

화산회토에서 유기질비료 시용량이 무 생장과 수량 및 양분흡수에 미치는 영향*

김유경** · 조영운*** · 오한준*** · 강호준*** · 양상호*** · 문봉춘*** · 좌창숙***

Growth, Yield and Nutrient Uptake of Radish as Affected by Amount of Organic Fertilizer in a Volcanic Ash soil

Kim, Yu-Kyoung · Cho, Young-Yuen · Oh, Han-Jun · Kang, Ho-Jun ·
Yang, Sang-Ho · Moon, Bong-Chun · Jwa, Chang-Sook

This study was conducted to determine the effects of organic fertilization rates on the nutrient accumulation and recovery in radish (*Raphanus sativus* L.) as well as growth and yield of radish in Jeju island. An understanding the relationships between organic fertilization rate, crop nutrient recovery and crop yield can assist in making organic fertilizer recommendation which balances crop value and environmental risk in organic cultivation. Nitrogen (T-N), phosphate (P_2O_5) and potassium (K_2O) were applied at 0, 115-35-40, 230-70-80 (standard application rate), 460-140-160, 230-200-100 (recommended application rate) and 158-53-35 kg/ha (customary application rate), respectively as the broadcast application of mixed organic fertilizer (N 4.5% - P_2O_5 1.5% - K_2O 1%) in combination with langbeinite (K_2O 22%), 100% at sowing period. The organic fertilizer was made of organic materials like oil cakes. Total yield of radish, as fresh weight of roots, increased with increasing organic fertilizer doses to a maximum at rate of standard or soil-testing application. Nitrogen, phosphate and potassium accumulations of radish increased curvilinearly with increasing organic fertilization rate to a maximum at rate of N 460 - P_2O_5 140 - K_2O 160 kg/ha. However, nitrogen, phosphate and potassium use efficiency of applied organic fertilizer decreased curvilinearly or linearly with increasing organic fertilization rate. Application of organic fertilizer in combination with langbeinite (as a potassium source) had significant effect on the yield of radish. Organic fertilization on a basis of standard or soil-testing

* 본 연구는 농촌진흥청 지역농업연구기반 및 전략작목육성(과제번호: PJ009454) 연구비 지원에 의해 수행된 과제임.

** Corresponding author, 제주특별자치도농업기술원 친환경연구과(kyk555@korea.kr)

*** 제주특별자치도농업기술원 친환경연구과

application rate is recommended for maximum radish yield in organic cultivation.

Key words : radish, organic fertilizer, plant-available nutrient

I. 서 론

무(*Raphanus sativus* L.)는 십자화과(cruciferae family)에 속하는 뿌리채소로 지중해 연안과 중국을 중심으로 전 세계로 전파되었다(Kumar et al., 2014). 우리나라에는 기원전에 도입되었을 것으로 추정되고 있으며, 김치, 무말랭이 등 그 이용이 매우 다양하다. 특히 비타민 C의 함량이 20-25 mg (100 g 당) 이나 되어 예로부터 겨울철 비타민 공급원으로 중요한 역할을 해왔으며 무즙에는 diastase 라는 효소가 있어 소화를 촉진시키기도 한다(Mohammad, 2005).

무 재배면적은 농림축산식품부 통계자료에 따르면 2014년 기준 국내 19,936 ha이며 제주 지역은 6,197 ha로 31% 정도를 점유하고 있으며 겨울무는 대부분 제주에서 재배되고 있다(MAFRA, 2015). 도내의 무 친환경 인증면적은 약 161 ha로 도 전체 채소류 인증면적의 20% 정도를 점유하고 있는 중요한 작물이다(NAQS, 2014). 그러나 현재 무 유기재배에서의 수량성은 일반재배 보다 훨씬 낮은 실정이며, 특히 이러한 수량 감소는 작물의 생장과 수량에 큰 영향을 미치는 질소 등 투입 양분의 부족 또는 불균형으로 인한 적정 양분관리 기술의 미흡에 기인한 것으로 보인다.

Sounda 등(1998)은 질소는 무의 생장과 수량반응에 지대한 영향을 주며 질소 시비량이 증가할수록 수량이 증가한다고 하였으며, Jilani 등(2010)은 질소 시비량 시험에서 최대 수량은 200 kg/ha 질소 시비에서 얻었으나 그 이상 시비량이 증가하면 수량은 오히려 감소한다고 보고하였다. 이와 유사하게 Muthuswamy와 Muthukishnan (1984)은 200 kg/ha 수준의 질소 시비량에서 무의 지상부 생육과 근경이 뚜렷한 증가를 보였다고 하였으며, Pervez 등(2004)도 200 kg/ha 질소 시비에서 무의 최대 수량을 얻었다고 하였다. Roy와 Seth (1982)는 질소 및 인산 시비량이 증가할수록 무의 생육과 수량은 증가하였으나, 칼리 시비량이 증가할수록 수량은 감소하였다고 하였으며, Patil 등(1988)도 질소(75-150 kg/ha), 인산(37.5-75 kg/ha) 그리고 칼리(37.5-75 kg/ha) 등 시비량 시험에서 질소와 인산 시비량이 증가할수록 무 수량성이 증가하였으나 칼리는 높은 시비량에서 오히려 감소하였다고 보고하였다. 그리고 Ronald (1952)는 칼리 시비량이 무와 당근의 수량 등에 미치는 영향을 조사한 보고서에서 토양 중에 있는 칼리성분은 쉽게 식물이 흡수하여 이용하지만 시비한 칼리는 수량을 감소시키는 경향이 있으며 시비한 칼륨 비료는 식물체내 질소함량에는 영향을 주지 않는다고 하였다.

이와 같이 질소 등 시비량에 따른 무의 수량 반응에 관한 연구는 많이 보고되고 있으나 시비량이 무의 양분 흡수량 및 이용율 등에 미치는 영향을 보고한 연구는 아직까지 미미하

다. 특히, 채소류 적정 생산을 위한 질소 등 비료 추천량을 수량반응만 보고 결정하는 것은 주의가 필요한데, 왜냐하면 최대 수량은 종종 질소 시비수준이 높을 때 얻을 수 있는 반면 질소 이용율은 낮고 또한 과잉 시비되어 토양에 잔류하게 되는 무기태 질소는 환경오염을 유발 할 수 있기 때문이다(Zebarth et al., 1995). 그리고 대부분 화학비료를 사용하여 연구된 결과들이며 퇴비 등의 시용효과에 대한 연구가 일부 보고되고 있으나(Asghar et al., 2009; Islam et al., 2011; Kumar et al., 2014), 유기재배 농가들이 많이 사용하고 있는 혼합유기질비료와 작물의 수량 반응 등에 관한 연구는 거의 없는 실정이다. 그리고 제주도 토양은 육지부와 달리 화산회토 분포면적이 많은데 화산회토는 자연 비옥도가 매우 낮고 비료 요구도가 크며 작물 생산성도 낮은 편이다. 그러나 유기물 함량이 매우 높아 부드러우며 무, 당근 등 뿌리작물 재배가 용이한 특성을 가지고 있다. 따라서 본 연구는 화산회토에서 무 유기재배시 생산성 향상을 위한 연구로 유기질비료 시비량과 작물의 생육, 수량, 양분 흡수량 그리고 이용율과의 관계를 구명하였다.

II. 재료 및 방법

본 시험은 서귀포시 성산읍 무 유기재배 농가 포장에서 2012년부터 2014년까지 3년간 수행하였다. 시험품종은 농가에서 많이 재배하고 있는 멧진맛동무(농우바이오) 품종으로 하였고, 주로 재배되고 있는 겨울무 작형으로 수행하였다. 2012년에는 10월 2일에 파종하여 2013년 3월에 수확하였으며, 2013년에는 9월 27일 파종하고 2014년 2월에 수확하여 생육특성 및 수량성 등을 조사하였다. 2013년 3월 수확 이후 9월 파종 전까지 휴경기 동안에는 작물을 재배하지 않았다. 재식밀도는 모두 45*20 cm로 하였다. 시험토양은 유기물 함량이 144 g/kg으로 높은 흑색계 화산회토로 pH는 5.0으로 낮았고, 전기전도도(EC)는 0.31 dS/m 그리고 치환성 칼리 함량은 0.58 cmol+/kg으로 적정수준과 비슷하였으나 유효인산과 치환성 칼슘 및 마그네슘 함량은 농촌진흥청 작물별 시비처방기준에서 추천하는 토양 비옥도 적정범위 보다 낮았다(Table 2). 시험재료는 농가에서 많이 사용하고 있고 유기농자재로 목록공시된 혼합유기질비료(N-P₂O₅-K₂O : 4.5%-1.5%-1%, 채종유박 30% + 피마자박 70%)와 칼륨비료(랑베나이트, K₂O 22%)를 사용하였다.

시험처리는 무 표준시비량 (N-P₂O₅-K₂O, kg/ha : 230-70-80)을 기준으로 시비수준을 달리 한 T1(무비료), T2(N-P₂O₅-K₂O, kg/ha : 115-35-40), T3(N-P₂O₅-K₂O, kg/ha : 230-70-80) 및 T4(N-P₂O₅-K₂O, kg/ha : 460-140-160) 처리와, 토양검정에 의한 추천시비량 T5(N-P₂O₅-K₂O, kg/ha : 230-200-100) 그리고 유기재배 농가의 관행시비량 T6(N-P₂O₅-K₂O, kg/ha : 158-53-35) 등 6처리를 하였다. 비료는 처리구별 질소 및 인산 시비수준에 맞추어 우선 혼합유기질비료의 시비량을 결정하고, 각 처리구의 칼리 시비수준에 맞추어 칼륨비료로 보충시비하였

다. 모든 비료는 파종하기 1주전에 100% 전층시비하였으며 시험구는 난괴법 3반복으로 처리하였다. 병해충 관리는 페로몬트랩을 설치하여 시기별 발생 상황을 조사하였으며, 국내 유기농 인증기준에 따라 식물추출물 또는 오일류 등이 함유되어있는 공시된 유기농자재를 이용하여 방제하였다. 그밖에 재배방법은 농진청 표준재배법에 준하여 시험을 수행하였다.

무의 생육특성, 수량성 및 토양 화학성과 식물체 무기성분 함량 등은 농업과학기술 연구조사 분석기준에 준하여 조사를 하였다. 토양은 0~15 cm 깊이에서 채취하여 pH와 전기전도도(EC)는 토양과 증류수의 비율을 1:5로 추출하여 각각 pH와 전기전도도 meter (Orion 3 Star)로 측정하였고, 유기물은 Tyurin법으로, 유효인산은 Lancaster법 그리고 치환성양이온은 1N-ammonium acetate로 침출한 후 ICP (OPTIMA 7300, PerkinElmer)를 이용하여 분석하였다. 식물체 무기성분 함량은 시료를 건조 후 분쇄하고 전질소는 황산으로 분해한 후에 켈달법으로 인, 칼륨, 칼슘 등 다량원소는 ICP로 분석하였다. 식물체의 질소 흡수량(kg/ha)은 각 처리구별 건물중 × 질소함량(%)으로 계산하였으며, 질소 이용율(%)은 ((질소 흡수량-무비료구 질소 흡수량) ÷ (질소 시용량)) × 100 식으로 계산하였다. 그리고 시험기간 중의 온도 및 강수량 변화는 기상청 통계자료를 인용하였다(KMA, 2015). 시험분석은 각 처리구당 3반복으로 수행하였고, 자료는 SAS 프로그램(SAS version 8/2, NC, USA, 2001)을 이용하여 분석하였으며, 평균간 유의차 검정은 Duncan's multiple range test로 95% 수준에서 분석하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 기상개황

시험이 수행되는 기간인 9월부터 이듬해 3월까지의 월 평균기온은 2012년/2013년 11.5℃, 2013년/2014년 12.7℃로 1년차에는 평년 보다 0.4℃ 낮았으나 2년차는 1년차 보다 1.2℃ 높았다. 그리고 시험기간 중의 누적강수량은 2012년/2013년 892.6 mm, 2013년/2014년 595.4 mm로 1년차 강수량은 평년(627.9 mm)보다 많았으며 2년차는 적었다. 특히, 2012년 9월과 12월은 평년 대비 2배 이상 강수량이 많았다(Table 1).

Table 1. Temperature and precipitation conditions during the production terms (Average year, from 1981 to 2010; The data was obtained from KMA)

Month	Temperature (°C)			Precipitation (mm)		
	Average year	2012/2013	2013/2014	Average year	2012/2013	2013/2014
Sep.	23.0	22.0	24.0	221.6	499.1	82.1
Oct.	18.2	18.4	19.2	80.3	35.7	113.3
Nov.	12.8	12.0	12.9	61.9	90.6	82.1
Dec.	8.1	6.6	8.1	47.7	131	41.8
Jan.	5.7	5.6	6.8	65.2	20.5	50.2
Feb.	6.4	6.2	7.5	62.6	60.5	137.5
Mar.	9.4	10.0	10.7	88.6	55.2	88.4
mean	11.9	11.5	12.7	89.7	127.5	85.1

2. 토양화학성

유기질비료 시비량이 토양화학성에 미치는 영향을 구명하기 위하여 시험 후 토양화학성을 분석하였다(Table 2). 토양 pH는 1년차 시험에서 처리간 차이가 없었으나 2년차 시험에서는 T4, T5 및 T6 처리구에서 낮았으며 유의성 있는 차이를 보였다. 토양 EC함량은 1, 2년차에서 모두 시비량이 많은 T4 처리구에서 높았으며, 유효인산은 인산시비량이 많은 T4 및 T5 처리구에서 높은 경향이나 처리간에 유의성은 없었다. 그리고 유기물 함량은 1, 2년차 모두 처리간에 유의성이 없었다. 유기적인 토양관리가 토양 특성에 미치는 영향에 대한 많은 연구들에서 유기적인 토양관리로 토양내 유기물과 전질소 함량이 일반 관행보다 증가된다고 보고되고 있다(Lockeretz et al., 1981; Alvarez et al., 1988, 1993; Reganold, 1988; Reganold et al., 1993; Drinkwater et al., 1995). 한편 Wener 등(1997)은 관행에서 유기재배로 전환시 토양의 유기물함량은 천천히 증가하며 일반적으로 수년이 경과된 후에야 나타난다고 하였으며(Drinkwater et al., 1995; Wander et al., 1994), Maltas 등(2012)이 녹비, 볏짚 및 퇴비 등 여러 종류의 유기물을 30년 이상 장기간 토양에 연용하였을 때 토양 특성에 미치는 영향을 조사한 연구에서 퇴비를 70톤/ha을 3년에 1번씩 투입하였을 때 유기물이 함량이 증가하였으나 녹비 등 다른 유기물 연용시 토양내 미량원소를 제외한 화학성에 미치는 영향은 크지 않으며 토양 미생물 활성 및 바이오메스 함량은 유의성 있게 증가하였다고 보고하였다. 결국 유기질비료 및 퇴비 등을 이용한 유기적인 토양관리는 단기적으로는 토양 특성 변화가 크지 않지만 장기적인 토양 비옥도 관리 및 지속 가능한 농업생산성 향상에 매우 중요하다고 판단된다.

Table 2. Soil chemical characteristics before and after the experiments

Treatment*		pH (1:5)	EC (dS/m)	Av.P ₂ O ₅ (mg/kg)	K	Ca	Mg	O.M (g/kg)	
					cmol ⁺ /kg				
Before		5.0	0.31	140	0.58	4.07	0.91	144	
After	2012/ 2013	T1	5.74 ^a	0.17 ^b	79 ^a	0.54 ^a	7.10 ^a	1.15 ^a	142 ^a
		T2	5.67 ^a	0.18 ^b	94 ^a	0.42 ^a	6.93 ^a	1.23 ^a	142 ^a
		T3	5.55 ^a	0.23 ^{ab}	87 ^a	0.49 ^a	6.17 ^a	1.08 ^a	140 ^a
		T4	5.45 ^a	0.30 ^a	106 ^a	0.47 ^a	7.24 ^a	1.24 ^a	141 ^a
		T5	5.43 ^a	0.22 ^{ab}	94 ^a	0.50 ^a	6.72 ^a	1.11 ^a	142 ^a
	2013/ 2014	T1	5.85 ^a	0.22 ^b	160 ^b	0.51 ^{bc}	8.26 ^{ab}	1.37 ^a	132 ^a
		T2	5.85 ^a	0.20 ^b	188 ^{ab}	0.53 ^{bc}	8.58 ^a	1.52 ^a	134 ^a
		T3	5.83 ^a	0.20 ^b	183 ^{ab}	0.52 ^{bc}	8.60 ^a	1.58 ^a	133 ^a
		T4	5.71 ^{ab}	0.30 ^a	198 ^{ab}	0.72 ^a	7.90 ^b	1.53 ^a	135 ^a
		T5	5.62 ^b	0.24 ^b	204 ^a	0.66 ^{ab}	7.91 ^b	1.38 ^a	137 ^a
		T6	5.72 ^{ab}	0.21 ^b	191 ^{ab}	0.42 ^c	6.54 ^c	1.40 ^a	133 ^a
Optimum level**		6.0-6.5	0.0-2.0	350-450	0.6-0.7	5.0-6.0	1.5-2.0	110-150	

* Treatment (N-P₂O₅-K₂O, kg/ha); T1 (0-0-0), T2 (115-35-40), T3 (230-70-80), T4 (460-140-160), T5 (230-200-100), T6 (158-53-35)

** It is a source of RDA(2010)

^{a-c} Different superscripts are significantly different by duncan's multiple range test at P<0.05

3. 무기성분 함량

유기질비료 시비량에 따른 수확기 무의 무기성분 함량을 조사하였다(Table 3). 무의 질소 함량은 시비량이 증가할수록 증가하는 경향이었으며 1년차의 경우 T4 처리구에서 2.31%로 가장 높고 유의성 있는 차이를 보였으나 다른 처리구간에 유의성은 없었다. 2년차의 경우는 T3 처리구에서 2.05%로 가장 높았으나 T4 및 T5 처리구와 유의성은 없었다. 무의 인, 칼륨, 칼슘 및 마그네슘 등의 무기성분 함량은 시비량 차이에 따라 뚜렷한 경향을 보이지 않았으며 함량에도 큰 차이가 없었다. 무의 엽중 질소 함량도 시비량이 증가할수록 그 함량이 증가하는 경향이었는데 그 함량에는 연차간 다소 차이를 보였다(Table 4). 1년차 시험에서는 모든 처리구에서 유의성이 없었으나 2년차에서는 T3 처리구에서 2.59%로 가장 높았고 T1(무비료) 처리구에서 가장 낮았으며 유의성 있는 차이를 보였다. 엽의 인 함량도 1

년차 및 2년차 시험에서 모두 시비량이 증가할수록 그 함량이 증가하는 경향으로 T4 처리구에서 각각 0.31% 및 0.43%로 가장 높았고 유의성 있는 차이를 보였다. 그러나 T4와 T3 및 T5 처리구간에는 유의성이 없었으며 T6 처리구 보다 함량은 높았다. 칼륨, 칼슘, 마그네슘 및 나트륨 함량은 시비량 차이에 따른 뚜렷한 경향을 보이지 않았으며 함량에도 큰 차이가 없었다. Ashoka 등(2012)은 퇴비 시비량에 따른 무의 무기성분 함량을 조사한 보고서에서 수확기 무의 질소함량은 0.57% (무비료)에서 2.76% (퇴비 40 t/ha), 무잎의 질소함량은 1.58% (무비료)에서 2.68% (퇴비 40 t/ha)로 퇴비 시비량이 증가할수록 식물체내 질소 함량이 유의성 있게 증가한다고 하였다. 그리고 무 및 무잎의 칼리 함량 또한 각각 1.47% (무비료)에서 6.79% (퇴비 40 t/ha) 및 2.42% (무비료)에서 5.40% (퇴비 40 t/ha)로 퇴비 시비량이 증가함에 따라 그 함량이 증가한다고 하였다.

Table 3. Minerals composition of radish as affected by amount of organic fertilizer in a Volcanic ash soil

Year	Treatment*	N	P	K	Ca	Mg	Na	Total
		-----%-----						
2012/ 2013	T1	2.02 ^b	0.26 ^a	2.42 ^a	0.32	0.25	0.64	5.91 ^a
	T2	1.98 ^b	0.30 ^a	2.61 ^a	0.27	0.24	0.66	6.06 ^a
	T3	2.05 ^b	0.30 ^a	2.68 ^a	0.27	0.23	0.65	6.18 ^a
	T4	2.31 ^a	0.30 ^a	2.76 ^a	0.28	0.22	0.70	6.58 ^a
	T5	2.12 ^{ab}	0.31 ^a	2.66 ^a	0.31	0.24	0.75	6.39 ^a
	T6	2.01 ^b	0.29 ^a	2.76 ^a	0.31	0.24	0.76	6.37 ^a
2013/ 2014	T1	1.39 ^d	0.23 ^b	2.11 ^{ab}	0.37	0.12	0.31	4.53 ^d
	T2	1.72 ^c	0.27 ^a	2.20 ^a	0.40	0.13	0.39	5.11 ^{ab}
	T3	2.05 ^a	0.25 ^{ab}	1.90 ^b	0.43	0.12	0.45	5.20 ^a
	T4	1.99 ^a	0.27 ^a	2.10 ^{ab}	0.37	0.13	0.30	5.16 ^a
	T5	1.87 ^b	0.23 ^b	1.92 ^b	0.38	0.12	0.33	4.85 ^{bc}
	T6	1.70 ^c	0.21 ^c	1.95 ^{ab}	0.33	0.11	0.27	4.57 ^{dc}

* Treatment (N-P₂O₅-K₂O, kg/ha); T1 (0-0-0), T2 (115-35-40), T3 (230-70-80), T4 (460-140-160), T5 (230-200-100), T6 (158-53-35)

^{a-c} Different superscripts are significantly different by duncan's multiple range test at P<0.05

Table 4. Minerals composition of radish leaf as affected by amount of organic fertilizer in a Volcanic ash soil

Year	Treatment*	N	P	K	Ca	Mg	Na	Total
		-----%-----						
2012/ 2013	T1	2.80 ^a	0.22 ^b	1.77 ^a	1.41	0.48	1.26	7.94 ^a
	T2	2.97 ^a	0.25 ^{ab}	1.92 ^a	1.40	0.47	1.46	8.47 ^a
	T3	3.19 ^a	0.26 ^{ab}	2.08 ^a	1.30	0.42	1.36	8.62 ^a
	T4	3.46 ^a	0.31 ^a	2.12 ^a	1.27	0.37	1.66	9.18 ^a
	T5	3.23 ^a	0.30 ^a	1.93 ^a	1.50	0.43	1.71	9.11 ^a
	T6	3.40 ^a	0.27 ^{ab}	1.58 ^a	1.34	0.40	1.59	8.58 ^a
2013/ 2014	T1	1.90 ^c	0.28 ^c	1.32 ^a	1.24	0.16	0.99	5.89 ^c
	T2	2.26 ^b	0.35 ^b	1.18 ^{ab}	1.70	0.27	1.13	6.90 ^{ab}
	T3	2.59 ^a	0.40 ^a	1.00 ^b	1.97	0.32	1.28	7.55 ^a
	T4	2.36 ^b	0.43 ^a	1.19 ^{ab}	1.63	0.34	1.00	6.95 ^{ab}
	T5	2.26 ^b	0.40 ^a	1.01 ^b	1.42	0.35	0.94	6.37 ^{bc}
	T6	2.37 ^b	0.33 ^b	1.32 ^a	1.12	0.28	0.93	6.35 ^{bc}

* Treatment (N-P₂O₅-K₂O, kg/ha); T1 (0-0-0), T2 (115-35-40), T3 (230-70-80), T4 (460-140-160), T5 (230-200-100), T6 (158-53-35)

^{a-d} Different superscripts are significantly different by duncan's multiple range test at P<0.05

4. 생육특성

유기질비료 시비량 차이에 따른 무 생육특성을 조사한 결과는 Table 5와 같다. 주중은 1년차(2012년/2013년)에는 T4 처리구에서 1,508 g/plant로 최대값을 얻었고, 2년차(2013년/2014년)에는 T3 및 T5 처리구에서 각각 1,729 및 1,721 g/plant로 최대값을 얻었다. 근중의 경우 2년 평균값을 보면 T3 처리구에서 1,416 kg으로 가장 높았고, T1(무비료), T2 및 T4 처리구에서는 T3 대비 각각 72.7%, 91.0% 및 99.0%의 값을 나타내었다. T3와 T5 처리구는 차이가 없었고 T6 처리구는 T3 대비 83.7%의 생육을 보였다. 근장 및 근경의 2년 평균값을 보면 시비량이 증가할수록 증가하여 T3 처리구에서 최대값을 보였으나 T1 처리구를 제외하고 유의성은 없었다. 이와 유사하게 Jilani 등(2010)도 질소 시비량이 증가할수록 무의 근중도 증가하였으나 200 kg/ha 보다 시비량이 많으면 오히려 감소한다고 하였으며, 질소 시비량에 따라 무의 근장 및 근경은 유의성 있는 차이를 보이지 않으며 무비료구에서 최소값

을 나타내었다고 보고하였다. Pervez 등(2004)도 200 kg/ha 질소 시비 수준에서 근장은 최대 값을 얻었다고 하였다.

Table 5. Vegetative growth characters of radish as affected by amount of organic fertilizer in a Volcanic ash soil

Treatment*	Total plant weight (g/plant, fresh wt.)			Root weight (g/plant, fresh wt.)			Root length (cm)			Root diameter (mm)		
	2012/2013	2013/2014	mean	2012/2013	2013/2014	mean	2012/2013	2013/2014	mean	2012/2013	2013/2014	mean
T1	1,108 ^d	1,113 ^d	1,111	1,023 ^d	1,035 ^d	1,029	17.6 ^d	19.0 ^b	18.3	98 ^b	92 ^b	95
T2	1,344 ^b	1,451 ^c	1,397	1,239 ^b	1,339 ^{bc}	1,289	19.1 ^{bc}	22.0 ^a	20.6	103 ^a	97 ^a	100
T3	1,419 ^b	1,729 ^a	1,574	1,280 ^{ab}	1,552 ^a	1,416	19.8 ^{ab}	23.7 ^a	21.8	102 ^a	101 ^a	102
T4	1,508 ^a	1,613 ^{ab}	1,561	1,349 ^a	1,464 ^{ab}	1,406	20.0 ^a	23.1 ^a	21.5	102 ^a	100 ^a	101
T5	1,415 ^b	1,721 ^a	1,568	1,296 ^{ab}	1,555 ^a	1,425	19.8 ^{ab}	23.7 ^a	21.7	102 ^a	100 ^a	101
T6	1,207 ^c	1,381 ^c	1,294	1,106 ^c	1,264 ^c	1,185	18.7 ^c	23.6 ^a	21.2	98 ^b	88 ^b	93

* Treatment (N-P2O5-K2O, kg/ha); T1 (0-0-0), T2 (115-35-40), T3 (230-70-80), T4 (460-140-160), T5 (230-200-100), T6 (158-53-35)

^{a-d} Different superscripts are significantly different by duncan's multiple range test at P<0.05

5. 수량성

무 수량성은 비료 시비량이 증가함에 따라 곡선적으로 증가하는 경향을 보였는데(Fig. 1), 최대 수량은 1년차(2012년/2013년)의 경우 105톤(ha 당)으로 T4 처리구에서, 2년차(2013년/2014년)에는 121톤(ha 당)으로 T3 및 T5 처리구에서 얻었다(Table 6). 2년차에서 보다 수량이 증가하였는데 이러한 수량성의 차이는 재배기간의 온도 및 강수량 등 여러 환경요인이 영향을 끼친 것으로 보인다(Toivonen et al., 1994; Zebarth et al., 1995). 1년차 시험에서 T1, T2 그리고 T3 처리구의 수량성은 최대수량의 각각 76%, 92%, 및 95%를 나타내었으며 T1 및 T6 처리구를 제외하고 처리간에 유의성은 없었다. 그리고 T3 처리구의 수량성은 T6 처리구 대비 15% 증가되었다. 2년차의 경우 T1, T2, 그리고 T4 처리구의 수량성은 각각 최대수량의 67%, 86% 및 95%를 나타내었으며 시비량에 따라 유의성 있는 차이를 보였으나 T3, T4, 및 T5 처리구간에 유의성은 없었다. 그리고 T3 처리구의 수량성은 T6 처리구 대비 23% 증가되었다. 이와 유사하게 Jilani 등(2010)도 질소 시비량이 증가할수록 무 수량이 증가되어 200 kg/ha 시비에서 99.88톤으로 최대수량을 얻었으나 250 kg/ha에서는 감소하였으

며 시비량 처리간에 유의성은 없었다고 하였다. Sanchez 등(1991)은 토양의 수용성 인산함량이 13 mg/dm^3 이하일 때 인산 시비량이 증가할수록 무 수량도 증가하였으나 그 이상으로 토양 중에 인산이 많으면 수량에 큰 영향을 주지 않는다고 하였다. 그리고 Sanchez 등(1991)은 칼리 시비량은 수량에 영향을 미치지 않는다고 하였으나 Ronald (1952), Roy와 Seth (1982) 그리고 Patil 등(1988)은 칼리 시비량이 많으면 수량이 오히려 감소한다고 하였다. 또한 본 시험은 유기질비료를 질소원으로 하여 시험을 수행하였는데 무기태 질소비료를 이용한 대부분의 연구들에서 보고된 질소 시비량에 따른 무의 수량반응과 유사한 결과를 얻었다. 이는 유기질비료가 화학비료 보다 토양 중에서 천천히 무기화가 진행되므로 무기화율은 낮지만 손실되는 양이 적어서 상대적 이용율이 높아지기 때문인 것으로 판단된다. Kim 등(2005)도 양배추 재배시 화학비료와 혼합유기질비료의 질소, 인산 및 칼리 시비수준을 동일하게 처리하였을 때 수량성에서 차이가 없었으며 질소 이용율은 유기질비료 처리구에서 보다 높았다고 보고하였다.

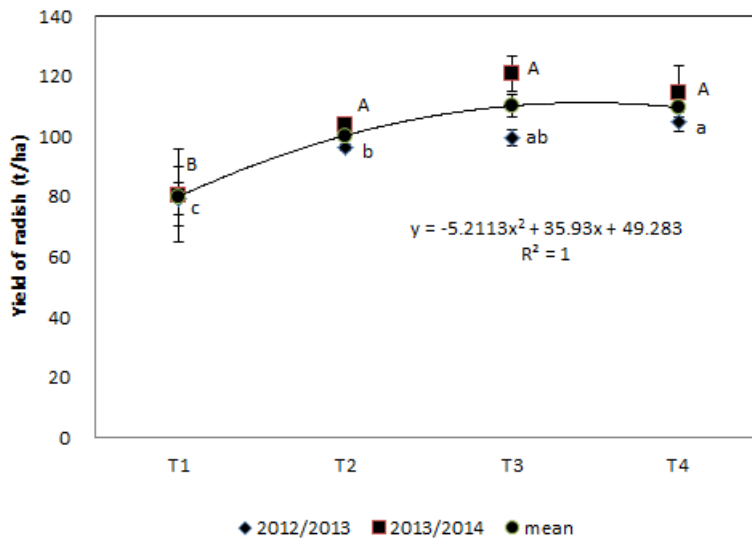


Fig. 1. The total yield of radish as affected by amount of organic fertilizer in a Volcanic ash soil. Different letters indicate significant differences at $p < 0.05$ (T1, N-P₂O₅-K₂O : 0-0-0; T2, N-P₂O₅-K₂O : 115-35-40; T3, N-P₂O₅-K₂O : 230-70-80; T4, N-P₂O₅-K₂O : 460-140-160; Bars represent \pm SD (n=3))

Table 6. The total yield of radish as affected by amount of organic fertilizer in a Volcanic ash soil

Treatment (N-P ₂ O ₅ -K ₂ O, kg/ha)	Yield (ton/ha)		
	2012/2013	2013/2014	mean
T1 (0-0-0)	80 ^b	80 ^b	80
T2 (115-35-40)	96 ^a	104 ^{ab}	100
T3 (230-70-80)	100 ^a	121 ^a	110
T4 (460-140-160)	105 ^a	114 ^a	110
T5 (230-200-100)	101 ^a	121 ^a	111
T6 (158-53-35)	86 ^b	98 ^{ab}	89

^{a-b} Different superscripts are significantly different by duncan's multiple range test at P<0.05

6. 양분 흡수량

무의 전질소 흡수량은 시비량이 증가함에 따라 곡선적으로 증가하는 경향을 보였다(Fig. 2). 최대 흡수량은 1년차 시험에서 167 kg/ha로 T4 처리구에서 그리고 2년차의 경우 171 kg/ha로 T3 처리구에서 얻었다. 2년 평균 전질소 흡수량은 T1(무비료), T2 및 T3 처리구에서 각각 94.1, 127.5 및 158.5 kg/ha로 최대 흡수량을 보인 T4 처리구(평균 162.1 kg/ha) 대비 각각 58%, 79% 및 98%의 흡수량을 보였다. 인산 흡수량도 시비량이 증가함에 따라 곡선적으로 증가하는 경향을 보였다(Fig. 3). 최대 흡수량은 1년 및 2년차 시험에서 각각 50 및 49 kg/ha로 모두 T4 처리구에서 얻었다. T1, T2, 및 T3 처리구의 2년 평균 인산 흡수량은 각각 31.2, 44.6, 및 48.3 kg/ha으로 최대 흡수량을 보인 T4 처리구(평균 49.5 kg/ha)의 각각 63%, 90% 및 98%의 흡수량을 보였다. 그리고 칼리 흡수량 또한 시비량이 증가함에 따라 곡선적으로 완만하게 증가하는 경향을 보였으며 연도별 비슷한 경향을 보였다(Fig. 4). 최대 흡수량은 1년 및 2년차 시험에서 각각 241 kg/ha 및 201 kg/ha으로 모두 T4 처리구에서 얻었다. T1, T2, 및 T3 처리구의 2년 평균 칼리 흡수량은 각각 152.2, 199.8, 및 205.2 kg/ha로 최대 흡수량을 보인 T4 처리구(평균 220.8 kg/ha)의 각각 69%, 90%, 93%의 흡수량을 보였다. 이와 유사하게 Ashoka 등(2012)도 퇴비와 화학비료 시비량이 증가할수록 무의 질소 및 칼리 흡수량이 증가하며 또한 질소 및 칼리 흡수량은 총 건물중 수량과 상관관계($r = 0.99$ 와 0.98)가 매우 높다고 하였다. Singh 등(1995)은 질소(0, 50, 100 kg/ha)와 인(0, 40, 80 kg/ha) 시비량 시험에서 무의 질소 흡수량은 질소 시비량이 증가할수록 유의성 있게 증가하였으며, 칼륨 흡수량은 질소 무시비구 0.19 g/주에서 0.27 g/주(50 kg N/ha)으로 증가하였으나 100 kg N/ha 수준에서는 오히려 감소한다고 하였다. 그리고 인의 시비는 인과 칼륨의 흡수를 유의

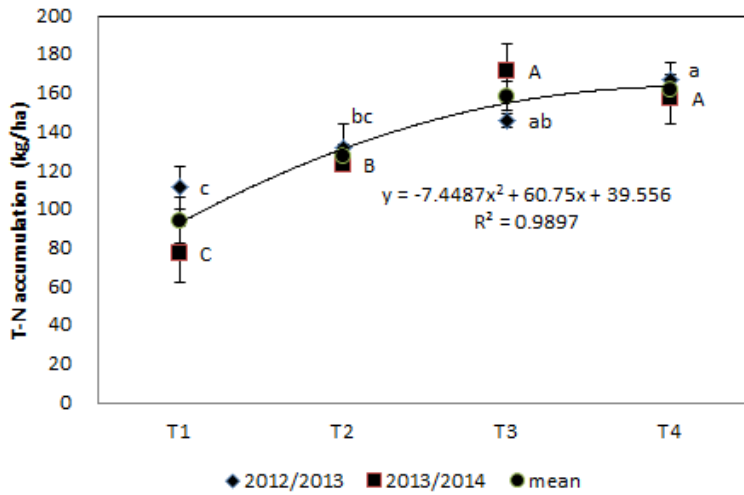


Fig. 2. Nitrogen accumulation of radish as affected by amount of organic fertilizer in a Volcanic ash soil. Different letters indicate significant differences at $p < 0.05$ (T1, N-P₂O₅-K₂O : 0-0-0; T2, N-P₂O₅-K₂O : 115-35-40; T3, N-P₂O₅-K₂O : 230-70-80; T4, N-P₂O₅-K₂O : 460-140-160; Bars represent \pm SD (n=3))

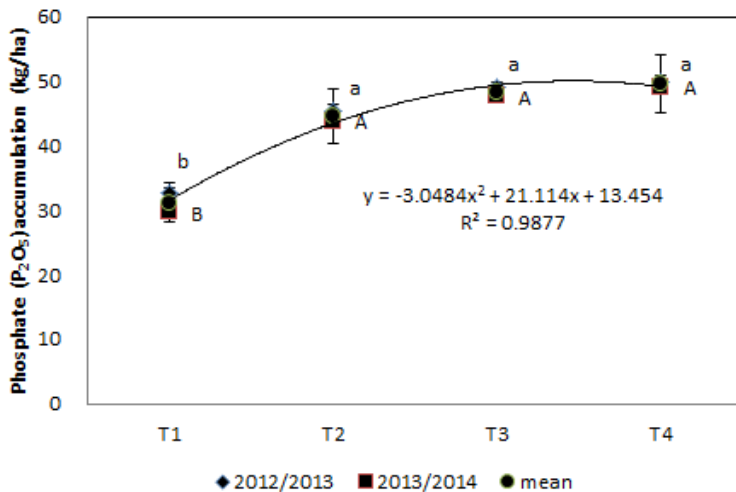


Fig. 3. Phosphate accumulation of radish as affected by amount of organic fertilizer in a Volcanic ash soil. Different letters indicate significant differences at $p < 0.05$ (T1, N-P₂O₅-K₂O : 0-0-0; T2, N-P₂O₅-K₂O : 115-35-40; T3, N-P₂O₅-K₂O : 230-70-80; T4, N-P₂O₅-K₂O : 460-140-160; Bars represent \pm SD (n=3))

성 있게 증가시켰으나 질소의 흡수에는 영향을 주지는 않는다고 보고하였다. Islam 등(2011)은 추천시비량(N-P-K : 180-30-120 kg/ha) 기준으로 화학비료를 시비하였을 때 무의 질소, 인산 및 칼리 흡수량은 각각 141.5, 24.8 그리고 150.2 kg/ha이며, 퇴비+화학비료 혼용(추천시비량 기준 혼합) 또는 퇴비 단독 시용구 보다 높았다고 하였다. 반면에 Asghar 등(2009)은 유기성 부산물과 무기태 질소비료를 같이 시비하였을 때 무의 질소 흡수량이 유의성 있게 증가하였으며, 칼리의 최대 흡수량은 질소비료를 적량 시비하였을 때 얻어진다고 보고하였다.

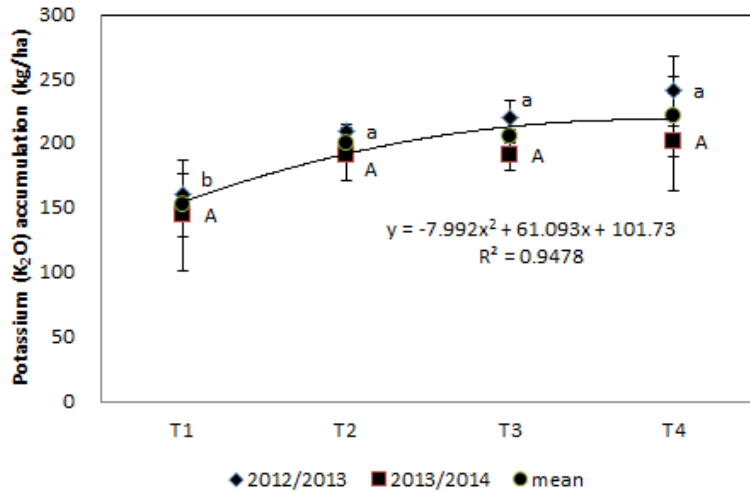


Fig. 4. Potassium accumulation of radish as affected by amount of organic fertilizer in a Volcanic ash soil. Different letters indicate significant differences at $p < 0.05$ (T1, N-P₂O₅-K₂O : 0-0-0; T2, N-P₂O₅-K₂O : 115-35-40; T3, N-P₂O₅-K₂O : 230-70-80; T4, N-P₂O₅-K₂O : 460-140-160; Bars represent \pm SD (n=3))

7. 양분 이용율

무의 질소 이용율은 시비량이 증가함에 따라 곡선적으로 감소하는 경향을 보였다(Fig. 5). 1년과 2년차 시험에서 차이가 많았는데 1년차 시험에서 이용율이 매우 낮았다. 이처럼 이용율에서 차이를 보인 것은 각 연도별 무비료 처리구의 전질소 흡수량 차이에 기인한 것으로 보인다. T2, T3 및 T4 처리구에서의 2년 평균 질소 이용율은 각각 27.9%, 28.0% 및 14.8%로 T3와 T2 처리간에 차이는 거의 없었다. 인산 이용율은 시비량이 증가함에 따라 직선적으로 감소하였는데, 1년, 2년차 시험에서 비슷한 경향을 보였다(Fig. 6). T2, T3 및 T4 처리구에서의 2년 평균 인산 이용율은 각각 38.3%, 24.5% 및 13.1%로 시비량이 증가할수록 이용율이 감소하였다. 그리고 칼리 이용율도 시비량이 증가함에 따라 직선적으로 감소하였

으며 연도별 유사한 경향을 보였다(Fig. 7). T2, T3 및 T4 처리구에서 2년 평균 칼리 이용율은 각각 119%, 66.3% 및 51.0%로 질소 및 인산 이용율에 비해 상대적으로 높은 이용율을 나타내었다. 이와 유사하게 Ashoka 등(2012)도 무의 건물중 수량, 식물체내 양분함량 및 흡수량은 퇴비 및 화학비료(NPK) 시비량이 증가함에 따라 증가하나 양분 이용율은 반대로 감소한다고 보고하였다. 이와 같이 시비량이 증가할수록 질소 등 이용율이 감소하는 것은 그만큼 토양에 잔류하고 있는 양분 함량이 증가하여 양분의 축적과 불균형을 가져오며, 양분의 유실 등으로 환경에 부담을 주게 되는 결과를 초래하게 된다(Zebarth et al., 1995). Kim 등(2005)이 양배추 재배기간 중 유기질비료 시비량에 따른 토양의 무기태질소 함량 변화를 조사한 결과보고서에서 시비량이 증가할수록 토양내 질산태 및 암모니아태 질소함량이 높아지며 과다한 유기질비료 시용은 집중강우 등에 의한 양분 유실의 가능성이 높다고 하였다. 따라서 안정적인 유기농산물을 생산하고 토양 등 환경을 보전하기 위해서는 무엇보다도 유기질비료 및 퇴비 등도 작물과 토양에 알맞은 합리적인 시비가 필요하다고 판단된다.

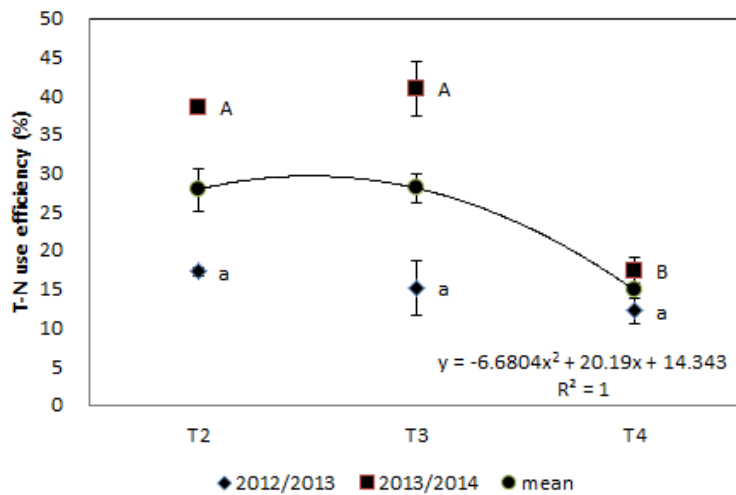


Fig. 5. Nitrogen use efficiency of applied organic fertilizer N by the harvest portion of radish in a Volcanic ash soil. Different letters indicate significant differences at $p < 0.05$ (T2, N-P₂O₅-K₂O : 115-35-40; T3, N-P₂O₅-K₂O : 230-70-80; T4, N-P₂O₅-K₂O : 460-140-160; Bar represent \pm SE (n=3))

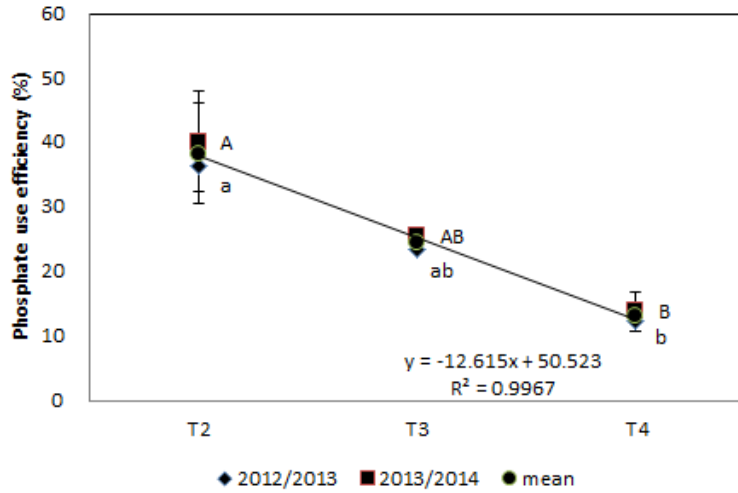


Fig. 6. Phosphate use efficiency of applied organic fertilizer P by the harvest portion of radish in a Volcanic ash soil. Different letters indicate significant differences at $p < 0.05$ (T2, N-P₂O₅-K₂O : 115-35-40; T3, N-P₂O₅-K₂O : 230-70-80; T4, N-P₂O₅-K₂O : 460-140-160; Bar represent \pm SE (n=3))

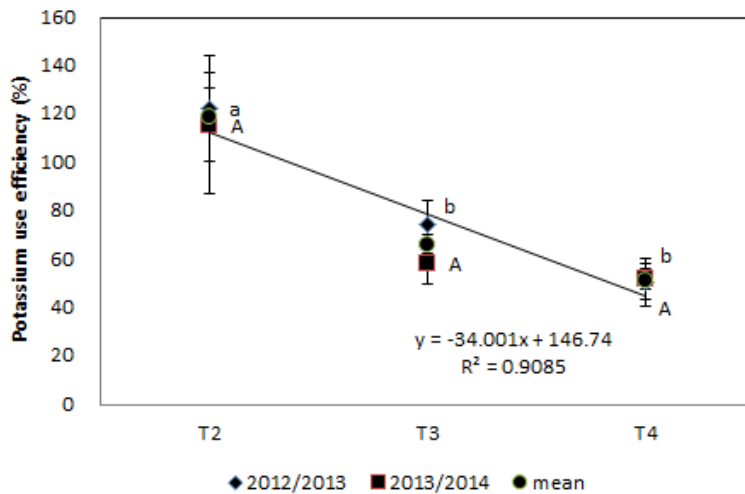


Fig. 7. Potassium use efficiency of applied organic fertilizer K by the harvest portion of radish in a Volcanic ash soil. Different letters indicate significant differences at $p < 0.05$ (T2, N-P₂O₅-K₂O : 115-35-40; T3, N-P₂O₅-K₂O : 230-70-80; T4, N-P₂O₅-K₂O : 460-140-160; Bar represent \pm SE (n=3))

IV. 적 요

본 연구에서는 유기재배시 질소, 인산 및 칼리 비료 시비량에 따른 무의 생육과 수량성, 양분의 흡수량 그리고 투입 양분의 이용율 등을 구명하였다. 처리내용은 무 표준시비량(N-P₂O₅-K₂O : 230-70-80)을 기준으로 시비수준을 달리한 T1(무비료), T2 (N-P₂O₅-K₂O : 115-35-40), T3 (N-P₂O₅-K₂O : 230-70-80) 및 T4(N-P₂O₅-K₂O : 460-140-160) 처리와, 토양검정에 의한 추천시비량 T5 (N-P₂O₅-K₂O : 230-200-100) 그리고 농가관행 시비량 T6 (N-P₂O₅-K₂O : 158- 53-35) 등 6처리를 하였으며 각각의 시비수준에 맞추어 유기질비료의 시비량을 결정하고 부족한 칼리성분은 칼륨비료(K₂O 22%)로 보충시비하여 시험을 수행하였다. 무 수량성은 T3 (표준시비량) 및 T5 (토양검정에 의한 추천시비량) 처리구에서 최대수량을 얻었으며 T6 (관행시비량) 처리구 보다 15~23% 증가되었다. 무의 전질소, 인산 및 칼리 흡수량은 시비량이 증가함에 따라 모두 곡선적으로 증가하는 경향을 보였으며 칼리 흡수량이 전질소 및 인산보다 많았다. 그러나 질소 등 투입 양분의 이용율은 시비량이 증가함에 따라 모두 곡선적 또는 직선적으로 감소하였다. 따라서 화산회토에서 무 재배시 유기질비료 사용량은 표준 또는 토양검정시비량을 기준으로 결정하는 것이 보다 안정적인 유기농산물 생산을 위한 적정 시비량으로 판단되었다.

[Submitted, October. 12, 2015; Revised, November. 10, 2015; Accepted, November. 18, 2015]

References

1. Alvarez, C. E., C. Garcia, and A. E. Carracedo. 1988. Soil fertility and mineral nutrition of an organic banana plantation in Tenerife. *Biol. Agric. Hortic.* 5(4): 313-323.
2. Alvarez, C. E., A. E. Carracedo, E. Iglesias, and M. C. Martinez. 1993. Pineapples cultivated by conventional and organic methods in a soil from a banana plantation : A comparative study of soil fertility, plant nutrition, and yields. *Biol. Agric. Hortic.* 9: 161-171.
3. Asghar, H. N., M. Ishaq, Z. A. Zahir, M. Khalid, and M. Arshad. 2009. Response of radish to integrated use of nitrogen fertilizer and recycled organic waste. *Pak. J. Bot.* 38(3): 691-700.
4. Ashoka, S., K. Abul, and T. O. Khan. 2012. Influence of city finished compost and nitrogen, phosphorus and potassium (NPK) fertilizer on yield, nutrient uptake and nutrient use efficiency of radish (*Raphanus sativus* L.) in an acid soil. *Int. J. of Agri. Sci.* 2(12): 315-321.

5. Drinkwater, L. E., D. K. Letourneau, F. Workneh, van A. H. C. Bruggen, and C. Shennan. 1995. Fundamental difference between conventional and organic tomato agroecosystems in California. *Ecol. Appl.* 5: 1098-1112.
6. Islam, M. M., A. J. M. S. Karim, M. Jahiruddin, Nik M. Majid, M. G. Miah, M. Mustaque Ahmed, and M. A. Hakim. 2011. Effect of organic manure and chemical fertilizers on crops in the radish - stem amaranth - indian spinach cropping pattern in homestead area. *Australian J. of crop sci.* 5(11): 1370-1378.
7. Jilani, M. S., T. Burki, and K. Waseem. 2010. Effect of nitrogen on growth and yield of radish. *J. Agric. Res.* 48(2): 219-225.
8. Kim, Y. K, S. C. Lee, and H. J. Kang. 2005. Optimun nutrient management for ogranic vegetable cultivation. Report of ARES, Jeju.
9. Korea Meteorological Administration. 2015. <http://sts.kma.go.kr/jsp/home/contents/main/main.do>
10. Kumar, S., S. Maji, S. Kumar, and H. D. Singh. 2014. Efficacy of organic manures on growth and yield of radish (*Raphanus sativus* L.) cv. Japanese White. *Int. J. of Plant Sci.* 9(1): 57-60.
11. Lockeretz, W., G. Shearer, and D. H. Kohl. 1981. Organic farming in the corn belt. *Science* (Washington, DC), 211: 540-547.
12. Maltas, A., H. Oberholzer, R. Charles, V. Bovet, and S. Sinaj. 2012. Long-term effect of organic fertilizers on soil properties. *Agrarforschung Schweiz.* 3(3): 148-155.
13. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. 2015. <http://ebook.mafra.go.kr/preview/viewer/main.php?site=2&menuno=2&previewno=7548&iframe=0&dlbt=>
14. Mohammad, S. S. 2005. Effects of different levels of nitrogen and potassium on yield and quality of radish. Dept. of Hort. Bangladesh Agri. Uni. Mymensingh.
15. Muthuswamy, S. and C. Muthukrishnan. 1984. Some growth responses of radish (*Raphanus sativus* L.) to different nutrients. *Hort. Absts.* 44(4): 209.
16. National Agricultural Products Quality Management Service. 2014. http://www.enviagro.go.kr/portal/info/info_certifi_ok.go.
17. Patil, H. B., A. A. Patil, and N. C. Hulamani. 1988. Effect of nitrogen, phosphorus, potassium and method of their application on growth and yield of radish (*Raphanus Sativus* L.) Cv. Japanese White. *Karnataka J. of Agri. Sci.* 1(1): 22-26.
18. Pervez, M. A., C. M. Ayub, B. A. Saleem, N. A. Virk, and N. Mahmood. 2004. Effect of different N levels and spacing on growth and yield of radish (*Raphanus sativus* L.). *Int. J. Agri. Bio.* 6(3): 504-506.
19. Reganold, J. P. 1988. Comparison of soil properties as influenced by organic and conven-

- tional farming systems. *Am. J. Altern. Agric.* 3: 144-155.
20. Reganold, J. P., A. S. Palmer, J. P. Lockhart, and A. N. Macgregor. 1993. Soil quality and financial performance of biodynamic and conventional farms in New Zealand. *Science* (Washington, DC). 260: 344-349.
 21. Ronald, J. M. 1952. The effect of various levels of potassium fertilizers on the yield and the nutrient value of carrots and radishes. The university of British Columbia Department of Horticulture (Plant nutrition). 1-45.
 22. Roy, R. N. and J. Seth. 1982. Comparative efficiency of soil and foliar application of nitrogen, phosphorus and potassium with regard to growth and yield of radish. *Hort. Absts.* 53(1): 37.
 23. Sanchez, C. A., M. Lockhart, and P. S. Porter. 1991. Response of radish to phosphorus and potassium fertilization on histosols. *Hortscience.* 26(1): 30-32.
 24. Singh, V. B., P. L. Kar, and T. Tatung. 1995. Advances in horticulture and forestry. Dept. of Hort., School of Agril. Sci. and Rural development. North-Eastern Hill University. Medziphema, Nagaland, India. 4: 127-132.
 25. Singh, G., P., Ghanti, and S. Ghatak. 1998. Effect of levels of nitrogen and different spacings on the vegetative growth and yield of radish. *Hort. Absts.* 59(9): 846.
 26. Sounda, S. S., P. Ghanti, and S. Ghatak. 1998. Effect of levels of nitrogen and different spacings on the vegetative growth and yield of radish. *Hort. Absts.* 59(9): 846.
 27. Toivonen, P. M. A., B. J. Zebarth and P. A. Bowen. 1994. Effect of nitrogen fertilization on head size, vitamin C content and storage life of broccoli. *Can. J. Plant Sci.* 74: 607-610.
 28. Wander, M. M., S. J. Traina, B. R. Stinner, and S. E. Peters. 1994. Organic and conventional management effects on biologically active organic matter pools. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 1130-1139.
 29. Werner, M. W. 1997. Soil quality characteristics during conversion to organic orchard management. *Appl. soil Ecol.* 5: 151-167.
 30. Zebarth, B. J., P. A. Bowen, and P. M. A. Toivonen. 1995. Influence of nitrogen fertilization on Broccoli yield, nitrogen accumulation and apparent fertilizer-nitrogen recovery. *Can. J. Plant Sci.* 75: 717-725.