

철분코팅 법씨를 이용한 벼 직파재배의 생육 특성 및 수량

박광호^{1*}, 박성태¹

¹한국농수산대학 식량작물학과

Growth and Yield in Direct Seeded Rice Cultivation with Iron Coated-Seeds

K. H. Park^{1*} and S. T. Park¹

¹Korea National College of Agriculture and Fisheries, 1515, Kongjwipatjwi-ro, Wansan-gu, Jeonju-si, Jeollabuk-do, 54874, Korea

Abstract

The field trial was performed to evaluate the rice growth and yield in direct seeding cultivation with iron-coated rice seeds. The required time for seed emergence was for 9~11days in the tested direct seeding methods. That was 1~2days earlier in direct seeding with pregerminated seeds than that of direct seeding with iron-coated seeds. The seedling establishment was highest in water seeding with iron-coated seeds but there was not significant difference in terms of statistical analysis. The rice plant height was taller in water seeding with broadcasting method than that of wet hill-seeding methods and in direct seeding with iron-coated seeds than that of direct seeding with pregerminated seeds. The tiller number in the rice plant was the highest in machine transplanting at 30days after direct seeding(June 17) and in water seeding with iron-coated seeds at 45days after seeding(DAS) and 60DAS. The tiller number of 75 and 90DAS in the tested rice cultivation methods being with 352~405/m² was not significantly different in terms of statistical analysis. The heading time was not different in rice direct seeding methods but 2 day earlier in direct seeding with iron-coated seeds than that of direct seeding with pregerminated seeds. The culm length was the highest in water seeding with iron-coated seeds and the panicle length was the longest in wet hill-seeding with pregerminated seeds. The panicle number per m² was highest in water seeding with iron-coated seeds but not significant difference among the tested rice cultivation methods.

The water seeding with iron-coated seeds resulted in the highest spikelet number per m² and the heaviest grain weight of brown rice. Percentage of ripened kernel was the highest in wet hill-seeding with iron-coated seeds. But there were not significant among the tested rice cultivation methods. The milled rice yield in direct seeding methods was 3~21% higher than that in machine transplanting. Water seeding with iron-coated seeds recorded the highest milled rice yield being with 6.86t/ha. The occurrence of sheath blight was high according to machine transplanting>wet hill-seeding>water seeding. Weed occurrence was the highest in water seeding with pregerminated seeds. Weedy rice occurred not in machine transplanting but occurred 0.6~0.7% in direct seeding methods with pregerminated seeds and 0.1% in direct seeding with iron-coated seeds.

Key words : Rice, Direct seeding, Water-seeding, Wet hill-seeding, Iron-coated seeds, Rice yield

*교신저자 한국농수산대학 kh5008@korea.kr

I. 서론

최근 국가의 쌀 재고 증가로 인한 쌀값 하락은 큰 사회적 문제가 되고 있어, 쌀 생산농가의 소득 증대가 중요한 현안으로 부상하고 있다. 벼 직파재배는 기계이앙재배에 비하여 생산비 및 노동력 절감 효과가 크고 작업이 간편하여 농촌 노동력의 노령화 대책과 쌀 관세화 및 FTA에 대비한 우리 쌀의 국제 경쟁력을 높이기 위해서는 확대 보급이 필요하다. 벼 직파재배는 출아 불균일, 조류피해, 잡초관리, 도복, 법씨 몰림 등 안정성이 부족하면 확대되기 어렵다(김 등, 1991), 정부에서는 쌀 생산비 절감을 통한 농가 소득을 높이기 위한 일환으로 벼 직파재배 기술의 확대를 추진하고 있으나, 현재 보급하고 있는 벼 직파재배 기술은 몇 년간 계속할 때는 특히 잡초성벼(Weedy rice)·맹미(Red rice) 발생이 심하여 확대 보급에 큰 어려움을 겪고 있다.

벼 직파재배는 1993년부터 본격적으로 보급이 시작되어 1995년도에는 전체 벼 재배면적의 11.1%인 11만 7500ha까지 보급되었으나 입모 불안정, 잡초 및 잡초성벼 다발생 등의 문제로 점차 줄어들어 2016년에는 총 벼 재배면적 778천 ha의 2.34%인 18.2천 ha로 감소하였다. 우리나라에서 벼 직파재배면적이 감소한 주요 원인은 출아 불균일에 의한 입모 불안정(Kim et al., 2003; 김 과 박, 2010), 잡초 다발생과 잡초성벼 발생에 따른 수량 감소 및 품질 저하(Smith, 1981; Kim et al., 1998) 문제이다.

벼 직파재배에서 입모 안정성 및 균일성 향상을 위하여 종자에 CaO₂ 분의처리(Won et al., 1997), 프라이밍 처리(Lee et al., 1998:1999; 2000, Min & Seo 1999), 코팅(Coating) 처리 등 많은 연구를 하였으나 입모향상 효과가 안정적이지 못하여 농가에 널리 보급되지는 못하였다. 그리고 잡초성벼의 효과적인 방제기술 개발을 위하여 벼 재배방법별 잡초성벼 발생 생태와 경종적

관리 방법 연구가 많이 이루어 졌으나(Kim et al., 1998), 잡초성벼는 탈립이 잘되고(Watanabe et al., 1996; Park et al., 1997), 저온 하에서 발아가 잘되어(Son, 1995; Chung, 1998) 확산이 빠르다. 그리고 잡초성벼는 재배 벼와 형태적, 생리적으로 비슷하기 때문에 잡초성벼 방제는 비선택성 제초제를 사용것 외는 효과적인 방법은 없다고 하였다(Diarra et al., 1985; Kown et al., 1991b; Son et al, 1999).

최근 벼 무논점파와 담수직파 재배에서 재배 안정성을 높일 수 있는 방법으로 크게 주목 받고 있는 것이 철분코팅법씨를 사용한 직파재배 기술이다. 이 기술은 철분과 소석고를 일정한 비율로 혼합하여 법씨에 코팅시켜 직파하는 기술로서 1993년 국제벼연구소(International Rice Research Institute)에서 프로젝트 연구(Dr. M. Yamauchi, 박광호 등)를 통하여 벼 품종, 토양 수분, Fe 등의 직파재배 안정화 시험으로 지속적인 연구개발을 하여 2003년부터 일본의 논 포장에서 실증시험이 이루어졌으며 한일공동연구(2009~2011, 한일농림수산물기술협력위원회)를 통하여 국내 본격적으로 도입되었으며 특허등록(구산, 철분 및 소석고 코팅 종자, 등록번호 1012210610000, 2013.1.4.)이 되어 확산보급 되고 있다. 이 기술은 철분과 소석고를 일정한 비율로 혼합하여 법씨에 코팅시켜 직파하는 기술로서 최근 국내 농가보급(벼, 콩, 옥수수, 이탈리안라이그라스 등)이 확산되고 있다. 철분(鐵粉, Iron power) 코팅 법씨는 무겁고 딱딱하여 씨레질한 눈에 산파할 경우 땅속에 박혀 뿌리가 땅에 잘 내리면서 모 초기 생육이 좋고, 파종후 출아할 때 까지 벼 종자가 논 관개수에 의해 물위에 뜨는 것이 적었고(Yamauchi, 2002; 2004; Furu-hata et al, 2009), 입모 향상과 새 피해 경감 등으로 수량이 증가되었다(Furu-hata et al, 2009; 박과 박, 2017). 철분코팅법씨 사용은 철분코팅 전 프라이밍 처리로 α -amylase 효소가 활성화 되어

종자에서 초엽으로 당의 전류가 증진되어 일반종자를 사용했을 때 보다 건물중이 증가되었고 (Mori et al., 2012; Lee & Kim, 1999), 철분코팅종자는 발아율이 일반종자에 비하여 품종에 따라 2.6~43.2% 높았다고 하였다(Han et al., 2014). 한편, 철분코팅 종자를 사용한 무논점파는 출아율과 쌀 수량이 일반종자를 사용한 것 보다 다소 낮았으나(Kwak et al., 2014), 무인 헬리콥터를 이용한 담수산파에서는 수량이 높았다고 하였다(Park and Yamauchi, 2011; Kim, 2011). 우리나라에서도 2009년부터 철분코팅종자를 사용한 벼 직파재배기술 보급에 관심을 보여 왔으나, 철분코팅종자를 사용한 벼 직파재배의 안전성 향상과 비용 문제에 대해 견해가 다른 상황에서 철분코팅법씨를 사용한 벼 직파가 점차 늘어나고 있다.

본고는 벼 직파재배 방법별 일반종자와 철분코팅종자를 사용할 때 벼 생육특성, 수량성 및 벼 직파재배 시 문제가 되고 있는 잡초성벼 발생 등의 차이에 대한 정보를 제공하고자 실시한 시험 결과를 보고한다.

II. 재료 및 방법

본 실험은 2016년 하계에 농가 포장(경북 김천)에서 수행하였다. 품종은 일반계 품종인 일품벼를 공시하였고, 벼 직파방법은 담수산파와 무논점파로 하여 법씨는 철분코팅과 무코팅 싹튼 종자(관행)로 처리하였다. 벼 직파와 대비하기 위하여 기계이앙재배도 하였다.

종자 준비는 철분코팅법씨는 보급종자를 5월 1일부터 상온에서 3일간 침종하여 꺼내서 그늘에 1시간 정도 물을 뺀 다음(물방울이 한 방울씩 떨어질 정도) 코팅기에 넣고 종자 표면에 수분이 고르게 묻도록 30초 돌린 후 멈추고, 철분을 건종자 무게의 50% 그리고 철분 무게의 10%에 해당

하는 소석고를 코팅기에 넣고, 돌리면서 중간 중간 물을 분무기로 3회(매회 4~5번)를 뿌리며 4분 동안 1차 코팅하고, 2차로 소석고를 철분 무게의 5%를 넣고 돌리면서 물을 분무기로 뿌리면서 (1~2회 : 매회 3~4회) 1분 30초 동안 코팅하였다. 코팅한 종자는 기계이앙 플라스틱 산파상자에 80~90% 정도(건종자로 1.5~1.7kg) 담아 다단선반에 올려놓고 3일간 하루에 2~3회 물을 살짝 뿌리면서 건조시킨 후 망사자루에 담아 12일간 보관하였다. 싹튼 종자 사용 직파와 기계이앙재배 사용 종자는 보급종자를 파종 전에 상온에서 5~6일간 침종하여 싹이 1~2mm정도 튼 종자를 파종 2시간 정도 전에 꺼내어 그늘에서 말린 후(파종기에 붙지 않을 정도) 사용하였다.

파종은 벼 직파재배는 파종 7일 전(5월 11일)에 씨레질을 하고 5cm 정도 높이로 물을 대고 잡초 및 잡초성벼 방제를 위하여 론스타를 뿌린 다음 물이 있는 상태로(담수 균침) 두었다가, 파종 1일전(5월 17일)에 물을 빼고 5월 18일에 철분코팅종자 및 싹튼 종자 다 같이 건종자 기준으로 담수산파는 10a당 4kg을 동력살분기로 산파하였고, 무논점파는 무논점파기로 조간 26.25cm, 주간 20cm로 주당 10~13립을 점파(약 5kg/10a)하였다. 싹튼 종자 무논점파는 관개시 법씨가 이동하거나 새 피해 방지 등을 위하여 법씨가 논 표면에 박히도록 진압판을 이용하여 진압하였다.

기계이앙은 대비로 이앙 전 30일(4월 25일)에 기계이앙 플라스틱 산파상자(58×28cm)에 건종자 기준 상자당 130g의 싹튼 종자를 파종하여 30일간 모를 기른 후 5월 25일에 기계이앙기로 조간 30cm, 주간 18cm에 주당 3~4본씩 이앙하였다

시비는 10a당 완효성비료(롱스타: 18-8-9+2+0.2) 50kg을 담수산파는 씨레질 직전 살포하였고, 무논점파와 기계이앙은 각각 파종 및 이앙 동시에 측조 시비하였다.

물 관리는 철분코팅법씨를 사용한 담수산파와 무논점파는 파종 1일 전에 논물을 빼고 다음날에

파종하고 3일간 물 뺀 상태로 두었다. 그리고 물을 5cm 정도 높이로 대고 7일간 두었다가, 그리고 3일간 물 뺀 상태에서 모세우기를 한 후 물을 대고 벼 직파재배 관행 관리에 준하였다. 비교 시험포장에서 싹튼 법씨를 사용한 담수산파는 모가 거의 활착할 때까지(약 13일간), 무논점파는 거의 출아할 때 까지(약 10일간) 논을 말리면서 중간에 논이 너무 말라 1회 살짝 관개(간단관개)하였다. 그리고 모 활착(입모) 및 출아 직후 물을 대고 벼 직파재배 관행 관리에 준하였다.

제조제는 벼 직파재배는 10a당 1차로 파종 5일 전 참일꾼을 500ml, 2차로 상시 담수 후 벼 2~3엽기에 애니폴을 500ml 살포하였고, 기계이앙은 이앙 후 12일에 10당 기계이앙용 입제 제조제 3kg을 살포하였다. 기타 재배관리는 국립식량과학원 벼 표준재배법에 준하였다.

벼 생육 등 조사방법은 입모 수는 파종 후 20일에 구당 담수산파는 0.25㎡, 무논점파는 10주씩 조사하여 ㎡당으로 환산하였고, 무논점파와 기계이앙의 결주는 구당 200주를 조사하여 백분율로 나타내었다. 초장과 경수는 파종 후 30일부터 15일 간격으로 4회, 초장은 10주씩 조사하고, 경수와 수수는 입모수와 같이 구당 담수산파는

0.25㎡, 무논점파는 10주씩 조사하여 ㎡당으로 환산하였고, 간장, 수장 등 성숙기 벼 생육 특성과 입수, 등숙비율 등 수량구성요소와 수량 등은 농촌진흥청 농사시험연구조사 기준에 준하여 조사하였다(농촌진흥청, 1995).

도열병, 잎집무늬마름병 및 이삭누룩병과 잡초 및 잡초성벼 발생은 달관 조사하여 %로 나타내었다.

시험구 배치 및 조사는 단구제(1필지 씩)로 하여 3반복으로 조사하였고, 시험결과 통계분석은 MYSTAT 프로그램(최봉호)을 이용하여 분산분석과 던컨다중검정(p=0.05)을 하여 처리 간 유의성 유무를 확인하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 출아일수, 입모수와 결주율

출아일수, 입모수와 결주율은 Table 1과 같았다. 출아일수는 담수산파 9~10일, 무논점파는 10~11일로, 담수산파에서 약간 빨랐다. 사용종자 간에는 싹튼 법씨 사용은 철분코팅법씨 사용보다

Table 1. Comparison of seedling emergence, seedling establishment and missing hills in different rice cultivations

Cultivation methods	Seedling emerged (date)	Days required seedling emerged (days)	No. of seedling establishment		Missing hills (%)
			No./hill	No./m ²	
Water seeding					
- Pregerminated seed	May 27	9	-	103a ¹⁾	-
- Soaking seed coated iron powder	May 29	11	-	147a	-
Wet hill seeding					
- Pregerminated seed	May 28	10	5.0	105a	2.7
- Soaking seed coated iron powder	May 29	11	5.5	116a	3.7
Machine transplanting					
		-	(8.9)	(198)	0.3

* LSD 5%.....41.2

¹⁾ In a column, means followed by a common letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

담수산파는 2일, 무논점파는 1일이 빨랐다. 사용 종자별 직파방법 간에는 싹튼 법씨 사용은 담수산파가 무논점파보다 1일이 빨랐으나, 철분코팅법씨 사용은 차이가 없었다. m²당 입모 수는 103~147개로 벼 직파방법 간에 통계적인 유의성은 없었으나, 무논점파 및 담수산파 시 적정 입모수로 알려진 m²당 80~120개(C. W. Lee et al., 1994;朴, 1993) 보다 담수산파의 철분코팅법씨 사용은 27~67개가 많았다. 이는 철분코팅 종자는 깊은 수심에서 싹튼 법씨 종자에 비해 출아율이 높았다는 보고(S. Y. Kim et al., 2017)와도 연관성이 있는 것으로 보인다. 그 외 직파는 103~116개로 적정 범위이었다. 결주율(무논점파)은 2.7~3.7%로 기계이앙 0.3%보다는 높았으나, 벼 기계이앙 시 결주율 허용 범위인 5%(插播機稻作研究會, 1966)이내 이었다.

2. 주요 벼 생육시기별 초장 및 경수

가. 초장 비교

벼 직파재배 방법별 파종 후 일수별 초장은 Table 2에서와 같이 벼 기계이앙(38.6~102.5cm)

에 비하여 직파(16.1~97.1cm)는 15.4~25.1cm가 짧았는데, 벼 직파방법 별로 담수산파보다 무논점파에서 더 짧았다. 기계이앙 대비 평균 초장은 파종 후 30일~60일에는 담수산파 14.4~15.3cm, 무논점파는 19.6~20.9cm가 짧았으나, 파종 후 75일 이후는 담수산파 9.0~11.3cm, 무논점파 7.5~9.0cm로 초장 차이가 적어졌다.

벼 직파방법별 사용종자 간에 초장은 철분코팅법씨(19.2~97.1cm)는 싹튼 법씨(16.2~92.9cm)에 비하여 담수산파는 7.0~21.4cm, 무논점파는 3.0~8.2cm가 길었다. 담수산파는 파종 후 전 조사시기에서 통계적 유의성이 있었으나, 무논점파는 통계적 유의성은 파종 후 30일, 60일, 90일에는 없었고 45일과 75일에는 있었다. 특히 담수산파의 싹튼 법씨 사용에서 초장이 짧았던 것은 파종 후 입모까지 약 10일간 배수상태 기간이 길어 노출된 법씨가 건조해(乾燥害, H. R. Shin et al., 1996)와 활착 지연이 주요 원인인 것으로 보인다.

나. 경수 비교

벼 직파재배방법별 파종 후 일수별 m²당 경수는 Table 3에서와 보는 바와 같이 기계이앙(371~

Table 2. Comparison of plant height in using pregerminated and iron-coated seeds under different rice direct seeding cultivations at rice growing stages

Cultivation methods	Plant height(cm)				
	30DAS ²⁾	45DAS	60DAS	75DAS	90DAS
Water seeding					
- Pregerminated seed	16.7c ¹⁾	35.8cd	49.8c	73.0d	90.0c
- Soaking seed coated iron powder	26.9b	45.2b	71.2a	82.1b	97.0b
Wet hill seeding					
- Pregerminated seed	16.2c	32.3d	51.2bc	77.4c	92.9bc
- Soaking seed coated iron powder	19.2c	38.7c	59.4b	82.1b	97.1b
Machine transplanting	38.6a	55.8a	74.9a	88.8a	102.5a

* LSD 5%.....2.75.....3.90.....6.10.....2.35.....2.70

¹⁾ In a column, means followed by a common letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

²⁾ DAS; Days after seeding

Table 3. Comparison of tiller number in using pregerminated and iron-coated seeds under different rice direct seeding cultivations at rice growing stages

Cultivation methods	Tiller number(No./m ²)				
	30DAS ²⁾	45DAS	60DAS	75DAS	90DAS
Water seeding					
- Pregerminated seed	141c ¹⁾	404b	372ab	355a	352a
- Soaking seed coated iron powder	337b	571a	447a	405a	393a
Wet hill seeding					
- Pregerminated seed	166c	207c	247c	405a	370a
- Soaking seed coated iron powder	252bc	317bc	318bc	399a	384a
Machine transplanting	462a	380b	379ab	388a	371a

* LSD 5%.....72.3.....96.1.....61.9.....37.9.....32.3

¹⁾ In a column, means followed by a common letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

²⁾ DAS; Days after seeding

462개)에 비하여 담수산파(141~571개)는 평균 m² 당 경수가 파종 후 30일에는 223개가 적었으나 파종후 45일 및 60일에는 각각 108개, 31개가 많았고, 이후는 비슷하였다. 무논점파(166~405개)는 전 조사 시기 기계이앙 보다 평균 m²당 경수가 7~250개 적었다. 직파방법 다같이 m²당 경수는 기계이앙과 파종 후 30일은 통계적으로 유의하게 적었고, 파종후 45일에는 담수산파의 철분 코팅법씨 사용은 통계적으로 유의하게 많았으나, 무논점파의 싹튼 법씨 사용은 유의하게 적었다. 그리고 파종 후 60일에는 무논점파의 싹튼 법씨 사용은 기계이앙에 비하여 m²당 경수가 유의하게 적었다. 그리고 파종 후 75일 이후는 직파방법 다같이 m²당 경수는 기계이앙과 유의차가 없었다.

벼 직파방법별 사용종자 간 m²당 경수는 철분 코팅법씨(252~571개)는 싹튼 법씨(166~405개)에 비하여 담수산파는 41~196, 무논점파는 6.0~118 개 많았다. 무논점파는 사용종자 간 m²당 경수는 전 조사 시기 통계적인 유의성은 없었으나, 담수산파는 파종 후 45일까지는 유의성이 있었고, 이후에는 없었다.

이상의 결과에서 m²당 경수가 싹튼 법씨 사용

이 철분코팅법씨 사용 보다 적었던 것은 파종 후 약 10일간 배수상태 기간이 길어(농진청 등, 2016) 노출된 법씨의 싹이 건조해를 받고 활착이 지연되었으며, 이후 도복방지를 위하여 생육 중기에 물을 다소 심하게 말린 것(S. S. Kim et al., 1995; H. R. Shin et al., 1996; N. H. Back et al., 1997) 등이 주요 원인인 것 같다.

3. 벼 직파재배 유형별 출수기, 간장 및 수장 비교

벼 직파재배방법별 출수기, 간장 및 수장은 Table 4와 같다. 출수기는 벼 기계이앙(8월 13일)에 비하여 직파(8월 21일~23일)는 8~10일이 늦었고, 직파방법 간에는 차이가 없었으나, 사용종자 간에는 담수산파 및 무논점파 다 같이 철분코팅법씨 사용이 싹튼 법씨 사용보다 출수기가 2일이 빨랐다. 싹튼 법씨 사용 직파가 출수기가 2일 정도 늦은 것은 출아 후 착근 과정에서 건조해 등 모가 스트레스를 받고, 도복 방지를 위해 생육 중기에 물을 심하게 말려(중간낙수) 생육이 지연된 것이 원인인 것 같았다.

Table 4. Heading time, culm length and panicle length in using pregerminated and iron-coated seeds under different rice direct seeding cultivations at reproductive rice growing stage

Cultivation methods	Heading time	Culm length (cm)	Panicle length (cm)
Water seeding			
- Pregerminated seed	Aug. 23	68.5bc	21.0c ¹⁾
- Soaking seed coated iron powder	Aug. 21	76.6a	22.4bc
Wet hill seeding			
- Pregerminated seed	Aug. 23	69.7bc	24.3a
- Soaking seed coated iron powder	Aug. 21	68.4c	24.2ab
Machine transplanting	Aug. 13	72.4b	21.8c

* LSD 5%.....2.52.....1.24

¹⁾In a column, means followed by a common letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

간장은 68.4~76.6cm로 기계이앙(72.4cm)에 비하여 철분코팅법씨 사용 담수산파(76.6cm)는 4.2cm가 길었고, 무논점파(68.4cm)는 4.0cm가 짧았으며, 다 같이 통계적 유의성도 있었다. 싹튼 법씨 사용 직파(68.5~69.7cm)는 기계이앙 보다 간장이 2.7~3.9cm가 짧았으나 통계적 유의성은 없었다. 벼 직파방법별 사용종자 간에는 간장이 담수산파는 철분코팅법씨 사용이 싹튼 법씨 사용보다 8.1cm가 길었고, 통계적 유의성도 있었으나, 무논점파는 간장이 싹튼 법씨 사용 69.7cm, 철분코팅법씨 사용 68.4cm로 거의 같았다.

수장은 기계이앙(21.8cm)과 담수산파(21~22.4cm)는 거의 비슷하였으나, 무논점파(24.2~24.3cm)는 싹튼 법씨 및 철분코팅법씨 사용은 각각 2.5cm, 2.4cm가 길었고, 기계이앙과 통계적 유의성도 있었으나, 직파방법별 사용종자 간에는 통계적 유의성이 없었다. 수장이 가장 길었던 무논점파의 싹튼 법씨 사용(24.3cm)과는 담수산파의 싹튼 법씨 사용은 3.3cm, 철분코팅법씨 사용은 1.9cm가 짧았고, 통계적 유의성도 있었다. 무논점파의 철분코팅법씨 사용(24.2cm)과는 담수산파의 싹튼 법씨 사용(21cm)은 수장이 통계적으로 유의하게 짧았으나, 담수산파의 철분코팅법씨 사용은 수장이 1.8cm가 짧았으나 통계적 유의성은 없었다.

4. 벼 직파재배 유형별 수량구성요소 및 쌀 수량 비교

가. 수량구성요소

벼 직파재배 방법별 수량구성요소는 Table 5와 같았다. 수수는 담수산파는 주당 수수가 3~3.7개 이었으나, 무논점파는 18.8~20개로 기계이앙 16.4개 보다 2.4~3.6개가 많았다. m²당 수수는 벼 재배방법 및 사용종자 간에 통계적 유의성은 없었으나, 직파재배는 357~407개로 기계이앙 365개에 비하여 평균 m²당 수수가 담수산파(357~407개) 17개, 무논점파(358~381개)는 5개가 많았고, 사용 종자에 따라서는 싹튼 법씨 사용 직파(357~358개)는 기계이앙과 비슷하였으나, 철분코팅법씨 사용 직파(381~407개)는 16~42개가 많았다. 벼 직파방법별 사용 종자 간에는 철분코팅법씨 사용이 싹튼 법씨 사용 보다 담수산파는 50개, 무논점파는 23개가 많았다.

수당입수는 102~106개로 벼 재배방법 간에 거의 차이가 없었다. m²당 입수는 벼 재배방법 및 사용종자 간에 통계적 유의성은 없었으나, 직파재배의 m²당 입수는 37,816~42,450개로 기계이앙(37,105개) 보다 711~5,345개가 많았다. 벼 직파재배 방법 간에는 담수산파(37,816~42,450개)는

Table 5. Comparison of yield components in using spregerminated and iron-coated seeds under different rice direct seeding cultivations

Cultivation methods	No. of panicles		Spikelet number		% of ripened kernel	Grain weight of brown rice (g/1,000)
	No./hill	No./m ²	No./panicle	No./m ²		
Water seeding						
- Pregerminated seed	3.7	357a	106a	37,816a ¹⁾	80.0a	21.9a
- Soaking seed coated iron powder	3.0	407a	105a	42,450a	82.2a	22.8a
Wet hill seeding						
- Pregerminated seed	18.8	358a	106a	37,853a	78.8a	22.5a
- Soaking seed coated iron powder	20.0	381a	102a	37,866a	86.3a	22.0a
Machine transplanting	16.4	365a	102a	37,105a	77.6a	22.0a

* LSD 5%.....34.0.....6.38.....3,849.3.....6.62.....0.92

¹⁾In a column, means followed by a common letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

평균 m²당 입수가 무논점파(37,853~37,866개)보다 2,273개가 많았고, 사용 종자 간에는 철분코팅법씨 사용 직파(37,866~42,450개)가 싹튼 법씨 사용 직파(37,816~37,853개)보다 2,323개가 많았다. 벼 직파방법별 사용 종자 간에 m²당 입수는 담수산파는 철분코팅법씨 사용이 싹튼 법씨 사용보다 4.634개가 많았으나, 무논점파는 비슷하였다.

등숙비율은 벼 재배방법 및 사용종자 간에 통계적 유의성은 없었으나, 직파재배는 78.8~86.3%로 기계이앙(77.6%)보다 1.2~8.7%가 높았다. 벼 직파방법 간에는 평균 등숙비율이 담수산파 81.1%, 무논점파 82.6%로 비슷하였고, 사용종자 간에는 철분코팅법씨 사용(82.2~86.3%)이 싹튼 법씨 사용(78.8~80%) 보다 평균 등숙비율이 4.9%가 높았다. 벼 직파방법별 사용 종자 간에 등숙비율은 담수산파 및 무논점파 모두 철분코팅법씨 사용이 싹튼 법씨 사용 보다 각각 2.2%, 7.5%가 높았다.

현미 천립중은 21.9~22.8g으로 벼 재배방법 및

사용 법씨 간에 거의 같았다.

나. 쌀 수량

벼 직파재배 유형별 쌀 수량은 Table 6과 같았다. 쌀 수량은 10a당 584~686kg으로 기계이앙(568kg)에 비하여 3~21%가 높았고, 담수산파의 철분코팅법씨 사용은 기계이앙과 통계적 유의성도 있었다.

벼 직파방법 간에 평균 쌀 수량은 담수산파(639kg)가 무논점파(596kg) 보다 평균 쌀 수량이 7%, 사용종자 간에는 철분코팅법씨 사용(647kg)이 싹튼 법씨 사용(588kg) 보다 10%가 높았다. 벼 직파방법별 사용 종자 간에 쌀 수량은 담수산파 및 무논점파는 철분코팅법씨 사용이 싹튼 법씨 사용 보다 각각 16%, 4% 높았고, 담수산파는 통계적 유의성도 있었다.

이상의 결과에서 철분코팅법씨 사용 담수산파에서 쌀 수량이 통계적으로 유의하게 높게 나타난 것 외에는 벼 직파유형별 생육 및 수량 비교 연구 결과(박과 박, 2017)와 비슷하였다.

Table 6. Comparison of rice yields in using pregerminated and iron-coated seeds under different rice direct seeding cultivations

Cultivation methods	Milled rice yields (kg/10a)	Yield index (%)
Water seeding		
- Pregerminated seed	591b	104
- Soaking seed coated iron powder	686a	121
Wet hill seeding		
- Pregerminated seed	584b	103
- Soaking seed coated iron powder	607b	107
Machine transplanting	568b	100

* LSD 5%.....38.5

¹⁾In a column, means followed by a common letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

5. 벼 직파재배 유형별 도열병, 잎집무늬마름병 및 이삭누룩병 발생 비교

벼 직파재배 유형별 도열병, 잎집무늬마름병 및 이삭누룩병 발생은 Table 7과 같았다. 잎도열병은 벼 생육 초중기(7월 2일) 담수산파에서 0.5% 정도 발생하였으나 별문제는 되지 않았고, 잎집무늬마름병은 기계이앙은 벼 생육 중후기(8.1)부터 발생하기 시작하여 8월 16일에는 5%, 등숙 후기

(10.4)에는 20% 정도 발생하였다. 벼 직파재배는 8월 16일까지는 잎집무늬마름병이 발견되지 않았으나, 10월 4일에는 1~3% 관찰되었다. 이삭누룩병은 0.1~0.5% 발생되었는데 기계이앙(0.5%)에서 좀 더 많이 발생하였다.

기계이앙에서 잎집무늬마름병의 발생이 좀 더 심한 것은 직파에 비하여 줄기가 밀집(콤팩트) 상태로 공기가 잘 유통되지 않고, 병원균의 전염이 용이한 상태로 유지되었기 때문인 것으로 추정된다.

Table 7. Comparison of leaf blast, sheath blight and false smut occurrence in different rice cultivations

Cultivation methods	Leaf blast		Sheath blight		False smut
	July 2	July 17	August 16	October 4	October 4
Water seeding					
- Pregerminated seed	0.5 ¹⁾	0	0	1	0.1
- Soaking seed coated iron powder	0.5	0	0	1	0.1
Wet hill seeding					
- Pregerminated seed	0	0	0	3	0.2
- Soaking seed coated iron powder	0	0	0	2	0.2
Machine transplanting	0.5	0	5	20	0.5

¹⁾ % of disease occurrence by visual observation

6. 벼 직파재배 유형별 잡초 및 잡초성벼 발생 비교

벼 직파재배 유형별 잡초 및 잡초성벼 발생은 Table 8과 같았다. 잡초는 담수산파에서 7월 2일까지는 1~3% 발생하였으나, 2차 제초제 처리(7.5)로 7월 17일에는 발견되지 않았고, 8월 16일에는 1~3%, 10월 4일에는 1.5~5%로 점차 잡초 발생이 증가하였다. 무논점파와 기계이앙은 8월 1일까지는 발견되지 않았으나, 8월 16일 이후 후발 피 등이 0.5~2% 발생하였다. 잡초성벼는 8월 16일에는 담수산파의 싹튼 법씨 사용에서만 0.2% 정도 발생하였고, 10월 4일에는 기계이앙에

서는 잡초성벼가 발견되지 않았으나, 벼 직파재배의 잡초성벼 발생율은 싹튼 법씨 사용 담수산파와 무논점파는 각각 0.6%, 0.7%이었으나, 철분코팅법씨 사용은 다같이 0.1% 정도로 발생율이 낮았다.

이상에서와 같이 벼 직파방법별 잡초와 잡초성벼 발생이 차이가 있는 것은 철분코팅 사용 직파는 파종 후 입모 할 때까지 입모기간 대부분을 담수상태로 관리하나(박과 박, 2016), 담수산파와 무논점파에서 싹튼 법씨 사용은 입모 안전성을 높이기 위하여 이 시기에 논을 말리는 기간이 길었던 것이 원인인 것 같다.

Table 8. Comparison of weed and weedy rice occurrence in different rice cultivations

Cultivation methods	Weed(%)				Weedy rice(%)		
	June 17	July 2	July 17	Aug. 16	Oct. 4	Aug. 16	Oct. 4
Water seeding							
- Pregerminated seed	0 ¹⁾	3	0	3	5	0.2	0.6
- Soaking seed coated iron powder	0	1	0	1	1.5	0	0.1
Wet hill seeding							
- Pregerminated seed	0	0	0	0.5	1	0	0.7
- Soaking seed coated iron powder	0	0	0	0.5	1	0	0.1
Machine transplanting	0	0	0	0.3	0.5	0	0

¹⁾ % of weed and weedy rice occurrence by visual observation

IV. 요약

벼 직파재배 유형(담수산파, 무논점파) 및 사용 종자별 생육특성 및 수량 비교 시험 결과를 요약하면 다음과 같다.

① 출아일수는 9~11일이 소요되었고, 싹튼 법씨 사용이 철분코팅법씨 사용 직파보다 1~2일이 빨랐으며, m²당 입모 수는 103~147개로 담수산파의 철분코팅법씨 사용에서 가장 많았으나, 벼 직

파방법 간에 통계적 유의성은 없었다. 결주율(무논점파)은 2.7~3.7%이었다.

② 초장생육에서 직파는 기계이앙 보다는 짧았고, 벼 직파방법 간에는 담수산파가 무논점파보다 파종 후 60일까지는 길었으나, 파종 후 75일 이후는 비슷하였다. 사용 종자 간에는 철분코팅법씨 사용이 싹튼 법씨 사용보다 길었고, 담수산파에서는 통계적 유의성도 있었다.

③ m²당 경수는 6월 17일(파종후 30일)에는 기

계이앙이, 파종 후 45일과 60일에는 담수산파의 철분코팅법씨 사용에서 가장 많았고, 파종 후 75일과 90일 m²당 경수는 352~405개로 벼 재배방법 간에 통계적으로 유의한 차이는 없었다.

④ 출수기는 직파에서 8월 21~23일로 기계이앙(8월 13일)보다는 8~10일이 늦었고, 직파방법 간에는 차이가 없었으나, 사용종자 간에는 철분코팅법씨 사용이 싹튼 법씨 사용보다 2일이 빨랐다.

⑤ 성숙기 벼 생육특성에서 간장은 기계이앙(72.4cm)보다 철분코팅법씨 사용 담수산파 및 무논점파는 통계적으로 각각 유의하게 길고 짧았으며, 수장은 무논점파의 싹튼 법씨 사용(24.3cm)에서 가장 길었고, 담수산파 및 기계이앙과 통계적 유의성이 있었다. 벼 직파방법별 사용종자 간에는 수장은 별 차이가 없었다. m²당 수수는 357~407개로 담수산파의 철분코팅법씨 사용에서 가장 많았으나 벼 재배방법별로 통계적 유의성은 없었다. 수당입수는 102~106개로 거의 같았다.

⑥ 수량구성요소는 m²당 입수는 37,105~42,450개, 현미천립중은 21.9~22.8g으로 담수산파의 철분코팅법씨 사용에서 가장 많았고 무거웠다. 등숙비율은 77.6~86.3%으로 무논점파의 철분코팅법씨 사용에서 가장 높았으나, 수량구성요소 모두 벼 재배방법 간에 통계적 유의성은 없었다.

⑦ 쌀 수량은 10a당 568~686kg으로 담수산파의 철분코팅 법씨 사용(686kg/10a)에서 가장 높았으며 기계이앙 및 그 외 직파방법과 통계적 유의성도 있었다. 그 외 직파방법은 기계이앙(568kg/10a) 대비 3~7% 높았으나, 통계적 유의성은 없었다.

⑧ 잎도열병은 벼 생육초기 기계이앙과 담수산파에서 약간 발병하였고, 잎집무늬마름병과 이삭누룩병은 기계이앙>무논점파≥담수산파 순으로 심하였다.

⑨ 잡초는 담수산파의 싹튼 법씨 사용에서 발생이 심했고, 8월 16일 이후는 벼 재배방법 다 같이 후발피가 발생하였다. 잡초성벼는 기계이앙

은 발생되지 않았으나, 싹튼 법씨 사용 직파는 0.6~0.7%, 철분코팅법씨 사용 직파는 0.1%정도 발생하였다.

V. 참고문헌

1. 농촌진흥청, 농협, 한국직파농업협회. (2016). 벼 직파재배기술 매뉴얼(무논점파·건답점파): pp. 27
2. 박광호, 박성태. (2016). 잡초성벼(앵미)와 잡초방제를 위한 모내기 같은 5가지 벼 직파 신기술. p.58.
3. 박광호, 박성태. (2017). 벼 직파 유형별 생육 및 수량 비교 연구. 현장농수산연구지, 19(1):119~128
4. Chung, M. J. (1998). Annual Report of National Crop Experiment Station. pp. 350.
5. Diarra, A. R., J. Smith, Jr and R. E. Talbert. (1985). Red rice(*Oryza sativa*) control in drill-seeded rice (*O. sativa*). Weed Science. 33 : 703-707.
6. Furuhashi, M., T. Chosa, O. Matsumura and T. Yukawa. (2009). Effect of iron-powder coating versus calcium-peroxide coating of seeds on seedling emergence and establishment of rice direct seeded in submerged paddy field. Jpn. J. Crop Sci. 78(2):170-179.
7. Han, H. S., Y. H. Choi, K. S. Hwang, S. W. Ro, S. M. Yang, S. J. Park, C. Y. Seong, J. M. Lee and K. H. Park. (2014). The effect of iron-coated seeds on the germination enhancement of glutinous rice variety. In Proceeding of Korean Society of Crop Science Conference.

- 151pp.
8. Hong. (1999). Studies on germination characteristics and occurrence ecology of weedy rice and its control method. *In* Studies on technology for stable grain production in dry seeded rice. Rural Development Administration. pp. 34-66.
 9. Kim, S. S., W. Y. Choi, S. J. Seok, S. Y. Lee, J. H. Kim and D. S. Cho. (1995). Influence of midsummer drainage times on lodging and growth of rice in direct drill seeding culture on puddled soil. *Kor. J. Crop Sci.* 40(1) : 33-38.
 10. Kim, S. Y., Y. Son, W. G. Ha, S. T. Park and S. C. Kim. (1998). Occurrence of weedy rice as affected by cultural practices. *Kor. J. Crop Sci.* 43(2) : 124-127.
 11. Kim, S. Y. and S. T. Park. (2010). Introduction to direct seeding rice cultivation technology. Rural Development Administration. 201pp.
 12. Kim, Y. S. (2011). A study on improvement of rice direct sowing technology by coating methods. Ph.D. thesis of Kongju National University, Gongju. pp.118.
 13. Kim, Y. G., K. P. Hong and W. K. Joung. (2003). Effect of pellet material on seed germination in rice. *In* Proceeding of Annual Report of Gyeongsangnam-do Agricultural Research and Extension Services. pp.38-42.
 14. Kwon, S. L., R. J. Smith Jr. and R. E. Talbert. (1991b). Red rice(*Oryza sativa*) control and suppression in rice(*O. sativa*). *Weed Technology.* 5 : 811-816.
 15. Kwak, K. U., J. H. Lee, K. S. Park, H. S. Won, J. H. Kim and K. H. Park. (2014). The effect of iron-coated seeds on growth and yield of rice in wet hill direct seeding. *In* Proceeding of Korean Society of Crop Science Conference. pp.78.
 16. Lee C. W., Y. S. Ki and J. T. Lim. (1994). Optimum number of seedling stands of rice for high yield in direct water-seeded culture. *Kor. J. Crop Sci.* 39(5) : 405-411.
 17. Lee, S. S., J. H. Kim, S. B. Hong and S. H. Yun. (1998). Effect of humidification and hardening treatment on seed germination of rice. *Korean J. Crop Sci.* 43(3):157-160.
 18. Lee S. S. and Kim J. H. (1999). Morphological change, sugar content and α -amylase activity of rice seeds under various priming conditions. *Korean J. Crop. Sci.* 44, 138-142.
 19. Lee S. S. and Kim J. H. (2000). Total sugars, α -amylase activity and germination after priming of normal and aged rice seeds. *Korean J. Crop. Sci.* 45(2):108-111.
 20. Mori, S. H., S. Fujimoto, G. Watanabe, A. Ishioka, M. Okabe, Kamei and M. Yamauchi. (2012). Physiological performance of iron-coated primed rice seeds under submerged conditions and the stimulation of coleoptile elongation in primed rice seeds under anoxia. *Soil Science and Plant Nutrition* 58(4):469-478.
 21. Min, T. G. and B. M. Seo. (1999). The

- changes of biochemical and anatomic properties in tobacco(*Nicotiana tabacum* L.) seeds by priming. Proceeding of Korean J. Crop. Sci. pp.176-177.
22. Nam H. B., S. S. Kim, H. G. Park, H. T. Shin, S. Y. Cho and S. Y. Lee. (1997). Influence of midsummer drainage times on growth and lodging of rice plant in direct seeding on flooded paddy surface. Kor. J. Crop Sci. 42(6) : 722-728.
 23. Park, C. Y. Seong, J. M. Lee and K. H. Park. (2014). The effect of iron-coated seeds on the germination enhancement of glutinous rice variety. Proceeding of Korean Society of Crop Science Conference. 151pp.
 24. Park, K. H. and M. Yamauchi. (2011). Evaluation of direct seeding method for rice using iron-coated seeds in Korea. Jpn. J. Crop Science. Vol. 80(Supplement 1). p. 502-503.
 25. Park, K. H., M. H. Lee, S. C. Kim and K. U. Kim. (1997). Growth habit of weedy rice and its possible chemical control. In Proceedings of the 16th Asian-Pacific Weed Science Society Conference, 8-12 Sep. 1997, Kuala Lumpur, Malaysia, pp. 238-242
 26. Park, S. T., J. E. Hill, A. C. Chang and S. K. Lee. (1993). Effects of different water depths on early growth of rice and barnyardgrass(*Echinochloa crus-galli*). Korean J. Crop Sci. 38(5) : 405-412
 27. Smith, R. J. Jr. (1981). Control of red rice (*Oryza sativa*) in water seeded rice (*O.sativa*). Weed Sci. 29 : 663-666.
 28. Shin, H. R., H. G. Park, O. D. Kwon, J. Y. Lee, S. W. Kim and T. D. Park. (1996). Seedling stand and yield of direct seeding on flooded paddy surface of rice as influenced by soil conditions before seeding and seeding methods. RDA. J. Agri. Sci. 38(1) : 41~48
 29. Son, Y. (1995). Annual Report of National Yeongnam Agricultural Experiment Station. pp. 287-300.
 30. Son, Y., S. Y. Kim, N. J. Chung, C. J. Lee, H. H. Y. K. Kim, S. Y. Kim, S. T. Park, J. H. Se1, C. D. Hwang, H. K. Bae and M. K. Oh. (2017). Seed germination and effect of water depths on seedling establishment of iron-coated rice seeds. Korean J. Crop Sci., 62(1): 9~15
 31. Watanabe, H., M. Azim and I. Md. Zuki. (1996). Ecology of weedy rice(*Oryza sativa*., locally called padi angin) and its control strategy. In H. Watanabe, M. Azim and I. Md. Zuki ed. Ecology of Major Weeds and Their Control in Direct Seeding Rice Culture of Malaysia. pp. 112-116.
 32. Won, J. G., C. D. Choi, W. H. Lee, S. C. Lee, C. R. Kim and B. S. Choi. (1997). Improvement of rice seedling emergence by seed coating materials in direct seeding into flooded paddy soil. Korean J. Crop Sci. 42(3):286-291.
 33. Yamauchi, M. (2002). Reducing floating rice seedling in wet direct sowing by increasing specific gravity of seeds with iron powder coating(In Japanese). Jpn. J. Crop Sci. 71(extra issue 1) :150-151.
 34. Yamauchi, M. (2004). Improved anchorage and bird protection with

iron-coated seeds in wet direct seeding of rice crops. *In* Proceeding of the World Rice Research Conference held in Tokyo and Tsukuba, Japan, 4-7 November 2004. p209-211.

35. 苗播機稲作研究會. (1966). 移秧作の機械化 苗播栽培法實用化に關する試験研究報告書. pp. 1~100.

* 사사: 본 연구결과는 농림수산식품기술기획평가원 주요 곡물 조사료 자급률 제고사업단 사업으로 추진되었음을 알려드립니다.