

Effects of Mixed Application of Ethylenediamine-N,N'-disuccinic Acid and Fertilizer on the Growth of Watermelon and Soil Properties of Plastic Film House

Myung-Sook Kim^{1*}, Eun-Jin Lee², Tae-Gu Lee², Ha-il Jung², Seon-Hye Baek³, Seung-Gye Lee³, Min-Hye Park⁴, and Mi-Hwa Moon⁵

¹Agricultural Senior Researcher, Division of Soil and Fertilizer, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 55365, Korea

²Agricultural Researcher, Division of Soil and Fertilizer, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 55365, Korea

³RDA Research Associate Fellowship, Division of Soil and Fertilizer, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 55365, Korea

⁴RDA Technician, Division of Soil and Fertilizer, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 55365, Korea

⁵Senior Extension Worker, Gwangju City Agricultural Technology Center, Gwangju 464720, Korea

*Corresponding author: msk74@korea.kr

ABSTRACT

Received: July 14, 2023

Revised: August 17, 2023

Accepted: August 17, 2023

Edited by

Kwon-Rae Kim,
Gyeongsang National University,
Korea

ORCID

Myung-Sook Kim
<https://orcid.org/0000-0002-4382-0194>

Tae-Gu Lee
<https://orcid.org/0000-0002-3115-7516>

Chelating agents enhance the availability of cationic nutrient by mobilizing salts in the soil. This study was conducted in the field to evaluate the effects of Ethylenediamine-N,N'-disuccinic acid (EDDS) as chelating agent and fertilizer application on improving plant growth and changing soil properties of plastic film house. The treatments were conventional application practice (NPKC), fertilizer application by soil testing (soil testing), EDDS plus 10% (EDDS+NPKC 10%), 25% (EDDS+NPKC 25%), and 50% (EDDS+NPKC 50%) of conventional fertilizer application level. Soil electrical conductivity, nitrate nitrogen, and exchangeable potassium of EDDS+NPKC 25% treatment decreased compared to those of NPK treatment, but the enzyme activity of microbial community increased. The amount of N, P, K, Ca, Mg and Fe uptaken by plant tended to be high compared to those of NPK treatment. These results showed that mixed application of EDDS and a quarter of conventional fertilizer could improve the watermelon growth and reduced the soil salinity.

Keywords: Ethylenediamine-N,N'-disuccinic acid, Fertilizer amount, Plastic film house, Salt accumulation, Watermelon

Soil chemical properties after harvest of watermelon in soil treated by EDDS.

Treatment	pH (1:5 H ₂ O)	EC (dS m ⁻¹)	NO ₃ -N (mg kg ⁻¹)	Av. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Exch. cations (cmol _c kg ⁻¹)		
					K	Ca	Mg
NPKC	6.1 a [†]	7.27 a	460 a	582 b	1.2 a	9.6 b	3.6 b
Soil testing	6.0 a	5.30 ab	216 b	498 c	0.9 ab	9.6 ab	3.4 bc
EDDS+NPKC 10%	6.2 a	4.07 b	118 b	482 c	1.1 ab	11.0 a	4.3 a
EDDS+NPKC 25%	6.3 a	4.36 b	172 b	543 bc	0.8 b	9.4 b	3.2 bc
EDDS+NPKC 50%	6.2 a	4.77 b	209 b	689 a	1.1 ab	9.2 b	3.0 c

[†]Duncan's multiple range test ($p < 0.05$).



Introduction

시설재배지 염류집적은 비료 과다 사용으로 양분 불균형 및 토양 중으로 고농도 염류가 용출되어 작물이 생육 장애를 받고, 수량 감소로 이어지게 한다 (Lim et al., 2022). 토양 중 전기전도도가 높고, 교환성 양이온 비율이 일정하게 유지되지 못할 경우 작물은 토양으로부터 칼륨, 칼슘, 마그네슘 중 특정 성분을 흡수하지 못하여 결핍증을 일으킨다 (RDA, 2022). 시설수박 농가의 평균 비료사용량 (2020년에 충남·북, 전북지역을 포함한 124농가)은 질소질비료는 토양검정 비료사용량 대비 5.8배 많았고, 인산, 칼리는 상대적으로 적었다. 그러나, 가축분퇴비 사용량은 토양검정 비료사용량 (293 - 289 kg 10a⁻¹)보다 4 - 5배 많이 (1,069 - 2,062 kg 10a⁻¹) 투입했다고 보고된 바 있다 (NAS, 2021). 그리고, 시설수박 재배지의 토양양분 상태는 2020년에는 4.4 dS m⁻¹로 적정범위 (2.0 dS m⁻¹ 이하) 보다 2배 높았고, 교환성 칼슘 (Ca) 및 마그네슘 (Mg) 함량은 적정범위 (Ca 5.0 - 6.0 cmol_c kg⁻¹; 1.5 - 2.0 cmol_c kg⁻¹) 대비 1.1 - 1.4배까지 높아졌다 (NAS, 2021). 이처럼 시설재배지 토양의 염류집적과 양이온 불균형의 발생이 높은 상태라고 볼 수 있다.

그 동안의 염류해결 방안은 새로운 토양으로 교체하는 객토, 물에 담가 제염 (Oh et al., 2010), 표토와 심토를 바꾸는 심토반전 (Jun et al., 2002), 녹비작물 (Yang et al., 2011), 벼 (Kim et al., 2010) 재배, 미생물제 (Lee et al., 1996), 바이오차 (Heo et al., 2021; Kim et al., 2022b) 및 킬레이트제 Diethylene-triamine-pentaacetic acid (DTPA) 투입하는 기술 (Kim et al., 2012; Lee et al., 2019), 점적관수 (Park et al., 2012), 유기물질 투입 (Wee et al., 2010) 등 다양한 방법을 제시하여 왔다. 이러한 방법들을 농업현장에서는 농지 입지조건, 경제성, 편리성, 효과성 등을 고려하여 활용되고 있지만, 수량을 안정적으로 생산하고, 염류를 효율적으로 관리하는 기술개발을 지속적으로 요구하고 있다.

킬레이트제란 금속 이온과 2자리 이상으로 배위결합을 하여 고리구조의 모양을 만드는 리간드로 (Tuntiwit, 1982), 여러 연구에서 활용되었다. 철에 킬레이트제를 결합한 비료는 일반적으로 원예작물 재배 시 염면에 시비하는데 활용하는 기술을 연구가 되었고 예로 Disodium iron ethylene dinitrilotetraacetate (Na₂FeEDTA)의 물질이 대표적이다 (Bergmann, 1993). 그리고 DTPA를 이용한 염류 저감기술 개발 (Kim et al., 2012; Lee et al., 2019), 염류 집적 안 된 토양에 시설가지의 생육, 수량 및 양분이용효율에 대한 킬레이트제 공급 효과 (Lee et al., 2022) 및 pH 높은 알칼리 토양에서 미량원소의 투입 효과를 높이는 방법 (Tuntiwit, 1982) 등에 대해 다양한 연구가 이루어졌다. 그리고, 간척지와 같이 과도한 나트륨으로 인해 수분 침투성이 낮은 불리한 토양 특성을 개선하는데, Ethylene-diamine-tetraacetic acid (EDTA)는 안정한 착물을 형성하므로 용해되지 않은 화합물에서 Ca 및 Mg을 방출하여 Sodium Adsorption Ratio (SAR)를 낮추어, 토양의 배수 속도를 개선하는 연구가 있었다 (Ashworth, 2007). 염분과 EDTA 처리가 토마토 씨앗의 발아와 생장에 미치는 영향을 분석하고, EDTA 처리가 염분에 의한 토마토 씨앗의 발아 및 생장 저해를 방지할 수 있다고 하였다 (Olayinka et al., 2016).

킬레이트제의 한 종류인 EDDS는 중금속으로 오염된 농경지에서 작물로의 중금속을 흡수량을 증가시켜 토양으로부터 중금속을 제거 (phytoremediation)하는 연구에 사용되었다 (Chen and Cutright, 2001; Lee and Sung, 2015). 이 물질은 미생물에 의해 자연적으로 생성되고 (Nishikiori et al., 1984; Goodfellow et al., 1997; Meers et al., 2004), 생분해되기도 하여, 환경에 지속적으로 잔류하지 않으므로 토양과 수로에서 중금속을 흡수하고 운반할 가능성이 적고, 식물 뿌리에 미량 영양소를 전달하는 데 있어 EDTA 및 DTPA만큼 효과적이다. 작물의 생산에 사용되는 비료를 생산할 때 환경 친화적인 킬레이트제로서 EDDS가 사용되고 있다.

농업 현장에서 킬레이트제 활용 기술의 실용성을 높이기 위해 EDDS와 비료를 혼합하여 활용하는 기술의 개발이 필요하였다. 따라서, 본 연구에서는 전기전도도가 6.9 dS m⁻¹인 농가의 포장에 EDDS와 비료를 병행 처리하였을 때

수박의 생육특성과 토양의 화학성 변화에 미치는 영향을 분석하였다.

Materials and Methods

수박 포장 실험 염류 높은 토양에 EDDS 투입 후 수박 재배 시 적절한 비료량을 결정하기 위해 농가포장시험을 실시하였다. 시험장소는 2022년에 충남 진천군 신정리에 위치한 농가에서 2022년 4월 6일부터 6월 21일까지 시험을 수행하였다. pH는 5.9로 농촌진흥청에서 추천하는 수박 생육의 적정 기준 (6.0 - 6.5)의 하한값 (NAS, 2022) 근처에 있었고, 전기전도도 (electrical conductivity, EC)는 6.9 dS m^{-1} , 교환성마그네슘 (exchangeable Mg, Ex. Mg) 함량은 $4.1 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, 질산태질소 ($\text{NO}_3\text{-N}$) 함량은 393 mg kg^{-1} 으로, 적정 기준의 상한값보다 2.1 - 3.5배 높았다. 유효인산 (available P_2O_5 , Av. P_2O_5) 함량은 566 mg kg^{-1} , 교환성 칼륨 (exchangeable K, Ex. K) 함량은 $1.11 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, 교환성 칼슘 (exchangeable Ca, Ex. Ca) 함량은 1.3 - 1.9배로 투입한 비료가 토양 염류로 많이 축적된 상태였다 (Table 1).

Table 1. Chemical properties of soil used in field experiment.

	pH (1:5 H ₂ O)	EC (dS m ⁻¹)	OM (g kg ⁻¹)	Av. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Exch. cations (cmol _c kg ⁻¹)			NO ₃ -N (mg kg ⁻¹)	NH ₄ -N (mg kg ⁻¹)
					K	Ca	Mg		
Soil	5.9	6.9	22	566	1.11	11.1	4.1	393	15
Optimum range [†]	6.0 - 6.5	≤2	20 - 30	350 - 450	0.70 - 0.80	5.0 - 6.0	1.5 - 2.0	50 - 150	-

[†]NAS (2022).

시험구는 농가 비료사용량을 투입한 처리구 (NPKC, N-P₂O₅-K₂O-퇴비 = 23-17.7-22.4-1,500 kg 10a⁻¹), 토양검정량 기준 비료사용량 처리구 (soil testing, N-P₂O₅-K₂O-퇴비 = 0-0-7.5-1,500 kg 10a⁻¹), EDDS 투입 시 비료량을 각각 농가비료사용량의 10% (EDDS+NPKC 10%), 25% (EDDS+NPKC 25%), 50% (EDDS+NPKC 50%)로 총 5개 처리구를 두었고, 3반복으로 실험하였다. 시험구 배치는 완전임의배치법으로, 1개 시험구 면적은 37.5 m²이었다. 토양을 경운하기 전에 무기질비료와 퇴비를, 수박을 재배하는 중에 무기질비료와 킬레이트제를 Table 2와 같이 투입하였다. 수박을 2022년 4월 6일에 정식하였고, 정식 후 77일째 (6월 21일)에 수확하였으며, 토양 시료는 비료와 킬레이트제를 처리 전 및 수확기에, 작물체 시료는 수확기에 채취하여 분석하였다.

Table 2. Applying rate of fertilizer and EDDS by treatment.

Treatment [†]	Fertilizer input (kg 10a ⁻¹)							Chelating agent (L 10a ⁻¹)	Total input
	N		P ₂ O ₅		K ₂ O		Compost		
	Basal dressing	Top dressing	Basal dressing	Top dressing	Basal dressing	Top dressing	Basal dressing		
NPKC	-	23	-	17.7	-	22.4	1,500	-	
Soil testing	-	0	-	0	-	7.5	540	-	
EDDS+NPKC 10%	-	2.3	-	1.8	-	2.2	150	1,862	
EDDS+NPKC 25%	-	5.8	-	4.4	-	5.6	375	1,862	
EDDS+NPKC 50%	-	11.5	-	8.9	-	11.2	750	1,862	

[†]NPKC: conventional application practice; Soil testing: fertilizer application by soil testing; EDDS+NPKC 10%, EDDS+NPKC 25%, EDDS+NPKC 50%: EDDS plus 10%, 25% and 50% of conventional fertilizer application level.

토양 및 식물체 분석 토양은 음지에서 자연 건조 후 2 mm 체를 통과시켜 농촌진흥청 토양 및 식물체 분석법 (NIAS, 2000)과 토양화학분석법 (NAAS, 2010)에 근거하여 분석하였다. pH와 전기전도도는 토양과 증류수의 비율을 1:5로 혼합하여 30분간 진탕한 후에 pH와 전기전도도를 검용해서 측정하는 기기 (Orion 5 star, ThermoFisher Scientific, USA)로 측정하였고, 전기전도도는 측정수치에 5를 곱하여 사용하였다. 토양유기물은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster법으로 720 nm에서 분광광도계 (U-3000, Hitachi, Japan), 질산태질소는 2 M KCl로 추출한 후 자동이온분석기 (QuAatro, Bran+Luebbe, Germany)로 측정하였다. 교환성 양이온은 1 M NH₄OAc (pH 7.0) 완충용액으로 추출하여 유도결합 플라즈마 발광광도계 (ICP-OES, GBC, Australia)으로 측정하였다. 수박 식물체 분석은 건조 후 분쇄한 시료를 0.5 g 칭량하고 P, K, Ca, Mg, Fe은 conc. H₂SO₄을 10 mL와 50%의 HClO₄ 10 mL를 가하여 분해 후 여과하여 P는 vanadate 발색방법으로, K, Ca, Mg, Fe은 유도결합 플라즈마 발광광도계로 측정하였다. T-N은 원소 분석기 (Vario MAX CNS, Germany)를 이용하여 표준시료와 함께 900°C에서 측정하여 질소함량을 분석하였다.

미생물 효소 활성 분석 토양시료는 2 mm체를 통과한 습윤한 토양 1 g에 60 mM sodium phosphate buffer (pH 7.6)을 4 mL를 넣었다. 여기에 Fluorescein diacetate stock solution (10 mL acetone에 fluorescein diacetate 1 mg을 녹인 농도임)을 넣고 24°C에서 60분 동안 교반하였다. FDA의 수화반응을 위해 2 mL-acetone을 첨가하였고, 6,000 rpm에서 5분 동안 원심분리 후 No. 2 여과지로 여과한다. 이 여액을 분광광도계 490 nm에서 측정하였다.

통계분석 SAS 프로그램 (Enterprise guide 7.1, SAS Institute, USA)으로 ANOVA 분석과 Duncan의 다중검정 을 킬레이트제 종류와 비료 수준별로 수박생육과 토양에 처리한 효과를 비교하였다.

Results and Discussion

EDDS 투입 시 비료수준별 토양 유효양분에 미치는 영향 EDDS를 토양에 투입할 때 비료 수준 (농가투입량의 10%, 25%, 50%)별로 조절하여 함께 사용하였고, 수박을 재배한 후 수확기에 채취한 토양의 화학적 특성을 살펴 보았다 (Table 3). pH는 모든 처리구에서 6.1 - 6.3의 범위로 처리구들간에 차이가 없었다. EC, NO₃-N 및 교환성 칼륨 (Ex. K)은 EDDS+NPKC 25% 처리구에서 농가비료투입량 처리구 (NPKC)보다 각각 41%, 61%, 33%로 감소하였다. 후자에 설명할 예정이지만, EDDS+NPKC 25% 처리구는 수박 생육량이 가장 높은 처리구로서 토양양분을 가장 많이 흡수하였기 때문에 나타난 결과라고 판단된다. 즉, 수박 식물체가 토양으로부터 가장 많이 소모할 수 있는 영양 성분이 질산태 질소이고, 특히 질산태질소는 전기전도도 수치를 가장 많이 좌우하는 성분이기 때문에 질산태질소와 전기전도도가 함께 감소하였다 (Choi et al., 2021) 라고 생각된다. 토양 유효인산, 교환성 칼슘 및 마그네슘 함량은 NPKC (농가비료투입량) 처리구 대비 각각 7%, 2%, 11%로 약간 줄어드는 경향이었고, 농가비료사용량과 유의한 차이는 인정되지 않았다.

이와 같은 변화 경향은 EDDS와 비료사용량 수준이 토양 내 이온 성분들의 형태와 미생물 활성을 일부 변화시킬 수 있음을 보여준다. EDDS에 의해 토양 양분 (양이온)의 유효도가 높은 형태로 전환되어 토양 EC와 수용성 함량을 증가시킬 수 있다 (Kim et al., 2022a). 또한, 비료로 투입한 영양분도 수박이 생육하도록 도울 수 있기 때문 (Kim et al., 2012)에 킬레이트제와 비료의 적절한 사용이 필요하다고 판단된다.

Table 3. Soil chemical properties after harvest of watermelon in soil treated by EDDS.

Treatment	pH (1:5 H ₂ O)	EC (dS m ⁻¹)	NO ₃ -N (mg kg ⁻¹)	Av. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Exch. cations (cmol _c kg ⁻¹)		
					K	Ca	Mg
NPKC	6.1 a [†]	7.27 a	460 a	582 b	1.2 a	9.6 b	3.6 b
Soil testing	6.0 a	5.30 ab	216 b	498 c	0.9 ab	9.6 ab	3.4 bc
EDDS+NPKC 10%	6.2 a	4.07 b	118 b	482 c	1.1 ab	11.0 a	4.3 a
EDDS+NPKC 25%	6.3 a	4.36 b	172 b	543 bc	0.8 b	9.4 b	3.2 bc
EDDS+NPKC 50%	6.2 a	4.77 b	209 b	689 a	1.1 ab	9.2 b	3.0 c

[†]Duncan's multiple range test ($p < 0.05$).

EDDS 투입 시 비료수준별 토양 미생물 활성에 미치는 영향 미생물 활성과 관련하여 다양한 지표 중 토양 미생물 활성을 총체적으로 측정하는 지표 (Schnürer and Rosswall, 1982; Jaiswal and Pandey, 2019)로 FDAase가 사용되고 있고, Kim et al. (2021)의 시험연구보고서에서 킬레이트제 처리구에서 FDAase 활성이 높았다고 발표한 바 있어서 본 연구에서도 FDAase 활성을 측정하였다. 수박 수확기에 채취한 토양의 미생물 활성을 살펴본 결과, EDDS+NPKC 10% 및 25% 처리구와 NPKC 처리구 사이에 유의한 차이가 발생하였다 (Fig. 1). EDDS가 투입된 처리구들의 미생물 활성은 대체적으로 NPKC보다 높은 경향을 보였다. 토양미생물이 EDDS를 잘 분해 (반감기가 3.8 - 7.5일)한다고 알려져 있고 (Meers et al., 2004), 4월부터 6월까지 1주일에 1회씩 토양에 지속적으로 관주하였기 때문에 수확기까지 미생물에 의한 효소 활성이 높은 경향을 나타냈다고 판단된다. EDDS의 분해과정에서 생성된 탄소 물질은 많은 미생물이 이용할 수 있기 때문에 토양 미생물 활성을 높인다고 하였다 (Yang et al., 2013), 이로 인해 수박 뿌리에서의 미생물 작용을 활성화시켜 작물 생육에 영향을 주었으리라 추정된다.

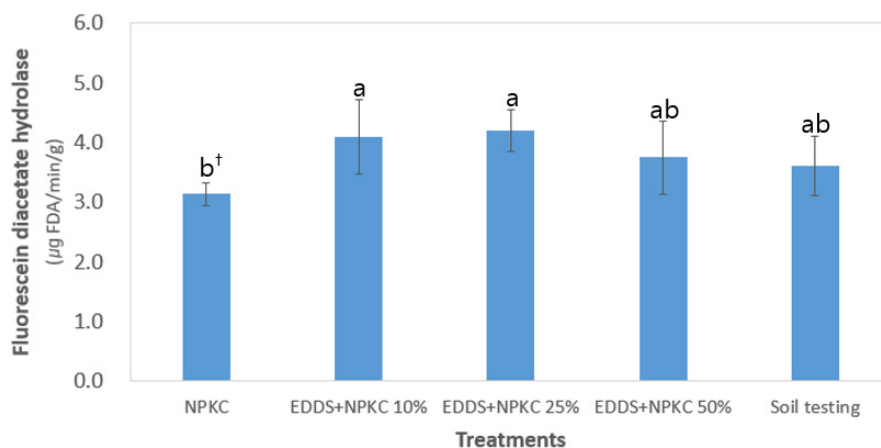


Fig. 1. Difference in fluorescein diacetate hydrolase by EDDS and fertilizer levels (10%, 25%, and 50%) applied in salt-accumulated soil under field scale. [†]Duncan's multiple range test ($p < 0.05$).

EDDS 투입 시 비료수준별 수박 생육량 및 흡수량 수박 열매의 생중량은 처리간에 통계적인 차이는 발생하지 않았지만, 농가비료사용량 보다는 EDDS와 농가비료사용량의 25%로 혼합처리하였을 때 증가하는 경향이 있었다 (Table 4). 농가비료사용량 (NPKC) 처리구를 100으로 볼 때, 이보다 EDDS+NPKC 10% 처리구는 111%, EDDS+

NPKC 25% 처리구에서 116%, EDDS+NPKC 50%은 105%, 그리고 토양검정량 처리구 (soil testing)는 109%로 나타났다. 이것은 EDDS와 비료의 병행 투입은 수박생육량을 증가하는 경향을 나타냈고, 이와 같은 현상은 수박의 생체량인 줄기와 잎에서도 유사하게 나타났다. 토양의 양분유효도가 증가하고, 미생물 활성이 증가한 영향으로 수박에 생육량도 증가하는 경향을 보였다고 생각된다.

농가비료사용량보다 비료량이 적은 토양검정량 처리구 (soil testing)에서, 수박 열매의 생중량은 농가비료투입량 처리구 (NPKC)보다 약간 증가하였고, EDDS+NPKC 25% 처리구보다는 낮은 경향이였다. 이것은 비료를 줄임으로써, 토양 EC가 감소하여, 작물의 염류 스트레스가 경감된 결과라고 볼 수도 있다. 그러나, 토양에 과다한 양이온 (K, Ca, Mg) 성분은 이온 불균형으로 식물체에 원활하게 공급되는데 한계가 있고, 미량원소도 흡수가 잘 안 되는 상태이기 때문에, 이러한 문제를 효과적으로 해결하는데 킬레이트제가 필요하다고 판단된다.

염류집적이 되지 않은 시설재배지 (전기전도도 1.33 dS m^{-1})에 토양검정량 기준으로 비료를 투입하고, 가지를 재배할 때 DTPA와 비료 병행 처리구의 EC는 무처리구 대비 18.4% 더 많이 감소하였고, 총건물중과 수량 (상품성 높은 수확물)은 각각 32.1% 21% 더 높다고 발표하여 (Lee et al., 2022) 비료이용효율이 높아짐을 알 수 있었다.

Table 4. Difference in watermelon biomass by EDDS and fertilizer levels (10%, 25%, and 50%) applied in salt-accumulated soil under field scale.

Treatment	Weight (kg fruit ⁻¹)	Fresh stem (g plant ⁻¹)	Fresh leaf (g plant ⁻¹)	Sugar (Brix)
NPKC	7.4 ± 0.3 a [†]	388 ± 50 a	409 ± 29 ab	11.4 ± 0.5 a
Soil testing	8.0 ± 0.6 a	430 ± 129 a	377 ± 16 b	10.2 ± 0.1 b
EDDS+NPKC 10%	8.2 ± 0.6 a	551 ± 101 a	538 ± 121 a	10.7 ± 0.3 ab
EDDS+NPKC 25%	8.6 ± 1.1 a	512 ± 87 a	536 ± 17 a	10.9 ± 1.0 ab
EDDS+NPKC 50%	7.8 ± 0.7 a	465 ± 93 a	475 ± 111 ab	10.0 ± 0.8 b

[†]Duncan's multiple range test ($p < 0.05$).

EDDS 투입 시 비료 투입량과 수박 무기성분 흡수량의 관계를 분석한 결과는 Table 5와 같다. EDDS+NPK 10%, 25% 처리구의 수박의 N, P, K, Mg 흡수량은 EDDS+NPK 50% 처리구와 유의적인 차이가 있었다. 그러나, Ca과 Fe의 흡수량은 NPKC와 EDDS+NPKC 10%, 25%, 50% 처리구에서 통계적인 차이는 없었으며, EDDS와 비료 혼합 처리구가 농가비료사용량 처리구보다 높은 경향이였다. EDDS+NPKC 50% 처리구는 양분과다에 의해 양분흡수가 제대로

Table 5. Inorganic element contents of watermelon grown in saline soil treated with EDDS.

Treatment	N (g plant ⁻¹)	P (g plant ⁻¹)	K (g plant ⁻¹)	Ca (g plant ⁻¹)	Mg (g plant ⁻¹)	Fe (g plant ⁻¹)
NPKC [†]	17.4 ab	3.0 ab	29.5 ab	11.8 a	2.8 bc	5.6 ab
Soil testing	15.1 b	2.4 b	29.5 b	10.6 b	2.7 c	4.9 c
EDDS+NPKC 10%	18.3 a	3.1 ab	34.6 a	15.2 a	3.5 a	6.3 ab
EDDS+NPKC 25%	19.5 a	3.5 a	34.0 a	13.8 a	3.4 ab	6.7 a
EDDS+NPKC 50%	15.5 b	2.9 b	27.9 b	12.3 a	2.5 c	6.5 a

[†]Duncan's multiple range test ($p < 0.05$).

이루어지지 않았다고 판단된다. 또한, 킬레이트제 처리구 (EDDS+NPKC 25%)는 토양검정량 처리구보다 수박 식물체의 N, P, Ca, Mg 흡수량이 높았고, 미량원소인 Fe은 공급력이 1.4배 높게 나타났다. 이것은 킬레이트제가 토양양분을 균형적으로 식물체에 공급하는 능력이 있다고 생각된다.

Conclusions

염류가 높은 시설수박재배지 토양에 킬레이트제 (EDDS)와 농가 비료사용량의 1/2을 처리 시 수박의 biomass와 토양미생물 (FDAase) 활성이 증가하였다. 그리고 킬레이트제와 결합력이 높은 Fe 성분은 토양으로부터 수박이 흡수한 무기성분 중에 증가하는 경향이었고, 토양의 EC, NO₃-N 및 Ex. K의 함량이 감소하였다, 이로부터 전기전도도가 6.9 dS m⁻¹인 시설수박 재배토양에 집적된 양분을 킬레이트화하여 작물의 수량을 안정적으로 생산하면서 비료사용량을 효율적으로 줄일 수 있는 방법으로 활용될 수 있을 것이라 생각된다.

Acknowledgement

This study was conducted by support of National Institute of Agricultural Sciences (NAS) research and development project (project number: PJ015805022023).

References

- Ashworth, J. 2007. The effect of chelating agents on soil sodicity. *Soil Sediment Contam.* 16:310-312.
- Bergmann, W. 1993. *Nutritional disorders of plants.* Gustav Fischer Verlag, Jena-Stuttgart, Germany.
- Chen, H. and T. Cutright. 2001. EDTA and HEDTA effects on Cd, Cr, and Ni uptake by *Helianthus annuus*. *Chemosphere* 45:21-28.
- Choi, Y.S., Y.J. Kang, D.H. Kim, C.K. Lee, and S.I. Yun. 2021. Effects of chelating agent and micronutrient application on nutrient content and growth of lettuce in soils with different salinity and acidity. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 54(4):578-587.
- Goodfellow, M., A.M. Brown, J. Cai, J. Chu, and M.D. Collins. 1997. *Amycolatopsis japonicum* sp. nov., an actinomycete producing (S,S)-N,N'-ethylenediaminedisuccinic acid. *Syst. Appl. Microbiol.* 20:78-84.
- Heo, J.Y., H.J. Cho, E.H. Han, D.C. Ahn, Y.H. Lee, and J.H. Kwon. 2021. Effect of biochar application on improvement of soil environment. *Annual Research Report.* Gyeongnam Agricultural Research and Extension Services, Jinju, Korea.
- Jaiswal, D., and J. Pandey. 2019. An ecological response index for simultaneous prediction of eutrophication and metal pollution in large rivers. *Water Res.* 161:423-438.
- Jun, H.S., W.C. Park, and J.S. Jung. 2002. Effects of soil addition and subsoil plowing on the change of soil chemical properties and the reduction of root-knot nematode in continuous cropping field of oriental melon (*Cucumis melo* L.). *Korean J. Environ. Agric.* 21(1):1-6.
- Kim, M.K., K.A. Roh, B.G. Ko, S.J. Park, G.B. Jung, D.B. Lee, and C.S. Kim. 2010. Evaluation of nutrient discharges from greenhouses with flooding soil surface at two different locations. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43:315-321.
- Kim, M.S., M.Y. Rho, N.J. Gang, Y.I. Gang, and K.H. Han. 2021. Development of control techniques for soil slats by fertigation and electrokinetic remediation technology. p. 59-81. *Annual Report.* Rural Development Administration,

- Suwon, Korea.
- Kim, M.S., S.H. Jeon, T.G. Lee, and H.I. Jung. 2022a. Effects of DTPA, HEDTA, and EDDS on the growth of watermelon and chemical properties of plastic film house soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 55(4):1-6.
- Kim, M.S., Y.H. Kim, M.Y. Roh, S.S. Kang, H.B. Yoon, and H.Y. Lee. 2012. Effect of chelating agents on the growth of Chinese cabbage and availability of nutrients in plastic film house soils. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45(6):1-4.
- Kim, Y.S., K.H. Kim, J.W. Han, T.G. Jeong, M.J. Kim, and I.J. Kim. 2022b. Effect of rice hull-derived biochar application on watermelon growth, and soil physico-chemical properties under greenhouse. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 55(3):175-184.
- Lee, C.K., K.W. Seo, G.J. Lee, S.U. Choi, B.K. Ahn, M.S. Ahn, D.S. Seo, and S.I. Yoon. 2019. Nutrient uptake and growth of watermelons in DTPA-treated saline soil in a plastic film greenhouse. *Hortic. Sci. Technol.* 37(1):32-41.
- Lee, I.B., P.H. Yi, S.T. Jeong, D.H. Jung, and J.H. Shin. 2022. Effect of DTPA application on growth, yield and nutrient availability of eggplant (*Solanum melongena*) in plastic film house. p. 145. In Proceedings of the Conference of the Korean Society of Soil Science and Fertilizer, Jeju, Korea.
- Lee, J.H. and K.J. Sung. 2015. EDDS effects on heavy metal uptake by bioenergy plants. *J. Soil Groundwater Environ.* 20(4):8-14.
- Lee, Y.H., M.S. Yang, and H.D. Yun. 1996. Effect of plant-growth-promoting-bacteria inoculation on the growth and yield of red pepper (*Capsicum annuum* L.) with different soil electrical conductivity level. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 29(4):396-402.
- Lim, J.H., B.K. Ahn, S.H. Cho, J.H. Jeong, E.Y. Lee, and K.W. Seo. 2022. Effects of continuous use of organic materials on watermelon (*Citrullus vulgaris* Schrad.) yield and soil chemistry in plastic film house. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 55(3):198-208.
- Meers, E., M. Hopgood, E. Lesage, P. Vervaeke, F.M.G. Tack, and M.G. Verloo. 2004. Enhanced phytoextraction: In search of EDTA alternatives. *Int. J. Phytorem.* 6:95-110.
- NAAS. 2010. Methods of soil analysis. National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Suwon, Korea.
- NAS. 2021. Monitoring project on agri-environment quality for 22 years in Korea. National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju, Korea.
- NAS. 2022. Fertilizer recommendation for crops (fifth revision). National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju, Korea.
- NIAST. 2000. Methods of soil and plant analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- Nishikiori, T., A. Okuyama, H. Naganawa, T. Takita, M. Hamada, T. Takeuchi, T. Aoyagi, and H. Umezawa. 1984. Production by actinomycetes of (S,S)-N,N'-ethylenediamine-disuccinic acid, an inhibitor of phospholipase C. *J. Antibiot.* 37:426-427.
- Oh, S.E., J.S. Son, Y.S. Ok, and J.H. Joo. 2010. A modified methodology of salt removal through flooding and drainage in a plastic film house soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43(5):443-449.
- Olayinka, B.U., E.T. Ayanduro, A.A. Abdulrahman, and E.Q. Etejere. 2016. Effects of salinity and ethylenediamine tetra acetic acid (EDTA) on the germination of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) seeds. *Sci. World J.* 11(4):1597-6343.
- Park, J.M., T.J. Lim, and S.E. Lee. 2012. Effect of subsurface drip pipes spacing on the yield of lettuce, irrigation efficiency, and soil chemical properties in greenhouse cultivation. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45:683-689.
- RDA. 2022. Soil management technology for agricultural land. Rural Development Administration, Jeonju, Korea.
- Schnürer, J. and T. Rosswall. 1982. Fluorescein diacetate hydrolysis as a measure of total microbial activity in soil and litter. *Appl. Environ. Microbiol.* 43:1256-1261.
- Tuntiwit, S.N. 1982. Effects of chelating agents on plant growth. Ph.D. Thesis. Washington State University, Washi-

ngton, USA.

Wee, C.D., J.X. Li, H.L. Kim, and B.K. Sohn. 2010. Salts reduction effect of natural zeolite in plastic film house soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43:430-435.

Yang, L., G. Wang, Z. Cheng, Y. Lui, A. Shen, and C. Luo. 2013. Influence of the application of chelant EDDS on soil enzymatic activity and microbial community structure. *J. Hazard. Mater.* 262:561-570.

Yang, S.K., Y.W. Seo, Y.S. Lee, H.W. Kim, K.C. Ma, K.H. Lim, H.J. Kim, J.G. Kim, and W.J. Jung. 2011. Effects of green manure crops on red-pepper yields and soil physico-chemical properties in the vinyl house. *Korean J. Org. Agric.* 19(2):215-228.