



한국 남서해안 함평만의 월별 해조상 및 군집구조 변화

오병건, 최한길^{1,*}

고구려대학교, ¹원광대학교 생명과학부

Monthly variations in macroalgal flora and community structure in Hampyong Bay, Southwestern Coast of Korea

Byoung-Geon Oh and Han Gil Choi^{1,*}

Koguryeo College, Naju 58280, Republic of Korea

¹Faculty of Biological Science and Institute of Basic Natural Sciences, Wonkwang University, Iksan 54538, Republic of Korea

*Corresponding author

Han Gil Choi

Tel. 063-850-6579

E-mail. hgchoi@wku.ac.kr

Received: 16 February 2021

Revised: 2 March 2021

Revision accepted: 3 March 2021

Abstract: The monthly variability in marine algal flora and community structure was examined in the intertidal zones of Doripo, and the biomass of an edible alga, *Ulva prolifera*, at Gaip-ri of Hampyong Bay on the southwestern coast of Korea was investigated over one year from April 2008 to March 2009. A total of 22 seaweeds were identified including five green, four brown, and 13 red algae. Based on importance value, *Ulva australis* was dominant over the year and the subdominant species were *Ulva linza* and *Caulacanthus ustulatus* at the Doripo coast of Hampyong Bay. The vertical distribution in terms of importance values was in the order of *Ulva linza* - *C. ustulatus* - *U. australis* - *Sargassum thunbergii* from the upper to the lower intertidal zones. The biomass of *U. prolifera* ranged between 2.4–98.2 g dry wt. m⁻², with a maximum in June and a minimal in November. In the field, *U. prolifera* biomass could be positively related to seawater temperature. However, further research on the association between biomass and other environmental factors such as nutrients and light intensity is required.

Keywords: community structure, seaweed, vertical distribution, Hampyong Bay

서 론

우리나라 서·남해안 암반 조간대의 해조류 종조성 및 군집에 관한 연구는 많은 해조학자에 의해 수행되었으나 (Hwang *et al.* 1996; Oh *et al.* 2005; Park *et al.* 2007, 2009, 2012; Han *et al.* 2014; Yoo *et al.* 2015), 상대적으로 탁도가 높은 갯벌은 종다양성이 낮아 해조상에 관한 자료가 매우 부족한 실정이다 (Park *et al.* 2012).

갯벌은 육상과 해양의 전이대로서 다양한 저서 생명체의 보금자리로서 풍부한 유기물은 저서 및 부유 미세조류의 영양 공급원이고 (Underwood and Kromkamp 1999; Park *et al.* 2013), 이들을 먹이원으로 사용하는 다양한 저서 무척추동물, 퇴적물 섭식자와 여과 섭식자인 조개류의 생산성과 밀접한 관련이 있다 (Kang *et al.* 2003; Krumme *et al.* 2008). 갯벌 혹은 인근의 암반에 서식하는 일년생 해조류도 생장과 사멸을 통하여 유기물을 제공하므로 이들의 종

다양성과 생물량은 갯벌 저서생물의 풍도, 생태계의 건강도와 정비례의 관계를 나타낸다(Park *et al.* 2012). 대부분의 해조류는 암반에 부착하여 서식하는 것으로 알려져 있으며, 탁도가 높고 불안정한 연성기질로 구성된 갯벌에 서식하는 해조류는 파래류, 고리매류와 꼬시래기류 등의 소수종으로 알려져 있다(Park *et al.* 2012).

녹조류 가시파래(*Ulva prolifera* O.F. Müller)는 갯벌 조간대의 자갈이나 펄에 묻혀서 성장하는 종으로서 일부 지역에서는 “감태(甘苔)”라고 불리며, 고가로 판매되므로 어업인의 소득원이 되고 있다(Park and Hwang 2011). 자연 개체군에서 가시파래의 대량채취는 생물량 감소의 원인이 됨으로써 양식기술 개발을 시도하였다(Yoon *et al.* 2003; Park and Hwang 2011). 하지만, 김 양식장의 해적 해조류가 파래류(*Ulva* spp.)이므로 김 생산업자와 갈등의 요인이 됨으로써 가시파래 양식은 일반화되지 못하였다. 따라서, 가시파래는 우리나라 서, 남해안 갯벌의 자연 개체군에서 채취되고 있다. 전라남도 함평만은 주변에 하천이 발달하지 않아 담수의 유입은 적으며, 간헐적으로 빗물에 의해서 육상 기인의 유기물이 일부 유입되는 곳이다. 또한, 식용종인 가시파래가 갯벌에서 출현하는 연안으로서 갯벌 생태계에 유기물의 근원이 되는 해조류의 종조성과 생물량 변화를 파악하고 매우 중요한 자료가 될 것이다.

따라서, 본 연구는 전남 함평만 갯벌 인근의 암반 조간대 해조류의 월별 종조성과 생물량 변화를 파악하고 갯벌에서 가시파래의 생물량을 측정하기 위한 목적으로 수행되었다.

재료 및 방법

본 연구 해역인 함평만은 행정구역상 전라남도 무안군과 함평군에 걸쳐있으며, 도리포는 함평만의 입구에 위치하는 암반 지역이고 가입리는 내만의 갯벌 지역이다(Fig. 1).

해조류 현장 조사는 2008년 4월부터 2009년 3월까지 월별로 수행되었으며, 해조 식생을 대표할 만한 정점의 조간대를 대상으로 정성 및 정량조사가 이루어졌다. 해조상 조사를 위하여 조간대에서 채집된 재료는 현장에서 아이스 박스에 넣어서 실험실로 운반하였다. 동정에 필요한 샘플의 일부는 건조표본을 만들었으며, 동정 작업 중 내부구조를 관찰하기 위하여서는 수동으로 절편을 만들어 현미경으로 검경하였다. 해조류의 각 분류군별 목록은 한국 해조목록의 분류체계(Kang 1968; Lee and Kang 1986; Lee and Kang 2002)를 기준으로 하였으며, 남조류와 무절산호류는 제외하였다. 군집조사를 위해서 해조류 생육 상한선부터 하한선까지 줄자를 놓고 소방형구(10×10 cm)의 25개로 구획된 방형구(50×50 cm)를 연속적으로 놓아가면서 각 방형구에 출현한 해조류의 빈도(frequency)와 피도(coverage)를 기록하였다. 군집분석은 피도와 빈도를 기초로 우점종(dominant species)과 준우점종(subdominant species)으로 구분하였으며(Barbour *et al.* 1987), 우점종 파악을 위한 중요도 값의 계산은 출현종의 빈도와 피도를 기초로 아래와 같은 수식을 이용한다(Saito and Atobe 1970).

$$- \text{피도}(C) = (\text{출현종 } i \text{ 가 차지하는 면적} / \text{방형구의 면적}) \times 100$$

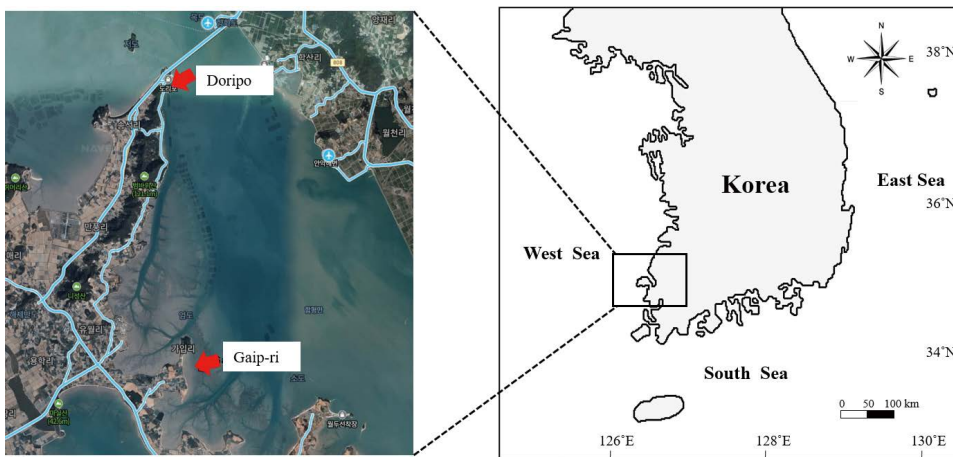


Fig. 1. Map showing study sites for the examination of macroalgal flora and communities in Hampyong Bay on the southwestern coast of Korea.

- 빈도(F) = (출현종 i가 있는 소방형구의 수/세분된 소방형구의 수) × 100
- 상대피도(RC) = (i종의 피도 합/전 종의 피도 합) × 100
- 상대빈도(RF) = (i종의 빈도 합/전 종의 빈도 합) × 100
- 중요값(IV) = (RC + RF)/2

식용종 가시파래 생물량의 월별 변화는 고정된 10m의 조사지선(line transect)를 설정하고 방형구(50 × 50 cm)를 무작위로 놓아가며 조사하였다. 가시파래의 생물량 측정은 반복적인 채집으로 인한 개체군 훼손을 방지하기 위해 대표성을 가지는 주변의 군집에서 방형구를 놓고 정량채집하였

다. 방형구 내의 가시파래를 전량 채취하여 실험실에서 이물질을 제거한 후 80°C에서 48시간 건조하여 건조량을 측정하였고 단위 면적당 생물량(g dry wt. m⁻²)으로 환산하였다.

결 과

1. 종조성

전남 함평만의 도리포 해안에서 2008년 4월부터 2009년 3월까지 월별로 채집된 해조류는 총 22종이었으며, 분

Table 1. Lists of macroalgal species collected at Doripo in Hampyong Bay on the southwestern coast of Korea from April 2008 to March 2009

Species	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.
Chlorophyta												
<i>Ulva australis</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Ulva linza</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Ulva prolifera</i>	+	+	+									
<i>Cladophora</i> sp.					+	+						
<i>Codium fragile</i>		+	+	+	+							
Phaeophyta												
<i>Dictyota dichotoma</i>		+	+								+	+
<i>Scytosiphon lomentaria</i>	+										+	+
<i>Sargassum thunbergii</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Sphacelaria rigidula</i>		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Rhodophyta												
<i>Bangia fuscopurpurea</i>	+								+	+	+	+
<i>Pyropia tenera</i>	+										+	+
<i>Gelidiophycus freshwateri</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Corallina officinalis</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Corallina pilulifera</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Caulacanthus ustulatus</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Agarophyton vermiculophyllum</i>	+	+	+	+	+						+	+
<i>Phacelocarpus japonicus</i>				+	+	+						
<i>Ahnfeltiopsis flabelliformis</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Rhodymenia intricata</i>				+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Ceramium japonica</i>		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Acrosorium yendoii</i>	+	+	+	+	+	+						+
<i>Neosiphonia japonica</i>		+	+									
Chlorophyta	3	4	4	3	4	3	2	2	2	2	2	2
Phaeophyta	2	3	3	2	2	2	2	2	2	2	4	4
Rhodophyta	9	9	9	10	10	9	7	7	8	8	10	11
Total	14	16	16	15	16	14	11	11	12	12	16	17

+, present

류군별로는 녹조류 5종(22%), 갈조류 4종(18%) 및 홍조류 13종(59%)으로 확인되었다(Table 1). 월별로 보면, 3월에 17종으로 가장 많았고, 10월과 11월에 11종으로 가장 적게 나타났다(Table 1). 한편, 가입리 갯펄에서는 3종, 잎파래(*Ulva linza*), 가시파래(*U. prolifera*), 고리매(*Scytosiphon lomentaria*)가 출현하였으며, 이 중 가시파래는 연중 출현하였다.

본 연구 해역에서 연중 출현하는 해조류는 총 8종이었으며, 녹조류 3종(잎파래, 가시파래, 구멍갈파래), 갈조류 1종, 지충이(*Sargassum thunbergii*)였고, 홍조류 4종으로서 애기우뭇가사리(*Gelidiophycus freshwateri*) 산호말(*Corallina officinalis*), 작은구슬산호말(*Corallina pilulifera*), 애기가시덤불(*Caulacanthus ustulatus*)과 부챗살(*Ahnfeltiopsis flabelliformis*)로 나타났다.

중요도를 근거로 우점종과 준우점종을 구분하면, 도리포 해안의 해조류 군집에서 우점종은 연평균 중요도 59를 나타낸 구멍갈파래였으며, 준우점종은 연평균 중요도 17을 보였던 잎파래와 중요도 14를 나타낸 애기가시덤불이었다(Table 2). 녹조류 구멍갈파래(*Ulva australis*)는 모든 월별 채집에서 우점종이었고, 4월~6월에 높은 중요도 값을 보였다. 잎파래(*Ulva linza*)는 1월에서 7월까지 준우점종이었으나, 9월~10월에 사라졌다가 다시 점차 증가하는 패턴을 보였다. 또한, 준우점종인 홍조류 애기가시덤불도 모든 조사 기간에 출현하였고, 잎파래가 소멸된 시기에도 높은 중요도 값을 보였다(Table 2).

2. 수직분포

함평만의 도리포 조간대 해안에서 조위별로 우점한 해조류의 피도를 표기하면 Fig. 2와 같다. 구멍갈파래는 연구 기간에 조간대 상부에서 하부에까지(평균 해수면부터 조위 -116~2316 cm까지) 폭넓게 분포하였으며, 피도는 특히 6월에 높게 나타났다. 잎파래도 연구 기간에 모두 나타났으며, 조위 -116~-216 cm까지 분포하였고, 홍조류인

애기가시덤불은 조위 -116~-266 cm까지 관찰되었다. 특히 8월부터 12월에 걸쳐 김파래(*Bangia fuscopurpurea*)가 조간대 상부(조위 -116~-166 cm까지)에서 분포하는 것이 특징적이었다(Fig. 2).

따라서, 월별 자료를 근거로 정리해 보면, 함평만 도리포 해안의 해조류는 조간대 상부로부터 잎파래 - 애기가시덤불 - 구멍갈파래 - 지충이의 순서로 수직분포의 패턴을 보였다. 하지만, 함평만 가입리 지역은 경사가 완만한 갯벌로 구성되어 있어 해조류의 수직분포는 관찰되지 않았다.

3. 가시파래 생물량

전남 함평만 가입리 갯펄에서 수행된 1년간의 월별 조사에서, 가시파래의 생물량은 2008년 11월에 2.4 g dry wt. m⁻²로 최소였고 2008년 6월에 98.2 g dry wt. m⁻²로 최대였다. 가시파래 생물량은 수온이 하강하는 시기에 감소하였고, 수온이 상승하는 기간에 증가하는 경향을 보였다(Fig. 3).

고찰

전남 함평만 도리포 지역에서 채집 동정된 해조류는 총 22종이었으며, 분류군별로는 녹조류 5종, 갈조류 4종, 그리고 홍조류 13종이었다. 전남 하의도 갯벌의 해조상에 대한 선행연구에서는 총 9종(녹조 4종, 갈조 3종, 홍조 2종)이 보고되었으며(Park et al. 2012), 본 연구 결과와 유사한 해조상을 보였다.

중요도를 기준으로 우점종과 준우점종을 보면, 도리포 해안의 해조류 군집의 특성은 모든 계절에 구멍갈파래가 우점하였고, 잎파래와 애기가시덤불은 준우점종으로 나타났다. Park et al. (2012)에 의하면, 하의도의 우점종으로 납작파래(*Ulva compressa*), 가시파래, 꼬시래기(*Agarophyton vermiculophyllum*), 구멍갈파래, 납작숨틸(*Ectocarpus arctus*) 및 고리매의 6종을 기록하였다. 본 연구의 가입리 갯벌에

Table 2. Monthly change in importance value (IV) for dominant and subdominant macroalgal species in the intertidal zone of Doripo in Hampyong Bay in Korea from April 2008 to March 2009

Species	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.
<i>Ulva australis</i>	71	76	69	56	60	51	61	63	62	52	48	43
<i>Ulva linza</i>	25	16	15	26	10	0	0	13	14	21	32	43
<i>Caulacanthus ustulatus</i>	2	8	9	16	16	16	20	18	20	20	18	14

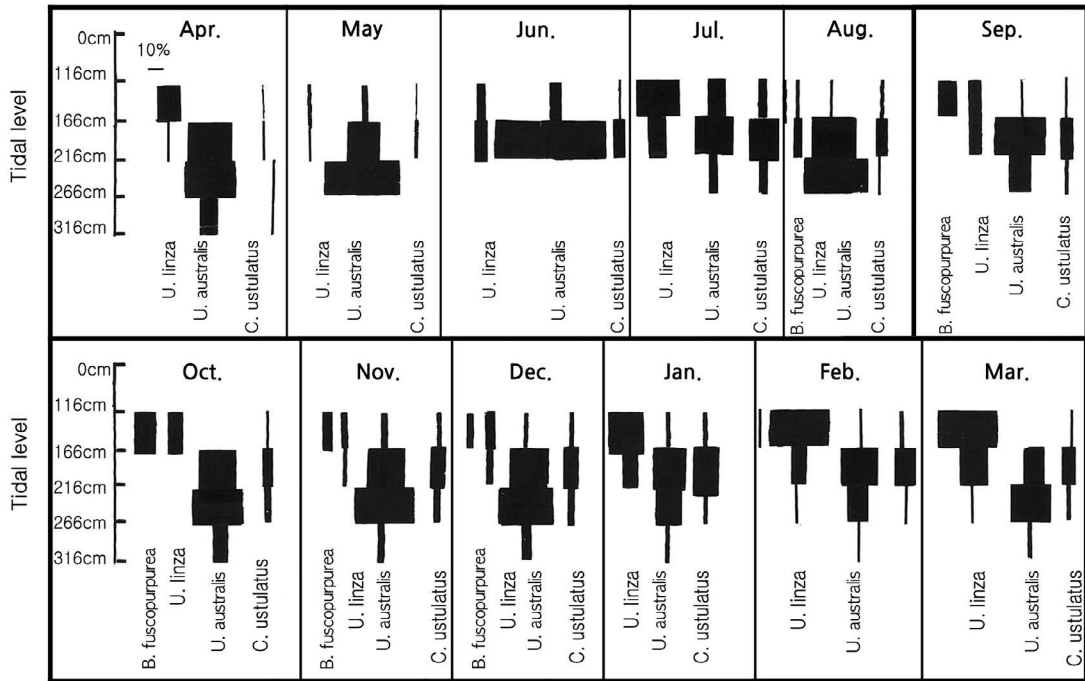


Fig. 2. Monthly vertical distribution pattern in percent coverage of some representative marine algae at different tidal levels at Doripo in Hampyong Bay in Korea from April 2008 to March 2009.

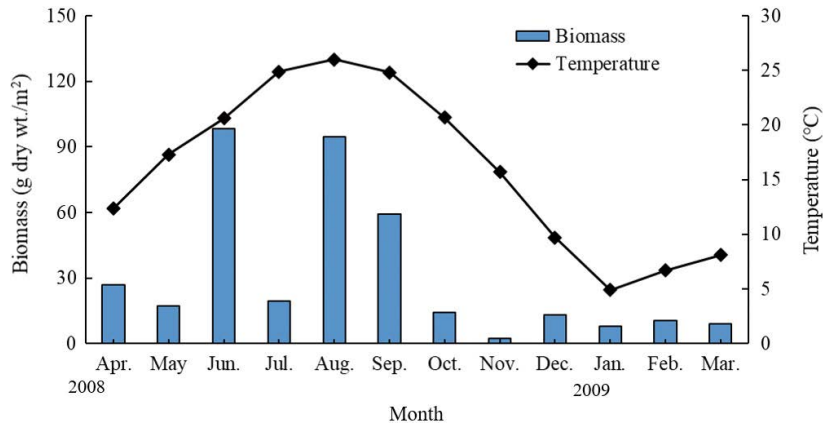


Fig. 3. Monthly variations in the biomass (g dry wt. m⁻²) of *Ulva prolifera* and water temperature (°C) at the study site of Gaip-ri in Hampyong Bay in Korea from April 2008 to March 2009.

서 해조류 출현종은 3종(잎파래, 가시파래, 고리매)으로 Park et al. (2012)의 하의도 출현종과 우점종에서 유사성을 보였다. 하지만, 본 연구에서 해조류 종다양성과 생물량은 갯벌과 인근에 위치한 암반 조간대에서 차별성을 보였다.

연구 기간에 전남 함평만의 도리포 해안의 해조류는 조간대 상부에서 잎파래 - 애기가시덤불 - 구멍갈파래 - 지층이 순서로 수직분포를 보였다(Fig. 2). 전남 신안군 하의도

해안에서 해조류의 수직분포는 상부에서 애기가시덤불·납작파래·가시파래가, 중부에는 납작파래·가시파래·꼬시래기·고리매가, 그리고 하부에서는 꼬시래기·고리매·구멍갈파래가 분포한다고 하였다(Park et al. 2012). 본 연구 지역인 도리포 해안은 경사도가 거의 없고 저질이 갯벌과 모래로 구성된 해안으로 신안군의 하의도 갯벌과 매우 유사한 해조류가 관찰되었다.

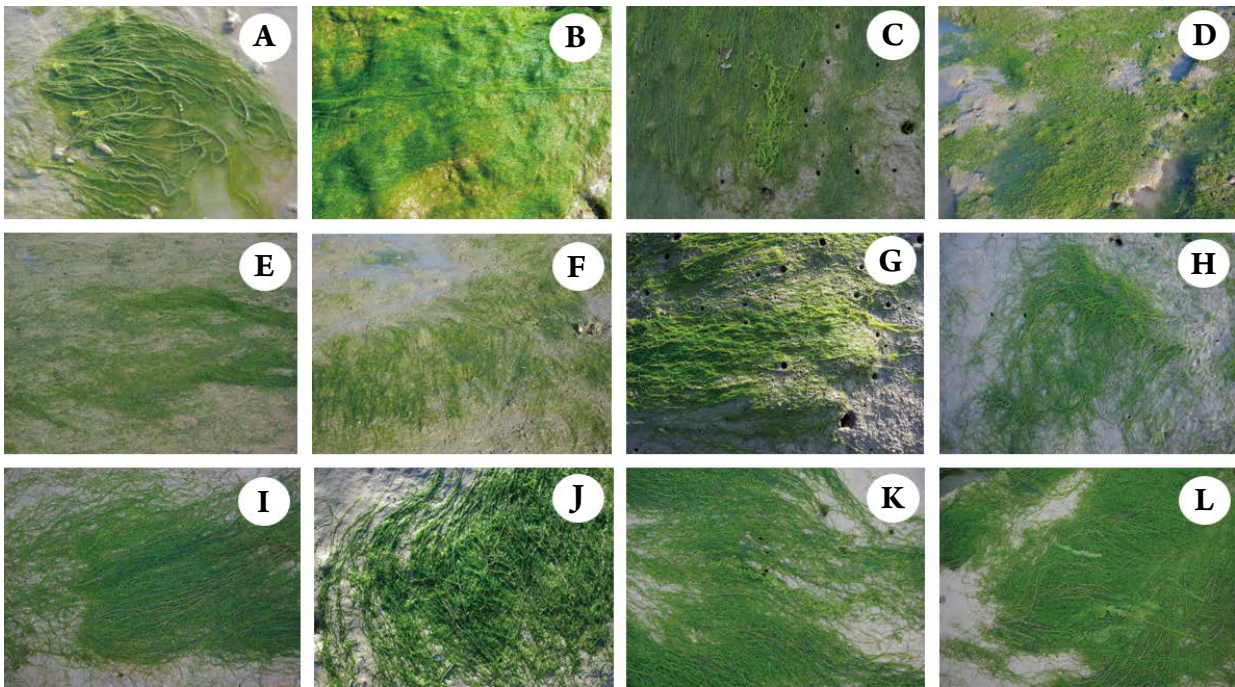


Fig. 4. Monthly changes in the growth of *Ulva prolifera* at Gaip-ri in Hampyong Bay on the southwestern coast of Korea from April 2008 (A) to March 2009 (L).

함평만 가입리 지역은 암반이 없고, 연성기질로 이루어진 갯벌이 넓게 펼쳐져 있으며, 가시파래가 가장 우점하였다. 가시파래의 생물량은 7월을 제외하고 수온이 상승하는 5~9월까지 높게 나타났으며, 이후 점차 감소하다가 수온 상승과 함께 다시 증가하였다(Fig. 3). 이처럼 해조류 생물량의 월별 변화는 함평만 해역의 수온과 밀접한 관계가 있으나, Ohno and Miyanoue (1980)는 가시파래의 생산량이 추계와 동계에 강수량이 적고 수온이 낮을수록 생산량이 증가한다고 기재하여, 가시파래의 성장, 나아가 생산량은 다양한 환경요인과 관련이 있을 것으로 판단된다.

또한, Yoon *et al.* (2000)은 녹조류 가시파래는 일년생 해조류로서 수온이 낮은 11월 경에 성장하고 15°C 이상의 수온에서 유주자를 형성 및 방출하므로 지속적인 성장을 위해서는 그 이하의 수온이 필요하고 최적 수온은 10°C라고 하였다. 본 연구에서 4~5월의 빠른 성장 후, 6월과 8월에 최대 생물량을 나타냈으며, 7월에는 여름철의 태풍으로 인하여 가시파래가 갯벌에서 탈락되어 이동한 것으로 보인다. 또한, 가입리 가시파래의 생물량은 수온이 낮아지는 11월에 감소하기 시작하여 수온이 상승하는 6월부터 번무하는데, Kang (1968)이 주장한 계절적 성장 패턴과 유사하

게 나타났다. 하지만 자연상태에서는 기존에 번무하던 염채들은 쇠퇴하지 않고 연구 기간 동안 생육하기도 하였다(Fig. 4).

적 요

2008년 4월부터 2009년 3월까지 1년간 우리나라 서남해안 함평만의 도리포에서는 조간대의 해조류 식물 군집과 가입리에서는 식용 해조류 가시파래의 월별 변동성을 매월 조사하였다. 조사된 해조류는 총 22종이었으며, 녹조류 5종, 갈조류 4종 그리고 홍조류 13종이었다. 함평만 도리포 암반 조간대에서 연간 우점하는 해조류는 구멍갈파래였고, 준 우점종은 잎파래와 애기가시덤불이었다. 조간대 상부에서 하부에 이르는 수직분포는 잎파래 - 애기가시덤불 - 구멍갈파래 - 지층이었다. 가시파래의 생물량은 6월에 최대를 보였고 11월에 최소를 보였으며, 2.4~98.2 g dry wt. m⁻² 범위를 나타냈다. 가시파래의 생물량은 수온과 연관이 있어 보이지만 영양염류 및 빛의 강도 같은 기타 환경요인과의 관계는 추후 지속적인 연구가 요구된다.

사 사

이 논문은 2008년 환경부의 장기생태연구 지원에 의하여 수행되었습니다.

REFERENCES

- Barbour MG, JH Burk and WD Pitts. 1987. Terrestrial Plant Ecology. Benjamin/Cummings Publishing Company. San Francisco, CA. p. 634.
- Han SJ, JH Lee, DV Jeon, JC Oh, BY Kim, SK Park, HG Choi and KW Nam. 2014. Seasonal variation in macroalgal community structure around the Byeonsan Peninsula, Korea. Korean J. Fish. Aquat. Sci. 47:274-282.
- Hwang EK, CS Park, CH Sohn and NP Koh. 1996. Analysis of functional form groups in macroalgal community of Yonggwang vicinity, western coast of Korea. J. Korean Fish. Soc. 29:97-106.
- Kang CK, JB Bim, KS Lee, JB Kim, PY Lee and JS Hong. 2003. Trophic importance of benthic microalgae to macrozoobenthos in coastal bay systems in Korea: dual stable C and N isotope analyses. Mar. Ecol. Prog. Ser. 259:79-92.
- Kang JW. 1968. Illustrated Encyclopedia of Fauna & Flora of Korea, Vol. 8, Marine Algae. Samhwa Press. Seoul.
- Krumme U, H Keuthen, M Barletta, U Saint-Paul and W Villwock. 2008. Resuspended intertidal microphytobenthos as major diet component of planktivorous Atlantic anchoveta *Cetengraulis edentulus* (Engraulidae) from equatorial mangrove creeks. Ecotropica 14:121-128.
- Lee IK and JW Kang. 1986. A check list of marine algae in Korea. Korean J. Phycol. 1:311-325.
- Lee YP and SY Kang. 2002. A Catalogue of the Seaweeds in Korea. Cheju National University Press. Jeju, Korea.
- Oh BG, JW Lee and HB Lee. 2005. Summer marine algal vegetation of uninhabited islands in Sinangun, southwestern coast. Algae 20:53-59.
- Ohno M and K Miyanoue. 1980. The ecology of the food alga, *Enteromorpha prolifera*. Rep. USA Mar. Biol. Inst. 2:11-17.
- Park CS, MY Wee and EK Hwang. 2007. Summer algal flora of uninhabited islands in Dochodo, southwestern coast of Korea. Algae 22:305-311.
- Park CS, KW Lee, YS Cho, GB Kim, JG Oh and EK Hwang. 2009. Summer algal flora of Dadohae National Park, Southwestern coast of Korea. Korean J. Environ. Biol. 27:252-260.
- Park CS and EK Hwang. 2011. An investigation of the relationship between sediment particle sizes and the development of green algal mats (*Ulva prolifera*) on the intertidal flats of Muan, Korea. J. Appl. Phycol. 23:515-522.
- Park CS, KY Park and EK Hwang. 2012. Algal flora of Huido tidal flats in the southwestern coast of Korea. Korean J. Environ. Biol. 30:193-199.
- Park SK, BY Kim, HG Choi, JS Oh, SO Chung, KH An and KJ Park. 2013. Seasonal variation in species composition and biomass of microphytobenthos at Jinsanri, Taean, Korea. Korean J. Fish. Aquat. Sci. 46:176-185.
- Saito Y and S Atobe. 1970. Phytosociological study of intertidal marine algae. 1. Usujiri Benten-Jima, Hokkaido. Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ. 21:37-67.
- Underwood GJC and J Kromkamp. 1999. Primary production by phytoplankton and microphytobenthos in estuaries. Adv. Ecol. Res. 29:93-153.
- Yoo HI, JS Heo and HG Choi. 2015. Seasonal variability of marine alga flora and community structure at Gumgap, Jindo, on the Southwestern coast of Korea. J. Fish. Mar. Sci. Edu. 27:300-307.
- Yoon JT, YC Cho, MH Yang and KJ Kim. 2000. Developmental morphology and reserve substances on *Enteromorpha prolifera* (Müller) J. Agardh, Chlorophyta in Korea. Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Inst. Kor. 58:102-113.
- Yoon JT, YC Cho and YG Gong. 2003. A study on the cultivation of *Enteromorpha prolifera* (Müller) J. Agardh, Chlorophyta in Korea. J. Aquacult. 16:44-50.