บทที่ 4
วิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการศึกษาในครั้งนี้พบว่าการแทนที่ปลาป่นด้วยสาหร่ายสไปรูไลนาในอาหาร 10% ส่งผลให้ปลาดุกพันธุ์ผสมมีการเจริญเติบโตดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมและชุดการทดลองอื่นๆ สอดคล้องกับการทดลองของ ณรงค์ศักดิ์ (2533) ที่รายงานว่ากุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*)ที่ได้รับอาหารแทนที่ปลาป่นด้วยสไปรูไลนา 7 ระดับ คือ 0, 1, 5, 10, 15, 20 และ 25% พบว่าเมื่อกุ้งได้รับอาหารแทนที่ปลาป่นด้วยสไปรูไลนา 10% กุ้งมีการเจริญเติบโตดีที่สุด แต่ Nandeesha (1998) พบว่าเมื่อใช้สไปรูไลนาเป็นแหล่งโปรตีนในอาหารปลาไน (*Cyprinus carpio*) จะสามารถใช้แทนที่ปลาป่นได้ 25% โดยส่งผลให้การใช้ประโยชน์จากโปรตีน (net protein retention) มีค่าสูง แต่ไม่ส่งผลต่อการเจริญเติบโต ส่วนในการทดลองในปลาดุกพันธุ์ผสมพบว่าการเสริมสาหร่ายสไปรูไลนาในระดับสูงกว่า 10% ทำให้อัตราการกินอาหารของปลาดุกพันธุ์ผสมลดลง เช่นเดียวกับ Olvera และคณะ (1998) ที่ใช้สาหร่ายสไปรูไลนาเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนปลาป่นในอาหารปลาหมอเทศ (*Oreochromis mossambicus*) พบว่าเมื่อทดแทนปลาป่นด้วยสาหร่ายสไปรูไลนา 20-40% ให้ผลการเจริญเติบโตไม่แตกต่างจากชุดควบคุมที่มีปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนและ พบว่าการเพิ่มระดับสาหร่าย 60% ขึ้นไป ส่งผลให้การยอมรับอาหารและการเจริญเติบโตลดลง Nandeesha และคณะ(2001) ทำการทดลองนำสาหร่ายสไปรูไลนาแทนที่ปลาป่นในอาหารปลา 2 ชนิด คือ catla (*Catla catla*) และปลายี่สกเทศ (*Labeo rohita*) โดยอาหารทดลองมีระดับโปรตีนเท่ากัน คือ 28% โดยแทนที่ปลาป่นในอาหาร 0, 25, 50, 75 และ 100% พบว่าสาหร่ายสไปรูไลนาไม่มีผลต่อน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราแลกเนื้อ และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนในปลา catla แต่ในปลายี่สกเทศกลับพบว่าการแทนที่ปลาป่นด้วยสาหร่าย สไปรูไลนา 75% ส่งผลต่อน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะดีที่สุด และ อัตราการแลกเนื้อมีค่าต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม Ehrenberg (1980) กล่าวว่าสาหร่ายสไปรูไลนาเป็นแหล่งโปรตีนที่มีศักยภาพในอาหารสัตว์ เนื่องจากมีกรดอะมิโนที่จำเป็นอยู่ในปริมาณที่เหมาะสม อีกทั้งยังประกอบด้วยวิตามินและเกลือแร่ในปริมาณสูง นอกจากนี้ผนังเซลล์ยังมีองค์ประกอบที่ง่ายต่อการย่อย เนื่องจากไม่มีเซลลูโลส อย่างไรก็ตามระดับการเสริมสาหร่ายสไปรูไลนาในอาหารปลาแต่ละชนิดมีระดับแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพฤติกรรมการกินอาหารของปลา และการย่อยโปรตีนจากพืชของปลาแต่ละชนิดแตกต่างกัน (De Silva and Anderson, 1995) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการนำสาหร่ายชนิดอื่นเสริมในอาหารปลาเพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตเช่น Bai และคณะ(2001) ที่ศึกษาการเสริมสาหร่ายคลอเรลลา(*Chlorella* sp.) ในอาหารปลา Korean rockfish (*Seabastes schlegeli* (Hilgendorf)) พบว่าปลาที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่าย คลอเรลลา 0.5% ส่งผลให้ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนดี

ที่สุด Corazon และคณะ(1989) ศึกษาการนำสาหร่ายออสซิลาทอเรียสด(*Oscillatoria* sp.) เสริมในอาหารในปลานวลจันทร์ทะเล(*Chanos chanos*) พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารทดลองสูตรควบคุมซึ่งมีแหล่งโปรตีนเป็นปลาป่นมีอัตราการเจริญเติบโตดีกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรควบคุมเสริมสาหร่ายออสซิลาทอเรียสด

จากการศึกษาพบว่าการแทนที่ปลาป่นด้วยสาหร่ายสไปรูไลนาในอาหารปลาดุกพันธุ์ผสม มีผลในการเพิ่มระดับแอนติบอดี โดยเมื่อปลาดุกพันธุ์ผสมได้รับอาหารแทนที่ปลาป่นด้วยสาหร่ายสไปรูไลนาในแต่ละระดับ เป็นเวลา 8 สัปดาห์ และทำการฉีดวัคซีนหรือเชื้อตายของ *Aeromonas hydrophila* ทำให้ค่าไตเตอร์ แอคติวิตี ที่ได้จากปลาทดลองที่ได้รับอาหารแทนที่ปลาป่นด้วยสาหร่ายสไปรูไลนาทุกระดับมีค่าสูงกว่าค่าไตเตอร์ แอคติวิตีของปลาดุกพันธุ์ผสมที่ได้รับอาหารทดลองในชุดควบคุม (สาหร่าย 0%) เมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติโดยหาค่าสัมประสิทธ์ของความสัมพันธ์ระหว่างระดับของสาหร่ายสไปรูไลนาและค่าไตเตอร์ แอคติวิตี พบว่าการแทนที่ปลาป่นด้วยสาหร่ายสไปรูไลนามีผลในเชิงบวกต่อค่าไตเตอร์ แอคติวิตี โดยเมื่อเพิ่มระดับการแทนที่ปลาป่นด้วยสาหร่ายสไปรูไลนาในอาหารปลาดุกพันธุ์ผสม ส่งผลให้ค่าไตเตอร์ แอคติวิตี มีค่าสูงขึ้นด้วย สอดคล้องกับการทดลองของ Direkbusarakom และ Danayadol (1999) ที่ศึกษาการเสริมสาหร่ายสไปรูไลนาในอาหารปลากะพงขาว (seabass, *Lates calcarifer*) ขนาด 200 กรัม พบว่าเมื่อเสริมสาหร่ายสไปรูไลนา 0.5% ทำให้เกิดการตกตะกอนระหว่างแอนติบอดีและแอนติเจนต่อเชื้อ *Streptococcus* sp. ดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ซึ่ง Hayashi และคณะ(1994) พบว่าหนูที่ได้รับอาหารผสมสาหร่ายสไปรูไลนามีการเพิ่มปริมาณของแอนติบอดี เช่นเดียวกันกับ Duncan และ Klesius (1996) พบว่าเม็ดเลือดขาวชนิด ลิมโฟไซต์ (lymphocyte) เพิ่มขึ้นเมื่อปลากดอเมริกัน (channel catfish, *Ictalurus punctatus*) ได้รับอาหารเสริมสาหร่ายสไปรูไลนา 2.7% ของน้ำหนักอาหาร และ Lee (1999) ที่พบว่าเมื่อเสริมสาหร่ายสไปรูไลนาผง 0.1% ในอาหารกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) ส่งผลให้กุ้งมีระบบภูมิต้านทานดีขึ้น โดยมีค่าการจับกินโดยวิธีการโอบล้อม (phagocytotic activity) สูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากสาหร่ายสไปรูไลนามีสารกระตุ้นภูมิคุ้มกันหลายชนิด เช่น รงควัตถุ คาโรทีนอยด์ และไฟโคไซยานิน โดยพบว่าคาโรทีนอยด์มีความสำคัญต่อกระบวนการทางชีวเคมี คือ สามารถป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระคือ ช่วยทำลายอนุมูลอิสระของออกซิเจนที่มีพิษซึ่งเกิดขึ้นระหว่างการทำงานของเซลล์ (Miki, 1991) และป้องกันมิให้องค์ประกอบเซลล์ถูกทำลายจากอนุมูลอิสระโดยป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน(oxidation) (Gabaduan, 1996) นอกจากนี้ยังมีผลในการเพิ่มปริมาณของ แมคโครฟาจ ที ลิมโฟไซท์ และ บี ลิมโฟไซท์ เมื่อแมคโครฟาจ ที ลิมโฟไซท์ และ บี ลิมโฟไซท์ เพิ่มมากขึ้น ก็จะส่งผลให้ระบบภูมิคุ้มกันมีการตอบสนองต่อสิ่งแปลกปลอมหรือเชื้อโรคสูงขึ้น และป้องกันการเสื่อมสภาพของเซลล์เม็ดเลือดขาวจากกระบวนการออกซิเดชัน และกระบวนการนี้ก่อให้เกิดฟรีเรดดิเคิล (free radical) ซึ่งมีผลในการ

ทำลายเนื้อเยื่อต่างๆ (Miki, 1991 อ้างโดย Thompson *et al*, 1995) ส่วนไฟโคไซยานิน มีคุณสมบัติในการกระตุ้นภูมิคุ้มกันโดยเป็นสารแอนตีออกซิแดนเช่นเดียวกัน(Vadiraja and Madyastha, 2000) โดยไฟโคไซยานินจะไปยับยั้งการแตกตัวของไขมัน(lipid peroxidation) จากการศึกษาโดยนำไฟโคไซยานินที่สกัดจากสาหร่ายสไปรูไลนามาผสมอาหารในหนู พบว่าเนื้อเยื่อบริเวณตับของหนูที่ได้รับอาหารผสมไฟโคไซยานินสกัดไม่มีความผิดปรกติ ส่วนหนูที่ไม่ได้รับอาหารผสมไฟโคไซยานินมีการสะสมไขมันในเนื้อเยื่อผิดปรกติ(Vadiraja and Madyastha, 2000) นอกจากนี้จากการทดลองนำสาหร่ายชนิดอื่นโดย Amar และคณะ (2004) พบว่า เมื่อนำเบตาคาโรทีนที่สกัดจากสาหร่าย ดูนาลิเอลา(*Dunaliella salina*) เสริมในอาหารปลาเรนโบว์เทราท์ 10% ส่งผลต่อระบบภูมิคุ้มกันโดยค่า lysozyme activity และ phagocytic activity หรือการจับกินเชื้อโรคมีค่าสูงกว่าชุดควบคุม นอกจากนี้ Richmond(1986) ยังพบว่าที่บริเวณผนังเซลล์ของสาหร่ายสไปรูไลนามีโพลีแซคคาไรด์เป็นองค์ประกอบ ซึ่งมีลักษณะเหมือนผนังเซลล์ของแบคทีเรีย ดังนั้นเมื่อร่างกายได้รับสาหร่าย สไปรูไลนา ทำให้ระบบภูมิคุ้มกันกระตุ้นการสร้าง บี ลิมโฟไซท์ ที่บริเวณม้ามและไขสันหลัง เพื่อกำจัดและจดจำ(memory) เมื่อได้รับเชื้อโรค ก็จะส่งผลให้กระบวนการ กำจัดเชื้อเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว มีการจับกินหรือค่าฟาโกซัยติก แอคติวิตีเพิ่มขึ้น(Sakai, 1999) จากการทดลองครั้งนี้พบว่าการแทนที่ปลาป่นด้วยสาหร่ายสไปรูไลนา 30%ในอาหารปลาดุกพันธุ์ผสม ส่งผลให้แอนติบอดีมีค่าเจือจางที่สุดที่สามารถเกิดตะกอนกับแอนติเจนได้ นอกจากนี้มีการทดลองนำลามินาแรน(laminaran)ซึ่งเป็นสารกระตุ้นภูมิคุ้มกันประเภทโพลีแซคคาไรด์ที่สกัดจากสาหร่ายสีน้ำตาล (*Laminaria hyperborea*) เสริมในอาหารปลาแอตแลนติกแซลมอน 15 มก./อาหาร1 กก. พบว่ามีผลต่อระบบภูมิคุ้มกันปลาแอตแลนติกแซลมอน โดยมีผลไปเสริมการทำงาน และเพิ่มการเหนี่ยวนำการสร้างแมคโครฟาจในบริเวณตับ และไต (Dalmo and Seljelid., 1995) สอดคล้องกับ มลฤดี และคณะ (2543) พบว่าการนำกลูแคนซึ่งเป็นโพลีแซคคาไรด์บริเวณผนังเซลล์ยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* เสริมในอาหารกุ้งกุลาดำ ส่งผลบวกต่อระบบภูมิคุ้มกันของกุ้งกุลาดำ โดย Vargas และคณะ (1998) พบว่าสารประกอบจากผนังของเซลล์แบคทีเรีย และรา (fungi) คือ ไลโปโพลีแซคคาไรด์ (lipopolysaccaride) จะมีผลส่งเสริมระบบภูมิคุ้มกันแบบเซลลูลาร์ให้ดีขึ้น เช่น ฟาโกซัยโตซีส เมลาไนเซชัน(mealanization) เอ็นแคปซูลเลชัน(encapsulation) และกระบวนการแข็งตัวของเลือด สอดคล้องกับ Knaap(1993) ที่กล่าวว่าสารไมโครเบียล โพลีแซคคาไรด์ (microbial polysaccharide) เช่น เปปติโดไกลแคน (peptidoglycan) ไลโปโพลีแซคคาไรด์ และ เบตากลูแคน มีผลในการกระตุ้นฮีโมลิมป์ให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนส่งไปกระตุ้นบริเวณเมมเบรน(membrane receptor) ของ เซมิกลานูลาเซลล์ (semi granular cell) ให้เกิดการหลั่งเอนไซม์ต่างๆ เช่น เอนไซม์ฟีนอลออกซิเดส (phenol oxidase)

และพบว่าระดับของคาโรทีนอยด์ในเนื้อปลามีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับการแทนที่ปลาป่นด้วยสาหร่ายสไปรูไลนาในอาหาร ซึ่งอยู่ในรูปของคาโรทีนอยด์รวม (total carotenoids) โดยการสะสม

ของคารทีนอยด์ในปลาพบว่ามีการสะสมบริเวณผิวหนัง เนื้อ ไข่ และ ตับ(Saito and Regier, 1971) นอกจากนี้ Hata และ Hata(1975) ทดลองนำ เบตาคาโรทีน ลูทีน และซีเอแซนทีน ที่มีคาร์บอนกัมมันตรังสี (radioactive carbon) ผสมในอาหารปลาเรนโบว์เทราท์ (*Salmo gairdneri*) จากนั้น 48 ชั่วโมง สามารถตรวจพบคาโรทีนอยด์ทั้ง 3 ชนิด ที่บริเวณผิวหนัง เนื้อ ตับ และ ระบบทางเดินอาหาร สอดคล้องกับ Liao และคณะ(1993) และ Latscha (1991) กล่าวว่าสาหร่าย สไปรูไลนามีผลต่อการเกิดสีในหนัง และเนื้อของสัตว์น้ำ โดยขึ้นอยู่กับปริมาณและระยะเวลา (Cuzon *et al.*, 1985) และคาโรทีนอยด์มีผลต่อสุขภาพของปลา โดยสามารถลดความเครียด ทำให้ปลามีสุขภาพดี สามารถทนต่อเชื้อก่อโรคต่างๆได้ดีขึ้น(Nakano *et al*, 2003)

ส่วนค่าองค์ประกอบเลือด พบว่า ค่าฮีโมโกลบินจากทุกชุดการทดลองที่เสริมสาหร่ายชนิดนี้ไม่แตกต่างกับชุดควบคุม(สาหร่ายสไปรูไลนา 0% มีปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีน) แต่ปริมาณเม็ดเลือดขาวมีแนวโน้มสูงขึ้นในชุดการทดลองที่แทนที่ปลาป่นด้วยสาหร่ายสไปรูไลนา ตั้งแต่ 5, 10, 15, 20, 25 และ 30% สอดคล้องกับการทดลองของ Duncan และ Klesius (1996) พบว่าเม็ดเลือดขาวชนิด ลิมโฟไซต์ (lymphocyte) เพิ่มขึ้นเมื่อปลากดอเมริกัน ได้รับอาหารเสริมสาหร่ายสไปรูไลนา 2.7% เนื่องจากสาหร่ายสไปรูไลนามีสารสีอยู่สูงโดยเฉพาะคาโรทีนอยด์ 0.5% และไฟโคไซยานิน 3.3% (Richmond, 1986) โดยสารสีดังกล่าวส่งผลให้ร่างกายมีการสร้างเซลล์ชนิดกรานูลาร์(granular) เพิ่มขึ้น เช่น แมคโครฟาจ ที ลิมโฟไซท์ และ บี ลิมโฟไซท์ (Gabaduan, 1996) โดยสารสีจะมีการกระตุ้นการทำงานของ ซีรัมแอนติโปรติเอส(serum antiprotease) และ ซีรัมคอมพลีเมน(serum complement)ให้มีความว่องไวขึ้น สอดคล้องกับการทดลองของ มะลิ และคณะ (2543) ที่พบว่าการเสริมสารสีแอสตาแซนทิน ซึ่งเป็นสารสีหรือรงค์วัตถุรูปหนึ่งของคาโรทีนอยด์ ส่งผลให้ปริมาณเม็ดเลือดในระบบไหลเวียนเลือดของกุ้งกุลาดำสูงขึ้น การทดลองของ Zhang (1994) พบว่า ไฟโคไซยานินที่สกัดจากสาหร่ายสไปรูไลนา มีผลไปเหนี่ยวนำให้ stem cell บริเวณไขกระดูกหนูทดลองผลิตเม็ดเลือดขาวเพิ่มขึ้น

การทดลองนี้พบว่าการผลิตสาหร่ายสไปรูไลนาด้วยวิธีการอย่างง่ายตามวิธีของ ธิดา (2545) สามารถลดต้นทุนการผลิตสาหร่าย จากราคากิโลกรัมละประมาณ 1,000 บาท เหลือ กิโลกรัมละ 169 บาท (ตารางผนวก ก.1) ส่งผลให้ราคาอาหารปลาเสริมสาหร่ายไม่สูงเกินไป(ตารางภาคผนวก ก.2) เกษตรกรสามารถผลิตใช้ได้เองเนื่องจากวิธีการไม่ยุ่งยากมากนัก ดังนั้นหากมีการส่งเสริมและเผยแพร่วิธีการเหล่านี้แก่เกษตรกรผู้เลี้ยงปลาจะสามารถผลิตอาหารที่มีคุณภาพ ส่งเสริมการเจริญเติบโต ทำให้สัตว์ปลามีสีสันสวยงาม คุณภาพเนื้อดี และส่งเสริมสุขภาพแก่สัตว์น้ำได้เอง ส่งผลให้ลดการใช้ยาและผลิตภัณฑ์เสริมอาหารที่มีราคาแพง แต่ในการผลิตต้องคำนึงถึงความสะอาดและงดการใช้น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับโลหะหนัก เนื่องจากจะส่งผลลบโดยตรงต่อสุขภาพของคนและสัตว์ได้