

## 벼 이앙 직후 유묘기 한발 피해시기에 따른 수량 및 미질 특성 변화

조수민<sup>1,†</sup> · 조준현<sup>1</sup> · 이지윤<sup>1</sup> · 권영호<sup>1</sup> · 강주원<sup>1</sup> · 이셋별<sup>1</sup> · 김태현<sup>1</sup> · 이종희<sup>2</sup> · 박동수<sup>2</sup> · 이점식<sup>3</sup> · 고종민<sup>4</sup>

### Change in Yield and Quality Characteristics of Rice by Drought Treatment Time during the Seedling Stage

Sumin Jo<sup>1,†</sup>, Jun-Hyeon Cho<sup>1</sup>, Ji-Yoon Lee<sup>1</sup>, Young-Ho Kwon<sup>1</sup>, Ju-Won Kang<sup>1</sup>, Sais-BeulLee<sup>1</sup>, Tae-Heon Kim<sup>1</sup>, Jong-Hee Lee<sup>2</sup>, Dong-Soo Park<sup>2</sup>, Jeom-Sig Lee<sup>3</sup>, and Jong-Min Ko<sup>4</sup>

**ABSTRACT** Drought stress caused by global climate change is a serious problem for rice cultivation. Increasingly frequent abnormal weather occurrences could include severe drought, which could cause water stress to rice during the seedling stage. This experiment was conducted to clarify the effects of drought during the seedling period on yield and quality of rice. Drought conditions were created in a rain shelter house facility. The drought treatment was conducted at 3, 10, and 20 days after transplanting. Soil water content was measured by a soil moisture sensor during the whole growth stage. In this study, we have chosen 3 rice cultivars which are widely cultivated in Korea: ‘Haedamssal’ (Early maturing), ‘Samkwang’ (Medium maturing), and ‘Saenuri’ (Mid-late maturing). The decrease in yield due to drought treatment was most severe 3 days after transplanting because of the decrease in the number of effective tillers. The decrease in grain quality due to drought treatment was also most severe 3 days after transplanting because of the increased protein content and hardness of the grains. The cultivar ‘Haedamssal’ was the most severely damaged by water stress, resulting in about a 30% yield loss. Drought conditions diminished the early vigorous growth period and days to heading in early-maturing cultivars. The results show that drought stress affects yield components immediately after transplanting, which is a decisive factor in reducing yield and grain quality. This study can be used as basic data to calculate damage compensation for drought damage on actual rice farms.

**Keywords** : drought stress, grain quality, panicle number per hill, rice, yield loss

세계적으로 물 사용은 산업 중 농업의 비중이 가장 크다. 우리나라는 연평균 강수량이 1,245 mm로 세계 평균보다 많지만 여름철 집중호우로 인해 대부분의 물을 이용하지 못하고 약 30% 정도만이 이용되고 있어 물 부족 국가에 속한다(Lee *et al.*, 2013).

우리나라는 지구온난화의 영향으로 작물재배에 적합한 일수가 증가하고 강수량이 큰 폭으로 늘어나고 있지만 일정 기간에 집중되는 강수량과 평균 기온의 상승으로 인해

수분의 증발량이 많아지고 있다. 그로 인해 충분한 강수량임에도 불구하고 가뭄 피해를 입는 작물이 증가하고 있으며 고온에 약한 작물들의 생산성에 영향을 미칠 것으로 예측되고 있다(Kim *et al.*, 2011).

1939년에는 전국적으로 강수량이 예년의 1/3 수준으로 물 부족 현상이 발생하여 당시 쌀 수확량이 평년 대비 37% 감소하였다. 80년대 이후에는 1982년에 가장 심한 가뭄이 발생하여 수확량이 174천 kg이 감소되었다(KRCAC, 2012).

<sup>1</sup>농촌진흥청 국립식량과학원 남부작물부 농업연구사 (Agriculture Researcher, Department of Southern Area Crop Science, National Institute of Crop Science, RDA, Miryang 50424, Korea)

<sup>2</sup>농촌진흥청 국립식량과학원 남부작물부 농업연구관 (Agriculture Senior Researcher, Department of Southern Area Crop Science, National Institute of Crop Science, RDA, Miryang 50424, Korea)

<sup>3</sup>농촌진흥청 기술협력국 국외농업기술과 과장 (Supervisor of RDA, Technique Cooperation Bureau, RDA, Jeonju 54875, Korea)

<sup>4</sup>농촌진흥청 국립식량과학원 남부작물부 논이용작물과 과장 (Supervisor of Paddy Crop Research Division, Department of Southern Area Crop Science, National Institute of Crop Science, RDA, Miryang 50424, Korea)

<sup>†</sup>Corresponding author: Sumin Jo; (Phone) +82-55-350-1175; (E-mail) [tnals88319@korea.kr](mailto:tnals88319@korea.kr)

<Received 2 December, 2019; Revised 17 December, 2019; Accepted 18 December, 2019>

1965년 이후 주곡의 안정적 공급을 위하여 농업용수개발사업을 통하여 저수지 확충과 수로 등 관개 시설을 꾸준히 정비하였다. 2012년 기준 국내 총 벼 재배 면적 984천 ha 중 수리안전담은 788천 ha (80.1%)이며, 이 중 농지개량시설의 설계 기준년인 10년 빈도를 만족시키는 수리안전담은 약 520천 ha (53%) 불과하다(KRCAC, 2012). 2012년에 경기, 충남, 전남, 전북 등 서해안 지역의 가뭄으로 피해를 입은 80천 ha도 수리불안전담이었다(Kim *et al.*, 2016).

벼농사와 관련하여 발생하는 가뭄은 이양지연형과 생육장애형 가뭄으로 구분된다(Bouman *et al.*, 2001). 이양지연형 가뭄으로 이양이 늦어 육묘기간이 연장되면 모는 노화하고 심할 경우에는 아랫잎이 말라 죽고 절간신장이 되면서 불시출수의 원인이 된다. 생육장애형 가뭄은 생육 단계에 따라 다르게 가뭄의 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 생육장애형 가뭄이 분얼기에 발생하면 벼 초장의 신장을 저해하고 분얼의 지연과 억제로 이삭수가 적어지며, 출수를 지연시켜 수량을 감소시킨다(Bouman *et al.*, 2001). 유수형성기의 가뭄 발생은 이삭 당 영화수를 적게 하고 출수를 지연시키며, 특히 수잉기의 가뭄 발생은 영화 퇴화와 임실율 감소로 수량감소가 가장 크게 나타나는 것으로 알려져 있다(Bouman *et al.*, 2001; Liu *et al.*, 2006).

최근 국내에서 매년 봄 가뭄으로 이양을 늦추어 이양지연형 가뭄이 발생하거나 이양 직후 유묘기에 물 부족으로 생육장애형 한발 피해가 많아지고 있다. 과거에는 이러한 한발 피해는 주로 관계시설의 미비에 의한 농업용수 부족이나, 간혹 여름철 강우량이 매우 적어 벼 최고 분얼기, 출수기 혹은 성숙기의 한발 피해를 입었다. 반면, 최근의 봄 가뭄으로 인한 벼의 이양 직후 유묘기 한발피해는 국지적으로 매년 발생하고 있어 이러한 현상이 국내에 상시화 될 수 있다. 대부분의 벼 품종은 재배화 과정에서 가뭄에 대한 저항성 형질이 사라진 것으로 알려져 있다(Atwell *et al.*, 2013; Nabholz *et al.*, 2014).

쌀의 외관적인 품질은 시장에서 소비자들이 직접 눈으로 상품성을 판단하는데 결정적인 영향을 미치기 때문에 완전미율 향상은 고품질 벼 품종 육성의 중요한 육종목표이다(Choi, 2002). 완전미는 불완전미에 비해 단백질함량이 낮고, 밥맛이 우수한 것으로 알려져 있다(Chung *et al.*, 2005). 쌀의 단백질함량, 아미로스함량 및 전분의 호화 특성 등은 밥맛에 관여하는 중요한 성분으로 알려져 있으며 국내외적으로 많은 연구가 진행되었다(Kim *et al.*, 2007; Tan *et al.*, 2002). 반면, 한발피해에 따른 쌀의 완전미율과 이화학적 특성과의 관계에 대한 연구는 다소 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구는 기후변화 대응을 위해 최근 국내에서

널리 재배되고 있는 벼 품종들의 가뭄에 대한 재배 안정성을 증진시키기 위한 기초자료로 활용하고 이러한 벼 재배 환경변화에 따른 대응방안 마련을 위해 벼 이양 후 유묘기 한발에 의한 피해정도를 구명하는 것을 목적으로 수행하였다. 벼의 생육시기, 특히 우리나라의 경우 이양기인 5~6월 가뭄이 심각함으로 유묘기 때 한발피해에 따른 피해양상과 그 피해에 따른 수량 감소 및 쌀의 완전미율을 비롯한 품질 특성 변화를 구명하였다.

## 재료 및 방법

### 시험재료

본 시험은 2017년 및 2018년 5월부터 10월까지 밀양지역(N35°50')에 있는 국립식량과학원 남부작물부 시험포장에서 수행되었다. 시험재료는 국립식량과학원에서 육성된 품종 중 조생종·중생종·중만생종 대표품종인 ‘해답쌀’, ‘삼광’, ‘새누리’ 등을 이용하였다.

### 한발처리용 비가림 비닐하우스 설치 및 한발처리

시설의 크기는 가로 8 m×세로 17 m, 총 3동으로 구성하였으며 동별로 2개의 시험구를 설치하고 각각의 시험구 사이에 방수포를 설치하여 지하로의 물의 이동을 차단하였다. 각각의 시험구에는 토양수분센서 EM50을 배치하여 데이터로거를 통해 실시간으로 토양수분과 온도를 측정하여 작물의 전 생육기간에 걸쳐 시설 내부의 토양수분함량을 모니터링하였다(Fig. 1). 센서 그래프를 보면 처리기간동안 토양수분함량이 줄어든 것을 확인할 수 있으며, 초기(이양 후 3일차) 가뭄처리한 시험구가 이양 후 20일차에 가뭄처리한 시험구 보다 토양수분함량이 더 감소한 것을 알 수 있다.

각 품종을 5월 4일 파종하고, 30일 묘를 이용하여 재식거리 30×15 cm로 1주 3본으로 6월 4일 이양하였다. 대조구 관개조건은 농촌진흥청 벼 표준재배법에 준하여 재배하였고(Lee *et al.*, 2012), 인위적인 가뭄발생을 위한 한발 처리구는 본 시험을 위해 사전 제작한 비가림 하우스 시설을 이용하여 본답의 농업용수의 관·배수를 인위적으로 조절하였다. 한발처리는 비가림 하우스 1동 당 각 이양 후 3일차, 10일차, 20일차에 관수를 중단하고 배수구를 열어두어 25일간 단수처리 후 재관수 하여 한발피해가 수량감소와 미질에 어떠한 영향을 끼치는지 조사하였다(Fig. 2). 시험구는 분할구 배치법 3반복으로 수행하였다. 시비량은 한발처리로 인해 관수가 어려워 완효성 비료를 이용하여 전층 시비하였고 복비 기준으로 질소-인산-칼리를 ha당 210-170-170 kg으로 기비만 주었다.

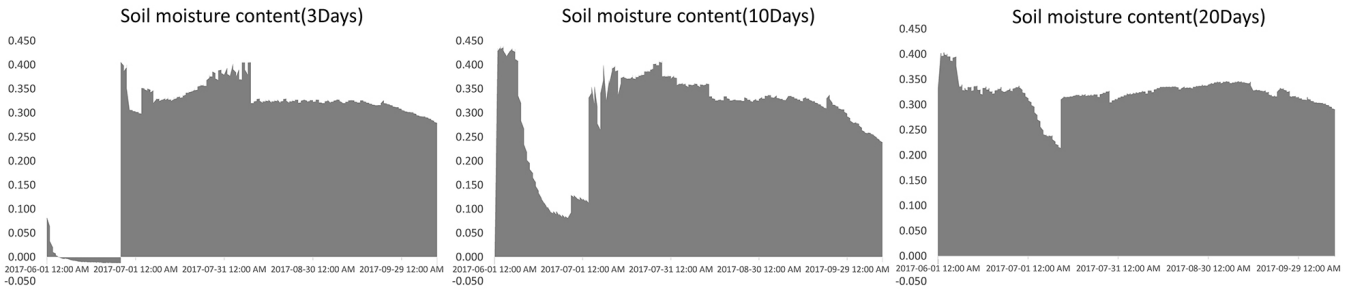


Fig. 1. Change Pattern of Soil Moisture content by conducting drought treatment at 3, 10, 20 days after transplanting. The degree of moisture damage was different depend on treatment time.

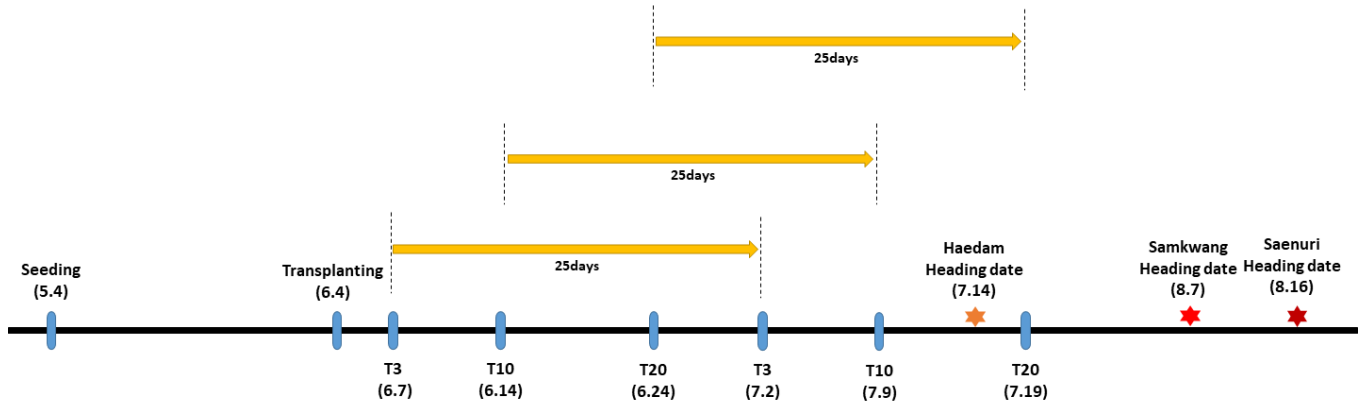


Fig. 2. Timeline of treatments at 3, 10, 20 days after transplanting and heading date of 3 cultivars. Yellow time bars refer to the treatment period for 25 days.

**벼 생육 및 수량 조사**

초장은 이앙 후 한발 처리 후 품종별 및 처리별로 각각 20주를 조사하였다. 간장과 수장, 수수는 출수 후 30일 경에 각 품종별 및 처리별로 완전임의로 선발한 20주를 조사하였다. 간장은 지상에서 최장간 이삭의 이삭목까지의 길이를 조사하였으며, 수장은 간장 조사주에서 이삭목에서 이삭끝까지의 길이를 측정하였다. 수당립수와 천립중, 등숙비율은 3주씩 3반복으로 조사하였다. 수당립수는 이삭수에 총립수를 나누어 조사하였다. 등숙비율(%)은 염농도 1.04로 비중 수선한 후 완전 등숙립수를 총립수로 나누어 100%로 환산하였다. 천립중은 완전립 1,000립의 무게를 3반복으로 측정하였다. 쌀수량은 각 시험구에서 50주를 건조 후 정선하고 중자무게 및 수분 함량을 조사하고 10a 당 수량으로 변환하여 분석하였다(Kim *et al.*, 2012).

**미질특성 조사**

아밀로스함량 분석은 Juliano (1971)의 비색정량법에 따라 100 mg의 백미가루에 95% ethanol 1 ml와 1N NaOH 9 ml를 가해 진탕항온수조에 10분간 호화시킨 후 증류수로

100 ml을 채운 다음, 그 중 5 ml를 취해 1N CH<sub>3</sub>COOH 1 ml와 2% I<sub>2</sub>-KI (Iodine solution) 2 ml를 가해 증류수로 100 ml까지 채우고 20분간 발색 반응을 시켜 흡광도 620 nm의 파장에서 UV/Vis 분광광도계(Shimadzu, UV2450)를 이용하여 측정하였다.

단백질함량 분석은 백미가루 시료 약 600 mg을 micro insert ring을 끼운 mini sample cup에 채운 후 sample cup backs를 이용하여 시료 내 공극을 없애준 후 실온조건 가시광선 및 근적외선 대역(400-2500 nm)에서 한 자원 당 2반복 scanning하여 근적외선 스펙트럼을 측정하였다. 스펙트럼 측정은 NIRS (FOSS, XDS near-infrared)를 사용하였고, 단백질 함량 계산은 개발된 NIRS 예측모델이 입력된 NIRS 구동 전용프로그램인 ISI scan (FOSS, ver. 4.3.0)을 사용하였다.

쌀의 아밀로그래프 특성은 Rapid visco analyzer (Newport Co.)를 이용하여 쌀가루 100 mg과 물 35 ml를 mixing bowl에 넣고 50°C에서 1분, 50~95°C까지 1분당 12°C씩 상승시키고 95°C에서 2.5분 정도 유지시켰다가 50°C로 냉각시키면서 호화개시온도(gelatinization)첨가한 후 rapid visco analyzer (Co.)를 이용하여 호화온도, 최고점도, 최저점도, 최

**Table 1.** Comparison of plant height and number of tillers according to drought stress treatment time after transplanting.

Treatment <sup>b</sup>	Plant height (cm)			Number of tiller per plant		
	Control <sup>±</sup>	Treatment	Reduction rate	Control	Treatment	Reduction rate
	Mean±SE <sup>↓</sup>	Mean±SE	(%) <sup>↓</sup>	Mean±SE	Mean±SE	(%)
T 3	42.2±3.9	35.2±5.3	16.6	9.8±1.9	6.7±1.6	31.6
T10	55.0±3.7	49.3±5.1	10.4	12.7±2.3	8.7±1.5	31.5
T20	70.9±3.4	62.3±3.9	12.2	12.4±2.3	11.9±2.0	3.7

<sup>b</sup>Treatment (T3: Drought treatment on 3days after transplanting, 10: 10 days after transplanting, and T20: 20 after transplanting. During of treatment: 25 days

<sup>±</sup>Different control survey time according to drought stress different treatment time (T3,T10,T20)

<sup>↓</sup>SE: Standard error

<sup>↓</sup>Reduction rate (%): (Control-treatment)/control×100

중점도를 구하였으며, 응집점도(최저점도-최종점도), 강하점도(최고점도-최저점도), 치반점도(최고점도-최종점도)로 구하였다(Lee *et al.*, 2012).

**통계분석**

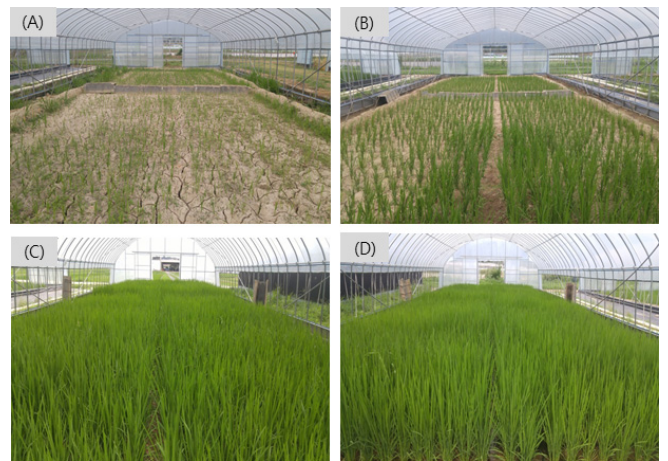
모든 실험은 3회 이상 반복하여 결과 값을 평균값으로 나타냈으며, 각 실험결과의 통계처리는 R 통계프로그램(Version 3.2.2)를 이용하여 분산분석(ANOVA) 후 Duncan's multiple range test로 p < 0.05 수준에서 유의적 차이를 검정하였다.

**결과 및 고찰**

**한발 처리시기에 따른 벼 초기 생육특성 분석**

한발처리시기별로 생육초기 특성을 분석한 결과, 초장 감소율은 T3, T10 및 T20 처리구에서 각각 16.6%, 10.4% 및 12.2%로 무처리구 대비에서 생육이 불량하였다. 경수는 T3, T10 처리구에서 약 6.7개 및 8.7개로서 무처리구보다 각각 31.6%, 31.5% 감소하였고, T20처리구의 경수는 11.9개로 무처리구 대비 감소율이 3.7%로 상대적으로 생육이 양호하였다(Table 1).

각각 시험구별로 25일간 한발처리 했을 때의 전체 생육 상태를 관찰하였다(Fig. 3). Table 1에서의 결과와 같이 이앙 후 3일, 10일 경인에 한발피해를 받은 시험구는 초기 생육에 큰 피해를 입었고 회복하는데 많은 시간이 걸렸으며 재관수시 회복하지 못하여 결주가 많이 발생하였다. 하지만 이앙 후 20일 경에 한발 처리를 한 시험구의 경우 무처리구와 비슷한 상태를 보였으며 이는 이앙 후 20일 동안 뿌리활착을 하여 이후 25일간 한발피해기간에도 토양수분을 잘 활용하여 피해를 최소화 할 수 있었을 것으로 사료된다. 이 결과는 이앙 후 약 20일 경의 물관리가 초기 뿌리활착과 생육에 큰 영향을 끼치는 것으로 판단할 수 있으며 20일 이



**Fig. 3.** Comparison of plant growth according to drought stress treatment after transplanting. (A) T3: Treatment after transplanting 3<sup>th</sup>, (B) T10: Treatment after transplanting 10<sup>th</sup>, (C) T20: Treatment after transplanting 20<sup>th</sup>, (D) CT: Control. During of treatment: 25 days.

전에 한발피해는 생육 및 수량에 절대적인 피해를 입히므로 초기 물관리가 매우 중요할 것으로 사료된다.

**한발 처리시기에 따른 품종별 벼 후기 생육 및 수량구성요소 분석**

Table 2의 결과를 보면 한발처리시기별로 벼 후기 생육 및 수량구성요소 특성을 분석한 결과, 간장은 T3, T10 및 T20 처리구에서 각각 53.9 cm, 54.3 cm 및 59.2 cm로 무처리구 61.7 cm 대비에서 생육이 불량하였다. 수수는 T3, T10 처리구에서 약 10.7개 및 11.3개로서 무처리구, T20이 각각 14.6개, 14개인 것에 비해 약 3~4개 감소하였다. 수당립수는 T3, T10 및 T20 처리구에서 98.1개, 99개, 93.6개로 무처리구 106.2개 대비 유의미하게 감소하였다. 등숙률의 경우에도 T3, T10 및 T20 처리구에서 82.9%, 84.3%, 79.3%

**Table 2.** Comparison of yield component and yield according to drought treatment by each cultivar and average by each year (2017-2018).

Cultivar	TT	Days to heading	Culm length (cm)	Panicle length (cm)	Panicle number per hill	Number of spikelet per panicle	Ratio of ripened grain (%)	1000-grain weight (g)	Yield (kg/10a)	Yield index
Haedamssal	CT	74	56.8 <sup>a</sup>	20.6	16.9 <sup>a</sup>	95.0 <sup>a</sup>	88.2 <sup>a</sup>	20.0 <sup>b</sup>	381.3 <sup>a</sup>	100
	T 3	70	47.5 <sup>c</sup>	20.6	12.5 <sup>c</sup>	84.3 <sup>b</sup>	62.6 <sup>c</sup>	20.4 <sup>b</sup>	265.7 <sup>c</sup>	70
	T10	70	44.4 <sup>b</sup>	20.5	14.3 <sup>b</sup>	82.3 <sup>b</sup>	74.9 <sup>b</sup>	21.6 <sup>a</sup>	266.0 <sup>c</sup>	70
	T20	74	54.3 <sup>b</sup>	20.0	16.9 <sup>a</sup>	91.3 <sup>a</sup>	72.5 <sup>b</sup>	19.3 <sup>b</sup>	369.3 <sup>b</sup>	97
Samkwang	CT	93	64.8 <sup>a</sup>	19.0	14.0 <sup>a</sup>	107.7 <sup>a</sup>	92.6 <sup>a</sup>	21.0 <sup>a</sup>	447.7 <sup>a</sup>	100
	T 3	93	57.4 <sup>c</sup>	20.2	10.6 <sup>c</sup>	102.0 <sup>b</sup>	92.9 <sup>a</sup>	20.5 <sup>a</sup>	373.7 <sup>c</sup>	83
	T10	93	57.8 <sup>c</sup>	19.6	10.1 <sup>c</sup>	102.0 <sup>b</sup>	87.3 <sup>b</sup>	20.3 <sup>a</sup>	414.7 <sup>b</sup>	93
	T20	93	63.6 <sup>b</sup>	17.9	12.6 <sup>b</sup>	91.3 <sup>c</sup>	86.0 <sup>b</sup>	19.2 <sup>b</sup>	388.3 <sup>c</sup>	87
Saenuri	CT	102	63.6 <sup>a</sup>	23.0 <sup>a</sup>	13.0 <sup>a</sup>	116.0 <sup>a</sup>	94.3 <sup>a</sup>	22.1	489.3 <sup>a</sup>	100
	T 3	102	56.7 <sup>b</sup>	23.7 <sup>a</sup>	8.9 <sup>b</sup>	108.0 <sup>b</sup>	93.3 <sup>b</sup>	22.6	415.3 <sup>c</sup>	85
	T10	102	60.8 <sup>a</sup>	23.1 <sup>a</sup>	9.6 <sup>b</sup>	112.7 <sup>ab</sup>	90.8 <sup>c</sup>	22.4	455.7 <sup>b</sup>	93
	T20	102	59.9 <sup>ab</sup>	22.1 <sup>b</sup>	12.6 <sup>a</sup>	98.0 <sup>c</sup>	91.4 <sup>c</sup>	21.8	468.7 <sup>b</sup>	96
Average of Treatment	CT	-	61.7 <sup>a</sup>	20.2	14.6 <sup>a</sup>	106.2 <sup>a</sup>	91.7 <sup>a</sup>	21.0	439.4 <sup>a</sup>	100
	T 3	-	53.9 <sup>c</sup>	21.5	10.7 <sup>b</sup>	98.1 <sup>b</sup>	82.9 <sup>b</sup>	21.1	351.6 <sup>b</sup>	80
	T10	-	54.3 <sup>bc</sup>	21.0	11.3 <sup>b</sup>	99.0 <sup>b</sup>	84.3 <sup>b</sup>	21.4	378.8 <sup>ab</sup>	86
	T20	-	59.2 <sup>ab</sup>	20.0	14.0 <sup>a</sup>	93.6 <sup>b</sup>	79.3 <sup>b</sup>	20.1	408.8 <sup>ab</sup>	93

<sup>†</sup>Treatment (n=27): 3, TT:Treatment time (CT:Control, T3: After transplanting 3th, T10: After transplanting 10th and T20: After transplanting 20th) × 3 Cultivar × 3 Replications, During of treatment: 25 days

<sup>‡</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level

<sup>†</sup>Ns : non significant

로 무처리구 91.7% 대비 약 7~12% 감소하였다. 천립중은 유의한 차이가 나타나지 않았다. 종합적으로 수량도 T3, T10 처리구에서 351.6 kg/10a, 378.8 kg/10a로 무처리구 439.4 kg/10a 대비 14~20% 감소하였다. 그러나 T20의 경우 408.8 kg/10a로 약 7%감소하여 다른 처리구 대비 피해가 적었다. 이는 수수감소의 피해가 적은 것이 원인일 것으로 사료된다.

품종별로 나누어 보면 해당쌀은 수수가 T3, T10 처리구에서 12.5개 및 14.3개로 무처리구, T20이 16.9개인 것에 비해 약 2~4개 감소하였다. 수당립수도 T3, T10 처리구에서 84.3개 및 82.3개로 무처리구, T20이 95개, 91.3개인 것에 비해 약 11~13개 감소하였다. 등숙률의 경우에도 T3, T10 및 T20 처리구에서 62.6%, 74.9%, 72.5%로 무처리구 88.2% 대비 약 14~26% 감소하였다. 반면 천립중은 오히려 T10에서 21.6g으로 가장 높았고 다른 시험구 대비 유의미한 차이를 보였다. 조생종인 해당쌀은 다른 품종 대비 수량 감소폭이 상당히 컸는데 T3, T10 처리구에서 265.7 kg/10a, 266 kg/10a로 무처리구 381.3 kg/10a 대비 30% 감소하였

다. 반면 T20의 경우 369.3 kg/10a로 약 3%감소하여 다른 처리구 대비 피해가 적었다. 이는 조생종 해당쌀의 경우 T3, T10과 같이 초기 가뭄처리가 수량구성요소에 직접적인 피해를 주고 유수형성기 전까지 초기 바이오메스를 많이 확보하지 못하기 때문인 것으로 사료된다. 반면 T20은 피해가 적었는데 초기 수수를 안정적으로 확보하고 최고분얼기에 가뭄처리는 오히려 뿌리 활착을 도와주는 논 물때기와 같은 효과를 얻은 것으로 사료된다.

중생종 삼광의 수수는 해당쌀과 같이 T3, T10 처리구에서 10.6개 및 10.1개로 무처리구, T20이 14개, 12.6개인 것에 비해 약 2~4개 감소하였다. 그런데 수당립수는 T3, T10 처리구에서 102개로 무처리구 107.7개 대비 감소했고, T20은 91.3개로 다른 처리구보다 오히려 더 감소폭이 컸다. 등숙률은 T10, T20 처리구에서 87.3%, 86%로 무처리구 92.6% 대비 약 5~6% 감소하였다. 그런데 해당쌀과 달리 T3의 등숙률은 92.9%로 무처리구와 비슷한 수준의 결과를 보였다. 이는 초기 가뭄피해가 초기 바이오메스 형성에 영향을 주

지만 생식생장기 이후 등숙기에는 피해가 크지 않은 것으로 사료된다. 천립중의 경우 T20에서 다른 시험구 대비 유의하게 낮은 결과를 보인다. 수량 결과를 보면 무처리구에 비해 T3, T10, T20은 각각 17%, 7%, 13% 감소하였는데 T3의 감소원인은 초기의 수수감소이고, T20의 감소원인은 수당립수, 등숙률, 천립중 등으로 생식생장기 이후의 피해가 큰 것으로 사료된다. 중생종인 삼광에서는 T10의 수량감소 피해가 가장 적었는데 초기 바이오메스 형성기와 생식생장기 초반인 유수형성기를 피해서 가뭄피해 시 수량감소폭이 무처리 대비 크지 않은 것을 확인할 수 있다.

중만생종 새누리의 다른 품종과 달리 수장에서 유의성을 나타내는 차이를 보였는데 무처리구, T3, T10, 은 각각 23 cm, 23.7 cm, 23.1 cm 대비 T20은 22.1 cm로 짧아졌다. 수수는 다른 품종과 같이 T3, T10 처리구에서 8.9개 및 9.6개로 무처리구, T20이 13개, 12.6개인 것에 비해 약 3~4개 감소하였다. 수당립수는 삼광과 같이 T3, T10 처리구에서 108개, 112.7개로 무처리구 116개 대비 감소했고, T20은 98개로 다른 처리구보다 감소폭이 컸다. 등숙률은 T10, T20 처리구에서 90.8%, 91.4%로 무처리구 94.3% 대비 약 3~4% 감소하였다. 삼광과 같이 T3의 등숙률은 93.3%로 다른 시험구 대비 높게 나타났다. 수량은 무처리구에 비해 T3, T10, T20은 각각 15%, 7%, 4% 감소하였는데 T3, T10의 감소원인은 초기의 수수감소이고, T20 중만생종이 새누리는 T20 수량감소피해가 가장 적었는데 초기 바이오메스 형성기와 생식생장기 초반인 유수형성기를 피해서 가뭄피해 시 수량감소폭이 무처리 대비 크지 않았다.

요컨대, 한발처리시기를 기준으로 분석하면 수수감소의 영향으로 초기 바이오메스 형성기에 피해를 입은 T3, T10이 수량감소피해가 가장 높았으며, 수당립수, 등숙률에서도 무처리구 대비 모든 처리구가 피해를 입은 것으로 사료된다. 그런데 생태형별로 나누어 품종별로 분석하면 조생종인 해당쌀의 경우 초기 가뭄피해로 인한 수수감소가 수량감소의 가장 큰 원인이며 등숙률도 처리구의 피해정도가 14~26%로 크게 나타나서 수량감소율이 T3, T10의 경우 30%로 크지만 T20은 피해가 크지 않다. 반면 중생종 삼광과 중만생종 새누리의 경우 수수는 감소되지만 수당립수, 등숙률의 경우 오히려 T3보다 T20에서 감소폭이 크다. 그러므로 생태형별로 가뭄피해를 받는 시기가 다르므로 수량감소의 원인도 달라지는 것으로 사료된다. 일찍 출수하는 조생종은 초기 가뭄피해를 받을 경우 생식생장기까지 최대 분얼기 일수가 짧으므로 수수를 회복할 기간이 짧아 피해를 더 크게 받는다. 반면 중생종 및 중만생종은 감소초기에 한발피해를 받은 경우 수수에는 유의미한 차이를 보였으나

뿌리 활착을 한 후에는 T20가 생식생장기에 가까운 시기에 한발피해를 받아 수당립수, 등숙률 등이 감소하여 이삭에 피해를 크게 입히는 것으로 사료된다.

### 한발 처리시기에 따른 품종별 쌀의 품질 특성 변화 분석

일반적으로 경도는 낮을수록 좋고 점도는 높을수록 좋으며 강하점도(Breakdown)가 높고 치반점도(Setback)가 낮으면 밥맛이 양호하다고 해석할 수 있다. 처리 시기별로 쌀의 아밀로그래프 특성을 Rapid visco analyzer (Newport Co.)를 이용하여 분석한 결과는 Table 3과 같다.

한발처리시기별로 쌀의 품질 특성을 분석해본 결과 경도는 T10에서 4.38로 가장 높았고, T20에서 3.71로 가장 낮았다. 그러나 점도 및 경도/점도를 의미하는 밸런스는 처리간 유의성이 나타나지 않았다. 단백질 함량은 T3, T10 처리구에서 각각 5.6%, 5.55%로 무처리구와 T20에서 4.79%, 4.96% 대비 약 0.8% 높았다. 높을수록 밥맛이 좋다는 강하점도는 T3, T10 처리구에서 각각 79.01 RUV, 82.33 RUV로 무처리구와 T20은 100~101 RUV인 것에 대비 약 18~20 RUV정도 낮았다. 낮을수록 밥맛이 양호한 치반점도는 T3, T10 처리구에서 각각 7.68 RUV, 1.65 RUV로 무처리구와 T20이 각각 -21.97 RUV, -20.14 RUV에 대비 약 13~19정도 높았다. 이러한 특성을 종합해보면 T3, T10 처리구가 무처리구 및 T20에 비해 품질 특성이 떨어지는 것으로 사료된다.

품종별로 나누어 보면 해당쌀 경도는 T10이 4.23으로 높고, T20이 3.32로 가장 낮으며 유의한 차이를 보였으나 점도 및 밸런스는 유의성이 없었다. 단백질 함량은 T3, T10 처리구에서 각각 6.21%, 6.52%로 무처리구와 T20에서 5.49%, 5.62% 대비 약 0.7% 높았다. 높을수록 밥맛이 좋다는 강하점도는 T3, T10 처리구에서 각각 68.88 RUV, 78.58 RUV로 무처리구와 T20은 105.79 RUV, 106.69 RUV인 것에 대비 약 27~37 RUV 정도 낮았다. 낮을수록 밥맛이 양호한 치반점도는 T3 처리구에서 8.47 RUV로 무처리구와 T10, T20이 각각 -36.9 RUV, -4.56 RUV, -37.47 RUV 대비 약 12~45 RUV정도 높았다. 아밀로스 함량은 T20에서 15.9로 다른 처리구 대비 유의성 있게 낮았다. 종합해보면 해당쌀도 T3, T10 처리구가 무처리구 및 T20에 비해 품질 특성이 떨어지는 것으로 사료된다.

중생종 삼광의 경도, 점도 및 밸런스는 유의성이 없었다. 단백질 함량은 T3, T10 처리구에서 각각 5.25%, 5.06%로 무처리구와 T20에서 4.58%, 4.78% 대비 약 0.5~0.7% 높았다. 높을수록 밥맛이 좋다는 강하점도와 낮을수록 밥맛이 양호한 치반점도는 유의한 차이가 없었다. 아밀로스 함량은

**Table 3.** Comparison of data for Variation of Rice Quality according to drought treatment.

Cultivar	TT	HD	VC	BL	Pro (%)	Amy (%)	BD (RUV)	SB (RUV)
Haedamssal	CT	3.46 <sup>bc</sup>	0.57 <sup>ns</sup>	6.05 <sup>ns</sup>	5.49 <sup>b</sup>	17.16 <sup>a</sup>	105.79 <sup>a</sup>	-36.90 <sup>c</sup>
	T 3	4.17 <sup>ab</sup>	0.59 <sup>ns</sup>	7.07 <sup>ns</sup>	6.21 <sup>a</sup>	17.52 <sup>a</sup>	68.88 <sup>b</sup>	8.47 <sup>a</sup>
	T10	4.23 <sup>a</sup>	0.72 <sup>ns</sup>	5.88 <sup>ns</sup>	6.52 <sup>a</sup>	17.09 <sup>a</sup>	78.58 <sup>b</sup>	-4.56 <sup>b</sup>
	T20	3.32 <sup>c</sup>	0.59 <sup>ns</sup>	5.63 <sup>ns</sup>	5.62 <sup>b</sup>	15.90 <sup>b</sup>	106.69 <sup>a</sup>	-37.47 <sup>c</sup>
Samkwang	CT	3.75 <sup>ns</sup>	0.54 <sup>ns</sup>	6.94 <sup>ns</sup>	4.58 <sup>b</sup>	16.25 <sup>b</sup>	98.15 <sup>ns</sup>	-18.55 <sup>ns</sup>
	T 3	4.28 <sup>ns</sup>	0.65 <sup>ns</sup>	6.58 <sup>ns</sup>	5.25 <sup>a</sup>	16.81 <sup>a</sup>	89.64 <sup>ns</sup>	-1.72 <sup>ns</sup>
	T10	4.24 <sup>ns</sup>	0.55 <sup>ns</sup>	7.71 <sup>ns</sup>	5.06 <sup>a</sup>	16.27 <sup>b</sup>	92.89 <sup>ns</sup>	-6.94 <sup>ns</sup>
	T20	3.67 <sup>ns</sup>	0.67 <sup>ns</sup>	5.48 <sup>ns</sup>	4.78 <sup>b</sup>	15.63 <sup>c</sup>	85.89 <sup>ns</sup>	-5.25 <sup>ns</sup>
Saenuri	CT	4.46 <sup>ns</sup>	0.50 <sup>ns</sup>	8.86 <sup>ns</sup>	4.29 <sup>c</sup>	19.43 <sup>b</sup>	100.38 <sup>a</sup>	-10.46 <sup>b</sup>
	T 3	4.55 <sup>ns</sup>	0.50 <sup>ns</sup>	9.10 <sup>ns</sup>	5.33 <sup>a</sup>	19.88 <sup>ab</sup>	78.50 <sup>b</sup>	16.31 <sup>a</sup>
	T10	4.65 <sup>ns</sup>	0.54 <sup>ns</sup>	8.61 <sup>ns</sup>	5.06 <sup>b</sup>	20.30 <sup>a</sup>	75.53 <sup>b</sup>	16.44 <sup>a</sup>
	T20	4.36 <sup>ns</sup>	0.60 <sup>ns</sup>	7.27 <sup>ns</sup>	4.48 <sup>c</sup>	19.34 <sup>b</sup>	108.42 <sup>a</sup>	-17.69 <sup>b</sup>
Average of Treatment	CT	3.89 <sup>bc</sup>	0.54 <sup>ns</sup>	7.20 <sup>ns</sup>	4.79 <sup>b</sup>	17.61 <sup>ns</sup>	101.44 <sup>a</sup>	-21.97 <sup>b</sup>
	T 3	4.20 <sup>ab</sup>	0.58 <sup>ns</sup>	7.24 <sup>ns</sup>	5.60 <sup>a</sup>	18.07 <sup>ns</sup>	79.01 <sup>b</sup>	7.68 <sup>a</sup>
	T10	4.38 <sup>a</sup>	0.62 <sup>ns</sup>	7.06 <sup>ns</sup>	5.55 <sup>a</sup>	17.89 <sup>ns</sup>	82.33 <sup>b</sup>	1.65 <sup>a</sup>
	T20	3.71 <sup>c</sup>	0.62 <sup>ns</sup>	5.97 <sup>ns</sup>	4.96 <sup>b</sup>	17.07 <sup>ns</sup>	100.33 <sup>a</sup>	-20.14 <sup>b</sup>

HD: Hardness, VC: Viscosity, BL: Balance, Pro: protein content, Amy: amylase content, BD: break down, SB: setback  
<sup>†</sup>Treatment (n=27): 3 Treatment time (Control: Not treatment, T3: After transplanting 3th, T10: After transplanting 10th and T20: After transplanting 20th) × 3 Cultivar × 3 Replications

<sup>‡</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level

<sup>†</sup>Ns : non significant

T3에서 16.81%로 가장 높고, T20에서 15.63%로 가장 낮았다. 이는 쌀의 품질을 결정하는데 결정적 역할을 하는 수치는 아닌 것으로 사료된다. 종합해보면 삼광은 처리 간 쌀의 품질특성이 유의한 차이가 나지 않으며 단백질 함량과 아밀로스 함량에만 처리 간 차이가 있다.

중만생종 새누리의 경도, 점도 및 밸런스는 유의성이 없었다. 단백질 함량은 T3, T10 처리구에서 각각 5.33%, 5.06%로 무처리구와 T20에서 4.29%, 4.96% 대비 약 0.8~1% 높았다. 높을수록 밥맛이 좋다는 강하점도는 T3, T10 처리구에서 각각 78.50 RUV, 75.53 RUV로 무처리구와 T20은 100.38 RUV, 108.42 RUV인 것에 대비 약 22~25 RUV정도 낮았다. 낮을수록 밥맛이 양호한 치반점도는 T3, T10 처리구에서 16.31 RUV, 16.44 RUV로 무처리구와 T20이 각각 -10.46 RUV, -17.69 RUV 대비 약 26~33 RUV정도 높았다. 아밀로스 함량은 T10에서 20.3%으로 다른 처리구 대비 유의성 있게 높았다. 종합해보면 새누리는 T3, T10 처리구가 무처리구 및 T20에 비해 품질 특성이 떨어지는 것으로 사료된다.

품종 간에 공통적으로 처리 간 유의성이 있는 차이를 나

타낸 것이 단백질 함량이다. 벼 품질에 주요 한 지표인 단백질 함량을 분석한 결과(Table 3) 한발피해조건별로 0.5~1% 까지 증가하였는데, 이는 단백질합성이 증가한 것이 아닌 한발 조건에서의 광합성저해 및 호흡기질의 소모에 따른 탄소대사 저해로 인한 전분합성이 감소되어 상대적으로 단백질 함량이 증가한 것으로 생각된다(Bhullar & Jenner, 1985; Diane & Maysaya, 2014). 결국 등숙기 한발 피해 시 동화산물 생산, 전류 및 전분합성 저해 정도에 따라서 수량 및 품질 감소가 예상되며, 가뭄 저항성 품종 및 피해경감 재배 기술 개발을 위해서는 한발 처리기간 동안의 동화산물 생산 및 전류, 전분합성 각 단계별 피해정도 및 원인 구명을 위한 좀 더 면밀한 분석 및 검토가 필요할 것으로 사료된다.

## 적 요

본 연구는 최근 세계적인 기후변화로 인해 기상이변이 생기면서 우리나라의 경우 2012년 이후로 꾸준히 이앙기인 5~6월에 비가 거의 오지 않고 평년보다 온도가 상승하는



봄 가뭄 현상이 나타나고 있다. 유묘기 한발에 의한 피해양상과 그로 인한 수량감소와 미질특성 변화를 구명하고자 2017년부터 2018년까지 2년간 수행한 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 한발처리시기에 따른 벼의 초기 생육특성을 확인한 결과 초장의 경우 모든 시험구가 무처리구에 비해 감소하였고 경수의 경우 이앙 후 3일, 10일 경부터 한발처리한 시험구에서 30%가량 감소하였다. 이앙 후 20일 경부터 한발처리한 시험구에서는 감소율이 3.7%로 20일 이후에 한발피해 시 경수 감소는 적은 것으로 사료된다.
2. 한발처리시기에 따른 벼 후기 생육과 수량구성요소 조사 결과 이앙 후 3일 경부터 한발처리한 시험구에서 피해가 가장 컸고 수수의 경우 이앙 후 3일부터 한발처리한 시험구에서 약 30% 감소피해를 입은 반면 이앙 후 20일부터 한발처리 한 경우 뿌리활착 이후에 한발피해를 받아 수수에는 영향을 크게 받지 않았으나 등숙비율이 감소하였다. 수당립수는 무처리에 비해 모두 감소하였고 천립중은 무처리구에 비해 초기 한발피해가 크지 않았다.
3. 품종별 한발처리시기에 따른 생육 및 수량구성요소를 분석해본 결과 조생종인 해당쌀이 초기 한발피해에 따른 수량감소가 30%로 가장 크게 나타났으며 이는 조생종이 중만생종에 비해 기본영양생장기가 짧아 초기 피해를 출수 전에 회복하지 못하여 유효분얼수 등 수량구성요소 전반에 걸쳐 피해를 입기 때문인 것으로 사료된다.
4. 쌀의 경점도를 분석한 결과 무처리구와 이앙 후 20일 경에 한발피해 받은 시험구는 초기에 한발피해를 받은 시험구에 비해 경도와 단백질 함량이 낮고 강하점도는 높으며 치반점도는 낮아지는 등 밥맛이 양호한 특성을 나타내었다. 그러므로 한발피해를 초기에 받으면 미질에도 영향을 주는 것으로 사료된다.

## 사 사

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(세부과제명: 기후변화 대비 벼 내건성 QTL 탐색 및 중간모본 개발, 세부과제번호: PJ01112703)의 지원에 의해 이루어졌습니다.

## 인용문헌(REFERENCES)

Atwell, B. J., H. Wang, and A. P. Scafaro. 2013. Could abiotic stress tolerance in wild relatives of rice be used to improve *Oryza sativa*. *Plant Sci.* s215-216 : 48-58.

- Bouman, B. A. M. and T. P. Tuong. 2001. Field water management to save water and increase its productivity in irrigated lowland rice. *Agricultural Water Management.* 49 : 11-30.
- Bhullar, S. S. and C. F., Jenner. 1985. Differential responses to high temperatures of starch and nitrogen accumulation in the grain of four cultivars of wheat. *Australian Journal of Plant Physiology.* 12 : 363-375.
- Beckles D. M. and M. Thitisakasakul. 2014. How environmental stress affects starch composition and functionality in cereal endosperm. *Journal of Starch/Staerke.* 66 : 55-71.
- Choi H. C. 2002. Current status and perspectives in varietal improvement of rice cultivars for high-quality and value-added products. *Korean J. Crop Sci.* 47(S) : 15-32.
- Chung N. J., J. H. Park, K. J. Kim, and J. K. Kim. 2005. Effect of head rice ratio on rice palatability. *Korean J. Crop Sci.* 50(S) : 29-32.
- Kim, B. S., H. H. Kwon, and H. S. Kim. 2011. Impact assessment of climate change on drought risk. *Journal of Korean Wetlands Society.* 13(1) : 1-11. (In Korean)
- Kim C. E., J. K. Sohn, and M. Y. Kang 2007. Relationship between Palatability and Physicochemical Properties of Carbohydrate Components in Rice Endosperm. *Korean J. Crop Sci.* 52(4) : 359-480.
- Kim, S. Y., S. H. Oh, J. Y. Lee, U. S. Yeo, J. H. Lee, J. H. Cho, Y. C. Song, M. K. Oh, S. I. Han, W. D. Seo, K. C. Jang, J. E. Na, S. T. Park, and M. H. Nam. 2012. Differential Sensitivity of Rice Cultivars to HPPD-Inhibiting Herbicides and their Influences on Rice Yield. *Korean J. Crop Sci.* 57 : 160-165.
- Kim, T. H., Y. J. Hur, S. H. Oh, J. Y. Lee, J. H. Cho, S. I. Han, J. H. Lee, Y. C. Song, W. Y. Choi, M. H. Nam, D. S. Park, Y. U. Kwon, and D. J. Shin. 2016. Analysis of Growth Characteristics and Yield Components According to Rice Varieties Between on Irrigated and Partially Irrigated Rice Paddy Field. *Korean J. Crop Sci.* 61(1) : 17-24.
- Kim, Y. S. 2011. Climate change and the agricultural countermeasures. NHERI report No.162. Nonghyup Economic Research Institute, Seoul, Korea. p. 9.
- Lee, J. H., J. H. Cho, S. Y. Kim, J. Y. Lee, C. S. Kim, U. S. Yeo, Y. C. Song, Y. B. Sohn, M. K. Oh, H. W. Kang, and M. H. Nam. 2012. Correlation analysis between head rice ratio and agronomic traits in RILs for developing A promising rice cultivar adaptable to the early-transplanting cultivation. *Korean J. Crop Sci.* 57 : 1-6.
- Lee, Y. T., H. M. Lee, B. O. Ahn, H. S. Cho, and S. C. Suh. 2013. Nutritional composition of drought-tolerant transgenic rice. *J Korean Soc Food Sci Nutr.* 42(5) : 730-735.
- Liua, J. X., D. Q. Liaoa, R. Oanea, L. Estenora, X. E. Yangb, Z. C. Lic, and J. Bennetta. 2006. Genetic variation in the sensitivity of anther dehiscence to drought stress in rice. *Field Crops Research.* 97 : 87-100.
- Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, Korea Rural Community and Agriculture Corporation. 2012. Statistical



- Yearbook of Land and Water Development for Agriculture 2012. pp. 29-287.
- Nabholz, B., G. Sarah, F. Sabot, M. Ruiz, H. Adam, S. Nidelet, A. Ghesquière, S. Santoni, J. David, and S. Glémin. 2014. Transcriptome population genomics reveals severe bottleneck and domestication cost in the African rice (*Oryza glaberrima*). *Mol Ecol.* 23 : 2210-2227.
- Tan Y. and H. Corke. 2002. Factor analysis of physicochemical properties of 63 rice varieties. *J. Sci. of Food Agri.* 82(8) : 745-752.