

한국 동해안 주문진의 자연산 고리매(*Scytosiphon lomentaria*)의 생장과 성숙주기

한명석, 박찬선¹, 황은경^{2,*}

오션씨워드, ¹국립목포대학교 해양수산자원학과, ²국립수산과학원 수산종자육종연구소

Growth and maturation period of a brown alga, *Scytosiphon lomentaria* (Lyngbye) Link in a natural habitat of Sodol, Jumunjin, eastern coast of Korea

Myeong Seok Han, Chan Sun Park¹ and Eun Kyoung Hwang^{2,*}

Oceanseaweed, Gangneung 24525, Republic of Korea

¹Department of Marine and Fisheries Resources, Mokpo National University, Muan 58554, Republic of Korea

²Fisheries Seed and Breeding Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Haenam 59002, Republic of Korea

*Corresponding author

Eun Kyoung Hwang
Tel. 061-530-3910
E-mail. ekh215@korea.kr

Received: 3 June 2022

Revised: 21 June 2022

Revision accepted: 21 June 2022

Abstract: Ecological characteristics of a brown alga, *Scytosiphon lomentaria*, were investigated from January 2021 to December 2021 in its natural habitat off Sodol, Jumunjin, eastern coast of Korea. The *S. lomentaria* population at the site formed widespread patches on mid shore. During the investigation, environmental conditions including seawater temperature, salinity, and dissolved oxygen were monitored at the site. Growth and maturation of the *S. lomentaria* population were identified through qualitative and quantitative investigations. An estimation of the effective cumulative temperature for maturation of the alga was obtained based on growth data and a biological zero temperature of 8°C. Sporangia were observed from February to May when seawater temperatures ranged from 7.7°C to 16.4°C. A maturation peak was detected in April when seawater temperature was 12.1°C. After zoospore release, the alga became bleached and only the crust remained after June. Developmental initiation of the thallus occurred at temperatures above 8°C. Its maturation required approximately 162 degree-days.

Keywords: *Scytosiphon lomentaria*, growth, maturation, natural population

서 론

고리매 [*Scytosiphon lomentaria* (Lyngbye) Link]는 갈조류 스텔목 고리매과에 속하는 해조류로 전 세계의 한대와

온대 해역에 15종이 분포하며, 한국에는 2종이 분포한다 (Boo *et al.* 2010). 한국에서는 동·서·남해안과 제주 등 전역의 조간대 중·하부와 조수웅덩이의 바위 위에서 무리지어 자라는 것을 흔하게 볼 수 있다(Boo *et al.* 2010; Han

2013). 고리매의 생육 시기는 일반적으로 겨울부터 초봄까지고, 겨울에 직립하는 배우체가 출현하며, 여름에 미소체인 포자체로 자라는 이형세대교번을 하는 것으로 알려져 있다(Clayton 1976a, 1976b, 1980). 그러나 한국에서 고리매는 각상형의 포자체에서 1~2월에 직립형의 배우체가 나타나기 시작하여 5~7월에 번무하고 7~8월에는 유주자를 방출하고 조락하는 것으로 보고되었으나(Cho *et al.* 2001), Han (2013)에 의하면 엽체의 출현시기는 동해안 지역에서는 12월 또는 1월부터 5월까지인 것으로 보고되는 등 지역에 따른 차이를 보이고 있다.

일본의 Ishikawa현 Noto 지역에서는 고리매를 전통적인 식용 해조류로 이용하였고(Kuda *et al.* 2005), 한국 동해안 지역에서도 과거 고리매를 나물재료로 이용하는 등 식용으로 널리 이용해 왔다. 또한, 고리매와 같은 갈조류는 알기네이트, 푸코이단, 만니톨 및 라미나란 같은 다당류들을 생성한다(Davis *et al.* 2003). 이러한 갈조 다당류들은 항응고제(Nishino *et al.* 1991; Pereira *et al.* 1999), 항종양(Zhang *et al.* 2013), 항산화(Kuda *et al.* 2005) 및 항바이러스(Ponce *et al.* 2003; Cosenza *et al.* 2017; Ponce *et al.* 2019)와 같은 다양한 생물학적 활성을 가지는 것으로 알려져 있어 의약학적 용도로서도 매우 전망이 밝다고 할 수 있다. 그러나 최근 기후변화는 변동성이 커져 생물학적, 생태학적, 사회경제학적 시스템 전반에 큰 영향을 미치고 있다(Price *et al.* 2011). 이러한 기후변화의 영향은 대기중 이산화탄소의 농도 증가, 수온 상승, 해수면 상승 및 자외선 투과량의 증가 등으로 조간대 해조류 군집의 분포, 종조성 및 생산성에 직접적으로 큰 영향을 미치고 있다(Sunny 2017). 동해안 조간대의 해조류 역시 이러한 기후변화의 영향으로 감소하게 됨에 따라 자원이 크게 줄고 있어 이용에도 어려움이 있으므로(Han 2013), 대량양식을 통한 생물량 확보 시스템 마련이 필요한 실정이다.

이형세대교번을 하는 고리매는 배우체와 포자체에서 각각 포자낭을 가지는 독특한 번식전략을 가지고 있어, 분류(Kogame 1998), 생활사(Wynne 1969; Kogame 1998; Boo 2010) 및 광주기 반응(Dring 1974; Dring and Lüning 1975) 등에 대한 다양한 연구의 좋은 소재가 되어 왔다. 반면 고리매에 대한 국내의 연구로는 주로 분류(Boo 2010), 형태변이 및 유전자분석 연구(Cho *et al.* 2001; Lee *et al.* 2019)가 수행되었고, 고리매의 자원 및 양식학적 연구는 Han (2003)의 연구 외에는 전문한 실정이며, 특히 자연군락 개

체군의 성장과 성숙주기를 상세히 밝히기 위한 연구는 거의 없는 실정이다.

따라서 이 연구에서는 동해안 소돌 지역 연안의 암반에 서식하는 고리매 자연개체군의 생태학적 연구를 통해 고리매의 성장과 성숙주기를 정확히 밝힘으로써, 고리매의 인공적인 증식 및 자연개체군의 효율적인 보호와 관리의 과학적 근거를 마련하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 분포 및 환경조사

고리매의 분포는 고리매가 주로 서식하는 강원도 주문진읍 소돌해변(128°49'41.05"E, 37°54'24.07"N)의 조간대 암반지역을 대상으로 정성 및 정량조사에 의해 실시하였다(Fig. 1). 서식지의 환경은 수온, 염분 및 용존산소를 매월 정성조사 시점마다 현장에서 YSI-550A (YSI Inc., USA)를 이용하여 측정하였다.

2. 개체군 생태조사

고리매의 성장 및 성숙 주기는 2021년 1월부터 12월까지 매월 간조시 25×25 cm 방형구법을 통한 정량조사법으로 실시하였으며, 시료는 최소한 3개 이상의 방형구내에 분포하는 고리매 엽체를 전량 채취하였다. 현존량 분석은 방형구별 고리매의 출현 개체수 및 중량을 단위면적당 습

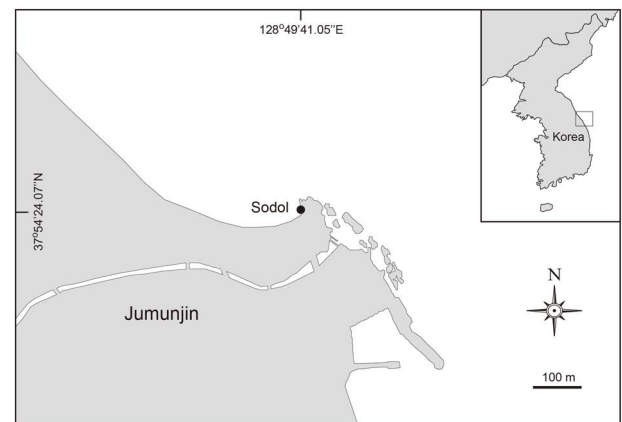


Fig. 1. A map showing the sampling site at Sodol, Jumunjin, eastern coast of Korea. The closed circle represents population distribution of *Scytosiphon lomentaria*.

중량 및 밀도로 환산하였다.

3. 형태형질 측정

채집된 고리매 엽체의 형태형질은 시료를 실험실로 옮겨 엽장, 엽폭 및 엽중량 등 성장도와 엽체의 성숙도를 현

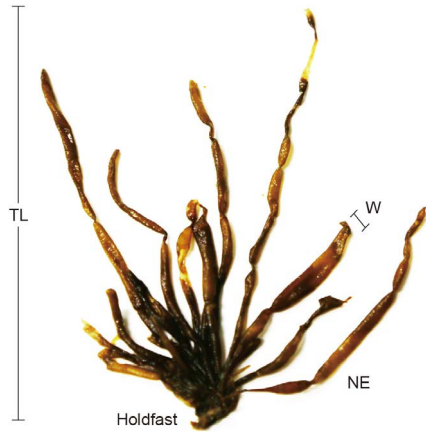


Fig. 2. Diagram of *Scytosiphon lomentaria* (Lyngbye) Link. TL, total length; W, Width; NE, number of erect thalli.

미경으로 검정하여 분석하였다(Figs. 2, 3). 성숙 비율은 고리매 엽체의 포자낭 형성 유무 확인과 포자낭 형성 개체의 출현비율을 월별로 측정하여 분석하였다.

4. 성숙유효적산온도 추정

고리매의 성숙유효적산온도 추정은 생장 자료를 근거로 하여 고리매의 생물학적 영점온도를 8°C로 설정하였고(Fig. 4), 조사지점의 표층수온 측정치와 소돌 인근 지역의 연안수온 관측치(2019년부터 2021년까지 3개년 동안 고리매의 주생장기인 2월부터 5월까지의 누적치를 평균한 값, Table 1)을 근거로 하여 1일 평균 생육수온에서 성숙 유효 하한수온(8°C)을 뺀 값을 누적시켜 구하였다(Hwang *et al.* 2010).

5. 통계처리

고리매 생장 자료의 통계 분석은 분산분석법(one-way ANOVA)을 이용하여 실시하였으며, 통계프로그램은 SPSS ver 8.0과 SYSTAT ver 9.0을 이용하여 유의수준 0.05 수준에서 이루어졌다.

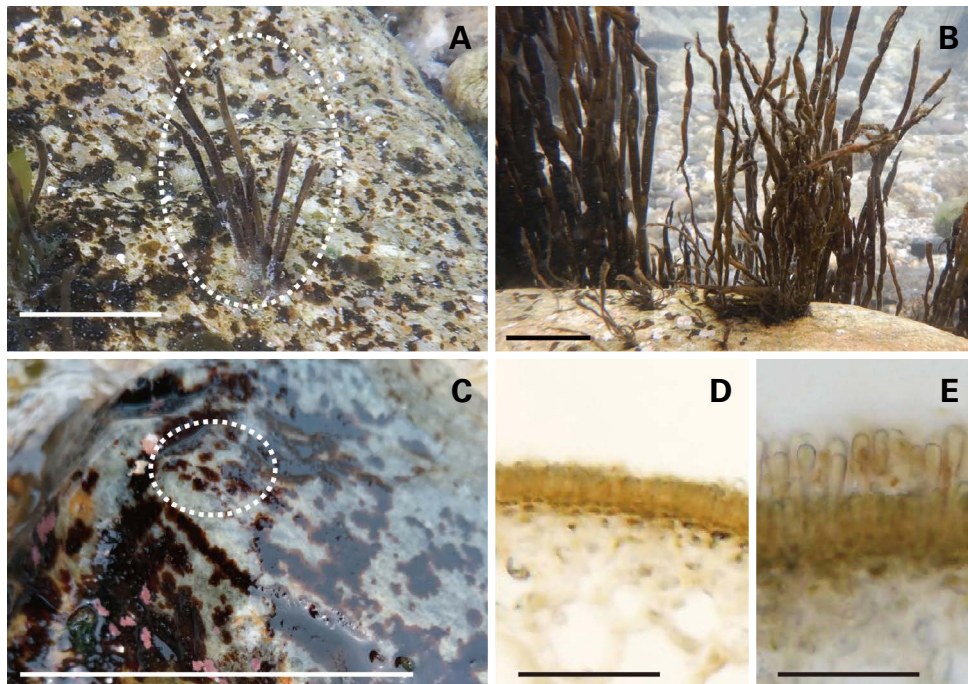
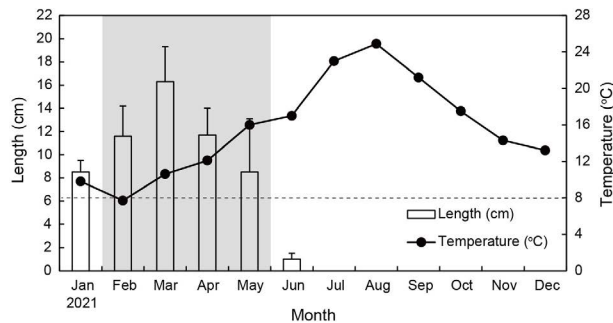


Fig. 3. Natural habitat of the *Scytosiphon lomentaria* (Lyngbye) Link population in Sodol, Jumunjin, eastern coast of Korea. A, Young thalli in January 2021. B, Mature thalli in March 2021. C, Crust in August 2021. Dotted circle emphasizes crust after decayed erect thallus in natural habitat. D, Cross-sectioned view of immature thalli. E, Cross-sectioned view of mature thalli. Scale bars: 5 cm (A), 1 cm (B), 10 cm (C), and 50 μ m (D and E).

Table 1. Calculation of degree-days for maturation of *Scytosiphon lomentaria* (Lyngbye) Link for the population off Sodol, Jumunjin, eastern coast of Korea from January 2021 to December 2021

Periods (water temperature)	Degree days (°C day)	Remark
2nd Jan 2019 (9.7°C)–30th Mar 2019 (11.4°C)	192.8	
1st Jan 2020 (10.8°C)–31st Mar 2020 (11.4°C)	208.3	Developmental thresholds: 8.0°C
5th Jan 2021 (10.2°C)–31st Mar 2021 (13.2°C)	86.3	
Mean	162.5±54.2	

**Fig. 4.** Relationship between seawater temperature and length for the *Scytosiphon lomentaria* (Lyngbye) Link population in Sodol, Jumunjin, eastern coast of Korea from January 2021 to December 2021. Vertical bar represents standard deviation. Shaded area indicates sporangia formation in the habitat. Dotted line indicates developmental thresholds.

결과 및 고찰

1. 생태 및 환경적 특성

고리매는 강원도 주문진읍 소돌해변의 조간대 암반지역에 주로 분포하고 있었다. 조사지역에서 고리매 개체군이 분포하는 면적은 약 3 ha로 추정되는 지역에서 엽체들이 분산된 작은 패치(patch)를 형성하여 서식하고 있었다. 조사지역은 암반지역으로 조류소통이 원활하며 외양에 면해 있는 지역인 것으로 조사되었다(Fig. 1). 조사지역의 서식지 저질은 모래사장과 인접하여 폭넓게 발달된 암반지역이며, 서식지는 돌김류, 파래류, 풀가사리, 바위수염, 지층이, 산호말류, 비틀대모자반 등 다양한 해조류 군락이 발달된 지역이다.

고리매 서식지의 환경조사 결과, 수온은 7.7~24.9°C였으며, 2월에 가장 낮고 8월에 가장 높았다. 염분 농도는 31.6~34.4 psu 범위였으며, 용존산소 농도는 8.3~16.5 mg L⁻¹ 범위였다.

고리매는 일년생 해조류로 서식 지역에 따라 엽장과 엽

폭 등 형태적 변이가 뚜렷하며(Han 2013), 배우체는 계절성으로 인하여 유주자 방출 후 급격히 조락하고, 유주자는 바위에 붙어 포자체가 되는 이형세대교번을 하므로(Dring and Lüning 1975), 자연 생육지에서 포자체의 관찰이 용이하지 않아 포자체에 대한 관찰자료를 확보하기 어려운 특징이 있다.

2. 성장특성

고리매의 엽장은 조사지역에서 수온 9.8°C를 보인 3월에 16.3±3.0 cm (mean±SD)로 최대생장을 나타내었고(Table 2), 이후 점차 감소하기 시작하여 수온 16.9°C를 보인 6월 이후에는 엽체가 모두 소실되어 12월까지 직립 엽체가 관찰되지 않는 특성을 나타내었다(Fig. 5). 엽폭은 0.2±0.1~3.0±0.2 mm로 주 성장 시기인 1월부터 6월까지 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 2). 개체당 직립시 수는 생육 초기인 1월에는 3.0±1.1개였으며, 최대생장을 보인 3월에 15.0±3.2개로 최대값을 보였다(Table 2).

고리매의 단위면적당 현존량은 수온 10°C 이상으로 상승하는 시기인 3월에 96.0±12.1 g-fresh wt m⁻²로 최대치를 보였고, 이후 점차 감소하여 6월 이후에는 모두 소실되었다(Table 2). 단위면적당 개체수도 3월에 32.5±2.9 ind. m⁻²로 가장 많았으며, 이후 점차 감소하였다(Table 2).

Han (2013)은 동해안 지역을 대상으로 한 고리매의 분포특성에 대한 연구에서, 12월부터 5월까지 직립 엽체가 출현하며, 3월에 가장 높은 개체수를 보인 이후, 초여름부터 초겨울까지는 각상의 포자체를 형성하는 것으로 보고하였다. 또한 Cho *et al.* (2001)은 직립형의 배우체가 1~2월에 나타나기 시작하여 5~7월에 번무하고 7~8월에는 유주자를 방출하고 이후 서서히 조락한다고 보고한 바 있다. 이 연구 결과에서 고리매 직립 엽체의 분포 특성은 대체로 Han (2013)의 연구 결과와 동일한 경향을 보였다고 할 수



Fig. 5. Monthly morphological features of *Scytosiphon lomentaria* (Lyngbye) Link from the population in Sodol, Jumunjin, eastern coast of Korea from January 2021 to June 2021. From July 2021 to December 2021, erect thalli were not observed.

Table 2. Morphological data of *Scytosiphon lomentaria* (Lyngbye) Link population off Sodol, Jumunjin, eastern coast of Korea from January 2021 to December 2021

Month	Growth and maturation					
	Length (cm)	Width (mm)	Number of erect thalli per crust (ea)	Density (ind. m ⁻²)	Biomass (g fresh-wt. m ⁻²)	Maturation
Jan. 2021	8.5 ± 1.0	0.4 ± 0.2	3.0 ± 1.1	16.1 ± 1.6	1.9 ± 0.5	-
Feb.	11.6 ± 2.6	3.0 ± 0.4	11.9 ± 6.6	24.2 ± 4.2	38.4 ± 1.8	+
Mar.	16.3 ± 3.0	3.0 ± 0.2	15.0 ± 3.2	32.5 ± 2.9	96.0 ± 12.1	++
Apr.	11.7 ± 2.3	1.6 ± 0.2	13.5 ± 4.0	28.3 ± 4.1	48.1 ± 14.1	+++
May	8.5 ± 4.6	1.0 ± 0.1	3.8 ± 1.7	14.8 ± 3.2	21.3 ± 5.4	+
Jun.	1.0 ± 0.5	0.2 ± 0.1	2.0 ± 0.3	1.3 ± 0.3	1.5 ± 0.5	-
Jul.-Dec.	-	-	-	-	-	-

-, sterile; sporangia formation represented as follows: +, less than 30%, ++, 30-50%, +++, more than 50%

있으나, 12월에 직립 엽체의 출현이 관찰되지 않은 점은 서식환경이 다른 지역적인 차이에 따른 결과로 보여진다. 이와 같이 고리매가 서식환경에 따라서 엽체의 생장특성이나 출현시기 등이 달라진다는 것을 감안하면, 고리매 자연군락의 보호 및 관리의 시기를 서식지 환경에 따라서 세분하여 관리하는 체계가 필요하다는 것을 의미한다.

갈조류의 분포 및 생물량은 일반적으로 수온에 따라 매우 다른 양상을 보인다(Kirihara *et al.* 2006). 즉, 22°C 또는 그 이상의 수온 조건에서 성숙 또는 생물량이 증가하는 해조류로는 미역, 넓미역, 곰피 등이 있으며, 대부분의 다시마류는 20°C 이하의 수온 조건하에서(Kirihara *et al.* 2006), 그리고 조하대에 서식하는 모자반류는 17°C 이상의 수온

조건에서 성숙이 이루어지는 것으로 보고되었다(Ko *et al.* 2020). Han (2013)에 따르면 동해안 북부 지역에서 고리매 성숙 엽체의 출현이 1월부터 5월까지 나타난 것으로 보고되었다. 본 연구 결과에서는 고리매 성숙 엽체가 2월(수온 7.7°C)부터 5월(수온 16.4°C)까지 관찰되었으며, 4월(수온 12.1°C)이 고리매 성숙의 최성기인 것으로 나타났다(Table 3).

3. 성숙유효적산온도

해양에서 생물의 생장과 성숙에 영향을 미치는 온도의 효과는 육상에서 보다 매우 크게 작용하게 된다. Dring (1974)는 이러한 수온의 영향에 주목하여 적산수온과 생

Table 3. Comparisons of growth and maturation period of *Scytosiphon lomentaria* (Lyngbye) Link in three habitats of the eastern coast of Korea

Contents	Reference		
	Han (2013)		This study
Site	Ohuri (38°19'42.17"N, 128°31'43.88"E)	Sacheon (37°50'26.97"N, 128°52'37.63"E)	Sodol (37°54'24.07"N, 128°49'41.05"E)
Seawater temperature (°C)	7.0–22.3 (14.6)*	8.2–21.9 (14.7)*	7.7–24.9 (15.6)*
Erect thalli appearance	December–May	December–May	January–June
Maturation peak	April–May	April–May	April

*expressed mean seawater temperature

물학적 영점온도의 개념을 해조류에 접목하여 해조류의 성장과 생활사에 미치는 수온의 정량적 영향을 설명하였다. 또한, Rietema (1982)는 홍조류 *Dumontia contorta* 엽체가 16°C 이하의 조건에서 생장이 시작되며, 해조류의 생활사 단계에 생물학적 영점온도가 중요한 역할을 한다고 보고하였다. 이러한 성숙유효적산수온에 대한 중요성을 감안하여 Hwang *et al.* (2003, 2010, 2015)은 각각 옥덩굴 (*Caulerpa okamurae*), 넓미역 (*Undariopsis peterseniana*) 및 뜸부기 (*Silvetia siliquosa*) 개체군의 성숙유효적산수온을 구한 바 있으나, 보다 많은 해조류 종들에 대한 추가적인 연구가 필요한 실정이다.

해조류는 종에 따라 성장과 성숙에 필요한 누적온도의 전체 합은 항상 일정하며, 그 합은 수온과 시간의 조합을 통해 구할 수 있다(Baskerville and Emin 1969; Allen 1976). 고리매의 경우 야외 개체군 조사를 통해 생물학적 영점온도는 8°C로 추정되었으며(Table 1), 성숙유효적산온도 약 162 degree-days가 경과되면 자연 상태에서 고리매 엽체가 성숙하는 것으로 추정되었다. 이는 뜸부기의 196 degree-days (Hwang *et al.* 2015), 옥덩굴 270 degree-days (Hwang *et al.* 2003) 및 넓미역 236 degree-days (Hwang *et al.* 2010)보다 매우 짧은 것으로 분석되었다. 이러한 해조류 종별 성숙유효적산온도의 차이는 종별 생리생태학적 특성 차이에서 기인되는 것으로 보인다.

즉, 고리매가 포자낭을 형성하고 유주자를 방출시키는데 요구되는 수온은 미역이나 다시마류의 유주자 대량방출을 위한 수온 조건 20~22°C보다 매우 낮은 10°C 전후인 것으로 나타났다. 이는 고리매가 자연군락에서 자연적으로 성숙하는 데 필요한 누적적산수온의 측면에서 매우 짧은 시간을 요한다는 것을 알 수 있으며, 적절한 서식지 보호

관리만 이루어진다면 대량 번식에 유리한 측면이 있는 것으로 볼 수 있다.

이 논문에서는 강원도 주문진 소돌해변에 서식하는 갈조류 고리매의 성장과 성숙주기를 밝혀 고리매 자연자원의 보호와 효율적인 이용을 위해 필수적인 자료를 제공하고자 하였다. 또한 유용 수산자원인 고리매의 생태학적 특성을 적용하여, 대량양식을 통한 자연군락 보존과 이용에 효과적으로 활용될 수 있을 것이다.

적 요

고리매는 동해안에서 식용되어온 유용 갈조류이며, 다양한 생리활성물질을 함유하여 이용이 기대되는 해조류이다. 이 연구는 2021년 1월부터 12월까지 강원도 주문진을 소돌해안에서 고리매 개체군의 성장 및 성숙 패턴을 밝히기 위하여 수행되었다. 고리매 개체군의 정량조사를 위해 월별 형태분석, 밀도 및 현존량 분석을 실시하였다. 조사지역에서 고리매의 최대엽장은 3월(수온 10.6°C)에 16.3 ± 3.0 cm, 평균 밀도는 32.5 ± 2.9 ind. m⁻² 및 평균 현존량은 96.0 ± 12.1 g fresh-wt. m⁻²였다. 고리매 엽체의 성숙은 4월(수온 12.1°C)에 최성기를 보였으며, 성숙에 요구되는 성숙유효적산온도는 162.5 degree-days였다.

사 사

이 연구는 국립수산과학원 연구비지원(R2022012)으로 수행되었습니다.

REFERENCES

- Allen JC. 1976. A modified sine wave method for calculating degree-days. *Environ. Entomol.* 5:388–396.
- Baskerville GL and P Emin. 1969. Rapid estimation of heat accumulation from maximum and minimum temperatures. *Ecology* 50:514–517.
- Boo SM. 2010. Scytosiphonaceae, Petrospongiaceae. pp. 155–185. In: *Algal Flora of Korea*. Vol. 2. No. 1. Heterokontophyta: Phaeophyceae: Ectocarpales. Marine Brown Algae I. (Kim HS and SM Boo eds.). National Institute of Biological Resources, Incheon, Korea.
- Boo SM, WJ Lee, IK Hwang, YS Keum, JH Oak and GY Cho. 2010. *Algal Flora of Korea*. Marine Brown Algae II. National Institute of Biological Resources. Incheon, Korea. p. 203.
- Cho GY, HS Yoon, HG Choi, K Kogame and SM Boo. 2001. Phylogeny of the family *Scytosiphonaceae* (Phaeophyta) from Korea based on sequences of plastid-encoded rubisco spacer region. *Algae* 16:145–150.
- Clayton MN. 1976a. Complanate *Scytosiphon lomentaria* (Lyngbye) J. Agardh (Scytosiphonales: Phaeophyta) from southern Australia: the effects of season, temperature, and daylength on the life history. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 25:187–198.
- Clayton MN. 1976b. The morphology, anatomy and life history of a complanate form of *Scytosiphon lomentaria* (Scytosiphonales, Phaeophyta) from southern Australia. *Mar. Biol.* 38:201–208.
- Clayton MN. 1980. Sexual reproduction: a rare occurrence in the life history of the complanate form of *Scytosiphon* (Scytosiphonaceae, Phaeophyta) from Southern Australia. *Br. Phycol. J.* 15:105–118.
- Cosenza VA, DA Navarro, NMA Ponce and CA Stortz. 2017. Seaweed polysaccharides: structure and applications. pp. 75–116. In: *Industrial Applications of Renewable Biomass Products - Past, Present and Future* (Goyanes S and N D'corso eds.). Springer, Cham, Switzerland.
- Davis TA, B Volesky and A Mucci. A review of the biochemistry of heavy metal biosorption by brown algae. *Water Res.* 37:4311–4330.
- Dring MJ and K Lüning. 1975. A photoperiodic response mediated by blue light in the brown alga *Scytosiphon lomentaria*. *Planta (Berl.)* 125:25–32.
- Dring MJ. 1974. Reproduction. pp. 814–837. In: *Algal Physiology and Biochemistry* (Stewart WDP ed.). Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK.
- Han MS. 2013. Distribution, phenology, genetic diversity and cultivation of *Scytosiphon lomentaria* (Phaeophyta). Ph.D. thesis, Gangneung-Wonju National University, Gangneung, Wonju, Korea. p. 150.
- Hwang EK, CS Park, JW Han, WJ Shin, CG Choi and CH Sohn. 2003. Growth and maturation of a green alga, *Caulerpa okamurae* Weber van Bosse. *Algae* 18:217–223.
- Hwang EK, HC Yoo, DS Ha and CS Park. 2015. Growth and maturation period of *Silvetia siliquosa* in the natural population in Jindo, South Korea. *Korean J. Fish. Aquat. Sci.* 48:745–751.
- Hwang EK, YG Gong and CS Park. 2010. Ecological characteristics of the endangered brown alga, *Undariopsis peterseniana* (Kjellman) Miyabe et Okamura, at Jeju Island, Korea: Growth and maturation. *Korean J. Fish. Aquat. Sci.* 43:63–68.
- Kirihara S, T Nakamura, N Kon, D Fujita and M Notoya. 2006. Recent fluctuations in distribution and biomass of cold and warm temperature species of Laminariales algae at Cape Ohma, Northern Honshu, Japan. *J. Appl. Phycol.* 18:521–527.
- Ko SJ, YK Kim, SW Hong, MS Kang, CS Park, EK Hwang and YD Lee. 2020. Artificial seed production and cultivation of *Sargassum macrocarpum* (Fucales, Phaeophyta). *Algae* 35:123–131.
- Kogame K. 1998. A taxonomic study of Japanese *Scytosiphon* (Scytosiphonales, Phaeophyceae), including two new species. *Phycol. Res.* 46:39–56.
- Kuda T, M Tsunekawa, T Hishi and Y Araki. 2005. Antioxidant properties of dried 'kayamo-nori', a brown alga *Scytosiphon lomentaria* (Scytosiphonales, Phaeophyceae). *Food Chem.* 89:617–622.
- Lee JI, HS Jang, GY Cho, SJ Yoon and S Boo. 2019. Genetic diversity and distribution of edible scytosiphonaceae algae from Ulleungdo Island, Korea. *Algae* 34:229–236.
- Nishino T, T Nagumo, H Kiyohara and H Yamada. 1991. Structural characterization of a new anticoagulant fucan sulfate from the brown seaweed *Ecklonia kurome*. *Carbohydr. Res.* 211:77–90.
- Pereira MS, B Mulloy and PAS Mourão. 1999. Structure and anticoagulant activity of sulphate fucans. *J. Biol. Chem.* 274:7656–7667.
- Ponce NMA, CA Pujol, EB Damonte, ML Flores and CA Stortz. 2003. Fucoidans from the brown seaweed *Adenocystis utricularis*: extraction methods, antiviral activity and structural studies. *Carbohydr. Res.* 338:153–165.
- Ponce NMA, ML Flores, CA Pujol, MB Becerra, DA Navarro, O Córdoba, EB Damonte and CA Stortz. 2019. Fucoidans from the phaeophyta *Scytosiphon lomentaria*: Chemical analysis and antiviral activity of the galactofucan component. *Carbohydr. Res.* 478:18–24.
- Price NN, SL Hamilton, JS Tootell and JE Smith. 2011. Species specific consequences of ocean acidification for the calcareous tropical green algae *Halimeda*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 440:67–78.

- Rietema H. 1982. Effects of photoperiod and temperature on macrothallus initiation in *Dumontia contorta* (Rhodophyta). Mar. Ecol. Prog. Ser. 8:187–196.
- Sunny AR. 2017. A review on effect of global climate change on seaweed and seagrass. Int. J. Fish. Aquat. Stud. 5:19–22.
- Wynne MJ. 1969. Life history and systematic studies of some Pacific North American Phaeophyceae (brown algae). Univ. Calif. Publ. Bot. 50:1–88.
- Zhang Z, K Teruya, H Eto and S Shirahata. 2013. Induction of apoptosis by low-molecular weight fucoidan through calcium- and caspase-dependent mitochondrial pathways in mda-mb-231 breast cancer cells. Biosci. Biotechnol. Biochem. 77:235–242.