

과제구분	중소기업청	수행시기		전반기	
연구과제 및 세부과제		연구분야	수행기간	연구실	책임자
소비자가 선호하는 발작물 신제품종육성		전작	'09~'18	농업기술원 작물연구과	이 종 형
발작물 비료절감을 위한 파구(이식구)용 비료개발		전작	'17~'18	농업기술원 작물연구과	이 종 형
색인용어	발작물, 파구비료, 용출제어, 온실가스, 비점오염				

ABSTRACT

This study was carried out to evaluate the optimal application rate of transplant-controlled release fertilizer(TCRF), developed for only hill application in order to reduce amount of chemical fertilizers and times of application for upland crop cultivation, for two years from 2017 to 2018 at the experimental field of Gyeonggi Agricultural Research and Extension Services in Hwaseong, Gyeonggi Province.

For waxy corn cultivation, TCRF treatments per plant were 0g, 2g, 3g, 4g in 2017 and 0g, 4g, 5g, 6g in 2018. For red pepper and chinese cabbage cultivation, the application rates of TCRF were 0g, 2g, 3g, 4g in 2017 and 0g, 4g, 5g, 6g in 2018. And their effect on plant growth was compared with the standard amount of application with conventional fertilizer.

In order to recommend the optimum application rate of TCRF, the yield of fresh ear of waxy corn, the yield of dried red pepper and fresh chinese cabbage were analyzed in comparison with yields of standard amount of application with conventional fertilizer treatment..

The results were as follows. There were some relations between yield(Y) and nitrogen amount per hill applied(x) and three quadratic equations were obtained ; for waxy corn $Y(\text{yield}) = -4.2284x^2 + 67.834x + 611.02$ ($R^2: 0.9794$), for red pepper $Y = 0.0094x^2 + 16.754x + 172.74$ ($R^2: 0.9897$), for Chinese cabbage $Y = -67.691x^2 + 943.84x + 6,507.2$ ($R^2 : 0.9301$). Therefore, the yield was the same as that standard amount of fertilizer when the TCRF per plant was treated with 4.2 g in waxy corn, 5.5 g in red pepper and 5.0 g in Chinese cabbage. In addition, it was analyzed that the amount of non-point pollution and the amount of greenhouse gas emission(N_2O) that cause the agricultural environment load was 48% and 49% less than standard cultivation, respectively.

The crop cultivation of the TCRF can also reduce the fertilizer application frequency, which can reduce the production cost of the crop. As a result of economic analysis of the waxy corn, red pepper and Chinese cabbage the production cost at the use of TCRF was lowered 8,320 won/10a in waxy corn, 424,360won/10a in red pepper and 207,350won/10a in Chinese cabbage, compared with standard cultivation, respectively.

Key words : Waxy corn, Red pepper, chinese cabbage, Tansplant-controlled release fertilizer

1. 연구목표

국내비료 무기질 원료는 대부분을 수입에 의존하고 있는 실정이며 특히 주요 3요소인 질소(요소), 인산(인광석), 칼륨(염화칼륨)의 가격은 일시적으로 등락은 있으나 지난 12년간 계속적으로 가격이 상승하고 있는 추세이다(한국비료협회, 2017). 이는 비료원료가 천연자원으로 유한하나 개발도상국 등에서 사용량이 증가함으로써 경제성이 부족한 원광채굴이 이루어져 가격상승은 계속 이루어 질 것으로 전망되고 있다.

또한 우리나라의 대부분 토양은 유기물함량이 적어 양분보존능력이 낮은 편이어서 시용된 비료의 손실이 많아 질소와 칼리성분 시용량의 약 40~70%를 기비로서 사용하고 나머지를 1~4회 추비로 분시해서 주고 있다(이 등, 1994). 이에 따라 요구되는 추가 노동력은 농산물의 가격경쟁력이 저하 되는 원인이 되고 있다.

화학비료 가격상승과 국내 토양환경조건의 문제점을 해소하기 위한 일환으로서의 완효성 비료는 비료성분의 용출율을 자유롭게 조절할 수 있다. 또한 지속적으로 양분을 공급하여 비료성분의 손실을 저감시켜 이용률을 증진한다(Park et al., 2002). 이러한 이유로 완효성 비료의 사용량은 지속적으로 증가하고 있는 실정이다. 완효성 비료는 반세기 전부터 개발되기 시작하였으며(Lunt, 1974), 우리나라에서는 1990년대 후반부터 벼에 대한 완효성 비료의 비효평가 시험이 이루어지기 시작하면서 사용량이 지속적으로 증가하고 있는 실정이다(Back et al., 2001, Park et al., 2002, Lee et al., 2005). 그러나 지금까지 개발되어 판매되고 있는 완효성 비료의 대부분은 수도용에 국한되고 있으며, 기타 발작물용 완효성 비료의 개발은 거의 이루어지지 않고 있다.

따라서 본 연구는 발작물의 화학비료와 시비노력 절감을 위하여 경기도농업기술원과 (주)누보가 찰옥수수, 고추, 배추 3작물에 1회 시비가 가능한 용출제어형 파구처리 피복비료를 제조한 후 적정시비량 및 시비효과를 구명하고자 검토한 결과를 보고하는 바이다.

2. 재료 및 방법

본 연구는 2017년부터 2018년도까지 경기도농업기술원의 밭 시험포장에서 수행하였으며 시험전 토양 이화학적은 표 1과 같다. 찰옥수수과 배추 포장은 양토~사양토로서 토양산도와 유효인산 함량은 적정하나 유기물 함량이 적은 토양이었으며, 고추 포장은 양토~사양토로서 토양산도는 적정하나 유기물 함량이 낮은 토양 이었다(농진청 농과원, 2017).

표 1. 시험전 시험포장 토양의 이화학적 특성

시험 연도	시험 작물	pH (1:5)	OM (g/kg)	NO ₃ ⁻ -N (mg/kg)	Av. P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ex.Cations (cmol/kg)			Soil texture
						K	Ca	Mg	
2017	찰옥수수	6.7	15	26	309	0.52	5.9	2.3	L
	고추	6.6	11	37	175	0.54	7.1	2.4	L
	배추	6.9	13	24	468	0.41	6.4	2.1	SL
2018	찰옥수수	6.9	12	25	376	0.45	6.9	1.5	SL
	고추	6.4	14	26	497	0.69	6.2	2.2	SL
	배추	6.4	14	26	497	0.69	6.2	2.2	SL
밭작물 재배에 적당한 화학성		6.0~7.0	20~30	-	300~550	0.5~0.8	5.0~6.0	1.5~2.0	-

시험작물인 찰옥수수 품종은 「장수흑찰」로 2017년에는 7월 20일, 2018년에는 5월 2일에 70×25cm 재식거리로 정식하였다. 고추는 「케이스타」를 2017년, 2018년 모두 100×35cm 재식거리로 5월 1일에, 배추는 「황금스타」를 2017년과 2018년에 75×35cm 재식거리로 9월 1일에 각각 정식하였다. 각각의 시험작물은 난괴법 3반복으로 노지에서 재배하였다.

시험에 사용한 파구비료는 작물의 정식전 기비에 1회만 주는 완효성비료로서 경기도농업기술원과 (주)누보가 공동으로 개발한 복합비료이다. 파구비료의 N-P₂O₅-K₂O 성분함량은 찰옥수수 재배 전용은 28-5-7%, 고추 재배 전용은 20-6-8%, 배추 재배 전용은 28-4-7% 이었다.

찰옥수수의 파구비료 사용량은 3요소 표준시비구를 대조로 2017년에는 주 당 0g, 2g, 3g, 4g, 2018년에는 0g, 4g, 5g, 6g 각각 사용하였다. 고추와 배추의 파구비료 사용량은 3요소 표준시비구를 대조로 2017년에는 주 당 0g, 3g, 4g, 5g 2018년에는 0g, 4g, 5g, 6g 각각 처리하였다. 3요소 표준시비구의 N-P₂O₅-K₂O 사용량은 찰옥수수 15.0-3.0-6.0kg/10a, 고추 19.0-11.2-14.9kg/10a, 배추 32.0-7.8-19.8kg/10a(농진청 농과원, 2017) 이었으며 질소는 요소, 인산은 용과린, 칼리는 염화칼륨을 사용하였다.

파구비료의 사용과 작물 정식과정은 그림 1과 같다. 즉, 포장 평탄작업→10cm 정도 구덩이 파기→파구비료 해당량 사용→비료가 보이지 않도록 복토→작물정식→복토 순으로 작업을 하였다.



그림 1. 파구비료 사용 및 작물 정식과정

요소, 용과린, 염화칼리 등 일반비료와 파구비료를 작물을 정식한 후에 그림 2와 같이 비료가 분포하도록 기비로 처리하였다. 즉 일반비료는 전면시비로 고랑에 비료가 있는 반면 일종의 점 시비인 파구비료는 작물의 근권 부근에만 비료가 있도록 처리하였다.

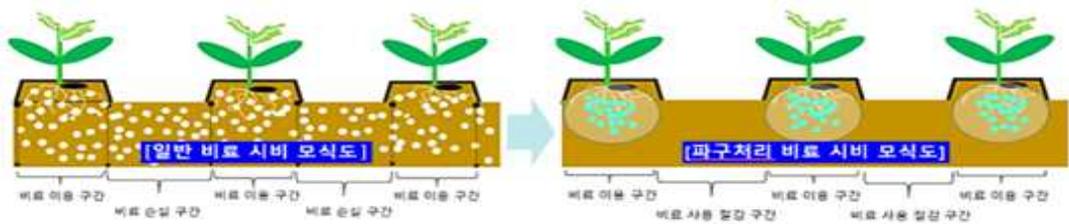


그림 2. 일반비료(좌)와 파구비료(우) 시비 후 비료 분포도

토양과 찰옥수수, 고추, 배추 등 식물체 무기성분 함량은 농업환경 실험 분석법(경기도원, 2017), 요소, 용과린, 염화칼리와 파구비료의 용출율은 비료의 품질 검사방법 및 시료채취 기준(농진청, 2017)에 준하여 분석하였다. 토양시료는 오가를 이용하여 토심 0~20cm 지점에서 채취한 후 음건시킨 것을 2mm체 통과시켜 분석용으로 사용하였다. 토양 pH는 초자전극법, Organic matter(OM)는 Tyurin법, Av. P_2O_5 는 Lancaster법, NO_3^-N 는 Kjeldahl 증류법으로 분석하였으며, Exchangeable cations은 1N- NH_4OAC (pH 7.0) 완충용액으로 침출하여 유도결합플라즈마 발광광도계(GBC, Integra XMP)로 정량하였다. 식물체는 시료를 채취하여 70°C에서 건조시킨 후 분쇄하여 분석용으로 활용하였다. T-N, P_2O_5 , K_2O 성분은 분쇄된 시료 5g을 습식분해($H_2SO_4:HClO_4$:증류수= 1:9:4, v/v/v)하여 T-N은 Kjeldahl 증류법, P_2O_5 는 Vanadate법으로 분석하고, K_2O 는 유도결합플라즈마 발광광도계(GBC, Integra XMP)로 정량하였다. 기타 생육 및 수량조사는 농촌진흥청 농업과학기술 연구조사분석기준(농진청, 2012)에 준하여 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

<시험 1> 찰옥수수 재배시 파구비료의 적정시비량 구명 시험

찰옥수수 파구비료 용출율 분석은 시료 12.5g을 300ml 삼각플라스크에 증류수 250ml을 가하고 항온기에 24시간 정치한 후 여과하여 분석한 결과는 표 2와 같다. 대조인 요소 중의 T-N은 98.8%, 용과린 중의 P₂O₅은 38.8%, 염화칼리 중의 K₂O는 98.1% 용출되었던 반면, 파구비료는 T-N 3.2%, P₂O₅ 6.0%, K₂O 2.9% 각각 용출되었다. 따라서 파구비료가 대조 비료에 비해 용출율이 현저히 낮음을 알 수 있었다(표 2).

표 2. 찰옥수수 재배 전용 파구비료의 용출율 (%)

일반비료(대조)			찰옥수수 재배 전용 파구비료		
T-N (요소)	P ₂ O ₅ (용과린)	K ₂ O (염화칼리)	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O
98.8	38.8	98.1	3.2	6.0	2.9

찰옥수수 정식 후 30일과 60일에서 식물체의 질소, 인산 칼리 함량을 조사한 결과는 표 3과 같다. 2017년도는 무기성분에 관계없이 파구비료의 주 당 시용량이 증가할수록 높아지는 경향이었으나, 대조인 표준시비구에 비해 식물체 함량이 낮아 파구비료의 시용량을 주 당 4g 이상으로 늘려야 될 것으로 판단되어 2018년에는 파구비료의 시용량을 늘려 시험한 결과, 파구비료 5g 시용구에서 질소, 인산, 칼리 함량이 대조구에 비해 다소 높거나 대등하였다.

표 3. 찰옥수수 정식 후 시기별 식물체중 무기성분 함량 변화

○ 2017년

(단위 : %)

처리내용	T-N		P ₂ O ₅		K ₂ O	
	30DAT ^J	60DAT	30DAT	60DAT	30DAT	60DAT
1. 표준시비(대조)	1.65 ^a	1.26 ^a	0.95 ^a	0.72 ^a	5.47 ^a	3.47 ^a
2. 무시비	1.17 ^c	0.89 ^c	0.78 ^c	0.54 ^c	4.71 ^b	2.67 ^b
3. 파구비료 2g/주	1.21 ^c	1.02 ^b	0.87 ^b	0.62 ^b	4.90 ^b	3.34 ^a
4. 파구비료 3g/주	1.40 ^b	1.08 ^b	0.90 ^a	0.66 ^b	5.31 ^a	3.37 ^a
5. 파구비료 4g/주	1.64 ^a	1.18 ^a	0.94 ^a	0.68 ^{ab}	5.45 ^a	3.46 ^a

J. DAT : Days After Transplant

○ 2018년

(단위 : %)

처리내용	T-N		P ₂ O ₅		K ₂ O	
	30DAT [↓]	60DAT	30DAT	60DAT	30DAT	60DAT
1. 표준시비(대조)	1.64 ^a	1.48 ^a	0.76 ^a	0.75 ^a	5.52 ^a	2.73 ^a
2. 무시비	1.32 ^b	1.22 ^b	0.70 ^a	0.69 ^a	5.06 ^a	2.39 ^b
3. 파구비료 4g/주	1.58 ^a	1.28 ^{ab}	0.72 ^a	0.71 ^a	5.21 ^a	2.57 ^{ab}
4. 파구비료 5g/주	1.65 ^a	1.48 ^a	0.77 ^a	0.75 ^a	5.55 ^a	2.82 ^a
5. 파구비료 6g/주	1.62 ^a	1.44 ^a	0.74 ^a	0.73 ^a	5.47 ^a	2.61 ^a

↓. DAT : Days After Transplant

파구비료 처리 후 토양화학성을 조사한 결과는 표 4와 같다. 파구비료 시용구의 질산태질소와 유효인산 및 치환성칼리 함량은 대조구에 비해 모두 낮았으며, 파구비료 처리에 따른 무기성분 함량은 시비량이 높을수록 높아지는 경향 이었다.

표 4. 시험후 토양화학성

처리내용	2017			2018		
	NO ₃ ⁻ -N (mg/kg)	Av.P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ex-K (cmol/kg)	NO ₃ ⁻ -N (mg/kg)	Av.P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ex-K (cmol/kg)
시험전	26	309	0.52	25	376	0.45
1. 표준시비(대조)	12	258	0.51	14	394	0.33
2. 무시비	3	233	0.43	2	354	0.28
3. 파구비료 2g/주	4	238	0.45	-	-	-
4. 파구비료 3g/주	5	245	0.46	-	-	-
5. 파구비료 4g/주	6	247	0.47	3	357	0.30
6. 파구비료 5g/주	-	-	-	4	363	0.31
7. 파구비료 6g/주	-	-	-	6	369	0.32

2017년 정식후 60일 단위면적당 옥수수 식물체건물중은 식물체 중의 무기성분 함량(표 3)과 유사한 경향으로 파구비료의 시용량 증가에 따라 많아지는 경향이었으나, 대조구 733kg/10a에 비해 낮아 파구비료를 4g 시용해도 건물중이 부족하였다. 2018년도는 대조구 774kg/10a에 비해 5g 시용구는 790kg/10a으로 16kg/10a, 6g 시용구는 779kg/10a으로 5kg/10(그림 3) 더 높았다.

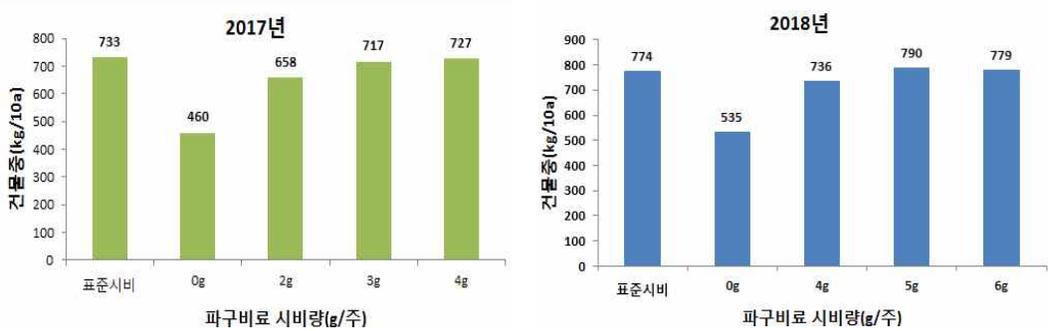


그림 3. 표준시비와 파구비료 시비량에 따른 정식후 60일 식물체 건물중

파구비료 시용구의 질소흡수이용율은 표준시비구보다 모두 높았다(그림 4). 2017년 파구비료 시용간의 질소흡수이용율은 주 당 2g, 3g, 4g 시용구가 각각 81.3, 75.0, 70.3%로 표준시비 32.3%보다 높았고 시비량이 낮을수록 이용율이 높은 경향이었으나 2018년은 주 당 5g, 6g, 4g 처리가 각각 65.0, 49.0, 45.3%로 순으로 높게 나타났다(그림 4)

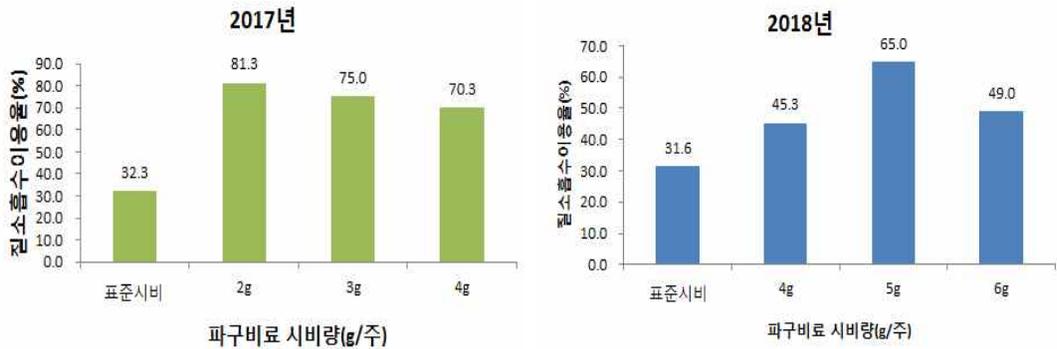


그림 4. 정식후 60일 찰옥수수 식물체 질소흡수이용율

2017년도 파구비료 주당 시용량에 따른 찰옥수수 생육과 이삭특성은 표 5와 같이 간장, 개체 당 이삭무게, 이삭길이, 10a 당 이삭중은 파구비료 4g/주 처리에서 172.5cm, 120g, 16.8cm, 666kg로 파구비료 처리에서는 생육과 수량이 높았으나 표준시비보다는 다소 낮거나 같은 경향이였다. 2018년은 파구비료 5g/주 처리에서 간장, 개체 당 이삭무게, 이삭길이, 10a 당 이삭중에서 180.2cm, 163g, 17.9cm, 868kg으로 파구비료 처리에서 생육과 수량이 높았으며 표준시비보다도 높게 나타났다. 따라서 2017년도의 수량은 파구비료를 최대 4g/주 까지 시용해도 대조구인 표준시비구에 미치지 못하여 찰옥수수 재배시 파구비료의 권장 시용량은 2018년 시험결과로 도출하였다(그림 5).

표 5. 찰옥수수 이삭 및 수량특성

○ 2017년

처리내용	간장 (cm)	착수 고율 (%)	분지수 (개/주)	이삭수 (개/주)	이삭 무게 (g/개체)	이삭 길이 (cm)	이삭중 (kg/10a)
1. 표준시비(대조)	174.8	51.2	0.0	1.8	120	17.1	683
2. 무시비	137.1	46.3	0.0	1.1	86	14.8	494
3. 파구비료 2g/주	159.8	47.7	0.0	1.2	110	16.3	629
4. 파구비료 3g/주	167.0	48.8	0.0	1.4	114	16.6	649
5. 파구비료 4g/주	172.5	52.0	0.0	1.8	120	16.8	666

LSD(5%) -----133.5

CV(%) ----- 15.9

○ 2018년

처리내용	간장 (cm)	착수 고율 (%)	분지수 (개/주)	이삭수 (개/주)	이삭 무게 (g/개체)	이삭 길이 (cm)	이삭중 (kg/10a)
2. 표준시비(대조)	177.3	46.8	0.8	1.9	144	17.8	820
2. 무시비	144.2	42.1	0.0	1.2	124	16.9	612
3. 파구비료 4g/주	171.1	46.3	0.6	1.7	142	17.7	800
4. 파구비료 5g/주	180.2	47.3	0.9	1.9	163	17.9	868
5. 파구비료 6g/주	175.5	46.7	0.8	1.8	149	17.9	856

LSD(5%) -----193.5

CV(%) ----- 12.9

찰옥수수 재배시 파구비료의 주 당 권장 시용량을 산출하고자, 파구비료의 주 당 시용량과 찰옥수수 이삭중과의 관계를 2차 회귀식으로 구하여 계산하면 다음과 같다(그림 5). 2차 회귀식 $[Y = -4.2284\chi^2 + 67.834\chi + 611.02(R^2 : 0.9794)]$, Y : 찰옥수수 이삭중(kg/10a), χ : 찰옥수수 주 당 파구비료 시용량(g)에 3요소 표준시비구의 찰옥수수 이삭중 820을 Y에 대입하여 찰옥수수 정식시 주 당 파구비료의 권장 시용량 4.159g(≒4.2g)으로 산출된다.

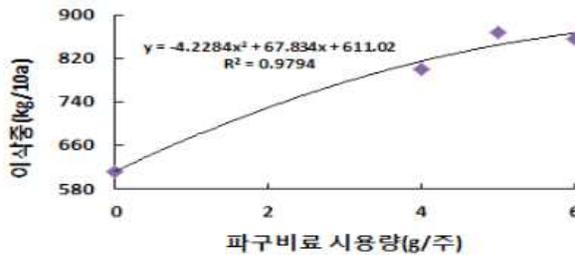


그림 5. 파구비료 시용량과 찰옥수수 수량과의 관계(2018)

찰옥수수 파구비료 사용량을 표준시비 이삭중의 무게와 대등한 권장 사용량으로 경제성을 분석한 결과 파구비료 재배는 관행대비 비료구입비용이 103,680원/10a 높았으나, 추비시비에 따른 노동비 112,000원/10a 발생되지 않아 총 8,320원/10a 절감되는 것으로 분석되었다(표 6).

표 6. 관행재배 대비 파구비료 투입에 따른 경제성분석

구 분	A)파구비료 재배	B)일반비료 재배
○ 비료구입 비용	○ 파구비료 구입비용 : 144,000원 - 파구비료 : 24kg × 6,000원= 144,000원	○ 무기질비료 구입비용 : 40,320원 ※ '17년 찰옥수수 소득자료집 참조 ○ 추비 노동비 : 112,000원 - 2명×4시간×14,000원=112,000원 ※ 농촌 성인남자 1일 인건비 ; 114,956원
○ 추비 노동비	○ 추비 노동비 : 없음	
	소계 : 144,000원	소계 : 152,320원

○ 절감액(A-B) = 8,320원

또 시비에 의한 재배포장의 수질환경에 오염부하를 측정하기 위해 유거수 중 T-N과 T-P 함량을 측정하였다. 2017년 강우시 유거수 중의 T-N 함량은 대조구에 비해 파구비료 4g 사용구에서 현저히 낮았으며, T-P 함량도 같은 경향이었다(그림 6). 이는 토양화학성에서 언급한 바와 같이 대조구와 파구비료의 용출패턴과 시비량 차이에 의한 질산태질소와 유효인산 함량의 감소가 원인이라 생각된다. 따라서 찰옥수수 재배시 파구비료를 사용하면 강우시 유거수 의한 수질오염이 크게 경감될 것으로 예상된다.

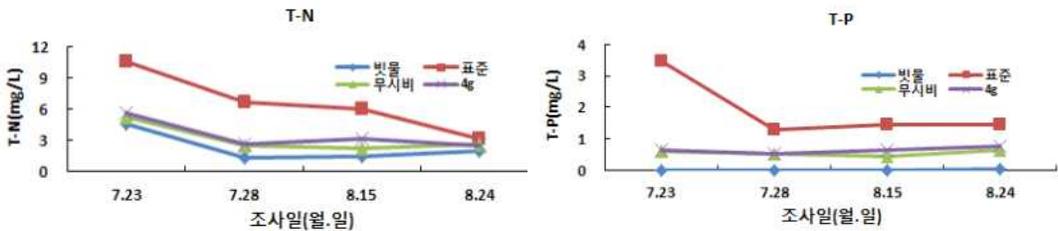


그림 6. 빗물에 의한 유거수 중의 T-N, T-P 함량 변화(2017)

<시험 2> 고추 재배시 파구비료의 시비반응 구명 시험

고추재배 전용 파구비료의 용출율은 찰옥수수 전용비료 용출율 시험에 준하여 분석하였다. 분석결과 T-N 용출율은 13.5%로 대조인 요소 중의 T-N 98.8%에 비해 매우 낮았다. 그리고 P₂O₅과 K₂O의 용출율도 각각 5.0%, 33.8%로 대조인 용과린 중의 P₂O₅ 38.8%, 염화칼리 중의 K₂O 98.1%에 비해 용출율이 현저히 낮았다(표 7).

표 7. 고추 재배 전용 파구비료의 용출율 (%)

일반비료(대조)			고추 재배 전용 파구비료		
T-N(요소)	P ₂ O ₅ (용과린)	K ₂ O(염화칼리)	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O
98.8	38.8	98.1	13.5	5.0	33.8

고추정식 후 시기별로 식물체중의 질소, 인산, 칼리 함량을 분석한 결과는 표 8과 같다. 2017년도의 무기성분 함량은 파구비료의 주 당 사용량이 증가할수록 높아지는 경향이었으며, 대조구에 비해 4~5g 사용구는 질소 함량이 다소 낮은 편이었으나 인산과 칼리 함량은 비슷하였다. 2018년도에는 파구비료의 용량을 늘려 시험한 결과, 파구비료 6g 사용구에서 질소, 인산, 칼리 함량이 대조구와 대등한 수준을 보였다.

표 8 고추 정식 후 시기별 식물체중 무기성분 함량 변화

○ 2017(정식 후 90일) (단위 : %)

처리내용	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1. 표준시비(대조)	2.44	0.85	3.25
2. 무시비	1.79	0.78	2.86
3. 파구비료 3g/주	1.90	0.82	3.20
4. 파구비료 4g/주	1.98	0.83	3.23
5. 파구비료 5g/주	2.16	0.84	3.24

○ 2018

- T-N (단위 : %)

처리내용	30DAT [↓]	60DAT	90DAT
1. 표준시비(대조)	2.98	2.63 ^a	2.79 ^a
2. 무시비	2.64	2.44 ^c	2.64 ^b
3. 파구비료 4g/주	2.71	2.49 ^{bc}	2.67 ^{ab}
4. 파구비료 5g/주	2.80	2.55 ^{ab}	2.71 ^{ab}
5. 파구비료 6g/주	2.88	2.61 ^a	2.74 ^{ab}

↓. DAT : Days After Transplant

- P₂O₅ (단위 : %)

처리내용	30DAT [↓]	60DAT	90DAT
1. 표준시비(대조)	0.97 ^a	0.90 ^{ab}	0.79
2. 무시비	0.81 ^b	0.78 ^c	0.74
3. 파구비료 4g/주	0.90 ^{ab}	0.82 ^c	0.78
4. 파구비료 5g/주	0.91 ^{ab}	0.84 ^{bc}	0.79
5. 파구비료 6g/주	0.92 ^{ab}	0.91 ^a	0.81

↓. DAT : Days After Transplant

- K₂O

(단위 : %)

처리내용	30DAT [↓]	60DAT	90DAT
1. 표준시비(대조)	5.62	5.57 ^a	4.91 ^{ab}
2. 무시비	5.32	5.10 ^b	4.66 ^b
3. 파구비료 4g/주	5.52	5.44 ^{ab}	4.87 ^{ab}
4. 파구비료 5g/주	5.57	5.51 ^{ab}	5.02 ^a
5. 파구비료 6g/주	5.62	5.59 ^a	5.04 ^a

↓. DAT : Days After Transplant

파구비료 시용구간의 질산태질소와 유효인산 및 치환성칼리 함량은 찰옥수수 재배지 토양과 비슷한 경향으로 파구비료의 시용량이 증가함에 따라 다소 높게 나타나는 경향이었으나 표준시비에 비해서는 모두 낮았다(표 9).

표 9. 시험후 토양화학성

처리내용	2017			2018		
	NO ₃ ⁻ -N (mg/kg)	Av.P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ex-K (cmol/kg)	NO ₃ ⁻ -N (mg/kg)	Av.P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ex-K (cmol/kg)
시험전	37	175	0.54	25	376	0.45
1. 표준시비(대조)	68	201	0.72	42	348	0.37
2. 무시비	18	116	0.51	3	266	0.25
3. 파구비료 3g/주	21	127	0.54	-	-	-
4. 파구비료 4g/주	24	136	0.59	8	286	0.27
5. 파구비료 5g/주	32	146	0.56	10	292	0.28
6. 파구비료 6g/주	-	-	-	14	308	0.31

2017년 단위면적당 고추 식물체 건물중은 고추정식 후 60일과 90일에서의 식물체의 무기 성분 함량과 유사한 경향으로 파구비료의 시용량 증가에 따라 높아지는 경향이었다. 2017년 고추 정식후 90일에서 파구비료 5g/주 시용구의 건물중은 대조구 241kg/10a 대비 3kg/10a 적었으나 2018년 파구비료 6g/주 시용구의 정식후 60일과 90일 건물중 무게는 각각 232kg/10a, 251kg/10a으로 대조구 대비 각각 3kg, 4kg(표 10) 더 높게 나타났다(표 10).

표 10. 시기별 식물체 건물중 변화

(kg/10a)

처리내용	2017	2018		
	90DAT [↓]	30DAT	60DAT	90DAT
1. 표준시비(대조)	241	27 ^a	229 ^a	247 ^a
2. 무시비	145	9 ^c	147 ^c	162 ^c
3. 파구비료 3g/주	204	-	-	-
4. 파구비료 4g/주	218	24 ^b	202 ^b	215 ^b
5. 파구비료 5g/주	238	26 ^{ab}	222 ^{ab}	240 ^a
6. 파구비료 6g/주	-	26 ^a	232 ^a	251 ^a

↓. DAT : Days After Transplant

파구비료 처리구의 질소흡수이용율은 대조구 대비 모두 높았다. 파구비료 시용량간의 질소 흡수이용율은 2017년에는 일정한 경향이 없었던 반면 2018년은 정식후 60일과 90일에서는 파구비료의 시용량 증가에 따라 식물체의 질소 함량이 높아져 건물중이 높았고(표 10) 질소흡수이용율도 높은 경향이였다(표 11).

표 11. 시기별 질소흡수이용율 변화 (%)

처리내용	2017년		2018년	
	90DAT [↓]	30DAT	60DAT	90DAT
1. 표준시비(대조)	20.4	5.7 ^b	18.1 ^b	16.1 ^b
2. 무시비	-	-	-	-
3. 파구비료 3g/주	76.5	-	-	-
4. 파구비료 4g/주	73.9	21.7 ^a	60.9 ^a	60.9 ^a
5. 파구비료 5g/주	86.2	17.2 ^a	72.4 ^a	75.9 ^a
6. 파구비료 6g/주	-	14.7 ^a	73.5 ^a	76.5 ^a

↓. DAT : Days After Transplant

2017년 건고추 수량은 대조구 231kg/10a에 대비 파구비료 시용구간의 수량이 가장 높았던 5g/주 시용구는 230kg/10a 으로 1kg 낮았고 2018년은 대조구 266kg/10a 대비 5g 시용구는 263kg/10a 으로 3kg 낮았으나 6g 시용구는 271kg/10a으로 5kg 더 많았다(표 13). 따라서 2017년도의 건고추 수량은 파구비료를 최대 5g 까지 사용하여도 대조구인 표준시비구에 미치지 못하여 고추 재배시 파구비료의 권장 시용량은 2018년도 시험 결과로 도출하였다(그림 7).

표 12. 건고추 수량 (kg/10a)

처리내용	2017	2018
1. 표준시비(대조)	231	266
2. 무시비	154	173
3. 파구비료 3g/주	205	-
4. 파구비료 4g/주	222	236
3. 파구비료 5g/주	230	263
4. 파구비료 6g/주	-	271

LSD(5%) ----- 32.3

CV(%) ----- 3.9

고추재배시 파구비료의 주 당 시용량과 건고추 수량과의 관계는 그림 7과 같다. 2차 회귀식($Y = 0.0094\chi^2 + 16.754\chi + 172.74$ ($R^2 : 0.9897$), Y : 건고추 수량(kg/10a), χ : 고추 주 당 파구비료 시용량(g))에 3요소 표준시비구의 건고추 수량 266kg을 Y 에 대입하여 고추 정식시 주 당 파구비료의 권장 시용량 5.548g(≈ 5.5 g)으로 산출된다.

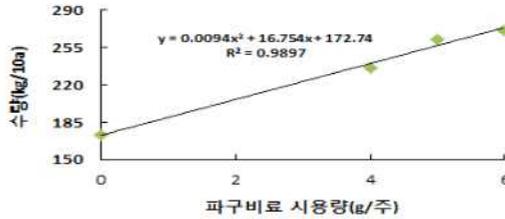


그림 7. 파구비료 사용량과의 건고추 수량과의 관계(2018)

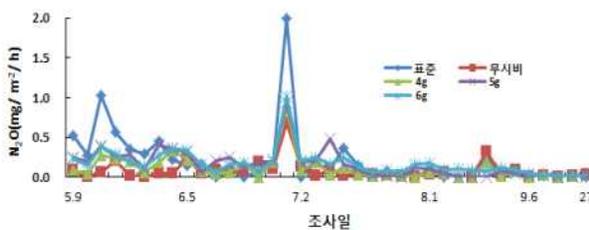
고추 파구비료 사용량을 표준시비와 건고추 수량이 대등한 권장 사용량으로 경제성을 분석한 결과 파구비료 재배는 비료 가격은 높으나 투입량이 적어 관행대비 비료구입 비용이 88,360원/10a 적었으며, 추비시비에 따른 노동비 336,000원/10a 발생되지 않아 총 424,360원/10a 절감되는 것으로 분석되었다(표 13).

표 13. 관행재배 대비 파구비료 투입에 따른 경제성분석

구 분	A)파구비료 재배	B)일반비료 재배
○ 비료구입 비용	○ 파구비료 구입비용 : 96,000원 - 파구비료 : 16kg×6,000원= 96,000원	○ 무기질비료 구입비용 : 184,360원 ※ '17년 고추 소득 자료 참조
○ 추비 노동비	○ 추비 노동비 : 없음	○ 추비 노동비 : 336,000원 - 2명×4시간×3회×14,000원=336,000원 ※ 농촌 성인남자 1일 인건비 ; 114,995원
	소계 : 96,000원	소계 : 520,360원

○ 절감액(A-B) = 424,360원

지구온난화의 원인이 되는 대기 중의 온실가스인 N₂O 배출량을 고추 재배지에서 조사한 결과는 그림 8과 같다. 파구비료 사용구간의 일 평균 N₂O 배출량은 파구비료 사용량이 높을수록 높게 배출되는 경향 이었다. 표준시비 대비 파구비료 사용구간의 N₂O 배출량을 분석한 결과 파구비료 4g/주, 5g/주, 6g/주 에서 각각 60%, 48%, 43% 적게 발생되어(그림 8) 파구비료가 온실가스 배출량을 크게 줄일 수 있을 것으로 생각되어 진다.



처리내용	일 평균 배출량 (g/N ₂ O/ha/d)
1. 표준시비(대조)	44.3
2. 무시비	12.3
3. 파구비료 4g	17.6
4. 파구비료 5g	22.8
5. 파구비료 6g	25.4

그림 8. 파구비료 사용량과의 온실가스(N₂O) 배출량 변화 및 일일 평균 배출량(2018)

<시험 3> 배추 재배시 파구비료의 시비반응 구명 시험

배추재배 전용 파구비료의 용출율은 찰옥수수 전용비료 용출율 시험에 준하여 분석하였다. 분석결과 배추재배 전용인 파구비료의 T-N, P₂O₅, K₂O 용출율은 찰옥수수와 고추재배 전용 파구비료와 비슷한 경향으로 대조 비료에 비해 모두 낮았다(표 14). 배추 파구비료의 용출율은 고추 파구비료 T-N 13.5%, K₂O 33.8%(표 7)에 비해 현저히 낮았으나 P₂O₅ 용출율은 큰 차이가 없었다.

표 14. 배추 재배 전용 파구비료의 용출율 (%)

일반비료(대조)			파구비료		
T-N(요소)	P ₂ O ₅ (용과린)	K ₂ O(염화칼리)	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O
98.8	38.8	98.1	2.8	7.5	0.5

2017년도 배추정식 후 30일에서의 식물체중 질소 함량은 대조구 3.17%에 비해 파구비료 5g/주 시용구는 2.94%로 큰 차이가 없었으며, 60일에서는 대조구 2.23%에 비해 5g/주 시용구는 1.84%로 다소 적었다. 이는 2018년에도 비슷한 경향으로 모두 대조구 대비 낮았다. 그러나 2018년 6g/주 시용구에서의 질소, 인산, 칼리 함량은 대조구와 대등한 경향을 보였다(표 15).

표 15. 배추 정식 후 시기별 식물체 무기성분 함량 변화

○ 2017 (단위 : %)

처리내용	T-N		P ₂ O ₅		K ₂ O	
	30DAT ^J	60DAT	30DAT	60DAT	30DAT	60DAT
1. 표준시비(대조)	3.17	2.23	1.27	1.23	7.49	5.58
2. 무시비	2.46	1.80	1.15	1.15	7.11	4.91
3. 파구비료 3g/주	2.80	1.81	1.20	1.20	7.28	5.24
4. 파구비료 4g/주	2.88	1.82	1.23	1.22	7.35	5.45
5. 파구비료 5g/주	2.94	1.84	1.25	1.22	7.44	5.53

J. DAT : Days After Transplant

○ 2018 (단위 : %)

처리내용	T-N		P ₂ O ₅		K ₂ O	
	30DAT ^J	60DAT	30DAT	60DAT	30DAT	60DAT
1. 표준시비(대조)	3.29	2.35	1.31 ^a	1.23	7.78 ^a	5.55 ^a
2. 무시비	3.19	2.31	1.22 ^{ab}	1.15	7.56 ^b	4.88 ^b
3. 파구비료 4g/주	3.22	2.32	1.24 ^{ab}	1.19	7.63 ^{ab}	5.25 ^{ab}
4. 파구비료 5g/주	3.24	2.33	1.27 ^{ab}	1.21	7.68 ^{ab}	5.38 ^a
5. 파구비료 6g/주	3.27	2.34	1.29 ^a	1.22	7.76 ^a	5.53 ^a

J. DAT : Days After Transplant

시험후 파구비료 시용구의 토양 중 질산태질소와 유효인산 및 치환성칼리 함량은 찰옥수수, 고추 재배지 토양에서와 같이 대조구 대비 낮았으며, 파구비료 시용량이 많을수록 다소 높아지는 경향이였다(표 16).

표 16. 시험후 토양화학성

처리내용	2017			2018		
	NO ₃ ⁻ -N (mg/kg)	Av.P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ex-K (mmol/kg)	NO ₃ ⁻ -N (mg/kg)	Av.P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ex-K (mmol/kg)
시험전	24	468	0.41	26	497	0.69
1. 표준시비(대조)	90	382	0.59	47	649	1.02
2. 무시비	8	322	0.32	2	531	0.77
3. 파구비료 3g	9	341	0.35	-	-	-
4. 파구비료 4g	12	357	0.40	3	575	0.83
5. 파구비료 5g	16	360	0.41	8	607	0.88
6. 파구비료 6g	-	-	-	11	615	0.89

2017년 정식후 60일 단위면적당 배추 건물중은 파구비료 시용량이 많을수록 높아지는 경향이 있었으나 표준시비 579kg/10a 대비 파구비료 시용구 처리는 모두 낮았다. 2018년은 5g/주 시용구까지 건물중이 증가하다 감소하는 경향이 있었으며, 표준시비 586kg/10a 대비 5g/주 시용구는 13kg/10a, 6g/주 시용구에서는 15kg/10a 각각 적었다(그림 9).

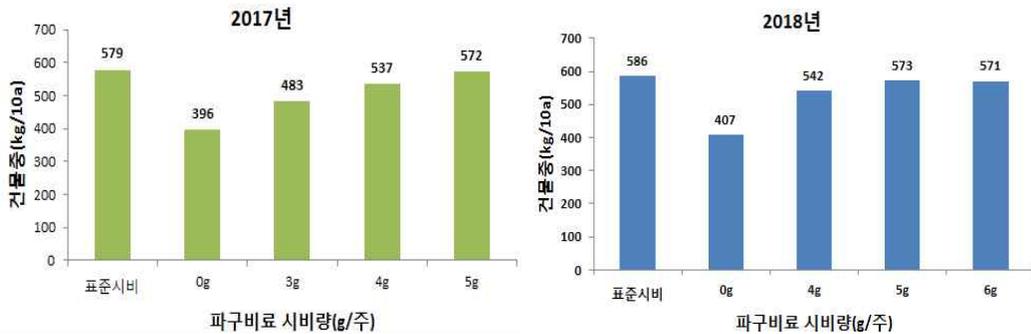


그림 9. 정식후 60일 식물체 건물중

배추 정식후 60일 파구비료 시용구의 질소흡수이용율은 찰옥수수, 고추와 같은 경향으로 표준시비 대비 모두 높았다. 파구비료 시용구간의 질소흡수이용율은 2017년은 시용량이 높을수록 높아지는 경향이 있었으나 2018년은 주 당 5g, 4g, 6g 처리가 각각 97.6, 97.0, 80.0%로 순으로 높게 나타났다(그림 10).

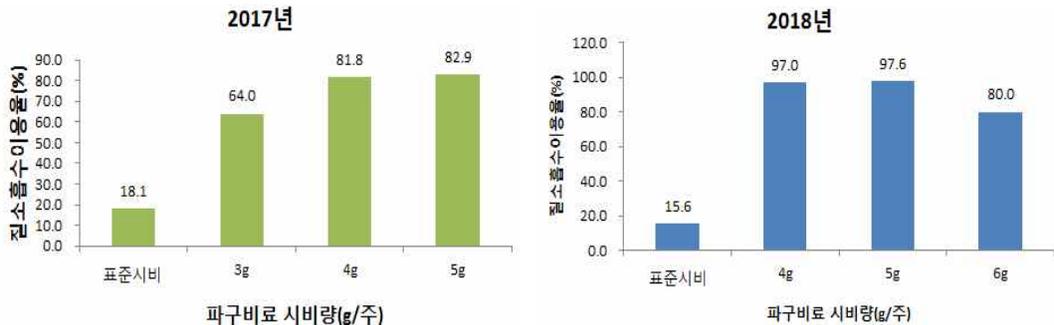


그림 10. 정식후 60일 식물체 질소흡수이용율

정식후 70일 배추 수량을 조사한 결과는 표 17과 같다. 2017년도 파구비료 5g/주 시용구의 수량은 7,414kg/10a으로 대조구 7,491kg/10a에 대비 1% 적었다. 2018년도 5g/주 시용구의 수량은 10,106kg/10a으로 대조구 9,523kg/10a에 비해 6% 증수하였다. 따라서 2017년도의 수량은 파구비료를 최대 5g/주 까지 시용해도 대조구인 표준시비에 미치지 못하여 배추 재배시 파구비료의 권장 시용량은 2018년 시험결과로 도출하였다(그림 11).

표 17. 배추 수량 (kg/10a)

처리내용	2017	2018
1. 표준시비(대조)	7,491	9,523
2. 무시비	2,715	6,531
3. 파구비료 3g	3,857	-
4. 파구비료 4g	6,101	8,842
3. 파구비료 5g	7,414	10,106
4. 파구비료 6g	-	9,495

LSD(5%) ----- 536.2

CV(%) ----- 2.7

배추 정식시 파구비료 주 당 시용량과 배추 수량과의 관계를 2차 회귀식으로 구한 값은 그림 12와 같다. 즉, 2차 회귀식($Y = -67.691x^2 + 943.84x + 6507.2$ ($R^2 : 0.9301$), Y : 배추 수량(kg/10a), x : 배추 주 당 파구비료 시용량(g))에서 3요소 표준시비구의 배추 수량 9,523을 Y 에 대입하여 배추 정식시 주 당 파구비료의 권장 시용량 4.959g(≒5.0g)으로 산출하였다.

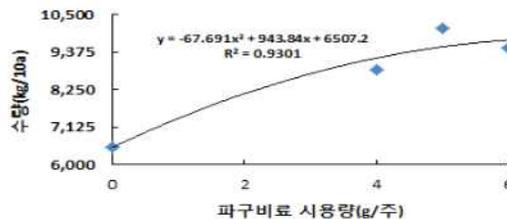


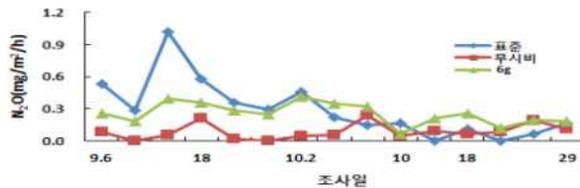
그림 11. 파구비료 시용량과 배추 수량과의 관계(2018)

배추 파구비료 시용량을 표준시비 수량과 대등한 권장 시용량으로 경제성을 분석한 결과 파구비료재배는 관행대비 비료구입비용이 16,650원/10a 높았으나, 추비시비에 따른 노동비 224,000원/10a 발생되지 않아 총 207,350원/10a 절감되는 것으로 분석되었다(표 18).

표 18. 관행재배 대비 파구비료 투입에 따른 경제성분석

구 분	A)파구비료 재배	B)일반비료 재배
○비료구입비용	○ 파구비료 구입비용 : 72,000원 - 파구비료 : 12kg×6,000원= 72,000원	○ 무기질비료 구입비용 : 55,350원 ※ '17년 배추 소득 자료 참조
○ 추비노동비	○ 추비 노동비 : 없음	○ 추비 노동비 : 224,000원 - 2명×4시간×2회×14,000원=224,000원 ※ 농촌 성인남자 1일 인건비 ; 114,995원
	소계 : 72,000원	소계 : 279,350원
○ 절감액(A-B) = 207,350원		

파구비료 배추 재배지의 N₂O 온실가스 일 평균 배출량은 생육초기에 발생량이 높다가 그 후 점차로 감소하는 경향이였다. N₂O 일 평균 배출량은 대조구 표준시비 대비 파구비료 6g/주 시용구가 42% 절감되는 것으로 나타났다(그림 12). 이는 배추 파구비료 처리가 관행재배와 비교하였을 때 파구비료의 용출패턴과 시비량이 적어 발생량이 적은 것으로 생각된다.



처리내용	일 평균 배출량 (g/N ₂ O/ha/d)
1. 표준시비(대조)	72.7
2. 무시비	21.7
3. 파구비료 6g	42.2

그림 12. 온실가스(N₂O) 배출량 변화 및 일일 배출량(2018)

4. 적 요

작물정식 전 근권 아래에 기비로 1회만 주고 작물재배가 가능한지 검토코자, 3요소 표준시비구를 대조로 완효성비료인 파구비료(가칭)를 2017년부터 2018년 까지 찰옥수수, 고추, 배추에 대해 재배 시험한 결과는 다음과 같다.

<시험 1> 찰옥수수 재배시 파구비료의 시비반응 구명 시험

- 가. 요소 중의 T-N 용출율은 98.8%, 용과린의 P₂O₅는 38.8%, 염화칼리의 K₂O는 98.1% 이었다.
- 나. 시험비료인 찰옥수수 재배용 파구비료의 용출율은 T-N 3.2%, P₂O₅ 6.0%, K₂O 2.9% 이었다.

- 다. 파구비료 5g/주 시용구의 식물체 중 질소, 인산, 칼리 함량은 대조구(3요소 표준시비구)와 대등하였다.
- 라. 시험후 파구비료 처리에 따른 토양 무기성분 함량은 파구비료 시용량이 높을수록 질산태질소와 유효인산 및 치환성칼리 함량이 높아지는 경향이었으나 표준시비보다는 함량이 낮았다.
- 마. 2017년 파구비료 시용구의 질소흡수이용율은 대조구(3요소 표준시비구)에 대비 파구비료 시용량이 적을수록 높았으며, 2018년은 파구비료 5g/주 시용구에서 65%로 가장 높게 나타났다.
- 바. 찰옥수수 파구비료의 권장 시용량을 산출하고자 표준시비 뜻이삭 이삭중과의 관계를 2차 회귀식으로 나타내면 $Y = -4.2284x^2 + 67.834x + 611.02$ ($R^2 : 0.9794$)으로 관행비료 권장시비량 수준에 대응하는 권장시비량은 주당 4.2g 이었다.
- 사. 찰옥수수 관행재배대비 파구비료재배에 대한 경제성 분석결과 10a 당 8,320원 절감되는 것으로 분석되었다.
- 아. 강우시 유거수에 의한 T-N, T-P 함량은 대조구(3요소 표준시비구)에 대비 파구비료 시용구 처리에서 49% 낮았다.

<시험 2> 고추 재배시 파구비료의 시비반응 구명 시험

- 가. 고추 재배용 파구비료의 T-N, P_2O_5 , K_2O 용출율은 각각 13.5%, 5.0%, 33.8% 이었다.
- 나. 대조구(3요소 표준시비구)와 파구비료 6g/주 시용구의 식물체중 질소 함량은 다소 낮은 경향이었고 인산과 칼리 함량은 정식후 30일은 낮았으나 정식후 60일, 90일은 높게 나타났다.
- 다. 질소흡수이용율은 파구비료 시용구가 대조구(3요소 표준시비구)에 비해 높았고 정식후 60일, 90일은 시용량이 높을수록 높은 경향이였다.
- 라. 고추 파구비료의 권장 시용량을 산출하고자 표준시비 건고추 수량과의 관계를 2차 회귀식으로 나타내면 $Y = 0.0094x^2 + 16.754x + 172.74$ ($R^2 : 0.9897$)으로 주 당 시용량은 5.5g 이었다.
- 마. 고추 관행재배대비 파구비료재배에 대한 경제성 분석결과 10a 당 424,360원 절감되는 것으로 분석되었다.
- 바. 온실가스인 N_2O 일 평균 배출량은 대조구 44.3g/ha에 비해 파구비료 4g 시용구는 60%, 5g 시용구는 48%, 6g 시용구는 43% 적었다.

<시험 3> 배추 재배시 파구비료의 시비반응 구명 시험

- 가. 배추 재배용 파구비료의 용출율은 T-N 2.8%, P_2O_5 7.5%, K_2O 0.5% 이었다.
- 나. 파구비료 6g 시용구의 식물체 중 질소, 인산, 칼리 함량은 대조구와 대등하였다.
- 다. 2017년 파구비료 시용구의 질소흡수이용율은 시용량이 높을수록 높았으며, 2018년은 파구비료 5g/주 까지는 높아지다가 6g/주 에서 낮아지는 경향을 보였다..

- 라. 배추 파구비료의 권장 사용량을 산출하고자 표준시비 수량과의 관계를 2차 회귀식으로 나타내면 $Y = -67.691x^2 + 943.84x + 6507.2$ ($R^2 : 0.9301$)으로 주 당 사용량은 5.0g 이었다.
- 마. 배추 관행재배대비 파구비료재배에 대한 경제성 분석결과 10a 당 207,350원 절감되는 것으로 분석되었다.
- 바. 온실가스인 N_2O 일 평균 배출량은 대조구 ha 당 72.7g 대비 파구비료 6g 사용구가 42% 적게 발생하는 것으로 나타났다.

5. 사사

본 연구과제는 중소기업청 수출기업기술개발사업(과제번호 S2464470) 지원에 의해 이루어진 사업입니다.

6. 인용문헌

- Back, J. H., Jang, M. H., Lee, S. H., Lee, S. J., Lim, J. Y., and Kim, B. J. 2001. Effects of slow-release nitrogen fertilizers, latex coated urea and Meister 10, on direct seeded rice in dry soil. Korean Soc. Soil Sci. Fert. 34(6):407-412.
- Lee, K. B., Park, C. W., Park, K. L., Kim, J. G., Lee, D. B., and Kim, J. D. 2005. Nitrogen balance in paddy soil of control-release fertilizer application. J. Korean Soc. Soil Sci. Fert. 38(3) 157-163.
- Lunt, O. R. 1974. Controlled-release fertilizer achievements and potential. J. Arg. Food Chem. 19:797-800.
- Park, K. D., Kwen, H. Y., Park C. Y., Jeon, W. T., and Kim, C. S. 2002. Effect on co-situs application of coated urea complex fertilizer in dry seeded rice. J. Korean Soc. Soil Sci. Fert. 35(5):264-271.
- 경기도농업기술원. 2011. 1ghl 시비 벼 재배 파종상(용출제어형)비료 개발. 151-170.
- 경기도농업기술원. 2017. 농업환경 실험 분석법.
- 농촌진흥청. 2012. 농사시험연구 조사기준
- 농촌진흥청. 2018. 비료 공정규격설정 및 지정
- 농촌진흥청. 2017. 비료의 품질 검사방법 및 시료채취 기준.
- 농촌진흥청 국립농업과학원. 2017. 작물별 비료사용처방 기준(3차 개정본).
- 농촌진흥청 국립농업과학원. 2017. 흙토람을 활용한 토양 및 양분관리.
- 이호진, 김수형, 이석순, 1994 중부와 남부지역 벼 건답 직파재배의 생산성과 수익성. 한작지. 39(5):512-518

7. 연구결과 활용제목

- 찰옥수수전용 파구비료의 적정 시비량(영농활용)
- 고추전용 파구비료의 적정 시비량(영농활용)
- 배추전용 파구비료의 적정 시비량(영농활용)

8. 연구원 편성

세부과제	구 분	소 속	직 급	성 명	수행업무	참여년도
발작물 비료절감을 위한 파구(이식구)용 비료개발	책임자	작물연구과	농업연구사	이종형	세부과제총괄	'17~'18
	공동연구자	"	농업연구관	최병열	과제수행	'17~'18
	"	"	농업연구사	장정희	과제수행	'17~'18
	"	"	기능6급	도현용	과제수행	'17~'18
	"	"	농업연구사	김영록	과제수행	'18
	"	"	농업연구사	원태진	과제수행	'18
	"	"	농업연구관	지정현	과제자문	'18
	"	"	농업연구관	박인태	과제자문	'17~'18
	"	환경농업연구과	농업연구사	주옥정	온실가스	'17~'18
	"	소득지원연구소	농업연구사	한상욱	과제자문	'17
"	(주)뉴보	상무이사	권오연	비료개발	'17~'18	