염해에 대한 식물의 적응성 조사 및 염해지 식생 예측

강병화 · 심상인

(고려대학교 자연자원대학 식량자원학과)

Investigation of Plant Adaptability to Saline condition and Prediction of Flora in Saline Soil.

Byeung-Hoa Kang · Sang-In Shim

Dept. of Agronomy, Korea University, Seoul, 136-701, Korea

적 요

간척지를 비롯한 염분 축적이 많은 지역에 자라는 식물종은 지금까지 염생식물로 보고된 명아주과의 나문재, 칠면초, 해홍나물, 퉁퉁마디, 취명아주 등이었으며, 이들 종은 거의 탈염이 이루어지지 않은 간척지에 발생하고 있었다. 식물종의 염분에 대한 반응을 알아보고자 양액내 NaCl을 200 mM로 처리한 결과 염해지의 식생을 주로 구성하는 식물종의 내성이 강하였으나, 주변에 흔히 존재하는 돌피, 바랭이, 비름 등의 주요 잡초종은 비교적 약한 반응을 나타냈다. 가장 강한 내성을 보인 종은 간척지에 발생이 많은 명아주과 식물들이었으며, 고마리, 진득찰, 털여뀌 등은 염분에 매우 민감하여 빨리 고사하였다. 작물종은 대부분 염분에 약한 내성을 보였으나 목화와 같은 몇몇 작물종은 내성을 나타냈고, 보리와 옥수수와 같은 화본과 작물종이 비교적 염분에 강한 내성을 나타냈다. 토양을 탈염시켜 염분 농도를 달리 처리한 경우 녹두와 콩은 낮은 염분농도에서 출현과 유묘의 초기 생육이 극도로 억제되었다. 토양내 염분 농도에 따른 작물의 반응은 출현율, 건물중, 엽수 등에 있어서 다소 차이가 있었으며 낮은 염분 농도에서도 건물중이 가장 영향을 많이 받았다.

I. 서 론

식물은 다양한 스트레스에 대하여 종마다 각기 다른 반응을 보인다. 이러한 반응의 차이에 의해 여러 식물 종들은 여러 스트레스에 대한 내성종과 감수성 종으로 구분이 된다. 염분 스트레스는 단순히 간척지 토양에서의 문제 이외에도 한발에 의한 토양내 염류 집적을 통해서도 일어날 수 있으므로 식물에 대한 염분스트레스의 영향 확인은 중요하다. 식물의 내염성에 대한 연구는 그 중요성만큼 지금까지 많이 연구되어 왔다(Flower, 1986; Yeo, 1983). 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 농지화에 있어서 요망된다(엄과 엄, 1991). 이 외에도 원예작물의 재배에서 시설원예지에서도 토양내 염분 축적이 문제시된다(Pessarakli, 1991). 우리나라에서 염해에 대한 연구결과는 많지 않고 몇몇 연구자들에 의해 사료작물에 대한 연

구가 이루어진 실정이다(김 등, 1993; 이 등, 1995). 외국의 경우를 보면 대표적인 염생식물(halophyte)인 명아주과의 몇 가지 식물들 예를 들어 칠면초, 퉁퉁마디, 나문재, 해홍나물 등과 골풀과의 *Juncus rigidus*와 *Juncus acutus* 등에 대한 연구가 이루어지고 있는 실정이다(Carlsson, 1994; Flowers, 1974).

염분 스트레스는 주로 염화나트륨이 축적된 토양에서 일어나는데, 이러한 스트레스에 대한 식물의 반응은 염생식물과 비염생식물(glycophyte)간의 반응 차이를 토대로 염분 스트레스의 기작 및 내성 기작을 밝히려는 연구가 시도되고 있다(Greenway, 1980; Gorham et al., 1988; Yeo, 1983). 염분 스트레스는 크게 두 가지 원인에 의해 식물체에 영향을 주는데, 하나는 토양과 같은 매질내 수분 포텐셜을 낮추어 피해를 주는 것이고(Poljakoff-Mayber and Lerner, 1994), 다른 하나는 특정 염류 이온의 과도한 식물체내 축적에 의한 대사의 장애를 통해 영향을 주는 것이다(Flowers and Yeo, 1986; Greenway and Munns, 1980). 염분 스트레스는 토양을 매개로 하여 일어나므로 토양내 수분생리적 측면에서 염분 스트레스의 전개 양상을 파악하려는 연구(Sen and Mohammed, 1994)와 내성 및 감수성 식물종들의 반응차이 및 방어 기작에 대한 연구도 행해지고 있다(Flower et al., 1986). 내성 기작은 형태적인 면(Longstreth, 1979; Pollak and Waisel, 1970), 생리·생화학적인 측면(Braun et al., 1986; Brown and Dupont, 1989; Erdei et al., 1980)에서 복잡한 과정을 통해 일어나므로 단기간에 그 피해 및 내성 기작을 밝히기는 어렵다. 염해에 대한 연구는 염해에 따른 식물의 생리적 반응보다는 다른 연구 결과(Ayers et al., 1952)에서 처럼 다양한 식물종의 반응을 조사하여 종간 차이 및 식물의 반응 양상과 다른 생태적 형질간의 관계를 밝히는 것이 염해 연구의 기초가 된다고 볼 수 있다. 본 연구는 초본류 식물들의 염분 스트레스에 대한 반응을 계량화하고 식물종들의 반응을 순위화시켜 앞의 필요성에서 언급한 내용들에 대한 기초 자료를 제공하고자 실시하였다.

Ⅱ. 재료 및 방법

1. 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 탈염이 많이 진척된 육지쪽과 염분 농도가 높은 바다에 인접한 지역으로 구분하여 식생을 조사하였다. 식생 조사와 더불어 식물종의 내염성 스펙트럼 확인을 위한 재료로서 이 지역의 종자를 수집하였다.

2. 간척지 토양 분석

본 실험에 이용된 간척지 토양은 인천광역시에 위치한 영종도의 간척지에서 채취하였으며 토양의 분석은 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 pipetting 법으로 분석하였다. 토양의 염도는 토양을 saturated paste를 만든 후 감압 용출한 후 Ec meter(Walk lab. Co.)로 측정하였다.

3. 염분에 대한 식물의 반응 조사

위의 식생 조사에서 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 양액이 공급되는 사경재배를 통하여 생육시켰으며, 염분의 처리는 양액내에 NaCl을 기준으로 200mM이 되도록 처리하였다. 시험에 이용된 양액은 조성을 다소 변화시킨 Hoagland 용액(심, 1995)을 이용하였다. 무처리구의 경우도 NaCl을 1mM의 농도로 처리하였다. 처리 2 주 후와 3 주 후에 식물종들의 피해율을 조사하였고, 3 주 후에 초장을 측정하여 피해 정도를 확인하였다.

4. 작물의 염해 정도 조사

작물의 염분에 대한 반응을 보기 위하여 벼, 보리, 옥수수, 녹두, 콩 등 5 종의 작물을 공시하여 영종도 간척지의 흙을 탈염시켜 조제한 토양을 채운 포트에 20립씩 파종하여 온실

에서 4 주간 생육시킨 후에 출현율과 초장, 건물중 등을 조사하였다. 간척지 토양의 탈염은 토양을 수돗물로 포화시켜 염분을 제거하는 과정을 통해 실시하였다. 탈염된 토양의 염도는 Ec를 기준으로 41.7, 33.0 13.2, 10.0mS이었다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 간척지의 식생 및 토양 조사

가. 간척지 토양 특성

중부 지방에 위치한 영종도 간척지의 토양 특성은 탈염된 정도에 따라 아래의 (표 1)과 같이 차이를 보였다. 바닷쪽에 위치하여 탈염이 덜된 지역(A)와 해안에서 떨어져 있어 빗물 등에 의해 탈염이 진행된 지역(B)간의 토양 특성은 차이가 있었다. 탈염이 덜된 A지역은 전기전도도가 48.0mS이었으며, B지역은 13.0mS 이었다. 탈염이 덜 된 지역은 유기물 함량, 인산 함량, 전질소 함량 등이 낮았으나 Na과 Mg의 양이 많았다. 이러한 간척지 토양의 특성은 노 등(1986)의 보고와 같이 탈염이 안된 지역은 토성이 미사질 양토였으며 Na과 Mg의 함량이 일반 경지토양보다 매우 높은 특성을 보였다.

나. 간척지 식생

간척지의 식생을 확인하기 위하여 7월부터 10월까지 2주 간격으로 중부지방의 간척지와 갯벌주위를 조사한 결과 85여종의 식물이 발생하고 있음이 확인되었다(표 2). 이들 종 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, 퉁퉁마디, 칠면초 등 명아주과 식물만이 발생하였고, 탈염이 다소 진행된 지역(B 지역)에는 널리 알려진 염생식물인 취명아주, 갯개미자리, 갯골풀, 갯꾸러미풀, 갯질경이 등이 많이 발생하였다. 위의 두 지역보다 탈염이 많이된 갯벌 간척지는 농경지에 비하여 종다양성이 높았으며 야산이나 산림지대에 비해서는 다년생보다 일년생식물과 이년생식물의 발생이 많았다. 외국의 연구에서 염해지에 발생이 많은 것으로 알려진(Zahran, 1994) *Juncus* 속 식물인 골풀과 갯골풀도 간척지에 발생이 많았으나 골풀의 경우 갯골풀에 비해 내염성 정도가 낮아 비교적 탈염이 진행된 지역에서 발생하였다. 염분 농도가 높은 지역에는 대표적 염생식물로 알려진 (Poljakoff-Mayber and Lerner, 1994) *Suaeda* 속의 나문재와 칠면초의 발생이 많은 것도 중요한 특징이었다. 과별 분포(표 3)를 보더라도 역시 염색식물이 많이 속해있는 명아주과의 식물이 매우 많았으며, 일반적으로 경지 및 공한지에 발생이 많은 화본과 식물의 경우는 갯꾸러미풀과 같이 염분이 많은 지역에 자라는 식물종 외에 갈대, 물대 등이 발생하였으나 돌피나 바랭이와 같이 농경지나 생활 주변지에 많이 발생하는 초종은 발생량이 극히 적었다. 일반 경작지에 발생이 가장 많은 피속 식물의 경우 돌피와 물피등이 담수 유입되는 곳에 국부적으로 발생하였으나 염분이 유입되는 지역에서는 발생하지 않았다. 이외에도 화본과의 갯잔디도 염해지에서 생육이 왕성하여 넓은 면적을 피복하고 있었다. 골풀과 식물의 경우도 내염성이 강한 종들로서 갯골풀, 골풀, 물골풀 등 종수는 많지 않았으나 넓은 면적을 피복하고 있었다. 사초과에 속하는 식물은 다양한 종이 많이 발생하고 있었는데, 간척지에 잘 발생하는 것으로 알려진 매자기, 새섬매자기외에도 *Cyperus* 속 식물인 갯방동사니, 알방동사니 등의 발생이 많았다. 국화과 식물의 경우는 갯개미취, 사철쑥, 사데풀 등이 비교적 염분에 잘 적응하는 종으로 확인되었으며 이중 갯개미취의 경우는 해수가 유입되는 염분 농도가 높은 토양에서도 생육이 왕성하여 매우 우점도가 높았다. 이 밖에도 내염

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

Area	pH	O.M.	T-N	Avail.P_2O_5	Ca	Mg	K	Na	CEC	Sand	Silt	Clay	Texture
					-----	(cmol(+)/100g	------			----	(%)	----	
A	7.71	0.5	0.04	13.7	0.89	8.99	0.02	41.98	9.68	4.1	70.5	25.4	SiL
B	8.22	0.6	0.07	23.9	0.57	6.24	0.02	13.90	12.86	2.2	64.4	33.4	SiCL

A: less desalinized area, B: more desalinized area.

성이 높은 식물로 알려져 있는 지채의 경우도 간척지 토양에 잘 적응하여 왕성한 생육을 보였으며 목본인 순비기나무도 발생하여 식생을 구성하고 있었다. 발생 식물종의 분포에 있어서 특기할만한 것은 콩과 식물의 부재이다. 콩과 식물은 갯완두와 자귀풀이 탈염이 많이 진행된 지역에서 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 현재 간척지 토양의 질소 함량이 파악되지는 않았으나 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 희석이 대표적인 방법으로 우리나라 대부분의 간척지는 경지로 이용될 경우 논

Table 2. Classification of dominant plant species in saline regions by life cycle.

Annual	Biennial	Perennial
Bilderdykia convolvulus	*Spergularia marina**	*Elymus mollis*
Persicaria nodosa	*Sonchus oleraceus*	*Puccinellia nipponica**
Persicaria hydropiper	*Sonchus asper*	*Typha latifolia*
Persicaria vulgaris	*Erysimum aurantiacum*	*Phragmites communis*
*Chenopodium glaucum**	*Leonurus sibiricus*	*Arundo donax*
*Atriplex gmelini**	*Artemisia apiacea*	*Triglochin maritimum*
*Salicornia herbacea***	*Carpesium abrotanoides*	*Zoysia sinica* var. *nipponica**
*Suaeda japonica***	*Erigeron annuus*	*Paspalum thunbergii*
*Suaeda asparagoides***	*Erigeron canadensis*	*Phacelurus latifolius*
Panicum dichotomiflorum	*Aster tripolia*	*Scirpus fluviatilis*
Andropogon vimineus	*Oenothera odorata*	*Carex pumila*
Cyperus globosus	*Limonium tetragonum**	*Carex scabrifolia*
Cyperus difformis	*Meladryum oldhamianum*	*Cyperus polystachyos*
Cyperus microiria	for. *roseum*	*Juncus effusus* var. *decipiens*
Aeschynomene indica	*Lactuca scariola*	*Asparagus schoberiodes*
Solanum nigrum	*Lepidium apetalum*	*Gypsophila oldhamiana*
Portulaca oleracea	*Salvia plebeia*	*Plantago asiatica*
Spergularia marina	*Arenaria serpyllifolia*	*Plantago major* var. *japonica*
Setaria viridis	*Youngia denticulata*	*Ixeris repens*
Setaria glauca	*Sonchus asper*	*Sonchus brachyotus*
Digitaria sanguinalis		*Artemisia princeps*
Bidens bipinnata		*Patrinia scabiosaefolia*
Bidens frondosa		*Scirpus planiculmis*
Eclipta prostrata		*Salix spp.*
Sonchus oleraceus		*Corylus heterophylla* var. *thunbergii*
Persicaria senticosa		*Vitex rotundifolia*
Erechitites hieracifolia		*Paulownia coreana*
Diodia teres		*Alnus japonica*
Mosla dianthera		*Rumex acetocella*
Echinochloa crus-galli		*Lathyrus japonica*
Kochia scoparia var. *littorea***		*Potentilla oleracea*
*Suaeda maritima***		*Duchesnea chrysantha*
Echinochlora crus-gali		*Bromus japonicus*
var. *oryzicola*		*Juncus haenkei**
Persicaria senticosa		

* The mark indicates the halophytes occurred on the saline soil, which retains still salinity. ** indicate the halophyte occurred in more saline region.

Table 3. Classification of plant species occurred in saline reclaimed land by family and life cycle.

Family	No. of species	Life cycle		
		Annu.	Bien.	Peren.
Asteraceae	17	4	10	3
Brassicaceae	3		3	
Caryophyllaceae	4		3	1
Chenopodiaceae	7	7		
Cyperaceae	8	3		5
Lamiaceae	3	1	2	
Poaceae	15	8	7	
Polygonaceae	6	6		
Others	23	4	2	17
Total	86	33	27	26

으로 먼저 이용하여 염분을 희석시키고 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.

2. 염해에 대한 식물종별 반응

우리 주변에 많이 존재하는 식물종들의 염분에 대한 반응은 (표 4)에 나와 있다. 각 식물종의 반응 차이는 앞의 간척지 식생 자료와 밀접한 관계가 있어 간척지에 발생이 많은 종은 염분에 대한 내성이 강하여 생육의 피해가 적었다. 양액에 염분을 NaCl 기준으로 200mM로 처리하였을 때, 명아주과의 가는갯능쟁이, 나문재, 해홍나물, 갯개미자리, 갯명아주와 같은 염생식물은 내성이 강하여 생육의 저해 정도가 낮았으며 간척지에 발생이 많은 갯방동사니, 갯드렁새, 명아주, 갯개미취, 갯까치수영, 좀명아주, 콩다닥냉이, 흰쑴바귀 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, 명아주과 식물은 대부분 강한 내성을 보였다. 공시된 작물들은 대부분 염분에 약한 반응을 보여 내염성이 강한 것으로 알려진 목화, 보리 등을 제외하고는 녹두, 가지, 팥, 콩, 들깨, 완두 등은 거의 고사하였으며, 내염성이 강한 것으로 알려진 밀과 보리의 경우도 심한 생육 저해가 나타났다. 작물도 콩과 작물이 염분에 가장 약하여 대부분 고사하였다. 식물종 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. 특히 야생식물에 비해 공시된 작물종의 대부분은 약한 내염성을 보이는 것이 특기할 결과였다.

3. 작물의 출현과 초기 생육에 대한 토양 염분의 영향

공시된 작물은 야생식물에 비해 약한 내염성을 보이는데, 작물 중 벼, 보리, 옥수수, 녹두, 콩 등 5종의 작물에 대한 염분의 영향은 (그림 1, 2, 3)과 (표 5)에 나와 있다. 염분은 작물의 출현율과 초기 생육에 치명적인 영향을 나타냈다. 이 등(1995)도 염분농도에 따른 이탈리안라이그래스의 발아 억제를 보고하였는데 종자의 발아 후 출현이 일어나므로 출현율에 대한 염분의 영향은 발아에 대한 영향보다 더욱 심할 것으로 사료된다. 출현율은 (그림 1)과 같이 보리의 경우 다른 작물에 비해 영향이 적었으나 녹두와 콩은 피해가 심하였다. 보리를 비롯한 화본과 작물은 내염성이 비교적 강한 작물로 알려져 있는데(Ayler et al., 1952; Carlsson, 1994), 본 실험에서도 화본과 작물의 내염성이 비교적 높게 나타났다.

Table 4. Difference of plant species in saline tolerance on the basis of visual injury and reduction of shoot growth.

Species	Visual injury*		Shoot Length (cm)	
	14 DAT	21 DAT	Control	NaCl**
Persicaria blumei	7	8.5	24.3	13.2
Persicaria orientalis	7	8.5	25.9	21.3
Persicaria nodosa	5	6.5	35.7	14.9
Artemisia princeps var. *orientalis*	2	4.5	34.8	21.1
Astragalus sinicus	4	8.5	18.6	10.8
Eclipta prostrata	1	2.5	40.7	20.4
Lactuca scariola	1	3	26.5	15.7
Arabis glabra	0.5	1.5	12.4	7.5
Galinsoga parviflora	4	9.5	55.7	25.9
Aeschynomene indica	3	7.5	33.9	16.8
Chenopodium glaucum	0.5	4.5	14.1	15.2
Arenaria serphyllifolia	0.5	3	7.1	3.7
Cyperus polystachyos	0.3	3	18.2	14.2
Bidens bipinnata	1.2	3.5	48.2	21.6
Aster exilis	0.7	2.5	35.2	14.9
Ranunculus sceleratus	5	7.5	15.8	14.6
Trifolium repens	4.5	5	33.3	23.2
Stellaria aquatica	4	5	37.7	11.2
Lysimachia mauritiana	0.3	1.5	7.7	5.4
Eragrostis ferruginea	1	3	30.7	17.3
Erigeron annuus	1	2.5	22.7	12.1
Cyperus sanguinolentus	1.5	3.5	12.8	10.4
Lepidium virginicum	0.3	1.5	14.8	9.2
Cyperus iria	3	6	17.7	9.7
Sporobolus elongatus	0.1	1.5	34.9	27.1
Taraxacum officinale	1.5	2.5	30.9	17.0
Thlaspi arvense	1.5	2.5	25.9	18.7
Festuca arundinacea	1	2.5	38.4	30.5
Youngia sonchifolia	1	2	17.0	11.2
Chenopodium album var. *centrorubrum*	0.5	2.5	17.5	8.5
Hemistepta lyrata	0.5	2.5	14.5	9.5
Ixeris polycephala	0.3	2	17.7	13.2
Chenopodium ficifolium	0	0.5	30.0	23.3
Rorippa indica	1	3.5	23.5	13.5
Acalypha australis	5.5	8	44.0	28.5
Leonurus sibiricus	4	6	22.6	16.0
Spergula marina	0.1	0.3	17.1	16.2
Pennisetum alopecuroides	8	9	30.0	15.1
Atriplex subcordata	0	0.2	38.1	34.7
Portulaca oleracea	0.2	1	5.5	4.2
Potentilla kleiniana	3	7	9.9	5.9
Amaranthus retroflexus	2.5	6	22.2	15.0
Solanum nigrum	5.5	6.5	39.0	16.2
Alopecurus aequalis var. *amurensis*	1.5	5	37.8	26.3
Panicum bisulcatum	2	5.5	21.9	11.7
Achyranthes japonica	6	6.5	29.6	9.4
Leptochloa fusca	2	4.5	41.8	18.5

Species	Visual injury*		Shoot Length (cm)	
	14 DAT	21 DAT	Control	NaCl**
Agropyron tsukushiense var. *transiens*	1.2	5.5	33.6	22.1
Persicaria thunbergii	9	10	17.1	8.6
Sedum sarmentosum	2.5	5.5	10.7	5.1
Galium spurium	7.5	10	29.6	11.5
Tagetes minuta	4.5	8.5	50.2	22.5
Commelina communis	5	6	59.2	32.2
Coreopsis alternifolia	1	6	20.0	7.3
Bidens frondosa	4.5	8.5	64.9	17.5
Abutilon avicennae	1.5	6	26.9	11.9
Siegesbeckia glabrescens	6.5	10	23.6	6.9
Ambrosia artemisiifolia var. *elatior*	2	5	36.3	18.1
Capsella bursa-pastoris	2	5.5	13.6	6.3
Atriplex gmelini	0	0.5	20.3	17.1
Rumex crispus	2	5.5	32.6	12.1
Oenothera odorata	2	6	15.7	7.1
Datura stramonium	5.5	7	36.9	15.8
Echinochloa crus-galli	2.5	5	70.0	32.8
Ambrosia trifida	5.5	9	60.2	29.7
Digitaria sanguinalis	1.2	6.5	35.1	19.5
Siegesbeckia pubescens	7.5	9.5	21.8	7.0
Suaeda asparagoides	0.1	0.5	27.0	22.6
Suaeda maritima	0	0	17.4	14.9
Aster tripolium	0.5	1.5	31.4	20.3
Ixeris dentata var. *albiflora*	0.3	1.5	10.5	9.6
Erechitites hieracifolia	5.5	9	26.7	13.7
Juncus effusus var. decipiens	2.3	5.5	49.7	25.1
Arthraxon hispidus	4.5	8.5	24.9	16.9
Erigeron canadensis	4.5	6	11.7	6.1
Potentilla paradoxa	5.2	7	18.6	10.8
Eleusine indica	4	6.5	33.5	14.1
Paspalum thunbergii	5	7	38.8	27.1
Asparagus officinalis	3.2	5.2	55.9	42.8
Digitaria violascens	2.5	7	20.7	15.0
Bidens tripartita	9.5	10	52.0	21.5
Humulus japonicus	6.5	10	63.6	14.5
Glycine soja	3	9	64.8	72.7
Zea mays†	7	8.5	100	60.7
Glycine max†	9.5	10	72.0	34.6
Hodeum vulgare†	5	7	45.7	35.2
Gossypium indicum†	4.5	5.5	20.3	15.9
Pisum sativum†	9.5	10	17.0	16.2
Triticum aestivum†	3.5	5.5	37.0	33.7
Avena sativa†	4	7.5	65.1	50.2
Cucumis melo var. *makuwa*†	1	8	14.1	15.0
Lolium multiflorum†	5	7	60.4	41.2
Daucus carota var. *sativa*†	4	10	16.4	10.6
Solanum melogena†	4	10	7.3	3.8
Oryza sativa†	4	8.5	39.6	27.3
Nicotiana tabacum†	2	4	28.5	8.8

Species	Visual injury*		Shoot Length (cm)	
	14 DAT	21 DAT	Control	NaCl**
Perilla frutescens var. *japonica* †	10	10	11.7	4.2
Phaseolus radiatus †	10	10	30.9	23.7
Citrullus vulgaris †	9	10	19.6	8.9
Phaseolus angularis †	9	10	23.7	15.6

*) 0:not affected, 10:highly affected (dead)
**) NaCl 200mM, †) crop species

출현율을 50% 저해하는 염분의 농도를 회귀식에서 구해보면 벼는 약 28mS, 보리는 35mS, 옥수수는 39mS, 녹두는 22mS, 콩은 25mS로 녹두와 콩이 가장 낮은 염분 농도에서 피해를 받는 것으로 추정되었으며 옥수수와 보리는 35mS 이상의 높은 염분 농도에서도 50% 이상 출현하는 것으로 추정되었다. 출현율이 높더라도 초기에 고사하는 경우가 많아 출현율과 생육은 염분에 대해 다른 양상을 보일 수는 있으나 (그림 2)와 (그림 3)에서와 같이 출현율에 대한 피해가 큰 작물종이 초장이나 건물중에 있어서도 감소가 심하였다. 염분이 작물의 초기 생육 중 엽수에 미치는 영향은 (표 5)에 나타나 있다. 엽수는 염분의 농도가 증가함에 따라 줄어들어 작물의 발육도 염분에 의해 피해를 받는 것으로 나타났다. 토양의 염분 함량이 41.7mS 정도로 높을 경우 작물이 고사하여 발육이 정지되어 녹두, 콩, 벼 등의 경우 엽수가 거의 0 이었고, 33mS 이하에서는 고사하지는 않았으나 작물의 발육이 저해되어 엽수가 줄어들었다. 그러나 앞의 결과에서 염분에 대한 내성이 다른 작물에 비해 비교적 강한 보리와 옥수수는 13.2mS의 염분 농도에서도 엽수의 감소가 일어나지 않았다. 염분의 농도가 33mS 이상으로 높아지면 모든 작물에서 엽수가 감소하여 작물의 발육이 저해됨을 나타냈다. 염분에 대한 작물의 반응은 작물종간 차이(Zahran, 1994) 뿐만 아니라 품종간(Yeo et al., 1990; 이 등, 1995) 차이도 존재하므로 염분 축적이 많은 토양에 작물을 재배할 때는 내염성이 강한 화본과 작물 중 내성이 강한 품종의 선택이 요구된다.

Ⅳ. 결 론

우리나라 염해지의 식생 현황과 식물의 염분에 대한 내성 정도 및 염분에 의한 주요 작물의 반응 정도를 알아보기 위해 본 실험을 수행한 결과는 다음과 같다.

1. 간척지 토양은 Na와 Mg의 함량이 높았으나 탈염이 진전됨에 따라 낮아졌으며 토성은 미사질양토였다.

2. 간척지를 비롯한 염해지의 주요 우점초종은 명아주과의 나문재, 칠면초, 해홍나물, 퉁퉁마디 등이었다.

3. 염해지의 우점 초종은 염분에 대한 내성이 강하여 양액에 NaCl을 200mM로 첨가하여 실시한 사경재배의 결과와 간척지의 식생과는 일치성을 나타냈다.

4. 갯벌 간척 후 탈염이 진행됨에 따라 초기에는 명아주과의 나문재, 해홍나물, 칠면초 등이 우점하고 이후에는 갯개미자리, 갯질경, 갯골풀, 갯꾸러미풀 등이 우점하게 되고 이후에는 물대, 갈대 등이 우점하게 될 것으로 추정되었다.

5. 작물종은 대부분 야생식물보다 염분에 대한 내성이 약하였고, 녹두와 콩과 같은 콩과작물이 염분에 특히 약하였다.

6. 작물에 대한 염분의 영향은 건물중의 피해가 가장 심하였고, 출현율, 초장 순으로 염분에 대한 반응 정도가 작았다. 염분 농도가 증가함에 따라 작물체의 엽수도 감소하였다.

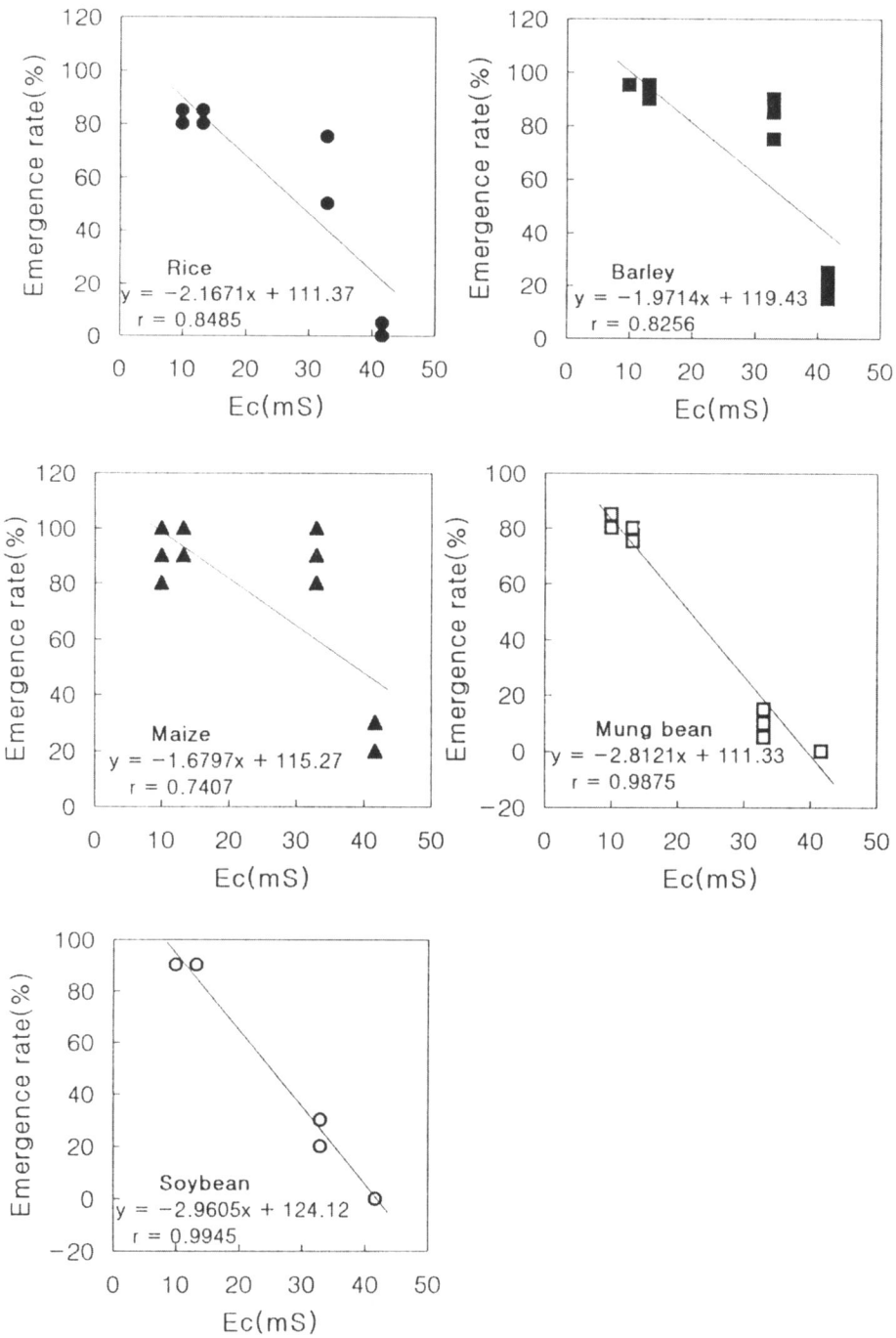

Figure 1. Effect of soil salinity on the emergence of crop seedling. The soil salinity were controlled with tap water through desalinization of reclaimed soil. See materials and methods for knowing the procedure of desalinization.

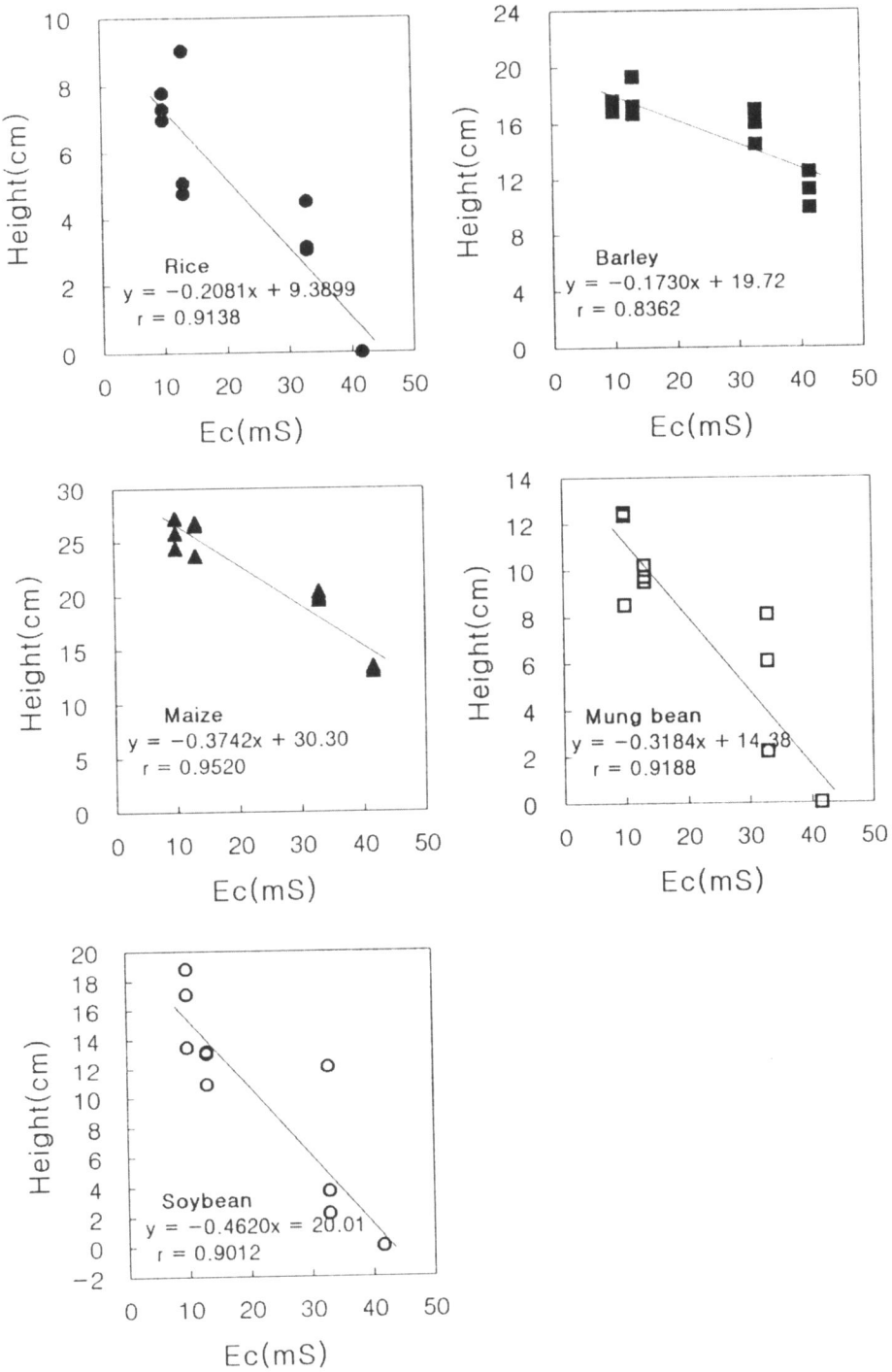

Figure 2. Effect of soil salinity on the shoot length of crop seedling. Seedlings were grown without fertilization and shoot lengths were investigated 4 weeks after sowing.

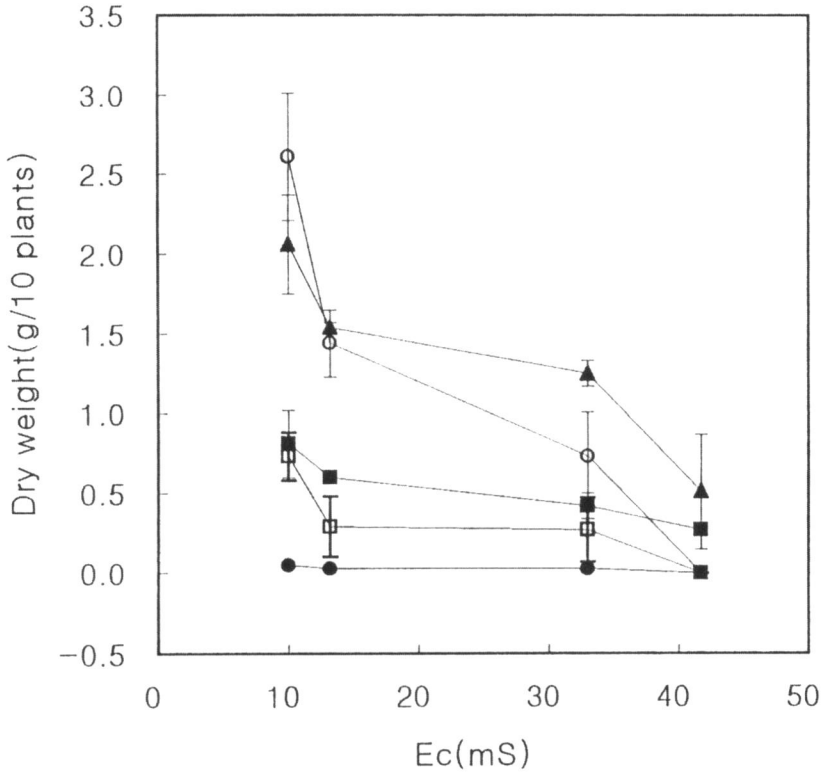

Figure 3. Effect of soil salinity on the five crop species. Symbols are as follows: rice(●), barley(■), maize(▲), mung bean(□), soybean(○).

Table 5. Effects of soil salinity on the number of leaf at the seedling stage of several crops.

	EC(mS)			
Crop	10.0	13.2	33.0	41.7
Rice	3.22±0.19	2.67±0.58	2.44±0.38	0.67±1.15
Barley	3.00±0.00	3.00±0.00	2.78±0.38	2.17±0.17
Maize	5.00±0.33	5.00±0.00	4.44±0.38	3.33±0.58
Mungbean	2.22±0.38	2.44±0.51	1.00±0.00	0.00±0.00
Soybean	3.44±1.07	2.78±0.51	2.17±0.17	0.00±0.00

참고문헌

1. Ayers, A. D., J. W. Brown, and C. H. Wadleigh. 1952. Salt tolerance of barley and wheat in soil plots receiving several salinization regimes. Agron. J. 44:307-310.
2. Braun, Y., M. Hassidim, H. R. Lerner, and L. Reinhold. 1986. Studies on H$^+$-translocating ATPase in plants of varying resistance to salinity. Salinity during growth modulates th proton pump in the halophyte Atriplex nummularia. Plant Physiol. 81:1050-1056.
3. Brown, D. J. and F. M. DuPont. 1989. Lipid composition of plasma membranes and

endomembranes prepared from roots of barley(*Hordeum vulgare* L.). Effects of salt. Plant Physiol. 90:955-961.

4. Carlsson, R. 1994. Potential plants and crop for cultivation under moderately saline conditions. Handbook of plant and crop stress(M. Pessarakli, eds). Marcel Dekker. New York. pp531-541.
5. Erdei, L., B. Stuiver, and P. J. C. Kuiper. 1980. The effect of salinity on lipid composition and on activity of Ca^{2+} and Mg^{2+} stimulated ATPase in salt-sensitive and salt-tolerant *Plantago* species. Physiol. Plant. 49:315-319.
6. 엄기태, 엄대철. 1991. 간척지 토양의 특성과 영농개선대책. 우리나라 간척지농업의 현황과 발전방향. 농촌진흥청 심포지엄. 17:14-29
7. 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.
8. Flowers, T. J., M. A. Hajibagheri, N. J. W. Clipson. 1986. The mechanism of salt tolerance in halophytes. Annu. Rev. Plant Physiol. 28:89-121.
9. Flowers, T. J. and A. R. Yeo. 1986. Ion relations of plants under drought and salinity. Aust. J. Plant Physiol. 13:75-91.
10. Gorham, J., O. S. Tomar, and R. G. Wyn Jones. 1988. Salinity-induced changes in the chemical composition of *Leucaena leucocephala* and *Sesbania bispinosa*. J. Plant Physiol. 132-678-682.
11. Greenway, H. and R. Munns. 1980. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. Annu. Rev. Plant Physiol. 31:149-190.
12. 김충수, 이석영, 조진웅. 1993. 작물의 내염성 기작에 관한 연구. 한국작물학회지 38:371-376.
13. 이강수, 최선영, 최철원. 1995. NaCl 농도가 이탈리안 라이그래스의 발아와 유묘생장에 미치는 영향. 한국작물학회지 40:340-350.
14. Longstreth, D. J. and P. S. Nobel. 1979. Salinity effects on leaf anatomy: consequences for photosynthesis. Plant Physiol. 63:700-703.
15. 노대철, 김동한, 엄기태, 채종한, 윤관희, 이협성. 1986. 간척연대별 토양의 이화학성 변화 연구. 농시논문집 28:20-27.
16. Pessaraski, M. 1991. Formation of saline and sodic soils and their reclamation. J. Environ. Sci. Health A26(7):1303-1320.
17. Poljakoff-Mayber, A. and H. R. Lerner. 1994. Plants in saline environment. Handbook of plant and crop stress(M. Pessarakli, eds). Marcel Dekker. New York. pp 65-96.
18. Pollak, G. and Y. Waisel. 1970. Salt secretion in *Aeluropus litoralis*(Willd.) Parl. Ann. Bot. 34:879-881
19. 1Sen, D. N. and S. Mohammed. 1994. General aspects of salinity and the biology of saline plants. Handbook of plant and crop stress(M. Pessarakli, eds). Marcel Dekker. New York. pp 125-145.
20. 심상인. 1995. Paraquat, ammonium 및 cadmium 처리가 식물의 생리적 특성에 미치는 영향. 고려대학교 박사학위논문.
21. Yeo, A. R., Yeo, M. E., Flowers, S. A., and Flowers, T. J. 1990. Screening of rice(*Oryza sativa* L.) genotypes for physiological characters contributing to salinity resistance, and their relationship to overall performance. Theor. Appl. Genet. 79:377-384.
22. Yeo, A. R. 1983. Salinity resistance: physiologies and prices. Physiol. Plant. 58:214-222.
23. Zahran, M. A. 1994. *Juncus* and *Kochia*: Fiber- and fodder-produing halophytes under salinity and aridity stress. Handbook of plant and crop stress(M. Pessarakli, eds). Marcel Dekker. New York. pp505-528.