장백도라지의 대량 증식을 위한 조직배양 및 순화 조건 확립

한은희 · 손용완 · 김만배 · 신용욱 · 조영손 · 이신우

Establishment of tissue culture and acclimation of white balloon flower (*Platycodon grandiflorum* DC. cv. Jangback) for the raising of *in vitro* propagated seedlings

Eun-Heui Han · Yong-Wan Son · Man-Bae Kim · Yong-Wook Shin · Young-Son Cho · Shin-Woo Lee

Received: 6 August 2014 / Revised: 26 August 2014 / Accepted: 22 September 2014

© Korean Society for Plant Biotechnology

Abstract The aim of this study was to establish the condition of regeneration for white balloon flower (*Platycodon grandiflorum* DC. cv. Jangback) and to manage for the raising of seedling with *in vitro* regenerated plants. It was examined that 0.5 mg/L of NAA and 1.0 mg/L of BA was the best composition for the callus and shoot induction (up to 600%). NAA was better than IBA for the induction of root and it took 16.9 days for the induction of rooting on the MS soild media containing 0.5 mg/L of NAA and the final rooting ratio was up to 75%. Out of 5 different bed soils purchased from local market, “Tosil” was identified to be the best for the acclimation and growth of *in vitro* regenerated balloon flower. In detail, on 8 weeks after planting of *in vitro* regenerated plants in pots containing “Tosil” bed soils, the plant hight was increased up to 2-fold (12.8 cm), 3.5-fold (27) for the number of leaf and 1.5-fold (4.5 cm) for the leaf length when compared to the other four bed soils, respectively. Our preliminary results indicate that it is possible to prevent the occurrence of blue balloon flower in the massive cultivated area of white balloon flower by providing the seedlings raised from *in vitro* regenerated plants.

Keywords Balloon flower, Seedlings, Regeneration, Bed soils, Growth regulators, Mass propagation

서론

도라지(*Platycodon grandiflorum* (Jacq.) A. De Candolle.)는 다년생 초본으로 초롱꽃과(*Campanulaceae*)에 속하며(Mabberley 1987), 초롱꽃과에는 약 35 ~ 55속(family), 600 ~ 950종(species)의 식물이 분포하고 있는 것으로 보고되고 있다(Kovanda 1978). 이중 도라지가 속한 *Platycodon*속에는 단지 1속 1종으로만 알려져 있다(Mabberley 1987). 도라지는 주로 중국과 한국, 일본 등에서 자생하는 식물로 재배역사는 16세기 중엽의 “구황촬요(救荒撮要)”에 도라지로 장을 담근다는 기록이 있어 이 이전부터 재배된 것으로 추측하고 있다.

국내의 도라지 생산량은 해마다 증가하여 2012년 말 현재 약 6,100여 톤을 생산한 것으로 조사되었다(농림부 통계 자료). 또한 중국에서 약재로 수입되는 건도라지(길경)와 신선한 생도라지가 11,652톤에 달하는 것으로 조사되었다(산림청 통계자료). 이는 국내의 도라지 소비량이 해마다 증가하고 있다는 것을 반영 한 것으로 앞으로 국내의 도라지 재배농가는 해마다 증가할 것이며 이에 따라 생산량 또한 증가할 것으로 예측할 수 있다. 뿐만 아니라 최근에는 우리나라의 해외 교포들을 위한 수출 물량 또한 늘어나고 있는 실정이며, 주요 수출국은 중국, 일본, 사우디아라비아, 캐나다, 영국, 아랍에미리트, 미국, 알제리, 오스트레일리아, 인도네시아 등 현지 거주 교민들의 수요가 해마다 증가하고 있는 것으로 조사되었다(Lee et al. 2014b).

E.-H. Han · Y.-W. Son · Y.-W. Shin · Y.-S. Cho · S.-W. Lee (✉)
경남과학기술대학교, 생명과학대학, 농학·한약자원학부
(Dept. of Agronomy & Medicinal Plant Resources, College of Life Science, Gyeongnam National University of Science & Technology, Jinju 660-758, South Korea)
e-mail: shinwlee@gntech.ac.kr

M.-B. Kim
경상남도농업기술원
(Gyeongsangnam-do Agricultural Research & Extension Services, Daesin-ro 570, Jinju 660-985, South Korea)

따라서 도라지의 수요가 증가함에 따라 재배농가호수와 재배면적이 증가하면서 도라지의 재배방법, 토양특성 등에 관한 연구가 지난 십년간 많이 수행되어서, 3요소 시비량, 재배 년수, 재배지역의 토양 특성 등에 따른 도라지의 약효성분 변화에 관한 연구 보고는 이미 많은 편이며(Tada et al. 1975; Lee et al. 1999a; Lee et al. 1999b; Seong et al. 1999; Shon et al. 2001), 최근에는 수확한 도라지의 저장방법과 기간이 사포닌함량 및 경도에 미치는 영향을 조사한 결과 사포닌의 조성에 큰 영향을 미친다는 사실도 조사하였다(Lee et al. 2014a). 또한 최근에 문제가 되고 있는 약초의 중금속 오염 현황 및 저감에 관한 조사를 수행한 결과, 경남지역과 강원도 지역의 일부 도라지 재배토양에서 카드뮴의 함량이 식품위생법상의 농산물(근채류) 기준 및 약사법 상의 생약(약용작물)기준을 초과한 것이 있는 것으로 조사되었으며 이는 토양의 pH를 다소 높은 수준으로 관리하면 토양중 카드뮴의 유효태 농도를 낮게 유지하는 방안을 제시한 바 있다(Bae et al. 2014).

그러나 도라지의 육묘기술을 포함한 재배법과 육종 등에 관한 연구는 극히 미진하여 국내에서 자생하는 도라지 계통을 대상으로 순계분리를 통하여 육성한 장백, 으뜸백 등의 백도라지 이외에는 품종으로 등록된 계통은 거의 전무한 상태이며, 대부분의 농가에서는 일반적으로 야산에서 수집한 계통으로부터 채종한 종자를 대대로 재배하거나 한 농가에서 대량으로 증식된 종자를 이웃에 분양하여 재배하여 오고 있는 실정이어서 각종 병해 또는 환경 스트레스에 강한 유전적 형질들을 보유한 품종의 개발이 시급한 현실이다. 또한 표준화된 재배법이 보급되지 않아서 노동력이 많이 드는 잡초의 제거, 뿌리썩음병 방제 등에 관한 기술의 개발 또한 시급한 실정이다. 최근에 중국에서 대량으로 유입된 종자를 재배하는 대농가도 있는 것으로 알려져 있어 국내에서 개발된 품종의 종자보증체계, 육종체계 등의 확립이 시급한 실정이다. 최근, 중국에서 융성불임계통을 이용하여 18종의 F1계통을 생산하여 이들이 모두 잡종강세(heterosis)현상을 보여 수량과 건물중이 증가함과 동시에 품질이 우수한 것으로 보고된바 있어 앞으로 F1 잡종을 개발하는 접근 방법(Shi et al. 2011) 또는 4배체 등의 배수체 육종법등을 이용하여 다양한 종류의 품종을 개발할 필요가 있다.

국내에서 자생하는 도라지의 꽃은 청색과 백색 두 종류가 존재하며 청도라지가 백도라지보다 양적으로 우점하고 있다. 국내야생종으로부터 순계분리를 통하여 만든 장백도라지 또는 으뜸백도라지는 이들을 집단적으로 재배할 경우 순백의 아름다운 꽃들로 인하여 관광단지화 등에 크게 이바지 할 수 있고 또한 청도라지 보다는 백도라지가 도라지 특유의 약효성분이 우수하다고 주장하는 이론도 있어 제주도와 충남의 괴산군 등에 집단적으로

재배하는 단지를 조성하고 있으며 경남지역에서도 백도라지의 단지화 사업을 추진 중에 있다. 그러나 백도라지의 단지화를 추진하는 과정에서 타가수정에 의한 지속적 인 청도라지의 출현이 걸림돌이 되고 있다. 또한 청도라지보다 백도라지가 약효성분이 우수하다는 사실을 과학적으로 증명한 연구결과는 아직 없다.

한편 도라지의 조직배양은 1993년도에 Ko et al.(1993)이 캘러스 형성에는 0.5 mg/L 2,4-D와 1.0 mg/L의 kinetin을 처리한 배지가 가장 효과적이었으며 체세포배의 형성 및 신초의 발달에는 0.5 mg/L의 NAA와 1.0 mg/L의 BA를 처리한 경우에 양호하였다는 보고가 있었으며, Chung과 Cho (2002)은 1.0 mg/L의 2,4-D와 kinetin을 처리하였을 경우에 캘러스의 유기가 가장 양호하였으며 이들 캘러스를 6~7일간 현탁배양하는 과정을 거쳐 활력있는 캘러스 덩어리를 만든 후 1.0 mg/L의 NAA와 BA를 각각 처리하여 약 75일 후 완전한 재분화 식물체를 얻을 수 있었다고 보고한 바 있다. 이 외에는 도라지의 조직배양에 관한 연구보고는 거의 전무한 상태이다.

따라서 본 연구에서는 장백도라지의 영양체를 조직배양으로 증식한 후 만든 육묘를 농가에 보급하는 시스템을 구축하기 위한 기초연구로서 장백도라지를 대상으로 영양체를 보존하면서 동시에 대량으로 증식할 수 있는 조직배양 조건을 조사하고 나아가 순화과정 및 토양 이식 전 육묘화에 필요한 상토의 조건을 조사하고자 하였다.

재료 및 방법

공시재료

경상남도농업기술원, 약초시험포장에서 보존하여 온 장백 도라지 종자를 분양받아 90% 에탄올에서 1분간 침지 후 50% 차아염소산나트륨에 2분간 진탕 침지 후 멸균수를 이용하여 8~10회 세척한 후 3%의 sucrose를 포함하는 Murashigae & Skoog (MS) 고체배지(1962)에서 광발아 시켰다.

장백도라지의 조직배양

무균 상태에서 발아 후 2주가 된 어린 식물체의 잎을 잘라 캘러스 유도용 배지 [2,4-D 0.1 mg/L MS배지(Sucrose 3%, Gelite 0.2%, pH 5.75)]에 두어 하루 동안 암배양한 후 0.5 mg/L NAA와 1.0 mg/L BA를 포함하는 배지(SRM_NB)와 0.01 mg/L NAA, 0.1 mg/L GA₃, 2.0 mg/L zeatin을 포함하는 배지(SRM)로 옮겨 배양하면서 캘러스 및 재분화 효율을 조사하였다. 치상된 잎 절편에서 형성된 1.0 cm 이상의 신초를 재분화가 된 것으로 간주하였으며, 전체 치상

잎 절편개수에서 형성된 총 싌초 수의 비율을 재분화효율로 계산하였다.

기내에서 재분화된 싌초의 발근 유도에 적합한 호르몬의 조성을 조사하기 위하여 NAA의 농도를 각각 0.1 mg/L, 0.5 mg/L, 1.0 mg/L로 처리하여 최초 발근이 시작되는데 소요되는 시간과 그 이후 일주 간격으로 신장되는 뿌리의 길이를 조사하였다. 또한 IBA와 NAA의 농도를 각각 0, 0.5, 1.0, 1.5 mg/L로 처리한 고체배지에 잎을 제거한 싌초를 한 처리구당 30개씩 삽목하여 4주간 배양 후 뿌리의 길이 및 뿌리 갯수를 조사하였다.

재분화 식물체의 순화 및 포트재배

기내에서 발근이 잘된 식물체를 물에 적셔 건조하게 되지 않도록 주의한 후 수분이 충분하게 관수되어 있는 시중에서 구입한 5종의 상토를 5.5 x 5.0 cm 플라스틱 사각 포트에 이식하였다. 이식 시 한 상토별 36개체씩 이식하였다. 이식 후에도 식물체 뿌리가 토양에 활착되기 전까지 식물체가 마르지 않도록 하기 위하여 1주일간 rap을 씌워 일정한 습도가 유지되도록 하였다. 식물체 이식 후 4주 후에 뿌리가 토양에 활착되어 잘 자라 있는 경우를 식물체가 순화된 경우로 간주하여 순화율을 조사하였으며, 4주와 8주차 식물체의 길이, 엽의 개수, 엽의 길이를 조사하였다.

결과 및 고찰

도라지는 타가수정 작물로서 화분이 먼저 성숙하여 살포

된 뒤에 암술머리가 열려 다른 꽃의 화분을 받게 되어 있어서 일반적으로 장백도라지를 단지화하기 위하여 재배하면 자연적으로 다른 청색 꽃의 화분이 수분되어 청색 꽃이 출현하게 된다. 특히 아직 확실한 연구결과 발표된 것은 없지만 청색이 백색에 비하여 우성인 것으로 추정되어 몇 해를 지나지 않아 청색 꽃이 우점 하여 백도라지의 단지화에 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 장백도라지의 종자를 소독 후 기내에서 발아시켜 얻은 자엽을 대상으로 조직배양을 통하여 재분화 시킨 후 상토에 순화시켜 대량증식 시키는 체계를 확립하고자 본 연구를 수행하였다. 뿐만 아니라, 장백도라지의 품종 특성을 순수하게 유지하면서 육묘로 대량으로 증식하여 농가에 보급하여 장백도라지 자체가 갖고 있는 고품질과 높은 수량성을 유지하여 농가에 소득이 증대될 수 있도록 하기 위하여 본 연구를 수행하였다

도라지의 재분화에 적합한 배지 내 호르몬 조성

장백도라지의 효율적인 조직배양 조건을 확립하기 위하여 본 연구에서는 0.5 mg/L NAA와 1.0 mg/L BA를 포함하는 배지(SRM_NB)와 0.01 mg/L NAA, 0.1 mg/L GA₃, 2.0 mg/L zeatin을 포함하는 배지(SRM)에 종자를 발아시켜 얻은 어린 식물체의 잎 절편체를 치상하여 재분화 효율을 조사하여 본 결과 캘러스 유기율은 SRM배지와 SRM_NB배지에서 비슷한 수준으로 나타났으나 싌초 유기율은 큰 차이를 보여 SRM배지에서는 54.9%이었으나 SRM_NB 배지에서는 676.6%로 월등하게 높게 조사되어 NAA와 BA가 도라지의 재분화에는 보다 효율적인 것으로 나타났으며 (Table 1), 재분화 된 싌초가 진한 녹색으로 양호한 상태

Table 1 The effect of growth regulators on the regeneration of balloon flower (*Platycodon grandflorum* A. De. candolle)

	No. of explants used leaf disc		No. of regenerated callus		No. of regenerated shoots		No. of rooted shoots	
	SRM ¹⁾	SRM_NB ²⁾	SRM	SRM_NB	SRM	SRM_NB	SRM	SRM_NB
Cotyledon	51	47	42	38	28 (54.9%)	318 (676.6%)	2 (7.1%)	38 (11.9%)

¹⁾MS solid media containing 3.0 % sucrose, 0.01 mg/L NAA, 0.1 mg/L GA₃ and 2.0mg/L zeatin

²⁾MS solid media containing 3.0 % sucrose, 0.5 mg/L NAA and 1.0 mg/L BA

Fig. 1 Regeneration process of balloon flower (*Platycodon grandflorum* A. De. candolle) from young leaf explants on MS solid media

를 유지하는 것으로 조사되었다(Fig. 1). 이러한 연구결과는 이미 Ko et al.(1993) 또는 Chung과 Cho (2002)가 보고한 결과와 일치하는 것으로 조사되었다.

IBA와 NAA 농도가 신초의 발근 및 뿌리신장에 미치는 영향

본 연구를 통하여 반복적으로 도라지의 기내증식을 위한 실험을 수행하여 본 결과 발근에 소요되는 기간과 뿌리의 낮은 활착율이 가장 큰 걸림돌로 조사되었으며 이러한 문제를 해결하고자 먼저 NAA의 농도를 각각 0.1 mg/L, 0.5 mg/L, 1.0 mg/L로 처리하여 최초 발근이 시작되는데 소요되는 시간과 그 이후 일주 간격으로 신장되는 뿌리의 길이를 조사한 결과를 Table 2에 요약하였다. 재 분화된 신초의 발근은 0.5 mg/L의 NAA를 포함하는 배지에서 가장 빠른 16.9일째 발근이 시작되었으며, 이후 뿌리의 신장은 3주째 까지는 0.5 mg/L에서 2.6 cm로 가장 양호하였으나 4주째에는 1.0 mg/L을 포함한 배지에서 3.2 cm로 약간 더 신장하는 것으로 조사되었다. 이러한 결과를 기준으로 하여 IBA와 NAA의 농도가 기내에서 재분화 시킨 신초의 발근율에 미치는 영향을 비교 조사하여 보고자 IBA와 NAA호르몬의 농도를 각각 다르게 첨가한 MS고체배지에 신초를 옮긴 후 4주간 조사하여 본 결과, 도라지의 뿌리 유기에는 IBA보다는 NAA가 효과적인 것으로 조사되었다(Table 3). 즉 IBA는 무처리구에 비하여 농도가

높을수록 뿌리 유기율이 높아져서 0.5 mg/L에서는 58%이었으나 1.5%에서는 약 69%까지 증가하였다. 그러나 NAA는 0.5 mg/L에서 무처리구인 39%에 비하여 75%까지 높은 발근효율을 보였으나 그 이상의 농도 즉 1.0 또는 1.5 mg/L에서는 오히려 60~66%까지 감소하여 저해하는 효과를 나타내었다. 또한 근수(根數)를 조사하여 본 경우에도 IBA는 NAA에 비하여 많게 나타났다. 즉 IBA는 농도가 높을수록 근수가 많아져서 1.5 mg/L에서는 12개까지 증가하였다. NAA의 경우에는 농도가 높아도 8~9개 수준으로 조사되었으며, 4주 동안 자란 뿌리의 길이는 호르몬의 종류와 농도에 크게 영향을 받지 않은 것으로 조사되었다. 일반적으로 약용작물을 육묘화할 경우에는 잔뿌리가 많이 나타나 품질을 저하시키는 것이 문제점으로 알려져 있다.

기내에서 증식된 도라지의 순화 및 육묘에 적합한 상토

기내에서 증식된 도라지식물체의 순화 및 육묘에 적합한 상토조건을 구명하기 위하여 시중에서 구입한 5가지의 상토로 채운 육묘용 포트에 이식 시킨 후, 비닐로 덮어씌우고 내부에 습도를 많게 하여 일주일간 실내에 유지하면서 뿌리가 완전히 활착이 되도록 두었다가 비닐을 벗기고 온실로 옮겨 8주 동안 키운 후 순화율, 뿌리의 활착율, 초장, 엽장, 엽수를 조사하였다. 그 결과 모든 상토에서 거의 100%에 이르는 순화율을 보여 죽은 식물체는 없었다. 그러나 식물체가 자라는 상태는 Figure 2에 요약된 바와 같이 상토A(토실)를 사용한 경우에 가장 좋은 결과를 나타내었다. 즉 초장은 대부분의 상토에서 6.0~8.6 cm 까지 자랐으나 상토A에서는 12.8 cm로 다른 상토에 비하여 최대 2배 이상 양호한 것으로 나타났다. 또한 엽수에 있어서도 상토A에서는 27개로 많아 다른 상토에 비하여 최대 3.5배까지 증가하였으며, 엽장의 경우에도 상토A 처리구가 다른 상토에 비하여 최대 1.5배 큰 것으로 조사되었다(Fig. 2). 그러나 조직배양에 의하여 증식된 모든 식물체가 주근을 구분하기가 어려울 정도로 잔뿌리가 많은 것이 특징이었다. 특히 도라지는 뿌리를 이용하는 작물이므로 육묘로 증식시킨 것을 농가에 보급하기 위하여 보다 심도 있는 연구가 필요한 것으로 조사되었다. 일반적으로 종자로부터 받아서 만든 육묘의 경우에도 잔뿌리가 많아 농가의 토양에 이식할 때 상처가 발생하기 쉽고 잔손이 많이 필요한 것이 단점으로 알려져 있다. 특히 도라지는 주근이 곧게 자라고 잔뿌리가 많이 없는 것을 고품질로 평가를 한다. 향후 이들 기내배양 식물들이 토양에 이식할 경우에 주근이 곧게 자라는지의 여부를 지속적으로 조사하여 볼 필요가 있는 것으로 사료되었다. 한편 본 연구에서 조직배양기술로 기내에서 증식한 도라지의 육묘화에 가장 효율적인 것으로 조사된 상토A(토

Table 2 The effect of NAA on the root induction of regenerated balloon flower (*Platycodon grandiflorum* A. De. candolle)

NAA	Days for root induction	Elongation of root (cm)			
		1 Week	2 Weeks	3 Weeks	4 Weeks
0.1 mg/L	18.43±5.46	1.19±0.37	1.77±0.60	2.35±1.19	2.92±1.33
0.5 mg/L	16.39±3.96	1.22±0.47	1.97±0.56	2.55±0.80	2.99±0.87
1.0 mg/L	19.00±2.71	1.10±0.47	2.13±0.83	2.85±0.97	3.35±0.9

Table 3 The effect of growth regulator on the rooting of regenerated shoots from young leaf explants on MS solid media containing 3% sucrose

Conditions			Rooting efficiency		
Exposure time	IBA (mg/L)	NAA (mg/L)	Rooting rate (%)	Root number per shoot	Root length (cm)
4 weeks	0		38.89	3.42±2.02	2.13±0.88
			58.33	9.94±6.50	2.78±0.94
			61.11	9.79±5.87	3.18±1.07
			69.44	12.74±8.33	2.77±0.74
	1.5	0.5	75.00	8.67±4.26	2.86±0.70
		1	61.11	9.75±4.12	3.03±0.94
		1.5	66.67	8.76±6.30	2.15±0.34

Fig. 2 The effect of bed soils (A to E) purchased from market on the acclimation and growth of in vitro regenerated balloon flower plants. The regenerated plants were planted on the pots (5.5 x 5.0 cm) containing each bed soils A (Tosil) to E. In each pots, 36 regenerated plants were planted and covered with rap for 1 week. On 4 and 8 weeks, the plant height, number of leaf, and length of leaf were counted

Table 4 Physical and chemical characteristics of bed soil A (Tosil, Korea)

< Physical characteristics >

Moisture content (%v/v)	Water retention (Kpa)	Bulk density (mg/m ³)	Particle density (mg/m ³)	Porosity (%v/v)
30±10	65±10	0.2±0.1	1.7±0.2	85±5

< Chemical characteristics >

pH (1:5,v/v)	EC (1:5,v/v)	NH ₄ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	P ₂ O ₅ (mg/L)	CEC (cmol+/L)	K (mg/kg)	Mg (mg/kg)	Na (mg/kg)
5.5-7.0	0.6±0.1	≥150	≥300	≥300	20±5	2.0 ±0.5	1.2 ±0.2	≤1.6

실)의 물리화학적 특성은 Table 4에 요약하였으며, 다른 4종류의 상토와 비교하여 수분함량이 30±10% (V/V)로 다소 낮은 것이 특징이었다. 또한 공극률은 85±5이었으며 암모니아태질소(≥150), 질산태질소(≥300)가 포함된 것으로 조사되었다.

적 요

본 연구는 백도라지의 재배 단지화에 필요한 순수 장백도라지의 육묘를 농가에 보급화하기 위한 기초연구로서 장백도라지의 기내 재분화 조건을 확립하고 순화와 이식에 적합한 상토 조건을 구명하고자 하였다. 캘러스 및 싹초의 재분화에는 0.5 mg/L NAA와 1.0 mg/L BA를 포함하

는 배지에서 가장 효율적이어서 600% 이상의 재분화효율을 보였다. 뿌리의 유기에는 NAA가 IBA보다 효과적이어서 0.5 mg/L NAA를 포함하는 배지에서 평균 16.9일째 발근이 시작되었으며, 75% 이상의 발근율을 보였다. 기내에서 재분화된 식물체의 순화와 이식을 위하여 시중에서 구입한 5종의 상토를 사용하여 조사한 결과 상토 A (토실)이 가장 효과적이어서 8주째의 초장이 12.8 cm로 다른 상토에 비하여 2배 이상 자랐으며, 엽수는 27개, 엽장은 약 4.5 cm로 다른 상토에 비하여 각각 3.5배와 1.5배 이상 증가한 것으로 조사되었다. 이러한 연구 결과는 조직배양으로 대량증식 시킨 백도라지의 육묘를 농가에 보급함으로써 백도라지의 재배단지에 청도라지의 출현을 방지할 수 있다는 가능성을 제시하였다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호:PJ008801)의 지원에 의하여 이루어진 것임.

References

- Bae JS, Seo BH, Lee SW, Kim WI, Kim KR (2014) Heavy metal uptake by balloon flower together with investigating soil properties and heavy metal concentrations in the cultivated soils. *Kor J Soil Sci Fert* 47:172-178
- Chung JH, Cho SH (2002) Tissue cultures of *Platycodon grandiflorus* DC. *J Agri Life Sci*. 36:9-18
- Ko JA, Kim YS, Kim MJ, Eun JS (1993) Somatic embryogenesis and plant regeneration from leaf and stem culture of *platycodon grandiflorum*. *Kor. J. Breeding* 25:337-343
- Kovanda M (1978) *Campanulaceae* In Flowering Plants of the World Edited by: Heywood VH. New York: Mayflower Books; pp254-256
- Lee ST, Ryu JS, Kim MB, Kim DK, Lee HJ, Heo JS (1999a) Crude saponin contents of *Platycodon grandiflorum* (Jacq.) A. DC. *Kor J Med Crop* 7:172-176
- Lee YH, Park SR, Ryu JS, Lim ST, Ko BG, Yun HD (1999b) Survey on cultural environment and soil morphological characteristics of *Platycodon grandiflorum*. *Kor J Soil Sci Fert* 32:215-222
- Lee BJ, Shin YW, Lee SW, Chun HS, Cho YS (2014a) Effects of storage methods and periods on root hardness and content of saponin in *Platycodon grandiflorum* Radix. *Kor J Crop Sci* 59:134-138
- Lee SW, Son YW, Shin YW, Cho YS (2014b) The current status in Korea and future perspectives of balloon flower (*Platycodon grandiflorum*) in Gyeongsangnam-do. *Kor J Int Agric* 26:68-72
- Mabberley DJ (1987) *The Plant Book*. p461
- Murashige T, Skoog F (1962) A revised medium for rapid growth and bio-assays with tobacco tissue cultures. *Physiol Plant* 15:473-497
- Seong JD, Kim HT, Kim GS, Han SI, Kwack YH (1999) Root yield and saponin content in different soil texture of *Platycodon grandiflorum* A. DC. *Kor J Med Crop* 7:282-287
- Shi FH, Wei JH, Ling ZZ, Chu QL (2011) The performance of agronomic traits in F1 crossing combinations derived from male sterile line of (*Platycodon grandiflorum*). *Zhong Yao Cai* 34:1815-1818
- Shon MY, Seo JK, Kim HJ, Sung NJ (2001) Chemical compositions and physiological activities of Doraji (*Platycodon grandiflorum*). *J Kor Soc Food Sci Nutr* 30:717-720
- Tada A, Kaneiwa Y, Shoji J, Shibata S (1975) Studies on the saponins of the root of *Platycodon grandiflorum* A. De Candolle. I. Isolation and the structure of platycodon D. *Chem Pharm Bull* 23:2965-2972