บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 ศึกษาชนิดและปริมาณสารเชื่อมในสูตรอาหารซึ่งผลิตโดยใช้เครื่องบดอาหาร

ศึกษาชนิดและปริมาณสารเชื่อมที่ให้อาหารซึ่งมีความคงตัวในน้ำสูงพอที่อาหารจะไม่แตกตัวก่อนหรือระหว่างกุ้งจับกิน ผลิตอาหารกุ้งด้วยเครื่องบดอาหาร แปรชนิดของสารเชื่อมเป็น 8 ชนิดแต่ละชนิดแปรปริมาณการใช้เป็น 3 ระดับ หลังจากนั้นเปรียบเทียบค่าความคงตัวของอาหารในน้ำทะเลที่มีความเค็ม 20 ส่วนในพันส่วนที่เวลาแช่ 5 เวลาคือ 0.5, 1, 2, 3 และ 4 ชั่วโมง พบว่าค่าความคงตัวของอาหารที่ใช้ sodium alginate 1.5 % ร่วมกับ sodium hexametaphosphate 1 % เป็นสารเชื่อม (ตารางที่ 4.1)มีความคงตัวของอาหารลดลง เมื่อเวลาในการแช่อาหารในน้ำมากขึ้น การศึกษาความคงตัวของอาหารในน้ำใช้เวลาแช่ 4 ชั่วโมงเป็นเกณฑ์ตัดสินเพราะหลังให้อาหาร 4 ชั่วโมงกุ้งจะไม่กินอาหารเม็ดที่เหลืออยู่ แต่ถ้าอาหารแตกตัวก่อน 4 ชั่วโมงกุ้งกินอาหารแล้วจะได้สารอาหารไม่ครบตามขนาดที่ให้แต่ละครั้ง (4) ผลจากการทดลองวัดความคงตัวในน้ำหลัง 4 ชั่วโมงได้ 89.37 % หมายความว่าหลังจากที่อาหารกุ้งแช่อยู่ในน้ำนาน 4 ชั่วโมงอาหารกุ้งแตกตัวไปบางส่วนและมี 89.37 % ของน้ำหนักแห้งเหลืออยู่ โดยปกตินิยมใช้ sodium alginate เป็นสารเชื่อมในการผลิตอาหารกุ้งเชิงทดลอง เพราะทำให้อาหารมีความคงตัวในน้ำสูง แต่สารเชื่อมชนิดนี้ราคาแพง เนื่องจากต้องนำเข้าจากต่างประเทศจึงไม่เหมาะที่จะใช้เป็นสารเชื่อมสำหรับการผลิตเชิงการค้า (38) แต่ถ้าในอนาคตสามารถผลิต sodium alginate ได้เองภายในประเทศก็เป็นแนวทางที่จะใช้สารนี้เป็นสารเชื่อมในการผลิตอาหารกุ้งเชิงการค้า วันชัย (57) ทดลองผลิต sodium alginate จากสาหร่ายสีน้ำตาลแล้วใช้เป็นสารเชื่อมในการผลิตอาหารกุ้งด้วยเครื่องบดอาหาร โดยแปรปริมาณ sodium alginate เป็น 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 % แล้วนำมาหาค่าความคงตัวในน้ำทะเลที่มีความเค็ม 25 ส่วนในพันส่วน พบว่าผลิตภัณฑ์ที่มี sodium alginate 1.0 % และ 1.5 % มีความคงตัวสูงสุด 83.06 % และ 83.13 % โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ ผลดังกล่าวนี้เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองนี้พบว่า อาหารที่

ผลิตในการทดลองนี้มีความคงตัวในน้ำสูงกว่า (89.37 %) ซึ่งอาจเป็นเพราะขนาดอนุภาคของสารอาหารเล็กกว่า เนื่องจากผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 50 mesh ขณะที่การทดลองของวันชัย ใช้ตะแกรงขนาด 40 mesh จึงอัดตัวได้ดีกว่า sodium alginate เป็นเกลือของ alginic acid ซึ่งมีลักษณะเป็น linear copolymer ซึ่งประกอบด้วย monomeric unit 2 ชนิดคือ β-1,4-D-manuronic acid และ α-1,4-L-guluronic acid การที่ sodium alginate เชื่อมวัสดุอาหารที่ผ่านการผสมและอัดเม็ดได้ เพราะเมื่อละลายน้ำได้สารละลายที่มีความหนืดเพียงพอสำหรับทำให้อนุภาคต่าง ๆ จับตัวกันโดย OH-group และ COOH-group ของโมเลกุลมีผลด้าน thickening และ gelling โดย OH-group จะเกิด H-bond กับโมเลกุลของน้ำ ส่วน alginate gel เกิดจากการเชื่อมขวางของสะพานอิออนแบบง่ายของ COOH-group 2 groups บนสายโพลิเมอร์ด้วย Ca^{+} (58) Iso และคณะ (59) ได้ศึกษาและสรุปว่าสัดส่วนของ manuroic acid และ gluronic acid (M/G ratio) มีผลต่อคุณสมบัติการเกิดเจลของสารละลาย sodium alginate แนะนำให้ใช้ sodium alginate ที่มีสัดส่วนของ manuroic acid สูง เพราะเจลที่ได้จะมีความยืดหยุ่น ไม่เปราะ และการสูญเสียน้ำน้อยกว่า sodium alginate มักนิยมใช้ร่วมกับ sodium hexametaphosphate เพื่อช่วยดูดซึมน้ำที่เติมลงในส่วนผสมระหว่างขั้นตอนการผสมกับวัสดุอาหาร จึงจัดเป็นสาร sequestrants (60) ในการศึกษาผลของชนิดและปริมาณสารเชื่อมต่ออัตราการเจริญ อัตราการรอด และอัตราแลกเนื้อของกุ้งในช่วงต่อไป จึงเลือกสารเชื่อมชนิดนี้เป็นเกณฑ์มาตรฐานสำหรับเปรียบเทียบกับสารเชื่อมชนิดอื่น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากผลการทดลองตารางที่ 4.2 ค่าความคงตัวของอาหารกุ้งเมื่อแปรปริมาณ wheat gluten เป็น 3 ระดับคือ 5, 10 และ 15 % พบว่าที่เวลา 4 ชั่วโมงปริมาณ wheat gluten ที่เพิ่มขึ้นไม่ทำให้ค่าความคงตัวของอาหารในน้ำแตกต่างกัน ($P \geq 0.05$) ดังนั้นเมื่อคำนึงถึงค่าใช้จ่ายจึงเลือกปริมาณต่ำสุดคือ 5 % เป็นปริมาณเหมาะสม wheat gluten เป็นสารเชื่อมที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในการผลิตอาหารกุ้งเชิงการค้าเพราะนอกจากทำให้อาหารมีความคงตัวในน้ำสูงแล้วยังเป็นแหล่งโปรตีนในสูตรอาหารอีกด้วย (14) โดยมีปริมาณโปรตีนถึง 71.69 % โดยน้ำหนัก (ตารางที่ 4.10) การที่ wheat gluten เชื่อมวัสดุอาหารที่ผ่านการผสมและอัดเม็ดได้ เพราะ wheat gluten เกิดจากการรวมตัว

ของโปรตีน 2 ชนิดคือไกลอะดีน และ กลูตินิน ในปริมาณใกล้เคียงกันจึงเกิดแรงยึดเหนี่ยวของพันธะเคมีได้แก่ พันธะโควาเลนซ์ พันธะอิออนิก พันธะไฮโดรเจน พันธะแวนเดอร์วาวล์ระหว่างกรดอะมิโนต่าง ๆ ทำให้มีความยืดหยุ่นและเหนี่ยวยึดเกาะวัสดุอาหาร (61) หรืออาจเกิดพันธะระหว่าง functional groups ของสารอาหารกับ side chain ของ wheat gluten จึงเชื่อมวัสดุอาหารต่าง ๆ ได้ และอาจเป็นเพราะว่า wheat gluten มีโครงสร้างแข็งแรงเมื่อผสมให้กระจัดกระจายทั่วในส่วนผสมอาหารกุ้งจึงช่วยเสริมความแข็งแรงของเม็ดอาหาร

สารเชื่อมตัวต่อไปคือ Borebone ® ซึ่งเป็นสารประเภท lignosulfonate ในการทดลองแปรปริมาณที่ใช้เป็น 3 ระดับคือ 1, 2 และ 3 % พบว่าปริมาณ Borebone ® ที่เพิ่มขึ้นไม่ทำให้ความคงตัวของอาหารในน้ำที่เวลา 4 ชั่วโมง (ตารางที่ 4.3) แตกต่างกัน ($P \geq 0.05$) แสดงว่าปริมาณ lignosulfonate เพียง 1 % ก็เพียงพอสำหรับการเป็นสารเชื่อมที่ดีแล้ว และไม่จำเป็นต้องใช้ในปริมาณที่มากกว่านี้ ส่วนมากนิยมใช้ lignosulfonate ในการผลิตอาหารสัตว์บกและสัตว์ปีกตัวอย่างเช่น อาหารสุกร อาหารไก่ เพราะสารนี้ช่วยเพิ่มความแข็งของเม็ดอาหาร ลดเศษผง ไม่ต้องผ่านกระบวนการอัดเม็ดซ้ำ จึงลดต้นทุนและเพิ่มกำลังการผลิต โดยไม่มีผลต่อระบบการย่อยของสัตว์ (62) Winowiski (63) ทดลองเติม lignosulfonate ลงในอาหารไก่งวงในปริมาณ 1 % และ 2 % พบว่าการเพิ่มขึ้นของ lignosulfonate ทำให้เม็ดอาหารมีความทนทานต่อกระบวนการผลิตและการขนส่งเพิ่มขึ้น และยังลดปริมาณเศษผงอีกด้วย แต่ในการผลิตอาหารสัตว์น้ำเชิงการค้ายังไม่เป็นที่นิยม เพราะผู้ผลิตยังไม่แน่ใจถึงความปลอดภัยต่อสัตว์น้ำในเรื่องของ digestability ความสามารถในการยึดเกาะ และมักนิยมใช้สารเชื่อมชนิดอื่นที่ให้คุณค่าทางอาหารด้วย มีหลักฐานการใช้ calcium lignosulfonate ในอาหารทดลองสำหรับปลา rainbow trout ในปริมาณ 0.7 % โดยน้ำหนักเปียกของสูตรอาหาร (64)lignosulfonate ที่ใช้ในการทดลองอยู่ในรูปของ calcium lignosulfonate การที่สารนี้สามารถเชื่อมวัสดุที่ผ่านการผสมและอัดเม็ดได้เพราะสารนี้มีคุณสมบัติเป็น water soluble anionic surface active agent เมื่อละลายน้ำจึงเกิดพันธะกับสารอาหารที่มีประจุตรงข้าม (38) ข้อเสียของสารอยู่ที่ลักษณะทางกายภาพซึ่งเป็นผงละเอียดสีน้ำตาลอมเหลือง เมื่อผสมลงในอาหารอัดเม็ดแล้วนำมาแช่น้ำเพื่อหาค่าคงตัว

ของอาหารในน้ำ ทำให้น้ำมีสีเหลืองมากกว่าอาหารที่ใช้สารเชื่อมชนิดอื่น แต่สารชนิดนี้เชื่อมวัสดุอาหารให้เกาะตัวติดกันในปริมาณต่ำ ค่าใช้จ่ายต่อกิโลกรัมอาหารต่ำ จึงเลือกสารเชื่อมชนิดนี้ที่ระดับการใช้ 1 % เพื่อการศึกษาต่อ

ผลการทดลองตารางที่ 4.4 ค่าความคงตัวของอาหารในน้ำทะเล เมื่อแปรปริมาณ guar gum เป็น 3 ระดับคือ 1, 2 และ 3 % ที่เวลาแช่ 4 ชั่วโมงไม่แตกต่างกัน ($P \geq 0.05$) จึงเลือกปริมาณ 1 % ซึ่งเพียงพอสำหรับการเชื่อมให้วัสดุอาหารยึดเกาะกันโดยให้ค่าความคงตัวของอาหารในน้ำ 91.28 % โดยน้ำหนักแห้งซึ่งมากกว่าที่วันชัย (57) ทดลองไว้โดยในการทดลองดังกล่าวอาหารที่ผลิตได้มีความคงตัวในน้ำเพียง 82.01 % โดยน้ำหนักแห้ง เหตุที่มีความแตกต่างเช่นนี้เนื่องจากขนาดของสารอาหารเล็กกว่าจึงอัดตัวได้แน่นกว่า guar gum นิยมใช้เป็นสารเชื่อมในอาหารปลาเพื่อการทดลอง แต่ไม่นิยมใช้ในการผลิตเชิงการค้าเพราะราคาแพง ผลิตเองภายในประเทศไม่ได้ ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ การที่ guar gum เชื่อมวัสดุที่ผ่านการผสมและอัดเม็ดได้เพราะ guar gum เป็น polymer ของ β-1,4-D-mannose และ β-1,4-D-galactose มี α-1,6 เป็น side chain จึงมี OH-group ซึ่งสามารถเกิด H-bond กับโมเลกุลน้ำให้ความหนืด guar gum จึงมีคุณสมบัติเป็น thickener (58)

สารเชื่อมกลุ่มต่อไปที่ศึกษาคือแป้งแปรสภาพ จากผลการทดลองตารางที่ 4.5 และตารางที่ 4.6 ค่าความคงตัวของอาหารในน้ำที่เวลา 4 ชั่วโมงเมื่อแปรปริมาณ Purity DA ® และ TTL-X 78 ® เป็น 3 ระดับคือ 2.5, 5 และ 7.5 % ไม่มีความแตกต่างกัน ($P \geq 0.05$) แสดงว่าปริมาณของสารเชื่อมทั้งสองที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อค่าความคงตัวของอาหารในน้ำ ซึ่งคงเป็นเพราะว่าปริมาณแป้งแปรสภาพ 2.5 % รวมกับปริมาณแป้งที่มีอยู่แล้วในสูตรอาหาร เมื่อเกิด gelatinization แล้วสามารถเชื่อมวัสดุอาหารที่ผ่านการผสมและอัดเม็ดให้แน่นไม่แตกตัวง่ายในน้ำ ให้ค่าความคงตัวของอาหารในน้ำเป็น 89.55 % และ 90.70 % ตามลำดับ แป้งแปรสภาพทั้ง 2 ชนิดนี้สามารถผลิตได้เองภายในประเทศ Purity DA ® และ TTL-X78 ® เป็นแป้งมันสำปะหลังแปรสภาพโดยวิธีเชื่อมขวาง และวิธีเชื่อมขวางด้วย hydroxypropylate group ตามลำดับ (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ง.1 และ ง.2) แป้งแปรสภาพโดยวิธีเชื่อมขวางผลิตจากการเติม cross-linking reagent

ลงในสารละลายแป้งที่เป็นด่าง สารดังกล่าวเป็นตัวสร้าง covalent bonds ระหว่างเม็ดแป้ง ทำให้แป้งแปรสภาพแบบนี้แข็งแรง ทนต่อแรงเฉือน (shear force) อุณหภูมิสูง pH ต่ำ และยังมีความหนืดสูงจึงเป็นสารเชื่อมที่ดีกว่าแป้งพวกไม่ผ่านการแปรสภาพ (65) ราคาขายคือ 13.20 บาทและ 15.00 บาทต่อกิโลกรัม ฉะนั้นจึงเลือก Purity DA ® ที่ระดับ 2.5 % ในการทดลองขั้นต่อไป

จากผลการทดลองตารางที่ 4.7 และ ตารางที่ 4.8 เป็นค่าความคงตัวของอาหารที่เวลาแช่ 4 ชั่วโมงเมื่อแปรปริมาณ Paselli BC ® และ Thin-n-thik 99 starch เป็น 3 ระดับคือ 2.5, 5 และ 7.5 % มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) จากตารางดังกล่าวเมื่อมีปริมาณการใช้ในสูตรอาหารมากขึ้นกลับทำให้ค่าคงตัวของอาหารลดลง สาเหตุอาจเป็นเพราะว่าแป้งสองชนิดนี้มีความสามารถในการดูดซึมน้ำสูงกว่า ทำให้ปริมาณน้ำในสูตรอาหารซึ่งได้จากน้ำในวัสดุอาหารเองรวมกับน้ำที่เติมลงในขั้นตอนการผสม 60 % ของน้ำหนักสูตร ไม่เพียงพอสำหรับการดูดซึมเพื่อให้เกิด gelatinization ยึดเกาะวัสดุต่าง ๆ เข้าด้วยกัน Paselli BC ® เป็นแป้งแปรสภาพแบบ acetylated distarch phosphate (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ง.3) ราคาขาย 28 บาทต่อกิโลกรัม ส่วน Thin-n-thik 99 starch เป็นแป้งข้าวโพดแปรสภาพ (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ง.4) ราคาขาย 34 บาทต่อกิโลกรัม แป้งทั้งสองชนิดนี้จึงไม่เหมาะใช้เป็นสารเชื่อมในการผลิตอาหารกุ้งเชิงการค้า อย่างไรก็ตามแป้งแปรสภาพจัดเป็นสารเชื่อมที่น่าสนใจ มีรายงานสรุปว่ามักใช้ pregelatinized starch เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตและทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมในปริมาณมากกว่าหรือเท่ากับ 10 % ของสูตรอาหาร (38) แต่ในการทดลองนี้ใช้ในปริมาณต่ำกว่า 10 % เพราะวัสดุอาหารอื่น เช่น กากถั่วเหลือง รำละเอียด ก็เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตซึ่งเชื่อมวัสดุอาหารได้

สารเชื่อมชนิดสุดท้ายที่ศึกษาคือ ISP ซึ่งเป็นโปรตีนสกัดจากกากถั่วเหลืองมีความสามารถดูดน้ำเข้าสู่โมเลกุลเช่นเดียวกับโปรตีนชนิดอื่น จึงมีความสามารถเกิด gel ที่มีโครงสร้างแบบ matrix อุ้มน้ำและยึดเกาะวัสดุอาหารต่าง ๆ ได้ (66) นอกจากนี้ ISP ยังเป็นแหล่งวัสดุอาหารที่อุดมไปด้วยโปรตีน โดยมีปริมาณโปรตีนสูงถึง 78 % โดยน้ำหนักเปียก (ตารางที่ 4.10) ISP มีราคาแพง (120 บาทต่อกิโลกรัม) เพราะผลิตเอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ไม่ได้ภายในประเทศ ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ แต่ในอนาคตผลิตได้เอง แนวโน้มการใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารและอาหารสัตว์น่าจะมีเพิ่มขึ้น จากการทดลองแปรปริมาณการใช้ ISP ร่วมกับ α- starch ในสัดส่วน 10%:0%, 10%:3%, 7:3 % เพื่อให้ α-starch ช่วยทำหน้าที่เชื่อมวัสดุอาหารเพราะ α- starch เป็น gelatinized starch เมื่อดูดน้ำและได้รับความร้อนจะมีความหนืดแทน ISP ในกรณีที่ ISP ไม่สามารถทำหน้าที่ดังกล่าว หรือทำได้ไม่ดีพอแต่จากผลการทดลอง ความคงตัวของอาหารในน้ำที่เวลา 4 ชั่วโมงของอาหารที่ใช้ส่วนผสมของ ISP กับ α-starch ทุกสัดส่วน ไม่แตกต่างกัน ($P \geq 0.05$) สาเหตุอาจเป็นเพราะว่า ISP เพียงอย่างเดียวก็สามารถยึดวัสดุอาหารได้ดี โดยไม่ต้องใช้ α- starch ช่วยจึงเลือก ISP 10 % เป็นสารเชื่อมและเป็นแหล่งโปรตีนในสูตรอาหารสำหรับการทดลองขั้นต่อไป

5.2 <u>ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุอาหารที่ใช้เป็นส่วนประกอบของอาหารกุ้งวัยรุ่น</u>

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุอาหาร อันได้แก่ ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า เส้นใย และ คาร์โบไฮเดรต ใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อใช้ในการคำนวณสูตรอาหารให้ตรงต่อความต้องการทางโภชนาการของกุ้ง โดยพิจารณาร่วมกับชนิดของวัสดุอาหาร คุณภาพของสารอาหารที่กุ้งต้องการ กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ ชนิดและปริมาณของกรดอะมิโน และต้นทุนการผลิต

จากผลการทดลองตารางที่ 4.10 สามารถแบ่งกลุ่มวัสดุอาหารได้ดังต่อไปนี้ กลุ่มวัสดุอาหารที่มีโปรตีนสูง ได้แก่ ISP (78.44 %) wheat gluten (71.69 %) ปลาหมึกป่น (62.36 %) ปลาป่น (60.36 %) กลุ่มวัสดุอาหารที่มีโปรตีนต่ำลงมา ได้แก่ กากถั่วเหลือง (43.93 %) หัวกุ้งป่น (33.38 %) และปลาเป็ด (24.38 %)

คุณภาพโปรตีนของปลาป่น ปลาป่นจะมี methionine และ lysine ที่สมดุลย์กว่าโปรตีนจากพืช (13) ISP เป็นแหล่งโปรตีนที่ดีเช่นเดียวกับกากถั่วเหลือง แต่ขาดกรดอะมิโนที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ เช่น methionine (67)

กลุ่มวัสดุอาหารที่ให้พลังงาน ได้แก่ Purity DA ® ซึ่งเป็นแป้งมันสำปะหลังแปรสภาพ มีคาร์โบไฮเดรต 87.80 % และปลายข้าว มีคาร์โบไฮเดรต 80.59 % รำอัดมีคาร์โบไฮเดรต 42.59 %

5.3 <u>ศึกษาผลของการใช้สารเชื่อมในสูตรอาหารต่อการเจริญเติบโต อัตรารอด และอัตราแลกเนื้อของกุ้งกุลาดำวัยรุ่น</u>

จากชนิดและปริมาณสารเชื่อมที่เลือกมาจากข้อ 5.1 คือ sodium alginate 1.5 % ร่วมกับ sodium hexametaphosphate 1.0 %, ISP 10 %, Borebone ® 1 %, Purity DA ® 2.5 % สร้างสูตรอาหารโดยให้มีปริมาณโปรตีน และไขมัน ใกล้เคียงกันทุกสูตร (40 % และ 7 % ตามลำดับ) โดยอิงสูตรมาตรฐานที่เคยมีการผลิตและทดลองเลี้ยงกุ้งกุลาดำแล้วให้ผลด้านการเจริญเติบโต อัตราการรอด อัตราแลกเนื้อ ในระดับที่ยอมรับ (57) เปรียบเทียบกับสูตรอาหารที่มีปลาเป็ดบดละเอียดเป็นแหล่งโปรตีนและสารเชื่อมแทนปลาป่นในสูตร โดยไม่มีสารเชื่อมชนิดอื่น แต่ใส่ลงสูตรอาหารในปริมาณมากพอสำหรับทำหน้าที่เชื่อมวัสดุอาหารให้ติดกันคือ 40 % ของน้ำหนักสูตร (8) จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารที่ผลิตได้ (ตารางที่ 4.11) พบว่าปริมาณความชื้นของอาหารไม่แตกต่างกัน ($P \geq 0.05$) คืออยู่ในช่วง 7.18 - 8.37 % ปริมาณโปรตีนไม่แตกต่างกัน ($P \geq 0.05$) อยู่ในช่วง 41.20 - 41.76 % ใกล้เคียงกับปริมาณที่กุ้งกุลาดำต้องการคือ 40 % (14) ปริมาณไขมันไม่แตกต่าง ($P \geq 0.05$) อยู่ในช่วง 6.11-6.37 % ส่วนองค์ประกอบอื่นแม้จะแตกต่างกันแต่ก็อยู่ในช่วงที่แนะนำ ได้แก่ ปริมาณเส้นใยและปริมาณเถ้าน้อยกว่า 4 % และ 18 % ตามลำดับ (14) สำหรับค่าความคงตัวของอาหารในน้ำของอาหารทั้ง 5 สูตร (ตารางที่ 4.12) นั้นอาหารสูตรที่มีความคงตัวของอาหารสูงสุด คือสูตรที่ใช้ ISP เป็นแหล่งโปรตีนและสารเชื่อม โดยมีความคงตัวถึง 89.16 % ที่เวลา 4 ชั่วโมง ค่าดังกล่าวนี้สูงกว่าทั้งนี้อาจเป็นเพราะมีปลายข้าวซึ่งเป็นแหล่งของแป้งในสูตรดังกล่าวถึง 25 % ปลายข้าวมี amylose ซึ่งเกิด gelatinization ได้ถึง 17 % (67) ขณะที่อาหารสูตรอื่นมีปลายข้าวเพียง 15 % นอกจากนั้น ISP ยังเกิดเจลที่มีโครงสร้างแข็งแรงยึดเกาะวัสดุอาหารได้ (66) อาหารสูตรที่มีค่าความคงตัวในน้ำดีรองลงมา ได้แก่ สูตรที่ใช้ Borebone ® 1.0 %, สูตรที่ใช้ Purity DA ® 2.5 % , สูตรที่ใช้ sodium alginate 1.5 % ร่วมกับ sodium hexametaphosphate 1.0 % และสูตรที่ใช้ปลา

เป็ดเป็นแหล่งโปรตีนและสารเชื่อมตามลำดับ (ตารางที่ 4.12) ปริมาณวิตามิน C ที่ตรวจพบในอาหารกุ้งกุลาดำเมื่อใช้สารเชื่อมต่างชนิดกันไม่แตกต่างกัน ($P \geq 0.05$) ปริมาณที่วัดได้จากอาหารทุกสูตร อยู่ในช่วง 1.45 - 1.60 มิลลิกรัมต่อกรัมอาหารเปียก ปริมาณนี้เพียงพอต่อความต้องการของกุ้งกุลาดำวัยรุ่น ซึ่งต้องการเพียง 0.1-0.2 มิลลิกรัมต่อกรัมอาหาร (14) การผลิตอาหารกุ้งโดยทั่วไปจะใส่วิตามิน C ลงในสูตรอาหารมากกว่าความต้องการของกุ้งทั้งในรูปของวิตามิน premix และวิตามิน C ที่เคลือบด้วย silicone เพื่อให้มั่นใจได้ว่าอาหารกุ้งที่ผลิตโดยผ่านขั้นตอนต่าง ๆ แล้วยังมีปริมาณวิตามิน C เหลืออยู่เพียงพอต่อความต้องการของกุ้งเมื่อกุ้งกินอาหารนี้ Solima , Jauncey และ Robert (68) รายงานว่าเปอร์เซนต์คงเหลือของวิตามิน C หลังกระบวนการผลิตจะมากขึ้นถ้าเพิ่มปริมาณวิตามิน C ที่เติมในสูตรอาหาร นอกจากนี้การเสียวิตามิน C ยังเกิดระหว่างการเก็บรักษาอาหาร ขณะอาหารแช่อยู่ในน้ำ โดยอัตราการเสียเพิ่มขึ้นถ้าแช่อาหารในน้ำเป็นเวลานาน และอุณหภูมิของน้ำเพิ่มขึ้น

จากการวิเคราะห์ตัวแปรร่วม (Analysis of Covariance) ของน้ำหนักกุ้งกุลาดำวัยรุ่น(ตารางที่ 4.14) พบว่ากุ้งที่กินอาหารที่ใช้สารเชื่อมต่างกัน 5 ชนิดมีการเจริญเติบโตต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) สูตรอาหารที่ทำให้กุ้งมีอัตราการเจริญสูงสุดคือสูตรที่ใช้ Purity DA ®, สูตรที่ใช้ Borebone ® รองลงมาคือสูตรที่ใช้ sodium alginate ร่วมกับ sodium hexametaphosphate สูตรที่ใช้ ISP และสูตรปลาเป็ด ซึ่งไม่แตกต่างกันแต่ด้อยกว่า 2 สูตรแรก การที่ใช้สูตร Purity DA ® 2.5 % ให้ผลการเจริญเติบโตที่ดี ทั้งๆ ที่มีองค์ประกอบทางเคมีและความคงตัวของอาหารในน้ำใกล้เคียงกับสูตรอื่นเป็นเพราะ cross-linking tapioca starch เป็น pregelatinized starch ซึ่งเมื่อกุ้งกินแล้วสามารถย่อยได้ดีกว่า ดังเช่นที่ Bergot และ Breque (69) ได้พบว่าแป้งข้าวโพดที่ผ่านการ gelatinization แล้วมี digestability สูงกว่าแป้งดั้งเดิม ส่วน Batista (70) สรุปว่า การใช้ประโยชน์จากโปรตีนจะมีมากขึ้น โดยการเติมแหล่งพลังงานที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ลงในอาหาร ส่วนสูตร Borebone ® เมื่อกุ้งกินอาหารแล้วมีการเจริญเติบโตดีเช่นเดียวกันแสดงว่ากุ้งย่อย lignosulfonate ได้แต่ข้อเสียของสารนี้คืออาหารสูตรนี้ทำให้น้ำในบ่อเลี้ยงมีสีเหลืองกว่าอาหารสูตรอื่น อัตราการรอดของกุ้ง (ตารางที่ 4.16) ไม่แตกต่างกัน ($P \geq 0.05$) และอยู่ในช่วง 95.83-97.22 % อาจเป็น

เพราะว่าในการทดลองเลี้ยงกุ้งมีการให้อาหารในขนาดที่เหมาะ มีการจัดการที่ดีเกี่ยวกับระบบน้ำ คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยง และความสะอาด สูตรอาหารที่มีอัตราแลกเนื้อต่ำสุดคือสูตรอาหารที่ใช้ปลาเป็ดเป็นแหล่งโปรตีนและสารเชื่อม โดยมีค่า FCR เท่ากับ 1.69 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะอาหารสูตรนี้ใช้ปลาเป็ดสด ซึ่งมีกลิ่นคาวจัดกว่าปลาป่นจึงดึงดูดให้กุ้งเข้ากินอาหารมากกว่าแล้วแลกเปลี่ยนเป็นเนื้อได้ดีกว่า เนื้อปลาสดและปลาขนาดเล็กบดละเอียดสามารถเกิดเจล ซึ่งคุณภาพแตกต่างกันตามชนิดของปลา ภาวะการตาย และความสด (71) เพื่อให้ได้เจลที่แข็งแรงปลาที่ใช้ต้องสด เกษตรกรสามารถจับใหม่ได้จากบ่อพักน้ำแล้วจึงนำมาผลิตอาหารด้วยเครื่องบดอาหาร ซึ่งเป็นกระบวนการเตรียมอาหารที่ง่าย รวดเร็ว ประหยัดค่าใช้จ่าย และยังทำให้อาหารมีความคงตัวในน้ำและการเจริญเติบโตของกุ้งของกุ้งในระดับที่ยอมรับได้ (4) สูตรอาหารที่ให้อัตราแลกเนื้อสูงสุด หรือมีประสิทธิภาพต่ำสุดคือสูตรที่ใช้ ISP เป็นแหล่งโปรตีนและสารเชื่อม (ค่า FCR เท่ากับ 2.47) เป็นเพราะว่าสูตรนี้มีสัดส่วนของวัตถุดิบอาหารจากสัตว์ต่อพืชเพียง 1.05 : 1 ซึ่งต่ำกว่าสูตรอื่นซึ่งมีสัดส่วนเป็น 1.25 : 1 จึงทำให้ขาดความสมดุลย์ของกรดอะมิโนบางตัวที่ได้จากสัตว์ เช่น กรดอะมิโนที่มี S เป็นองค์ประกอบ กุ้งจึงต้องกินอาหารในปริมาณมากกว่าในการแลกเปลี่ยนเป็นเนื้อ 1 หน่วย

จากการประมาณต้นทุนวัสดุอาหารในสูตรอาหารทั้ง 5 สูตรโดยไม่คิดต้นทุนการผลิต (แสดงในภาคผนวก ค.1 ตารางที่ ค.1) เมื่อคิดต้นทุนต่อน้ำหนักอาหารสำเร็จรูป สรุปได้ว่าอาหารสูตรที่ใช้ Borebond ® และ สูตรที่ใช้ Purity DA ® มีต้นทุนด้านวัสดุอาหารต่ำกว่าสูตรที่เหลือคือมีต้นทุนอยู่ในช่วง 32-33 บาทต่อกิโลกรัม ขณะที่สูตรอื่นมีต้นทุนกิโลกรัมละกว่า 40 บาท ซึ่งราคาดังกล่าวสูงกว่าราคาขายในท้องตลาด (25-30 บาท) เพราะในการทดลองมีการเติมสารอาหารเช่น วิตามิน เกลือแร่ ครบถ้วนและเกินกว่าที่กุ้งต้องการเป็นการยืนยันให้แน่ใจว่า กุ้งที่ทดลองเลี้ยงได้สารอาหารครบถ้วนจริง และการซื้อวัสดุอาหารปริมาณน้อยทำให้มีราคาแพงกว่า

5.4 <u>ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตอาหารด้วยเครื่อง pellet mill</u>

หลักการอัดเม็ดอาหารด้วยเครื่อง pellet mill นั้น Koh (45) กล่าวว่าเริ่มจากการบดร่อนวัตถุดิบให้มีขนาด 40-60 mesh (420-250 microns) แล้วผสมเข้ากัน

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในถังผสมโดยที่อุณหภูมิของวัสดุอาหารเพิ่มขึ้นไม่เกิน 5 ° C จากนั้นจึงป้อนเข้าเครื่อง pellet mill ซึ่งประกอบด้วยช่องปรับสภาพวัสดุอาหารด้วยไอน้ำ Joe (72) กล่าวถึงประโยชน์ในการใช้ไอน้ำในการปรับสภาพวัสดุอาหารว่าเป็นการควบคุมปริมาณความชื้นและเพิ่มอุณหภูมิของอาหารขณะที่ผ่านรู die เพื่อปรับปรุงคุณภาพของอาหารอัดเม็ดนอกจากนี้ยังเพิ่มผลผลิตยืดอายุของ die ลดค่าใช้จ่ายด้านกระแสไฟฟ้า และลดเศษผง ความดันไอน้ำที่ใช้อยู่ในช่วง 15-60 psi. อุณหภูมิ 220 ° C ทำให้อุณหภูมิของส่วนผสม 80-90 ° C ซึ่งในช่วงนี้วัสดุอาหารที่เกิดเจลได้จะเกิดการ gelatinization

แต่ในการศึกษาภาวะเบื้องต้น พบว่าส่วน mixer ซึ่งเป็นส่วนที่วัสดุอาหารสัมผัสกับไอน้ำยาวไม่พอ ทำให้เวลาที่ไอน้ำสัมผัสกับวัสดุอาหารมีเพียง 10 วินาทีเท่านั้น ถึงแม้ได้ปรับความเร็วสกรูในส่วนนี้ให้หมุนด้วยความเร็วต่ำสุด 243 รอบต่อนาทีแล้วก็ตาม อาหารที่ได้จึงแตกตัวง่ายไม่เกาะตัวแน่น วิธีแก้ไขทำโดยเพิ่ม retention time เป็น 2-5 นาที โดยใช้ multi-conditioner (73) ซึ่งระหว่างการทดลองยังไม่สามารถแก้ปัญหาตรงนี้ได้ จึงได้นำอาหารที่ผ่านการอัดเม็ดด้วยเครื่อง pellet mill มาให้ความร้อนด้วยไอน้ำ (post-conditioning) จากนั้นอบให้แห้ง ปรากฏว่าอาหารมีการเกาะตัวและมีความคงทนในน้ำดีมากขึ้น ผิวนอกของเม็ดอาหารเรียบขึ้น ตรงกับที่มีรายงานกล่าวถึงประโยชน์ของการปรับภาวะหลังอัดเม็ด ว่าเป็นการเพิ่มความคงทนของอาหารในน้ำ เนื่องจากมีการเพิ่ม gelatinization ของแป้งในสูตร นอกจากนี้ยังเพิ่ม palatability และ digestability แก่กุ้งอีกด้วย (74)

จากผลการทดลองตารางที่ 4.17 ค่าความคงตัวของอาหารที่ทุกภาวะการผลิตไม่แตกต่างกัน ($P \geq 0.05$) จึงเลือกภาวะที่รุนแรงน้อยที่สุดเป็นภาวะเหมาะสมในการผลิตอาหารกุ้งด้วยเครื่อง pellet mill คือใช้ Purity DA ® 2.5 % เป็นสารเชื่อม ปรับความชื้นวัสดุอาหารเป็น 10 % และผ่านการให้ความร้อนด้วยไอน้ำหลังการอัดเม็ด ภาวะดังกล่าวนี้ตรงกับที่ Cutacutan (21) ใช้ในการผลิตอาหารกุ้งเพื่อการทดลองคือ หลังการอัดเม็ดนำเม็ดอาหารมาให้ความร้อนด้วยไอน้ำ แล้วทำให้แห้งที่ 60 °C นาน 2-3 ชั่วโมง ส่วนการเติมน้ำมันลงในสูตรอาหารใช้วิธีพ่นละอองน้ำมันลงบนเม็ดอาหาร เพื่อให้เม็ดอาหารดูดซึมน้ำมันลงสู่ผิว เนื่องจากการผสมน้ำมันก่อนการอัดเม็ดจะทำให้อัดเม็ดอาหารได้ไม่แน่น (75)

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.5 <u>ศึกษาคุณภาพอาหารกุ้งที่ผลิตด้วยเครื่องบดอาหาร อาหารกุ้งที่ผลิตด้วยเครื่อง pellet mill เปรียบเทียบกับอาหารกุ้งเชิงการค้า</u>

จากผลการทดลองข้อ 4.4 อาหารที่ได้จากการผลิตที่เลือกได้ยังมีลักษณะอาหารขณะที่แช่อยู่ในน้ำไม่ดีนัก คือแม้จะเกาะตัวกัน แต่ดูดกลืนน้ำเข้าสู่เม็ดและค่อนข้างยุ่ย จึงทดลองผสม wheat gluten ปริมาณ 2.5 % ปรากฏว่าการเกาะตัวและความคงทนของอาหารในน้ำดีขึ้น เพราะ wheat gluten เป็นผลิตภัณฑ์ข้าวสาลีที่ช่วยปรับปรุงคุณภาพของเม็ดอาหารในเรื่องความทนทานและทำให้เม็ดอาหารเกาะตัวกันดีขึ้น (14) ในการทดลองนี้จึงใช้ส่วนผสมของ Purity DA ® 2.5 % ร่วมกับ wheat gluten 2.5 % เป็นสารเชื่อมอาหารที่ได้ทดลองเลี้ยงเปรียบเทียบกับอาหารที่ใช้ Purity DA ® เพียงอย่างเดียว 2.5 % ทั้งที่อัดเม็ดด้วยเครื่องบดอาหาร และเครื่อง pellet mill สูตรที่ใช้ wheat gluten อย่างเดียว 5 % เปรียบเทียบกับอาหารกุ้งที่ผลิตและจำหน่ายเชิงการค้า (ตารางที่ 4.18) พบว่าปริมาณความชื้นและปริมาณโปรตีนของอาหารแตกต่างจากอาหารอีก 4 สูตรคือมีความชื้น 10.16 % ในขณะที่อาหารกุ้งที่ผลิตเองมีความชื้นอยู่ในช่วง 5.67-7.77 % ซึ่งอาจเป็นเพราะการเก็บรักษาอาหารกุ้งเชิงการค้าไม่ดีพอ ความชื้นของอาหารจึงเกินกว่าที่กำหนด ปริมาณโปรตีนของอาหารกุ้งเชิงการค้าก็ต่ำกว่าอาหารอีก 4 สูตรคือมีปริมาณโปรตีน 38.53 % โดยน้ำหนักเปียก ในขณะที่ปริมาณโปรตีนของอาหารอีก 4 สูตรอยู่ในช่วง 40.03-41.91 % ปริมาณไขมันของอาหารกุ้งเชิงการค้าต่ำกว่าสูตรอื่น คือมีเพียง 5.77 % รองลงมาคือสูตรที่ใช้ wheat gluten 5% ส่วนอีก 3 สูตรไม่แตกต่างกัน อยู่ในช่วง 7.03-7.07 % สูตรอาหารที่มีปริมาณเถ้าสูงสุดคือ อาหารกุ้งเชิงการค้ามีถึง 15.49 % ส่วนปริมาณคาร์โบไฮเดรตและเส้นใยไม่แตกต่างกันอยู่ในช่วง 3.21 - 3.71 % และ 26.84 - 27.55 % ตามลำดับเมื่อนำอาหารมาหาค่าความคงตัวในน้ำที่เวลา 4 ชั่วโมง (ตารางที่ 4.19) พบว่ามีความแตกต่างกัน ($P \leq 0.05$) อาหารเชิงการค้ามีค่าความคงตัวสูงสุดคือ 93.04 % รองลงมาคือสูตรที่ใช้ส่วนผสมของ Purity DA ® 2.5 % ร่วมกับ wheat gluten 2.5 % สูตรที่ใช้ wheat gluten 5 % สูตรที่ใช้ Purity DA ® 2.5 % อัดเม็ดอาหารเครื่องบดอาหาร และ pellet mill ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าทั้ง Purity DA ® และ wheat gluten มีส่วนเสริมกันในการยึดเกาะวัสดุอาหาร ใช้เพียงอย่างใดอย่างหนึ่งไม่ทำให้ความคงตัวของอาหารดีเท่ากับใช้ร่วมกัน

อาหารที่อัดเม็ดด้วยเครื่องบดอาหารมีค่าความคงตัวของอาหารในน้ำดีกว่าตัวอย่างที่อัดด้วยเครื่อง pellet mill เป็นเพราะว่าการอัดเม็ดด้วยเครื่องบดอาหารอัดวัสดุอาหารได้แน่นและแข็งกว่าเมื่อแช่น้ำจึงดูดน้ำเข้าสู่เม็ดอาหารได้น้อยกว่า การแตกตัวจึงน้อยกว่า ปริมาณวิตามิน C ของอาหารทั้ง 5 สูตร ไม่แตกต่างกัน ($P \geq 0.05$) แสดงว่าการผลิตอาหารกุ้งด้วยเครื่องบดอาหารและ เครื่อง pellet mill ไม่ทำให้การสูญเสียวิตามิน C แตกต่างกันและยังมีปริมาณวิตามิน C ใกล้เคียงกับอาหารเชิงการค้าอีกด้วย

จากการวิเคราะห์ตัวแปรร่วมของน้ำหนักกุ้งที่กินอาหารทั้ง 4 สูตรเปรียบเทียบกับอาหารกุ้งเชิงการค้า พบว่ากุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารที่ใช้ wheat gluten 5 % มีการเจริญเติบโตใกล้เคียงกับสูตรที่ใช้ Purity DA® 2.5 % และผลิตด้วยเครื่อง pellet mill แสดงเห็นว่า Purity DA® ในปริมาณนี้สามารถใช้เป็นสารเชื่อมได้ดีและยังให้อัตราการเจริญเติบโตดีเช่นเดียวกับ wheat gluten ซึ่งเป็นสารเชื่อมที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในขณะนี้ แต่ต้องหาวิธีการผลิตที่ให้อาหารที่มีความคงตัวในน้ำสูงกว่านี้ โดยอาจเพิ่มระยะเวลาการให้ไอน้ำ เป็นต้น รองลงมาคือสูตรที่ใช้ส่วนผสมของ wheat gluten 2.5 % กับ Purity DA® 2.5 %, อาหารกุ้งเชิงการค้า และสุดท้ายคืออาหารกุ้งที่ใช้ Purity DA® 2.5 % ผลิตด้วยเครื่องบดอาหาร สาเหตุอาจเนื่องมาจากเม็ดอาหารที่อัดเม็ดด้วยเครื่องบดอาหารมีลักษณะทางกายภาพที่แข็งแน่น มีค่าความคงตัวของอาหารในน้ำ 88.52 % โดยน้ำหนักเปียก ดูดน้ำเข้าสู่เม็ดอาหารได้ไม่ดี อาหารจึงไม่อ่อนตัวเท่าอาหารที่อัดเม็ดด้วย pellet mill กุ้งอาจกินได้น้อยหรือกินแล้วย่อยแล้วนำไปใช้ประโยชน์ได้น้อยกว่า ส่วนอัตราการรอด และอัตราแลกเนื้อของกุ้งที่กินอาหาร 4 สูตรเปรียบเทียบกับอาหารกุ้งเชิงการค้า ไม่แตกต่างกัน ($P \geq 0.05$) โดยอยู่ในช่วง 88.89 - 94.44 % และ 1.85-2.01 ตามลำดับ แสดงว่ากระบวนการผลิต ปริมาณและชนิดสารเชื่อมที่แตกต่างกันไม่มีผลต่ออัตราการรอดและอัตราแลกเนื้อ ถ้าอาหารมีองค์ประกอบทางเคมีและแบบแผนของกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบใกล้เคียงกัน มีการให้อาหารในปริมาณเหมาะสม นอกจากนั้นยังมีการจัดการการเลี้ยงที่ดี

ต้นทุนด้านวัสดุอาหารของอาหารทั้ง 4 สูตร (แสดงในภาคผนวก ค.2 ตารางที่ ค.2) อยู่ในช่วง 32-33 บาทซึ่งสูงกว่าราคาขายอาหารกุ้งเชิงการค้า อยู่ในช่วง 25-30 บาท สาเหตุดังที่กล่าวมาแล้ว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย