

## 간척지 벼 재배시 토양 및 관개수 염의 안전 한계농도

최원영\*† · 이규성\* · 고종철\* · 최송열\*\* · 최돈향\*\*

\*농촌진흥청 호남농업시험장 계화도출장소, \*\*농촌진흥청 호남농업시험장

### Critical Saline Concentration of Soil and Water for Rice Cultivation on a Reclaimed Saline Soil

Weon-Young Choi\*†, Kyu-Seong Lee\*, Jong-Cheol Ko\*, Song-Yeol Choi\*, and Don-Hyang Choi\*\*

\*Kyeohwado Substation, National Honam Agricultural Experiment Station, RDA, #2391 Changbuk-li Kyeohwa-Myeon, Buan 579-824, Korea

\*\*National Honam Agricultural Experiment Station, RDA, Iksan 570-080, Korea

**ABSTRACT :** Reclaimed tidal areas for rice cultivation are irrigated with salt mixed water when there is severe drought. Therefore, we identified the critical concentration of saline water for rice growth on a reclaimed saline soil in Korea. The experiment was conducted at the Kyeohwado substation of the National Honam Agricultural Experiment Station (NHAES) during 2001-2002. Two experimental fields with 0.1-0.2% for low soil salinity and 0.3-0.4% for medium soil salinity levels were used. The experiment involved four levels of salt solution mixed with sea water (at 0.1, 0.3, 0.5, 0.7%) compared with a control using tap water in a split-plot design with three replicates. Saline solution was applied only two times at seedling stage (10 DAT and 25 DAT) for 5 days. Gyeohwabyeo and dongjinbyeo, japonica rice varieties, were used in this experiment. Plant height and number of tillers sharply decreased in the 0.5% saline water in low soil salinity level and 0.1% in medium soil salinity level. For yield components, panicle number per unit area and percentage of ripened grain dramatically decreased in the 0.5% saline water in low soil salinity and 0.1% in medium soil salinity level. But 1,000-grain weight of brown rice decreased sharply in the 0.5% saline water in low soil salinity and 0.3% in medium soil salinity, indicating that this component was not much affected unlike other yield components. Milled rice yield decreased significantly with saline water level in both low and medium soil salinity. In the 0.7% low saline soil, the yield index was only 36% compared with the control. In medium soil salinity, even the control plot showed only 62% yield index compared with the control in the low soil salinity treatment. Results indicated that the critical concentration of saline water for rice growth in terms of economical income of rice production was 0.5% in low soil salinity and tap water in medium soil salinity.

**Keywords:** rice, reclaimed saline soil, saline water, yield

우리 나라는 1970년대 이후 산업화와 도시화가 급속하게 진행되어 농경지 면적이 해마다 줄어들고 있는 실정이다. 이에 간척지는 경지면적을 확보하는데 중요한 자원으로 현재 우리나라 간척지 면적은 약 76천ha로써 이중 약 85% 정도가 남서해안에 분포되어 있으며, 앞으로 2011년까지 약 157천ha까지 조성될 계획이어서(농업기반공사, 1999) 간척지는 농산물을 생산하여 안정적으로 공급하는데 중요한 부분을 차지하게 될 것으로 보여진다. 따라서 새만금 간척지 등 신간척지가 농경지로 조성될 때를 대비하여 간척지의 조기 숙답화 및 재배기술 축적이 필요한 실정이다.

벼 생육의 NaCl 한계 농도는 0.3% 내외로 알려져 있는데(Pearson & Bernstein, 1959), 일반적으로 신간척지 토양은 가용성 염류와 치환성 나트륨이 과다하게 함유되어 있기 때문에 염분농도가 대단히 높다(구 등, 1998). 또한 간척지 토양은 저지대로써 지하수위가 높고 수직배수가 불량하여 토양 물리성의 악화로 해수의 주성분인 Na염을 다량 함유하고 있어 작물 생육에 피해를 주고 있는데, 많은 연구자들(Kaddah, 1963; Pearson & Bernstein, 1959)의 보고에 의하면 벼 생육시기별 염해반응은 현저히 차이가 나는데, 발아기와 수잉기에는 강하고 분얼기, 활착기, 유수형성기, 출수기 순으로 약하다고 보고(어 등, 1982; 이, 1989)되었으며, 분얼기에 가장 피해가 심한 원인은 경수 확보가 어렵기 때문이다. 또한 염해는 물 부족에 의한 뿌리 활력저하로 지상부 건물중이 감소하는 단기적인 영향과 옆에 염이 축적되어 광합성이 감소됨으로써 생육과 수량이 감소하는 장기적인 영향이 있다(Munns & Termaat, 1986).

따라서 본 연구는 호남 남서해안 간척지에서 간척지 토양 및 관개수 염농도별 벼 생육특성을 구명함으로써 계화도 간척지 및 신간척지 유사지역에 대한 현지적용의 기초자료로 활용하기 위한 결과를 얻었기에 보고하고자 한다.

†Corresponding author: (Phone) +82-63-582-1281

(E-mail) choiwy@rda.go.kr

<Received March 25, 2003>

## 재료 및 방법

본 시험은 2001년부터 2002년까지 2년에 걸쳐 호남농업시험장 계화도출장소 벼 시험포장인 세사양토(문포동)에서 간척지 토양 및 관개수 염의 안전 한계농도를 구명하고자 계화벼와 동진벼를 공시하여 수행하였다.

시험구배치는 토양 염농도를 주구로 하고 관개수 염농도를 세구로 하였는데, 주구인 토양 염농도를 저염 정도인 0.1~0.2% 토양과 중염 정도인 0.3~0.4% 토양으로 하였고, 세구인 관개수 염농도는 민물(무처리), 0.1%, 0.3%, 0.5%, 0.7% 등의 5처리를 두고 시험을 수행하였다. 관개수 염농도 조절은 바닷물을 이용하여 조절하였으며, 관개수 염 처리시키는 분얼기인 이앙 후 10일과 25일 2회에 걸쳐서 각각 5일간씩 처리하였다.

주요 재배법을 보면 4월 30일에 파종하여 30일간 육묘한 후 30×12 cm 간격으로 주당 5본씩 5월 30일에 손이앙 하였으며, 비료는 10a당 N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O를 20-5.1-5.7 kg 사용하였는데 질소는 기비:분얼비:최고분얼기:수비:실비로 30:20:20:20:10%씩 분시하였으며, 인산은 전량기비, 칼리는 기비:수비로 70:30%씩 분시하였다. 물관리는 염수처리 기간에는 담수상태로 유지하였고 처리기간 이외에는 2~3일 간격으로 환수 관리하였으며, 기타 관리는 계화도 표준재배법에 준하였다.

토양화학성 분석은 시료를 채토하여 토양화학분석법(농기연, 1988)에 따라 분석하였고, 시비효율은(질소 시용구 수량-질소 무시용구 수량)/질소시용량으로 산출하였다. 완전미는 미질관정기(RN-500, Kett, Japan)로 분석하였고, 단백질과 아밀로스 분석은 성분분석기(AN-700, Kett, Japan)로 분석하였으며, 식미는 취만한 쌀을 근적외선(NIR)으로 측정하는 토요식미계(MA-30A, TOYO, Japan)로 측정하였고, 기타 생육 및 수량조사 등은 농촌진흥청 농사시험연구 조사기준(농진청, 1995)에 따랐다.

## 결과 및 고찰

### 시험전·후 토양 염농도별 토양 화학성의 변화

시험전·후 토양 염농도별 화학성을 보면 pH와 염농도는 토양 염농도에 관계없이 크게 변하지 않았으며, 인산함량은 저

농도에서는 별 차이가 없었으나 중농도에서는 크게 낮아졌다. 양이온함량은 토양 염농도에 관계없이 시험전에 비하여 시험후가 낮아졌다(표 1).

### 유수형성기 벼 생육

토양 및 관개수 염농도별 유수형성기 벼 생육을 보면(표 2), 초장은 저염 토양(0.1~0.2%)에서 민물 관개수(무처리)와 0.1% 관개수 간에는 차이가 없었으나 0.3% 이상에서는 관개수 염농도가 높을수록 짧아졌으며, 특히 0.7%에서는 초장이 극히 짧아졌고, 중염 토양(0.3~0.4%)에서는 관개수 0.3%까지는 어느 정도 생육이 가능하였으나 0.5% 이후에서는 모두 고사되었다. 토양 염농도간에는 저염 토양에 비하여 중염 토양에서 30% 정도 단축되었는데 관개수 염농도가 높을수록 단축율은 더 컸다.

단위면적당 경수도 같은 경향으로 저염 토양에서는 관개수 염농도가 민물 관개(무처리)와 0.1% 관개간에는 차이가 없었고, 그 이후는 농도가 높을수록 적었으며, 중염 토양에서도 같은 경향으로 관개수 염농도가 높을수록 감소율이 더 컸으며, 토양 염농도간에는 저염 토양에 비하여 중염 토양에서 40% 정

**Table 2.** Plant height and tiller number at 25 days after two times saline water treatment.

Soil salinity	Treatment		Tiller number	
	Salt solution (%)	Plant height (cm)	No./hill	No./m <sup>2</sup>
Low (0.1~0.2%)	Control	75	17.0	472.6
	0.1	75	17.0	472.6
	0.3	73	16.6	461.5
	0.5	69	14.3	397.5
	0.7	27	7.5	208.5
	Mean	64	14.5	402.5
Medium (0.3~0.4%)	Control	63	12.0	333.6
	0.1	52	9.9	275.2
	0.3	21	4.3	119.5
	0.5	DP	DP	DP
	0.7	DP	DP	DP
	Mean	45	8.7	242.8

\*DP : Dead plant by salt injury.

**Table 1.** Chemical properties of soil before and after experiment, Kye-hwa Substation, 2001~2002.

Soil salinity	Treatment	pH (1:5)	Salinity (%)	Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	Ex. Cation (cmol <sup>+</sup> kg <sup>-1</sup> )			
					Ca	Mg	K	Na
Low (0.1~0.2%)	Before	6.7	0.16	95	3.56	3.10	0.61	3.00
	After	6.6	0.19	99	3.53	2.90	0.57	2.57
Medium (0.3~0.4%)	Before	7.2	0.38	200	3.38	5.83	1.13	11.04
	After	7.3	0.37	126	2.23	3.92	0.93	8.18

도 감소되었는데 관개수 염농도가 높을수록 감소율은 더 컸다.

**출수기, 간장 및 수수**

토양 및 관개수 염농도별 출수기, 간장, 수장 및 수수는 표 3과 같다. 염수처리에 따른 출수기를 보면 저염 토양에서 민물관개(무처리)가 8월 17일에 출수한데 비해 0.1% 관개에서는 같았고, 0.3%는 1일, 0.5%는 2일, 0.7%는 5일이 지연되었으며, 토양 염농도간에는 중염 토양이 저염 토양에 비해 2~5일이 더 지연되었는데, 이는 염수농도의 증가에 따라 출수지연 일수가 증가하며, 고농도로 갈수록 더 큰 폭으로 지연된다는 이 등(1993)과 이 등(2002)이 보고한 내용과 비슷하였다.

이 등(1984)은 이양후 20일에 염수처리 하였을 때 간장의 단축율이 가장 크다고 보고하였는데, 본 시험의 간장은 저염 토양에서 민물관개(무처리)가 74 cm 인데 비해 0.1% 처리에서는 같았으나 0.3% 이상에서는 짧아졌는데, 특히 0.7%에서는 거의 성장하지 못했다. 중염 토양에서도 단축 정도는 같은 경향이였으며, 토양 염농도간에는 저염 토양보다 중염 토양에서 25% 정도 단축되었고, 관개수 염농도가 높을수록 단축 정도는 더욱 컸으며, 수장의 단축 정도도 같은 경향이였다.

m<sup>2</sup>당 수수는 저염 토양에서 민물 관개(무처리)가 384개에 비해 관개수 염농도가 높을수록 수수는 크게 감소되었는데, 특히 0.7%에서는 절반 이하였으며, 그 정도는 중염 토양에서 더 컸고, 토양 염농도간에는 저염 토양에 비해 중염 토양이 33% 정도 감소 되었고, 관개수 염농도가 높을수록 더욱 더 감소율이 컸다.

**수량구성요소 및 수량**

토양 및 관개수 염농도별 수량구성요소 및 수량은 표 4와

같다. 관개수 염농도가 높을수록 m<sup>2</sup> 당 립수는 적어졌는데, 토양 염농도간에는 저염 토양에 비해 중염 토양에서 39%가 감소되었으며, 관개수 염농도가 높을수록 감소율은 더 컸다. 저염 토양에서 등숙비율을 보면 관개수 0.3%까지는 90% 이상이었는데, 0.5% 이후 급격히 낮아져 0.5%에서는 60.5%, 0.7%에서는 42.8%에 불과하였다. 이는 0.3%의 염수농도까지는 등숙비율 감소정도가 약하고 그 이상 농도에서는 감소 폭이 커진다는 이 등(1993)의 보고 내용과 일치하였다. 중염 토양에서는 그 정도가 더 심하여 저염 토양보다 23%가 감소되었다. 현미천립중도 비슷한 경향으로 관개수 염농도가 높을수록 가벼웠으며, 저염 토양 0.7% 관개와 중염 토양의 0.3% 관개에서는 현저히 떨어졌다. 따라서 쌀 수량은 저염 토양의 민물 관개(무처리) 수량에 비해 관개수 0.1% 처리에서는 92%, 0.3%는 84%, 0.5%는 56%, 0.7%는 36% 수준으로 처리 농도가 높을수록 수량감소 정도는 컸다. 중염 토양에서는 저염 토양의 민물 관개 수량에 비해 민물 관개는 62%, 0.1% 관개에서는 36% 수준이었고, 0.3%는 5%와 그 후 농도는 수량을 얻지 못했으며, 토양 염농도간에는 중염 토양이 저염 토양의 19% 수준이었다. 쌀수량의 감소는 수수가 큰 영향을 미치는데(Balaluburamanian & Rac., 1977), 본 연구에서 염처리 시기가 분얼기로 분얼을 제대로 하지 못해 수수확보가 어려웠기 때문에 수량감소 폭이 컸던 것으로 생각된다.

따라서 이상의 결과로 볼 때 분얼기 관개수 염농도는 저염 토양에서는 0.7%, 중염 토양에서는 0.3%까지 생육은 가능하나 수량 감소가 커서, 소득지수로 볼 때 간척지 쌀 생산 한계 관개수 염농도는 저염 토양은 0.5% 이하에서, 중염 토양은 민물 관개수에서 가능하리라고 생각한다.

**Table 3.** Heading date, culm length, and number of panicle of rice at maturing stage.

Treatment		Heading date	Culm length (cm)	Panicle length (cm)	No. of panicle	
Soil salinity	Salt solution (%)				No./hill	No./m <sup>2</sup>
Low (0.1~0.2%)	Control	Aug.17	74	18.7	13.8	383.6a
	0.1	Aug.17	74	18.5	13.2	337.0a
	0.3	Aug.18	69	17.5	11.6	322.5b
	0.5	Aug.19	60	14.8	8.2	228.0c
	0.7	Aug.23	27	7.9	5.7	158.5e
	Mean	Aug.19	61	15.5	10.5	285.9
Medium (0.3~0.4%)	Control	Aug.19	64	17.5	10.9	303.0c
	0.1	Aug.21	52	17.2	6.6	183.5e
	0.3	Aug.23	22	8.1	3.3	91.7f
	0.5	DP	DP	DP	DP	DP
	0.7	DP	DP	DP	DP	DP
	Mean	Aug.21	46	14.2	6.9	192.7

\*DP : Dead plant by salt injury.

<sup>a</sup>Means followed by a common letter are not significantly different at the 5% level by Duncan's multiple range test.

**완전미율, 단백질, 아밀로스함량 및 식미지수**

미질관련 특성을 보면 표 5와 같다. 완전미 비율을 보면 저염토양의 민물관개(무처리)에 비하여 저염 토양에서는 염수 0.3% 관개까지는 차이가 없었으나 그 이후부터는 크게 낮아졌고, 중염 토양에서는 더욱 크게 낮아졌다. 단백질 함량은 밥맛과 부의 상관을 보이는 것으로 알려져 있는데(구 등, 1998), 중염 토양의 0.3%의 염수 처리에서만 높았고 그 외 처리에서는 큰 차이가 없었으며, 아밀로스 함량은 처리간에 큰 차이를 보이지 않았다. 근적외분광분석법에 의한 식미계로 측정된 식미치를 보면 저염 토양의 민물 관개(무처리)에 비하여 0.1% 처리에서는 약간 높았으나 이후 처리에서는 낮아져 0.7% 처

리에서는 유의성이 인정되었으며, 중염 토양에서는 식미치가 크게 낮아졌는데, 이러한 결과에 대해서는 좀더 깊은 연구가 필요할 것으로 생각된다.

**적 요**

본 연구는 간척지 토양 염농도별(저염;0.1~0.2%, 중염; 0.3~0.4%)로 분얼기 관개수 염수처리 농도에 따른 벼 생육 및 수량성을 검토하고자 시험한 결과를 요약하면 다음과 같다.

가. 토양 및 관개수 염농도가 높을수록 초장은 짧았고 주당 경수도 적었으며, 특히 중염 토양에서 관개수 염농도 0.3% 이

**Table 4.** Yield components and yield of rice at harvest.

Treatment		Spikelet per m <sup>2</sup> (×1000)	Ripened grain(%)	1000 grain weight(g)	Milled rice (kg/10a)	Yield index
Soil salinity	Salt solution(%)					
Low (0.1~0.2%)	Control	17.0a	93.4a	24.2a	463a	100
	0.1	15.8b	92.2a	24.3a	428a	92
	0.3	15.1b	90.5a	23.0a	390ab	84
	0.5	11.0c	60.5c	19.6c	259c	56
	0.7	10.3d	42.8e	10.9d	165d	36
	Mean		13.8	75.9	20.4	341
Medium (0.3~0.4%)	Control	13.6bc	85.2b	21.6b	286b	62
	0.1	9.6de	55.2cd	18.5c	139d	30
	0.3	2.0f	35.1f	9.3e	22f	5
	0.5	DP	DP	DP	DP	DP
	0.7	DP	DP	DP	DP	DP
	Mean		8.4	58.5	16.5	149

\*DP : Dead plant by salt injury.

\*Means followed by a common letter are not significantly different at the 5% level by Duncan's multiple range test.

**Table 5.** Head rice and rice quality at post-harvest test.

Treatment		Head rice ratio(%)	Protein content(%)	Amylose content(%)	Palatability index
Soil salinity	Salt solution(%)				
Low (0.1~0.2%)	Control	62.4a	8.3a	18.6	63ab
	0.1	62.4a	8.1a	18.6	64a
	0.3	61.6a	7.9a	18.7	60ab
	0.5	52.4b	7.9a	19.1	59ab
	0.7	43.2c	8.5a	18.8	58b
	Mean		56.4	8.1	18.8
Medium (0.3~0.4%)	Control	40.6c	8.5a	18.6	55c
	0.1	34.1d	8.5a	18.7	54c
	0.3	25.4e	9.7b	18.8	53c
	0.5	DP	DP	DP	DP
	0.7	DP	DP	DP	DP
	Mean		33.4	8.9	18.7

\*DP : Dead plant by salt injury.

\*Means followed by a common letter are not significantly different at the 5% level by Duncan's multiple range test.

상에서는 모두 고사되었다.

나. 토양 및 관개수 염농도가 높을수록 출수는 지연되었으며, 토양 염농도간에는 중염 토양에서 저염 토양보다 2~5일 정도 늦었다.

다. 간장은 관개수 염농도가 높을수록 짧았고 중염 토양이 저염 토양보다 짧았으며, 수장도 같은 경향이였다.

라. 저염토양에서는 관개수 염농도가 높을수록  $m^2$  당립수가 적고 등숙비율이 낮아, 쌀수량은 민물 관개 수량에 비해 관개수 0.1%는 92%, 0.3%는 84%, 0.5%는 56%, 0.7%는 36% 수준이었다. 중염토양의 쌀수량은 저염토양 민물 관개 수량에 비해 민물 관개는 62%, 0.1% 관개수에서는 30% 수준이었다.

따라서 관개수 염농도가 저염 토양은 0.7%, 중염 토양은 0.3%까지 생육은 가능하나 수량 감소가 커서, 소득지수로 볼 때 간척지 쌀 생산 한계 관개수 염농도는 저염 토양은 0.5% 이하에서, 중염 토양은 민물 관개수에서 가능하였다.

### 인용문헌

Balasubramanian, V. & Rac. 1977. Physiology basis of salt tolerance in rice. *Plant. Physiol. section, Tadu Nagada Agr. Univ. India.*

26(4) : 291-294.

Kaddah, M. T. 1963. Salinity effects on growth of rice on the seedling and inflorescence stages of development. *Soil Sci.* 96 : 105-111.

구자웅, 최진규, 손재권. 1998. 우리나라 서해안 간척지 및 간척지 토양의 이화학적 특성. *한국토양비료학회지.* 31(2) : 120-127.

어임수, 한규홍, 이종영, 장효상. 1982. 벼의 생육시기별 염분농도가 벼 생육에 미치는 영향. *호남작물시험장 시험연구보고서.* 905-918.

이충근, 윤영환, 신진철, 이변우, 김정곤. 2002. 벼 생육시기별 염수처리 농도와 기간에 따른 생육 및 수량. *한국작물학회지.* 47(6) : 402-408.

이한규, 박희철, 이돈길. 1984. 육해수의 혼합관개가 통일벼의 생육 및 수량에 미치는 영향. *농사시험연구보고서(작물).* 16 : 117-125.

이장석, 오경석, 손상목. 1993. 수도의 분얼기에 염수처리 농도가 체내 무기성분 함량, 생육 및 수량에 미치는 영향. *국제농업개발학회지.* 5(2) : 167-174.

이승택. 1989. 수도 염해와 대책. *한국작물학회지.* 34(별1) : 17.

Munns, R, & A. Termaat. 1986. Whole-plant responses to salinity. *Aust. J. Plant Physiol.* 13 : 143-160.

농업기반공사. 1999. 간척사업보고서.

농업기술연구소. 1988. 토양화학분석법. *농업기술연구소.* 450p.

농촌진흥청. 1995. 농사시험연구 조사기준. *농촌진흥청.* 603p.

Pearson, G. A. & L. Bernstein. 1959. Salinity effects at several growth stages of rice. *Agron. J.* 51 : 654-657.