

새만금간척지에서 토양염농도 및 재배조건이 이랑의 유지와 밭작물의 생육에 미치는 영향

손용만* · 송재도 · 전건영 · 김두환 · 박무언

한국농어촌공사 농어촌연구원

Effect of Soil Salinity and Culturing Condition on the Maintenance of Ridge and the Growth of Upland Crops in the Saemangeum Reclaimed Tidal Land

Yong-Man Sohn*, Jae-Do Song, Geon-Yeong Jeon, Doo-Hwan Kim, and Moo-Eon Park

Rural Research Institute. KARICO. Ansan 426-170, Korea

In order to evaluate the effect of soil salinity and culturing conditions including compost application and vinyl mulching on the maintenance of ridge and the growth of upland crops, three crops such as corn, soybean and sweet potato were experimented by using three or four cultivars of crops in the Saemangeum reclaimed tidal land. Average soil salinity before seeding was 2 dS m^{-1} , which was low enough for general upland crops to grow. However, high soil EC more than 16 dS m^{-1} was observed in some parts of the experimented field. In the experiment, it was concluded that growth retardation and yield reduction of summer upland crops might be from severe erosion of ridge, soil compaction, flooding or wet soil condition and high salinity of some parts, and then these deteriorations were possibly improved for good crop growth and yield increase by compost application and vinyl mulching cultivation in the Saemangeum reclaimed tidal land.

Key words: Reclaimed tidal land, Soil salinity, Sweet potato, Soybean, Corn, Rainfall acceptable capacity, Compost, Vinyl mulching

서 언

식량생산을 목적으로 개발된 간척지는 논농사가 유일한 대안이었던 때문에 간척지에서의 벼재배기술은 많은 연구보고가 있다 (Cheong et al., 1996; Lee, 1995; Chae, et al., 1990; Choi, et al., 2001). 그러나 2000년부터 불어 닥친 세계 무역자유화의 영향은 간척지가 전작·특작·원예작·수도작 등 다양한 용도로 활용되어야 한다는 시대적 요구를 낳게 되었으며, 특히 최근 개발되고 있는 새만금간척지에 대한 범용화가 세인의 화두가 되고 있는 실정이지만 지금까지의 연구실적은 소수에 불과하다 (RDA, 2002). 간척지의 범용화는 농어촌공사를 중심으로 단계적 접근방안이 모색되고 있으며 (RRI, 2006), 또한 학계의 다양한 의견이 활발하게 개진되고 있다 (Yu & Park, 2004; RRI, 2007). 이러한 추세에 따라 새만금간척지에서 밭작물이나 원예작물의 재배연구가 추진되고 있지만 토양

염농도와 토양배수의 제약성이 많을 뿐만 아니라 점성이 거의 없는 사토이기 때문에 이랑의 안전성 결여 (붕괴)가 문제점으로 지적되고 있다 (RRI, 2009a). 특히 새만금간척지토양은 토양유실 예측식 (USLE)의 C-value (climatic factor)가 3.67로서 풍식성이 높은 것으로 보고되고 있고 (Jung et al., 2004), 간척지나 해변의 모래토양은 점토 성분이 많은 토양에 비하여 안식각이 매우 높고 안전성이 낮기 때문에 (Considine, 1976; Park et al., 2007) 새만금간척지에 조성된 묘목장에서 식재된 이랑이 쉽게 강우로 침식붕괴되어 묘목의 도복피해가 심한 것으로 조사·보고되고 있다 (RRI, 2009b). 안식각은 제방사면의 안전성과 밀접한 관계가 있기 때문에 환경영향평가법 및 관련규정에서 지형·지질의 평가항목으로 지목되고 있다 (HBEO, 1997). 실제 현장관찰시 조성된 둑이나 이랑이 붕괴되어 있는 현상이 많이 관찰되고 있어서 이랑의 안전유지관리가 매우 중용한 사항으로 인식되고 있다. 따라서 새만금에서의 작물재배는 제염과 배수문제가 시급히 해결되어야 할 문제점으로 지적되고 있지만 (Sohn et al., 2010), 식재된 이랑을 작기 내내 적절히 유지관리하는 방법에 대한 구명도 매우 중요한 것으로 추정된다.

접수 : 2010. 4. 19 수리 : 2010. 10. 22

*연락처 : Phone: +82314001836

E-mail: sym0203@chol.com

본 연구는 새만금 간척지에서 발작물 재배시 이랑을 적절하게 유지관리하여 작물생육을 촉진시킬 수 있는 방안을 모색하기 위하여 새만금간척지에 조성된 시험포지에서 염농도와 재배조건 (퇴비시용과 비닐피복 여부)이 발작물의 생육과 이랑의 유지관리에 미치는 영향을 연구·검토하였다.

재료 및 방법

시험토양의 형태적 특성조사와 토양분석 새만금 간척지에서의 발작물재배시험을 위해서 10,000 m² (100 x 100 m) 규모의 시험포를 조성하여 수행하였다. 시험토양의 형태적 특성은 100 x 100 x 120 cm 규격의 토양갱을 파서 농촌진흥청 토양조사법 (NIAST, 1973)과 미국 농무성 토양조사 매뉴얼 (USDA, 1962)에 준하여 토양단면을 조사하였다. 토양단면에 대한 해설과 층위별 토양입경분포는 Table 1과 Table 2와 같다.

시험토양의 토양물리성중 토성은 피펫법으로 입경분포비율을 분석하여 토성삼각법으로 판정하였고 용적밀도는 코아법으로 분석하였으며, 투수속도는 오거홀에 물을 붓고 줄어드는 물의 양과 시간을 측정하여 계산하는 역오거혈법 (Park and Yoo, 1983; Boast & Kirkham, 1971;

Maasland, 1955)을 이용하였다. 토양수분은 토양염농도 측정 시기와 일치하게 토양시료를 채취하여 건조중량법으로 조사하였다.

시험토양의 단면상 층위는 Ap층과 그 하부에 4개의 C층으로 구분되고, 전층이 극세사 함량이 많은 양질사토로 표토가 연회갈색, 심토가 회갈색의 반문이 많은 회색, 기층이 약간의 농갈색 반문을 가진 농회색의 층위를 이룬 미숙토이다. 시험토양은 전 층위 공히 극세사 함량이 많은 양질사토로서 투수속도가 평균 127.3 cm day⁻¹ (Table 6)를 나타내 배수성이 매우 양호한 경향으로 판단되지만 토양단면상 약 70 cm 하부층은 회색화가 많이 되어 회색 내지 청회색에 가까운 특성을 보이고 있어 지하배수가 원활하게 이루어지지 않고 있는 것으로 추정된다.

시험토양의 화학성 분석은 농촌진흥청 표준분석법 (NIAST, 2000)에 준하여 pH는 토양과 증류수를 1:5로 하여 pH meter로 측정하였고, 토양유기물은 Tyrin법, 유효인산은 Lancaster법, 치환성양이온은 토양 5g을 1N-NH₄OAc (pH 7.0)법으로 측정하였다. 시험토양의 염농도는 토양시료를 채취하여 EC-meter로 토양과 증류수를 1:5로 하여 EC를 측정하고 (NIAST, 2000), 이 측정값을 5배수하여 토양의 EC를 환산하여 나타냈다. 시험토양의 화학성은 시험전후로 구분하여 2회 실시하

Table 1. Soil profile description of the experimented site.

Field description: Geojeongri, Gwanghwalmyeon, Gimje, Jeonnam, Korea										
Ap (0 to 15 cm) : Light brownish gray(10YR 6/2) silt loam, non-sticky and non-plastic, many fine mica flakes, single grains, few fine roots, abrupt smooth boundary.										
Cg1 (15 to 50 cm) : Gray(2.5Y 5/1) loamy sand, dark grayish brown to brown(10YR 4/2 to 4/3) mottles, non-sticky and non-plastic, structureless, abrupt smooth boundary.										
Cg2 (50 to 78 cm) Brownish gray(2.5Y 6/2) loamy sand, faint dark grayish brown to brown(10YR 4/2 to 4/3) mottles, non-sticky and non-plastic, structureless, abrupt smooth boundary.										
Cg3 (78 to 90 cm) Dark gray(5Y 4/1) loamy sand, many dark brown(7.5Y 3/4) mottles, non-sticky and non-plastic, structureless, abrupt smooth boundary.										
Cg4 (90 to 120 cm) : Dark gray(5Y 4/1) loamy sand, few dark brown(7.5Y) mottles, non-sticky and non-plastic, structureless.										

Table 2. Soil physical properties of the experimented soils before crop cultivation at the experimented site of the Saemangeum reclaimed land.

Horizon	Depth cm	Particle distribution						Silt	Clay	Soil texture
		Sand ^b								
		VF	F	M	C	VC	Total			
		----- % -----								
Ap	0-15	69.3	5.6	0.7	0.3	0.1	76.0	23.2	0.8	LS
Cg1	15-50	72.3	4.8	0.5	0.1	0.1	77.8	21.9	0.3	LS
Cg2	50-78	70.5	13.3	0.6	0.1	0.1	84.6	14.7	0.7	LS
Cg3	78-90	67.8	11.3	0.5	0.1	0.1	79.8	19.8	0.4	LS
Cg4	90-120	65.0	11.3	0.5	0.1	0.1	77.0	22.9	0.1	LS

Sand^b : VF (very fine sand, 0.10-0.05 mm), F (fine sand, 0.25-0.10 mm), M (medium sand, 0.50-0.25 mm), C (coarse sand, 1.00-0.50 mm), VC (very coarse sand, 2.00-1.00 mm).

Table 3. Soil chemical properties of the experimented soils before and after crop cultivation at the experimented site of the Saemangeum reclaimed land.

Samples	pH	EC	OM	Av.P ₂ O ₅	Exchangeable cations			
					Ca	Mg	K	Na
	1:5	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	----- cmol _c kg ⁻¹ -----			
Before cultivation	8.4	1.9	2.0	33	0.7	1.8	0.68	3.22
After cultivation	8.0	0.8	1.7	40	0.9	1.9	0.62	2.05

Table 4. Amount of applied fertilizer for upland crop cultivation at the experimented site of the Saemangeum reclaimed land.

N	Basal		Additional		Total		Compost	
	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	K ₂ O	N	P ₂ O ₅		K ₂ O
----- kg 10a ⁻¹ -----								
3.6	3.2	2.4	4.0	-	7.6	3.2	4.0	600

Table 5. Comparison of soil chemical properties between the good seed-emerged area and the no seed-emerged area at the experimented site of the Saemangeum reclaimed land.

Soil sampled area	pH	EC	OM	Av.P ₂ O ₅	Exchangeable cations			
					Ca	Mg	K	Na
	1:5	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	---cmol _c kg ⁻¹ -----			
Good seed-emerged	8.0	0.8	2.0	38	0.9	1.8	0.62	2.02
No seed-emerged	7.1	16.8	2.0	44	0.9	4.2	0.94	13.91

였으며, 시험후 토양은 작물이 건전하게 생육된 지역과 미출아 또는 고사된 지역으로 구분하여 시료를 채취하여 분석하였다. 시험전후의 토양화학성은 Table 3과 같다.

밭작물의 시험 재배법 및 수량조사 밭작물재배시험을 위한 공시작물로 콩은 대원콩, 대풍, 태광 및 황금콩 등 4개 품종과 옥수수는 미백찰, 미흑찰 및 미백2호 등 3개 품종 및 고구마는 안동순, 청솔, 보라미 등 3개 품종이었다. 시험포장은 명거배수가 잘 되도록 이랑 (20 x 70 cm)을 만들고 비닐피복과 무피복으로 구분처리 하였다. 시험작물 중 고구마는 이랑위에 15 cm 간격으로 이식 재배하였고 옥수수와 콩은 옥수수 30 cm, 콩 15 cm 간격으로 2립씩 점파하여 재배하였고 파종 및 이식기는 2009년 5월 20일이었다.

시험재배는 새만금지역의 농민들이 주로 사용하는 재배법에 기준 한 시험효과를 보기 위하여 시비는 지역의 주 사용비료인 수도용 복합비료 (N-P₂O₅-K₂O-MgO-B=9-8-6-2-0.3)를 이용하여 작물의 종류에 관계없이 동일한 수준으로 질소 3.6, 인산 3.2, 칼리 2.4 kg 10⁻¹ 수준으로 기비를 사용하고 추비는 요소를 4 kg 10⁻¹수준으로 시비하였다 (Table 4). 또 퇴비의 사용이 이랑의 유지와 작물의 생육에 미치는 영향을 구명하기 위하여 파종면적 중 50%에 부숙토평퇴비 (성분구성: 축분 27%, 토평 70%, 목탄 3%)를 600 kg 10a⁻¹ 수준으로 사용하여 무사용처리와 비교하였다. Table 4은 시험작물의 시비량이다.

작물의 청에 및 수량 (고구마는 괴근)은 품종별 처리별로 구분하여 생육정도에 따라 6등급으로 관찰그룹을 정하여 각각 수확면이 1.26 m² (0.7 x 1.8 m)내 식물체를 수확하여 10a 단위로 환산하였고, 수확물 중 약 2kg을 풍건하여 건물율을 조사하여 10a단위로 건물량으로 환산하였다.

결과 및 고찰

토양염농도와 작물 생육 시험전 토양은 유기물과 유효인산함량이 매우 낮은 약알칼리성 토양으로서 작토의 염농도가 평균 1.9 dS m⁻¹으로 제염이 많이 진행된 특성을 보였다. 그러나 시험포지내에서 지역별로 파종된 작물의 출현율은 큰 차이를 보여 지역에 따라 전혀 출현이 되지 않은 곳도 있었다. 따라서 토양화학성의 공간적 변이가 작물의 출현에 영향을 미친 것으로 추정되어 작물이 정상적으로 출현한 지역과 전혀 출현하지 않은 지역으로 나누어 화학성을 비교 조사하였다.

작물이 전혀 출현하지 못한 지점의 토양은 정상적인 출현을 한 지점의 토양보다 염농도가 매우 높고 Na와 Mg 함량도 높은 경향을 보여 고농도의 염류가 출현불량의 직접적인 원인으로 판단되었다. 작물이 전혀 출현되지 못한 지점의 토양염농도가 16.8 dS m⁻¹인 것은 Sohn et al. (2009a)이 간척지에서 염농도와 작물의 출현관계를 로그함수로

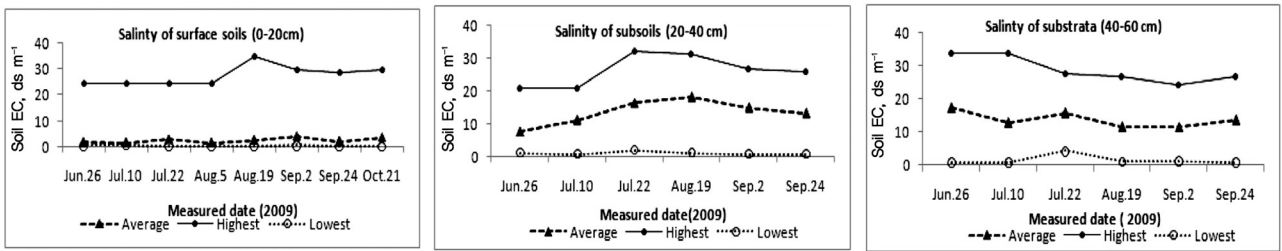


Fig. 1. Soil salinity changes during growing period of upland crops at the experimented site of the Saemangeum reclaimed tidal land(Average of soil salinity is mean of 60 samples).

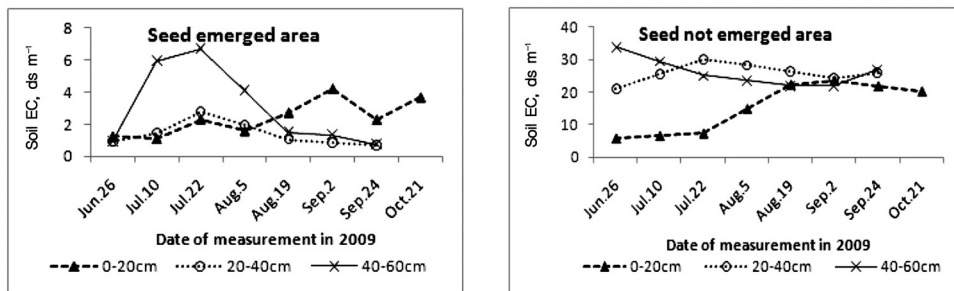


Fig. 2. Comparison of soil salinities on the seed emerged area and the seed not emerged area during growing period of upland crops.

분석한 결과 출현이 0에 도달하는 염농도 수준은 옥수수 17 dS m^{-1} , 콩 14 dS m^{-1} 로 추정된 결과와 거의 유사하다고 생각된다. 시험포장의 염농도는 작물의 작기동안 끊임없이 변화하는 것으로 조사되었다. Figure 1은 시험포장의 시기별 토양 염농도변화를 조사한 것이다.

Table 3에서 시험전 토양염농도가 평균 1.9 dS m^{-1} 로서 비염류토양의 한계농도인 2 dS m^{-1} 로 보다 낮았으며 염에 매우 민감한 작물이외는 작물에 대한 피해가 미미할 정도로 제염이 진전되었음을 알 수 있다 (Ryu et al., 2000). 그러나 Fig. 1에서 표토 (0~20 cm)의 염농도는 6월 26일 최저 0.47, 최고 24.5 dS m^{-1} 8월 19일에는 최저 0.37, 최고 34.9 dS m^{-1} 로 시기별로 큰 변이성을 나타내고 있고 염농도가 높은 지역은 작물피해가 큰 것으로 조사되었다. 토심별 염농도는 심토 (20~40 cm)나 심층 (40~60 cm)이 표토 (0~20 cm)보다 더 높은 경향을 보여 심근성 작물재배시 고려되어야 할 것으로 생각된다. 작물의 종자출현과 염농도의 관계를 보면 종자가 출현된 지점과 종자가 출현되지 않은 지점간의 염농도차이는 현저하다 (Fig. 2 및 Table 3).

종자가 출현되지 않은 지점의 토양염농도는 출현된 곳에 비하여 생육 전기간 동안 월등히 높게 지속되었다. 또 8월 29일 이후에는 미출현 지점의 토양염농도가 토심에 관계없이 약 20 dS m^{-1} 에 매우 높은 반면에 종자가 출현된 지점은 토심 20~40 cm와 40~60 cm에서 약 2 dS m^{-1} 으로 낮았으며 토심 0~20 cm는 2~4 dS m^{-1} 로 약간 높은 경향을 보였는데 이는 8월 하순 이후 강우량이 감소됨에 따라 염류

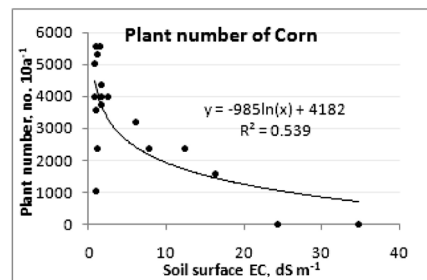


Fig. 3. Relation between soil surface salinity and plant number of corn grown at the experimented site of the Saemangeum reclaimed land.

가 표토에 축적되는 현상 때문에 생긴 결과로 해석된다.

토양 염농도변이는 옥수수포장이 가장 심하였다. 옥수수 시험포장은 고구마나 콩시험포장에서와 마찬가지로 대부분 분지역이 2.0 dS m^{-1} 이하로 유지되었으나 일부 지역은 고농도로 유지되어 출아되지 않거나 도중에 고사하여 성숙기까지 생존한 개체가 토양염농도에 따라 차이가 있었다. Figure 3은 출현부터 수확기까지 옥수수의 생존개체수와 생육기간 중 최고를 나타낸 토양 EC와의 관계를 나타낸 것이다.

토양염농도는 파종된 옥수수의 출현과 생존율에 큰 영향을 주고 있음을 뜻하는 것으로 염농도 16.26 dS m^{-1} 에서는 개체수가 1,587 plants 10a^{-1} 이었으나 24.35 dS m^{-1} 이상에서는 출현된 개체수가 전혀 없었다. 이러한 결과는 염농도와 작물의 출현율과의 조사에서 염농도 17 dS m^{-1} 이상에서는 출현율이 0에 도달한다고 추정된 보고와 거의 일치한다고 볼 수 있다 (Sohn et al., 2009a). 따라서 토양염

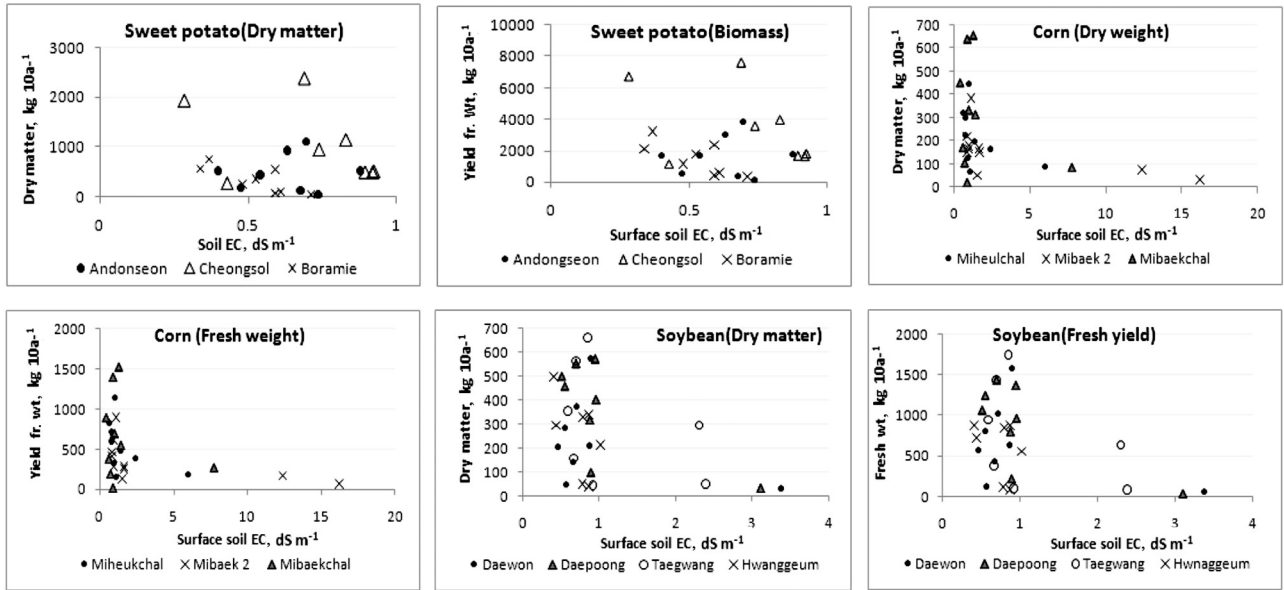


Fig. 4. Relation between the soil salinity and the dry matter and biomass yield of sweet potato, corn and soybean in the experimented site of the Saemangeum reclaimed land.

Table 6. Regression analysis between soil surface salinity and dry matter production.

Crops	Soil EC(dS m ⁻¹)		Regression analysis ^b	
	Lowest	Highest	Equation	R ²
Sweet potato	0.225	1.99	y=-203ln(x) + 511.9	0.013
Corn	0.46	34.85	y=-75.2ln(x) + 248.6	0.265
Soybean	0.225	22.0	y=-141ln(x) + 268.8	0.147

Regression analysis^b: x=surface soil EC, y=dry matter.

농도는 16.0 dS m⁻¹ 이하가 되어야 출현될 수 있고 4.2 dS m⁻¹ 이하로 유지되면 최고 출현 생존개체수가 10a당 5,556개체로 그 중 50%에 해당하는 2,778개체이상의 출현생존을 보장할 수 있을 것으로 추정되었다. 이러한 출현 생존개체수는 작물의 수량에 직접적인 영향을 줄 수 있다. 토양염농도가 작물생육에 미친 영향을 추정하기 위하여 생육정도에 따라 몇 개의 그룹으로 구분하고 그룹별로 생육기간 중 토양염농도 추이와 생육상황을 조사하였다. 토양염농도가 건물 및 생체수량 생산에 미친 영향을 조사하기 위하여 그룹별로 조사된 토양염농도중 생육에 가장 영향을 끼친 농도는 최고 염농도일 것으로 생각하고 그룹별 생육중 최고 염농도와 작물별 건물 및 생체수량을 조사하여 상호관계를 조사하였다. Figure 4는 재배기간 중 각 그룹별 최고 염농도와 건물 및 생체수량과의 관계를 나타낸 것이다.

전체적으로 볼 때 염농도의 증가에 따라 옥수수과 콩의 수량이 감소하는 경향을 보였으나 확인하지는 않았고 고구마는 전혀 연관성을 보여주지 않았다. Sohn et al. (2009b)은 작물수량이 토양염농도 증가에 따라 로그함수적으로 감소한다는 것을 회귀분석으로 추정하였다. 따라서 토양염농도의 미묘한 차이가 작물생육에 미치는 영향을 알고자

회귀분석을 하였다. Table 6은 각 시험작물의 생육정도에 따른 그룹별 건물수량과 해당그룹의 최고 토양염농도의 관계를 회귀분석한 결과이다.

토양염농도와 건물생산량간의 관계를 회귀분석한 결과 염농도의 증가에 따라 건물생산량이 일관성 있게 감소하지 않아서 매우 낮은 적중률을 나타냈지만 R²값은 옥수수에서 가장 크고 고구마에서 가장 적은 값을 보였다. 이러한 결과는 전체포장의 대부분이 비염류토양의 한계농도 (Ryu et al. 2000)인 2.0 dS m⁻¹ 이하를 나타내어서 염농도의 영향이 적는데 반하여 토양수분이나 작물별 표준 시비량을 고려하지 않고 작물별 전용복비가 아닌 수도용 복비를 전용하는 농민의 관행방법에서 오는 시비불균형 등 다른 어떤 요인의 영향이 더 크게 작용한 결과로 해석된다.

이랑의 안전성과 작물재배조건 이랑재배로 시험재배를 한 고구마, 옥수수 및 콩의 작황을 비교한 결과 작물간 큰 차이를 보였다. 고구마는 넝쿨성의 특성 때문에 토양의 피도가 높아서 내침식성이 매우 높은 작물이다. 새만금간척지에 재배한 고구마의 경우 비닐피복재배한 것이나 무피복재배한 것 모두에서 파종시 형성된 이랑이 수확

Table 7. Comparison of ridge height (cm) of two groups treated by vinyl-mulching and no mulching cultivation at the experimented site of the Saemangeum reclaimed land.

Measured time	Ridge height (cm) of planting row						
	Vinyl mulching treatment			No mulching treatment			
	Average	Lowest	Highest	Average	Lowest	Highest	
Ridge formation for crop	20.6	15.0	23.0	20.6	15.0	23.0	
After harvest	soybean, corn	17.8	13.0	23.0	5.8	3.0	11.0
	sweet potato	18.4	13.0	23.0	17.2	14.0	23.0

Table 8. Comparison of bulk densities (BD) between seeding time and harvesting time for the ridge soil controlled by different culturing conditions at the experimented site of the Saemangeum reclaimed land.

BD (Mg m ⁻³) at seeding time	BD (Mg m ⁻³) at Harvesting time			
	Vinyl mulching		No mulching	
	No compost	Compost	No compost	Compost
1.07 (1.06-1.09)	1.22 (1.16-1.27)	1.21 (1.17-1.24)	1.35 (1.33-1.36)	1.25 (1.22-1.28)

기까지 거의 원형대로 유지되는 경향을 보였다 (Table 7). 따라서 시비된 비료나 퇴비의 유실이 거의 없었다고 판단된다. 토양의 내침식성이 매우 약한 옥수수나 콩은 이랑재배시 토양침식이 심하다 (Jung and Oh, 2002). 새만금 간척지는 표토는 점성이나 가소성이 매우 낮고 쉽게 허물어지는 극세사의 함량이 많은 양질 사토로 구성되어 있기 때문에 이랑재배의 경우 이랑의 유지보수가 큰 문제가 되는 것으로 조사되었다. 이랑재배를 한 옥수수와 콩은 강우에 의한 이랑붕괴가 극심하여 수확기까지 이랑원형이 제대로 유지되지 못하였고 이에 따라 대부분의 작물이 도복되거나 뿌리가 노출·고사되는 피해를 입었다. Table 7은 이랑을 비닐피복하여 재배한 이랑과 무피복으로 재배한 이랑의 원형유지정도를 조사한 것이다.

새만금간척지의 토양특성상 이랑재배는 이랑붕괴로 인한 토양침식과 시용된 비료나 퇴비의 유실이 매우 심하여 작물생육 저해의 중요한 원인으로 해석된다. 이랑붕괴는 이랑의 토양용적밀도에도 영향을 주는 것으로 조사되었다. Table 8은 파종직후와 수확직전의 토양용적밀도를 조사한 것이다.

비닐멀칭이 무멀칭에 비하여, 무멀칭에서는 퇴비시용이 무시용에 비하여 용적밀도가 낮게 조사되어 용적밀도와의 증가를 완화하는 효과가 있는 것으로 생각된다.

이상을 종합하면 새만금 간척지에서의 이랑재배는 이랑붕괴와 침식이 작물의 생육저해와 밀접한 관계가 있는 것으로 판단되기 때문에 이에 대한 대책을 강구하여야 할 것으로 생각된다. 본 시험의 결과와 같이 비닐피복재배가 그 대안으로 고려되어야 할 것으로 생각되며, 비닐피복재배가 불가능한 작물의 경우 이랑넓이가 넓은 광휴재배가 이랑의 전면적 붕괴는 어느 정도 피할 수 있을 것으로 추정된다.

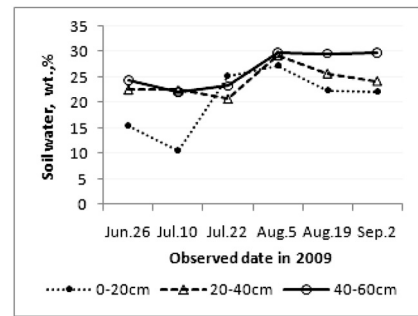


Fig. 5. Changes in soil water content with depth during crop growing period.

토양수분변화와 작물생육 새만금간척지에서의 작물생육저해는 보수력이 약한 토양특성 때문에 한발의 영향으로 생육저해를 받을 수 있다. 2009년도 시험포장의 토양수분 상태를 조사한 결과는 Fig. 5와 같다.

토성별 토양수분함수를 보면 미사질양토는 포장용수량이 29%, 위조계수가 11%, 사양토는 포장용수량이 18%, 위조계수가 7%, 사토는 포장용수량이 8%, 위조계수가 3%로 조사되고 있다 (Cha and Park, 1973). 따라서 시험토양의 토성이 양질사토인 점을 고려한다면 전 생육기간에서 한발의 영향은 미미하였고, 강우기에 침수현상이 목격됨에 따라 과습피해가 더 문제될 것으로 판단된다. 과잉수분은 결국 토양공기의 양을 감소시켜 뿌리호흡의 불량으로 작물생육이 저해될 수 있다. Figure 6은 토양의 기상용적을 조사한 것이다.

토양공기는 이랑 내에는 18.7~39.5%의 분포를 보여 뿌리호흡을 저해할 정도는 아닌 것으로 생각되지만 토심 20 cm 하부는 0~13.4%로 매우 적어 뿌리가 깊이 뻗기에는 부적합 환경이라고 생각되었다. 특히 무피복재배의 경우

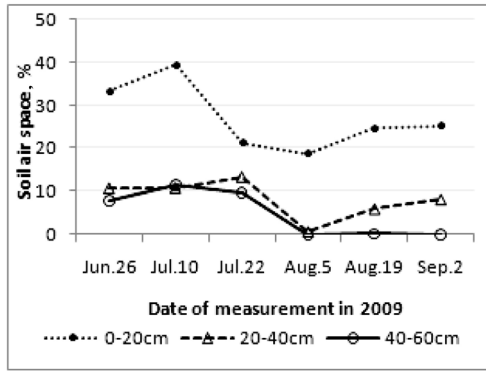


Fig. 6. Changes in soil air space with depth during crop growing period.

이랑이 붕괴로 정체수 발생시 침수해가 더욱 심하게 나타날 수 있는 조건이 되었다.

여름강우 기간 동안 포장이 몇 번의 침수로 피해가 발생하는 것이 목격되었으나 정확한 침수빈도는 측정하기 어려웠다. Sohn et al. (2009b)는 정체수의 발생에 의한 침수해의 가능성을 투수속도와 강우량에 의하여 추정하는 방법을 제시하였다. Table 9는 새만금간척지의 시험포장 13개 지점에서 측정한 투수속도 측정치이다. 시험지의 투수력을 측정한 결과 최하 66.2, 최고 193.2 평균 120.7 cm day^{-1} 를 나타내고 있다.

침수가능성을 검토하기 위하여 새만금간척지가 위치하는 부안지역의 강우빈도와 강수량을 조사한 결과는 Table 10과 같다.

Table 9과 Table 10을 비교하면 투수속도 $120.7 \text{ cm day}^{-1}$ 를 초과하는 강우는 없었다고 판단된다. 그러나 실제 침수피해가 일어난 점을 감안하면 투수력이 아무리 양호하여도 간척지는 저지대에 위치함으로 여름호우기는 토양이 거의 포화상태로 유지되고 지하수위가 상승하기 때문에 투수속도보다 적은 강우량에도 침수가 발생하는 것으로 추정된다. 기존 연구에서 새만금간척지에서 지하수위는 비강우기에는 $-90 \sim 150 \text{ cm}$ 로 매우 낮지만 여름철 강우기에는 $-20 \sim 30 \text{ cm}$ 로 상승하는 것으로 조사되었다 (Sohn et al, 2007).

토양의 강우수용능력으로 침수가능성을 추정할 수 있을 것으로 생각된다. 새만금간척지의 토양용적밀도는 본 연구에서 이랑토양이 $1.16 \sim 1.36 \text{ Mg m}^{-3}$ (Table 5)의 분포를 보였으나 기존 연구에서 표토 1.44 Mg m^{-3} , 심토 1.48 Mg m^{-3} 으로 조사·보고되었다 (Sohn et al, 2007). 따라서 강우수용 면에서는 토양단면상 모든 층위의 대표적 용적밀도는 1.48 Mg m^{-3} 로 생각된다. 토양단면의 형태적 특성은 토심 70 cm 정도에서 지하수의 영향을 많이 받아 회색화가 심한 것으로 보아서 비강우기는 토심 70 cm까지 강우를 수용할 수 있는 토심의 최고 한계로 볼 수 있고, 여름강우기는 토심 30 cm가 강우를 수용할 수 있는 토

Table 9. Hydraulic conductivity determined by the inversed auger hole method at the experimented site of the Saemangeum reclaimed land.

No. of measurement	Hydraulic conductivity (cm day^{-1})		
	Average	Highest	Lowest
13	120.7	192.2	66.2

Table 10. Rainfall recorded at Buan station of the Korea Meteorological Administration near the Saemangeum reclaimed land in 2009.

	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.
Rainfall (mm)	97.9	111.5	462.7	162.0	55.0	24.0
Rained days	9	12	20	15	7	7
Days rained more than 50 mm day^{-1}	-	-	4	1	-	-
Days rained more than 30 mm day^{-1}	2	2	7	2	1	-
Days rained more than 20 mm day^{-1}	2	2	9	3	1	-
Days rained more than 10 mm day^{-1}	3	2	10	4	2	1

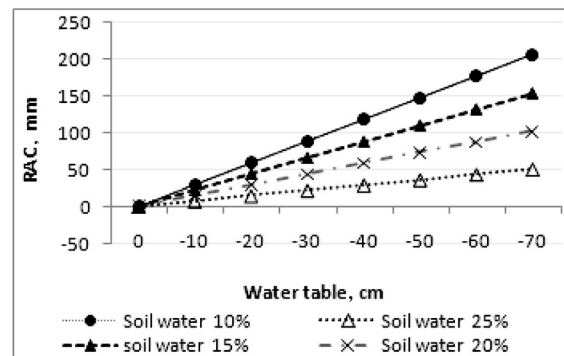


Fig. 7. Comparison of the rainfall acceptable capacity (RAC^b) of soil water content with water table rising at the experimented site of the Saemangeum reclaimed land (RAC^b is calculated by reduction of soil water from saturated water in the soil depth above water table).

심으로 생각할 수 있다. 강우수용능력은 지하수위의 상부층 토양이 강우를 수용할 수 있는 토심으로서 공극을 채울 수 있는 포화토양수분 (mm)에서 그 당시의 토양수분 (mm)을 제한 량에 해당할 것이다. Figure 7은 토양수분 10~25%와 용적밀도 1.48 Mg m^{-3} 조건에서 지하수위 변동에 따른 토양의 강우수용능력 (Rainfall acceptable capacity)을 비교한 것이다.

강우에 대한 토양의 수용능력은 토양의 모든 공극이 강우로 완전히 채워진다고 가정하면 지하수위가 -70 cm 로 내려가면 최대 310 mm까지 강우량을 흡수할 수 있으나

Table 11. Yield of marketable tuberous root (edible root) and biomass of four different varieties of sweet potatoes grown at the experimented site of the Saemangeum reclaimed land.

Variety		Yield cultured by different methods (Fresh, kg 10a ⁻¹)			
		No mulched		Vinyl mulched	
		Compost	No compost	Compost	No compost
Cheongsol	Biomass total	3,601	3,998	3,374	3,549
	Top	2,460	2,302	1,912	1,764
	Root (R)	1,141	1,696	1,462	1,785
	Edible root (E)	1,111	1,675	1,446	1,729
	E/R ratio	0.97	0.99	0.99	0.97
Andongsun	Biomass total	1,702	1,756	1,788	1,554
	Top	1,314	823	916	885
	Root (R)	388	933	872	669
	Edible root (E)	380	911	861	661
	E/R ratio	0.98	0.98	0.99	0.98
Borami	Biomass total	3,286	2,126	1,123	1,108
	Top	2,619	1,190	620	575
	Root (R)	667	936	503	533
	Edible root (E)	608	869	337	306
	E/R ratio	0.91	0.93	0.67	0.57

Table 12. Fresh and dry matter production of corn grown at the experimented site of the Saemangeum reclaimed land.

Yield	Variety	Yield according to different cultural methods			
		No mulched		Vinyl mulched	
		Compost	No compost	Compost	No compost
Fresh matter (kg 10a ⁻¹)	Mibaek 2	240	170	656	547
	Mibaekchal	308	278	1,465	642
	Miheukchal	407	195	988	544
Dry matter (kg 10a ⁻¹)	Mibaek 2	123	92	302	166
	Mibaekchal	154	134	649	312
	Miheukchal	165	83	383	210
No. of corn ear (No. plant ⁻¹)	Mibaek 2	0.70	0.51	0.07	0.72
	Mibaekchal	0.27	0.55	0.31	0.41
	Miheukchal	0.78	0.41	0.35	0.32

지하수가 -30 cm까지 상승할 경우 최대 133 cm 정도 밖에 흡수·처리될 수 없다. Figure 7에서 강우기 토양수분은 20~25%이상을 오르내리는 것으로 조사되었다. 따라서 지하수위가 -70 cm으로 내려가면 강우수용능력이 토양수분 20%에서 102.2 mm, 토양수분 25%에서 50.4 mm에 달하지만 -30 cm로 상승하면 토양수분 20%에서 43.8 mm, 토양수분 25%에서 21.6 mm로 줄어들게 된다. 이러한 결과는 여름강우기에 강우량 21.6 mm 이상이 되면 침수가 용이하게 일어날 수 있음을 암시한다고 할 수 있다. 2009년 7월과 8월 새만금간척지에서 20 mm 이상된 강우일수가 월 2~9일이나 되어 강우에 의한 일시적 침수가 발생할 개연성이 높고 또한 수차례 침수가 목격되었다. 작물의 침·관수는 뿌리활력을 감소시키고 토양의 산화환원전위를 떨어뜨려 수량이 크게 감소된다 (Park and Ha, 1984).

시험작물의 수량 새만금간척지에서 재배한 시험작물의 수량은 대체로 비간척지 토양에 비하여 환경적 불리성 때문에 수량이 낮은 경향을 보였다.

고구마의 수량은 식용부분인 괴경의 상저수량과 비식용부분인 지하부와 지상부의 생물량으로 구분하여 조사하였다. Table 11은 고구마의 수량을 조사한 결과이다.

고구마의 생체량이나 가식성 상저수량은 비닐피복여부나 퇴비시용여부에 관계없이 일정한 경향을 나타내지 않았다. 이러한 원인은 고구마가 냉쿨성이기 때문에 토양피도가 높아서 이랑붕괴가 잘 일어나지 않아 시비양분의 용탈유실이 적고 잡초발생도 비닐피복 여부에 큰 차이를 나타내지 않았기 때문에 생긴 결과로 생각된다. 품종별 특징을 보면 청솔과 안동선은 뿌리생산량의 97~99%가 식용이 가능한 괴근으로 비대하였으나 기능성 고구마인 보라미는

Table 13. Characteristics of corn ear grown at the experimented site of the Saemangeum reclaimed land.

Variety	Ear characteristics			Wt, of 500grains
	Length	Grains	Grain wt.	
	cm	No. ear ⁻¹	g ear ⁻¹	g
Mibaek 2	12.2.	30.4	7.9	130
Mibaekchal	11.3	64.4	8.9	69
Miheukchal	13.3	114.0	16.5	72

Table 14. Fresh and dry matter and grain production of soy bean grown at the experimented site of the Saemangeum reclaimed land.

Variety	No mulched		Vinyl mulched		
	Compost	No compost	Compost	No compost	
	----- kg 10a ⁻¹ -----				
Fresh weight	Hwanggeum	558	320	556	873
	Taegwang	476	239	1,746	1,429
	Daepoong	870	733	1,238	1,063
	Daewon	680	594	1,032	437
Dry matter	Hwanggeum	228	181	215	342
	Taegwang	188	117	665	566
	Daepoong	354	310	460	502
	Daewon	235	222	375	143
Grain	Hwanggeum	39	25	24	81
	Taegwang	49	23	71	42
	Daepoong	80	87	83	90
	Daewon	56	35	57	19

지하부 생산량의 57~93%만이 가식성 괴근으로 비대되어 낮은 상저수량성을 보였다. 이상 고구마의 시험성적을 요약하면 고구마의 수량은 생물총량이 1,108~3,998 kg 10a⁻¹, 식용부분인 상저 수량은 306~1,729 kg 10a⁻¹를 보여 보라미의 품종개발당시 지역평균 상저수량 3,673 kg 10a⁻¹에 비하여 매우 적었다 (RDA, 2009). 품종별로는 청솔이 가장 수량이 많았다.

옥수수는 키가 큰 특성 때문에 도복과 뿌리노출피해가 심하였고 특히 이랑의 붕괴가 심한 무피복재배에서 생육이 가장 저조하였다. Table 12는 옥수수에 대한 청예 및 건물수량 및 이삭수를 조사한 것이다.

옥수수는 피복도가 떨어지는 이랑재배작물이기 때문에 이랑의 지지력이 약한 새만금간척지의 경우 비닐피복재배는 이랑지지에 유리하여 증수효과가 현저하게 좋았지만 무피복재배는 이랑붕괴로 도복·고사가 심하고 잡초발생량이 많아서 청예수량 및 건물수량이 무피복재배보다 매우 저조하였다. 또한 퇴비처리는 무처리보다 수량이 매우 높은 경향을 보여 비록 돈분투입비사용량이 600 kg 10⁻¹에 지나지 않았지만 척박한 간척지에서 큰 효과를 발생한 것으로 생각된다. 그러나 결실이삭수는 일관성있는 경향을 보여주지 않았다.

공시 옥수수품종은 모두 식용 찰옥수수로서 이삭이 상품

성을 좌우하기 때문에 이삭의 특성이 가장 중요하다. Table 13은 옥수수이삭의 특성을 조사한 것이다.

대체로 옥수수 이삭은 미착립율이 높아서 이삭당 립수도 적고 무게도 형편이 없게 적어서 상품으로서의 가치가 거의 없었다. 품종별로는 비교적 미혹찰이 가장 좋았고 미백2호가 가장 불량하였다. 그러나 미혹찰 역시 상품가능성이 있는 이삭은 매우 적었다. 이러한 원인은 간척지가 바람이 강하고 비가 빈번한 관계로 화분착상 불량으로 임실율이 저조하였기 때문으로 추정되어 간척지에서의 식용 옥수수의 재배는 임실율을 개선할 수 있는 방안이 마련되어야 할 것으로 판단되었다.

이상 옥수수의 성적을 종합하면 청예수량 170~1,465 kg 10a⁻¹, 건물수량 83~649 kg 10a⁻¹로 저조한 생육량을 보였다. 특히 우리나라에서 많이 재배되고 있는 신찰옥, 흑점찰, 찰옥1,2호 등 찰옥수수계통의 품종은 주당 이삭수 비율이 0.94~0.97% (100주당 이삭 94개~97개), 이삭수량이 300평당 6,000개 이상으로 보고되고 있다 (RDA, 2009). 본시험에 공시된 찰옥수수는 주당 이삭수 비율이 0.07~0.78 No. plant⁻¹ (100주당 이삭 7~78개)에 지나지 않았고, 수확된 이삭도 과도한 불임으로 착립율이 나빠서 이삭당 7.9~114.0립에 지나지 않았다. 이 결과는 상품성 이삭을 거의 거두지 못한 것을 의미하며, 새만금간척지

에서의 찰옥수수 재배는 증비와 임실율을 올릴 수 있는 특단의 대책이 필요한 것으로 판단된다.

콩은 옥수수와 마찬가지로 도복피해와 뿌리노출피해가 많이 발생하였으나 키가 작고 만곡도복후 뿌리의 재착상 생존율이 높은 작물특성 때문에 옥수수에 비하여 피해가 다소 적은 경향을 보였다. Table 14는 콩의 청예, 건물 및 종실수량을 나타낸 것이다.

콩의 청예 및 건물수량은 이랑붕괴가 매우 적은 비닐 피복재배가 붕괴가 심한 무피복재배보다 많은 경향을 보였다. 그러나 퇴비시용은 일관성 있는 경향을 보여주지 못하였는데, 무피복재배에서는 시험된 전품종에서 퇴비시용효과가 있었으나 비닐피복재배의 경우 태광콩과 대원콩의 청예 및 건물수량은 퇴비시용이 무시용보다 많았으나 황금콩과 대풍콩은 그 반대였다. 이러한 결과는 콩은 근류균 착생으로 퇴비시용여부에 따른 비옥도 개선효과가 반감된 결과로 해석된다. 따라서 콩은 퇴비시용효과가 일관성이 없었지만 비근류작물인 옥수수는 대체로 퇴비시용효과가 나타나는 결과를 보였다.

전체적으로 콩은 청예수량이 $320\sim 1,746\text{ kg }10a^{-1}$, 건물수량 $117\sim 566\text{ kg }10a^{-1}$ 종실수량 $19\sim 90\text{ kg }10a^{-1}$ 의 범위로서 제염이 많이 된 상태이지만 종실수량의 경우 품종육성 당시 지역적응시험의 평균 종실수량 ($\text{kg }10a^{-1}$) 이 황금콩 206, 대광 266, 대원 293, 대풍 326인 점과 비교하면 매우 저조한 경향이다 (RDA, 2009).

요 약

최근 조성된 새만금간척지의 범용화의 일환으로 추진되고 있는 간척지의 발작물재배를 위하여 새만금간척지의 문제점으로 지적되고 있는 염농도, 배수 및 이랑안전성에 대한 연구검토가 시급하다. 시험연구는 새만금간척지에 조성된 시험포에 옥수수, 콩 및 고구마를 공시작물로 하여 각 작물당 3-4개의 품종을 파종하여 유기물시용과 비닐피복, 염농도변화, 토양의 수분 및 침수 등 재배조건이 이랑의 안전성과 작물의 생육 및 수량에 미치는 영향을 검토하기 위하여 수행되었다. 시험작물의 수량은 옥수수가 청예수량 $170\sim 1,465\text{ kg }10a^{-1}$, 건물수량 $83\sim 649\text{ kg }10a^{-1}$, 옥수수의 이삭수량이 $0.07\sim 0.78\text{ No. plant}^{-1}$ 이었고, 콩은 청예수량이 $320\sim 1,746\text{ kg }10a^{-1}$, 건물수량 $117\sim 566\text{ kg }10a^{-1}$ 종실수량 $19\sim 90$ 의 범위였고, 고구마는 생물총량 $1,108\sim 3,998\text{ kg }10a^{-1}$, 식용부분인 고구마괴근 수량 $306\sim 1,729\text{ kg }10a^{-1}$ 로 일반 경지에 비하여 수량성이 매우 낮았다. 이처럼 수량성이 낮은 원인은 ① 새만금 간척지에 조성된 시험지는 극세사 함량이 높은 양질 사토로서 제염상태가 많이 진전되어 대부분 2 dS m^{-1} 이하로 제염되어 염농도가 작물의 생육에 영향을

주지 못하였지만, 일부 지역에서 염농도가 16 dS m^{-1} 이상으로 높아서 출현되지 못하거나 생육불량 정도가 극심하였고, ② 새만금간척지 토양은 전지성이 약하여 이랑 침식으로 인한 도복과 뿌리노출로 고사하는 피해가 극심하였으며, ③ 토양의 투수력은 빠르나 지하수의 상승으로 토양의 강우수용능력이 감소되어 과습과 침수해가 빈번하게 발생하였고, ④ 토양이 척박하고 보비력이 약하여 세탈이 심하여 비철에 의한 양분장해가 심하였던 것으로 요약되었다. 유기물시용과 비닐피복은 이랑의 붕괴와 침식을 감소시켜 이랑유지능력이 증가하고 토양의 치밀화를 완화시키는 효과가 있었으며, 수량증가에도 기여하는 것으로 조사되었다.

인 용 문 헌

- Boast C.W. and D. Kirkham. 1971. Auger hole seepage theory. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 35:365-373.
- Cha, D.Y. and M.E. Park. 1973. Multiple regression equation estimating water holding capacities with textural composition and organic matter of upland soils in Korea. The Research Rept. of ORD 15:29-36.
- Chae, Y.A., K.H. Bang, and J.K. Heu. 1990. In vitro breeding for salt tolerance rice. VI. Genetic analysis for proline content in progeny of F2 generation in relation to salt tolerance. Korean J. Breed. 21:283-286.
- Cheong, J.L., B.K. Kim, J.K. Lee, and H.T. Shin. 1996. Varietal difference of yields and yield components of rice by saline water treatment. RDA J. Agric Sci. 38:12-19.
- Choi, D.H., G.S. Lee, and S.Y. Choi. 2001. Lodging reducing technology for flooding direct seeding of rice in reclaimed land. Res. Rpt. Nat'l. Inst. Honam Agr.:588-601.
- Considine, D.M., 1976. Van Nostrand's Scientific Encyclopedia, pp 1909. 5th ed. Van Nostrand Reinhold Co., Newyork, U.S.A.
- HBEO. 1997. Evaluation method of environmental impact and its regulation. Han River Basin Environmental Office.
- Jung, P.G. and D.S. Oh. 2002. Soil conservation method for the sloping land. Soil conservation and management for the sloping land. pp. 103-113.
- Jung, Y.S., J.H. Joo, S.C. Kwon, J.N. Im, M.H. Shin, and K.W. Choi. 2004. Wind erodibility of the Saemangeum tideland reclamation project area. J.Korean Soc. Soil Sci. Fert. 37:207-211.
- Lee, K.S. 1995. Variability and genetics of salt tolerance in japonica rice (*Oryza sativa* L.). Ph. D Dissertation. University of the Philippines at Los Banos.
- Maasland, M. 1955. Measurement of hydraulic conductivity by the auger hole method in anisotropic soil. Soil Sci. 71:379-389.

- NIAST. 1973. Soil survey manual No. 1 (Field study and classification), RDA.
- NIAST. 2000. Analysis of soil and plant. National Inst. of Agr. Sci. & Teck. RDA, Suwon, Korea.
- Park M.E. and S.H. Yoo. 1983. A comparison of soil hydraulic conductivities determined by three different methods in a sandy loam soil. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 16:14-19.
- Park M.E. and Y.W. Ha. 1984. Studies on grain filling in wheat and barley. III. Effect of flooding treatment in the maturing period of barley. *Res. Rept. ORD 26-2(crop)* 112-117.
- Park M.E., Y.S. Zhang, and G.S. Hyeon. 2007. Physico-chemical and mineralogical study on a sand dune near Okjukdong beach of the Daechong island in Ongjingu of Korea. *J. Environ.-friend. Agr. Research* 9:1-22.
- RDA. 2002. Agriculture of the reclaimed tidal land in Korea. *Natl. Inst. Honam Agr.*
- RDA. 2009. Agricultural information for crops. <http://www.rda.go.kr>
- RRI. 2006. Agricultural complex development for upland & Horticultural crops in the Saemangeum reclaimed farmland. *Res. Rpt. Rural Research Institute.* pp. 1-504, Korea Rural Community & Agriculture Corporation.
- RRI. 2007. Development method of the future agriculture complex in reclaimed land. *Res. Rpt. Rural Research Institute.* pp. 1-400. Korea Rural Community & Agriculture Corporation.
- RRI. 2009a. Operation of advanced agricultural experiment complex and field test. *Res. Rpt. Rural Research Institute,* pp. 1-217, Korea Rural Community & Agriculture Corporation.
- RRI. 2009b. Project for development of nursery tree field in Saemangeum. *Res. Rpt. Rural Research Institute,* pp. 1-226, Korea Rural Community & Agriculture Corporation.
- Ryu, S.H. et al. 2000. Dictionary for Soil Science. Seoul National University.
- Shon Y.M., G.Y. Jeon, J.D. Song, D.H. Kim, and M.E. Park. 2010. Effect of soil salinity and soil-wetting by summer-rising of water table on the growth of fruit trees transplanted at the Saemangeum reclaimed tidal land in Korea. *J. Soil Sci. Fert.* 43:16-24.
- Sohn, Y.M. G.Y. Jean, J.D. Song, J.H. Lee, and M.E. Park. 2009a. Effect of spatial soil salinity variation on the emergence of soiling and forage crops seeded at the newly reclaimed tidal lands in Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 42:172-178.
- Sohn, Y.M. G.Y. Jean, J.D. Song, J.H. Lee, and M.E. Park. 2009b. Effect of spatial soil salinity variation on the growth of soiling and forage crops seeded at the newly reclaimed tidal lands in Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 42:179-186.
- Sohn, Y.M., J.S. Park, H.T. Kim, J.H. Lee, G.B. Lee, J.J. Lee, Y.G. Shin, M.E. Park, and Y.S. Hwang. 2007. Multiple utilization of tidal reclaimed farmland for advanced agriculture. Korea Rural Community & Agriculture Corporation.
- USDA. 1962. Soil survey manual. Agricultural Research Administration. United States Dept. of Agri. U.S.A.
- Yu, S.H. and M.E. Park. 2004. Proposal of land-use planing for agricultural use of the Saemangeum reclaimed land. *J. Soc. Agr. Res. on Reclaimed Lands* 2:68-91.