

한국산 꼬시래기 (*Gracilaria verrucosa*)의 사분포자체와 배우체의 한천 수율 및 특성의 계절적·지역적 변화

김영식* · 구재근¹

군산대학교 해양명과학부, ¹군산대학교 해양응용공학부

Seasonal and Regional Variations of Agar Yield and Properties of Tetrasporophytes and Gametophytes in Korean *Gracilaria verrucosa*

Young Sik KIM* and Jae-Geun KOO¹

Faculty of Marine Life Science, Kunsan National University, Kunsan 573-701, Korea

¹Faculty of Applied Ocean Science and Technology, Kunsan National University, Kunsan 573-701, Korea

The effect of season, life stages and harvesting sites on the yield and properties of agars extracted from *Gracilaria verrucosa* were determined. *G. verrucosa* were collected seasonally from November 2001 to August 2002 at Cheongsapo and Boryong, Korea. The plants were sorted into the different life stages (tetrasporophytes and gametophytes) and dried at 60°C. The yield, sulfate, protein, uronic acid and 3,6-anhydrogalactose of the agar were determined, and standard parameters of physical quality were measured. No differences were found in yield and properties of agars from the two different harvesting sites and from life history phases. The yield of agar was maximum in summer (17.3-20.0%) and minimum in winter (11.9-13.1%). Maximum gel strength occurred in winter when the agar yield and sulfate content were low. Gel strength was negatively correlated with agar yield. Seasonal variations in agar yield and its quality were discussed in a view to managing the exploitation of this resource.

Key words: *Gracilaria verrucosa*, Tetrasporophytes, Gametophytes, Agar, Seasonal variation

서 론

홍조류 꼬시래기류 (*Gracilaria*)는 우뚝가사리류 (*Gelidium*)와 더불어 전 세계적으로 한천의 주요 원료로서 널리 이용되고 있다 (Armisen, 1995). 이러한 중요성 때문에 꼬시래기류에 관한 연구는 분류, 생태, 생활사는 물론 한천의 수율, 품질 및 물리화학적 특성 등 다양한 분야에 걸쳐서 수행되어왔다 (Hoyle, 1978a; Chiang, 1981; Smith et al., 1984; Fredericq and Hommersand, 1989; Pickering et al., 1993; Kain and Destombe, 1995). 그러나 한국산 꼬시래기에 관한 연구는 이와 같은 전 세계적인 많은 연구 성과와는 달리, 단지 몇 연구자에 의해 그 단편적인 연구만이 수행되어왔다 (Koh, 1969; Kim et al., 1993; Kim et al., 1998, 2001, 2002).

한천의 성분에 관한 연구 중 일부 종 (*Gracilaria foliifera*)에서는 배우체와 사분포자체의 구성성분이 다르다는 보고가 있으나 (Penniman, 1977), Hoyle (1978b)는 *Gracilaria bursa-pastoris*와 *G. conronopifolia*에 있어서 두 생활사 상(phase)간에 한천의 함량과 겔 강도에 있어서 유의한 차가 없다고 보고 한 바가 있다. 그러나 이미 카라기난 홍조 진두발류 (*Chondrus*)는 사분포자체와 배우체와 같이 생활사가 달라짐에 따라 구성 성분이 달라짐이 널리 알려져 있고 (Chen et al., 1973; McCandless et al., 1973), 근연속(屬)인 *Iridaea*와 *Gigartina*의 연구에 있어

서도 역시 이와 유사한 결과를 얻은 바 있다 (Waaland, 1975). 따라서 한국산 꼬시래기의 생활사 상이 다른 세대간의 한천 특성을 구명해 보는 것은 매우 흥미로운 일이 아닐 수 없다. 그러나 전반적으로 배우체나 사분포자체를 각각 분리하여 한천에 성분 분석을 수행한 경우는 극히 미미한 실정이고 (Yao et al., 1984), 더욱이 지금까지 수행된 한국산 종에 대한 연구들의 대부분은 종에 대한 정확한 동정이 이루어지지 않았거나, 사분포자체와 배우체를 구분하지 않고, 한천 성분 및 특성을 연구한 경우가 대부분이다.

따라서 본 연구는 계절과 지역을 달리하여 채집한 꼬시래기 시료를 배우체와 사분포자체로 나누어 각각 그 한천의 이화학적 특성을 파악함으로써 계절과 지역에 따른 한천 성분 및 특성과의 상관관계를 추정해 보고, 한국산 꼬시래기의 한천 성분에 대한 보다 체계적이고, 정확한 정보를 축적함으로써 국내산 꼬시래기 자원을 이용한 우수한 한천제조를 위한 기초 자료를 얻는데 그 목적이 있다.

재료 및 방법

재료 및 조사지역의 수온

꼬시래기는 동남해안의 청사포 (129°12'E, 35°9'N) 및 서해안의 보령 해안(126°33'E, 36°15'N)에서 2001년 11월과 2002년 2월, 5월, 8월에 각각 채집되어 실험실로 운반되었다. 운반된

*Corresponding author: kimys@kunsan.ac.kr

꼬시래기는 현미경하에서 생활사 상 (사분포자체와 배우체)에 따라 분류하고, 이물질을 제거한 후 열풍건조기로 건조 (약 60°C 이내)한 후 밀봉 보관하면서 분석 실험에 사용되었다. 모든 실험은 3회 실시하여 평균값으로 나타내었다. 꼬시래기의 일반성분은 상법에 따라 수분함량은 상압건조법, 조지방은 Soxhlet 추출법, 조단백질은 Kjeldahl법, 조회분은 건식회화법으로 분석하였다 (AOAC, 1990).

해조류의 생육에 영향을 끼치는 요인중의 하나로 인식되고 있는 수온은 국립수산물학원의 주간해황예보 (NFRDI, 2001, 2002)로부터 획득하였다 (Fig. 1).

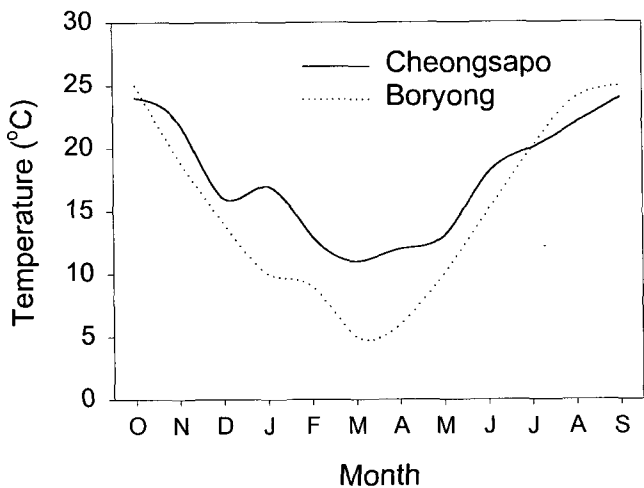


Fig. 1. Seasonal variations of seawater temperature at Cheongsapo and Boryong in Korea.

한천의 제조 및 겔 특성

한천의 제조는 Chirapart and Ohno (1993)의 방법에 준하여 실시하였다. 즉, 건조된 원조를 5% NaOH 용액에 침지한 후 2시간 동안 80°C에서 알칼리 처리를 한 후 수돗물과 산을 이용하여 수세, 중화하였다. 알칼리 처리된 꼬시래기를 다시 증류수에 침지한 후 2시간 동안 100°C에서 추출한 후 여과하여 여액을 상온에서 응고시켰다. 여과 잔사는 다시 반복 추출, 여과하여 함께 응고시켰다. 응고된 겔은 12시간 동안 -18°C에서 냉동한 후 상온에서 6시간 해동을 5회 반복하여 탈수시킨 후 45°C에서 건조하였다. 겔강도는 알칼리 처리한 한천을 증류수에 녹여 1% 용액을 제조한 후 직경 5 cm, 높이 3.0 cm의 용기에 부어 20°C에서 24시간 방냉한 후 면적 1 cm²당 20초간 견딜 수 있는 최대 중량을 젤리강도측정기를 사용하여 측정하였고 겔화온도와 용해온도는 1.5% 한천 용액을 제조하여 Hayashi and Okazaki (1970)의 방법에 따라 측정하였다.

한천의 화학적 특성 조사

총당의 함량은 galactose를 standard로 사용하여 phenol-sulphuric acid법 (Dubois et al., 1956)으로 측정하였고, 단백질의 함량은 Lowry et al. (1951)에 따라 bovine serum albumin

(Sigma Co., USA)을 표준물질로 사용하여 정량하였다. 황산기의 함량은 Dodgson and Price (1962)의 방법으로, 우론산의 함량은 Knutson and Jeanes (1968)의 방법에 따라 측정하였으며, D-glucuronic acid를 standard로 사용하였다. 구성당 조성 분석은 Furneaux et al. (1990)의 방법에 따라 gas chromatography (HP 6890)로 분석하였는데, 칼럼으로는 SP-2330 칼럼을 사용하였고, 230°C에서 등온 분석하였다. 구성당의 확인은 표준 시약의 크로마토그램과 retention time을 비교하여 확인하였고, 정량은 내부 표준물질 (myo-inositol)과 표준시약 (galactose, glucose, mannose, rhamnose, xylose, arabinose, 6-methyl-galactose, 3,6-anhydrogalactose)을 시료와 동일하게 acetylation시켜 농도별 상대 면적비를 구하여 환산하였다.

결 과

조사지역의 수온

재료가 채집된 두 지역의 수온 변화 양상은 큰 변화가 없었지만 두 지역 간 매달 평균 수온의 차이는 존재하였다 (Fig. 1). 청사포 지역의 월평균 최저온도는 수온 변화는 3월에 11°C를, 최고온도는 9월과 10월에 모두 24°C를 기록한 반면에, 보령의 최저온도는 3월에 5°C를, 최고온도는 역시 9월과 10월에 각각 25°C를 각각 기록하였다. 전반적으로 서해안의 보령이 동남해안의 청사포 지역보다 수온이 낮았다.

꼬시래기의 일반 조성 변화

동남해안의 청사포와 서해안의 보령에서 각각 채집한 꼬시래기를 사분포자 및 배우체로 분류하여 계절별로 일반성분의 변화를 조사하였다 (Fig. 2). 전 시료 모두 탄수화물이 61.0-77.3%로 가장 함유량이 높았으며 다음으로 단백질 (16.6-33.1%), 회분 (5.2-9.5%), 지질 (0.1-1.4%) 순이었다. 채집장소 및 생활사간의 일반성분 함량은 일정한 경향을 나타내지 않았다. 반면에 채집시기에 따른 성분 변화는 회분과 지질의 경우는 계절간 함량 차이가 거의 없었으나 탄수화물과 단백질은 계절에 따른 함량 변화가 많았다. 즉, 청사포에서 채집한 시료의 경우 탄수화물은 배우체와 사분포자체 모두 여름철에 74.8-75.0%로 가장 높았고 봄, 가을, 겨울은 57.1-63.2%로 여름에 비해 낮았다. 반면에 단백질은 여름철이 16.6-16.8%로 가장 낮았으며 나머지 봄, 가을, 겨울은 27.5-33.1%로 여름철에 비해 높았다.

알칼리 처리 한천의 수율 및 품질 특성

지역, 생활사 및 채집 시기가 각각 다른 꼬시래기를 알칼리 처리하여 제조한 한천의 수율 및 물리적 특성이 조사되었다 (Table 1). 수율의 경우 지역 및 배우체와 사분포자체간 모두 각각 큰 차이가 없었다. 반면 채집시기에 따른 수율 차이는 뚜렷하였는데, 청사포 및 보령 두 지역 모두 여름에 가장 높아 각각 17.8-18.6%, 17.3-20.0%를 나타내었고 다음으로 봄, 가을, 겨울 순이었다. 겔강도는 지역 및 배우체와 사분포자체간의 일정한 경향이 나타나지 않았다. 수확시기에 따라서는 청사포

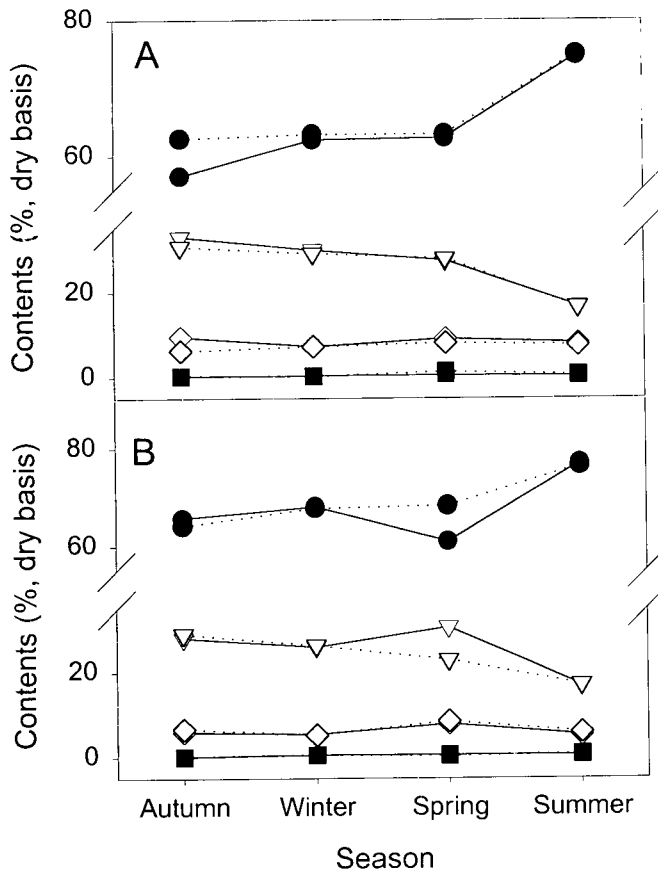


Fig. 2. Seasonal variations in carbohydrate (●), protein (▽), ash (◇) and lipid (■) contents of tetrasporophytic (—) and gametophytic (···) life stages of *Gracilaria verrucosa* harvested at Cheongsapo (A) and Boryong (B) in Korea.

와 보령 두지역 모두 겨울이 가장 높아 각각 539.2-562.1 g/cm², 542.0-550.0 g/cm²을 나타내었고 다음으로 가을, 봄, 여름 순이었다. 겔화온도와 용해온도는 전 시료간에 일정한 경향을 관찰할 수 없었다.

알칼리 처리 한천의 화학적 특성

청사포와 보령에서 각각 채집된 꼬시래기 배우체 및 시분포자체로부터 알칼리 처리하여 제조한 한천의 화학적 조성이 조사

되었다 (Table 2, 3). 지역 및 생활사 상간 화학적 조성에 있어서 큰 차이는 관찰할 수 없었다. 황산기 함량은 두 지역 모두 봄에 가장 높아 청사포와 보령이 각각 5.3-5.5%와 5.0-5.5%이었고, 겨울에 가장 낮아 청사포 지역의 경우 3.4-3.5%이었으며, 보령 지역은 3.5-3.8%이었다. 단백질의 경우 전 시료 모두 1.2% 이하로 비교적 낮았는데 이는 알칼리 처리 및 여과 과정에서 상당량의 단백질이 제거되었기 때문으로 생각된다. 당조성의 경우 전 시료 모두 galactose와 3,6-anhydrogalactose가 대부분을 차지하고 다음으로 6-O-methylgalactose, glucose가 비교적 많이 함유되어 있었으며, 이외에 미량의 arabinose, mannose, xylose, rhamnose가 함유되어 있다. 특히 glucose의 경우는 꼬시래기의 저장 다당의 일종인 floridean starch로부터 유래된 것으로 여겨진다.

고찰

한천 원료로서의 품질 특성 중 수율 및 겔강도가 매우 중요한데, 수율적 측면에서는 원조의 일반 성분 중 우선 탄수화물 함량이 높고 단백질 등의 불순물의 함량이 낮은 것이 수율 및 불순물 제거 공정면에서 우수한 원료라고 할 수 있다. 탄수화물 및 단백질의 함량으로 미루어 볼 때 두 지역 간 차이 및 포자체와 배우체간의 생활사 상 차이에 따른 꼬시래기가 한천 원료로서 큰 차이는 없었으나 계절간의 차이는 매우 커 여름철에 수확한 꼬시래기가 다른 계절에 채집한 꼬시래기에 비해 탄수화물 함량이 높고 단백질의 함량이 낮아 한천 원료로서 우수할 것으로 판단된다 (Fig. 2). Durako and Dawes (1980)에 의하면 홍조 *Hypnea musciformis*의 가장 높은 호흡률 (respiration rate)은 빠른 성장기(가을과 겨울)에 일어나며, 이러한 성장패턴이 단백질 성분의 증가가 빠른 성장과 관련 있음을 지적한 바 있다. 또한 Orduna-Rojas et al. (2002)은 *Gracilaria cornea*의 생장이 빠르게 일어남에 따라 탄수화물이 점점 낮아지게 되고, 수온이 낮고 건조한 계절에 높은 생장능력을 보이고, 이때 높은 단백질 수준을 보인다고 보고한 바 있어, 본 연구결과와 유사하였다.

일반적으로 꼬시래기로부터 추출된 한천의 경우는 우뚝사리를 원조로 이용할 때와 다르게 D-galactose, 3,6-anhydro-

Table 1. Yields and physical properties of agar obtained from different stages of *Gracilaria verrucosa* (T, Tetrasporophytes; G, Gametophytes)

Harvest site and season	Yield (%)		Gel strength (g/cm ²)		Gelation temp (°C)		Melting temp (°C)	
	T	G	T	G	T	G	T	G
Cheongsapo								
Autumn	13.6	13.6	465.8	487.6	43.1	42.8	88.1	88.4
Winter	11.9	12.2	539.2	562.1	42.9	42.1	87.2	86.9
Spring	15.6	15.8	382.5	372.2	41.8	42.9	86.9	87.9
Summer	17.8	18.6	376.2	301.2	43.1	44.0	88.7	88.6
Boryong								
Autumn	13.7	13.3	472.8	482.2	43.1	42.8	87.9	87.8
Winter	12.3	13.1	542.0	550.0	41.8	42.9	88.1	88.0
Spring	15.8	15.9	392.4	369.2	42.8	42.1	86.4	87.2
Summer	17.3	20.0	314.5	299.8	42.9	42.8	88.9	89.1

Table 2. Chemical properties of agar obtained from *Gracilaria verrucosa* at Cheongsapo, Korea (T, Tetrasporophytes; G, Gametophytes)

	Autumn		Winter		Spring		Summer	
	T	G	T	G	T	G	T	G
Carbohydrate (%)	77.1	72.8	73.9	74.1	74.9	73.9	75.3	75.1
Protein (%)	0.8	0.7	0.8	1.2	1.2	1.0	0.9	0.8
Sulfate (SO ₃ Na%)	4.1	3.9	3.5	3.4	3.9	4.0	5.3	5.5
Uronic acid (%)	7.3	7.1	7.0	3.9	6.9	7.0	6.4	6.9
Component monosaccharide (%)								
Galactose	35.6	35.8	41.9	43.1	39.1	40.2	41.5	43.2
Arabinose	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.4	0.3	0.3
3,6-anhydro galactose	49.7	50.6	42.4	44.8	41.8	44.6	46.8	47.0
6-O-methyl galactose	5.4	5.3	4.8	4.9	5.2	4.3	4.0	4.2
Xylose	1.0	1.0	0.9	0.7	0.3	0.3	0.5	0.5
Rhamnose	0.8	0.7	0.6	0.9	0.6	0.5	0.8	0.7
Mannose	1.4	1.0	1.6	1.2	0.8	0.7	1.2	1.1
Glucose	2.0	2.6	4.0	2.9	1.6	1.5	2.5	2.4

Table 3. Chemical properties of agar obtained from *Gracilaria verrucosa* at Boryong, Korea (T, Tetrasporophytes; G, Gametophytes)

	Autumn		Winter		Spring		Summer	
	T	G	T	G	T	G	T	G
Carbohydrate (%)	75.1	73.1	75.8	79.9	72.0	75.3	76.5	76.6
Protein (%)	0.8	0.6	1.0	0.9	1.0	0.9	0.8	0.8
Sulfate (SO ₃ Na%)	4.0	4.2	3.8	3.5	4.0	4.2	5.0	5.5
Uronic acid (%)	7.6	7.0	7.5	6.9	7.2	6.9	6.7	7.0
Component monosaccharide (%)								
Galactose	36.0	36.4	43.7	44.1	44.1	45.4	42.5	43.9
Arabinose	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4	0.3
3,6-anhydro galactose	52.8	52.7	43.9	45.4	45.9	48.1	47.5	46.8
6-O-methyl galactose	5.6	5.6	4.7	4.7	5.8	4.5	4.1	4.1
Xylose	1.1	1.0	1.0	0.8	0.4	0.3	0.6	0.6
Rhamnose	0.9	0.9	0.7	0.7	0.8	0.7	0.9	0.8
Mannose	1.1	1.1	1.3	1.3	0.8	0.6	1.3	1.0
Glucose	2.2	2.0	4.3	2.7	1.8	1.6	2.7	2.5

L-galactose 외에 6-methyl-galactose, 6-sulfate-L-galactose 등과 같은 황산기가 ester화 된 당이 다량 존재하므로 겔화능이 약하여 일반적으로 꼬시래기를 원조로 하여 상업적으로 한천 생산시는 알칼리 처리하여 6-sulfate galactose를 3,6-anhydro galactose로 전환하여 추출한다. 따라서 한천 원료로서의 꼬시래기의 품질 특성 조사를 위해서는 알칼리 처리한 한천의 수율 및 품질 특성 조사가 필요하다. 한천의 수율, 겔강도 등의 특성은 일부 종에 있어서 조류의 생활사 상과 계절의 차이에 의해 변이가 있는 것으로 알려졌다 (Whyte et al., 1981). 연구결과 수율은 여름, 봄, 가을, 겨울 순으로 높아 꼬시래기 탄수화물 함량과 같은 경향을 나타내었다. 또한 겔강도는 겨울, 가을, 봄, 여름 순으로 높았는데, Craigie and Wen (1984)에 의하면 *Gracilaria tikvahiae*로 추출된 한천의 황산기 함량은 좀더 낮은 온도에서 생장되었을 때 감소한다고 하였으며, 높은 성장 능력으로 특징지워지는 어린 조체들이 높은 겔강도를 갖는다고 하였다. 실제 본 실험에 사용된 개체는 겨울에 채집된 개체가 여름 개체보다 그 크기가 작았다. 또한 겔강도는 수율과 달리 겨울철의 시료가 여름철에

비하여 높은데, 이는 겔강도가 agarose의 조성 즉, 1,3-β-D-galactopyranose와 1,4-α-L-3,6-anhydrogalactopyranose 간기, 특히 황산기와 밀접한 관련이 있고 (Table 2, 3), 꼬시래기의 한천에 함유되어 있는 6-sulfate-L-galactose는 3,6-anhydro-L-galactose의 전구 물질이므로 조체가 성숙됨에 따라 anhydro sugar의 함량이 증가되고 또한 황산기의 함량이 감소하기 때문으로 여겨진다 (Craigie and Wen, 1984).

앞에서도 언급한 바와 같이 꼬시래기로부터 추출된 한천의 특성은 몇 종에 있어서 조류의 생활사 상에 따라 차이가 있는 것으로 알려졌지만 (Penniman, 1977; Whyte et al., 1981), 또한 다른 종에서는 유의한 차가 발견되지 않기도 하였다 (Hoyle, 1978b; Yao et al., 1984). 본 연구에서도 사분포자체와 배우체에 있어서 한천의 특성은 큰 차이가 없었고, 수온, 조석, 탁도 등 여러 가지 생육 환경이 다를 것으로 추측되는 두 지역 간에도 역시 큰 차이를 보이지 않았으며, 다만 계절에 따라서만 차이를 보였다. 채집이 수행되었던 두 지역의 매달 평균 수온의 차이는 0-6°C로서 (Fig. 1), 일부 달에 따라서는 두 지역의 수온 차가 비교적 큰 편이었는데도 한천의 특성에

있어서 큰 차이를 보이지 않았던 점은 매우 흥미로운 결과로 볼 수 있다. 이는 추가적인 보완 실험을 통하여 밝혀내야 할 과제로 생각된다.

또한 본 연구 결과 꼬시래기로부터 추출된 한천 성분은 계절에 따라 수율이나 겔강도 등의 차이가 존재하므로 꼬시래기를 한천의 원조로 활용 시에는 특히 채집시의 계절을 인지하여 사용목적에 적합한 시료를 사용해야될 것으로 사료된다.

사 사

이 연구는 2001년 한국학술진흥재단 (KRF-2001-003-H00006)의 지원에 의하여 연구되었으며, 이에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis, 16th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington D.C., pp. 487-491.
- Armisen, R. 1995. World-wide use and importance of *Gracilaria*. J. Appl. Phycol. 7, 231-243.
- Chen, L.C.M., J. McLachlan, A.C. Neish and P.F. Shacklock. 1973. The ratio of kappa- to lambda-carrageenan in nuclear phases of the Rhodophycean algae, *Chondrus crispus* and *Gigartina stellata*. J. Mar. Biol. Ass. UK, 53, 11-16.
- Chiang, Y.M. 1981. Cultivation of *Gracilaria* (Rhodophyta, Gigartinales) in Taiwan. Proc. Int. Seaweed Symp., 10, 569-574.
- Chirapart, A. and M. Ohno. 1993. Seasonal variation in the physical properties of agar and biomass of *Gracilaria* sp. from Tosa Bay, southern Japan. Hydrobiologia, 260/261, 541-547.
- Craigie, J.S. and Z.S. Wen. 1984. Effects of temperature and tissue age on gel strength and composition of agar from *Gracilaria tikvahiae*. Can. J. Bot., 62, 1765-1770.
- Dodgson, K.S. and R.G. Price. 1962. A note on the determination of the ester sulphate content of sulphated polysaccharides. Biochem. J., 84, 106-110.
- Dubois, M., K.A. Gills, J.K. Hamilton, P.A. Rebers and F. Smith. 1956. Colorimetric method for the determination of sugars and related substances. Anal. Chem., 28, 350-356.
- Durako, M.J. and C.J. Dawes. 1980. A comparative seasonal study of two populations of *Hypnea musciformis* from the east and west coast of Florida, USA. I. Growth and chemistry. Mar. Biol., 59, 151-156.
- Fredericq, S. and M.H. Hommersand. 1989. Proposal of the Gracilariales ord. nov. (Rhodophyta) based on an analysis of the reproductive development of *Gracilaria verrucosa*. J. Phycol., 25, 213-227.
- Furneaux, R.H., I.J. Miller and T.T. Stevenson. 1990. Agaroids from New Zealand members of the Gracilariaceae (Gracilariales, Rhodophyta)-a novel dimethylated agar. Hydrobiologia, 204/205, 645-654.
- Hayashi, K. and A. Okazaki. 1970. Handbook on Agar. Korinshoin, Tokyo, pp. 534. (in Japanese)
- Hoyle, M.D. 1978a. Reproductive phenology and growth rates in two species of *Gracilaria* from Hawaii. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 35, 273-283.
- Hoyle, M.D. 1978b. Agar studies in two *Gracilaria* species from Hawaii. I. Yield and gel strength in the gametophyte and tetrasporophyte generations. Bot. Mar., 21, 343-345.
- Kain, J.M. and C. Destombe. 1995. A review of the life history, reproduction, and phenology of *Gracilaria*. J. Appl. Phycol., 7, 269-281.
- Kim, M.S., I.K. Lee and S.M. Boo. 1993. Phenology and morphology on *Gracilaria verrucosa* (Rhodophyta) on the west coast of Korea: a statistical approach. Jap. J. Phycol., 41, 345-350.
- Kim, Y.S. H.G. Choi. H.G. Kim, K.W. Nam and C.H. Sohn. 1998. Reproductive phenology of *Gracilaria verrucosa* (Rhodophyta) in Cheongsapo near Pusan, Korea. J. Fish. Sci. Tech., 1, 147-151.
- Kim, Y.S., H.G. Choi and K.W. Nam. 2001. Effects of light, desiccation and salinity for the discharge of *Gracilaria verrucosa* (Rhodophyta) in Korea. J. Fish. Sci. Tech., 4, 257-260.
- Kim, Y.S., H.G. Choi, H.G. Kim, K.W. Nam and C.H. Sohn. 2002. Temperature and light response in growth of *Gracilaria verrucosa* (Rhodophyta) and its potential for mariculture in Korea. J. Fish. Sci. Tech., 5, 108-113.
- Kloareg, B. and R.S. Quatrano. 1988. Structure of the cell walls of marine algae and ecophysiological functions of the matrix polysaccharides. Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev., 26, 259-315.
- Knutson, C.A. and A. Jeanes. 1968. A new modification of the carbazole analysis. Anal. Biochem., 24, 470.
- Koh, N.P. 1969. Fundamental observations on *Gracilaria* culture. Bull. Kor. Fish. Soc., 2, 134-138. (in Korean)
- Lowry, O.H., N.J. Rosebrough, L. Farr and R.J. Rindall. 1951. Protein measurement with the folin phenol reagent. J. Biol. Chem., 193, 256-275.
- McCandless, E.L., J.S. Craigie and J.A. Walter. 1973. Carrageenans in the gametophytic and sporophytic stages of *Chondrus crispus*. Planta, 112, 201-212.

- NFRDI (National Fisheries Research Development Institute). 2001. Weekly Forecasting Report of Oceanographic Variation. (in Korean)
- NFRDI (National Fisheries Research Development Institute). 2002. Weekly Forecasting Report of Oceanographic Variation. (in Korean)
- Orduna-Rojas, J., D. Robledo and C.J. Dawes. 2002. Studies on the tropical agarophyte *Gracilaria cornea* J. Agardh (Rhodophyta, Gracilariales) from Yucatán, Mexico. I. Seasonal physiological and biochemical responses. *Bot. Mar.*, 45, 453-458.
- Penniman, C.A. 1977. Seasonal chemical and reproductive changes in *Gracilaria foliifera* from Great Bay, New Hampshire (U.S.A.). *J. Phycol. Suppl.*, 13, 53.
- Pickering, T.D., V.H. Sladden, R.H. Furneaux, J.A. Hemmingson and P. Redfearn. 1993. Comparison of growth rate in culture, dry matter content, agar content and agar quality of two New Zealand red seaweeds, *Gracilaria chilensis* Bird, McLachlan et Oliveira and *Gracilaria truncata* Kraft. *J. Appl. Phycol.*, 5, 85-91.
- Smith, A.H., K. Nichols and J. McLachlan. 1984. Cultivation of seamoss (*Gracilaria*) in St. Lucia, West Indies. A preliminary report. *Proc. Int. Seaweed Symp.*, 11, 249-251.
- Waaland, J.R. 1975. Differences in carrageenan in gametophytes and tetrasporophytes of red algae. *Phytochemistry*, 14, 1359-1362.
- Whyte, J.N.C., J.R. Englar, R.G. Saunders and J.C. Lindsay. 1981. Seasonal variation in the biomass, quantity and quality of agar from the reproductive and vegetative stages of *Gracilaria (verrucosa)* type. *Bot. Mar.*, 24, 493-501.
- Yao, S.S., Z.Y. Xia, L.Z. E. and L.W. Qing. 1984. The yield and properties of agar extracted from different life stages of *Gracilaria verrucosa*. *Hydrobiologia*, 116/117, 551-553.
- Yaphe, W. 1984. Properties of *Gracilaria* agars. *Proc. Int. Seaweed Symp.* 11, 171-186.

2003년 8월 23일 접수

2003년 10월 20일 수리