

해안식물의 유리아미노산과 질소함량

추연식* · 도정화 · 송승달

동의대학교 자연과학대학 생물학과*, 경북대학교 자연과학대학 생물학과

적 요: 32종의 해안식물(주로 염생식물)에 대한 유리아미노산 및 총질소함량을 조사하였다. 몇몇 종(참골무꽃과 해란초)을 제외한 모든 식물체는 Pro를 함유하였으나, 변행초, 등골나물아재비 및 갯무에서만, 높은 함량을 나타내어, 이들 식물에서 Pro는 세포질성 삼투물질로 작용하는 것으로 생각된다. 그러나 등대풀, 갯무, 갯방풍, 갯기름나물, 통보리사초, 왕잔디, 갯잔디 등의 식물은 Pro 보다는 hydroxylproline (OH-Pro)을 상당량 축적하였다. 총 아미노산은 갯개미취, 갯질경, 해란초, 순비기나무 및 특히 명아주과와 들나물과 식물에서 낮은 값을 보였다. 또한 변행초, 등대풀, 갯무, 명아주과 및 콩과 식물은 보편적으로 총 질소 및 수용성 질소함량이 높았으나, 참골무꽃, 해란초, 순비기나무, 통보리사초 및 벼과 식물은 낮은 수준의 질소함량을 보였다. 대부분의 해안식물에서 유리아미노산은 총질소함량에 차지하는 비율이 낮았지만, 등대풀, 모래지치 및 등근바위솔의 경우 아미노산 질소가 총질소함량의 25~30%를 차지하였다. 결론적으로, 몇몇 예외는 있지만 세포질성 삼투물질로 널리 알려진 Pro는 조사된 해안식물의 유리아미노산 풀(pool)에서 유의한 몫을 차지하지 않는 것으로 여겨진다.

검색어: 세포질성 삼투조절 물질, 염생식물, 유리아미노산, 질소함량, Proline

서 론

자연상태에서 식물은 다양한 형태의 환경 스트레스에 노출된다. 특히 과도한 토양 및 지하수의 염농도는 세계 도처에서 염에 민감한 작물의 생산과 수확량을 저해하는 요인으로 작용한다 (Epstein 1985, Cheeseman 1988).

염환경은 식물을 크게 3가지 형태의 스트레스에 노출시킨다. 첫째, 주위의 낮은 삼투포텐셜은 수분이용성을 감소시켜 수분스트레스를 초래한다. 둘째, 특정 이온의 독성이 고농도의 Na^+ , Cl^- , Mg^{2+} , SO_4^{2-} 또는 다른 이온들로부터 야기될 수 있다. 셋째, 높은 이들 이온농도로 인해 세포내 이온의 불균형이 초래된다. 예를 들면, 과도한 Na^+ 에 의해 K^+ 의 흡수 및 분배가 저해되거나 고농도의 Cl^- 는 NO_3^- 나 인산 이온의 흡수 및 이용성에 영향을 미친다. 많은 연구자들이 조사한 바에 따르면 식물의 성장억제와 손상에 관련된 원인들을 살펴보면, 1) 수분 감소에 따른 생리적 건조, 2) 세포막(액포막 또는 원형질막)의 손상, 3) Ca^{2+} - Na^+ 상호작용, 4) Na^+ - K^+ 선택성, 수송 및 누출, 5) symplast 내에 용질 축적을 통한 삼투조절과정, 6) 세포탈수를 초래하는 appoplast내에 염의 축적, 7) 잎 표면의 감소와 성장하는 조직으로 대사 산물의 공급 부족을 초래하는 성숙된 조직의 손상, 8) 삼투조절, 구획화 그리고 배제를 위한 비용, 9) 식물체내에서 호르몬의 불균형(특히 cytokinin과 ABA), 10) K^+ 와 같은 영양소의 결핍 등을 들 수 있다. 그러나 이러한 많은 연구에도 불구하고, 염에 대한 식물의 생리반응은 아주 복잡하고, 이들 과정이 독립적으로 일어나는 것이 아니라 상호 연관되어 일어나기 때문에 염의 영향에 관한 다양한 생리·생화학적 연구가 현재 진행 중에 있다

(McKersie and Leshem 1994, Pessaraki 1994).

한편, 식물의 염환경 적응에 관한 생리생태학적 연구 동향을 살펴보면, 내륙 염습지에서 단자엽 및 쌍자엽식물의 적응에 관한 Albert(1982)의 연구와 그 이후 많은 연구자에 의해 다양한 형태의 적응기작 및 이에 관련된 여러 가지 삼투조절물질(proline, sugars, sugar alcohols, betaines 등)이 알려지게 되었다 (Smirnoff 1995). 이들 화합물은 수용성으로 중성 pH에서 전하를 띄지 않는 경향이 있고, 생화학적 반응을 저해하지 않아 삼투조절에 깊은 관련성이 있다.

이 중에서도 세포질성 삼투기능을 갖는 대표적인 물질은 proline(Pro)으로써 수분결핍, 영양결핍, 염 및 저온 스트레스 상황하에서 효소 및 단백질의 변성방지, hydroxyl radical의 제거 및 막의 안정성, 동결방지 등 세포내 보호기작에 관여한다 (Samaras *et al.* 1995). 최근에 스트레스에 반응하여 Pro 이외의 다른 질소화합물의 축적에 관한 연구가 많이 진행 중에 있으며, 여러 연구 결과들을 토대로 염환경 적응에 관한 다양한 기작 및 분류단위간의 뚜렷한 생리적 특성이 알려지게 되었다 (Huetterer and Albert 1993, Hanson *et al.* 1995). 그러나 내륙의 염분토양이나 건조지대, 실험실 내의 인위적인 염처리 조건하에서 많은 연구가 이루어져 왔고, 해안 염습지에 있어서는 Mangrove림(Popp 1984) 또는 여러 지역의 해안식물에 대한 연구(Gorham *et al.* 1980)가 많이 이루어져 왔으나, 식물체내 유기용질 양상을 통한 생리생태학적 연구는 아직도 미진한 실정이다.

본 연구는 우리 나라의 다양한 해안지대(사구, 염습지 등)에 생육하고 있는 식물의 환경적응기작을 이해하기 위한 접근의 일환으로, 이들 식물의 질소대사에 초점을 두어 정량적으로 규명하고자 하였다. 1) 해안식물의 무기질소 및

아미노산을 포함하여 가용성 질소함량은 어느 정도이며, 총 질소함량중 이들이 차지하는 비율은 어느 정도인가? 2) 조사된 아미노산 중 세포질성 삼투조절물질로 널리 알려진 Pro 함량은 어느 정도이며, 해안식물의 삼투조절에 뚜렷한 역할을 하는가? 3) Pro 이외에 어떠한 종류의 아미노산이 이들 식물의 질소대사에 중요한 비중을 차지하며, 이미 알려진 아미노산 이외에도 새로운 아미노 화합물이 해안식물에서 발견되어지는가?

재료 및 방법

식물체 채집

1997년 생육기간 동안(5~8월) 서해안의 염습지 및 동해안의 사구, 해안 산기슭 등지에 출현하는 대표적인 32종의 해안식물에 대해 생육상태가 양호한 지상부만을 채집하였다(몇몇 식물의 경우, 생육상태에 따라 1회 이상 채집하였으며, 개체간의 차이를 줄이기 위해 가능한 한 많은 개체의 지상부를 실험재료로 이용하였다). 식물이 생육하고 있는 각 서식지의 토양 무기환경을 조사하기 위해 표층에서 20 cm 깊이의 토양시료를 채취하였다. 토양 환경 및 조사된 식물 종은 Table 1에 나타나 있다. 한편, 몇몇 식물(모래지치, 갯개미취, 큰비쭈 및 칠면초)의 경우 자연상태의 식물과 비교하기 위해 온실에서 생육시킨 개체를 이용하였다.

식물체 무기이온 및 질소 측정

식물체는 생체량(fresh weight; FW)을 측정한 후 마이크로웨이브 법으로 건조시켜 건조량(dry weight; DW)을 측정하였다. 식물체의 수분함량(plant water; PW)은 생체량과 건조량의 차로써 구하였다. 건조된 시료는 분말로 만들어 끓는 물에 1시간 동안 처리하여 수용성 이온을 획득하였다. 추출액 중 K^+ 과 Na^+ 은 ICP(inductively coupled plasma; JOBIN YVON 38 PLUS)를 이용해 정량적으로 측정하였고, 음이온인 Cl^- 와 NO_3^- 는 이온크로마토그래피(Samsung SLC-100; Column: Sykam LCA A14; Conductivity detector; Flow rate: 1.5 ml/min; Eluant: modified 7.5 mM Na_2CO_3)로 정량하였다. 한편 39종의 필수 및 유리 아미노산은 아미노산 분석기(Pharmacia Biochrom 20)를 이용한 lithium citrate 법을 이용해 정량하였다.

가용성 질소 및 총질소 측정

식물체의 가용성 질소함량은 추출액 10 ml를 농축기(speed vac. concentrator)를 통해 건조시킨 다음 원소분석기(Elemental Analyzer: Carlo Erba EA-1108)를 이용하여 정량하였으며, 식물체 및 토양의 총질소함량($\mu\text{mol/g DW}$ 또는 % DW)은 micro-Kjeldahl법으로 정량한 값에 이온크로마토그래피에 의해 측정된 NO_3^- -N량을 더한 값으로 하였다.

토양의 무기환경 측정

풍건된 토양의 치환성 양이온은 건조 토양 5 g을 100 ml

삼각플라스크에 취하여 1 N NH₄Ac 용액(초산-암모늄법) 50 ml를 가하여 1시간 진탕 후 여과한 다음 적절히 희석해서 ICP로 정량하였고(농업기술연구소 1988), 가용성 무기 음이온은 이온크로마토그래피로 정량하였다.

결 과

토양환경

사구 및 염습지를 포함하여 조사지의 총질소함량은 40~260 $\mu\text{mol/g soil}$ (0.06~0.36%)의 범위로 해안 산기슭에서 최대치를 보였으며, 사구에서 가장 낮은 질소함량을 보였다(Table 1). 토양의 치환성 Na^+ 이온 함량은 사구(특히 남해), 바위절벽 등의 토양에서 낮은 0.21~0.34 $\mu\text{mol/g soil}$ 의 낮은 값을 나타내었고, 서해안 염습지 및 염전 토양이 가장 높은 Na^+ (160~200 $\mu\text{mol/g soil}$), K^+ 그리고 Cl^- 값은 보였다. 염습지 이외의 토양은 전반적으로 낮은 이온함량을 보였고, 조사된 토양의 NO_3^- 함량은 전반적으로 낮은 값을 보였다.

식물체의 질소함량

총질소함량은 식물종에 따라 매우 현저한 차이를 보였다(Fig. 1). 콩과의 갯완두(33; Table의 식물체 번호)를 포함하여 번행초(1), 갯무(25), 등대풀(27) 등의 식물은 3 mmol/g DW(4.2% N에 해당) 이상의 높은 질소를 함유한 반면, 들나물과의 등근바위솔(23), 기린초(24), 꿀풀과의 참골무꽃(31), 현삼과의 해란초(37), 그리고 일부 명아주과 식물(통통마디-10) 및 해국(19)은 1 mmol/g DW(1.4% N) 정도의 낮은 질소함량을 나타내었다. 조사된 대부분의 식물은 토양의 낮은 NO_3^- 이온함량으로 인해 체내 NO_3^- 를 거의 함유하지 않았으나, 일부 식물종(석류과류의 번행초)은 다량의 무기질소(NO_3^- -N)를 함유하였다. 해란초(37, 38), 참골무꽃 그리고 국화과 및 명아주과 식물의 체내 아미노산은 총질소함량에 많은 기여를 못한 반면, 등대풀, 갯무, 갯방풍(39), 모래지치(2) 및 등근바위솔의 아미노산 함량은 총질소의 25% 이상으로 높은 비율을 차지하였다. 또한 NO_3^- -질소 및 아미노산성 질소를 제외한 가용성 질소함량에 있어서도 종간에 현저한 차이를 보였다. 모래지치, 큰비쭈(17, 18), 참골무꽃, 순비기나무(41)는 가용성 질소를 거의 함유하지 않은 반면, 번행초, 버들명아주(7), 통통마디(8, 9, 10), 등골나물아재비(16), 갯개미취(20, 21), 갯메꽃(22), 왕잔디(29), 갯잔디(30), 갯완두, 갯까치수영(36) 등의 식물은 아미노산성 질소함량 이상으로 상당량의 가용성 질소를 체내 함유하였다. 총가용성 질소는 번행초, 명아주과 식물(버들명아주, 통통마디(8, 9, 10), 수송나물(12)), 갯메꽃, 등근바위솔, 등대풀, 갯완두, 갯까치수영에서 총질소의 25%이상으로 많은 부분을 차지하였으며, 특히 번행초와 갯까치수영의 경우 총질소의 32%와 44%로 질소함량에 큰 기여를 하였다.

아미노산 함량

Table 1. Plant species (32 species) collected from several coastal habitats and contents of their soil nitrogen and inorganic ions (exchangeable cations and soluble anions) (Ch. *Chenopodium*; SD: sand dune; GH: green house; SM: salt marsh; CC: coastal cliff; KNU: Kyungpook National University)

No.	Family	Plant species	Habitat	Location	Total-N ($\mu\text{mol/g soil}$)	Soil inorganic ions ($\mu\text{mol/g soil}$)			
						Na	K	Cl	NO_3
1	Aizoaceae	<i>Tetragonia tetragonoides</i>	SD	Guryongpo	60.7	1.1	4.1	0.7	0.1
2	Boraginaceae	<i>Messerschmidia sibirica</i>	SD	Yangpo	42.9	1.1	4.1	1.0	0.2
3	Boraginaceae	<i>Messerschmidia sibirica</i>	GH	KNU	75.0	2.1	2.6	20.5	0.3
4	Chenopodiaceae	<i>Atriplex gmelini</i>	SD	Yangpo	132.1	40.0	6.7	14.5	0.3
5	Chenopodiaceae	<i>Ch. album</i> var. <i>centrorubrum</i> (old)	SD	Sokcho	55.6	2.6	1.8	0.2	0.0
6	Chenopodiaceae	<i>Ch. album</i> var. <i>centrorubrum</i> (young)	SD	Sokcho	55.6	2.6	1.8	0.2	0.0
7	Chenopodiaceae	<i>Ch. virgatum</i>	SD	Guryongpo	60.7	1.1	4.1	0.7	0.1
8	Chenopodiaceae	<i>Salicornia herbacea</i>	SM	Jinseo	179.4	183.0	19.6	152.4	0.5
9	Chenopodiaceae	<i>Salicornia herbacea</i>	SM	Pyousan	107.1	166.5	17.8	150.6	0.0
10	Chenopodiaceae	<i>Salicornia herbacea</i> (old)	SM	Pyousan	107.1	166.5	17.8	150.6	0.0
11	Chenopodiaceae	<i>Salsola collina</i>	SD	Namae	78.6	1.6	1.4	0.2	0.0
12	Chenopodiaceae	<i>Salsola komarovii</i>	SD	Guryongpo	60.7	1.1	4.1	0.7	0.1
13	Chenopodiaceae	<i>Suaeda japonica</i>	GH	KNU	75.0	2.1	2.6	0.5	0.3
14	Chenopodiaceae	<i>Suaeda japonica</i> (old)	SM	Dongjin	251.7	205.4	22.9	145.2	1.0
15	Chenopodiaceae	<i>Suaeda japonica</i> (young)	SM	Dongjin	251.7	205.4	22.9	145.2	1.0
16	Compositae	<i>Ageratum conyzoides</i>	CC	Guryongpo	262.9	9.8	8.0	1.3	0.3
17	Compositae	<i>Artemisia fukudo</i>	GH	KNU	75.0	2.1	2.6	0.5	0.3
18	Compositae	<i>Artemisia fukudo</i>	SM	Dongjin	251.7	205.4	22.9	145.2	1.0
19	Compositae	<i>Aster spathulifolius</i>	CC	Guryongpo	262.9	9.8	8.0	1.3	0.3
20	Compositae	<i>Aster tripolium</i>	SM	Dongjin	251.7	205.4	22.9	145.2	1.0
21	Compositae	<i>Aster tripolium</i>	GH	KNU	75.0	2.1	2.6	0.5	0.3
22	Convolvulaceae	<i>Calystegia soldanella</i>	SD	Guryongpo	60.7	1.1	4.1	0.7	0.1
23	Crassulaceae	<i>Orostachys malacophyllus</i>	CC	Kampo	216.4	0.3	8.0	0.8	0.1
24	Crassulaceae	<i>Sedum kamtschaticum</i>	CC	Guryongpo	262.9	9.8	8.0	1.3	0.3
25	Cruciferae	<i>Raphanus sativus</i> var. <i>hortensis</i>	SD	Yangpo	132.1	2.8	2.2	0.5	0.2
26	Cyperaceae	<i>Carex kobomugi</i>	SD	Guryongpo	60.7	1.1	4.1	0.7	0.1
27	Euphorbiaceae	<i>Euphorbia helioscopia</i>	CC	Kampo	216.4	0.3	8.0	0.8	0.1
28	Gramineae	<i>Phragmites communis</i>	SD	Guryongpo	60.7	1.1	4.1	0.7	0.1
29	Gramineae	<i>Zoysia macrostachya</i>	SD	Chilpo	42.9	1.1	4.1	1.0	0.2
30	Gramineae	<i>Zoysia sinica</i>	SD	Guryongpo	60.7	1.6	5.3	0.7	0.1
31	Lamiaceae	<i>Scutellaria strigillosa</i>	SD	Namae	132.1	1.6	1.7	0.5	0.2
32	Leguminosae	<i>Lathyrus japonica</i> (old)	SD	Namae	78.6	0.2	1.6	0.2	0.0
33	Leguminosae	<i>Lathyrus japonica</i> (young)	SD	Namae	78.6	0.2	1.6	0.2	0.0
34	Plantaginaceae	<i>Plantago camtschatica</i>	CC	Kampo	216.4	0.3	8.0	0.8	0.1
35	Polygonaceae	<i>Rumex crispus</i>	CC	Kampo	216.4	0.3	8.0	0.8	0.1
36	Primulaceae	<i>Lysimachia mauritiana</i>	CC	Yeondong	120.4	5.9	5.4	2.3	1.0
37	Scrophulariaceae	<i>Linaria japonica</i>	SD	Kusan	95.8	0.2	1.6	0.5	0.2
38	Scrophulariaceae	<i>Linaria japonica</i>	SD	Namae	78.6	1.6	1.4	0.2	0.0
39	Umbelliferae	<i>Glehnia littoralis</i>	SD	Guryongpo	60.7	1.1	4.1	0.7	0.1
40	Umbelliferae	<i>Peucedanum japonicum</i>	CC	Guryongpo	262.9	9.8	8.0	1.3	0.3
41	Verbenaceae	<i>Vitex rotundifolia</i>	SD	Kusan	78.6	2.8	2.1	0.5	0.2
42	Zygophyllaceae	<i>Tribulus terrestris</i>	SD	Yangpo	132.1	1.6	1.7	0.6	0.2

조사된 식물체 중 많은 부분을 차지한 대부분의 명아주
 科 식물, 일부 국화科(큰비썩, 갯개미취), 들나물科(등근바
 위솔, 기린초), 갯질경(34), 소리쟁이(35), 갯까치수영, 해란
 초 및 순비기나무는 체내 수분함량당 20 $\mu\text{mol/g pw}$ 이하

의 낮은 아미노산 함량을 보인 반면, 모래지치, 갯무, 등대
 풀, 왕잔디, 갯완두 및 갯방풍 등의 식물은 40 $\mu\text{mol/g pw}$
 이상으로 많은 양의 아미노산을 함유하였다. 한편, 스트레
 스 아미노산으로 널리 알려진 proline(Pro)은 몇몇 식물(풀

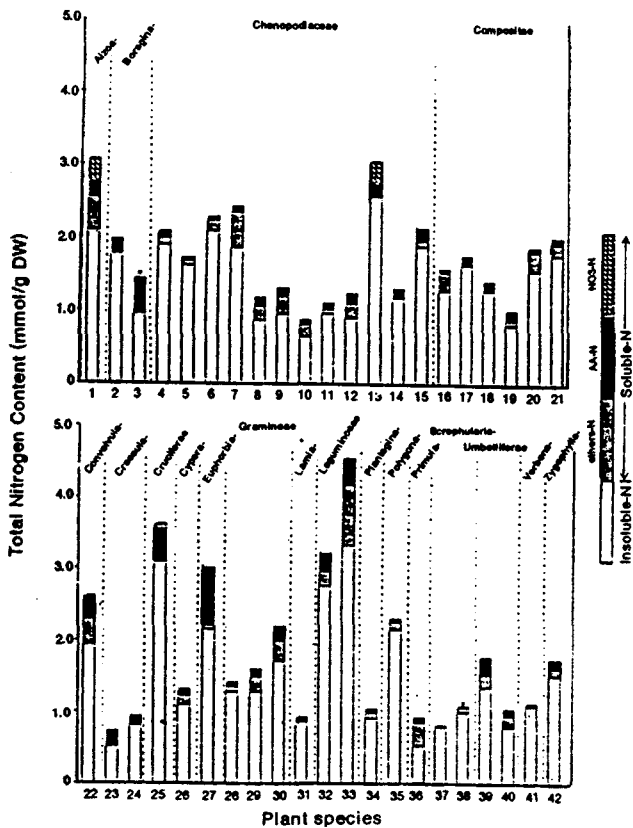


Fig. 1. Nitrogen contents (insoluble & soluble-N) of 32 plant species collected from various coastal habitats (*: Total soluble nitrogen was not determined; AA-N: amino acid-N).

풀과의 참굴무꽃, 현삼과의 해란초)을 제외한 조사된 모든 식물체에 함유되었으나, 그 양은 아주 소량이었고(Fig. 2), 10 $\mu\text{mol/g}$ pw 이상의 Pro 함량은 변행초, 등골나물아재비, 갯무 및 왕잔디 등의 식물체에서 조사되어 이들 식물의 유리아미노산 풀(pool)에서 상당한 비를 차지하였다. 한편, 일부 식물종(수송나물, 갯메꽃, 해국, 갯개미취, 통보리사초(26), 등대풀, 왕잔디, 갯잔디(30), 갯방풍, 갯기름나물(40)은 Pro 보다 더 많은 hydroxyproline(OH-Pro)을 함유하였으며, 갯완두, 갯메꽃, 남가새(42) 등의 식물은 아마이드 화합물인 Asn+Gln을 많이 함유하였다. 특히, 해안 사구에 널리 분포하는 콩과 식물인 갯완두와 대극과의 등대풀은 39 종 아미노산 이외의 새로운 아미노화합물을 함유하였으며, leucine의 농도를 기준으로 환산(leucine equivalent)하였을 때 10 $\mu\text{mol/g}$ pw의 값을 보였다. 이 아미노 화합물은 Pro 과 더불어 아마도 세포질내 삼투조절에 많은 기여를 할 것으로 생각된다. 조사된 전체 해안식물의 아미노산 함량변화에 대해 아마이드 화합물인 Asn+Gln, 유리 아미노산인 GABA 그리고 OH-Pro($r=0.89$) 순으로 높은 상관을 보였으며, Pro는 0.4 이하로 낮은 값을 보였다 (Fig. 3). 한편, 아미노산성 질소량에 대한 불용성 및 NO_3^- -질소함량은 아

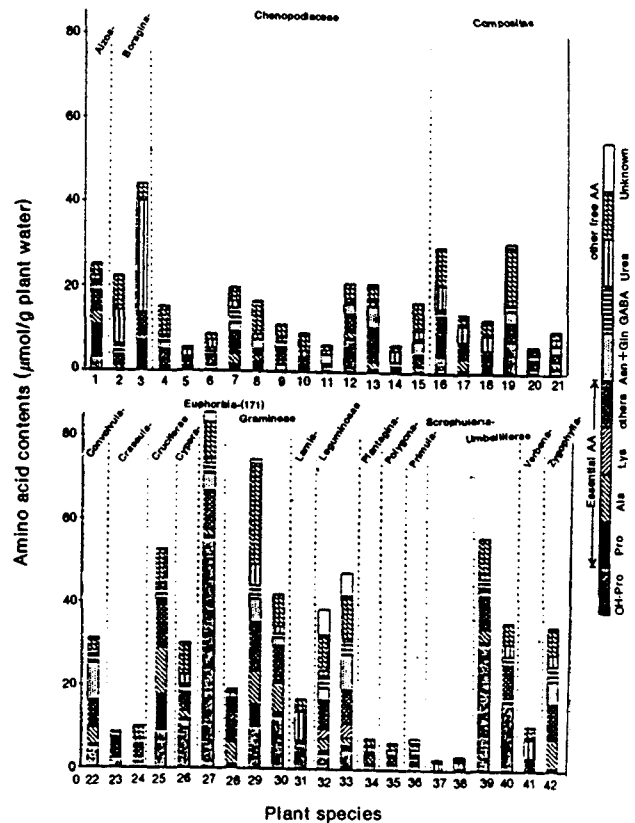


Fig. 2. Amino acid contents ($\mu\text{mol/g}$ plant water) of 32 plant species collected from various coastal habitats. Contents of unknown amino acid were evaluated as leucine equivalents (Note: Histogram of Euphorbiaceae (27) indicates one half of original content).

주 낮은 상관($r \leq 0.2$)을 나타내었다.

삼투물농도와 세포질내 아미노산 농도

명아주(5, 6), 솔장다리(11), 수송나물을 제외한 명아주과 식물(가는갯냉쟁이(4), 버들명아주, 통통마디, 칠면초(13, 14, 15)), 일부 국화과(등골나물아재비, 해국, 갯개미취-20), 변행초, 왕잔디, 갯방풍, 갯기름나물 등의 식물은 식물체 수분함량당 600 $\mu\text{osm/g}$ pw 이상의 높은 삼투물농도를 나타내었고, 모래지치(2), 명아주(5), 등근바위솔, 기린초, 소리쟁이 등의 식물은 300 $\mu\text{osm/g}$ pw 이하의 낮은 삼투물 농도를 보였다 (Table 2). 한편, 성숙한 식물세포 중 액포가 차지하는 비율을 85%(일반적으로 90%이상)이라 가정했을 경우, 세포질성 삼투물질(cytoplasmic osmolytes; cytosolutes) 중 아미노산이 차지하는 비율을 Table 2에 나타내었다. 몇몇 예외는 있지만, 조사된 대부분의 명아주과(가는갯냉쟁이, 명아주, 통통마디, 솔장다리, 칠면초) 및 국화과 식물(등골나물아재비, 큰비쭉, 갯개미취), 갯질경, 갯까치수영, 해란초는 소량의 아미노산을 함유하였으며, 세포질용질에

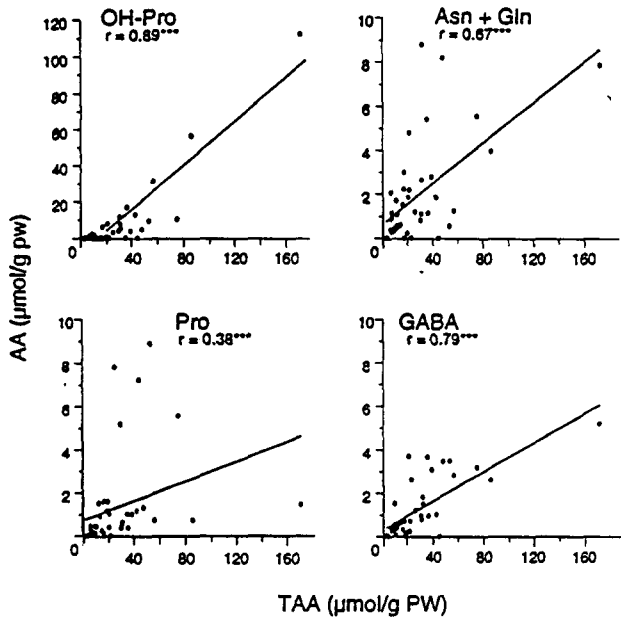


Fig. 3. Correlation between total amino acids (TAA) and OH-Pro, Amide (Asn, Gln), Pro and GABA. Asterisks following the correlation coefficients indicate significant correlations: $P < 0.001$ (***).

대한 아미노산의 비율이 20%이하로서 이들 식물의 삼투조절에 큰 역할을 하지 못하는 것으로 여겨지며, 모래지치, 갯메꽃, 갯무, 둥대풀, 왕잔디, 갯잔디, 갯완두, 갯방풍, 남가새 등은 세포질내 아미노산이 차지하는 비율이 40% 이상을 나타내어, 이들 식물체의 아미노산은 세포내 삼투조절에 아주 큰 역할을 하는 것으로 생각된다.

결론적으로, 건조, 염, 추위 등의 스트레스 상황에서 축적되며, 낮은 수분포텐셜하에서 삼투조절에 중요한 작용을 하는 것으로 널리 알려진 Pro은 본 연구의 식물체에서는 그 함량이 아주 소량이었고, 분류단위간 뚜렷한 경향성을 보이지 않은 것으로 미루어 해안사구 및 염습지 환경의 내성에 관한 지표로 이용되기 어려울 것으로 여겨진다. 또한 사구 및 염습지와 같은 불리한 환경에 식물체가 적응하기 위해서는 Pro 이외의 다른 삼투조절 물질을 통해 낮은 토양 수분포텐셜을 극복할 것으로 기대된다.

고찰

토양환경과 식물

Table 1에 나타난 바와 같이, 조사된 사구 및 염습지 토양의 질소함량은 평균 113 $\mu\text{mol/g DW}$ 정도로 평균적인 토양 질소함량(145 $\mu\text{mol/g DW}$; Larcher 1995)보다 다소 적은 값을 나타내었고, 그 중에서 NO_3^- -질소의 함량은 아주 낮은 값(총질소의 0.5% 미만)을 보여 대부분의 질소는 암모니아태 질소 및 유기적으로 결합된 형태이다 (Barber

1995). 한편, 염습지에 비해 사구 토양은 Na^+ 과 Cl^- 의 농도가 아주 낮았으며, 따라서 해안 사구지에 식물의 분포는 토양 자체의 염농도보다는 염을 포함한 바람이나 토양 건조성에 더 큰 영향을 받을 것으로 여겨진다.

식물체내 질소 동향

대부분의 식물체는 토양에 포함된 소량의 NO_3^- 함량으로 인해 체내 NO_3^- 를 거의 함유하지 않았지만, 예외적으로 번행초의 경우 체내에 상당량의 NO_3^- 를 함유하는 것으로 보아 효율적으로 토양 중의 NO_3^- 를 이용하여 체내에 축적하는 특징을 갖는 것으로 생각된다 (Table 1 및 Fig. 1). 질산성 식물로 널리 알려진 명아주과 식물은 온상으로 이식하여 생육시킨 칠면초(13)를 제외하고는 대부분의 식물체와 마찬가지로 NO_3^- -질소를 거의 함유하지 않았다. 또한 이들 명아주과 식물은 염농도가 높은 환경에 서식함에도 불구하고 총질소함량에 비해 아미노산 함량은 적었지만, NO_3^- 및 아미노산을 제외한 기타의 가용성 질소를 많이 함유하였다. 이것은 아마도 이들 식물이 염환경에 적응하기 위해 아미노산보다는 일반적으로 이들 과의 식물체내에 보편적으로 존재하는 glycinebetaine을 포함하여 4가 암모늄화합물(quaternary ammonium compound)를 체내 많이 축적하였기 때문이라 생각된다 (Storey *et al.* 1977, Hanson *et al.* 1995).

조사된 식물중 번행초, 모래지치, 등골나물아재비, 갯무, 왕잔디 같은 종을 제외하고는 대부분의 식물체는 대표적인 스트레스 질소화합물인 Pro을 거의 함유하지 않았다. Pro은 건조, 염, 저온 스트레스 상황에서 축적되고, 낮은 수분포텐셜하에서 삼투조절에 중요한 역할을 하며, 탈수에 의해 야기된 열역학적 교란으로부터 단백질을 보호하는 기능을 가지는 것으로 알려져 있고, 스트레스하의 몇몇 식물종의 경우 총 아미노산의 2/3이상을 차지하는 것으로 알려져 있다 (Stewart 1981, Binzel *et al.* 1987, Voetberg and Sharp 1991, Delauney and Verma 1993, Samaras *et al.* 1995). 또한, Pro은 많은 실험실 조건(인위적인 건조, 염, 고·저온 스트레스 등)하의 식물체 내에 고농도로 축적되어, 삼투적 적응에 주요한 역할을 담당한다는 보고가 많이 있어 왔지만(Wyn Jones *et al.* 1977a, b, Calvalieri and Huang 1979, Stewart *et al.* 1979, Voetberg and Sharp 1991, Samaras *et al.* 1995), 본 조사의 식물체에서는 뚜렷한 역할을 나타내지 않는 것으로 생각된다. 그 이유로는 해안지대에 적응한 식물체가 심각한 스트레스 상황에 노출되어 있지 않거나, 식물체의 다른 삼투조절 기작(토양 무기이온의 직접적인 이용, 당이나 당알코올류의 생성 등)으로 불리한 환경을 잘 대처하는 것으로 생각된다. 또 다른 가능성은 해안사구 및 염습지와 같이 질소가 제한된 서식처에서는 Pro이나 betaines 합성에 필요한 질소원의 부적절한 공급에 기인될지도 모른다. 앞서 언급한 바와 같이 본 연구에서 조사된 대부분의 식물은 다양한 수준의 Pro을 함유하였지만, 그 함량이 아주 적고, 분류단위간 뚜렷한 경향성을 보이지 않은 것으로 보아 사구 및 염습지식물의 환경내성

Table 2. Total amino acid contents (TAA) of plants, osmolality of cell sap and cytoplasm, and amino acid portion (%) of cytoplasmic osmolytes, considering that the cytoplasm represents only 15% of the total cell volume (Note: Amino acids provided are confined principally to the cytoplasm)

No.	Plant species	TAA ($\mu\text{mol/g PW}$)	Osmolality ($\mu\text{osm/g PW}$)		AA portion of Cytoplasmic osmolytes (%)
			Cell sap	Cytoplasm	
1	<i>Tetragonia tetragonoides</i>	25.13	664.9	99.74	25.20
2	<i>Messerschmidia sibirica</i>	22.32	223.2	33.47	66.68
3	<i>Messerschmidia sibirica</i>	44.06	500.1	75.01	58.74
4	<i>Atriplex gmelini</i>	15.25	788.5	118.27	12.89
5	<i>Chenopodium album</i> var. <i>centrorubrum</i> (old)	5.57	184.0	27.59	20.20
6	<i>Chenopodium album</i> var. <i>centrorubrum</i> (young)	8.75	445.2	66.79	13.10
7	<i>Chenopodium virgatum</i>	19.82	955.2	143.27	13.83
8	<i>Salicornia herbacea</i>	16.55	1,706.0	255.90	6.47
9	<i>Salicornia herbacea</i>	11.10	1,000.2	150.04	7.40
10	<i>Salicornia herbacea</i> (old)	9.13	2,542.8	381.43	2.39
11	<i>Salsola collina</i>	6.33	566.6	84.99	7.45
12	<i>Salsola komarovii</i>	21.00	566.4	84.96	24.72
13	<i>Suaeda japonica</i>	20.88	910.3	136.55	15.29
14	<i>Suaeda japonica</i> (old)	6.60	829.0	124.35	5.31
15	<i>Suaeda japonica</i> (young)	16.64	844.8	126.72	13.13
16	<i>Ageratum conyzoides</i>	29.69	1,004.3	150.64	19.71
17	<i>Artemisia fukudo</i>	13.85	485.2	72.78	19.03
18	<i>Artemisia fukudo</i>	12.63	662.4	99.36	12.71
19	<i>Aster spathulifolius</i>	30.73	636.2	95.43	32.21
20	<i>Aster tripolium</i>	6.41	723.7	108.55	5.91
21	<i>Aster tripolium</i>	10.18	565.4	84.81	12.00
22	<i>Calystegia soldanella</i>	31.33	494.3	74.14	42.25
23	<i>Orostachys malacophyllus</i>	8.72	169.8	25.48	34.22
24	<i>Sedum kamtschaticum</i>	10.25	248.4	37.25	27.50
25	<i>Raphanus sativus</i> var. <i>hortensis</i>	52.85	378.9	56.84	92.99
26	<i>Carex kobomugi</i>	30.26	615.1	92.27	32.80
27	<i>Euphorbia helioscopia</i>	171.18	550.3	82.55	207.37
28	<i>Phragmites communis</i>	19.24	433.1	64.96	29.62
29	<i>Zoysia macrostachya</i>	74.49	1,098.5	164.78	45.20
30	<i>Zoysia sinica</i>	42.16	414.7	62.21	67.76
31	<i>Scutellaria strigillosa</i>	16.96	526.2	78.93	21.49
32	<i>Lathyrus japonica</i> (old)	38.59	371.6	55.74	69.23
33	<i>Lathyrus japonica</i> (young)	47.43	376.1	56.42	84.07
34	<i>Plantago camtschatica</i>	7.62	428.7	64.31	11.84
35	<i>Rumex crispus</i>	6.61	291.5	43.72	15.12
36	<i>Lysimachia mauritiana</i>	7.65	383.0	57.45	13.32
37	<i>Linaria japonica</i>	2.63	311.3	46.70	5.64
38	<i>Linaria japonica</i>	3.38	447.4	67.11	5.04
39	<i>Glehnia littoralis</i>	56.24	633.2	94.98	59.22
40	<i>Peucedanum japonicum</i>	35.75	972.5	145.87	24.51
41	<i>Vitex rotundifolia</i>	10.84	358.7	53.80	20.15
42	<i>Tribulus terrestris</i>	34.91	493.0	65.85	53.00

에 관한 지표로 이용되지 못할 것으로 판단된다 (Figs. 2, 3). 이와는 대조적으로 많은 식물종에 있어서 hydroxyproline(OH-Pro)의 축적이 특징적이다. 많은 식물종에 있어서 Pro보다는 OH-Pro를 체내 많이 함유하였다 (Fig. 2).

OH-Pro의 정확한 기능은 잘 알려져 있지 않으나, Pro과 유사하게 betaine계 화합물의 일종인 betonine과 turicine의 전구체로 작용하는 것으로 알려져 있다 (Luckner 1990). OH-Pro는 Pro보다는 이들 식물체의 주요 아미노산 성분으

로서 삼투조절에 중요한 역할을 할 것으로 짐작된다. 위에 언급한 Pro 이외에도, 스트레스 상황하의 식물은 Asn, Gln, betaines과 같이 질소를 많이 함유하는 화합물을 식물체 내에 축적한다는 보고가 있다. 특히 낮은 토양 수분포텐셜로 고통을 받는 식물은 Arg, Lys, His, Gly 및 Ser과 같은 단백질성 아미노산, citrulline과 ornitine과 같은 비단백질성 아미노산, 그리고 Gln과 Asn 같은 아마이드 화합물을 많이 축적하는 것으로 알려져 있다 (Flores and Galston 1984, Pulich 1986, Rabe 1994, Smirnov 1995). 이들은 삼투조절에 있어서 중요한 역할을 담당할 뿐만 아니라, 장거리 수송에 있어서 탄소소비를 최소화하기 위해서 축적되는 것으로 알려져 있다 (Pate 1975, Streeter 1979).

한편, 질소고정에 의존하는 콩과 식물은 Pro보다는 아마이드 화합물(특히, Asn)이 대표적인 질소산물이며(Fig. 2), 특히 스트레스 환경하에서 Asn과 같은 다가 질소화합물이 주요한 질소수송 및 저장형으로서 역할을 담당할 것으로 생각된다 (Marschner 1995). 또한 이들 식물은 아미노산(아마이드 포함)이외에 가용성 질소를 많이 함유하고 있는데, 이들의 상당부분을 ureide(allantoin and allantoic acid) 화합물이 차지할 것으로 여겨진다 (Marschner 1995).

조사된 대부분의 식물체(특히, 참굴무꽃, 해란초, 순비기나무, 국화과, 명아주과 식물)에서 아미노산은 총질소함량에 많은 기여를 못한 반면, 등대풀, 갯무, 갯메꽃, 갯방풍, 모래지치 및 등근바위솔의 아미노산 함량은 총 질소의 25~30%의 높은 값을 보였다 (Fig. 1). 이들에 있어서 아미노산은 낮은 수분포텐셜의 환경하에서 식물의 삼투조절에 있어서 중요한 역할을 담당하리라 여겨진다. 일반적으로, 다양한 스트레스 상황하에서 단백질 합성의 감소나 단백질의 붕괴로 가용성 질소화합물(특히, 아미노 질소화합물)의 비율이 증가하는 경향이 있다 (Beevers 1976, Chu *et al.* 1977, Rabe 1994). 그 결과로서 아미노산이나 betaines와 같은 물질들을 생성·축적함으로써 수분을 흡수하거나 세포내 효소들의 작용을 보호한다. 그런 까닭에 불용성 질소 대 가용성 질소의 비는 식물체가 스트레스 상황하에 놓여 있는지에 관한 지표로 이용될 수 있다. 예로서, 일부 염생식물에서는 가용성 질소가 총질소함량의 40% 정도를 차지한다는 보고가 있다 (Popp and Albert 1980). 본 연구에서도 번행초, 명아주과 식물, 갯메꽃, 등근바위솔, 등대풀, 갯완두, 갯방풍, 갯까치수영 등의 식물은 총질소의 25% 이상으로 가용성 질소를 많이 함유하였으며, 특히 번행초와 갯까치수영의 경우 총가용성 질소가 총질소의 32~44% 정도를 차지하는 것으로 보아 조사된 식물체 중 가장 큰 스트레스 상황하에 놓여 있을 것으로 여겨진다 (Fig. 1). 총질소 중 아미노산성 질소가 차지하는 비율을 통해 비교해 보면, 아직까지는 많은 연구가 이루어지지 않았지만 자연상태 하의 사초屬 식물은 총질소의 2.3~6.6% 범위의 아미노산을 함유하였고(Choo and Albert 1999), 다양한 식물종에 있어서 대략 10% 정도를 차지한다는 보고가 있다 (Popp and Albert 1980, Ladenburg and Albert 1981). 본 연구의 일부 식물종(등대풀, 모래지치 및 등근바위솔)의 경우 아미

노산성 질소화합물이 총질소의 25~30%를 차지하는 것으로 보아, 이들 식물 또한 스트레스 하에 노출되어 있을 것으로 생각된다.

대부분의 식물종에 있어서 아미노산은 총질소 함량에 많은 기여를 하지 않는 것으로 생각되며, 염에 내성이 있는 식물체에서 삼투조절인자로 작용한다고 알려진 Pro의 함성도 뚜렷하지 않았다. 이것은 세포질 및 액포성 용질의 구별 없이 전체 식물세포 수준에서 용질을 측정했기 때문이라 생각된다. 따라서, 이들 두 구획의 삼투포텐셜은 각기 다른 용질에 의해 결정되어질 수 있다는 가정을 고려해야만 할 것이다. 성숙한 식물체에서 액포는 세포체적의 상당 부분을 차지하는 까닭에 세포액은 액포성 용질이 대부분을 차지할 것이다. 아미노산이 주로 세포질에 존재한다고 알려져 있고 (Ketchum *et al.* 1991), 또 세포질의 부피가 전체 세포체적의 5~10% 정도라 가정한다면, 특정 아미노산의 합성시 소량의 변화는 세포질의 삼투물농도에 실질적인 영향을 미칠 수 있을 것으로 생각된다. 따라서 Table 3에 제시한 바와 같이, 세포 체적의 15% 정도가 세포질이라 간주할 때, 일부 식물체에서 Pro, OH-Pro 및 몇몇 아미노산은 삼투적으로 아주 중요한 화합물이 될 수도 있다 (Morgan 1984, Riens *et al.* 1991).

끝으로, 해안식물의 아미노산 동향 및 질소대사를 정확히 이해하기 위해서는 야외식물에 대한 조사 이외에도 실험실 내에서의 배양 연구가 필수적으로 요구되고, 또 식물체내 삼투관련 질소화합물의 일변화 또는 계절적인 변이에 관한 많은 정보를 필요로 할 것이다. 또한 아미노산 부분을 제외한 가용성 질소 중 betaine계 화합물, polyamine 및 새로운 아미노화합물(Fig. 2, unknown AA)이 이들 식물에 중요한 삼투조절물질로 작용하는지를 규명하기 위한 새로운 연구가 진행되어 질 것으로 기대된다.

사 사

본 논문은 1997년 학술진흥재단 국내 Post-Doc. 지원연구비 및 한국과학재단 핵심연구지원과제 연구비(971-0511-058-2)에 의하여 연구되었으며, 식물종의 동정에 많은 도움을 주신 조영호 박사님에게 감사드립니다.

인용문헌

- 농업기술연구소. 1988. 토양화학분석법. 농촌진흥청, 450 p.
 Albert, R. 1982. Halophyten. In H. Kinzel (ed.), Pflanzenoekologie und Mineralstoffwechsel Ulmer Verlag. Stuttgart. pp. 33-204.
 Barber, S.A. 1995. Soil nutrient bioavailability. John Wiley & Sons, New York. 414 p.
 Beevers, L. 1976. Nitrogen metabolism in plants. Edward Arnolds, London. 333 p.
 Binzel, M.L., P.M. Hasegawa, D. Rhodes, S. Handa and R.A. Boressan. 1987. Solute accumulation in toba-

- cco cells adapted to NaCl. *Plant Physiol.* 84: 1408-1415.
- Calvalier, A.J. and A.H.C. Huang. 1979. Evaluations of proline accumulation in the adaptation of diverse species of marsh halophytes to the saline environment. *American Journal of Botany* 66: 307-312.
- Cheeseman, J.M. 1988. Mechanisms of salinity tolerance in plants. *Plant Physiol.* 87: 547-550.
- Choo, Y.S. and R. Albert. 1999. Mineral ion, nitrogen and organic solute pattern in sedges (*Carex* spp.) a contribution to the physiotype concept. I. Field samples. *Flora* 194: 59-74.
- Chu, T.M., D. Aspinall and L.G. Paleg. 1976. Stress metabolism. III. Salinity and proline accumulation in barley. *Aust. J. Plant Physiol.* 3: 219-228.
- Delauney, A.J.C., A.A. Hu, R.B.K. Kisher and D.P.S. Verma. 1993. Cloning of ornithine δ -aminotransferase cDNA from *Vigna aconitifolia* by trans-complementation in *E. coli* and regulation of proline synthesis. *J. Biol. Chem.* 268: 18673-18678.
- Epstein, E., 1985. Salt tolerant crops: origins development and perspectives. John Wiley and Sons, New York.
- Epstein, E. and R.L. Jefferies. 1964. The genetic basis of selective ion transport in plants. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 15: 168-184.
- Flores, H.E. and A.W. Galston. 1984. Osmotic stress-induced polyamine accumulation in cereal leaves. II. Relation to amino acid pool. *Plant Physiol.* 75: 110-113.
- Goham, J., L.L. Hughes and R.G. Wyn Jones. 1980. Chemical composition of salt-marsh plants Ynys Mon (Anglesey): the concept of physiotypes. *Plant, Cell and Environment* 3: 309-318.
- Hanson, A.D., J. Rivoal, M. Burnet and B. Rathinasabapathi. 1995. Biosynthesis of quaternary ammonium and tertiary sulphonium compounds in response to water deficit. In N. Smirnoff (ed.), *Environment and Plant Metabolism*. Bios Scientific Publishers, Oxford. pp. 189-198.
- Huetterer, F. and R. Albert. 1993. An ecophysiological investigation of plants from a habitat in Zwingendorf (Lower Austria) containing Galuber's salt. *Phyton* 33: 139-168.
- Ketchum, R.E.B., R.C. Warren, 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.
- Ladenburg, K. and R. Albert. 1981. Physiological investigation in leaves of different ages of some halophytes and nonhalophytes. *Z. Pflanzenphysiol.* 102: 303-314.
- Larcher, W. 1995. *Physiological plant ecology*. Springer Verlag, Berlin. 506 p.
- Luckner, M. 1990. *Secondary metabolism in microorganisms, plants, and animals*. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York. 563 p.
- McKersie, B.D. and Y.Y. Leshem. 1994. *Stress and stress coping in cultivated plants*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 256 p.
- Morgan, J.M. 1984. Osmoregulation and water stress in higher plants. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 35: 299-319.
- Munns, R. and A. Termaat, 1986. Whole-plant response to salinity. *Aust. J. Plant Physiol.* 13: 143-160
- Pate, J.S. 1975. Exchange of solutes between phloem and xylem and circulation in the whole plant. In M. H. Zimmermann and J.A. Milburn (eds.), *Encyclopedia of plant physiology*. New Series Vol. 1. Springer-Verlag, Berlin. pp. 451-468.
- Pessaraki, M. 1994. *Plant and crop stress*. Marcel Dekker Inc., New York. 697 p.
- Popp, M., 1984. Chemical composition of Australian mangroves. I. Inorganic and organic acids. *Z. Pflanzenphysiol.* 113: 395-409.
- Popp, M. and R. Albert. 1980. Free amino acids and nitrogen contents in halophytes from the Neusiedlersee region. *Flora* 170: 229-239.
- Pulich, W.M. 1986. Variations in leaf solute amino acid and ammonia content in subtropical grasses related to salinity stress. *Plant Physiol.* 80: 283-286.
- Rabe, E. 1994. Altered nitrogen metabolism under environmental stress conditions. In M. Pessaraki (ed.), *Plant and Crop Stress*. Marcel Dekker, New York. pp. 261-276.
- Riens, B., G. Lohaus, D. Heineke and H.W. Heldt. 1991. Amino acid and sucrose content determined in the cytosolic, chloroplastic, and vacuolar compartments and in the phloem sap of spinach leaves. *Plant Physiol.* 97: 227-233.
- Samaras, Y., R.A. Bressan, L.N. Csonka, M.G. Garcia-Rios, M. Paino D'Urzo and D. Rhodes. 1995. Proline accumulation during drought and salinity. In N. Smirnoff (ed.), *Environment and Plant Metabolism*. Bios, Oxford. pp. 161-187.
- Smirnoff, N. 1995. *Environment and plant metabolism*. Bios, Oxford. 270 p.
- Stewart, G.R. 1981. Proline accumulation, biochemical aspects. In L.G. Paleg and D. Aspinall (eds.), *The Physiology and Biochemistry of Drought Resistance*

- in Plants. Academic Press, Sydney. pp. 243-259.
- Stewart, G.R. and J.A. Lee. 1979. The rate of proline accumulation in halophytes. *Planta* 120: 279-89.
- Stewart, G.R., F. Larher, I. Ahmad and J.A. Lee. 1979. Nitrogen metabolism and salt tolerance in higher plant halophytes. In L. Jeffery and A.J. Davy (eds.), *Ecological Processes in Coastal Environments*. Blackwell Scientific Publications, Oxford. pp. 211-227.
- Streeter, J.G. 1979. Allantoin and allantoic acid in tissues and stem exudate from field-grown soybean plants. *Plant Physiol.* 63: 478-480.
- Storey, R., N. Ahmad and R.G. Wyn Jones. 1977. Taxonomic and ecological aspects of the distribution of glycinebetaine and related compounds in plants. *Oecologia* 27: 319-332.
- Voetberg, G.S. and R.E. Sharp. 1991. Growth of the maize primary root at low water potentials. III. Role of increased proline deposition in osmotic adjustment. *Plant Physiol.* 96: 1125-1130.
- Wyn Jones, R.G., R. Storey and A. Pollard. 1977a. Ionic and osmotic regulation in plants particularly halophytes. In M. Thellier and J. Dainty (eds.), *Transmembrane Ionic Exchanges in Plants*. Colloques internationaux. C.N.R.S., Paris. pp. 537-544.
- Wyn Jones, R.G., R. Storey, R.A. Leigh, N. Ahmad and A. Pollard. 1977b. A hypothesis on cytoplasmic osmoregulation. In E. Marre (ed.), *Regulation of cell Membrane Activities in Plants*. North Holland, Amsterdam. pp. 121-136.

(1998년 11월 28일 접수)

Free Amino Acid and Nitrogen Contents of the Coastal Plants in Korea

Choo, Yeon-Sik*, Jung-Wha Do and Seung-Dal Song

*Department of Biology, Donggwi University**

Department of Biology, Kyungpook National University

ABSTRACT: Thirty two species of coastal plants (mainly halophytes) were investigated for their free amino acids and the total and water-soluble nitrogen contents in leaves. All plants except some species (e.g. *Scutellaria* and *Linaria*) contained proline, but only *Ageratum*, *Tetragonia* and *Raphanus* in rather high amounts, that it can be thought to serve as a cytoplasmic osmolyte. In some plant species (*Euphorbia*, *Glehnia*, *Peucedanum*, *Raphanus* and monocotyledonous *Carex* and *Zoysia*), however, hydroxyproline (OH-Pro) rather than proline were accumulated to a considerable extent. The concentrations of total free amino acids were low in *Aster tripolium*, *Linaria*, *Lysimachia*, *Plantago*, *Rumex*, *Vitex* and especially in the members of the Chenopodiaceae and Crassulaceae. Marked differences also occurred in the nitrogen levels. Aizoaceae, Chenopodiaceae, Convolvulaceae, Cruciferae, Euphorbiaceae and Leguminosae usually showed high values of total and soluble amino nitrogen, while the opposite was true for most of the Cyperaceae, Gramineae, Lamiaceae, Plantaginaceae, Scophuriaceae, and Verbenaceae. The free amino acids in the investigated plant species contributed very little to the nitrogen content, but in plants of *Euphorbia*, *Messerschmidia* and *Orostachys*, their amino acid-N made up for 25~30% of the total nitrogen. In conclusion, only a few cases did proline known as compatible solute constitute a significant proportion of the free amino acid pool in coastal plants.

Key words: Cytoplasmic osmolyte, Free amino acids, Halophytes, Nitrogen contents, Proline
