

PB2) 중금속 스트레스에 대한 수생식물 5종의 엽록소형광 반응

오순자*, 진국림¹, 고석찬

제주대학교 생명과학과 · 기초과학연구소, ¹제주한림여자중학교

1. 서 론

산업화와 인구증가, 그리고 도시화로 각종 오염물질이 증가하고 이로 인한 환경오염이 심각한 사회문제가 되고 있다. 특히, 최근에는 고도의 산업화로 인하여 공장에서 배출되는 각종 중금속류가 함유된 산업폐기물과 폐수가 급속히 증가하여 생태계의 오염을 가중시키고 있다. 중금속 중 일부는 식물에서 효소의 보조인자로 사용되는 등 필수 미량원소로 사용되기도 하지만(Thormalley and Vasak, 1985), 세포내에 일정한 농도 이상으로 존재하게 되면 식물의 생리대사를 저해한다(Jarvis *et al.*, 1976). 카드뮴(Cd), 수은(Hg), 납(Pb), 구리(Cu)와 같은 중금속 이온들은 뿌리를 통하여 식물에 흡수되고 줄기나 잎으로 전이되는데, 각종 중금속 처리에 있어서 중금속에 대한 초본성 식물의 반응은 대부분 이온의 흡수저해, 측근과 뿌리의 건강감소 및 엽록소함량의 감소로 나타나고(Kelly *et al.*, 1979), 중금속 독성은 먼저 뿌리 성장저해로 나타난다(Kahle, 1993).

본 연구에서는 제주도 자생 수생식물들 - 좁개구리밥, 은행이끼, 부들, 수련, 생이가래 등을 대상으로 카드뮴에 대한 엽록소형광 반응을 관찰하여, 수생식물의 환경 적응성을 알아보고 환경지표로서의 활용가능성을 살펴보았다.

2. 재료 및 방법

좁개구리밥 (*Lemna paucicostata*), 생이가래 (*Salvinia natans*), 은행이끼 (*Ricciocarpus natans*), 수련 (*Nymphaea tetragona*), 부들 (*Typha orientalis*) 등의 수생식물들을 대상으로 실험을 수행하였으며, 배양액에 카드뮴 (Cd^{2+})의 농도 (0, 10, 50, 100, 200 μ M)를 달리하여 처리한 후 배양시간을 달리하여 25 \pm 1 $^{\circ}C$, 14L/10D 조건에서 배양하였다.

형광이미지분석은 Nedbal 등 (2000)의 방법에 따라 Imaging Fluorometer (FluorCam 700MF, Photon System Instruments, Czech)를 이용하여 측정하였다. 그리고, O-J-I-P 곡선(polyphasic rise of Chl a fluorescence transients)은 Strasser와 Strasser (1995)의 방법에 따라 Plant Efficiency Analyzer (PEA; Hansatech Instrument Ltd., UK)를 이용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 카드뮴 스트레스에 대한 수생식물 5종의 형광이미지 분석

본 연구에서는 엽록소형광 분석과 형광이미지 분석을 통해 중금속 스트레스 하에서 식물의 내성 여부와 생리적 특성을 파악하기 위해 좁개구리밥, 생이가래, 은행이끼, 수련, 부

들 등 5종의 수생식물을 대상으로 카드뮴 (Cd^{2+})의 농도를 달리하여 처리하고 5일 동안 배양하면서 Fv/Fm 형광이미지와 PS II의 광화학 효율을 분석하였다.

배양 5일 후 Fv/Fm 형광이미지를 분석한 결과, 카드뮴에 민감한 순서는 좁개구리밥, 생이가래, 은행이끼, 부들 순이며 수련은 다른 종에 비해 덜 민감한 것으로 조사되었다. $10\mu M$ 카드뮴에서는 대조구와 큰 차이를 보이지 않았으나 $50\mu M$ 이상의 농도에서는 종에 따라 차이가 있었다. 특히 좁개구리밥은 형광이미지가 크게 감소하였으며 전체적으로 파란색을 띄고 있어 식물이 스트레스를 받고 있음을 알 수 있다. 이는 카드뮴이 식물의 잎조직에 영향을 미쳐 반응중심을 포함한 모든 엽록소분자들의 빛흡수용량을 감소시킨 결과로 볼 수 있으며, 종에 따라 그 영향이 다른 것으로 보인다.

3.2. 카드뮴 스트레스에 대한 좁개구리밥의 엽록소형광 분석

일정한 배양환경에서 생육하고 있는 좁개구리밥을 대상으로 카드뮴의 농도 (0, 10, 50, $100\mu M$)를 달리하여 처리한 후 시간별로 식물의 광합성효율과 엽록소형광의 동력학적 변화를 제시하였다. 그 결과, Fo, Fm, Fv/Fm 형광이미지를 살펴보면 $10\mu M$ 카드뮴에서는 대조구와 큰 차이를 보이지 않았으나 $50\mu M$ 이상의 농도에서는 형광이미지가 크게 감소하였으며 전체적으로 파란색을 띄고 있어 식물이 스트레스를 받고 있음을 알 수 있다. 그리고, 여러 카드뮴(Cd^{2+}) 농도에서 좁개구리밥의 O-J-I-P 곡선의 패턴을 나타낸 그래프를 보면, 카드뮴 농도가 증가할수록 J, I, P값이 크게 감소하고 있으며, 특히 P-단계에서는 형광세기(Fp)가 큰 폭으로 감소하였다.

4. 요 약

중금속에 대한 식물의 내성여부와 중금속 스트레스하에서 식물의 생리적 특성을 파악하기 위해 좁개구리밥, 생이가래, 은행이끼, 수련, 부들 등 5종의 식물을 대상으로 카드뮴 (Cd^{2+})의 농도를 달리하여 처리한 후 시간별로 식물의 광합성효율을 분석하였다. 그 결과 좁개구리밥은 카드뮴에 가장 민감하게, 생이가래와 은행이끼 등은 조금 민감하게 반응하였으며, 수련 등은 다른 식물종에 비해 덜 민감한 것으로 나타나고 있다. 좁개구리밥은 카드뮴 농도가 증가할수록 정상적인 O-J-I-P 곡선에서 J, I, P의 값이 큰 폭으로 떨어지고 있으며, 이는 카드뮴 농도가 증가할수록 명반응 중심이 손상을 입거나 어떤 원인에 의해서 불활성됨으로써 광합성 효율 즉 Fv/Fm의 감소를 일으키기 때문이다.

참 고 문 헌

- Thormalley, P.J. and M. Vasak. 1985. Possible role for metallothionein in protection against radiation induced oxidative stress. Kinetics and mechanism of its reaction with superoxide and hydroxyl radicals. Biochem. Biophys. Acta. 827:36-44.
- Jarvis, S.C., L.H.P. Joser, M.J. Hopper. 1976. Cadmium uptake from solution by plants and its transport from roots to shoots. Plant Soil 44:179-191.

- Kelly, J.M., G.R. Parker and W.W. Mcfee. 1979. Heavy metal accumulation and growth of seedlings of five forest species as influenced by soil cadmium level. *J. Environ. Qual.* 8:361-364.
- Strasser, B. J. and R. J. Strasser. 1995. Measuring fast fluorescence transients to address environmental questions: The JIP test. In *Photosynthesis: From Light to Biosphere*. Mathis, P.(ed.), Kluwer Academic, Dordrecht, 977-980.