

과제구분	어젠다	수행시기		전반기	
연구과제 및 세부과제명		연구분야	수행기간	연구실	책임자
환경보전형 친환경 토양 및 시비관리 연구		농업환경	'20~'25	환경농업연구과	소호섭
공익직불제 대응 비료사용처방 기준 설정		농업환경	'21~'25	환경농업연구과	소호섭
색인용어	공익직불제, 비료사용처방, 들깨, 비름, 돌나물, 순무, 근대				

ABSTRACT

In support of the Public Direct Payment System, this study was conducted to establish scientifically grounded fertilizer application standards for five minor crops; perilla (*Perilla frutescens*), amaranth (*Amaranthus* spp.), stonecrop (*Sedum sarmentosum*), turnip (*Brassica rapa*), and Swiss chard (*Beta vulgaris*). Cultivation experiments were carried out at varying levels of nitrogen (N), phosphorus (P), and potassium (K), combined with field surveys of farming practices, to derive standard fertilizer rates and soil test-based recommendation formulas for each crop. The standard fertilizer application rates (N-P₂O₅-K₂O) were established as follows: perilla 8.0-1.5-2.5 kg/10a, amaranth 26.9-8.5-8.5 kg/10a, stonecrop 14.5-8.1-3.8 kg/10a, turnip 11.7-7.3-13.8 kg/10a, and Swiss chard 11.3-16.0-16.3 kg/10a. Regression equations for nitrogen (N), phosphate (P₂O₅), and potassium (K₂O) fertilizer recommendations were derived based on the relationships between crop nutrient requirements and key soil chemical properties. For perilla, the recommendation equations were established using soil organic matter (OM) as the predictive variable for N, available phosphorus (Av. P₂O₅) for P₂O₅, and exchangeable potassium (Ex. K) for K₂O. For amaranth, N recommendations were based on soil OM, P₂O₅ on Av. P₂O₅, and K₂O on the potassium base saturation ratio (K base ratio). For both stonecrop and Swiss chard, N recommendations were derived from soil electrical conductivity (EC), P₂O₅ from Av. P₂O₅, and K₂O from the K base saturation ratio. For turnip, the N recommendation equation was based on soil EC, P₂O₅ on Av. P₂O₅, and K₂O on Ex. K.

Keywords: Public Direct Payment System, Fertilizer Application Prescription, Perilla (*Perilla frutescens*), Amaranth (*Amaranthus* spp.), Stonecrop (*Sedum sarmentosum*), Turnip(*Brassica rapa*), Swiss chard(*Beta vulgaris*)

1. 연구목표

우리나라는 농업의 공익적 기능을 증진시키기 위하여 농업농촌공익직불법을 시행하여 화학비료 사용기준 준수를 의무화하였으며(김태화, 2021), 농업인은 비료사용처방서에 따라 비료를 사용해야 한다. 농촌진흥청은 재배면적이 큰 주요 작물에 대한 비료사용처방서를 제공하고 있으나, 소면적으로 재배하는 일부 작물에 대해서는 비료사용기준이 없어 비료 적정량 사용 지도에 어려움이 있는 실정이다.

공익직불제의 도입 배경과 그 적정성에 관해서는 다수의 연구에서 논의된 바 있으며, 특히, 비름, 돌나물, 순무와 근대는 비료 표준사용량과 토양검정 처방 기준 모두 부재한 상황이며, 들깨는 표준 시비량만 설정되어 있고 토양검정 기반의 정밀 처방 공식이 마련되어 있지 않다(김태화, 2021; 박 등, 2020). 한편 화학비료의 과다 투입은 작물 생산성 저하뿐만 아니라 토양 내 양분 과잉 축적을 야기하고, 이는 강우 시 비점오염원으로서 수계 오염을 유발하는 환경적 문제로 직결된다. 실제로 토양검정에 기반한 시비 처방은 작물의 생육 및 양분 이용 효율을 유의적으로 향상시키는 것으로 보고되었으며(임 등, 2020; 임진수, 2021), 특히 시설재배 환경에서도 토양검정에 의한 적정 비료 추천이 작물의 수량 및 품질 향상에 효과적임이 확인된 바 있다(홍순달, 1998). 또한 토양검정에 기반한 과학적 비료 처방은 비료 투입량을 최적화함으로써 환경적·정책적 목표를 동시에 달성할 수 있는 핵심 수단으로 기능한다(이 등, 2009; 양 등, 2011).

한편 전 세계적으로 탄소중립(Carbon Neutrality)에 대한 논의가 확대됨에 따라, 우리나라도 농업 부문에서의 온실가스 감축과 화학비료 사용량 절감을 국가적 과제로 추진하고 있다. 그러나 현행 비료사용처방 체계는 처방 기준이 없거나 임시 처방에 의존하는 작물이 다수 존재하여, 농업인이 실질적인 비료 사용 기준을 이행하는 데 어려움이 따르고 있다. 이로 인해 공익직불제의 안정적 이행을 위한 제도적 기반이 미흡하며, 농업 환경 보전 측면에서도 개선이 요구된다.

따라서 본 연구에서는 공익직불제 시행에 따른 비료 사용 준수 의무화를 지원하고 농업 환경 보전 및 탄소중립을 이행하기 위하여, 비료사용처방 기준이 없거나 미흡한 작물(들깨, 비름, 돌나물, 근대, 순무)을 대상으로 주요 주산지 양분 관리 실태 조사 및 재배 시험을 통해 작물별 토양검정에 의한 비료사용처방 기준을 설정하고, 휴대용 비료사용처방 프로그램에 등록하여 과학적 처방 서비스 제공 체계를 구축하고, 양분 유출에 의한 비점오염 예방 및 화학비료 사용량 절감을 통해 탄소중립을 실현하고자 한다.

2. 재료 및 방법

가. 소면적작물 재배농가 실태조사

들깨, 비름, 돌나물, 순무, 근대 재배농가를 대상으로 비료사용량 및 수확량 등 재배 관리 현황을 수집하였다. 조사 필지의 토양화학성으로서 pH, EC, 토양유기물, 유효인산, 교환성 양이온을 분석하고, 식물체의 질소·인산·칼륨 함량 및 흡수량을 측정하였다.

나. 비료사용기준 설정 재배시험

비름은 2022년 3월~10월, 경기도농업기술원 시험포장(하우스 2동)에서 기준 시비량(N 17.9, P₂O₅ 8.5, K₂O 8.5 kg/10a)의 0, 0.5, 1, 1.5, 2배 등 5수준으로 처리하여 재배하였다. 돌나물은 2023년 4월~11월, 경기도농업기술원 시험포장에서 기준 시비량(N 14.5, P₂O₅ 10, K₂O 15 kg/10a)의 0~2배 5수준으로 처리하였다. 우분퇴비 1,500 kg/10a를 밑거름으로 사용하였으며, 웃거름은 수확 4회 기준으로 분시하였다. 순무는 2024년 3월~11월, 경기도농업기술원 시험포장에서 기준 시비량(N 9.0, P₂O₅ 5.0, K₂O 8.0 kg/10a)의 0~2배 5수준으로 처리하였다. 우분퇴비 1,000 kg/10a를 밑거름으로 사용하였으며, 웃거름(N 3.6, K₂O 3.2 kg/10a)은 파종 후 40일에 사용하였다. 근대는 2025년 4월~9월, 경기도농업기술원 시험포장에서 5월 21일 재식거리 30×25 cm로 정식하였고, 기준 시비량(N 9.0, P₂O₅ 11.0, K₂O 11.0 kg/10a)의 0~2배 5수준으로 처리하였다. 우분퇴비 1,000 kg/10a를 밑거름으로 사용하였으며, 웃거름(N 4.5, K₂O 5.5 kg/10a)은 파종 후 40일에 살포하고 시험 전·후 토양 화학성, 작물 생육, 비료 수준별 수확량, 식물체 양분흡수량 등을 조사하였다.

다. 토양 화학성 및 식물체 성분 분석

토양화학성과 식물체 무기성분 분석은 농촌진흥청 국립농업과학원의 토양 및 식물체 분석법을 따랐다. 토양 시료는 풍건하여 2 mm 체로 거른 다음 분석에 이용하였다. 토양 pH와 EC는 토양과 증류수를 1:5의 비율로 하여 진탕한 후 pH, EC meter로 측정했으며, EC는 측정값에 희석비율인 5를 곱하였다. 유기물은 Tyurin법으로 분석하고, 총질소는 C, N 분석기로 분석하였다. 유효인산은 Lancaster법에 의한 비색계로 분석하였다. 교환성 양이온은 1 M NH₄OAC (pH 7.0)로 추출하여 유도결합플라즈마 분광광도계로 분석하였다. 식물체의 잎과 줄기는 80°C에서 건조하여 분쇄한 후 식물체 분석에 이용하였다. 식물체 건조 시료 0.5 g을 황산으로 습식 분해한 후 증류수로 희석하여 여과하고, 질소 자동분석기로 총 질소를 분석하고, 비색계로 인을 분석했으며, ICP로 K, Ca, Mg을 분석하여 식물체 양분 함량 및 흡수량을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 들깨 비료사용기준 설정

1) 들깨 재배지 농가 양분관리 실태조사

들깨 재배 39농가를 대상으로 수확 후 토양화학성을 분석한 결과(표 1), 발토양 적정 범위와 비교하여 유기물 함량은 18 g/kg으로 낮은 편이었으나 pH 7.1, 유효인산 523 mg/kg, 교환성 칼슘 6.8 cmol_c/kg은 다소 높게 나타났다.

표 1. 들깨 재배후 토양화학성 분석 (조사농가: 39농가)

구분	pH (1:5)	EC (dS/m)	OM (g/kg)	Av. P ₂ O ₅ (mg/kg)	Exch. Cations (cmol _c /kg)		
					K	Ca	Mg
평균	7.1	0.4	18	523	0.6	6.8	2.0
최대	8.4	1.1	44	1,475	1.5	15.4	7.2
최소	5.1	0.1	5	35	0.1	1.8	0.4
표준편차	0.8	0.3	9	368	0.4	3.1	1.2
적정범위	6.0~7.0	2 이하	20~30	300~500	0.5~0.8	5.0~6.0	1.5~2.0

들깨 재배농가의 화학비료 평균 사용량은 질소(N)-인산(P)-칼리(K) = 6.8-1.5-2.9 kg/10a으로, 기준 비료량인 질소(N)-인산(P)-칼리(K) = 8-1.5-2.5kg 대비 질소는 85%, 인산은 100%, 칼리는 116% 수준이었다(표 2). 지역별로 살펴보면 양평(18농가)의 질소 사용량이 9.4 kg/10a로 가장 많았으며, 연천(1농가)은 0.1 kg/10a에 그쳐 농가 간 편차가 매우 컸다.

표 2. 들깨 재배 농가 평균 비료사용량 (kg/10a)

구분	농가 수	밑거름					웃거름			전체(유박포함)		
		질소	인산	칼리	퇴비	유박	질소	인산	칼리	질소	인산	칼리
양평	18	5.4	2.3	2.5	-	-	4.0	0.3	1.2	9.4	2.6	3.8
화성	14	2.0	0.5	1.6	-	-	2.8	0	0.4	4.8	0.5	2.0
안성	5	1.8	0.5	1.0	-	-	2.9	0	1.6	4.7	0.5	2.6
여주	1	3.9	3.5	2.9	-	-	0	0	0	3.9	3.5	2.9
연천	1	0	0	0	-	-	0.1	0	0.1	0.1	0	0.1
전체평균	39	3.5	1.4	2.0			3.2	0.1	0.9	6.8	1.5	2.9

* 들깨 평균비료사용량(6.8-1.5-2.9 kg/10a), 재배기간(3.0~3.5개월) / 가축분 퇴비(407±263kg/10a)

* 평균 재식주수: 2,958주/10a, 평균 수량: 91.8kg/10a



들깨 지상부 평균 양분 흡수량은 질소(N) 0.73kg/10a, 인산(P₂O₅) 0.67kg/10a, 칼륨(K₂O) 3.31 kg/10a로 나타났다. 생체중은 2,740 kg/10a, 건물중은 765.9 kg/10a이었으며, 표준편차가 크게 나타나 농가별 생육 편차가 컸음을 확인할 수 있었다(표 3).

표 3. 들깨 지상부 식물체 조사 (조사농가: 39농가)

구분	생체중(kg/10a)	건물중(kg/10a)	지상부 흡수량(kg/10a)		
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O
평균	2,740	765.9	0.73	0.67	3.31
표준편차	1,169	360.0	0.40	0.27	0.76

들깨 재배농가의 토양 양분함량과 비료 사용량과의 상관분석 결과, 들깨 식물체의 질소(N) 흡수량 및 건물중은 토양 유기물(OM) 함량과 고도로 유의한 정(+)의 상관(r=0.573**, r=0.525**)을 보였다(표 4, 그림 1). 인산(P) 흡수량은 토양 유효인산과(r=0.540**), 칼륨(K) 흡수량은 토양 교환성 K(r=0.562**)과 각각 유의한 정(+)의 상관을 보여, 토양 양분 함량이 식물체 흡수량에 직접적인 영향을 미침을 확인하였다(표 5, 표 6, 그림 1). 반면, 비료량 자체는 식물체 흡수량과의 상관을 보여 적정 시비 이상의 과다 투입이 흡수 효율을 높이지 않음을 알 수 있었다.

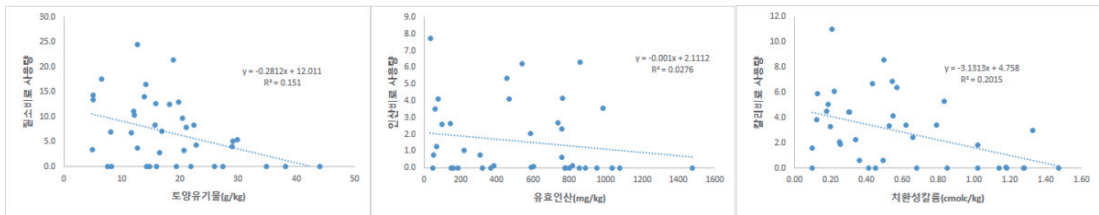


그림 1. 토양 양분함량과 비료사용량

표 4. 질소 비료량과 토양화학성, 건물중 등 작물생산성 요인과의 상관분석

구분	N비료량	토양OM	식물체 N흡수량	건물중
N비료량	1	-	-	-
토양OM	-0.446*	1	-	-
식물체 N흡수량	-0.196	0.573**	1	-
건물중	-0.229	0.525**	0.833**	1

*: <0.05(유의함), **: <0.01(고도로 유의함)

표 5. 인산 비료량과 토양화학적, 건물중 등 작물생산성 요인과의 상관분석

구 분	P비료량	Av.P ₂ O ₅	식물체 P흡수량	건물중
P비료량	1	-	-	-
Av.P ₂ O ₅	-0.037	1	-	-
식물체 P흡수량	-0.354	0.540**	1	-
건물중	-0.327	0.194	0.700**	1

*: <0.05(유의함), **: <0.01(고도로 유의함)

표 6. 칼륨 비료량과 토양화학적, 건물중 등 작물생산성 요인과의 상관분석

구 분	K비료량	교환성 K	식물체 K흡수량	건물중
K비료량	1	-	-	-
교환성 K	-0.256	1	-	-
식물체 K흡수량	-0.063	0.562**	1	-
건물중	-0.144	0.454*	0.934**	1

*: <0.05(유의함), **: <0.01(고도로 유의함)

들깨 재배농가의 토양 양분함량과 비료 사용량과의 상관분석 결과를 바탕으로 토양검정에 의한 비료사용기준 추천식을 도출한 결과(표 7), 들깨의 토양 양분 함량과 비료 투입량 간의 관계를 회귀분석하여 다음 세 가지 추천식을 설정하였다. 추천식은 질소 N(kg/10a) = 14.1 - 0.2433 × OM, 인산 P₂O₅(kg/10a) = 3.0 - 0.0043 × Av.P₂O₅, 칼리 K₂O(kg/10a) = 11.6 - 15.219 × Ex. K.이었다.

또한 이를 바탕으로 종실용 들깨의 비료 표준사용량은 질소 8.0, 인산 1.5, 칼리 2.5kg/10a, 석회 200 kg/10a로 설정하였다. 시용 방법은 질소는 밀거름 30%, 웃거름 70%, 인산은 전량 밀거름, 칼리는 밀거름 40%, 웃거름 60%로 분시하며, 퇴구비는 1,500 kg/10a을 살포하였다.

표 7. 종실용 들깨의 비료 표준사용량 및 토양검정 비료추천식

작물	구분	비료 표준사용량	토양검정 비료추천식
들깨	질소	8.0	N(kg/10a) = 14.1 - 0.2433×OM
	인산	1.5	P ₂ O ₅ (kg/10a) = 3.0 - 0.0043×Av.P ₂ O ₅
	칼리	2.5	K ₂ O(kg/10a) = 11.6 - 15.219×Ex.K
	석회	200	

* 밀거름/웃거름 비율: 질소 30/70, 인산 100, 칼리 40/60%

* 퇴구비 사용량: 퇴구비 사용량 적용 (1,500kg/10a)



나. 비름 비료사용기준 설정

1) 비름 재배지 농가 양분관리 실태조사

비름 재배 30농가 토양의 화학성을 분석한 결과(표 8), 시설재배 적정범위와 비교하여 pH는 5.3으로 낮았고, EC는 4.8 dS/m, 유기물 78 g/kg, 유효인산 1,504 mg/kg, 교환성 칼슘 11.5 cmol_c/kg 등 대부분의 화학적 지표가 적정범위를 크게 초과하였다. EC는 적정(2 dS/m 이하) 대비 2.4배, 유효인산은 2.7배로 양분 집적이 심각한 수준이었다.

표 8. 비름 재배지 토양화학성 (조사농가: 30농가)

구 분	pH (1:5)	EC (dS/m)	OM (g/kg)	Av.P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ex. Cation (cmol _c /kg)			칼리염기비
					K	Ca	Mg	
평 균	5.3	4.8	78	1,504	1.91	11.5	3.9	0.48
최 고	7.2	23.6	134	5,339	5.29	22.9	9.0	1.06
최 저	3.9	0.9	17	623	0.28	2.8	1.3	0.07
표준편차	0.98	4.7	33.7	765	1.16	4.4	2.1	0.22
적정범위	6.0~7.0	<2.0	25~35	300~550	0.5~0.8	5.0~6.0	1.5~2.5	-

비름 재배농가의 화학비료 평균 사용량은 질소 38.4, 인산 32.8, 칼리 45.3 kg/10a로, 기준 비료량(N 17.9, P 8.5, K 8.5 kg/10a) 대비 질소는 215%, 인산은 386%, 칼리는 533%의 과다 시비가 이루어지고 있었다(표 9). 최고 사용량은 질소 93.8, 인산 126.0, 칼리 207.0 kg/10a에 달해 표준 대비 수 배 이상의 비료가 투입되는 농가도 있었다. 이는 시설재배에 따른 양분 과잉 집적의 주요 원인이 되고 있다.

표 9. 비름 재배농가 비료사용량 (조사농가: 30농가)

구 분	밑거름(kg/10a)			웃거름(kg/10a)			총량(kg/10a) ¹⁾		
	질소	인산	칼리	질소	인산	칼리	질소	인산	칼리
평 균	10.9	5.4	6.3	9.6	4.7	4.4	38.4	32.8	45.3
최 고	20.0	10.0	16.0	25.2	10.8	10.6	93.8	126.0	207.0
최 저	3.0	1.5	1.8	2.3	0.4	0.1	6.2	1.0	0.9
표준편차	4.4	2.2	3.3	5.5	4.0	3.6	18.3	27.9	45.8

1) 유박 및 우분퇴비 포함

비름 식물체 평균 양분 흡수량은 질소 28.7 kg/10a, 인산 11.3 kg/10a, 칼륨 55.5 kg/10a로 매우 높은 수준이었다. 평균 생체중은 7,609 kg/10a, 건물중은 943 kg/10a에 달하였으며, 질소 함량은 평균 3.1%, 인산 1.2%, 칼륨 5.9%로 양분 흡수 능력이 뛰어난 작물임을 확인하였다(표 10).

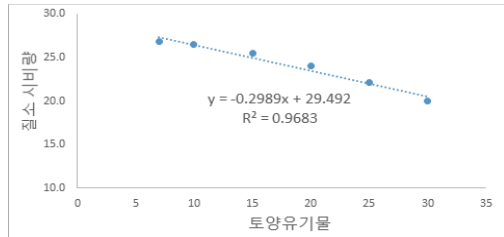


표 10. 비름 식물체 분석 (조사농가: 30농가)

구 분	생체중 (kg/10a)	건물중 (kg/10a)	식물체 성분함량(%)			식물체 흡수량(kg/10a)		
			T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O
평 균	7,609	943	3.1	1.2	5.9	28.7	11.3	55.5
최 고	11,000	1,397	3.9	1.5	7.5	47.9	18.7	103.5
최 저	4,000	447	2.3	0.1	4.1	13.3	0.1	23.5
표준편차	2,085	301	0.5	0.3	0.8	9.8	4.5	20.0

표 11. 토양검정에 따른 질소 비료사용 기준설정

토양 유기물 (g/kg)	질소흡수량 (kg/10a)	질소비료량 (kg/10a)
7	21.5	26.9
10	21.8	26.5
15	22.3	25.5
20	22.8	24.0
30	23.9	20.0



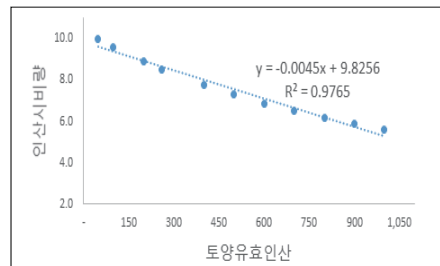
- * 상관분석: 토양 유기물, EC, 질산태질소, 총질소, 식물체 질소 흡수량, 질소함량, 수량, 질소 비료량
- * 토양 유기물과 질소 흡수량의 회귀식: $Y = 0.1018 \times X + 20.797$
- * 토양 유기물에 따른 질소 비료량 산출: $Y = -0.2989 \times X + 29.492$

비름 재배농가 비료사용 실태조사 결과를 바탕으로 토양 유기물 함량과 질소 흡수량의 상관관계식을 이용하여 토양 유기물에 따른 질소 비료량을 산출하였다(표 11). 질소 비료량 $N(kg/10a) = -0.2989 \times OM + 29.492$ 임을 도출하였다.

토양 유효인산 함량과 인산 비료량의 상관관계를 분석한 결과, 토양 유효인산 함량에 따른 인산 비료량을 산출하였다(표 12). 인산 비료량 $P_2O_5(kg/10a) = -0.0045 \times Av.P_2O_5 + 9.8256$ 임을 도출하였다. 한편 농가의 인산 비료 사용량은 토양 유효인산 증가와 함께 오히려 증가하는 경향($Y = 0.0131 \times X + 15.376$)을 보여, 토양검정 없이 관행적 시비가 이루어지고 있음을 확인하였다.

표 12. 토양검정에 따른 인산 비료사용 기준설정

토양 유효인산 (mg/kg)	농가인산비료량 (kg/10a)	인산 비료량 (kg/10a)
50	16.0	10.0
100	16.7	9.6
200	18.0	8.9
400	20.6	7.7
800	25.9	6.2
1,000	28.5	5.6



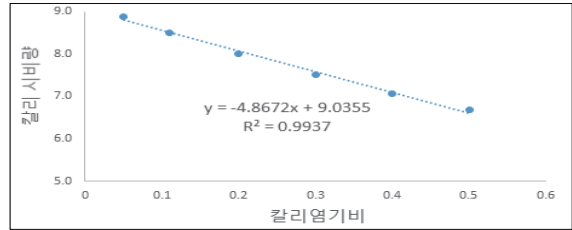
- * 상관분석: 토양 유효인산, 식물체 인산 흡수량, 인산함량, 수량, 인산 비료량
- * 토양 유효인산과 농가 인산 비료량의 회귀식: $Y = 0.0131 \times X + 15.376$
- * 토양 유효인산에 따른 인산 비료량 산출: $Y = -0.0045 \times X + 9.8256$



토양 칼리염기비와 식물체 칼륨 흡수량의 상관관계($R^2 = 0.9937$)를 이용하여 칼리 비료량 추천식을 산출하였다(표 13). 칼리비료량 $K_2O(kg/10a) = -4.8672 \times K / \sqrt{Ca + Mg} + 9.0355$ 임을 도출하였다.

표 13. 토양검정에 따른 칼리 비료사용 기준설정

칼리염기비	칼륨흡수량 (kg/10a)	칼리비료량 (kg/10a)
0.05	42.3	8.9
0.11	44.1	8.5
0.2	46.9	8.0
0.3	50.0	7.5
0.5	56.1	6.7



- * 상관분석: 토양 칼리염기비, 교환성 칼륨, 식물체 칼륨흡수량, 칼륨함량, 수량, 칼리 비료량
- * 토양 칼리염기비와 식물체 칼륨흡수량의 회귀식: $Y = 30.833 \times X + 40.731$
- * 토양 칼리염기비에 따른 칼리비료량 산출: $Y = -4.8672 \times X + 9.0355$

따라서 비름의 비료 표준사용량은 N 26.9, P 8.5, K 8.5kg/10a이며, 토양검정에 따른 비료추천식으로 $N(kg/10a) = -0.2989 \times OM + 29.492$, $P_2O_5(kg/10a) = -0.0045 \times Av. P_2O_5 + 9.8256$, $K_2O = -4.8672 \times K / \sqrt{Ca + Mg} + 9.0355$ 를 설정함

2) 비름 NPK 비료 수준별 재배시험

비름 시험재배지 시험 전 토양의 화학적 특성을 분석한 결과는 표 14와 같다. A동과 B동 모두 시설토양 적정 pH 범위(6.0~7.0)에 있었으며, EC는 각각 1.1과 1.0 dS/m으로 기준치(2 이하) 이내로 양호한 수준을 나타냈다. 그러나 유기물(OM) 함량은 A동 6.6 g/kg, B동 7.0 g/kg으로 적정 범위(25~35 g/kg)에 비해 크게 낮았고, 유효인산(Av. P_2O_5) 또한 각각 217, 235 mg/kg으로 적정 범위(300~550 mg/kg)에 미치지 못하였다. 교환성 칼리(K)는 두 구획 모두 적정 범위(0.5~0.8 cmol_c/kg) 이하였으며, 교환성 칼슘(Ca)은 적정 범위(5.0~6.0 cmol_c/kg) 수준을 충족하였고, 마그네슘(Mg)은 적정 범위(1.5~2.5 cmol_c/kg) 내에 있었다.

표 14. 시험 전 토양 화학성

구분	pH (1:5)	EC (1:5)	OM (g/kg)	NO ₃ -N (mg/kg)	Av. P ₂ O ₅ (mg/kg)	Exch. Cations (cmol _c /kg)		
						K	Ca	Mg
시험전 A동	6.9	1.1	6.6	10.9	217	0.4	5.3	2.0
토양 B동	7.0	1.0	7.0	13.6	235	0.3	5.8	2.0
시설토양 적정범위	6.0~7.0	2 이하	25~35	-	300~550	0.5~0.8	5.0~6.0	1.5~2.5

시험후 토양은 질소 비료량이 증가할수록 질산태질소 함량은 증가하였고 인산 비료량이 증가할수록 유효인산 함량은 증가하였으며, 칼리 비료량이 증가할수록 교환성 칼륨 함량은 증가하였다(표 15).

표 15. 비료량 및 시험후 토양 화학성

처리내용	비료량(kg/10a)			pH (1:5)	EC (dS/m)	OM (g/kg)	NO ₃ -N - (mg/kg) -	Av.P ₂ O ₅ -	K - (cmol _c /kg) -	Ca	Mg	칼륨 염기비
	N	P	K									
N 0	0	8.5	8.5	7.3	0.33	5.8	1.3	295	0.46	5.5	1.8	0.17
N0.5	8.95	8.5	8.5	7.5	0.38	7.4	1.2	281	0.30	5.4	1.7	0.11
N1.0	17.9	8.5	8.5	7.1	0.48	7.1	1.9	277	0.27	5.6	1.8	0.10
N1.5	26.85	8.5	8.5	7.1	0.41	6.8	2.8	250	0.26	5.6	1.7	0.10
N2.0	35.8	8.5	8.5	6.8	0.35	7.1	11.5	229	0.22	5.3	1.5	0.08
P 0	17.9	0	8.5	6.9	0.31	6.5	4.2	264	0.27	5.2	1.5	0.10
P0.5	17.9	4.25	8.5	7.2	0.31	7.2	2.0	264	0.30	5.3	1.7	0.11
P1.0	17.9	8.5	8.5	7.4	0.32	7.2	0.9	271	0.28	5.4	1.6	0.11
P1.5	17.9	12.75	8.5	7.3	0.33	6.7	1.0	278	0.29	5.5	1.7	0.11
P2.0	17.9	17.0	8.5	7.0	0.34	7.2	3.8	283	0.30	4.9	1.7	0.12
K 0	17.9	8.5	0	6.9	0.35	6.3	1.3	308	0.27	5.4	1.8	0.10
K0.5	17.9	8.5	4.25	7.2	0.39	7.3	1.2	275	0.28	5.3	1.7	0.09
K1.0	17.9	8.5	8.5	7.1	0.39	6.8	1.6	268	0.29	5.3	1.7	0.11
K1.5	17.9	8.5	12.75	7.2	0.38	7.1	1.2	270	0.41	5.3	1.7	0.16
K2.0	17.9	8.5	17.0	7.3	0.42	7.0	0.9	249	0.44	4.9	1.6	0.17

질소, 인산, 칼리 비료 수준에 따른 작물 생육특성은 표 16과 같다. 질소 시비량이 증가함에 따라 초장, 엽수, 생체중이 증가하는 경향이였다. 이는 질소 시비가 비료의 영양 성장에 직접적이고 뚜렷한 효과를 발휘함을 나타낸다. 인산과 칼리 시비량에 따른 생육 반응은 질소에 비해 상대적으로 불규칙한 패턴을 보였다.

표 16. 비료 수준에 따른 작물 생육특성

처리내용	질소(N)			인산(P ₂ O ₅)			칼리(K ₂ O)		
	초장 (cm)	엽수 (개)	생체중 (g/주)	초장 (cm)	엽수 (개)	생체중 (g/주)	초장 (cm)	엽수 (개)	생체중 (g/주)
0배	18.0	9.1	2.9	21.0	9.2	3.7	15.5	8.3	1.6
0.5배	18.4	8.9	3.0	19.2	8.8	2.8	15.8	8.2	1.6
1.0배	21.0	9.3	3.9	17.9	8.3	2.6	16.0	8.1	1.6
1.5배	22.8	9.3	4.2	18.8	8.5	3.0	17.3	8.2	2.0
2.0배	25.9	9.8	5.2	19.3	9.0	3.3	17.4	8.4	2.1

식물체 내 양분 성분 함량과 건물중을 분석한 결과(표 17), 질소 처리구에서 시비량 증가에 따른 건물중의 유의한 증가가 확인되었다. N 1.5배 및 N 2.0배 처리구에서 건물중이 각각 356, 361 kg/10a으로 가장 높았다. 반면, 인산(P)과 칼리(K) 처리구에서는 시비 수준에 따른 건물중 차이가 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났다. 식물체 성분 함량 측면에서는 T-N 함량이 N 처리구에서 2.2~2.5%, P 및 K 처리구에서 1.9~2.2% 수준으로 나타났으며, P₂O₅ 함량은 모든 처리구에서 1.0~1.1%로 안정적인 수준을 유지하였다.

표 17. 식물체 비료 흡수량 및 건물중

처리내용	식물체 성분함량 (%)			식물체 흡수량 (kg/10a)			건물중 (kg/10a)
	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
N 0	2.5	1.1	5.7	6.3	2.7	14.4	245 c
N 0.5	2.4	1.1	5.5	6.5	2.8	14.8	260 c
N 1.0	2.3	1.0	5.1	7.6	3.3	16.7	324 b
N 1.5	2.2	1.0	5.3	8.0	3.6	18.9	356 a
N 2.0	2.3	1.0	5.6	8.5	3.6	20.1	361 a
P 0	2.2	1.0	5.6	7.0	3.1	17.2	308 ns
P 0.5	2.0	1.0	5.1	6.6	3.2	16.1	311
P 1.0	2.0	1.0	5.1	6.6	3.4	16.8	327
P 1.5	2.1	1.0	4.4	7.1	3.3	14.9	325
P 2.0	2.2	1.0	4.7	7.3	3.2	15.1	314
K 0	2.0	1.1	5.2	5.3	2.9	13.7	262 ns
K 0.5	1.9	1.1	5.0	5.2	3.0	13.7	272
K 1.0	1.9	1.1	4.7	5.4	3.1	14.0	295
K 1.5	2.1	1.0	4.9	6.0	3.0	14.2	286
K 2.0	1.9	1.0	4.8	5.4	3.0	13.8	282

※ DMRT at 5% level.

비료의 비료 수준과 건물 수량 간의 관계를 회귀 분석한 결과(그림 2), 질소에 대한 회귀식($y = -24.975x^2 + 95.846x + 236.07$)을 도출하였으며, 결정계수(R^2)가 0.94로 높은 수치를 보였다. 이 회귀식을 기반으로 산출된 질소의 최적 시비량은 약 1.5배량이며, 10a당 약 26.85kg의 질소 시비가 최대 수량에 근접하는 것으로 분석되었다. 또한 인산에 대한 회귀식($y = -15.285x^2 + 31.933x + 304.9$)을 도출하여 최적 인산 시비량이 약 1.2배량 수준으로 나타났으나, 결정계수가 0.75로 질소에 비해 다소 낮았다. 칼리에 대한 회귀식($y = -18.69x^2 + 44.2x + 260.36$)에 따라 최적 시비량이 약 1.325배량 수준으로 도출되었다.

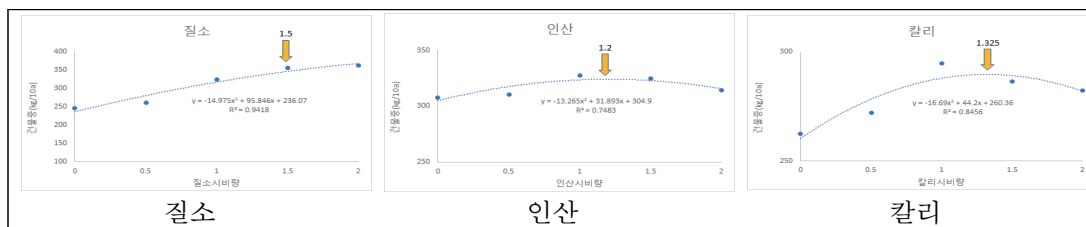


그림 2. 비료 비료량과 수량과의 관계

다. 돌나물 비료사용기준 설정

1) 돌나물 재배지 농가 양분관리 실태조사

돌나물 재배 19농가의 토양을 분석한 결과, EC 4.2 dS/m, 유기물 47 g/kg, 유효인산 1,560 mg/kg, 교환성 칼슘 12.2 cmol_c/kg으로 대부분의 지표가 적정범위를 초과하였다. 특히 EC는 최고 16.8 dS/m에 달해 염류 집적으로 인한 생육 장애 위험이 높은 것으로 나타났다(표 18).

표 18. 돌나물 재배농가 토양화학성 (조사농가: 19농가)

구 분	pH (1:5)	EC (dS/m)	OM (g/kg)	Av.P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ex. Cation (cmol _c /kg)		
					K	Ca	Mg
평 균	6.4	4.2	47	1,560	1.70	12.2	3.5
최 고	6.9	16.8	87	3,335	5.06	20.1	6.1
최 저	5.6	1.3	24	480	0.44	6.7	1.9
표준편차	0.3	4.3	14	674	0.92	4.3	1.3
적정범위	6.0~7.0	2 이하	25~35	300~550	0.5~0.8	5.0~6.0	1.5~2.5

돌나물 재배농가의 10a당 화학비료 사용량은 질소(N) 21.0kg, 인산(P) 14.8kg, 칼리(K) 13.6kg으로, 기준 비료량(N 14.5kg - P 10kg - K 15kg) 대비 질소 145%, 인산 148%, 칼리 91% 수준이었다(표 19). 칼리(K)를 제외하고 질소와 인산은 과다 시비하는 경향이 나타났다. 돌나물은 시설하우스에서 연간 4~5회 수확하며, 매 수확 후 웃거름으로 화학비료를 살포하는 방식이 일반화되어 있어 연간 누적 시비량이 높은 편이다.

표 19. 돌나물 재배농가 비료사용량 (조사농가: 18농가)

구 분	밑거름(kg/10a)			웃거름(kg/10a)			총량(kg/10a) ¹⁾		
	질소	인산	칼리	질소	인산	칼리	질소	인산	칼리
평 균	9.1	6.7	5.8	11.9	8.1	7.8	21.0	14.8	13.6
최 고	23.4	14.3	10.6	14.2	10.2	12.0	37.6	24.5	22.6
최 저	4.8	2.4	2.1	6.5	0.0	0.0	11.3	2.4	2.1
표준편차	6.4	3.8	2.8	2.9	4.3	4.2	9.3	8.1	6.9

¹⁾ 유박 및 가축분퇴비 제외



돌나물 식물체 평균 양분 흡수량은 질소(N) 8.1 kg/10a, 인산(P₂O₅) 2.6 kg/10a, 칼륨(K₂O) 20.1 kg/10a이었다. 평균 생체중은 7,010 kg/10a, 건물중은 587 kg/10a이었으나 농가별 생육 편차가 상당함을 보여주었다.

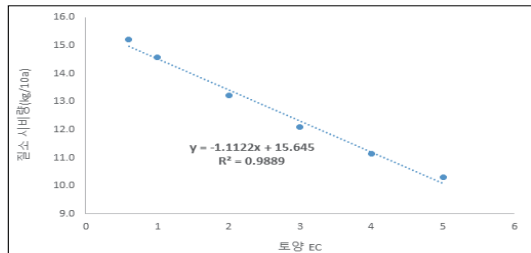
표 20. 돌나물 양분 흡수량 분석 (조사농가: 17농가)

구 분	생체중 (kg/10a)	건물중 (kg/10a)	식물체 성분함량(%)			식물체 흡수량(kg/10a)		
			T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O
평 균	7,010	587	2.4	0.8	6.0	8.1	2.6	20.1
최 고	9,600	4,800	3.0	1.2	8.0	16.1	4.2	35.7
최 저	4,800	203	1.5	0.4	3.4	5.1	1.4	10.7
표준편차	1,607	1,055	0.3	0.2	1.4	2.7	0.8	6.9

돌나물 농가 실태조사 결과 토양 EC와 질소 흡수량 간의 유의한 상관($Y = 0.7295X + 6.3486$)을 확인하고, 토양 EC에 따른 질소 비료량 $N(\text{kg}/10\text{a}) = 15.645 - 1.112 \times \text{EC}$ 임을 도출하였다(표 21). 토양 유효인산과 인산 비료량의 관계식을 이용하여 토양 유효인산 함량에 따른 인산 비료량 $P_2O_5(\text{kg}/10\text{a}) = 10.627 - 0.006 \times \text{Av.P}_2\text{O}_5$ 임을 도출하였다(표 22).

표 21. 토양검정에 따른 질소 비료사용 기준설정

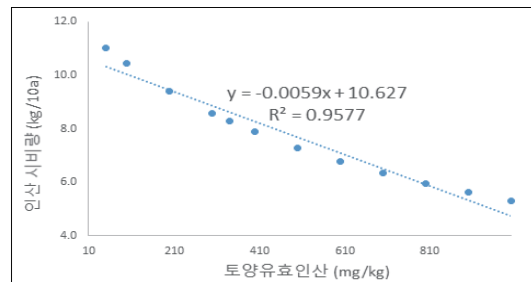
토양 EC (dS/m)	질소흡수량 (kg/10a)	질소비료량 (kg/10a)
0.6	6.8	15.2
1.0	7.1	14.6
2.0	7.8	13.2
3.0	8.5	12.1
4.0	9.3	11.1
5.0	10.0	10.3



- * 토양 EC(X)와 질소흡수량(Y) 관계식: $Y = 0.7295X + 6.3486$
- * 토양 EC에 따른 질소 비료량 산출: $Y = -1.1122x + 15.645$

표 22. 토양검정에 따른 인산 비료사용 기준설정

토양 유효인산 (mg/kg)	농가인산비료량 (kg/10a)	인산비료량 (kg/10a)
50	7.1	11.0
100	7.5	10.4
200	8.4	9.4
340	9.5	8.3
400	10.0	7.9
500	10.8	7.3
600	11.6	6.8



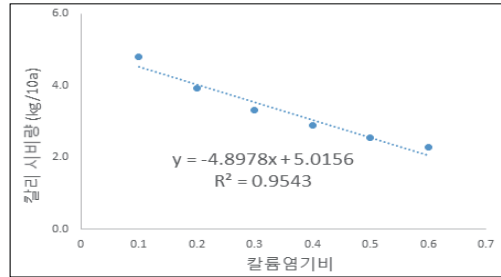
- * 토양 유효인산(X)과 인산비료량(Y) 관계식: $Y = 0.0081X + 6.7373$
- * 토양 유효인산 함량에 따른 인산 비료량 산출: $Y = -0.0059x + 10.627$



토양 칼리염기비와 식물체 칼륨 함량의 관계식을 이용하여 토양 칼리염기비에 따른 칼리 비료량 $K_2O(kg/10a) = 5.0156 - 4.8978 \times K / \sqrt{Ca + Mg}$ 임을 도출하였다(표 23).

표 23. 토양검정에 따른 칼리 비료사용 기준설정

칼리염기비	칼륨함량 (kg/10a)	칼리비료량 (kg/10a)
0.1	3.5	4.8
0.2	4.3	3.9
0.3	5.1	3.3
0.4	5.9	2.9
0.5	6.6	2.6
0.6	7.4	2.3



- * 토양 칼리염기비(X)과 칼륨함량(Y) 관계식: $Y=7.7735X + 2.7629$
- * 토양 칼리염기비에 따른 칼리 비료량 산출: $Y=-4.8978X + 5.0156$

2) 들나물 NPK 비료 수준별 재배시험

들나물 시험재배지의 시험 전 토양의 화학적 특성을 분석한 결과는 표 24와 같다. EC는 모두 0.6 dS/m으로 기준치 이내로 양호한 수준을 나타냈다. 그러나 유기물(OM) 함량은 A동 6 g/kg, B동 7 g/kg으로 적정 범위에 비해 크게 낮았고, A동의 유효인산은 254 mg/kg으로 적정 범위에 미치지 못하였다. 교환성 칼리(K)는 두 구획 모두 적정 범위 이하였으며, 교환성 칼슘(Ca)과 마그네슘(Mg)은 적정 범위 수준을 충족하였다.

표 24. 시험전 토양 화학성

구분	pH (1:5)	EC (dS/m)	OM (g/kg)	NO ₃ -N (mg/kg)	Av.P ₂ O ₅ (mg/kg)	Exch. Cations(cmol _c /kg)		
						K	Ca	Mg
A동	7.1	0.6	6	12.1	254	0.28	5.7	1.9
B동	7.1	0.6	7	4.6	340	0.30	5.6	2.1
적정범위	6.0~7.0	2 이하	25~35	-	300~550	0.5~0.8	5.0~6.0	1.5~2.5

시험후 토양은 질소 비료량이 증가할수록 질산태질소 함량은 증가하였고 인산 비료량이 증가할수록 유효인산 함량은 증가하였으며, 칼리 비료량이 증가할수록 교환성칼륨 함량은 증가하였다(표 25).



표 25. 비료량 및 시험후 토양 화학성

처리 내용	비료량(kg/10a)			pH (1:5)	EC (dS/m)	OM (g/kg)	NO ₃ -N --(mg/kg)--	Av.P ₂ O ₅	K --(cmol _c /kg)--	Ca	Mg	칼륨 염기비
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O									
N 0	0	8.5	8.5	7.3	0.9	9	4.4	332	0.65	5.9	2.3	0.23
N0.5	8.95	8.5	8.5	6.8	1.8	9	49.3	322	0.50	6.2	2.4	0.17
N1.0	17.9	8.5	8.5	6.1	2.8	10	112.3	325	0.67	6.7	2.6	0.22
N1.5	26.85	8.5	8.5	5.9	3.1	9	164.1	317	0.53	6.5	2.5	0.17
N2.0	35.8	8.5	8.5	5.6	3.6	8	238.2	308	0.53	6.4	2.6	0.17
P 0	17.9	0	8.5	7.4	0.8	10	14.6	287	0.67	6.4	2.3	0.23
P0.5	17.9	4.25	8.5	6.9	1.0	11	34.2	322	0.48	5.9	2.2	0.17
P1.0	17.9	8.5	8.5	6.8	1.1	10	39.4	330	0.54	5.8	2.2	0.19
P1.5	17.9	12.75	8.5	6.8	1.0	10	56.9	368	0.44	5.6	2.2	0.16
P2.0	17.9	17.0	8.5	6.1	3.0	10	148.6	439	0.61	6.6	2.6	0.20
K 0	17.9	8.5	0	6.7	1.1	10	35.6	317	0.31	5.7	2.2	0.11
K0.5	17.9	8.5	4.25	6.7	2.0	11	79.1	354	0.41	6.7	2.5	0.14
K1.0	17.9	8.5	8.5	6.3	2.2	11	105.1	322	0.57	6.2	2.4	0.20
K1.5	17.9	8.5	12.75	6.4	3.8	11	187.7	324	0.64	6.8	2.8	0.21
K2.0	17.9	8.5	17.0	6.4	3.6	12	202.2	350	0.73	6.7	2.7	0.24

질소, 인산, 칼리 비료 수준에 따른 작물 생육특성은 표 26과 같다. 질소(N)는 0.5배와 1.5배 처리에서, 인산(P)과 칼리(K)는 1.5배 처리구에서 들나물의 엽색도는 높고 줄기직경이 두꺼워지는 경향이였다.

표 26. 비료 수준에 따른 작물 생육특성

처리 내용	질소(N)				인산(P ₂ O ₅)				칼리(K ₂ O)			
	초장 (cm)	엽장 (mm)	경경 (mm)	엽색도 (SPAD)	초장 (cm)	엽장 (mm)	경경 (mm)	엽색도 (SPAD)	초장 (cm)	엽장 (mm)	경경 (mm)	엽색도 (SPAD)
0배	23.8	23.9	2.4	26.6	21.9	24.7	2.4	26.5	23.7	24.0	2.5	28.0
0.5배	24.3	24.8	2.5	27.0	21.7	24.0	2.4	26.8	21.2	24.4	2.5	27.4
1.0배	24.5	27.3	2.4	27.7	22.4	24.5	2.5	26.9	21.6	24.1	2.4	27.1
1.5배	23.2	24.9	2.5	29.0	20.5	24.7	2.5	28.2	19.7	24.2	2.5	28.6
2.0배	21.6	24.8	2.4	26.9	21.6	25.5	2.4	29.0	20.1	24.8	2.5	26.6

식물체 양분흡수량과 생체중 및 비료이용률을 분석한 결과(표 27), 들나물 생체중은 질소, 인산 및 칼리 모두 0.5배 처리에서 각각 6,444, 8,478 및 6,713 kg/10a으로 무거웠으며, 비료이용효율은 질소는 1.0배, 인산과 칼리는 각각 0.5배에서 가장 높았다.

표 27. 돌나물의 비료 수준별 질소, 인산, 칼리 흡수량

처리 내용	비료량(kg/10a)				식물체 양분흡수량(kg/10a)			생체중 (kg/10a)	비료이용률* (%)
	무기질 비료			우분 퇴비	질소	인산	칼리		
	질소	인산	칼리						
N 0	0	8.5	8.5	1,500	3.4	2.5	12.3	4,664	0
N0.5	8.95	8.5	8.5	1,500	4.6	2.6	14.4	6,444	13.4
N1.0	17.9	8.5	8.5	1,500	7.1	2.9	18.6	6,251	20.7
N1.5	26.9	8.5	8.5	1,500	7.6	2.7	18.5	6,005	15.6
N2.0	35.8	8.5	8.5	1,500	6.9	2.4	15.5	5,099	9.8
P 0	17.9	0	8.5	1,500	6.7	3.3	22.3	7,719	0
P0.5	17.9	4.3	8.5	1,500	7.8	3.7	24.0	8,478	9.4
P1.0	17.9	8.5	8.5	1,500	7.9	3.3	21.6	8,263	0.0
P1.5	17.9	12.8	8.5	1,500	7.6	3.3	20.8	8,490	0.0
P2.0	17.9	17.00	8.5	1,500	7.4	3.1	19.7	6,293	-1.2
K 0	17.9	8.5	0	1,500	6.4	2.7	15.8	6,348	0
K0.5	17.9	8.5	4.3	1,500	7.0	2.7	18.1	6,713	54.1
K1.0	17.9	8.5	8.5	1,500	6.0	2.2	15.5	5,597	-3.5
K1.5	17.9	8.5	12.8	1,500	4.5	1.6	12.1	4,430	-29.0
K2.0	17.9	8.5	17.0	1,500	3.3	1.3	9.3	3,646	-38.2

* 비료이용률(%) = (시비구 흡수량-무비구 흡수량)/비료량 * 100 (질소 기준)

돌나물의 비료 수준과 생체중 간의 관계를 회귀 분석한 결과(그림 3), 돌나물의 표준 비료 사용량은 질소 14.5 kg/10a, 인산 8.1 kg/10a, 칼리 3.8 kg/10a이었으며, 돌나물 토양검정에 의한 비료사용 처방기준 추천식으로 $N(\text{kg}/10\text{a}) = 15.645 - 1.112 \times \text{EC}$, $P_2O_5(\text{kg}/10\text{a}) = 10.627 - 0.006 \times \text{Av}$, $P_2O_5, K_2O = 5.0156 - 4.8978 \times K/\sqrt{Ca+Mg}$ 을 도출하였다(표 28).

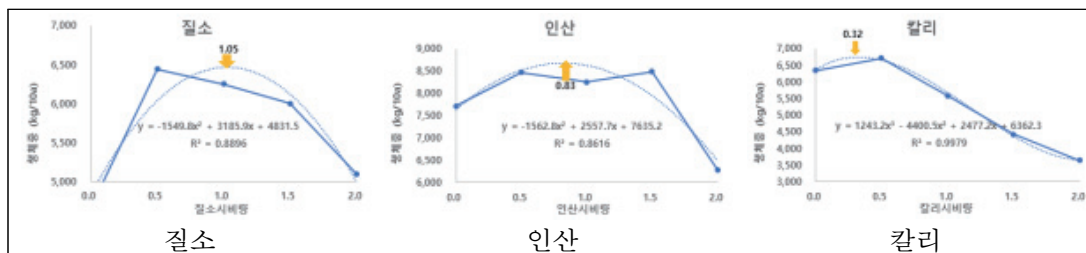


그림 3. 돌나물의 비료수준별 수량곡선(생체중, kg/10a)

표 28. 돌나물 토양검정 비료추천식

질소 비료추천식	토양 EC (dS/m)				
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
	-----N 비료사용량, kg/10a-----				
$N(\text{kg}/10\text{a}) = 15.645 - 1.1122 \times \text{EC}$	15.1	14.5	14.0	13.4	12.9

인산 비료추천식	토양 유효인산 함량 (mg/kg)				
	100	200	330	400	500
	-----P ₂ O ₅ 비료사용량, kg/10a-----				
$P_2O_5(\text{kg}/10\text{a}) = 10.627 - 0.006 \times \text{Av.P}_2\text{O}_5$	10.0	9.4	8.8	8.2	7.6

칼리 비료추천식	토양 칼리염기비 ($K/\sqrt{Ca+Mg}$)				
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
	-----K ₂ O 비료사용량, kg/10a-----				
$K_2O(\text{kg}/10\text{a}) = 5.0156 - 4.8978 \times K/\sqrt{Ca+Mg}$	4.5	4.0	3.5	3.1	2.6

* 토양검정 비료추천식에 흡수량 보정계수 적용

돌나물 토양검정에 의한 비료사용량은 농가 비료사용량 대비 질소는 10.0 kg/10a(요소 22.0 kg/10a), 인산은 13.5 kg/10a(용성인비 79.4 kg/10a), 칼리는 10.7 kg/10a(염화칼륨 17.9 kg/10a) 절감하여 10a 당 70,100원/의 비료를 절감 가능할 것으로 판단되었다(표 29).

표 29. 돌나물 토양검정 비료사용에 따른 비료비용 절감효과

작물 (농가수)	농가 비료사용량 (A, kg)			토양검정에 의한 비료 사용량(B, kg)			비료절감량(B-A, kg) (비료절감액)		
	요소	용성인비	염화칼륨	요소	용성인비	염화칼륨	요소	용성인비	염화칼륨
돌나물 (18)	46.7 (N 21.0)	87.1 (P ₂ O ₅ 14.8)	22.7 (K ₂ O 13.6)	24.7 (N 11.0)	7.7 (P ₂ O ₅ 1.3)	4.8 (K ₂ O 2.9)	-22.0 (15,670원)	-79.4 (41,680원)	-17.9 (12,750원)

* 비료가격* 23, 농협: 요소(N 45%) 14,250원/20kg, 용성인비(P 17%) 10,500원/20kg, 염화칼륨(K 60%) 14,250원/20kg

라. 순무 비료사용기준 설정

1) 순무 재배지 농가 양분관리 실태조사

순무 재배 24농가 토양 분석 결과, EC 6.7 dS/m, 질산태질소 249 mg/kg, 유효인산 712 mg/kg, 교환성 칼슘 9.8 cmol_c/kg 등 대부분의 토양화학성이 시설재배 적정범위를 크게 초과하였다. 반면 유기물 함량은 23 g/kg으로 적정범위에 비해 다소 낮은 편이었다. 특히 EC가 높아 염류 장해 위험이 매우 높은 토양들이 포함되어 있었다.

표 30. 순무 재배농가 토양화학성 (조사농가: 24농가)

구 분	pH (1:5)	EC (dS/m)	OM (g/kg)	NO ₃ -N (mg/kg)	Av.P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ex. Cation (cmol _c /kg)		
						K	Ca	Mg
평 균	6.4	6.7	23	249	712	0.86	9.8	4.0
최 고	7.3	17.1	71	1,140	2,307	3.23	21.5	12.0
최 저	4.7	1.1	6	8	123	0.12	1.7	1.3
표준편차	0.8	4.0	15	247	511	0.87	4.1	2.3
적정범위	6.0~7.0	2 이하	25~35	50~200	300~550	0.5~0.8	5.0~6.0	1.5~2.5

순무 재배농가의 평균 화학비료 사용량(N-P-K)은 13.7-9.9-8.8 kg/10a로, 기준 비료량(9-5-8 kg/10a) 대비 질소 152%, 인산 140%, 칼리 110% 수준으로 전반적인 과다 시비가 이루어지고 있었다. 특히 순무는 시설재배 특성상 밀거름만 사용하고 웃거름은 거의 사용하지 않는 특징이 있었으며, 유박 및 퇴비를 통한 유기질 비료 사용이 총량 증가에 기여하고 있었다(표 31). 식물체 양분 흡수량은 질소 7.3, 인산 2.9, 칼륨 13.9 kg/10a이었다(표 32).

표 31. 순무 재배농가 비료사용량 (조사농가: 14농가)

구 분	밀거름			웃거름			유박, 퇴비 등			총량(kg/10a)		
	질소	인산	칼리	질소	인산	칼리	질소	인산	칼리	질소	인산	칼리
평 균	9.2	5.6	5.6	0	0	0	4.5	4.3	3.2	13.7	9.9	8.8
최 고	18.9	15.3	15.3	0	0	0	11.6	12.6	9.5	22.9	18.7	17.3
최 저	3.6	0.7	1.2	0	0	0	0	0	0	5.8	1.4	1.8
표준편차	4.6	4.4	4.3	0	0	0	4.2	4.2	3.2	5.4	5.1	4.7

표 32. 순무 양분 흡수량 분석 (조사농가: 14농가)

구 분	생체중 (kg/10a)	건물중 (kg/10a)	식물체 성분함량(%)			식물체 흡수량(kg/10a)		
			T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O
평 균	3,220	285	2.6	1.0	4.9	7.3	2.9	13.9
최 고	4,725	482	3.2	1.2	7.3	13.6	4.4	27.4
최 저	1,800	168	2.2	0.8	3.4	4.3	1.7	8.9
표준편차	872	74	0.3	0.1	0.9	2.1	0.6	4.4

2) 순무 NPK 비료 수준별 재배시험

순무 시험재배지의 시험 전 토양의 화학적 특성을 분석한 결과는 표 33과 같다. pH는 7.3으로 적정 범위보다 높고 유기물(OM) 함량은 A동 15 g/kg, B동 17 g/kg으로 적정 범위에 비해 낮은 토양이었다.

표 33. 시험전 토양 화학성

구 분	pH (1:5)	EC (dS/m)	OM (g/kg)	Av. P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ex.Cations(cmole/kg)		
					K	Ca	Mg
비닐하우스 A동	7.3	2.2	15	305	0.69	5.8	2.3
비닐하우스 B동	7.3	1.7	17	393	0.69	6.2	2.6
시설토양 적정범위	6.0~7.0	2 이하	25~35	300~550	0.5~0.8	5.0~6.0	1.5~2.5

시험후 토양은 질소 비료량이 증가할수록 질산태질소 함량은 증가하였고, 인산 비료량이 증가할수록 유효인산이 증가하였고, 칼리 비료량이 증가할수록 칼륨과 칼리염기비가 증가하는 경향이였다(표 34).

표 34. 비료량 및 시험후 토양 화학성

처리 내용	비료량(kg/10a)			pH (1:5)	EC (dS/m)	OM (g/kg)	NO ₃ -N - (mg/kg) -	Av.P ₂ O ₅ -	K - (cmole/kg) -	Ca	Mg	칼륨 염기비
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O									
N 0	0	5.0	8.0	7.2	1.7	19	8.0	461	0.89	6.4	2.7	0.29
N0.5	4.5	5.0	8.0	7.3	1.2	17	9.8	416	0.56	5.8	2.2	0.20
N1.0	9.0	5.0	8.0	7.3	1.4	18	11.3	417	0.66	6.1	2.4	0.22
N1.5	13.5	5.0	8.0	7.2	2.0	20	13.4	431	0.80	6.2	2.5	0.27
N2.0	18.0	5.0	8.0	7.0	1.8	17	34.2	419	0.68	6.0	2.4	0.24
P 0	9.0	0	8.0	7.5	1.2	18	11.3	425	0.81	5.9	2.3	0.28
P0.5	9.0	2.5	8.0	7.6	1.7	18	16.9	441	0.82	6.4	2.5	0.28
P1.0	9.0	5.0	8.0	7.6	1.4	20	15.3	485	0.87	6.1	2.4	0.30
P1.5	9.0	7.5	8.0	7.5	1.6	21	19.2	492	0.92	6.1	2.4	0.32
P2.0	9.0	10.0	8.0	7.6	1.8	21	26.7	545	1.06	6.0	2.5	0.36
K 0	9.0	5.0	0	7.3	1.1	17	9.4	407	0.63	6.0	2.3	0.22
K0.5	9.0	5.0	4.0	7.4	2.0	18	20.5	392	0.76	6.3	2.5	0.26
K1.0	9.0	5.0	8.0	7.3	2.2	18	45.6	430	0.88	6.7	2.7	0.29
K1.5	9.0	5.0	12.0	7.2	2.0	18	28.4	398	1.02	5.8	2.2	0.36
K2.0	9.0	5.0	16.0	7.2	2.0	19	41.9	460	1.18	6.5	2.6	0.39

질소, 인산, 칼리 비료 수준에 따른 작물 생육특성은 표 35와 같다. 질소(N) 비료량이 증가할수록 엽장이 길고, 엽색도와 T/R율이 높았으며, 0.5배 처리에서 보라색 근장이 가장 길어 근장반백도가 가장 높았고, 1.0배 처리에서 근중이 가장 무거웠으며, 인산(P) 비료량이 증가할수록 엽장과 엽폭이 길고, 엽색도, 근장과 T/R율이 높았으며, 1.0배 처리에서 보라색 근장이 가장 길어 근장반백도가 높았고, 2.0배 처리에서 근중이 가장 무거웠으며, 칼리(K) 비료량이 증가할수록 엽색도와 근장이 높았으며, 0.5배 처리에서 보라색 근장이 가장 길어 근장반백도가 높고 근중이 무거웠다.

표 35. 비료 수준에 따른 작물 생육특성

처리 내용	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽색도 (SPAD)	근장(cm)		근단면적도 (묘라면적)	근폭 (cm)	근중 (g)	T/R Ratio	수분함량 (%)
				전체	묘라색					
N 0	51.6	15.9	49.3	17.7	3.1	0.26	9.5	359.2	0.9	88.8
N0.5	56.2	16.4	51.1	18.6	4.3	0.42	10.0	424.6	0.9	88.7
N1.0	58.0	17.8	51.8	19.6	4.2	0.32	9.9	440.1	1.0	89.4
N1.5	65.2	19.0	53.6	18.9	3.5	0.26	9.7	434.6	1.5	90.0
N2.0	67.3	18.5	55.3	15.5	3.0	0.29	7.5	237.0	2.7	90.0
P 0	48.0	14.6	48.6	11.7	3.9	0.53	8.5	271.4	0.9	88.1
P0.5	49.6	15.5	49.9	13.9	2.8	0.36	8.2	317.1	0.9	87.7
P1.0	59.3	16.7	50.8	15.3	4.0	0.42	9.3	391.7	1.0	88.9
P1.5	62.9	17.4	52.4	16.3	3.7	0.33	9.8	401.2	1.2	90.0
P2.0	73.5	19.0	54.6	18.8	3.2	0.24	9.7	411.9	1.7	91.0
K 0	58.6	15.9	51.7	17.1	3.7	0.35	8.2	298.5	1.3	89.0
K0.5	63.1	18.1	52.7	18.8	4.1	0.30	9.0	388.5	1.2	89.6
K1.0	60.9	18.1	53.9	18.9	3.8	0.31	8.5	347.8	1.5	89.6
K1.5	62.3	18.1	54.4	20.2	3.5	0.27	8.6	348.5	1.5	89.3
K2.0	65.9	18.3	55.5	23.5	3.2	0.20	9.5	392.8	1.5	90.6

표 36. 순무의 비료 수준별 질소, 인산, 칼리 흡수량

처리	비료량(kg/10a)			식물체 양분흡수량(kg/10a)			건물중 (kg/10a)	비료이용효율*
	질소	인산	칼리	질소	인산	칼리		
N 0	0	5.0	8.0	6.9	3.6	18.2	381	0
N0.5	4.5	5.0	8.0	7.5	4.0	19.1	411	13.3
N1.0	9.0	5.0	8.0	10.7	5.1	24.9	476	42.2
N1.5	13.5	5.0	8.0	12.3	6.0	31.5	537	40.0
N2.0	18.0	5.0	8.0	12.2	5.3	27.5	437	29.4
P 0	9.0	0	8.0	5.2	3.3	12.4	341	0
P0.5	9.0	2.5	8.0	7.3	4.2	17.9	410	36.0
P1.0	9.0	5.0	8.0	11.1	6.2	27.5	567	58.0
P1.5	9.0	7.5	8.0	11.2	5.9	28.5	535	34.7
P2.0	9.0	10.0	8.0	12.7	5.8	29.3	513	25.0
K 0	9.0	5.0	0	9.3	3.9	16.3	387	0
K0.5	9.0	5.0	4.0	8.7	4.1	18.6	406	57.5
K1.0	9.0	5.0	8.0	10.8	5.2	22.4	449	76.3
K1.5	9.0	5.0	12.0	12.4	5.6	27.1	500	90.0
K2.0	9.0	5.0	16.0	12.4	5.5	28.3	492	75.0

* 비료이용률(%) = (시비구 흡수량-무비구 흡수량)/비료량 × 100 (질소 기준)

순무 재배시험에서 식물체 건물중은 질소와 칼리 각 1.5배 처리구에서 537, 500 kg/10a, 인산 1.0배 처리구에서 567 kg/10a으로 가장 무거웠다. 비료이용률은 질소 1.0배에서 42.2%, 인산 1.0배에서 58.0%, 칼리 1.5배 처리구에서 90.0%로 최고를 기록



하였다(표 36). 수량곡선 분석을 통해 식물체 건물중이 최대가 되는 비료 표준사용량은 질소 11.7, 인산 7.3, 칼리 13.8 kg/10a로 도출되었다(그림 4).

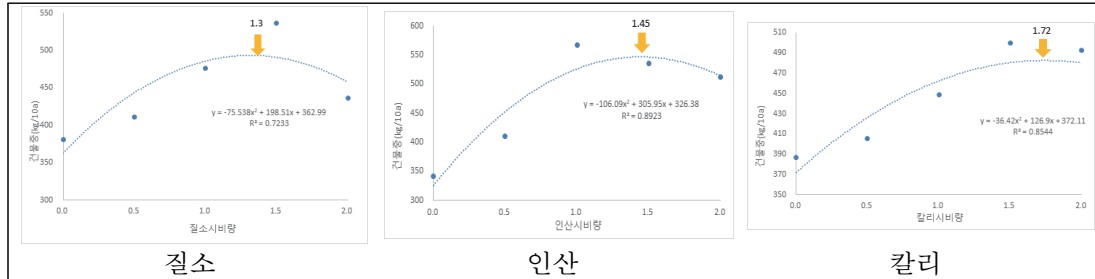
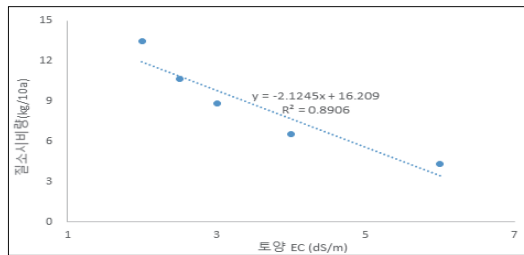


그림 4. 순무의 비료수준별 수량곡선(생체중, kg/10a)

순무 재배농가 실태조사에서 토양 EC와 질산태질소 함량 간 높은 상관($R^2 = 0.8906$)을 확인하고, 이를 이용하여 질소 비료량 추천식 $N(\text{kg}/10\text{a}) = 16.209 - 2.1245 \times \text{EC}$ 를 도출하였다(표 37).

표 37. 토양검정에 따른 질소 비료사용 기준설정

토양 EC (dS/m)	질산태 질소 (mg/kg)	질소비료량 (kg/10a)
2.0	149	13.5
2.5	188	10.7
3.0	228	8.8
4.0	307	6.5
6.0	465	4.3

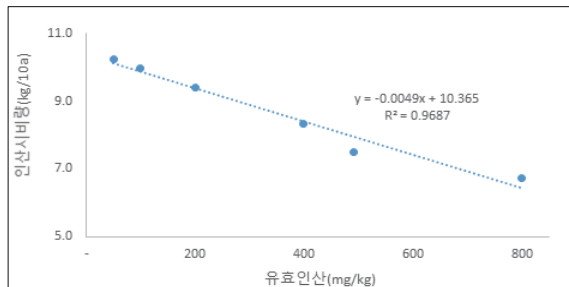


* 토양 EC(X)와 토양 질산태질소(Y) 관계식: $Y = 78.953X - 9.1008$

* 토양 EC에 따른 질소 비료량 산출: $Y = -2.1245X + 16.209$

표 38. 토양검정에 따른 인산 비료사용 기준설정

토양 유효인산 (mg/kg)	농가인산비료량 (kg/10a)	인산비료량 (kg/10a)
50	7.6	10.2
100	7.8	10.0
200	8.1	9.4
400	8.8	8.3
492	9.1	7.5
800	10.2	6.7



* 토양 유효인산(X)과 인산비료량(Y) 관계식: $Y = 0.0045X + 7.0436$

* 토양 유효인산 함량에 따른 인산 비료량 산출: $Y = -0.0049X + 10.365$

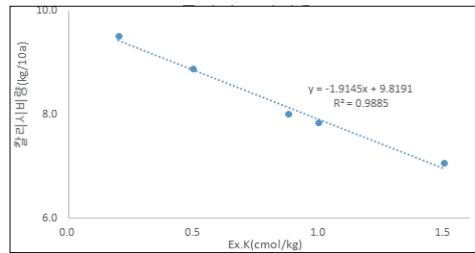


또한 토양 유효인산과 인산 비료량의 관계식을 이용하여 토양 유효인산 함량에 따른 인산 비료량 산출식 $P_2O_5(kg/10a) = 10.365 - 0.0049 \times Av.P_2O_5$ 을 도출하였다(표 38).

그리고 토양 교환성칼륨 함량과 칼리 비료량의 관계식을 이용하여 토양 교환성칼륨 함량에 따른 칼리 비료량 산출식 $K_2O(kg/10a) = 9.8191 - 1.9145 \times K$ 를 도출하였다(표 39).

표 39. 토양검정에 따른 칼리 비료사용 기준 설정

교환성칼륨 (cmol _c /kg)	농가 칼리비료량 (kg/10a)	칼리비료량 (kg/10a)
0.2	7.9	9.5
0.5	8.3	8.9
0.88	8.9	8.0
1.0	9.1	7.8



* 토양 교환성칼륨 함량과(X)과 칼리비료량(Y) 관계식: $Y = 8.5506X + 3.8425$

* 토양 교환성칼륨 함량에 따른 칼리 비료량 산출: $Y = -1.9145X + 9.8191$

마. 근대 비료사용기준 설정

1) 근대 재배지 농가 양분관리 실태조사

근대 재배 21농가 토양의 화학성을 분석한 결과(표 40), EC 3.5 dS/m, 유효인산 860 mg/kg, 교환성 칼슘 14.1 cmol_c/kg으로 시설재배 적정범위를 크게 초과하는 것으로 확인되었다. 유기물 함량은 33.6 g/kg으로 적정범위 내에 있었으나, EC와 인산은 적정 기준의 각각 1.75배, 약 2배에 달하는 과잉 상태를 보였다.

표 40. 근대 재배농가 토양화학성 (조사농가: 21농가)

구 분	pH (1:5)	EC (dS/m)	OM (g/kg)	Av.P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ex. Cation (cmol _c /kg)			칼륨 염기비
					K	Ca	Mg	
평 균	6.8	3.5	33.6	860	1.07	14.1	2.9	0.26
최 고	7.6	11.4	51.3	1240.7	2.57	21.2	4.7	0.55
최 저	5.6	1.1	17.8	536.0	0.22	10.4	1.5	0.05
표준편차	0.6	3.2	10.0	223.3	0.79	3.1	0.9	0.18
적정범위	6.0~7.0	2 이하	25~35	300~550	0.5~0.8	5.0~6.0	1.5~2.5	

근대 재배농가의 화학비료 사용량(N-P-K)은 27.8-18.7-21.5 kg/10a로, 기준 비료량((NPK = 9-11-11 kg/10a) 대비 질소 309%, 인산 170%, 칼리 195%로 과다 시비 정도가 가장 심각하였다(표 41). 특히 질소 시비량이 기준 대비 3배 이상에 달하는 점은 토양 질산태질소의 급격한 집적 및 지하수 오염 위험으로 이어질 수 있어 즉각적인 개선이 필요하다. 식물체 비료 흡수량은 질소 18.0, 인산 6.5, 칼륨 31.2 kg/10a으로 흡수 능력이 높은 작물임을 보여주었다(표 42).



표 41. 근대 재배농가 비료사용량 (조사농가: 21농가)

구 분	밑거름(kg/10a)			웃거름(kg/10a)			총량(kg/10a)		
	질소	인산	칼리	질소	인산	칼리	질소	인산	칼리
평 균	8.4	4.5	4.9	8.8	6.0	5.5	27.8	18.7	21.5
최 고	13.9	7.5	7.5	10.8	6.5	7.7	38.3	26.0	26.5
최 저	5.2	2.4	3.4	4.8	4.0	3.2	18.9	10.6	16.8
표준편차	2.3	1.2	1.1	1.6	0.9	1.7	7.4	4.9	3.5

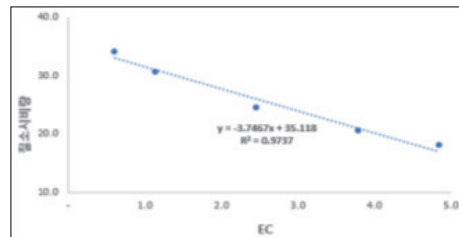
표 42. 근대 양분 흡수량 분석 (조사농가: 21농가)

구 분	생체중 (kg/10a)	건물중 (kg/10a)	식물체 성분함량(%)			식물체 흡수량(kg/10a)		
			T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O
평 균	6,168	530	3.4	1.2	5.9	18.0	6.5	31.2
최 고	7,200	707	4.6	1.5	7.4	25.9	9.4	43.2
최 저	4,800	352	1.7	0.7	4.7	6.0	2.5	17.2
표준편차	628	90	0.7	0.2	0.7	5.1	1.7	6.7

근대 재배 농가 실태조사 결과 토양 EC와 질소 비료량의 관계식($R^2=0.9462$)을 이용하여 토양 EC에 따른 질소 비료량 산출식 $N(\text{kg}/10\text{a}) = -3.7469 \times \text{EC} + 35.118$ 을 도출하였다(표 43).

표 43. 토양검정에 따른 질소 비료사용 기준설정

토양 EC (dS/m)	농가 비료량 (kg/10a)	질소비료량 (kg/10a)
0.6	18.0	34.0
1.1	20.0	30.6
2.5	25.0	24.5
3.8	30.0	20.4
4.8	34.0	17.5

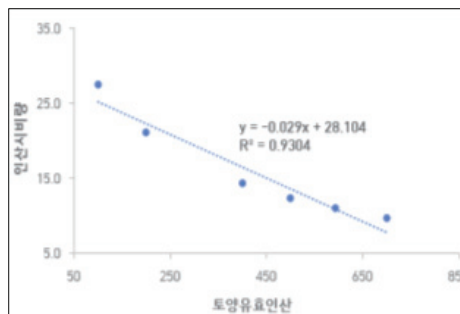


- * 상관분석: 토양 유기물, EC, 질산태질소, 식물체 질소흡수량, 질소함량, 수량, 질소비료량
- * 토양 EC(Y)와 질소비료량(X) 관계식: $Y = 0.2651 \times X - 4.1654$
- * 토양 EC에 따른 질소 비료량 산출: $Y = -3.7467 \times X + 35.118$

토양 유효인산과 인산 비료량의 관계식을 이용하여 토양 유효인산 함량에 따른 인산 비료량 산출식 $P_2O_5(\text{kg}/10\text{a}) = -0.029 \times \text{Av.P}_2\text{O}_5 + 28.104$ 을 도출하였다(표 44).

표 44. 토양검정에 따른 인산 비료사용 기준설정

토양 유효인산 (mg/kg)	농가 비료량 (kg/10a)	인산비료량 (kg/10a)
50	3.6	32.6
100	4.3	27.6
200	5.6	21.1
400	8.2	14.4
500	9.5	12.4
593	10.7	11.0
700	12.1	9.7

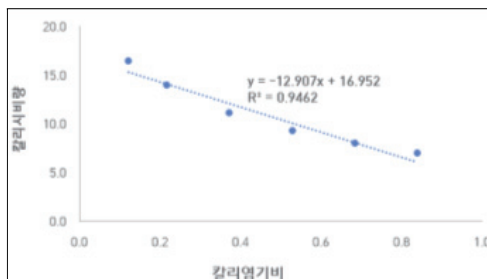


- * 상관분석: 토양 유효인산, 식물체 인산흡수량, 인산함량, 수량, 인산 비료량
- * 토양 유효인산(X)과 인산비료량(Y) 관계식: $Y = 0.0131 \times X + 2.9694$
- * 토양 유효인산 함량에 따른 인산 비료량 산출: $Y = -0.029 \times X + 28.104$

토양 칼리염기비와 칼리 비료량의 상관관계식을 이용하여 토양 칼리염기비에 따른 칼리 비료량 산출식 $K_2O(kg/10a) = -12.907 \times K/\sqrt{Ca+Mg} + 16.952$ 을 도출하였다(표 45).

표 45. 토양검정에 따른 칼리 비료사용 기준설정

칼리염기비	농가 비료량 (kg/10a)	칼리비료량 (kg/10a)
0.1	17.0	16.5
0.2	20.0	14.0
0.4	25.0	11.2
0.5	30.0	9.4
0.7	35.0	8.0
0.8	40.0	7.0



- * 상관분석: 토양 칼리염기비, 교환성 칼륨, 식물체 칼륨흡수량, 칼륨함량, 수량, 칼리 비료량
- * 토양 칼리염기비(X)과 칼리 비료량(Y) 관계식: $Y = 0.0312 \times X - 0.4088$
- * 토양 칼리염기비에 따른 칼리 비료량 산출: $Y = -12.907 \times X + 16.952$

2) 근대 NPK 비료 수준별 재배시험

근대 시험재배지의 시험 전 토양의 화학적 특성을 분석한 결과는 표 48과 같다. pH는 7.2~7.5, EC는 2.6~3.6으로 적정 범위보다 높고, 유기물(OM) 함량은 A동 15 g/kg, B동 17 g/kg으로 적정 범위에 비해 낮으며, 교환성 칼륨 함량은 1.04~1.14로 적정 범위보다 높은 토양이었다.



표 46. 시험전 토양화학성

구 분	pH (1:5)	EC (dS/m)	OM (g/kg)	Av. P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ex.Cations(cmol _c /kg)		
					K	Ca	Mg
비닐하우스 A동	7.5	2.6	15	405	1.04	6.4	2.6
비닐하우스 B동	7.2	3.3	17	527	1.14	6.5	2.9
시설토양 적정범위	6.0~7.0	2 이하	25~35	300~550	0.5~0.8	5.0~6.0	1.5~2.5

시험후 토양은 질소 비료량이 증가할수록 EC, 질산태질소 함량은 증가하였고, 인산 비료량이 증가할수록 유효인산 함량은 증가하였으며, 칼리 비료량이 증가할수록 교환성칼륨 함량과 칼리염기비가 증가하였다(표 47).

표 47. 비료량 및 시험후 토양화학성

처리 내용	비료량(kg/10a)			pH (1:5)	EC (dS/m)	OM (g/kg)	NO ₃ -N --(mg/kg)--	AvP ₂ O ₅	K	Ca	Mg	칼륨 염기
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O									
N 0	0	11.0	11.0	7.2	2.5	16	38.0	684	1.91	7.5	3.3	0.58
N0.5	4.5	11.0	11.0	7.4	2.8	16	114.3	655	2.26	7.9	3.9	0.65
N1.0	9.0	11.0	11.0	6.5	3.2	16	135.6	615	2.00	7.5	3.8	0.59
N1.5	13.5	11.0	11.0	6.9	3.7	17	227.7	647	2.30	7.8	3.8	0.67
N2.0	18.0	11.0	11.0	6.6	4.8	17	349.8	625	1.84	7.1	3.1	0.58
P 0	9.0	0	11.0	7.6	1.5	17	6.2	637	1.61	7.3	2.8	0.51
P0.5	9.0	5.5	11.0	7.7	1.3	17	10.0	667	1.55	7.1	2.7	0.49
P1.0	9.0	11.0	11.0	7.3	1.5	17	13.7	692	1.45	7.0	2.9	0.46
P1.5	9.0	16.5	11.0	7.0	1.4	16	39.7	727	1.36	6.7	2.7	0.45
P2.0	9.0	22.0	11.0	6.4	1.9	16	86.0	790	1.37	6.5	3.0	0.45
K 0	9.0	11.0	0	7.2	3.8	17	64.6	646	1.50	7.8	3.4	0.45
K0.5	9.0	11.0	5.5	7.2	5.1	18	75.9	718	1.91	8.3	4.2	0.54
K1.0	9.0	11.0	11.0	7.2	3.3	18	112.3	658	2.15	7.9	3.5	0.64
K1.5	9.0	11.0	16.5	7.3	4.5	17	173.3	653	2.33	7.4	3.5	0.71
K2.0	9.0	11.0	22.0	7.0	3.4	17	182.8	676	2.39	6.7	3.0	0.77

표 48. 비료 수준에 따른 근대 생육

처리 내용	질소(N)				인산(P)				칼리(K)			
	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽수 (개)	엽색도 (SPAD)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽수 (개)	엽색도 (SPAD)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽수 (개)	엽색도 (SPAD)
0배	29.2	10.8	7.0	34.0	29.3	10.0	6.8	34.7	29.3	10.4	7.1	36.1
0.5배	29.3	10.5	6.6	34.4	27.8	9.6	6.4	35.2	28.4	10.3	7.0	36.9
1.0배	29.6	10.6	7.1	35.7	28.9	9.9	6.6	35.4	29.4	10.2	6.9	36.5
1.5배	28.4	10.4	6.9	36.0	29.4	10.6	7.0	35.4	29.4	10.4	7.1	36.5
2.0배	28.4	10.2	6.9	37.1	30.0	11.5	6.8	35.8	29.3	10.0	7.0	36.5

질소, 인산, 칼리 비료 수준에 따른 작물 생육특성은 표 48과 같다. 질소(N) 비료량과 인산(P) 비료량이 높을수록 근대의 엽색도는 증가하였다.

근대 재배시험에서 생체중은 질소 1.0배 처리구에서 5,208 kg/10a, 인산 1.5배 처리구에서 5,987 kg/10a, 칼리 1.5배 처리구에서 5,353 kg/10a으로 가장 높게 나타났다. 질소와 인산 함량이 높을수록 엽색도(SPAD)가 증가하는 경향이 확인되었으며, 이는 근대의 상품성에 직결되는 지표이다(표 49). 수량곡선 분석 결과 식물체 생체중이 최대가 되는 비료 표준사용량은 질소는 11.3, 인산은 16.0, 칼리는 16.3 kg/10a으로 산출되었다(그림 5).

표 49. 근대 식물체의 비료 흡수량 및 생체중

처리 내용	식물체 성분함량 (%)			식물체 흡수량 (kg/10a)			생체중 (kg/10a)
	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
N 0	3.4	1.0	6.9	9.1	2.7	18.8	4,012
N 0.5	3.6	1.1	6.8	11.7	3.4	22.0	4,895
N 1.0	3.7	1.1	6.8	13.7	4.0	25.8	5,208
N 1.5	3.5	1.0	6.9	12.9	3.6	25.7	4,958
N 2.0	3.4	1.0	7.1	12.6	3.8	26.3	4,550
<hr/>							
P 0	3.4	0.9	5.8	11.6	3.1	19.6	4,470
P 0.5	3.4	1.1	5.7	13.0	4.1	21.9	4,892
P 1.0	3.5	0.9	6.3	14.2	3.9	25.7	5,539
P 1.5	3.7	0.9	6.1	14.8	3.6	24.7	5,987
P 2.0	3.7	1.0	6.3	13.9	3.7	24.0	5,337
<hr/>							
K 0	3.6	1.0	6.6	11.8	3.1	21.3	4,532
K 0.5	3.4	1.0	6.5	11.8	3.3	22.5	4,589
K 1.0	3.5	1.0	6.6	13.2	3.6	24.9	5,012
K 1.5	3.6	1.1	6.8	14.6	4.3	27.4	5,353
K 2.0	3.6	1.0	6.9	13.1	3.5	25.2	4,858

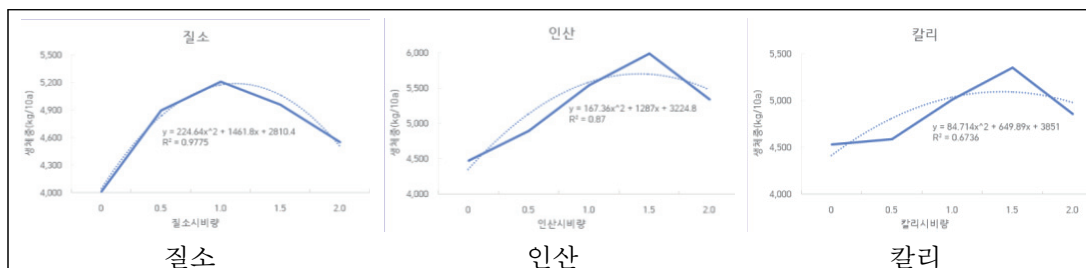


그림 5. 근대의 비료수준별 수량곡선(생체중, kg/10a)

4. 적요

소면적 작물의 토양검정에 의한 비료사용 처방기준 설정을 위하여 들깨, 비름, 돌나물, 순무, 근대 작물에 대해 농가 실태조사와 질소(N), 인산(P), 칼리(K) 수준별 재배 시험을 수행하여 작물별 표준 비료사용량과 토양검정에 의한 비료사용 처방기준 추천식을 아래와 같이 설정하였다.

가. 들깨 비료사용기준 설정

들깨의 비료 표준사용량(N-P-K)은 8.0-1.5-2.5 kg/10a, 토양검정에 의한 비료추천식은 $N(\text{kg}/10a) = 14.1 - 0.2433 \times OM$, $P_2O_5(\text{kg}/10a) = 3.0 - 0.0043 \times Av$, P_2O_5 , $K_2O(\text{kg}/10a) = 11.6 - 15.219 \times Ex$. K임을 도출하였다.

나. 비름 비료사용기준 설정

비름의 비료 표준사용량(N-P-K)은 26.9-8.5-8.5 kg/10a, 토양검정에 의한 비료추천식은 $N(\text{kg}/10a) = -0.2989 \times OM + 29.492$, $P_2O_5(\text{kg}/10a) = -0.0045 \times Av$, $P_2O_5 + 9.8256$, $K_2O = -4.8672 \times K/\sqrt{Ca+Mg} + 9.0355$ 임을 도출하였다.

다. 돌나물 비료사용기준 설정

돌나물의 비료 표준사용량(N-P-K)은 14.5-8.1-3.8 kg/10a, 토양검정에 의한 비료추천식은 $N(\text{kg}/10a) = 15.645 - 1.112 \times EC$, $P_2O_5(\text{kg}/10a) = 10.627 - 0.006 \times Av$, P_2O_5 , $K_2O = 5.0156 - 4.8978 \times K/\sqrt{Ca+Mg}$ 임을 도출하였다.

라. 순무 비료사용기준 설정

순무의 비료 표준사용량(N-P-K)은 11.7-7.3-13.8 kg/10a, 토양검정에 의한 비료추천식은 $N(\text{kg}/10a) = 16.209 - 2.1245 \times EC$, $P_2O_5(\text{kg}/10a) = 10.365 - 0.0049 \times Av$, P_2O_5 , $K_2O(\text{kg}/10a) = 9.8191 - 1.9145 \times Ex$. K임을 도출하였다.

마. 근대 비료사용기준 설정

근대의 비료 표준사용량(N-P-K)은 11.3-16.0-16.3 kg/10a, 토양검정에 의한 비료추천식은 $N(\text{kg}/10a) = -3.7469 \times EC + 35.118$, $P_2O_5(\text{kg}/10a) = -0.029 \times Av$, $P_2O_5 + 28.104$, $K_2O(\text{kg}/10a) = -12.907 \times K/\sqrt{Ca+Mg} + 16.952$ 임을 도출하였다.

5. 인용문헌

- 김태화. 2021. 공익직불제의 적정성 및 정책효과 분석. 고려대학교 대학원 박사학위논문.
- 박세영, 김상만, 손우충, 김현우, 이진, 이종인. 2020. 양평군 다유들깨 농가의 경영 효율성 분석. 한국산학기술학회논문지. 21(1):504-511.
- 양창휴, 안승현, 김택겸, 김선, 백남현, 최원영, 이장희, 정재혁, 김시주. 2011. 농가실천 친환경 벼재배 논의 토양특성 및 시비추천량. 한국토양비료학회지. 44(3):347-352.

이계준, 이정태, 장용선, 황선웅, 박철수, 주진호. 2009. 고랭지 당근재배지의 토양검정에 의한 NPK 시비기준량. 한국토양비료학회지. 42(6):467-471.

임진수, 이방현, 강승희, 이태근. 2020. 토양검정에 의한 유기자원 시비처방이 감자의 생육 및 양분이용효율에 미치는 영향. 한국작물학회지. 65(4):436-446.

임진수. 2021. 토양검정에 의한 유기자원 시비처방이 골든퀸 벼 생육, 수량 및 무기성분에 미치는 영향. 한국구제농업개발학회지. 33(1):60-66

홍순달. 1998. 토양검정에 의한 시설재배 토마토의 적정 비료량 추천. 한국토양비료학회지. 31(4):350-358.

Lee SY, Kim HY, and Bae JH. 2010. Effect of Planting Density on Growth and Quality in Hydroponics of Sedum sarmentosum. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 28(4):580-584

6. 연구결과 활용제목

- 들깨(종실용) 비료사용기준(영농활용, 2021년)
- 비름 비료사용기준(영농활용, 2022년)
- 들나물 비료사용기준(영농활용, 2023년)
- 봄순무 적정 비료공급을 위한 비료사용기준 활용(영농활용, 2024년)
- 근대 적정 비료공급을 위한 비료사용기준 활용(영농활용, 2025년)

7. 연구원 편성

세부과제	구분	소속	직급	성명	수행업무	참여년도		
						'23	'24	'25
공익직불제 대응 비료사용처방 기준 설정	책임자	환경농업연구과	농업연구관	소호섭	세부과제총괄	○	○	○
	공동연구자	환경농업연구과	농업연구사	안희정	자료정리	○	○	○
	〃	〃	〃	정재원	시료분석	○	○	○
	〃	〃	〃	서재순	성적검토	-	-	○
	〃	〃	〃	장재은	성적검토	-	-	○
	〃	〃	농업연구관	박중수	연구자문	○	○	○
	〃	〃	농업연구사	이정혜	시료채취	○	○	-