

Article

<https://doi.org/10.7745/KJSSF.2023.56.1.101>
 pISSN : 0367-6315 eISSN : 2288-2162

Agricultural Water Salinity of Reclaimed Tidelands in Southwestern Coastal Areas of South Korea

Hyun-Jin Park¹ and Woo-Jung Choi^{2*}

¹Research Professor, Department of Rural and Biosystems Engineering (BK21) & AgriBio Institute of Climate Change Management, Chonnam National University, Gwangju 61186, Korea

²Professor, Department of Rural and Biosystems Engineering (BK21) & AgriBio Institute of Climate Change Management, Chonnam National University, Gwangju 61186, Korea

*Corresponding author: wjchoi@chonnam.ac.kr

ABSTRACT

Received: January 6, 2023
Revised: January 27, 2023
Accepted: January 30, 2023

Edited by

Seok-In Yun,
 Wonkwang University, Korea

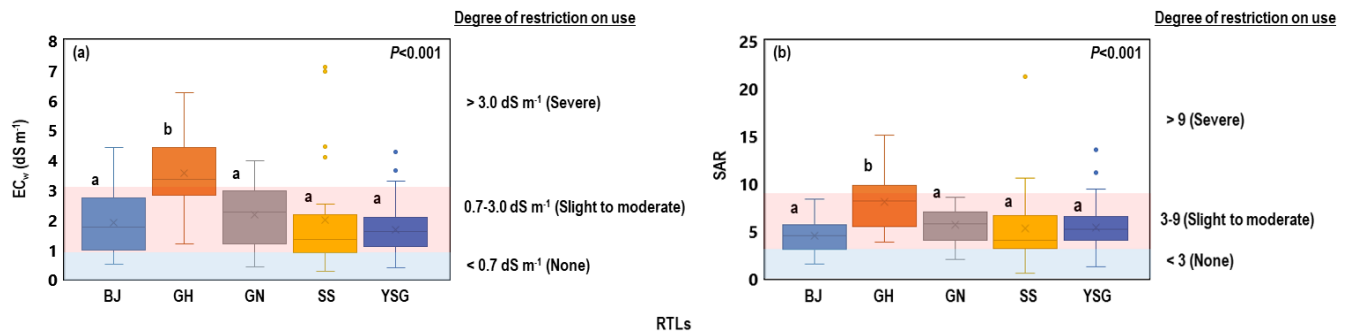
ORCID

Hyun-Jin Park
<https://orcid.org/0000-0002-2642-5723>

Woo-Jung Choi
<https://orcid.org/0000-0002-2009-8207>

Monitoring of the salinity of agricultural soil and water is necessary for sustainable food production in salt-affected reclaimed tidelands (RTLs). Soil salinity has been extensively monitored; however, little attention has been given to water salinity. In this study, agricultural water salinity of five RTLs located in the southwestern coastal area of South Korea was monitored. A total of 215 water samples were collected from estuary lakes and inland streams in Bojeon (BJ), Goheung (GH), Gunnae (GN), Samsan (SS), and Youngsangang (YSG) RTLs in 2018, 2020, and 2022. Water samples were analyzed for electrical conductivity (EC_w) and sodium adsorption ratio (SAR) to estimate the suitability of water salinity for agricultural uses based on the FAO guidelines. The EC_w (average: 1.6 - 3.6 $dS m^{-1}$) and SAR (5 - 8) were highly variable being dependent on RTL locations, water type (lake and stream), and sampling year and month. For rice cultivation, EC_w of BJ, SS, and YSG RTLs was lower than the threshold EC_w (2 $dS m^{-1}$) for rice growth; whereas EC_w of GN (2.1 \pm 1.0 $dS m^{-1}$) and GH (3.6 \pm 1.2 $dS m^{-1}$) RTLs were higher than the threshold EC_w . For upland crops cultivation, both EC_w and SAR of five RTLs were much higher than the FAO threshold values ($EC_w < 0.7 dS m^{-1}$ and $SAR < 3$). Therefore, our results suggest that agricultural water salinity of the study RTLs is not suitable for cultivation of upland crop. Therefore, long-term monitoring of water salinity as well as developments of advanced irrigation-drainage are necessary for diversification of agricultural uses of RTLs.

Keywords: Electrical conductivity, Saline soils, Saline water, Sodium adsorption ratio, Water management



Distribution of EC_w and SAR of lake and inland stream of five RTLs. On the right side of the panels, FAO guideline for the degree of restriction on the use for irrigation water is depicted.



Introduction

우리나라 간척지 면적은 약 186,639 ha로 추산되는데, 이는 전체 농경지 면적의 20%에 해당한다 (Jeong et al., 2020). 간척지는 해안가에 위치하여 염농도가 높고, 대부분 저지대에 위치하여 지하수위도 높아 작물 재배에 어려움이 있다 (Lim et al., 2020). 따라서, 습해 우려가 없고, 재배기간 동안 주기적인 관개로 일시적 제염이 용이한 벼 (*Oryza sativa* L.)를 주로 재배하고 있다 (Park et al., 2022). 하지만, 최근 쌀 소비량 감소 등에 의해 간척지 밭 작물 재배 필요성이 증가하고 있어, 간척지 토양에서 사료작물 (Jang et al., 2020; Bae et al., 2021; Yun et al., 2021), 서류 (Lee et al., 2021a), 곡류 (Lee et al., 2021b; Oh et al., 2022) 등 다양한 작물 재배를 위해 토양 염농도 관리 기술 개발에 대한 연구가 진행되고 있다 (Jeong et al., 2020; Seo et al., 2022).

이와 같이 현재의 간척지 작물 재배 연구는 대부분 토양 염농도를 중심으로 진행되고 있지만, 간척지 토양에서 벼를 포함한 다양한 작물 재배를 위해서는 토양 염농도 뿐만 아니라 농업용수 염농도에 대한 모니터링 및 관리도 필요하다 (Jeong et al., 2020). 벼의 경우에도 간척지에서 생육은 상대적으로 양호한 편이지만, 벼는 내염성 작물이 아니기 때문에 일정 수준 이상의 염농도 조건에서는 수량이 감소하는 것으로 알려져 있다 (Lim et al., 2020; Park et al., 2022). 예를 들면, 염류 토양에서 포화 침출액 토양 염농도 (EC_e)가 3.0 dS m^{-1} 에서 벼 수량이 감소하기 시작하며 $6 - 7 \text{ dS m}^{-1}$ 에서는 수량이 50% 감소한다 (Maas and Hoffman, 1977). 또한, 염류나트륨성 토양에서는 벼의 내염성이 상대적으로 높은 것으로 보고되고 있는데, Rashed et al. (2003)에 의하면 벼 수량은 EC_e 6 dS m^{-1} 이하에서는 변화가 없지만 20 dS m^{-1} 에서 수량이 50% 감소한다. 벼를 제외한 다양한 사료 및 곡류 작물 역시 EC_e $1.8 - 8.0 \text{ dS m}^{-1}$ 이상에서는 수량이 감소한다 (Abrol et al., 1988).

따라서, 이와 같은 벼의 토양 염농도 스트레스 경감을 위해서도 관개용수의 염농도 (EC_w) 모니터링과 관리가 필요하다. 벼의 경우 EC_w 가 2 dS m^{-1} 이상에서 수량이 감소하기 시작하며, 7.6 dS m^{-1} 이상에서는 수량을 기대하기 어렵다 (Maas and Hoffman, 1977). 또한, 밭 작물에 대한 FAO 농업용수 수질 기준에 의하면, EC_w $0.7 - 3.0 \text{ dS m}^{-1}$ 에서는 관개용수 사용에 대한 일부 제한이 필요하며 3.0 dS m^{-1} 이상에서는 관개용수 사용을 심각하게 제한해야 한다 (Ayers and Westcot, 1985). 하지만, 현재까지 우리나라 간척농지를 대상으로 한 연구는 대부분 토양 염농도 중심으로 수행되어, 간척지구의 농업용수 염농도에 대한 자료가 제대로 구축되지 못한 상황이다.

본 연구는 서남해안 간척지구의 농업용수 적합도를 평가하기 위해 2018 - 2022년 기간 동안 서남해안에 위치한 5개 국가 간척지의 담수호와 내부 하천 수질 시료의 EC_w 와 나트륨 흡착비 (SAR)를 조사하였다. 조사한 EC_w 를 벼와 밭작물 관개용수 기준과 비교하여 각 간척지구 농업용수의 관개용수 적합도를 평가하였다.

Materials and Methods

조사대상 간척지 개요 조사 대상 국가 간척지는 서남해안에 위치한 고흥, 군내, 보전, 삼산, 영산강지구이다 (Table 1). 해당 간척지는 1980년대와 2000년대 초반에 걸쳐서 조성되었으며, 매립면적은 최소 298 ha (보전지구)에서 최대 20,249 ha (영산강지구)이다. 2018 - 2021년에 조사된 각 지구별 농경지 토양의 EC_e 는 고흥지구 $10.4 \pm 0.8 \text{ dS m}^{-1}$, 군내지구 $8.3 \pm 0.5 \text{ dS m}^{-1}$, 보전지구 $7.9 \pm 1.4 \text{ dS m}^{-1}$, 삼산지구 $14.9 \pm 6.1 \text{ dS m}^{-1}$, 영산강지구 $9.0 \pm 0.8 \text{ dS m}^{-1}$ 였다 (Park et al., 2022).

Table 1. Details of reclaimed tideland (RTL) study sites and water sampling points.

RTL	Construction period	Reclaimed area (ha)	Number of water sampling points	
			Lake	Inland stream
Bojeon (BJ)	'87 - '96	298	1	1
Goheung (GH)	'91 - '05	3,100	2	1
Gunnae (GN)	'90 - '05	1,381	1	1
Samsan (SS)	'97 - '05	420	1	1
Youngsangang (YSG)	'85 - '03	20,249	4	5

수질 시료 채취 및 분석 조사 대상 간척지구에서 기본적으로 호수 1개소의 수질 시료를 채취하였고, 호수 면적이 넓은 지구는 2개소 이상 시료를 채취하였다 (Table 1). 또한, 호수에서 농경지로 용수가 공급되는 내부 하천이 있을 경우 수질 시료를 추가로 채취하였다. 수질 시료는 영농기 전 (3월), 영농기 (6월), 장마 후 (8월), 수확기 (10월)에 걸쳐 4회 채취하였다. 전체 시료수는 215점이었다.

채취한 수질 시료의 EC_w 는 전기전도도계 (Orion 3 STAR, Thermo Fisher Scientific, Korea)로 측정하였고, 양이온 (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+})은 ICP-MS (NexION 300X, PerkinElmer, MA, USA)로 분석하였다. 분석한 양이온 농도를 이용하여 SAR을 다음과 같이 계산하였다.

$$SAR = [Na^+] / [(Ca^{2+}) + (Mg^{2+}) / 2]^{1/2} \quad (\text{Eq. 1})$$

여기서, 각 이온의 농도 단위는 $mmol \cdot L^{-1}$ 이다.

통계분석 간척지구별 용수원 (호수와 내부하천) EC_w 와 SAR의 연차별 및 월별 변화의 통계적 유의성은 분산분석 (ANOVA)으로 검증하였다. 통계분석은 IBM SPSS Statistics 27 프로그램을 이용하여 유의확률 95% 수준에서 검토하였다.

Results and Discussion

EC_w 와 SAR의 간척지구별 계절적·연차별 변화 간척지구별 호수와 내부하천의 EC_w 와 SAR은 경시적으로 큰 폭으로 변했는데 (Fig. 1), 간척지구와 용수원은 물론 시료 채취 연도와 각 연도별 월, 그리고 이들 네 가지 요인의 상호작용에 의해서 영향을 받았다 (Table 2). 이와 같은 상호 작용이 매우 복잡하여 개별 간척지구의 호수와 내부하천 EC_w 와 SAR에는 일관된 변화 경향을 평가하기 어려웠다. 이는 농업용수의 EC_w 와 SAR은 기존 염분은 물론 강우와 기저유출 유입수에 의한 희석, 농경지 제염에 따른 회귀수 유입과 증발에 의한 염농도 증가 등 다양한 요인에 의해 영향을 받기 때문으로 판단된다 (Seong, 2014). 이와 같은 다양한 요인 중, 강우량에 따른 간척지구 호수의 염농도 변화 연구 결과에 의하면, 강우량이 증가하면 희석에 의해 염농도가 감소하는 경향이 있다 (Lee et al., 2010; Seong, 2014). 본 연구 기간 중 연 강우량이 2018년과 2020년 1,300 - 1,700 mm에서 2022년 900 mm 이하로 크게 감소하였지만, 동 기간동안 삼산 지구 호수만 2022년에 EC_w 와 SAR이 큰 폭으로 상승하였다 (Fig. 1). 따라서, 기존 연구에서 보고된 강

우량-염농도 관계는 원인을 특정하기는 어렵지만, 간척지구별로 다르다는 것을 알 수 있다. 그러므로, 간척지구 농업 용수 염농도의 경시적 변화 원인 해석을 위해서는 현장 모니터링과 수문 모델링을 결합한 장기 연구가 필요한 것으로 판단된다.

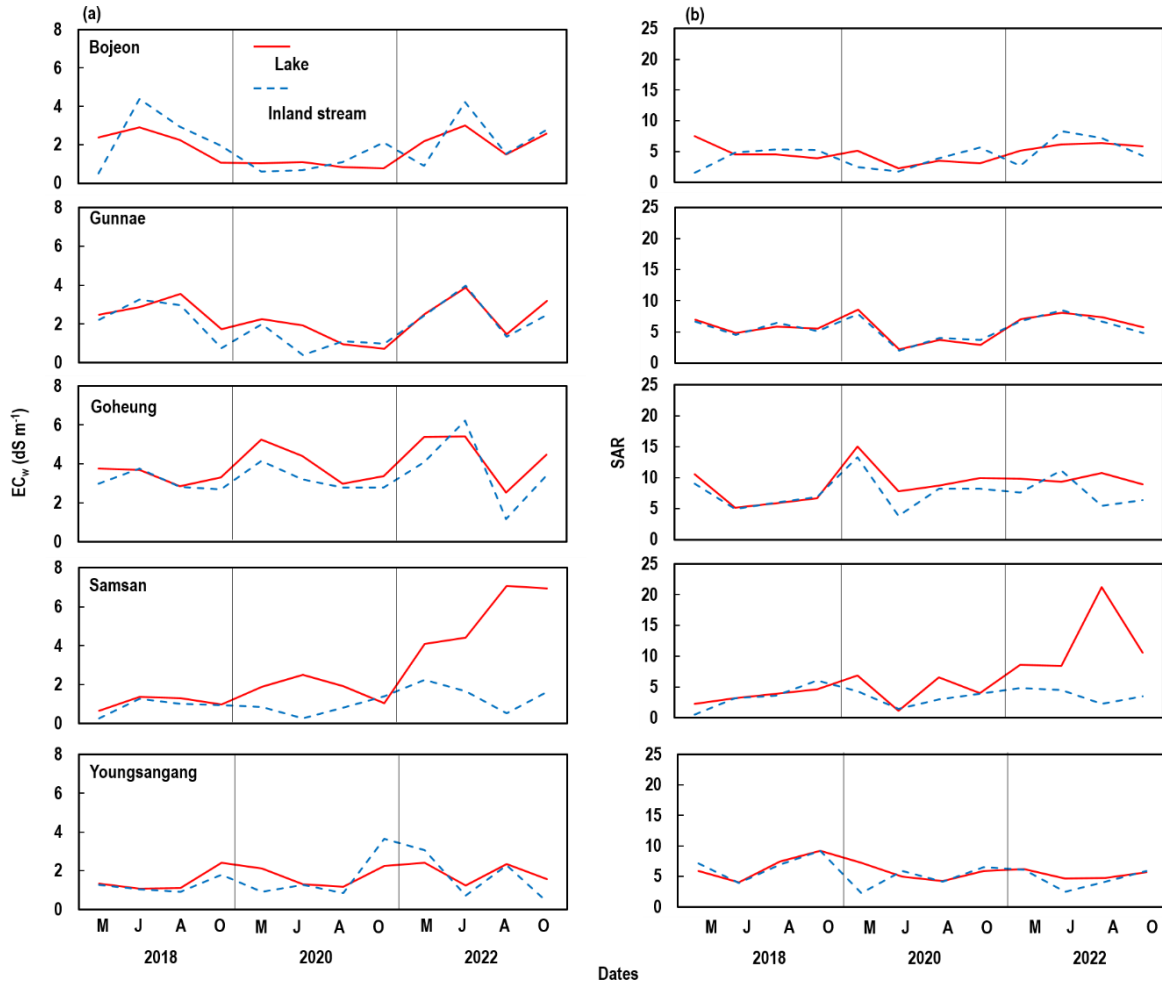


Fig. 1. Temporal changes in (a) electrical conductivity (EC_w) and (b) sodium adsorption ratio (SAR) of lake and inland stream of five reclaimed tidelands. Values are the means of multiple sampling points, and error bars were too small to be depicted. On the x-axis, 'M', 'J', 'A', and 'O' refer to 'March', 'June', 'August', and 'October', respectively.

Table 2. Analysis of variance of electrical conductivity (EC_w) and sodium adsorption ratio (SAR) of agricultural water in five reclaimed tidelands (RTLs) as affected by RTLs, water sources (lake vs. inland stream), and sampling year and month.

Factors	EC_w		SAR	
	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
RTL (R)	87.4	<0.001	24.5	<0.001
Water source (W)	37.4	<0.001	18.0	<0.001
Year (Y)	75.4	<0.001	22.8	<0.001
Month (M)	11.3	<0.001	8.3	<0.001
R × W	14.3	<0.001	5.5	0.001

Table 2. Analysis of variance of electrical conductivity (EC_w) and sodium adsorption ratio (SAR) of agricultural water in five reclaimed tidelands (RTLs) as affected by RTLs, water sources (lake vs. inland stream), and sampling year and month. (Continued)

Factors	EC_w		SAR	
	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
R × Y	16.3	<0.001	8.4	<0.001
R × M	11.6	<0.001	5.5	<0.001
W × Y	11.6	<0.001	6.9	0.002
W × M	2.2	0.089	2.8	0.043
Y × M	8.4	<0.001	8.0	<0.001
R × W × Y	8.2	<0.001	4.2	<0.001
R × W × M	2.3	0.011	2.2	0.017
R × Y × M	6.6	<0.001	3.7	<0.001
W × Y × M	5.6	<0.001	3.5	<0.001
R × W × Y × M	1.4	0.112	1.2	0.258

간척지구별 EC_w 와 SAR 분포 간척지구별 호수와 내부하천을 모두 포함하는 평균 EC_w 는 고흥지구 3.6 ± 1.2 $dS\ m^{-1}$, 군내지구 2.1 ± 1.0 $dS\ m^{-1}$, 보전지구 1.9 ± 1.1 $dS\ m^{-1}$, 삼산지구 2.0 ± 1.9 $dS\ m^{-1}$, 영산강지구 1.6 ± 0.7 $dS\ m^{-1}$ 였다 (Fig. 2a). 간척지구별 EC_w 차이는 통계적으로 유의하였으며 ($P < 0.001$), 고흥지구가 다른 4개 지구에 비해 유의하게 높았다. 신규 조성된 간척지의 경우 바닷물의 영향으로 호수 등의 염농도가 높을 수 있으며 간척지 조성 후 시간이 경과됨에 따라 호수의 EC_w 가 낮아질 수 있다 (Lee et al., 2014). 하지만, 본 연구의 조사 대상 간척지 중 보전지구 (1996년 조성 완료)를 제외하고 나머지 간척지는 모두 유사한 시기 (2004 - 2005년)에 조성이 완료되었기 때문에 바닷물의 영향 정도 차이보다는 앞에서 언급한 바와 같이 지역별 강우량 차이에 의한 염 희석, 간척 농경지로부터의 염분 유입, 해수와 인접한 지리적 특성 등 다양한 요인의 복합적인 영향에 의해 간척지구별 호수의 EC_w 가 상이한 것으로 판단된다 (Lee et al., 2014; Seong, 2014). 또한, 방조제 누수로 인한 해수 및 염분 유입 등 구조적인 요인도 고려할 필요가 있다 (Jung et al., 2009).

Maas and Hoffman (1977)이 제시한 벼 관개용수 적정 EC_w 기준 ($2\ dS\ m^{-1}$)과 비교하면 보전지구, 삼산지구, 영산강지구는 문제가 없으나, 군내지구는 기준보다 다소 높았으며, 고흥지구는 관개용수 염농도에 의해 벼 수량 감소가 우려되는 수준이었다. 예를 들면, Maas (1984)에 의하면 관개용수 EC_w 가 $3.4\ dS\ m^{-1}$ 에서 벼 수량이 25% 감소한다. 한편, FAO의 밭 관개용수 기준에 의하면 EC_w 가 $0.7\ dS\ m^{-1}$ 이하일 때는 사용에 제한이 없으나, $0.7 - 3.0\ dS\ m^{-1}$ 에서는 약간-중간 정도의 사용 제한이 필요하며, $3.0\ dS\ m^{-1}$ 이상에서는 극단적인 사용 제한이 요구된다 (Ayers and Westcot, 1985). 이 기준에 의하면, 조사 대상 간척지 농업용수 EC_w 가 모두 $0.7\ dS\ m^{-1}$ 이상으로 일정 정도의 사용 제한이 필요하며, 특히 고흥지구는 사용 제한이 심각한 수준으로 분류된다.

SAR은 고흥지구 8.1 ± 2.8 , 군내지구 5.7 ± 1.9 , 보전지구 4.6 ± 1.8 , 삼산지구 5.1 ± 4.2 , 영산강지구 5.4 ± 2.1 로 EC_w 와 유사하게 고흥지구의 SAR이 가장 높았다 (Fig. 2b). 이는 EC_w 와 SAR의 정 (+)의 상관관계에서도 확인된다 (Fig. 3). FAO의 밭 관개용수 기준에 의하면 SAR이 3 이하일 때는 사용에 제한이 없으나, 3 - 9에서는 약간-중간 정도의 사용 제한이 필요하며, 9 이상에서는 극단적인 사용 제한이 요구된다 (Ayers and Westcot, 1985). 이 기준에 의하면, 조사대상 5개 간척지구 모두 밭 관개용수 조건을 충족시키지 못하여 일정 수준 이상의 사용 제한이 필요하다. 이상의

EC_w와 SAR 결과를 종합하면 5개 간척지구 중에서 고흥지구의 농업용수 여건이 가장 불량한 것으로 나타났다.

간척농지 타작물 재배 또는 간척농지 타용도 활용을 위해 토양 염농도를 중점적으로 고려하고 있지만, Jeong et al. (2020)이 제안한 바와 같이, 본 연구 결과에서도 간척지구의 농업용수 염농도를 추가로 고려할 필요성이 제기되었다. 예를 들면, 고흥지구 농경지 토양의 평균 EC_e는 10.4 ± 0.8 dS m⁻¹로 군내지구 (8.3 ± 0.5 dS m⁻¹)와 보전지구 (7.9 ± 1.4 dS m⁻¹), 영산강지구 (9.0 ± 0.8 dS m⁻¹) 보다는 높지만, 삼산지구 (14.9 ± 6.1 dS m⁻¹) 보다는 낮기 때문에 (Park et al., 2022), 토양 염농도만을 고려할 경우 삼산지구보다 고흥지구의 영농조건이 더 양호한 것으로 오판될 가능성이 있다.

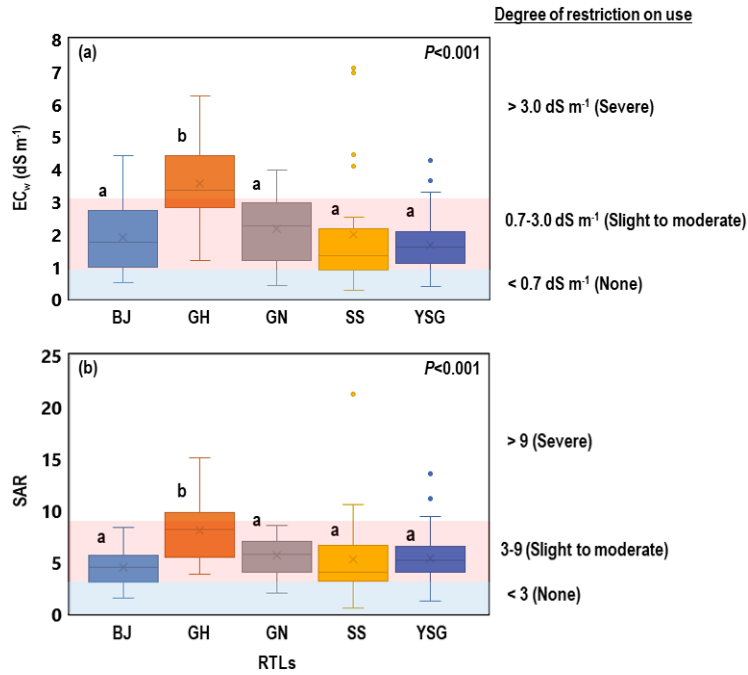


Fig. 2. Box plots of the distribution of (a) electrical conductivity (EC_w) and (b) sodium adsorption ratio (SAR) of lake and inland stream of five reclaimed tidelands (RTLs). Details of RTLs are described in Table 1. Boxes represent interquartile ranges (IQRs) and horizontal lines and x marks within boxes indicate median and average values, respectively, and the upper and lower whiskers indicate 75 percentile plus 1.5 IQR and 25 percentile minus 1.5 IQR, respectively. Different lower-case letters above the bars indicate that the values are statistically different at $\alpha = 0.05$. FAO guideline for the degree of restriction on the use for irrigation water is depicted on the right side of the panels.

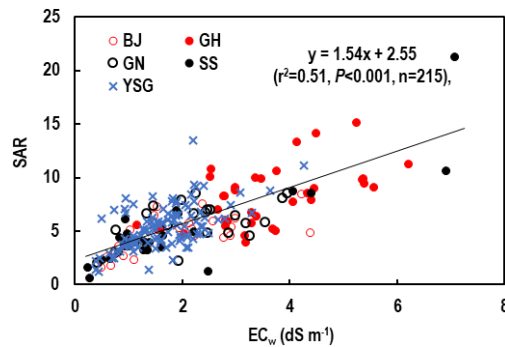


Fig. 3. Relationship between electrical conductivity (EC_w) and sodium adsorption ratio (SAR) of water collected from lake and inland stream of five reclaimed tidelands (RTLs). Details of RTLs are described in Table 1.

Conclusions

간척지의 안정적인 쌀 생산과 재배 작물 다각화를 위해서는 토양의 염농도는 물론 농업용수 염농도 모니터링이 필요하다. 본 연구에서 서남해안에 위치한 5개 국가간척지구내 농업용수원 (호수와 내부하천)의 EC_w 와 SAR을 조사한 결과, EC_w (평균: $1.6 - 3.6 \text{ dS m}^{-1}$)와 SAR (5 - 8)은 간척지구와 농업용수원은 물론 시료 채취 연도와 월 그리고 이들 요인의 상호작용에 의해 크게 변했다. 각 간척지구별 농업용수원 (호수와 내부하천)의 EC_w 를 비교 분석한 결과, 보전지구, 삼산지구, 영산강지구는 벼 관개용수 기준 (2 dS m^{-1}) 이하였으나, 군내지구 ($2.1 \pm 1.0 \text{ dS m}^{-1}$)는 기준보다 다소 높았으며, 고흥지구 ($3.6 \pm 1.2 \text{ dS m}^{-1}$)는 기준을 크게 상회하였다. 또한, 조사 대상 5개 간척지구 모두 FAO 발 관개용수 EC_w 기준 ($<0.7 \text{ dS m}^{-1}$)과 SAR 기준 (<3)을 초과하여 밭 작물 도입을 위해서는 관개용수 공급에 주의가 요구되었다. 본 연구 결과는 간척지 밭 작물 도입을 위해서는 토양 염농도는 물론 농업용수 염농도 모니터링이 필요함을 제시한다.

Acknowledgement

This work was carried out with the support of the “Cooperative Research Program of Agriculture Science and Technology Development (Project No. PJ0318732022)”, Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Abrol, I.P., J.S.P. Yadav, and F.I. Massoud. 1988. Salt-affected soils and their management. FAO Soils Bulletin 39. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- Ayers, R.S. and D.W. Westcot. 1985. Water quality for agriculture. Irrigation and Drainage Paper 29. Rev. 1. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- Bae, H.S., H. Jang, S.H. Ahn, U.H. Kim, J.T. Youn, and D.Y. Chung. 2021. Estimation of optimum N fertilizer and sowing rate for Italian ryegrass seed production in the Saemangeum reclaimed land. Korean J. Soil Sci. Fert. 54:213-221.
- Jang, H., H.S. Bae, S.H. Ahn, J.T. Youn, D.W. Kim, and W.H. Kim. 2020. Growth characteristics and seed productivity of Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* L.) cultivars under different salinity in Saemangeum reclaimed tideland. Korean J. Soil Sci. Fert. 53:502-509.
- Jeong, Y.J., S.S. Lim, H.J. Park, B.S. Seo, S.I. Par, J.H. Ryu, K.S. Lee, D.Y. Chung, H.Y. Kim, S.H. Lee, H.I. Yang, and W.J. Choi. 2020. Evaluation of crop suitability for reclaimed tideland soils using soil and water salinity and soil texture. Korean J. Soil Sci. Fert. 53:70-81.
- Jung, K.W., H.C. Seong, S.W. Park, T.I. Jang, and E.J. Lee. 2009. Simulation of salinity in freshening lake. p. 2158-2162. In Proceedings of the Korea Water Resources Association Conference on Academic Presentation, Yongsong, Korea.
- Lee, K.D., S.W. Hwang, J.G. Kang, J.H. Jeong, J.H. Ryu, Y.J. Oh, G.K. Kim, M.S. Ko, and S.J. Kim. 2010. Realtime remote monitoring for water salinity in reclaimed land lake during farming season. p. 162. In Proceedings of the Korean Society of Soil Science and Fertilizer Conference on Academic Presentation, Hongcheon, Korea.
- Lee, K.D., S.Y. Hong, Y.H. Kim, S.I. Na, and Y.J. Oh. 2014. Evaluation of practical application of the remote monitoring system for water salinity in Estuary lake during farming season. Korean J. Soil Sci. Fert. 47:313-318.
- Lee, K.S., K.H. Jung, J.H. Ryu, and S.H. Lee. 2021a. Applicability of conventionally recommended fertilizer rates for potato cultivated in Saemangeum reclaimed land in the fall season. Korean J. Soil Sci. Fert. 54:289-296.

- Lee, S.B., M.Y. Kim, Y.J. Kim, H.T. Kim, S.H. Kang, and Y.H. Choi. 2021b. Effect of polyacrylamide on seedling stage growth of cereal crops cultivated in reclaimed soils. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 54:504-513.
- Lim, S.S., H.I. Yang, H.J. Park, S.I. Park, B.S. Seo, K.S. Lee, S.H. Lee, S.M. Lee, H.Y. Kim, J.H. Ryu, J.H. Kwak, and W.J. Choi. 2020. Land-use management for sustainable rice production and carbon sequestration in reclaimed coastal tideland soils of South Korea: A review. *Soil Sci. Plant Nutr.* 66:60-75.
- Maas, E.V. 1984. Salt tolerance of plants. p. 20. In A.A. Hanson (ed.) *CRC Handbook of plant science in agriculture*. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.
- Maas, E.V. and G.J. Hoffman. 1977. Crop salt tolerance - Current assessment. *J. Irrig. Drain. Div.* 103:115-134.
- Oh, Y.Y., H.K. Ock, J.H. Ryu, S.H. Lee, H.S. Lee, K.S. Lee, K.H. Jung, S.Y. Yoo, T.W. Kim, and K.Y. Kim. 2022. Soil properties and maize growth affected by soil nutrient management practices in Saemangeum reclaimed land. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 55:102-112.
- Park, H.J., B.S. Seo, Y.J. Jeong, H.I. Yang, S.I. Park, N.R. Baek, J.H. Kwak, and W.J. Choi. 2022. Soil salinity, fertility and carbon content, and rice yield of salt-affected paddy with different cultivation period in southwestern coastal area of South Korea. *Soil Sci. Plant Nutr.* 68:53-63.
- Rashed, A.A., E. Khlifa, and H.S. Fahmy. 2003. Paddy rice cultivation in irrigated water managed saline sodic lands under reclamation, Egypt. PA071. In *Proceedings of the 9th ICID International Drainage Workshop*, Utrecht, The Netherlands.
- Seo, B.S., K.S. Lee, H.J. Park, Y.J. Jeong, N.R. Baek, S.I. Lee, K.S. Yoon, and W.J. Choi. 2022. Conversion factors for electrical conductivity of 1:5 soil-water extracts to saturated paste of reclaimed tideland soils are affected by sand contents. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 55:251-260.
- Seong, C.H. 2014. Assessing temporal and spatial salinity variations in estuary reservoir using EFDC. *J. Korean Soc. Agric. Eng.* 56(6):139-147.
- Yun, S.I., J.H. Kwak, B.R. Choi, and G.Y. Kim. 2021. Salt removal from soil by winter and spring cultivation of tall fescue and Italian ryegrass in Saemangeum reclaimed tidal land. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 54:514-524.