

Short Communication



CrossMark

Open Access

신개발 심층시비장치를 이용한 심층시비가 벼와 콩 수량에 미치는 영향

홍성창*, 김민욱, 김진호

농촌진흥청 국립농업과학원 기후변화평가과

Effect of Fertilizer Deep Placement on Rice and Soybean Yield Using Newly Developed Device for Deep Fertilization

Sung-Chang Hong^{*}, Min-Wook Kim and Jin-Ho Kim (Climate Change & Assessment Division, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea)

Received: 4 March 2023/ Revised: 16 March 2023/ Accepted: 25 March 2023

Copyright © 2023 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

Sung-Chang Hong

<https://orcid.org/0000-0002-9042-1284>

Min-Wook Kim

<https://orcid.org/0000-0001-8262-5909>

Jin-Ho Kim

<https://orcid.org/0000-0002-5266-1586>

Abstract

Nitrogen fertilizer is an essential macronutrient that requires repeated input for crop cultivation. Excessive use of nitrogen fertilizers can adversely affect the environment by discharging NH₃, NO, and N₂O into the air and leaching into surrounding water systems through rainfall runoff. Therefore, it is necessary to develop a technology that reduces the amount of nitrogen fertilizer used without compromising crop yields. Fertilizer deep placement could be a technology employed to increase the efficiency of nitrogen fertilizer use. In this study, a deep fertilization device that can be coupled to a tractor and used to inject fertilizer into the soil was developed. The deep fertilization device consisted of a tractor attachment part, fertilizer amount control and supply part, and an underground fertilizer input part. The fertilization depth was designed to be adjustable from the soil surface down to a depth of 40 cm in the soil. This device injected fertilizer at a speed of 2,000 m²/hr to a depth of 25 to 30 cm through an underground fertilizer injection pipe while being attached to and towed by a 62-horsepower agricultural tractor. Fur-

thermore, it had no difficulty in employing various fertilizers currently utilized in agricultural fields, and it operated well. It could also perform fertilization and plowing work, thereby further simplifying agricultural labor. In this study, a newly developed device was used to investigate the effects of deep fertilizer placement (FDP) compared to those with urea surface broadcasting, in terms of rice and soybean grain yields. FDP increased the number of rice grains, resulting in an average improvement of 9% in rice yields across three regions. It also increased the number of soybean pods, resulting in an average increase of 23% in soybean yields across the three regions. The results of this study suggest that the newly developed deep fertilization device can efficiently and rapidly inject fertilizer into the soil at depths of 25 to 30 cm. This fertilizer deep placement strategy will be an effective fertilizer application method used to increase rice and soybean yields, in addition to reducing nitrogen fertilizer use, under conventional rice and soybean cultivation conditions.

Key words: Fertilizer deep placement, Nitrogen, Rice, Soybean, Yield

* Corresponding author: Sung-Chang Hong
Phone: +82-63-238-2501; Fax: +82-63-238-3825;
E-mail: schongcb@korea.kr

서론

질소는 농작물 재배에 반복적으로 다량 투입해야 하는 필수 원소이나 질소비료의 과다한 사용은 암모니아(NH₃) 기체, 아산화질소(N₂O) 기체의 배출, 강우 유출수에 의한 주변 수계로의 유출 등으로 환경에 영향을 줄 수 있다. 현재 농업현장에서 작물을 재배하기 위해 비료를 살포하는 방법은 논 토양에서는 비료살포 후 물을 댄 후 써레질하여 전층시비(whole layer fertilization)하고 밭 토양에서는 토양 표면에 살포 후 로터리 작업 등으로 토양입자와 혼합해 주는 방식이다. 이 방식은 로터리 회전날 깊이 만큼만 토양을 반전시키고 표면의 토양과 비료 입자가 혼합되어 작물의 흡수율이 낮고 암모니아가 배출 되는 문제점이 있다.

일부 동남아시아 국가에서는 요소를 성형하여 요소 고풍비료(briquette) 형태로 벼 이앙 후 주입하는 요소 심층시비(urea deep placement) 기술을 농업현장에서 사용 중이다. 요소 고풍비료를 8-10 cm 심층시비하면 벼 수량을 21% 증가시키고 질소흡수효율을 표면살포보다 58% 향상시키며[1] 토양 깊이 20 cm에 심층시비하면 표면살포 후 토양교반 처리보다 볏 밀의 생산량을 11% 증가시킨다[2]. 따라서 심층시비는 작물재배 시 비료 흡수효율을 높여 농작물의 생산성을 향상시키고 온실가스, 수계로의 유출 등에 의한 환경오염부하를 줄일 수 있는 기술로 검토될 수 있다.

우리나라의 식량작물인 벼의 표준시비량은 5,000 kg·ha⁻¹ 쌀 수량 확보기준 110-45-57 (N-P-K) kg·ha⁻¹, 4,800 kg·ha⁻¹ 확보기준은 90-45-57 (N-P-K) kg·ha⁻¹이다. 벼의 비료 처리는 중요한 생육시기의 질소 요구도에 따라 나누어 살포하는데 인산, 칼리 성분은 전량 기비로 공급하고 질소성분은 기비로 56%, 가지거름(분얼비) 22%, 이삭거름(수비) 22%로 나누어 준다. 대표적인 밭 작물인 콩의 표준시비량은 30-30-32 (N-P-K) kg·ha⁻¹이며 전량 기비로 사용하고 생육에 따라서 순지르기 후 1회 질소비료로 웃거름을 준다. 최근 벼 이앙시 동시에 기비를 벼 식물체 옆에 처리하는 측조시비가 널리 행해지고 있으나 이 시비법은 비료가 토양 표면에 노출되는 경우도 많아 암모니아 배출이 많을 수 있다. 한편, 벼와 콩 뿐 아니라 다양한 밭작물 재배시 웃거름을 주는 노동력 절감 등을 위해 복합비료나 완효성 비료를 사용하는 경우가 많다. 따라서 농업현장에서 질소비료의 이용 효율을 높여 환경을 보호하고 비

료 구입비용 절감, 시비 노동력 절감 등을 위해 심층시비 등 새로운 시비방법의 개발이 필요한 실정이다.

따라서, 본 연구는 신개발 심층시비장치를 이용하여 우리나라 식량작물인 벼와 대표적인 밭 작물인 콩 재배를 위한 기비를 처리하여 기계적 작동 안정성, 비료 투입량 조절, 작물의 생장, 수량 등에 미칠 수 있는 사용상의 문제점을 파악하고 벼와 콩재배 농업현장에서 이용될 수 있는 가능성을 검토하기 위하여 수행하였다.

재료 및 방법

벼 재배실험

본 연구는 2022년 5월 부터 2022년 11월 까지 전북 완주군에 위치한 국립농업과학원 기후변화평가과의 실험포장과 경기도 화성시, 충남 공주시, 전북 완주군의 논과 밭 시험포장에서 수행하였다.

벼 포트재배 실험은 국립농업과학원의 종합유리온실 내부에서 2022년 2월 25일부터 7월 30일까지 수행하였다. 포트 실험의 처리내용은 Table 1과 같다. 포트는 1/3000a 와그너 포트를 이용하였고 표면살포 처리구는 토양표면에 비료를 뿌린 후 토양과 혼합하였다. 심층시비처리구는 기비를 포트의 토양속 25 cm에 처리하였다. 시비처리 후 신동진벼를 1주 3분씩 이앙한 후 출수기까지 재배하였으며 재배 후 이삭수, 생체중, 건물중을 조사하였다.

포장실험의 시비처리는 관행의 표면살포와 심층시비 처리구로 구성하였고 각 처리구별 면적은 500 m²이었다.

경기도 화성시, 충남 공주시, 전북 완주군 소재의 시험포장은 심층시비장치를 이용하여 5월 18일에 벼의 표준시비량 90-77-74(N-P-K) kg·ha⁻¹ 중 기비 표준시비량인 50-77-74 (N-P-K) kg·ha⁻¹의 해당량을 처리하였다. 벼 품종은 지역 시험포장의 특성 등을 고려하여 해당지역에서 널리 재배하는 품종을 사용하였다. 이에따라 화성시는 일본품종인 고시히까리(Koshihikari), 공주시는 새누리벼(Saenuri-byeo) 완주군 소재 시험포장은 참동진벼(Chamdongjin-byeo)를 사용하였고 각각 5월 23일, 5월 29일, 6월 2일에 이앙하였다. 벼 재배 후 각각 9월 21일, 9월 28일, 10월 6일에 3.3 m² 면적에서 수확하여 수량구성요소 및 벼 수량을 조사하였다. 여기서 드문드문 이앙한 화성시는 3.3 m² 면적에서 43주, 공주시와 완주군 소

Table 1. Nitrogen fertilizer dividing treatment contents in rice pot experiment

Treatment	Remark
NF	No fertilization
SS N 100	Surface spray of 100% nitrogen application ratio according to amount of standard fertilization
FDP + SS N 100	Basal fertilization by FDP + tiller fertilization, panicle fertilization by surface spray, 100% nitrogen application ratio of amount of standard fertilization
FDP N 56	Only basal fertilization by FDP, 56% nitrogen application ratio of amount of standard fertilization
FDP N 100	100% nitrogen application ratio of amount of standard fertilization by FDP as a basal fertilization all at once

NF: no fertilization, SS: surface spray, FDP: fertilizer deep placement

Table 2. Chemical property of rice paddy soil used in field experiment

Experiment Site	pH (1:5)	EC (dS/m-1)	OM (g kg ⁻¹)	Available P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	T-N (%)	mg kg ⁻¹		Ex. Cations (cmol kg ⁻¹)			
						NO ₃ -N	NH ₄ -N	Ca	K	Na	Mg
Hwasung	6.3	2.29	40.3	122	0.27	7.4	16.3	7.53	0.53	1.46	2.65
Gongju	6.4	1.87	91.4	3,817	0.70	105.5	18.9	11.87	1.59	0.35	3.43
Wanju	6.4	1.30	43.2	844	0.30	46.4	15.5	6.12	1.16	0.24	1.35

Table 3. Nitrogen fertilizer dividing treatment contents in soybean pot experiment

Treatment	Remark
SS N 100	Surface spray of 100 % nitrogen application ratio according to amount of standard fertilization
FDP N 50	Only basal fertilization by FDP, 50 % nitrogen application ratio of amount of standard fertilization

재 시험포장은 75주를 수확하여 수량구성요소 및 벼 수량을 조사하였다.

실험 전 논 토양의 이화학적은 Table 2와 같다. 본 실험에 사용된 시험포장 중 공주시 소재 시험포장의 토양은 시설채소를 재배한 비닐하우스를 해체 후 논을 조성한 토양으로 유기물 함량, 유효인산함량, 질산태 질소의 함량이 높은 특성이 있다.

콩 재배실험

콩 포트재배 실험은 국립농업과학원의 구내 실험포장에서 2022년 6월 1일부터 11월 3일까지 수행하였다. 포트 실험의 처리내용은 Table 3과 같다. 포트는 외부가 가로 120 cm, 세로 120 cm, 높이 120 cm, 내부가 가로 100 cm, 세로 100 cm, 높이 100 cm인 콘크리트 맨홀의 하부에 파쇄석을 30 cm 채우고 밭 토양을 충진하여 배수가 원활하도록 제작한 대형 포트를 이용하여 수행하였다. 콩은 대원콩(Daewon-kong)을 실험작물로 사용하였다. 표면살포 처리구는 해당량의 비료를 표면에 살포 후 호미 등으로 토양과 잘 혼합하여 처리하였고 심층시비 처리구는 토양 깊이 25 cm에 처리한 후 복토하였다. 표준재배법에 준하여 1주 3번씩 콩을 파종하여 재배한 후 포트 내에서 완전임의 배치법 3반복으로 콩의 수량 및 수량구성요소를 조사하였다.

포장실험은 경기도 화성시, 충남 공주시, 전북 완주군 소재의 시험포장에서 수행하였다. 시비처리는 각각 500 m²의 표면살포 처리구와 심층시비 처리구로 구성하였고 심층시비 처리는 자체 개발한 심층시비장치를 이용하였다. 6월 16일에 심층시비장치를 이용하여 콩의 표준시비량 30-33-32(N-P-K) kg·ha⁻¹을 전량 기비로 해당량을 처리하였다. 콩 품종은 지역 시험포장의 특성을 고려하고 해당지역에서 널리 재배하는 품종

을 사용하여 화성시는 풍산나물콩(Pungsannamul-kong), 공주시는 청자콩(Cheongja-kong), 완주군 소재 시험포장은 두루울콩(Duruull-kong)을 각각 실험작물로 하였다. 풍산나물콩을 6월 20일에, 청자콩 6월 22일, 두루울콩은 6월 22일에 본당 2립씩(재식거리 열간 50 cm × 주간 35 cm) 파종하였다. 여기서 표면살포 처리구는 토양표면에 비료를 살포한 후 인력으로 레이크 등을 이용하여 토양과 균일하게 혼합하였고 잡초 발생을 억제하기 위하여 유공 흑색 비닐멀칭을 피복한 후 파종하여 재배하였다. 콩 수확은 풍산나물콩 11월 1일, 청자콩 11월 2일, 두루울콩은 10월 7일에 각각 수확하여 수량구성요소 및 수량을 조사하였다.

실험 전 밭 토양의 이화학적은 Table 4와 같다. 공주군 소재 시험포장의 시험전 토양은 산적으로 복토한 후 작물재배가 없던 토양으로 유기물 함량, 유효인산 함량, 질산태질소 함량이 낮은 특성이 있으며 완주군 소재 시험포장의 시험전 토양은 유효인산 함량이 높은 특성이 있다.

심층시비 장치

심층시비 처리는 자체 개발한 심층시비장치(특허출원번호: 10-2022-0034794, PCT 국제특허 출원번호: KR2022/009661)를 이용하였다(Fig. 1). 심층시비장치는 트랙터 부착부, 비료량 조절 및 공급부, 지중 비료투입부로 구성되었다(가로 110 cm × 세로 270 cm × 높이 100 cm). 시비깊이는 지표면에서 최대 토양 속 깊이 40 cm까지 조절할 수 있도록 제작하였다. 심층시비장치는 62마력 농업용 트랙터에 부착하여 견인하면서 지중 비료주입관을 통해 토양 속에 2,000 m²/hr의 속도로 토양 속 깊이 25 cm에서 30 cm 깊이에 비료를 주입하도록 제작하였다.

Table 4. Chemical property of upland soil used in field experiment

Experiment Site	pH (1:5)	EC (dS/m ⁻¹)	OM (g kg ⁻¹)	Available P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	T-N (%)	mg kg ⁻¹		Ex. Cations (cmol kg ⁻¹)			
						NO ₃ -N	NH ₄ -N	Ca	K	Na	Mg
Hwasung	6.8	3.32	39.7	692	0.29	294.4	16.0	7.72	2.07	0.36	3.36
Gongju	7.4	0.75	4.6	121	0.02	31.6	25.2	5.59	0.62	0.38	0.75
Wanju	6.7	1.08	53.7	3,135	0.33	53.1	19.4	6.19	2.34	0.17	3.33



(Newly developed FDP device)



(Treatment to place fertilizer at 25cm in the soil)

Fig. 1. Newly developed fertilizer deep placement device and treatment to place fertilizer at 25 cm in the soil.

데이터 통계처리

벼와 콩의 수량구성요소 및 수량조사 자료, 작물재배 후 토양의 질산태 질소와 암모늄태 질소 함량, 식물체의 무기성분 함량은 통계패키지 R을 이용하여 최소유의차 검정(Least Significant Differences Test)과 단건의 다중검정(Duncan’s multiful Range Test)을 수행하였다.

결과 및 고찰

벼 생육 및 수량

실험용 포트에 관행의 표면살포와 토양 깊이 25 cm에 심층시비 처리 후 벼를 재배한 후 생육을 조사한 결과는 Table 5와 같다. 벼의 생체중과 건물중은 관행의 표면살포 처리구와 심층시비 처리구간에 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다. 그러나 심층시비 처리 후 2회 추비 처리구는 관행의 표면살포 처리구 보다 생체중 건물중, 이삭수가 증가하는 경향이 있었다. 또한 심층시비로 기비 만 처리하여 질소를 56% 처리한 처리구는 관행의 표면살포 처리구와 유의한 차이를 나타내지 않아 심층시비에 의한 질소비료의 사용량을 절감할 수 있는 가능성을 나타냈다. 한편, 심층시비 처리로 질소비료 100% 양을 한꺼번에 1회 처리한 심층시비 N 100% 처리구의 생체중, 건물중, 이삭수는 처리구 중 가장 높은 경향을 나타내어 가지거름과 이삭거름 사용량을 절감할 수 있는 가능성을 나타냈다.

심층시비장치 이용 시비처리

벼 이앙 전 신개발 심층시비장치를 이용하여 기비를 처리

하였다. 여기서 기비는 토양 깊이 25 cm에 주입하였고 비료가 주입된 직후 토양으로 복도되도록 하였다. 심층시비장치는 62 마력 농업용 트랙터에 부착하여 견인하면서 지중 비료주입관을 통해 토양 속에 2,000 m²/hr의 속도로 비료를 주입하였다. 신개발 심층시비장치는 깊이같이 쟁기(심경쟁기)를 이용한 것으로 쟁기작업과 동시에 시비를 할 수 있어 별도의 비료살포작업이 필요하지 않았다. 심층시비장치를 이용하여 시비 처리한 2022년 5월 18일부터 19일의 논 토양의 수분상태는 트랙터를 이용한 시비작업에 적절한 수분함량을 유지되어 원활하게 토양 속에 비료를 주입할 수 있었다. 비료는 현재 사용 중인 요소비료, 용성인비, 염화가리와 복합비료 등을 사용하는데 아무런 장애요인 없이 사용이 원활하였다. 심층시비 처리 직후 로터리 작업으로 평탄작업을 하여 벼 이앙을 위한 물대기, 썬레질 작업 등에 문제가 없었다.

벼 수량구성요소 및 수량

표면살포와 심층시비 처리하고 재배한 후 조사한 벼의 수량 및 수량구성요소는 Table 6과 같다. 일본품종인 고시히카리 벼의 이삭당 낱알수, 임실율은 심층시비 처리구가 표면살포 처리구보다 증가하는 경향이었고 벼 수량은 14% 유의하게 증가하였다. 새누리벼는 심층시비 처리구가 표면살포 처리구보다 이삭당 낱알수가 증가하고 벼 수량이 19% 증가하는 경향이 있었다. 참동진벼는 기비의 N, P, K시비량을 22% 줄인 양을 심층시비 처리하였으나 심층시비 처리구가 표면살포 처리구보다 이삭당 낱알수가 유의하게 증가하였고 임실율과 1,000립 무게가 증가하는 경향이 있었다. 벼 수량은 3% 감소하는 경향이었는데 유의한 차이는 나타내지 않아 심층시비에 의한 질소비

Table 5. Effect of fertilizer deep placement on rice growth in pot experiment

Treatment	Fresh weight (g)	Dry weight (g)	Panicle number
NF	45.6 b	14.8 b	10.0 b
SS N 100	67.5 a	22.0 a	14.3 a
FDP + SS N 100	73.0 a	23.1 a	16.7 a
FDP N 56	65.7 a	21.1 a	15.3 a
FDP N 100	73.7 a	25.1 a	17.3 a

NF: no fertilization, SS: surface spray, FDP: fertilizer deep placement, DMRT (P<0.05)

Table 6. Effect of fertilizer deep placement on rice yield and yield components

Variety	Treatment	Panicle number	Spikelets per panicle	Ripened grain (%)	1,000 grain weight (g)	Grain yield (kg/3.3m ²)
Koshihikari	SS	31.3	76.7	82.6	25.0	2.30
	FDP	31.3	78.8	81.1	25.0	2.60
	LSR**	6.5	3.7	4.3	2.7	0.1
	LSD*(P<0.05)	NS	NS	NS	NS	*
Saenuri-byeo	SS	28.3	85.9	72.2	25.6	2.80
	FDP	27.7	91.1	67.2	25.6	3.40
	LSR	8.9	26.4	18.9	2.2	1.40
	LSD(P<0.05)	NS	NS	NS	NS	NS
Chamdongjin-byeo	SS	18.6	86.2	66.6	31.7	3.10
	FDP	15.8	104.9	67.7	33.3	3.00
	LSR	4.6	15.3	6.0	3.7	0.9
	LSD(P<0.05)	NS	*	NS	NS	NS

SS: Surface spray, FDP: Fertilizer deep placement

*Least significant difference test, **Least significant range

료의 사용량을 절감할 수 있는 가능성을 나타냈다.

이와같이 화성시, 공주시, 완주군의 3개 지역에서 고시히카리, 새누리벼, 참동진 등 3개 품종에 심층시비 처리한 결과를 종합하면 벼의 이삭수는 초기생육 지연으로 감소하였으나 이삭당 낱알수 증가로 수량은 9% 증가하는 경향을 나타내었다. 따라서 심층시비 처리는 이삭거름의 효과를 크게 나타내고 후기생육이 향상되어 벼 이삭 당 낱알수 증가로 수량이 증가하는 경향을 나타낸 것으로 판단되었다.

또한, 기비 N, P, K 표준시비량의 22%를 줄여 시비하여도 유의하게 수량이 감소하지 않아 심층시비는 질소비료의 사용량 절감기술로 이용할 수 있는 가능성이 있다고 판단되었다.

콩 생육 및 수량

실험용 포트에 관행의 표면살포와 토양 깊이 25 cm에 심층시비 처리하고 콩을 포트에 재배한 후 조사한 결과는 Table 7과 같다. 심층시비 처리 N 50% 처리구는 표면살포 처리구보다 콩의 꼬투리 수, 꼬투리 당 콩알수가 증가하는 경향이었고 100립중과 주당 콩알의 무게는 통계적으로 유의하게 증가하였다. 여기서 관행의 표면살포 처리구보다 심층시비 처리구에서 질소성분을 50% 적게 시비하여도 콩의 무게가 증가한 것으로 보아 심층시비는 질소성분의 손실을 줄이고 양분의 흡수율을

높인 것으로 판단된다. 이와같은 시비반응을 이용하면 콩의 수확량 감소 없이 콩 재배를 위한 질소비료 사용량을 절감할 수 있을 것으로 판단된다.

심층시비장치 이용 시비처리

심층시비장치를 이용하여 시비처리한 2022년 6월 16일과 22일의 밭 토양의 수분상태는 트럭터를 이용한 시비작업에 적절한 수분함량을 유지하여 원활하게 토양 깊이 25 cm에 비료를 주입할 수 있었다. 심층시비 처리 직후 로터리 작업으로 평탄작업을 하였으며 그 후의 콩 파종 작업에 어려움이 없었다.

콩 수량구성요소 및 수량

시험포장에서 관행의 표면살포와 심층시비 처리하고 재배한 후 조사한 콩의 수량 및 수량구성요소는 Table 8과 같다. 풍산나물콩의 꼬투리당 콩알 수, 1주당 콩 무게는 심층시비 처리구가 표면살포 처리구보다 유의하게 증가하였다. 콩 꼬투리 수, 100립 무게, 콩 수량은 유의한 차이는 없었으나 표면살포 처리구보다 심층시비 처리구가 증가하는 경향을 나타냈다. 콩 수량은 심층시비 처리구가 표면살포 처리구보다 21% 증가하는 경향이였다.

칭자콩의 100립 무게, 지상부 건물중, 수량은 표면살포 처

Table 7. Effect of fertilizer deep placement on soybean yield and yield components at pot experiment

Treatment	Pod number per plant	Grain number per pod	100 grain weight (g)	Grain weight per plant
SS N 100	38.6	3.1	24.6	27.1
FDP N 50	48.6	3.7	28.8	49.6
LSR*	21.7	1.9	2.7	16.1
LSD** (P<0.05)	NS	NS	*	*

SS: Surface spray, FDP: Fertilizer deep placement

*Least significant difference test, **Least significant range

Table 8. Effect of fertilizer deep placement on soybean yield and yield components

Variety	Treatment	Pod number	Grain number per pod	100 grain weight (g)	Grain weight per plant	Whole crop dry matters (kg/3.3m ²)	Grain yield (kg/3.3m ²)
Pungsannamul-kong	SS	61.3	1.25	13.9	9.8	2.00	0.70
	FDP	97.6	1.73	14.4	22.6	2.00	0.85
	LSR**	54.1	0.38	0.97	10.3	1.16	0.24
	LSD* (P<0.05)	NS	*	NS	*	NS	NS
Cheongja-kong	SS	50.8	3.42	33.4	49.0	1.48	0.50
	FDP	56.7	3.24	41.1	71.1	2.40	0.99
	LSR	48.5	2.69	4.25	27.0	0.79	0.36
	LSD (P<0.05)	NS	NS	*	NS	*	*
Duruall-kong	SS	56.7	1.91	32.3	35.0	1.48	1.05
	FDP	72.2	1.77	31.1	38.5	1.18	0.93
	LSR	37.9	0.40	1.79	13.9	0.68	0.38
	LSD (P<0.05)	NS	NS	NS	NS	NS	NS

SS: Surface spray, FDP: Fertilizer deep placement
 *Least significant difference test, **Least significant range

리구보다 심층시비 처리구가 유의하게 증가하였다. 특히, 콩 수량은 심층시비 처리구가 표면살포 처리구보다 크게 증가하였다. 꼬투리 수, 꼬투리 당 콩알 수, 주당 콩 무게는 유의한 차이가 없었으나 심층시비 처리구가 증가하는 경향이였다.

두루올콩의 꼬투리 수, 주당 콩 무게는 표면살포 처리구보다 심층시비 처리구가 증가하는 경향이였다. 두루올콩의 콩 수량은 유의한 차이가 없고 심층시비 처리구가 감소한 경향을 나타낸 것은 콩 파종 후 토양표면에 살포한 제초제 약해에 의한 발아 및 입모 불량에 의한 것으로 판단된다.

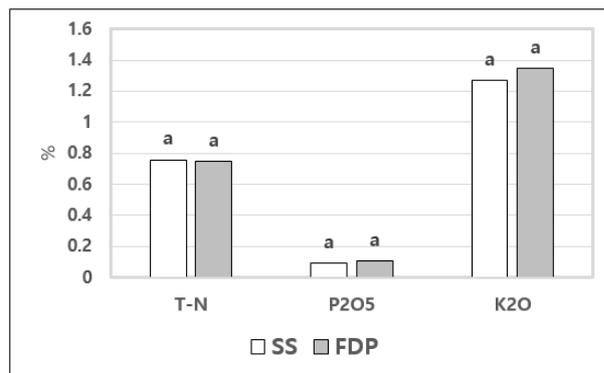
이와같이 화성시, 공주시, 완주군 등 3개 지역에서 풍산나물콩, 청자콩, 두루올콩 등 3개 품종에 심층시비 처리한 결과를 종합하면 콩의 꼬투리 수와 100립 무게의 증가로 콩 수량은 23% 증가하는 경향이였다.

포장실험으로 벼와 콩을 재배 후 식물체의 무기성분 함량을 분석한 결과는 Fig. 2(A)와 같다. 표면살포 처리구와 심층시비 처리구의 벼 식물체의 T-N, P₂O₅, K₂O 함량은 유의한

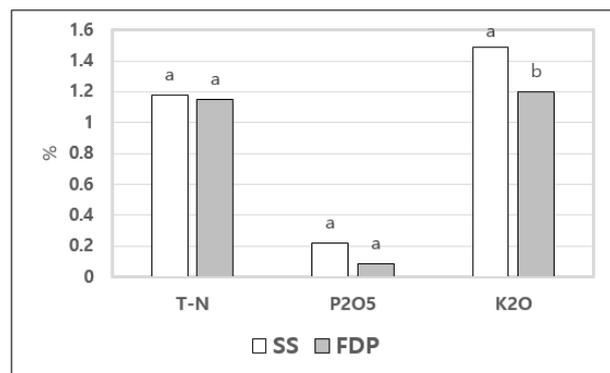
차이를 나타내지 않았고 콩 식물체의 T-N, P₂O₅, K₂O도 유의한 차이를 보이지 않았다. 다만, 공주 콩의 P₂O₅ 함량은 심층시비 처리구와 표면살포 처리구보다 유의하게 낮았다.

포장실험으로 벼와 콩을 재배 후 시비처리한 토양 깊이별로 표면살포 처리구는 토양표면에서, 심층시비 처리구는 토양 깊이 25 cm 속의 토양을 채취하여 NO₃⁻-N과 NH₄⁺-N 함량을 분석한 결과는 Fig. 2(B)와 같다. 표면살포와 심층시비 처리구의 작물재배 후 논 토양의 NO₃⁻-N과 NH₄⁺-N 함량은 유의한 차이를 나타내지 않았고 밭 토양의 NO₃⁻-N과 NH₄⁺-N 농도 또한 유의한 차이를 나타내지 않았다. 다만, 공주 논 토양의 NH₄⁺-N 함량과 공주 밭 토양의 NO₃⁻-N 함량만 유의한 차이를 나타내었다.

Li 등[3]은 질소비료의 표면살포 보다 심층시비는 벼의 수량을 높이고 질소이용효율을 높인다 했고 Kapoor 등[4]은 요소 고품비료는 논 용수 중의 NH₄⁺-N, K₂O 함량을 낮추어 주변 수계로의 잠재적인 유출을 줄이고 벼의 생산량을 증가시킨

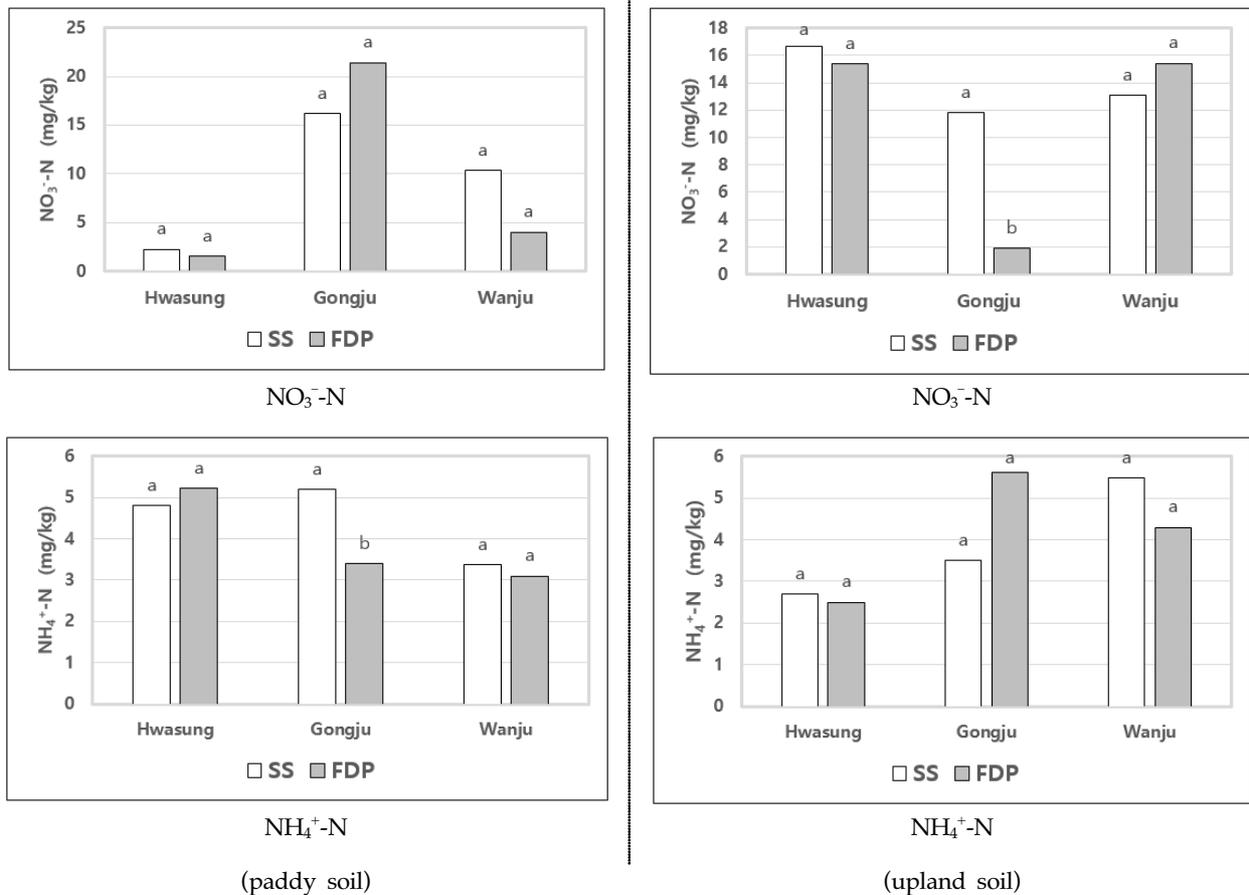


(rice)



(soybean)

(A) Concentration of T-N, P₂O₅, and K₂O in rice and soybean plants



(B) Change of nitrogen concentrations after fertilizer deep placement treatment

Fig. 2. Concentration of T-N, P_2O_5 , and K_2O in rice and soybean plants (A), Change of nitrogen concentrations after fertilizer deep placement treatment (B). SS: Surface spray, FDP: Fertilizer deep placement.

다 했다. Bandaogo 등[5]은 질소비료의 표면살포보다 심층시비는 벼의 수량을 높이고 질소이용효율을 높이고 오염물질을 저감시킨다고 했으나 Arlene 등[6]은 7.5 cm 심층시비는 벼의 수량 증가에 유의한 차이가 없다고 했다. Baral 등[7]은 요소고형비료(briquette) 심층시비는 벼의 수량과 질소이용효율을 높인다고 했고 Li 등[8]은 포트모 기계이양 시 토심 10 cm 깊이의 측조시비는 질소효율을 높이고 엽면적지수(LAI), 생체량, 수량, 질소흡수효율을 높인다고 했다. Gaihre 등[9]은 7-10 cm 심층시비는 벼 직파재배에서 벼 수량을 16-19% 증가시키고 질소흡수효율을 30-40% 향상시킨다고 했다. 벼 이앙 및 콩 파종 후 초기 생육은 심층시비 처리구가 표면살포 처리구보다 약 3주 정도 지연되는 경향을 나타냈다. 이것은 심층시비 처리구는 토양 깊이 25 cm에 비료가 위치하고 있어 보리의 뿌리가 도달하는 기간 동안 생육이 지연됐기 때문으로 판단된다. 약 3주 경과 후 생육초기 벼와 보리의 초장, 생체중은 표면살포 처리구보다 심층시비 처리구에서 증가하는 경향을 나타냈다.

Fan 등[10]은 뿌리의 95%가 분포하는 (d95) 토양 깊이는 밀이 103 cm, 옥수수 88 cm, 귀리 77 cm, 보리 99 cm라 했고 최대분포 깊이는 밀 150 cm, 옥수수 118 cm, 귀리 97 cm,

보리 146 cm라 했다. 또 밭 작물의 평균 최대분포 깊이는 141 cm, 50% 분포깊이가 14 cm, 95% 분포 깊이는 102 cm라 했다. 따라서, 토양 속 깊이 25 cm에 심층시비 처리하면 작물 뿌리의 비료 양분 흡수를 촉진할 수 있을 것으로 판단된다. 논 토양은 담수 후 상층부의 산화층과 하층의 환원층이 생성되며 이를 논 토양의 토층분화(differentiation of soil layer in paddy-field)라 한다. 논 토양의 시비방법 중 전층시비(whole layer fertilization)는 요소 등 암모늄태질소 비료가 산화층(oxidized layer)에서 산화되어 환원층(reduced layer)에서 탈질작용에 의해 손실되는 것을 방지하기 위하여 환원층에 시비하기 위한 것이다. 그러나 환원층에만 시비할 수 있는 전용의 기계장치가 없으므로 로터리 작업으로 썩레질을 통해 하층의 환원층까지 비료가 위치하도록 해왔는데 이 썩레질 과정 중 산화층에서 환원층에까지 즉, 전층(whole layer)에 시비하게 되므로 전층시비(whole layer fertilization)라 한다. 밭 토양은 담수하지 않으므로 논 토양과 같이 환원층이 형성되지 않고 산화상태를 유지한다. 밭에서는 비료살포기나 인력 등으로 비료를 토양표면에 살포한 후 로터리 작업으로 토양입자와 고르게 혼합한다.

결론적으로, 신개발 심층시비장치를 이용하여 토양 깊이 25 cm에서 30 cm에 벼와 콩의 기비를 원활하게 처리할 수 있었고 이어지는 농작업에 문제가 없었다. 또한, 심층시비로 벼 수량 9%, 콩 수량이 23% 증가하였다. 따라서, 심층시비는 질소 비료 사용량 절감과 벼와 콩 생산량 증대기술로 유망할 것으로 기대되며 실용화를 위한 추가적인 연구가 필요하다고 판단되었다.

Note

The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgement

This study was carried out with the support of "Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ016763)", National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Islam SM, Gaihre YK, Islam MR, Ahmed MN, Akter M, Singh U, Sander BO (2022) Mitigating greenhouse gas emissions from irrigated rice cultivation through improved fertilizer and water management. *Journal of Environmental Management*, 307, 114520. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114520>.
- Rychel K, Meurer KH, Börjesson G, Strömberg M, Getahun GT, Kirchmann H, Kätterer T (2020) Deep N fertilizer placement mitigated N₂O emissions in a Swedish field trial with cereals. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 118, 133-148. <https://doi.org/10.1007/s10705-020-10089-3>.
- Li L, Tian H, Zhang M, Fan P, Ashraf U, Liu H, Chen X, Duan M, Tang X et al. (2021) Deep placement of nitrogen fertilizer increases rice yield and nitrogen use efficiency with fewer greenhouse gas emissions in a mechanical direct-seeded cropping system. *The Crop Journal*, 9(6), 1386-1396. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2020.12.011>.
- Kapoor V, Singh U, Patil SK, Magre H, Shrivastava LK, Mishra VN, Das RO, Samadhiya VK, Sanabria J et al. (2008) Rice growth, grain yield, and floodwater nutrient dynamics as affected by nutrient placement method and rate. *Agronomy Journal*, 100(3), 526-536. <https://doi.org/10.2134/agronj2007.0007>.
- Bandaogo A, Bidjokazo F, Youl S, Safo E, Abaidoo R, Andrews O (2015) Effect of fertilizer deep placement with urea supergranule on nitrogen use efficiency of irrigated rice in Sourou Valley (Burkina Faso). *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 102, 79-89. <https://doi.org/10.1007/s10705-014-9653-6>.
- Adviento-Borbe MAA, Linnquist B (2016) Assessing fertilizer N placement on CH₄ and N₂O emissions in irrigated rice systems. *Geoderma*, 266, 40-45. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.11.034>.
- Baral BR, Pande KR, Gaihre YK, Baral KR, Sah SK, Thapa YB, Singh U (2020) Increasing nitrogen use efficiency in rice through fertilizer application method under rainfed drought conditions in Nepal. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 118, 103-114. <https://doi.org/10.1007/s10705-020-10086-6>.
- Li L, Zhang Z, Tian H, Mo Z, Ashraf U, Duan M, Wang Z, Wang S, Tang X et al. (2020) Roles of nitrogen deep placement on grain yield, nitrogen use efficiency, and antioxidant enzyme activities in mechanical pot-seedling transplanting rice. *Agronomy*, 10(9), 1252. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091252>.
- Gaihre YK, Singh U, Bible WD, Fugice Jr J, Sanabria J (2020) Mitigating N₂O and NO emissions from direct-seeded rice with nitrification inhibitor and urea deep placement. *Rice Science*, 27(5), 434-444. <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2020.03.005>.
- Fan J, McConkey B, Wang H, Janzen H (2016) Root distribution by depth for temperate agricultural crops. *Field Crops Research*, 189, 68-74. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.02.013>.