บทที่ 2
การตรวจสอบเอกสาร

ชีววิทยาและการแพร่กระจายของกุ้งกุลาดำ

กุ้งกุลาดำหรือที่เรียกว่า กุ้งกะลา กุ้งม้าลาย เป็นกุ้งทะเลมีชื่อวิทยาศาสตร์ *Penaeus monodon* Fabricius ชื่อสามัญภาษาอังกฤษว่า giant black tiger prawn , grass shrimp หรือ jumbo tiger prawn กุ้งกุลาดำเป็นกุ้งที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในวงศ์ Penaeidae โดยมีความยาวมากที่สุดถึง 270 มิลลิเมตร ลำตัวมีสีม่วงแดงที่มีแถบสีดำหรือน้ำตาลพาดขวางเป็นปล้อง ๆ ในขณะที่มีชีวิตอยู่ โคนขาว่ายน้ำมีแถบสีสลับ หนวดสีเข้มไม่มีลาย เปลือกหุ้มหัวเกลี้ยงไม่มีขน ฟันกรีด้านบนมี 6-9 ซี่ (ปกติพบ 7 ซี่) และด้านล่างมี 2-4 ซี่ (ปกติพบ 3 ซี่)

วงชีวิตของกุ้งกุลาดำเริ่มจากแม่กุ้งที่มีอายุประมาณ 18-24 เดือน ออกไข่ (ขนาดเฉลี่ย 0.29 มิลลิกรัม) ในทะเลที่ระดับความลึกประมาณ 20-70 เมตร ไข่ที่ได้รับการผสมจะฟักเป็นตัวอ่อนระยะนอเพลียส (nauplius larvae) ภายในเวลา 11-15 ชั่วโมง จากนั้นกุ้งวัยอ่อนจะถูกกระแสน้ำพัดเข้าสู่ชายฝั่งบริเวณป่าชายเลนซึ่งเป็นบริเวณที่กุ้งจะได้รับสารอาหารต่าง ๆ ทำให้มีการพัฒนาและเจริญเติบโต กุ้งที่มีอายุประมาณ 4 เดือนหรือมีขนาดใหญ่ขึ้นจะค่อย ๆ อพยพสู่ทะเลที่มีระดับความลึกประมาณ 162 เมตรเพื่อการผสมพันธุ์และวางไข่ต่อไป (Motoh, 1979; 1984)

โดยทั่วไปกุ้งในวงศ์ Penaeidae เป็นพวกที่กินทั้งพืชและสัตว์ (omnivores) กินซากพืชซากสัตว์ (scavenger) และเศษตะกอนต่าง ๆ (detritus feeder) เป็นอาหาร โดยมีกิจกรรมการหาและการกินอาหารมากขึ้นในช่วงเวลาน้ำลง โดยใช้ระยางค์ขาเดินคู่ที่ 1 และ 2 ช่วยจับและส่งอาหารเข้าสู่ปาก หรือจับแทะกิน อาหารที่ไม่ย่อยหรือกากอาหารที่เหลือจากการย่อยต่าง ๆ จะถูกขับออกโดยทางทวารหนักภายในเวลา 4 ชั่วโมงหลังจากกินอาหาร (Motoh, 1984 และ Tacon and Akiyama, 1997)

การแพร่กระจายของกุ้งกุลาดำพบตั้งแต่บริเวณเส้นแวงที่ 30 ถึง 155 องศาตะวันออก และจากเส้นรุ้งที่ 35 องศาเหนือ ถึง 35 องศาใต้ ถิ่นอาศัยพบหนาแน่นในประเทศแถบเขตร้อน เช่น อินโดนีเซีย มาเลเซีย ฟิลิปปินส์ และไทย เป็นต้น (Motoh; 1984)

ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและสารอาหารในกุ้งทะเล

กุ้งต้องการพลังงานและสารอาหารเพื่อการเจริญเติบโตซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ สืบพันธุ์ ดำรงชีวิต รวมทั้งการทำกิจกรรมต่าง ๆ ของร่างกาย ให้เป็นไปอย่างสมบูรณ์เหมาะสม สารประกอบทางเคมีที่เป็นสารอาหารที่กุ้งต้องการมีทั้งหมดไม่น้อยกว่า 40 ชนิด ซึ่งทั้งหมดจำเป็นต้องมีอยู่ในอาหารในปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการและตามอัตราส่วนที่เหมาะสมกับสารอาหารของอาหาร นอกจากนั้นยังต้องอยู่ในรูปที่กุ้งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ สารประกอบทั้ง 40 ชนิดนี้อาจแบ่งออกเป็น 6 ประเภทใหญ่ ๆ ได้แก่ 1) โปรตีน 2) ไขมัน 3) คาร์โบไฮเดรต 4) วิตามิน 5) เกลือแร่ และ 6) น้ำ (Akiyama and Chwang, 1989 และ Akiyama, Dominy and Lawrence, 1992)

สารอาหารทั้งหมดสามารถแบ่งตามความสามารถในการให้พลังงานได้ 2 ประเภท คือ 1) สารอาหารที่ให้พลังงาน ได้แก่ โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต กับ 2) สารอาหารที่ไม่ให้พลังงาน ได้แก่ วิตามิน เกลือแร่ และน้ำ (Ensminger and Olentine, 1978) พลังงานและสารอาหารในอาหารมีความสัมพันธ์กันโดยมีผลต่อการกินอาหารของสัตว์และการได้รับคุณค่าทางโภชนาการจากอาหารที่สัตว์กินเข้าไป NRC (1983); Sedgwick (1979) และ Wilson (1989) รายงานว่า จุดประสงค์แรกในการกินอาหารของกุ้งคือตอบสนองความต้องการของพลังงานให้เพียงพอ และเมื่อได้รับพลังงานที่เพียงพอแล้วกุ้งจะหยุดกิน ถ้าอาหารที่กินเข้าไปนั้นมีกรดอะมิโน วิตามิน และแร่ธาตุในปริมาณที่เพียงพอและเหมาะสมกับปริมาณพลังงานในอาหารก็จะได้รับสารอาหารที่จำเป็นครบถ้วนและเพียงพอแก่การกินอาหารในระดับพลังงานที่ต้องการ แต่ถ้าในอาหารมีระดับพลังงานมากเกินไป จะทำให้กุ้งกินอาหารน้อยลงเนื่องจากอิ่มเร็วขึ้น จึงเป็นการจำกัดการนำโปรตีนและสารอาหารอื่นที่จำเป็นเข้าสู่ร่างกาย ในทางตรงข้ามถ้าในอาหารมีระดับพลังงานน้อยเกินไป กุ้งจะนำโปรตีนมาใช้เป็นแหล่งพลังงานในร่างกายด้วย เป็นการสิ้นเปลืองต้นทุนค่าอาหาร ดังนั้นในการศึกษาเรื่อง

ความต้องการพลังงานในอาหารกุ้งจึงมีความเกี่ยวข้องกับระดับโปรตีนในเชิงอัตราส่วนของโปรตีนและพลังงาน

ความต้องการพลังงานและสารอาหารของกุ้งทะเล

1. พลังงาน

Maynard and Loosli (1969) นิยามคำว่าพลังงานคือ ความสามารถในการทำงานได้ (ability to do work) สิ่งมีชีวิตทุกประเภทต้องการพลังงานเพื่อการทำกิจกรรมต่าง ๆ ในการดำรงชีพให้อยู่ในภาวะปกติและเพื่อการเจริญเติบโต สิ่งมีชีวิตพวกพืชได้รับพลังงานโดยตรงจากแสงอาทิตย์นำมาสร้างโมเลกุลที่ซับซ้อนเพื่อเป็นโครงสร้าง และสะสมไว้ตามส่วนต่าง ๆ ของต้นพืช แต่สัตว์ไม่สามารถใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์โดยตรงได้ จึงต้องบริโภคพืชหรือสัตว์ด้วยกันเป็นอาหารโดยการเผาผลาญไขมัน คาร์โบไฮเดรต และโปรตีนมาเป็นพลังงาน

Tacon (1990) และ Akiyama *et al.* (1992) สรุปว่า กุ้งหรือสัตว์น้ำต้องการพลังงานเพื่อการเพิ่มน้ำหนักต่อหนึ่งหน่วยพลังงานน้อยกว่าความต้องการพลังงานในสัตว์บก และ สัตว์ปีกเนื่องจากเหตุผลต่อไปนี้

1. สัตว์เลือดเย็น (poikilotherms) เช่น กุ้ง หรือ ปลา มีอุณหภูมิของร่างกายแปรผันตามอุณหภูมิของน้ำ ดังนั้นกุ้งจึงไม่จำเป็นต้องใช้พลังงานในการรักษาอุณหภูมิของร่างกายให้คงที่ ในขณะที่สัตว์บกและสัตว์ปีกเป็นสัตว์เลือดอุ่น (homeotherms) ต้องรักษาอุณหภูมิของร่างกายให้คงที่ตามอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนไป

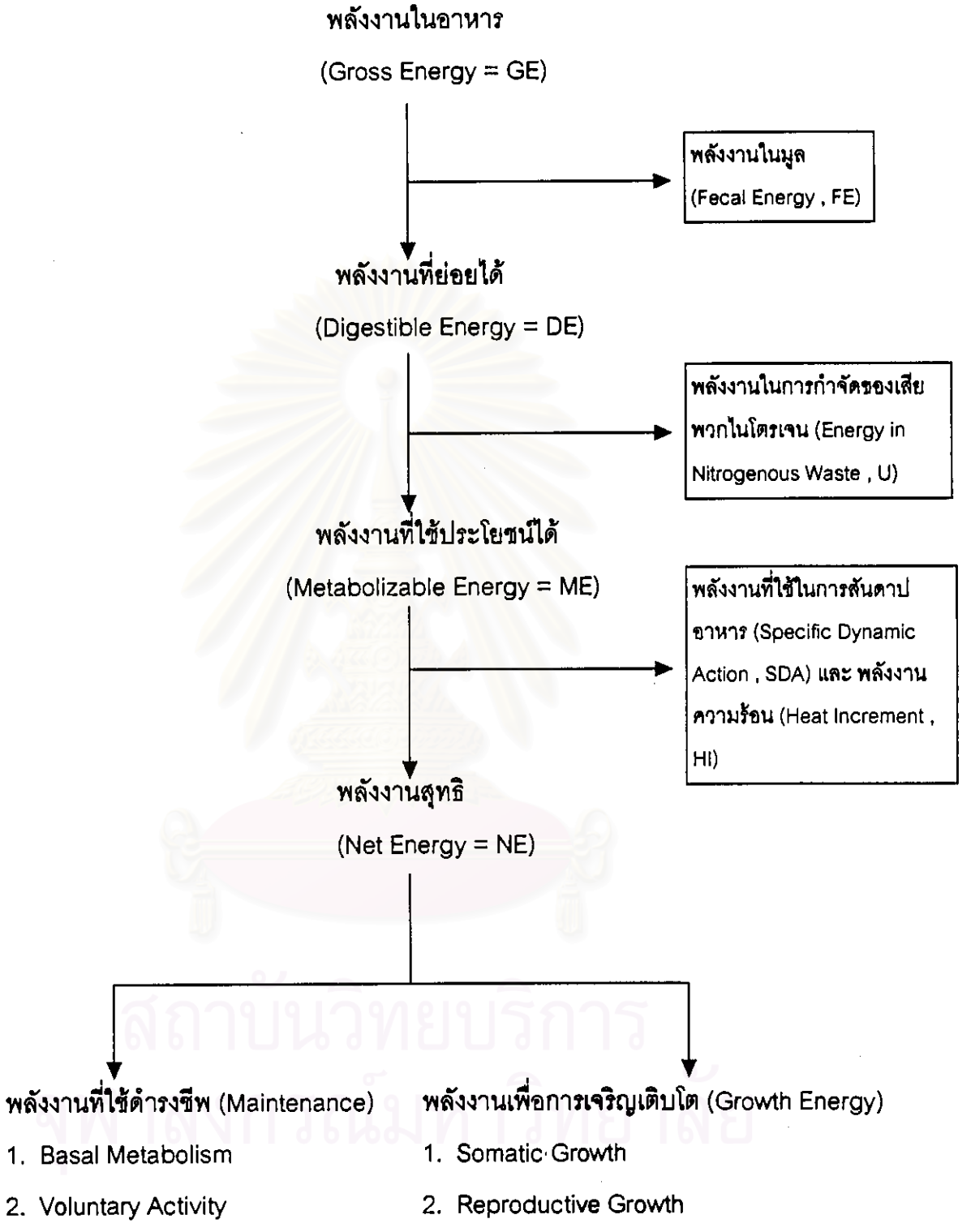
2. กุ้งหรือสัตว์น้ำประหยัดพลังงานได้ถึง 10-20 เปอร์เซนต์ จากการกำจัดของเสียในรูปแอมโมเนีย (ammonia) ซึ่งใช้พลังงานน้อยกว่ากำจัดยูเรีย (urea) ในสัตว์บกและกรดยูริก (uric acid) ในสัตว์ปีก

3. กุ้งหรือสัตว์น้ำต้องการพลังงานน้อยกว่าสัตว์บกและสัตว์ปีกในการรักษาตำแหน่งและการเคลื่อนไหวต่าง ๆ เนื่องจากได้รับการผ่อนแรงจากแรงพยุงของน้ำ ในขณะที่สัตว์บกและสัตว์ปีกต้องใช้พลังงานส่วนหนึ่งในการต่อสู้กับแรงโน้มถ่วงของโลก

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

NRC (1981) และ Jobling (1994) ได้อธิบายถึงการถ่ายทอดพลังงาน (energy flow) ของปลาว่า เริ่มตั้งแต่กิน ย่อย และดูดซึมอาหาร แล้วจึงนำพลังงานไปใช้ สุดท้ายขับถ่ายออกมาในรูปของอุจจาระ ซึ่งการถ่ายทอดพลังงานเป็นส่วนหนึ่งของศาสตร์เรื่องชีวพลังงาน (bioenergetics) ซึ่ง Cho, Slinger and Bayley (1982) ได้ให้ความหมายคำว่าชีวพลังงานศาสตร์ หมายถึงการศึกษาสมดุลระหว่างพลังงานที่ได้รับจากอาหาร (energy supply in the food) และพลังงานที่นำไปใช้ (energy expenditure) รวมถึงการขนผ่านพลังงาน (energy transfer) ที่เกิดจากการเผาผลาญในรูปความร้อน (heat) ในขณะที่ Brafield and Llewellyn (1982) ได้ให้ความว่าหมายถึงการขนส่งพลังงาน (energy transformation) ในร่างกายของสิ่งมีชีวิตโดยต้องใช้ความรู้ในด้านชีวเคมี สรีระวิทยา และนิเวศวิทยามาอธิบายสิ่งที่เกิดขึ้น การศึกษาเรื่องนี้ในสิ่งมีชีวิตแบ่งเป็น 3 ระดับคือ 1) ระดับเซลล์ 2) ระดับทั้งตัว (individual) และ 3) ระดับประชากร (population) ซึ่งมีความสัมพันธ์กันในการจัดสรรพลังงานเพื่อการใช้ประโยชน์ ดังรูปที่ 1

จากรูปที่ 1 พลังงานในอาหาร (gross energy, GE) หมายถึง พลังงานทั้งหมดในอาหารซึ่งสามารถหาได้จากวิธีเผาผลาญอาหารนั้นอย่างสมบูรณ์ โดยเครื่อง bomb calorimeter จนกระทั่งได้คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และก๊าซอื่น ๆ ความร้อนที่ได้จากการเผาผลาญ จะถูกปลดปล่อยออกมาแล้ววัดเป็นแคลอรี่ จากการที่กุ้งหรือสัตว์น้ำอื่น ๆ มีความสามารถจำกัดในการย่อยอาหารชนิดต่าง ๆ ดังนั้นจึงมีพลังงานที่ย่อยได้ (digestible energy, DE) ส่วนอาหารที่ย่อยไม่ได้จะถูกขับออกมาเป็นอุจจาระ (feces) ซึ่งเท่ากับว่าพลังงานส่วนหนึ่งได้สูญเสียไปจากตัวปลาในรูปของอุจจาระ (fecal energy, FE) ส่วนอาหารที่ถูกย่อยได้จะถูกดูดซึมจากลำไส้เข้าสู่กระแสเลือดไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย พลังงานที่เหลือจะถูกเก็บไว้ที่ตับในรูปของไขมันและไกลโคเจน จากนั้นจึงเกิดการเผาผลาญให้ได้พลังงาน ในระหว่างการเผาผลาญสารที่มีองค์ประกอบของไนโตรเจน (nitrogenous compound) เช่น โปรตีน ซึ่งบางส่วนที่เป็นของเสียจะถูกกำจัดออกจากร่างกายในรูปของแอมโมเนีย ซึ่งเท่ากับการสูญเสียพลังงานไปอีกส่วนหนึ่ง พลังงานส่วนที่เหลือเรียกว่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (metabolizable energy, ME) โดยส่วนหนึ่งจะสูญเสียไปจากการสันดาปอาหาร (specific dynamic action, SDA) และสูญเสียไปในรูปความร้อน (heat increment, HI) ซึ่งหมายถึงความร้อนที่เพิ่มสูงขึ้นในตัวกุ้งเนื่องจากการสันดาปสารอาหาร



รูปที่ 1. ขั้นตอนการถ่ายทอดพลังงานในกุ้ง

(ดัดแปลงจาก NRC, 1981; Brafield and Llewellyn, 1982; Jobling, 1994 และ De Silva and Anderson, 1995)

ประเภทไขมัน คาร์โบไฮเดรต และโปรตีนภายหลังจากกินอาหาร พลังงานสุดท้ายที่เหลือเรียกว่า พลังงานสุทธิ (net energy, NE) ซึ่งใช้สำหรับกิจกรรมต่าง ๆ ในการดำรงชีวิต (maintenance) และการเจริญเติบโต (growth) โดยแบ่งเป็นการเจริญเติบโตทางร่างกาย (somatic growth) และ การเจริญพันธุ์ (reproductive growth) โดยปกติ NE จะถูกใช้เพื่อการดำรงชีวิตเป็นอันดับแรกก่อน

การดำรงชีวิตที่สำคัญของกุ้ง เกี่ยวข้องกับ

1) basal metabolism หมายถึง ขบวนการทางกลศาสตร์ ทางชีวเคมี ที่เกิดขึ้นในร่างกาย โดยที่ร่างกายไม่สามารถควบคุมการใช้พลังงานได้ เช่น การย่อยอาหาร การทำงานของระบบประสาท เป็นต้น

2) voluntary activity หมายถึง กิจกรรมที่ต้องใช้พลังงานที่ร่างกายสามารถควบคุมได้ เช่น การว่ายน้ำ การต่อสู้ หลบหนีศัตรู เป็นต้น

เมื่อกุ้งหรือสัตว์น้ำได้รับพลังงานเพียงพอต่อการดำรงชีวิตแล้ว พลังงานส่วนที่เหลือจะใช้เพื่อการเจริญเติบโต สร้างเนื้อเยื่อต่าง ๆ รวมทั้ง เซลสืบพันธุ์ ดังนั้นจุดประสงค์ของการเลี้ยงกุ้งหรือสัตว์น้ำหมายถึงการให้กุ้งหรือสัตว์น้ำได้รับพลังงานเพื่อการดำรงชีพอย่างเพียงพอต่อความต้องการ และเหลือไว้เพื่อการเจริญเติบโตต่อไปโดยมีพลังงานที่สูญเสียไปในส่วนของ FE และ U น้อยที่สุด

ปัจจัยที่มีผลต่อความต้องการพลังงานของกุ้งทะเล

มีปัจจัยหลายประการที่มีผลต่อความต้องการพลังงานของสัตว์ การทราบถึงปัจจัยเหล่านั้นสามารถนำไปจัดการในด้านต่าง ๆ ได้ เช่น การปรับสูตรอาหารให้เหมาะสมต่อความต้องการพลังงาน เป็นต้น ปัจจัยต่าง ๆ ที่สำคัญ ได้แก่

1) อุณหภูมิของน้ำ กุ้งเป็นสัตว์เลือดเย็นอุณหภูมิของร่างกายปรับตามอุณหภูมิของน้ำ ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิน้ำเพิ่มขึ้นทำให้อุณหภูมิในร่างกายของกุ้งสูงขึ้นตามทำให้อัตราการใช้พลังงานสูงขึ้น แต่เมื่ออุณหภูมิของน้ำลดลง กระบวนการทำงานในร่างกายจะ

ช้าลง ทำให้ความต้องการพลังงานลดลง (Brett and Grover, 1979 อ้างถึงใน Tacon, 1990)

2) ขนาดของกุ้ง กุ้งขนาดเล็กต้องการพลังงานมากกว่ากุ้งขนาดใหญ่ เพราะกุ้งขนาดเล็กมีพื้นที่ผิวมากกว่ากุ้งขนาดใหญ่ต่อหน่วยน้ำหนัก ดังนั้น โอกาสที่ความร้อนจากขบวนการต่าง ๆ ในร่างกายสูญเสียออกจากกุ้งขนาดเล็กจึงมีมากกว่ากุ้งขนาดใหญ่ (Brett and Grover, 1979 อ้างถึงใน Tacon, 1990)

3) ภาวะทางสรีระวิทยาของกุ้ง ความต้องการพลังงานจะเพิ่มขึ้นในช่วงการผลิตเซลสืบพันธุ์ รวมทั้งการทำกิจกรรมอื่น ๆ ในการสืบพันธุ์ เช่น การอพยพวางไข่ของกุ้ง (Wooton, 1985 อ้างถึงใน Tacon, 1990)

4) คุณภาพน้ำ และภาวะเครียดของกุ้ง ถ้ากุ้งมีความเครียดมากจะต้องการพลังงานมากขึ้นและเติบโตช้าเนื่องจากพลังงานที่กุ้งนำมาใช้ในการเจริญเติบโตเหลือน้อยลง ความเครียดอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพหรือทางเคมีของสภาพแวดล้อม เช่น ความหนาแน่นของกุ้งมากเกินไป อาหารมีคุณภาพต่ำ มลพิษของน้ำ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำต่ำ เป็นต้น (Tacon, 1990)

5) ปัจจัยอื่น ๆ เช่น (1) ความหนาแน่นของกุ้ง กุ้งที่มีการเลี้ยงในความหนาแน่นสูงจะเกิดการแย่งชิงทรัพยากรที่จำเป็น เช่น ออกซิเจน อาหาร และที่อยู่อาศัย ทำให้กุ้งมีการใช้พลังงาน (หายใจ) มากขึ้น (2) แสง มีส่วนต่อการพัฒนารังไข่ของแม่กุ้งกุลาดำ ถ้าแสงมากจะทำให้แม่กุ้งไม่สามารถพัฒนารังไข่ได้ กุ้งจะมีอาการเครียดจึงต้องมีการควบคุมแสงให้ได้ 10 เปอร์เซนต์ ของแสงธรรมชาติ (3) ความเค็ม การเปลี่ยนแปลงความเค็มมาก ๆ มีผลต่อการเจริญเติบโตเนื่องจากกุ้งต้องสูญเสียพลังงานไปมากในการควบคุมเกลือแร่ต่าง ๆ ให้อยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อเซลล์และการทำงานของอวัยวะต่าง ๆ (สมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล, 2539; Piyatiratitivorakul, 1988)

Akiyama and Chwang (1989) สรุปว่า ความต้องการพลังงานของกุ้งมีการศึกษาในรายละเอียดกันน้อยและรายงานว่า ปัจจุบันอาหารกุ้งส่วนใหญ่จะมีพลังงานอยู่ในช่วง

300-400 kcal/100g ในขณะที่ Bautista (1986) รายงานว่าอาหารกุ้งกุลาดำควรมีพลังงานรวมในอาหาร 330 kcal/100g และ อุดสาห์ จันทร์อำไพ (2527) รายงานว่าอาหารกุ้งควรมีระดับพลังงานในอาหารอยู่ระหว่าง 240-440 kcal/100g

2. โปรตีน

โปรตีนเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของสิ่งมีชีวิต มีโครงสร้างเป็นโมเลกุลเชิงซ้อนที่มีขนาดใหญ่และมีหลายชนิด โปรตีนเป็นส่วนประกอบในร่างกายของสัตว์ประมาณ 65-75 เปอร์เซนต์ โดยน้ำหนักแห้ง เมื่อสัตว์รับโปรตีนในอาหารเข้าไปโปรตีนจะถูกย่อยให้เป็นกรดอะมิโน และซึมผ่านลำไส้เล็กเข้าสู่ส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย เพื่อสังเคราะห์โปรตีนขึ้นใหม่ให้แก่อวัยวะนั้น ๆ โปรตีนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของอาหารกุ้ง มีหน้าที่ทำให้กุ้งเจริญเติบโต ซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอของร่างกายและให้พลังงาน ระดับโปรตีนในอาหารกุ้งขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น ชนิด ขนาด และนิสัยการกินอาหารของกุ้ง รวมทั้งระดับพลังงานในอาหาร คุณภาพโปรตีนหรือความสมดุลของกรดอะมิโนในโปรตีน ระบบการเลี้ยง เทคนิคการให้อาหาร ตลอดจนสัดส่วนของสารอาหารอื่นในอาหาร (New, 1976; Deshimaru and Yone, 1978 และ Wilson, 1989) จากการศึกษาของ Smith *et al.* (1985) พบว่าอัตราการเจริญเติบโตของกุ้ง *Penaeus vannamei* ขนาดน้ำหนัก 4 กรัม ขึ้นอยู่กับระดับโปรตีนในอาหาร แต่ในกุ้งขนาดน้ำหนัก 10-21 กรัม อัตราการเจริญเติบโตขึ้นกับแหล่งของโปรตีนโดยจากการทดลองใช้อัตราส่วนโปรตีนจากสัตว์ต่อโปรตีนจากพืชเท่ากับ 2:1 หรือ 1:1 พบว่าอัตราการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกัน

ความต้องการโปรตีนในอาหารกุ้งวงศ์ Penaeidae มีความแตกต่างกันตามการทดลอง Andrews, Sick and Baptist (1972) รายงานว่า ระดับโปรตีนที่เหมาะสมของกุ้ง *Penaeus setiferus* อยู่ในช่วง 28-32 เปอร์เซนต์ Colvin and Brand (1977) ศึกษาในกุ้ง *Penaeus stylirostris* พบว่าอยู่ในช่วง 30-35 เปอร์เซนต์ Colvin (1976) รายงานในกุ้ง *Penaeus indicus* ว่าต้องการโปรตีนน้อยกว่า 40 เปอร์เซนต์ สำหรับในกุ้งกุลาดำพบว่าต้องการโปรตีน 35 เปอร์เซนต์ (Lin *et al.*, 1982) สอดคล้องกับ คณิต ไชยาคำ และ บุญส่ง สิริกุล (2533) พบว่าอัตรารอด และอัตราการเจริญเติบโตจะสูงสุดเมื่อเลี้ยงด้วยอาหารระดับ

โปรตีน 35 เปอร์เซนต์ สำหรับในกุ้งกร้ามกราม *Macrobrachium rosenbergii* มีรายงานว่าต้องการโปรตีนอยู่ในช่วง 27-35 เปอร์เซนต์ (New, 1976) อย่างไรก็ตามระดับโปรตีนอาจจะต่ำกว่านี้ได้ถ้าในอาหารมีความสมดุลของกรดอะมิโนในโปรตีน มีงานวิจัยด้านโภชนาศาสตร์ของปลาพบว่าสามารถประหยัดโปรตีนในอาหารได้โดยให้คาร์โบไฮเดรตหรือไขมันทดแทนในระดับที่เหมาะสมโดยที่ไม่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตซึ่งเรียกว่า protein sparing effect (Watanabe, 1982) และจากการศึกษาพบว่าปลา gilthead sea bream (*Sparus aurata*) ให้การเจริญเติบโตที่ดีเมื่อทดแทนโปรตีนด้วยไขมันที่ระดับ 9-15 เปอร์เซนต์ (Vergare *et al.*, 1996)

การศึกษาไนเรื่องความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและโปรตีนในกุ้งมีการศึกษาในรายละเอียดกันน้อย มีรายงานว่าพวกครัสเตเซียนต้องการอัตราส่วนโปรตีนต่อพลังงานอยู่ในช่วง 146.4-167.4 mg protein/kcal ในขณะที่ปลาต้องการในช่วง 104.6-146.4 mg protein/kcal (Lee and Lawrence, 1997) AQUACOP, 1976; อ้างถึงใน Sedgwick, 1979 สรุปว่า ระดับโปรตีนที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของกุ้งกุลาดำคือ 40 เปอร์เซนต์ โดยมีพลังงานรวมในอาหาร 330 kcal/100g Sedgwick (1979) พบว่า ปริมาณโปรตีนในอาหารที่เหมาะสมสำหรับกุ้งแชบ๊วย (*Penaeus merguiensis*) อยู่ระหว่าง 34-42 เปอร์เซนต์ โดยขึ้นกับระดับพลังงาน คือระหว่าง 290-440 kcal/100g ในขณะที่ Bautista (1986) ได้ทดลองหาอัตราส่วนโปรตีนต่อพลังงานในอาหารเลี้ยงกุ้งกุลาดำระยะวัยรุ่นน้ำหนักเฉลี่ย 0.60 ± 0.16 กรัม โดยใช้เคซีนเป็นแหล่งโปรตีนและพบว่ากุ้งกุลาดำมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเมื่อให้อาหารที่ประกอบด้วยโปรตีน 40-50 เปอร์เซนต์ ไขมัน 5-10 เปอร์เซนต์ และคาร์โบไฮเดรต 20 เปอร์เซนต์ โดยมีค่าพลังงาน 285-370 kcal/100g และเมื่อลดระดับโปรตีนในอาหารจาก 50 เปอร์เซนต์ เป็น 40 เปอร์เซนต์ ขณะที่ระดับพลังงานคงที่ 330 kcal/100g ก็ไม่พบความแตกต่างทางสถิติของการเจริญเติบโต Lovell (1989) สรุปว่าการให้อาหารที่มีพลังงานจากโปรตีนสูงเกินไปทำให้กุ้งมีการเจริญเติบโตลดลง Shiau and Chou (1991) ศึกษาระดับโปรตีนและพลังงานในอาหารโดยเลี้ยงกุ้งกุลาดำวัยรุ่นน้ำหนักเฉลี่ย 0.82 ± 0.10 กรัม ด้วยอาหารแบบกึ่งบริสุทธิ์ (semi-purified diet) พบว่าเมื่อให้อาหารที่มีระดับพลังงานถึง 330 kcal/100g สามารถลดระดับโปรตีนลงจาก 40 เปอร์เซนต์ เหลือ 36

เปอร์เซนต์ได้ โดยน้ำหนักต่อหน่วยที่เพิ่มขึ้น อัตราการแลกเนื้อ และการใช้ประโยชน์ได้ของโปรตีนไม่แตกต่างกัน

3. ไขมัน

ไขมันเป็นชื่อที่ใช้เรียกสารประกอบอินทรีย์ที่ละลายได้ในน้ำ และในน้ำมัน เช่น ไขมัน ฟอสโฟไลปิด ไกลโคไลปิด สเตอรอยด์ และอนุพันธุ์ของไขมัน เช่น กรดไขมัน กลีเซอรอล แอลกอฮอล์ และสเตอรอล เป็นต้น ไขมันมีหน้าที่หลัก 4 ประการ (Zubay, 1993) ดังนี้

1) เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของผนังเซลล์และอวัยวะต่าง ๆ ของร่างกาย

2) เป็นสารอาหารที่ให้พลังงานสูงสุดและเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของร่างกาย โดยไขมันให้พลังงาน 2 เท่าของคาร์โบไฮเดรต และ 1.5 เท่าของโปรตีน

3) เป็นตัวละลายวิตามินที่ละลายในไขมัน เช่น วิตามินเอ ดี อี เค และฮอร์โมนบางชนิด เช่น ฮอร์โมนเพศ

4) กรดน้ำดีสามารถช่วยทำให้สารประกอบไขมันต่าง ๆ แตกตัวได้ดี (emulsifyer) เป็นการช่วยย่อยไขมันในรูปต่าง ๆ ได้ดีขึ้น

กุ้งโดยปกติได้รับไขมันจาก 3 แหล่งด้วยกันคือ 1) ไขมันที่มีอยู่ในอาหาร 2) ไขมันที่ได้จากส่วนเกินของโปรตีนในอาหาร และ 3) ไขมันที่ได้จากส่วนเกินของคาร์โบไฮเดรตในอาหาร ไขมันเป็นแหล่งของกรดไขมันที่จำเป็น (essential fatty acid, EFA) ที่กุ้งต้องการ ไขมันจะถูกย่อยให้เป็นกรดไขมันก่อนที่จะซึมเข้าสู่ร่างกายในบริเวณลำไส้ อย่างไรก็ดีน้ำย่อยของกุ้งมีความสามารถที่จะย่อยไขมันได้ดีเฉพาะไขมันบางชนิด ถ้าเป็นไขมันจุดหลอมเหลวสูง เช่น น้ำมันหมู กุ้งจะย่อยได้ยาก ไขมันที่กุ้งย่อยได้ง่ายเป็นไขมันชนิดที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ เช่น น้ำมันปลาและไขมันจากพืชบางชนิด (เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต, 2534) สอดคล้องกับ มะลิ บุณยรัตผลิน (2531) ซึ่งสรุปว่า สัตว์น้ำเค็มมีความสามารถในการย่อยและนำกรดไขมันที่อิ่มตัวไปใช้ได้ต่ำเนื่องจากเป็นสัตว์เลือดเย็นอุณหภูมิของร่างกายขึ้นกับอุณหภูมิของน้ำซึ่งต่ำและโดยปกติในการผลิตอาหารเลี้ยงสัตว์น้ำนั้นจะมีส่วนประกอบของไขมันที่ไม่อิ่มตัว เช่น น้ำมันปลาทะเล น้ำมันถั่วเหลือง มีการศึกษาพบว่ากุ้งทะเลสามารถใช้

n-3 ได้อย่างมีประสิทธิภาพในขณะที่กุ้งน้ำจืดสามารถใช้ n-6 อย่างมีประสิทธิภาพ (NRC, 1983; Castell *et al.*, 1986 อ้างถึงใน Tacon, 1990 และ D'Abramo, 1997)

ความต้องการไขมันในอาหารกุ้งวงศ์ Penaeidae มีความแตกต่างกันตามการทดลอง Deshimaru and Kuroki (1974) พบว่าเมื่อใส่ไขมันในอาหาร 6 เปอร์เซนต์ ทำให้กุ้ง *Penaeus japonicus* มีอัตราการเจริญเติบโตดี แต่ถ้าให้ไขมันเกิน 12 เปอร์เซนต์ มีผลยับยั้งการเจริญเติบโต ในขณะที่ Andrews *et al.* (1972) สรุปว่าอัตรารอดของกุ้งขึ้นกับระดับไขมันและโปรตีนในอาหารโดยกุ้งที่ได้รับไขมันมีอัตรารอดต่ำลง แนวโน้มใกล้เคียงกับ Teshima and Kanazawa (1984) พบว่าอัตราการเจริญเติบโต และอัตรารอดในกุ้ง *Penaeus japonicus* วัยอ่อนขึ้นกับคาร์โบไฮเดรตไม่ได้ขึ้นกับไขมัน D'Abramo *et al.* (1980) แนะนำว่าไขมันในอาหารกุ้งไม่ควรมีมากเกินไปเพราะกุ้งจะเก็บสะสมไขมันส่วนเกินนี้ไว้ที่ตับอ่อนทำให้ตับอ่อนมีประสิทธิภาพการทำงานผิดปกติ ตับจะบวมน้ำและกุ้งตายในที่สุด เรียกอาการนี้ว่า "fatty liver" Akiyama (1992) สรุปว่าในอุตสาหกรรมอาหารกุ้งปริมาณไขมันที่เหมาะสมในอาหารอยู่ในช่วง 6-7.5 เปอร์เซนต์ หากไขมันเกิน 10 เปอร์เซนต์ มีผลทำให้อัตราการเจริญเติบโตลดลง และอัตราตายสูงขึ้น การใช้ไขมันในระดับที่เหมาะสมจะเป็นสารดึงดูด (attractant) ที่ช่วยในการกินอาหารของกุ้งและยังทำหน้าที่เป็นตัวประสาน (binder) โดยทำให้เนื้ออาหารเกาะตัวกันดีขึ้น

4. **คาร์โบไฮเดรต**

คาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนประกอบของกระบวนการเมแทบอลิซึมในร่างกาย และเป็นแหล่งพลังงานราคาถูกที่สุดในอาหารกุ้ง คาร์โบไฮเดรตแบ่งได้ 3 ประเภท คือ 1) คาร์โบไฮเดรตโมเลกุลเดี่ยว (monosaccharide) เช่น กลูโคส ฟรักโตส และกาแลกโตส 2) คาร์โบไฮเดรตโมเลกุลคู่ (disaccharides) เช่น ซูโครส แล็กโตส และมอลโตส 3) คาร์โบไฮเดรตโมเลกุลใหญ่ (polysaccharides) เช่น แป้ง ไกลโคเจน เป็นต้น คาร์โบไฮเดรตเป็นสารอินทรีย์มีธาตุ คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ กุ้งบางชนิดมีความสามารถในการใช้ประโยชน์จากคาร์โบไฮเดรตได้จำกัดเช่น กุ้ง *Penaeus duorarum* , *P. setiferus*, *P. japonicus* และ *P. monodon* และสามารถใช้คาร์โบไฮเดรตเป็นตัวช่วย

ประหยัดการใช้โปรตีนได้ (Shiau, 1997) ครัสเตเชียนที่อาศัยในน้ำจืดสามารถย่อยคาร์โบไฮเดรตได้ดีกว่าพวกครัสเตเชียนที่อาศัยในน้ำทะเล (Lee and Lawrence, 1997) การที่กุ้งใช้ประโยชน์จากคาร์โบไฮเดรตได้เนื่องจากกุ้งมีน้ำย่อยช่วยย่อยคาร์โบไฮเดรตอยู่หลายชนิด เช่น แอลฟา และเบต้าอะไมเลส มอลเตส เซกคาเรส ไคติเนส และเซลลูเลส (Kooiman, 1964) ปริมาณไคติเนสถูกสร้างขึ้นโดยจุลชีพในกระเพาะอาหารและขึ้นกับปริมาณไคตินในอาหาร (Hood and Meyer, 1973 อ้างถึงใน New, 1976) ถ้าอาหารไม่มีคาร์โบไฮเดรตอยู่เลยกุ้งจะใช้โครงสร้างของคาร์บอนจากโปรตีนไปสร้างไคตินแทน ดังนั้นคาร์โบไฮเดรตในอาหารจะเป็นตัวช่วยประหยัดการใช้โปรตีนในการสังเคราะห์ไคติน (Cowey and Forster, 1971) ซึ่งมีความสำคัญต่อการสร้างหรือการแข็งตัวของเปลือกและการสร้างผนังบาง ๆ หุ้มมูลกุ้ง (New, 1976)

Tacon (1990) สรุปว่าการให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในอาหารกุ้งหรือปลาจะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

1. นิสัยการกินอาหาร
2. ความสามารถในการสังเคราะห์คาร์โบไฮเดรต (เช่น กลูโคส) จากสารอาหารที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต เช่น โปรตีนและไขมัน (เรียกขบวนการนี้ว่า gluconeogenesis)
3. ความต้องการพลังงานเพื่อใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ

การศึกษาในเรื่องความต้องการคาร์โบไฮเดรตในกุ้งวงศ์ Penaeidae มีน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาความต้องการโปรตีนและไขมัน (Tacon, 1990 และ Akiyama and Chwang, 1989) กุ้ง *Penaeus setiferus* มีประสิทธิภาพการใช้แป้งได้ดีกว่าน้ำตาลกลูโคส (Andrews *et al.*, 1972) ผลของระดับโปรตีนต่ออัตราการเจริญเติบโตและอัตรารอดของกุ้ง *Penaeus japonicus* วัยอ่อนจะแปรผันตามระดับคาร์โบไฮเดรตแต่ไม่ได้ขึ้นกับไขมันโดยกุ้งวัยอ่อนสามารถใช้ประโยชน์จากคาร์โบไฮเดรตได้มากกว่าไขมัน (Teshima and Kanazawa, 1984) ในกุ้ง *Penaeus monodon* น้ำหนักเฉลี่ย 0.62 กรัม เมื่อให้คาร์โบไฮเดรตรูปต่าง ๆ (แป้งไตรฮาโลส ซูโครส และกลูโคส) ที่ระดับ 20 เปอร์เซนต์ พบว่ามีอัตรารอดและประสิทธิภาพในการใช้เพื่อการเพิ่มน้ำหนักแตกต่างกันโดยที่ไตรฮาโลสมีค่ามากสุดและกูลโคสมีค่าต่ำสุด Alava and Pascual (1987) พบว่าอัตรารอดขึ้นกับชนิดคาร์โบ

ไฮเดรต นอกจากนี้ชนิดและระดับของคาร์โบไฮเดรตมีผลต่อปริมาณโปรตีนและไขมันที่สะสมในตัวกุ้ง

Pascual, Coloso and Tamse (1983) พบว่าชนิดและปริมาณคาร์โบไฮเดรตมีผลต่ออัตรารอดและมีผลต่อพยาธิวิทยา (histopathology) ที่ตับอ่อน เหงือก และโครงสร้างของเปลือกที่เปลี่ยนแปลงไปจากเนื้อเยื่อปกติ นอกจากนี้ยังมีผลการศึกษาที่ขัดแย้งกับที่กล่าวมา เช่น Deshimaru and Yone (1978) สรุปว่ากุ้งสามารถใช้ซูโครสและไกลโคเจนได้ดีกว่าแป้งและกลูโคส ตามลำดับ Abdel-Rahman, Kanazawa and Teshima (1979) รายงานว่าเมื่อให้มอลโตส 19.5 เปอร์เซนต์ ทำให้การเพิ่มน้ำหนักได้สูงสุด และการเจริญเติบโตต่ำที่สุดเมื่อให้กลูโคสและกาแลกโตส

การที่กลูโคสใช้ประโยชน์ได้น้อยเมื่อเปรียบเทียบกับคาร์โบไฮเดรตรูปอื่น ๆ เกี่ยวข้องกับการดูดซึมของกุ้ง Piefer and Pfeffer (1980) พบว่าปลามีความสามารถในการใช้แป้งได้ดีกว่ากลูโคสเนื่องจากกลูโคสมี sudden flux ที่เร็วกว่าน้ำตาลโมเลกุลคู่และน้ำตาลโมเลกุลใหญ่ Furuichi and Yone (1982) และ Murai, Akiyama and Nose (1983) อธิบายว่ากลูโคสจะถูกดูดซึมได้เร็วที่ลำไส้เล็กและคงอยู่ในช่วงเวลาสั้น ๆ ซึ่งมีผลต่อการหลั่งฮอร์โมนอินซูลินและจะมีผลทำให้การใช้ประโยชน์ของกลูโคสในตระกูลปลาไน *(Cyprinus carpio)* น้อยลง Teshima and Kanazawa (1984) พบว่าน้ำตาลโมเลกุลคู่ และน้ำตาลโมเลกุลใหญ่จะไม่ถูกดูดซึมที่กระเพาะอาหารแต่จะไปถูกดูดซึมที่ทางเดินอาหารส่วนกลางและตับอ่อนแทนในรูปของกลูโคสจากนั้นก็จะค่อย ๆ ปล่อยสู่กระแสเลือด ในขณะที่น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวเช่นกลูโคสจะถูกดูดซึมได้เร็วที่กระเพาะอาหารและปล่อยเข้าสู่กระแสเลือดอย่างรวดเร็วซึ่งสามารถตรวจสอบโดยดูจากความเข้มข้นของกลูโคสในซีรัม

นอกจากนี้คาร์โบไฮเดรตยังใช้เป็นตัวประสาน (binder) ทำให้อาหารเกาะตัวกันได้ดีขึ้นและอาหารมีความคงทนต่อการละลายน้ำ ระดับคาร์โบไฮเดรตที่ใช้ในอาหารควรมีประมาณ 20-40 เปอร์เซนต์ (มะลิ บุณยรัตผลิน, 2531; Sick and Andrews, 1973 และ Cuzon, Guillaume and Cahu, 1994) นอกจากนี้ Tacon (1990) สรุปว่าคาร์โบไฮเดรตสามารถช่วยให้เกิดความอยากกินอาหาร (palatability) และลดปริมาณฝุ่นในอาหารได้

Akiyama *et al.* (1992) แนะนำว่าสามารถใช้คาร์โบไฮเดรตในการช่วยประหยัดโปรตีนในอาหารกุ้งได้ (protein-sparing effect) อีกทั้งใช้เป็นแหล่งพลังงานราคาถูกที่สุดในอาหารด้วย

ถ้ากุ้งได้รับคาร์โบไฮเดรตและไขมันน้อยกว่าความต้องการ กุ้งจะนำโปรตีนบางส่วนไปใช้เป็นแหล่งพลังงานซึ่งทำให้เหลือโปรตีนสำหรับการเจริญเติบโตน้อยลง ในทางตรงกันข้ามถ้ากุ้งได้รับคาร์โบไฮเดรตมากเกินกว่าความต้องการ กุ้งจะเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรตส่วนเกินให้อยู่ในรูปไขมันและสะสมในร่างกายซึ่งมีผลคล้ายคลึงกับการที่มีไขมันมากเกินไปในตับอ่อนของกุ้ง นอกจากนี้การที่มีคาร์โบไฮเดรตมากเกินไปในอาหารกุ้งจะทำให้สัดส่วนของโปรตีนในอาหารลดลงทำให้ขาดสมดุลทางโภชนาการ (nutrition imbalance) มีผลทำให้กุ้งเจริญเติบโตช้า (เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต, 2534)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย