J. Korean Fish. Soc. 30(3), 505~510, 1997 한수지, 30(3), 505~510, 1997

# 한국산 미역 배우체의 생장과 성숙에 대한 온도 및 광반응

김영식 · 남기완
부경대학교 해양생물학과

# Temperature and Light Responses on the Growth and Maturation of Gametophytes of *Undaria pinnatifida* (Harvey) Suringar in Korea

**Young Sik KIM and Ki Wan NAM**
*Department of Marine Biology, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea*

**Temperature and light responses on the growth and maturation of gametophytes of *Undaria pinnatifida* were studied in laboratory culture. The effect of the environmental factors on formation of young sporophyte of *U. pinnatifida* was also examined in the same culture system. Maximum growth and rapid maturation of the gametophytes were observed at 12:12LD, 17℃ and 60$\mu$mol $m^{-2}s^{-1}$. However, they survived in a wide range of the examined temperature, light intensity and photoperiod. Particularly they survived under continuous dark condition (0:24LD) until 210 days without any growth and maturation, but died within 10~40 days at 30℃. This suggests that optimum condition for conservation of *Undaria* gametophytes is under continuous dark photoperiod at 17~25℃.**

**Key words** : *Undaria pinnatifida*, gametophytes, temperature, light intensity, photoperiod, conservation

## 서 론

미역속 (*Undaria*)은 주로 아시아의 극동지역에 분포하는 유용 갈조류로서 저조선하의 암반에 서식하며, 해중림의 주요 구성원으로서 연안 생태계에서 중요한 역할을 담당한다 (Kang and Yoo, 1993; Brown and Lamare, 1994). 세계적으로는 3종의 존재가 알려져 있고 (Saito, 1972), 한국에는 미역 [*Undaria pinnatifida* (Harvey) Suringar]과 넓미역 [*U. peterseniana* (Kjellman) Okamura]의 2종이 보고되어 있다 (Lee and Kang, 1986). 이 중에서도 오랜 옛날부터 식용으로 널리 이용되고 있는 미역 (Akiyama and Kurogi, 1982)은 한국과 일본에서는 외부형태와 상대생장의 차이에 따라 북방형 (*U. pinnatifida* f. *distans*)과 남방형 (*U. pinnatifida* f. *typica*)의 2개의 품종으로 구분된다 (Okamura, 1915).

특히 극동지역에 있어서 북방형의 미역은 김과 함께 연안 해조양식업의 주종으로 그 상업적 중요성 때문에 배우체와 포자체의 생리생태 (Saito, 1956a, b, 1962; Segi and Kida, 1958; Akiyama, 1965; Hue et al., 1995)를 비롯하여 종묘생산 (Chung and Chung, 1967), 생태 및 양식 (Okamura, 1915; Kato and Nakahisa, 1961; Akiyama and Kurogi, 1982; Yamanaka and Akiyama, 1993) 등에 대한 비교적 많은 정보가 축적되어 있다. 한국에서도 이러한 연구를 기초로 현장에서의 응용과 함께 양식미역의 생산성 및 품질개량을 위한 기생성 요각류의 구제 (Lee et al., 1970; Rho et al., 1993) 등에 대한 연구가 수행된 바 있고, 최근에는 가이식 초기에 潮流의 강약, 일조시간의 변화에 기인하는 아포체 및 유엽의 탈락을 보상하기 위한 배우체의 고밀도 배양방법이 소개되었다 (Hue et al., 1995). 이와 같은 연구는 주로 미역의 생산성 증대를 위한 직접적인 양식관련 연구로 보다 그 성과를 극대화하기 위하여는 선발육종을 통한 품종개량 및 이를 위한 종묘의 계통보존 및 관리체계 구축이 필요하다.

따라서 이 연구는 한국산 미역의 계통보존을 목적으로 실내 조작이 보다 용이한 현미경적 배우체 세대에 대하여 생장 · 성숙의 제한요인을 탐색하고, 효율적인 현지외 (*ex situ*) 실내 보존조건을 제시하고자 수행되었다.

## 재료 및 방법

이 연구를 위하여 1996년 4월 24일 부산의 조도에서 남방형을, 용호동에서 북방형의 성숙한 미역 포자체를 채취하여 현장의 해수와 함께 아이스박스에 넣어 실험

이 논문은 1996년도 농림수산부 농림수산특정연구개발사업에 의하여 연구되었음.

실로 운반하였다. 실내배양을 위하여 포자엽 부분을 절단하여 수회 세척하고 20℃ 내외의 항온실에서 30분~1시간 음건시킨 후 멸균해수에서 유주자를 방출시켰다. 방출된 유주자는 각각 남·북방형을 구분하여 슬라이드글라스 조각이 담긴 패트리디쉬에서 PES 배지(Provasoli, 1968)를 이용하여 배양하였다. 그리고 배양초기에는 규조류와 남조류의 오염을 방지하기 위하여 산화게르마늄(5 mg$\ell^{-1}$)과 페니실린(5 mg$\ell^{-1}$)을 첨가하였으며 배양액은 1주일 간격으로 전량 교환해 주었다. 유주자의 부착이 이루어진 패트리디쉬는 0:24, 4:20, 8:16, 12:12, 16:8LD의 광주기, 20, 40, 60, 100$\mu$mol $m^{-2}s^{-1}$의 광도 및 5, 17, 20, 25, 30℃의 온도조건에서 각각 10일 간격으로 유주자 발아 후의 배우체 발달 및 성숙, 그리고 아포체의 형성유무를 관찰하였다. 또한 배우체의 생장·성숙 및 포자체 형성의 유도조건을 알아보기 위하여 배양 70일 후에 형성된 포자체의 수를 검경하여 측정하였다.

## 결과 및 고찰

포자엽의 열편에서 방출된 유주자는 5분~1시간이내에 슬라이드글라스에 부착하였고 12:12LD의 고정된 광주기에서 남방형의 미역 유주자는 5~25℃의 모든 광도조건에서는 정상 발아하여 배우체를 거쳐서 아포체로 발달하였고 (Table 1), 17℃에서는 다른 온도조건에 비하여 20~40일 정도 빨라서 배양 10일 후에 성숙배우체가 관찰되었다. 그러나 25℃, 100$\mu$mol $m^{-2}s^{-1}$와 30℃의 모든 조도조건에서 20~40일 이내에 사멸하였다. 가장 빠른 배우체의 생장·성숙 및 아포체의 발달은 17℃, 60$\mu$mol $m^{-2}s^{-1}$에서 관찰되었으며 동일 광도하에서는 20, 25, 5℃순서로 유도되었다 (Table 1). 그러나 25℃에서는 형성된 포자체가 점차 녹아서 사멸하였고, 배양 70일 정도에는 반구형의 구상체로 발달된 미성숙의 자·웅배우체도 관찰되었다 (Fig. 1). 동일 온도조건일지라도 광도에 따라 배우체의 생장·성숙 및 포자체의 형성시기가 각기 다르게 나타났는데, 5℃에서는 20$\mu$mol $m^{-2}s^{-1}$에서, 17℃와 20℃에서는 60$\mu$mol $m^{-2}s^{-1}$에서 각각 가장 빠른 형성이 관찰되었다.

북방형의 미역 배우체 역시 남방형과 거의 동일한 온도범위에서 생장·성숙되어 포자체로 발달하였으나 남방형과는 달리 생장과 포자체 형성의 최적조건은 17℃,

**Table 1. Gametophytic maturation and formation of young sporophytes of *U. pinnatifida* f. *typica* under the condition of light intensity and temperature combinations at 12:12LD**

| Temperature | Light intensity ($\mu$mol $m^{-2}s^{-1}$) | Days after inoculation | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 |
| 5℃ | 20 | − | − | − | m | ++ | +++ | +++ |
| | 40 | − | − | − | − | m | ++ | +++ |
| | 60 | − | − | − | − | m | ++ | +++ |
| | 100 | − | − | − | − | m | ++ | +++ |
| 17℃ | 20 | m | + | ++ | +++ | +++ | +++ | +++ |
| | 40 | m | + | ++ | +++ | +++ | +++ | +++ |
| | 60 | m | ++ | +++ | +++ | +++ | +++ | +++ |
| | 100 | m | + | ++ | +++ | +++ | +++ | +++ |
| 20℃ | 20 | − | − | m | ++ | +++ | +++ | +++ |
| | 40 | − | − | m | ++ | +++ | +++ | +++ |
| | 60 | − | − | m | +++ | +++ | +++ | +++ |
| | 100 | − | − | m | ++ | +++ | +++ | +++ |
| 25℃ | 20 | − | − | m | + | ++ | +++ | +++ |
| | 40 | − | − | − | m | + | ++ | +++ |
| | 60 | − | − | − | m | + | ++ | +++ |
| | 100 | − | − | − | * | | | |
| 30℃ | 20 | − | − | − | * | | | |
| | 40 | − | − | * | | | | |
| | 60 | − | − | * | | | | |
| | 100 | − | * | | | | | |

−, sterile; m, initiation of antheridia and oogonia formation; +, less than 30% in formation rate of young sporophytes

++, less than 75% in formation rate of young sporophytes; +++, more than 75% in formation rate of young sporophytes; *, died

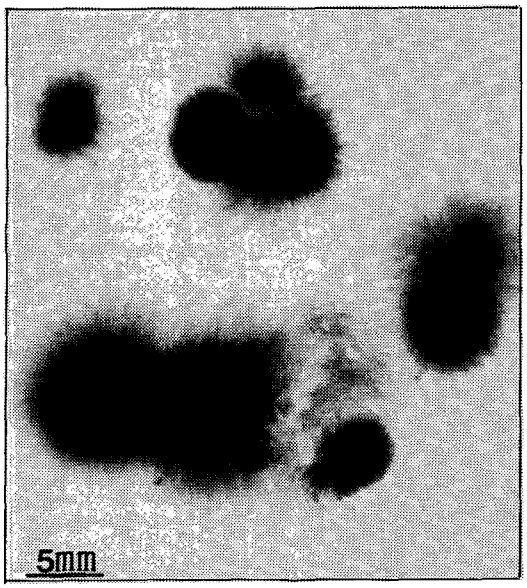


**Fig. 1. Unmatured spherical gametophytes derived at 25℃, 60μmol $m^{-2}s^{-1}$, 12:12LD in a 70 day culture.**

40~60 μmol $m^{-2}s^{-1}$로 나타났다(Table 2). 또한 5~25℃에 있어서 40μmol $m^{-2}s^{-1}$이하의 낮은 조도에서도 비교적 배우체의 생장 및 성숙이 남방형에 비하여 빨리 촉진되었다. 25℃의 60, 100μmol $m^{-2}s^{-1}$에서는 배양 40일 까지 생존이 가능하였으며, 30℃에서는 모든 조도조건에서 10일 이내에 사멸하였다.

배양 70일 후에 생성된 포자체의 수는 가장 빠른 배우체 생장과 성숙이 일어난 17℃, 60μmol $m^{-2}s^{-1}$에서 최대값을 보였으며 남방형에서 629개체, 북방형에서는 634개체로서 남·북방형이 서로 유사한 값을 나타냈다.

포자엽으로부터 방출된 유주자를 배우체의 생장·성숙 및 포자체 형성의 최적온도인 17℃에서 광주기(0:24, 4:20, 8:16, 12:12, 16:8LD)와 광도(20, 40, 60μmol $m^{-2}s^{-1}$)의 조합이 가능한 배양기안에서 남·북방형으로 나누어 배양한 결과, 남방형은 0:24LD의 연속암기를 제외한 모든 조건에서 유주자가 배우체로 생장·성숙 및 아포체로 발달하였다(Table 3). 배양 10일 이내에 12:12 LD의 모든 광도조건에서 성숙한 배우체가 관찰되었고 20일부터 포자체가 형성되었다. 그리고 4:20, 8:16LD의 단일주기와 16∶8LD의 장일주기에서도 배양 30일 후에 성

**Table 2. Gametophytic maturation and formation of young sporophytes of *U. pinnatifida* f. *distans* under the condition of light intensity and temperature combinations at 12:12LD**

| Temperature | Light intensity (μmol $m^{-2}s^{-1}$) | Days after inoculation | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 |
| 5℃ | 20 | − | − | − | m | ++ | +++ | +++ |
| | 40 | − | − | − | − | m | ++ | +++ |
| | 60 | − | − | − | − | m | ++ | +++ |
| | 100 | − | − | − | − | m | ++ | +++ |
| 17℃ | 20 | m | ++ | +++ | +++ | +++ | +++ | +++ |
| | 40 | m | ++ | +++ | +++ | +++ | +++ | +++ |
| | 60 | m | ++ | +++ | +++ | +++ | +++ | +++ |
| | 100 | m | + | ++ | +++ | +++ | +++ | +++ |
| 20℃ | 20 | − | − | m | ++ | +++ | +++ | +++ |
| | 40 | − | − | m | ++ | +++ | +++ | +++ |
| | 60 | − | − | m | +++ | +++ | +++ | +++ |
| | 100 | − | − | m | + | ++ | +++ | +++ |
| 25℃ | 20 | − | − | m | + | + | +++ | +++ |
| | 40 | − | − | m | m | + | ++ | +++ |
| | 60 | − | − | − | * | | | |
| | 100 | − | − | − | * | | | |
| 30℃ | 20 | * | | | | | | |
| | 40 | * | | | | | | |
| | 60 | * | | | | | | |
| | 100 | * | | | | | | |

−, sterile; m, initiation of antheridia and oogonia formation; +, less than 30% in formation rate of young sporophytes

++, less than 75% in formation rate of young sporophytes; +++, more than 75% in formation rate of young sporophytes; *, died

**Table 3. Gametophytic maturation and formation of young sporophytes of *U. pinnatifida* f. *typica* under the condition of light intensity and photoperiod combinations at 17℃**

| Photoperiod (L : D) | Light intensity (μmol $m^{-2}s^{-1}$) | Days after inoculation | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 |
| 0 : 24 | 0 | − | − | − | − | − | − | − |
| 4 : 20 | 20 | − | − | m | ++ | +++ | +++ | +++ |
| | 40 | − | − | m | + | ++ | +++ | +++ |
| | 60 | − | − | m | + | ++ | +++ | +++ |
| 8 : 16 | 20 | − | − | m | ++ | +++ | +++ | +++ |
| | 40 | − | − | m | + | ++ | +++ | +++ |
| | 60 | − | − | m | + | ++ | +++ | +++ |
| 12 : 12 | 20 | m | + | +++ | +++ | +++ | +++ | +++ |
| | 40 | m | + | +++ | +++ | +++ | +++ | +++ |
| | 60 | m | ++ | +++ | +++ | +++ | +++ | +++ |
| 16 : 8 | 20 | − | − | m | + | +++ | +++ | +++ |
| | 40 | − | − | m | + | ++ | +++ | +++ |
| | 60 | − | − | m | + | ++ | +++ | +++ |

−, sterile; m, initiation of antheridia and oogonia formation; +, less than 30% in formation rate of young sporophytes
++, less than 75% in formation rate of young sporophytes; +++, more than 75% in formation rate of young sporophytes

**Table 4. Gametophytic maturation and formation of young sporophytes of *U. pinnatifida* f. *distans* under the condition of light intensity and photoperiod combinations at 17℃**

| Photoperiod (L : D) | Light intensity (μmol $m^{-2}s^{-1}$) | Days after inoculation | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 |
| 0 : 24 | 0 | − | − | − | − | − | − | − |
| 4 : 20 | 20 | − | − | m | ++ | +++ | +++ | +++ |
| | 40 | − | − | m | + | ++ | +++ | +++ |
| | 60 | − | − | m | + | ++ | +++ | +++ |
| 8 : 16 | 20 | − | − | m | ++ | +++ | +++ | +++ |
| | 40 | − | − | m | + | ++ | +++ | +++ |
| | 60 | − | m | ++ | +++ | +++ | +++ | +++ |
| 12 : 12 | 20 | m | + | +++ | +++ | +++ | +++ | +++ |
| | 40 | m | + | +++ | +++ | +++ | +++ | +++ |
| | 60 | m | + | +++ | +++ | +++ | +++ | +++ |
| 16 : 8 | 20 | − | − | m | + | ++ | +++ | +++ |
| | 40 | − | − | m | + | ++ | +++ | +++ |
| | 60 | − | m | + | ++ | +++ | +++ | +++ |

−, sterile; m, initiation of antheridia and oogonia formation; +, less than 30% in formation rate of young sporophytes
++, less than 75% in formation rate of young sporophytes; +++, more than 75% in formation rate of young sporophytes

숙한 배우체가 나타나서 40일 부터는 포자체가 확인되었다. 그러나 배우체의 생장 · 성숙 및 포자체의 형성에 있어서 최적조건은 12:12LD, 60μmol $m^{-2}s^{-1}$로 나타났으며 배우체의 생장은 단일주기보다는 장일주기에서 보다 효과적이었으며, 성숙은 단일 및 장일주기에 있어서 커다란 차이는 인식할 수 없었다. 그러나 암기가 16시간 이상으로 연장됨에 따라서 생장과 성숙은 점차로 억제되어서 24시간의 연속암기 (0:24LD)에서는 거의 일어나지 않았다. 동일 광주기하에서 포자체 형성에 대한 광도의 영향은 4:20, 8:16LD에서는 20μmol $m^{-2}s^{-1}$의 낮은 광도에서 빠른 포자체의 형성을 보였다.

북방형도 배우자의 생장 · 성숙 및 포자체의 형성에 대한 광주기적 반응은 남방형과 유사한 경향을 보였다. 그러나, 남방형은 모든 광주기조건에서 20μmol $m^{-2}s^{-1}$의

비교적 낮은 광도에서 배우자의 생장·성숙 및 포자체의 형성이 빨리 유도된 반면에, 북방형에 있어서는 8:16, 16:8LD의 광주기에서는 60$\mu$mol $m^{-2}s^{-1}$의 광도에서 가장 빨리 일어났다(Table. 4). 한편, 배양 70일 후에 측정된 포자체 수는 남·북방형 모두 12:12LD, 60$\mu$mol $m^{-2}s^{-1}$의 조건에서 남방형이 433개체, 북방형이 634개체로서 최대값을 보였다.

일반적으로 수온, 광도, 광주기는 미역 배우체의 생장·성숙 및 포자체의 형성 유도에 중요한 제한요인으로 인식되고 있다(Akiyama, 1965). 그러나 지역 개체군에 따라서 이들 요인의 영향범위는 조금씩 다르게 보고되어 있는데, Saito(1956b)와 Kang and Ko(1977)는 배우체 생장의 최적 수온은 17~20℃이며, 정체배양시는 17~27.5℃로 좀더 폭 넓은 수온범위를 가짐을 언급하였고, Akiyama(1965)는 배우체의 생장·성숙 및 포자체의 형성의 최적온도는 15~20℃로서 배우체 생존의 극한범위는 −1~27.5℃임을 밝히고, 온도-조도의 상호요인에 대하여는 21~24℃에서는 10~80$\mu$mol $m^{-2}s^{-1}$에서 배우체의 생장·성숙 및 포자체의 형성이 유발되고, 조도가 높을수록 이들에 대한 유발효과가 컸음을 보고하였다. 이에 비하여 Lee et al.(1989)는 배우체의 생장 및 성숙의 최적조건은 14℃, 50$\mu$mol $m^{-2}s^{-1}$을 제시하였고, Hue et al.(1995)은 수온, 조도 및 배양액의 상태에 따라 각기 다르게 나타남을 지적하였다.

본 실험의 결과 남·북방형의 미역유주자는 5~25℃에서 정상 발아하여 배우체를 거쳐서 아포체로 발달하였고 17℃에서 가장 빨리 일어남으로써 Saito(1956b), Akiyama(1965) 등의 연구결과와 기본적으로 유사하였다. 그러나 12:12LD 광주기의 25℃에서는 자웅배우체가 미성숙의 반구형의 구상체로 발달하고, 포자체의 형성도 유도되었으나 곧 폐사하기 시작하여 배우체가 포자체에 비해 온도의 내성이 강함을 나타냈다. 5℃에서는 속도는 느리지만 정상적인 배우체의 생장·성숙 및 포자체로 발달함으로써 13℃이하의 저수온에서 배우체의 생존율이 낮다는 Hue et al.(1995)의 보고와는 상이한 결과를 보였다.

남·북방형을 비교해 볼 때 남방형은 5~25℃에서 모두 60$\mu$mol $m^{-2}s^{-1}$이하의 낮은 광도에서 빠른 성숙을 보였으나 북방형은 5℃에서는 60$\mu$mol $m^{-2}s^{-1}$보다 낮은 광도에서, 17℃에서는 60$\mu$mol $m^{-2}s^{-1}$ 이상의 높은 광도에서 포자체의 형성이 빨리 유도되었다.

광주기 또한 미역 배우체의 생장·성숙 및 포자체의 형성의 주요 제한요인으로, 본 연구에서도 Akiyama(1965) 및 Lee et al.(1989)에 의하여 언급된 바와 같이 12:12LD의 광주기에서 가장 빨리 관찰되었다. 그러나 생장은 단일주기보다는 장일주기에서 빨리 일어났으나, 성숙은 장단주기 관계없이 거의 동일한 시기에 유도되었다. 또한 암기가 16시간 이상으로 늘어남에 따라서 생장과 성숙은 점차로 억제되어 24시간 연속암기에서는 210일이 지난 후까지 활성을 가진 미성숙의 배우체 상태로 유지되었다. 또한 동일 광주기일지라도 남방형은 모든 광주기에서 20$\mu$mol $m^{-2}s^{-1}$의 낮은 광도에서 배우체의 생장, 성숙이 빨랐으며, 북방형은 8:16, 16:8LD의 광주기에서는 60$\mu$mol $m^{-2}s^{-1}$의 광도에서 빨리 나타남으로써 계통간의 차이를 보였다.

이상의 결과는 온도, 광주기, 광도에 대한 미역배우체의 반응에 대한 Saito(1956a, b), Akiyama(1965), Kang and Ko(1977) 등의 보고와는 기본적으로 그 경향성을 같이 하고 있지만 남·북방형에 있어서 이들 제한요인에 대한 생장, 성숙의 반응범위는 조금씩 다르게 나타났고, 생존의 주요 제한요인은 온도로서 생존가능 상한 임계온도는 30℃ 부근으로 추정되며, 생존가능 온도범위에서 성숙의 제한요인은 광주기로, 계통보존을 위한 성숙억제 조건은 연속암기로 생각된다.

## 요 약

한국산 미역[*Undaria pinnatifida*(Harvey) Suringar] 배우체의 생장·성숙에 미치는 광 및 온도의 영향을 조사하기 위하여 부산의 조도에서 남방형을, 용호동에서 북방형의 성숙 포자체를 채집하여, 이들로부터 유주자를 방출받아 0:24, 4:20, 8:16, 12:12, 16:8LD의 광주기, 20, 40, 60, 100$\mu$mol $m^{-2}s^{-1}$의 광도 및 5, 17, 20, 25, 30℃의 온도조건하에서 유주자 발아 후의 배우체 발달과정이 조사되었다.

남방형은 25℃의 온도조건에서는 배우체의 생존율이 매우 낮았고, 30℃의 모든 광도조건에서는 10~40일 이내에 사멸하였다. 가장 빠른 배우체의 생장·성숙 및 아포체로의 발달은 12:12LD, 17℃, 60$\mu$mol $m^{-2}s^{-1}$에서 관찰되었다. 그러나 배우체의 생장과 성숙은 같은 온도일지라도 광도에 따라 달리 나타났으며, 특히 생장과 성숙이 가능한 모든 온도범위에서는 60$\mu$mol $m^{-2}s^{-1}$이하의 낮은 광도에서 빠른 성숙을 보였다. 북방형도 남방형과 마찬가지로 미역 배우체의 생존 임계온도는 30℃로 관찰되었으나 남방형에 비해 고온에서 빨리 괴사하는 양상을 나타냈다. 또한 아포체가 가장 먼저 확인된 조건은 남방형과 동일하였으나, 남방형과는 달리 5℃에서는 60$\mu$mol $m^{-2}s^{-1}$이하의 낮은 광도에서 빠른 성숙이 일어난 반면에

17℃의 높은 온도조건에서는 60μmol $m^{-2}s^{-1}$이상의 높은 광도에서 아포체의 발달이 빨랐다. 따라서 북방형 미역의 성숙은 온도에 따라 서로 다른 광도에 영향을 받는 것으로 생각된다. 광주기의 경우에는 12:12, 8:16, 16:8, 4:20 LD의 순서로 아포체의 발달이 관찰되지만 연속암기조건(0:24LD)에서는 생장과 성숙이 거의 일어나지 않았다. 이상의 결과로부터 한국산 미역의 남, 북방형 모두 생존의 주요 제한요인은 온도로서 생존가능 상한 임계온도는 30℃ 부근으로 추정되며, 생존가능 온도범위에서 성숙의 제한요인은 광주기로, 성숙 억제조건은 24시간의 연속암기로 생각된다.

## 참 고 문 헌


Akiyama, K. 1965. Studies of ecology and culture of *Undaria pinnatifida* (Harv.) Sur. II. Environmental factors affecting the growth and maturation of gametophyte. Bull. Tohoku Reg. Fish. Res. Lab., 25, 143~170 (in Japanese).

Akiyama, K. and M. Kurogi. 1982. Cultivation of *Undaria pinnatifida* (Harvey) Suringar, the decrease in corps from natural plants following crop increase from cultivation. Bull. Tohoku Reg. Fish. Res. Lab., 44, 91~100 (in Japanese).

Brown, M.T. and M.D. Lamare. 1994. The distribution of *Undaria pinnatifida* (Harvey) Suringar within Timaru Habour, New Zealand. Jpn. J. Phycol., 42, 63~70.

Chung, Y.K. and D.Y. Chung. 1967. Studies of the artificial seedling production and growth of *Undaria pinnatifida* (Har.) Sur. Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Agency, 2, 143~152 (in Korean).

Hue, J.S., Y.G. Gong, D.Y. Lee and K.W. Nam. 1995. Studies on the free living culture of gametophyte of *Undaria pinnatifida*. Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Agency, 49, 19~217 (in Korean).

Kang, J.W. and N.P. Ko. 1977. Seaweed Culture. Taewha Publish. Co. Pusan, 294 pp. (in Korean).

Kang, L.S. and S.J. Yoo. 1993. The acute toxicity of three oils to the early life stages of *Undaria pinnatifida* (Harvey) Suringar. Korean J. Phycol., 8, 77~82 (in Korean).

Kato, T. and Y. Nakahisa. 1961. Studies on the culture of *Undaria pinnatifida*. Bull Tokushima Pref. Fish. Exp. Sta., 3, 3~36 (in Japanese).

Lee, I.K. and J.W. Kang. 1986. A check list of marine algae in Korea. Korean J. Phycol., 1, 311~325 (in Korean).

Lee, J.A., Y.I. Sunwoo, H.J. Lee, I.H. Park and I.K. Chung. 1989. The effects of copper on the early stages of *Undaria pinnatifida* (Harv.) Suringar (Laminariales, Phaeophyta) under temperature-irradiance gradient. Korean J. Phycol., 4, 41~53.

Lee, S.M., D.K. Park, S.K. Lee and S.K. Lee. 1970. On the quality improvement of dried *Undaria pinnatifida*. Bull. Fish. Res. Dev. Agency, 5, 37~52 (in Korean).

Okamura, K. 1915. *Undaria* and its species. Bot. Mag. Tokyo, 29, 269~281.

Provasoli, L. 1968. Media and prospects for the cultivation of marine algae. In *Culture and Collection of Algae*, A. Watanabe and A. Hottori, eds. Jap. Soc. Plant. Physiol., Tokyo, pp. 63~75.

Rho, Y.G., Y.G. Gong, D.Y. Lee, Y.C. Cho and J.W. Jang. 1993. On the parasitic Copepod (Harpacticoida) in the cultivated brown alga, *Undaria pinnatifida* (Harvey) Suringar. Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Agency, 47, 197~210 (in Korean).

Saito, Y. 1956a. An ecological study of *Undaria pinnatifida* Sur. I. On the influence of environmental factors upon the development of gametophytes. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 22, 229~234 (in Japanese).

Saito, Y. 1956b. An ecological study of *Undaria pinnatifida* Sur. II. On the influence of environmental factors upon the maturity of gametophytes and early development of sporophytes. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 22, 235~239 (in Japanese).

Saito, Y. 1962. Fundamental studies on the propagation of *Undaria pinnatifida* (Harv.) Sur. Contr. Fish. Lab., Fac. Agr., Univ. Tokyo, 3, 1~101 (in Japanese).

Saito, Y. 1972. On the effects of environmental factors on morphological characteristics of *Undaria pinnatifida* and the breeding of hybrids in the genus Undaria. In *Contributions to the Systematics of Benthic Marine Algae of the North Pacific*, I.A. Abbott, M. Kurogi, eds. Sapporo Jap. Soc. Phycol., Kobe, 117~131.

Segi, T. and W. Kida. 1958. Studies on the development of *Undaria undarioides* (Yendo) Okamura (II). On the development of sporophytes and influence of light intensity on it. Fac. Fish. Pref. Univ. Mie., 2, 517~525 (in Japanese).

Yamanaka, R. and K. Akiyama. 1993. Cultivation and utilization of *Undaria pinnatifida* (wakame) as food. J. Appl. Phycol., 5, 249~253.


1997년 4월 2일 접수
1997년 5월 9일 수리