

동해안 긴잎돌김(*Porphyra pseudolinearis*)의 성숙기 특성

김영대* · 김형근¹ · 이 주 · 홍용기²

국립수산과학원 동해수산연구소 증식과

¹강릉대학교 해양생명공학부

²부경대학교 생물공학과

Characteristics of Sexual Maturation in the Seaweed *Porphyra pseudolinearis* from East Sea, Korea

Young-Dae Kim*, Hyung-Geun Kim¹, Chu Lee and Yong-Ki Hong²

Aquaculture Division, East Sea Regional Fisheries Research Institute, Gangneung 210-860, Korea

¹Faculty of Marine Bioscience & Technology, Kangnung National University, Gangneung 210-702, Korea

²Department of Biotechnology, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

Abstract

The seaweed *Porphyra pseudolinearis* as a dominant species grows at upper of the intertidal zone of the East Sea from October to March. Vegetative cells have not matured during October when observed with naked eye and microscope. In the middle of November, although it didn't distinguish between female and male gametophytes by eye, it showed antheridium and carpogonium when observed vertical section under microscope. From early December, It could be distinguished female and male gametophytes clearly. From February it showed shorted length of thalli by release of spermatangia and carposporangia as maturation. At early March, the collar has been decayed and side of thalli has been melted, completed of release of spermatia. At the end of December, the average length and width of female thalli were 149.9 ± 5.6 mm and 22.2 ± 2.3 mm, respectively. The length and width of male thalli were 149.9 ± 9.4 mm and 20.7 ± 1.8 mm. At the end of January, the average length and width of female thalli were 94.6 ± 6.4 mm and $29.1 \text{mm} \pm 5.1$, respectively. The length and width of male thalli were 107.8 ± 7.3 mm and 25.9 ± 0.9 mm. From this period lengths of female and male thalli have already been shortned by the release of spermatia and carpogonia.

Key words – carposporangia, maturation, *Porphyra pseudolinearis*, seaweed, spermatangia, thallus length, thallus width,

*To whom all correspondence should be addressed

Tel : 031-661-8504, Fax : 033-661-8514

E-mail : ydkim@nfrda.re.kr

서 론

해조류중 김(*Porphyra species*)의 생활사는 이형세대교번을 하는데 하나는 엽형세대와 현미경적 포자세대로 나눌 수 있다[1]. 김은 과거에 하나의 종으로서 *Conchocelis rosea* Batt 로 분류되었던 사상체가 김의 생활사중 포자생활의 일부였음이 밝혀졌고[3], Hawkes[5]에 의해서 광학 및 전자현미경을 이용하여 성의 재분화를 처음으로 증명하였고 이를 계기로 다른 종에서도 성 분화에 대하여 다시 연구하는 계기가 되었다.

우리나라 양식 초창기인 1960년대 부터 일본에서 수입되어진 참김과 방사무늬김이 우리나라 양식업에 자리잡게 되었다. 우리나라 고유의 맛과 향을 가진 김이 밀식 및 계대 양식으로 인해 점차 품질이 열성화되는 현상이 나타나고 있어 우수한 자연산 돌김의 품종개발 필요성이 있다. 긴잎돌김(*Porphyra pseudolinearis* Ueda)은 동해안 고유의 조생종으로 파도가 높은 외해에서도 양식이 가능할뿐 아니라 맛과 향이 뛰어난 것으로 알려져 있다[8,9,13,16,17]. 따라서 동해안 순수종이며 우점종인 긴잎돌김의 보존과 우수종으로의 교잡 등으로 발전시켜야 할 필요성이 있다. 이러한 필요성의 하나로 동해안에 있어 긴잎돌김의 성숙시기와 특성 연구를 자연서식지에서의 성장과 성숙시기 특성을 통하여 긴잎돌김의 생물학적 계절을 연구하고자 한다.

재료 및 방법

긴잎돌김의 채집은 우점종으로 대량서식하고 있는 강원도 강릉시 주문진 소돌 지역에서 9월부터 이듬해 4월까지 이루어졌으며 성숙이 시작되는 11월 말경부터 과포자 방출이 끝나는 시기인 2월 초순까지는 약 2주 간격으로 채집하였다. 긴잎돌김의 분류를 위해서 엽체의 색상과 체형, 거치상돌기의 유무를 먼저 조사하였고 다음으로 영양세포 상태와 크기, 성숙시 외형으로 나타나는 거북등 모양이 기준이 되었다. 다음으로 과포자낭 및 정자낭의 분열형식, 크기등으로 긴잎돌김을 분류하였다. 성분화 기간동안 성분화시에 나타나는 체형 변화를 조사하기 위하여 각 100개체씩 엽장과 엽폭을 측정하였으며 시기별 크기 및 분포도, 암, 수 비율을 작성하였다. 긴잎돌김의 조직 단면은 급속동결 냉동기(Leica CM 1510)를 이용한 조직절단을 통하여 미성

숙에서 성숙기, 쇠퇴기의 세포변화를 연구하였다. 엽상체를 등글게 말아서 절편용 스테이지 위에 올려놓고 조직이 상하지 않게 -20℃에서 급속동결시켜 절편용 시료로 사용하였다. 동결된 시료는 10~20 μ m로 단면을 절편하여 한 후 10% 포르말린 고정액으로 세포의 파괴를 억제한 후 슬라이드글라스위에 고정하여 관찰하였다.

결 과

성숙기의 세포특징

김 엽체의 영양세포는 두 개의 세포가 짝을 이루는 형상을 가지고 있었으며, 냉동조직 절단에 의한 단면(Fig. 1A, 1B)모습도 성숙되지 않았다. 11월 중순경부터 육안으로는 암·수배우체가 잘 구분되지 않았으나 냉동조직을 절단한 결과, 조정기와 조과기(Fig. 1C, 1D)를 형성하고 있었다. 12월 초순부터 정자낭과 과포자낭(Fig. 2A, 2B)를 형성하며, 육안으로 암·수배우체(Fig. 2C, 2D)가 확연히 구분되기 시작하였다. 2월경부터 성숙과 더불어 정자낭과 과포자낭의 방출로 점차 엽장의 길이가 줄어드는 추세를 보였으며, 이때 냉동조직절단 단면을 보면, 정자낭과 과포자낭이 축소되는 모습(Fig. 3A, 3B)과 암·수배우체의 엽체가 퇴화되는 모습을 관찰할 수 있었다(Fig. 3C, 3D). 3월 초순

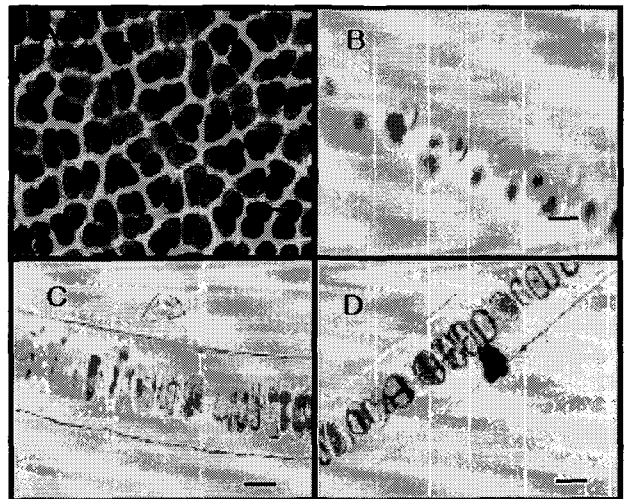


Fig. 1. Surface and vertical view of prematured blade of *P. pseudolinearis*.

A, surface view of vegetative cells. B, vertical view of prematured blade. C, antheridium. D, carpogonium (Scale bars : A-D, 20 μ m).

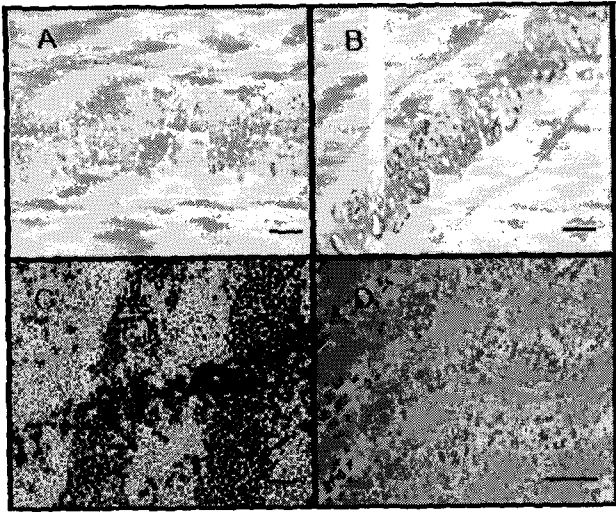


Fig. 2. Surface and vertical view of initial-matured blade of *P. pseudolinearis*. A, spermatangia. B, carposporangia. C, matured female thalli. D, matured male thalli (Scale bars : A-D, 20 μ m).

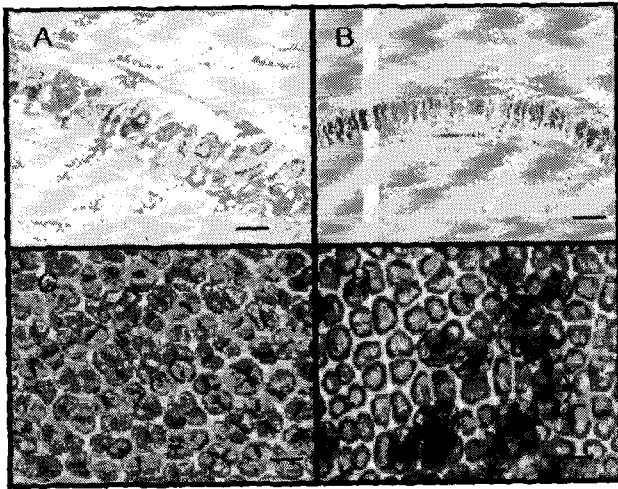


Fig. 3. Surface and vertical view of mid-matured blade of *P. pseudolinearis*. A, vertical view of spermatangia from old thalli. B, vertical view of carposporangia from old thalli. C, old male thalli. D, old female thalli (Scale bars : A-D, 20 μ m).

경에는 색상이 퇴색되고 엽체 가변부에 녹아내리는 현상이 나타나기 시작하여, 정자방출이 거의 완료되었으나, 가끔 과포자를 가지고 있는 암컷배우체도 있었다. 그러나 3월 말경에는 대부분 암·수배우체를 구분할 수 없을 정도로 노성체(Fig. 4A)로 변화하였으며, 냉동조직 절단(Fig. 4B)에서도 확연히 노성체를 알 수 있었다.

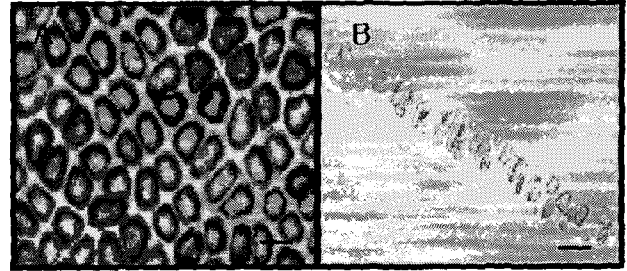


Fig. 4. Surface and vertical view of post-matured blade of *P. pseudolinearis*. A, surface view of old thalli after release of spermatia and carposporangia. B, vertical view of old thalli after release of spermatia and carposporangia. C, old thalli by surface view. D, old thalli by vertical view (Scale bars : A-B, 40 μ m. C-D, 20 μ m).

긴잎돌김의 성숙은 수배우체가 먼저 성숙을 하여 조정기를 만들고 통상 32~128개의 작은 부동의 정자를 만들었다. 정자의 크기는 직경 3.2~5.3 μ 이었다. 정자낭을 형성하여 정자(n)를 방출하면 조과기(n)를 형성하고 있던 암배우체와 수정을 통하여 과포자(2n)를 형성하고 과포자는 자연의 온도와 광도의 변화에 의하여 방출하였다. 조과기는 엽체 영양세포에서는 구별이 되지 않고 조직 절단에 의해서 형성이 구분되는데 김 종류에 따라 수정모를 가지는 종이 있으나 본 연구결과 긴잎돌김은 수정모를 갖지 않았다. 정자낭의 두께는 39~66 μ m이며 정자낭의 분열형식은 64(a/4, b/2, c/8)이다. 암배우체가 성숙을 하면 붉은 색을 띠며, 과포자낭 부위에서 두께 44~81 μ m로 사면분열이 일어나고 과포자낭의 분열 형식은 32(a/4, b/2, c/4)이나 가끔은 16(a/2, b/2, c/4)도 있었다.

성숙기의 엽체특성

12월 초순에 긴잎돌김은 육안으로도 성숙이 확인되어졌으며 이때 암배우체의 평균 엽장(Fig. 5)은 113.0 \pm 6.8mm, 평균 엽폭(Fig. 6)은 15.3 \pm 1.3mm로 나타났다. 수배우체의 경우 평균 엽장(Fig. 5)은 83.2 \pm 5.4mm, 평균 엽폭은 16.8 \pm 1.9mm로 나타났다(Fig. 6). 암·수배우체의 최대길이는 12월 31일에 나타났으며 암배우체의 평균 엽장은 149.9 \pm 5.6mm, 평균엽폭은 22.2 \pm 2.3mm였으며 수배우체는 평균 엽장 149.9 \pm 9.4mm, 평균엽폭은 20.7 \pm 1.8mm로 나타났다. 수배우체의 구분이 되지 않는 시점인 1월 하순에는 암배우체의 평균 엽장은 94.6 \pm 6.4mm로 줄어든 반면에 평

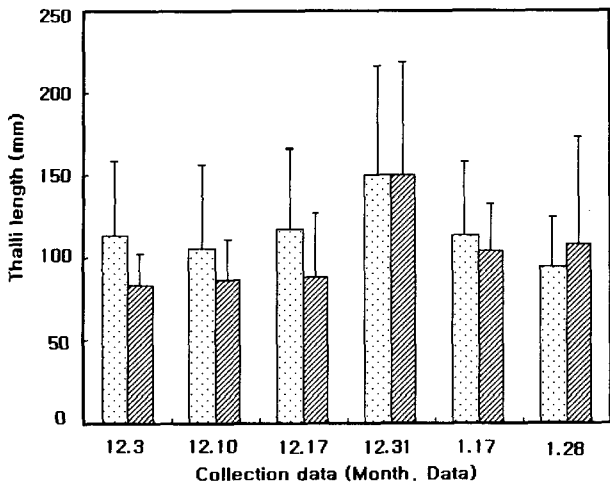


Fig. 5. Growth of thalli length from natural habitats of female (▨) and male (▩).

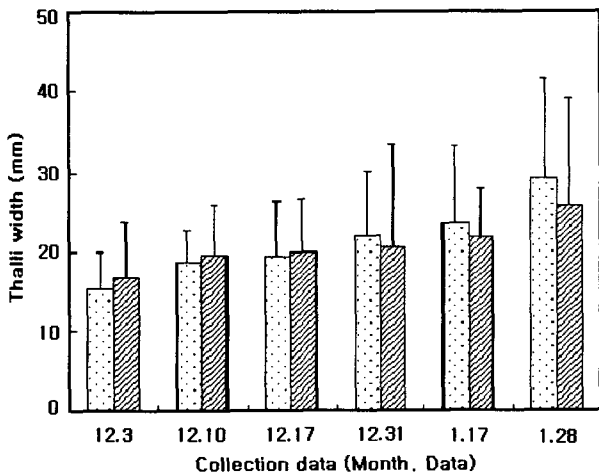


Fig. 6. Growth of thalli width from natural habitats of female (▨) and male (▩).

균 엽폭은 $29.1\text{mm} \pm 5.1$ 로 커졌다. 수배우체의 경우에도 평균 엽장이 $107.8 \pm 7.3\text{mm}$, 평균 엽폭은 $25.9 \pm 0.9\text{mm}$ 로 엽장이 감소되는 현상이 나타났다.

성숙시의 암·수의 엽장, 엽폭변화가 나타났으며 성숙초기인 12월 3일에는 암배우체의 엽장분포는 100mm에서 주로 분포하다 1월 중순에는 100~200mm 사이에 주로 분포를 이루고 성숙말기인 1월 말경에는 다시 100mm에서 주로 분포하고 있었다(Fig. 7). 수배우체의 엽장은 성숙초기인 12월 3일에는 100mm에 주로 분포하다 성숙중기인 1월 17일에는 100~200mm 사이에 골고루 분포하다 성숙말

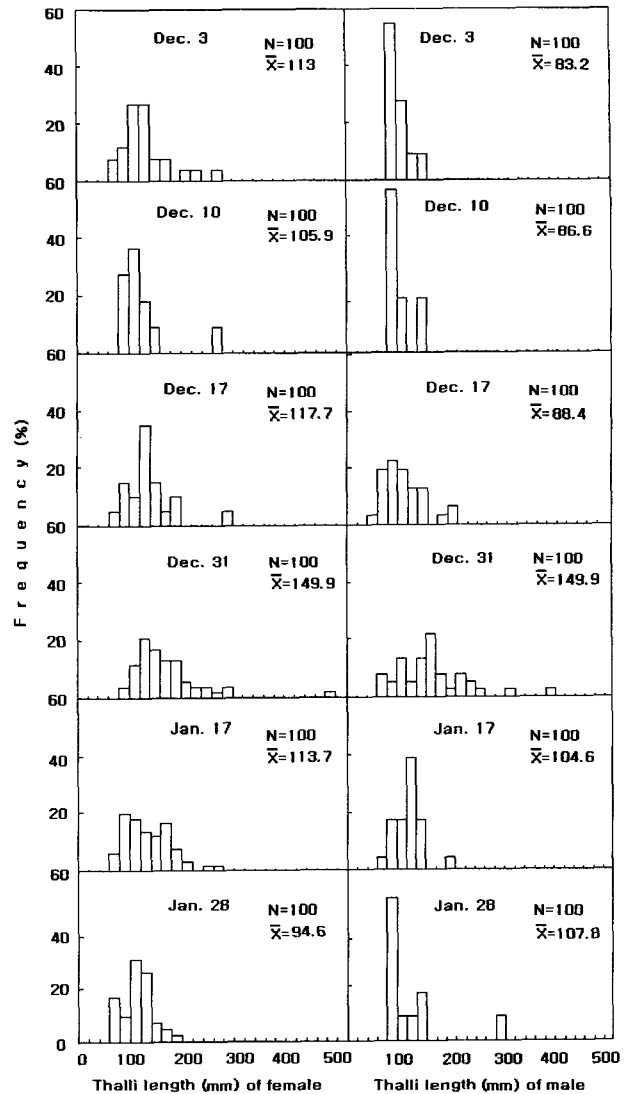


Fig. 7. Frequency change of thalli length from female and male populations of *P. pseudolinearis*.

기인 1월 28일에는 다시 100mm에서 주로 분포를 이루는 모습을 보여주고 있다(Fig. 7). 암배우체의 엽폭변화는 성숙초기인 12월 3일에는 15~20mm에서 주로 분포를 이루다 성숙중기인 1월 17일에는 20~30mm에서 분포를 이루고 있었고 성숙말기인 1월 28일에는 20~50mm까지 엽폭크기가 커지고 다양하게 분포하는 특성을 보여주고 있다(Fig. 8). 수배우체의 엽폭변화는 성숙초기인 12월 3일에 10~25mm에서 주분포를 이루다 성숙 중기인 1월 17일에는 15~35mm까지 고른 분포를 보였으며 성숙말기인 1월 28일에는 10~60mm까지의 분포하는 특성을 보였다(Fig. 8).

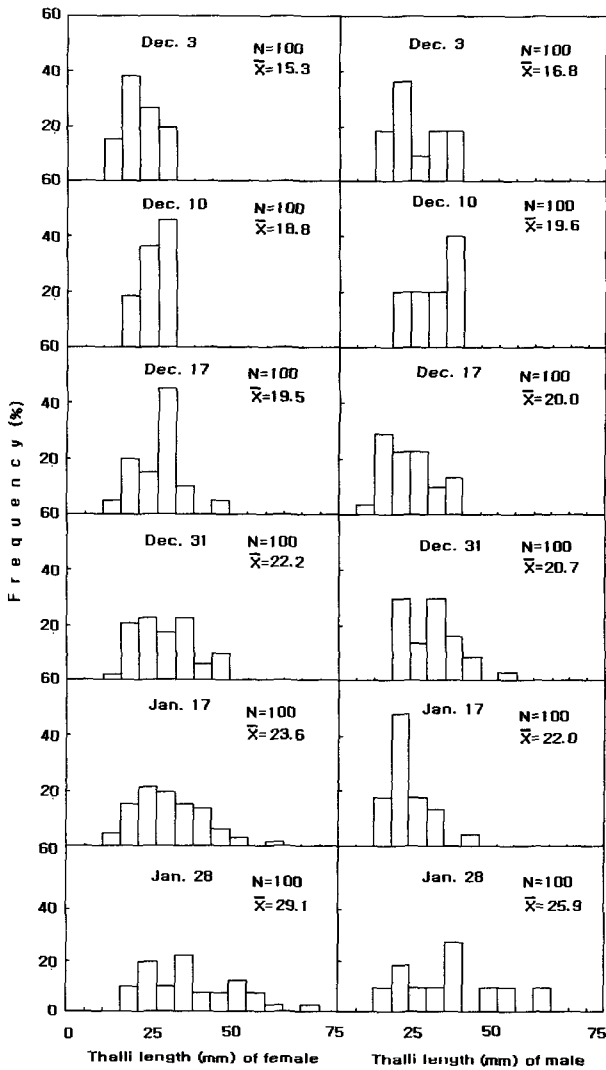


Fig. 8. Frequency change of thalli width from female and male populations of *P. pseudolinearis*.

엽장의 경우 암배우체는 점점 성장을 하다가 성숙 말기에 크기가 작아졌으며 수배우체의 경우에도 같은 경향을 보였으나 변화폭은 적었다. 엽폭의 경우 암컷은 성숙초기에서 점점 커지는 경향이 성숙 말기까지 이어졌으며, 수배우체도 같은 경향이나 엽장처럼 변화의 폭은 적었다.

고 찰

긴잎돌김은 동해 연안의 고유종이며 우점종이다. 맛과 향이 뛰어나 유용양식종으로 기대를 받고 있어 이 종에 대한 연구가 절실하다. 생물계절에 의한 생식기 생성과 발달

및 특징을 구명하고 자연서식지에서의 생성과 성장 그리고 성숙시에 엽체변화 등의 연구를 하고자 하였다.

본 연구에서의 긴잎돌김 분류방법은 Kurogi[12]에 의한 정자낭 및 과포자낭의 분열 형식에 의해서 식별하였고 거치상돌기를 분류 형질을 이용하였다. 본 연구에서는 성숙 시기는 12월 초순에 시작되어 12월 말경에 정자낭과 과포자낭이 충분히 성숙하였으며 1월 말경에는 수배우체 가장 자리에 정자가 방출된 모습을 찾아보기가 힘들었다. 동해안에 분포하는 종으로 무성생식을 하는 종으로는 방사무늬김, 오카무라등근돌김, 비단잎돌김, 카타다돌김이 있으나[6]긴잎돌김은 중성포자를 형성하지 않았다. 본 연구에서의 긴잎돌김 과포자의 크기는 10.3~14.5 μ m로 나타나 참김과 유사하였다. 방출이 이루어진 암수 엽상체는 많은 변화를 가지는데 엽장은 끝녹음이 발생되어 줄어들고 엽폭은 엽장에 비하여 끝녹음이 상대적으로 적어 점차 커지는 경향을 가진다. 긴잎돌김은 영양세포의 크기 및 모양에서 불규칙하게 배열되고 세포 당 한 개의 엽록소가 관찰되었다. 표면에는 사각형, 삼각형의 모양이 있고, 단면을 절단하여 보았을 때 사각형, 장타원형으로 구성되어 있었다. 이는 긴잎돌김과 유사종인 서해안에 분포하고 있는 잇바디돌김의 분류적 특성인 적갈색 및 자웅이주라는 점에서 생식유형은 같으나 거치상돌기가 뚜렷하고 과상무늬가 없다는 점에서 차이를 보이고 있다. 동해안에서 긴잎돌김의 성숙 시기는 Hwang[6]은 1월 생식세포를 형성하여 2월에 정자낭과 과포자낭이 성숙한다고 하였으나 김의 생식 유형은 자웅동주와 자웅이주로 나눌수 있으며 자웅동주 경우 생식특징은 엽체에 정자낭과 조과기가 한 엽체내에 존재하는 형인데 이중 엽체를 좌우로 양분하여 존재하는 경우와 상하로 양분하는 경우 및 혼재하는 타입으로 나눌수 있으나 자웅이주의 경우 암수가 엄연히 다른 엽체로 존재한다. 자웅이주인 긴잎돌김은 엽체의 상부 가장자리에서 하부 가장자리로 순차적으로 성숙하여 조과기와 조정기를 형성하였다. 참김은 조과기에서 과포자가 만들어지는 갯수는 통상 8~32개로 밝혀져 있으며 방출되어진 과포자의 직경은 11~14 μ m로 알려져 있고 김류에서의 중성포자 크기는 12.5~15 μ m이라고 밝혀졌다[11].

김의 생활사 중에 Drew[3,4]는 사상체가 존재한다고 보고 하였으며, 사상체 상태로 여름을 지낸다고 구명하였다[10,

11]. 세포학적 연구로서 핵상에 관한 연구의 시초는 Ishikawa [7]가 있다. Dangeard[2]는 김은 단상으로 수정하여 과포자를 형성한 후 감수분열이 시작된다고 하였고, Yabu and Tokida[17]는 수정 후 감수분열이 일어난다고 하였으나 Migita[14]가 감수분열은 사상체가 포자를 만드는 과정에서 나타나는 것으로 밝혀 생활사가 완전히 밝혀졌다. 이번 연구에서도 긴잎돌김은 자웅이주로서 정자와 난자가 수정하여 과포자를 형성하며 Yabu and Tokida[17]의 연구처럼 사상체에서 각포자가 되면서 감수분열이 일어나는 것이 관찰되었다. 몇 연구자들의 연구에서 성 성숙시기가 차이가 난다고 보고한 바와 같이 본 연구에서도 수컷 엽체가 암컷 엽체보다도 성 성숙이 빨리 나타났고 차지하는 비율도 높았다. 드물게 긴잎돌김에서 자웅동주가 있다고 보고한 Miura[15] 및 Hwang[6]의 경우처럼 자웅동주는 이번 연구에서 발견하지 못하였다.

요 약

동해안에 있어 긴잎돌김은 우점종으로 조간대 상부지역에 서식하며 10월에 발생하여 3월에 소멸하였다. 10월에 영양세포로 육안 및 조직 절단에 의한 검색에서 성숙되지 않았다. 11월 중순경부터 육안으로는 암·수배우체가 구분되지 않았으나 조직 절단한 결과, 조정기와 조과기를 형성하고 있었다. 12월 초순부터 육안으로 암·수배우체가 확연히 구분되기 시작하였고, 2월경부터 성숙과 더불어 정자낭과 과포자낭의 방출로 점차 엽장의 길이가 줄어드는 추세를 보였다. 3월 초순경에는 색상이 퇴색되고 엽체 가변부에 녹아 내리는 현상이 나타나기 시작하여, 정자방출이 완료되었다. 12월 3일에 암컷의 평균 엽장은 $113.0 \pm 6.8\text{mm}$, 평균 엽폭은 $15.3 \pm 1.3\text{mm}$ 로 나타났다. 수배우체의 평균엽장은 $83.2 \pm 5.4\text{mm}$, 평균 엽폭은 $16.8 \pm 1.9\text{mm}$ 로 나타났다. 1월 28일 경에는 암배우체의 평균 엽장은 $94.6 \pm 6.4\text{mm}$ 로 엽폭은 $29.1\text{mm} \pm 5.1$ 로 커졌다. 수배우체의 경우에 평균 엽장이 $107.8 \pm 7.3\text{mm}$, 평균 엽폭은 $25.9 \pm 0.9\text{mm}$ 로 엽장과 엽폭이 반비례되는 현상이 나타났다.

참 고 문 헌

1. Bold H. C. and M. J. Wynne. 1985. Introduction to the Algae; Structure and Reproduction. 2nd ed.

Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J. pp. 706.
 2. Dangeard, P. 1927. Recherches sur les Bangia et les Porphyra. *Botaniste*. **18**, 183-244.
 3. Drew, K.M 1949. Conchocelis-phase in the life history of *Porphyra umbilicalis* (L.) Kutz. *Nature* **164**, 748-751.
 4. Drew. 1954. Studies in the Bangioideae III. The life-history of *Porphyra umbilicalis* (L.) Kutz. var. *laciniata* (Lightf.) J. Ag. *Ann. Bot., N. S.* **18**, 183-211.
 5. Hawkes M. J. 1978. Sexual reproduction in *Porphyra gardneri* (Smith et Hollenberg) Hawkes (Bangiales, Rhodophyta). *Phycologia* **17**, 329-353.
 6. Hwang, M. S. 1994. A taxonomic study on the genus *Porphyra* (Bangiales, Rhodophyta) in Korea. Ph. D. Dissertation. Seoul Univ. 227pp.
 7. Ishikawa, M. 1921. Cytological studies on *Porphyra tenera* Kjellman I. *Bot. Mag. Toyko*. **35**, 206-218.
 8. Koh, N. P., Son, C. H., Chang, J. W. and Y. K. Cheong. 1981. Study on the Cultivation of *Porphyra pseudolinearis* UEDA.
 9. Koh, N. P. 1981. Study on the cultivation of *Porphyra pseudolinearis* UEDA. *Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Agency*. **26**, 51-61.
 10. Kurogi, M. 1956. Life history of *Porphyra*, especially on so-called "summer plantlets" *Bull. Jap. Soc. Phycol.* **4**, 13-18.
 11. Kurogi, M. 1961. Species of cultivated *Porphyra* and their life histories *Bull. Tohoku. Reg. Fish. Res. Lab.* **18**, 1-115.
 12. Kurogi, M. 1972. Systematics of *Porphyra* in Japan. In: Abbott, I. A. and M. Kurogi (eds). Contributions to the systematics of benthic marine algae of the North Pacific. *Jap. Soc. Phycol. Kobe*. pp. 167-191.
 13. Lee, S. D. Park, Y. J. and Chung, S. K. 1987. Studies on culture of *Porphyra* growing on rocks along the kangwon-do coast (II). *Bull. Nat. Fish. res. Dev. Agency*. **40**, 43-50.
 14. Migita, S. 1967. Cytological studies on *Porphyra yezoensis* Ueda. *Bull. Fac. Fish. Nagasaki Univ.* **24**, 55-64.
 15. Miura, A. 1988. Taxonomic studies of *Porphyra* species cultivated in Japan, referring to thier transition to the cultivated variety. *J. Tokyo Univ. Fish.* **75**, 311-325.
 16. Ueda, S. 1932. Taxonomic studies on the Japanese *Porphyra*. *J. Imp. Fish. In stit.* **28**, 1-45.
 17. Yabu, H. and Tokida, J. 1963. Mitosis in *Porphyra*. *Bull. Fac. Fish., Hokkaido Univ.* **14**, 131-136.

(Received February 28, 2003; Accepted June 20, 2003)