

Effects of different nitrogen fertilizer applications on growth of Chinese cabbage (*Brassica rapa* L. ssp. *pekinensis*)

Jin-Hyuk Chun^{1,†}, Yun-Gu Kang^{1,†}, Yong-Jun Yu¹, Jae-Han Lee¹, Yeo-Uk Yun², Taek-Keun Oh^{1*}

¹Department of Bio-Environmental Chemistry, College of Agriculture and Life Science, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

²Chungnam Agricultural Research and Extension Services, Yesan 32418, Korea

[†]These authors equally contributed to this study as first author.

*Corresponding author: ok5382@cnu.ac.kr

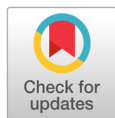
Abstract

Nitrogen (N) is a vital element in growing crops and is essential for improving the yield and quality of crops. Thus, N fertilizer is the most widely used fertilizer and the primary N input source in soil-crop systems. Inorganic fertilizers such as urea are known to improve crop productivity and increase soil fertility. However, application with excessive amounts can interfere with crop growth and accelerate soil acidification. For these reasons, the use of organic fertilizers, which mainly contain organic nitrogen, has gradually increased worldwide. Therefore, this study evaluated the effects of N fertilizer on the growth of Chinese cabbage including its functional compounds glucosinolates (GSLs). For the cultivation of Chinese cabbage, inorganic fertilizer was used for urea, and organic fertilizers were divided into conventional and biochar-based fertilizers. The growth parameters of Chinese cabbage treated by organic fertilizers was better than those of the inorganic fertilizers. Additionally, it was found that their co-application was more efficient. However, their GSL contents were lower with the application of the organic fertilizers. The characteristics of the experimental soil also changed according to the type, amounts and co-application of fertilizers. Therefore, this study presents the basis for an eco-friendly method that can increase the functionality and productivity of Chinese cabbage compared to conventional cultivations.

Key words: Chinese cabbage, glucosinolate, nitrogen fertilizer, organic fertilizer

Introduction

질소(nitrogen, N)는 작물 생육에 필수인 영양소이며, 작물 생산성에 기여하는 가장 중요한 원소 중 하나이다(Benbrook, 2009; Kang et al., 2021). 농업활동 중 요소와 같은 질소질비료를 사용하는 것은 작물의 수량과 품질 향상에 필수적이기에 비료의 사용량이 증가하고 있다(Liao et al., 2020; Kang et al., 2022). 무기질비료는 비료 성분을 무기 화합물 형태로 함유한 비료이며 작물 생산성을 향상시키고, 토양의 비옥도를 증가시킨다고 알려져 있다(Parris, 2011). 하지만 과도한 양의 비료를 시비할 경우 작물 생육을 저해하고, 토양의 산성화를 가속화시킬



OPEN ACCESS

Citation: Chun JH, Kang YG, Yu YJ, Lee JH, Yun YU, Oh TK. Effects of different nitrogen fertilizer applications on growth of Chinese cabbage (*Brassica rapa* L. ssp. *pekinensis*). Korean Journal of Agricultural Science 49:657-666. <https://doi.org/10.7744/kjoas.20220049>

Received: November 11, 2022

Revised: November 22, 2022

Accepted: November 29, 2022

Copyright: © 2022 Korean Journal of Agricultural Science



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

수 있다(Wu et al., 2020). 국내에서는 친환경농업육성법이 제정된 이후 무기질비료의 사용량이 감소하고, 퇴비 및 유기질비료의 사용이 증가하고 있다(Jeon et al., 2014; Kim et al., 2018). 일반적으로 유기질비료는 전량 기비로 사용하여 무기질비료에 비해 노동력이 적게 사용되지만, 작물 생육 반응이 무기질 비료에 비해 서서히 나타나는 것이 특징이다(Yang et al., 2020). 또한, 유기질비료도 과다 사용 시 무기질비료와 유사한 염류 집적, 양분 불균형, 환원 장애 등을 유발할 수 있다(Mer et al., 2000; Lee et al., 2009).

배추(*Brassica rapa* L. ssp. *pekinensis*)는 필수 아미노산을 비롯하여 섬유질, 미네랄 등이 풍부하고, 배추과 채소의 대표적인 2차 대사산물인 glucosinolates (GSLs)를 함유하고 있다. GSLs는 배추과 채소에서 항암 효과를 나타내는 기능성 성분으로 배추의 맛과 향 등 풍미에 영향을 미친다(Padill et al., 2007). GSLs은 질소와 황으로 구성된 화합물로 작물 내 GSLs 함량은 재배 중 토양과 비료의 양분 함량에 의해 영향을 받는다(Rangkadilok et al., 2004; Li et al., 2007). 배추과 작물 재배 시 질소 시비량이 과도하게 많으면 GSLs 함량이 감소한다고 보고되었다(Chen et al., 2006; Li et al., 2007). 배추 재배 시 질소는 가장 많이 사용되는 비료 종류로, 원활한 배추 생산을 위해서는 적절한 양의 질소 시비가 요구된다. 질소질비료가 결핍되면 작물의 수확량이 감소하고, 결구가 늦어져 크기가 작아지는 반면 질소 과잉 시에는 질산태질소의 함량이 높아져 깨씨무늬 증상을 유발한다(Mangnusson, 2002; Wang and Li, 2004; Hong et al., 2017).

따라서 본 연구는 가을배추 재배 시 질소질비료의 종류 및 사용량에 따른 배추의 생육과 배추 내 glucosinolates 함량 변화를 평가하였다.

Materials and Methods

시험 포장

작물 재배 시험은 충남대학교 농업생명과학대학 내 시험 포장(36°22'02.1" N 127°21'12.1" E)에서 실시하였다. 시험 포장의 토양은 sand : silt : clay가 각각 45.8 : 41.4 : 12.8의 비율로 구성되었으며, 토성은 사양토로 분류되었다. 공시 토양의 화학적 특성은 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Chemical properties of the soil used in this experiment.

pH (1 : 5, D.H ₂ O)	EC (dS·m ⁻¹)	T-C (%)	T-N (%)	Av. P ₂ O ₅ (mg·kg ⁻¹)	Exchangeable cations (cmol _c ·kg ⁻¹)			
					Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
6.13 ± 0.05	0.74 ± 0.06	0.51 ± 0.01	0.06 ± 0.00	25.90 ± 3.94	5.49 ± 0.17	0.16 ± 0.01	1.84 ± 0.04	0.09 ± 0.01

D.H₂O, distilled water; EC, electrical conductivity; T-C, total carbon; T-N, total nitrogen; Av.P₂O₅, available phosphate.

공시 재료

실험에 사용한 유기질비료는 모두 pellet 형태이며, 제조 조건과 사용한 원료의 종류에 따라 구분하였다. OF_A (organic fertilizer A)와 OF_B는 각각 효성오엔비(Hyosung O&B, Daejeon, Korea)와 삼화그린텍(Samhwa green tech Co., Ltd., Suwon, Korea)에서 판매하고 있는 제품을 구매하여 사용하였다. OF_A와 OF_B 제조 시 사용된 유박의 종류는 피자마박, 채종유박, 대두박, 미강이었다. OF_C와 OF_D는 OF_A와 OF_B 제조에 이용된 유박과 농업부산물로부터 생성된 탄화물을 혼합하여 제조하였으며, 유박의 10% (v·v⁻¹)를 농업부산물 탄화물로 대체하였다. 실험에 사용한 유기질 비료의 특성을 분석한 결과는 Table 2에 나타내었다.

Table 2. Chemical properties of organic fertilizer used in this experiment.

Treatment	pH (1 : 10, D.H ₂ O)	EC (dS·m ⁻¹)	T-C (%)	T-N (%)	T-P ₂ O ₅ (%)	Inorganic contents (%)			
						CaO	K ₂ O	MgO	Na ₂ O
OF _A	6.70 ± 0.01	20.41 ± 0.20	37.1 ± 0.00	5.35 ± 0.00	2.20 ± 0.53	1.21 ± 0.07	0.19 ± 0.01	1.78 ± 0.25	0.19 ± 0.01
OF _B	7.57 ± 0.01	66.56 ± 1.02	37.5 ± 0.00	5.99 ± 0.00	2.14 ± 0.56	1.57 ± 0.14	0.32 ± 0.01	0.72 ± 0.13	0.32 ± 0.01
OF _C	6.30 ± 0.02	22.67 ± 0.21	48.50 ± 0.00	4.71 ± 0.00	0.85 ± 0.00	1.87 ± 0.09	1.79 ± 0.00	0.12 ± 0.06	0.14 ± 0.01
OF _D	6.30 ± 0.01	25.17 ± 1.56	47.70 ± 0.00	5.17 ± 0.00	0.94 ± 0.00	2.03 ± 0.01	1.99 ± 0.00	0.16 ± 0.02	0.18 ± 0.04

OF_x, organic fertilizer A - D; D.H₂O, distilled water; EC, electrical conductivity; T-C, total carbon content; T-N, total nitrogen content; T-P₂O₅, total phosphate content.

토양 및 비료의 이화학적 특성 분석

실험에 이용한 토양의 화학적 특성분석을 위해 시료는 처리구 내 10개의 지점에서 무작위로 선정하여 채취하고, 건조 후 2 mm 이하로 체거름하여 분석에 이용하였다. 실험 포장의 토성은 비중계법을 이용하여 분석하였으며, pH와 EC (electrical conductivity)는 토양과 증류수를 1 : 5의 비율로 혼합하여 30분간 진탕 후 1시간 정치 후 Benchtop Meter with pH and EC (ORION™ Versa Star Pro™, Thermo Scientific Inc., Waltham, Massachusetts, USA)를 이용하여 분석하였다. 토양의 T-C (total carbon content)와 T-N (total nitrogen content)은 Elemental Analyzer (TruSpec Micro, Leco, Michigan, USA)를 이용하여 측정하였다. 유효 인산(available P₂O₅, Av. P₂O₅)은 UV/Vis-spectrophotometer (GENESYS 50, Thermo Scientific Inc., Waltham, Massachusetts, USA)를 이용하여 640 nm에서 Lancaster법으로 분석하였다. 치환성양이온(exchangeable cations, Ex. cations)은 pH 7.0으로 교정한 1 M NH₄OA₆로 토양을 침출하여 ICP-OES (PerkinElmer Avio 500, Thermo Scientific Inc., Waltham, Massachusetts, USA)로 분석하였다.

유기질 비료의 pH와 EC는 비료와 증류수를 1 : 10의 비율로 혼합하여 Benchtop Meter with pH and EC로 측정하였다. 유기질 비료의 T-C, T-N는 CHN Elemental Analyzer로 분석하였다. T-P₂O₅와 양이온(CaO, K₂O, MgO, Na₂O)은 nitric acid와 perchloric-nitric acid 용액으로 시료를 추출하여 ICP-OES로 분석하였다.

처리구 설정

처리구의 크기는 3.0 m × 3.5 m (0.11 a)로 설정하였으며, 다른 처리구 비료의 성분이 혼입되지 않도록 처리구간 사이를 1 m씩 거리를 둔 상태로 설치하였다. 처리구는 무처리구(control), 무기질 비료 단독 처리구(NPK standard), 유기질 비료 단독 처리구(OF_A; OF_B; OF_C; OF_D), 유기질 비료와 무기질 비료를 혼합 처리한 처리구(OF_A + NPK; OF_B + NPK; OF_C + NPK; OF_D + NPK)로 구분하였다. 유기질 비료의 경우 질소를 기준으로 120 kg·N·ha⁻¹를 처리하였으며, 무기질 비료 중 요소는 농촌진흥청에서 발간한 가을배추의 시비처방기준(NIAST, 2012)에 의거하여 320 kg·N·ha⁻¹를 처리하였다. 용성인비(P₂O₅)와 염화가리(K₂O)는 각각 78, 198 kg·ha⁻¹를 처리하였다. 시비 횟수 및 방식의 경우 유기질 비료와 용성인비는 전량 기비로 처리하였고, 무기질 비료(요소, 염화가리)는 총 4회에 걸쳐 분시하였다. 분시는 약 15일 간격으로 실시하였으며, 작물 수확은 정식 후 60일째에 실시하였다.

질소 비료 시비에 따른 배추 생육 특성 조사

배추 수확 후 처리구 당 생육이 좋은 상위 5개체를 선정하여 생육 조사를 실시하였다. 수확 직후 생체중, 구고, 구폭, 엽장 및 엽폭, 엽록소 함량을 측정하였고, 이후 배추 시료를 냉동 및 동결건조하여 건중량 및 전질소 함량을 측정하였다. 배추의 엽장과 엽폭은 상위 5개의 엽을 선정하여 측정 후 평균치를 계산하였고, 구고와 구폭은 생체중 측정 후, 배추를 반으로 절단하여 길이를 각각 측정하였다. 엽록소 함량(chlorophyll content)은 MINOLTA Chlorophyll meter (SPAD-502, Konica Minolta, Tokyo, Japan)를 이용하여 상위 5개 엽을 대상으로 측정하였다.

배추 내 글루코시놀레이트(GSLs) 추출 및 분석

배추를 동결건조 후 분말화하여 100 mg을 칭량하고, 70% methanol을 끓인 후, 1.5 mL를 시료에 첨가하여 추출한다. 추출한 시료는 70°C 항온수조에서 5분간 진탕한 후, 12,000 rpm에서 10분간 원심분리하여 상층액을 수거하고 남은 잔여물에 동일한 과정을 2회 반복하여 총 3회 추출한 추출물을 분석에 이용하였다. DEAE Sephadex A-25를 초순수에 녹인 후 분액여두에 넣고, 초순수를 모두 투입한 후 0.5 M sodium acetate를 첨가하여 H⁺형태로 활성화시켰다. 1 mL pipet tip의 끝을 탈지면으로 막고, 활성화된 DEAE Sephadex A-25를 넣은 후 추출물을 로딩하였다. 추출물이 다 빠지면 초순수 2 mL를 로딩하여 mini-column에 남아있는 불순물을 제거하였다. Paraffin film으로 컬럼 아래 부분을 막고 aryl sulfatase solution 75 µL을 넣은 후, mini-column 윗 부분을 파라핀 필름으로 막고 16시간 동안 상온에서 정치하였다. 2.0 mL-Eppendorf tube에 초순수를 1.5 mL 넣어 desulfo (DS)-GSL를 용출시켰다. 용출시킨 시료는 0.45 µm PTFE syringe filter로 여과한 후, HPLC (high-performance liquid chromatography) 분석을 실시하였다.

GSLs의 분석은 HPLC (Agilent Technologies 1260 series, Santa Clara, CA, USA)를 사용하였고, 분석 칼럼은 Inertsil ODS-3 column (150 × 3.0 mm I.d., particle size 3 µm, GL Science, Tokyo, Japan)을 사용하였다. 분석 조건은 검출 파장 (wavelength) 227 nm, 유량(flow rate) 0.4 mL·min⁻¹, 컬럼 온도(column temperature) 40°C로 설정하여 분석하였다. 분석을 위한 시료는 10.0 µL 주입하였다. 이동상 용매로 초순수(solvent A)와 acetonitrile (solvent B)를 사용하였고, 용매 구배는 solvent B를 기준으로 시료 당 27분의 분석 시간이 소요되었다. Solvent B는 처음 2분까지는 0%로 유지시키고 7분에 0에서 10%로 증가시키고, 16분에는 10에서 31%로 증가시켰다. 19분에는 31%를 유지시키고 21분까지 31에서 0%로 감소, 27분에는 0%를 유지시켰다. GSLs 함량은 각 시료를 3반복으로 분석하고 외부표준물질인 sinigrin의 HPLC 피크 면적(area)을 비교하여 각 성분의 response factor를 반영 후 이전 연구의 data를 참고하여 정성 및 정량하였다(ISO, 1992; Chun et al., 2018).

통계 분석

배추의 생육 조사 결과 및 GSLs 함량은 평균값으로 제시하였으며, 각 처리구 간의 통계적 유의차는 ANOVA 분석 이후 Duncan의 다중검정시험을 실시하여 비교하였다. 통계 분석을 위해 IBM SPSS Statistics version 26 (IBM, New York, USA)를 사용하였으며, 신뢰구간은 95%로 설정하였다.

Results and Discussion

유기질 비료의 화학적 특성

OF_A와 OF_B의 pH는 각각 pH 6.70과 pH 7.57로 농업부산물 탄화물을 포함하고 있는 OF_C와 OF_D에 비해 높은 pH를 나타내었다. 특히, OF_B는 OF_C (pH 6.30)와 OF_D (pH 6.30)와 비교하였을 때 20% 이상 높은 pH를 나타내었다. EC의 경우 OF_B는 66.56 dS·m⁻¹로 다른 유기질비료(OF_A, OF_C, OF_D)에 비해 높은 값을 나타내었다. 유기질비료의 T-N 또한 OF_B에서 5.99%로 가장 높았으며, OF_C에서 약 4.71%로 가장 낮은 값을 나타내었다. 각 유기질비료의 T-P₂O₅ 비교 시 시중에서 판매중인 유기질비료(OF_A, OF_B)에 비해 농업부산물 탄화물을 포함하고 있는 유기질비료(OF_C, OF_D)에서 낮게 나타났다. T-C는 T-P₂O₅와 반대로 OF_C와 OF_D에서 높게 나타났으며, 이는 농업부산물로부터 생성된 탄화물이 높은 탄소 함량을 가진 고형물질이란 점에서 기인된 것으로 판단된다(Park et al., 2020). 유기질비료 내 양이온 중 CaO와 K₂O는 OF_C와 OF_D에서 높게 나타났으며, MgO와 Na₂O는 OF_A와 OF_B에서 높게 나타났다. 각각의 유기질

비료 내 양이온 함량 비교 시 CaO와 K₂O는 OF_D에서 가장 높았으며, MgO와 Na₂O는 각각 OF_A와 OF_B에서 1.78%와 0.32%로 가장 높았다.

토양의 화학적 특성

실험 후 토양의 화학적 특성을 분석한 결과는 Table 3에 나타내었다. 실험 후 토양의 pH는 OF_A를 단독 처리한 처리구(OFA)를 제외한 모든 처리구에서 무처리구(control)에 비해 증가하였으며, 무기질비료를 단독 처리한 처리구(NPK standard)에서 가장 높게 증가하였다. EC의 경우 유기질비료를 단독 처리한 처리구(OFA-D)에 비해 무기질비료를 단독 및 혼합 처리한 처리구(NPK standard; OFA-D + NPK)에서 높게 증가하였으며, OF_B + NPK에서 4.29 dS·m⁻¹로 가장 높았다. 토양 내 T-C는 모든 처리구에서 실험 전 토양의 0.51%에 비해 증가하였으며, T-N은 유기질비료 단독 처리(0.07%)에 비해 무기질비료 단독 및 혼합 처리 시 최소 0.14%에서 최대 0.15%로 2배가량 증가하였다. 토양의 Av. P₂O₅는 T-N과 유사한 경향을 나타내었으며, 실험 전 토양(25.90 mg·kg⁻¹)에 비해 실험 후 토양의 OF_{B-D}를 제외한 모든 처리구에서 Av. P₂O₅가 증가하였다. 토양 내 양이온 함량(Ca²⁺, K⁺, Mg²⁺, Na⁺)의 경우 사용한 비료의 종류에 상관없이 모든 처리구에서 실험 후에 증가하였으며, K⁺는 유기질비료 단독 처리에 비해 유기질비료와 무기질비료를 혼합하여 처리하였을 때 높게 증가하였다.

Table 3. Soil characteristics after the experiment based on the use and application method of nitrogen fertilizer.

Treatment	pH (1 : 5, D.H ₂ O)	EC (dS·m ⁻¹)	T-C (%)	T-N (%)	Av. P ₂ O ₅ (mg·kg ⁻¹)	Exchangeable cations (cmol _c ·kg ⁻¹)			
						Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
Control	5.96 ± 0.44	0.28 ± 0.02	0.54 ± 0.02	0.07 ± 0.00	26.32 ± 7.69	6.53 ± 0.39	0.21 ± 0.03	2.54 ± 0.25	0.12 ± 0.01
NPK standard	8.35 ± 0.18	3.98 ± 1.06	0.77 ± 0.02	0.14 ± 0.01	37.97 ± 9.35	6.49 ± 0.48	4.13 ± 1.02	1.91 ± 0.22	0.19 ± 0.04
OFA	5.87 ± 0.67	0.43 ± 0.10	0.59 ± 0.05	0.07 ± 0.00	35.22 ± 7.81	5.85 ± 0.92	0.20 ± 0.03	2.26 ± 0.30	0.12 ± 0.02
OFA + NPK	7.60 ± 0.66	3.74 ± 1.11	0.82 ± 0.02	0.14 ± 0.01	38.28 ± 6.67	6.05 ± 1.38	2.86 ± 1.64	1.93 ± 0.44	0.17 ± 0.04
OFB	6.07 ± 0.37	0.45 ± 0.06	0.55 ± 0.06	0.07 ± 0.00	19.92 ± 5.57	6.33 ± 0.99	0.18 ± 0.03	2.45 ± 0.29	0.13 ± 0.02
OFB + NPK	8.28 ± 0.31	4.29 ± 0.51	0.79 ± 0.04	0.14 ± 0.01	43.90 ± 10.24	6.32 ± 0.27	3.48 ± 1.18	1.92 ± 0.26	0.20 ± 0.03
OFc	6.12 ± 0.36	0.41 ± 0.08	0.58 ± 0.02	0.07 ± 0.00	23.06 ± 3.42	6.66 ± 0.56	0.25 ± 0.09	2.51 ± 0.22	0.12 ± 0.02
OFc + NPK	8.23 ± 0.36	3.83 ± 0.49	0.77 ± 0.07	0.14 ± 0.01	45.04 ± 6.01	6.06 ± 0.99	3.35 ± 0.84	1.77 ± 0.19	0.16 ± 0.01
OFD	6.12 ± 0.36	0.36 ± 0.03	0.57 ± 0.05	0.07 ± 0.01	25.87 ± 12.55	6.07 ± 0.66	0.19 ± 0.01	2.34 ± 0.21	0.12 ± 0.02
OFD + NPK	7.99 ± 0.40	3.86 ± 0.65	0.72 ± 0.02	0.15 ± 0.01	42.52 ± 14.97	5.93 ± 1.46	3.05 ± 1.03	1.82 ± 0.32	0.17 ± 0.04

OF_x, organic fertilizer A - D; D.H₂O, distilled water; EC, electrical conductivity; T-C, total carbon content; T-N, total nitrogen content; Av. P₂O₅, available phosphate.

배추 생육 평가

60일간 재배한 배추의 생육 특성을 조사한 결과는 Table 4에 나타내었다. 작물의 생중량은 무기질비료의 영향을 크게 받아, 유기질비료 단독 처리에 비해 유기질비료 및 무기질비료 혼합 처리 시 더 높게 증가하였다. 유기질비료를 단독 처리한 처리구 내에서는 OF_C의 생중량이 약 799.6 g으로 가장 높았으며, OF_A에서 약 671.3 g으로 가장 낮았다. 무기질비료 단독 처리 및 유기질비료와 혼합 처리 시 OF_B에서 937.6 g으로 가장 높았으며, NPK standard에서 687.6 g으로 가장 낮았다. 배추의 구고와 구폭은 유기질비료 단독 처리 시 OF_C에서 각각 8.6 cm와 9.4 cm로 가장 높게 나타났으며, 유기질비료와 무기질비료 혼합 처리 시 OF_B + NPK에서 8.8 cm와 10.1 cm로 가장 높았다. 엽부위의 생육은 생중량과 유사한 경향을 나타내었으며, OF_B + NPK에서 30.8 cm와 22.8 cm로 가장 좋은 생육을 나타내었다. 배추의 수분함량은 NPK standard에서 88.9%로 가장 높았으며, control에서 63.2%로 가장 낮았다. 이전 선행 연구의 결과에 따르면, 10 - 11월에 수확한 배추의 수분함량은 약 90% 이상을 차지하였다(Lee et al., 1994; Kim et al., 2010). 이는 정식 직전 기상 상황의 악화로 정식 시기가 늦어져 저온현상으로 인해 배추의 결구가 지연된 결과라고

생각된다. 배추의 생중량을 조사한 결과를 비교하였을 때 NPK standard (687.6 g)와 유기질비료 단독 처리구(OF_{A-D})의 생육이 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다. 토양 내 질소 성분의 공급은 작물의 생육 및 수량에 직접적으로 영향을 미치며, 특히 유기질비료의 경우 유기태 질소의 무기화 속도에 따라 작물 생육이 달라질 수 있다(Cho and Chang, 2007). 또한 Kim 등(2020)의 보고에서는 유기질 비료 처리 시 무기질 비료와 대비하여 질소이용효율이 증가하였다고 보고하였다. 작물의 질소이용효율은 작물 성장과 직접적으로 연관되며, 이에 따라 본 연구에서도 무기질비료를 단독 처리한 처리구(NPK standard)에 비해 유기질비료 단독 처리구(OF_{A-D}) 및 무기질비료와 혼합 처리한 처리구(OF_{A-D} + NPK)에서 작물의 생육이 증가하였다.

Table 4. Chinese cabbage growth based on the use and application method of nitrogen fertilizer.

Treatment	Head				Leaf		Chlorophyll (SPAD)
	Fresh weight (g)	Water content (%)	Height (cm)	Width (cm)	Length (cm)	Width (cm)	
Control	156.7 ± 31.9e	63.2 ± 8.0c	2.5 ± 0.5d	4.0 ± 0.0d	19.2 ± 2.6c	11.7 ± 1.7c	49.4 ± 8.7c
NPK standard	687.6 ± 35.0d	88.9 ± 1.6a	6.4 ± 0.8c	7.7 ± 1.3c	27.1 ± 2.3b	18.9 ± 1.9b	55.5 ± 5.1b
OF _A	671.3 ± 31.0d	80.2 ± 1.4b	7.2 ± 1.4bc	8.6 ± 1.2ab	28.1 ± 2.2ab	20.0 ± 3.5ab	59.6 ± 5.7ab
OF _A + NPK	799.3 ± 28.9bcd	76.1 ± 2.7b	7.7 ± 0.9abc	8.8 ± 0.8abc	28.9 ± 2.4ab	21.0 ± 2.2ab	59.0 ± 6.1ab
OF _B	738.1 ± 35.7cd	71.6 ± 3.8b	6.6 ± 0.6c	8.1 ± 1.1bc	28.6 ± 1.8ab	21.2 ± 3.0ab	56.7 ± 5.4ab
OF _B + NPK	937.6 ± 49.6a	77.2 ± 2.1b	8.8 ± 1.4a	10.1 ± 1.2a	30.8 ± 2.3a	22.8 ± 2.9a	58.6 ± 6.0ab
OF _C	799.6 ± 46.4abc	89.4 ± 3.1a	8.6 ± 1.6ab	9.4 ± 1.1ab	30.0 ± 5.3ab	22.9 ± 3.2a	58.9 ± 5.7ab
OF _C + NPK	907.6 ± 65.2ab	88.4 ± 2.8a	6.8 ± 1.6c	8.0 ± 1.9bc	27.7 ± 3.0ab	19.8 ± 4.8ab	58.7 ± 6.6ab
OF _D	698.2 ± 115.8d	75.9 ± 2.7b	7.3 ± 0.8bc	8.5 ± 1.0ab	29.1 ± 2.5ab	22.6 ± 2.5a	58.2 ± 7.1ab
OF _D + NPK	858.9 ± 90.4abc	72.0 ± 5.1b	7.4 ± 1.1abc	8.5 ± 1.4ab	27.8 ± 2.8ab	21.2 ± 4.2ab	59.8 ± 9.8a

OF_x, organic fertilizer A - D.

a - e: Within each column, values followed by the same letters are not significantly different at $p < 0.05$, using Duncan's multiple-range test ($n = 3$).

배추 내 GSLs 함량

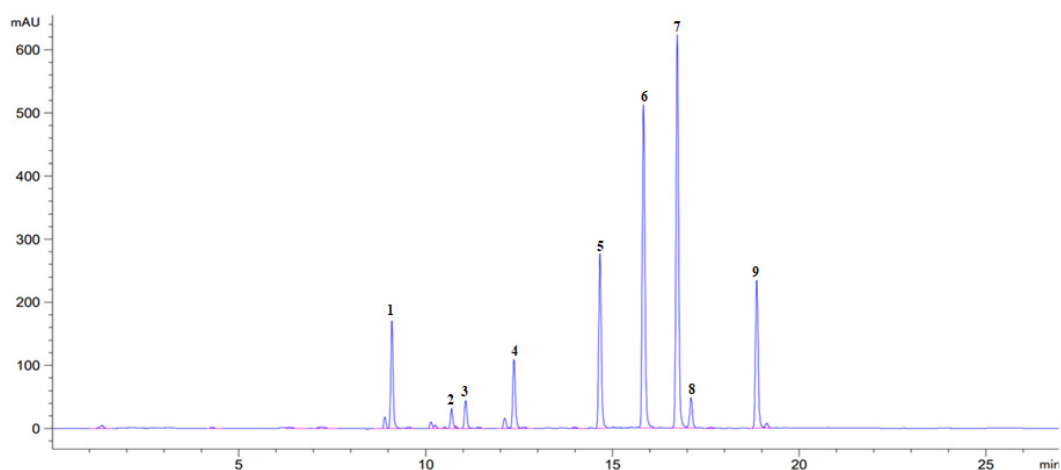
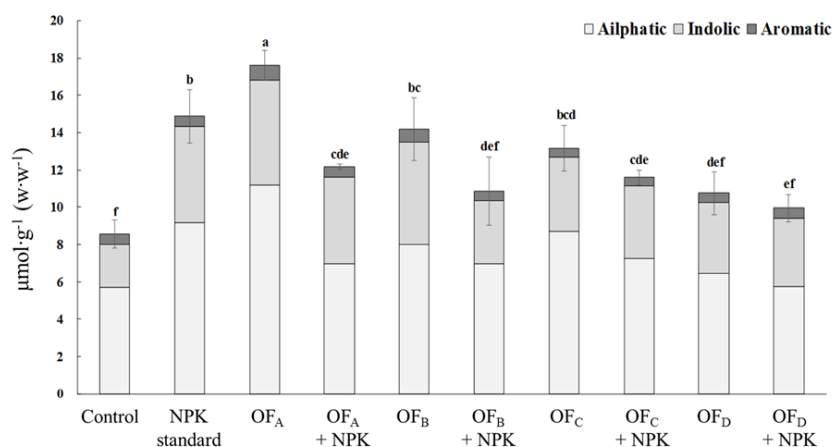
Fig. 1은 HPLC를 이용하여 배추 내 GSLs 함량을 분석 시 도출되는 결과를 나타내며, 각각의 비료 처리에 따른 배추 내 GSLs 함량을 비교한 결과는 Table 5과 Fig. 2에 나타내었다. 배추에서 총 9가지 GSLs 성분(aliphatic GSLs 5개; indolic GSLs 3개; aromatic GSLs 1개)이 분리되었고, 이전의 보고와 비교하여 각 성분을 동정하였다(Park et al., 2017; Oh et al., 2018). 유기질비료 단독 처리 시 유기질비료와 무기질비료를 혼합 처리한 처리구(OF_{A-D} + NPK)에 비해 GSLs 함량이 높게 나타났으며, 그 중에서도 OF_A에서 GSLs의 함량이 가장 높았다. 일반적으로 항암 예방 효과가 있다고 알려진 indolic GSLs는 유기질비료와 무기질비료를 혼합 처리하였을 때 감소하였는데, 이는 질소 투입량이 증가하면서 indolic GSLs의 함량이 감소한 것으로 사료된다. 기 보고된 연구 결과에서는 배추 재배 시 요소를 표준 시 비량(320 kg·N·ha⁻¹), 반량(160 kg·N·ha⁻¹), 배량(640 kg·N·ha⁻¹)으로 각기 다른 양을 처리하여 재배한 배추의 GSLs 함량은 표준량을 처리하였을 때 가장 높게 나타났고, 반량, 배량 순으로 높게 나타났다고 보고하였다(Chun et al., 2022). 본 연구의 결과와 기 보고된 논문의 결과로 미루어보아 배추 재배 시 질소질비료의 투입은 작물 생육 및 GSLs 생합성에 있어 필수적이지만 일정량 이상의 처리는 지양해야 할 것으로 판단된다. 또한, 배추 재배 시 토양 pH 차이에 의해 배추의 기능성분 및 영양성분이 달라진다는 선행 연구의 결과를 통해 본 연구에서 무기질비료 처리에 의해 배추 재배 토양의 pH가 증가하여, 배추 생육 및 기능성에 영향을 미쳤다고 판단된다(Jo et al., 2010; Lee et al., 2010).

Table 5. Glucosinolate contents in Chinese cabbage effected by nitrogen fertilizer.

Treatment	Aliphatic GSLs					Indolic GSLs			Aromatic GSLs	Total
	PRO	GAL	GNP	GNA	GBN	GBS	4-MGBS	NGBS	GNST	
Control	1.01±0.20c	0.17±0.03c	0.28±0.06c	1.20±0.13bc	3.05±0.09abc	0.69±0.20e	1.01±0.18d	0.58±0.08abc	0.29±0.14bc	8.28±0.76f
NPK standard	2.06±0.16ab	0.32±0.07abc	0.46±0.02abc	1.99±0.78ab	4.35±1.15ab	1.99±0.33ab	2.59±0.11a	0.56±0.01bc	0.42±0.14b	14.77±1.42b
OF _A	2.52±0.30a	0.46±0.03a	0.59±0.11a	2.47±0.30a	5.15±0.23a	2.26±0.27a	2.61±0.05a	0.77±0.05a	0.77±0.05a	17.59±0.79a
OF _A +NPK	1.95±0.06ab	0.43±0.03ab	0.53±0.03ab	1.06±0.10bc	2.99±0.18bc	1.80±0.11abc	2.34±0.03ab	0.53±0.04bc	0.45±0.19b	12.08±0.13cde
OF _B	2.10±0.36ab	0.41±0.10ab	0.55±0.14a	1.37±0.70bc	3.58±1.09bc	2.21±0.41a	2.54±0.15a	0.70±0.20ab	0.32±0.12bc	13.79±1.69bc
OF _B +NPK	1.63±0.48b	0.37±0.14ab	0.41±0.14abc	1.43±0.31bc	3.12±0.48bc	1.16±0.30de	1.73±0.47c	0.50±0.04bc	0.20±0.07c	10.55±1.81def
OF _C	2.22±0.20a	0.26±0.01bc	0.57±0.07a	1.66±0.25abc	3.99±0.78ab	1.45±0.15bcd	2.10±0.06abc	0.45±0.01c	0.32±0.01bc	13.03±1.20bcd
OF _C +NPK	1.58±0.05b	0.32±0.01abc	0.36±0.02abc	1.57±0.43abc	3.44±0.19bc	1.14±0.16bcd	1.99±0.10bc	0.46±0.04c	0.17±0.00c	11.30±0.42cde
OF _D	1.61±0.20b	0.26±0.08bc	0.43±0.02abc	1.14±0.29bc	2.99±0.61bc	1.43±0.27bcd	1.89±0.37bc	0.50±0.11bc	0.22±0.07bc	10.47±1.14def
OF _D +NPK	1.60±0.17b	0.35±0.09ab	0.41±0.04abc	0.95±0.30c	2.45±0.32c	1.31±0.21cd	1.84±0.34bc	0.53±0.13bc	0.21±0.05c	9.63±0.71ef

OF_x, organic fertilizer A - D; GSLs, glucosinolates; PRO, progoitrin; SIN, sinigrin; GAL, glucoalyssin; GNP, gluconapoleiferin; GNA, gluconapin; GBN, glucobrassicinapin; GBS, glucobrassicin; 4-MGBS, 4-methoxyglucobrassicin; NGBS, neoglucobrassicin; GNST, gluconast.

a - f: Within each column, values followed by the same letters are not significantly different at $p < 0.05$, using Duncan's multiple-range test ($n = 3$).

**Fig. 1.** High-performance liquid chromatography (HPLC) chromatogram of glucosinolates in Chinese cabbage. Peak numbers refer to the glucosinolates shown in Table 5.**Fig. 2.** Glucosinolate portions divided into three groups in Chinese cabbage. a - f: Within each column, values followed by the same letters are not significantly different at $p < 0.05$, using Duncan's multiple-range test ($n = 3$).

Conclusion

본 연구는 작물 재배 시 필수적으로 요구되는 질소질비료의 종류와 시비 방식이 배추 생육에 미치는 영향을 평가하고자 하였다. 농업부산물로부터 생성된 탄화물을 혼합하여 제조한 유기질비료(OF_C, OF_D)는 시판중인 유기질비료(OF_A, OF_B)에 비해 pH와 T-N, T-P₂O₅는 낮았으나 T-C와 CaO, K₂O의 함량은 높게 나타났다. 또한, 유기질비료 단독 처리 시 농업부산물 탄화물을 포함하는 유기질비료가 토양의 pH 및 양이온 함량 증가에 기인하는 것으로 확인되었다. 배추의 생육은 유기질비료 단독 처리에 비해 유기질비료와 무기질비료를 혼합 처리하였을 때 생육이 크게 증가하였다. 특히, 유기질비료 단독 처리 시 OF_B에서 생육이 가장 좋았으며, 유기질비료와 무기질비료를 혼합 처리 시에는 OF_C + NPK에서 가장 좋은 생육을 나타내었다. 배추 내 기능성 성분으로 알려진 glucosinolates 함량은 유기질비료와 무기질비료 혼합 처리에 비해 유기질비료 단독 처리 시 더 높게 나타났다. 따라서, 작물 재배 시 일반적으로 많이 이용되는 무기질비료와 바이오매스 및 유기 자원을 친환경적으로 재활용할 수 있는 유기질비료의 적절한 시비 방식은 작물의 생육과 더불어 기능성 성분도 증대시킬 수 있을 것으로 기대된다.

Conflict of Interests

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

Acknowledgements

This work was carried out with the support of Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (Project No. PJ01702802), Rural Development Administration, Republic of Korea.

Authors Information

Jin-Hyuk Chun, <https://orcid.org/0000-0002-3802-6834>

Yun-Gu Kang, <https://orcid.org/0000-0001-5368-5910>

Yong-Jun Yu, Department of Bio-Environmental Chemistry, Chungnam National University, Undergraduate student

Jae-Han Lee, <https://orcid.org/0000-0001-5761-2006>

Yeo-Uk Yun, Chungnam Agricultural Research and Extension Services, Researcher

Taek-Keun Oh, <https://orcid.org/0000-0003-0215-0427>

References

- Benbrook C. 2009. The impacts of yield on nutritional quality: Lessons from organic farming. *HortScience* 44:12-14.
- Chen XJ, Zhu ZJ, Ni XL, Qian QQ. 2006. Effect of nitrogen and sulfur supply on glucosinolates in *Brassica campestris* ssp. *chinensis*. *Agricultural Sciences in China* 5:603-608.
- Cho SH, Chang KW. 2007. Nitrogen mineralization of oil cakes according to changes in temperature, moisture, soil depth and soil texture. *Journal of the Korea Organic Resources Recycling Association* 15:149-158. [in Korean]

- Chun JH, Kang YG, Lee JH, Yun Yu, Oh TK, Yoon MH. 2022. The combined effect of nitrogen and biochar amendments on the yield and glucosinolate contents of the Chinese cabbage. *Journal of King Saud University-Science* 34:101799.
- Chun JH, Kim NH, Seo MS, Jin M, Park SU, Arasu MV, Kim SJ, Al-Dhabi NA. 2018. Molecular characterization of glucosinolates and carotenoid biosynthetic genes in Chinese cabbage (*Brassica rapa* L. ssp. *pekinensis*). *Saudi Journal of Biological Sciences* 25:71-82.
- Hong SJ, Kim BS, Park NI, Eum HL. 2017. Influence of nitrogen fertilization on storability and the occurrence of black speck in spring Kimchi cabbage. *Horticultural Science and Technology* 35:727-736.
- ISO (International Standards Organization). 1992. Rapeseed: Determination of glucosinolates content-part 1: Method using high performance liquid chromatography. pp. 1-9. ISO 9167-1 (E), Geneva, Switzerland.
- Jeon BJ, Lim SS, Lee KS, Lee SI, Ham JH, Yoo SH, Yoon KS, Choi WJ. 2014. Understanding spatial variations of water quality using agricultural nutrient indices in Chonnam province. *Korean Journal of Environmental Agriculture* 33:44-51. [in Korean]
- Jo MH, Ham IK, Lee EM, Lee JE, Jiang N, Lim YP, An G. 2010. Components in Chinese cabbage (*Brassica rapa* ssp. *campestris*) as affected by soil pH: 6.9 vs. 7.6. *Journal of Agricultural Science* 37:73-80.
- Kang YG, Lee JH, Chun JH, Yun YU, Hatamleh AA, Al-Dosary MA, Al-Wasel YA, Lee KS, Oh TK. 2022. Influence of individual and co-application of organic and inorganic fertilizer on NH₃ volatilization and soil quality. *Journal of King Saud University-Science* 34:102068.
- Kang YG, Lee JH, Chun JH, Yun YU, Oh TK, Sung JK. 2021. Evaluation of NH₃ emissions in accordance with the pH of biochar. *Korean Journal of Agricultural Science* 48:787-796. [in Korean]
- Kim MK, Hong EY, Kim GH. 2010. Change of total glucosinolates level according to processing treatments in Chinese cabbage (*Brassica campestris* L. ssp. *pekinensis*) from different harvest seasons. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology* 28:593-599. [in Korean]
- Kim SC, Kim MS, Park SJ, Kim SH, Lee CH. 2018. Estimation of nutrient balance in field crops applied with different fertilization. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* 51:427-434. [in Korean]
- Kim SH, Park SJ, Shim JH, Seo HB, Lim JE, Lee YH, Hwang HY, Kim MS. 2020. Effects of different organic fertilizers and fertilization method on red pepper growth and soil chemical properties. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* 53:110-117. [in Korean]
- Lee IS, Park WS, Koo YJ, Kang KH. 1994. Comparison of fall cultivars of Chinese cabbage for Kimchi preparation. *Korean Journal of Food Science and Technology* 26:226-230. [in Korean]
- Lee JE, Wang P, Kim G, Kim S, Park S, Hwang YS, Lim YP, Lee EM, Ham IK, Jo MH, et al. 2010. Effects of soil pH on nutritional and functional components of Chinese cabbage (*Brassica rapa* ssp. *campestris*). *Korean Journal of Horticultural Science and Technology* 28:353-362.
- Lee SB, Lee CH, Hong CO, Kim YB, Kim PJ. 2009. Effect of organic residue incorporation on salt activity in greenhouse soil. *Korean Journal of Environmental Agriculture* 28:397-402. [in Korean]
- Li S, Schonhof I, Krumbein A, Li L, Stutzel H, Schreiner M. 2007. Glucosinolate concentration in turnip (*Brassica rapa* ssp. *rapifera* L.) roots as affected by nitrogen and sulfur supply. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 55:8452-8457.
- Liao J, Liu X, Hu A, Song H, Chen X, Zhang Z. 2020. Effects of biochar-based controlled release nitrogen fertilizer on nitrogen-use efficiency of oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Scientific Reports* 10:1-14.
- Mangnusson M. 2002. Mineral fertilizers and green mulch in Chinese cabbage [*Brassica pekinensis* (Lour.) Rupr.]: Effect on nutrient uptake, yield and internal tipburn. *Soil & Plant Science* 52:25-35.
- Mer RK, Prajith PK, Pandya DM, Pandey AN. 2000. Effect of salts on germination of seeds and growth of young plants of *Hordeum vulgare*, *Triticum aestivum*, and *Brassica juncea*. *Journal of Agronomy and Crop Science* 185:209-217.
- NIAS (National Institute of Agricultural Science and Technology). 2012. Fertilization standard on crops. NIAS RDA, Suwon, Korea.
- Oh SH, Choi SR, Pang W, Rameneni JJ, Yi SY, Kim MS, Im SB, Lim YP. 2018. Identification of glucosinolate-associated QTLs in cabbage (*Brassica oleracea* L. var. *capitata*). *Korean Journal of Agricultural Science* 45:1-8.

- Padill G, Cartea ME, Velasco P, Haro A, Ordás A. 2007. Variation of glucosinolates in vegetable crops of *Brassica rapa*. *Phytochemistry* 68:536-545.
- Park SY, Choi HY, Kang YG, Park SJ, Luyima D, Lee JH, Oh TK. 2020. Evaluation of ammonia (NH₃) emissions from soil amended with rice hull biochar. *Korean Journal of Agricultural Science* 47:1049-1056. [in Korean]
- Park YJ, Chun JH, Woo H, Akiko MN, Kim SJ. 2017. Effects of different sulfur ion concentration in nutrient solution and light source on glucosinolate contents in kale sprouts (*Brassica oleracea* var. *acephala*). *Korean Journal of Agricultural Science* 44:261-271. [in Korean]
- Parris K. 2011. Impact of agriculture on water pollution in OECD countries: recent trends and future prospects. *International Journal of Water Resources Development* 27:33-52.
- Rangkadilok N, Nicolas ME, Bennett RN, Eagling DR, Premier RR, Taylor PWJ. 2004. The effect of sulfur fertilizer on glucoraphanin levels in broccoli (*B. oleracea* L. var *italica*) at different growth stages. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52:2632-2639.
- Wang Z, Li S. 2004. Effects of nitrogen and phosphorus fertilization on plant growth and nitrate accumulation in vegetables. *Journal of Plant Nutrition* 27:539-556.
- Wu L, Jiang Y, Zhao F, He X, Liu H, Yu K. 2020. Increased organic fertilizer application and reduced chemical fertilizer application affect the soil properties and bacterial communities of grape rhizosphere soil. *Scientific Reports* 10:1-10.
- Yang Q, Liu P, Shuting D, Zhang J, Zhao B. 2020. Combined application of organic and inorganic fertilizers mitigates ammonia and nitrous oxide emissions in a maize field. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 117:13-27.