

벼 키다리병 방제를 위한 차아염소산나트륨 이용

Use of Sodium Hypochlorite for the Control of Bakanae Disease in Rice

신동범* · 고재덕 · 이봉춘 · 강인정 · 강항원

국립식량과학원 작물환경과

*Corresponding author

Tel : +82-31-290-6790

Fax : +82-31-290-6773

E-mail : shindb@korea.kr

Dong Bum Shin*, Jaeduk Goh, Bong Choon Lee, In Jeong Kang and Hang-Won Kang

Crop Environment Research Division, National Institute of Crop Science, Suwon 441-857, Korea

For application of sodium hypochlorite as a seed disinfectant to the control of bakanae disease caused by *Gibberella fujikuroi* in rice, we investigated the effects of sodium hypochlorite for antifungal activity, eliminating fungus from seeds and reducing disease occurrence *in vitro* and greenhouse. The viability of the pathogen was significantly reduced at 80 μ l/l concentration of sodium hypochlorite, and the pathogens did not grow at over 100 μ l/l concentration of sodium hypochlorite. The effect of eliminating fungus was 90% at treatment of 0.3% sodium hypochlorite solution to infected rice seeds for eight hours. When the rice seeds were soaked into 0.5% and 0.3% sodium hypochlorite solutions for twelve hours, the disease incidences of rice seedling were remarkably reduced to 4.3% and 4.7%, respectively, compared to 97.3% of non-treatment control. The rates of seedling stand were 29.1% and 26.9% higher with the sodium hypochlorite treatment than that of non-treatment control. When prochloraz and sodium hypochlorite was treated to naturally severely infested rice seeds with bakanae disease, the disinfection effect was higher than that of prochloraz alone treatment. When the seeds were soaked in sodium hypochlorite before or after prochloraz, the rate of seed contamination was low as 4.0% or 6.3%, respectively, compared to prochloraz alone as 13.7%. The disease incidence was low as 3.7% or 8.3%, respectively, compared to prochloraz alone as 14.3%. The disinfection effect of treatment with prochloraz after sodium hypochlorite was higher than that of treatment with prochloraz before sodium hypochlorite.

Keywords : Bakanae disease, *Gibberella fujikuroi*, Sodium hypochlorite

Received August 19, 2014

Revised September 16, 2014

Accepted October 13, 2014

서 론

*Gibberella fujikuroi*에 의해 발생하는 벼 키다리병은 전형적인 종자전염성 병으로 육묘부터 본답에까지 발생한다. 이 병은 벼가 비정상적으로 도장하는 병징이 특징으로 고사, 불임 등의 피해를 초래한다(Kim, 1981; Sung 등 1983). 1960년대에 일부 농가에서 많이 발생한 보고가 있으나, prochloraz 등 종자소독제 사용으로 그동안 크게 문제가 되지 않았다(Park 등, 2003). 그러

나 최근에는 벼 출수기의 기온상승, 친환경 벼 재배 확대, 기계 이앙에 따른 상자 육묘 등의 원인으로 키다리병 발생이 증가하고 있다(Han, 2007; Kim 등 2008; Myung 등, 2005;). 또한 벼 키다리병 방제는 기본적으로 종자 소독 약제를 이용하여 벼 종자를 소독하는 것인데, benomyl, prochloraz 등의 종자소독 약제에 대한 저항성균 발생이 보고되고 있다(Lee 등 2010; Shin 등, 2008; Yamashita 등, 1995). 벼 키다리병의 효율적인 방제를 위해 종자 소독 약제를 혼용처리 하는 등의 방법이 개발되었으며(Park 등, 2003; Park 등 2009), 화학 합성 종자 소독제를 절감하거나 대체하는 방법 개발이 요구 되고 있다. 차아염소산나트륨(Sodium hypochlorite, NaOCl)은 각종 소독제로서 오래전부터 널리 사용되어 왔고, 종자전염병, 종자발아 등의 연구에서 종자

Research in Plant Disease

©The Korean Society of Plant Pathology
pISSN 1598-2262, eISSN 2233-9191

소독제로서 보편적으로 사용되고 있으며(McInroy와 Kloepper, 1995; Robbs 등, 1995; Sauer와 Burroughs, 1986; Segall, 1968), 종자 소독 효과와 유묘 생장 효과에 대한 연구가 수행되었다(Chun 등, 1997).

따라서 이 연구에서는 벼 키다리병 방제를 위한 벼 종자소독제로서 차아염소산나트륨의 가능성을 탐색하고자, 벼 키다리병에 대한 차아염소산나트륨의 항균효과와 종자소독 및 발병억제효과를 구명하였다.

재료 및 방법

차아염소산나트륨의 항균 활성 검정. 차아염소산나트륨(10%, SIGMA)을 살균증류수로 500, 250, 125, 100, 80, 60, 40 $\mu\text{l/l}$ 으로 희석하여 농도를 조절한 용액으로 벼 키다리병균 포자현탁액(10^6 conidia/ml)을 만든 다음, 이 용액을 25°C 항온기에서 각각 30분, 1시간, 3시간을 처리하였다. 처리된 용액을 Komada 배지(Komada, 1976)에 도말(0.5 ml/petri dish)한 후 25°C 항온기에서 배양하면서 균총 형성 정도를 조사하였다. 이 실험은 3반복으로 수행하였다.

차아염소산나트륨 종자 소독 효과 검정. 클로락스(NaOCl 5.0%, 유한락스)를 1.0, 0.5, 0.3, 0.2%로 희석하여 농도를 조절한 용액에 키다리병에 감염된 벼 종자를 넣고 25°C 항온기에서 4시간, 8시간, 12시간 등 처리별로 처리하였으며, 처리가 끝난 종자를 증류수로 1회 세척한 다음 증류수에 다시 침지하여 전체 침지시간을 48시간으로 맞추었다. 처리된 종자를 Komada 배지에 치상(25립/petri dish)하여 25°C 항온기에서 배양하면서 종자감염율을 조사하였으며, 처리별로 100립씩 벼 육묘상토에 파종하여 유묘 출현율을 조사하였다. 이 실험은 3반복(100립/반복)으로 수행하였다. 이 실험에 사용한 인위적으로 감염한 종자는 비닐하우스에서 재배한 벼(운광벼)를 개화기에 키다리병 병원균 포자현탁액으로 분무접종하여 감염시킨 것으로 이를 수확하여 100% 감염을 확인 후 사용하였다.

차아염소산나트륨의 벼 키다리병 발생억제 효과 검정. 클로락스(NaOCl 5.0%, 유한락스)를 이용하여 0.5, 0.3, 0.2%로 희석한 차아염소산나트륨 용액에 각각 8시간과 12시간 동안 위

의 실험에 사용한 인위적으로 감염된 벼(운광벼) 종자를 침지 처리한 다음 육묘상토에 파종하여 온실에서 육묘하면서 파종 후 20일 째 되는 날 키다리병 발병율을 조사하였다. 유묘 출현율은 파종 후 7일 째 되는 날 조사하였다. 이 실험은 3반복(400립/반복)으로 수행하였다.

차아염소산나트륨과 prochloraz 병행처리에 의한 벼 키다리병 방제효과 검정. 이 실험에서는 벼 키다리병 발병주율이 50% 이상 심하게 발생한 포장에서 벼(주남벼) 종자를 수확하여 벼 키다리병 감염이 확인된 종자를 선별하여 사용하였다. 벼 키다리병에 자연 감염된 공시 종자를 0.3%로 희석한 차아염소산나트륨 용액에 6시간 처리한 다음 prochloraz 2,000 배액에 42시간 처리와 prochloraz 2,000배액에 42시간 처리한 다음 0.3%로 희석한 차아염소산나트륨 용액에 6시간 처리, prochloraz 2,000배액 48시간, 증류수 48시간으로 각각 처리하였다. 처리된 종자 400립씩 3반복으로 Komada 배지에 치상(25립/petri dish)하여 25°C 항온기에서 배양하면서 벼 키다리병 종자감염율을 조사하였다. 벼 키다리병 방제효과를 알고자 처리된 종자는 육묘상토에 파종하여 온실에서 육묘하면서 발병율을 조사하였으며, 이 실험은 3반복(500립/반복)으로 수행하였다.

결 과

차아염소산나트륨의 항균 활성 효과. 차아염소산나트륨의 벼 키다리병 병원균에 대한 항균 활성 효과를 검토하기 위하여 차아염소산나트륨을 농도별로 희석하여 시간별로 처리한 후 komada 배지에 처리한 결과, Table 1에서와 같이 차아염소산나트륨은 높은 항균 활성을 나타내었다. 100 $\mu\text{l/l}$ 이상의 농도에서는 처리시간에 관계없이 균총이 형성되지 않았으며, 80 $\mu\text{l/l}$ 농도에서도 균총 형성은 1.3-2.7개로 현저히 낮았다. 60 $\mu\text{l/l}$ 이하의 농도에서는 30분, 1시간 처리에서 다수의 균총이 형성되었으나 2시간 처리에서는 그 수가 현저히 적어 처리시간이 길수록 항균 활성 효과는 높아졌다.

차아염소산나트륨의 벼 종자소독 효과. 차아염소산나트륨의 벼 종자소독 효과를 알고자 인위적으로 감염시킨 벼 종자

Table 1. Antifungal activity of sodium hypochlorite on *Gibberella fujikuroi* in vitro

Periods of treatment	Colony formation by different concentrations (number/petri dish) ^a						
	A	B	C	D	E	F	G
30 minutes	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7	30.3	50.3
60 minutes	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	19.0	77.7
120 minutes	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	2.7	4.7

^aSodium hypochlorite was diluted at different concentrations as (A : 500 $\mu\text{l/l}$, B : 250 $\mu\text{l/l}$, C : 125 $\mu\text{l/l}$, D : 100 $\mu\text{l/l}$, E : 80 $\mu\text{l/l}$, F : 60 $\mu\text{l/l}$, G : 40 $\mu\text{l/l}$), and the pathogen was prepared as 5×10^5 conidia per petri dish.

에 차아염소산나트륨을 농도별, 시간별로 처리하였다. 차아염소산나트륨 처리 후 키다리병 감염율을 조사한 결과, 모든 차아염소산나트륨 처리군에서 무 처리에 비해 종자소독 효과가 현저히 높았으며 0.3% 이상의 농도로 8시간 이상처리에서 90% 이상의 효과를 나타내었다(Table 2). 또한 처리농도가 높고 처리시간이 길수록 그 효과가 높았는데, 차아염소산나트륨 1.0%와 0.5%를 8시간 이상 처리한 것과 0.3% 차아염소산나트륨을 12시간 처리한 것에서 94% 이상의 높은 종자소독 효과를 보였다. 또한 모든 처리에서 무 처리에 비해 유묘 출현율이 높았다.

Table 2. Disinfection effect of sodium hypochlorite on the infected rice seeds with *Gibberella fujikuroi* and its effect to seedling stand

Treatment ^a		Seeds contamination (%)	Seedling stand (%)
NaOCl (%)	Time (Hours)		
1.0	4	9.7 b ^c	78.3 a ^c
	8	5.3 a	79.7 a
	12	4.3 a	79.3 a
0.5	4	10.7 b	80.7 a
	8	6.0 a	81.3 a
	12	4.7 a	81.7 a
0.3	4	17.7 c	80.3 a
	8	10.3 b	78.3 a
	12	5.7 a	80.3 a
0.2	4	35.3 e	79.7 a
	8	26.7 d	80.3 a
	12	20.0 c	79.3 a
Control ^b	-	98.3 f	72.3 b

^aSeeds were soaked firstly for treatment period in the sodium hypochlorite solution, and then soaked totally for 48 hours in distilled water.

^bControl : distilled water.

^cMeans followed by the same letter within column are not significantly different by Duncan's test at 5% level.

Table 3. Control effect of sodium hypochlorite to bakanae disease caused by *Gibberella fujikuroi* in the infected rice seeds, and its effect to seedling stand

Treatment	Hours	Control effect to bakanae disease		Seedling stand (% of control)
		% of disease incidence	% of control efficacy	
0.5% sodium hypochlorite	8	6.0 a ^x	93.8	128.3
0.5% sodium hypochlorite	12	4.3 a	95.6	129.1
0.3% sodium hypochlorite	8	6.7 a	93.1	123.5
0.3% sodium hypochlorite	12	4.7 a	95.2	126.9
0.2% sodium hypochlorite	8	23.7 c	75.6	125.3
0.2% sodium hypochlorite	12	18.7 b	80.7	126.4
Control (distilled water)	-	97.3 d	-	100.0

^xMeans followed by the same letter within column are not significantly different by Duncan's test at 5% level.

차아염소산나트륨의 벼 키다리병 발생억제 효과. 차아염소산나트륨의 벼 키다리병 발생억제 효과를 알고자 인위적으로 감염시킨 벼 종자를 농도 및 시간별로 처리하여 조사한 결과, Table 3에서와 같이 차아염소산나트륨 처리에서 무 처리에 비해 높은 벼 키다리병 방제효과를 나타내었다. 특히 0.5%, 0.3%의 차아염소산나트륨을 각각 8시간 이상처리했을 때 발병억제율이 93% 이상이었으며 유묘 출현율이 무 처리에 비해 높았다.

차아염소산나트륨과 종자소독약제 prochloraz의 병행처리에 의한 벼 키다리병 방제효과. 벼 키다리병이 발생하여 자연 감염된 주남벼 종자를 공시하여 차아염소산나트륨과 종

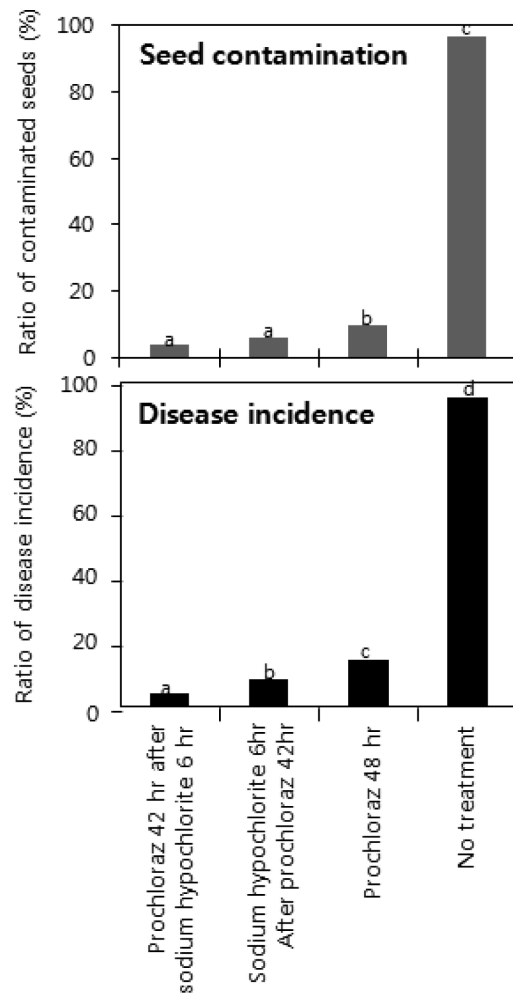


Fig. 1. Combined effect of prochloraz and sodium hypochlorite treated to infested rice seeds by bakanae disease. Upper graph showed seed contamination, and lower graph showed incidence of bakanae disease. From the left, seeds were soaked in 0.3% sodium hypochlorite solution for 6 hours, and then in the 2,000-fold dilution of prochloraz for 42 hours at 25°C. At the second one, seeds were soaked in the 2,000-fold dilution of prochloraz for 42 hours, and then in 0.3% sodium hypochlorite solution for 6 hours. At the third one, seeds were soaked in the 2,000-fold dilution of prochloraz for 48 hours. At the last one, seeds were soaked in distilled water for 48 hours as a control (no treatment).

자소독 약제인 prochloraz를 병행처리하여 벼 키다리병 방제효과를 구명한 결과, Fig. 1에서와 같이 prochloraz 단독처리에서 보다 그 효과가 높게 나타났다. 즉 차아염소산나트륨 처리 후 prochloraz를 처리했을 때와 prochloraz 처리 후 차아염소산나트륨을 처리했을 때의 종자 감염율이 각각 4.0%, 6.3% 으로서 prochloraz 단독처리했을 때의 종자감염율 9.7%보다 낮았다. 그리고 벼 키다리병 발병억제 효과에서도 같은 경향이 나타났는데, 차아염소산나트륨 처리 후 prochloraz 처리와 prochloraz를 처리 후 차아염소산나트륨 처리의 발병율이 각각 3.7%, 8.3%로 prochloraz 단독처리의 14.3% 보다 낮은 발병률을 보였다. 또한 차아염소산나트륨과 prochloraz 병행처리 시 prochloraz 처리 전에 차아염소산나트륨을 처리한 것에서 prochloraz 처리 후에 차아염소산나트륨을 처리한 것 보다 더 높은 종자소독효과 및 벼 키다리병 발병억제 효과를 보였다.

고 찰

벼 키다리병은 대표적인 종자전염병으로 최근 친환경 재배, 기후변화 등 벼 재배환경 변화에 따라 발생이 증가하여 만연하고 있다(Han, 2007; Kim 등 2008; Myung 등, 2005). 벼 키다리병은 기본적으로 종자소독 약제를 이용하여 벼 종자를 소독하는 것으로 방제를 해왔으나, 최근에는 benomyl, prochloraz 등의 종자소독 약제에 대한 저항성균 발생이 보고되고 있으며(Lee 등 2010; Shin 등, 2008; Yamashita 등, 1995), 벼 키다리병의 효율적인 방제를 위해 종자소독 약제를 혼용처리 하는 등의 방법이 개발되고 있다(Park 등, 2003; Park 등 2009). 한편 화학합성 종자소독제를 절감하고 대체하는 방법의 개발이 요구되고 있다. 차아염소산나트륨에 물을 가하면 hypochlorous acid(HOCl)이 형성되며 HOCl은 HCl과 O로 나누어지며 이 산소 원자는 강한 산화제로 작용하는데, 차아염소산나트륨은 세균, 곰팡이 등에 폭넓게 항균효과가 인정되어 각종 소독제로서 오래전부터 널리 사용되어 왔다(McInroy와 Kloepper, 1995; Robbs 등, 1995; Sauer와 Burroughs, 1986; Segall, 1968). 차아염소산나트륨 1-5% 농도에서 *Aspergillus spp.*의 포자는 100% 사멸되었다고 보고된 바 있는데(Sauer와 Burroughs, 1986), 이 연구에서 차아염소산나트륨은 벼 키다리병균에 대한 항균 활성을 보이며 80 μ l/l 농도에서 병원균의 생장을 현저히 억제하였으며, 100 μ l/l 농도에서는 균이 자라지 못하는 높은 항균 활성을 보였다. Chun 등의 연구결과에 의하면, 차아염소산나트륨 2.6%를 2시간 처리한 벼 종자에서는 세균과 곰팡이가 거의 사멸되었다(Chun 등, 1997). 이 연구에서는 차아염소산나트륨 0.3% 12시간 처리와 0.5% 8시간 이상 처리에서 94% 이상의 종자소독 효과를 보였으며, 0.5% 농도와 0.3% 농도의 차아염소산나트륨을 각각 8시간 이상 처리한 것에서 벼 키다리병 발병억제율이 93% 이상으로 높은 효과를 나타내었다. 따라서 차아염소산나트륨은 벼 키다리병에 대한 종자 소독제로서 유용함을 알 수 있

었다. 그리고 처리 농도가 높을수록, 처리시간이 길수록 그 효과는 높고 종자소독 시 종자표면의 털, 틈새, 공기방울 등이 종자소독에 불리한 영향을 미친다고 보고되고 있어(Sauer와 Burroughs, 1986), 종자소독 시 처리농도와 아울러 이에 필요한 처리시간이 중요할 것으로 생각되었다. 한편 차아염소산나트륨 처리에서 유묘 출현율이 높게 나타난 것으로 보아, 벼 종자의 발아나 유묘 성장에는 영향을 미치지 않는 것으로 추측되며 차아염소산나트륨의 종자발아 및 성장촉진에 의한 긍정적인 효과를 기대할 수 있을 것으로 생각된다. Chun 등(1997)의 연구결과에서 유묘 성장 촉진 효과는 차아염소산나트륨의 종자소독 효과와 휴면경감효과 등의 간접적 효과가 아니라 유묘생장에 직접적인 효과라고 하였으나, 차아염소산나트륨은 성장촉진과 휴면경감효과 등이 보고되어 있어 이에 대한 검토가 필요하다고 생각된다. 벼 키다리병의 종자소독효과를 높이고자 약제의 장점을 살려 혼용 처리하는 연구가 이루어지고 있는데, prochloraz 단독 처리보다 상호보완적으로 기작이 서로 다른 prochloraz와 fludioxonil 혼용처리에서 방제효과가 높았다고 하였다(Park 등, 2009). 특히 현재까지도 종자소독 효과가 높아 선호하여 온 prochloraz 약제에 대한 저항성 균 발생은 벼 키다리병 방제에 장애요인으로 되고 있다. 벼 키다리병이 심하게 발생한 포장에서 생산된 주남벼를 대상으로 prochloraz와 차아염소산나트륨을 병행 처리한 것이 prochloraz를 단독 처리한 것보다 방제 효과가 높았는데, 이는 차아염소산나트륨의 소독효과가 부가적으로 작용한 것으로 추측할 수 있다. 또한 prochloraz 처리 전에 차아염소산나트륨을 처리한 것이 반대로 처리한 것보다 높은 방제 효과를 보였는데, 이것은 차아염소산나트륨의 표백작용 등으로 인해 약제침투가 쉬워진 것이 원인인 것으로 생각된다. 최종적으로 0.3% 차아염소산나트륨을 6시간 처리한 후 prochloraz를 42시간 처리하는 것이 벼 키다리병 방제에 가장 효과적이나 현장적용을 위해서는 추후 보완 실험이 필요한 것으로 생각된다. 차아염소산나트륨은 벼 키다리병에 대한 항균효과와 종자소독효과가 뛰어나 벼 키다리병의 방제소재로서 이용가능성이 높을 것으로 예상되며, prochloraz와 병행 처리에서 방제효과가 증진되는 결과를 나타내어 약제에 의한 종자소독 효과저하 문제 해결에 기여할 것으로 생각된다.

요 약

차아염소산나트륨의 벼 키다리병 종자소독제로서 활용 가능성을 구명하고자, 항균 활성 효과와 종자소독 효과를 연구한 결과, 차아염소산나트륨이 높은 항균 활성을 나타내어 100 μ l/l 이상의 농도에서 균총이 형성되지 않았으며 80 μ l/l 농도에서도 균총형성이 현저히 낮았다. 벼 키다리병균 감염 벼 종자를 차아염소산나트륨 0.3% 농도로 8시간 침지 처리 시 종자소독효과가 90%로 높았다. 또한 차아염소산나트륨 0.5%, 0.3% 용액에 감염종자를 각각 12시간 처리하였을 벼 키다리병 발병율이 4.3%, 4.7%

로 무처리 발병을 97.3%에 비해 현저히 억제되었으며, 유묘 출현율이 무처리 대비 29.1%, 26.9% 높았다. 그리고 벼 키다리병이 발생하여 자연 감염된 주남벼 종자를 사용하여 차아염소산나트륨 처리한 후 prochloraz 처리와, prochloraz를 처리한 후 차아염소산나트륨 처리의 종자 감염율이 각각 4.0%, 6.3%로서 prochloraz 단독처리 13.7% 보다 낮은 경향을 보였으며, 벼 키다리병 발병율도 각각 3.7%, 8.3%로 prochloraz 단독처리 14.3% 보다 낮았다. 아울러 차아염소산나트륨을 처리한 후 prochloraz를 처리한 것에서 더 높은 종자소독효과를 보였다.

Acknowledgement

This work was carried out with the support of "Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (Development of seed disinfection technology for control of bakanae disease in rice, PJ00989103)" Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Chun, S. C., Schneider, R. W. and Cohn, M. A. 1997. Sodium hypochlorite: effect of solution pH on rice seed disinfestation and its direct effect on seedling growth. *Plant Dis.* 81: 821–824.
- Han, S. 2007. Review of disease occurrence of major crops in Korea in 2007. *Proceedings of Annual Falling Meeting & Symposium of KSPP.* 19–20.
- Kim, C. K. 1981. Ecological studies of bakanae disease of rice, caused by *Gibberella fujikuroi*. *Korean J. Plant Protect.* 20: 146–150. (In Korean)
- Kim, S. J., Won, J. G., Ahn, D. J., Park, S. D. and Choi, C. D. 2008. Occurrence of bakanae disease (*Gibberella fujikuroi*) growth characteristics of rice by different disinfection method. *Korean J. Crop Sci.* 53: 417–420. (In Korean)
- Komada, H. 1976. A new selective medium for isolating *Fusarium* from natural soil. *Proc. Am. Phytopathol. Soc.* 3: 221.
- Lee, Y. H., Kim, S., Choi, H. W., Lee, M. J., Ra, D. S., Kim, I. S., Park, J. W. and Lee, S. W. 2010. Fungicide Resistance of *Fusarium fujikuroi* isolates isolated in Korea. *Korean J. Pestic Sci.* 14: 427–432. (In Korean)
- McInroy, J. A. and Kloepper, J. W. 1995. Population dynamics of endophytic bacteria in field-grown sweet corn and cotton. *Can. J. Microbiol.* 41: 895–901.
- Myung, I. S., Park, K. S., Hong, S. K., Park, J. W., Shim, H. S., Lee, Y. K., Lee, S. Y., Lee, S. D., Lee, S. H., Choi, H. Y., Heu, S., Shin, D. B., Ra, D. S., Yeh, W. H. and Cho, W. D. 2005. Review of disease incidence of major crops of the South Korea in 2004. *Res. Plant Dis.* 11: 89–92. (In Korean)
- Park, H. G., Shin, H. R., Lee, Y., Kim, S. W., Kwon, O. D., Park, I. J. and Kuk, Y. I. 2003. Influence of water temperature, soaking period, and chemical dosage on bakanae disease of rice (*Gibberella fujikuroi*) in seed disinfection. *Korean J. Pestic Sci.* 7: 216–222. (In Korean)
- Park, W. S., Choi, H. W., Han, S. S., Shin, D. B., Shim, H. K., Jung, E. S., Lee, S. W., Lim, C. K. and Lee, Y. H. 2009. Control of bakanae disease of rice by seed soaking into the mixed solution of prochloraz and fludioxonil. *Res. Plant Dis.* 15: 94–100. (In Korean)
- Robbs, P. G., Bartz, J. A., Brecht, J. K. and Sargent, S. A. 1995. Oxidation-reduction potential of chlorine solutions and their toxicity to *Erwinia carotovora* subsp. *carotovora* and *Geotrichum candidum*. *Plant Dis.* 79: 158–162.
- Sauer, D. B. and Burroughs, R. 1986. Disinfection of seed surfaces with sodium hypochlorite. *Phytopathology.* 76: 745–749.
- Segall, R. H. 1968. Fungicidal effectiveness of chlorine as influenced by concentration, temperature, pH, and spore exposure time. *Phytopathology* 58: 1412–1414.
- Shin, M. U., Kang, H. J., Lee, Y. H. and Kim, H. T. 2008. Detection for the resistance of *Fusarium* spp. isolated from rice seeds to prochloraz and cross-resistance to other fungicides inhibiting sterol biosynthesis. *Korean J. Pestic Sci.* 12: 277–282. (In Korean)
- Sung, J. M., Yang, S. S., Lee, E. J. and Park, J. S. 1983. Classification of *Fusarium moniliforme* Isolates into four strains based on mycological characteristics. *Korean J. Mycol.* 11: 169–175. (In Korean)
- Yamashita, T., Eguchi, N. and Saito, Y. 1995. Straightforward methods for monitoring benomyl resistant strains of *Fusarium moniliforme*, the causal fungus of "Bakanae" disease. *Proceedings of the Kanto-Tosan Plant Protection Society* 42: 23–25.