

내염성 식물의 탐색 및 생물학적 염해 모니터링 기술의 개발

I. 염해지 식생분석 및 식물종의 내염성 평가

강병화 · 심상인
고려대학교 자연자원대학 식량자원학과

Screening of saline tolerant plants and development of biological monitoring technique for saline stress. I. Survey of vegetation in saline region and determination of saline tolerance of the plant species of the region.

Byeung-Hoa Kang and Sang-In Shim (Dept. of Agronomy, Korea University, Seoul, 136-701, Korea)

Abstract : This experiment was conducted to classify the plant species occurring in the saline reclaimed land by saline tolerance. The vegetation of reclaimed land was composed of various plant species from halophyte to glycophyte showing different saline tolerances. In the investigated saline region, reclaimed land of Youngjong island, Inchun city, 175 species belonging to 32 families were found. Our survey was carried out in two region, having different salinity due to different desalinization. The electrical conductivity(EC) of more saline region showed 48.0mS/cm and the other region showed 13.0mS/cm. It is assumed that intensity of precipitation and run-off of rainfall may cause salinity gradient in the investigated region. The plant species occurred in the experimental region were classified as 72 species of annual, 42 species of biennial, and 61 species of perennial according to life cycle. For knowing relationship between vegetation of saline region and saline tolerance of occurring species, we tested the saline susceptibility of plant species collected at the saline regions. Testing plants were cultured by nutrient solution containing 200 mM NaCl, the critical concentration of survival in glycophytes. The saline tolerance was graded by the growing capacity in the sand-culture system. The more saline-tolerant species screened by sand culture were *Atriplex gmelini*, *Suaeda asparagoides*, *Aster tripolium*, *Suaeda maritima*, *Salicornia herbacea*, and *Suaeda japonica*. The most saline tolerant family was Chenopodiaceae. Poaceae, Cyperaceae, and Brassicaceae showed relatively high tolerance to saline stress. In the course of growth under the high saline condition, the most noticeable change was the darkening of leaves by increasing of chlorophyll content. The chlorophyll contents were increased with saline stress in most species.

서 론

우리나라는 국토 면적이 좁고 삼면이 바다에 인접하여 간척 사업이 활발히 진행되고 있다. 간척지의 농경지화는 탈염이 진행된 이후에 이루어져야 하는데, 작물 재배가 가능한 정도로 탈염이 되기 전까지는 다양한 식물종, 특히 염생 식물의 발생이 많다^{1,2)}. 간척지의 식생은 탈염 정도와 밀접한 관계가 있을 것으로 보이는데, 간척지의 식생에 대한 연구는 김과 민³⁾에 의해 이루어진 것 등이 있으나, 탈염 정도와 식생간의 관계에 대한 연구는 거의 없는 실정이다. 현재 내염성이 강한 식물(염생식물)은 명아주과에 속하는 통통마디, 나문재, 해홍나물 등과 꿀풀과의 꿀풀 등이 대표적인 식물 종이다. 염분 스트레스에 대한 이들 염생식물과 비염생식물(glycophyte)의 반응 차이는 염분지의 식생을 구성하는 중요한 요인이 된다. 탈염과 이에 따른 토양 염도의 변화와 식생의 변화에 대한 연구³⁾는 그 지역의 토지 이용성의 중요한 지표가 될 수 있으며 간척지에 적합한 작목은 이러한 탈염의 정도에 따라 선택이 달라지게 된다.

식물은 다양한 스트레스에 대하여 종마다 각기 다른 반응을 보인다. 이러한 반응의 차이에 의해 여러 식물 종들은 여러 스트레스에 대한 내성종과 감수성 종으로 구분이 된다⁴⁾. 염분 스트레스는 단순히 간척지 토양에서의 문제 이외에도 한밭에 의한 토양내 염류 집적을 통해서도 일어날 수 있으므로 식물에 대한 염분스트레스의 영향 규명은 중요하다. 식물의 내염성에 대한 연구는 그 중요성만큼 지금까지 많이 연구되어 왔다^{5,6)}. 특히 간척지와 같이 기존의 식생이 없는 토양은 일년생 초본에서부터 식생의 구성이 이루어질 것으로 예상할 수 있으므로, 염분 스트레스에 대한 초본류의 반응 및 염해지 식생에 대한 연구는 간척지의 농경화에 있어서 요망된다. 또한 간척지 외에도 시설원예지에서도 토양내 염분 축적이 문제시된다⁷⁾. 염분 스트레스는 주로 염화나트륨이 축적된 토양에서 일어나는데⁸⁾, 이러한 스트레스에 대한 식물의 반응은 염생식물과 비염생식물간의 반응 차이를 토대로 염분 스트레스의 기작 및 내성 기작을 밝히려는 연구가 시도되고 있다^{9,10)}. 염해에 대한 연구는 Ayer¹¹⁾ 등의 연구와 같이 작물의 여러 농도의 염분에 대한 반응의 확인

및 생태적 형질간의 관계를 밝히는 것이 염해 연구의 기초가 된다고 볼 수 있다.

본 연구는 초본류 식물들의 염분 스트레스에 대한 반응을 계량화하고 식물종들의 반응을 순위화시켜 염분 피해의 생물학적 모니터링에 대한 기초 자료로 제공하고자 실시하였다.

재료 및 방법

염해지 식생 조사 및 종자 수집

염분 스트레스에 대한 식물종들의 반응을 알아보기 위해 남양만과 인천광역시 영종도 간척지를 대상으로 1996년 7월부터 1997년 5월까지 두 달 간격으로 발생 식물을 조사하였다.

염해지에 발생하는 식물종은 바다쪽의 염분 농도가 높은 지역에서 탈염이 많이 진척된 육지쪽을 4 지역(A, B, C, D)으로 구분하여 식생을 조사하였다. 식생 조사와 더불어 식물종의 내염성 스펙트럼 확인을 위한 재료로서 이 지역의 종자를 수집하였다.

간척지 토양 분석

본 실험에 이용된 간척지 토양은 인천광역시에 위치한 영종도의 간척지에서 채취하였으며 토양의 분석은 토양화학분석법¹²⁾에 따라 pH는 1:5로 토양과 물을 섞은 후 초자 전극으로 분석하였고, CEC는 ammonium acetate(pH 7.0)에 의한 치환 침출 후 정량하였다. 전질소는 Kjeldahl법으로, 유효인산은 Bray No. 1 법으로 정량하였고, 양이온은 ammonium acetate로 침출 후 원자흡광광도계로 정량하였다. 토성의 입도는 pipetting법으로 분석하였다. 토양의 염도는 토양의 saturated paste를 만든 후 감압 용출한 후 EC meter(Walk lab. Co., Singapore)로 측정하였다¹³⁾.

염분에 대한 식물의 반응 조사

식생 조사를 통하여 확인된 식물종은 물론 우리 주변에서 흔히 자라는 식물과 대표적인 작물종을 공시하여 이들의 염해에 대한 피해 정도를 확인하였다. 각 식물종을 피트와 양토를 1:1로 섞은 상토에 파종하여 육묘하고, 3엽기 정도에 이를 때 이식하여 양액이 공급되는 사경제배를 통하여 생육시켰으며, 염분의 처리는 양액내에 NaCl을 기준으로 200mM이 되도록 처리하였다. 양액은 Hoagland 용액의 조성을 다소 변화시킨 용액¹⁴⁾을 이용하였다. 대조구도 양액내에 NaCl을 1mM의 농도가 되도록 첨가하였다. 처리 2 주 후와 3 주 후에 식물종들의 피해율을 조사하였고, 3 주 후에 생체중과 초장을 측정하여 피해 정도를 확인하였다. 염록소 함량은 portable chlorophyll meter(SPAD 502, Minolta Co., Japan)를 이용하여 최상위 2엽을 기준으로 조사하였다.

결과 및 고찰

간척지 토양 특성

중부 지방에 위치한 영종도 간척지의 토양 특성은 탈염된 정도에 따라 표 1과 같이 차이가 있었다. 바다쪽에 위치하여 탈염이 덜된 지역(A)과 내륙쪽에 위치하여 빗물 등에 의해 탈염이 많이 진행된 지역(D)간의 토양은 토성을 비롯하여 여러 가지 특성 차이가 있었다. 탈염이 덜된 A 지역은 전기전도도가 48.0mS/cm이었으며, D지역은 0.65mS/cm

이었다.

탈염이 덜 된 지역은 유기물 함량, 인산 함량, 전질소 함량 등이 낮았으나 Na과 Mg의 양이 많았다. 토양의 탈염이 진행됨에 따라 EC와 CEC, Mg와 Na의 함량은 낮아졌으며 토성도 미사질 양토에서 사질양토로 바뀌는 경향이였다. 이러한 간척지 토양의 특성은 노 등¹⁰⁾의 보고와 같이 탈염이 덜된 지역은 토성이 미사질 양토였으며 Na과 Mg의 함량이 일반 경지토양보다 매우 높은 특성을 보였다. 그러나 질소와 유효인산 등의 함량은 탈염의 정도와는 관계가 없는 것으로 나타났으며 pH는 7.0 ~ 8.0의 범위에 있었다.

Table 1. Physico-chemical properties of the reclaimed soil used for experiment.

Site	pH	EC (mS/cm)	O.M (%)	T-N (%)	Avail. P ₂ O ₅ (ppm)	Ca	Mg	K	Na	CEC	Texture
						(cmol(+)/kg)					
A	7.71	48.0	0.5	0.04	13.7	0.89	8.99	0.02	41.98	9.68	SiL
B	7.71	21.4	0.5	0.05	7.4	1.55	4.55	0.02	23.72	8.21	SiL
C	7.12	2.2	0.4	0.07	2.8	5.02	1.54	0.39	2.29	6.47	SL
D	7.50	0.7	0.5	0.04	7.65	1.51	2.21	0.54	0.25	4.94	SL

Desalinated level : D(less saline) > C > B > A(more saline)

간척지 식생

간척지의 식생을 확인하기 위하여 7월부터 10월까지 2주 간격으로 중부지방의 간척지와 갯벌주위를 조사한 결과 175종의 식물이 발생하고 있음이 확인되었다(Table 2).

이들 중 중에는 개망초, 미국가막사리, 쑥, 강아지풀, 피, 미국개기장 등 염분 농도가 낮은 일반 농경지에서 발생이 많은 식물들도 발생하였으나 이러한 종들의 상대적인 발생량은 많지 않았으며, 이러한 식물종들의 대부분은 탈염이 많이 진행된 육지에 인접한 간척지의 가장자리에서 주로 발생하였다. 위의 토양 분석에서 염분 함량이 높은 지역(A 지역)에는 나문재, 해홍나물, 통통마디, 칠면초 등 명아주과 식물만이 발생하였고, 탈염이 다소 진행된 지역(B 지역)에는 대표적인 염생식물인 취명아주, 갯개미자리, 갯골풀, 갯꾸러미풀, 갯질경 등이 많이 발생하였다. 위의 두 지역보다 탈염이 많이 이루어진 갯벌 간척지(C와 D지역)는 농경지에 비하여 종다양성이 높았으며 야산이나 산림지대에 비해서는 다년생보다 일년생식물과 이년생식물의 발생이 많았다. 외국의 연구에서 염해지에 발생이 많은 것으로 알려진⁶⁾, *Juncus* 속 식물인 골풀과 갯골풀도 간척지에 발생이 많았으나 골풀의 경우 갯골풀에 비해 내염성 정도가 낮아 비교적 탈염이 진행된 지역에서 발생하였다. 염분 농도가 가장 높은 지역에는 염생식물로 알려진¹⁵⁾, *Suaeda* 속의 나문재와 칠면초 및 해홍나물의 발생이 많았으며, 이 외에도 가는갯는쟁이, 취명아주, 칠면초 등 명아주과 식물들이 염분 함량이 높은 지역에 발생하였으나, 여러 연구를 통해 내염성 식물로 알려져 있는^{16,17)}, 골풀과의 *Juncus rigidus*와 *Juncus acutus* 등도 발생하였으나 명아주과 식물에 비해 우점도가 낮았다. 일반적으로 경지 및 공한지에 발생이 많은 화분과 식물의 경우는 갯꾸러미풀과 같이 염분이 많은 지역에 자라는 식물종외에 갈대, 물대 등이 발생하였으나 들피나 바랭이와 같이 농경지나 생활 주변지에 많이 발생하는 초종은 발생량이 극히 적었다. 경작지에 발생이 가장 많은 피속(*Echinochloa* spp.) 식물의 경우 들피와 물피 등이 담수가 유입되는 곳에 국부적으로 발생하였으나 염분 함량이 높은

지역에서는 발생하지 않았다. 이 외에도 화본과의 갯잔디도 염해지에서 생육이 왕성하여 넓은 면적을 피복하고 있었다. 사초과에 속하는 식물은 다양한 종이 많이 발생하고 있었는데, 간척지에 잘 발생하는 것으로 알려진 매자기, 새섬매자기 외에도 *Cyperus* 속 식물인 갯방동사니, 알방동사니 등의 발생이 많았다. 국화과 식물의 경우는 갯개미취, 사철쑥, 사데풀 등이 비교적 염분에 잘 적응하는 종으로 확인되었으며 이중 갯개미취의 경우는 염분 농도가 높은 토양에서도 생육이 왕성하여 매우 우점도가 높았다. 이 밖에도 내염성이 높은 식물로 알려져 있는 지체의 경우도 간척지 토양에 잘 적응하여 왕성한 생육을 보였으며 목본인 순비기나무도 발생하여 식생을 구성하고 있었다. 발생 식물종의 분포에 있어서 특이할만한 것은 콩과 식물의 부재이다. 콩과 식물은 갯완두와 자귀풀이 탈염이 많이 진행된 지역에 한정되어 소량 발생하였다. 일반적인 토양에서 콩과 식물의 우점도를 고려할 때 콩과 식물의 미발생은 간척지 토양의

독특한 특징이라고 할 수 있다. 콩과 식물의 큰 장점인 공중 질소 고정을 고려할 때 식물 생육 측면에서 콩과식물 부재가 간척지 토양의 큰 단점으로 사료된다. 간척지의 이용 특히 작물재배의 경우 가장 문제가 되는 것은 토양내 높은 수준의 염류 집적이다. 염류의 제거는 담수의 관수를 통한 제염 내지는 염분의 회석이 대표적인 방법으로 우리나라 대부분의 간척지는 경지로 이용될 경우 논으로 먼저 이용하여 염분을 회석시키고 있다. 그러나 조사에서 밝혀진 바와 같이 명아주과의 식물들과 사초과의 식물들의 식생을 유도하여 이들을 이용한 생물학적 제염이 이루어진다면 경작지 작목 선택에 탄력성을 가질 수 있을 것으로 사료된다. 특히 매자기 등의 경우에서 알 수 있는 것처럼 간척지 및 염해지 식생을 조사하면 간척지가 논으로 이용될 경우 발생이 많아 문제가 될 잡초종의 예측에 중요한 자료로 이용될 수 있을 것으로 사료된다.

Table 2. Classification of herbaceous plants occurred in the reclaimed region by their saline adaptability and life cycle.

Annual	Biennial	Perennial
	High-saline region*	
<i>Atriplex gmelini</i>	<i>Aster tripolium</i>	
<i>Salicornia herbacea</i>		
<i>Suaeda asparagoides</i>		
<i>Suaeda japonica</i>		
<i>Suaeda maritima</i>		
	Moderate-saline region	
<i>Chenopodium glaucum</i>	<i>Limonium tetragonum</i>	<i>Arundo donax</i>
<i>Cyperus glomeratus</i>	<i>Puccinellia nipponica</i>	<i>Eriochloa villosa</i>
<i>Kochia scoparia</i>	<i>Spergularia marina</i>	<i>Phragmites communis</i>
var. <i>littorea</i>		<i>Scirpus planiculmis</i>
<i>Salsola collina</i>		<i>Triglochin maritimum</i>
		<i>Typha angustata</i>
		<i>Typha orientalis</i>
		<i>Zinania latifolia</i>
		<i>Zoysia sinica</i>
	Low-saline region	
<i>Aeschynomene indica</i>	<i>Beckmannia syzigachne</i>	<i>Artemisia fukudo</i>
<i>Ambrosia artemisiifolia</i>	<i>Carpesium abrotanides</i>	<i>Asparagus cochinchinensis</i>
var. <i>elatior</i>	<i>Erigeron canadensis</i>	<i>Asparagus schoberioides</i>
<i>Aster subulatus</i>	<i>Lactuca scariola</i>	<i>Carex pumila</i>
<i>Aster subulatus</i>	<i>Leonurus sibiricus</i>	<i>Carex scabrifolia</i>
var. <i>sandwicensis</i>	<i>Melandryum firmum</i>	<i>Cyperus polystachyos</i>
<i>Bidens bipinnata</i>	<i>Melandryum oldhamianum</i>	<i>Ellymus mollis</i>
<i>Bidens frondosa</i>	for. <i>roseum</i>	<i>Inula britannica</i>
<i>Cassia mimosoides</i>	<i>Melilotus alba</i>	var. <i>chinensis</i>
var. <i>nomame</i>	<i>Melilotus suaveolens</i>	<i>Ixeris stolonifera</i>
<i>Cosmos bipinnatus</i>	<i>Ranunculus chinensis</i>	<i>Juncus effusus</i>
<i>Cyperus difformis</i>	<i>Rorippa islandica</i>	var. <i>decipiens</i>
<i>Cyperus globosus</i>	<i>Senecio vulgaris</i>	<i>Juncus haenkei</i>
<i>Cyperus iria</i>	<i>Sonchus asper</i>	<i>Kyllinga brevifolia</i>
<i>Cyperus microiria</i>		var. <i>leiolepis</i>
<i>Cyperus orthostachyus</i>		<i>Lotus corniculatus</i>
<i>Diodia teres</i>		var. <i>japonicus</i>
<i>Echinochloa crus-galli</i>		<i>Lythrum anceps</i>
var. <i>caudata</i>		<i>Phacelurus latifolius</i>
<i>Echinochloa crus-galli</i>		<i>Phalaris arundinacea</i>
var. <i>praticola</i>		<i>Phragmites japonica</i>
<i>Eclipta prostrata</i>		<i>Plantago asiatica</i>
<i>Erechtites hieracifolia</i>		<i>Prunella vulgaris</i>
<i>Mosla dianthera</i>		

Orobanche coerulescens
Persicaria hydro Piper
Persicaria nodosa
Polygonum aviculare
Portulaca oleracea
Setaria glauca
Silene armeria
Solanum nigrum

var. *lilacina*
Rorippa indica
Rumex crispus
Scirpus fluviatilis
Scirpus juncoides
Scirpus triqueter
Sonchus brachyotus

Nearly desalinated region

Amaranthus lividus
Amaranthus retroflexus
Amethystea caerulea
Amphicarpaea edgeworthii
 var. *trisperma*
Anilema keisak
Arthraxon hispidus
Bidens tripartita
Bilderdykia convolvulus
Centipeda minima
Chenopodium ficifolium
Commelina communis
Cuscuta australis
Digitaria sanguinalis
Eleusine indica
Fimbristylis miliacea
Galinsoga ciliata
Galinsoga parviflora
Glycine soja
Gypsophila oldhamiana
Humulus japonicus
Kummerowia striata
Ludwigia prostrata
Monochoria korsakowii
Monochoria vaginalis
 var. *plantaginea*
Panicum bisulcatum
Panicum dichotomiflorum
Persicaria perfoliata
Persicaria senticosa
Persicaria sieboldii
Persicaria thunbergii
Persicaria vulgaris
Phaseolus nipponensis
Polygonum dumetorum
Quamoclit angulata
Setaria viridis
Xanthium strumarium

Alopecurus aequalis
 var. *amurensis*
Arenaria serpyllifolia
Artemisia apiacea
Bromus japonicus
Capsella bursa-pastoris
Cardamine flexuosa
Carduus crispus
Cerastium glomeratum
Draba nemorosa
 var. *hebecarpa*
Erigeron annuus
Erigeron strigosus
Festuca myuros
Gnaphalium affine
Hemistepta lyrata
Lactuca indica
 var. *laciniata*
Lepidium apetalum
Lepidium virginicum
Oenothera odorata
Ranunculus japonicus
Salvia plebeia
Sonchus oleraceus
Stellaria alsine
 var. *undulata*
Youngia denticulata
Youngia japonica
Youngia sonchifolia

Alisma plantago-aquatica
Artemisia princeps
 var. *orientalis*
Aster pilosus
Caucalis scabra
Chrysanthemum boreale
Cirsium japonicum
 var. *ussuriense*
Cirsium pendulum
Galium verum
 var. *asiaticum*
Helianthus tuberosus
Isachne globosa
Ixeris dentata
Ixeris japonica
Leersia japonica
Lespedeza cuneata
Oenanthe javanica
Patrinia scabiosaefolia
Patrinia villosa
Phryma leptostachya
 var. *asiatica*
Potentilla kleiniana
Potentilla paradoxa
Pueraria thunbergiana
Senecio integrifolius
 var. *spathulatus*
Sium suave
Taraxacum mongolicum
Taraxacum officinale
Trifolium repens
Zoysia japonica

* Salinity of the investigated region ranged from 48.0mS/cm(high-saline region) to 0.65mS/cm(nearly desalinated region).

염해에 대한 식물종별 반응

우리 주변에 많이 존재하는 식물종들의 염분에 대한 반응은 표 3과 표 4에 나와 있다. 대부분의 종에서 염분 처리는 초기에 엽내 엽록소의 함량을 증가시키는 경향이 나타났으나 식물종이 피해가 커 황화가 일어나거나 고사하는 경우 감소하였다(Table 3). 각 식물종의 반응 차이는 앞의 간척지 식생 자료와 밀접한 관계가 있어 간척지에 발생이 많은 종은 염분에 대한 내성이 커 생육의 피해가 적었다. 양액에 염분을 NaCl 기준으로 200mM로 처리하였을 때, 명아주과의

가는갯는쟁이, 나문재, 해홍나물, 갯개미자리, 갯명아주와 같은 염생식물은 내성이 강하여 생육의 저해 정도가 낮았으며, 간척지에 발생이 많은 갯방동사니, 갯드렁새, 명아주, 갯개미취, 갯까치수영, 좀명아주, 콩다당냉이, 흰썩바귀 등도 염분에 대한 내성이 강한 종이었다. 그러나 갈퀴덩굴, 개여뀌, 고마리, 진득찰, 환삼덩굴 등은 염분에 매우 약하여 고사 또는 거의 고사하였다. 염분에 대한 내성은 일반적으로 콩과 식물, 마디풀과 식물은 약한 편이었으며, 화본과 식물은 중간 정도의 약한 내성을 보였고, 내염성이 강한 것으로 알려진^{12,317)} 명아주과 식물은 대부분 강한 내성을 보였다. 식물

중 중 가장 피해 증상이 일찍 나타나는 식물은 가막사리, 고마리 등이었으며 이들은 처리 2주 후에 거의 고사하였다. 이들 가막사리와 고마리는 일반적으로 농경지와 생활 주변에

우점한 초종이나 간척지에 발생이 거의 없는 것은 이러한 약한 내염성 때문인 것으로 사료된다.

Table 3. Changes in relative chlorophyll content of NaCl-treated plant species.

Species	7 DAT	14 DAT	21 DAT
<i>Persicaria nodosa</i>	116	150	126
<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i>	109	111	114
<i>Astragalus sinicus</i>	99	92	75
<i>Eclipta prostrata</i>	109	121	108
<i>Lactuca scariola</i>	125	119	151
<i>Arabis glabra</i>	119	130	159
<i>Galinsoga parviflora</i>	112	103	-
<i>Chenopodium glaucum</i>	111	139	100
<i>Bidens bipinnata</i>	104	105	90
<i>Aster exilis</i>	118	146	142
<i>Ranunculus sceleratus</i>	88	107	134
<i>Trifolium repens</i>	104	111	89
<i>Stellaria aquatica</i>	117	139	121
<i>Lysimachia mauritiana</i>	116	130	164
<i>Eragrostis ferruginea</i>	116	119	132
<i>Erigeron annuus</i>	103	107	124
<i>Lepidium virginicum</i>	90	97	119
<i>Sporobolus elongatus</i>	98	100	109
<i>Taraxacum officinale</i>	119	108	109
<i>Thlaspi arvense</i>	110	113	113
<i>Festuca arundinacea</i>	96	109	98
<i>Youngia sonchifolia</i>	109	115	108
<i>Chenopodium album</i> var. <i>centrorubrum</i>	100	100	101
<i>Hemistepta lyrata</i>	119	132	101
<i>Ixeris polycephala</i>	95	107	125
<i>Chenopodium ficifolium</i>	110	118	113
<i>Rorippa indica</i>	116	122	124
<i>Acalypha australis</i>	107	109	68
<i>Leonurus sibiricus</i>	98	115	72
<i>Atriplex subcordata</i>	112	105	126
<i>Portulaca oleracea</i>	97	102	91
<i>Potentilla kleiniana</i>	121	112	102
<i>Amaranthus retroflexus</i>	99	111	72
<i>Solanum nigrum</i>	111	113	104
<i>Alopecurus aequalis</i> var. <i>amurensis</i>	119	99	84
<i>Panicum bisulcatum</i>	108	106	85
<i>Achyranthes japonica</i>	129	111	91
<i>Agropyron tsukushiense</i> var. <i>transiens</i>	114	98	62
<i>Persicaria thunbergii</i>	116	94	-
<i>Sedum sarmentosum</i>	90	70	50
<i>Tagetes minuta</i>	106	95	96
<i>Commelina communis</i>	91	70	61
<i>Coreopsis altemifolia</i>	133	113	113
<i>Bidens frondosa</i>	148	122	104
<i>Abutilon avicennae</i>	108	119	123
<i>Siegesbeckia glabrescens</i>	95	101	-
<i>Ambrosia artemisiifolia</i> var. <i>elatior</i>	105	116	126
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	116	120	100
<i>Atriplex gmelini</i>	103	105	118
<i>Rumex crispus</i>	141	151	148
<i>Oenothera odorata</i>	116	128	104
<i>Datura stramonium</i>	113	131	120
<i>Echinochloa crus-galli</i>	88	90	80
<i>Ambrosia trifida</i>	111	103	-
<i>Digitaria sanguinalis</i>	117	108	104
<i>Siegesbeckia pubescens</i>	118	110	-

<i>Aster tripolium</i>	112	118	114
<i>Ixeris dentata</i> var. <i>albiflora</i>	125	111	102
<i>Erechtites hieracifolia</i>	129	93	-
<i>Arthraxon hispidus</i>	105	114	111
<i>Erigeron canadensis</i>	118	117	119
<i>Potentilla paradoxa</i>	109	110	80
<i>Eleusine indica</i>	89	92	88
<i>Paspalum thunbergii</i>	101	75	79
<i>Digitaria violascens</i>	108	107	85
<i>Bidens tripartita</i>	106	123	-
<i>Humulus japonicus</i>	109	66	-
<i>Glycine soja</i>	80	86	-

* : The relative chlorophyll contents were calculated based on SPAD value

-) : dead

Table 4. Difference of plant species in saline tolerance on the basis of growth characteristics such as visual injury, plant height, and fresh weight.

Species	Visual injury*		Shoot length(cm)		Fresh weight(g)	
	14DAT	21DAT	Control	NaCl**	Control	NaCl
<i>Persicaria blumei</i>	7.0	8.5	24.3	13.2	5.0	1.0
<i>Persicaria orientalis</i>	7.0	8.5	25.9	21.3	1.9	0.5
<i>Persicaria nodosa</i>	5.0	6.5	35.7	14.9	11.1	0.8
<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i>	2.0	4.5	34.8	21.1	10.5	2.1
<i>Astragalus sinicus</i>	4.0	8.5	18.6	10.8	6.4	0.7
<i>Eclipta prostrata</i>	1.0	2.5	40.7	20.4	10.0	2.1
<i>Lactuca scariola</i>	1.0	3.0	26.5	15.7	11.4	3.7
<i>Arabis glabra</i>	0.5	1.5	12.4	7.5	1.9	0.8
<i>Galinsoga parviflora</i>	4.0	9.5	55.7	25.9	30.0	2.0
<i>Aeschynomene indica</i>	3.0	7.5	33.9	16.8	3.5	0.3
<i>Chenopodium glaucum</i>	0.5	4.5	14.1	15.2	0.7	0.3
<i>Arenaria serpyllifolia</i>	0.5	3.0	7.1	3.7	0.2	0.1
<i>Cyperus polystachyos</i>	0.3	3.0	18.2	14.2	0.4	0.3
<i>Bidens bipinnata</i>	1.2	3.5	48.2	21.6	14.3	2.2
<i>Aster exilis</i>	0.7	2.5	35.2	14.9	5.6	1.1
<i>Ranunculus sceleratus</i>	5.0	7.5	15.8	14.6	15.4	3.0
<i>Trifolium repens</i>	4.5	5.0	33.3	23.2	12.0	1.7
<i>Stellaria aquatica</i>	4.0	5.0	37.7	11.2	2.0	0.6
<i>Lysimachia mauritiana</i>	0.3	1.5	7.7	5.4	3.2	1.1
<i>Eragrostis ferruginea</i>	1.0	3.0	30.7	17.3	0.9	0.4
<i>Erigeron annuus</i>	1.0	2.5	22.7	12.1	11.1	2.5
<i>Cyperus sanguinolentus</i>	1.5	3.5	12.8	10.4	0.4	0.1
<i>Lepidium virginicum</i>	0.3	1.5	14.8	9.2	4.4	2.0
<i>Cyperus iria</i>	3.0	6.0	17.7	9.7	0.4	0.1
<i>Sporobolus elongatus</i>	0.1	1.5	34.9	27.1	1.0	0.5
<i>Taraxacum officinale</i>	1.5	2.5	30.9	17.0	11.3	2.5
<i>Thlaspi arvense</i>	1.5	2.5	25.9	18.7	2.0	0.7
<i>Festuca arundinacea</i>	1.0	2.5	38.4	30.5	6.7	2.3
<i>Youngia sonchifolia</i>	1.0	2.0	17.0	11.2	3.4	1.4
<i>Chenopodium album</i> var. <i>centrorubrum</i>	0.5	2.5	17.5	8.5	1.3	0.7
<i>Hemistepta lyrata</i>	0.5	2.5	14.5	9.5	4.8	1.6
<i>Ixeris polycephala</i>	0.3	2.0	17.7	13.2	6.8	2.0
<i>Chenopodium ficifolium</i>	0.0	0.5	30.0	23.3	3.6	2.8
<i>Rorippa indica</i>	1.0	3.5	23.5	13.5	24.1	4.5
<i>Acalypha australis</i>	5.5	8.0	44.0	28.5	7.8	1.6
<i>Leonurus sibiricus</i>	4.0	6.0	22.6	16.0	6.8	1.8
<i>Spergula marina</i>	0.1	0.3	17.1	16.2	1.1	1.2
<i>Pennisetum alopecuroides</i>	8.0	9.0	30.0	15.1	0.5	0.1
<i>Atriplex subcordata</i>	0.0	0.2	38.1	34.7	11.2	8.2
<i>Portulaca oleracea</i>	0.2	1.0	5.5	4.2	0.8	0.5
<i>Potentilla kleiniana</i>	3.0	7.0	9.9	5.9	1.8	0.3
<i>Amaranthus retroflexus</i>	2.5	6.0	22.2	15.0	2.8	0.7
<i>Solanum nigrum</i>	5.5	6.5	39.0	16.2	15.6	3.1

<i>Alopecurus aequalis</i> var. <i>amurensis</i>	1.5	5.0	37.8	26.3	1.0	0.4
<i>Panicum bisulcatum</i>	2.0	5.5	21.9	11.7	0.3	0.1
<i>Achyranthes japonica</i>	6.0	6.5	29.6	9.4	5.6	0.6
<i>Leptochloa fusca</i>	2.0	4.5	41.8	18.5	0.2	0.1
<i>Agropyron tsukushiense</i> var. <i>transiens</i>	1.2	5.5	33.6	22.1	3.4	0.4
<i>Persicaria thunbergii</i>	9.0	10	17.1	8.6	1.4	0.2
<i>Sedum sarmentosum</i>	2.5	5.5	10.7	5.1	1.4	0.2
<i>Galium spurium</i>	7.5	10	29.6	11.5	0.8	0.1
<i>Tagetes minuta</i>	4.5	8.5	50.2	22.5	17.1	1.4
<i>Commelina communis</i>	5.0	6.0	59.2	32.2	23.0	4.2
<i>Coreopsis alternifolia</i>	1.0	6.0	20.0	7.3	2.1	0.5
<i>Bidens frondosa</i>	4.5	8.5	64.9	17.5	19.6	0.4
<i>Abutilon avicennae</i>	1.5	6.0	26.9	11.9	2.6	0.5
<i>Siegesbeckia glabrescens</i>	6.5	10.0	23.6	6.9	8.6	0.7
<i>Ambrosia artemisiifolia</i> var. <i>elator</i>	2.0	5.0	36.3	18.1	5.4	0.2
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	2.0	5.5	13.6	6.3	5.3	0.7
<i>Atriplex gmelini</i>	0.0	0.5	20.3	17.1	2.5	1.3
<i>Rumex crispus</i>	2.0	5.5	32.6	12.1	15.1	1.1
<i>Oenothera odorata</i>	2.0	6.0	15.7	7.1	4.0	0.5
<i>Datura stramonium</i>	5.5	7.0	36.9	15.8	10.5	1.1
<i>Echinochloa crus-galli</i>	2.5	5.0	70.0	32.8	7.0	0.6
<i>Ambrosia trifida</i>	5.5	9.0	60.2	29.7	19.2	1.3
<i>Digitaria sanguinalis</i>	1.2	6.5	35.1	19.5	3.6	0.4
<i>Siegesbeckia pubescens</i>	7.5	9.5	21.8	7.0	3.7	0.2
<i>Suaeda asparagoides</i>	0.1	0.5	27.0	22.6	5.0	2.5
<i>Suaeda maritima</i>	0.0	0.0	17.4	14.9	1.2	1.5
<i>Aster tripolium</i>	0.5	1.5	31.4	20.3	4.6	1.8
<i>Ixeris dentata</i> var. <i>albiflora</i>	0.3	1.5	10.5	9.6	1.1	0.3
<i>Erechitites hieracifolia</i>	5.5	9.0	26.7	13.7	7.5	0.5
<i>Juncus effusus</i> var. <i>decipiens</i>	2.3	5.5	49.7	25.1	2.1	0.5
<i>Arthraxon hispidus</i>	4.5	8.5	24.9	16.9	0.7	0.2
<i>Erigeron canadensis</i>	4.5	6.0	11.7	6.1	4.7	0.5
<i>Potentilla paradoxa</i>	5.2	7.0	18.6	10.8	10.4	0.8
<i>Eleusine indica</i>	4.0	6.5	33.5	14.1	5.5	0.5
<i>Paspalum thunbergii</i>	5.0	7.0	38.8	27.1	2.1	0.3
<i>Asparagus officinalis</i>	3.2	5.2	55.9	42.8	3.6	0.6
<i>Digitaria violascens</i>	2.5	7.0	20.7	15.0	0.6	0.2
<i>Bidens tripartita</i>	9.5	10.0	52.0	21.5	24.6	0.8
<i>Humulus japonicus</i>	6.5	10.0	63.6	14.5	3.8	0.3
<i>Glycine soja</i>	3.0	9.0	64.8	72.7	3.9	0.4

*) 0 : not affected, 10 : highly affected(dead)

**) NaCl 200mM,

요 약

우리나라 염해지의 식생 현황과 식물의 염분에 대한 내성 정도를 알아보기 위해 본 실험을 수행한 결과는 다음과 같다.

간척지를 비롯한 염해지의 주요 우점초종은 명아주과의 나문재, 칠면초, 해홍나물, 퉁퉁마디와 국화과의 갯개미취 등이었으며 탈염이 진행된 곳에는 부들, 갈대, 갯꾸러미풀 등의 화본과 식물이 우점하였다. 염해지의 우점 초종은 양액에 NaCl을 200mM로 첨가하여 실시한 사경재배에서도 강한 내염성을 나타내어 간척지의 식생과 이들의 내염성과는 일치성을 나타냈다. 내염성 식물인 명아주과의 나문재, 해홍나물, 가는갯는쟁이, 칠면초와 갯개미취 등이 내염성이 강한 식물종이었으며, 마디풀과의 개여뀌, 큰개여뀌, 털여뀌와 국화과의 별꽃아재비, 진득찰 등은 내염성이 매우 약한 종으로 나타났다. 갯벌 간척 후 탈염이 진행됨에 따라 초기

에는 명아주과의 나문재, 해홍나물, 칠면초 등이 우점하고 이후에는 갯개미자리, 갯질경, 갯골풀, 갯꾸러미풀 등이 우점하게되고 이후에는 물대, 갈대 등이 우점하게될 것으로 추정되었다.

참고문헌

1. 김준호, 민병미(1983). 해변 염생식물군집에 대한 생태학적 연구(Ⅲ), 식물학회지, 26 : 53~71.
2. 홍순우, 하영철, 최영길(1970). 고염도 토양에 있어서 몇가지 염생식물의 생태에 대하여, 식물학회지, 13 : 25~32.
3. 권혁지, 정원일, 조재영(1983). 간척지의 제염정도에 따른 식생의 변이의 수도 근모 형성에 관한 연구, 한국작물학회지, 28 : 305~309.
4. 심상인(1994). Paraquat, ammonium 및 cadmium 처리가 식물의 생리적 특성에 미치는 영향, 고려대학교 박사학

위논문.

5. Flowers, T.J. and Yeo, A.R.(1986). Ion relations of plants under drought and salinity, *Aust. J. Plant Physiol.*, 13 : 75~91.
6. Yeo, A.R.(1983). Salinity resistance: physiologies and prices, *Physiol. Plant.*, 58 : 214~222.
7. Pessaraski, M.(1991). Formation of saline and sodic soils and their reclamation, *J. Environ. Sci. Health*, A26(7) : 1303~1320.
9. Greenway, H. and Munns, R.(1980). Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes, *Annu. Rev. Plant Physiol.*, 31 : 149~190.
10. Gorham, J., Tomar, O.S., and Jones, R.G.W.(1988). Salinity-induced changes in the chemical composition of *Leucaena leucocephala* and *Sesbania bispinosa*, *J. Plant Physiol.*, 132 : 678~682.
11. Ayers, A.D., Brown, J.W., and Wadleigh, C.H.(1952). Salt tolerance of barley and wheat in soil plots receiving several salinization regimes, *Agron. J.*, 44 : 307~310.
12. 농업기술연구소(1988). 토양화학분석법 - 토양, 식물체, 토양미생물, 농촌진흥청.
13. Rhoades, J.D., Manteghi, N.A., Shouse, P.J., and Alves, W.J.(1989). Estimating soil salinity from saturated soil-paste electrical conductivity, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 53 : 428~433.
14. 노대철, 김동한, 엄기태, 채종한, 윤관희, 이협성(1986). 간척연대별 토양의 이화학성 변화 연구, *농시논문집*, 28 : 20~27.
15. Poljakoff-Mayber, A. and Lerner, H.R.(1994). Plants in saline environment, *Handbook of plant and crop stress*(M. Pessaraki, eds), Marcel Dekker, New York, pp 65~96.
16. Carlsson, R.(1994). Potential plants and crop for cultivation under moderately saline conditions, *Handbook of plant and crop stress*(M. Pessaraki, eds), Marcel Dekker, New York, pp 531~541.
17. Flower, T.J.(1974). Salt tolerance in *Suaeda maritima* (L.) Dum.: A comparison of mitochondria isolated from green tissues of *Suaeda* and *Pisum*, *J. Exp. Bot.*, 101 : 101~110.