเหตุจากการไม่ได้สัดส่วนระหว่างโปรตีนและพลังงานในอาหาร กุ้งที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีน 40 เปอร์เซนต์ และพลังงาน 459 kcal/100g มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะใกล้เคียงกับกุ้งที่ได้รับโปรตีน 35 เปอร์เซนต์ ทุกระดับพลังงาน น่าจะเกิดเนื่องจากได้รับพลังงานที่สูงมากกว่าความต้องการทำให้การเจริญเติบโตไม่เพิ่มขึ้น ผลจากการทดลองครั้งนี้ใกล้เคียงกับ Bautista (1986) ที่สังเกตพบว่าเมื่อให้พลังงานสูงตั้งแต่ 400 kcal/100g ขึ้นไป การเจริญเติบโตจะเริ่มลดลง แต่เมื่อทดลองให้โปรตีนสูงขึ้นเป็น 45 เปอร์เซนต์ พลังงาน 263 และ 371 kcal/100g พบว่ามีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงกว่าและไม่แตกต่างจากระดับโปรตีน 40 เปอร์เซนต์ เนื่องจากว่าพลังงานที่กุ้งได้รับไม่สูงมากนักทำให้กุ้งได้รับโปรตีนอย่างเพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย อย่างไรก็ตามการเจริญเติบโตนี้ไม่มีความแตกต่างกับระดับโปรตีน 35 เปอร์เซนต์ ดังนั้นในการทดลองครั้งนี้จึงสามารถลดระดับ

โปรตีนจาก 45 เปอร์เซนต์ เป็น 35 เปอร์เซนต์ ได้แต่ต้องรักษาพลังงานให้เหมาะสม (263-331 kcal/100g) ซึ่งทำให้ไม่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตทั้งยังเป็นการช่วยลดต้นทุนค่าอาหาร สอดคล้องกับการทดลองของ Colvin (1976); Sedgwick (1979); Bautista (1986) และ Lovell (1989) ที่พบว่าการลดระดับโปรตีนลงโดยให้พลังงานในระดับคงที่ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโต Phillips (1972) รายงานว่าในขบวนการเปลี่ยนแปลงโปรตีนไปเป็นพลังงานจะได้ผลพลอยได้คือไนโตรเจนที่เป็นพิษต่อร่างกายออกมาด้วย ร่างกายมีความจำเป็นต้องกำจัดออกทำให้ต้องใช้พลังงานเพิ่มขึ้นและ Sedgwick (1979) กล่าวว่าสัดส่วนของพลังงานที่ไม่ได้มาจากโปรตีนในอาหาร (non protein energy source) เป็นส่วนสำคัญในการควบคุมการกินอาหาร ดังนั้นการลดระดับโปรตีนจาก 45 เหลือ 35 เปอร์เซนต์ จึงไม่น่าจะมีผลกระทบต่อการกินอาหารของกุ้ง

ค่าอัตราส่วนโปรตีนต่อพลังงานในการทดลองครั้งนี้อยู่ในช่วง 63 ถึง 171 mg protein/kcal (ตารางที่ 8) มีข้อสังเกตพบว่ากุ้งที่ได้รับอัตราส่วนโปรตีนต่อพลังงานใกล้เคียงกันคือ 86 กับ 87 และ 148 กับ 157 mg protein/kcal มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะแตกต่างกัน อาจเกิดเนื่องจากกุ้งที่มีการเจริญเติบโตต่ำได้รับโปรตีนในระดับต่ำกว่าระดับที่เหมาะสมซึ่งอาจไม่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย ในขณะที่กุ้งที่มีอัตราการเจริญเติบโตสูงได้รับโปรตีนในระดับที่เหมาะสมจึงเป็นเหตุผลให้กุ้งทั้งสองกลุ่มมีการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน

จากการทดลองครั้งนี้สรุปได้ว่าค่าอัตราส่วนโปรตีนต่อพลังงานที่เหมาะสมเพียงอย่างเดียวนั้นไม่สามารถบอกได้ว่าจะทำให้กุ้งมีการเจริญเติบโตดีหรือไม่ตัวแปรที่สำคัญที่สามารถบอกคำตอบได้คือจะต้องมีระดับโปรตีนที่เหมาะสมด้วย ดังนั้นถ้าระดับโปรตีนต่ำกว่าระดับที่เหมาะสมถึงแม้จะมีพลังงานอยู่ใกล้เคียงหรือเท่ากับพลังงานที่เหมาะสมก็ไม่มีส่วนช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโต จากผลการทดลองดังกล่าวจึงใช้สัดส่วนโปรตีน 35-45 เปอร์เซนต์ มาคำนวณหาอัตราส่วนโปรตีนต่อพลังงานที่เหมาะสมที่ทำให้กุ้งเจริญเติบโตดีที่สุดโดยวิธีสหสัมพันธ์ (regression) ซึ่งสมการเส้นสหสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนโปรตีนต่อพลังงานที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตทั้งโดยน้ำหนักและความยาวเหยียด (รูปที่ 6 และ 7) แสดงดังสมการที่ 1 และ 2

$Y_w = -0.0049X^2 + 1.4536X - 10$ .....สมการที่ 1

โดย Y_w = อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะโดยน้ำหนัก (%)

X = อัตราส่วนโปรตีนต่อพลังงานในอาหาร (mg protein/kcal)

$Y_L = -0.0018X^2 + 0.507X - 10$ .....สมการที่ 2

โดย Y_L = อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะโดยความยาวเหยียด (%)

X = อัตราส่วนโปรตีนต่อพลังงานในอาหาร (mg protein/kcal)

และสามารถหาค่าที่เหมาะสมของอัตราส่วนโปรตีนต่อพลังงานที่ทำให้อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดทั้งโดยน้ำหนักและโดยความยาวมีค่าเท่ากับ 150 และ 140 mg protein/kcal ตามลำดับ ค่าอัตราส่วนโปรตีนต่อพลังงานที่เหมาะสมที่ได้จากผลการศึกษาในครั้งนี้แตกต่างจากผลการศึกษาที่ผ่านมา ซึ่ง Colvin (1976) ทดลองหาค่าอัตราส่วนโปรตีนต่อพลังงานที่เหมาะสมในกุ้ง *Penaeus indicus* พบว่ามีค่าเท่ากับ 90.67 mg protein/kcal และในอาหารควรมีโปรตีนน้อยกว่า 40 เปอร์เซนต์ Sedgwick (1979) รายงานว่าอัตราส่วนโปรตีนต่อพลังงานที่เหมาะสมในกุ้ง *Penaeus merguiensis* มีค่าเท่ากับ 72.7 mg protein/kcal และในอาหารควรมีโปรตีนในช่วง 34-42 เปอร์เซนต์ และ Bautista (1986) พบว่าอัตราส่วนโปรตีนต่อพลังงานที่เหมาะสมในกุ้ง *Penaeus monodon* พบว่ามีค่าเท่ากับ 121.1 mg protein/kcal และมีโปรตีนที่เหมาะสมในอาหาร 40 เปอร์เซนต์ นอกจากนี้ Cuzon and Guillaume (1997) รายงานว่าอัตราส่วนโปรตีนต่อพลังงานที่เหมาะสมในอาหารกุ้งกุลาดำควรอยู่ในช่วง 83.68-209.2 mg protein/kcal ซึ่งค่าอัตราส่วนโปรตีนต่อพลังงานที่แตกต่างกันในแต่ละการทดลอง อาจเนื่องจากมีความแตกต่างของค่าพลังงานที่ใช้ในการคำนวณค่าพลังงานมาตรฐานของ โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต ซึ่งคำนวณจากค่าที่แตกต่างกันของพลังงานที่ย่อยได้ (DE) หรือ พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (ME) ในอาหาร (Cuzon and Guillaume, 1997) ชนิด ขนาดของกุ้งที่ใช้ในการทดลองและลักษณะนิสัยการกินอาหารของกุ้งแต่ละชนิด (Deshimaru and Yone, 1978 และ Teshima and Kanazawa, 1984) ปริมาณโปรตีนที่ใช้ในแต่ละการทดลอง (Bautista, 1986; Alava and Pascual, 1987 และ Shiau and Chou, 1991) นอกจากนี้มีรายงานว่าปัจจัยในเรื่องของความเค็มอาจมีผลต่อค่าอัตราส่วนโปรตีนต่อพลังงาน (Hajra *et al.*, 1988) รวมถึงชนิดของอาหารทดลองซึ่งในการ

ทดลองนี้ใช้อาหารแบบ semi-purified diet ซึ่งมีเคซีนเป็นแหล่งโปรตีนอาจทำให้กุ้งมีความต้องการใช้โปรตีนเพิ่มขึ้น เนื่องจากอาจมีการขาดกรดอะมิโนบางชนิดหรือความไม่สมดุลของกรดอะมิโนในเคซีน (Cowey and Forster, 1971; Deshimaru, 1982)

อัตรารอด

ผลการทดลองหาอัตราส่วนโปรตีนต่อพลังงานที่เหมาะสมโดยมีระดับโปรตีน 25-45 เปอร์เซนต์ พลังงานในช่วง 203-459 kcal/100g พบอัตรารอดสูงสุดในกุ้งกลุ่มที่ได้รับโปรตีน 45 เปอร์เซนต์ พลังงาน 263 kcal/100g และต่ำที่สุดในกุ้งกลุ่มที่ได้รับโปรตีน 25 เปอร์เซนต์ พลังงาน 399 kcal/100g สาเหตุที่กุ้งในกลุ่มนี้มีอัตรารอดต่ำสุดอาจเนื่องจากกุ้งได้รับโปรตีน 25 เปอร์เซนต์ ซึ่งเป็นระดับที่ต่ำกว่าระดับโปรตีนที่เหมาะสม และในกุ้งที่ได้รับพลังงานสูงถึง 399 kcal/100g ซึ่งอาจทำให้กุ้งกินอาหารแล้วได้รับโปรตีนไม่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกายจึงมีผลทำให้กุ้งเกิดพฤติกรรมก้าวร้าว มีการทำร้ายและกินกันในระหว่างการลอกคราบ มีส่วนทำให้อัตรารอดลดลง ในขณะที่กุ้งในกลุ่มอื่นมีอัตรารอดใกล้เคียงกันซึ่งน่าจะเกิดจากการขาดโภชนะบางอย่างที่ไม่รุนแรงภายในระยะเวลาที่ทำการทดลองอาจไม่ผลต่ออัตรารอดของกุ้ง รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 8 นำข้อมูลทั้งหมดมาคำนวนหาค่าอัตราส่วนโปรตีนต่อพลังงานที่เหมาะสมที่ทำให้กุ้งมีอัตรารอดสูงที่สุดโดยวิธีสหสัมพันธ์ แสดงดังรูปที่ 8 และสมการที่ 3

$$Y_s = -0.004X^2 + 1.1733X \quad \text{.....สมการที่ 3}$$

โดย Y_s = อัตรารอด (%)

X = อัตราส่วนโปรตีนต่อพลังงานในอาหาร (mg protein/kcal)

ซึ่งสามารถหาค่าที่เหมาะสมของอัตราส่วนโปรตีนต่อพลังงานที่ทำให้กุ้งมีอัตรารอดสูงสุดมีค่าเท่ากับ 146 mg protein/kcal โดยมีโปรตีนอยู่ในช่วง 35-45 เปอร์เซนต์ และพลังงาน 263-331 kcal/100g ค่าอัตราส่วนโปรตีนต่อพลังงานที่เหมาะสมต่ออัตรารอดในกุ้งจากการทดลองครั้งนี้แตกต่างจากผลการศึกษาของ Shiau and Chou (1991) ที่ศึกษาอัตราส่วนโปรตีนต่อพลังงานในกุ้ง *Penaeus monodon* พบว่าอัตราส่วนโปรตีนต่อพลังงานในอาหารไม่มีผลต่ออัตรารอดอาจเนื่องจากการทดลองครั้งนี้ใช้วิธีการแปรผลโดยใช้สหสัมพันธ์

ระหว่างอัตราส่วนโปรตีนต่อพลังงานกับอัตรารอดซึ่งทำให้หาค่าอัตราส่วนโปรตีนต่อพลังงานที่เหมาะสมต่ออัตรารอดได้ สำหรับข้อมูลนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้สนใจศึกษาอัตราส่วนโปรตีนต่อพลังงานที่เหมาะสมสำหรับอัตรารอดต่อไป

ตารางที่ 8. อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะโดยน้ำหนักและโดยความยาวเหยียดและอัตรารอดของกุ้งกุลาดำวัยรุ่นเมื่อเลี้ยงด้วยอาหารที่มีอัตราส่วนโปรตีนต่อพลังงาน (P/E ratio) ต่างกันในการทดลองที่ 2 เป็นระยะเวลา 45 วัน

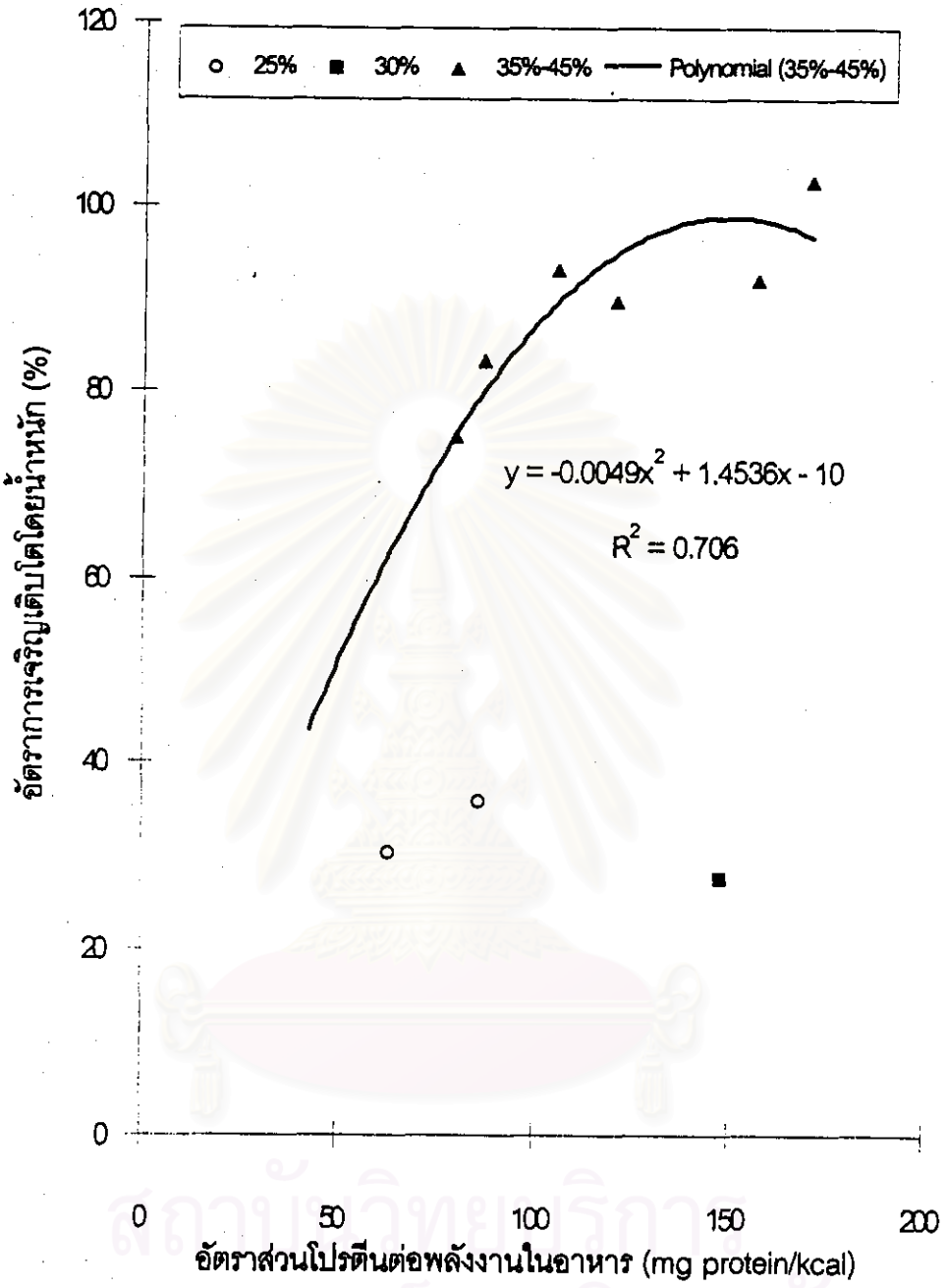
สูตรอาหาร	โปรตีน (%)	พลังงานในอาหาร[1]	อัตราส่วน[2]	อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ น้ำหนัก[3] (%)	อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ ความยาวเหยียด[3](%)	อัตรารอด[3]
6	30	203	148	$0.54^{b} \pm 0.11$	$0.19^{c} \pm 0.04$	$71.11^{c} \pm 3.85$
7	35	223	157	$1.43^{a} \pm 0.43$	$0.49^{ab} \pm 0.13$	$86.66^{ab} \pm 11.55$
8	45	263	171	$1.57^{a} \pm 0.11$	$0.50^{a} \pm 0.03$	$91.11^{a} \pm 3.85$
9	25	291	86	$0.69^{b} \pm 0.09$	$0.24^{c} \pm 0.03$	$68.88^{c} \pm 3.85$
10	35	331	106	$1.46^{a} \pm 0.07$	$0.49^{ab} \pm 0.03$	$82.22^{abc} \pm 10.18$
11	45	371	121	$1.42^{a} \pm 0.13$	$0.47^{ab} \pm 0.03$	$77.77^{abc} \pm 3.85$
12	25	399	63	$0.59^{b} \pm 0.12$	$0.21^{c} \pm 0.04$	$53.33^{d} \pm 6.66$
13	35	439	80	$1.24^{a} \pm 0.08$	$0.38^{b} \pm 0.05$	$80.00^{abc} \pm 6.66$
14	40	459	87	$1.34^{a} \pm 0.11$	$0.42^{ab} \pm 0.07$	$73.33^{bc} \pm 6.66$

[1] พลังงานในอาหารหน่วยเป็น kcal/100g

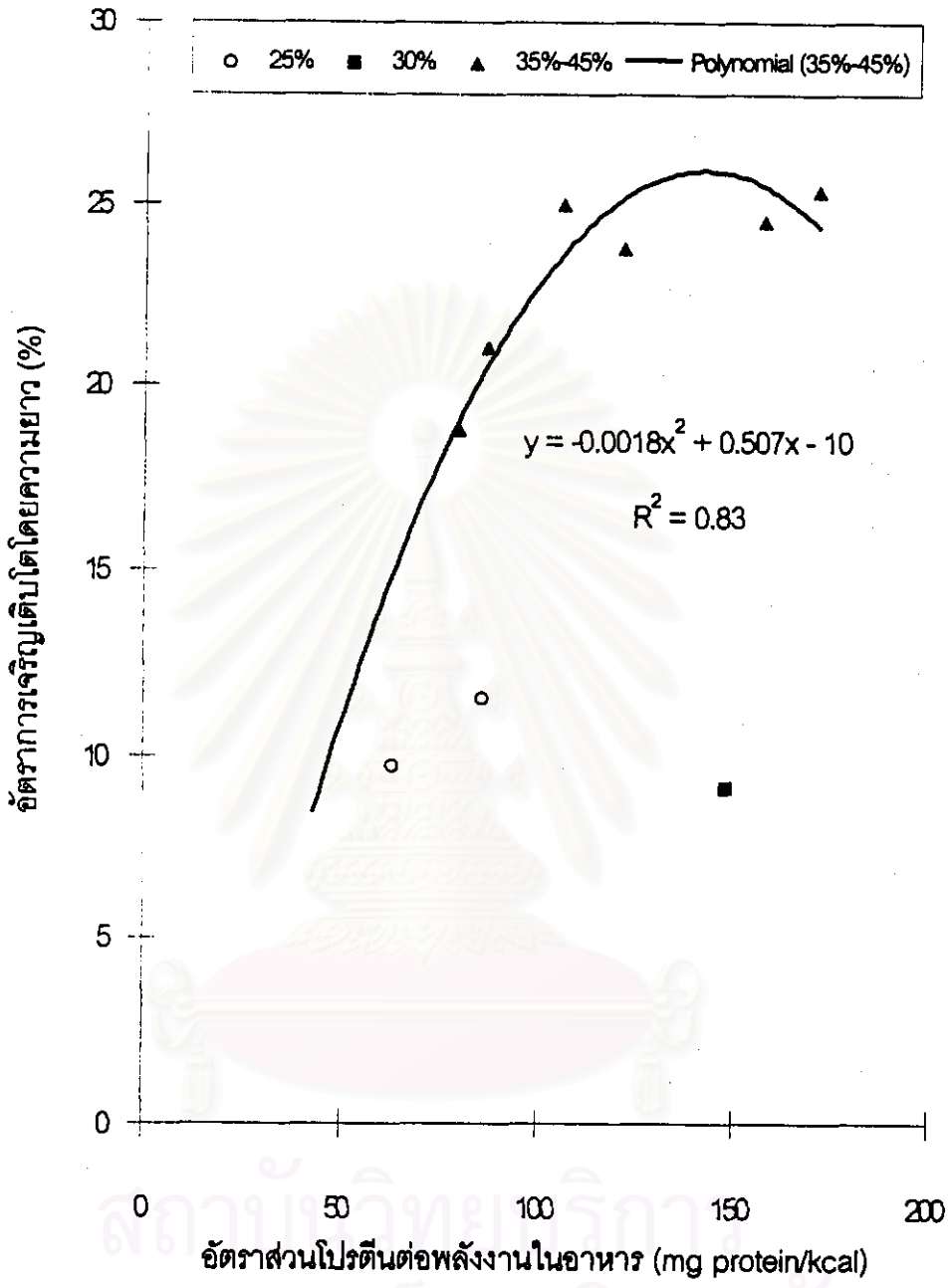
[2] อัตราส่วนโปรตีนต่อพลังงานในอาหาร (mg protein/kcal)
คำนวณจาก (%โปรตีน x 1000)/พลังงาน

[3] ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

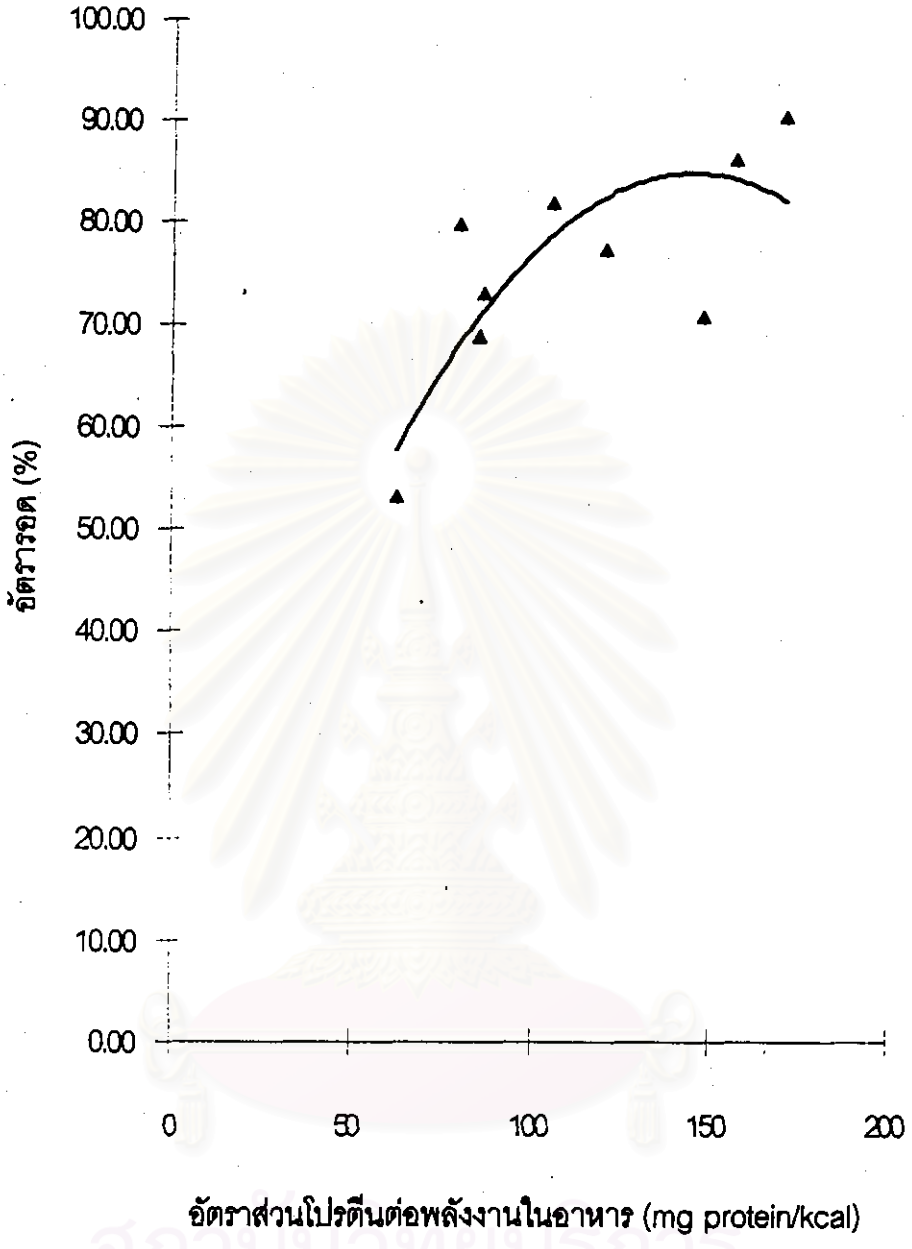
[a,b,c] ค่าเฉลี่ยที่มีตัวยกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (α=0.05)



รูปที่ 6. อัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนักของกุ้งกุลาดำวัยรุ่นเมื่อเลี้ยงด้วยอาหารที่มีอัตราส่วนโปรตีนต่อพลังงานต่างกันในการทดลองที่ 2 ระยะเวลา 45 วัน



รูปที่ 7. อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะโดยความยาวเหยียดของกุ้งกุลาดำวัยรุ่นเมื่อเลี้ยงด้วยอาหารที่มีอัตราส่วนโปรตีนต่อพลังงานต่างกันในการทดลองที่ 2 ระยะเวลา 45 วัน



รูปที่ 8. อัตรารอดของกุ้งกุลาดำวัยรุ่นเมื่อเลี้ยงด้วยอาหารที่มีอัตราส่วนโปรตีนต่อพลังงานต่างกันในการทดลองที่ 2 ระยะเวลา 45 วัน