

강원도 벼 주산지에서 생태형별 이앙시기가 현미 품질에 미치는 영향

조윤상^{1*}, 이지우¹, 윤예지¹, 김용복², 정정수²

¹강원도농업기술원 작물연구과 농업연구사, ²강원도농업기술원 작물연구과 농업연구관

Effects of Transplanting-date on Brown Rice Quality between Ecotypes of the Major Rice-producing Areas in Gangwon Province

Youn-Sang Cho^{1*}, Ji-Woo Lee¹, Ye-Ji Yoon¹, Yong-Bok Kim², Jung-Su Jung²

¹Research Scientist, Gangwon-do Agricultural Research and Extension Services, Chuncheon 24226, Republic of Korea

²Senior Research Scientist, Gangwon-do Agricultural Research and Extension Services, Chuncheon 24226, Republic of Korea

*Corresponding author: Youn-Sang Cho (E-mail: choyouns@korea.kr)

ABSTRACT

Received: 1 September 2022

Revised: 11 October 2022

Accepted: 13 October 2022

Recent changes in the climate of Korea show that the average rate of temperature increase is above 1.5°C, which is more than twice the global average temperature increase rate of 0.74°C, indicating that the rate of warming here is faster than that in other regions. These rapid climate changes demand a response strategy that include the development of adaptive varieties and cultivation techniques in agricultural ecosystems. The major rice producing regions of Gangwon-do are diverse and located in the central plains, northern plains, and east coast. To obtain the basic data necessary for resetting the cultivation methods to adapt to climate change, the yield quantity and yield components of rice were analyzed based on different ecological types and their transplanting period. In the central plain, the yield of early and middle maturing varieties increased with the increase in average temperature. The yields were not stable for the high-quality cultivation of mid-late varieties. However, the temperature rise did not affect the yields of the early, middle, and mid-late maturing varieties in the east coast region. In the central and northern plains, cultivation stability was confirmed only for the early varieties. Therefore, cultivation of the middle and mid-late varieties is not recommended for high-quality rice production and maintaining cultivation-stability. In the climate change scenario, quality and stability of cultivation are the priority factors that must be considered in rice cultivation areas.

Keywords: Ecotype, High quality, Rice, Transplanting time, Variety



서론

벼는 세계 3대 식량작물중 하나이며, 재배적 측면에서 기후환경의 급격한 변동은 쌀 생산에 큰 장애 요인이 될 것으로 인식되고 있다. 이러한 기후환경 변화를 극복하기 위해선 생태형별 재배치나 돌발 기상재해를 회피하는 대응이 요구된다.

우리나라의 기후변화 문제는 지난 100년간(1906 - 2005년) 세계 평균기온 0.74°C 상승의 2배 이상인 1.5°C를 상회하여 온난화속도가 매우 빠르다는 것이다(FAO, 2004). 급격한 기후변화는 농업 생태계에서 품종 개발이나 재배기술 개발 등과 같은 대응이 농업현장에 시급히 필요하다는 것을 제시한다. 기후변화 제 5차 보고서에 의하면 21세기 후반기 평균기온이 RCP 4.5 기준 1.8°C, RCP 8.5 기준으로는 3.7°C 증가할 것으로 전망되고 있다(FAO, 2004; Wolfe et al., 2005). 평균 기온과 대기중 CO₂ 농도 증가는 작물의 수량과 품질을 동시에 저하시키며, 개화시기 등 생태형 변화에 따른 재배적지 이동을 초래하여 식량 생산에 큰 영향을 미칠 것으로 예측하고 있다. 벼에서 기후변화 예측 시나리오는 국제미작연구소(IRRI)에 개발한 ORYZA2000가 활용되고 있다. Lee 등(2011)은 ORYZA2000 예측 모델을 이용한 결과 최적파종기는 전반적으로 생태형에 관계 없이 늦어진다고 보고하였다. Sang 등(2018)은 RCP 8.5 기준으로 2015 - 2016년까지 가상 기후 조건에서 벼 생육을 예측한 결과, 생육 및 노화가 급격하게 촉진되고 출수기는 현재 대비 5일 이상 단축되어 등숙고온 환경에 노출되어 품질을 급격히 저하된다고 예측하였다. 따라서 안정적인 고품질 쌀 생산을 위해선 등숙고온에 적응하는 품종 개발이나 등숙기 고온 회피를 위한 재배방법을 개발하여야 한다고 보고하였다.

기후변화가 진행됨에 따라 벼 재배환경과 품질간 비교에 대한 연구가 활발히 연구되고 있다. Jung 등(2003)은 이앙시기 및 수확시기에 따른 쌀 품질을 검토한 결과 현미수량은 조기나 보통기재배가 만기재배보다 유리하나 식미치는 등숙적산온도와 부의 상관을 보여준다고 하였다. 따라서 수량과 품질을 동시에 고려하면 조기 또는 보통기재배가 유리한 것으로 판단된다고 보고하였다. Choi 등(2011)은 온도가 등숙에 미치는 영향을 출수 후 평균기온이 증가할수록 단백질함량은 증가하고 식미치는 감소된다고 보고 하였다. Kang 등(2005)은 중산간지에서 이앙시기와 품종에 따른 쌀 품질을 분석한 결과 식미치, 아밀로즈함량, 단백질함량은 요인간 뚜렷한 상호작용 경향은 없으나 다만 수량은 조기 이앙이 유리하다고 보고하였다. Yang 등(2017a)은 중부평야지에서 중생종 품종인 하이아미의 밀식 효과 비교에서 완전미수량증가는 밀식에 의한 수수의 증가보다는 m²당 수수와 영화수를 적절히 조절하는 것이 쌀수량 증대에 더 효과적이라고 보고하였다. 등숙일수에 따른 종실중의 변화는 일반적으로 sink와 source의 개념에서 해석되어 영화수 감소는 종실중 증가에 영향을 미친다. Lee 등(2010b)은 종실중, 종실질소함량, 등숙기 기상 및 생육형질을 이용하면 종실중 및 종실질소함량 추정이 가능하다고 하였다.

벼는 출수 후 40일 동안 평균기온이 24°C 이상이면 5% 이상 수량 감소를 초래하며 또한 평균기온이 상승하면 등숙율과 천립중, 완전미비율이 낮아지고, 미숙립이 급격히 증가한다. 또한 단백질 함량은 증가되어 미질이 저하시킨다. 벼 생육은 다양한 시대나 생태형의 차이, 품종 등에 따른 등숙 고온에 대한 반응은 다르기 때문에 시대 및 생태형별 품질 변화에 대한 기초자료 수집이 필요하다. 기존엔 기후변화에 따라 변화하는 지역별 농업기후에 근거한 최적 품종의 선택, 이앙기 및 수확기 등 재배시기 조절에 대하여 보고 되어왔다. 이앙시기가 고품질 쌀 생산에 미치는 영향(Kang et al., 2005, Lee et al., 2012, Yang et al., 2017b), 질소질 비료가 쌀 품질에 미치는 영향(Lee et al., 2010a), 외에도 많은 연구결과가 보고되었다. 온난화의 영향으로 재배가능 기간이 길어지므로 재배 작기의 다양화가 예상된다. 이밖에도 시대에 따라서 기존에 적합하지 않던 벼 출수생태형 품종의 재배가 가능하게 되므로 농가에서 보다 다양한 품종을 선

택할 수 있는 대안을 제시할 필요가 있다.

최근 5년간('11 - '15) 평년대비 평균기온은 남부지역이 0.3°C 상승한 반면 중부지역은 0.6°C로 약 2배 이상 상승하였다. 중부지대인 춘천, 철원, 강릉의 11년간(1999 - 2009) 출수 후 40일간 평균온도는 22°C 이상으로 생태형 품종의 변화나 재배시기 재설정이 필요하다.

따라서, 본 연구는 국내 쌀 재배지 중 중북부지대에 위치하고 있는 강원도의 중부평야지, 중북부평야지, 그리고 동해안지에서 벼의 적정 생태형 및 이앙시기에 대한 검토와 기후변화 대응 재배법 재설정에 필요한 기초자료 확보를 위해 수행하였다.

재료 및 방법

강원 벼 주산지 이앙시기에 따른 생태형별 생육특성

강원도 벼 주 재배지를 대표하는 중부평야지는 춘천, 중북부평야지는 철원, 동해안지는 강릉을 선정하여 시험하였다. 출수생태형을 조생종, 중생종, 중만생종으로 구분하여 재배비중이 높은 품종을 선정하였다. 조생종은 오대와 오륜, 중생종은 청품과 삼광1호, 중만생종은 삼광과 진수미를 시험하였다. 종자 소독은 60°C 온탕에서 10분간 침지한 후 기포발생기가 내장된 최아기에 32°C를 유지하여 살균제 이프코나졸유제 500배와 살충제 페니트로티온유제 1,000배를 희석한 후 48시간 동안 침지 소독하였다. 소독을 마친 후 24시간 동안 깨끗한 물로 세척한 후 마른 벼 무게 기준으로 150 g을 증묘판에 파종하였다. 각 처리당 육묘기간은 30일 증묘로 하였다. 이밖에 재배방법은 농촌진흥청 기계이앙 증묘표준재배법에 준하여 실시하였으며 재식거리는 중부평야지 30 × 14 cm, 중북부평야지 및 동해안지 30 × 12 cm로 하였다. 시비는 완효성복합비료를 10 a 기준으로 중부평야지는 9-4.5-5.7 kg (N-P₂O₅-K₂O), 중북부평야지 및 동해안지는 10-4.5-5.7 kg (N-P₂O₅-K₂O)를 정량하여 시비하였다. 이앙은 중부평야지는 첫 이앙을 5월 10일 시작하여 10일 간격으로 6월 20일까지 5회 이앙하였고, 중북부평야지 및 동해안지는 첫 이앙이 5월 10일이고 마지막은 6월 10일에 하여 총 4회 실시하였다.

수량구성요소 및 현미 품질 조사

주요농업형질 조사는 출수기, 분얼수, 간장, 수장, 영화수, 등숙율 등 수량구성요소에 관련된 항목을 모두 조사하였다. 수확시기는 출수 후 적산온도 1,100°C를 기준으로 3반복으로 수확한 후 수량, 품위를 조사하였다. 품질 분석 시료는 수분함량이 15% - 16%가 되도록 자연 건조하여 시험용 현미기(Yanmar, Japan)로 제현하여 현미의 수량과 품질을 조사하였다. 현미의 품질은 곡립판별기 RN-300 (Kett, Japan)을 이용하여 완전미율, 미숙립 등을 조사하였다. 단백질함량과 아밀로스함량 분석은 근적외선 성분분석계 AN-820 (Kett, Japan)을 이용하여 분석하였다.

시험기간 중 이용된 기상자료는 요소별로 2018년부터 2019년까지 기상청 기상 자료를 수집하여 분석에 이용하였으며, 평년기상은 30년(1981년 - 2010년) 자료를 이용하였다. 벼 생육 및 기상요소는 평균 또는 계로 나타내었다.

수집된 자료는 SAS enterprise guide (version 7.1)를 이용하여 분석하였다.

결과 및 고찰

중부평야지 생태형별 수량성

중부평야지 이앙시기에 따른 생태형별 2년 평균 수량 및 수량구성요소는 Table 1과 같다. 조생종인 오대의 10 a당 쌀 수량은 6월 20일 이앙구에서 534.0 kg으로 최대 수량을 보여주었다. 이는 조생종은 기후변화에 따른 만기에 이앙 하여도 평균기온 상승에 따른 증수 효과를 기대할 수 있다는 것을 의미한다. 현미천립중은 이앙시기가 가장 늦은 6월 20일이 25.4 g으로 가장 무거웠다. Lee 등(2009)은 종실중은 연차 및 품종에 관계없이 등숙기 일사량이 큰 영향을 나타낸다고 보고한 것과 같은 경향을 보인다. 오류의 쌀수량은 506.0 kg를 나타낸 5월 10일 이앙에서 최대수량은 보였고, 현미천립중은 6월 10일 이앙에서 21.5 g으로 만기 이앙 시 무거운 경향으로 99.5% 수준에서 통계적 유의성을 보여주었다.

Table 1. Major agronomic traits and yield components of the central plains

Ecotype	Varieties	Trans-planting date (M.D)	Heading -date (M.D)	No. of panicle /hills	No. of spikelets /panicle	Ratio of ripened grain (%)	1000-grain weight of brown rice (g)	Yield of milled rice (kg/10 a)
Early maturing	Odea	5.10	7.21	13.8 ^a	79.8 ^a	89.5 ^a	24.6 ^{bc}	490.5 ^a
		5.20	7.24	14.7 ^{ab}	74.0 ^a	91.3 ^a	23.6 ^a	504.0 ^{bc}
		5.30	7.29	14.6 ^{ab}	78.7 ^a	89.9 ^a	25.0 ^{bc}	529.5 ^{bc}
		6.10	8.07	15.1 ^{ab}	77.4 ^a	93.0 ^a	24.6 ^b	509.0 ^{bc}
		6.20	8.13	15.6 ^b	79.2 ^a	90.2 ^a	25.4 ^c	534.0 ^c
	Oryun	5.10	7.26	14.6 ^a	93.0 ^b	92.7 ^a	20.4 ^a	506.0 ^c
		5.20	7.30	14.7 ^a	80.9 ^a	94.9 ^a	20.3 ^a	476.0 ^{bc}
		5.30	8.04	14.6 ^a	91.8 ^b	89.3 ^a	20.8 ^a	445.5 ^a
		6.10	8.13	16.2 ^a	90.2 ^{ab}	91.6 ^a	21.5 ^b	489.5 ^c
		6.20	8.19	15.4 ^a	85.8 ^{ab}	91.7 ^a	20.7 ^a	454.5 ^{ab}
Medium maturing	Samkwang1	5.10	8.02	14.2 ^{ab}	105.4 ^a	89.7 ^a	19.6 ^a	523.0 ^a
		5.20	8.07	14.9 ^{ab}	105.7 ^a	91.4 ^a	20.3 ^{ab}	559.5 ^a
		5.30	8.12	13.9 ^a	104.4 ^a	93.2 ^a	21.1 ^c	538.0 ^a
		6.10	8.16	15.4 ^b	106.5 ^a	89.9 ^a	20.3 ^{ab}	563.5 ^a
		6.20	8.21	15.1 ^{ab}	103.4 ^a	91.0 ^a	21.0 ^c	524.0 ^a
	Cheongpum	5.10	8.07	14.8 ^{ab}	82.2 ^a	92.4 ^a	21.6 ^a	488.5 ^a
		5.20	8.10	14.5 ^{ab}	88.4 ^a	91.1 ^a	22.1 ^a	507.5 ^a
		5.30	8.15	13.7 ^a	90.8 ^a	92.0 ^a	22.2 ^a	476.5 ^a
		6.10	8.19	15.4 ^b	91.0 ^a	89.7 ^a	22.5 ^a	523.0 ^a
		6.20	8.24	14.5 ^{ab}	85.2 ^a	91.0 ^a	22.8 ^a	494.0 ^a
Mid-late maturing	Samkwang	5.10	8.11	15.3 ^a	93.2 ^a	91.4 ^{bc}	21.6 ^a	570.0 ^a
		5.20	8.15	14.5 ^a	96.9 ^a	93.6 ^c	22.1 ^{abc}	571.5 ^a
		5.30	8.19	14.7 ^a	101.7 ^a	94.9 ^c	21.9 ^{ab}	570.0 ^a
		6.10	8.24	15.6 ^a	95.5 ^a	88.2 ^{ab}	22.5 ^{bc}	582.0 ^a
		6.20	8.29	14.3 ^a	101.5 ^a	86.2 ^a	22.8 ^c	568.5 ^a
	Jinsumi	5.10	8.10	16.9 ^a	84.9 ^a	90.3 ^b	21.4 ^a	511.5 ^{ab}
		5.20	8.17	17.1 ^a	78.9 ^a	91.5 ^b	22.2 ^{ab}	543.0 ^b
		5.30	8.21	16.3 ^a	82.6 ^a	88.9 ^b	22.7 ^{bc}	485.0 ^{ab}
		6.10	8.28	18.1 ^a	82.8 ^a	84.8 ^{ab}	23.1 ^{bc}	529.0 ^{ab}
		6.20	9.04	16.3 ^a	84.7 ^a	76.9 ^a	23.3 ^c	468.5 ^a

* Same letter in a column are not significantly different according to LSD ($p = 0.05$)

중생종에서 삼광1호와 청품 두품종 모두 6월 10일 이앙에서 쌀수량이 각각 563.5 kg, 523.0 kg로 최대수량을 보여주었다. 이는 앞에서 언급한 조생종 품종들과 같은 경향으로 중생종 품종들도 이상기온에 따른 증수 효과를 기대할 수 있다.

중만생종 삼광은 6월 10일 이앙구에서 582.0 kg로 최대수량을 보였으나 모든 이앙시에서 통계적 유의성은 관찰되지 않았다. 다만 이 Choi 등(2011)은 중만생종에서 등숙기 온도변이는 출수 후 30일간 평균기온이 22.2°C일 때 최대치가 되며 식미치도 증가된다고 하였다. 본 시험에서 중만생종의 출수 후 30일 평균기온은 20.7°C로 낮아 식미 및 품질이 낮을 것으로 추측된다.

동해안지 생태형별 수량성

동해안에서 벼 수량구성요소 및 수량은 Table 2과 같다. 조생종 오대에서 10 a당 쌀수량은 5월 20일 이앙구에서 572.0 kg로 최대수량을 보여주었으며, 오륜은 5월 20일 이앙에서 574.0kg로 최대수량은 보였주었다. 현미천립중은 이앙시기가 늦어질수록 무거워지는 경향을 보여주고 있다. 중당수수는 조기에 이앙할수록 증가하고, 등숙율은 조기나 만기 이앙보다 적기 이앙시 높은 경향이였다. 반면 현미천립중은 만기 이앙시 증가되어 전반적인 수량구성요소에 의한 쌀수량은 이앙시기가 늦을수록 증가되었다.

Table 2. Major agronomic traits and yield components of the east-coast

Ecotype	Varieties	Trans-planting date (M.D)	Heading -date (M.D)	No. of panicle /hills	No. of spikelets /panicle	Ratio of ripened grain (%)	1000-grain weight of brown rice (g)	Yield of milled rice (kg/10 a)
Early maturing	Odea	5.10	7.25	19.8 ^a	77.8 ^a	78.5 ^a	22.4 ^a	491.5 ^a
		5.20	7.29	18.3 ^a	80.8 ^a	87.6 ^b	24.0 ^b	572.0 ^c
		5.30	8.03	16.2 ^a	77.5 ^a	86.2 ^{ab}	25.1 ^c	538.0 ^b
		6.10	8.10	15.0 ^a	79.7 ^a	78.8 ^a	25.2 ^c	538.0 ^b
	Oryun	5.10	7.31	19.8 ^b	80.5 ^a	86.8 ^a	19.8 ^a	550.0 ^{ab}
		5.20	8.05	16.9 ^{ab}	86.3 ^{ab}	91.3 ^b	20.8 ^b	574.0 ^b
		5.30	8.10	16.3 ^{ab}	79.3 ^a	90.0 ^{ab}	20.9 ^b	524.0 ^a
		6.10	8.17	15.4 ^a	90.8 ^b	89.2 ^{ab}	21.5 ^b	556.0 ^{ab}
Medium maturing	Samkwang1	5.10	8.10	20.4 ^b	81.2 ^a	90.7 ^a	19.6 ^a	583.5 ^a
		5.20	8.12	17.8 ^{ab}	96.9 ^b	92.3 ^a	20.7 ^b	628.5 ^a
		5.30	8.15	15.7 ^a	86.6 ^a	90.1 ^a	21.1 ^{bc}	608.5 ^a
		6.10	8.19	14.5 ^a	98.0 ^b	90.4 ^a	21.1 ^{bc}	605.0 ^a
	Cheongpum	5.10	8.12	19.3 ^b	63.4 ^a	92.4 ^a	21.9 ^a	517.0 ^a
		5.20	8.15	16.1 ^{ab}	78.8 ^b	92.8 ^a	22.7 ^{ab}	532.5 ^{ab}
		5.30	8.17	15.7 ^a	71.5 ^{ab}	91.4 ^a	22.9 ^{ab}	512.5 ^a
		6.10	8.23	14.9 ^a	73.4 ^b	92.4 ^a	23.2 ^b	549.0 ^b
Mid-late maturing	Samkwang	5.10	8.17	20.7 ^b	73.7 ^a	93.1 ^{ab}	21.2 ^a	546.0 ^a
		5.20	8.18	15.6 ^a	85.6 ^b	94.5 ^b	22.9 ^b	596.5 ^b
		5.30	8.23	16.7 ^a	78.3 ^{ab}	92.6 ^{ab}	22.4 ^b	595.0 ^b
		6.10	8.25	14.8 ^a	81.4 ^{ab}	90.0 ^a	23.2 ^b	613.5 ^b
	Jinsumi	5.10	8.12	20.4 ^b	66.0 ^a	89.7 ^a	21.2 ^a	550.0 ^{ab}
		5.20	8.23	17.9 ^{ab}	69.8 ^b	92.6 ^a	22.4 ^b	593.0 ^b
		5.30	8.23	19.4 ^b	64.2 ^a	92.3 ^a	22.5 ^b	561.0 ^{ab}
		6.10	8.23	15.9 ^a	63.8 ^a	87.9 ^a	23.4 ^c	537.0 ^a

* Same letter in a column are not significantly different according to LSD ($p = 0.05$)

중생종 쌀수량은 삼광1호가 5월 20일 이앙구에서 628.5 kg로 최대수량을 보였으나 통계적 유의성은 관찰되지 않았다. 현미천립중은 5월 30일, 6월 10일 이앙구에서 같은 21.1 g로 가장 무거웠다. 청품 쌀수량은 6월 10일 이앙구에서 549.0 kg로 최대수량을 보였고 현미천립중은 6월 10일 이앙구가 23.2 g으로 가장 무거웠다.

중만생종 쌀수량은 삼광이 6월 10일 이앙구에서 613.5 kg로 최대수량을 보였다. 현미천립중은 5월 20일, 6월 10일 이앙구에서 각각 22.9 g, 23.2 g로 무거웠다. 진수미 쌀수량은 5월 20일 이앙구에서 593.0 kg로 최대수량을 보였으나 통계적 차이는 없었다. 수량구성요소에서는 이앙기가 늦음에 따라 주당수수, 영화수, 등숙율이 감소되었고 천립중은 증가되었다.

중북부평야지 조생종 품종의 수량성

중북부평야지에서 벼 수량구성요소 및 수량은 Table 3과 같다. 쌀수량은 오대가 5월 20일 이앙구에서 585 kg로 최대수량을 현미천립중은 만기 이앙인 5월 30일, 6월 10일 이앙구에서 각각 25.3 g, 25.4 g로 무거웠다. 오륜의 쌀수량은 5월 20일 이앙구에서 596.5 kg로 최대수량을 보였고, 현미천립중은 6월 10일 이앙구가 21.2 g으로 가장 무거웠다. 수량구성요소중 영화수, 등숙율은 증가되었으나 주당수수와 현미천립중은 뚜렷한 경향을 보여주진 않았다. 두품종

Table 3. Major agronomic traits and yield components of the northern plains

Ecotype	Varieties	Trans-planting date (M.D)	Heading -date (M.D)	No. of panicle /hills	No. of spikelets /panicle	Ratio of ripened grain (%)	1000-grain weight of brown rice (g)	Yield of milled rice (kg/10 a)
Early maturing	Odea	5.10	7.23	15.5 ^a	79.0 ^{ab}	94.5 ^a	25.1 ^a	553.0 ^a
		5.20	7.27	16.5 ^a	77.0 ^a	91.6 ^a	24.9 ^a	584.5 ^b
		5.30	8.03	18.5 ^a	84.0 ^b	92.9 ^a	25.4 ^a	568.5 ^{ab}
	Oryun	6.10	8.05	16.5 ^a	77.0 ^a	93.6 ^a	25.5 ^a	545.5 ^a
		5.10	8.01	17.5 ^a	96.0 ^b	94.7 ^b	20.7 ^{ab}	564.5 ^{ab}
		5.20	8.04	16.0 ^a	85.0 ^a	93.6 ^{ab}	20.2 ^a	596.5 ^b
Medium maturing	Samkwang1	5.30	8.10	16.0 ^a	84.0 ^a	91.8 ^a	21.0 ^b	569.5 ^{ab}
		6.10	8.15	17.0 ^a	103.0 ^b	95.6 ^b	21.2 ^b	553.0 ^a
		5.10	8.07	16.5 ^b	84.5 ^a	94.5 ^a	20.4 ^a	533.0 ^{ab}
	Cheongpum	5.20	8.10	15.0 ^a	89.5 ^{ab}	91.4 ^a	20.5 ^a	521.5 ^a
		5.30	8.12	16.5 ^b	81.0 ^a	92.3 ^a	22.1 ^b	551.0 ^{bc}
		6.10	8.19	18.0 ^c	100.0 ^b	93.8 ^a	21.0 ^a	569.5 ^c
Mid-late maturing	Samkwang	5.10	8.12	15.5 ^a	74.5 ^{ab}	93.9 ^a	22.8 ^{ab}	488.0 ^a
		5.20	8.16	16.5 ^{ab}	71.0 ^a	92.2 ^a	22.3 ^a	463.5 ^a
		5.30	8.17	15.0 ^a	77.5 ^b	94.5 ^a	22.5 ^a	469.0 ^a
	Jinsumi	6.10	8.20	18.0 ^b	84.5 ^c	95.1 ^a	23.4 ^b	500.0 ^a
		5.10	8.12	17.5 ^{ab}	74.5 ^a	91.3 ^a	21.8 ^a	564.5 ^b
		5.20	8.19	16.5 ^a	78.0 ^a	93.0 ^{ab}	22.3 ^a	539.5 ^{ab}
		5.30	8.21	17.0 ^{ab}	108.0 ^b	93.8 ^b	21.8 ^a	578.5 ^b
		6.10	8.27	18.5 ^b	79.0 ^a	92.5 ^{ab}	24.0 ^b	480.5 ^a
		5.10	8.14	20.5 ^a	82.5 ^{ab}	92.5 ^a	21.8 ^a	575.0 ^b
		5.20	8.17	19.5 ^a	71.5 ^a	92.0 ^a	22.2 ^a	551.0 ^{ab}
		5.30	8.22	19.5 ^a	81.5 ^a	92.9 ^{ab}	22.8 ^b	521.5 ^a
		6.10	8.27	18.0 ^a	93.5 ^b	94.9 ^b	24.2 ^c	533.5 ^a

* Same letter in a column are not significantly different according to LSD ($p = 0.05$)

모두 조기 이앙이 증수되는 효과가 컸다.

중생종인 삼광1호의 쌀수량은 6월 10일 이앙구에서 569.5 kg로 최대수량을 보였다. 청품의 쌀수량은 6월 10일 이앙구에서 500.0 kg로 최대수량을 보였고 현미천립중은 6월 10일 이앙구가 23.4 g으로 가장 무거웠다. 수량구성요소 및 수량은 이앙시기에 따른 차이는 크게 관찰되지 않았다.

중만생종인 삼광의 쌀수량은 5월 30일 이앙구에서 578.5 kg로 최대였고 현미천립중은 만기 이앙인 6월 10일 이앙구에서 24.2 g로 가장 무거웠다. 진수미의 쌀수량은 5월 10일 이앙구에서 575.0 kg로 최대수량을 나타냈고, 현미천립중은 6월 10일 이앙구가 24.1 g으로 가장 무거웠다. 수량 및 수량구성요소에서 이앙시기에 따른 차이와 증수 요인은 관찰되지 않았다. 이는 중북부평야지에서 중생종 및 중만생종은 재배적 안정성이 떨어진다는 것을 의미한다.

생태형별 현미의 수량 및 완전미율

강원벼 주산지에서 현미의 수량, 완전미수량, 완전미율은 Table 4와 같다. 중부평야지 조생종의 현미 품질은 5월 10일 이앙에서 출수 후 40일간 평균기온이 최저 25.7°C에서 최고 28.3°C를 경과하는 고온 영향으로 낮은 비율을 보여주었다. 6월 20일 이앙에서는 낮은 평균기온 경과로 품질이 낮았다. 중생종의 현미완전미율은 5월 30일 이앙구가

Table 4. Yield of brown rice and head-rice rate in the major rice production areas of Gangwon Province

Local	Ecotype	Division (kg/10 a, %)	Transplanting-date (M.D)						
			5.10	5.20	5.30	6.10	6.20		
Central-plains	Early	Yield Brown rice	553.1 ^a	549.9 ^a	545.4 ^a	553.7 ^a	540.6 ^a		
		Head rice	Yield	493.4 ^{ab}	501.2 ^{ab}	511.2 ^{ab}	516.0 ^b	481.5 ^a	
			Ratio	89.3 ^a	91.1 ^{ab}	93.8 ^b	93.2 ^b	89.2 ^a	
	Medium	Yield Brown rice	564.5 ^a	582.8 ^a	557.4 ^a	590.6 ^a	553.3 ^a		
		Head rice	Yield	518.2 ^{ab}	538.6 ^{ab}	523.6 ^{ab}	549.8 ^b	506.6 ^a	
			Ratio	92.0 ^{ab}	92.6 ^{ab}	93.9 ^b	93.2 ^{ab}	91.5 ^a	
	Mid-late	Yield Brown rice	595.7 ^a	609.1 ^a	586.5 ^a	603.7 ^a	563.4 ^a		
		Head rice	Yield	551.8 ^b	572.5 ^b	550.0 ^b	525.6 ^{ab}	462.2 ^a	
			Ratio	92.7 ^c	94.0 ^c	93.8 ^c	86.3 ^b	81.0 ^a	
	East-coast	Early	Yield Brown rice	566.0 ^a	622.9 ^b	577.3 ^a	594.5 ^{ab}	-	
			Head rice	Yield	452.5 ^a	537.3 ^c	489.3 ^b	500.6 ^b	-
				Ratio	80.6 ^a	86.4 ^a	84.9 ^a	84.4 ^a	-
Medium		Yield Brown rice	598.0 ^a	631.1 ^a	609.3 ^a	627.3 ^a	-		
		Head rice	Yield	523.3 ^a	578.7 ^b	551.8 ^{ab}	560.7 ^{ab}	-	
			Ratio	87.6 ^a	91.7 ^b	90.6 ^b	89.6 ^{ab}	-	
Mid-late		Yield Brown rice	595.8 ^a	646.3 ^b	628.2 ^{ab}	625.2 ^{ab}	-		
		Head rice	Yield	509.3 ^a	593.5 ^b	559.0 ^{ab}	521.1 ^a	-	
			Ratio	85.3 ^{ab}	91.8 ^c	88.8 ^{bc}	83.4 ^a	-	
Northern-plains		Early	Yield Brown rice	607.4 ^a	652.6 ^b	618.3 ^a	596.9 ^a	-	
			Head rice	Yield	541.5 ^{ab}	580.0 ^c	560.0 ^{bc}	517.8 ^a	-
				Ratio	89.5 ^{ab}	89.2 ^{ab}	90.6 ^b	86.8 ^a	-
	Medium	Yield Brown rice	564.7 ^{ab}	526.4 ^a	554.3 ^{ab}	581.1 ^b	-		
		Head rice	Yield	510.2 ^a	472.0 ^a	491.2 ^a	496.1 ^a	-	
			Ratio	90.3 ^b	89.6 ^b	88.8 ^{ab}	85.4 ^a	-	
	Mid-late	Yield Brown rice	619.3 ^b	592.4 ^{ab}	597.9 ^a	551.1 ^a	-		
		Head rice	Yield	525.0 ^b	487.3 ^b	497.1 ^b	306.0 ^a	-	
			Ratio	85.1 ^b	82.7 ^a	83.0 ^a	55.5 ^a	-	

* Same letter in a column are not significantly different according to LSD ($p = 0.05$)

93.9%로 가장 높은 비율을 보였고, 현미완전미율은 조기 이앙시보다 만기 이앙할수록 높은 비율을 보였다. 중만생종에서는 6월 10일 이후 이앙시 급격하게 완전미율이 줄어드는 경향을 보여주었다. Choi 등(2011)은 중만생종에서 등숙기 온도변이는 출수 후 30일간 평균기온이 22.2°C일 때 최대치가 되며 식미치도 증가된다고 하였다. 본 시험에서 중만생종의 출수 후 30일 평균기온은 20.7°C로 이는 6월 10일 이후 이앙은 재배안전을 고려하여 지양해야 한다는 것을 의미한다. 따라서 중부평야지 중만생종 재배는 수량은 많으나 품질이 저하되어 고품질 생산에 필요한 재배법 설정이 필요하다.

동해안지 조생종 현미완전미율은 5월 20일 이앙구가 86.4%로 가장 높은 비율을 보였다. 반면 조기 이앙인 5월 10일 이앙구가 가장 현미완전미율이 낮았다. 이는 조생종에서 보이는 품질 저하요인인 등숙기간중 고온이 경과된 영향이다. 중생종 현미완전미율은 5월 20일 이앙에서 91.7%로 높은 비율을 나타냈다. 동해안지에서는 5월 20일에서 30일까지를 품질을 고려한 이앙적기로 추천할 수 있다. 중만생종 현미완전미율이 5월 20일 91.8%로 높아 수량 및 현미완전미율을 기준으로 5월 20일을 최적이앙기로 추천할 수 있다.

중북부평야지에서 조생종의 현미완전미율은 5월 30일 이앙구가 90.6%로 높았으며, 6월 10일 이앙에서 미숙립인 청미의 비율이 높았다. 철원지역의 수량 및 현미완전미율을 고려한 조생종 이앙적기는 5월 30일 이전을 추천할 수 있다. 하지만 5월 10일 이앙에서 다른 지대에 비해 미숙립 비율은 높은 경향을 보였다. 중생종 현미완전미율이 5월 20일 이앙구가 90.3%로 높았다. 중북부평야지에서 조기이앙시 수량은 유리하나 품질은 등숙기 고온을 경과하므로 불리한 것을 의미한다. 중북부평야지에서 중만생종 재배는 재배적 안정성이 떨어진다. 수량은 5월 10일 조기 이앙구를 제외한 나머지 이앙구에서 낮은 경향을 보여주고 있다. 현미완전미율도 6월 10일 이앙구에서 55.5%로 매우 낮은 경향을 보였다. 따라서 본 시험 기간 중 평년에 비해 평균기온이 높고 일사량도 많았음에도 불구하고 전반적인 쌀 품위가 낮은 것으로 보아 아직 중북부평야지에서 중만생종 품종의 재배안정성이 확보되지 않았음을 제시한다.

주산지별 최적이앙기

이앙시기와 현미완전미수량을 고려한 지대별 최적이앙시기를 설정하였다(Fig. 1). 중부평야지에서 조생종 5월 30일, 중생종 5월 30일, 중만생종 5월 20일을 수량 및 품질 기준으로 하여 추천할 수 있었다. 동해안지에서는 조생종 5월 25일, 중생종 5월 20일, 중만생종 5월 15일이 수량과 품질을 고려한 최적이앙적기였다. 중북부평야지에서 조생종은 5월 20일을 최적이앙적기로 추천할 수 있었으나, 중생종 및 중만생종은 재배 안정을 고려한 최적이앙적기 설정은 어려웠다.

요약

강원도의 벼 주산지인 중부평야지(춘천), 동해안지(강릉), 중북부평야지(철원)에서 시험기간 중 출수 후 40일간 평균기온 기준 최적 등숙적온은 중부평야지 23.7°C, 동해안지 21.8°C, 중북부평야지 22.4°C였다. 중부평야지에서 벼 생태형에 따른 품질은 조기보다 만기이앙이 좋았으나, 중북부평야지 및 동해안지의 중만생종 품종은 등숙기 적산온도가 부족하여 현미 품질이 급격히 저하되었다. 동해안지에서 중생종은 5월 20일 이앙시 품질이 가장 높았고, 중만생종은 6월 10일 이앙은 미숙립 등 품질이 낮아 안전재배에 적당하지 않았다. 중북부평야지에서 조생종은 5월 10일에서 5월 30일까지 이앙시 품질의 차이는 크지 않았으나 만기 이앙인 6월 10일 이앙에서 현미 품질이 급격히 저하되었

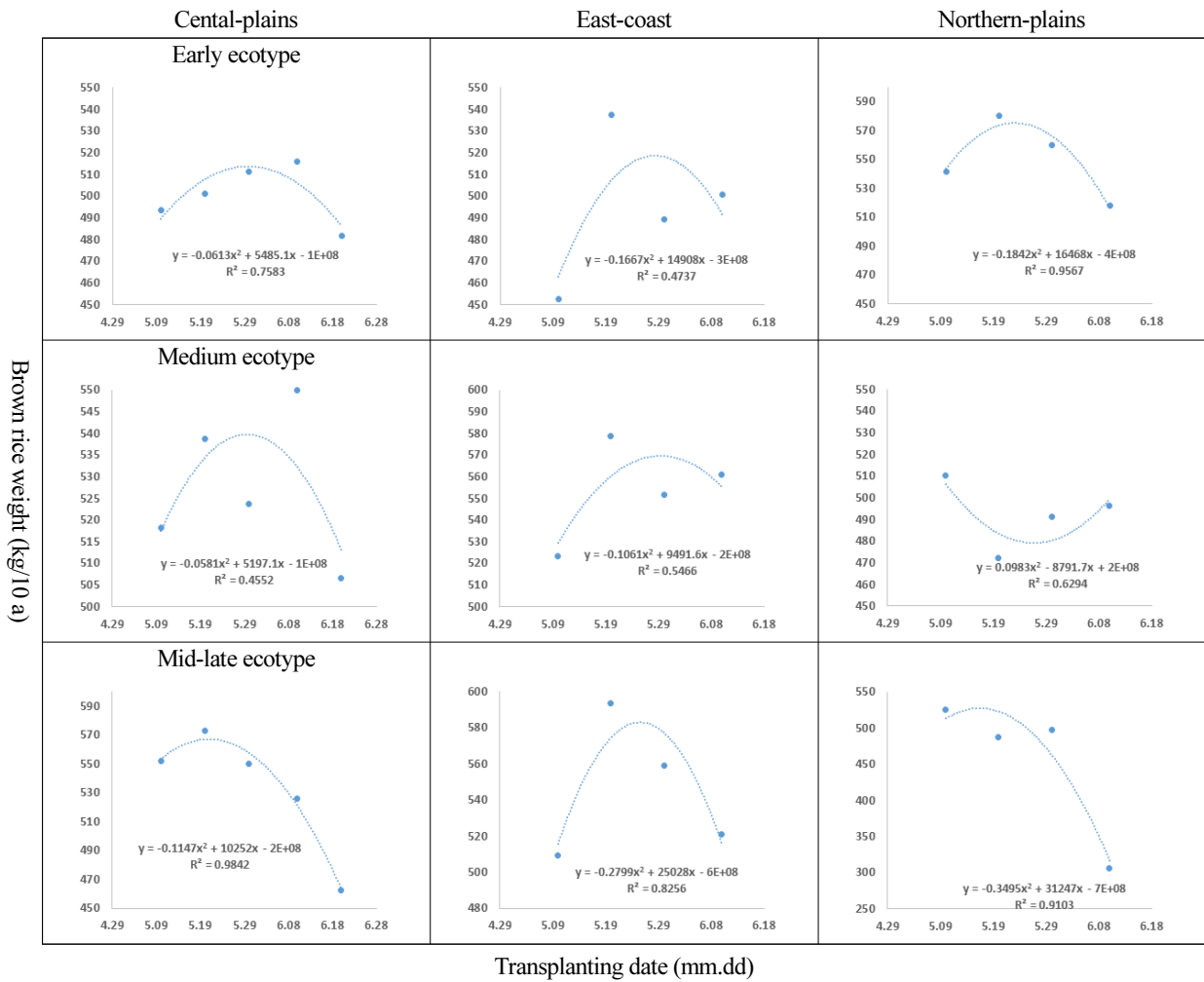


Fig. 1. Regression analysis between the head rice weight and transplanting date of brown rice.

다. 특히 중만생종은 현미 품질이 매우 낮아 재배는 권장할 수 없었다. 최근 기후변화나 이상기후 발생 증가에 따른 벼 주산지에서 최적 품종 선발 및 이앙시기 재설정으로 재배안정성과 농가소득 향상에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

사사

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(PJ015083052022)의 지원으로 이루어진 것임

인용문헌(References)

Choi, K.-J., Park, T.-S., Lee, C.-K., Kim, J.-T., Kim, J.-H., Ha, K.-Y., Yang, W.-H., Lee, C.-K., Kwak, K.-S., Park, H.-K., Nam, J.-K., Kim, J.-I., Han, G.-J., Cho, Y.-S., Park, Y.-H., Han, S.-W., Kim, J.-R., Lee, S.-Y., Choi, H.-G., Cho, S.-H., Park, H.-G., Ahn, D.-J., Joung, W.-K., Han, S.-I., Kim, S.-Y., Jang, K.-C., Oh, S.-H., Seo, W.-D., Ra, J.-E., Kim, J.-Y., Kang, H.-W. (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 56:404-412.

- FAO (2004) Impact of climate change on agriculture in Asia and the Pacific. Twenty-seventh FAO regional Conference for Asia and the Pacific. Beijing, China. 17-21.
- Jung, M.-S., Jun, D.-K., Chae, J.-C. (2003) Effects of transplant and harvest time on grain quality of rice in reclaimed paddy field. *Korean J Crop Sci* 48:534-539.
- Kang, J. R., Kim, J. T., Beg, I. Y., Kim, J. I. (2005) Effect of transplanting times on rice quality in mid-mountainous area. *Korean J Crop Sci* 50:33-36.
- Lee, A.-S., Cho, Y.-S., Kim, I.-J., Ham, J.-K., Jang, J.-S. (2012) The quality and yield of early maturing rice varieties affected by cultural practices in gangwon plain region. *Korean J. Crop Sci* 57:233-237.
- Lee, C.-K., Kim, D.-S., Kwon, Y.-U. Lee, J.-E., Seo, J.-H., Lee, B.-W. (2009) The effect of temperature and radiation on grain weight and grain nitrogen content in Rice. *Korean J Crop Sci* 54:36-44.
- Lee, C.-K., Kim, J. H., Choi, M.-K., Kwak, K.-S., Shin, J.-C. (2010a) Nitrogen application method for high quality and labor saving in rice production under amended standard N application level. *Korean J Crop Sci* 55:70-75.
- Lee, C.-K., Kim, J. H., Son, J.-Y., Yoon, Y.-H., Seo, J.-H., Kwon, Y.-U., Shin, J.-C., Lee, B.-W. (2010b) Estimating grain weight and grain nitrogen content with temperature, solar radiation and growth traits during grain-filling period in rice. *Korean J Crop Sci* 55:275-283.
- Lee, C.-K., Kwak, K.-S., Kim, J. H., Son, J.-Y., Yang, W.-H. (2011) Impacts of climate change and follow-up cropping season shift on growing period and temperature in different rice maturity types. *Korean J Crop Sci* 56: 233-243.
- Sang, W.-G., Cho, H.-S., Kim, J.-H., Shin, P., Baek, J.-K. (2018) The change of grain quality and starch assimilation of rice under future climate conditions according to RCP 8.5 scenario. *K. J of Agricultural and Forest Meteorology* 20:296-304.
- Wolfe, D. W., Schwartz, M. D., Lakso, A. N., Otsuki, Y., Pool, R. M., Shaulis, N. J. (2005) Climate change and shifts in spring phenology of three horticultural woody perennials in USA. *International Journal of Biometeorology* 49:303-309.
- Yang, W.-H., Kang, S. G., Park, J.-H., Kim, S.-J., Choi, J.-S., Yoon, Y.-H. (2017a) Relationship between panicle production and yielding traits influenced by transplanting density in mid-maturing quality rice 'Haiami' in the mid-plain area of Korea. *Korean J Crop Sci* 62:193-202.
- Yang, W.-H., Kim, M.-K., Kang, S.-G., Park, J.-H., Kim, S.-J., Choi, J.-S., Yang, C.-I., Back, N.-H. (2017b) Changes in flowering date and yielding characteristics affected by transplanting date in the early-maturing rice cultivar 'Joun' in the mid-northern inland of Korea. *Korean J Crop Sci* 62:304-310.