

Article

<https://doi.org/10.7745/KJSSF.2020.53.4.519>

pISSN : 0367-6315 eISSN : 2288-2162

## Effect of Controlled-Release Coated Fertilizer on Yield and Nitrogen Use Efficiency in a Red Pepper Cultivated Field

Jong-Hyeong Lee<sup>1</sup>, Byoung-Roull Choi<sup>2</sup>, Gwang-Grae Cho<sup>3</sup>, Eun-Kyu Jang<sup>1</sup>, Young-Rok Kim<sup>1</sup>, Jung-Hyeun Ji<sup>1</sup>, Hong-Sik Na<sup>4</sup>, Sang-Eun Lee<sup>5</sup>, and Hyun-Hwoi Ku<sup>6\*</sup>

<sup>1</sup>Research Scientist, Gyeonggi-Do Agricultural Research & Extension Services, Hwaseong 18388, Korea

<sup>2</sup>Senior Researcher, Gyeonggi-Do Agricultural Research & Extension Services, Hwaseong 18388, Korea

<sup>3</sup>Researcher, Gyeonggi-Do Agricultural Research & Extension Services, Hwaseong 18388, Korea

<sup>4</sup>Head of R&D Center, Nousbo Co., Ltd, Suwon 16614, Korea

<sup>5</sup>Professor, Climate Change Research Center, Hankyong National University, Anseong 17579, Korea

<sup>6</sup>Research Professor, Climate Change Research Center, Hankyong National University, Anseong 17579, Korea

\*Corresponding author: [seanku@hknu.ac.kr](mailto:seanku@hknu.ac.kr)

### ABSTRACT

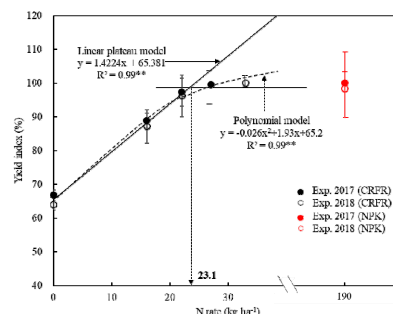
**Received:** October 21, 2020

**Revised:** November 10, 2020

**Accepted:** November 23, 2020

Improving the nitrogen use efficiency (NUE) of crops is a technology that improves crop productivity and prevent environmental pollution simultaneously. A way to improve NUE is to develop and use a controlled release fertilizer. We developed a controlled release fertilizer in terms of controlled-release coated fertilizer for rhizosphere application (CRFR) which is a mineral fertilizer applying just under the plant root zone. In order to test effect of the developed CRFR on crop yield and NUE, field experiments were conducted with six levels of N (N 0, N 190, CRFR-N 16, CRFR-N 22, CRFR-N 27, and CRFR-N 33 kg ha<sup>-1</sup>) at the experimental station of Gyeonggi-do Agricultural Research & Extension Services (GARES) for two years (2017 to 2018). The fruit yield and NUE of red pepper were obtained using agronomic measurements. To determine optimum N rate of CRFR we applied linear-plateau model. Results showed that the yield was not significantly different between the two levels of CRFRs (N 22 and 27) and N 190 in 2017. Similarly, the yield was not different between the three levels of CRFRs (N 22 and 27) and N 190 in 2018 although almost six times as much N rate was applied in the N 190. Meanwhile, NUEs in the CRFRs were ranged from 69.8 to 88.5% which were much higher than the N 190 treatment (14.8%). Since CRFRs showed no different yields as compared to N 190, we analyzed the optimum rate of CRFR using the linear plateau model and CRFR applied at 23.1 kg N ha<sup>-1</sup> was optimal for the yield. Our results suggest that CRFR was able to significantly increase crop productivity while reduce environmental pollution because of remarkably high NUE.

**Keywords:** Controlled-release coated fertilizer for rhizosphere, fruit yield, Nitrogen use efficiency, Linear-plateau model



Since CRFRs showed no different yields as compared to N 190 (recommended N dose from RDA), we analyzed the optimum rate of CRFR using the linear plateau model, and CRFR applied at 23.1 kg N ha<sup>-1</sup> was optimal for the yield.



## Introduction

작물의 수량을 결정하는 세 가지 인자는 품종과 환경 및 재배기술이다 (Chung and Lee, 2008). 이중 재배기술 분야에서 가장 직접적인 영향을 미치는 요인은 작물의 무기영양분 공급수단인 무기질비료의 개발과 이용이 가장 크다. 그러나 무기질비료는 작물생산성 향상에 필수적이지만 남용은 환경오염과 직결된다. 세계적으로 가장 많이 사용하고 있는 질소 비종인 요소는 작물수량 증진에 필수적이지만, 농경지에 시비하면 일반적으로 20 - 70%가 암모니아( $\text{NH}_3$ ) 휘산, 질산태 질소( $\text{NO}_3^-$ ) 용탈과 유거 및 아산화질소( $\text{N}_2\text{O}$ ) 휘발을 통해 환경으로 유출되는 것으로 보고되었으며, 이러한 현상은 환경오염을 야기시킬 뿐만 아니라 질소이용효율 감소에 따른 작물생산성 감소를 초래한다 (Anggoro, 2011; Zarei and Ghaffarian, 2013; Naz et al., 2014). 한편, Ku et al. (2017)와 Kang and Roh (2012)는 완효성인 유기질비료와 속효성인 질소비료(요소)를 혼용하면 질소이용효율을 증가시키므로써 작물 생산성을 유지하면서 환경오염을 저감할 수 있다고 하였다. 그러나 이 방법으로도 대부분 작물의 질소이용효율은 50%를 넘지 못하고 있다.

비료 사용에 대한 미래의 주요 연구과제는 작물의 양분 요구량에 잘 부합하는 양분관리기술 개발로 비료의 이용효율을 증가시키는 것이다 (Grant, 2005). 이러한 방법 중 하나가 완효성 비료의 사용이다. 완효성 비료는 작물의 생육단계에 맞춰 양분이 용출되어 양분이용효율을 증가시키는 장점을 가지고 있으며, 농경지로부터 유출되는 비료 성분을 감소시킬 수 있어 환경오염을 줄일 수 있다 (Oertli, 1980). 그러나 완효성 비료는 일반 무기질비료보다 구입가격이 3 - 5배 높아서 널리 보급되지 못하는 단점을 갖고 있다 (Liu et al., 2014). 완효성 비료의 보급률을 높이기 위해서는 일반 무기질비료보다 양분이용효율을 획기적으로 높여 비료 사용량을 줄이고 시비횟수를 줄여 노동력을 절감하는 등 경제성을 높일 수 있어야 한다.

한편, 작물의 질소이용효율과 생산성에 대한 완효성 비료의 효과는 시비방법에 따라 달라질 수 있다. Shoji and Kanno (1994)의 보고에 의하면, 수도작에서 질소이용효율을 높이기 위한 방법으로 벼 이랑의 측면 또는 조간에 시비하는 ‘측조시비’가 일반 완효성 비료의 전층시비보다 질소이용효율을 18.4% 높일 수 있다고 하였다. 반면에 Choi et al. (2012)는 파종 시 벼 모판에 시비하는 ‘파종상’ 비료를 개발하였는데, 이 방법은 작물 근권에 더 근접하게 시비하는 방법으로 질소이용효율이 높아 ‘측조시비’보다 N 시비량을 10%로 줄일 수 있었다고 보고하였다. 본 연구에 사용한 완효성 비료는 발작물 근권 시비용 완효성 피복비료 (Controlled-release coated fertilizer for rhizosphere, CRFR)이며, 발작물에 적용할 목적으로 개발되었다. 이 비료의 시비방법은 기존 완효성 비료의 시비방법과 달리 ‘점 시비’를 사용한다. ‘점 시비’ 방법이란 육묘 정식 시 토양 근권(작물 뿌리 바로 밑)에 직접 시비하는 것을 말한다.

완효성 비료의 장점은 작물의 양분 필요시기에 적합하게 양분이 용출되어 기존 무기질비료의 사용량을 크게 줄일 수 있다. 그러나, 국내 발작물에 상용화되어 판매되는 완효성 비료는 전무한 실정이다. 따라서, 본 연구의 목적은 발작물인 노지 고추를 대상으로 경기도농업기술원과 (주)누보가 공동개발한 완효성 비료 (CRFR)의 시비 효과를 규명하기 위함이며, 이를 위해 생육단계별 고추의 건물중 변화와 수량 및 질소이용효율을 조사하고 CRFR의 적정 시비량을 제시하고자 한다.

## Materials and Methods

**발작물 근권 시비용 완효성 피복 비료** 본 연구에 사용된 발작물 근권 시비용 완효성 피복 비료 (Controlled-release coated fertilizer for rhizosphere, CRFR)는 작물의 근권에 시비하는 완효성 비료이다. CRFR에 사용된 질소

와 인산 및 칼리 비료의 무기 화합물은 요소 (Urea:  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ), 제1인산암모늄 (Monoammonium phosphate:  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ) 및 황산가리 (Potassium sulfate:  $\text{K}_2\text{SO}_4$ )이며 복합비료 ( $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O} = 20\text{-6-14}$ )로 제조되었다. 이 완효성 피복 비료는 sigmoid (S자형) 용출 특성을 보이며, 피복 물질은 유기 중합체 물질 (합성수지)과 광물질 및 휴믹산으로 구성되었다. 본 연구에 처리된 복합비료는 현재 시판중인 제품 (발편한 울코팅, (주)누보)을 사용하였다.

**고추 재배** 고추 재배 실험은 경기도 농업기술원 내 시험포장 (경기도 화성시)에서 2년간 (2017 - 2018년) 수행하였다. 시험포장의 토양의 토성은 양토 (2017년)와 사양토 (2018년)이며, 토양산도 (pH)와 유기물 (OM), 유효인산 ( $\text{Av.P}_2\text{O}_5$ ) 등의 토양화학성은 Table 1과 같다.

2017년과 2018년의 고추 (품종명: ‘케이스타’) 재배기간은 140일 (5월 2일에 정식하여 9월 30일)로 같았다. 2017년 고추의 전체 재배면적은  $225 \text{ m}^2$ 이었고, 각 시험구의 면적은  $15 \text{ m}^2$ 이었으며, 2018년 전체 재배면적은  $540 \text{ m}^2$ 로 각 시험구의 면적은  $36 \text{ m}^2$ 으로 2017년보다 넓었다. 고추의 재식거리는  $100 \text{ cm} \times 35 \text{ cm}$  (조간 $\times$ 주간)으로 2017년과 2018년에 같았다. 각 시험구의 처리는 무비구 (Control), 표준시비구 (NPK\_N190) 및 발작물 근권 시비용 완효성 피복비료 4수준 (CRFR-N 16, CRFR-N 22, CRFR-N 27 및 CRFR-N 33)으로 총 6수준이었고, 처리구별 비료 ( $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$ ) 시비량은 Table 2과 같다. 이와 같이 CRFR 처리구의 질소시비량을 표준시비구보다 획기적으로 줄인 이유는 완효성 비료는 일반 속효성 비료보다 양분이용효율이 높아 화학비료 시비량의 60%를 절감할 수 있다 (Shaviv and Mikkelsen, 1993). 또한 Shoji and Kanno (1994)의 보고에 따르면 벼에서 ‘측조시비’는 관행 ‘전층시비’보다 시비량을 크게 절감할 수 있다고 하였다. 본 시험에 사용한 완효성 비료는 이식하는 작물의 토양속 뿌리에 밀착하여 시비하는 ‘점 시비’방법으로 벼의 ‘측조시비’보다 양분 이용효율이 더 높일 수 있을 것으로 판단되어 표준시비의 20% 이하로 설정하였고 시험구는 난괴법 3반복으로 배치하였다.

**Table 1.** Physico-chemical properties of soils used in the field experiments in 2017 and 2018.

Year	pH (1:5)	OM ( $\text{g kg}^{-1}$ )	$\text{NO}_3^- \text{-N}$ ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	Av. $\text{P}_2\text{O}_5$ ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	Exchangeable cations ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )			Soil texture
					$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	
2017	6.6	11	37	175	0.54	7.1	2.4	L
2018	6.9	12	25	376	0.45	6.9	1.5	SL

O.M, Organic matter; L, Loam; SL, Sandy loam.

**Table 2.** Amounts of fertilizers ( $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O kg ha}^{-1}$ ) applied in each treatment for Red pepper cultivation in 2017 and 2018.

Treatments	Amounts of $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$ application ( $\text{kg ha}^{-1}$ )		
	N	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{K}_2\text{O}$
Control	0	0	0
NPK-N 190 <sup>†</sup>	190	112	149
CRFR-N 16	16	5	7
CRFR-N 22	22	7	9
CRFR-N 27	27	9	11
CRFR-N 33	33	10	14

<sup>†</sup>NPK\_N190, Fertilizer recommendation at  $190 \text{ kg N ha}^{-1}$  from RDA.

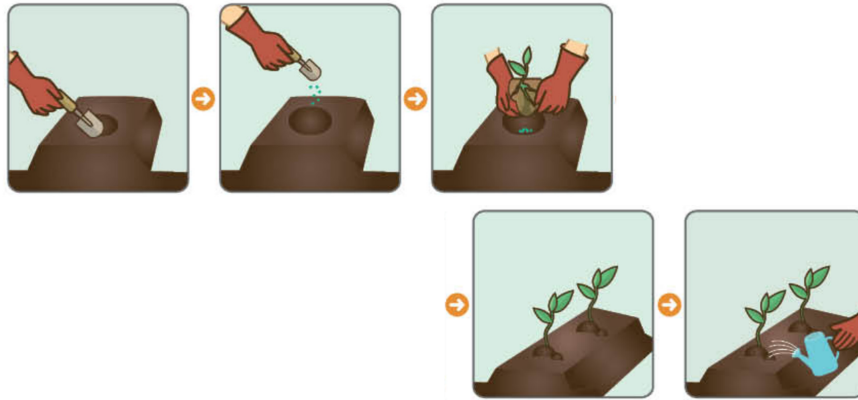


Fig. 1. Fertilizer application method of CRFR in Red pepper cultivar in 2017 and 2018.

표준 시비구(NPK\_N190)에서 질소와 인산 및 칼리 비료의 무기 화합물은 요소와 용과린 및 염화加里였으며, 질소, 인산 및 칼리의 분시 비율은 농촌진흥청 고추 표준재배법에 준하였다 (NAAS, 2010). 본 연구에 사용한 CRFR (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O = 20%-6%-14%)는 N 성분량으로 환산하여 전량 밑거름으로 시비하였으며, 시비방법은 Fig. 1과 같이 고추 정식할 부근의 토양(깊이 10 cm)을 파고 완효성 비료 시비 후 약간의 흙을 덮고 고추 묘를 정식하였다.

**고추 생육 및 질소이용효율** 고추 생육은 정식 후 30일, 60일, 90일 및 120일에 조사하였으며, 각 조사일에 처리별 지상부 5주를 각각 채취하여 지상부 건물중을 측정하였다. 건고추 수량 조사는 정식 후 80일부터 15일 간격으로 3회 동일한 개체 (10주)에서 고추의 과피가 완전히 붉은색으로 변한 과실을 수확하였다. 지상부와 과실은 70°C 온풍기에 7일간 건조 후 무게를 측정하였다. 질소이용효율 (nitrogen use efficiency, NUE)을 분석하기 위해서, 처리별 건고추의 총 질소 흡수량을 CNS 분석기로 분석하였다. 질소이용효율은 (Eq. 1)과 같이 계산하였다.

$$NE = \frac{U_N - U_0}{N_A} \times 100 \quad (\text{Eq. 1})$$

여기서,  $U_N$ 와  $U_0$ 는 질소 시비구와 무비구의 단위면적당 양분 흡수량 ( $\text{kg ha}^{-1}$ ),  $N_A$ 는 질소 시비구의 시비량 ( $\text{kg ha}^{-1}$ )이다.

**완효성 피복 비료의 적정 시비량 결정** 완효성 피복 비료에 대한 고추의 수량 반응과 적정 시비량은 구분선형 곡선 (Linear-Plateau model)을 사용하여 적정 시비량을 결정하였다. 시비반응 분석을 위한 수식 (Eq. 2)은 다음과 같다.

$$Y = a + b(N - N_{opt}) + c|(N - N_{opt})| \quad (\text{Eq. 2})$$

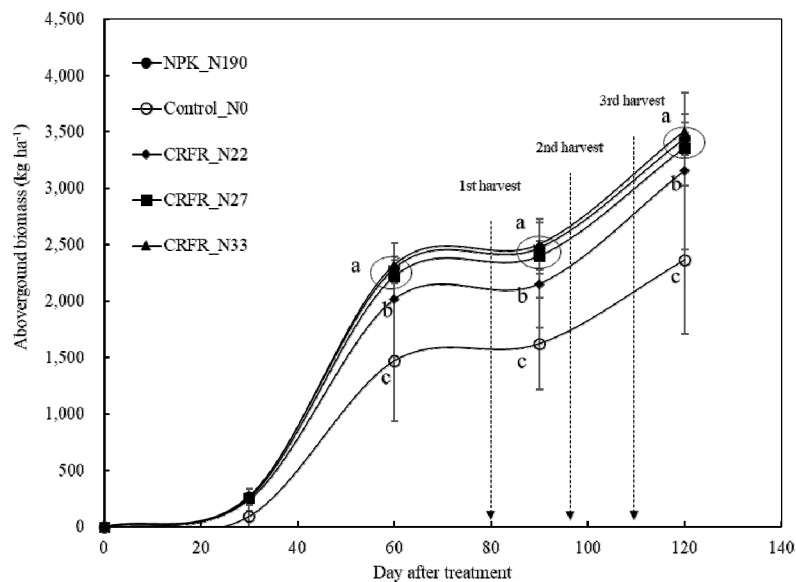
여기서, a, b 및 c는 시비반응 모델의 상수이며, N은 수준별 질소 시비량 ( $\text{kg ha}^{-1}$ ),  $N_{opt}$ 은 적정질소 시비량 ( $\text{kg ha}^{-1}$ )을 나타낸다.

**통계 분석** 분산분석은 STAR V. 2.0.1 (IRRI, 2013) 통계 프로그램을 사용하여 계산하였으며, 처리별 시비수준에 따른 지상부 건물중, 건고추 수량 및 질소이용효율의 차이는 던컨검정 (Duncan's Multiple Range Test)으로 95% 유의수준에서 평가하였다.

## Results and Discussion

**고추 생육 특성** 고추 생육단계별 생육 특성은 2018년 자료를 조사하였고, 지상부 건물중 변화는 정식 후 30, 60, 90 및 120일에 측정하였다. 정식 후 30일까지는 NPK\_N190 처리구에서 지상부 수량이 가장 높았으나, 정식 후 60일 이후에는 Control\_N0 < CRFR\_N22 < CRFR\_N27 < NPK\_N190 < CRFR\_N33 순이었다. 한편, 생육 단계별 조사된 고추의 생육 특성은 정식 후 90일까지는 작물의 생장곡선인 S 자 곡선을 보였지만, 90일부터 120일까지 다시 직선적으로 증가하는 경향이였다 (Fig. 2). Ropokis et al. (2019)의 보고에 따르면, 고추의 양분 흡수량은 고추의 과실을 수확하기 직전까지 낮고 수확 후 급격히 양분 흡수량이 증가한다고 하였다. 본 시험에서 고추의 최초 수확 시기는 정식 후 80일이며, 이후 15일 간격으로 2회 더 수확하였다. 전 생육기간 고추를 관찰한 결과, 정식 후 60일까지는 고추의 과실이 비대하여 과피의 색이 청색에서 적색으로 바뀌는 시기로 이 시기에는 뿌리의 양분흡수가 생리적으로 일시 정지되어 지상부 (과실) 증가가 둔화되었던 것으로 생각된다. 이후 정식 후 80일에 과실이 수확됨에 따라 뿌리가 다시 양분을 흡수하여 과실 수량이 보다 더 증가된 것으로 판단된다.

**건고추 수량** 2017년에 고추재배 실험에서 CRFR 처리구의 질소 시비량은 16 - 27 kg N ha<sup>-1</sup>으로 NPK\_N190 시비량의 8 - 14% 수준이었지만, 건고추 수량은 CRFR\_N16 처리구를 제외한 모든 시비구에서 NPK\_N190 처리와 통계적으로 차이가 없었다. CRFR 처리구 간에는 CRFR\_N16 < CRFR\_N22 < CRFR\_N27 순으로 시비량이 높을수록 건고추 수량이 증가하는 경향을 보였다 (Table 3). 2018년에 건고추 수량도 CRFR 처리구의 시비량이 증가함에 따라



**Fig. 2.** Growth characteristics of Red pepper at the different growth stages (Mean values (n = 3) with different letters indicating significant difference at  $p \leq 0.01$  by Duncan's multiple range test).

**Table 3.** Fruit yield and yield index of Red pepper in the treatments in 2017 and 2018.

Treatments	Amounts of N rate (kg ha <sup>-1</sup> )	2017		2018	
		Fruit yield (kg ha <sup>-1</sup> )	Yield index (%)	Fruit yield (kg ha <sup>-1</sup> )	Yield index (%)
Control_N0	0	1,542c	67	1,732c	65
NPK_N190 <sup>†</sup>	190	2,311a	100	2,658ab	100
CRFR_N16	16	2,053b	89	-	
CRFR_N22	22	2,223ab	96	2,355b	89
CRFR_N27	27	2,300a	100	2,629ab	99
CRFR_N33	33	-		2,703a	102
Statistics		Yield		p-value	
Year		ns		>.05	
Treatment		*		<.01	
Year Treatment		ns		>.05	

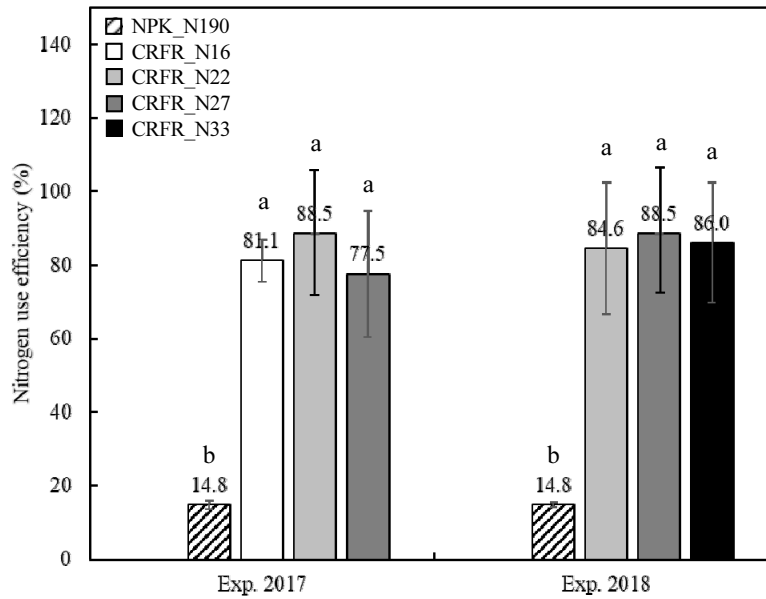
<sup>†</sup>NPK\_N190, Fertilizer recommendation at 190 kg N ha<sup>-1</sup> from RDA.

Mean values (n = 3) with different letters indicating significant difference at  $p \leq 0.01$  by Duncan's multiple range test.

\*and ns indicate significant difference and not significant at  $p \leq 0.05$ .

수량이 증가하는 경향을 보였다. CRFR 처리구 사이에서 건고추 수량이 높았던 순서는 CRFR\_N22 < CRFR\_N27 < CRFR\_N33 순이었다. 이중 CRFR\_N33의 처리구의 질소 시비 수준은 표준시비량 (190 kg N ha<sup>-1</sup>)의 17% 수준으로 상당히 낮았으나, 오히려 NPK\_N190 처리구의 수량보다 2% 높았다. 2017년과 2018년의 고추 수량을 비교한 결과, 연차 간 수량차이는 보이지 않았으나, 처리간 차이는 유의하였다 (Table 3). Lee et al. (2007)는 완효성 비료 시비량이 표준시비량의 1/3 수준임에도 불구하고 표준시비구의 고추 수량이 3.0 - 5.9% 증수되었다고 보고하였다. 특히 CRFR\_N33 처리구는 Lee et al. (2007)가 보고한 완효성 비료보다 더 낮은 수준으로 처리했음에도 불구하고 표준시비구와 수량의 차이를 보이지 않았는데, 이는 완효성 비료의 시비방법에 차이가 있는 것으로 판단된다. 본 시험에서 수행한 CRFR의 시비방법은 고추의 근권에 직접 시비하는 ‘점 시비’이지만, Lee et al. (2007)가 처리한 완효성 비료의 시비방법은 ‘전층시비’이다. 따라서 CRFR 비료가 고추 근권에 시비되어 질소이용효율을 증가시켜 매우 적은 시비량에도 불구하고 NPK\_N190 처리구와 대등하거나 높은 수량을 나타낸 것으로 판단된다.

**질소이용효율** 2017년 실험에서 고추의 질소이용효율은 NPK\_N190 처리구에서 14.8%이었으나, CRFR 처리구들은 77.5 - 88.5% 범위로 매우 높았다. CRFR 처리구 간에는 CRFR\_N27 < CRFR\_N16 < CRFR\_N22 순으로 질소이용효율이 높았다. 2018년에도 CRFR 처리구의 질소이용효율은 84.6 - 88.5% 범위로 NPK\_N190 처리구 (14.8%)보다 69.8 - 73.7% 더 높았다. CRFR 처리구 간 질소이용효율은 통계적으로 차이가 없었으나, CRFR\_N22 < CRFR\_N33 < CRFR\_N27 순으로 높았다 (Fig. 3). 이렇게 질소이용효율이 높았던 이유는 CRFR은 고추의 뿌리 근권에 시비되어 환경으로부터 양분 용출을 최소화한 ‘점 시비’ 방법이 적용되었기 때문으로 판단된다. 반면에 NPK\_N190 처리구는 시험구 전 면적에 전층시비되어 양분의 유출 (유거, 탈질 등)이 상대적으로 높아서 질소이용효율이 낮은 것으로 판단된다. 완효성 비료는 1회 시비로 작물을 안정적으로 재배할 수 있는 비료이다 (Shaviv, 2001). 일반적인 재배포장에서 관행시비방법 (‘전층시비’)은 질소이용효율이 20-30%범위로 알려져 있으나, 완효성 비료는



**Fig. 3.** Effect of different N rates of CRFR on nitrogen use efficiency of Red pepper in 2017 and 2018 (NPK-N190, 190 kg N ha<sup>-1</sup> recommended from RDA).

40 - 60% 이상 질소이용효율을 높일 수 있다고 하였다 (Shoji and Kanno, 1994). 그러나 CRFR 비료가 일반 완효성 비료의 질소이용효율보다 높았던 것은 고추의 뿌리에 밀착하여 소량으로 ‘점 시비’ 되는 비료로 질소이용효율이 높게 나타난 결과로 판단된다.

**CRFR의 적정 시비량 설정** CRFR 처리구의 적정 시비수준 설정을 위하여 2017년과 2018년 각각의 처리별 건 고추 수량을 조사하였고, 연차 간 변이를 줄이고자 각각의 연도별 수량이 높았던 처리를 100%로 환산하여 수량지수로 나타내었다. 수량지수를 100%로 간주하는 기준 처리구는 2017년에 NPK\_N190 처리 이었고, 2018년은 CRFR\_N33 처리구였다. 건고추의 수량지수는 CRFR 처리구에서 질소 시비량이 증가할수록 CRFR\_N27 처리구까지 직선적으로 증가하는 경향을 보였으나, 시비량이 가장 높았던 CRFR\_N33 처리구에서는 더 이상 증가하지 않았다. CRFR 처리구의 고추에 대한 시비반응을 해석하기 위해서 구분적 선형 모형 (Linear plateau model)을 적용하였을 때, 두 선형이 교차하는 지점을 CRFR 처리의 적정 시비 수준으로 계산하면 N 시비량은 23.1 kg N ha<sup>-1</sup>이었다 (Fig. 4). 경제수량을 얻기 위한 적정 질소 시비량 산정은 대부분 2차 회귀곡선의 수량 반응식에서 얻을 수 있는 것이 일반적이다. 본 연구에서 구분적 선형모형을 적용한 이유는 2차 회귀곡선 반응식의 R<sup>2</sup> 값과 (R<sup>2</sup> = 0.99)과 구분적 선형모형에서 R<sup>2</sup> 값 (R<sup>2</sup> = 0.99)이 통계적으로 차이가 없었으나, 2차 회귀곡선반응식에서 예측한 최대 수량에 대한 적정 질소시비량은 33kg N ha<sup>-1</sup>으로 구분적 선형모형 (23.1 kg N ha<sup>-1</sup>)보다 상대적으로 높았기 때문이었다. 한편, 이 수준은 NPK\_N190 시비구 시비량의 12%로 CRFR 처리가 N 시비량을 88% 절감하는 것으로 분석되었다. 이와 같은 결과는 2017년과 2018년 CRFR 처리의 질소이용효율이 NPK\_N190 처리보다 각각 62.7 - 73.7%, 69.8 - 73.7% 더 높았다. 따라서 CRFR 처리가 NPK\_N190의 12%의 N 시비량 수준으로도 대등한 수량을 얻을 수 있는 것은 질소이용효율이 높은 결과이다. Constable et al. (2003)는 농경지에 시비된 요소의 이용효율은 대부분 30 - 40% 정도로 낮으며, 나머지 양분은 잠재적 환경 유출량으로 간주된다고 하였다. 고추 CRFR의 적정 시비수준이 NPK\_N190의 N 시비량 12% 수준으로 크게 낮

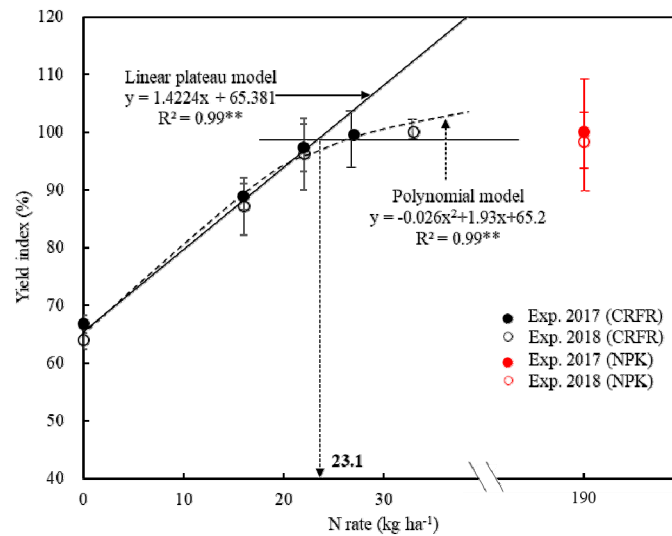


Fig. 4. Determination of optimum N rate of CRFR for economic yield of Red pepper using linear-plateau model (NPK-N190, (NPK-N190, 190 kg N ha<sup>-1</sup> recommended from RDA).

은 이유는 CRFR은 완효성 비료로 양분이 고추의 전 생육기간에 걸쳐 용출되고 토양속 근권에 시비하는 비료로 질소 이용효율이 높아 나타난 결과로 판단된다.

## Conclusions

CRFR은 고추 토양속 근권에 시비하는 완효성 피복비료이다. CRFR의 시비수준에 따른 고추 생육 단계별 지상부 건물중 변화는 Control\_N0 < CRFR\_N22 < CRFR\_N27 < NPK\_N190 < CRFR\_N33 순으로 높았으며 CRFR 처리 간에는 시비량이 높을수록 지상부 건물중이 높게 나타났다 (Fig. 2). CRFR 처리에 따른 건고추 수량은 2017년은 CRFR\_N16 처리구, 2018년은 CRFR\_N22 처리구를 제외한 모든 처리구에서 NPK\_N190과 통계적 유의성은 없었다 (Table 3). CRFR의 고추 시비반응 조사를 위하여 질소이용효율을 조사한 결과 2017년은 NPK\_N190 처리구는 14.8% 이었으나 CRFR 처리구는 77.5 - 88.5%로 매우 높았으며, 2018년 질소이용효율도 CRFR 처리구가 NPK\_N190 처리보다 69.8 - 73.7% 더 높게 나타났다 (Fig. 3). CRFR의 적정 수비수준 설정을 위하여 구분적 선형 모형을 이용하여 적정 시비수준을 분석한 결과 질소비료 수준으로 23.1 kg N ha<sup>-1</sup> 이었으며, 이 수준은 NPK\_N190 처리구 시비량의 12%로 수준으로 CRFR 처리가 표준시비인 NPK\_N190 처리보다 N 시비량을 88% 절감하는 것으로 나타났다 (Fig. 4). 이와 같은 결과는 CRFR은 고추의 뿌리 근권에 시비되어 질소이용효율이 높아 나타난 결과로 판단된다.

## Acknowledgement

This work supported by the Export enterprise technology development, Ministry of SMEs and Startups, Republic of Korea (project no. S2464470).



## References

- Anggoro, D.D. 2011. Producing slow release urea by coating with starch/acrylic acid in fluid bed spraying. *International Journal of Engineering & Technology*, 11:77-80.
- Choi, B.Y., G.R. Cho, T.J. Won, S.J. Kim, and O.Y. Gwon. 2012. Effects of Controlled Release Fertilizer Application with Rice Cultivation on Nitrogen Use Efficiency and Yield in Paddy Field. *Korean Journal of Organic Agriculture*, 20(3):152-152.
- Chung, D.Y. and K.S. Lee. 2008. Role of chemical fertilizer and change of agriculture in Korea. *Korean Journal of Agricultural Science*, 35:69-83.
- Constable, M., M. Charlton, F. Jensen, K. McDonald, G. Craig, and K.W. Taylor. 2003. An ecological risk assessment of ammonia in the aquatic environment. *Human and Ecological Risk Assessment*, 9(2):527-548.
- Grant, C. 2005. Policy aspects related to the use of enhanced-efficiency fertilizers: Viewpoint of the scientific community. In *Proceedings, IFA International Workshop on Enhanced-Efficiency Fertilizers*, Frankfurt, Germany, pp. 28-30.
- IRRI (International Rice Research Institute). 2013. Statistical tool for agricultural research. Version 2.0.1. Los Baños (Philippines): International Rice Research Institute.
- Kang, C.S. and A.S. Roh. 2012. Fertilization efficiency of livestock manure composts as compared to chemical fertilizers for paddy rice cultivation. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 45(1):86-92.
- Ku, H.H., K. Hayashi, R. Agbisit, and G. Villegas-Pangga. 2017. Evaluation of fertilizer and water management effect on rice performance and greenhouse gas intensity in different seasonal weather of tropical climate. *Science of the Total Environment*, 601:1254-1262.
- Lee, H.C., H. Lee, B.H. Ha, C.S. Kang, Y.B. Lee, and P.J. Kim. 2007. Evaluation of fertilization effect of slow-release complex fertilizer on pepper cultivation. *Korean J. of Environmental Agriculture*, 26(3):228-232.
- Liu, G., L. Zotarelli, Y. Li, D. Dinkins, Q. Wang, and M. Ozores-Hampton. 2014. Controlled-release and slow-release fertilizers as nutrient management tools. USA: US Department of Agriculture, UF/IFAS Extension Service, University of Florida, IFAS.
- Naz, M.Y., S.A. Sulaiman, B. Ariwahjoedi, and K.Z.K. Shaari. 2014. Characterization of modified tapioca starch solutions and their sprays for high temperature coating applications. *The Scientific World Journal*, 225:109-120.
- Oertli, J.J. 1980. "Controlled-release fertilizers." *Fertilizer research*, 1(2):103-123.
- Ropokis, A., G. Ntatsi, C. Kittas, N. Katsoulas, and D. Savvas. 2019. Effects of Temperature and Grafting on Yield, Nutrient Uptake, and Water Use Efficiency of a Hydroponic Sweet Pepper Crop. *Agronomy*, 9(2):110.
- Shaviv, A. 2001. Advances in controlled-release fertilizers. *Advances in agronomy*, 71(1), 1-49.
- Shaviv, A., and R. L. Mikkelsen. 1993. Controlled-release fertilizers to increase efficiency of nutrient use and minimize environmental degradation-A review. *Fertilizer research*, 35.1-2:1-12.
- Shoji, S. and H. Kanno. 1994. Use of polyolefin-coated fertilizers for increasing fertilizer efficiency and reducing nitrate leaching and nitrous oxide emissions. *Fertilizer Research*, 39(2):147-52.
- Zarei, A. and V. Ghaffarian. 2013. Preparation and characterization of biodegradable cellulose acetate-starch membrane. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 52(4):387-392.