

Research Article



CrossMark

Open Access

새만금 간척지 토양 염농도의 경시적 변동 특성: 10년 조사 결과

류진희^{1*}, 오양열¹, 이수환¹, 이경도², 김영주³

¹농촌진흥청 국립식량과학원 간척지농업연구팀, ²농촌진흥청 국립농업과학원 농업환경부 기후변화생태과, ³전주비전대학교

Annual Changes of Soil Salinity of the Saemangeum Reclaimed Tide Land during Last 10 Years

Jin-Hee Ryu^{1*}, Yang-Yeol Oh¹, Su-Hwan Lee¹, Kyung-Do Lee² and Young-Joo Kim³ (¹Reclaimed Land Agriculture Research Team, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea, ²Climate Change and Agroecology Division, Department of Agricultural Environment, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea, ³Department of Cadastre & Civil Engineering, Vision college of Jeonju, Jeonju 55069, Korea)

Received: 20 October 2020/ Revised: 23 October 2020/ Accepted: 10 November 2020

Copyright © 2020 The Korean Society of Environmental Agriculture

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ORCID

Jin-Hee Ryu

<https://orcid.org/0000-0002-0836-9510>

Yang-Yeol Oh

<https://orcid.org/0000-0002-7471-0406>

Su-Hwan Lee

<https://orcid.org/0000-0002-5354-3020>

Abstract

BACKGROUND: Through Saemangeum development project, 283 km² of new land is planned to be created and the reclaimed land of 89.7 km² will be used as agricultural land. Therefore, monitoring of soil salinity is required to evaluate the suitability of the land for agricultural purposes.

METHODS AND RESULTS: We investigated changes of soil physico-chemical properties, including electric conductivity (EC), of the Saemangeum reclaimed tidal land (1,195 ha) from 2008 to 2017 to obtain basic data for suitable soil management of the Saemangeum reclaimed tidal land. Soil samples were collected from the sites spaced 200 meters apart from each other. Soil analysis results showed that average soil EC was 14.5 dS m⁻¹ in 2008, and decreased to 6.5 dS m⁻¹ in 2014 and to 0.9 dS m⁻¹ in 2017. Accordingly, the soil area below soil EC 4.7 dS m⁻¹ (accepted as farmable soil salinity) increased; 25.0% in 2008, 54.3% in 2014, and 96.9% in 2017. The annual decrease in soil EC was

described as $y = -1.5756x + 14.6$ ($R^2 = 0.96$), where y = soil EC and x = elapsed years since 2008.

CONCLUSION: The soil salinity have decreased to a level for cultivation of most edible crops. However, since the soil chemical properties, such as soil organic matter were inadequate for the cultivation of crops, it was suggested that management of soil fertility would be important for efficient agricultural use of Saemangeum reclaimed land.

Key words: Reclaimed Land, Saemangeum, Soil Salinity

서론

새만금 간척사업을 통해 내부 토지 29,100 ha와 담수호 11,800 ha가 조성될 예정이다. 새만금 간척지는 당초 안정적 주곡 자급기반을 확보하기 위하여 농업용지 100%로 사업을 추진하였다가 최종적으로 농업용지 30%, 복합산업용지 70%로 사업을 변경하였으며 2014년 이후로 농업분야 내부개발을 위해서 농업용지 89.7 km²와 농촌도시용지 4.6km²를 합하여 농생명용지 94.3 km²의 조성을 추진하고 있다[1].

새만금 간척지의 효과적인 농지 활용을 위해서는 우선 토양의 제염이 이루어져야 한다. 간척지 개발초기의 토양은 일반적으로 가용성 염류와 치환성나트륨이 과다하게 함유되어 있

*Corresponding author: Jin-Hee Ryu

Phone: +82-63-238-5315; Fax: +82-63-238-5314;

E-mail: jin001kr@korea.kr

어 염농도가 매우 높으며 가용성 염류는 토양의 삼투압을 증가시키는 주된 원인이 되고 치환성나트륨은 알칼리성을 증가시키는 주된 원인이 되어 작물생육에 큰 저해요인이 된다[2]. 그러나 간척년수의 경과에 따라 Na, K, Ca, Mn 등 염류의 함량은 감소되고, 토양 유기물 함량은 증가한다[3]. 간척 수 10년이 경과한 서산간척지를 간척지와 비교한 결과, 토양의 산도가 낮아지고 Na, Ca, Mg 등의 함량이 현저히 감소하였다[4]. 라이시미터 제염시험을 통해 개발 초기 고염도 간척지의 제염 과정 중 염농도의 변화, 수리전도도의 변화, 용탈용수량 및 침출시간을 추정할 수 있는 제염예측 프로그램을 개발되었으며[5], 간척년대와 토성이 다른 간척지 염해답에서 토양 염농도를 조사하여 제염에 소요되는 기간이 추정된 바 있다[6]. 또한, 새만금 간척지 토양을 대상으로 실내 실험을 통해 배수로의 침투특성 등을 고려하여 제염소요시간을 예측할 수 있는 상관식이 도출된 바 있다[7]. 그러나 이와 같은 기존의 연구들은 지형과 토양 특성에 차이가 있는 여러 간척지의 염해답에서 조사를 통해 결과를 얻은 것이거나 소규모 실험의 결과이어서 실제 새만금 간척지에 적용하기에는 한계가 있다. 따라서 새만금 간척지의 효과적인 농업적 활용을 위해서는 토양 염농도의 변화에 대한 보다 정밀한 모니터링이 필요하다.

본 연구에서는 새만금 간척지에서 간척지로 노출된 간척 초기부터 토양의 제염이 대부분 완료되는 시기까지 토양 염농도의 변동 특성을 구명하고 적합한 토양관리 방안을 제시하기 위해, 방조제 완공 2년 후인 2008년부터 2017년까지 김

제시 광활면 인근 새만금 간척지에서 토양 염농도의 시간적, 공간적 변동 특성을 조사하였다.

재료 및 방법

조사 지역

새만금 간척지의 토양화학성 변동에 대한 기초 자료를 확보하고자 김제시 광활면 인근 새만금 간척지를 대상으로 시간 경과에 따른 토양 염농도의 토양 염농도의 변동 특성을 조사하였다(Fig. 1). 이를 위해 방조제 완공 2년 후인 2008년 6월에 노출지 889 ha를 대상으로 기존 방조제 인근은 100 m 간격으로 해안 방향으로는 200 m 간격으로 총 311지점에서 토양시료를 채취하여 화학성을 분석하였다. 2014년부터 2017년까지는 매년 4월에 1,195 ha를 대상으로 200 m 간격으로 토양시료를 채취하여(2014년 255지점, 2015년 253지점, 2016년 280지점, 2017년 293지점) 토양화학성을 분석하였다. 토양시료채취는 위성항법장치를 활용하여 대상지점에서 토양시료를 채취하였다(Fig. 2).

토양 분석

토양시료는 음건한 후 2 mm 체를 통과한 것을 이화학성 분석에 사용하였다. 토양 이화학성 분석은 농촌진흥청의 토양 화학분석법(NIAST, 2010)에 준하여 분석하였다. pH와 전기전도도(EC, Electric conductivity)는 증류수 1:5 침출법, 토



Fig. 1. Survey area for changes of soil salinity in Saemangeum reclaimed tide land.

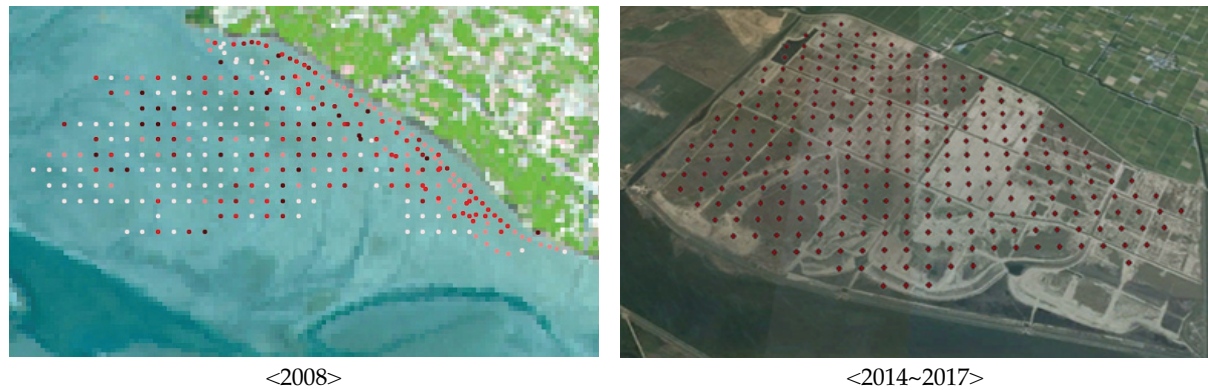


Fig. 2. Soil sampling sites in Saemangeum reclaimed tide land.

양유기물(OM)은 원소분석기(Vario Max CNS, element analyser systeme GmbH, Germany)를 사용하여 분석하였고 유효인산(Av. P_2O_5)은 Lancaster법으로 분석하였다. 치환성양이온(Ex. Ca, K, Mg, Na)은 1N- NH_4OAC (pH 7.0)로 침출하여 ICP(Varian Vista-MPX, Varian Inc., USA)로 분석하였으며 양이온치환용량(Cation exchange capacity)은 1N- NH_4OAC (pH 7.0)로 토양을 NH_4^+ 로 포화시킨 후 킬달 증류법으로 분석하였다. 토양 입도 분석은 토양을 5% Sodium hexameta-phosphate 용액으로 분산시킨 후 비중계법으로 분석하였다.

토양 염분포도 작성

새만금 간척지 조사대상 지역의 토양 염농도의 공간 분포 특성을 분석하기 위해 ArcGIS 10.1 소프트웨어를 활용하여 조사지점의 좌표와 토양 염농도를 입력하고 공간분석을 통해 토양 염분포도를 제작하였다.

통계분석

연차경과에 따른 토양 염농도 변동 조사 자료의 통계처리를 위해 R (version 3.5.1) 프로그램을 이용하여 회귀분석을 실시하였다.

결과 및 고찰

토양 제염 특성

2008년 6월에 조사한 새만금 간척지 노출지의 토양 화학

성을 Table 1에 나타내었다. 토양 화학성은 pH 7.8, EC 14.5 dS m^{-1} , 유기물 4.7 g kg^{-1} , 유효인산 42 mg kg^{-1} 로 일반 농경지의 평균 pH(는 5.9, 밭 6.4), 유기물(는 26 g kg^{-1} , 밭 27 g kg^{-1}), 유효인산(는 131 mg kg^{-1} , 밭 657 mg kg^{-1})과 비교하여[8, 9], pH가 높고 유기물, 유효인산 함량은 낮아 토양의 비옥도가 매우 낮은 토양 특성을 나타내었다. Fig. 3에 2008년 이후 연차 경과에 따른 조사 대상지 표토의 평균 토양 염농도를 나타내었다. 새만금 간척지의 평균 토양 EC는 조사 기간(2008~2017년) 동안 연차경과에 따라 지속적으로 빠르게 감소 추세에 있었으며 2008년 이후 연차 경과(x)에 따른 토양 EC(y)는 $y = -1.5756x + 14.6$ ($R^2=0.96$, $p: 0.00344^{**}$)으로 변동하였다. 새만금 간척지 조사 대상지에서 이와 같이 제염된 것은 일부 시험목적의 관개처리를 제외하고는 강우 등 자연적인 기상조건에 의해 이루어진 것이다. 새만금 간척지 토양을 충전한 라이시미터를 이용하여 자연적인 기상 조건하에서 강우-유출조건에 따른 토양면 유출수, 지하침투수 및 시기별 토양의 화학적 특성 변화를 조사한 결과[10], 유출수를 통한 토양의 양이온 제거량은 $Na^+ > K^+ > Mg^{2+} > Ca^{2+}$ 의 순서로 나타났고 유출량은 $Na^+ 17.7 \text{ kg } 10a^{-1}$, $K^+ 3.2 \text{ kg } 10a^{-1}$, $Mg^{2+} 1.6 \text{ kg } 10a^{-1}$, $Ca^{2+} 1.3 \text{ kg } 10a^{-1}$ 이었다. 따라서 새만금 간척지에서는 자연강우에 의해 상당히 많은 양의 양이온이 제염될 수 있음을 확인하였다. 이와 같은 결과는 토양 중 K^+ , Ca^{2+} , Na^+ , Mn^{2+} 등은 간척년수가 경과할수록 현저히 감소하였다고 보고한 것[3]과 서남해안 10개 간척지구의 토양이화학성을 조사하고 토양 염농도는 간척년대가 경과할수록 낮아진다고 한 결과[11]와 같은 경향이였다.

Table 1. Soil chemical properties at in Saemangeum reclaimed tide land in 2008

	pH (1:5)	EC (1:5)	OM	Av. P_2O_5	T-N
		dS m^{-1}	g kg^{-1}	mg kg^{-1}	g kg^{-1}
Avg.	7.8	14.5	4.7	42	0.14
Max.	9.2	47.7	9.1	81	0.59
Min.	6.7	0.1	0.2	9	0.01

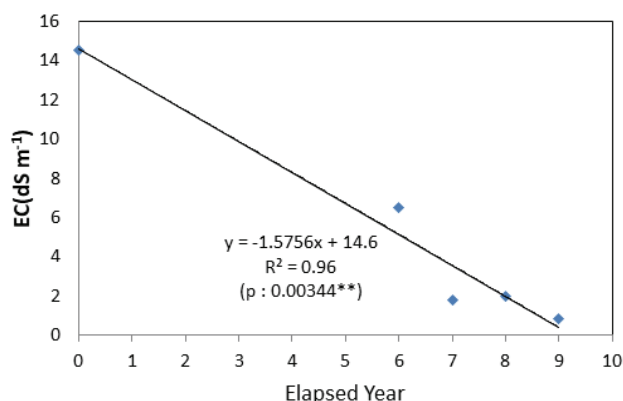


Fig. 3. Changes of soil Salinity in Saemangeum reclaimed tide during last 10 years from 2008 to 2017.

새만금 간척지 토양으로 실내모형실험을 통해 제염 상관식을 도출하고 수치해석을 실시하여 제염에 소요되는 시간을 추정한 연구결과[7]에 의하면 토양의 염농도가 토양 깊이 2 m 까지 초기 대비 10% 수준으로 저하되려면 배수로에서 50 m 떨어진 곳에서 11년이 소요된다고 추정되었다. 이와 같은 결과는 본 연구에서 제시된 추정식 $y = -1.5756x + 14.6$ (y : EC, x : 경과년수)에 비해 매우 빠르게 제염되는 것으로 이는 실내모형실험이 수분이 포화상태에서 지속적으로 양분이 용탈되는 조건인데 비해 실제 간척지 조건은 강우, 기온 등 기상조건의 변동에 따라 토양의 제염과 재염화가 반복되는 상황이기 때문으로 판단된다. Koo 등(1998)[2]은 1997년에 서남해안 11개 간척지구에서 간척지 토양의 이화학적 특성을 조사한 결과, 조사지점의 약 86% 정도가 염농도 $20 \sim 40 \text{ dS m}^{-1}$ 범위 내에 있었고 새만금 간척지 조사지점의 토양 EC는 $20.1 \sim 28.0 \text{ dS m}^{-1}$ 범위에 있었으며 전체적으로 개발초기 간척지토양의 염농도를 대략 $20 \sim 40 \text{ dS m}^{-1}$ 범위로 볼 수 있다고 보고하였다[2]. Sonn 등(2006)[6]은 염해담 포승통(식양질) 및 광활통(사양질) 토양을 대상으로 간척년대에 따른 토양특성 변화를 조사한 결과, 이용측면의 피해기준을 $EC 4 \text{ dS m}^{-1}$ 로 할 때, 식양질 토양에서는 제염이 되는데 108년이 소요되고 사양질 토양에서는 12년 정도로 추정된 바 있다[6]. 1997년에 조사한 새만금 간척지의 토양 EC를 개발초기의 토양 염농도로 가정하고[2] 본 연구에서 제시한 추정식(Fig. 3)을 반영하면 새만금 광활지구의 염농도는 $EC 4 \text{ dS m}^{-1}$ 이하

로 감소하는데 약 18년이 소요된 것으로 산정되었다.

연차 경과에 따른 염농도 분포 변동

조사대상 간척지에서 채취한 토양 시료들의 염농도 분포 특성을 Table 2에 나타내었다. 분포의 비대칭도를 나타내는 왜도(Skewness)는 연차 경과에 따라 증가하는 경향을 보여 연차 경과에 따라 토양 염농도가 중앙값에 비해 낮은 면적이 증가하는 추세를 보였다. 또한 데이터가 정규분포 보다 더 중앙에 집중하는 정도를 나타내는 첨도(Kurtosis)도 연차 경과에 따라 증가하여 토양 염농도의 분포가 평균을 중심으로 집중하여 분포하는 경향이 커지는 것으로 나타났다. 이와 같은 추세는 새만금 간척지 계획지구를 대상으로 연차 경과에 따른 토양 염농도 분포의 변동 양상을 조사하여 보고한 내용과 같은 경향이었다[12]. 토양 염농도 분석 자료를 활용하여 토양의 염분포도를 작성하여 Fig. 4에 나타내었다. 토양 염농도는 연차 경과에 따라 광범위하게 빠르게 감소하고 있었으며 2017년 표토의 평균 EC는 0.9 dS m^{-1} 로 대부분의 작물 재배가 가능한 $EC 1.56 \text{ dS m}^{-1}$ (0.1%) 이하로 감소되었다(Table 2). 이는 토양의 토성이 모래의 함량이 많은 사양토이기 때문으로 판단된다(Table 5). 그러나, 염농도 감소가 더디게 진행되는 지점이 부분적으로 나타나고 있었는데 이는 과거 갯골 등 미세지형의 영향에 따라 부분적으로 제염이 더디게 진행되었기 때문이다[6]. 갯골과 노지, 갈대군락지 등에 대해 토양 염농도를 조사한 결과 토양 염농도는 갯골 지역에서 가장 높았다고 보고된 바 있다[12]. 이에 대해서는 향후 좀 더 상세한 연구가 수행되어야 할 것으로 생각된다. 염분포도를 바탕으로 염농도 수준별 분포면적을 Table 3에 나타내었다. 토양의 염농도는 작물 재배가 가능한 4.69 dS m^{-1} (0.3%) 이하의 면적이 2008년 222.3 ha (25.0%)에서 2017년 1158.3 ha (96.9%)로 증가하였고 대부분의 작물 재배가 가능한 염농도 1.56 dS m^{-1} (0.1%) 이하의 면적도 2008년 137.3 ha (15.5%)에서 2017년 $1,109.3 \text{ ha}$ (92.8%)로 증가하였다. 반면, 작물 재배가 어려운 0.3% 이상의 면적이 2008년 666.7 ha (75.0%)에서 2017년 37.1 ha (3.1%) 수준으로 감소하였다.

토양의 화학적 특성

2017년 새만금 간척지의 토양화학적 특성을 Table 4에 나타내

Table 2. Yearly Changes of soil salinity in Saemangeum reclaimed tide land

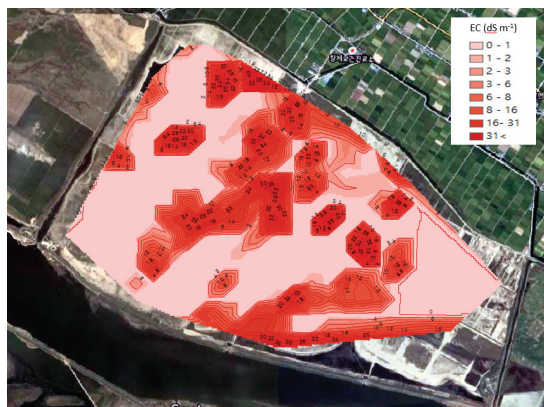
Year	Number of Samples	Average	Min.	Max.	Standard deviation	Skewness	Kurtosis
----- dS m ⁻¹ -----							
2008	311	14.5	0.08	47.65	12.02	0.43	-0.63
2014	255	6.5	0.06	59.80	10.85	1.99	3.72
2015	253	1.8	0.08	39.30	4.03	5.11	35.57
2016	280	2.0	0.06	40.24	5.88	4.51	20.76
2017	293	0.9	0.03	40.47	3.22	8.51	88.48

Table 3. Changes of distribution area of soil salinity at top soil (0~20cm) in Saemangeum reclaimed tide land

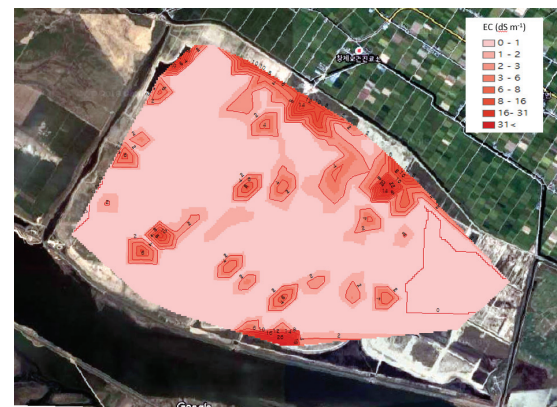
Soil salinity (dS m ⁻¹)	2008		2014		2015		2016		2017	
	area	rate	area	rate	area	rate	area	rate	area	rate
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
<1.56	137.3	15.5	482.1	40.3	806.9	67.5	927.3	77.6	1109.3	92.8
1.56-3.13	43.8	4.9	96.4	8.1	138.2	11.6	111.9	9.4	29.9	2.5
3.13-4.69	41.2	4.6	70.9	5.9	57.5	4.8	38.0	3.2	19.1	1.6
>4.69	666.7	75.0	546	45.7	192.8	16.1	118.2	9.9	37.1	3.1
Total area	889.0	100.0	1,195.4	100.0	1,195.4	100.0	1,195.4	100.0	1195.4	100.0



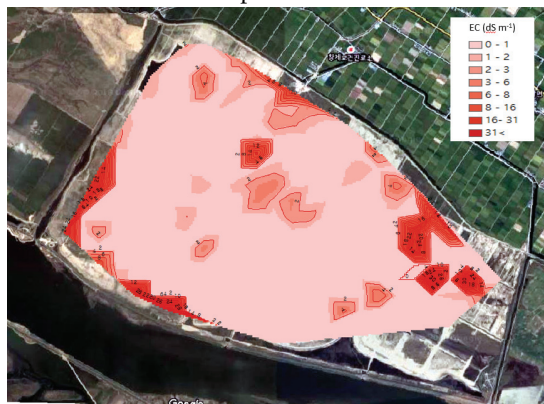
<June 2008>



<April 2014>



<April 2015>



<April 2016>



<April 2017>

Fig. 4. Changes of soil salinity distribution in the Saemangeum reclaimed tide land during last 10 years from 2008 to 2017.

Table 4. Soil chemical properties in Saemangeum reclaimed tide land in 2017

	pH (1:5)	EC (1:5)	OM [†]	Av.P2O5	Ex. cations				T-N	ESP	CEC
		dS m ⁻¹			K	Ca	Mg	Na			
			g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	-----	cmolc kg ⁻¹	-----		g kg ⁻¹	%	cmolc kg ⁻¹
Top soil	7.8	0.9	2	18	0.58	0.8	2.1	1.2	0.03	17.9	6.7
Subsoil	7.8	0.9	2	20	0.60	0.7	2.1	1.4	0.03	20.6	6.8

[†] Organic Matter.

Table 5. Soil physical properties in Saemangeum reclaimed tide land in 2017

	Bulk density	Porosity	3 Phase distribution			3 Phase distribution			Soil texture
			Solid	Liquid	Gaseous	Sand	Silt	Clay	
	Mg m ⁻³	%	-----	%	-----	-----	%	-----	
Top soil	1.39	47.5	52.4	12.6	35.0	73.2	20.6	6.2	Sandy Loam
Subsoil	1.53	42.3	57.8	17.3	24.9	74.7	19.4	5.9	Sandy Loam

었다. 2008년도 조사 당시에 비해 토양의 pH는 변화가 없었으나 유효인산은 42 mg kg⁻¹에서 18 mg kg⁻¹로 감소하였는데 이는 자연강우에 의한 염류와 가용성 인산의 용탈에 기인한 것으로 생각된다[3, 4]. 총질소와 유기물 함량 또한 감소하였는데 이는 간척 초기에 비해 강우에 따른 질소 성분의 용탈과 휘산이 발생되고 간척초기 노출지의 유기물이 시간 경과에 따라 점진적으로 산화한 결과로 생각된다[13]. 2017년 기준으로 볼 때, 새만금 간척지는 토양의 염농도는 대부분의 작물이 재배 가능할 정도로 제어되었으나 토양의 비옥도 측면에서 볼 때는 매우 척박하였다. 유기물 함량은 2 g kg⁻¹으로 작물생산을 위한 적정기준(논 25~30 g kg⁻¹, 밭 20~30 g kg⁻¹)에 비해 크게 부족하므로 완만한 분해 속도를 가진 유기물 자원의 공급이 필요할 것으로 생각된다[13]. 유효인산은 18 mg kg⁻¹으로 적정기준(논 80~120 mg kg⁻¹, 밭 300~550 mg kg⁻¹)에 크게 부족하므로 인산질비료의 시용을 통한 토양 관리가 중요하다고 판단된다. 치환성 Ca은 0.8 cmolc kg⁻¹을 나타내어 적정범위 5.0~6.0 cmolc kg⁻¹ 보다 크게 부족한 반면, 치환성 Na 함량은 높게 나타나서 석고(CaSO₄·2H₂O)의 시용을 통한 Ca의 공급이 필요할 것으로 생각된다. 석고의 시용은 간척지 토양 중 Ca 함량을 증가시키고 과량으로 존재하는 Na, K, Mg 함량을 감소시켜 토양의 양분 불균형을 개선하고 토양의 입단 증진, 투수성 개선 등 토양 이화학성을 개량할 수 있을 것으로 판단된다[14-17]. 이상의 결과를 종합하여 볼 때, 새만금 간척지 토양은 본 연구의 조사대상 지역을 포함하여 전체적으로 빠르게 제염이 완료될 것으로 추정된다. 그러나 토양의 이화학성이 작물 재배에 부적합하므로 앞으로는 토양의 이화학성 개량 및 비옥도 증진이 더 중요할 것으로 판단되며 이에 대한 관리가 적절히 진행된다면 새만금 간척지에서는 대부분 작물의 대규모 재배가 이루어질 것으로 예상된다.

Note

The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgement

This work was carried out with the support of "Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development(Project No. PJ01387302)" Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- SDIA (Saemangeum Development and Investment Agency) (2014) The Master Plan for Saemangeum, pp. 1-154, SDIA, Korea.
- Koo JW, Choi JK, Son JG (1998) Soil properties of reclaimed tidal lands and tidelands of western sea coast in Korea. Korean Journal of Soil Science and Fertilizer, 31(2), 120-127.
- Kim SC (1987) Changes of some chemical constituents in different soil depth with textures of Fluvio-marine soil under assessment of reclamation duration. Korean Journal of Soil Science and Fertilizer, 20(1), 23-28.
- Mun HT, Cho SR, Kim KH (1996) Changes of physico-chemical properties in reclaimed area by cultivation. Korean Journal of Environmental Biology, 14(2), 149-153.
- Koo JW, Son JG, Choi JK, Lee DW, Song JD (2002) Development of Prediction Techniques for desalinization in reclaimed tidelands. Journal of the Korean Society of Rural Planning, 8(3), 33-40.

6. Sonn YK, Hyeon KS, Seo MC, Jung KH, Hyun BK, Jung SJ, Song KC (2006) A taxonomical consideration based on changes of salinity and profile features of the texturally different two reclaimed tidal soils. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 39(2), 59-64.
7. Seo DU, Kim HT, Chang PW, Lee SH (2009) Development of prediction method of desalination on a saturated soil in Saemangeum reclaimed area. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 51(2), 29-34.
8. Kang SS, Roh AS, Choi SC, Kim YS, Kim HJ, Choi MT, Ahan BK, Kim HW, Kim HK, Park JH, Lee YH, Yang SH, Ryu JS, Jang YS, Kim MS, Sonn YK, Lee CH, Ha SG, Lee DB, Kim YH (2012) Status and changes in chemical properties of paddy soil in Korea. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 45(6), 968-972.
9. Kim YH, Kong MS, Lee EJ, Lee TG, Jung GB (2019) Status and Changes in Chemical Properties of Upland Soil from 2001 to 2017 in Korea. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 38(3), 213-218.
10. Kim JY, Son JG, Koo JW, Choi JK (2002) Changes of physico-chemical properties in the reclaimed tidal land soils by precipitation. *Journal of the Korean Society of Rural Planning*, 8(1), 3-14.
11. Yang CH, Yoo CH, Jung JH, Kim BS, Park WK, Ryu JH, Kim TK, Kim JD, Kim SJ, Baek SH (2008) The change of physico-chemical properties of paddy soil in reclaimed tidal land. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 41(2), 94-102.
12. Kim YJ, Ryu JH, Lee SH, Oh YY, Kim S, Jung J, Hong HC, Kim YD, Kim SL (2016) Spatio-temporal distribution characteristics of the soil salinity in Saemangeum Gyeonhwa newly reclaimed land. *Journal of the Korean Society of International Agriculture*, 28(1), 113-117.
13. Son JG, Choi JK, Cho JY (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.
14. Sohn BK, Lee DJ, Park BK, Chae, KS (2007) Effects of phospho-gypsum fertilizer as reclamation material in the newly reclaimed paddy fields. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 40(2), 145-150.
15. Baek SH, Lee SU, Kim DG, Heo JW, Kim SJ (2008) Influence of gypsum, popped rice hulls and zeolite on contents of cation in reclaimed tideland soils in Mangyeong. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 27(4), 321-327.
16. Choi KC, Yoon SH, Shin JS, Kim DK, Han HS, Supanjani, Lee KD (2010) Effects of soil amendment application on soil physico-chemical properties and yields of summer forage crops in the sukmoon reclaimed tidal land in korea. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 29(4), 354-361.
17. Kim SJ, Baek SH, Lee SU, Kim DG, Na YJ (2005) Effects of gypsum, popped rice hull and zeolite on soil aggregation in reclaimed tideland. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 38(5), 231-237.