

인삼재배지의 토양추출물이 종자 발아와 세포의 항산화효소 활성에 미치는 영향

류태석, 권순태^{1*}

경상북도농업기술원, ¹안동대학교 생명자원과학부

Cell Viability and Antioxidant Enzyme Activity in the Cell of Ginseng (*Panax ginseng* C.A. Meyer) Treated with Soil Extracts

Tae-Seok Ryu and Soon-Tae Kwon^{1*}

Bonghwa Alpine Medicinal Plant Experiment Station, Gyongbuk Agricultural Technology Administration, Kyungpook 755-843, Korea

¹Dept. of Biological Resources, Andong Nat'l Univ., Kyungpook 760-749, Korea

Abstract - One hundred-eighty extracts of soil collected from ginseng (*Panax ginseng* C.A. Meyer) fields were subjected to lettuce germination test, electrolyte leakage, cell viability and antioxidant enzyme activity test. Regardless of various cultivation periods, there was no significant difference in soil pH, the content of organic matter and available phosphate in ginseng fields. Based on lettuce seed germination test, six soil extracts showing inhibition of germination and/or seedling growth were selected for further study. Selected soil extracts markedly inhibited cell viability of ginseng cultured cells but leakage of electrolytes were not affected by the treatment. Enzyme activity of superoxide dimutase in ginseng cultured cells was not affected by the treatment with the soil extracts. However, those of peroxidase and catalase were significantly inhibited by the treatment with soil extracts which showed inhibition of lettuce seed germination and seedling growth.

Key words - Antioxidative enzymes, Cell viability, Soil extracts, Electrolyte leakage

서 언

인삼은 연작장해의 대표적인 작물로서 한번 재배한 밭에서는 최소 7년에서 수십년간 다시 재배가 불가능하여 이로 인해 생산지를 이동할 수밖에 없는 불편함이 있다(Ahn *et al.*, 1982; Lee *et al.*, 1980). 인삼의 연작장해 주된 원인은 특정한 병원균의 침해로 해석하고 있으나, 그 원인을 알 수 없는 경우도 상당수 존재하는 것으로 알려져 있다(Kim *et al.*, 1986; Oh *et al.*, 1980). 일반적인 작물 연작장해의 원인은 유해한 토양미생물에 의한 것, 토양의 물리화학적 변화, 작물로부터 유래하는 유해물질의 축적 등 크게 세 가지 요인으로 구분된다(Oh *et al.*, 1980). 인삼의 연작장해 원인 중 병해충이 가장 많고 토양의 이화학적 성질의 악화가 그 다음을 차지하며, 뚜렷한 원인을 알 수 없는 경우도 상당수가 있는 것으로 보고되어 있다(Ahn *et al.*, 1982; Lee and Lim, 1976). 이러한 결과로 보아 인삼 연작

장해의 원인은 포장의 위치나 지역에 따라 한 가지 또는 그 이상의 복잡한 요인이 작용 한다는 것을 추정할 수 있고, 재배지역의 토양이나 기후환경에 따라서도 그 원인이 달라 질 수 있음을 알 수 있다.

인삼은 한번 심으면 4년 이상을 동일한 포장에서 재배된다. 그러므로 처음 재배를 시작한 토양과 수년간 재배를 해온 토양의 조건이 다를 수 있고, 재배과정에서 축적된 다양한 유기물질들이 인삼재배에 영향을 미칠 수도 있다. 작물이 재배되는 과정에 식물의 뿌리나 잔여물로부터 유출된 물질이 타 식물이나 자체 식물의 생장에 영향을 미치는 현상을 타감작용으로 해석하며, 호밀(Lee *et al.*, 1995), 상추(Chon and Choi, 2004) 등 많은 작물의 추출물에서 이 현상이 밝혀졌다.

본 연구에서는 다년간 인삼을 재배해 온 토양에 유해물질이나 생장억제물질이 축적될 가능성에 대하여 주목하고, 인삼재배지의 토양을 재배년수별로 구분 채취하여 토양의 화학적 특성을 조사하였고, 토양추출액이 종자의 발아, 인삼배양세포의 활력 및 항산화효소의 활성 변화에 미치는 영향을 조사하였다.

*교신저자(E-mail) : skwon@andong.ac.kr

재료 및 방법

토양시료의 채취 및 조사

토양시료는 2005년과 2007년에 걸쳐 전국적으로 인삼의 재배가 많은 지역을 택하여 180지점의 각각 다른 재배농가에서 채취하였다(Table 1).

Table 1. Sampling regions of the soils.

Provinces	Sample no.	Districts
Chungbuk	22	Eumseong, Danyang, Yeonpoong
Chungnam	43	Nonsan, Keumsan
Kangwon	13	Yeongweol, Wonju
Kyeonggi	17	Kanghwa, Pocheon
Kyungpook	85	Youngju, Yecheon, Bonghwa, Moonkyung

토양시료는 인삼이 자라고 있는 식물체 주위의 흙을 표토 5cm 정도를 제거한 후 15cm 깊이까지 약 300g을 채취하였다. 토양 채취시 포장의 위치, 인삼재배 년 수 등을 기록하였고, 채취한 흙은 완전히 풍건한 후 잘게 부수어 2mm채로 걸렀으며, 이 토양의 pH, 유기물 함량 및 유효인산함량을 측정하였다.

토양추출물의 조제 및 발아검정

토양추출물을 만들기 위해 건조토양에 5배(w/v)의 메탄올을 첨가하여 48시간 동안 상온에 방치한 후 여과지로 메탄올과 토양을 분리하는 과정을 2회 반복하였다. 모아진 메탄올추출액은 회전농축장치로 완전히 건조한 후 최초 추출한 건조토양 100g 당 메탄올 1ml의 비율로 다시 농축액을 제조하였다.

토양추출액이 상추종자의 발아와 유묘생장에 미치는 영향을 알아보기 위하여 9cm 페트리접시에 상추종자 20립씩을 3반복으로 치상한 후 1/10로 희석된 토양추출 농축액 10ml을 처리하였다. 처리한 상추종자는 25°C ± 1의 광이 조사되는 항온실에서 발아시켜 7일 후 발아율과 유묘의 생체중을 조사하였다.

인삼세포의 전해물질 유출과 세포활력 측정

상추종자 발아실험을 실시한 180개의 토양추출액 중 발아 및 유묘생장의 억제정도로 3종류의 토양추출액을 선택하였다. 즉 발아와 유묘의 성장을 전혀 억제하지 않는 토양추출액 2종, 발아의 억제가 현저한 토양추출액 2종 및 발아는 억제하지 않으나 유묘의 성장을 현저히 억제하는 토양추출액 2종이었다.

인삼배양세포는 뿌리로부터 획득한 캘러스를 NAA 1.0 + kinetine 0.1mg · L⁻¹가 함유된 액체 MS배지에서 현탁배양을 실시하여, 세포의 생체량 배가 주기가 7일정도 되는 세포를 사용하였다. 모든 실험은 계대배양 후 3일째 되는 배양세포를 이용하여 수행하였다. 선택한 6종의 토양추출액을 액체 배양된 인삼세포에 24시간 처리 후 세포로부터 누출되는 전해물질의 양

과 세포활력을 측정하였다. 세포의 전해물질 유출은 토양추출액을 처리한 세포에 증류수를 넣고 2시간 동안 진탕한 후 전해물질 유출량을 전기전도도 측정장치로 측정하였다(Kwon *et al.*, 2004). 세포활력은 Towill and Mazur(1975)의 방법에 따라 TTC 법을 이용하였다.

항산화효소 활성측정

인삼배양세포 300mg을 50mM 인산완충액(pH 7.0) 1.0ml 과 함께 얼음위의 막자사발에서 마쇄한 후 15,000rpm으로 10분간 원심분리하여 얻은 상등액을 조효소액으로 사용하였다. SOD활성은 McCord and Fridovich(1969)의 방법에 따라 xanthine, xanthine oxidase와 cytochrome c를 이용하여 측정하였다. POD활성은 pyrogallol을 기질로 사용한 Sigma사의 방법에 따라 측정하였다(Lee *et al.*, 1999). 배양세포 조효소액 50μl를 cuvette에 넣고 0.1M 인산완충액(pH 6.0) 150μl, 0.147 M H₂O₂ 100μl, 5% pyrogallol 용액 150μl와 증류수 100μl를 함께 섞은 후, 420nm에서 20초간 상온에서 반응 후 흡광도 변화를 측정하였다. CAT활성은 Aebi(1984)의 방법을 사용하였다. 효소측정을 위한 반응용액은 0.053M H₂O₂ 1ml, 효소액 0.1ml, 0.05M 인산완충액(pH 7.0) 1.9ml의 혼합액으로 활성을 측정하였다.

결과 및 고찰

토양의 화학적 특성

인삼재배지역의 180개 토양시료를 재배년수별로 분류하여 토양의 산도, 유기물 함량 및 유효인산 함량을 조사한 결과는 Table 2와 같다. 토양의 산도는 pH 5.0~6.0사이의 약한 산성을 띠나 채취한 지역을 모두 평균한 결과는 재배년수별로 유의성이 인정되는 차이는 나타나지 않았다. 재배토양에 함유된 유기물함량도 재배포장에 따라 많은 변이가 있었으나, 재배년수별로 채취한 토양의 함량을 평균한 값은 유의성이 인정되지 않았다. 한편 유효인산의 함량은 1~2년간 재배한 토양(121.3mg/kg)이 3~4년재배지(172.7mg/kg) 또는 5~6년 재배지(150.7mg/kg)보다 낮은 경향을 보였다.

Lee and Lim(1976)의 보고에 의하면 인삼 재배지와 비재배지의 일반적인 토양성질은 별 차이가 없으나 일부 토양에서는 유기물이 증가하거나 인삼성분으로 추정되는 다양한 물질이 토양에서 추출된다고 하였다. 본 조사에 의하면 토양의 산도 및 유기물 함량은 인삼을 재배한 토양의 재배년수별 차이보다는 개별포장의 위치나 지역에 따른 변이가 심한 것으로 보아 이들 성분의 함량을 재배년수와 연관짓기는 어려울 것으로 판단된다.

Table 2. Chemical properties of soils collected from ginseng fields according to cultivation periods

Cultivation period	No. of samples	pH (1:5)	Organic matter (%)	P ₂ O ₅ (mg · kg ⁻¹)
1~2 yrs	53	5.63 ± 0.87	1.89 ± 1.07 ^z	121.3 ± 60.7
3~4 yrs	65	5.39 ± 1.39	2.11 ± 1.67	172.7 ± 185.3
5~6 yrs	62	5.63 ± 1.34	1.82 ± 1.84	150.7 ± 173.3

^zMean ± SE.

종자발아에 미치는 영향

180개의 각각 다른 인삼재배지에서 채취한 토양추출액을 이용하여 상추종자 발아에 미치는 영향을 조사하였다(Table 3). 먼저 재배년수별 상추종자의 발아율 평균을 보면 재배 1~2년차 토양 추출액이 94.7%, 재배 3~4년차 토양 추출액이 91.7%, 재배 5~6년차 토양 추출액이 87.6%로 나타났다. 인삼의 재배년차가 증가할수록 상추종자 평균발아율이 감소하는 경향이나, 동일한 재배년수의 토양에서도 발아율에 큰 차이를 보여 평균치로 본 연차별 유의성은 인정되지 않았다. 재배년수별 토양추출액 중 가장 발아율이 높았던 토양추출액의 발아율은 100%로 재배년수가 많은 토양추출액이라도 발아에 전혀 영향을 미치지 않는 추출액이 있었다. 반면 가장 발아율이 낮은 토양추출액을 조사한 결과 1~2년차 토양추출액은 86.7%, 3~4년차 토양추출액은 64.8%, 5~6년차 토양추출액은 47.7%로 재배년수가 증가할수록 상추종자의 발아를 현저히 억제하는 토양이 다수 있었다.

발아한 유묘의 생체중을 보면 재배년수별 평균생체중은 발아율의 평균과 마찬가지로 재배년수별 유의성이 인정되지 않았다. 그러나 최저 생체중을 보인 토양추출액을 보면 1~2년차 토양추출액이 967.5mg, 3~4년차 613.5mg, 5~6년차 440.8mg으로 재배년수가 오래된 토양일수록 생체중을 강하게 억제하는 토양 추출액이 많았다.

인삼 재배지의 토양추출액을 이용한 상추종자의 발아율을 검증한 결과로 보면, 인삼의 재배년수가 경과한 토양일지라도 상추종자의 발아나 생체중에 전혀 영향을 미치지 않는 토양이 대부분이지만, 재배년수가 5~6년으로 오래된 일부 토양은 종자의 발아와 생체중을 심하게 억제하는 토양이 많았다. 따라서 180개 지점의 토양추출액을 이용한 상추종자의 발아실험 결과로 세 가지 유형, 즉 발아 및 생체중에 전혀 영향을 미치지 않는 토양(무관형), 발아를 심하게 억제하는 토양(발아 억제형) 및 발아에는 영향을 미치지 않고 발아된 유묘의 생장을 억제하는 토양(생체중 억제형)으로 구분하여 6개 지점의 토양을 선발하였다(Table 4).

선발된 여섯 개 지점의 토양은 모두 경북 영주지역과 충남 금산지역에서 채취한 토양으로 모두 재배년수가 5년차인 포장에서 채취한 토양추출액이다. 무관형 토양은 영주(NY) 및 금산(NK)에서 채취한 토양추출액 모두 발아율은 100%였고, 유묘의 생체중도 증류수를 처리한 무처리와 차이가 없었다.

한편 발아억제형 토양은 영주에서 채취한 토양(GY)이 발아율 43.3%, 금산에서 채취한 토양(GK)이 50.0%로 현저한 발아억제를 보이는 토양추출액이다. 생체중억제형 토양으로 선발된 영주(SY)와 금산(SK)토양의 발아율은 각각 95.0%와 98.3%로 발아에는 거의 영향을 미치지 않으나 생체중은 112.5mg 및 124.5mg으로 현저한 억제를 나타낸 토양이었다(Table 4).

Table 3. Germination and fresh weight of lettuce seedlings treated with methanol extracts of soil collected from ginseng fields

Cultivation period (years)	Germination (%)			Seedling fresh weight (mg/petridish)		
	Lowest	Highest	Mean ± SE	Lowest	Highest	Mean ± SE
1~2	86.7	100.0	94.7 ± 8.9	967.5	1,211.5	1,148.5 ± 41.8
3~4	64.8	100.0	91.7 ± 15.7	613.5	1,198.8	920.5 ± 55.4
5~6	47.7	100.0	87.6 ± 16.5	440.8	1,197.7	924.5 ± 68.7

*A hundred lettuce seeds with 5 replications were treated with soil extracts in 9cm petridish and incubated at 25 ± 1 °C light in growth room, and germination and seedling fresh weight were determined at 6 days after treatment. Each value is mean ± SE of 5 replications.

Table 4. Germination and seedling fresh weight of lettuce treated with three types of soil samples which were selected according to germination test

Soil name	Collected regions	Cultivation period (yrs)	Germination (%)	Seedling fresh weight (mg)
NY	Youngju	5	100.0	298.5
NK	Keumsan	5	100.0	304.6
GY	Youngju	5	43.3	121.5
GK	Keumsan	5	50.0	110.7
SY	Youngju	5	95.0	112.5
SK	Keumsan	5	98.3	124.5

*Abbreviation of soil name: First letter, N; none-inhibition, G; germination inhibition, S; seedling growth inhibition, and second letter, Y; Youngju, K; Keumsan.

인삼세포의 전해물질 유출과 세포활력

인삼의 재배년수별 토양추출액의 상추발아 및 유묘생장에 미치는 반응의 유형별로 선택한 6종류의 토양추출액(Table 4)을 인삼 현탁배양세포에 처리하여 배양세포의 활력과 전해물질의 유출량을 조사한 결과는 Fig. 1과 같다.

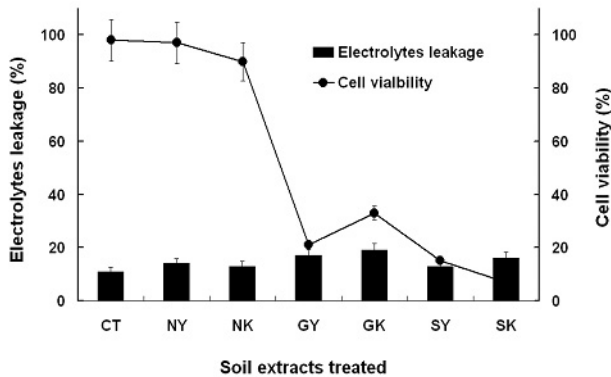


Fig. 1. Electrolytes leakage and cell viability of ginseng cultured cells treated with various soil extracts. Abbreviation of soil name: First letter, N; none-inhibition, G; germination inhibition, S; seedling growth inhibition, and second letter, Y; Youngju, K; Keumsan. CT; control.

먼저 배양세포의 전해물질 누출정도를 보면 6개의 토양 추출액은 증류수만을 처리한 무처리세포와 뚜렷한 차이를 보이지 않았다. 그러나, 인삼배양세포의 활력은 처리간에 현저한 차이를 보였다. 상추종자의 발아에 영향을 미치지 않았던 토양추출액(NY, NK)은 무처리세포와 세포활력에 유의한 차이를 보이지 않으나 발아억제형 토양추출액(GY, GK)과 생체중억제형 토양추출액(SY, SK)은 무처리에 비해 70~90%까지 심한 활력억제를 보였다. 특히 발아억제형 토양추출액보다 생체중억제형 토양추출액이 세포활력을 강하게 억제하는 경향이었으며, 금산에서 채취한 토양(SK)의 경우 무처리와 비교하여 90% 이상의 억제를 보였다.

세포의 전해물질 유출은 주로 처리한 물질의 막파괴성 정도를 파악할 수 있는 지표가 되며(Kwon *et al.*, 2004), 세포활력의 억제 정도는 처리한 물질의 대사교란이나 세포독성을 파악할 수 있는 지표가 될 수 있다(Towill and Mazur, 1975). 본 실험에서 상추 종자의 발아 또는 유묘생장을 강하게 억제했던 토양추출액이 세포의 전해물질 유출에는 무처리와 뚜렷한 차이가 없는 것으로 보아 추출액의 성분은 세포막을 교란하는 기작과는 무관한 것으로 보이며, 주로 세포 내부의 대사교란 작용과 관련성이 있을 것으로 판단된다. 따라서 식물세포내의 스트레스 저항성과 밀접한 관련이 있는 것으로 알려진 항산화효소의 활성에 미치는 영향을 조사하였다.

항산화효소 활성

선발된 6종의 토양 추출액을 처리한 인삼배양세포에서 식물세포의 주요 항산화효소인 superoxide dimutase(SOD), peroxidase(POD) 및 catalase(CAT)의 효소활성에 미치는 영향을 조사하였다(Table 5).

먼저 SOD의 활성을 보면 무처리 세포가 1mg 단백질당 625.7unit이나 토양추출액을 처리한 세포는 630.8에서 707.6 unit 까지 보여 무처리보다 효소의 활성이 다소 증가하는 경향이거나 처리간에 유의성은 인정되지 않았다.

POD의 활성은 토양추출액의 유형에 따라 뚜렷한 차이를 보였다. 상추종자 발아에 영향을 미치지 않았던 토양추출액인 NY 및 NK 토양은 각각 0.478 및 0.429unit를 보여 무처리토양(0.434unit)과 유의성이 인정되지 않았고, 발아억제형 토양추출액인 GY 및 GK 토양추출액도 무처리와 유의성이 인정되지 않았다. 그러나 생체중억제형 토양추출액인 SY와 SK 토양추출액을 처리한 배양세포는 각각 0.114 및 0.187unit의 POD 활성을 보여 무처리세포에 비해 현저한 활성억제를 보였다.

CAT의 활성을 보면 POD와 마찬가지로 상추종자발아에 영향을 미치지 않았던 토양추출액은 무처리와 차이가 없었다. 그러나 POD는 발아억제형 토양추출액을 처리한 배양세포의 활성에는 영향을 미치지 않았으나 CAT의 경우는 뚜렷한 억제를 보였고, 생체중 억제형 토양추출액에서도 뚜렷한 억제를 보였다.

식물을 포함한 대부분의 호기성 생물은 병충해과 같은 생물학적 스트레스 뿐만 아니라 다양한 종류의 환경스트레스를 받으면 생명의 필수원소인 산소가 $\cdot O_2^-$, H_2O_2 , $\cdot OH$ 등 반응성이 높은 독성의 활성산소종으로 변한다(Scandalios, 1993). 이들은 강한 산화력을 가지고 있어 세포막분해, 광합성억제, 단백질분해, DNA합성억제 등 생체내에서 심각한 생리적인 장애를 유발하며 심한 경우에는 식물을 죽게한다(Scandalios, 1993; Alscher, 1993). 생체는 유해한 활성산소로부터 자신을 보호하기 위하여 SOD, POD, CAT등의 활성산소와 ascorbate, tocopherol, glutathione 등의 저분자 항산화물질을 생산한다. 특히 항산화효소는 $\cdot O_2^-$ 를 제거할 뿐만 아니라 가장 독성이 높은 활성산소종인 $\cdot OH$ 의 발생을 예방하는 작용을 한다(Bowler, 1994).

본 실험에서 상추종자의 발아와 유묘생장을 강하게 억제했던 토양추출액이 POD나 CAT와 같은 항산화효소의 활성도 강하게 억제하는 것으로 보아 연작지 토양에 축적되어 있는 물질이 식물의 항산화 체계를 교란시켜 식물의 환경스트레스 저항성을 약화시키는 결과를 초래할 가능성을 시사하고 있다. 인삼의 연작장애 원인에 대하여 다양한 병원균의 감염이나 독성물질의 축적 가능성을 보고하고 있으나(Ahn *et al.*, 1982; Lee and Lim, 1976), 인삼의 연작장애의 원인은 어느 특정한 하나의 요인보다 여러 요인이 복합적으로 관여하여 나타날 가능성이 많다. 본 연

Table 5. Antioxidant enzyme activities of ginseng cultured cells treated with various soil extracts

Soil name	SOD (unit · mg ⁻¹ protein)	POD (x10 ⁻² unit · mg ⁻¹ protein)	CAT (x10 ⁻³ unit · mg ⁻¹ protein)
Control	627.5a	43.4a	81.7a
NY	630.8a	47.8a	91.8a
NK	672.4a	42.9a	89.3a
GY	707.6a	41.7a	45.5bc
GK	714.8a	39.8a	60.5b
SY	645.6a	11.4b	38.7c
SK	654.7a	18.7b	41.2bc

Abbreviation of soil name: First letter, N; none-inhibition, G; germination inhibition, S; seedling growth inhibition, and second letter, Y; Youngju, K; Keumsan.

구에서 5년이상 재배된 토양에서 재배년수가 적은 토양에 비해 상추종자의 발아나 유묘 생장을 강하게 억제하는 토양이 많은 것으로 보아 재배년수 경과에 따른 독성물질의 축적을 배제할 수 없을 것으로 사료된다. 현재 이들 토양을 다시 수집하여 토양 추출액의 용매별 분획을 이용한 활성검정을 실시하고 있으며, 급후 정제물질의 구조와 특성을 구명할 것이다.

적 요

인삼재배지 180지점으로부터 토양을 채취하여 토양산도, 유기물함량 및 유효인산함량을 측정할 결과 재배년수별 유의한 차이는 나타나지 않았다. 채취한 토양의 메탄올추출액으로 상추종자 발아실험을 실시한 결과 5~6년 재배지의 토양에서 종자발아나 유묘생장을 강하게 억제하는 토양추출액을 선발하였다. 선발된 토양 추출액중 발아와 유묘생장을 억제하였던 추출액은 인삼배양세포의 활성을 최대 90%까지 억제하였으나 전해물질의 누출은 증가하지 않았다. 토양추출액으로 세가지 종류의 항산화 효소 활성을 측정할 결과 superoxide dismutase는 거의 영향을 받지 않았으나, 상추유묘의 생체중억제형 토양추출액을 처리한 인삼배양세포의 peroxidase의 활성이 현저하게 억제되었고, catalase의 활성은 발아억제형 및 생체중억제형 토양추출액 모두에서 유의한 억제를 보였다.

사 사

이 연구는 안동대학교 특성화사업(2007)에 의해서 수행되었음. 토양채취에 협조하여주신 경상북도농업기술원, 충청남도농업기술원 관계자에게 감사사를 포함한다.

인용문헌

Abei, H. 1984. Catalase *in vitro*. Meth. Enz. 105: 121-126.
 Ahn, Y.J., H.J. Kim, S.H. Oh and S.Y. Choi. 1982. Effect of soil fumigation on growth, root rot, and discoloration of *Panax ginseng* in

replanted soils. Kor. J. Ginseng Sci. 6: 46-55(in Korean).
 Alscher, R.G. and J.L. Hess. 1993. Antioxidant in Higher Plant. CRC Press, Boca Raton. pp. 1-174.
 Bowler, C. 1994. Superoxide dismutase in plants. Critical Rev. Plant Sci. 13: 199-218(in Korean).
 Chon, S.U. and S.K. Choi. 2004. Phytotoxic effect of lettuce leaf extract on seedling growth of crops and weeds. Kor. J. Plant Res. 7: 69-76.
 Kwon, S., M. Lee, S. Oh, D. Chung and K. Kim. 2004. Nucleus-DNA damage and different response of plant cell to paraquat in relation to enzyme activity of superoxide dismutase. J. Life Sci. 14: 614-619(in Korean).
 Lee, D.Y., E.H. Kim and C.Y. Yu. 1995. Effect of allelopathic compounds of rye on the germination and growth of weeds. J. Oriental Bot. Res. 8: 1-8(in Korean).
 Lee, I.H., C.S. Park and K.J. Song. 1989. Growth of *Panax ginseng* affected by the annual change in physico-chemical properties of ginseng cultivated soil. Kor. J. Ginseng Sci. 13: 84-91(in Korean).
 Lee, C.Y. and S.U. Lim. 1976. An echochemical study on soil sickness. Kor. J. Ginseng Sci. 1: 51-58.
 Lee, H.S., S.H. You, S.Y. Kwon, J.S. Kim and S.S. Kwak. 1999. Gamma radiation-induced changes of antioxidant enzymes in callus cultures of cassava. Kor. J. Plant Tiss. Cult. 26: 53-58(in Korean).
 MaCord, J.M. and I. Fridovich. 1969. Superoxide dismutase. An enzymatic function for erythrocyte. J. Biol. Chem. 244: 6049-6055.
 Scandalios J.G. 1993. Oxygen stress and superoxide dismutase. Plant Physiol. 101: 7-12.
 Towill, L. E. and P. Mazur. 1975. Studies on reduction of 2,3,5-TTC as a viability assay for plant tissue culture. Can. J. Bot. 53: 1097-1102.
 김홍진, 이순구, 박규진, 이종화. 1986. 인삼연작장해의 생물학적 방제연구. 인삼연구보고서 pp. 1-101. 한국인삼연초연구소.
 오승환, 박창석, 정영륜, 이장호. 1908. 연작지 토양환경연구. 인삼연구보고서 pp. 5-22. 한국인삼연초연구소.

(접수일 2008. 5. 26 ; 수락일 2008. 7. 30)