

## 인삼 Root의 성장 및 사포닌 생성에 미치는 배지와 성장조절물질의 영향

김정혜 · 장은정 · 오훈일<sup>#</sup>

세종대학교 식품공학과  
(2001년 5월 2일 접수)

### Effects of Media and Growth Regulators on the Growth and Saponin Production of Ginseng Root

Jung-Hye Kim, Eun-Jung Chang and Hoon-Il Oh<sup>#</sup>

Department of Food Science and Technology, Sejong University, Seoul 143-747, Korea  
(Received May 2, 2001)

**Abstract :** Effects of media and growth regulators on the growth and saponin accumulation of ginseng root were investigated to develop the ginseng root culture system. When *Panax ginseng* C.A. Meyer roots were induced and cultured in various liquid media, the maximum root growth and saponin production were obtained in SH medium and an initial doubling time of ginseng root was approximately 10 days. The patterns and contents of ginsenosides of cultured ginseng root in various media were different from each other. SH and White media resulted in higher total ginsenosides contents than the other media. Among different combinations and concentrations of growth regulators, SH medium containing 4.0 mg/L NAA gave best growth of ginseng roots, while saponin content was highest in SH medium containing 0.5 mg/L BAP. These results suggested that the rapid production of ginseng saponin is possible by root culture of *Panax ginseng*.

**Key words :** *Panax ginseng* C.A. Meyer, root culture, medium, growth regulator, ginsenosides

## 서 론

고려인삼(*Panax ginseng* C.A. Meyer)은 한국의 대표적인 생약자원식물로서 근래에 인삼의 대표적인 생리활성물질인 진세노사이드의 자양강장, 당뇨개선, 항암 및 면역증강 등의 효능이 알려지면서 그 수요가 점차 증가되고 있으며 최근에는 소비자층의 기호추세에 부합하는 여러가지 타입의 인삼 단일 제제 및 생약 복합제제가 개발되고 있다.<sup>1)</sup> 그러나 인삼은 그 세대기간이 4~6년으로 길며, 6년을 재배하여야 100~150 g(fresh weight)의 수삼을 수확할 수 있고, 연작이 불가능하여 재배가능 면적이 점차 줄어들고 있는 실정이라 앞으로의 원료공급에 지장을 초래할 가능성이 있다.<sup>2)</sup> 따라서 이러한 문제점들을 해결하려는 연구의 일환으로 인삼의 조직·세포배양 및 모상근 배양을 통하여 진세노사이드를 생산하고자 하

는 연구가 수행되고 있다.

Slepyan 등<sup>3)</sup>이 1967년 최초로 인삼을 조직배양한 이래로, Furuya 등<sup>4)</sup>은 고려인삼의 여러 조직과 다양한 세포 배양에서 성장과 사포닌 생산과의 관계 등을 연구하였다. 또한 지 등<sup>5)</sup>은 인삼캘러스에서 형성된 뿌리부분을 취하여 액체배지에 회전진탕배양하여 외관이 미삼과 비슷한 긴 원통형의 캘러스 mass를 얻었고 그 성분을 재배인삼과 비교한 결과, 사포닌 패턴은 재배인삼과 비슷하였으나 진세노사이드 총합량은 0.036%로 재배인삼보다 낮은 함량을 얻었다고 보고하였다. 황 등<sup>6)</sup>과 Yoshikawa와 Furuya<sup>7)</sup>는 인삼에 *Agrobacterium rhizogenes*를 감염시킨 후 생산되는 모상근 배양에 의한 사포닌생산 등을 연구하였으며, 고 등<sup>8)</sup>도 인삼모상근 배양을 통해 사포닌 함량을 증가시키고자 여러가지 배양조건을 이용하여 모상근의 성장과 사포닌 함량과의 관계를 조사하였다. 모상근을 이용한 현재까지의 연구에서는 모상근 유도시 토양세균인 *Agrobacterium rhizogenes*를 감염시켜 형질전환을 일으키도록 하였는데, 이 방법은 외래 유전자인 Ri plasmid가 인삼염색

<sup>#</sup>본 논문에 관한 문의는 이 저자에게로  
(전화) 02-3408-3229; (팩스) 02-3408-3569  
(E-mail) ohhi@kunjia.sejong.ac.kr

체에 무작위로 incorporation하여 인삼유전자의 발현(gene expression)이 달라질 수 있으므로 이들 모상근으로부터 추출한 인삼엑기스의 경우 안전성에 대한 검토가 있어야 할 것으로 사료된다. 이에 반해 배양근의 경우는 외래유전자의 도입 과정없이, 인삼자체의 세포증식을 유도한 것이므로 모상근과 같은 안전성의 문제는 없을 것으로 사료된다.

따라서, 본 연구는 세포조직배양법에 의해 인삼을 배양하여 단시간내에 다량의 인삼과 사포닌을 생산하고자, *in vitro*에서 유도된 인삼 root의 생장과 사포닌생산에 미치는 배지와 생장 조절물질의 영향을 조사하여, 인삼 root의 배양에 적합한 배양조건을 규명하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 재 료

고려인삼(*Panax ginseng* C.A. Meyer)의 씨앗은 한국인삼연초연구원 수원시험장에서 분양받아 사용하였다. 캘러스 유도에 사용한 MS 배지는 Murashige와 Skoog의 방법<sup>9)</sup>에 따라 각 stock solution을 제조하였고, root 유도에 사용한 SH 배지는 Schenk와 Hilderbrant 방법<sup>10)</sup>에 따라 stock solution을 특급시약으로 제조한 후 냉장고에 보관하면서 사용하였다. 식물생장 조절제인 6-Benzylaminopurine(BAP), 1-Naphthaleneacetic acid(NAA)는 Sigma Chemical Co.(St. Louis, MO, USA)의 제품을 사용하였고, agar는 Junsei Chemical Co.(Tokyo, Japan)의 제품을 사용하였으며, chlorox는 유한양행의 제품을 사용하였다. 또한 sucrose, ethanol 등은 특급시약을 사용하였다.

### 2. 캘러스의 유도

고려인삼 씨앗의 외피를 제거한 후 70%(v/v) ethanol로 20초, 4% NaOCl 용액(v/v)으로 15분간 살균하고, 무균수로 5회 세척한 다음 살균된 여과지(Whatman No. 1)위에 올려놓아 물기를 제거하였다. 캘러스를 유도하기 위해서 외피를 제거한 씨앗에 작은 상처를 낸 후 0.5 mg/L BAP+3.0 mg/L NAA<sup>11)</sup> 조합으로 식물생장조절제가 첨가된 MS배지에 씨앗을 심어 암조건, 25°C에서 3개월간 배양하여 캘러스를 유도시켰다.

### 3. Root의 유도 및 배양

MS배지에서 유도된 캘러스로부터 root를 유도하기 위해서 0.5 mg/L BAP+3.0 mg/L NAA 조합의 식물생장조절제가 첨가된 SH배지에 옮겨 25°C 암조건에서 배양하여 약 3개월 후에 root를 얻었다. 이렇게 유도된 인삼 root를 다음의 실험에 사용하였고, 유도된 root의 계대배양은 동일한 식물생장조절제가 첨가된 SH 액체배지에서 25°C, 암조건으로 진탕배양기(KSI-200L, 고려기기)에서 60 rpm으로 배양하여 4주간격

으로 계대하였다.

### 4. 인삼 root 배양을 위한 배지의 선택

인삼 root 배양에 알맞은 배지를 선택하기 위해서 MS, SH, half-strength SH, B-5,<sup>12)</sup> White<sup>13)</sup>배지 각각에 인삼 root를 0.6 g씩 접종한 후, 7일 간격으로 root의 생장율을 측정하였고, 4주 배양 후에 사포닌의 패턴과 함량을 측정하였다.

### 5. 인삼 root 배양을 위한 생장조절제(growth regulator)의 선택

인삼 root 배양에 적합한 생장조절제를 선택하기 위해 다음의 5가지 생장조절제 조합(2.0 mg/L IBA,<sup>7)</sup> 2.0 mg/L IBA+0.1 mg/L Kinetin,<sup>10)</sup> 0.5 mg/L BAP+3.0 mg/L NAA,<sup>11)</sup> 0.2 mg/L Kinetin+2.0 mg/L NAA,<sup>14)</sup> 1.0 mg/L GA<sub>3</sub>+1.0 mg/L LBAP<sup>15)</sup>의 효과를 측정하였다. 이 조건들 중에서 root 생장이 가장 좋은 조합을 선택하여 적정농도 결정 실험을 하였다.

### 6. 생장을 측정과 사포닌 분석

#### (1) 생장율(fresh weight) 측정

인삼 root를 살균된 여과지(Whatman No.1)위에 놓고, 수분을 제거한 뒤 무게를 측정하여 생체중량으로 나타내었다.

#### (2) 사포닌 정량 분석

사포닌은 수포화 *n*-butanol 추출방법<sup>16)</sup>으로 추출, 분리하였는데, 배양한 인삼 root 1g을 취하여 80% methanol로 3회 추출하여 여과, 농축한 후 ethyl ether를 가해 지질 등을 제거한 다음, 물층을 수포화 *n*-butanol로 4회 추출한 뒤 *n*-butanol층을 모아 감압농축시켜 vanillin-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 비색법<sup>17)</sup>으로 정량하였다.

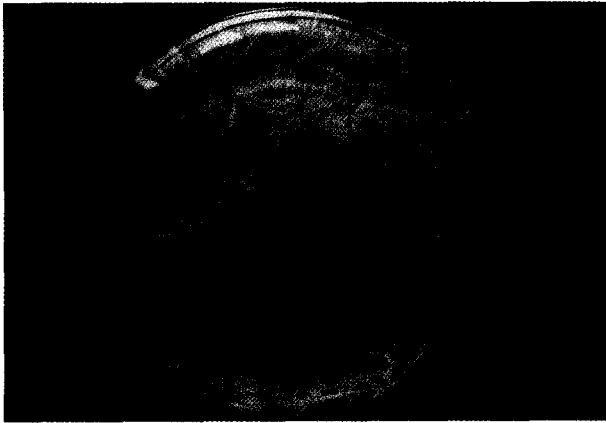
#### (3) HPLC에 의한 진세노사이드 분석

사포닌 정량분석에 사용한 방법과 동일하게 사포닌을 추출한 후, HPLC용 methanol에 녹이고 10 μl씩 HPLC(Waters, Model 600 pump, Milford, MA, USA)에 주입하여 분석하였다. 컬럼은 carbohydrate 컬럼(Waters Assoc., Milford, MA, USA; 7.8 mm×300 mm)을 사용하였고 용출용매는 한 등<sup>18)</sup>의 방법을 변형하여 초기 35분간은 acetonitrile과 water를 20:80 비율의 isocratic 상태로 사용하였고 그 후는 acetonitrile과 water의 비율이 30:70이 되도록 gradient elution을 하였다. 진세노사이드 표준품은 한국인삼연초연구원 에서 분리한 표준품을 사용하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 인삼 root의 유도

Fig. 1은 0.5 mg/L BAP+3.0 mg/L NAA가 첨가된 SH



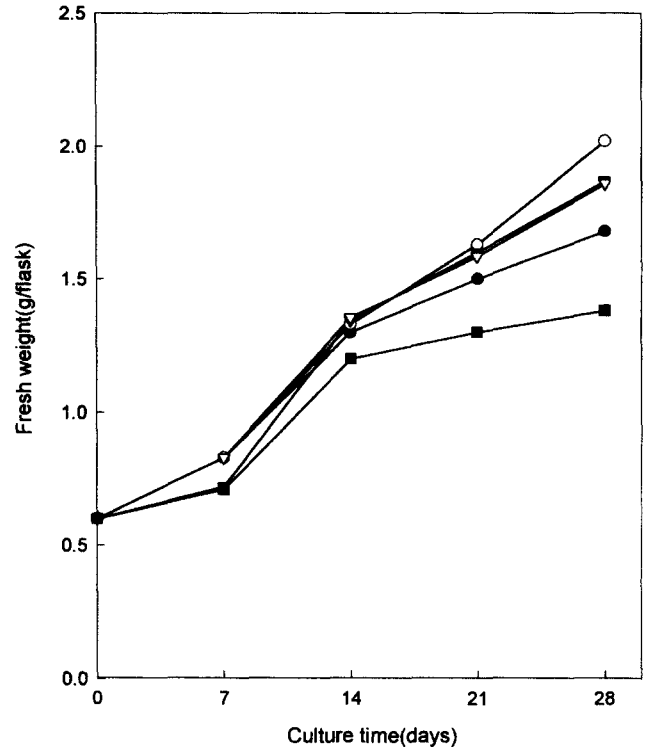
**Fig. 1.** Clone of ginseng root culture in a liquid medium. Ginseng root was cultured for 4 weeks in SH medium containing 0.5 mg/L BAP+3.0 mg/L NAA at 25°C under dark condition.

배지에서 생장이 가장 활발한 세포주를 선발하여 4주간 액체 진탕배양시켰을 경우의 인삼 root의 형태를 보여주고 있다. 이 인삼 root의 형태는 다소 굵은 cylinder형이었으며, 새로 자라는 root는 가늘며 흰색을 띄고 배양기간이 증가함에 따라 root의 굵기가 두꺼워지고 노란색이 진해졌다.

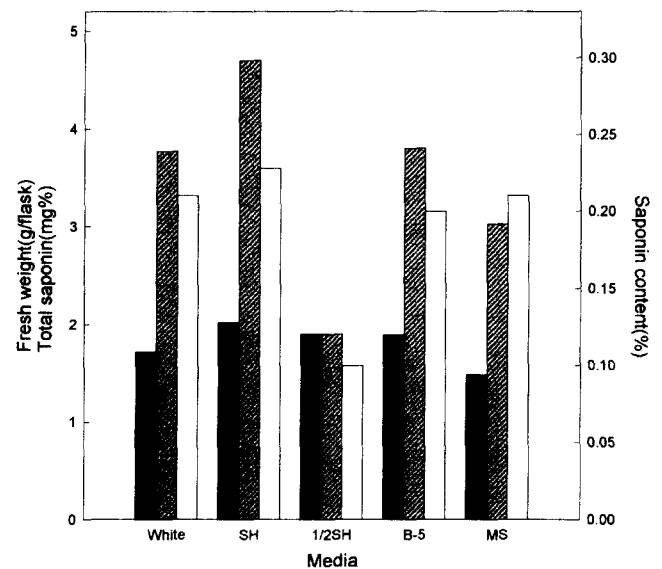
**2. 인삼 root 배양을 위한 배지의 선택**

식물조직배양에서 조직이 나타내는 반응은 아주 예민하여 식물의 종이나 품종은 물론 부위에 따라서도 다르기 때문에 이에 따라 배지의 성분도 달라져야 하므로, 각 식물체에 적합한 배지의 성분을 결정하는 것은 매우 중요하다.

인삼 root의 성장과 사포닌 생산에 가장 효과적인 배지를 선택하기 위하여 White, SH, half-strength SH, B-5, MS 등 5종의 배지를 사용하여 비교 실험하였다. 각 배지별로 40 mL의 배지에 인삼 root 0.6 g(1.5%)씩을 접종하여 1주일 간격으로 4주동안 성장율을 측정하였고, 4주째에 사포닌을 정량하였다. Fig. 2는 1주일 간격으로 4주간 인삼 root의 성장율을 측정한 결과로 배지별로 다소 차이는 있으나 모든 배지에서 배양 2주째 성장율이 2배 이상이 되어 배양초기의 doubling time이 2주 이내라는 것을 알 수 있었다. MS배지를 제외한 모든 배지의 경우 2주째의 무게가 1.32~1.38 g으로 2.2~2.3배의 성장을 하였으며, MS배지의 경우 doubling time이 가장 느린 것으로 나타났다. 모든 종류의 배지에서 인삼 root는 성장 초기 즉, 배양 1~2주에 급격히 성장하였고, 3~4주째에는 1~2주에 비해 성장율이 다소 떨어져 전 구간을 통해 볼 때 S자 형태의 성장곡선을 나타내었으며, doubling time은 약 10일정도 되는 것으로 나타났다. Fig. 3은 배지의 종류에 따른 root의 성장과 사포닌함량을 나타낸 것으로 root의 생장은 SH배지에서 4주 배양후 2.03 g으로



**Fig. 2.** Effects of various media on the growth ginseng root. —●—; White, —○—; SH, —▼—; Half-strength SH, —▽—; B-5, —■—; MS



**Fig. 3.** Effects of various media on the saponin formation. ■; Fresh weight, ▨; Total saponin, □; Saponin content

가장 높았고 MS배지에서 1.45 g으로 가장 낮았다. 사포닌함량은 SH배지에서 0.23%로 가장 높았고 half-strength SH배지에서 0.1%로 가장 낮은 함량을 나타내었으며, 인삼 root의 성장과 사포닌생산을 종합적으로 판단하기 위해 fresh

weight와 사포닌함량을 곱한 값인 총사포닌함량 역시 SH배지에서 4.67 mg%로 가장 높았고, half-strength SH에서 1.90 mg%로 가장 낮았다. 이 결과는 *Agrobacterium rhizogenes*에 의해 형질전환된 인삼모상근 배양시 MS배지에서 배양 35일 후에 3배의 성장과 1%(dry wt)의 사포닌함량을 보여 가장 효과적이었다는 황 등<sup>6)</sup>의 보고와는 차이가 있는 결과이다. 이것은 황 등<sup>6)</sup>이 사용한 것은 *Agrobacterium rhizogenes* 뿌리 유도균으로 형질전환을 시킨 세포주였고, 본 실험에 사용된 세포주는 균감염없이 식물생장조절제에 의해 유도된 root이므로 두 세포주의 영양요구도가 각각 다르기 때문일 것으로 생각된다. 이와 이<sup>19)</sup>는 한국산 4년근 인삼의 조직배양에서 White배지를 캘러스유도배지로, MS배지를 발근배지로 사용하였는데, White배지의 10종류 무기성분이 캘러스 생성에 적합한 성분임을 알아냈고, 그 함량 또한 영향을 준다고 보고하였다. SH와 MS배지는 각기 영양성분의 종류와 그 양이 차이가 나는데, 배지내의 주 무기영양소 중의 하나인 총질소량은 SH배지가 MS배지의 약 1/2 수준이고, 총인산염의 양은 약 2배가 된다. SH배지의 질소형태비를 보면 nitrate: ammonium=9.5:1로 nitrate형태의 질소가 더 많이 첨가되었다. 이에 비해 MS배지의 질소원의 형태비는 nitrate: ammonium=2:1로 SH배지보다 nitrate형태의 질소원의 비율이 상대적으로 낮다. 이상에서 알 수 있듯이 인삼 root 배양은 총질소량의 영향을 받기보다는 고농도의 nitrate 형태의 질소비를 갖는 배지에서 더 효과적이라는 것을 알 수 있다. 또한 SH배지는 다른 배지에 비해 비타민류와 같은 유기영양분의 함량이 높는데, myo-inositol의 경우 다른 배지에 비해 10배나 많은 양이 함유되어 있다. 이 역시 인삼 root 배양에 중요하게 작용되는 것으로 생각된다. 결론적으로 인삼 root 배양에는 nitrate 형태의 질소비가 높고, 비타민이 상대적으로 많은 SH배지가 가장 적합하였다.

배지별로 배양한 인삼 root의 사포닌함량을 HPLC로 분석한 결과는 Table 1와 같다. 배양에 사용한 배지는 White, SH, half-strength SH, B-5 및 MS로 각 배지별 인삼 root의 진세노사이드 패턴은 다소 차이가 있었다. SH와 White배지에서 배양한 root의 경우 총진세노사이드 함량이 0.49%로 가장 높게 나타났고 half-strength SH배지의 경우 0.19%로

가장 낮은 함량을 나타내었으며, SH배지의 경우 Re의 함량이 0.18%로 가장 높았으나 White배지의 경우 Rb<sub>1</sub>이 0.23%로 가장 높은 함량을 나타내어 두 배지간에 차이를 나타내었다. 이 결과로 보아 인삼 root의 생장과 사포닌 생산에 있어서 SH배지가 가장 적합한 것으로 사료된다.

3. 성장조절물질의 영향

식물체는 자연상태에서 여러 가지 호르몬을 생산하여 자신의 생장과 발육을 조절하게 되는데, 조직배양에서는 배양의 목적과 배양식물에 따라 적합한 성장조절물질을 첨가하고 있다.

본 실험에서는 인삼 root의 배양에 효과적인 성장조절제를 결정하기 위해 발근에 효과적인 auxin류 중에서 IBA와 NAA를, 싹유도에 효과적인 cytokinin류 중에서 kinetin과 BAP,

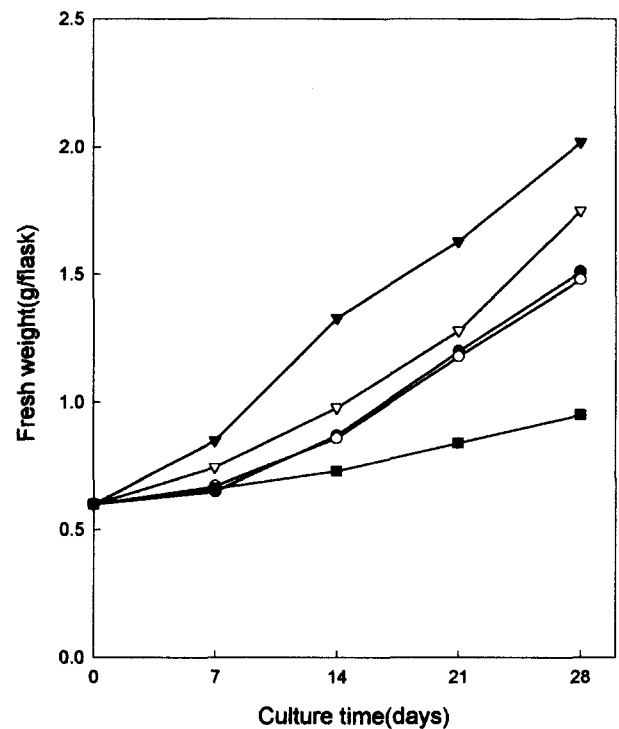
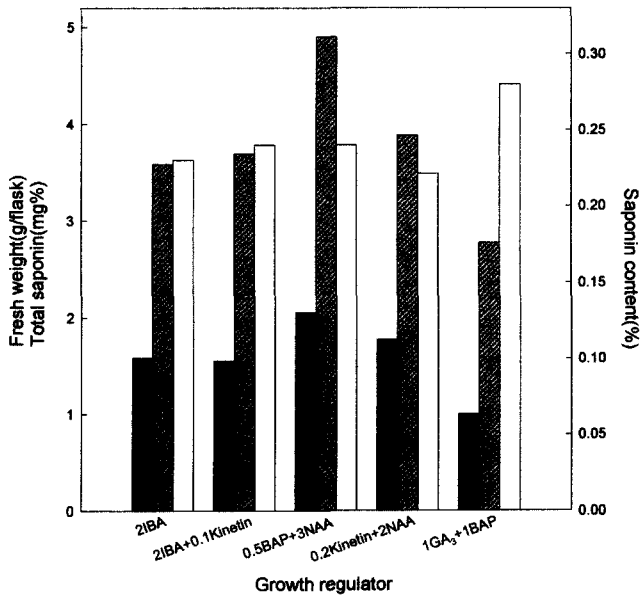


Fig. 4. Effects of various growth regulators on the growth of ginseng root in SH medium. —●—; 2IBA, —○—; 2IBA+0.1kinetin, —▼—; 0.5BAP+3NA, —▽—; 0.2Kinetin+2NAA, —■—; 1GA3+1BAP

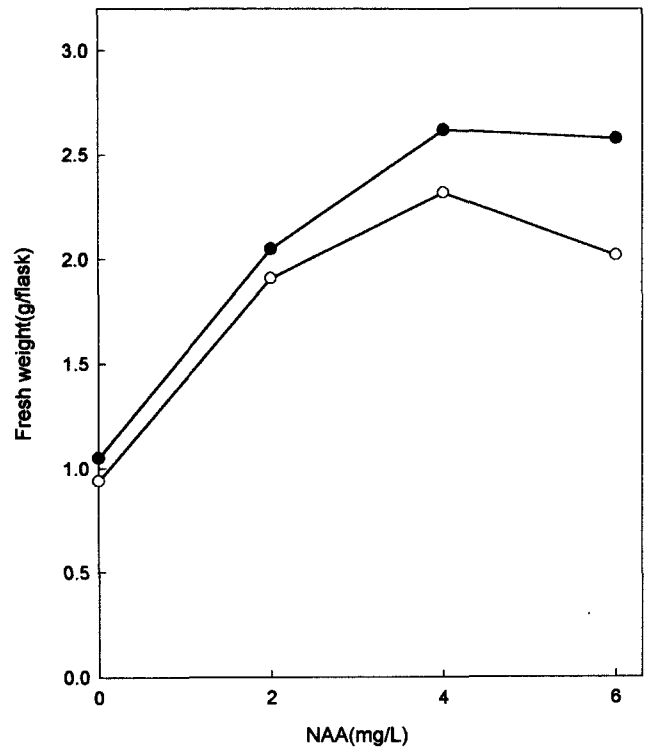
Table 1. Contents of ginsenosides in roots of *Panax ginseng* cultured in various liquid media

Medium	Contents of ginsenosides (% on dry basis)							
	Rb <sub>1</sub>	Rb <sub>2</sub>	Rc	Rd	Re	Rf	Rg <sub>1</sub>	T.G.
White	0.23	0.01	0.03	0.004	0.18	0.01	0.03	0.49
SH	0.09	0.009	0.03	0.01	0.18	0.09	0.08	0.49
Half-strength SH	0.02	0.13	-	-	0.03	0.005	0.007	0.19
B-5	0.06	0.004	-	0.02	0.08	0.02	0.04	0.22
MS	0.04	0.004	-	-	0.09	0.005	0.07	0.21



**Fig. 5.** Effects of various growth regulators on the saponin formation in SH medium. ■; Fresh weight, ▨; Total saponin, □; Saponin content

그리고 gibberellin중 GA<sub>3</sub>를 사용하여, 각각을 조합한 뒤 SH 배지에서 비교실험을 하였다. 실험에 사용한 조합으로는 2.0 mg/L IBA,<sup>7)</sup> 2.0 mg/L IBA+0.1 mg/L kinetin,<sup>10)</sup> 0.5 mg/L BAP+3.0 mg/L NAA,<sup>11)</sup> 0.2 mg/L kinetin+2.0 mg/L NAA,<sup>14)</sup> 1.0 mg/L GA<sub>3</sub>+1.0 mg/L BAP<sup>15)</sup>이었다. Fig. 4에서 0.5 mg/L BAP+3.0 mg/L NAA조합에서만 배양 2주째에 1.34 g으로 2.3배의 성장을 하여 doubling time이 약 10일 정도로 나타났고, 나머지 조합들은 약 3주째에 2배의 성장을 하였다. 1.0 mg/L GA<sub>3</sub>+1.0 mg/L BAP조합의 경우 4주 배양 후 무게가 0.99 g으로 1.7배의 성장에 그쳐 가장 낮은 효과를 보였다. 인삼 root의 생장은 0.5 mg/L BAP+3.0 mg/L NAA에서 2.04 g으로 가장 높았고, 사포닌함량은 1.0 mg/L GA<sub>3</sub>+1.0 mg/L BAP에서 0.28%로 가장 높았다(Fig. 5). 그러나 성장을 고려한 총사포닌 함량은 0.5 mg/L BAP+3.0 mg/L NAA에서 4.69 mg%로 가장 높은 함량을 나타내었다. Yoshikawa와 Furuya<sup>7)</sup>는 인삼모상근 배양에서 2.0 mg/L IBA+0.1 mg/L kinetin의 조합이 우수하다고 하였는데, 이와는 다소 차이가 있었으나, 인삼캘러스 배양시 4.0~8.0 mg/L의 NAA첨가시 발근이 증진된다는 조<sup>20)</sup>의 보고와는 일치하는 결과를 보였고, 인삼캘러스 배양에서 5.0 mg/L NAA+1.0 mg/L kinetin 첨가시 뿌리 분화가 잘된다는 최 등<sup>21)</sup>의 보고와도 비슷한 결과를 나타내었다. 이는 인삼배양에서 뿌리발생시 0.2 mg/L NAA+0.1 mg/L kinetin첨가가 효과적이며, 뿌리 형성의 효과적인 성분이 NAA라고 보고한 이와 이<sup>19)</sup>의 보고와도 비슷한 결과이다. 인삼 root 배양에 적합한 성장조



**Fig. 6.** Effects of different combinations of BAP and NAA on the fresh weight of ginseng root in SH medium. —●—; 0.0 mg/L BAP, —○—; 0.5 mg/L BAP

질물질의 조합을 BAP+NAA로 결정된 뒤 이 조합의 적정농도를 결정하기 위해 각 농도별로 적정농도 결정실험을 수행하였다. NAA는 0~6.0 mg/L, BAP는 0, 0.5 mg/L로 농도를 변화시켜 실험한 결과, 4.0 mg/L NAA 단독 처리구에서 2.64 g으로 가장 높은 성장을 나타내었고 0.5 mg/L BAP 단독 처리구에서 0.94 g으로 가장 낮은 성장을 나타내었다(Fig. 6). 사포닌함량은 BAP 0.5 mg/L 단독 처리구에서 0.26%로 가장 높은 사포닌을 생성하였고 6.0 mg/L NAA 단독 처리구에서 0.07%로 가장 낮은 함량을 나타내었다(Fig. 7). 성장율과 사포닌함량을 종합한 총사포닌 함량은 NAA 4.0 mg/L 단독 처리구에서 5.59 mg%로 가장 높은 함량을 보였으며 NAA 6.0 mg/L에서 1.81 mg%로 가장 낮은 함량을 나타내었다. 적정농도 결정실험 결과, root의 성장에는 NAA 농도를 4.0 mg/L까지 높일수록 효과적이었고, BAP 혼합처리시 그 효과가 저하됨을 알 수 있었다. 사포닌 생성은 0.5 mg/L BAP 단독처리시 가장 효과적이었고, NAA 농도가 높아질수록 사포닌함량이 줄어들었다. 이는 인삼캘러스 배양에서 NAA 4.0~8.0 mg/L까지는 농도가 증가할수록 발근량이 증가하고, BAP 혼합처리시 발근억제효과를 나타낸다는 조<sup>20)</sup>의 보고와 일치하는 결과였다. 최 등<sup>21)</sup>은 인삼캘러스에서 분화시킨 뿌리배양에서 인삼이 타식물의 NAA 요구도보다 훨씬

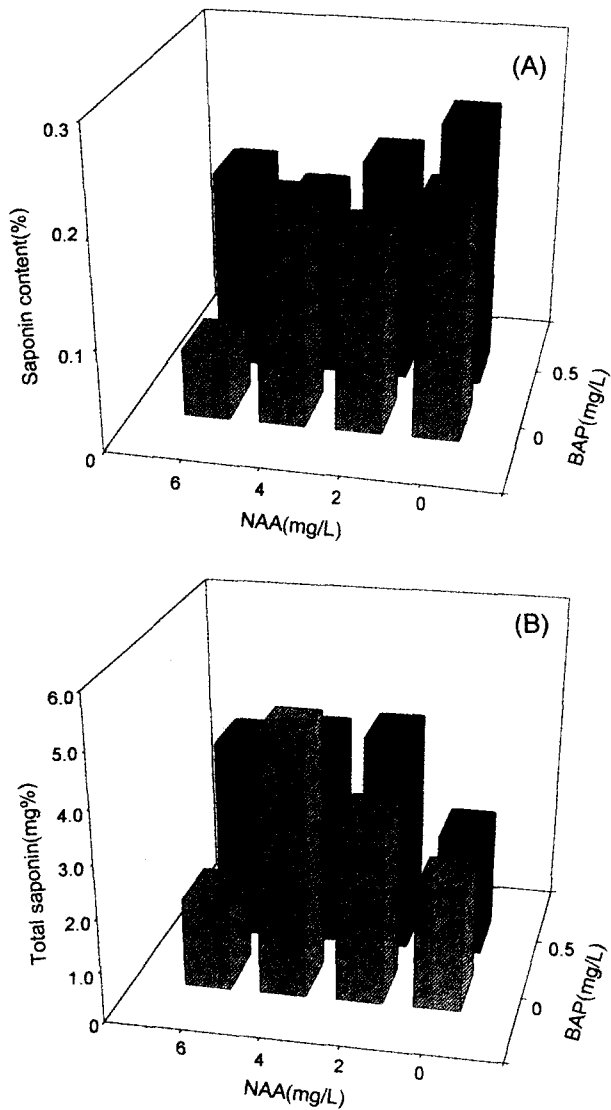


Fig. 7. Effect of different combinations of BAP and NAA on the saponin content (A) and total saponin content (B) of ginseng root in SH medium.

높은 NAA 요구도를 갖는다고 보고하였는데, 본 실험에서도 인삼 root 배양에 높은 NAA가 효과적임을 확인하였고 BAP 혼합처리시 그 효과를 저하시킨다는 결과를 얻었다.

**감사의 말씀**

본 연구는 한국담배인삼공사 공익사업단 출연, 고려인삼학회 지원 연구비에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

**요 약**

식물조직배양기술을 이용하여 사포닌 함량이 높은 인삼

root를 생산하고자, 인삼 root의 생장과 사포닌생산에 미치는 배지와 식물생장조절물질의 영향을 조사하였다. 인삼 root를 여러 종류의 배지에 배양하였을 때, 인삼 root의 생장과 사포닌 생산은 SH배지에서 가장 우수하였고, SH배지에 배양시, 접종후 약 10일후에 생체중량이 초기접종량의 2배가 되었다. 각 배지별로 배양한 인삼 root의 진세노사이드 패턴과 함량은 다소 차이가 있었는데, SH배지와 White배지에서 성장한 인삼 root의 총진세노사이드 함량이 가장 높았다. 생장조절물질에 있어서는 4.0 mg/L NAA를 함유한 SH배지에서 성장한 인삼 root의 생장이 가장 우수하였고, 사포닌 함량은 0.5 mg/L BAP 처리구에서 가장 높았다. 이러한 결과들은 인삼 root 배양에 의해 사포닌을 단기간에 생산할 수 있는 가능성을 제시하고 있다.

**인용문헌**

1. 양덕춘, 양계진 : 식물조직배양학회지 **27**, 485 (2000).
2. 지형준, 김현수 : 생약학회지 **16**, 171 (1985).
3. Slepian, L. I., Brushwitzky, I. V. and Butenko, R. G. : *Probl. Pharmacog.* **21**, 198 (1967).
4. Furuya, T., Yoshikawa, T., Ushiyama, K. and Oda, H. : *Planta Medica* **47**, 183 (1983).
5. 지형준, 신국현, 김현수, 조희재 : 생약학회지 **20**, 162 (1989).
6. 황백, 고경민, 황경화, 황성진, 강영희 : 식물학회지 **34**, 289 (1991).
7. Yoshikawa, T. and Furuya, T. : *Plant Cell Report* **6**, 449 (1987).
8. 고경수, 허인욱, 고정삼, 이윤진 : 한국생물공학회지 **5**, 263 (1990).
9. Murashige, T. and Skoog, F. : *Physiol. Plant.* **15**, 473 (1962).
10. Schenk, R. H. and Hilderbrant, A. C. : *Can. J. Bot.* **50**, 199 (1972).
11. 강영동, 오훈일 : 식물조직배양학회지 **20**, 181 (1993).
12. Gamborg, O. L., Miller, R. A. and Ojima, K. : *Exp. Cell Res.* **50**, 151 (1968).
13. White, P. R. : *The Cultivation of Animal and Plant Cells*, Ronald Press, New York, p.57 (1963).
14. 하건수, 한태진, 조성환 : 식물조직배양학회지 **18**, 33 (1991).
15. 고경민, 송재진, 황백, 강영희 : 식물학회지 **35**, 75 (1993).
16. Shibata, S., Tanaka, O., Ando, T., Sado, M., Tsushima, S. and Ohsawa, T. : *Chem. Pharm. Bull.* **14**, 559 (1966).
17. 김영수, 이희자 : 한국식품과학회지 **10**, 356 (1978).
18. 한병훈, 한용남, 류재하, 김용철, 강영화, 권중호, 진강 : 고려인삼학회지 **19**, 138 (1995).
19. 이채두, 이상태 : 성균관대학교 논문집 **15**, 1 (1970).
20. 조재성 : 한국작물학회지 **26**, 110 (1981).
21. 최광태, 김명원, 신희석 : 고려인삼학회지 **5**, 35 (1981).