

간척지 토양개량을 위한 내염성 식물의 활용성 평가

이경보* · 강종국 · Li Jumei¹ · 이덕배² · 박찬원² · 김재덕

작물과학원 호남농업연구소, ¹중국농업과학원, ²농업과학기술원

Evaluation of Salt-Tolerance Plant for Improving Saline Soil of Reclaimed Land

Kyeong-Bo Lee,* Jong-Gook Kang, Jumei Li¹, Deog-Bae Lee², Chan-Won Park², and Jae-Duk Kim

Honam Agricultural Research Institute, NICS RDA, Iksan 570-080, Korea

¹Soil and Fertilizer Institute, CAAS, Beijing, 100081, P. R. China

²National Institute of Agricultural Science Technology, RDA, Suwon 441-707, Korea

Reclaimed tidal area is a great agricultural resource in the world. Improvement and utilization of reclaimed soil is an important measure for expanding land resource. This study was conducted to evaluate relative salt-tolerance of plants and its effect for improving saline soil.

Eighteen tolerance plants were selected from China, Pakistan and Korea the climate of which is different. The emergence of different varieties in reclaimed soil was in order as FL478>Barnyard grass>Pokkali>Atriplex>Sesbania> Rumex>Alfalfa>Tall Fescue>Ryegrass>Sudan grass. Four varieties, Barnyard grass, Sesbania, Atriplex and Limonium were selected for soil improvement in reclaimed land. Cultivation of Sesbania, Barnyard grass and Atriplex were good to soil physico-chemical quality. Also these plants increased soil organic matter contents and reduced soil salt concentration. Organic matter contents of cultivated soils of Sesbania, Barnyard grass and Atriplex were 4.10 g kg⁻¹, 4.60 g kg⁻¹ and 2.81 g kg⁻¹ respectively. On the other hand organic matter content of uncultivated soils was 2.65 g kg⁻¹. As Sesbania and Barnyard grass were applied to cultivated soil like green manure, bulk density improved from 1.42 Mg m⁻³ to 1.39 Mg m⁻³.

Key words : Salt-tolerance, Plant, Saline soil, Reclaimed land

서 언

우리나라의 국토는 평야지보다 산지가 많아 활용할 수 있는 가용 토지가 적고, 쌀을 비롯한 식량을 생산할 수 있는 우량농경지는 산업화, 도시화에 따른 타용도 전용 등으로 1991년 이후 매년 18,000 ha씩 급속히 감소되고 있는 추세이다. 이에 대한 대책의 하나로 지금까지 우리나라는 서남해안의 간척자원을 대상으로 간척사업을 진행하여 왔다. 지금까지 추진한 옥구군 미면, 부안 계화, 남양만, 아산만, 삼교천, 해남 및 석문지구 등 대규모 간척사업 후 발생하는 대부분의 토지가 논으로 조성되었다. 그간 간척사업은 한정된 국토에서 도시화와 산업화로 인해 잠식되는 농경지 및 산업단지를 대체 확보함으로써 식량의 안정적 공급 등 긍정적인 효과를 가져왔다(Lee et al. 2003; Lee et al. 2006). 금후 간척지에서는 변화하는 농업환

경에 발맞추어 우리 국민의 주식인 벼는 물론 밭작물, 사료작물 및 원예작물 등 종합적인 작물재배 기반조성이 이루어 질 것이라 기대된다.

간척지 개발 초기의 토양은 일반적으로 가용성 염류와 치환성 나트륨이 과다하게 함유되어 있기 때문에 염분농도가 대단히 높다. 그러나 일반 토양에 비해 자연 비옥도가 낮고 염농도가 높아 작물의 발아 및 생장에 악영향을 미치게 되어 궁극적으로 생산량을 저하시킨다(Lee et al, 2000). 그러므로 간척지를 효율적으로 활용하기 위해서는 고염도 간척지 토양에 대한 제염이 선행되어야 하고, 토양 물리성이 개선되어야 한다. 간척지 토양의 이화학성을 개량하기 위해서는 내염성 식물을 활용한 것이 효과적인데 최근 연구동향에 따르면, 약 1560종의 내염성식물이 존재하며, 이중 46.8%가 명아주과, 목초과, 국화과, 두과식물이다(Zhao and Li, 1999). 따라서 다양한 내염성 식물들은 염해지 환경개선에 좋은 자원으로 활용될 수 있다. 내염성식물은 토양중 염분을 흡수하고, 식물체내에 염분

접 수 : 2007. 5. 16 수 리 : 2007. 6. 1
*연락처 : Phone: +82638402262,
E-mail: lee1214@rda.go.kr

을 축적시키는 Biological pump 역할을 한다. 하지만 제거 시키는 염분량은 식물 종류와 토양 층위별로 다양하다. 염해지의 염생식물은 그 환경에 적응하는 한편, 환경을 변화시키기도 한다. 식물뿌리는 토양의 침식을 방지하며, 토양 염농도는 감소하고, 유기물 함량은 증가한다. 또한 토양의 물리 화학성은 개량되고 토양미생물 활동을 조장하고, 온도, 습도, 조명을 조절할 수 있게 된다(Zhao et al. 1995). 내염성 식물을 간척지에 식재하는 것은 염생식물에서 비염생식물로의 변화를 가속시키며 제염을 촉진시킨다. 간척지의 농경지화는 제염이 일정정도 진행된 후에 이루어져야 하며 간척지의 생물학적 토양개량을 위해서는 식물의 내염성에 관한 연구가 선행되어야 한다. 따라서 본 연구는 신간척지 토양개량을 위해 국내외로부터 내염성 식물들을 수집하여 간척지 토양을 대상으로 내염성 식물들의 활용성을 평가하였다.

재료 및 방법

식물을 활용하여 간척지 토양을 개량하기 위해 내염성이 있다고 알려진 식물들을 국내외에서 수집하였다. 수집된 식물의 종류와 특성은 Table 1에 나타낸 바와 같이 사료작물이 6종, 약용 2종, 채소 2종, 녹비 2종, 벼 3종 및 기타 3종 등 총 18종이었다. 도입된 식물들의 내염성 특성을 파악하기 위해 해수 농도를 달리하여(0~1.7%) 3반복으로 시험하였다. 식물 발아를 위해 페트리디쉬에 여과지를 깔고 그 위에 일정량의 종자를 25°C 온도에서 배양하였다. 또한 염농도에 따른 발아특성을 조사하기 위해 Ryegrass 등 8종의

식물을 원예용 상토가 충전된 포트에 이식하고 관개수의 염농도를 달리하여 40일 동안 재배한 후 생체중과 식물체내의 질소와 인 그리고 나트륨 성분을 조사하였다.

포장에서 내염성 식물에 대한 생육반응을 평가하기 위해 새로 조성된 신간척지에 총 면적 26 × 12 m²에 식물을 재배할 수 있도록 40개의 구를 설치하였다. 간척지 토양의 특성은 Table 2에 나타낸 바와 같이 염농도는 0.74~0.77% 이었으며, Cl⁻과 SO₄²⁻ 함량이 높았고, PO₄³⁻ 성분은 상대적으로 낮았다. 또한 2년차와 3년차 시험은 내염성 식물을 토양에 시용하였을 때 토양개량 효과를 검토하였으며 시험토양의 염농도는 0.3% 이었다. 식물 재배를 위해 파종과 이식을 병행하였는데 파종은 Kenaf, Sudan grass, Rumex, Festuca, Ryegrass, Limonium, Alfalfa, Atriplex, Sesbania, Barnyard grass, Pokkali (벼), FL478 (벼) 등 12종을 3반복으로 파종하였다. 이식은 원예용 상토에 25일간 육묘한 후 Amaranthus, Kenaf, Sudan grass, Festuca, Ryegrass, Alfalfa, Sesbania, Barnyard grass, Pokkali, FL478, Rumex, Atriplex, Limonium 및 Bermuda grass 14종을 3반복 이식하였다. 시비량은 질소 150 kg ha⁻¹, 인산 46 kg ha⁻¹, 칼리 50 kg ha⁻¹을 질소는 요소로, 칼리는 염화칼리, 인산은 용성인비로 사용하였다.

채취한 토양은 음건한 후 2mm 토양체로 조제한 후 분석시료로 사용하였다. 식물체는 채취한 후 증류수로 3회 이물질을 제거한 후 70°C 온풍 건조기에서 건조 60 mesh로 마쇄하여 분석용 시료로 사용하였다. 토양 분석방법은 pH는 초자 전극법, 양이온은 1N-

Table 1. Characteristics of eighteen salt tolerance varieties.

Varieties	Scientific name	Utilization	Country
Ryegrass	<i>Lolium perenne</i> Schreb.	Forage	Pakistan
Medler	<i>Mespilus germanica</i>	Medicinal	
Limonium	<i>Limonium tetragenum</i>	material	
Tall Fescue	<i>Fesuca arundinacea</i>	Forage	
Atriplex	<i>Atriplex triangularis</i>	Vegetable	
Elaeagnus	<i>Elaeagnus angustifolia</i>	Fruit	China
Melia	<i>Melia azedarach</i> L.	Tree	
Amaranthus	<i>Amaranthus paniculatus</i>	Vegetable	
Rumex	<i>Rumex acetosa</i> L.	Forage	
Sudan	<i>Sorghum sudanense</i>		
Alfalfa	<i>Medicago sativa</i>	Green	
Sesbania	<i>Sesbania rostrata</i>	Manure	
IR			
FL478	<i>Oryza sativa</i> L.	Crop	Philippine
Pokkali			
Kenaf	<i>Hibiscus cannabinus</i>	Pulp	U.S.A.
Barnyard grass	<i>Echinochloa crus-galli</i> var.		
Bermuda grass	<i>Cynodon dactylon</i> L.	Forage	Korea

Table 2. Chemical properties of soil before the experiment.

Soil depth	Salt	Na ⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻
cm	%	----- cmol kg ⁻¹ -----				----- mg kg ⁻¹ -----		
0~10	0.74	15.95	2.03	2.42	5.72	1,017	589	0.16
10~20	0.74	10.32	1.16	1.37	3.86	1,030	407	0.13
20~30	0.74	9.15	1.14	1.30	3.50	939	402	0.22
30~40	0.75	11.31	1.32	1.54	3.90	1,107	396	0.14
40~50	0.77	10.50	1.33	1.65	3.81	1,093	377	0.22

NH₄OAC (pH 7.0)으로 추출하여 ICP로, 인산은 Lancaster법, T-N는 Indolphenol blue법으로 분석하였다. 식물체 분석방법은 H₂SO₄-H₂O₂ 습식분해 후 SSSA(1996)와 농업기술연구소 토양분석법(1987)에 따라 성분별로 분석하였다.

결과 및 고찰

내염성 식물 수집 및 발아 특성 내염식물에 의한 염류토양 개량은 토양 염에 대한 종자의 발아 반응에 크게 의존한다. 국내외에서 수집된 18종 식물의 발아율을 조사하기 위해 순수한 바닷물을 처리하여 조사하였다. Elaeagnus와 Melia의 종자는 단단한 외피로 싸여 있었기 때문에 황산으로 외피를 벗겨낸 후 배양하였으나 발아 비율은 매우 낮았다. Limonium, Atriplex 및 Bermuda 종자의 발아도 매우 느렸다. 위에 언급한 식물들을 제외하고, 나머지 식물들의 종자는 발아율이 비교적 높은 특성을 보였다. Table 3은 수집된 식물 종자의 염분농도에 따른 발아율과 식물별 발아 한계농도를 나타낸 것이다. 각 품종의 발아

한계농도는 Sesbania가 1.7%로 가장 높았으나, 대부분 1.0%를 상회하였다.

Table 4는 Ryegrass 등 8종의 식물을 원예용 상토가 충전된 포트에 이식하고 관개수 염농도를 달리하여 40일 동안 재배한 후 생체중과 식물체내의 질소와 인 그리고 나트륨 성분을 조사한 것이다. 관개수의 염농도에 따른 식물별 생체중의 변화를 보면 Ryegrass는 염농도 0.3% 관개수에서 91.1 g, 0.5~0.7% 관개수에서 85.2 g, 0.7~1.0% 관개수에서 69.2 g로 감소하였다. Barnyard grass는 염농도 0.3% 관개수에서 65.2 g, 0.5~0.7% 관개수에서 53.6 g, 0.7~1.0% 관개수에서는 35.2 g 이었다. Rumex는 염농도 0.3% 관개수에서 94.1 g, 0.5~0.7% 관개수에서 99.5 g로 증가하였으며, 0.7~1.0% 관개수에서 77.4 g로 다소 감소하였다. Sesbania는 염농도 0.3% 관개수에서 119.0 g이었으나, 0.5~0.7% 관개수에서 50.5 g으로 감소하였고, 0.7~1.0% 관개수에서는 45.5 g이었다. Atriplex는 염농도 0.3% 관개수에서 286.0 g, 0.5~0.7% 관개수에서 274.0 g, 0.7~1.0% 관개수에서 223.0 g으로 염농도에 따른 생체중

Table 3. Germination of different varieties in salt concentration treated seawater.

(Unit : %)

Varieties	Salt concentration of treatment	Germination rate	Salt concentration of germination limit
Ryegrass	0.7	80	1.2
Medler	0.5	20	1.0
Limonium	0.7	80	1.5
Tall Fescue	0.8	80	1.3
Atriplex	0.8	80	1.2
Elaeagnus	-	-	-
Melia	-	-	-
Amaranthus	0.3	75	1.0
Rumex	0.8	90	1.2
Sudan	-	-	-
Alfalfa	0.7	90	1.2
Sesbania	0.8	80	1.7
IR	0.7	85	1.0
FL478	0.7	90	1.5
Pokkali	0.7	90	1.5
Kenaf	0.6	80	1.3
Barnyard grass	0.8	80	1.2
Bermuda grass	0.7	80	-

Table 4. Nutrients components and fresh weight under irrigation of different salt.

Varieties	Salt con. of irrigation	Fresh wt.	Na ₂ O	P ₂ O ₅	T-N
	%	g	----- % -----		
Ryegrass	0.7~1	69.2	1.24	0.64	1.29
	0.5~0.7	85.2	0.99	0.70	0.99
	0.3	91.1	0.61	0.69	0.63
Barnyard grass	0.7~1	35.2	1.32	0.88	0.92
	0.5~0.7	53.6	1.52	1.28	0.91
	0.3	65.2	0.88	1.08	0.67
Tall Fescue	0.7~1	53.7	1.50	0.93	1.37
	0.5~0.7	65.7	1.01	0.85	1.06
	0.3	66.8	0.72	0.78	0.79
Rumex	0.7~1	77.4	8.65	1.25	1.48
	0.5~0.7	99.5	4.58	1.29	1.50
	0.3	94.1	1.42	1.41	2.16
Sudan grass	0.7~1	115.0	1.51	1.04	1.30
	0.5~0.7	151.0	1.43	1.39	1.83
	0.3	202.0	1.21	0.58	1.21
Sesbania	0.7~1	45.5	2.75	0.80	1.72
	0.5~0.7	50.5	1.69	0.46	2.20
	0.3	119	0.69	0.70	2.69
Atriplex	0.7~1	223.0	8.71	1.06	2.32
	0.5~0.7	274.0	4.79	0.52	1.40
	0.3	286.0	4.80	0.67	1.89
Limonium	0.7~1	70.1	10.10	0.56	3.32
	0.5~0.7	96.6	9.88	0.51	1.97
	0.3	110.0	7.21	0.53	2.58

변화가 가장 적었다. 식물체 중 Na₂O함량은 염농도가 높을수록 많았으며, 재배 식물중 Limonium에서 Na₂O 함량이 가장 높았다. 인산과 질소함량은 염농도 함량 변화에 따른 뚜렷한 경향을 보이지 않았다.

신간척지 토양에서 내염성 식물의 생육 반응 실 내에서 선발된 식물 12종을 토양 염농도가 0.78%인 신간척지 토양에 파종하여 출현율을 조사하였다. 물, 온도, 염분 등과 같은 여러 인자들이 토양에서 상호작용하며 종자 발아에 영향을 미치는데, 간척지 토양에서 종자 발아에 영향을 미치는 주요 인자는 토양염이다. Table 5는 신간척지 토양에서 종자를 파종한 후

출현율을 조사한 것이다. 식물별 출현율은 FL478 (벼)>Barnyard grass>Pokkali>Atriplex>Sesbania>Rumex>Alfalfa>Tall Fescue>Ryegrass>Sudan grass의 순이었다. Kenaf는 출현되지 않았으며 Limonium의 종자는 출현이 느렸다. 식물들의 출현율이 낮았던 이유는 파종 초기에 고온과 한발로 인한 토양중 염분농도의 상승으로, 종자가 발아되어 출현하기까지 어려움이 있었으리라 생각된다. 간척지에서 발작물을 재배하기 위해서는 토양관리가 선행되어야 하는데 Lee et al.(2006)은 기존 간척지에 대한 현장조사와 토양에 대한 분석결과에서 가장 문제가 되는 것이 염농도와 지하수위라 지적하였는데 신간척지를 받으로 이용하

Table 5. Emergence of different varieties in reclaimed soil.

Varieties	Emergence rate(%)	Varieties	Emergence rate(%)
Limonium	30	Rumex	50
Alfalfa	2	Barnyard grass	30
Ryegrass	10	Sudan grass	2
Tall Fescue	10	FL478(Rice)	70
Sesbania	30	Pokkali (Rice)	30
Atriplex	30	Kenaf	-

고자 할 때 배수기반이 무엇보다도 중요하며, 제염과 토양양분의 균형, 그리고 관개수의 조절이 필요하다.

신간척지 토양에 재배한 식물들은 토양염 증가, 고온 및 생육 증반의 한발 때문에 대부분 고사되었다. Alfalfa가 먼저 고사되었고, 다음으로 Amaranthus, Kenaf, Sudan grass, Ryegrass, Tall Fescue, Rumex, Pokkali 및 FL478 등이 고사되었다. 결국 Limonium, Atriplex, Barnyard grass, Sesbania 및 Bermuda grass만이 포장시험에서 생육이 가능하였다. 간척지 토양에서 이식에 따른 식물의 생육반응을 평가하기 위해서 원예용 상토에 육묘한 다음, 간척지 토양에 이식하였다. 이식 후의 생육 정도는 Limonium>Atriplex>Barnyard grass>Sesbania>Bermuda>FL478>Pokkali>Rumex>Tall Fescue>Ryegrass>Sudan grass, Kenaf, Amaranthus의 순이었다. Sesbania, Barnyard grass, Atriplex 등은 시험 포장에서 개화하여 채종까지 가능하였다. 결과적으로 생육후기까지 생육이 가능한 식물은 Table 6에 나타낸 바와 같이 Limonium, Atriplex, Barnyard grass 및 Sesbania 등 4종이었다. 식물의 염해기작은 두 가지 원인의 복합적 작용에 의한 현상으로 설명될 수 있다. 먼저, 과도한 염류집적에 의한 토양 내 삼투압이 증가하면서 이에 따른 수분흡수가 저해되어 나타나는 수분 결핍현상과, 둘째로 특정 이온의 비정상적 과다 흡수에 의한 이온 특이적 효과로, 이러한 특정 이온의 영향은 이차적인 원인으로 취급되고 있다. 염농도가 어떤 한계를 넘으면 식물의 생육이 저해되는데, 작물의 생육을 저해할 수 있는 한계 염농도는 식물의 종류와 상태, 그리고 온도, 습도, 풍속 등의 외부환경과 근권의 수분 포텐셜 등에 의해 결정되며, 생육저해 정도는 염농도가 높아질수록 커지게 된다(Chen et al., 1989; Li and Zhu,

2002; Liu and Pan, 1999; Zhou et. al., 2002). 그러나 염생식물의 줄기와 잎은 큰액포 증양에 점액세포를 갖고 있으며, 세포와 점액세포 사이에 물을 저장하는 기관을 가지고 있기 때문에 염생식물의 줄기와 잎은 다즙성이고 물을 많이 머금고 있어서, 세포액 중에서 높은 염류농도는 희석되어 염해가 방지된다. 어떤 염생식물은 염생과 염당을 가지고 있는데 염생은 식물체 내부에서 외부로 K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} 와 같은 염류를 배출하게 하거나, 식물체내 염류를 염당으로 이동시켜, 정상적인 생리활동을 조장하게 한다 (Zhao et al. 1995).

Table 7은 Barnyard grass, Sesbania 및 Atriplex, Limonium 등 4종의 식물재배 토양과 나대지 토양의 몇 가지 성분을 생육 후기에 비교한 것이다. 토양 염농도는 나대지 토양이 0.96~1.3% 범위를 보였고, Barnyard grass 재배구는 0.69%, Sesbania 재배구는 0.54%, Atriplex 재배구는 0.88%, Limonium 재배구는 0.89%이었다. 식물이 재배되면 식물 잔존물들이 생육기간 동안 분해되어 유기물을 증가시키는데, Sesbania, Barnyard grass, Atriplex 식물 재배 토양의 유기물 함량은 각각 4.10 g kg^{-1} , 4.60 g kg^{-1} , 2.81 g kg^{-1} 이었다. 반면, 나대지 토양의 유기물 함량은 2.65 g kg^{-1} 이었다. 토양 염에 대한 식물의 제염효과는 Sesbania>Barnyard grass>Atriplex과 Limonium의 순이었다. 토양 유기물의 식물생육 증대효과는 Barnyard grass>Sesbania>Atriplex>Limonium의 순이었다. 포장시험 결과 Sesbania는 토양 염을 감소시키고, 토양 유기물을 증가시키는데 있어 상대적으로 효과가 컸다. 또한 Sesbania는 두과식물로 체내에 함유된 질소 함량이 높아 토양 비옥도를 증가시킬 수 있고 토양 물리성 개선에도 좋아, 향후 내염 녹비작물로

Table 6. Growth evaluation of different varieties in reclaimed soil.

Varieties	10 days after transplanting	30 days after transplanting	50 days after transplanting
Amaranthus	++++	+	-
Kenaf	++	-	-
Sudan grass	+++	-	-
Rumex	-	++	-
Tall Fescue	+++	+	-
Ryegrass	+++	-	-
Limonium	-	+++	+++
Alfalfa	+++	-	-
Atriplex	-	++++	++++
Sesbania	+++	+++	+++
Barnyard grass	+++	+++	++++
Pokkali(Rice)	+++	+	-
FL478(Rice)	++++	++	-
Bermuda grass	-	-	+

++++ Grew well, ++ Half dead, + A few survival, - Nothing

Table 7. Soil chemical properties on plant cultivation in reclaimed field.

Item	Non cultivation	Barnyard grass	Sesbania	Atriplex	Limonium
Salt(%)	0.9~1.3	0.69	0.54	0.88	0.89
pH	7.1	6.99	6.94	7.07	6.8
OM(g kg ⁻¹)	2.7	4.60	4.10	2.81	2.75

활용할 수 있을 것으로 기대된다. Zhao et al.(1995)의 보고에 의하면 세스바니아는 토양공극 및 수리전도도를 좋게 하는 등 토양물리성 개선 효과가 있고 유기물함량 증대, 총질소농도 증대, 용적밀도 감소, 토양입단화 증대 및 포화수리전도도를 증대시켜 토양개량에 효과가 있다고 하였다.

Table 8은 Barnyard grass, Sesbania, Atriplex 및 Limonium 등 4종에 대한 수확기 Biomass를 나타낸 것이다. Barnyard grass의 생체중은 1.21 kg m⁻², 건물중은 0.48 kg m⁻² 이었고, Sesbania의 생체중은 1.55 kg m⁻², 건물중은 0.68 kg m⁻²로 가장 많았다. Atriplex의 생체중은 1.04 kg m⁻², 건물중은 0.42 kg m⁻² 이었고, Limonium의 생체중은 1.04 kg m⁻², 건물중은 0.32 kg m⁻² 이었다. 초장은 Sesbania가 80~145 cm로 가장 컸다.

내염성 식물에 의한 토양개량 효과 시험 1, 2년차는 내염성식물 선발을 위하여 실내실험 및 포장시험을 병행하면서 내염성 관련 평가를 실시하였다. 시험 3년차는 토양 염농도가 4.78 dS m⁻¹인 포장에서 최종적으로 선발된 Sesbania, Barnyard grass, Atriplex 등 3종을 파종 및 이식 재배를 통하여 토양 개량성을 시험하였다. Sesbania, Barnyard grass는 생육이 양호하였으나 Atriplex는 광엽 식물로 병해충으로 인한 피해가 커 수확을 기대할 수가 없었다. 따라서, 토양 개량

을 위해 내염성 식물 선발시 병해충에 대한 평가도 중요할 것으로 생각된다. Table 9는 내염성 식물을 활용한 토양개량을 위해 Sesbania와 Barnyard grass를 재배하면서 생육 단계별로 식물체내 화학성분 변화를 나타낸 것이다. P₂O₅ 함량은 Sesbania와 Barnyard grass 모두 생육 중기에 높았으며, T-N는 생육초기에 높았다. K₂O 함량은 생육후기에 낮아지는 경향이었으나, 그 외 무기성분은 생육 단계별로 커다란 차이를 보이지 않았다.

Table 10은 Sesbania와 Barnyard grass를 재배하여 개화최성기에 녹비로 사용한 결과를 나타낸 것이다. 시험 전 토양의 pH는 7.3이었으나 Sesbania와 Barnyard grass를 재배한 토양의 pH는 6.2~7.0의 범위를 나타냈다. P₂O₅ 함량은 시험 전 62.5 g kg⁻¹이었으나 Sesbania와 Barnyard grass를 사용한 결과 각각 76.1 g kg⁻¹, 78.1 g kg⁻¹으로 증가하였다. 일반적으로 간척지 토양은 유기물 함량과 질소 함량이 낮는데 시험 전 토양의 T-N 함량은 0.9 g kg⁻¹이었지만 내염성 식물을 시용함으로써 T-N 함량이 2.4~3.4 g kg⁻¹으로 증가하였다. 유기물 함량은 내염성 식물을 시용함으로써 시험 전에 비하여 약 35% 증가하였다. Ilyas et al.(1997)은 간척지 염류토양에 석고시용과 식물(세스바니아, 알파파, 밀)재배에 의한 토양의 화학변화에 대한 연구를 수행한 결과, 석고 시용과 세스바니아를 포함한 식물 재배 후 EC 및 가용성 Na⁺,

Table 8. Biomass of 4 varieties in reclaimed soil.

Item	Barnyard grass	Sesbania	Atriplex	Limonium
Height(cm)	75~120	80~145	35~42	10~20
Fresh weight(kg m ⁻²)	1.21	1.55	1.04	1.04
Dry weight(kg m ⁻²)	0.48	0.68	0.42	0.32

Table 9. Seasonal change of chemical properties in plants.

		P ₂ O ₅	T-N	CaO	K ₂ O	MgO	Na ₂ O
		----- % -----					
Sesbania	Early stage	0.73	2.92	0.45	3.39	0.92	0.42
	Mid stage	0.92	1.81	0.31	2.87	0.44	1.19
	Late stage	0.50	0.42	0.31	2.58	0.22	0.14
Barnyard grass	Early stage	0.62	1.74	0.04	2.96	0.44	0.82
	Mid stage	1.02	1.33	0.40	2.24	0.25	0.29
	Late stage	0.73	0.41	0.13	2.47	0.40	0.45

Table 10. Change of soil chemical properties by plants application.

Item	pH	EC	P ₂ O ₅	T-N	OM	Ca	K	Mg	Na
		dS m ⁻¹	g kg ⁻¹			cmol kg ⁻¹			
Before experiment	7.3	4.8	62.5	0.9	11.3	2.5	1.1	6.1	2.0
Sesbania cultivation + application	6.3	0.9	76.1	3.4	17.3	3.6	1.9	4.8	3.1
After exp. Sesbania cultivation + non application	6.2	0.2	74.0	2.3	12.5	3.4	1.1	4.3	2.4
Barnyard cultivation + application	6.9	0.6	78.1	2.4	14.9	3.1	1.4	4.5	2.9
Barnyard cultivation + non application	7.0	0.6	59.9	1.9	13.1	3.6	1.2	4.5	3.1

Application period : Blooming stage

SAR, pH가 낮아지고 식물재배 시 토양수분의 이동 및 토양화학성이 좋아진다고 하였다. 또한 Zhao et al.(1995)은 염류토양에 Sundae salsa를 m²당 15주와 30주를 심으면, 20~30 cm 토심중 Na이 각각 4.5%, 6.7% 제거된다고 하였으며, 알팔파를 m²당 15주를 식재하면 토양중 Na이 1% 제거되고, 식물을 식재하지 않으면, Na 농도가 오히려 3.8% 증가하였다고 보고하였다.

Table 11은 Sesbania와 Barnyard grass를 재배하여 녹비로 사용한 후 토양 물리성을 나타낸 것이다. 시험 전 토양의 용적밀도는 1.42 Mg m⁻³이었으나 Sesbania와 Barnyard grass를 사용한 토양의 용적밀도는 1.39 Mg m⁻³로 다소 낮아졌다. Sesbania와 Barnyard grass를 녹비식물로 사용한 기간이 짧아 물리성 개량효과 결과는 유의성이 인정되지 않았지만 사용 2년 후에는 효과가 클것으로 생각된다. Li와 Zhu(2002)는 내염성 식물을 재배하면, 식물잔재의 축적으로 토양 유기물이 점진적으로 증가하고, 토양미생물 활동이 왕성해져 토양 물리성 및 화학성이 개선된다고 하였다. 염류 토양에 내염성식물을 2년과 3년간 재배한 결과, 0~15 cm 토층의 용적밀도는 1.73 Mg m⁻³에서 1.61 Mg m⁻³, 1.57 Mg m⁻³으로 낮아졌고, 토양공극은 4.7%와 6.2% 높아졌으며, 15~30 cm 토층에서 토양공극률은 각각 1.2%와 1.9% 증가하였다고 보고하였다.

대규모 간척사업으로 조성된 우리나라의 농업용 간척지는 농지 범용화를 위한 기반정비나 개량기술이 현재는 부진한 실정이다. 이는 제염기법을 선택하는데 있어, 대상지역별 토양의 물리적 특성과 토양내 염분의 화학적 존재양상, 제염용수량과 제염기간, 경제성 및 기타 지하수위 등을 종합적으로 고려하여 해야 하는 어려움이 있기 때문이다. 또한, 대규모 간척사업이 비교적 짧은 기간동안 동시에 이루어짐에 따라 이에 대한 체계적인 연구가 따르지 못한 이유도 들 수 있다.

간척지 토양은 주로 평탄한 평지이고, 면적이 넓어 규모화 농업용지로 적합한 조건을 구비하고 있지만, 물관리가 어렵고 토양 중 염분함량이 높아 불리한 조건도 있다(Lado and Benhur, 2004). 또한, 간척지는 토양의 구조가 발달되지 않아 투수성과 통기성이 나쁘고 지력이 약하기 때문에 간척 후 시간이 지나 제염이 이루어진 곳에는 경작층 아래 토양층이 굳어지기 쉽다. 간척지에서 다양한 작물을 생산하고, 그 생산성을 향상시키기 위해서는 이런 불리한 조건을 고도의 농업기술로 해결해야 한다(Yan et. al, 1991; Wang et. al., 2000). 무엇보다 간척지를 다양한 농업용지로 사용하기 위해서는 농지 범용화를 위한 기반정비가 필요하다. 간척지를 친환경적인 방법으로 제염할 수 있는 기반을 조성하고, 다각적 측면에서 토양 개량연구를 수행하여야 한다.

Table 11. Change of soil physical properties by plants application.

Item	Bulk density	Solid phase	Liquid phase	Air phase
	Mg m ⁻³	%		
Non application	1.42	53.6	14.0	32.4
Sesbania application	1.39	52.5	29.6	18.0
Barnyard application	1.39	52.4	34.6	13.0

적 요

본 연구는 간척지 친환경농업 기반조성을 위하여 신간척지 토양개량을 위한 내염성 식물 활용성을 평가하고자 국내외에서 내염성 식물 18종을 수집하여 시험을 수행하였다. 신간척지 토양에서 파종된 식물의 출현율은 FL478(벼) > Barnyard grass > Pokkali > Atriplex > Sesbania > Rumex > Alfalfa > Tall Fescue > Ryegrass > Sudan grass의 순이었다. 신간척지 토양에서 생육후기까지 생육이 가능한 식물은 Limonium, Atriplex, Barnyard grass 및 Sesbania 등 4종이었다. Barnyard grass의 생체중은 1.21 kg m^{-2} , 건물중은 0.48 kg m^{-2} 이었다. Sesbania의 생체중은 1.55 kg m^{-2} , 건물중은 0.68 kg m^{-2} 로 가장 많았으며, Atriplex의 생체중은 1.04 kg m^{-2} , 건물중은 0.42 kg m^{-2} 이었다. 그리고 Limonium의 생체중은 1.04 kg m^{-2} , 건물중은 0.32 kg m^{-2} 이었다. Sesbania와 Barnyard grass를 사용한 결과 인산함량은 시험전 62.5 g kg^{-1} 에 비하여 각각 76.1 g kg^{-1} , 78.1 g kg^{-1} 으로 증가하였다. 유기물함량은 시험전 토양이 2.65 g kg^{-1} 이었지만 내염성 식물을 사용함으로써 $2.81 \sim 4.60 \text{ g kg}^{-1}$ 으로 증가하였다. 녹비 사용 전 토양 용적밀도는 1.42 Mg m^{-3} 이었으나 Sesbania와 Barnyard grass를 사용한 토양의 용적밀도는 1.39 Mg m^{-3} 로 낮아졌다.

인 용 문 헌

Chen Q., Yan S., Zhang Z. and Cui S., 1989. The pedological significance of fish crop rotation for soil reclamation in saline soil districts of northern Jiangsu coastal zone. *JJAC* 10:17-20.

Lee S. H., B. D. Hong, Y. An. H. M. Ro, 2003, Relation between growth condition of Six upland-crops and soil salinity in reclaimed land. *J. of Korean Sci. of Soil Sci. Fer.* 36:66-71.

Lee S. H., S. H. Yoo, S. I. Seol, Y. An, Y. S. Jung, S. M. Lee. 2000,

Assessment of salt damage or upland-crops in dae-ho reclaimed soil., *Kor. J. Environ. Agri.* 19: 358-363.

Lee S. H., Y. An, S. H. Yoo, S. M. Lee. 2000, Changes in early stage vegetation succession as affected by desalinization process in dae-ho reclaimed land, *Kor. J. Environ. Agri.* 19:364-369.

Lee K. B., M. G. Xu, J. D. Kim, K. Y. Jung. 2006, Soil characteristics and utilization on reclaimed land in Jangsu province coastal region of China. *Soc. of Int. Agri.* 18: 245-252.

Li P. and Zhu Z.. 2002. Ecological and economic efficiency ultistage utilization technique of *phragmites communis* residue. *Chinese urnal of ecology.* 21:35-37.

Liu Z. and Pan C.. 1999. Selection of high quality salt resistance opulous. *Liaoning forest science and technology.* 5:60-61.

Lado M., A. Paz, and M. Ben-Hur. 2004. Organic matter and aggregate-size nteractions in saturated hydraulic conductivity *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68:234-242.

Ilyas M., R. H. Qureshi, and M.A. Qadir. 1997. Chemical changes in a saline-sodic soil after gypsum application and cropping. *Soil Technology.* 10:247-260.

National Institute of Agricultural Science and Technology(NIAST). 1987. Chemical analysis of soil and plant. ROK: Rural Development Administration.

SSSA. 1996. Methods of soil analysis. Part 3 chemical methods.

Wang C., Zhang X. and Pan Y.. 2000. Salt resistance drought tolerance high quality hybrid corn-Ludan 850. *Shandong agricultural science.* 3:47-50.

Yan S., Chang Z. and Guo J.. 1991. Study on the fresh water fish culture to improve soil productivity of reclaimed tidal land. *Journal of Jiangsu Agricultural Sciences.* 3: 37-38.

Zhao K. et al. 1995. Halophytes in China. In *biology of salt tolerance plants* ed. MA Khan and LA Ungar Michigan USA, 284-393.

Zhao K. and Li F. 1999. *China halophytes plants.* Beijing Science press, 11.

Zhou C., Wang K. and Wang M.. 2002. Preliminary report non the cultivation techniques of Suaeda gluca Bge on coastal saline soil. *Jiangsu Agricultural Sciences.* 165-67.