

유용 홍조류 참풀가사리(*Gloiopeltis tenax*) 반상근의 생장에 미치는 온도와 광도의 영향

이현정¹ · 김영식^{2*}

¹국립생태원 생태공간연구팀

²국립군산대학교 해양생명응용과학부

Effects of Temperature and Irradiance on the Growth of Basal Crust of Economic Red Alga *Gloiopeltis tenax*

Hyeon Jeong Lee¹, Young Sik Kim^{2*}

¹Ecological Space Research Team, National Institute of Ecology, Seocheon 33657, Korea

²Faculty of Marine Applied Biosciences, Kunsan National University, Kunsan 54150, Korea

Corresponding Author

Young Sik Kim

Faculty of Marine Applied Biosciences,
 Kunsan National University, Kunsan
 54150, Korea

E-mail : kimys@kunsan.ac.kr

Received : November 18, 2020

Revised : November 23, 2020

Accepted : December 04, 2020

홍조류 참풀가사리(*Gloiopeltis tenax*)는 중국과 일본에서 경제적으로 유용한 종으로 알려져 있으며 이것은 예로부터 접착제나 식용 등으로 이용되었다. 실험에 사용된 재료는 전북 부안군 변산면 격포리에서 채집한 성숙한 사분포자체로부터 사분포자를 방출 받은 후 배양하여 형성된 반상근을 대량으로 확보하였다. 이를 해부현미경 하에서 4등분하여 재생과 성장 과정을 추적하였다. 절단된 반상근을 각 조건별로 배양하였고 광주기는 16:8 h L:D이며 온도조건은 10, 15, 20, 25°C이고 광도조건은 30, 85 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 이다. 4등분된 반상근은 타원형으로 성장하다가 원주상의 직립 축을 형성하였다. 반상근의 크기는 배양 12주 후, 광도 85 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 의 15°C 온도에서 $9.61 \pm 3.59 \text{ mm}^2$ 로 최대였다. 평균 상대성장률은 광도 85 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 의 15°C 온도에서 $5.15 \pm 0.80 \text{ \%day}^{-1}$ 으로 최대 성장률을 나타내었고 10°C 온도에서 $3.15 \pm 0.94 \text{ \%day}^{-1}$ 으로 최저 성장률을 나타냈으며 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$). 결론적으로 참풀가사리의 반상근을 이용한 방법이 효과적인 양식 방법임이 확인되었다.

Gloiopeltis tenax is one of the most economically useful species in China and Japan that has been applied to glue and food since ancient times. The material used in the experiment was a large quantity of basal crusts obtained from the culture of tetraspores that were released from the mature tetrasporophytes collected at Gyeokpori, Byeonsan-myeon, Buan-gun, Jeollabuk-do in Korea. The basal crusts were cut into quadrisection under a dissecting microscope so as to monitor the process of regeneration and growth. The cut crusts were cultured under varying conditions, where the photoperiod was 16:8 h L:D; the temperature range was 10, 15, 20, and 25°C; the irradiance range was 30 and 85 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$. The quadrisection basal crusts grew to an oval shape, then formed a vertical axis of cylindrical shape. The maximum growth of basal crusts was $9.61 \pm 3.59 \text{ mm}^2$ under the condition of 15°C temperature and 85 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ irradiance, after 12-weeks culture. The mean relative growth rate after 12-weeks culture showed the maximum rate of $5.15 \pm 0.80 \text{ \%day}^{-1}$ at 15°C and the minimum growth rate was $3.15 \pm 0.94 \text{ \%day}^{-1}$ at 10°C, with a statistically significant difference ($p < 0.05$). In conclusion, it has shown the possibility that growth of basal crusts of *G. tenax* is one of the good farming method of potential alga.

Keywords: Temperature(온도), Irradiance(광도), Basal crusts(반상근), Growth(성장), Rhodophyta(홍조류)

서론

유용 해조류인 풀가사리류(*Gloiopeltis* spp.)는 천연 세정제는 물론 문화재 보존을 위한 용도, 식물성 접착제로서 사용되기도 하고, 최근에는 항암효과가 알려지면서 더욱 주목받기 시작하게 된 유용한 홍조류 중의 하나이다(Swider and Smith, 2005; Ren et al., 1995; Jung et al., 2006; Zheng et al., 2012; Tuvikene et al., 2015). 이 풀가사리류(*Gloiopeltis* spp.)는 복상의 사분포자체와 단상의 암수배우체 세대의 크기 및 형태가 유사한 동형세대교번 생활사를 가지는데, 일부 개체에서는 사분포자체 내에 사분포자가 있는 동시에 낭과와 유사한 것으로 무성적으로 생기는 가지포자(paraspor)를 가지는 식물체가 발견되기도 한다(Suto, 1948). 이와 같은 가지포자로부터 발생한 것은 다시 가지포자체(parasporophyte)가 되는데 세대교번은 하지 않고 소수의 사분포자체에서만 발견된다. 또한 포자를 방출한 모체는 시들어 유실되지만 반상근(crust)은 남아서 수온이 낮아지면 여기에서 싹이 나기 시작하고 봄에서 여름까지 번성하게 된다. 이러한 반상근은 환경 적응성이 우수하기 때문에 반상근 배양이 포자를 사용한 배양에 비해 유용함이 확인되었다(Sylvester and Waaland, 1983). 지금까지 참풀가사리(*Gloiopeltis tenax*) 연구는 그 유용성에 비하여 많지 않은데, 포자 방출 후 공기에 노출시킬 실내 배양 연구(Zhang et al., 2009), 불등 풀가사리와 참풀가사리의 포자 방출에 대한 실내 배양 실험에 관한 연구(Chen et al., 2008)가 있었다. 또한 불등풀가사리의 필라멘트 형성과 분화에 관한 연구(Yin et al., 2007)와 초기 생활사 단계의 정단세포 성장 과정에 대한 연구(Tang et al., 2016)가 있었을 뿐이다. 특히 국내에서는 한국산 풀가사리속 3종에 대해 분류학적인 연구(Oh and Lee, 1996; Lee et al., 1996)와 풀가사리속 종묘 생산을 위한 생태생리학적 연구(Gong, 1999)만 있었을 뿐이다.

생식 개체가 필요하지 않은 반상근을 이용한 재생 및 생장은 유용 해조류의 증식 관점에서 이점이 있어 몇 연구자들은 홍조류 참지누아리(*Grateloupia filicina*)의 반상근 재생에 의한 연구(Migita, 1988)와 지누아리사촌(*Grateloupia acuminata*)에서 반상근과 직립 엽체에 대한 연구(lima et al., 1995)가 있었으며, 국내에서는 지누아리사촌의 반상근 형성과 조직 배양에 관한 연구(Kim and Park, 2006)가 시도된 바 있다. 그러나 아직까지 국내산 참풀가사리의 반상근을 이용한 연구는 아직 시도되지 않았다. 자연개체군에서 실험에 사용될 수 있는 반상근을 얻기가 쉽지 않아 이번 연구에서는 먼저 참풀가사리의 실내 배양에서 방출된 포자를 배양하여 일정시간이 지난 후 반상근이 형성됨을 확인하고 이것으로 반상근의 재생과 직립 엽체의 발달 과정을 연구하였으며, 이 과정 중에 반상근의 생장에 미치는 광도와 온도의 영향을 확인하여 추후 이를 바탕으로 반상근을 활용한 양식 생산 가능성을 확인해보고자 시도되었다.

재료 및 방법

1. 실험재료 및 실험조건

실험에 사용한 참풀가사리는 전북 부안군 변산면 격포리(35°38'04.1"N, 126°27'49.6"E) 조간대에서 채집되었다. 현장에서 생식세포가 형성된 엽체를 2018년 5월에 채집하여 실험실로 운반한 뒤 사분포자체를 광학현미경(Leica DMLB, Germany)으로 검경하면서 수 차례 멸균 해수로 세척하였다.

세척한 사분포자체는 1시간 정도 실온에서 놓아둔 채로 건조시킨 뒤 PES 배양 해수(Provasoli, 1968) 500 ml를 채운 비커에 넣고, 바닥에는 멸균된 슬라이드 글라스를 넣어 20°C, 40 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 와 16:8 h L:D로 세팅된 배양기에서 48시간 동안 사분포자 방출을 유도하였다. 광학현미경 하에서 슬라이드 글라스에 부착된 포자를 확인한 후 참풀가사리 모조를 제거하고 200 ml의 PES 배양 해수를 넣은 플라스크에 조각을 5~6개씩 넣고 1개월간 정지 배양하여 반상근을 확보하였으며, 배양액은 일주일에 한 번씩 교환해주었다.

크기가 약 500~600 μm 로 성장한 반상근을 대량으로 확보하여 해부현미경 하에서 마이크로 핀셋과 나이프로 4등분하였다. 300 ml 플라스크에 절단된 개체를 넣어 통기 배양 하였으며 광도는 30, 85 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 의 2개 조건으로 실험하였다. 온도는 자연개체군의 생장이 이루어지는 6월 조간대의 평균 수온이 약 18°C이며 계절별 성장특성을 파악하기 위해 10, 15, 20, 25°C의 4개 온도조건으로 실험하였다. 각 조건별로 3개의 반복구를 두었으며, 반복구별로 절단된 반상근 20개체를 넣어 배양하였다. 조건별 배양은 PES 배양 해수 300 ml와 함께 GeO_2 5 mg l^{-1} 를 첨가하여 규조류의 번성을 억제하였다(Shea and Chopin, 2007). 배양 중 염분은 34 psu였으며 광주기는 명기 16시간, 암기 8시간(16L:8D)으로 하였으며 배양액은 7일 간격으로 전량 교환해 주었다.

2. 측정 및 통계처리

반상근의 측정은 매 7일 간격으로 수행되었으며, 배양 해수를 전량 여과하여 여과지에 남은 반상근을 해부현미경 하에서 확인하였다. 반상근의 생장은 도립현미경 하에서 사진을 촬영하여 Image J 프로그램(1.4s, National Institute of Health, Bethesda, USA)으로 면적을 측정하여 분석하였다. 반상근의 형성률은 절단된 반상근이 재생되어 직립 축을 형성한 개수와 전체 개수의 비율로 산출하였다. 실험구별로 모든 반상근 개체를 측정하였으며, 반상근의 상대성장률(RGR, Relative growth rate)은 아래의 식으로 계산하였다(Morita et al., 2003).

$$\text{Relative Growth Rate} = (\ln A_2 - \ln A_1) \times 100 / (T_2 - T_1)$$

A₁: 초기 반상근 면적, A₂: 7일 후 반상근 면적,

T₂-T₁: 배양기간(일)

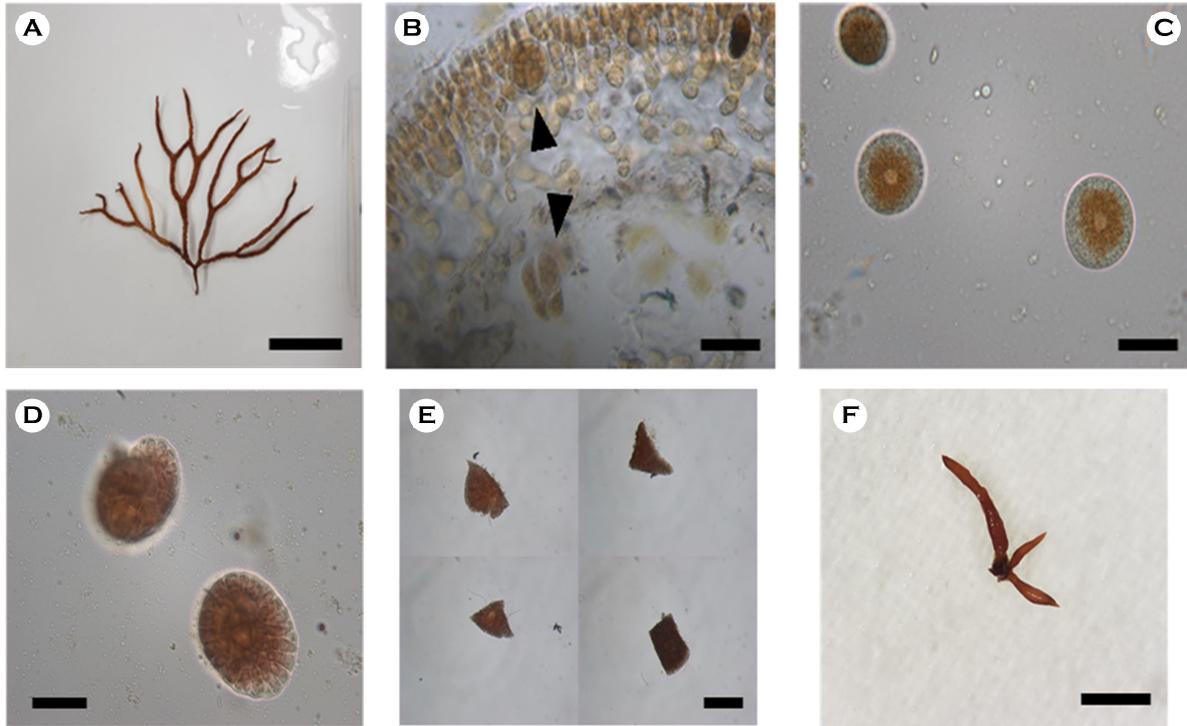


Fig. 1. Development of *Gloiopeltis tenax* in culture. (A) Tetrasporophytic plant; (B) Cross-section of tetrasporophytic plant (arrowheads are tetraspores); (C-D) Spores developed to the discoid crusts; (E), Cut fragments of basal crusts; (F) 6-month cultivated basal crust. Scale bars represent: A, 2 cm; B-D 20 μm ; E, 200 μm ; F, 1 cm.

모든 데이터는 Levene의 등분산검정을 실시하였다. 온도와 광도 조건에 대해 분산분석으로 유의성 분석을 실시하였으며, 자료에 관한 유의성이 확인되면 Turkey's test로 사후검정을 실시하였다. 모든 자료 분석은 SPSS Statistics (version. 20.0) 통계프로그램을 이용하여 수행하였다.

결 과

1. 반상근의 성장과 상대성장률

연구에 사용된 참풀가사리는 사분포자체이며(Fig. 1A), 사분포자체는 성숙 시 표면쪽으로 사분포자를 생성하고 포자의 크기는 약 20 μm 이다(Fig. 1B). 실험실에서 방출된 사분포자를 부착시켜(Fig. 1C-D) 배양한 후 반상근을 절단하여 실험하였으며(Fig. 1E), 6개월까지 그 성장을 확인하였다(Fig. 1F).

반상근의 성장은 광도 30 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 의 조건에서 배양 6주까지는 각 온도 구간(10°C, 15°C, 20°C, 25°C)에서 $0.75 \pm 0.34 \text{ mm}^2$, $0.64 \pm 0.24 \text{ mm}^2$, $0.95 \pm 0.42 \text{ mm}^2$, $0.75 \pm 0.08 \text{ mm}^2$ 로 큰 차이를 보이지 않았으나 배양 7주부터 12주까지 15°C와 20°C가 $6.04 \pm 0.29 \text{ mm}^2$, $5.35 \pm 1.23 \text{ mm}^2$ 로 가장 큰 크기를 보였으며 두

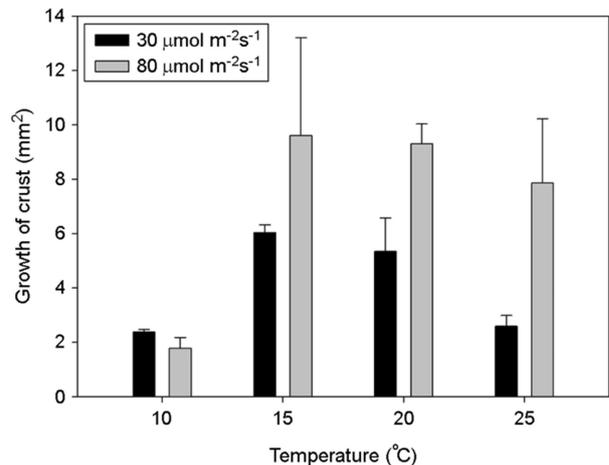


Fig. 2. Growth of crust (area) of *Gloiopeltis tenax* cultured for 12 weeks under 34 psu, 16:8 h L:D, and two different irradiances conditions (n=3 replicates). Vertical bars indicate SD.

온도 구간에서는 배양 10주부터 뚜렷한 성장 상승세를 나타냈다. 10°C와 25°C에서는 배양 12주 후 $2.38 \pm 0.10 \text{ mm}^2$, $2.59 \pm 0.40 \text{ mm}^2$

로 가장 작은 크기를 보였으며 이것은 15°C 온도 구간의 배양 10주 후 크기인 $2.44 \pm 0.31 \text{ mm}^2$ 와 유사하였다.

광도 $85 \mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 조건에서 배양 8주까지 고수온인 20°C와 25°C에서 $2.29 \pm 0.02 \text{ mm}^2$, $2.75 \pm 0.20 \text{ mm}^2$ 로 10°C와 15°C에서 $1.78 \pm 0.39 \text{ mm}^2$, $1.78 \pm 0.66 \text{ mm}^2$ 로 성장한 것 보다 더 크게 성장했다. 배양 10주 후 10°C 온도조건은 반상근이 사멸하였고 15°C의 온도조건 $4.49 \pm 0.00 \text{ mm}^2$ 로 20°C와 25°C의 $4.10 \pm 0.39 \text{ mm}^2$, $3.84 \pm 2.46 \text{ mm}^2$ 인 반상근보다 크게 성장했으며 배양 12주까지 지

속되어 $9.61 \pm 3.59 \text{ mm}^2$ 로 가장 크게 성장하였다(Fig. 2).

반상근의 크기는 배양 12주 후, 광도조건 $30 \mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 의 15°C 온도조건에서 $6.04 \pm 0.29 \text{ mm}^2$ 로 최대 크기를 나타내었으며, 10°C 온도조건에서 $2.38 \pm 0.10 \text{ mm}^2$ 로 최소 크기를 보였다. 그러나 10°C 온도조건에서는 9주 후 전량 사멸하였으며 25°C 조건에서 $7.86 \pm 2.36 \text{ mm}^2$ 로 최소였다. 두 광도조건(30, $85 \mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$)에서 반상근의 크기가 최대값을 나타낸 온도는 15°C이며 최소값을 보인 온도는 각각 10°C, 25°C이다. 온도조건

Table 1. RGR (%day⁻¹) of *Gloiopeltis tenax* cultured for 12 weeks under 34 psu, 16:8 h L:D, and two different irradiances conditions. Values are means \pm SE (n=3 replicates). unit, mm

Culture weeks	PFD ($\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Temperature (°C)			
		10	15	20	25
1	30	3.83 ± 0.28	7.54 ± 1.00	3.93 ± 0.11	1.23 ± 0.19
	85	6.23 ± 0.35	10.68 ± 0.35	6.10 ± 0.85	4.74 ± 1.39
2	30	6.23 ± 0.51	5.22 ± 0.10	5.66 ± 0.44	10.48 ± 0.19
	85	2.71 ± 0.49	3.12 ± 0.26	13.61 ± 0.66	13.41 ± 0.66
3	30	2.27 ± 0.32	3.16 ± 1.10	6.91 ± 0.67	6.20 ± 0.08
	85	1.07 ± 0.72	2.50 ± 0.24	4.67 ± 0.44	6.87 ± 0.35
4	30	5.11 ± 0.46	2.33 ± 0.20	3.62 ± 0.28	4.55 ± 0.44
	85	6.66 ± 0.73	5.01 ± 0.07	4.63 ± 0.49	4.18 ± 0.08
5	30	6.50 ± 1.13	1.26 ± 0.39	1.94 ± 1.35	3.58 ± 0.12
	85	4.72 ± 0.02	4.67 ± 0.37	4.01 ± 0.50	3.34 ± 0.30
6	30	0.74 ± 0.82	3.05 ± 1.19	6.12 ± 0.79	2.55 ± 0.24
	85	1.49 ± 1.34	1.98 ± 0.01	3.79 ± 0.88	3.25 ± 0.25
7	30	4.99 ± 0.70	2.35 ± 0.53	3.94 ± 0.57	5.95 ± 1.25
	85	4.12 ± 0.04	3.77 ± 0.49	1.02 ± 0.03	5.78 ± 0.15
8	30	4.42 ± 1.29	4.36 ± 0.50	1.63 ± 1.33	2.60 ± 1.51
	85	10.83 ± 1.27	5.56 ± 0.86	3.57 ± 0.22	2.41 ± 0.24
9	30	7.23 ± 1.05	8.16 ± 0.44	2.95 ± 1.27	1.24 ± 0.37
	85	-	9.11 ± 0.06	2.79 ± 0.42	3.87 ± 1.07
10	30	2.34 ± 0.58	4.79 ± 1.31	4.89 ± 0.35	1.67 ± 0.28
	85	-	4.62 ± 1.10	5.51 ± 0.67	0.91 ± 0.49
11	30	1.23 ± 0.58	5.09 ± 0.32	5.89 ± 0.97	4.32 ± 0.78
	85	-	7.95 ± 0.31	3.66 ± 0.37	0.45 ± 0.05
12	30	0.78 ± 0.11	7.93 ± 0.15	5.85 ± 1.78	1.91 ± 0.52
	85	-	2.41 ± 1.35	8.06 ± 0.10	9.41 ± 1.15

PFD, Photon Flux Density; -, Death

Table 2. Average RGR (%day⁻¹) of *Gloiopeltis tenax* for 12 weeks. Culture conditions are 34 psu, and 16:8 h L:D. Values (means ± SD, n=3 replicates) in each row with the different superscripts are significantly different ($p < 0.05$)

PFD ($\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Temperature (°C)			
	10	15	20	25
30	3.8067±2.2225 ^A	4.6036±2.4135 ^B	4.4446±1.5764 ^B	3.8565±2.7451 ^{AB}
85	3.1532±2.8582 ^a	5.1571±2.7936 ^b	5.1191±3.3286 ^b	4.8882±3.5272 ^b

10°C를 제외한 모든 조건에서 반상근의 크기는 30 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 의 최대값인 6.04±0.29 mm² 보다 85 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서 더 높았다(Fig. 2).

상대성장률은 광도 30 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 조건에서 배양 1주 후 온도 15°C에서 7.54±1.00 %day⁻¹으로 가장 높았으며, 배양 2주 후에는 온도 구간 25°C에서 10.48±0.19 %day⁻¹으로 가장 높은 성장률을 보였으며 전체 배양기간 중 배양 2주 후 25°C에서 나타난 성장률이 최대값을 보였다. 배양 3주, 6주, 11주, 12주 후에 온도 구간 10°C에서 다른 온도 구간보다 낮은 성장률을 나타냈으며 배양 6주 후에 0.74±0.82 %day⁻¹으로 전체 배양기간 중 가장 낮은 성장률을 나타냈다. 그 이후로는 15°C와 20°C의 온도구간에서 대부분 성장률이 좋았다.

광도 85 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서 상대성장률은 배양 1주 후 온도 15°C에서 10.68±0.35 %day⁻¹으로 가장 높았고 배양 2주 후에는 온도 20°C와 25°C에서 13.61±0.66 %day⁻¹와 13.41±0.66 %day⁻¹으로 가장 높았으며 전체 배양기간 중 성장률이 최대였다. 전체 배양기간 중 가장 낮은 성장률을 나타낸 온도는 배양 10주, 11주 후의 25°C에서 0.91±0.49 %day⁻¹와 0.45±0.05 %day⁻¹으로 최소값을 보였다. 그 이후로는 15°C와 20°C의 온도에서 대부분 성장률이 좋았다(Table 1).

배양 12주 후 평균 상대성장률은 광도 30 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서 15°C 온도에서 4.60±0.58 %day⁻¹으로 최대 성장률을 나타내었고 10°C 온도에서 3.80±0.58 %day⁻¹으로 최저 성장률을 나타냈으며 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 광도 85 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서는 15°C 온도에서 5.15±0.80 %day⁻¹으로 최대 성장률을 나타내었고 10°C 온도조건에서 3.15±0.94 %day⁻¹으로 최저 성장률을 나타냈으며 통계적으로 유의하였다. 두 광도(30, 85 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$)에서 최대 성장률을 나타낸 온도는 15°C이며 최저 성장률을 나타낸 온도는 10°C이었다(Table 2).

2. 반상근의 직립체 형성률

반상근의 직립체 형성률은 조건별 반상근의 개수와 차상분기한 반상근 비율로 구하였으며 12주 배양기간 동안 30 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 의 광도에서 배양 3주까지 직립체가 형성되지 않다가 4주 후에 20°C에서 4.44%로 가장 먼저 나타났고 10°C, 15°C, 25°C의

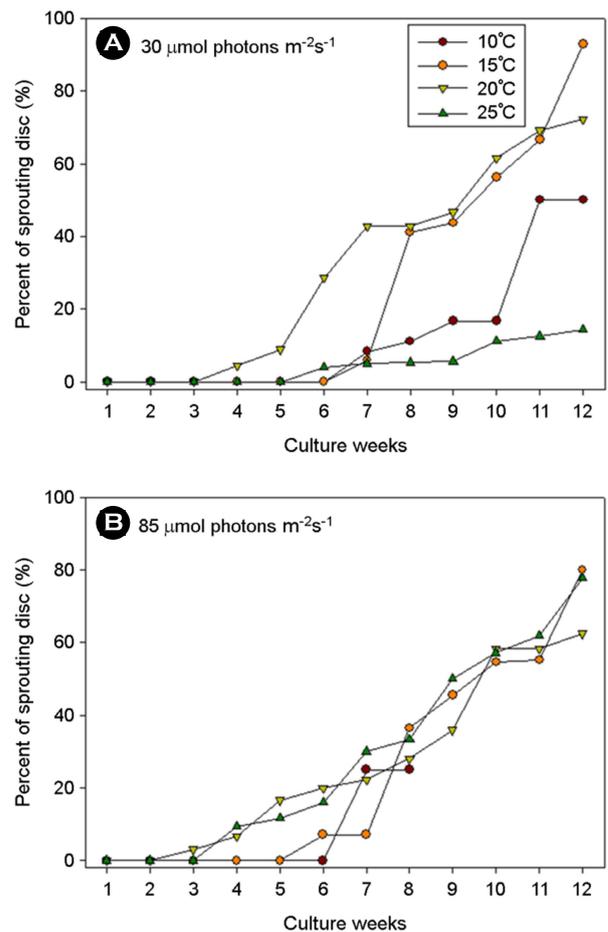


Fig. 3. Percentage of sprouting disc (%) of *Gloiopeltis tenax* in culture. (A) 30 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$, (B) 85 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

온도 구간에서는 5주 이후까지 형성되지 않았다. 배양 6주 후에는 25°C에서 4.00%로 직립체가 형성되었다. 배양 7주 후에는 온도 20°C에서 42.86%로 다른 온도 보다 높은 직립체 형성률을 나타냈으며 10°C, 15°C, 25°C의 온도에서 8.33%, 5.88%, 5.00%를 나타냈으며 구간별로 큰 차이를 보이지 않았다. 배양 9주 후에는 15°C, 20°C의 온도에서 43.75%, 46.67%로 유사한 값을 나타냈으며 10°C,

Table 3. Comparison of maximum RGR (%day⁻¹) for the optimal condition in each study

Species	PFD ($\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Temperature (°C)	RGR (%day ⁻¹)	Incubation time	Culture parts	References
<i>Gloiopeltis tenax</i>	85	15	5.16	12 weeks	Basal crust	This study
	85	15	7.39	4 weeks	Basal crust	This study
<i>Chondrus ocellatus</i>	60	20	8.0	4 weeks	Tetraspore	Li et al., 2010
<i>Gracilariopsis chorda</i>	100	25	4.47	2 weeks	Apical fragment	Choi et al., 2006
<i>Agarophyton vermiculophyllum</i>			4.95			
<i>Chondrus ocellatus</i>	100	20	2.94	60 days	Apical fragment	Kim et al., 2006

25°C의 온도에서는 16.67%, 5.56%로 비교적 낮은 값을 나타내었다. 배양 8주부터 11주까지 20°C, 15°C, 10°C, 25°C 순으로 직립체 형성률이 높게 나타났으나 배양 12주 후에 15°C 온도에서 92.86%, 20°C 온도에서 72.22%로 15°C에서 가장 높은 형성률을 보였다 (Fig. 3A).

광도 85 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서는 배양 3주 후 20°C에서 3.03%로 직립체가 가장 먼저 형성되었으며 배양기간 4~5주까지는 20°C와 25°C에서만 직립체가 형성되었다. 배양 6주 후에는 20°C에서 20.00%로 가장 높은 형성률을 나타내었고 25°C에서 16.13%였으며 15°C에서는 7.14%로 낮았다. 온도 10°C에서 배양 6주까지 직립체를 형성하지 않았지만 배양 7주 후 25%로 높은 형성률을 보였으며 배양 8주 후에 전량 사멸하였다. 배양 8주 15°C에서 36.36%로 가장 높은 형성률을 보였으며 25°C에서 33.33%의 형성률을 보였고, 20°C에서 28.00%의 형성률을 보였다. 배양 9주 후에는 25°C에서 50.00%로 가장 높은 형성률을 보였으며 15°C에서 45.45%였고, 20°C에서는 36.00%로 15°C와 25°C보다 낮은 형성률을 보였다. 배양 10주 후에는 10°C를 제외한 전체 온도조건에서 각각 54.55%, 58.33%, 57.14%로 직립체 형성률에 큰 차이를 보이지 않았다. 배양 11주 후에는 25°C에서 61.90%로 가장 높았으며 15°C와 20°C에서는 55.20%, 58.33%로 큰 차이를 보이지 않았다. 배양 12주 후에는 15°C와 25°C에서 80.00%, 77.78%로 높은 형성률을 보였으며 20°C에서 62.50%로 가장 낮은 형성률을 나타내었다 (Fig. 3B).

두 광도에서 가장 먼저 직립 축이 형성된 조건은 배양 2주 후 85 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서의 20°C이며 전체적으로 광도 85 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 와 15°C에서 높은 형성률을 보였다. 배양 12주 후 광도 30 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서는 15°C에서 92.86%로 가장 높았고 25°C에서 14.28%로 가장 낮은 형성률을 나타내었다. 광도 85 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서는 15°C에서 80.00%로 가장 높은 형성률을 나타내었고 10°C를 제외한 온도 20°C에서 62.50%로 가장 낮은 형성률을 나타내었다.

고찰

참풀가사리(*G. tenax*)는 중국(Liu, 2008), 일본(Yoshida et al., 2015), 한국(Lee and Kang, 2002), 대만(Huang, 2000), 인도네시아(Atmadja and Prud'homme, 2012), 필리핀(Ang et al., 2014), 베트남(Nguyen et al., 2013) 등 아시아에 분포하고 있지만, 참풀가사리 반상근 재배를 이용한 최적 성장조건을 구명하기 위한 연구는 부족한 실정이다. 참풀가사리의 사분포자체를 이용한 연구(Chen et al., 2011)가 있었지만 주로 사분포자의 최적 부착조건을 탐색하는 연구였다.

사분포자체로부터 방출된 사분포자가 발아하여 생성된 반상근의 상대생장률 선행 연구인 진두발(*Chndrus ocellatus*) 과포자체와 사분포자체로부터 방출된 포자의 초기 분화 과정을 추적한 연구(Li et al., 2010), 개꼬시래기(*Gracilariopsis chorda*=*as Gracilaria chorda*)와 꼬시래기(*Agarophyton vermiculophyllum*=*as Gracilaria verrucosa*)의 정단 가지 배양 연구(Choi et al., 2006), 진두발의 정단 가지 배양 연구(Kim et al., 2006)와 상대생장률을 비교하였다(Table 3). 본 연구에서는 12주간 실험을 수행하였으며, Choi et al. (2006)는 2주간 배양, Kim et al. (2006)은 60일간 배양, Li et al. (2010)는 4주간의 연구 결과로 각 연구의 상대생장률을 이용한 현장 적용에 있어서는 어려움이 있겠지만 가능성 여부에 대한 비교치로서 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

Choi et al. (2006)의 개꼬시래기와 꼬시래기 상대생장률은 각각 4.47 %day⁻¹, 4.95 %day⁻¹이었으며, Kim et al. (2006)의 진두발 상대생장률은 2.94 %day⁻¹로 이었기에 본 연구에서 상대생장률이 매우 높은 것으로 확인되었다. Li et al. (2010)의 온도 20°C와 광도 60 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서 실내 배양한 진두발에서 최대 상대생장률인 8.0 %day⁻¹ 값이 4주간의 자료임을 고려하여 4주까지의 상대생장률로만 비교하면, 참풀가사리의 경우 온도 15°C, 광도 85 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서 7.39 %day⁻¹로 산출되어 Li et al. (2010)과 큰 차이를 보이지 않았다. 본 연구에서는 참풀가사리의 반상

근 배양에서 반상근을 거쳐 직립 엽체(upright thalli)를 만든 후 실내 배양에서 유엽으로 성장하였다(Fig. 1F). 참풀가사리의 대량 생산을 위한 종묘는 반상근 형태로 대량 생산이 가능함을 보여주었다. 앞서 언급한 것과 같이 참풀가사리 반상근을 절단하여 배양한 실험에서 정단 부분 또는 포자로부터 배양한 다른 선행 연구보다 비교적 상대생장률이 큰 차이가 없거나 다소 높았음을 확인할 수 있었다. 참풀가사리뿐 아니라 생활사 양식이 비슷한 다수의 홍조류에서는 반상근에서 직립 축이 형성되는데(Migita, 1988; Chiang, 1993; lima et al., 1995), 참풀가사리를 비롯한 홍조류 양식 시 필요한 종묘를 양식을 통하여 확보해야 할 필요성이 대두될 시에 매우 귀중한 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 2020년도 군산대학교 수산과학연구소 학술연구비 지원에 의하여 연구되었기에 이에 감사드립니다.

참고문헌

- Ang PO Jr., Leung SM, Choi MM. 2014. A verification of reports of marine algal species from the Philippines. *Philippine J Sci* 142: 5-49.
- Atmadja WS, Prud'homme van Reine WF. 2012. Checklist of the seaweed species biodiversity of Indonesia with their distribution and classification: red algae (Rhodophyceae). Coral Reef Information and Training Centre, Jakarta.
- Chen S, Wu J, Chen L, Liu T. 2008. Pilot study on indoor cultivation of two species of *Gloiopeltis* mature and spore release. *S China Fish Sci* 4: 1-5.
- Chen S, Wu J, Chen L, Zhu C. 2011. Effects of light and temperature on the attachment and development of *Gloiopeltis tenax* and *Gloiopeltis furcata* tetraspores. *J Appl Phycol* 23: 1045-1051.
- Chiang YM. 1993. The developmental sequence of the marine red alga *Grateloupia filicina* in culture. *Korean J Phycol* 8: 231-237.
- Choi HG, Kim YS, Kim JH, Lee SJ, Park EJ, Ryu J, Nam KW. 2006. Effects of temperature and salinity on the growth of *Gracilaria verrucosa* and *G. chorda*, with the potential for mariculture in Korea. Proc. Eighteenth International Seaweed Symposium, 43-51. Springer, Dordrecht.
- Gong YG. 1999. An ecophysiological study for the seed production of *Gloiopeltis* (Rhodophyta) in Korea. Ph.D. thesis, Inje University.
- Huang SF. 2000. Seaweeds of northeastern Taiwan. National Taiwan Museum, Taipei, 12: 1-233.
- lima M, Kinoshita T, Kawaguchi S, Migita S. 1995. Cultivation of *Grateloupia acuminata* (Halymeniaceae, Rhodophyta) by regeneration from cut fragments of basal crusts and upright thalli. *J Appl Phycol* 7: 583-588.
- Jung YH, Jung BM, Shin MO, Bae SJ. 2006. Anticarcinogenic effects of extracts from *Gloiopeltis tenax*. *J Korean Soc Food Sci Nutri* 35: 395-401.
- Kim HG, Park JG. 2006. Tissue culture of *Grateloupia acuminata* (Rhodophyta) from the eastern coast of Korea. *J Aqua* 19: 216-221.
- Kim YS, Choi HG, Nam KW. 2006. Phenology of *Chondrus ocellatus* in Cheongsapo near Busan, Korea. Proc. Eighteenth International Seaweed Symposium, 325-330. Springer, Dordrecht.
- Lee JW, Oh BG, Lee HB. 1996. Morphological variations of *Gloiopeltis furcata* (Postels et Ruprecht) J. Agardh (Rhodophyta) in the east coast of Korea. *Algae* 11: 91-94.
- Lee Y, Kang S. 2002. A catalogue of the seaweeds in Korea. pp 8, 1-662. Jeju: Cheju National University Press.
- Li X, Zhao P, Wang G, Li D, Wang J, Duan D. 2010. Effects of temperature and irradiance on early development of *Chondrus ocellatus* Holm (Gigartinaceae, Rhodophyta). *Chinese J Ocean Limn* 28: 508-513.
- Liu RY. 2008. Checklist of biota of Chinese seas. Beijing: Science Press, Academia Sinica. 1-1267.
- Migita S. 1988. Cultivation of *Grateloupia filicina* (Rhodophyta, Cryptonemiales) by regeneration of crusts. *Nippon Suisan Gakkaishi* 54: 1923-1927.
- Morita T, Kurashima A, Maegawa M. 2003. Temperature requirements for the growth and maturation of the gametophytes of *Undaria pinnatifida* and *U. undarioides* (Laminariales, Phaeophyceae). *Phycol Res* 51: 154-160.
- Nguyen TV, Le NH, Lin SM, Steen F, De Clerck O. 2013. Checklist of the marine macroalgae of Vietnam. *Bot Mar* 56: 207-227.
- Oh BG, Lee HB. 1996. Morphology of three species of *Gloiopeltis* (Endocladaceae, Rhodophyta) in Korea. *Algae* 11: 81-90.
- Provasoli L. 1968. Media and prospects for the cultivation of marine algae. In Cultures and Collections of Algae. Proceedings of US-Japan Conference, Hakone, September 1966. Japan Society of Plant Physiology.
- Ren DL, Wang JZ, Noda H, Amano H, Ogawa S. 1995. The effects of an algal polysaccharide from *Gloiopeltis tenax* on transplantable tumors and immune activities in mice. *Planta Medica* 61: 120-125.
- Shea R, Chopin T. 2007. Effects of germanium dioxide, an inhibitor of diatom growth, on the microscopic laboratory cultivation stage of the kelp, *Laminaria saccharina*. *J Appl Phycol* 19:

- 27-32.
- Suto S. 1948. On the paraspores in some species of *Gloiopeltis*. Nippon Suisan Gakkaishi 14: 87-89.
- Swider JR, Smith M. 2005. Funori: overview of a 300-year-old consolidant. Journal of the American Institute for Conservation 44: 117-126.
- Sylvester AW, Waaland JR. 1983. Cloning the red alga *Gigartina exasperata* for culture on artificial substrates. Aquaculture 31: 305-318.
- Tang Y, Liu H, Yu Y, Li X. 2016. Early life stage development of *Gloiopeltis furcata* (Gigartinales, Endocodiaceae) from northern China. J Biotech Res 7: 49-56.
- Tuvikene R, Roblal M, Fujita D, Saluri K, Truus K, Tashiro Y, Ogawa H. 2015. Funorans from *Gloiopeltis* species. Part I. Extraction and structural characteristics. Food Hydrocolloids 43: 481-492.
- Yin MY, Hu XY, Tseng CK. 2007. Filament formation and differentiation in seven species of red algae. Bot Mar 50: 113-118.
- Yoshida T, Suzuki M, Yoshinaga K. 2015. Checklist of marine algae of Japan (Revised in 2015). Jap J Phycol 6: 129-189.
- Zhang ZY, Han YX, Li XX, Sato Y, Li XL. 2009. Reproductive biology and indoor cultivation of seaweed *Gloiopeltis tenax*. J Dalian Fish Univ 24: 1-7.
- Zheng J, Chen Y, Yao F, Chen W, Shi G. 2012. Chemical composition and antioxidant/antimicrobial activities in supercritical carbon dioxide fluid extract of *Gloiopeltis tenax*. Marine Drugs 10: 2634-2647.