

백더덕, 홍더덕, 청더덕의 외부형태적 특성 및 유전적 차이 분석

김지아 · 배기화 · 권혜경 · 이재선 · 최용의*
강원대학교 산림환경과학대학 산림자원학부

Morphological and genetic differences among white-, red- and blue colored root lines in *Codonopsis lanceolata*

Ji-Ah Kim · Kee-Hwa Bae · Hye-Kyoung Kwon · Jae-Seon Yi · Yong-Eui Choi*

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

Abstract In general, the root color of *Codonopsis lanceolata* is white, but red or blue-colored root is found at a low frequency in nature. Red or blue-colored roots have scarcity value, thus farmers wish to produce colored roots. The factors for determining the color of roots are unclear whether the color is controlled by genetically or simply by environmentally such as soil environment. Using *in vitro* culture system which is advantageous for setting of the same culture condition, we analyzed the physiological and morphological characteristics and genetic differences among red-, blue- and white lines of *C. lanceolata*. In the red colored roots, stems of *in vitro* cultured plantlet were colored in dark red pigment. Histological analysis revealed that the red pigment was accumulated in the outer cortex layer of the stem and determined as anthocyanin. Chlorophyll contents in red root lines were higher than those in white- and blue root lines. Plantlets from red roots were smaller in both shoot length and total leaf area than those from white- and blue roots. Genetic differences among the three different colored *C. lanceolata* were determined by RAPD (Randomly Amplified Polymorphic DNA) analysis. Each line of colored roots had clear DNA polymorphism. These results indicate that the occurrence of red- and blue colored roots in nature was determined by genetic factors rather than soil environmental conditions.

서 론

더덕속 (*Codonopsis*)은 초롱꽃과 (*Campanulaceae*)에 속하는 여러 해살이 덩굴 식물로 우리나라를 비롯해 중국, 일본 등 동아시아 지역에 약 40여 종이 분포한다. 우리나라에는 4종 1품종의 더덕이 분포하고 있으며, 더덕 (*C. lanceolata*), 만삼 (*C. pilosula*), 소경불알 (*C. ussuriensis*), 애기더덕 (*C. minima*), 푸른더덕 (*C. lanceolata* for. *emaculata*)이 보고되었다 (Yoo and Lee 1989). 일반적인 더덕의 뿌리 표면 색은 황백색이며, 뿌리 안쪽은 흰 색을 띤다. 그러나 간혹 산지 혹은 재배지에서 채취한 더덕 중에 뿌리의 육질은 흰색이지만, 뿌리 표면과 줄기의 색이 붉은색을 띠는 홍더덕과 청색을 띠는 청더덕이 발견 된다. 산에서 야생더덕을 캐는 채집자들은 물론 밭에서 더덕을 생산하는 농가들은 뿌리가 붉은 홍더덕은 귀하게 취급되고 있으며,

백더덕 보다 고가에 거래가 이루어지기도 한다. 또한 세계적으로 식품의 붉은 성분인 안토시아닌이 심장병, 암 등의 발병률을 완화시킨다는 보고가 계속 됨에 따라, 붉은 색을 지닌 식품에 대한 소비가 점점 높아지고 있다 (Wrolstad 2004). 따라서 일부 농가는 홍더덕이나 청더덕을 대량으로 생산하기를 희망하고 있다. 그러기 위해서는 더덕의 뿌리의 색이 단순한 토양환경 요인이 아닌 유전적 요인에 의하여 조절되는가에 대한 연구가 선행되어야 한다.

산지나 재배지에서 자라는 더덕의 뿌리는 괴근으로, 주근이 비대하여 뿌리가 형성된 것을 말하며, 뿌리표면은 주피로 이루어져 있다 (Park et al. 2005). 이처럼 뿌리 표면이 주피로 이루어지고, 괴근이 붉은 색을 띠는 것으로 고구마 (*Ipomoea batatas*)와 괴경인 감자 (*Solanum tuberosum*)가 대표적이며, 고구마 주피의 붉은색은 안토시아닌이 축적된 것이라고 보고하고 있다 (Miyazaki 1992). 괴경인 감자의 경우도 괴근이 붉은색과 청색 주피를 가진 변이체를 기외에서 육종하여 컬러 감자의 대량생산을 가능케 하였다 (Lim et al. 2003). 또한 더덕과 같이 초롱꽃과에 속하는 도라지 (*Platycodon*

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

E-mail: yechoi@kangwon.ac.kr

grandiflorum)는 꽃색으로 청도라지와 백도라지로 나누어지며, SCAR marker를 통해 청도라지 백도라지를 구별할 수 있는 방법이 개발되었다 (Park et al. 2007). 이와 같이, 여러 영양기관의 색 차이를 이용해 새로운 품종을 육성한 실험이 많이 보고되고 있다.

더덕 신품종 육성 연구보고서 (Kim 2006)에 따르면 재배지가 아닌 여러 곳의 산지에서 채취한 홍더덕의 출현 정도는 약 6.6% 정도로 보고하고 있다. 농가 및 시험장 등에서도 홍더덕을 얻기 위한 육종 실험을 실시하고 있으나 (Kim 2006), 홍더덕의 출현이 유전적 영향인지, 환경적 영향인지에 관해서 아직 밝혀지지 않았다.

산지 및 재배지의 백더덕에 관해서는 재배 장소에 따른 향기 성분 분석, 자생지에 따른 광합성 비율 및 엽록소 함량 (Lee et al. 1995; Lee 2002; Kim 2003)에 관한 연구가 보고되었고, 부위별 외부 형태적 특성 및 해부학적 특성 (Kim et al. 1998; Kim 2007)에 관한 연구가 보고되었다.

기내배양은 식물체의 생육 환경 (광, 수분, 영양분)을 일정하게 공급할 수 있는 장점을 지니고 있다. 따라서 본 연구에서는 뿌리의 색깔이 다른 백, 홍, 및 청 더덕의 뿌리의 줄기를 기내에 배양하여 동일한 기내 배양 환경조건에서도 서로다른 색깔의 특징을 유지하는지 조사하였다. 백, 홍, 및 청색의 색을 지닌 더덕뿌리의 줄기로부터 얻어진 기내배양 식물체의 외부형태 및 해부학적 특징을 관찰하였고, 안토시아닌과 엽록소함량 측정하였다. 또한 유전적 차이를 조사하기 위해 RAPD (Random Amplified Polymorphic DNA) 분석을 통하여 분석하였다.

재료 및 방법

식물재료

백더덕, 홍더덕, 청더덕 (*Codonopsis lanceolata*)을 강원도 일대의 산지와 재배지에서 수집하여 강원대학교 온실에서 생육시키며, 뿌리의 색이 분명한 라인을 선발하여 실험재료로 이용하였다. 전체 뿌리 표면의 색이 황백색, 붉은색, 청색을 띠는 더덕의 뿌리를 선발한 다음 이들 뿌리로부터 자란 어린 줄기를 표면살균 시킨 후 액아로부터 기내 배양 식물체를 유도하였다. 각각의 색깔을 지닌 더덕 (Figure 1A-C)으로부터 줄기절편을 채취하여 2% NaOCl로 15분간 소독 하고, 멸균수로 3회 세척한 후, 각 더덕의 줄기에 액아가 붙어있는 부위를 절단하여, 2% sucrose, 0.3% gerlita가 첨가된 1/2 MS (Murashige and Skoog 1962) 배지에서 액아를 유도하였다. 액아로부터 유도된 식물체는 72 × 72 × 100 mm 플라스틱 배양 용기 (Incu Tissue 310071, SPL)에서 4주 간격으로 1년 동안 정아부 및 절간을 계대배양하며 유지하였다. 모든 실험은 각각 정아부를 4주 동안 생육시킨 것을 재료로 사용하였고, 1일 16시간 조명 (40 μmol m⁻²s⁻¹ 냉백색 형광등), 25±2℃로 조절되는 배양실에서 기내 식물체를 생육시켰다.

백, 홍, 및 청더덕 줄기와 뿌리의 생리, 형태적 특징 비교

외부 형태 분석은 백더덕, 홍더덕 및 청더덕 계통을 각각 20개씩 줄기길이, 절간길이, 뿌리길이와 뿌리수를 측정하였고, 잎면적은 정아부로 부터 3번째 잎까지 잎면적 측정기 (USHIKATA. X-PLAN. 380DIII, Japan)로 측정하였다. 엽록소 함량 분석은 80% acetone에 잎 절편을 침지 후, 냉암소에서 48시간 동안 추출하고, chlorophyll a와 b의 함량은 흡광도 663 nm, 645 nm에서 측정하여 Lichtenthaler (1987)법으로 계산하였다. 안토시아닌 함량은 각각 더덕의 잎, 줄기, 뿌리를 사용하였고, acidic methanol (1% HCl)에 시료를 침지하여 Mehtens 등 (2005)의 방법으로 계산하였다. 모든 실험



Figure 1. Morphology of field roots with different color (A-C) and their *in vitro* plantlets (D-F) of *C. lanceolata*. Plantlets cultured on 1/2 MS medium after 4 weeks of culture. A, D: White line; B, E: Red line; C, F: Blue line. Inserts in A-F are enlarged views for the parts indicated as small square boxes. Bars in A-F; 1 cm

Table 1 Total anthocyanin and chlorophyll contents of white-, red- and blue- lines of *Codonopsis lanceolata* on 1/2 MS hormone free medium after 4 weeks of culture

| | Anthocyanin (mg/g) | | | Chlorophyll a ($\mu\text{g/g}$) | Chlorophyll b ($\mu\text{g/g}$) | Total chlorophyll ($\mu\text{g/g}$) |
|------------|--------------------|------------------|------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| | leaf | stem | root | | | |
| White-line | 0.44 \pm 0.09b* | 0.31 \pm 0.09b | 0.08 \pm 0.02b | 312.6 \pm 34.1a | 452.5 \pm 87.5ab | 764.8 \pm 58.4ab |
| Red-line | 0.92 \pm 0.24a | 4.60 \pm 1.00a | 0.30 \pm 0.09a | 293.4 \pm 27.3a | 564.0 \pm 92.6a | 857.1 \pm 97.5a |
| Blue-line | 0.56 \pm 0.17b | 0.42 \pm 0.10b | 0.25 \pm 0.07a | 318.6 \pm 59.9a | 301.7 \pm 69.3b | 620.1 \pm 87.8b |

* Values followed by the same letter are not significantly different at $P \leq 0.05$ according to Duncan's multiple range test.

험은 3번 반복하여 수행하였으며, 흡광도 측정은 자외-가시 분광광도계 (SHMADZU, Bio Spec-1601, Japan)를 이용하였다.

줄기의 해부학적 특징을 관찰하기 위하여 각 더덕의 뿌리 위쪽으로 3 cm에 위치한 줄기부위를 가로 방향으로 3 cm 정도 자른 후, 면도칼 (Dorco, Korea)을 이용하여 0.2~0.3 mm 정도의 두께로 cross-section으로 잘라 관찰하였다. 뿌리는 cross-section으로 자른 후, 0.1% toluidine blue O로 염색하여 광학현미경 (Olympus CX 31, Japan)으로 줄기와 뿌리 조직과 안토시아닌 축적을 관찰하였다.

RAPD 분석 및 유연관계 분석

백더덕, 홍더덕, 청더덕 계통의 줄기와 뿌리절편 0.3-0.5 g을 재료로 사용하였다. Genomic DNA는 Mag Extractor plant genome kit (Toyobo, Japan)를 이용하여 추출하였다. RAPD primer는 University of British Columbia (UBC)의 RAPD primer 중 6개의 primer (Table 1)를 이용하였다. DNA 단편 증폭 시 예비변성은 94°C에서 7분간 수행 후, 변성은 94°C에서 1분, 결합은 37°C에서 1분, 합성은 72°C에서 2분으로 하여 총 45 cycle을 반복 후, 마지막 연장은 72°C에서 10분간 수행하였다. RAPD-PCR 반응은 ABI Gene Amp PCR system 9700 (ABI applied biosystems, Singapore)을 사용하였다. 증폭된 산물은 1.2% agarose gel 상에서 전기영동한 후 EtBr로 염색하여 밴드를 관찰하였다.

Agarose gel 상의 DNA 밴드 유형은 밴드가 있는 경우 1, 없는 경우 0의 값으로 하였다. 유연관계 분석은 NTSYSpc (Numerical Taxonomy system and Multivariate Analysis system for personal computer) 소프트웨어, version 2.1 (Rohlf 2000)을 사용하였고, dendrogram은 UPGMA 방법을 이용하여 나타냈다.

결과 및 고찰

백, 홍, 및 청더덕 줄기의 생리, 형태적 특징 비교

뿌리 표면의 색이 황백색, 붉은색, 청색을 지닌 더덕 뿌리 (Figure 1A-C)를 선별한 후 각각의 뿌리에서 자란 줄기 절편을 기내로 옮겨 배양한 다음 액아로부터 식물체를 유도하여 1년 동안 4 주마다 동일한 배양환경에서 계대하여 기내에서 식물체 (Figure 1D-F)를 증식 시켰다. 이 재료를 사용하여 각 더덕 간 외부 형태, 성장 및 엽록소와 안토시아닌 함량을 비교하였다.

기내에서 4주간 배양한 홍더덕 뿌리에서 유래된 줄기는 짙은 붉은 색을 띠었으며, 잎은 진한 암녹색을 띠어, 다른 계통과 확연한 차이를 보여주었다 (Figure 1E). 각 계통 간 색소의 차이를 확인하기 위하여 안토시아닌과 엽록소 함량을 분석하였다. 부위별 안토시아닌 함량 분석 결과 홍더덕의 줄기는 다른 계통의 줄기와 비교해 80% 이상의 높은 안토시아닌 함량을 보였다 (Table 1). 안토시아닌 축적을 광학현미경으로 관찰한 결과, 가장 바깥쪽 피층내 세포에 붉은 색의 색소가 침적되었다 (Figure 2B, E). 그러나 백더덕 줄기 조직의 피층에서는 붉은 색을 관찰할 수 없었고, 청더덕 줄기의 피층에서는 몇 개의 세포에만 안토시아닌이 축적된 것을 관찰할 수 있었다 (Figure 2AD, CF). 잎의 엽록체 함량 분석 결과, 진한 암녹색을 띠었던 홍더덕 유래 식물체의 잎에서 가장 높은 엽록소 함량을 확인하였다 (Table 1). 일반적으로 붉은 색을 띠는 안토시아닌은 잎의 엽육, 표피층의 바깥층 혹은 모사체등에 축적된다고 알려져 있는데 (Steyn et al. 2002), 더덕의 기내 식물체에서도 비슷한 경향을 보였다. 한편 일부의 경우는 상표피와 같이 광에 직접 노출되는 말초 세포에 축적되는 경우도 있다 (Chalker-Scott 1999).

홍더덕 줄기길이는 다른 계통에 비해 20%정도 작았고 (Figure 3), 잎면적 역시 가장 작았으며 (Figure 4), 절간길이 (Figure 3) 또한 다른 계통과 비교해 길이가 작아 분명한 차이를 보였다. Demming-Adams와 Adams (1992) 및 Niyogi (1999)는 식물은 에너지의 소비와 분해 등의 에너지의 균형을 맞추기 위해 잎의 크기, 잎 두께 등을 조절한다고 보고하였으며, 본 연구에서도 홍더덕, 백더덕 및 청더덕 모두 동

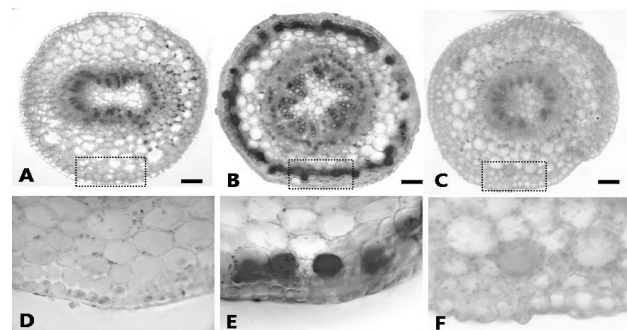


Figure 2. Stem sections of *in vitro* plantlets of the three *C. lanceolata* lines after 4 weeks of culture. A: white-line; B: red-line; C: blue-line. D-F: enlarged views for the parts indicated as dotted squares in A, B and C. Bars in A-C; 150 μm

Table 2 The sequence and the number of polymorphic bands produced from the selected primers for RAPD analysis

| Name of primer | Sequence of primer (5'→3') | Total No. of amplification products | No. of polymorphic products |
|--------------------|----------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| 515 | GGGGGCCTCA | 6 | 3 |
| 518 | ACCGGACACT | 6 | 2 |
| 534 | CACCCCTGC | 8 | 4 |
| 540 | CGGACCGGT | 5 | 2 |
| 584 | GCGGGCAGGA | 4 | 1 |
| 594 | AGGAGCTGGC | 3 | 1 |
| Total bands scored | | 32 | 13 |

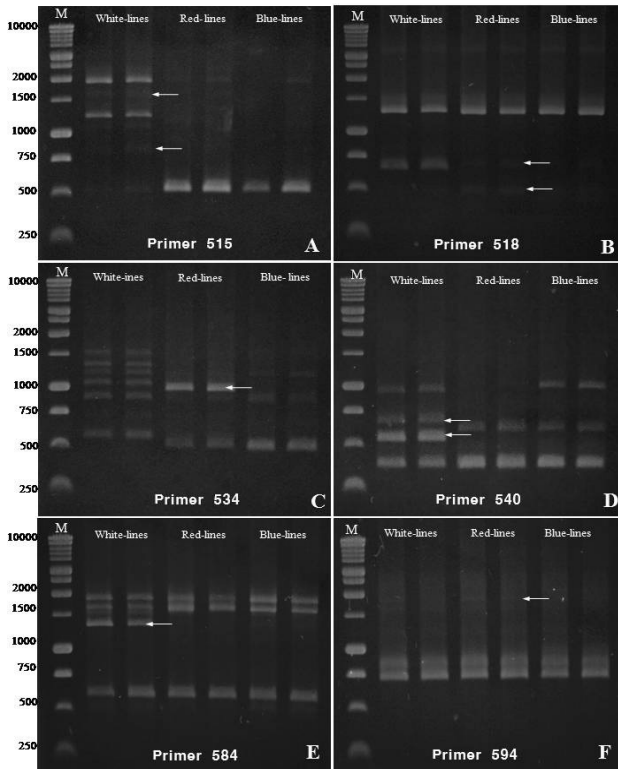


Figure 6. Profile of PCR products obtained from RAPD analysis using the 6 different primers [515(A), 518(B), 534(C), 540(D), 584(E), and 594(F)]. Lane M; 1 kb DNA ladder, Lane 1, 2; white line, Lane 3, 4; red line, Lane 5, 6; blue line. Arrows indicate line-specific bands

평균 3~8개의 밴드를 형성하였다 (Figure 6). 그중 6개의 primer에서 다형성을 보인 밴드는 전체 32개의 밴드 가운데 13개로, 40.6%의 유전적 다형성을 나타냈다 (Figure 6). 유전적 근연관계를 계산하기 위하여 NTSYS computer program을 사용하여 dendrogram을 작성한 결과 상관계수는 0.94 값을 기준으로 유사도 값은 백더덕 계통 (group 1) 그리고 홍더덕과 청더덕 계통 (group 2)의 두 집단으로 구분되었다 (Figure 7). 본 연구에서는 다른 뿌리표면 색을 띠는 더덕으로부터 유래된 기내 식물체간의 외부 형태는 백더덕과 청더덕 계통이 보다 더 유사하였다 (Figure 1, 3, 4). 그러나 줄기내 안토시아닌 축적은 홍더덕과 청더덕 계통에서 유사하게 나타났고,

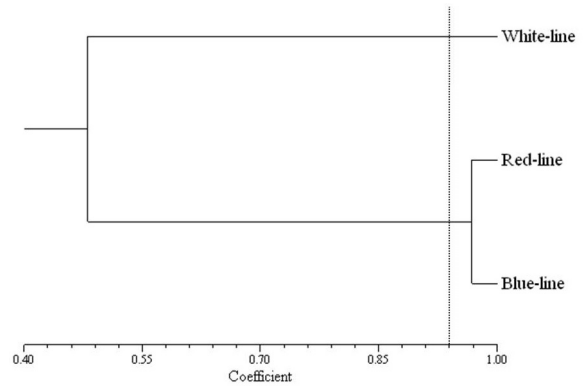


Figure 7. Genetic relatedness among the white, red and blue lines of *C. lanceolata*. The dendrogram was drawn based on the Jaccard similarity index calculated from the RAPD fragment profiles

RAPD의 결과 역시 홍더덕과 청더덕 계통의 유연관계가 높은 것으로 보아, 형태적 차이와 다른 결과를 보여주었다. 따라서 보다 다양한 형태적 형질 조사와 보다 많은 RAPD primer로 유전적 다양성을 조사할 필요가 있다고 생각된다. RAPD를 이용한 지역간 백더덕의 유전적 유연관계 분석은 Doo 등 (2002)에 의해 보고되었고, 더덕 유전자원 개발과 고부가가치 품종 육성에 관한 보고서에서 분자마커를 이용한 국내산과 중국산 더덕의 유전적 구별을 위한 연구를 수행하였으나, 결과를 얻지 못했다 (Sim et al. 2000). 또한 아직까지 홍더덕, 청더덕, 백더덕의 뿌리색에 따른 유전적 차이를 보고한 연구는 수행된 바 없다.

지금까지의 연구결과로 부터 각각의 백더덕, 홍더덕, 및 청더덕 유래 줄기의 식물체를 동일한 기내 환경에서 배양하면서 더덕 계통간의 외부 형태적 특징과 유전적 차이를 조사한 결과, 뿌리의 색깔이 환경적 자극에 의한 표현형적 변이가 아니라 유전적인 특성에 기인된다고 사료된다. 앞으로 이들 유색더덕 계통의 유전적 형질의 특성이 밝혀지고, 후대에도 지속적으로 고정된다면 새로운 품종의 개발이 가능하다고 기대된다.

적 요

일반적으로 알려져 있는 더덕의 뿌리는 황백색이지만, 드물게 뿌리가 홍색인 것과 청색인 것이 발견 된다.이 중 홍더덕은 희귀하

고 약효가 높다고 알려져 가치가 크다. 그러나 이러한 더덕뿌리의 색을 결정짓는 요인이 식물이 자라는 환경적인 차이인지 아니면 유전적 차이에 기인되는 지에 관한 연구는 전무한 상황이다. 따라서 본 연구에서는 동일한 환경을 조성할 수 있는 기내배양 방법을 통하여 백더덕, 홍더덕, 청더덕 줄기유래 기내 식물체의 생리적, 형태적, 및 유전적 차이를 관찰하였다. 백더덕, 홍더덕 및 청더덕 뿌리 유래 식물체를 동일한 기내 배양환경에서 배양 한 결과 홍더덕 잎은 암녹색을 띠었고, 엽록소 함량 역시 가장 높았다. 특히 홍더덕의 줄기색은 붉은색으로 백더덕 및 청더덕의 줄기와는 분명한 차이를 보였다. 또한 줄기의 해부학적 관찰 결과 홍더덕의 줄기의 색소는 안토시아닌으로 관찰되었고 주로 바깥쪽 피층에 축적되었다. 4주간 배양한 홍더덕 어린 식물체의 뿌리에는 안토시아닌의 축적을 관찰 할 수 없었으나, 12주 이상 배양된 저장근 형태의 비대된 뿌리의 표면에서는 안토시아닌 축적을 관찰 할 수 있었다. RAPD 분석 결과 홍더덕, 백더덕, 및 청더덕 간에 유전적 다형성이 분명히 구분되었다. 결론적으로 백더덕, 홍더덕, 청더덕 뿌리로부터 얻어진 기내 배양된 식물체에서도 이런 형태적, 생리적 특징이 유지되고 있음을 확인하였고 RAPD 분석 결과 분명한 유전적 다형성을 갖는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 산지에서 홍더덕, 청더덕의 출현은 환경적인 원인 보다 유전적인 특성에 기인되는 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 산림청 단기소득 산림자원 사업단의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

인용문헌

- Chalker SL (1999) Environmental significance of anthocyanin in plant stress response. *Photochem Photobiol* 70:1-9
- Christine EL, John RLW, Jane EL, Anthony JC (1998) Light regulation of anthocyanin, flavonoid and phenolic acid biosynthesis in potato minitubers *in vitro*. *Aust J Plant Physiol* 25:915-922
- Demming AB, Adams WWIII (1992) Photoprotection and other response plant to high stress. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol* 43:599-626
- Doo HS, Ryu JH, Lee KS, Li HL, Liu XH (2002) Analysis of genetic relationship by RAPD technique for *Codonopsis lanceolata* collected from the Baekdoo-mountain and Korea. *Kor J Med Crop Sci* 10:194-199
- Sim IY, Kim YH, Kang KK, Park KB, Choi JE, Noh IS (2000) Development of genetic resource and breeding of high value lines in *Codonopsis lanceolata*. Ministry for Food Agriculture Forestry and Fishes. pp 119
- Hung CY, Murray JR, Ohmann SM, Tong CBS (1997) Anthocyanin accumulation during potato tuber development. *J Am Soc Hortic Sci* 122:20-23
- Kim GT (2003) A study on the growth, photosynthetic rate and chlorophyll content of *Codonopsis lanceolata* by the growing sites. *J Kor For Soc* 1:27-32
- Kim HH, Ozaki Y, Lee SR, Heu H (1998) Morphological characteristics and cytotoxic screening test of *Codonopsis lanceolata* in Korea. *Kor J Plant Res* 11:168-172
- Kim JH (2006) Research for rearing and cultivating to new cultivar of *Codonopsis lanceolata*. Report of Gangwon-do Agricultural Research and Extension Services
- Kim JY, Lee YJ (2007) A study on a morphological identification of *Adenophora triphylla* var. *japonica*, *Codonopsis lanceolata*, *Adenophora remotiflora* and *Codonopsis pilosula*. *Kor J Herbolgy* 22:121-126
- Lee CY (2002) Main factors affecting on photosynthesis under shading condition of *Codonopsis lanceolata*. *Kor J Med Crop Sci* 10:409-414
- Lee SP, Kim SK, Choi BS, Lee SC, Kim KU (1995) Growth and aromatic constituents of wild and domesticated *Codonopsis lanceolata* grown at two different regions. *Kor J Crop Sci* 40: 587-593
- Lichtenthaler HK (1987) Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods Enzymol* 148:350-382
- Lim HT, Li KH, Khu DM, Yang DC, Chun IJ (2003) Evaluation of potato genetic resources and development of potato varieties with diverse colors. *Kor J Plant Res* 16:264-274
- Mehrtens F, Kranz H, Bednarek P, Weisshaar B (2005) The *Arabidopsis* transcription factor MYB 12 is a flavonol-specific regulator of phenylpropanoid biosynthesis. *Plant Physiol* 138:1083-1096
- Miyazaki T (1992) Changes in surface color and anthocyanin in the periderm of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) cultivars during grow thand storage. *J Jpn Soc Hort Sci* 61:191-197
- Murashige T, Skoog F (1962) A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue culture. *Physiol Plant* 15: 473-497
- Niyogi KK (1999) Photoprotection revisited: Genetic and molecular approaches. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol* 50:333-359
- Park GC, Bang KH, Kim OT, Jin DC, Kim DH, Sung JS, Seong NS, Park HW, Lee SC (2007) Development of SCAR marker for discriminating between violet flowered lines and white flowered lines in Chinese Bellflower (*Platycodon grandiflorum* A.). *Kor J Med Crop Sci* 15:1-5
- Park JH, Kueon SJ, Oh JY (2005) Pharmacognostical studies on the chineses crude drug "Man Sam". *Kor J Pharmacogn* 36: 21-25
- Rohlf FJ (2000) NTSYS-pc numerical taxonomy and multivariate analysis system version 2.1. Owner manual
- Steyn WJ, Wand SJE, Holcroft DM, Jacobs G (2002) Anthocyanin in vegetative tissues: a proposed unified function in photoprotection. *New Phytol* 155:349-361
- Taiz I, Zeiger D (2002) *Plant Physiology*. 3th ed. Life Science
- Wrolstad RE (2004) Anthocyanin pigments - bioactivity and coloring properties. *J of Food Sci* 69:419-421
- Yoo KO, Lee WT (1989) A taxonomic study of the genus *Codonopsis* in Korea. *Kor J Plant Tax* 19:81-102

(접수일자 2009년 3월 17일, 수리일자 2009년 4월 2일)