

수중 야초류의 카드뮴 내성에 대한 연구

장주연 · 장윤영* · 배범한** · 이인숙†

이화여자대학교 생물학과, 광운대학교 환경공학과*, 경원대학교 토목환경공학과**

적 요: 카드뮴 내성 식물을 선별하기 위하여 5종류의 야초류의 카드뮴 내성검정을 실시하였다. 카드뮴 용액에 14일간 노출된 야초류의 발아율, 유식물의 뿌리와 지상부의 생장율, 생체량을 측정하였다. 어저귀와 털비름의 발아율은 모든 농도에서 90%이상으로 나타났으나 자귀풀과 물피, 식용피는 15 mgCdSO₄/L에 노출되었을 때 부터 감소하기 시작했다. 뿌리와 지상부의 길이 생장은 농도가 증가할수록 모두 감소하였으며, 생체량의 경우 물피, 식용피, 털비름은 대조구와 큰 차이를 보이지 않았으나, 어저귀와 자귀풀은 60 mgCdSO₄/L에 노출되었을 부터 크게 감소하였다. 또한 어저귀, 자귀풀, 털비름의 EC₅₀(Effective Concentration 50%)은 뿌리성장에서는 54 mg CdSO₄/L, 77.5 mgCdSO₄/L, 44.5 mgCdSO₄/L이고, 지상부 성장에서는 114 mgCdSO₄/L, 73.5 mgCdSO₄/L, 38.6 mg CdSO₄/L였으며, 생체량에서는 107.5 mgCdSO₄/L, 67.5 mgCdSO₄/L, 60 mgCdSO₄/L였다. 야초류 간의 카드뮴에 대한 sensitivity는 뿌리 > 생체량 > 지상부 순으로 나타났다. 이러한 결과는 어저귀가 카드뮴에 대한 내성을 가지고 있음을 나타낸다.

검색어: 식물독성, 야초류, 카드뮴내성

서 론

폐광주변 및 공업단지 주변의 토양에는 다량의 중금속이 함유되어 있다. 중금속으로 오염된 토양에서 자란 식물은 과잉의 중금속을 먹이사슬과 생물학적 순환으로 전달하는 중요한 연결체이며(Wierzbicka and Antosiewicz 1993), 이런 식물들을 섭취할 때 인체에도 축적되게 된다. 카드뮴은 작물에게는 식물독성과 높은 성장감소를 일으킨다 (Avery and Sarkar 1991). 또한 사람이 카드뮴에 노출되면 설사, 구토증상을 보이며, 심한 경우에는 폐, 신장기관에 치명적인 손상을 일으키는 것으로 알려져 있다 (Goyer 1997, Hartwig 1998). 미국 EPA는 카드뮴을 음료수에 대해서는 0.01 mg/L, 먼지에 대해서는 200 µg/m³, 공장 연기에 대해서는 100 µg/m³을 기준으로 정하고 있으며, 국내 조사에 의하면 1995년 시흥광산의 카드뮴 농도가 34~249 mg/L로 환경부 토양오염대책기준 나지역의 30 mg/L보다 높은 오염도를 나타내고 있다 (황과 전 1995). 이에 대해 각 지방환경관리청이 토양측정망 12가지 조사항목 중에 카드뮴을 포함시켜 토지용도별로 조사하고 있으며, 지하수 수질기준의 10개 특정유해물질 항목에도 카드뮴이 지정되어 중금속의 오염도를 조사하고 있다 (환경부 2000). 이처럼 카드뮴은 인간을 비롯한 모든 생물에게 매우 유독한 물질이므로 토양이나 지하수의 오염을 정화시킬 수 있는 복원방법이 절실하다.

토양오염복원 방법 중에서 Phytoremediation은 토양으로부터 유해한 오염물질을 제거, 안정화, 무독화 시키는데 식물을 이용

하는 새로운 기술이다. Phytoremediation은 경제적이며, 중금속 오염토양복원의 경우 식물체 수확과 수확된 식물체의 처리비만이 운전비에 추가된다 (백 등 1999).

중금속에 대한 식물의 내성은 진화적(Baker and Walker 1990), 유전적(Macnair 1981), 내성기작(Turner 1969) 등의 측면으로 연구가 진행되었으며, 최근에는 환경정화능력이 향상된 형질전환 식물을 이용해서 Phytoremediation의 실현가능성, 최적 식물종 등을 평가, 선정하고, 실제로 토양을 정화시키는 연구가 활발히 이루어지고 있다. 우리나라에서는 현장조사를 통해서 중금속 축적종을 조사하는 연구 결과들이 광산지역을 중심으로 보고되었다 (정 등 1993).

발아되지 않은 종자는 불리한 환경에서도 잘 견딜 수 있지만 발아기간 중에는 외부의 환경 스트레스에 매우 민감하여 발아 현상은 중금속에 대한 내성을 조사하는데 사용된다 (Wang 1991). 또한 유식물의 시기에도 발아시와 마찬가지로 외부의 환경에 매우 민감하기 때문에 유식물의 뿌리와 지상부의 생장을 내성의 지표로 사용할 수 있다 (Turner et al. 1991). 발아와 유식물의 성장조사는 비교적 간편하고 경제적이며 항상 이용가능한 방법으로 널리 사용되고 있으나 아직도 단일한 표준방법이 정립되지 못한 실정이다 (Mohan and Hosetti 1999).

본 연구는 카드뮴으로 오염된 토양을 식물을 이용하여 정화하기 위한 기초단계로 국내에서 자생하는 야초류 5종을 대상으로 카드뮴 농도에 대한 발아율, 뿌리와 지상부의 생장율 및 생체량을 조사하여 카드뮴 내성종을 선별함으로써 이를 토대로 한 경제적이면서 환경친화적인 토양오염복원기술의 기초를 마

「본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(2000-2-30900-002-3)의 지원으로 수행되었음」

† Author for correspondence; Phone: 82-2-3277-2375, e-mail: islee@mm.ewha.ac.kr

련하고자 하였다.

재료 및 방법

식물종자수집

카드뮴이 식물의 발아에 미치는 영향과 유식물의 생장에 미치는 독성효과를 알아보기 위하여 2000년 6월 농업진흥청으로부터 5종의 국내산 야초류 종자를 분양받아 사용하였다. 분양종자는 어저귀(*Abutilon avicennae*), 자귀풀(*Aeschynomene indica*), 물피(*Echinochloa crus-galli* var. *oryzicola*), 식용피(*Echinochloa crus-galli* var. *frumentacea*), 털비름(*Amaranthus retroflexus*)이다.

내성 실험

카드뮴 용액은 CdSO₄을 1 strength Hoagland's 용액에 0, 15, 30, 60, 120, 240 mg/L의 농도로 첨가하여 조제하였다. 종자는 표면 소독을 위하여 70% 에탄올, 30% 차아염소산나트륨, 3차 증류수를 이용하여 세척하였다. 페트리접시(87 × 15 mm)에 여과지를 깔고, CdSO₄ 5 mL을 첨가한 후 소독한 종자를 페트리접시당 10개씩 놓고 25°C, 습도 60%가 유지되는 성장실에서 14일간 명과 암조건을 16시간과 8시간씩 하여 발아상태를 관찰하였다 (Table 1). 14일 후 농도별 종자 발아율과 최장뿌리와 지상부의 길이 및 생중량을 측정하였고, 모든 실험은 3반복으로 수행하였다 (David *et al.* 1995).

또한 EC₅₀ test는 14일동안 종자의 뿌리, 지상부, 생중량을 측정하고, 대조구와 비교하여 50% 성장저해 농도를 계산하였다.

결과 및 고찰

내성실험

카드뮴이 식물의 발아에 미치는 영향을 살펴 본 결과는 Table 2와 같다.

발아율은 카드뮴이 첨가되지 않은 대조구와 비교해서 어저귀와 털비름은 90%이상의 높은 발아율을 나타냈으며, 240 mg-CdSO₄/L의 농도에서도 비슷한 발아율을 보였다. 이에 반해 자귀풀과 물피는 카드뮴이 첨가되지 않은 대조구에서도 50% 미만의 낮은 발아율을 나타내었다. 광산지역에 서식하고 있는 미

Table 1. Summary of typical seed germination and seedling elongation test

Test species	<i>Abutilon avicennae</i> , <i>Aeschynomene indica</i> , <i>Echinochloa crus-galli</i> var. <i>oryzicola</i> , <i>Echinochloa crus-galli</i> var. <i>frumentacea</i> , <i>Amaranthus retroflexus</i>
Pretreatment	30% hypochloride solution, 70% Ethanol, 3rd-water
Contamination material	Cadmium sulfate hydrate(3CdSO ₄ ·8H ₂ O)
Test type	Static or renewal
Temperature	25°C
Light quality	16hr Light and 8hr Dark
Test vessel	87 × 15mm culture dish plus Whatman #2 filter paper
Test solution	5mL CdSO ₄ /vessel
Specimens	10seeds/vessel
Replicates	3
Control	Hoagland's solution
Test duration	14days
End point	Seed germination Seedling elongation Seedling biomass

국개기장, 달맞이꽃, 명아주, 쑥의 30 mgCdSO₄/L 발아율이 5.0~61.7% (조와 김 1995)인 것보다 어저귀, 식용피, 털비름의 30 mgCdSO₄/L 발아율이 60~93.3%로 높게 나타났다.

유식물의 신장과 생체량에 미치는 영향을 조사한 결과는 Fig. 1과 같다. 신장정도는 카드뮴 농도가 증가함에 따라 감소하였다. 또한 물피, 식용피, 털비름은 120 mgCdSO₄/L에서 지상부의 necrosis(흑반증)도 관찰되었다. 240 mgCdSO₄/L에서 어저귀의 뿌리는 대조구의 7.9% 수준의 신장이었으며, 자귀풀과 물피, 식용피는 각각 13.5%, 13.5%, 21.6% 수준으로 신장하였으며, 털비름의 뿌리는 거의 자라지 않았다. 또한 어저귀의 지상부 신장은 대조구의 24.2% 수준의 신장이었으며, 자귀풀, 물피, 식용피, 털비름은 각각 20%, 52.1%, 43.6%, 10.4% 수준의 신장이었다.

완두의 발아율은 비교적 높은 농도에서만 영향을 받지만 초

Table 2. Effect of cadmium on the seed germination. Data represent mean ± a standard deviation of the number of seeds germinated in a petri-dish. Each petri-dish contained 10 seeds

Species	CdSO ₄ concentration(mg/L)					
	Control	15	30	60	120	240
<i>Abutilon avicennae</i>	9.00±1.00	9.00±1.00	9.00±0.00	9.33±0.58	9.33±0.58	9.00±1.00
<i>Aeschynomene indica</i>	4.00±1.00	3.00±1.00	3.00±1.00	3.33±2.08	3.00±1.00	3.00±1.00
<i>Echinochloa crus-galli</i> var. <i>oryzicola</i>	6.00±2.00	4.00±1.73	4.00±1.73	5.00±1.00	4.00±1.00	4.00±1.00
<i>Echinochloa crus-galli</i> var. <i>frumentacea</i>	7.00±1.00	7.00±2.00	6.00±1.73	6.00±1.73	5.00±1.00	5.00±1.73
<i>Amaranthus retroflexus</i>	9.33±0.58	9.33±0.58	9.33±0.58	9.33±0.58	9.00±1.00	9.00±0.00

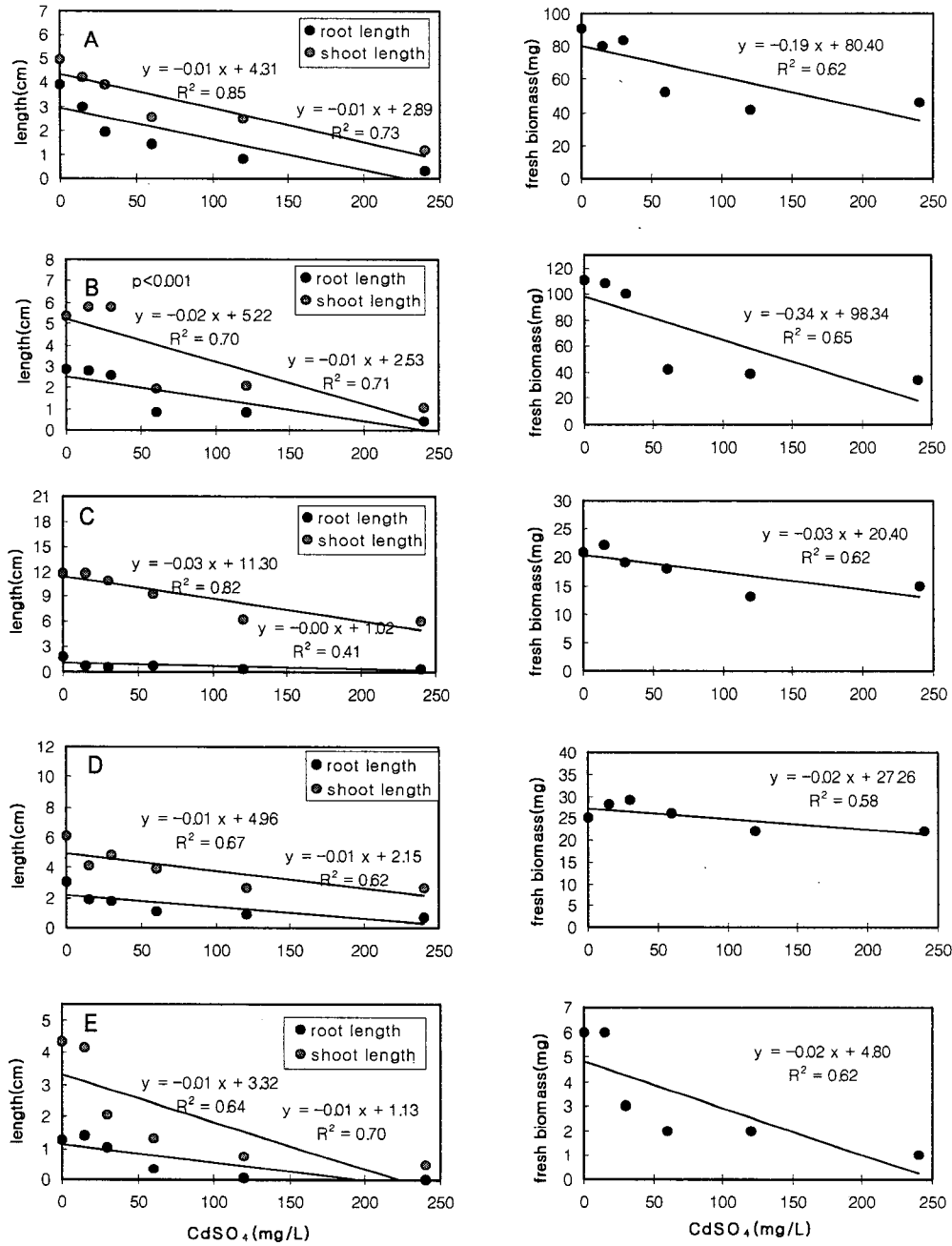


Fig 1. Linear regression between seedling length(left), fresh biomass(right) and CdSO₄ concentration in the native herbs. A: *Abutilon avicennae*, B: *Aeschynomene indica*, C: *Echinochloa crus-galli* var. *oryzicola*, D: *Echinochloa crus-galli* var. *frumentacea*, E: *Amaranthus retroflexus*.

기의 유식물 성장은 카드뮴의 낮은 농도에서도 비교적 민감하다(Chugh and Sawhney 1995)는 결과와 일치하는 경향을 보였다.

유식물 생체량도 카드뮴 농도의 증가에 따라 대체적으로 감소하는 경향을 보였다. 240 mgCdSO₄/L에서 어저귀는 49.5%, 자귀풀은 69.4%, 물피는 28.6%, 식용피는 12%, 털비름은 83.3%의 독성효과를 나타냈다.

식물독성을 조사한 뿌리와 지상부 및 생체량에 대한 EC₅₀은 Table 3과 같다. 일반적으로 식물이 환경 stress에 노출될 때, EC₅₀ 값은 노출시간이 증가할수록 급격히 감소하는 것으로 보고되고 있다 (Ernst and Nelissen 2000).

뿌리의 EC₅₀을 보면 어저귀, 자귀풀, 식용피, 털비름이 각각 54 mgCdSO₄/L, 77.5 mgCdSO₄/L, 57.2 mgCdSO₄/L, 44.6 mgCdSO₄

Table 3. Cadmium tolerance, expressed as the external EC₅₀ median effective concentration for seedling growth 14 days test

Speices	EC ₅₀ (mg/L)		
	Root Length	Shoot Length	Fresh biomass
<i>Abutilon avicennae</i>	54	114	107.5
<i>Aeschynomene indica</i>	77.5	73.5	67.5
<i>Echinochloa crus-galli</i> var. <i>oryzicola</i>	ND*	143.6	ND*
<i>Echinochloa crus-galli</i> var. <i>frumentacea</i>	57.2	129.8	ND*
<i>Amaranthus retroflexus</i>	44.6	38.6	60

ND*: not determined

l였으며, 지상부의 EC₅₀은 어저귀, 자귀풀, 물피, 식용피, 털비름이 각각 114 mgCdSO₄/L, 73.5 mgCdSO₄/L, 143.64 mgCdSO₄/L, 129.8 mgCdSO₄/L, 38.6 mgCdSO₄/L였다. 생체량의 EC₅₀은 어저귀와 자귀풀, 털비름이 107.5 mgCdSO₄/L, 67.5 mgCdSO₄/L, 60 mgCdSO₄/L로 나타났다. 뿌리와 지상부 길이 및 생체량의 EC₅₀에서는 털비름이 가장 낮은 농도를 나타냈으며, 어저귀는 생체량에서 가장 높은 EC₅₀을 나타냄으로써 독성효과가 가장 적은 것으로 나타났다.

또한 부위별로 보면 어저귀와 식용피는 뿌리가 지상부보다 카드뮴에 더 민감하였으며, 자귀풀과 털비름은 뿌리와 지상부가 비슷한 영향을 나타냈다. 따라서 카드뮴에 대한 독성효과는 뿌리 > 지상부 > 생체량 순으로 나타났다.

이상의 결과를 요약하면 첫째, 카드뮴 농도가 증가할수록 발아와 유식물의 신장이 비례적으로 감소하였으며 생체량도 비슷한 경향을 나타냈다. 둘째, EC₅₀에서 볼 수 있듯이 유식물에 대한 카드뮴 독성효과는 뿌리 > 지상부 > 생체량 순으로 나타났다. 셋째, 뿌리와 지상부의 신장측정은 오차가 클 수 있으므로 생체량과 독성효과를 고려해 볼 때 어저귀가 카드뮴에 대한 내성종으로 나타났다.

인용문헌

백승식, 장순웅, 이시진. 1999. 식물학적 복원 공정. 산업기술종합연구소 논문집 18 (1): 77-84.
 조도순, 김준호. 1995. 수중초본식물의 중금속 내성에 대한 연구. 한국생태학회지. 18(1): 147-156.
 정기채, 김복진, 한상국. 1993. 아연광산 인근지역 야생식물의 중금속 함량조사. 한국환경농학회. 12: 105-111.

환경부. 2000. 환경백서 2000.
 황호송, 전효택. 1995. 시흥 Cu-Pb-Zn 광산 주변에서의 중금속 원소들의 분산 및 존재형태와 흡착처리, 자원환경지질 28 (5): 455-467
 Avery, N.C. and S. Sarkar. 1991. Studies on effect of heavy metals on growth parameters of soybean. J. Environ. Biol. 12: 15-24.
 Baker, A.J.M. and P.L. Walker. 1990. Heavy metal tolerance in plant. In A. J. Shaw (ed.), Evolutionary Aspects, CRC Press, Boca Raton. pp. 155-165.
 Chugh, L.K. and S.K. Sawhney. 1995. Effect of cadmium on germination, amylases and rate of respiration of germination pea seeds. Environmental pollution 92(1): 1-5.
 David, J.H., B.A. Rattner, G.A. Burtor, Jr and J. Cairns Jr. 1995. Handbook of Ecotoxicology. In S. J. Klaine and M. A. Lewis,(eds.) Algal and plant toxicity testing. Lewis Publisher, London. pp. 163-184.
 Ernst, W.H.O and H.J.M. Nelissen. 2000. Life-cycle phases of a zinc- and cadmium- resistant ecotype of *Silene vulgaris* in risk assessment of polymetallic mine soils. Environmental Pollution 107: 328-338.
 Goyer, R.A. 1997. Toxic and essential metal interactions. Annu. Rev. Nutr. 17: 37-50.
 Hartwig, A. 1998. Carcinogenicity of metal compound: possible role of DNA repair inhibition. Toxicol. Lett. 103: 235-239.
 Macnair, M.R. 1981. Tolerance of higher plants to toxic materials. In J.A. Bishop and M.L. Cooke (eds.), Genetic Consequences of Man Made Change. Academic Press, London. pp. 51-69.
 Mohan, B.S. and B.B. Hosetti. 1999. Aquatic plants for toxicity assessment. environmental research section A 81: 259-274.
 Turner, A.P., N.M. Dickinson and N.W. Lepp. 1991. Indices of metal tolerance in trees. Water, Air, and Soil Pollution. 57-58: 617-625.
 Turner, R.G. 1969. Heavy metal tolerance in plants. In I.H. Rorison (ed), Ecological Aspects of the Mineral Nutrition of plants. Blackwell, Oxford, pp. 399-410.
 Wang, W. 1991. Literature review on higher plants for toxicity testing. Water, Air, and Soil pollution. 59: 381-400.
 Wierzbicka, M. and D. Antosiewicz. 1993. How lead can easily enter food chain a study of plant roots, Sci. Total. Environ. Suppl. 1. pp 423-429.
 (2001년 9월 1일 접수 ; 2001년 10월 12일 채택)

A Study on the Cadmium Tolerance of Some Native Herb Plants

Chang, Ju-Youn, Yon-Young Chang*, Bum-Han Bae** and In-Sook Lee

Dept. of Biological Science, Ewha Womans University, Seoul, Korea

*Dept. of Environmental Eng., Kwangwoon University, Seoul, Korea**

*Dept. of Civil Eng., Kyungwon University, Seoul, Korea***

ABSTRACT : This research was conducted to test cadmium tolerance by five speices of native herbs for screening cadmium tolerance plant. We examined germination rate, root and shoot growth rate of seedling, fresh biomass of native herbs exposed to cadmium solution for 14 days. Especially, germination rate of *Abutilon avicennae* and *Amaranthus retroflexus* was over 90% in all concentration, but germination rate of *Aeschynomene indica*, *Echinochloa crus-galli* var. *oryzicola* and *Echinochloa crus-galli* var. *frumentacea* began to decrease when they exposed to 15 mgCdSO₄/L. The higher the Cd concentration, the length of root, shoot grew lower. The fresh biomass of *Echinochloa crus-galli* var. *oryzicola*, *Echinochloa crus-galli* var. *frumentacea* and *Amaranthus retroflexus* were not so different from each control, but those of *Abutilon avicennae* and *Aeschynomene indica* began to decrease greatly when exposed to 60 mgCdSO₄/L. EC₅₀(Effective Concentration 50%) of *Abutilon avicennae*, *Aeschynomene indica* and *Amaranthus retroflexus* was 44.6~77.5 mgCdSO₄/L for root growth, 38.6~114 mgCdSO₄/L for shoot growth, 60~107.5 mgCdSO₄/L for fresh biomass. Among the native herbs, sensitivity of cadmium ordered as root length > fresh biomass > shoot length. These results indicate that *Abutilon avicennae* is a tolerant species for cadmium.

Key words : Cadmium tolerance, Native herbs, Phytotoxicity
