

재식밀도 및 시비량 차이가 신농흑찰 품질 및 수량에 미치는 영향

이인석^{1,†} · 이덕렬¹ · 조승현¹ · 이승이¹ · 김갑철¹ · 이기권¹ · 송영주¹

Effects of Different Nitrogen Levels and Planting Densities on the Quality and Yield of the Black Rice Cultivar 'Shinnongheugchal'

In-Sok Lee^{1,†}, Deok-Ryeol Lee¹, Seung-Hyun Cho¹, Song-Yi Lee¹, Kab-Cheol Kim¹, Ki-Kwon Lee¹, and Young-Ju Song¹

ABSTRACT The late-maturing black rice cultivar Shinnongheugchal from Jeollabuk-do Agricultural Research and Extension Service was used as the plant material for estimating growth characters, quality and yield from the vegetation period to harvest age. This study was performed to select an optimum combination of nitrogen level and planting density for the maximum yield of Shinnongheugchal. The plant height, number of tillers, and SPAD index were higher when the combination of 70 hills per 3.3 m² and 13 kg/10 a nitrogen level was used at 30 days after transplanting. The heading date for the combination of 70 hills per 3.3 m² and 15 kg/10 a nitrogen level, and 80 hills per 3.3 m² and 15 kg/10 a nitrogen level was August 22. The heading date for the other combinations was August 21. The combination of 70 hills per 3.3 m² and 13 kg/10 a nitrogen level yielded the highest number of tillers at 40 days after flowering. Even though the lodging index was increased with increasing nitrogen levels, field lodging did not occur until harvest time. Seed nitrogen concentration in the combination of 70 hills per 3.3 m² and 13 kg/10 a nitrogen level showed a significant difference when compared with the other combinations. The black rice yield varied significantly, and the highest yield was observed in the combination of 70 hills per 3.3 m² and 13 kg/10 a nitrogen level. The yield was significantly correlated with seed nitrogen concentration. The maximum yield was estimated to be 14.67 kg/10 a nitrogen level by using the regression equation. On average, the coloring degree of the black rice was higher at planting density of 70 hills per 3.3 m² than at 80 hills per 3.3 m². The highest yield of perfect black rice was obtained using the combination of 70 hills per 3.3 m² and 13 kg/10 a nitrogen level. Our findings demonstrate that a nitrogen level of 13-14 kg/10 a can be used to obtain the maximum yield from Shinnongheugchal with yield, cyanidin 3-glucoside content, and perfect black rice yield as the standard.

Keywords : black rice, cyanidin 3-glucoside, lodging index, nitrogen

국민의 생활수준 향상과 서구식 식생활 문화로 패틴이 변화하면서 1인당 연간 쌀 소비량이 62.9 kg (Statistics Korea, 2015)으로 감소하였다. 반면 건강 기능성 식품에 관한 소비자의 관심이 높아짐에 따라 현미, 유색미 및 향미 등 특수용도 쌀 품종의 요구도가 높아지고 있다.

검정 쌀은 일반 쌀과 다르게 현미의 과피와 종피 부분에 흑자색의 안토시아닌계 색소를 함유한 것이다. 이러한 안토시아닌 색소의 중요한 성질은 항산화작용이며, 항산화활성이 높아 암, 당뇨 등의 예방에도 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있다(Osawa, 1985; Wang *et al.*, 1997). 벼 등

의 식물에서 추출한 안토시아닌은 생활수준의 향상과 건강에 대한 관심증대에 따라 합성색소를 대체하기 위한 천연색소로써 식품에 이용과 수용성 물질과 쉽게 결합하는 성질로 인해 산업적 사용의 괄목한 증가를 예상하고 있다(Araceli, 2009).

흑미의 색소와 관련된 조성, 유전 및 재배법에 대한 연구 결과를 살펴보면, 색소의 조성은 cyanidin 3-glucoside (C3G), peonidin 3-glucoside (P3G), malvidin 3-galactoside (M3G) 등이며, 그 중에서 전체 색소의 80%정도가 C3G라고 하였다(Nagai *et al.*, 1960; Lee, 1997; Lee, 2010; Ryu *et al.*, 1998).

¹전라북도 농업기술원 (Jeollabuk-do Agricultural Research and Extension Service, Iksan 54591, Korea)

[†]Corresponding author: In-Sok Lee; (Phone) +82-63-290-6046; (E-mail) bioplant325@korea.kr

<Received 25 March, 2016; Revised 8 June, 2016; Accepted 13 June, 2016>

이러한 색소발현의 유전적 근거는 화청색소유전자(C)와 활성유전자(A) 및 자색엽분유전자(PI^W)의 상호작용에 의한 것으로 알려져 있다(Nagai *et al.*, 1960; Park *et al.*, 2000).

색소의 함량을 높이기 위해 재배적인 방법으로 이앙 시기가, 재배 지역을 달리하여 연구된 결과에 따르면 동일한 품종임에도 불구하고 2배 이상의 C3G 함량의 차이를 보고하였고, 이앙 시기 간에는 늦을수록 높았고(Song *et al.*, 2012), 일사량이 많은 지역에서 높았다(Kim *et al.*, 1998; Ryu *et al.*, 2002; Lee *et al.*, 2008). 이와 같이 재배법에 의해 흑미 색소함량의 차이에 대한 온도, 일사량에 대해서는 많은 연구가 되어왔다.

벼의 다수확을 위해서는 다비재배가 필수적이다. 그러나 현재 흑미는 질소시비량에 있어 일반벼와 같은 표준재배법에 준하여 재배하고 있고, 이와 관련된 연구 결과가 보고된 바가 없다. 따라서 본 연구에서는 신농흑찰의 수량성을 높이는 방법을 찾기 위해 재식밀도와 질소시비량을 달리하고 그에 따른 생육 및 품질을 조사하여 최적의 재배기술체계를 구명하고자 하였다.

재료 및 방법

시험재료 및 재배방법

본 시험은 전라북도농업기술원에서 육성한 신농흑찰을 시험재료로 사용하여 2015년에 실시하였다. 재배시험은 전라북도농업기술원 시험 포장인 미사길 양토(전북통)에서 실시하였다. 30일 중묘를 1주에 4분씩 6월 10일에 이앙하였고, 재식밀도는 현장에서 주로 사용하는 70주(30×15.7 cm) 및 80주(30×13.7 cm)/3.3 m²로 하였다. 시험구 배치는 시비량을 주구, 재식거리를 세구로 하는 요인실험(factorial experiment)으로 하고 모든 특성은 3반복으로 조사하였다.

시비방법 및 토양분석

시비량은 인산 및 가리는 성분량으로 10a당 각각 4.5 및 5.7 kg으로 하였고, 질소는 성분량으로 10a당 각각 9, 11, 13, 15 kg으로 하였다. 이 중 질소는 기비, 분얼비, 수비로 나누어 50:20:30%의 비율로 분시 하였으며 인산은 전량 기비로 가리는 기비:수비를 70:30%의 비율로 분시 하였다. 잡초 및 병해충 관리는 필요에 따라 해당 약제를 이용하여 관리하였다. 토양분석은 실험 15일전 및 수확시기에 채취하여 실시하였다.

생육 및 수량 조사

벼의 초장 등 생육조사는 이앙 후 30일과 출수 후 40일

실시하였다. 수당립수, 등숙비율, 현미천립중, 정현비율 및 수량 조사는 출수 후 50일에 수확과 동시에 실시하였다. 도복지수((모멘트(초장X생체중)/4절간좌절중)X100)는 출수 후 20일에 실시하였다. 포장도복은 농촌진흥청 조사기준에 따라 출수기부터 수확시까지 조사하였다.

질소 및 C3G 함량 분석

질소 함량은 출수 후 30일 줄기, 잎, 종자를 대상으로 Kjeldahl 방법(Kjeltec 2400 Analyzer)으로 분석하였다. C3G 함량은 유색미를 분쇄기(Perten mill)로 마쇄하여 250 ml 삼각플라스크에 0.5 g을 정량하여 넣은 후 0.1% HCl-MeOH (v/v) 용액 10 ml을 첨가하여 농축한 후 25 ml로 정량하여 이 용액을 안토시안 함량 분석에 사용하였다. Cyanidin 3-glucoside (C3G)를 표준품으로 검량선을 작성하여 측정하였다(Jung *et al.*, 2000). 질소 등 성분 분석은 3반복으로 하였다. 완전 착색미율은 육안으로 달관조사를 통하여 완전립과 착색정도에 따라 분리, 선별하였다.

기상환경 조사

온도, 강우 및 일조시간은 생육기간인 5월부터 10월까지 수집하여 2014, 2015년 및 5년(2010~14) 평균을 비교 분석하였다. 2015년 평균 온도(21.9°C)는 2014년(21.8°C)과 비슷하였고 5년 평균(22.4°C)보다는 낮았다. 2015년의 7월

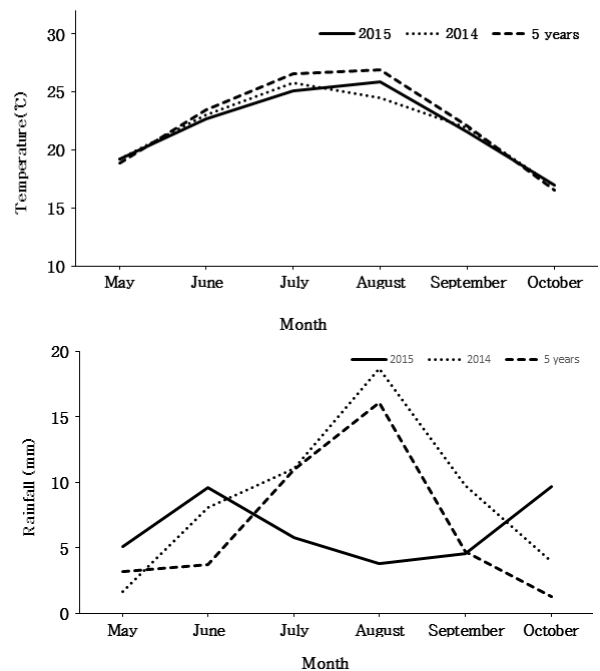


Fig. 1. Monthly mean temperature and rainfall during the rice-growing period in Iksan.

Table 1. Monthly sunshine hours during the rice-growing period in Iksan.

Years	May (h)			June (h)			July (h)			August (h)			September (h)			October (h)		Sum
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	
2015	84	79	114	79	52	45	64	46	48	96	46	61	76	82	66	76	81	1,195
2014	103	85	103	43	69	72	38	40	77	30	28	53	63	72	57	86	70	1,089
5 years	81	78	66	70	54	53	32	43	52	54	43	38	52	54	64	67	69	975

* A, B, and C indicate early, mid, and late, respectively.

Table 2. Comparison of chemical properties of the soil before and after the experiment.

Exp.	pH (1:5)	OM (%)	Av. P ₂ O ₅ (mg/kg)	Av. SiO ₂ (mg/kg)	Ex. (cmol ⁺ /kg)		
					K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Before	5.1	4.1	101	156	0.4	9.5	1.6
After	5.1	3.4	64	96	0.2	6.3	1.3
Standard	5.5~6.5	2.5~3.0	80~120	157~180	0.25~0.3	5~6	1.5~2.0

* Exp. indicates experiment.

평균 온도(25.1°C)는 2014년 7월(25.8°C)보다 낮았고, 8월(25.9°C)은 평균 1.5°C 높았다(Fig. 1). 2015년 강우량(6.4 ml)은 5년 평균(6.6 ml)과 비슷하였고 2014년(8.9 ml) 보다 낮았다. 2015년 일조시간은 2014년 및 5년 평균보다 각각 106 및 220시간 높아(Table 1) 2015년 기상은 다른 해보다 미질과 수량향상을 위해 매우 유리한 기상으로 경과되었음을 알 수 있었다.

통계분석

통계분석은 SAS (Statistical Analysis System) 프로그램의 PROC ANOVA procedure를 이용하여 Duncan의 다중 검정방법을 통해 평균값을 5% 유의수준에서 비교하였다.

결과 및 고찰

시험 전·후 토양 화학성

본 시험 전·후 토양 화학성을 논토양의 기준치와 비교한 결과는 Table 2와 같다. 시험 전 pH는 낮고 유기물과 칼슘의 양이 좀 높았지만 토양 화학성은 대체적으로 기준치에 일치하여 특별한 토양관리를 하지 않았다. 시험 전·후의 토양 화학성을 비교하면 작물에 의한 무기물 흡수가 이루어졌음을 알 수 있었고 특히 규산의 흡수가 높았음을 알 수 있었다. Kim *et al.*, (1983)은 토양중 규산함량이 180~200 mg/kg 일 때 최고수량을 보인다고 하였고, 규산은 벼 수광 태세를 개선하는 등 생리적으로 중요한 역할을 하므로 시험 또는

영농 전에 매년 토양 분석을 실시하여 규산 함량의 균형을 맞추는 노력을 해야 할 것이다. 또한 칼슘 흡수도 높게 이루어진 것으로 보아 칼슘도 벼의 생리적 기능에 중요한 역할을 하는 것을 판단되는데 Chaum *et al.*, (2012)도 칼슘 흡수가 벼의 내염성과 등숙률을 증진시킨다고 하였다.

재식밀도 및 시비량별 생육특성

재식밀도 및 질소시비량별 최고분얼기 생육을 보면 Table 3과 같다. 초장은 전체적으로 70주 시험구에서 80주보다 높았다. 이런 차이는 밀식으로 인한 제한된 공간에서 빛, CO₂ 및 양분의 경쟁에 의한 것으로 판단된다. 두 시험구 모두 13 kg까지는 초장이 증가하였고 15 kg에서는 감소하였는데 이런 차이는 시비량이 임계점을 초과하면 개체 간에 광 및 양분의 경쟁에 의한 것으로 사료된다(Park *et al.*, 1989). 70주 시험구+13 kg 질소 시비량 조합에서 초장이 가장 컸으나 11 kg에서부터 통계적으로 유의한 차이가 없었고, 80주 시험구에서는 13 kg 질소 시비량 조합에서 초장이 가장 컸으며 15 kg까지 유의한 차이가 없었다. 경수에 있어서는 80주 시험구가 70주 시험구보다 평균 1.2개가 많았다. 70주 시험구에서는 11 kg부터 통계적으로 동일하였고 13 kg까지 경수가 증가하였다. 80주 시험구에서는 11 kg까지 증가하였으며 모든 시비량에서 통계적으로 유의성이 없었다. 최고 경수는 70주 시험구의 13 kg 시비량이었다. 일정수준까지 질소시비량 증가에 따라 경수가 증가한 것은 Kim *et al.*, (1996)이 보고한 결과와 일치하였다. 높은 시비량(15 kg)에

Table 3. Comparison of 30-day-old rice seedlings grown in the experimental field.

Planting density (hill/3.3 m ²)	Nitrogen levels (kg/10 a)	Plant height (cm)	No. of tiller (tiller/hill)	SPAD index
70	9	35.6b	21.9b	41.7d
	11	36.0ab	24.8ab	42.8abcd
	13	36.9a	28.0a	43.4ab
	15	35.6ab	25.3a	43.1abc
80	9	34.1c	25.1a	42.8bcd
	11	35.3b	27.9a	41.8cd
	13	36.9a	26.3a	41.9cd
	15	36.3ab	25.4a	44.0a

* Means with the same letter in a column are not significantly different according to DMRT (5%).

Table 4. Heading date, culm length, and number of tillers in 40 days from the heading date of black rice grown in the experimental field.

Planting density (hill/3.3 m ²)	Nitrogen levels (kg/10 a)	Heading date	Culm length (cm)	No. of tiller (tiller/hill)
70	9	Aug. 21	69.4d	16.3cd
	11	Aug. 21	71.7abc	18.3ab
	13	Aug. 21	72.3ab	19.5a
	15	Aug. 22	72.1ab	18.0abc
80	9	Aug. 21	67.4e	16.5bcd
	11	Aug. 21	70.6cd	16.7bcd
	13	Aug. 21	73.0a	16.8bcd
	15	Aug. 22	71.3bc	16.1d

* Means with the same letter in a column are not significantly different according to DMRT (5%).

서 경수가 감소한 원인은 식물체 지상부의 지나친 성장으로 인한 양분, CO₂ 및 광 이용률 감소의 부정적인 효과에 의한 것으로 사료된다(Cho *et al.*, 1995). 엽색(SPAD)은 두 재식 시험구간에 차이를 보였다. 70주 시험구에서는 13 kg까지 증가하고 그 이후에 감소하였으며 80주 시험구에서는 15 kg에서 최대치를 보였으나 시비량 간에 일정한 경향이 없어 밀식과 엽색과의 관계에 대해 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다. 생육 초반이지만 초장, 경수 및 엽색을 기준으로 판단하여도 3.3 m² 당 80주보다 70주로 재배 관리하는 것이 생력화에 유리할 것으로 판단된다. Kang *et al.*, (2015)도 밀식에 의해서는 벼의 생육이 일정하지 않는다고 하였는데 본 결과와 일치하였다.

재식밀도 및 질소시비량별 출수기와 출수 후 40일 생육은 Table 4와 같다. 두 재식밀도 시험구에서 출수기는 질소 시비량 13 kg까지 8월 21일로 동일하였고 15 kg은 하루 지연되었다. 이런 결과는 다비 조건에 의해 영양생장이 늦게

까지 이루어졌음을 알 수 있었다. 간장은 70주 시험구가 80주보다 평균 0.8 cm 컷다. 70주 시험구에서 시비량 13 kg까지 증가하고 그 이후에는 감소하였으며 11 kg부터 통계적 유의성이 없었다. 80주 시험구에서는 13 kg까지 유의적으로 증가하고 본 시비량에서 가장 높은 유의수준이 인정되었다. 경수는 70주 시험구에서 시비량이 증가할수록 유의수준이 인정되었고, 80주 시험구에서는 모든 시비구의 경수가 동일하여 흑미에서 다수확을 위해서는 70주 시험구에서 시비량을 증가시키는 것이 바람직한 것으로 조사되었다.

도복지수 및 포장 도복

출수후 20일 도복지수와 수확시까지 포장도복 및 병해충 발생정도를 조사(Table 5)하였다. 도복지수는 도복에 직접적으로 영향을 미친다. 70주 및 80주 시험구의 동일 시비량을 비교하면 전체적으로 70주 시험구가 높았고, 평균도 70주 시험구(287)가 80주(280)보다 7 높았다. 이러한 원인은

Table 5. Variations in the lodging index (LI) according to the nitrogen levels at 20 days after flowering.

Planting density (hill/3.3 m ²)	Nitrogen levels (kg/10 a)	Lodging index	Field lodging (1~9)	Disease and pest injury (0~9)
70	9	188e	1	0
	11	239d	1	0
	13	314c	1	0
	15	408a	1	0
80	9	182e	1	0
	11	205de	1	0
	13	376ab	1	0
	15	355c	1	0

* Means with the same letter in a column are not significantly different according to DMRT (5%).

* 1 : No field lodging, 0 : Symptomless infection

재식밀도가 낮아질수록 개체수가 적어져서 광과 CO₂의 이용률이 높고 그 결과 양분 흡수량이 우수한 것으로 사료된다(Cho *et al.*, 2004). 이처럼 재식밀도의 변화가 지상부 간장에 큰 영향을 미치는 것으로 나타나 재식밀도를 70주의 저밀도로 재배하는 것이 농가 경영상 유리한 것으로 판단된다. 70주 시험구에서는 질소 시비량 증가에 따라 도복지수가 높아지는 경향을 보였고, 80주 시험구에서는 13 kg까지 증가하고 15 kg에서는 유의수준의 감소를 보였다. 그리고 도복지수가 높아도 포장도복과 병해충이 문제되지 않았다.

조직별 질소 함량

출수 후 40일에 줄기, 잎 및 종자 조직별 질소 함량을 조사하였다(Table 6). 조직별로는 잎>종자>줄기 순으로 질소 함량이 높았다. 이는 잎이 줄기보다 질소함량이 높고(Roh *et al.*, 2015), 종자의 질소함량이 줄기보다 높다는 결과와 일치하였다(Kang *et al.*, 2013). 평균 줄기 및 잎 질소함량은 80주 시험구가 70주보다 높았고 종자에서는 70주가 80주보다 높았다. 이런 원인은 80주보다 70의 소식이 개체간 경합이 적어 광 흡수와 이용률이 증가하여 잎에서 종자로의 탄수화물 전이가 잘되어 질소함량이 높은 것으로 사료된다. Sinclair and Horie (1989)의 이론적 분석에 의하면 광 흡수와 흡수한 광의 biomass로의 전환효율(RUE, radiation use efficiency)은 엽의 광합성과 curve linear한 관계가 있다. 70주 시험구에서 줄기, 잎 및 종자의 질소함량은 시비량이 증가할수록 높아졌고 최고함량은 15 kg로 나타났지만 13 kg부터 통계적 유의수준으로 증가하였다. 80주 시험구에서는 13 kg까지 증가하고 그 이후에는 감소하는 경향을 보였으며 질소 최고함량에 대한 통계적 유의성은 11 kg부터 동일하였다. Kang *et al.*, (2013)은 백미 품종에서 줄기

Table 6. Comparison of nitrogen concentration in different tissues at 40 days from the heading date of black rice grown in the experimental field.

Planting density (hill/3.3 m ²)	Nitrogen levels (kg/10 a)	Nitrogen conc. (mg/g)		
		Culm	Leaf	Seed
70	9	4.0c	16.0c	9.7c
	11	4.6bc	17.4bc	10.1bc
	13	5.7ab	20.6a	10.5ab
	15	6.1a	21.4a	11.0a
80	9	4.2c	14.9c	9.5c
	11	5.5ab	19.9ab	10.4ab
	13	6.1a	22.1a	10.4ab
	15	5.8a	22.0a	10.6ab

* Means with the same letter in a column are not significantly different according to DMRT (5%).

및 종자의 질소함량은 통계적으로 모든 처리구에서 동일하였는데 본 연구 결과와 차이를 보인 점은 흑미와 백미의 품종 및 등숙 환경조건이 다른데서 비롯된 것으로 판단된다. 앞으로 백미와 흑미의 질소 흡수 및 조직간 전이에 관한 연구가 환경적 및 유전적 차원에서 보다 면밀히 이루어져야 할 것을 사료된다.

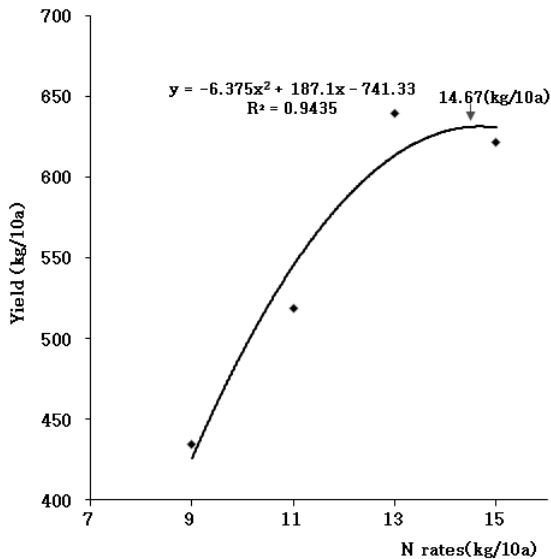
수량구성요소 및 흑미 수량

질소시비량에 따른 수량구성요소 및 현미 수량을 조사한 결과는 Table 7과 같다. 수당립수는 70주 시험구가 80주보다 평균 5.5개 높았다. 70주 및 80주 시험구에서 최고 립수는 각각 13 및 15 kg 보였지만 모든 시비량에서 통계적

Table 7. Yield components and yield at 50 days from the heading date of black rice grown in the experimental field.

Planting density (hill/3.3 m ²)	Nitrogen levels (kg/10 a)	No. of spikelet	Percent ripened grain (%)	Brown/rough (%)	100-grain weight	Brown Yield (kg/10 a)
70	9	94.1a	85.5ab	80.9ab	19.9c	435d
	11	89.9a	83.3abc	80.7b	20.2bc	519bc
	13	100.3a	77.2d	81.0ab	20.4abc	640a
	15	100.1a	79.6cd	82.1a	20.5ab	622a
80	9	85.5a	80.0bcd	80.8ab	20.5abc	476cd
	11	85.9a	83.9abc	81.1ab	20.0c	545b
	13	92.7a	86.2a	81.2ab	20.2bc	546b
	15	98.4a	81.2abcd	81.4ab	20.9a	570b

* Means with the same letter in a column are not significantly different according to DMRT (5%).

**Fig. 2.** Estimation of the maximum nitrogen content for the highest yield.

로 유의성이 없었다. 등숙률은 80주 13 kg 조합에서 가장 높았고, 정현율은 70주 15 kg 조합에서 가장 높았다. 그리고 천립중은 80주 15 kg 조합에서 가장 높았다. 현미 수량에서는 통계적 유의성을 보였다. 70주 시험구가 80주보다 평균 수량이 높았고 70주 시험구+13 kg 시비량 조합에서 다른 처리구보다 3~47%까지 유의성 있는 수량 증가를 보였다. 이런 결과는 어느 수준까지 질소시비량을 높이면 벼 수량이 증가한다는 결과와 일치하였다(Samonte *et al.*, 2006). 70주 시험구에서 질소시비량에 따른 싹눈출 최고수량을 산출하기 위하여 회귀분석을 실시한 결과 14.67 kg/10a로 추정되었다(Fig. 2).

현미 품위 및 완전 착색립 수량

현미 품위(착색립, C3G) 및 완전착색립 수량은 Table 8과 같이 조사되었다. 70주 시험구의 평균 100% 착색립(80.1%)은 80주(73.8)보다 평균 6.3% 높았고 49%이하 착색립은 70주 시험구가 1.8%로 80주(3.9%)보다 2배 이상 낮았다. C3G 함량은 80주 시험구(425.1)의 평균이 70주(413.4)보다 높았다. 육안으로 보아 70주 시험구가 80주보다 착색 정도가 높는데 C3G 함량이 낮은 이유는 520 nm의 파장으로 검정하지 못하는 C3G이외에 다른 색소의 영향에 의한 것으로 판단된다. Fei *et al.* (2010)는 안토시아닌을 구성하는 색소가 약 37개이고 각각 색소를 측정하는 파장이 다르다고 하여 이를 뒷받침하고 있다. 70주 및 80주 시험구+13 kg 시비량 조합에서 통계적으로 유의한 증가를 보였다. 100% 착색립 수량은 70주 시험구의 평균이 80주 보다 13% 증가하였다. 70주+13 kg 조합이 다른 조합보다 100% 착색립 최고수량이 1~44%까지 증가하였다.

최고수량을 위한 최적 질소 시비량 설정

질소 1 kg/10a을 시비하면 50 kg/10a를 증수할 수 있다고 하였고(Yoshida, 1981), 앞의 여러 생육 단계의 조사에서도 확인되었듯이 재식밀도가 감소하면 CO₂와 양분의 흡수가 원활히 이루어져 식물체의 광합성 속도가 증가하고 결국 지상부 생육이 증가한다. 이처럼 재식밀도와 시비량의 변화가 지상부 생육과 수량에 큰 영향을 미치는 것으로 나타나 재식밀도를 70주의 저밀도에 시비량을 증가하는 재배법이 농가 경영상 유리한 것으로 사료된다.

특히 현미수량(Table 7), C3G 함량 및 100% 착색립 수량(Table 8)을 기준으로 싹눈출 최고수량을 위한 최적 질소 시비량은 13 kg/10a로 조사되었고, 회귀분석에 의해서

Table 8. Cyanidin 3-glucoside (C3G) content and 100% black rice yield according to the various nitrogen levels and planting densities.

Planting density (hill/3.3 m ²)	Nitrogen levels (kg/10 a)	Black kernel percentage (%)			C3G content (mg/100 g)	100%-black rice yield
		100% ^J	Between 99 and 50% ^J	Under 49% ^J		
70	9	81.4a	15.6a	3.0ab	372.5d	354b
	11	78.0ab	19.4a	2.6ab	404.1bcd	405b
	13	79.7a	19.2a	1.1ab	441.2ab	510a
	15	81.3a	18.3a	0.4b	435.9abc	506a
80	9	83.1a	14.9a	2.0ab	390.5cd	396b
	11	72.7ab	22.1a	5.2ab	429.9abc	396b
	13	64.3b	29.9a	5.8a	461.7a	351b
	15	75.0ab	22.3a	2.7ab	418.3abcd	428ab

* Means with the same letter in a column are not significantly different according to DMRT (5%).

^J : Sensory evaluation with the naked eye.

는 14.67 kg/10a로 추정되었다. C3G 함량도 시비량에 비례하여 증가하였으므로 신농흑찰의 수량을 높여 농가 소득증대에 기여하기 위해서는 현재 사용 중인 시비량(9 kg/10a)보다 10a당 13~14 kg까지 높일 필요가 있을 것으로 판단된다.

적 요

본 연구는 질소시비량과 재식거리 차이에 따른 신농흑찰의 미질 및 수량 차이를 분석하여 안토시아닌 함량에 변화가 없으면서 최고 수량을 생산할 수 있는 적정 재배기술의 자료를 얻고자 수행하였고 그 결과는 다음과 같다.

1. 출수기는 70주 및 80주 시험구+15 kg 조합에서 8월 22일로 동일하였고 다른 조합에서는 8월 21일로 조사되었다. 출수 후 40일에 경수는 70주 시험구+13 kg 시비량 조합에서 가장 높았다.
2. 도복지수는 시비량이 증가할수록 증가하였지만 모든 처리구에서 포장도폭은 발생하지 않았고 병해충도 발생하지 않았다.
3. 질소함량은 앞>중자>줄기 순으로 증가하였고, 줄기 및 앞의 질소함량은 80주 시험구의 평균이 70주보다 조금 높았지만 중자의 질소함량은 70주 시험구가 80주보다 높았다. 중자의 최대 질소 함량은 70주+13 kg 조합에서부터 통계적으로 유의성 있는 증가를 보였다.
4. 수당립수는 70주+13 kg 시비량 조합에서 가장 높았고, 등숙률은 80주+13 kg 시비량 조합에서 가장 높았다. 정현비율은 70주+15 kg 시비량 조합에서 가장 높았고, 천립중은 80주+15 kg 시비량 조합에서 가장 높았

으나 통계적으로 큰 차이는 없었다.

5. 현미 수량은 70주 시험구의 평균이 80주 시험구보다 높았고, 70주+13 kg 시비량 조합에서 다른 처리구보다 가장 높은 수량을 보였다. 회귀분석에 의해 최대 수량은 14.67 kg/10a로 추정되었다.
6. 관능평가 결과 착색정도는 70주 시험구가 80주보다 높았지만 C3G는 80주가 더 높았다. 완전착색립 수량은 70주+13 kg 시비량에서 가장 높았다.
7. 그러므로 현미수량, C3G 함량 및 100% 착색립 수량을 기준으로 신농흑찰 최고수량을 위한 최적 질소 시비량은 13~14 kg/10a까지 높일 필요가 있을 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 2015년 전라북도 연구비 지원 사업에 의하여 수행되었음.

인용문헌(REFERENCES)

Araceli, C. O. 2009. Chemical studies of anthocyanins : A review. Food. Chemistry. 113 : 859-871.

Cha-um, S., H. P. Singh, T. Samphumphuang, and C. Kirdmanee. 2012. Calcium-alleviated salt tolerance in indica rice (*Oryza sativa* L. spp. indica): physiological and morphological changes. AJCS. 6(1) : 176-182.

Cho, J. H., T. R. Kwon, G. G. Min, S. P. Lee, and B. S. Choi. 1995. Effects of planted organ, planting space, and fertilizer level on growth and yield of Chinese yam (*Dioscorea opposita*

- Thunb.). Korean J. Crop Sci. 40(1) : 9-15.
- Cho, N. K., Y. K. Kang, C. K. Song, Y. C. Jeun, J. S. Oh, Y. I. Cho, and S. J. Park. 2004. Effects of planting density on growth, forage yield and chemical composition of jeju native sorghum. J. Korean Grass Sci. 24(3) : 225-230.
- Jung, K. H., H. J. Koh, J. H. Lee, S. J. Yang, H. P. Moon, and H. C. Choi. 2000. Visual selection of blackish-purple rices in a segregating population. Korea. J. Breed. 32(2) : 127-131.
- Kang, S. G., M. S. Hassan, W. G. Sang, M. K. Choi, Y. D. Kim, H. K. Park, A. M. Khaleqzaman, A. Chowdhury, B. K. Kim, and J. H. Lee. 2013. Nitrogen use efficiency of high yielding Japonica rice (*Oryza sativa* L.) influenced by variable nitrogen applications. Korean J. Crop Sci. 58(3) : 213-219.
- Lee, H. J. 1997. Identification of anthocyanin from pigmented rice seeds. Seoul National University(Master's thesis). 1-74.
- Lee, H. L. 2010. Identification and quantification of anthocyanins from the grains of black rice (*Oryza sativa* L.) varieties. Food Sci. Biotechnol. 19(2) : 391-397.
- Lee, J. S., J. K. Jang, A. Chun, M. G. Choung, H. W. Kim, S. K. Oh, J. H. Lee, M. R. Yoon, D. J. Kim, and Y. C. Song. 2012. Expression of pigments in black rice during kernel development. Korean J. Crop Sci. 57(2) : 127-131.
- Lee, Y. S., J. K. Lee, S. Y. Lee, T. Yun, and S. H. Woo. 2008. Effects of different transplanting dates and agroclimatic zones on quality of brown rice and yield of a pigmented rice variety Josaengheugchal. Korean J. Crop Sci. 53(S) : 9-14.
- Fei, H. E., M. U. Lin, G. L. Yan, N. N. Liang, Q. H. Pan, J. Wang, M. J. Reeves, and C. Q. Duan. 2010. Biosynthesis of anthocyanins and their regulation in colored grapes. molecules. 15(12) : 9057-9091.
- Nagai, I. G., G. Suzushino, and Y. Tsuboki. 1960. Anthoxanthins and anthocyanins in Oryzaceae. Jpn. J. Breed. 10(4) : 47-56.
- Osawa, N., N. Ramarathanam, S. Kawakishi, M. Namiki, and T. Tashiro. 1985. Antioxidative defense systems in rice hull against damage caused by oxygen radicals. Agricultural and Biological Chemistry. 49. 3085.
- Park, K. Y., Y. K. Kang, S. U. Park, and H. G. Moon. 1989. Effects of planting density and tiller removal on growth and yield of sweet corn hybrids. Kor. J. Crop Sci. 34(2) : 192-197.
- Park, S. Z., H. Y. Kim, S. J. Han, and S. N. Ryu. 2000. Cyanidin-3-glucoside content in F1, F2 and F3 grains of pigmented rice Heugjinjubyeo crosses. Korean J. Breed. 32(3) : 285-290.
- Roh, Y. J., D. Y. Chung, J. H. Ryu, J. D. So, and J. W. Cho. 2015. The Effects of Nitrogen rates on The growth and Yield of Waxy Corn after Cultivation Hair Vetch in Agricultural Fields with The Stream. Kor. J. Crop Sci. 60(3) : 333-337.
- Samonte, S. O. PB., L. T. Wilson, J. C. Medley, S. R. M. Pinson, A. M. McClung, and J. S. Lales. 2006. Nitrogen utilization efficiency: relationships with grain yield, grain protein, and yield-related traits in rice. Agron. J. 98 : 168-176.
- Sinclair, T. R., and T. Horie. 1989. Leaf nitrogen, photosynthesis, and crop radiation use efficiency: A review. Crop Science 29 : 90-98.
- Ryu, S. N., S. Z. Park, and C. T. Ho. 1998. High performance liquid chromatographic determination of anthocyanin pigments in some varieties of black rice. Journal of Food and Drug analysis 6(4) : 729-736.
- Wang, H., G. Cao, and P. L. Ronald. 1997. Oxygen radical absorbing capacity of anthocyanins. J. Agric. Food Chem. 45(2) : 304-309.
- Yoshida, S. 1981. Fundamentals of rice crop science. International Rice Research Institute. Los Banos, Philillines. 269.
- Kim, H. M., K. Y. Lee, and D. I. Eom. 1983. A study on the effect of SiO₂ for each paddy soil types. Korean Society of Soil and Fertilizer : 85-95.
- Statistics Korea. 2015. Rice consumption survey.