

벼 드문모심기 재식밀도에 따른 품종별 생육 및 수량 변이

양서영^{1,†} · 황운하¹ · 정재혁¹ · 이현석¹ · 이충근²

Changes in Growth and Yield of Different Rice Varieties under Different Planting Densities in Low-Density Transplanting Cultivation

SeoYeong Yang^{1,†}, WoonHa Hwang¹, JaeHyeok Jeong¹, HyeonSeok Lee¹, and ChungGeun Lee²

ABSTRACT Low-density transplanting is a cultivation technology that reduces labor and production costs. In this study, the growth and yield of several varieties with different tillering characteristics were analyzed in order to establish an appropriate planting density for low-density transplanting. Varieties with Low-Tillering (LT), Medium-Tillering (MT), and High-Tillering (HT) were planted at a density of 37–80 hills/3.3 m². As the planting density decreased, the number of tillers per hill increased, but the number of tillers per square meter of hill decreased, especially for the LT variety. Decreasing density extended the tillering stage, which was longest in the LT variety. As the planting density decreased, SPAD(Soil plant analysis development, chlorophyll meter) values just before heading increased while canopy light interception decreased. Such changes were much greater in the LT variety than in the MT and HT varieties. The heading date tended to be delayed by 0–2 days as the planting density decreased, and there was no difference in the length of the period from first heading to full heading. As the number of spikelets per panicle increased, the number of spikelets per square meter did not differ according to the planting density. Decreasing planting density did not affect the grain weight; nevertheless, the yield ultimately decreased because of the decreasing ripening rate. The optimal planting density for stable low-density transplanting cultivation was determined to be over 50 hills/3.3 m². In addition, these results suggest that LT varieties should be avoided, since these showed large decreases in growth and yield with decreasing planting density.

Keywords : low-density transplantation, planting density, rice, tillering capacity, variety

벼에서 이앙재배는 국내 벼 재배면적의 대부분인 98% (692,843 ha)를 차지하는 재배기술이다(RDA, 2019) 이앙재배는 육묘 및 이앙작업으로 인하여 직파재배보다 노동력과 비용의 부담이 있으나 직파재배에서 발생하는 잡초성벼 등의 우려가 적고, 안정적으로 수량 확보가 가능하여 현재까지 가장 선호되고 있다. 그러나 15세 이상 농가인구는 2010년 2.8백만명에서 2019년 2.1백만명으로 23% 감소하였고, 59세 이하 농업 종사자의 비율은 54% (2010년)에서 37% (2019년)으로 최근 10년동안 18%가 감소하는 등 농촌의 노동력 부족은 점차 심화되고 있어(Statistics Korea, 2021a), 육묘 및 이앙작업에 대한 부담은 더욱 가중되고 있다. 이에 따라

육묘 및 이앙 시 노동력을 줄일 수 있는 기술인 벼 ‘드문모심기’에 대한 관심이 점차 높아지고 있다.

벼 드문모심기란 육묘 시 파종량은 늘리고, 반대로 이앙 시에는 재식밀도를 줄여 드물게 심어 육묘 및 이앙에 소요되는 노동력과 생산비용을 절감하는 재배기술이다(Kanetaka *et al.*, 2004). 벼에서 재식밀도는 수량과 가장 밀접하게 관련된 요소 중 하나인데, 국내의 경우 표준 재식밀도는 수량 최대화 및 재배안정성을 고려하여 3.3m²당 약 80주로 설정되어 있다(RDA, 2020). 그럼에도 불구하고 최근 농가에서는 육묘작업의 부담을 줄이기 위해 재식밀도를 점차 줄여가고 있다(Statistics Korea, 2021b). 그런데 재식밀도는 일

¹농촌진흥청 국립식량과학원 농업연구사 (Junior Scientist, Crop Cultivation & Physiology Research Division, Crop National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea)

²농촌진흥청 국립식량과학원 농업연구관 (Senior Scientist, Crop Cultivation & Physiology Research Division, Crop National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea)

[†]Corresponding author: SeoYeong Yang; (Phone) +82-63-238-5266; (E-mail) seoy45@korea.kr

<Received 3 October, 2021; Revised 4 November, 2021; Accepted 8 November, 2021>

반적으로 낮아질수록 수량이 감소하기 때문에(Nakano *et al.*, 2012; Moradpour *et al.*, 2013), 무분별하게 재식밀도를 줄이게 되면 수량 감소의 우려가 커지게 된다. 이 같은 수량 감소를 최소화하기 위해서는 적정 재식밀도의 제시와 낮은 재식밀도에서도 수량 확보가 가능한 품종의 선정이 가장 중요할 것으로 생각되나, 아직까지는 우리나라에 적용 가능한 기준이 제시된 바가 없다. 따라서 본 연구에서는 낮은 재식밀도에서 분얼특성이 다른 품종별 생육 및 수량을 분석하여 드문모심기에 적합한 품종 및 적정 재식밀도를 설정하는데 기초자료로 제시하고자 하였다.

재료 및 방법

시험재료 및 재배 방법

본 시험은 전북 완주군에 위치한 국립식량과학원 원내시험포장(위도 35.8, 경도 127.0)에서 수행되었다. 드문모심기 시 품종별 생육 차이를 분석하기 위하여 품종 기본 특성상 분얼이 많고 적음에 따라 각각 다얼형(High-tillering)인 호평, 중간형인 예찬, 소얼형(Low-tillering)인 신동진을 선정하였다. 파종량과 육묘일수는 Hwang *et al.* (2021)이 제시한 드문모심기 적정 기준에 따라 설정하였다. 대조구는 육묘상자당 220 g 내외로 파종하여 30일간 육묘하였고, 드문모심기는 상자당 300 g 내외(품종별 약 11,000립 계산)로 파종하여 15일간 비닐하우스에서 육묘하였다. 6월 상순에 주당 3~5본을 손으로 이양하였고, 이양시 재식밀도는 3수준으로 관행인 3.3 m²당 80주(30×14 cm)와 이보다 낮은 60주(30×18 cm), 50주(30×22 cm), 37주(30×30 cm)로 설정하였다. 질소비료는 10a당 9 kg를 기비-분얼비-수비를 50-20-30% 비율로 시비하였다.

조사 방법

기온 및 일사량 데이터는 기상청 기상자료개방포털(KMA, 2021)에서 전주지역 기상을 다운받아 이용하였다. 분얼수는 이양 2주 후에 시험구당 10주씩 3지점을 정한 뒤 최고분얼기를 지날 때까지 1주일에 한번씩 조사하였다. 엽색과 군락피복도는 분얼수 조사지점과 동일한 지점에서 출수기 약 10일 전에 구름이 없는 날 측정하였다. 엽색은 SPAD (SPAD-502, Konica-Minolta, Japan)를 이용하여 측정되었으며 상위엽으로부터 2번째 잎을 한 잎당 3반복하여 평균치를 조사하였다. 군락피복도(Canopy light interception; LI)는 군락에 의한 광 차단율을 측정하는 데 일반적으로 사용되는 라인 퀴턴센서(Li-191R, LI-Cor Biosciences Inc., NE, USA)를 사용하였으며 측정은 태양이 거의 남중하는 낮 12시 전후로

이루어졌다(Adams & Arkin, 1977). 출수기 분포는 2019년에 시험포장에서 조사구역당 10개체씩 3반복으로 2~3일에 한 번씩 출수된 이삭에 플라스틱 태그를 거는 방법으로 총 6회 조사되었다. 이후 3주씩 3반복으로 시료를 채취하여 이삭수, 이삭당 영화수, 등숙률을 조사하였으며, 수확하여 수량 및 천립중 등 수량구성요소를 측정하였다. 수행된 조사는 농업과학기술 연구조사분석기준(RDA, 2012)에 따라 수행되었다.

통계처리

모든 실험결과값은 R studio v4.0.3을 이용하여 분석되었으며, 분산분석(ANOVA) 후 유의성이 나타난 항목은 Duncan's multiple range test(DMRT) 사후분석을 통해 $P < 0.05$ 수준에서 유의적 차이를 검정하였다.

결 과

연도별 기상 조건

6월의 이양기부터 10월 수확기까지 5개월간의 월간 평균 온도 및 일사량 합계를 Table 1에 나타내었다. 2019년에는 6월의 온도가 다소 낮았지만 7월부터는 높은 온도를 보였다. 반면 2020년에는 7월과 10월의 온도가 매우 낮았다. 일사량은 2020년도에서 전체적으로 낮은 값을 보였는데 특히 8월 출수기 전까지의 일사량은 2019년도에 비해 약 80% 수준에 그쳤다.

품종 및 재식밀도별 분얼수 변화

주당, 면적당 분얼수는 품종 고유 특성대로 소얼형인 신동진보다 중간형인 예찬이, 예찬보다는 다얼형인 호평이 많았다(Table 2). 주당 분얼수는 재식밀도가 낮아질수록 증가하였고 모든 품종에서 고도로 유의한 차이가 있었다. 평균적으로 60주/3.3 m²에서는 3개(18%), 50주/3.3 m²는 6개(37%), 37주/3.3 m²에서는 10개(64%) 증가하였으며, 품종

Table 1. Monthly weather conditions in 2019 and 2020.

Month	Average temperature (°C)		Sum of solar radiation (MJ/m ²)	
	2019	2020	2019	2020
JUN	21.5	23.1	619	533
JUL	25.4	23.3	518	376
AUG	26.7	27.5	566	467
SEP	22.4	21.1	419	419
OCT	16.4	14.6	416	422

Table 2. Number of tillers per hill and square meter at the maximum tillering stage for each variety under different transplanting densities.

Variety	Planting Density (hill·m ⁻²)	2019		2020	
		Tiller number (hill ⁻¹)	Tiller number (m ⁻²)	Tiller number (hill ⁻¹)	Tiller number (m ⁻²)
Sindongjin (LT)	37	20.9	234.3	21.0	235.1
	50	16.4	247.9	19.0	287.4
	60	12.9	233.8	17.4	315.8
	80	10.8	262.8	15.7	379.8
Yeohan (MT)	37	29.0	325.2	25.8	289.6
	50	21.9	331.5	22.8	344.9
	60	19.7	358.2	19.6	356.4
	80	15.6	377.7	16.8	406.5
Hopyeong (HT)	37	31.9	358.1	29.8	333.7
	50	27.3	414.2	24.9	377.3
	60	21.9	398.2	21.8	397.0
	80	18.3	444.6	19.0	461.4
Analysis of variance (ANOVA)					
Density (D)		**	**	-	-
Variety (V)		**	**	-	-
Year (Y)		*	**	-	-
Interaction (D*V)		**	ns	-	-
Interaction (D*Y)		**	**	-	-
Interaction (V*Y)		**	**	-	-
Interaction (D*V*Y)		ns	*	-	-

ns: non-significant ($P > 0.05$), *(**): significant at $P < 0.05$ or 0.01
 Means followed by different letters are significantly different ($P < 0.05$)

별로 신동진은 최대 7개, 예찬은 약 11개, 호평은 12개가 증가하였다. 관행 대비 주당 분얼수의 증가율은 호평과 예찬이 재식밀도의 감소에 따라 약 19% (60주), 39% (50주), 68% (37주)로 비슷한 양상을 보였던 반면, 소얼형인 신동진은 14%, 33%, 58%로 이보다 적었다. 면적당 분얼수의 경우 80주/3.3 m²보다 재식밀도가 낮아질수록 고도로 유의하게 감소하였는데 m²당 60주/3.3 m²에서는 46개(12%), 50주/3.3 m²는 55개(14%), 37주/3.3 m²에서는 93개(24%)가 감소하였다. 신동진은 최대 27% 감소하며 호평(24%)과 예찬(22%)보다 조금 더 감소하였다. 소얼형인 신동진은 분얼수 자체도 적지만 드문모심기시 주당 분얼의 증가폭이 다얼형과 중간형보다 적어 면적당 분얼수의 감소가 가장 컸다. 한편 분얼수는 2019년보다 2020년에 더 적었고, 2019년에는 가장 낮은 37주/3.3 m²에서도 세 품종 모두 80% 이상의 면적당 분얼수를 확보하였는데 2020년에는 호평과 예찬은 약 70%, 신동진은 60%에 그쳤다.

Fig. 1은 이앙 직후부터 출수 전까지 단위면적당 분얼수 추이 및 일간 발생량 변화를 분석한 결과이다. Fig. 1의 a~c를 보면 이앙부터 최고분얼기에 이르는 기간은 약 40일경으로 신동진 80주를 제외하면 모든 품종과 재식밀도에서 큰 차이가 없는 것으로 보였다. 이를 자세히 알아보기 위해 일간 분얼발생량의 변화와 이 분얼발생량이 0이 되는 시점을 최고분얼기로 계산하여 Fig. 1d~f 및 Table 3에 나타내었다. Table 3에서 최고분얼기까지 소요되는 일수는 재식밀도가 낮을수록 더 길어지는 것을 확인할 수 있었다. 중간형인 예찬과 다얼형인 호평은 80주/3.3 m²가 약 42일 걸리는 것에 비해 37주/3.3 m²에서 약 45일로 최대 3일 정도 차이가 났는데, 소얼형인 신동진의 경우 드문모심기에서는 호평, 예찬과 크게 차이나지 않았지만 관행인 80주/3.3 m²가 약 39일로 비교적 짧아 관행과 드문모심기구의 차이가 최대 7.7일로 다소 컸다.

한편 Fig. 1d~f를 보면 모든 품종에서 이앙 후 26일경까

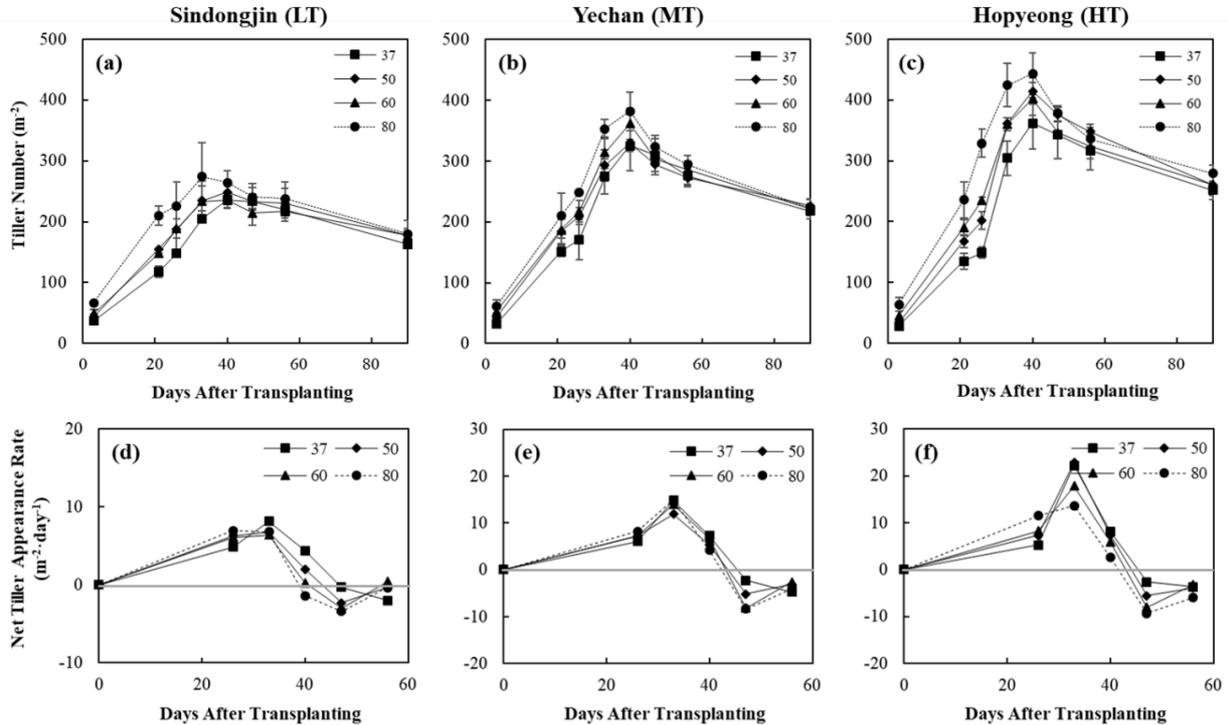


Fig. 1. Changes in the number of tillers and daily tiller appearance rates until the heading stage at different transplanting densities.

Table 3. Estimation of the maximum tillering date for different varieties under different transplanting densities.

Variety	(days)	Planting Density (hills·m ⁻²)			
		37	50	60	80
Sindongjin (LT)	DAT	46.5	43.3	40.6	38.8
	Difference	+ 7.7	+ 4.5	+ 1.7	-
Yechan (MT)	DAT	45.3	43.6	43.1	42.3
	Difference	+ 3.0	+ 1.2	+ 0.8	-
Hopyeong (HT)	DAT	45.3	44.0	43.0	41.6
	Difference	+ 3.7	+ 2.5	+ 1.4	-

지는 품종과 관계없이 일당 5~10개/m²로 비슷하게 증가하였지만, 분얼발생이 가장 활발했던 33일경은 품종간 분얼발생속도의 차이가 컸다. 신동진(소얼형)이 일당 7개/m²로 가장 낮았고 예찬(중간형)과 호평(다얼형)은 각각 14개와 19개/m²씩 증가하였다. 재식밀도별 차이는 모든 품종에서 볼 수 있었는데 일반적으로 26일경까지 초반의 면적당 분얼발생속도는 관행에서 높았고 그 이후 관행은 속도가 줄어들게 되며 낮은 재식밀도일수록 발생속도가 크게 증가하고 오랜 기간 유지되었다.

엽색 및 균락피복도

출수기 직전 재식밀도별 개체 및 균락의 생육을 알아보

기 위해 엽색 및 균락피복도를 측정하였다. SPAD값은 재식밀도가 낮아질수록 높아지는 경향이였다(Fig. 2a, b and c). 관행인 80주/3.3 m² 대비 60주는 1%, 50주는 3%, 37주는 5%가 증가하였다. 소얼형인 신동진은 SPAD값이 최대 11%까지 증가하였고 통계적으로도 고도로 유의한 차이를 보였다. 중간형의 예찬은 재식밀도 감소에 따라 최대 5%까지 유의하게 증가하였고 다얼형인 호평은 유의한 차이를 보이지 않았다. 연차별로는 2020년도가 2019년도보다 SPAD값이 상승하였으나 재식밀도에 따른 경향은 비슷하였다.

한편, 균락피복도는 재식밀도에 따라 고도로 유의한 차이를 보였다(Fig. 2a, b and c). 특히 소얼형인 신동진은 관행(80주/3.3 m²) 대비 50주와 60주/3.3 m²는 4%, 37주/3.3

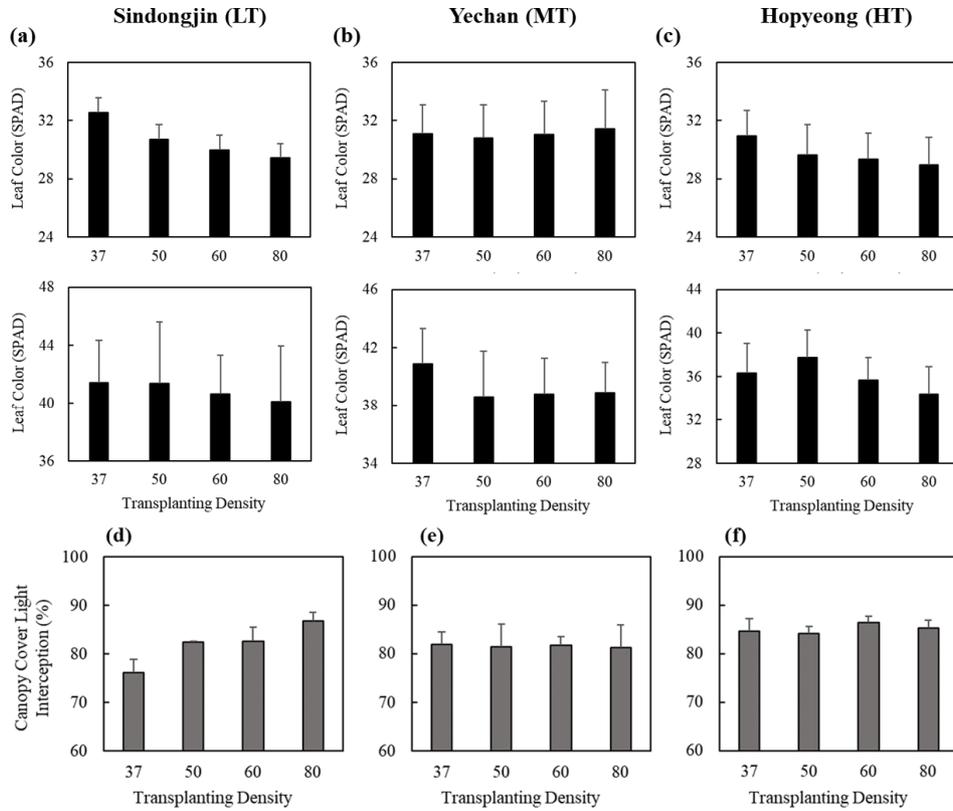


Fig. 2. Leaf color and canopy light interception (LI) under different transplanting densities. Means followed by different letters are significantly different ($P < 0.05$).

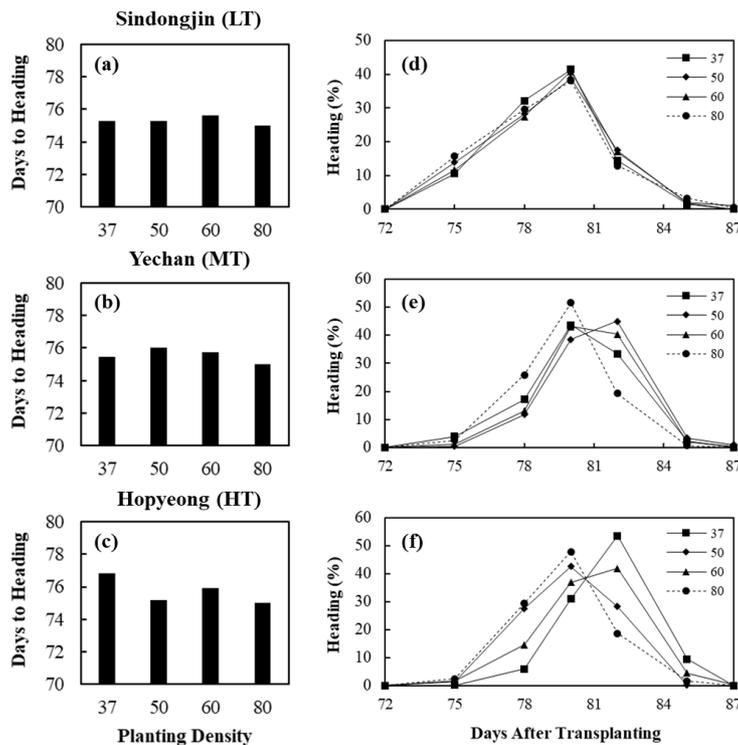


Fig. 3. Days to heading after transplanting and distribution of the heading dates of panicles across different planting densities.

m²는 11%가 감소하였다. 반면 예찬과 호평은 유의한 차이를 보이지 않았다.

출수기 및 출수기 생육

드문모심기시 출수기는 평균적으로 80주/3.3 m²에 비해 약 1~2일 늦어졌다(Fig. 3a, b and c). 수전기간(출수시부터 출수전까지의 기간)은 품종 및 재식밀도별로 큰 차이를 보이지 않았다(Fig. 3d, e and f). 예찬과 호평에서 재식밀도가 낮을수록 출수 분포가 오른쪽으로 치우치는 경향이 보였지만, 각각 최대 1일과 2일 출수기가 늦어졌을 뿐 수전기간의 차이는 없었다. 반면, 신동진은 모든 재식밀도에서 차이가 없었다.

Table 4는 주당 이삭수, 단위면적당 이삭수와 유효분얼 비율을 분석한 결과이다. 이삭수는 분얼수와 유사한 경향

을 보였다. 주당 이삭수는 재식밀도가 낮아질수록 유의하게 증가하였으며 면적당 이삭수는 유의하게 감소하였다. 주당 이삭수는 평균적으로 60주/3.3 m²에서는 3개(24%), 50주/3.3 m²는 5개(43%), 37주/3.3 m²에서는 9개(81%) 증가하였다. 면적당 이삭수의 경우 60주/3.3 m²는 m²당 17개(7%), 50주/3.3 m²는 27개(10%), 37주/3.3 m²에서는 42개(16%)가 평균적으로 감소하였다. 연차별로는 2019년에는 모든 처리구에서 관행(80주/3.3 m²)의 90% 이상의 이삭수가 확보된 반면 2020년에는 품종별 격차가 더욱 커져서 호평과 예찬은 약 80% 확보되었지만 소얼형 신동진은 약 60%에 그쳤다.

최고분얼기 분얼수(Table 2)에 대비한 이삭수의 비율인 유효분얼비율은 일반적으로 재식밀도가 낮아질수록 증가하였다. 특히 다얼형 호평의 경우 60주/3.3 m²에서도 80주

Table 4. Number of panicles per hill and square meter, and effective tillering rate, for each variety at different transplanting densities.

Variety	Planting Density (hill·m ⁻²)	2019			2020		
		Panicle Number (hill ⁻¹)	Panicle Number (m ⁻²)	Effective Tillering Rate (%)	Panicle Number (hill ⁻¹)	Panicle Number (m ⁻²)	Effective Tillering Rate (%)
Sindongjin (LT)	37	14.3	160.5	74	16.8	188.7	81
	50	11.8	178.0	77	14.4	218.2	68
	60	9.7	176.4	79	13.9	253.3	70
	80	7.3	177.0	71	12.3	297.4	81
Yechan (MT)	37	19.4	217.0	75	20.3	227.2	89
	50	15.0	227.8	69	18.3	277.8	82
	60	12.0	218.2	66	15.8	286.7	84
	80	9.1	219.4	64	13.5	328.1	77
Hopyeong (HT)	37	22.4	251.5	67	23.4	262.4	76
	50	17.1	259.6	58	20.1	304.5	83
	60	14.3	259.7	60	16.9	307.3	81
	80	11.6	280.0	58	14.2	343.4	65

Analysis of variance (ANOVA)

Density (D)	**	**	-	-	-	-
Variety (V)	**	**	-	-	-	-
Year (Y)	**	**	-	-	-	-
Interaction (D*V)	**	ns	-	-	-	-
Interaction (D*Y)	*	**	-	-	-	-
Interaction (V*Y)	ns	ns	-	-	-	-
Interaction (D*V*Y)	ns	ns	-	-	-	-

ns: non-significant ($P > 0.05$), *(**): significant at $P < 0.05$ or 0.01
 Means followed by different letters are significantly different ($P < 0.05$)

3.3 m²보다 10%나 상승하였다. 중간형인 예찬도 호평과 비슷하게 37주/3.3 m²에서 유효분얼비율이 약 11% 상승하였다. 반면, 소얼형인 신동진의 경우는 뚜렷한 경향이 보이지 않았다.

품종 및 재식밀도에 따른 수량구성요소 변화

Fig. 4와 Table 5는 품종 및 재식밀도에 따른 수량과 수량구성요소 변화를 분석하고 통계적인 유의성 여부를 검정

한 결과이다. 이삭당 영화수는 재식밀도가 낮아질수록 증가하는 경향을 보였다(Fig. 4a). 특히 소얼형인 신동진이 가장 큰 증가세를 보였는데 80주/3.3 m² 대비 최대 30%까지 증가하였다. 면적당 영화수와 천립중은 재식밀도별 유의한 차이가 없었다(Fig. 4b and c). 등숙률은 낮은 재식밀도일수록 다소 감소하였으며 신동진의 경우 50주/3.3 m² 이하에서 80주/3.3 m² 대비 3% 이상 감소했다(Fig. 4d). 현미수량은 관행 이하의 처리구에서는 전반적으로 감소하는 경향을

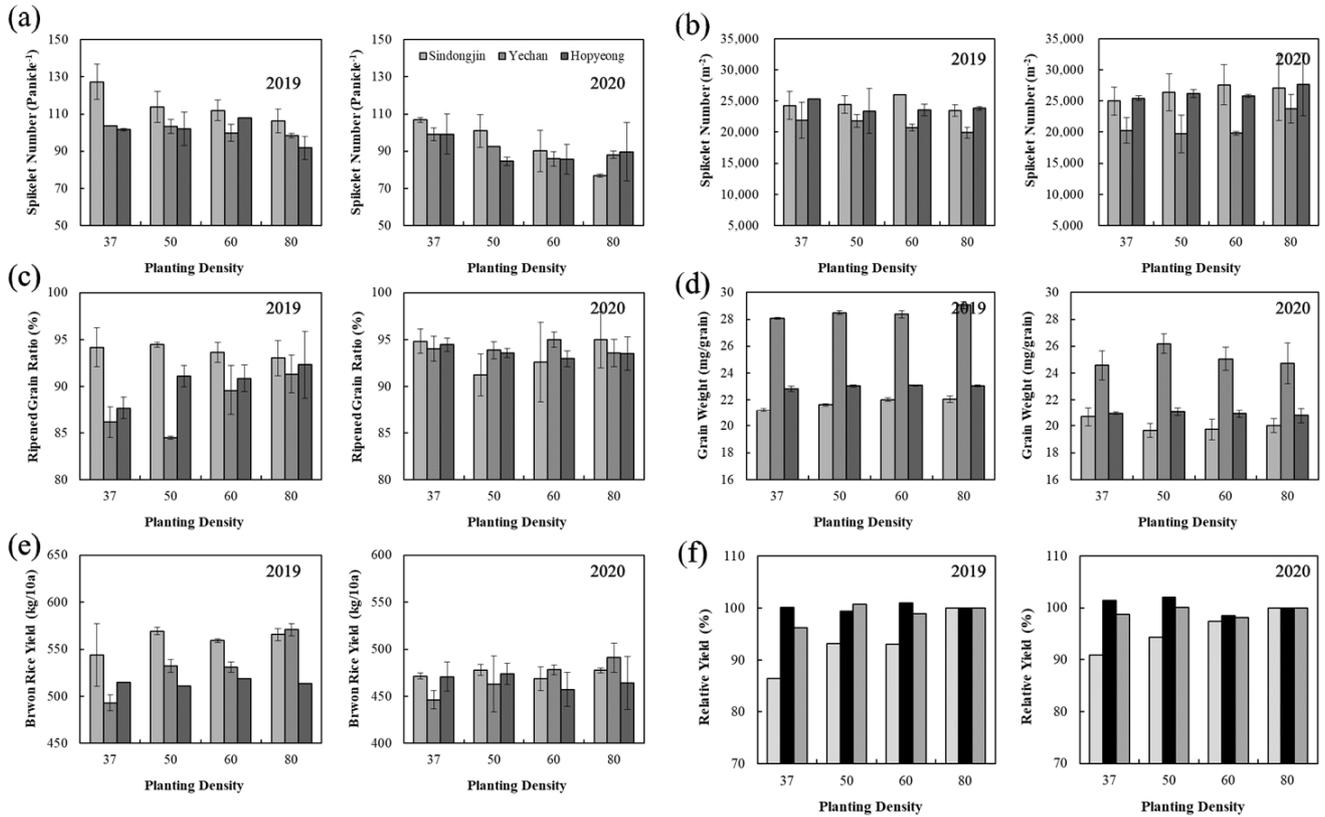


Fig. 4. Yield and yield components for different varieties at different transplanting densities.

Table 5. Analysis of variance (ANOVA) for yield and yield-related traits.

Treatment	Spikelet Number (panicle ⁻¹)	Spikelet Number (m ⁻²)	Ripened Grain Ratio (%)	Grain Weight [Ⓛ] (mg)	Brown rice recovery (%)	Yield [Ⓛ] (kg/10a)
Density (D)	**	**	**	ns	ns	**
Variety (V)	**	*	**	**	**	**
Year (Y)	**	ns	**	**	ns	**
D*V	*	*	ns	ns	ns	**
D*Y	ns	ns	*	*	*	ns
V*Y	*	ns	**	**	ns	ns
D*V*Y	ns	ns	*	ns	ns	ns

ns: non-significant ($P > 0.05$), *(**): significant at $P < 0.05$ or 0.01 , Ⓛ: Brown Rice

보였다(Fig. 4e and f). 호평은 37주/3.3 m²에서만 약 3%의 감소를 보였고 50주 이상에서는 감소하지 않았으며 예찬은 모든 처리구에서 수량 감소가 나타나지 않았다. 그러나 신동진은 37주/3.3 m²에서 수량이 10% 이상 감소하였으며 50주와 60주/3.3 m²에서도 각각 6%와 5% 감소하였다. 연차별로 수치에 차이가 있었지만 상대적인 경향은 비슷하였다. 다만 등숙률의 경우 호평과 예찬이 특히 낮은 재식밀도에서 5~10%까지 크게 감소하였다.

고 찰

드문모심기의 핵심기술 중 하나는 재식밀도를 줄이는 것으로 본 연구에서는 품종별 재식밀도에 따른 생육 및 수량을 분석하였다. 80주/3.3 m²보다 낮은 재식밀도에서는 주당 분얼수가 증가하면서 면적당 분얼수를 확보하였는데 재식밀도가 줄어들수록 면적당 분얼수의 감소는 점차 증가하면서 37주/3.3 m²에서는 최대 27%까지 감소하였다(Table 2). 또한 2020년에는 2019년에 비해 낮은 재식밀도에서 분얼수가 확보되지 않았는데 그 중에서도 소얼형인 신동진에서 가장 큰 감소를 보였다. 이는 분얼이 왕성한 7월에 온도가 낮았고 출수기 전까지 지속적으로 일사량이 확보되지 않아, 낮은 재식밀도에서 주당 분얼수를 충분히 확보하기가 어려웠기 때문이라고 생각된다(Table 1).

최고분얼기의 경우 낮은 재식밀도에서 늦어졌는데(Fig. 1), 기존 연구에서 보고하였듯이 재식밀도가 감소함에 따라 분얼 출현은 길게 지속됨을 알 수 있었다(Asmamaw, 2017). 이는 낮은 재식밀도에서는 한 주당 영양조건이 충분하여 분얼을 많이 하게 되기 때문에 분얼 출현이 오랫동안 유지되는 것으로 생각된다. 분얼속도의 경우, Takeda & Hirota (1971) 등이 보고한 바와 같이 높은 밀도에서의 벼는 낮은 재식밀도에 비해 초기에는 생산속도가 높았지만 후기에는 낮은 경향을 보였다(Fig. 1).

한편 선행연구에 따르면 재식밀도의 감소는 엽면적지수의 감소로 이어지며(Fagade & De Datta, 1971), 엽면적지수는 균락의 광합성을 최대화할 정도로 크지 않고 면적당 이삭수가 감소하여 높은 수확량을 보장하기 어렵다고 보고된 바 있다(Yoshida, 1981). 엽면적지수는 면적에 비례한 엽면적의 비율으로 균락피복도와 비슷한 의미를 지니는데, 여기에서 균락피복도 또한 일반적으로 감소하는 경향을 보였다(Fig. 2d, e and f). 그러나 분얼력이 좋은 호평과 예찬의 경우 37주/3.3 m²까지도 큰 차이를 보이지 않았다. 한편 광합성과 관련이 있는 엽색도의 경우 출수기 직전에 측정되었는데 재식밀도가 줄어들수록 증가하는 경향을 보였다.

Gendua *et al.* (2009)에 따르면 엽색도는 이앙기부터 분얼기까지, 출수기부터 등숙기까지는 낮은 재식밀도에서 증가하였고 최고분얼기부터 출수기까지는 높은 재식밀도에서 증가했다고 하였는데, 이는 낮은 재식밀도에서 생육단계가 지연됨에 따른 결과라고 생각된다. 또한 연차별로 경향은 유사하였지만 2020년도에 엽색도가 크게 증가하였는데 해당년도에 생육초반의 일사량이 매우 부족했던 것으로 보아 차광처리 시 엽색도가 증가했다는 기존의 보고와 유사한 현상이라고 판단된다(Lee *et al.*, 2016).

출수기는 재식밀도의 감소에 따라 비슷하거나 1~2일정도 늦어졌는데(Fig. 3a, b and c), 이는 36주/3.3 m² 이앙시 83주/3.3 m²에 비해 출수기가 0~3일 정도 늦어진다는 기존의 보고와 일치하였다(Nakano *et al.*, 2012). Tinghong *et al.* (2019)은 양분이 부족한 조건에서 출수기가 1~4일 정도 빨라졌다고 보고하였는데, 이로 미루어보아 낮은 재식밀도에서는 한 주당 양분이 충분하였지만, 반대로 높은 재식밀도에서는 경합이 발생하여 한 주당 양분이 충분하지 않았기 때문에 출수기가 빨라졌을 것으로 판단된다. 앞서 언급한 것처럼 드문모심기 시에는 출수기가 늦어지고 전체 수전기간이 증가함에 따라 전반적으로 균일한 등숙이 어려워 품질은 하락할 것으로 예상하였지만, 37주/3.3 m²에서 분얼기가 최대 7.7일까지 길어졌던 것에 비하면 관행(80주/3.3 m²)과의 차이가 줄었고 재식밀도별로 수전기간에 크게 변동이 없었기 때문에 실제 쌀 품질에는 큰 영향이 없을 것으로 판단된다. 기존의 연구에서도 재식밀도별 단백질 함량은 차이가 없다고 보고된 바 있었다(Zhou *et al.*, 2018). 한편 완전미율은 재식밀도가 감소할수록 증가한다는 보고(Yang *et al.*, 2017; Zhou *et al.*, 2018)가 있었는데, Fagade & Ojo (1977)는 높은 재식밀도에서 완전미율이 감소하는 이유는 양분 및 광이 제한조건으로 작용하기 때문이라고 설명하였다. 그러나 품종에 따라 재식밀도에 따른 완전미율 변화의 경향이 다르다는 의견(Ahn *et al.*, 2006)도 있었기 때문에 더 다양한 품종을 대상으로 품질에 관한 검토가 이루어져야 될 것이라 생각된다.

수량구성요소와 관련하여 Ichikawa *et al.* (2008)는 재식밀도가 낮을수록 면적당 영화수가 감소하였으나 등숙률과 천립중은 크게 차이가 없었고, 등숙률은 면적당 영화수와 보상 관계에 있다고 하였다. 본 연구에서는 천립중은 유의한 차이가 없었고 면적당 영화수와 등숙률은 다소 감소하였는데 특히 등숙률의 경우 호평과 예찬 두 품종에서 연차별 차이가 크게 나타났(Fig. 4c). 2019년도에서 크게 감소한 이유는 등숙률은 면적당 영화수가 일정 이상 증가하면 크게 감소하는 경향을 보였다는 기존의 보고(ichikawa

et al., 2008)로 미루어보아 해당 연도에 면적당 영화수가 많이 발생했기 때문이라고 판단된다. 최종 수량은 면적당 영화수, 등숙률의 영향으로 재식밀도가 낮을수록 유의하게 하락한 것을 확인할 수 있었다(Table 5).

본 연구 결과, 분얼력이 높은 호평, 예찬 품종의 경우 37주/3.3 m²까지는 유효분얼수의 확보를 통해 수량 감소가 거의 없었으나 37주/3.3 m²의 경우 연차간, 반복간의 변이가 커서 다소 안정성이 떨어질 우려가 있다고 판단되었다. 한편, 소얼형인 신동진은 품종 특성상 분얼수 자체가 적은 품종인데다 드문모심기 시 낮은 재식밀도에서 분얼수의 감소 폭이 컸고(Table 2), 예찬이나 호평과 달리 유효분얼비율이 증가하지 않고 연차간 기상에 따른 변이가 커서(Table 4) 최종 이삭수 확보에는 불리한 면이 있었다(Table 4). 또한 재식밀도가 낮아질수록 엽색도가 상승했으나 균락피복도의 감소가 커서 좋은 수량을 기대하기 어려웠다. 신동진의 이삭당 영화수가 크게 늘면서 이삭수의 감소를 상쇄하였고 이로 인해 단위면적당 영화수는 관행인 80주/3.3 m²와 비슷한 수준이 되었으나 결과적으로 등숙률의 감소로 인하여 다른 품종보다 드문모심기에서 수량의 감소가 큰 것으로 나타났다. 따라서 드문모심기는 50주/3.3 m² 이상의 재식밀도로 분얼이 적은 품종보다는 많은 품종을 택하여야 수량을 확보할 수 있을 것이라 생각되며, 추후 다양한 품종을 이용하여 검토할 필요성이 있다고 판단된다.

적 요

벼 드문모심기는 노동력과 생산비용을 절감할 수 있는 재배기술로 본 연구에서는 드문모심기의 적정 재식밀도 설정을 위해 분얼특성이 다른 품종별 생육 및 수량을 분석하였다. 37주~80주/3.3 m² 재식밀도에서 소얼형, 중간형, 다얼형 품종을 가지고 시험한 결과는 다음과 같다.

1. 재식밀도는 낮아질수록 주당 분얼수(이삭수)는 많아지지만 면적당 분얼수(이삭수)는 적어졌는데 소얼형 품종일수록 적었다. 분얼 발생기간이 길어졌고 소얼형 품종에서 가장 길어졌다.
2. 재식밀도 감소에 따라 출수기 직전의 엽색은 진해지고 균락피복도는 감소하였다. 분얼이 많은 호평과 예찬보다는 소얼형인 신동진에서 변화폭이 컸다.
3. 출수기는 재식밀도가 낮아질수록 0~2일 늦춰지는 경향을 보였고 수전기간은 차이가 나지 않았다.
4. 재식밀도 감소에 따라 천립중은 유의한 차이가 없었다. 반면 재식밀도가 줄어들면서 면적당 영화수와 등숙률의

저하로 수량이 감소되었다.

5. 안정적인 드문모심기 재배를 위한 재식밀도는 50주/3.3 m² 이상으로 판단된다. 또한 소얼형인 신동진이 재식밀도 감소에 따른 생육 및 수량 감소가 큰 것으로 나타나 분얼이 적은 품종보다는 많은 품종을 선택하여야 할 것으로 생각된다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(세부과제명: 벼 밀파육묘 파종량별 적정 재식밀도 및 재식본수 구명, PJ01414502)의 지원에 의해 이루어진 결과의 일부입니다. 연구사업 수행에 협조해 주신 모든 분들에게 감사드립니다.

인용문헌(REFERENCES)

- Adams, J. E. and G. F. Arkin. 1977. A light interception method for measuring row crop ground cover. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41 : 789-792.
- Ahn, J. W., B. J. Lee, S. Y. Kim, D. Y. Hwang, S. H. Oh, J. H. Kim, and Y. C. Ku. 2006. Influence of rice planting density on head rice yield in low nitrogen application. 2006 KSCS Spring Conference. pp. 264-265.
- Asmamaw, B. A. 2017. Effect of planting density on growth, yield and yield attributes of rice (*Oryza sativa* L.). *Afr. J. Agric. Res.* 12(35) : 2713-2721.
- Fagade, S. O. and S. K. De Datta. 1971. Leaf area index, tillering capacity, and grain yield of tropical rice as affected by plant density and nitrogen level. *J. Agron.* 63 : 503-506.
- Fagade, S. O. and A. A. Ojo. 1977. Influence of plant density and nitrogen on yield and milling quality of lowland rice in Nigeria. *Exp. Agric.* 13(1) : 17-24.
- Gendua, P. A., Y. Yamamoto, A. Miyazaki, T. Yoshida, and Y. Wang. 2009. Responses of yielding ability, sink size and percentage of filled grains to the cultivation practices in a chinese large-panicle-type rice cultivar, Yangdao 4. *Plant Prod. Sci.* 12(2) : 243-256.
- Hwang, W. H., J. H. Jeong, H. S. Lee, S. Y. Yang, and C. G. Lee. 2021. Seeding rate and days for low-density transplant cultivation. *Korean J. Crop Sci.* 66(2) : 112-119.
- Ichikawa, T., S. Azuma, E. Nara, I. Sakaguti, and M. Kanetaka. 2008. Transplanting culture by dense sowing and sparse planting of cv Koshihikari. 4. The yield components. *The Hokuriku Crop Sci.* 43 : 31-32.
- Kanetaka, M., A. Takahashi, and S. Azuma. 2004. Transplanting culture by dense sowing and sparse planting of Koshihikari. I. Comparison with the above cultivation and conventional cultivation with transplanting. *The Hokuriku Crop Sci.* 40 :

- 11-14.
- Korea Meteorological Administration (KMA). 2021. Automated Synoptic Observing System. Retrieved from <https://data.kma.go.kr>
- Lee, S. H., E. H. Son, S. C. Hong, S. H. Oh, J. Y. Lee, J. H. Park, S. H. Wool, and C. W. Lee. 2016. Growth and Yield Under Low Solar Radiation During the Reproductive Growth Stages of Rice Plants. *Korean J. Crop Sci.* 61(2) : 87-91.
- Moradpour, S., R. Koohi, M. Babaei. and M. G. Khorshidi. 2013. Effect of planting date and planting density on rice yield and growth analysis (Fajr variety). *Intl. J. Agri. Crop Sci.* 5(3) : 267-272.
- Nakano, H., S. Morita, H. Kitagawa, H. Wada, and M. Takahashi. 2012. Grain yield response to planting density in forage rice with a large number of spikelets. *Crop Sci. Soc. Am.* 52(1) : 345-350.
- R Core Team. 2020. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Retrieved from <https://www.R-project.org/>.
- Rural Development Administration (RDA). 2012. Standard of analysis and survey for agricultural research. RDA, Jeonju, Korea.
- Rural Development Administration (RDA). 2019. Basic statistics for rural development. RDA, Jeonju, Korea.
- Rural Development Administration (RDA). 2020. Rice quality improvement technology. RDA, Jeonju, Korea. pp. 106-109.
- Statistics Korea. 2021a. Crop production survey. Retrieved from https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1ET0031&conn_path=I2
- Statistics Korea. 2021b. Census of Agriculture, Forestry and Fisheries. Retrieved from https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1EA1041&conn_path=I2
- Takeda, T. and O. Hirota. 1971. Relationship between spacing and grain yield of rice plant. *Jpn. J. Crop Sci.* 40(3) : 381-385.
- Tinghong, Y., L. Yuwei, Z. Jianglin, H. Wenfeng, Z. Weifeng, L. Jianwei, X. Yongzhong, and L. Xiaokun. 2019. Nitrogen, phosphorus, and potassium fertilization affects the flowering time of rice (*Oryza sativa* L.). *Glob. Ecol. Conserv.* 20 : e00753.
- Yang, W. H., S. G. Kang, J. H. Park, S. J. Kim, J. S. Choi, and Y. H. Yoon. 2017. 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(3) : 193-202.
- Zhou, C., Y. Huang, B. Jia, Y. Wang, Y. Wang, Q. Xu, R. Li, S. Wang, and F. Dou. 2018. Effects of cultivar, nitrogen rate, and planting density on rice-grain quality. *Agron.* 8(11) : 246-258.