

## Effect of Mixed Treatment of Nitrogen Fertilizer and Zeolite on Soil Chemical Properties and Growth of Hot Pepper

Jun-Hong Park, Sang-Jo Park, Oh-Heun Kwon, Seong-Yong Choi, So-Deuk Park, and Jang-Eok Kim<sup>1\*</sup>

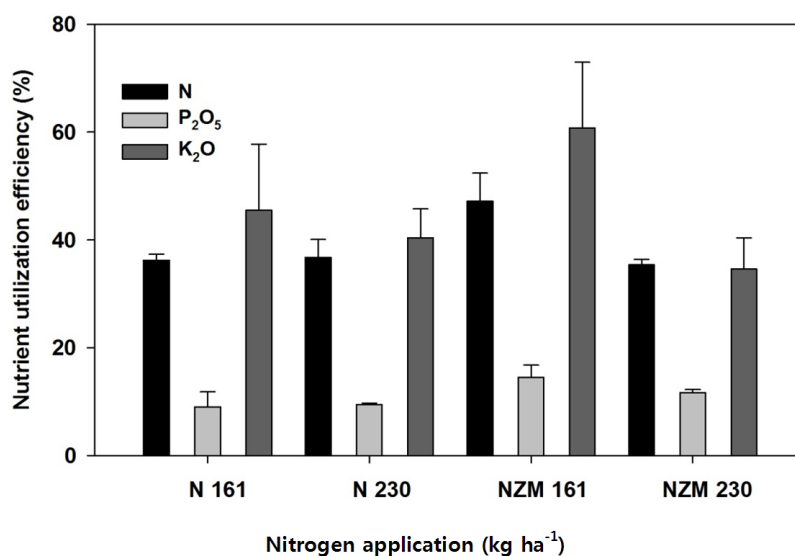
GyeongSangBuk-Do Agriculture Research and Extension Services, Daegu 702-708, Korea

<sup>1</sup>Division of Applied Biology and Chemistry, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

(Received: December 26 2014, Revised: January 15 2015, Accepted: January 15 2015)

Urea has been the most useful N-source, due to lower cost per unit of N. But nitrogen use efficiency of urea may be reduced because of losses from agricultural system by volatilization of ammonia to atmosphere. This study was conducted to evaluate the nitrogen efficiency and growth of hot pepper (*Capsicum annuum* L.) by mixed treatment with nitrogen and zeolite. They were treated with N 161 kg ha<sup>-1</sup>, N 230 kg ha<sup>-1</sup>, nitrogen-zeolite mixture (NZM) 161 kg ha<sup>-1</sup>, NZM 230 kg ha<sup>-1</sup> and N 0 kg ha<sup>-1</sup>, respectively. In the soil chemical properties after experiment, soil pH decreased but available P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, EC and total nitrogen increased in nitrogen-zeolite mixture treatment. NO<sub>3</sub>-N content in the soil showed the highest level in NZM 230 kg ha<sup>-1</sup>. NZM 161 kg ha<sup>-1</sup> treatment increased growth and yield of hot pepper compared to urea alone. Nitrogen utilization efficiency of hot pepper plant was 47.15% at the treatment of NZM 161 kg ha<sup>-1</sup>, while 36.74% at N 230 kg ha<sup>-1</sup>. These results showed that application of mixture of nitrogen and zeolite had positive influence to improve the efficiency of nitrogen utilization and increase of red pepper yield.

**Key words:** Nitrogen, Urea, Zeolite, Hot pepper



Nutrient utilization efficiency of hot pepper with nitrogen and zeolite treatment. Error bars means standard deviation.

## Introduction

고추는 우리나라의 중요한 양념채소로 비교적 수익성이 보장되어 매년 일정한 재배면적이 유지되고 있으며 2013년 고추 재배면적은 45,360 ha를 차지하고 있다 (Shin et al., 2006; Ministry of Agriculture Food & Rural Affairs, 2014). 고추의 시비실태조사 결과 질소 336, 인산 212, 칼리 263 kg ha<sup>-1</sup>으로 현재 표준시비량 (N-P-K=230-112-149 kg ha<sup>-1</sup>)의 1.8배 이상 사용하고 있는 것으로 조사되었다 (NIAST, 2010; Park et al., 2009). 농가에서 고추 재배시 화학비료로 시비한 비료성분에 대한 질소 이용율이 24%, 인산 9%, 칼리 53%로 시비한 비료의 상당 부분이 고추 식물체에 흡수하는 양보다 토양에 축적이나 유실되는 양이 많은 실정이다 (Kang et al., 2002). 또한 고추는 연작이 이루어지면서 동일한 비료, 퇴비 및 친환경자재가 과도하게 투입되어 토양 양분의 불균형이 초래되고 있다 (Park et al., 2009; Yang et al., 2011).

농업생태계에서 유실되는 질소는 수계를 오염시킬 뿐만 아니라 부영양화와 같은 환경오염으로 인간의 건강에 악영향을 미친다. 따라서 질소이용효율을 증진시키고 토양중 질소 유실을 감소시키는 관리방안 마련이 필수적이다 (Powlson et al., 2008).

우리나라의 토양은 산성암이 풍화된 모재가 주를 이루고 있고 기후적 특성상 여름에 강우량이 집중되기 때문에 토양 비옥도가 낮으나, 화학비료, 퇴비 등의 과잉투입으로 인해 토양의 염류집적이 높아지는 경향을 갖는다. 그 결과 토양의 물리·화학적 성질이 변질되어 작물의 생육에 악영향을 주게 되었고, 이러한 상황을 극복하기 위한 방안으로 bentonite, zeolite, vermiculite, illite 등 토양개량제를 사용하게 되었다 (Jang, 2002). 최근에는 토양개량제를 토양에 적용하였을 때 작물의 생육증진효과 및 토양의 성질 개선 효과에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.

Zeolite는 비표면적이 크고 양이온치환용량 (CEC) 150~250 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>으로 높으며, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, K<sup>+</sup> 같은 양이온의 선택적 흡착 등의 특성을 가지고 있어 토양개량제, 퇴비첨가제, 살충제와 제초제의 담체 등 다양한 용도로 농업에 이용되고 있다 (Clifton, 1987; Parham, 1989). 또한 zeolite는 토양에 처리하였을 때 암모니아태 질소의 높은 흡착량으로 유실을 감소시키고, 토양수분함량을 증가시키며 작물생육을 증가시키는 것으로 보고하고 있다 (Ippolito et al., 2011).

따라서 본 연구에서는 질소질비료 유실경감 및 비료사용량 절감을 위하여 밭토양에서의 요소와 zeolite 혼합 처리하였을 때 토양 화학성, 고추 생육 및 수량에 미치는 영향을 분석하고 사용한 비료의 양분이용율을 평가하고자 수행하였다.

## Materials and Methods

본 시험은 질소질비료와 zeolite 혼합처리가 고추 (*Capsicum annuum*)의 생육, 수량 및 양분이용율에 미치는 영향을 조사하기 위하여 경상북도농업기술원 시험포장 (북위 : 35°57'02", 경도 : 128°33'52", 해발고도 50 m)에서 수행하였다. 시험토양은 홍적대지에 분포된 식질계 적황색토인 화동동 (fine, mixed, mesic family of Aquic Hapludalfs)에 해당되며, pH는 7.2, 유기물은 23 g kg<sup>-1</sup>, 유효인산 164 mg kg<sup>-1</sup>이었다 (Table 1).

시비는 농촌진흥청 작물별 시비처방기준 (NIAST, 2010)에 따라 요소를 이용하여 고추 표준시비인 질소질비료230 kg N ha<sup>-1</sup> 처리구, 30% 감비 161 kg N ha<sup>-1</sup> 처리구, 표준시비량인 230 kg N ha<sup>-1</sup>에 zeolite 500 kg ha<sup>-1</sup>을 혼합 처리한 구, 30% 감비처리량인 161 kg ha<sup>-1</sup>에 zeolite 350 kg ha<sup>-1</sup>을 혼합 처리한 구, 질소질비료 무시용구의 5수준으로 하였다. 질소질비료를 zeolite와 먼저 혼합한 후 토양에 처리하였으며, 인산과 칼리는 각각 112, 149 kg ha<sup>-1</sup>으로 동일하게 처리하였다 (Table 2). 질소질비료는 2회 분시, 인산은 용성인 비료 전량 기비, 칼리는 염화칼리로 1회 분시 하였다. 고추 정식은 5월 2일에 하였으며, 재식거리는 75×45 cm, 시험구 면적은 9.0 m<sup>2</sup>이며, 난괴법 3반복으로 배치하였다. 시험에 사용된 zeolite는 pH 7.8, CEC 103 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>이었으며 화학적 조성은 Table 3과 같다.

토양분석은 국립농업과학원의 토양 및 식물체 분석법 (NIAST, 2000)에 준하여 토양 pH는 초자전극법, 유기물함량은 Tyurin 법, 유효인산은 Lancaster법으로 분석하였고, 치환성 양이온 함량은 1 M NH<sub>4</sub>OAc 용액 (pH 7.0)으로 추출하여 원자흡

**Table 1. Physico-chemical properties of upland soil used in experiment.**

pH	OM	Avail. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Exch. cations			EC	Soil texture
			K	Ca	Mg		
7.2	23	164	0.6	5.1	1.8	0.26	SiCL

**Table 2. Application rates of nitrogen and zeolite in soil.**

Treatment	Application level		
	Urea	Zeolite	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O
	kg ha <sup>-1</sup>		
N 161	350	0	112-149
N 230	500	0	112-149
NZM 161 <sup>†</sup>	350	350	112-149
NZM 230	500	500	112-149
N 0	0	0	112-149

<sup>†</sup>NZM : Nitrogen-zeolite mixture

**Table 3. Chemical properties of zeolite.**

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CEC	pH
----- % -----								cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	1:5
68.7	11.6	2.2	0.5	2.7	1.3	1.9	0.4	103	7.8

**Table 4. Soil chemical properties after harvest of hot pepper treated with nitrogen and zeolite in soil.**

Treatment	pH	OM	Avail. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Exch. cations			EC	T-N
				K	Ca	Mg		
	1:5	g kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	----- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----			dS m <sup>-1</sup>	%
N 161	6.6ab <sup>†</sup>	19a	157a	0.44a	4.58a	1.81a	0.38b	0.13a
N 230	6.6ab	22a	170a	0.34a	4.66a	1.72a	0.42ab	0.15a
NZM 161	6.4b	22a	183a	0.55a	4.12a	1.60a	0.45ab	0.15a
NZM 230	6.3b	23a	183a	0.36a	4.57a	1.68a	0.69a	0.16a
N 0	6.7a	22a	166a	0.44a	5.32a	1.90a	0.33b	0.12a

<sup>†</sup>Numbers followed by the same letter with a column are not significantly different (Duncan test,  $p < 0.05$ ).

광분석기 (Analyst 400, Perkin Elmer, USA)로 분석하였으며, 토성은 비중계법으로 측정하였다.

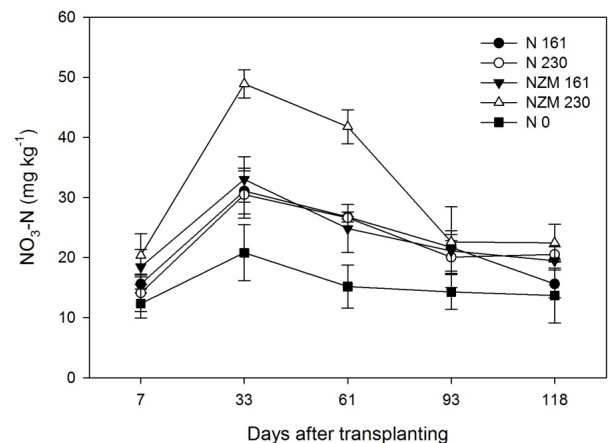
고추 생육 및 수량조사는 농업과학기술 연구조사분석기준 (RDA, 2003)에 의해 조사하였고, 식물체 분석은 시료를 열풍건조기에서 60~80°C로 72시간 건조한 후 분쇄한 시료를 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 혼합액으로 분해하여 T-N은 kjeldahl 분해·증류장치 (FOSS, Kjeltac Auto Distillation)를 사용하여 측정하였고, 인산은 ammonium vandate법에 의한 비색정량, 무기물은 습식분해액을 증류수로 희석하여 유도결합쌍플라즈마분광광도계 (Optima 8300, Perkin Elmer, USA)로 분석하였다.

통계분석은 SAS 프로그램 (Ver. 9.2, SAS, Cary, NC, USA)을 이용하였으며, 5% 수준에서 처리평균간 차이의 통계적 유의성을 검토하였다.

## Results and Discussion

질소질비료와 zeolite 혼합처리에 따른 고추 수확기 토양 특성에 미치는 영향을 조사한 결과는 Table 4와 같다. pH는 질소질비료 161 kg N ha<sup>-1</sup> 처리구와 질소질비료 230 kg N ha<sup>-1</sup> 처리구는 6.6이었고, 질소질비료와 zeolite를 혼합 처리한 구에서는 161 kg N ha<sup>-1</sup> 처리구 6.4, 230 kg N ha<sup>-1</sup> 처리구 6.3으로 질소질비료 무시용구 6.7에 비해 약간 낮았다. EC는 질소질비료 무시용구 0.33 dS m<sup>-1</sup>이며, 질소질비료 161 kg N ha<sup>-1</sup> 처리구 0.38 dS m<sup>-1</sup>, 질소질비료 230 kg N ha<sup>-1</sup> 처리구 0.42 dS m<sup>-1</sup>이었고, 질소질비료와 zeolite 혼합 처리구에서는 161 kg N ha<sup>-1</sup> 처리구 0.45 dS m<sup>-1</sup>, 230 kg N ha<sup>-1</sup> 처리구 0.69 dS m<sup>-1</sup>으로 질소질비료 사용량이 증가할수록 EC가 높았고, 질소질비료 단독처리에 비해 질소질비료와 zeolite 혼합 처리구에서 높은 것으로 나타났다.

질소질비료와 zeolite 혼합처리에 따른 토양중 질산태질소 함량의 변화는 Fig. 1과 같이 시용후 1개월에 가장 높았고 그 이후 점점 낮아지는 경향이였다. 질소 무시용구에 비해 질소질비료 단독 및 질소질비료와 zeolite 혼합처리구에서 높은 질산태질소 함량을 나타내었고 질소질비료와 zeolite 230 kg N ha<sup>-1</sup> 처리구에서 가장 높게 유지되었다. 질소는 식물생육에 반드시 필요한 다량원소로서 토양에 공급된 질소는 작물에 흡수되거나 토양에 잔존하면서 빗물이나 침투수에 의해 유실될 뿐만 아니라 NH<sub>3</sub> 가스의 휘발에 의한 손실로 인해서 이용효율이 매우 낮다 (Lara et al., 1997). 토양에 요소를 200 mg N kg<sup>-1</sup> 시용한 후 zeolite 15 g kg<sup>-1</sup> 처리시 요소 단독처리에 비해 NH<sub>3</sub> 가스로 휘발되는 양을 유의적으로 감소시켰고 토양중에 무기태질소 농도가 더 높았고 보고하였는데 (He et al., 2002), 본 실험에서는 zeolite와 요소를 혼합후 처리하면 암모니아태 질소가 zeolite에 흡



**Fig. 1. Changes in nitrate concentration during experiment. NZM, nitrogen zeolite mixture. Error bars means standard deviation.**

**Table 5. Growth and yield of hot pepper with nitrogen and zeolite treatment.**

Treatment	Plant height	Stem diameter	No. of branch	No. of fruit	Weight of ripe fruit	Yield
	cm	mm	ea plant <sup>-1</sup>	ea plant <sup>-1</sup>	g plant <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>
N 161	75a <sup>†</sup>	11.0b	6.9b	59.2a	113a	2,389b
N 230	79a	11.5ab	7.0ab	64.5a	122a	2,799a
NZM 161	81a	12.3a	7.3ab	69.9a	130a	2,764a
NZM 230	79a	12.0ab	7.5a	59.8a	112a	2,586ab
N 0	66b	9.7c	6.3c	38.2b	61b	1,308c

<sup>†</sup>Numbers followed by the same letter with a column are not significantly different (Duncan test,  $p < 0.05$ ).

**Table 6. Contents of inorganic compound in leaves and fruits of hot pepper with nitrogen and zeolite treatment.**

	Treatment	T-N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
		----- % -----				
Leaf	N 161	3.76b <sup>†</sup>	0.45b	5.22a	5.22a	2.23ab
	N 230	3.87b	0.54ab	4.89a	5.07a	2.22ab
	NZM 161	3.83b	0.49ab	4.36a	4.41a	1.90ab
	NZM 230	4.02a	0.52ab	5.21a	5.87a	2.73a
	N 0	3.36c	0.63a	5.47a	4.75a	1.77b
Fruit	N 161	2.17ab	0.53ab	2.03a	0.09ab	0.18b
	N 230	2.23a	0.67ab	2.30ab	0.11a	0.22a
	NZM 161	2.24a	0.70a	2.43a	0.11a	0.22a
	NZM 230	2.27a	0.56ab	2.01b	0.09ab	0.19ab
	N 0	2.01b	0.50b	1.94b	0.08b	0.16b

<sup>†</sup>Numbers followed by the same letter with a column are not significantly different (Duncan test,  $p < 0.05$ ).

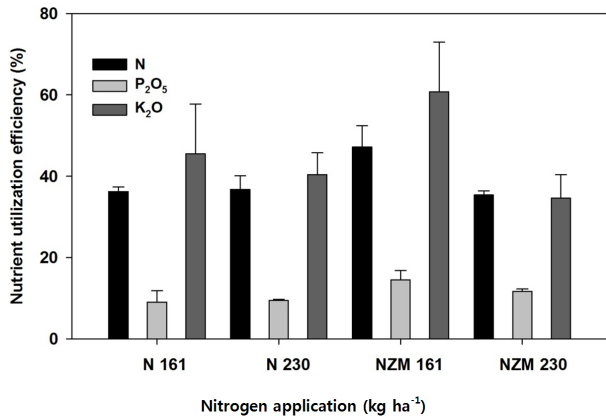
착되어 토양중에서 NH<sub>3</sub> 가스 휘발량을 감소시켜 질산태질소 함량이 높은 것으로 추측된다.

정식 87일후 조사한 고추 생육상황은 Table 5에서 보는 바와 같이 질소질비료와 zeolite 161 kg ha<sup>-1</sup> 혼합 처리구에서 초장 81 cm, 경경 12.3 mm, 주당과수 69.9개로 가장 컸고, 그 다음으로 질소질비료 230 kg ha<sup>-1</sup>, 질소질비료와 zeolite 230 kg ha<sup>-1</sup> 혼합처리구, 질소질비료 161 kg ha<sup>-1</sup> 순이었다. 건고추 수량은 질소질비료 230 kg ha<sup>-1</sup>에서 2,799 kg ha<sup>-1</sup>로 가장 많았고, 질소질비료와 zeolite 161 kg ha<sup>-1</sup> 혼합처리구 2,764 kg ha<sup>-1</sup>, 질소질비료와 zeolite 230 kg ha<sup>-1</sup> 혼합처리구 2,586 kg ha<sup>-1</sup> 순이었다. 대두 (pea) 재배 지 zeolite 시용효과 연구에서 zeolite의 시용량이 증가함에 따라 건물중, 수량 등이 증가하였고, illite 처리시 고추 생육 및 건물중이 증가한다고 보고하였는데 (Ahn et al., 1990; Lee et. al., 2012), 본 연구에서도 zeolite와 질소질비료의 혼합처리에 따라 고추의 생육 및 수량이 증가하는 연구결과와 유사한 것을 확인할 수 있었고, 질소질비료와 zeolite 161 kg ha<sup>-1</sup> 혼합처리구는 표준시비인 질소질비료 230 kg ha<sup>-1</sup> 처리구와 수량에서도 차이가 없어 질소질비료 30% 정도 절감할 수 있을 것으로 판단된다.

질소질비료와 zeolite 혼합처리에 따른 고추 잎과 과의

무기성분 함량에 미치는 영향을 조사한 결과 Table 6과 같다. 고추 잎의 전질소 (T-N)는 질소질비료 161 kg N ha<sup>-1</sup> 처리구 3.76%, 질소질비료 230 kg N ha<sup>-1</sup> 처리구 3.87%이었고, 질소질비료와 zeolite 161 kg N ha<sup>-1</sup> 혼합처리구에서는 3.83%, 230 kg N ha<sup>-1</sup> 혼합처리구 4.02%, 질소질비료 무시용구 3.36%으로 질소질비료와 zeolite 혼합처리구에서 전질소 함량이 높았으며, 고추 과에서도 유사한 경향을 나타내었다.

질소질비료와 zeolite 혼합처리에 따른 식물체중의 전질소, 인산, 칼리의 흡수이용율을 분석한 결과는 Fig. 2와 같이 칼리, 질소, 인산 순으로 많았다. 질소이용율은 질소질비료 161 kg N ha<sup>-1</sup> 처리구가 36.25%, 질소질비료 230 kg N ha<sup>-1</sup> 처리구가 36.74%, 질소질비료와 zeolite 161 kg N ha<sup>-1</sup> 혼합처리구가 47.15%, 230 kg N ha<sup>-1</sup> 혼합처리구가 35.37%로 질소질비료와 zeolite 161 kg N ha<sup>-1</sup> 혼합처리구에서 가장 높았다. 인산과 칼리이용율에서도 질소이용율과 유사한 경향으로 질소질비료와 zeolite 161 kg N ha<sup>-1</sup> 혼합처리구에서 가장 높았다. 특히 인산이용율은 질소질비료와 zeolite 161 kg N ha<sup>-1</sup> 혼합처리구가 14.51%로 질소질비료 161 kg N ha<sup>-1</sup> 처리구 9.02%, 질소질비료 230 kg N ha<sup>-1</sup> 처리구 9.44% 보다 높았다.



**Fig. 2.** Nutrient utilization efficiency of hot pepper with nitrogen and zeolite treatment. Error bars means standard deviation.

Zeolite는 높은 양이온치환용량을 가지며, 토양에 처리할 경우 질소 이용효율을 극대화시킬 뿐만 아니라 토양산도 교정으로 유효양분이 증대되어 작물의 생산량이 높아지며, 질소의 유실을 방지하여 환경오염을 줄이는 것으로 보고되고 있다 (Barbarick and Pirela, 1984; Ippolito et al., 2011). 또한 토양에 질소질비료와 zeolite를 혼합처리시 단독처리 에 비해 NH<sub>3</sub> 가스로 휘발되는 양을 유의적으로 감소시켜 토양중 무기태질소 농도가 더 높았으며 질소이용효율이 증가 되었다고 보고하였는데 (Crespo, 1989; He et al., 2002; Park et al., 2014), 본 연구에서도 질소질비료인 요소와 zeolite 혼합 시용시 토양중 무기태질소 함량이 증가되었고, 고추 수량에서도 질소 표준시비에 비해 요소와 zeolite 혼합처리 시 질소이용효율을 높여 질소질비료를 30% 정도 절감할 수 있는 것으로 판단된다.

## Conclusions

밭토양에서의 질소질비료인 요소와 zeolite를 혼합처리시 토양화학성 및 고추의 생육에 미치는 영향을 평가한 결과, 고추 표준시비인 230 kg N ha<sup>-1</sup> 처리구, 30% 감비 161 kg N ha<sup>-1</sup> 처리구, 230 kg N ha<sup>-1</sup>에 zeolite 500 kg ha<sup>-1</sup>을 혼합 처리한 구, 161 kg ha<sup>-1</sup>에 zeolite 350 kg ha<sup>-1</sup>을 혼합 처리한 구, 요소 무시용구로 구분하였다. 시험후 토양화학성은 질소질비료와 zeolite 혼합처리구에서 pH는 감소하였으나, 유효인산, EC 및 총질소함량은 증가하였다. 토양중 질산태 질소 함량은 질소질비료와 zeolite 230 kg ha<sup>-1</sup> 혼합처리구에서 가장 높았다. 질소질비료와 zeolite 161 kg ha<sup>-1</sup> 혼합처리구는 질소 단독처리구에 비해 고추 수량이 증가되었고 표준시비 질소질비료 230 kg ha<sup>-1</sup> 처리구와 수량에서 차이가 없었다. 고추 식물체의 질소이용효율은 질소질비료와 zeolite 161 kg ha<sup>-1</sup> 혼합처리구에서 가장 높았다. 따라서, 질소질비료와 zeolite 혼합처리시 질소의 이용효율성을 높여 비료 시

용량을 절감할 수 있는 시비방법으로 판단된다.

## References

- Ahn, S.B., T. Yoneyama, and S.J. Cho. Influence of zeolite application on the growth and N<sub>2</sub> Fixation pea-plant. Korean J. Soil Sci. Fert. 23(3):227-231.
- Barbarick, K.A. and H.J. Pirela. 1984. Agronomic and horticultural uses of natural zeolites: A review. pp. 93-103. In: W.G. Pond, and F.A. Mumpton (eds.). Zeo-agriculture: Uses of natural zeolite in agriculture and aquaculture. Westview Press, Boulder, CO.
- Clifton, R.A. 1987. Natural and synthetic zeolites. U.S. Bureau of Mines Information Circular 9140, p. 21.
- Crespo, G. 1989. Effect of zeolite on the efficiency of the N applied to *Brachiaria decumbens* in a red ferrallitic soil. Cuban Journal of Agricultural Science 23:207-212.
- He, Z.L., D.V. Calvert, A.K. Alva, Y.C. Li, and D.J. Banks. 2002. Clinoptilolite zeolite and cellulose amendments to reduce ammonia volatilization in a calcareous sandy soil. Plant Soil 247:253-260.
- 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.
- Jang, Y.S. 2002. Pulse rock and soil conditioner. Korean J. Soil Sci. Fert. 10:11-16.
- Kang, B.G., H.J. Kim, G.J. Lee, S.G. Park, and S.T. Suh. 2002. Economical efficiency of the sustainable agriculture direct income support system on fertilizer levels of red pepper. Korean J. Soil Sci. Fert. 35(6):387-394.
- Lara Cabezas W.A.R., G.H. Korndorfer, and S.A. Motta. 1997. NH<sub>3</sub>-N volatilization in corn crop: II - Evaluation of solid and fluid sources under no-tillage and conventional system. Revista Brasileira Ciência do Solo. 21:489-496.
- Lee, S.E., D.H. Kim, H.K. Hong, S.M. Kwon, M.S. Lee, S.H. Woo, and K.Y. Chung. 2012. Effect of different levels of applications of illite on the growth of red pepper in soil. Korean J. Soil Sci. Fert. 45(3):339-343.
- Ministry of Agriculture Food & Rural Affairs. 2014. Statistical research annual report of agriculture, food and rural affairs.
- NIAST. 2000. Analytical methods of soil and plant. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- NIAST. 2010. Fertilizer recommendation for crops plants. National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon, Korea.
- Parham, W.E. 1989. Natural zeolites: some potential agricultural applications for developing countries: Natural Resources Forum, May, 107-115.
- Park, J.H., S.J. Park, Y.J. Seo, O.H. Kwon, S.Y. Choi, S.D. Park, and J.E. Kim. 2014. Effect of mixed treatment of urea fertilizer and zeolite on nitrous oxide and ammonia emission in upland soil. Korean J. Soil Sci. Fert. 47(5):368-373.

- Park, J.M., I.B. Lee, Y.I. Kang, and K.S. Hwang. 2009. Effects of mineral and organic fertilizations on yield of hot pepper and changes in chemical properties of upland soil. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 27(1):24-29.
- Powlson, D. S., T. M. Addiscott, N. Benjamin, K. G. Cassman, T. M. de Kok, H. van Grinsven, J. L. L'hirondel, A. A. Avery, and C. van Kessel. 2008. When does nitrate become a risk for humans. *J. Environ. Qual.* 37:291-295.
- RDA. 2003. Standard methods for agricultural experiments. RDA. Suwon. Korea.
- Shin, Y.A., J.S. Lee, Y.C. Um, and S.H. Park. 2006. Effects of seed spacing and depth and planting date on yield of once-over harvested hot pepper (*Capsicum annuum* L.) planted by direct seeding. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 24:8-12.
- Yang, S.K., Y.W. Seo, Y.S. Kim, S.K. Kim, K.H. Lim, K.J. Choi, J.H. Lee, and W.J. Jung. 2011. Changes of pepper yield and chemical properties of soil in the application of different green manure crops and no-tillage organic cultivation. *Korean J. Org. Agri.* 19(2):215-228.