넓미역 (*Undariopsis peterseniana*)의 대량생산을 위한 유리배우체의 재생 및 성숙 유도

황은경·심철홍·하동수·공용근·박찬선[1]*
국립수산과학원 해조류바이오연구센터, [1]목포대학교 해양수산자원학과

Regeneration and Maturation Induction of Free-Living Gametophytes of *Undariopsis peterseniana* for their Mass Production

Eun Kyoung Hwang, Cheol Hong Shim, Dong Soo Ha, Yong Gun Gong and Chan Sun Park[1]*
Seaweed Research Center, NFRDI, Mokpo 530-831, Korea
[1]Department of Marine and Fisheries Resources, Mokpo National University, Mokpo 534-729, Korea

Induction of regeneration and maturation of the free-living gametophytes of *Undariopsis peterseniana* (Kjellman) Miyabe et Okamura was studied at four temperatures (5, 10, 15, and 20℃), four levels of irradiance (5, 10, 20, and 40 μmol m^{-2} s^{-1}) and three photoperiods (14:10, 12:12, and 10:14 h L:D). Female gametophyte fragments were maintained in active regeneration without reaching sexual maturity under conditions of 15℃, 20 μmol m^{-2} s^{-1}, 10:14 h (L:D), whereas the conditions for male gametophytes were slightly different at 15℃, 20 μmol m^{-2} s^{-1}, 14:10 h (L:D). The sexual maturation of female and male gametophytes took place under 15℃, 20 μmol m^{-2} s^{-1}, 14:10 h (L:D) and 10℃, 10 μmol m^{-2} s^{-1}, 10:14 h (L:D), respectively. These results provide basic information for controlling the regeneration and maturation of free-living gametophytes for artificial seed production of *U. peterseniana*.

Key words: Free-living gametophyte, Maturation, Regeneration, *Undariopsis peterseniana*

서 론

대형 갈조류 넓미역, *Undariopsis peterseniana* (Kjellman) Miyabe et Okamura은 우리나라의 제주도 종달리와 우도 사이의 좁은 수로와 가파도 및 청산도에 분포하고 있는 것으로 보고되었으나 (Kang, 1966; Lee, 1998; Lee and Koh, 1991; Lee et al., 1991), 우점 군락은 우도 지역에만 분포하는 것으로 알려져 있다 (Hwang et al., 2010a,b). 넓미역의 분포 지역은 주로 쓰시마 난류의 영향을 직접적으로 받는 지역이며, 저질이 산호조류로 구성된 (Lee, 1998) 수심 15 m 지역에 우점하여 서식하고 있다 (Lee and Koh, 1991; Hwang et al., 2010b).

넓미역은 전통적으로 제주 지역에서 횟감의 쌈용으로 이용되어 왔으나, 자연자원이 급감하면서 수산자원관리법 시행령상의 유용 수산자원으로서 채취금지기간 설정의 대상이 되었다 (Hwang et al., 2010b). 최근 Hwang et al. (2010b)은 보호대상 넓미역의 생태학적 연구를 통해 자연군락에서 생장 및 성숙 주기를 밝혔으며, Hwang et al. (2010a)는 해조류 양식이 주로 이루어지고 있는 전남 완도지역에 넓미역을 도입하여 시험양식에 성공함으로써 대량양식을 위한 적정 생육환경 조건을 구명하였다. 이외에도 남방계 미역 품종인 넓미역의 생리생태학적 특성을 이용하여 미역속간의 교잡 연구 등이 수행된 바 있으나 (Migita, 1963; Kang, 1966; Saito, 1972), 지속적인 품종개량이나 산업적인 이용에는 이르지 못하였다. 이는 대형 갈조류군의 경우 배우체와 포자체의 세대교번이 대부분 이형세대교번으로 이루어지기 때문에 이들의 품종개량이나 교잡을 용이하게 하기 위해선 암수배우체의 분리, 배양 및 성숙유도 등의 기법이 요구되나 이와 같은 접근은 현재까지 시도된 바 없다. 유리배우체의 배양에 의한 증식 방법은 소량의 성숙 엽체만으로도 많은 양의 배우체 확보가 가능하며, 확보된 배우체는 무성적으로 대량증식을 통해 지속적인 계대배양이 가능할 뿐 아니라 클론 배우체의 유도를 통한 우량 품종의 교배와 선발육종의 기초를 다질 수 있는 유용한 방법이다 (Wi et al., 2008). 이러한 유리배우체의 대량배양을 위한 재생 및 성숙 유도 조건은 감태 (Wi et al., 2008) 및 곰피 (Hwang et al., 2010b) 등에서 구명된 바 있으나, 넓미역의 경우 현재까지 유리배우체의 분리, 재생 및 성숙 유도 조건이 밝혀진 바 없다.

따라서 이 논문에서는 남방계 미역 품종인 넓미역 유리배우체의 분리, 재생 및 성숙 조건 구명을 통한 유리배우체 대량배양 조건을 밝힘으로써 미역속의 품종개량과 교잡 연구에 기여하고, 나아가서는 보호대상종인 넓미역의 안정적인 종묘수급방안 마련과 자연개체군의 효율적인 보호 방안 마련에 기여하고자 하였다.

*Corresponding author: cspark85@mokpo.ac.kr

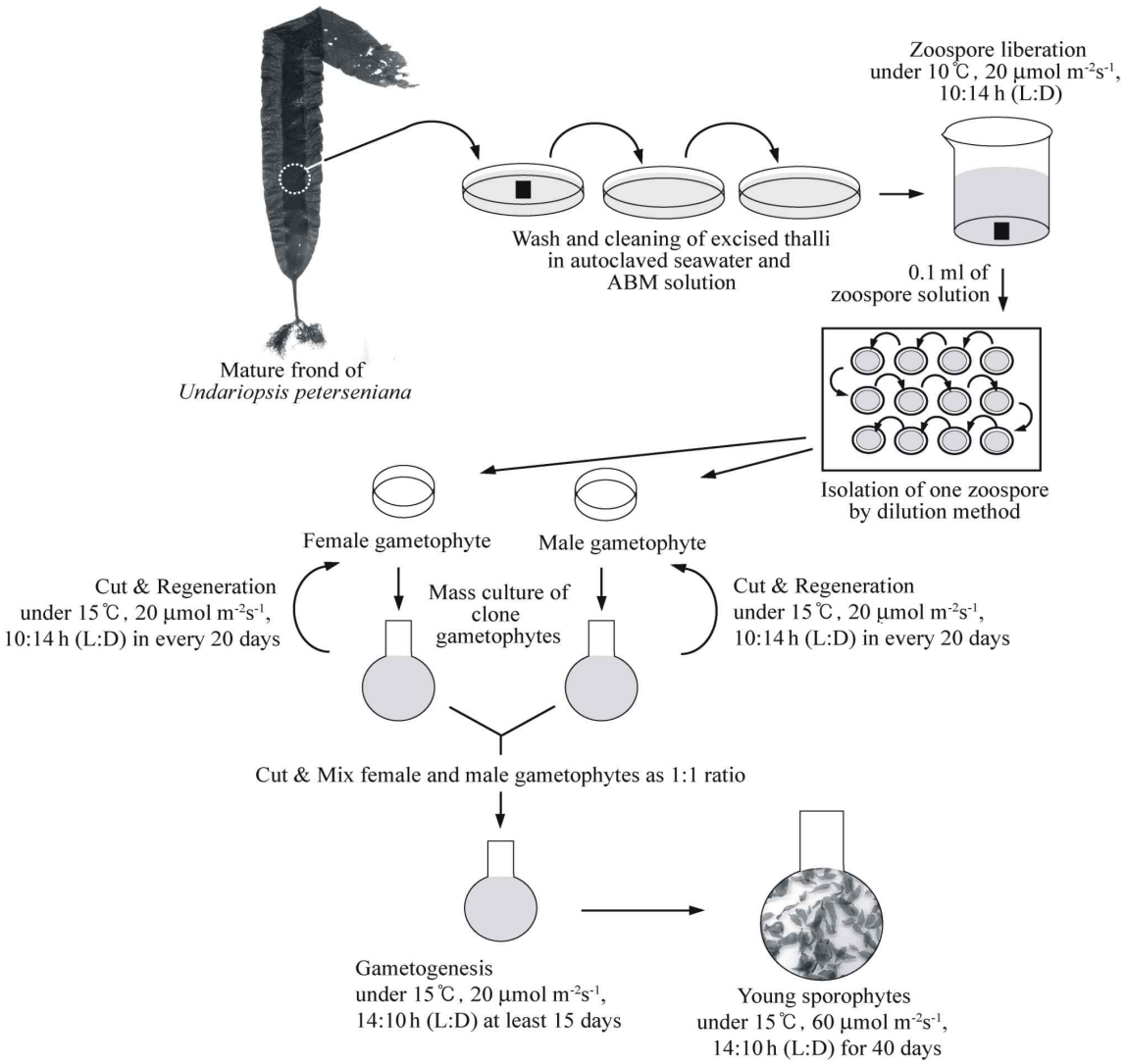

Fig. 1. A manual for the mass culture of free-living gametophytes in *Undariopsis peterseniana* including the culture conditions for the regeneration and maturation induction.

재료 및 방법

유주자 방출 및 배우체 분리

본 연구에 사용된 성숙 모조는 2009년 5월에 제주도 북제주군 우도면 수심 12~15 m에서 채취하였다. 채취된 성숙 모조는 아이스박스에 넣어 즉시 실험실로 운반한 뒤, 자낭반 부분을 절취하여 멸균해수로 수회 세척한 후 멸균해수를 200 mL 채운 500 mL 용량의 비이커에 자낭반 조각을 넣고, 인큐베이터 (EYELA MTI-202B, Japan)를 이용하여 10℃, 20 μmol m^{-2} s^{-1} 및 10:14 h (L:D) 조건에서 4시간 동안 유주자 방출을 유도하였다. 방출된 유주자액 0.1 mL를 취하여 12 multi well-plate를 이용한 희석법으로 Fig. 1과 같이 유주자액을 차례로 분주하여 밀도를 낮추었다. 4~5일후 배우체가 암수로 구별되면 도립현미경 (Axio Observer A1, Carl zeiss, Germany)하에서 각각 암배우체와 수배우체로 구분하여 별도의 직경 5 cm의 멸균된 페트리디쉬에 수용하여 PESI 배양액 20 mL을 넣어 배양하면서 배양액은 2~3일 간격으로 환수하였다. 암수 배우체의 생장에 따라 배양용기를 250 mL로 옮겨주고 PESI 배지를 첨가하여 각각의 암수배우체 덩어리가 직경 5 mm 크기에 도달할 때까지 50~60일간 통기 배양하였다.

유리배우체 단편의 절단 크기별 재생

유리배우체 단편의 절단 크기별 재생을 파악하기 위하여 무성적으로 대량배양된 암수 배우체 덩어리 0.1 g-fresh wt.를 멸균해수 100 mL와 함께 250 mL 비이커에 넣고 각각 호모게나이저 (DI 25 basic, GMBH & Co., Germany)의 회전속도 (8,000, 9,500, 13,500, 20,500 및 24,000 rpm) 구간별로 60초간 절단한 후 15℃, 20 μmol m^{-2} s^{-1} 및 14:10 h (L:D)의 조건에서 12 multi well-plate를 사용하여 20일간 정치배양한 후 배우체의 길이와 세포수를 도립현미경 하에서 측정하였다. 절단된 배우체의 크기 그룹별 길이 및 세포수의 생장은 배양 개시시

의 배우체 평균 길이 및 평균 세포수를 배양종료시의 그것과 비교하여 구하였다.

유리배우체 단편의 생장 및 성숙

유리배우체의 절단 후 유리배우체 단편의 생장 및 성숙 유도에 유리한 최적 환경조건을 파악하기 위해 덩어리로 자란 암수 유리배우체를 각각 호모게나이저로 재생장이 가장 좋았던 절단 조건인 8,000 rpm의 속도로 1분간 분쇄하여, 12 multi well-plate에 PESI 배지 1 mL를 채우고 한 well당 1개씩의 암수 배우체를 각각 수용하였다. 배양조건은 4개 온도구간 (5, 10, 15, 20℃)과 4개 조도구간 (5, 10, 20, 40 μmol m^{-2} s^{-1}) 및 3개 광주기 구간 [10:14, 12:12, 14:10 h (L:D)]으로 설정하여 multi room incubator (DS-14MCLP)를 이용하여, 배우체의 길이생장 및 성숙 여부를 도립현미경으로 관찰하였다. 조도의 측정은 LI-1400 (LI-COR, USA)으로 하였고, 조도 구간의 조정은 중성필터 (Lee Filter) ND 209, 210, 211호를 사용하여 조절하였다. 길이생장은 호모게나이저로 분쇄 후 절단된 배우체는 분지가 없는 상태의 것을 선별해 측정하였으며, PESI 배지는 7일마다 교환해 주었다. 유리배우체의 상대생장률 (RGR)은 Wi et al. (2009) 및 Hwang et al. (2010b)의 방법을 이용하여 구하였다.

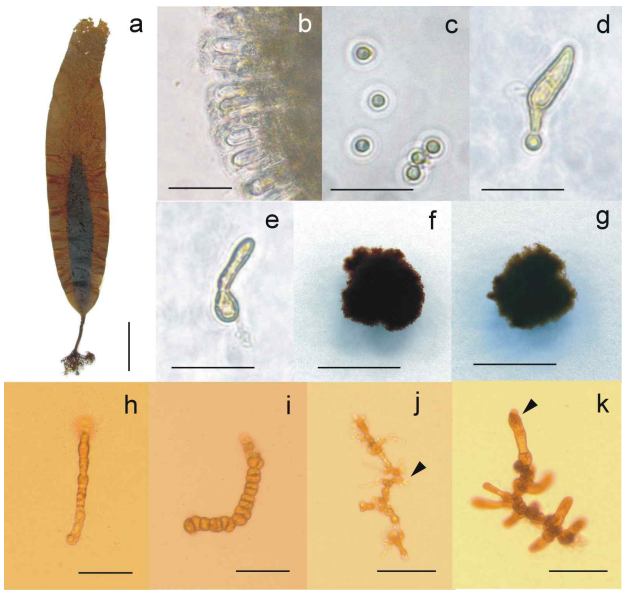

Fig. 2. Procedure of the isolation and culture of free-living gametophytes of *Undariopsis peterseniana*. a: Mature sporophyte. b: A cross-section of sporangia. c: A germling after zoospore release. d: Female gametophyte after 5 days culture. e: Male gametophytes after 5 days culture. f: A cluster of female gametophytes after 30 days culture. g: A cluster of male gametophytes after 30 days culture. h: A fragment of female gametophyte. i: A fragment of male gametophyte. j: Spermatia formation (arrow head) from a male gametophyte fragment. k: Oogonia formation (arrow head) from a female gametophyte fragment. Scale bar are 10 cm (a), 20 μm (b-e), 5 mm (f-g), 50 μm (h-i), 100 μm (j-k). Culture conditions are expressed in Fig. 1.

통계분석

실내배양실험에서 얻어진 배우체 단편의 생장률에 대한 온도, 조도 및 광주기 조건에 대한 각각의 유의성 분석은 분산분석법 (one-way ANOVA)을 이용하여 실시하였으며 (Zar, 1984), 통계프로그램은 SPSS ver. 8.0과 SYSTAT ver. 9.0을 이용하여 유의수준 0.05 수준에서 이루어졌다. 생장률 데이터는 통계분석 이전에 arcsine transformation하였다 (Parker, 1979).

결 과

배우체의 생장

넓미역 엽체 (Fig. 2a)의 자낭반 (Fig. 2b)으로부터 방출된 유주자 (Fig. 2c)는 방출 즉시 기질에 부착하여 구형으로 착생하였다. 15℃, 20 μmol m^{-2} s^{-1} 및 14:10 h (L:D) 광주기 조건에서 배양 5일후 각각 암배우체 (Fig. 2d) 또는 수배우체 (Fig. 2e)로 자랐다. 각각의 암수 배우체는 통기 조건하에서 약 30일이 경과되면 Fig. 2f-g와 같이 배우체 덩어리로 증식되었다. 호모게나이저를 이용하여 절단된 암수 배우체의 절편 (Fig. 2h-i)은 통기 조건하에서 다시 배우체 덩어리로 증식시키거나 정치배양을 실시하여 20일 후 Fig. 2j-k와 같이 각각 장란기와 장정기 형성을 유도하였다.

유리배우체 단편 크기별 재생

유리배우체의 단편 크기별 길이생장은 Fig. 3 및 Fig. 4와 같이 실험시작 시 각각의 절단크기 및 세포수 조건별로 차이

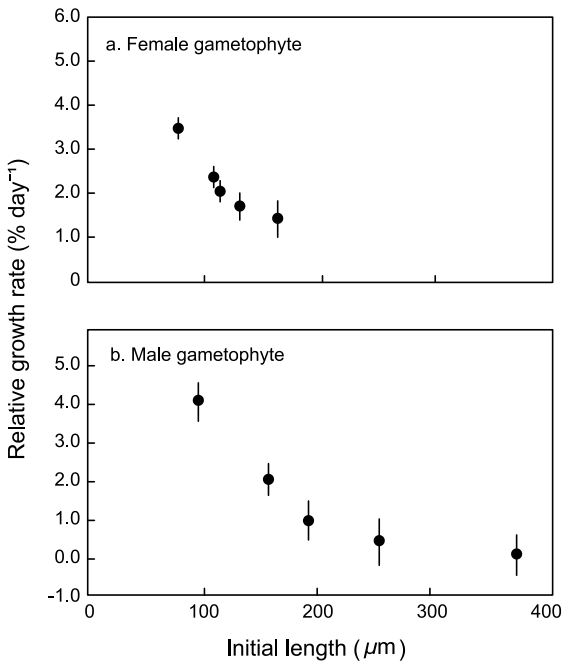

Fig. 3. Relative growth rate of gametophytic fragments of *Undariopsis peterseniana* according to the initial size of fragment. a: Female. b: Male. Culture conditions were 15℃, 20 μmol m^{-2} s^{-1} and 14:10 h (L:D). Bars are standard deviation (n=30).

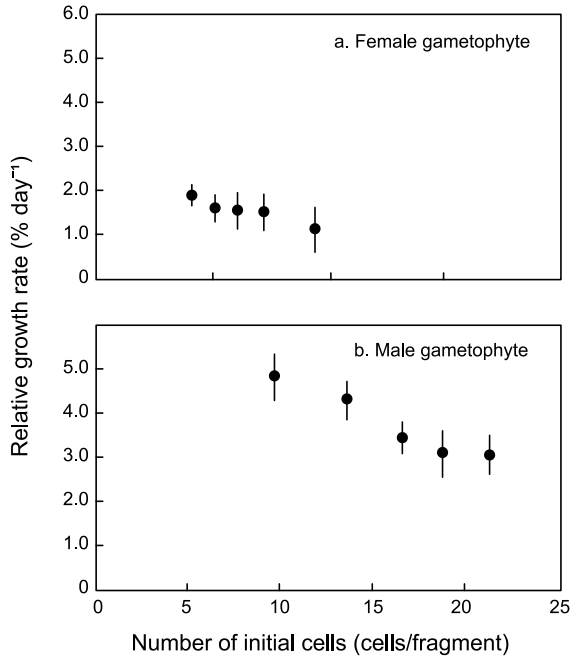

Fig. 4. Relative growth rate of gametophytic fragments of *Undariopsis peterseniana* according to the number of initial cell of fragment. a: Female. b: Male. Culture conditions were 15℃, 20 μmol m^{-2} s^{-1} and 14:10 h (L:D). Bars are standard deviation (n=30).

를 나타내었다. 배우체의 절단 크기별로는 암배우체의 경우 Fig. 3a와 같이 배우체의 절단 크기가 가장 작았던 77.0±23.3 μm 조건에서 배양 20일 후 생장률이 3.5±0.2% day^{-1}로 가장 높았으며, 절단 크기가 가장 컸던 163.4±21.4 μm조건에서 배양 20일 후 생장률이 1.4±0.4% day^{-1}로 가장 낮았다. 수배우체의 경우도 Fig. 3b와 같이 배우체의 절단 크기가 가장 작았던 95.4±29.9 μm 조건에서 배양 20일 후 생장률이 4.1±0.5% day^{-1}로 가장 높았으며, 절단 크기가 가장 컸던 375.4±17.1 μm 조건에서 배양 20일 후 생장률이 0.1±0.06% day^{-1}로 가장 낮았다.

배우체의 절단 시 세포수 조건별로는 암배우체의 경우 Fig. 4a와 같이 실험시작 시 세포수가 가장 적었던 5.2±2.1 cell/ind. 조건에서 배양 20일 후 생장률이 2.0±0.2% day^{-1}로 가장 높았으며, 세포수가 가장 많았던 12.0±0.5 cell/ind. 조건에서 배양 20일 후 생장률이 1.1±0.2% day^{-1}로 가장 낮았다. 수배우체의 경우 Fig. 4b와 같이 실험시작 시 세포수가 가장 적었던 9.7±0.5 cell/ind. 조건에서 배양 20일 후 생장률이 4.8±0.5% day^{-1}로 가장 높았으며, 세포수가 가장 많았던 21.4±0.4 cell/ind. 조건에서 배양 20일 후 생장률이 3.1±0.4% day^{-1}로 가장 낮았다. 따라서 유리배우체의 세단은 단편의 크기가 작을수록 (약 100 μm), 그리고 세포수가 적을수록 (암배우체의 경우 약 5 세포, 수배우체의 경우 약 10 세포) 길이생장이나 세포수의 증가 측면에서 생장률이 높게 나타나는 경향을 보였다.

유리배우체의 단편을 각기 다른 배양조건에서 배양한 결과 Table 1과 같이 차이를 나타내었다. 암배우체의 온도조건별 생장률은 배양 20일 후 15℃ 조건에서 2.5±0.2% day^{-1}로 타 온도 조건에 비하여 가장 높았으며, 5℃조건에서 0.2±0.1% day^{-1}로 가장 낮았다 (P<0.05). 조도구간별로는 20 μmol m^{-2} s^{-1} 조건에서 2.5±0.2% day^{-1}로 가장 높았으며, 5 μmol m^{-2} s^{-1} 조건에서 0.6±0.2% day^{-1}로 가장 낮았다 (P<0.05). 광주기 조건별로는 10:14 h (L:D) 조건에서 2.6±0.2% day^{-1}로 가장 높았고, 14:10 h (L:D)에서 2.1±0.3% day^{-1}로 가장 낮았다 (P<0.05).

수배우체의 온도조건별 생장률은 배양 20일 후 15℃ 조건에서 1.6±0.3% day^{-1}로 가장 높았으며, 20℃조건에서 0.5±0.2% day^{-1}로 가장 낮았다 (P<0.05). 조도구간별로는 20 μmol m^{-2} s^{-1} 조건에서 3.6±0.3% day^{-1}로 가장 높았으며, 5 μmol m^{-2} s^{-1} 조건에서 0.9±0.2% day^{-1}로 가장 낮았다 (P<0.05). 광주기 조건별로는 14:10 h (L:D) 조건에서 2.7±0.2% day^{-1}로 가장 높았으며, 10:14 h (L:D) 조건에서 1.0±0.2% day^{-1}로 가장 낮았다 (P>0.05).

Table 1. Relative growth rate of free-living gametophytes in *Undariopsis peterseniana* according to different temperature, irradiance and photoperiod conditions

Experimental conditions		Initial length (μm±SD)		Final length (μm±SD)		Relative growth rate (% day^{-1})	
		Female	Male	Female	Male	Female	Male
Temperature (℃)	5	114.4±28.5	154.2±23.8	119.0±88.1	188.1±92.2	0.2±0.1^{a}	1.0±0.2^{a}
	10			159.2±67.3	202.9±71.1	1.7±0.3^{b}	1.4±0.2^{b}
	15			186.9±74.1	210.4±68.4	2.5±0.2^{c}	1.6±0.3^{b}
	20			147.6±55.6	172.1±87.2	1.3±0.2^{b}	0.5±0.2^{c}
Irradiance ($\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)	5	127.9±25.9	136.1±8.8	144.7±56.7	163.5±60.3	0.6±0.2^{a}	0.9±0.2^{a}
	10			154.4±57.5	186.5±62.5	0.9±0.3^{a}	1.6±0.2^{b}
	20			211.2±86.8	280.0±64.1	2.5±0.2^{b}	3.6±0.3^{c}
	40			194.8±85.7	240.5±44.9	2.1±0.2^{c}	2.8±0.3^{d}
Photoperiod (L:D)	14:10	122.8±8.3	154.9±9.1	188.4±47.7	264.1±75.8	2.1±0.3^{a}	2.7±0.2^{a}
	12:12			193.0±38.7	244.6±61.8	2.3±0.2^{a}	2.3±0.2^{a}
	10:14			206.1±85.8	187.5±64.6	2.6±0.2^{b}	1.0±0.2^{b}

Values (mean±s.d. of triplicate groups) in same column having the different superscripts are significantly different (P<0.05).

배양조건별 유리배우체 단편의 성숙

암배우체의 성숙은 Table 2와 같이 온도, 조도 및 광주기 조건별로 차이를 나타내었다. 온도조건별로는 15~20℃ 조건에서 배양 10일 후 가장 먼저 장란기가 형성되기 시작하여, 15일 후 30% 이상의 암배우체가 장란기를 형성하였고, 배양 20일 후에는 약 50% 이상의 암배우체가 장란기 형성을 나타내었다. 그러나 5~10℃ 조건에서는 배양 20일까지 장란기의 형성이 관찰되지 않았다. 조도조건별로는 20 μmol m^{-2} s^{-1} 조건에서 배양 10일 후 약 10%의 암배우체가 장란기를 형성하였으며 40 μmol m^{-2} s^{-1} 조건에서는 배양 20일 후 장란기의 형성을 나타내었으나, 5~10 μmol m^{-2} s^{-1} 조건에서는 배양 20일까지 장란기가 형성되지 않았다. 광주기 조건별로는 14:10 h (L:D) 조건에서 배양 10일 후 가장 먼저 장란기의 형성이 관찰되었으며, 12:12 h 및 10:14 h (L:D) 조건에서는 배양 15일 후 장란기의 형성이 관찰되었다.

Table 2. Gametophytic maturation and oogonium formation of female gametophyte under temperature, irradiance and photoperiod conditions in *Undariopsis peterseniana*

Conditions		Day				
		0	5	10	15	20
Temperature (℃)	5	-	-	-	-	-
	10	-	-	-	-	-
	15	-	-	+	++	+++
	20	-	-	+	++	+++
Irradiance ($\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)	5	-	-	-	-	-
	10	-	-	-	-	-
	20	-	-	+	++	+++
	40	-	-	-	-	+
Photoperiod (L:D)	14:10	-	-	+	++	+++
	12:12	-	-	-	+	++
	10:14	-	-	-	+	++

-, sterile; +, less than 10% in formation rate of oogonium; ++, less than 30% in formation rate of oogonium; +++, less than 50% in formation rate of oogonium.

수배우체의 성숙은 Table 3과 같이 온도, 조도 및 광주기 조건별로 차이를 나타내었다. 온도조건별로는 배양 5일 후 10℃ 조건에서 장정기의 형성이 나타나기 시작하였으며, 5℃ 조건에서는 배양 10일 후, 그리고 15~20℃ 조건에서는 배양 20일 후 장정기의 형성이 관찰되었다. 조도조건별로는 배양 5일 후 10 μmol m^{-2} s^{-1} 조건에서 가장 먼저 장정기의 형성이 관찰되었으며, 5 μmol m^{-2} s^{-1} 조건에서는 배양 15일 후 장정기의 형성이 관찰되었으나 20~40 μmol m^{-2} s^{-1} 조건에서는 배양 20일까지 장정기가 형성되지 않았다. 광주기 조건별로는 10:14 h (L:D) 조건에서 배양 10일 후 가장 먼저 장정기가 형성되기 시작하였으며, 12:12 h (L:D)에서는 배양 10일 후 장정기의 형성이 관찰되었으나 14:10 h (L:D)에서는 배양 20일 후 가장 늦게 장정기의 형성이 관찰되었다.

Table 3. Gametophytic maturation and antheridium formation of male gametophyte under temperature, irradiance and photoperiod conditions in *Undariopsis peterseniana*

Conditions		Day				
		0	5	10	15	20
Temperature (℃)	5	-	-	+	+	+
	10	-	+	+	+	+
	15	-	-	-	-	+
	20	-	-	-	-	+
Irradiance ($\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)	5	-	-	-	+	+
	10	-	+	+	+	+
	20	-	-	-	-	-
	40	-	-	-	-	-
Photoperiod (L:D)	14:10	-	-	-	-	+
	12:12	-	-	+	+	+
	10:14	-	+	+	+	+

-, sterile; +, formation of antheridium.

고 찰

해조류 중 이형세대교번을 수행하는 갈조류는 배우체 세대에서 암수배우체를 각각 분리하여 무성적으로 증식시킬 수 있으며, 환경조절을 통하여 배우자 형성을 유도하거나 억제할 수 있음이 알려져 있다 (Lüning, 1980). 최근 Westermeir et al. (2006)는 다시마과의 대형 갈조류인 *Lessonia trabeculata*와 *Macrocystis pyrifera*의 유리배우체 배양에 의한 양식에 성공함으로써 유리배우체 배양을 이용한 대량양식이 가능함을 입증한 바 있다. 유리배우체 배양 체계 확립은 자연에서의 엽체 성숙 시기와는 독립적으로 연중 종묘생산이 가능하게 됨을 의미한다 (Wi et al., 2008). 우리나라에서는 감태 (Wi et al., 2008)와 곰피 (Hwang et al., 2010b) 유리배우체의 재생 및 성숙 유도 조건이 구명된 바 있으나, 현재까지 유리배우체 채묘에 의한 양성까지는 이르지 못하고 있는 실정이다. 특히 넓미역과 같이 서식범위가 매우 제한되거나 보호대상 해조류인 경우 인공 양식 시 소량의 모조를 사용하여 대량의 배우체를 안정적으로 생산할 수 있는 인공종묘 생산법은 자연자원을 보전할 수 있는 가장 효율적인 종묘 확보 방법이라 할 수 있다.

넓미역의 경우 남방계 미역 품종으로 인식되어 미역 품종의 개량을 위한 교배실험이 이루어져 (Migita, 1963; Saito, 1972), 교잡 품종은 넓미역과 미역의 중간적인 형태형질을 가지는 것으로 보고되었다. 넓미역의 가이식 및 양성 기법에 대해서는 Hwang et al. (2010a)의 연구가 보고된 바 있어 넓미역의 종묘가 안정적으로 확보될 수만 있다면 넓미역의 대량양식을 통한 산업적 이용 전망은 매우 밝다고 할 수 있다.

갈조류 유리배우체 배양방법을 넓미역 종묘생산에 적용하기 위해서는 먼저 각각의 암수배우체의 분리, 생장 및 성숙 유도 조건을 구명해야 하는데, 특히 유리배우체의 성숙 유도를 위한 적정 배양조건의 구명이 무엇보다 중요하다. 본 연구

결과 넓미역 배우체의 성숙에 대한 온도, 조도와 광주기의 영향은 암수배우체에서 각각 차이를 나타내었다. 즉 암수배우체의 생장은 15℃, 20 μmol m^{-2} s^{-1}, 10:14 h (L:D)와 15℃, 20 μmol m^{-2} s^{-1}, 14:10 h (L:D) 조건에서 각각 촉진되었고, 암수배우체의 성숙은 15℃, 20 μmol m^{-2} s^{-1}, 14:10 h (L:D)과 10℃, 10 μmol m^{-2} s^{-1}, 10:14 h (L:D) 조건에서 촉진되는 것으로 나타났다. 이러한 암수유리배우체의 재생 및 성숙에 대한 온도, 조도 및 광주기의 영향은 다른 종류의 해조류 종간에도 차이를 보였는데, 곰피의 경우 암수배우체의 재생은 각각 5~10℃, 10 μmol m^{-2} s^{-1}, 10:14 h (L:D)와 20℃, 40 μmol m^{-2} s^{-1}, 10:14 h (L:D)조건에서 촉진되었고, 암수유리배우체의 성성숙은 15℃, 20 μmol m^{-2} s^{-1}, 14:10 h (L:D)과 10℃, 10 μmol m^{-2} s^{-1}, 12:12 h (L:D)조건에서 각각 촉진되었다 (Hwang et al. 2010b). 또한 감태의 경우 암수배우체의 재생은 각각 5~10℃, 5~10 μmol m^{-2} s^{-1}, 10:14 h (L:D)와 15~20℃, 20~40 μmol m^{-2} s^{-1}, 14:10 h (L:D)조건에서 촉진되었고, 성성숙은 15℃, 20~40 μmol m^{-2} s^{-1}, 14:10 h (L:D)과 5~10℃, 5~10 μmol m^{-2} s^{-1}, 10:14 h (L:D)조건에서 각각 촉진되었다 (Wi et al., 2008).

이와 같이 곰피, 감태 및 넓미역에서 암수유리배우체의 재생과 성숙 유도 조건은 공통적으로 서로 상반되는 광주기 조건을 필요로 하는 것으로 나타났는데, 이는 이형생활사를 가지는 갈조류의 생존전략의 하나로 생육단계별 활성 변화를 인식하는 생체리듬이 존재하기 때문일 것으로 보인다. 즉, 넓미역 개체의 생존은 아포체의 형성율에 직접적으로 영향을 받게 되는데, 아포체의 형성율을 좌우하는 것은 암수배우체의 성숙에 의한 높은 수정율로 운동성을 가지는 수배우체가 암배우체 보다 낮은 온도 및 광량조건 (누적광량)에서 먼저 성숙한 다음 운동성이 없는 암배우체를 성숙시켜야 보다 긴 수정시간이 확보되어 수정율 제고에 도움을 줄 수 있기 때문이다 (Lüning and Müller, 1978).

넓미역의 유리배우체 배양 시 곰피 및 감태와의 차이점은 재생 및 성숙 조건에 있어 특히 암유리배우체의 경우 온도 및 조도 조건은 같은 조건에서 광주기 조건에 따라 재생 또는 성숙으로 차이를 보인다는 점이다. 이는 온도 및 조도 그리고 광주기 조건을 함께 조절해 주어야 하는 곰피 (Wi et al., 2008) 및 감태 (Hwang et al., 2010b)와는 달리 넓미역의 경우 보다 광주기에 민감하게 반응하는 것으로, 단년생과 다년생 해조류의 차이에 기인하는 것으로 해석해 볼 수 있을 것이다.

본 연구는 넓미역 암수배우체의 분리배양 시 유리배우체의 생장 및 성숙 유도를 위한 최적배양 조건을 구명하고, 이를 이용한 인공채묘기법을 개발하여 대량양식에 이용할 수 있는 기초자료로 사용하고자 하였다. 자연군락으로부터 모조의 대량 확보가 어려운 넓미역의 경우 대량 양식을 위한 종묘 수급체계 확보는 인공채묘 기법의 개발과 대량양식 가능성을 크게 높여 해조 양식 대상종을 다양화하는데 크게 기여할 것으로 기대된다.

사 사

본 연구는 농림수산식품부의 연구비 지원 (국립수산과학원 RP-2011-AQ-021)과 2009년도 정부 (교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 대학중점연구소 지원사업 (2009-0093828)으로 수행되었습니다.

참고문헌

Hwang EK, Gong YG and Park CS. 2010a. Cultivation of a brown alga, *Undariopsis peterseniana* (Kjellman) Miyabe and Okamura. J Appl Phycol DOI 10.1007/s10811-010-9598-3.

Hwang EK, Gong YG, Ha DS and Park CS. 2010b. Inducing the regeneration and maturation of free-living gametophytes of *Ecklonia stolonifera* Okamura (Laminariales, Phaeophyta). J Kor Fish Soc 43, 231-238.

Kang JW. 1966. On the geographical distribution of marine algae in Korea. Bull Pusan Fish Coll 7, 1-125.

Lee IK, Choi DS, Oh YS, Kim GH, Lee JW, Kim KY and Yoo JS. 1991. Marine algal flora and community structure of Chongsando Island on the south sea of Korea. Korean J Phycol 6, 131- 143.

Lee KW and Koh SJ. 1991. Algal flora of four islets without inhabitants along the coast of Cheju Island. Rep Sci Res, Four inhabited islets in the vicinity of Cheju Island. Cheju MBC, 235-269.

Lee YP. 1998. *Undariella*, a new genus of the Alariaceae (Laminariales, Phaeophyta). Algae 13, 419-426.

Lüning K. 1980. Critical levels of light and temperature regulating the gametogenesis of three *Laminaria* species (Phaeophyceae). J Phycol, 16, 1-15.

Lüning K and Müller DC. 1978. Chemical interaction in sexual reproduction of several Laminariales (Phaeophyceae): release and attraction of spermatozoids. Zeitschrift fuer Pflanzenphysiol 89, 333-341.

Migita S. 1963. Studies on ecology and culture of *Undaria peterseniana*. Bull Fac Fish Nagasaki Univ 15, 24-48.

Parker RE. 1979. Introductory statistics for biology. 2nd edition. Edward Arnold, London, U.K., 122.

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. Abbott IA and Kurogi M eds. Jpn Soc Phycol 117-132.

Westermeier R, Patino D, Piel MI, Maier I and Mueller DG. 2006. A new approach to kelp mariculture in Chile: production of free-floating sporophyte seedlings from gametophyte cultures of *Lessonia*

trabeculata and *Macrocystis pyrifera*. Aqua Res, 37, 164-171.

Wi MY, Hwang EK, Kim SC, Hwang MS, Baek JM and Park CS. 2008. Regeneration and maturation induction for the free-living gametophytes of *Ecklonia cava* Kjellman (Laminariales, Phaeophyta). J Kor Fish Soc, 41, 381-388.

Zar JH. 1984. Biostatistical analysis. Prentice Hall, Engelwood Cliffs, NJ, 718.

2011년 2월 11일 접수
2011년 3월 17일 수정
2011년 3월 18일 수리