

Effect of Capillary Barrier on Soil Salinity and Corn Growth at Saemangeum Reclaimed Tidal Land

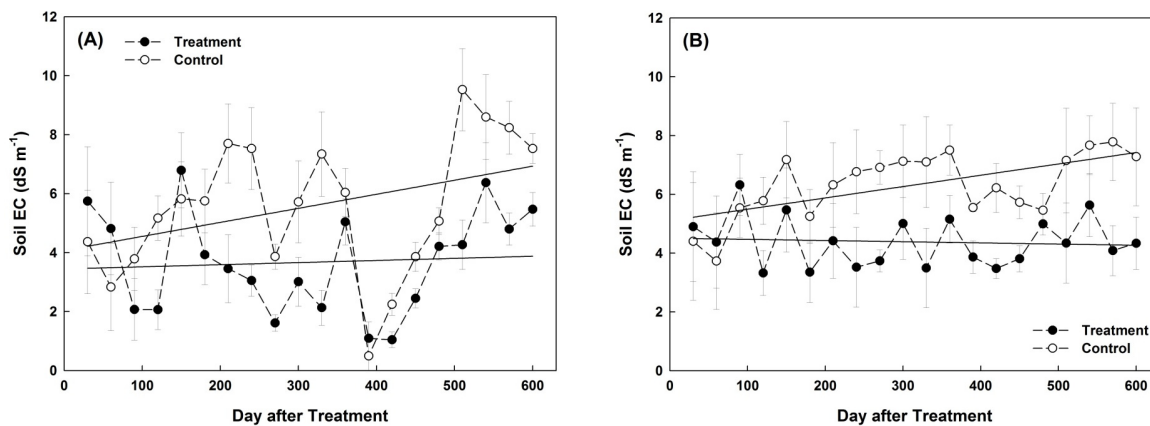
Sanghun Lee*, Su-Hwan Lee, Hui-su Bae, Jang-Hee Lee, Yang-Yul Oh, Tae-Hwan Noh, and Geon-Hwi Lee

National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Iksan 570-080, Korea

(Received: September 2 2014, Revised: November 21 2014, Accepted: November 21 2014)

Salt accumulation at soil surface is one of the most detrimental factors for crop production in reclaimed tidal land. This study was conducted to investigate the effect of capillary barriers beneath the soil surface on dynamics of soil salts at coarse-textured reclaimed tidal land. A field experiment was conducted at Saemangeum reclaimed tidal land for two years (2012-2013). Capillary barriers (3.5x12 m) were treated with crushed-stone, oyster shell waste, coal briquette ash, coal bottom ash, rice hull and woodchip at 40-60 cm depth from soil surface. Silage corn (*Zea mays*) was cultivated during the experimental period and soil salinity was monitored periodically. Soil salinity was significantly reduced with capillary barrier compared to that of control. Oyster shell waste was one of the most effective capillary barrier materials to control soil salinity at Saemangeum reclaimed tidal land. At the first growing season capillary barrier did not influence on corn growth regardless of types of the material, but plant biomass and withering rate of corn were significantly improved with capillary barrier at the second growing season. The results of this study showed that capillary barrier was effective on the control of soil salinity and improvement of corn growth, which indicated that capillary barrier treatment can be considered one of the best management practices for stable crop production at Saemangeum reclaimed tidal land.

Key words: Reclaimed tidal land, Soil salinity, Capillary barrier, Corn, Oyster shell waste



Temporal changes of soil electrical conductivity (EC) with capillary barrier treatment at (A) 0-20cm and (B) 20-40cm depth in Saemangeum reclaimed tidal land during the experiment period. Solid lines represent regression lines between soil EC and time.

*Corresponding author : Phone: +82638402274, Fax: +82638402118, E-mail: sangusa@korea.kr

§Acknowledgement: This study was carried out with the support of "Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (Project No. PJ00928703)" Rural Development Administration, Republic of Korea.

Introduction

최근 쌀시장의 관세화 등 농산물시장이 완전 개방되면서 식량자급률에 대한 인식이 커지고 있지만 우리나라의 식량자급률은 매년 줄어들고 있는 실정이다 (Park and Seung, 2013). 이에 따라 안정적인 작물생산을 위한 경지면적의 확보가 중요한 시점이며 우리나라 간척지 (reclaimed tidal land)는 135천ha로 경지면적의 9%를 차지하여 그 중요성이 날로 커지고 있다 (Lee et al., 2012). 이에 따라 정부는 2011년 간척지의 농업적 이용 및 관리에 관한 사항을 법률로 규정하여 식량자급률 제고 계획을 수립하였다 (Lee et al., 2012). 그러나 우리나라 간척지는 대부분 간척지에 인위적인 방조제를 설치하여 조성되었기 때문에 토양 염농도가 높고 지하수위가 높아 배수가 불량하며, 토양비옥도가 낮고 양분의 불균형이 심한 문제점을 가지고 있다. 특히, 가뭄과 증발산이 증가되는 시기의 재염화 (resalinization)는 작물 생육저하의 주요 원인이 되고 있다 (Lee et al., 2013b). 간척지 토양의 염농도 증가는 작물의 생육저하와 더불어 작물의 품질도 감소하는 것으로 보고 (Lee et al., 2013a) 되어져 있어 간척지 밭작물 재배시 작물수량 확보 및 품질향상을 위해 토양 염농도를 낮추는 것이 중요하다.

재염화 현상은 모세관수의 상승에 의한 수용성 염이 토양 표면에 집적되는 현상으로 미사가 많은 토양에서 재염화가 발생하기 쉽다고 보고 (Seo, 2011) 되어 있으나, 새만금 간척지에서 가장 큰 면적을 차지하는 사양토의 재염화 속도 (306.6 mm)는 미사질양토 (363.7 mm)와 차이가 크지 않은 것으로 보고되고 있다 (Kim, 2013). 재염화 현상에 의한 작물의 염피해를 줄이기 위해서는 모세관수의 상승을 억제하는 것이 중요하다. 모세관수의 상승은 토성, 지하수위, 투수계수, 토양관리, 기상조건 등 여러 가지 요소들에 의해 좌우된다 (Li et al., 2013). 우리나라 간척지 토양의 염류 피해를 줄이는 방법은 주로 제염효율을 증진시키는 연구에 중점이 맞추어져 있었다. 예를 들어, 암거 등 지하배수 시설을 활용해 지하수위를 낮추어주는 방법 (Kim et al., 1997)과 토양 표층을 개량하여 수분침투를 용이하게 하고 물리성을 향상시키는 방법 (Lee et al., 2013b) 등이 수행되었다. 하지만, 모세관수의 상승을 억제함으로써 재염화 억제를 통한 간척지 토양의 염류집적 저감연구는 많지 않은 실정으로 연구의 다각화가 필요한 시점이다.

우리나라에서는 매년 많은 양의 산업 및 농수산 부산물이 발생하고 있다. 국내에서는 연간 25만톤의 굴폐각이 발생하고 있으며, 발생 굴폐각의 50%는 굴 채묘용으로 재이용되고 약 10%정도는 굴폐각 비료의 원료로 사용되고 있다 (Kwon et al., 2004). 하지만, 나머지 40%는 해안매립이나 해안가에 야적 방치되고 있어 환경오염원으로 인식되고 있다. 우리나라의 왕겨 생산량은 국내 벼 생산량의 18~20%

수준인 117~130만 톤 수준으로 발생한 왕겨는 상토 및 왕겨숯 생산에도 이용되고 있으나 대부분은 가축축사 깔개용으로 이용되고 있다 (Keum, 2012). 석탄화력발전소는 회화로 (furnace)에서 마쇄한 석탄을 고온으로 연소하면서 에너지를 얻는데, 연소 후 생성되는 석탄바닥재 (bottom fly ash)는 작은 모래 알갱이같이 회화로 바닥에 침전된다. 총 석탄회 발생량의 10~30%를 차지하고 있는 석탄바닥재의 발생량은 점차 증가하고 있어 2011년 기준으로 약 700만톤의 석탄재가 발생되었지만 대부분 매립되고 있는 실정이다 (Park et al., 2012). 우리나라 연탄 (coal briquette) 사용량은 1980년대 이후로 지속적으로 감소하였으나 2000년대에 들어 고유가 등의 이유로 연탄사용량이 급격히 증가하여 2008년도에는 약 230만톤이 사용되었다 (Park et al., 2010). 전국 폐기물 발생 및 처리현황에 따르면 연탄재의 발생량은 연탄의 사용량과 비례하여 1998년 918톤의 연탄재가 발생하였으나 2000년대에 연탄재 발생량이 급격히 증가하여 2005년도에는 67만톤의 연탄재가 발생되었으며 거의 전량 폐기물 매립장에 매립되고 있는 실정이다 (Jung et al., 2009).

이와 같이 우리나라 산업 및 농수산 부산물의 발생량은 해마다 증가하는 추세이며, 이에 대한 다양한 활용방안이 모색되고 있다. 산업 및 농수산 부산물은 방치하거나 부적절하게 사용하면 악취나 환경오염 등 주변환경에 악영향을 미칠 수 있지만, 적절히 활용할 경우 환경개선을 위한 부자재로의 활용이 가능하다. 모세관 상승억제를 통한 간척지 재염화 방지대책은 토양특성과 모세관 상승 차단층의 종류 등에 따라 많은 영향을 받기 때문에 여러 요인을 고려하여 각 지역에 맞는 최적의 재염화 방지대책을 세우는 것이 필요하다. 따라서, 본 연구에서는 새만금 간척지 토양에 산업 및 농수산 부산물을 이용한 모세관 차단층 (capillary barrier)을 형성해 줌으로써 재염화 억제효과 및 염의 이동특성을 구명하는데 본 실험의 목적이 있다.

Materials and Methods

공시 토양 및 기상조건 본 연구는 전라북도 부안군에 위치한 국립식량과학원 벼백류부 시험포장 (35°46'N, 126°37'E)에서 2012년 4월부터 2013년 12월까지 2년간 실시하였다. 시험포장은 2006년에 물막이 공사가 완공되어 나지로 관리되다 2011년에는 녹비작물 (수수x수단그라스 교잡종)을 재배하였다. 공시토양은 점토함량이 10% 내외의 사양질 토양으로 물 빠짐이 양호하며, 토양통은 하해혼성 충적층 (Fluvio-marine deposit)을 모재로 한 문포토 (coarse loamy, mixed, nonacid, Mesic, Typic, Fluvaquents)이었다. 공시토양의 시험 전 화학적 특성은 Table 1에서와 같이 토양 pH는 8.5로서 높은 값을 나타내고 있었다. 총 탄소 함량은 1.3 g kg⁻¹, 유효인산 함량은 80 mg kg⁻¹으로써 낮은 값을 보이고 있었

Table 1. Chemical properties of surface layer (0-20 cm) for the study soils at pre-experiment stage.

pH (1:5)	EC (dS m ⁻¹)	TC (g kg ⁻¹)	Av. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Exch. cations (cmol kg ⁻¹)			
				Ca	K	Mg	Na
8.2(0.3)	2.6(1.4)	1.3(0.1)	83(7)	1.2(0.1)	1.03(0.09)	1.9(0.2)	3.3(1.2)

Values in parentheses indicate the standard deviation of each mean value.

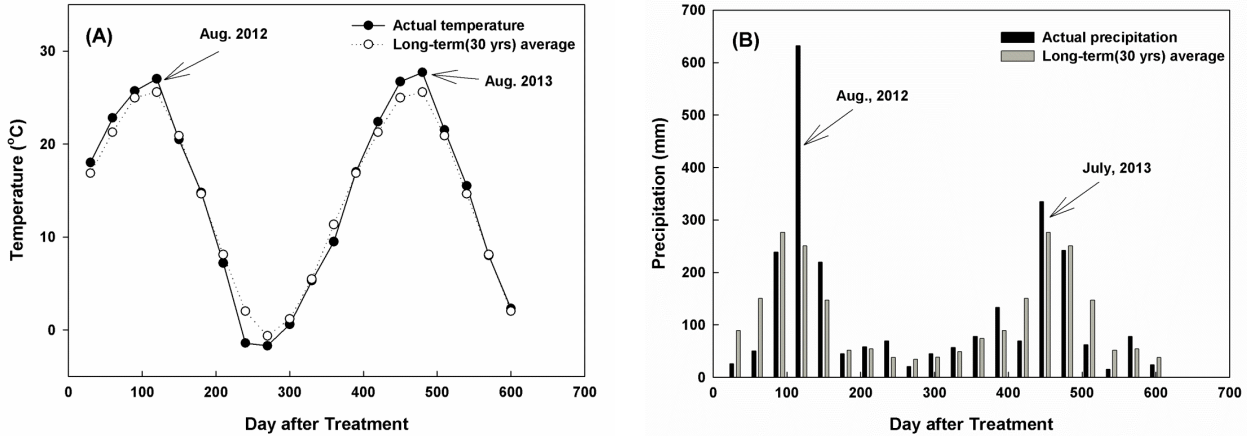


Fig. 1. Monthly (A) mean air temperature and (B) precipitation during the experimental period and long-term(1981-2010) average (source: Korean Meteorological Administration, available on <http://web.kma.go.kr>).

고, 치환성 Mg (1.9 cmol kg⁻¹)과 Na (3.3 cmol kg⁻¹)의 함량이 높아 양분의 불균형이 심한 전형적인 하해혼성 충적토의 특징을 나타내고 있었다.

이 지역의 연평균 대기 기온은 12.6°C로써 1월에 최저기온 -0.6°C와 8월에 최고기온 25.6°C를 보였으며 연중 강우량은 1,250 mm으로 이 중 66%가 6~9월 사이에 집중되어 있었다. 시험 기간 동안의 평균 기온 및 강우량은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 2012년과 2013년 7, 8월의 평균 기온은 30년 평균 기온보다 높은 값을 나타내고 있었고, 2012년 8월과 2013년 7월은 30년 평균 강우량보다 높은 강우량을 기록하였다.

모세관 차단층 처리 및 작물재배 모세관 차단층 형성에 사용된 물질은 산업 및 농수산폐기물 중 지역적 이용 가능성 및 경제성을 고려하여 파쇄목 (1~10 cm), 왕겨, 굴 패각 (5~8 mm), 석탄바닥재 (2~10 mm), 쇠석 (13 mm), 연탄재를 선택하였으며, 각각의 재료는 부안지역 제재소, 부안 미곡종합처리장, 서산 굴양식장, 보령화력발전소, 부안 채석장, 익산 폐기물 처리장에서 각각 수집하였으며, 수집한 모세관 차단물질은 풍건 과정을 거친 후 부피단위로 사용하였다. 각 시험구의 면적은 42m² (3.5x12m)로 표토(0~20 cm), 심토 (20~40 cm), 그리고 40~60 cm층의 토양을 차례로 걷어내고 지표에서 40~60 cm 깊이에 모세관 차단물질을 8.4m³의 부피로 각각의 깊이에 매립하고 심토와 표토를 차례대로 다시 매립하여 조성하였다. 각 시험구는 다른 시험구와 3.5m의 간격을 두어 처리구간의 간섭을 방지하였다.

본 실험에 사용된 시험작물은 사일리지용 옥수수 (*Zea mays*)로써 공시품종은 국내육성 품종인 광평옥이였으며, 파종일은 2012년 4월 25일, 2013년 4월 18일에 각각 30 kg ha⁻¹의 파종량으로 점파하였다. 재식거리는 75x20 cm로 하였으며, 4~5엽기에 1주를 제외한 나머지는 제거하였다. 시비량은 농촌진흥청 표준재배법에 준하여 표준 시비량 (N:P₂O₅:K₂O=150:100:100 kg ha⁻¹)을 기준으로 질소 (요소)는 기비로 50%를 시비하였고 유수형성기에 웃거름으로 50%를 시비하여 2회 분시하였다. 인산 (용과린)과 칼리 (염화가리)는 전량 기비로 시비하였으며 잡초 및 병해충 방제는 농촌진흥청 표준재배법 (RDA, 2000a)에 준하였다. 옥수수 사일리지 수확일은 황숙기를 판단하여 결정하였으며 생육기간은 2012년에는 123일, 2013년에는 118일이었다.

토양 및 식물체 분석 토양시료는 각 처리구에서 오거 (auger)를 이용하여 표토 (0~20 cm)와 심토 (20~40 cm)에서 월 1회 이상 주기적으로 채취하였고, 시료는 음지에서 풍건 후 2 mm 표준체를 통과한 시료는 일반성분 분석용으로 이용하였고, 이 중 일부는 0.05 mm 체를 통과시켜 총 탄소 및 질소함량 분석용으로 사용하였다. 토양 pH와 EC 측정에는 시료와 증류수 비율을 1:5 (w/v)로 하여 30분간 진탕한 후 pH meter (Orion, US/520A)와 전기전도도 측정기 (Orion, US/162A)를 이용해 측정하였다. 토양 중 총 탄소측정은 건식연소법 (dry combustion)으로 800~1,000°C에서 토양 중 탄소를 연소시켜 발생하는 이산화탄소를 CN automatic analyzer (Elementar Analysen Systeme, US/VarioMax CNS)를 이용

하여 분석하였다. 유효인산은 Lancaster법으로 분광측정기 (Shimadzu, JP/UV-2501)를 이용해 720 nm에서 비색 측정하였으며, 수용성 및 치환성 양이온은 증류수와 1N-NH₄OAc (pH 7.0) 침출법으로 추출한 여액을 ICP-OES (Varian, Vista MPX-ICP)를 사용하여 정량분석 하였다.

옥수수 식물체의 수량은 1 m²의 옥수수를 채취하여 ha당 생체중으로 환산하여 계산하였으며, 식물체 성분분석 및 사료가치를 분석하였다. 옥수수의 사료가치 분석은 수확기 시료를 건조한 후 산성용매 불용성섬유 (ADF: acid detergent fiber)와 중성용매 불용성섬유 (NDF: neutral detergent fiber) 함량을 Goering법과 Van Soest법으로 분석하였으며 이로부터 가소화건물 (DDM: digestible dry matter, DDM(%)=88.9-(0.779XADF)), 건물섭취량 (DMI: dry matter intake, DMI(%)=120÷NDF), 사료의 상대적 가치 (RFV: relative feed value, RFV=(DDM×DMI)÷1.29), 및 총가소화영양(TDN: total digestible nutrients, TDN=87.84-(0.70×ADF)) 값을 산출하였다 (Bevre, 1988; Moore, 1970). Chlorophylls 농도는 일반적으로 잎의 SPAD value와 높은 상관관계를 나타내므로 (Zhu et al., 2012) 파종 후 50일차에 Chlorophylls meter (Minolta, JP/SPAD-502)를 이용하여 식물체 최상단의 잎에서 측정하였다. 식물체분석은 70°C 항온 건조기에서 72 시간 동안 건조 후 분쇄된 시료를 습식분해 (H₂O₂-H₂SO₄) 하고 분해액을 여지에 여과한 후 여액은 N, P, K, Ca, Mg, Na등의 정량에 사용하였다 (RDA, 2000b). 식물체 생육 및 수량조사는 농촌진흥청 농업과학기술 연구조사 분석기준에 준하여 실시하였다 (RDA, 2012).

통계처리 실험 데이터는 JMP (SAS ver. 5.0)를 이용하여 ANOVA (analysis of variance)를 분석하였으며, 처리별 토양의 이화학특성 및 작물생육 변화는 Tukey-Kramer HSD

를 이용하여 95% 수준에서 LSD (least significant difference) 값을 구하고 평균값을 비교하였다.

Results and Discussion

토양 염농도 변화 시험기간 동안 평균 토양 염농도는 0~20 cm (표토)와 20~40 cm (심토)에서 각각 4.9과 5.7 dS m⁻¹이었으며 높은 변이 값을 보였다. 표토의 토양 염농도가 심토보다 변이값이 상대적으로 큰 것은 기상조건의 변화에 의한 영향이 지표에서 더 컸기 때문인 것으로 판단된다. 월별 토양 염농도 변화는 Fig. 2에 나타난 바와 같이 모세관 차단층 처리 유무에 따라 토양 염농도는 유의성 ($p < 0.0001$)을 나타냈다. 모세관 차단층 매립 초기의 토양 염농도는 모세관 차단 처리구에서 평균 염농도가 높은 값을 나타내다 100일 이후에는 모세관 차단층 처리구에서 대조구에 비해 낮은 토양 염농도를 보였다. 시험기간 동안 모세관 차단 처리구의 평균 표토의 염농도 (3.7 dS m⁻¹)는 대조구 (5.6 dS m⁻¹)에 비해 유의성을 나타내고 있어 모세관 차단층의 처리가 대조구에 비해 낮은 염농도를 나타내고 있었다. 무처리구의 토양 염농도는 시간의 흐름에 따라 꾸준히 증가하는 경향을 보였지만, 모세관 차단층 처리구에서는 토양 염농도가 일정수준을 유지하고 있었다 (Fig. 2). 심토의 토양 염농도는 표토보다 높은 값을 보이고 있었지만 표토에서와 마찬가지로 모세관 차단층 처리구의 평균 염농도 (4.4 dS m⁻¹)가 대조구 (6.4 dS m⁻¹)에 비해 낮은 염농도를 나타냈다. 표토에서와 마찬가지로 모세관 차단층 처리구의 염농도는 시험기간 동안 일정수준을 유지한 반면, 무처리구의 염농도는 증가하는 경향을 나타내 모세관 차단층이 토양 염농도를 일정수준으로 유지시켜주는데 효과적이었다. 이와 같은 결과는 모세관 차단층 처리에 의한 공극층의 형성이 모세관수의

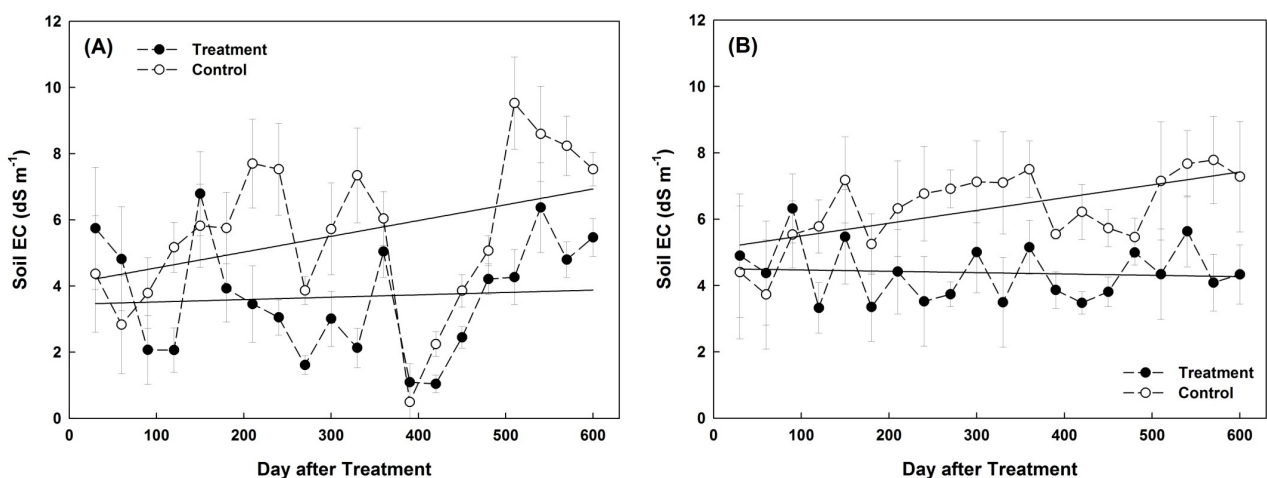


Fig. 2. Temporal changes of soil electrical conductivity (EC) with capillary barrier treatment at (A) 0-20cm and (B) 20-40cm depth for Saemangeum reclaimed tidal land during the experimental period. Solid lines represent regression lines between soil EC and time.

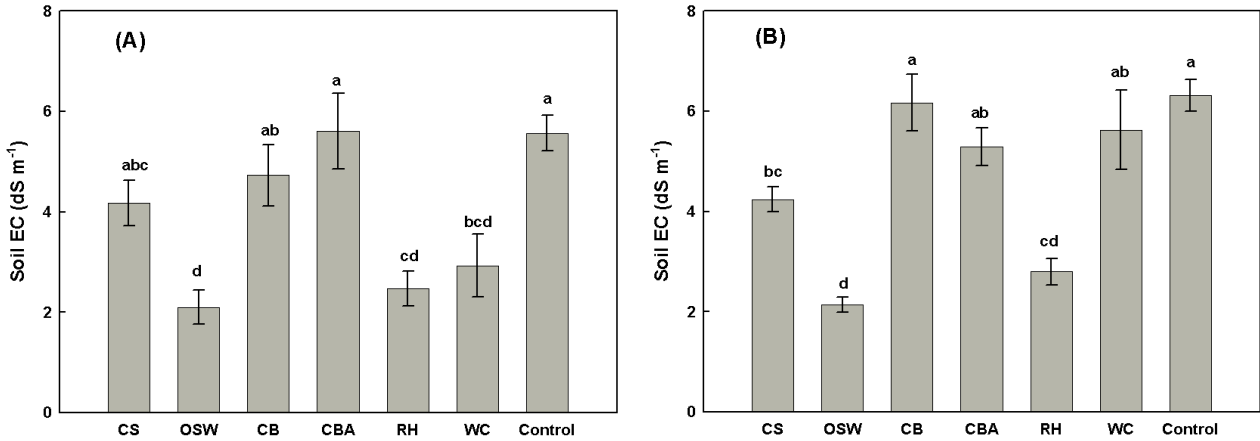


Fig. 3. Effect of capillary barriers on soil electrical conductivity at (A) 0-20cm and (B) 20-40cm depth for Saemangeum reclaimed tidal land during the experimental period. CS, crushed stone; OSW, oyster shell waste; CB, coal briquette ash; CBA, coal bottom ash; RH, rice hull; WC, woodchip. Levels not connected by same letters above error bars are significantly different at 95% level.

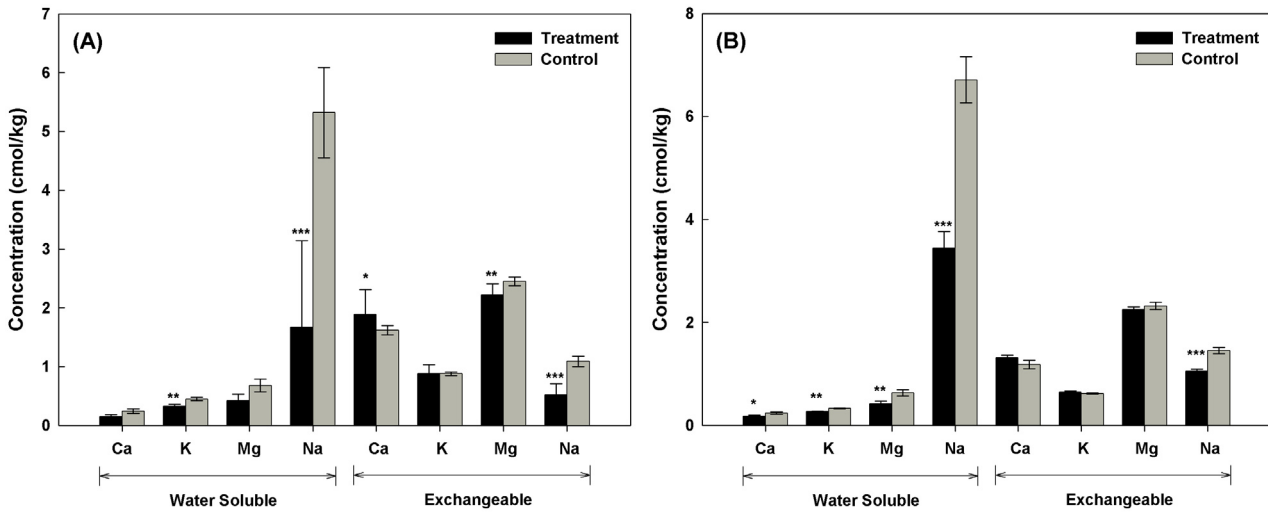


Fig. 4. Changes of soluble and exchangeable cations in soils at (A) 0-20cm and (B) 20-40cm depth for Saemangeum reclaimed tidal land for 20 months after capillary barrier treatment. *, **, *** levels above treatment error bars are significantly different from the control at 0.05, 0.01, and 0.001 probability, respectively.

이동을 차단함으로써 염의 상하이동을 방해했기 때문인 것으로 판단된다. 간척지 토양의 염의 근원은 바닷물로서 시험지의 지하수 평균 염류농도는 55 dS m⁻¹로 바닷물과 비슷한 염류 농도를 나타내고 있기 때문에 외부에서 공급되는 염이 존재하지 않는다면 증발산의 증가에 따른 재염화 현상에 의한 토양 표토의 염류집적이 주요 원인으로 모세관 차단층이 재염화 현상을 억제하는데 효과적인 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 Guo et al. (2006)과 Rooney et al. (1998)이 보고한 모세관 차단층이 하부에 존재하는 염의 상하이동을 효과적으로 억제한다는 연구결과와도 일치한다.

시험기간 동안 토양 염농도는 모세관 차단층 종류별 다양한 변이를 나타내고 있었다 (Fig. 3). 전 시험기간 동안 표토의 염농도는 석탄바닥재 처리구의 염농도 (5.6 dS m⁻¹)가 무처리구 (5.6 dS m⁻¹)와 비슷한 염농도를 나타내고 있었으며, 연탄재 (4.5 dS m⁻¹)와 쇄석 (4.2 dS m⁻¹) 처리구에서

도 유의성을 보이지 않았다. 반면 파쇄목 (2.9 dS m⁻¹), 왕겨 (2.5 dS m⁻¹), 굴패각 (2.1 dS m⁻¹)은 무처리구에 비해 표토에서 낮은 토양 염농도를 나타내고 있었으며 굴패각의 평균 염농도가 가장 낮은 값을 보이고 있었다. 심토의 염농도는 표토에서와 같이 연탄재 (6.2 dS m⁻¹)와 석탄바닥재 (5.3 dS m⁻¹) 처리구에서 무처리구 (6.3 dS m⁻¹)와 통계적인 차이를 보이지 않았다. 파쇄목 (5.6 dS m⁻¹) 처리구는 표토에서 무처리구와 유의성이 있었지만, 심토에서는 유의성을 보이지 않았다. 굴패각 (2.1 dS m⁻¹)에 의한 모세관 차단층의 형성은 표토에서와 같이 심토에서도 토양 염농도를 낮게 유지시켜주는데 가장 효과적인 물질이었다. 표토의 치환성 Ca 함량이 시험 전 토양 (1.2 cmol kg⁻¹)에 비해 굴패각 처리구에서 높은 결과 (1.6 cmol kg⁻¹)를 보여 굴패각의 주성분인 CaCO₃가 분해되면서 토양 중 치환성 Ca이 증가했기 때문인 것으로 판단된다. Fig. 4는 모세관 차단층을 설치한 후 토양

중 존재하는 양이온의 변화를 나타낸 것으로 표토와 심토 모두에서 모세관 차단층에 의한 수용성 Na의 함량이 다른 양이온에 비해 가장 큰 폭으로 감소하였다. Lee et al. (2014)의 결과에 의하면 간척지 토양의 염농도는 수용성 Na의 함량과 높은 상관관계를 나타내고 있다고 보고하였으며 본 시험 토양에서 가장 높은 함량을 나타내고 있었어 모세관 차단층에 의한 수용성 Na의 감소가 토양 염농도 감소에 영향을 미친 것으로 판단된다. 모세관 차단층의 형성은 표토와 심토에서 대조구에 비해 수용성 및 치환성 Ca, K, Mg, Na의 함량이 감소하거나 차이를 보이지 않았지만, 치환성 Ca의 함량은 표토에서 유의성 있게 증가하는 것으로 나타나 Lee et al. (2014)가 보고한 치환성 Ca 함량이 간척지 토양의 염농도와 반비례 관계를 가진다고 결과와도 일치하였다.

옥수수 생육특성 변화 파종시기의 평균 토양 염농도는 2.6 (2012년)과 5.5 (2013년) dS m^{-1} 로 2013년도가 높았지만 옥수수의 발아 및 초기 생육은 두 시기 모두 양호하였다. 시험기간 동안 옥수수의 초장 (plant height), 착수고 (ear height), 고사율 (withering rate) 및 작물생중 (plant biomass yield)의 변화는 재배시기 및 모세관 차단층 처리

유무에 의한 상호작용 효과를 나타냈다 (Table 2). 시험 첫 해인 2012년에는 모세관 차단층 처리에 따라 옥수수 초장은 차이를 보이지 않았지만, 2013년에는 모세관 차단층 처리구의 초장은 증가한 반면, 무처리구에서는 초장이 감소하였다. 모세관 차단 물질별로 보면 굴패각 (230 cm), 연탄재 (227 cm), 왕겨 (223 cm) 처리구의 초장이 대조구 (197 cm)에 비해 유의성이 있었으며, 석탄바닥재 (160 cm)의 초장은 대조구에 비해서도 낮은 값을 보였다. 이는 석탄바닥재 처리구의 염농도가 대조구와 유사한 값을 보였기 때문인 것으로 판단된다. 착수고는 2012년에는 모세관 차단층 처리구 (77 cm)에서 대조구 (85 cm)에 비해 낮은 값을 보였지만, 2013년에는 대조구 (83 cm)의 착수고는 2012년도와 동일하나 모세관 차단층 처리구 (96 cm)의 착수고는 유의성 있게 높아진 것을 확인하였다. 초장의 길이는 재배년도에 차이를 보이지 않았지만, 착수고는 모세관 차단층 처리구의 증가에 따라 2013년도에 유의성 있게 증가하였다. 착수고는 굴패각 (101 cm)과 연탄재 (96 cm) 처리구에서 대조구 (84 cm)에 비해 높은 값을 보였다. 옥수수 고사율 역시 초장과 착수고와 유사한 경향을 보여 모세관 차단층 처리구의 2013년도 (5.9%)에서 전년도 (51.9%)에 비해 고사율이 유의성 있게 감소하였다. 이와 같은 옥수수 생육은 옥수수 생초수량에 영

Table 2. Influence of capillary barrier on plant growth parameters, withering rate and plant biomass yield during the experimental period.

Year	Capillary barrier	Plant Height (cm)	Ear Height (cm)	Withering Rate (%)	Plant Biomass (FW, ton ha^{-1})
2012	Treatment	197c	77c	51.9a	17.9b
	Control	211b	85b	33.3ab	26.0ab
2013	Treatment	224a	96a	5.9b	35.5a
	Control	181d	83bc	10.3b	26.0ab
Year					
	2012	204	81b	42.6a	21.9
	2013	203	90a	8.1b	30.8
	<i>p-value</i>	0.8145	0.0024	0.0086	0.1027
	LSD _{0.05}	NS	6	24.8	NS
Capillary barrier					
	Crushed stone	209bc	78cd	8.7	34.7
	Oyster shell waste	230a	101a	12.5	36.6
	Coal briquette ash	227ab	96ab	34.5	23.8
	Coal bottom ash	160d	70d	46.2	17.7
	Rice hull	223ab	85bc	12.5	35.5
	Woodchip	208abc	79cd	59.2	11.9
	Control	197c	84c	21.8	26.0
	<i>p-value</i>	<0.0001	<0.0001	0.7114	0.4240
	LSD _{0.05}	20	12	NS	NS

LSD_{0.05}, least significant difference at 95% level.

NS, not significant at $p=0.05$ level.

Levels not connected by same letters above each error bar are significantly different at 95% level.

향을 미쳐 2012년도에는 모세관 차단층 처리에 따라 생초수량의 변화가 없었지만, 2013년에는 모세관 차단층 처리구 (35.5 t ha⁻¹)에서 높은 생초수량 값을 보였다. 석탄바닥재와 파쇄목은 높은 고사율과 낮은 생초수량값을 보였지만 통계적인 유의성은 보이지 않았다. 이와 같은 결과는 새만금 간척지에 모세관 차단층 처리시 첫해는 토양교란 등의 요인에 의해 작물생육이 무처리구와 비슷한 값을 보이지만 두번째 해에는 모세관 차단층의 처리구에서 작물생육이 향상되는 결과를 보여준다.

Table 3은 옥수수 생육기간중의 chlorophyll 농도와 수확기 식물체내의 성분함량을 나타낸다. 옥수수 잎의 chlorophyll 농도는 모세관 차단층 물질별 차이는 보이지 않았지만, 모세관 차단층 처리구에서 대조구에 비해 높은 값을 나타내고

있었다 ($p < 0.0001$). 반면 수확기의 식물체내 총질소함량 (TN)은 모세관 차단층에 의한 차이를 보이지 않았다. 수확기의 식물체내 TP ($p < 0.0001$), K₂O ($p < 0.05$), MgO ($p < 0.01$), Na₂O ($p < 0.05$) 함량은 모세관 차단층 처리구에서 대조구에 비해 낮은 함량을 나타냈다 (Table 3). 모세관 차단층 물질에 따른 MgO의 함량은 굴폐각과 왕겨 처리구에서 가장 낮은 값을 보였다.

사일리지용 옥수수의 사료용 가치는 유산발효를 일으키는 당 성분의 함량뿐 아니라 산성세제 불용성섬유소 (ADF)와 중성세제 불용성섬유소 (NDF)가 중요한 지표가 된다. 하지만, 본 실험에서 사일리지용 옥수수의 산성용매 및 중성용매 불용성 섬유함량은 모세관 차단층 물질별로 차이를 보이지 않았으며 이들 값으로부터 추정된 사료의 상대적 가치

Table 3. Chlorophyll concentration and chemical composition of silage corn in response to capillary barrier treatments.

Capillary barrier	Chl [†]	TN	TP	K ₂ O	MgO	Na ₂ O
		----- % -----				
Treatment	52.8a	1.02	0.23b	2.13b	0.29b	0.49b
Control	40.8b	1.05	0.29a	2.32a	0.35a	0.87a
<i>p-value</i>	<0.0001	0.6459	<0.0001	0.0450	0.0079	0.0430
LSD _{0.05}	2.5	NS	0.03	0.19	0.04	0.37
Crushed stone	51.0a	1.18	0.22b	1.90	0.29ab	0.32
Oyster shell waste	53.9a	0.92	0.21b	1.96	0.22b	0.34
Coal briquette ash	55.9a	0.90	0.22b	2.15	0.28ab	0.37
Coal bottom ash	52.4a	1.14	0.21b	2.29	0.35a	0.95
Rice hull	51.4a	0.98	0.26ab	2.26	0.36a	0.47
Woodchip	52.2a	0.97	0.26ab	2.21	0.25b	0.47
Control	40.8b	1.05	0.29b	2.32	0.35a	0.87
<i>p-value</i>	<0.0001	0.5053	0.0027	0.1776	0.0070	0.3857
LSD _{0.05}	6.3	NS	0.03	NS	0.10	NS

LSD_{0.05}, least significant difference at 95% level.

NS, not significant at $p=0.05$ level.

Levels not connected by same letters above each error bar are significantly different at 95% level.

[†]Chlorophyll concentration of corn leaves at 50 days after sowing

Table 4. Forage quality of silage corn in response to capillary barrier materials at Saemangeum reclaimed tidal land.

Treatment	ADF	NDF	TDN	RFV
Crushed stone	21.1	40.9	73.1	165
Oyster shell waste	25.6	46.1	69.7	141
Coal briquette ash	25.5	46.7	70.0	138
Coal bottom ash	25.2	48.5	70.2	133
Rice hull	23.2	43.2	71.6	154
Woodchip	25.6	49.0	69.9	131
Control	24.0	46.0	71.0	144
<i>p-value</i>	0.4002	0.3528	0.4010	0.4163
LSD _{0.05}	NS	NS	NS	NS

ADF, acid detergent fiber; NDF, neutral detergent fiber; TDN, total digestible nutrient; RFV, relative feed value.

및 총가소화영양 값 역시 유의성을 나타내지 못했다 (Table 4). 본 연구의 결과는 간척지 토양의 염농도가 증가할수록 질소질 비료의 효과가 감소하여 사료가치가 감소한다는 결과와 배치된다 (Lee et al., 2013a). 이와 같은 결과는 수확기 식물체내 총 질소함량이 모세관 차단층에 의한 차이를 보이지 않았기 때문으로 비록 모세관 차단층에 의한 토양 염농도는 유의성 있게 감소하였지만, 이들 차이가 옥수수수의 사료용 가치에는 영향을 미치지 못한 것으로 판단된다.

Conclusions

본 연구는 새만금 간척지에서 발작물 재배시 재염화 현상에 의한 토양 염류 집적에 의한 염해 피해를 저감시키고자 토양 하부에 모세관 차단층을 위한 산업 및 농수산 부산물을 매설하여 간척지 토양의 재염화 억제제를 위한 소재 탐색과 염류피해 저감효과를 구명하고자 수행하였다. 시험기간 동안 무처리구의 토양 염농도는 증가하는 경향을 보였지만, 모세관 차단층의 처리는 염농도를 일정한 수준으로 유지시켜주는데 효과적이었으며, 대조구에 비해 낮은 토양 염농도를 나타냈다. 모세관 차단층 물질별로 재염화 억제효과는 차이를 보이고 있었으며, 굴폐각을 이용한 모세관 차단층 처리구에서 가장 좋은 재염화 억제효과를 나타냈다. 모세관 차단층 처리에 의한 작물생육은 차단층 처리 첫해에는 작물생육에 영향을 미치지 못했지만, 두 번째 해에는 차단층 처리구에서 옥수수의 고사율이 낮아지고, 작물수량이 향상되는 것으로 나타났다. 이상의 결과를 종합해 보면, 간척지에서 발작물 재배시 굴폐각을 이용한 모세관 차단층의 형성을 통해 재염화에 의한 토양 염농도 집적을 방지하고 작물의 수량증대에 영향을 미칠 것으로 판단되며 염농도 변이에 대한 지속적인 연구가 뒷받침되어야 할 것이다.

References

Bevre, L. 1988. Silage making in round bales. *Buscap Og. Avdratt*. 40:100-103.

Guo, G., K. Araya, H. Jia, Z. Zhang, K. Ohomiya, and J. Matsuda. 2006. Improvement of salt-affected soils, Part 1: Interception of capillarity. *Biosys. Engr*. 94:139-150.

Jung, M.Y. 2009. Development of technology for the resource recycling and processing of coal briquette ash. Project report. Semyung University, Jecheon, Korea.

Keum, D.H. 2012. Development of new grain drying system and electric power plant using the rice husk energy for rice processing complex. RDA, Suwon, Korea.

Kim, H.W. 2013. Analysis of soil characteristics of farming sites in Saemangeum reclaimed land. Jeonbuk National University.

Master thesis. Jeonju, Korea.

Kim, S.S., S.R. Lee, K.H. Han, and I.S. U. 1997. Underdrainage effects on soil salinity and growth of rice in Gyehewa reclaimed saline land. *J. Crop Sci. Biotech*. 42:61-67.

Kwon, H.B., C.W. Lee, B.S. Jun, J.D. Yun, S.Y. Weon, and B. Koopman. 2004. Recycling waste oyster shells for eutrophication control. *Resear. Conserv. Recy*. 41:75-82.

Lee, K.B., S.W. Hwang, S.H. Lee. 2012. Management plan for diverse utilization of reclaimed tidal land. *Soc. Agric. Res. Reclaimed Land*. 10:18-28.

Lee, S., H.S. Bae, S.H. Lee, J.G. Kang, H.K. Kim, K.B. Lee, and K.H. Park. 2013a. Effect of soil salinity levels on silage barley growth at Saemangeum reclaimed tidal land. *Korean J. Soil Sci. Fert*. 46:365-372.

Lee, S., H.K. Kim, S.W. Hwang, and K.B. Lee. 2013b. Changes of soil properties with various soil amendments in Saemangeum reclaimed tidal saline soil. *Korean J. Soil Sci. Fert*. 46:281-287.

Lee, S., H.S. Bae, H.K. Kim, T.H. Noh, and G.H. Lee. 2014. Temporal variations on soil salinity and cation displacement at Saemangeum and Yeongsangang reclaimed tidal lands. *J. Agri. Chem. Environ*. 3:121-129.

Li, X., S.X. Chang, and K.F. Salifu. 2013. Soil texture and layering effects on water and salt dynamics in the presence of a water table: a review. *Environ. Rev*. 21:1-10.

Moore, J.E. 1970. Procedure for the two-stage in vitro digestion of forage. University of Florida, FL, USA.

Park, D.K. and J.H. Seung. 2013. Policy on boost of self-sufficiency rate of grain. 2013 Agricultural outlook. Korea Rural Economic Institute. Seoul.

Park, H.K., S.W. Yoo, and M.Y. Jung. 2010. Properties of the sintered eco-brick according to the unburned carbon content of the coal briquette ash. *J. Korean Inst. Res. Recyc*. 19:16-23.

Park, H.S., J.H. Oh, S.Y. Park, H.W. Sin, and J.W. Moon. 2012. A research on noncombustible flooring using the bottom ash. *Korean Ins. Fire Sci. Engr*. 2012 Spring Meeting. 460-464.

RDA. 2000a. Standard agricultural manuals for corn cultivation. Rural Development Administration, Suwon, Korea.

RDA. 2000b. Method of soil and plant analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology. Rural Development Administration, Suwon, Korea.

RDA. 2012. Analysis standards for the research investigation of Agricultural Science and Technology. Rural Development Administration, Suwon, Korea.

Rooney, D.J., K.W. Brown, and J.C. Thomas. 1998. The effectiveness of capillary barriers to hydraulically isolate salt contaminated soils. *Water Air Soil Poll*. 104:403-411.

Seo, D.W. 2011. Desalinization and resalinization management plan on reclaimed land. *Rural Environ. Engr. J*. 112:73-87.

Zhu, J., N. Tremblay, and Y. Liang. 2012. Comparing SPAD and at LEAF values for chlorophyll assessment in crop species. *Can. J. Soil Sci*. 92:645-648.