

염분 환경하에서 4종 콩과식물의 생장, 아미노산 및 질소함량에 미치는 질소원의 영향

배정진* · 추연식 · 김진아 · 노광수¹ · 송종석² · 송승달

경북대학교 생물학과, ¹계명대학교 생물학과, ²안동대학교 생물학과

적 요: 콩과식물의 염분 내성에 대한 질소원의 영향을 규명하기 위하여 4종 콩과식물을 선택하여 100 mM 까지의 NaCl을 처리하였다. 염-민감성 종으로 알려진 대두와 팔은 염분 농도가 증가함에 따라 총 질소 함량이 점차 감소하는 반면, 아미노산 함량은 현저히 증가(100 mM NaCl 처리된 대두 무질소구의 경우 대조구의 4.7 배)하여 높은 가용성/불용성 질소 비를 보였다. 대조적으로 염분 내성을 보이는 긴강남차와 자귀나무는 아미노산을 거의 함유하지 않았으며, 염 구배에 따라 총 질소 함량(특히 불용성 질소)이 점차 증가하는 양상을 보였다. 대두와 팔은 아미노산 중 asparagine (Asn)을 다량으로 함유하였으며, Asn은 이들 식물의 대표적인 질소의 수송 및 저장형태로서 염분 환경하에서 이들 식물의 세포질 내 삼투조절에 관여하는 것으로 생각된다. 염 환경에서 대두의 생장에 대한 질소원 및 농도의 영향은 5 mM NH₄NO₃-N 처리구에서 가장 높은 건물함량(10mM NaCl 처리구의 지상부건물함량의 경우 대조구의 약 1.5배)을 보였고, NH₄-N을 공급한 식물의 경우 질소를 공급하지 않은 대조구보다 생장이 저해되었으며, 처리 15일 이후 40과 80 mM NaCl 처리구에서 모두 고사하였다. 따라서 대두의 생장은 NH₄-N, 대조구, NO₃-N, NH₄NO₃-N의 순으로 질소공급량이 증가할수록 염에 대한 저항성이 증가하는 것으로 나타났다.

검색어 : 대두, 아미노산, asparagine, 염, 질소원, 총질소함량

서 론

자연상태에서 식물은 생육환경으로부터 염을 포함한 다양한 환경 스트레스에 노출되며, 최근 지구온난화현상과 더불어 지속적인 관개농업으로 인해 토양의 염류화가 가속화되고 있는 실정이다(Wyn Jones 1981, Vose 1983).

토양 내에 고농도의 염분축적으로 인해 식물체가 받게 되는 스트레스는 수분퍼텐셜의 감소, 과잉이온의 독성 그리고 영양염류의 불균형 등으로 이들 요인의 상호복합적 작용에 의해 생장이 저해된다(Greenway and Munns 1980, Marschner 1995).

세포질 내의 고농도 염은 효소를 비롯한 단백질의 파괴 및 putrecine 등의 diamine 과 polyamine의 축적을 유발하며, 기공폐쇄와 엽록체의 손상을 일으켜 광합성능력을 감소시키며(Flores 1990), Ca²⁺이온과 길항적으로 작용하여 막의 구조적·기능적 성질을 파괴하는 것으로 알려지고 있다(Epstein *et al.* 1963). 이러한 환경하에서 염에 민감한 대부분의 작물 및 식물은 생장과 생산량이 현저히 감소되고 있다(Cheesman 1988, Szabolcs 1989). 따라서 염 환경하에 자라는 식물들은 생존을 위한 몇 가지의 적응전략을 발달시키는데, 흡수된 다량의 염을 액포에 격리시킴으로써 세포질에서 야기되는 이온독성을 회피하며, 이로 인해 발생하는 삼투퍼텐셜의 기울기에 대해 비독성의 세포질성 삼투조절물질을 합성한다(Gorham *et al.* 1980, Albert 1982, Popp 1984).

세포질성 삼투조절물질로는 아미노산, 베타인, 저분자 탄수화물, 당알콜 등이 있으며, 특히 저분자 탄수화물과 아미노산은 염 환경하에서 단백질과 생체막 보호에 기여하는 것으로 알려져 있다(Larcher 1995).

따라서, 본 연구는 콩과에 속하는 대두와 팔(염-민감성 종), 긴강남차 그리고 자귀나무를 이용하여 외부적으로 질소를 공급해 준 경우와 질소를 공급하지 않고 근류균과의 공생에 의한 질소고정을 통해서만 질소를 얻는 경우로 나누어 염 환경하에서 이들 4종 콩과식물에 있어 주요 질소 수송형 및 질소대사양상을 비교하고, 또 염-민감성 종인 대두의 경우 어떠한 질소원 및 질소농도가 대두의 염 환경 극복에 효과적인가를 밝히고자 한다.

재료 및 방법

생육실험

1. 염 환경하에서의 4종 콩과식물의 질소 유·무에 따른 아미노산 및 질소대사

1) 실험재료

본 실험의 재료는 대표적인 콩과식물인 대두(*Glycine max* Merr. cv. Eunha), 팔(*Phaseolus angularis* W.F. Wight cv. Chungju)을 포함하여 척박한 토양에도 잘 견디며 차로 널리 이용되고 있

*Corresponding author; Phone: 82-53-950-5348, e-mail: jinibae@hanmail.net

는 긴강남차(*Cassia tora* L.)와 콩과 중 대표적 목본 관목인 자귀나무(*Albizia julibrissin* Durazz.)를 이용하였다.

2) 생육조건

크기가 균일한 대두, 팥, 긴강남차 및 자귀나무의 종자를 발아 시켜 유포가 3 cm 정도 자랐을 때 균일한 생육 상태의 개체를 선별하여 각각 4개체씩 모래와 질석(3 : 1)이 혼합된 직경 25 cm의 plastic pot에 이식하였다. 근류균의 접종은 제1엽이 완전히 생성된 후 *Rhizobium* sp.을 포함하는 토양용액의 상층액을 pot 당 100 ml/day 씩 이틀간 공급하였으며, 배양액은 근류균 접종 후 무질소 Hoagland 용액을 200 ml/day 공급하여 자연광 하의 온실에서 생육시켰다.

3) 질소, 염 처리 및 수확

근류균 접종 1주일 후 각 식물종을 질소구와 무질소구로 구분하여, 질소구는 2.5 mM NH_4NO_3 를 공급하고, 무질소구는 공생적 질소고정에 전적으로 의존시켰다. 이들 두 그룹을 다시 4개의 염처리구로 나누어서 0, 10, 40 및 100 mM NaCl 을 포함하는 무질소 Hoagland 용액을 200 ml/day 공급하였고, 2주 간격으로 3회에 걸쳐 수확하였다.

2. 대두의 염 환경 극복에 효과적인 질소원 및 질소농도 실험

1) 생육조건

비슷한 크기의 대두 종자를 앞의 실험과 동일한 방법으로 발아시켜, perlite를 채운 plastic pot (10 × 9.5 cm)에 각 1개체씩 이식하였으며, 동일한 방법으로 근류균을 접종하여 Hoagland 용액을 공급하여 자연광 하의 온실에서 생육시켰다.

2) 질소, 염처리 및 수확

식물체는 대조구(무질소구)와 2.5와 5 mM의 질소가 포함된 3종류의 질소원($\text{NH}_4\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$)의 7가지 처리구로 나누어 이들 각각에 0, 10, 20, 40 및 80 mM NaCl과 배양액을 함께 200 ml/day 공급하였고, 질소·염 처리 후 15일 간격으로 2회에 걸쳐 3반복으로 수확하였다.

분 석

1. 생장분석(건량)

각 처리별로 수확한 식물체는 기관별(잎, 줄기, 뿌리)로 분리하여, 70°C 건조기에서 3일 동안 건조한 후 건량을 측정하였으며, 분석에는 마지막 수확시기의 식물체를 이용하였다.

2. 식물체 총 질소함량 분석

총질소 함량은 Micro-Kjeldahl법으로 정량 분석하였다. 식물체 잎의 건조분말시료 약 50 mg을 Kjeldahl-flask에 넣고 분해촉매제($\text{K}_2\text{SO}_4\text{:CuSO}_4 = 1\text{:}9$)와 황산원액 1 ml을 첨가하여 500~600°C 전기로에서 3시간 동안 분해한 후 증류과정을 거쳐 0.02 N H_2SO_4 10 ml에 흡수시키고, 0.02N NaOH로 역적정하여 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 질소함량을 측정하였으며, 총 질소함량은 이온크로마토그래피에 의해 측정된 $\text{NO}_3\text{-N}$ 을 더한 값으로 하였다.

3. 아미노산 분석

건조된 식물 잎을 분쇄기(UDY cyclone sample mill)로 갈아 균질한 분말 약 0.5 g에 15 ml의 증류수를 넣고 100°C 에서 1시간 증탕한 후, 최종 부피를 증류수로 25 ml로 맞추어 pore size 1.2 μm 의 GF/C로 여과하여 추출하였다. 추출시료는 양이온 교환과정을 거쳐 아미노산분석기(Pharmacia Biochrom. 20; HPLC)를 이용하여 31가지의 아미노산을 정량, 정성 분석하였다. 분석시료는 2차 수확된 잎을 사용하였다.

4. 통계처리

측정치에 대한 통계처리는 one-way ANOVA에 의해 분석하고, Scheffe에 의한 다중테스트($P < 0.05$)를 하였다.

결과 및 고찰

염 환경에서 질소 공급에 따른 4종 콩과식물의 건물생장의 변화는 Table 1과 같다.

대두, 팥, 자귀나무의 경우, 40 mM NaCl처리구부터 건물량이 급격히 감소하기 시작하였으나 긴강남차의 질소공급구의 경우 40 mM NaCl처리구에서 염에 의한 저해증상을 보이지 않았으며, 100 mM NaCl처리구에서도 지상부의 건물량이 대조구에 비해 단지 12.8%의 감소를 보여, 비교적 염에 강한 내성을 보였다.

염에 의한 뚜렷한 생장 저해를 보였던 대두와 팥은 질소공급의 유·무에 관계없이 염의 농도가 증가함에 따라 불용성 질소(단백질성)의 함량은 점차 감소하고, 아미노산을 포함하여 가용성 질소의 함량은 점차 증가하는 양상을 보였으며, 전체적으로는 염에 따른 총 질소함량의 감소가 수반되었다(Fig. 1). 이와는 대조적으로 긴강남차와 자귀나무는 염 처리에 의해 총질소 함량(특히, 불용성 질소)이 점차 증가하였으며, 가용성 질소인 아미노산은 매우 낮은 함량을 나타내었다.

대두를 비롯한 많은 콩과식물들은 염에 매우 민감하며 생장이 현저히 저해되는 비염생식물(glycophytes)로 알려져 있다 (Greenway and Munns 1980). 염은 이들 식물의 잎 생장을 현저히 억제할 뿐만 아니라 뿌리의 세포분열과 신장을 억제하여 지상부 생장에 필요한 미네랄 영양분의 흡수를 저해하고, 염 스트레스 극복을 위한 대사적·영양적 그리고 삼투적 에너지 소비를 증가시켜 생장과 발달을 저해하는 것으로 알려져 있다 (Greenway and Munns 1980, Albert 1982, Ball 1988, Downton 1985).

염 환경하에서 이들 4종 콩과식물의 아미노산 함량은 Fig. 2에 나타나 있다. 대두와 팥의 경우, 염 처리에 의해 총아미노산 함량이 현저히 증가하였으며, Asn과 Arg의 축적은 뚜렷하였으나 Pro는 거의 변화를 보이지 않았다.

일반적으로 각종 스트레스 환경에 노출된 식물체에서 Asn, Gln, 그리고 betaines와 같은 질소함유물질(NCC; nitrogen containing compounds)의 축적이 보고되어 있으며, 특히 낮은 수분퍼텐셜에 의해 저해받는 식물은 Asn, Arg, Gln 그리고 Pro와 같은

Table 1. Changes of dry weights (g DW/plant ; means±SD) of stem, leaf and root of four legume plants treated with 0, 10, 40 and 100mM NaCl at the presence of N supply (0 and 2.5 mM NH₄NO₃) at the 3rd harvest (42 days after treatments).

| Plant species | Nitrogen | NaCl (mM) | Leaf | Stem | Root |
|-----------------------|----------|-----------|-------------|-------------|------------|
| <i>G. max</i> | N-Free | 0 | 1.49±0.04a | 1.76±0.03a | 0.74±0.02a |
| | | 10 | 0.84±0.01b | 1.44±0.01b | 0.50±0.01b |
| | | 40 | 0.23±0.01c | 0.92±0.08c | 0.19±0.01c |
| | | 100 | 0.14±0.01c | 0.65±0.07c | 0.12±0.01c |
| | N-Supply | 0 | 2.07±0.03a | 2.13±0.03b | 1.62±0.04a |
| | | 10 | 2.16±0.01a | 2.70±0.04a | 1.32±0.03a |
| | | 40 | 0.77±0.03b | 1.74±0.08c | 0.49±0.02b |
| | | 100 | 0.44±0.02b | 1.32±0.05d | 0.17±0.01b |
| <i>P. angularis</i> | N-Free | 0 | 1.46±0.07a | 1.15±0.05a | 0.65±0.03a |
| | | 10 | 1.04±0.07b | 1.11±0.07a | 0.76±0.05a |
| | | 40 | 0.36±0.04c | 0.39±0.11b | 0.22±0.02b |
| | | 100 | 0.05±0.01d | 0.19±0.17c | 0.12±0.02b |
| | N-Supply | 0 | 1.07±0.05a | 1.41±0.03a | 1.66±0.05a |
| | | 10 | 1.37±0.05a | 1.59±0.03a | 1.71±0.06a |
| | | 40 | 0.25±0.01b | 0.51±0.06b | 0.30±0.02b |
| | | 100 | 0.11±0.01b | 0.14±0.03c | 0.09±0.01b |
| <i>C. tora</i> | N-Free | 0 | 0.32±0.02a | 0.26±0.01a | 0.19±0.01a |
| | | 10 | 0.25±0.01a | 0.16±0.01b | 0.17±0.01a |
| | | 40 | 0.19±0.02a | 0.12±0.01b | 0.08±0.01a |
| | | 100 | 0.19±0.04a | 0.14±0.03b | 0.08±0.02a |
| | N-Supply | 0 | 0.78±0.02a | 0.93±0.02a | 0.56±0.01a |
| | | 10 | 0.82±0.05a | 0.85±0.06ab | 0.50±0.03a |
| | | 40 | 0.65±0.05a | 0.63±0.04bc | 0.29±0.02b |
| | | 100 | 0.78±0.08a | 0.71±0.07c | 0.26±0.03b |
| <i>A. julibrissin</i> | N-Free | 0 | 0.16±0.01a | 0.08±0.00a | 0.15±0.01a |
| | | 10 | 0.12±0.01a | 0.06±0.01a | 0.10±0.01b |
| | | 40 | 0.05±0.02b | 0.03±0.01b | 0.04±0.01c |
| | | 100 | 0.03±0.01b | 0.02±0.01b | 0.02±0.01c |
| | N-Supply | 0 | 0.10±0.01c | 0.10±0.01c | 0.04±0.01d |
| | | 10 | 0.25±0.03b | 0.14±0.02b | 0.11±0.01c |
| | | 40 | 0.44±0.05a | 0.23±0.03a | 0.21±0.02a |
| | | 100 | 0.33±0.02ab | 0.14±0.01b | 0.16±0.01b |

For each plant part, statistically significant differences between treatments are denoted with letters beside SD (tested with a one-way ANOVA, multiple range test after Scheffe; $P < 0.05$).

아미노산을 많이 함유하는 것으로 알려져 있다(Flores and Galston 1984, Pulich 1986). 이들 아미노산은 삼투조절에 있어 중요한 역할을 담당하며, Asn과 Gln은 콩과식물의 체내 질소의 장거리 수송에 있어서 탄소소비를 최소화하는 것으로 알려져 있다(Pate 1975, Stewart and Lee 1979). 특히 Pro는 건조 및 염 스트레스와 같은 낮은 수분퍼텐셜 하에서 보편적으로 축적되는 아미노산으로서 삼투조절에 중요한 역할을 담당할 뿐만 아니라 탈수

에 의해 야기되는 열역학적 불안정으로부터 단백질을 보호하는 것으로 알려져 있으며, 총 아미노산 함량의 2/3 이상을 차지하는 경우도 보고된 바 있다(Ketchum *et al.* 1991, Voetberg and Sharp 1991, Delauney *et al.* 1993). 그러나 조사된 4종 콩과식물의 Pro 함량은 염 처리에 따른 뚜렷한 경향성을 보이지 않았으며 그 양이 매우 적어 이들 식물의 염분내성에 관련된 지표로 이용되지 못할 것으로 여겨진다. 대두와 팥에서 Asn이 가장 많은 양을 차지

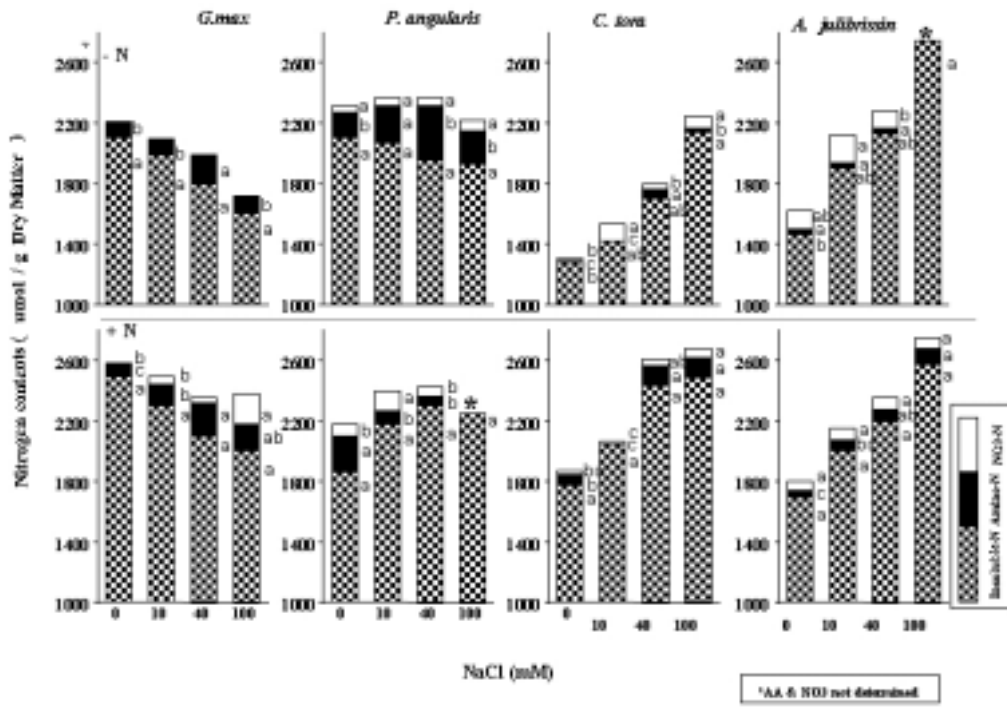


Fig. 1. Changes of total nitrogen contents (Insoluble-N, Amino acids-N, NO₃-N) (μM/g DW) in leaves of four legume plants treated with 0, 10, 40 and 100 mM NaCl at the presence of nitrogen supply (0 and 2.5 mM NH₄NO₃) at the 2nd harvest (28th day after treatments).

For each plant nitrogen contents, statistically significant differences between treatments are denoted with different superscript letters (tested with a one-way ANOVA, multiple range test after Scheffe; P < 0.05).

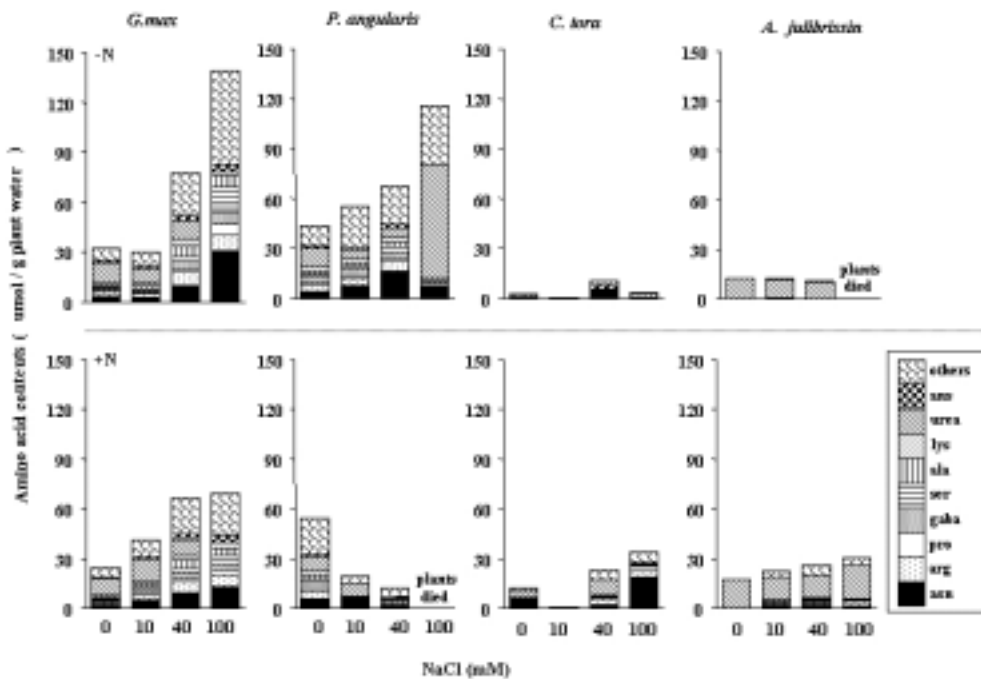


Fig. 2. Changes of amino acids (μM/g Plant Water) in leaves of four legume plants treated with 0, 10, 40 and 100 mM NaCl at the presence of nitrogen supply (0 and 2.5 mM NH₄NO₃) at the 2nd harvest (28th day treatments).

하였으며, 팔의 경우 무질소 100 mM NaCl 처리구에서 질소대사의 최종 분해산물로 알려진 urea가 대부분을 차지하였다. 대두와 팥에서 가장 많은 함량을 차지한 Asn은 염분스트레스하에 노출된 이들 식물체의 질소의 주요저장형으로 생각된다. 한편, 긴강납차와 자귀나무는 염분스트레스에 의해 총 질소 함량은 증가하였지만 아미노산 함량은 거의 변화가 없어 대두와 팥과는 매우 다른 양상을 보였다(Fig. 1). 이는 염농도 증가에 의해 특정 DNA sequence가 활성화되어 3~6시간 이내에 스트레스성 단백질이 유도된다는 보고와 같은 반응기구가 긴강납차와 자귀나무의 경우에서도 발현되었을 것으로 생각된다(Clase *et al.* 1990).

한편, 염 환경하의 이들 4종 콩과식물은 질소고정에 전적으로 의존하기보다는 외부에서 질소를 공급한 경우에 염에 대한 내성을 갖는다는 결과(배정진 2002 투고중)를 바탕으로 어떠한 질소원 및 농도가 염 환경 극복에 효과적인지를 규명하기 위하여 염분스트레스에 가장 민감한 성장반응을 보이는 대두를 제

료로하여 질소원의 종류 및 농도(NH₄NO₃-N, NO₃-N, NH₄-N; 2.5, 5 mM and Control(N-free))를 달리하는 조건에서 0, 10, 20, 40 & 80 mM NaCl을 처리하여, 질소원 및 염 처리에 따른 지상부·지하부 건물함량의 변화를 조사하였다(Table 2).

대부분의 경우 낮은 농도(2.5 mM N)보다는 높은 농도(5 mM N)의 NH₄NO₃-N을 처리한 경우 대두는 높은 성장을 보였으며(지상부 건물함량이 대조구의 1.4배), NH₄-N을 처리한 경우 성장과 질소 이용성에 있어 대조구, 즉 공생적 질소고정에만 의존하는 경우보다 뚜렷한 성장저해를 보였다. 일반적으로 콩의 생육, 근류형성 및 질소고정에 있어 최적의 토양산도는 pH 6.5 내외로 알려져 있는데(곽과 노 1985), 식물체가 NH₄-N을 흡수하면 뿌리주위로 H⁺를 방출함으로써 토양의 산성화를 유발할 뿐만 아니라 뿌리의 세포막을 약화시킴으로써 생장의 저해를 초래하는 것으로 생각된다(Glass 1988). 따라서 NH₄-N을 처리한 대두의 경우, 약해진 뿌리 세포막을 통해 과잉의 염이 수동적으로 유

Table 2. Changes of stems, leaves and roots dry weight (g DW/plant ; means±SD) grown in semi-solution culture under various nitrogen sources supply of four legume plants treated with 0, 10, 20, 40 and 80 mM NaCl (NH₄NO₃-N, NO₃-N, NH₄-N; 2.5, 5 mM and Control(N-free)) at the 2nd harvest (30th day after treatments).

| Organ | Con. (mM) | NaCl(mM) | | | | | | |
|-----------------|-----------------|---------------------------------|---------------------------------|------------|-------------|------------|------------|------------|
| | | N-forms | 0 | 10 | 20 | 40 | 80 | |
| Leaf | N-free | Control | 1.58±0.59b | 1.97±0.49a | 1.26±0.45a | 0.66±0.59a | 0.25±0.13a | |
| | | NO ₃ | 1.25±0.29a | 1.20±0.21c | 1.34±0.46b | 0.46±0.22a | 0.28±0.37a | |
| | 2.5mM | NH ₄ NO ₃ | 1.48±0.54c | 1.39±0.25a | 0.85±0.31a | 0.26±0.13b | 0.73±0.00a | |
| | | NH ₄ | 1.05±0.06b | 0.53±0.63b | 0.78±0.61ab | plant died | plant died | |
| | | NO ₃ | 1.35±0.29d | 1.27±0.14a | 1.23±0.48a | 0.28±0.21a | 0.23±0.03a | |
| | 5mM | NH ₄ NO ₃ | 2.18±0.29c | 1.49±0.36b | 1.15±0.37b | 0.74±0.14b | plant died | |
| | | NH ₄ | 0.30±0.13b | 0.02±0.01b | 0.03±0c | plant died | plant died | |
| | Stem | N-free | Control | 1.12±0.49b | 0.89±0.36c | 0.87±0.36b | 0.43±0.16b | 0.31±0.09b |
| | | | NO ₃ | 0.87±0.30a | 1.04±0.19a | 0.51±0.39c | 0.53±0.09a | 0.50±0.19a |
| | | 2.5mM | NH ₄ NO ₃ | 1.07±0.35c | 1.28±0.12b | 0.88±0.26a | 0.40±0.15c | 0.62±0.00c |
| NH ₄ | | | 0.85±0.09c | 0.47±0.33c | 0.68±0.18c | plant died | plant died | |
| NO ₃ | | | 1.15±0.27c | 1.02±0.05a | 0.94±0.32a | 0.44±0.13a | 0.33±0.09a | |
| 5mM | | NH ₄ NO ₃ | 1.55±0.27c | 1.32±0.25c | 0.97±0.34b | 0.60±0.10b | plant died | |
| | | NH ₄ | 1.19±0.20b | 0.37±0.04b | 0.42±0.00c | plant died | plant died | |
| Root | | N-free | Control | 0.67b | 0.50b | 0.30c | 0.43c | 0.19a |
| | | | NO ₃ | 0.63a | 0.72c | 0.36d | 0.38a | 0.10a |
| | | 2.5mM | NH ₄ NO ₃ | 0.63d | 0.76a | 0.65a | 0.36b | 0.37c |
| | NH ₄ | | 0.47c | 0.29b | 0.47b | plant died | plant died | |
| | NO ₃ | | 0.72d | 0.74a | 0.72a | 0.30a | 0.23a | |
| | 5mM | NH ₄ NO ₃ | 0.95c | 0.94b | 0.61b | 0.44b | plant died | |
| | | NH ₄ | 0.18b | 0.20b | 0.22c | plant died | plant died | |

For each plant parts, statistically significant differences between treatments are denoted with letters beside SD(tested with a one-way ANOVA, multiple range test after Scheffe; P<0.05).

*ND : Not Determined

입됨으로써 특정이온의 독성현상 뿐 아니라 이온 과다현상을 유발하는 것으로 생각된다. 또한 NH_4^+ 이온은 독성이 강하기 때문에 흡수되는 즉시 GS-GOGAT(Glutamine synthetase/Glutamate synthase)의 효소계를 통해 Glu, Gln과 같은 질소화합물로 바뀌어야 하는데, GS-GOGAT 효소계 역시 염에 매우 민감하기 때문에 흡수된 암모니아가 동화되지 못하고 세포질에 남아 독성을 띠게 됨으로서 식물의 생장은 더욱 저해 받게 된다(Bourgeais *et al.* 1992).

따라서 $\text{NH}_4\text{-N}$ 을 처리한 식물의 생장은 이와 같은 복합적인 원인으로 인해 가장 심한 성장저해를 보인 것으로 생각된다(Table 2). 한편, 식물이 $\text{NO}_3\text{-N}$ 만을 흡수하게 되면, 이온간의 길항작용으로 인해 식물체내로 Cl^- 의 유입이 억제되는 이점이 있지만, 다량의 NO_3^- 의 흡수는 역시 토양으로 OH^- 이온을 방출하기 때문에 토양을 알칼리화하고 철과 같은 필수원소의 흡수를 억제하여 엽록소의 감소(lime-induced chlorosis) 및 생장의 저해가 초래된다(특히, 벼과와 철쭉과 식물)(Kinzel 1982). 그러나 염 환경하에서 식물이 $\text{NH}_4\text{NO}_3\text{-N}$ 을 이용하게 되면, Cl^- 의 과도한 흡수를 막을 수 있을 뿐만 아니라 질소원의 선택적 흡수를 통해 토양의 pH 환경을 약산성(pH 6.5)으로 유지하는데 있어 보다 효율적이기 때문에 염 환경하에 노출된 대두에서 가장 효과적인 질소원으로 생각된다.

최근 우리나라의 농업도 상당 부분이 관개에 의존하고 있으며, 지구온난화현상에 의해 토양염류화가 가속화되고 있다. 이러한 환경과 염분스트레스에 대한 내염성 작물종의 개발 및 질소를 비롯한 염환경 극복에 효과적인 조절요인을 밝히는 것은 콩을 비롯한 주요 작물의 생산성을 향상시키는데 기여할 것으로 생각된다.

인용문헌

- 곽관주, 노신규. 1985. 토양학원론. 정음사. 서울. 356 p.
- Albert, R. 1982. Halophyten. H. Kinzel (ed.), *In: Pflanzenoekologie und Mineralstoffwechsel*. Ulmer Verlag, Stuttgart. pp. 33-204.
- Ball, M.C. 1988. Salinity tolerance in the mangroves *Aegiceras corniculatum* and *Avicennia marina*. I. Water use in relation to growth, carbon partitioning and salt balance. *Aust. J. Plant Physiol.* 15: 447-464.
- Bourgeais-Chaillou, P.F., Perez-Alfocea and G. Guerrier. 1992. Comparative effects of N-sources in growth and physiological response of soybean exposed to NaCl-stress. *J. Exp. Bot.* 254: 1125-1133.
- Cheesman, J.M. 1988. Mechanism of salinity tolerance in plants. *Plant Physiol.* 87: 547-550.
- Clase, B., M. Dekeyser, M. Van den Bulcke, M. Van Montagu and A. Caplan. 1990. Characterization of rice gene showing organ-specific expression in response to salt stress and drought. *Plant Cell* 2: 19-27.
- Delauney, A.J.C., A.A. Hu, P.B.K. Kisher and D.P.S. Verma. 1993. Cloning of ornithine δ -aminotransferase cDNA from *Vigna aconitifolia* by trans-complementation in *Escherichia coli* and regulation of proline synthesis. *J. Biol. Chem.* 268: 18673-18678.
- Downton, W.J.S. 1985. Growth and mineral composition of the sultana grapevine as influenced by salinity and rootstock. *Aust. J. Agric. Res.* 36: 425-434.
- Epstein, E., D.W. Rains, and O.E. Elzam. 1963. Resolution of dual mechanism of potassium absorption by barley roots. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 49: 684-692.
- Flores, H.E. and A.W. Galston. 1984. Osmotic stress-induced polyamine accumulation in cereal leaves. II. Relation to amino acid pools. *Plant physiol.* 75: 110-113.
- Flores, H.E. 1990. Polyamine and plant stress. *In: Alschner R.G., J.R. Cumming (eds.), Stress response in plants: adaptation and acclimation mechanism*. Wiley-Liss, New York, pp. 217-239.
- Glass, A.D.M. 1988. Nitrogen uptake by plant roots. *Animal and Plant Science* 1: 151-156.
- Gorham, J., L.I. Hughes and R.G. Wyn Jones. 1980. Chemical composition of salt marsh plant from Ynys Mon (Anglesey): the concept of physiotypes. *Plant, Cell and Environ.* 3: 309-318.
- Greenway, H. and R. Munns. 1980. Mechanism of salt tolerance in nonhalophytes. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 31: 149-190.
- Ketchum, R.E.B., R.C. Waren, L.J. Klima, F. Lopez-Gutierrez and M.W. Nabors. 1991. The mechanism and regulation of proline accumulation in suspension cultures of the halophytic grass *Distichlis spicata* L. *J. Plant Physiol.* 137: 368-374.
- Kinzel, H. 1982. Physiologische und Oekologische Charakteristik von Pflanzen. *In: H. Kinzel(ed.), Pflanzenoekologie und Mineralstoffwechsel*. Ulmer Verlag, Stuttgart. pp. 13-23.
- Larcher, W. 1995. *Physiological plant ecology* (3 Ed.). Springer-Verlag, Berlin, pp. 396-409.
- Marschner, H. 1995. *Mineral nutrition of higher plants*. Academic Press, London. pp. 657-680.
- Pate, J.S. 1975. Exchange of solutes between phloem and xylem and circulation in the whole plant. *In: M.H Zimmermann and Milburn, J.A. (eds.), Encyclopedia of Plant Physiology*. New Series, Vol. 1. Springer-Verlag, Berlin, pp. 451-468.
- Popp, M. 1984. Chemical composition of Australian mangroves. I. Inorganic and organic acids. *Z. Pflanzenphysiol.* 113: 395-409.
- Pulich, W.M. 1986. Variation in leaf solute amino acid and ammonia content in subtropical grasses related to salinity stress. *Plant physiol.* 80: 283-286.
- Stewart, C.R. and J.A. Lee. 1979. The rate of proline accumulation

in halophytes. *Planta* 120: 279-289.

Szabolcs, I. 1989. Salt-affected soils. CRC Press, Boca Raton, FL. pp. 120-143.

Voetberg, G.S. and R.E. Sharp. 1991. Growth of the maize root at low water potentials. III. Role of increased proline deposition in osmotic adjustment. *Plant Physiol.* 96: 1125-1130.

Vose, P.B. 1983. Rationale of selection for specific nutritional

characters in crop improvement with *Phaseolus vulgaris* L. as a case of study. *Plant Soil* 72: 351-364.

Wyn Jones, R.G. 1981. Salt tolerance. In: C.B. Johnson (ed.), *Physiological Processes Limiting Plant Productivity*. Butterworth, London. pp. 271-292.

(2003년 5월 22일 접수; 2003년 6월 16일 채택)

Effects of Nitrogen Application on the Patterns of Amino Acids, Nitrogen Contents and Growth Response of Four Legume Plants under Saline Conditions

Bae, Jeong-Jin, Yeon-Sik Choo, Jin-A Kim, Kwang-Soo Roh*, Jong-Suk Song** and Seung-Dal Song

Department of Biology, Kyungpook National University, Daegu, 702-701, Korea

*Department of Biology, Keimyung University, Daegu, 704-701, Korea**

*Department of Biology, Andong National University, Andong, 760-749, Korea***

ABSTRACT : Four legume plants showed better growth by the external nitrogen supply rather than the symbiotic nitrogen fixation only under salt additions. In case of *Glycine max* and *Phaseolus angularis*, total nitrogen contents decreased by high salinity level but their amino acid levels significantly increased with the increase of salt treatments and indicated high soluble-/insoluble-N ratios. *Cassia tora* and *Albizia julibrissin* contained less amino acids than *G. max* and *P. angularis* but total N (esp. insoluble N fraction) increased with higher salt levels. Asparagine occurred as a main amino acid especially in *G. max* and *P. angularis* and can be seen as potential N-storage form in these plants. It might be play an important role for the osmoregulation mechanism under the saline condition. Meanwhile, to investigate what kinds of nitrogen sources are effective for overcoming salt stress on soybean plants, various N forms and concentrations (NH₄NO₃-N, NO₃-N, NH₄-N; 2.5 and 5 mM) were additionally supplied to the salt gradient medium. Soybean plants treated with NH₄NO₃-N showed the best growth up to 40 mM NaCl and NO₃-fed plants indicated good growth even at 80 mM NaCl treatments. Contrary to NH₄NO₃- and NO₃-fed plants, NH₄⁺-fed plants showed remarkable growth reduction and died by 40 and 80 mM NaCl treatments after the first harvest (15th day). Consequently, these results suggest that salt excluding and resistant capacities of soybean plants under NaCl treatments are increased in order of NH₄-N, control, NO₃-N and NH₄NO₃-N depending on N concentration except NH₄-N treatments.

Key words : Amino acids, Asparagine, Four legumes, Nitrogen source, Salt

Appendix 1. Analysis of variance amino acids ($\mu\text{mol/g}$ Plant water) by nitrogen supply and salt concentration. Letters denote significant differences between plant species according to nitrogen supply (0 and 2.5 mM NH_4NO_3) (tested with one-way ANOVA, multiple range test after Scheffe; $P < 0.05$).

| Plant species | Nitrogen | NaCl (mM) | others | Ans | Urea | Lys | Ala | Ser | Gaba | Pro | Arg | Asn |
|-----------------------|----------|-----------|--------|-----|------|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|
| <i>G. max</i> | N-Free | 0 | c | b | ab | c | b | c | c | c | b | c |
| | | 10 | c | b | ab | c | b | c | c | c | b | c |
| | | 40 | b | a | a | a | a | b | b | b | a | b |
| | | 100 | a | b | b | b | a | a | a | a | a | a |
| | N-Supply | 0 | d | d | b | c | c | c | c | d | c | d |
| | | 10 | c | c | a | b | b | c | b | c | b | c |
| | | 40 | b | b | c | a | a | b | a | b | a | b |
| | | 100 | a | a | d | a | a | a | a | a | a | a |
| <i>P. angularis</i> | N-Free | 0 | c | b | b | a | a | c | ab | bc | bc | c |
| | | 10 | ab | ab | b | a | a | bc | a | ab | ab | b |
| | | 40 | b | a | b | a | a | a | ab | a | a | a |
| | | 100 | a | b | a | a | a | a | b | b | c | c |
| | N-Supply | 0 | a | a | a | a | a | a | a | a | a | a |
| | | 10 | b | b | a | b | b | b | b | b | b | b |
| | | 40 | b | c | b | b | b | b | b | b | b | b |
| | | 100 | ND | | | | | | | | | |
| <i>C. tora</i> | N-Free | 0 | b | b | b | a | b | b | b | c | a | c |
| | | 10 | b | b | b | a | b | b | b | b | b | a |
| | | 40 | a | a | b | a | a | a | a | a | a | a |
| | | 100 | b | b | a | a | b | b | b | b | b | a |
| | N-Supply | 0 | c | a | b | b | c | c | c | b | b | b |
| | | 10 | d | a | c | c | d | c | c | d | b | d |
| | | 40 | b | a | a | a | b | a | b | c | a | c |
| | | 100 | a | a | c | a | a | b | a | a | a | a |
| <i>A. Julibrissin</i> | N-Free | 0 | b | a | a | b | b | b | b | b | b | a |
| | | 10 | a | a | a | a | a | a | a | b | a | a |
| | | 40 | ab | a | a | b | b | b | b | b | a | a |
| | | 100 | ND | | | | | | | | | |
| | N-Supply | 0 | d | a | b | c | c | d | c | d | c | d |
| | | 10 | c | a | c | b | a | c | b | b | b | b |
| | | 40 | a | a | c | a | a | a | a | a | a | b |
| | | 100 | b | a | a | b | b | b | b | b | c | a |

*ND ; Not Determined.