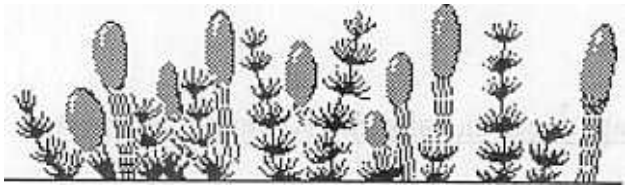
สาหร่าย : พืชเศรษฐกิจใกล้ตัว



ผศ.ดร.สมภพ อินทสุวรรณ*

สาหร่าย (Algae) หมายถึงพืชชั้นต่ำ มีคลอโรฟิลล์ แต่ไม่มีส่วนที่เป็นราก ลำต้นและใบที่แท้จริง (ไม่มีระบบท่อน้ำท่ออาหาร) เรียกโครงสร้างรวมของสาหร่ายว่า ทัลลัส (Thallus)

รูปร่างลักษณะ มีรูปร่างลักษณะได้หลายแบบ คือ

เป็นเซลล์เดี่ยว (Unicellular form) มีทั้งเคลื่อนที่ได้และเคลื่อนที่ไม่ได้
เป็นกลุ่มเซลล์ (Colonial form) มีทั้งเคลื่อนที่ได้และเคลื่อนที่ไม่ได้
เป็นเส้นสาย (Filamentous form) มีทั้งแตกแขนงและไม่แตกแขนง
4. เป็นหลอดหรือเป็นท่อ (Siphonous form)
เป็นแบบพาเรนไคมา (Parenchymatous form) มีทั้งแบบเป็นแผ่นหรือเป็นท่อ

แหล่งที่อยู่ (Habitat) พบได้ในแหล่งที่อยู่ต่างๆ กัน คือ

1. ในน้ำ (Aquatic habitat) ทั้งในน้ำจืด น้ำกร่อยและน้ำเค็ม โดยอยู่ในสภาพเป็นแพลงค์ตอน (Plankton) หรือยึดเกาะกับวัตถุ (Benthic) ด้วยโครงสร้างที่เรียกว่า โฮลด์ฟาสต์ (Holdfast) สาหร่ายส่วนมากอยู่ในน้ำ
2. ในอากาศ (Airborne)
3. ในที่ชื้น (Subaerial)
4. ในดิน (Soil)
5. ในที่อื่น ๆ เช่น ในตัวสัตว์ ในพืช และไลเคนส์

การจัดหมวดหมู่ นักพฤกษศาสตร์จัดสาหร่ายไว้ใน 2 อาณาจักร คือ อาณาจักรโมเนอรา (Kingdom Monera) และอาณาจักรโปรติสตา (Kingdom Protista) โดยอาศัยเกณฑ์ต่าง ๆ เช่น ชนิดของรงควัตถุ องค์ประกอบของผนังเซลล์ การมีโครงสร้างสำหรับเคลื่อนไหว และอาหารสะสม มีการจัดหมวดหมู่หลายแบบต่าง ๆ กัน แต่ปัจจุบันนิยมจัดตามแบบของ Bold และ Wynne(1978) ซึ่งจัดออกเป็น 9 ดิวิชั่น(Division) ตามตาราง

---

*ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ภาคใต้

Division	Common name (ชื่อสามัญ)	Percentage marine (% ที่พบในทะเล)	Approximation number of species
1. Cyanophyta	Blue-green	50	5,000
2. Chlorophyta	Green	13	7,000
3. Phaeophyta	Brown (Kelp)	99	1,500
4. Rhodophyta	Red	98	4,000
5. Chrysophyta	-Diatom	50	
	-Golden brown	20	650
	-Yellow green	15	60
6. Pyrrophyta	Dinoflagellates	93	1,200
7. Cryptophyta	Cryptomonads	60	
8. Euglenophyta	Euglenoids	3	
9. Charophyta	Stoneworts	0	80

ประโยชน์ของสาหร่าย

1. ด้านนิเวศวิทยา

สาหร่ายเป็นผู้ผลิตเบื้องต้น (Primary producer) ที่สำคัญที่สุดในห่วงโซ่อาหาร

1.2 ใช้เป็นดัชนีบอกสภาวะน้ำเสีย (Water pollution index)

1.3 ใช้บำบัดน้ำเสีย

2. ด้านอาหาร

2.1 ใช้เป็นอาหารมนุษย์ เรียกว่า Sea vegetable ได้แก่ สาหร่ายสีแดง สีน้ำตาล สีเขียวและเขียวแกมน้ำเงิน ประเทศที่นิยมบริโภคสาหร่ายได้แก่ ญี่ปุ่น จีน เกาหลี ญี่ปุ่นเป็นชาติที่บริโภคสาหร่ายทะเลเป็นอาหารมากที่สุด มีการเพาะเลี้ยงเป็นอุตสาหกรรม นอกจากนี้สาหร่ายยังใช้เป็นแหล่งโปรตีนเซลล์เดี่ยว (Single cell protein) เพื่อแก้ปัญหาโภชนาการด้านการขาดโปรตีน

2.2 ใช้เป็นอาหารสัตว์ นิยมใช้สาหร่ายทะเลสีแดงและสีน้ำตาลเป็นอาหารเลี้ยงวัว แพะ แกะ ม้า เป็ด ไก่ หมู โดยให้กินสด ๆ หรือนำมาตากแห้งและบดผสมกับอาหารอื่น ๆ ปัจจุบันมีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเซลล์เดียวขนาดเล็กหลายชนิดเพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์น้ำเพาะเลี้ยงวัยอ่อน เช่น กุ้ง หอย ปลา

3. ด้านการเกษตร

3.1 ใช้เป็นปุ๋ย สาหร่ายทะเลใช้เป็นปุ๋ยพืชสดได้เพราะมีธาตุไนโตรเจนและโปตัสเซียมมากมีการผลิตปุ๋ยน้ำจากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล มีชื่อทางการค้าว่า Seagro และ Maxicrop

สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมีความสามารถในการตรึงกาซไนโตรเจนจึงมีการเพาะเลี้ยงร่วมกับแหนแดงในนาข้าวเพื่อเพิ่มปุ๋ยไนโตรเจนหรือใช้หมักทำปุ๋ยพืชสดมีชื่อการค้าว่า Alginure

3.2 *ใช้ปรับสภาพของดิน (Soil conditioners)* ในอินเดียใช้สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินปรับสภาพดินที่เป็นเบสให้เป็นกลาง สาหร่ายส่วนมากจะอุ้มน้ำได้ดีช่วยทำให้ดินซุ่มชื้น

3.3 *ใช้ป้องกันแมลงศัตรูพืช* โดยใช้น้ำสกัดจากสาหร่ายทะเลฉีดพ่นพืช เช่น แตง หัวผักกาด มันฝรั่ง พบว่าสามารถป้องกันเพลี้ยและเชื้อราได้

4. ด้านการแพทย์และเภสัชกรรม

4.1 *ใช้ทำยารักษาโรค* ชาวจีนใช้สาหร่ายสีน้ำตาลสกุล Sargassum รักษาโรคคอพอก ใช้ต้มน้ำดื่มแก้ร้อนใน ในยุโรปใช้เป็นยาถ่ายพยาธิ ปัจจุบันมีการผลิตยาระบายที่ทำจากสาหร่ายทะเลสีแดงมีชื่อการค้าว่า Agarol

4.2 *ใช้สะกัดสารปฏิชีวนะ (Antibiotics-Bioactive compounds)* สาหร่าย สีเขียวแกมน้ำเงิน สาหร่ายสีเขียว สาหร่ายสีแดงและสีน้ำตาลสามารถนำมาสกัดสารปฏิชีวนะซึ่งพบว่าสามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย รา และไวรัสได้

4.3 *ใช้ทดสอบยา* เช่น สาหร่ายพวกไดอะตอม และยูกลีนาใช้ทดสอบ วิตามิน B

5. ด้านอุตสาหกรรม ผลิตภัณฑ์จากสาหร่ายที่มีความสำคัญด้านอุตสาหกรรมมากในปัจจุบันได้แก่

5.1 *ไฟโคคอลลอยด์ (Phycocolloids)* ได้แก่สารโพลีแซกคาไรด์ที่สกัดได้จากผนังเซลล์ของ สาหร่ายทะเลสีแดงและสีน้ำตาล ไฟโคคอลลอยด์สำคัญที่สกัดได้จาก สาหร่าย ทะเลสีแดง คือ

5.1.1 วุ้น (Agar)
คาร์ราจีแนน (Carrageenan)

ไฟโคคอลลอยด์สำคัญที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล คือ

อัลจิเนต (Alginate)

การใช้ประโยชน์และการผลิตไฟโคคอลลอยด์ทั้ง 3 ชนิดนี้จะกล่าวถึงโดยละเอียดต่อไป

5.2 *รงควัตถุ (Pigments)* รงควัตถุที่มีความสำคัญในอุตสาหกรรมที่สกัดได้จากสาหร่ายคือ

5.2.1 คาโรทีนอยด์ (Carotenoids) ได้แก่ เบต้า คาโรทีน (B-Carotene) และแอสตาแซนทินสกัดได้จากสาหร่ายสีเขียวชื่อ *Haematococcus pluvialis*

5.2.2 ไฟโคบิลิน (Phycobilin) ได้แก่ไฟโคไซยานิน (Phycocyanin) และไฟโคอีริทริน (Phycoerythrin) เป็นรงควัตถุที่สกัดได้จากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและสาหร่าย

สีแดง ใช้เป็นสีผสมอาหาร เครื่องสำอาง และใช้ในงานวิจัย เช่นด้าน Immunofluorescent labelling

5.3 *กรดไขมัน (Fatty acids)* ในสาหร่ายมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจได้แก่

-Arachidonic acid (AA)
-Eicosapentaenoic acid (EPA)
-Docosohexaenoic acid (DHA)

กรดไขมันเหล่านี้มีรายงานว่าสามารถป้องกันโรคหลอดเลือดหัวใจตีบ รูมาติซัม มะเร็ง หืด ได้ สาหร่ายที่เป็นแหล่งของกรดไขมันเหล่านี้ได้แก่

สาหร่ายสีแดงชื่อ *Porphyridium cruentum* ให้ AA และ EPA
ไดอะตอมชื่อ *Phaeodactylum tricornutum* ให้ EPA
คริปโตโมแนดชื่อ *Chroomonas salina* ให้ DHA

5.4 *แร่ธาตุ* สาหร่ายทะเลสีน้ำตาลเป็นแหล่งสำคัญของแร่ธาตุต่าง ๆ เช่น โซเดียมคาร์บอเนต โปแตสเซียมคาร์บอเนต และไอโอดีน

5.5 *ไดอะตอมไมต์ (Diatomite หรือ Diatomaceous earth)* เป็นสารซิลิกอนไดออกไซด์ที่ได้จากผนังเซลล์ของไดอะตอมที่ตายทับถมกันอยู่ใต้ทะเลเป็นเวลานาน มีคุณสมบัติสำคัญคือมีรูพรุน น้ำหนักเบา มีพื้นที่ผิวมาก ทนไฟ ไม่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยา นำมาใช้เป็นไส้กรองหรือสารช่วยกรอง (Filter aids) มีชื่อสามัญว่า Kieselguhr ใช้ผสมกระดาษหรืออิฐเพื่อให้ทนไฟ ใช้ทำผงขัดยาสีฟัน ทำเป็นฉนวนกันความร้อนในอุปกรณ์ไฟฟ้าและเตาเผา

6. **ด้านการศึกษาวิจัยทางวิทยาศาสตร์** ตัวอย่างเช่น Chorella ใช้ศึกษาขบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง Chlamydomonas และ Acetabularia ใช้ศึกษาด้านพันธุกรรมและโครงสร้างของเซลล์ ไดอะตอมชื่อ Navicula ใช้ทดสอบความคมชัดของเลนส์กล้องจุลทรรศน์

ด้านพลังงาน มีการทดลองเลี้ยงสาหร่ายทะเลขนาดใหญ่เพื่อใช้เป็น เชื้อเพลิง เช่น มีเธนและเมธานอล

การใช้ประโยชน์และขบวนการผลิตไฟโคคอลลอยด์ (Commercial production and application of phycocolloids)

ผลิตภัณฑ์จากสาหร่ายที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจมากในปัจจุบัน คือ วุ้น คาร์ราจีแนน และอัลจิเนต ซึ่งเป็นโพลีแซกคาไรด์ที่สกัดได้จากผนังเซลล์ของสาหร่ายทะเลสีแดงและสีน้ำตาล ซึ่งมีชื่อเรียกรวมว่าไฟโคคอลลอยด์หรือไฮโดรคอลลอยด์ (Hydrocolloids) เพราะมีสมบัติเป็นสารละลายคอลลอยด์เมื่อละลายน้ำ มีความสำคัญในอุตสาหกรรมคือนำมาผสมกับผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เพื่อเป็นสารทำให้เกิดความข้น (Thickening) หรือเป็นสารทำให้เป็นวุ้น (Gelling) หรือเป็นตัวทำให้ไม่ตกตะกอนเป็นอีมัลชัน (Emulsifying) หรือเป็นตัวทำให้คงรูป (Stabilizing)

1. **วุ้น (Agar)** สาหร่ายทะเลสีแดงที่ให้วุ้นเรียกว่า เอกาโรไฟต์ (Agarophyte)

องค์ประกอบทางเคมี เป็นโพลีเมอร์ของเอกาโรส (Agarose) กับเอกาโรเพค ติน (Agaropectin) เอกาโรสเกิดจากสายของ 1,3-linked B-D-galactopyranose สลับกับ 1,4-linked 3,6-anhydro -L-galactopyranose ส่วนเอกาโรเพคตินมีโครงสร้างทางเคมีคล้ายเอกาโรสแต่มีประจุมากกว่าและมีกาแลกโตสซัลเฟตเป็นองค์ประกอบ

วัตถุดิบ สาหร่ายทะเลสีแดงที่ใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการสกัดวุ้นในปัจจุบันคือ Gelidium, Gracilaria และ Pterocladia แหล่งผลิตวัตถุดิบที่สำคัญอยู่ในเอเชียและละตินอเมริกา ส่วนใหญ่ได้มาโดยการเก็บเกี่ยวจากธรรมชาติ ยังมีการเพาะเลี้ยงน้อย

การสกัดและการผลิตวุ้น โดยเลือกชนิดของวัตถุดิบ นำมาทำความสะอาด สกัดวุ้นออกด้วยน้ำร้อน กรองกากออก ทิ้งให้วุ้นแข็งตัว และกำจัดน้ำออก ทำให้แห้ง บรรจุขายในรูปวุ้นแผ่น วุ้นเกล็ดหรือ วุ้นผง (ดูแผนภูมิการสกัดวุ้น)

คุณสมบัติ วุ้นละลายในน้ำร้อน เมื่อเย็นลงจะแข็งเป็นวุ้น สามารถเกิดเจลได้ ในความเข้มข้นต่ำ (1-2%) อุณหภูมิการเป็นเจลประมาณ 35° C และละลายที่อุณหภูมิประมาณ 85° C

เกรดของวุ้น วุ้นแบ่งได้เป็น 3 เกรด ตามลักษณะการใช้ประโยชน์

1) *Food grade หรือ Commercial grade* ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารและอุตสาหกรรมต่าง ๆ มีค่าความแข็งไม่เกิน 400 กรัม/ตร.ซม

2) Bacteriological grade เป็นวุ้นที่ใช้ในงานเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ มีค่าความแข็งอยู่ระหว่าง 400-700 กรัม/ตร.ซม

3) Agarose หรือ Purified agar เป็นวุ้นบริสุทธิ์ ใช้ในงานศึกษาวิจัยด้านชีวเคมี ค่าความแข็งเกิน 700 กรัม/ตร.ซม ขึ้นไป

การใช้ประโยชน์

1) *ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร* วุ้นอาจใช้บริโภคโดยตรงหรือใช้ผสมในอาหารเพื่อปรับปรุงคุณภาพหรือให้มีลักษณะตามที่ต้องการ เช่น ในผลิตภัณฑ์ขนมอบ ลูกอม ไอศครีม เนยแข็ง โยเกิร์ต มายองเนส ซุป แยม น้ำสลัด ซอสมะเขือเทศ เบียร์ ไวน์ น้ำผลไม้ อาหารกระป๋องประเภทเนื้อสัตว์

2) *ใช้ในอุตสาหกรรมยาและเครื่องสำอาง* เช่น ใช้ทำยาระบาย ทำแม่พิมพ์ฟันและอุปกรณ์ผสมยา ทำปลอกหุ้มยา ผสมเครื่องสำอางพวกครีมและโลชั่นต่าง ๆ

3) *ใช้ในอุตสาหกรรมอื่น ๆ* เช่นใช้เคลือบเส้นด้าย ผสมหมึกพิมพ์ กาวเคลือบฟิล์มถ่ายภาพ ผสมผงซักฟอก น้ำมันเคลือบเงา ฯลฯ

4) ใช้เป็น Culture medium ในการเลี้ยงจุลินทรีย์ ในงานด้านจุลชีววิทยา การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ

5) ใช้ในงานวิจัยชั้นสูงและด้านเทคโนโลยีชีวภาพ เช่น Electrophoresis, Chromatography, Immunology, Immobilized technology

2. คาร์ราจีแนน (Carrageenan)

การใช้คาร์ราจีแนนในด้านอุตสาหกรรมเริ่มต้นขึ้นใน ค.ศ.1940 เมื่อมีการผลิตนมช็อกโกแลตและต้องการสารที่เป็นตัวทำให้นมเกิดการคงสภาพ (Stabilizer)

องค์ประกอบทางเคมี เกิดจากโพลีเมอร์ของ 1,3-linked B-D-galactopy ranosyl สลับกับ 1,4-linked-D-galactopyranosyl คาร์ราจีแนนแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

1) mu,nu,kappa,iota carrageenan ละลายได้ในน้ำเย็นและตกตะกอนในสาร ละลายที่มีไอออนของโปตัสเซียมหรือในด่างอื่น ๆ

2) lambda และ xi carrageenan ละลายในน้ำเย็นแต่ไม่ตกตะกอนในสารละลายที่มีไอออนของโปตัสเซียม

คาร์ราจีแนนที่ใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมส่วนมากเป็นแคปปา ไอโอตา และแลมบ์ดา

วัตถุดิบ

สาหร่ายทะเลสีแดงที่ให้คาร์ราจีแนนรวมเรียกว่า คาร์ราจีโนไฟต์ (Carrageenophyte) ซึ่งมีหลายชนิดแต่ที่ใช้เป็นวัตถุดิบหลักได้แก่ Chondrus, Gigartina, Eucheuma, Furcellaria และ Hypnea

การสกัดและการผลิตคาร์ราจีแนนโดยสรุป

โดยนำสาหร่ายมาล้าง บด และต้มในด่าง กรอง ปรับ pH จะได้คาร์ราจีแนนเข้มข้นแล้ว ทำให้ตกตะกอน และทำให้แห้ง

การใช้ประโยชน์

แคปปาคาร์ราจีแนนผสมกับแลมบ์ดาคาร์ราจีแนนใช้เป็นตัวทำให้ข้น (Thickening) ส่วนแคปปาร์คาราจีแนนเมื่อผสมกับไอโอตาคาร์ราจีแนนใช้เป็นตัวทำให้นิ่ม (Gelling) ส่วนใหญ่ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์นม อาหารสำเร็จรูป ยาสีฟัน ครีมโกนหนวด สบู่ เครื่องสำอาง

3. อัลจิเนต (Alginate)

ผู้ค้นพบอัลจิเนตเป็นเภสัชกรชาวอังกฤษชื่อ E.C.Stanford เมื่อ ค.ศ.1880 แต่การนำเอาอัลจิเนตมาใช้ประโยชน์ด้านอุตสาหกรรมเกิดขึ้นใน ค.ศ.1929 โดยบริษัท Kelco (Merck) ประเทศผู้ผลิตที่สำคัญได้แก่ สหรัฐอเมริกา อังกฤษ นอร์เวย์ คานาดา ฝรั่งเศส ญี่ปุ่น และจีน

องค์ประกอบทางเคมี อัลจิเนตเป็นโพลีเมอร์ของ D-guluronic acid และ L-mannuronic acid ซึ่งทำให้เกิดการต่อกันได้ 3 แบบ คือ G Block, M Block และแบบผสม

วัตถุดิบ

สาหร่ายสีน้ำตาลที่ให้อัลจิเนตมีชื่อเรียกรวมว่า อัลจิโนไฟต์ (Alginophyte) ได้แก่ Macrocystis, Laminaria, Lessonia, Ascophyllum, Alaria, Ecklonia, Eisenia, Nereocystis, Sargassum, Cystoseira และ Fucus แต่ที่ใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตคือ *Macrocystis pyrifera* และ *Ascophyllum nodusum* ซึ่งมีมากตามชายฝั่งของประเทศที่เป็นผู้ผลิตใหญ่และในออสเตรเลียอินเดีย เม็กซิโก อาร์เจนตินา ชิลี และอัฟริกา

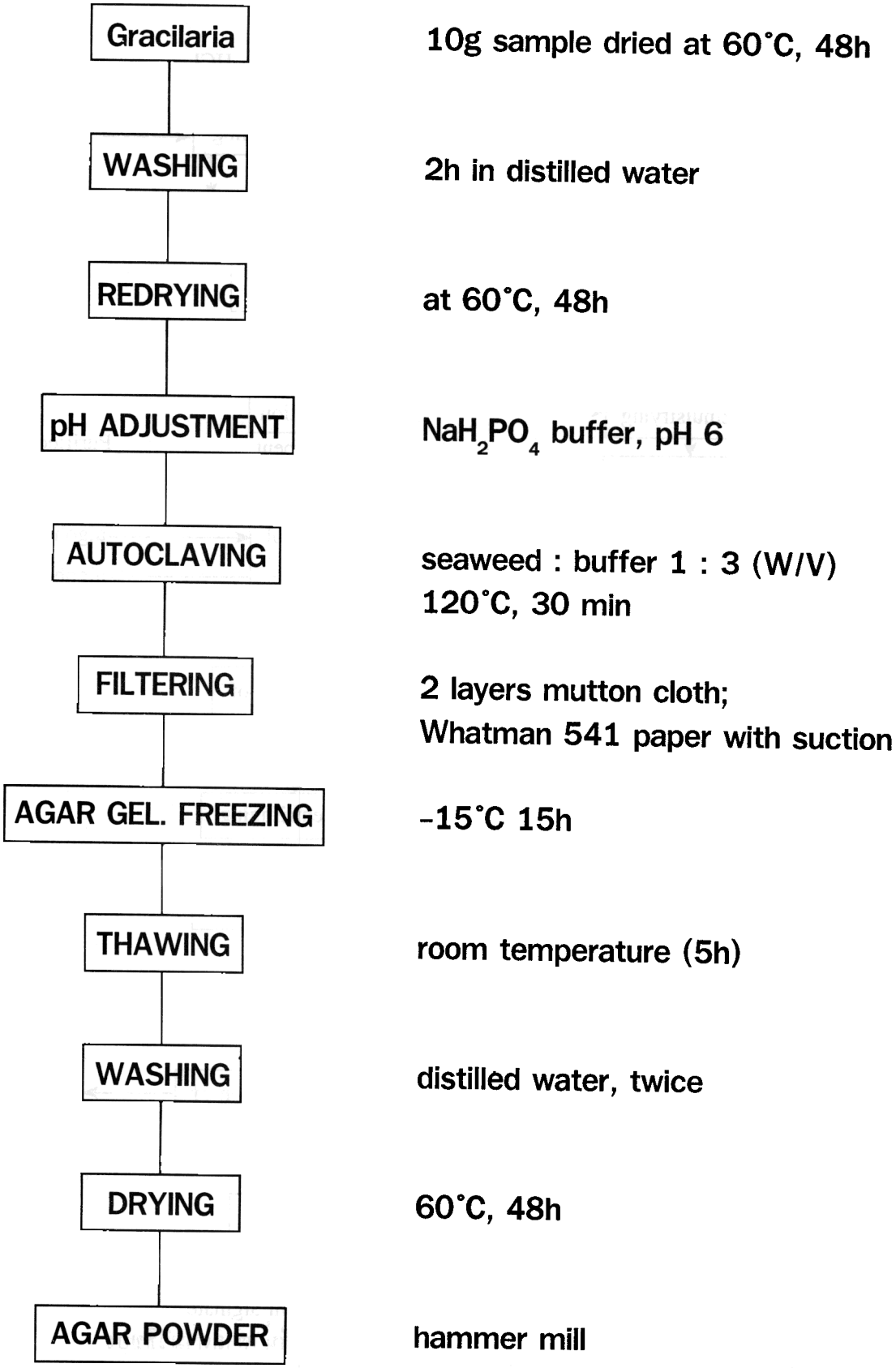
การสกัดและการผลิตอัลจิเนต

โดยนำสาหร่ายมาบด ล้างและแยกอัลจิเนตออกแล้วแต่ว่าจะอยู่ในรูปของเกลือชนิดใด (โซเดียม แคลเซียม แมกนีเซียม หรือโปตัสเซียม) วิธีการสกัดส่วนมากใช้วิธีของ Green หรือวิธีของ Le Gloahec และ Herter ซึ่งจดลิขสิทธิ์ไว้เมื่อ 50 ปีมาแล้ว (ดูไดอะแกรมขั้นตอนการสกัด)

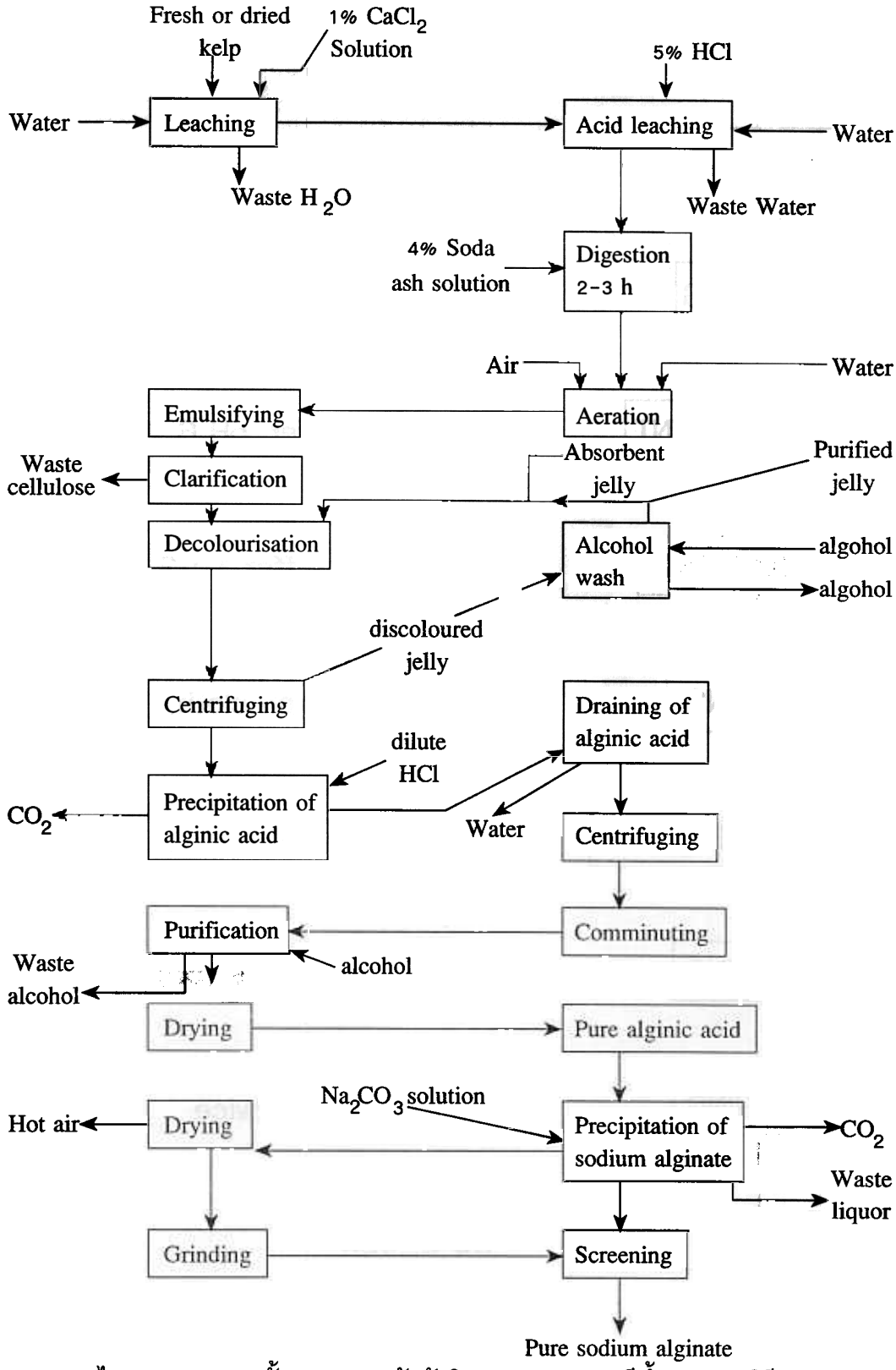
คุณสมบัติ อัลจิเนตละลายได้ดีทั้งในน้ำเย็นและน้ำร้อน เมื่อละลายจะได้สารข้นเหนียว (1%)

การใช้ประโยชน์

อัลจิเนตส่วนมากใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เช่นผสมในไอศครีม ขนมแช่แข็ง น้ำสลัด ผลิตภัณฑ์นม ขนมอบ เครื่องดื่ม เยลลี อาหารสำหรับผู้ที่ต้องการควบคุมน้ำหนัก ใช้เคลือบกระดาษกันซึม เคลือบเส้นใยทำให้ย้อมสีติดชัดและสวย ใช้ผสมสีทาเพื่อให้ทาได้เรียบไม่เห็นรอยแปรงและไม่หยดเปรอะเปื้อน ใช้เคลือบหนัง ผสมคาร์บอนทำไส้ดินสอ ผสมยาฆ่าแมลง เคลือบเครื่องปั้นดินเผา เคลือบลวดเชื่อมโลหะ เคลือบอิเลคโตรด เคลือบอาหารสัตว์น้ำ ใช้ในอุตสาหกรรมเวชภัณฑ์ เช่นใช้ทำปลอกหุ้มยา ทำแม่พิมพ์ฟัน ทำพลาสเตอร์ห้ามเลือด ใช้ในเทคนิค Cell Immobilization ทำ Biocatalyst เพื่อผลิตสารต่าง ๆ เช่น เบียร์ กรดซิตริก อะซีโตน เอธานอล เป็นต้น



ไดอะแกรมแสดงขั้นตอนการสกัดวุ้นจากสาหร่ายผมนางในระดับห้องปฏิบัติการ



ไดอะแกรมแสดงขั้นตอนการสกัดอัลจิเนตจากสาหร่ายสีน้ำตาลตามวิธีของ Le Gloahec และ Herter

เอกสารอ้างอิง

กาญจนภาชน์ ลิ่วมโนมนต์ 2527. สาหร่าย. คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ

Chapman,V.J. and D.J.Chapman. 1980. **Seaweeds and their uses.** Chapman and Hall. New York.

Lembi, C.A. and J.R. Waaland. 1988. **Algae and human affairs.** Cambridge University Press. New York.

McHugh,D.J. 1987. **Production and utilization of products from commercial seaweeds.** FAO. Rome.

Okazaki,Akio. 197 **Seaweeds and their uses in Japan.** Tokai University Press. Tokyo.

Phang.Siew Moi. 1994. **Algal biotechnology in the Asia-Pacific region.** Proceeding of the first Asia-Pacific conference on algal biotechnology. University of Malaya. Kuala Lumpur.