

강원지역 쌀가루용 벼의 이앙시기가 수발아 발생에 미치는 영향

이지우^{1,†} · 조운상¹ · 김용복² · 정정수² · 정영평³

Optimal Transplanting Date for Rice Flour Cultivars to Avoid Occurrence of Pre-harvest Sprouting in Gangwon Province

Ji-Woo Lee^{1,†}, Youn-Sang Cho¹, Yong-Bok Kim², Jung-Su Jung², and Young-Pyeong Jeong³

ABSTRACT Rice is one of the three major grains globally, and has been used as a staple food in Asian countries for a long time. In recent years, with the increase in the use of processed rice, the development and distribution of rice flour varieties have become a research focus. However, rice flour varieties are susceptible to pre-harvest sprouting (PHS). In this study, the optimal transplanting date for rice flour varieties for maximum yield production with PHS avoidance was examined. Four rice flour varieties with different maturity types (early maturing type, Garumi2 and medium-late maturing type, Seolgaeng, Hangaru, and Singil) were selected. The field experiment was conducted in Chuncheon (Central Plain area) and Cheorwon (Northern Plain area), Gangwon Province, Republic of Korea, from 2017 to 2019. The transplanting dates used were May 10, May 20, May 30, June 10, and June 20 in Chuncheon and April 30, May 10, May 20, May 30, and June 10 in Cheorwon. In Chuncheon, late transplantation decreased PHS in Garumi2. In Cheorwon, PHS in Garumi2 decreased with transplantation dates after May 20. The PHS decreased in Seolgaeng, Hangaru, and Singil with late transplantation in Chuncheon and Cheorwon. The optimal transplanting date for maximum yield production while avoiding PHS for Garumi2 was estimated to be June 10 in Chuncheon and May 25 in Cheorwon; for Seolgaeng, the optimal transplanting dates were May 20 in Chuncheon and May 15 in Cheorwon; for Hangaru, it was estimated to be May 30 in Chuncheon and May 15 in Cheorwon; and for Singil, the optimal dates were May 25 in Chuncheon and May 15 in Cheorwon.

Keywords : Gangwon, pre-harvest sprouting, rice flour cultivar, transplanting date, yield

벼는 세계 3대 주요 곡물 중 하나로 전 세계 인구의 약 40%가 쌀을 주식으로 하고 있으며(Oh *et al.*, 2016), 오랜 시간 동안 한국, 중국, 일본, 베트남, 필리핀 등 아시아 국가에서 주식으로 이용되어 왔다. 국내에서는 쌀 부족 문제를 해결하기 위해 단위면적당 생산량이 많은 품종을 육성해왔으며, 통일벼 육성을 기점으로 1970년 10a당 327 kg이었던 미곡 생산량은 1996년 처음 500 kg을 넘어섰고, 2015년 542 kg/10a까지 증가하였다(Statistics Korea, 2020). 그러나 소득수준 향상과 함께 식생활의 급속한 변화로 밀가루 및 육류 소비

량이 증가하는 등 식생활의 서구화가 진행되면서 쌀 소비량이 감소하기 시작하였다. 2020년 현재 우리나라의 1인당 연간 쌀 소비량은 57.7 kg으로 30년 전인 1990년의 119.6 kg과 비교하면 절반 아래로 떨어진 상태이다(Statistics Korea, 2020). 이러한 쌀 소비 감소 현상은 지속적인 품종 육성을 통한 단위면적당 쌀 생산량의 비약적인 증가에 따른 공급 과잉과 함께 쌀 재고량 증가와 판매 하락의 원인이 되고 있다. 이에 따라 벼 재배면적 감소 및 논 타작물 재배시 정부 지원 확대 등 쌀 생산량 감소를 위한 다양한 정책이 이뤄지

¹강원도농업기술원 작물연구과 농업연구사 (Agriculture Researcher, Division of Crop Research, Gangwon Agricultural Research and Extension Services, Chuncheon 24203, Korea)

²강원도농업기술원 작물연구과 농업연구관 (Agriculture Senior Researcher, Division of Crop Research, Gangwon Agricultural Research and Extension Services, Chuncheon 24203, Korea)

³철원군농업기술센터 농업기술과 농업연구사 (Agriculture Researcher, Division of Agricultural Technology, Cheorwon Agricultural Technology Center, Cheorwon 24023, Korea)

[†]Corresponding author: Ji-Woo Lee; (Phone) +82-33-248-6054; (E-mail) paizem1987@korea.kr

<Received 3 November, 2021; Revised 8 February, 2022; Accepted 14 February, 2022>

고 있다.

이러한 문제점 해결을 위해 가공용 쌀의 재배면적 증가와 더불어 소비, 가공이용 연구 등 그 활용 분야가 점차 확대되고 있으며, 이에 따른 가공용 쌀 품종 육성의 비중이 커지고 있다(Choi *et al.*, 2009; Oh, 2016). 쌀가루 가공용으로 육성된 품종들로는 ‘설갱’, ‘한가루’, ‘신길’, ‘가루미2’ 등이 있다. ‘설갱’은 일품벼의 돌연변이 유기 계통 중 선발된 양조 적성이 뛰어난 연질미이며(Hong *et al.*, 2011; Oh *et al.*, 2011), ‘한가루’는 연질이면서 전분구조가 둥근 형태를 갖는 국내 최초 건식제분 전용 품종이다(Won *et al.*, 2019). 통일계 품종 ‘한아름’에 N-methyl N-nitrosourea (MNU)를 처리하여 돌연변이 육종을 통해 육성된 ‘신길’은 초다수성 연질미로서 제분이 용이하다(Choi *et al.*, 2006; Lee *et al.*, 2018). 또한, 2019년 농촌진흥청 직무육성 신품종 선정위원회에서 세계 최초 분질 쌀가루 전용 품종으로 전주615호가 선정되었으며 ‘가루미2호’로 명명되었다(RDA, 2020).

쌀가루 가공용 품종은 일반 밥쌀용 벼와 달리 배유의 전분구조가 밀과 같은 둥근 구조를 가지며 공극이 많아 수분 흡수가 용이하기 때문에 등숙기 잦은 강우 등에 의한 수발아에 취약한 특성을 갖는다(Yoon *et al.*, 2011; Kwak *et al.*, 2017; Lee *et al.*, 2020). 등숙기 수발아 발생 시 배유 전분과 단백질의 가수분해가 진행되어 종자 활력이 감소되며, 각종 세균들에 의한 종자부패의 원인이 된다(Gubler *et al.*, 2005; Biddulph *et al.*, 2008; Baek *et al.*, 2014; Zhu *et al.*, 2019). 또한, 수발아된 종자는 수발아 진행 정도에 따라 선택의 저하 및 현미천립중 감소 등 품질이 크게 저하된다(Oh *et al.*, 1987; Kim *et al.*, 2008). 이러한 쌀가루 가공용 품종의 단점인 수발아 문제를 회피하면서 쌀가루 가공적성이 우수한 장점을 최대한 발휘하고 최대 수량을 낼 수 있는 맞춤형 재배기술 확립이 필요하다. 지금까지 벼의 표준재배법은 밥쌀용 품종의 수량 향상 및 고품질 쌀 재배에 초점을 맞추어 설정되었기 때문에, 쌀가루 품종의 수요 확대에 필요한 실용적인 맞춤형 재배법 연구가 미흡한 실정이다. 또한 지역별 기상 조건을 고려한 이앙기 조절 등 수발아를 최소화하기 위한 재배기술 연구가 시급하다. 이에 본 연구는 강원 지역에서 쌀가루 전용 품종의 생태형별 및 이앙기 차이에 따른 수량성 및 수발아 정도를 구명하고자 수행되었다.

재료 및 방법

시험 재료 및 재배방법

2017~2019년까지 3년간 중부평야지인 강원도 춘천에 위치한 강원도농업기술원 벼 시험포장(37°54'N, 127°43'E, 해

발 76 m)과 북부평야지인 철원에 위치한 철원군농업기술센터 벼 시험포장(38°12'N, 127°14'E, 해발 183 m) 등 2곳에서 실시하였다. 시험에 사용된 쌀가루 품종은 설갱, 한가루, 신길 및 가루미2 등 4품종이다. 이중 가루미2는 2018~2019년까지 2년 동안의 생육 성적을 분석에 이용하였다. 파종 전 종자소독을 위해 60°C에서 10분간 온탕침지 후 ipconazole 및 fenitrothion 유제로 30°C에서 48시간 동안 약제소독하였다. 벼 이앙시기는 5처리로서 춘천에서는 5월 10일부터 6월 20일까지, 철원에서는 4월 30일부터 6월 10일까지 10일 간격으로 5회 이앙하였다. 30일 중묘를 1주 3본씩 손이앙 하였으며, 재식거리는 30 × 15 cm였다. 비료는 농촌진흥청 고품질 벼 생산을 위한 권장시비량인 9-4.5-5.7 kg/10a (N-P₂O₅-K₂O)을 시비하였다. 질소는 기비-분얼비-수비로 나누어 각각 50:20:30 (%) 비율로 분시하였고 인산은 전량 기비로, 칼리는 기비-수비를 70:30 (%) 비율로 분시하였다. 시험구는 각 이앙시기별 단구로 배치하였다. 기타 재배관리는 농촌진흥청 표준재배법에 준하였다.

생육 및 수량구성요소 조사

출수기는 시험구의 40% 정도가 출수한 날로 하였다. 간장, 수장, 수수를 20주씩 3반복으로 조사하였으며, 수당립수는 3주씩 3반복 채취하여 조사하였다. 시험구 수확은 각 품종별로 출수기 다음날 평균기온으로 적산하여 1,100°C를 기준으로 실시하였으며, 안전출수한계기까지 해당 적산온도를 채우지 못한 시험구의 경우 일괄 수확하였다. 수량구성요소 중 등숙률은 3주씩 3반복으로 이삭을 채취하여 조사하였다. 천립중은 시험구 당 200립중을 측정하여 환산하여 계산하였다. 수량은 각 품종의 이앙시기별 시험구 당 100주씩 3반복으로 수확하여 얻은 시료를 10a로 환산하여 계산하였고 각 수량구 무게를 수분 함량이 15%인 상태로 보정하였다. 기타 조사는 농촌진흥청 농업과학기술 연구조사 분석기준에 준하였다.

수발아 조사

수발아율 조사는 이앙시기별 기상조건이 각 시험 품종 및 이앙시기에 따른 수발아에 미치는 영향을 반영하기 위해 어떠한 인위적인 방법을 사용하지 않은 채 수확한 수량구를 현미로 도정한 다음 무작위로 300여립 씩 3반복 채취하여 육안으로 조사하였다. 수발아의 발현 정도는 조사에 반영하지 않았다.

기상자료 및 통계분석

기상청 춘천 관측소(지점번호 101)와 철원 관측소(지점

Table 1. Effect of different transplanting dates on the growth characteristics and yield components of four rice cultivars in the Chuncheon region.

Cultivar	Transplanting date (m.dd)	Heading date (m.dd)	Culm length (cm)	No. of panicles /hill	No. of spikelets /panicle	Grain filling rate (%)	1000 grain weight (g)	Milled rice yield (kg/10a)
Seolgaeng	5.10	8.19	70b ¹⁾	13a	108a	82.1ab	21.2a	562a
	5.20	8.24	66a	13a	121a	87.8b	21.3a	531a
	5.30	8.28	67a	13a	116a	82.8ab	21.6a	561a
	6.10	9.2	66a	14a	112a	76.8a	21.6a	531a
	6.20	9.6	66a	11a	126a	86.3b	23.6b	515a
Hangaru	5.10	8.9	62a	10a	80a	78.0a	33.5a	450a
	5.20	8.15	63a	11a	86a	85.5ab	33.1a	479ab
	5.30	8.19	64a	11a	77a	83.9ab	34.3a	514b
	6.10	8.26	65a	10a	78a	83.1ab	34.0a	493ab
	6.20	9.1	64a	9a	85a	90.5b	34.7a	447a
Singil	5.10	8.3	66a	12a	145a	84.3b	20.9a	676b
	5.20	8.10	64a	12a	156a	81.9ab	20.9a	666b
	5.30	8.15	67a	12a	155a	81.1ab	21.6ab	682b
	6.10	8.21	66a	13a	153a	74.4a	22.0ab	653b
	6.20	8.30	60a	11a	166a	78.7ab	22.8b	539a
Garumi2 ²⁾	5.10	7.21	64a	11a	119a	78.6a	18.3a	417a
	5.20	7.27	66a	10a	128a	94.0b	19.3ab	446ab
	5.30	7.31	73b	11a	120a	94.6b	20.1ab	535bc
	6.10	8.7	77b	11a	131a	89.0b	21.3ab	557c
	6.20	8.15	76b	9a	137a	90.6b	22.4b	473abc

¹⁾ Different letters in the same column represent significant differences by analysis of variance and Duncan's test, $p < 0.05$

²⁾ Garumi2, the early maturing type, was examined in 2018 and 2019

번호 95)의 일별 기상자료를 활용하였다. 출수 후 45일간 평균기온, 평균강우일수 및 출수 후 20일부터 45일 사이의 3일 이상 지속된 강우 빈도 등 기상데이터는 각 품종별로 출수기 이후 45일간의 기상 자료로 산출하였다.

통계분석은 SAS 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) 프로그램을 이용하였다. 통계 프로그램을 이용하여 분산분석과 던컨의 다중검정(Duncan's multiple range test, DMRT)으로 각 처리별 평균값을 5% 유의수준에서 검정하였다.

결과 및 고찰

강원지역 벼 재배지대 및 이앙시기에 따른 생육, 수량구성 요소 및 수량

강원지역에서 쌀가루 가공용 벼 품종 및 생태형별 이앙

시기가 생육 및 수량구성요소에 미치는 영향을 Table 1과 2에 나타내었다. 중부평야지인 춘천지역에서 조생종 가루미2와 중만생종 신길은 이앙시기가 늦어도 8월 하순까지는 출수되었다. 6월 10일 이앙하였을 때 설갱의 3년 평균 출수기는 9월 2일 이었으며, 한가루의 6월 20일 이앙시기의 출수기는 9월 1일 이었다. 2017년부터 2019년까지 3년간 9월 1일부터 45일간 평균적산온도는 825.8°C로 고품질 최적 적산온도 1,100°C에 크게 못 미쳤으며, 수확가능 적산온도인 880°C에도 도달하지 못하였다. 중만생종인 신길은 이앙시기에 따른 생육의 큰 차이는 나타나지 않았으나, 전반적으로 등숙률이 낮았으며, 6월 10일 이앙기에서는 74.4%까지 낮아졌다. 이는 자포니카형 대비 통일형은 등숙적온이 높아 출수기가 늦어질수록 등숙률이 감소한다는 연구결과와 비슷한 경향이었다(Lee & Kwon, 1995; Bum *et al.*, 2006). 조

Table 2. Effect of different transplanting dates on the growth characteristics and yield components of four rice cultivars in the Cheorwon region.

Cultivar	Transplanting date (m.dd)	Heading date (m.dd)	Culm length (cm)	No. of panicles /hill	No. of spikelets /panicle	Grain filling rate (%)	1000 grain weight (g)	Milled rice yield (kg/10a)
Seolgaeng	4.30	8.16	76ab ¹⁾	16a	103bc	92.0a	20.7a	507a
	5.10	8.14	77b	17a	91a	90.0a	21.0a	558a
	5.20	8.18	73ab	17a	94ab	89.5a	21.5b	524a
	5.30	8.24	71ab	14a	105bc	90.0a	21.8b	504a
	6.10	8.29	67a	14a	109c	89.5a	20.6a	437a
Hangaru	4.30	8.15	79b	12a	64a	91.3a	33.6a	513b
	5.10	8.13	75b	13a	66a	88.1a	33.9a	527b
	5.20	8.16	76b	14a	73ab	89.1a	34.2a	535b
	5.30	8.21	74b	12a	80b	89.9a	33.9a	514b
	6.10	8.26	67a	12a	76ab	90.8a	32.9a	407a
Singil	4.30	8.2	68a	16a	137a	88.6a	22.1a	723bc
	5.10	8.7	72a	16a	121a	88.7a	22.4a	757c
	5.20	8.11	73a	15a	116a	89.2a	22.2a	701bc
	5.30	8.16	69a	13a	125a	86.5a	21.9a	670b
	6.10	8.24	63a	15a	126a	86.0a	22.3a	523a
Garumi2 ²⁾	4.30	7.24	68a	11a	132b	90.1a	18.8a	479a
	5.10	7.25	75ab	13a	111a	95.4a	19.8ab	543ab
	5.20	7.29	77ab	16a	110a	90.3a	20.0ab	667c
	5.30	8.3	79ab	15a	111a	95.0a	20.7ab	632bc
	6.10	8.11	81b	15a	107a	90.6a	21.2b	546ab

¹⁾ Different letters in the same column represent significant differences by analysis of variance and Duncan's test, $p < 0.05$
²⁾ Garumi2, the early maturing type, was examined in 2018 and 2019

생종에서 이앙시기에 따른 수수 및 영화수의 통계적 유의성은 관찰되지 않았으나 늦게 이앙할수록 간장이 길어지는 경향을 보였다. 수량구성요소인 천립중은 생태형 및 품종에 관계없이 이앙시기가 늦어질수록 무거워지는 경향을 보였다. 이앙시기가 늦어질수록 등숙기 평균기온이 낮아짐에 비추어볼 때, 온도가 상승할수록 현미천립중이 감소한다는 연구결과와 일치하였다(Shon *et al.*, 2015; Hwang *et al.*, 2019; Yang *et al.*, 2021). 쌀수량은 설갱의 경우 5월 30일 이후 이앙시기가 늦어질수록 수량이 감소하는 경향을 보였으며, 한가루는 5월 30일 이앙시기까지 수량이 증가하다가 이후 감소하였다. 신길은 5월 30일에 이앙하였을 때 수량이 682 kg/10a로 가장 높았고 이후 이앙시기가 늦어질수록 감소하였다. 조생종 가루미2는 6월 10일까지 이앙시기가 늦어질수록 수량이 증가하다가 6월 20일 이앙시기에서 473 kg/10a

로 감소하였다. 북부평야지인 철원지역에서 가장 늦은 6월 10일 이앙시기에서도 8월 하순까지 출수가 완료되었다(Table 2). 그러나 출수가 가장 늦은 설갱의 6월 10일 이앙시기의 경우 3년 평균 출수 후 45일간 적산온도는 826.3°C로 수확가능 적산온도인 880°C에도 도달하지 못하였다. 중만생종 품종의 생육은 이앙시기가 늦어질수록 간장이 짧아지는 경향을 보였으나, 조생종은 반대로 간장이 길어지는 경향을 나타냈다. 이앙시기에 따른 등숙률 차이는 나타나지 않았으나 통일형 품종인 신길은 비교적 낮은 등숙률을 보였다. 수량구성요소 중 천립중은 조생종 품종인 가루미2의 경우만 이앙시기가 늦어질수록 무거워졌고 중만생종 품종인 설갱과 한가루는 각각 5월 30일, 5월 20일 이앙시기에서 21.8 g, 34.2 g으로 가장 무거웠고 이후 감소하였다. 이는 등숙기

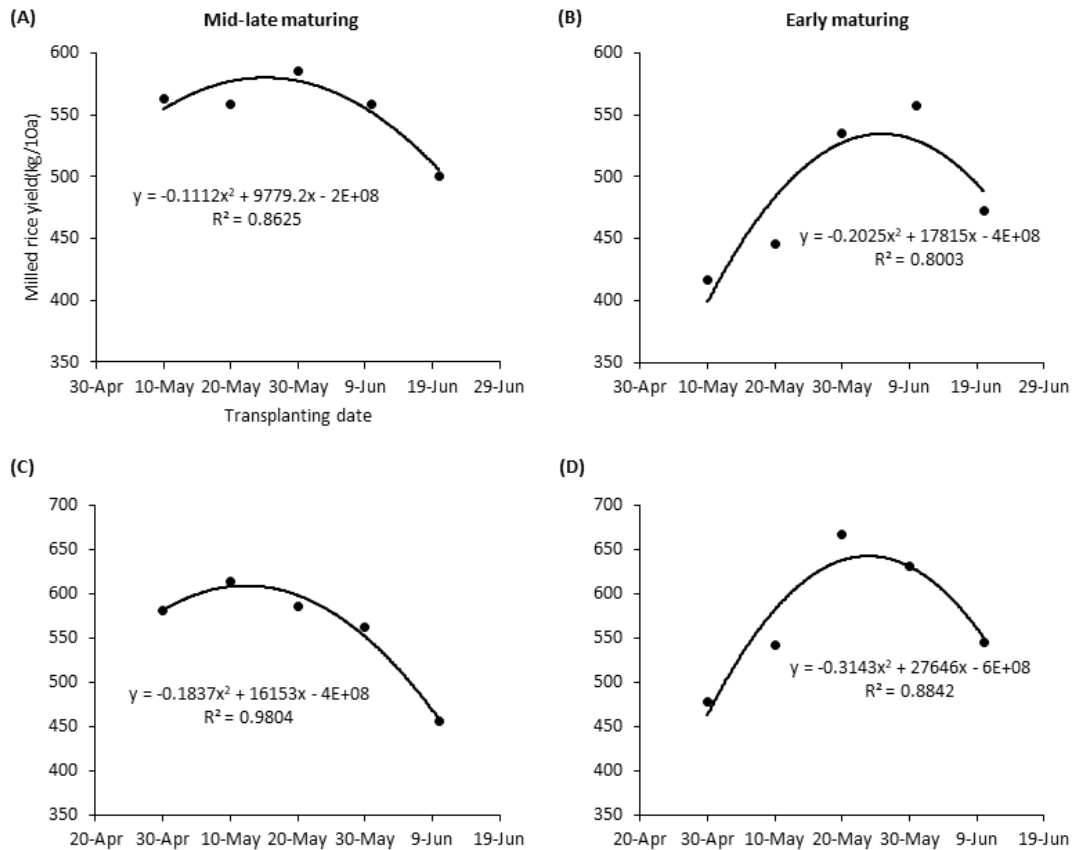


Fig. 1. Correlation between transplanting date and milled rice yield of mid-late and early maturing cultivar in Chuncheon (A-B) and Cheorwon (C-D). The mid-late varieties are Seolgaeng, Hangaru and Singil, and the early variety is Garumi2. The milled rice yield in panel A and C is the average from 2017 to 2019. The milled rice yield in panel B and D is the average from 2018 to 2019.

평균온도가 낮을 경우 탄수화물 축적이 부족하여 현미천립 중이 작아진다는 연구결과와 비슷한 경향이였다(Choi *et al.*, 2011). 쌀수량은 설갱의 경우 5월 10일에 이앙하였을 때 558 kg/10a로 가장 높았고 이후 이앙시기가 늦어질수록 수량이 감소하였고, 한가루는 5월 20일 이앙시기까지 수량이 증가하다가 이후 이앙시기가 늦어질수록 감소하였다. 신길은 5월 10일에 이앙하였을 때 757 kg/10a로 수량이 가장 높았고 이후 감소하였다. 조생종 가루미2는 5월 20일 이앙 시 667 kg/10a로 가장 높았고 이후 이앙시기가 늦어질수록 수량이 감소하였다.

춘천과 철원지역의 이앙시기에 따른 수량의 변화 양상은 시험 품종의 생태형과 밀접한 관계가 있는 것으로 판단되는데, 전체 이앙 시기별 쌀수량을 이용한 회귀식을 통해 추산한 결과 중만생종의 경우 춘천지역에서는 5월 25일경, 철원지역에서는 5월 10일경 이앙 시 최대 수량을 생산할 것으로 추정되었다(Fig. 1). 반면에 조생종은 춘천 지역에서 6월 5일경, 철원 지역에서 5월 25일경 이앙 시 최대수량

을 생산할 것으로 추정되어 중만생종 품종에 비해 최적 이앙시기가 10~15일 늦은 결과를 나타내었다.

등숙기 기상에 따른 수발아 발생

일반적으로 출수 후 적산온도가 증가할수록 수발아성이 높아진다고 보고된 바 있다(Kang *et al.*, 2018). 또한, 자포니카 품종은 출수 후 20일부터 수발아율이 높아지며, 일반적으로 수발아가 급격히 증가하는 환경조건은 평균기온이 15~25°C이며 3일 이상 강우가 지속될 경우라 하였다(Suh & Kim, 1994; Park & Kim, 2009; Kang *et al.*, 2018). 춘천 및 철원지역의 2017~2019년 등숙기 평균기온 및 평년 평균기온을 비교한 결과, 시험기간 동안의 평균기온이 평년 기온을 웃도는 결과를 나타냈으며(Fig. 2), 양쪽 모두 8월 상순경까지 고점을 유지하다가 이후 낮아졌다. 강우일은 여름장마 등으로 인해 대체로 7월 하순부터 8월 하순까지 집중되는 양상을 보였다. 품종별 출수 후 45일간 등숙기 강우일수와 출수 후 20일부터 45일까지 25일간 강우가 3일

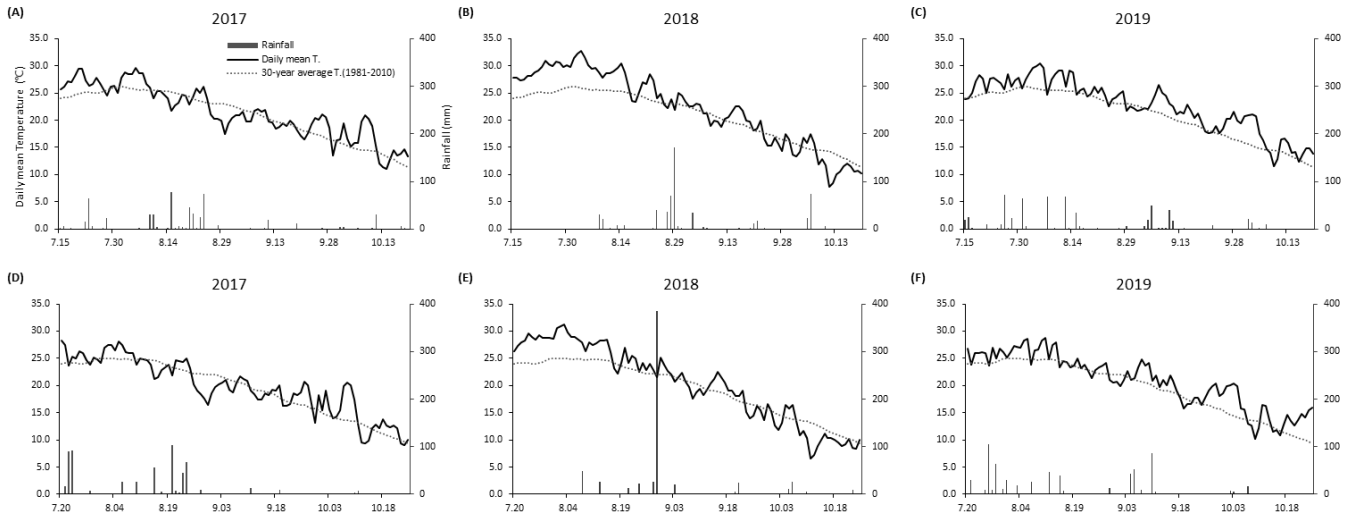


Fig. 2. Daily mean temperature and rainfall during the rice ripening periods by region and year (A-F). The panels show the weather during the ripening periods in Chuncheon (A-C) and Cheorwon (D-F), respectively. The daily mean temperature of each year is shown repeatedly as a solid line. The daily mean temperature of the 30 years is shown as a dotted line.

이상 지속된 빈도는 이앙시기가 늦어질수록 줄어드는 경향을 보였다(Table 3). 춘천 지역에서 중만생종 품종의 경우 이앙시기가 늦어질수록 등숙 후반기의 3일 이상 지속된 강우빈도가 0.0회까지 감소하였다. 조생종 품종은 5월 20일 이앙부터 6월 10일 이앙까지 1.5회에서 6월 20일 이앙 시 1.0회로 감소하였다. 5월 10일 이앙 시 3일 이상 강우 빈도는 1.0회였으나 등숙기 평균기온이 27.7°C로 수발아에 취약한 환경으로 판단된다. 철원 지역에서 중만생종 품종의 등숙 후반기 3일 이상 강우빈도는 이앙시기가 늦어질수록 1.0~2.0회에서 0.0회로 감소하였으며, 등숙기 평균기온은 20°C 아래로 내려갔다. 조생종 품종은 5월 20일 이앙부터 6월 10일 이앙까지 1.5회로 다소 높았으나 등숙기 평균기온이 24.8°C에서 21.9°C까지 점차 낮아졌다. 따라서 이앙시기가 늦을수록, 그리고 중만생종 품종일수록 등숙기간 중 적산온도는 낮아지고 강우일수 및 3일 이상 지속된 강우 빈도는 줄어들어 수발아율이 감소되는 경향을 보인 것으로 판단된다. 춘천과 철원 지역의 수발아율을 분석한 결과, 춘천 지역에서 전반적으로 높은 수발아율이 관찰되었는데 이는 철원 지역과 비교하여 상대적으로 높은 평균기온과 잦은 강우로 인한 것으로 보인다. 또한 철원 지역은 중만생종 품종의 등숙 후기 평균기온이 낮아 적산온도 1,100°C에 도달하기 전에 수확하여 검정하게 됨으로써 수발아율이 낮게 평가되었을 가능성이 있다.

조생종 품종인 가루미2의 경우, 춘천 지역에서 이앙시기가 늦어질수록 수발아율이 감소하는 경향을 보였다. 5월 10

일과 5월 20일 이앙했을 경우 각각 10.83%와 12.38%의 수발아율을 나타냈으나 이후 감소하여 6월 20일 이앙 시 2.37%를 나타냈다. 반면에 철원 지역에서는 5월 20일 이앙 시기까지 수발아율이 증가하다가 이후 감소하였는데 5월 20일 이앙했을 경우 수발아율은 9.64%였으며, 이후 감소하여 6월 10일 이앙 시 3.36%를 나타냈다. 조생종은 등숙기 평균기온이 높아 상대적으로 적은 강우에도 수발아 발생의 위험이 크다. 따라서 조생종 쌀가루 품종인 가루미2의 경우 춘천과 철원지역 모두 이앙시기가 늦을수록 수발아 위험성을 회피할 수 있을 것으로 판단된다.

중만생종 품종인 설갱, 한가루 및 신길의 경우, 춘천 지역에서 이앙시기가 늦어질수록 수발아율이 감소하는 경향을 보였다. 설갱의 경우 5월 10일 이앙 시 수발아율은 4.61%를 나타냈으며 이후 지속적으로 감소하여 6월 10일 이앙 시 1.95%를 나타냈다. 한가루의 경우 5월 10일 이앙 시 수발아율은 3.31%를 나타냈으며 이앙시기가 늦을수록 지속적으로 감소하여 6월 10일 이앙 시 0.91%를 나타냈다. 설갱과 한가루 모두 6월 20일 이앙 시 수발아율이 다소 증가되었는데, 이는 2018년 10월 상순 강우 및 2019년 태풍 미탁 등에 의한 것으로 판단된다(Fig. 2). 신길은 5월 10일 이앙했을 경우 7.64%의 수발아율을 나타냈으며 이후 이앙시기가 늦어질수록 감소되어 6월 20일 이앙 시 0.40%를 나타냈다. 철원 지역에서 설갱은 5월 10일 이앙했을 경우 2.28%의 수발아율을 나타냈으며 이후 감소하여 6월 10일 이앙 시 0.21%를 나타냈다. 한가루는 5월 20일 이앙 시 1.74%

Table 3. Climate during the rice ripening periods and pre-harvest sprouting (PHS) rate according to transplanting dates in the Chuncheon and Cheorwon regions.

Region	Cultivar	Transplanting date (m.dd)	ATDAH ¹⁾ (°C)	ARDAH ²⁾ (days)	FRDAH ³⁾ (days)	Pre-harvest sprouting rate ⁴⁾ (%)
Chuncheon	Seolgaeng	5.10	20.6	13.5	0.5	4.6a
		5.20	20.2	14.0	0.7	3.6a
		5.30	19.4	13.7	0.3	2.3a
		6.10	18.2	12.7	0.3	2.0a
		6.20	18.7	11.0	0.0	3.0a
	Hangaru	5.10	22.4	18.5	1.0	3.3b
		5.20	21.9	15.7	0.7	3.2b
		5.30	21.1	14.3	0.3	1.5a
		6.10	19.6	13.0	0.3	0.9a
		6.20	19.7	14.0	0.0	1.3a
	Singil	5.10	23.8	17.5	0.5	7.6c
		5.20	22.7	16.7	0.7	5.7bc
		5.30	21.8	16.0	0.7	4.1abc
		6.10	20.6	15.3	0.3	1.7ab
		6.20	20.0	14.0	0.0	0.4a
	Garumi2	5.10	27.7	13.0	1.0	10.8c
		5.20	26.3	17.5	1.5	12.4d
		5.30	25.5	17.0	1.5	7.7b
		6.10	24.0	18.0	1.5	3.1a
		6.20	22.5	16.0	1.0	2.4a
Cheorwon	Seolgaeng	4.30	20.7	16.0	1.0	1.0ab
		5.10	20.7	15.7	1.0	2.3c
		5.20	20.3	14.7	0.7	1.4bc
		5.30	19.0	13.3	0.3	0.6ab
		6.10	18.4	9.5	0.0	0.2a
	Hangaru	4.30	21.0	16.0	1.0	0.3a
		5.10	21.1	16.0	1.0	1.4bc
		5.20	20.5	14.7	1.0	1.7c
		5.30	19.8	13.3	0.7	0.6ab
		6.10	18.8	11.0	0.0	0.5ab
	Silgil	4.30	24.3	14.0	2.0	7.5d
		5.10	22.4	16.3	1.3	4.9c
		5.20	21.6	16.7	1.3	3.6bc
		5.30	20.8	15.0	0.7	2.1ab
		6.10	19.3	13.0	0.0	1.1a
	Garumi2	4.30	26.1	14.0	1.0	6.7a
		5.10	25.3	17.5	2.0	8.1b
		5.20	24.8	17.0	1.5	9.6b
		5.30	23.9	15.5	1.5	6.8a
		6.10	21.9	16.0	1.5	3.4a

¹⁾ Average temperature during 45 days after heading

²⁾ Average rainy days during 45 days after heading

³⁾ Frequency of rainfall for more than 3 days during 25 days from 20th day after heading

⁴⁾ Different letters in the same column represent significant differences by analysis of variance and Duncan's test, $p < 0.05$

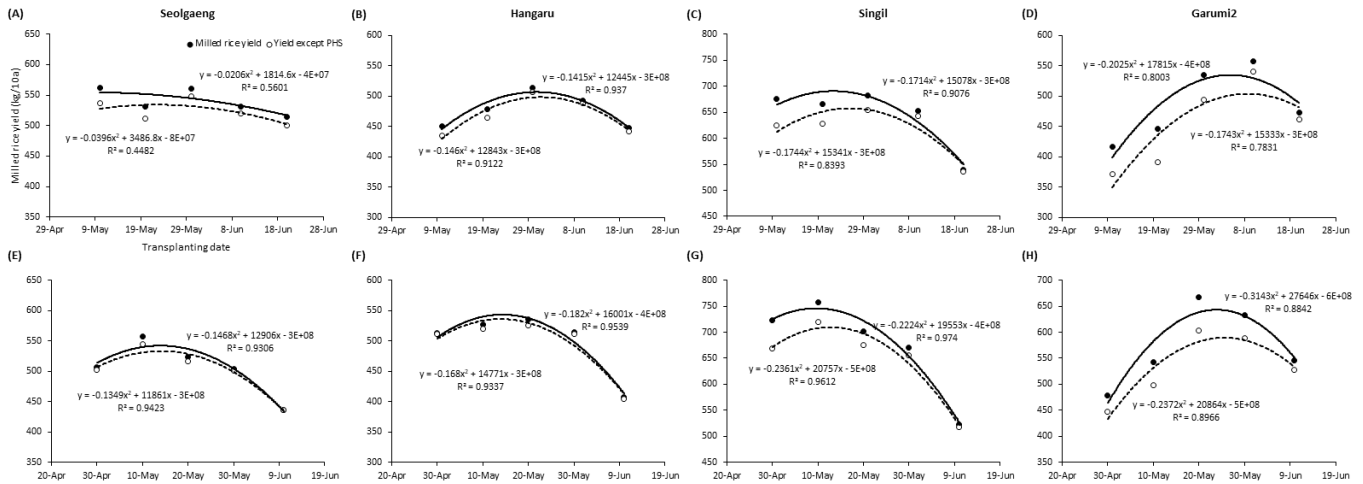


Fig. 3. Correlation between transplanting date and milled rice yield with pre-harvest sprouting (PHS) avoidance in Chuncheon (A-D) and Cheorwon (E-H). The rice flour varieties are Seolgaeng (A, E), Hangaru (B, F), Singil (C, G) and Garumi2 (D, H). The solid line represents the milled rice yield of flour cultivars and the dotted line represents the milled rice yield of rice that has not germinated. The milled rice yield of mid-late cultivars (A-C and E-G) is the average from 2017 to 2019. The milled rice yield of Garumi2 (D, H) is the average from 2018 to 2019.

의 수발아율을 나타냈으며 이후 감소하였다. 신길은 이앙 시기가 늦어질수록 수발아율이 감소하여 6월 10일 이앙 시 1.09%를 나타냈다.

쌀가루 가공용 품종의 강원지역 최적 이앙시기

설갱, 한가루, 신길 및 가루미2 등 쌀가루 가공용 품종은 전분구조 특성상 수발아에 취약한 특징을 갖는다(Yoon *et al.*, 2011; Kwak *et al.*, 2017; Lee *et al.*, 2020). 쌀가루 가공 후 품질하락을 예방하기 위하여 강원 지역에서 수발아 발생을 회피하면서 최대 수량을 안정적으로 생산할 수 있는 적정 이앙시기를 추정해보았다(Fig. 3). 품종 및 이앙시기별 수발아된 비율을 제외한 쌀수량을 회귀식을 통해 추산한 결과, 중부평야지인 춘천 지역에서 중만생종인 설갱의 경우 5월 20일경 이앙했을 때 수발아를 최대한 회피하면서 최대 수량을 낼 수 있었다(Fig. 3A). 대립 쌀가루 품종인 한가루는 5월 30일경이 최대 안정 생산을 위한 최적 이앙시기로 추정되며(Fig. 3B), 초다수성 연질 특성을 갖는 중만생종 신길은 5월 25일경이 수발아 회피 및 최대 수량 생산을 위한 최적화된 이앙시기로 판단된다(Fig. 3C). 분질 특성을 갖는 조생종 가루미2는 춘천 지역에서 6월 10일경이 포장 수발아를 회피하면서 최대 수량을 생산할 수 있는 이앙 적기로 판단된다(Fig. 3D).

북부평야지인 철원 지역에서 중만생종 품종인 설갱, 한가루 및 신길이 수발아를 회피하면서 최대 수량을 낼 수 있는 이앙적기는 5월 15일 경으로 판단된다(Fig. 3). 반면에

조생종인 가루미2의 수발아 회피 및 최대 수량 생산을 위한 최적 이앙시기는 5월 25일 경으로 추정된다(Fig. 3H). 춘천과 철원 두 지역 모두 생태형이 조생종인 품종의 수발아 회피 및 최대 수량 생산을 위한 최적 이앙기가 중만생종 품종보다 10일 정도 늦게 형성되는 경향을 보이는데, 이는 조생종 품종의 등숙기간 중 장마 및 집중호우 등 강우를 최대한 회피할 수 있었기 때문으로 여겨진다. 따라서 춘천 및 철원지역에서 조생종 쌀가루 가공용 품종은 지대별 적기 이앙시기보다 다소 늦게 이앙하는 것이 유리할 것으로 판단된다.

적 요

본 실험은 강원지역에서 쌀가루 가공용 품종의 수발아를 회피하면서 최대 수량 생산을 위한 최적 이앙시기를 설정하기 위해 2017~2019년 까지 3년간 중부평야지 춘천과 북부평야지 철원에서 실시하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1. 춘천 지역에서 중만생종 품종의 생육은 이앙시기에 따른 차이는 나타나지 않았으며, 조생종 품종은 늦게 이앙할수록 간장이 길어졌다. 천립종은 모든 품종에서 늦게 이앙할수록 무거워지는 경향을 보였다. 철원 지역에서는 이앙시기가 늦어질수록 중만생종 품종의 간장은 짧아졌고, 조생종은 반대로 길어지는 경향을 보였다. 천립종은 가루미2의 경우 이앙시기가 늦을수록 무거워졌고 설갱

- 과 한가루는 각각 5월 30일, 5월 20일 이앙 시 21.8 g, 34.2 g으로 가장 무거웠다.
2. 춘천과 철원지역의 2017~2019년 등숙기 평균기온은 평년 대비 높은 기온을 나타냈으며, 강우일은 7월 하순에서 8월 하순까지 집중되었다. 중만생종 품종의 등숙기 후반 3일 이상 지속 강우빈도는 이앙시기가 늦어질수록 줄어드는 경향을 보였는데, 이는 춘천과 철원지역 모두 동일하였다. 반면에 초생종 품종의 경우 6월 10일 이앙 시 강우빈도가 춘천에서 1.5회, 철원에서 1.5회로 측정되어 등숙 후반에도 높은 강우빈도를 유지하였으나 등숙기 평균기온이 각각 24.0°C, 21.9°C로 낮아져 수발아 위험은 감소되었다.
 3. 가루미2는 춘천 지역에서 이앙시기가 늦을수록 수발아율이 감소하였고, 철원지역에서는 5월 20일 이앙 이후 감소하여 6월 10일 이앙 시 3.36%를 나타냈다. 중만생종 품종인 설갱, 한가루 및 신길은 춘천 지역에서 이앙시기가 늦을수록 수발아율이 감소하는 경향을 보였다. 철원 지역에서 설갱과 한가루는 각각 5월 10일, 5월 20일 이앙 시 2.28%, 1.74%의 수발아율을 나타냈으며 이후 감소하였고 신길은 이앙시기가 늦을수록 감소하여 6월 10일 이앙 시 1.09%를 나타냈다.
 4. 지역 및 품종별 쌀수량과 수발아 발생을 고려한 강원지역 쌀가루 가공용 품종의 적정 이앙시기는 춘천에서 설갱은 5월 20일, 한가루는 5월 30일, 신길은 5월 25일, 가루미2는 6월 10일이며, 철원에서 설갱, 한가루 및 신길은 5월 15일, 가루미2는 5월 25일로 판단된다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(과제명 : 쌀가루 가공용 벼의 최대 안정생산 및 생산비 절감 기술 개발(3공동), 공동연구번호 : PJ01296003)의 지원에 의해 수행된 결과임.

인용문헌(REFERENCES)

- Baek, J. S. and N. J. Chung. 2014. Pre-harvest sprouting variation of rice seeds located on each panicle position according to grain filling days. *Korean J. Crop Sci.* 59(1) : 22-26.
- Biddulph, T., J. Plummer, T. L. Setter, and D. J. Mares. 2008. Seasonal conditions influence dormancy and preharvest sprouting tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.) in the field. *Field Crops Res.* 107 : 116-128.
- Bum, Y., K. J. Lee, and B. W. Lee. 2006. Comparison of traits related to dry matter production and grain yield among rice cultivars released in different years. *Korean J. Agric. For. Meteorol.* 8(3) : 183-189.
- Choi, H. C., S. N. Ahn, H. C. Hong, Y. K. Kim, H. G. Hwang, and T. Y. Kim. 2006. New mutants of specialty rice induced from Ilpumbyeo, a high-quality rice cultivar, by MNU(N-methyl-N-nitrosourea) treatment on fertilized egg cells. *Korean J. Breed.* 38(3) : 154-160.
- Choi, K. J., T. S. Park, C. K. Lee, J. T. Kim, J. H. Kim, K. Y. Ha, W. H. Yang, C. K. Lee, K. S. Kwak, H. K. Park, J. K. Nam, J. I. Kim, G. J. Han, Y. S. Cho, Y. H. Park, S. W. Han, J. R. Kim, S. Y. Lee, H. G. Choi, S. H. Cho, H. G. Park, D. J. Ahn, W. K. Joung, S. I. Han, S. Y. Kim, K. C. Jang, S. H. Oh, W. D. Seo, J. E. Ra, J. Y. Kim, and H. W. Kang. 2011. Effect of temperature during grain filling stage on grain quality and taste of cooked rice in mid-late maturing rice varieties. *Korean J. Crop Sci.* 56(4) : 404-412.
- Choi, S. Y. and M. S. Shin. 2009. Properties of rice flours prepared from domestic high amylose rices. *Korean J. Food Sci. Technol.* 41(1) : 16-20.
- Gubler, F., A. A. Millar, and J. V. Jacobsen. 2005. Dormancy release, ABA and pre-harvest sprouting. *Currnet opinion in plant biology.* 8 : 183-187.
- Hong, H. C., H. P. Moon, H. C. Choi, H. G. Hwang, Y. G. Kim, H. Y. Kim, J. D. Yea, Y. S. Shin, K. H. Kang, Y. H. Choi, Y. C. Cho, M. K. Baek, C. I. Yang, I. S. Choi, S. N. Ahn, and S. J. Yang. 2011. A lodging tolerant, opaque rice cultivar 'Seolgaeng'. *Kor. J. Breed. Sci.* 43(6) : 532-537.
- Hwang, W. H., C. K. Lee, J. H. Jung, H. S. Lee, S. Y. Yang, Y. H. Im, and K. J. Choi. 2019. Heading and ripening characters of major early maturing breeding rice lines according to transplanting date and temperature condition. *Korean J. Crop Sci.* 64(3) : 185-192.
- Kang, S., J. Shon, H. S. Kim, S. J. Kim, J. S. Choi, J. H. Park, Y. Yoon, J. Sim, and W. Yang. 2018. Analysis of genetic variation in pre-harvest sprouting at different cumulative temperatures after heading of rice. *Korean J. Crop Sci.* 63(1) : 8-17.
- Kim, S. J., J. G. Won, D. J. Ahn, S. D. Park, and C. D. Choi. 2008. Influence of viviparous germination on quality and yield in rice. *Korean J. Crop Sci.* 53(S) : 15-18.
- Kwak, J., M. R. Yoon, J. S. Lee, J. H. Lee, S. Ko, T. H. Tai, and Y. J. Won. 2017. Morphological and starch characteristics of the japonica rice mutant variety Seolgaeng for dry-milled flour. *Korean J. Food Sci. Technol.* 26(1) : 43-48.
- Lee, C. E., J. No, and M. Shin. 2018. Physicochemical properties of resistant starch prepared from Singil rice starch. *Korean J. Food Cook Sci.* 34(6) : 626-634.
- Lee, J. Y., Y. C. Song, J. H. Lee, S. M. Jo, Y. H. Kwon, D. S. Park, and J. H. Cho. 2020. 'Shingil (Milyang317)', tongil-type variety specialized for rice flour. *Korean J. Breed. Sci.* 52(4) : 502-510.
- Lee, S. Y. and Y. W. Kwon. 1995. Changes in sink capacity and

- source activity of rice cultivars in response to shift of heading date. *Korean J. Crop Sci.* 40(2) : 260-267.
- Oh, S. H., C. Y. Kim, C. H. Kim, S. Y. Kim, and J. Y. Lee. 1987. Influence of viviparous germination on quality and yield potential of rice. *Res. Rept. RDA (Crops)* 29(1) : 68-73.
- Oh, S. K., D. J. Kim, S. J. Ryu, A. Chun, M. R. Yoon, I. S. Choi, H. C. Hong, and Y. K. Kim. 2011. Quality characteristics of Korean traditional wine using *Seolgaengbyeo* for brewing rice. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 40(8) : 1189-1194.
- Oh, S. K. 2016. Development of rice varieties for processing and trend of food industry. *Food Industry and Nutrition.* 21(2) : 8-14.
- Oh, S. W., S. M. Kim, S. Y. Park, S. Y. Lee, W. H. Lee, H. S. Cho, and Y. S. Yeo. 2016. Rice biotechnology and current development. *J. Korean Soc. Int. Agric.* 28(1) : 24-36.
- Park, J. S. and H. D. Kim. 2009. Viviparous germination characteristics of rice varieties adaptable to central region of Korea. *Korean J. Crop Sci.* 54(3) : 241-248.
- Rural Development Administration(RDA). 2020. The results in new variety of crops the selection committee in 2019. RDA, Jeonju, Korea. pp. 31-45.
- Shon, J. Y., J. H. Kim, C. K. Lee, and W. H. Yang. 2015. Effect of high temperature on leaf physiological changes as chlorophyll composition and photosynthesis rate of rice. *Korean J. Crop Sci.* 60(3) : 266-272.
- Statistics Korea. 2020. <http://kosis.kr>
- Suh, K. H. and Y. W. Kim. 1994. Varietal difference in viviparous germination at different days after heading and temperature conditions in rice. *Korean J. Crop Sci.* 39(2) : 187-192.
- Won, Y. J., E. K. Ahn, E. G. Jeong, J. K. Chang, J. H. Lee, K. H. Jung, U. J. Hyun, Y. C. Cho, S. K. Oh, M. R. Yoon, B. K. Kim, and B. J. Kim. 2019. An opaque endosperm rice cultivar, 'Hangaru', suitable for exclusive dry-milling rice flour production. *Kor. J. Breed. Sci.* 51(2) : 134-139.
- Yang, S. Y., W. H. Hwang, J. H. Jeong, H. S. Lee, C. G. Lee, and M. G. Choi. 2021. Effects of temperature on grain filling properties of rice flour varieties during the ripening stage. *Korean J. Crop Sci.* 66(1) : 1-7.
- Yoon, M. R., A. Chun, S. K. Oh, S. H. Ko, D. J. Kim, H. C. Hong, I. S. Choi, and J. H. Lee. 2011. Physicochemical properties of endosperm starch and breadmaking quality of rice cultivars. *Korean J. Crop Sci.* 56(3) : 219-225.
- Zhu, D., Z. Qian, H. Wei, B. Guo, K. Xu, Q. Dai, H. Zhang, and Z. Huo. 2019. The effects of field pre-harvest sprouting on the morphological structure and physicochemical properties of rice (*Oryza sativa* L.) starch. *Food Chem.* 278 : 10-16.