บทที่ 4

วิจารณ์ผลการทดลอง

การทดลองหากรรมวิธีการผลิตที่เหมาะสม

กรรมวิธีผลิตปลาหมึกปนประกอบด้วยขั้นตอนดังต่อไปนี้

วัตถุดิบ

(raw materials)

↓

การนึ่งด้วยไอน้ำ

(steam cooking)

↓

การบดละเอียด

(milling)

↓

การอบแห้งแบบลูกกลิ้ง

(drum drying)

↓

ผลิตภัณฑ์

วัตถุดิบ

เนื่องจากคุณภาพของผลิตภัณฑ์เป็นปฏิภาคโดยตรงกับคุณภาพของวัตถุดิบในการทดลองจึงแยกประเภทของวัตถุดิบออกเป็นส่วนต่าง ๆ ดังนี้

1. ส่วนหัวปลาหมึก (Head) อันได้แก่ หนวด ส่วนของตา และส่วนปาก (mouth parts)

2. ส่วนหนังปลาหมึก

3. ส่วนเครื่องในปลาหมึก ได้แก่ อวัยวะภายในต่าง ๆ ของปลาหมึก รวมทั้งถุงหมึกด้วย

ส่วนต่าง ๆ ของปลาหมึกที่แยกออกมานี้ ได้มาจากปลาหมึกกระดอง สำหรับวัตถุดิบอีกส่วนหนึ่งเลือกใช้ปลาหมึกกล้วยขนาดเล็กซึ่งมีราคาถูกกว่าปลาหมึกกล้วยขนาดใหญ่ นำมาดึงเอาส่วนแกนหลังออก (shell) เนื่องจากส่วนแกนหลังนี้ไม่สามารถบดให้ละเอียดได้เมื่อเตรียมวัตถุดิบได้เรียบร้อยแล้ว ก็ถึงขั้นตอนก่อนการทำแห้ง

กรรมวิธีก่อนการทำแห้ง

กรรมวิธีก่อนการทำแห้ง เลือกใช้วิธีการนึ่งโดยอาศัยความดันเข้าช่วย (Joslyn, 1963) เพื่อเปลี่ยนสภาพวัตถุดิบให้เหมาะสมก่อนกรรมวิธีการทำแห้ง ทั้งนี้เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ซึ่งได้แก่ ส่วนหนังปลาหมึกนั้นไม่สามารถใช้วิธีสับด้วยโม่ไฟฟ้าให้มีอนุภาคเล็กละเอียดแบบทั่วกันหรือแม้กระทั่งวิธีการอื่น ๆ ฉะนั้น จึงเลือกใช้วิธีการนึ่งด้วยไอน้ำโดยอาศัยความดัน ทั้งนี้ได้กำหนดสภาวะที่เหมาะสมเพื่อมิให้มีการสูญเสียคุณค่าอาหารมากเกินไป การทดลองแปรค่าต่าง ๆ อาทิ ความดันไอน้ำ อุณหภูมิ และเวลาเราจำต้องคำนึงถึงตัวแปรทั้ง 3 ให้อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมนั่นคือ เรื่องค่าใช้จ่ายและคุณภาพอาหารที่ได้

หลังจากผ่านขั้นตอนนึ่งด้วยไอน้ำนี้แล้ว ก็นำไปบดละเอียดด้วยเครื่องโม่ไฟฟ้าให้ละเอียดเป็นเนื้อเดียวกัน ก็จะได้ตัวอย่างพร้อมที่จะทำแห้ง

กรรมวิธีการทำแห้ง

กรรมวิธีการทำแห้ง เลือกใช้วิธีการอบแห้งแบบลูกกลิ้งทรงกระบอกคู่ (Double Drum Drier) ทั้งนี้ด้วยเหตุผลซึ่งพิจารณาจากปทัดและคุณสมบัติของอาหาร ลักษณะของผลิตภัณฑ์แห้งที่ต้องการ ความสามารถในการทำแห้งของเครื่องมือและต้นทุนซึ่งพบว่า วิธีดังกล่าวเหมาะสมที่สุด (มณิวรรณ, 2523, Brown et al., 1964, Potter, 1968)

ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเป็นผง สำหรับส่วนต่าง ๆ ของปลาหมึกที่นึ่งและบดละเอียดดีแล้ว ก็สามารถใช้วิธีการอบแบบลูกกลิ้งนี้ได้เช่นกัน และยังเป็นวิธีการที่สะดวกและประหยัดค่าใช้จ่ายอีกด้วย ทั้งนี้เพราะเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งอาศัยหลักการทำงานโดยลูกกลิ้งสองตัว (ดังรูปที่ 4) หมุนเข้าหากันด้วยความเร็วที่ควบคุมได้ของที่จะทำให้แห้งถูกป้อนเข้าทางด้านบนตรงกลางระหว่างลูกกลิ้ง สามารถควบคุมอุณหภูมิของลูกกลิ้งได้โดยควบคุมความดันไอน้ำที่ใช้ ความร้อนจากผิวลูกกลิ้งจะถ่ายเทไปยังของที่จะทำให้แห้งอีกต่อหนึ่ง ของที่แห้งแล้วจะถูกปาดออกโดยใบมีดลงสู่ภาชนะรองรับ ไอน้ำที่ใช้กับเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งนี้ก็เป็นส่วนเดียวกับที่ใช้ในขั้นตอนก่อนการทำแห้ง ตัวแปรที่มีผลต่อการทำงานของเครื่องได้แก่ ความดันไอน้ำ ความเร็วลูกกลิ้ง และระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง

จากผลการทดลองค่าตัวแปรต่าง ๆ พบว่า ที่ความดันไอน้ำ 50 ปอนด์/ตารางนิ้ว ความเร็วลูกกลิ้ง 4 รอบ/นาที และระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.01 นิ้ว เป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทำแห้งตัวอย่างปลาหมึกตามเหตุผลข้างต้น

บางส่วนของผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นผงละเอียด จำเป็นต้องนำไปบดละเอียดอีกครั้งด้วยเครื่องบดไฟฟ้า ก็เป็นอันเสร็จขั้นตอนการผลิตปลาหมึกป่นแห้งตามต้องการ จากนั้นก็นำเอาปลาหมึกป่นนี้ไปใช้เป็นส่วนผสมอาหารสำหรับทดลองเลี้ยงกุ้งต่อไป

การวิเคราะห์คุณภาพของส่วนต่าง ๆ ของปลาหมึกป่นและตัวอย่างปลาป่น

ผลการวิเคราะห์ Amino Acid Profile ของตัวอย่างปลาป่นกับส่วนต่าง ๆ ของปลาหมึกป่น โดยศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ตามตารางที่ 4 พบว่ามีกรดอะมิโนที่สำคัญ ๆ อยู่ 17 ชนิด (ไม่รวม Tryptophan ซึ่งมีการสลายตัวไปในระหว่างเตรียมการทดลอง) ผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับงานของ Kawada และคณะ (1955) ซึ่งศึกษาหาองค์ประกอบของกรดอะมิโนในส่วนเครื่องในของปลาหมึกและปลารวม 4 ชนิด โดยพบว่าในเครื่องในปลาหมึกมีกรดอะมิโนที่สำคัญอยู่ 16 ชนิด รวมทั้งวิตะมินบี

ปริมาณกรดอะมิโนแต่ละชนิดที่พบในส่วนต่าง ๆ ของปลาหมึกป่น และปลาป่น จะมีปริมาณใกล้เคียงกัน ยกเว้น Arginine, Histidine, Methionine จะพบในส่วนต่าง ๆ ของปลาหมึกป่นมากกว่าในปลาป่น และกรดอะมิโนเหล่านี้ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของกุ้งทะเล การทดลองยืนยันจากต่างประเทศ ได้แก่ งานของ Subrahmanyam and Oppenheimer (1969),

Kitabayashi et al. (1971), Deshimaru and Shigueno (1972) และ Kittaka (1975) ซึ่งสรุปได้ว่าอาหารเสริมพวกปลาหมึกปน จัดว่าเป็นอาหารที่เหมาะในการเลี้ยงกุ้งทะเลตระกูล Penaeids เนื่องจากมีราคาถูกกว่าปลาป่นและให้ค่าการเจริญเติบโตแก่กุ้งทะเลดี

สำหรับผลการวิเคราะห์องค์ประกอบอาหารอื่น ๆ ที่มีในปลาป่น และส่วนต่าง ๆ ของปลาหมึกปน (ดังตารางที่ 3) พบว่าปริมาณ crude protein ในส่วนต่าง ๆ ของปลาหมึกปนมีค่าสูงกว่าในปลาป่น ซึ่งผลการวิเคราะห์นี้สอดคล้องกับงานของ Takahashi (1956) ซึ่งเป็นผลงานที่สนับสนุนงานของ Kawada และคณะด้วย โดยเขาพบว่าปริมาณ crude protein ในส่วนเครื่องในปลาหมึกมีปริมาณพอ ๆ กับในส่วนเนื้อปลาหมึก ฉะนั้นถ้าเราพิจารณาในแง่ต้นทุนการผลิตด้วยแล้วก็จะพบว่าการใช้ส่วนต่าง ๆ ของปลาหมึกปนเป็นส่วนผสมในอาหารกุ้งมีความเหมาะสมมากทั้งในด้านคุณค่าของอาหารและต้นทุนการผลิตที่ต่ำ อันเป็นประโยชน์แก่เกษตรกรมากยิ่งขึ้น

ขนาดเริ่มต้นของกุ้งก่อนการทดลอง

ลูกกุ้งกุลาดำที่เตรียมไว้สำหรับการทดลองมีขนาดความยาวเฉลี่ยและน้ำหนักเฉลี่ยดังแสดงไว้ในตารางที่ 5 และ 6 ซึ่งเมื่อทดสอบค่าความแปรปรวนด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม (ANCOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า ความแตกต่างไม่มีนัยสำคัญ ฉะนั้นจึงสามารถนำลูกกุ้งเหล่านี้มาทำการทดลองได้ โดยไม่มีผลจากความแตกต่างระหว่างขนาดกุ้งทดลองในแต่ละบ่อ

การเจริญเติบโต

จากการวิเคราะห์ข้อมูลการเจริญเติบโต ทั้งในด้านน้ำหนักและความยาวด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99% พบว่าอาหารสำเร็จรูปทั้ง 4 สูตร มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของกุ้งกุลาดำที่ทดลองเลี้ยงอย่างมีนัยสำคัญและนัยสำคัญยิ่งสำหรับผลการทดลองตลอดระยะเวลา 12 สัปดาห์ และเมื่อทดสอบหาความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของอาหารแต่ละสูตรต่อการเจริญเติบโตของกุ้งทดลองด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99% พบว่าอาหารทั้ง 4 สูตร ให้ผลการเจริญเติบโตที่ต่างกันแก่กุ้งกุลาดำที่ทดลองทั้งในด้านน้ำหนักและความยาวอย่างมีนัยสำคัญและนัยสำคัญยิ่ง (ดูตารางที่ 8 ประกอบ) โดยอาหารสำเร็จรูปสูตร 4 ให้ผลการเจริญเติบโตแก่กุ้งทดลองดีกว่า อาหารสำเร็จรูปสูตร 2 สูตร 3 และสูตร 1 ตามลำดับ

ความแตกต่างของผลการเจริญเติบโตของกุ้งทดลองที่เลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จรูปสูตรต่าง ๆ เป็นผลมาจากความแตกต่างในด้านปริมาณกรดอะมิโนในแหล่งโปรตีนต่างชนิดเมื่อกำหนดให้ปริมาณโปรตีนรวมเท่ากัน และกรดอะมิโนตัวที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของกุ้งกุลาดำ คือ Arginine, Histidine, Methionine ซึ่งพบในแหล่งโปรตีนที่ได้จากปลาหมึกป่นมากกว่าในปลาป่น สุภาวดี (2515) ก็ได้ผลการศึกษาว่า การเจริญของกุ้งแชบ๊วยที่เลี้ยงด้วยปลาหมึกกล้วยดีกว่ากุ้งที่เลี้ยงด้วยหอยแครงกับปลาเป็ด

Broom (1970) ทดลองเลี้ยงกุ้ง *Penaeus setiferus* และ *P. duorarum* ด้วยปลาป่นและปลาหมึกก็ได้ผลการเจริญเติบโตของกุ้งทั้ง 2 ชนิดซึ่งเลี้ยงด้วยปลาหมึกดีกว่าปลาป่นรวมทั้งอัตราการรอดสูง Deshimaru and Shigueno (1972) รายงานว่าไม่ควรใช้ปลาป่นปริมาณมากในอาหารที่ใช้สำหรับเลี้ยงกุ้ง เพราะในปลาป่นมีปริมาณของกรดอะมิโนพวก Phenylalanine, Lysine, Histidine และ Arginine ต่ำ เนื่องจากกรดอะมิโนเหล่านี้มีผลต่อการเจริญเติบโตของกุ้งทะเลมาก และจากผลการศึกษายืนยันของ Kawada (1955) ก็พบว่ากรดอะมิโนที่มีในส่วนต่าง ๆ ของปลาหมึกมีปริมาณใกล้เคียงกับที่พบในเนื้อกุ้งทะเลมาก

นิพนธ์ (2521) รายงานผลการวิจัยเกี่ยวกับโปรตีนระดับต่าง ๆ ในอาหารผสมอัดเม็ด พบว่า อาหารผสมที่มีระดับโปรตีน 40% ให้ผลการเจริญเติบโตต่อกุ้งกุลาดำวัยรุ่นดีที่สุด ผลการศึกษาของ Lee (1971) แนะนำว่ากุ้งกุลาดำเป็นกุ้งที่ต้องการอาหารที่มีโปรตีนระหว่าง 30-35% ส่วน Venkataramaiah et al. (1975) พบว่าอาหารที่มีระดับโปรตีน35 % ให้ผลการเจริญเติบโตต่อกุ้งสกุล Penaeids ได้ดี

Lee, et al. (1984) รายงานว่า ระดับโปรตีนในอาหารมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการทำงานของน้ำย่อยในกุ้งทุกขนาด ส่วนแหล่งของโปรตีนมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการทำงานของน้ำย่อยเฉพาะในกุ้งขนาดเล็ก รายงานดังกล่าวนี้สอดคล้องกับผลการทดลองใช้แหล่งโปรตีนต่างชนิดกันระหว่างปลาป่นกับปลาหมึกป่นในงานศึกษาครั้งนี้เพราะกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมที่มีปลาหมึกป่นเป็นแหล่งโปรตีนมีการเจริญเติบโต อัตราการรอดชีวิตดีกว่ากุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมที่มีปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนเพียงชนิดเดียว สำหรับความคิดเห็นเกี่ยวกับความเหมาะสมของระดับโปรตีนในอาหารกุ้งนั้น Forster (1975) กล่าวว่าระดับโปรตีนของอาหารที่ใช้เลี้ยงกุ้งนั้นควรคำนึงถึง

ชนิดของกุ้ง (species) และอุปนิสัยการกินอาหารที่แตกต่างกัน เช่น *Penaeus japonicus* จัดอยู่ในพวก carnivorous จึงจำเป็นต้องการอาหารที่มีระดับโปรตีนสูง สำหรับ *Penaeus aztecus* มีอุปนิสัยการกินอาหารแบบพวก detritus feeder ซึ่งไม่จำเป็นต้องได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีนสูงเท่าในพวกแรก ทั้งนี้จากการรวบรวมผลการศึกษาเกี่ยวกับระดับโปรตีนในอาหารกุ้งต่อกุ้งทะเลชนิดต่าง ๆ ก็ได้ผลการทดลองแตกต่างกันออกไปตามชนิดของกุ้ง อาทิ งานของ Andrews and Sick (1972) พบว่ากุ้ง *Penaeus setiferus* มีความต้องการอาหารที่มีระดับโปรตีน 30% Deshimaru and Shigueno (1972) รายงานว่า กุ้ง *P. japonicus* มีการเจริญเติบโตดีเมื่อเลี้ยงด้วยอาหารที่มีระดับโปรตีนสูงถึง 60% ซึ่งผลสอดคล้องกับงานของ Aquacop (1979) สำหรับColvin (1976) เขาศึกษาในกุ้ง *P. indicus* พบว่าอาหารที่มีระดับโปรตีนประมาณ 43% ให้ผลการเจริญเติบโตดีที่สุด ผลการวิจัยของ Sambasivam, Subramanian and Krishnakutty (1982) สนับสนุนเรื่องระดับโปรตีนที่เหมาะสมสำหรับ *P. indicus* ว่าควรมีค่า 50% จึงจะให้ค่าการเจริญเติบโตของกุ้งดีที่สุด ส่วน Zein-Eldin and Corliss (1976) ศึกษาพบว่า กุ้ง *P. aztecus* ต้องการอาหารที่มีระดับโปรตีน 50% จึงมีการเจริญเติบโตดีที่สุด และสำหรับกุ้งกุลาดำ *(P. monodon)* ระดับโปรตีนในอาหารที่เหมาะสมจากผลการวิจัยของ นิพนธ์ (2521) กับ Venkataramaiah และคณะ (1975) คือ 35-40% จะให้ค่าการเจริญเติบโตดีที่สุด

ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวกับน้ำหนักของกุ้งกุลาดำที่ทดลอง

จากข้อมูลที่ได้จากการทดลองเลี้ยงกุ้งกุลาดำด้วยอาหารสำเร็จรูป 4 สูตร นำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างความยาวกับน้ำหนักตามกฎกำลังสามของ Rounsefell (1953) ได้ผลดังนี้

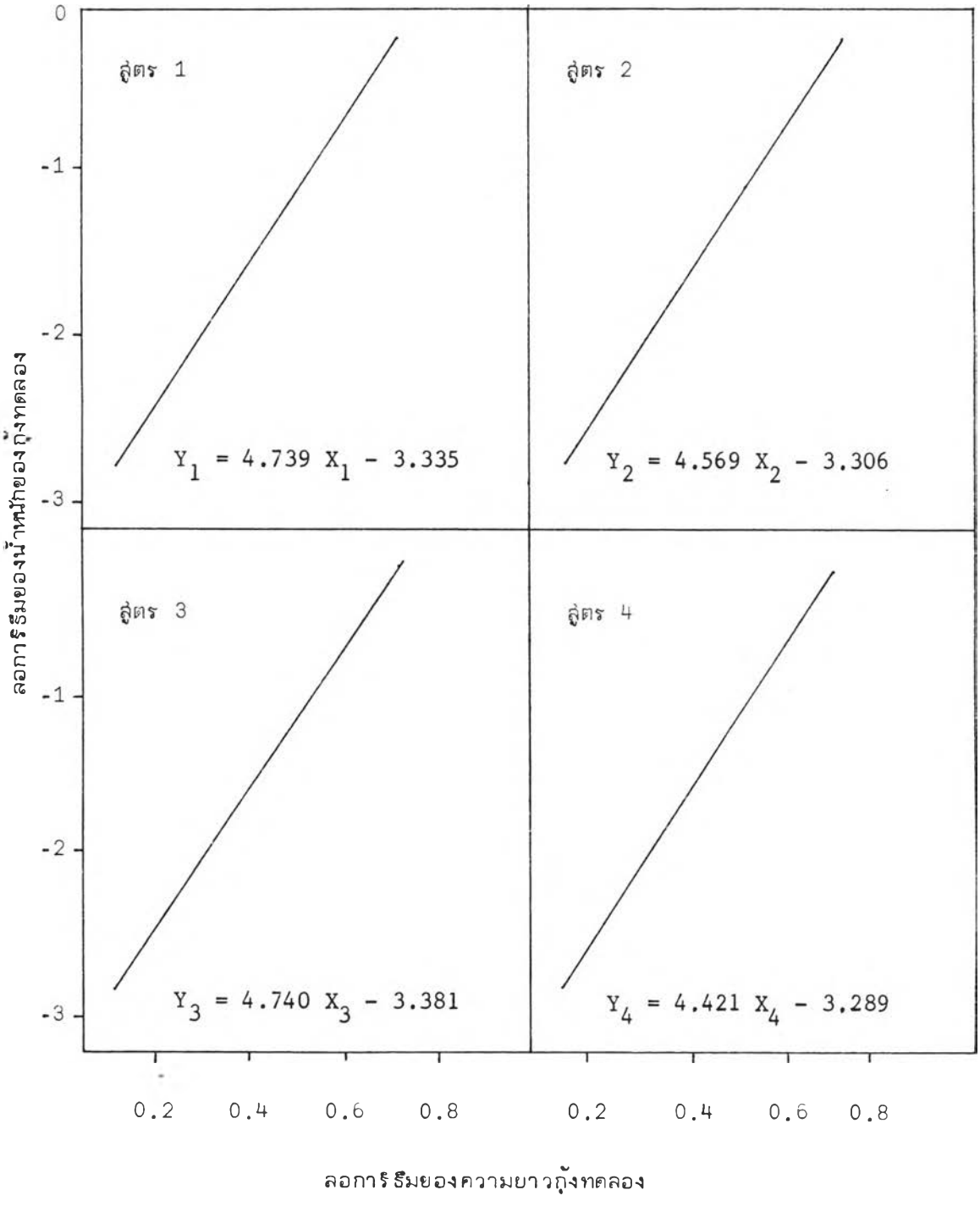
อาหารสำเร็จรูปสูตร 1 : $W = 0.000462\ L^{4.739}$

อาหารสำเร็จรูปสูตร 2 : $W = 0.000494\ L^{4.569}$

อาหารสำเร็จรูปสูตร 3 : $W = 0.000416\ L^{4.740}$

อาหารสำเร็จรูปสูตร 4 : $W = 0.000514\ L^{4.421}$

นิพนธ์ (2521) ศึกษาผลของอาหารผสมซึ่งมีโปรตีนระดับต่าง ๆ ที่มีต่อการเจริญเติบโตของกุ้งกุลาดำ ได้ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวและน้ำหนัก ดังนี้



รูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิธึมของน้ำหนักและลอการิธึมของความยาวของกุ้งกุลาดำที่ทดลองเลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จรูป 4 สูตร

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อาหารที่มีโปรตีนร้อยละ 17.52 มีค่า $W = 0.005196\ L^{3.1556}$

อาหารที่มีโปรตีนร้อยละ 28.14 มีค่า $W = 0.004834\ L^{3.1956}$

อาหารที่มีโปรตีนร้อยละ 39.93 มีค่า $W = 0.005171\ L^{3.1665}$

อาหารที่มีโปรตีนร้อยละ 50.07 มีค่า $W = 0.004468\ L^{4.421}$

จากกฎกำลังสามของ Rounsefell (1953) คือ $W = cL^n$ โดยที่ $n = 3$ แต่จากผลการทดลองนี้ n มีค่าสูงกว่า 3 คือโดยเฉลี่ยประมาณ 4.5 ซึ่งความสัมพันธ์ทั้ง 4 สมการมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าไม่มีความแตกต่างกันของค่าความชันก็หมายความว่า อิทธิพลของอาหารสำเร็จรูปทั้ง 4 สูตร ไม่มีผลต่อความสัมพันธ์ระหว่างความยาวกับน้ำหนักของกุ้งทดลอง

อัตราการเจริญเติบโต

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่แสดงถึงอัตราการเจริญเติบโตของกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จรูป 4 สูตร ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม พบว่าอิทธิพลของอาหารทั้ง 4 สูตรที่มีต่ออัตราการเจริญเติบโตของกุ้งทดลองปรากฏความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในสัปดาห์ที่ 0-2 และสัปดาห์ที่ 8-10 ส่วนในสัปดาห์ที่ 2-4 และสัปดาห์ที่ 10-12 ให้ผลความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งเมื่อใช้วิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ผลที่ได้คือ ช่วง 2 สัปดาห์แรก อัตราการเจริญเติบโตของกุ้งทดลองที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 4 แตกต่างจากกุ้งทดลองที่เลี้ยงอาหารสูตร 1, 2 และ 3 อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง เช่นเดียวกับในสัปดาห์ที่ 10-12 ส่วนในสัปดาห์ที่ 2-4 ไม่พบความแตกต่างระหว่างอาหารสูตร 2 กับ 3 และในระหว่างสัปดาห์ที่ 8-10 ก็พบว่าอาหารสูตร 4 กับอาหารสูตร 2 ให้ค่าอัตราการเจริญเติบโตแก่กุ้งทดลองอย่างไม่มีนัยสำคัญ

จากผลการทดลองพบว่าอัตราการเจริญเติบโตของกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 4 ซึ่งมีปลาป่นและส่วนต่าง ๆ ของปลาหมึกป่นเป็นแหล่งโปรตีนผสมกันในอัตราส่วน 1:1 ให้ค่าอัตราการเจริญเติบโตดีกว่ากุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารอีก 3 สูตร เมื่อพิจารณาดูองค์ประกอบของชนิดและปริมาณกรดอะมิโนจากแหล่งโปรตีนทั้งสอง (จากตารางที่ 4) จะพบว่ากรดอะมิโนบางชนิดที่มีในปลาป่นมีปริมาณสูงกว่าหรือต่ำกว่าในส่วนต่าง ๆ ของปลาหมึกป่น ฉะนั้นเมื่อนำแหล่งโปรตีนทั้งสองมาผสมกันในอาหารสูตร 4 ทำให้กรดอะมิโนในอาหารสูตร 4 มีทั้งชนิดและปริมาณที่เพียงพอแก่การเจริญเติบโต และให้ค่าอัตราการเจริญเติบโตของกุ้งสูงกว่าค่าที่ได้จากอาหารอีก 3 สูตรและก็เป็นที่น่าสังเกตว่า

อาหารสูตร 2 และ 3 ที่ใช้ปลาหมึกปนเป็นแหล่งโปรตีนแต่เพียงอย่างเดียวก็ให้ค่าการเจริญเติบโตของกุ้งดีกว่าอาหารสูตร 1 ซึ่งมีปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีน จากผลการศึกษาของ สุภาวดี (2515) ก็ได้ผลว่า กุ้งแย้บ๊วยที่เลี้ยงด้วยปลาหมึกกล้วยมีการเจริญเติบโตดีกว่ากุ้งที่เลี้ยงด้วยปลาเป็ด ข้อมูลผลการวิจัยยืนยันจากต่างประเทศที่แล่ดงให้เห็นว่า ปลาหมึกปนเป็นแหล่งโปรตีนที่เหมาะสมทั้งคุณค่าทางอาหารและราคามากกว่าปลาป่น ได้แก่งานของ Kawada et al. (1955), Takahashi (1956), Subrahmanyam and Oppenheimer (1969), Hudinaga (1969), Kitabayashi et al. (1971), Deshimaru and Shigueno (1972), Kittaka (1975)

อัตราการตาย

จากข้อมูลการศึกษาตลอดการทดลองพบว่า อัตราการตายของกุ้งกุลาดำซึ่งเลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จรูป 4 สูตร มีค่าเรียงลำดับจากสูตรที่ 1-4 ดังนี้ 49.5% , 34% , 36.8% และ 29.3% สาเหตุการตายของกุ้งทดลองเท่าที่รวบรวมจากการสังเกตตลอดการทดลองได้แก่ การตายของกุ้งทดลองในช่วงต้นของการทดลองอันเนื่องมาจาก กุ้งเป็นพวกอาร์โธพอด (Arthropod) จะมีพฤติกรรมชอบเข้าหาแสงในระยะที่กุ้งยังอยู่ในวัยอ่อน (Marler and Hamilton, 1966; Hinde, 1970; Fraenkel and Gunn, 1940) กุ้งจึงกระโดดขึ้นสู่ผิวน้ำเพื่อเป็นการตอบสนองด้านพฤติกรรมต่อสิ่งเร้าภายนอก แต่เนื่องจากลูกกุ้งในช่วงเริ่มต้นการทดลองนั้น มีขนาดเล็กและน้ำหนักน้อยมากเมื่อกระโดดขึ้นสู่ผิวน้ำและบังเอิญไปติดอยู่กับขอบบ่อ ลูกกุ้งจะไม่สามารถช่วยเหลือตัวเองให้หลุดออกจากขอบบ่อได้ผลก็คือ ลูกกุ้งจะตายหากไม่ได้รับการช่วยเหลือ วิธีแก้ไขกระทำโดยการจัดหาวัสดุที่บแสงมาปิดกั้นมิให้แสงเล็ดลอดลงสู่บ่อทดลอง

สาเหตุอื่นที่ทำให้เกิดการตายของกุ้งทดลองมาจากสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมคือ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำลดต่ำลงอย่างมาก โดยมีสาเหตุมาจากความขัดข้องในเรื่องการจ่ายกระแสไฟฟ้ามายังโรงเพาะเลี้ยงที่ทำการทดลอง ทำให้ขาดกระแสไฟฟ้าที่จะป้อนแก่เครื่องปั๊มพ์อากาศเป็นเวลานาน ซึ่งก็ได้รับการแก้ไขได้ทันเวลาโดยการจัดเตรียมอุปกรณ์สำรองเครื่องปั๊มพ์อากาศขนาดเล็ก และการแก้ไขระบบไฟฟ้าที่ขัดข้องให้กลับคืนสู่สภาพเดิมโดยเร็วอีกสาเหตุหนึ่งคือ การตายอันเนื่องมาจากการตายตามธรรมชาติ (Natural mortality) ความบอบช้ำจากการสุ่มตัวอย่างมายังวัดน้ำหนักและความยาวของกุ้งทดลองและความหนาแน่นของกุ้งต่อหน่วยพื้นที่ ความเหมาะสมเกี่ยวกับระดับความหนาแน่นของกุ้งต่อหน่วยพื้นที่ของบ่อเลี้ยง ซึ่งมีผลกระทบต่ออัตราการเจริญเติบโตและอัตราการตายของกุ้ง

ได้มีผู้ศึกษาหลายท่านด้วยกันและกล่าวโดยสรุปได้ว่า กุ้งที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่นต่ำจะมีการเจริญเติบโตดีและอัตราการตายต่ำ ผู้ที่เกี่ยวข้องกับงานด้านนี้ อาทิ Deshimaru and Shigueno (1972), Sick et al. (1972), Aravindakshan et al. (1982) และ Venkatesan and Bose (1982) เป็นต้น สาเหตุที่กุ้งที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่นต่ำมีอัตราการตายน้อย เพราะอุปนิสัยการกินกันเอง (Cannibalism) ของกุ้ง ขณะมีการลอกคราบ กุ้งจะอ่อนแอมากและช่วยเหลือตัวเองไม่ได้จึงตกเป็นอาหารแก่กุ้งตัวอื่น โดยเฉพาะถ้าเลี้ยงกุ้งในบ่อที่มีพื้นที่น้อยโอกาสที่กุ้งจะซ่อนตัวให้พ้นจากการกินกันเองก็น้อยด้วย จึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้อัตราการตายของกุ้งเพิ่มขึ้น

ส่วนสาเหตุการตายของกุ้งที่ไม่พบในการศึกษาครั้งนี้ แต่ก็ถือว่าเป็นเรื่องที่ควรป้องกันไว้ ก็คือ โรคกุ้ง เยาวนิตย์ และคณะ (2528) พบการระบาดของโรคที่เกิดกับกุ้งกุลาดำและกุ้งแชบ๊วย อันเป็นผลเนื่องมาจากพยาธิจำพวกไมโครสปอริเดียน สกุล *Thelohania* Couch (1978) และ Johnson (1978) ก็ยืนยันว่าโรคที่เกิดกับกุ้งจากพวกพยาธิไมโครสปอริเดียนเป็นสาเหตุการตายอย่างมากในการทำฟาร์มกุ้งทะเล

สำหรับผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีวิเคราะห์ว่าเรียนซ์ พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ส่วนความแตกต่างในเรื่องอิทธิพลของอาหารที่มีต่ออัตราการตายซึ่งทดสอบด้วย Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าอาหารสูตร 2 กับ 3 มีผลต่ออัตราการตายของกุ้งทดลองอย่างไม่มีนัยสำคัญ

อัตราการแปรเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ

ผลจากการคำนวณพบว่า อาหารสูตร 4 ให้ค่าอัตราการแปรเปลี่ยนเป็นเนื้อ (Food Conversion Rate) ดีที่สุดคือ มีค่าเท่ากับ 2.20 สำหรับอาหารสูตร 1, 2 และ 3 ให้ค่าอัตราการแปรเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อเฉลี่ยเท่ากับ 9.82, 3.43 และ 5.81 ตามลำดับ นิพนธ์ (2521) ศึกษาค่าอัตราการแปรเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีโปรตีนระดับต่าง ๆ ได้ค่าเฉลี่ยทั้งหมดประมาณ 7.0 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า คุณภาพของอาหารที่กุ้งสามารถนำไปใช้ยังไม่ได้ผลเต็มที่ เพราะส่วนผสมที่เป็นแหล่งโปรตีนที่ใช้ได้แก่ปลาป่น กุ้งป่น ถั่วเหลืองป่น และยีสต์จากนมปัง เมื่อเทียบกับการทดลองครั้งนี้จะเห็นความแตกต่างของค่าอัตราการแปรเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ โดยกุ้งที่ได้รับอาหารที่มีแหล่งโปรตีนเป็นพวกปลาหมึกป่น จะสามารถนำอาหารไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ดีกว่าอาหารที่มีแหล่งโปรตีนจากพวกปลาป่น

ผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่

จากผลการทดลองในตารางที่ 17 กุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 4 ให้ผลผลิตสูงสุดคือ 174.042 กรัมต่อตารางเมตร ส่วนค่าผลผลิตต่ำสุดคือ 40.129 กรัมต่อตารางเมตรเป็นค่าผลผลิตที่ได้จากการเลี้ยงกุ้งด้วยอาหารสูตร 1 จากการวิเคราะห์ด้วยวาเรียนซ์ (ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าค่าผลผลิตดังกล่าวอันเป็นผลเนื่องมาจากอิทธิพลของอาหารสำเร็จรูปทั้ง 4 สูตร มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง เมื่อนำผลการศึกษาเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นจะพบว่า ผลผลิตที่ได้จากทดลองครั้งนี้อยู่ในเกณฑ์สูง เช่นงานของ วณิช (2503) ได้ค่าผลผลิตของกุ้งซึ่งเลี้ยงแบบธรรมชาติ แถบจังหวัดจันทบุรี และระยอง เท่ากับ 19.93 กรัมต่อตารางเมตร ส่วน บรรจง (2517) รายงานผลผลิตจากการเลี้ยงกุ้งแบบธรรมชาติบริเวณก้นอ่าวไทย มีค่า 33.98 กรัมต่อตารางเมตร สำหรับ ธีระ (2518) รายงานการทดลองเลี้ยงกุ้งกุลาดำด้วยอาหาร 4 สูตร ในบ่อซีเมนต์ อาหารที่ให้ค่าผลผลิตสูงสุดมีค่าเท่ากับ 72.10 กรัมต่อตารางเมตร สำหรับในต่างประเทศ เช่น ญี่ปุ่น ผลผลิตของการเลี้ยงกุ้ง *Penaeus japonicus* ในระดับอุตสาหกรรมได้ค่าผลผลิตสูงสุดเท่ากับ 250 กรัมต่อตารางเมตร (Kurata and Shigueno, 1976) ส่วนในไทยโดย พิณิจ และคณะ (2519) ศึกษาและรายงานการทดลองเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่นากุ้ง จังหวัดจันทบุรี ได้ผลผลิต 250 กรัมต่อตารางเมตร จะเห็นได้ว่าการเลี้ยงกุ้งโดยให้กุ้งได้รับอาหารเสริมจะให้ผลผลิตที่คุ้มค่ากว่าการเลี้ยงแบบปล่อยตามธรรมชาติ และถ้าได้รับอาหารที่มีคุณค่าสูงแต่ราคาต่ำอย่างเช่นปลาหมึกปนที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ก็จะยิ่งเป็นประโยชน์แก่เกษตรกรที่ทำฟาร์มเลี้ยงกุ้งทะเลให้มีรายได้เพิ่มมากขึ้น

ต้นทุนการผลิตอาหารที่ใช้เลี้ยงกุ้ง

ความแตกต่างในเรื่องต้นทุนการผลิตอาหารนี้ ได้แก่ส่วนผสมที่เป็นแหล่งโปรตีนคือ ปลาปน และปลาหมึกปน ส่วนองค์ประกอบอื่น ๆ ไม่มีความแตกต่างกัน (ดังตารางที่ 1 แสดงส่วนผสมของอาหารสำเร็จรูปแต่ละสูตร)

ปลาปน เป็นปลาปนชนิดเกรดเอ ราคากิโลกรัมละ 16.50 บาท

ส่วนต่าง ๆ ของปลาหมึกปน ได้จากกรรมวิธีการผลิตที่ทดลองในห้องปฏิบัติการต้นทุนการผลิตขึ้นอยู่กับ ราคาเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไอน้ำป้อนให้แก่เครื่องมือทำปลาหมึกปน ส่วนราคาวัตถุดิบของส่วนต่าง ๆ ของปลาหมึกนั้นที่มีราคาสูงคือ ปลาหมึกกล้วยขนาดเล็กทั้งตัวราคากิโลกรัมละ 16.25 บาท ส่วนพวกหนังปลาหมึกกระดองหรือเครื่องในปลาหมึกกระดองราคากิโลกรัมละ 0.50 บาท

เมื่อนำส่วนผสมต่าง ๆ ประกอบขึ้นเป็นอาหารสำเร็จรูปตามสัดส่วนที่กำหนดไว้จะได้ว่า

อาหารสูตร 1 ราคากิโลกรัมละ 12.19 บาท

อาหารสูตร 2 ราคากิโลกรัมละ 12.06 บาท

อาหารสูตร 3 ราคากิโลกรัมละ 5.44 บาท

อาหารสูตร 4 ราคากิโลกรัมละ 8.81 บาท

ต้นทุนการผลิตส่วนต่าง ๆ ของปลาหมึกป่นในการทดลองนี้ คิดเฉพาะราคาวัตถุดิบเท่านั้น ซึ่งถ้าหากมีการนำไปผลิตในระดับอุตสาหกรรม ก็จะทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น เพราะมีค่าใช้จ่ายด้านต่าง ๆ เพิ่มขึ้น อาทิ ค่าเชื้อเพลิง เป็นต้น

เมื่อคำนึงถึงผลผลิตของกุ้งที่ได้กับต้นทุนการผลิตอาหารสำเร็จรูป จะพบว่าอาหารสูตร 4 จัดเป็นอาหารสำเร็จรูปที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการศึกษาครั้งนี้ เพราะให้ผลผลิตของกุ้งที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งเป็นที่ต้องการของตลาด ปริมาณผลผลิตสูง ทำให้ราคาจำหน่ายคุ้มค่าแก่การลงทุน

คุณภาพน้ำที่ใช้ทดลองเลี้ยงกุ้ง

จากข้อมูลที่เก็บรวบรวมตลอดการทดลองพบว่า สภาพแวดล้อมทั่วไปเหมาะสมแก่การทดลองเลี้ยงกุ้ง ถ้าแยกพิจารณาตามปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและอัตราการตายของกุ้งทดลอง มีดังนี้คือ

อุณหภูมิ ตลอดการทดลองอุณหภูมิที่ตรวจวัดอยู่ในช่วง 27°-29°ซ ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมแก่การอยู่อาศัยของกุ้งกุลาดำ รายงานผลการศึกษาของ Anonymous (1975) พบว่าลูกกุ้งกุลาดำระยะ post larva มีช่วงความทนทานต่ออุณหภูมิเท่ากับ 17°-40°ซ

ความเค็ม ระดับความเค็มที่ควบคุมในการทดลองนี้เท่ากับ 30 ส่วนในพันส่วน จากการศึกษาในสภาพธรรมชาติของ ธรรมนูญ (2511) พบว่ากุ้งแชบ๊วยซึ่งอาศัยอยู่ที่ระดับความเค็ม 26-29 ส่วนในพันส่วนมีการเจริญเติบโตดีที่สุด ทวีศักดิ์ และคณะ (2514) ยืนยันผลการสำรวจว่าที่ระดับความเค็ม 15-25 ส่วนในพันส่วนเป็นช่วงที่เหมาะสมกับการเลี้ยงกุ้งแชบ๊วย Venkataramaiah et al. (1975) รายงานว่า กุ้ง *Penaeus aztecus* ที่เลี้ยงที่ระดับ

ความเค็ม 25-30 ส่วนในพันส่วนให้ผลการเจริญเติบโตดี เช่นเดียวกับผลการวิจัยของ Raj and Raj (1982) ที่ทดลองกับกุ้ง *Penaeus indicus*, *P. monodon* และ *P. semisulcatus*

ความเป็นกรด-ด่างของน้ำ ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำที่ใช้ทดลองเลี้ยงกุ้งมีค่า 6.5-7.0 ค่า pH ที่สูงมีผลต่ออัตราการตายของกุ้งคือ ทำให้กุ้งไม่สามารถรักษาสมดุลย์ของเกลือโซเดียมคลอไรด์ในตัวได้ โดยไปลดความสามารถในการดึงปริมาณโซเดียมไอออนจากน้ำเข้าสู่ร่างกายให้ต่ำลง และยังทำให้การขับเกลือแมกนีเซียมออกจากร่างกายได้น้อยลง (บรรจง, 2519) สำหรับผลการศึกษาของ Cetedral et al. (1975) และ Tenedero (1977) สรุปว่า น้ำที่มีสภาพเหมาะสมในการเลี้ยงกุ้งและปลาทะเลควรมีค่า pH อยู่ในช่วง 7.0-9.0

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ในการทดลองนี้ใช้ระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดร่วมกับการให้อากาศผ่านน้ำโดยเครื่องปั๊มพ่นอากาศ ทำให้ไม่มีปัญหาเรื่องการขาดออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (ยกเว้นช่วงที่มีการตัดจ่ายกระแสไฟฟ้าโดยไม่ทราบล่วงหน้ามาก่อน) Kepenyes (1984) แนะนำวิธีการของระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด ซึ่งอาศัยหลักการเพิ่มปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ การกำจัดแอมโมเนีย ว่าเป็นระบบที่ทำให้ได้ผลผลิตจากการเลี้ยงกุ้งสูงและเหมาะกับบริเวณที่อยู่ห่างไกลทะเล Varadi (1984) เพิ่มเติมระบบการไหลผ่านน้ำเข้ากับระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด ซึ่งช่วยเพิ่มปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำและเป็นการกำจัดของเสียออกจากบ่อ