

Research Article



CrossMark

Open Access

토양검정에 의한 유기자원 시비처방이 양배추의 생육 및 양분이용효율에 미치는 영향

임진수*, 이방현, 강승희, 이태근

사단법인 휴살림연구소

Influence of Fertilization Treatment using Organic Amendment based on Soil Testing on Plant Growth and Nutrient use Efficiency in Cabbage

Jin-Soo Lim*, Bang-Hyun Lee, Seung-Hee Kang, Tae-Guen Lee (Heuksalim Soil Research Institute, Goesan 28002, Korea)

Received: 17 May 2020/ Revised: 21 May 2020/ Accepted: 1 June 2020

Copyright © 2020 The Korean Society of Environmental Agriculture

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ORCID

Jin-Soo Lim

<https://orcid.org/0000-0003-0655-5245>

Seung-Hee Kang

<https://orcid.org/0000-0002-6649-4510>

Bang-Hyun Lee

<https://orcid.org/0000-0001-5409-8419>

Tae-Guen Lee

<https://orcid.org/0000-0002-1244-1642>

Abstract

BACKGROUND: In this study, in order to verify the effects of supplemented organic amendment fertilizers recommended by the soil testing on cabbages, we used various amounts of organic amendment fertilizers. The amount of organic amendment fertilizers was decided by calculating each ratio of inorganic nitrogen, phosphorus, and potassium based on the recommended fertilizer composition.

METHODS AND RESULTS: The cabbages subjected to treatments 1 and 2 showed similar or greater leaf colors (SPAD values), head heights, head widths, head weight, soil organic matter content, nitrate-nitrogen level, and conductivity after harvest, when compared with cabbages treated with chemical fertilizers. The phosphorus and potassium fixation in the soil were higher in the plot where cabbages were treated with chemical fertilizers, and the nutrient use efficiency was greater in the plots with organic amendments

and mineral addition.

CONCLUSION: The treatments 1 and 2 that were supplemented with 180-200% of nitrogen, 100-130% of phosphorus, and 185-250% of potassium in comparison to chemical fertilizers, applied by the inorganic ratios of nitrogen, phosphorus, and potassium can be used as organic amendment fertilizers for cabbages.

Key words: Cabbage, Fertilization, Nutrient use efficiency, Organic amendment, Soil testing

서론

작물을 재배하고 수확하여 안정적인 수익을 추구하는 농업에서는 기대하는 수확량만큼의 양분공급이 필요하다. 특히 지속 가능한 농업을 지향하는 유기농업에서는 지속적 생산이 가능하려면 토양 양분의 과부족이 발생되지 않도록 적당한 유기물 사용량이 결정되어야 하며[1], 이 과정에서 발생하는 요인들이 환경에 미치는 영향까지를 고려하게 된다. 국내에서 유기농업이 대두되고 알려지기 시작하면서, 그 필요성이 공감되고 확산되는 1990년대 중반 이후 퇴비의 사용이 급격하게 증가하였다[2]. 이로 인해 퇴비 등 유기적인 자재의 사용이 증

*Corresponding author: Jin-Soo Lim

Phone: +82-43-833-5004; Fax: +82-43-833-2959;

E-mail: 3663225@heuksalim.com

가되었으나, 반면에 과도한 퇴비사용은 질산염[2], 양분의 지하수로의 용탈[3] 및 이로 인한 지하수 오염[4] 등 토양오염 및 지하수 수질 환경의 문제 또한 대두되기 시작하였다[5].

유기농업의 양분공급에 의한 작물재배는 고품질, 다수확 및 환경보전의 목적을 모두 만족시켜야 한다. 이 양분공급은 밀거름과 웃거름으로 나누는데, 기본적으로 밀거름으로 처방된다. 이 시비처방 방법, 즉 비료 사용 기준에는 작물별 표준시비량 적용방법과 토양검정에 의한 시비량 설정방법이 있다(National Institute of Agricultural Science and Technology, 2017). 작물별 표준시비량은 농경지 대표 토양을 기준으로 설정된 평균 비료 사용량으로써 전국 각지 농경지의 양분 차이 등 토양의 화학적 다양성을 고려하지 못한다는 단점이 있다. 이 표준시비 방법은 양분이 많은 토양의 경우에는 양분과다에 의한 염류집적 및 침출수 유출 등 환경오염의 원인이 되기도 한다[5]. 때문에 토양의 다양성이 고려되지 않은 표준시비 방법보다는 토양검정에 의한 시비 방법을 추천하고 있다. 토양검정에 의한 비료 시비 방법은 작물별 양분 흡수량과 필지별 토양검정 결과를 고려하여 결정하는 것으로서 농경지의 양분 집적을 예방하고 균형적으로 양분을 공급하는 합리적인 비료 사용방법이다(National Institute of Agricultural Science and Technology, 2017). 현재 토양 환경정보시스템에서는 토양검정에 의한 시비처방서를 발급하고 있다[6]. 그러나 이 시비처방서는 관행재배 농작물을 대상으로 하여 화학비료 기준으로 처방하고 있다. 유기재배를 하고 있거나 처음 시도하는 농가들은 유기재배에서 활용할 유기 비료 처방서를 요구하고 있다. 그러나 실질적으로 도움이 되는 처방서는 현재 벼 농가를 대상으로 한 처방서만 발급되고 있을 뿐이다[6].

양배추 국내 재배면적은 2017년 6,854 ha로 2016년 대비 1.3% 증가하였으며(Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, 2018), 단위수량은 2016년 대비 3% 증가한 54 ton·ha⁻¹이다(Rural Development Administration,

2018). 주 출하지역은 제주도로써 국내 생산량의 34%를 차지하고 있으며 충북은 4.5%를 차지하고 있다(Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, 2018). 충북 중에서 괴산지역은 양배추 유기재배 인증을 받은 생산자 단체 중 가장 많은 회원수를 확보하여 생산하는 곳이다[7]. 양배추는 간보호 및 간기능 개선[8], 항산화 활성[9], 항위염[10] 등의 효과로 인해 케이크[11], 떡[12], 양배추 즙[13] 등 다양한 식품, 가공 및 이용에 관한 연구가 이루어지고 있다. 반면에 재배 관련 연구는 많지 않다. 더군다나 관행재배 농산물보다 유기재배 농산물에서 다양한 영양 성분들이 많다는 연구결과가 토마토[14], 벼[15], 고추[16], 인삼[17] 등 다양한 작물에서 나타나고 있음에도 불구하고 양배추의 유기재배 및 유기자원을 활용한 양분관리에 대한 연구는 거의 없는 실정이다.

본 연구는 양배추 유기재배 시 유기자원의 시비량 결정을 위해서 유기자원에 N, P, K 무기화율을 적용하였고, 추천된 혼합퇴비 또한 적용방법을 달리 처리하여 포장 시험을 실시하였다. 이를 통해 유기재배 농가에서 활용할 수 있는 시비처방 모델을 구축하는데 목적을 두고 수행하였다.

재료 및 방법

시험 토양

시비량 결정을 하기 위하여 밀거름 주기 30일 전에 토양 화학성 분석을 하였다(Table 1). 토양산도와 칼슘은 양배추 적정 기준치보다 높았지만, 칼륨은 기준치보다 낮았다. 전기전도도, 유기물 함량, 질산태 질소 및 유효인산 함량은 적정 기준치 범위 내에 있었다.

유기자원의 화학적 조성

시험에 사용한 유기자원은 질소, 인산, 칼륨의 공급원으로 균배양체, 유박 및 미라클 K(가딘)를 사용하였다(Table 2).

Table 1. Chemical properties of upland soil at pre-treatment (initial)

	pH (1:5)	EC (dS·m ⁻¹)	SOM (g·kg ⁻¹)	NO ₃ ⁻ ---(mg·kg ⁻¹)---	Av. P ₂ O ₅	K ⁺ ------(Ex. Cations cmol ⁺ ·kg ⁻¹)-----	Ca ²⁺	Mg ²⁺	CEC
	7.3	0.7	25.2	85.5	384.0	0.56	7.1	2.1	9.8
Optimum range for cabbage ^{†)}	6.0~ 6.5	2>	25~ 35	50~ 200	350~ 450	0.70~ 0.80	5.0~6.0	1.5~ 2.0	10~ 15

^{†)} National Institute of Agricultural Science and Technology, 2017.

Table 2. Chemical properties of organic amendments

Organic amendments	Organic matter	Total nitrogen	Total phosphorus	Total potassium
Microorganism compost	47.2	1.7	1.0	0.8
Mixed oil-cake	79.6	4.4	2.0	1.2
Miracle K	0	0	0.3	11.0

Table 3. Fertilizer efficiency of organic amendments

Organic amendments	Nitrogen efficiency	Phosphoric acid efficiency	Potassium efficiency
	(%)		
Microorganism compost	30.0	80.0	90.0
Mixed oil-cake	57.5	80.0	90.0
Miracle K	0	80.0	90.0

시비량 결정

토양검정에 의한 질소 추천 시비량은 노지재배의 경우 토양 유기물 함량을 기준으로 하며, 인산은 토양 유효인산 함량, 칼륨은 토양 내 칼륨, 칼슘, 마그네슘 함량에 따라 달리 처방되며, 퇴구비 사용량 또한 토양 유기물 함량을 기준으로 처방한다(National Institute of Agricultural Science and Technology, 2017). 각각의 유기자원은 비료 추천 성분량을 기준으로 처방하였으며 국립농업과학원(2017)이 제시한 식(1~4)에 의하여 계산하였다.

$$\text{질소비료 사용량 (kg·1ha}^{-1}\text{)} = \begin{cases} 368 & (\text{OM} \leq 20) \\ 312 & (20 < \text{OM} \leq 30) \\ 254 & (\text{OM} > 30) \end{cases} \quad (1)$$

(OM: 토양 유기물 함량)

$$\text{인산비료 사용량 (kg·1ha}^{-1}\text{)} = 1,524.61 - 536.95 \times \log x \quad (2)$$

(x: 토양 유효인산 함량)

$$\text{칼륨비료 사용량 (kg·1ha}^{-1}\text{)} = 382.44 - 1,081.15 \times K / \sqrt{\text{Ca} + \text{Mg}} \quad (3)$$

(K: 토양 칼륨 함량, Ca: 토양 칼슘 함량, Mg: 토양 마그네슘 함량)

$$\text{퇴구비(우분퇴비) 사용량 (kg·1ha}^{-1}\text{)} = \begin{cases} 20,000 & (\text{OM} \leq 25) \\ 15,000 & (25 < \text{OM} \leq 35) \\ 10,000 & (\text{OM} > 35) \end{cases} \quad (4)$$

(OM: 토양 유기물 함량)

퇴구비(우분퇴비) 대신 가축분퇴비를 사용할 경우에 돈분 톱밥 퇴비는 퇴구비(우분퇴비)의 22%, 계분톱밥 퇴비는 17% 해당량을 사용한다. 혼합퇴비량은 퇴구비(우분퇴비) 처방량의 28%, 돈분톱밥 퇴비량의 22%, 계분톱밥 퇴비량의 19%에 해당되는 양을 모두 합친 것이다[6].

시비량 결정 시 유기자원의 질소 무기화율은 기존의 자료 [18]에 생육일수 80일을 적용하였으며, 인산과 칼륨의 무기화율은 일률적으로 80%와 90%를 적용하였다(Table 3).

시험구 구성

본 시험은 2019년 3월부터 7월까지 5개월 동안 충청북도 괴산군에 위치한 (사)흙살림연구소 시험 농장에서 수행하였다. 시험구는 6 m × 4.2 m의 크기로 조성하였으며, 처리구는 화학비료구, 처리 1, 처리 2 및 무처리구로 구성하였다. 화

학비료구의 질소질 비료는 요소, 인산질 비료는 용성인비, 칼리질 비료는 황산칼리, 추천된 혼합퇴비는 균배양체로 대체하여 사용하였다. 흙토람(2019)에서 추천된 비료 성분량대로 화학비료구의 질소는 35%, 인산은 전량, 칼륨은 55%를 밀거름으로 사용하였다. 처리 1구는 추천된 혼합퇴비 시비처방을 균배양체와 동일한 성분량으로 환산해 추천 비료 성분량에 포함시켰고, 유기자원에 무기화율을 적용하여(Table 3) 이 추천 비료 성분량에 맞춰 질소는 70%, 인산은 전량, 칼륨은 82%를 밀거름으로 처방하였다. 처리 2구는 추천된 혼합퇴비를 추천 비료 성분량에 포함시키지 않고 같은 양의 균배양체로 대체하였으며, 유기자원에 무기화율을 적용하여(Table 3) 추천된 비료 성분량에 맞춰 질소는 67%, 인산은 전량, 칼륨은 78%를 밀거름으로 처방하였다. 시험구 배치는 처리구당 난피법 3반복으로 실시하였다. 각 처리별 추천 시비량에 맞춰 밀거름은 정식 13일 전인 3월 29일에 사용하였다. 처방된 웃거름은 별도로 처리하지 않았다.

시험작물 재배

양배추 품종은 YR 온누리(농우바이오)로 3월 6일 105구 연결육묘상자에 파종하여 4월 11일 90 cm 이랑에 42 cm 간격으로 2줄로 정식 하였다(Fig 1). 정식 포장은 2년 동안 비닐이 벗겨진 노지 상태에서 녹비작물로 보리를 재배하여 관리를 하였으며, 골조만 있던 하우스에 정식 후 비닐을 씌워서 점적으로 수분관리를 하였다. 생육조사는 정식 후 50일과 수확 후 총 2차례로 나누어 실시하였다. 생육 중 조사는 초장, 엽색도 (SPAD value; SPAD-502, Japan) 및 충해율과 토양수분 측정기(Hydro Sense II, USA)로 토양수분과 전기전도도를 조사하였다. 수확 후 조사는 구고, 구폭, 구중 및 구형지수와 양배추의 N, P, K 성분량과 건물중을 조사하였다. 수확한 양배추의 양분이용효율은 다음 식 (5)에 의하여 계산하였다.

$$\text{양분이용효율(\%)} = \frac{((\text{처리구 양분흡수량} - \text{무처리구 양분흡수량}) / \text{처리구 양분투입량}) \times 100}{\text{처리구 양분투입량}} \quad (5)$$

시료 채취

토양 화학성을 조사하기 위하여 시험 전과 수확기에 토양 시료를 채취하였다. 각 처리구별로 오거(Augar)를 사용하여 표토(0-20 cm)를 채취하였다. 식물체 분석을 위한 양배추 시료는 수확기에 처리구별로 반복당 3개씩 수확하였다.

토양 및 식물체 분석

토양화학성 분석은 상온 건조한 토양을 2 mm 체를 통과 시킨 후, 농촌진흥청에서 제시한 농업과학기술 연구조사분석 기준(Rural Development Administration, 2012)에 준하여 토양산도, 전기전도도, 유기물 함량, 질산태질소, 유효인산, 치환성 양이온 등 화학성을 분석하였다. 토양산도, 전기전도도는 5배량의 물로 추출하여 초자전극법을 이용하였고, 유기물 함량은 Walkley Black 법, 질산태질소 함량은 Kjeldahl 증류법, 유효인산은 Lancaster법으로 분석하였다. 치환성 양이온은 1 N-ammonium acetate로 침출한 후 ICP(SPECTRO, GENESIS FEE, Germany)로 정량하였다. 양이온 치환용량은 1 N-ammonium acetate법으로 분석하였다. 양배추의 무기성분 및 건물중은 농촌진흥청에서 제시한 농업과학기술 연구조사분석기준(Rural Development Administration, 2012)에 준하여, 80℃에서 24시간 건조 후 분쇄하여 분석용 시료로 사용하였다. 식물체 시료를 황산으로 습식 분해하여 전질소 함량은 Kjeldahl 증류법, 인산 함량은 Ammonium Vanadate법, 칼륨은 ICP(SPECTRO, GENESIS FEE, Germany)로 정량하였다.

통계

시비 처리별 ANOVA 분석은 aov 함수를 사용하였고, 다중검정은 “agricolae” 패키지 안의 duncan.test() 함수 ($P=0.05$)를 사용하였다. 모든 분석은 R프로그램(ver. 3.4.4)을 이용하였다.

결과 및 고찰

시비 처리별 생육 특성

초장은 처리 1과 2구에서 무처리구보다 높았지만 화학비료 구와는 차이가 없었다(Table 4). 엽색도(SPAD value)는 질소 흡수량에 비례하며[19], 질소의 영양결핍의 지표로 활용 가능하다[20]. 엽색도는 처리 1에서 다른 처리보다 높았다. 총해율, 토양수분 및 전기전도도는 처리 1, 2구가 화학비료 처리구와 비교하여 통계적으로 유의하지 않았다. 토양수분 및 전기전도도가 처리별 차이가 없음에도 초장 및 엽색도에 있어서 처리 1, 2구가 화학비료구와 비교하여 차이가 없거나 더 높은 값을 보여 처리 1, 2구의 시비 효과가 있음을 알 수 있다.

시비 처리별 결구특성을 보면 구고, 구폭 및 수량을 나타내는 구중은 시비를 하지 않은 무처리구보다 시비를 한 처리구에서 높아 시비 유무가 양배추의 수량에 절대적인 요인으로 작용함을 알 수 있는데(Table 5), 이전 연구[21]에서도 배추에

Table 4. Growth and soil characteristics of cabbages following treatment for 60 days

Treatments	Plant height (cm)	Leaf color (SPAD value)	Worm damage (%)	Soil moisture (%)	EC (dS·m ⁻¹)
Treat 1 ¹⁾	50.7 a ^{†)}	66.8 a	77.8	8.3	1.8
Treat 2 ²⁾	50.1 a	60.9 b	55.6	9.3	1.8
Chemical fertilizer	48.1 a	61.6 b	77.8	9.0	1.8
Control	40.8 b	61.4 b	77.8	9.2	1.8
p value	<0.05	<0.05	0.819	0.926	0.802

¹⁾ Treat 1 (Treatment that converted the recommended mixed compost with inorganic composition of microorganism compost and included in the recommended fertilizer content)
²⁾ Treat 2 (Treatment that replaced the recommended mixed compost with microorganism compost)
^{†)} Means followed by the same letter within a column are not significantly different according to Duncan’s multiple range test at $P < 0.05$.

Table 5. Head characteristics of harvested cabbages under different fertilization methods

Treatments	Head height (H)	Head width (W)	Head weight (kg)	Coefficient of body from H/W
	----- (cm) -----			
Treat 1 ¹⁾	13.6 a ^{†)}	18.9 a	1.7 a	0.7
Treat 2 ²⁾	12.4 b	17.5 ab	1.4 ab	0.7
Chemical fertilizer	12.4 b	16.5 b	1.3 b	0.8
Control	10.8 c	14.4 c	0.8 c	0.8
p value	<0.001	<0.001	<0.001	0.202

¹⁾ Treat 1 (Treatment that converted the recommended mixed compost with inorganic composition of microorganism compost and included in the recommended fertilizer content)
²⁾ Treat 2 (Treatment that replaced the recommended mixed compost with microorganism compost)
^{†)} Means followed by the same letter within a column are not significantly different according to Duncan’s multiple range test at $P < 0.05$.

Table 6. Concentration of inorganic nutrients of cabbage leaves under different fertilization methods

Treatments	Total nitrogen	Total phosphorus			Dry weight content
		Total potassium (%)			
Treat 1 ¹⁾	2.0 a ^{†)}	0.9 ab	4.6 b	5.7 c	
Treat 2 ²⁾	2.0 a	0.8 bc	4.1 c	6.0 bc	
Chemical fertilizer	1.8 b	0.7 c	3.8 d	6.3 ab	
Control	1.6 c	1.0 a	4.8 a	6.8 a	
p value	<0.001	<0.01	<0.001	<0.05	

¹⁾ Treat 1 (Treatment that converted the recommended mixed compost with inorganic composition of microorganism compost and included in the recommended fertilizer content)
²⁾ Treat 2 (Treatment that replaced the recommended mixed compost with microorganism compost)
^{†)} Means followed by the same letter within a column are not significantly different according to Duncan’s multiple range test at P < 0.05.

서 무처리보다 혼합유박 및 화학비료를 처리한 구에서 엽장, 엽폭 및 엽색도에서 높은 값을 보인다고 하였다. 시비 처리구 중 처리 1구는 화학비료구보다 구고, 구폭, 구중 모두 높은 값을 보였으며, 처리 2구는 화학비료구와 비교하여 구고는 차이가 없었지만 구폭과 구중은 높은 경향을 보여 처리 1과 처리 2는 화학비료 대비 적절한 유기자원 시비 처방법으로 적용 가능하다고 판단된다. 기존 연구[22]에서도 녹비작물의 유기물을 활용한 양배추 친환경 재배가 가능함을 제시하였다.

양분이용효율

양배추의 전질소 함량은 유기자원으로 질소 양분을 공급한 처리 1, 2구에서 화학비료구보다 높았는데(Table 6), 처리 1과 2구의 질소 투입량은 화학비료구의 200~180% 이었다(Fig. 3). 질소 투입량이 많았던 처리 1, 2구에서 전질소 함량이 높았는데, 이전 연구[23]에서도 유기자재의 사용수준이 증가함에 따라 옥수수의 질소의 함량이 증가하는 경향을 보인다고 하였다. 또 한 연구[24]에서는 유기물로 공급된 질소는 침출로 인한 손실이 적다고 하였고, 다른 연구[25]에서는 화학비료는 사용 후 휘산과 용탈로 인한 질소 양분의 유실로 토양중 무기태질소 함량이 감소한다고 하였는데, 이 또한 유기자원으로 질소를 공급한 처리 1과 2구가 화학비료구보다 전질소 함량이 높아진 하나의 원인으로 보인다.

전인산 함량은 유기자원으로 공급한 처리 1구에서 화학비료구보다 높았는데, Lim[26]은 화학비료로 준 인산은 토양 고정력이 높아 느리게 식물에 공급된다고 하였으며, Lim 등[27]도 퇴비 인산의 흡수효율이 화학비료보다 높다고 하였다.

전칼륨 함량은 무처리 > 처리 1 > 처리 2 > 화학비료 순이었다(Table 6). 칼륨은 토양에 투입되더라도 바로 작물에 흡수되는 것이 아니라 토양에 흡착되어 고정되는 비율이 높기 때문[26]에 칼륨을 처리한 처리 1, 2 및 화학비료구에서 작물에 흡수가 잘 안되어 무처리구보다 함량이 낮아진 것으로 보인다. 무처리에서 칼륨의 함량이 가장 높은 이유는 무처리 토양 내에 있던 칼륨은 양배추가 바로 흡수할 수 있는 교환성 칼륨[26]이었기 때문으로 보인다.

양배추의 질소, 인산, 칼륨 함량은 화학비료구보다 유기자원 처리구에서 높았다. 이는 유기자원 처리구에서 양분 투입량이 많았기 때문이기도 하지만, 지효성이며 토양 고정력이 낮은 유기자원의 특성도 한 요인으로 작용한 것으로 보인다. Lim[27]도 퇴비의 인산 효율이 화학비료보다 높다고 하였고, Kang 등[28]도 퇴비 등으로 인산질 비료 대체가 가능하다고 하였다. 또한 Kang 등[28]은 퇴비의 칼륨 투입량이 검정시비량에 비해 적을 경우 부족량만 다른 칼륨 성분으로 보충해주면 화학비료와 대등한 효과를 보인다고 하여 유기자원 이외의 광물질 칼륨의 활용을 제시하였다.

건물중은 크기가 가장 컸던 처리 1구보다 크기가 가장 작았던 무처리구(Fig. 2)에서 가장 높았으며 크기가 클수록 건물중 함량은 낮았다. 양배추의 무기성분량은 칼륨, 질소, 인산 순으로 많았는데, Lee 등[29]은 질소, 칼륨, 인산 순으로 양이 많다고 하였다. 질소 함량은 Lee 등[29]의 결과보다 낮은 반면 인산과 칼륨의 함량은 높았는데 이 차이는 토양 자체의 성분량에 차이가 있었기 때문으로 보인다. 인산:칼륨의 비는 1:5로 기존 값[29]과 비슷하였다.



Fig. 1. Photographs of cabbages before transplant(A) and cultivations in two lines(B).

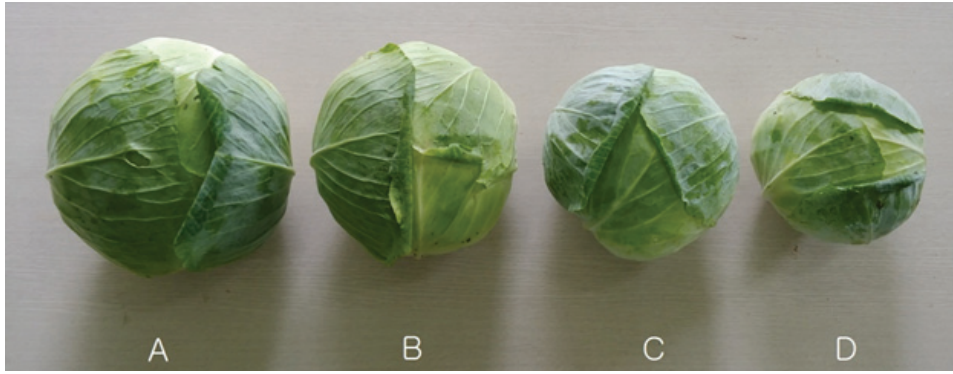


Fig. 2. Photographs of cabbages cultivated under different fertilization methods (A: Treat 1, B: Treat 2, C: Chemical fertilizer, D: Control).

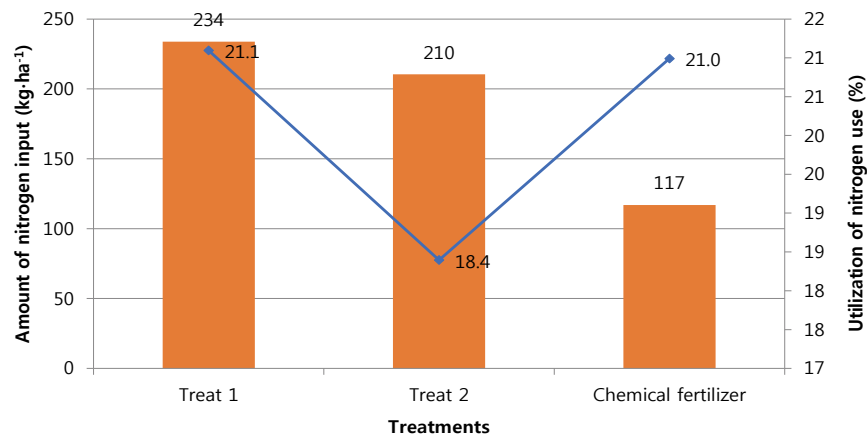


Fig. 3. Amount of nitrogen input and nitrogen utilization under different fertilization methods.

작물의 양분이용율은 pH, 토성, 온도, 수분함량, 유기물 종류 등에 따라 달라진다[30]. 질소의 공급량은 처리 1, 2구가 234 kg·ha⁻¹와 210 kg·ha⁻¹으로 화학비료구 117 kg·ha⁻¹의 200~180%이었음에도 불구하고 질소의 이용효율은 20% 내외로 처리구별 차이가 없었다(Fig. 3). 이는 적게 공급된 화학비료의 질소성분이 유기자원으로 공급된 처리 1, 2구보다 빨리 작물에 흡수되었기 때문이다[31]. 그러나 같은 양의 질소를 시비할 경우에 기존 연구[32]에서는 유기질 퇴비 시용구보다 화학비료 처리구에서 질소이용율이 높다고 하였다. Kim 등[33]에서도 배추재배에서 유기자원 시비로 화학비료에 준하는 수량을 얻기 위해서는 토양경정 질소시비량의 1.5~2배 더 많이 사용해야 함을 제시하였다. 그러나 해당 연구[33]에서는 시비량 산정 시 유기자원 질소의 무기화율을 고려하지 않았으며, 화학비료에 준하는 수량이 가능하다고 하였지만 본 연구에서는 유기자원 질소의 낮은 무기화율을 고려하여 화학비료구보다 1.8~2배 더 많은 시비량을 처리 하게 되었고 이로 인해 10~30% 더 높은 수량(Table 5)을 나타낸 것으로 판단된다.

인산의 공급량은 처리 1구에서 203 kg·ha⁻¹로 가장 많았고, 처리 2구와 화학비료구는 동일한 156 kg·ha⁻¹이었다. 유기자원 처리 1, 2구의 인산 공급량은 화학비료구의 130~100%이었고, 처리 1, 2구의 인산 이용효율은 화학비료구의 60~400%

이었다(Fig. 4). 화학비료구의 인산 이용효율이 낮은 이유는 사용된 용성인비는 분해가 빠르고 쉽게 토양에 고정된 반면 처리 1, 2구의 경우 균배양체와 유박이 천천히 분해되면서 작물에 흡수율을 증가시킨 것으로 추정된다[34].

칼륨의 공급량은 유기자원 처리 1 > 처리 2 > 화학비료 순으로 유기자원 처리 1, 2구는 화학비료구의 250~185%이었지만 칼륨 이용효율은 처리 1 > 처리 2 = 화학비료구 순이었다(Fig. 5). 유기자원 처리 2구의 칼륨 공급량은 화학비료구의 185%이었지만 칼륨 이용효율은 29%로 화학비료구와 같았다. 반면에 공급량이 화학비료구의 250%인 처리 1구의 칼륨 이용효율은 화학비료구보다 약 1.5배 높은 44%이었다. 이는 유기자원 및 광물질 칼륨 성분량이 화학비료구보다 2배 이상 투입되어야 양분 흡수율을 높여 유기자원 및 광물질 미라클 K로 공급된 칼륨의 이용효율이 높아진다는 것을 보여준다.

질소, 인산, 칼륨의 양분이용효율은 처리 1과 처리 2가 화학비료대비 비슷하거나 더 높았다(Fig. 3-5). 질소의 이용효율은 20% 내외, 인산은 질소보다 낮은 10% 이하였다. 이전 연구[35]에서도 옥수수에서 질소보다는 인산의 이용효율이 낮다고 하였으며, 화학비료보다 유박처리에서 더 높은 양분이용율을 보인다고 하여 같은 결과를 보였다. 칼륨의 이용효율은 28~44%로 질소, 인산보다 높았는데 무[36], 고추[37], 산

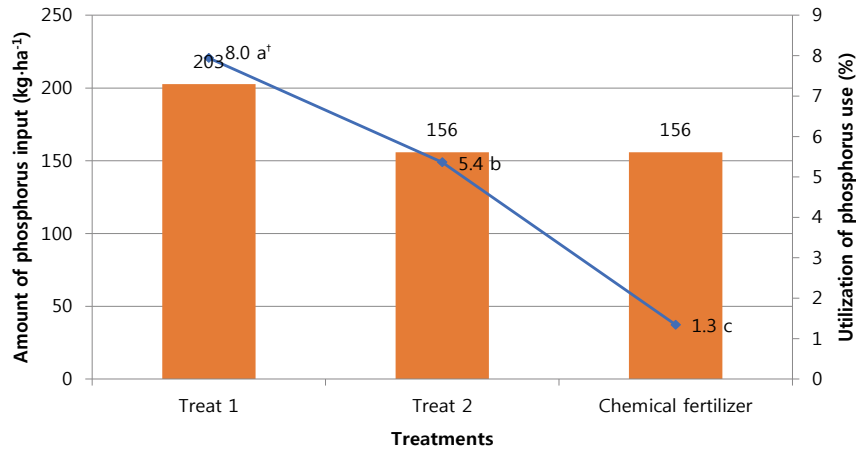


Fig. 4. Amount of phosphorus input and phosphorus utilization under different fertilization methods.

[†] Means followed by the same letter within a column are not significantly different according to Duncan’s multiple range test at P < 0.05.

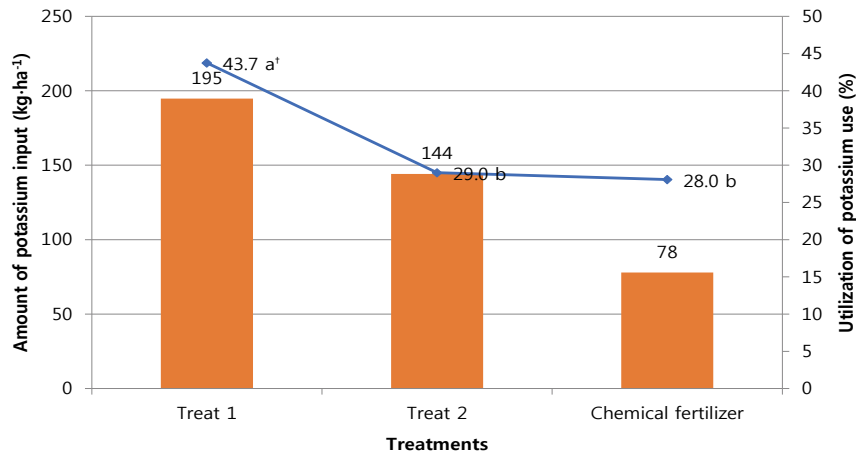


Fig. 5. Amount of potassium input and potassium utilization under different fertilization methods.

[†] Means followed by the same letter within a column are not significantly different according to Duncan’s multiple range test at P < 0.05.

국[38]에서도 칼륨의 이용효율이 가장 높고 질소, 인산 순으로 낮다고 하였다. 일반적인 질소, 인산, 칼륨의 양분이용효율은 질소 30~60%, 인산 10~20%, 칼륨은 40~60% 이다[26].

토양의 화학성 변화

양배추 수확 시기에 토양의 화학성 변화를 조사하였다 (Table 7). 시험전과 비교하여 토양산도, 전기전도도, 질산태 질소 함량 및 양이온 치환용량은 모든 처리에서 낮아졌지만 유기물, 유효인산 및 치환성 칼슘과 마그네슘 함량은 모든 처리에서 시험전보다 높아졌다. 토양산도는 질소 시비량이 화학비료구보다 많았던 유기자원 처리 1, 2구에서 낮아졌는데, 기존 연구[29]에서도 질소 비료 시비량이 많을수록 산도가 낮아진다고 하였다. 유기자원으로 처리한 처리 1, 2구는 화학비료구보다 유기물 함량이 증가되었다[39]. 이전 연구들[40, 41]

에서도 퇴비 등 유기물을 사용하면 토양유기물 함량이 증가한다고 하였다. 전기전도도는 양분 투입량이 많았던 처리 1, 2구가 화학비료구보다 높았는데, Lee 등[29]도 양분 투입량이 많을수록 전기전도도가 높다고 하여 같은 결과를 보였다. 질산태질소는 유기자원의 질소 시비량이 많았던 처리 1, 2구에서 화학비료구보다 높아 유기자원으로 공급된 질소가 고정화보다는 무기화쪽으로 반응이 더 많이 이루어지고 있음을 알 수 있는데, 해당 연구[29]에서도 화학비료구보다 축분퇴비구에서 질산태질소 함량이 높다고 하였다. 이전 연구들[33, 42]에서는 유기질비료의 과다사용은 토양의 전기전도도와 질산태질소의 함량을 높여 염류 집적이 우려된다고 하였다. 본 연구에서도 전기전도도와 질산태질소의 경우 유기자원으로 처리한 처리 1, 2구의 함량이 화학비료구보다 높아졌다. 그러나 시험 전 토양보다는 낮아져 염류집적의 문제는 발생되지

Table 7. Soil chemical properties under different fertilization methods after the harvest of cabbage

Treatments	pH (1:5)	EC (dS·m ⁻¹)	SOM (g·kg ⁻¹)	NO ₃ ⁻	Av. P ₂ O ₅	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	CEC
				--(mg·kg ⁻¹)--		--(Ex. Cations cmol ⁺ ·kg ⁻¹)--			
Treat 1 ¹⁾	6.9 b ^{†)}	0.36 a	30.2 b	17.7 a	569.3 ab	0.31 d	9.1	3.6 b	6.9 b
Treat 2 ²⁾	6.9 b	0.36 a	32.9 a	14.3 b	595.7 a	0.41 c	9.2	3.9 a	7.1 b
Chemical fertilizer	7.0 a	0.28 b	27.4 c	11.3 c	548.0 b	0.56 a	8.9	3.5 b	8.0 a
Control	7.0 a	0.26 c	29.5 b	11.0 c	529.0 b	0.48 b	8.8	3.4 b	7.8 a
p value	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.05	<0.001	0.072	<0.05	<0.001

¹⁾ Treat 1 (Treatment that converted the recommended mixed compost with inorganic composition of microorganism compost and included in the recommended fertilizer content)

²⁾ Treat 2 (Treatment that replaced the recommended mixed compost with microorganism compost)

^{†)} Means followed by the same letter within a column are not significantly different according to Duncan's multiple range test at P < 0.05.

않을 것으로 판단된다. 유효인산의 경우 유박의 시용량이 많았던 처리 2구에서 함량이 화학비료구보다 높았는데, Ok 등 [35]은 유박 시비 후 유효인산의 함량이 높아진다고 하였다. 치환성 칼륨 이온은 처리구별 유의한 차이가 있었는데, 화학비료구에서 가장 높은 0.56으로 시비 전 함량과 차이가 없었다. 유기자원으로 가장 많이 공급되고, 가장 높은 칼륨 이용 효율을 보인 처리 1에서 가장 낮은 함량을 보였으며 처리 1, 2구는 시험전보다 칼륨 이온 함량이 낮아졌는데, 이는 양배추의 높은 칼륨 흡수량으로 인하여 토양중 치환성 칼륨의 함량이 수확 후 감소한 것으로 보인다. 치환성 마그네슘 이온의 함량은 토양 내 칼륨 이온 함량이 화학비료구보다 낮은 처리 2구에서 화학비료구보다 높았는데, Song 등[43]은 양이온간의 길항작용으로 토양 내 칼륨 함량이 많아지면 마그네슘과 칼슘의 흡수가 저해된다고 하였다. 양이온 치환용량은 양이온인 K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ 등의 양분을 식물이 이용할 수 있게 하는 능력으로 화학비료구보다 칼륨의 함량이 낮았던 처리 1, 2구에서 낮았다.

적 요

토양검정에 의한 유기자원 시비처방 효과를 구명하기 위하여 양배추를 대상으로 처리별로 유기자원 시비량을 달리 하여 포장시험을 실시하였다. 유기자원 시비량은 유기자원의 질소, 인산, 칼륨 성분함량에 무기화율을 적용하였다. 화학비료구와 비교하여 처리 1, 2구의 초장은 차이가 없었지만 엽색도는 처리 1구에서 높았다. 구고, 구폭, 구중은 처리 1구에서 화학비료구보다 높았고, 화학비료구는 무처리구보다 높았다. 양배추의 전질소, 전칼륨 함량은 화학비료구보다 처리 1, 2구에서 높았고, 전인산 함량은 처리 1구가 화학비료구보다 높았다. 건물중은 크기가 작은 무처리구에서 높았다. 질소의 양분 이용효율은 20% 내외로 처리간 차이가 없었다. 인산의 이용효율은 화학비료구보다 처리 1, 2구에서 높았고, 칼륨의 이용효율은 처리 1구에서 화학비료구보다 높았다. 양배추 수확 후 토양의 양이온 칼륨의 함량은 유기자원을 사용한 처리 1, 2구

에서 화학비료구보다 낮아졌지만 유기물, 질산태질소 및 전기전도도는 화학비료구보다 높아졌다. 인산과 칼륨의 토양 고정력은 화학비료 처리구에서 높았고, 양분이용효율은 유기자원 및 광물질을 처리한 구에서 높아 인산과 칼륨의 공급원으로 유기자원 및 광물질을 활용하는 것이 유리하다.

결론적으로 유기자원으로 시비한 처리 1, 2구에서 엽색도, 구고, 구폭, 구중 및 양분이용효율과 수확 후 토양 유기물, 질산태질소 및 전기전도도가 화학비료 대비 비슷하거나 오히려 높아졌다. 따라서 유기자원의 질소, 인산, 칼륨 성분함량에 무기화율을 적용하여 화학비료대비 질소는 180~200%, 인산은 100~130%, 칼륨은 185~250%를 사용한 처리 1과 처리 2는 양배추의 유기자원 시비 처방법으로 활용할 수 있다.

Note

The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgement

This work was supported by Korean Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture, and Forestry (IPET) through Agri-Bioindustry Technology Development Program, funded by Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA)(No.316032-5).

References

1. Lee YH, Lee SG, Kim SH, Shin JH, Choi DH, Lee YJ, Kim (2006) Investigation of the utilization of organic materials and the chemical properties of soil in the organic farms in Korea. Korean Journal of Organic Agriculture, 14(1), 55-67.
2. Sohn SM, Han DH, Kim YH (1996) Chemical charac-

- teristics of soils cultivated by the conventional farming, greenhouse cultivation and organic farming and accumulation of NO_3^- in Chinese cabbage and lettuce. *Korean Journal of Organic Agriculture*, 5(1), 149-165.
3. Kang BK, Song CK (2001) Crop growth and nutrient leaching from soil with application of urea and compost in volcanic ash soil. *Korean Journal of Organic Agriculture*, 9, 101-115.
 4. Chung JB, Kim BJ, Kim JK (1997) Water pollution in some agricultural areas along Nakdong river. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 16(2), 187-192.
 5. Sohn SM, Han DH (2000) Assessment of environmentally sound function on the increasing of soil fertility by Korean organic farming. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 33(3), 193-204.
 6. Heuktoram. (2019) <http://soil.rda.go.kr/>.
 7. National Agricultural products Quality management Service (NAQS) (2019) Information of environment-friendly agricultural products certification. (<http://www.enviagro.go.kr>).
 8. Kim HJ (2019) The effects of protecting liver and improving liver function on cabbage extract. *Journal of the Convergence on Culture Technology*, 5, 389-395. <https://doi.org/10.17703/JCCT.2019.5.2.389.9>.
 9. Hwang ES, Nhuan DT (2015) Impact of cooking method on bioactive compound content and antioxidant capacity of cabbage. *Korean journal of food science and technology*, 47(2), 184-190. <https://doi.org/10.9721/KJFST.2015.47.2.184>.
 10. Hong YJ, Kim SY, Han JG, Lim YI, Park KY (2013) Inhibitory effects of cabbage juice and cabbage-mixed juice on the growth of AGS human gastric cancer cells and on Hcl-ethanol induced gastritis in rats. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 42(5), 682-689. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2013.42.5.682>.
 11. Kim SY, Kim KJ (2017) Quality characteristics and antioxidant activity of sponge cake with cabbage powder. *Korean Journal of Food Preservation*, 24(2), 294-302. <https://doi.org/10.11002/kjfp.2017.24.2.294>.
 12. Yang MO (2009) Quality characteristics of *Sulgidduk* added with cabbage powder. *Journal of the East Asian Society of Dietary Life*, 19(5), 729-735.
 13. Im HE, Oh UR, Kim NY, Han MJ (2013) Characteristics of cabbage juice fermented by lactic acid bacteria from Kimchi. *Journal of the Korean Society of Food Culture*, 28(4), 401-408. <https://doi.org/10.7318/KJFC/2013.28.4.401>.
 14. Caris VC, Borel P (2004) Influence of organic versus conventional agricultural practice on the antioxidant microconstituent content of tomato and derived purees. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(21), 6503-6509. <https://doi.org/10.1021/jf0346861>.
 15. Park JH, Nam SH, Kim YO, Kwon OD, An KN (2010) Comparison of quality, physiochemical and functional property between organic and conventional rice. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 39(5), 725-730. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2010.39.5.725>.
 16. Lee YS, Moon JH, Oh BY, Nam SH, Lee SK, Lee JW, Jung KJ, Kang JH (2014) Comparison of the quality of hot pepper (*Capsicum annuum* L.) grown under organic and conventional conditions. *Korean Journal of Organic Agriculture*, 22(4), 645-656. <https://doi.org/10.11625/KJOA.2014.22.4.645>.
 17. Mo HS, Lim JS, Yu J, Park KC (2015) Comparison of Chemical Properties of Soil and Ginsenoside Content of Ginseng under Organic and Conventional Cultivation Systems. *Korean Journal of Organic Agriculture*, 23(3), 509-522. <http://dx.doi.org/10.11625/KJOA.2015.23.3.509>.
 18. Lim JS, Lee BH, Kang SH (2019) Estimation of nitrogen mineralization of organic amendments affected by nitrogen content in upland soil conditions. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 38(4), 262-268. <https://doi.org/10.5338/KJEA.2019.38.4.35>.
 19. Hong SD, Kim KI, Park HT, Kang SS (2001) Relationship between leaf chlorophyll reading value and soil N-supplying capability for tomato in green house. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 34(2), 85-91.
 20. Kim MH, Shin JC, Lee BW (2005) Applicability of vegetation index and SPAD reading to nondestructive diagnosis of rice growth and nitrogen nutrition status. *Korean Journal of Crop Science*, 50(6), 369-377.
 21. Kim SH, Hwang HY, Park SJ, Kim SC, Kim MS (2019) Evaluation of preplant optimum application rate of mixed expeller cake in Chinese cabbage cultivation at the field. *Journal of the Korea Organic Resources Recycling Association*, 27(3), 41-48. <https://doi.org/10.17137/korrae.2019.27.3.41>.
 22. Park SY, Hwang KN, Cho HS, Ahn JW, Lee YH, Park JH, Park PS, Lim YT, Han HS, Lee DC, Yu HS (2011) The farm management analysis of the effect of yield increase and economic efficiency of cropping system on green manure crops - cabbage in the plastic house. *CNU Journal of Agricultural Science*,

- 38(4), 785-791. <https://doi.org/10.7744/cnujas.2011.38.4.785>.
23. Yook WB, Kim BJ, Choi KC, Kwak BK (2002) Effect of applications of swine waste and chemical fertilizer on productivity of silage corn and nitrogen and phosphorus leaching in lysimeter. *Journal of the Korean Society of Grassland Science*, 22(2), 85-92. <https://doi.org/10.5333/KGFS.2002.22.2.085>.
24. Araya YN, Stefaan DN, Georges H (2010) Nitrogen mineralization from cabbage crop residue and its uptake efficiency by rye grass. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B, Soil and Plant Science*, 60(1), 33-39. <https://doi.org/10.1080/09064710802609519>.
25. Cho JL, An NH, Nam HS, Lee SM (2018) Effects of green manures and complementary fertilization on growth and nitrogen use efficiency of Chinese cabbages cultivated in organic systems. *Korean Journal of Organic Agriculture*, 26(4), 731-743. <https://doi.org/10.11625/KJOA.2018.26.4.731>.
26. Lim SU (2006) Fertilizer studies. Ilsinsa publisher. pp. 150-208.
27. Lim SS, Lee SM, Lee SH, Choi WJ (2010) Dry matter yield and nutrients uptake of Sorghum × Sudan-grass hybrid grown with different rates of livestock manure compost. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 43(4), 458-465.
28. Kang CS, Roh AS, Kim SK, Park KY (2011) Effects of the application of livestock manure compost on reducing the chemical fertilizer use for lettuce cultivation in green house. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 44, 457-464. <https://doi.org/10.7745/KJSSF.2011.44.3.457>.
29. Lee JT, Lee GJ, Ryu JS, Zhang YS, Hwang SW, Park CS (2010) Inorganic nutrient uptake pattern of vegetable crops in highland. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 43(5), 616-623.
30. Kim KC, Ahn BK, Ko DY, Kim J, Jeong SS (2014) Effects of expeller cake fertilizer on soil properties and total dry matter yield of Chinese cabbage in organic greenhouse farm. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 33, 149-154. <https://doi.org/10.5338/KJEA.2014.33.3.149>.
31. Lee YJ, Yun HB, Song YS, Lee CH, Sung JK, Ha SK (2015) Effects of organic matter sources on nitrogen supply potential in arable land. *CNU Journal of Agricultural Science*, 42(4), 431-437. <https://doi.org/10.7744/cnujas.2015.42.4.431>.
32. Yun HB, Lee JS, Lee YJ, Kim RY, Song YS, Han SG, Lee YB (2011) Chinese cabbage growth affected by black vinyl mulching and organic fertilizer application in spring season. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 44(6), 1107-1111. <https://doi.org/10.7745/KJSSF.2011.44.6.1107>.
33. Kim SC, Ko BG, Park SJ, Kim MS, Kim SH, Lee CH (2018) Estimation of optimum organic fertilizer application under fertilizer recommendation system. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 51, 296-305. <http://dx.doi.org/10.7745/KJSSF.2018.51.3.296>.
34. Lee Y, Choi HS, Lee SM, Jung JA, Kuk YI (2012) Effects of organic materials on changes in soil nutrient concentrations and nutrient uptake efficiency in Sorghum-Sudangrass hybrid (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). *Journal of Bio-Environment Control*, 21(2), 108-113.
35. Ok JH, Cho JL, Lee BM, An NH, Shin JH, Lee Y (2016) Effects of oil cake banding application on growth and nutrient use efficiency in Maize. *Korean Journal of Organic Agriculture*, 24(4), 907-917. <https://doi.org/10.11625/KJOA.2016.24.4.907>.
36. Yang CH, Yoo CH, Shin BW, Kang SW (2005) Effect of banded subsoil fertilization on the yield and N utilization of radish (*Raphanus sativus* L.) in plastic film mulching cultivation. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 24(4), 398-403. <https://doi.org/10.5338/KJEA.2005.24.4.398>.
37. Lim TJ, Hong SD, Kim SH, Park JM (2008) Evaluation of yield quality from red pepper for application rates of pig slurry composting biofiltration. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 27(2), 171-177. <https://doi.org/10.5338/KJEA.2008.27.2.171>.
38. Lee KD, Yang MS, Jung YK, Sohn BK, Cho JS, Lee ST, Kim PJ (2003) Effect of NPK fertilization on the yields and effective components of *Chrysanthemum boreale* M. *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry*, 46(2), 134-139.
39. Yeon BY, Kwak HK, Song YS, Jun HJ, Cho HJ, Kim CH (2007) Changes in rice yield and soil organic matter content under continued application of rice straw compost for 50 years in paddy soil. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 40(6), 454-459.
40. Yun HB, Lee Y, Yu CY, Yang JE, Lee YB, Lee KS (2007) Soil organic matter fractions in upland soil under successive application of animal manure composts. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 40(5), 400-404.
41. Park KC, Kwon TR, Jang KS, Kim YS (2008) Short-term effects of cultivars and compost on soil microbial activities and diversities in red pepper field.

- Korean Journal of Environmental Agriculture, 27(2), 139-144. <https://doi.org/10.5338/KJEA.2008.27.2.139>.
42. Kim MS, Kim SC, Park SJ, Lee CH (2019) Evaluation of replacement ratio of organic fertilizers for basal application of nitrogen fertilizer in pot cultivation of rice. *Journal of the Korea Organic Resources Recycling Association*, 27(1), 5-14. <https://doi.org/10.17137/korrae.2019.27.1.5>.
43. Song YS, Kwak HK, Yeon BY, Yeon JH, Jun HJ (2003) Growth and yield response of Chinese cabbage and radish on application of potassium chloride fertilizer. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 36(6), 399-406.