

시비량과 재식밀도 변화에 따른 ‘눈큰흑찰’의 품질 및 수량변화

배현경^{1,†} · 오성환² · 서종호¹ · 황정동¹ · 김상열¹ · 오명규¹

Effects of Different Nitrogen Levels and Planting Densities on the Quality and Quantity of ‘Nunkeunheugchal’ Rice

Hyun Kyung Bae^{1,†}, Seong Hwan Oh², Jong Ho Seo¹, Jung Dong Hwang¹, Sang Yeol Kim¹, and Myung Kyu Oh¹

ABSTRACT ‘Nunkeunheugchal’ is a waxy black rice variety that has a large embryo. The quality of black rice depends on the anthocyanin content of the rice seed coat, which is mainly determined by cultivation environment. Factors that affect the anthocyanin content include nitrogen level, planting density, transplanting date and harvesting date. This study was carried out to investigate the optimum black rice cultivation conditions by examining the effects of different nitrogen levels and planting densities. An initial study was conducted to determine the optimum nitrogen level in which four levels of nitrogen were applied to the field (0, 4, 8 and 12 kg/10a). As the nitrogen contents were increased up to 8 kg/10a, there was a concomitant increase in rice yields. However, nitrogen levels greater than 8 kg/10a, the yield was maintained at the same level. Correlation analysis indicated that the optimum nitrogen level for maximum yield was 9.6 kg/10a. In addition, anthocyanin levels showed a trend similar to that of yield, with correlation analysis indicating that the optimum nitrogen level for maximum anthocyanin content is 10.6 kg/10a. On the basis of these results, a second study was conducted to determine the optimum combination of planting density and nitrogen level. The planting densities investigated were 30 × 12, 30 × 14, 30 × 16cm and nitrogen levels were 7, 9 and 12 kg/10a. A high planting density (30 × 12cm) was shown to produce higher numbers of tillers and yield. As calculated in the first study, a nitrogen level of 9 kg/10a shown to produce the highest anthocyanin content and yield. Collectively, the results of this study indicate that a planting density of 30 × 12 cm and a nitrogen level of 9 kg/10a is the optimal combination in terms of maximizing both rice yield and anthocyanin content.

Keywords : anthocyanin, black rice, giant embryo, nitrogen fertilizer, planting density

쌀은 우리나라를 포함한 아시아의 가장 중요한 식량원이며 농민들 에게는 가장 중요한 생산 작물이다. 2017년 현재 대한민국의 쌀 재고량은 약 100 만톤으로 2010년 이후 쌀 생산량은 연간 420 만톤 정도로 비슷하게 유지되고 있지만 1인당 쌀 소비량은 2010년 72.8 kg에서 2016년 현재 61.9 kg까지 급격히 감소하여 해마다 재고량은 상승하고 쌀값은 떨어지는 어려움을 겪고 있다(Statics Korea, 2016). 이를 극복하기 위한 방안으로 시행하고있는 여러가지 방법 중 하나가 쌀의 품질 고급화를 통한 소비촉진으로 흑미나 적미와 같은 건강 기능성 유색미 생산을 통한 쌀소비 촉진이

활발히 진행하고 있으며 이는 건강기능성 작물로 대표되는 검정식품에 대한 소비수요 증가에 따른 것이기도 하다.

‘눈큰흑찰’은 국립식량과학원에서 2013년 개발한 품종으로 검정색 종피와 찰벼 특성을 가진 품종이다. 기존 흑미 품종들에 비해 씨눈이 3배 정도 무거우며 그에따라 씨눈에 많이 분포하는 GABA (γ -aminobutyric acid) 성분 함량 또한 높은 고기능성 품종이다(Park *et al.*, 2015; Seo *et al.*, 2011). 흑미와 같은 검정식품에서 주로 생산되는 안토시아닌은 플라보노이드계 항산화물질로써 유색미의 건강 기능성 고품질화에 가장 중요한 물질로 항암작용, 항염증작용,

¹농촌진흥청 국립식량과학원 남부작물부 (Department of Southern Area Crop Science, NICS, RDA, Miryang 50424, Korea)

²농촌진흥청 국립식량과학원 (Rural Development Administration, Junju 812-8581, Korea)

[†]Corresponding author: Hyun Kyung Bae; (Phone) +82-55-350-1183; (E-mail) dadaeboy@korea.kr

<Received 22 April, 2017; Revised 29 May, 2017; Accepted 1 June, 2017>

항알리지작용, 항당뇨 등 다양한 기능이 알려져 있다(Chen *et al.*, 2006; Goffman & Bergman, 2004; Nam *et al.*, 2005; Nam *et al.*, 2006). 눈큰흑찰의 씨눈에 많이 함유한 GABA는 기능성 아미노산으로써 혈압강하, 신경안정 등에 영향을 끼치는 생리활성 물질로 알려져 있다(Kim *et al.*, 2013; Park *et al.*, 2009). 유색미에 포함된 안토시아닌과 GABA 등의 물질들은 현미를 발아시켰을 때 증가하는 것으로 알려져 있는데(Takayo *et al.*, 1994; Oh *et al.*, 2002) 이러한 현미의 특성을 이용하여 발아현미밥, GABA 흑미밥과 같은 영양학적으로 가치가 높은 가공식품으로 만들어지고 있다.

흑미의 종피는 안토시아닌은 시아니딘, 말비딘, 시아니딘-3-글루코시드(C3G) 등 여러종의 안토시아닌을 포함하고 있으며 이 중 C3G가 흑미의 주요 안토시아닌으로 알려져 있다(Cho *et al.*, 1996; Ryu *et al.*, 2006). 이러한 안토시아닌 성분의 함량을 높이기 위한 재배적인 방법으로 이앙시기 및 수확시기 변화에 의해 안토시아닌 함량차이를 보였고 그 시기가 늦어질수록 함량이 높아졌다(Kim *et al.*, 2013). 작물 재배의 기본이 되는 질소시비량 증가에 의해서 안토시아닌 함량이 높아짐이 보고되었고(Chung *et al.*, 2003) 또한 흑미품종인 신농흑찰을 이용한 연구에서도 질소시비량과 재식밀도를 동시에 높이면 현미수량 및 안토시아닌 함량이 동시에 높아짐을 보고하였다(Lee *et al.*, 2016). 무눈점파와 기계이양과 같은 재배양식 변화에 따라서 지역별로 안토시아닌 함량의 차이가 있음이 보고 되었다(Choi *et al.*, 2016)

벼의 재배는 일반계벼에 맞춰진 표준재배법에 의해 재배되는 것이 일반적이다. 하지만 표준재배법은 현미수량을 높이는 방향의 재배가 기본이며 안토시아닌과 같은 생리활성물질 함량의 증가에 초점을 맞추고 있지 않다. 유색미와 같은 건강기능성 품종의 재배에 있어서도 현미수량은 기본이 되어야 하지만 그와 함께 기능성 물질의 생산량을 높이는 재배법도 매우 중요한 요소이다. 따라서 본 연구는 거대배 흑미 품종인 눈큰흑찰의 현미수량 및 안토시아닌 함량을 동시에 높일 수 있는 적정 재배법 확립을 위한 적정 질소 시비량 및 재식밀도를 설정을 목표로 실시하였다. 질소 시비량 및 재식밀도 조절을 통해 가장 높은 안토시아닌 함량을 가지는 조건 및 가장 높은 현미수량 조건을 구명하였으며 두 조건의 조합을 통해 고안토시아닌, 고수량에 가장 적합한 최적 질소시비량 및 재식밀도를 구명하였다.

재료 및 방법

시험재료 및 재배방법

본 시험은 거대배 흑미인 눈큰흑찰를 시험재료로 사용하

여 2013~2015년까지 3년간 밀양시에 위치한 국립식량과학원 남부작물부 시험포장에서 실시하였다. 이앙기는 6월 10일 이었으며 30일 중묘를 1주에 3본씩을 손이앙하였다. 질소비료처리 및 재식거리를 제외한 나머지 재배법은 농촌진흥청 표준재배법에 따라 수행하였다. 첫 번째 실험은 눈큰흑찰의 적정 질소 시비량을 검정하기 위해 실시하였다. 재식거리는 30 × 14 cm였다. 비료는 10a 당 시험구별로 질소 0, 4, 8, 12 kg을 기비-분얼비-수비로 나누어 5-3-2의 비율로 처리하였다. 인산과 칼리는 각각 4.2 kg과 5.7 kg을 시험구별로 동일하게 사용하였다. 두 번째 실험은 첫 번째 실험의 결과를 토대로 적정 질소 시비량 및 적정 재식거리를 검정하기 위해 실시하였다. 비료는 10a 당 시험구별로 각각 질소 7, 9, 12 kg을 기비-분얼비-수비로 나누어 5-3-2의 비율로 처리하였다. 인산과 칼리는 4.5 kg 과 5.7 kg을 시험구별로 동일하게 사용하였다. 재식거리는 각각 30 × 12 cm, 30 × 14 cm, 30 × 16 cm였다.

안토시아닌 분석

안토시아닌 색소 추출 및 함량은 Hosseinian *et al.* (2008)의 방법을 이용하여 분석하였었다. 눈큰흑찰의 총 안토시아닌 함량을 분석하기 위해 시료 1 g에 1% 추출용매(1% HCl, 80% MeOH(v/v)) 20 mL를 가하여 30°C에서 24시간 진탕추출 후 0.2 μm 실린지 필터로 여과하여 그 용액을 초고압액체크로마토그래피 분광기기를 이용하여 525 nm의 파장으로 정량분석하였다. 분석용매: A (물(0.1% TFA)), B (메탄올(0.1% TFA))를 사용하였고 표준용액은 표준물질인 시아니딘 3-O-글루코사이드와 페오니딘 3-O-글루코사이드를 사용하여 검량곡선을 작성 후 정량분석 하였다.

통계분석

통계분석은 SAS 9.2 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) 프로그램을 이용하였다. 통계 프로그램을 이용하여 평균 및 분산분석을 실시하고 Duncan의 다중 검정방법을 이용하여 α=0.05 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

질소시비량에 따른 현미수량 및 수량구성요소의 변화

눈큰흑찰은 질소시비량이 증가함에 따라 수량구성요소 중 주당수수와 수당립수가 증가하여 현미수량이 증가 하지만 등숙률과 천립중에는 영향을 끼치지 않았다. 현미수량은 질소시비량이 0 kg/10a일 때 202 kg/10a였고 질소시비량 8 kg/10a까지 증가하면 주당수수와 수당립수가 크게 증가하여

358 kg/10a까지 크게 증가하지만 질소시비량이 12 kg/10a까지 증가하여도 수당립수는 약간 증가하지만 주당수수는 증가하지 않아 현미수량은 354 kg/10a로 차이가 없었다(Table 1, Table 2). 이 결과를 이용한 회귀분석을 통해 추정된 최대 현미수량을 위한 최적질소시비량은 약 9.6 kg/10a 내외였다

Table 1. Yield components of Nunkenheugchal at different nitrogen levels ('13~'14).

Nitrogen level (kg/10a)	Heading date	No. of tiller	No. of spikelet	Grain filling rate (%)	1000 grain weight (g)
0	8.5	10.3 ^b	63.7 ^b	1.5 ^a	18.7 ^a
4	8.5	12.4 ^{ab}	69.4 ^b	0.6 ^a	18.5 ^a
8	8.5	13.6 ^a	71.9 ^{ab}	1.1 ^a	18.6 ^a
12	8.6	13.7 ^a	77.0 ^a	0.9 ^a	18.3 ^a

*Values with the same letter in a column are not significantly different at the 5% level as determined by DMRT.

Table 2. Rice yield, anthocyanin content and production yield of Nunkenheugchal at different nitrogen levels ('13~'14).

Nitrogen level (kg/10a)	Brown rice yield (kg/10a)	Anthocyanin content (mg/100g)	Anthocyanin yield (g/10a)
0	202 ^c	4.0 ^b	6.9 ^d
4	311 ^b	5.6 ^b	17.3 ^c
8	358 ^a	11.0 ^a	37.9 ^a
12	354 ^a	8.8 ^{ab}	31.7 ^b

*Values with the same letter in a column are not significantly different at the 5% level as determined by DMRT.

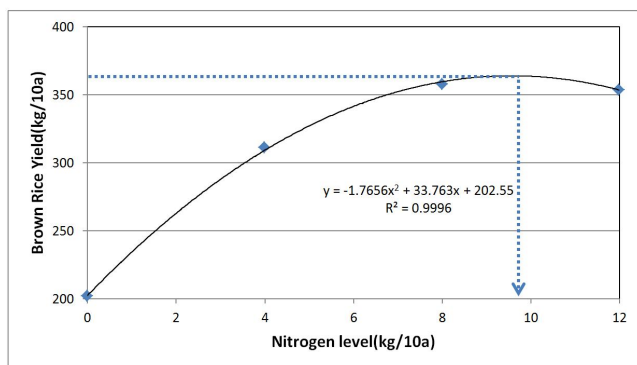


Fig. 1. Correlation analysis between nitrogen level and brown rice yield. Regression analysis indicated that the optimum nitrogen level for the highest rice yield is 9.6 kg/10a.

(Fig. 1). 이 결과는 Lee *et al.* (2016)이 신농흑찰을 이용해 수행한 실험 결과와 경향성 면에서 일치하였으나 신농흑찰의 재배에 있어서 최고품질 및 최대현미수량을 얻기 위한 적정 질소시비량의 추정량은 14.7 kg/10a 정도로 다비재배를 요하는 품종인데 반해 눈큰흑찰은 9.6 kg/10a으로 비교적 소비재배 품종이었다. 눈큰흑찰의 종자는 비중이 매우 낮아 고전적인 수선을 이용한 등숙률 측정법에 의해 1% 대의 낮은 등숙률을 보였고 질소시비 처리구 간에 차이를 보이지 않았다. 이러한 농업형질로써 가치가 없는 낮은 등숙률을 개선하기 위해 흑미, 적미 등 비중이 낮은 유색미를 위한 새로운 등숙률 측정법을 개발하여야 할 것으로 보인다.

안토시아닌 함량 변화

질소시비량이 0~8 kg/10a까지 증가하면 안토시아닌 함량도 4~11 mg/100 g 수준으로 함께 증가하였다. 질소시비량이 12 kg/10a까지 증가하면 오히려 안토시아닌 함량이 8.8 mg/100 g로 감소하여 높은 질소시비량이 높은 안토시아닌 함량으로 이어지지 않았다(Table 2). 이러한 결과는 Chung *et al.* (2003)이 보고한 표준시비법에 비해 다비재배에서 안토시아닌 함량은 증가하지 않는다는 결과와 일치하였다. 현미수량과 함께 고려한 안토시아닌의 생산량은 질소시비량이 4, 8, 12 kg/10a일때 각각 17.3, 37.9, 31.7 g/10a로 8 kg/10a 수준에서 가장 높았다. 회귀분석을 통해 최대 안토시아닌 생산을 위한 최적 질소시비량을 추정된 결과 최적 질소시비량은 약 10.6 kg/10a였다(Fig. 2). 이 값은 표준 질소시비량인 9 kg/10a (RDA, 2014) 보다 높은 값으로 일반적으로 현미수량을 기준으로 추정하는 질소시비량보다 높았다.

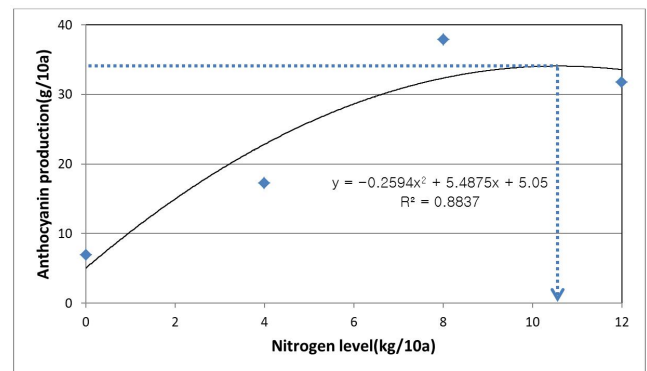


Fig. 2. Correlation analysis between nitrogen level and anthocyanin production. Regression analysis indicated that the optimum nitrogen level for higher anthocyanin production is 10.6 kg/10a.

Table 3. Yield components of Nunkenheugchal at different nitrogen levels and planting densities ('13~'15).

Nitrogen level (kg)	Planting distance (cm)	No. of tiller (tiller/m ²)	No. spikelet	1000 grain weight (g)
7	30×12	372 ^a	64.3 ^b	16.9 ^a
	30×14	347 ^b	64.5 ^b	17.2 ^a
	30×16	305 ^c	67.3 ^a	17.2 ^a
	Avg.	341	65.4	17.1
9	30×12	376 ^a	66.8 ^b	17.3 ^a
	30×14	367 ^a	70.1 ^a	17.1 ^a
	30×16	343 ^b	65.7 ^b	16.9 ^a
	Avg.	362	67.5	17.1
12	30×12	388 ^a	66.4 ^a	16.9 ^a
	30×14	363 ^b	66.8 ^a	16.8 ^a
	30×16	354 ^c	68.4 ^a	16.8 ^a
	Avg.	368	67.2	16.8

*Values with the same letter in a column are not significantly different at the 5% level as determined by DMRT.

재식밀도 및 질소시비량에 따른 생육특성 및 현미수량

첫 번째 실험결과를 바탕으로 최적 질소시비량 및 최적 재식거리를 검정하기 위해 두 번째 실험을 실시하였다. 첫 번째 실험에서 회귀분석을 통해 추정된 것과 마찬가지로 질소시비량이 9 kg/10a 수준과 12 kg/10a 수준일 때 수수 및 수당립수의 차이가 없어 현미수량의 차이는 없었고 7 kg/10a 수준에서는 수수와 수당립수가 감소하는 경향을 보였다. 재식밀도의 경우 밀도가 증가함에 따라 수수는 증가하고 수당립수는 감소하였는데 밀도 증가에 따른 수수의 증가치가 수당립수의 감소치 보다 높아 30 × 12 cm의 높은 재식밀도에서 가장 높은 수량을 보였다. 재식밀도에 따른 천립중의 차이는 없었다(Table 3).

재식밀도 및 질소시비량에 따른 안토시아닌 함량

질소시비량에 따른 안토시아닌의 함량은 7, 9, 12 kg/10a 질소시비량 수준에서 각각 11.2, 15.0, 14.3 mg/100 g으로 첫 번째 실험에서 가장 높은 안토시아닌 함량을 보여준 10 kg/10a와 가장 가까운 9 kg/10a 수준에서 가장 높았으며 12 kg/10a 수준에서는 하락하여 첫 번째 실험에서 회귀분석을 통해 추정된 9.6 kg/10a와 거의 일치하였다. 재식밀도의 경우 질소시비량 7 kg/10a 수준에서는 재식밀도 차이에 따른 안토시아닌 함량의 차이가 없었으나 9, 12 kg/10a 수준에서는 밀도가 높아질수록 안토시아닌 함량이 높아져 30 × 12

Table 4. Rice yield, anthocyanin content and production yield of Nunkenheugchal at different nitrogen levels ('13~'15).

Nitrogen level (kg)	Planting distance (cm)	Brown rice yield (kg/10a)	Anthocyanin content (mg/100g)	Anthocyanin yield (g/10a)
7	30×12	352 ^a	11.0 ^a	38.6 ^a
	30×14	343 ^a	11.2 ^a	38.4 ^a
	30×16	318 ^b	11.6 ^a	36.8 ^b
	Avg.	338	11.2	37.9
9	30×12	383 ^a	18.0 ^a	69.1 ^a
	30×14	359 ^b	13.9 ^b	50.0 ^b
	30×16	342 ^b	13.0 ^b	44.4 ^c
	Avg.	361	15.0	54.5
12	30×12	389 ^a	15.6 ^a	60.6 ^a
	30×14	350 ^b	14.2 ^a	49.8 ^a
	30×16	337 ^b	13.1 ^a	44.3 ^b
	Avg.	359	14.3	51.6

*Values with the same letter in a column are not significantly different at the 5% level as determined by DMRT.

cm 수준에서 가장 높은 함량을 보였다. 현미수량과 함께 고려한 안토시아닌 생산량은 질소시비량 9 kg/10a, 재식밀도 30 × 12 cm에서 69.1 g/10a로 가장 높았고 재식밀도가 낮아질수록 현미수량 감소에 의해 안토시아닌 생산량이 감소하였다(Table 4). 이러한 결과는 Lee *et al.* (2016)이 제시한 질소시비량-재식밀도 와 현미수량-안토시아닌 함량 간의 관계와 일치하는 결과로 질소시비량과 재식밀도의 증가가 수량 및 안토시아닌 함량의 증가를 가져오지만 기준치 이상의 높은 질소시비는 오히려 수량의 감소를 가져온다는 일반적인 사실과 일치하였다. 또한 Kang *et al.* (2013)등에 의하면 질소시비량이 9 kg/10a를 넘어서면 질소이용효율이 감소하기 시작하며 15 kg/10a 이상의 질소시비 조건에서는 질소이용효율이 매우 떨어져 현미수량의 향상이 미미하다고 하였는데 결과적으로 눈큰흑찰에 있어서 현미수량과 안토시아닌 함량은 질소시비량이 10 kg/10a 넘어서면 증가하지 않거나 감소하는 경향을 보여주어 같은 경향성을 보여 주었다. 이상의 결과를 종합하면 재식밀도의 경우 30 × 12 cm의 밀식조건이 질소시비량은 9 kg/10a의 보통시비조건이 가장 최적으로 재배 조건으로 판단되며 눈큰흑찰은 밀식재배에 유리한 품종으로 사료된다. 농촌진흥청에서 발간한 '가공용 특수미 벼 재배기술'(RDA, 2014)에 따르면 특수미 재배에 있어서 질소의 기준 시비량은 9 kg/10a이며

유색미의 경우 품종에 따라 질소에 대한 반응이 다르기 때문에 고품질 유색미 생산을 위해서는 품종에 따른 질소소비 수준을 다르게 하여야 한다고 하였다. 하지만 유색미 품종이 활발히 육종된 것에 비해 각 품종별 재배기술에 대한 연구가 부족하고 모든 품종에 대한 질소소비량을 제시하기에 현실적인 어려움이 있어 몇몇 품종의 연구결과에 의존하여 표준재배법을 확립하는 실정이다. 이에 본 연구에서 제시한 적정질소소비량 및 재식밀도에 대한 결과는 고품질 눈큰흑찰 재배뿐만 아니라 유사한 유색미 품종들의 고품질 재배에도 도움이 될 것으로 사료된다.

적 요

본 실험은 거대배 흑미 품종인 눈큰흑찰의 효과적인 재배를 위한 적정질소소비량과 적정재식밀도를 구명하고자 2013년~2015년에 밀양에서 실시하였다.

1. 질소소비량이 0 kg/10a에서 8 kg/10a까지 증가하면 주당수수와 수당립수가 증가하여 현미수량이 증가하였지만 8 kg/10a에서 12 kg/10a까지 증가하여도 수량의 변화는 없었다. 회귀분석을 통해 얻어진 눈큰흑찰의 최대현미수량을 위한 적정 질소소비량은 9.6 kg/10a였다.
2. 질소소비량이 0 kg/10a에서 8 kg/10a까지 증가하면 안토시아닌의 함량은 높아졌으나 12 kg/10a까지 처리하였을 때는 오히려 감소하였다. 회귀분석을 통해 얻어진 눈큰흑찰의 최대 안토시아닌 수량을 위한 적정 질소소비량은 10.6 kg/10a였다.
3. 재식밀도가 증가함에 따라 수수는 증가하고 수당립수는 감소하였는데 밀도 증가에 따른 수수의 증가치가 수당립수의 감소치보다 높아 30 × 12 cm의 높은 재식밀도에서 가장 높은 수량을 보였다.
4. 질소소비량 7 kg/10a 수준에서는 재식밀도 차이에 따른 안토시아닌 함량의 차이가 없었고 9, 12 kg/10a 수준에서는 밀도가 높아질수록 안토시아닌 함량이 높아져 30 × 12 cm 수준에서 가장 안토시아닌 함량이 높았다. 현미수량과 안토시아닌 함량을 함께 고려한 안토시아닌 생산량은 질소소비량 9 kg/10a, 재식밀도 30 × 12 cm에서 69.1 g/10a로 가장 높았다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(세부과제명: 기능성 벼 신품종 최적 재배기술 개발, 세부과제번호: PJ00926504)의

지원에 의해 이루어진 것임.

인용문헌(REFERENCES)

- Chen P. N., W. H. Kuo, C. L. Chiang, H. L. Chiou, Y. S. Hsieh, and S. C. Chu. 2006. Black rice anthocyanins inhibit cancer cells invasion via repressions of MMPs and u-PA expression. *Chemico-Biological Interactions*. 163: 218-229.
- Cho, M. H., Y. S. Paik, H. H. Yoon, and T. R. Hahn. 1996. Chemical structure of the major color component from a Korean pigmented rice variety. *Agri. Chem. Biotech.* 39(4): 304-308.
- Choi Y. H., H. M. Han, Y. J. Won, J. Y. Park, Y. Y. Lee, B. W. Lee, S. L. Kim, and K. S. Lee. 2016. Variation of Cyanidin-3-Glucoside in the Pigmented Rice as Affected by the Rice Cultivation Types. *J. Korean Soc. Int. Agric.* 28(4): 490-495.
- Chung, I. M., K. H. Kim, J. K. Ahn, and J. C. Chae. 2003. Development of rice production technique with high antioxidative activity and bioactive compounds. Korean Ministry of Agriculture and Forestry, Agricultural R&D research report, 35-80.
- Goffman, F. D. and C. J. Bergman. 2004. Rice kernel phenolic content and its relationship with antiradical efficiency. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84: 1235-1240.
- Hosseinian, F. S., W. Li, and T. Beta. 2008. Measurement of anthocyanins and other phytochemicals in purple wheat. *Food Chem.* 109: 916-924.
- Kang, S. G., M. S. Hassan, W. G. Sang, M. K. Choi, Y. D. Kim, H. K. Park, A. M. Khalequzzaman, 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.
- Kim, H. Y., J. H. Kim, S. A. Lee, S. N. Ryu, S. J. Han, and S. G. Hong. 2010. Antioxidative and anti-diabetic activity of C3GHi, novel black rice breed. *Korean J. Crop. Sci.* 55(1): 38-46.
- Kim, J. Y., W. D. Seo, D. S. Park, K. C. Jang, K. J. Choi, S. Y. Kim, S. H. Oh, J. E. Ra, G. H. Yi, S. K. Park, U. H. Hwang, Y. C. Song, B. R. Park, M. J. Park, H. W. Kang, and S. I. Han. 2013. Comparative Studies on Major Nutritional Components of Black Waxy Rice with Giant Embryos and Its Rice Bran. *Food Sci. Biotechnol.* 22(S): 1-8.
- Kim, S. K., J. H. Shin, D. K. Kang, S. Y. Kim, and S. Y. Park. 2013. Changes of Anthocyanidin content and brown rice yield in three pigmented rice varieties among different transplanting and harvesting times. *Korean J. Crop Sci.* 58(1): 28-35.

- Lee, I. S., D. R. Lee, S. H. Cho, S. Y. Lee, K. C. Kim, K. W. Lee, and Y. J. Song. 2016. Effects of different nitrogen levels and planting densities on the quality and yield of the black rice cultivar 'Shinnongheugchal'. *Korean J. Crop Sci.* 61(2): 79-86.
- Nam, S. H., S. P. Choi, M. Y. Kang, H. J. Koh, N. Kozukue, and F. Mendel. 2005. Bran extracts from pigmented rice seeds inhibits tumor promotion in lymphoblastoid B cells by phorbol ester. *Food and Chemical Toxicology* 43: 741-745.
- Nam, S. H., S. P. Choi, M. Y. Kang, H. J. Koh, N. Kozukue, and M. Friedman. 2006. Antioxidative activities of bran extracts from twenty one pigmented rice cultivars. *Food Chem.* 94: 613-620.
- Oh S. H., S. H. Kim, Y. J. Moon, and W. G. Choi. 2002. Changes in the levels of γ -aminobutyric acid and some amino acids by application of glutamic acid solution for the germination of brown rice. *Korean J. Biotechnol. Bioeng.* 17: 49-53.
- Park, D. S., S. K. Park, B. C. Lee, S. Y. Song, N. S. Jun, N. L. Manigbas, J. H. Cho, M. H. Nam, J. S. Jeon, C. D. Han, K. J. Choi, D. H. Kim, Y. M. Woo, H. J. Koh, H. W. Kang, and G. H. Yi. 2009. Molecular characterization and physicochemical analysis of a new giant embryo mutant gene (*get*) in rice (*Oryza sativa* L.). *Genes Genom.* 31: 277-283.
- Rural Development Administration. 2014. Cultivation techniques for processing and special rice variety. pp. 115-118
- Ryu S. N., S. J. Han, S. Z. Park, and H. R. Kim. 2006. Antioxidant activity of blackish purple rice. *Korean J. Crop Sci* 51: 173- 178.
- Seo, W. D., J. Y. Kim, D. S. Park, S. I. Han, K. C. Jang, K. J. Choi, S. Y. Kim, S. H. Oh, J. E. Ra, G. H. Yi, S. K. Park, U. H. Hwang, Y. C. Song, B. R. Park, and H. W. Kang. 2011. Comparative analysis of physicochemicals and antioxidative properties in new giant embryo mutant, 'YR23517Acp79', in rice (*Oryza sativa* L.). *J. Korean Soc. Appl. Biol. Chem.* 54: 700-709.
- Statistics Korea. 2016. <http://kosis.kr>.
- Takayo, S., T. Horino, and Y. Mor. 1994. Accumulation of γ -aminobutyric acid (GABA) in the rice germ during water soaking. *Biosci. Biotech. Biochem.* 58: 2291-2292.