

기내배양을 통한 홍경천(*Rhodiola sachalinensis*)의 부정근 생산

배기화¹, 윤의수², 최용의^{1*}

¹강원대학교 산림자원학부, ²공주대학교 생명과학과

In vitro culture of adventitious root from *Rhodiola sachalinensis*

Kee Hwa Bae¹, Eui Soo Yoon² and Yong Eui Choi^{1*}

¹Division of Forest Resources, College of Forest and Environmental Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

²Department of Biological Science, Kongju National University, Gongju, 314-701, Korea

Abstract - *Rhodiola sachalinensis* is one of the most popular oriental medicines in East Asia. It is a perennial herb, belonging to the family Crassulaceae, which is mainly distributed in mountains at the altitudes of 1700-2500 m in Baek-Du mountain. Cultivation of this species for the production of medicine materials is not easy in nature, because of restrict habitats. *In vitro* production of roots can be applicable for the production of medicinal materials. Here, we investigated the optimal conditions for induction and proliferation of adventitious roots in *in vitro* culture system. Leaf, stem and root segments from *R. sachalinensis* were cultured on Murashige and Skoog(MS) medium supplemented with the various concentrations of IBA(Indole-3-butyric acid)(0.5, 1.0, 3.0, and 5.0 mg/L) and sucrose(10, 30, 50, and 100 g/L). The optimal explant for adventitious root induction was leaf segment. Induction of adventitious roots was highest on MS medium supplemented with 5.0 mg/L IBA and sucrose 30 g/L. In liquid culture, fresh weight of adventitious roots was highest(15.65 g) on 1/3 strength MS liquid medium supplemented with 5.0 mg/L IBA with 30 g/L sucrose. These results revealed the first attempt for the production of adventitious roots in *R. sachalinensis*.

Key words - IBA(Indole-3-butyric acid), Leaf, Root, Stem, Sucrose

서 언

홍경천(*Rhodiola sachalinensis*)은 다년생 초본식물로써 근경으로 번식하는 돌나물과의 돌꽃속 식물이다. 돌꽃에 속하는 식물은 전 세계에 96종이 있으며 전체 종의 약 70%가 중국 고산지역(해발고도 2,000~3,000 m)에 분포하고 있고, 약 20여종만이 유럽에서 자생하고 있다. 일반적으로 홍경천은 온도가 15℃ 미만으로 낮고 건조하며 낮과 밤의 온도차이가 큰 지역에서 생존할 수 있는 특수한 적응성을 가진 식물로 알려져 있다(Jiang, 1994).

홍경천은 중국의 전통 약용식물로 원기를 회복시켜 질병과 체내독소축적을 극복할 수 있는 약으로 이용되어 왔다. 현대의학적 측면에서의 주요한 효능은 당뇨병, 기억력회복, 산소결핍증, 산업능력개선, 진정 및 해열 기능이 보고

되고 있다(Petkov *et al.*, 1986; Ming, 1988). 이러한 약리적 효용을 보이는 대표적인 생리활성 물질은 아직까지 salidroside와 p-trycol이 알려져 있으며(Linch *et al.*, 2000), 이외에 기본적인 화합물과 아미노산을 함유하고 있는데 전분, 단백질, 지방, 탄닌, 플라본류 화합물과 아스파라긴산, 트레오닌, 글루타민산, 글리신 등 20여종의 아미노산이 함유되어있다. 또한 salidroside는 중추신경의 억제작용, 강심작용, 아드레날린으로 인한 혈당저하를 유도하는 것으로 알려져 있다(Zhong *et al.*, 1991; Lee *et al.*, 2000). 한편, salidroside의 생산성 및 함량에 대한 연구(Li and Chen, 2001; Yan *et al.*, 2004)와 당뇨병 개선을 위한 홍경천 추출물에 관한연구(Oh *et al.*, 2006), 홍경천에 포함된 미백성분을 분리하여 기미, 주근깨, 점, 검버섯과 같은 피부미용의 병리적 해결방안을 위한 연구(Choi *et al.*, 2004)등이 보고되고 있다. 이러한 기능은 동양의 대표적인 약용식물인 인삼과 가시오갈피의 약리적효과도와 유

*교신저자(E-mail) : yechoi@kangwon.ac.kr

사한 것으로 중국의 서장(티벳자치구)지역에서는 천년 전부터 민간의약품으로 잘 알려진 약용식물이다. 홍경천은 이러한 효능에도 불구하고 자연적인 서식환경이 제한적이어서 재배지가 특정한 지역에 국한된다. 식물조직배양은 우량한 개체의 대량증식과 무병주의 생산을 통한 식물재료의 생산에 효과적인 방법으로 알려져 있고, 이러한 방법은 기본적으로 환경적, 시간적 제한없이 식물재료를 생산하기 때문에 약리적 효능이 인정된 식물재료의 생산에 많이 사용하고 있다.

국내에서의 들나물과 식물의 조직배양에 관한 연구는 핑의비름(*Sedum erythrostichum* Miq.)의 잎절편체로부터 식물체 재분화에 관한 연구(Yoon, 1997; Ahn and Lee, 2004)가 보고되었다. 세포배양방법을 이용한 생산성 증대에 대한 연구는 중국 연구자들에 의해서 연구 되고 있다(Kim *et al.*, 2004; Xu *et al.*, 1998a,b; Wu *et al.*, 2003). 하지만 뿌리를 약용재료로 사용하는 홍경천의 뿌리 증식과 식물조직배양을 통한 부정근의 증식은 국내외적으로 연구가 미비한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 홍경천의 잎, 줄기, 뿌리 절편을 이용하여 부정근의 유도조건을 확립하고 현탁배양을 통한 최적의 증식방법을 확립하고자 하였다. 또한 이는 경제적 가치가 인정이 되는 식물의 빠르고 효과적인 유전자원증식 및 보존의 측면과 이를 이용한 차세대 건강기능식품의 개발 및 원료공급의 측면에서 향후 상당한 기초자료로 활용이 가능 할 것으로 보여진다.

재료 및 방법

식물재료 및 배양조건

백두산에 자생하는 홍경천(*Rhodiola sachalinensis*)의 종자를 2002년 5월에 채집하여 실험의 재료로 사용하였다. 종자를 멸균한 다음 1/3MS배지에 20 g/L의 sucrose가 첨가된 배지위에 치상하여 발아를 유도하였다. 발아 후 잎, 줄기, 뿌리가 정상적으로 자라난 유식물체를 실험의 재료로 사용하였는데, 잎은 1 × 0.5 cm 정도로 3등분 횡절단하여 사용하였고, 줄기는 엽병까지 제거한 후 1cm로 절단하여 사용하였다. 또한 뿌리는 새로이 생겨난 뿌리의 근단을 1cm정도 절단하여 사용하였다. 절편은 식물생장조절제의 처리에 따라 Petri dish(SPL, South Korea)당 10개씩, 총 30개씩 각각 치상하였고 25 ± 3°C, 16시간 광주기,

1,900 Lux의 배양실에서 배양하였다. 실험에 사용한 모든 배지와 기구는 121°C, 1.5기압으로 20분간 고온·고압 멸균하여 플라스틱 Petri dish에 각각 30 mL씩 분주하여 실험에 사용하였다.

배양조직에 따른 IBA 농도별 부정근 유도

홍경천의 배양조직에 따른 IBA의 농도별 부정근 유도 조건을 알아내기 위해서 MS(Murashige and Skoog, 1962)배지에 gelrite 3.0 g/L, sucrose는 30 g/L를 첨가하고 IBA(Indole-3-butyric acid)를 0, 0.5, 1.0, 3.0 및 5.0 mg/L를 다양하게 첨가하여 배지를 제조하였다. 제조된 각각의 배지위에 잎, 줄기, 뿌리 조직을 10개씩 총 30개를 치상하였다. 4주간 배양한 후에 유도된 부정근의 수를 조사하였다.

배양조직에 따른 sucrose농도별 부정근 유도

홍경천의 배양조직에 따른 sucrose의 농도별 부정근 유도 조건을 알아내기 위해서 MS배지에 IBA는 3.0 mg/L를 첨가하고 sucrose를 0, 10, 30, 50 및 100 g/L를 다양하게 첨가하여 배지를 제조하였다. 제조된 각각의 배지위에 잎, 줄기, 뿌리 조직을 10개씩 총 30개를 치상하였다. 4주간 배양한 후에 유도된 부정근의 수를 조사하였다.

액체배양에 따른 생산 효율

최적조건의 액체배지 조성을 선별하고자 고체배지에서 유도된 부정근 1 g을 취해서 고체배지 조건에서 부정근의 유도율이 가장 좋은 MS 배지에 IBA 5 mg/L, sucrose 30 g/L가 첨가된 배지와 IBA와 sucrose의 농도는 동일하지만 염의 농도를 각각 1/2 MS 및 1/3 MS로 희석한 액체배지 100 mL에 접종하였다. 배양용기는 250 mL의 삼각플라스크(Horex, Germany)를 사용하였고, 배양은 7주간 110 rpm으로 현탁배양 하였으며, 1주 간격으로 생중량과 건조중량을 측정하여 각각 비교하였다.

통계적인 분석

모든 데이터는 means ± standard deviation으로 표시하였다. 변인들의 집단간 차이를 알아보기 위해서 one-way ANOVA를 실시하였고, 유의성이 있는 경우 Duncan's multiple range test로 사후검증을 하였다. 통계적 유의성은 P < 0.05로 설정하여 분석하였다.

결과 및 고찰

IBA 농도에 따른 배양조직별 부정근 유도

배양조직과 IBA의 농도가 부정근 유도에 미치는 영향을 알아보기 위해서 홍경천의 잎, 줄기, 뿌리 조직을 MS배지에 IBA를 0, 0.5, 1.0, 3.0 및 5.0 mg/L 까지 다양하게 처리하고 sucrose는 30 g/L로 동일하게 처리한 다음 배양조직을 치상하여 부정근 유도 양상을 조사한 결과는 다음과 같다. 약 2주후부터 배양조직 비대와 동시에 부정근이 유도가 되기 시작하는데 특히 잎, 줄기 절편은 조직비대가 일어난 다음 부정근 유도 현상을 보였고 뿌리절편은 캘러스 형성이 없이 바로 부정근이 유도되는 현상을 보였다(Fig. 1B,C). 배양 3주 후부터 육안으로도 식별이 가능한 길이와 굵기로 발달을 하였다. 잎 조직에서 43.3개로 가장 많은 부정근 유도수를 나타냈고 줄기와 뿌리조직에서는 28과 16개로 잎 조직보다 2배가량 적은 유도 개수를 보이는 것을 확인할 수 있었다(Table 1). 그리고 잎, 줄기, 뿌리 절편 모두 IBA가 0.5 mg/L 첨가 될 때보다 1.0~5.0 mg/L 까지 계속해서 부정근의 유도가 증가되었다(Table 1). 하지만 옥신을 첨가하지 않은 배지에서는 아무런 변화가 없었으며 쉽게 고사되는 경향을 보였다(Fig. 1A). 위의 결과에서 나타나듯이 홍경천은 비교적 높은 농도의 옥신(IBA)을 필요로 하는 것으로 사료된다.

Table 1. Effect of IBA concentration on adventitious root induction from leaf, stem and root explants of *R. sachalinensis* on MS medium containing 30 g/L sucrose after 4 weeks of culture

IBA concentration (mg/L)	No. of adventitious root			Induction rate(%)		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
0	0	0	0	0	0	0
0.5	14.5±1.5d	16.3±1.5c	3.3±0.6d	67±4.7	44±7.8	43±4.6
	23.7±1.5c	22.0±1.0b	11.3±2.5c	66±4.5	67±8.2	56±8.0
3.0	32.3±3.5b	28.7±1.5ab	15.3±1.5b	87±9.3	78±4.5	67±6.9
	43.3±3.6a	26.7±3.0a	16.0±2.0a	98±8.8	89±5.8	69±7.9

* Results are the means ± SD, of three experiments. Different alphabetical letters are significantly different according to Duncun's multiple range test at P < 0.05.

하지만 지금까지 연구된 바에 의하면 인삼의 경우, 고농도로 옥신(IBA)를 처리 한 경우 부정근이 유도가 되지 않거나 유도를 한다고 하여도 캘러스 단계를 거쳐 유도를 하는 것이 일반적이다(Yu, 2000). 또한 초본류인 할미꽃(*Pulsatilla koreana* Nakai)과 목본류인 당느릅나무(*Ulmus davidiana* Planch)의 부정근 유도에도 비교적 낮은 옥신이 효과적인 것으로 보고한 바 있다(Jung *et al.*, 2007; Kim *et al.*, 2007).

Sucrose 농도에 따른 배양조직별 부정근 유도

배양조직과 sucrose의 농도가 부정근 유도에 미치는 영향을 알아보기 위해서 홍경천의 잎, 줄기, 뿌리 조직을 MS 배지에 IBA는 5.0 mg/L으로 동일하게 처리하고 sucrose의 농도는 0, 10, 30, 50 및 100 g/L로 다양하게 처리한 다음 배양조직을 치상하여 부정근 유도 양상을 조사한 결과는 다음과 같다. 각각의 배양절편체로부터 부정근은 배양 2주 후부터 유도되기 시작했다. Sucrose가 30 g/L 첨가된 배지에서 잎과 줄기의 부정근 유도수는 평균 46와 39개로 가장 높게 나타났고 뿌리절편은 sucrose가 50 g/L 첨가 되었을 때 평균 37개로 100 g/L의 첨가구보다 약 10배정도 많은 유도 개수를 나타냈다. 하지만 유도율은 잎, 줄기 그리고 뿌리절편 모두 sucrose가 30 g/L 첨가된 배지에서 가장 좋았다. 이러한 결과는 각기 조직마다 부정근의 유도시 필요로 하는 sucrose의 농도가 서로 다를 것을 의미한다. 식물체의 부정근을 유도한 연구는 주로 인삼과 시호 등과 같은 약용작물을 대상으로 연구되어 왔는데, 부정근을 유도하기 위해선 주로 옥신을 조합하여 캘러스를 유도한 다음 캘러스에서 부정근을 유도하는 2단계를 거치게 된다(Yu, 2000). 하지만 식물조직배양에서는 식물생장조절물질 뿐 만 아니라 배지조성 및 배양조건에 따라 매우 다른 양상을 보인다. *Glycyrrhiza glabra* 부정근 배양시 sucrose가 50 g/L 이상을 첨가를 하면 증식량이 1.5배 감소한다는 결과를 보고한 바 있다(Toivonen and Rosenqvist, 1995). 그리고 소리쟁이(*Rumex crispus*) 부정근의 배양시에도 탄소원의 증가에 따라 생산량이 감소한다고 보고한 바 있다(Chang *et al.*, 1999). 홍경천의 경우 sucrose가 고농도로 처리가 되면 유도양상이 급격히 떨어졌는데 30 g/L의 sucrose가 첨가된 배지에 비하여 농도가 높아질수록 배양조직자체가 탈색이 진행되고 부정근의 유도는 매우 낮아졌다. 이는 Toivonen and Rosenqvist(1995)

Table 2. Effect of sucrose concentration on adventitious root induction from leaf, stem and root explants of *R. sachalinensis* on MS medium containing 5.0 mg/L IBA after 4 weeks of culture

Sucrose (g/L)	No. of adventitious root			Induction rate(%)		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
0	0	0	0	0	0	0
10	27.7±1.5c	25.0±2.0c	15.3±1.5c*	67±1.8	56±1.7	44±1.0
30	46.0±3.6a	39.3±2.5a	31.3±0.6b	99±8.3	89±2.6	88±2.1
50	33.7±1.5b	33.3±2.1b	37.7±2.5a	88±2.2	84±2.2	76±2.5
100	1.3±0.6d	3.0±1.0d	4.7±1.5d	34±4.1	55±2.2	45±1.9

* Data are the means ± SD, of three experiments. Different alphabetical letters are significantly different according to Duncun's multiple range test at P < 0.05.

가 보고한 결과 비슷한 양상을 보이는 것으로 sucrose 또한 부정근의 유도 및 증식에 중요한 인자로 작용이 된다고 판단이 된다. 이러한 결과들을 참고해보면 본 실험의 재료인 홍경천은 옥신 뿐 만 아니라 sucrose의 농도가 각기 다른 배양조직을 배양을 해서 부정근을 유도할 때 중요한 요인으로 작용한다는 것을 확인할 수 있었다.

액체배양에 의한 부정근의 생산

액체배양은 새로운 배지 및 영양원의 첨가, 배지의 교체, 배양조직의 계대, 배양 중 시료채취 등이 용이하며 배양체의 성장 또한 빠른 장점이 있다. 따라서 MS 배지에 IBA는 5.0 mg/L sucrose는 30 g/L 가 첨가된 배지조건에서 유도된 부정근의 증식을 위해 현탁배양을 시도 하였으며, 최적조건을 액체배양조건을 선발하고자 생체중 1 g의 부정근을 각각 MS, 1/2 MS, 1/3 MS 액체배지 100 ml 에 접종하여 7주간 110 rpm으로 액체배양한 결과, 배양 초기에는 생육의 차이가 크게 나타나지는 않았으나 배양 3주가 지나게 되면서 급속한 대수생장을 보이기 시작 하였다. 배양 7주 후에 대수 증식기가 완료되어 모든 샘플을 수확한 다음 생체중을 비교한 결과 MS 배지에서 7.68 g, 1/2 MS배지에서는 12.11 g, 그리고 1/3 MS 배지에서는 생중량이 15.65 g으로 1/3 MS 배지에서 가장 양호한 결과를 보였

다(Fig. 2A). 이는 초기 접종량의 15배 이상의 성장을 보인 것이며, 액체배양 조건에서는 1/3 MS배지에 5 mg/L의 IBA, 50 g/L의 sucrose를 첨가한 배지조건에서 홍경천의 부정근이 활발히 성장함을 보여주는 결과이다(Fig. 1E). 이러한 결과는 다른 초본류 식물인 지치(*Lithospermum erythrorhizon*)모상근 및 소리쟁이(*Rumex crispus*) 부정근과 모상근을 배양할 때 질소의 농도가 낮을수록 부정근과 모상근의 성장과 shikonin 의 기내 생합성에 효과적이었다는 보고와 일치하였다(Shimomura *et al.*, 1991; Chang *et al.*, 1999). 또한 건조중량 역시 1/3MS배지에 5.0 mg/L의 IBA, 50 g/L의 sucrose를 첨가한 배지에서 가장 높은 건조중량(1.54 g)을 보였다(Fig. 2B).

본 연구에서 홍경천의 부정근을 유도할 때 배양부위별 최적 IBA의 농도와 sucrose의 농도를 확립하였다. 또한 이를 바탕으로 250 mL 플라스크를 이용한 최적 액체배양 조건을 확립하였다. 그렇지만 이러한 조건 확립은 실험실 규모의 부정근 생산조건밖에 되지 않는다. 이러한 조건을 기반으로 생산규모를 확대해가는 노력이 이루어져야 할 것이며, 더 나아가 오랫동안 약용식물로 사용된 홍경천을 식품이나 대체의약품으로 개발하는데 중요한 식물재료로 사용될 것으로 생각되어진다.

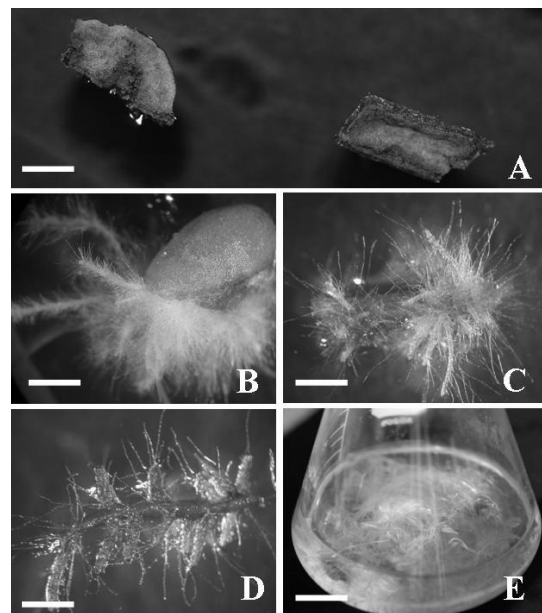


Fig. 1. Adventitious roots of *R. sachalinensis*. A; Control(without IBA and/or sucrose)(bar=10 mm), B; Leaf segment(bar=5 mm), C; Stem segment(bar=5 mm), D; Root segment(bar=5 mm), E; Adventitious root growth in 1/3MS liquid medium with 5.0 mg/L IBA and 30 g/L sucrose after 7 weeks of culture(bar=3 cm).

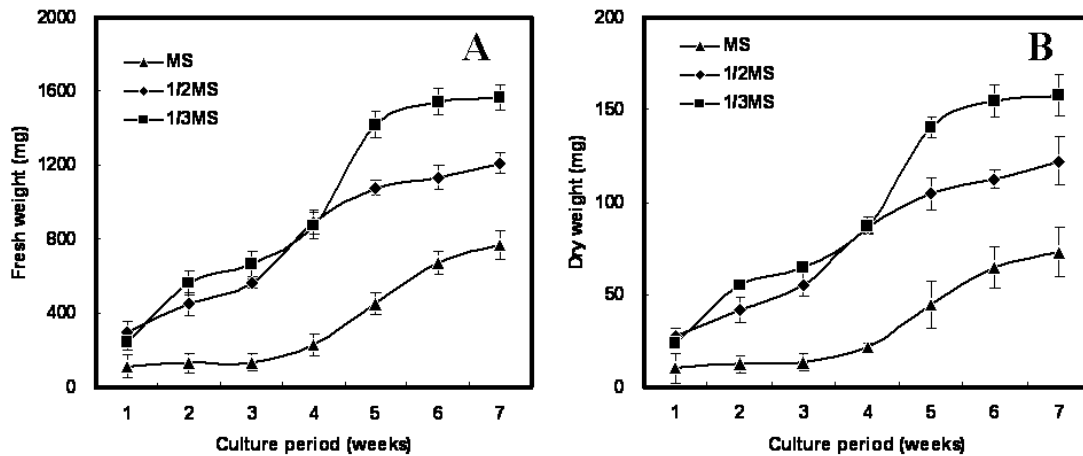


Fig. 2. Effect of medium strength on growth of *R. sachalinensis* adventitious roots in 250 mL flasks containing 5.0 mg/L and 30 g/L sucrose after 7 weeks of culture. A: Fresh weight; B: Dry weight.

적 요

홍경천의 잎, 줄기, 뿌리 절편을 이용하여 기내 부정근의 생산 체계를 확립하였다. 먼저 홍경천의 잎, 줄기, 뿌리 절편을 0.1, 1.0, 3.0 및 5.0 mg/L의 IBA와 sucrose가 10, 30, 50 및 100 g/L가 첨가된 MS 배지위에 치상하여 부정근의 유도율을 조사하였다. 부정근의 유도는 잎, 줄기 절편에서 IBA의 농도가 5.0 mg/L 일때 가장 높은 유도율을 보였으며, 뿌리 절편은 IBA 3.0 mg/L 첨가된 배지에서 부정근 유도율이 가장 높았다. Sucrose의 농도는 30 g/L가 첨가되었을 때 잎, 줄기, 뿌리 절편에서 높은 유도율을 나타냈다. 고체배지 조건에서 부정근의 유도율이 가장 우수한 조건을 기본으로 액체배양을 실시하였으며, 염의 농도에 따른 부정근의 증식조건을 조사하였다. 1/3MS 배지에서 홍경천의 부정근을 배양하였을 때 1/2MS, MS 액체배지조건 보다 약 2배, 2.5배의 부정근 성장량을 보였다.

사 사

본 연구는 산림청 산림과학기초연구지원 사업으로 수행되었습니다.

인용문헌

Ahn, J.H. and S.Y. Lee. 2004. Effects of growth regulators on callus induction and plant regeneration from leaf

explants of *Sedum sarmentatum*. Kor. J. Plant Biotech. 31:25-29.(in Korean).

Bae, K.H., S. Lim, E.S. Yoon, C.G. Shin, Y.Y. Kim and Y.S. Kim. 2005. Effect of cytokinin and putrescine on plant regeneration from leaf explant of *Rhodiola sachalinensis* A. Bor. Kor. J. Plant Biotech. 32:195-199.(in Korean).

Chang, S.W., I.H. Kim and T.J. Han. 1999. Anthraquinone productivity by the cultures of adventitious roots and hairy roots from Cured dock(*Rumex crispus*). Kor. J. Plant Tiss. Cult. 26:7-14.

Choi, D.Y., S.Y. Ahn, S.G. Lee, J.S. Han, E.C. Kim, H.B. Lee, J.H. Shin, E.K. Kim and K.H. Row. 2004. Separation and performance test of whitening agent in *Rhodiola sachalinensis*. Kor. J. Biotech. Bioeng. 3: 169-173.(in Korean).

Jiang, M., W. Zhong and H. Han. 1994. Studies on producing effective medicinal ingredients of *Rhodiola sachalinensis* by tissue culture. Chin. J. Shen. Univ. 25:355-359.

Jung, S.J., J.H. Jeong, E.S. Yoon and Y.E. Choi. 2007. Plant regeneration from callus and adventitious root segments of *Pulsatilla koreana* Nakai. Kor. J. Plant Biotech. 34:153-159.

Kim, J.A., X.L. You, C.H. Ahn, J.S. Lee and Y.E. Choi. 2007. Plant regeneration via direct adventitious roots from free root segments of *Ulmus davidiana* Planch. J. Kor. Forest Soc. 96: 83-88.(in Korean).

Kim, S.J., B. Hwang, S.J. Hwang and J.C. Ahn. 2004.

- Production of salidroside from callus culture of *Rhodiola sachalinensis* A. Bor. Kor. J. Plant Biotech. 1: 89-94.(in Korean).
- Lee, M.W., Y.H. Lee, H.M. Park, S.H. Tosh, E.J. Lee, H.D. Jang and Y.H. Kim. 2000. Antioxidant phenolic compounds from the roots of *Rhodiola sachalinensis* A. Bor. Arch. Pharm. Res. 23:455-458.
- Li, H.B. and F. Chen. 2001. Preparative isolation and purification of salidroside from the Chinese medicinal plant *Rhodiola sachalinensis* by high-speed counter-current chromatography. J. Chroma. 932:91-95.
- Linch, P.T., Y.H. Kim, S.P. Hong, J.J. Jian and J.S. Kang. 2000. Quantitative determination of salidroside and tyrosol from the chromatography. Arch. Pharm. Res. 23:349-352.
- Ming, H.Q., G.C. Xia and R.D. Zhang. 1988. Advanced research on *Rhodiola*. Chin. Trad. Herbal. Drugs. 19:229-234.
- Murashige, T. and F. Skoog. 1962. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. Physiol. Plant. 15:473-479.
- Oh, J.K., O.Y. Shin, H.J. Jung and E.J. Lee. 2006. Effect of *Rhodiola sachalinensis* administration and endurance exercise on insulin sensitivity and expression of proteins related with glucose transport in skeletal muscle of obese Zucker rat. The J. of Kor. Nutrition Soc. 39:323-330(in Korean).
- Petkov, V.D., D. Yonkov, A. Mosharoff, T. Kambourova, L. Alova, V. Petkov and I. Todorov. 1986. Effects of alcohol aqueous extract from *Rhodiola rose* L. root on learning and memory. Act. Physiol. Pharmacol. Bulg. 12:3-16.
- Shimomura, K., H. Sudo, H. Saga and H. Kamada. 1991. Shikonin production and secretion by hairy root cultures of *Lithospermum erythrorhizon*. Plant Cell Rep. 10:282-285.
- Toivonen, L. and Rosenqvist H. 1995. Establishment and growth characteristics of *Glycyrrhiza glabra* hairy root culture. Plant Cell Tissue Org Culture 41: 249-258.
- Yu, K.W., Hahn E.J. and K.Y. Paek. 2000. Production of adventitious ginseng roots using bioreactor. Kor. J. Plant. Tiss. Cult. 27:309-315.(in Korean).
- Wu, S.X., Y.G. Zu and M. Wu. 2003. High yield production of salidroside in suspension culture of *Rhodiola sachalinensis*. J. Biotech. 106:33-43.
- Xu, J.F., Z.G. Su and P.S. Feng. 1998a. Activity of tyrosol glucosyltransferase and improved salidroside production through biotransformation of tyrosol in *Rhodiola sachalinensis* cell culture. J. Biotech. 61:69-73.
- Xu, J.F., Z.G. Su and P.S. Feng. 1998b. Suspension culture of compact callus aggregate of *Rhodiola sachalinensis* for improved salidroside production. Enzym. and Micro. Tech. 23:20-27.
- Yan, XF, S.X. Wu, Y. Wang, X.H. Shang and S.J. Dai. 2004. Soil nutrient factors related to salidroside production of *Rhodiola sachalinensis* distributed in Chang Bai Mountain. Env. Exp. Bot. 53:267-276.
- Yoon., E.S. 1997. Effect of plant growth regulators on plant regeneration from leaf and stem explant culture of *Sedum erythrostichum* Miq. Kor. J. Plant Biotech. 24:285-289.(in Korean).
- Zhong, Y., K. Lowell, J.A. Ping, C.T. Che, J.M. Pezzuto and H.H. Fong. 1991. Phenolic constituents of *Rhodiola coccinea* a tibetian folk medicine. Planta Med. 57:589.

(접수일 2008.12.3; 수락일 2009.5.15)