บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ศึกษาวิธีผสม vitamin mix ในสูตรอาหาร

ผลการศึกษาวิธีผสม vitamin mix ในสูตรอาหารโดยการผสมที่อุณหภูมิ 85 และ 60 องศาเซลเซียสแล้ววิเคราะห์ปริมาณและการกระจายของวิตามินซีในอาหาร แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณวิตามินซีที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของภาชนะบรรจุเมื่อผสม vitamin mix ที่อุณหภูมิ 85 และ 60 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิผสม (°C)	ตำแหน่งบนภาชนะบรรจุ	ปริมาณวิตามินซี (มิลลิกรัม/กรัมอาหารเปียก) ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4
85	1	2.192	2.266	2.272	1.904
	2	1.963	2.365	1.608	2.272
	3	1.879	2.640	1.588	2.173
	4	1.879	2.461	1.834	2.318
	5	1.940	1.957	1.689	2.124
	ค่าเฉลี่ย±	1.971±	2.338±	1.798±	2.158±
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.129	0.254	0.282	0.162
60	1	2.517	2.602	2.165	2.414
	2	2.870	2.871	1.896	2.163
	3	1.808	2.576	2.006	2.076
	4	2.326	2.732	2.184	2.127
	5	2.102	2.524	1.868	2.713
	ค่าเฉลี่ย±	2.325±	2.661±	2.024±	2.299±
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.403	0.140	0.147	0.266

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 10312134

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณวิตามินซีในอาหารที่ได้จากการผสมที่อุณหภูมิ 85 และ 60 องศาเซลเซียส ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของภาชนะบรรจุ

SOV	d.f.	MS.
อุณหภูมิผสม (A)	1	0.681*
ตำแหน่ง (B)	4	0.061
AB	4	3.965×10^{-2}
Error	30	0.109

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 3 ผลของอุณหภูมิผสมต่อปริมาณวิตามินซีในอาหาร

อุณหภูมิผสม (°C)	ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณวิตามินซีในอาหาร(มิลลิกรัม/กรัมอาหาร)	ปริมาณที่สูญเสีย (%)
85	2.066[b] ±0.287	30.62
60	2.327[a] ±0.334	21.86

a,b ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูล พบว่าอาหารที่เตรียมจากการผสม vitamin mix ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสมีวิตามินซีเหลืออยู่ในปริมาณสูงกว่าการผสมที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส ($P \leq 0.05$) และการผสมทั้ง 2 วิธีทำให้สารอาหารมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ ($P \leq 0.05$) แต่การผสมที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสทำได้ไม่สะดวก เนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องมือที่ใช้ในการผสมสำหรับการทดลองนี้ จึงเลือกวิธีผสมที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียสสำหรับการทดลองในขั้นต่อไป

4.2 ศึกษาสภาวะอบแห้งอาหาร

4.2.1 การอบแห้งด้วยตู้อบแบบมีลมเป่าผ่าน

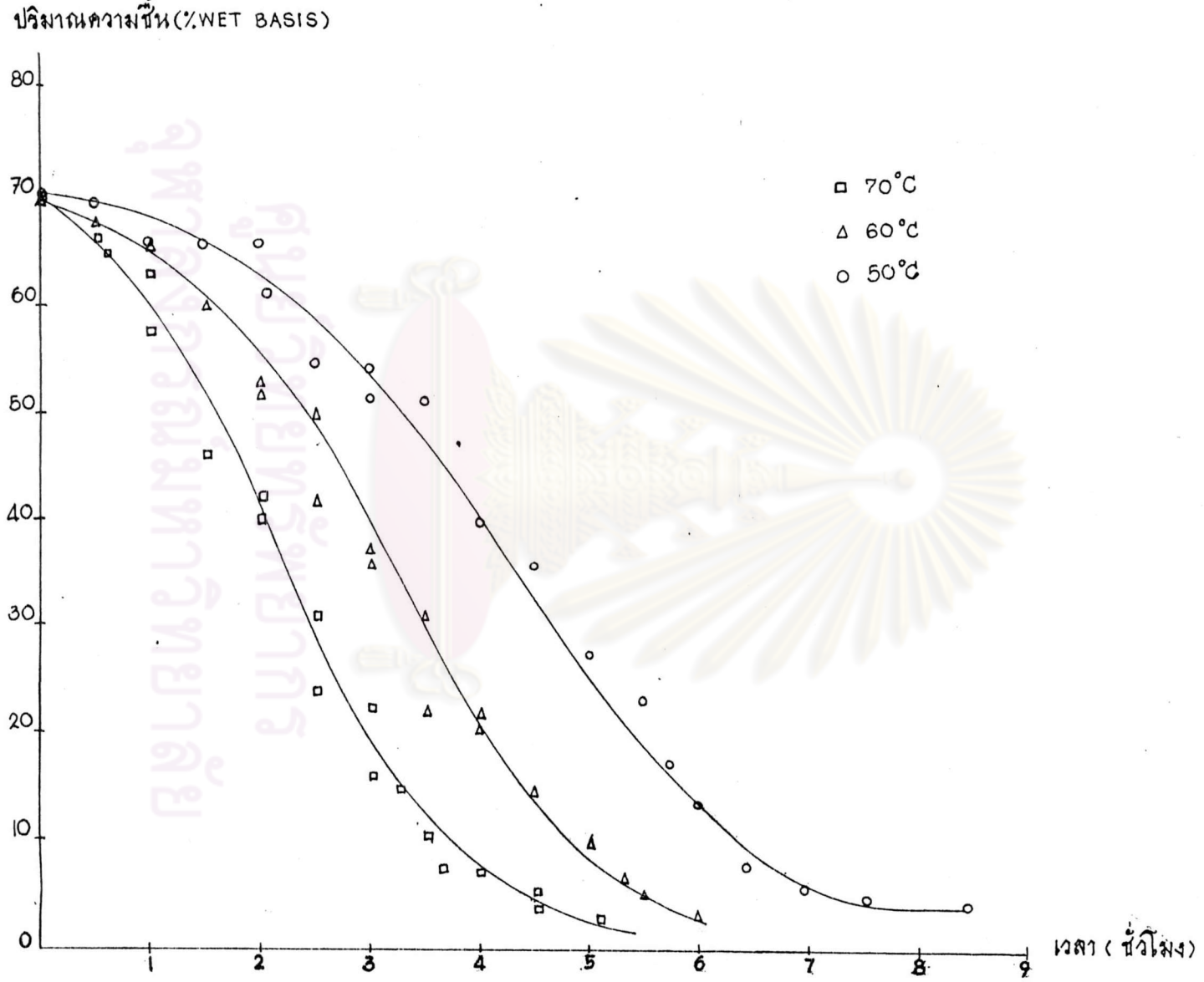
จากการอบแห้งอาหารที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส และวิเคราะห์ปริมาณความชื้นทุกครึ่งชั่วโมง จนอาหารมีความชื้นต่ำกว่า 7 % เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นของอาหารกับระยะเวลาในการอบแห้งอาหารได้ดังรูปที่ 10 และจากรูปดังกล่าวประมาณเวลาอบแห้งแต่ละอุณหภูมิได้ ดังแสดงในตารางที่ 4 และปริมาณวิตามินซีที่คงเหลือหลังการอบแห้งที่สภาวะที่สรุปได้จากแต่ละอุณหภูมิ แสดงในตารางที่ 5 ลักษณะปรากฏและอนุภาคอาหารที่ได้จากการอบแห้งด้วยตู้อบแบบมีลมเป่าผ่านแสดงในรูปที่ 11 และ 12

ตารางที่ 4 เวลาที่ต้องการในการอบแห้งอาหารด้วยตู้อบแบบมีลมเป่าผ่านที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียสจนอาหารมีความชื้นสุดท้ายต่ำกว่า 7 %

อุณหภูมิในการอบแห้ง (องศาเซลเซียส)	ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของเวลาที่ใช้ในการอบแห้งอาหาร (นาที)
50	$370.0^{a} \pm 10.0$
60	$320.0^{b} \pm 0.0$
70	$247.5^{c} \pm 7.5$

a,b,c ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 10 การเปลี่ยนของปริมาณความชื้นในอาหารกุ้งวัยอ่อนซึ่งอบแห้งด้วยตู้อบแบบมีลมเป่าผ่าน ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 5 ปริมาณวิตามินซีในอาหารที่อบแห้งด้วยตู้อบแบบมีลมเป่าผ่านที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 370, 320 และ 247.5 นาที ตามลำดับ

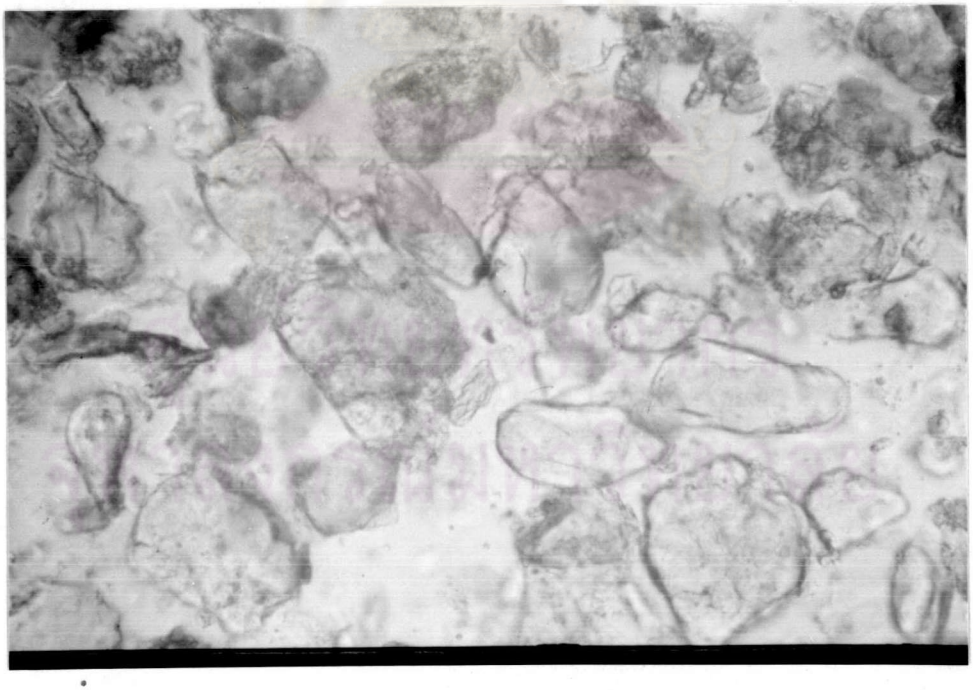
อุณหภูมิในการอบแห้ง (องศาเซลเซียส)	ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ปริมาณวิตามินซีในอาหาร (มิลลิกรัม/กรัมอาหาร)	ปริมาณที่สูญเสีย (%)
50	8.68^{b}±0.12	25.99
60	9.75^{a}±0.16	20.64
70	9.00^{b}±0.11	24.39

a,b ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลแบบ CRD พบว่าการอบแห้งอาหารด้วยตู้อบแบบมีลมเป่าผ่านที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสใช้เวลาสั้นที่สุด แต่มีปริมาณวิตามินซีเหลืออยู่น้อยกว่าอาหารที่ได้จากการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จึงสรุปได้ว่าการอบแห้งอาหารด้วยตู้อบแบบมีลมเป่าผ่านที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 320 นาทีเป็นสภาวะที่ดีที่สุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 11 ลักษณะปรากฏของอาหารที่ได้จากการอบแห้งด้วยตู้อบแบบมีลมเป่าผ่าน
ซ้าย - ก่อนบด ขวา - หลังบด



รูปที่ 12 ลักษณะอนุภาคอาหารที่ได้จากการอบแห้งด้วยตู้อบแบบมีลมเป่าผ่าน
จากกล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 100 เท่า

4.2.2 การอบแห้งด้วยตู้อบแบบสุญญากาศ

จากการอบแห้งอาหารที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส และวิเคราะห์ปริมาณความชื้นที่เวลาอบผ่านไปทุก 1 ชั่วโมง จนอาหารมีความชื้นต่ำกว่า 7 % เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นของอาหารกับระยะเวลาในการอบแห้งอาหารได้ดังรูปที่ 13 จากรูปดังกล่าวประมาณเวลาอบแห้งแต่ละอุณหภูมิได้แสดงในตารางที่ 6 และปริมาณวิตามินซีที่คงเหลือในอาหารหลังการอบแห้งที่สภาวะที่สรุปได้จากแต่ละอุณหภูมิแสดงในตารางที่ 7 ลักษณะปรากฏและอนุภาคของอาหารที่ได้จากการอบแห้งด้วยตู้อบแบบสุญญากาศ แสดงดังรูปที่ 14 และ 15

ตารางที่ 6 เวลาที่ต้องการในการอบแห้งอาหารด้วยตู้อบแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส จนอาหารมีความชื้นสุดท้ายต่ำกว่า 7 %

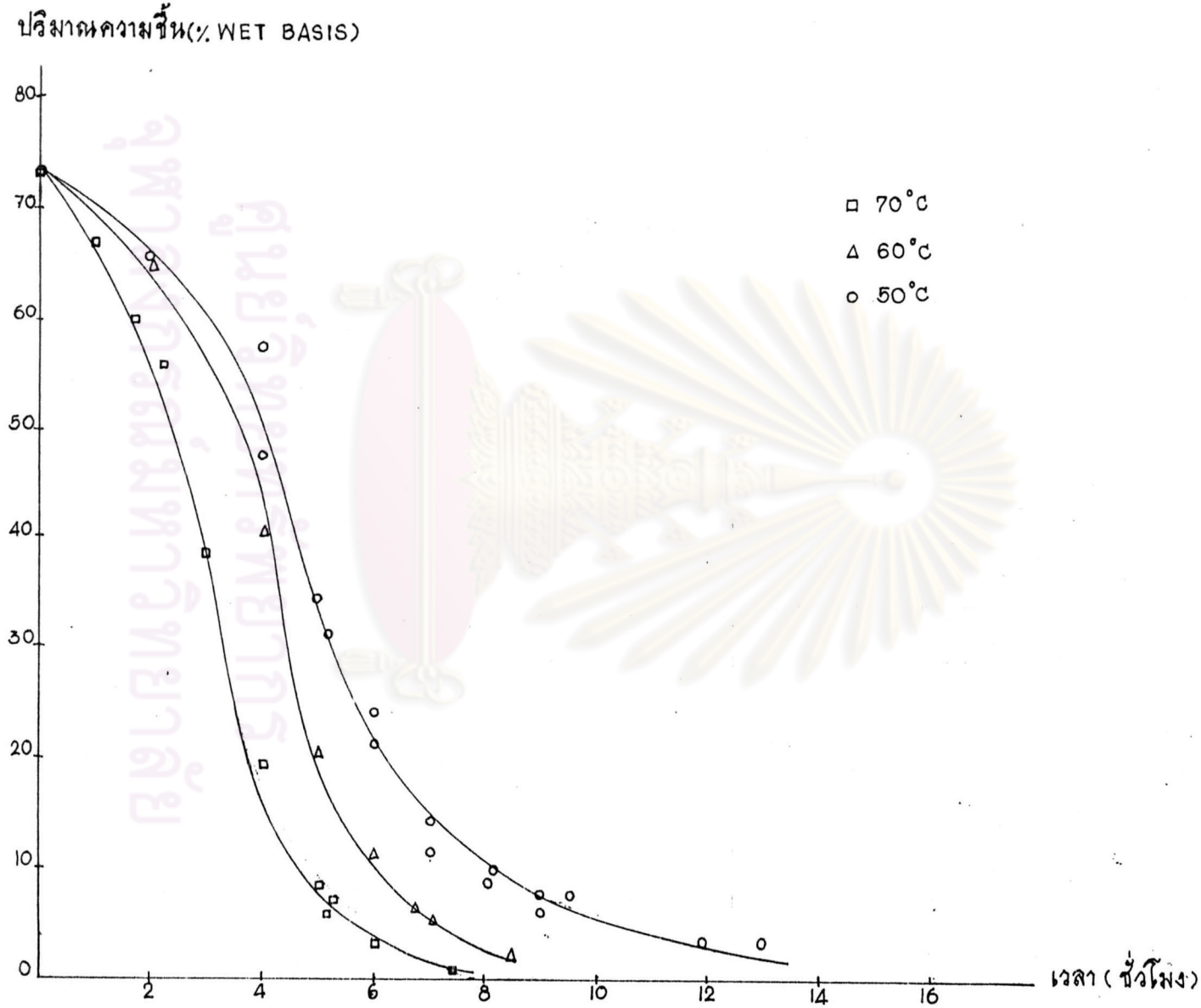
อุณหภูมิในการอบแห้ง (องศาเซลเซียส)	ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของเวลาที่ใช้ในการอบแห้งอาหาร (นาที)
50	$545^{a} \pm 7.07$
60	$405^{b} \pm 0.00$
70	$315^{c} \pm 0.00$

a,b,c ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 7 ปริมาณวิตามินซีในอาหารที่อบแห้งด้วยตู้อบแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 545, 405 และ 315 นาที ตามลำดับ

อุณหภูมิในการอบแห้ง (องศาเซลเซียส)	ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ ปริมาณวิตามินซีในอาหาร(มิลลิกรัม/กรัมอาหาร)	ปริมาณที่สูญเสีย (%)
50	$14.43^{a} \pm 0.47$	11.67
60	$11.98^{b} \pm 0.41$	21.47
70	$10.84^{b} \pm 0.18$	26.03

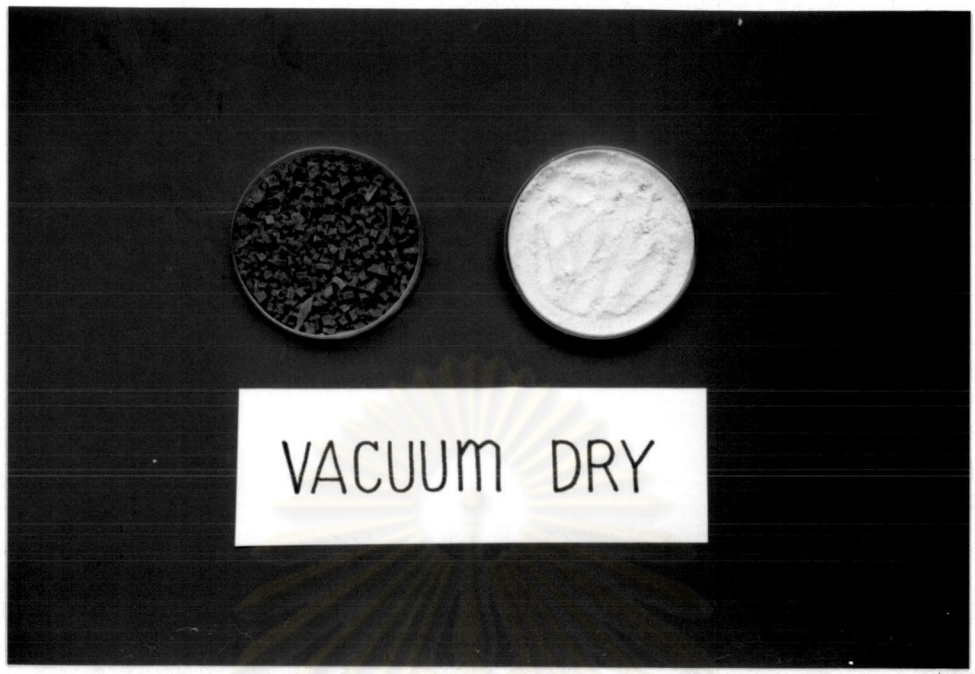
a,b ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)



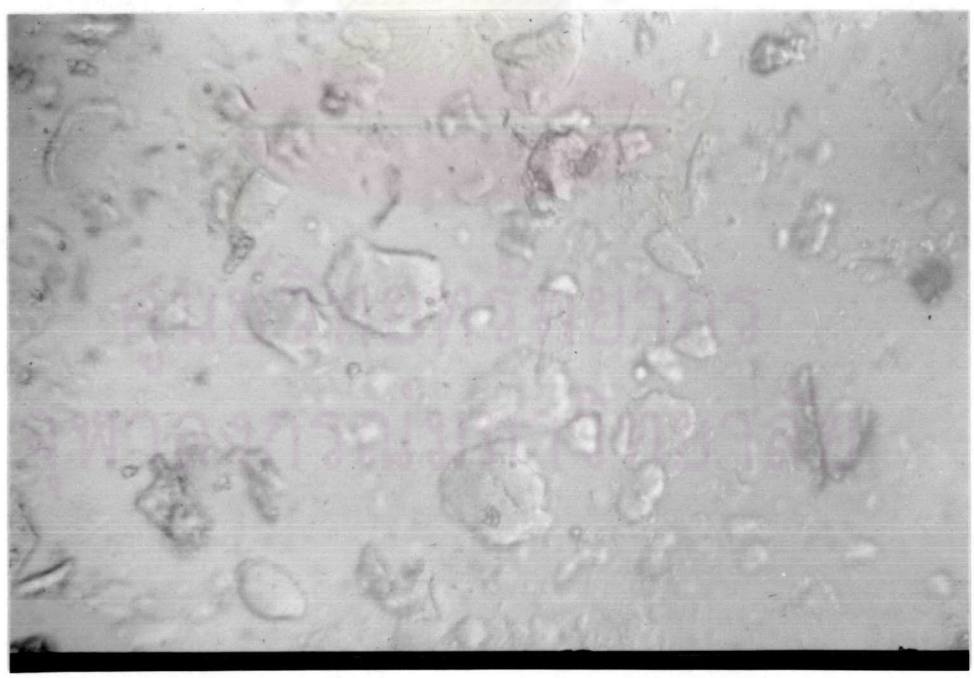
รูปที่ 13 การเปลี่ยนของปริมาณความชื้นในอาหารกุ้งวัยอ่อนซึ่งอบแห้งด้วยตู้อบแบบสุญญากาศ ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส

จากการวิเคราะห์ข้อมูลแบบ CRD พบว่าการอบแห้งอาหารด้วยตู้อบแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสใช้เวลาสั้นที่สุด แต่อาหารที่ได้จากการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสมีปริมาณวิตามินซีเหลืออยู่มากกว่าอาหารที่ได้จากการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส จึงสรุปได้ว่าการอบแห้งอาหารด้วยตู้อบแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 545 นาทีเป็นสภาวะที่ดีที่สุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 14 ลักษณะปรากฏของอาหารที่ได้จากการอบแห้งด้วยตู้อบแบบสุญญากาศ
ซ้าย - ก่อนบด ขวา - หลังบด



รูปที่ 15 ลักษณะอนุภาคอาหารที่ได้จากการอบแห้งด้วยตู้อบแบบสุญญากาศ
จากกล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 100 เท่า

4.2.3 การอบแห้งโดยวิธี freeze drying

การอบแห้งอาหารกุ้งกุลาดำวัยอ่อนด้วยวิธี freeze drying โดยใช้อุณหภูมิในการระเหิดเป็น 32 และ 38 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสุดท้ายของอาหารจะมีค่า 20-22 และ 25-26 องศาเซลเซียสตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นและปริมาณวิตามินซีของอาหารแสดงในตารางที่ 8 ลักษณะปรากฏและอนุภาคของอาหารที่ได้จากการอบแห้งด้วยวิธี freeze drying แสดงดังรูปที่ 16 และ 17

ตารางที่ 8 ปริมาณความชื้นและปริมาณวิตามินซีของอาหารที่อบแห้งโดยวิธี freeze drying ที่อุณหภูมิการระเหิด 32 และ 38 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิในการระเหิด (องศาเซลเซียส)	ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		ปริมาณวิตามินซีที่สูญเสีย (%)
	ปริมาณความชื้น(%)	ปริมาณวิตามินซี(mg/g อาหาร)	
32	4.30±0.32	10.43±0.39	8.04
38	4.34±0.12	10.22±0.28	9.27

จากการวิเคราะห์ข้อมูลแบบ CRD พบว่าอุณหภูมิในการระเหิดมีผลต่อปริมาณความชื้นและปริมาณวิตามินซีของอาหารอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ดังนั้นจึงเลือกอุณหภูมิในการระเหิดที่ 32 องศาเซลเซียสในการอบแห้งโดยวิธี freeze drying เนื่องจากประหยัดพลังงานได้มากกว่า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 16 ลักษณะปรากฏของอาหารที่ได้จากการอบแห้งโดยวิธี freeze drying
ซ้าย - ก่อนบด ขวา - หลังบด

รูปที่ 17 ลักษณะอนุภาคอาหารที่ได้จากการอบแห้งโดยวิธี freeze drying
จากกล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 100 เท่า

4.2.4 การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจาย

หาสภาวะที่เหมาะสมของการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจายโดยการเปรียบเทียบปริมาณความชื้น ปริมาณวิตามินซี ขนาดอนุภาคอาหาร และ % yield ของอาหารที่ได้จากการอบแห้ง เมื่อใช้อุณหภูมิลมร้อน 120, 140 และ 160 องศาเซลเซียส และปริมาณของแข็งทั้งหมดในอาหารเป็น 14, 17 และ 20 % (ตารางที่ 9) ลักษณะปรากฏและอนุภาคของอาหารที่ได้จากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจาย แสดงดังรูปที่ 18 และ 19

ตารางที่ 9 ผลของความเข้มข้นของอาหารและอุณหภูมิลมร้อนต่อปริมาณความชื้น สัดส่วนโดยน้ำหนักของอนุภาคอาหารขนาด 53-150 ไมครอนกับขนาด <53 ไมครอน (สัดส่วนอนุภาค) % yield และปริมาณวิตามินซีของอาหารที่ได้จากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจาย

ปริมาณของแข็งทั้งหมด (ร้อยละ)	อุณหภูมิลมร้อน (°C)	ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				ปริมาณที่สูญเสีย (%)
		ปริมาณความชื้น (%)	สัดส่วนอนุภาค	%yield	ปริมาณวิตามินซี (มิลลิกรัม/กรัมอาหาร)	
20	160	2.92^{b} ±0.04	3.01±0.11	14.14^{e} ±1.39	15.70^{a} ±0.28	6.59
	140	3.55^{b} ±0.43	3.54±0.23	19.10^{d} ±0.98	11.76^{cd} ±0.65	22.35
	120	4.69^{a} ±0.13	4.16±1.79	18.85^{de} ±0.17	11.52^{d} ±0.13	23.31
17	160	3.58^{b} ±0.00	2.40±0.28	21.10^{d} ±3.82	13.09^{bcd} ±0.87	17.03
	140	3.00^{b} ±0.29	3.07±0.01	26.34^{c} ±0.70	12.72^{bcd} ±0.70	18.51
	120	3.15^{b} ±0.16	5.15±2.29	34.28^{b} ±0.81	11.79^{bcd} ±0.03	22.23
14	160	3.11^{b} ±0.32	6.76±2.21	40.37^{a} ±0.63	13.32^{bcd} ±1.08	16.11
	140	3.25^{b} ±0.17	2.72±0.25	30.65^{bc} ±0.24	13.68^{abc} ±0.03	14.67
	120	3.71^{b} ±0.32	5.08±0.99	32.72^{b} ±0.86	14.33^{ab} ±0.25	12.07

a,b,c,d,e ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณความชื้น สัดส่วนอนุภาคอาหาร % yield และปริมาณวิตามินซีของอาหารที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นกระจาย

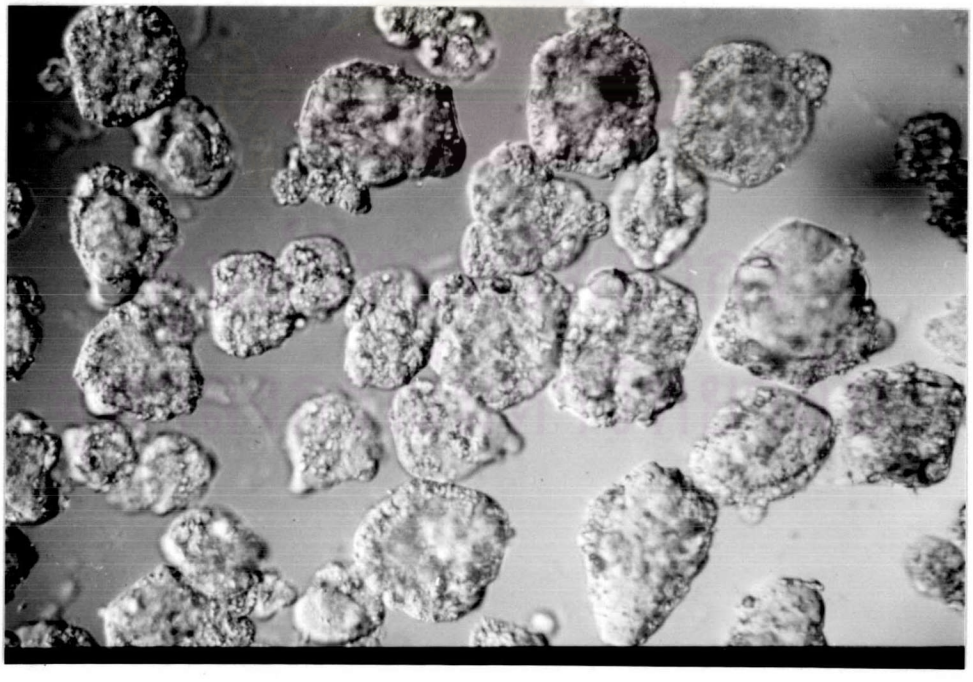
SOV	d.f.	MS.			
		ปริมาณความชื้น	สัดส่วนอนุภาค	% yield	ปริมาณวิตามินซี
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (A)	2	0.372	3.079	447.766*	2.384
อุณหภูมิลมร้อน (B)	2	0.757*	4.900	22.294*	3.969*
AB	4	0.613*	4.679	66.923*	4.230*
Error	9	0.120	3.226	4.401	0.659

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลแบบ 2-ways analysis of variance พบว่าปัจจัยร่วมระหว่างปริมาณของแข็งทั้งหมดในอาหารกับอุณหภูมิลมร้อน มีผลต่อปริมาณความชื้น ปริมาณวิตามินซีและ%yield อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) แต่ปัจจัยที่ศึกษามีผลต่อขนาดอนุภาคอาหารอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) และสภาวะที่ดีที่สุดในการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจายคืออาหารที่ป้อนเข้าเครื่องอบแห้งมีปริมาณของแข็งทั้งหมด 14% และใช้อุณหภูมิลมร้อน 120 องศาเซลเซียส

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 18 ลักษณะปรากฏของอาหารที่ได้จากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจาย



รูปที่ 19 ลักษณะอนุภาคอาหารที่ได้จากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจาย จากกล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 100 เท่า

4.3 ศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพของอาหารกุ้งกุลาดำวัยอ่อนที่ได้จากการอบแห้ง 4 แบบ

การเปรียบเทียบคุณภาพของอาหารกุ้งกุลาดำวัยอ่อนที่ได้จากการอบแห้ง 4 แบบ ด้วยสภาวะการอบแห้งที่ดีที่สุดของการอบแห้งแต่ละแบบ โดยการวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซี องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร แสดงในตารางที่ 11 และ 12 และนำอาหารไปเลี้ยงกุ้งกุลาดำวัยอ่อนจากระยะ Zoea3 ถึง Postlarva2 เปรียบเทียบกับอาหารธรรมชาติและอาหารที่ผลิตทางการค้า หาอัตรารอดและวัดความยาวเหยียดของลูกกุ้งวัยอ่อนผลการเลี้ยงลูกกุ้งวัยอ่อนด้วยอาหารที่ผลิตขึ้นและเก็บที่อุณหภูมิแช่แข็งเป็นเวลา 15 วัน (การเลี้ยงครั้งที่ 1) และหลังจากเก็บอาหารที่อุณหภูมิแช่แข็งเป็นเวลา 60 วัน (การเลี้ยงครั้งที่ 2) แสดงได้ดังตารางที่ 13 และ 15 สมบัติของน้ำทะเลที่ใช้ในการเลี้ยงลูกกุ้งวัยอ่อนทั้ง 2 ครั้งแสดงในตารางที่ 17

ตารางที่ 11 ปริมาณวิตามินซีในอาหารที่ได้จากการอบแห้ง 4 แบบ

วิธีอบแห้ง	ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณวิตามินซี (mg/g อาหาร)	ปริมาณที่สูญเสีย (%)
ตู้อบแบบมีลมเป่าผ่าน	$20.65^{b} \pm 0.12$	20.22
ตู้อบแบบสุญญากาศ	$22.18^{b} \pm 0.39$	16.58
การอบแห้งด้วยวิธี freeze drying	$25.75^{a} \pm 1.01$	8.08
เครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจาย	$24.74^{a} \pm 0.12$	10.49

a,b ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 12 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารกุ้งวัยอ่อนที่ผลิตได้จากการอบแห้ง 4 แบบ และอาหารที่ผลิตทางการค้า

ชนิดอาหาร	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานขององค์ประกอบทางเคมีของอาหาร (%)					
	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า	เส้นใย	คาร์โบไฮเดรต
ตู้อบแบบมีลมเป่าผ่าน	$10.19^{b}\pm0.10$	$42.01^{a}\pm1.17$	$8.01^{b}\pm0.02$	$7.35^{b}\pm0.04$	$2.61^{ab}\pm0.28$	$29.85^{b}\pm0.93$
ตู้อบแบบสุญญากาศ	$10.90^{b}\pm0.54$	$42.78^{a}\pm1.32$	$7.31^{b}\pm0.24$	$7.43^{b}\pm0.00$	$2.73^{ab}\pm0.03$	$28.86^{b}\pm0.51$
การทำแห้งด้วยวิธี freeze drying	$9.54^{b}\pm0.20$	$42.94^{a}\pm1.49$	$8.28^{b}\pm0.78$	$7.62^{b}\pm0.33$	$2.42^{b}\pm0.14$	$29.99^{b}\pm0.66$
เครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจาย	$9.68^{b}\pm0.69$	$31.32^{b}\pm0.23$	$5.27^{c}\pm0.51$	$9.00^{a}\pm0.53$	$2.95^{a}\pm0.14$	$41.79^{a}\pm0.06$
อาหารที่ผลิตทางการค้า	$4.74^{a}\pm0.12$	$41.93^{a}\pm0.51$	$32.06^{a}\pm0.18$	$6.99^{b}\pm0.25$	$0.58^{c}\pm0.16$	$13.71^{c}\pm0.47$

a,b,c ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 13 อัตรารอดและความยาวเหยียดของกุ้งกุลาดำวัยอ่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารจากการอบแห้ง 4 แบบเปรียบเทียบกับอาหารธรรมชาติและอาหารที่ผลิตทางการค้า หลังจากเก็บอาหารที่อุณหภูมิแช่แข็งเป็นเวลา 15 วัน

ชนิดอาหาร	ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		ความยาวเหยียดที่เพิ่มขึ้น (มิลลิเมตร)
	อัตรารอด(%)	ความยาวเหยียด (มิลลิเมตร)	
อาหารธรรมชาติ	69.25^{a} ±3.18	5.42^{a}±0.08	2.61^{a}
อาหารที่ผลิตทางการค้า	47.25^{c} ±1.77	5.38^{a}±0.04	2.57^{a}
ตู้อบแบบมีลมเป่าผ่าน	62.50^{b} ±2.12	5.33^{a}±0.02	2.52^{a}
ตู้อบแบบสุญญากาศ	63.50^{a,b}±2.12	5.33^{a}±0.06	2.52^{a}
การอบแห้งด้วยวิธีfreeze drying	67.00^{a,b}±0.00	5.37^{a}±0.01	2.56^{a}
เครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจาย	49.25^{c} ±3.18	5.35^{a}±0.02	2.54^{a}

ความยาวเหยียดเฉลี่ยเริ่มต้น 2.81 มิลลิเมตร

a,b,c ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตรารอดและความยาวเหยียดของกุ้งกุลาดำวัยอ่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารจากการอบแห้ง 4 แบบเปรียบเทียบกับอาหารธรรมชาติและอาหารที่ผลิตทางการค้า หลังจากเก็บอาหารที่อุณหภูมิแช่แข็งเป็นเวลา 15 วัน

SOV	d.f.	MS.	
		อัตรารอด	ความยาวเหยียด
Treatment	5	172.371*	2.252×10^{-3}
Error	6	5.396	1.907×10^{-3}

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 15 อัตรารอดและความยาวเหยียดของกุ้งกุลาดำวัยอ่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารจากการอบแห้ง 4 แบบเปรียบเทียบกับอาหารธรรมชาติและอาหารที่ผลิตทางการค้า หลังจากเก็บอาหารที่อุณหภูมิแช่แข็งเป็นเวลา 60 วัน

ชนิดอาหาร	ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		ความยาวเหยียดที่เพิ่มขึ้น (มิลลิเมตร)
	อัตรารอด(%)	ความยาวเหยียด (มิลลิเมตร)	
อาหารธรรมชาติ	$57.00^{a}\pm0.00$	$5.09^{a}\pm0.09$	2.44^{a}
อาหารที่ผลิตทางการค้า	$27.00^{d}\pm2.83$	$4.79^{a}\pm0.08$	2.14^{a}
ตู้อบแบบมีลมเป่าผ่าน	$39.00^{c}\pm2.12$	$4.85^{a}\pm0.04$	2.20^{a}
ตู้อบแบบสุญญากาศ	$43.25^{b}\pm0.35$	$4.87^{a}\pm0.13$	2.22^{a}
การอบแห้งด้วยวิธีfreeze drying	$46.75^{b}\pm0.35$	$4.79^{a}\pm0.06$	2.14^{a}
เครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจาย	$35.75^{c}\pm0.35$	$4.78^{a}\pm0.11$	2.13^{a}

ความยาวเหยียดเฉลี่ยเริ่มต้น 2.65 มิลลิเมตร

a,b,c,d ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตรารอดและความยาวเหยียดของกุ้งกุลาดำวัยอ่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารจากการอบแห้ง 4 แบบเปรียบเทียบกับอาหารธรรมชาติและอาหารที่ผลิตทางการค้า หลังจากเก็บอาหารที่อุณหภูมิแช่แข็งเป็นเวลา 60 วัน

SOV	d.f.	MS.	
		อัตรารอด	ความยาวเหยียด
Treatment	5	208.171^{*}	2.866×10^{-2}
Error	6	2.646	7.924×10^{-3}

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 17 สมบัติของน้ำทะเลที่ใช้ในการเลี้ยงลูกกุ้งกุลาดำวัยอ่อน

	การเลี้ยงครั้งที่ 1		การเลี้ยงครั้งที่ 2	
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2
อุณหภูมิ (°C)				
9.00 น.	27.3-27.5	27.5-27.8	28.5-29.0	28.4-29.0
17.00 น.	28.2-28.8	28.7-29.3	29.0-29.2	29.0-29.4
pH	7.5-8.5	7.5-8.5	8.0-8.5	8.0-8.5
ความเค็ม (ppt.)	30.0-33.0	30.0-33.0	29.5-31.0	29.5-31.0

จากการวิเคราะห์ข้อมูลแบบ CRD พบว่าอาหารที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจายและวิธี freeze drying มีปริมาณวิตามินซีเหลืออยู่สูงกว่าอาหารที่อบแห้งด้วยตู้อบแบบมีลมเป่าผ่านและตู้อบแบบสุญญากาศอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) องค์ประกอบทางเคมีของอาหารที่ได้จากการอบแห้งแต่ละวิธี และอาหารที่ผลิตทางการค้าต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) และจากการวิเคราะห์ข้อมูลอัตรารอดและความยาวเหยียดของลูกกุ้งวัยอ่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารที่ผลิตได้จากการอบแห้งทั้ง 4 วิธี เปรียบเทียบกับอาหารธรรมชาติและอาหารที่ผลิตทางการค้าในการเลี้ยงทั้ง 2 ครั้ง พบว่าลูกกุ้งมีอัตราการรอดต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) แต่ความยาวเหยียดไม่ต่างกัน ($P \leq 0.05$)

4.5 ศึกษาอายุการเก็บอาหารกุ้งวัยอ่อน

การศึกษาอายุการเก็บอาหารกุ้งวัยอ่อน โดยบรรจุอาหารที่ผลิตได้ในถุง laminate และ Eval film ภายใต้บรรยากาศของกาซไนโตรเจน แล้วเก็บที่อุณหภูมิ 4-10°C วิเคราะห์ปริมาณวิตามินซี ปริมาณความชื้น และค่า TBA ทุกเดือน เป็นเวลา 4 เดือน ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 18, 19 และ 20 และรูปที่ 20, 21 และ 22

ตารางที่ 18 ปริมาณวิตามินซีที่ตรวจพบและปริมาณที่สูญเสียในอาหารที่บรรจุในถุง laminate และ Eval film และเก็บที่อุณหภูมิ 4-10°C เป็นเวลา 0-4 เดือน

อายุการเก็บ (เดือน)	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณวิตามินซี(mg/g อาหาร)		ปริมาณที่สูญเสีย (%)	
	ถุง laminate	ถุง Eval film	ถุง laminate	ถุง Eval film
0	$18.26^{a} \pm 0.11$	$18.26^{a} \pm 0.11$	0.00	0.00
1	$10.82^{b} \pm 0.22$	$11.60^{b} \pm 0.49$	40.74	36.47
2	$10.62^{bc} \pm 0.01$	$9.83^{c} \pm 0.28$	41.84	46.17
3	$9.80^{c} \pm 0.84$	$9.54^{c} \pm 0.28$	46.33	47.75
4	$8.32^{d} \pm 0.25$	$7.77^{d} \pm 0.07$	54.44	57.45

a,b,c,d ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 19 ค่า TBA ของอาหารที่บรรจุในถุง laminate และ Eval film และเก็บที่อุณหภูมิ 4-10°C เป็นเวลา 0-4 เดือน

อายุการเก็บ (เดือน)	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า TBA (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	
	ถุง laminate	ถุง Eval film
0	$8.42^{a} \pm 0.11$	$8.42^{a} \pm 0.11$
1	$7.80^{a} \pm 0.61$	$8.29^{a} \pm 1.39$
2	$9.20^{a} \pm 0.08$	$10.67^{b} \pm 0.21$
3	$13.75^{b} \pm 1.04$	$13.14^{c} \pm 0.52$
4	$14.44^{b} \pm 1.62$	$14.76^{c} \pm 1.38$

a,b,c ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกัน ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 20 ปริมาณความชื้นของอาหารที่บรรจุในถุง laminate และ Eval film และเก็บที่อุณหภูมิ 4-10°C เป็นเวลา 0-4 เดือน

อายุการเก็บ (เดือน)	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณความชื้น (%)	
	ถุง laminate	ถุง Eval film
0	$5.96^{Ab} \pm 0.01$	$5.96^{Aa} \pm 0.01$
1	$5.42^{Aa} \pm 0.25$	$6.14^{Ba} \pm 0.26$
2	$5.95^{Ab} \pm 0.07$	$6.66^{Bb} \pm 0.19$
3	$6.31^{Abc} \pm 0.13$	$6.89^{Bb} \pm 0.33$
4	$6.52^{Abc} \pm 0.34$	$7.33^{Bbc} \pm 0.01$

a,b,c ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

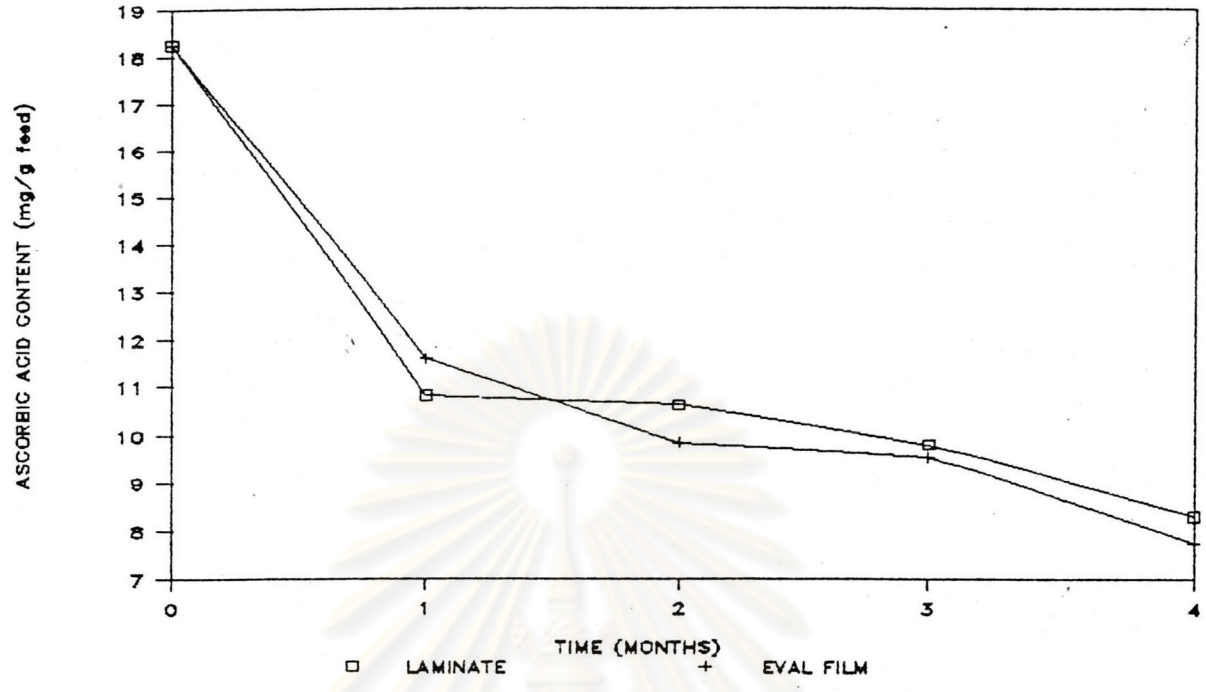
A,B ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวนอนเดียวกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 21 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณวิตามินซี ค่า TBA และปริมาณความชื้น ของอาหารที่บรรจุในถุง laminate และ Eval film และเก็บที่อุณหภูมิ 4-10°C เป็นเวลา 0-4 เดือน

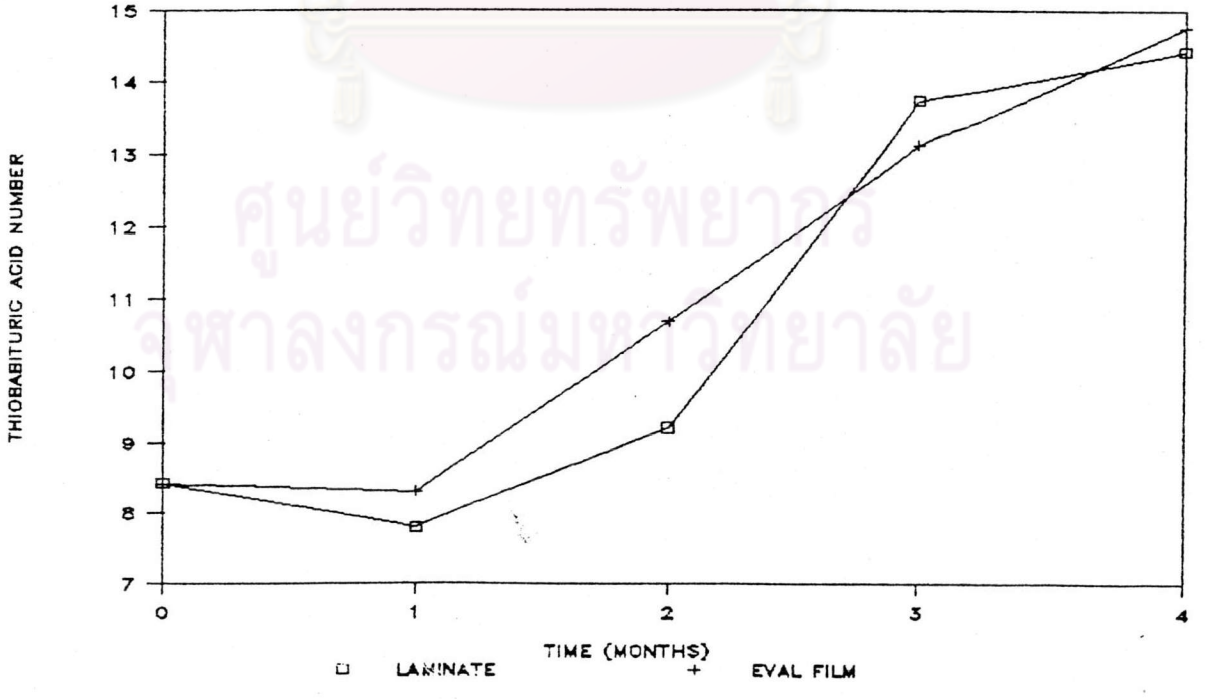
SOV	d.f.	MS.		
		ปริมาณวิตามินซี	ค่า TBA	ปริมาณความชื้น
วัสดุภาชนะบรรจุ (A)	1	0.130	0.561	1.579*
อายุการเก็บ (B)	4	62.726*	35.368*	0.865*
AB	4	0.364	0.580	0.105
Error	10	0.125	0.826	4.153×10^{-2}

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

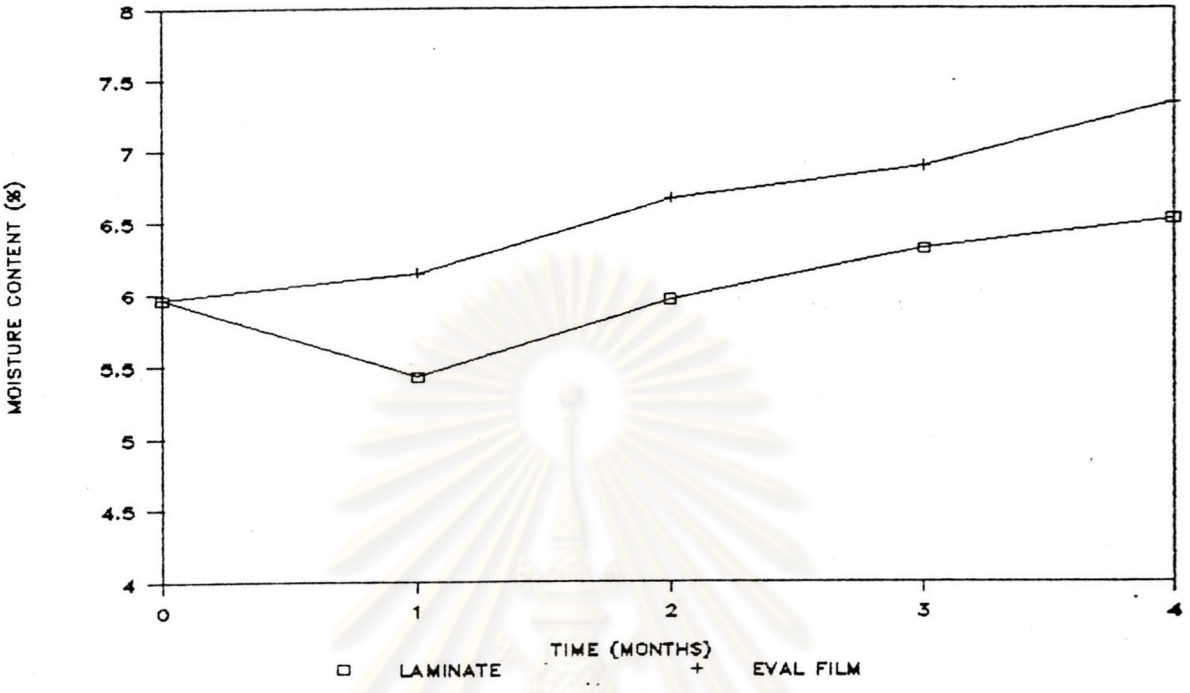


รูปที่ 20 การเปลี่ยนของปริมาณวิตามินซีในอาหารที่บรรจุในถุง laminate และ Eval film และเก็บที่อุณหภูมิ 4-10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 เดือน



รูปที่ 21 การเปลี่ยนของค่า TBA ในอาหารที่บรรจุในถุง laminate และ Eval film และเก็บที่อุณหภูมิ 4-10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 เดือน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 22 การเปลี่ยนของปริมาณความชื้นในอาหารที่บรรจุในถุง laminate และ Eval film และเก็บที่อุณหภูมิ 4-10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 เดือน

จากการวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Asymmetric Factorial Experiment พบว่าวัสดุภาชนะบรรจุมีผลต่อปริมาณวิตามินซีและค่า TBA อย่างไม่มีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) และถุง laminate สามารถกันความชื้นได้ดีกว่าถุง Eval film อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาอายุการเก็บอาหาร พบว่าเมื่ออายุการเก็บเพิ่มขึ้น ปริมาณวิตามินซีจะลดลง ส่วนปริมาณความชื้นและค่า TBA จะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

4.6 การประมาณต้นทุนในการผลิตอาหารกุ้งวัยอ่อน

ประมาณต้นทุนในการผลิตอาหารกุ้งวัยอ่อน จากค่าวัสดุอาหาร วัสดุภาชนะบรรจุ และพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งอาหารที่สภาวะที่ดีที่สุดของการอบแห้งทั้ง 4 แบบ แสดงได้ดังต่อไปนี้

4.6.1 ค่าวัสดุอาหาร

ส่วนประกอบอาหาร	ปริมาณที่ใช้ (กรัม)	ราคาต่อกิโลกรัม (บาท)	ต้นทุน (บาท)
casein	55.00	230	12.65
glucose	4.23	80	0.34
sucrose	7.69	13	0.10
α-starch	3.08	10	0.03
Fish oil	6.00	20	0.12
Na-citrate	0.30	130	0.04
Na-succinate	0.30	700	0.21
Glucosamine-HCl	0.80	7500	6.00
Vitamin mix	3.90	200	0.78
Cholesterol	1.00	1200	1.20
Soybean lecithin	3.00	90	0.27
Cellulose	6.10	250	1.53
K-carrageenan	5.00	450	2.25
K_2HPO_4	2.01	740	1.49
$Ca_3(PO_4)_2$	2.74	120	0.33
$MgSO_4\ 7H_2O$	3.06	33	0.10
NaH_2PO_4	0.79	55	0.04
รวม	100.00		27.48

4.6.2 ค่าวัสดุภาชนะบรรจุ

ถุง laminated foil (OPP/PE/AL/PE/PE film) ขนาด 14.0x23.5 ซม. ราคาใบละ 1.70 บาท

4.6.3 ค่าพลังงานที่ใช้ในการทำแห้งอาหาร

เครื่องอบแห้งแบบมีลมเป่าผ่าน

อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 320 นาที

กำลังไฟฟ้าของเครื่อง 1.63 กิโลวัตต์

ดังนั้นจำนวนไฟฟ้าที่ใช้เป็น 1.63x(320/60) = 8.69 หน่วย

คิดเป็นเงิน 11.48 บาท

เครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ

อบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 545 นาที

กำลังไฟฟ้าของเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ 1.034 กิโลวัตต์

กำลังไฟฟ้าของปั๊มสุญญากาศ 0.25 กิโลวัตต์

ดังนั้นจำนวนไฟฟ้าที่ใช้เป็น (1.034+0.25)x(545/60)= 11.66 หน่วย

คิดเป็นเงิน 15.39 บาท

เครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจาย

อบแห้งด้วยอุณหภูมิลมร้อน 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

กำลังไฟฟ้าของเครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจาย 2.684 กิโลวัตต์

ดังนั้นจำนวนไฟฟ้าที่ใช้เป็น 2.684x(30/60) = 1.342 หน่วย

คิดเป็นเงิน 1.77 บาท

สมมุติให้ % yield ของการอบแห้งแบบนี้เป็น 32 %

การทำแห้งอาหารให้ได้ผลิตภัณฑ์ 100 กรัม จึงคิดเป็นเงิน 5.33 บาท

freeze dryer

อบแห้งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ด้วยอุณหภูมิในการระเหิด 32 องศาเซลเซียส

กำลังไฟฟ้าของเครื่อง freeze dryer 2.667 กิโลวัตต์

ดังนั้นจำนวนไฟฟ้าที่ใช้เป็น 2.667x24 = 64.01 หน่วย

น้ำไหลทิ้งนาทีละ 5 ลิตร คิดเป็น 5x(24x60) = 7200 ลิตร

คิดเป็นเงิน 84.50 + 50.40 = 134.9 บาท

สามารถผลิตอาหารได้ 300 กรัมต่อครั้ง

ดังนั้นการทำแห้งอาหารให้ได้ผลิตภัณฑ์ 100 กรัมจึงคิดเป็นเงิน 44.97 บาท

หมายเหตุ ค่าไฟฟ้าหน่วยละ 1.32 บาท

ค่าน้ำต้นละ 7 บาท