

한국산 진두발, *Chondrus ocellatus*의 생장과 질병에 대한 연구

이순정 · 박명애 · 이벨* · 박서경* · 김희경** · 김영식*** · 최한길*†

국립수산물품질관리원 수산생물방역과, *원광대학교 생명과학부,

원광대학교 식품영양학과, *군산대학교 해양생물공학과

A Study on the Growth and Disease of *Chondrus ocellatus* in Korea

Soon Jeong Lee, Myoung-Ae Park, Cyr Abel Ogandaga-Maranguy*, Seo Kyoung Park*,
Hoikyung Kim**, Young Sik Kim*** and Han Gil Choi*†

Aquatic Life Disease Control Division, NFRDI, Busan 619-705, Korea

*Faculty of Biological Science, Wonkwang University, Iksan, Jeonbuk 570-749, Korea,

**Department of Food and Nutrition, Wonkwang University, Iksan, Jeonbuk 570-749, Korea,

***Department of Marine Biotechnology, Kunsan National University, Kunsan 573-701, Korea

The growth, reproduction, gametophyte(G)/tetrasporophyte(T) ratio, and diseases of *Chondrus ocellatus* populations were examined at 3 sites (Samcheok, Youngduk, Pohang) of East coast and at 2 sites (Hakampo, Manripo) of West coast in between July and August, 2013. Average plant lengths were 6.10~9.69 cm and it was minimum at Manripo and maximum at Pohang population. In general, average plant length and weight of *C. ocellatus* were greater on East coast than West coast populations. The proportion of vegetative plant was between 26.7~66.7 %, and G/T ratio of total plants including vegetative plants after testing resorcinol method was 3:2 on the East coast where is gametophyte dominant area. However, G/T ratio was 1:1 at Hakampo and 1:2.3 at Manripo representing tetrasporophyte dominance. In the present study, Korean *C. ocellatus* have various diseases (white colour and green colour), an endophytic alga(*Ulvella* sp.), and many epiphytic macroalgae and diatoms. Healthy *C. ocellatus* plants were about 20~40 % in summer population and most of plants had disease. *Chondrus ocellatus* had a filamentous green alga, endophytic *Ulvella* sp. which was not identified. The endophyte is easily observed in *C. crispus* growing in Europe and Canada and it is recognised as a pathogen destroying population and reducing yield of *C. crispus*. Thus more interest and research on the endophytic algae and disease of *C. ocellatus* are required.

Key words : *Chondrus ocellatus*, Disease, Endophyte, Growth

해조류는 일차생산자, 생물지표자, 생물여과자의 생태학적 기능을 가지며 인간에게는 식용, 의약품, 화장품, 해조산업과 바이오에탄올의 원료로서 관심이 증대하고 있다(Vasquez and Guerra, 1996; Orfanidis

et al., 2001; Arévalo *et al.*, 2007; Tribollet and Vroom, 2007). 하지만, 인간 활동으로 인한 환경오염과 지구 온난화에 의한 수온 상승, 해양산성화 및 해조류 질병 증가는 연안역에서 해조류 종다양성과 생물량 감소를 초래하고 있다(Orfanidis *et al.*, 2001; Arévalo *et al.*, 2007).

†Corresponding author: Han Gil Choi

Tel: +82. 63. 850. 6579, Fax: +82. 63. 857. 8837

E-mail: hgchoi@wku.ac.kr

해조류 질병 연구는 Andrews(1976)에 의해 최초로 시작되었으며, 이후 다양한 분류군에서 병리 연구(Correa and Flores, 1995; Largo et al., 1995; Craigie and Correa, 1996; Largo et al., 1998)가 수행되었다. 질병 원인균에 대한 분자생물학적 동정과 정량적 연구 등으로 전문화되고 있으나 다른 수산생물에 비해 초보적 수준이다(Narita et al., 2001; Park et al., 2001a; 2001b; 2006; Hattori et al., 2007). 또한, 해조류 질병 연구는 한국, 중국과 일본의 연구자에 의해 양식 대상 종인 김(*Porphyra* spp.), 미역(*Undaria pinnatifida*), 꼬시래기류(*Gracilaria* spp.)와 다시마류(*Laminaria* spp.)에서 주로 이루어졌으나, 최근에는 동남아시아에서 상업종인 *Kappaphycus* spp.와 *Eucheuma*의 ice-ice 질병에 대한 연구가 증가하는 추세이다(Amano et al., 1995; Largo, 2002; Butardo et al., 2003). 우리나라에서 해조류 질병에 관한 연구는 김, 미역, 다시마와 같은 양식종에 한정되어 수행되었으나 정보가 부족한 실정이다(Kang and Koh, 1977; Park et al., 2009). 해조류의 질병은 양식 대상종의 수확량 감소와 상품성 하락 등 어업인의 소득감소와 직결되기 때문에 많은 정보와 연구자가 시급하게 요구되는 상황이다.

진두발(*Chondrus*) 속(genus)은 동형 삼상세대 교번을 하는 다년생 홍조류로서 온대와 냉온대 해역에 넓게 분포하고 있으며(Lüning, 1985), 젤리와 음식물의 안정제인 카라기난(carrageenans)의 원료를 생산하는 해조류로서, 상업적인 중요성 때문에 생리·생태학적 연구가 많이 수행되었다(Chopin and Floch, 1987; Bates and Craigie, 1988; Taylor and Chen, 1994; Garbary et al., 2011). 유럽에서 “Irish moss”라고 불리는 주름진두발(*Chondrus crispus*)은 북대서양에 널리 분포하며, 반수체(haploid)인 암·수배우체는 kappa(κ)-와 iota-카라기난을 합성하고 사분포자체(배수체, diploid)는 lambda(λ)-카라기난을 생산하여 생활사에 따라 생화학적물질이 다르게 나타났다(McCandless et al., 1973; Chopin et al., 1987; Zabackis

et al., 1991; Garbary et al., 2011; McLachlan et al., 2011). 배우체와 포자체의 카라기난 성분이 다른 점을 이용한 acetal-resorcinol 실험으로 진두발의 영양체(vegetative plant)를 사분포자체와 배우체로 구분하여 개체군 연구에 이용되고 있다(Craigie and Leigh, 1978). Bouarab et al. (2001)은 *C. crispus*를 숙주로 서식하는 내생조류인 녹조류 *Acrochaete operculata*는 λ -카라기난을 함유한 사분포자체에 쉽게 감염되며, κ -카라기난을 가지는 배우체는 저항성이 있다고 하였다. 프랑스의 해조산업에서 카라기난 원료로서 중요한 *C. crispus* 배우체의 야외개체군은 과도한 수확으로 지속적으로 감소하여(Braud and Delepine, 1981), 빠른 생장을 보이는 배우체 선택 연구(Guiry, 1981)와 원형질체 생산을 위한 연구가 수행되었다(Gall et al., 1990). 진두발(*Chondrus ocellatus*)은 한국, 일본, 중국과 대만 해안에 주로 분포하며(Taylor and Chen, 1994), 생활사, 형태와 생장에 대한 연구가 일부 수행되었다(Ji and Guo, 1992; Brodie et al., 1993; Li et al., 1994). 한국에서 진두발은 파도 노출이 중간 정도인 해안의 조간대 하부에 번무하며(Kang, 1968), 진두발의 야외개체군의 생장과 성숙에 관한 생물계절학적 연구(Kim et al., 2006)와 진두발 추출물은 항혈액응고 성분을 가진다는 연구가 있다(Choi and Kim, 1999).

따라서, 본 연구는 해조 콜로이드 산업의 중요한 부분을 차지하는 카라기난을 생산하는 원료 해조류인 진두발의 미래 양식을 위한 정보를 제공하기 위하여, 1) 우리나라 동해안과 서해안에 서식하는 진두발 야외개체군의 여름철 생장 비교, 2) 종묘생산을 위한 진두발의 성숙 비율, 3) 서로 다른 카라기난을 가지는 사분포자체와 배우체 비율 비교, 4) 진두발의 질병 현황과 빈도에 대한 자료를 확보할 목적으로 수행되었다.

재료 및 방법

본 연구를 위해 진두발은 동해안 3개 정점(삼척, 포항, 영덕)과 서해안의 2개 정점(학암포와 만리포)의 조간대 하부에서 2013년 7-8월에 간조시에 조체별로 50 cm 이상의 간격을 두고 채집하였다(Fig. 1).

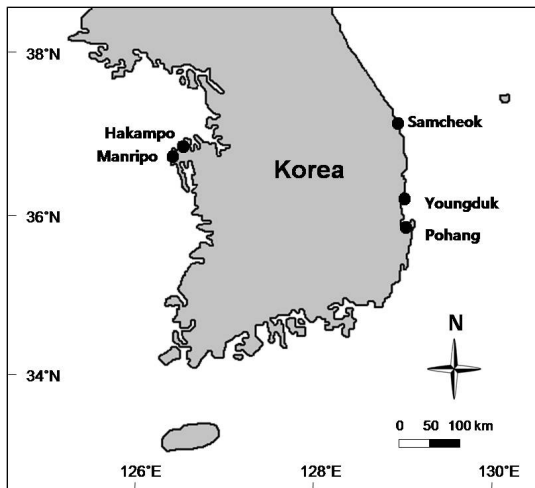


Fig. 1. Collection sites of *Chondrus ocellatus* for this study.

생장과 생식상태

정점별로 진두발 30개체를 무작위로 선택하여 조체별 길이와 무게(습중량)를 측정 후, 생식상태를 낭과를 가진 과포자체, 사분포자낭을 사분포자체와 생식기관이 발달하지 않은 영양체로 구분하였다. 야외개체군에서 다른 형태의 카라기난을 함유한 배우체(암·수)와 포자체의 비율이 정점에 따라 다르게 나타나는지를 확인하기 위하여 영양체로부터 확보한 원형디스크(지름 2 cm)의 수분을 제거하고 Lazo et al. (1989)의 방법에 따라 acetal-resorcinol test를 실시하여 κ -카라기난을 포함하고 있어서 붉은색(red)과 λ -카라기난을 세포벽에 가짐으로써 분홍색(pink)을 보이는 사분포자체로 분류하였다.

질병 현황

진두발 개체군별로 50개체를 무작위로 선택하여 육안으로 외부형태를 관찰하여 질병유무를 확인하였고 해부현미경하에서 질병 의심개체를 관찰하고 질병별 개체수를 계수하였다. 내생조류(endophyte)는 면도날로 진두발 조직을 얇게 절편 한 후 광학현미경으로 관찰하였고 사진촬영을 실시하였다. 또한, 진두발의 착생해조류(epiphyte)는 현미경 하에서 동정하였으며, 출현종의 학명 및 국명은 Lee and Kang (2002)에 따랐다.

결 과

생 장

여름철 진두발의 정점별 평균 체장은 6.10~9.69 cm ($n=30$ plants)로서 만리포에서 최소였고 포항에서 최대 길이생장을 보였다(Fig. 2A). 진두발의 최대 체장은 동해안의 삼척에서 13.20 cm, 영덕에서 15.10 cm, 포항에서 22.10 cm였으며, 서해안의 학암포에서 10.40 cm, 만리포에서 12.10 cm로 측정되어 동해안 개체가 서해안 진두발에 비해 큰 것을 확인하였다.

진두발의 평균 무게(습중량)는 정점별로 1.48~8.40 g ($n=30$ plants)이었으며(Fig. 2B) 만리포에서 최소였고 영덕에서 최대였다. 금번에 조사한 150개 개체에서 가장 작은 개체는 0.03 g이었고 최대 습중량은 영덕에서 채집된 개체로 80.05 g을 나타냈다. 동해안 진두발의 평균 습중량은 5.62~8.40 g ($n=30$)로서 서해안 학암포의 2.45 g과 만리포의 1.48에 비해 최대 4배 이상 높은 것으로 확인되었다(Fig. 2).

생식 상태

동해안 진두발 개체군의 영양체의 비율은 33.3~66.7 %였으며(Table 1), 서해안의 만리포는 26.7 %, 그리고 학암포는 40.0 %로서 정점별 차이를 보였으며, 사분포자체는 동해안 포항에서 최대 33.3 %였으

Table 1. The number of plant and percentage(%) of reproductive plants in *Chondrus ocellatus* populations collected on the rocky shores of East and West coasts, Korea

Reproduction	East Sea			West Sea	
	Samcheok	Youngduk	Pohang	Hakampo	Manripo
Tetrasporic	7(23.3%)	7(23.3%)	10(33.3%)	11(36.7%)	14(46.7%)
Caposporic	12(40.0%)	3(10.0%)	10(33.3%)	7(23.3%)	8(26.7%)
Vegetative	11(36.7%)	20(66.7%)	10(33.3%)	12(40.0%)	8(26.7%)
Total	30(100.0%)	30(100%)	30(100%)	30(100%)	30(100%)

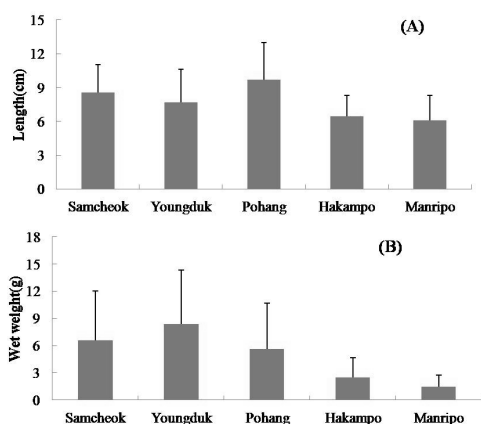


Fig. 2. Average plant length (A) and weight (B) of *Chondrus ocellatus* sampled East and West coasts in between July and August 2013 (mean $\pm$ SD, n=30 plants).

나, 서해안에서는 학암포와 만리포에서 36.7 %와 46.7 %로 서해안에서 높게 나타났다. 과포자체는 삼척에서 12개체(40.0 %)로 최대였으며 영덕에서 가장 적게 관찰되었다.

생식기관을 확인할 수 없는 영양체를 acetal-resorcinol test로 사분포자체와 배우체로 구분하면, 동해안 진두발 개체군은 배우체가 60.0~66.7 %로서 사분포자체(33.3~40.0 %)에 비해 우점하였다. 하지만, 서해안의 진두발 개체군에서 사분포자체 비율(만리포 70.0 %, 학암포 53.3 %)은 배우체 비율(만리포 30.0 %, 학암포 46.7 %)에 비해 높게 나타났다(Fig. 3).

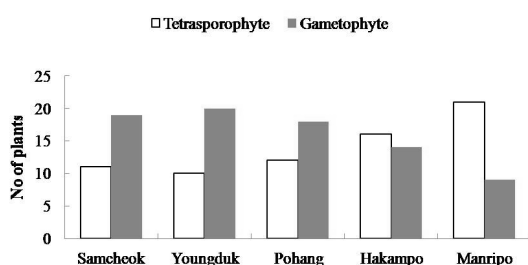


Fig. 3. Plant number of tetrasporophyte and gametophyte in *Chondrus ocellatus* populations sampled on East and West coasts in between July and August 2013 (n=30 plants).

질병 현황

진두발의 여름철 개체군별 50개체 중에서 건강한 조체는 11~21개체(22.0~42.0 %)였으며, 질병에 감염된 개체는 29~39개체(58.0~78.0 %)로서 높게 나타났다(Fig. 4, Table 2). 진두발 개체군에서 관찰되는 질병은 검은반점(black spot), 녹색반점(green spot), 녹색증(green colour), 백색증(white colour)로서 연구 정점에 따라 다르게 나타났으며, 서해안 만리포에서 채집개체의 56.0 %가 검은반점을 나타냈으며, 학암포 개체의 32.0 %는 검은반점과 녹색증을 가지고 있었다. 동해안의 삼척, 영덕, 포항 개체군에서 질병 조체의 대부분이 검은반점을 가지는 것으로 확인되었다(Table 2).

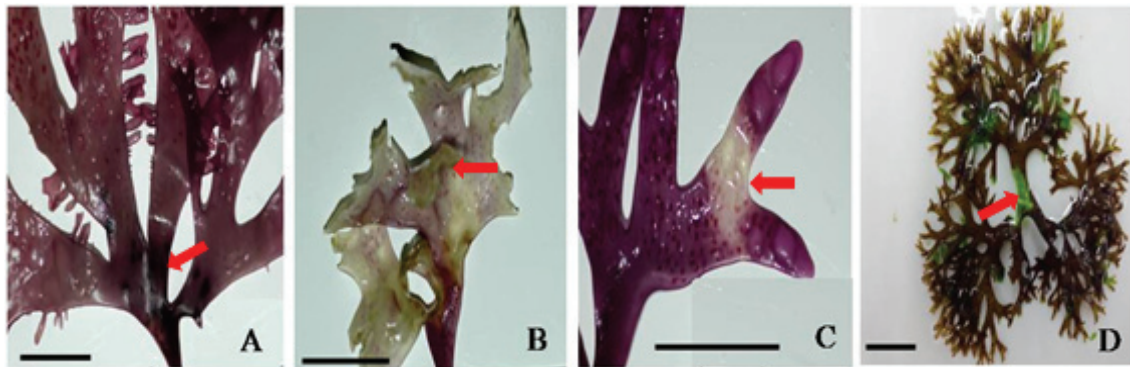


Fig. 4. Diseases of *Chondrus ocellatus*: A, Black spot; B, Green spot; C, White colour; D, Green colour. Scale bars represent 2 cm.

Table 2. The number and percentage (%) of healthy and infected plants in *Chondrus ocellatus* populations collected on the rocky shores of East and West coasts, Korea. Infected plants were classified into six groups

State	East Sea			West Sea	
	Samcheok	Youngduk	Pohang	Hakampo	Manripo
Healthy plants	19(38.0%)	21(42.0%)	11(22.0%)	16(32.0%)	11(22.0%)
Infected plants	31(62.0%)	29(58.0%)	39(78.0%)	34(68.0%)	39(78.0%)
Black spot(BS)	10(20.0%)	17(66.7%)	16(32.0%)	7(40.0%)	28(56.0%)
Green spot(GS)	3(20.00%)	-	14(28.0%)	4(8.0%)	2(4.0%)
Green colour(GC)	8(16.0%)	11(22.0%)	-	2(4.0%)	6(12.0%)
White colour(WC)	1(2.0%)	1(2.0%)	-	5(10.0%)	3(6.0%)
BS+GS	5(10.0%)	-	9(18.0%)	-	-
BS+GC	4(8.0%)	-	-	16(32.0%)	-
Total	50(100.0%)	50(100.0%)	50(100.0%)	50(100.0%)	50(100.0%)

-, no plant

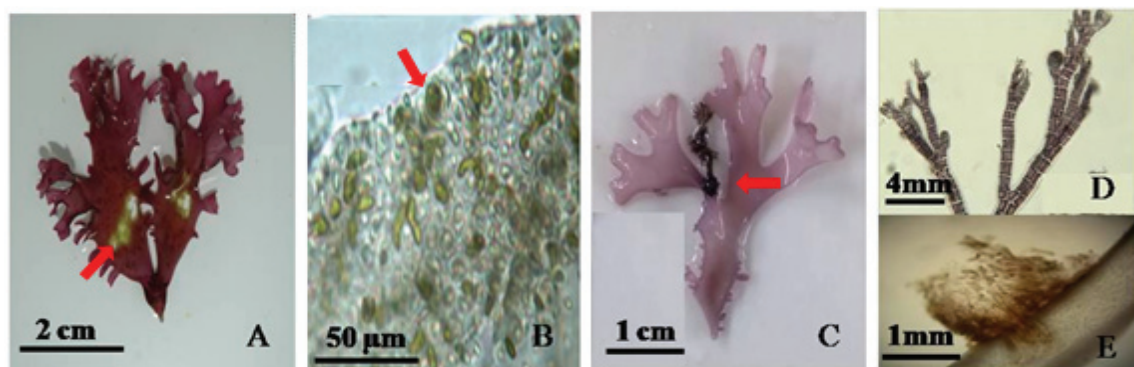


Fig. 5. *Chondrus ocellatus* with endophytic alga, *Ulvela* sp. (A, B) and epiphytic alga, *Polysiphonia* sp. (C-E).

진두발에서 내생조류에 감염되면 엽체가 녹색으로 변화하였으며, 녹색으로 탈색된 개체에서 내생조류로 판단되는 사상형 녹조류 *Ulvella* sp.가 관찰되었다(Fig. 5). 내생조류의 숙주에 대한 감염과정과 진두발의 생존과 성장에 미치는 영향은 좀더 심도깊은 연구가 있어야 할 것으로 사료된다. 진두발에서 착생하여 서식하는 해조류는 붉은실류(*Polysiphonia* sp.), 분홍요류(*Acorosorium* sp.), 잇바디가지류(*Herpochondria* sp.), 애기가지덤불(*Caulacanthus okamurae*), 나룻말류(*Acrochaetium* sp.), 초록실(*Ulothrix flacca*)이었으며 규조류도 관찰되었다.

고 찰

한국 연안에 서식하는 진두발(*C. ocellatus*)의 길이와 습증량은 개체군에 따라 다르게 나타났다. 동해안의 삼척, 영덕, 포항의 진두발 개체군이 서해안의 만리포와 학암포 개체군에 비해 생장이 좋았다. 진두발은 카라기난을 생산하는 상업종인 주름진두발(*C. crispus*)과 같은 속(genus)에 속하는 종으로서 이들의 길이 성장과 무게는 단위면적당 생산량과 관련되므로 카라기난 산업에 매우 중요한 정보이다. 포항의 진두발은 최대 길이 22.10 cm까지, 영덕에서 채집한 개체는 80.05 g까지 성장하므로 향후 진두발 양식의 모조를 확보할 때 이곳의 모조를 사용하는 것이 생산량을 높이는 방법이다. 주름진두발의 양식에서 생산량을 증대를 위한 최적 성장 조건 탐색을 위한 배양연구(Simpson and Shacklock, 1979)가 수행되었으며, Guiry (1981)는 다양한 계통(strain)의 성장을 비교하여 빠른 성장을 보이는 암배우체 “T4”를 확보하였다.

한국산 진두발은 영덕 개체군을 제외하고 동해안의 삼척과 포항, 그리고 서해안의 학암포와 만리포에서 60% 이상의 개체가 생식기관을 가지고 있어 여름철이 성숙시기로 사료된다. Kim et al. (2006)은 부산 청사포의 진두발 개체군의 성숙에 대한 1년간의 월

별 연구에서 8월에 64 %의 엽체가 성숙한 것으로 기록되어 본 연구와 유사하였다. 영양체를 acetal-resorcinol test를 실시한 결과, 동해안의 3개 진두발 개체군은 배우체와 사분포자체 비율이 1.7:1로 나타났으나, 서해안의 경우에는 학암포에서 1:1.1, 만리포에서 1:2.3로서 동해안에서는 배우체가, 서해안에서는 사분포자체가 우점하는 것으로 나타났다. 주름진두발(*C. crispus*)의 배우체는 상업적으로 중요한 젤리처럼 굳어지는 κ -카라기난을 포함하지만, 사분포자체는 점성을 가지며 굳지 않는 λ -카라기난을 세포벽 물질로 가지고 있어서 생활사 단계를 파악하는 것이 중요하다. 동해안의 경우에는 상업적으로 중요한 배우체가 서해안에 비해 높게 나타났는데, 캐나다의 Prince Edward 섬에서는 배우체가 49~68 %정도로 사분포자체에 비해 약간 높게 나타났다(Lazo et al., 1989). Craigie and Pringle (1978)은 캐나다의 동일한 섬의 다른 지역에서 배우체가 70~80 %를 차지한다고 하였으며, 캐나다의 Nova Scotia의 Tor Bay에서 1994년에 배우체와 사분포자체 비율은 3:1이라고 하였으며(Scrosati et al., 1994), 2011년에는 지역에 따라 1:1에서 9:1까지 배우체가 우점한다고 하였다(Garbaray et al., 2011). 하지만, Lindgren and Åberg (1996)는 스웨덴의 해양과 기수지역의 진두발 개체군은 사분포자체와 배우체의 비율이 1:1이라고 하였다. 따라서, 진두발의 배우체와 사분포자체 비율은 해역과 생활사에 따라 다르게 나타나지만, 야외개체군에서 배우체가 사분포자체에 비해 우점하였다. 이러한 이유는 사분포자체가 배우체에 비해서 내생해조류와 병원체 감염이 쉽고 섭식압이 높기 때문이라고 하였다(Bouarab et al., 2001; McLachlan et al., 2011). 하지만 환경적 스트레스 지역, 즉 기질(substratum)이 불안정한 해역에서는 사분포자체와 배우체 비율이 1:1로 유사하다고 하였다(Lazo et al., 1989). 본 연구에서 서해안 태안반도의 학암포와 만리포에서 배우체와 사분포자체의 비율이 1:1.1과 1:2.3로 동해안의 1.7:1

과 다르게 나타나는 원인을 말하는 것은 많은 연구가 필요하겠지만, 서해안은 수심이 얇고 갯벌이 많아서 퇴적물을 포함한 부유물질이 많아 동해안에 비해서 환경이 안정되지 않았기 때문이 아닌가 사료된다.

우리나라 연안에 서식하는 진두발의 개체군에서 현재까지 질병에 관한 기록이 없었으나, 본 연구에서 검은반점, 녹색반점, 녹반증, 백반증이 엽체에서 관찰되었으며, 내생조류(endophytic algae)와 다양한 착생조류가 서식하고 있는 것으로 밝혀졌다. 여름철의 진두발은 건강한 조체(22.0~42.0 %)에 비해 질병을 가진 개체는 58.0~78.0 %로서 높았다. 주름진두발에서 3종의 내생녹조류가 관찰되어 분리하였으며 (Bown et al., 2003), Bouarab et al. (2001)은 *Chondrus crispus-Acrochaete operculata*를 숙주 병원체(host-pathogen)의 관계로 언급하였고 사분포자체가 배우체에 비해 쉽게 감염된다고 하였다. 본 연구에서 관찰된 사상형 녹조류인 *Acrochaete* 속(genus)은 현재 *Ulvella* 속의 동종이명(synonym)으로 여겨지고 있으므로(Guiry and Guiry, 2013), 진두발에서 확인된 종은 *Ulvella* sp.로서 유럽과 캐나다에서 발견되는 병원체인 내생조류가 한국산 진두발에서 관찰되었으므로 종 동정, 감염 경로 및 배우체가 사분포자체에 비해 감염에 대한 저항성이 있는지 등에 관한 자세한 연구가 필요하다. 마지막으로 진두발에서 다양한 착생 해조류와 규조류가 관찰되었는데 이들에 대한 계절적 종다양성과 풍도에 대한 연구가 요구된다.

요 약

동해안의 3개 정점(삼척, 영덕, 포항)과 서해안의 2개 정점(학암포, 만리포)에서 여름철(7, 8월)에 진두발을 채집하여 성장, 성숙, 배우체와 사분포자체 비율 및 질병에 대한 연구를 실시하였다. 진두발의 체장은 개체군별로 평균 6.10~9.69 cm였으며 만리포에서 최소였고 포항에서 최대로서 동해안 개체가 서해

안 개체에 비해 큰 것으로 확인되었다. 개체가 서해안 진두발에 비해 큰 것을 확인하였다. 진두발 개체군의 영양체 비율은 26.7~66.7 %였으며, 영양체를 resorcinol 방법으로 구분한 후 배우체:사분포자체 비율은 동해안에서 1.7:1로 배우체가 우점하였고 서해안에서는 학암포에서 1:1.1, 만리포에서 1:2.3로서 포자체가 번무하였다. 본 연구에서 한국산 진두발은 다양한 질병(백색증과 녹반증 등), 내생조류와 착생조류를 가지고 있었으며, 여름철의 진두발은 건강한 조체는 20~40 %로서 많은 개체가 질병을 가지고 있었다. 진두발은 현재까지 동정되지 않은 사상형 녹조류인 내생하는 *Ulvella* sp.를 가지고 있었다. 이러한 내생조류는 유럽과 캐나다의 주름진두발에서 관찰되는 감염성 병원체로서 보다 많은 관심과 연구가 요구된다.

감사의 글

본 연구는 국립수산물과학원의 지원(RP-2013-AQ-217)으로 수행되었습니다.

참고문헌

- Andrews, J.H.: The pathology of marine algae. Biol. Rev., 51: 211-253, 1976.
- Arévalo, R., Pinedo, S. and Ballesteros E.: Changes in the composition and structure of Mediterranean rocky-shore communities following a gradient of nutrient enrichment: Descriptive study and test of proposed methods to assess water quality regarding macroalgae. Mar. Poll. Bull., 55: 104-113, 2007.
- Amano, H., Suganaga, R., Arashim, K. and Noda, H.: Immunological detection of the fungal parasite,

- Pythium* sp.-the causative organism of red rot disease in *Porphyra yezoensis*. J. Appl. Phycol., 7: 53-58, 1995.
- Bates, S.S. and Craigie, J.S.: Fluorescence induction in the macroalgae *Chondrus crispus* (Rhodophyceae) and *Ulva* sp. (Chlorophyceae), Mar. Biol., 98: 457-466, 1988.
- Bown, P., Plumb, J., Sanchez-Baracaldo, P., Hayes, P.K. and Brodie, J.: Sequence heterogeneity of green (Chlorophyta) endophytic algae associated with a population of *Chondrus crispus* (Gigartinales, Rhodophyta). Eur. J. Phycol., 38: 153-163, 2003.
- Bouarab, K., Potin P., Weinberger F., Correa J. and Kloareg, B.: The *Chondrus crispus*-*Acrochaete operculata* host-pathogen association, a novel model in glycobiology and applied phycopathology. J. Appl. Phycol., 13: 185-193, 2001.
- Braud, J.P. and Delepine, R.: Growth response of *Chondrus crispus* (Rhodophyta Gigartinales) to light and temperature in laboratory and outdoor tanks culture, pp. 553-558. In T. Levring (ed.) Proc. 10th Int. Seaweed Symp., Goteborg. W. de Gruyter, Berlin-New York, 1981.
- Brodie, J., Guiry, M. D. and Masuda, M.: Life history, morphology and crossability of *Chondrus ocellatus* forma *ocellatus* and *C. ocellatus* forma *crispoides* (Gigartinales, Rhodophyta) from the north-western Pacific, Eur. J. Phycol., 28: 183-196, 1993.
- Butardo, V.M., Ganzon-Fortes, E.T., Silvertre, VA., Bacano-Maningas, M.B.B., Montano, M.N.E. and Lluisma, A.O.: Isolation and classification of culturable bacteria associated with ice-ice disease in *Kappaphycus* and *Eucheuma* (Rhodophyta, Solieriaceae). Philipp. Schient., 40: 223-237, 2003.
- Choi, Y. and Kim, S.K.: Anticoagulant properties of carrageenans from *Chondrus ocellatus*. Proceedings of 1999 Spring Joint Meeting of the Korean Societies on Fisheries Science, pp. 151-152, 1999.
- Chopin, T., Bodeau-Bellion, C., Floch, J.Y., Guittet, E. and Lallemant, J.Y.: Seasonal study of carrageenan structures from female gametophytes of *Chondrus crispus* Stackhouse (Rhodophyta). Hydrobiologia, 151/152: 535-539. 1987.
- Correa, J.A. and Flores, V.: White rot disease in *Gracilaria chilensis*. J. Appl. Phycol., 7: 421-427, 1995.
- Craigie, J.S. and Correa, J.A.: Etiology of infectious diseases in cultivated *Chondrus crispus* (Gigartinales, Rhodophyta). Hydrobiologia, 326/327: 97-104, 1996.
- Craigie, J.S. and Leigh, C. Carrageenans and agars.: In Handbook of Phycological Methods: Physiological and Biochemical Methods, pp.109-131, Eds., Hellebust, J.A. and Craigie, J.S., Cambridge University Press, Cambridge, 1978.
- Craigie, J. S. and Pringle, J. D.: Spatial distribution of tetra-sporophytes and gametophytes in four maritime populations of *Chondrus crispus*. Can. J. Bot., 56: 2910-2914, 1978.
- Gall, Y.L., Braud, J. and Kloareg, B.: Protoplast production in *Chondrus crispus* gametophytes (Gigartinales, Rhodophyta). Plant Cell Reports, 8: 582-585, 1990.
- Garbary, D.J., Tompkins, E., White, K., Corey, P. and Kim, J.K.: Temporal and spatial variation in the distribution of life history phases of

- Chondrus crispus* (Gigartinales, Rhodophyta). *Algae*, 26: 61-71, 2011.
- Guiry, M.D.: *Chondrus crispus* Stackhouse 'T4' is a male clone (Rhodophyta). *Phycologia*, 20: 438-439, 1981.
- Guiry, M.D. and Guiry, G.M.: *Algae Base*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <http://www.algaebase.org>: 2013.
- Hattori, K., Kamohara, S., Harada, Y. and Kakinuma, M.: Detection of zoospores of the red rot disease fungus *Pythium porphyrae* by PCR in seawater from *Porphyra* cultivation farms at Aichi prefecture [Japan] in 2004 and 2005. *Aqu. Sci.*, 55: 483-487, 2007.
- Ji, Y. and Guo, J.: The effect of temperature on the growth and development of *Chondrus ocellatus*. *J. Dalian Fish. Coll. Dalian Shuichan Xueyuan Xuebao*, 7: 32-37, 1992.
- Kang, J.W.: *Illustrated Encyclopedia of Fauna & Flora of Korea Vol. 8. Marine Algae*. Sam Hwa Press, Seoul, pp.465, 1968.
- Kang, J.W. and Koh, N.P.: *Seaweed Cultivation*. Tae Hwa Press, Pusan, pp. 294, 1977.
- Kim, Y.S., Choi, H.G. and Nam, K.W.: Phenology of *Chondrus ocellatus* in Cheongsapo near Busan Korea. *J. Appl. Phycol.*, 18: 551-556, 2006.
- Largo, D.B.: Recent developments in seaweed diseases. In *Proceedings of the National Seaweed Planning Workshop*, pp. 35-42, Eds., Hurtado, A.Q., Guanzon, N.G., de Castro-Mallare, T.R. and Luhan, M.R.J., SEAFDEC Aquaculture Department, Tigbauan, Iloilo, 2002.
- Largo, D.B., Fukami, K., Nishijima, T. and Ohno, M.: Laboratory-induced development of the ice-ice disease of the farmed red algae *Kappaphycus alvarezii* and *Eucheuma denticulatum* (Solieriaceae, Gigartinales, Rhodophyta). *J. Appl. Phycol.*, 7: 539-543, 1995.
- Largo, D.B., Fukami, K., Adachi, M. and Nishijima, T.: Immunofluorescent detection of "ice-ice" disease-promoting bacterial strain *Vibrio* sp. P11 of the farmed macroalga, *Kappaphycus alvarezii* (Gigartinales, Rhodophyta). *J. Mar. Biotechnol.*, 6: 178-182, 1998.
- Lazo, M.L., Greenwell, M. and McLachlan, J.: Population structure of *Chondrus crispus* Stackhouse (Gigartinaceae, Rhodophyta) along the coast of Prince Edward Island, Canada: distribution of gametophytic and sporophytic fronds. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 126: 45-58, 1989.
- Lee, Y.P. and Kang, S.Y.: *A Catalogue of the Seaweeds in Korea*. pp. 1-366, Cheju National University Press, Cheju, 2002.
- Lindgren, A. and Åberg, P.: Proportion of life cycle stages of *Chondrus crispus* and its population structure: A comparison between a marine and an estuarine environment. *Bot. Mar.*, 39: 263-268, 1996.
- Li, X., Jiang, Q., Lu, J. and Tao, W.: A description of *Chondrus ocellatus* Holmes and its variation in Bay of Liadong Peninsula. *J. Dalian Fish. Coll. Dalian Shuichan Xueyuan Xuebao*, 9: 21-25, 1994.
- Lüning, K.: *Meeresbotanik: Verbreitung, Ökophysiologie und Nutzung der marinen Makroalgen*. Georg pp. 375, Thieme Verlag, Stuttgart., 1985.

- McCandless, E. L., Craigie, J.S., Walter, J.A.: Carrageenans in the gametophytic and sporophytic stages of *Chondrus crispus*. *Planta*, 112: 201-212, 1973.
- McLachlan, J.L. Blanchard, W., Field, C. and Lewis, N.I.: Gametophyte life-history dominance of *Chondrus crispus* (Gigartinales, Rhodophyta) along the Atlantic coast of Nova Scotia, Canada. *Algae*, 26: 51-60, 2011.
- Narita, M., Sawabe, T., Gacesa, P., and Ezura, Y.: Rapid PCR detection of *Pseudoalteromonas elyakovii*, the causative bacterium of *Laminaria* spot-wound disease in Japan. *Proceedings of the Int. Seaweed Symposium* 17: 389-394, 2001.
- Orfanidis, S., Panayotidis, P. and Stamatis, N.: Ecological evaluation of transitional and coastal and water; A marine benthic macrophytes-based model. *Medit. Mar. Sci.*, 2: 45-65, 2001.
- Park, C.S., Kakinuma, M. and Amano, H.: Detection of the red rot disease fungi *Pythium* spp. by polymerase chain reaction. *Fish. Sci.*, 67: 197-199, 2001a.
- Park, C.S., Kakinuma, M., Amano, H.: Detection and quantitative analysis of zoospores of *Pythium porphyrae*, causative organism of red rot disease in *Porphyra*, by competitive PCR. *J. Appl. Phycol.*, 13: 433-441, 2001b.
- Park, C.S.: Rapid detection of *Pythium porphyrae* in commercial samples of dried *Porphyra yezoensis* sheets by polymerase chain reaction. *J. Appl. Phycol.*, 18: 203-207, 2006.
- Park, S.W., Lee, J.H. and Kim, Y.S.: Diseases of Seaweed. Bioscience Press, pp. 132, 2009.
- Scrosati, R., Garbary, D.J. and McLachlan, J.: Reproductive ecology of *Chondrus crispus* (Rhodophyta, Gigartinales) from Nova Scotia, Canada. *Bot. Mar.*, 37: 293-300, 1994.
- Simpson, F.J. and Shacklock, P.F.: The cultivation of *Chondrus crispus*. Effect of temperature on growth and carrageenan production. *Bot. Mar.*, 22: 295-298, 1979.
- Taylor, A.R.A. and Chen, L.C.M.: *Chondrus* Stackhouse, In *Biology of Economic Algae*, pp. 35-76, Ed., Akatsuka, I., SPB Academic Publishing, Hague, 1994.
- Tribollet, A.D. and Vroom, P.S.: Temporal and spatial comparison of the relative abundance of macroalgae across the Mariana Archipelago between 2003 and 2005. *Phycologia*, 46: 187-197, 2007.
- Vasquez, J.A. and Guerra, N.: The use of seaweeds as bioindicators of natural and anthropogenic contaminants in northern Chile. *Hydrobiologia*, 326/327: 327-333, 1996.
- Zabackis, E., Vreeland, V., Doboszeski, B. and Laetsch, W.M.: Differential localization of carrageenan gelling sequences in *Kappaphycus alvarezii* var. *tambalang* (Rhodophyta) with FITC-conjugated carrageenan oligosaccharides. *J. Phycol.*, 27: 241-248, 1991.

Manuscript Received : October 21, 2013

Revised : November 14, 2013

Accepted : November 12, 2013