

과제구분	기분	수행시기		전반기	
연구과제 및 세부과제		연구분야	수행기간	연구실	책임자
경기미 대내외 경쟁력 강화를 위한 시장확대 기술 개발		벼	'16~	농업기술원 작물연구과	최병열
우리원 육성 벼 신품종 전용 1회 시비형 비료 개발		벼	'19~'21	농업기술원 작물연구과	김영록
색인용어	벼, 시비노동력, 블랙카본, 완효성비료, 1회시비, 고품질				

ABSTRACT

In order to reduce the labor force for fertilizer application in rice cultivation, we developed the new type fertilizer containing black carbon(BCF) can be applied as one time application type for basal application, which need not two top dressing at tillering and ear formation stage. We carried out this study for three years to evaluate the optimal application rate of the new type fertilizer(BCF) for production high-quality rice by cultivating new varieties, Charmdream and Kkummaji developed by Gyeonggi-do Agricultural Research and Extension Services(GARES). BCF, were used in this study, contains 18% nitrogen, 9% phosphate and 14% potash. The filed experiment was conducted for three years at GARES paddy field in Hwaseong, Gyeonggi Province. The BCF was applied at 7, 9, 11 and 13 kg per 10a based on nitrogen and respectively compared with standard fertilizer application(control). As a results, There were no differences in nitrogen use efficiency, the yield of milled rice, the milled rice protein content and palatability value between BCF treatments and control. Futhermore, in 2019 and 2020, lodging occurred in the degree of 7 to 9 in treatments of BCF over 9 kg·N/10a. Consequently, considering the safe cultivation and the stable production of high-quality rice, we intended to select the optimal application rate of BCF with protein content of 5.7%, which was reduced by 5% considering the annual variation based on the protein content of 6.0%, which corresponds to 'Soo' in the rice grade and protein content criteria(Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs Notification No. 2020-33). The regression equation between protein content and application rates of BCF was as follows ; $Y=0.0116x^2-0.0062x+4.9796$ (R^2 0.9533). In conclusion, the optimal application rates of newly developed type fertilizer(BCF) is 45 kg/10a for cultivation of Charmdream, an mid-late type variety.

Key words : Rice, Labor force, Black carbon containing fertilizer, one time application, High-quality

1. 연구목표

우리나라 농촌 인구는 지속적으로 감소하고 있으며, 특히 경기도 농가의 고령화율은 2010년 25%에서, 2019년 40%로 급격하게 상승하고 있어 농촌 노동력 부족현상은 심화되고 있다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해 다양한 완효성 비료가 개발되었으며, 최근에는 고분자화합물을 피복하여 생육단계별로 작물에 알맞게 용출과정을 조절하는 완효성비료인 용출조절형 비료가 개발되고 있다.

용출조절형비료는 폴리머 수지를 이용하여 비료입자를 코팅한 것으로 비료 효과가 천천히 오랫동안 지속되어 비료 전량을 밑거름으로 1회만 시비하여도 벼 재배가 가능하므로 시비 노동력 절감이 가능한 장점이 있다. 그러나 폴리머 수지 코팅을 이용한 완효성 비료는 토양혼화시 토양 또는 로터리 날과의 마찰로 인해 코팅층이 손상되면 완효성 효과가 현저히 떨어지는 문제가 있어 측조시비기 등을 이용하여야 한다. 그러므로 비료를 전층시비하는 농가에서는 폴리머 수지 코팅 완효성 비료를 사용하기 어렵기 때문에, 이앙 전에 밑거름을 시비한 후 2~3회 웃거름을 시비하는데 특히 가지거름이나 이삭거름 등 웃거름은 5~7월경 더운 여름철에 시비하므로 비용뿐만 아니라 힘든 악성노동 중 하나이다.

한편 바이오차(biochar)는 산소가 제한된 환경에서 바이오매스를 열분해하여 얻을 수 있는 탄소함량이 높은 고체 물질로서 바이오차를 토양에 첨가하면 pH, 보수력, 이온교환 능력, 질소 비료 이용률 및 미생물 활성도 증가 등 다양한 특성에 의해 농업 생산성을 향상시킬 수 있다 (Novak 등. 2009; Laird 등. 2010; 최 등. 2015). 이러한 바이오차를 초임계장치로 고온습식 처리하면 블랙카본을 얻을 수 있는데, 블랙카본은 바이오차에 비해 표면적, 기공성 및 유기화합물에 대한 흡착력이 월등히 증가된다고 보고되어 있어 비료 조성물로서 그 가치가 높을 것으로 생각된다(Xiao et al. 2018).

암모니아는 바이오차(블랙카본) 표면에 존재하는 카르복실기와 반응하여 아민, 암모늄염 또는 아마이드 형태로 흡착되어 있는데(최 등 2015), 흡착된 질소는 다양한 토양 미생물에 의한 암모니아화작용을 통해 암모니아로 분해되고 암모니아는 다시 토양 용액에서 물과 반응하여 벼의 질소 흡수 형태인 NH_4^+ 로 유리되어 지속적으로 식물체에 공급되므로 완효성 비료 효과를 기대할 수 있다.

따라서 비료를 토양혼화 처리하는 농가에서도 시비 노동력을 절감할 수 있는 완효성 비료를 사용할 수 있도록 폴리머 수지 코팅 완효성 비료 대신 블랙카본을 이용한 1회 시비형 완효성 비료를 개발하였다(출원번호 10-2021-0053902). 이 비료는 비료 전량을 밑거름으로 1회 시비한 후 토양혼화 처리하여도 완효성 효과가 있어 시비 노동력이 절감될 뿐만 아니라 안전 재배 및 안정적인 고품질 쌀 생산이 가능한 장점이 있다. 이에 따라 본 연구는 벼 재배 시 개발비료의 적정 시용량과 시비효과를 구명하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

가. 시험품종 및 재배법

본 연구에 사용된 벼 품종은 경기도농업기술원에서 육성한 「참드림」, 「꿈마지」로 하였고, 재배방법은 2019~2021년에 경기도농업기술원 벼 비료시험 포장에서 조간 30cm, 주간 15cm로 하여 5월 20일에 중묘를 기계이앙한 후 10월 중순경 이삭의 영화가 90% 이상 황색으로 물든 시기(황숙기)에 수확하였다. 다만 꿈마지는 최근 2021년에 개발된 품종으로 2021년 한해만 검토하였다.

나. 시험구 조성 및 처리방법

처리내용은 무비, 표준시비, 개발비료 4수준(개발비료 질소기준 7, 9, 11, 13 kg/10a)이었다(표 1). 표준시비에 사용된 비료 제형은 질소는 요소, 인산은 용과린, 칼리는 염화칼리였으며, 시비방법은 작물별 비료사용 처방(농진청, 2019)에 따라 N-P₂O₅-K₂O를 9.0-4.5-5.7 kg/10a를 사용하되 요소는 3회(기비 50%, 분얼비 20%, 수비 30%), 인산 1회(전량 기비), 칼리 2회(기비 70%, 수비 30%)로 분시하였으며, 기비는 전층시비하고 분얼비 및 수비는 표층시비 하였다.

개발비료는 블랙카본이 함유된 복합비료로서 본답 썩레질 전 비료 전량을 밑거름으로 1회 토양혼화 처리하여 전층시비하였다(표 1).

표 1. 처리구별 시비량 및 시비방법

처리내용	복비량 (kg/10a)	성분량(kg/10a)			질소 분시비율(%)			시비 횟수 (회)	시비 방법
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	기비	분얼비	수비		
표준시비(대조)	-	9.0	4.5	5.7	50	20	30	3	표층
개발비료 N 7kg	38.9	7.0	3.5	5.4	100	-	-	1	전층
개발비료 N 9kg	50.0	9.0	4.5	7.0	100	-	-	1	"
개발비료 N 11kg	61.1	11.0	5.5	8.6	100	-	-	1	"
개발비료 N 13kg	72.2	13.0	6.5	10.1	100	-	-	1	"

※ 개발비료: N-P₂O₅-K₂O=18-9-14%

다. 시험 전 토양의 이화학성

2019~2021년 시험 전 포장의 토성은 미사질양토로 치환성 칼륨과 칼슘 함량은 다소 높은 편이었으나 산도와 유기물, 유효인산, 치환성 마그네슘, 유효규산 함량은 대체로 적정 수준으로 연구수행에 적절하였다고 판단된다(표 2).

표 2. 시험 전 토양의 이화학성

시험년도	pH (1:5)	OM (g kg ⁻¹)	Av. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Ex. cations(cmol _c kg ⁻¹)			Av. SiO ₂ (mg kg ⁻¹)	Soil texture
				K	Ca	Mg		
2019	5.9	24.7	74	0.43	7.7	1.5	145	미사질 양토
2020	5.9	27.7	118	0.48	8.2	1.4	163	"
2021	5.9	27.0	74	0.41	7.7	1.3	163	"
적정범위	5.5~ 6.5	20~ 30	80~ 120	0.20~ 0.30	5.0~ 6.0	1.5~ 2.0	157 이상	사양질~ 식양질

라. 토양의 이화학성 및 식물체 분석

토양 산도는 초자전극법, 유기물은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster법, NH₄⁺-N는 Kjeldahl법으로 분석하였으며, 치환성양이온은 1N-NH₄OAC(pH 7.0) 완충용액으로 침출하여 유도결합플라즈마 발광광도계(GBC, Integra XMP)로 정량하였다. 식물체의 질소는 Kjeldahl법, 인산은 Vanadate법으로 분석하고, 칼리는 유도결합플라즈마 발광광도계(GBC, Integra XMP)로 정량하였다. 기타 성분은 토양 및 식물체 분석법(농진청, 2000)과 비료의 품질검사 방법 및 시료채취기준(농진청, 2019)에 따라 분석하였다.

마. 특성조사

벼의 생육, 수량구성요소 및 쌀 수량 조사는 농업과학기술 연구조사 분석기준(농진청, 2012)에 준하여 조사하였다. 쌀 품위는 RN-500(Kett, Japan)으로 조사하였고 아밀로스는 Juliano의 요오드 비색정량법에 따라 측정하였으며 단백질 함량은 Infratec 1241 Grain Analyser(foss, Denmark)로 분석하였다. Toyo Value는 밥의 윤기치를 간이측정 할 수 있는 palatability 분석으로서, MA-90B(Toyo, Japan)로 윤기치를 측정하였다.

사. 통계처리

시험구별 통계분석은 SAS (ver 9.4)를 이용하여 분산분석을 실시하였고, 처리간의 차이의 유의성은 Duncan의 다중범위시험법(DMRT)로 $p < 0.05$ 수준에서 유의성을 검증하였다.

3. 결과 및 고찰

<시험 1> 「참드림」 품종의 개발비료 적정 시용량 구명(2019~2021)

가. 시험비료의 비료성분 용출률

질소질 비료인 요소, 인산질 비료인 용과린, 칼리질 비료인 염화칼리를 대조로 개발비료의 T-N, P₂O₅, K₂O 용출률을 분석한 결과는 표 3과 같다. 대조인 요소의 T-N은 96.2%, 용과린의 P₂O₅는 41.8%, 염화칼리의 K₂O는 98.1% 용출되었고 개발비료의 T-N은 97.0%, P₂O₅는 83.3%, K₂O는 97.6% 용출되었다. 개발비료의 T-N과 K₂O 용출률은 대조인 요소, 염화칼리와 비슷한 수준이었으나, P₂O₅ 용출률은 약 2배 이상 높았다. 이는 인산질 비료의 원료에 의한 차이로서 용성인비(구용성)와 과인산석회(수용성)의 혼합물인 용과린의 경우 인산 함량은 구용성 17% 이상이고 이 중에서 수용성이 2% 이상 함유되어 있는 반면 개발비료의 인산 성분은 거의 대부분 인산이암모늄(수용성)으로 구성되어 있어 대조인 용과린에 비해 P₂O₅ 용출률이 높은 것으로 생각된다.

표 3. 시험비료의 비료성분 용출률 (단위 : %)

표준시비(3요소, 단비)			개발비료(복비)		
요소	용과린	염화칼리	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O
96.2	41.8	98.1	97.0	83.3	97.6

나. 개발비료 시용에 의한 토양 이화학성 변화

개발비료를 3년간 연용한 후 토양의 이화학성을 조사한 결과는 표 4와 같다. 개발비료 시용량이 증가할수록 토양의 산도, 유기물, 유효인산, 치환성 칼륨, 칼슘, 마그네슘 모두 점차 증가하는 경향이었으며, 시험 전 토양에 비하여 크게 작아지지 않고 대체로 적정범위 수준을 나타내어 3년 동안 연용 시에도 큰 문제는 없을 것으로 판단되었다.

표 4. 동일비료 3년간 연용 후 토양 이화학성 변화

처리	pH (1:5)	OM (g kg ⁻¹)	Av. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Ex. cations(cmol _c kg ⁻¹)		
				K	Ca	Mg
표준시비(대조)	5.5	29	78	0.42	7.2	1.2
개발비료 N 7kg	5.5	28	71	0.39	7.1	1.1
개발비료 N 9kg	5.5	29	77	0.43	7.3	1.2
개발비료 N 11kg	5.6	31	92	0.51	7.4	1.3
개발비료 N 13kg	5.7	31	109	0.59	7.5	1.5
적정범위	5.5~6.5	20~30	80~120	0.20~0.30	5.0~6.0	1.5~2.0

다. 벼 이앙 후 시기별 생육상황 변화

벼 이앙 후 일수에 따른 생육상황의 변화는 표 5와 같이 개발비료의 시비량이 증가할수록 이앙후 일수와 관계없이 초장과 간장은 길어지고 경수와 수수는 많아지는 경향이였다. 한편 주당수수의 경우 모든 개발비료 처리에서 대조와 유의적인 차이가 없었다. 다만 개발비료 처리간에는 N 7kg/10a 처리를 제외한 모든 처리에서 차이가 없는 것으로 나타났는데, 이는 11kg/10a 이상의 처리에서는 경수가 많았지만 이후 늦게 나온 약소 분얼들이 이삭을 맺지 못하거나 죽은 무효분얼수가 많아 차이가 없었던 것으로 생각된다.

또한 도복의 경우 2019년은 개발비료 N 11~13kg, 2020년은 개발비료 N 9~13kg 처리에서 도복지수 7~9 범위로 나타났으나, 2021년에는 모든 개발비료 처리에서 도복이 발생하지 않았다. 이는 여름철 긴 장마와 초가을 연이은 태풍으로 인해 도복피해가 심했던 2019~2020년과 달리, 2021년에는 참드림 품종의 유수형성기와 등숙초기 사이에 해당하는 7월부터 8월 중순 사이에 일조시간이 길고 강수량이 적었으며, 태풍에 의한 바람 피해가 없어 도복이 없었던 것으로 생각된다. 따라서 기상에 따른 연차간 변이는 있지만 시비량이 많을수록 도복이 많이 발생할 것으로 판단되므로 참드림 품종의 안전한 재배를 위해서는 개발비료 N 9kg/10a 이하가 유리할 것으로 생각된다(그림 1, 표 6).

표 5. 비료 시용량에 따른 벼 생장의 경시적 변화

처리	초장(cm)		간장(cm)	경수(개/주)		수수(개/주)
	이앙후 30일	60일	130일	30일	60일	130일
무시비	26.0	59.8	70.5 ^c	8.1	14.1	14.1 ^c
표준시비(대조)	32.0	71.7	80.3 ^{ab}	14.4	20.4	18.7 ^{ab}
개발비료 N 7kg	31.3	70.6	78.4 ^b	14.7	19.5	17.2 ^b
개발비료 N 9kg	32.7	74.0	81.4 ^{ab}	15.8	20.9	18.4 ^{ab}
개발비료 N 11kg	34.0	75.2	83.5 ^a	16.5	21.9	20.2 ^a
개발비료 N 13kg	35.5	76.3	83.6 ^a	17.6	23.6	20.3 ^a

표 6. 비료 사용량에 따른 벼 도복피해

처리	도복지수(1-9) ¹		
	2019년	2020년	2021년
무시비	1	1	1
표준시비(대조)	3	7	1
개발비료 N 7kg	1	3	1
개발비료 N 9kg	3	7	1
개발비료 N 11kg	7	7	1
개발비료 N 13kg	9	9	1

¹ 도복: 1: 이삭 경사 15%이하(무도복), 3: 16~30%, 5: 31~45%, 7: 일부 지면 닿음, 9: 완전히 깔림

라. 벼 이앙 후 시기별 건물중 변화

벼 이앙 후 일수에 따른 식물체 건물중의 변화는 표 7과 같다. 개발비료 처리수준간에는 이앙 후 30일부터 130일까지의 건물중은 개발비료의 시비량이 많아질수록 증가하는 경향이였다. 다만 시비량이 제일 많았던 개발비료 N 13kg/10a 처리의 경우 이앙 130일 후 건물중이 증가하지 않은 것으로 나타났는데 이는 전술한 바와 같이 도복 등에 의한 건물중 소실 등이 원인으로 생각되며 이에 대한 면밀한 검토가 필요할 것으로 생각된다. 또한 표준시비와 비교해보면 이앙 후 60일까지는 개발비료 N 13kg/10a 처리까지 계속 증가하였던 반면 이앙 후 수확기인 130일의 벧짚과 정조 건물중 모두 N 9kg/10a 처리까지는 비슷하고 N 11kg/10a 이상 처리부터는 더 많았다. 따라서 개발비료 사용에 따른 건물 생산량은 시비량이 증가할수록 많아지는 것을 알 수 있으며, 개발비료 N 7~9kg/10a 범위에서 표준시비와 대등한 건물 생산량을 나타낼 것으로 판단된다.

표 7. 식물체의 건물중 변화 (단위 : kg/10a)

처리	이앙후 30일	이앙후 60일	이앙후 130일		
			벧짚	정조	합계
무시비	27 ^d	305 ^e	489 ^c	553 ^c	1,042 ^d
표준시비(대조)	57 ^{bc}	496 ^{cd}	662 ^b	674 ^{ab}	1,337 ^{bc}
개발비료 N 7kg	55 ^c	466 ^d	664 ^b	644 ^b	1,308 ^c
개발비료 N 9kg	61 ^{bc}	530 ^{bc}	696 ^{ab}	670 ^{ab}	1,366 ^{abc}
개발비료 N 11kg	66 ^{ab}	555 ^{ab}	740 ^a	686 ^a	1,425 ^a
개발비료 N 13kg	71 ^a	592 ^a	719 ^a	665 ^{ab}	1,384 ^{ab}

<2019>



개발비료 N 11kg/10a (도복 7)



개발비료 N 13kg/10a (도복 9)

<2020>



개발비료 N 7kg/10a (도복 3)



개발비료 N 9kg/10a (도복 7)



개발비료 N 11kg/10a (도복 7)



개발비료 N 13kg/10a (도복 9)

그림 1. 개발비료 시용에 따른 도복피해 발생정도

마. 벼 이앙 후 시기별 무기성분 함량 변화

벼 이앙 후 일수에 따른 식물체 무기성분 함량의 변화는 표 8과 같다. 개발비료 처리간에 이앙 후 30일부터 130일까지 전 생육기간 동안 T-N, P₂O₅, K₂O 모두 개발비료의 시비량이 증가할수록 높아지는 경향이였다. 표준시비와 비교 시 이앙 후 130일경 벼짚의 T-N 함량이 다소 낮았던 것을 제외하고는, 표준시비에 비해 비료성분 함량이 많거나 적지 않았던 처리는 개발비료 N 9kg/10a로 나타났다. 따라서 개발비료를 10a당 질소 9kg 내외 이상 처리 시 식물체의 주요 비료성분 함량이 낮지 않을 것으로 판단된다.

표 8. 식물체의 무기성분 함량 변화

(단위 : %)

구분	처리	이앙후 30일	이앙후 60일	이앙후 130일	
				벼짚	정조
T-N	무시비	1.85 ^b	0.88 ^d	0.56 ^d	0.83 ^d
	표준시비(대조)	2.15 ^a	0.99 ^c	0.65 ^b	0.90 ^b
	개발비료 N 7kg	2.26 ^a	0.99 ^c	0.60 ^c	0.86 ^c
	개발비료 N 9kg	2.33 ^a	1.04 ^{bc}	0.65 ^c	0.89 ^b
	개발비료 N 11kg	2.37 ^a	1.09 ^{ab}	0.67 ^{ab}	0.93 ^a
	개발비료 N 13kg	2.37 ^a	1.13 ^a	0.71 ^a	0.95 ^a
P ₂ O ₅	무시비	0.77	0.68	0.23	0.60
	표준시비(대조)	0.81	0.70	0.26	0.68
	개발비료 N 7kg	0.85	0.72	0.24	0.63
	개발비료 N 9kg	0.86	0.72	0.25	0.67
	개발비료 N 11kg	0.86	0.73	0.26	0.69
	개발비료 N 13kg	0.86	0.73	0.27	0.69
K ₂ O	무시비	2.88	2.48	2.06	0.31
	표준시비(대조)	3.09	2.63	2.20	0.34
	개발비료 N 7kg	3.15	2.69	2.14	0.33
	개발비료 N 9kg	3.19	2.74	2.17	0.33
	개발비료 N 11kg	3.20	2.80	2.21	0.35
	개발비료 N 13kg	3.23	2.88	2.23	0.35

바. 벼 이앙 후 시기별 식물체 무기성분 흡수량 변화

개발비료 처리간에 벼짚의 P₂O₅, K₂O 흡수량이 N 11kg/10a보다 적었던 N 13kg/10a를 제외하고는 이앙 후 30일부터 130일까지 전 생육기간 동안 T-N, P₂O₅, K₂O 모두 개발비료의 시비량이 증가할수록 높아지는 경향이였다(표 9). 표준시비와 비교할 경우 모든 조사일에서 표준시비에 비해 비료성분 흡수량이 많거나 적지 않았던 처리는 개발비료 N 9kg/10a로 나타났다. 따라서 개발비료를 10a 당 질소 9kg 내외 이상 처리 시 식물체의 주요 비료성분 흡수량이 적지 않을 것으로 판단된다.

표 9. 식물체의 무기성분 흡수량 변화

(단위 : kg/10a)

구분	처리	이앙후 30일	이앙후 60일	이앙후 130일		
				벼짚	정조	합계
T-N	무시비	0.51 ^d	2.68 ^d	3.19 ^d	4.17 ^d	7.36 ^d
	표준시비(대조)	1.24 ^c	4.93 ^c	4.67 ^b	5.70 ^{ab}	10.37 ^b
	개발비료 N 7kg	1.23 ^c	4.64 ^c	4.25 ^c	5.26 ^c	9.51 ^c
	개발비료 N 9kg	1.41 ^b	5.56 ^b	4.85 ^b	5.62 ^{bc}	10.47 ^b
	개발비료 N 11kg	1.55 ^{ab}	6.06 ^b	5.37 ^a	5.95 ^{ab}	11.32 ^a
	개발비료 N 13kg	1.69 ^a	6.68 ^a	5.35 ^a	6.07 ^a	11.42 ^a
P ₂ O ₅	무시비	0.21	2.06	1.10	3.34	4.44
	표준시비(대조)	0.47	3.50	1.72	4.61	6.32
	개발비료 N 7kg	0.46	3.36	1.58	4.07	5.65
	개발비료 N 9kg	0.52	3.81	1.78	4.50	6.28
	개발비료 N 11kg	0.56	4.03	1.94	4.74	6.68
	개발비료 N 13kg	0.61	4.32	1.94	4.61	6.55
K ₂ O	무시비	0.76	7.55	10.05	1.72	11.77
	표준시비(대조)	1.78	13.02	14.54	2.32	16.86
	개발비료 N 7kg	1.72	12.55	14.18	2.11	16.29
	개발비료 N 9kg	1.93	14.51	15.09	2.24	17.33
	개발비료 N 11kg	2.08	15.49	16.37	2.37	18.75
	개발비료 N 13kg	2.29	16.99	16.01	2.35	18.37

사. 벼 이앙 후 시기별 질소이용률 변화

벼 이앙 후 일수에 따른 질소이용률을 조사한 결과 표 10과 같다. 표준시비의 질소이용률은 이앙 후 60일까지 증가하다가 이앙 후 130일에는 다소 낮아졌던 반면 개발비료는 모든 처리에서 이앙 후 생육일수가 증가함에 따라 질소이용률도 증가하는 경향이었는데, 이는 생육후기에도 지속적으로 비료가 용출되는 완효성 비료의 특징으로서 생육이 진전될수록 건물 성장량이 많아져 흡수량이 증가하기 때문인 것으로 생각된다. 또한 개발비료간에는 이앙 후 60일까지는 대체적으로 시비량이 증가할수록 낮아지고 이앙 후 30일보다는 60일에서 차이가 줄어들다가 수확기인 이앙 후 130일에는 차이가 다소 발생한 것으로 나타나 질소이용률 평가는 이앙 후 130일에 처리 간 차이를 조사하는 것이 더욱 효과적일 것으로 판단되며, 이앙 후 130일의 질소이용률을 검토한 결과 개발비료 시용량 간에 차이가 없는 것으로 나타났다. 표준시비와 비교 시에도 이앙 후 30일에 개발비료 N 13kg/10a 처리에서 질소이용률이 다소 낮았던 것을 제외하고는 모든 처리에서 낮지 않아 재배상 큰 문제가 없을 것으로 판단된다.

표 10. 이앙 후 일수에 따른 질소이용률 (단위 : %)

처리	이앙후 30일	이앙후 60일	이앙후 130일
표준시비(대조)	11.6 ^a	35.7 ^a	33.4 ^a
개발비료 N 7kg	10.4 ^{ab}	28.0 ^b	30.7 ^a
개발비료 N 9kg	10.1 ^{ab}	32.0 ^{ab}	34.6 ^a
개발비료 N 11kg	9.5 ^{ab}	30.8 ^{ab}	36.0 ^a
개발비료 N 13kg	9.1 ^b	30.7 ^{ab}	31.2 ^a

아. 수량구성요소 및 쌀 수량

개발비료 시용에 따른 수량구성요소와 쌀 수량을 조사한 결과는 표 11과 같다. 수량구성요소의 경우 개발비료 시비량에 관계없이 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 다만 주당수수만 시비량이 증가함에 따라 17.2개에 비하여 20.3으로 다소 증가하였다. 표준시비와 비교 시 모든 개발비료 처리량에서 수당립수는 적었지만 등숙비율은 높았으며 주당수수, 정현비율은 대차 없었다. 이에 따라 백미수량은 표준시비보다 낮았던 개발비료 N 7kg/10a 처리를 제외한 N 9kg/10a 처리수준 이상에서는 차이가 없는 것으로 나타났다. 따라서 쌀 수량면에서도 표준시비와 유사한 수량성을 나타낸 개발비료 수준은 N 9kg /10a 내외로 판단된다.

표 11. 수량구성요소 및 쌀 수량

처리	주당 수수 (개)	수당 립수 (개)	등숙 비율 (%)	현미 천립중 (g)	정현 비율 (%)	수량(kg/10a)		
						정조	현미	백미
무시비	14.1 ^c	81.9 ^c	91.3 ^a	22.9 ^a	82.9 ^a	608	504	455 ^d
표준시비(대조)	18.7 ^{ab}	98.6 ^a	84.2 ^c	22.6 ^{ab}	82.9 ^a	741	614	555 ^{ab}
개발비료 N 7kg	17.2 ^b	90.2 ^b	88.6 ^b	22.4 ^{abc}	83.2 ^a	698	581	525 ^c
개발비료 N 9kg	18.4 ^{ab}	90.7 ^b	88.8 ^b	21.9 ^c	82.9 ^a	737	611	553 ^b
개발비료 N 11kg	20.2 ^a	87.7 ^{bc}	88.6 ^b	22.1 ^{bc}	82.7 ^a	770	637	576 ^a
개발비료 N 13kg	20.3 ^a	86.4 ^{bc}	89.7 ^{ab}	22.1 ^{bc}	82.7 ^a	747	618	558 ^{ab}

자. 쌀 품위 및 완전미 수량

개발비료 시용에 따른 쌀 품위와 완전미 수량을 조사한 결과는 표 12와 같다. 표준시비와 개발비료 모두 쓰래기, 분상질 및 피해립이 차이가 없어 완전미율도 87.4~89.5%로 큰 차이가 없었으며, 열손립은 발생하지 않았다. 완전미 수량은 개발비료 N 7 kg/10a는 470kg/10a, N 11kg/10a는 503kg/10a로 개발비료 시비량이 증가할수록 대체로 증가하는 경향이었는데, 이는 완전미율 차이보다는 표 11에서 보는 바와 같이 백미 수량의 차이에서 비롯된 결과로 보인다. 따라서 쌀 품위와 완전미 수량 측면에서도 개발비료 시용 시 참드림 재배 상시 큰 문제가 없을 것으로 판단된다.

표 12. 쌀 품위 및 완전미 수량

처리	쌀 품위(%, Kett)					완전미 수량 (kg/10a)
	완전미	쓰래기	분상질	피해립	열손립	
무시비	90.2 ^a	6.0 ^a	3.8 ^b	0.1	0.0	410 ^c
표준시비(대조)	89.2 ^a	4.8 ^a	5.9 ^{ab}	0.1	0.0	495 ^{ab}
개발비료 N 7kg	89.5 ^a	5.5 ^a	4.8 ^{ab}	0.2	0.0	470 ^b
개발비료 N 9kg	88.5 ^a	5.1 ^a	6.2 ^{ab}	0.2	0.0	489 ^{ab}
개발비료 N 11kg	87.4 ^a	5.3 ^a	7.1 ^a	0.1	0.0	503 ^a
개발비료 N 13kg	87.9 ^a	5.5 ^a	6.4 ^a	0.2	0.0	491 ^{ab}

차. 아밀로스 및 단백질 함량, 토요 윤기치

개발비료 시용에 따른 아밀로스 함량, 단백질 함량 및 토요 윤기치를 조사한 결과는 표 13과 같다. 취반 후 밥의 식감과 부의 상관관계를 가지고 있는 단백질 함량은 아밀로스 함량과 같이 모든 개발비료 처리에서 표준시비와 유의적인 차이가 없었고, 「쌀의 등급 및 단백질 함량 기준(농림축산식품부고시 제2020-33호)」상 '수' 기준인 6.0% 이하로 나타났다. 밥 표면의 보수막과 윤기의 정도를 조사하여 밥맛을 예측할 수 있는 지표인 토요 윤기치는 시비량과 관계없이 비슷한 수준으로 나타났으며 모든 개발비료 처리에서 표준시비와 유의적인 차이가 없었다.

표 13. 아밀로스 및 단백질 함량, 토요 윤기치

처리	아밀로스 함량(%)	단백질 함량(%)	윤기치(Toyo)
무시비	19.4 ^a	5.1 ^b	84.6 ^a
표준시비(대조)	19.2 ^a	5.5 ^{ab}	79.9 ^b
개발비료 N 7kg	19.3 ^a	5.2 ^{ab}	81.9 ^{ab}
개발비료 N 9kg	19.2 ^a	5.6 ^{ab}	80.4 ^b
개발비료 N 11kg	19.3 ^a	5.7 ^{ab}	80.2 ^b
개발비료 N 13kg	19.1 ^a	5.8 ^a	81.0 ^{ab}

카. 「참드림」 품종의 개발비료의 적정 시용량

따라서 이상의 결과를 종합해보면 개발비료는 질소 기준 9kg 내외 이상 시용 시 도복 발생이 우려되는 것을 제외하면 생육, 품질 및 수량성 측면에서 표준시비와 큰 차이가 없어 참드림 재배에 적합한 것으로 판단된다. 따라서 고품질 쌀 생산을 위해 품질을 향상시킬 수 있는 방향으로 적정 시용량을 구명하는 것이 합리적일 것으로 생각된다. 따라서 「쌀 등급 및 단백질 함량 기준(농림축산식품부고시 제2020-33호)」상 '수'에 해당하는 단백질 함량 6.0%에서 안정적인 고품질 쌀 생산을 위해 연차변이를 고려해서 5% 낮춘 단백질 함량 5.7%를 나타내는 개발비료 시용량을 적정 시용량으로 선정하고자 하였으며, 벼 중요기계이앙 재배 시 개발비료 시비량과 단백질 함량 및 쌀 수량 간의 관계를 나타낸 것은 그림 2와 같다.

개발비료 시비량과 단백질 함량 간의 2차 회귀식에 단백질 함량 5.7%를 대입한 결과 개발비료의 적정 질소시비량은 8.15kg/10a였으며 이는 개발비료 실비량으로 환산 시 45.3kg/10a에 해당한다. 그리고 산출된 적정 질소시비량 8.15kg/10a를 개발비료 시비량과 쌀 수량 간의 2차 회귀식에 대입해보면 쌀 수량은 544kg/10a으로 나타나 표준시비 쌀 수량과 차이가 없으므로 생각된다. 따라서 참드림 품종의 안전 재배, 적정 쌀 생산, 안정적 고품질 쌀 생산 및 농가의 시비 편리성 등을 종합적으로 고려해보면 개발비료는 10a 당 45kg 사용이 적절할 것으로 판단되며, 향후 농가 현장실증을 통해 면밀한 검토가 필요할 것으로 생각된다.

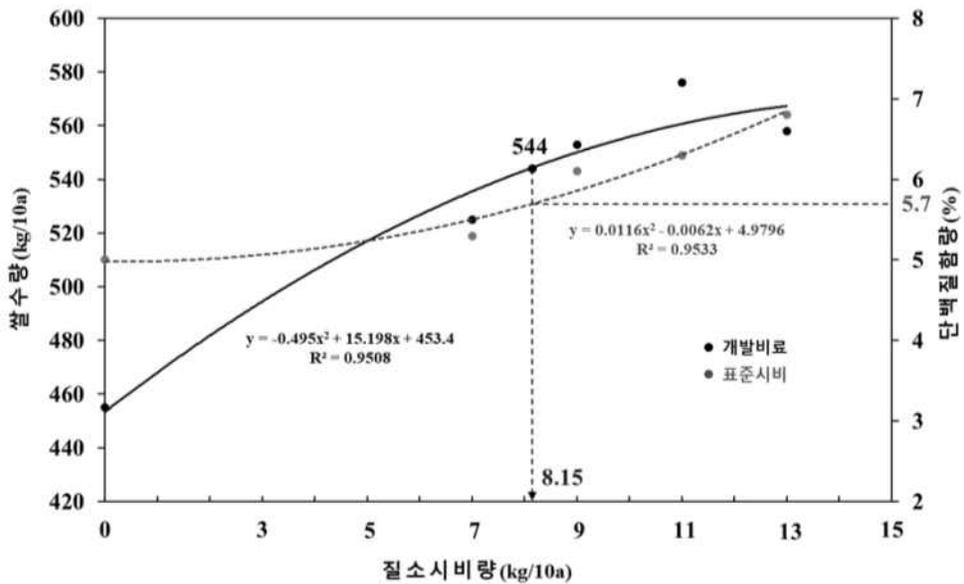


그림 2. 쌀 수량과 개발비료 사용량과의 관계

<시험 2> 「꿈마지」 품종의 개발비료 시비반응 구명(2021)

가. 벼 이앙 후 시기별 생육상황 변화

2021년에 개발된 중만생 벼 신품종 「꿈마지」를 대상으로 개발비료 1회 시용으로 안전 재배와 안정적인 고품질 쌀 생산이 가능한지 검토하고자 하였다. 벼 이앙 후 일수에 따른 생육상황의 변화를 살펴보면 개발비료의 시비량이 증가할수록 초장과 간장은 길어지고 경수는 많아지는 경향이였다(표 14). 수수는 참드림과 같이 모든 개발비료 처리에서 표준시비와 유의적인 차이가 없었으며, 모든 처리에서 도복은 발생하지 않았다.

표 14. 비료 시용량에 따른 벼 생장의 경시적 변화

처리	초장(cm)		간장(cm)	경수(개/주)		수수(개/주)	도복 지수 (1-9) ¹
	이앙후 30일	60일	130일	30일	60일	130일	
무시비	29.3	67.4	57.8 ^c	7.8	12.2	9.6 ^b	1
표준시비(대조)	32.1	76.0	71.8 ^a	12.9	16.3	13.6 ^a	1
개발비료 N 7kg	31.8	75.4	67.9 ^b	12.6	16.1	13.6 ^a	1
개발비료 N 9kg	33.2	77.6	69.8 ^{ab}	13.4	17.1	14.6 ^a	1
개발비료 N 11kg	34.2	80.2	71.5 ^a	14.0	18.0	15.0 ^a	1
개발비료 N 13kg	35.9	81.4	72.4 ^a	14.9	18.9	14.5 ^a	1

¹ 도복: 1: 이삭 경사 15%이하(무도복), 3: 16~30%, 5: 31~45%, 7: 일부 지면 닿음, 9: 완전히 깔림

나. 벼 이앙 후 시기별 건물중 변화

벼 이앙 후 일수에 따른 식물체 건물중의 변화는 표 15와 같다. 이앙 후 30일부터 130일까지의 건물중은 벼 생육과 같이 개발비료의 시비량이 많아질수록 증가하였다. 표준시비에 비하면 이앙 후 30일의 건물중은 개발비료 N 7kg/10a 이상부터, 이앙 후 60일은 개발비료 N 9kg/10a 이상, 이앙후 130일에서는 벳짚은 N 7kg/10a 내외 이상 시비에서 적지 않은 것으로 나타났다. 따라서 모든 시기에서 표준시비와 건물중이 대등한 개발비료 처리량은 N 9kg/10a 내외로 판단된다.

다. 벼 이앙 후 시기별 무기성분 함량 변화

벼 이앙 후 일수에 따른 식물체 무기성분 함량의 변화는 표 16과 같다. 모든 개발비료 처리에서 차이가 없었던 이앙 후 30일의 T-N 함량을 제외하고는, 이앙 후 30일부터 130일까지의 전 생육기간 동안 T-N, P₂O₅, K₂O 함량 모두 개발비료의 시비량이 증가할수록 높아지는 경향이였다. 표준시비와 비교 시 표준시비 함량보다 증가하는 개발비료 처리수준은 T-N, P₂O₅, K₂O 함량 모두 N 9kg/10a 내외로 나타났다.

표 15. 식물체의 건물중 변화

(단위 : kg/10a)

처리내용	이양후 30일	이양후 60일	이양후 130일		
			벼짚	정조	합계
무시비	32 ^e	303 ^e	578 ^d	601 ^c	1,179 ^c
표준시비(대조)	69 ^d	506 ^c	708 ^c	755 ^{ab}	1,463 ^b
개발비료 N 7kg	67 ^d	480 ^d	725 ^{bc}	719 ^b	1,444 ^b
개발비료 N 9kg	73 ^c	519 ^c	777 ^{abc}	754 ^{ab}	1,531 ^{ab}
개발비료 N 11kg	77 ^b	536 ^b	831 ^a	798 ^a	1,629 ^a
개발비료 N 13kg	80 ^a	563 ^a	795 ^{ab}	793 ^a	1,588 ^a

표 16. 식물체의 무기성분 함량 변화

(단위 : %)

구분	처리내용	이양후 30일	이양후 60일	이양 후 130일	
				벼짚	정조
T-N	무시비	1.74 ^b	0.93 ^e	0.36 ^e	0.89 ^c
	표준시비(대조)	2.27 ^a	1.03 ^{cd}	0.54 ^b	0.95 ^b
	개발비료 N 7kg	2.21 ^a	0.96 ^{de}	0.42 ^d	0.94 ^{bc}
	개발비료 N 9kg	2.29 ^a	1.03 ^{bc}	0.49 ^c	0.95 ^{bc}
	개발비료 N 11kg	2.31 ^a	1.10 ^{ab}	0.55 ^b	0.97 ^b
	개발비료 N 13kg	2.40 ^a	1.14 ^a	0.59 ^a	1.03 ^a
P ₂ O ₅	무시비	0.76	0.72	0.25	0.61
	표준시비(대조)	0.84	0.80	0.23	0.69
	개발비료 N 7kg	0.81	0.74	0.24	0.65
	개발비료 N 9kg	0.84	0.80	0.26	0.70
	개발비료 N 11kg	0.85	0.81	0.27	0.71
	개발비료 N 13kg	0.85	0.82	0.28	0.72
K ₂ O	무시비	2.98	2.86	2.19	0.31
	표준시비(대조)	3.32	3.19	2.09	0.35
	개발비료 N 7kg	3.33	3.11	2.17	0.33
	개발비료 N 9kg	3.35	3.21	2.20	0.36
	개발비료 N 11kg	3.41	3.27	2.22	0.37
	개발비료 N 13kg	3.53	3.30	2.24	0.39

라. 벼 이앙 후 시기별 식물체 무기성분 흡수량 변화

벼 이앙 후 일수에 따른 식물체 무기성분 함량의 변화는 표 17과 같다. 이앙 후 30일부터 130일까지의 T-N, P₂O₅, K₂O 흡수량은 개발비료의 시비량이 증가할수록 높아지는 경향이였다. 표준시비보다 낮지 않은 개발비료 처리수준은 T-N, P₂O₅, K₂O 흡수량 모두 개발비료 N 9kg/10a 내외 이상으로 나타났다.

표 17. 식물체의 무기성분 흡수량 변화 (단위 : kg/10a)

구분	처리내용	이앙후 30일	이앙후 60일	이앙후 130일		
				정조	벼짚	합계
T-N	무시비	0.56 ^e	2.82 ^e	5.38 ^d	2.10 ^d	7.48 ^d
	표준시비(대조)	1.58 ^{cd}	5.19 ^c	7.20 ^{bc}	3.80 ^b	11.00 ^b
	개발비료 N 7kg	1.49 ^d	4.63 ^d	6.79 ^c	3.07 ^c	9.86 ^c
	개발비료 N 9kg	1.67 ^{bc}	5.36 ^c	7.16 ^{bc}	3.81 ^b	10.97 ^b
	개발비료 N 11kg	1.77 ^b	5.88 ^b	7.77 ^{ab}	4.54 ^a	12.31 ^a
	개발비료 N 13kg	1.92 ^a	6.40 ^a	8.19 ^a	4.72 ^a	12.91 ^a
P ₂ O ₅	무시비	0.24	2.20	3.69	1.31	5.00
	표준시비(대조)	0.58	4.05	5.24	1.77	7.01
	개발비료 N 7kg	0.54	3.57	4.67	1.74	6.41
	개발비료 N 9kg	0.61	4.13	5.26	2.03	7.29
	개발비료 N 11kg	0.65	4.34	5.67	2.21	7.88
	개발비료 N 13kg	0.68	4.62	5.69	2.20	7.89
K ₂ O	무시비	0.96	8.68	1.88	12.08	13.96
	표준시비(대조)	2.30	16.11	2.67	15.52	18.19
	개발비료 N 7kg	2.24	14.92	2.35	15.73	18.08
	개발비료 N 9kg	2.45	16.65	2.69	17.07	19.76
	개발비료 N 11kg	2.62	17.50	2.99	18.44	21.43
	개발비료 N 13kg	2.82	18.56	3.07	17.80	20.87

마. 벼 이앙 후 시기별 질소이용률 변화

벼 이앙 후 일수에 따른 질소이용률은 표 18과 같다. 표준시비는 이앙 후 60일까지 증가하다가 이앙 후 130일에 다시 다소 낮아진 반면 개발비료는 모든 처리에서 이앙 후 생육일수가 증가함에 따라 질소이용률도 증가하였는데 이는 전술한 바와 같이 생육후기에도 지속적으로 비료가 용출되는 완효성 비료의 특징으로서 생육이 진전될수록 건물 생장량이 많아져 흡수량이 증가하기 때문인 것으로 생각된다. 또한 개발비료간에는 이앙 후 30일은 대체적으로 시비량이 증가할수록 낮아졌으나 이앙 후 30일보다는 60일에서 차이가 줄어들다가 수확기인 이앙 후 130일에는 오히려 증가할 뿐만 아니라 차이가 더 커진 것으로 나타났다. 따라서 꿈마지도 마찬가지로 질소이용률 평가는 이앙 후 130일에 처리간 차이를 조사하는 것이 더욱 효과적일 것으로 판단되며, 이앙 후 130일의 질소이용률을 검토한 결과 개발비료 시용량이 증가할수록 질소이용률이 증가하는 경향이었고 표준시비와 비교 시에도 모든 처리에서 차이가 없어 꿈마지 재배상 개발비료 사용은 큰 문제가 없을 것으로 생각된다.

표 18. 이앙 후 일수에 따른 질소이용률 (단위 : %)

처리내용	이앙후 30일	이앙후 60일	이앙후 130일
표준시비(대조)	19.6 ^a	40.7 ^a	38.9 ^{ab}
개발비료 N 7kg	16.4 ^b	28.5 ^b	33.7 ^b
개발비료 N 9kg	12.4 ^c	28.2 ^b	38.7 ^{ab}
개발비료 N 11kg	11.0 ^{cd}	27.8 ^b	43.9 ^a
개발비료 N 13kg	10.5 ^d	27.5 ^b	41.7 ^{ab}

바. 수량구성요소 및 쌀 수량

개발비료 시용에 따른 수량구성요소와 쌀 수량을 조사한 결과는 표 19와 같다. 수량구성요소의 경우 개발비료 시비량과 관계없이 큰 차이는 없는 것으로 나타났다. 다만 각각의 형질 중 평균간 변이는 주당수수에서 가장 크게 나타났는데, 변이가 다소 크진 않지만 비료반응이 없지는 않은 것으로 보인다. 이를 집적한 백미수량은 개발비료 시용량이 증가할수록 증가하는 경향이었으며 표준시비와 차이는 없었다. 이로 보아 수량성면에서도 표준시비와 유사한 수량성을 나타낸 개발비료 수준은 N 9kg/10a 내외, 증수된 개발비료 수준은 N 11kg/10a 이상의 수준으로 판단된다.

표 19. 수량구성요소 및 쌀 수량

처리내용	주당 수수 (개)	수당 립수 (개)	등숙 비율 (%)	현미 천립중 (g)	정현 비율 (%)	수량(kg/10a)		
						정조	현미	백미
무시비	9.6 ^b	111.7 ^a	92.9 ^a	22.6 ^b	83.0 ^b	601	498	451 ^c
표준시비(대조)	13.6 ^a	123.2 ^a	91.6 ^a	23.3 ^a	84.3 ^a	755	637	577 ^{ab}
개발비료 N 7kg	13.6 ^a	118.2 ^a	93.4 ^a	23.5 ^a	84.1 ^a	719	605	547 ^b
개발비료 N 9kg	14.6 ^a	111.8 ^a	93.8 ^a	23.7 ^a	84.2 ^a	754	635	574 ^{ab}
개발비료 N 11kg	15.0 ^a	116.1 ^a	92.8 ^a	23.7 ^a	84.4 ^a	798	674	610 ^a
개발비료 N 13kg	14.5 ^a	116.1 ^a	92.6 ^a	23.4 ^a	84.3 ^a	793	668	605 ^a

사. 쌀 품위 및 완전미 수량

개발비료 시용에 따른 쌀 품위와 완전미 수량을 조사한 결과는 표 20과 같다. 개발비료 시비량이 증가함에 따라 분상질율은 차이가 없었으나 쓰래기율이 높아져 완전미율은 다소 낮아졌으며, 전술한 바와 같이 10a당 백미 수량성이 증가하였던 결과로 완전미수량은 증가하는 경향이였다. 쌀 품위는 분상질률은 크게 차이가 없었으나 쓰래기율은 개발비료 N 9kg/10a 내외에서 표준시비에 비하여 낮아지는 것으로 조사되었다. 따라서 완전미 수량은 모든 개발비료처리에서 유사하거나 높게 나타나 꿈마지 재배상 큰 문제가 없는 것으로 나타났다.

표 20. 쌀 품위 및 완전미 수량

처리내용	쌀 품위(% , Kett)					완전미 수량 (kg/10a)
	완전미	쓰래기	분상질	피해립	열손립	
무시비	84.6 ^{ab}	14.7 ^{bc}	0.6 ^{ab}	0.0	0.0	382 ^c
표준시비(대조)	81.8 ^d	17.0 ^a	1.1 ^a	0.0	0.0	471 ^{ab}
개발비료 N 7kg	85.6 ^a	13.9 ^c	0.5 ^b	0.0	0.0	468 ^b
개발비료 N 9kg	84.6 ^{ab}	14.6 ^{bc}	0.7 ^{ab}	0.0	0.0	486 ^{ab}
개발비료 N 11kg	83.5 ^{bc}	15.8 ^{ab}	0.7 ^{ab}	0.0	0.0	509 ^a
개발비료 N 13kg	82.3 ^{cd}	16.9 ^a	0.8 ^{ab}	0.0	0.0	497 ^{ab}

아. 아밀로스 및 단백질 함량, 토요 윤기치

개발비료 시용에 따른 아밀로스 함량, 단백질 함량 및 토요 윤기치를 조사한 결과는 표 20과 같다. 밥의 식감과 부의 상관관계를 가지고 있는 단백질 함량은 개발비료의 시용량이 증가함에 따라 증가하는 것으로 조사되었다. 표준시비의 단백질 함량보다 높았던 개발비료 수준은 N 13kg/10a 내외였다. 또한 개발비료 처리 모두 참드림과 같이 「쌀의 등급 및 단백질 함량 기준(농림축산식품부고시 제2020-33호)」 상 '수' 기준인 6.0% 이하로 나타났다. 밥 표면의 보수막과 윤기의 정도를 조사하여 밥맛을 예측할 수 있는 지표인 토요 윤기치는 개발비료의 시용량이 증가할수록 점차 낮아지는 경향이었으나 모든 개발비료 처리구에서 표준시비와 유의적인 차이가 없었다.

이상의 결과를 종합해보면 꿈마지 품종에 대한 개발비료의 시비반응은 전반적으로 참드림 품종과 비슷한 양상을 나타내고 있다. 꿈마지 품종은 개발비료 시용수준에 관계없이 쌀 수량, 완전미 수량, 단백질 함량 및 윤기치는 표준시비와 대등한 수준이었고, 특히 질소 기준 7kg/10a 시용 시 완전미율은 높고 분상질률 및 싸래기율은 낮게 나타났다. 따라서 꿈마지 품종은 개발비료 1회 시비로 안정적인 벼 재배와 고품질 쌀 생산이 가능할 것으로 판단된다. 그러나 본 연구는 1년간의 실험결과로 향후 연차변이를 면밀히 검토하여 적정 시용량 구명하고, 향후 농가 현장실증을 통해 면밀히 검토할 필요가 있다.

표 20. 아밀로스 및 단백질 함량, 토요 윤기치

처리내용	아밀로스 함량(%)	단백질 함량(%)	윤기치(Toyo)
무시비	19.6 ^a	5.2 ^d	82.3 ^a
표준시비(대조)	19.9 ^a	5.4 ^c	81.5 ^{abc}
개발비료 N 7kg	19.8 ^a	5.5 ^{bc}	82.5 ^a
개발비료 N 9kg	19.9 ^a	5.5 ^{bc}	81.9 ^{ab}
개발비료 N 11kg	19.8 ^a	5.6 ^b	80.0 ^{bc}
개발비료 N 13kg	19.8 ^a	5.7 ^a	79.5 ^c

4. 적 요

본 연구는 경기도농업기술원과 (주)누보가 공동으로 개발한 블랙카본을 이용한 1회 시비형 완효성 비료의 적정 시용량과 그 시비효과를 구명하고자 수행하였으며 그 결과는 다음과 같다.

<시험 1> 「참드림」 품종의 개발비료 적정 시용량 구명(2019~2021)

- 가. 개발비료의 T-N, K₂O 용출률은 대조인 표준시비와 비슷한 수준이었으나 P₂O₅용출률은 2배 이상 높았다.
- 나. 개발비료를 3년간 연용한 후 토양의 이화학성을 조사한 결과 치환성 칼륨과 칼슘을 제외한 토양의 산도, 유기물, 유효인산, 치환성 칼륨, 칼슘, 마그네슘 모두 대체로 적정범위 수준을 나타내었다.
- 다. 수수는 개발비료 모든 처리구에서 대조구와 차이가 없었으며, 2019년은 개발비료 N 11~13kg/10a 처리구에서, 2020년은 개발비료 N 9~13kg/10a 처리구에서 도복이 발생하였다.
- 라. 벧짚 건물중은 개발비료 N 7~9kg/10a 처리구에서 대조구와 대등한 수준이었으며, 정조 건물중은 개발비료 N 11kg/10a 처리구를 제외한 모든 처리구에서 대조구와 유의적인 차이가 없었다.
- 마. 벧짚 T-N 함량은 개발비료 N 7~9kg/10a 처리구는 대조구보다 낮았던 반면 개발비료 N 11~13kg/10a 처리구는 대조구와 대등하거나 높았으며, 정조 T-N 함량은 개발비료 N 9kg/10a 처리구에서 대조구와 대등하였다.
- 바. 벧짚 T-N 흡수량은 개발비료 N 9kg/10a, 정조 T-N 흡수량은 개발비료 N 9~13kg/10a 처리구에서 대조구와 대등한 수준이었다.
- 사. 질소이용률은 이앙 후 30일과 60일의 경우 개발비료 N 9~11kg/10a 처리구에서 대조인 표준시비 처리구와 대등한 수준이었으나 이앙 후 130일에는 모든 개발비료 처리구에서 대조구와 차이가 없었다.
- 아. 쌀 수량은 개발비료 N 7kg/10a 처리구를 제외한 모든 처리구에서 대조인 표준시비 처리구와 대등한 쌀 수량을 나타내었다.
- 자. 완전미율, 분상질률 및 싸래기율은 모든 개발비료 처리구에서 대조인 표준시비 처리구와 차이가 없었으며, 완전미 수량도 개발비료 모든 처리구에서 대조구와 대등한 수준이었다.
- 차. 단백질 함량과 윤기치 모두 모든 개발비료 처리구에서 대조인 표준시비 처리구와 대등한 수준이었다.
- 카. 참드림 품종의 안전 재배와 안정적인 고품질 쌀 생산을 고려하여 단백질 함량 기준상 '수'에 해당하는 단백질 함량 6.0%를 기준으로 연차 변이를 고려하여 5% 낮춘 단백질 함량 5.7%를 나타내는 개발비료 시용량을 적정 시용량으로 선정하고자 하였고 재배기간 중 생육과 쌀 수량, 쌀 품질, 농가의 시비 편리성 등을 종합적으로 고려해보면 10a당 45kg 시용이 적절할 것으로 생각된다.

<시험 2> 「꿈마지」 품종의 개발비료 시비반응 구명(2021)

- 가. 수수는 모든 개발비료 처리구에서 대조인 표준시비 처리구와 유의적인 차이가 없었으며, 개발비료 모든 처리구에서 도복은 발생하지 않았다.

- 나. 볏짚 건물중은 개발비료 N 7~9kg/10a 처리구에서 대조구와 대등한 수준이었으며, 정조 건물중은 모든 개발비료 처리구에서 대조구와 유의적인 차이가 없었다.
- 다. 볏짚 T-N 함량은 개발비료 N 7~9kg/10a 처리구는 대조구보다 낮았던 반면 개발비료 N 11~13kg/10a 처리구는 대조구와 차이가 없거나 높았으며, 정조 T-N 함량은 모든 개발비료 처리구에서 대조구와 대등한 수준이었다.
- 라. 볏짚 T-N 흡수량은 개발비료 N 9kg/10a, 정조 T-N 흡수량은 모든 개발비료 처리구에서 대조구와 대등한 수준이었다.
- 마. 질소이용률은 이앙 후 30일과 60일 모두 모든 개발비료 처리구에서 대조인 표준시비 처리구보다 질소이용률이 낮았던 반면 이앙 후 130일에는 모든 개발비료 처리구에서 대조구와 차이가 없었다.
- 바. 쌀 수량은 개발비료의 사용량이 증가할수록 높아졌으나 개발비료 N 13kg/10a 처리구에서 다소 낮아졌으며, 모든 개발비료 처리구에서 대조구와 대등한 쌀 수량을 나타내었다.
- 사. 완전미율은 모든 개발비료 처리구에서 대조인 표준시비 처리구보다 높았던 반면 분상 질률은 개발비료 N 7kg/10a 처리구를 제외하고 대조구와 차이가 없었으며, 완전미 수량은 모든 개발비료 처리구에서 대조구와 대등한 수준이었다.
- 아. 단백질 함량은 개발비료 N 7~9kg/10a 처리구에서 대조인 표준시비 처리구와 대등하였으며, 윤기치는 모든 개발비료 처리구에서 대조구와 차이가 없었다.
- 자. 꿈마지 품종에 대한 개발비료의 시비반응은 전반적으로 참드림 품종과 비슷한 양상을 나타내어 개발비료 1회 시비로 안정적인 벼 재배와 고품질 쌀 생산이 가능할 것으로 판단되었으며, 향후 연차변이를 검토하여 적정 사용량을 구명하고 농가 현장실증을 통한 추가 검토가 필요하다.

5. 인용문헌

- Jeffrey M. Novak et al. 2009. Characterization of designer biochar produced at different temperatures and their effects on a loamy sand. *Annals of Environmental Science*. Vol 3, 195-206
- Choi Y. S., Shin J. D., Lee S. I., and Kim S. C. 2015. Adsorption Characteristics of Aqueous Ammonium Using Rice hull-Derived Biochar. *Korean J Environ Agric*. 34(3):155-160
- Feng Xiao, Alemayehu H. Bedane, Julia Xiaojun Zhao, Michael D. Mann, and Joseph J. Pignatello. 2018. Thermal air oxidation changes surface and adsorptive properties of black carbon (char/biochar). *Science of the Total Environment*. 618:276-283
- 조광래. 2013. 1회 시비 벼 재배 완효성비료 개발. 경기도농업기술원 연구보고서 R136
- 김계훈, 사동민, 정종배, 최은영, 현해남. 2015. 토양학. 한국방송통신대학교출판문화원.
- 농촌진흥청. 2019. 비료 공정규격설정 및 지정.

- 농촌진흥청. 2019. 비료의 품질 검사방법 및 시료채취 기준.
 농촌진흥청. 2012. 농업과학기술 연구조사 분석기준.
 농촌진흥청. 2000. 토양 및 식물체 분석법.
 농촌진흥청 국립농업과학원. 2019. 작물별 비료사용처방(4차 개정본).

6. 연구결과 활용제목

- 블랙카본을 이용한 수도용 완효성 비료의 제조방법 및 이에 따라 제조된 수도용 완효성 비료(특허출원)
- 참드림 고품질 생산을 위한 1회 시비형 전용비료 추천 시용량(영농활용)

7. 연구원 편성

세 부 과 제	구 분	소 속	직 급	성 명	참여년도		
우리원 육성 벼 신품종 전용 1회 시비형 비료 개발	책임자	작물연구과	지방농업연구사	김영록	'19	'20	'21
	공동연구자	"	지방농업연구사	장은규	○	○	○
	"	"	지방농업연구관	최병열	○	○	○
	"	"	지방농업연구사	김상우	-	-	○
	"	"	지방공업서기보	정해찬	-	○	○
	"	"	농업연구관	조창휘	○	○	○
	"	기술보급과	지방농촌지도사	류경문	-	○	○
	"	(주)누보	부장	나홍식	○	○	○