

〈Original article〉

갈조류 개다시마 유리배우체의 재생 및 성숙 유도

유현일 · 이기현 · 김수홍 · 하동수 · 황은경*

국립수산과학원 해조류연구센터

Regeneration and the Maturation Induction of Free-Living Gametophytes of a Kelp *Saccharina sculpera* (Phaeophyceae)

Hyun Il Yoo, Ki Hyun Lee, Soo Hong Kim, Dong Soo Ha and Eun Kyoung Hwang*

Seaweed Research Center, National Institute of Fisheries Science, Haenam 59002, Republic of Korea

Abstract - Investigation of optimal temperature, irradiance and photoperiod conditions for free-living gametophytes of *Saccharina sculpera* for natural resources conservation and mass cultivation of endangered species in the eastern coast of Korea. Induction of regeneration and maturation of the free-living gametophytes of *S. sculpera* were cultured at temperatures (5, 10, 15, 20 and 25°C), irradiance (10, 20, 40, 60 and 80 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$) and photoperiods (14:10, 12:12 and 10:14 h L:D). The female gametophyte were actively regenerated without reaching sexual maturity under 10°C, 20 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ and 12:12 h (L:D) conditions. In contrast, the conditions for male gametophytes were slightly different at 15°C, 10 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ and 12:12 h (L:D). The sexual maturation of female and male gametophytes took place under 15°C, 40 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 14:10 h (L:D) and 10°C, 20 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 10:14 h (L:D), respectively. These results provide basic information for controlling the regeneration and maturation of free-living gametophytes for conservation and utilization of *S. sculpera*.

Keywords : *Saccharina sculpera*, free-living gametophyte, maturation, regeneration

서 론

개다시마 [*Saccharina sculpera* (Miyabe) Lane, Mayes, Druehl and Saunders]는 갈조류강, 다시마과, 다시마속에 속하는 해조류 (Kang 1968; Boo *et al.* 2010)로, 한반도의 북동 연안과 일본 북해도 지역 및 동북지방에 주로 분포하는 대형 갈조류이다 (Yamamoto 1986; Ozaki 2001; Kim *et al.* 2003). 국내에는 한류의 영향을 받는 강원 연안에 분포하며 강릉 사근진과 고성 아야진 등의 깊은 바다에 분포하고 있다 (Kim 2003; Kim *et al.* 2005).

1990년대 중반에는 동해안 최대 개다시마 군락지가 있었던 강릉시 사근진 해역에는 약 50 ha의 서식 면적이 분포하였다 (Kim *et al.* 2007b). 이들 자원을 바탕으로 개다시마 건강식품 등의 산업화가 이루어졌으나, 자원의 남획과 동해안의 태풍 (2002년 루사, 2003년 매미, 2006년 너울성 폭풍)에 따른 많은 양의 토사 유입으로 서식지가 파괴되었으며 (Kim *et al.* 2007b) 또한, 개다시마의 포자 방출량이 다시마 (*S. japonica*)나 애기다시마 (*S. religiosa*)에 비해 적어 (Kim *et al.* 2007b) 급격한 군집의 감소를 가져왔다.

개다시마에 관한 연구는 일본 북해도 연안의 개다시마 출현수와 생장의 월별 변동 (Yamamoto 1986), 조직의 분화와 캘러스 형성시 온도와 조도의 영향 (Notoya and Kim 1996), 유전분석에 의한 계통연구 (Yoon and Boo 1999), 영양염 흡

* Corresponding author: Eun Kyoung Hwang, Tel. 061-530-3904, Fax. 061-532-5806, E-mail. ekh215@korea.kr

수술(Ozaki *et al.* 2001) 및 푸코이단 추출(Katayama *et al.* 2009) 등에 관한 연구들이 보고되었다. 국내의 개다시마에 관한 연구는 강원 연안의 개체군(Kim *et al.* 2003), 개다시마와 다시마의 실내배양(Kim *et al.* 2005), 암·수배우체의 분리보존(Kim *et al.* 2007a) 및 초기배양과 성장특성(Kim *et al.* 2007b) 등의 연구들이 수행되었다.

갈조류는 푸코이단과 알긴산 등 다당류를 생합성하여 세포벽에 축적하는데, 개다시마는 다른 해조류보다 특히 풍부한 푸코이단을 함유하는 것으로 보고되었다(Taco *et al.* 2000). 이러한 개다시마의 유용성에도 불구하고 최근에는 성숙 모조의 시료 확보도 어려울 정도로 자원이 급감한 상태에 이르렀다.

따라서 개다시마처럼 한번 손상된 자연자원의 경우 대량 모조확보가 어려우므로, 자연에서 성숙 모조를 대량으로 채취하는 대신, 이형세대교번을 하는 갈조류 유리배우체의 무성적인 증식 방법(Westermeier 2006; Wi 2008; Hwang *et al.* 2015)을 통해 양식의 중요도를 확보하여야 한다. 국립수산물학원 해조류연구센터에서는 2010년부터 2012년까지 모조확보를 통해 노력한 결과 확보된 개다시마의 유리배우체를 이용한 개다시마의 양식과 이를 통한 동해안 지역 개체군 회복을 꾀하고 있다.

이 연구에서는 개다시마 자연자원의 보호와 효율적인 이용을 위하여, 개다시마 암·수배우체의 재생 및 성숙 조건을 파악하고 안정적인 유리배우체의 확보와 대량배양 조건을 확립하는 것을 목적으로 하였다.

재료 및 방법

1. 유주자 방출 및 배우체 분리

본 연구에서는 강원도 사근진 연안에 밀려온 성숙된 개다시마 엽체를 2012년 11월에 확보하여 사용하였다. 성숙된 개다시마의 엽체를 실험실로 운반하여 자낭반(포자엽)을 잘라 여과멸균해수로 세척하였다. 세척된 포자엽 조각을 200 mL의 멸균해수가 들어있는 비이커에 넣고, 15°C, 20 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 및 10:14 h (L:D) 조건으로 세팅된 Incubator (EYELA MTI-202B, Japan)에서 유주자 방출을 유도하였다. 유주자가 방출되면 포자엽 조각을 제거하고 유주자액 0.1 mL을 12 well-plate에 분주하여 밀도를 낮추어 배양하였다 (Fig. 1). 배양 5일 후 도립현미경 (IX73, Olympus, Japan) 하에서 암·수배우체를 구분하였다. 성별이 구분된 배우체는 20 mL의 PESI 배양액이 들어있는 멸균된 petri dish (\varnothing 5 cm 의)에 각각 수용하여 배양하였으며, 배양액은 3일 간격으로

교환하였다. 암·수배우체가 성장하면 배양용기를 250 mL로 옮겨 주고 PESI 배지를 첨가하여 암·수배우체가 덩어리로 성장할 때까지 통기배양하였다.

2. 유리배우체 단편의 크기별 재생

유리배우체 단편의 크기별 재생을 파악하기 위하여 암·수배우체 덩어리 0.1 g wet wt.을 각각 멸균해수 100 mL이 들어있는 비이커 (250 mL)에 넣고 호모게나이저 (DI 25basic, GMBH & Co., Germany)로 회전속도를 달리하여 (8,000, 9,500, 13,500, 20,500 및 24,000 rpm) 60초간 세단하였다. 잘려진 암·수배우체는 14:10 h L:D, 15°C의 20 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 세팅된 배양기에서 20일간 정치배양하였다. 배양 시작 및 종료시 배우체의 길이와 세포수는 도립현미경 (IX73, Olympus, Japan)하에서 측정하였다. 배우체의 길이에 따른 재생은 배양 시작과 종료시의 배우체의 길이, 세포수를 이용하여 상대성장률 (RGR; relative growth rate)을 계산하여 비교하였다 (Serisawa 2002; Hwang *et al.* 2010).

$$\text{RGR} (\% \text{ day}^{-1}) = [\ln(L_2) - \ln(L_1)] / (T_2 - T_1) \times 100$$

여기서 L_1 은 배양 시작 시 배우체의 길이 또는 세포수, L_2 는 배양 종료시 배우체 길이 또는 세포수를 말하며, $T_2 - T_1$ 은 배양기간을 의미한다.

3. 유리배우체 단편의 성장 및 성숙

절단된 유리배우체 단편의 성장 및 성숙 유도조건을 파악하기 위해 암·수 유리배우체 덩어리를 Hwang *et al.* (2010)의 방법을 이용하여 분쇄하였다. 배우체는 5개 온도구간 (5, 10, 15, 20, 25°C)과 5개 조도 (10, 20, 40, 60, 80 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$) 및 3개 광주기 (10:14, 12:12, 14:10 h L:D)로 설정된 incubator (EYELA MTI-202B, Japan)에서 배양하였다. 암·수배우체의 길이측정 및 성숙여부는 도립현미경 (IX73, Olympus, Japan)하에서 5일 간격으로 조사하였다. 온도구간별 실험에서 조도 및 광주기는 각각 20 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 및 14:10 h (L:D)로 고정하였으며, 조도구간별 실험에서 온도 및 광주기는 각각 15°C, 14:10 h (L:D)로 조정하였고, 광주기 실험은 온도 15°C, 조도를 20 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 로 설정하였다. 배우체의 길이측정은 분지가 없는 개체를 선별하여 측정하였으며, PESI 배지는 7일마다 교환하였다. 배우체의 생장은 배양 시작과 종료시 평균 길이를 이용하여 상대성장률 (RGR)을 계산하여 비교하였다 (Serisawa *et al.* 2002).

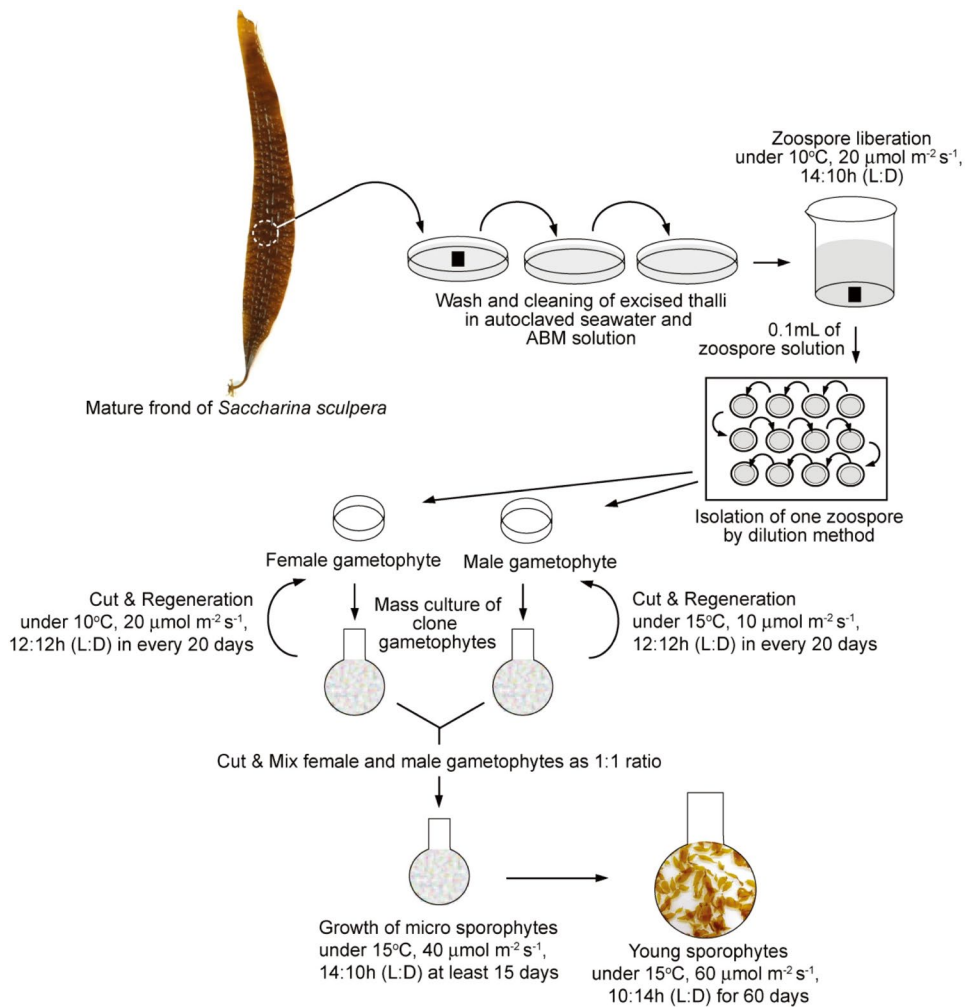


Fig. 1. A manual for the mass culture of free-living gametophytes in *Saccharina sculpera* including the culture conditions for the regeneration and maturation induction.

4. 통계분석

온도, 조도 및 광주기에 따른 배우체의 성장률 데이터는 데이터를 변환(arcsine transformation)하여 (Parker 1979), 분산분석법 (one-way ANOVA)으로 유의차를 확인하였다. 유의차 확인은 5% 수준에서 Tukey's HSD test 방법을 이용하였으며 자료분석을 위해 사용된 프로그램은 STATISTICA version 5.0이었다.

결 과

1. 유리배우체의 분리 및 단편 크기별 재생

개다시마 엽체 (Fig. 2a)의 포자엽 (Fig. 2b)으로부터 방출된

유주자 (Fig. 2c)는 방출 즉시 기질에 부착하여 구형으로 착생하였다. 15°C, 20 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 및 10:14 h (L:D) 조건에서 배양 5일 후 각각 암배우체 (Fig. 2d)와 수배우체 (Fig. 2e)로 성장하였다. 통기배양 30일 후, 암수배우체는 각각의 덩어리로 성장하였다 (Fig. 2f, g). 성장한 암수배우체 덩어리를 세단하여 절편 (Fig. 2h, i)을 정지배양한 결과 배양 20일 후 각각 장란기와 장정기를 형성하였다 (Fig. 2j, k).

2. 유리배우체의 단편 크기별 재생

배우체의 단편 크기별 재생은 암배우체의 경우 단편 크기가 $100.8 \pm 6.7 \mu\text{m}$ 일 때 배양 20일 후 $295.1 \pm 16.4 \mu\text{m}$ 로 성장하여 상대성장률이 $5.4 \pm 0.5\% \text{ day}^{-1}$ 로 최대였으며, 단편 크기가 가장 큰 ($250.2 \pm 5.1 \mu\text{m}$) 조건에서 성장률이 $1.0 \pm 0.5\% \text{ day}^{-1}$ ($305.5 \pm 26.8 \mu\text{m}$)로 가장 낮았다 (Fig. 3a). 수배

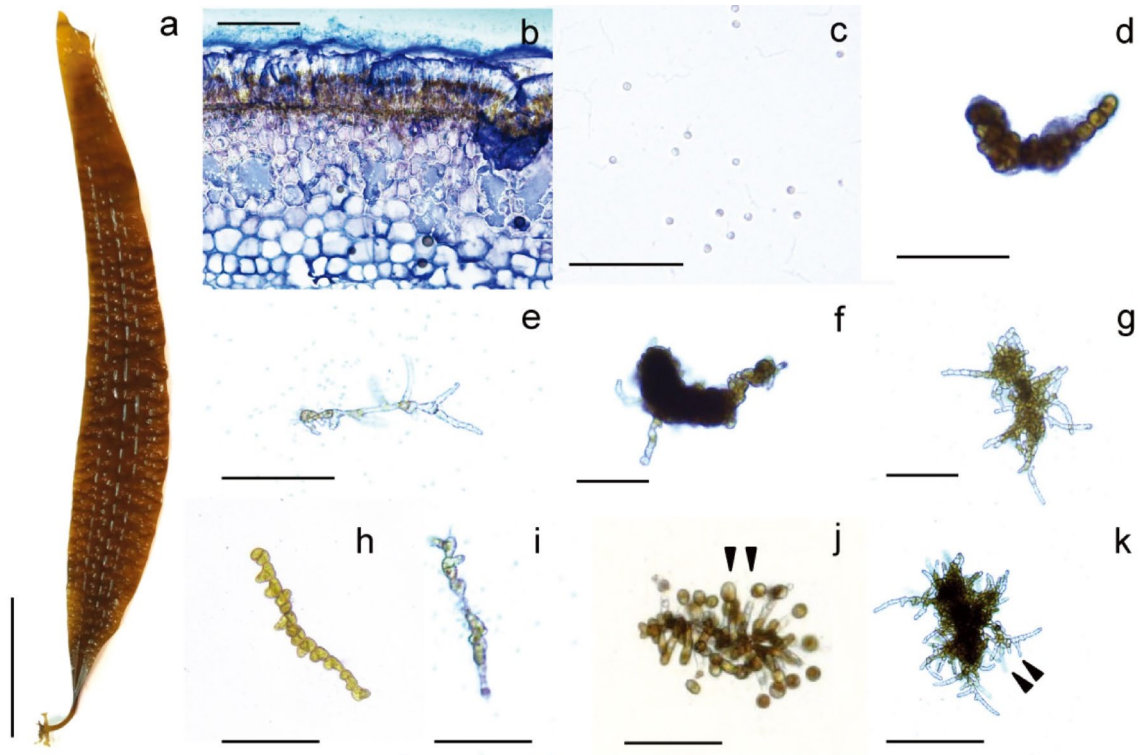


Fig. 2. Procedure for the isolation and culture for free-living gametophytes of *Saccharina sculpera*. a: Mature sporophyte. b: A cross-section of sporangia. c: Germling after zoospore release. d: Female gametophyte after 5 days culture. e: Male gametophytes after 5 days culture. f: A cluster of female gametophyte after 20 days culture. g: A cluster of male gametophyte after 20 days culture. h: A fragment of female gametophyte. i: A fragment of male gametophyte. j: Oogonia formation (arrow head) after 15 days maturation induction from a female gametophyte fragment. k: Spermatia formation (arrow head) from a male gametophyte fragment. Scale bar are 10 cm (a), 100 μm (b, c), 50 μm (d, e), 1 mm (f, g), 50 μm (h, i) and 100 μm (j, k).

우체의 경우도 단편 크기가 가장 작은 ($103.8 \pm 3.8 \mu\text{m}$) 조건에서 배양 20일 후 $310.5 \pm 26.8 \mu\text{m}$ 까지 성장하여 상대생장률이 최대 ($5.5 \pm 0.5\% \text{ day}^{-1}$)였으며, 단편 크기가 가장 큰 조건 ($252.9 \pm 6.2 \mu\text{m}$)에서 암배우체와 마찬가지로 가장 낮은 ($1.2 \pm 0.7\% \text{ day}^{-1}$, $318.9 \pm 26.1 \mu\text{m}$) 상대생장률을 나타냈다 (Fig. 3b).

배우체의 절단시 단편의 세포수에 따른 생장은 암배우체의 경우 실험 시작시 단편의 세포수가 $4.9 \pm 0.7 \text{ cells/fragment}$ 조건에서 배양 20일 후 $18.1 \pm 1.7 \text{ cells/fragment}$ 로 증가하여 상대생장률이 최대 ($6.5 \pm 0.4\% \text{ day}^{-1}$)였으며, 세포수가 15 cells/fragment 이상의 조건에서는 $0.7 \sim 0.5\% \text{ day}^{-1}$ 범위의 생장률로 유의한 차이를 보이지 않았다 (Fig. 4a). 수배우체의 경우 실험 시작시 세포수가 $5.4 \pm 1.2 \text{ cells/fragment}$ 조건에서 배양 20일 후 $16.3 \pm 2.4 \text{ cells/fragment}$ 로 증가하여 생장률이 $5.52 \pm 0.4\% \text{ day}^{-1}$ 로 가장 높았으며, 세포수가 많아질수록 생장률은 감소하는 경향을 보였다 (Fig. 4b).

3. 유리배우체 단편의 성장

유리배우체의 단편의 배양조건별 생장은 Table 1과 같이 차이를 나타내었다. 암배우체의 온도별 상대생장률은 배양 20일 후 20°C 조건에서 $7.6 \pm 0.2\% \text{ day}^{-1}$ 로 타 온도에 비하여 가장 높았으며, 5°C 조건에서 $2.9 \pm 0.3\% \text{ day}^{-1}$ 로 가장 낮았다 ($p < 0.05$). 조도에 따른 생장은 $20 \mu\text{mol photons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 조건에서 $6.5 \pm 0.3\% \text{ day}^{-1}$ 로 가장 높았으며, $80 \mu\text{mol photons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 조건에서 $2.9 \pm 0.2\% \text{ day}^{-1}$ 로 가장 낮았다 ($p < 0.05$). 광주기별 생장은 단일 (10:14 h L:D) 조건에서 $6.4 \pm 0.2\% \text{ day}^{-1}$ 로 가장 높았고, 장일 (14:10 h L:D) 조건에서 $4.2 \pm 0.2\% \text{ day}^{-1}$ 로 가장 낮았다 ($p < 0.05$).

수배우체의 온도별 생장률은 배양 20일 후 15°C 조건에서 $7.2 \pm 0.2\% \text{ day}^{-1}$ 로 가장 높았으며 5°C 에서 $4.0 \pm 0.3\% \text{ day}^{-1}$ 로 가장 낮았다 ($p < 0.05$). 조도구간별로는 $20 \mu\text{mol photons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 에서 $7.3 \pm 0.3\% \text{ day}^{-1}$ 로 가장 높았으며, $80 \mu\text{mol photons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 에서 $3.2 \pm 0.2\% \text{ day}^{-1}$ 로 가장 낮았다 ($p < 0.05$). 광주기에 따른 상대생장률은, 단일 (10:14 h L:D)

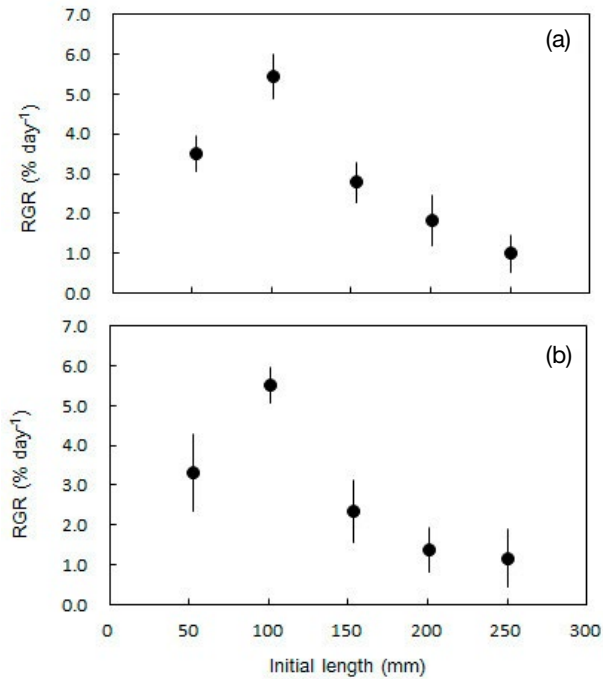


Fig. 3. Relative growth rate of female (a) and male (b) gametophytic fragments in *Saccharina sculpera* according to the initial length of the fragment after 20 days culture under 15°C, 20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ and 10:14 h (L:D). Vertical bars represent S.D.

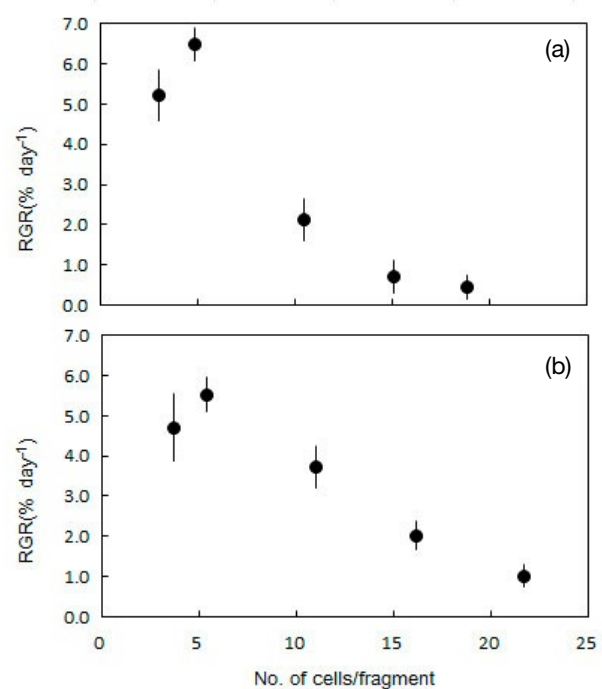


Fig. 4. Relative growth rate of female (a) and male (b) gametophytic fragments in *Saccharina sculpera* according to the number of initial cells in the fragment after 20 days culture under 15°C, 20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ and 10:14 h (L:D). Vertical bars represent S.D.

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

Conditions	Initial length ($\mu\text{m} \pm \text{SD}$)		Final length ($\mu\text{m} \pm \text{SD}$)		Growth rate (%/day)		
	Female	Male	Female	Male	Female	Male	
Temperature (°C)	5	115.9 \pm 1.8	114.2 \pm 3.3	211.8 \pm 23.7	246.1 \pm 16.0	2.9 \pm 0.3 ^a	4.0 \pm 0.3 ^a
	10			240.6 \pm 21.9	274.4 \pm 15.8	3.7 \pm 0.2 ^b	4.4 \pm 0.3 ^a
	15			410.1 \pm 20.9	486.5 \pm 29.7	6.3 \pm 0.3 ^c	7.2 \pm 0.2 ^b
	20			523.2 \pm 25.7	420.0 \pm 22.3	7.6 \pm 0.2 ^d	6.4 \pm 0.3 ^c
	25			331.5 \pm 39.2	333.8 \pm 22.5	5.3 \pm 0.3 ^c	5.5 \pm 0.3 ^d
Irradiance ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	10	115.9 \pm 1.8	114.2 \pm 3.3	288.2 \pm 21.9	385.8 \pm 28.5	4.7 \pm 0.3 ^a	6.0 \pm 0.3 ^a
	20			413.5 \pm 21.0	496.2 \pm 28.5	6.5 \pm 0.3 ^b	7.3 \pm 0.3 ^b
	40			317.3 \pm 22.9	289.8 \pm 26.9	5.3 \pm 0.2 ^c	4.7 \pm 0.2 ^c
	60			226.6 \pm 31.8	233.9 \pm 25.8	3.5 \pm 0.3 ^d	3.4 \pm 0.3 ^d
	80			203.2 \pm 31.7	217.9 \pm 22.1	2.9 \pm 0.2 ^d	3.2 \pm 0.2 ^d
Photoperiod (L:D)	14:10	115.9 \pm 1.8	114.2 \pm 3.3	264.6 \pm 24.9	299.4 \pm 21.6	4.2 \pm 0.2 ^a	4.9 \pm 0.2 ^a
	12:12			291.3 \pm 10.8	280.2 \pm 21.6	4.6 \pm 0.2 ^a	4.5 \pm 0.2 ^a
	10:14			415.1 \pm 21.0	500.2 \pm 29.7	6.4 \pm 0.2 ^b	7.3 \pm 0.2 ^b

Values (mean \pm s.d. of triplicate groups) in same column having the different superscripts are significantly different ($p < 0.05$)

조건에서 7.3 \pm 0.2% day⁻¹로 가장 높았으며, 중일(12:12 h L:D) 조건에서 4.5 \pm 0.2% day⁻¹로 가장 낮았으나 통계적 유의차는 확인되지 않았다($p > 0.05$).

4. 유리배우체 단편의 성숙

암배우체의 온도별 성숙은 배양 10일 후 15°C에서 가장 먼저 장란기가 형성되어, 15일 후 약 30%, 배양 20일 후 약

Table 2. Gametophytic maturation and oogonia or spermatia formation of gametophyte under temperature, irradiance and photoperiod conditions of *Saccharina sculpera*

Conditions	Day	Maturation of gametophytes									
		Oogonia formation					Spermatia formation				
		0	5	10	15	20	0	5	10	15	20
Temperature (°C)	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10	-	-	-	-	+	-	-	+	+	+++
	15	-	-	+	++	+++	-	-	-	-	+
	20	-	-	-	+	++	-	-	-	-	-
	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Irradiance ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	10	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+
	20	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+++
	40	-	-	+	+	+++	-	-	-	+	++
	60	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-
Photoperiod (L:D)	80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	14:10	-	-	+	+	+++	-	-	-	+	+
	12:12	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+
	10:14	-	-	-	+	+	-	-	+	+	++

-, sterile; formation rate of oogonium or spermatium is represented as follows: +, 5-10%; ++, 10-30%; +++, 30-50%.

50%까지 장란기 형성률이 증가하였다. 그러나 5°C와 25°C에서는 배양기간 동안 장란기가 형성되지 않았다. 조도별로는 40 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서 배양 10일 후, 60 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서는 배양 15일 후 장란기가 처음으로 형성되었으나, 10~20 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 과 80 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서는 배양 20일까지 성숙이 확인되지 않았다. 광주기별로는 장일(14:10 h L:D) 조건에서 배양 10일 후 최초로 장란기가 형성되었고, 단일(10:14 h L:D) 조건에서는 배양 15일 후, 중일(12:12 h L:D) 조건에서는 가장 늦게(배양 20일 후) 장란기가 형성되었다(Table 2).

수배우체의 온도별 성숙(Table 2)은 10°C에서 배양 10일 후 장정기 형성이 시작되었으며, 15°C에서는 배양 20일 후 장정기 형성이 관찰되었다. 그러나 5°C와 20~25°C에서는 배양 20일까지 장정기가 형성되지 않았다. 조도별로는 20 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서 배양 10일 후 가장 먼저 장정기가 형성되기 시작하였으며, 10 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 과 40 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서는 배양 15일 후 장정기가 형성이 시작되었다. 그러나 60~80 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서는 배양 20일까지 성숙이 관찰되지 않았다. 광주기별로는 단일(10:14 h L:D) 조건에서 배양 10일 후 가장 먼저 장정기가 형성되기 시작하였으며, 장일(14:10 h L:D) 조건에서는 배양 15일 후 장정기의 형성이 관찰되었고, 중일(12:12 h L:D) 조건에서는 배양 20일 후 가장 늦게 장정기가 형성되었다(Table 2).

고 찰

해조류는 시공간적으로 변화하는 수온, 광주기, 광량 등

에 노출되어 있으며 이러한 환경의 변화는 야의 개체군의 생장 및 성숙시기에 영향을 미쳐 분포를 결정하는 요인으로 작용한다(Van den Hoek 1984; Breeman 1988; Lüning *et al.* 1993). 이러한 서식지 환경에 대한 적응양상은 다양한 해조류의 실내 배양연구를 통해 확인되었다(Fain and Murray 1982; Wi 2008; Rothäusler *et al.* 2011; Kang *et al.* 2015). Hwang *et al.* (2010)은 곰피 배우체가 낮은 조도에서의 양호한 생장을 보인 것으로부터 서식지 환경에 대한 적응으로 해석하였으며 갈조류 배우체의 대량 배양시 이러한 서식지의 특성이 반영되어야 한다고 밝힌바 있다. 본 연구에서 개다시마 암·수배우체의 상대성장률은 20 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 낮은 조도조건에서 최대였으며 이는 개다시마 자연 서식지(수심 10~15 m)의 환경에 대한 적응으로 판단할 수 있다. 대형 갈조류 배우체의 낮은 조도에서의 양호한 생장은 부모세대의 수관부(canopy) 아래에 서식하는 배우체 생존 전략으로(Wi *et al.* 2008), 미역, 곰피 등도 유사한 결과가 보고되었다(Hwang 2010; Yoo *et al.* 2017).

갈조류 미역과 쇠미역 배우체의 생장은 일장의 길어질수록 증가하고, 성숙은 일장 짧아질수록 증가하는 것으로 알려져 있다(Lüning 1981; Morita 2003; Choi 2005; Na *et al.* 2016). 본 연구에서 개다시마 암·수배우체의 생장은 모두 단일조건(10:14 h L:D)에서 상대성장률이 각각 $6.4 \pm 0.2\% \text{ day}^{-1}$ 와 $7.3 \pm 0.2\% \text{ day}^{-1}$ 로 가장 높았으며, 광주기가 증가할수록 성장률도 감소하여 차이를 보였다. 반면 본 연구에서 개다시마 배우체의 성숙은 암배우체가 장일조건(14:10 h L:D)에서 수배우체는 단일조건(10:14 h L:D)에서 가장 빨리 성숙하여, 갈조류 감태, 넓미역 및 미역 배우체의 일장별 성숙과 동일한 패턴을 보였으나(Wi 2008; Hwang 2011; Yoo *et al.*

al. 2017), 암배우체의 성숙조건에 있어 기존 다른 연구와 차이를 보였다(Morita 2003; Choi *et al.* 2005). 이러한 암배우체의 성장 및 성숙조건에 있어서는 긴 배우체 시기 동안 생존을 위한 적응으로 판단된다(Hwang *et al.* 2011).

대형 갈조류의 암·수배우체는 생존을 위해 다른 온도 및 조도에서 성숙함으로써 긴 수정기간을 확보하는 것으로 알려져 있다(Maier 1982; Wi *et al.* 2008). 다시마와 미역의 경우 수배우체가 암배우체 보다 낮은 온도 및 광량에서 먼저 성숙한 후 암배우체를 성숙시킴으로써 수정기간 확보를 통해 수정률을 향상시킨다고 보고되었으며(Hwang 2015; Yoo *et al.* 2017), 본 연구에서도 개다시마 배우체는 상대적으로 낮은 온도(15°C)에서 수배우체가 성숙하고, 높은 온도(20°C)에서 암배우체가 성숙하여 동일한 경향이 확인되었다.

배우체의 절단 크기별 성장률은 효율적 배우체 채모를 위해 매우 중요한 요소 중 하나로서, 갈조류 곰피, 감태 및 미역의 암배우체는 절단크기가 100 µm일 때 성장률이 가장 높았고 수배우체는 150 µm일 때 성장률이 가장 높았다. 본 연구에서 개다시마 암·수배우체의 절단크기별 성장률은 모두 절단크기가 100 µm일 때 가장 높게 나타나 배우체 채모를 위한 종묘배양에 적합한 특성을 갖고 있는 것으로 판단된다.

이 연구에서는 개다시마 암·수배우체의 재생 및 성숙 조건을 파악함으로써 안정적인 유리배우체의 확보와 배양 조건을 확립하였으며, 이를 통해 개다시마의 자원조성 및 대량양식 기반조성에 기여할 것으로 판단된다.

적 요

본 연구에서는 다양한 온도(5, 10, 15, 20, 25°C), 조도(10, 20, 40, 60, 80 µmol photons m⁻² s⁻¹) 및 광주기(10:14, 12:12, 14:10 h L:D) 조건에서 개다시마 유리배우체 단편의 성장 및 성숙 유도조건을 파악하였다. 암배우체 단편의 생장은 20°C, 20 µmol photons m⁻² s⁻¹, 10:14 h (L:D) 조건에서 빠른 성장을 보인 반면 수배우체는 15°C, 20 µmol photons m⁻² s⁻¹, 14:10 h (L:D) 조건에서 빠른 성장을 보여 차이를 나타내었다. 암배우체의 최적 성숙조건은 15°C, 40 µmol photons m⁻² s⁻¹, 14:10 h (L:D) 조건에서 가장 빠른 성숙을 보인 반면 수배우체는 10°C, 20 µmol photons m⁻² s⁻¹, 10:14 h (L:D) 조건에서 빠른 성숙을 보여 차이를 나타내었다. 본 연구 결과 확인된 개다시마 유리배우체 단편의 성장 및 성숙조건은 개다시마의 자원조성 및 대량양식 기반조성의 기초자료로 활용될 수 있다.

사 사

본 논문은 2018년도 국립수산물과학원의 연구비 지원(R2018011)으로 수행된 연구이며, 연구비 지원에 감사드립니다.

REFERENCES

- Boo SM, WJ Lee, IK Hwang, YS Keum, JH Oak and GY Cho. 2010. Algal flora of Korea. Vol. 2, No. 2, Marine brown algae II. National Institute of Biological Resources, Ministry of Environment, Incheon, p. 203.
- Breeman AM. 1988. Relative importance of temperature and other factors in determining geographic boundaries of seaweeds: experimental and phenological evidence. *Helgoländer Meeresunters* 42:199–241.
- Choi HG, YS Kim, SJ Lee, EJ Park and KW Nam. 2005. Effects of daylength, irradiance and settlement density on the growth and reproduction of *Undaria pinnatifida* gametophytes. *J. Appl. Phycol.* 17:423–430.
- Fain SR and SN Murray. 1982. Effects of light and temperature on net photosynthesis and dark respiration of gametophytes and embryonic sporophytes of *Macrocystis pyrifera*. *J. Phycol.* 18:92–98.
- Hwang EK, CH Shim, DS Ha, YG Gong and CS Park. 2011. Regeneration and maturation induction of free-living gametophytes of *Undariopsis peterseniana* for their mass production. *Korean J. Fish. Aquat. Sci.* 44:155–161.
- Hwang EK, HC Yoo, SM Kim, JM Beak and CS Park. 2015. Isolation, regeneration and maturation induction of free-living gametophytes of *Saccharina japonica* (Phaeophyceae). *Korean J. Environ. Biol.* 2:248–255.
- Hwang EK, YG Gong, DS Ha and CS Park. 2010. Inducing the regeneration and maturation of free-living gametophytes of *Ecklonia stolonifera* Okamura (Laminariales, Phaeophyta). *J. Kor. Fish. Soc.* 43:231–238.
- Kang JW. 1968. Illustrated encyclopedia of fauna and flora of Korea. Vol 8. Marine algae. Ministry of Education, Seoul, p. 465.
- Kang JW and IK Chung. 2015. Effects of temperature and light intensity on the gametophyte fragment growth of *Ecklonia cava* Kjellman (Laminariales, Phaeophyta). *Korean J. Fish. Aquat. Sci.* 48:704–711.
- Katayama S, T Nishio, Z Kseya, H Kishimura and H Saeki. 2009. Effects of manufacturing factors on the viscosity of a polysaccharide solution extracted from *Gagome Kjellmaniella crassifolia*. *Fish. Sci.* 75:491–497.

- Kim HG, JG Park and DS Kim. 2005. Comparative laboratory culture studies of the native kelp *Kjellmaniella crassifolia* and the introduced kelp *Laminaria japonica* in east coast of Korea. *J. Aquaculture* 18:299–304.
- Kim HG. 2003. Environmental adaptation of native kelp *Kjellmaniella crassifolia* and marine environment in Gangwon coast. 6th Korea-Japan Fisheries Seminar. pp. 25–37.
- Lüning K. 1981. Egg release in gametophytes of *Laminaria saccharina*: Induction by darkness and inhibition by blue light and UV. *Brit. Phycol. J.* 16:379–393.
- Lüning K. 1993. Environmental and internal control of seasonal growth in seaweeds. *Hydrobiologia* 260/261:1–14.
- Maier I. 1982. New aspects of pheromone-triggered spermatozoid release in *Laminaria digitata* (Phaeophyta). *Protoplasma* 113:137–143.
- Morita T, A Kurashima and M Maegawa. 2003. Temperature requirements for the growth and maturation of the gametophyte of *Undaria pinnatifida* and *U. undarioides* (Laminariales, Phaeophyceae). *Phycol. Res.* 51:154–160.
- Na YJ, DV Jeon, SJ Han, CAO Maranguy, DS An, HK Cha, JB Lee, JH Yang, HW Lee and HG Choi. 2016. Crossed effects of light and temperature on the growth and maturation of gametophytes in *Costaria costata* and *Undaria pinnatifida*. *Korean J. Fish. Aquat. Sci.* 49:190–197.
- Ozaki A, H Mizuta and H Yamamoto. 2001. Physiological differences between the nutrient uptakes of *Kjellmaniella crassifolia* and *Laminaria japonica* (Phaeophyceae). *Fish. Sci.* 67:415–419.
- Rothäusler E, I Gómez, U Karsten, F Tala and M Thiel. 2011. Physiological acclimation of floating *Macrocystis pyrifera* to temperature and irradiance ensures long-term persistence at the sea surface at mid-latitudes. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 405:33–41.
- Serisawa Y, Y Yokohama, Y Aruga and J Tanaka. 2002. Growth of *Ecklonia cava* (Laminariales, Phaeophyta) sporophytes transplanted to a locality with different temperature conditions. *Phycol. Res.* 50:201–207.
- Tako M, E Yoza and S Tohma. 2000. Chemical characterization of acetyl fucoidan and alginate from commercially cultured *Cladosiphon okamuranus*. *Bot. Mar.* 43:393–398.
- van den Hoek C. 1984. World-wide latitudinal and longitudinal seaweed distribution patterns and their possible causes, as illustrated by the distribution of *Rodhopytan* genera. *Helgoländer Meeresunters* 38:227–257.
- Westemeier R, D Patiño, MI Piel, I Maier and DG Mueller. 2006. A new approach to kelp mariculture in Chile: production of free-floating sporophyte seedlings from gametophyte cultures of *Lessonia trabeculata* and *Macrocystis pyrifera*. *Aquat. Res.* 37:164–171.
- Wi MY, EK Hwang, SC Kim, MS Hwang, JM Baek and CS Park. 2008. Regeneration and maturation induction for the free-living gametophytes of *Ecklonia cava* Kjellman (Laminariales, Phaeophyta). *J. Kor. Fish. Soc.* 41:381–388.
- Yamamoto H. 1986. Monthly changes in the occurrence and growth of *Kjellmaniella crassifolia* Miyabe. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.* 37:165–170.
- Yoo HI, SH Kim, GH Lee, DS Ha and EK Hwang. 2017. Isolation, regeneration and the Maturation Induction of free-living gametophytes of *Undaria pinnatifida* (Phaeophyceae). *Korean J. Environ. Biol.* 35:622–630.

Received: 26 November 2018

Revised: 5 December 2018

Revision accepted: 6 December 2018