

Methyl jasmonate 처리에 의한 인삼 (*Panax ginseng* C.A. Meyer) 부정근의 이차대사산물 및 항산화활성 증가

임 순¹, 배기화², 신차균², 김윤영², 김윤수^{2*}

¹한국생명공학연구원 식물세포공학연구실, ²중앙대학교 인삼산업연구소

Increasement of Secondary Metabolites and Antioxidative Activity in *Panax ginseng* Adventitious Root by Methyl Jasmonate

Soon Lim¹, Ki-Hwa Bae², Cha-Gyun Shin², Yoon-Young Kim², Yun-Soo Kim^{2*}

¹Laboratory of Plant Cell Biotechnology, Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology (KRIBB), Eoeun-dong 52, Yusong, Daejeon 305-806, Korea

²Korea Ginseng Institute, Chung-Ang University, Anseong 456-756, Korea

ABSTRACT This study was initiated to investigate the impacts of methyl jasmonate (MeJA) on adventitious root growth of *Panax ginseng*, the production of secondary metabolites, such as ginsenosides and phenolic compounds, and antioxidative activity. Among various concentrations of MeJA, 100 μ M MeJA increased the ginsenosides accumulation to 26.6 mg/g dry wt, about 8 times higher than the control in ginseng adventitious roots (GAR). In addition, 50 μ M MeJA increased the accumulation of phenolic compounds to 0.38 mg/g dry wt, about 3 times higher than control in GAR. This MeJA treatment was more effective in conditioned medium (CM) which obtained in bioreactor after 40 days of culture than in fresh medium (FM). Treatment of 100 μ M MeJA in CM increased the accumulation of ginsenosides (1.7 times) and phenolic compounds (1.2 times) more than in FM, respectively. Consequently, these high accumulation of ginsenosides and phenolic compounds by MeJA led to increase the antioxidative activities expressed to the DPPH scavenging activity (over 78.3%). The DPPH scavenging activity in control was 45.5%.

Key words: Adventitious root cultures, DPPH scavenging activity, ginsenosides, *Panax ginseng* C.A. Meyer, phenolic compounds

서 론

인삼 (*Panax ginseng* C.A. Meyer)은 한국을 대표하는 약용식물로써 수 천년동안 위장병 치료, 혈액순환 촉진, 활력증강 등에 전통적으로 사용되었으며, 현대의학에서는 항당뇨, 항산화, 항암 등 다양한 면역증강기능에 대한 효과가 보고되어 있다 (Keum et al. 2000; Shibata 2001; Rotshteyn and Zito 2004). 이러한 약리작용의 대부분은

인삼의 주요성분인 진세노사이드 (ginsenosides), 페놀화합물 (phenolic compounds), 다당체 (polysaccharides), 플라보노이드 (flavonoids)에 의한 것으로 알려져 있다 (Park et al. 1990; Park et al. 2001; Xie et al. 2004). 이들 성분 가운데 인삼의 대표적인 성분으로 알려진 진세노사이드는 1854년 Garriques가 *Panax quinquefolium*의 뿌리에서 분리하여 panaquilon이라고 명명하면서부터 연구가 시작되었으며 그 이후에도 꾸준히 인삼연구의 중심이 되어왔다. 반면에 페놀화합물 등과 같은 비사포닌 성분은 1974년 Takagi가 실험동물에 인삼 추출물 투여시 항산화제인 비타민 E의 노화억제 작용이 있는 것으로 보고하면서 인삼에

*Corresponding author Tel 031-670-4682 Fax 031-676-6544

E-mail: yunsoony@hanmail.net

진세노사이드 이외의 다른 유효성분이 존재한다는 것이 제시되었다. 국내 연구진들도 1980년대 이후 인삼으로 부터 maltol, salicylic acid, vanillic acid, ferulic acid, caffeic acid 등의 페놀화합물을 분리하여 실험용 동물에 투여한 결과, 페놀화합물이 지질과산화에 대한 탁월한 항산화효과를 나타내면서 인삼의 페놀화합물에 관련된 연구에 관심이 높아지고 있다 (Han et al. 1985; Wee et al. 1996; Jung et al. 2005). 또한 Attele 등 (1999)의 최근 실험에서 여러 진세노사이드를 포함한 dammarane계 사포닌이 항산화 활성에 중요한 역할을 담당하고 있다는 결과를 발표하면서 인삼의 항산화활성에 대한 관심은 더욱 증가하게 되었다.

일반적으로 기내 (*in vitro*) 배양체는 높은 배양 스트레스 특히 산화적 스트레스 상태에서 배양되고 있기 때문에 자연계에서 재배되는 식물체보다 항산화 활성이 높은 것으로 나타났다 (Kwak et al. 1995). 또한 이러한 배양체는 배양 기간 동안 인위적인 유인제 (elicitor) 처리에 의하여 배양체가 생산하는 이차대사산물의 생산을 조절할 수 있다는 장점도 가지고 있다. 식물 세포배양에서 이용하는 유인제가운데 methyl jasmonate (MeJA)는 식물세포의 발달과정 및 방어반응을 유도하는 신호전달물질로 잘 알려져 있으며 (Farmer and Ryan 1990; Muller et al. 1993) 세포배양에서 이차대사산물의 합성을 촉진시키는 성장조절물질로도 많이 보고되어있다 (Meyer et al. 1984; Yukimune et al. 1996; Yu et al. 2002). MeJA 처리가 주목나무 세포로부터 항암 성분인 paclitaxel의 합성을 촉진하였다는 결과가 보고된 이후 (Yukimune et al. 1996; Ketchum et al. 1999), 인삼 세포 및 부정근 배양에서도 MeJA와 그 유도체 (jasmonic acid)를 처리함으로써 진세노사이드 합성을 촉진시키는 결과가 많이 보고되었다 (Yu et al. 2002; Wang and Zhong 2002; Kim et al. 2003; Kim et al. 2004). 하지만, 인삼 부정근 배양에서 MeJA 처리가 페놀화합물과 같은 비사포닌 성분에 미치는 영향에 대해서 보고된 예는 많지 않다. 최근 Ali 등 (2005)이 인삼 부정근에 200 μ M의 MeJA 단독처리가 진세노사이드와 다양한 항산화 효소의 활성을 증가시켰다는 보고가 유일하다.

따라서 본 연구에서는 다양한 MeJA 처리농도에 따른 인삼 부정근내 진세노사이드와 페놀화합물 함량 및 항산화활성 변화를 조사하였으며, 항산화활성은 산화스트레스에 의하여 발생하는 free radical (ROO·, RO·)을 포착하는 1,1-diphenyl-2-picryl hydrazyl (DPPH)법을 이용하여 측정하였다. 또한 배지내 주요 구성물질의 유·무에 따른 MeJA의 효과를 확인하기 위하여 신선배지 (fresh medium, FM)와 조건배지 (conditioned medium, CM)에서의 진세노사이드와 페놀화합물의 함량 변화와 그에 따른 항산화 능력을 조사하였다.

재료 및 방법

부정근의 유도 및 증식

인삼 (4년근, 충남 금산)의 세근을 약 0.5 cm의 절편으로 자른 후, 2,4-D 1.0 mg/L, kinetin 0.1 mg/L, sucrose 3% (w/v), gelite 0.2% (w/v)가 첨가된 MS배지에 접종하여 22 \pm 1°C 암조건에서 캘러스를 유도하고, 유도된 캘러스를 NAA 2.0 mg/L, sucrose 3% (w/v), gelite 0.2% (w/v)가 포함된 MS배지에 접종하여 동일한 배양조건에서 4주간 배양하여 인삼 부정근을 유도·증식하였다 (Kim 2002).

처리 농도 및 배지조건에 따른 성장량 결정

5 L의 생물반응기 (Kim et al. 2004)에서 40일간 배양한 후 clean bench내에서 무균적으로 수확된 부정근을 30 g (건물중 2.8 g)씩 취하여 각각 0, 50, 100, 150 μ M의 MeJA가 포함된 1 L의 삼각플라스크에 재접종하여 7일간 22 \pm 1°C 암조건에서 110 rpm으로 배양하였다. 1 L의 삼각플라스크에 300 mL의 변형된 신선 MS배지 (MS배지에서 NH_4NO_3 만을 완전제거한 배지; Kim et al. 2004)와 각각 다른 농도의 MeJA에서 7일간 배양한 후 수확된 부정근은 실험실에서 1시간동안 자연 건조하여 생체중을 측정하였으며, 건물중은 동결건조기 (FEU-1200, EYELA)에서 약 12시간 건조하여 측정하였다.

배지의 주요 구성물질의 유·무에 따른 MeJA의 효과는 100 μ M MeJA를 변형된 신선 MS배지 (FM)와 40일간 생물반응기에서 배양 후 얻어진 배지 (CM)를 무균적으로 취하여 이용하였다. 배양조건은 상기와 동일하게 수행되었으며, 생체중과 건물중의 측정도 동일하게 이루어졌다.

진세노사이드의 추출 및 분석

건조시킨 분말시료 1.0 g를 취하여 80°C 온수욕조에서 80% 메탄올 50 mL로 2회 추출하여 여과·농축 후 에틸에테르 (ethyl ether)로 재추출하여 탈지시킨 다음, 수포화 n-부탄올로 3회 추출하여 n-부탄올층만을 모두 합하여 증류수로 1회 세척한 후 수층을 버리고 n-부탄올층만을 감압농축시켰다. 완전히 농축되어 건조된 분말을 HPLC용 메탄올 5 mL에 녹여 0.45 μ m millipore syringe filter (Gelman, USA)로 여과하여 HPLC (Waters 2690 separation module, USA)로 분석하였다 (William et al. 1996). 진세노사이드 정량은 photodiode array (Water 966, USA) 검출기로 수행하였으며, column은 Altec Platinum C18 column (1.5 μ m, 33 \times 7 mm), 용매는 acetonitrile과 물을 이용하여 처음 10분은 75:25로 후반부 15분은 63:37의 구배로 조절하였고,

flow rate는 1.0 mL/min로 하여 분석하였다. 총 진세노사이드 함량은 Rb1, Rb2, Rc, Rd, Re, Rf, Rg1 (Karl Roth, Germany)의 표준품에 의하여 분석된 peak의 합으로 나타내었다.

페놀화합물과 DPPH에 의한 항산화활성 측정을 위한 시료의 추출

다양한 MeJA 처리에서 얻은 0.5 g (동결건조 후 건물중)을 사용하여 80% (v/v) ethanol 5 mL에 현탁시킨 후 80°C에서 3시간 추출·여과하여, 13,000 rpm에서 약 15 분간 원심분리 하였다. 원심분리 후 얻어진 상등액은 총 페놀화합물과 DPPH법에 의한 항산화활성을 측정하는데 이용되었다.

페놀화합물 성분의 분석

추출된 각 시료의 상등액 0.1 mL에 증류수 2.5 mL와 2 N Folin-Ciocalteu's 시약 (Hammerschmidt and Pratt 1978) 0.1 mL를 첨가하고 20% (w/v) Na₂CO₃ 0.5 mL를 가하여 1시간 방치 후 spectrophotometer (UVIKON 933, KONTRON)를 이용하여 750 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준곡선은 gallic acid (Sigma, USA)를 이용하여 추출용매별로 50, 100, 200, 400 mg/L이 되도록 희석하여 측정하였다.

DPPH법에 의한 항산화활성 측정

추출된 각 시료의 상등액 0.1 mL를 취하여 여기에 500 μM의 1,1-diphenyl-2-picryl hydrazyl (DPPH) 용액 0.9 mL를 각각 넣어 37°C에서 30분간 방치한 후, 517 nm에서 흡광도를 측정하였다. 대조구는 시료대신 80% ethanol 0.1 mL를 0.9 mL의 DPPH 용액에 첨가하여 얻은 값으로 사용하였다. DPPH법에 의한 항산화활성의 측정은 시료첨가구와 대조구의 흡광도차를 백분율로 표시하였다 (Shimada et al. 1992). 계산식은 다음과 같다.

DPPH 소거능 (%)

$$= (1 - \text{시료첨가구의 흡광도} / \text{대조구의 흡광도}) \times 100$$

결과 및 고찰

MeJA 처리농도에 따른 진세노사이드와 페놀화합물의 생산

생물반응기에서 40일간 배양한 후, 무균적으로 수확된 인삼 부정근에 다양한 농도의 MeJA를 7일간 처리한 결과, MeJA 처리농도가 증가할수록 부정근의 생체중과 건물중은 감소하는 것으로 나타났다 (Table 1). MeJA를 처리하지 않은 대조구에서의 생체중은 접종시 생체중 (30 g)보다 약 20%증가하여 35.8 g를 나타낸 반면에 가장 높은 처리농도인 150 μM에서 생체중은 접종시보다 약 4%가 증가 (31.1 g)된 것으로 나타났다. 또한, 이러한 MeJA의 높은 처리농도는 생체중보다 건물중을 더욱 감소시키는 것으로 나타났다. 이들의 생체중에 대한 건물중의 비율 (DW/FW)에서 확인할 수 있듯이, MeJA 무처리 (대조구)에서 DW/FW 비율이 8.9인 반면에 MeJA의 농도가 50, 100, 150 μM로 증가하면서 DW/FW의 비율은 각각 8.7, 8.5, 8.4로 점차 감소하는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 본 저자의 앞선 결과 (Kim et al. 2004)에서도 유사하게 보고된바 있지만, MeJA의 처리가 생체중의 감소보다 건물중을 더욱 감소시킨다는 결과는 새롭다고 할 수 있다.

상기의 결과에서 MeJA 처리가 인삼 부정근의 생장을 억제하는 것과 반대로 부정근이 생산하는 진세노사이드와 페놀화합물의 생산은 MeJA 처리농도가 증가할수록 점차 증가시키는 것으로 나타났다 (Figure 1). 대조구의 총 진세노사이드 함량은 3.2 mg/g dry wt인 반면에 MeJA의 100과 150 μM 처리에서 총 진세노사이드 함량은 각각 26.6과 28.7 mg/g dry wt로 대조구보다 약 8배 이상 증가된 것으로 나타났다 (Figure 1A). 또한 MeJA 처리는 dammarane계 사포닌인 진세노사이드 생산을 증가시킬 뿐만 아니라 비사포닌 가운데 하나인 페놀화합물의 생산도 증가시키는 것으로 나타났다 (Figure 1B). 50 μM MeJA 처리에서 페놀화합물의 생산은 0.38 mg/g dry wt로 대조구 (0.14 mg/g dry wt)에 비하여 약 3배 이상 증가하였다. MeJA의 100과 150 μM에서의 페놀화합물 생산은 50 μM MeJA 처리와 커다란 차이를 나타내지는 않았다. Figure 1A와 B에서 보는 바

Table 1. Effects of methyl jasmonate on growth of ginseng adventitious roots for 7-day elicitation period

MeJA concentration (μM)	Fresh weight (FW, g)	Dry weight (DW, g)	DW/FW (%)
0	35.8 ± 0.2 a ²	3.2 ± 0.05 a	8.9
50	34.4 ± 0.1 a	3.0 ± 0.04 b	8.7
100	32.8 ± 0.1 b	2.8 ± 0.05 c	8.5
150	31.1 ± 0.2 c	2.6 ± 0.03 d	8.4

²Mean separation within columns by DMRT at 5% level.

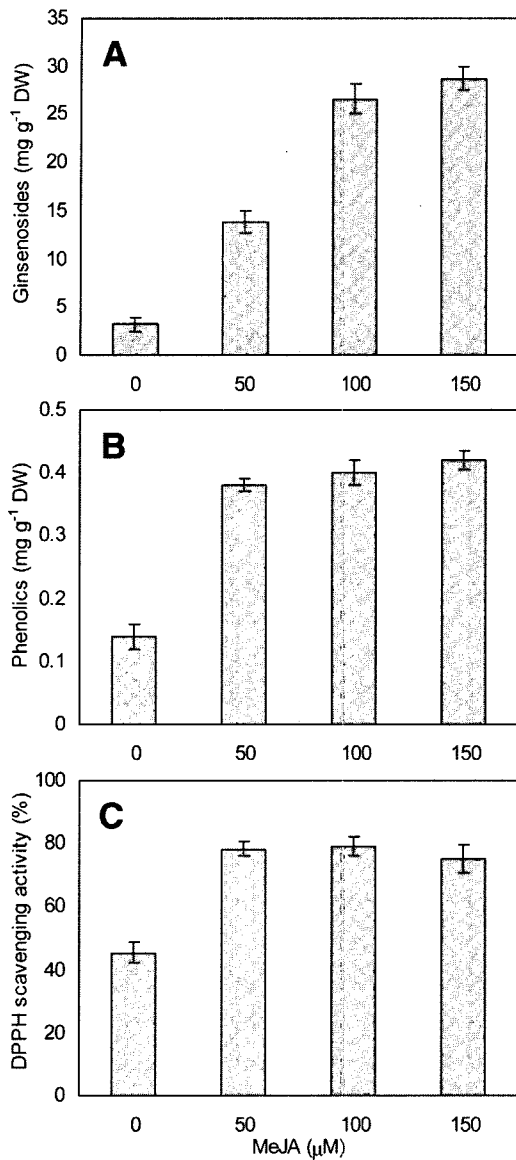


Figure 1. Patterns of ginsenosides (A), phenolic compounds (B) and DPPH scavenging activity (C) by various concentrations of methyl jasmonate for 7-day elicitation period in ginseng adventitious roots.

와 같이, MeJA 처리는 인삼의 대표적인 이차대사산물인 진세노사이드와 페놀화합물의 생산을 증가시켰다. 또한, 페놀화합물 생산은 진세노사이드의 생산보다 낮은 농도의 MeJA 처리가 효과적임을 알 수 있다. 이러한 MeJA 처리에

의한 부정근내 이차대사산물의 증가는 결과적으로 인삼부정근의 항산화활성을 향상시키는 것으로 나타났다 (Figure 1C). 특히 50 μM MeJA 처리에서 항산화활성은 대조구의 45.5%에서 78.3%로 급격히 증가한 반면에 그 이상의 처리 농도에서는 별다른 변화를 보이지 않은 것으로 보아, DPPH radical 소거능은 인삼부정근내 페놀화합물의 생산경향과 더욱 유사하게 나타나는 것으로 생각된다. Ali 등 (2005)의 결과에서도 인삼부정근에 MeJA 처리가 진세노사이드의 함량을 증가시키고 동시에 항산화활성이 증가한다는 사실을 이미 보고한 바 있다. 그러나 본 실험에서 알 수 있듯이 인삼부정근내 항산화활성의 증가는 진세노사이드 생산에 영향을 받기보다는 페놀화합물 생산에 의한 영향이 더욱 큰 것으로 나타났다. 일반적으로 페놀화합물의 증가가 DPPH radical 소거능의 증가를 가져온다는 사실은 이미 다양한 약용식물에서 보고된 바 있다 (Saija et al. 1998; Cha et al. 2001; Lu and Foo 2001).

배지내 구성물질의 유·무에 따른 MeJA의 효과

인삼부정근 배양에서 배지내 구성성분은 부정근의 성장 뿐만 아니라 진세노사이드를 비롯한 다양한 이차대사산물의 생산에도 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있다 (Yu et al. 2000). 특히, MeJA 처리시 배지내 성분결핍이 진세노사이드 생산을 증가시킨다는 결과가 이미 보고된 바 있다 (Kim et al. 2004). 따라서 본 실험에서는 배지내 구성성분이 결핍된 상태에서 MeJA 처리가 진세노사이드와 페놀화합물의 생산에 미치는 영향을 조사하였으며 그에 따른 항산화활성을 조사하였다. 배지효과는 100 μM MeJA를 신선 MS배지 (FM)와 40일간 생물반응기에서 배양 후 얻어진 배지 (CM)에서 각각 7일간 부정근을 배양하여 나타내었다. Table 2에서 보는 바와 같이, FM배지에서의 MeJA 처리 (FM+MeJA)는 인삼부정근의 생중량을 최초 30 g의 접종량에 비하여 7일간 배양으로 약 5.3 g 증가시켰으나 조건배지 (CM+MeJA)에서는 약 1.3 g 정도만 증가시킨 것으로 나타났다. 반면에 진세노사이드와 페놀화합물은 생장의 감소와는 다르게 CM+MeJA배지에서 배양하였을 때 증가하는 것으로 나타났다 (Figure 2). 배지성분이 결핍된 CM+MeJA배지에서의 진세노사이드 생산은 FM+MeJA배지에

Table 2. Effects of medium component and methyl jasmonate on growth of ginseng adventitious roots for 7-day elicitation period

Treatment	Fresh weight (FW, g)	Dry weight (DW, g)	DW/FW (%)
CM ² +MeJA	31.3 ± 0.3 b [*]	2.7 ± 0.01 b	8.6
FM ² +MeJA	35.3 ± 0.1 a	3.2 ± 0.02 a	9.1

²CM: a conditioned medium harvested aseptically after 40 days of a bioreactor culture.

²FM: a modified MS medium (without NH₄NO₃ in MS) prepared freshly.

^{*}Mean separation within columns by DMRT at 5% level.

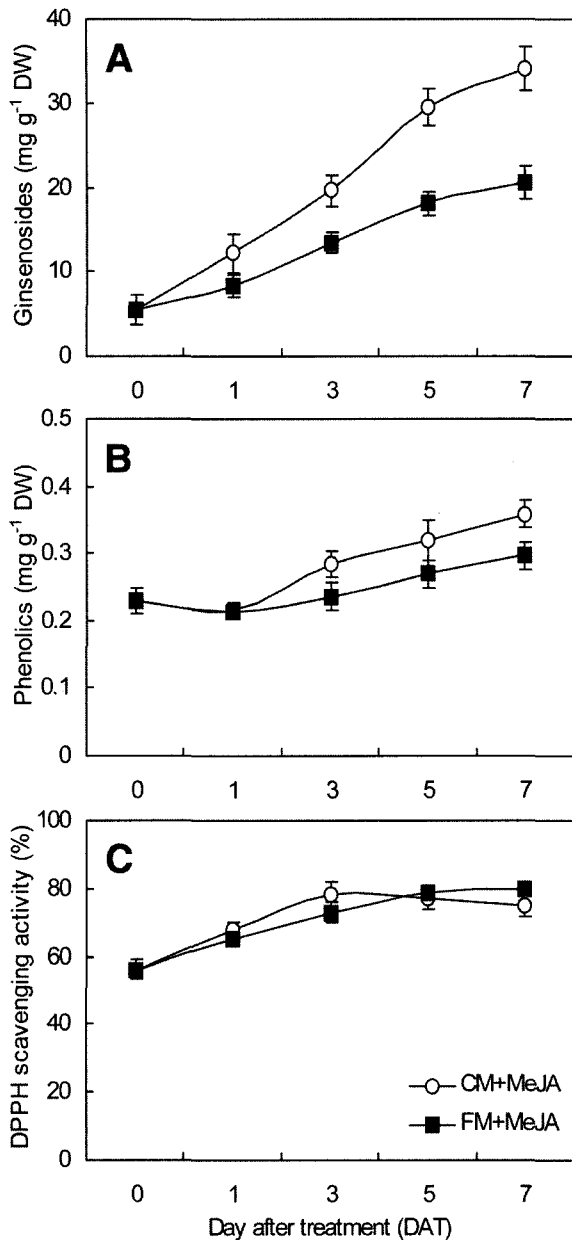


Figure 2. Changes of ginsenosides (A), phenolic compounds (B) and DPPH scavenging activity (C) according to the day after treatment with medium component and methyl jasmonate in ginseng adventitious roots.

서 보다 약 1.7배가 증가하여 약 34.1 mg/g dry wt로 나타났으며 (Figure 2A), 페놀화합물 역시 CM+MeJA 배지에서 약 0.36 mg/g dry wt로 FM+MeJA 배지에 비하여 약 1.2배 증가한 것으로 나타났다 (Figure 2B). 그리고 Figure 2에서 MeJA 처리효과는 진세노사이드와 페놀화합물 모두 배양 3일 이후에 뚜렷이 나타나는 것으로 알 수 있다. 그러나 이러한 CM+MeJA 배지에서 진세노사이드와 페놀화합물의 증가에도 불구하고 항산화활성의 증가에는 FM+MeJA 배지와 커다란 차이를 나타내지는 않는 것으로 나타났다 (Figure 2C). 이와 같은 결과에 의하여 항산화활성의 증가는 MeJA의

유·무에 의하여 커다란 영향을 받지만, 배지 구성성분에 따른 영향은 적은 것으로 판단된다.

식물의 세포 및 기관배양에서 MeJA 처리에 의한 생장의 감소와 이와는 다르게 그들이 생산하는 이차대사산물을 증가시킨다는 사실은 이미 다양한 식물유래 배양체에서 잘 알려진 사실이다 (Yukimune et al. 1996; Aoyagi et al. 2001; Kim et al. 2004). 이상의 두 실험에서도 알 수 있듯이, 인삼 부정근 배양에서 MeJA 처리는 부정근의 생장을 억제하는 반면에 인삼의 대표적인 이차대사산물인 진세노사이드와 페놀화합물을 증가시키는 것으로 나타났으며, 이러한 이차대사산물의 증가 (특히 페놀화합물)는 인삼부정근의 항산화활성을 상당히 증가시키는 것으로 나타났다. 향후, 인삼 부정근의 대형생물반응기 배양 (Hahn et al. 2003)에서 MeJA와 조건배지를 이용한 이단계배양 (Kim et al. 2004)을 통하여 진세노사이드와 페놀화합물을 포함한 다양한 이차대사산물을 대량생산하는 것이 가능할 것으로 생각된다.

적 요

인삼부정근 배양에서 MeJA 처리가 부정근내 진세노사이드와 페놀화합물의 생산에 미치는 영향과 이러한 이차대사산물의 증가에 따른 인삼부정근의 항산화활성의 효과를 조사하였다. 다양한 농도의 MeJA를 인삼부정근에 처리한 결과, 100 μ M MeJA에서 부정근내 진세노사이드의 생산은 26.6 mg/g dry wt로 대조구보다 약 8배 이상 생산하는 것으로 나타났다. 하지만, MeJA의 처리는 부정근의 생장을 감소시키는 것으로 나타났다. 페놀화합물의 생산 역시 MeJA 처리에 의하여 증가되는 경향을 나타냈으며 50 μ M MeJA에서 0.38 mg/g dry wt로 대조구에 비하여 약 3배 이상 증가한 것으로 나타났다. 이러한 MeJA의 처리효과는 조건배지 (CM)를 이용하는 것이 신선배지 (FM)를 이용하는 것보다 유리한 것으로 나타났다. 배지성분이 결핍된 조건배지에서의 진세노사이드 생산은 신선배지에서 보다 약 1.7배가 증가한 것으로 나타났으며, 페놀화합물 역시 조건배지에서 약 1.2배가 증가한 것으로 나타났다. 이러한 MeJA 처리에 의한 진세노사이드와 페놀화합물의 증가는 결과적으로 인삼부정근의 항산화활성을 무처리구인 대조구에 비해서 약 72%이상 증가시키는 것으로 나타났다.

사 사

이 논문은 2003년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음 (KRF-2003-005-F00003).

인용문헌

- Ali MB, Yu KW, Hahn EJ, Paek KY (2005) Differential response of anti-oxidants enzymes, lipoxygenase activity, ascorbate content and the production of saponins in tissue cultured root of mountain *Panax ginseng* C.A. Meyer and *Panax quinquefolium* L. in bioreactor subjected to methyl jasmonate stress. *Plant Sci* 169: 83-92
- Aoyagi H, Kobayashi Y, Yamada K, Yokoyama M, Kusakari K, Tanaka H (2001) Efficient production of saikosaponins in *Bupleurum falcatum* root fragments combined with signal transducers. *Appl Microbiol Biotechnol* 57: 482-488
- Attele AS, Wu JA, Yuan CS (1999) Ginseng pharmacology. *Biochem Pharmacol* 58: 1685-1693
- Cha HS, Park MS, Park KM (2001) Physiological activities of *Rubus coreanus* Miquel. *Kor J. Food Sci Technol* 33: 409-415
- Famer EE, Ryan CA (1990) Interplant communication: airborne methyl jasmonate induces synthesis of proteinase inhibitors in plant leaves. *Proc Natl Acad Sci USA* 87: 7713-7716
- Garriques S (1854) On panaquilon, a new vegetable substances. *Ann Chem Pharm* 90: 231
- Hahn EJ, Kim YS, Yu KW, Jeong CS, Paek KY (2003) Adventitious root cultures of *Panax ginseng* C.A. Meyer and ginsenoside production through large-scale bioreactor system. *J Plant Biotech* 5: 1-6
- Hammerschmidt PA, Pratt DA (1978) Phenolic antioxidants of dried soybeans. *J Food Sci* 43: 556-559
- Han BH, Park MH, Han YN (1985) Studies on the antioxidant components of Korean ginseng(V); The mechanism of antioxidant activity of maltol and phenolic acids. *Kor Biochem J* 18: 337-340
- Jung CH, Seog HM, Choi IW, Choi HD, Cho HY (2005) Effects of wild ginseng (*Panax ginseng* C.A. Meyer) leaves on lipid peroxidation levels and antioxidant enzyme activities in streptozotocin diabetic rats. *J Ethnopharmacol* 98: 245-250
- Ketchum REB, Gibson DM, Croteau RB, Shuler ML (1999) The kinetics of taxoid accumulation in cell suspension cultures of *Taxus following* elicitation with methyl jasmonate. *Biotechnol Bioeng* 62: 97-105
- Keum YS, Park KK, Lee JM, Chun KS, Park JH, Lee SK, Kwon H, Surh YJ (2000) Antioxidant and anti-tumor promoting activities of the methanol extract of heat-processed ginseng. *Cancer Lett* 150: 41-48
- Kim YS (2002) Production of ginsenosides through bioreactor culture of adventitious roots in ginseng (*Panax ginseng* C.A. Meyer). Ph D. thesis. Chungbuk National University, Cheongju
- Kim YS, Chakrabarty D, Hahn EJ, Paek KY (2003) Methyl jasmonate increase saponin content in bioreactor culture of ginseng (*Panax ginseng* C.A. Meyer) adventitious roots. *Acta Hort* 625: 289-292
- Kim YS, Hahn EJ, Murthy HN, Paek KY (2004) Adventitious root growth and ginsenoside accumulation in *Panax ginseng* cultures as affected by methyl jasmonate. *Biotechnol Lett* 26: 1619-1622
- Kwak SS, Kim SK, Lee MS, Jung KH, Park IH, Liu JR (1995) Acidic peroxidases from suspension-cultures of sweet potato. *Phytochemi* 39: 981-984
- Lu Y, Foo LY (2001) Antioxidant activities of polyphenols from sage (*Salvia officinalis*). *Food Chem* 75: 197-202
- Meyer A, Miersch O, Buttner C, Dathe W, Sembdner G (1984) Occurrence of the plant growth regulator jasmonic acid in plants. *J Plant Growth Reg* 3: 1-8
- Mueller MJ, Brodschelm W, Spannagl E, Zenk MH (1993) Signaling in the elicitation process is mediated through the octadecanoid pathway leading to jasmonic acid. *Proc Natl Acad Sci USA* 90: 7490-7494
- Park KM, Kim YS, Jeong TC, Joe CO, Shin HJ, Lee YH, Nam KY, Park JD (2001) Nitric oxide is involved in the immunomodulating activities of acidic polysaccharides from *Panax ginseng*. *Planta Med* 67: 122-126
- Park SN, Choi SW, Boo YC, Kim CK, Lee TY (1990) Effects of flavonoids of ginseng leaves on erythrocyte membranes against singlet oxygen caused damage. *Kor J Ginseng Sci* 14: 191-199
- Rotshteyn Y, Zito SW (2004) Application of modified in vitro screening procedure for identifying herbals possessing sulfonylurea-like activity. *J Ethnopharmacol* 93: 337-344
- Sajja A, Trombetta D, Tomaino A, Cascio RL, Princi P, Uccella N, Bonina F, Castelli F (1998) 'In vitro' evaluation of the antioxidant activity and biomembrane interaction of the plant phenols oleuropein and hydroxytyrosol. *Int J Pharm* 166: 123-133
- Shibata S (2001) Chemistry and cancer preventing activities of ginseng saponins and some related triterpenoid compounds. *J Kor Med Sci* 16: 28-37
- Shimada K, Fujikawa K, Yahara K, Nakamura T (1992) Antioxidative properties of xanthan on the autoxidation of soybean oil in cyclodextrin emulsion. *J Agri Food Chem* 40: 945-948
- Takagi K (1974) Pharmacological studies on ginseng. *Proceeding of International Ginseng Symposium*. The Central Research Institute, Office of Monopoly, Seoul, Korea, pp 119-127
- Wang W, Zhong JJ (2002) Manipulation of ginsenoside heterogeneity in cell cultures of *Panax notoginseng* by addition of jasmonates. *J Biosci Bioeng* 93: 48-53
- Wee JJ, Heo JN, Kim MW (1996) Analysis of phenolic components in Korean red ginseng by GC/MS. *Kor J Ginseng Sci* 20: 284-290
- William A, John G, Hendel J (1996) Reversed-phase high-performance liquid chromatographic determination of ginsenosides of *Panax quinquefolium*. *J Chromatogr* 775: 11-17
- Xie JT, Mehendale SR, Wang A, Han AH, Wu JA, Osinski J, Yuan CS (2004) American ginseng leaf: ginsenoside

- analysis and hypoglycemic activity. *Pharmacol Res* 49: 113-117
- Yu KW, Gao W, Hahn EJ, Paek KY (2002) Jasmonic acid improving ginsenoside accumulation in adventitious root culture of *Panax ginseng* C.A. Meyer. *Biochem Eng J* 11: 211-215
- Yu KW, Hahn EJ, Paek KY (2000) Production of adventitious ginseng roots using bioreactors. *Kor J Plant Tiss Cult* 27: 309-315
- Yukimune Y, Tabata H, Higashi Y, Hara Y (1996) Methyl jasmonate-induced overproduction of paclitaxel and baccatin III in *Taxus* cell suspension cultures. *Nat Biotechnol* 14: 1129-1132
- (접수일자 2005년 7월 29일, 수리일자 2005년 8월 29일)