

벼 철분코팅종자의 발아 특성 및 담수깊이에 따른 초기입모 영향

김상열^{1,†} · 박성태² · 서종호¹ · 황정동¹ · 배현경¹ · 오명규¹

Seed Germination and Effect of Water Depths on Seedling Establishment of Iron-coated Rice Seeds

Sang-Yeol Kim^{1,†}, Sung-Tae Park², Jong-Ho Seo¹, Chung-Dong Hwang¹, Hyun-Kyung Bae¹, and Myung-Kyu Oh¹

ABSTRACT Germination characteristics, seedling emergence, and early seedling growth of iron-coated rice seeds, cultivars Daebo and Samdeokbyeon, under different water depths were compared with those of non-coated seeds (control) and the results evaluated to obtain basic information for establishing stable seedlings in direct water seeding. The total germination percentage of the two seed treatments was similar, but iron-coated seeds had slightly faster germination and shorter mean germination time than non-coated seeds. Water absorption rates of iron-coated seeds were lower than that of non-coated seeds during seed germination. The germination percentage of the two iron-coated rice seed cultivars showed a significant decline of 15-22% after one year of storage under natural conditions. The seedling emergence percentage and uniformity of the two rice cultivars were significantly higher in the iron-coated seeds at 1-13 cm water depths but the percentage of floating seedlings was lower in iron-coated seeds than in non-coated seeds. The iron-coated seeds had a high seedling emergence percentage of 91.3-93.3% at all flooding depths whereas the non-coated seeds had a significantly low seedling emergence percentage of 57.7-71.7% at a water depth of 13 cm. Moreover, the shoot dry weight and seedling health score of iron-coated seeds were significantly higher than those of non-coated seeds, while root dry weights were similar in iron-coated and non-coated seeds, regardless of water depth. These results suggest that iron-coated seeds are more appropriate for stable seedling establishment in direct water seeding than are non-coated seeds.

Keywords : direct water seeding, dry matter, iron-coated seed, seed germination, seedling emergence

농촌 노동력의 고령화와 인구감소에 따른 노동력 부족으로 벼 기계이앙재배와 달리 육묘 및 이앙작업을 생략함으로써 생산비 및 노동력 절감이 되는 직파재배 확대가 필요한 실정이다. 우리나라에서 본격적인 벼 직파재배기술의 보급은 1993년에 시작되어 지금까지 다양한 직파 재배기술을 보급 해오고 있으나 직파 재배면적은 1997년에 벼 재배면적의 11%까지 증가하였다가 입모의 불안정, 잡초 및 잡초성벼 다발생 등의 문제로 재배면적이 점차 감소하여 2015년 현재 4%정도로 정체되고 있는데 주요 원인 중의 하나가 출아 불균일에 의한 입모 불안정이다(Kim *et al.*, 2003; Kim & Park, 2010).

직파재배에서 출아 및 입모의 양부는 후기 벼 수량생산에 중요한 요인이 되므로 출아 및 입모향상기술 개발이 무

엇보다도 중요하다. 벼 직파재배에서 출아촉진을 위하여 종자에 CaO₂ 분의처리(Won *et al.*, 1997; Kim, 2011), GA 처리(Kim *et al.*, 2001) 및 프라이밍처리(Lee *et al.*, 1998; 1999; 2000, Min & Seo, 1999) 등 많은 연구들이 시도되었으나 이들 처리제는 입모향상 효과가 안정적이 못하여 농가에 널리 보급되지는 못하였다. 하지만 최근 벼 무논점파와 담수직파재배에서 입모안정성을 높일 수 있는 방법으로 종자 철분코팅기술 보급을 추진하고 있다. 철분코팅기술은 벼 종자를 3일간 침중하여 꺼낸 후 손에 붙지 않을 정도(0.5~1시간)로 물을 제거 후 철분과 소석고를 일정한 비율로 혼합하여 종자에 코팅시켜 파종하는 기술로서 2004년 일본에서 처음 개발되었고, 이후 직파재배에서 입모향상, 수량 영향 등에 대한 연구를 활발히 해오고 있다. 일본에서

¹)Department of Southern Area Crop Science, NICS, RDA, Miryang 50424, Korea

²)Dankook University, Cheonan 31116, Korea

[†]Corresponding author: Sang-Yeol Kim; (Phone) +82-55-350-1163; (E-mail) kimsy3@korea.kr

<Received 15 December, 2016; Revised 27 February, 2017; Accepted 1 March, 2017>

담수직파 및 무논직파에서 철분코팅 종자를 이용한 시험한 결과를 보면 철분코팅 종자는 무게가 무거워 파종후 출아할 때까지 벼 종자가 논 관개수에 의해 이동되거나 출아후 물위에 뜨는 묘가 적어 입모향상(Yamauchi, 2002; 2004, Furuhashi *et al.*, 2009), 새피해 경감(Furuhashi *et al.*, 2009) 및 수량이 증가 되는 것으로 나타났다. 또한 철분코팅종자는 코팅전 물에 침중하여 발아직전 상태에서 코팅하기 때문에 종자 프라이밍처리와 같이 α -amylase 효소가 활성화되고 종자에서 초엽으로 당의 전류가 증진되어 일반종자를 사용했을 때 보다 건물중이 증가되는(Mori *et al.*, 2012; Lee & Kim, 1999)는 결과를 기대할 수 있다.

한국에서도 2009년부터 철분코팅종자를 이용한 벼 직파 재배기술 보급을 추진하고 있지만 아직 철분코팅종자의 발아 및 출아특성과 수량성 등에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 철분코팅된 찰벼 종자를 이용하여 발아시험 한 결과, 발아율이 무처리에 비해 품종에 따라 2.6~43.2% 정도 향상되었다(Han *et al.*, 2014). 한편 철분코팅 종자를 이용 횡성에서 무논점파로 농가 포장시험 결과, 출아율 및 쌀 수량은 일반종자를 사용한 처리보다 다소 낮았으나(Kwak *et al.*, 2014) 정읍에서는 두 처리간에 쌀수량이 비슷하였고, 진주에서 무인 헬리콥터를 이용하여 담수직파 한 결과는 철분코팅종자가 일반종자보다 수량이 높았다(Park & Yamauchi, 2011) 연구자에 따라서 결과가 다소 차이가 있었다.

철분코팅 벼 종자의 발아특성 및 담수깊이에 따른 초기 입모영향 연구는 담수직파에서 입모안정화 및 수량증진에 영향을 주기 때문에 매우 중요하다. 지금까지 관련 연구로는 풋트에서 0~15 cm까지 담수깊이별 벼 종자의 출아특성 시험 결과, 수심이 깊어짐에 따라 산소농도가 낮아져 발아가 불량하여 입모율이 감소되고(Park *et al.*, 1993), 철분코팅종자를 이용한 포장조건에서 벼 출아특성 및 생산성 비교시험은 일부 보고되어 있으나 철분코팅종자의 발아특성, 종자활력유지 기간 및 담수깊이에 따른 초기 출아 및 입모 영향에 관한 자료가 미흡한 편이다. 본 시험은 담수산파 및 무논점파 직파재배 시 입모 안정성 향상 방법으로 철분코팅종자의 사용에 대한 기초자료를 얻고자 실시하였다.

재료 및 방법

시험재료 및 종자 철분코팅

본시험은 2015년부터 2016년까지 국립식량과학원 남부작물부 및 영덕출장소에서 수행하였다. 시험에 사용한 벼 품종은 전국 및 경북지역에서 많이 재배되고 있는 중생종인 대보벼와 삼덕벼를 2014년 영덕출장소 시험포장에서 증

식하여 수분함량 15% 정도인 종자를 사용하였다.

종자코팅처리는 대보와 삼덕벼 종자를 3일 동안 침중을 (물 온도 15°C) 한 후 최아 전에 건져내어 그늘에 1시간 정도 두었다가 종자가 손에 붙지 않을 정도로 수분을 제거시킨 후 환원철분(입자크기 100 μ m 이하)을 종자 무게에 50%, 소석고($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$)는 철분 무게의 10%로 하여 종자코팅기에 종자와 함께 넣어 3~4분 정도 1차 코팅작업을 한 후, 2차로 소석고(철분 무게의 5%)를 코팅기에 넣고 2분 정도 더 코팅작업을 하였다(Park & Yamauchi, 2011). 코팅작업 시 수분부족을 막기 위하여 작업 중간에 물뿌리개(스프레이)를 이용하여 물을 끌고루 분무하면서 코팅작업을 수행하였다. 그리고 코팅작업 후 철분의 산화로 발열에 따른 종자 유아의 고온열상 피해로 인한 출아불량을 방지하기 위하여 벼 육묘상자의 70~80% 높이로 코팅종자를 담아 다단선반에 치상하고 3일간 매일 오전 1회, 오후 1회 물뿌리개(스프레이)를 이용하여 물을 끌고루 분무하였다. 대조로 사용한 일반종자는 철분코팅종자와 동일한 조건으로 물에 침중시킨 후 건져내어 통풍이 잘되는 그늘에 두어 수분을 제거시킨 후 상온에서 보관하여 사용하였다.

발아시험

발아시험은 온도가 조절되는 발아기(Conviron, Canada)에서 완전임의 배치로 3~4반복으로 실시하였다. 온도 영향을 조사하기 위해 지름이 11 cm인 petridish에 Whatman#1 여과지를 한 장 깔 다음 철분코팅된 대보 및 삼덕벼 종자와 코팅하지 않은 일반종자(대비) 100립씩 넣고 증류수 7 mL를 부은 후 20°C, 25°C 및 30°C 발아기에서 1~2일 간격으로 발아율을 조사하였다. 최종발아율(percent of germination)은 치상 후 10일 후에 조사하였고, 발아속도(germination speed, $\sum(n_i/t_i)$)는 치상 후 일별 발아립수의 총 합계이며, 평균발아일수(mean germination time, $\sum(n_i \cdot t_i) / N$)는 치상 후 일수에 발아립을 곱한 전체 합을 총발아립수로 나눈 값으로 나타내었다(Choi, 1993).

철분코팅 종자의 발아율 및 발아속도에 대한 영향을 구명하기 위해 종자 수분흡수율을 조사하였다. 철분코팅 및 일반종자(대비) 100립을 위와 같이 petridish에 넣은 후 30°C 발아기에서 종자에 수분을 침윤시켰다. 발아기에서 12, 24, 36, 48, 72, 96시간 후에 종자를 꺼내어 종자 표면의 수분을 paper towel로 제거한 다음 90°C 건조기에 5일간 건조시킨 후 무게를 평량하여 계산하였다.

철분코팅종자를 과다신청 및 파종기 일실에 따른 사용 후 남은 종자를 장기간 보관하는 농가가 있어 이에 따른 종자활력 유지기간을 구명하기 위해 대보 및 삼덕벼의 코팅

및 일반종자를 2015년 7월부터 상온 종자창고에 보관해 두고 1개월 마다 1년간 발아율 변화를 조사하였다. 발아시험 조건은 위에서와 같이 30°C 발아기에서 수행하였다.

담수깊이별 출아시험

철분코팅종자의 담수직과 시 담수깊이에 따른 출아 및 초기 입모특성은 국립식량과학원 영덕출장소에서 포트 시험으로 수행하였다. 사각 플라스틱 상자(41×33×22 cm)에 8 cm 높이로 논흙을 채우고 물과 흙을 잘 섞은 후 2일 동안 토양을 균했다. 종자이동을 막기 위해 물높이와 같은 플라스틱판으로 2등분하여 6월 10일에 대보 및 삼덕벼의 철분코팅 및 일반종자(대조) 100립씩 표면에 파종하였고, 파종한 후 담수깊이를 1, 4, 7, 10, 13 cm 4단계 3 cm간격으로 유지하였다. 파종후 20일에 출아율, 입모균일도, 뜬묘비율, 초장, 근장을 조사하였고, 건물중은 지상부 및 뿌리를 분리한 다음 90°C 건조기에 5일동안 건조 시킨 후 무게를 평량하여 측정하였다. 출아율은 파종후 20일에 출아된 개

체수를 파종 립수로 나눈 다음 100을 곱한 값, 입모균일도는 비정상 개체수를 제외한 정상 개체수를 총 출아갯수로 나눈 다음 100을 곱한 값, 모 충실도는 개체 당 지상부 건물중을 초장으로 나눈 값으로 나타내었다. 시험은 완전임의배치 3반복으로 실시하였다.

통계분석

시험성적 분석은 SAS Enterprise Guide 4.3(SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) PC package를 이용하였다. 통계 package로 평균을 구한 후 분산분석(ANOVA), Duncan의 다중검정을 통해 5% 유의수준에서 비교하였다.

결과 및 고찰

온도별 발아특성

철분코팅종자의 온도별 발아율, 발아속도 및 평균발아일은 Fig. 1 및 Table 1에서와 같다. 두 품종 모두 철분코팅

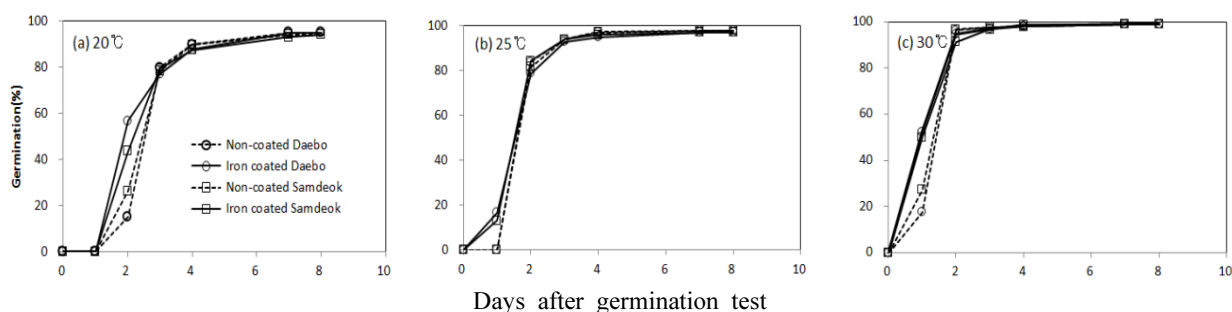


Fig. 1. Time courses of seed germination of iron-coated and non-coated seeds of two rice cultivars at different temperatures.

Table 1. Seed germination percentage, speed, and mean germination time (d) of iron-coated and non-coated seeds of two rice cultivars at different temperatures.

Seed treatment	Temperature (°C)	100-grain weight (g)		Germination percentage (%)		Germination speed		Mean germination days(d)	
		Daebo	Samdeok	Daebo	Samdeok	Daebo	Samdeok	Daebo	Samdeok
Iron-coated	20	3.64a	3.62a	95b	94b	38.8c	36.7c	2.8a	2.9a
	25	3.72a	3.70a	97a	97a	53.2b	52.5b	2.1b	2.0b
	30	3.70a	3.66a	99a	99a	74.7a	73.0a	1.5c	1.6c
	Mean	3.69A	3.66A	97A	97A	55.6A	54.1A	2.2B	2.2B
Non-coated	20	2.50a	2.49a	95b	94b	32.3c	34.0c	3.2a	3.0a
	25	2.45a	2.48a	98a	98a	46.3b	45.9b	2.2b	2.3b
	30	2.50a	2.50a	99a	99a	57.6a	62.5a	1.9c	1.8c
	Mean	2.48B	2.49B	97A	97A	45.4B	47.4B	2.4A	2.4A

*Means with the same letters are not significantly different at the 5% probability level by Duncan's multiple range test. Uppercase letters indicate differences in the means of the two seed treatments; lowercase letters indicate the differences in means at different flooding depths in each seed treatment.

종자가 발아초기 치상 후 1~2일 사이에는 온도에 관계없이 일반종자보다 발아율이 높았으나 후기에는 철분코팅종자와 일반종자의 발아율은 대보 및 삼덕벼 모두 97%로 비슷하였다. 모든 처리에서 20°C에서는 치상 후 2일에, 25°C, 30°C 온도에서는 치상 1일후에 시작되었으며 철분코팅종자의 발아율이 일반종자보다 20°C에서는 18~42%, 25°C에서는 13~17%, 30°C에서는 23~34%가 더 높았다. 그리고 철분코팅종자는 일반종자보다 온도에 관계없이 발아속도가 빨랐고 평균발아일수도 짧았으며 유의차도 있었다. 20°C, 25°C, 30°C 온도에서 코팅종자의 발아속도는 각각 36.7~38.8, 52.5~53.2, 73.0~74.7로 코팅하지 않은 종자의 발아속도보다 빨랐다. 또한 코팅종자의 평균발아일수는 20°C, 25°C, 30°C 온도에서 각각 2.8~2.9일, 2.0~2.1일, 1.5~1.6일로 일반종자의 평균발아일수보다 짧았다. 철분코팅 벼 종자의 발아율이 프라이밍 처리를 하지 않는 일반종자보다 온도에 관계없이 높았다는 결과와 같은 경향이 있었다(Mori *et al.*, 2012, Han *et al.*, 2014).

발아 시 수분흡수율 변화

벼 종자의 발아 시 수분흡수는 침윤 후 20시간 동안 급격히 수분이 증가하고, 호흡과 해당, 전분 가수분해 등이 일어나는 동안 정체했다가 50시간 뒤부터 유어나 유근이 출현하면서 다시 생체중이 증가와 더불어 증가하는 3단계로 진행된다고 한다(He & Yang, 2013). Fig. 2는 대보와 삼덕벼의 철분코팅 및 철분코팅을 하지 않은 일반종자의 30°C 온도에서 치상 후 시간별 수분흡수율을 나타낸 것이다. 수분흡수율은 치상기간에 관계없이 일반종자가 철분코팅종자보다 높았으나 수분흡수 패턴은 두 종자처리에서 비슷하였다. 치상 전 종자수분함량은 일반종자가 12~14%, 철분코팅종자가 11%로 비슷하였고 24시간 후 일반종자는 41~

45%로 철분코팅종자 35%보다 16~18% 높아 치상 후 96시간까지 같은 경향이였다. 철분코팅종자의 수분흡수율이 일반종자보다 낮았던 원인은 종자외부의 철분과 석고 코팅으로 인해 종자전체 무게가 일반종자 보다 증가하였기 때문으로 판단된다. 벼 종자의 수분흡수시간과 발아특성과의 관계를 조사한 결과, 수분흡수시간은 발아율, 발아속도, 평균발아일수와 모두 높은 정의 상관을 보여 초기 수분흡수시간이 빠를수록 발아를 촉진하는 것으로 나타났다(Shon *et al.*, 2013). 하지만 수분흡수율이 일반종자가 코팅종자보다 높았음에도 불구하고 철분코팅종자가 초기 24시간까지 발아속도가 일반종자보다 빠르고 발아율이 높았던 것은 철분코팅 처리 전 벼 종자를 물에 72시간 침종하여 발아직전까지 진행된 종자를 소석고와 철분으로 코팅으로 인해 수분변화가 적어 초기 발아직전 상태가 잘 유지된 반면 일반종자는 철분코팅종자와 같이 침종한 종자를 꺼낸 다음 상온에서 보관시간이 경과함에 따라 종자수분 다소 감소되어 발아가 늦어진 것으로 판단된다. 종자 프라이밍처리는 수분흡수 및 호흡대사에 따른 종자내부의 배가 발아직전 단계까지 발아준비가 진행되어 있어 프라이밍 처리하지 않은 일반종자 보다 빨리 발아 할 수가 있다고 보고하였다(Min & Seo, 1999; Lee *et al.*, 1998; 1999; 2000).

저장기간에 따른 발아율 변화

철분코팅종자와 일반종자의 저장방법 및 기간별 발아율은 Fig. 3과 같다. 저장 1년 후 철분코팅종자의 발아율 저하는 일반종자보다 훨씬 낮았다. 코팅종자를 상온에 보관할 경우 저장 1년후 대보 및 삼덕벼의 발아율은 76~90%로 저장 전 발아율 97~98%보다 15~22%가 낮아졌으나 일반종자는 보관 3~4개월 후 부터 발아율이 급격히 떨어져 1년 후 발아율은 39~43%로 저장 전 발아율보다 56~60%

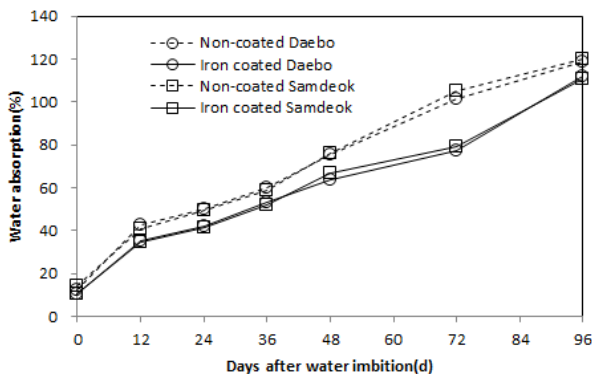


Fig. 2. Time course of water absorption rate of the iron-coated and non-coated seeds of two rice cultivars at 30°C.

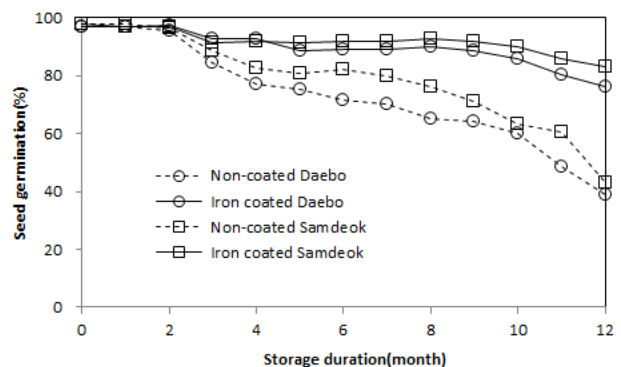


Fig. 3. Seed germination of iron-coated and non-coated seeds of two rice cultivars at different storage durations.

가 낮았다. 이러한 결과는 농가에서 철분코팅종자를 필요 이상 과다 준비하거나 파종기를 일실하여 남은 철분코팅 종자를 보관하고 있을 경우 가급적 제조 후 1년 이내에 사용하는 것이 바람직하며 저장기간이 1년이 경과한 종자는 10a당 추천 파종량 5kg/10a 보다 많은 1.2~1.3배 뿌려야 입모수 확보에 크게 문제가 없다는 것을 의미한다. 이와 같이 철분코팅 종자가 일반종자보다 종자활력이 오래 지속되는 것은 종피를 둘러싸고 있는 철분 및 석고막이 보호막 역할을 해 주기 때문에 온도 및 습도 변화에 영향이 적었을 것으로 판단된다. 또한 철분코팅종자는 코팅한 후 5~6개월 동안 종자활력이 유지되기 때문에 파종하기전 시간적으로 여유가 있는 농한기 때 미리 코팅작업을 해 두는 것도 노동력을 분산시킬 수 있는 방법으로 판단된다. Kanno *et al.* (2015)의 보고에 의하면, 철분코팅종자의 저장온도 및 기간은 5~10°C 저장 시 390일 후의 발아율은 90%로 높았으나 23°C에서는 210일간 저장 후 발아율은 85%정도 이었고, 28°C에서 210일간 저장 후 발아율은 60%로 낮았다는 결과와 비슷하였다.

담수깊이에 따른 출아 및 초기생육

수심 3 cm 간격(1, 4, 7, 10, 13 cm)의 수준에서 철분코팅 및 일반종자의 초기 모 출아율, 입모균일도 및 뜬묘비율

은 Table 2와 같다. 철분코팅한 대보와 삼덕벼의 평균 출아율은 각각 92.4%, 92.6%로 철분코팅을 하지 않은 일반종자의 평균 출아율 72.3%, 83.1%보다 대보는 21.8%, 삼덕벼는 10.3% 높은 유의차를 보였다. 물 깊이별로는 수심 1~13 cm에서 철분코팅종자의 출아율은 대보 90.7~93.7%, 삼덕벼 90.0~94.7%로 담수깊이에 관계없이 비슷한 반면 일반종자의 출아율은 수심 10 cm 깊이까지는 대보 68.7~81.0%, 삼덕은 80.3~91.7%, 13 cm 깊이에서는 각각 57.7%, 71.7%로 코팅종자보다 유의성 있게 낮았다. Park *et al.* (1993)의 직파재배에서 물깊이별 벼 종자 출아율을 조사한 결과, 15 cm이상 수심에서 입모율은 0~7 cm에 비하여 15~16%가 감소하였다는 결과와 비슷한 경향이였다. 정상개체 입모비율을 나타내는 입모균일도도 출아율과 마찬가지로 두 품종에서 코팅종자가 각각 평균 94.6%, 96.3%로서 일반종자 81.1%, 87.6%보다 유의하게 높았다. 또한 물에 뜬묘비율은 코팅종자에서 3%이하로 일반종자는 6~23%보다 현저하게 줄어들어 유의차를 보였다.

이와 같이 철분코팅종자가 일반종자에 비해 깊은 수심에도 출아율 및 입모균일도가 높고, 물에 뜬묘비율이 낮은 것은 종자에 철분 및 석고코팅으로 인해 100립당 종자무게가 3.66~3.69 g으로 일반종자보다 1.5배 더 무겁게 되어 담수 직파 또는 무논직파 시 종자가 논바닥에 쉽게 부착되거나

Table 2. Seedling emergence percentage of iron-coated and non-coated seeds of two rice cultivars at different flooding depths 20 d after seeding.

Seed treatment	Flooding depth (cm)	Seedling emergence (%)		Seedling uniformity (%)		Seedling floating (%)	
		Daebo	Samdeok	Daebo	Samdeok	Daebo	Samdeok
Iron-coated	1	92.7a	90.0a	92.2b	92.2b	0a	0a
	4	93.7a	93.3a	96.7a	95.4ab	3a	3a
	7	90.7a	94.7a	97.1a	96.1ab	0a	1a
	10	93.0a	93.7a	99.3a	98.6a	0a	0a
	13	92.0a	91.3a	87.4c	99.3a	0a	0a
	Mean	92.4A	92.6A	94.6A	96.3A	1B	1B
Non-coated	1	80.7a	85.3ab	75.0b	90.1ab	0b	0b
	4	81.0a	91.7a	78.6ab	82.1c	6b	10ab
	7	73.7ab	86.7ab	83.7ab	85.7bc	23a	19a
	10	68.7b	80.3ab	80.1ab	88.1abc	12ab	21a
	13	57.7c	71.7b	87.9a	92.5a	11ab	18a
	Mean	72.3B	83.1B	81.1B	87.6B	10A	13A

*Means with the same letters are not significantly different at the 5% probability level by Duncan's multiple range test. Uppercase letters indicate differences in the means of the two seed treatments; lowercase letters indicate the differences in means at different flooding depths in each seed treatment.

관개 시 이동하거나 뜨지 않아서 출아율이 높고, 뿌리활착이 양호하여 초기 입모에 유리하다는 것을 나타낸다. Yamauchi(2004)의 보고에 의하면, 철분코팅종자의 경우 담수직파재배에서 논 씨레질 5~6일 후에 파종하여도 초기 입모에는 문제가 없었으나 코팅을 하지 않은 일반종자를 이시기에 파종한 결과 뿌리를 내리지 못하고 뜨는 종자의 비율이 높아 입모가 불량하였다는 결과와 같은 경향이었다.

Table 3에서와 같이 파종 후 20일 묘의 평균 초장은 철분코팅종자에서 대보 22.5 cm, 삼덕벼 25.0 cm, 일반종자는 각각 23.6 cm, 25.3 cm 이었고, 평균 뿌리 길이는 코팅종자는 대보 12.9 cm, 삼덕벼 12.8 cm, 일반종자에서 대보와 삼덕벼 모두 14.8 cm로 코팅종자와 일반종자 간에 서로 비슷하였다. 담수 1 cm 깊이에서 초장은 18.8~22.7 cm이었으나 13 cm 물깊이에서는 27.1~29.3 cm로 두 종자 모두 담수심이 깊어질수록 초장은 유의하게 깊어졌다. 담수심이 깊어질수록 용존산소와 빛 광투과량이 줄어들어 모가 길어지고 연약하게 자라기 때문이다(Park *et al.*, 1993).

지상부 건물중은 철분코팅종자에서 상자당 각각 대보 17.1 g, 삼덕벼 23.6 g으로 일반종자의 평균 건물중 12.1 g, 17.5 g보다 각각 대보 41%, 삼덕벼 35% 유의한 증가를 보였다. 담수심별로는 대보벼는 철분코팅종자와 일반종자 모두 유의차가 있었으나 삼덕벼는 유의차는 인정되지 않았다.

또한 뿌리무게도 종자종류 및 담수깊이 간 유의차가 인정되지 않았다. 건물중에 대한 초장비로 나타낸 모 충실도를 보면 철분코팅종자의 경우 평균 1.58 mg/cm, 1.63 mg/cm로 일반종자에서 1.12 mg/cm, 1.26 mg/cm보다 유의하게 높은 반면 담수심별는 삼덕벼 일반종자를 제외하고는 코팅종자 및 일반종자 모두 비슷하였다. 따라서 담수직파에서 철분코팅종자는 프라이밍처리를 하지 않은 일반종자 보다 파종후 2일과 10일 사이의 출아율도 높았고, 지상부 건물중도 더 무거웠다는 결과와 같은 경향이었다(Furuhat *et al.*, 2009; Mori *et al.*, 2012).

이상의 결과를 종합 해 볼 때, 철분코팅종자의 경우 담수직파재배에서 출아율, 입모균일성이 높고 뜬묘발생이 적어 지상부 건물중 및 모충실도가 높아 초기입모확보에 일반종자보다 유리하다는 것을 알 수 있었다. 하지만 철분코팅종자의 담수조건에서 초기 입모 및 생육촉진이 벼 전생육기를 통한 생육 및 수량에 미치는 영향은 추후 포장시험을 통해 더 면밀한 검토가 필요하다.

적 요

본 연구는 벼 무논 및 담수직파 시 입모향상을 위해 철분코팅종자와 일반종자에 대한 발아특성 및 담수깊이에 따른

Table 3. Seedling growth and dry weight of iron-coated and non-coated seeds of two rice cultivars at different flooding depths 20 d after seeding.

Seed treatment	Flooding depth (cm)	Shoot length (cm)		Root length (cm)		Shoot weight (g/tray)		Root weight (g/tray)		Seedling healthy score (mg/cm)	
		Daebo	Samdeok	Daebo	Samdeok	Daebo	Samdeok	Daebo	Samdeok	Daebo	Samdeok
Iron-coated	1	18.8c	22.5c	11.7a	11.7a	14.6b	22.7a	9.1a	11.8a	1.70a	1.67a
	4	19.8bc	22.9c	12.5a	12.4a	17.4ab	24.3a	9.9a	12.4a	1.60a	1.60a
	7	22.1b	25.1bc	12.4a	14.0a	16.8ab	21.6a	10.5a	9.7a	1.56a	1.63a
	10	24.8a	26.3ab	13.7a	13.3a	16.5ab	22.5a	8.2a	9.9a	1.51a	1.64a
	13	27.1a	28.2a	14.0a	12.4a	18.3a	22.7a	8.9a	10.1a	1.53a	1.60a
	Mean	22.5A	25.0A	12.9A	12.8A	17.1A	23.6A	9.4A	10.8A	1.58A	1.63A
Non-coated	1	19.2d	22.7b	12.7c	14.8a	11.7ab	15.8b	7.7a	9.2a	1.25ab	1.28a
	4	21.1c	22.2b	13.5bc	13.1a	14.4a	18.9a	9.1a	9.4a	1.38a	1.38a
	7	23.7b	24.7b	16.4a	15.9a	13.1ab	19.4a	6.8ab	10.0a	1.13bc	1.37a
	10	26.5a	27.6a	16.0a	15.8a	11.2ab	16.8b	5.1b	8.4a	0.90d	1.14a
	13	27.5a	29.3a	15.5ab	14.2a	10.2 b	16.7b	5.1b	7.8a	0.95dc	1.15a
	Mean	23.6A	25.3A	14.8A	14.8A	12.1B	17.5B	6.8B	9.0A	1.12B	1.26B

*Means with the same letters are not significantly different at the 5% probability level by Duncan's multiple range test. Uppercase letters indicate the difference in the means of the two seed treatments; lowercase letters indicate the differences at different flooding depths in each seed treatment.

초기 입모영향을 구명한 결과를 요약하면 다음과 같다. 철분코팅종자는 일반종자보다 발아초기에는 발아율이 높았으나 후기에는 일반종자의 발아율과 비슷하였다. 그 결과 철분코팅종자가 일반종자에 비해 발아속도가 빠르고 평균 발아일수가 짧았다. 철분코팅종자를 상온종자창고에 보관 시 1년이 지난 후 발아율은 보관당시보다 15.3~21.6% 감소되어 가능한 철분코팅 종자는 1년 이내에 사용하는 것이 바람직하였다. 또한 담수직파조건에서 철분코팅 종자는 일반종자에 비해 깊은 수심에도 출아율이 높고, 뜬모비율도 낮을 뿐만 아니라 모 충실도가 높아 담수직파 시 철분코팅 종자를 사용하는 것이 초기입모를 향상시킬 수 있는 방법이 될 수 있다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(세부과제번호: PJ01126503)의 지원에 의해 이루어진 것임

인용문헌(REFERENCES)

- Choi, B. H. 1993. Seed Biology. Seoul. Hyangmunsa. pp. 152.
- Furuhata, 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.
- 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. *Proceeding of Korean Society of Crop Science Conference.* 151pp.
- He, D. and P. Yang. 2013. Proteomics of rice seed germination. *Frontiers in Plant Science* 246(4):1-9.
- Kanno, H., H. Shiratsuchi, S. Sasaki, and K. Makihara. 2015. Influence of the storage duration of the seed on germination and seedling establishment in direct seeding with iron coated rice seeds. *Tohoku J. Crop Sci.* 58:27-28.
- Kim, Y. S. 2011. A study on improvement of direct seeded rice with seed coating technology. Ph.D. Thesis in Graduate School of Kongju National University. 108pp.
- Kim, J. H., S. T. Park, H. P. Moon, S. S. Lee, and D. W. Lee. 2001. Effect of emergence and seedling growth to seed osmoconditioning and GA treatment in direct seeding on dry paddy. *Proceeding of Korean Society of Crop Science Conference* pp. 118-119.
- Kim, S. Y. and S. T. Park. 2010. Introduction to Direct Seeding Rice Cultivation Technology. Rural Development Administration. 201pp.
- Kim, Y. G., K. P. Hong, and W. K. Joung. 2003. Effect of pellet material on seed germination in rice. *Proceeding of Annual Report of Gyeongsangnam-do Agricultural Research and Extension Services.* pp. 38-42.
- 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. *Proceeding of Korean Society of Crop Science Conference.* 78pp.
- 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.
- 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.
- Lee, S. S., J. H. Kim, S. B. Hong, M. K. Kim, and E. H. Park. 1998. Optimum water potential, temperature, and duration for priming of rice seeds. *Korean J. Crop Sci.* 43(1):1-5.
- 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 Society of Crop Science Conference.* pp. 176-177.
- Mori, S., H. Fujimoto, S. Watanabe, G. Ishioka, A. Okabe, M. 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.
- Park, K. H. and M. Yamauchi. 2011. Evaluation of direct seeding method for rice using iron coated seeds in Korea. *Jpn. J. Crop Sci.* 80(supl 1):502-503.
- 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.
- Shon, J. Y., C. K. Lee, W. H. Yang, Y. H. Yoon, N. J. Chung, C. K. Kim, B. K. Kim, and K. J. Choi. 2013. Effect of water uptake rate on germination characteristics of waxy rice seeds and guaiacol peroxidase activity during early imbibition. *Korean J. Crop Sci.* 58(4):416-423.
- 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.
- 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.
- 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.* pp. 209-211.