

전동싸리의 생장과 질소고정 활성에 미치는 카드뮴의 영향

송승달 · 정화숙* · 노광수** · 송종석*** · 박태규

경북대학교 자연과학대학 생물학과 · 경북대학교 사범대학 생물교육과*
계명대학교 자연과학대학 생물학과** · 안동대학교 자연과학대학 생물학과***

Effect of Cadmium Treatment on the Growth and Nitrogen Fixation Activity of *Melilotus suaveolens*

Song, Seung-Dal, Wha-Sook Chung*, Kwang-Soo Roh**,
Jong-Suk Song*** and Tae-Gyu Park

Department of Biology, Kyungpook National University, Taegu
Department of Biological Education, Kyungpook National University, Taegu*
Department of Biology, Keimyung University, Taegu**
Department of Biology, Andong National University, Andong***

ABSTRACT

Effects of cadmium on growth and nitrogen fixation activity of *Melilotus suaveolens*, a biennial legume plant dominating in the area of poor soil were quantitatively analyzed during the growing period. Cadmium treatments of 10, 30 and 100 ppm resulted in 12, 22 and 35% inhibition of plant height and 14, 25 and 26% reduction of chlorophyll contents of leaves, respectively. The plant biomass reduced 51, 70 and 89% for leaves, 33, 50 and 59% for stems, and 42, 52 and 70% for roots, respectively by 10, 30 and 100 ppm Cd treatments. Cadmium contents of roots treated with 10, 30 and 100 ppm Cd were 62, 112 and 183 folds higher than that of the control, respectively. Cadmium contents of stems were about 1/2.2 of those of roots, but leaves contained only 1/27.8 of those of roots. Cadmium treatments resulted in increase of T/R ratios and decrease of F/C ratios significantly in the later growth period. Nodule formation was reduced to 8% in 42 days by the treatment of 100 ppm Cd. Specific nitrogen fixation activity of nodules attained 61.0, 24.0, 1.6 and 0.7 mol C₂H₄ · g fr wt nodule⁻¹ · h⁻¹ on 42nd day, respectively for 0, 10, 30 and 100 ppm of Cd treatments. Total amount of nitrogen fixation per plant reduced by 73, 98 and 99% with the treatments of 10, 30 and 100 ppm Cd.

Key words : *Melilotus suaveolens*, Growth, Nitrogen fixation, Cadmium.

서론

인간의 활동 즉 산업화, 도시화 및 각종 개발과정에서 발생

되는 산업폐기물이나 폐하수 등 각종 환경오염물질에 의해 자연생태계의 파괴가 국지적으로 또는 광역적으로 확산되고 있다. 환경오염물질 가운데 중금속류는 생체내에 유입될 때 배출되지 않고 농축되는 특성을 가지므로 토양이나 수계환경에서 1

* 이 연구는 1995년도 교육부 기초과학육성연구비(BSRI-95-4404)의 지원에 의한 것임.

차생산자인 농작물을 비롯한 초지 등 자연식생의 발달에 직접 피해를 줄 뿐 아니라, 먹이연쇄를 통해 생태계의 다양한 영양 단계로 전이되고 점차 농축되어 그 영향이 확대되고 있다 (Turner 1973).

독성이 강한 대표적 중금속 원소의 하나인 Cd은 화력발전소를 비롯하여 인산비료공장, 자동차 그리고 아연, 납, 구리, 알루미늄 등의 합금, 도금 및 염색공업 등에 의해 수질, 대기 및 토양오염을 일으키며 생태계에 다양한 영향을 미친다(Lagerwerff and Specht 1971, Takijima et al. 1973). 토양과 수계환경에서의 Cd의 유통성과 식물체 내의 흡수는 토양의 pH (Street et al. 1978, Anderson and Christensen 1988), 온도(Hooda and Alloway 1993), 점토질함량(King 1988), 다른 종류의 중금속 이온의 농도(Cataldo et al. 1963, Hardiman and Jacoby 1984)와 이온의 상호작용(Basta and Tabata 1992b) 등에 의해 변화한다.

한편 Cd은 식물의 종류에 따라서도 흡수율에 큰 변이를 보이며, 중요 영양원소의 흡수와 전이에 대해 길항작용을 일으켜 황화현상과 같은 원소결핍증을 유발하는 것으로 알려지고 있다 (Khan and Khan 1983). 자연상태에서 식물체는 평균 1-5 ppm 범위의 Cd을 함유하고(Williams and David 1976), 식물체내로의 이동은 토양내 인산의 양에 의해 영향을 받는다 (Schroeder and Balassa 1963, Street et al. 1976, Page et al. 1972). 식물체에 나타나는 Cd 독성의 초기증상은 잎이 시들거나 적갈색으로 변색되고 형태변화를 일으키며(Barber and Brennan 1974, Rauser 1978), 고농도의 Cd은 측근과 뿌리털의 성장을 저해하여 증산과 식물의 1차생산량을 감소시키고(차와 김 1975, 허 등 1983, Greger and Lindberg 1987ab, Wajda et al. 1989), 세포벽의 비후화를 유발하여 목부의 수송을 저해하여 잎의 수분 결핍현상을 초래하는 작용이 알려지고 있다 (Bazzaz et al. 1974, Lamoreaux and Chaney 1978). 한편 Cd 처리한 식물체는 철 이온의 결핍을 초래하여 엽록체함량이 감소되고(Bazzaz and Govindjee 1974), 광합성이 억제된다는 보고가 있다(Huang et al. 1974, Baszynski et al. 1980).

이와 같이 식물체의 성장에 미치는 Cd의 영향에 대한 생리생화학적인 연구는 비교적 많이 수행되어 왔다. 본 연구는 각종 파괴된 환경에서 선구식물로 출현하는 전동싸리의 성장과 질소고정에 대한 Cd의 영향을 밝히기 위해 실험실에서 농도별 Cd 처리에 의해 생육시킨 전동싸리의 성장과정에서 뿌리를 통한 Cd의 흡수량과 전이량을 정량하고 식물체의 각 기관별 성장반응을 측정하며 근류의 질소고정 활성에 미치는 영향과 그 특성을 비교분석하였다.

재료 및 방법

전동싸리의 생육

실험재료는 자연식생이 파괴된 나지나 산지 등의 척박한 토양환경의 식생천이과정에서 선구 식물종으로서 출현하는 2년생 콩과식물인 전동싸리(*Melilotus suaveolens* Ledeb.)를 대상으로 하였다. 야생의 전동싸리 근락에서 채취한 충실한 종자를 선별하여 0.1% HgCl₂에 10분간 표면살균한 후 30℃ 항온기에서 발아시키고 직경 10 cm, 높이 17 cm의 플라스틱 포트에 생장이 균일한 유식물 5개체씩 심어서 비닐하우스에서 사경재배법으로 생육시키고 근류의 형성 및 질소고정 활성을 최적으로 하기 위해 배양액은 무질소의 Hoagland 용액 100 mL를 매주 2회 공급하였다.

Cd 처리와 분석

생장실에서 전동싸리 유묘를 70일간 생육시킨 후 무처리(0)와 10, 30, 및 100 ppm의 Cd(CdCl₂) 농도처리구를 만들었다. 각 처리구에 대해 2주일 간격으로 시료를 3반복으로 채취하여 각 기관별 성장과 현존량을 측정하고 근류에 대한 질소고정 활성을 분석하였다.

식물체 시료는 초장을 측정하고 엽록소함량은 DMSO(dimethyl sulfoxide)법으로 추출하여 spectrophotometer에서 흡광도(A₆₆₅ 및 A₆₄₅)를 측정하여 Arnon식으로 정량하였다(Arnon 1949, Hiscox and Israelstam 1979). 각 기관별 생체량을 측정하고 건물량의 변화는 70℃ 건조기에서 3일간 건조시켜 정량하였고, Cd의 정량은 각 시료의 일정량을 1N HNO₃ 50 mL로 추출하여 유도결합플라즈마(ICP, inductively coupled plasma) 분석기에 의해 측정하였다.

근류의 질소고정 활성 분석

Cd 처리에 따른 전동싸리의 생육과정에서 근류 형성량의 변화를 측정하고 질소고정 활성은 ARA(acetylene reduction assay)법으로 분석하였다. 즉 각 처리구에 대해 생육 시기별로 채집한 전동싸리 근류 일정량을 신선한 상태로 10 mL의 반응병에 넣고 30℃에서 10분간 전처리한 후 아세틸렌(C₂H₂) 가스를 10% 용적으로 주입하여 1시간 반응시키고 주사기로 가스시료 0.5 mL를 채취하여 Porapak R Column (182 cm × 0.32 cm)을 이용한 Gas chromatograph (Shimadzu 8A)에서 불꽃이온화검출기(FDI)에 의해 환원된 에틸렌(C₂H₄)량을 정량하여 질소고정 활성을 산출하였다(Patterson et al. 1979)

결 과

Cd 처리와 전동싸리의 생장

Cd 처리에 따른 전동싸리의 생육단계별 신장생장과 엽록소 함량의 변화는 Table 1 및 2와 같다. Cd 처리 농도가 증가할수록 식물체의 신장생장이 억제되어 처리 42일 후에 평균 초장은 대조구의 26.0 cm에 비해 10, 30 및 100 ppm Cd 처리구에서는 각각 12, 22 및 35% 감소된 23.3, 19.7 및 17.4 cm 였다. 잎의 총엽록소 함량은 대조구에서 기간중 1.89~2.08 mg Chl g fr wt leaf⁻¹의 범위를 유지하는데 비해 Cd 처리구에서는 14 일 이후 점차 감소를 보여, 42일 후에 10, 30 및 100 ppm Cd 처리구에서 각각 1.79, 1.57 및 1.55 mg Chl · g fr wt leaf⁻¹ 로서 대조구에 비해 각각 14, 25 및 26%의 감소를 보였다.

Cd 처리에 따른 전동싸리의 생육과정별 각 기관의 생체량 변화는 Fig. 1과 같다. Cd 처리농도에 따라 잎의 생체량은 생육저해와 고사량의 증가로 인하여 생육 42일 째에 10, 30 및 100 ppm Cd 처리구에 대해 각각 0.60, 0.35 및 0.24 g fr wt · plant⁻¹ 로서 대조구(1.20 g fr wt · plant⁻¹)에 비해 각각 51, 70 및 89%의 급격한 감소를 보였다. 줄기는 각각 0.80, 0.60 및 0.50 g fr wt · plant⁻¹ 로서 대조구(1.20 g fr wt · plant⁻¹)에 비해 각각 33, 50 및 59%의 감소를 보였으며, 지하부기관인 뿌리는 각각 1.10, 0.88 및 0.56 g fr wt · plant⁻¹ 로서 대조구(1.85 μg fr wt · plant⁻¹)에 비해 각각 42, 53 및 70%의 감소를 보였다. 식물개체당 총 현존량은 42일 후에 각각 2.60, 1.86 및 1.385 μg fr wt · plant⁻¹ 로서 대조구(4.45 g

Table 1. Changes of height growth (cm, Mean±SD) of *M. suaveolens* treated with 0, 10, 30 and 100 ppm of Cd

Cd(ppm)	Days after treatment			
	0	14	28	42
0	8.7±1.0	16.4±1.7	22.4±2.2	26.0±2.8
10	8.7±1.0	14.2±1.5	22.0±2.3	23.3±2.5
30	8.7±1.0	14.0±1.4	19.0±2.2	19.7±2.4
100	8.7±1.0	13.5±1.5	17.0±2.1	17.4±2.2

Table 2. Changes of total chlorophyll content (mg Chl · g fr wt leaf⁻¹, Mean±SD) of *M. suaveolens* treated with 0, 10, 30 and 100 ppm of Cd

Cd(ppm)	Days after treatment			
	0	14	28	42
0	1.93±0.08	1.90±0.07	1.89±0.07	2.08±0.11
10	1.93±0.08	1.91±0.08	1.76±0.09	1.79±0.10
30	1.93±0.08	1.90±0.09	1.73±0.09	1.57±0.10
100	1.93±0.08	1.87±0.10	1.64±0.12	1.55±0.12

fr wt · plant⁻¹)에 비해 각각 42, 58 및 69%의 감소를 보였다.

Cd 함량과 전이량

Cd 처리구배에 따른 전동싸리 뿌리에 대한 Cd 함량의 변화는 Table 3과 같이 Cd의 처리농도가 증가할수록 각 기관에서 높은 함량을 보였고 특히 지하부 기관인 뿌리와 근류에서의 Cd 농축량이 현저히 증가하였으며, 14일 처리한 것 보

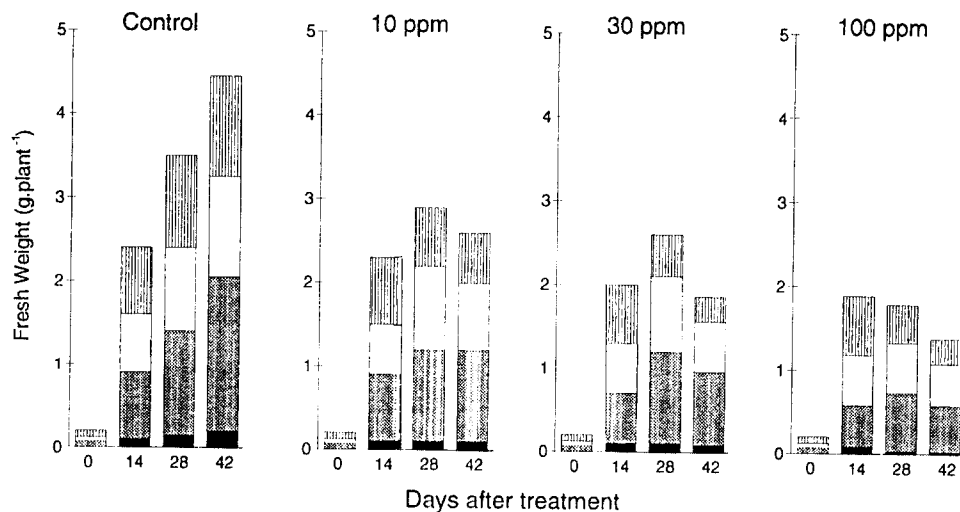


Fig. 1. Changes of fresh weight of each organ of *M. suaveolens* treated with 0, 10, 30 and 100 ppm of Cd: Leaf(■), Stem(▨), Root(□), Nodule(▩).

Table 3. Accumulation of Cd (ppm, Mean±SD) in leaves, stems, roots and nodules of *M. suaveolens* treated with 0, 10, 30 and 100 ppm of Cd

Treatment	Cd Treatment (ppm)							
	0		10		30		100	
	14	42	14	42	14	42	14	42
Leaf	0.1±0.01	0.1±0.01	2.0±0.11	3.4±0.18	5.3±0.33	7.5±0.96	6.5±0.42	9.2±1.11
Stem	0.5±0.03	1.0±0.04	9.2±0.24	30.5±2.12	28.5±2.23	56.9±4.12	60.3±4.71	119.1±12.1
Root	1.4±0.08	1.4±0.07	22.5±1.12	87.2±4.85	56.4±3.87	157.4±11.3	78.6±5.21	256.2±21.1
Nodule	1.2±0.05	1.5±0.08	12.7±1.00	68.0±5.12	30.7±2.34	121.5±10.6	59.8±3.81	216.8±19.7

Table 4. Changes of F/C and T/R ratios of biomass and Cd contents of *M. suaveolens* grown with 0, 10, 30 and 100 ppm Cd treatment

Cd Treatment (ppm)	T/R ratio				F/C ratio			
	Biomass		Cadmium		Biomass		Cadmium	
	14 D	42 D	14 D	42 D	14 D	42 D	14 D	42 D
0	1.88	1.18	0.30	0.17	0.59	0.52	0.14	0.71
10	1.84	1.18	0.34	0.26	0.57	0.30	0.09	0.07
30	2.03	1.01	0.55	0.35	0.56	0.23	0.08	0.02
100	2.64	1.36	1.03	0.45	0.64	0.22	0.07	0.01

다 42일 처리하였을 때에 함량은 각 처리구에서 각 기관별로 2~5배의 농축현상을 보였다. 42일 후에 10, 30 및 100 ppm Cd 처리구에 대한 뿌리의 Cd 함량은 각각 87.2, 157.4, 및 256.2 $\mu\text{g Cd} \cdot \text{g}^{-1} \text{ dr wt}$ 로서 대조구(1.4 $\mu\text{g Cd} \cdot \text{g}^{-1} \text{ dr wt}$)에 비해 각각 62배, 112배 및 183배 이상 농축되었다. 근류의 Cd의 함량은 각각 68.0, 121.5, 216.8 $\mu\text{g Cd} \cdot \text{g}^{-1} \text{ dr wt}$ 로서 뿌리에 비해 77~84% 수준의 다소 낮은 농도였다. 한편 식물체 지상부의 Cd 함량은 줄기에서 42일 째에 각 처리구에서 30.5, 56.9, 119.1 $\mu\text{g Cd} \cdot \text{g}^{-1} \text{ dr wt}$ 로서 대조구(1.0 $\mu\text{g Cd} \cdot \text{g}^{-1} \text{ dr wt}$)에 비해 각각 30, 56 및 119배 이상 증가하였다. 그러나 잎의 Cd 함량은 각 처리구에서 3.4, 7.5 및 9.2 $\mu\text{g Cd} \cdot \text{g}^{-1} \text{ dr wt}$ 로서 대조구(0.1 $\mu\text{g Cd} \cdot \text{g}^{-1} \text{ dr wt}$)에 비교하면 각각 34, 75 및 92배 높으나 뿌리의 Cd 함량에 비하면 3~5% 정도에 불과하였다.

전동싸리의 현존량의 지하부에 대한 지상부의 비율(T/R ratio)은 생육초기에 크고 Cd의 처리 농도가 높을 수록 증가하여 10, 30 및 100 ppm Cd 처리구에서 각각 1.84, 2.03 및 2.64로서 대조구(1.88)에 비해 98, 108 및 141%로 되었고 생육 후기인 42일에는 14일의 T/R 값에 비해 64~50% 수준으로 감소하였다. 식물체내 각 기관의 Cd 총함유량은 처리농도에 비례하여 증가하였고 특히 지하부에서 현저히 높아 처리 14일 째에 Cd의 T/R 값은 각각 0.34, 0.55 및 1.03로서 대조구(0.30)에 비해 108, 182 및 339%로 높았으며, 생육후기인 42일에 지상부의 전이에 의해 생육초기의 T/R 값의 44~79%수준으로 감소되었다. 한편 현존량의 비광합성기관에 대한 광합성기관의

비율(F/C ratio)은 Cd의 처리농도에 대해서는 큰 차이가 없고 대조구(0) 및 10, 30 및 100 ppm Cd 처리구에서 각각 0.57, 0.56 및 0.64 였으나 생육 후기인 42일에 대조구(0.52)에 비해 각 처리구에서 57, 44 및 42%로 감소하였다. Cd 총함유량의 F/C 값은 생육초기에 각각 0.09, 0.08 및 0.07로서 대조구(0.14)에 비해 68, 55 및 48% 수준이었고 생육후기에는 광합성기관의 성장저해가 급격하여 대조구(0.71)에 비해 각 처리구에서 10.0, 2.8 및 1.4% 수준으로 현저히 감소하였다(Table 4).

근류 형성과 질소고정 활성에 대한 Cd의 영향

Cd 처리에 따른 전동싸리의 생육과정에서 근류의 형성량과 질소고정 비활성 및 총질소고정량의 변화는 Fig. 2와 같다. 대조구에서는 생육 28일 후에 최대 근류현존량인 0.143 g fr wt $\cdot \text{plant}^{-1}$ 를 형성하였고, 10, 30 및 100 ppm Cd 처리구에서는 각각 0.11, 0.11 및 0.03 g fr wt $\cdot \text{plant}^{-1}$ 로서 각각 22, 27 및 80%의 현저한 저해를 보였으며, 생육후기인 42일에는 더욱 감소되어 대조구(0.15 g fr wt $\cdot \text{plant}^{-1}$)에 비해 각각 34, 67 및 92%의 저해를 보였다(Fig. 2).

근류의 질소고정 비활성은 대조구에서 생육초기에 최대치 95.0 $\mu\text{mol C}_2\text{H}_4 \cdot \text{g fr wt nodule}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 였고, 10, 30 및 100 ppm Cd 처리구에서 각각 35.0, 22.0 및 19.0 $\mu\text{mol C}_2\text{H}_4 \cdot \text{g fr wt nodule}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 로서 63, 77 및 80%의 저해를 보였으나, 생육후기에는 더욱 활성의 저해를 보여 42일 째에 각각 24.00, 1.60 및 0.70 $\mu\text{mol C}_2\text{H}_4 \cdot \text{g fr wt nodule}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 로서 대조구

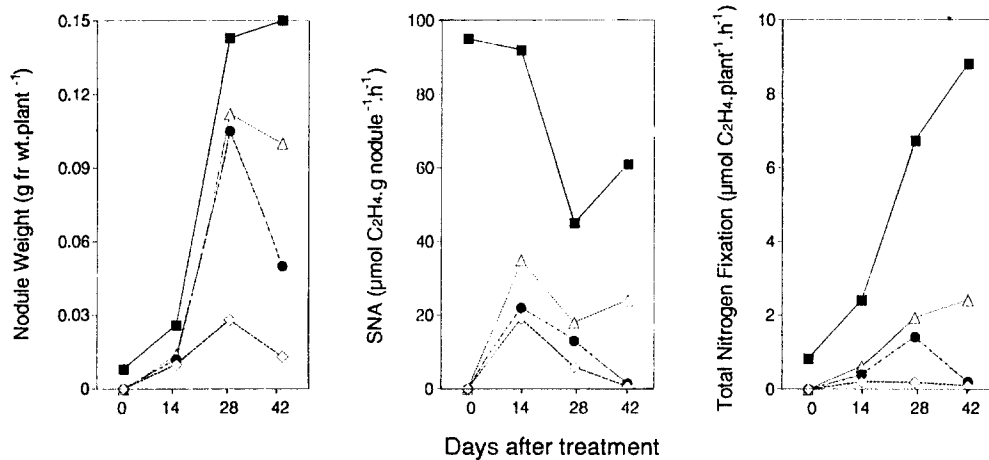


Fig. 2. Changes of nodule fresh weight(left), specific nitrogenase activity (SNA; middle), and total nitrogen fixation (right) of *M. suaveolens* treated with 0(■-■), 10(△-△), 30(●-●) and 100(◇-◇) ppm of Cd.

(61 $\mu\text{mol C}_2\text{H}_4 \cdot \text{g fr wt nodule}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)에 비해 61, 98, 99% 저해되었다(Fig. 2).

식물체당의 총 질소 고정량은 대조구에서 근류형성량의 증가와 비활성이 감소하는 생육과정에 의해 점진적인 변화를 보였으나, 10, 30 및 100 ppm Cd 처리구에서는 근류형성량의 감소와 질소고정비활성의 억제에 의해 생육 14일 째에 각각 0.60, 0.40 및 0.30 $\mu\text{mol C}_2\text{H}_4 \cdot \text{plant}^{-1}$ 로서 대조구(2.4 $\mu\text{mol C}_2\text{H}_4 \cdot \text{plant}^{-1}$)에 비해 75, 84 및 88% 감소하였으며, 42일 째에는 각각 2.40, 0.20 및 0.10 $\mu\text{mol C}_2\text{H}_4 \cdot \text{plant}^{-1}$ 로서 대조구(8.80 $\mu\text{mol C}_2\text{H}_4 \cdot \text{plant}^{-1}$)에 비해 각각 73, 98 및 99%의 현저한 저해현상을 나타내었다(Fig. 2C).

고찰

전동싸리의 신장생장은 10~100 ppm의 Cd 처리에 따라 억제되어 대조구에 비해 12~35% 감소되었고, 잎의 엽록소 함량은 대조구의 약 14~26%의 값으로 감소되었다. 유사한 결과로서 Bazzaz와 Govindjee (1974) 그리고 Greger와 Lindberg (1987)는 Cd를 처리한 사탕무와 옥수수에서 엽록소함량이 감소되고 엽록체의 수가 대조구에 비해 20~30% 감소되었다고 보고하였다. Cd 처리에 의해 잎의 현존량은 위조와 고사·낙엽으로 인해 처리 42일 후에 10 ppm과 100 ppm에서 대조구에 비해 70%와 89% 감소하였으며, 이는 Rauser (1978)와 Fuhrer (1982)가 Cd 처리에 의한 잠두의 초기증상으로서 잎의 적갈색변화와 형태변화 및 위조현상이 있음을 보고한 내용과 일치하였다.

한편 뿌리의 현존량은 처리 42일 후 10 ppm과 100 ppm

Cd 처리구에서 대조구에 비해 각각 42%와 70% 감소하여 Cd 처리한 사탕무에서 측근의 생장이 억제되고 갈색으로 변화하여 뿌리의 생장이 억제되었다는 보고(Greger and Lindberg 1987) 및 소나무에서 Cd 처리농도를 증가시켰을 때 뿌리 및 줄기의 생장이 억제되었다는 보고(Kelly et al. 1979)와도 일치하는 것이다.

전동싸리의 지상부인 줄기와 잎의 Cd의 함유량은 뿌리에 비해 Cd 처리구배에 따라 46.5~34.9%와 3.5~4.8%수준으로 감소하였으며, 생육 초기와 후기에 각각 68.2~90.6%와 78.7~93.4%가 지하부 기관에 축적되고 일부만이 지상부기관인 줄기와 잎에 각각 27%와 1%로 전이되는 것이다. 그리고 Kelly 등 (1979)도 토양의 Cd 함량 증가에 의해 수종의 소나무종류에서 Cd 축적량이 증가되었다고 보고하였으며, Cataldo 등(1981)은 대두에서 환경으로 부터 흡수된 Cd의 대부분이 뿌리에 축적되고, 잎과 종자에는 각각 2%와 8%만이 함유되었다고 보고하였다. 전동싸리 체내의 Cd 총함유량의 지하부에 대한 지상부의 비율(T/R ratio)은 30 및 100 ppm Cd 처리에서 2배와 3배로 큰 값을 보였으나 생육후기에는 50%수준으로 감소하였다. 비광합성기관에 대한 광합성기관의 비(F/C ratio)가 Cd의 처리농도가 증가되거나 처리기간이 길어질수록 증가하였는데 이는 광합성기관인 잎 조직의 Cd 함량이 뿌리에 비해 매우 낮은 것으로 보아 광합성기관에 대한 저해작용이 비교적 적은 결과라고 생각된다.

Cd 처리에 따라 전동싸리 근류의 형성량이 저해되어 100 ppm 처리구에서 28일과 42일 째에 대조구에 비해 각각 20%와 8%에 불과한 것은 지하부의 Cd 축적량이 높아 근류형성에 대한 높은 저해작용의 결과라고 생각된다. 근류의 질소고정

비활성은 10 ppm과 100 ppm Cd 처리에 대해 14일 째에 각각 대조구의 37%와 20%로 감소하고, 42일 째에 각각 대조구의 39%와 1%로 감소하였다. 또한 식물체당의 총질소고정량은 성장과정에 따라 점진적인 증가를 나타내었으나 Cd 10, 30 및 100 ppm 처리구에서 근류량의 감소와 질소고정 비활성의 억제로 인해 생육 42일 째에 대조구에 비해 각각 27, 2 및 1%로 현저히 감소되는 현상을 나타내었다. 이와 같은 카드뮴의 저해효과는 알루미늄 처리구(10~20 mM)의 땅콩에서 근류형성은 현저히 저해되었으나, 질소고정 비활성은 유의적인 차이를 보이지 않았다는 사실(Oliver 1994)과는 차이가 있으며 이는 중금속의 종류에 따라 각종 식물종의 반응의 특성 및 감수성에 차이가 있는 것으로 보여진다. 한편 근권의 Cd 흡수량은 아연에 의해 영향을 받는 등 환경의 복합적인 중금속오염과 식물체내의 무기인의 흡수와 분배 등에 대한 영향을 규명할 필요가 있을 것이다.

결 론

파괴되고 척박한 토양 환경에서의 식생군락 형성에 있어서 선구식물이 되고 있는 2년생 콩과식물인 전동싸리의 성장과 질소고정에 미치는 Cd 처리의 영향을 밝히기 위해 유식물의 성장과정에 대한 Cd의 흡수와 전이 및 식물체의 성장 반응과 근류의 질소고정 활성의 변화를 분석하였다. Cd 농도 10, 30 및 100 ppm 처리구에서 전동싸리의 신장생장은 대조구에 비해 각각 12, 22 및 35%의 감소를 보였고, 엽록소함량은 각각 14, 25 및 26%의 감소를 보였다. Cd 처리에 의한 기관별 현존량의 대조구에 대한 비율은 앞에서 각각 51, 70 및 89% 저해되었고, 줄기에서 33, 50 및 59%의 저해, 그리고 뿌리에서 42, 53 및 70%의 저해를 보였다. Cd 처리농도에 따라 뿌리의 Cd 함유량은 대조구에 비해 각각 62, 112 및 183배 이상 축적을 보였고, 지상부 기관인 줄기나 잎에 비해 2.2배 내지 27.8배 높았다. Cd와 생체 현존량의 지하부에 대한 지상부의 비율(T/R ratio)은 처리 농도에 비례하여 지하부에서의 Cd 축적과 함께 증가하였고, 성장 후기에는 성장저해와 더불어 감소하였다. 광합성기관과 비광합성기관의 비율(F/C ratio)은 Cd 처리농도와 생육과정에 따라 감소를 보였다. 근류의 형성량은 고농도(100 ppm)의 Cd 처리구에서 42일 째에 대조구의 8%로 감소되었고, 질소고정 비활성은 처리 42일 후에 10, 30 및 100 ppm Cd 처리구는 각각 24.0, 1.6 및 0.7 mol C₂H₄ · g fr wt nodule⁻¹ · h⁻¹로서 대조구(61.0 μmol C₂H₄ · g fr wt nodule⁻¹ · h⁻¹)에 비해 61, 98 및 99%의 현저한 저해현상을 나타내었고, 전동싸리 개체당 총 질소고정량은 10, 30 및 100 ppm Cd 구배에 대해 각각 대조구(8.8 μmol C₂H₄ · plant⁻¹ · h⁻¹)에 비해 73, 98

및 99%의 감소를 보였다.

인 용 문 헌

- 차종환 · 김명우. 1975. 환경오염방지를 위한 식물생태학적 연구. Cd 처리 토양에 의한 여러 식물의 성장반응. 한국식물학회지 18: 23-30.
- 허효수 · 오영인 · 하호성 · 허동수 · 서정윤. 1983. 산업폐수가 수도생육에 미치는 영향. 공해대책 14: 32-44.
- Anderson, P.R. and T.H. Christensen. 1988. Distribution coefficients of Cd, Co, Ni, and Zn in soil. J. Soil Science 39: 15-22.
- Arnon, D.J. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiol. 24: 1-15.
- Barber, A. and E. Brennan. 1974. Phototoxic effects of cadmium. Phytopathology. 64: 578.
- Basta, N.T. and M.A. Tabatabal. 1992b. Effect of cropping system on adsorption of metals by soil. III. Competitive adsorption. Soil Science 153: 331-337.
- Baszynski, T., L. Waida, M. Krol, D. Wolinska, Z. Krupa and A. Tukendorf. 1980. Photosynthetic activities of cadmium-treated tomato plant. Physi Plant. 48: 365-370.
- Bazzaz, F.A., G.L. Rolfe and R.W. Carison. 1974. The effect of cadmium on photosynthesis and transpiration of excised leaves of corn and sunflower. Physiol. Plant. 32: 373-376.
- Bazzaz, M.B. and A. Govindjee. 1974. Effect of cadmium nitrate on spectral characteristics and light reactions of chloroplasts. Environ. Lett. 6: 1-12.
- Cataldo, D.A., T.R. Garland and R.E. Wildung. 1981. Cadmium distribution and chemical fate in soybean plants. Plant Physiol. 68: 835-839.
- Cataldo, D.A., T.R. Garland and R.E. Wildung. 1983. Cadmium uptake kinetics in intact soybean plants. Plant Physiol. 73: 844-848.
- Fuhrer, J. 1982. Early effects of excess cadmium uptake in *Phaseolus vulgaris*. Plant Cell and Environ. 5: 263-270.
- Greger, M. and S. Lindberg. 1987a. Effects of Cd²⁺ and EDTA on young sugar beets (*Beta vulgaris*); 1.

- Cd²⁺ uptake and sugar accumulation. *Physiol. Plant* 66: 69-74.
- Greger, M. and S. Lindberg. 1987b. Effects of Cd²⁺ and EDTA on young sugar beets (*Beta vulgaris*): II. Net uptake and distribution of Mg²⁺, Ca²⁺ and Fe²⁺/Fe³⁺. *Physiol. Plant* 69: 81-86.
- Hardiman, R.T. and B. Jacoby. 1984. Adsorption and translocation of cadmium in bush beans (*Phaseolus vulgaris*). *Physiol. Plant* 61: 670-674.
- Hiscox, J.D. and G.F. Israelstam. 1979. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. *Can. J. Bot.* 57: 1332-1334.
- Hooda, P.S. and B.J. Alloway. 1993. Effects of time and temperature on the bioavailability of Cd²⁺ and Pb from sludge-amended soils. *J. Soil. Science* 44: 97-110.
- Huang, C.Y., F.A. Bazzaz and L.N. Vanderheof. 1974. The inhibition of soybean metabolism by Cd²⁺ and Pb. *Plant Physiol.* 54: 122-124.
- Kelly, J.M., G.R. Parker, and W.W. Mofee. 1979. Heavy metal accumulation and growth of seedlings of five forest species as influenced by soil Cd²⁺ level. *J. Environ. Qual.* 8: 361-364.
- Khan, S. and N.N. Khan. 1983. Influence of lead and cadmium on the growth and nutrient concentration of tomato (*Lycopersicum esculentum*) and egg plant (*Solanum melongena*). *Plant Soil* 74: 387-394.
- King, L.D. 1988. Effect of selected soil properties on cadmium content of tobacco. *J. Environ. Qual.* 17: 251-255.
- Lagerwerff, J.V. and A.W. Specht. 1971. Contamination of roadside soil and vegetation with cadmium, nickel, lead, and zinc. *Environ. Sci. Tech.* 4: 483-486.
- Lamoreaux, R.J. and W.R. Chaney. 1978. The effect of cadmium on net photosynthesis, transpiration, and dark respiration of excised silver maple leaves. *Physiol. Plant* 43: 231-236.
- Oliver, D.P., R. Hannam, K.G. Tiller, N.S. Wilhelm, R.H. Meny and G.D. Cozens. 1994. The effects of zinc fertilization on cadmium concentration in wheat grain. *J. Environ. Qual.* 23: 705-711.
- Page, A.L., F.L. Bingham and C. Nelson. 1972. Cadmium absorption and growth of various plant species as influenced by solution cadmium concentration. *J. Environ. Qual.* 1: 288-291.
- Patterson, R.F., C.D. Raper Jr. and H.D. Gross. 1979. Growth and specific nodule activity of soybean during application and recovery of a leaf moisture stress. *Plant Physiol.* 64: 551-556.
- Rausser, W.E. 1978. Early effects of phototoxic burdens of cadmium, cobalt, nickel and zinc in white beans. *Can. J. Bot.* 56: 1744-1749.
- Schroeder, H.A. and J.J. Balassa. 1963. Cadmium: Uptake by vegetables from superphosphate and soil. *Science* 140: 819-820.
- Street, J.J., B.R. Sabey and W.L. Lindsay. 1978. Influence of pH, phosphorus, cadmium, sewage sludge and incubation time on the solubility and plant uptake of cadmium. *J. Environ. Qual.* 7: 286-290.
- Takijima, Y., F. Katsumi and S. Koizumi. 1973. Cadmium concentration of soil and rice plants caused by zinc mining. III. Effects of water management and applied organic manures on the control of Cd uptake by plants. *Soil Sci. Plant Nutr.* 19: 183-193.
- Turner, M.A. 1973. Effect of cadmium treatment on cadmium and zinc uptake by selected vegetable species. *J. Environ. Qual.* 2: 118-119.
- Wajda, L.W., A. Kutemozinska and M. Pilipowicz. 1989. Cadmium toxicity to plant callus culture *in vitro*. I. Modulation by zinc and dependence on plant species and callus line. *Environ. Exp. Bot.* 29: 301-305.
- Williams, C.H., and D.J. David. 1976. The accumulation in soil of cadmium residues from phosphate fertilizers and their effect on the cadmium content of plants. *Soil. Science* 121: 86-93.