

## Effect of Zeolite Application on Growth and Yield of Chinese Cabbage and Chemical Properties of Soil Under Greenhouse Cultivation

Lee-Yul Kim<sup>1</sup>, Ki-In Kim\*, Seong Soo Kang<sup>2\*\*</sup>, Jung-Ho Kim<sup>3</sup>, Kang-Ho Jung<sup>2</sup>,  
Soon-Dal Hong<sup>1</sup>, and Won-Hee Lee<sup>4</sup>

Dept. of Horticultural Science, Mokpo National University, Muan, 534-729, Korea

<sup>1</sup>Dept. of Environmental Biology and Chemistry, Chungbuk National University, Cheongju, 361-763, Korea

<sup>2</sup>Division of Soil and Fertilizer, RDA-NAAS, Wanju, 565-851, Korea

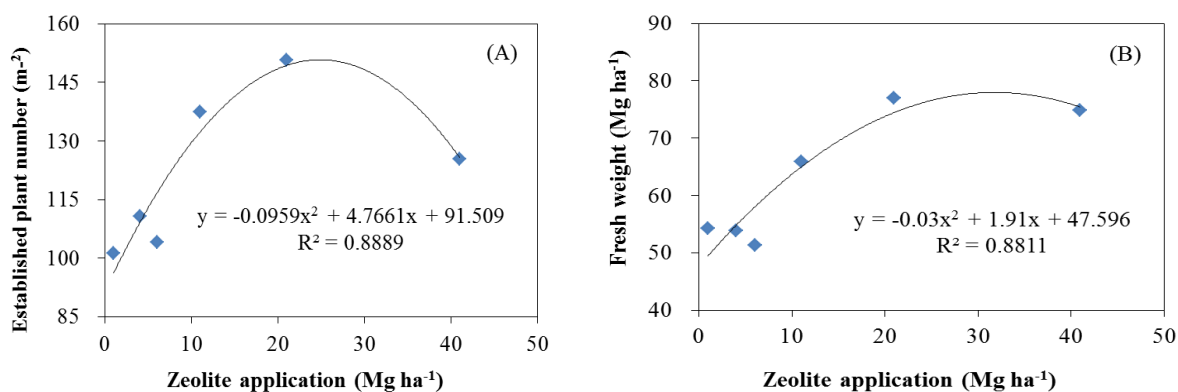
<sup>3</sup>Rex Material Company Ltd., Pohang, 790-380, Korea

<sup>4</sup>Department of Crop Science, Chungbuk National University, Cheongju, 361-763, Korea

(Received: April 7 2015, Revised: June 16 2015, Accepted: June 16 2015)

**Zeolite may help crop growth, yield increase, and salt removal. Field experiment under greenhouse cultivation was conducted to study the effect of zeolite application on growth and yield of Chinese cabbage (*Brassica campestris* L.) and soil. Soil was classified as Gyuam series (coarse silty, mixed, nonacid, mesic family of Aquic Fluvaquentic Eutrudepts). Six zeolite rates were 0, 3, 5, 10, 20 and 40 Mg ha<sup>-1</sup>. Experimental design was a completely randomized design. Chinese cabbage was grown three times consecutively. Established plant number of plant and yield as fresh weight (F.W.) were measured and soil samples were taken before and after harvesting. Chinese cabbage yield was 76.9 Mg ha<sup>-1</sup> at a rate of 20 Mg zeolite ha<sup>-1</sup>, 54.3 Mg ha<sup>-1</sup> at a rate of 5 Mg zeolite ha<sup>-1</sup>, and 51.3 Mg ha<sup>-1</sup> at control (no zeolite), respectively. Second order regression analysis using zeolite rate and yield showed that optimum zeolite application rate was between 24 and 26 Mg ha<sup>-1</sup>. The regression equation explained about 88% of the yield variability. The electrical conductivity (EC) decreased from 3.2 to 1.0 dS m<sup>-1</sup> for all treatments so that salt accumulation was not a concern. Based on the results, we recommend that optimum zeolite application rate is between 20 and 24 Mg ha<sup>-1</sup> for Chinese cabbage under greenhouse cultivation.**

**Key words:** Chinese Cabbage, Greenhouse soil, Salt accumulation, Zeolite



Established plant number (A) and yield (B) of Chinese cabbage as affected by Zeolite application rates.

\*Corresponding author : Phone: +82614502373, Fax: +82614520140, E-mail: rollingkim@mokpo.ac.kr

\*\*Co-corresponding author : Phone: +82632382403, Fax: +82632383821, E-mail: sskang33@korea.kr

## Introduction

국내 시설 하우스 재배 토양은 과도한 화학비료와 퇴비 사용으로 인해 작물의 생육불량, 염류집적, 수질 오염 등의 다양한 문제들을 안고 있다. 이러한 시설재배 토양의 문제점을 해결하기 위해 내염성 작물의 재배, 적정 비종과 시비량 조절, 담수재배, 객토, 환토, 압거배수, 심토파쇄 등의 많은 연구가 수행되었음에도 불구하고 시설재배지 토양 개선 문제는 여전히 해결해야 할 과제로 남아있다. 그 일례로 Kang et al. (2013)은 2012년 기준 우리나라 시설재배지 토양의 전기전도도 조사 평균은  $3.2 \text{ dS m}^{-1}$ 으로 농촌진흥청 시설재배지 토양의 전기전도도 ( $2.0 \text{ dS m}^{-1}$ )를 기준으로 할 때 초과지점의 비율이 55%에 달한다고 보고하였다.

농업적인 측면에서 Zeolite는 높은 공극부피, 높은 양이온 교환용량, 양이온의 선택적 흡착 등의 특징을 가지고 있어서 작물수량 증수, 토양개량제, 퇴비첨가제, 누수억제, 염제거 등 다양한 용도로 사용되고 있다. Ahn et al. (1987)은 Zeolite를 벼 재배에 사용할 경우 누수 억제 효과가 있다고 보고하였다. Zeolite가 작물 생육 및 수량 증가에 미치는 영향과 관련된 연구를 살펴보면 벼 수량이 7~8% 증가 (Lee and Jang, 1976), 옥수수의 생육증가 (Ippolito et al., 2011), 카놀라 사료 작물의 수량 증가 (Gholamhoeini et al., 2012) 등이 있고 Ippolito et al. (2011)은 pot 실험을 통해 옥수수 생육 증가의 원인으로 Zeolite가 무기태 질소를 흡착하여 용탈을 감소시키고 토양수분함량을 증가시킨다고 하였다. 또한 Gholamhoeini et al. (2012)도 사토에 Zeolite  $9 \text{ Mg ha}^{-1}$  처리 시 무기태질소의 용탈이 감소한다고 하였다. 이외에도 Choi et al. (1981)은 사질습담에 Zeolite  $20 \text{ Mg ha}^{-1}$  시용 시 토양 개량 효과가 있다고 보고하였다.

또한 Zeolite는 시설하우스 토양의 염류농도를 개선하는데 기여하는 것으로 알려져 있다. Ok et al. (2005)의 연구에 따르면 토마토 및 오이 시설재배 토양인 경우 염류농도 경감효율은 미강>혼합이온교환수지>분말형 Zeolite순이었다. Wee et al. (2010)은 Pot조건에서 Zeolite를 토양 중량대비 20% 처리한 시험 토양의 처리 10일 후 EC수준은  $5.0 \text{ dS m}^{-1}$ 에서  $2.8 \text{ dS m}^{-1}$ 로 급격히 감소되었다고 보고하였다. 이처럼 Zeolite에 대한 다각적인 평가가 진행되고 있지만 우리나라 시설재배 농가에서 Zeolite 사용에 따른 작물의 생육, 수량 및 토양의 화학성 변화 등에 대한 연구는

미흡한 실정이다.

따라서 본 연구는 시설재배 토양에서 Zeolite가 열갈이 배추의 생육과 수량에 미치는 효과를 평가하고 이에 따른 토양의 화학성 변화를 조사하고자 실시하였다.

## Materials and Methods

**처리수준 및 재배방법** 시설재배 시험포장의 토양은 대구광역시 달성군 다사읍 박곡리의 미사사양질계 충적토인 규암통 (Gyuam series, coarse silty, mixed, nonacid, mesic family of Aquic Fluvaquentic Eutrudepts)이었다. 실험에 사용된 농가포장은 20년 이상 시설재배로 부추를 재배하여 오다가 3년 전부터 열갈이배추 (*Brassica campestris*)를 연간 약 5~6작기 재배하였다. 시험포장의 시험 전 토양의 화학적 특성은 Table 1과 같다.

**Zeolite의 분석** 시험에 사용한 Zeolite (Rexm Co., Korea)는 입상형으로 입자크기는 1~3 mm이고, 화학적 특성은 Table 1와 같다. Zeolite의 성분분석은 지질자원연구원에 의뢰하였으며 입상형태를 분말로 곱게 갈아 분석에 사용하였다. Zeolite의 함유성분을 확인하고자 고출력 X선 회절분석기 (XRD, Philips X'pert MPD)를 이용하여 분석하였고 파위는 40KV - 30 mA로 하였고, X선원으로는 구리 음극을 사용한 봉입형 X-ray tube를 이용하였으며 검출기는 scintillation counter를 사용하였고 Step size는 0.01, time/step는 0.25초, Scan speed는 0.04초 였다. Zeolite를 곱게 갈아 분석한 결과 Clinoptilonite, Quartz, Albite, Montmorillonite 등이 주 성분인 것을 알 수 있었다(Fig. 1).

**Zeolite의 처리수준** Zeolite의 처리 수준에 따른 열갈이 배추의 증수 효과를 평가하기 위해 2013년 4월 2일에 0, 3, 5, 10, 20, 40  $\text{Mg ha}^{-1}$  수준으로 6개 처리구를 두었다. 농촌진흥청 작물별 시비처방 기준 (NIAS, 2010)에는 열갈이 배추의 표준시비량이 제시되어 있지 않기 때문에 이와 비슷한 시설재배 열무의 시비기준을 적용하여 N-P-K (7.5-3.0-3.0  $\text{kg}/10\text{a}$ )를 밀거름으로 전량 시비한 후 세 작기 동안 열갈이 배추를 재배하였다. Zeolite 수준별 처리 및 밀거름 시비 후 트랙터로 경운하였다. 열갈이 배추 종자 파종은 2013년 3작기에 걸쳐 이루어졌으며 파종시기는 2013년 4월

**Table 1. Chemical characteristics of soil and Zeolite before experiment.**

Sample	pH	EC	NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	Avail. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Exch. Cations			
						K	Ca	Mg	Na
Soil	6.6	$3.2 \text{ dS m}^{-1}$	$131 \text{ mg kg}^{-1}$	-	$1049 \text{ mg kg}^{-1}$	1.6	10.6	1.31	-
Zeolite	6.0	2.9	0	22	4	12.8	15.6	3.4	63.6

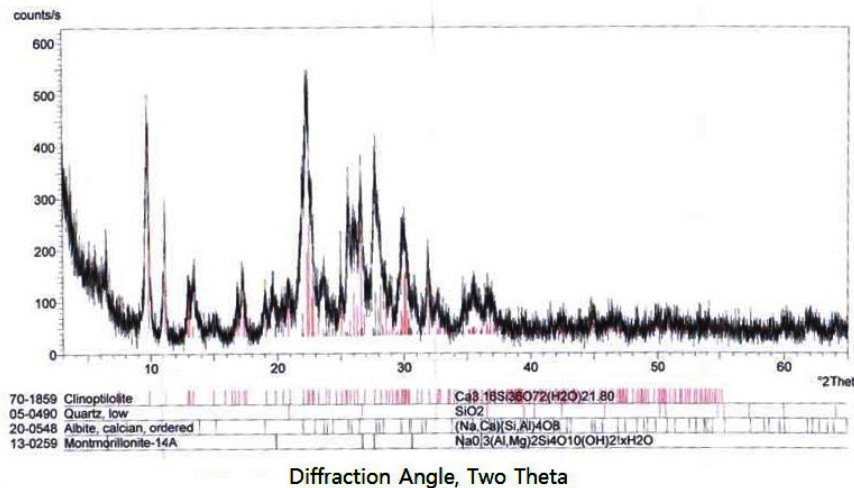


Fig. 1. X-ray diffraction result of Zeolite used in the experiment. Minerals including clinoptilolite, quartz, albite, calcian, montmorillonite were found.

8일, 5월 28일, 9월 3일, 수확시기는 각각 2013년 5월 14일, 2013년 7월 3일, 2013년 10월 9일이었다.

**토양 채취 및 분석** 시험 전 토양과 시험 후 토양은 각 처리구의 표토층 (0–15cm)에서 10개의 코어샘플을 채취하여 잘 섞은 후에 풍건한 다음, 2 mm 체를 통과한 토양시료를 농촌진흥청 농업과학기술원 토양 및 식물체 분석법 (NIAST, 2000)에 준하여 분석하였다. pH는 초차전극법 (Orion 900A)으로, 전기전도도 (EC, Electrical Conductivity)는 EC meter (Orion model 122)를 이용하여 측정하였다. 토양유기물은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster법, 질산태질소와 암모니아태질소는 2 M KCl로 추출하여 자동비색분석기 (Alpkem 501)를 이용하여 분석하였다. 치환성 양이온은 pH 7.0의 1 N Ammonium acetate로 침출한 후 여과하여 ICP (GBC Integra XMP)로 분석하였다.

**얼갈이 배추 생육 및 수량조사** 얼갈이배추의 생육 및 생체중은 철사로 가로와 세로가 각각 0.5 m인 정사각형을 만들어 처리구 내 평균적인 생육 지점을 선정하여 0.25 m<sup>2</sup> 내의 모든 개체를 채취하여 조사하였다. 먼저 얼갈이배추의 포기수와 초장을 측정하였고 전체 포기 중에 초장이나 생육상태 등을 관찰하여 상품성이 없는 것을 제외한 후 상품화율을 계산하였고, 수량조사에는 상품성이 있는 얼갈이배추만 선별하여 조사하였다.

**통계분석** 얼갈이배추의 생육조사 결과는 통계프로그램 SAS Version 9.2 (SAS Institute, USA)를 이용하여 3작기 재배시험을 블록으로 간주한 난괴법으로 하여 분산분석 (ANOVA) 및 처리간 차이의 검정 (턴컨다중검정)을 하였다.

## Results and Discussion

**시험 전 토양과 Zeolite 특징** 시설재배 얼갈이배추 재배에 대한 농촌진흥청 추천 적정기준이 확립되지 않아서 시험작물과 유사한 시설열무의 재배 적정기준을 적용하여 적정성 여부를 판단 하였다. 얼갈이배추 시설재배 시험 토양의 pH는 6.6로 농촌진흥청 추천 기준 (pH 6.0~6.5)에 근접하였으며, EC는 3.2 dS m<sup>-1</sup>로 적정기준인 2.0 dS m<sup>-1</sup>을 초과하였고, 질산태 질소는 131 mg kg<sup>-1</sup>로 농촌진흥청 추천 적정 수준인 50~150 mg kg<sup>-1</sup>이었다 (Table 1). 유효인산은 1049 mg kg<sup>-1</sup>로 적정 수준인 250~350 mg kg<sup>-1</sup>을 크게 초과하였다. 치환성 양이온 중 K와 Ca는 적정범위보다 2배 가량 높은 것으로 나타났다 (Kang et al., 2013).

시험에 사용된 Zeolite의 pH는 6.0이었고, 전기전도도는 2.9 dS m<sup>-1</sup>이었다. Zeolite 성분 중 질산태 질소는 검출되지 않았고, 암모니아태 질소는 22 mg kg<sup>-1</sup> 함유하였다. Zeolite의 유효인산 함유량은 4 mg kg<sup>-1</sup>로 매우 낮았고, 치환성 양이온은 K가 12.8, Ca 15.6, Mg 3.4, Na가 63.6 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>로 나타났다 (Table 1).

**Zeolite 시용에 따른 얼갈이배추의 생육 및 수량** Zeolite 시용수준에 따른 얼갈이배추의 초장, 포기수, 상품율, 상품성 있는 개체들의 생체중을 살펴보면, 초장과 상품성 있는 개체수의 비율은 처리 수준별 차이의 유의성은 인정되지 않았으나, 개체수와 수량은 Zeolite 처리간 차이의 유의성이 인정되었다 (Table 2). 개체수의 경우 Zeolite 20 Mg ha<sup>-1</sup> 처리구에서 151개로 가장 높았고, 무처리구와 Zeolite 5 Mg ha<sup>-1</sup> 처리구에서는 각각 101개와 104개로 가장 낮았다. 수량은 Zeolite 20 Mg ha<sup>-1</sup> 처리구에서 76.9 Mg ha<sup>-1</sup>로 가장 높았고, 무처리구와 Zeolite 5 Mg ha<sup>-1</sup> 처리구

**Table 2. Effect of Zeolite application rates on plant height, estimated plant number, merchantable product (%), and yield (F.W).**

Zeolite rate	Pant height	PN <sup>‡</sup>	MP	Yield (F.W.)
Mg ha <sup>-1</sup>	cm	Plant no. m <sup>-2</sup>	%	Mg ha <sup>-1</sup>
0	25.8a	101b	71a	54.3bc
3	24.4a	111ab	77a	53.8bc
5	25.1a	104b	78a	51.3c
10	24.9a	137ab	84a	65.9abc
20	26.3a	151a	84a	76.9a
40	27.0a	125ab	87a	74.8ab
Average	25.6	122	80	62.8

<sup>‡</sup>MP and PN<sup>‡</sup> mean merchantable product (%) and estimated plant number of Chinese cabbage, respectively.

Means within a column followed by the same letter are not significantly different by DMRT at the 0.05 probability level.

**Table 3. Correlation coefficients (r) for growth characteristics and soil chemical properties.**

Property	MP <sup>‡</sup>	PN <sup>‡</sup>	Yield	pH	EC	CEC	NO <sub>3</sub> -N
Leaf length	0.289	0.026	0.32	-0.603**	0.299	-0.354	0.179
MP		0.640**	0.788***	-0.072	-0.397	-0.347	-0.487*
PN			0.883***	-0.01	-0.266	-0.469*	-0.503*
Yield				-0.004	-0.36	-0.296	-0.532*
pH					-0.678**	0.607**	-0.351
EC						-0.277	0.705***
CEC							0.024

<sup>‡</sup>MP and PN<sup>‡</sup> mean merchantable product (%) and plant number of Chinese cabbage, respectively.

\*, \*\* and \*\*\* significant at the 0.05, 0.01 and 0.001 probability levels, respectively.

에서는 각각 54.3 Mg ha<sup>-1</sup>과 51.3 Mg ha<sup>-1</sup>으로 낮았다. 작물 생육과 수량 증가에 대한 Zeolite 사용효과는 다른 연구자들의 시험에서도 증명되었다. 예를 들면, Zeolite 20 Mg ha<sup>-1</sup> 사용시 가을배추는 45% 증수되었고 (Kim and Lee, 1981), Zeolite 10 Mg ha<sup>-1</sup> 사용으로 고추 증수 (Lee, 1986; Lee et al., 1990)가 보고되었다. 또한 22 Mg ha<sup>-1</sup>의 Zeolite를 토양에 처리할 경우 옥수수 생육 증가 (Ippolito et al., 2011)와 카놀라 사료 작물의 수량 증가가 보고되었다 (Gholamhoseini et al., 2012).

#### 얼갈이 배추 생육 및 수량과 토양화학성과의 상관

**관계** 얼갈이배추 생육·수량 파라미터와 시설재배 시험포장 토양의 화학성 간의 상관관계를 살펴보면 수량은 개체수와 상품성 있는 개체수의 비율과 상관관계가 높았다 (Table 3). 질산태질소는 EC와 상관계수 0.705로 고도의 유의한 정의상관( $r=0.705$ )을 보였고, 수량 및 개체수와도 높은 상관을 보였다. 염류집적정도의 지표인 EC는 pH와 매우 높은 부의 상관관계를 보였다. CEC는 EC와 부의 상관 ( $r=-0.277$ )을 보여 CEC가 높을수록 염류농도의 지표인 EC가 감소하는 경향이었으나 통계적 유의성은 인정되지 않았다. Zeolite 20~40 Mg ha<sup>-1</sup> 처리구에서 양이온교환용량이 대체로 증가하였지만 수량과의 유의성은 인정되지 않았다 ( $r=-0.296$ ).

**Zeolite의 적정사용량 평가** 얼갈이 배추의 포기수와 수량은 Zeolite 24~26 Mg ha<sup>-1</sup> 수준에서 최대에 달하는 선형반응을 나타내었으며 (Fig. 2), Fig. 2의 선형회귀식은 얼갈이배추의 수확개체수와 수량 변동을 88~89%, 설명하는 것으로 평가되었다.

**시설 토양의 화학성 변화** Zeolite 처리 전, 처리 1작기 후, 2작기 후, 3작기 후의 시설토양 화학성 변화를 그림 3(a-e)에 나타냈다. 먼저 토양 pH는 1작기 재배 후에 높아졌다가 감소하였는데 이것은 Zeolite의 치환성양이온 함량이 높아 pH에 영향을 준 것으로 판단된다 (Fig. 3a). Wee et al. (2010)의 연구에서도 Zeolite 처리 후 30일 이후부터 50일까지 모든 처리구에서 pH가 시험 전보다 높아졌다고 보고하였고 이러한 결과는 Zeolite 표면의 음전하량이 증대되어 양이온의 흡착을 촉진함으로써 pH 증가에 영향을 미친 것으로 설명하였다. Zeolite 처리 후 50일 이후부터는 pH가 조금씩 감소하였지만 Zeolite 처리 전보다는 pH가 상승하는 것을 관찰하였다 (Fig. 3a).

**토양 EC 및 질산태 질소 변화** Zeolite의 처리 수준에 따른 전기전도도의 차이를 살펴보면 처리 전 시설재배 토양의 전기전도도는 3.2 dS m<sup>-1</sup>였고 얼갈이배추 1작기 재

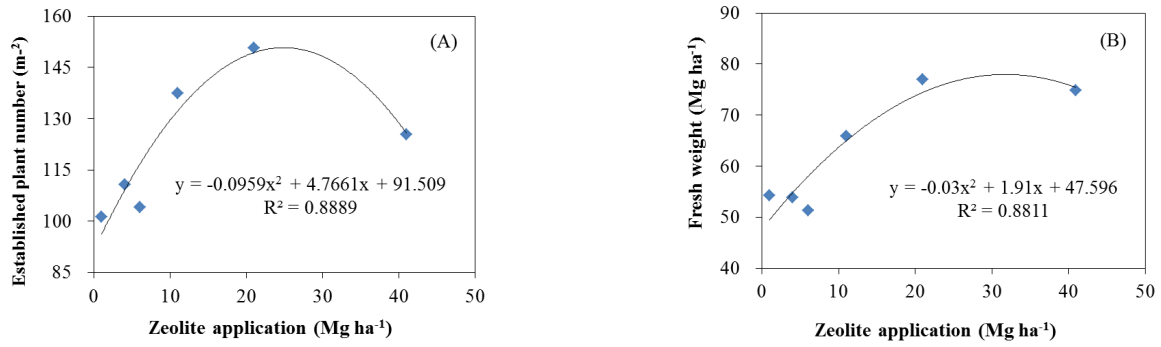


Fig. 2. Established plant number (A) and yield (B) of Chinese cabbage as affected by Zeolite application rates.

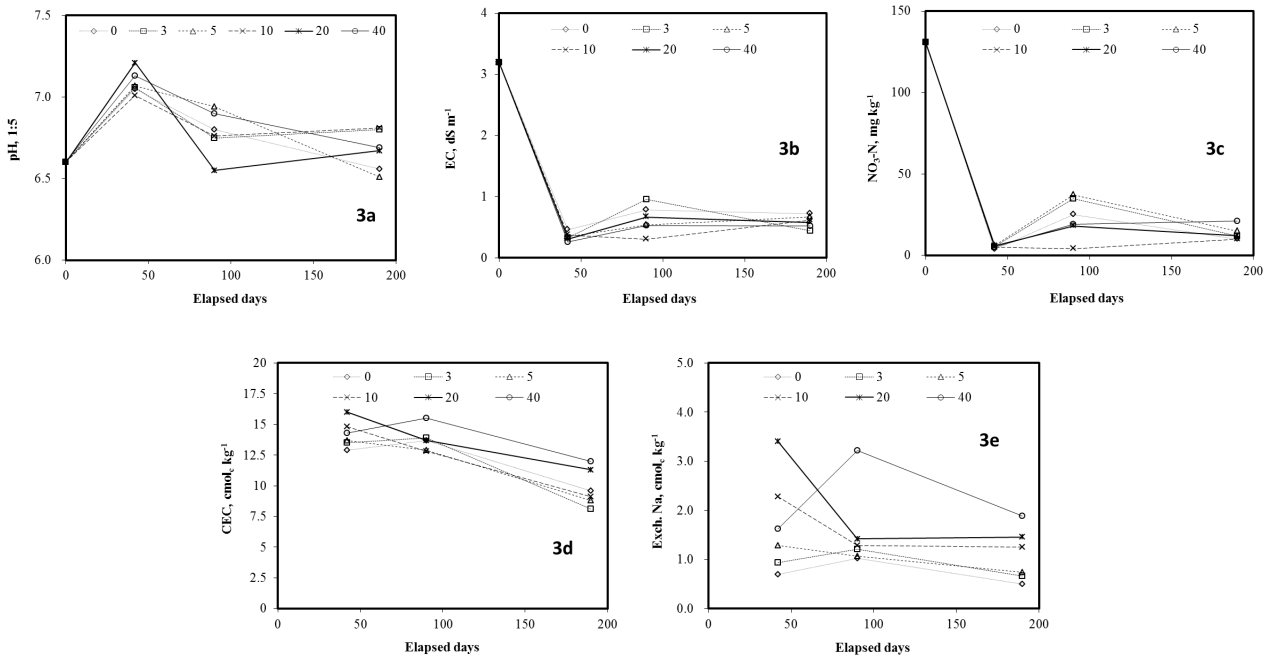


Fig. 3(a-e). Temporal changes of pH, EC, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N, CEC, and Exch. Na in soil treated with Zeolite at a rate of 0, 3, 5, 10, 20, and 40 Mg ha<sup>-1</sup>.

배 후 모든 처리구에서 시설재배 토양의 전기전도도가 감소하였고 대부분의 작물들에 대한 염류장해 기준농도인 2 dS m<sup>-1</sup> (Kang et al., 2013; NAIST, 2010) 이하로 낮아졌다 (Fig. 3b). 얼갈이배추 2작기와 3작기 후에는 전기전도도가 모든 처리구에서 1 dS m<sup>-1</sup>의 수준을 유지하였다. 이러한 결과는 시설재배 포장의 염류농도 경감이 Zeolite 시용과 관련 있다는 다른 연구자들의 결과와는 상반되었다. Ok et al. (2005)의 연구결과에 따르면 Pot조건에서 Zeolite 시용이 토마토 및 오이 시설재배 토양의 염류농도 경감에 효과가 있다고 하였고, Wee et al. (2010)은 Pot 조건에서 Zeolite를 토양 중량대비 20% 처리하고 10일 후 EC가 5.0 dS m<sup>-1</sup>에서 2.8 dS m<sup>-1</sup>로 급격히 감소되었다고 보고하였다.

Zeolite의 처리 수준에 따른 토양의 질산태질소도 (Fig. 3c) EC와 비슷한 변화 양상을 보였다. 토양의 질산태질소의 농도는 얼갈이배추 1작기 재배 후 크게 낮아졌으며 무비구를 포함한 모든 Zeolite 처리 간 차이가 거의 없는 것으로

나타났다. Lee (1986)는 동계 고추재배 시 Zeolite 10 Mg ha<sup>-1</sup> 시용으로 EC 및 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N의 토양 중 시기별 변화에서 지속적인 효과를 기대할 수 없었다고 하였는데 본 시험에서도 Zeolite 처리구와 무처리구간에 EC와 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N의 차이는 인정되지 않았다.

**토양 양이온치환용량(CEC)과 치환성 Na 변화** 양이온치환용량은 얼갈이배추 1작기와 2작기 재배 후 12.8~15.5 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>의 범위에 있었으나 3작기 재배 후 8.1~12.0 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>의 범위로 낮아졌으며, 대체로 Zeolite 20~40 Mg ha<sup>-1</sup> 처리구에서 높았다 (Fig. 3d). Kim & Lee (1981)는 보통 밭과 배추연작재배지에서 CEC가 다른 Zeolite 분말을 사용하여 봄배추와 가을배추를 재배하였는데 토양의 CEC와 치환성 K, Ca, Mg 등의 함량이 증가하는 경향이었다고 보고하였다.

Zeolite 중 가장 함량이 높았던 치환성 나트륨의 경우 처

리 수준에 따라 차이를 보였고 얼갈이배추 3작기 재배 후 Zeolite 10~40 Mg ha<sup>-1</sup> 처리구에서 1.25~1.89 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> 범위의 높은 수준을 보였다 (Fig. 3e). 이는 Kang et al. (2013)이 보고한 우리나라 시설재배지 치환성나트륨의 평균 0.71 (중앙값 0.53) cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>보다 높은 수준이었다. Wee et al. (2010)은 포트조건에서 수용성양이온 함량의 변화를 30일간 조사하였는데 처리수준이 높을수록 수용성나트륨 함량이 증가하였고, 시간경과에 따라 완만히 감소하는 경향이라고 하였다. 이는 포장 조건에서 실험한 본 시험의 치환성 나트륨함량 변화와 비슷한 경향이었다. Abdi et al. (2010)은 모래에 자연 Zeolite (Clinoptilolite)를 15% 처리한 토양에 NaCl로 염류도를 조절한 용액을 관개하여 용탈수의 농도를 조사하였고 염류도가 0.24 dS m<sup>-1</sup>인 수돗물로 관개시 Zeolite (Clinoptilolite) 15% 처리구에서 Na<sup>+</sup>의 농도가 가장 높았으나, NaCl로 관개수의 염류도를 3.4와 6.4 dS m<sup>-1</sup>로 처리하였을 때 Zeolite 처리시 용탈수의 Na농도가 낮았다고 보고하였다. 이는 Zeolite가 Ca와 Mg보다 Na에 더 선택적이며, 양이온들의 크기와 전하, 그리고 Zeolite내 교환자리의 분포와 특정 결정구조와 관련된다고 하였다. 우리나라 시설재배지 지하수의 Na 농도는 평균 15.7 mg L<sup>-1</sup>, 전기전도도는 0.28 dS m<sup>-1</sup>로 조사되어 (RDA, 2013), Abdi et al. (2010)이 사용한 수돗물과 염류도가 비슷한 수준이며 Na 함량이 높지 않아서 Zeolite의 Na에 대한 선택적 흡착은 나타나지 않을 것으로 판단된다.

## Conclusion

얼갈이배추 수량은 Zeolite 20 Mg ha<sup>-1</sup> 처리구에서 76.9 Mg ha<sup>-1</sup>로 가장 높았고, 5 Mg ha<sup>-1</sup> 처리구의 수량 (51.3 Mg ha<sup>-1</sup>)은 무처리구의 수량 (54.3 Mg ha<sup>-1</sup>)과 유의한 차이가 인정되지 않았다. Zeolite의 수준별 처리에 따른 얼갈이배추의 포기수 및 수량 변동은 2차선형회귀식으로 88~89% 설명할 수 있었으며, Zeolite의 적정시용량은 24~26 Mg ha<sup>-1</sup> 수준이었다. Zeolite 사용 후 토양의 화학성 변화를 살펴보면 전기전도도는 처리 전 3.2 dS m<sup>-1</sup>에서 얼갈이배추 1작기 재배 후인 처리 후 42일째에는 2 dS m<sup>-1</sup> 이하로 낮아졌고 2작기와 3작기 후에도 1 dS m<sup>-1</sup>의 수준을 유지하였다. 염류저감 효과 평가에서는 무처리구와 Zeolite 수준별 처리구 간의 차이는 인정되지 않았다. Zeolite의 수준별 처리 효과에 대한 구체적인 평가는 이 연구 결과를 토대로 다년간의 실험을 거쳐야 할 것으로 판단된다.

## References

Abdi, G., H. Salehi and S. Eshghi. 2010. Effect of natural Zeolite and Paclobutrazol on reducing salt stress in

- Kentucky Bluegrass (*Poa pratensis* L.). Hort. Environ. Biotechnol. 51(3):159-166.
- Ahn, S.B., J.K. Park and S.J. Cho. 1987. Optimum rates of N. Absorbed Zeolite to be applied under the water percolation adjusted sand paddy soil. Korean J. Soil Sci. Fert. 20:101-106.
- Choi, J.H., G.J. Jo., E.H. Moon, and Y.T. Jung. 1981. Zeolite application effects on moist sandy soil. Nong Si Yeon Bo (YoungNam): 99-112.
- Clifton, R.A. 1987. Natural and synthetic zeolites. U.S. Bureau of Mines Information Circular 9140, p. 21.
- Gholamhoseini., M. M. AghaAlikhani, A. Dolatabadian, A. Khodaei-Joghan, and H. Zakikhani. 2012. Decreasing nitrogen leaching and increasing canola forage yield in a sandy soil by application of natural Zeolite. Agron. J. 104: 1467-1475.
- Hwang, S.W., Y.S. Kim, B.Y. Yeon, Y.J. Lee and Y.D. Park. 1993. The effect of several desalting methods applied to vinyl house soils. RDA. J. Agri. Sci. 35(1)276-280.
- Hyun, B.K., L.Y. Kim, M.S. Kim and H.J. Cho. 2001. Case study of good soil management in plastic film house cultivation. Korean J. Soil Sci. Fert. 34:98-104.
- Ippolito, J.A., D.D. Tarkalson, and G.A. Lehrsch. 2011. Zeolite soil application method affects inorganic nitrogen, moisture, and corn growth. Soil Sci. 176(3):136-142.
- Kang, B.K., I.M. Jeong, J.J. Kim, S.D. Hong, and K.B. Min. 1997. Chemical characteristics of plastic film house soils in Chungbuk area. Korean J. Soil Sci. Fert. 30:265-271.
- Kang, S.S., A.S. Roh, S.C. Choi, Y.S. Kim, H.J. Kim, M.T. Choi, B.G. Ahn, H.K. Kim, S.J. Park, Y.H. Lee, S.H. Yang, J.S. Ryu, Y.G. Sohn, M.S. Kim, M.S. Gong, C.H. Lee, D.B. Lee, and Y.H. Kim. 2013. Status and change in soil chemical properties of polytunnel in Korea from 2000 to 2012. Korean J. Soil Sci. Fert. 46(6):641-646.
- Kim, L.Y., H.J. Cho, and K.H. Han. 2003. Effects of tile drain on physicochemical properties and crop productivity of soils under newly constructed plastic film house. Korean J. Soil Sci. Fert. 36:154-162.
- Kim, L.Y., J.H. Choi, Y.J. Lee, S.D. Hong, J.H. Bae and K.T. Baek. 2012. A study on salt removal in controlled cultivation soil using electrokinetic technology. Korean J. Soil Sci. Fert. 45:1230-1236.
- Kim, L.Y., S.D. Hong and K.C. Shin. 2013. Practical Soil Science. 2nd ed., The Book Garden. Korea.
- Kim, S.H. and J. S. Lee. 1981. Zeolite application effects on soil types. KyungBuk experiment research report. 547-554.
- Kwak, H.K., Y.S. Song and C.W. Hong. 1997. Nitrogen recommendation based on soil nitrate test for Chinese cabbage grown in plastic film house. Korean J. Soil Sci. Fert. 30:84-88.
- Lee, H.S. 1986. Reduction strategy for excessive salt in plastic house soil. Nong Si Yeon Bo (KyungNam): 461-466.

- Lee, H.S., S.R. Choi., and Y.G. Shin. 1990. Reduction strategy for excessive salt in plastic house soil. *Nong Si Yeon Bo (KyungNam)*: 269-281.
- Lee, J.S. and N.I. Jang. 1976. Bentonite and Zeolite application effects on rice. *KyungBuk experiment research report*. 487-499.
- Leggo, P.J., B. Lede Sert, and C. Graham. 2006. The role of Clinoptilolite in organo-zeolitic soil systems used for phytoremediation. *Sci. Total Environ.* 363:1-10. doi:10.1016/j.scitotenv.2005.09.055
- Mer, R.K., P.K. Prajith, D.M. Pandya, and A.N. Pandey. 2000. Effect of salts on germination of seeds and growth of young plants of *Hordeum vulgare*, *Triticum aestivum*, and *Brassica juncea*. *J. Agro. Crop Sci.* 185:209-217.
- NIAST (National Institute of Agricultural Science and Technology). 2000. *Methods of soil chemical analysis*. RDA, Suwon, Korea.
- NIAST (National Institute of Agricultural Science and Technology). 2010. *Fertilizer recommendation for crops*. RDA, Suwon, Korea.
- Ok, Y.S., J.E. Yang, K.Y. Yoo, Y.B. Kim, D.Y. Chung, and Y.H. Park. 2005. Screening of adsorbent to reduce salt concentration in the plastic film house soil under continuous vegetable cultivation. *Korean J. of Environ. Agri.* 24(3): 253-260.
- Parham, W.E. 1989. Natural zeolites: Some potential agricultural applications for developing countries: *Natural Resources Forum*, May, 107-115.
- Ramoliya, P.J. and A.N. Pandey. 2002. Effect of increasing salt concentration on emergence, growth and survival of seedlings of *Salvadora oleoides* (Salvadoraceae). *J. Arid Environ.* 51:121-132.
- RDA. 2013. *Annual report 2012-Monitoring project on agro-environmental quality*. p35.
- 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.