

# 담수조건에 따른 염류-나트륨성 토양의 제염 효과

## Desalinization Effect of Saline-sodic Soils according to Water Ponding Condition

이 승 현\*      김 경 만\*\*      안 열\*\*\*  
Lee, Seung Heon · Kim, Kyung Man · An, Yeoul

### Abstract

This study was carried out to obtain the desalinization effect of saline-sodic soils as water ponding condition. Three soils with different salinity were collected and packed at 1/5000a pot. With artificial 1,000 mg/L water made of sea salt, three cases were examined; addition irrigation water without water refreshment, refreshment of irrigation water with seven-day periods, and refreshment of irrigation water with three/four-day periods. The result of drained water analysis was that water salinity increased as increasing refresh periods. In general, Ca and Mg ions of drained water were less soluble than Na ions, so SAR values were decreased. The results of soil analysis after experiment were similar to water analysis. It was concluded that the time reaching the limiting salinity was different as the soil salinity so it is necessary to determine a refresh time as soil conditions.

### 1. 서론

우리 나라의 서·남해안에 분포된 간척지는 수력에 의하여 운반된 모재가 해안 평탄지에 축적되거나, 조수에 의해 해안이 침식되어 풍화된 모재가 해안을 따라 축적되어 형성되었다. 이들 간척지는 조석 간만의 차이가 큰 리아스식 만, 석호, 해안 사구의 배후지 등으로 해저 경사가 비교적 완만한 해안에 잘 형성되어 있는 퇴적

지형에 위치한다. 이러한 특징 때문에 간척지는 해안선이 매우 복잡하고, 평탄하며, 만입을 이루고 있다. 따라서 이들 간척지는 만입된 지형과 섬을 연결하여 제방을 쌓기 쉬워 간척지로 개발하기 좋은 조건을 갖추고 있다(농어촌진흥공사, 1998).

전반적으로 토지 수요가 증가하는 한편, 농경지는 산업화 및 도시화에 따른 타용도 전용 등으로 급속히 감소되고 있는 추세에서 우리 나라의

\*농업기반공사 농어촌연구원(shyi@karico.co.kr)  
\*\*농업기반공사 농어촌연구원(kkm6763karico.co.kr)  
\*\*\*농업기반공사 농어촌연구원(an10@karico.co.kr)

키워드 : 염류나트륨성 토양, 토양염류도, 제염, 환수, SAR

간척사업은 토지를 확장하는 방법으로 매우 중요한 위치를 차지하고 있으며 간척지 개발에 의한 농경지의 외연적 확대로 식량의 자급률을 높일 수 있고 산업화 도시화로 인하여 급증하는 토지수요를 어느 정도 충족시킬 수 있다(구 등, 1998; 신과 김, 1999).

이러한 이유로 우리 나라의 간척 사업은 고려시대 이후 지속적으로 이루어져 왔으며, 우리 나라의 간척사업은 2002년말 기준 대상면적 158천ha 중 77천ha는 준공되었고 60천ha는 진행중에 있으며 개발 예정지는 21천ha이다.

(이와 안, 2003)

간척지는 해안을 저지대에 제방을 축조하여 조성된 농경지이기 때문에, 태생적으로 염류가 과다하여, 지속적으로 염해가 일어날 가능성이 있다. 토양 중 과다한 염류집적은 작물에 위해뿐만 아니라 삼투압을 증가시켜 수분이나 양분의 흡수 작용을 방해하고 토양입단을 분산시켜 불투과층이나 표토 피막을 형성함으로써 공기와 물의 유통을 억제하고 발아를 억제하기도 한다(조 등, 1992).

우리 나라 간척지 토양의 특성은 일반적으로 토양구조가 발달되어 있지 않은 고염분 알칼리성 토양으로서 주로 토양이 나트륨이온으로 포화되어 있어 토양 입자의 분산성이 커서 토양 입단화가 저해되고 투수가 불량하여 제염이 저해된다고 알려져 있다. 우리 나라 간척지 토양은 ESP(Exchangeable Sodium percentage)가 15% 이상이며, ECE<sub>s</sub>(Electrical Conductivity in soil saturated paste extract)는 4dS/m 이상으로서 염해토양 분류에서 염류나트륨성 토양으로 분류된다(황 등, 1989; 류 2000; USSL Staff, 1954). 따라서, 간척지에서 토양 중 염분을 제거하고자 하는 이화학적 연구가 진행되어 왔으며 대표적인 물리적 방법으로는 명암거배수법이

있으며, 화학적 방법으로는 석회물질이나 유기물 처리 등의 토양개량재를 처리하는 방법 등이 있다(농촌진흥청 호남농업시험장, 2002). 그러나 물리적인 개량 방법은 현장에 시공하여 적용하기에는 비용 측면의 문제가 발생하고 화학적인 개량의 경우 추가적인 염투여라는 문제가 발생한다.

본 연구는 우리 나라 간척지 토양의 이화학적 특성을 가진 염류-나트륨성 토양에 대하여 가장 간단하고 경제적 방법인 환수를 통한 제염의 효과를 규명하기 위해, 환수주기와 방법을 달리한 담수조건에 따른 제염효과를 검토하였다.

## II. 재료 및 방법

시험에 사용한 토양은 충청남도 당진군 소재 대호 간척지내 농업기반공사 간척지 연구시험포장에서 채취하여 이용하였다. 토성은 우리 나라 간척지에서 흔히 볼 수 있는 미사질 양토였고 염분농도는 현장 염류측정도계(model PET 2000, USA)로 토양염류도를 측정하여 고농도(H), 중농도(M), 저농도(L)로 구분하여 채취하였으며, 각각의 염분농도(ECE<sub>s</sub>)는 각각 H = 90.7, M=44.7, L=19.4 dS/m 이었다.

담수조건은, 일주일 간격으로 증발되고 남은 상태에서 환수없이 관개수만을 추가해 준 경우(A)와 일주일 간격으로 환수한 경우(B), 그리고 3~4일 간격으로 환수한 경우(C)로 하였다. 환수에 사용한 관개수는 우리 나라 하구 간척 담수호의 평균값인 930 mg/L을 근거 Table 1.로 천일염으로 1,000 mg/L으로 조절하여 조제한 관개수로 환수제염 시험을 실시하였다.

실험 수행은 강우의 영향만을 배제하고 기타의 영향은 동일하게 하기 위하여 옥외 비닐하우스에서 측장을 개방하고 실시하였으며, 표면적

200cm<sup>2</sup>, 내측재원 159×190mm의 1/5000a포트를 이용하여 토양 2.5kg을 각각의 포트에 충전하여 준비하였고, 초기 담수심은 7cm로 하였다. 따라서 1회 완전 환수에 의해 관개되는 양은 1,400cm<sup>3</sup>이고 배수되는 양은 증발량에 따라 차이가 있다. 각각의 시험구는 3반복으로 하여 총 27개(=염농도3수준 환수주기3처리 3반복)의 포트를 조제하여 시험하였다. 시험 기간은 2004년 4월 8일부터 5월 6일까지 실시하였고, 관개수만을 추가해주는 경우와 일주일 간격 환수해주는 경우는 매 목요일에, 3~4일 간격 환수하여 주는 경우에는 매 월요일과 목요일에 실시하였으며, 매 환수시점에 담수심을 측정하여, 증발된 양을 산출하였다.

시험에 사용한 토양의 이화학적 분석은 농촌진흥청 토양 및 식물체 분석법(농촌진흥청,

2000) 및 미토양학회 토양분석법(page A, L, et al, 1982)에 준하여 토양시료를 음지에서 풍건하여 2mm체를 통과하도록 분쇄하여 공시화하여 분석하였다. pH(1:5)는 물과 토양을 1:5로 침출한 후 초자전극법으로, 토양 염류도는 토양 포화추출액을 조제한 후 전기전도도법으로, 유기물 함량은 Walkley-Black법으로, 전질소는 Kjeldahl법으로, 유효인산은 Bray-1법으로, 양이온교환용량은 1N-초산암모늄법으로 분석하였으며, 수용성 양이온(Na, K, Ca, Mg)은 토양 포화침출액을 적당량 희석하여 ICP(JY 38S, France)법으로 정량하였다. 입경분석은 비중계법으로 측정하고, 토성은 미농무부 기준에 의해 판단하였다. 환수시기별로 채수한 물시료는 총량적 염분지표인 전기전도도를 현장에서 측정하였고, 염분 구성 주요성분인 양이온(Na, K, Ca, Mg)은 ICP법으로 정량하였다.

Table 1. Water quality at reclaimed reservoir in Korea

Reservoir	EC (μS/cm)	Salinity (mg/L)	Na (mmol/L)	K (mmol/L)	Ca (mmol/L)	Mg (mmol/L)	SAR (-)
Pyeng-taek	458	293	0.31	1.98	1.36	0.62	1.86
Nam-yang	1,101	705	0.78	7.62	1.08	1.91	5.05
Sap-kyo	401	257	0.21	2.06	0.89	0.65	2.12
Dar-ho	913	584	0.35	5.16	0.94	1.39	4.56
Kan-wol	1,699	1,087	0.59	11.96	1.18	2.81	7.23
Pu-nam	5,208	3,218	1.36	35.84	2.14	8.28	14.15
Yeong-san	574	368	0.24	2.93	0.88	0.85	2.90
Average	1,454	930	0.55	9.65	1.21	2.36	5.41

\* 농림부 · 농업기반공사, 2000, 농업용수수질측정망조사보고서(연도별수질성적)

Table 2. Soil texture of used experiment soil

Soil	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Texture
Soil-L	31.0	65.0	4.0	SiL
Soil-M	30.0	65.0	5.0	SiL
Soil-H	31.0	62.0	7.0	SiL

Table 3. Chemical properties of used experiment soil

Soil	pH (-)	OM (%)	TN (%)	Ava.-P2O5 (mg/kg)	CEC (cmolc/kg)	Soluble cations(mmolc/L)				ECe (dS/m)	SAR (-)
						K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>		
Soil-L	7.5	0.09	0.082	203.25	8.95	5.68	95.28	35.73	48.17	19.14	14.71
Soil-M	7.3	0.76	0.056	118.77	8.40	9.05	364.58	46.51	190.01	44.70	33.53
Soil-H	7.2	0.46	0.100	65.27	7.15	23.12	839.43	33.83	557.54	90.70	48.82

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 담수조건에 따른 표면수의 염류도 변화

담수조건을 달리하여 나타난 시험결과는 그림 1~그림 3과 같다. 저농도 토양(L)에서 환수없이 7일 간격으로 관개수만 보충한 경우(A)와 7일 간격으로 환수한 경우(B), 3일내지 4일 간격으로 환수한 경우(C)를 비교하면 환수없이 관개수만을 보충한 경우는 지속적으로 담수된 물의 염류도가 상승하여 28일 후에는 초기 관개수 농도의 5배인 0.5%이상 상승하였으며, 7일 간격으로 환수한 경우는 약 3배 정도의 농도인 0.3%를 반복하였다. 3일내지 4일 간격으로 환수한 경우는

2배 정도인 0.2% 정도를 반복함을 알 수 있다(그림 1). 중농도 토양 그림 2, 고농도 토양 그림 3에서도 농도차이는 있으나 동일한 양상을 보였다.

벼가 자랄 수 있는 한계염분 농도는 0.3%를 기준으로 평가할 때 고농도 토양(H)의 경우 환수주기가 3~4일(C)과 같이 짧은 경우에도 관개수 농도 0.1%의 3배인 0.3%에 도달하였고, 저농도 토양(L)의 경우 환수주기가 7일(B)인 경우 관개수 농도의 3배인 0.3%에 도달하였다. 따라서 토양의 염농도에 따라서 환수주기도 각각 다르게 설정되어야 하며, 담수 후 지속적인 모니터링을 통해 적정 환수시점을 설정할 필요가 있음을 알 수 있다.

하지만 그림 1에서 그림 3까지 나타난 결과는 토양으로부터 용출된 염뿐만 아니라 증발에 의한

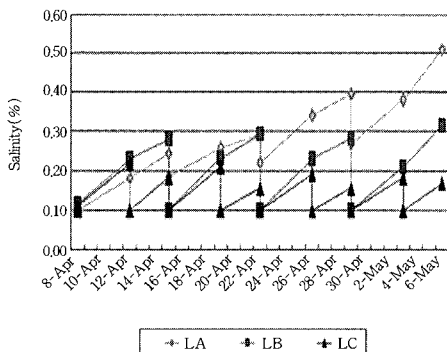


Fig. 1. Salinity changes of the low saline soil

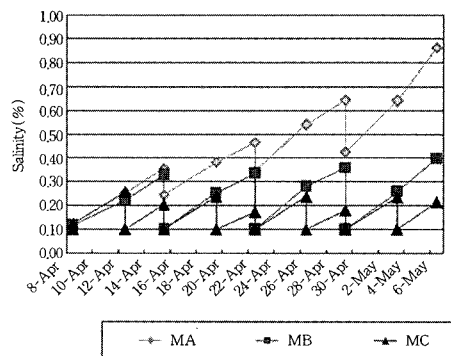


Fig. 2. Salinity changes of the medium saline soil

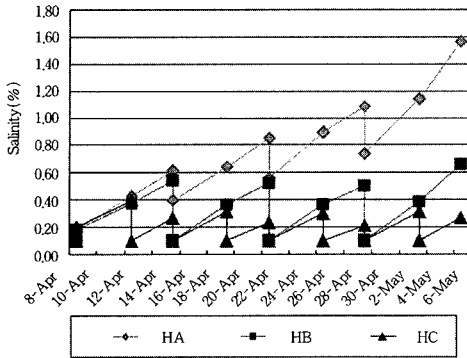


Fig. 3. Salinity changes of the high saline soil

단순 농축현상도 포함되어 있기 때문에 정확한 제염정도를 알기 위해서는 증발에 의한 농축정도를 제외한 수순한 제염량을 산출해야 할 필요가 있다.

### 2. 증발량을 고려한 담수조건에 따른 표면수의 염류도 변화

기상조건에 따라 증발된 양은 매번 상이하였으나, 시험기간 평균 7mm/day 였으며, 증발에 의한 농축현상을 배제하고 용수에 의한 제염정도를 파악하고자, 수질측정과 동시에 측정한 개별 포트의 담수심 자료를 근거로 증발에 따른 농축정도를 배제한 경우, 즉 증발이 일어나지 않는 조건에서의 수질의 염류도를 환산한 결과는 그림 4~그림 6과 같다.

결과에 의하면 저농도 토양(L)에서 7일 간격으로 환수한 경우(B)와 3일내지 4일 간격으로 환수한 경우(C)는 실제 제염은 일어나지 않고 관개수의 농축 및 배수 현상만 반복되었음을 알 수 있다. 중농도 토양(M)에서는 7일 간격으로 환수한 경우(B)에서 0.1% 이상의 염류도를 보여 제염의 효과가 있음을 알 수 있다. 또한 3일 내지 4일 간격으로 환수한 경우(C)는 저농도 토양의

경우와 동일한 관개수의 농축 및 배수 현상만 반복되었음을 알 수 있다. 고농도 토양(H)에서는 7일 간격으로 환수한 경우(B), 3일내지 4일 간격으로 환수한 경우(C) 모두 제염의 효과를 기대할 수 있는 0.1% 이상의 농도를 유지하고 있었다.

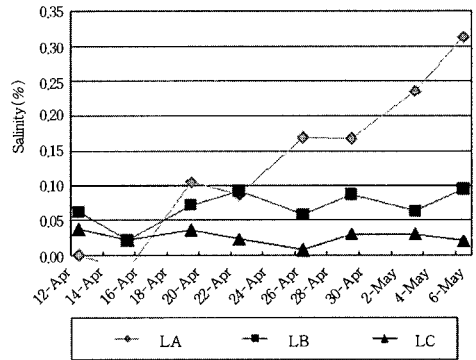


Fig. 4. Estimated salinity changes of the low saline soil

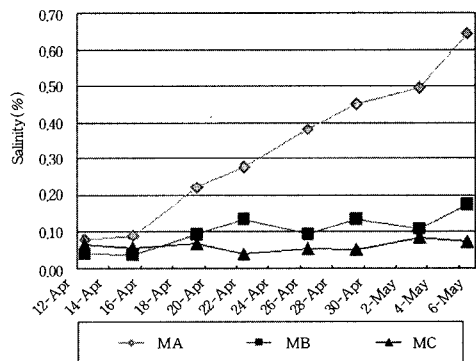


Fig. 5. Estimated salinity changes of the medium saline soil

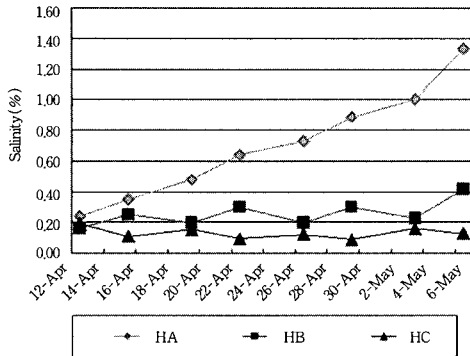


Fig. 6. Estimated salinity changes of the high saline soil

### 3. 답수조건에 따른 표면수의 염류도 및 주요 양이온 조성 변화

수질이나 토양의 염류도를 전기전도도나 퍼센트(%) 농도로 표시하는 것은 총염류량을 측정하는 것으로 염을 구성하는 실제 이온의 조성은 변화될 수가 있다. Table 4는 환수시기마다 수집한 표면수의 염류도와 주요 양이온(Na, K,

Ca, Mg)의 농도를 측정된 결과이며 문제가 되는 나트륨의 비율을 나타내는 지표인 SAR을 식 (1)과 같이 산출하였다.

$$SAR = \frac{[Na]}{\sqrt{\frac{[Ca]+[Mg]}{2}}} \quad (1)$$

단, [ ]의 단위는 mmol/L 임.

환수없이 7일 간격으로 관개수만 보충한 경우(A)는 시험 종료후 1회 측정된 값이며, 7일 간격으로 환수한 경우(B)는 총 4회 측정된 값의 평균 값이며, 3일내지 4일 간격으로 환수한 경우(C)는 총 8회 측정된 값의 평균값이다.

환수간격에 따라 환수시 배수되는 수질의 염류도는 환수 간격이 길수록 높았고, 특히 SAR 값이 점점 더 높아지는 것은 Ca나 Mg와 같은 2가 이온보다 1가인 Na 이온이 더 잘 용출됨을 알 수 있다. 또한 토양의 염류도와 상관없이

Table 4. Water salinity, soluble cations and SAR after experiment

Soil	Treatment	Salinity (%)	Soluble cations(mmol/L)				SAR (-)
			K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	
Irrigation water		0.10	0.10	11.09	0.96	1.50	10.01
Soil-L	A*	0.051	2.16	61.41	8.17	10.43	20.14
	B**	0.29	1.11	31.67	4.47	5.48	14.20
	C**	0.17	0.55	20.45	2.10	2.58	13.36
Soil-M	A	0.80	3.18	145.13	12.20	30.93	31.25
	B	0.35	0.78	38.97	3.25	7.58	16.73
	C	0.20	0.55	23.61	2.11	3.80	13.69
Soil-H	A	1.40	3.99	165.75	9.33	52.62	29.78
	B	0.54	1.57	81.43	3.61	16.31	19.25
	C	0.27	0.74	30.42	1.85	7.26	14.34

\* addition irrigation water without refreshment  
 \*\* refresh irrigation water with seven-day periods  
 \*\*\* refresh irrigation water with three/four-day periods

모두 동일한 양상을 보이고 있다.

앞서 검토한, 단순히 수질의 농도만을 검토한 그림 1에서 그림 3의 결과와 증발에 의한 농축을 배제한 그림 4에서 그림 6의 결과를 종합하면 저농도 토양에서의 환수는 환수간격을 7일 정도하여도 총염류의 제염효과는 없으나 염류 조성의 변화는 가져오고, 고농도 토양에서는 저농도 토양에서보다 환수에 따라 총 염류의 제염 효과와 염류조성의 변화가 동시에 일어남을 알 수 있다.

#### 4. 담수조건에 따른 토양 염류도 및 주요 양이온 조성 변화

담수조건에 따른 토양의 제염효과를 검토하기 위하여 환수 주기를 달리하여 시험한 결과는 Table 5와 같다. 본 시험에서 설정한 방법으로

4주간 시험하였을 경우, 처리방법에 따라 약간의 제염효과는 있지만 토양의 염류도와 SAR 값으로 판단하였을 때 모든 토양이 염류-나트륨성 토양의 성질을 그대로 유지하였다. 토양의 염류도와 주요 양이온을 분석한 결과 본 실험에서 실시한 방법으로는 저농도 토양의 경우는 토양의 염류도를 저하시킬 수 없었고, 고농도 토양에서 약간의 제염효과가 있었다. 그러나 전기전도도로 표현되는 총 염류도 지표로 나타나는 제염효과보다는, 고농도 토양에서는 양이온 조성비율의 지표인 SAR값으로 보아 토양 물리성을 악화시키는 Na의 비율이 줄고 상대적으로 Ca와 Mg의 비율이 증가하는 긍정적 효과가 더 크게 나타났다. 그러나 결과의 신뢰성을 확보하기 위해서는 장기적인 모니터링과 투수력 등의 토양 물리성 지표를 동시에 측정여야 할 필요가 있다.

Table 5. Soil salinity, soluble cations and SAR after experiment

Soil	Treatment	ECe (dS/m)	Soluble cations(mmol/L)				SAR (-)
			K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	
Soil-L	A*	25.47	6.17	138.83	41.55	54.45	20.06
	B**	20.55	6.16	114.11	36.11	47.28	17.67
	C**	18.27	5.19	98.61	30.88	41.87	16.34
Soil-M	A	45.80	5.84	284.35	44.24	139.77	29.52
	B	43.80	5.49	273.75	47.70	141.60	28.12
	C	42.07	4.76	243.86	43.81	130.56	26.09
Soil-H	A	82.13	14.27	663.68	37.66	397.61	44.99
	B	77.53	13.06	608.24	34.00	364.86	43.08
	C	64.13	9.87	471.74	24.28	290.20	37.68

\* addition irrigation water without refreshment

\*\* refresh irrigation water with seven-day periods

\*\*\* refresh irrigation water with three/four-day periods

## IV. 결 론

우리 나라 간척지 토양의 이화학적 특성을 가진 염류-나트륨성 토양에 대하여 가장 간단하고 경제적 방법인 환수를 통한 제염의 효과를 규명하기 위해, 환수주기와 방법을 달리하여 그 제염효과를 검토하였다.

환수주기에 따라 환수시 배수되는 수질 조사 결과 염류도는 환수간격이 길수록 높았고, Ca나 Mg와 같은 2가 이온보다 1가인 Na 이온이 더 잘 용출되어 결과적으로 SAR 값은 원수보다 더 높아졌다.

처리 후 분석한 토양시험 결과, 단순제염효과를 판단할 수 있는 토양 전기전도도는 초기 토양염류도에 따라 상이한 결과를 보였고, 고농도 토양에서는 양이온조성비율의 지표인 SAR값이 감소하였다. 따라서 환수가 토양 물리성을 악화시키는 Na의 비율을 줄이고 상대적으로 Ca와 Mg의 비율을 증가시킬 수 있기 때문에 토양 이화학적 개선에 긍정적인 작용을 할 수 있을 것으로 판단된다.

벼가 자랄 수 있는 한계염분농도는 0.3%를 기준으로 평가할 때 토양 염류도에 따라 한계농도에 도달하는 기간이 상이하므로 토양 염류도에 따라서 환수주기도 각각 다르게 설정되어야 할 것이며, 담수 후 지속적인 모니터링을 통해 적정 환수시점을 설정할 필요가 있다고 판단된다.

## 참고문헌

1. 구자용, 최진규, 손재권, 1998, 우리 나라 서해안 간척지 및 간척지 토양의 이화학적 특성, 한국토양비료학회지 31(2), pp.120-127.
2. 농림부·농업기반공사, 2000, 2000 농업용수수질 측정망조사 보고서(연도별수질성적)편
3. 농어촌진흥공사, 1998, 간척지 제염방법 개선에 의한 발작물 재배기술 개발에 관한 연구, pp.26-27.
4. 농촌진흥청 호남농업시험장, 2002, 한국의 간척지 농업, 과학원예, pp.129-228.
5. 농촌진흥청, 2000, 토양 및 식물체 분석법, 삼미기획.
6. 류순호, 2000, 전기전도도: 토양사전, 서울대출판부, p.241.
7. 신제성, 김이열, 1999, 식량 최대 생산을 위한 토양 자원이용, 한국 육종학회 작물학회 토양비료학회 공동 심포지움 자료-식량위기 우리의 나아갈 길, pp.145-167.
8. 이승현, 안열, 2003, 우리 나라 간척 현황과 향후 과제, 간척지연구(1), pp.20-31.
9. 조영길, 조인상, 엄기태, 1992, 신간척지에서 근권의 염농도 저하 방법이 토양특성과 작물생육에 미치는 영향, 한국토양비료학회지 25(2), pp.127-132.
10. 황선웅, 류인수, 박준규, 1989, 간척지 토양에서 벧짚과 석고시용이 토양의 화학적 성질 및 벼 생육에 미치는 영향, 농시논문집(토양비료편) 31(1), pp.37-50.
11. Page A, L, et al, 1982, Method of soil analysis, Part 2: Chemical and microbiological properties, ASA and SSSA, Madison, Wisconsin.
12. USSL Staff, 1954, Diagnosis and improvement of saline and alkali soils, USDA, Agri, Handbook No60, pp.1-6.

본 연구는 2003년도 농림기술개발사업에 의하여 수행된 연구결과의 일부임.