한국조경학회지 42(5): 81~87, 2014. 10.
J. KILA Vol. 42, No. 5, pp. 81~87, October, 2014

pISSN 1225-1755 eISSN 2288-9566
http://dx.doi.org/10.9715/KILA.2014.42.5.081

도시 내 중금속 오염지의 관상식물로서 자생 맥문동(*Liriope platyphylla*)의 적용성 평가

주진희 · 윤용한

건국대학교 녹색기술융합학과

Application of *Liriope platyphylla*, Ornamental Korean Native Plants, for Contaminated Soils in Urban Areas

Ju, Jin-Hee · Yoon, Yong-Han

Dept. of Green Convergence, Konkuk University

ABSTRACT

Heavy metal pollution is a widespread global problem causing serious environmental concern. Heavy metals such as Cd, Pb, and Zn can induce toxicity in all organisms if the soil levels of contaminants reach critical values. The aim of the present study was to examine the application of *Liriope platyphylla*, an ornamental Korean native plant with great potential for contaminated soil in urban areas, to determine tolerance for Cd, Pb, and Zn. Plants were grown in amended artificial soil with Cd, Pb, and Zn at 0, 100, 250, and 500mg · kg^{-1} for 7 months. The length of leaf, width of leaf, total leaf number, dead leaf number, new leaf number, chlorophyll contents, and ornamental value were monitored from May to August, during growth the period. The relative leaf length and leaf width displayed rapidly decreasing tendencies with an increasing Cd concentration beginning from 4 months after planting . The same decreasing tendency was observed in total leaf number, new leaf number, chlorophyll contents, and ornamental values showed a trend of Control> Cd_{100}> Cd_{250}> Cd_{500}. In Pb concentration treatments, the relative leaf length and leaf width were significantly lower in plants grown at 250mg · kg^{-1} and 500mg · kg^{-1} as compared to the Control, 100mg · kg^{-1}. The total leaf number, new leaf number, and dead leaf number did not show significant difference among treatments in Control and Pb_{100} but chlorophyll contents and ornamental value decreased with increasing Pb supply concentration treatments. However, in Zn supply treatments, the relative leaf length was higher at 100mg · kg^{-1} than the Control, 250mg · kg^{-1}, 500 mg · kg^{-1}, but the relative leaf width decreased compared to the Control, Zn_{100}, Zn_{250}, and Zn_{500}. The total leaf number, dead leaf number, new leaf number, and ornamental value showed the lowest value in plants grown in Zn_{500} treatment but no significant differences were found among other treatments.

Key Words: Ground-Cover Plants, Heavy Metal- Tolerant Plants, Ornamental Plants, Plant Growth

국문초록

본 연구는 토양 내 중금속(카드뮴, 납, 아연) 처리 농도에 따른 자생 맥문동의 외형적인 생장 변화를 살펴봄으로써,

Corresponding author: Yong-Han Yoon, Dept. of Green Convergence, Konkuk University, Chungju 380-701, Korea, Tel.: +82-43-840-3538, Fax: +82-43-851-4169, E-mail: yonghan7204@kku.ac.kr

도시 내 중금속 오염지의 관상효과 증진을 위한 수종탐색 자료로 활용하고자 수행하였다. 중금속은 카드뮴, 납, 아연 등 3종류이고, 처리 농도는 Control, 100, 250, 500mg · kg^{-1} 등 4가지로서, 총 12가지 처리구로 구성하였다. 2009년 3월에 각각의 실험구에 10개씩 3반복으로 각 처리구에 정식하여, 같은 해 9월까지 약 7개월간 온실에서 실험을 실시하였다. 생장이 가장 활발한 시기라 볼 수 있는 5월부터 8월까지 약 3개월 동안 엽장, 엽폭, 총엽수, 고사엽수, 신엽수, 엽록소함량, 관상가치 등을 중심으로 생장 변화를 모니터링하였다. 카드뮴(Cd) 처리구의 경우, 엽장과 엽폭의 상대생장률이 식재 후 4개월이 경과된 시점에서 급속히 감소하였다. 총엽수, 신엽수, 엽록소함량, 관상가치 등의 형태적 항목에서도 Control> Cd_{100}> Cd_{250}> Cd_{500} 순으로 감소하는 경향을 보였다. 납(Pb) 처리구에서 엽장의 상대생장률은 Pb_{250}과 Pb_{500} 처리구에서만 변화율이 감소한 반면, 엽폭은 납 처리 농도가 높을수록 성장률의 감소양상이 뚜렷하였다. 총엽수, 신엽수, 고사엽수 등은 대조구와 Pb_{100} 처리구에서 비교적 유사하였으나, 엽록소함량, 관상가치 등은 납 처리 농도가 증가할수록 감소양상이 매우 뚜렷했다. 아연(Zn) 처리구는 카드뮴와 납 처리구와는 달리 식재 후 4개월이 경과된 시점에서도 변화율의 차이가 있을 뿐, 엽장은 꾸준히 증가하는 경향을 보였다. 엽폭 상대성장율 또한 Zn_{500} 처리구를 제외하고, 비교적 완만한 성장세를 보였다. 총엽수, 신엽수, 고사엽수, 관상가치는 Zn_{500} 처리구에서 가장 낮은 값을 나타낸 반면, Control, Zn_{100}, Zn_{250} 처리구 간에 차이가 뚜렷하지 않았다. 본 연구를 통해, 맥문동의 관상가치적 관점에서 생장 변화를 파악함으로써 향후 현장적용의 기반 연구로서 큰 의미를 갖는다고 하겠다. 하지만, 중금속에 대한 식물의 내성은 중금속 자체의 특이성과 환경조건에 따라 변화할 수 있다는 개연성을 가지므로, 실내연구와 현장적용성 연구가 병행되어야 할 것이다.

주제어: 지피식물, 중금속 내성식물, 관상식물, 식물생육

Ⅰ. 서론

도시 내 식생은 토양 내 중금속의 영향을 강하게 받으며, 이러한 오염지에 식재되는 식물은 크게 두 가지 선택기준이 요구된다. 첫번째로, 토양 내에 있는 중금속을 제거할 수 있는 식물이어야 하며, 두번째로 중금속으로 오염된 토양에서 자랄지라도, 외관적으로 아름다운 관상식물(ornamental plants)이어야 한다는 것이다(Gladkov *et al.*, 2011). 실제로, 꽃이 아름다운 타래붓꽃(*Iris lactea* var. *chinensis*)과 털부처꽃(*Lythrum salicaria*) 등과 같은 관상식물들이 오염지 식재수종으로 평가되고 있다(Han *et al.*, 2007; Uveges *et al.*, 2002). 또한, 최근에는 꽃향유(*Elsholtzia splendens*), 노랑꽃창포(*Iris pseudacorus*), 창포(*Acorus calamus*), 제라늄(*Pelargonium hortorum*), 비비추(*Hosta longipes*) 등이 오염지 관상식물로 주목받고 있다(Jiang *et al.*, 2008; Lee and Kim, 2011; Caldelas *et al.*, 2012; Daniela *et al.*, 2012; Ju and Yoon, 2013). 이렇듯, 중금속 오염지에 대한 관상식물의 적용은 생태성과 경관성을 동시에 해결할 수 있는 방안으로 주목되고 있으나(Liu *et al.*, 2008), 좀 더 다양한 공간에 대한 수종탐색이 필요한 실정이다. 특히, 도시 내 중금속 오염지는 소규모로 산재되어 있어 도시민의 건강에 직접적인 영향을 줄 수 있기 때문에, 기존의 양지식물 또는 식용식물이 아닌, 관상식물을 통한 식재가 필요한 시점이라 본다. 무엇보다 도시 내 고층빌딩, 고가도로, 옹벽 설치 등으로 인한 영구음영지가 증가된다고 볼 때, 내음성이 있으면서 환경교란이 적은 자생수종의 탐색이 필요하다. 이러한 관점에서 자생 맥문동(*Liriope platyphylla*)은 선형의 짙은 녹색의 잎에, 5~8월에 보라색으로 꽃이 피는 상록성 초본식물로(Choi *et al.*, 2001), 광 적응범위가 넓어 장소에 구애받지 않을 뿐 아니라, 유지관리가 용이해, 조경용 지피식물로 중요한 역할을 하고 있다(Won and Lee, 2002).

중금속은 식물의 외형적인 생육, 형태학에 영향을 줄 뿐 아니라, 단백질 변이, 또는 세포막 손상 등에 관여하는 것으로 알려져 있다(Leita *et al.*, 1995). 또한, 식물의 이산화탄소 고정을 방해함으로써 광합성에 영향을 미친다(Clijsters and Van-Assche, 1985). 특히, Zn, Cd, Hg, Pb, Cu 등의 중금속들은 색소합성을 저해함으로써 엽록소의 함량을 감소시키는 것으로 알려져(Clijsters and Van-Assche, 1985; Prasad and Strzalka, 1999), 식물의 외형적인 생장과 형태에 영향을 미칠 것으로 예측된다.

도시지역의 중금속 토양오염실태에 관한 연구들을 살펴보면, 중부 지역 도시 자연녹지 토양의 경우, 아연 2.00~15.00, 납 1.00~23.00, 카드뮴 0.00~0.08mg · kg^{-1}로, 비교적 높게 나타났는데, 이는 자동차 및 도시 폐기물 등 오염원의 노출이 외곽지역보다 더 심하기 때문이라고 해석하고 있다(Kim and Park, 2000). 서울시 633개 도로변 퇴적물의 중금속 함량을 분석한 결과, 아연은 평균 2,665±1,815$\mu g \cdot g^{-1}$, 납은 평균 214.3±147.9$\mu g \cdot g^{-1}$, 카드뮴은 평균 4.3±3.3$\mu g \cdot g^{-1}$로, 오래된 거주지역과 산업지역일수록 오염이 가장 심한 것으로 관찰되었다(Lee *et al.*, 2003). 또한, 서울시 도시농업지역 토양의 중금속 전함량을 분석한 결과, 아연 38.97~180.06, 납 8.10~46.27, 카드뮴 0.97~3.17 mg · kg^{-1}로, 우리나라 토양환경보전법에 제시된 제 1지역 토

양오염 우려기준은 모두 초과하지 않는 것으로 조사되었다(Kim *et al.*, 2011). 하지만, 카드뮴, 납, 아연은 도시화와 관련성이 높다고 볼 때(Lee *et al.*, 2003), 이러한 오염지에 잘 자랄 수 있을 뿐 아니라, 경관성을 높일 수 있는 관상식물의 적용이 필요한 시점이라 사료된다. 이에 본 연구는 토양 내 중금속(카드뮴, 납, 아연) 처리 농도에 따른 자생 맥문동의 외형적인 생장 변화를 살펴봄으로써, 도시 내 중금속 오염지의 관상효과 증진을 위한 지피식물의 적용성을 모색하고자 한다.

Ⅱ. 연구재료 및 방법

1. 연구재료

실험구는 가로 300mm×세로 200mm×높이 250mm의 폴리에틸렌 재질로, 토양 내 중금속이 관수에 의해 외부로 방출되는 것을 방지하기 위해 배수구가 없는 용기를 자체 제작하였다. 식물의 장기간의 생장과 배수성을 고려해, 펄라이트(PARASO, Samson Inc., Korea)와 인공배합토(Sunshine Mix #1, SunGro Horticulture, Canada)를 동일한 비율로 섞은 배합토를 식재지반으로 사용하였다. 중금속의 종류는 토양과 식물체에 축적될 경우 독성을 발현할 수 있는(Pierzynski *et al.*, 1994) 아연(Zn)과 납(Pb), 카드뮴(Cd)으로 선정하였다. 중금속 처리 농도는 건토 1kg을 기준으로 각각의 중금속을 중량비율로 0, 100, 250, 500mg・kg^{-1} (이하: Control, 100, 250, 500)으로 혼합하였다(Anthony *et al.*, 2006). 식물의 생육을 위해 용기당 증류수 500mL씩 수분을 중금속 혼합토에 첨가하였으며, 토양의 안정화를 위해 4주간 온실 내에 두었다(Hong *et al.*, 2013). 구체적인 토양의 이화학적 특성 및 중금속 변화는 Ju and Yoon(2014)과 같다.

2. 연구방법

초장이 약 15cm이고, 크기가 비교적 균일한 맥문동을 구입하여 1개월간 전공온실에서 순화시켰다. 기조성된 각각의 실험구에 10개씩 3반복으로 맥문동을 정식하여 2009년 9월까지 약 7개월간 생장 변화를 살펴보았다. 실험 중 온실의 환경조건은 평균온도 22.0±4.0℃, 평균상대습도는 50±5.0%, 낮 동안의 평균광도 150~ 200μmol・m^{-2}・s^{-1}로, 관수는 일주일에 500mL씩 총 2회 실시하였다. 생육측정은 식물의 활착이 이루어지고, 생장이 활발한 시기라 할 수 있는 5월부터 8월까지 약 3개월 동안 엽장(leaf length), 엽폭(leaf width), 총엽수(total leaf number), 고사엽수(dead leaf number), 신엽수(new leaf number), 엽록소함량(chlorophyll contents), 관상가치(ornamental value) 등을 중심으로 매달 모니터링하였다. 맥문동은 식물형태학적 특징상 짧고 굵은 뿌리줄기에서 잎이 모여 나오기 때문에, 식물의 초장(plant height) 대신 엽장(leaf length)을 생육측정 항목으로 대체하였다. 이에 엽장은 5개의 중간엽의 길이를, 엽폭은 그 잎의 폭을 측정하여 평균값을 냈다. 매달 측정된 엽장과 엽폭은 상대생장률(B/A× 100, A: 초기 각 엽장과 엽폭의 값, B: 해당 시기의 각 엽장과 엽폭값)로 계상하여(Song *et al.*, 2010), 상대적인 생장을 증가비율로 변환하였다. 엽수, 고사엽수, 새순수는 단위 식물체를 기준으로 육안으로 조사하였다. 엽록소함량은 줄기 정단부로부터 아래로 완전히 전개된 잎을 휴대용 엽록소측정기(SPAD-502, Konica Minolata Sensing, Inc., Japan)을 이용하여 중간엽에서 5반복 측정하였다. 관상가치는 외관적으로 보이는 생육상태를 기준으로 1~5점 스케일로 평가하였다(Nagase and Dunnett, 2010). 완전 고사(1점), 50% 이하의 불량(2점), 50% 유지(3점), 50% 이상 양호(4점), 완전 양호(5점)으로 수치화하여 평균값을 계산하였다. 엽수, 고사엽수, 새순수, 엽록소함량, 관상가치 등은 DMRT(Duncans Multiple Range Test) 5% 수준에서 평균간 유의성을 검증하였다.

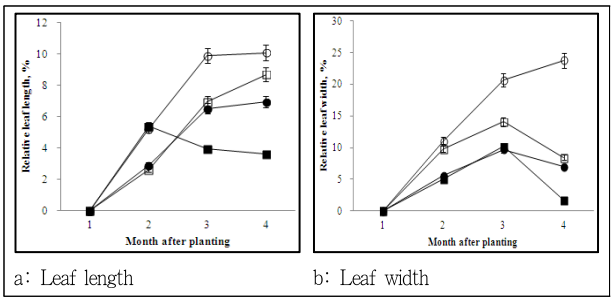
Ⅲ. 연구결과 및 고찰

1. 카드뮴(Cd) 처리 농도에 따른 생장 변화

카드뮴(Cd) 처리 농도에 따른 맥문동의 8월의 엽장 상대생장률을 분석한 결과, Control에서 10% 성장률로 가장 높았으며, Cd_{500} 처리구에서 4%로 가장 낮아, 처리 농도가 높아질수록 엽장의 성장률이 둔화되었다. 특히, Cd_{500} 처리구에서는 식재 후 4개월이 경과된 시점에서는 확연하게 감소하는 현상을 볼 수 있었다. 엽폭은 식재 후 4개월이 경과된 7월부터 Control을 제외하고, Cd_{100}> Cd_{250}> Cd_{500} 순으로 하향하는 양상이 엽장보다 더 뚜렷했다(Figure 1 참조). 따라서, 엽장은 Cd_{500} 처리구를 제외하고, 지속적인 성장률을 보인 반면, 엽폭은 대조구를 제외한 나머지 처리구에서 감소세를 보여, 카드뮴이 맥문동의 엽장보다 엽폭의 감소에 더 영향을 주는 것으로 해석된다. 또한, 이러한 감소 반응이 식재 후 4개월이 지난 시점에서 확연하게 나타난다는 결과를 통해 맥문동의 카드뮴에 대한 내성 스트레스의 발현 시점을 보여준다고 하겠다. 일반적으로 식물체의 지상부가 짧아지는 원인은 오염, 건조, 광화학적인 스트레스에 의해 발생되며, 오염지에서 식물체의 짧은 지상부는 평균적인 길이생장을 방해하고, 종국에는 생존율이 감소된다고 지적하고 있다(Samecka *et al.*, 2009).

총엽수와 신엽수는 카드뮴의 처리 농도가 높을수록 감소된 반면, 고사엽수는 증가되었으나 수치적인 차이만 있을 뿐, 통계적인 차이는 뚜렷하지 않았다. 즉, 단위 잎에 대한 형태적인 크기의 차이는 농도별 매우 뚜렷한 경향을 보였으나, 엽수와 관련된 항목에서는 큰 차이를 발견하기는 어려웠다. 엽록소함량

은 Control, Cd_{100}, Cd_{250}, Cd_{500} 처리구가 각각 67.5, 64.8, 60.5, 55.3 SPAD unit로, 카드뮴 농도가 높을수록 감소되는 현상이 비교적 뚜렷했다. 관상가치는 Control> Cd_{100}> Cd_{250}> Cd_{500} 순으로, 엽록소함량의 결과와 유사한 경향을 보여, 카드뮴의 농도가 증가하면서 이와 함께 외형적 생육이 감소되는 현상이 분명하게 나타났다(Table 1 참조). 관상식물 중 하나인 프렌치 메리골드(*Tagetes patula*)는 토양 내 카드뮴에 의해 생육이 억제되는 것은 사실이나, 안정된 형태를 유지하고 있어 카드뮴 고농축 식물로 제시되고 있다(Sun *et al.*, 2011). 금잔화(*Calendula officinalis*)는 토양 내 카드뮴 100mg · kg^{-1}에서도 독성피해 없이 자라는 것으로 보고되고 있으며, 접시꽃(*Althaea rosea*)은 100mg · kg^{-1} 이상의 농도에서 지하부보다 지상부에 축척량이 높다고 보고되었다(Liu *et al.*, 2008). 카드뮴에 대한 벼(rice)의 외형적인 반응을 살펴보면, 24시간 노출 후 지상부의 생육이 지연되고, 120시간 경과 후 50μM의 카드뮴에 노출된 경우, 모든



a: Leaf length b: Leaf width

Figure 1. Change in relative leaf length (a), and leaf width (b) of *Liriope platyphylla* as influenced by different heavy metal treatments at different months after planting.

Error bars indicate standard deviations of treatment means (n=30). Growth media indicates soil mixing with different levels of cadmium, Control=0 mg Cd+1 kg amended soil, Cd_{100}=100 mg Cd+1 kg amended soil, Cd_{250}=250 mg Cd+1 kg amended soil, Cd_{500}=500 mg Cd+1 kg amended soil.

Legend: Control Cd100 Cd250 Cd500

Table 1. Total leaf number, dead leaf number, new leaf number, chlorophyll contents, and ornamental value of *Liriope platyphylla* as influenced by different cadmium treatments (p=0.05)

Treatment	Total leaf no.	Dead leaf no.	New leaf no.	Chlorophyll contents (SPAD unit)	Ornamental value (1~5 grade)
Control[y]	28.1 a[z]	0.6 a	1.1 a	67.5 a	3.71 a
Cd_{100}	25.6 a	0.7 a	0.8 a	64.8 b	3.57 ab
Cd_{250}	24.1 a	0.9 a	0.7 a	60.5 c	3.28 ab
Cd_{500}	22.9 a	1.2 a	0.5 a	55.3 d	2.57 b

[z] Different lowercase letters are significantly different at P<0.05 by Duncan's Multiple Range Test.

[y] Growth media indicates soil mixing with different levels of cadmium, Control=0 mg Cd+1 kg amended soil, Cd_{100}=100 mg Cd+1 kg amended soil, Cd_{250}=250 mg Cd+1 kg amended soil, Cd_{500}=500 mg Cd+1 kg amended soil.

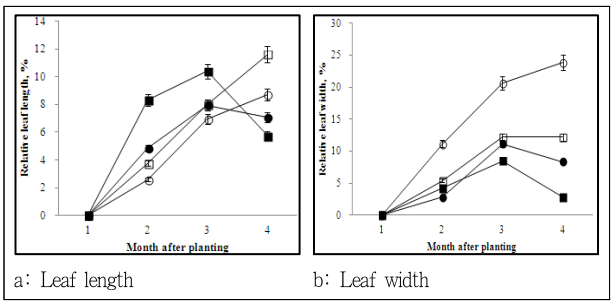
잎집이 완전히 말리고 수축하여 시드는 현상을 보인다고 하였다(Youko *et al.*, 2014). 이렇듯, 카드뮴(Cd)은 비필수요소로 독성이 강하고, 생물체로의 축적이 용이한 중금속이다(Shelmerdine *et al.*, 2009). 우리나라 토양오염우려기준(Ministry of Environment, 2007)에서 카드뮴(Cd)의 허용범위가 제1지역은 4mg · kg^{-1}, 제2지역은 10mg · kg^{-1}, 제3지역은 60mg · kg^{-1}로(2009. 6.25 개정) 규정하고 있다. 금번 카드뮴 농도 처리는 환경부에서 정한 토양오염우려기준을 초과한 농도로 적용했기 때문에, 카드뮴(Cd) 100mg · kg^{-1} 이하의 농도에서는 외관적인 피해증상이 거의 없을 것으로 추정된다. 이에 자생 맥문동은 제3지역의 관상식물로 적용가능성은 매우 높을 것으로 사료된다.

2. 납(Pb) 처리 농도에 따른 생장 변화

납(Pb)의 농도수준별 엽장의 상대생장률은 식재 후 4개월 이내에서는 Control> Pb_{100}> Pb_{250}> Pb_{500} 순이었으나, 이후로는 Pb_{100}> Control> Pb_{250}> Pb_{500} 순으로, Pb_{100}과 Control를 제외한 나머지 처리구에서 상대생장률이 감소하였다. 특히, Pb_{100} 에서 12%로, Control에서 8%, Pb_{250}에서 7%, Pb_{500}에서 6%인데 비해, 가장 높은 상대생장률을 보였다. 한편, 500mg · kg^{-1} 처리구의 경우, 초기에는 다소 높았으나, 시간이 경과됨에 따라 낮아지는 경향을 보였다. 엽폭의 상대생장률은 초기에는 뚜렷한 구분을 짓기는 어려웠으나, 식재 후 4개월이 경과된 시점인 7월부터는 Control> Pb_{100}> Pb_{250}> Pb_{500} 순으로 납의 처리 농도가 높을수록 성장률의 감소양상이 비교적 뚜렷하였다(Figure 2 참조). 이에, 엽장은 대조구보다 Pb_{100}에서 증가되었으나, 엽폭은 오히려 감소됨으로써, 전반적으로 잎의 외형적인 형태가 길고 좁게 변화됨을 알 수 있었다.

총엽수는 Control과 Pb_{100} 처리구가 각각 28.0개, 28.1개로 차이가 거의 없었으나, Pb_{250}, Pb_{500} 처리구는 각각 26.9개, 24.1개로 처리 농도가 높아질수록 감소하였다. 납 농도 처리에 따른 신엽수와 고사엽수는 서로 상반된 현상을 보였으며, 농도별로는 수치적인 차이만 있을 뿐, 통계적 유의성은 없었다. 엽록소함량은 Control, Pb_{100}, Pb_{250}, Pb_{500} 처리구가 각각 67.5, 60.5, 53.0, 51.0 SPAD unit로, 납 농도가 증가할수록 감소양상이 매우 뚜렷함을 알 수 있었다. 관상가치 또한, Control, Pb_{100}, Pb_{250}, Pb_{500} 순으로 납 처리 농도가 높아질수록 감소됨에 따라, 엽록소함량과 비교적 일치하는 결과를 보여주었다(Table 2 참조). 이에 전반적인 관상가치는 엽장과 엽폭보다는 총엽수, 신엽수, 엽록소함량 등의 항목과 직접적인 관련성이 있는 것으로 해석된다.

실제로, 납-아연 오염지와 비오염지에서 각각 채취한 물박달나무(*Betula pendula*)의 엽록소함량을 조사해 본 결과, 오염지의 식물체의 엽록소함량이 낮은 것으로 나타났으나, 이것이 중



a: Leaf length b: Leaf width

Figure 2. Change in relative leaf length (a), and leaf width (b) of *Liriope platyphylla* as influenced by different heavy metal treatments at different months after planting .

Error bars indicate standard deviations of treatment means (n=30). Growth media indicates soil mixing with different levels of lead, Control=0 mg Pb+l kg amended soil, Pb_{100}=100 mg Pd+1 kg amended soil, Pb_{250}=250 mg Pb+1 kg amended soil, Pb_{500}=500 mg Pb+1 kg amended soil.

Legend: Control Pb100 Pb250 Pb500

Table 2. Total leaf number, dead leaf number, new leaf number, chlorophyll contents, and ornamental value of *Liriope platyphylla* as influenced by different lead treatments (p=0.05)

Treatment	Total leaf no.	Dead leaf no.	New leaf no.	Chlorophyll contents (SPAD unit)	Ornamental value (1~5 grade)
Control[y]	28.1 a[z]	0.4 a	1.1 a	67.5 a	5.00 a
Pb_{100}	28.0 a	0.4 a	0.7 a	60.1 b	4.42 ab
Pb_{250}	26.9 ab	0.5 a	0.6 a	53.0 c	3.28 bc
Pb_{500}	24.1 b	1.2 a	0.5 a	51.0 d	2.71 c

[z] Different lowercase letters are significantly different at P<0.05 by Duncan's Multiple Range Test.

[y] Growth media indicates soil mixing with different levels of lead, Control= 0 mg Pb+l kg amended soil, Pb_{100}=100 mg Pb+1 kg amended soil, Pb_{250}= 250 mg Pb+1 kg amended soil, Pb_{500}=500 mg Pb+1 kg amended soil.

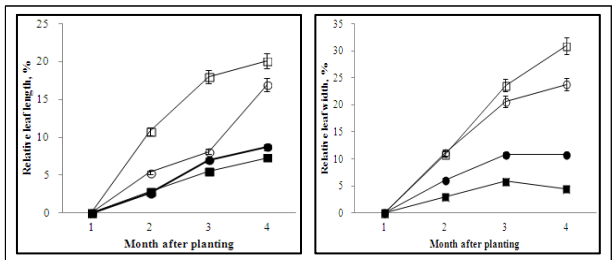
금속 농도에 따른 차이라고 단정하기는 어렵다는 결론을 도출하고 있다(Izabella and Agnieszka, 2011). 따라서, 맥문동은 납(Pb) 농도가 높을수록 엽폭, 엽록소함량, 엽수, 새순수가 감소하는 반면, 엽장의 상대성장률은 납 농도 100mg·kg^{-1} 이하에서는 대조구에 비해 관상가치가 크게 낮아지지 않았다. 우리나라 토양오염우려기준(Ministry of Environment, 2007)에서 납(Pb)의 허용범위가 제1지역 200mg·kg^{-1}, 제2지역 400mg·kg^{-1}, 제3지역 700mg·kg^{-1}이라고 볼 때, 제2지역까지 관상용 지피식물로 맥문동을 적용할 수 있으리라 판단된다.

3. 아연(Zn) 처리 농도에 따른 생장 변화

아연(Zn) 농도 수준별 맥문동의 8월 엽장 상대생장률은 Control, Zn_{100}, Zn_{250}, Zn_{500} 처리구가 각각 17%, 20%, 9%, 7%로, Zn_{100}> Control> Zn_{250}> Zn_{500} 순으로 Zn_{100}에서 가장 높게, Zn_{500}에서 가장 낮게 조사되었다. 카드뮴(Cd)와 납(Pb) 처리구와는 달리 식재 후 4개월이 경과된 시점에서도 변화율의 차이가 있을 뿐, 엽장은 꾸준히 증가하는 경향을 보였다. 엽폭 상대생장률 또한 Zn_{100} 처리구가 31%로 가장 높았고, Zn_{500} 처리구가 4%로, 처리구간 약 8배의 차이를 보여, 엽장과 유사한 결과를 나타냈다(Figure 3 참조).

총엽수와 신엽수는 아연 농도가 높을수록 수치적으로 감소된 반면, 고사엽수는 증가하는 경향을 보였으나, 대조구 식물체와 비교해볼 때, 유의적인 차이를 보이지 않았다. 반면, 엽록소 함량은 Control, Zn_{100}, Zn_{250}, Zn_{500} 처리구에서 각각 67.5, 61.1, 60.0, 51.0 SPAD unit로, Control에서 가장 높은 값을, Zn_{500}에서 가장 낮은 값을 보였다. 관상가치는 Zn_{500} 처리구를 제외하고, Control, Zn_{100}, Zn_{250} 처리구 간 확연한 차이를 발견하기 어려웠다(Table 3 참조).

아연에 대한 맥문동의 외형적 생장 변화가 카드뮴이나 납처



a: Leaf length b: Leaf width

Figure 3. Change in relative leaf length (a), and leaf width (b) of *Liriope platyphylla* as influenced by different heavy metal treatments at different months after planting.

Error bars indicate standard deviations of treatment means (n=30). Growth media indicates soil mixing with different levels of zinc, Control=0 mg Zn+ 1 kg amended soil, Zn_{100}=100 mg Zn+1 kg amended soil, Zn_{250}=250 mg Pb+1 kg amended soil, Zn_{500}=500 mg Zn+1 kg amended soil.

Legend: Control Zn100 Zn250 Zn500

Table 3. Total leaf number, dead leaf number, new leaf number, chlorophyll contents, and ornamental value of *Liriope platyphylla* as influenced by different zinc treatments (p=0.05)

Treatment	Total leaf no.	Dead leaf no.	New leaf no.	Chlorophyll contents (SPAD unit)	Ornamental value (1~5 grade)
Control[y]	28.9 a[z]	0.2 a	1.3 a	67.5 a	4.42 a
Zn100	26.6 a	0.6 a	1.1 a	61.1 b	4.52 a
Zn250	24.1 a	0.9 a	0.6 a	60.0 b	4.14 a
Zn500	23.6 a	1.2 a	0.5 a	51.0 c	3.28 b

[z] Different lowercase letters are significantly different at P<0.05 by Duncan's Multiple Range Test.

[y] Growth media indicates soil mixing with different levels of zinc, Control= 0 mg Zn+l kg amended soil, Zn_{100}=100 mg Zn+1 kg amended soil, Zn_{250}= 250 mg Zn+1 kg amended soil, Zn_{500}=500 mg Zn+1 kg amended soil.

리구보다 양호한 이유는 아연이 식물 생장에 필수 요소(Arleta *et al.*, 2012)로, 카드뮴과 납에 비해 좀 더 능동적으로 조직 내로 흡수되었기 때문인 것으로 해석된다. 반면, 과다한 아연은 식물에게 백화현상, 발아지연, 성장지연, 시들음과 수분장애 등과 같이 독성반응을 보일 수 있을 뿐만 아니라(Deng *et al.*, 2006; Dhir *et al.*, 2008), 모니터링하고 제거하는 데 고비용이 드는 중금속이기 때문에(US Environmental Protection Agency, 2005), 추후 고농도 처리를 통한 재검증 또한 필요하다고 하겠다.

맥문동의 엽장은 농도가 높을수록 상대성장률의 차이가 있을 뿐, 지속적인 성장세를 보였으며, 엽폭의 경우에도 식재 후 4개월이 경과한 7월에서도 급감하지 않아 뚜렷한 생육한계농도를 구분 짓기는 어려웠다. 총엽수, 신엽수, 고사엽수 또한 수치적으로 감소했을 뿐, 농도에 따른 유의적인 차이를 보이지 않아, 관상식물로 적용범위가 더 넓을 것으로 예측된다. 우리나라 토양오염우려기준(Ministry of Environment, 2007)에서 아연(Zn)의 허용범위가 제1지역 300mg · kg^{-1}, 제2지역 600mg · kg^{-1}, 제3지역 2,000mg · kg^{-1}이라고 볼 때, 제2지역까지 관상식물로 맥문동을 적용할 수 있으리라 판단되며, 추후 좀 더 고농도 처리를 통한 적용성 여부를 평가할 필요가 있다.

Ⅳ. 결론

본 연구는 토양 내 중금속(카드뮴, 납, 아연) 처리 농도에 따른 자생 맥문동의 외형적인 생장 변화를 살펴봄으로써, 도시 내 중금속 오염지의 관상효과 증진을 위한 수종탐색의 기초자료로 활용하고자 수행하였다. 카드뮴(Cd) 처리구에서 맥문동의 엽장과 엽폭은 식재 후 4개월이 경과된 시점에서 급속히 감소하였으며, 총엽수, 신엽수, 엽록소함량, 관상가치 등의 형태적 항목에서도 Control> Cd_{100}> Cd_{250}> Cd_{500} 순으로 처리 농도가 높을수록 감소하였다. 하지만, 처리 농도 자체가 토양오염우려기준보다 높은 수준이라고 볼 때, 현장적용의 기반 연구로서 큰 의미를 갖는다고 하겠다. 납(Pb) 처리구에서 엽폭의 상대생장율은 엽장보다 처리 농도가 높을수록 감소양상이 비교적 뚜렷해, 전반적으로 잎이 길고 좁아지는 양상을 나타냈다. 신엽수, 고사엽수, 엽록소함량, 관상가치 등은 납 처리 농도가 증가할수록 감소되었다. 아연(Zn) 처리구에서 엽장과 엽폭은 Zn_{500} 처리구를 제외하고, 식재 후 4개월이 경과된 시점에서도 처리구간 차이가 있을 뿐 꾸준히 증가하였다. 총엽수, 신엽수, 고사엽수, 관상가치는 Zn_{500} 처리구를 제외하고, Control, Zn_{100}, Zn_{250} 처리구 간 확연한 차이를 보이지 않았다. 따라서, 자생 맥문동은 카드뮴(Cd) 100mg · kg^{-1} 이하의 농도에서는 외관적인 피해증상이 거의 없을 것으로 예측되며, 제3지역의 중금속 오염지역의 관상식물로 적용가능성은 매우 높을 것으로 사료된다. 특히, 아연과 카드뮴은 자동차 타이어가 마모되면서 발생하기 때문에, 가로수 하부의 지피식물로서 맥문동의 적용성은 매우 기대가 된다.

본 연구는 도시 내 중금속 오염지에 대한 관상용 지피식물의 수종 탐색을 위해 중금속 농도차이에 따른 자생 맥문동의 형태적 반응을 살펴본 것이다. 이는 기존의 양지식물 또는 식용식물을 위주로 한 기존의 식물재배정화법(phytoremediation)과는 다른 접근방법으로써, 도시라는 공간적 특수성을 고려한 관상식물의 적용을 목적으로 수행되었다. 하지만, 중금속 오염지에 대한 식물의 외형적인 생장 변화는 중금속 자체의 특이성과 환경적 조건에 따라 달라질 수 있으므로, 추후 다양한 환경조건에 따른 현장적용성 연구가 진행되어야 할 것이다.

References

1. Anthony, G. K., B., Singh and N. P. Bhatia(2006) Heavy metal tolerance in common fern species. Austral. J. Bot. 55(1): 63-73.
2. Arleta M., P. Aneta, M. Anna, H. Anetta, B. Danuta and T. Barbara (2012) Antioxidative defense system in *Pisum sativum* roots exposed to heavy metals(Pb, Cu, Cd, Zn). Pol. J. Envrion. Stud. 21(6): 1721-1730.
3. Caldelas, C., J. Bort and A. Febrero(2012) Ultrastructure and subcellular distribution of Cr in *Iris pseudacorus* L. using TEM and X-ray microanalysis. Cell Biol. Toxicol. 28: 57-68.
4. Choi, S. T., J. E. Kim, I. W. Park and H. G. Ahn(2001) Effects of shading on the growth of variegated liriope (*Liriope platyphylla* Wang et Tang. *forma variegata* Hort. Kor. Turfgrass Sci. 15(2): 77-86.
5. Clijsters, H. and F. Van-Assche(1985) Inhibition of photosynthesis by heavy metals. Photosyn. Res. 7: 31-40.
6. Daniela, I. O., V. Schindler and R. S. Lavado(2012) Heavy metal availability in *Pelargonium hortorum* rhizosphere: interactions, uptake and plant accumulation. Journal of Plant Nutrition 35: 1374-1386.
7. Deng, H., Z. H. Ye and M. H. Wong(2006) Lead and zinc accumulation and tolerance in populations of six wetland plants. Environ. Pollut. 141: 69-80.
8. Dhir, B., P. Sharmila and P. Pardha Saradhi(2008) Photosynthetic performance of *Salvinia natas* exposed to chromium and zinc rich wastewater. Bras. J. Plant Physiol. 20: 61-70.
9. Gladkova, E. A., O. N. Gladkova and L. S. Glushetskaya(2011) Estimation of heavy metal resistance in the second generation of creeping bent grass (*Agrostis solonifera*) obtained by cell selection for resistance to these contaminants and the ability of this plant to accumulate heavy metal. Applied Biochemistry and Microbiology 47(8): 776-779.
10. Han, Y., H. Yuan, S. Huang, Z. Guo, B. Xia and J. Gu(2007) Cadmium tolerance and accumulation by two species of Iris. Ecotoxicol. 16: 557-563.
11. Hong, C. O., Y. G. Kim, S. M. Lee, H. C. Park, K. K. Kim, H. J. Son, J. H. Cho and P. J. Kim(2013) Liming effect on cadmium immobilization and phytoavailability in paddy soil affected by mining activity. Korean J. Environ. Agric. 32(1): 1-8.
12. Izabella, F. and B. Agnieszka(2011) The growth and reproductive effort of *Betula pendula* Roth in a heavy-metals polluted area. Polish J. of Environ. Stud. 20(4): 1097-1101.
13. Jiang, L. Y., X. E. Yang and J. M. Chen(2008) Copper tolerance and accumulation of *Elsholtzia splendens* Nakai in a pot environment. Journal of Plant Nurition 31: 1382-1392.
14. Ju, J. H. and Y. H. Yoon(2014) Characteristics of heavy metal accumulation

and removing from soil using Korean native plant, *Liriope platyphylla* for phytoremediation. Journal of Environmental Sciences International 23(1): 61-68.
15. Ju, J. H. and Y. H. Yoon(2013) Phytoremediation of soil contaminated with heavy metal by *Hosta longipes* in urban shade. Journal of Environmental Policy 12(4): 119-132.
16. Kim, K. H. and S. N. Park(2000) Distribution of NO_3^-, SO_4^{2-} and heavy metals in some urban-forest soils of central Korea. Korean Journal of Environmental Agriculture 19(4): 351-357.
17. Kim, H. S., Y. N. Kim, J. W. Kim and K. H. Kim(2011) Properties and heavy metal contents of urban agricultural soils in Seoul. Korean J. Soil Sci. Fert. 44(6):1048-1051.
18. Lee, P. K., Y. H. Yu, S. T. Yun and S. C. Shin(2003) Spatial variability of heavy metal contamination of urban roadside sediments collected from gully pots in Seoul city. Journal of Soil and Groundwater Environment 8(2): 19-35.
19. Lee, S. C. and W. S. Kim(2011) Cadmium accumulation and tolerance of Iris pseudacorus and *Acorus calamus* as aquatic plants native to Korea. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 29(5): 413-419.
20. Leita, L., M. De Nobili, G. Muhlbachova, C. Mondini, L. Marchiol and G. Zerbi(1995) Bioavalability and effects of heavy metals on soil microbial biomass survival during laboratory incubation. Biol. Fertil. Soil 19: 103.
21. Liu, J., Q. X. Zhou, T. Sun, L. Ma and S. Wang(2008) Growth responses of three ornamental plants to Cd and Cd-Pb stress and their metal accumulation characteristics. Journal of Hazardous Materials 151: 261-267.
22. Ministry of Environment(2007) Soil monitoring system and survey results on 2007. pp. 328.
23. Nagase, A. and N. Dunnett(2010) Drought tolerance in different vegetation types for extensive green roofs: effects of watering and diversity. Landscape and Urban Planning 97(4): 318-327.
24. Pierzynski, G. M., J. T. Sims, and G. F. Vance(1994) Soils and Environmental Quality. Lewis Publishers, Florida, USA. pp: 47-55.
25. Prasad, M. N. V. and K. Strzalka(1999) Impact of Heavy Metal on Photosynthesis. Springer, Berlin. pp.177-138.
26. Samecka, C. A., K. Kolon and A. Kempers(2009) Short shoots of *Betula pendula* Roth as bioindicators of urban environmental pollution in Wroclaw (Poland). Trees 20: 923.
27. Shelmerdine, A., C. Black, S. McGrath and S. Young(2009) Modelling phytoremediation by the hyperaccumulating fern, *Pteris vittata*, of soils historically contaminated with arsenic. Environ. Pollut. 157: 1589-1596.
28. Song, J. H., H. Y. Jin and T. H. Ahn(2010) A study on physicochemical properties of artificial substrates and changes of plant growth in tropical plant resources research center of Korea national arboretum. J. Korean Env. Res. Tech. 13(2): 52-62.
29. Sun, Y., Q. Zhou, Y., Xu, L. Wang and X. Liang(2011) Phytoremediation for co-contaminated soils of benzo [a] pyrene (B [a] P) and heavy metals using ornamental plant *Tagetes patula*. Journal of Hazardous Materials 186: 2075-2082.
30. US Environmental Protection Agency(2005) Priority pollutants. Code of federal regulations. Title 40: protection of environment, chap Ⅰ. Appendix A to 40 CFR Part 423. 1st July 2005. Environmental Protection Agency.
31. Uveges, J. L., A. L. Corbett and T. K., Mal(2002) Effects of lead contamination on the growth of *Lythrum salicaria* (purple loosestrife). Environ. Pollut. 120: 319-323.
32. Youko, O., Y. Takayuki, K. Yoshihiro, K. Hiroyuki, K. Fuminori, S. Harumi, M. Satomi, W. Jianzhong, I. Takeshi and M. Takashi(2014) Genome-wide transcriptome analysis reveals that cadmium stress signaling controls the expression of genes in drought stress signal pathways in rice. PLoS ONE. 9(5): 1-13.
33. Won, J. Y. and C. Y. Lee(2002) Characteristics of photosynthesis and dry matter production of *Liriope platyphylla* Wang et Tang. Korean J. Medicinal Crop Sci. 10(2): 82-87.

원 고 접 수 일: 2014년 9월 4일
심 사 일: 2014년 10월 13일(1차)
게 재 확 정 일: 2014년 10월 13일
3인익명 심사필