

Cd²⁺에 의한 닭의장풀의 식물 독성에 Indole acetic acid가 미치는 영향

이 준 상

상지대학교 생명과학과

The Effects of Indole Acetic Acid (IAA) on Cd²⁺-induced Physiological Toxicities in *Commelina communis* L.

Joon Sang Lee

Department of Life Science, Sangji University, Wonju 220-702, Korea

Abstract - 3-weeks old *Commelina* was transferred to and grown in Hoagland solution ($\pm 100 \mu\text{M Cd}^{2+}$, $100 \mu\text{M Cd}^{2+} + 10 \mu\text{M IAA}$, $100 \mu\text{M Cd}^{2+} + 100 \mu\text{M IAA}$, $100 \mu\text{M Cd}^{2+} + 1 \text{mM IAA}$) for three weeks and then a number of physiological activities was investigated. In the control the length of stem was increased to 7 cm after 3 weeks, but in the treatment of Cd²⁺, 2.0 cm was grown. In cases of IAA with Cd²⁺, the growth of the plants was increased to 3.7 cm, 5.0 cm and 3.3 cm in 100 μM , 10 μM and 1 mM IAA respectively. Cadmium stimulated stomatal opening. The stomata, treated with Cd²⁺ opened to a degree of about 6.1 μm , but the stomata, treated with no cadmium opened to 4.5 μm . In the treatment of various concentration of IAA with cadmium the stomata opened to about 1 μm more than that of cadmium alone. Cadmium reduced total chlorophyll content up to 13% for 3 weeks. In the treatment of Cd²⁺ + IAA (10 μM and 100 μM) the clear change of total chlorophyll content was not observed, but in the addition of 1 mM IAA to Cd²⁺ reduced the total chlorophyll content to about 9%. Cd²⁺ reduced to 9% and 11% of Fv/Fm after two and three weeks respectively. In cases of IAA with Cd²⁺, there were no clear changes of Fv/Fm. Cadmium reduced water potential to 67% after 3 weeks incubation, but in cases of IAA with Cd²⁺, water potential was not clearly changed. Therefore, it could be concluded that the treatment of IAA showed clear alleviation of Cd²⁺-induced several physiological toxicities.

Key words : cadmium, calcium, indole acetic acid, *Commelina communis*

서 론

유기농법, 친환경적인 농산물에 대한 사람들에 대한

관심과 선호는 환경오염이 우리의 생명에 악영향을 미치고 있음을 보여주는 우려의 결과이다. 특히 중금속에 의한 토양 오염은 생태계의 피해를 초래하여 종 다양성에 치명적인 영향을 미친다. Cd²⁺은 인간을 비롯한 동물에게 가장 해로운 중금속으로 알려져 있고(Chaudri et al. 1995), 식물은 Cd²⁺의 농도가 높을수록 식물체의

* Corresponding author: Joon Sang Lee, Tel. 033-730-0436, Fax. 033-730-0430, E-mail. jslee@mail.sangji.ac.kr

지상부, 지하부 및 전체 식물의 생산량 감소와 낙화가 촉진되는 것으로 보고된 바 있다 (Page *et al.* 1972; Kim 1982; Kim and Park 1992). Kim (1992)은 사르비아, 맨드라미, 채송화, 들나물 (*Sedum sarmentosum* Bunge)에서 $1 \mu\text{g l}^{-1}$ Cd^{2+} 에 의해서 전체적으로 약 67% 이상의 성장 억제 효과가 일어났음을 관찰하였으며, Cd^{2+} 을 비롯한 다른 중금속, 오존 및 이산화황을 비롯한 환경오염원은 식물의 광합성 기작 및 성장을 억제하고 노화를 촉진하는 것이 공통적인 특성인 것으로 알려져 있다 (Willmer 1983).

Lee (2000, 2001, 2002)는 Cd^{2+} 의 독성을 줄이는 물질을 찾는 실험을 신호전달 물질인 Ca^{2+} 과 salicylic acid 등을 이용하여 카드뮴 흡수, 분포 및 기타 생리적 현상에 대해 실험하였다. 세포질에서 Ca^{2+} 은 second messenger로 분자량이 작고 수용성인 칼모듈린 (calmodulin)이라는 단백질과 가역적으로 결합하여 칼모듈린은 활성화되며 이것은 다른 효소를 활성화시킨다. 칼모듈린은 신호전달과 관련된 protein kinase의 활성화 및 기타 여러 생리적인 대사가 일어나도록 유도하는 물질이다. 따라서, Ca^{2+} 이 Cd^{2+} 과 같이 2가 양이온을 띠고 있으므로 Cd^{2+} 의 수송 및 Cd^{2+} 에 의해 유도되는 PCs (phytochelatins) 합성 및 생리적인 대사에 다양한 영향을 줄 것으로 기대하였다. 따라서, 3주간 정상적으로 성장한 닭의장풀을 Hoagland 용액에서 Cd^{2+} 과 Ca^{2+} 을 같이 처리하여, 성장, 엽록소 함량, 수분퍼텐셜, 광합성능을 측정할 결과, Ca^{2+} 이 Cd^{2+} 과 같은 독성 효과를 야기한 것으로 관찰되었다 (Lee and Lee 2002b). 즉, $\text{Cd}^{2+} + \text{Ca}^{2+}$ 처리구는 두 화합물의 이중 효과에 의해 전반적인 생리 활성을 억제하여, 결국에는 식물의 고사를 유도하는 것으로 사료된다. Cd^{2+} 수송은 Ca^{2+} 에 의해 크게 억제되었지만, Ca^{2+} 자체의 독성 효과에 의해 Ca^{2+} 이 Cd^{2+} 의 독성을 완화시키는 효과를 보여주지 못했고, salicylic acid 또한 Ca^{2+} 과 같은 효과를 보여주었다 (Lee 2002). 식물의 모든 생리적인 작용은 다양한 식물 호르몬에 의해 조절되는 데, 그 중 옥신은 식물의 성장과 발달에 매우 긍정적인 역할을 하는 호르몬이다. 옥신은 세포의 신장을 촉진하고, 굴성에 관여하며 식물의 우성정단, 뿌리 유도 등 매우 다양한 생리적 기능을 수행하는 호르몬이다. 호르몬의 기능은 특정 유전자의 활성화와 단백질의 합성 등과 연관되어 있으므로, 옥신이 Cd^{2+} 에 의한 식물의 독성에 어떻게 작용하는지 조사하는 것은 매우 흥미로운 주제일 것으로 판단된다. 따라서, 본 연구는 옥신 (auxin)이 Cd^{2+} 에 의한 생리적 반응에 어떠한 영향을 주는지 조사하였다.

재료 및 방법

1. 재료

닭의장풀 (*Commelina communis* L.) 종자를 질석 (蛭石), 토탄 그리고 양토 혼합물에 심어, 14시간의 명기와 10시간의 암기, 20°C 의 온도와 $80 \mu\text{mole E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (metal halide lamp)의 광도 하에서 재배한다. 일주일에 한번 주기로 복합비료 (원더그로 2호)를 1g l^{-1} 의 농도로 주며, 발아 후 3주 동안 자란 식물을 실험에 사용한다.

2. 표피의 기공 개폐 측정

잎을 증류수로 채운 plastic petri-dish에 잎의 아랫면이 위로 향하도록 한 다음, 기공을 닫게 유도하기 위해서 암실에 1시간 가량 놓는다. 그 후 먼도칼과 핀셋을 이용하여 Lee and Bowling (1992)에 따라 표피를 분리한 다음, 10 mM MES-KOH buffer (50 mM KCl, pH 6.15, \pm IAA 또는 Cd^{2+})를 포함하는 5 cm 직경의 plastic petri-dish에 띄운다. 이들 petri-dish는 온도 ($25 \pm 2^\circ\text{C}$)와 광도 ($200 \mu\text{mole E m}^{-2} \text{s}^{-1}$)가 일정하게 유지되며, normal air 또는 CO_2 free air를 지속적으로 공급받을 수 있는 표피 배양 탱크에 설치하였다. CO_2 free air는 실험실 공기를 Soda lime (Sigma, U.K.)과 2 M KOH 용액을 통과시켜서 얻었다. 분리표피를 광조건에서 2시간 동안 배양한 후 각 표피를 슬라이드 글라스 위에 놓고 비디오 카메라를 거쳐 모니터와 연결시킨 현미경을 통하여 관찰하였다. 기공의 크기는 모니터 상에서 보정한 자를 이용하여 40개의 기공을 측정 후 평균한 값이다.

3. 성장을 및 엽록소 함량의 측정

3주간 성장 한 닭의장풀 유식물을 Hoagland solution으로 옮겨 수경재배하며, $100 \mu\text{M Cd}^{2+}$ (Cadmium Chloride 1-hydrate, AnalaR, U.K.)과 $\text{Cd}^{2+} + \text{IAA}$ (Indole-Acetic Acid, Sigma, U.K.)를 각각 처리한 후 성장율을 조사한다. 성장율은 배양 시간 별 (1, 2, 3주)로 유식물의 크기를 측정한다. 엽록소 함량과 엽록소 a/b 비율의 측정은 Holden (1965)의 방법을 기초로 하였다.

4. 엽록소 형광과 수분퍼텐셜의 측정

3주간 성장한 닭의장풀을 Hoagland 용액에서 3주간 재배하며, 1주 간격으로 엽록소 형광을 측정하였다. 엽록소 형광 측정은 Fim 1500 (Analtical development company LTD, England)을 이용하여 측정한다. 수분퍼텐셜

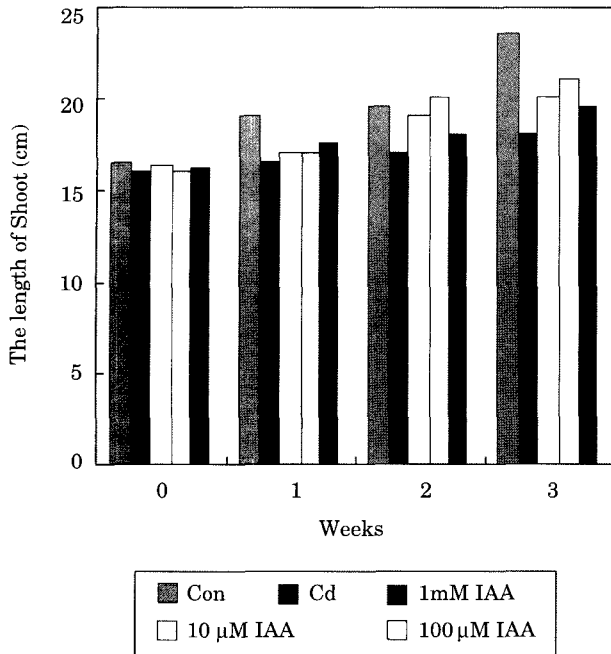


Fig. 1. The effect of Cd^{2+} and IAA on the length of stem of *Commelina communis* L. Each point is the mean of 2 measurements. The concentration of cadmium used here was $100 \mu M$ and in all the treatments of IAA, $100 \mu M$ cadmium was also added.

은 수분퍼텐셜 측정기 (PMS Instrument Co., USA)를 통해 측정하였다.

결과 및 고찰

Hoagland 용액에 Cd^{2+} 처리시 3주 동안 2.0 cm 성장했으나, 대조구는 7.0 cm 성장했다. 반면에 카드뮴에 $10 \mu M$ IAA를 같이 처리한 경우는 3주 동안 3.7 cm 자랐으며, $100 \mu M$ IAA를 같이 처리하면 3주 동안 5 cm 그리고 1 mM IAA의 경우는 3.3 cm 성장하였다 (Fig. 1). Lee (2002)는 상기 한 바와 같은 조건에서 $100 \mu M$ Cd^{2+} 처리시 3주 동안에 대조구에 비해 약 71% 생장이 억제된 것을 관찰하였다. 따라서 카드뮴에 의한 식물 생장의 억제는 분명한 것으로 사료된다. 한편, IAA는 $10 \sim 100 \mu M$ 에서 줄기의 성장을 가장 촉진시켰으나, 농도가 높아지면 오히려 성장을 억제하며 1 mM IAA에서도 그 억제효과가 뚜렷하였다 (Taiz and Zeiger 1992). 성장촉진호르몬인 IAA를 적정한 농도에서 처리할 경우는 카드뮴의 성장억제 효과를 감소시키는 것으로 나타났다. 그러나, IAA가 카드뮴의 성장 억제를 완화시킨 것은 IAA의 단독 효과인지, 아니면 카드뮴의 억제 효과를 신호전달과

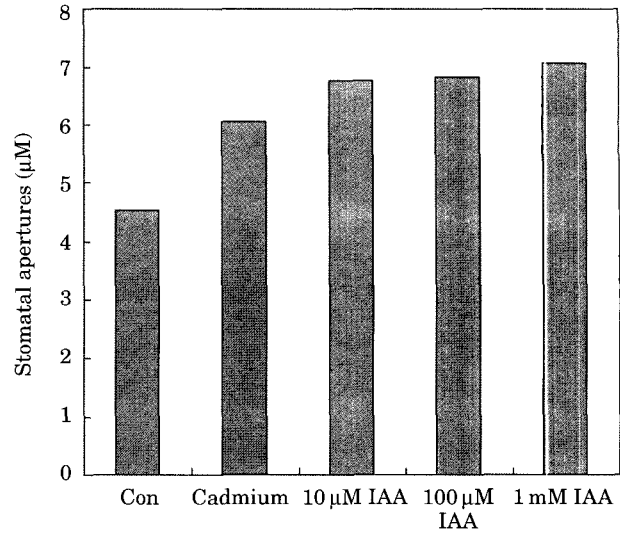


Fig. 2. The effect of Cd^{2+} and IAA on the chlorophyll fluorescence (F_v/F_m) in *Commelina communis* L. Each point is the mean of 2 measurements. The concentration of cadmium used here was $100 \mu M$ and in all the treatments of IAA, $100 \mu M$ cadmium was also added.

정 및 내성과정에 관여한 결과인지는 알 수 없었다.

Fig. 2는 분리표피에서 Cd^{2+} 과 IAA가 기공열림에 미치는 효과를 살펴본 것이다. Lee (2000)는 분리표피에서 Cd^{2+} 농도에 따른 기공크기를 측정하였다. 그 결과 거의 모든 농도에서 기공열림이 촉진되었으며, $100 \mu M$ Cd^{2+} 에서 그 효과가 가장 컸다. Lee (2000)는 Cd^{2+} 에 의한 기공열림은 Cd^{2+} 이 K^+ 흡수를 방해하고, 자신이 공변세포로 들어가 팽압을 유도한 결과로 보았다. Fig. 2에서 보면 Cd^{2+} 은 기공열림을 촉진하였으며, 아울러 IAA 첨가는 Cd^{2+} 을 단독처리 한 경우보다 기공열림을 더 촉진한 것을 알 수 있다, 따라서 IAA에 의한 기공열림은 IAA가 H^+ -ATPase를 활성화시켜 H^+ 방출을 촉진하고 K^+ 흡수를 촉진하여 기공열림을 촉진하는 것으로 추측된다 (Pemadasa 1982; Taiz and Zeiger 1991).

Table 1은 엽록소 함량 및 엽록소 a/b에 대한 Cd^{2+} 과 IAA 처리 효과의 결과이다. 엽록소 함량의 변화는 Cd^{2+} 처리구에서 뚜렷하게 관찰되었고, Cd^{2+} 처리구는 대조구에 비해 3주 때 엽록소 함량이 13% 억제되었다. Cd^{2+} 과 IAA를 함께 처리한 경우는 $10 \mu M$ 과 $100 \mu M$ 에서는 뚜렷한 엽록소 함량의 변화가 관찰되지 않았다. 1 mM IAA 처리구에서는 약 9% 엽록소 함량이 감소하였다. IAA는 저 농도에서는 줄기의 성장을 가장 촉진시켰으나, 농도가 높아지면 오히려 성장을 억제하며 1 mM IAA에서 그 억제효과는 뚜렷하였다 (Taiz and Zeiger 1991). 따라서 1

Table 1. The effects of Cd^{2+} + IAA on chlorophyll content ($\mu\text{g g}^{-1}$ fr.wt) and chl a/b ratio in *Commelina communis* L. Parentheses indicates chl a/b ratio. The concentration of Cd^{2+} used here was 100 μM .

	Control	Cd^{2+}	Cd^{2+} + 10 μM IAA	Cd^{2+} + 100 μM IAA	Cd^{2+} + 1 mM IAA
0	440 (2.6)	440	440	440	440
1 week	450 (3.07)	390 (2.97)	430 (3.2)	445 (2.9)	410 (3.02)
2 weeks	430 (3.04)	370 (2.73)	435 (3.19)	450 (3.39)	410 (3.59)
3 weeks	445 (2.73)	385 (2.38)	430 (3.11)	440 (3.4)	400 (3.3)

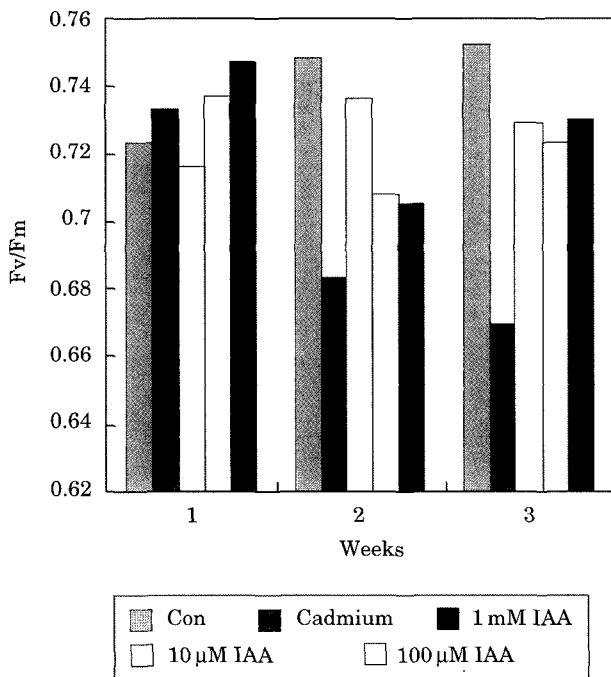


Fig. 3. The effect of Cd^{2+} and IAA on stomatal apertures of epidermal strips in *Commelina communis* L. Each point is the mean of 2 measurements and 40 stomatal apertures were measured. The concentration of cadmium used here was 100 μM and in all the treatments of IAA, 100 μM cadmium was also added.

mM IAA 처리구에서 관찰된 엽록소 함량의 감소는 성장 억제와 연관된 것으로 추측된다. 정상적인 잎의 엽록소 a/b 비율은 일반적으로 2.5~3.5에 속한다(Oh and Lee 1996). 본 실험에서 엽록소 a/b 범위는 2.38에서 3.59로 다양하게 나타났다. 대조구를 비롯한 모든 처리구에서 정상적인 엽록소 a/b 비율을 보여주었으나, 3주 시 Cd^{2+} 처리구는 2.38을 나타내었다. 따라서, Cd^{2+} 은 그 효과가 미미하지만 엽록소 a에 더 민감하게 작용하는 것으로 추측된다.

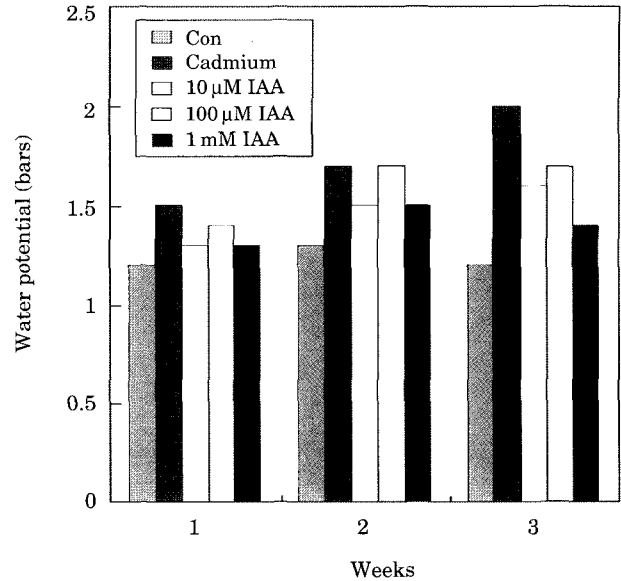


Fig. 4. The effect of Cd^{2+} and IAA on water potential of the stem in *Commelina communis* L. Each point is the mean of 2 measurements. The concentration of cadmium used here was 100 μM and in all the treatments of IAA, 100 μM cadmium was also added.

Fv/Fm 비율은 광화학 반응의 광자 비율에 비례하며(Demmig and Bjorkman 1987), 또한 광계 II 반응 중심의 수와 비례하는 것으로 보고되었다(Oquist *et al.* 1992). Fv/Fm 측정 결과 Cd^{2+} 처리는 Fv/Fm 값에 영향을 주었다. 카드뮴 처리 1주에는 큰 변화가 없었으나, 2주와 3주 처리시에는 대조구에 비해 각각 9%와 11% 억제되었다(Fig. 3). Lee (2000)는 Cd^{2+} 이 광합성 활성($\Delta\text{CO}_2 \mu\text{mol mol}^{-1}$)을 약 60% 억제한다고 발표하였다. 따라서 Cd^{2+} 에 의한 광합성 활성 억제는 광계 II 및 전체적인 엽록체의 대사 기능에 영향을 주는 것으로 사료된다. 광합성 활성의 억제는 식물 생장의 억제와 연관되는 것으로 보고되었다(Taiz and Zeiger 1991). 따라서 성장 억제는 전반적인 생리활성의 억제와 상관된다고 추측된다. Cd^{2+} 에 IAA를 같이 처리한 경우에는 대조구와 비교해 뚜렷한 억제효과가 없었다. 이 결과는 IAA가 Cd^{2+} 에 의한 Fv/Fm 값의 억제효과를 완화시켰다는 것을 의미한다.

Fig. 4는 수분퍼텐셜 측정기를 통해 측정된 것으로 단위는 bars로 나타내며 수분퍼텐셜이 높을수록 bars 값이 낮다. Cd^{2+} 처리시 약 3주 후에 약 67%가 수분퍼텐셜이 감소하였다. 반면에 Cd^{2+} 에 IAA를 다양한 농도에서 첨가하면 수분퍼텐셜의 감소가 크게 완화되었다. 즉, IAA는 Cd^{2+} 에 의한 식물의 수분결핍 및 기타 생리활성

의 억제를 크게 완화하는 효과를 보여주었다.

Cd^{2+} 에 의한 식물의 생장억제, 엽록소 함량, 광합성 활성, 수분퍼텐셜 및 생산량 감소와 낙화 촉진 등 독성 효과는 일반적인 특성이다 (Page *et al.* 1972; Kim 1982; Willmer 1983; Kim 1992; Kim and Park 1992; Lee 2000; Lee 2001; Lee 2002; Lee and Lee 2002a, b). Ca^{2+} 자체의 독성 효과에 의해 Ca^{2+} 이 Cd^{2+} 의 독성을 완화시키는 효과를 보여주지 못했다 (Lee and Lee 2002b). Salicylic acid 또한 Ca^{2+} 과 같은 효과를 보여주었다 (Lee 2002). 그러나 IAA는 식물의 생장, 엽록소 함량, Fm/Fv 그리고 수분퍼텐셜에서 Cd^{2+} 에 의한 심각한 독성을 뚜렷하게 완화시켰다. IAA는 어떤 과정을 거쳐 Cd^{2+} 의 독성을 완화시켜준 것일까? 첫 번째로, IAA는 식물의 생장과 발달에 매우 긍정적인 역할을 하는 호르몬으로 Cd^{2+} 과 무관하게 식물 생리의 촉진 호르몬으로 작용한 결과로 사료된다. 두 번째는 IAA가 Cd^{2+} 에 의해 유도된 내성 단백질 phytochelatin 합성을 촉진하거나 Cd^{2+} 내성 시스템과정에 신호전달물질로서 간접적으로 작용하는 것으로 추측되거나 이에 대한 구체적인 검증은 앞으로 풀어야 할 과제이다.

적 요

3주간 정상적으로 성장한 닭의장풀을 Hoagland 용액 ($\pm 100 \mu M Cd^{2+}$, $100 \mu M Cd^{2+} + 10 \mu M IAA$, $100 \mu M Cd^{2+} + 100 \mu M IAA$, $100 \mu M Cd^{2+} + 1 mM IAA$)에서 3주간 수경재배 한 후 생장, 기공개폐, 엽록소 함유량, 엽록소 형광 및 수분퍼텐셜을 조사하였다. Hoagland 용액에 Cd^{2+} 처리시 3주 동안 2.0 cm 성장했으나, 대조구는 7.0 cm 성장했다. 반면에 카드뮴에 $10 \mu M IAA$ 를 같이 처리한 경우는 3주 동안 3.7 cm 자랐으며, $100 \mu M IAA$ 를 같이 처리하면 3주 동안 5 cm 그리고 $1 mM IAA$ 의 경우는 3.3 cm 성장하였다. Cd^{2+} 은 기공열림을 촉진하였으며, 아울러 IAA 첨가는 Cd^{2+} 을 단독처리 한 경우보다 기공열림을 더 촉진하였다. 엽록소 함량의 변화는 Cd^{2+} 처리구에서 뚜렷하게 관찰되었다. Cd^{2+} 처리구는 대조구에 비해 3주 때 엽록소 함량이 13% 억제되었다. Cd^{2+} 과 IAA를 함께 처리한 경우는 $10 \mu M$ 과 $100 \mu M$ 에서는 뚜렷한 엽록소 함량의 변화가 관찰되지 않았다. $1 mM IAA$ 처리구에서는 약 9% 엽록소 함량이 감소하였다. 모든 처리구에서 정상적인 엽록소 a/b 비율을 보여주었으나, Cd^{2+} 처리구에서 3주 배양한 경우 2.38을 보여주었다. Fv/Fm 측정 결과 Cd^{2+} 처리는 Fv/Fm 값에 영향을 주었다. 카드뮴 처리 1주에는 큰 변화가 없었으나, 2주와 3주 처리

시에 대조구에 비해 각각 9%와 11% 억제되었다. Cd^{2+} 처리시 약 3주 후에 약 67%가 수분퍼텐셜이 감소하였다. 반면에 Cd^{2+} 에 IAA를 다양한 농도에서 첨가하면 수분퍼텐셜의 변화는 미미하였다. 위의 결과들로부터 IAA는 식물의 생장, 엽록소 함량, Fm/Fv 그리고 수분퍼텐셜에서 Cd^{2+} 에 의한 심각한 독성을 뚜렷하게 완화시키는 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 2001년 상지대학교 교내 연구비의 지원을 받아서 수행되었음.

참 고 문 헌

- 이준상. 1999. Salicylic acid가 닭의장풀의 광합성에 미치는 영향. 환경생물. 17(3):359-364.
- 이준상. 2000. 닭의장풀 내 Cd^{2+} 의 분포와 생리적 독성. 환경생물. 18(1):63-67.
- 이준상. 2001. 닭의장풀 내 Cd^{2+} 처리시 Cd^{2+} 흡수와 non-protein-SH 합성에 미치는 살리실릭산의 영향. 환경생물. 19(3):218-222.
- 이준상. 2002. Cd^{2+} 에 의한 닭의장풀의 생리적 독성에 salicylic acid가 미치는 영향. 환경생물. 20(1):73-77.
- 이준상, 이황구. 2002a. 닭의장풀에 Cd^{2+} 처리시 Cd^{2+} 흡수와 생장에 미치는 Ca^{2+} 의 영향. 환경생물. 20(1):40-45.
- Chaudri AM, FJ Zhao, SP McGrath and AR Crosland. 1995. The cadmium content of British wheat grain. J. Environ. Qual. 24:850-855.
- Demmig B and O Bjorkam. 1987. Comparison of the effect of excessive light of chlorophyll fluorescence (77k) and photon yield of O_2 evolution in leaves of higher plants. Planta 171:171-184.
- Kim BW. 1982. Studies on the effect of heavy metal on the growth of various plants. Korean J. Ecology 5(4):176-186.
- Kim BW and JS Park. 1992. Study on the resistance of various herbaceous plants to the effects of heavy metals - Responses of plants to soil treated with cadmium and lead. Korean J. Ecol. 15(4):433-449.
- Kim BW. 1992. Ecological study on the effect of heavy metals to the vascular plants. Sangji University J. natural Natural science, 1-8.
- Holden M. 1965. Chlorophylls. pp. 461-468. In Chemistry and biochemistry of plant pigments (Goodwin TW ed). Academic Press. New York.
- Lee JS and DJF Bowling. 1992. Effect of the mesophyll on

- stomatal opening in *Commelina communis*. J. Experimental Botany 43(252):951-957.
- Lee JS and SH Lee. 2002b. The effects of Ca^{2+} on Cd^{2+} -induced physiological toxicities in *Commelina communis* L. Korean J. Environ. Biol. 20(4):303-308.
- Oquist G, WS Chow and JM Anderson. 1992. Photoinhibition of photosynthesis represents a mechanism for the long-term regulation of photosystem II. Planta 186:450-460.
- Page AL, FT Bingham and C Nelson. 1972. Cadmium absorption and growth of various plant species as by solution cadmium concentration. J. Environ. Quality 1:288-291.
- Permadasa MA. 1982. Differential abaxial and adaxial stomatal responses to indole-3-acetic acid in *Commelina communis* L. New Phytologist 90:209-219
- Taiz L and E Zeiger. 1991. Plant Physiology. The Benjamin Cumming Publishing Co. Inc., USA.
- Willmer CM. 1983. Stomata. Longman Inc., New York.

Manuscript Received: February 18, 2003

Revision Accepted: June 13, 2003

Responsible Editorial Member: Joo-Hwan Kim
(Daejeon Univ.)