

## 한국산 갈조식물 지충이의 지리적 형태변이

김상일 · 오윤식<sup>1</sup> · 원남일<sup>2</sup> · 박상률\*

제주대학교 해양생명과학과, <sup>1</sup>경상대학교 생물학과  
<sup>2</sup>한국수자원공사 K-water 연구원

## Geographical Variations of *Sargassum thunbergii* Morphology in Korea

Sangil Kim, Yoon Sik Oh<sup>1</sup>, Nam-Il Won<sup>2</sup> and Sang Rul Park\*

Department of Marine Life Sciences, Jeju National University, Jeju 695-965, Korea

<sup>1</sup>Department of Biology, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea

<sup>2</sup>K-Water Research Institute, Korea Water Resources Corporation, Daejeon 305-730, Korea

**Abstract** - In this study, we investigated the effect of geographical variations on *Sargassum thunbergii* morphology to make a taxonomic reconsideration about infraspecific taxa in this species. In order to examine the morphological characteristics of *S. thunbergii*, total 27 matured and morphologically intact thalli were collected from the east, west and south coast in spring 2011. Interestingly, it was observed that the species populations on the west coast were characterized by short, thin and coarse thallus, and soft texture. However, the populations on the east coast showed thicker thallus, larger leaf and vesicle, and tougher texture. Thallus height of *S. thunbergii* was found to be similar at both east and west coast. Further, the height of the thallus and lateral branch of the species populations residing south coast were highest whereas the size of leaf and vesicle are shortest, in comparison with east and west coast species. Although morphological characteristics of the north east coast populations corresponded to the original description of *S. thunbergii* f. *latifolium*, we could not find exact morphological features and diagnostic characters to distinguish form in *S. thunbergii*. These results indicated that it is not the optimal characteristics to identify infraspecific form in this species. In contrast, morphological variations may signify the adaptation of this species to local environmental factors. Thus, we recommend that intraspecific morphological variation of *S. thunbergii* should be carefully used to identify infraspecific taxa.

**Key words** : *Sargassum thunbergii*, morphological characteristics, geographical variation, infraspecific taxa

### 서 론

지충이 [*Sargassum thunbergii* (Mertens ex Roth) Kuntze]

는 갈조강 (Phaeophyceae), 모자반목 (Fucales), 모자반과 (Sargassaceae), 모자반속 (*Sargassum*)에 속하는 다년생 갈조류이다. 지충이는 우리나라를 포함하여 중국, 대만과 일본의 암반 조간대 중부와 하부에 분포하며, 우리나라 전 연안에서 쉽게 관찰할 수 있는 암반 조간대 해조군집의 주요 우점종이다 (Koh *et al.* 1993; Kim and Yoo 1994). 따

\* Corresponding author: Sang Rul Park, Tel. 064-754-3425, Fax. 064-756-3493, E-mail. srpark@jejunu.ac.kr

라서 지충이는 연안생태계의 구조와 기능을 유지하는 데 있어 매우 중요할 뿐만 아니라 조간대 해조군집의 복원에 사용하기에 적합하고 상업적으로도 이용가치가 매우 높다(Park *et al.* 2005; Kim *et al.* 2007; Zhang *et al.* 2009).

지충이는 생장시기와 생육지에 따라 형태가 매우 다양하다(Umezaki 1974; Koh *et al.* 1993). 지충이는 봄부터 초여름까지 성장하며, 가을부터는 엽체의 부속기관들(잎과 기낭)이 탈락되고 중심가지의 끝녹음이 일어나기 때문에 무성생식을 통해 새로 발달하는 매우 작은 길이(10 cm 이하)의 어린 가지만 남게 된다(Chu *et al.* 2011). 또한 지충이는 수온과 조석, 파도의 세기와 같은 다양한 환경적 요인에 따라 외부형태가 다르게 나타난다(Umezaki 1974; Oak and Lee 2005). 이러한 지충이의 종내 형태변이는 네 개의 품종으로 나누어 종 이하 분류군으로서 인식되었다(Yendo 1907; Okamura 1923).

Yendo(1907)는 일본산 지충이의 측지 길이와 초별잎(fulcrant leaf)의 형태를 기준으로 3개의 품종(*f. thunbergii*, *f. latifolium* and *f. nipponicum*)으로 구분하였다. Okamura(1923)는 추가적으로 *S. swartzianum*을 지충이의 한 품종 *f. swartzianum*으로 보고하였다. Yendo(1907)는 *Fucus swartzii* C. Agardh가 지충이와 형태적으로 유사하지만 기낭이 한 개의 자루에서 연속적으로 두 개가 형성되는 특징에 따라 *S. swartzianum*으로 새롭게 명명하였다. 그러나 Okamura(1923)는 기낭과 그 밖의 다른 특징들이 종을 구분하는 식별형질로서는 미약하다고 보고 *S. swartzianum*을 지충이의 한 품종으로 재정리하였다.

이러한 품종의 구분은 식별형질이 생육지나 생장시기에 따라 다양하게 나타나므로 품종의 특징이 명확하지 않다는 문제가 제기되어 왔다(Umezaki 1974). 최근에는 종 이하의 분류군보다는 종내 변이체로 보는 것이 타당하다는 주장이 제기되었다(Oak and Lee 2005). 이러한 논의에서 지충이의 종내 형태변이에 대한 명확한 분류학적 처리를 위해서는 다양한 생육지에서 나타나는 형태적 특

징들의 상호비교와 함께 환경요인과의 관계를 이해하는 것이 중요하다. 그러나 지충이의 지리적 형태변이의 비교를 위한 정량적인 자료는 매우 빈약하였으며, 환경요인과의 관계에 대한 연구는 거의 이루어지지 않았다. 최근 중국산 지충이의 생태학적 연구가 보고되었으나, 외부형태적 특징을 설명하기에는 자료가 매우 제한적이다(Chu *et al.* 2012; Yu *et al.* 2012; Li *et al.* 2014).

한국산 지충이에 대해서는 서해안 개체군의 크기 분포와 성장에 관한 연구가 있었으며(Koh *et al.* 1993), 형태학적 연구는 Cho and Boo(1998)가 서해 외연도에 생육하는 지충이의 형태적 특징을 간략히 기재한 바 있다. 그리고 Yoo(1975)와 Oak and Lee(2005)의 모자반속의 분류학적 연구를 통해서 외부형태적 특징이 정리되었다. 그러나 선행 연구들에서는 우리나라 각 연안에 따라 나타나는 형태 변이에 대한 정량적인 비교가 이루어지지 않았다. 이번 연구에서는 우리나라의 동해, 서해와 남해안에 생육하는 지충이 개체군을 대상으로 외부형태 변이와 환경요인과의 관계를 이해하고, 각 해역에 생육하는 지충이의 외부형태를 정량적으로 비교하여 지충이의 품종을 구분하는 식별형질의 타당성을 재검토하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 연구장소

이번 연구는 동해안, 서해안과 남해안에서 각각 지충이 군락이 잘 발달한 암반 조간대를 3곳씩 선정하여 총 9곳에서 수행되었다(Table 1). 동해안 연구장소인 속초와 삼척, 영덕은 파도에 직접적으로 노출되어 있으며, 조석의 차가 매우 적고 암반 조간대는 경사가 급하고 협소하였다. 암반지대가 잘 발달된 곳일지라도 넓고 평평한 부분은 저조선(low-water line)보다 낮은 곳에 위치하였다. 이

**Table 1.** Sampling locations and descriptions of habitat features

Location	Site	GPS position	Water temperature (°C)	Salinity (PSU)	Description
East Coast	Sokcho	38° 12'N, 128° 35'E	3.2~24.2	27.5~34.0	Steep rocky shore, microtidal regime, clear water, narrow intertidal zone, wave exposed, cold and warm water
	Samcheok	37° 17'N, 129° 18'E			
	Yeongdeok	36° 29'N, 129° 26'E			
West Coast	Taeon	36° 40'N, 126° 15'E	1.5~24.2	15.2~30.3	Broad-flat rocky shore, vast mudflat, macrotidal regime, high turbidity, sheltered, cold water
	Sinshi Islald	35° 49'N, 126° 27'E			
	Yeonggwang	35° 21'N, 126° 23'E			
South Coast	Goheung	34° 29'N, 127° 21'E	4.5~24.1	11.2~33.7	Gentle slope rocky shore, mesotidal regime, moderate wave, warm water
	Namhae Island	34° 49'N, 127° 49'E			
	Geoje Island	35° 00'N, 128° 42'E			

러한 생육지의 특성 때문에 동해안의 지층이는 간조시에 도 엽체가 대기 중에 완전히 노출되지 않고 수면에 부유하는 상태로 관찰되었다. 서해안의 연구장소인 태안, 신시도와 영광은 암반 조간대가 갯벌과 함께 넓게 발달하였으며 파도의 영향은 매우 적으나, 조차가 큰 서해안의 특성때문에 간조시 지층이의 엽체가 대기중으로 노출되는 시간이 매우 길었다. 남해안의 연구장소인 고흥, 남해도와 거제도의 지층이 생육지는 경사가 완만한 암반 조간대로 구성되었다. 3곳 모두 반폐쇄성 내만의 형태로 파도의 영향은 크지 않았고, 조차는 3m 내외로 동해안보다 크고 서해안보다 낮았다. 남해안에 생육하는 지층이는 간조시 엽체가 대기 중으로 노출되었으나, 조간대 하부에 생육하는 지층이의 엽체는 침수된 채로 남아 있었다.

## 2. 환경요인

수온과 염분은 각 연구장소에 해당하거나 가장 가까운 곳의 조위관측소에서 2011년 1월부터 12월까지 1시간 단위로 측정된 해수면 연안정지관측 자료를 사용하였으며, 이를 일일 평균값으로 나타내었다(국가해양정보시스템, KOOFS, sms.khoa.go.kr/koofs/).

## 3. 재료의 채집과 외부형태적 특징

지층이는 다년생이며 성장, 성숙 그리고 끝녹음이 계절에 따라 명확하게 나타나기 때문에 채집 시기에 따라 형태적인 변이가 심하다. 이러한 형태적 변이를 최소화하기 위하여 채집은 가장 성숙하고 형태적으로 온전한 시기인 봄(2011년 4월말~6월초)에 수행되었다. 각 연구장소에서 대조기 저조시에 형태가 가장 성숙하고 온전한 지층이 엽체를 6개체씩(총 54개체) 채집하였다. 채집된 지층이는 현장에서 5% 해수-포르말린으로 고정 후, 외부형태적 특징의 관찰과 건조표본 제작을 위해 각각 3개체씩 사용되었다.

외부형태적 특징은 엽체의 각 기관별로 총 21개 항목을 측정하였다. 체장(thallus height)은 부착기(holdfast)에서부터 가장 긴 중심가지의 정단부까지의 길이를 측정하였다. 측지(lateral branch)는 가장 긴 것의 길이와 직경을 측정하였으며, 중심가지(main branch)의 직경 역시 같은 방법을 사용하였다. 부착기(holdfast)는 채집 과정에서 손실된 부분이 많았기 때문에 현장과 실험실에서 형태적 관찰만 수행하였다. 줄기부(stipe)는 부착기로부터 1차 분기되는 지점까지의 길이와 직경을 측정하였다. 마디간격(internode interval)은 측지와 측지 사이의 간격이며, 엽체의 중부에서 개체당 3마디 이상 무작위로 측정된 평균값

을 각 개체의 대표값으로 사용하였다. 잎과 기낭은 각 개체의 상부와 중부, 하부에서 각각 5개씩 무작위로 선택하여 크기를 측정하였으며, 이들의 평균값을 한 개체의 대표값으로 사용하였다. 지층이의 잎은 초벌잎(fulcrant leaf)과 다른 형태의 잎으로 나누어서 관찰하였다. 초벌잎은 중심가지의 각 마디에서 가장 먼저 발생하는 잎이며, 이 잎의 크기는 품종을 구분하는 식별형질로 사용되어 왔다(Yendo 1907). 현재 초벌잎은 국명이 정의되지 않았기 때문에 이번 연구에서 이 잎을 '초벌잎'이라고 칭하였다. 그 외의 다양한 형태의 잎들 중에서는 가장 흔한 피침형 잎(lanceolate leaf)의 크기를 측정하였다. 기낭은 기체가 들어 있는 부위(air-sac)와 부속기관인 기낭 자루(stalk) 및 돌기(mucro)를 구분하여 측정하였다. 생식기탁(receptacle)은 잎과 기낭과 같은 방법으로 채취하여 암·수 구분 없이 길이와 직경을 측정하였다.

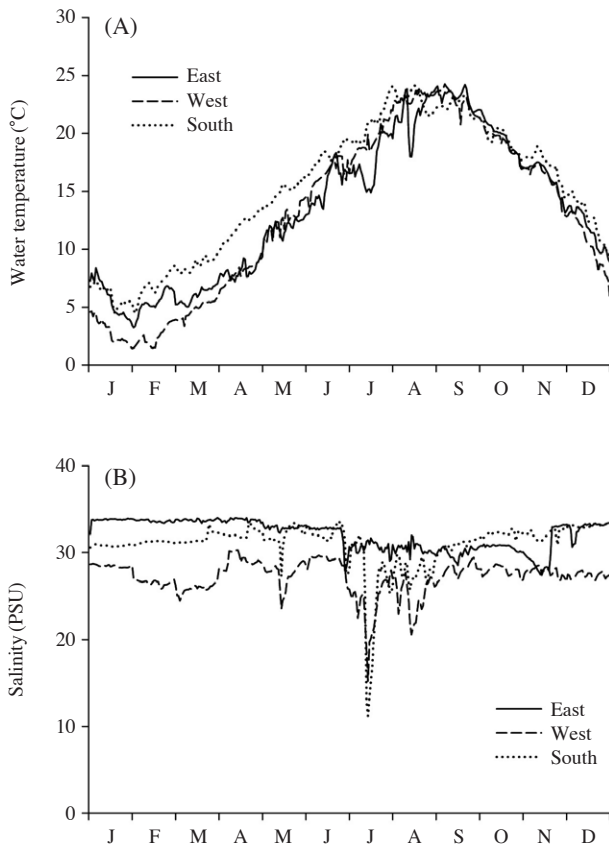
## 4. 통계 분석

형태학적인 모든 자료는 평균(mean)±1 표준오차(SE)로 나타내었다. 통계 분석 전, 모든 자료의 정규성(normality)과 등분산성(homogeneity of variance)을 검정하였으며, 가정에 위배될 경우 로그변환(log-transformation) 후 통계 분석을 수행하였다. 각 해역에 따른 외부형태적 차이는 one-way ANOVA를 이용하였으며, 분석 값이 유의할 경우 SNK(Student-Newman-Keuls) 검정법으로 각 자료의 유의성을 검정하였다(Quinn and Keough 2002). 모든 통계 분석은 SPSS (version 20.0) 프로그램을 이용하였다.

## 결 과

### 1. 환경요인

각 해역의 수온 차이는 우리나라 연안에서 발달하는 해류의 특성이 반영된 결과로 사료된다. 동해안은 한류인 북한해류(North Korea Cold Current)와 난류인 동한난류(East Korean Warm Water)의 영향을 받는데, 이번 연구가 진행된 장소는 주로 한류의 영향을 받았다. 따라서 연구장소의 일일 평균 표층 수온은 3.2~24.2°C로 관찰되었으며, 연평균 표층 수온은 13.5°C이었다. 일반적으로 우리나라 서해안은 겨울에 강하게 발달하는 한국서해연안류(West Korea Coastal Current)의 영향을 받으며, 서해안의 연구 장소에서 표층 수온은 1.5~24.2°C로 나타났으며, 연평균 13.1°C로 동해안과 비슷한 수준을 보였다. 대한



**Fig. 1.** Surface seawater temperature and salinity around Korea coastal waters from January to December 2011. Data are daily mean.

대마난류 (Korea/Tsushima Warm Current)의 영향은 받는 남해안의 연평균 표층 수온은  $15.1^{\circ}\text{C}$ 로 동해와 서해안보다 높았다. 남해안의 일일 평균 표층 수온은  $4.5\sim 24.2^{\circ}\text{C}$ 의 범위를 나타내었다. 동해, 서해와 남해안은 1~3월 동안 수온이 가장 낮은 기간을 보이며, 8월과 9월에 수온이 가장 높게 유지되었다. 각 해역에서 고수온기의 평균 표층 수온은  $22.5\sim 22.9^{\circ}\text{C}$ 의 범위로 해역에 따른 차이를 보이지 않았으나, 저수온기 동안에는 서해안의 평균 표층 수온( $3.5^{\circ}\text{C}$ )이 다른 두 해역의 수온(동해안  $5.7^{\circ}\text{C}$ , 남해안  $7.2^{\circ}\text{C}$ )보다 매우 낮았다. 저수온기 이후 수온이 증가하는 4월부터 7월 동안 동해와 서해안의 표층 수온은 각각  $7.2\sim 21.5^{\circ}\text{C}$ 와  $6.5\sim 22.8^{\circ}\text{C}$ 의 범위로 비슷한 수준을 보였다. 남해안의 표층 수온은 최저  $10.0^{\circ}\text{C}$ , 최대  $24.1^{\circ}\text{C}$ 로 동해와 서해안보다 높은 표층 수온을 나타내었다. 수온이 감소하는 9월부터 11월까지는 동해안( $13.2\sim 21.1^{\circ}\text{C}$ ), 서해안( $12.8\sim 20.4^{\circ}\text{C}$ )과 남해안( $14.3\sim 20.5^{\circ}\text{C}$ ) 모두 유사한 표층 수온 범위를 보였으나, 서해안은 12월부터 다른 해역에 비해 수온이 더 낮아지는 경향을 보였다

(Fig. 1A).

염분은 동해안과 남해안에서 각각 연평균  $32.1\text{ psu}$ 와  $31.0\text{ psu}$ 로 비슷하였으며, 서해에서  $27.2\text{ psu}$ 로 가장 낮았다. 염도는 특히 모든 해안에서 7월과 8월에 낮았으며, 서해와 남해안은 서해안에서 발달하는 저염분 수괴, 민물의 유입, 그리고 여름철 집중호우로 인해 심한 변동을 나타내었다 (Fig. 1B).

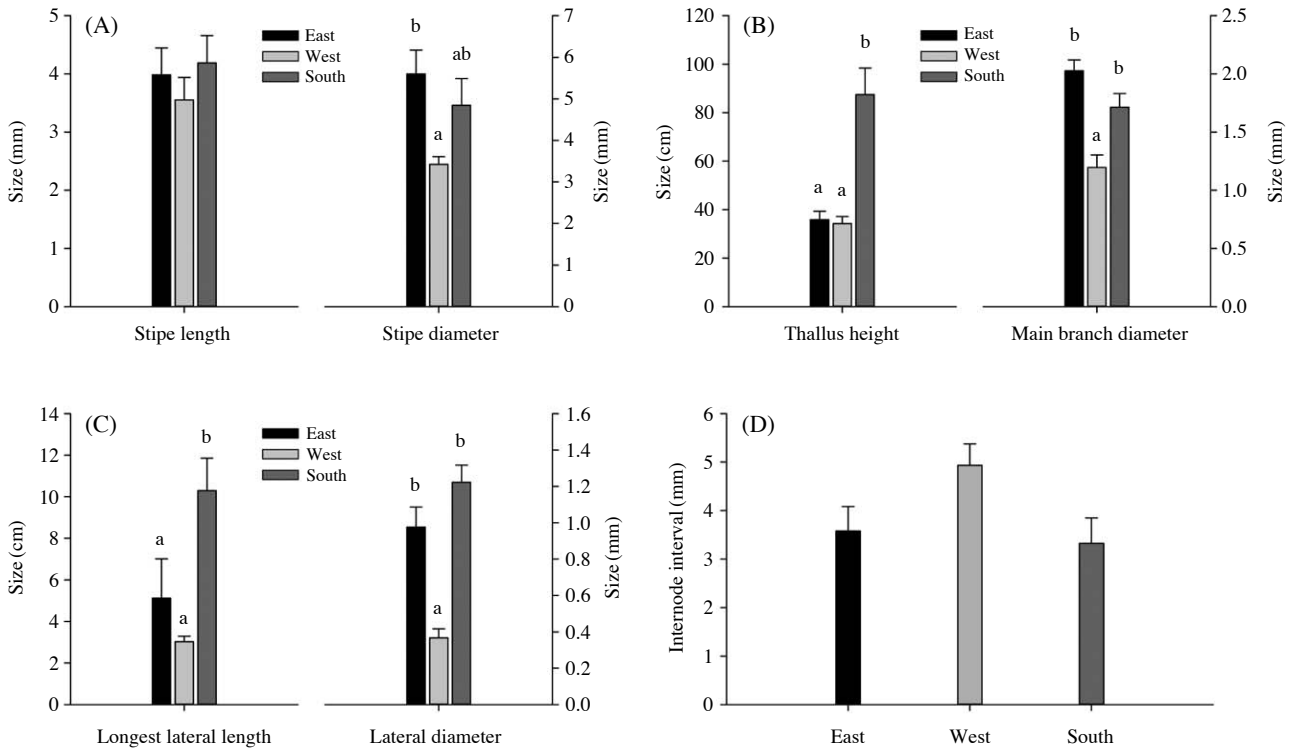
## 2. 외부형태학적 특징

지층이의 부착기 (holdfast)는 반상근이며 매우 단단하다. 대부분의 경우, 한 개의 부착기에서 한 개체가 단독으로 발생하지만, 2~3개체가 한 개의 부착기를 공유하기도 한다. 부착기로부터 원주상 (terete)의 짧고 굵은 줄기부 (stipe)가 단독으로 발달하며, 줄기부는 2~3차례로 반복하여 분기한 후 다수의 중심가지 (main branch)를 낸다. 줄기부의 길이는 동해안에서 평균  $4.0\text{ mm}$ , 서해안에서  $3.6\text{ mm}$ , 남해안에서  $4.2\text{ mm}$ 로 유의한 차이가 없었으나 ( $P=0.573$ ), 줄기부의 직경은 동해안에서 평균  $5.6\text{ mm}$ 로 가장 굵고 서해안에서 평균  $3.4\text{ mm}$ 로 가장 가늘었다 ( $P<0.05$ , Fig. 2A).

지층이의 체장 (thallus height)은  $20\sim 155\text{ cm}$ 의 범위를 나타내었으며, 해역에 따라 유의한 차이 ( $P<0.001$ )를 보였다. 남해안 지층이의 평균 체장 ( $87.4\text{ cm}$ )이 다른 두 해역에 비해 두 배 이상 길었으며, 서해안과 동해안 지층이의 체장은 평균  $35.9\text{ cm}$ 와  $34.2\text{ cm}$ 로 차이가 없었다 (Fig. 2B).

중심가지 (main branch)는 원주상이고 세로로 꼬인 홈이 발달하여 다섯 개의 능선이 있다. 이 능선은 엽액 (leaf axil)에서 시작하여 측지나 잎이 나는 마디의 기부에서 끝난다. 중심가지의 직경은 중부와 하부에서는 비슷하였지만 상부로 가면서 가늘어진다. 서해안 개체군의 중심가지 직경 ( $1.4\text{ mm}$ )이 가장 가늘었으며 다른 두 곳은 비슷한 결과를 보였다 ( $P<0.001$ , Fig. 2B).

측지 (lateral branch)는 중심가지 각 마디의 초별잎 (fulcrant leaf)의 엽액에서 발달하며 원주상이고 세로로 꼬인 홈이 있다. 측지의 길이와 직경은 지역에 따라 유의한 차이를 보였으며 체장과 중심가지의 직경에서 나타난 지역적 차이와 유사한 경향이 관찰되었다 ( $P<0.001$ , Fig. 2C). 동해안에서는 속초를 제외한 모든 해역에서 측지가 관찰되었다. 속초에서 채집된 개체들은 측지가 없거나  $1\text{ cm}$  미만으로 매우 짧았다. 그러나 남부동해안의 영덕에서 채집된 개체들은 측지가 길게 발달하였다. 삼척의 경우 측지가 없는 것과 있는 것이 함께 채집되었다. 남해안 개체

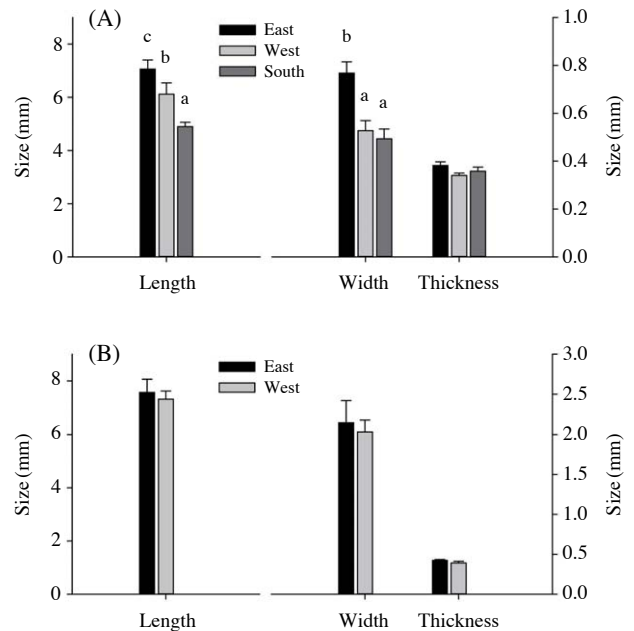


**Fig. 2.** Morphological variations in stipe (A), thallus height and diameter of main branch (B), length and diameter of longest lateral branch (C) and internode interval (D) at nine populations from Korea. Different lowercase letters are significantly different ( $P < 0.05$ ) according to SNK-test. Data are mean  $\pm$  1 SE ( $n=9$ ).

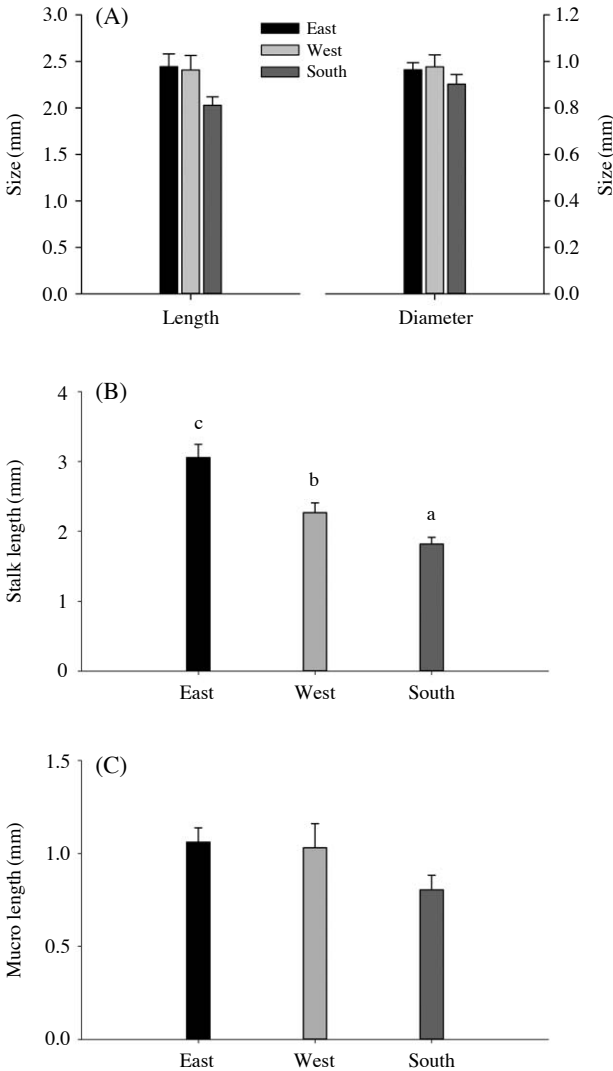
군 측지의 평균 길이가 (10.3 cm) 동해 (5.1 cm)와 서해안 (3.0 cm)의 개체군보다 길었으며, 서해안 개체군의 측지의 평균 직경이 0.37 mm로 가장 가늘었다.

중심가지의 마디간격 (internode interval)은 동해, 서해와 남해안에서 각각 평균 3.6 mm, 4.9 mm, 3.3 mm로 서해안 개체군의 마디간격이 길었으나 유의한 차이를 나타내지는 않았다 ( $P=0.065$ , Fig. 2D).

잎 (leaf)의 모양은 침형 (acerate), 피침형 (lanceolate), 비늘형 (scale)이다. 모든 잎은 한 개의 마디에서 모여난다. 초벌잎이 가장 먼저 발생한 후, 엽액에서 여러 개의 침형 또는 피침형의 잎이 발생하며 측지가 발달한다. 몸 전체에 피침형의 잎이 가장 많으며 노성하면 굽는다. 하부쪽의 잎들은 폭이 넓어지는 경향이 있으며 비늘형의 잎이 많다. 초벌잎과 피침형, 비늘형의 잎은 전연 (entire)이지만, 종종 불규칙하게 약간의 거치 (dentate)가 관찰된다. 모총 (cryptostomata)이 나는 것도 있다. 잎의 길이와 폭은 해역에 따라 유의한 차이를 나타내었다 ( $P < 0.001$ ). 잎의 길이와 두께는 동해안의 지층이가 평균 7.1 mm와 0.77 mm로 가장 길고 두꺼웠다. 서해안과 남해안 개체군 잎의 길이는 각각 평균 6.1 mm와 4.9 mm로 남해안 지층이의



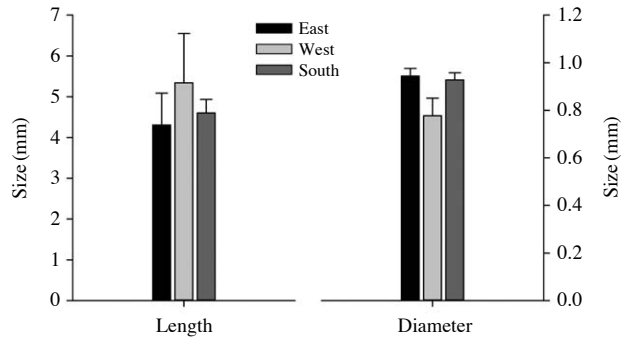
**Fig. 3.** Morphological variations of lanceolate leaf (A) and fulcrant leaf (B) at nine populations from Korea. Different lowercase letters are significantly different ( $P < 0.05$ ) according to SNK-test. Data are mean  $\pm$  1 SE ( $n=9$ ).



**Fig. 4.** Morphological variations of vesicle. Air-sac length and diameter (A), Stalk length (B) and Mucro length (C) at nine populations from Korea. Different lowercase letters are significantly different ( $P < 0.05$ ) according to SNK-test. Data are mean  $\pm$  1SE (n=9).

있이 가장 짧았으며 ( $P < 0.001$ ), 서해와 남해안 지층이 앞의 두께는 비슷한 수준을 보였다 (Fig. 3A). 초벌잎은 동해안과 서해안의 개체군에서 폭이 넓은 피침형의 잎이 관찰되었으나, 남해안에서는 모두 탈락되어 초벌잎을 관찰할 수 없었다. 초벌잎의 크기는 해역에 따른 유의한 차이를 보이지 않았다 (길이  $P = 0.669$ , 폭  $P = 0.719$ , 두께  $P = 0.187$ , Fig. 3B).

기낭 (vesicle)은 장타원 (oblong-elliptic) 또는 방추형 (fusiform)이며 자루 (stalk)와 짧은 정단부 돌기 (mucro)가 있고, 모층이 나는 것도 있다. 기낭과 부속기관들의 크기는 자루의 길이 외에는 유의한 차이를 나타내지 않았다



**Fig. 5.** Variations of receptacle length and diameter at nine populations from Korea. Different lowercase letters are significantly different ( $P < 0.05$ ) according to SNK-test. Data are mean  $\pm$  1SE (n=4-9).

(Fig. 4). 동해안과 서해안에서 기낭의 길이는 평균 2.4 mm 내외로 서로 유사하였으며 남해안은 평균 2.0 mm로 짧았으나 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았다 ( $P = 0.065$ ). 기낭의 직경은 평균 최소 0.90 mm (남해안), 최대 0.98 mm (서해안)의 범위를 나타내었다 ( $P = 0.417$ , Fig. 4A). 기낭 자루의 길이는 동해안 (3.1 mm)의 것이 가장 길었으며, 남해안 (1.8 mm)의 것이 가장 짧았다 ( $P < 0.001$ , Fig. 4B). 기낭돌기의 길이는 동해, 서해와 남해안에서 각각 0.8 mm, 1.0 mm, 1.1 mm로 나타나 해역에 따른 유의한 차이를 보이지 않았다 ( $P = 0.152$ , Fig. 4C).

생식기탁 (Receptacle)은 원주상이며 위로 갈수록 좁아지고, 정단부는 둔원이거나 첨예하다. 보통 측지의 잔가지에서 한 개의 자루 끝에 한 개씩 단독으로 생성된다. 단독으로 발생한 생식기탁의 자루나 몸체에서 1~2개의 또 다른 생식기탁 또는 기낭을 내기도 하며 이렇게 나온 생식기탁과 기낭은 크기가 매우 작다. 생식기탁은 암·수의 모양과 크기가 유사하였다. 생식기탁의 평균 길이는 동해안에서 4.3 mm, 서해안에서 5.3 mm 남해안에서 4.6 mm이었으며, 직경은 각각 0.94 mm, 0.78 mm, 0.93 mm로 관찰되었다. 생식기탁의 길이와 직경은 해역에 따른 유의한 차이를 보이지 않았다 (길이  $P = 0.640$ , 직경  $P = 0.079$ , Fig. 5).

### 고 찰

한국산 지층이의 지리적 형태변이는 엽체의 각 부위에서 다양하게 나타났다. 서해안의 지층이 개체군은 체장과 측지의 길이, 줄기부, 중심가지와 측지의 굵기가 다른 해역보다 낮은 값을 보였다. 서해안 지층이의 질감이 다른 해역의 개체군보다 부드러운 것은 이러한 특징 때문

Table 2. A comparison of morphological characteristics in *Sargassum thunbergii* (mertens ex Roth) Kuntze

Characters	This study	Yendo (1907)		
		<i>f. thunbergii</i>	<i>f. latifolium</i>	<i>f. nipponicum</i> <i>f. swartzianum</i>
Thallus height	20 ~ 155 cm	—	—	—
Holdfast	Disc	—	—	—
Stipe length	Up to 4 brached, 1.8 ~ 6.0 mm	—	—	—
Main branch diameter	Terete, five-ridged 1.2 ~ 2.8 mm	Ridged, 1.5 ~ 2.0 mm	Five-ridged, 2.0 ~ 3.0 mm	—
Lateral branch	Terete, ridged	Always short, rarely attaining 3 cm	Sparse than <i>f. thunbergii</i> , average length $\leq$ 1 inch	Considerably long
Leaf	Entire or roughly dentate scale, lanceolate, acerose	Filiform except at the base apiculated at the top	Obliquely cuneate, spathulate (lower part) L 6.0 ~ 7.0 mm, W 3.0 ~ 4.0 mm	Linear-lanceolate, slightly dentated (basal leaves)
Fulcrant leaf	Broad lanceolate	Filiform or lanceolate	Lanceolate, $\leq$ 3 mm	Broad or broader than those of <i>f. latifolium</i>
Vesicle	Oblongo-obovate, fusiform, apiculated	Oblongo-obovate, long stalk, apiculated at the top	More spherical than <i>f. thunbergii</i> , frequently inermous,	Richness on lateral branches, small apiculated
Receptacle	Terete, narrowed above, short stalk, acuminate or obtuse apex	Cylindrical, narrowed above, short stalk, racemose	Cylindrical, narrowed above, short filiform stalk	Usually solitary
Texture	West coast : soft Other area : tough	—	—	Soft

Characters	Yoo (1976)	Okamura (1923)	Yoshida (1983)	Oak and Lee (2005)
Thallus length	30 ~ 150 cm	30 ~ 100 cm	$\leq$ 50 cm, in calm habitat	1 m < 30 ~ 100 cm
Holdfast	Small disc, 1.0 ~ 3.0	Roundish scutate disc	Depressed disc, 1.0 ~ 1.5	Disc
Stipe length	Terete, single or branched 2.0 ~ 5.0	Short	Once or twice branched	Terete, single or branched
Main branch diameter	Terete, ridged 2.0 ~ 3.0	Ridged 2.0 ~ 3.0	Angulate, 1.0 ~ 1.5	Ridged, 1.5 ~ 2.5
Lateral branch	Terete, ridged L 2.0 ~ 3.0, or tens of cm D 1.0 ~ 2.0 mm	—	—	—
Leaf	Entire or roughly dentate (at lower) Scale L 3.0/W 2.0 mm Broad form L 5.0 ~ 10.0/W 2.0 ~ 4.0 mm Filiform L 5.0 ~ 10.0/D 0.5 ~ 1.0 mm	Filiform, lanceolate, obliquely cuneate, spathulate, entire or roughly dentate, L 5.0 ~ 10.0/W 1.0 ~ 3.0 mm	2/5 phyllotaxis, a few dentation, scale (at base), cuneate to filiform, L 10.0/W 1.0 mm	Entire, scale (at base), toward upper filiform, spathulate, L 5.0 ~ 10.0/D 2.0 ~ 3.5 mm

Table 2. Continued

Characters	Yoo (1976)	Okamura (1923)	Yoshida (1983)	Oak and Lee (2005)
Fulcrant leaf	-	-	-	-
Vesicle	Obovate, fusiform, oblong-elliptic vesicle L 3.0~4.0/D 1.5~2.0 mm stalk L 1.0~3.0 mm mucro L 1.0 or so	Oblong-obovate, fusiform, longer or shorter stalk, apiculated, rarely 2~3 seriate	Fusiform, tapering to both ends, rarely 2~3 seriate vesicle L 3.0~4.0/D 1.0 mm	Fusiform
Receptacle	Terete, acuminate, sometimes branched, L 10.0~15.0, D 1.0~1.5, Female thicker than male	Oblong or cylindrical, a few mm, single or a few racemously	Terete, short stalk, abbreviated racemes female L 3.0/D 1.0, male L 10.0/D 1.3	Terete, acuminate, L 10.0~15.0 mm, W 0.9~1.2 mm (Female)
Texture	-	-	-	-

로 사료된다. 마디간격은 서해안 지층이 개체군에서 가장 넓었다. 마디간격의 결과는 통계적으로 유의하지 않았으나, 유의수준 ( $P=0.065$ )을 고려할 때, 관찰된 개체수가 더 많다면 유의한 차이를 나타낼 수 있을 것으로 사료된다. 따라서 서해안 지층이 개체군은 작고 부드러운 마디간격이 넓어서 다른 해역의 개체군보다 성긴 것이 가장 두드러진 특징이었다. 그러나 동해안과 남해안의 개체군은 중심가지와 측지가 굵으며 질감이 역세고 마디간격이 좁아서 조밀하였다. 남해안의 지층이 개체군은 모든 해역 중에서 체장과 측지의 길이가 가장 긴 것이 외부형태학적으로 두드러진 특징이었다.

잎, 기낭과 생식기탁은 측정 단위가 매우 작기 때문에 육안으로 차이를 식별하기에는 어려움이 있다. 그럼에도 불구하고, 지층이의 기낭은 육안으로 차이점을 구별할 수 있었으며, 남해안보다 동해안의 개체군의 기낭이 컸다. 기낭 자체 (air-sac)의 길이는 마디간격과 같이 통계적으로 유의한 차이 ( $P=0.065$ )를 보이지 않을 지라도, 남해안 개체군의 기낭의 길이는 다른 해역보다 짧았고, 기낭 자루의 길이는 각 해역에 따라 유의한 차이를 보였다. 따라서 이러한 결과는 기낭의 크기가 매우 작은 차이라고 해도 현장에서 형태학적 차이를 판단 할 수 있는 식별형질이 될 수 있음을 의미한다.

지층이는 측지의 길이와 초벌잎의 형태에 따라서 4가지 품종으로 구분되어 왔다 (Yendo 1907; Okamura 1923). Yoo (1975)는 한국 연안에서 지층이의 품종을 쉽게 구분할 수 있다고 하였다. 이번 연구는 제주도를 제외한 동해, 서해와 남해안 각 연안에 걸쳐 채집된 재료를 관찰하였으나, 일부 연안 외에는 원 기재문과 일치하는 품종의 형질이 관찰되지 않았다. 동해안 북부(속초)의 개체군은 큰 초벌잎을 가지며 측지의 길이가 짧아 원 기재문과 일치하는 *f. latifolium*의 특징을 나타내었다. 동해안 남부(영덕)의 개체군은 초벌잎이 크고 측지가 길어 *f. swartzianum*과 유사하였다. 그러나 연속된 두 개의 기낭이 관찰되지 않았으며, 질감이 역세서 이 품종의 원 기재와 일치하지 않았다 (Table 2). 서해안의 지층이 개체군은 큰 초벌잎과 측지를 가지고 있어 *f. swartzianum* 또는 *f. latifolium*의 특징을 보였다. 그러나 측지의 길이가 *f. swartzianum*보다는 짧고, *f. latifolium*보다는 길어서 구분이 모호하였으며, 중심가지의 직경이 *f. latifolium*의 원기재보다 가늘어서 품종을 구분하는 식별형질이 적용되지 않았다 (Table 2). 남해안 지층이는 측지의 길이가 길기 때문에 *f. nipponicum*으로 볼 수 있으나, 측지 위의 무성한 작은 기낭은 모든 해역에서 관찰되었기 때문에 *f. nipponicum*의 고유한 형질과는 달랐다. 남해안의 개체군은 품종 구분의 대표 형



질인 초벌잎을 관찰할 수는 없었으나, 질감이 억세고 연속적인 두 개의 기낭이 관찰되지 않은 것으로 *f. swartzianum*과는 다른 형태적 특징을 보였다 (Table 2). 따라서 이러한 결과는 지층이의 품종을 구분하는 식별형질이 생육지에 따라서 일관되게 적용되지 않을 수 있다는 것을 시사한다.

Oak and Lee (2005)는 품종을 구분하는 식별형질이 일관성이 없는 것으로 보고 종 이하의 분류군보다는 종내 변이체로 처리하는 것이 타당하다고 하였다. 일본산 지층이 역시 생태학적 연구결과 지층이의 형태가 계절과 생육지에 따라 다양하게 나타나므로 품종의 구분에 문제가 있음을 제기하였다 (Umezaki 1974).

연안에 생육하는 해조류의 종내 형태변이는 파도 (de Paula and de Oliveira 1982; Fowler-Walker *et al.* 2006), 조석 (Ganzon-Fortes 1997; Ralph *et al.* 1998), 염분 (Kalvas and Kautsky 1998)과 온도 (Kübler and Dudgeon 1996)와 같은 환경 조건이 영향을 줄 수 있다. 파도에 노출된 해역에서는 엽체가 비교적 두꺼운 반면, 파도의 영향이 적은 해역에서는 엽체가 얇고 부드러워지는 경향이 있다 (Gerard and Mann 1979; Kawamata 2001). Kalvas and Kautsky (1998)는 염분이 낮은 환경 생육하는 *Fucus vesiculosus*의 체장이 짧고 엽체가 작아지며 줄기부와 중륵이 가늘어지는 현상을 통해 염분이 해조류의 외부형태에 영향을 줄 수 있음을 보고하였다. 이번 연구에서 서해안은 다른 곳에 비해 파도의 영향이 적고, 염분이 낮은 환경적 특성을 나타내었다. 따라서 서해안 개체군의 작고 부드러운 외부형태적 특징은 파도의 영향이 적고 염분이 낮은 환경의 영향 때문일 것으로 보인다. 또한, 서해안은 조석 차이가 가장 크기 때문에 해수에서 영양염을 흡수할 수 있는 시간이 부족하고, 장시간 동안 대기 중에 노출되어 해조 성장에 저해요인이 될 수 있다 (Lobban and Harrison 1994). 동해안의 지층이는 엽체가 억세고 짧으며, 측지가 없거나 짧은 특징을 보였는데, 이러한 경향은 파도에 노출된 곳에 생육하는 *Sargassum cymosum*의 형태적 특성과 매우 유사하였다 (de Paula and de Oliveira 1982). 따라서, 동해안에 생육하는 지층이의 외부형태는 파도의 강도에 따라 크게 좌우될 수 있음을 시사한다. 남해안은 다른 해역보다 수온이 높고 파도로부터 직접적인 노출이 비교적 덜한 보호된 형태의 지형을 보이고 있다. 이러한 환경적 특성은 지층이가 크고 풍성하게 자랄 수 있는 성장 조건을 만들었다 (Umezaki 1974; D'Amours and Scheibling 2007).

이와 같이 지층이의 외부형태적 특성은 환경적 요인에 따라 다양하게 나타날 수 있으며, 한국산 지층이의 지리

적 형태변이는 생육지에 따른 환경조건에 의한 차이로 추정된다. 따라서, 지층이의 다양한 형태변이를 기준으로 종 이하의 분류군으로 나누는 것 보다는 생육지 환경조건에 따른 변이체로 보는 것이 타당할 것으로 사료된다. 제주도를 포함한 우리나라의 연안은 환경적 특성이 서로 다름에도 불구하고 지금까지 각 연안에 생육하는 지층이의 외부형태학적 고찰은 구체적으로 이루어지지 않았다. 또한, 일본산 지층이의 형태적 특성에 근거한 품종의 구분 방법에 문제점이 있음에도, 분류학적 처리를 위한 외부형태의 정량적 자료를 제시 할 수 없었다. 이번 연구는 지층이의 종내 형태변이에 대한 분류학적 처리를 명확히 하는 데 중요한 외부형태학적 근거가 될 것이다.

## 적 요

이번 연구는 한국산 지층이 [*Sargassum thunbergii* (Mertens ex Roth) Kuntze]의 지리적 형태변이를 확인하고, 형태변이에 따른 품종의 구분에 대하여 분류학적 재검토를 시도하였다. 동해, 서해와 남해안에 분포하는 지층이 개체군의 지리적 형태변이를 조사하기 위해서 개체가 가장 성숙한 시기인 봄철에 채집하였다. 지층이의 관찰대상형질은 부착기, 줄기의 길이와 직경, 체장, 중심가지의 직경, 마디간격, 측지의 길이와 직경, 잎의 길이와 폭 및 두께, 기낭의 길이와 직경, 기낭 자루와 기낭 돌기의 길이, 생식기탁의 길이와 직경, 질감이었다. 서해안의 지층이는 엽체가 짧고 가늘며, 마디간격이 넓어서 성긴 느낌이고 질감이 부드러워 다른 두 해역의 지층이와는 다른 형태적 특징을 보였다. 동해안의 지층이는 체장이 서해안의 것과 비슷하지만 중심가지와 측지가 굵어서 질감이 거칠고, 측지가 없거나 매우 짧은 것도 있으며, 잎과 기낭이 다른 해역에 비해 컸다. 남해안의 지층이는 체장과 측지가 가장 길고 잎과 기낭이 짧은 것이 특징이었다. 동해안 북부에서 채집된 개체들은 *f. latifolium*과 형질이 유사하였다. 그러나 다른 해역에서는 네 품종의 원기재와 정확히 일치하지 않아 품종을 구분하는 식별형질은 한국산 지층이의 형태 변이에 적용할 수 없었다. 따라서 생육지에 따라 나타나는 지층이의 다양한 형태변이는 종 이하의 분류군으로 나누는 것보다는 생육지 환경조건에 따른 변이체로 보는 것이 타당할 것으로 사료된다.

## 사 사

이 논문은 2014학년도 제주대학교 학술진흥연구비 지

원사업에 의하여 연구되었음.

## REFERENCES

- Cho TH and SM Boo. 1998. Marine flora of Oeyondo Islands on the Yellow Sea, Korea: II. Brown Algae. *Algae* 13:13-27.
- Chu S, Q Zhang, S Liu, S Zhang, Y Tang, Z Lu and Y Yu. 2011. Trade-off between vegetative regeneration and sexual reproduction of *Sargassum thunbergii*. *Hydrobiologia* 678:127-135.
- Chu S, QS Zhang, SK Liu, YZ Tang, SB Zhang, ZC Lu and YQ Yu. 2012. Tolerance of *Sargassum thunbergii* germlings to thermal, osmotic and desiccation stress. *Aquat. Bot.* 96:1-6.
- D'Amours O and RE Scheibling. 2007. Effect of wave exposure on morphology, attachment strength and survival of the invasive green alga *Codium fragile* ssp. *tomentosoides*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 351:129-142.
- de Paula EJ and EC de Oliveira F°. 1982. Wave exposure and ecotypical differentiation in *Sargassum cymosum* (Phaeophyta-Fucales). *Phycologia* 21:145-153.
- Fowler-Walker M, T Wernberg and S. Connell. 2006. Differences in kelp morphology between wave sheltered and exposed localities: morphologically plastic or fixed traits? *Mar. Biol.* 148:755-767.
- Ganzon-Fortes ET. 1997. Influence of tidal location on morphology, photosynthesis and pigments of the agarophyte, *Gelidium acerosa*, from northern Philippines. *J. Appl. Phycol.* 9:525-32.
- Gerard VA and KH Mann. 1979. Growth production of *Laminaria longicruris* (Phaeophyta) populations exposed to different intensities of water movement. *J. Phycol.* 15:33-41.
- Kalvas A and L Kautsky. 1998. Morphological variation in *Fucus Vesiculosus* populations along temperature and salinity gradients in Iceland. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* 78:985-1001.
- Kawamata S. 2001. Adaptive mechanical tolerance and dislodgement velocity of the kelp *Laminaria japonica* in wave-induced water motion. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 211:89-104.
- Kim YH and JS Yoo. 1994. Patterns of Algal Succession in a *Sargassum thunbergii* (Phaeophyta) Dominated Rocky Intertidal Community. *Algae* 9:59-65.
- Kim YH, EH Kim, C Lee, MH Kim and JR Rho. 2007. Two new monogalactosyl diacylglycerols from brown alga *Sargassum thunbergii*. *Lipids* 42:395-399.
- Koh CH, Y Kim and SG Kang. 1993. Size distribution, growth and production of *Sargassum thunbergii* in an intertidal zone of Padori, west coasts of Korea. *Hydrobiologia* 260/261:207-214.
- Kübler JE and SR Dudgeon. 1996. Temperature dependent change in the complexity of form of *Chondrus crispus* fronds. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 207:15-24.
- Li XM, Q Zhang, YZ Tang, YQ Yu, HL Liu and LX Li. 2014. Highly efficient photoprotective responses to high light stress in *Sargassum thunbergii* germlings, a representative brown macroalga of intertidal zone. *J. Sea. Res.* 85:491-498.
- Lobban CS and PJ Harrison. 1994. Seaweed ecology and physiology. Cambridge University Press, Cambridge.
- Oak JH and IK Lee. 2005. Taxonomy of the Genus *Sargassum* (Fucales, Phaeophyceae) from Korea-1. Subgenus *Bactrophycus* Section *Teretia*. *Algae* 20:77-90.
- Okamura K. 1923. *Icones of Japanese Algae* (5). Kazamashobo, Tokyo.
- Park PJ, SJ Heo, EJ Park, SK Kim, HG Byun, BT Jeon and YJ Jeon. 2005. Reactive oxygen scavenging effect of enzymatic extracts from *Sargassum thunbergii*. *J. Agr. Food Chem.* 53:6666-6672.
- Ralph PJ, DA Morrison and A Addison. 1998. A quantitative study of the patterns of morphological variation within *Hormosira banksii* (Turner) Decaisne (Fucales: Phaeophyta) in south-eastern Australia. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 225:285-300.
- Umezaki I. 1974. Ecological studies of *Sargassum thunbergii* (Mertens) O. Kuntze in Maizuru Bay, Japan Sea. *Biol. Mag. Tokyo* 87: 285-292.
- Yendo K. 1907. The Fucaceae of Japan. *J. Coll. Sci. Tokyo Imp. Univ.* 21:1-174.
- Yoo SA. 1975. Some members of the Fucales (Phaeophyta) in Korea. Thesis MS Seoul National Univ. 145 pp. pls. 26. Seoul.
- Yoshida T. 1983. Japanese species of *Sargassum* subgenus *Bactrophycus* (Phaeophyta, Fucales). *J. Fac. Sci. Hokkaido Univ. Ser. 5 (Botany).* 13:142-148.
- Yu Y, Q Zhang, Z Lu, Y Tang, S Zhang and S Chu. 2012. Small-scale spatial and temporal reproductive variability of the brown macroalga *Sargassum thunbergii* in contrasting habitats: A study on the island of Xiaoheishan, Changdao Archipelago, China. *Estuar. Coast. Shelf. Sci.* 112:280-286.
- Zhang QS, W Li, S Liu and JH Pan. 2009. Size-dependence of reproductive allocation of *Sargassum thunbergii* (Sargassaceae, Phaeophyta) in Bohai Bay, China. *Aquat. Bot.* 91:194-198.

Received: 11 November 2014

Revised: 8 December 2014

Revision accepted: 9 December 2014