大 韓 土 木 學 會 論 文 集
第30卷 第1B號 · 2010年 1月
pp. 101 ~ 105

카드뮴이 해바라기와 유채 발아 및 성장에 미치는 영향

The Effects of Cadmium on Seed Germination and Growth of Sunflower and Rape

이광근* · 조한상** · 김재영***
Lee, Kwang Kun · Cho, Han Sang · Kim, Jae Young

Abstract

Sunflower (Sunking4505) and Rape (Sunmang) are oil-seeds containing high oleic acid, and these are used for the production materials of bio-diesel and applying for phytoremediation. The effect of cadmium on germination rate and the growth of the plants is evaluated. Object seeds were placed in Cd (0, 1.5, 4, 12, 30, 60, 100, 150, 300, 500 mg/L) solutions for seven days, and germination rate, root length, shoot length, seedling length, and dry weight were observed. IC_{50}, seedling vigor index, and tolerance indices were computed, and data were statistically analyzed by Analysis of Variance (ANOVA). Germination rate as well as root, shoot, and seedling length decreased as the cadmium concentration increased except dry weight. The IC_{50} of sunflower and rape are 112 and 10 mg-Cd/L, respectively. Only one of the sunflower seeds is germinated at 500 mg-Cd/L whereas rape seeds are not germinated more than 150 mg-Cd/L solution. Root has higher cadmium sensitivity than shoot, and sunflower has higher germination rate, growth, and seedling vigor index than rape. In case of tolerance indices, sunflower has lower value than rape at relatively low concentration, but has higher value at high concentration.

Keywords : *germination, cadmium, sunflower, rape, phytoremediation*

요 지

해바라기(Sunking4505)와 유채(선망)는 고농도 올레인산을 함유한 유지종으로 바이오디젤 생산 원료로 사용되며, 식물정화공법(phytoremediation)에 사용되는 대표적 식물종이다. 본 연구는 이 식물종을 이용하여 카드뮴이 발아율 및 생육량에 미치는 영향을 평가하였다. 대상 식물종의 씨앗은 카드뮴용액(0, 1.5, 4, 12, 30, 60, 100, 150, 300, 500 mg/L)에서 7일간 배양 후 발아율, 유근과 지상부, 유묘 길이, 건조중량을 측정하였으며, 이를 이용하여 IC_{50}, 식물활성도, 내성지수를 구하였다. 또, 각 데이터는 분산분석(ANOVA)를 사용하여 유의성을 검증하였다. 건조중량을 제외한 발아율과 생육량은 카드뮴 농도가 증가함에 따라 감소하였다. 해바라기와 유채의 IC_{50}은 112, 10 mg-Cd/L이고, 해바라기씨는 500 mg-Cd/L에서 1개만 발아하였고, 유채씨는 150 mg-Cd/L 이상의 농도에서는 발아하지 못하였다. 대상 식물의 뿌리는 지상부보다 카드뮴에 대해 높은 민감도를 보였다. 해바라기의 발아율과 생육량, 식물활성도는 유채보다 높은 값을 가졌고, 내성지표는 상대적으로 저농도에서 유채보다 낮은 값을 가졌으나, 높은 농도에서는 유채가 발아하지 못해 높은 값을 보였다.

핵심용어 : 발아, 카드뮴, 해바라기, 유채, 식물정화공법

1. 서 론

채광, 금속제련 등 다양한 인간의 산업 활동으로 인해 토양 및 수계로의 유독성 중금속의 유입량이 크게 증가하였으며(Ghosh and Singh, 2005) 그 결과 오염정화가 반드시 필요한 지역의 범위가 점차 확대되고 있다. 유럽환경청에 의하면 EU(Europe United) 전역에 걸쳐 대략 250,000 지점이 중금속에 오염되었으며 반드시 정화가 필요한 것으로 조사되었다(European Environment Agency, 2007). 카드뮴은 미국의 종합환경대응배상책임법(Agency for Toxic Substance & Disease Registry, 2007)에 따르면 7번째로 인간에 대한 위해성이 높은 물질로 분류되어 있다. 토양에 유입된 카드뮴은 먹이사슬을 통해 동·식물계에 농축될 수 있다는 점에서 인간에 상당한 위협이 되고 있다(Nordic Council of Ministers, 2003). 과거 일본에서는 카드뮴 중독에 의한 이따이이따이병으로 수많은 사람들이 고통을 받기도 했었다.

중금속으로 인한 토양오염은 자연계의 자정능력으로는 복구가 거의 불가능하기 때문에 인위적인 처리가 불가피하다. 그리고 토양오염은 경우에 따라 다르지만 대부분 광범위한 지역에 걸쳐 일어나 복원을 위해선 많은 비용이 든다. 현재

*정회원 · 서울대학교 공과대학 건설환경공학부 석사과정 (E-mail : smile3795@snu.ac.kr)
**정회원 · 한국환경산업기술원 자문위원 (E-mail : chs7207@snu.ac.kr)
***정회원 · 교신저자 · 서울대학교 공과대학 건설환경공학부 교수 (E-mail : jaeykim@snu.ac.kr)

중금속으로 오염된 토양을 복원하기 위한 다양한 방법들이 적용되고 있다. 식물정화공법은(phytoremediation) 이러한 방법 중 하나로 식물체를 이용하여 오염토양으로부터 유해한 오염물질을 제거하는 경제적이며 환경교란이 거의 없는 친환경적인 공법으로 알려져 있다. 식물정화공법의 또 다른 장점은 오염원위치(in situ)에서 오염물질을 처리할 수 있고 2차 오염물질의 배출량이 거의 없다는 점을 들 수 있다(Ghosh and Singh, 2005; Blaylock 등, 1997; Yang, 2008). 그러나 복원기간이 길고 오염물질에 따라 적용 가능한 식물체가 한정적이라는 단점을 갖고 있다(Ghosh and Singh, 2005). 토양과 결합한 중금속의 존재 형태에 따라 식물정화공법의 효율이 변하며, 중금속의 존재형태는 이온교환형태(exchangerable), 탄산염 결합형태(bound to Carbonates), 산화물 결합형태(bound to Iron and Manganese Oxides), 유기물 결합형태(Bound to Organic Matter) 및 잔류물 형태(Residual)로 존재한다(Tisseir 등 1979). 물에 가용한 형태(water-soluble)와 이온교환형태, 탄산염 결합형태는 식물에 의해 이용 가능한 식물유효성(bio-available)형태, 즉 식물정화공법에 의해 제거될 수 있는 형태의 중금속이다(Li 등, 2001).

최근 화석연료의 수급 불안정 그리고 기후변화문제는 유럽, 미국 등을 중심으로 바이오연료의 사용 확대를 가속화 시켰다(Demirbas, 2008). 바이오연료 중 하나인 바이오디젤은 유채, 해바라기씨 등을 착유 및 분리 · 경제함으로써 얻어진다. 우리나라 정부 역시 기후변화문제에 적극 대처하고 안정적인 에너지 공급체계를 확보하기 위한 노력으로 바이오디젤 생산 확대를 계획하고 있으며, 이를 위해 일부 지역에서는 유채의 대량생산을 위한 시범사업이 진행 중에 있다(교육과학기술부 등, 2009). 그러나 식량자급률이 높지 않은 우리나라에서는 유채의 대량생산을 위한 부지 확보가 어렵다는 제한이 있다. 유채 및 해바라기를 이용한 식물정화공법으로 중금속 오염토양의 복원이 가능할 수 있다는 보고가 있었다(Fozia 등, 2008; January 등, 2008; Mani 등, 2007; Pan 등, 2008; Ru 등, 2004). 오염물질 처리 효율은 종에 따라 다르며(Ghani and Wahid, 2007) 환경 조건은 식물성장에 중요한 요인이다. 이에 본 연구는 카드뮴으로 오염된 토양을 복원함에 있어 우리나라에서 가장 많이 재배되고 올레인산을 함유한 유채 혹은 해바라기 종자를 이용하여 식물정화공법의 적용과 부산물로 생산된 바이오디젤의 사용 가능성 및 문제점을 조사하고자 다양한 카드뮴 농도범위에서의 유채 및 해바라기의 발아실험을 수행하였다. 해바라기와 유채가 식물정화공법에 이용시 바이오디젤 원료를 생산하면서 오염토양 정화가 가능할 것으로 기대된다.

2. 실험재료 및 방법

유채 및 해바라기는 각각 다양한 품종이 존재하나 본 연구에서는 해바라기 종자로 Sunking4505를 그리고 유채 종자로는 선망을 이용하였다. 유채와 해바라기 씨앗은 농협종묘와 작물과학원 목포시험장에서 분양받았다.

다양한 카드뮴 농도조건에서의 유채 및 해바라기의 발아여부를 조사하기 위해 0, 1.5, 4, 12, 30, 60, 100, 150, 300, 500 mg/L의 농도를 대상으로 각각 발아실험을 진행하였고, 카드뮴 수용액은 $CdCl_2 \cdot 2.5H_2O$를 증류수에 녹여 제조하였다. 본 연구에서는 U.S. EPA(1996)에서 제시하는 방법에 따라 진행하였으며 방법은 다음과 같다. 발아실험을 위하여 직경 18.5 cm 유리페트리디시(glass petri dish)를 사용하였고, 발아실험 전에 유리페트리디시는 곰팡이와 여타 미생물의 영향을 방지하기 위해 121°C, 1.2 atm 조건의 멸균기(VISION, Seoul, Korea)에서 18분간 멸균하였다.

발아실험을 위하여 동일한 크기 또는 무게를 갖는 유채 및 해바라기 씨앗을 준비하였다. 준비된 씨앗은 먼저 표면소독을 위해 10% sodium hypochlorite 용액에 10분간 담근 후 3차 증류수에 1시간 동안 담갔다 사용하였다. 멸균된 각각의 페트리디쉬에 여과지(Whatman paper No. 42)를 올려놓고, 다양한 농도범위의 카드뮴 수용액을 0.45 μm syringe filter로 여과한 후 주사기로 하여 20 ml씩 주입하였다. 그 이후 소독된 종자를 15개씩 위치시킨 후 뚜껑을 닫고 파라필름으로 밀봉하였다. 모든 실험은 결과의 신뢰성을 확보하기 위해 6번 반복하여 실험하였다. 발아실험은 암조건 및 25(±1)°C의 온도가 유지되는 생장실(VISION, Seoul, Korea)에서 수행하였다. 실험시작 일주일 후 페트리디쉬를 해체하여 유근길이가 0.5 cm 이상, 유묘길이가 2 cm이상을 기준(U.S. EPA, 1996)으로 발아율을 측정하였으며, 유근, 지상부 및 유묘의 길이는 자를 이용하여 길이를 측정하였다. 유묘를 80°C 조건에서 24시간 건조시킨 후 데시케이터에서 방냉하여 건조중량을 측정하였다. 해바라기와 유채의 카드뮴 함유량을 구하기 위해서는 일정 무게 이상이 필요하나 본 연구에서는 발아율과 너무 적은 무게에 의해 측정이 불가한 제한사항이 있었다. 발아실험 결과를 바탕으로 내삽법을 이용하여 발아율의 최대 50% 저해농도인 IC_{50}(half maximal inhibitory concentration)을 구하였고, 식물활성도(S.V.I., Seedling vigor Index)와 내성지수(T.I., Tolerance indices)를 계산하였다. 식물활성도 계산에는 Haque 등(2007)이 이용한 식을 사용하고, 내성지수 계산에는 Yang 등(2004)이 이용한 식을 사용하였으며, 각각 Eq. (1)과 Eq. (2)에 나타내었다.

$$\text{S.V.I.} = (\text{Mean of root length} + \text{Mean of shoot length}) \times \text{Percentage of Seed germination} \quad (1)$$

$$\text{T.I.} = \frac{\text{Mean root length in metal solution}}{\text{Mean root length in distilled water}} \times 100 \quad (2)$$

발아율, 유근, 지상부, 유묘 길이, 건조중량에 대한 실험결과를 분산분석(ANOVA) 통계기법을 사용하여 유의성을 점증하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 해바라기와 유채의 발아율

카드뮴 농도에 따른 해바라기와 유채의 발아율 및 유근, 지상부, 유묘 길이와 건조중량의 데이터는 Table 1에 각각 나타내었다. 해바라기는 30 mg-Cd/L까지 발아율은 줄어들었지만 유의적 차이($p<0.05$)는 없었고, 그 이상의 농도에서는 대조군과 큰 차이를 나타내며 감소하였다. 또, 500 mg-Cd/

Table 1. The effect of different concentrations of cadmium on seed germination and seedling growth of sunflower(a) and rape(b).
(a)

Cd treatment (mg/L)	Germination rate (%)	Root Length (cm)	Shoot length (cm)	Seedling length (cm)	Dry weight (mg)
0	96.7 ± 2.28[1)]a[2)]	6.7 ± 0.77a	7.4 ± 0.37a	14.1 ± 1.07a	47.7 ± 0.58a
1.5	87.8 ± 4.69a	5.1 ± 0.50a	7.6 ± 0.37a	12.7 ± 0.74a	47.1 ± 0.40a
4	85.6 ± 4.36a	2.5 ± 0.23b	6.6 ± 0.23b	9.1 ± 0.38b	47.5 ± 0.41a
12	86.7 ± 1.72a	1.5 ± 0.09c	6.4 ± 0.20b	7.8 ± 0.26c	48.1 ± 0.43a
30	80.0 ± 6.21a	1.0 ± 0.04d	5.5 ± 0.13c	6.5 ± 0.15d	48.2 ± 0.42a
60	62.2 ± 3.30b	0.8 ± 0.03e	5.1 ± 0.15d	5.8 ± 0.16e	48.7 ± 0.59a
100	54.4 ± 6.76b	0.8 ± 0.04e	4.4 ± 0.14e	5.2 ± 0.14f	47.9 ± 0.59a
150	35.6 ± 6.43b	0.9 ± 0.06e	4.0 ± 0.14f	4.9 ± 0.18f	45.8 ± 0.43b
300	6.7 ± 4.22c	0.8 ± 0.06e	2.9 ± 0.17g	3.7 ± 0.19g	45.2 ± 1.64b
500	1.1 ± 1.11c	0.5 ± ND[3)]e	2.1 ± NDg	2.6 ± NDg	46.1 ± NDb

(b)

Cd treatment (mg/L)	Germination rate (%)	Root Length (cm)	Shoot length (cm)	Seedling length (cm)	Dry weight (mg)
0	85.6 ± 2.05a	4.5 ± 0.25a	4.6 ± 0.17a	9.1 ± 0.09a	3.1 ± 0.09a
1.5	72.2 ± 5.82ab	3.9 ± 0.33ab	4.1 ± 0.16b	8.0 ± 0.09ab	2.9 ± 0.09b
4	63.3 ± 7.25b	3.3 ± 0.29b	4.7 ± 0.18a	8.0 ± 0.37b	3.2 ± 0.37a
12	45.6 ± 2.68c	1.3 ± 0.11c	4.6 ± 0.23a	5.9 ± 0.13c	2.9 ± 0.13b
30	25.6 ± 4.36d	1.0 ± 0.12c	3.3 ± 0.26c	4.3 ± 0.09d	3.1 ± 0.09a
60	6.7 ± 2.43e	1.0 ± 0.17c	1.8 ± 0.22d	2.8 ± 0.26e	2.8 ± 0.14b
100	1.1 ± 1.11e	0.5 ± NDc	2.0 ± NDd	2.5 ± NDe	3.7 ± NDb
150	-[4)]	-	-	-	-

[1)] Results are arithmetic mean ± standard error.
[2)] Arithmetic mean with different letters are significantly different from one another (P<0.05) according to one-way Analysis of Variance (ANOVA).
[3)] ND denotes no data because only one seed is germinated.
[4)] – means no data due to no germination.

L에서는 90개의 씨앗 중 1개만 발아하여 거의 발아하지 않는 것을 확인하였다. 유채의 발아율은 카드뮴 수용액에서 농도 의존적으로 저해되었으며, 해바라기에 비해 상대적으로 저농도(4 mg-Cd/L)에서 대조군과 유의한 차이를 나타냈다. 유채는 150 mg-Cd/L에서 더 이상 발아하지 못했으며 이 농도는 자주개나리(*Medicago sativa*)를 이용한 Peralta 등(2000)의 연구결과(2,250 mg-Cd/L)보다 약 15배 낮은 수치이다. 카드뮴 처리 농도에 따른 발아율을 바탕으로 해바라기와 유채의 IC_{50}을 구하였으며(Fig. 1), 그 농도는 각각 112 mg-Cd/L, 10 mg-Cd/L이다. Chakravarty and Srivastava(1992)의 연구결과 카드뮴 용액(1,124, 2,810, 5,621, 11,241 mg-Cd/L)에서 겹해바라기(*Helianthus annuus var.*) 발아율은 약 100, 80, 60, 50%로 감소하였으며, 중금속이 애기장대(*Arabidopsis thaliana*)의 발아율과 성장에 미치는 영향에 관한 Li 등(2005)의 연구결과 카드뮴 농도가 약 34, 67, 157 mg/L로 증가함에 따라 발아율이 약 60, 42, 28%로 감소하였고 약 2,250 mg-Cd/L에서 거의 발아하기 않았다. Peralta 등(2000)의 연구결과 자주개자리(*Medicago sativa)*는 10, 40 mg-Cd/L에서 발아율이 약 25, 45% 감소하였다. 위의 다른 연구자들의 실험결과는 카드뮴 농도가 증가할수록 발아율이 감소하는 본 연구결과와 일치한다.

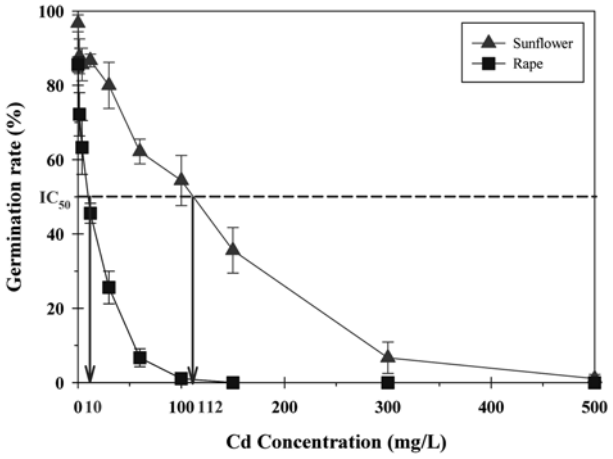

Fig. 1 Germintation rate of sunflower and rape in the presence of various cadmium concentrations

3.2 유근, 지상부, 유묘 길이와 건조중량

대상식물의 유근 길이는 Maria 등(2008)의 결과와 마찬가지로 카드뮴의 농도증가에 따른 감소경향을 나타내었다(Table 1). 1.5, 4, 12, 30 mg-Cd/L에서 대조군과 비교한 해바라기 유근 길이의 저해정도는 각각 23.9, 62.7, 77.6, 85.1% 이며, 유채는 각각 13.3, 26.7, 71.1, 77.8%로 해바라기의 유

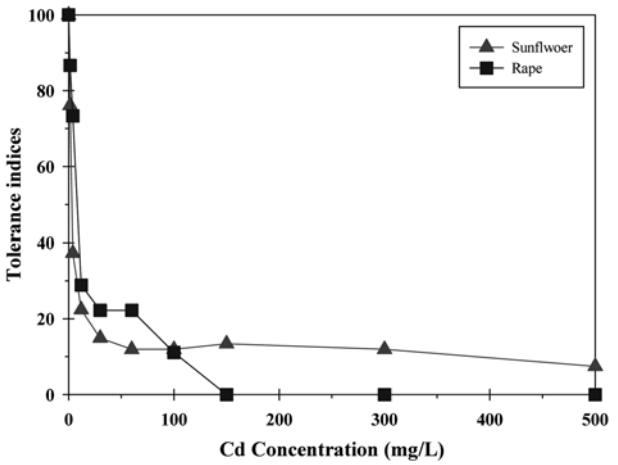

Fig. 2 Tolerance indices of sunflower in the presence of various cadmium concentrations

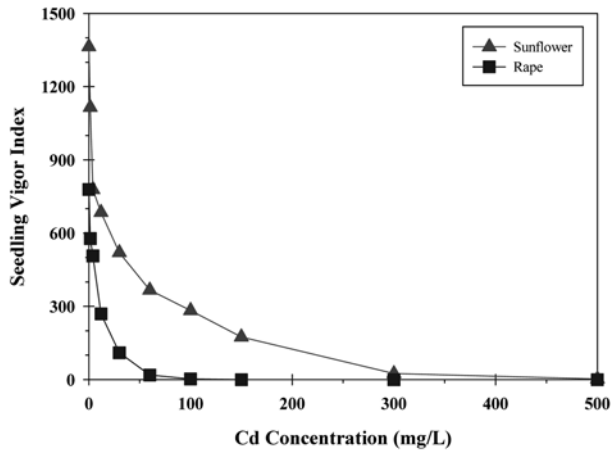

Fig. 3 Seedling vigor index of sunflower and rape in the presence of various cadmium concentrations

근은 유채보다 카드뮴에 더 민감한 것을 확인하였다. 유근은 중금속 오염토양에 노출 시 가장 민감한 부분으로, 대조군과 처리군 뿌리 길이의 비율을 나타내는 내성지수를 Fig. 2에 나타냈다. 유채는 100 mg-Cd/L까지 해바라기보다 높은 내성지수 값을 나타내었으나 그 이상의 농도에서는 유채가 발아하지 못해서 해바라기가 상대적으로 높은 값을 나타내었다. Farooqi 등(2009)의 연구결과에 따르면 10 mg-Cd/L일 때 자귀나무(*Albizia lebbeck* L.)의 내성지수는 약 11%로, 이는 해바라기보다 약 2.5배 유채보다 약 4배 낮은 수치이다.

카드뮴 농도 증가에 따른 해바라기 지상부 길이는 농도에 따라 감소하는 경향을 나타냈으나, 유채는 4, 12 mg-Cd/L에서 대조군의 지상부 길이와 유의한 차이($P<0.05$)를 보이지 않았고 그 이상의 농도에서 감소하였다(Table 1). 30 mg-Cd/L에서 해바라기는 대조군의 길이에 비해 26.7%, 유채는 28.3%가 감소하여 같은 농도 유근 길이보다 상대적으로 카드뮴 독성에 대한 저해를 덜 받았다. 카드뮴 독성에 의해 대조군에 비해 유근 길이는 88.2% 감소하고, 지상부 길이는 48.6% 감소한 Farooqi 등(2009)의 연구결과는 본 실험 결과와 일치한다.

유묘 길이는 유근과 지상부 길이의 합으로 나타내며, 위의 결과와 마찬가지로 해바라기와 유채 모두 카드뮴 농도 증가에 따라 그 길이는 감소하였다. 농도에 상관없이 해바라기는 유채보다 더 긴 유묘 길이를 보였다.

Farooqi 등(2009)의 연구결과에서 카드뮴 농도 증가(약 1.1, 3.4, 5.6, 7.9, 10.1 mg-Cd/L)에 따른 자귀나무(*Albizia lebbeck*)의 건조중량은 유의한 차이($p<0.05$)를 나타냈으며, Karbir 등(2008)의 연구결과 *Thespesia populnea*의 건조중량은 카드뮴 농도 증가에 따라 감소하였고 카드뮴 7.9 mg/L에서는 대조군에 비해 89% 감소하였다. 이는 대조군과 처리군 사이에 유의한 차이($p<0.05$)가 거의 없는 본 실험과 상이한 결과이다. 실험에 사용한 식물이 다르다는 점과, 저해를 받은 식물체는 길이의 성장이 미미한 반면 두께가 두꺼워진 사실이 이러한 차이의 원인으로 생각된다. 해바라기는 100 mg-Cd/L까지 농도 증가에 따른 유의한 차이($p<0.05$)가 없었고, 유채는 농도와 관계가 없이 0, 4, 30 mg-Cd/L와 1.5, 12, 60, 100 mg-Cd/L에서 각각 유의한 결과를 나타냈다. 유채의 건조중량은 60, 100 mg-Cd/L에서 큰 차이를 보였으나 유의한 결과를 나타낸 것은 발아율이 적어 자료가 통계적으로 충분하지 못했기 때문으로 판단된다.

식물이 대상농도에서 얼마나 건강한지를 나타내는 식물활성도는 대상 식물의 뿌리와 지상부의 합과 발아율의 곱으로 나타낸다(Haque 등, 2007). 농도증가에 따른 발아율과 유묘 길이의 감소 영향으로 식물활성도가 줄어드는 경향을 나타냈으며(Fig. 3), 해바라기는 유채에 비해 높은 값을 가지므로 오염지역 정화 적용에 유리할 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구는 식물정화공법 적용 및 바이오디젤 추출을 위한 기초연구로, 우리나라에서 가장 많이 재배되는 유지종인 해바라기(Sunking4505)와 유채(선망)을 사용하여 카드뮴에 대한 독성평가를 하였으며 결론은 다음과 같다.

1. 농도별 카드뮴 처리에 있어서 그 처리 농도가 높을수록 해바라기와 유채의 발아율 및 생육량이 농도에 의존적으로 감소하였으나, 식물정화공법을 통한 중금속 추출의 중요한 인자인 건조중량은 농도에 영향을 받지 않아서 식물정화공법 적용시 더 많은 중금속을 추출할 수 있을 것으로 판단된다.
2. 해바라기와 유채의 IC_{50}은 각각 112 mg-Cd/L와 10 mg-Cd/L이고 해바라기는 500 mg-Cd/L에서 거의 발아하지 않았으며, 유채는 150 mg-Cd/L 이상에서 발아하지 못하였다. 본 연구에서 사용된 해바라기와 유채종은 각각 500, 10 mg-Cd/L 이상의 오염지역에 식물정화 공법 적용이 불가능하다고 판단된다.
3. 해바라기는 유채보다 내성지수는 다소 낮지만 발아율에 대한 IC_{50}이 유채보다 약 11배 높다. 또한. 식물활성도 역시 높기 때문에 넓은 범위의 카드뮴 오염토양에 적용이 가능할 것으로 생각된다. 유채는 해바라기에 비해 내성지수가 높고, 단위면적당 파종양이 많지만 발아율이 떨어지기 때문에 IC_{50} 이하의 오염지역에 적용이 용이할 것으로 판단된다.
4. 본 연구에서는 카드뮴 수용액을 오염물질로 사용하였으나, 대부분의 중금속은 토양에 흡착되어 있으므로 카드뮴에 의한 식물 저해 및 추출에 미치는 영향이 다른 것으로 판단되며 두 상의 상관관계 대한 연구가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 환경부 "토양 · 지하수오염방지기술개발사업"으로 지원받은 과제이며, 연구에 도움을 주신 BK21 SIR사업단과 서울대학교 공학연구소에 감사드립니다.

참고문헌

교육과학기술부, 행정안전부, 농림수산식품부, 지식경제부, 환경부, 국토해양부, 산림청(2009) **저탄소에너지 생산·보급을 위한 폐자원 및 바이오매스 에너지 대책 실행계획**. pp. 180-189.

Agency for Toxic Substance & Disease Registry (2007) 2007 CERCLA priority list of hazardous substances. http://www.atsdr.cdc.gov/cercla/07list.html.

Blaylock, M.J., Salt, D.E., Duchenokov, S., Zakharova, Olga., Gussman, C., Kapulnic, Y., Ensley, B.D., and Raskin, I. (1997) Enhanced accumulation of Pb in indian mustard by soil-applied chelating agents. *Environ. Sci. Technol.*, Vol. 31, No. 3, pp. 860-865.

Chakravarty. B. and Srivastava S. (1992) Toxicity of some heavy metals in vivo and in vitro in *Helianthus annuus*. *Mutat. Res.*, Vol. 283, pp. 287-294.

Demirbas A.(2008) *Biodiesel a realistic fuel alternative for diesel engines*. Springer, London.

European Environment Agency (2007) CSI - 105 Progress in management of contaminated sites. http://themes.eea.europa.eu/IMS/ISpecs/ISpecification20041007131746/IAssessment1152619898983/view_content.

Farooqi, Z.R., Iqbal, M.Z., Kabir, M., and Shafiq, M. (2009) Toxic effects of lead and cadmium on germination and seedling growth of *Albizia lebbeck* (L.) *benth*. *Pak. J. Bot.*, Vol. 41, No. 1, pp. 27-33.

Fozia, A., Muhammad, A.Z., Muhammad A., and Zafar, M.K. (2008) Effect of chromium on growth attributes in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *J. Environ. Sci.*, Vol. 20, pp. 1475-1480.

Ghani, A. and Wahid, A. (2007) Varietal differences for cadmium-induced seedling mortality and foliar-toxicity symtoms in mungbean (*Vigna radiata*). *Int. J. Agri. Biol.*, Vol. 9, No. 4, pp. 555-558.

Ghosh, M. and Singh, S.P. (2005) A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of its byproducts. *Appl. Ecol. Environ. Res.*, Vol. 3, No. 1, pp. 1-18.

Haque, A.H.M.M., Akon, M.A.H., Islam, M.A., Khalequzzaman, K.M., and Ali, M.A. (2007) Study of seed health, germination and seedling vigor of farmers produced rice seeds. *Int. J. Sustain. Crop Prod*. Vol. 2, No. 5, pp. 34-39.

January, M.C., Cutright, T.J., Keulen, H.V., and Wei, R. (2008) Hydroponic phytoremediation of Cd, Cr, Ni, As and Fe: Can *Helianthus annuus* hyperaccumulate multiple heavy metals?. *Chemosphere*, Vol. 70, pp. 531-537.

Karbir, M., Zafar Iqbal, M., Shafiq, M., and Farooqi, Z.R. (2008) Reduction in germination and seedling growth of *Thespesia populnea* L., Caused by lead and cadmium treatments. *Pak. J. Bot.*, Vol. 40, No. 6, pp. 2419-2426.

Li, B., Wang, Q., Huang, B., and Li, S. (2001) Evaluation of the results from a quasi-tessier's sequential extraction procedure for heavy metal speciation in soils and sediment by ICP-MS. *Anal. SCi.*, Vol. 17, pp. i1561-i1564.

Li, W., Khan, M.A., Yamaguchi, S., and Kamiya, Y. (2005) Effects of heavy metals on seed germination and early seedling growth of *Arabidopsis thaliana*. *Plant Growth Regul.*, Vol. 46, pp. 45-50.

Mani, D., Sharma, B., and Kumar, C., (2007) Phytoaccumulation, interaction, toxicity and remediation of cadmium from *Helianthus annuus L.* (sunflower). *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, Vol. 79, pp. 71-79.

Maria, D.G., Myriam, S.Z., Maria, L.T., and Maria, P.B. (2008) Inhibition of root growth and polyanmine metabolism in sunflower (*Helianthus annuus*) seedlings under cadmium and copper stress. *Biol. Trace Emem. Res.*, Vol. 126, pp. 246-256.

Nordic Council of Ministers (2003) Cadmium Review. http://www.norden.org/sv/publikationer/publikationer/2003-1307/at_download/publicationfile.

Pan, S.W., Wei, S.Q., Yuan, X., and Cao, S.X. (2008) The removal and remediation of phenanthrene and pyrene in soil by mixed cropping of alfalfa and rape. *Agri. Sci. China*, Vol. 7, No. 11, pp. 1355-1364.

Peralta, J.R., Cardea-Torresdey, J.L., Tiemann, K.J., Gómez, E., Arteaga, S., Rascon, E., and Parsons, J.G. (2000) Study of the effects of heavy metals on seed germination and plant growth on alfalfa plant (*Medicago sativa*) grown in solid media. *Proc. of the 2000 Conf. on Hazard. Waste Res., Hazard. Sub. Res. Center*, Colorado, pp. 135-140.

Ru, S.H., Wang, J.Q., and Su, D.C. (2004) Characteristics of Cd uptake and accumulation in two Cd accumulator oilseed rape species. *J. Environ. Sci.*, Vol. 16, No. 4, pp. 594-598.

Tessier, A., Campbell, P.G.C., and Bisson, M. (1979) Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Anal. Chem.*, Vol. 51, No. 7, pp. 844-851.

U.S. Environmental Protection Agency (1996) Ecological effects test guidelines (OPPTS 850.4200): Seed germination / Root elongation toxicity test. http://epa.gov/oppts/pubs/frs/publications/OPPTS_Harmonized/850_Ecological_Effects_Test_Guidelines/Drafts/850-4200.pdf.

Yang, L. (2008) Phytoremediation: An ecotechnology for treating contaminated sites. *ASCE*, Vol. 12, No. 4, pp. 290-298.

Yang, Z.Y., Chen, F.H., Yuan, J.G., Zheng, Z.W., and Wong M.H. (2004) Responses of *Sesbania rostrata* and *S. cannabina* to Pb, Zn, Cu and Cd toxicities. *J. Environ. Sci.*, Vol. 16, No. 4, pp. 670-673.

(접수일: 2009.12.7/심사일: 2009.12.15/심사완료일: 2009.12.15)