

벼 종자소독 전 침중에 따른 소독효과 및 효율성 향상

윤여태^{1,†} · 정종태² · 김규철¹ · 김병련³

Improving Efficiency and Effectiveness of Disinfection by Soaking Seeds before Rice Seed Disinfection

Yeotae Yun^{1,†}, Chongtae Chung², Gyucheol Kim¹, and Byungryun Kim³

ABSTRACT Seed disinfection is a necessary process to decrease Bakanae disease in rice and is carried out at 30°C to increase disinfection efficiency. However, the length of sprout after seed disinfection is not suitable for sowing, so additional processes such as seed soaking is needed. For this reason, this study was conducted to develop the efficient and effective seed disinfection method. When the seed disinfection finished after soaking seeds in cold water for 2 days, length of sprout was about 1.0 mm and sowing can be done without additional processes. In addition, the incidence of Bakanae disease was greatly reduced by 64% compared to conventional method. In order to find out why the newly developed method (disinfection after soaking) is more efficient than conventional method, soaked and not soaked seeds were stained using methylene blue staining. It was found that soaked seeds were more easily stained with about 50% of internal and external endosperm stained. Therefore, pesticide can be absorbed easily into internal endosperm of soaked seeds and efficiently destroy the spore of pathogen. As a results of this study, newly developed method will be useful as it can improve efficiency of agricultural work and also effectively decrease Bakanae disease compared to conventional method.

Keywords : bakanae disease, rice, seed disinfection, seed soaking

벼 키다리병은 도열병, 깨씨무늬병, 세균성벼알마름병, 벼 잎선충 등과 함께 종자로 전염되는 병으로 종자소독을 소홀히 하면 못자리 상태에서 모가 도장하고, 감염된 모를 본답에 이양하면 수량이 감소하고 품질이 저하되므로 철저한 방제가 필요하다(Kim *et al.*, 1981; Kim *et al.*, 2008). 종자소독을 위한 Prochloraz 등 효과가 우수한 종자소독제가 개발되면서 벼 키다리병은 농업현장에서 크게 문제가 되지 않았다(Park *et al.*, 2003; Shin *et al.*, 2008a). 하지만 지속적인 Prochloraz 사용에 따라 키다리병 발생이 급격히 증가하게 되었고 2006년에는 전국 28.8%의 필지에서 키다리병이 발생한 것으로 보고하였다(Han, 2007). Shin *et al.* (2008b)

과 Lee *et al.* (2010)은 Prochloraz, Tebuconazole, Benomyl 등의 성분에 저항성을 나타내는 키다리병 균주를 발견하였고, 키다리병 방제의 효율성을 높이기 위해 Prochloraz와 작용기작이 다르면서 포자 발아 억제력이 탁월한 Fludioxonil 과의 혼용침지가 개발되었다(Park *et al.*, 2009). 또한 종자소독 시 수온을 30-35°C로 유지하는 고온소독법이 키다리병 방제효과가 우수하다는 연구결과(Park *et al.*, 2003; Park *et al.*, 2009)가 발표되었고, 농촌진흥기관에서는 키다리병 방제효과를 높이기 위해 고온에서 약제를 혼용하여 소독하는 방법을 권장하고 있다. 하지만 종자소독을 마친 유아의 길이는 파종하기에 짧아 유아의 길이가 1 mm 내외가 되도

¹충청남도농업기술원 작물연구과 농업연구사 (Scientist, Crop Research Division, Chungcheongnamdo Agricultural Research and Extension Services, Yesan 340861, Republic of Korea)

²충청남도농업기술원 작물연구과 농업연구관 (Senior Scientist, Crop Research Division, Chungcheongnamdo Agricultural Research and Extension Services, Yesan 340861, Republic of Korea)

³충청남도농업기술원 친환경농업과 농업연구사 (Scientist, Eco-friendly Agriculture Division, Chungcheongnamdo Agricultural Research and Extension Services, Yesan 340861, Republic of Korea)

†Corresponding author: Yeotae Yun; (Phone) +82-41-635-6042; (E-mail) yotai@korea.kr

<Received 20 July, 2022; Revised 11 August, 2022; Accepted 12 August, 2022>

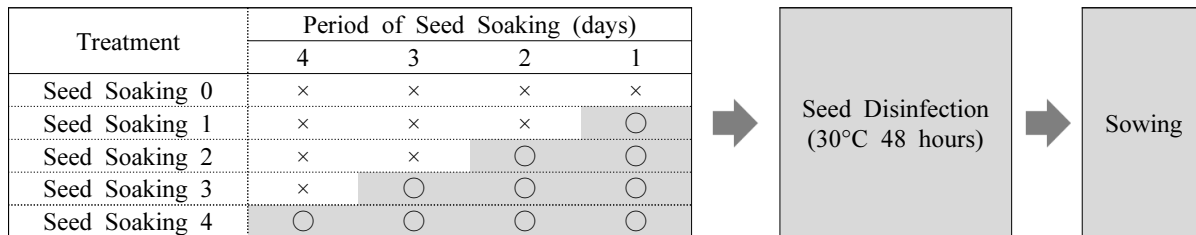


Fig. 1. Process of seed disinfection methods according to period of seed soaking.

록 품종별로 추가적인 침종작업을 수행하고 있다(CNARES, 2007).

키다리병은 품종에 따라 발병 정도가 다르고, 종자소독 약에 따라서도 종자소독 효과가 다르게 나타나기도 하며 (Park *et al.*, 2003), 고온에서 약제혼용침지를 준수하여도 육묘상과 본답에서 키다리병이 발생하고 있다(Park *et al.*, 2008). 키다리병을 가장 효과적으로 방제하는 방법은 키다리병 저항성 품종을 재배하는 것이지만(Park *et al.*, 2003), 현재까지 키다리병에 완벽한 저항성 품종은 개발되지 않았기 때문에 기존의 약제를 활용하여 효과적으로 건강한 모를 생산할 수 있는 종자소독 방법 개발이 필요하다.

따라서 본 연구는 벼 종자를 고온에서 소독 후 즉시 파종할 수 있는 조건을 찾아 농작업의 효율성을 높이고 키다리병 방제효과를 향상시킬 수 있는 종자소독방법을 개발하고자 수행하게 되었다.

재료 및 방법

실험용 종자

2013년 충남 예산군 신암면 농가 포장 중 키다리병이 발생이 심한 논에서 종자를 채취하였고 키다리병균 감염률이 35%인 호품 품종으로 확인되었다. 감염률검정은 채취한 종자를 1% 차아염소산나트륨과 70% Ethanol을 이용하여 표면 소독을 한 뒤, 살균수로 2회 세척 후 물한천배지(Water 1 L : Agar 20 g)에 치상하여 25°C 배양기에서 5일간 배양하였고 식물체 위에 형성된 키다리병균의 단포자 사슬을 현미경으로 확인하여 감염 여부를 평가하였다. 품종검정은 농산물품질관리원에서 개발한 단일염기다형성 분자마커(R0710, 코젠바이오텍)를 이용하여 검정하였다. 키다리병에 감염된 호품 종자는 침종조건 및 약제별 묘소질 조사와 키다리병 경감효과를 위한 실험을 위해 2014년 사용하였고, 품종별 침종 후 종자소독에 따른 묘소질은 충남농업기술원 벼 품종전시포에서 2013년 채종한 종자를 2014년 사용하였다.

침종수온 및 대기온도 측정

4개의 플라스틱 상자(NSN 111, 엔피씨)에 수돗물 10L와 종자소독 망에 담은 호품 종자 1 kg을 각각 넣고 햇볕이 없는 응달에 비치 후 SMART button (SKU:01-0180, ACR, USA)을 이용하여 침종 수온과 대기 온도를 2014년 4월 13일부터 20일까지 30분 간격으로 세팅 후 온도를 측정하였고, TrendReader for SmartButton (ACR, USA) 프로그램을 이용하여 데이터를 얻었다.

침종 수온 및 기간에 따른 묘소질

침종 수온 및 기간에 따른 유아의 길이와 묘소질을 조사하기 위해, 2 L 용량의 플라스틱 비이커에 1.5 L의 물을 담아 0°C, 15°C, 20°C로 설정된 4챔버 프로그램 다실배양기(JSMI04C, JSR)에 넣었다. 500립의 등숙이 양호한 호품 종자를 선별하여 다시백(티앤씨일렉트로닉스, 115 × 95 mm)에 담은 뒤 수온이 설정한 온도에 도달한 후 종자소독일을 기준으로 4일 전, 3일 전, 2일 전, 1일 전 각각 침종처리 하였고 침종처리 하지 않은 종자와 종자소독(Prochloraz + Fludioxonil)은 동시에 진행하였다(Fig. 1). 종자소독 수조(NSN 111, 엔피씨)의 수온을 30°C로 유지하기 위해 시중에서 판매하는 기포발생기(BT-6500, 필그린)와 수조히터(PH-300, 필그린)를 설치하였고, 종자소독을 마친 후 처리구별 20립의 유아 길이를 버니어캘리퍼스(500-182, Mitutoyo, Japan)로 측정하였다. 소독된 종자는 육묘용 50구 트레이에 증경량상토(20 L, 천하일품)를 넣고 구당 30립씩 5구에 파종 후 이동식출아기(153C, 남진농기)로 30°C에서 3일간 처리 후 출아가 완료된 트레이를 다목적 온실에서 약 3주간 관리 후 농촌진흥청 농업과학기술 연구조사분석기준(RDA, 2012)에 따라 묘소질을 조사하였다.

종자소독약제별 침종 후 소독에 따른 묘소질

종자소독 약제별 침종 후 소독에 따른 묘소질을 조사하기 위해 등숙이 양호한 호품 종자를 500립씩 선별하여 다시백(티앤씨일렉트로닉스, 115 × 95 mm)에 넣은 뒤 찬물에 2일간 침종처리 하였다. 종자소독 수조(NSN 111, 엔피

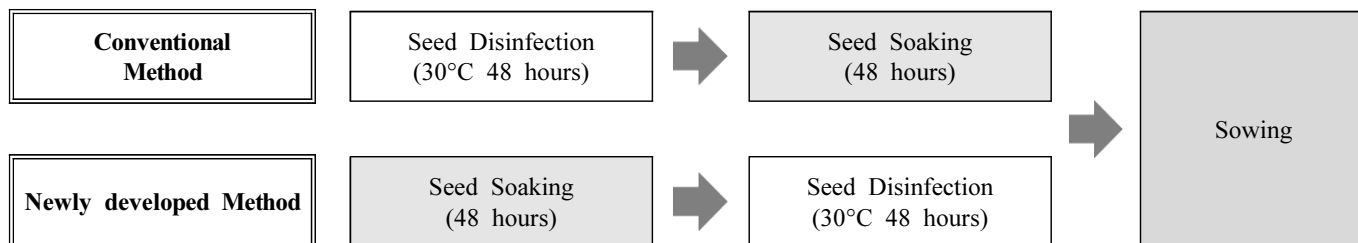


Fig. 2. Process comparison of rice seed disinfection methods.

씨)에 7가지 약제별(Prochloraz + Fludioxonil, Prochloraz + Tebuconazole + Prochloraz copper chloride, Tebuconazole + Prochloraz copper chloride, Prochloraz + Thiophanate-methyl + Triflumizole, Thiophanate-methyl + Triflumizole, Prochloraz + Ipconazole, Ipconazole) 희석배수에 맞게 소독약을 넣고 대조구는 소독약 없이 30°C로 온도를 설정하였다. 수온이 설정한 온도에 도달한 뒤 2일간 찬물에서 침종한 호품 종자를 48시간 소독하였고 파종, 출아, 육묘는 침종조건 실험과 동일한 방법으로 수행하였다. 종자소독 약제별 관행과 새로운 소독방법의 묘소질과 키다리병 방제효과를 비교하기 위해 충남에서 가장 많이 사용하는 3가지 소독약(Prochloraz + Fludioxonil, Tebuconazole + Prochloraz copper chloride, Ipconazole)에 대해 추가적인 실험을 진행하였다. 키다리병 발생 모의 판단은 모가 이상 신장하여 도장하거나 연녹색을 띠면서 1본엽과 2본엽 사이가 45° 이상 벌어진 모를 키다리병 발생 된 모로 조사하였다.

품종별 침종 후 소독에 따른 묘소질

충남지역에서 가장 많이 재배되는 10가지 품종(삼광, 새누리, 운광, 친농, 대보, 미품, 하이아미, 조평, 호품, 동진찰)에 대하여 침종 후 소독에 따른 묘소질을 조사하기 위해, 등숙이 양호한 500립씩 선별하여 다시백(티앤씨일렉트로닉스, 115 × 95 mm)에 넣은 뒤 찬물에 2일간 침종처리한 종자와 침종처리 하지 않은 종자를 시험에 사용하였다. 종자소독, 파종, 출아, 육묘는 침종조건 실험과 동일한 방법으로 수행하였다.

침종 후 소독에 따른 키다리병 경감효과 검증

종자소독 전 침종에 따른 키다리병 방제효과를 조사하기 위해 농가에서 채취한 호품 종자를 150g씩 정량하여 종자소독망에 담아 Fig. 2의 종자소독방법 절차에 따라 관행방법(Prochloraz와 Fludioxonil을 2,000배액으로 희석한 혼합액에 종자를 30°C에서 48시간을 소독한 후 2일간 침종 후 파종)과 새로운 방법(종자를 2일간 침종 후 Prochloraz와 Fludioxonil을 2,000배액으로 희석한 혼합액에 30°C에서

48시간을 소독 후 파종)으로 종자소독을 진행하였다. 두 처리를 동일한 환경조건에서 육묘하기 위해 파종은 동시에 수행하였고, 이동식 출아기(153C, 남진농기)를 이용하여 30°C에서 72시간 처리한 뒤 다목적 온실에서 약 3주간 육묘한 후 상자별 키다리병이 발생된 모의 갯수와 묘소질을 조사하였다.

종자소독 방법별 종자 내부로의 소독약 침투

종자소독 전 침종과정이 종자 내부로의 소독약 흡수에 영향을 미치는지 간접적으로 확인하기 위하여 2일간 찬물에 침종시킨 종자와 침종처리 하지 않은 종자를 소독약 대신 30°C로 온도를 맞춘 메틸렌블루(Methylene Blue, Sigma-Aldrich) 염색약에서 24시간을 침종하였다. 침종을 마친 종자는 왕겨층을 벗겨 현미의 외관과 횡단면을 실체현미경(Leica M80)과 현미경 카메라(Leica DFC550)를 이용하여 관찰하였다.

통계분석

통계분석을 위해 SPSS 통계프로그램(IBM SPSS Statistics Version 20, USA)을 사용하였으며, 본 실험의 모든 형질의 값은 3반복으로 조사되었다. 관행과 새로운 소독방법 간 묘소질을 비교하기 위해 *t-test*를 진행하였고, 품종 및 소독약제별 비교는 분산분석(ANOVA: analysis of variance) 후 덩컨 다중범위검정(DMRT: Duncan’s multiple range test)을 실시하여 5% 유의수준에서 평균값을 비교하였다.

결과 및 고찰

종자침종시 물 온도변화

종자를 찬물에 침종시 수온의 변화를 조사하기 위해, 2014년 4월 13일부터 4월 20일까지 종자를 침종한 물과 대기온도를 스마트버튼을 이용하여 30분 간격으로 측정하였다. 대기의 평균온도는 13.2°C±5.0로 최저 5.1°C에서 최고 24.2°C로 변화의 폭이 컸지만, 종자를 침종한 물의 평균온도는 12.7°C±0.4로 최저 11.6°C에서 최고 13.8°C로 온도변화가 크지 않은 것으로 나타났다(Fig. 3).

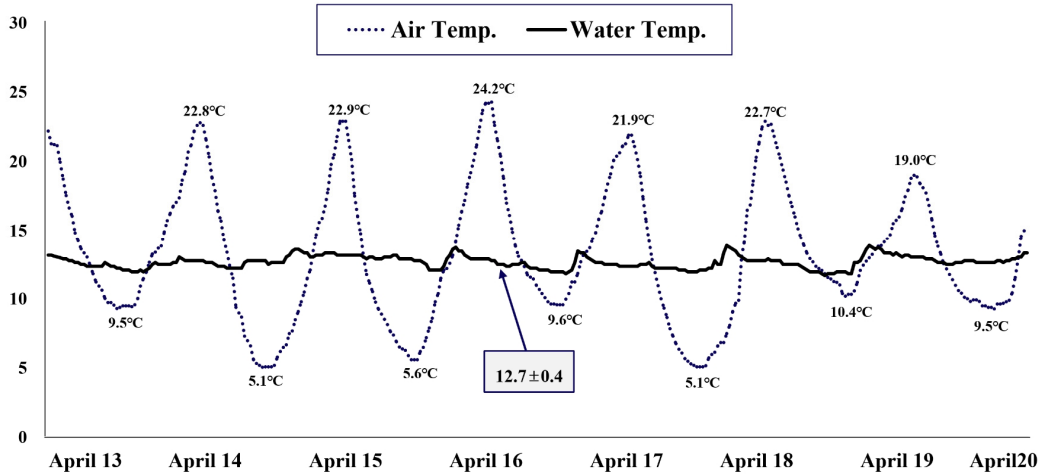


Fig. 3. Change in Temperature of air and soaking water in shade.

Table 1. Seed quality according to the water temperature and period of seed soaking.

Water temperature of seed soaking	Period of seed soaking (days)	Plant height (cm)	No. of leaves	Sound seedling ratio (%)	Dry weight (mg/plant)	Length of sprout (mm)
10°C	0	16.4a ²⁾	4.0c	96.7a	29.3a	0.06e
	1	15.9ab	4.1b	97.3a	28.4ab	0.42d
	2	15.6b	4.1b	96.0a	27.9ab	0.96c
	3	15.1c	4.1b	96.7a	27.2b	1.54b
	4	14.4d	4.2a	96.0a	27.4b	2.42a
15°C	0	16.3a	4.0b	97.3a	29.5a	0.07e
	1	15.9b	4.0b	97.3a	28.1b	0.84d
	2	15.8b	4.1ab	96.7a	27.0c	1.53c
	3	15.2c	4.2a	97.7a	27.4bc	2.97b
	4	14.5d	4.2a	96.7a	27.5bc	4.32a
20°C	0	16.4a	4.0b	96.7a	29.2a	0.07e
	1	15.6b	4.1ab	98.7a	27.4b	3.21d
	2	15.4b	4.2a	96.7a	26.5c	4.71c
	3	14.9c	4.2a	96.0a	27.3b	5.40b
	4	14.0d	4.3a	95.5a	26.8c	6.97a

²⁾ Numbers followed by the same letter in each column are not significantly different based on Duncan's multiple range at $P < 0.05$

침중온도 및 침중일수에 따른 묘소질

일반적으로 종자소독을 마친 종자는 파종하기 적당한 유아의 길이가 되지 않아 종자소독 후 품종별로 침중기간과 온도를 달리하여 추가적인 농작업을 하고 있다(CNARES, 2007). 따라서 종자소독 전 침중작업을 미리 수행하여 종자소독 후 품종에 상관없이 즉시 파종할 수 있는 침중조건을 구명함으로써 농작업의 효율성을 향상시키고자 침중시 수온 및 침중일수에 따른 유아의 길이와 묘소질을 조사하였

고 그 결과는 Table 1에 정리하였다.

침중 조건별 종자소독이 완료된 즉시 유아의 길이를 조사한 자료를 보면, 침중기간이 길고 침중온도가 높아질수록 유아의 길이가 길어지는 경향을 보였다. 일반적으로 종자소독시 추천하는 파종에 적당한 유아의 길이는 1 mm 내외로, 10-15°C의 물의 온도에서 1-2일 침중 후 종자소독하면 추가적인 침중기간 없이 파종하기 적당한 크기의 유아의 길이가 됨을 알 수 있었다. 하지만 15°C에서 침중기간

이 3일을 경과되거나 20°C에서 1일 이상 침중시에는 유아의 길이가 3 mm 정도로 길어져 파종작업시 유아의 손상을 초래하여 성묘율이 떨어질 수 있으므로(CNARES, 2010) 유아가 과다하게 성장할 수 있는 침중조건은 피해야 할 것이다. 침중 조건에 따른 묘소질을 조사한 결과를 보면, 침중일수가 길어짐에 따라 유아의 길이와는 반대로 초장은 짧아지는 경향을 보였으며 엽수는 약간 늘어났고 성묘율은 처리간 큰 차이가 없었다. 모의 건물중은 침중기간 없이 종자 소독한 처리에서 무게가 높은 경향을 보였다.

소독약제 및 침중기간에 따른 싹의 길이

Fig. 4는 침중기간에 따른 소독약제별로 침중 후 소독시 유아의 길이를 조사한 결과이다. 침중일수가 늘어남에 따라 종자소독 약제별로 약간의 차이는 발생하였지만 유아의 길이가 계속해서 늘어남을 알 수 있었고, PF (Prochloraz + Fludioxonil) 처리구는 모든 침중기간에서 가장 유아의 길이가 긴 경향을 보였다. 일반적으로 권장하는 1 mm 내외의 싹의 길이를 기준으로 판단할 때 모든 처리구에서 침중 2일 후 종자소독을 진행하면 파종하기 적당한 유아의 길이가 되었다. 따라서 종자를 찬물에 2일간 침중 후 종자소독을 하면 즉시 파종이 가능하므로 농작업의 효율성을 높일 수 있을 것으로 판단할 수 있다.

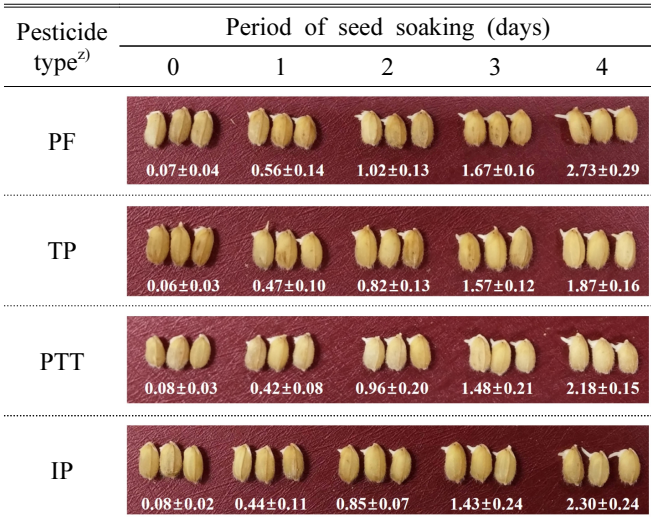


Fig. 4. Length of sprout according to period of seed soaking days and pesticide types. Length of sprout was measured immediately after seed disinfection.

²⁾ PF: Prochloraz (25%) + Fludioxonil (20%), TP: Tebuconazole (12.5%) + Prochloraz copper chloride (12.5%), PTT: Prochloraz (25%) + Thiophanate-methyl (45%) + Triflumizole (15%), IP: Ipconazole (8%).

소독약제별 침중 후 소독에 따른 묘소질

침중 후 소독방법시 소독약제 처리에 따른 묘소질을 조사하기 위해 찬물에서 2일간 침중한 종자를 7가지 약제소독과 무소독 처리 뒤 약 3주간 육묘 후 묘소질을 조사하여 정리하였다(Fig. 5).

시험처리 중 TT와 NP에서 초장의 길이가 각각 20.1 cm와 20.8 cm로 가장 큰 경향을 보였으며 건물중도 31.1 mg/plant, 32.4 mg/plant로 가장 무거운 것으로 나타났다. 하지만 Tebuconazole과 Prochloraz copper chloride 농약성분이 들어간 PTP와 TP의 초장은 각각 13.9 cm, 14.3 cm로 모든 처리 중 가장 작았고 건물중도 가장 가벼웠다. 성묘율 조사한 결과를 보면 대부분의 처리구가 90% 이상의 양호한 결과를 보였지만, PTP와 TP는 보급종 발아율 기준인 85%보다 약간 높은 87.3%와 88.7% 수준이었다. 약제별 묘소질 조사결과를 종합적으로 판단해볼 때 Tebuconazole과 Prochloraz copper chloride 농약성분이 들어간 처리구는 초장이 짧아지고 성묘율이 낮아지는 결과를 보였기 때문에 추가적인 실험을 진행하여 침중 후 소독이 특정 농약성분에 따라 식물체에 영향을 미치는지 확인이 필요하였다. 따라서 Tebuconazole과 Prochloraz copper chloride 농약성분을 포함한 충남지역에서 가장 많이 사용하는 3가지 종자소독 약제별로 관행과 새로운 소독방법으로 처리 후 비교하였다(Fig. 6).

실험결과 침중 후에 소독하는 새로운 방법이 관행소독 대비 초장은 약제별로 1.6-9.6% 짧아지고 성묘율은 차이가 없으면서 키다리병 발생율은 줄었다. 벼 키다리병 발생과 관련된 기존 연구결과에서 방제효과가 높은 처리구의 모초장이 짧아지는 경향을 보였는데(Kang *et al.*, 2017; Kim *et al.*, 2008), 본 연구의 침중 후 소독 처리구에서도 초장이 짧아지고 키다리병 발생율도 줄어드는 동일한 결과를 보였다. 또한 TP 처리구의 두 가지 종자소독 방법은 PF와 TT 대비 초장이 짧고 성묘율이 낮았는데, TP 처리구의 두 가지 소독방법 간에는 차이가 없었기 때문에 침중처리에 따른 문제점이 아닌 농약성분(Tebuconazole + Prochloraz copper chloride)에 따른 식물체의 반응으로 판단할 수 있다. 따라서 48시간 침중처리 후 종자소독을 하면, 시험에 사용된 모든 약제처리에서 유아의 길이가 파종하기 적당한 1 mm 내외의 길이가 되었고 성묘율은 관행 소독방법과 차이가 없으면서 키다리병 발생량은 줄어들었다.

품종별 침중 후 소독방법에 따른 묘소질

침중 후 소독과정이 벼 품종에 따라 영향을 미치는지 조사하기 위하여, 충남지역에서 장려품종으로 재배되는 10품

Picture of rice seedling



Pesticide types ²⁾	PF	PTP	TP	PTT	TT	PI	IP	NP
Plant height (cm)	15.8c ^{y)}	13.9e	14.3e	15.9c	20.1b	15.0d	15.2cd	20.8a
No. of leaves	4.5b	4.8a	4.9a	4.7ab	4.3c	4.8a	4.6b	4.2c
Sound seedling ratio (%)	96.7a	87.3c	88.7c	95.6a	96.7a	96.0a	93.3b	95.6a
Dry weight (mg/plant)	28.2b	26.7c	26.5c	27.9b	31.1a	27.6bc	27.3bc	32.4a

Fig. 5. Comparison of rice seedling according to pesticide types. Seeds were soaked in cold water for 2 days before seed disinfection, and then seedling traits were investigated 3 weeks after sowing. The table under the picture represents rice seedling quality according to pesticide types.

²⁾ **PF:** Prochloraz (25%) + Fludioxonil (20%), **PTP:** Prochloraz (25%) + Tebuconazole (12.5%) + Prochloraz copper chloride (12.5%), **TP:** Tebuconazole (12.5%) + Prochloraz copper chloride (12.5%), **PTT:** Prochloraz (25%) + Thiophanate-methyl (45%) + Triflumizole (15%), **TT:** Thiophanate-methyl (45%) + Triflumizole (15%), **PI:** Prochloraz (25%) + Ipconazole (8%), **IP:** Ipconazole (8%), **NP:** No Pesticide.

^{y)} Numbers followed by the same letter in each column are not significantly different based on Duncan's multiple range at $P < 0.05$

종을 관행 방법(소독 후 침종)과 새로운 방법(침종 후 소독)으로 처리 후 다목적 온실에서 약 3주간 육묘한 뒤 묘소질을 조사하였다(Table 2). 시험결과 모든 품종에서 새로운 방법은 관행소독방법 대비 초장은 2.7-13.3% 짧아지고 건물중은 0.7-6.4% 감소하는 경향이었으며 엽수는 대부분 많아졌지만, 성묘율은 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 따라서 새롭게 개발된 방법으로 종자소독을 하면 관행대비 초장과 엽수는 차이가 발생하였지만, 모든 품종이 보급종 발아율 기준인 85%보다 높은 성묘율을 보였다.

종자소독 전 침종처리에 따른 키다리병 방제효과

침종 후 소독이 벼 키다리병 발생에 미치는 영향을 모판에서 조사하기 위해, 기존 관행 방법과 새로운 방법으로 키다리병에 감염된 호품 종자를 이용하여 종자소독을 진행하였고 약 3주간 다목적 온실에서 육묘한 후 묘소질과 모판당 키다리병 발병주수를 조사하였다(Table 3). 새로운 방법으로 종자소독시 호품 종자의 초장은 관행 대비 1.8 cm 짧아지는 경향을 보였고, 엽수는 0.4 증가하였지만 성묘율과

건물중은 큰 차이는 없었다. 모판 당 키다리병이 발생된 모의 수는 관행이 61개, 침종 후 소독은 22개로 64% 정도 줄어드는 결과를 보여 침종처리 후 종자소독을 하면 키다리병 방제에 효과적인 것을 알 수 있었다. 기존의 연구결과를 보면, 종자소독 효과가 우수한 처리구의 모의 초장이 짧아지는 연구결과를 보였는데(Kang *et al.*, 2017; Kim *et al.*, 2008), 본 연구의 새로운 소독방법 처리구에서도 초장이 관행대비 통계적으로 유의하게 짧아졌고 키다리병 발생량도 줄어들었으며, 모의 엽색은 육안으로 구분이 될 정도로 진한 경향을 보였다(Fig. 7).

종자소독 방법별 종자 내부로의 소독약 침투

침종 후에 소독하는 새로운 소독방법이 관행 대비 키다리병 방제에 효과적인 원인을 구명하기 위해, 종자소독약의 침투정도를 간접적으로 비교하고자 찬물에 2일 전 침종한 종자와 침종처리 하지 않은 종자를 30°C로 맞춰진 염색약에 동시에 담그고 24시간 염색하였다. Fig. 8을 보면 침종처리 하지 않은 종자의 배는 거의 염색되지 않았고 염색

Picture of rice seedling



Pesticide types ^{z)}	PF		TP		IP	
	CM ^{y)}	NDM ^{x)}	CM	NDM	CM	NDM
Plant height (cm)	14.9 ^{**w)}	14.1	12.4 ^{ns}	12.2	14.6 ^{**}	13.2
No. of leaves	4.3 ^{**}	4.5	4.6 [*]	4.7	4.4 [*]	4.5
Sound seedling ratio (%)	94.7 ^{ns}	95.6	89.2 ^{ns}	87.9	93.3 ^{ns}	92.7
Dry weight (mg/plant)	31.5 ^{**}	29.6	27.1 [*]	26.6	30.2 ^{**}	27.4
Infected seedling ratio (%)	0.9 ^{**}	0.2	0.4 ^{**}	0.0	0.7 ^{**}	0.2

Fig. 6. Comparison of rice seedling according to seed disinfection methods and pesticide types. Table under picture represents the seedling quality according to the disinfection types.

^{z)} **PF:** Prochloraz (25%) + Fludioxonil (20%), **TP:** Tebuconazole (12.5%) + Prochloraz copper chloride (12.5%), **IP:** Ipconazole (8%)

^{y)} **CM (Conventional method):** Disinfection for 48hrs at 30°C + Seed soaking for 2 days

^{x)} **NDM (Newly developed method):** Seed soaking for 2 days + Disinfection for 48hrs at 30°C

^{w)} * and ** represent significant differences between seed disinfection methods at $P < 0.05$ and $P < 0.01$ level of probability, respectively, and ^{ns} indicates not significant

Table 2. Seed quality according to varieties.

Variety ^{z)}	Plant height (cm)		No. of leaves		Sound seedling ratio (%)		Dry weight (mg/plant)	
	CM ^{y)}	NDM	CM	NDM	CM	NDM	CM	NDM
Samkwang	15.7 ^{*x)}	15.0	4.0 ^{**}	4.2	97.3 ^{ns}	96.7	28.5 [*]	27.9
Saenuri	18.1 [*]	17.3	4.0 ^{ns}	4.1	98.7 [*]	97.3	27.3 [*]	28.2
Haiami	19.8 [*]	18.1	3.9 [*]	4.0	98.7 ^{ns}	97.3	32.8 [*]	31.5
Chinnong	13.8 ^{**}	12.2	3.8 ^{**}	4.1	95.3 ^{ns}	96.7	28.3 [*]	28.5
Dongjinchal	16.5 [*]	15.9	4.1 ^{ns}	4.1	98.7 [*]	96.7	31.8 [*]	30.7
Mipoom	15.4 [*]	14.0	3.7 ^{**}	4.1	100.0 ^{ns}	96.7	29.8 [*]	29.5
Daebo	15.9 [*]	15.1	3.9 ^{**}	4.1	98.7 ^{ns}	97.3	29.7 [*]	29.5
Hopoom	14.7 [*]	14.3	4.0 ^{**}	4.3	98.7 ^{ns}	98.7	31.1 [*]	29.1
Unkwang	14.3 ^{**}	12.4	4.1 ^{**}	4.3	95.3 ^{ns}	94.7	27.1 [*]	26.0
Joypeong	17.6 [*]	16.3	4.1 ^{ns}	4.1	86.7 ^{ns}	88.0	28.9 [*]	28.5
Mean	16.2	15.2	4.0	4.1	96.9	96.4	29.5	28.9

^{z)} Rice varieties which are mainly cultivated in Chungcheongnam-do

^{y)} CM (Conventional method): Seed disinfection + Seed soaking, NDM (Newly developed method): Seed soaking + Seed disinfection

^{x)} * and ** represent significant differences between seed disinfection methods at the $P < 0.05$ and $P < 0.01$ level of probability, respectively, and ^{ns} indicates not significant

Table 3. Seedling quality according to the seed disinfection methods.

Disinfection method	Plant height (cm)	No. of leaves	Sound seedling ratio (%)	Dry weight (mg/plant)	No. of infected plants in Seedling box
Conventional	16.2	3.8	89.5	17.7	61
Newly developed	14.4	4.2	89.7	17.6	22
<i>t-test</i>	**Z)	*	ns	ns	**

^{Z)} * and ** represent significant differences between seed disinfection methods at the $P < 0.05$ and $P < 0.01$ level of probability, respectively, and ^{ns} indicates not significant

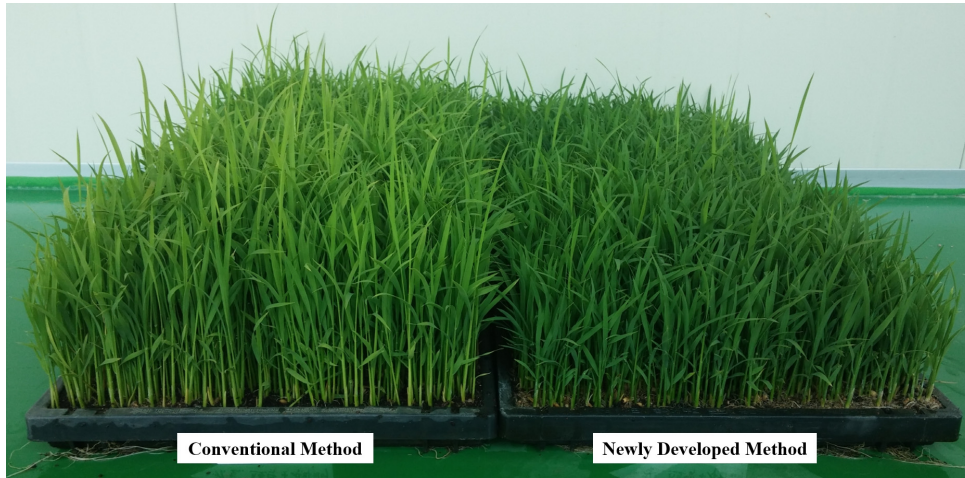


Fig. 7. Picture of rice seedling according to seed disinfection methods. **Conventional method** (Seed disinfection for 2 days at 30°C + Seed soaking in water for 2 days), **Newly developed method** (Seed soaking in water for 2 days + Seed disinfection for 2 days at 30°C).

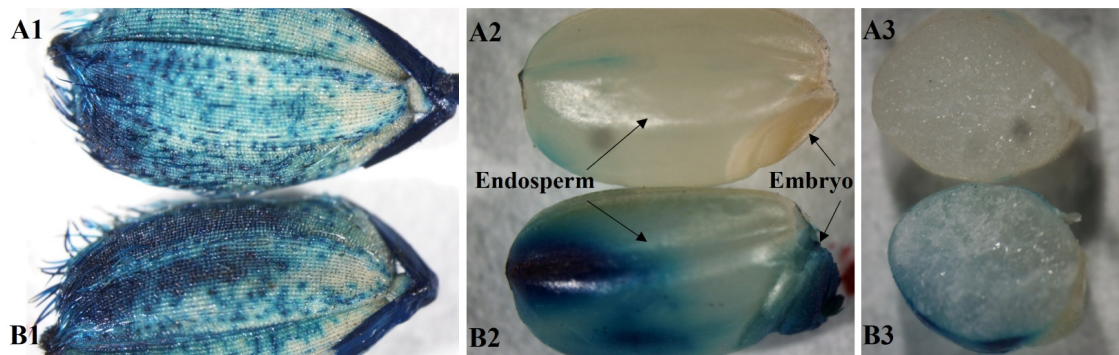


Fig. 8. Pictures of dyed seeds according to seed disinfection methods. **A:** Dried seeds were soaked in 0.03% Giemsa solution at 30°C for 24 hours (A1: rough rice, A2: exterior of brown rice, A3: endosperm longitudinal section of brown rice), **B:** Seeds were soaked in water for 48 hours and then soaked in 0.03% Giemsa solution at 30°C for 24 hours (B1: rough rice, B2: exterior of brown rice, B3: endosperm longitudinal section of brown rice).

약이 배유의 선단 부위를 통해 침투하여 배유를 약간 염색한 것으로 관찰되었다. 침종처리 후 염색한 종자는 발아가 상당히 진전된 상태로 배 전체가 진하게 염색되었다. 또한 배유도 50% 이상 염색되었는데 염색약이 배부분이 아닌 배유의 선단부로부터 대부분 흡수되어 염색된 것으로 판단

할 수 있었으며, Park *et al.* (2009)의 연구 결과에서도 본 연구 결과와 비슷한 경향으로 염색약이 배유로 흡수되어 염색되었다. 따라서 종자소독 전 침종을 하면 종자가 물을 충분히 흡수하여 발아를 미리 준비할 수 있으므로, 염색약이 종자의 선단부로부터 쉽게 흡수되어 배유로 침투한다는

것을 알 수 있었다.

Park *et al.* (2008)은 벼 종자 내부의 병원균 포자와 균사의 변화를 확인하기 위해 키다리병 감염종자를 2일간 침종 후 종단면을 실체현미경으로 관찰한 결과, 종피에서 길쭉한 난형의 포자와 배 부분에서 난형의 포자와 균사를 확인하였고, 배 조직 속에서도 균사를 관찰할 수 있었기 때문에 키다리병균이 벼 종자의 배와 배유 안쪽까지 감염되었다고 보고하였다. Park *et al.* (2009)의 벼 종자소독 침지온도에 따른 연구에서 염색약이 종자의 배뿐만 아니라 내부의 호분층까지 염색된 30°C의 처리구에서 키다리병 발생이 적었다. 따라서 본 연구에서도 침종처리 후 염색한 종자의 염색약이 배유 내부까지 진하게 염색된 결과를 통해, 새롭게 개발된 종자소독법은 관행소독법 대비 소독약이 배유에 있는 키다리병 포자까지 효과적으로 제거할 수 있었기 때문에 키다리병 발생이 적었던 것으로 판단할 수 있다.

본 실험의 연구결과를 종합적으로 판단하면, 찬물에서 2일 종자를 침종한 후 종자소독을 하면 품종 및 소독약에 상관없이 유아의 길이가 1 mm 내외로 즉시 파종작업이 가능하여 관행 대비 농작업이 효율적이었으며 키다리병 방제 효과도 관행 방법 대비 향상됨을 알 수 있었다.

적 요

벼 종자소독은 키다리병 경감을 위해 필요한 과정으로 소독의 효과를 높이기 위해 30°C의 고온에서 수행하고 있다. 하지만, 벼 종자소독(30°C에서 48시간)을 마친 종자는 유아의 길이가 파종하기에 짧아 적당한 유아의 길이가 될 때까지 추가적인 침종작업이 필요한데, 품종별로 유아의 성장속도가 달라 농민들은 수온을 조절하고 유아의 길이를 확인해야 하는 번거로운 농작업으로 생각하고 있다. 따라서 키다리병 방제효과를 높이면서 종자소독 후 즉시 파종이 가능한 소독방법을 개발하고자 본 연구를 수행하게 되었다. 벼 종자소독 전 찬물에 2일간 종자를 침종하고 고온으로 종자소독(30°C 48시간) 하면 파종하기 적당한 유아의 길이(1 mm 내외)가 되었고, 관행 대비 성묘율은 차이가 없으면서 키다리병은 64% 감소하는 결과를 보였다. 종자를 찬물에 침종 후에 소독하는 새로운 소독 방법이 키다리병 방제효과가 높은 이유를 구명하기 위해, 메틸렌블루 염색약을 이용하여 침종처리한 종자와 침종처리 하지 않은 종자를 염색한 결과 침종처리한 종자는 내부 및 외부 배유의 약 50%가 염색되었다. 따라서 종자소독 전 침종처리를 하면 소독약이 종자 내부의 배유까지 흡수되므로 내부에 있는 키다리병 포자까지 효과적으로 살균하기 때문으로 판단

된다. 결론적으로 새롭게 개발된 소독방법은 종자소독 전 2일간 찬물로 침종처리 하면, 관행 방법 대비 침종작업시 수온을 고려하지 않아도 되고 벼 품종과 소독약 종류에 상관없이 유아의 길이는 1 mm 내외가 되어 농작업의 효율성을 높일 수 있으며 키다리병 발생을 관행대비 감소시킬 수 있어 농업현장에서 유용하게 사용될 것이다.

사 사

본 논문은 충청남도농업기술원 시험연구사업(세부과제명 : 벼 건묘육성을 위한 종자소독방법 개선)의 지원으로 수행된 결과입니다.

인용문헌(REFERENCES)

Chungcheongnam-do Agricultural Research and Extension Services (CNARES). 2007. Report of experiment and research. pp. 57-60.

Chungcheongnam-do Agricultural Research and Extension Services (CNARES). 2010. Available from: <https://cnnongup.chungnam.go.kr/board/B0016.cs?act=read&articleId=116482&data04=&searchKeyword=&categoryId=0&searchCondition=&searchEndDt=&m=&searchStartDt=&pageIndex=61&pageUnit=0>

Han, S. 2007. Review of disease occurrence of major crop in Korea in 2007. The KSPP Annual Meeting and Symposium. pp. 19-20.

Kang, Y. S., W. J. Kim, and J. H. Roh. 2017. Effect of Silicate-Coated Rice Seed on Healthy Seedling Development and Bakanae Disease Reduction when Raising Rice in Seed Box. Korean J. Crop Sci., 62(1) : 1-8.

Kim, J. K. 1981. Ecological Studies of Bakanae Disease of Rice, Caused by *Gibberella fujikuroi*. Korean Society of Applied Entomolog. 20(3) : 146-150

Kim, S. J., J. G. Won, D. J. Ahn, S. D. Park, and C. D. Choi. 2008. Occurrence of Bakanae Disease (*Gibberella fujikuroi*) Growth Characteristics of Rice by Different Disinfection Methods. Korean J. Crop Sci. 53(4) : 417-420.

Lee, Y. H., S. K. Kim, H. W. Choi, M. J. Lee, D. S. Ra, I. S. Kim, J. W. Park, and S. W. Lee. 2010. Fungicide Resistance of *Fusarium fujikuroi* Isolates Isolated in Korea. The Korean J. Pesticide Sci. 14(4) : 427-432.

Park, H. G., H. R. Shin, I. Lee, S. E. Kim, O. D. Kwon, I. J. Park, and Y. I. Kook. 2003. Influence of water temperature, soaking period, and chemical dosage on Bakanae disease of rice (*Gibberella fujikuroi*) in seed disinfection. The Korean J. Pesticide Sci. 7(3) : 216-222.

Park, W. S., W. H. Yeh, S. W. Lee, S. S. Han, J. S. Lee, C. K. Lim,

- and Y. H. Lee. 2008. Electron Microscopic Study for the Influence of Soaking in Hot Water and Prochloraz Solution on Spore and Mycelium of *Fusarium fujikuroi* Infected in Rice Seed. Res. Plant Dis. 14(3) : 176-181.
- Park, W. S., H. W. Choi, S. S. Han, D. B. Shin, H. K. Shim, E. S. Jung, S. W. Lee, C. K. Lim, and Y. H. Lee. 2009. Control of Bakanae Disease of Rice by Seed Soaking into the Mixed Solution of Prochloraz and Fludioxonil. Res. Plant Dis. 15(2) : 91-100.
- Rural Development Administration (RDA). 2012. Standard of Analysis and Survey for Agricultural Research. pp. 315-338.
- Shin, M. U., S. M. Lee, Y. H. Lee, H. J. Kang, and H. T. Kim. 2008a. The Controlling Activity of Several Fungicides against Rice Bakanae Disease Caused by *Fusarium fujikuroi* in Five Assay Methods. The Korean J. Pesticide Sci. 12(2) : 168-176.
- Shin, M. U., H. J. Kang, Y. H. Lee, and H. T. Kim. 2008b. Detection for the Resistance of *Fusarium* spp. Isolated from Rice Seeds to Prochloraz and Cross-resistance to Other Fungicides Inhibiting Sterol Biosynthesis. The Korean J. Pesticide Sci. 12(3) : 277-282.