

깊이거름주기에 따른 몇 가지 밭작물 재배의 질소비료 사용량 절감과 수량증가 효과

홍성창^{1*}, 이민지¹, 오병욱¹, 이창묵²

Effect of Fertilizer Deep Placement on Reducing Nitrogen Fertilizer Usage and Increasing Yield of Several Upland Crops

Sung-Chang Hong ^{1*}, Min-Ji Lee ¹, Byung-Wook Oh ¹ and Chang-muk Lee ²

¹농촌진흥청 국립농업과학원 기후변화평가과, ²농촌진흥청 국립농업과학원 기술지원과

¹Climate Change & Assessment Division, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea, ²Technology Services Division, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

* Correspondence: schongcb@korea.kr

<https://doi.org/10.5338/KJEA.2025.44.04>

Agric. Environ. Sci. 2025, 44, 29-36

Received: December 15, 2024

Revised: December 26, 2024

Accepted: January 8, 2025

Published: January 15, 2025

Online ISSN: 2233-4173

Print ISSN: 1225-3537



© The Korean Society of Environmental Agriculture 2025



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://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.

Abstract: Nitrogen fertilizers must be applied repeatedly during crop cultivation. The agricultural sector has set a goal of reducing nitrogen fertilizer usage to 23%, from 2022 to 115kg/ha, 2030. Currently, fertilizer is spread on the farming fields and then mixed with the field soil using rotary operations. Deep fertilization treatment entailed injecting basal fertilizer 25-30cm deep into the soil using a deep fertilization device attached to a tractor. For onions, added fertilization using nitrogen fertilizer was omitted once out of three times, and for wheat, once out of two times. For forage corn, added fertilization was reduced by 50%. After crop cultivation, the yield of the deep fertilization treatment significantly increased by 52% for onion, 26% for wheat, and 29% for forage corn, respectively, compared to the conventional surface fertilization treatment. Therefore, deep fertilization could reduce the amount of nitrogen fertilizer used as fertilization by 22% for onions, 25% for wheat, and 25% for forage corn. It was concluded that deep fertilization of basal fertilizer in cultivating onions, wheat, and forage corn can reduce the amount of nitrogen fertilizer used to increase production. The deep fertilization technology is expected to be a low-carbon agricultural technology.

Keywords: Fertilizer deep placement, Forage corn, Nitrogen fertilizer, Onion, Wheat

서론

농작물 재배를 위해서는 질소비료를 반복적으로 사용해야 한다. 질소는 농작물에 다량으로 흡수되는 필수적인 양분이다. 2019년 농림축산식품부 통계에 따르면 우리나라 질소비료의 사용량은 성분으로 연간 24.1만 톤이며 우리나라의 화학비료 사용량은 313 kg/ha로 OECD 2위이다. 농림축산식품부에서는 2050 농식품 탄소중립 추진 전략을 통해 농업 부문의 탄소중립목표(NDC) 달성을 위한 질소비료 감축

기술개발이 요구됨에 따라 2030년까지 사용량을 115 kg/ha로 2022년보다 23% 감축하는 목표를 수립해 놓고 있다. 질소비료 사용을 절감하는 것은 온실가스인 아산화질소를 저감하는 저탄소 기술이다. 질소비료 사용량 절감에 의한 저탄소 농업의 확대를 위해서는 농업인의 자발적인 참여를 유도할 수 있도록 농작물의 수확량의 감소 없는 질소비료 사용량 절감 기술개발의 현장 보급이 필요하다. 현재 영농현장에서는 비료를 토양 표면에 살포한 후 로터리 작업 등으로 토양과 혼합해 주는 방식으로 비료를 살포하고 있으나 이 방식은 질소비료의 약 14%가 암모니아(NH_3) 기체가 배출되고 빗물에 의해 유실되는 문제점이 있다.

우리나라에서 재배되는 주요한 15개 노지재배 작물의 질소비료 사용량을 보면 배추(*Brassica rapa* L.), 마늘(*Allium sativum* L.), 양파(*Allium cepa* L.), 무(*Raphanus sativus* L.), 상추(*Lactuca serriola* L.), 잎들깨(*Perilla frutescens* L.), 고추(*Capsicum annuum* L.) 순으로 많이 사용한다. 또한 이들 상위 7개 작물의 질소 사용량 중 기비(basal fertilizer)와 추비(added fertilizer)의 비율을 보면 기비가 33~50%, 추비가 50~67%를 차지하여 추비로 사용되는 질소의 사용량을 줄일 수 있는 여지가 많다(작물별 비료사용처방 5차 개정본, 2022, 국립농업과학원). 양파의 표준시비량은 250-77-154 (N-P₂O₅-K₂O) kg/ha이며, 질소의 기비량은 80 kg/ha, 추비량은 170 kg/ha이다. 밀의 표준시비량 91-74-39 (N-P₂O₅-K₂O) kg/ha 중 질소시비량은 기비로 46 kg/ha, 추비로 45 kg/ha를 사용한다. 또, 조사료 옥수수의 표준시비량 200-150-150 (N-P₂O₅-K₂O) kg/ha 중 질소시비량은 기비로 100 kg/ha, 추비로 100 kg/ha를 사용한다. 이와 같이 질소시비량이 많은 작물에 속하는 양파, 조사료 옥수수, 밀의 질소비료 사용량 절감과 비료살포 노동력 절감 등을 검토할 필요가 있다. 여러 필지의 넓은 면적을 재배하는 양파재배 농업인의 입장에서는 생육재생기에 2~3회 이상의 추비를 살포하는 것은 노동력이 많이 소요되고 작업시간이 집중되는 특성으로 어려움이 많은 실정이다. [1]은 질소 추비량이 증가함에 따라 보리의 영양생장기가 길어지고 출수가 늦어지고 건물축적에도 영향을 주어 건물물이 감소하였다고 했고 [2]는 토양 깊이 10cm 속에 심층시비하는 것이 표면살포보다 옥수수 생산량을 2배 증가시켰다 했으며 [3]은 토양 속 20~22 cm에 지중시비하면 잎의 엽록소 함량을 높이고 해바라기의 수량을 36%, 콩의 수량을 15% 증가시켰다고 하였다.

깊이거름주기(심층시비)는 작물재배를 위해 사용하는 기비를 토양 속 25~30 cm에 주입하는 방법으로, 2022년 국립농업과학원에서 특허출원한 트랙터에 부착하는 깊이거름주기 장치를 이용하여 시간당 0.2 ha의 면적에 비료를 주입할 수 있다. 최근 깊이거름주기를 이용하여 암모니아 배출량 저감, 메탄 배출량 저감, 작물 수량증가 등에 대한 다양한 연구를 수행 중에 있으며 빗물 등에 의한 농경지 주변 수계로의 양분유실도 줄일 수 있을 것으로 기대하고 있다. 본 연구는 최근 개발된 깊이거름주기 장치를 이용해 몇 가지 발작물 재배에서 질소비료 사용량 절감과 수량증가 효과를 검토하기 위하여 수행하였다.

재료 및 방법

시험포장 조성 및 작물 재배

밀, 양파, 조사료 옥수수의 시비방법은 Table 1과 같다. 양파(*A. cepa* L.)의 시험포장은 경남 함양군 함양읍 용평리에 소재한 농가 포장에서 설치하였다. 깊이거름주기와 표면시비 처리는 2023년 10월 29일에 하였고 유공비닐 멀칭 후 11월 4일에 양파(Var. Nongwoodaeho)를 정식하였다. 양파의 시비량은 표준시비량 250-77-154 (N-P₂O₅-K₂O) kg/ha에 준하였다. 관행의 표면시비 처리와 깊이거름주기 처리는 동일한 기비 시비량 80-77-58 (N-P₂O₅-K₂O) kg/ha를 처리하였다. 깊이거름주기 처리는 깊이거름주기 장치에 비료를 적재하여 토양 속 25~30 cm에 주입하였고, 표면시비 처리구는 인력으로 토양 표면에 살포한 후 설토 및 정지작업으로 토양입자와 잘 혼합되도록 하였다. 추비는 질소 170 kg/ha와 칼리 96 kg/ha를 3회로 나누어 생육재생기인 2024년 2, 3, 4월에 양파가 생육 중인 멀칭비닐 표면에 배부식 비료살포기(BK 7000, 북성, 한국)를 이용하여 살포하였다. 2024년 6월 6일 각 처리구별 3반복씩 반복당 20개체씩 수확하여 양파, 줄기와 잎의 무게를 측정하여 수량을 조사하였다.

밀(*Triticum aestivum* L.)의 시험포장은 전북 완주군 이서면에 소재한 국립식량과학원 품종전시포에 설치하였다. 깊이거름주기와 표면시비 처리는 2023년 10월 17일에 하였고 10월 23일에 황금알 품종(Var. Hwangumal)을 파종하였다. 밀 시비량은 표준시비량 91-74-39 (N-P₂O₅-K₂O) kg/ha에 준하였다. 관행의 표면시비 처리와 깊이거름주기 처리는 동일한 기비 시비량 46-74-39 (N-P₂O₅-K₂O) kg/ha를 처리하였다. 깊이거름주기 처리는 깊이거름주기 장치에 비료를 적재하여 토양 속 25~30 cm에 주입하였고, 표면시비 처리구는 트랙터 부착 비료살포기(SB-500S, 삼부정밀, 한국)를 이용하여 토양 표면에 살포한 후 설토 및 정지작업으로 토양입자와 잘 혼합되도록 하였다. 추비는 질소 45 kg/ha를 생육재생기에 2회로 나누어 FDP1 처리구는 2월 19일과 3월 11일에, FDP2 처리구는 2월 19일에 1회를 밀이 생육 중인 표면에 배부식 비료살포기(BK 7000, 북성, 한국)를 이용하여 살포하였다.

Table 1. Method of basal fertilizer and added fertilizer treatments depend on several crops

Crop	Treatment	Basal fertilization	Added fertilization	Nitrogen reduction ratio
Onion	SS	Basal fertilization by SS	Three times	-
	FDP	Basal fertilization by FDP	Two times	22%
Wheat	SS	Basal fertilization by SS	Two times	-
	FDP1	Basal fertilization by FDP	Two times	-
	FDP2	Basal fertilization by FDP	One time	25%
Forage corn	SS	Basal fertilization by SS	One time	-
	FDP	Basal fertilization by FDP	50% of amount of add fertilization	25%

SS: surface spray, FDP: fertilizer deep placement at 25~30 cm depth

2024년 6월 3일에 처리구별 반복당 3.3 m²씩 수확하여 탈곡한 후 수량 및 수량구성요소를 조사하였다.

조사료 옥수수(*Zea mays* L.)의 시험포장은 전북 정읍시 영원면 장재리의 농가포장에 설치하였다. 깊이거름주기와 표면시비 처리는 2024년 4월 27일에 하였고 5월 4일에 조사료 옥수수 품종인 광평옥(Var. Khwangpyoungok)를 파종하였다. 조사료 옥수수 시비량은 표준시비량 200-150-150 (N-P₂O₅-K₂O) kg/ha에 준하였다. 관행의 표면시비 처리와 깊이거름주기 처리는 동일한 기비 시비량 100-150-150 (N-P₂O₅-K₂O) kg/ha를 처리하였다. 깊이거름주기 처리는 깊이거름주기 장치에 비료를 적재하여 토양 속 25~30 cm에 주입하였고 표면시비 처리구는 인력으로 토양 표면에 살포한 후 쇄토 및 정지작업으로 토양입자와 잘 혼합되도록 하였다. 추비는 질소 100 kg/ha를 7~8엽기에 옥수수가 생육중인 표면에 인력으로 살포하였다. 8월 14일에 각 처리구별 3반복씩 반복당 20개체씩 수확하여 조사료 옥수수의 잎, 줄기, 이삭의 무게 등을 측정하여 수량을 조사하였다.

본 실험에 사용된 토양의 시험 전 이화학적성은 Table 2와 같다. 유효인산의 함량은 적정범위인 양파 350~450 mg/kg, 밀 150~250 mg/kg, 조사료 옥수수 200~250 mg/kg를 초과하여 양파 시험토양 537 mg/kg, 밀 774 mg/kg, 조사료 옥수수 시험토양은 619 mg/kg을 나타내었다. 또한 우리나라 밭 토양의 농토배양 목표치는 치환성 K 함량이 0.7~0.8 cmol/kg이나 조사료 옥수수 시험토양의 K 함량은 매우 높았고, 벼 재배 후작으로 양파를 재배하는 양파 시험포장은 농토배양 목표치의 치환성 Mg 함량이 1.5~2.0 cmol/kg의 범위이나 다소 낮은 특성을 나타내었다.

깊이거름주기(심층시비) 처리

깊이거름주기 장치(Fig. 1)를 이용하여 기비로 사용되는 N, P₂O₅, K₂O 3요소 성분의 처리를 위해 요소비료, 용성인비, 염화칼 리 각각의 단일성분 비료를 토양 속 25~30 cm 속에 주입하였다. 이 장치는 일반적으로 사용되는 50마력 이상의 농업용 트랙터에 부착하여 사용하며 깊이갈이 경운작업과 동시에 벼와 밭작물의 밑거름을 주입할 수 있고 작업시간은 0.2 ha/hr, 비료 주입량은 600~1,200 kg/ha이다. 본 장치는 2022년 국립농업과학원 기후변화평가과에서 국내 특허출원(10-2022-0034794)과 PCT 국제 특허출원(KR2022/009661)하였다.

본 실험에서 깊이거름주기 처리구는 각 실험작물의 표준시비량에 준하는 기비를 깊이거름주기 장치를 이용하여 토양 속에 주입하여 처리하였으며, 관행의 표면시비 처리구는 인력으로 각 실험작물의 표준시비량에 준하는 기비를 토양 표면에 살포한 후 쇄토 및 정지작업으로 토양입자와 균일하게 혼합하였다.

따라서, 본 실험에서 실험작물인 양파, 밀, 조사료 옥수수의 기비 처리량은 관행의 표면시비 처리구와 깊이거름주기 처리구가 작물별로 동일한 양이 처리되도록 하였다.

Table 2. Chemical property of soil used field experiment

Crops	pH (1:5)	EC (dS/m)	OM (g/kg)	Available P ₂ O ₅ (mg/kg)	T-N (%)	Ex. Cations (cmol/kg)		
						Ca	K	Mg
Onion	5.1	0.22	26.7	537	0.14	3.42	0.35	0.72
Wheat	6.5	0.52	32.5	774	0.18	7.31	1.00	2.17
Forage Corn	6.8	0.77	44.3	619	0.22	1.43	7.69	3.74



Fig. 1. Device for deep placement of fertilizer.

데이터 통계처리

측정 및 조사자료는 통계 패키지 R을 이용하여 최소유의차 검정(Least Significant Differences Test)을 수행하였다.

결과 및 고찰

깊이거름주기 처리 후 양파의 수량을 조사한 결과는 Table 3과 같다. 수확의 대상물인 양파 1개의 생체중은 표면시비 처리구가 226 g, 깊이거름주기 처리구는 344 g으로 52% 증가하였고 통계적으로 유의한 차이($p<0.05$)를 나타내었다. 양파의 잎과 줄기의 생체중은 88% 증가하였고 양파, 잎, 줄기 등 전체 지상부 식물체의 생체중은 56% 증가하였으며 통계적으로 고도로 유의한 차이($p<0.01$)를 나타내었다.

Table 3. Effects of fertilizer deep placement on yield of onion

Treatment	Bulb weight (g) (A)	Leaf, stem weight (g) (B)	Total weight (g) (C=A+B)
SS	226.3±32.5*	33.7±2.1	260.0±34.5
FDP	343.3±48.1	68.0±14.0	411.3±43.5
LSD ($P<0.05$), ($P<0.01$)	*	**	**

SS: surface spray, FDP: fertilizer deep placement at 25~30 cm depth, *: standard error, LSD: least significant difference test

깊이거름주기 처리 후 밀의 수량구성요소 및 수량을 조사한 결과는 Table 4와 같다. 밀의 수량구성요소 중 깊이거름주기 처리로 이삭수, 이삭당 낱알수, 1000립중이 증가하였다. 밀의 수량은 깊이거름주기 FDP1, FDP2 처리구에서 26% 증가하였고 통계적으로 유의한 차이($p<0.05$)를 나타내었다.

깊이거름주기 처리 후 조사료 옥수수의 수량을 조사한 결과는 Table 5와 같다. 깊이거름주기 처리로 조사료 옥수수의 초장, 엽수가 통계적으로 유의하게 증가하였고($p<0.05$), 잎, 줄기, 이삭의 생체중이 증가하여 수확의 대상물인 지상부 옥수수 전체의 생체중은 29% 증가하였고 통계적으로 유의한 차이($p<0.05$)를 나타내었다.

깊이거름주기 처리한 양파, 밀, 조사료 옥수수의 경제성을 분석한 결과는 Table 6과 같다. 양파는 수량증가로 수입 증가, 트랙터 1대 미사용에 의한 노력비와 감가상각비 절감으로 2,678천원/0.1 ha 증가하였고, 밀은 226천원/0.1 ha, 조사료 옥수수는 283천원/0.1 ha 증가하는 것으로 각각 분석되었다. 특히, 깊이거름주기 처리한 양파는 수량증가에 의한 수입증가가 2,678.7천원/0.1 ha로 분석되었다(Table 7).

Table 4. Effects of fertilizer deep placement on yield and yield components of wheat

Treatment	Panicle number (3.3m ²)	Grain number per panicle	1,000 grain weight (g)	Straw weight (g/3.3m ²)	Grain yield (g/3.3m ²)	Harvest index
SS	1,946.3	31.0	36.3	2,877.3	1,851.0	0.39
FDP1	2,213.0	37.2	37.5	2,904.0	2,334.6	0.45
FDP2	2,197.3	31.2	38.0	2,769.3	2,341.0	0.46
LSR	459.5	9.2	3.4	888.1	451.8	-
LSD (P<0.05)	ns	ns	ns	ns	*	-

Harvest index: yield/yield+weight of straw

SS: surface spray, FDP: fertilizer deep placement at 25~30 cm depth, LSR: least significant range, LSD: least significant difference test

Table 5. Effects of fertilizer deep placement on yield of forage corn

Treatment	Plant height (cm)	Leaf No.	Fresh weight (g/plant)			Total fresh weight (g/plant)
			leaf	stem	ear	
SS	214.6±6.6*	13.2±0.5	68.6±5.3	302.0±39.7	191.2±34.5	561.8±53.4
FDP	228.1±5.0	14.3±0.1	93.2±17.5	416.4±4.5	216.1±21.3	725.7±22.9
LSD (P<0.05)	*	*	ns	*	ns	*

SS: surface spray, FDP: fertilizer deep placement at 25~30 cm depth, *: standard error, LSD: least significant difference test

Table 6. Economic analysis of onion, wheat, and forage corn treated with fertilizer deep placement

Crop	Income (B-A, Won/0.1 ha)	Loss factor (A, Won/0.1 ha)	Benefit factor (B, Won/0.1 ha)
Onion	2,678,775	352,148	3,030,923
Wheat	226,640	338,330	564,970
Forage corn	283,813	298,487	582,300

Economic analysis: Division of Technology Services, Institute of National Agricultural Science

Table 7. Detail economic analysis of onion treated with fertilizer deep placement

Loss factor (A)	Benefit factor (B)
o Increasing costs - Device for deep placement of fertilizer depreciation expense : 1,500,000 * 0.3 * 0.37 = 166,500 - Device for deep placement of fertilizer repair costs : 900,000 * 0.3 * 0.37 = 99,900 - Fixed capital service cost : 750,000 * 0.3 * 0.37 = 83,250 - Current capital service cost : 99,900 * 0.5 * 0.05 = 2,498	o Increasing benefit - Increase in total revenue: 2,554,399 o Decreasing costs - Tractor etc. depreciation expense : 1,900,000 * 0.3 * 0.37 = 210,900 - Tractor etc. repair cost : 1,140,000 * 0.3 * 0.37 = 126,540 - Labor costs : 16,727 - Photothermal power cost : 13,000 - Fixed capital service cost : 950,000 * 0.3 * 0.37 = 105,450 - Current capital service cost : 3,907
Sum (A) : 352,148	Sum (B): 3,030,923
o Estimated revenue (B-A) = 2,678,775 Won/0.1 ha	

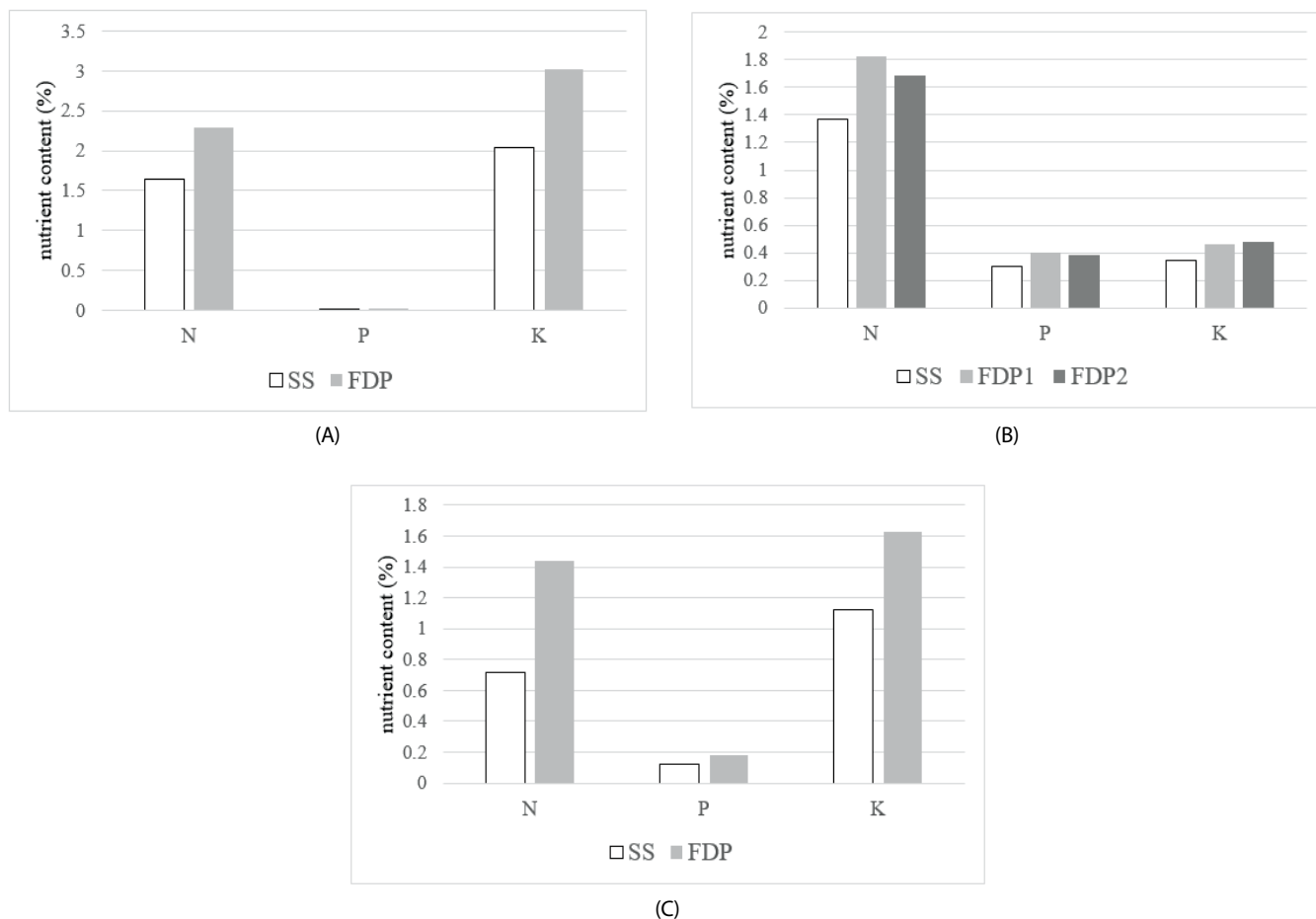


Fig. 2. Effects of fertilizer deep placement on nutrient content of onion (A), grain of wheat (B), and leaves of forage corn (C).

깊이거름주기 처리로 양파는 웃거름 3회 처리 중 1회 생략으로 재배기간 중 총 질소비료 사용량의 22%를 절감하였고 밀은 깊이거름주기 처리로 추비 2회 처리 중 1회 생략으로 재배기간 중 총 질소비료 사용량의 25%를 절감하였다. 또, 조사료 옥수수는 깊이거름주기 처리로 추비 처리량의 50%를 처리하여 재배기간 중 질소비료 사용량의 25%를 절감할 수 있었다.

시험재배 및 수확 후 무기성분을 분석하고 건물중 증가를 반영하여 무기성분 함량을 나타낸 것은 Fig. 2와 같다. 양파의 무기성분 함량은 깊이거름주기 처리가 표면시비보다 N 39%, P 45%, K 48% 증가했고 밀은 N 23~34%, P 29~33%, K 33~39%, 조사료 옥수수는 N 101%, P 45%, K 48% 각각 증가하였다(Fig. 2). 따라서, 각 작물별 웃거름으로 사용하는 질소비료 사용량을 줄여 처리하여도 깊이거름주기 처리는 관행의 표면시비 처리보다 양파의 수량이 52%, 밀의 수량이 27%, 조사료 옥수수의 수량이 유의하게 29% 증가한 것은 깊이거름주기 처리에 의한 양분의 이용흡수율이 높았기 때문으로 판단된다. 이와 같이 깊이거름주기 처리구의 양파, 밀, 조사료 옥수수의 생산량이 증가한 것은 토양깊이 10 cm 질소비료 심층시비로 엽록소 함량과 생체량, 이삭수를 증가시켜 벼의 수량을 증가시킨다고 한 [4]의 연구결과와 유사한 결과로 판단된다. [5]는 심층시비 25 cm 처리로 질소흡수율과 질소이용효율이 높아지며 옥수수 수량은 13.8% 증가한다고 하였다.

[6]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 14 cm라고 하였다. 또한, 발작물의 평균 최대분포 깊이는 141 cm, 50% 분포 깊이가 14 cm, 95% 분포 깊이는 10 cm라고 보고하였다. 따라서, 토양 속 깊이 25 cm에 깊이거름주기하면 발작물 뿌리의 비료 양분 흡수를 촉진할 수 있을 것으로 판단된다. [7]는 시비깊이별 시험에서 심층시비 25 cm는 옥수수의 수량을 13.8% 증가시키고 질소이용효율(NUE)이 43.6%로 가장 높았다 했다. [8]은 NUE가 표면살포 25%보다 심층시비가 61%로 높았다고 했으며 [9]는 요소비료를 토양 속에 주입하면 질소 손실을 줄이고 작물에 의한 질소 흡수를 향상시킨다 했다.

한편, 본 연구에서 깊이거름주기 처리구는 깊이거름주기 장치에 부착되어 있는 깊이갈이(심경) 쟁기를 이용하여 토양을 25~30 cm 경운 후 복토하므로 배수성, 통기성 등 토양 물리성에 영향을 끼칠 수 있다고 추정할 수 있다. [10]은 10 cm 깊이의 측면 지중 줄뿌림시비(side-deep band fertilization)는 유채(*Brassica napus* L.) 뿌리형성과 뿌리의 공간 분포를 증가시키고 토양 공극량과 토양수분함량을 증가시키고 가비중을 감소시킨다 했다. 따라서, 깊이거름주기로 질소 사용량을 22~25% 줄여 처리하여도 양파, 밀, 조사료 옥수수의 생산량이 증가한 것은 일정 정도의 토양 배수성, 통기성 개선 효과와 양분흡수율 증가 효과가 복합적으로 작용한 결과로 판단된다.

저탄소 농산물 인증제는 농업분야 온실가스 감축을 위해 저탄소 농축산물 소비활성화로 저탄소 농업 활동을 유도하기 위한 제도이다. 현재의 저탄소 농업기술은 농업 생산과정 전반에 투입되는 비료, 작물보호제, 농자재 및 에너지 절감을 통해 온실가스 배출을 줄이는 영농방법 및 기술로 2024년 12월 현재 18개를 인정하고 있다. 깊이거름주기에 의한 질소비료 사용량 절감 기술을 저탄소 농업기술로 인증하여 활용하면 농업인의 참여를 촉진할 수 있을 것으로 기대된다. 깊이거름주기 기술은 농촌진흥청의 신기술 시범사업으로 2024년부터 보급중이며 2025년부터는 깊이거름주기 이용 마늘과 양파 수량증대 기술시범으로 확대하여 보급할 계획이 있어 다양한 작물에 활용이 기대된다.

Data Availability: All data are available in the main text or in the Supplementary Information.

Author Contributions: S.-C. H.: Conceptualization, Data curation, Formal analysis, Methodology, Writing-original draft. M.-J. L.: Methodology, Writing-review and editing. B.-W. O. and C.-m. L.: Data curation and Resources. All authors reviewed the results and comment on the manuscript.

Notes: The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgments: This study was carried out with the support of “Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ016778)”, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Republic of Korea.

Additional Information:

Supplementary information The online version contains supplementary material available at <https://doi.org/10.5338/KJEA.2025.44.04>

Correspondence and requests for materials should be addressed to Young-Joon Choi.

Peer review information Korean Journal of Environmental Agriculture thanks the anonymous reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Reprints and permissions information is available at <http://www.korseaj.org>

References

1. Song TH, Han OK, Park TI, Kim YK, Kim KJ, Park KH (2012) Effect of nitrogen top dressing levels on productivity, feed value, and anthocyanin content of colored Barley. *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science*, 32(2), 149-156. <https://doi.org/10.5333/KGFS.2012.32.2.149>.
2. Owusu-Gyimah V, Nyatuame M, Ampaw F, Ampadu PB (2013) Effect of depth and placement distance of fertilizer NPK 15-15-15 on the performance and yield of maize plant. *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 4(12), 3197-3204.
3. Miroshnychenko MM, Hladkikh YY, Smychenko VM, Voitovych OM (2023) The deep fertilizers placement positively effects on their agronomic efficiency and yield of soybean and sunflower on chernozem. *AgroChemistry and Soil Science*, 94, 4-14. <https://doi.org/10.31073/acss94-01>.
4. Du B, Luo HW, He LX, Zheng AX, Chen YL, Zhang TT, Wang ZM, Hu L, Tang XR (2018) Deep fertilizer placement improves rice growth and yield in zero tillage. *Applied Ecology and Environmental Research* 16(6), 8045-8054. https://doi.org/10.15666/aeer/1606_80458054.
5. Wu P, Chen G, Liu F, Cai T, Zhang P, Jia Z (2021) How does deep-band fertilizer placement reduce N₂O emissions and increase

- maize yields?. Agriculture, Ecosystems and Environment, 322, 107672. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107672>.
6. 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>.
 7. Peng Wu, Guangzhou Chen, Fu Liu, Tie Cai, Peng Zhang, Zhikuan Jia (2021) Suitable fertilizer application depth can increase nitrogen use efficiency and maize yield by reducing gaseous nitrogen losses. Science of the Total Environment, 781, 146787. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146787>.
 8. Gaihre YK, Singh U, Mofijul Islam SM, Huda A, Islam MR, Sanabria J, Abdus Satter M, Islam MR, Biswas JC et al. (2018) Nitrous oxide and nitric oxide emissions and nitrogen use efficiency as affected by nitrogen placement in lowland rice fields. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 110, 277-291. <https://doi.org/10.1007/s10705-017-9897-z>.
 9. Yao YL, Zhang M, Tian Y, Zhao M, Zhang B, Zeng K, Zhao M, Yin B (2018) Urea deep placement in combination with Azolla for reducing nitrogen loss and improving fertilizer nitrogen recovery in rice field. Field Crops Research, 218, 141-149. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.01.015>.
 10. Gao L, Wang C, Wu A, Chen H, Liao Q, Liao Y (2024) Effect of layered fertilizer strategies on rapeseed (*Brassica napus* L.) productivity and soil macropore characteristics under mechanical direct-sowing. Scientific Reports, 14(1), 25457. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-76077-7>.