

Polyamine 농도에 미치는 호소에 관한 연구

대두의 유묘에서 IAA가 Lysine Decarboxylase와 Diamine Oxidase의 활성과
Polyamine 함량에 미치는 영향

宋在眞·金明苑*·康榮熹

(延世大學校 理科學 生物學科·*文理大學 生物學科)

Studies on Enzymes Responsible for Polyamine Level

Effects of IAA on the activities of lysine decarboxylase and diamine oxidase
and polyamine level in seedlings of soybean

Song, Jae Jin, Myeong Won Kim* and Young Hee Kang

(Department of Biology, Yonsei University, Seoul and *Department of Biology,
Yonsei University, Wonju)

ABSTRACT

The effect of IAA on lysine decarboxylase(LDC)activity, diamine oxidase (DAO) activity and the polyamine level in seedlings of soybean were investigated. The seedlings of soybean were treated with IAA (10^{-8} M, 10^{-6} M, 10^{-4} M)and LDC activity, DAO activity and polyamine levels of cotyledon, elongating hypocotyl, elongated hypocotyl and the root were measured after 4, 6, 8, 10 days. Increased concentration of IAA stimulated the LDC activity and increased the level of polyamine in the seedlings, while reducing the DAO activity and polyamine level was increased in the seedlings. The light also stimulated the IAA effect on polyamine level and DAO activity, and polyamine level was higher in the seedlings grown in the light than those in the dark.

Cadaverine was the most abundant polyamine in the seedlings of soybean. The levels of diamines, cadaverine, putrescine were higher in the elongated hypocotyl and root than in the elongating hypocotyl, but the levels of spermidine and spermine were relatively higher in the cotyledon than in the other parts. Accumulation of diamines by high concentration of IAA is postulated to be a phenomenon of inhibition in seedling growth.

Abbreviations : IAA, indole acetic acid; ADC, arginine decarboxylase; ODC, ornithine decarboxylase; LDC, lysine decarboxylase; DAO, diamine oxidase; PAO, polyamine oxidase;

Cad, cadaverine; Put, putrescine; Spd, spermidine; Spm, spermine; EDTA, ethylene diamine tetraacetate; DTT, dithiothreitol; PLP, pyridoxal phosphate.

서 론

식물생장조절물질로 알려진 Polyamine은 ADC, ODC, LDC 또는 Spd, Spm synthase 등에 의하여 합성되고 DAO에 의하여 Cad과 Put 그리고 Spd이 분해되며 DAO에 의하여 Spd과 Spm이 분해되어 Pyrroline을 형성하는 것으로 알려져 있다 (Smith, 1985). 특히 lysine이 LDC에 의해 Cad으로 합성되는데, 콩과식물에 특히 많이 분포되어있으며, Cad이 알칼로이드로 합성된다는 보고가 있다 (Schoofs *et al.*, 1983; Smith, 1985). 그리고 순화된 LDC가 활성을 나타내는데 Mn^{2+} 또는 Fe^{2+} 가 절대적으로 필요한 것으로 알려져 있다 (Ramaknshna and Adiga, 1976). DAO는 주로 콩과식물에서 특히 활성이 높는데 (Smith, 1985), 두개의 소단위로 되어 있으며 Cu^{2+} 를 cofactor로 가지는 구리-단백질이다 (Yamasaki *et al.*, 1970; Suzuki, 1973; Yanagisawa, 1981; Smith, 1985).

DAO의 생리적 기능은, diamine인 Cad과 Put 그리고 triamine인 Spd을 분해하여 세포내 polyamine농도를 조절하며 (Angelini, 1985; Smith, 1985; Federico and Angelini, 1986), 완두의 상배측에서 DAO는 총단백질의 3%를 차지하는데 (Smith, 1985) 이렇게 많은 양으로 보아 유묘단계에서 초기의 영양공급과 관련되어 작용할 것으로 생각된다 (Macholan and Minář, 1974; Angelini *et al.*, 1985; Fedrico and Angelini, 1988). 또한 IAA의 합성경로에 작용하여 tryptamine을 IAA로 전환시키는데 관여한다는 보고도 있으며 (Srivastava *et al.*, 1977; Sindhu and De sai, 1980; Srivastava and Naik, 1981), 완두에서 Put과 Spd을 분해하는 아민 산화효소의 분자량이 tryptamine으로부터 IAA를 형성하는 효소와 일치한다는 보고도 있다 (McGowan and Muir, 1971). 따라서 IAA의 합성은 DAO에 의하여 조절될지도 모르며 DAO의 자체합성은 IAA처리시 feed back기작에 의하여 억제된다고 하였다 (Srivastava *et al.*, 1977).

본 실험에서는 Cad이 뿌리와 하배측에서 건조량의 2%와 1.5%를 각각 차지하고 있는 것으로 알려진 (Lin, 1984) 대두를 재료로 하여 암조건과 광조건에서 IAA를 처리하여 LDC와 DAO의 활성과 Polyamine함량을 생장에 따라 각 부위별로 비교하여봄으로써 IAA에 의한 LDC와 DAO의 활성의 변화와 Polyamine의 축적여부가 대두의 길이생장과 생체량과 상관관계가 있는지를 알아보고 유묘단계에서의 환경적 요인인 빛이 길이생장과 Polyamine대사에 미치는 영향을 살펴보고자 하였다.

재료 및 방법

실험재료 및 생육조건. 대두 (*Glycine max* L. forma. Paldalkong)를 수도물로 세척하고 약 18°C의 증류수에 8시간동안 담가두었다가 젖은 형질에 싸서 20±2°C의 암소에서 하루동안 방치하여 발아시켰다. 거즈를 네겹으로 깐 폴리프로필렌 용기 (38×28×7cm)에 발아한 종자를 파종하여 각각 20±2°C의 암조건과 광조건하 (7,000 lux)에서 유묘기간동안 하루에 한번씩 대조구에는 증류수를, 처리구에는 10⁻⁶M, 10⁻⁵M, 10⁻⁴M의 IAA를 각각 100ml가량 골고루 뿌려 주었다. 그 다음 각 부위를 구분하여 실험에 사용하였다. 하배측에서 성장중인 부위와 생장이

끝난 부위의 구별은 발아후 일정간격으로 유성펜으로 점을 찍어 표시한 후 시간이 경과함에 따라 점사이의 간격이 늘어나는 부위를 성장중인 하배축 (elongating hypocotyl)으로 하였으며 그렇지 않은 부위를 생장이 끝난 하배축 (elongated hypocotyl)으로 정하였다.

Polyamine의 검출 및 정량. Thin layer chromatography에 의한 Polyamine의 검출 및 정량은 Goren등(1982)의 방법을 변형하여 사용하였다. 측정하고자 하는 실험재료 0.1g에 5% perchloric acid 1ml를 가하여 막자사발을 이용하여 4°C에서 조직을 마쇄하였다. 마쇄한 용액은 12,000×g로 20분간 원심분리하여 그 상정액을 시료원으로 사용하였다. 정량은 측정하고자 하는 시료원 100 μl에 dansyl chloride (5mg/ml in acetone) 200 μl와 파코화된 Na₂CO₃ 100 μl를 첨가한 후 잘 섞어 12시간이상 상온에서 암처리하여 실시하였다. 처리된 시료에 50 μl prolinc (100mg/ml)을 첨가하여 30분간 암실에서 방치한 후 벤젠으로 dansyl 유도체를 추출하여 이중 100 μl를 실리카겔 판에 점적하였다. 이때 전개용매로는 chloroform:triethylamine(25:2 v/v)을 사용하여 전개시켰으며, 판에 나타난 dansyl polyamine band를 자외선하에서 표준시료와 비교하여 끊어낸 다음 다시 ethylacetate로 용출시켜 photofluorimeter에서 형광광도를 측정하여 정량하였다.

LDC의 추출 및 활성도 측정. LDC의 추출 및 활성도 측정은 Ickson등(1986)의 방법을 사용하였다. 조직 0.1g에 0.3ml의 추출 완충용액(50mM TrisHCl, 0.5mM EDTA, 5mM DTT)을 사용하여 막자사발로 조직을 마쇄한 후, 마쇄용액을 5,000×g에서 15분동안 원심분리하여 얻은 상정액을 효소원으로 사용하였다. 효소의 활성도 측정은 L-[U-¹⁴C] lysine에서 ¹⁴CO₂로 방출되는 양을 측정하여 정하였다. 효소반응액은 10mM TrisHCl(pH 8.0), 1mM DTT, 0.1mM EDTA, 0.1mM PLP, 2mM lysine, 0.25 μCi L-[U-¹⁴C] lysine (324mCi/mmol)을 포함하며 효소액을 넣은 총부피가 250 μl가 되게 하였다. 반응은 가운데에 center well을 고정시킨 플라스크안에 효소반응액을 넣고, center well안에는 50 μl의 hyamine hydroxide용액을 묻힌 종이심지를 넣은 후 실리콘 마개로 밀봉하고 40°C에서 1시간동안 반응시켰다. 반응 1시간 후 6N H₂SO₄ 200 μl를 주사기로 주입시켜 반응을 정지시키고 방출된 모든 ¹⁴CO₂를 잡아내기 위하여 30분동안 더 놓아두었다. 그 다음 center well에 있던 종이심지를 5ml의 방사능 측정용액이 들어있는 유리병에 넣어 scintillation counter로 cpm값을 측정하였다. LDC활성도는 단백질mg에 대한 CO₂ (nmole)의 양으로 정하였다.

DAO의 추출 및 활성도 측정. DAO의 추출은 Kaur-Sawhney등(1981)의 방법을 변형하여 사용하였다. 조직 0.1g에 대하여 0.1 M K-phosphate 완충용액(pH 6.5) 0.4ml를 섞어 막자사발을 이용하여 조직을 마쇄하였다. 마쇄용액은 12,000×g에서 10분간 원심분리하여 얻은 상정액을 효소원으로 사용하였다. 효소의 활성도는 Smith등(1975)의 방법을 변형하여 측정하였으며, Cad을 기질로 하여 효소에 의하여 방출된 H₂O₂가 peroxidase에 의하여 환원되면서 guaiacol이 tetraguaiacol로 산화되는 정도를 415nm에서 흡광도의 증가로 측정하였다. 효소반응액은 0.1M K-phosphate 완충용액(pH 6.5)과 25mM guaiacol 및 10배 희석한 peroxidase(19 units/mg)와 효소액을 넣은 부피가 2.8ml가 되게하여 35±2°C에서 1분간 전처리한 다음, 20mM Cad 0.2ml를 가하여 효소반응을 시작하였다. 효소 활성도는 tetraguaiacol 생성량을 415nm에서 흡광도의 증가를 측정한 후 tetraguaiacol의 몰흡광계수인 26.6 cm⁻¹. mM⁻¹ (Chance and Maehly, 1955)에 의하여 산출하였다.

단백질 정량. 단백질은 Lowry등(1951)의 방법을 이용하여 정량하였다.

결과 및 고찰

유묘단계에서 $10^{-8}M$, $10^{-6}M$, $10^{-4}M$ 의 IAA를 처리하였을때, 대두의 길이생장은 $10^{-8}M$ 의 IAA처리시 증류수만을 처리한 대조구보다 증가하였으나 $10^{-4}M$ 의 IAA처리시 길이생장은 오히려 상당히 감소하였고, $10^{-4}M$ 이상의 IAA를 처리하였을 때에는 길이생장이 거의 일어나지 않았다. 이러한 현상은 발아 후 8일째에서 가장 뚜렷하였으며, 반면에 생체중량은 대조구에 비하여 큰 차이가 없었고 특히 $10^{-4}M$ IAA처리시에는 하배축이 길이생장보다는 옆으로 굽어지는 부피생장이 뚜렷하여 생체중량이 별로 차이가 없었던 것으로 생각된다 (Fig. 1). 길이생장은 암조건의 6일과 8일사이에서 가장 커서 전체길이의 50%이상이 이 기간동안에 길이생장하였다 (Fig. 2). 한편, 암조건과 광조건에서의 길이생장과 생체중량을 비교하여 보았을때 길이생장은 암조건에 비하여 광조건에서 대조구와 처리구 모두 1.5~2.5배 감소하였고 생체중량도 감소하는 경향을 보였다. 이것은 유묘단계에서 빛이 DNA, RNA 그리고 단백질의 합성을 강하게 억제하며 endomitosis가 줄어들게함으로써 세포신장이 억제되기때문인 것으로 보인다 (Oostveldt *et al.*, 1976).

IAA처리에 의한 Cad합성효소인 LDC와 분해효소인 DAO활성과 Polyamine함량의 변화는 $10^{-4}M$ 의 IAA처리시 대조구에 비하여 가장 현저하였다. LDC활성은 IAA처리시 증가하는 경향을 보였는데 특히 광조건에서 성장중인 하배축의 LDC는 6일째의 대조구에서는 활성이 거의 사라졌으나, $10^{-4}M$ 의 IAA를 처리하였을때 활성이 오히려 약간 증가하는 것을 볼 수가 있었다 (Fig. 3). 대체로 LDC의 활성도 크기는 생장이 끝난 하배축, 뿌리, 성장중인 하배축순으로 나타났으며 광조건에서보다는 암조건에서 높았다 (Fig. 3-5). DAO활성은 암조건에서보다 광조건에서 매우 낮았으며 $10^{-4}M$ IAA처리에 의하여 뿌리에서는 암조건과 광조건 모두에서 발아후

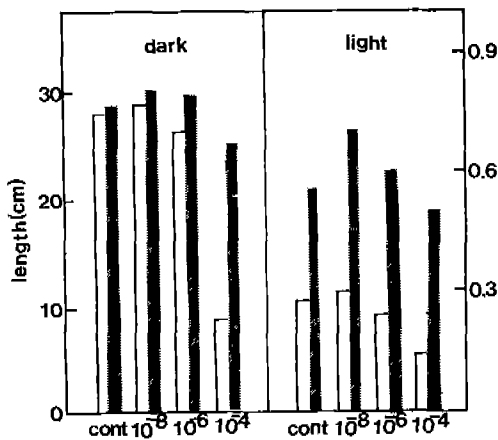


Fig. 1. Effect of IAA on the length(□)and the fresh weight(■) of soybean at 8 days after germination. Values are given mean of 10 replicates

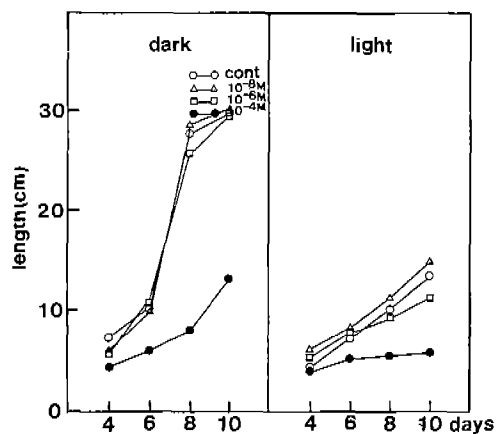


Fig. 2. Effect of IAA on the length of soybean during its development. Values are given mean of 10 replicates.

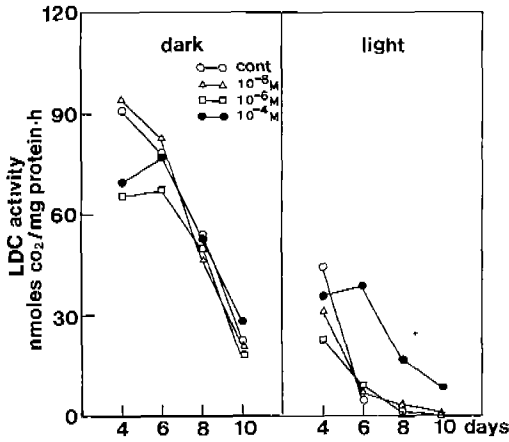


Fig. 3. Effect of IAA on LDC activity in the elongating hypocotyl during its development.

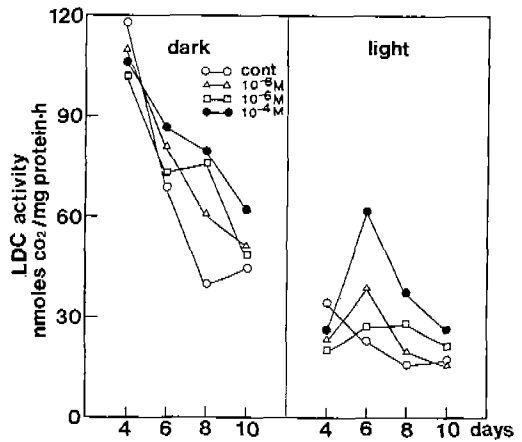


Fig. 4. Effect of IAA on LDC activity in the elongated hypocotyl during its development.

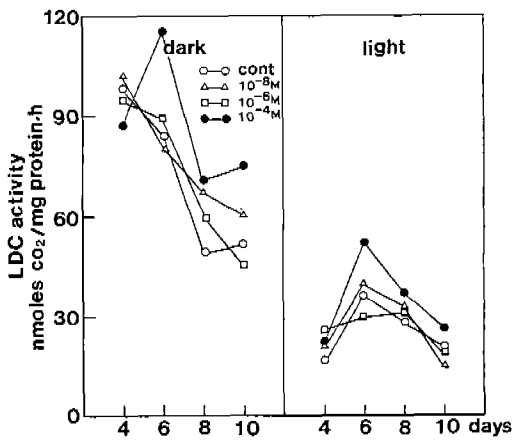


Fig. 5. Effect of IAA on LDC activity in the root during its development.

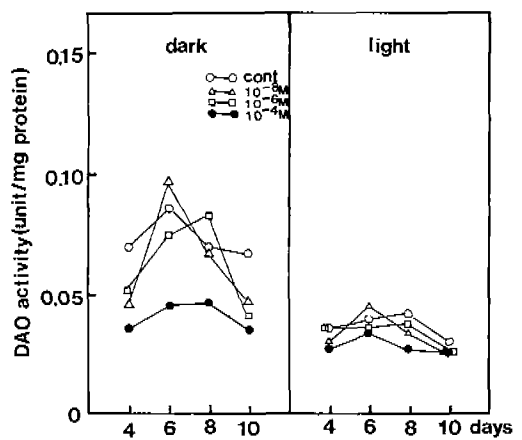


Fig. 6. Effect of IAA on DAO activity in the root during its development.

8일째에 1.5배가량 감소하였으며 (Fig. 6-8), Cad양은 대조구보다 4~5배가량 많았다 (Fig. 9). 뿐만아니라 IAA처리시 Put와 Spd의 양도 암조건과 광조건 모두에서 증가하는 양상을 보였다 (Fig. 10-13). 이러한 결과는 IAA처리시 Polyamine이 축적된다는 Goren등 (1982)의 결과와 일치하며 IAA처리시 ADC의 활성이 증가한다는 결과와도 일치한다 (Chounhuri and Ghosh, 1982).

Polyamine중 diamine인 Cad과 Put의 함량은 자엽을 제외한 모든 부위에서 암조건보다 광조건에서, 특히 유묘 초기에 많았으며, 광조건에서 DAO의 활성이 암조건에 비하여 매우 낮은 것과 관계가 있는 것으로 생각된다. 그러나 LDC의 활성은 광조건에서 오히려 낮은 경향을 보

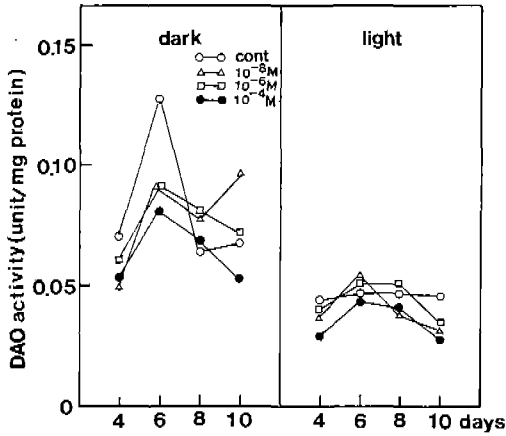


Fig. 7. Effect of IAA on DAO activity in the elongated hypocotyl during its development.

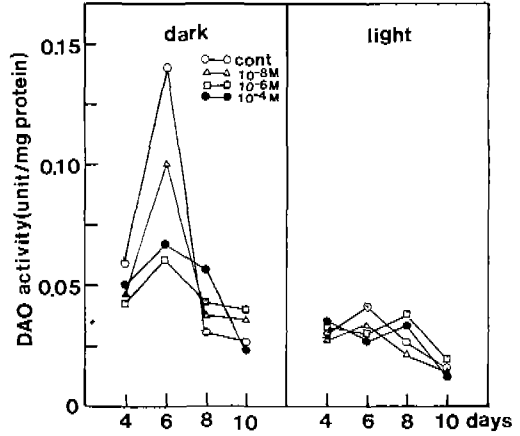


Fig. 8. Effect of IAA on DAO activity in the elongating hypocotyl during its development.

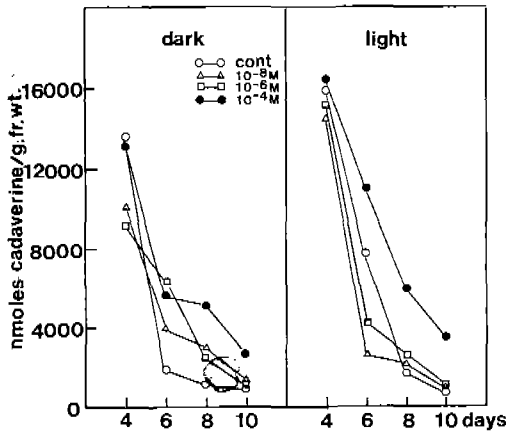


Fig. 9. Effect of IAA on cadaverine contents in the root during its development.

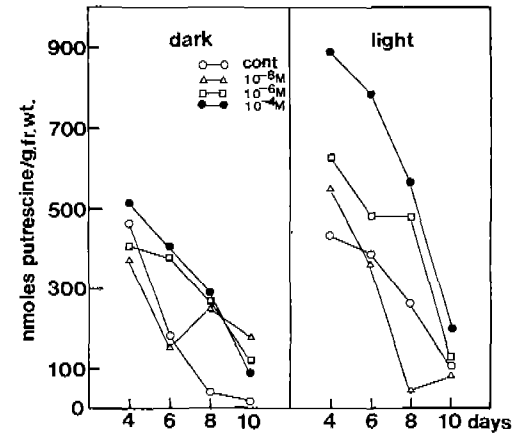


Fig. 10. Effect of IAA on putrescine contents in the root during its development.

였는데 이러한 결과로 미루어보아 Cad함량을 결정하는 것은 합성효소인 LDC라기보다는 분해 효소인 DAO인 것으로 추측되며 DAO활성의 감소와 이에 따른 Polyamine의 축적은 길이생장이 저하된 결과로 생각된다.

Cad의 함량은 광조건의 4일째 생장이 끝난 하배측에서 약 19 μ mole/g.fr.wt.로 가장 많았으며 Put이 가장 많았던 광조건의 4일째 뿌리에서의 0.9 μ mole/g.fr.wt. 보다 20배이상 많았다 (Fig. 10 and 14). 그리고 시간이 경과함에 따라 Cad과 Put은 급격히 감소하였으며 광조건에서 훨씬 심하였다. 이러한 diamine의 함량은 4일과 6일사이에서 더욱 감소하는데 (Fig. 9, 10,

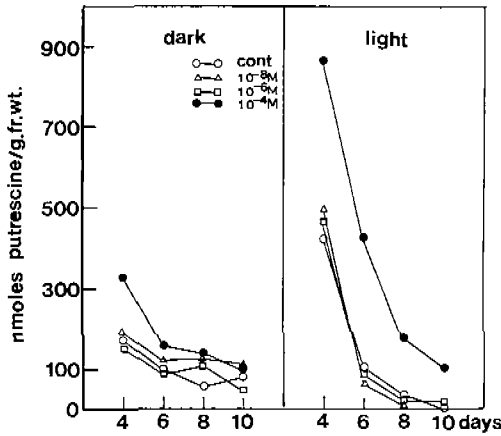


Fig. 11. Effect of IAA on putrescine contents in the elongated hypocotyl during its development.

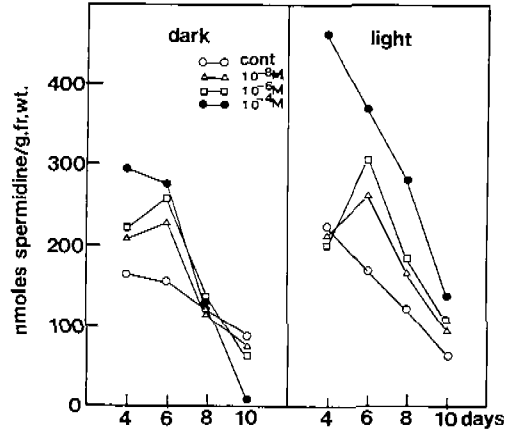


Fig. 12. Effect of IAA on spermidine contents in the root during its development.

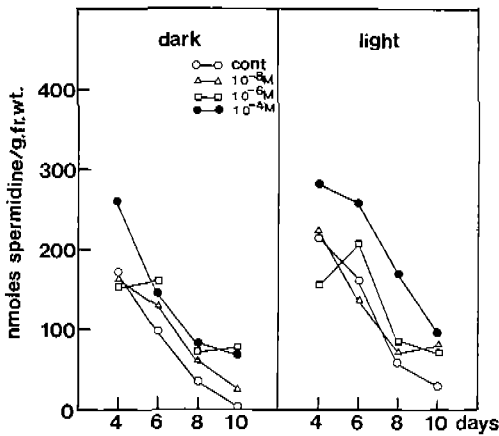


Fig. 13. Effect of IAA on spermidine contents in the elongated hypocotyl during its development.

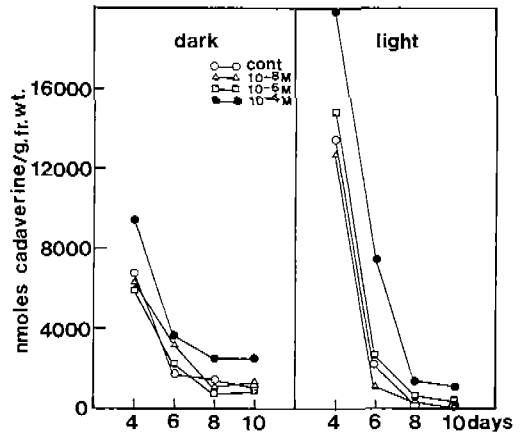


Fig. 14. Effect of IAA on cadaverine contents in the elongated hypocotyl during its development.

11, 15) 이 현상은 이 기간동안의 DAO활성이 증가된 것에 기인한 것으로 생각된다.

유묘초기단계에서는 10⁻⁶M의 IAA를 처리하였을 경우에도 Cad의 함량이 크게 차이가 없었으나 시간이 경과함에 따라 Cad이 급속하게 감소되는 현상이 상당히 억제되는 것을 볼 수 있었다. 즉, 10일째 광조건의 뿌리에서 대조구는 700 nmole/g. fr. wt.로 초기함량의 5%미만으로 감소하였으나 처리구에서는 3670 nmole/g. fr. wt.로 초기함량의 약 23%로 대조구에 비하여 5배가량 더 많은 양이었다. 이러한 IAA처리에 의한 Cad감소 억제효과는 분해효소인 DAO활성의 감소뿐만 아니라 합성효소인 LDC활성이 대조구보다 증가한 것에도 영향이 있는 것으

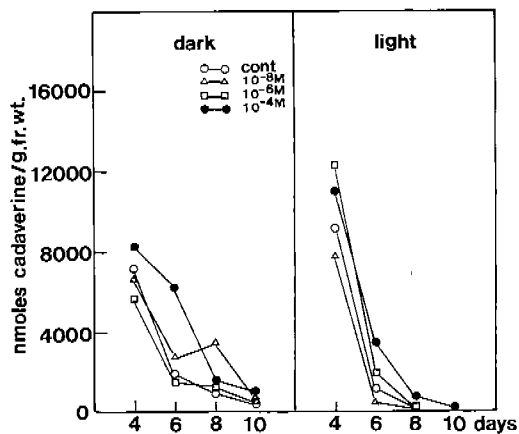


Fig. 15. Effect of IAA on cadaverine contents in the elongating hypocotyl during its development.

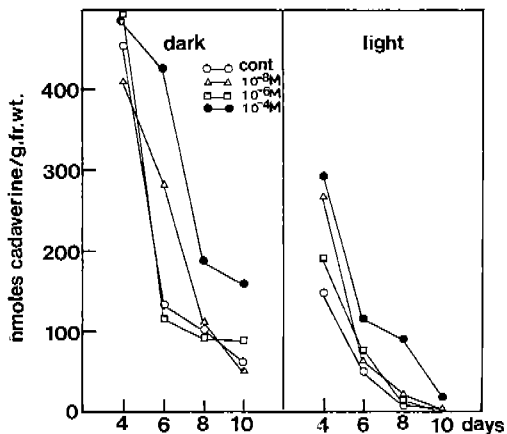


Fig. 16. Effect of IAA on cadaverine contents in the cotyledon during its development.

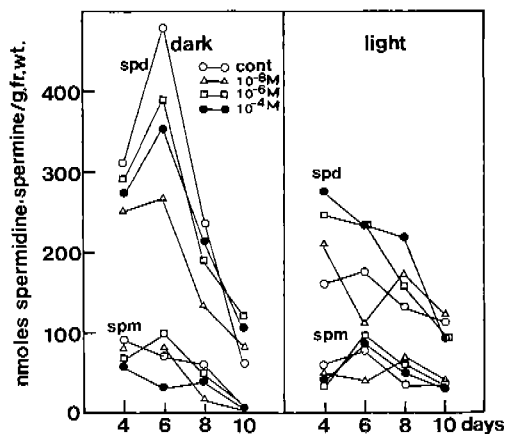


Fig. 17. Effect of IAA on spermidine and spermine contents in the cotyledon during its development.

로 생각된다. 그리고 Put의 경우에는 대체로 실험성장기간동안 IAA처리에 의하여 감소가 억제되었다. 자엽에서의 Cad의 함량은 500 nmole/g. fr. wt이하로 하배축과 뿌리에서의 양보다 최대 60배이상 적었으며 (Fig. 16), Put의 양도 자엽에서 상당히 적었다. 뿐만아니라 자엽에서 LDC활성도가 1.0 nmole CO₂/mg protcin이하로 매우 낮았으며 DAO활성도도 약 0.001 unit/mg protcin 정도로 다른 부위에 비하여 최대 70배가량 낮았다. 이러한 결과는 자엽에서 diamine의 합성과 분해가 거의 이루어지지 않고 있으며, 하배축과 뿌리에서의 Cad은 자엽으로부터 직접 유래한 L-lysine이 LDC에 의하여 Cad으로 전환된 결과로 생각된다(Lin, 1984).

한가지 특이할 만한 점은 Spd과 Spm은 자엽에 많이 함유되어 있으며(Fig. 17), 특히 자엽의 부위에서의 Spm함량은 매우 소량이거나 검출이 되지 않았다는 점이다. 다른 부위에 비하여

Spd과 Spm을 많이 함유하고 있는 자엽부위에서는 오히려 이들의 전구물질이 되는 Put의 양이 100 nmole/g. fr. wt.이하로 다른 부위에 비하여 매우 낮을때, 이것은 종자가 발아하는 동안 Put이 DAO에 의하여 분해되고 합성은 이루어지지 않은 것으로 추측된다. 따라서 Spd과 Spm은 종자형성시 합성되어지는 것으로 생각되며, 특히 Spd의 합성은 종자발아시 중요한 역할을 하는 것으로 생각된다(Lin *et al.*, 1984).

이상의 결과로부터 IAA에 의한 LDC활성의 증가, DAO활성의 감소 그리고 이에 따른 diamine의 축적은 서로 상관관계가 있으나, 이러한 diamine의 축적이 고농도 IAA처리에 의한 길이생장의 억제시에만 나타나는 현상인지는 확실하지 않으며, 또한 IAA가 직접적으로 작용하는 것인지 아니면 IAA 처리에 의한 에틸렌생성에 의해서 나타나는 간접적인 작용의 결과인지에 대해서도 확실하지 않다 (Eisinger, 1983). DAO의 IAA합성관련여부는 비록 tryptamine에 대한 DAO의 기질특이성이 Cad에 비하여 매우 낮지만(Suzuki, 1973), IAA처리시 거의 모든 농도에서 DAO활성이 저하되었으며 그 효과는 고농도일수록 뚜렷했던 점으로 미루어 보아 IAA처리시 feed back기작에 의한 DAO의 합성이 줄어드는 것으로 보이며 따라서 DAO가 IAA합성경로에 관여할 것으로 추측된다. 그리고 환경적 요인인 빛에 의해서도 성장조절물질인 polyamine의 대사와 이에 관련된 효소들에 영향을 주는 것으로 생각된다.

적 요

대두의 유묘에서 IAA가 LDC와 DAO의 활성과 Polyamine함량에 미치는 영향을 조사하였다. 고농도의 IAA를 처리할수록 LDC의 활성은 대조구보다 증가하였고, DAO의 활성은 감소하였다. 이에 따른 Polyamine함량은 증가하였는데, Polyamine함량의 증가는 암조건보다 광조건에서 더욱 컸다. Polyamine함량은 하배축과 뿌리에서 Cad이 가장 많았으며, 그 다음으로는 Put, Spd, Spm의 순이었다. 그러나 자엽에서는 Spd과 Spm이 하배축과 뿌리에서 보다는 상대적으로 많은 양을 함유하고 있었다.

각 부위별 IAA의 효과를 살펴보면 자엽에서는 거의 변화가 없었고, 성장중인 하배축에서 보다는 생장이 끝난 하배축과 뿌리에서 LDC활성의 증가와 DAO활성의 감소 그리고 diamine함량의 증가가 뚜렷하였는데 이것은 각 부위의 IAA처리에 대한 반응에 차이가 나기 때문인 것으로 생각된다.

대두에서 유묘단계의 길이생장은 고농도의 IAA처리시 오히려 상당히 억제되었으며 이때의 LDC, DAO의 활성 및 diamine의 함량에도 커다란 변화를 나타냈다. 즉, diamine의 축적은 고농도의 IAA에 의한 길이생장의 억제시 나타나는 현상으로 생각된다.

참 고 문 헌

- Chance, B. and A.C. Maehly. 1955. Assay of catalase and peroxidase. *Method. Enzymol.* 2: 764-775.
- Choudhuri, M.M. and B. Ghosh. 1982. Purification and partial characterization of ADC from rice embryo (*Oryza sativa* L.). *Agric. Biol. Chem.* 46: 739-743.
- Eisinger, W. 1983. Regulation of pea internode expansion by ethylene. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 34: 225-240.
- Federico, R. and R. Angelini. 1986. Occurrence of diamine oxidase in the apoplast of pea epicotyls. *Planta*

167: 300-302.

- Federico, R. and R. Angelini. 1988. Distribution of polyamines and their related catabolic enzyme in etiolated and light-grown leguminosae seedlings. *Planta* **173**: 317-321.
- Goren, R., N. Palavan, H. Flores and A. W. Galston. 1982. Changes in polyamine titer in etiolated pea seedlings following red light treatment. *Plant & Cell Physiol.* **23**: 19-26.
- Icekson, I., M. Bakhanashvili and A. Apelbaum. 1986. Inhibition by ethylene of polyamine biosynthetic enzymes enhanced lysine decarboxylase activity and cadaverine accumulation in pea seedlings. *Plant Physiol.* **82**: 607-609.
- Kaur-Sawhney, R. and A. W. Galston. 1979. Interaction of polyamines and light on biochemical processes involved in leaf senescence. *Plant, Cell and Environ.* **2**: 189-196.
- Kaur-Sawhney, R., H. E. Flores and A. W. Galston. 1981. Polyamine oxidase in oat leaves: A cell wall-localized enzyme. *Plant Physiol.* **68**: 494-498.
- Lin, P.P.C. 1984. Polyamine anabolism in germinating *Glycine max*(L.) seed. *Plant Physiol.* **76**: 372-380.
- Lin, P.P.C., D. B. Egli, G.M. Li and L. Meckel. 1984. Polyamine titer in the embryonic axis and cotyledons of *Glycine max* (L.) during seed growth and maturation. *Plant Physiol.* **76**: 366-371.
- Lowry, O.H., N. J. Rosebrough, A. L. Farr and R. J. Randall. 1951. Protein measurement with the folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.* **193**: 265-275.
- Macholán, L. and J. Minář, 1974. The depression of the synthesis of pea diamine oxidase due to light and the verification of its participation in growth processes using competitive inhibitor. *Biol. Plant.* **16**: 86-93.
- McGowan, R. E. and R. M. Muir, 1971. Purification and properties of amine oxidase from epicotyls of *Pisum sativum*. *Plant Physiol.* **47**: 644-648.
- Ramakrishna, S. and P. R. Adiga. 1975. Amine levels in *Lathyrus sativus* seedling during development. *Phytochemistry* **14**: 63-68.
- Ramakrishna, S. and P.R. Adiga. 1976. Decarboxylation of homoarginine and lysine by an enzyme from *Lathyrus sativus* seedlings. *Phytochemistry* **15**: 83-86.
- Schoofs, G., S. Teichmann, T. Hartmann and M. Wink. 1983. Lysine decarboxylase in plants and its integration in quinolizidine alkaloid biosynthesis. *Phytochemistry* **22**: 65-69.
- Sindhu, R. K. and H. V. Desai. 1980. Partial purification & characterization of diamine oxidase from groundnut embryo. *Indian. J. Biochem & Biophysics.* **17**: 194-197.
- Smith, T. A. 1975. Recent advances in the biochemistry of plant amines. *Phytochemistry* **14**: 865-890.
- Smith, T. A. 1985. Polyamines. *Ann. Rev. Plant Physiol.* **36**: 117-143.
- Smith, T. A. 1985. The di- and poly-amine oxidases of higher plants. *Biochem. Soc. Trans.* **13**: 319-322.
- Smith, T. A. and G. Wilshire. 1975. Distribution of cadaverine and other amines in higher plants. *Phytochemistry* **14**: 2341-2346.
- Srivastava, S. K., A.D.S. Raj and B. I. Naik. 1981. Polyamine metabolism during ageing & senescence of pea leaves. *Indian J. Exp. Biol.* **19**: 437-440.
- Srivastava, S. K., V. Prakash and B. I. Naik. 1977. Regulation of diamine oxidase activity in germinating pea seeds. *Phytochemistry* **16**: 185-187.

- Suresh, M. R., S. Ramakrishna and P.R. Adiga. 1976. Diamine oxidase of *Lathyrus sativus* seedlings. *Phytochemistry* **15**: 483-485.
- Suzuki, Y. 1973. Some properties of the amine oxidase of soybean seedlings. *Plant & Cell Physiol.* **14**: 413-417.
- Yamasaki, E. F., R. Swindell and D. J. Reed. 1970. Some aspects of catalysis by the amine oxidase of pea seedlings. *Biochemistry* **9**: 1206-1210.
- Yanagisawa, H., E. Hirasawa and Y. Suzuki. 1981. Purification and properties of diamine oxidase from pea epicotyls. *Phytochemistry* **20**: 2105-2107.

(1989. 3. 10 接受)