

토양염농도에 따른 기장의 성장반응 및 무기양분함량 변화

김 선^{1,†} · 류진희¹ · 김영주¹ · 정재혁¹ · 이수환¹ · 오양렬¹ · 김영두¹ · 김재현¹

Influence of Soil Salinity on the Growth Response and Inorganic Nutrient Content of a Millet Cultivar

Sun Kim^{1,†}, Jin-Hee Ryu¹, Young-Joo Kim¹, Jae-Hyeok Jeong¹, Su-Hwan Lee¹, Yang-Yeol Oh¹, Young-Doo Kim¹, and Jae-Hyeon Kim¹

ABSTRACT This experiment was conducted to identify the variations in inorganic nutrients and plant growth in millet (*Panicum miliaceum* L.) due to soil salinity. The soil series was Munpo and soil texture was silt loam. The experimental soil was amended so that the soil had salinities of 0.8 dS m⁻¹, 1.6 dS m⁻¹, 3.2 dS m⁻¹ and 4.8 dS m⁻¹. Millet was transplanted 15 days after sowing. As soil salinity increased, the degree of reduced growth was in the order of seed production > root dry matter > plant dry matter > culm length > tiller number > stem thickness > Panicle length. Seed production was decreased to 18.9% in soil salinity of 1.6 dS m⁻¹, 36.9% in of 3.2 dS m⁻¹, and 50.7% in EC of 4.8 dS m⁻¹. Root dry matter decreased to 35.8% in EC of 3.2 dS m⁻¹, and to 40.5% in EC of 4.8 dS m⁻¹. As soil salinity increased, Total nitrogen content increased in all aboveground parts, roots and seeds. However, There was no difference in CaO, P₂O₅, K₂O and, MgO in soils of different salinity. On the other hand, Na₂O content was higher in the order roots> shoots> seed, and in the case of roots, Na₂O content increased to 1.02% in soil salinity of 4.8 dS m⁻¹. However, up to soil salinity of 1.6 dS m⁻¹, the Na₂O content of the seed was similar to that in plant grown in the Control conditions(0.8 dS m⁻¹). In conclusion, taking into consideration economic factors, millet could be cultivated in soil with salinities of up to approximately 1.6 dS m⁻¹, and seed produced from reclaimedland would be suitable for human consumption.

Keywords : inorganic nutrient, millet, root development, soil salinity

국민식생활 패턴의 변화로 쌀 수요가 감소하고 수입개방에 의해 곡류 수입이 증가되면서 국내 쌀 보유량이 증가하고 있다. 이에 따라 새로 조성되는 간척지에서는 쌀을 제외한 다른 소득작물의 도입이 요구되는 상황이다. 간척지 토양은 NaCl을 위주로 한 다량의 염이 함유되어있고, 토양은 유기물 함량이 매우 낮으며, 일부 토양의 pH는 알카리성을 띄고 있어서(Soon *et al.*, 2009) 작물을 재배하게 되면 일반 농경지에서와 다른 생육반응을 나타낸다. 이 중에서도 근권에 집적된 토양염분의 영향을 크게 받는데, 토양에 함유된 염분은 삼투압을 낮추는 역할을 하고(Mass and Hoffman, 1977), 낮아진 삼투압에 의해 작물은 흡수장해를(Munns, 2002) 받아 식물체는 생리적인 교란을 받게 되고(Chon and Park, 2003) 발육저해 양상을 나타낸다(Bresler *et al.*, 1982). 따

라서 간척지토양에 작물을 재배하기 위해서는 대상 작물에 따라 생장이 가능한 토양염농도의 구멍이 우선적으로 필요하다. 이같이 염분이 지배적인 환경조건에서 밭작물 재배 가능성을 확인키 위해 Lee *et al.* (2000)은 새만금 간척지 토양을 이용하여 pot에서 9작물을 평가하여 염농도에 따른 적응 정도를 검토하였고, 이후 포장시험을 수행하여(Lee *et al.*, 2003) 6작물의 성장가능 염농도와 밭작물의 수량이 50% 감소되는 염농도를 제시하였다. 또 Kim *et al.* (2013)은 토양 염농도에 따른 감자 품종들의 성장 및 수량성의 차이를 확인하였고, 이어서 간척지 토양에서 옥수수 품종들의 적응력을 검정하고 일미찰옥수수와 찰옥4호 옥수수를 적응력이 강한 품종으로 추천하여(Kim *et al.*, 2014) 염농도가 낮은 간척지에서 밭작물재배가 가능함을 확인하였으며, 내염

¹국립식량과학원, 전라북도 완주군 이서면 혁신로 181 (National Institute of Crop Science., Wanju 55365, Korea)

[†]Corresponding author: Sun Kim; (Phone) +82-63-238-5314; (E-mail) sunkim@korea.kr

<Received 12 February, 2016; Revised 10 March, 2016; Accepted 2 June, 2016>

력이 있는 작물을 중심으로 재배기술도 개발되고 있다(Ryu *et al.*, 2015). 이와 같이 간척지토양에 작물을 생산하기 위해서는 우선적으로 해당 작물의 생장이 가능한 토양염농도의 구멍이 선행되어야하고, 작물재배기술 확립과 아울러 염이 있는 토양조건에서 생산된 생산물에 대한 영양학적 특성도 고려되어야 한다.

기장(*Panicum miliaceum* L.)은 반 건조 사막지대가 기원인 작물로 생육기간이 짧고 척박한 토양과 다양한 기후조건에 잘 적응하는 식물로서 종실추출물은 DPPH 라디칼 제거능력과 동물세포의 돌연변이 억제능력이 뛰어나고(Kwak *et al.*, 2004), 염분이 함유된 간척지에 비교적 강한 적응력을 나타내는 식물이다(Kim *et al.*, 2013). 우리나라에서는 주로 미곡 부족분을 대체하는 구황작물(救荒作物)로 이용되어 왔으나 최근 들어 건강 기능성 잡곡에 대한 소비자의 선호도가 높아지면서 소비량과 수입량도 증가하는 작물이다(2007년 이후 잡곡 수요량이 69천 톤과 수입량이 50천 톤으로 급격히 증가). 이에 따라 간척지에 새로운 재배작물로 도입 가능성을 확인하고자 토양염농도에 따른 생육특성과 식물체 부위별 무기양분 축적특성을 구명하여 종실 및 부산물의 이용을 위한 자료를 제공코자 시험한 결과를 보고한다.

재료 및 방법

본 시험은 기장(*Panicum miliaceum* L.)의 간척지 재배기술을 개발하기 위하여 2014년 서해안의 새만금 간척지 부안지역 조성된 국립식량과학원 벼백류부 시험포장에 비가림 비닐하우스에서 이백찰기장 품종(NICS, 2015)을 이용하여 시험을 수행하였다. 시험은 4반복으로 수행하였으며, 토양은 새만금 간척지 지역에 분포비율이 높은 세사질 토양인 문포통(NICS, 2009) 토양을 이용하였다(Table 1). 토양은 제염이 많이 이루어진 곳에서 표토를 채취하여 염농도 측정 후 천일염과 혼합하여 토양염농도를 0.8 dS m⁻¹, 1.6 dS m⁻¹, 3.2 dS m⁻¹, 4.8 dS m⁻¹로 교정하였다. 염농도를 교정한 토양에 무기양분 보충을 위하여 ha당 기장 표준시비량인 퇴비 10,000 kg⁻¹질소 100 kg⁻¹, 인산 70 kg⁻¹, 가리 80 kg⁻¹에 해

당하는 양의 유안, 용성인비, 황산가리를 토양에 고르게 혼합하였다. 토양은 15일간 자연상태에서 가스를 제거한 후 뿌리 관찰이 가능한 아크릴 포트(높이 50 cm×넓이 40×두께 14 cm)에 충전 하고, 포트의 바깥면은 검은 부직포를 이용하여 암막처리 하였다. 묘는 원예용 상토에서 15일 육묘한 묘를 포트당 1주씩 이식하여 토양습도 20~30 kpa 조건에서 성숙기까지 생육시켰다.

조사는 종실 성숙이 완료됐다고 판단되는 완숙기에 농촌진흥청 농업과학기술 연구조사 분석기준(2003)에 준하여 실시하였다. 각 식물체의 지상부 및 지하부 성장 조사는 개체별로 줄기 및 이삭의 특성을 조사한 후 뿌리 성장박스를 해체하여 물 분사기를 이용하여 뿌리에 붙은 흙을 제거하고 아크릴판에 붙여 건조시킨 후 뿌리의 무게, 굵은 뿌리의 비율을 조사하였다. 지상부와 뿌리의 무기양분 분석은 토양 및 식물체 분석법(NAAS, 2010)에 준하여 탈곡한 시료를 세척하여 70°C에서 건조 및 분쇄한 시료를 H₂O₂-H₂SO₄로 습식분해 하여 무기성분 분석에 활용하였다. 총 질소와 총 탄소는 원소분석기(Vario Max, Germany)를 이용 정량하였고, 인산은 Ammonium vanadate법으로 비색정량 하였으며, 양이온 함량은 ICP로 측정하였다. 통계분석은 SAS (ver. 9.2)을 이용하였으며 수량 및 수량구성요소의 평균간 비교는 Duncan's multiple test를 통해 비교하였다.

결과 및 고찰

토양염농도에 따른 지상부 생육(Table 2)은 조사된 모든 성장요소가 선행연구에서와 같이(Bresler *et al.*, 1982) 염농도 증가의 영향을 받아 생장이 감소하거나 감소되는 경향이었으며, 영향 받는 정도는 식물체 부위별로 큰 차이를 보였다. 염농도 증가에 따라 가장 크게 영향을 받은 순서는 줄기건물 중이 가장 큰 영향을 받아 4.8 dS m⁻¹에서 건물중이 50.7%가 감소되었고, 다음으로는 간장은 동일 염농도에서 24.5%가 감소되었으며, 분얼수는 20%, 줄기두께는 17.9%가 감소되었지만, 이삭길이는 영향을 가장 적게 받아 9.1% 감소에 그쳤다. 재배토양 염농도는 종실 결실량에도 영향

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

pH	T-N [†]	OM [‡]	Avail. P ₂ O ₅	Exch. cation				Soil texture
				K	Ca	Mg	Na	
(1:5)	%	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹				Coarse lomay
7.7	0.014	2.8	35	0.66	0.72	3.1	0.87	

[†]Total nitrogen, [‡]Organic matter

Table 2. Shoot growth of millet as a function of soil salinity.

Soil salinity	Culm length (cm)	Panicle length (cm)	Tillers/hill (n)	Culm diameter (mm)	Shoot dry meter/plant (g)	Seed weight/plant (g)
Control (0.8 dS m ⁻¹)	102.1 a (100)	32.2 (100)	5.0 (100)	10.2 (100)	87.7 a (100)	22.8 a (100)
1.6 dS m ⁻¹	92.8 b (90.9)	31.9.0 (99)	4.7 (93.3)	9.1 (89.3)	68.3 b (77.9)	18.5 ab (81.1)
3.2 dS m ⁻¹	82.0 c (80.3)	31.3 (97.3)	4.7 (93.3)	9.1 (89.0)	55.2 c (62.9)	12.1 b (53.1)
4.8 dS m ⁻¹	77.1 c (75.5)	29.3 (90.9)	4.0 (80.0)	8.4 (82.1)	43.2 d (49.3)	2.7 c (12.1)

[†]Same letters within each column indicate no significant difference at the 1% level by Duncan's multiple range test.

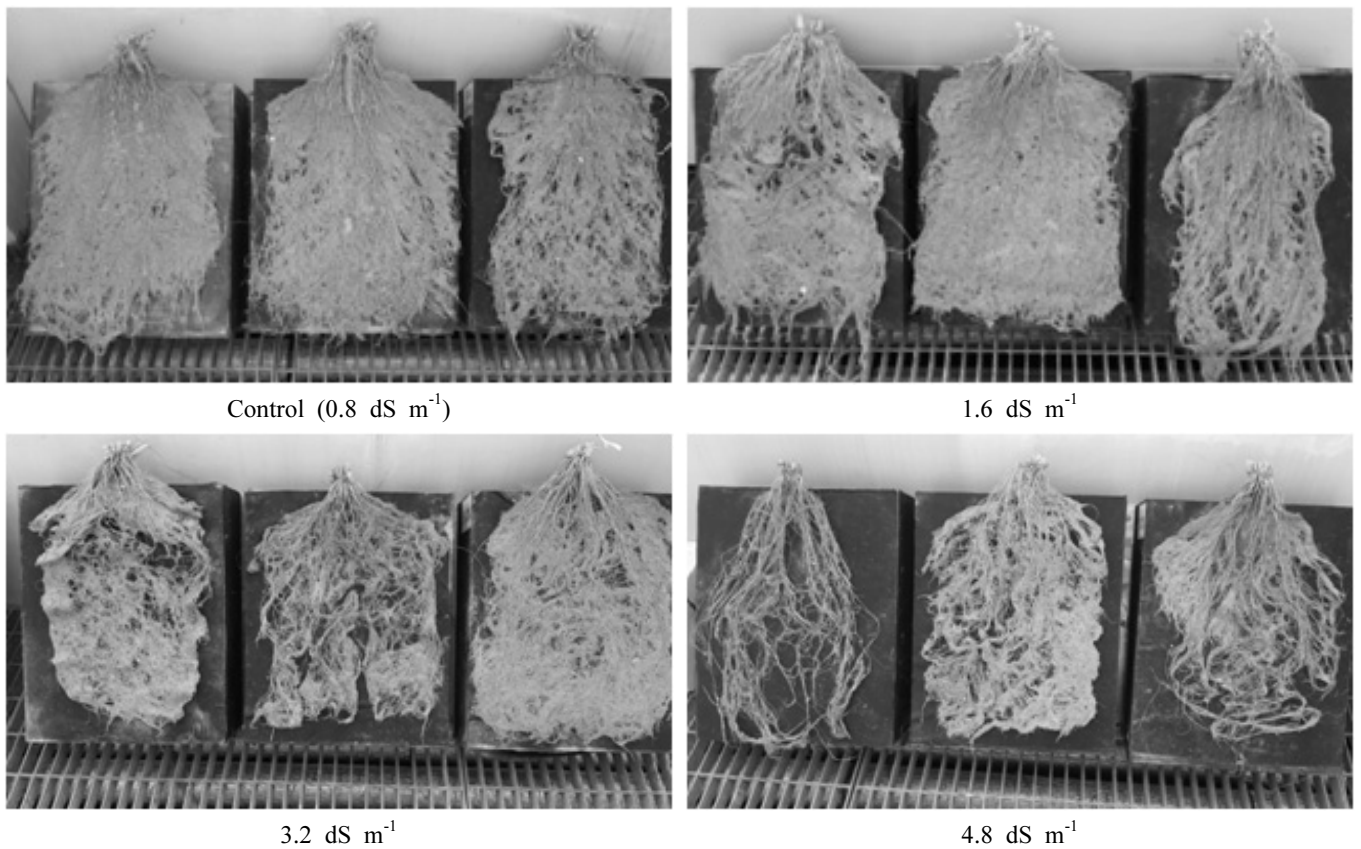


Fig. 1. Root growth of millet as a function of soil salinity.

을 미치는데(Kim *et al.*, 2013; Kim *et al.*, 2014) 본 시험에서도 Control 토양에서 재배된 개체에 비해 토양염농도 1.6 dS m⁻¹에서 재배된 개체의 결실량이 18.9%가 감소되었고 3.2 dS m⁻¹에서는 36.9%, 4.8 dS m⁻¹에서는 50.7%가 감소되었다.

Fig. 1은 뿌리박스에서 성장한 기장 뿌리에서 토양을 분리한 후 성장당시의 형태를 유지시켜 건조시킨 그림이며,

Table 3은 뿌리의 발달 상태를 조사한 결과다. 토양염농도 증가에 따른 뿌리 생육은 유의하게 감소하는 부의상관을 나타내 긴 뿌리 수는 1% 수준에서 유의성을 나타냈으며, 토양염농도와 조사항목들의 상관값도 0.8이상으로 높았다. 조사항목별로는 뿌리건물중의 경우 토양염농도 1.6 dS m⁻¹까지는 Control (0.8 dS m⁻¹)과 비슷하였으나 3.2 dS m⁻¹에서는 35.8%가 감소되었으며, 4.8 dS m⁻¹에서는 40.5% 감소되

Table 3. Root growth of millet as a function of soil salinity.

Soil salinity	Root dry meter/plant (g)	Above Ø 1.0 mm roots/plant (n)
Control (0.8 dS m ⁻¹)	42.7(100) a	87.3(100) a
1.6 dS m ⁻¹	41.4(96.9) ab	72.7(83.2) ab
3.2 dS m ⁻¹	27.4(64.2) bc	52.7(60.3) bc
4.8 dS m ⁻¹	16.9(39.5) c	38.3(43.9) c

†Same letters within each column indicate no significant difference at the 1% level by Duncan's multiple range test.

었다. 직경 1 mm 이상 굵은뿌리수는 1.6 dS m⁻¹ 감소가 시작되었으며, 3.2 dS m⁻¹에서는 Control (0.8 dS m⁻¹) 대비 39.7%가 감소되었고 이후 염농도가 증가함에 따라 더 큰 감소를 나타냈다. 이상의 결과는 토양염농도 증가가 뿌리발달을 크게 억제함을 제시하는 자료로서 뿌리 발달이 저해되지 않는 토양염농도는 1.6 dS m⁻¹ 내외임을 확인할 수 있었고, 토양염농도 증가시 감자 덩이줄기의 생육감소에서 나타난 결과(Kim *et al.*, 2013)와 비슷한 경향이였다. 또한 이 결과는 이제까지는 간척지에서 작물생장의 감소 원인이 높은 삼투압에 따른 수분흡수력 억제의 영향일 것으로 알려져 있었으나 본 시험을 통해 토양염농도가 높은 경우 식물체는 우선적으로 뿌리발달이 억제되고, 이로 인해 토양과 인접부위가 적어짐으로서 양·수분 흡수가 감소되는 물리적인 영향이 더해짐이 확인되었다.

Root박스에서 얻은 식물체를 부위별로 무기양분 함량을

조사하였다(Table 4). T-N의 경우 염농도가 증가했을 때 지상부와 뿌리, 종실 모두에서 함량이 증가됐고, 부위별로는 지상부와 지하부 식물체의 경우 1.78~2.12%로 비슷하였으나 종실은 3.09~3.83%로 크게 높았다. 양분별로는 CaO, P₂O₅, K₂O, MgO는 재배토양의 염농도에 따른 차이를 보이지 않았다. 반면 Na₂O함량은 식물체부위별로 명확한 차이를 나타내서 뿌리>지상부>종실 순이었으며, 토양염농도 4.8 dS m⁻¹에서 재배된 뿌리의 경우 Na₂O함량은 1.02%까지 높아졌다. 조사된 곡실의 영양성분들 중 Na는 섭취를 통해 체내 흡수되어 세포내 평형을 유지하는 물질이지만 과잉 섭취시 고혈압 등 여러 가지 성인병을 유발하는 물질로 알려져 있다. 따라서 염이 함유된 간척지 토양에서 재배된 생산물의 Na 함량에 대한 검토가 필요한 실정이었던바, 본 시험에서는 식용부위인 종실의 Na 함량은 1.6 dS m⁻¹에서 0.006%로 Control (0.8 dS m⁻¹)에서 재배된 것에 비해 차이가 없었으며, 이 수치는 화산회토지역에서 재배된 옥수수 0.02%와 감자의 0.018에(Kang *et al.*, 2001) 비해 낮기때문에 식용하는데 문제가 없을 것으로 생각된다.

Table 5는 토양염농도가 다른 토양에서 성장한 기장의 성장요소들 사이에 상관관계를 나타내고 있다. 토양염농도는 간장, 줄기건물중, 종실중, 지상부건물중, 뿌리건물중, 직경 1 mm 이상된 뿌리수 등과 높은 부의상관을 나타냈다. 또 식물체 부위별로는 간장은 수장, 줄기건물중, 종실중, 지상부건물중, 뿌리건물중과 정의상관을 보였으며, 지상부 건물중은 종실중과 0.94의 상관값을 보였다.

Table 4. Nutrient content of millet as a function of soil salinity.

Plant part	Soil salinity	T-N	T-C	CaO	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	Na ₂ O
		----- (%) -----						
Shoot	Control (0.8 dS m ⁻¹)	1.78 a	40.99 a	0.37 ns	0.04 ns	2.20 ns	0.48 ns	0.06 ab
	1.6 dS m ⁻¹	1.83 a	41.96 a	0.40	0.04	2.27	0.45	0.12 a
	3.2 dS m ⁻¹	2.11 a	37.73 ab	0.39	0.06	3.40	0.47	0.12 a
	4.8 dS m ⁻¹	2.12 a	38.14 ab	0.29	0.06	2.43	0.32	0.08 a
Root	Control (0.8 dS m ⁻¹)	1.79 a	34.92 b	0.42	0.08	0.75	0.44	0.50 a
	1.6 dS m ⁻¹	1.87 a	36.71 b	0.44	0.09	0.66	0.45	0.61 a
	3.2 dS m ⁻¹	2.00 a	36.50 b	0.58	0.09	0.64	0.52	0.89 a
	4.8 dS m ⁻¹	2.06 a	34.72 b	0.58	0.10	0.54	0.55	1.02 a
Seed	Control (0.8 dS m ⁻¹)	3.09 b	41.10 a	0.26	0.02	0.39	0.18	0.005 b
	1.6 dS m ⁻¹	3.47 b	41.09 a	0.25	0.03	0.43	0.22	0.006 b
	3.2 dS m ⁻¹	3.83 b	41.20 a	0.28	0.04	0.55	0.21	0.009 b
	4.8 dS m ⁻¹	3.78 b	41.38 a	0.31	0.04	0.53	0.20	0.008 b

†Same letters within each column indicate no significant difference at the 1% level by Duncan's multiple range test.

Table 5. Correlation of growth factors of millet as a function of soil salinity.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	-	0.49	0.90	0.63	0.69	0.87	0.92	0.93	0.85	0.81
2	-	-	0.65	0.66	0.43	0.53	0.53	0.56	0.52	0.12
3	-	-	-	0.74	0.59	0.77	0.91	0.87	0.81	0.63
4	-	-	-	-	0.14	0.22	0.57	0.42	0.57	0.18
5	-	-	-	-	-	0.79	0.71	0.79	0.60	0.64
6	-	-	-	-	-	-	0.81	0.97	0.74	0.63
7	-	-	-	-	-	-	-	0.94	0.69	0.75
8	-	-	-	-	-	-	-	-	0.76	0.72
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.75
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Key: 1: Soil salinity, 2: Tillers/Hill, 3: Culm length, 4: Panicle length, 5: Culm diameter, 6: Shoot dry matter, 7: Seed weight, 8: Plant dry matter, 9: Root dry matter, 10: Number of roots per plant with diameter >1.0 mm.

사 사

본 논문은 농촌진흥청연구사업(세부과제명: PJ011276022016, 간척지 토양 이동특성 및 유실량 평가)의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

적 요

기장의(*Panicum miliaceum* L.)의 간척지 재배가능성을 확인하기 위해 토양염농도에 따른 기장의 생육 및 개체내 무기영양분의 변이를 새만금 간척지의 대표토양인 문포통 토양(미사 사양질)을 이용하여 시험한 결과는 다음과 같다. 토양염농도 증가시 생육감소정도는 종실> 뿌리건물중> 줄기건물중> 간장> 분얼수> 줄기두께> 이삭길이 순을 나타냈다. 종실 결실량은 Control 토양에서 재배된 개체에 비해 토양염농도 1.6 dS m⁻¹에서 재배된 개체의 결실량이 18.9%가 감소되었고 3.2 dS m⁻¹에서는 46.9%, 4.8 dS m⁻¹에서는 87.9%가 감소되었다. 뿌리건물중은 토양염농도 3.2 dS m⁻¹에서는 35.8%가 감소되었으며, 4.8 dS m⁻¹에서는 60.5% 감소되었다. 식물체 부위별 무기양분 함량은, T-N은 염농도가 증가했을 때 지상부와 뿌리 종실 모두에서 함량이 증가되었으나 양이온 중 CaO, P₂O₅, K₂O, MgO는 재배토양의 염농도에 따른 차이를 보이지 않았다. Na₂O 축적량은 뿌리> 지상부> 종실 순으로 높았으며, 뿌리의 경우 토양염농도 4.8 dS m⁻¹에서 재배된 Na₂O함량은 1.02%까지 높아졌다. 종실의 Na₂O 함량은 1.6 dS m⁻¹까지는 Control (0.8 dS m⁻¹)에서 재배된 것과 비슷했다. 이 시험이 결과 경제성을 고려

한 기장 재배한계 염농도는 1.6 dS m⁻¹ 내외로 생각되며, 간척지 토양에서 생산된 종실도 식용이 가능함을 제시하였다.

인용문헌(REFERENCES)

- Bresler, E., B. L. McNeal, and D. L. Carter. 1982. Saline and Sodic Soils. Spring - Verlag Berlin Heidelberg New York. pp. 167-171.
- Chon, S. U. and J. H. Park. 2003. Parameter on Physiological Respons of Soybean (*Glycine max* Merr.) to Salinity. Korean J. Environment Agriculture. 22(1) : 185-191.
- NAAS. 2010. Methodes of Soil Analysis. National Academy of Agricultural Science. pp. 13-151.
- NICS. 2009. Agriculture status and Land commentary in korean Reclaimed, National Institute of Crop Science. p. 146.
- NICS. 2015. The major upland crop varieties handbook. National Institute of Crop Science. pp. 146-147.
- Kim, S., W. Y. Choi, J. H. Jeong, and K. B. Lee. 2014. Physiological response of four corn cultivars to soil salinity. Korean J. Crop Sci. 59(3) : 293-298.
- Kim, S., W. Y. Choi, C. H. Yang, and T. K. Kim. 2013. Study on growth response of upland crop as different soil salinity in newly reclaimed land. National Institute of Crop Science Research Report. 2013 : 629-641.
- Kwak, K. S., S. J. Lim, S. A. Kim, S. C. Park, and M. S. Lee. 2004. Antioxidative and antimutagenic effect of korean Buckwheat, Sorghum, Millet and Job's tears. J. Korean Food Sci. Nutr. 33(6) : 821-929.
- Lee, S. H., B. D. Hong, Y. M. An, and H. M. Ro. 2003. Relation between growth condition of six upland crop and soil salinity in reclaimed land. Korean J. Soil Fert. 36(2) : 66-71.
- Lee, S. H., S. H. Yoo, S. I. Seol, Y. An, Y. S. Jung, and S. M. Lee.

2000. Assesment of salt damage for upland-crop in Dae-ho reclaimed soil. Korean Journal of Environment Agriculture. 19(4) : 358-363.
- Mass, E. V. and G. J. Hoffman. 1977. Crop solt tolerance - current assessment. J Irrig Drain Div Proc Am Soc Civil Eng. 103 : 115-134.
- Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. Plant Cell Environ. 25 : 239-250.
- Ryu, J. H., Y. J. Kim, S. H. Lee, Y. Y. Oh, Y. D. Kim, H. C. Hong, C. H. Yang, and S. L. Kim. 2015. Growth and yield characteristics of winter cereal forage crop affected by seeding rate in Saemangeum reclaimed land. Korean J. Int. Agric. 27(4) : 505-510.
- Soon, J. G., J. K. Choi, and J. Y. Cho. 2009. Chemical properties of soil in the proposed horticultural complexes of Saemangeum reclaimed tideland. Journal of the korean society of agricultural engineers. 51(4) : 67-73.