บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ศึกษาผลการใช้สารเชื่อมในอาหารกุ้งกุลาดำ

ผลการใช้สารเชื่อมในอาหารกุ้งกุลาดำที่ผลิตโดยใช้ extruder ประเมินผลโดยหาค่าความคงตัวในน้ำของอาหารที่ใส่สารเชื่อมและไม่ใส่ ดังแสดงในตารางที่ 2 และ 3

ตารางที่ 2 ค่าความคงตัวในน้ำของอาหารที่ผลิตโดยเครื่อง extruder เมื่อแปรปริมาณสารเชื่อม 0 และ 2.5 %

ปริมาณสารเชื่อม (%)	ความคงตัวในน้ำ (%)
	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0	83.59 ± 0.13
2.5	83.63 ± 0.17

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความคงตัวในน้ำของอาหารกุ้งที่ผลิตโดยเครื่อง extruder เมื่อแปรปริมาณสารเชื่อมที่ใช้สูตรเป็น 0 และ 2.5 %

sov	df.	SS.	MS.
ปริมาณสารเชื่อม	1	0.001	0.001 ns
error	2	0.043	0.022

ns ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$)

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าการใส่หรือไม่ใส่สารเชื่อมในอาหารกุ้งกุลาดำให้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่าความคงตัวในน้ำไม่แตกต่างกัน ($P \geq 0.05$) จึงไม่ใช้สารเชื่อมในการผลิตครั้งต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2 ศึกษาผลของภาวะการผลิตอาหารกุ้งกุลาดำต่อค่าความคงตัวในน้ำของอาหาร

ปัจจัยที่ศึกษามีดังนี้

4.2.1 ศึกษาอัตราป้อนกับขนาดของสกรู

ผลของการทดลองแสดงดังตารางที่ 4 และ 5

ตารางที่ 4 ค่าความคงตัวในน้ำของอาหารที่ผลิตโดยใช้เครื่อง extruder เมื่อแปรอัตราป้อนเป็น 10, 20 และ 30 รอบ/นาที และขนาดสกรูเป็น 1:1, 2:1 และ 3:1

สกรู	ค่าเฉลี่ยความคงตัวในน้ำ (%) ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	อัตราป้อน (รอบ/นาที)		
	10	30	50
1:1	84.22 ± 1.11	83.77 ± 0.29	83.99 ± 0.09
1:2	83.80 ± 0.25	84.30 ± 0.11	83.80 ± 0.80
1:3	83.30 ± 1.32	83.03 ± 0.38	83.75 ± 0.30

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความคงตัวในน้ำของอาหารกุ้งที่ผลิตโดยใช้ extruder เมื่อแปรอัตราป้อนเป็น 10, 20 และ 30 รอบ/นาที และขนาดของสกรูเป็น 1:1, 2:1 และ 3:1

sov	df.	SS.	MS.
สกรู	2	1.49	0.75 ns
อัตราป้อน	2	0.09	0.04 ns
สกรู x อัตราป้อน	4	1.03	0.26 ns
error	9	4.02	0.45

ns ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$)

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าอาหารทุกตัวอย่างมีความคงตัวในน้ำไม่แตกต่างกัน ($P \geq 0.05$) แต่จากการสังเกตุพบว่าหลัง 4 ชั่วโมงการคงรูปของเม็ดอาหารแตกต่างกัน โดยเมื่อเทียบลักษณะของอาหารก่อนแช่น้ำกับหลังแช่น้ำ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้อัตราป้อน 10 รอบ/นาทีและสกรูขนาด 1:1 และ 2:1 มีการคงรูปดีกว่าพวกที่ใช้อัตราป้อนอื่นอย่างชัดเจน และอาหารที่ผลิตโดยใช้สกรู 1:1 ดีกว่าอาหารที่ผลิตโดยใช้สกรู 2:1 เล็กน้อย และดีกว่า 3:1 อย่างชัดเจน ดังนั้นจึงเลือกใช้สกรูขนาด 1:1 และอัตราป้อน 10 รอบ/นาที

4.2.2 ศึกษาปริมาณความชื้นของอาหารผสมก่อนเข้า extruder กับอุณหภูมิของ barrel

ผลของการทดลองแสดงดังตารางที่ 6 และ 7

ตารางที่ 6 ค่าความคงตัวในน้ำของอาหารที่ผลิตโดยใช้ extruder เมื่อแปรปริมาณความชื้นเป็น 31, 34, 38, และ 41 % และอุณหภูมิ barrel เป็น 36-37, 43-44, 51-52 และ 60-61 °C

อุณหภูมิ barrel (°C)	ค่าเฉลี่ยความคงตัวในน้ำ (%) ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ปริมาณความชื้น (%)			
	31	34	38	44
36-37	$18.36^{e} \pm 0.88$	$60.96^{b} \pm 1.45$	$82.42^{a} \pm 0.39$	$84.00^{a} \pm 1.00$
43-44	$22.74^{a} \pm 3.90$	$62.24^{bc} \pm 1.30$	$82.14^{a} \pm 1.63$	$83.64^{a} \pm 0.33$
51-52	$35.52^{d} \pm 3.85$	$64.20^{c} \pm 1.28$	$82.00^{a} \pm 0.09$	$82.89^{a} \pm 1.35$
60-61	$64.00^{c} \pm 1.16$	$69.85^{b} \pm 3.09$	$79.98^{a} \pm 0.22$	$81.68^{a} \pm 2.16$

a,b,.. ค่าเฉลี่ยทุกค่าที่มีอักษรต่างกันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความคงตัวในน้ำของอาหารกุ้งที่ผลิตโดยใช้เครื่อง extruder เมื่อแปรปริมาณความชื้นตั้งต้นในอาหารเป็น 31, 34, 38 และ 44 % และอุณหภูมิ barrel เป็น 36-37, 43-44, 51-52 และ 60-60 °C

sov.	df.	SS.	MS.
อุณหภูมิของ barrel	3	255.77	85.26 **
ปริมาณความชื้น	3	20,788.56	6929.52 **
อุณหภูมิ x ปริมาณความชื้น	9	752.68	83.63 **
treatment	15	21,797.01	
error	16	126.72	7.29

** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$)

จากผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิและความชื้นที่ระดับต่างๆมีผลให้ผลิตภัณฑ์มีความคงตัวในน้ำแตกต่างกัน ($P \leq 0.01$) อาหารที่มีความชื้นก่อนเข้า extruder 38 และ 44 % จะให้ความคงตัวในน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ ไม่แตกต่างกัน ($P \geq 0.05$) ส่วนอาหารที่มีความชื้น 31 และ 34 % มีความคงตัวในน้ำของอาหารแตกต่างกันขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ จากการสังเกตอาหารที่ผ่านขั้นตอนการหาความคงตัวในน้ำพบว่าอาหารที่มีปริมาณความชื้นก่อนอัดเม็ด 44 % มีการคงรูปดีกว่าอาหารที่มีความชื้นต่ำกว่าและเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของ barrel ขึ้นความคงตัวในน้ำของอาหารที่มีความชื้น 44 % มีแนวโน้มที่จะลดลงน้อยกว่าอาหารที่ความชื้น 38 % และการคงรูปของเม็ดอาหารที่มีความชื้น 38 % ก็ลดลงอย่างเห็นได้ชัดมากกว่าอาหารที่มีความชื้น 44 % ดังนั้นจึงใช้อุณหภูมิของ barrel ในการผลิตอาหารกุ้งกุลาดำด้วย extruder 36-37 °C เพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน และอาหารผสมมีปริมาณความชื้นก่อนเข้า extruder 44 %

4.2.3 ศึกษาอัตราเร็วสกรู ปริมาณความชื้นของอาหารก่อนเข้า extruder และอุณหภูมิอบแห้งอาหารเม็ด

ผลของการทดลองแสดงดังตารางที่ 8, 9 และ 10

ตารางที่ 8 ค่าความคงตัวในน้ำของอาหารที่ผลิตโดยใช้เครื่อง extruder เมื่อแปรอัตราเร็วสกรูเป็น 60, 100 และ 140 รอบ/นาที ปริมาณความชื้น 38, 44 และ 50 % และอุณหภูมิอบแห้งเป็น 40, 60 และ 80 °C

อุณหภูมิอบ (°C)	อัตราเร็วสกรู (รอบ/นาที)	ค่าเฉลี่ยความคงตัวในน้ำ (%) ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ปริมาณความชื้น (%)		
		38	44	50
40	60	81.65 ± 0.07	83.00 ± 0.52	76.37 ± 0.71
	100	81.50 ± 0.16	82.14 ± 0.94	77.16 ± 1.10
	140	81.06 ± 0.30	82.30 ± 1.09	75.35 ± 0.74
60	60	83.30 ± 1.25	84.16 ± 0.92	83.09 ± 1.16
	100	83.11 ± 1.19	83.81 ± 0.15	82.51 ± 0.88
	140	84.75 ± 0.85	83.32 ± 0.52	82.74 ± 0.15
80	60	84.00 ± 0.20	84.06 ± 1.25	83.17 ± 0.16
	100	83.78 ± 0.11	84.67 ± 0.04	83.60 ± 0.06
	140	83.21 ± 0.41	83.89 ± 0.88	83.25 ± 0.06

ตารางที่ 9 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความคงตัวในน้ำของอาหารที่ผลิตโดยใช้เครื่อง extruder เมื่อแปรอัตราเร็วสกรูเป็น 60, 100 และ 140 รอบ/นาที ปริมาณความชื้น 38, 44 และ 50 % และอุณหภูมิอบแห้งเป็น 40, 60 และ 80 °C

sov.	df.	SS.	MS.	
อุณหภูมิอบ	2	149.81	72.91	**
อัตราเร็วสกรู	2	1.22	0.61	
ปริมาณความชื้น	2	72.28	36.14	**
อุณหภูมิอบ x อัตราเร็วสกรู	4	2.66	0.66	
อุณหภูมิอบ x ความชื้น	4	64.78	16.20	**
อัตราเร็วสกรู x ความชื้น	4	1.16	0.29	
อุณหภูมิอบ x อัตราเร็วสกรู x ความชื้น	8	5.19	0.65	
error	27	14.41	0.53	

** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$)

จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิอบแห้งอาหารเม็ดและปริมาณความชื้นของอาหารที่ผลิตโดยใช้ extruder ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่าความคงตัวในน้ำแตกต่างกัน ($P \leq 0.01$) ยังพบว่าอุณหภูมิและปริมาณความชื้นในอาหารมีอิทธิพลร่วม ($P \leq 0.01$) ส่วนอัตราเร็วสกรูที่ระดับต่าง ๆ ไม่ทำให้ความคงตัวในน้ำของอาหารแตกต่างกัน ($P \geq 0.05$) ดังนั้นจึงเลือกใช้อัตราเร็วสกรู 140 รอบ/นาที เพราะสามารถผลิตอาหารได้เร็วขึ้น แล้วตัดปัจจัยนี้ออกนำข้อมูลไปเขียนตารางใหม่ดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ค่าความคงตัวในน้ำของอาหารที่ผลิตโดยใช้ extruder เมื่อแปรปริมาณความชื้นเป็น 38, 44 และ 50 % และอุณหภูมิอบแห้ง 40, 60 และ 80 °C

อุณหภูมิอบ (°C)	ค่าเฉลี่ยความคงตัวในน้ำ (%) ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ปริมาณความชื้น (%)		
	38	44	50
40	81.40^{c} ± 0.32	82.48^{b} ± 0.80	76.29^{d} ± 1.06
60	83.72^{ab} ± 1.17	83.76^{a} ± 0.61	82.78^{b} ± 0.71
80	83.66^{ab} ± 0.38	84.21^{a} ± 0.71	83.34^{ab} ± 0.22

a,b,c ค่าเฉลี่ยทุกค่าที่มีอักษรต่างกันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

จากผลการทดลองพบว่าอาหารผสมที่มีปริมาณความชื้น 44 % ใช้อุณหภูมิอบ 60 °C และ 80 °C ให้อาหารที่มีความคงตัวในน้ำสูงสุด ดังนั้นจึงเลือกใช้อาหารที่มีความชื้น 44 % และอุณหภูมิอบ 60 °C เพื่อลดพลังงานในการอบและลดการสูญเสียวิตามินที่ถูกทำลายได้ด้วยความร้อน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.4 ศึกษาวิธีให้ไอน้ำ ระยะเวลาให้ไอน้ำ และปริมาณความชื้นของอาหารก่อนให้ไอน้ำ

ผลของการทดลองแสดงดังตารางที่ 11, 12 และ 13

ตารางที่ 11 ปริมาณความชื้นของอาหารก่อนเข้าเครื่อง extruder และความดันของเครื่อง เมื่อแปรความชื้นก่อนให้ไอน้ำเป็น 32, 37 และ 44 % และระยะเวลาให้ไอน้ำเป็น 0, 5 และ 10 นาที

ปริมาณความชื้นก่อนให้ไอน้ำ (%)	ระยะเวลาให้ไอน้ำ(นาที)	ปริมาณความชื้นเฉลี่ยก่อนเข้าเครื่อง (%)	ความดันภายในเครื่อง (kg/cm^2)
32	0	32.12	3.8
	5	34.32	3.7
	10	34.76	3.6
37	0	37.07	3.3
	5	38.50	3.2
	10	38.95	3.1
44	0	44.18	2.6
	5	45.23	2.5
	10	45.77	2.4

ตารางที่ 12 ค่าความคงตัวในน้ำของอาหารที่ผลิตโดยใช้เครื่อง extruder เมื่อแปรวิธีให้ไอน้ำเป็น ให้ก่อนผลิตและให้หลังผลิต ระยะเวลาให้ไอน้ำเป็น 0, 5 และ 10 นาที และปริมาณความชื้นเป็น 32, 37 และ 44 %

ปริมาณความชื้น (%)	ระยะเวลาให้ไอน้ำ (นาที)	ค่าเฉลี่ยความคงตัวในน้ำ (%) ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน วิธีให้ไอน้ำ	
		ให้ก่อนผลิต	ให้หลังผลิต
32	0	24.35^{c} ± 1.89	24.35^{c} ± 1.89
	5	74.84^{b} ± 1.10	85.51^{a} ± 0.40
	10	79.89^{b} ± 1.03	85.62^{a} ± 0.73
37	0	85.33^{a} ± 0.46	85.33^{a} ± 0.46
	5	85.54^{a} ± 0.12	85.75^{a} ± 0.58
	10	86.29^{a} ± 0.97	85.44^{a} ± 1.68
44	0	86.61^{a} ± 1.25	86.61^{a} ± 1.25
	5	85.37^{a} ± 0.41	84.82^{a} ± 0.67
	10	85.55^{a} ± 0.25	85.50^{a} ± 0.61

a,b,c ค่าเฉลี่ยทุกค่าที่มีอักษรต่างกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.01$)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 13 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความคงตัวในน้ำของอาหารกุ้งที่ผลิตโดยใช้เครื่อง extruder เมื่อแปรวิธีให้ไอน้ำเป็น ให้ก่อนผลิตและให้หลังผลิตระยะเวลาให้ไอน้ำเป็น 0, 5 และ 10 นาที และปริมาณความชื้นของอาหารก่อนให้ไอน้ำเป็น 32, 37 และ 44 %

sov.	df.	SS.	MS.
วิธีให้ไอน้ำ	1	43.45	43.45 **
ระยะเวลาให้ไอน้ำ	2	2698.03	1349.02 **
ความชื้น	2	4617.22	2308.61 **
วิธีให้ไอน้ำ x ระยะเวลาให้ไอน้ำ	2	21.85	10.93 **
วิธีให้ไอน้ำ x ความชื้น	2	104.02	52.01 **
ระยะเวลาให้ไอน้ำ x ความชื้น	4	5658.66	1414.66 **
วิธีให้ไอน้ำ x ระยะเวลาให้ไอน้ำ x ความชื้น	4	52.59	13.15 **
error	18	18.84	1.05

** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$)

จากผลการทดลองพบว่าทั้งปริมาณความชื้นของอาหาร ระยะเวลาให้ไอน้ำ และวิธีการให้ไอน้ำที่ระดับต่าง ๆ ที่ผลิตโดยใช้เครื่อง extruder ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความคงตัวในน้ำแตกต่างกัน ($P \leq 0.01$) ส่วนปริมาณความชื้นของอาหารและระยะเวลาให้ไอน้ำ ปริมาณความชื้นและวิธีการให้ไอน้ำ และระยะเวลาและวิธีให้ไอน้ำมีอิทธิพลร่วม ($P \leq 0.01$) ทั้ง 3 ปัจจัยมีอิทธิพลร่วม ($P \leq 0.01$) เมื่อนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์ Duncan 's Multiple Range Test เพื่อเปรียบเทียบความคงตัวในน้ำของแต่ละตัวอย่าง พบว่าอาหารที่มีปริมาณความชื้น 37 และ 44 % ที่ทุกระยะเวลาให้ไอน้ำและวิธีการผลิตให้ผลิตภัณฑ์มีความคงตัวในน้ำแตกต่างกัน

($P \leq 0.01$) และอาหารมีความคงตัวในน้ำสูง ส่วนอาหารที่ปริมาณความชื้น 32 % เมื่อใช้ระยะเวลาในการให้ไอน้ำ 5 และ 10 นาที โดยให้ไอน้ำหลังผลิตให้ผลิตภัณฑ์มีความคงตัวในน้ำสูงและไม่แตกต่างกัน ($P \geq 0.01$) และไม่แตกต่างจากอาหารที่มีปริมาณความชื้น 37 และ 44 % ทางสถิติด้วย จากข้อมูลที่ได้จะเห็นได้ปริมาณความชื้นของอาหารผสมก่อนเข้า extruder 32 % เป็นปริมาณความชื้นที่น่าสนใจเพราะเป็นปริมาณความชื้นที่ต่ำสุดในการทดลอง และมี treatment ที่ให้ความคงตัวในน้ำของอาหารสูง การเลือกใช้อาหารที่ปริมาณความชื้นระดับนี้เพื่อลดระยะเวลาในการอบแห้ง และเป็นการประหยัดพลังงาน นอกจากนี้การเลือกอาหารผสมที่มีปริมาณความชื้นต่ำที่สุดเป็นการลดระยะเวลาในการอัดเม็ดด้วย เนื่องจากอาหารยิ่งมีความชื้นสูงระยะเวลาที่ใช้ในการอัดเม็ดหรืออยู่ภายในเครื่อง extruder จะนานขึ้น และเม็ดอาหารที่ได้จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลดลงทำให้ได้เม็ดอาหารมีขนาดเล็กกว่าที่ต้องการ ดังนั้นภาวะที่เหมาะสมในการผลิตคือใช้อาหารมีปริมาณความชื้นก่อนเข้า extruder 32 % วิธีการให้ไอน้ำหลังการผลิตเป็นระยะเวลานาน 5 นาที เพื่อประหยัดพลังงานและลดการสูญเสียวิตามินบางชนิด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3 ศึกษาสูตรอาหารที่เหมาะสมสำหรับการผลิตโดยเครื่อง extruder

ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 14 และ 15

ตารางที่ 14 ค่าความคงตัวในน้ำ ต้นทุนผลิต ปริมาณโปรตีน และไขมันของอาหารกุ้งกุลาดำ เมื่อแปรสูตรอาหารเป็นสูตร 1, 2, 3 และ 4

สูตรอาหาร	ความคงตัวในน้ำ (%) ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ต้นทุนวัตถุดิบ (บาท/กก.)	ปริมาณโปรตีน (% โดยน้ำหนักแห้ง)	ปริมาณไขมัน (% โดยน้ำหนักแห้ง)
1	$85.48^{a} \pm 0.23$	31.03	$45.10^{a} \pm 0.91$	$7.84^{b} \pm 0.17$
2	$85.43^{a} \pm 0.08$	31.57	$45.90^{a} \pm 0.14$	$7.48^{b} \pm 0.06$
3	$85.67^{a} \pm 0.14$	36.38	$45.77^{a} \pm 0.13$	$7.71^{b} \pm 0.07$
4	$84.58^{b} \pm 0.35$	34.44	$45.28^{a} \pm 0.25$	$8.20^{a} \pm 0.14$

a,b ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในแนวตั้งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 15 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความคงตัวในน้ำ ปริมาณโปรตีนและไขมันของอาหารกุ้ง โดยแปรสูตรอาหารที่ใช้เป็นสูตรที่ 1, 2, 3 และ 4

sov.	MS.		
	ความคงตัวในน้ำ	โปรตีน	ไขมัน
สูตรอาหาร	0.47 *	0.29	0.21*
error	0.05	0.24	0.03

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า สูตรอาหารต่างชนิดมีผลให้ผลิตภัณฑ์มีความคงตัวในน้ำแตกต่างกัน ($P \leq 0.05$) อาหารสูตรที่ 1, 2 และ 3 เท่านั้นที่ให้อาหารมีความคงตัวในน้ำสูงและไม่แตกต่างกันทางสถิติ และเมื่อพิจารณาต้นทุนวัตถุดิบอาหารร่วมด้วย พบว่าอาหารสูตร 1 และ 2 เท่านั้นที่มีต้นทุนวัตถุดิบอาหารต่ำ ดังนั้นสูตรอาหารที่เหมาะสมคือสูตร 1 และ 2 ซึ่งนำไปใช้ในการศึกษาผลการผลิตอาหารกุ้งกุลาดำโดยใช้เครื่อง extruder เปรียบเทียบกับ pellet mill ในการทดลองถัดไป

4.4 ศึกษาผลของการใช้ extruder เปรียบเทียบกับ pellet mill ในการผลิตอาหารกุ้ง

จากผลการทดลองข้างต้นจะได้อาหาร 2 สูตรที่นำมาผลิตโดยใช้เครื่อง extruder และ pellet mill จึงได้อาหารรวม 4 ชนิดคือ อาหารที่ผลิตจาก extruder สูตร 1 และ 2 (e1 และ e2) อาหารที่ผลิตจาก pellet mill สูตร 1 และ 2 (p1 และ p2) ส่วนอาหารควบคุม (c) ที่ใช้ในการทดลองนั้นเป็นอาหารของบริษัทยูนิคอร์ด ฟีด จำกัด ผลิตโดยใช้เครื่อง pellet mill ซึ่งอาหารทั้ง 5 ชนิดมีองค์ประกอบทางเคมีดังตารางที่ 16 และ 17 และลักษณะของเม็ดอาหารดังรูปที่ 2 ส่วนผลของวิตามินซีและค่าความคงตัวในน้ำแสดงดังตารางที่ 18 และ 19 ตามลำดับ

ตารางที่ 16 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารกุ้งกุลาดำที่ผลิตโดยเครื่อง extruder และ pellet mill

ชนิดอาหาร	องค์ประกอบ (% โดยน้ำหนักแห้ง)					
	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	เยื่อใย	เถ้า	คาร์โบไฮเดรต
c	11.39^{a}±0.10	48.46^{a}±0.34	5.38^{b}±0.12	2.76^{c}±0.23	10.69^{c}±0.11	32.71^{a}
e1	6.24^{b}±0.03	44.62^{b}±0.18	7.82^{a}±0.00	5.44^{a}±0.03	15.98^{a}±0.03	26.14^{c}
e2	6.39^{b}±0.02	44.22^{b}±0.27	7.55^{a}±0.22	3.38^{b}±0.16	15.42^{b}±0.12	29.43^{b}
p1	5.97^{b}±0.16	44.96^{b}±0.45	7.78^{a}±0.04	5.10^{a}±0.14	16.05^{a}±0.07	26.07^{c}
p2	6.07^{b}±0.36	44.45^{b}±0.13	7.52^{a}±0.03	3.48^{b}±0.11	15.45^{b}±0.13	29.10^{b}

a,b,.. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในแนวตั้งแสดงต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$)

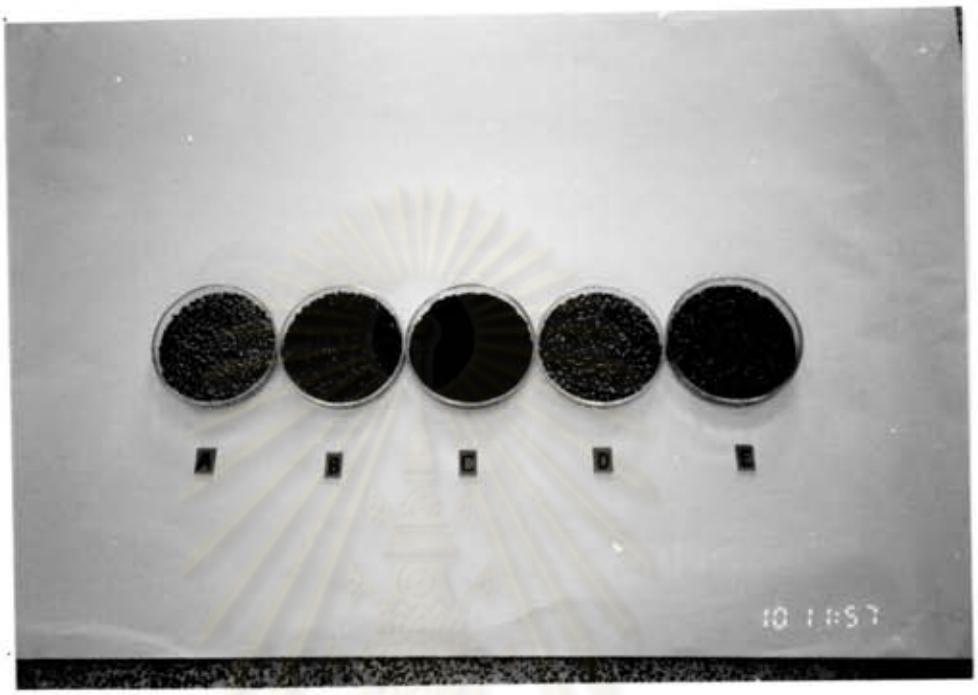
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 17 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนขององค์ประกอบทางเคมีของอาหารกุ้ง โดยแปรชนิดของอาหารกุ้งเป็นอาหาร c, e1, e2, p1 และ p2

		MS					
sov	df.	องค์ประกอบทางเคมี					
		ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	เยื่อใย	เถ้า	คาร์โบ-ไฮเดรต
ชนิดอาหาร	4	10.97**	6.22**	2.13**	5.82**	10.37**	23.90**
error	5	0.04	0.09	0.01	0.02	0.01	0.07

** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2 ลักษณะของเม็ดอาหารกุ้งกุลาดำชนิดต่าง ๆ โดย A คืออาหารเชิงการค้า B คืออาหารสูตร 1 ที่ผลิตโดยใช้ extruder C คืออาหารสูตร 2 ที่ผลิตโดยใช้ extruder D คืออาหารสูตร 1 ที่ผลิตโดยใช้ pellet mill และ E คืออาหารสูตร 2 ที่ผลิตโดยใช้ pellet mill

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 18 ปริมาณวิตามินซีในอาหารกุ้งกุลาดำที่ผลิตโดยใช้เครื่อง extruder และ pellet mill

ชนิดอาหาร	ปริมาณวิตามินซีเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (มิลลิกรัม/กรัมของอาหาร)
c	$2.40^{b} \pm 0.14$
e1	$1.69^{c} \pm 0.09$
e2	$1.70^{c} \pm 0.03$
p1	$2.80^{ab} \pm 0.05$
p2	$3.04^{a} \pm 0.15$

a, b ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$)

ตารางที่ 19 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของวิตามินซีในอาหารกุ้งกุลาดำที่ผลิตโดยใช้เครื่อง extruder และ pellet mill

sov.	df.	SS	MS
ชนิดอาหาร	4	3.06	0.76 **
error	5	0.53	0.01

** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 20 ค่าความคงตัวในน้ำของอาหารกุ้งกุลาดำที่ผลิตโดยใช้เครื่อง extruder และ pellet mill

ชนิดอาหาร	ความคงตัวในน้ำของอาหาร (%) ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
c	83.16[b] ± 0.26
e1	85.56[a] ± 0.15
e2	85.45[a] ± 0.42
p1	85.88[a] ± 0.40
p2	85.66[a] ± 0.86

a, b ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$)

ตารางที่ 21 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความคงตัวในน้ำของอาหารกุ้งกุลาดำที่ผลิตโดยใช้เครื่อง extruder และ pellet mill

sov.	df.	SS	MS
ชนิดอาหาร	4	19.98	5.00 **
error	15	3.25	0.22

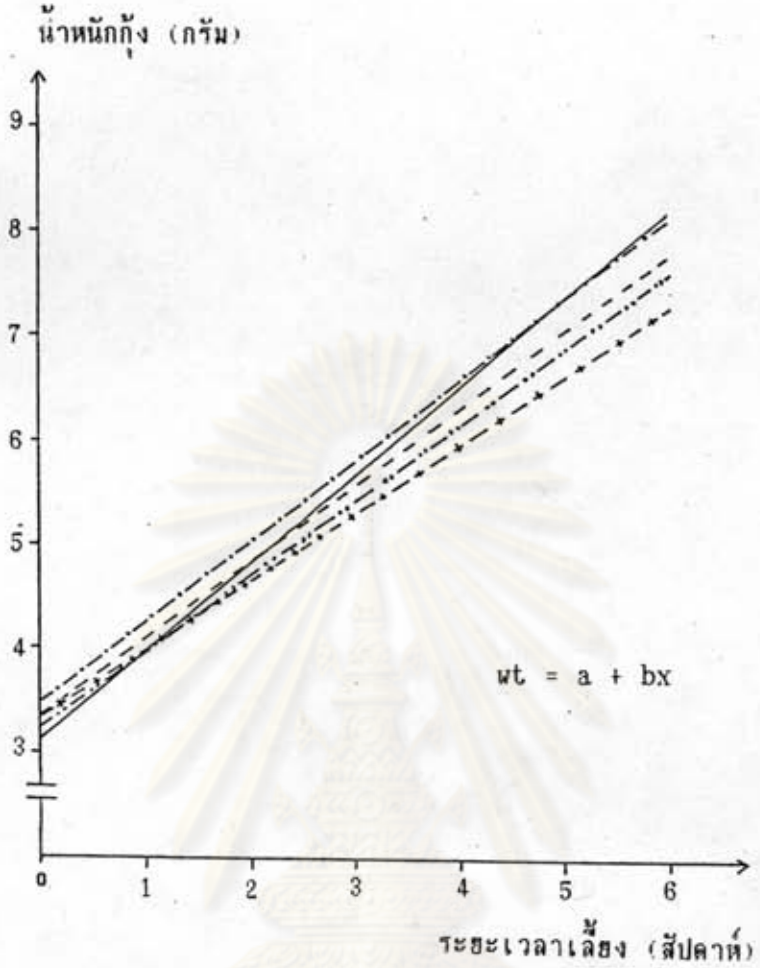
** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$)

ผลการทดลองในด้านการเจริญเติบโตแสดงในตารางที่ 22 และ 23 และแสดงกราฟอัตราการเจริญเติบโต ดังรูปที่ 4 ส่วนอัตราการแลกเนื้อ และอัตราการตาย รวมทั้งผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าทั้งสองแสดงดังตารางที่ 24, 25, 26 และ 27 ตามลำดับ

ตารางที่ 22 การเจริญเติบโตของกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้งชิ้งผลิตโดยใช้เครื่อง extruder และ pellet mill เมื่อเลี้ยงนาน 6 สัปดาห์

ชนิดอาหาร	น้ำหนักเฉลี่ยของกุ้ง (กรัม) ในสัปดาห์ที่						
	0	1	2	3	4	5	6
c	3.81	4.90	5.39	6.11	6.80	7.71	8.23
e1	3.86	4.93	5.16	5.91	6.71	7.47	7.95
e2	4.09	5.14	5.84	6.56	7.42	8.27	8.64
p1	3.84	4.91	5.74	6.61	7.40	8.45	8.86
p2	3.87	5.11	5.53	6.41	7.13	7.98	8.37

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3 กราฟแสดงการเจริญเติบโตของกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงด้วยอาหาร 5 ชนิด คือ อาหารเชิงการค้า (—·—·—·—), อาหารสูตร 1 ที่ผลิตโดยใช้ extruder (—+—+—+—), อาหารสูตร 2 ที่ผลิตโดยใช้ extruder (—·—·—·—), อาหารสูตร 1 ที่ผลิตโดยใช้ pellet mill (———) และ อาหารสูตร 2 ที่ผลิตโดยใช้ pellet mill (— — — —) เป็นเวลา 6 สัปดาห์

จากสมการเส้นตรง $y = a + bx$

ดังนั้น $wt = a + bx$

เมื่อ wt = น้ำหนักกุ้งกุลาดำเมื่อเลี้ยงเป็นเวลา x สัปดาห์

b = อัตราการเจริญเติบโต

x = ระยะเวลาเลี้ยงกุ้ง (สัปดาห์)

a = ค่าคงที่

ตารางที่ 23 ผลการวิเคราะห์อัตราการเจริญเติบโตของกุ้งกุลาดำเมื่อแปรชนิดอาหารที่ใช้เลี้ยงเป็น 5 ชนิด เมื่อเลี้ยงนาน 6 สัปดาห์

ชนิดอาหาร	a	b	r^2	P - value
c	3.2407	0.7237 [b]	0.3737	0.0001
e1	3.3126	0.6734 [b]	0.3839	0.0001
e2	3.4789	0.7703 [a]	0.3530	0.0001
p1	3.1423	0.8509 [a]	0.5322	0.0001
p2	3.3519	0.7489 [a]	0.4337	0.0001

a, b อักษรต่างกันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$)

จากการทดลองพบว่า ชนิดอาหารมีผลให้อัตราการเจริญเติบโตของกุ้งกุลาดำแตกต่างกัน ($P \leq 0.05$) โดยกุ้งที่กินอาหาร e2, p1 และ p2 มีอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่ากุ้งที่กินอาหาร c และ e1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 24 อัตราการแลกเนื้อของกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงด้วยอาหาร 5 ชนิด เมื่อเลี้ยงนาน 6 สัปดาห์

ชนิดของอาหารกุ้งกุลาดำ	การผลิตอาหาร (ซ้ำที่)	อัตราการแลกเนื้อ	อัตราการแลกเนื้อเฉลี่ย
c	1	2.55	2.49
	2	2.42	
e1	1	2.75	2.72
	2	2.68	
e2	1	2.72	2.67
	2	2.61	
p1	1	2.62	2.61
	2	2.59	
p2	1	2.47	2.65
	2	2.82	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 25 ผลการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของอัตราการแลกเนื้อของกุ้งกุลาดำ เมื่อแปรชนิดอาหารที่ใช้เลี้ยงเป็น 5 ชนิด

sov.	df.	SS.	MS.
ชนิดอาหาร	4	0.06	0.02 ns
error	5	0.08	0.02

ns ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$)

จากผลการทดลองพบว่าอาหารกุ้งทั้ง 5 ชนิด มีอัตราการแลกเนื้อของกุ้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \geq 0.05$)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 26 อัตราการตายของกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงด้วยอาหาร 5 ชนิด เมื่อเลี้ยงเป็นเวลา 6 สัปดาห์

ชนิดของอาหารกุ้งกุลาดำ	การผลิตอาหาร (ซ้ำที่)	จำนวนกุ้งที่เหลือเฉลี่ย (ตัว/บ่อ)	อัตราการตาย (%)	อัตราการตายเฉลี่ย (%)
c	1	15.5	3.13	4.69
	2	15	6.25	
e1	1	16	0.00	0.00
	2	16	0.00	
e2	1	16	0.00	1.57
	2	15.5	3.13	
p1	1	16	0.00	0.00
	2	16	0.00	
p2	1	16	0.00	1.57
	2	15.5	3.13	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 27 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการตายของกุ้งกุลาดำ เมื่อแปรชนิดอาหารที่ใช้เลี้ยงเป็น 5 ชนิด

sov.	df.	SS.	MS.
ชนิดอาหาร	4	29.33	7.33 ns
error	5	14.66	2.93

ns ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$)

จากผลการทดลองพบว่าอาหารที่ใช้เลี้ยงกุ้งทั้ง 5 ชนิด มีอัตราการตายของกุ้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \geq 0.05$)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย