

## 애기장대의 종자 발아에 미치는 맥반석과 녹차의 중금속 제거 효과

박종범

신라대학교 자연과학부 생명과학전공  
(2003년 8월 9일 접수; 2003년 11월 8일 채택)

### Removal Effect of Biostone and Green Tea on the Heavy Metal Toxicity during Seed Germination of *Arabidopsis thaliana*

Jong-Bum Park

Dept. of Biological Science, Silla University, Busan 617-736, Korea  
(Manuscript received 9 August, 2003; accepted 8 November, 2003)

This experiment was carried out to investigate the effects of heavy metals (cadmium, chromium, copper and lead) on the seed germination of *Arabidopsis thaliana*, and examined the removal effects of biostone and green tea on the heavy metal toxicity. Cadmium and chromium among the four heavy metals had no effect on the seed germination even in the concentration fifty times higher than in the official standard concentration of pollutant exhaust notified by the Ministry of Environment. However, seeds were not germinated in the concentration of copper ten times higher and in the concentration of lead fifty times higher than the official standard concentration. When seeds were sown in the solutions of lead (15, 20, 25 and 30 mg/L) and copper (15 and 20 mg/L), the seed germination rates were 0% and less than 10%, respectively. However, when biostone (3 g/30 ml) was added, the seed germination rate was 100% in all the concentrations. The germination rate was 100% in distilled water and copper solution (5 mg/L). However, green tea (0.2 g/30 ml) was added, the seed germination rate was 0% in both. The results show that cadmium and chromium had no effect on the seed germination, but lead and copper decreased the rate of seed germination of *Arabidopsis thaliana*. Biostone removed heavy metal toxicity, but green tea did not removed heavy metal toxicity during germination.

Key words : Heavy metals, Biostone, Green tea, Seed germination, *Arabidopsis thaliana*

#### 1. 서론

환경오염의 원인에는 여러 가지가 있으나 중금속에 의한 오염은 특히 우려할 만하다. 중금속은 금속 중에서도 비중이 5.0이상 되는 것으로 지각에 미량 함유되어있는 원소들을 말하며, 중금속 중에서도 지각에 그 함량이 극히 적으면서도 우리의 일상생활에 널리 사용되고 있는 수은, 구리, 아연, 카드뮴, 크롬 등은 독성도 강하고 자주 접할 수 있는 금속이기 때문에 주요 환경 오염물질로 간주되고 있다.<sup>1)</sup> 중금속은 미량이라도 우리 체내에 축적되면 생체 내 물질과 결합하여 잘 분해되지 않는 유기복합체를 형

성하여 잘 배설되지 않고 간장, 신장 등의 장기나 뼈에 축적되어 장기간에 걸쳐 부작용을 나타내며, 환경에 배출된 중금속은 분해나 자정작용을 받지 않고 생물권을 순환하면서 먹이연쇄를 따라 사람에게까지 빠른 속도로 이동할 수 있다.<sup>2)</sup> 토양에 축적된 중금속들이 식물의 생장에 미치는 영향은 다양한 것으로 보고되었다.<sup>3,4)</sup> 수은, 카드뮴, 납과 같은 유해중금속은 생체 내에 축적되는 성질이 강하기 때문에 오염된 토양 및 하천지역에서 자라나는 식물에서는 토양 및 하천에 함유되어 있는 중금속 양보다 500배정도 더 많은 양이 검출되고 있다. 특히 카드뮴은 식물의 광합성 기능과 기공의 개폐 기작에 심각한 손상을 주는 것으로 보고되었다. 따라서 이러한 중금속 오염을 감소시키거나 오염된 환경으로부터 중금속을 제거시키고자하는 연구들이 최근

Corresponding Author : Jong-Bum Park, Dept. of Biological Science, Silla University, Busan 617-736, Korea  
Phone : +82-51-309-5472  
E-mail : jbpark@silla.ac.kr

활발하게 진행되고 있다.<sup>3~5)</sup>

최근까지 밝혀진 바로는 녹차와 맥반석이 수용액 중에서 중금속 제거 능력이 탁월한 것으로 연구, 보고되고 있다. 녹차에 함유된 폴리페놀계 화합물인 탄닌 성분이 체내에 들어가 유해한 중금속 등을 해독하고 배설하게 함으로써 중금속이 들어 있는 수돗물일지라도 녹차 잎을 넣어 마시면 안심할 수 있다.<sup>6~8)</sup> 화성암류 중 석영반암에 속하는 암석인 맥반석은 무수규산과 산화알루미늄이 주성분이며, 1 cm<sup>3</sup> 당 3만~15만개의 다층다공질로 구성되어 있어 강력한 흡착작용, 이온교환작용 등을 한다. 맥반석의 중금속 흡착기능을 실험한 결과, 0.1 ppm의 수은 용액에 10%의 맥반석을 투여하면 4시간 후에 85%를 흡착하는 것으로 보고되었으며, 납과 구리, 카드뮴 및 비소와 같은 중금속을 맥반석과 섞어 실온에서 24시간 두었을 때 중금속의 제거율이 95~99%가 되어 맥반석이 뛰어난 중금속제거 기능을 갖고 있는 것으로 보고되었다.<sup>9~11)</sup>

따라서 본 연구는 구리, 카드뮴, 크롬, 납과 같은 중금속 물질이 모델식물로 사용되는 애기장대의 종자 발아에 미치는 영향을 조사한 다음, 녹차나 맥반석이 발아과정에서 이러한 중금속물질의 제거에 어떠한 효과가 있는지를 조사하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 실험재료

애기장대(*Arabidopsis thaliana*)의 생태형인 Col-O의 종자를 미국 Ohio State University의 Arabidopsis Biological Resource Center (ABRC)에서 분양받아 본 실험재료로 사용하였다

구리, 납, 카드뮴, 크롬의 4가지 중금속을 환경부에서 고시한 오염물질 배출기준치를 기준농도로 한 것과 이보다 10배, 50배 높은 농도를 실험구로 하였다(Table 1).

### 2.2. 실험방법

애기장대의 종자를 2% sodium hypochloride (NaOCl)용액으로 약 5분간 표면살균하고 멸균수로 5번 세척하였다. 세척된 종자는 각각 다른 농도의 중금속용액 8 ml로 적셔진 여과지(5장)가 들어 있는 각각의 petri dish에 50개 종자를 파종한 후 parafilm으로 밀봉하여 incubater에서 배양하였다.

맥반석의 중금속 제거효과를 조사하기 위하여 4가지 농도의 납(15, 20, 25 및 30 mg/L)과 구리(5, 10, 15 및 20 mg/L) 용액 30 ml이 들어 있는 각각의 플라스크에 맥반석 가루 3 g을 넣어 실온에서 24시간 현탁한 후, 상등액을 여과지(5장)가 들어 있는 petri dish에 8 ml씩 분주하였다. 각 petri dish에

애기장대 종자를 파종한 후 parafilm으로 밀봉하여 incubater에서 배양하였다.

녹차 잎의 중금속 제거효과를 조사하기 위하여 증류수와 4가지 농도의 납(15, 20, 25 및 30 mg/L)과 구리(5, 10, 15 및 20 mg/L) 용액 30 ml을 비이커에 각각 넣어 80℃로 가열한 후 녹차 잎 0.5 g을 넣고 5분간 우려내었다. 상등액을 여과지(5장)가 들어 있는 petri dish에 8 ml씩 분주한 후 각 petri dish에 애기장대 종자를 파종하여 배양하였다.

녹차 잎의 농도에 따른 중금속 제거효과를 조사하기 위하여 증류수와 납(15 mg/L), 구리(5 mg/L) 용액 30 ml을 비이커에 각각 넣어 80℃로 가열한 후 5가지 농도의 녹차 잎(0.05, 0.1, 0.2, 0.3 및 0.4 g)을 각각 넣고 5분간 우려내었다. 상등액을 여과지(5장)가 들어 있는 petri dish에 8 ml씩 분주한 후 각 petri dish에 애기장대 종자를 파종하여 배양하였다. 실험데이터는 동일한 실험을 3번 반복하여 평균치를 구한 것이다.

Table 1. Concentrations of four kinds of heavy metals

Heavy Metal	Concentration (mg/L)		
Cd	0.1	1	5
Cu	3	30	150
Cr	0.5	5	25
Pb	1	10	50

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 중금속용액에서의 종자 발아율

4가지 종류의 중금속을 각 농도별로 처리하여 애기장대 종자의 발아율을 조사한 결과, 각 중금속별로 차이를 나타내었다. 4가지 중금속 중 크롬과 카드뮴은 3가지 농도 모두에서 증류수(대조구)와 마찬가지로 거의 100%의 발아율을 나타내었다. 납에서는 오염물질 배출기준농도인 1 mg/L와 10배 높은 농도인 10 mg/L에서는 거의 100%의 발아율을 나타내었으나 50 mg/L에서는 전혀 발아되지 않았다. 구리의 경우에는 오염물질 배출기준농도인 3 mg/L에서는 100% 발아되었으나, 30 mg/L, 150 mg/L에서는 발아가 전혀 일어나지 않았다(Fig. 1). 이러한 결과는 크롬, 카드뮴, 납, 구리 등의 4가지 중금속이 환경부에서 고시한 오염물질 배출기준농도에서는 애기장대의 종자발아에 별다른 영향을 미치지 않았고, 특히 크롬과 카드뮴은 오염물질 배출기준농도보다 10배 및 50배나 높은 농도에서 애기장대의 종자 발아에 아무런 영향을 미치지 않았음을 나타내고

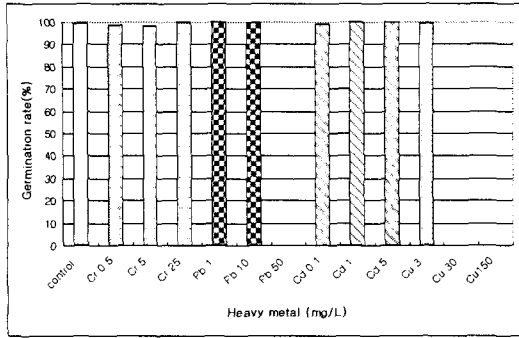


Fig. 1. Effects of heavy metals on seed germination of *Arabidopsis thaliana* incubated for 5 days after sowing.

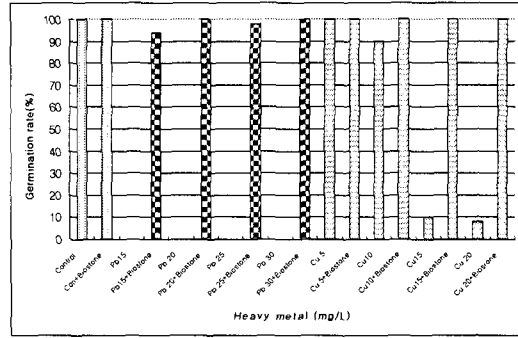


Fig. 2. Effects of heavy metals added biostone on seed germination of *Arabidopsis thaliana* incubated for 5 days after sowing.

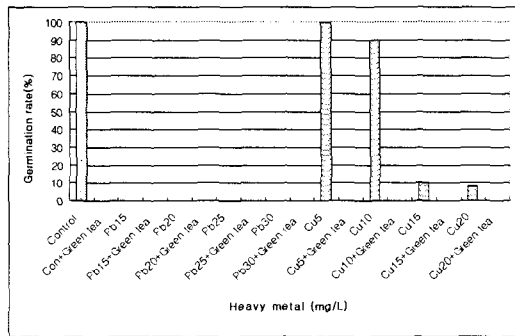


Fig. 3. Effects of heavy metals added green tea on seed germination of *Arabidopsis thaliana* incubated for 5 days after sowing.

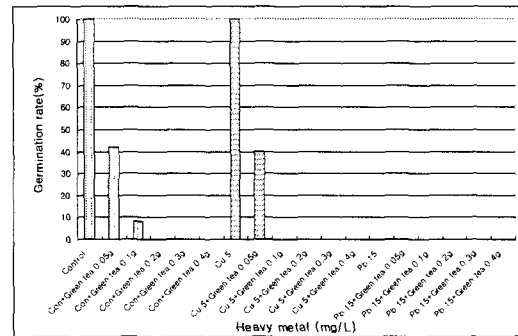


Fig. 4. Effects of heavy metals added various concentrations of green tea on seed germination of *Arabidopsis thaliana* incubated for 5 days after sowing.

있다. 그러나 납은 오염물질 배출기준농도의 50배 높은 농도에서 종자발아에 치명적인 영향을, 구리는 오염물질 배출기준농도의 10배 이상 높은 농도에서 종자 발아에 치명적인 영향을 주었다. 따라서 크롬, 카드뮴, 납, 구리 등의 4가지 중금속 중에서 식물의 종자 발아에 크게 영향을 미치는 것은 구리와 납임을 알 수 있었다. 이러한 결과는 애기장대 식물에서 중금속의 해독작용에 관여하는 중금속 결합 단백질인 phytochelatin이 크롬과 카드뮴에 의해 효과적으로 생합성되고 유리 중금속의 농도를 낮추어 해독 작용을 하였기 때문인 것으로 사료되며,<sup>12)</sup> 이러한 사실은 특히 카드뮴이 이들 중금속 결합 단백질의 합성을 가장 효과적으로 유도한다는 보고와 일치하는 것이다.<sup>13~15)</sup> 반면 구리와 납에 의해 이들 중금속과 결합하는 phytochelatin이 효과적으로 생합성된다는 연구결과는 아직까지 보고되지 않고 있으며, 따라서 구리와 납은 중금속 결합 단백질의 생합성이 이루어지지 않았기 때문인 것으로 추측된다.<sup>16,17)</sup>

### 3.2. 맥반석이 중금속 제거에 미치는 영향

4가지 중금속이 종자 발아에 미치는 영향을 조사한 결과(Fig. 1), 크롬과 카드뮴은 모든 농도에서 발아가 일어났고, 구리와 납은 일부 농도에서 발아가 일어나지 않았음을 알 수 있었다. 따라서 발아가 일어나지 않은 구리와 납 용액을 대상으로 하여 맥반석을 첨가하였을 때의 발아율을 측정하여 이들이 중금속 제거에 미치는 영향을 조사하였다(Fig. 2).

납의 경우 15 mg/L 이상의 농도에서는 종자 발아가 전혀 일어나지 않았으나 납 용액에 맥반석 가루를 첨가한 모든 납 용액에서는 거의 100%에 가까운 종자 발아를 나타내었다(Fig. 2, 5C, 5F). 또한 구리에서도 15 mg/L 이상의 농도에서는 종자 발아가 10% 미만으로 나타났으나, 맥반석 가루를 첨가하면 15 mg/L 이상의 농도에서도 거의 100%의 발아율을 나타내었다(Fig. 2, 6F). 이러한 결과는 애기장대의 종자 발아가 일어나지 않는 농도의 납과 구리용액에 맥반석가루를 첨가함으로써 중금속 성분

이 제거되어 정상적인 종자 발아가 일어났음을 나타내고 있으며, 이는 맥반석이 중금속성분의 독성을 완화시킨 결과로 추측된다. 따라서 맥반석이 중금속 제거에 탁월한 효과가 있다고 보고한 다른 연구결과<sup>9-11)</sup>와 마찬가지로 본 실험에서도 이와 유사한 결과를 얻을 수 있었다.

3.3. 녹차가 중금속 제거에 미치는 영향

4가지 중금속중 발아가 일어나지 않은 구리와 납 농도에 녹차 잎을 첨가한 후 발아율을 조사함으로써 녹차가 중금속 제거에 미치는 영향을 조사하였다(Fig. 3).

증류수(대조구)와 5 mg/L 구리용액에서는 종자가 100% 발아되었는데, 이 용액에 녹차 잎을 넣고 우려낸 상등액에서는 발아가 전혀 일어나지 않았다. 또 10, 15 및 20 mg/L 구리용액에서는 각각 약 90%, 10%, 8%의 발아율이 나타났으나 이들 용액에 녹차 잎을 넣고 우려낸 상등액에서는 발아가 전혀 일어나지 않았다(Fig. 3, 6B, 6E). 이러한 결과는 약 1.7%(0.5 g/30 ml)의 녹차 잎이 납과 구리 등과 같은 중금속의 독성을 완화할 능력이 없을 뿐 아니라 오히려 애기장대의 종자 발아를 억제한 것으로 생각된다.

0.5 g/30 ml의 녹차 잎이 종자 발아를 억제한다는 실험결과(Fig. 3)에 따라 15 mg/L 납과 5 mg/L구리

용액 30ml에 5가지 농도(0.05, 0.1, 0.2, 0.3 및 0.4 g)로 세분한 녹차 잎을 첨가하여 우려낸 상등액으로 동일한 실험을 행하여 종자 발아율을 측정된 결과는 다음과 같다(Fig. 4). 애기장대 종자는 증류수에서는 100% 발아가 일어났으나 증류수에 녹차 잎 0.05 g을 첨가하였을 때는 발아율이 약 60% 감소되었다. 더욱이 녹차 잎 양을 증가하여 0.1 g을 첨가하였을 때는 발아율이 약 92% 감소되었으며, 0.2 g 이상을 첨가하였을 때는 전혀 발아되지 않았다. 구리의 경우, 5 mg/L의 농도에서는 100% 종자 발아가 일어났으나 녹차 잎을 0.05 g 첨가하였을 때는 발아율이 약 60% 감소되었으며, 0.1 g 이상을 첨가하였을 때는 종자 발아가 전혀 일어나지 않았다. 납의 경우에는 15 mg/L의 농도에서 종자 발아가 일어나지 않았는데, 녹차 잎 0.05 g을 첨가하여도 전혀 발아되지 않았으며, 녹차 잎 양을 증가하여 첨가하였을 때에도 역시 발아되지 않았다(Fig. 4, 5B, 5E, 6B, 6E). 이와 같은 사실은 녹차가 수용액중의 중금속을 제거하여 준다고 보고한 연구결과<sup>6-8)</sup>와는 다른 결과인데, 녹차의 일부 성분이 발아 중인 종자에 오히려 나쁜 영향을 주어 발아 억제를 유도한 것으로 추측된다. 따라서 앞으로 이와 관련된 연구가 더 진행되어야 할 것으로 생각된다.

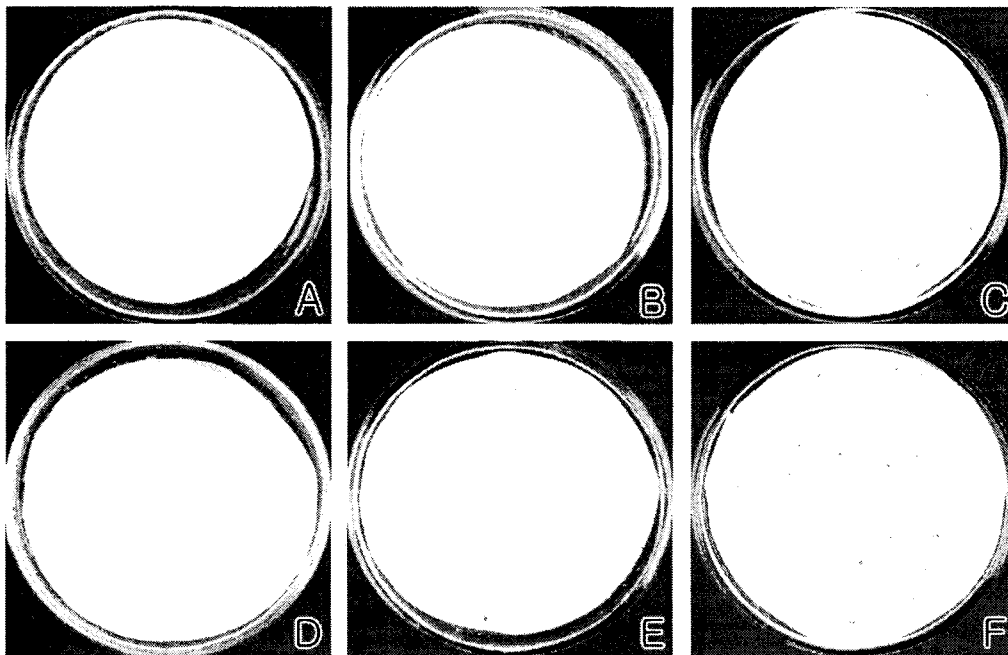


Fig. 5. Removal effects of green tea and biostone on the lead toxicity during seed germination of *Arabidopsis thaliana* incubated for 5 days after sowing. A, Pb 15mg/L; B, Pb 15 mg/L+green tea; C, Pb 15 mg/L+biostone; D, Pb 30 mg/L; E, Pb30 mg/L+green tea; F, Pb 30 mg/L+biostone.

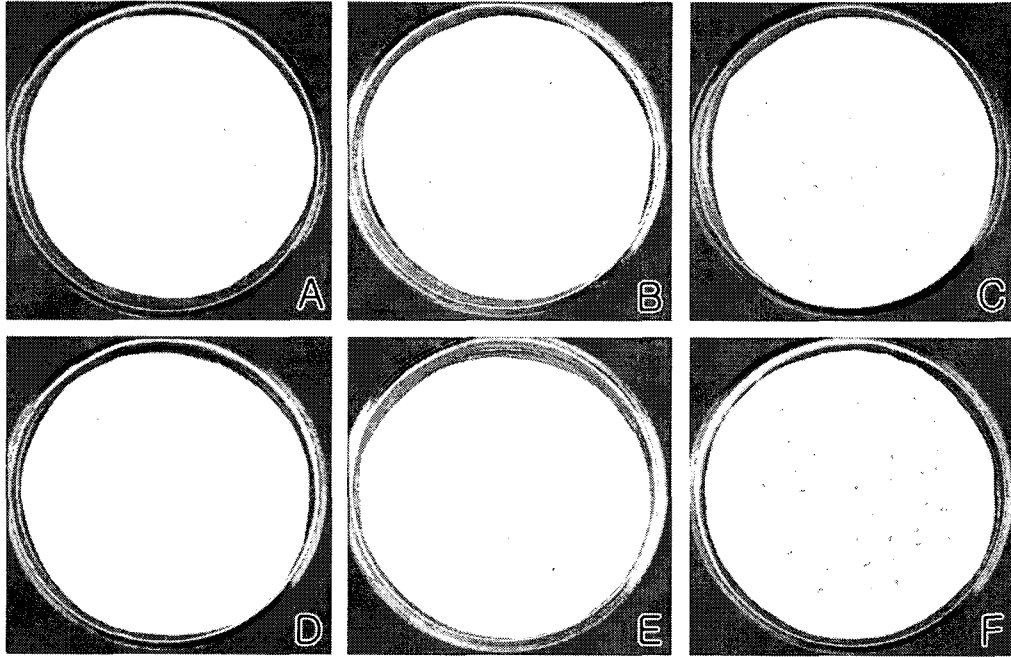


Fig. 6. Removal effects of green tea and biostone on the copper toxicity during seed germination of *Arabidopsis thaliana* incubated for 5 days after sowing. A, Cu 5 mg/L; B, Cu 5 mg/L+green tea; C, Cu 5 mg/L+biostone; D, Cu 20 mg/L; E, Cu 20 mg/L+green tea; F, Cu 20 mg/L+biostone

#### 4. 결 론

구리, 납, 카드뮴 및 크롬의 4가지 중금속이 십자화과 초본식물인 애기장대(*Arabidopsis thaliana*)의 종자발아에 미치는 영향을 조사한 후, 이들 중금속에 녹차와 맥반석을 첨가하여 녹차와 맥반석의 중금속 제거 능력을 조사하였다. 4가지 중금속 중 카드뮴과 크롬은 환경부고시 오염물질 배출기준농도의 50배 이상 농도에서도 애기장대의 종자발아에 아무런 영향을 미치지 않았다. 그러나 구리는 오염물질 배출기준농도의 10배 이상, 납은 50배 이상에서 종자 발아에 치명적인 영향을 주어 발아가 전혀 일어나지 않았다. 종자 발아가 전혀 되지 않은 농도의 납(15, 20, 25 및 30 mg/L)과 발아율 10% 미만인 구리(15 및 20 mg/L)용액에 맥반석가루(3 g/30 ml)를 첨가하여 실온에서 24시간 처리한 용액에서는 100%의 종자 발아율을 나타내었다. 한편 100% 종자발아가 된 증류수와 구리 5mg/L농도에 녹차(0.2 g/30 ml)를 첨가하였을 때에는 발아가 전혀 일어나지 않았다. 이러한 연구결과들로부터 카드뮴과 크롬은 애기장대의 종자발아에 아무런 영향을 미치지 않았으며, 맥반석은 중금속의 독성을 완화하는 효과를 나타낸 반면, 녹차는 중금속 독성 완화 능력이 없으며 오히려 종자 발아를 억제하는 것으로 생

각된다.

#### 참 고 문 헌

- 1) Thornalley, P. J. and M. Vasak, 1985, Possible role for metallothionein in protection against radiation-induced oxidative stress : Kinetics and mechanism of its reaction with superoxide and hydroxyl radicals, *Biochem. Biophys. Acta.*, 827, 36-44.
- 2) Nriagu, J. O. and J. M. Pacyna, 1988, Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals, *Nature*, 333, 134-139.
- 3) Howden, R. and C. S. Cobbett, 1992, Cadmium-sensitive mutants of *Arabidopsis thaliana*, *Plant Physiol.*, 99, 100-107.
- 4) Salt, D. E., R. C. Prince, I. J. Pickering and I. Raskin, 1995, Mechanisms of cadmium mobility and accumulation in *Indian mustard*. *Plant Physiol.*, 109, 1427-1433.
- 5) Cunningham, S. D. and D. W. Ow, 1996, Promises and prospects of phytoremediation, *Plant Physiol.*, 110, 715-719.

- 6) 홍순영, 1992, 수용액중의 중금속에 대한 녹차의 흡착성질, 한양대 환경과학논문집, 13, 19-24.
- 7) 최성인, 1994, 녹차의 중금속 제거효과에 관한 in vitro 및 in vivo 연구, 이화여자대학교 대학원 석사학위논문, 1-40pp.
- 8) 김창수, 1996, 녹차의 탄닌 성분이 중금속 제거에 미치는 영향, 경희대 산업정보대학원 석사학위논문, 1-59pp.
- 9) 김은실, 1989, 맥반석에 의한 중금속제거에 관한 연구, 성균관대학교 교육대학원 석사학위논문, 1-16pp.
- 10) 황진봉, 1996, 한국산 맥반석의 미네랄 용출 및 중금속제거 효과, 분석과학, 9, 310-319.
- 11) 임동수, 1997, 맥반석과 황산반토를 이용한 중금속 제거에 관한 연구, 조선대학교 산업대학원 석사학위논문, 1-33pp.
- 12) Vliet, C., C. R. Andersen and C. S. Cobbett, 1995, Copper-sensitive mutant of *Arabidopsis thaliana*, Plant Physiol., 109, 871-878.
- 13) Grill, E., E. L. Winnacker and M H. Zenk, 1985, Phytochelatins : the principal heavy-metal complexing peptides of higher plants, Science, 230, 674-676.
- 14) Grill, E., E. L. Winnacker and M H. Zenk, 1987, Phytochelatins, a class of heavy-metal-binding peptides from plants, are functionally analogous to metallothioneins, Proc. Natl. Acad. Sci., 84, 439-443.
- 15) Steffens, J. C., 1990, The heavy-metal binding peptides of plants, Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol., 41, 553-575.
- 16) Rauser, W. E., 1995, Phytochelatins and related peptides, Plant Physiol., 109, 1141-1149.
- 17) 박영일, 김희근, 김유영, 김인수, 1996, 미나리의 중금속 흡수량 및 중금속 결합단백질의 동정, 대산논총, 4, 81-89.