

명아주과 식물의 생리생태학적 특성 - 무기 및 유기용질을 통한 접근 -

추연식 · 송승달*

동의대학교 생물학과, 경북대학교 생물학과*

적 요: 건조지대 및 염의 영향을 받는 지역에 널리 분포하는 명아주과 식물의 생리생태학적 적응 특성을 규명하기 위하여 교란지, 염습지, 사구, 간척지 등 다양한 환경에 적응하여 살아가고 있는 10종 명아주과 식물의 무기 및 유기용질의 양상을 조사하였다. 조사된 명아주과 식물은 토양의 칼슘 함량과는 무관하게 체내에 매우 소량의 수용성 칼슘을 함유하였으며, 아주 높은 수용성 K/Ca 비를 보였다. Na^+ , K^+ 와 같은 양이온 및 Cl^- , SO_4^{2-} 와 같은 음이온을 많이 축적하는 경향을 보였으며, 염 환경에서는 K^+ 보다 Na^+ 이온을 선호하는 경향을 보였다. 이들 식물의 체내 총 질소함량은 높았지만, 아미노산성 질소는 총 질소함량의 5% 이하로 매우 낮은 값을 보였다. 세포질성 삼투인자로 널리 알려진 proline을 거의 함유하지 않았지만, 가용성 질소의 함량이 높은 것으로 보아 proline 이외의 다른 질소화합물이 체내 삼투 조절에 관여할 것으로 여겨진다. 야외에서의 이러한 생리적 특징이 통제된 환경에서도 동일한 양상을 보이는지를 조사하기 위하여, 사구 및 염습지의 대표적인 명아주과 식물(통통마디, 칠면초, 호모초, 가는갯능쟁이, 나문재) 5종을 선택하여 염환경 하에서 생육시켰다 (200 mM NaCl). 조사된 명아주과 식물은 매우 낮은 체내 수용성 Ca^{2+} 함량, 알칼리 양이온의 축적 등 야외식물과 유사한 생리양상을 보였다. 종합하면, 명아주과 식물은 알칼리 양이온 및 Cl^- , NO_3^- 및 SO_4^{2-} 와 같은 무기 음이온을 상당량 축적하고, 체내로 유입되는 Ca^{2+} 을 Ca-oxalate로 침전시켜 세포질 내 수용성 칼슘함량을 매우 낮은 수준으로 유지하며, 아미노산이외의 다른 가용성 질소화합물을 보편적으로 함유하는 미네랄 대사의 특성을 보여준다. 이에 부가하여 토양 환경의 변화에 따라 체내의 무기이온 및 유기용질의 양상을 적절히 조절하는 독특한 생리적 특성이 이들 명아주과 식물을 건조 및 고염과 같은 불리한 환경을 극복하여 적응케 하는 토대가 되는 것으로 여겨진다.

검색어: 명아주과, 무기이온, 미네랄대사, 유기용질, 질소대사, 칼슘이온, proline

서 론

식물의 환경적응에 관한 생리생태학적 접근으로 수분관계, 가스교환 및 광합성 양상이 오랫동안 다루어져 왔지만, 미네랄 대사와 같은 기본적인 관점은 1970년대 이후 생태학적 문제에 연결되어졌다. 미네랄 대사의 특성과 삼투적으로 활성이 있는 저분자 화합물(탄수화물, 유기산, 아미노산 등)에 대한 연구는 1970년대 Kinzel 그룹을 중심으로 연구되기 시작하였으며, 이러한 연구 결과 몇몇 분류단위(속, 과 수준)에서 전형적인 용질양상이 밝혀지게 되었다. 예를 들어, 콩과식물은 세포액 내에 높은 2가 이온 및 유기산 함량(특히 malonic acid), 비교적 고농도의 저분자 탄수화물 그리고 세포질 및 액포의 삼투조절물질로 작용하는 pinitol을 축적하는 경향이 있으며(Huetterer and Albert 1993), 질경이속(*Plantago*)은 액포내에 삼투적으로 활성이 있는 이온으로서 가용성 Ca^{2+} 을 고농도로 축적하며, 염분 환경에서는 Cl^- 와 SO_4^{2-} 를 다량 축적하며(Koenigshofer and Kinzel 1986), 들나물과(*Crassulaceae*) 식물은 Ca^{2+} 이 부

족한 토양에서도 세포 내에 K^+ 보다 Ca^{2+} 을 많이 축적하며(생리적인 호칼슘식물), isocitrate를 축적하는 경향이 있으며(Roessner and Popp 1986), 철쭉과(*Ericaceae*) 식물은 Mn^{2+} 을 축적하며, 질소원으로 NH_4^+ 만을 이용하는 생리적 특성을 갖는다(Eder 1980). 한편, 단자엽식물(사초과, 벼과)은 토양에 과잉으로 존재하는 이온(Ca^{2+} , Na^+ , Cl^- , 중금속 이온 등)을 효과적으로 배제하며, 일반적으로 체내 이온함량은 적지만 K^+ 를 선택적으로 흡수하는 아주 효율적인 이온 흡수체계를 가지며, 보편적으로 삼투조절에 당이 중요한 역할을 담당하는 것으로 알려져 있다(Albert and Popp 1978, Stewart *et al.* 1979, Huetterer and Albert 1993, Choo and Albert 1999). 이러한 생리적 특징은 서식처 환경에서의 식물의 생태적 적응 또는 저항기작과 분명한 관련성을 보이고 있으며, 세포질성 삼투조절물질의 함성은 종종 분류단위 특이적임이 여러 연구 결과 입증되었다(Adrian-Romero *et al.* 1998, Albert 1982, Blunden *et al.* 1999, Gorham *et al.* 1980, 1981, Popp *et al.* 1984, Popp and Albert 1995, Storey *et al.* 1977). 그러므로, 어떤 종의 특징적인 생리 양상이 그 종의 생태적 적

응을 결정하거나 또는 상당한 영향을 미치는 까닭에 특정 식물의 환경적응을 규명하는데 있어 특이적인 생리·화학적 성질을 고려한 필요가 있을 것이다 (Choo and Albert 1997).

명아주과(Chenopodiaceae)는 대략 100속 1,500종으로 구성되며, 전세계에 널리 분포하지만 오스트레일리아의 물가(Mulga), 아르헨티나의 팜파스, 미국 서남부의 알칼리평원(Alkaline prairies), 지중해의 카스피해 및 홍해 연안, 아시아 및 남아프리카의 고원(Karoo)과 같은 사막지대 및 염분의 영향을 받는 지대를 포함하여 교란지, 염생지, 건조한 서식처에서 뚜렷한 생태적 위치를 차지하고 있는 대표적인 식물군으로 알려져 있다 (Heywood 1993). 우리나라에는 7속 15종이 보고되어 있으며, 작물로 이용되고 있는 근대와 시금치를 제외하고는 대부분이 교란지(명아주속), 해안의 사구 및 염습지(갯능쟁이속, 통통마디속, 나문재속, 수송나물속)에 주로 분포하고 있다. 지금까지의 연구 결과 명아주과 식물의 분포에 관해서는 많이 알려지게 되었으나, 이들의 건조 및 염 환경 적응기작에 관해서는 형태해부학적 특성과 수분관계 및 광합성 양상에 관한 몇몇 생리학적 특성을 제외하고는 아직도 자세히 규명되지 않은 상태에 있다 (Breckle 1990, Osmond et al. 1980).

따라서, 본 연구는 교란지, 사구 및 염습지에 주로 발견되는 명아주과 식물은 '어떠한 적응메커니즘으로 인해 다른 과에 속하는 식물 중에 비해 사구 및 염습지와 같은 환경에 더 잘 적응하는가를 무기 및 유기용질 양상, 삼투조절, 칼슘 및 질소대사, 통제된 조건하에서의 실험 등을 통해 이들이 갖는 공통의 생리 특성을 밝히며, 이러한 특성을 토대로 명아주과 식물 중의 생리생태적 적응을 이해하고자 한다.

재료 및 방법

식물체의 채집 및 생육

1998년 5~9월까지의 생육기간 중 염습지, 사구, 교란지 등 다양한 환경에 서식하고 있는 10종 명아주과 식물을 선택하여 생육상태가 양호한 지상부만을 채집하였으며, 개체 간의 오차를 줄이기 위해 가능한 5개체 이상의 많은 지상부를 실험재료로 이용하였다. 또한 이들 식물이 생육하고 있는 서식처의 토양환경을 조사하기 위해 표층에서 20 cm 깊이의 토양시료를 채취하였다 (Table 1).

야외식물로부터 획득된 결과가 통제된 조건하에서도 유사한 양상을 보이는지를 규명하기 위하여 사구 및 염습지의 대표적인 명아주과 식물인 가는갯능쟁이(*Atriplex gmelini*), 호모초(*Corispermum stauntonii*), 통통마디(*Salicornia herbacea*), 나문재(*Suaeda asparagoides*), 칠면초(*Suaeda japonica*)와 교란지에 대표적으로 출현하는 명아주(*Chenopodium album* var. *centrorubrum*)와 쯤명아주(*Chenopodium serotinum*)를 받아서, 모래와 질석을 1:1로 섞은 plastic pot(20×60×15 cm)에 이식한 다음, 자연광하의 온실에서 5월부터 9월까지 200 mM의 NaCl이 포함된 Hoagland 완전배양액을 매일 1 L씩 공급하였으며, 생육단계에 따라 3회(4, 12, 20주)에 걸쳐 채집하였다.

토양의 무기환경 측정

풍건된 토양의 치환성 무기 양이온은 건조 토양 5 g을 100 ml 삼각플라스크에 취하여 1 N NH₄Ac 용액(초산-암모늄법) 50 ml를 가하여 1시간 진탕 후 여과한 다음 적절

Table 1. Chenopodiaceous and three related plant species collected from different habitats (SD: sand dune; R: ruderal; SM: salt marsh; GH: green house; CC: coastal cliff)

No.	Plant species	Abbreviation	Korean name	Location	Habitat
1	<i>Atriplex gmelini</i>	<i>Atr. gme.</i>	가는갯능쟁이	Yangpo	SD
2	<i>Chenopodium album</i> var. <i>centrorubrum</i> (young)	<i>Che. alb. (y)</i>	명아주	Sokcho	SD
3	<i>Chenopodium album</i> var. <i>centrorubrum</i> (old)	<i>Che. alb. (o)</i>	명아주	Sokcho	SD
4	<i>Chenopodium album</i> var. <i>centrorubrum</i>	<i>Che. alb.</i>	명아주	Gyoungju	R
5	<i>Chenopodium serotinum</i>	<i>Che. ser.</i>	쯤명아주	Daegu	R
6	<i>Chenopodium glaucum</i>	<i>Che. gla.</i>	취명아주	Gyoungju	R
7	<i>Chenopodium virgatum</i>	<i>Che. vir.</i>	버들명아주	Guryongpo	SD
8	<i>Salicornia herbacea</i>	<i>Sal. her.</i>	통통마디	Jinseo	SM
9	<i>Salicornia herbacea</i> (young)	<i>Sal. her. (y)</i>	통통마디	Byounsansan	SM
10	<i>Salicornia herbacea</i> (old leaf)	<i>Sal. her. (o)</i>	통통마디	Byounsansan	SM
11	<i>Salsola collina</i>	<i>Sal. col.</i>	술장다리	Namae	SD
12	<i>Salsola komarovii</i>	<i>Sal. kor.</i>	수송나물	Guryongpo	SD
13	<i>Suaeda asparagoides</i>	<i>Sua. asp.</i>	나문재	Guryongpo	SD
14	<i>Suaeda japonica</i>	<i>Sua. jap.</i>	칠면초	KNU	GH
15	<i>Suaeda japonica</i> (young)	<i>Sua. jap. (y)</i>	칠면초	Dongjin	SM
16	<i>Suaeda japonica</i> (old)	<i>Sua. jap. (o)</i>	칠면초	Dongjin	SM

히 회석해서 ICP로 정량하였고(농업기술연구소 1988), 무기 음이온은 증류수로 진탕한 토양 여과액을 이온크로마토그래피로 측정하였다.

식물체의 무기 양·음이온 및 유기 이온의 측정

식물체는 생체량(FW)을 측정한 후 대사적 변화를 억제 하기 위하여 마이크로웨이브법으로 건조시켜 건조량(DW)을 측정하였으며, 생체량과 건조량의 차로써 식물체의 수분함량(plant water content)을 구하였다. 건조된 시료는 분말로 만들어 열수에 1시간 동안 처리하여 수용성 이온을 추출하였고, 총 이온 함량을 측정하기 위해 시료를 80℃의 1 N 질산에 30분간 처리하여 추출하였다. 식물 추출액의 무기양이온은 ICP(inductively coupled plasma; JOBIN YVON 38 PLUS)를 이용해 정량적으로 분석하였다. 무기 음이온은 식물 추출물을 1/5로 희석하여 이온크로마토그래피(Samsung SLC-100; column: sykam LCA A14; conductivity detector; flow rate 1.5 ml/min; eluant: 7.5 mM Na₂CO₃)로 정량하였으며, 총 유기이온의 농도는 전기전도도법을 이용하여 측정한 값에서 총 무기이온의 농도를 뺀 값으로 하였다.

질소 함량(아미노산, 가용성 및 총 질소)

39종의 필수 및 유리 아미노산은 아미노산 분석기(Pharmacia Biochrom 20)를 이용한 Lithium-citrate 법으로 정량하였다. 식물체내 가용성 질소함량은 식물 추출액 10

ml를 농축기(speed vac. concentrator)를 통해 건조시킨 다음 원소분석기(elemental analyzer: Carlo Erba EA-1108)를 이용하여 측정하였으며, 식물체 및 토양의 총질소 함량($\mu\text{mol/g DW}$)은 micro-Kjeldahl법으로 정량한 값에 이온크로마토그래피에 의해 측정된 NO₃⁻-N량을 더한 값으로 하였다.

수용성 당 및 삼투물농도 측정

식물체 내의 수용성 당 함량은 페놀-황산법을 이용하여 측정하였다 (Dubois *et al.* 1956). 추출액 1 ml를 넣은 시험관에 5% 페놀용액 1 ml와 황산원액 5 ml를 넣어 vortex로 1분간 교반한 후 상온에 30분간 방치한 다음 470 nm에서 측정하였으며, 표준시료는 과당, 포도당, 설탕 그리고 트레할로스(trehalose)가 혼합된 용액(10~100 $\mu\text{g/ml}$)을 어용하였다. 삼투물농도는 빙점강하법의 원리를 이용한 osmometer (micro-osmometer 3MO, Advanced Instruments)로 측정하였다.

통계처리

생장실험은 3 반복으로 수행하였으며, 분산분석(ANOVA; multiple range test after Scheffe; p<0.05)의 통계처리를 행하였다 (Unistat 1993).

결 과

Table 2. Ionic contents ($\mu\text{mol/g DW}$) in the leaves of chenopodiaceous plant species collected from various habitats and their soil inorganic ion contents

Plant species	Soil inorganic ions ($\mu\text{mol/g soil}$)					Plant inorganic ions ($\mu\text{mol/g DW}$)				
	Cl	NO ₃	Na	K	Ca	Cl	NO ₃	Na	K	Ca
<i>Atr. gme.</i>	0.5	0.23	1.6	1.7	32.1	878	n.d	1,065	321	3.0
<i>Che. alb. (y)</i>	0.7	0.13	1.1	4.1	29.4	637	1.3	136	675	3.2
<i>Che. alb. (o)</i>	0.7	0.13	1.1	4.1	29.4	999	n.d	138	540	4.4
<i>Che. alb.</i>	4.7	1.25	14.6	51.7	121.8	92	26.3	245	1,456	26.4
<i>Che. ser.</i>	0.8	0.30	3.8	1.1	83.9	83	28.0	214	1,382	10.8
<i>Che. gla.</i>	4.7	1.25	14.6	51.7	121.8	22	33.0	26	1,351	6.1
<i>Che. vir.</i>	0.7	0.13	1.1	4.1	29.4	696	n.d	1,119	1,141	27.4
<i>Sal. her.</i>	152.4	0.49	183.0	19.6	23.3	3,041	n.d	3,243	262	19.8
<i>Sal. her. (y)</i>	150.6	n.d	166.5	17.8	36.1	3,612	n.d	5,532	450	27.3
<i>Sal. her. (o)</i>	150.6	n.d	166.5	17.8	36.1	3,818	n.d	6,116	373	66.1
<i>Sal. col.</i>	0.2	0.02	1.6	1.4	4.5	1,689	10.7	1,345	768	4.3
<i>Sal. kor.</i>	0.7	0.13	1.1	4.1	29.4	291	n.d	2,218	679	29.4
<i>Sua. asp.</i>	1.0	0.22	1.1	4.1	29.4	699	91.2	2,785	919	24.1
<i>Sua. jap.</i>	0.5	0.33	2.1	2.6	93.3	1,489	209.2	1,167	317	7.3
<i>Sua. jap. (y)</i>	145.2	0.98	205.4	22.9	10.5	1,769	9.9	1,515	121	13.9
<i>Sua. jap. (o)</i>	145.2	0.98	205.4	22.9	10.5	2,130	2.1	3,406	170	35.2

(n.d.: not detected; y: young; o: old leaves)

야외식물을 통한 연구

토양 및 식물체의 무기이온의 농도

조사된 대부분의 명아주과 식물은 토양의 낮은 치환성 K^+ 이온 함량에도 불구하고 식물체내에 다량의 K^+ 이온을 함유하였으며, 좀명아주와 같은 몇몇 식물은 토양에 비해 1,000배 이상으로 많은 양의 K^+ 이온을 잎에 축적하였다 (Table 2). 또한 이들 식물은 서식처 토양에 아주 소량으로 존재하는 NO_3^- 이온($1 \mu mol/g$ soil 이하)에 대해서도 K^+ 이온과 거의 유사한 양상을 보였다. 그러나, 통통마디, 수송나물, 나문재, 칠면초와 같은 해안사구 및 염습지에 분포하는 종들은 K^+ 이온보다 훨씬 더 많은 양의 Na^+ 및 Cl^- 이온을 축적하는 경향을 나타내었다.

몇몇 식물 종을 제외한 대부분의 명아주과 식물종은 토양 칼슘함량과는 무관하게 체내 수용성 칼슘을 매우 적게 함유하였으며(평균 $16 \mu mol/g$ DW), 다른 무기 이온들에 비해 토양 칼슘에 대한 체내 칼슘 농도의 비는 1 이하로 아주 낮은 값을 보였다. 그러나, 수용성 칼슘함량과는 대조적으로 이들 식물은 체내 산-용해성 칼슘(주로 액포내에 존재하는 칼슘-옥살산염 형태)을 다량 함유하였으며($400 \sim 900 \mu mol/g$ DW), 수용성 이온의 K/Ca 비(평균 100)에 비해 4 이하의 아주 낮은 총 K/Ca의 비를 보였다 (Table 3).

식물체내 무기 및 유기이온의 양상

다양한 서식처에서 채집된 명아주과 식물의 무기 및 유기 이온양상은 Fig. 1에 나타나 있다. 염의 농도가 낮은 서식처의 식물은 다량의 K^+ 와 유기 이온(주로 유기산)을 많이 함유하였으며(예, 좀명아주), 염의 농도가 증가함에 따라 K^+ 및 유기 이온 대신에 Na^+ 및 Cl^- 이온을 다량 축적하는 양상을 보였다 (예, 통통 마디, 솔장다리, 칠면초).

아미노산 및 질소함량

명아주과 식물은 건조 중량 당 $2000 \mu mol$ N/g DW

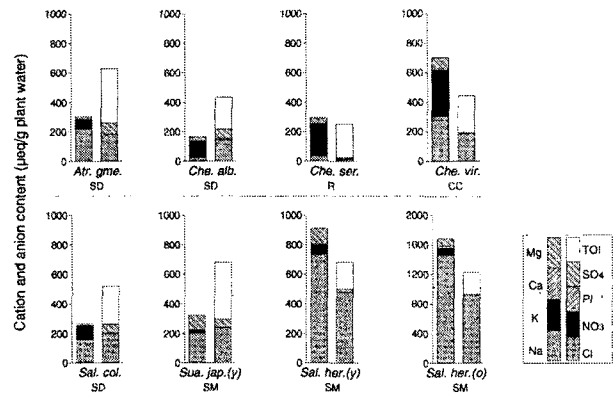


Fig. 1. Ionic balance in the leaves of Chenopodiaceae plant species from different habitats (PI: phosphate ions; TOI: total organic ions; y: young; o: old leaves). Note different scales.

(3% N에 해당) 이상의 총 질소를 함유하였다. 그러나 체내 아미노산 함량은 총 질소의 5% ($20 \mu mol/g$ plant water) 이하로 매우 낮은 값을 나타내었으며, 질산태 질소의 함량 또한 토양의 낮은 NO_3^- 의 농도로 인해 총 질소 중 차지하는 비율이 아주 낮았다 (Fig. 2).

아미노산성 질소와 질산태 질소를 제외한 가용성 질소의 함량은 10% 정도로 다소 높은 값을 보였다. 조사된 명아주과 식물의 아미노산 조성에서는 중간 뚜렷한 차이가 없었으며, 아마이드계 질소화합물인 아스파라긴(Asn)과 글루타민(Gln)을 다소 높은 비율로 함유하였다. 그러나, 스트레스 하의 식물에서 세포질성 삼투조절물질로 널리 알려진 프롤린(Pro)은 모든 식물체에 함유되어 있으나, 몇몇 종을 제외하고는 그 양이 아주 소량이어서 삼투조절에 큰 기여를 못하는 것으로 나타났다.

단일용질의 삼투기여도

Table 3. Water- and acid-soluble K and Ca contents, their ionic ratios and Ca-oxalate contents in the leaves of Chenopodiaceae plant species collected from different habitats

Plant species	Water-soluble		Acid-soluble		K/Ca ratio		Ca-oxalate ($\mu mol/g$ DW)
	K	Ca	K	Ca	Water	Acid	
<i>Che. alb.</i>	1,456	26.4	1,427	503.8	55.2	2.9	477.4
<i>Che. ser.</i>	1,382	10.8	1,395	578.5	128.2	2.4	572.4
<i>Che. gla.</i>	1,351	6.1	1,364	329.8	220.5	4.1	319.1
<i>Che. vir.</i>	1,141	27.4	1,119	302.5	41.7	3.8	275.1
<i>Sal. her.</i> (y)	450	27.3	468	239.0	16.4	1.9	211.7
<i>Sal. her.</i> (o)	373	66.1	388	183.2	5.6	2.0	117.1
<i>Sal. kor.</i>	679	29.4	686	270.8	23.1	2.5	241.4
<i>Sua. asp.</i>	919	24.1	901	276.6	38.2	3.3	252.5

(y: young; o: old leaves)

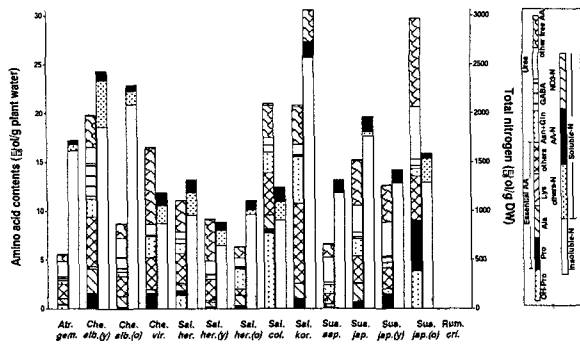


Fig. 2. Amino acid contents and total nitrogen contents in the leaves of Chenopodiaceous plant species collected from different habitats (GABA: γ -amino butyric acid; y: young; o: old leaves).

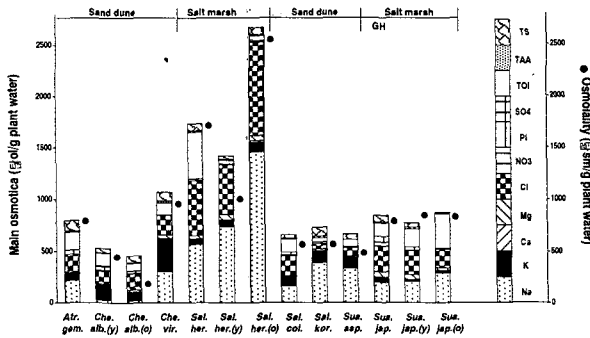


Fig. 3. Contents of cations, inorganic anions, total organic ions (TOI), total amino acids (TAA), total sugars (TS) and cryoscopically measured osmolality in the leaves of Chenopodiaceous plant species collected from different habitats (GH: green house; y: young; o: old leaves).

다양한 서식처에서 채집된 명아주과 식물의 주요 단일삼투물질(이온, 아미노산, 가용성 당)의 총량과 빙점강하법으로 측정된 삼투물 농도는 상호관련성을 보이는데, 이는 총량에 삼투적으로 중요한 용질의 대부분이 포함되어있음을 나타내고 있다 (Fig. 3). 보편적으로 염의 농도가 낮은 사구에 서식하는 종들은 K^+ 이온 및 유기이온의 삼투기여도가 높고 체내 삼투물 농도가 낮은 반면, 염의 농도가 높은 장소에 서식하는 종들은 삼투물 농도가 매우 높고 Na^+ 와 Cl^- 와 같은 이온이 이들 식물체의 삼투에 큰 역할을 하는 것으로 나타났다. 몇몇 예외는 있지만, 저분자 탄수화물과 아미노산은 명아주과 식물체내의 삼투물질로서 큰 역할을 하지 않는 것으로 나타났다.

통통마디와 칠면초의 경우 체내 삼투양상에 있어 매우 뚜렷한 차이를 보여주고 있다. 일반적으로 두 종은 거의 유사한 서식처에 출현하지만 통통마디의 경우, 염의 농도가 증가하고 식물이 노화됨에 따라 Na^+ 및 Cl^- 이온의 삼투

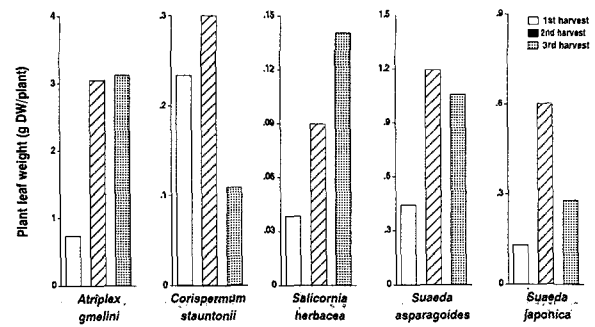


Fig. 4. Leaf dry weight of 5 Chenopodiaceous plant species treated with salt for 4, 12 and 20 weeks. Mean values of 3 replicates with standard errors. Note different scales.

기여도가 현저히 증가하는 반면, 칠면초는 토양환경의 변화와는 무관하게 다소 일정한 체내 용질 및 삼투양상을 보였다.

생장실험을 통한 연구

생장반응

교란지, 사구 그리고 염습지에 대표적으로 출현하는 7종 명아주과 식물을 선택하여 염을 처리한 결과 교란지에 나타나는 명아주와 좀명아주는 처리 4주 후에 고사하였으며, 서해안 사구에 대표적으로 출현하는 호모초는 명아주에 비해 다소 좋은 성장을 보였으나 12주 이후 급격한 성장 감소를 보였다. 한편, 내염성 종으로 알려진 가는갯능쟁이와 통통마디는 염에 대한 저해 증상을 보이지 않았으며 처리 20주까지 꾸준한 성장의 증가를 보였다. 그러나, 염습지에 대표적으로 출현하는 칠면초의 경우 초기에는 좋은 성장을 보였으나 12주 이후 하부 잎의 고사 및 탈락으로 인해 다소 생장이 감소되었다 (Fig. 4).

무기 양이온 농도, K/Ca 및 K/Na 비

명아주과 식물의 체내 무기 양이온의 농도 및 이들의 K/Ca와 K/Na 비는 Table 4에 나타나 있다. 교란지에 서식하는 명아주와 좀명아주는 체내 K^+ 이온함량이 높고, Na^+ 이온 함량은 낮은 반면, 사구 및 염습지에 적응한 종들은 K^+ 이온에 비해 현저히 높은 Na^+ 이온 함량을 보였으며, 조사된 대부분의 식물은 염의 처리시간이 증가함에 따라 체내 염의 농도가 현저히 증가하는 양상을 나타내었다. 또한 염 처리하의 명아주과 식물은 야외 환경하의 식물 종과 마찬가지로 평균 0.2 이하의 낮은 토양 K/Ca 비에도 불구하고 대부분의 식물체에서 매우 높은 K/Ca 비(가는갯능쟁이, 나문재, 명아주, 좀명아주)를 보였으며, 염습지에 서식하는 통통마디와 칠면초는 다소 낮은 K/Ca를 보였다 (Table 4). 한편, 식물체의 K/Na 비는 이들 식물 종이 적응

Table 4. Ionic concentration ($\mu\text{mol/g}$ plant water), ionic ratios, osmolality ($\mu\text{osmol/g}$ plant water) and osmotic contribution in the leaves of Chenopodiaceae plant species treated with salt for 4, 12 and 20 weeks

Plant species	Harvest time	K		Na		Ca		Ionic ratio		Osmolality		Osmotic contribution (%)		
		Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	K/Na	K/Ca	Mean	SE	K	Na	K+Na
<i>Atriplex</i>	1	92.2 ± 2.73 c		300.3 ± 10.00 ab		1.74 ± 0.17 bc		0.31	53.01	668 ± 38.1 b		13.81	44.96	58.77
<i>gmelini</i>	2	88.9 a ± 7.70 ab		333.6 ab ± 38.88 ab		1.83 bc ± 0.10 d		0.27	48.51	835 b ± 53.6 b		10.64	39.94	50.58
	3	111.7 ± 8.05 a		396.8 ± 22.62 b		2.66 ± 0.15 b		0.28	42.05	1,008 ± 52.3 b		11.08	39.37	50.45
<i>Corispermum</i>	1	107.4 ± 13.0 c		159.5 ± 21.38 bc		4.91 ± 0.27 b		0.67	21.85	597 ± 58.2 b		17.98	26.72	44.70
<i>stauntonii</i>	2	105.7 a ± 6.02 a		228.8 b ± 13.05 c		10.10 b ± 0.58 c		0.46	10.46	725 b ± 41.3 b		14.57	31.56	46.13
	3	89.0 ± 4.87 a		98.5 ± 5.62 c		5.80 ± 0.27 a		0.90	15.33	387 ± 22.5 c		22.97	25.43	48.39
<i>Salicornia</i>	1	38.4 ± 1.36 d		367.4 ± 42.07 a		30.13 ± 1.56 a		0.10	1.27	926 ± 48.0 a		4.15	39.66	43.81
<i>herbacea</i>	2	45.2 b ± 1.25 c		401.1 a ± 22.87 a		25.06 a ± 0.79 a		0.11	1.81	1,079 a ± 38.1 a		4.19	37.18	41.38
	3	50.9 ± 2.90 b		731.1 ± 24.36 a		6.36 ± 0.36 a		0.07	8.01	1,581 ± 90.1 a		3.22	46.25	49.47
<i>Suaeda</i>	1	79.8 ± 2.52 c		245.5 ± 58.09 ab		0.88 ± 0.08 c		0.32	90.63	594 ± 33.9 b		13.42	41.30	54.72
<i>asparagoides</i>	2	79.3 a ± 5.75 b		312.6 ab ± 22.65 ab		2.19 c ± 0.10 d		0.25	36.26	837 b ± 45.9 b		9.48	37.34	46.82
	3	106.2 ± 4.91 a		384.5 ± 35.79 b		1.57 ± 0.28 b		0.28	67.55	825 ± 96.1 b		12.87	46.62	59.49
<i>Suaeda</i>	1	23.7 ± 1.12 d		144.1 ± 16.50 bc		2.07 ± 0.12 bc		0.16	11.46	666 ± 38.0 b		3.56	21.64	25.20
<i>japonica</i>	2	32.0 b ± 1.01 c		221.7 b ± 12.64 c		17.10 bc ± 1.19 b		0.14	1.87	826 b ± 42.9 b		3.87	26.83	30.70
	3	43.6 ± 3.16 b		308.3 ± 22.24 b		5.49 ± 0.25 a		0.14	7.94	1,194 ± 111. at		3.65	25.82	29.46
<i>Chenopodium</i>	1	192.7 ± 11.40 b		85.0 ± 2.35 c		2.21 ± 0.16 bc		2.27	87.17	457 ± 26.5 b		42.20	18.61	60.81
<i>serotinum</i>														
<i>Chenopodium</i>	1	310.0 ± 8.56 a		45.8 ± 3.32 c		2.16 ± 0.36 bc		6.76	143.52	474 ± 54.2 b		65.43	9.67	75.11
<i>var. centrorubrum</i>														

Mean values of 3 replicates with standard errors. Letters beside mean values denote significant differences between species (tested with a one-way ANOVA, multiple range test after Scheffe; $p < 0.05$). Additionally, for each harvest time significant differences between species are denoted with letter beside standard errors.

한 서식토양에 따라 다양한 비를 나타내었다. 교란지에 서식하는 명아주와 쯤명아주의 체내에서 가장 높은 K/Na 비를 보였으며, 사구에서 서식하는 호모초, 그리고 고염 환경에 주로 나타나는 나문재, 가는갯쟁이, 칠면초, 통통마디순으로 K/Na 비가 감소하는 경향을 나타내었다.

삼투물 농도

염 환경하에 자란 명아주과 식물의 체내 삼투물 농도는 통통마디를 제외하고는 중간 유사한 양상을 보였으며, 염의 처리시간이 증가함에 따라 삼투물 농도가 증가하는 경향을 보였다 (Table 4). K/Na 비와는 대조적으로 교란지, 사구, 염습지에 적응된 식물순으로 체내 삼투물 농도가 증가하는 양상을 나타내었다. K^+ 와 Na^+ 이온의 삼투적 기여도에 대해 살펴보면, 교란지에 주로 출현하는 명아주속 식물은 K^+ 이온이 체내 삼투물에 높은 기여(40~60%)를 보인 반면, 사구 및 염습지에 서식하는 종들은 중간 다소 차이는 있으나 K^+ 이온에 비해 Na^+ 이온이 높은 기여(30~50%)를 나타내었다.

고찰

명아주과 식물은 보편적인 토양의 칼륨농도($350 \mu\text{mol/g}$ soil; Larcher 1995)에 비해 아주 낮은 지역(평균 $13 \mu\text{mol Ca}^{2+}/\text{g}$ soil)에 분포함에도 불구하고 조사된 대부분의 식물은 토양의 K^+ 농도에 비해 평균 70배 이상의 높은 K^+ 를 식물체에 축적하였으며, 특히 쯤명아주의 경우 1,000배 이상으로 매우 높은 체내 K-축적성을 나타내었다(Table 2). 이러한 K-선호성은 교란지에 서식하는 명아주과 식물에서 종종 발견되는데, 명아주의 경우 체내 총 수용성 양이온 중 K^+ 이온이 83%를 차지한다는 보고가 있다(Steiner 1980). 조사된 명아주과 식물이 서식하는 토양의 총질소함량은 평균 $113 \mu\text{mol/g}$ soil로 평균적인 토양 질소함량($145 \mu\text{mol/g}$)보다 다소 적은 값을 나타내었으며(Haynes 1986, Larcher 1995), K^+ 이온과 마찬가지로 몇몇 식물은 토양의 낮은 NO_3^- 농도에도 불구하고 체내 수백 배 이상의 높은 농도로 NO_3^- 이온을 축적하였다. 이러한 결과는 명아주과 식물체에서 일반적으로 나타나는 알칼리 양이온의 뚜렷한 축적성 및 질산태 질소의 선호성과 밀접한 관련

이 있음을 보여주는 것이다 (Albert 1982, Huetterer and Albert 1993, Osmond *et al.* 1980). Fig. 1에 보여진 것처럼 다량의 유기이온(주로 유기산)의 축적은 이러한 질산태 질소의 선호성에 기인하는 것으로 생각된다. 과도한 양이온 흡수나 질산태 질소의 동화에 의해 초래되는 식물체내 양이온과 무기음이온의 차는 주로 유기산에 의해 평형이 이루어지기 때문이다 (Dijkshoorn 1973, Marschner 1995, Osmond 1976). 한편, 교란지의 식물 종과는 달리 사구와 염습지 식물체에서 이온의 불균등적 분포는 아마도 토양 Na^+ 및 Cl^- 이온의 과도한 흡수에 기인되는 것으로 생각된다 (Fig. 1).

조사된 대부분의 명아주과 식물은 토양의 높은 Ca^{2+} 이온 함량에도 불구하고 체내 매우 소량의 수용성 Ca^{2+} 이온 (평균 $20 \mu\text{mol/g DW}$)을 함유한 반면, 산-용해성 칼슘은 $300 \mu\text{mol/g DW}$ 로 매우 높은 함량을 보였다 (Table 3). 보편적으로 식물은 생명의 기본과정에 요구되는 양보다 더 많은 Ca^{2+} 을 흡수하지만, 체내 과도한 Ca^{2+} 함량은 특정 환경에서는 유해한 영향을 미칠 수 있기 때문에 보통 세포질은 낮은 Ca^{2+} 농도($0.1 \sim 0.2 \mu\text{mol/L}$ 정도)를 유지하고 있다 (Marschner 1995). 식물체 내의 칼슘은 액포에 다양한 형태로 존재하며(유리 Ca^{2+} 이온, Ca-oxalate, CaSO_4 등), 세포벽에 상당량의 칼슘이 CaCO_3 형태로 함유되어 있다 (Kinzel 1989, Pollack and Albert 1990, Rattenböck 1978). 일반적으로 끓는 물에 의해 추출된 Ca^{2+} 은 기본적으로 액포, 세포질과 소기관 그리고 세포벽(극소량)으로부터 유래하며, HNO_3 (또는 HCl)에 의해 추출된 분획은 oxalate에 결합된 Ca^{2+} 을 포함하는 것으로 알려져 있다 (Kinzel 1989). Table 3에서처럼 명아주과 식물의 높은 산-용해성 칼슘 함량은 이들 식물이 유입되는 대부분의 칼슘을 Ca-oxalate 형태로 액포에 축적했기 때문으로 생각된다. 일반적으로 명아주과 식물을 포함해서 중심자목에 속하는 식물의 액포는 다량의 Ca-oxalate를 형성하는 까닭에 $10 \mu\text{mol/g plant water}$ 이하의 소량의 유리 Ca^{2+} 이온만이 식물체에 존재하는 것으로 알려져 있다 (생리적인 혐칼슘식물; Choo and Song 1998, Kinzel 1982, 1989).

명아주과 식물은 서식 장소와는 무관하게 체내 높은 질소함량을 나타내었으나, 체내 아미노산을 아주 적게 함유하였으며, 또한 몇몇 식물종(명아주, 버들명아주, 수송나무, 칠면초)을 제외하고는 스트레스 환경하의 대표적인 질소화합물인 Pro를 거의 함유하지 않았다 (Fig. 2). Pro는 건조, 고염, 저온 등 다양한 스트레스하의 식물체와 낮은 수분퍼텐셜하에 처해 있는 식물체에 고농도로 축적되어(몇몇 식물 종의 경우 총 아미노산의 2/3 이상을 차지) 삼투조절에 주요한 역할을 담당하며, 탈수에 의해 야기된 열역학적 교란으로부터 단백질을 보호하는 기능을 갖는 것으로 알려져 있지만 (Binzel *et al.* 1987, Calvalier and Huang 1979, Samaras *et al.* 1995, Stewart *et al.* 1979, Stewart 1981, Voetberg and Sharp 1991, Wyn Jones *et al.* 1977a,

1997b), 조사된 명아주과 식물체내의 Pro 함량이 매우 낮은 것으로 보아 Pro는 이들 식물의 삼투조절 기구에 있어서 뚜렷한 역할을 하지 않는 것으로 판단된다. 또한, 토양의 낮은 수분퍼텐셜로 인해 스트레스를 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, Smirnoff 1995). 이들 화합물은 삼투조절에 있어서 중요한 역할을 담당할 뿐만 아니라, 장거리 수송에 있어서 탄소소비를 최소화하기 위해서 축적되는 것으로 알려져 있으나 (Pate 1975, Streeter 1979), 명아주과 식물에서는 종 및 서식처에 따른 뚜렷한 차이를 보이지 않았다. 다른 한편으로 다양한 스트레스 환경에서는 단백질 합성의 감소나 단백질의 붕괴로 가용성 질소화합물(특히, 아미노 질소화합물)의 비율이 증가하는 것으로 알려져 있다 (Bevers 1976, Chu *et al.* 1976, Rabe 1994). 그 결과 아미노산이나 betaines와 같은 물질들이 생성·축적됨으로써 수분을 흡수하거나 세포 내 효소들을 보호하는 역할을 한다 (Hanson *et al.* 1995, Samaras *et al.* 1995) 이러한 까닭에 불용성 질소 대 가용성 질소의 비는 식물체가 스트레스 환경하에 처해 있는지에 관한 지표로 이용될 수 있다. 예로서, 일부 염생식물에서는 가용성 질소가 총질소함량의 40% 정도를 차지한다는 보고가 있으나 (Ladenburg and Albert 1981, Popp and Albert 1980), 본 조사식물체의 아미노산 함량은 총질소함량의 5% 이하로 환경 내성에 관한 지표로서 가치가 없는 것으로 여겨지며, Pro 또한 명아주과 식물의 삼투조절기구에 큰 역할을 하지 않는 것으로 생각된다.

명아주, 통통마디, 솔장다리, 칠면초 등의 식물에서는 NO_3^- 및 아미노산을 제외한 가용성 질소의 비율이 20% 이상을 차지하는 것으로 보아 명아주과 식물은 염 환경을 극복하기 위해 아미노산보다는 이들 식물체내에 보편적으로 존재하는 것으로 알려진 4가 암모늄화합물(quaternary ammonium compound)인 glycinebetaine을 체내에 많이 축적함으로써 불리한 환경을 극복할 것으로 생각된다 (Adrian-Romero *et al.* 1998, Hanson *et al.* 1995, Storey *et al.* 1977). 그러나, 아미노산의 비율이 전체 질소의 적은 부분을 차지할지라도 성숙한 식물체는 액포가 세포체적의 상당부분을 차지하기 때문에(85~95% 정도) 특정 아미노산의 소량 함성도 세포질의 삼투조절에 실질적인 영향을 미칠 수 있을 지도 모른다 (Ketchum *et al.* 1991).

조사된 명아주과 식물은 서식처의 무기이온 농도에 따라 체내 삼투물 농도를 적절히 조절하는 생리적 특성을 보였다 (Fig. 3). 즉, 이들 식물종은 염이 적은 장소에서는 K^+ 이온을 다량 흡수하며, 염분농도가 풍부한 장소에서는 Na^+ 이온을 축적하는 양상을 보였으며, 교란지, 사구, 염습지 순으로 염의 농도가 증가함에 따라 체내 삼투물 농도의 증

가를 나타내었다. 이러한 생리적 특성은 단자엽 식물(벼과, 사초과, 꿀풀과)과는 아주 뚜렷한 차이를 보인다 (Huettner and Albert 1993). 특히, 사초과의 식물은 토양 환경의 변화에 무관하게 체내 일정한 무기 및 유기 이온양상을 보이며(특히, K-선호성), 토양의 낮은 수분퍼텐셜에 대처하기 위해서는 가용성 당(주로 단당류 및 이당류)을 축적함으로써 불리한 환경을 극복하는 것으로 알려져 있다(Choo and Albert 1999). 즉, 사초과의 식물은 영양상태가 부족한 토양에서는 이온축적자로, 풍부한 곳에서는 배제자로서의 생리적 특성을 바탕으로 다양한 환경에 적응하고 있지만, 명아주과 식물은 다른 과의 식물종들과는 달리 능동적인 이온흡수 기작(예, 체내 삼투조절에 Na^+ , Cl^- 와 같은 토양 무기이온의 직접 이용 및 배출 기작)을 통해 염 및 건조와 같은 스트레스 환경을 극복하는 것으로 생각된다.

결론적으로, 야외조사 및 성장실험을 통한 명아주과 식물의 생리적 특징은 알칼리 양이온, Cl^- , NO_3^- 및 SO_4^{2-} 와 같은 무기이온을 축적하는 경향을 보였고, 체내로 유입되는 Ca^{2+} 이온을 Ca-oxalate로 침전시켜 세포질내 매우 낮은 수용성 칼슘함량을 유지하였으며, 세포질성 삼투조절 물질로 Pro과 아미노산 이외의 다른 질소화합물(betaine계 질소화합물)을 보편적으로 함유하는 생리적 특징을 보였다. 토양환경의 변화에 따라 체내 이온 및 용질의 양상을 적절히 조절하는 생리적 유연성과 같은 보편적인 생리적 특성이 이들 명아주과 식물을 건조 및 고염과 같은 환경을 대처하여 적응 가능케 하는 토대가 되는 것으로 생각된다.

사 사

본 논문은 1998년도 경북대학교 Post-Doc. 지원연구비에 의하여 연구되었으며, 무기이온 및 아미노산 분석에 도움을 준 기초과학지원연구소 대구분소에 감사드린다.

인용문헌

- 농업기술연구소. 1988. 토양화학분석법. 농촌진흥청. p. 450.
- Adrian-Romero, M., S.J. Wilson, G. Blunden, M.H. Yang, A. Carabot-Cuerva and A.K. Bashir. 1998. Betaines in coastal plants. *Biochem. Syst. Ecol.* 26: 535-543.
- Albert, R. 1982. Halophyten. In H. Kinzel (ed.), *Pflanzenoekologie und Mineralstoffwechsel*. Ulmer Verlag, Stuttgart. pp. 33-204.
- Albert, R. and M. Popp. 1978. Zur Rolle der löslichen Kohlenhydrate in Halophyten des Neusiedlersee-Gebiets (Oesterreich). *Oecol. Plant.* 13: 27-42.
- 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. Boersan. 1987. Solute accumulation in tobacco cells adapted to NaCl. *Plant Physiol.* 84: 1408-1415.
- Blunden, G., M.H. Yang, G. Janicsak, I. Mathe and A. Carabot-Cuervo. 1999. Betaine distribution in the Amaranthaceae. *Biochem. Syst. Ecol.* 27: 87-92.
- Breckle, S.W. 1990. Salinity tolerance of different halophyte types. In N. El Bassam, M. Dambroth and B.C. Loughman (eds.), *Genetic Aspects of Plant Mineral Nutrition*. Kluwer Academic Publ., Dordrecht. pp. 167-175.
- 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. *Am. J. Bot.* 66: 307-312.
- Choo, Y.S. and S.D. Song. 1998. Ecophysiological characteristics of plant taxon-specific calcium metabolism. *Kor. J. Ecol.* 21: 47-63.
- 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 sample. *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.
- Dubois, M., K.A. Gilles, J. Hamilton, P.A. Rebers and F. Smith. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal. Chem.* 28: 350-356.
- Eder, M. 1980. Mineral Stoffwechsel von Hochmoor-Vaccinium Arten in oekologischer Sicht. Ph. D. Thesis. Univ. Wien, Austria. 164 p.
- 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.
- Gorham, J., L. I. Hughes and R. G. Wyn Jones. 1980. Chemical composition of salt marsh plants from Ynys Mon (Anglesey): The concept of physiotypes. *Plant Cell Environ.* 3: 309-318.
- Gorham, J., L. I. Hughes and R. G. Wyn Jones, 1981. Low-molecular-weight carbohydrates in some salt-stressed plants. *Physiol. Plant.* 53: 27-33.
- 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. Smirnov (ed.), *Environment and Plant Metabolism*. Bios Scientific Publishers, Oxford. pp. 189-198.
- Haynes, R.J. 1986. Mineral nitrogen in the plant-soil system. Academic Press, London. 483 p.
- Heywood, V.H. 1993. Flowering plants of the world. B T Batsford, London. pp. 72-73.
- Huetterer, F. and R. Albert, 1993. An ecophysiological in-

- stigation of plants from a habit in Zwingendorf (Lower Austria) containing Glauber'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.
- Kinzel, H. 1989. Calcium in the vacuoles and cell wall of plant tissue. *Flora* 182: 99-125.
- Koenigshofer, H. and H. Kinzel, 1986. Zum Ionenhaushalt einiger *Plantago*-Arten. *Flora* 178: 167-176.
- Ladenburg, K and R. Albert. 1981. Physiological investigation in leaves of diiferent ages of some halophytes and nonhalophytes. *Z. Pflanyenphysiol.* 102: 303-314.
- Larcher, W. 1995. Physiological plant ecology. Springer Verlag, Berlin. 506 p.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, London. 889 p.
- Osmond, C.B., O. Bjoerkman and D. J. Anderson. 1980. Physiological processes in plant ecology. Ecological Studies 36. Springer-Verlag, Berlin. 468 p.
- 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.
- Pollack, J. and R. Albert, 1990. Physiological characterization of Boraginaceae with regard to their ecological status. *Flora* 184: 151-168.
- Popp, M. and R. Albert. 1980. Free amino acids and nitrogen contents in halophytes from the Neusiedlersee region. *Flora* 170: 229-239.
- Popp, M., F. Larher and P. Weigel. 1984. Chemical composition of Australian mangroves. III. Free amino acids, total methylated onium compounds and nitrogen. *Z. Pflanzenphysiol.* 114: 15-25.
- Popp, M. and R. Albert. 1995. The role of organic solute in salinity adaptation of mangroves and herbaceous halophytes. In M.A. Khan and I.A. Ungar (eds.), *Biology of Salt Tolerant Plants*. University of Karachi, pp. 139-149.
- Pulich, W.M. 1986. Varietions 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.
- Rattenböck, H. 1978. Chemisch-Physiologische Charakterisierung der Brassicaceae. Ein Beitrag zum Physiotypen-Konzept. Ph. D. Thesis. Univ. Wien, Austria. 359 p.
- Roessner, H. and M. Popp. 1986. Ionic patterns in some Crassulaceae from Austrian habitats. *Flora* 178: 1-10.
- 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. Smirnov (ed.), *Environment and Plant Metabolism*. Bios, Oxford. pp. 161-187.
- Smirnov, N. 1995. *Environment and Plant Metabolism*. Bios, Oxford. 270 p.
- Steiner, G.M. and H. Kinzel. 1980. Investigations on the mineral metabolism and the ecophysiology of *Chenopodium album*. *Flora* 169: 424-442.
- Stewart, G.R., F. Larher, I. Ahmad and J.A. Lee. 1979. N-metabolism and salt tolerance in higher plant halophytes. In R.L. Jeffries and A.J. Davy (eds.), *Ecological Processes in Coastal Environments*. Blackwell Scientific Publications, Oxford. pp. 211-227.
- 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.
- 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.
- Streeter, J.G. 1979. Allantoin and Allantoic acid in tissues and stem exudate from field-grown soybean plants. *Plant Physiol.* 63: 478-480.
- Unistat 1993. Unistat statistical package version 1.2. Unistat LTD.
- 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.

(2000년 4월 29일 접수)

Ecophysiological Characteristics of Chenopodiaceous Plants – An Approach through Inorganic and Organic Solutes –

Choo, Yeon-Sik and Seung-Dal Song*

Department of Biology, Donggeui University, Pusan

Department of Biology, Kyungpook National University, Taegu*

ABSTRACT: In order to clarify the ecophysiological characteristics of Chenopodiaceae which widely distribute on saline and arid habitats, we collected 10 chenopodiaceous plant species, examined their inorganic and organic solute patterns, and confirmed several common physiological characteristics. In spite of high soil Ca^{2+} contents, chenopodiaceous plants had a little water-soluble Ca within cells, but contained high contents of acid-soluble Ca particularly as a result of Ca-oxalate formation. These plant species also showed accumulation of inorganic ions such as K^+ , NO_3^- and Cl^- , and Na^+ especially in saline habitats instead of K^+ . Meanwhile, with respect to nitrogen metabolism they retained high N contents in leaves, but showed very low amino acid contents. Additionally, they contained very little proline known to act as a cytoplasmic osmolyte. To ascertain whether this physiological characteristics in the field also can be found under controlled conditions, 7 chenopodiaceous plants (*Atriplex gmelini*, *Corispermum stauntonii*, *Salicornia herbacea*, *Suaeda asparagoides*, *Suaeda japonica*, *Chenopodium album* var. *centrorubrum*, *C. serotinum*) were selected and cultivated under salt treatments. As well as field-grown plants, selected plant species showed similar solute pattern in growth experiment. In summary, the family of Chenopodiaceae represents the following physiological properties; high storage capacity for inorganic ions (especially alkali cations, nitrate and chloride), oxalate synthesis to maintain lower soluble Ca contents within cytoplasm, and low contents of amino acids. In addition to some characteristics mentioned above, the physiological plasticities of Chenopodiaceae which can properly regulate their ion and solute pattern according to soil conditions may enable its representative to grow in dry sand dune and salt marsh habitats.

Key words: Ca, Chenopodiaceae, Inorganic ions, Mineral metabolism, Nitrogen metabolism, Organic solutes, Proline
