

벼 담수표면산파 시 입모밀도에 따른 시비 조절이 분얼발생, 수량 및 품질에 미치는 영향

정남진*[†] · 김정일** · 박정화** · 김제규*

*농촌진흥청, **작물과학원

Effect of N-Application Level According to Seedling Density on Tiller Development, Yield and Quality in Direct-Seeded Rice on Flooded Paddy Surface

Nam-Jin Chung*[†], Jeong-Il Kim**, Jeong-Hwa Park**, and Je-Kyu Kim*

*Rural Development Administration, Suwon 441-707 Korea

**National Institute of Crop Science, RDA, Suwon 441-857, Korea

ABSTRACT This research was carried out to determine the effect of controlling nitrogen application on tiller development, yield, and quality of rice under scanty or excess seedling stands in direct-seeded rice on flooded soil surface. Seedling stand was set to 3 levels: scanty (60/m²), optimum (120/m²), and excess (200/m²). In the scanty plot, additional 4 kg/10a nitrogen was applied at the 3rd leaf stage to promote tiller development. On the other hand, applying 3.3 kg/10a nitrogen at 5th leaf stage in the excess plot was omitted to suppress tillering. Maximum numbers of tillers per plant were 15.2 and 8.6 in scanty and excess plots, respectively, as compared with 9.8 in optimum plot. Productive tiller rate decreased with the increase in number of seedling stands. Regardless of seedling density, the first tiller developed on the 3rd node of rice stem from the bottom. The primary tillers developed at 3, 4, 5, 6, 7 nodes in scanty plot, 3, 4, 5 nodes in optimum plot, and 3, 4 nodes in excess plot. The secondary tillers developed only in some portion of plants in scanty and optimum plots. The order of tiller emergence was negatively correlated to stem length, panicle length, non-productive tiller number, grain number per panicle, and fertility in scanty plot, and to perfect grain ratio in excess plot. In the optimum plot, however, the order of tiller emergence was not correlated to any of the mentioned characteristics. The perfect grain ratio of scanty plot was the highest because green-kerneled rice was a very small portion in the primary tillers as compared with those of optimum and excess plots. Yield indexes of scanty and excess plots were 99%, and 97%, respectively, of the yield (494 kg/10a) in optimum plot. In

conclusion, when seedling stands are not at optimum level, rice yield and quality similar to optimum planting density level can be obtained by means of controlling nitrogen application.

Keywords : direct seeding on flooded paddy surface, quality, rice, tiller, yield

벼 재배기술은 품종 고유의 특성을 주어진 자연환경 하에서 잘 발휘할 수 있도록 하여 수량성과 품질을 높일 수 있을 뿐만 아니라, 사회적 여건을 고려하여 실제 농가에 적용될 수 있는 기술이어야 한다.

최근 우리나라 농촌의 인구는 급격히 감소하여 2004년 기준으로 전체 인구의 7.1%인 약 341만명이며 이중 50세 이상이 57%를 차지하고 있다(농림업주요통계, 2005). 이러한 농촌의 노동력 부족은 벼 농사에서 경영규모 확대, 기계화와 자동화를 위한 생산기반 정비 확충 등의 구조개선과 동시에 직파재배, 항공시비 및 항공방제 등의 획기적인 생력화재배기술의 도입을 불가피하게 할 것으로 보인다.

이런 면에서 담수직파재배는 항공 파종이 가능하여 대규모 재배시 적용할 수 있고, 소규모 재배에서는 미스트기나 특별한 농기구 없이 손으로 파종할 수 있어 생산비 절감과 노동력 부족을 해결할 수 있는 기술로 인정되고 있다.

그러나 담수직파재배에서는 종자를 담수상태의 논 토양 표면에 직접 파종하여 출아시키기 때문에 환경조건에 의해 출아율이 크게 좌우되어 입모확보가 불안정한 단점이 있다(Park *et al.*, 1986; Park & Lee, 1992). 담수표면산파재배의

[†]Corresponding author: (Phone) +82-31-299-2278
(E-mail) mjchung@rda.go.kr

적정 입모밀도는 품종에 따라 다소 다르나 120개/m² 내외가 적당한 것으로 알려져 있으므로, 일반적으로 입모율이 60~70% 정도에서 파종량은 3~4 kg/10a가 적당한 것으로 보고되었다(Lee *et al.*, 1994; 윤 등, 1997). 그러나 파종기에 저온, 일조부족 등으로 입모율이 급격히 떨어져 입모확보에 실패하면 재파하거나 이양재배로 전환해야 하는 불편이 생기게 된다. 또한, 입모확보에 대한 불안으로 적정 파종량보다 많은 양을 파종하게 되면 적정입모밀도보다 훨씬 많이 입모되어 개체간 경쟁에 의한 불건전한 생육으로 도복되기 쉽다.

최근 담수직파로 벼 재배를 하는 농가에서는 입모가 과소하거나 과다할 경우에 재파나 쉰작업을 하지 않고 질소시비의 양을 조절하여 재배하는 방법을 사용하고 있다. 즉, 입모가 과소했을 때 생육초기에 질소비료를 추가 사용하여 분얼 발생을 촉진하여 단위면적당 적정 수수를 확보하고 있으며, 입모 과다시에는 5엽기에 사용하는 질소시비를 생략함으로써 분얼발생을 억제하여 건전한 생육을 도모하는 방법으로 수량을 확보하고 있다.

따라서 본 연구에서는 농가에서 사용하고 있는 담수직파 파종 후 입모확보 결과에 따른 질소시비 조절이 개체별 분얼발생양상, 수량형성, 그리고 미질에 어떻게 영향을 미치는가를 검토하여 실용적 담수직파재배 기술로 체계화 하고자 실시하였다.

재료 및 방법

본 시험은 작물과학원 시험포장에서 직파적응품종인 주안벼를 이용하여 실시하였다. 종자소독 후 눈이 보일 정도로 최야 시킨 종자를 담수상태의 논에 손으로 파종하였다. 입모상태를 과소(60개/m²), 적정(120개/m²), 과다(200개/m²)의 3가지 처리로 설정하여, 각각 2 kg/10a, 4 kg/10a, 그리고 7 kg/10a의 종자를 파종하였다. 입모밀도별 개체의 분얼발생에 관한 조사의 정밀도를 높이기 위하여 1 m²의 파종틀을 작성하여 포장에 물을 뺀 상태에서 각 시험구 중간에

핀셋으로 정밀파종을 하였다. 파종밀도는 격자 틀에 끈을 가로 세로로 각각 12.9 cm × 12.9 cm, 9.1 cm × 9.1 cm, 7.1 cm × 7.1 cm로 설치하여, 각 끈의 교차점에서 점파하여 파종량이 과소구는 60개/m², 적정구는 120개/m², 과다구는 200개/m²가 되도록 하였다. 파종 10일 후 출아되지 않은 종자는 직파의 특성이 그대로 유지되도록 다른 개체를 흙이 붙은 상태로 이식하였다.

시험구는 180 m²(12×15 m)으로 난괴법 3반복으로 배치하였으며, 질소시비 처리는 표 1과 같이 입모상태가 과소일 경우 성분량으로 15 kg/10a, 적정일 경우는 표준시비인 11 kg/10a, 그리고 과다입모일 경우는 7.7 kg/10a를 처리하였다. 질소분시는 적정입모상태의 경우에는 표준시비 방법인 질소 성분량 11 kg을 기비-5엽기-유수형성기에 40-30-30%의 비율로 분시하여 각각 4.4 kg/10a, 3.3 kg/10a, 그리고 3.3 kg/10a를 시비하였다. 입모밀도가 과소 상태에서는 초기 분얼촉진을 위하여 표준시비에 질소 4 kg/10a을 3엽기에 추가 시비하여 기비-3엽기-5엽기-수비=4.4-4.0-3.3-3.3으로 분시하였으며, 입모 과다구에서는 분얼억제를 위하여 분얼비를 생략하여 질소 7.7 kg/10a를 기비 4.4 kg/10a와 수비 3.3 kg/10a로 분시하였다.

처리별 생육조사는 5엽기, 최고분얼기, 유수형성기, 수잉기, 출수기에 경수, 유효경비율, 초장, 엽색도를 조사하였고, 엽면적지수, 식물체 건물중은 출수기에 조사하였다. 수량구성요소는 시험구당 900 cm²(30×30 cm)의 시료를 채취하여 3반복으로 조사하였고 수량은 시험구당 3.3 m²를 수확하여 평가하였다.

분얼발생양상은 출수 후 45일에 정밀 파종구에서 시료를 채취하여 면도날로 분얼기부를 해부하여 발생위치를 조사하였으며 분얼별 생육특성 및 현미외관특성을 조사하였다.

결과 및 고찰

처리별 최고분얼수와 유효분얼수는 표 2에서와 같이, 적정입모구에서는 개체당 9.8개의 분얼이 발생하여 이 중

Table 1. Nitrogen application methods according to seedling stand densities in direct-seeded rice on flooded paddy surface.

Treatment	Seedling stand (no./m ²)	N Application (kg/10a)	N split application (kg/10a)			
			Basal	3 Leaf Stage	5 Leaf Stage	Paincle Initiation Stage
SS60+N15	Scanty (60)	15	4.4	4.0	3.3	3.3
SS120+N11	Optimum (120)	11	4.4	-	3.3	3.3
SS200+N7.7	Excess (200)	7.7	4.4	-	-	3.3

*SS : Seedling Stand (no./m²)

Table 2. Development of tiller and panicles according to treatments in direct-seeded rice on flooded paddy surface.

Treatment	Maximum Tiller		Productive tiller		Productive tiller rate (%)
	No./plant	No./m ²	No./plant	No./m ²	
SS60+N15	15.2 a*	912 c	6.5 a	392 c	43.0
SS120+N11	9.8 b	1176 b	3.7 b	439 b	37.3
SS200+N7.7	8.6 c	1720 a	2.4 c	479 a	27.8

*Means with the same letter in a column are significantly different by Duncan's Multiple Range Test at $\alpha=0.05$

Table 3. Productive tiller development in a single rice plant according to treatments in direct-seeded rice on flooded paddy surface.

Treatment	Tiller rank	Number of productive tiller according to main stem node						total
		Main stem	3 rd node	4 th node	5 th node	6 th node	7 th node	
SS60+N15	Main culm	1	-	-	-	-	-	1
	Primary	-	1	1	1	0.7	0.3	4.0
	Secondary	-	0.4	0.4	0.3	-	-	1.1
SS120+N11	Main culm	1	-	-	-	-	-	1
	Primary	-	1	0.9	0.2	-	-	2.1
	Secondary	-	0.2	0.2	-	-	-	0.4
SS200+N7.7	Main culm	1	-	-	-	-	-	1
	Primary	-	0.8	0.4	-	-	-	1.2
	Secondary	-	-	-	-	-	-	-

Table 4. Correlation coefficient between order of tiller emergence and tiller characteristics in a single plant direct-seeded on flooded paddy surface.

Treatment	Stem length (cm)	Panicle length (cm)	No. of Non-productive tiller	No. of spikelet	Fertile grain (%)	Perfect grain (%)
SS60+N15	-0.68***	-0.74***	-0.79***	-0.76***	0.38*	-0.26 ^{ns}
SS120+N11	-0.18 ^{ns}	-0.01 ^{ns}	-0.49 ^{ns}	-0.35 ^{ns}	0.08 ^{ns}	-0.06 ^{ns}
SS200+N7.7	-0.53 ^{ns}	-0.85***	-0.52*	-0.76**	-0.40 ^{ns}	-0.84*

37.3%인 3.7개가 유효분얼이 되었다. 반면, 과소입모구의 경우 최고분얼수는 정상입모구보다 개체당 5.4개 많은 15.2개가 발생하였으며, 이 중 43%인 6.5개가 유효분얼이 되었다. 과다입모구의 경우 개체당 최고분얼수는 정상구보다 약간 적은 8.6개였으나 유효경은 최고분얼의 27.8%로 개체당 2.4개이었다.

최고분얼수와 유효분얼수를 단위면적당으로 보면, 입모과소구는 최고분얼수가 912개/m²였으며, 유효분얼수는 적정 입모구의 89%인 392개/m²가 확보되었다. 입모과다구에서는 최고분얼이 1720개/m²가 발생하였고 유효분얼수는 정상입모구보다 9% 많은 479개/m²가 확보되었다.

입모밀도에 따른 질소시비의 증감에 따른 담수직파 비의 개체별 유효분얼발생 양상은 표 3과 같다. 담수직파에서 분얼발생은 입모밀도와 관계없이 비 주경의 하위 3절간부터 발생하였다. 입모과소구의 경우 개체에 따라 변이를 보였으

나 1차분얼은 3절간부터 7절간까지 발생하였으며 2차분얼은 주경의 3-5절간에서 발생한 1차분얼에서 발생하였다. 이 중 1차 분얼은 개체당 평균적으로 4개, 2차 분얼은 1.1개 발생하였다. 정상입모밀도의 경우에는 1차 분얼이 5절간까지 발생하였으며 2차 분얼은 3절간과 4절간에서 20% 정도의 개체에서 발생하였다. 입모과다구의 경우 1차분얼이 주경의 3절간과 4절간에서 발생하였으며 2차 분얼은 발생하지 않았다.

표 3과 같이 분얼은 처리에 따라 발생양상이 다르게 나타나며, 한 개체에서 발생하는 분얼들은 각각 발생시기가 다르기 때문에 분얼별로 생육특성 및 미질이 다를 수 있다. 따라서 표 4는 한 개체에서 발생한 분얼의 순서와 각 분얼의 생육특성과의 상관관계가 있는지를 조사한 결과이다. 입모과소구의 경우 분얼 발생은 주경, 1차 분얼 5개, 2차 분얼 2개로 최대 8개의 분얼이 발생하였으며 이들 분얼들의 발

생시기(분얼절위)는 간장, 수장, 무효분얼수, 수당립수, 입실율과 유의한 부의상관이 인정되었으나, 완전미율과는 상관관계가 없게 나타났다. 그러나 적정 입모밀도일 때는 분얼절위와 생육특성간의 상관성이 없었고, 입모밀도 과다구에는 분얼절위와 수장, 무효분얼, 완전미율이 유의한 부의상관관계를 나타내었다.

완전미율과 개체내 분얼과의 관계는 위에서 언급한 바와 같이 입모밀도 과소구와 적정구에서는 상관관계가 없었으나 과다구에서만 유의한 부의 상관관계를 나타내었다. 벼 개체내에서 분얼차위 비율 및 분얼차위별 현미외관 특성은 표 5와 같다.

담수직파재배의 입모밀도별로 유효경의 구성을 보면, 입모과소구의 경우 주경이 16.4%, 1차 분얼이 65.6%, 그리고 2차 분얼이 18.0%로 1차 분얼이 큰 비중을 차지하고 있으며, 적정 입모밀도구의 경우에도 주경이 28.6%, 1차 분얼이 60.6%, 2차 분얼이 11.4%로 1차 분얼이 주를 이루고 있다. 그러나 입모 과다구에서는 주경이 45.4%, 1차 분얼이 54.6%로 주경과 1차 분얼의 비중이 비슷하게 구성되어 있다.

입모 과소구의 경우 현미 완전미율은 주경과 1차 분얼이 모두 86.6%였으며, 2차 분얼은 83.1%로 주경과 1차 분얼에

비하여 3% 정도 떨어지는 경향이었다. 입모 적정구의 경우에는 1차 분얼의 완전미율이 주경이나 2차 분얼에 비하여 떨어지는 경향이었으며, 입모과다구에서는 주경이 1차 분얼보다 완전미율이 높게 나타났다. 입모 과소구의 1차 분얼의 완전미율이 높은 반면, 입모 적정구와 과다구에서는 상대적으로 1차 분얼의 완전미율이 낮은 것은 입모과소구는 대부분의 분얼이 1차 분얼로 구성되어 있고 주경의 비율이 16.4%로 낮으나 입모 적정구와 과다구에서는 주경 비율이 각각 28.6%와 45.4%로 입모과소구 보다 높은 비율을 나타내고 균락상태에서 다른 분얼과의 경합이 유리하기 때문인 것으로 생각된다.

입모밀도가 과소하거나 과다할 경우 질소시비를 조절하여 얻은 수량 및 수량구성요소는 표 6과 같다. 정상인 입모 상태에서 표준시비로 439개/m²의 수수를 얻었고 수당립수, 등숙율, 1000립중이 각각 76립, 84%, 그리고 20.2 g으로 10a당 494 kg의 수량을 얻었다. 입모밀도가 적정입모에 훨씬 못 미치는 과소상태에서는 수수가 392/m²개로 적정입모 밀도구보다 10% 정도 적게 확보되었으나 수당립수가 86립으로 적정구보다 13% 증대되어 487 kg/10a의 수량을 얻었다. 입모밀도 과다구에서는 분얼비 생략으로 분얼을 억제하

Table 5. Brown rice appearance according to tiller in a single rice plant direct-seeded on flooded paddy surface.

Treatment	Tiller	Composition (%)	Perfect grain (%)	Imperfect grain (%)		
				Discolored	Green-kerneled	Damaged
SS60+N15	Main culm	16.4	86.6	7.1	4.3	2.1
	Primary	65.6	86.6	5.6	5.8	2.1
	Secondary	18.0	83.1	2.5	6.6	7.8
	Mean	-	86.0	5.3	5.7	3.1
SS120+N11	Main culm	28.6	80.3	4.1	12.7	2.9
	Primary	60.6	70.5	4.5	19.4	5.6
	Secondary	11.4	85.0	7.3	7.3	0.4
	Mean	-	75.0	4.7	16.2	4.3
SS200+N7.7	Main culm	45.4	87.8	4.6	6.3	1.3
	Primary	54.6	74.3	1.6	16.6	7.5
	Secondary	-	-	-	-	-
	Mean	-	80.5	3.0	11.9	4.7

Table 6. Yield and its components by nitrogen application level according to plant density in direct-seeded rice on flooded paddy surface.

Treatment	No. of panicles (no./m ²)	Grain (No./panicle)	Ripening rate (%)	1000 gr. weight (g)	Milled rice yield (kg/10a)	Index of yield (%)	Head rice ratio (%)
SS60+N15	392 c*	86 a	84 a	20.7 a	487 a	99	88.4 a
SS120+N11	439 b	76 b	84 a	20.2 a	494 a	100	84.3 a
SS200+N7.7	479 a	60 c	80 a	20.4 a	478 a	97	86.2 a

*Means with the same letter in a column are significantly different by Duncan's Multiple Range Test at α=0.05

여 적정입모보다 약 10% 많은 479개/m²의 수수가 확보되었으나 수당립수의 감소로 478 kg/10a의 수량을 얻었다. 쌀의 완전미율은 입모과소상태에서 다소 높게 나타났는데, 이는 표 5에서 개체별로 조사한 현미 완전미율과 같은 경향이어서 쌀의 완전미율을 높이는데 적절한 입모밀도가 기존의 최고 수량에 맞추어진 것과 차이가 있을 수 있음을 시사한다.

결론적으로 수량은 입모과소구의 초기 질소비료 추가 시용에 의한 수수확보와 입모과다구의 시비절감에 의한 분얼 억제에 의하여 적정입모구의 수량과 차이가 없는 수량을 얻을 수 있었으며, 완전미율 또한 적정입모구와 유의한 차이가 나타나지 않았다.

본 연구에서는 파종 후 입모밀도에 따라 질소시비를 조절함으로써 분얼의 발생축진과 억제에 초점을 맞추어 수량 및 미질에 미치는 영향을 조사하였다. 그러나 분얼발생양상은 질소시비와 관계없이 파종밀도에 따라 양분과 에너지의 결합에 의하여 자연적으로 분얼 발생양상이 달라지는 것이 사실이다(Sato & Shimizu, 1958). 본 연구에서 입모밀도에 따라 자연적으로 축진 또는 억제되는 분얼발생양상과 질소시비에 의해 추가적으로 조절되는 부분을 명확히 나누지는 못하였다. 다만 재배의 실용적인 측면에서 입모밀도에 따른 질소시비의 가감이 벼의 분얼발생과 수량 및 미질에 어떻게 영향을 미치는 지에 대하여 초점을 맞추어 기술하여서, 향후 입모밀도와 시비량간의 상호작용에 대하여는 추가적인 검토가 요구된다.

적 요

벼 담수직파재배에서 입모수가 적정입모수(120개/m²)보다 적은 과소구를 60개/m², 적정입모수보다 많은 과다구를 200개/m²로 설정하여, 과소구의 경우 3엽기에 4 kg/10a의 질소를 추가 시비하여 분얼발생을 촉진시키고 과다구에서는 5엽기에 사용하는 분얼비 3.3 kg/10a의 질소시비를 생략하여 분얼을 억제한 결과는 아래와 같다.

1. 개체별 최고분얼수는 적정구가 9.8개인데 비하여 과소구는 15.2개, 과다구는 8.6개이었으며, 개체별 유효분얼수는 적정구가 3.7개, 과소구가 6.5개, 그리고 과다구가 2.4개로 입모가 과다할수록 개체당 분얼수가 줄어들고 유효경비율이 낮아졌다.

2. 분얼발생 양상은 입모밀도에 관계없이 주간 3절위에서 첫 번째 1차 분얼이 발생하였으며, 유효분율은 과소구, 적정구, 과다구에서 각각 6.5개/plant, 3.7개/plant, 2.4개/plant 발생하였다.

3. 입모과소구의 벼 개체내에서 분얼의 발생 순서와 간장, 수장, 무효분얼수, 수당립수, 입실율은 부의상관관계가 있었으나, 적정 입모밀도에서는 유의한 상관이 없었다. 입모과다구에서는 분얼발생순서와 수장, 무효분열, 완전미율이 유의한 상관관계를 나타내었다.

4. 현미외관 특성은 입모 과소구가 적정구나 과다구 보다 청미발생이 적어서 완전미율이 가장 높게 나타났으며, 과다구와 적정구의 경우에는 1차 분얼에서 청미발생이 과소구보다 15-20%정도 높게 나타났다.

5. 쌀 수량은 적정구가 494 kg/10a인데 비하여 과소구는 적정구의 99%, 과다구는 적정구의 97%의 수량이 확보되었다.

인용문헌

- Alpi, A. and H. Beevers. 1983. Effects of O₂ concentration on rice seedlings. *Plant Physiology*. 71 : 30-34.
- Hoshikawa, K. 1989. The growing rice plant-an anatomical monograph. Nobunkyo.
- Lee, C. W., Y. D. Yun, Y. J. Oh, and S. Y. Cho. 1993. Seedling emergence and mesocotyl elongation as affected by temperature and seedling depth in direct-seeded rice on dry soil. *Korean J. Crop Sci.* 37(6) : 534-540.
- Lee C. W., K. Y. Seong, and J. T. Lim. 1994. Optimum number of seedling stands of rice for high yield in direct water-seeded culture. *Korean J. Crop Sci.* 39(5) : 405-411.
- Lee, J. I., J. C. Shin, K. S. Kwak, and E. H. Kim. 2000. Studies on characteristics of plant tillering for rice cultivars highly adaptable broadcast-seeded cultivation. *Treaties of Crop Researches*. 1 : 433-437.
- Lim, J. T., B. S. Kwon, and H. J. Kim. 1991. Seedling establishment and yield of direct subsurface seeded rice as influenced by CaO₂ coating and seeding rates. *Korean J. Crop Sci.* 36(4) : 324-331.
- Park, S. H., C. W. Lee, W. H. Yang, and R. K. Park. 1986. Direct seeding cultivation on submergd paddy in rice I. Seedling emergence and early growth under different temperature and seeding depth. *Korean J. Crop Sci.* 31(2) : 204-213.
- Park, S. H. and C. W. Lee. 1992. Development of Direct Seeded Rice Cultivation in the Future. *Korean J. Weed Sci.* 12(3) : 292-308.
- Park, S. T., D. Y. Kwak, D. K. Shin, S. Y. Kim, and D. S. Lee. 1999. Rice Seedling Establishment and Early Growth Affected by Seeding Depth and Flooding Duration for Anaerobic Wet Seeding. *Kor. J. Intl. Agri.* 11(2) : 161-168.
- Rutger, J. N. and D. M. Brandon. 1981. California rice culture. *Scientific American*. 224(2) : 42-51.

- Sato, K. and K. Shimizu. 1958. Effects of planting densities on the composition of tillers in rice plant. *Proc. Crop Sci. Japan.* 27 : 179-181.
- Song, Y. J. 1998. Difference on tillering behavior and productivity per tiller by the different cultural methods in two different tillering rice varieties. *Korean J. Breed.* 30(1) : 76-83.
- 농림부. 2005. 농림업주요통계. www.maf.go.kr.
- 윤용대 외. 1997. 벼 직파재배 신기술. 농은 윤용대 연구관 정년 퇴임 기념저서 발간추진위원회. 상록사.