

시설재배지에서 킬레이트제 처리가 양분 유효도와 배추생육에 미치는 영향

김명숙* · 김유학 · 노미영¹ · 강성수 · 윤홍배 · 이형용²

국립농업과학원, ¹농촌진흥청, ²평택시농업기술센터

Effect of Chelating Agents on the Growth of Chinese cabbage and Availability of Nutrients in Plastic Film House Soils

Myung-Sook Kim*, Yoo-Hak Kim, Mi-Young Roh¹, Seong-Soo Kang,
Hong-Bae Yoon, and Hyeong-Yong Lee²

National Academy of Agricultural Science, Suwon 441-707, Korea

¹Rural Development Administration, Suwon 441-707, Korea

²Agricultural Technology Center of Pyeongteak, Pyeongteak 451-873, Korea

This study is conducted to evaluate the effects of chelating agents for improving plant growth and reusing accumulated nutrients in soils of plastic film house. Two experiments were carried out as follows: i) The incubation test was conducted using soils treated with 0, 300 mM of EDTA and DTPA to examine the availability of nutrients. ii) For the pot test, chinese cabbages were cultivated in soils with 0, 0.1, 0.5, 1, and 5 mM of EDTA and DTPA to examine the impacts of plant growth response. The application of chelating agents increased their availability of soil nutrients in the following order: DTPA > EDTA > control. Inorganic concentration of chinese cabbages in DTPA treatments considerably increased in nitrogen, phosphate, iron and aluminium contents than that of the other treatments. The optimal concentration of DTPA for vigorous plant growth as 0.5 mM. Thus, DTPA was more effective than other chelating agents for healthy growth of cabbages and the availability of nutrients accumulated in plastic film house.

Key words: Chelating agents, Nutrient availability, Plastic film house soil, Salt accumulation

서 언

시설재배지는 작물을 집약적으로 연중 재배하기 위해 비료와 가축분퇴비 등을 다량으로 사용함에 따라 토양 염류집적과 작물 연작장애가 발생하고 있다. 농업환경변동조사의 일환으로 우리나라 시설재배 토양의 화학성을 모니터링한 결과, 전기전도도 (EC)는 1996년 2.90 dS m⁻¹이었으나, 12년이 경과된 2008년도에는 2008년에는 3.68 dS m⁻¹로 약 1.3배 상승하였으며, 유효인산 (Avail. P₂O₅)은 적정범위보다 3배, 치환성 양이온인 칼륨 (K), 칼슘 (Ca), 마그네슘 (Mg) 함량들도 적정 범위보다 2배까지 높아지는 것으로 나타났다 (NIAST, 2008). 이처럼 시설재배지에서는 양분 불균형과 인산성분 등의 토양의 고정화 작용으로 양분의 유효도가 떨어져 작물생산성이 저하되고, 이를 보충하기 위해 비료의 고투입이 이루어져 염류집적이 심화된다. 이러한 문제를 해결할 수 있는 방안으로 집적양분의 유효도를 효율적

으로 향상시키는 것이 킬레이트제 처리기술이다. 킬레이트제란 금속 이온과 2자리 이상으로 배위결합을 하여 고리구조의 모양을 만드는 리간드로 (Tuntiwit, 1982), 인간이 인위적으로 만든 합성킬레이트제와 자연상태에서 존재하는 천연킬레이트제가 있다 (Brady and Weil, 2008). 대표적인 합성킬레이트제로 EDTA (Ethylenediamine tetra-acetic acid), DTPA (Diethylenetriamine pentaacetic acid) 등이 있으며, 토양의 미량원소 분석에 사용되고 있다 (Lindsay and Norvell, 1978). 시용비료의 토양 고정을 억제하고, 양분의 유효도를 높이며, 알칼리성 토양에서 미량 원소 공급을 원활하게 해준다 (Weinstein et al., 1954; Tuntiwit, 1982.). Leonard and Stewart (1952)는 citrus의 철 부족 시 킬레이트제를 사용하여 미량원소 공급에 효과적이라 하였고, 다른 연구자들도 cranberry, 당근, blueberry, 생강, cassava, 옥수수, 밀, french bean, 토마토의 생장에 킬레이트제가 효과가 있다고 보고하였다 (Tuntiwit, 1982). 또한, 식물로 무기영양소의 이동과 흡수 메커니즘을 구명할 때도 사용되었고 (Tuntiwit, 1982), 중금속으로 오염된 농경지를 복원을 위한 토양에서 중금속을 제거할 때도 사용되었으며 (Means et al., 1980;

접수 : 2012. 11. 14 수리 : 2012. 12. 6

*연락처 : Phone: +82312900329

E-mail: msk74@korea.kr

Kong and Bak, 2001; Cao et al., 2007), 간척지 토양의 나트륨 흡착비를 낮추려는 연구도 하고 있다 (Ashworth, 2007).

시설재배지의 축적양분을 재활용하고 비료의 고투입을 방지하기 위한 대책으로 양분함량이 높은 시설재배 토양에 킬레이트제를 처리하여 토양의 화학성 변화와 작물의 생육 반응을 평가하였다.

재료 및 방법

향온실험 본 연구에 사용된 2개의 토양 pH는 5.8~6.3, EC 23.13~13.76 dS m⁻¹, Avail. P₂O₅ 함량은 1,059~1,307 mg kg⁻¹, Exch. K 함량이 3.44~3.97 cmol_c kg⁻¹으로, Exch. Ca 함량이 16.0~25.2 cmol_c kg⁻¹, NO₃-N 1,021~2,121 mg kg⁻¹으로 시설토양의 적정 비옥도에 기준 (NIAST, 2006)보다 2.6~11.6배 정도 양분이 많이 집적되었다. 이러한 토양에 킬레이트제를 처리하지 않은 무처리 (control), EDTA와 DTPA 300 mM을 각각 넣고 증류수로 포화시킨 후 25°C에서 2~24일간 향온한 후에 EC와 수용성 양분 (K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn, P, Si)을 분석하였다.

포트재배 실험 본 연구에 사용된 토양은 pH 7.3, EC 5.68 dS m⁻¹, OM은 32 g kg⁻¹, Avail. P₂O₅ 함량은 872 mg kg⁻¹, Exch. K 함량이 2.16 cmol_c kg⁻¹으로 (Yeon, 2007), Avail. P₂O₅ 함량을 제외한 성분은 배추 생육을 위한 토양 적정 비옥도에 기준 (NIAST, 2006)보다 2.1~3.0배 가량 높은 수치였다 (Table 2). 처리구는 물만 처리한 control, 표준 시비 (N-P₂O₅-K= 17.8-3.0-7.3 kg ha⁻¹)량을 사용한 NPK, EDTA와 DTPA를 0.1, 0.5 1 5 mM로 처리한 구등을 포함해 모두 10개구에 3반복으로 처리하였다. 시험구 배치는 완전

임의배치법으로, 비가림 하우스에서 1/2000a 포트에 토양 11 kg을 넣고 킬레이트제를 물에 용해하여 처리한 후 10일이 지난 9월 3일에 배추묘를 포트 당 1주식 정식하였으며, 67일이 지난 11월 8일에 수확하였고, 토양은 킬레이트제를 처리하기 전과 배추를 재배한 후 수확하는 시기에 채취하였다.

토양 및 식물체 분석 pH와 전기전도도 (EC)는 토양과 증류수의 비율을 1:5로 추출하여 측정하였고, 토양유기물은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster법으로 720 nm에서, 유효 규산은 1 M NaOAc (pH 4.0)용액으로 추출하여 700 nm에서 비색계 (U-3000, Hitachi)로 측정하였다. 치환성 양이온은 1 M NH₄OAc (pH 7.0) 완충용액으로 추출하여 유도결합 플라즈마 발광광도계 (ICP-OES, GBC)으로 측정하였다. 향온 실험에서 수용성 양분함량의 분석은 포화상태의 토양을 감압으로 추출하여 (Rhoades, 1996) EC는 EC meter로, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn, P, Si 성분은 ICP-OES로 측정하였다. 배추는 건조 후 분쇄한 시료를 0.5 g 칭량하고 conc. H₂SO₄을 10 mL와 50%의 HClO₄ 10 mL를 가하여 분해한 후 여과하여 T-N은 킬달증류방법으로, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn, Al 등을 ICP-OES로 측정 후 농도를 측정하였다 (NIAST, 2000). 통계분석은 SAS 통계프로그램 (v. 9.2)를 이용하였다.

결과 및 고찰

향온조건에서 킬레이트제 처리에 따른 수용성 양분 양분이 집적된 시설재배 토양에 증류수 (H₂O), EDTA, DTPA를 처리 후 추출된 수용성 양분의 EC는 Table 3과 같다. 토양 1의 EC는 EDTA 처리구가 증류수, DTPA 처리구보다 높

Table 1. Chemical properties of soils used in incubation experiment.

Soils	pH	EC	OM	Avail. P ₂ O ₅	Exch. cation				NO ₃ -N	NH ₄ -N
					K	Ca	Mg	Na		
	1:5 H ₂ O	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹				mg kg ⁻¹	
Soil 1	5.8	23.13	28	1,059	3.97	25.2	9.5	2.10	2,121	23
Soil 2	6.3	13.76	22	1,307	3.44	16.0	8.2	2.26	1,021	40

Table 2. Chemical properties of soil used in pot experiment.

Soil	pH	EC	OM	Avail. P ₂ O ₅	Exch. cation				NO ₃ -N	NH ₄ -N
					K	Ca	Mg	Na		
	1:5	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹				mg kg ⁻¹	
Plastic film house soil	7.3	5.68	32	872	2.16	12.1	4.7	1.46	44	85
Optimal range [†]	6.0~6.5	≤2.00	25~35	380~450	0.65~0.80	5.0~6.0	1.5~2.0	-	50~200	-

[†]Growth of chinese cabbage

Table 3. EC in saturated paste filtrate after applying H₂O, EDTA, and DTPA.

Treatments	EC	
	Soil 1	Soil 2
	----- dS m ⁻¹ -----	
Control	24.45±2.05b	28.48±1.48a
EDTA (300 mM)	29.42±0.97a	29.68±1.20a
DTPA (300 mM)	23.71±1.17b	25.89±0.96b

아졌고, 증류수와 DTPA 처리구는 비슷하였다. 그러나 토양 2의 EC는 EDTA와 증류수 처리구가 비슷하였고, DTPA 처리구는 이들보다 낮아졌다. 이처럼 토양 EC는 EDTA가 DTPA보다 크게 기여하고 있으며, 집적된 염류 성분과 킬레이트제의 종류에 따라 토양 EC에 미치는 영향이 달라짐을 알 수 있었다.

킬레이트제인 EDTA와 DTPA를 처리하면 증류수를 처리할 때보다 토양용액 내에 양이온인 K, Ca, Fe, Mn, Zn과 음

이온인 P와 Si의 함량이 높아졌다 (Fig. 1). 이는 물에 용해되는 수용성 양분으로 유효도가 높아졌다고 볼 수 있으며, DTPA와 EDTA는 Ca, K 등의 다량원소 뿐만 아니라 Fe, Cu, Mn, Zn 등의 미량원소와 킬레이트 하는 능력이 뛰어난 것으로 나타났다. 그리고 P 및 Si와 같은 음이온이 토양용액 중의 농도가 높아졌는데, 이는 토양으로부터 ligand 치환반응에 의해 많이 추출된 것으로 여겨진다.

포트실험에서 킬레이트제 처리에 따른 배추 수량 및 무기성분 흡수량 배추의 건중량을 NPK구와 비교한 결과 DTPA의 경우 0.1 mM 처리구는 12%, 0.5 mM은 30%로 증수되었지만, 1.0 mM에서는 오히려 수량이 30% 감소하였다 (Fig. 2). Tuntiwiwut (1982)는 토양에 킬레이트제를 적정농도로 처리하면 작물의 수량이 20~30% 증가한다고 발표한 결과와 유사하였다. 한편 배추의 건중량이 EDTA 0.1, 0.5, 1 mM 처리구는 NPK구와 유사하여 건중량 증가에 영향을 미치지 못하였고, EDTA 5 mM 처리구에서는 배추가 완전히

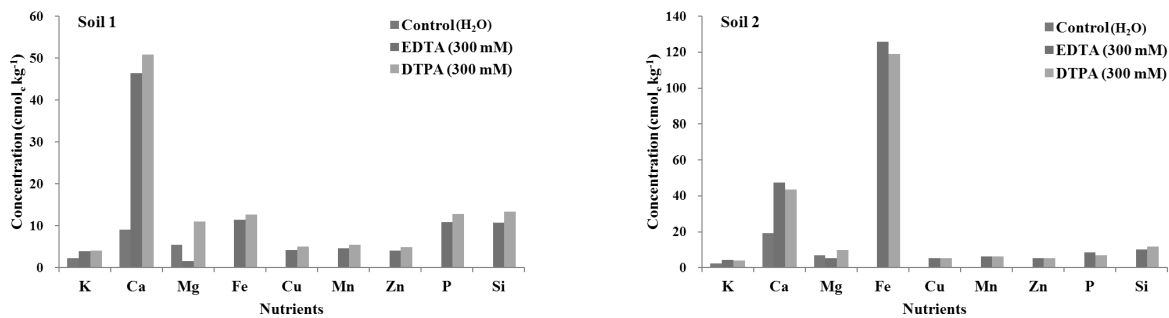
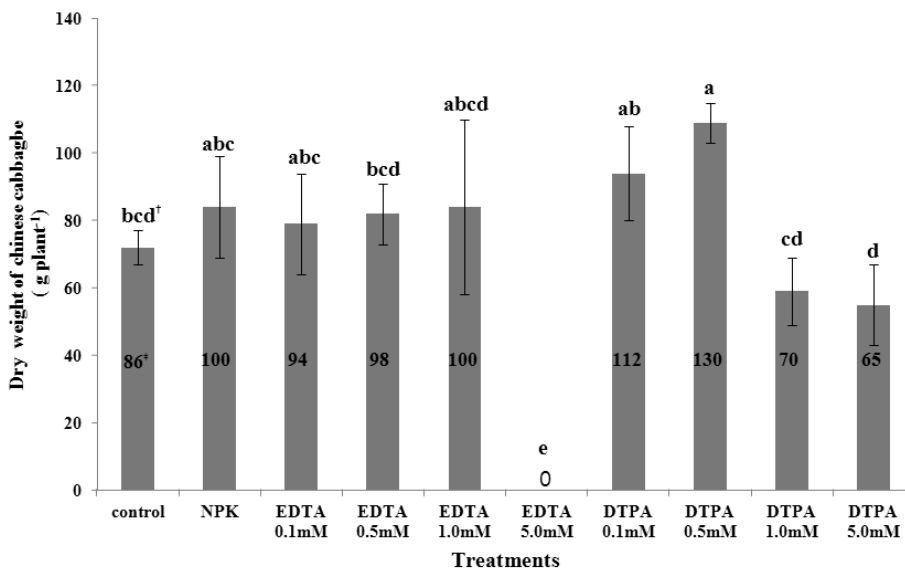


Fig. 1. Nutrients in saturated paste filtrate after applying H₂O, EDTA, and DTPA.



†Duncan's multiple range test (p <0.05)

‡Relative percent dry weight of NPK treatment

Fig. 2. Dry weight of chinese cabbage by chelating agents treatment at the harvest time.

고사하였다. 킬레이트제는 일정농도 이상 증가하면 배추에 독성을 나타내는 것으로 나타났다 (Fig. 2). Wallace et al. (1974) 도 과도한 양으로 사용된 킬레이트제는 식물에게 독성을 나타내고, 이것은 양이온의 흡수를 억제하여 일부 미량원소의 결핍을 유도하여 수량을 감소시킨다고 보고하였다. 배추재배에 적절한 킬레이트제는 DTPA 로 처리 시 적정 농도는 0.5 mM로 나타났다.

처리구별 배추의 다량원소 흡수량을 비교한 결과 DTPA 0.5 mM에서 다른 처리구들에 비해 양분흡수량이 가장 많았으며, 1주당 T-N은 2.97 g, P₂O₅은 1.57 g, K₂O은 9.25 g, CaO은 3.71 g, MgO 함량은 0.97 g이었다 (Table 4). EDTA 0.5 mM을 처리한 구에서는 1주당 T-N은 2.34 g, P₂O₅은 0.92 g, K₂O은 6.43 g, CaO은 2.46 g, MgO 함량은 0.82 g 로 DTPA보다 0.2~1.1배 정도 양분흡수량이 적었다. 이러한 결과는 Abdulla and Smith (1963)도 배추재배에서 유사한 결과를 얻었으며, 그 이유는 pH가 높은 조건에서는 EDTA는

DTPA보다 킬레이트제 화합물의 안정화상수가 낮기 때문이라고 하였다. NPK구는 DTPA 0.5 mM구보다 1주당 T-N은 0.60, P₂O₅은 0.63, K₂O은 0.15, CaO은 0.32, MgO은 0.16 배 정도 양분흡수량이 적었다. 이것은 Ca과 Mg는 2가 양이온으로 1가 이온인 K보다 더욱 안정한 킬레이트결합물을 생성하기 때문이다 (Abdulla and Smith, 1963; Lindsay and Norvell, 1969). 또한 P와 결합하는 양이온인 Ca, Mg, Fe등과 킬레이트제가 결합됨으로써, 이들 양이온으로부터 유리된 P는 유효도가 높아져 작물이 잘 흡수할 수 있게 된다 (DeRemmer and Smith, 1960). 배추의 T-N의 흡수량도 향상되었는데, 이는 토양 중 P, K, Ca 등의 흡수효율이 향상되면서 가져온 결과라고 생각된다.

처리구별 배추의 미량원소의 흡수량도 DTPA 0.5 mM에서 다른 처리구들에 비해 양분흡수량이 가장 많았다 (Table 5). 특히, DTPA 0.5 mM 구에서 Fe의 흡수량은 NPK구에 비해 1.9배 정도 많아졌다. 통계적으로 유의하지 않지만, Cu

Table 4. Inorganic macro-element contents of chinese cabbage after treatment of chelating agents in soils.

Treatments	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
	----- g plant ⁻¹ -----				
Control	1.47±0.56bc	0.72±0.07cd	7.08±0.55abc	2.50±0.85abc	0.59±0.11ab
NPK	1.19±0.08c	0.58±0.18d	7.93±0.10ab	2.53±0.26abc	0.82±0.06a
EDTA 0.1 mM	1.70±0.72bc	1.05±0.24bc	5.72±1.92bc	2.26±0.63bc	0.67±0.17ab
EDTA 0.5 mM	2.34±0.28ab	0.92±0.05cd	6.43±1.44bc	2.46±0.23abc	0.82±0.26a
EDTA 1 mM	2.14±0.87abc	1.10±0.35bc	5.68±2.61bc	2.20±1.20bc	0.74±0.40ab
EDTA 5 mM	0d	0e	0d	0d	0d
DTPA 0.1 mM	2.30±0.35ab	1.32±0.05ab	6.72±0.60abc	3.15±0.66ab	0.86±0.12a
DTPA 0.5 mM	2.97±0.10a	1.57±0.22a	9.25±1.06a	3.71±0.63a	0.97±0.06a
DTPA 1 mM	1.53±0.30bc	0.94±0.09cd	5.15±0.50bc	2.17±0.15bc	0.73±0.12ab
DTPA 5 mM	1.38±0.31bc	0.72±0.10cd	4.39±0.67c	1.43±0.64c	0.43±0.05b

Duncan's multiple range test (p <0.05).

Table 5. Inorganic micro-element contents of chinese cabbage by treatment of chelating agents in soils.

Treatments	Fe	Cu	Mn	Zn
	----- g plant ⁻¹ -----			
Control	0.029±0.019b	0.0055±0.0074a	0.0051±0.0006ab	0.0052±0.0040ab
NPK	0.038±0.012b	0.0002±0.0000a	0.0066±0.0010a	0.0037±0.0031abc
EDTA 0.1 mM	0.026±0.015b	0.0034±0.0048a	0.0029±0.0009cd	0.0054±0.0014ab
EDTA 0.5 mM	0.035±0.000b	0.0009±0.0003a	0.0037±0.0002bc	0.0067±0.0009ab
EDTA 1 mM	0.036±0.022b	0.0011±0.0010a	0.0036±0.0015bc	0.0084±0.0017a
EDTA 5 mM	0b	0a	0e	0c
DTPA 0.1 mM	0.043±0.011b	0.0009±0.0002a	0.0038±0.0011bc	0.0066±0.0020bc
DTPA 0.5 mM	0.111±0.072a	0.0014±0.0004a	0.0055±0.0008ab	0.0069±0.0011ab
DTPA 1 mM	0.038±0.004b	0.0017±0.0026a	0.0015±0.0007de	0.0025±0.0003ab
DTPA 5 mM	0.028±0.020b	0.0056±0.0001a	0.0024±0.0006cd	0.0052±0.0045ab

¹Duncan's multiple range test (p <0.05).

Table 6. Soil chemical properties after harvest of chinese cabbage in soil treated with chelating agents.

Treatments	pH	EC	Avail. P ₂ O ₅	Exch. cation			NH ₄ -N
				K	Ca	Mg	
	1:5 H ₂ O	dS m ⁻¹	mg kg ⁻¹	-----	cmol _c kg ⁻¹	-----	mg kg ⁻¹
Control	7.4±0.1a	4.30±0.45ab	778±19b	1.28±0.06a	11.2±0.7a	4.2±0.4a	3±0.3b
NPK	7.4±0.1a	4.73±0.25a	778±24b	1.15±0.10a	11.2±0.3a	4.5±0.2a	21±3.7a
EDTA 0.5 mM	7.5±0.1a	3.70±1.63ab	809±6ab	1.24±0.05a	11.8±1.4a	3.8±0.8a	2±0.0b
DTPA 0.5 mM	7.4±0.0a	2.78±0.61b	822±14a	0.91±0.14b	10.8±0.3a	4.2±0.3a	3±0.3b

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

와 Zn의 흡수량은도 NPK구보다는 증가하였고, Mn은 감소하였다. 이것은 토양 중 미량원소의 유효도를 증가시키는 킬레이트제의 상대적 효율성은 안정화상수에 따라 달라지며, Fe³⁺ > Cu²⁺ > Zn²⁺ > Mn²⁺ > Fe²⁺의 순서로 안정화상수가 높기 때문이다 (Tuntiwit, 1982).

포트에서 배추재배 시 킬레이트제 처리의 토양 영향

킬레이트제를 처리한 후 배추를 재배한 수확기의 토양에 대한 화학적 특성을 살펴본 결과, 토양의 EC는 NPK > control > EDTA 0.5 mM > DTPA 0.5mM의 순서로 DTPA 0.5 mM 구가 가장 낮았고 그 다음으로는 EDTA 0.5 mM 이었다 (Table 6). 그리고 DTPA 0.5 mM 구의 토양 EC는 킬레이트제를 처리하기 전에 5.68 dS m⁻¹에서 수확기에 2.78 dS m⁻¹로 51%로 집적된 양분을 효과적으로 감소하였다. 그러나, Avail. P₂O₅의 함량은 DTPA와 EDTA를 처리한 구에서 높았고, NPK 구와 control 구에서는 이보다 낮았으며, 이것은 킬레이트제가 토양에 고정된 P₂O₅를 유효화 하였기 때문이다. Exch. K 함량도 DTPA 0.5 mM 구가 다른 처리구보다 낮았으나, Exch. Ca, Exch. Mg 함량은 차이가 크지 않았다. 배추가 토양 중 Exch. Ca, Exch. Mg 성분을 많이 흡수하였지만, 토양에 치환되지 않은 이온의 일부까지 킬레이트화하여 식물에 공급하였기 때문에 판단된다.

요 약

시설재배지 토양의 축적양분인 염류를 활용하기 위해 EC가 높은 토양에 여러 킬레이트제를 처리하여 토양의 화학성과 작물의 무기성분 흡수량을 비교·분석하였다. DTPA와 EDTA를 처리한 구에서 킬레이트제는 Ca, Mg, K, P 등의 다량원소 뿐만 아니라 Fe, Cu, Mn, Zn 등의 미량원소와 킬레이트 하는 능력이 뛰어났다. 그러나, 토양의 ECDTPA를 처리한 는 EDTA를 처리한 토양보다 낮아졌다. 킬레이트제가 처리된 토양에서 생육한 배추의 무기성분 흡수량을 살펴본 결과 DTPA 0.5 mM 처리한 구에서 배추의 T-N, P₂O₅, K₂O, 그리고 Fe의 흡수량은 다른 처리구보다 높았다. 이로부터

시설재배지의 집적된 양분을 킬레이트화하여 작물의 양분 이용성을 증대하는 데 효과적인 킬레이트제는 DTPA이며, 적절한 농도는 0.5 mM로 나타났다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업 (과제번호: PJ006690)의 지원에 의해 이루어진 것임.

인 용 문 헌

Abdulla, I. and M.S. Smith. 1963. Influence of chelating agents on the concentration of some nutritions for plants growing in soil under acid and under alkaline conditions. J. Sci. Fd Agric. 14:98-109.

Ashworth, J. 2007. The effect of chelating agents on soil sodicity. Soil Sediment Contam. 16:310-312.

Brady, N.C. and R.P. Weil. 2008. The nature and properties of soils. Fourteenth Edition. Prentice Hall.

Cao, A.C., T. Lai, P. La Colla, and E. Tamburini. 2007. Effect of biodegradable chelating agents on heavy metals phytoextraction with *Mirabilis jalapa* and on its associated bacteria. Eur. J. Soil Biol. 43:20-206.

DeRemmer E.D. and R.L. Smith. 1960. The effects of chelats and chelated cations in increasing the availability of phosphorus from insoluble sources. America Society for Horticultral Science 77:513-519.

Kong, S.H. and E.K. Bak. 2001. A study on the recovery and reuse of chelating agent for remediation of heavy metal-contaminated soil. J. Ind. Eng. Chem. 12(6):632-636.

Leonard, C.D. and I. Stewart. 1952. Correction of iron chlorosis in citrus with chelated iron. Proc. Fla. Sta. Hort. Soc. 65:20-24.

Lindsay, W.L. and W.A. Norvell. 1969. Equilibrium relationships of Zn²⁺, Fe³⁺, Ca²⁺, and H⁺ with EDTA and DTPA in soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 33:62-68.

Lindsay, W.L. and W.A. Norvell. 1978. Development of a

- DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 42:421-428.
- Means, J.L., T. Kucak, and D.A. Crerar. 1980. Relative degradation rates of NTA, EDTA and DTPA environmental implications. *Environ. Poll. (Series B)* 1:45-60.
- NIAST (National Institute of Agricultural Science and Technology). 2000. *Methods of soil and plant analysis*. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- NIAST. 2006. *Fertilizer Recommendation for crops (revision)*. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- NIAST. 2008. *Monitoring project on agri-environment quality in Korea*. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- Rhoades, J.D. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. In: Sparks, D.L. et al (ed.). *Methods of soil analysis: Part 3. SSSA and ASA*, Madison, WI.
- Tuntiwiwut, S.N. 1982. *Effects of chelating agents on plant growth*. Thesis (Ph. D.), Washington State University.
- Wallace, A., R.T. Muller, J.W. Cha, and G.V. Alexander. 1974. Soil pH, excess lime, and chelating agent on micro nutrients in soybeans and bush beans. *Agron. J.* 66:698-700.
- Weinstein, L.H., W.R. Robbins, and H.F. Perkins. 1954. Chelating agents and plant nutrition. *Sci.* 129:41-43.