

청각, *Codium fragile* (Suringar) Hariot의 분리수사 재생에 의한 종묘생산과 가이식 조건

황은경 · 백재민 · 박찬선^{1,*}
국립수산과학원 해조류연구센터, ¹목포대학교 해양자원학과

Artificial Seed Production and Nursery Culture Conditions Using Regeneration of Isolated Utricles and Medullary Filaments of *Codium fragile* (Suringar) Hariot

Eun Kyoung HWANG, Jae Min BAEK and Chan Sun PARK^{1,*}
Seaweed Research Center, NFRDI, Jeonnam 530-831, Korea

¹Department of Marine Resources, Mokpo National University, Jeonnam 534-729, Korea

Codium fragile is commercially farmed in Korea by natural blooming zygote attachment. Experiments found optimum conditions for artificial seed production and nursery culture of *C. fragile* by asexual reproduction. Isolated utricles and medullary filaments were regenerated to erect thalli using both indoor and outdoor culture experiments. Under the indoor culture conditions, irradiance was an important factor to control the development of erect thalli. Formation of erect thallus from the isolated medullary filaments in the indoor culture was induced after 30 days under 20°C and 60 μmol/m²/sec. The detachment of isolated utricles and medullary filaments from the substrates of seed strings was reduced by exposure to the air during 2 hrs before the indoor culture of seed strings. The maximum growth and development of erect thalli in the nursery culture was induced at a water depth of 0.5 m. Depending on the substrates of the seed strings the growth of erect thalli was not significantly different (p>0.05).

Key words: *Codium fragile*, Utricles, Medullary filament, Artificial seed production, Nursery culture

서론

청각은 다양한 유용성에도 불구하고 현재 대량양식을 위한 양식기법이 개발되어 있지 않아, 자연적으로 양식 시설물에 부착된 청각을 수확하는 자연채묘에 의존해왔다. 그러나 자연 채묘는 연안환경의 악화, 해황 등의 환경요소에 의해 크게 영향을 받을 뿐만 아니라 청각 염체의 성숙은 시기적으로 한정되고 개체간 또는 동일 염체에 있어서도 성숙도의 차이가 커서 안정적인 인공채묘를 기대하기 어렵다.

최근 Hwang et al. (2005)은 접합자와 분리수사의 배양 및 가이식 성장 실험을 통하여, 청각의 인공종묘생산을 위해서는 분리수사를 이용한 무성생식 방법이 접합자를 이용한 유성생식 방법 보다 효율적임을 밝혔다. 이는 청각의 내부구조가 영양생장이 용이한 포낭과 수사로 구성되어 있는 낭상체이며, 입계조도 및 물리적 자극이 주어지는 조건에서는 실내배양에서도 분화전능(totipotency)이 용이하게 발현되기 때문이다 (Park and Sohn, 1992; Ramus, 1972). 또한 Nanba et al. (2002; 2005)에 의하면 청각의 염체는 단세포의 다핵체로 포낭 또는 수사의 내부에 존재하는 수많은 엽록체가 포함된 원형질이 청각의 염체 형성에 있어 기원이 되는 물질이라고 하였다. 이와같이 청각의 염체를 구성하는 포낭 또는 수사는 원형질을

함유하는 낭상체 구조로 절단되면 빠르게 막을 재생하여 엽록체의 유출을 막고, 수사의 신장과 함께 새로운 포낭을 재생함으로써, 대량 양식을 위한 인공종묘의 대상으로 이용될 수 있다. 다만 이러한 포낭 또는 분리수사를 양식의 종묘로 사용하기 위해서는 수사로부터 엽원기(primordia)가 형성되어 직립 염체로 자라는데 필요한 배양조건의 구명과 수사를 채묘기질에 부착시키기 위한 대량 인공채묘 및 가이식 조건의 탐색이 수반되어야만 한다.

이 연구에서는 청각 분리수사의 재생을 이용한 대량 인공종묘생산의 가능성 및 적정 가이식 조건을 구명함으로써 청각의 완전양식을 위한 효과적인 인공종묘생산 및 가이식의 조건을 밝히고자 하였다.

재료 및 방법

인공채묘

청각 염체는 2004년 7월 전남 완도군 완도읍 원동리에서 채집하였다(Fig. 1A). 시료는 채집 즉시 실험실로 옮겨 유수식 수조에 수용한 후, 부착생물을 제거하고 핸드블랜더(MR 5550CA, Braun)를 이용하여(Fig. 1B) 청각과 멸균해수를 10:1의 비율로 하여 가장 큰 모조의 덩어리가 1 cm 미만이 될 때까지 분쇄하였다. 분리된 수사의 채묘는 인공채묘기(60×70×10 cm)에 분리된 수사액을 수용한 다음 여기에 채묘틀을

*Corresponding author: cspark85@ Mokpo.ac.kr

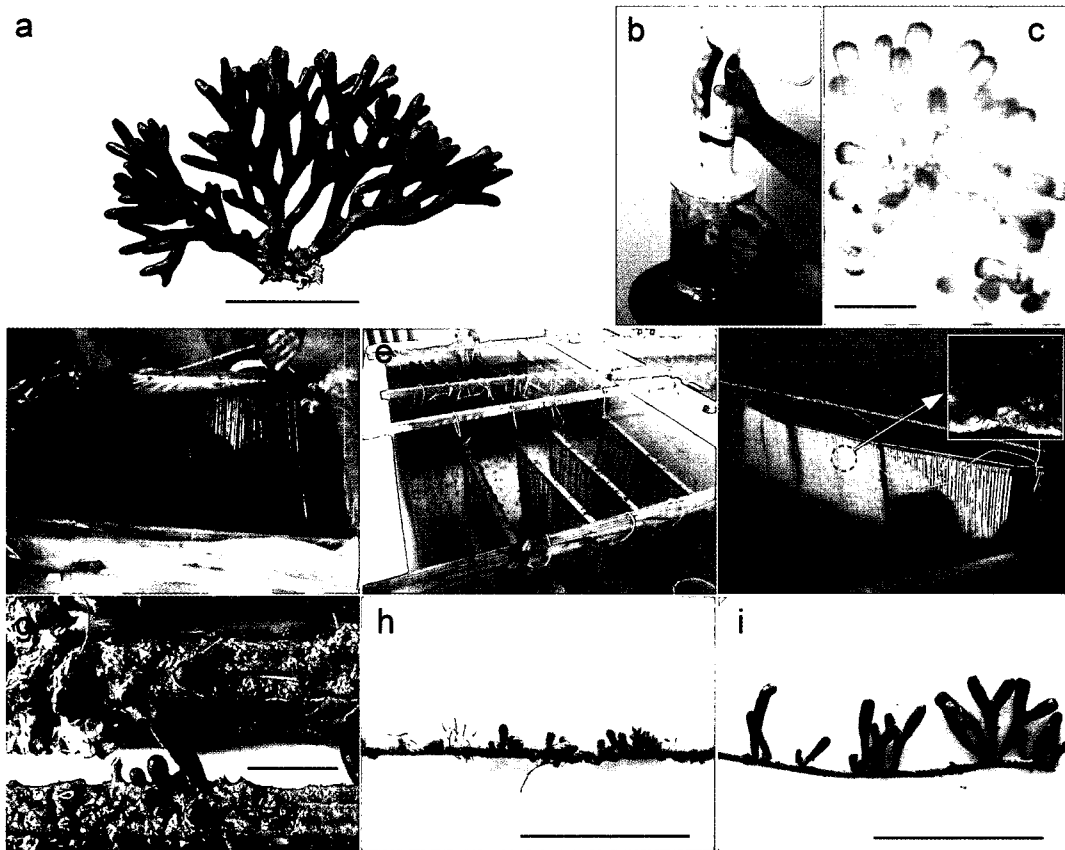


Fig. 1. Procedure of artificial seeding and nursery culture of *Codium fragile*. a: Vegetative thalli. b: Isolation of medullary filaments by a hand blender. c: Isolated utricles and medullary filaments. d: Seeding of the utricles and medullary filaments on seed frame coiled 100 m of seed fiber. e: Tank culture during 1 month to attach on the seed fibers. f: Nursery culture of seed frames bearing medullary filaments on the strings in the sea at the 1 m of water depth. g: Regenerated medullary filaments and young erect thalli after 40 days culture *in situ*. h: Young erect thalli after 40 days culture. i: Branched thalli after 2 months culture. Scale bars are 10 cm (a), 500 μm (c), 1 cm (g) and 5 cm (h,i).

침적시켜 수사가 종사에 충분히 부착되도록 하였다(Fig. 1C,D).

인공채묘시 사용된 채묘틀은 45×55 cm 규격에 크레모나사 18합사, 크레모나사 36합사 및 팜사를 사용하였다. 분리 수사가 채묘된 채묘틀은 노출시간(0, 0.5, 1, 2, 3 h)을 달리해 공기 중에서 일정시간을 경과하도록 한 다음 실내 사육 수조(110×250×80 cm)로 옮겨 3일간 정체배양 후 1개월간 air를 공급하면서 유수식으로 실온하에서 배양하였다. 실내 사육 수조에서의 배양이 끝나면 수사의 부착을 확인한 후 바다로 옮겨 가이식 실험을 실시하였다(Fig. 1F-I).

분리수사의 실내배양

분리수사의 실내배양 조건은 4개 온도 조건(10, 15, 20, 25°C) 및 4개 조도 조건(20, 40, 60, 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$)에서 실시하였다. 생장의 측정은 배양 초기에는 수사의 길이를 측정하였으나, 배양 3일후부터는 불규칙하게 자라는 수사의 특성상 길이측정이 곤란하므로 엽체의 발달 형태 및 직립 엽체의 출현 시기를 관측하였다. 모든 실험은 500 mL 용량의 독립된

세 개의 삼각플라스틱을 이용하여 동시에 3반복 실험하였다. 실내배양실험은 모두 air를 공급하는 유동 조건하에서 실시하였다.

가이식

가이식 실험은 2004년 10월 1일부터 12월 1일까지 60일간 전남 완도군 완도읍 정도리 양식 어장에서 수행되었으며, 이 기간중의 수온변화와 수중 광량의 변화는 Fig. 2와 같다. 수중 광량의 측정은 LI-1400 Data Logger (LI-Cor, USA)를 이용하여 표층, 수심 0.5, 1, 2 및 3 m에서 7일 간격으로 측정하였으며, 측정시마다 5회 측정의 평균값으로 기록하였다.

인공채묘시 분리수사를 채묘한 후 실내 배양수조의 해수에 채묘틀을 수용하기 전 처리시켰던 건조시간에 따른 영향을 알아보기 위해 건조시간별(0, 0.5, 1, 2, 3 h)로 구분하여 수심 1 m에서 가이식을 실시하였다. 성장 측정은 15일 간격으로 각각의 종사를 10 cm 길이로 3개씩 절단하여 종사 10 cm의 중량, 청각 수사 또는 직립엽체의 길이생장 및 1 cm당 수사의 수를 측정하였다.

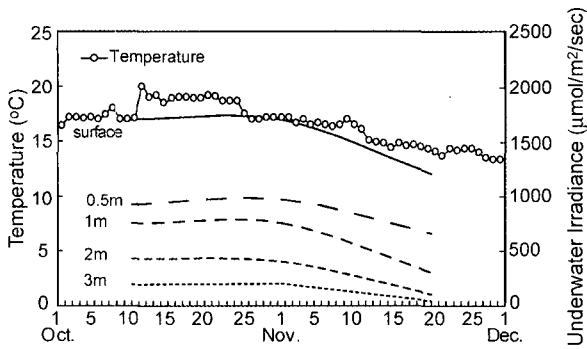


Fig. 2. Fluctuations of water temperature and irradiance during nursery culture of *Codium fragile*. Irradiance was measured at every week between 10 October and 20 November 2004 in the nursery culture ground of Wando.

채묘기질별 영향을 알아보기 위해 크레모나사 18합사, 크레모나사 36합사 및 팜사로 구분하여 수심 1 m에서 가이식을 실시하였다. 성장 측정은 15일 간격으로 각각의 종사를 10 cm 길이로 3개씩 절단하여 종사 10 cm의 중량, 청각 수사 또는 직립엽체의 길이생장 및 1 cm당 수사의 수를 측정하였다.

수심별 가이식 효과를 밝히기 위해 가이식 수심별(0.5, 1, 2, 3 m) 청각의 생장을 측정하였다. 성장 측정은 15일 간격으로 각각의 종사를 10 cm 길이로 3개씩 절단하여 종사 10 cm의 중량, 청각 수사 또는 직립 엽체의 길이생장 및 1 cm당 수사의 수를 측정하였다.

통계분석

실내 배양실험에서 얻어진 분리수사의 성장 차이 및 가이식 성장에 대한 온도, 조도, 부착기질, 건조시간, 수심의 요인에 대한 각각의 유의성분석은 분산분석법(one-way ANOVA)을 이용하여 실시하였으며(Zar, 1984), 통계프로그램은 SPSS Ver. 8.0과 SYSTAT Ver. 9.0을 이용하여 0.05 수준에서 이루어졌다.

결 과

분리수사의 실내배양

온도구간별 청각 수사의 생장은 Table 1과 같이 10°C 조건에서는 수사로만 생장을 하였으며, 15°C 조건에서는 배양 30일 까지 수사로 성장하다가 배양 40일후 수사가 뭉쳐진 엽원기(primordia)가 형성되기 시작하였고, 50일후 직립 엽체로 발달하였다. 20°C 조건에서는 배양 30일후 엽원기의 형성이 시작되어 배양 40일후 직립 엽체로 발달하였으며, 25°C 조건에서는 배양 40일후 엽원기의 형성이 시작되고 배양 50일후 직립 엽체로 발달하였다.

조도구간별 청각 수사의 생장은 Table 1과 같이 20과 40 μmol/m²/sec의 조도조건에서는 배양 60일 동안 수사로만 성장하였으나, 60과 100 μmol/m²/sec의 조건에서는 배양 30일후 엽원기의 형성이 시작되고, 배양 40일후 직립 엽체로 발달하였다.

가이식

가이식 기간중 평균수온은 16.6°C였으며, 수온변화는 Fig. 2와 같이 10월초 최고 수온 20.0°C에서 점차 감소하기 시작하여 가이식 말기인 12월 초에는 13.3°C까지 저하하였다. 수심별 수중광량의 변화는 Fig. 2와 같이 11월부터 12월까지 표층 및 수심별 광량이 점차 감소하는 것으로 나타났다. 특히 수심 3 m의 수중광량은 10월에 177.1±4.1 - 185.2±4.9 μmol/m²/sec의 범위였던 것이 11월에는 23.9±15.4 μmol/m²/sec로 크게 감소하였다.

청각의 분리수사를 채묘한 후 수조에 넣기 전 건조시간별 수사의 성장 및 엽체의 발달 양상은 Table 2 및 Fig. 3a와 같다. 분리수사 채묘 후 바로 실내 배양수조로 수용되었던 무노출 실험구는 가이식 60일후 수사로만 성장하여 직립엽체가 형성되지 않았으며, 10 cm 종사에 부착된 수사의 중량은 모든 실험구중 0.112±0.062 g으로 가장 작았다. 그러나 채묘 후 채묘틀을 2시간 동안 노출시킨 후 배양수조에 수용한 2시간 노출실험구는 종사 10 cm에 부착된 수사의 중량이 0.432±

Table 1. Development of primordia and erect thalli from medullary filaments of *Codium fragile* during indoor culture condition

Experiment	Day							
	0	10	20	30	40	50	60	
Temperature ¹ (°C)	10	+	+	+	+	+	++	
	15	+	++	++	++	P	E	
	20	+	++	++	P	E	E	
	25	+	+	+	++	P	E	
Irradiance ² (μmol/m²/sec)	20	+	+	+	+	+	+	
	40	+	+	+	+	++	++	
	60	+	+	++	P	E	E	
	100	+	+	++	P	E	E	

*: Medullary filaments. **: Densely formed medullary filaments.

¹: Culture conditions were 60 μmol/m²/sec and 16:8h (L:D).

²: Culture conditions were 20°C and 16:8h (L:D).

P: Primordia formation from the dense medullary filaments. E: Erect thallus formation.

Table 2. Growth and development of *Codium fragile* during nursery culture in situ after 60 days culture*

Experiment	Growth & Development				
	Weight of 10 cm seed string (g)**	Length of medullary filament (mm)	Number of medullary filaments (ea/cm)	Length of erect thalli (mm)	
Exposure ¹ (h)	0	0.112±0.062 ^a	0.90±0.25 ^a	25.3±19.5 ^a	-
	0.5	0.124±0.041 ^a	1.27±0.38 ^b	59.0±23.5 ^b	0.01±0.01 ^a
	1	0.163±0.014 ^c	1.31±0.27 ^b	101.9±42.7 ^c	3.50±0.52 ^c
	2	0.432±0.031 ^d	1.65±0.37 ^c	152.3±32.8 ^d	7.07±1.74 ^c
	3	0.160±0.034 ^b	1.27±0.36 ^b	42.1±34.7 ^b	1.37±0.08 ^b
Depth ² (m)	0.5	0.490±0.003 ^c	1.67±0.21 ^c	137.3±26.5 ^d	3.26±1.91 ^b
	1	0.398±0.019 ^c	1.46±0.37 ^b	95.5±16.6 ^c	3.07±1.06 ^a
	2	0.036±0.005 ^b	1.33±0.24 ^b	57.0± 9.7 ^b	1.02±0.26 ^c
	3	0.014±0.007 ^a	0.94±0.34 ^a	39.7±15.7 ^a	-
Substrate ³	A	0.077±0.009 ^a	1.50±0.23 ^a	76.1±23.6 ^a	1.27±0.28 ^a
	B	0.146±0.025 ^a	1.42±0.08 ^a	89.5±25.8 ^b	2.25±0.30 ^b
	C	0.382±0.200 ^a	1.50±0.08 ^a	92.4±20.5 ^b	5.41±3.79 ^b

¹: Exposure time means the duration that seed frames were reimmersed to culture tanks after seeded with isolated utricles and medullary filaments solution. For the experiment, water depth was 1 m and substrate type was B.

²: Exposure time was 1 hour and substrate type was B.

³: Exposure time was 1 hour and water depth was 1 m.

A: Polyvinyl fiber type No. 18 (diameter 1.43±0.12 mm).

B: Polyvinyl fiber type No. 36 (diameter 2.12±0.17 mm).

C: Natural fiber made from bark of palm tree (diameter 4.50±0.38 mm).

-: medullary filaments were grown but not developed to erect thalli.

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

** : Weight of 10 cm seed strings = total weight of 10 cm seed strings - original wet weight of 10 cm of seed strings before seeding.

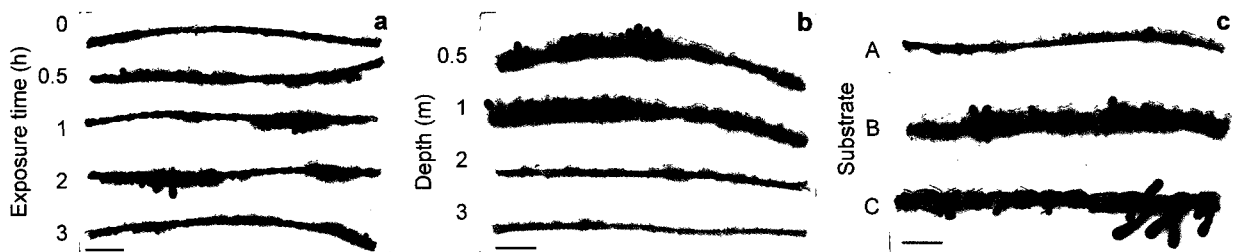


Fig. 3. Growth and development of *Codium fragile* after 60 days nursery culture in situ. a: Effects of exposure. b: Effects of water depth. c: Effects of substrate. The detail experiment conditions are described in Table 2. Scale bars are 1 cm.

0.031 g으로 모든 실험구중 가장 높았으며, 직립 엽체의 길이 성장 역시 7.07±1.74 mm로 가장 우세하였다($p<0.05$).

가이식 수심별 수사의 성장 및 엽체의 발달 양상은 Table 2 및 Fig. 3b와 같다. 가이식 수심 0.5 m의 실험구는 종사 10 cm에 부착된 수사의 중량이 0.490±0.003 g으로 가장 높았으며, 직립 엽체의 길이성장 또한 3.26±1.91 mm로 가장 길게 나타났다($p<0.05$). 그러나 가이식 수심 3 m의 실험구에서는 가이식 60일 후 까지 수사로만 성장하여 직립엽체의 발달이 확인되지 않았다.

채묘기질별 수사의 성장 및 엽체의 발달 양상은 Table 2 및 Fig. 3c와 같다. 가이식 60일 후 종사 10 cm에 부착된 수사의 중량은 팜사 0.382±0.200 g, 크레모나사 36합사 0.146±0.025 g 및 크레모나사 18합사 0.077±0.009 g의 순이었다. 직립 엽체

의 길이는 팜사 5.41±3.79 mm로 가장 길었으며, 크레모나사 36합사 2.25±0.30 mm 및 크레모나사 18합사 1.27±0.28 mm의 순으로 나타났다($p>0.05$).

고 찰

해조류는 육상의 고등식물과 같이 모체로부터 분리된 세포 또는 조직의 일부가 완전한 개체를 형성할 수 있는 분화전능성(totipotency)을 가지고 있다. 청각은 포낭이 수사로 연결되어 있는 낭상체 구조로 엽체 내에 수용되어 있는 원형질이 모두 연결되어 있는 단세포 다핵체의 구조를 하고 있어서 엽체의 어느 부분이 절단 되더라도 절단부위의 수사에 즉시 막이 재생되어 원형질 유출을 막고 다시 수사로 성장하는 특성을 가지고 있다. 따라서 청각은 포낭이나 수사의 단편으

로부터 완전한 개체를 재생할 수 있어 무성생식에 의한 인공 종묘생산의 높은 가능성을 시사한다 하겠다.

청각의 형태형성에 관하여 Arasaki et al. (1956)와 Borden and Stein (1969)은 청각의 접합자를 정치배양한 결과 장기간 배양하여도 새로운 포낭이나 직립체를 형성하지 못하고, 사상의 수사로만 성장한다고 하였다. 그러나 Park and Sohn (1992) 및 Nanba et al. (2002)의 연구결과 모체로부터 분리된 포낭의 수사부분이 신장되어 다수의 새로운 포낭을 형성하고, 다수의 포낭이 뭉쳐진 구형의 낭상체로 발달되는 형태형성의 과정이 확인되었다. 본 실험의 분리수사의 배양에서도 동일한 형태형성의 과정을 나타내었다(Fig. 4).

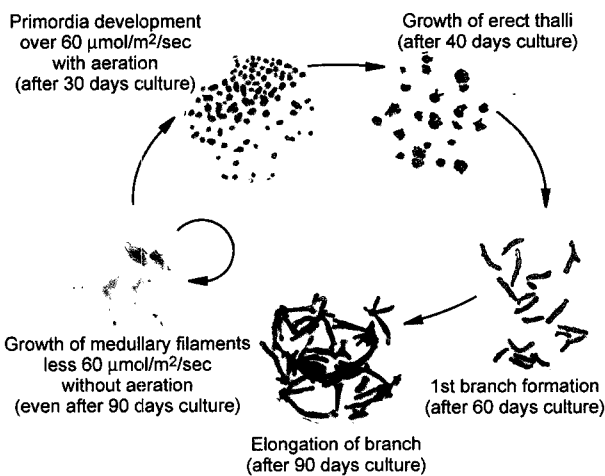


Fig. 4. Morphogenesis of medullary filaments in *Codium fragile* according to the irradiance conditions.

청각의 형태형성을 좌우하는 요인으로는 조도(Park and Sohn, 1992), 온도(Gessner, 1970; Fralick and Mathieson, 1972) 및 물리적 자극(Ramus, 1972; Yotsui and Migita, 1989) 등이 필요한 것으로 알려져 있다. 이 가운데 조도는 청각 포낭의 형태형성에 있어서 가장 중요한 요인으로서 임계의 조건인 3,000 lux (ca. 60 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$) 이상의 조건에서만 완전한 형태형성이 이루어지는 것으로 알려져 있다 (Park and Sohn, 1992). 또한 Ramus (1972)는 물의 유동 즉, 물리적인 자극이 있는 배양 조건하에서 청각의 직립체를 얻었으며, Yotsui and Migita (1989)는 모체로부터 분리한 포낭에서 재생된 수사가 실내배양에서는 직립체로 발달하지 않았으나, 이를 채묘하여 바다에 수하 하였을 때 직립체로 발달하였다고 보고하였다. 본 실험의 결과에서도 Fig. 4와 같이 조도조건과 물리적 유동의 유무에 따라서 청각의 직립체 발달 여부에 차이를 보여, 청각의 형태형성에 조도와 물리적 자극이 가장 크게 영향을 미치는 요인으로 확인되었다. 이 외에 온도는 청각의 경우 형태형성 유도의 역할보다는 엽체의 크기 및 외부, 내부 구조의 변화 그리고 엽체의 형태와 성장에 밀접한 관계가 있는 것으로 판단되었다. 즉, 온도는 엽체 형성 후 성장에 주로 영향을

주는 요소로 나타났다.

또한 Hanisak (1977)에 따르면 청각 접합자의 성장을 위한 적정범위는 성엽의 성장 적정범위 보다 좁아 온도 24°C, 염분농도 30-36 ppt 일 때 최대 성장을 보이고, 온도와 광주기, 조도의 조합조건하에서도 비슷한 양상으로 보다 좁은 성장범위를 보이는 것으로 알려져 있다. 또한 Hwang et al. (2005)의 결과에서도 비슷한 양상으로 유성생식에 의한 접합자의 성장을 위한 적정 온도범위는 10-15°C 및 조도범위는 10-20 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$ 인데 반하여 무성생식에 의한 수사의 성장을 위한 적정 온도범위는 15-25°C 및 조도범위는 60-100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$ 로 청각의 유성생식을 위한 적정범위가 무성생식의 그것보다 좁은 것으로 나타났다. 즉, 이러한 결과는 청각의 인위적인 번식을 조장시키는데 있어 유성적인 방법에 의해서 보다 환경요소의 허용범위가 넓은 무성적인 방법을 활용하는 것이 보다 효과적인임을 시사한다 하겠다.

따라서, 청각의 대량 인공종묘생산을 위한 방법으로는 유성 또는 무성생식 모두가 가능하나 유성생식을 이용할 경우 접합자의 대량 방출을 유도하기 위해서는 청각 모조의 성숙도가 80-90% 이상이 되는 8-9월(Kim et al., 1989)이 되어야 채묘가 가능하다. 뿐만 아니라, 청각은 서식처의 수온조건에 따라 청각 엽체의 성숙도에 큰 차이가 있어 접합자의 대량 방출 유도에 대량의 모조를 필요로 하고, 종묘생산의 시기도 성숙시기로 제한되는 단점이 있다(Hwang et al., 2005). 그러나 청각 분리수사를 이용한 인공종묘생산의 경우 엽체 1g은 약 4,000개의 포낭으로 구성되어 있어 소량의 모조만을 가지고도 원하는 시기에 편리하게 인공종묘생산을 대량으로 실시할 수 있는 장점이 있다. 다만 청각의 분리수사를 이용한 인공종묘생산의 경우 수사가 채묘기질에 충분히 착생되도록 채묘과정에서부터 세심한 주의가 필요하며, 실내배양과정을 통하여 수사의 착생을 충분히 확인한 후 바다로 옮겨 가이식을 실시하는 것이 중요하다 하겠다.

청각 분리수사의 인공채묘과정에서는 부착기질(종사)의 표면적이 넓을수록 많은 양의 수사가 부착할 수 있으나, 실내 수조배양과 가이식 과정에서의 탈락률을 고려한 추후의 가이식 성장에서는 유의한 차이를 보이지 않아($p>0.05$), 청각의 인공종묘생산을 위한 종사로는 크레모나 36합사를 기질로 사용하는 것이 가이식과 양성시설 및 양성과정에서의 편리성 측면에서 유리한 것으로 판단되었다(Table 2, Fig. 3). 또한, 분리수사의 종사 부착은 인공채묘시 부착기질의 종류 보다는 청각 분리수사액에 침지시킨 후 채묘틀을 해수 수조에 수용하기 전까지 2시간 가량의 노출시간을 주어 수사가 충분히 종사에 부착할 수 있도록 하는 것이 중요한 요소로 파악되었다. 즉, 본 연구결과에서는 노출시간 2시간의 경우 수사의 탈락율이 적었으며, 가이식 성장역시 타 노출 실험 구간에 비하여 월등히 높은 것으로 나타났다(Table 2).

가이식은 청각의 엽원기 형성에 필요한 물리적 자극을 충족시키는 조건으로써 필수적인 과정이며 이때 가이식 수심별

청각 엽체의 생장은 수심 0.5 m에서 가장 우세한 것으로 나타났다는데, 이는 수중의 광량과 밀접한 상관관계가 있는 것으로 보였다. Table 1에서의 결과에서도 $60 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$ 이상에서 60일 이내에 완전한 형태형성이 이루어지는 것으로 나타났는데 이는 청각의 야외 가이식을 위한 적정 수심이 단순히 수심에 의해 결정되어지는 것이 아니고 광량이 최소한 $60 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$ 이상인 수심의 범위 내에서 가이식이 이루어져야 한다는 것을 시사한다 하겠다.

본 연구에서는 청각의 무성생식을 이용한 분리수사의 실내 배양 및 야외 가이식 실험을 통하여 청각의 대량인공채묘와 가이식에 필요한 조건을 구명하였다. 추후의 연구는 청각의 가이식 이후부터 수확시기까지의 최적 양생 조건을 구명하는 연구가 뒤따라야 할 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 한국해양수산개발원의 수산특정연구과제(MNF 12004007-3-1-SB010) 및 국립수산물과학원(RP-2005-AQ-031)의 연구비 지원에 의하여 수행되었음.

참 고 문 헌

- Arasaki, S., H. Tokuda and K. Fujiyama. 1956. The reproduction and morphology in *Codium fragile*. Bot. Mag., 69, 39-44.
- Borden, C.A. and J.R. Stein. 1969. Reproduction and early development in *Codium fragile* (Suringar) Hariot: Chlorophyceae. Phycologia, 8, 91-99.
- Fralick, R.A. and A.C. Mathieson. 1972. Winter fragmentation of *Codium fragile* (Suringar) Hariot subsp. *tomentosoides* (van Goor) Silva (Chlorophyceae, Siphonales) in New England. Phycologia, 11, 67-70.
- Gessner, F. 1970. Temperature: Plants. In: Marine Ecology. Vol. 1. Kinne, O., ed. John Wiley & Sons Ltd. New York. 363-406.
- Glombitza, F. 1969. Antibakterielle Inhaltsstoffe in algen. Helgolander Wiss. Meeresuntersuch, 19, 376-384.
- Hanisak, M.D. 1977. Physiological ecology of *Codium fragile* subsp. *tomentosoides*. Ph.D. Thesis, University of Rhode Island, USA, pp. 198.
- Hwang, E.K., J.M. Baek and C.S. Park. 2005. Artificial seed production using the reproduction methods in *Codium fragile* (Chlorophyta). Bull. Kor. Fish. Soc., 38, 164-171.
- Kim, N.G., Y.I. Won and C.H. Sohn. 1989. Morphology of utricles and maturing period in *Codium fragile* (Suringar) Hariot. J. Aquacult., 2, 33-41.
- Nanba, N., R. Kado, H. Ogawa and Y. Komuro. 2002. Formation and growth of filamentous thalli from isolated utricles with medullary filaments of *Codium fragile* spongy thalli. Aqua. Bot., 73, 255-264.
- Nanba, N., R. Kado, H. Ogawa, T. Nakagawa and Y. Sugiura. 2005. Effects of irradiance and water flow on formation and growth of spongy and filamentous thalli of *Codium fragile*. Aqua. Bot., 81, 315-325.
- Park, C.S. and C.H. Sohn. 1992. Effects of light and temperature on morphogenesis of *Codium fragile* (Suringar) Hariot in laboratory culture. Kor. J. Phycol., 7, 213-223.
- Ramus, J. 1972. Differentiation of the green alga *Codium fragile*. Am. J. Bot., 59, 478-482.
- Yotsui, T. and S. Migita. 1989. Cultivation of a green alga *Codium fragile* by regeneration of medullary threads. Nippon Suisan Gakkaishi, 55, 41-44.
- Zar, J.H. 1984. Biostatistical analysis. Prentice Hall, Engelwood Cliffs, N.J., pp. 718.

2005년 8월 8일 접수

2005년 12월 19일 수리