

이앙기 및 온도에 따른 주요 벼 조생종 교배모본의 출수 및 등숙 특성 변화

황운하^{1,†} · 이충근² · 정재혁¹ · 이현석¹ · 양서영¹ · 임연화¹ · 최경진²

Heading and Ripening Characters of Major Early Maturing Breeding Rice Lines According to Transplanting Date and Temperature Condition

Woon-Ha Hwang^{1,†}, Chung-Kuen Lee², Jae-Hyeok Jung¹, Hyeon-Suk Lee¹, Seo-Yeong Yang¹, Yeon-Hwa Im¹, and Kyung-Jin Choi²

ABSTRACT Early-maturing rice type is cultivated to produce rice before the Korean Thanksgiving Day. We investigated the flowering and ripening characteristics of major breeding lines in early maturing rice type. In Jeonju, field growth days (FGD) from transplanting to heading changed about 3.3 days by 10 days of transplanting days and about 2.5 days by the change of mean temperature during growth period. As the temperature during ripening stage, 1000 brown rice weight was changed 0.2 g, the rice quality of brown and milled rice was changed 5% and 6.5%, respectively. Baegilmi and Kittake showed early heading habit suitable for harvesting before Korean Thanksgiving. Joun and Pecos showed good ripening characteristics under high temperature during the ripening stage. We expect that these characteristics might be useful for breeding new rice cultivars for harvesting before Korean Thanksgiving.

Keywords : early maturing type, heading, rice, ripening, temperature

최근 지구 온난화에 따라 우리나라의 최근 평균기온은 세계 평균기온 상승속도보다 2배 빠르게 상승하고 있다(Lloret *et al.*, 2012). 특히 2018년 여름철의 기온은 1973년 이후 가장 높은 기온을 나타내며 전국적으로 폭염 및 열대야 현상이 나타났으며, 7~8월간 폭염 발생일수는 31.4일 및 열대야 발생 일수는 17.7일로 1973년 이후 가장 발생일수가 높은 것으로 나타났다(Meteorological Office, 2018). 이에 따라 여름철 기온상승에 따른 하작물의 피해가 증가하고 있다. 대표적인 하작물인 벼는 생태형에 따라 7월 초에서 8월 말까지 출수를 하며 이후 9월에서 10월까지 등숙이 되는 작물이다. 벼의 등숙기간 최적온도는 출수 후 40일간 일평균 기온이 22°C가 되는 것으로 알려져 있으며 이보다 온도가 높을 시 등숙효소의 활력 감소 및 호흡량 증가에 따른 광합성 효율 감소로 등숙이 불량해진다(Porter *et al.*, 1999;

Dolferus *et al.*, 2011; Ugarte *et al.*, 2007). 이 때문에 현미 천립중 감소로 수량이 감소할 뿐만 아니라 등숙 불량에 따른 심복백 등의 증가로 쌀 품위 또한 크게 감소한다(Siebert *et al.*, 2014; Kim *et al.*, 2011; Morita *et al.*, 2005; Chen *et al.*, 2006; Nakagawa *et al.*, 2006).

벼는 생태형에 따라 조생종, 중생종 및 중만생종으로 분류되어 있다. 이 중 출수기가 빠른 조생종 벼는 추석 전 햅쌀 출하를 위해 주로 재배되고 있으며 주로 7월 초~중순에 출수를 하고 여름철부터 가을 초기까지 등숙이 진행되게 된다. 이런 조생종 벼의 경우 등숙이 가장 왕성하게 진행되는 등숙 초기가 7~8월에 진행됨으로 고온에 의한 품질저하의 우려가 다른 생태형에 비해 큰 편이다. 이 때문에 조생종벼를 대상으로 등숙기 고온에 따른 등숙 피해 및 고온 등숙 내성 품종을 개발하기 위해 활발한 연구가 진행되고 있

¹농촌진흥청 국립식량과학원 작물재배생리과 농업연구사 (Agriculture Junior Scientist, National Institute of Crop Science, RDA, Wanju 55365, Republic of Korea)

²농촌진흥청 국립식량과학원 작물재배생리과 농업연구관 (Agriculture Senior Scientist, National Institute of Crop Science, RDA, Wanju 55365, Republic of Korea)

[†]Corresponding author: Woon-Ha Hwang; (Phone) +82-63-238-5263; (E-mail) hwangwh@rda.go.kr

<Received 15 July, 2019; Revised 19 August, 2019; Accepted 15 September, 2019>

다(Kwak *et al.*, 2018; Hwang *et al.*, 2018; Zhang *et al.*, 2014; Yugandhar *et al.*, 2013; Jeong *et al.*, 2016). 하지만 추석 전 햅쌀 출하를 위해 출수기 및 고온등숙에 따른 내성을 동시에 고려하여 적정 품종 육종재료를 제공하기 위한 연구는 아직 미흡한 실정이다.

추석 전 햅쌀로 출하가 가능하면서 품질 감소가 적은 벼 품종을 육종하기 위해서는 조생종 품종을 대상으로 이앙시기에 따른 출수기를 분석하고 또한 등숙기 고온에 따른 품위변화를 분석하여 출수기가 빠르고 등숙 형질이 우수한 교배모본을 선발하여 육종재료로 사용하는 것이 필요하다. 이에 본 연구는 국내 육성된 조생종 및 육종재료로 사용되고 있는 조생종 유전자원을 이용하여 남부지역에서 이앙시기에 따른 출수기변화를 분석하고 등숙기 온도에 따른 품위 변화를 종합하여 추석 전 햅쌀을 생산을 목적으로 한 조생종 육종에 도움이 되고자 수행되었다.

재료 및 방법

시험재료 선정 및 포장이앙

국립식량과학원 벼 육종재배과에서 교배모본으로 사용하고 있는 재료 중 조생종 25점을 선정하여 시험재료로 사용하였으며(Table 1), 식량원 본원 전주 포장에서 2017~2018년 포장시험을 실시하였다. 각 종자 100립씩을 봉투에 담고 30°C에 48시간 소독 후 세척하여 찬물에 담근 뒤 10°C로 설정된 항온에 2일간 두어 각 종자가 충분한 수분을 흡수하게 유도하였다. 이 후 30°C로 설정된 항온기에 종자를 옮겨 균일한 발아를 유도한 뒤 뿌리손상을 최소화하기 위해 72공 상자에 흙을 5 cm 깊이로 담고 각 번호별 종자를 상자 구멍 당 50립씩 파종하여 종자 간 여유간격을 가지게 파종하였다. 파종 상자를 육묘실에 두고 습도를 70%, 온도를 28°C로 설정하여 3일간 최아를 유도한 뒤 녹화 후 육묘 온실로 이동하여 20일 모를 포장 이앙하였다. 포장 이앙기는 5월 15일부터 7월 5일까지 15일 간격으로 6회 이앙하였으며, 각 재료당 1주 1본으로 한줄 씩 30×14 cm 재식너비로 손이앙 하였다.

출수기 및 현미 품질변화 분석

이앙기에 따른 출수기 변화를 분석하기 위해 각 재료별로 50% 출수한 날을 출수기로 하였으며 생육기 평균온도는 이앙 후 출수기까지의 평균온도로 계산하였다. 각 재료별 출수 후 적산온도가 1100°C가 되는 시기에 재료별로 10주를 수확하여 탈곡, 건조 후 수분함량을 16%로 맞추어 도정을 진행하였으며 등숙기 온도에 따른 품위변화 분석을 위해 현미 중 수발아 종자를 제거한 뒤 RN-300(KETT)를 이용하여 측정하였다.

고온 및 적온에 따른 품질변화 분석

등숙기 온도를 동일하게 처리하여 시험재료별로 등숙기 고온에 따른 품위변화 정도를 분석하기 위해 포트시험을 같이 병행하였다. 1/5000a 와그너 포트에 20 일묘를 1주 1본으로 3개체를 5월 30일에 이앙 후 야외에서 키운 뒤 출수 2일 후 평균온도가 22°C (17/27°C), 28°C (23/33°C)로 설정된 유리온실로 옮겨 적산온도가 1100°C가 될 때 수확하였다. 유리온실의 일교차는 10°C로 설정하여 매시간 온도가 변하도록 설정하였으며 일장은 자연일장으로 처리하였다. 수확 후 정조 수분함량을 16%로 맞추어 건조한 뒤 도정을 진행하고 RN-300 (KETT)를 이용하여 현미 품위를 분석하였다.

통계처리

통계처리는 SAS 9.4을 사용하였으며 Duncan's multiple range test (DMRT)로 유의수준 0.05% 수준에서 분석하였다.

결과 및 고찰

남부평야지역 이앙시기에 따른 출수기 변화 분석

조생종 주요 교배모본 25점을 이앙시기를 달리하여 이앙 후 출수기까지의 생육일수 변화를 분석한 결과(Fig. 1(A)), 이앙시기가 10일 늦어짐에 따라 출수기까지의 포장 생육기간은 약 3.3일 줄어드는 경향이였다. 이는 이앙시기가 늦어짐에 따라 생육기 온도가 상승하여 생육속도가 증가할 뿐만 아니라 하지를 지나 일장이 짧아지며 출수기가 앞당겨진 결과로 판단된다. 온도에 따른 출수기 변화를 분석하기

Table 1. Material selection in major breeding lines.

Cultivars (13)	Breeding line (5)	Collected rice genetics (7)
Baegilmi, Binhaesujib, Geumo, Geumyoung, Joil, Jokwang, Jopyeong, Joun, Odae, Sangju, Unbackchal, Unilchal, Unkwang	Iksan578, Iksan581, Iksan591, Iksan592, Unbong57	ARC10319, Halibey, Hitomebore, Jizi1581, Kittake, Osmancik, Pecos

위해 이양 후부터 출수기까지의 전체 생육기간동안의 평균 온도로 환산하여 분석한 결과(Fig. 1(B)), 생육기간의 평균 온도가 1°C 상승함에 따라 포장 생육기간은 약 2.5일 줄어드는 경향이였다. 벼 생육기간 평균온도 1°C 차이가 나타나기 위해서는 10일 이상이 소요된다. 이를 바탕으로 포장 생육기간을 이양시기로 분석한 결과와 비교 시 약 0.5일의 오차가 발생되는데 이는 일장에 의한 효과로 판단된다.

각 시험재료별 이양시기에 따른 포장생육일수 변화를 각 시기별 생육기 평균온도로 나누어 생육기 평균온도 1°C 변

화에 따른 포장생육일수 변화를 분석하였다. 또한 각 시험 재료별로 이양시기에 따른 포장생육일수 변화를 분석하여 이양일 1일(day) 변화에 따른 포장생육일수 변화를 계산하였다. 위의 두 데이터를 종합하여 생육기 평균온도 및 이양기 변화에 따른 포장 생육일수 변화차이를 각 품종별로 나타내었다(Fig. 2(A)). 생육기 평균온도 및 이양일 변화에 따라 포장생육일수가 1일 이상 변화는 것과 아닌 것을 나누어 4 그룹으로 나누어 분석한 결과, 전체 시험재료 25점 중 8점은 생육기 평균 온도 1°C 및 이양일 1일 변화에 따라 포

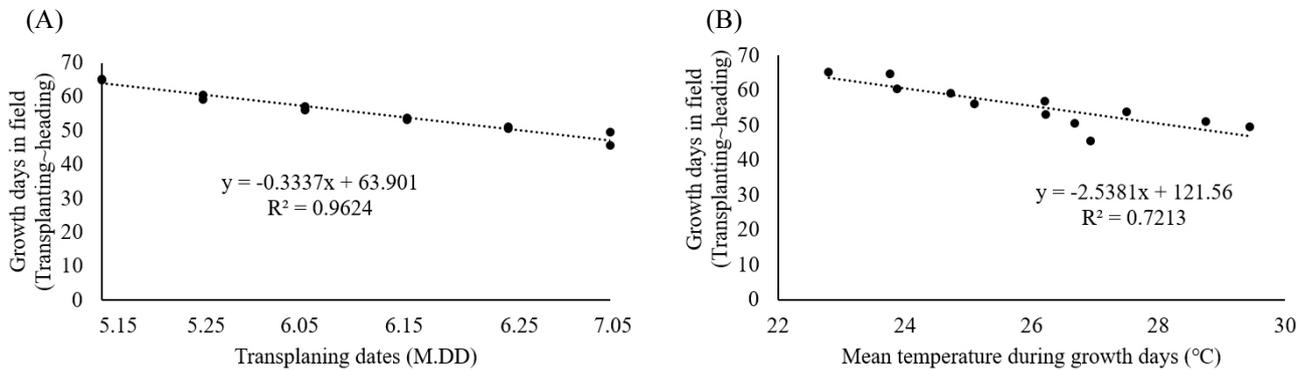


Fig. 1. Growth days in field from transplanting to heading dates according to (A) transplanting dates and (B) mean temperature during growth period. Each dot is the average date in each treatment. The difference of growth days calculated by 10 transplanting dates (3.3) and mean temperature (2.5) is 0.5 days.

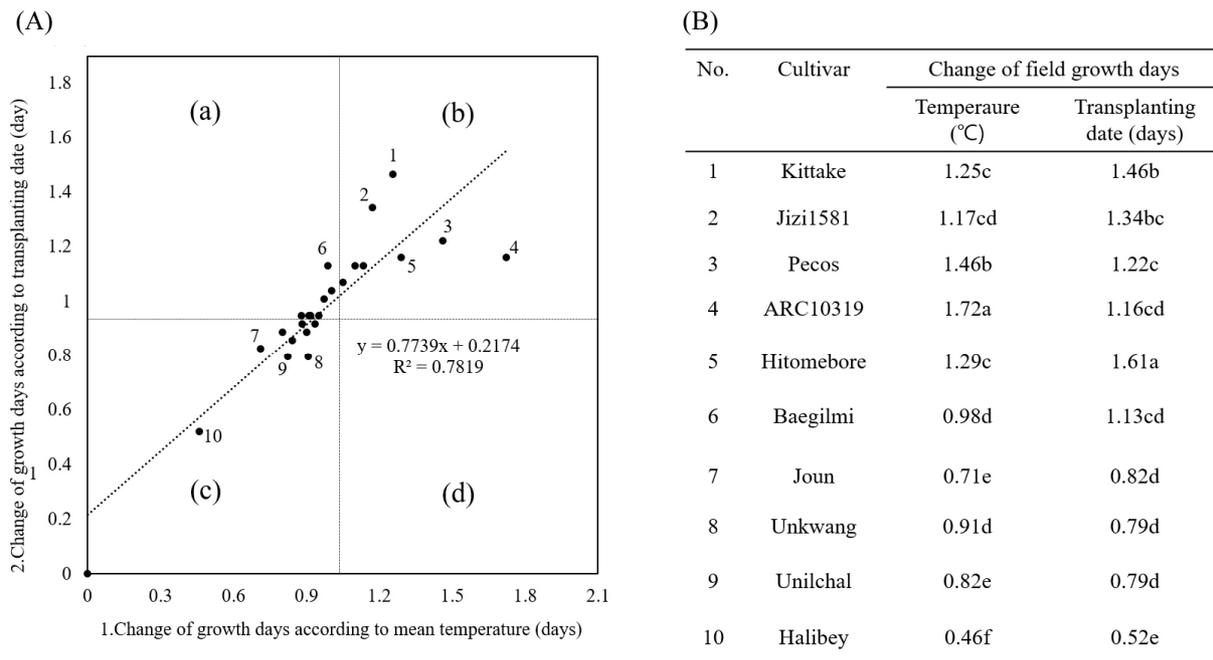


Fig. 2. (A) Relation of changes in growth days between mean temperature during growth days and transplanting dates. (B) Change of growth days in field from transplanting to heading according to mean temperature during growth period and transplanting dates. The different letters in (B) indicate significant differences at $P \leq 5\%$ using Duncan's multiple range test. The other 15 cultivars showed similar patterns in change of field growth days by temperature and transplanting date.

장생육일수변화가 1일 이상으로 나타나 이양시기 및 생육기 온도에 따라 생육일수 변동이 크므로 충분한 생육확보에 어려움이 있을 것으로 판단된다. 이 8개의 재료 중, Kittake (1번) 및 Jizi1581 (2번)의 경우 포장생육일수가 생육기 온도보다는 이양시기에 따라 변화가 컸으며 Pecos (3번), ARC10319 (4번) 및 히토메보레(Hitomebore, 5번)의 경우 이양시기 보다는 생육기 평균온도에 따라 포장생육일수가 크게 변하는 경향이였다. 반면 시험재료 25점 중 9점은 생육기 평균온도 및 이양시기에 따른 포장생육일수 변화가 1일 이하로 나타났으며, 이 중 조운(Joun, 7번), 운광(Unkwang, 8번) 및 운일찰(Unilchal, 9번)은 생육기 평균온도 및 이양시기가 포장생육일수 변화에 미치는 영향이 비슷한 것으로 나타났으며 Halibey (10번)의 경우 시험재료 중 생육기 평균온도 및 이양시기에 따른 포장생육일수 변화가 가장 적은 것으로 나타났다. 이를 종합하여 분석 한 결과, (b)그룹에 속한 재료의 경우 이양시기 및 생육환경에 따라 포장생육기간이 크게 변하여 안정적인 생육확보가 어려운 반면 이양시기가 늦어질 시 포장생육일수 단축으로 다른 조생종 품종에 비해 출수기가 빨라져서 등숙에는 유리할 것으로 판단된다. 반면 (c)그룹에 속하는 품종의 경우 이양시기 및 생육온도에 따른 포장생육일수 변화가 적어 생육확보에는 유리하나 이양시기가 늦을 시 다른 품종에 비해 출수기 단축이 적어 늦은 출수로 등숙에는 불리할 것으로 판단된다.

추석 전 햅쌀 출하를 위해 2001년 이후 추석일 변화를 살펴본 결과(Fig. 3), 가장 이른 추석은 9월 8일, 가장 늦은 추석은 10월 5일이며 19년간 추석의 60% 이상이 9월 중-하순에 몰려있었다. 이를 바탕으로 가장 이른 추석인 9월 8일을 기준으로 남부지역 중심으로 등숙기 적산온도 1100°C을

Table 2. The heading date of materials according to different transplanting date.

Materials	Transplanting date (M.DD)			
	5.15	5.25	6.05	6.25
Pecos	7.27 c	8.02 e	8.09 d	8.17 d
Baegilmi	7.10 a	7.16 a	7.20 b	7.27 b
Geumo	7.18 b	7.20 b	7.29 c	8.05 c
Geumyoung	7.19 b	7.21 bc	7.30 c	8.05 c
Jokwang	7.20 b	7.23 c	8.02 c	8.09 cd
Jopyeong	7.14 ab	7.19 b	7.30 c	8.05 c
Joun	7.13 ab	7.19 b	7.28 c	8.05 c
Odae	7.19 b	7.25 d	8.01 c	8.08 cd
Sangju	7.18 b	7.20 b	7.30 c	8.05 c
Unilchal	7.18 b	7.21 bc	8.01 c	8.08 cd
Unkwang	7.17 b	7.21 bc	8.01 c	8.08 cd
Joil	7.18 b	7.20 b	8.01 c	8.08 cd
Iksan578	7.19 b	7.23 bc	8.02 c	8.08 cd
Iksan581	7.17 b	7.28 d	8.01 c	8.09 cd
Iksan591	7.17 b	7.22 bc	8.02 c	8.06 c
Iksan592	7.17 b	7.22 bc	8.01 c	8.07 c
Unbackchal	7.20 b	7.25 c	8.01 c	8.06 c
ARC10319	8.06 d	8.10 f	8.19 e	8.24 e
Binhaesujib	7.28 c	8.02 e	8.09 d	8.15 d
Halibey	7.20 b	7.22 bc	8.05 cd	8.18 d
Hitomebore	7.22 bc	7.27 d	8.05 cd	8.10 cd
Kittake	7.08 a	7.15 a	7.16 a	7.22 a
Jizi1581	7.20 b	7.23 bc	7.30 c	8.07 c
Osmancik97	7.19 b	7.21 b	8.02 c	8.10 cd
Unbong57	7.18 b	7.20 b	7.30 c	8.06 c

Heading date checked as gray cell means that days is suitable to harvest before Korean Thanksgiving date. The different letters after the heading dates indicate a significant difference at $P \leq 5\%$ using Duncan's multiple range test.

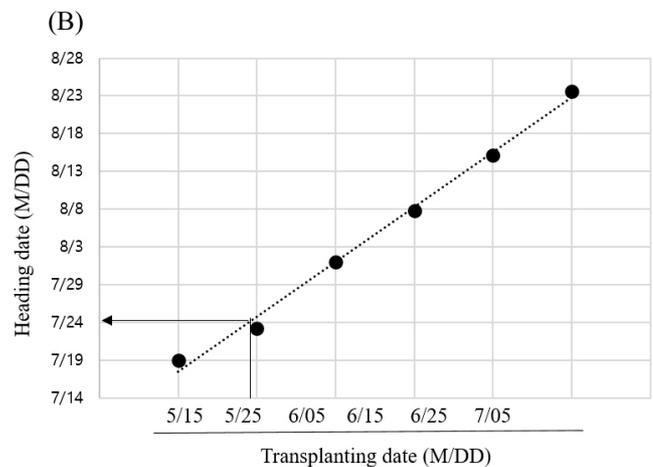
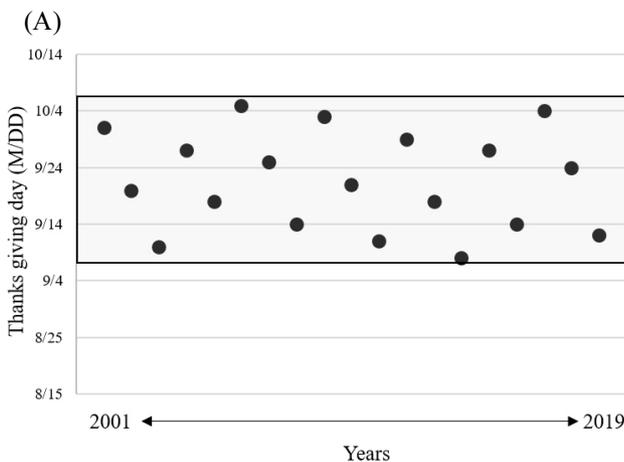


Fig. 3. (A) Korean Thanksgiving date since 2001 in South Korea. (B) Average heading date of materials according to transplanting date in Jeon-ju.

확보할 수 있는 출수기를 산정해본 결과 대부분의 지역이 7월 23일에서 7월 26일로 나타났다. 이를 토대로 살펴 볼 때 남부지역에서 추석 전 햅쌀을 출하하기 위한 벼 출수기는 7월 20일 이전으로 판단되며 7월 20일전에 출수를 완료해야 8월 말에서 9월 초에 수확이 가능하여 건조 및 도정 후 햅쌀 판매가 가능할 것으로 판단된다.

시험재료별 전주지역에서 이앙시기에 따른 출수기를 분석한 결과는 Table 2와 같다. 5월 15일 이앙 시 수집 유전 자원인 Pecos, ARC10319 및 빈해수집, 일본 품종인 히토메보레을 제외한 모든 시험재료가 7월 20일 이전에 출수하는 것으로 나타났다. 5월 25일 이앙시는 백일미, 금오, 조평, 조운, 상주, 조일, Kittake 및 운봉57이 7월 20일안에 출수를 하였으며 백일미와 Kittake의 경우 6월 5일에 이앙시에도 7월 20일안에 출수하는 것으로 나타났으며 다른 품종에 비해 출수기가 빨라 햅쌀 수확을 목적으로 품종을 육종

시 출수 형질이 가장 적합한 것으로 판단된다.

등숙기 평균온도에 따른 쌀품위변화 분석

이앙시기 별 출수 후 적산온도가 1100°C에 이를 시 수확하여 쌀 품위변화를 분석하였다(Fig. 4). 출수 후 40일간 평균온도에 따른 쌀품위변화를 분석한 결과, 등숙기간의 평균기온이 1°C 증가할수록 현미 천립중은 약 0.2 g씩 감소하는 것으로 나타났다. 또한 등숙기간의 온도에 따른 천립중 변화를 현미천립중별로 분석한 결과(Fig. 3(B)), 현미천립중이 무거운 품종일수록 온도에 의한 천립중변화가 큰 것으로 나타났다.

등숙기간 평균온도에 따른 현미 품위변화를 분석한 결과(Fig. 5), 등숙기간의 평균기온이 1°C 상승할수록 현미완전립 비율을 약 5% 감소하였으며 미성숙립 비율 및 사미 비율은 각각 약 1.9% 및 2.8% 증가하는 것으로 나타났다.

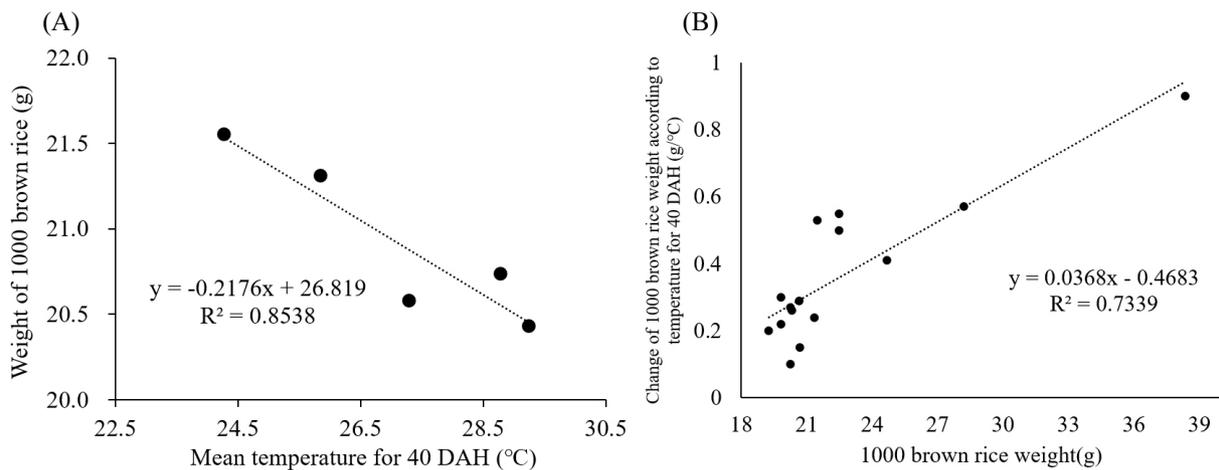


Fig. 4. Correlation of mean temperature with (A) 1000 brown rice weight and (B) change of 1000 brown rice weight according to temperature for 40 day after heading (g/°C).

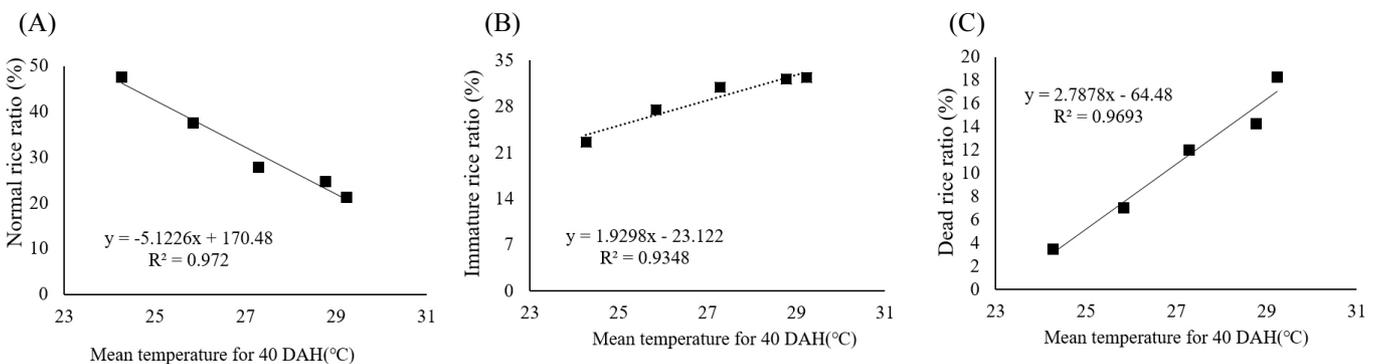


Fig. 5. Change of brown rice quality under different temperature conditions. Correlation of mean temperature for 40 days after heading with (A) normal rice ratio, (B) immature rice ratio, and (C) dead rice ratio (%).

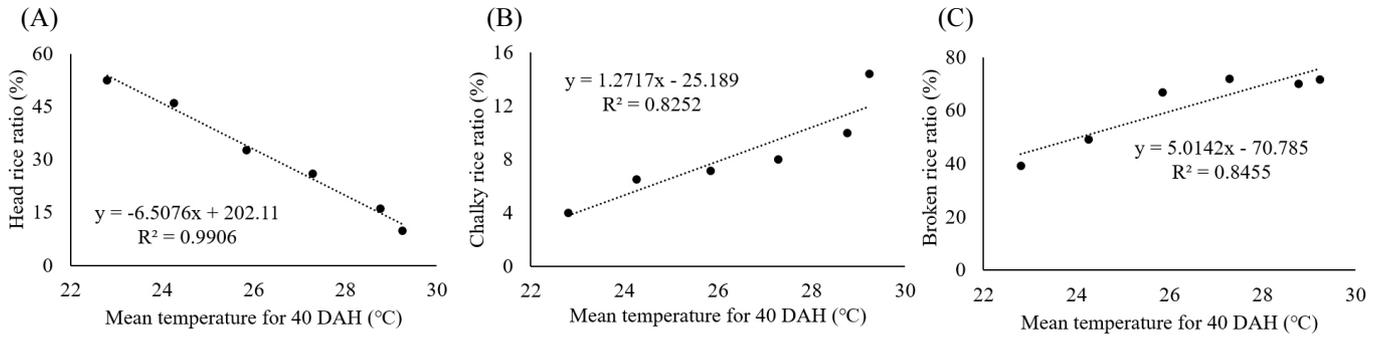


Fig. 6. Change of milled rice quality under different temperature condition. Correlation of mean temperature for 40 days after heading with (A) head rice ratio, (B) chalky rice ratio, and (C) broken rice ratio (%).

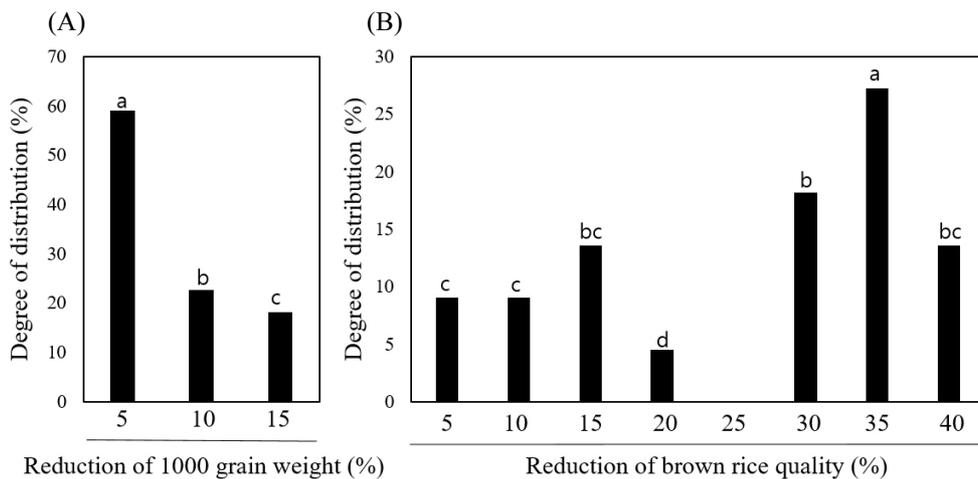


Fig. 7. Degree of distribution (%) of materials in reduction of (A) 1000 grain weight (%) and (B) brown rice quality (%) in heat stress conditions compared to control condition. The different letter after the heading dates indicates significant difference at $P \leq 5\%$ using Duncan's multiple range test.

등숙기간 평균온도에 따른 백미 품위변화를 분석한 결과 (Fig. 6), 등숙기간의 평균기온이 1°C 상승할수록 백미완전립 비율을 약 6.5% 감소하였으며 분상질립 비율 및 동할미 비율은 각각 약 1.3% 및 5% 증가하는 것으로 나타났다.

고온 및 적온처리에 따른 각 품종별 현미 품위변화 분석

각 재료별 등숙기 온도를 동일하게 처리하여 등숙기 고온에 따른 품위변화를 분석하기 위하여 유리온실에서 등숙기 온도를 달리하여 키운 뒤 수확하여 현미 품위변화를 분석하였다(Fig. 7). 등숙기 고온(28°C) 처리 시 적온(22°C) 조건과 비교하여 각 품종별 현미 품위와 현미천립중의 변화 정도를 분석한 결과, 현미천립중은 시험재료중 약 60%가 5%정도 감소하는 것으로 나타났으며 시험재료의 약 22% 및 18%는 각각 약 10% 및 15%의 현미 천립중이 감소하는 것으로 나타났다. 현미 품위의 경우 적온조건과 비교하

여 고온조건일 시 35%감소가 27%로 가장 많은 경향이었으며 이어 30% 및 40% 감소가 각각 18% 및 14%로 높은 경향이였다. 이를 통해 등숙기 고온 조건의 경우 현미 천립중 감소는 5~10% 내외로 품종간 큰 차이를 보이지 않지만 현미 품위의 경우 품종에 따라 감소 범위가 큰 것으로 나타났다.

고온 처리 시 적온과 비교한 현미 천립중 및 현미 품위 감소를 품종별로 나타낸 결과는 Fig. 8과 같다. 등숙기 고온 조건 시, A그룹에 속하는 조운(1) 및 Pecos (2)는 현미 품위 및 현미 천립중 감소율이 각 10% 및 4% 미만으로 고온에서도 등숙이 원활하여 다른 품종에 비해 적응성이 있는 것으로 판단된다. B그룹에 속하는 백일미(3), Kittake (4), 운봉57(5) 및 Halibey (6)의 경우 고온 등숙 시 현미 천립중 감소는 4% 미만으로 현미 품위는 20~25% 감소하여 A그룹과 비교시 수량감소는 크지 않지만 품위는 다소 떨어

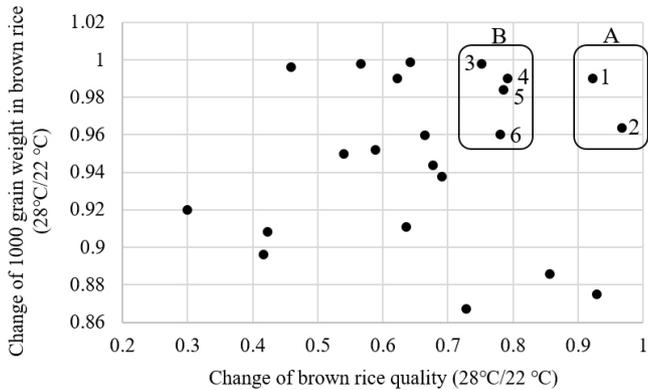


Fig. 8. Change of rice quality and 1000 grain weight in brown rice under high temperature (28°C) compared to control (22°C) conditions. Two groups were selected as A and B. A group showed less than 10% and 4% reduction in rice quality and 1000 grain weight, respectively. B showed less than 25% and 4% reduction in rice quality and 1000 grain weight, respectively. 1-Joun, 2-Pecos, 3-Backilmi, 4-Kittake, 5-Unbong57, and 6-Halibey.

지는 것으로 나타났다. 이외 품종의 경우 등숙기 고온에 따라 현미 품위감소가 30% 이상으로 나타나 추석 전 고품질 쌀 생산을 위한 품종육성 재료로 적합하지 않는 것으로 판단된다.

적 요

일평균온도 및 여름철 기온상승에 따라 추석 전 햅쌀 생산을 목적으로 재배하는 조생종의 경우 등숙기 온도 상승에 따른 품질저하의 우려가 증대하고 있다. 추석 전 햅쌀 생산시 수량 및 품질의 안정적 확보를 위한 육종효율을 증진하기 위해 주요 조생종 품종 및 유전자원 25점을 대상으로 이양시기에 따른 출수기 및 등숙 온도에 따른 품질변화를 분석한 결과는 다음과 같다.

1. 전주에서 재배 시 이양부터 출수기까지의 포장생육기간 변화를 분석한 결과, 이양시기 10일 변화 시 약 3.3일, 출수 전까지 생육기 평균온도 1°C 변화에 따라 약 2.5일 가량 변동되었다.
2. 조운, 운광 및 윤일찰은 이양시기 및 생육기 평균온도에 따른 포장생육일수의 변동이 적어 생육량 확보가 안정적이거나 이양시기 지연 시 출수기가 늦어 등숙에는 불량한 것으로 나타났으며, 반면 Kittake, Jizi1581 및 Pecos의 경우 이양시기 및 생육기 온도에 따른 포장생육일수의 변동이 큰 편으로 늦은 이양 시 생육량은 적지만 출

수 및 등숙에는 유리한 것으로 판단된다.

3. 전주지역의 기상을 바탕으로 볼 때 추석 전 안정적인 햅쌀 생산을 위해서는 5월 15일경 이양하는 것이 알맞으나 백일미 및 Kittake의 경우 6월 5일까지 이양시기가 늦어져도 수확이 가능한 것으로 나타났다.
4. 등숙기 평균온도 상승에 따라 현미 천립중은 약 0.2g, 현미 및 백미 완전립은 각각 약 5% 및 6.5%가 감소하였다. 조운 및 Pecos의 경우 현미품위 및 현미천립중 감소가 각 10% 및 4%로 적어 추석 전 햅쌀 생산을 목적으로 한 고품질 쌀 교배모본으로 사용 가능할 것으로 판단된다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(과제번호: PJ0115601)의 지원에 의해 수행된 결과입니다.

인용문헌(REFERENCE)

- Chen, G., Z. Wang, Q. Q. Liu, F. Xiong, Y. J. Gu, and G. J. Gu. 2006. Development and substance accumulation of caryopsis in transgenic rice with antisense *Wx* gene. *Rice Science* 13 : 106-12.
- Dolferus, R., X. M. Ji, and R. A. Richards. 2011. Abiotic stress and control of grain number in cereals. *e Plant Science* 181 : 331-41.
- Hwang, W. H., J. H. Jeong, H. S. Lee, I. B. Choi, and K. J. Choi. 2018. Ripening characters and antioxidant enzyme activity of Ilmi under heat stress condition. *Korean. J. Crop Sci.* 63(2) : 112-119.
- Jeong, J. U., Y. S. Shin, I. S. Choi, J. K. Chang, M. K. Kim, J. H. Lee, H. M. Park, C. I. Yang, Y. H. Jeon, J. P. Suh, I. B. Choi, J. M. Jeong, N. S. Sung, J. H. Lee, M. R. Yoon, and C. K. Kim. 2016. Blast resistant early maturing rice 'Jungmo 1024' with high temperature tolerance during grain filling stage. *Korean J. Breed. Sci.* 48(1) : 72-84.
- Kim, J., J. Shon, C. Lee, Y. Yong, W. Yang, Y. Kim, and B. Lee. 2011. Relationship between grain filling duration and leaf senescence of temperate rice under high temperature. *Field Crops Research* 122 : 207-213.
- Kwak, J. U., J. S. Lee, Y. J. Won, H. M. Park, K. S. Kwak, M. J. Kim, C. K. Lee, S. L. Kim, and M. R. Yoon. 2018. Effects of ripening temperature on starch structure and storage protein characteristics of early maturing rice varieties during grain filling. *Korean. J. Crop Sci.* 63(2) : 77-85.
- Lloret, F., A. Escudero, J. M. Iriondo, J. Martínez-Vilalta, and F. Valladares. 2012. Extreme climatic events and vegetation: the role of stabilizing processes. *Global Change Biol.* 18(3) :

- 797-805.
- Meteorological office 2018, Abnormal climate report, p. 7-8.
- Morita, S., J. Yonemaru, and J. Takanashi. 2005. Grain growth and endosperm cell size under high night temperatures in rice (*Oryza sativa* L.). *Annals of Botany* 95 : 695-701.
- Nakagawa, H., H. Tanaka, N. Tano, and H. Nagahata. 2006. Effects of leaf and panicle clipping on the occurrence of various types of chalky kernels in rice. *Hokuriku Crop Science* 41 : 32-44.
- Porter, J. R. and M. Gawith. 1999. Temperatures and the growth and development of wheat. *European Journal of Agronomy*. 10 : 23-36.
- Siebert, S., F. Ewert, E. E. Rezaei, H. Kage, and B. R. Gra. 2014. Impact of heat stress on crop yield-on the importance of considering canopy temperature. *Environmental Research Letters* 9 : 044012.
- Ugarte, C., D. F. Calderini, and G. A. Slafer. 2007. Grain weight and grain number responsiveness to pre-anthesis temperature in wheat, barley and triticale. *Field Crop Research* 100 : 240-248.
- Yugandhar, P., K. B. Ramana, P. Madhusmita, P. V. Vishnu, R. D. Nageswara, R. V. Sitapathi, D. Subrahmanyam, and N. Sarla. 2013. Characterization of a Nagina22 rice mutant for heat tolerance and mapping of yield traits. *Rice* 6 : 36.
- Zhang, H., L. Duan, J. S. Dai, C. Q. Zhang, J. Li, M. H. Gu, Q. Q. Liu., and Y. Zhu. 2014. Major QTLs reduce the deleterious effects of high temperature on rice amylose content by increasing slicing efficiency of *Wx* pre-mRNA. *Theoretical and Applied Genetics* 127(2) : 273-282.