หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การเก็บตัวอย่างสาหร่าย

ผลการเก็บตัวอย่างสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล 5 สกุล แสดงในตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1 ซึ่งจะแสดงจังหวัดที่เก็บตัวอย่างสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลทั้ง 5 สกุลนี้

ตารางที่ 4.1 แหล่งที่เก็บตัวอย่างสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล 5 สกุล

สถานที่เก็บ	*Chnoospora*	*Hydroclathrus*	*Padina*	*Sargassum*	*Turbinaria*
จังหวัดชลบุรี					
หาดพัทยาใต้ หน้าสถานีตำรวจภูธร			**		
หาดหน้าสถานีวิจัยประมง ศรีราชา		*	**		
อ่าวดงตาล ฐานทัพเรือสัตหีบ				*	
จังหวัดระยอง					
หาดบ้านเพ ใกล้สถานีประมง			**	**	
ก้นอ่าว			**	**	
จังหวัดตราด					
อ่าวช่อ		**	*		
แหลมศอก					
แหลมเทียน				**	

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถานที่เก็บ	Chnoospora	Hydroclathrus	Padina	Sargassum	Turbinaria
<u>จังหวัดประจวบคีรีขันธ์</u>					
แหลมตาต๊ง อ่าวมะนาว			**	**	
<u>จังหวัดนครศรีธรรมราช</u>					
หาดหินงาม อำเภอสิชล	***				
<u>จังหวัดพังงา</u>					
หาดทับตะวัน อำเภอตะกั่วป่า			**	*	
ปากวีปฟาร์ม อำเภอตะกั่วป่า			**	***	
แหลมปะการัง อำเภอตะกั่วป่า					*
<u>จังหวัดภูเก็ต</u>					
หาดไนยาง อำเภอถลาง			**	***	**

<u>หมายเหตุ</u> :- * พบบ้างเล็กน้อย
** พบปานกลาง
*** พบมาก

พบว่าสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลที่พบมากที่สุดคือสกุล <u>Sargassum</u> สามารถพบได้เกือบทุกจังหวัดที่ไปเก็บตัวอย่างสาหร่าย และสามารถพบเกือบตลอดทั้งปี และในบางแหล่ง เช่น หาดไนยาง อำเภอถลาง จังหวัดภูเก็ต มีปริมาณสาหร่าย <u>Sargassum</u> เจริญอยู่อย่างหนาแน่นมากกินพื้นที่เป็นบริเวณกว้าง และสาหร่ายก็มีขนาดต้นยาวมากสกุล <u>Padina</u> เป็นสาหร่ายอีกสกุลที่พบเกือบทุกจังหวัดที่ไปสำรวจ แต่การพบแต่ละแหล่งมีปริมาณไม่มากเท่า <u>Sargassum</u>

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.1 แผนที่แสดงจังหวัดที่เก็บตัวอย่างสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล

* : จังหวัดที่เก็บตัวอย่าง

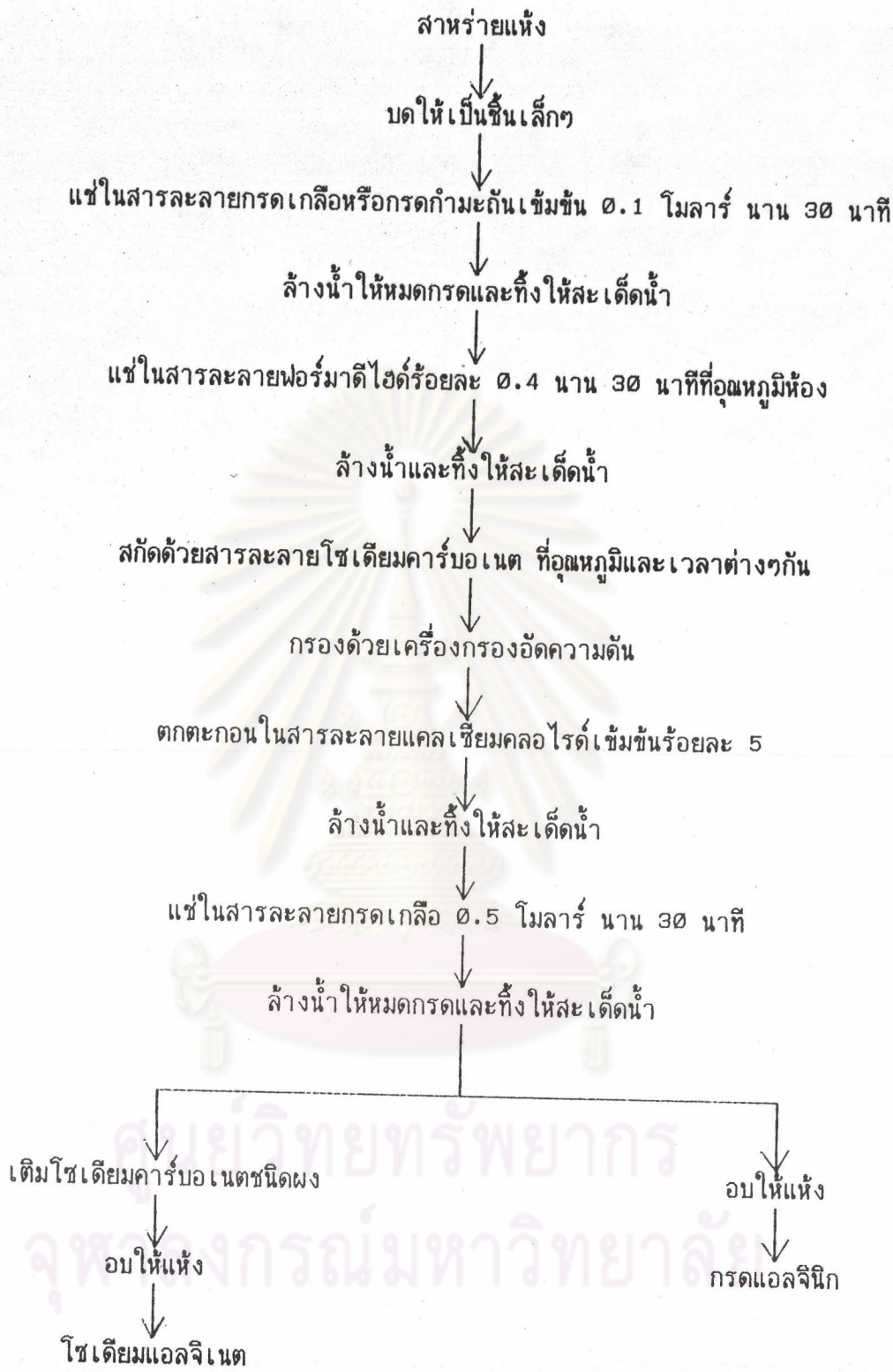
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อีกทั้งต้นมีขนาดเล็ก ส่วน Chnoospora แม้จะพบเฉพาะที่หาดหินงาม อำเภอสิชล จังหวัดนครศรีธรรมราช แต่พบว่าขึ้นกันอย่างหนาแน่นเป็นปริมาณมาก จนทำให้ก้อนหินเกือบจะทุกก้อนถูกปกคลุมด้วยสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลชนิดนี้ ซึ่งมีต้นยาวแตกแขนงออกมากมาย ตลอดแนวชายหาดเป็นระยะทางหลายกิโลเมตร โดยเฉพาะในช่วงเดือนเมษายนจะมีมากที่สุด ส่วนสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลที่เหลือมีปริมาณไม่มากและต้นยังมีขนาดเล็ก

4.2 ผลการทดลองสกัดแอลจิเนต

4.2.1 จากการศึกษาวิธีการสกัดแอลจิเนตแบบต่าง ๆ จากเอกสาร และการทดลองเบื้องต้นจึงเลือกวิธีของ McHugh (1) มาดัดแปลงขั้นตอนการสกัดบางส่วนให้เหมาะสมกับงานวิจัยนี้ คือ ลดขั้นตอน การอัดฟองอากาศลงในสารละลายโซเดียมแอลจิเนตที่กรองได้ (flotation) ที่ใช้เพื่อให้พวกกากสาหร่ายที่อาจติดมาลอยขึ้นสู่ผิวหน้าและช้อนออกได้ง่าย ลดปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ที่ใช้ในการตกตะกอนแคลเซียมแอลจิเนตจากร้อยละ 10.0 เหลือร้อยละ 5.0 ดังแสดงในรูปที่ 4.2

4.2.2 ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการสกัดที่มีผลต่อปริมาณกรดแอลจินิกที่สกัดได้ โดยใช้โซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นร้อยละ 1.5 โดยแปรอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด 4 ระดับคือ อุณหภูมิห้อง 50, 70 และ 90 องศาเซลเซียส และแปรระยะเวลาในการสกัด 4 ระดับ คือ 60, 90, 120 และ 150 นาที สาหร่ายทะเลสีน้ำตาลทั้ง 5 สกุลที่ใช้ในการสกัดแอลจิเนตสามารถวิเคราะห์ชนิดได้ 4 สกุล คือ Chnoospora minima จากหาดหินงาม อ.สิชล จ.นครศรีธรรมราช Turbinaria decurrens จากหาดไนยาง อ.ถลาง จ.ภูเก็ต Sargassum spp. จากหาดไนยาง อ.ถลาง จ.ภูเก็ต Hydroclathrus clathratus จากอ่าวช่อ อ.เมือง จ.ตราด Padina boryana จากหาดทับตะวัน อ.ตะกั่วป่า จ.พังงา ร้อยละของปริมาณกรดแอลจินิกที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลทั้ง 5 สกุล ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และ 4.7 และรูปที่ 4.3 ถึง 4.7 ตามลำดับ



รูปที่ 4.2 กระบวนการสกัดแอลจิเนตและกรดแอลจินิกจากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.2 ปริมาณร้อยละของกรดแอลจินิกที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล *Chnoospora minima* ที่อุณหภูมิและเวลาในการสกัดต่าง ๆ

ระยะเวลาในการสกัด (นาที)	ปริมาณร้อยละของกรดแอลจินิก			
	อุณหภูมิในการสกัด (องศาเซลเซียส)			
	อุณหภูมิห้อง	50	70	90
60	21.76^{f}	29.67^{e}	36.22^{b-d}	40.71^{a-b}
90	23.97^{f}	30.02^{e}	37.98^{a-b}	39.82^{a-b}
120	24.05^{f}	31.79^{d-e}	39.32^{a-b}	38.54^{a-b}
150	25.12^{f}	33.19^{c-d-e}	41.22^{a}	37.70^{a-b-c}

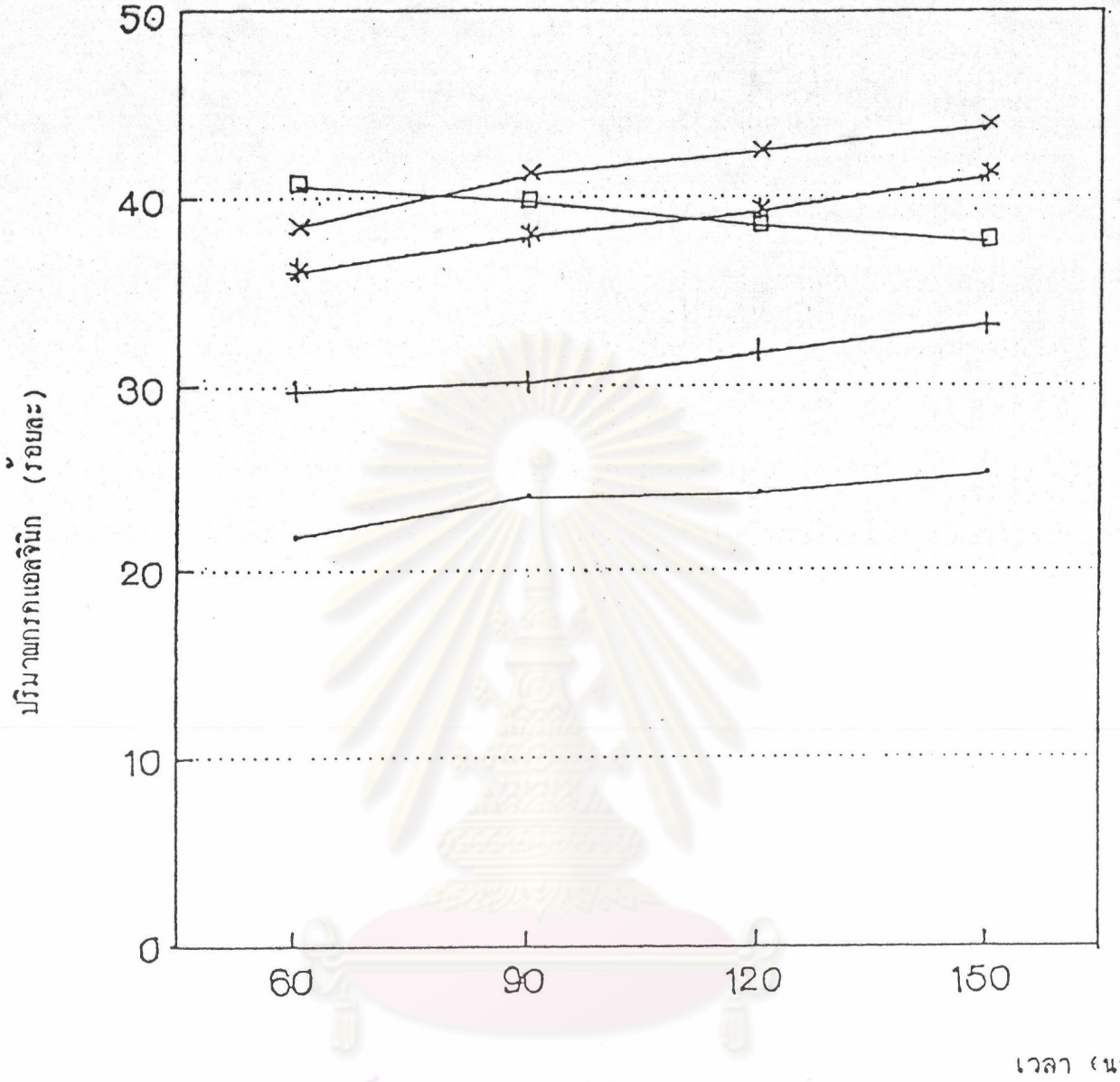
หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 4.3 ปริมาณร้อยละของกรดแอลจินิกที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล *Turbinaria decurrens* ที่อุณหภูมิและระยะเวลาการสกัดต่าง ๆ

ระยะเวลาในการสกัด (นาที)	ปริมาณร้อยละของกรดแอลจินิก			
	อุณหภูมิในการสกัด (องศาเซลเซียส)			
	อุณหภูมิห้อง	50	70	90
60	0.60^{i}	2.05^{h}	4.26^{f-g}	12.42^{c}
90	0.76^{i}	3.72^{g-h}	6.65^{e}	15.56^{b}
120	0.90^{i}	4.50^{e-f-g}	9.58^{d}	16.90^{a-b}
150	1.05^{i}	6.16^{e-f}	12.44^{c}	18.20^{a}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.3 ปริมาณร้อยละของกรดแอลจินิกที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล Chnoospora minima ที่อุณหภูมิและระยะเวลาในการสกัดต่างๆโดยใช้ความเข้มข้นของโซเดียมคาร์บอเนตร้อยละ 1.5

—•— : อุณหภูมิห้อง

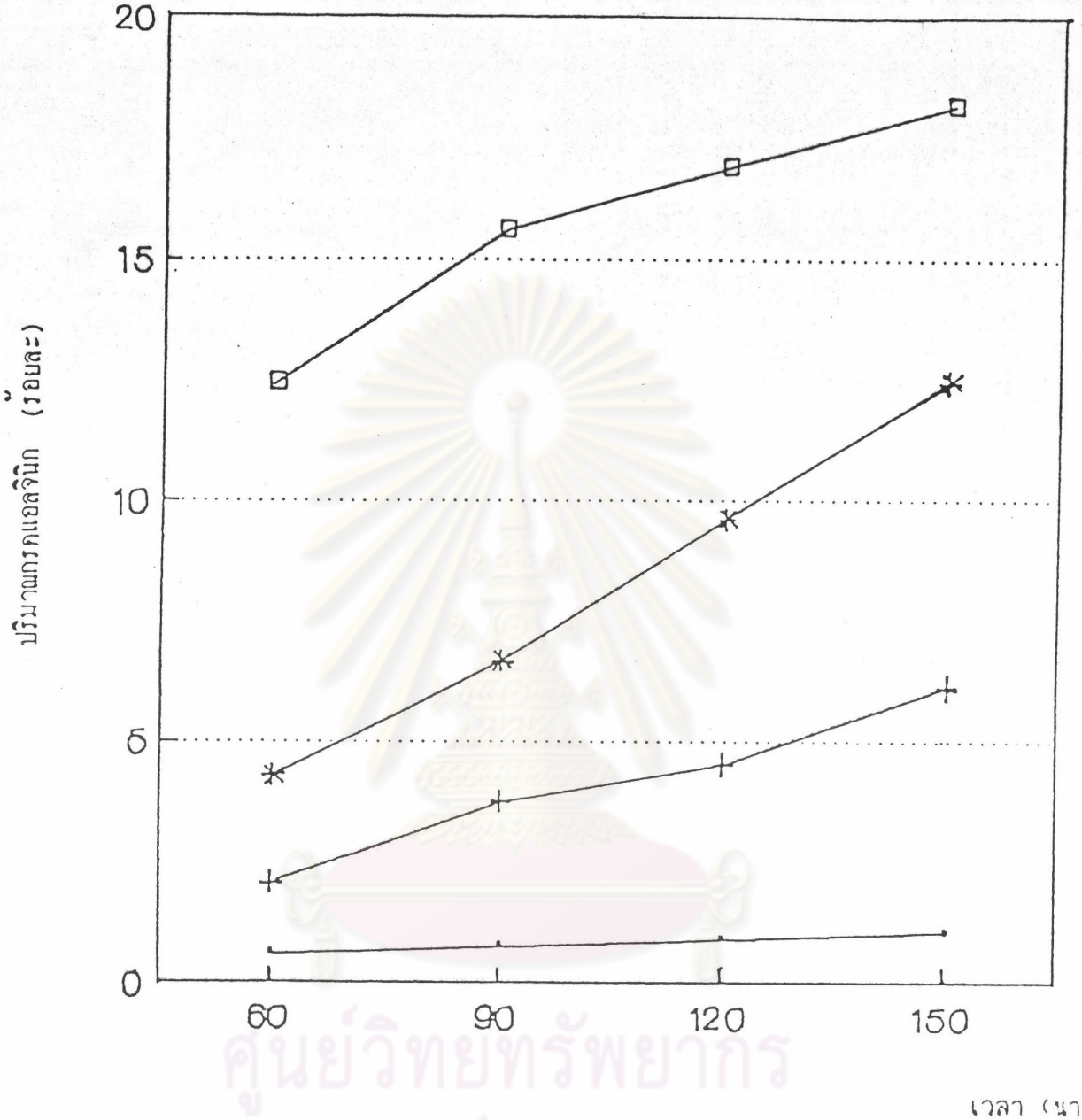
—+— : 50 องศาเซลเซียส

—*— : 70 องศาเซลเซียส

—X— : 80 องศาเซลเซียส

—□— : 90 องศาเซลเซียส

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.4 ปริมาณร้อยละของกรดแอลจินิกที่สกัดได้จากสาหร่ายสีน้ำตาล Turbinaria decurrens ที่อุณหภูมิและระยะเวลาในการสกัดต่างๆโดยใช้ความเข้มข้นของโซเดียมคาร์บอเนตร้อยละ 1.5

—— : อุณหภูมิห้อง —+— : 50 องศาเซลเซียส

—*— : 70 องศาเซลเซียส —□— : 90 องศาเซลเซียส

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.4 ปริมาณร้อยละของกรดแอลจินิกที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล *Sargassum* sp. ที่อุณหภูมิและระยะเวลาการสกัดต่าง ๆ

ระยะเวลาในการสกัด (นาที)	ปริมาณร้อยละของกรดแอลจินิก			
	อุณหภูมิในการสกัด (องศาเซลเซียส)			
	อุณหภูมิห้อง	50	70	90
60	0.23^{gh}	1.14^{gh}	5.28^{f}	10.28^{cd}
90	0.56^{gh}	2.13^{g}	7.35^{e}	11.18^{bc}
120	0.60^{gh}	2.16^{g}	8.59^{de}	12.39^{ab}
150	0.74^{gh}	2.28^{g}	9.48^{cd}	13.80^{a}

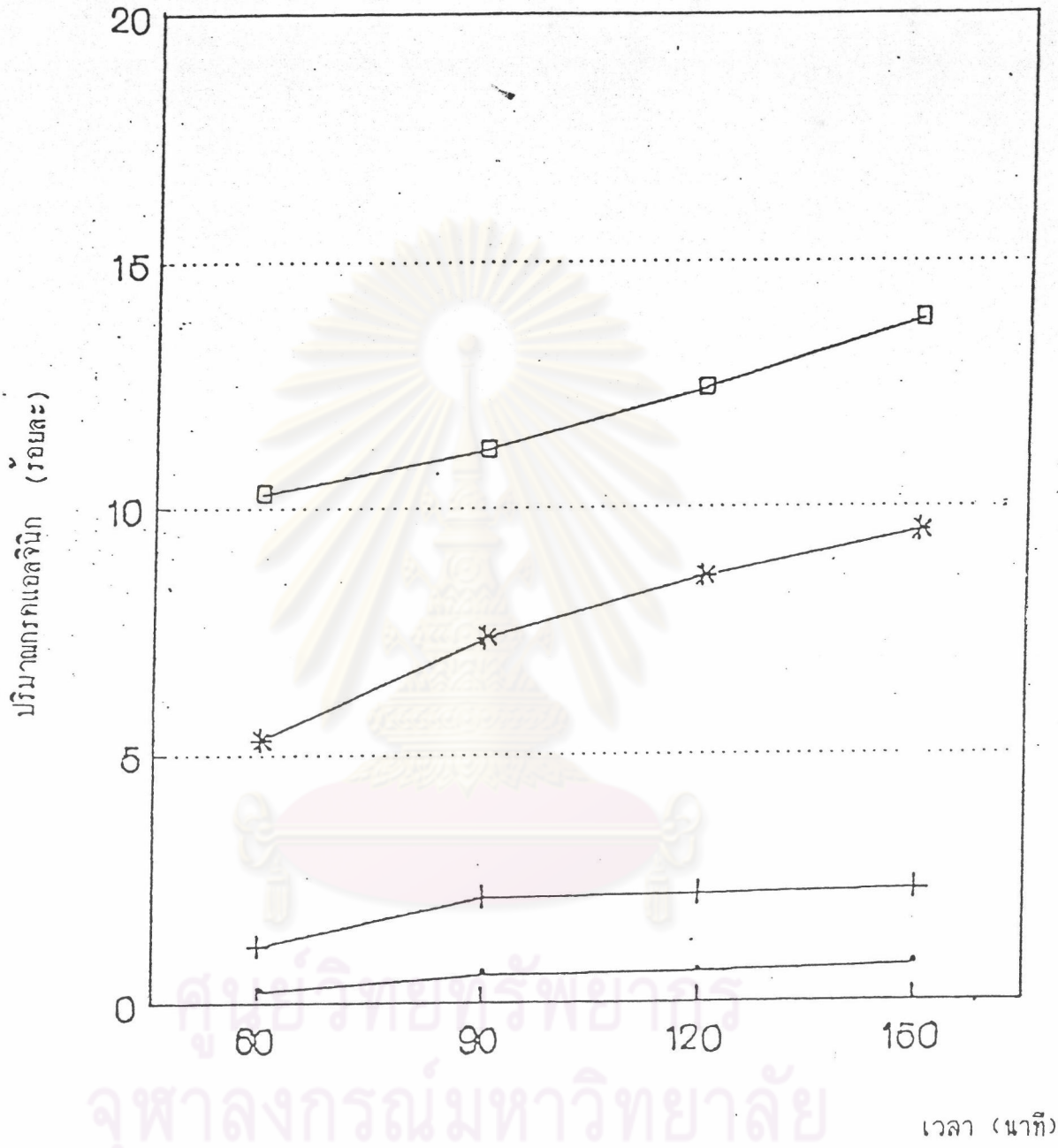
หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 4.5 ปริมาณร้อยละของกรดแอลจินิกที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล *Hydroclathrus clathratus* ที่อุณหภูมิและระยะเวลาการสกัดต่าง ๆ

ระยะเวลาในการสกัด (นาที)	ปริมาณร้อยละของกรดแอลจินิก			
	อุณหภูมิในการสกัด (องศาเซลเซียส)			
	อุณหภูมิห้อง	50	70	90
60	0.62^{h}	1.95^{gh}	8.85^{n}	10.98^{bc}
90	1.25^{gh}	2.20^{g}	9.96^{cd}	12.28^{ab}
120	1.82^{gh}	3.72^{ef}	11.46^{b}	13.14^{a}
150	2.45^{fg}	4.60^{e}	12.40^{ab}	13.53^{a}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

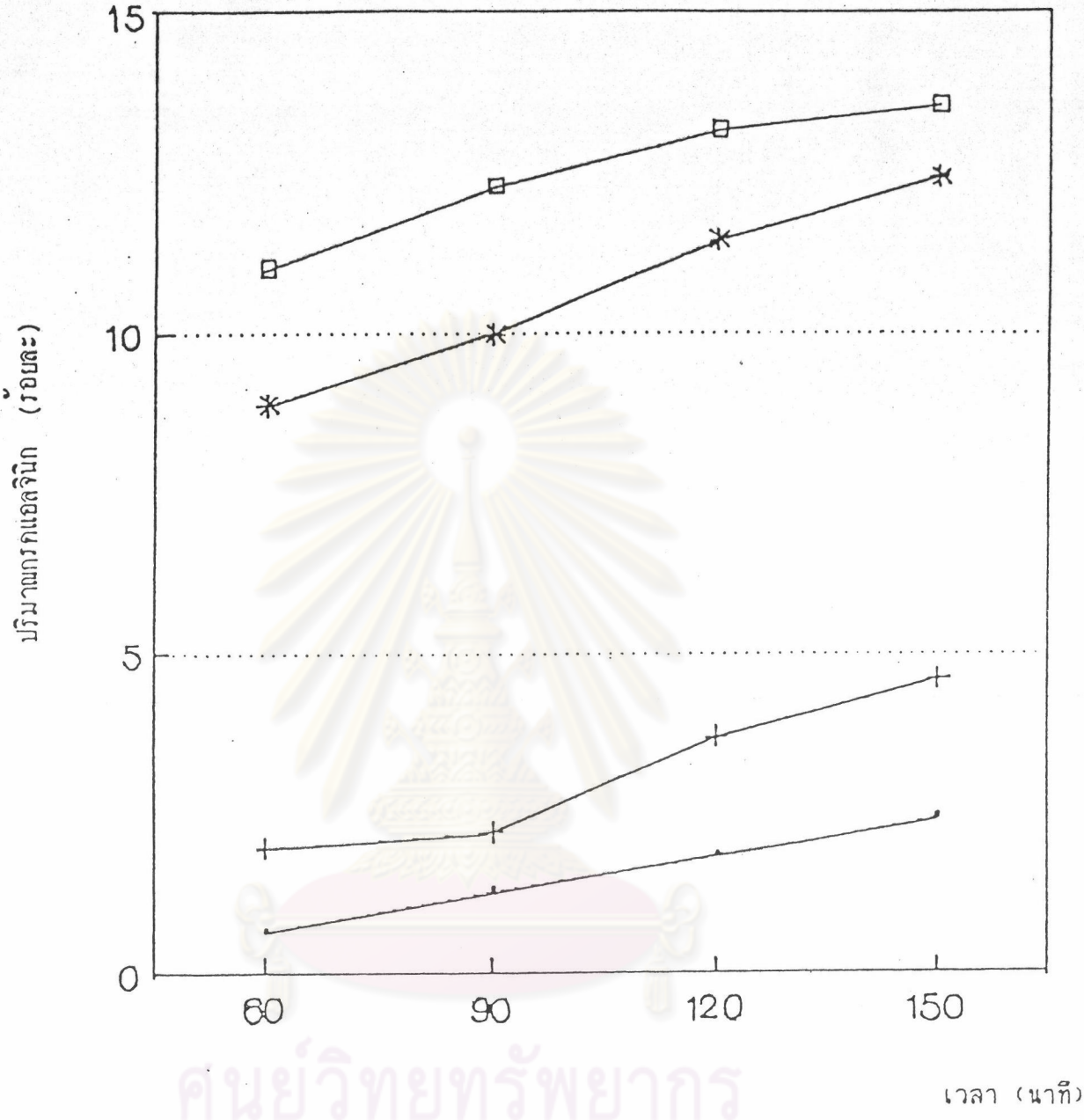


รูปที่ 4.5 ปริมาณร้อยละของกรดแอลจินิกที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล Sargassum sp. ที่อุณหภูมิและระยะเวลาในการสกัดต่างๆโดยใช้ความเข้มข้นของโซเดียมคาร์บอเนต ร้อยละ 1.5

—— : อุณหภูมิห้อง —+— : 50 องศาเซลเซียส

—*— : 70 องศาเซลเซียส —□— : 90 องศาเซลเซียส

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.6 ปริมาณร้อยละของกรดแอลจินิกที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล Hydroclathrus clathratus ที่อุณหภูมิและระยะเวลาในการสกัดต่างๆโดยใช้ความเข้มข้นของโซเดียม-คาร์บอเนตร้อยละ 1.5

—— : อุณหภูมิห้อง —+— : 50 องศาเซลเซียส

—*— : 70 องศาเซลเซียส —□— : 90 องศาเซลเซียส

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.6 ปริมาณร้อยละของกรดแอลจินิกที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล Padina boryana ที่อุณหภูมิและระยะเวลาการสกัดต่าง ๆ

ระยะเวลาในการสกัด (นาที)	ปริมาณร้อยละของกรดแอลจินิก			
	อุณหภูมิในการสกัด (องศาเซลเซียส)			
	อุณหภูมิห้อง	50	70	90
60	0.70^{g}	2.84^{f}	4.23^{def}	8.14^{a}
90	0.79^{g}	3.52^{ef}	4.96^{cde}	6.73^{ab}
120	1.01^{g}	3.78^{def}	5.31^{bcd}	6.03^{bc}
150	1.21^{g}	4.12^{def}	6.05^{bc}	5.29^{bcd}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

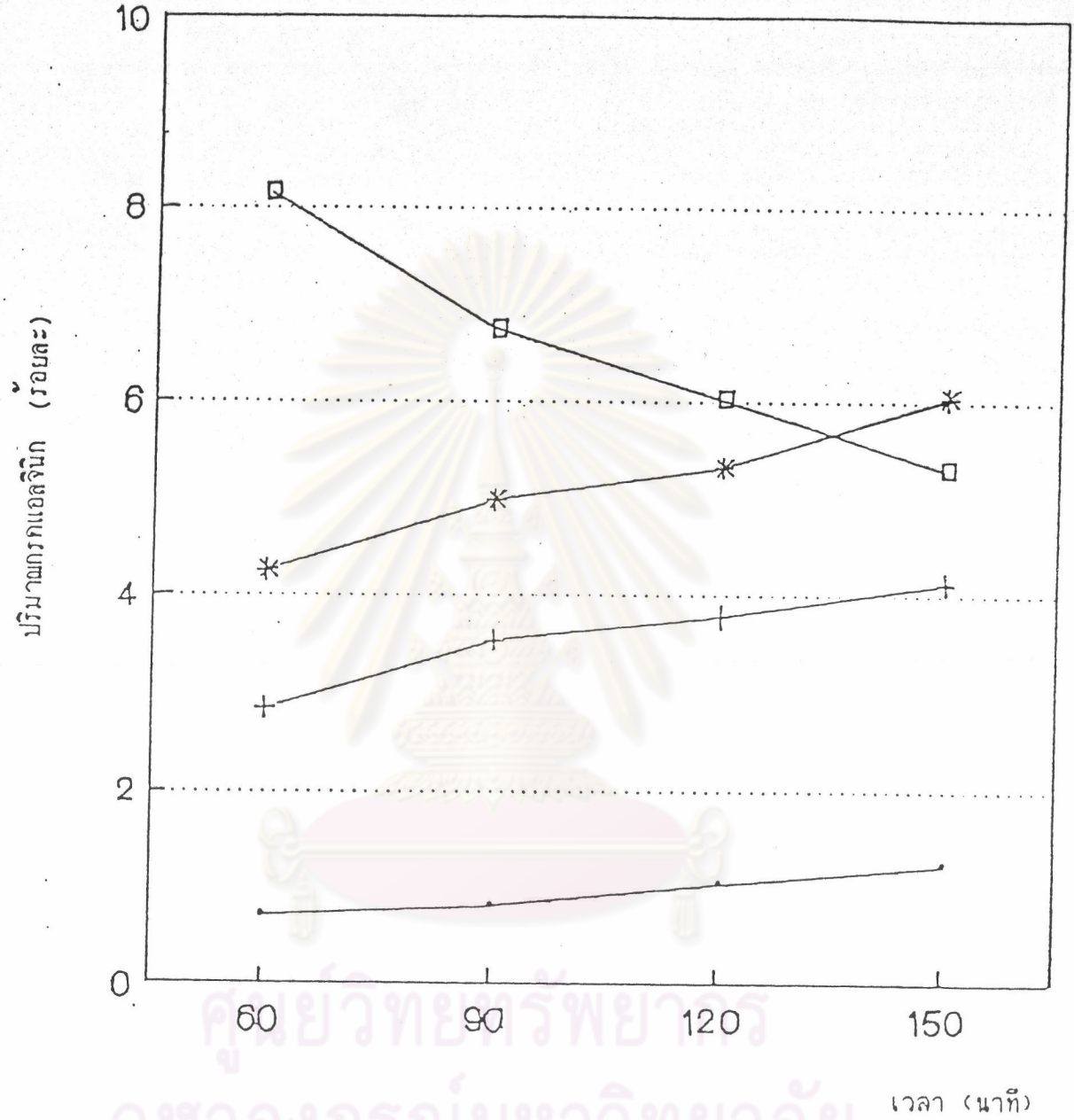
ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณร้อยละของกรดแอลจินิกที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลทั้ง 5 สกุล

ชนิดของสาหร่าย	F จากตาราง (0.01)			F จากการคำนวณ		
	A	B	A x B	A	B	A x B
Chnoospora minima	5.29	5.29	3.78	2.14^{ns}	121.76**	1.28^{ns}
Turbinaria decurrens	4.46	4.46	3.01	33.89**	363.31**	5.47**
Sargassum sp.	5.29	5.29	3.78	12.91**	319.98**	2.41^{ns}
Hydroclathrus clathratus	5.29	5.29	3.78	45.87**	557.28**	2.78*
Padina boryana	5.29	5.29	3.78	0.09^{ns}	97.54**	3.34*

หมายเหตุ รายละเอียดของวิธีวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ค

A = ระยะเวลาในการสกัด , B = อุณหภูมิในการสกัด , A x B = อิทธิพลร่วม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.7 ปริมาณร้อยละของกรดแอลจินิกที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล Padina boryana ที่อุณหภูมิและระยะเวลาในการสกัดต่างๆโดยใช้ความเข้มข้นของโซเดียมคาร์บอเนตร้อยละ 1.5

—•— : อุณหภูมิห้อง —+— : 50 องศาเซลเซียส

—*— : 70 องศาเซลเซียส —□— : 90 องศาเซลเซียส

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากผลการทดลองสกัดกรดแอลจินิกจากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลทั้ง 5 สกุล พบว่าสาหร่ายสกุล Chnoospora ให้ปริมาณกรดแอลจินิกมากที่สุด คือ ร้อยละ 41.22 จากสาหร่ายแห้ง รองลงมาคือ Turbinaria ร้อยละ 18.20 สกุล Sargassum ร้อยละ 13.80 สกุล Hydroclathrus ร้อยละ 13.53 และ Padina ให้กรดแอลจินิกน้อยสุดคือ ร้อยละ 8.14 จากการทดสอบทางสถิติพบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดแตกต่างกัน มีผลทำให้ปริมาณกรดแอลจินิกที่สกัดได้ของสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลทั้ง 5 ชนิด แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ดังแสดงในตารางที่ 4.7 ส่วนระยะเวลาในการสกัดนั้นมีผลทำให้ปริมาณกรดแอลจินิกที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลสกุล Hydroclathrus, Sargassum และ Turbinaria แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 แต่ระยะเวลาในการสกัดไม่มีผลทำให้ปริมาณกรดแอลจินิกที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลสกุล Chnoospora และ Padina แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติดังแสดงในตารางที่ 4.7 สำหรับอิทธิพลร่วม (interaction) ของทั้ง 2 ตัวแปร พบว่าไม่มีผลต่อปริมาณกรดแอลจินิกที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลสกุลChnoospora และ Sargassum แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่จะมีผลทำให้ปริมาณกรดแอลจินิกที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลสกุล Turbinaria, Hydroclathrus และ Padina แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 4.7

ดังนั้นจากผลการทดลองนี้จึงเลือกสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลสกุล Chnoospora ชนิด Chnoospora minima มาทำการทดลองสกัดในขั้นต่อไป โดยใช้อุณหภูมิในการสกัด 70 องศาเซลเซียส เนื่องจากเป็นอุณหภูมิในการสกัดที่ให้ปริมาณกรดแอลจินิกมากที่สุด โดยไม่มีการลดลงเมื่อเวลาการสกัดนานขึ้นเหมือนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เพื่อความแน่ใจจึงทดลองสกัดแอลจิเนตจากสาหร่ายChnoospora minima นี้ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เพื่อเปรียบเทียบกับการสกัดอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.8 และ 4.9

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.8 ปริมาณร้อยละของกรดแอลจินิกที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล Chnoospora minima ที่อุณหภูมิ 70 และ 80 องศาเซลเซียส และระยะเวลาการสกัดต่าง ๆ

ระยะเวลาในการสกัด (นาที)	ปริมาณร้อยละของกรดแอลจินิก	
	อุณหภูมิในการสกัด (องศาเซลเซียส)	
	70	80
60	36.22[b]	38.44[a]
90	37.98[b]	41.22[a]
120	39.32[b]	42.35[a]
150	41.22[b]	43.88[a]

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกันในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 4.9 คุณภาพของกรดแอลจินิกที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล Chnoospora minima ที่อุณหภูมิ 70 และ 80 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการสกัด 60 นาที

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่าความหนืด (centipoise)	ค่าความเป็นกรด
70	24.0	196.62
80	18.4	184.141

จากผลการทดลองพบว่าปริมาณกรดแอลจินิกที่สกัดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จะมีปริมาณมากกว่าปริมาณกรดแอลจินิกที่สกัดได้ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เมื่อใช้เวลาการสกัดเท่ากัน โดย

มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และผลการวิเคราะห์คุณภาพด้านความหนืดและค่าความเป็นกรด พบว่ากรดแอลจินิก ที่สกัดได้จากอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสมีคุณภาพดีกว่า เนื่องจากมีค่าความเป็นกรดและค่าความหนืดสูงกว่าที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสดังแสดงในตารางที่ 4.9 ดังนั้นจึงเลือกใช้อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ในการทดลองหาความเข้มข้นของโซเดียมคาร์บอเนตที่เหมาะสมในการสกัดแอลจิเนต โดยใช้ระยะเวลาในการสกัด 60 นาที เนื่องจากระยะเวลาการสกัดที่เพิ่มขึ้นถึง 120 นาที ไม่ทำให้ปริมาณกรดแอลจินิกที่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แต่ถ้าใช้ระยะเวลาจากการสกัด 150 นาที ปริมาณกรดแอลจินิกที่สกัดได้ก็จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แต่การใช้ระยะเวลาการสกัดนานนั้นจะสิ้นเปลืองพลังงานและเวลาเพิ่มขึ้น

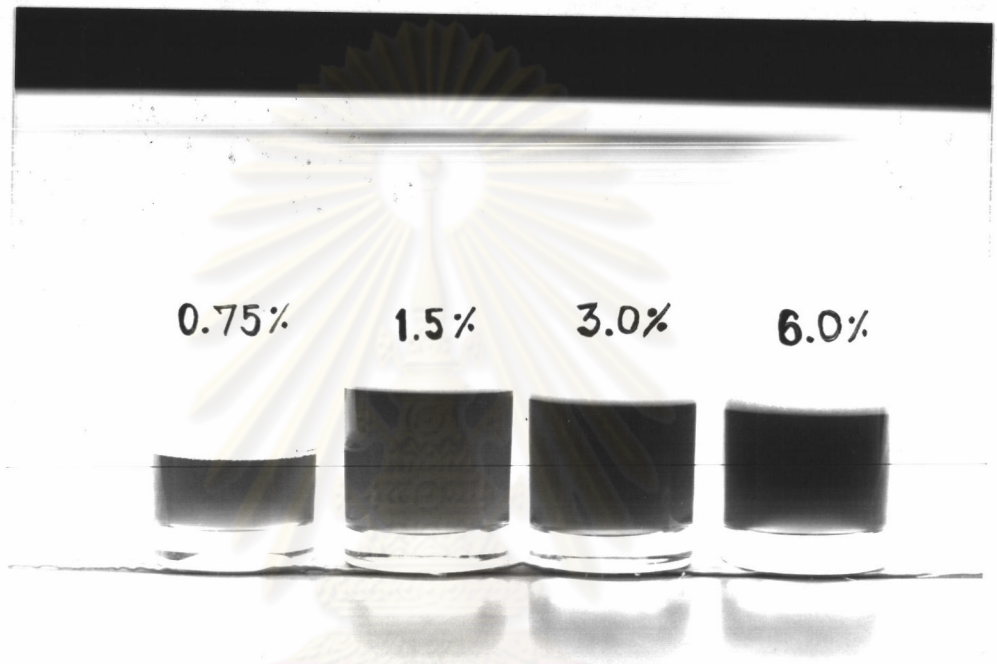
4.2.3 ผลการทดลองหาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่เหมาะสมในการสกัดแอลจิเนตจากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลสกุล Chnoospora minima ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการสกัด 60 นาที โดยแปรความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 4 ระดับ คือ ร้อยละ 0.75, 1.5, 3.0 และ 6.0 ผลการสกัดแสดงปริมาณร้อยละของกรดแอลจินิกที่สกัดได้และสีของสารละลายโซเดียมแอลจิเนตที่กรองได้แสดงในตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.8

ตารางที่ 4.10 ปริมาณร้อยละของกรดแอลจินิกที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล Chnoospora minima ด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการสกัด 60 นาที

ร้อยละของความเข้มข้นของโซเดียมคาร์บอเนตที่ใช้สกัด	ร้อยละของกรดแอลจินิกที่สกัดได้	สี
0.75	5.31[b]	*
1.5	22.62[a]	*
3.0	21.30[a]	**
6.0	21.21[a]	***

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

* : สีน้ำตาลอ่อน ; ** : สีน้ำตาล ; *** : สีน้ำตาลเข้ม



รูปที่ 4.8 สีของสารละลายโซเดียมแอลจิเนตที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มต่างๆ

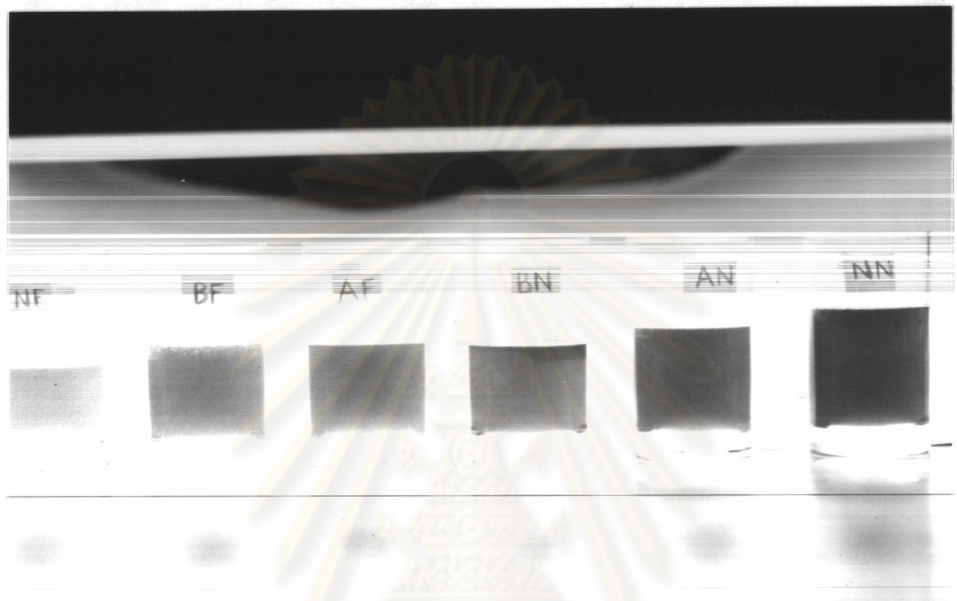
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความเข้มข้นของโซเดียมคาร์บอเนตที่เหมาะสมดังแสดงในตารางที่ 4.10 พบว่าความเข้มข้นของด่างที่จะใช้ในการสกัดกรดจากสาหร่าย Chnoospora minima จะให้ปริมาณกรดแอลจินิกที่สกัดได้จากมากไปหาน้อยเป็นดังนี้ คือ ร้อยละ 1.5, 3.0, 6.0 และ 0.75 ให้ปริมาณร้อยละของกรดแอลจินิกที่สกัดได้ต่อน้ำหนักสาหร่ายแห้งตามลำดับดังนี้คือ 22.66, 21.30, 21.21 และ 5.31 เมื่อทดสอบทางสถิติพบว่าปริมาณกรดแอลจินิกที่สกัดได้ที่ความเข้มข้นของโซเดียมคาร์บอเนตร้อยละ 3.0 และ 1.5 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นจึงเลือกใช้ความเข้มข้นของโซเดียมคาร์บอเนตที่เหมาะสมในการสกัด คือร้อยละ 1.5 ซึ่งนอกจากเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายแล้ว สีของกรดแอลจินิกที่ได้ยังอ่อนกว่าอีกด้วยดังแสดงในตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.9 จะเห็นว่า สีของสารละลายโซเดียมแอลจิเนตที่ความเข้มข้นของโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นต่ำจะมีสีอ่อนกว่าสารละลายโซเดียมแอลจิเนตที่สกัดด้วยโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นสูง

4.2.4 ผลการทดลองใช้สารเคมีในการแช่สาหร่าย Chnoospora minima แห้งก่อนการสกัดด้วยสารละลายโซเดียมแอลจิเนตเข้มข้นร้อยละ 1.5 อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการสกัด 60 นาที สารเคมีที่ใช้คือสารละลายฟอร์มาดีไฮด์เข้มข้นร้อยละ 0.4 กรดเกลือและกรดกำมาถันเข้มข้น 0.1 โมลาร์ โดยการศึกษาผลของสารเคมีแต่ละชนิดและผลร่วมของสารเคมีแต่ละคู่ต่อปริมาณ คุณภาพ และสีของสารละลายโซเดียมแอลจิเนตที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.11 และรูปที่ 4.9

ตารางที่ 4.11 ปริมาณร้อยละของกรดแอลจินิกที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล Chnoospora minima ที่ผ่านการแช่สารเคมีก่อนการสกัดด้วยสารละลายโซเดียม คาร์บอเนตเข้มข้นร้อยละ 1.5 อุณหภูมิในการสกัด 70 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการสกัด 60 นาที

ร้อยละของความเข้มข้นสารละลายฟอร์มาดีไฮด์	ร้อยละของกรดแอลจินิก		
	กรดเกลือเข้มข้น 0.1 โมลาร์	กรดกำมะถันเข้มข้น 0.1 โมลาร์	ไม่ใส่กรด
0.0	22.54	27.32	20.01
0.4	26.02	23.64	21.84



รูปที่ 4.9 สีของสารละลายโซเดียมแอลจิเนตที่สกัดได้จากสาหร่ายที่ผ่านการแช่สารเคมีต่างๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การแช่สารละลายฟอร์มาดีไฮด์เข้มข้นร้อยละ 0.4 จะช่วยให้สีของแอลจิเนตที่สกัดได้อ่อนที่สุดทำให้ความหนืดและค่าความเป็นกรดเพิ่มขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 4.11 และ 4.12 การแช่กรดเกลือหรือกรดกำมะถัน 0.1 โมลาร์ จะช่วยให้คุณภาพด้านความหนืดและค่าความเป็นกรดของแอลจิเนตที่สกัดได้เพิ่มขึ้นดังแสดงในตารางที่ 4.11 และ 4.12 การแช่กรดเกลือหรือกรดกำมะถันร่วมกับการแช่สารละลายฟอร์มาดีไฮด์ทำให้สีของแอลจิเนตที่สกัดได้อ่อนกว่า แอลจิเนตที่สกัดจากสาหร่ายแห้งที่ผ่านการแช่กรดเกลือหรือกรดกำมะถันเพียงอย่างเดียวดังแสดงในตารางที่ 4.12 และรูปที่ 4.9 นอกจากนี้ยังทำให้คุณภาพด้านความหนืดและค่าความเป็นกรดของแอลจิเนตที่สกัดได้เพิ่มขึ้นดังแสดงในตารางที่ 4.11 และ 4.12

ตารางที่ 4.12 คุณภาพของกรดแอลจินิกที่สกัดภายใต้สภาวะที่เหมาะสมของสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล Chnoospora minima ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการสกัด 60 นาที

ตัวอย่าง	ค่าความหนืด (centipoise)	ค่าความเป็นกรด (acid value)	ปริมาณเถ้า	น้ำหนักที่สูญเสียขณะอบแห้ง	ทดสอบเอกลักษณ์	สี
NN	13.80	117.49	4.68	7.90	*	++++
NF	16.60	187.80	7.71	9.70	*	+
AN	15.80	188.14	8.86	12.56	*	+++
AF	16.20	218.14	11.40	13.67	*	++
BN	18.20	174.09	9.32	13.70	*	+++
BF	21.40	233.44	13.43	14.23	*	++

หมายเหตุ * : เป็นกรดแอลจินิกจริง

+ : สีเหลืองใส ++ : สีเหลืองนวล

+++ : สีน้ำตาลอ่อน ++++ : สีน้ำตาลเข้ม

NN : สกัดแบบธรรมดา NF : แช่ฟอร์มาดีไฮด์ก่อนสกัด

AN : แช่กรดเกลือก่อนสกัด AF : แช่กรดเกลือและฟอร์มาดีไฮด์

BN : แช่กรดกำมะถันก่อนสกัด BF : แช่กรดกำมะถันและฟอร์มาดีไฮด์

4.2.5 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของแอลจิเนตที่สกัดจากสาหร่าย Chnoospora minima ตามข้อ 4.2.4 เปรียบเทียบกับมาตรฐานของ Food Chemicals Codox ในตารางที่ 2.1

พบว่าน้ำหนักที่สูญเสียขณะอบแห้งของกรดแอลจินิกของทุกตัวอย่างที่ผ่านการแช่สารเคมีก่อนสกัดจะมีค่าเป็นไปตามมาตรฐานของ Food Chemicals Codex คือ ไม่เกินร้อยละ 15 ส่วนค่าความเป็นกรดนั้นสาหร่ายที่ผ่านการแช่กรดกำมะถันเข้มข้น 0.1 โมลาร์ 30 นาที ร่วมกับการแช่สารละลายฟอร์มาดีไฮด์เข้มข้นร้อยละ 0.4 เท่านั้นที่มีค่าความเป็นกรดเข้ามาตรฐาน คือมีค่ามากกว่า 230 สำหรับปริมาณเถ้านั้นทุกตัวอย่างมีค่าเกินมาตรฐานที่กำหนดไว้คือ ร้อยละ 4 สำหรับค่าความหนืดที่วัดจากสารละลายโซเดียมแอลจิเนตเข้มข้นร้อยละ 1.0 ปรากฏว่าทุกตัวอย่างจัดเป็นแอลจิเนตประเภทความหนืดต่ำ และตัวอย่างสาหร่ายที่ผ่านการแช่กรดกำมะถันร่วมกับสารละลายฟอร์มาดีไฮด์จะมีความหนืดมากที่สุด

การทดสอบยืนยันจะใช้วิธีทดสอบเอกลักษณ์ตามวิธีการ ก.3 ในภาคผนวก ก หรืออาจใช้อีกวิธีคือการใช้การตรวจสอบด้วยอินฟราเรดสเปกตรัม เนื่องจากแอลจิเนตเป็นสารประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ซึ่งจะมีหมู่ฟังก์ชั่นที่เด่นคือหมู่ไฮดรอกซิล(OH) และหมู่คาร์บอนิล(CO) ซึ่งเมื่อตรวจด้วยอินฟราเรดสเปกตรัมจะพบหมู่ไฮดรอกซิลที่ 3,500 cm^{-1} และหมู่คาร์บอนิลที่ 1650 cm^{-1} เมื่อนำตัวอย่างโซเดียมแอลจิเนตที่สกัดได้ไปวิเคราะห์อินฟราเรดสเปกตรัม เทียบกับโซเดียมแอลจิเนตของ Klaus Evers ประเทศเยอรมัน ที่บริษัทแลปเซนเตอร์ จำกัดเป็นตัวแทนจำหน่ายอยู่ สกัดพบหมู่ฟังก์ชั่นดังกล่าวในตัวอย่างทั้ง 2 และลักษณะของเส้นสเปกตรัมที่ออกมาก็มีลักษณะคล้ายกันดังแสดงในรูปที่ จ.1 และ จ.2 ดังนั้นแสดงว่าสารที่สกัดได้เป็นโซเดียมแอลจิเนตจริง

4.3 ศึกษาการนำแอลจิเนตที่สกัดได้ไปใช้เป็นสารเหนียวในการทำอาหารกุ้งกุลาดำ

4.3.1 เตรียมอาหารกุ้งกุลาดำ 2 สูตร ซึ่งคำนวณหาปริมาณโปรตีนไว้แล้ว ตามที่แสดงในตารางที่ 3.1 โดยนำวัตถุดิบที่มีขนาดใหญ่มาบดด้วยเครื่องบดอาหารชนิดมีตะแกรง จากนั้นร่อนด้วยเครื่องร่อนผ่านตะแกรงขนาดประมาณ 40 ช่องต่อตารางเซนติเมตร จากนั้นนำวัตถุดิบที่ร่อนผ่านตะแกรงแล้วมาชั่งน้ำหนักให้ได้อัตราส่วนตามสูตรผสมส่วนผสมที่แห้งเข้าด้วยกันเติมน้ำมันตับปลาผสมให้เข้ากัน จากนั้นเตรียมสารละลายโซเดียมแอลจิเนตโดยใช้น้ำ 30-35 มิลลิลิตรต่อโซเดียมแอลจิเนต 1 กรัม โดยใช้เครื่องกวนสารละลายระบบแม่เหล็กกวนจนโซเดียมแอลจิเนตที่ผสมกับโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตละลายหมดแล้วนำไปผสมกับส่วนผสมอื่นที่เตรียมเสร็จแล้วให้เข้ากันดี นำไปอัดเป็นเม็ดขั้นแรกทดลองใช้เครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์ (extruder) ขนาดช่องเปิดต่าง ๆ กัน คือ 1, 2 และ 3 มิลลิเมตร พบว่าถ้าใช้ช่วงเปิดขนาดเล็กสามารถอัดอาหารกุ้งออกมาเป็นสายมีความแน่นดีและตัดเป็นท่อนสั้น ๆ ได้ แต่ถ้าช่องเปิดขนาด 3 มิลลิเมตร พบว่าตรงกลางจะกลวงและเมื่อตัดเป็นท่อนสั้น ๆ จะแตกหักเป็นปากฉลาม และมีความเปราะ บาง แตกหักง่าย และปัญหาอีกอย่างคือการผลิตอาหารกุ้งจากเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์นี้ทำได้แต่ละครั้งมีปริมาณน้อยและใช้เวลามาก เนื่องจากส่วนผสมที่เตรียม

รูปที่ 4.10 อาหารกุ้งกุลาดำสูตรที่ 1 สูตรที่ 2 และอาหารกุ้งของบริษัท ซีพีผลิตภัณฑ์อาหาร จำกัด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มีความชื้นสูง ประมาณร้อยละ 30 - 35 ทำให้การเคลื่อนที่ของส่วนผสมในขบวนการไปได้ช้าเพราะจะจับตัวเป็นก้อน และช่องทางเปิดมีช่องทางเดียว ดังนั้นจึงมาใช้เครื่องผสมและอัดเม็ดอาหารกุ้งแทน ซึ่งจะเตรียมอาหารกุ้งได้ครั้งละมาก ๆ และใช้เวลาน้อย เพราะมีช่องเปิดมากกว่าถึงแม้อาหารที่ผลิตจากเครื่องผสมและอัดเม็ดอาหารกุ้งนี้จะมีความแน่นน้อยกว่าอาหารที่ใช้เอกซ์ทรูดเดอร์ แต่ความแน่นของอาหารนี้จะมีสม่ำเสมอทั่วทั้งเม็ดอาหาร ไม่มีการกลวงตรงกลางเช่นเดียวกับอาหารกุ้งที่อัดโดยเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์ จากนั้นนำอาหารกุ้งที่ผลิตได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนพบว่ามีโปรตีนร้อยละ 43.30 จากน้ำหนักตัวอย่างแห้งซึ่งใกล้เคียงกับปริมาณโปรตีนที่คาดคะเนไว้คือร้อยละ 42.00

4.3.2 เมื่อได้สูตรอาหารกุ้งและวิธีการเตรียมอาหารกุ้งที่เหมาะสมแล้วจึงนำโซเดียมแอลจิเนตที่สกัดได้จากสาหร่าย Chnoospora minima ที่ผ่านการแช่กรดกำมะถันเข้มข้น 0.1 โมลาร์ นาน 30 นาที ร่วมกับการแช่สารละลายฟอร์มาดีไฮด์เข้มข้นร้อยละ 0.4 นาน 30 นาที แล้วนำมาสกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตเข้มข้นร้อยละ 1.5 ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการสกัด 60 นาที มาทดลองหาปริมาณโซเดียมแอลจิเนตที่เหมาะในการเป็นสารเหนียวในอาหารกุ้งกุลาดำ โดยจะแปรปริมาณโซเดียมแอลจิเนต 4 ระดับ คืออัตราร้อยละ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 แล้วนำไปทดสอบหาความคงตัวของอาหารในน้ำโดยพิจารณาปริมาณร้อยละของอาหารกุ้งกุลาดำที่สูญเสียจากการแช่น้ำทะเลที่ระยะเวลาต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ปริมาณร้อยละของอาหารกุ้งกุลาดำที่มีปริมาณโซเดียมแอลจิเนตต่าง ๆ ที่สูญเสียจากการแช่น้ำทะเลความเค็ม 25 ส่วนในพันส่วนที่ระยะเวลาต่าง ๆ

ร้อยละของโซเดียมแอลจิเนต	ร้อยละของอาหารกุ้งกุลาดำที่สูญเสีย			
	ระยะเวลาในการแช่น้ำ (ชั่วโมง)			
	1	2	3	4
0.5	9.98	10.25	11.10	18.18[c]
1.0	7.01	8.78	9.87	16.94[b]
1.5	5.50	8.11	9.21	16.87[b]
2.0	5.17	6.21	7.78	13.22[a]

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ95

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พบว่าเมื่อปริมาณโซเดียมแอลจิเนตที่เป็นส่วนผสมในอาหารกุ้งกุลาดำเพิ่มขึ้น ร้อยละของอาหารกุ้งที่สูญเสียในการแช่น้ำทะเลที่ระยะเวลาเท่ากันจะลดลง และเมื่อเวลาการแช่น้ำทะเลเพิ่มขึ้นร้อยละของอาหารกุ้งที่สูญเสียก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

เมื่อทดสอบทางสถิติพบว่าอาหารกุ้งที่มีปริมาณโซเดียมแอลจิเนตที่ใช้ร้อยละ 1.0 และ 1.5 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แต่จะแตกต่างกับอาหารกุ้งที่มีปริมาณโซเดียมแอลจิเนตร้อยละ 0.5 และ 2.0 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4.3.3 ผลของขนาดของส่วนประกอบต่าง ๆ ในอาหารกุ้งกุลาดำต่อความคงตัวของอาหารกุ้งในน้ำทะเล โดยเปรียบเทียบระหว่างส่วนประกอบที่มีขนาดใหญ่กว่า 425 µm คือส่วนที่เหลืออยู่บนตะแกรงร่อนขนาด 40 ช่องต่อตารางเซนติเมตร และส่วนประกอบที่มีขนาดเล็กกว่า 425 µm นำมาผสมอาหารกุ้งตามสูตรที่ 1 ในตารางที่ 3.1 แล้วนำมาทดสอบความคงตัวของอาหารที่ผลิตได้ โดยพิจารณาปริมาณร้อยละของอาหารกุ้งกุลาดำที่สูญเสียจากการแช่น้ำทะเลที่ระยะเวลาต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ขนาดขององค์ประกอบอาหารกุ้งกุลาดำต่อความคงตัวของอาหารในน้ำที่ระยะเวลาต่าง ๆ

ขนาดขององค์ประกอบต่าง ๆ (µm)	ร้อยละของอาหารกุ้งกุลาดำที่สูญเสีย			
	ระยะเวลาในการแช่น้ำ (ชั่วโมง)			
	1	2	3	4
<425	5.50	8.11	9.21	16.87[b]
>425	10.84	10.92	11.34	18.21[a]

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

พบว่าอาหารกุ้งที่ทำจากองค์ประกอบที่มีขนาดเล็กกว่า 425 µm มีความคงตัวในน้ำทะเลมากกว่าอาหารกุ้งที่ทำจากองค์ประกอบที่มีขนาดใหญ่กว่า 425 µm คือมีร้อยละของอาหารที่สูญเสียในการแช่น้ำทะเลที่ระยะเวลาเดียวกันน้อยกว่าองค์ประกอบอาหารกุ้งที่มีขนาดใหญ่

เมื่อทดสอบทางสถิติพบว่า อาหารกุ้งที่มีขนาดของส่วนประกอบเล็กกว่า 425 µm มีร้อยละของอาหารกุ้งกุลาดำที่สูญเสียในการแช่น้ำทะเลแตกต่างกับอาหารกุ้งที่มีขนาดของส่วนประกอบใหญ่กว่า 425 µm อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4.3.4 ผลการเปรียบเทียบความคงตัวของอาหารกุ้งกุลาดำ 3 ชนิด ที่ใช้สารเหนียวแตกต่างกัน คืออาหารกุ้งกุลาดำสูตร 1 จากตารางที่ 3.1 ที่ใช้โซเดียมแอลจิเนตร้อยละ 1.5 เป็นสารเหนียว อาหารกุ้งกุลาดำสูตร 2 ที่ใช้กัวกัมร้อยละ 1.0 เป็นสารเหนียว และอาหารกุ้งกุลาดำของบริษัทซีพีผลิตภัณฑ์อาหาร จำกัด ปริมาณร้อยละของอาหารกุ้งที่สูญเสียในน้ำทะเลที่ระยะเวลาการแช่ต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ความคงตัวของอาหาร 3 ชนิดที่แช่ในน้ำทะเลความเค็ม 25 ส่วนในพันส่วนที่ระยะเวลาต่าง ๆ

ชนิดของอาหารกุ้งกุลาดำ	ร้อยละของอาหารกุ้งกุลาดำที่สูญเสีย			
	ระยะเวลาในการแช่น้ำ (ชั่วโมง)			
	1	2	3	4
อาหารสูตร 1	5.50	8.11	9.21	16.87[b]
อาหารสูตร 2	6.40	8.86	10.40	17.99[a]
อาหารของบริษัทซีพีผลิตภัณฑ์อาหาร จำกัด	6.88	7.66	8.33	14.29[c]

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พบว่าอาหารกุ้งกุลาดำของบริษัทซีพีผลิตภัณฑ์อาหาร จำกัด มีความคงตัวมากที่สุด หรือมีร้อยละของอาหารกุ้งที่สูญเสียในการแช่น้ำทะเลที่ระยะเวลาเดียวกันต่ำที่สุดรองลงมาคืออาหารกุ้งที่ใช้โซเดียมแอลจิเนตร้อยละ 1.5 เป็นสารเหนียว และอาหารกุ้งที่ใช้กัวกัมเป็นสารเหนียวตามลำดับ

เมื่อทดสอบทางสถิติพบว่าอาหารกุ้งกุลดำทั้ง 3 ชนิด มีปริมาณร้อยละของอาหารกุ้งกุลาดำที่สูญเสียในน้ำทะเลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4.3.5 การทดลองเลี้ยงกุ้งกุลาดำด้วยอาหารกุ้งสูตร 1 ที่ใช้โซเดียมแอลจิเนตเป็นสารเหนียว (AF) และอาหารกุ้งสูตร 2 ที่ใช้กัวกัมเป็นสารเหนียว (GG) ตามสูตรที่แสดงในตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบกับอาหารกุ้งกุลาดำของบริษัทซีพีผลิตภัณฑ์อาหาร จำกัด โดยทำการชั่งน้ำหนักและวัดความยาวของกุ้งกุลาดำทุก 2 สัปดาห์ ผลการบันทึกดังแสดงในตารางที่ 4.16 และ 4.17

ตารางที่ 4.16 น้ำหนักเฉลี่ยของกุ้งกุลาดำหลังจากเลี้ยงด้วยอาหารกุ้งสูตร 1 สูตร 2 และอาหารของบริษัทซีพีผลิตภัณฑ์อาหาร จำกัด ในระยะเวลา 12 สัปดาห์

ชนิดของอาหาร	น้ำหนักกุ้งกุลาดำ (กรัม)						
	สัปดาห์ที่						
	0	2	4	6	8	10	12
อาหารกุ้งสูตร 1	1.52	2.10	3.40	4.26	6.14	7.18	7.55[b]
อาหารกุ้งสูตร 2	0.94	1.36	1.88	2.58	3.33	4.64	5.46[c]
อาหารกุ้งของบริษัทซีพีผลิตภัณฑ์อาหาร จำกัด	1.52	2.60	3.96	5.73	7.18	9.18	10.46[a]

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 4.17 ความยาวเฉลี่ยของกุ้งกุลาดำหลังจากเลี้ยงด้วยอาหารสูตร 1 สูตร 2 และอาหารของบริษัทซีพีผลิตภัณฑ์อาหาร จำกัด ในระยะเวลา 12 สัปดาห์

ชนิดของอาหาร	ความยาวกุ้งกุลาดำ (เซนติเมตร)						
	สัปดาห์ที่						
	0	2	4	6	8	10	12
อาหารกุ้งสูตร 1	6.00	6.80	7.40	7.94	8.70	9.10	9.26[b]
อาหารกุ้งสูตร 2	5.00	5.50	5.96	6.65	7.16	7.72	8.32[c]
อาหารกุ้งของบริษัทซีพีผลิตภัณฑ์อาหาร จำกัด	6.00	7.17	7.86	8.55	9.15	10.08	10.36[a]

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ95

พบว่ากุ้งกุลาดำที่เลี้ยงด้วยอาหารของบริษัทซีพีผลิตภัณฑ์อาหารจำกัด มีน้ำหนักและความยาวมากที่สุด รองลงมาคือกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 1 และสูตร 2 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของน้ำหนักและความยาวของกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงด้วยอาหารทั้ง 3 ชนิด โดยวิธีการวิเคราะห์แบบโควาเรียนซ์พบว่าเมื่อกำจัดความแตกต่างเนื่องจากความยาวของตัวกุ้งแล้วเปรียบเทียบน้ำหนักของกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารทั้ง 3 ชนิดจะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อกำจัดความแตกต่างเนื่องจากน้ำหนักแล้วเปรียบเทียบความยาวของกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารทั้ง 3 ชนิด พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อกุ้งเฉลี่ยของอาหารกุ้งสูตร 1 สูตร 2 และอาหารกุ้งกุลาดำของบริษัทซีพีผลิตภัณฑ์อาหาร จำกัด มีค่าเท่ากับ 4.99 , 5.99 และ 2.84 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้งสูตร 1 สูตร 2 และอาหารกุ้งกุลาดำของบริษัทซีพีผลิตภัณฑ์อาหาร จำกัด ในระยะเวลา 12 สัปดาห์

ชนิดของอาหารกุ้งกุลาดำ	บ่อที่	น้ำหนักกุ้งเริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนักกุ้งหลังการทดลอง (กรัม)	น้ำหนักอาหารที่ใช้ทั้งหมด (กรัม)	อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ	อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อเฉลี่ย
อาหารสูตร 1	1.1	168.00	601.72	2519.10	5.81	4.99
	2.1	135.00	737.36	2516.50	4.17	
อาหารสูตร 2	3.1	88.50	496.71	2608.75	6.39	5.99
	3.2	193.50	659.33	2604.18	5.59	
อาหารกุ้งของบริษัทซีพีผลิตภัณฑ์อาหารจำกัด	1.2	142.00	932.8	2342.39	2.96	2.84
	2.2	162.00	1024.15	2334.49	2.71	

พบว่าอาหารกุ้งของบริษัทซีพีผลิตภัณฑ์อาหาร จำกัด มีอัตราแลกเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อเฉลี่ยต่ำที่สุด รองลงมาคือ อาหารสูตร 1 และสูตร 2 ตามลำดับ เมื่อทดสอบทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

อัตราการตายเฉลี่ยของกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้งสูตร 1 สูตร 2 และอาหารกุ้งกุลาดำของบริษัทซีพีผลิตภัณฑ์อาหาร จำกัด มีค่าเท่ากับ 22.00 , 44.67 และ 10.50 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.19

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.19 อัตราการตายของกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 1 สูตร 2 และอาหารกุ้งกุลาดำของบริษัทซีพีผลิตภัณฑ์อาหาร จำกัด ในระยะเวลา 12 สัปดาห์

ชนิดของอาหารกุ้งกุลาดำ	บ่อที่	จำนวนกุ้งกุลาดำเริ่มต้น (ตัว)	จำนวนกุ้งกุลาดำที่เหลือ (ตัว)	ร้อยละของอัตราการตาย	ร้อยละของอัตราการตายเฉลี่ย
อาหารสูตร 1	1.1	100	72	28.00	22.00[b]
	2.1	100	84	16.00	
อาหารสูตร 2	3.1	150	89	40.67	44.67[a]
	3.2	150	77	48.67	
อาหารกุ้งของบริษัทซีพีผลิตภัณฑ์อาหาร จำกัด	1.2	100	88	12.00	10.50[b]
	2.2	100	91	9.00	

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ95

พบว่าอาหารกุ้งของบริษัทซีพีผลิตภัณฑ์อาหาร จำกัด มีอัตราการตายต่ำที่สุด รองลงมาคืออาหารสูตร 1 และสูตร 2 ตามลำดับ เมื่อทดสอบทางสถิติพบว่า ชนิดของอาหารกุ้งมีผลทำให้อัตราการตายของกุ้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 แต่เมื่อเปรียบเทียบอาหารกุ้งทีละคู่แล้วพบว่า อาหารสูตร 1 และอาหารกุ้งของบริษัทซีพีผลิตภัณฑ์อาหาร จำกัด ไม่ทำให้กุ้งที่เลี้ยงมีอัตราการตายที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 แต่อาหารทั้ง 2 ชนิดนี้จะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับอาหารสูตร 2 ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95