

더덕 (*Codonopsis lanceolata*)의 부정근 유도 및 생장에 미치는 배양조건과 생물반응기 배양

안창호, 배기화, 이재선, 최용의*
강원대학교 산림환경과학대학 임학과

Induction and growth of adventitious roots and bioreactor culture in *Codonopsis lanceolata*

Chang Ho Ahn, Kee Hwa Bae, Jae Seon Yi, and Yong Eui Choi*

Division of Forest Resources, College of Forest and Environmental Sciences, Kangwon National University,
Chunchon 200-701, Korea

ABSTRACT This paper reported the establishment of mass production system of adventitious roots of *Codonopsis lanceolata* through shake flask and bioreactor culture. Induction of adventitious roots was started from the explants of leaf, stem and root on 1/2 strength Murashing and Skoog (MS) solid medium. Stem segments were the best explants for induction of adventitious roots compared to leaf and root segments. Among the different auxins tested (NAA, IBA and IAA), number of adventitious root per explant was highest on solid medium with 1.0 mg/L IBA, and produced 9.9 ± 1.2 roots per explant. However, growth of adventitious roots was fast in the presence of IBA at low concentration (0.1 mg/L). In shake flask culture, maximum production of adventitious roots (fresh weight) was obtained in half-strength MS medium compared to full-strength and one-third MS medium. When the adventitious roots produced in shake-flask culture were transferred to 5 L air-lift bioreactor, 16 times of fresh weight increase was gained after one month of culture. These results indicate that this protocol for the production of *C. lanceolata* adventitious roots can be applied to large scale culture for practical application.

서 론

더덕 (*Codonopsis lanceolata*)은 초롱꽃과의 숙근성 다년생 식물로서 뿌리는 도라지처럼 굵고 약효 성분이 다량 함유되어 있어 예부터 사삼 또는 백삼이라고도 불린다. 봄에는 어린 잎을 식용으로 이용하기도 하며 뿌리를 약용 또는 식용으로 이용한다. 뿌리에는 saponin (codonoposide, lancemasides) 등의 성분이 함유되어 있으며 (Lee 2002; Ushijima et al. 2008),

특히 한방에서는 진해, 거담, 해독, 천식, 폐결핵, 궤양, 편도선염 등에 효과가 있으며 (Jang 2001; Li et al. 2007), 인삼과 같이 다양한 약효가 있어서 인삼 대용 생약으로 이용되고 있다. 또한 저 칼로리 식품으로의 개발 가능성이 높으며, 맛과 향이 독특하여 식품으로 널리 애용되고 있어 그 수요가 점차 증가하고 있다.

국내에는 아직 더덕의 성분, 맛 향기 등이 우수한 품종이 보급되지 않고 있으며 야생유래 종자를 가지고 번식 재배하고 있다. 그러나 야생 채취의 관행은 산림생태계의 교란, 산림자원의 훼손은 물론 우수한 유전자원의 고갈을 초래하고 있다.

*Corresponding author Tel 033-250-8316 Fax 033-244-0155

E-mail: yechoi@kangwon.ac.kr

식물조직배양 기술은 우수 개체의 대량증식, 분자육종, 대량배양을 통한 식물원료생산 등 다양한 분야에 걸쳐 효과적인 기술로 이용되고 있다. 더덕의 기내 배양은 약배양이 처음으로 시도 되었고 (Lee et al. 1980), 캘러스로부터 원형 질체의 분리 및 세포증식 등이 이루어진 바 있다 (Ahn et al. 1986). 한편 자엽절편 배양으로부터 체세포배발생과 식물체 재생에 관한 연구가 이루어졌으며 (Min et al. 1992), 기관분화와 체세포배 발생을 통한 형질전환시스템도 확립되었으나 (Choi et al. 1994, Choi et al. 1996), 기내 배양을 통한 부정근 유도 및 증식에 관한 연구는 연구된 바 없다.

특히 뿌리를 약용 및 식품으로 이용하고 재배기간이 수년 간에 소요되는 식물의 경우는 생물반응기 배양을 통한 뿌리의 생산은 식물 원료를 제한된 공간에서 적은 노동력으로 단시간에 대량생산할 수 있는 효과적인 방법으로 이용될 수 있다. 인삼의 경우 최초로 생물반응기를 이용한 뿌리 배양 기술이 성공적으로 개발되었고 식품원료로 실용화 되었다 (Yu et al. 2000).

본 연구에서는 더덕의 식물체로부터 부정근의 유도에 미치는 배양재료, 배지, 오옥신 등 배양조건을 확립하고, 부정근의 액체배양 체계 확립과 생물반응기를 이용한 대량 생산 및 증식을 하기 위하여 실시되었다.

재료 및 방법

식물재료 및 배양조건

강원대학교 학슬림 내에서 야생으로 자생하고 있는 더덕 (*Codonopsis lanceolata*) 식물체를 채취하여 기내배양을 위해 줄기 절편을 잘라 증류수로 수세한 후 70% 에탄올로 30초간 소독하였으며, 1% sodium hypochlorite에 10분 동안 침지하여 표면살균 하였다. 이후 멸균수로 3회 세척 후 줄기 절편 부분을 약 1 cm로 절단하여 식물체를 유도하였다. 식물체 유도 배지는 1/2 MS 배지에 3% sucrose, 0.3% gelrite를 사용하였으며, pH 5.8로 조정후 121°C에서 20분간 멸균하여 플라스틱 Petri-dish에 각각 20 mL씩 분주 하였다. 배양실 조건은 $40 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 백색 형광등으로 16시간 명조건, 8시간 암조건으로 온도는 $25 \pm 2^\circ\text{C}$ 로 배양실에서 수행하였다.

부정근 유도 및 증식

상기 식물체의 부위별 부정근을 유도하기 위하여 $5 \times 5 \text{ mm}^2$

의 크기로 절단하여 사용하였고, 줄기와 뿌리 각각 5 mm의 크기로 1/2 MS (Murashige and Skoog 1962) 기본배지에 1 mg/L NAA (IBA 또는 IAA를 첨가한 부정근 유도 배지에 치상하여 4주간 배양한 후에 유도된 부정근 수를 조사하였다. 또한 유도된 부정근의 증식은 NAA는 0.1, 0.5, 1.0 및 2.0 mg/L로 그리고 IBA는 0.01, 0.05, 0.1, 0.3 및 0.5 mg/L로 달리하여 첨가한 1/2 MS 고체배지에 약 1 cm 크기의 부정근을 Petri-dish 당 10개씩 3개의 Petri-dish에 치상하였으며, 4주간 배양 한 후, 절편체 당 유도된 부정근 수 및 길이를 조사하여 증식률을 비교하였다.

액체 현탁 배양

액체 배양을 통한 부정근의 증식에 있어서 배지농도 농도 및 오옥신 처리 조건을 조사하였다. 고체배지에서 유도된 부정근 (0.2 g)을 MS, 1/2 MS 및 1/3 MS으로 농도를 달리한 액체 배지에 각각 0.1 mg/L IBA와 3% sucrose를 첨가된 배지에 접종하였다. 배양용기는 250 mL 삼각플라스크를 이용하였으며 100 mL씩 분주하였다. 한편 적절한 오옥신 (IBA)농도를 조사하기 위해 1/2 MS 액체배지에 IBA (0.1, 0.5 및 1.0 mg/L)를 넣고 상기 같은 방법으로 접종하였다. 사용된 배양용기는 250 mL 크기의 삼각 플라스크를 이용하였으며 4주간 100 rpm으로 진탕배양 하였으며, 배양 후 생체중을 측정하였다.

생물반응기 배양

삼각플라스크에서 증식된 더덕 부정근 (생체중 10 g)을 3 L 1/2 MS 배지가 첨가된 5 L 용량의 공기부양식 생물반응기 (air-lift bioreactor)에 접종하였다. 이때 오옥신의 농도는 삼각 플라스크와 같이 0.1, 0.5 및 1.0 mg/L IBA를 달리하여 부정근 생산에 적절한 오옥신 농도를 조사하였다. 이때 생물반응기의 공기 주입량은 0.1 vvm (air volume/culture volume/min)으로 조절하였으며, 배양은 암조건에서 상기한 동일한 배양 조건에서 4주간 배양한 다음 생중량 및 건중량 증식을 조사하였다.

결과 및 고찰

부정근 유도 및 증식

더덕의 기내 식물체 잎, 줄기 및 뿌리 절편을 배양재료로

이용하여 부정근 유도에 미치는 성장조절 물질의 영향을 조사한 결과는 Table 1과 Table 2와 같다. 각각의 절편체로부터 부정근은 배양 2주 후부터 생성되기 시작하였다. 잎절편의 경우 IAA 처리구에서의 부정근 형성율은 80%였고, 줄기 절편체에서는 오옥신 종류에 관계없이 모든 처리구에서 100%의 부정근 형성률을 보였다. 한편 뿌리절편체에서는 NAA와 IBA 처리구 각각 80%, 86.6%로 대체적으로 배양재료마다 양호하였다 (Table 1). 각 절편체당 형성된 부정근의 수는 잎의 경우 IAA 처리구에서는 1.0 mg/L 농도에서 7개로 가장 많았고, 줄기와 뿌리의 경우 IBA 처리구에서는 1.0 mg/L에서 각각 9.9개, 6개로 가장 많았다 (Table 2).

한편, 부정근의 증식의 최적 농도조건을 확립하기 위해 길이가 1 cm 정도의 부정근 절편체를 만든 후 NAA와 IBA 호르몬을 농도별 (0, 0.1, 0.5, 1.0 및 2.0 mg/L)로 처리한 배지에 치상하여 4주간 배양한 후 절편당 부정근의 유도개수 및 길이를 조사하였다. 호르몬을 첨가하지 않은 처리구에서는 부정근이 전혀 유도되지 않았으나 NAA와 IBA를 처리한 처리구에서는 부정근이 활발히 유도되었다 (Table 3). 절편체당 형성된 부정근의 유도개수는 0.5 mg/L NAA와 IBA에서 각각 5.0±0.2, 9.5±0.4로 가장 양호하였고, 부정근의 길이는 0.1 mg/L NAA와 0.01 mg/L IBA에서 각각 1.0±0.2, 1.7±0.3

으로 가장 길었다. NAA 처리구에서도 IBA 처리구와 부정근 유도율은 비슷하였으나 절편체 및 형성된 부정근에서 다시 캘러스가 형성되는 것을 관찰할 수 있었으며, 유도된 부정근의 길이 생장 또한 IBA 처리보다 좋지 않았다. 또한 호르몬에 관계 없이 NAA와 IBA 모두 농도가 높아 질수록 부정근의 길이생장이 저해된 반면 부정근이 짧고 굵은 모양을 지녔으며 아울러 캘러스가 유도 되었다. 특히 2.0 mg/L IBA를 처리한 경우는 배양재료의 상당부분이 캘러스화 되어 더덕 부정근 유도를 위한 조건으로 적당하지 않았다 (Figure 1). 따라서 고체배지에서 더덕 부정근 유도 및 증식을 위한 목적으로는 0.1 mg/L IBA가 적합한 것으로 생각된다.

식물체의 부정근을 유도한 연구는 주로 뿌리에 약효성분이 높은 약용작물을 대상으로 연구되었다. 인삼 경우 부정근을 유도하기 위해 오옥신인 2,4-D를 처리하여 캘러스를 유도한 후 증식된 캘러스로부터 부정근을 유도하는 단계를 거친다 (Yu et al. 2000). 또한 시호의 경우는 식물 절편을 0.1 mg/L 2,4-D가 첨가된 MS 배지에 치상하여 4주간 배양하여 캘러스를 유도한 다음, 이들 캘러스로부터 부정근을 유도하였다고 보고한 바 있다 (Kim et al. 1995). 본 연구에서는 더덕 식물체 절편으로부터 캘러스의 형성 단계를 거치지 않고 0.1 mg/L IBA에서 직접 부정근을 2주만에 유도할 수 있었다.

Table 1 Effect of growth regulators on adventitious root induction from explants of leaf, stem and root of *Codonopsis lanceolata* after 4 weeks of culture.

Auxin (mg/L)	Frequency of adventitious root formation		
	Leaf	Stem	Root
Control	0	0	26.6±5.0
NAA 1.0	26.6±5.0	100	80.0±4.5
IBA 1.0	40.0±5.0	100	86.6±5.0
IAA 1.0	80.0±4.5	100	60.0±4.5

*Data represent the mean ±S.E. of triplicates.

Table 2 Effect of growth regulators on adventitious root induction from explants of leaf, stem and root of *Codonopsis lanceolata* after 4 weeks of culture.

Auxin (mg/L)	Leaf		Stem		Root	
	No. of adventitious roots	Length of adventitious roots (cm)	No. of adventitious roots	Length of adventitious roots (cm)	No. of adventitious roots	Length of adventitious roots (cm)
Control	0	0	0	0	0	0
NAA 1.0	4.2±1.9	0.3±0.1	8.7±0.2	1.3±0.1	4.0±2.6	0.5±0.2
IBA 1.0	5.2±1.3	0.5±0.2	9.9±1.2	1.0±0.2	6.0±1.3	0.3±0.1
IAA 1.0	7.0±0.6	0.5±0.2	7.3±2.6	0.9±0.2	4.8±0.3	0.4±0.2

*Data represent the mean ±S.E. of triplicates.

액체 현탁배양

액체배양은 새로운 배지 및 영양원의 첨가, 배지의 교체, 배양조직의 계대, 배양 중 시료채취 등이 용이하며, 배양체의 생장 또한 빠른 장점이 있다. 따라서 고체 배지에서 유도된 더덕 부정근의 증식을 위해 액체 진탕배양을 시도하였다. 최적조건의 액체배지 조성을 선별하고자 생체 중 0.2 g의 부정근을 MS, 1/2 MS 및 1/3 MS 액체배지가 든 250 mL 삼각

Table 3 Effect of NAA and IBA concentrations on adventitious root induction and their growth from adventitious roots of *Codonopsis lanceolata* after 4 weeks of culture.

Auxin (mg/L)	No. of adventitious roots	Length of adventitious roots (cm)
Control	0	0
NAA 0.1	4.8±0.3	1.0±0.2
0.5	5.0±0.2	0.8±0.1
1.0	3.6±0.3	0.6±0.1
2.0	3.3±0.2	0.4±0.1
IBA 0.01	3.4±0.2	1.7±0.3
0.5	7.7±0.9	1.4±0.1
0.1	8.8±0.2	1.3±0.1
0.3	8.9±0.8	0.7±0.1
0.5	9.5±0.4	0.6±0.1
1.0	5.4±0.3	0.5±0.1
2.0	5.0±0.4	0.4±0.2

*Data represent the mean ±S.E. of triplicates.

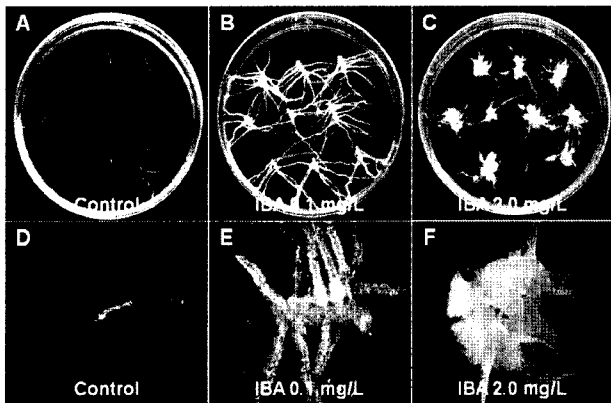


Figure 1. Formation of adventitious roots from the roots explants of *Codonopsis lanceolata* in the presence of different concentrations of IBA. A: Control; B: IBA 0.1 mg/L; C: IBA 2.0 mg/L. D-F: Enlarged views of adventitious roots of A, B, and C, respectively.

플라스크에 접종하여 120 rpm으로 4주간 진탕배양하였다. 이 결과 액체 배양 초기에는 현저한 생육의 차이를 보이지 않았으나 배양 2주가 되면서 급속한 성장을 보이기 시작하였으며, 배양 4주 후 수확하여 생체중을 비교한 결과 MS 배지에서는 0.52 g, 1/2 MS에서는 1.38 g, 그리고 1/3 MS에서는 0.94 g으로 1/2 MS 배지에서 가장 양호한 성장을 보였다 (Figure 2). 이는 초기 접종량의 6배 이상의 성장을 보였다. 그런데 고체배지에서는 더덕으로부터 최적의 부정근 유도 조건이 0.1 mg/L IBA인 것과는 다르게 액체배지에서는 1.0 mg/L IBA 처리구에서 가장 증식이 양호하였다 (Figures

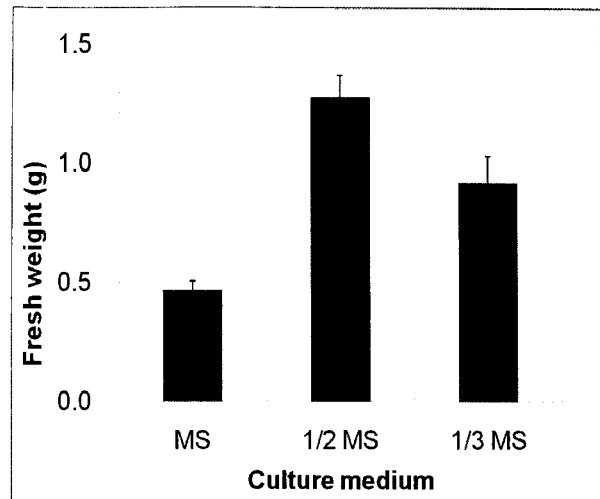


Figure 2. Effects of medium strength on the growth of *Codonopsis lanceolata* adventitious roots in 250 ml flasks containing 0.1 mg/L IBA and 3% sucrose after 4 weeks of culture

3, 4A-D). 이 결과는 고체 및 액체 배양환경에 따라서 더덕 부정근 증식 결과가 다른 원인으로 판단되지만 배양용기의 접종량이 다른 원인으로 해석된다. 즉 부정근을 고체배지에 배양하는 경우 배지 25 mL가 분주된 Petri-dish에 겨우 10 개의 절편을 치상한 것과는 달리 액체배지에서는 100 ml 당 200 mg으로 많은 수의 절편을 접종한 때문으로 판단된다. 즉 한정된 배양용기에 식물재료를 배양하는 경우 초기 접종량에 따라서 오옥신이 대사과정에 이용되는 양이 다르고, 시간 경과에 따라서 활성을 지니는 오옥신의 농도감소가 달라서 나타난 결과로 판단된다.

생물반응기에 의한 부정근 대량 증식

액체 현탁배양에 사용된 삼각플라스크 용기는 크기가 한계가 있으며, 현탁배양시 배양용기와 접촉되어 발생하는 스트레스는 성장 저해요인이 된다. 따라서 대량의 용기에서 배양하고자 할 경우는 공기부양식 생물반응식이 보다 효율적이다. 5 L의 생물반응기에 오옥신으로 0.1, 0.5 및 1.0 mg/L IBA를 다르게 첨가 한 다음 4주간의 암조건에서 배양하였다. 생체중 10 g의 부정근을 접종하여 4주간의 배양한 결과 배양 2주부터 급속히 성장하면서 대수 증식을 보이며 전형적인 식물생장곡선양상을 보였다 (Figures 4E, 5). 증식된 부정근의 건물 중은 4주 배양 후 0.1 mg/L IBA에서 생체중 75.3 g (건중량 2.8 g), 0.5 mg/L IBA에서는 생체중 129 g (건중량 4.7 g), 1.0 mg/L IBA에서는 약 160.1 g (건중량 5.5 g)의 증식 결과를 보였다 (Figure 5). 상기한 삼각플라스크에서 부

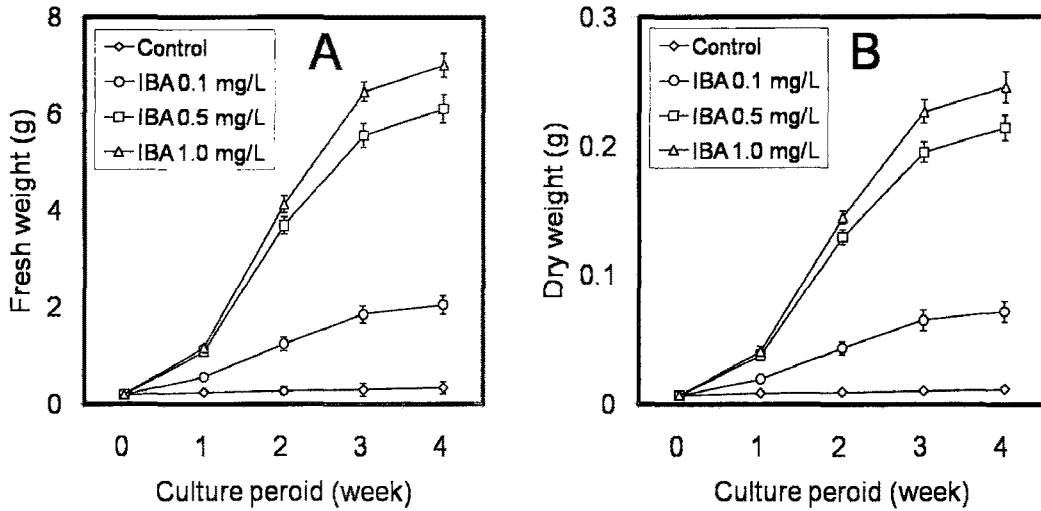


Figure 3. Growth of *Codonopsis lanceolata* adventitious roots in 250 mL flasks containing different IBA concentration during 4 weeks of culture. A : Fresh weight; B : Dry weight.

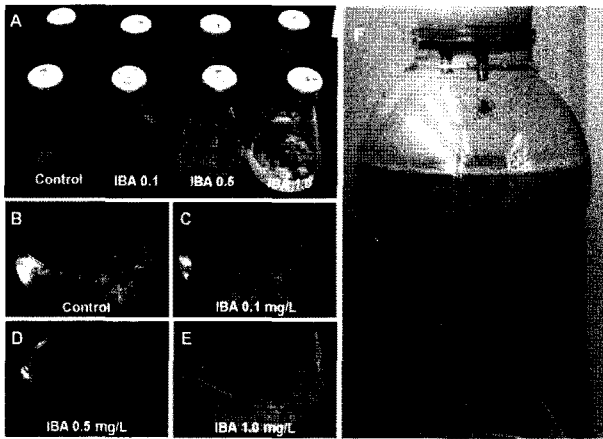


Figure 4. Formation of adventitious roots from root explants in flasks containing modified 1/2 MS liquid medium with IBA. A: Culture in 250 mL flask; B : Control; C : IBA 0.1 mg/L; D : IBA 1.0 mg/L, E and F culture in 5 L air-lift bioreactor.

정근 증식 실험에서와 같이 생물반응기에서도 저농도 IBA (0.1 mg/L)를 처리 한 경우는 부정근의 길이가 고농도 IBA (1.0 mg/L) 처리시 보다 길었으나 생체중의 차이는 고농도 IBA 처리시 약 2배 가량 차이를 보였다. 이러한 결과는 생물 반응기에서는 초기 접종량에 비해 16배 이상의 생장을 보임으로 액체현탁배양 조건에서 보인 6배의 성장 보다 3배 이상의 빠른 성장결과였다. 생물반응기를 이용한 더덕 부정근을 형태적으로 관찰하였을 때 인삼 부정근보다 뿌리 직경이 다소 가늘었으며, 배양 후반 경에 생물반응기내에서는 사포닌에 의한 기인된다고 판단되는 거품이 심하게 발생하는 것을 볼 수 있었다.

생물반응기 배양은 한정된 공간에서 단시간에 대량을 할 수 있어서 생산비 절감 등의 장점을 지니고 있다. 따라서 인삼

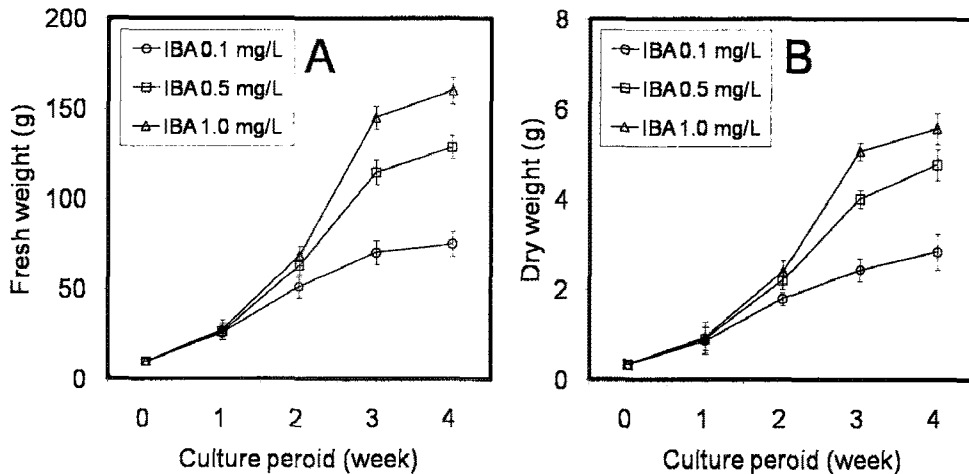


Figure 5. Growth of *Codonopsis lanceolata* adventitious roots in 5 L air-lift bioreactor containing different concentration of IBA during 4 weeks of culture. A: Fresh weight; B : Dry weight.

(Yu et al. 2002), *Hypericum perforatum* (Zobayed and Saxena 2003), *Rehmannia glutinosa* (Jeong et al. 2004) 등 약용식물 등을 재료로하여 약용식물원료의 대량이 시도되었다. 특히 뿌리와 같은 기관을 생물반응기 배양을 통하여 배양하는 경우는 현탁배양세포보다 유전적, 생화학적으로 안정적이어서 장기적인 생산에 적합한 재료로 여겨져 왔다 (Bourgaud et al. 2001; Yu et al. 2002; Lazaridou et al. 2002; Paek and Chakravarthy 2003).

본 결과에서는 더덕 식물체를 이용하여 최적의 부정근을 유도 조건을 조사하였고, 유도된 부정근을 삼각플라스크 및 공기부양식 생물반응기에서 대량증식 하였다. 이 결과 10 g의 부정근으로써 4주 만에 16배가 증식되어 약 160 g의 부정근을 얻을 수 있었다. 향후, 더덕 부정근 대량배양을 이용하여 생리활성 물질의 생산 또는 기능성 식품이나 건강 식품 또는 의약품 원료로 개발할 수 있을 것이다.

적 요

본 연구는 더덕의 부정근 배양조건과 생물반응기를 이용한 대량생산 체계를 확립하고자 수행하였다. 먼저 기내 식물체를 이용하여 잎, 줄기와 뿌리로부터 부정근을 유도하였다. 부정근의 유도는 줄기에서 가장 높은 결과를 보였다. 또한, 옥신 종류별 (NAA, IBA와 IAA) 처리시 절편당 부정근 유도수는 1.0 mg/L IBA에서 9.9±1.2개로 가장 양호 하였다. 그렇지만 유도된 부정근의 길이생장은 0.1 mg/L IBA에서 가장 활발하였다. 최적조건의 액체배지 조성을 선별하고자 생체중 0.2 g의 부정근을 각각 MS, 1/2 MS 및 1/3 MS 액체배지가 든 250 mL 삼각플라스크에 접종한 결과 1/2 MS 배지에서 가장 양호한 생장을 보였다. 액체배지조건에서 진탕배양된 더덕 부정근으로 5 L 용량의 공기부양식 생물반응기에 4주간 배양한 결과 1/2 MS에 1.0 mg/L IBA가 첨가된 배지에서 대조구에 비해 16배의 증식이 이루어졌다. 본 연구에서는 더덕 식물체를 이용하여 부정근을 유도 및 증식에 필요한 배양 조건을 조사하였고, 유도된 부정근을 공기부양식 생물반응기에서 대량증식 할 수 있었다.

사 사

본 연구는 산림청 단기소득산림자원 사업단의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

인용문헌

- Ahn CS, Chung SJ, Koh GC, Park SH (1986) Isolation and culture of protoplast from *Platycodon grandiflorum* (Jacq) A.D.C. and *Codonopsis lanceolata* (S. et Z.) Trautv. J Korean Soc Hort Sci 27: 205-212
- Bourgaud F, Gravot A, Milesi S, Gontier E (2001) Production of plant secondary metabolites: a historical perspective. Plant Sci 161: 839-851
- Choi PS, Kim YS, Liu JR, Soh W-Y (1994) Genetic transformation and plant regeneration of *Codonopsis lanceolata* using *Agrobacterium*. Korean J Plant Tiss Cult 21: 315-318
- Choi PS, Min SR, Liu JR, Soh WY (1996) High frequency genetic transformation and plant regeneration using *Agrobacterium tumefaciens* via somatic embryogenesis of *Codonopsis lanceolata*. Korean J Plant Tiss Cult 23: 239-242
- Jang JG (2001) Sanyacho Dongeubogam. Academy press, Seoul, pp 156-157
- Jeong JH, Yu KW, Kim SJ, Choi YE, Paek KY (2004) Plant Regeneration from Adventitious Roots of *Rehmannia glutinosa* Liboschitz and Bioreactor Culture. Korean J Plant Biotechnol 31: 55-60
- Kim SG, Cho DY, Soh WY (1995) Saikosaponin content in adventitious root formed from callus of *Bupleurum falcatum* L. Kor J Plant Tiss Cult 22: 29-33
- Lazaridou A, Roukas T, Biliaderis CG, Vaikousi H (2002) Characterization of pullulan produced from beet molasses by *Aureobasidium pullulans* in a stirred tank reactor under varying agitation. Enzyme Microbial Tech 31: 122-132
- Lee JH (2002) Immunostimulative effect of hot-water extract from *Codonopsis lanceolata* on lymphocyte and clonal macrophage. Korean J Food Sci Technol 34: 732-736
- Lee MS, Lee JH, Kim DY, (1980) Studies on the anther culture of *Codonopsis lanceolata*. Korean J Plant Tiss Cult 7: 9-12
- Li JP, Liang ZM, Yuan Z. (2007) Triterpenoid saponins and anti-inflammatory activity of *Codonopsis lanceolata*. Pharmazie 62: 463-466
- Min SR, Yang SG, Liu JR, Choi PS, Soh W-Y (1992) High frequency somatic embryogenesis and plant regeneration in tissue cultures of *Codonopsis lanceolata*. Plant Cell Rep 10: 621-623
- Paek KY, Chakravarthy D (2003) Micropropagation of woody plants using bioreactor. In: Jain SM, Ishii K (eds), Micropropagation of Woody Trees and Fruits. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp 735-755

- Ushijima M, Komoto N, Sugizono Y, Mizuno I, Sumihiro M, Ichikawa M, Hayama M, Kawahara N, Nakane T, Shirota O, Sekita S, Kuroyanagi M (2008) Triterpene glycosides from the roots of *Codonopsis lanceolata*. Chem Pharm Bull 56: 308-314
- Yu KW, Hahn EJ, Paek KY (2000) Production of adventitious ginseng roots using bioreactor. Kor J Plant Tiss Cult 27: 309-315
- Yu KW, Gao W, Hahn EJ, Paek KY (2002) Jasmonic acid improves ginsenoside accumulation in adventitious root culture of *Panax ginseng* C.A. Meyer. Biochem Eng J 11: 211-215
- Zobayed SMA, Saxena PK (2003) In vitro grown roots: a superior explants for prolific shoot regeneration of St. John's wort (*Hypericum perforatum* L. cv 'New Stem') in a temporary immersion bioreactor. Plant Sci 165: 463-470

(접수일자 2008년 5월 11일, 수리일자 2008년 6월 27일)