

감자 맹아억제제 Chlorpropham의 마른썩음병 억제 효과

한규석¹ · 김병섭² · 홍세진^{2*} · 김남숙^{3*}

¹강원도농업기술원 감자연구소 연구사, ²강릉원주대학교 식물생명과학과 교수, ³강릉원주대학교 식물생명과학과 대학원생

Inhibitory Effect of Potato Sprouting Inhibitor Chlorpropham on Dry Rot

Kyusuk Han¹, Byung Sup Kim², Sae Jin Hong^{2*}, and Nam Sook Kim^{3*}

¹Research Officer, Potato Experiment Station, Gangwondo Agricultural Research and Extension Services, Gangneung 25437, Korea

²Professor, Department of Plant Science, Gangneung-Wonju National University, Gangneung 25457, Korea

³Graduate Student, Department of Plant Science, Gangneung-Wonju National University, Gangneung 25457, Korea

Abstract. Potato dry rot is one of the potato storage diseases caused by *Fusarium* species and is a representative pathological disorder that induced post-harvest loss during storage. Chlorpropham treatment for sprouting inhibition is mainly used for room temperature storage of potatoes for processing. In this study, the inhibitory effect of chlorpropham on *Fusarium*-induced dry rot of potato 'Dano'. To investigate the mycelial growth rate of the dry rot fungus (*Fusarium solani* Appel & Wollenw), mycelial growth was investigated in a chlorpropham (5.0, 50.4, 503.8, and 5,038 ppm) and prochloraz (0.1, 1.0, 10.0, and 100.0 ppm) medium containing *F. oxysporum* mycelia. Mycelia were more inhibited as the concentration of chlorpropham and prochloraz increased during incubation at 20°C, and the inhibition rate was 98.2% and 100% when treated with 503.8 ppm of chlorpropham and 10ppm of prochloraz in 14 days, respectively. Potato Dano tubers inoculated with *F. oxysporum* were dipped in chlorpropham (5.0, 50.4, and 503.8 ppm) and prochloraz (100 ppm) to investigate the effect of preventing dry rot during cold storage at 20°C and 4°C *in vivo*. The disease diameter of potatoes stored at room temperature (about 20°C) was reduced to 13.0 mm in the prochloraz 100 ppm treatment, and 10.7 mm in the chlorpropham 50.4 ppm treatment compared to 13.7 mm in the control tuber at 70 days of storage. The disease progression in all treatments including control was similar with no statistically significant difference at 4°C air temperature. From the results of this study, it is considered that treatment with 50.4 ppm of chlorpropham after harvest will be useful for suppressing dry rot of stored potatoes.

Additional key words: dry rot, *Fusarium oxysporum*, hyphal growth, storage disease

서 론

수확 후 감자 저장 과정에서 주로 발생하는 병은 마른썩음병(건부병, dry rot), 홍색부패병(pink rot), 역병(late blight), 겹동근무늬병(early blight), 은무늬병(silver scurf), 무름병(soft rot) 등이 있다(Olsen 등, 2006). 그 중에서 특히 마른썩음병 억제에 대해 국내에서 보고된 사례가 부족한 실정이다. 감자의 마른썩음병을 유기하는 균은 2000년 전까지는 *Fusarium solani*로 보고되어 있었으나(Kim, 2000; Park 등, 1988), 현재는 국립농산물병해충관리시스템에 *Fusarium* sp로 등록되어 있다(NCPMS, 2023). 마른썩음병은 종자 및 토양 매개성

이며 감염 경로는 토양에 잔존하고 있는 월동 상태의 포자가 상처나 절단면을 통해 괴경으로 이동하게 된다. 처음에는 작은 갈색에서 어두운 색의 병징이 괴경의 상처 부위에 감염이 발생한 뒤 감자의 표피가 함몰되고 주름이 많아지며, 때때로 동심원상으로 죽은 조직이 마르게 된다. 이러한 병징은 5–30°C 범위의 온도에서 저장하는 동안 흰색, 분홍색, 또는 주황색의 균사체를 생성한다(Bojanowski 등, 2013; Elsherbiny 등, 2016). 마른썩음병이 발병하기 쉬운 환경 조건은 15–20°C의 온도와 95% 이상의 상대습도이다(Wharton 등, 2007). 수확 시 기계 수확 등으로 인한 괴경 손상은 토양 또는 괴경 표면에 휴면중인 포자가 진입하기에 적절한 상태가 된다. 어린 괴경은 마른썩음병에 저항성이 있는 것으로 보이며, 마른썩음병은 저장의 마지막 중간 단계에서 빠르게 진행된다(Wharton 등, 2007). 현재 thiabendazole(TBZ)을 이용한 수확 후 처리는 마른썩음병의 부분적 방제에 사용될 수 있으나 이 약제에 대한

*Corresponding author: Sae Jin Hong, hongsj@gwnu.ac.kr
Nam Sook Kim, bskim@gwnu.ac.kr
Received March 14, 2023; Revised April 25, 2023;
Accepted April 26, 2023

Fusarium 균주의 내성에 대한 보고가 있다(Hanson 등, 1996; Hide 등, 1992).

일반적으로 CIPC로 알려진 chlorpropham은 세포분열 및 호흡작용을 저해하는 카바메이트(carbamates)계 비선택성 성장조정제로, 작용기작은 세포분열 동안 방추사 형성을 방해하여 유사분열을 억제해 그 결과 발아를 억제하는 합성 화학물이다(Vaughn과 Lehnen Jr, 1991). 주로 감자의 맹아 억제용으로 사용되며 제초제로도 광범위하게 이용되고 있다. CIPC는 1962년 미국에서 제초제로 처음 등록되어(EPA, 1996) 사용되기 시작하였으며, 1970년대부터 감자 맹아 억제에 대한 효과가 보고되었다(Lee, 1970; Olofsson, 1970). 미국에서는 CIPC 처리법이 제시되어 이용되고 있으며(Corsini 등, 1979; Mahajan 등, 2008; Paul 등, 2016), 국내에서도 상온 저장하는 가공용 감자의 맹아억제를 위해 사용되고 있으며 CIPC는 농약허용기준강화제도(PLS, positive list system)에 따라 처리농도는 0.5%로 사용을 규제하고 있다(RDA, 2022). 감자의 맹아억제를 위한 약제처리 연구중에서 CIPC 처리가 맹아억제에 효과에 있는 것으로 보고되어 있다. 감자(cv. Shepody와 cv. NorValley)에 CIPC 권장 처리농도(1.0%) 보다 1/10 저농도인 0.1%로 희석한 저농도를 처리해도 맹아억제 효과가 있는 것으로 보고되어 있다(Daniels-Lake 등, 2011).

마른썩음병은 병원균의 침입 이후 온도와 습도 등 환경적 요인의 영향을 받아 상품성을 떨어트린다. 마른썩음병 발생으로 인한 손실은 최대 60%의 수확량 손실을 일으키며(Theron과 Holz, 1991), 평균 손실은 6-25%이다(Chełkowski, 1989). 기본적으로 감자의 저장 중 맹아의 출현은 수확 후 손실을 의미하며, 덩이줄기 내 전분과 같은 유용물질이 맹아 발현을 유기하여 이를 통해 빠른 수분의 손실로 양적인 손실이 발생하게 된다. 따라서 저장수명 연장과 수확 후 손실을 줄이기 위해서는 병과 맹아 억제가 반드시 필요하다.

성장조정제 및 제초제 등으로 쓰이는 chlorpropham은 마른썩음병을 억제하기 위한 살균의 목적으로 사용된 적이 없으며 연구 결과도 보고된 바가 없어 대상 병해에 대한 억제 농도를 찾아내는 것이 필요하다. 본 연구는 감자를 수확한 뒤 저장하는 과정에서 발생하는 저장병 중 하나인 마른썩음병을 억제하기 위한 맹아억제제로 사용되는 chlorpropham 처리 효과를 알아보기 위해 수행되었다.

재료 및 방법

1. Chlorpropham의 *in vitro* 약제 스크리닝을 위한

마른썩음병 균사 생장 억제 조사

Chlorpropham의 마른썩음병 균사 생장 억제 효과를 조사

하였으며, 대조약제는 대표적인 벼 종자 살균제인 prochloraz (a.i 25% EC, 스포탁; ㈜경농, 한국)를 사용하였다. *Fusarium* 균주는 마른썩음병 고병원성인 *Fusarium* sp. S-3(*F. oxysporum*)를 공시 균주로 선정하였다. 균을 배양하는 PDA 배지의 처리 약제 농도는 chlorpropham은 5.0, 50.4, 503.8, 그리고 5,038 ppm을, 그리고 prochloraz는 0.1, 1.0, 10.0, 그리고 100.0 ppm을 사용하였다. 병원균의 PDA 배지에서 10일 동안 배양한 코르크보러로 채취한 균사 절편(직경 10mm)을 약제 배지의 중앙에 올려 접종하였다. 균사 생장은 배지에서 생장된 균사의 길이를 측정하였다. 균사 생장억제율은 접종 후 20°C 인큐베이터에서 14일간 약제 배지에서 배양된 균사 생장물을 무처리 배지에서 배양한 균사 생장물과 비교하여 처리구 당 총 5개씩 5반복으로 측정하였다. 실험으로 얻어진 결과의 통계분석은 SAS system(SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)을 이용하여 분산분석(ANOVA)을 하였으며, Duncan의 다중검정(DMRT)를 이용하여 $p \leq 0.05$ 수준에서 각 처리 간의 유의성을 검증하였다.

$$\text{균사생장 억제율(\%)} = \frac{\text{무처리구 균사생장 길이} - \text{처리구 균사생장 길이}}{\text{무처리구 균사생장 길이}} \times 100$$

2. Chlorpropham의 맹아 억제 효과 조사

성장조정제 chlorpropham(a.i 45.8% EC, 해말근; ㈜경농) 처리에 따른 맹아 발생 정도는 감자 ‘역강’ 품종의 괴경을 침지 처리 후 맹아율을 조사하여 비교하였다. 감자 자체의 생리기작과 환경적 요인을 배제하고 chlorpropham의 맹아억제 효과를 파악하기 위해 감자 시료는 3개월 이상 4°C에서 저온저장하여 휴면이 완전히 타파된 상태의 괴경을 사용하였다. *In vitro* 약제 스크리닝 실험을 통해 chlorpropham 처리용액의 희석배수는 5.0, 50.4, 그리고 503.8 ppm으로 설정하여 1분간 상온에서 침지하였으며, 괴경을 완전히 건조시킨 후 20°C 실온과 4°C 저온에 저장하였다. 맹아율은 농촌진흥청 실험방법(RDA, 2012)에서 규정한 3mm 이상의 맹아가 발생하였을 경우를 기준으로 조사하였으며, 각 처리구의 괴경수는 10개씩 3반복으로 수행하였다.

3. *in vivo*에서 chlorpropham의 마른썩음병 방제 효과 검증

Chlorpropham 처리가 실제 감자에서 마른썩음병의 병 발생 억제 효과가 있는지 조사하였다. 감자 시료는 맹아억제 실험에 이용된 3개월 이상 저온저장한 ‘단오’ 품종을 이용하였다. 괴경에 병원균의 접종은 병원성 검정과 같은 방법으로 코르크 보러(직경 10mm)를 이용해 감자 표면에 8mm 깊이로

상처를 내었다. 약제는 chlorpropham은 현탁액(5.0, 50.4, 그리고 503.8ppm)과 prochloraz 현탁액(100ppm)에 1분간 침지하여 처리하였으며 대조구는 증류수를 1분간 침지하였다. 침지 처리된 괴경은 꺼낸 뒤 완전히 건조시켰다. 접종은 상처를 낸 구멍에 *F. oxysporum*의 agar disc를 끼워 넣어 접종하였다. 접종된 감자는 실온(20°C)과 저온저장고(4°C)에 저장하면서 병 발생을 조사하였다. 병의 진행 정도는 괴경에서 접종 부위를 기준으로 성장된 병징의 길이를 측정하였으며, 조사는 각 처리당 3개씩 3반복으로 수행하였다.

4. 통계분석

실험으로 얻어진 결과의 통계분석은 SAS system(SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)을 이용하여 분산분석(ANOVA)을 하였으며, Duncan의 다중검정(DMRT)를 이용하여 $p \leq 0.05$ 수준에서 각 처리 간의 유의성을 검증하였다.

결과 및 고찰

1. Chlorpropham의 in vitro 약제 스크리닝을 위한 마른썩음병 균사 생장 억제 조사

Chlorpropham의 생장 억제 효과는 *Fusarium oxysporum*을 대상으로 in vitro에서 균사 생장 억제 실험을 진행하여 조사하였다. *F. oxysporum* 균사 생장은 낮은 처리 농도인 chlorpropham 5.0ppm과 prochloraz 0.1ppm보다 높은 처리 농도인 chlorpropham 5,038ppm과 prochloraz 100ppm에서 더욱 억제되는 경향을 보였다. Chlorpropham의 균사 생장 억제 결과, 5,038ppm에서 100%, 503.8ppm에서 98.2%, 50.4ppm에서 76.0% 그리고 5.0ppm에서 1.8%의 억제율을 나타내었다. 대조약제 prochloraz는 10ppm 이상에서는 100%, 1ppm에서 98.6%, 그리고 0.1ppm에서 53.8%의 균사생장 억제율을 나타내었다(Table 1). 두 약제 모두 낮은 농도의 약제와 비교하였을 높은 농도의 배지에서 대부분 균사 생장이 억제되었다. 감자 마른썩음병 억제에 대조약제인 prochloraz가

효과적이라는 보고가 있으며(Hide와 Cayley, 1985), 본 연구에서도 100% 억제 효과를 보였다. Prochloraz는 10ppm 처리 농도에서 그리고 chlorprophame은 살균제는 아니지만 허용 농도 5%에서 균사생장이 100% 억제되었다. 이는 in vitro 조건에서 chlorpropham은 허용 농도인 5% 처리 시 *F. oxysporum*의 균사 생장을 억제가 가능한 것으로 조사되었다.

2. Chlorpropham의 멧아 억제 효과 조사

멧아억제제인 chlorpropham은 휴면이 타파된 ‘역강’ 품종에 처리 시 멧아 출현을 억제하였으며, 5.0ppm 처리구에 비해 503.8ppm 처리구에서 효과가 뚜렷하였다. 4°C 저온저장한 괴경을 20°C 상온에 노출 시 무처리구는 30일에 88%의 감자에서 멧아가 출현하였으나 503.8ppm 처리구에서는 42%의 감자에서 멧아가 출현하였다. 상온저장 50일에 무처리구는 거의 대부분인 97%의 감자에서 멧아가 출현하였으나 503.8ppm 처리구 감자의 멧아율은 66%로 수치상 비교적 낮게 나타났으며, 통계적으로 유의했다. 대조구에 비해 32%의 억제율을 보였다. Chlorpropham 5.0ppm 처리구는 무처리구와 유사한 멧아율을 보여 멧아억제 효과가 거의 없는 것으로 조사되었다(Table 2). 일반적으로 규정되어 있는 처리농도보다 낮은 농도에서도 CIPC는 멧아 처리효과 있다고 알려져 있다. 저농도인 0.1% CIPC 처리에도 멧아 억제가 인정된 연구(Daniels-Lake 등, 2011)와 비교하면 본 연구에서 이용된 500ppm 처리는 PLS에서 제시한 0.5% 처리의 1/10 수준임에도 멧아 억제 효과가 분명하였다.

4°C 저온저장한 ‘단오’ 감자는 저장 30일까지는 멧아가 관찰되지 않았으며 이는 저온에 의한 환경휴면 때문으로 생각된다. 저온저장 시 40일에 대조구 감자는 멧아 출현이 42%였으나 503.8ppm 처리구에서는 21%의 감자에서 멧아가 출현하였다. 이후 저장 50일에도 유사한 억제 효과를 보이며 대조구에 비해 503.8ppm 처리구의 감자에서 39.4%의 멧아 억제 효과를 나타냈다. 단 저온에서 멧아율은 503.8ppm에서 28%로 낮게 나타났으나, 통계적 유의차는 없었다. 4°C 저온저장한

Table 1. Effect of chlorpropham and prochloraz treatment with dipping for 1 min at room temperature on sprout inhibition of potato ‘Dano’.

Chlorpropham (ppm)	Mycelial growth (mm)	Inhibition (%)	Prochloraz (ppm)	Mycelial growth (mm)	Inhibition (%)
0	44.1 a ²	-	0	56.3 a	-
5.0	43.3 a	1.8	0.1	26.0 b	53.8
50.4	10.6 b	76.0	1.0	0.8 c	98.6
503.8	0.8 c	98.2	10.0	0.0 c	100
5,038	0.0 c	100	100.0	0.0 c	100

²Mean separation within columns by Duncan’s multiple ranges test at $p \leq 0.05$.

감자도 20°C 처리구와 마찬가지로 5.0ppm 처리구는 통계상 멍아억제 효과가 없는 것으로 조사되었다. 이러한 결과는 감자에 CIPC 처리에서 감자에 CIPC가 5ppm 이하로 잔존하면 멍아억제 효과가 없다는 연구(Olofsson, 1970)와 일치하였다. 휴면이 타파된 감자는 50.4ppm 이하의 chlorpropham 처리 시 멍아의 생장은 관찰되었으나 503.8ppm 처리 시 멍아는 출현해도 멍아의 생장은 관찰되지 않았다(Fig. 1). 휴면이 타파된 ‘수미’ 감자에 5%의 chlorpropham 분무살포해도 동일한 현상이 관찰되었다(자료 미제시). 휴면이 타파되면 이미 성장점은 분열 활동을 시작하였으나 503.8ppm 처리 농도에서는 괴경의 싹 생장에 필요한 세포분열이 억제되었기 때문에 판단된다. 감자에 30ppm 이상 CIPC가 잔존하면 멍아 억제효과가 있다는 연구(Olofsson, 1970)와 비교하면 본 연구에서 50ppm 처리구의 감자 멍아억제 효과는 크지 않으며, 특히 상온 저장 시 억제 효과가 매우 낮았다. 50.4ppm 이하의 chlorpropham 처리농도는 저장중 특히 상온저장 시 CIPC의 분해로 CIPC의

멍아억제 기작인 세포분열을 완전히 억제하지는 못하는 것으로 생각된다. CIPC 처리에 따른 연구에서 정단 눈은 측면 눈보다 CIPC에 더 민감하며, 저농도의 CIPC로 처리된 씨감자는 처리되지 않은 감자보다 멍아가 느리게 발현하고, 멍아 지연은 CIPC 농도와 관련이 있다고 보고되어 있다(Lee 등, 1972). 본 연구에서도 CIPC 무처리구와 5ppm 처리구와 비교하면 50ppm의 처리구에서 멍아는 발현되어도 멍아신장이 억제되었으며, Lee 등(1972)의 보고와 유사한 결과를 보였다. 본 연구를 바탕으로 효과적인 멍아 억제를 관찰하기 위해서는 일정 농도 이상의 약제처리를 필요로 하는 것으로 나타났다.

3. *in vivo*에서 chlorpropham의 마른썩음병 방제 효과 검증

약제 처리의 마른썩음병 발생 억제효과는 저장조건인 20°C 상온에서는 30일부터 10일 간격으로 총 70일, 그리고 4°C 저온에서는 40일부터 30일 간격으로 총 130일간 병반 지름을

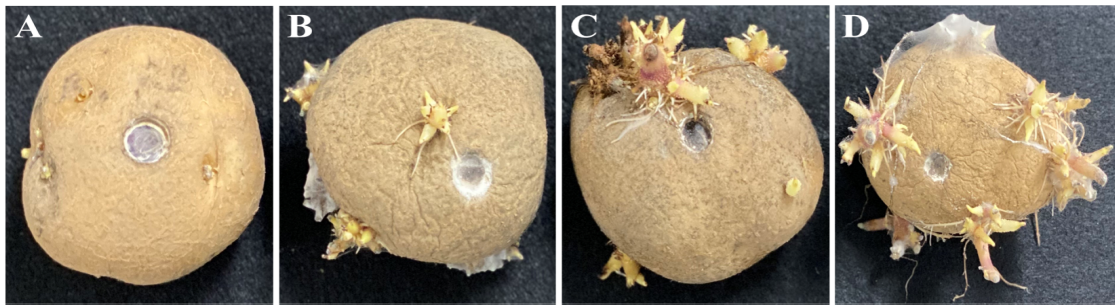


Fig. 1. Sprouting appearance of potato ‘Yeokgang’ according to concentration of chlorpropham treatment with dipping for 1 min at room temperature. A: 503.8 ppm, B: 50.4 ppm C: 5.0 ppm, D: 0 ppm.

Table 2. The suppressive effects of chlorpropham and prochloraz containing media, *in vitro* on mycelial growth of *Fusarium oxysporum* incubated at 20°C for 14 days.

Storage temp. (°C)	Dipping ² conc. (ppm)	Sprouting (%)			Inhibition rate (%)
		Storage period (days)			
		30	40	50	
20	0	88.0 a ³	92.0 ab	97.0 a	-
	5.0	86.0 a	95.0 a	98.0 a	0
	50.4	73.0 a	79.0 b	90.0 a	7.8
	503.8	42.0 b	57.0 c	66.0 b	32.0
4	0	0 a	42.0 a	46.0 a	-
	5.0	0 a	38.0 a	44.0 ab	4.3
	50.4	0 a	29.0 ab	34.0 ab	26.1
	503.8	0 a	21.0 b	28.0 b	39.4

²For 1 min at room temperature.

³Mean separation within columns by Duncan’s multiple ranges test at $p \leq 0.05$.

조사하였다. 상온저장한 감자는 모든 chlorpropham 처리구에서 30일차에 마른썩음병이 진전되지 않았으며 40일차에 급격히 병반이 형성되었다. 하지만 약제처리구에 유의성을 확인할 수는 없었고, 50일차에 무처리구와 비교하였을 때 모든 약제처리구에서 병반 형성이 억제되는 경향을 보이거나 통계적으로 50.4ppm 처리구에서 높은 억제 효과를 확인할 수 있었다. 균총을 치상한 무처리구의 감자 괴경에서 병반 직경의 값이 13.1mm로 높게 나타났으나 50.4ppm 처리구의 감자는 10.1mm로 병 진전이 확실히 억제되었다. 60일차에서도 50.4ppm 처리구 감자에서 병반 지름은 10.6mm이었으며, 무처리구의 감자의 13.1mm보다 통계적 유의성이 있게 낮은 값을 보였다. 저장기간이 50일까지는 병반의 지름이 커지는 경향을 보이거나 이후에는 모든 처리구에서 일정한 수준을 유지하였다. 병반 지름은 저장 60일과 70일 모두 50.4ppm에서 가장 낮은 값을 보였다. 결과적으로 상온 조건에서는 chlorpropham 처

리 시 다른 처리구에 비해 50.4ppm 처리구에서 병반의 진행이 가장 억제되는 것으로 조사되었다(Table 3).

저온 저장 조건인 4°C에서 40일차에 무처리구와 prochloraz 처리구 그리고 모든 chlorpropham 처리구에서 병반의 지름은 3.4 - 4.6mm 사이로 유사하였으며, 통계적 유의성도 없었다. 저장 130일까지 모든 처리구에서 병반은 2배 정도 증가하였으며, prochloraz와 모든 chlorpropham 처리구의 감자에서 병의 억제 효과는 없었다(Table 4). 저온조건에서는 전체적인 병의 진행이 억제되어 chlorpropham의 처리 효과를 확인하기 어려웠다. 마른썩음병을 일으키는 대부분의 *Fusarium* 속 균사 생장과 포자 형성의 생육 적온은 각각 20 - 25°C와 25 - 30°C이며, 5°C 이하의 조건에서는 균사생장이 억제되는 것으로 보고되었다(Tiwari 등, 2020). 따라서 본 실험의 저온 조건으로 인해 병반 진행이 억제되어 약제 처리에 의한 병반 진행 억제 효과가 크지 않았던 것으로 판단된다. 따라서 5°C 이하

Table 3. Inhibitory effect of chlorpropham treatment on dry rot of potato ‘Dano’ tuber caused by *Fusarium oxysporum* inoculation during storage at 20°C.

Chemicals	Dipping ^z conc. (ppm)	Diseased diameter (mm)				
		Storage period (days)				
		30	40	50	60	70
Control	-	0.0 a ^y	12.6 a	13.1 a	13.1 ab	13.7 a
Prochloraz	100.0	0.0 a	10.4 a	10.8 ab	11.7 ab	13.0 ab
	5.0	0.0 a	10.2 a	12.1 ab	13.7 a	13.7 a
Chlorpropham	50.4	0.0 a	8.6 a	10.1 b	10.6 b	10.7 b
	503.8	0.0 a	11.0 a	12.1 ab	13.0 ab	13.0 ab
LSD	-	-	4.5	2.3	1.8	2.3

^zFor 1 min at room temperature.

^yMean Separation within columns by Duncan’s multiple ranges test at $p \leq 0.05$.

Table 4. Inhibitory effect of chlorpropham treatment on dry rot of potato ‘Dano’ tuber caused by *Fusarium oxysporum* inoculation during storage at 4°C.

Chemicals	Dipping ^z conc. (ppm)	Diseased diameter (mm)			
		Storage period (days)			
		40	70	100	130
Control	-	4.3 a ^y	7.2 a	8.0 a	9.1 a
Prochloraz	100.0	4.5 a	6.7 a	7.1 a	8.3 a
	5.0	4.6 a	7.8 a	8.1 a	8.1 a
Chlorpropham	50.4	4.0 a	8.1 a	8.3 a	8.5 a
	503.8	3.4 a	6.4 a	7.3 a	8.0 a
LSD	-	1.1	1.4	1.6	1.6

^zFor 1 min at room temperature.

^yMean Separation within columns by Duncan’s multiple ranges test at $p \leq 0.05$.

에서도 균사생장을 보이는 *F. sambucinum*과 *F. graminearum* 균주를 이용하여 추가 실험 진행 시 저온 저장 조건에서의 뚜렷한 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다(Daami-Remadi, 2012).

실온 저장 시 감자의 마른썩음병 억제 효과는 처리구 중에서 50.4ppm 처리구에서 가장 낮게 나타났으며, 50.4ppm보다 고농도 처리구인 503.8ppm 처리구보다도 병의 억제 효과가 좋은 것으로 조사되었다. 병의 진행이 억제되는 이유는 chlorpropham의 세포분열을 억제하는 기작이 병의 균사생장에도 동일하게 작용하는 것으로 생각된다. 503.8ppm chlorpropham 처리 시 감자의 멍아억제에는 효과적이나 감자의 마른썩음병균 생장에서는 50.4ppm 처리구보다 병 진행에 대한 억제 효과가 적었다. 이러한 결과에 대한 원인은 불분명하나 고농도 chlorpropham 처리 시 병원균의 생장도 억제하지만 감자 괴경의 생장점의 세포분열 억제와 함께 식물체 조직도 약해질 가능성이 있는 것으로 생각된다. 감자의 마른썩음병에 이용되는 살균제 중에 thiabendazole(Hide 등, 1992)과 benzimidazoles(Daami-Remadi와 El Mahjoub, 2006)은 이미 일부 국가에서 약제저항성을 갖는 *Fusarium* 균이 발생하여 방제 효과가 낮아지는 것이 보고되고 있다. 마른썩음병 방제를 위해 약제의 단용처리는 약제저항성을 갖는 병원균의 출현을 촉진시킬 수 있으므로 병에 대한 살균 작용기작이 상이한 약제의 교호 처리 및 혼용처리 그리고 새로운 약제의 개발이 필요하다. 본 연구결과 종서를 제외한 감자의 상온저장 시 멍아억제제인 chlorpropham 처리가 마른썩음병 방제에 이용 가능성이 있는 것으로 판단된다.

적 요

감자 마른썩음병은 *Fusarium* 종에 의해 발병하는 감자 저장병 중 하나이며 저장중 수확후 손실을 일으키는 대표적인 병리장해이다. 멍아억제를 위해 허용된 chlorpropham 처리는 주로 가공용 감자의 상온저장 시 이용되고 있다. 본 연구에서는 감자 저장 중 멍아의 출현을 억제하기 위해 사용되는 chlorpropham 처리가 *Fusarium*에 의한 마른썩음병(*Fusarium solani* Appel & Wollenw) 발생의 억제 효과가 있는지 확인하기 위해 감자 ‘단오’ 품종을 이용하여 수행되었다. 마른썩음병균의 균사 생장률을 조사하기 위해 균사 생장은 *F. oxysporum* 균사를 치상한 chlorpropham(5.0, 50.4, 503.8, 5,038ppm)과 prochloraz(0.1, 1.0, 10.0, 100.0ppm) 약제배지를 이용하여 *in vitro*에서 조사하였다. 20°C에서 14일간 치상한 균사는 chlorpropham과 prochloraz 처리 시 처리 농도가 높을수록 생장이 더욱 억제되었으며, 억제율은 chlorpropham 503.8ppm

과 prochloraz 10ppm 처리 시 각각 98.2%와 100%를 나타냈다. 20°C 상온과 4°C 저온저장 중 마른썩음병 방제 효과는 *F. oxysporum*을 접종한 감자 괴경을 chlorpropham(5.0, 50.4, 503.8ppm)과 prochloraz(100ppm)에 침지처리하여 조사하였다. 상온 저장한 감자(20°C)의 병반 직경은 저장 70일 때에 무처리구 괴경의 13.7mm에 비해 chlorpropham 50.4ppm 처리구에서만 10.7mm로 유의성이 있게 억제되었다. 저온에서는 모든 처리구에서 병반 진행은 통계적 유의차가 없이 유사하였다. 본 연구 결과에서 저장 감자의 마른썩음병을 억제하기 위해서는 수확 후 chlorpropham 50.4ppm 처리가 유용할 것으로 판단된다.

추가주제어: 균사생장, 마른썩음병(건부병), 저장병, *Fusarium oxysporum*

사 사

본 연구는 2021년도 농촌진흥청 연구개발과제(과제번호: PJ01560603)의 지원에 의해 이루어진 ‘고위도 지역 적응 감자 수확 후 관리 및 이용성 증진 연구’ 과제로 수행되었습니다.

Literature Cited

- Bojanowski A., T.J. Avis, S. Pelletier, and R.J. Tweddell 2013, Management of potato dry rot. *Postharvest Biol Technol* 84:99-109.
- Chelkowski J. 1989, Toxicogenicity of *Fusarium* species causing dry rot of potato tubers. In J Chelkowski, ed, *Fusarium: Mycotoxins, Taxonomy and Pathogenicity*. Elsevier Science Publishing, New York, USA, pp 435-440.
- Corsini D., G. Stallknecht, and W. Sparks 1979, Changes in chlorpropham residues in stored potatoes. *Am Potato J* 56:43-50. doi:10.1007/BF02851122
- Daami-Remadi M. 2012, Potato *Fusarium* dry rot in Tunisia: Current status and future prospects. *Pest Technol* 6:15-22.
- Daami-Remadi M., and M.E. Mahjoub 2006, Présence en Tunisie d'isolats de *Fusarium sambucinum* résistants aux benzimidazoles : développement *in vitro* et agressivité sur tubercules de pomme de terre. *Biotechnol Agron Soc Environ* 10:7-16.
- Daniels-Lake B.J., K. Pruski, and R.K. Prange 2011, Using ethylene gas and chlorpropham potato sprout inhibitors together. *Potato Res* 54:223-236.
- Elshebiny E.A., B.H. Amin, and Z.A. Baka 2016, Efficiency of pomegranate (*Punica granatum* L.) peels extract as a high potential natural tool towards *Fusarium* dry rot on potato tubers. *Postharvest Biol Technol* 111:256-263.

- Environment Protection Agency (EPA) 1996, R.E.D. Facts, Chlorpropham. United States Environment Protection Agency, Washington, D.C., USA.
- Hanson L.E., S.J. Schwager, and R. Loria 1996, Sensitivity to thiabendazole in *Fusarium* species associated with dry rot of potato. *Phytopathology* 86:378-384.
- Hide G.A., and G.R. Cayley 1985, Effects of delaying fungicide treatment of wounded potatoes on the incidence of *Fusarium* dry rot in store. *Ann Appl Biol* 107:429-438. doi:10.1111/j.1744-7348.1985.tb03159.x
- Hide G.A., P.J. Read, and S.M. Hall 1992, Resistance to thiabendazole in *Fusarium* species isolated from potato tubers affected by dry rot. *Plant Pathol* 41:745-748. doi:10.1111/j.1365-3059.1992.tb02558.x
- Kim J.W. 2000, *Plant Pathology*. Daegu University Press, Daegu, Korea. (in Korean)
- Lee Kim M.S., E.E. Ewing, and J.B. Sieczka 1972, Effects of chlorpropham (CIPC) on sprouting of individual potato eyes and on plant emergence. *Am Potato J* 49:420-431.
- Lee M.S. 1970, Effects of isopropyl AT-(3-chlorophenyl) carbamate on sprouting and metabolism of potato tubers. PhD Dissertation, Cornell University, NY, USA.
- Mahajan B.V.C., A. Dhatt, K. Sandhu, and A. Garg 2008, Effect of CIPC (isopropyl-N (3-chlorophenyl) carbamate) on storage and processing quality of potato. *J Food Agric Environ* 6:34-38.
- National Crop Pest Management System (NCPMS) 2023, Dry rot of potato. Available via <https://ncpms.rda.go.kr/npms/ImageSearchInfoR1.np?detailKey=D00000075> (in Korean)
- Olofsson B. 1970, Chemicals and methods to inhibit sprouting during storage of potatoes. *Medd St VaxtskAnst* 14:323-340.
- Olsen N., J. Miller, and P. Nolte 2006, Diagnosis & management of potato storage diseases. University of Idaho Extension, Idaho Agricultural Experiment Station, ID, USA.
- Park J.S. 1988, *Plant Pathology*. Hyangmoonsa, Seoul, Korea. (in Korean)
- Paul V., R. Ezekiel, and R. Pandey 2016, Sprout suppression on potato: need to look beyond CIPC for more effective and safer alternatives. *J Food Sci Technol* 53:1-18. doi:10.1007/s13197-015-1980-3
- Rural Development Administration (RDA) 2012, Agricultural science and technology research and analysis standards, RDA, Suwon, Korea, p 475.
- Rural Development Administration (RDA) 2022, Chlorpropham, Pesticides safety information system, Available via <https://psis.rda.go.kr/psis/agc/res/agchmRegistStusLst.ps>
- Theron D.J., and G. Holz 1991, Prediction of potato dry rot based on the presence of *Fusarium* in soil adhering to tubers at harvest. *Plant Dis* 75:126-130.
- Tiwari R.K., R. Kumar, S. Sharma, V. Sagar, R. Aggarwal, K.C. Naga, M.K. Lal, K.N. Chourasia, D. Kumar, and M. Kumar 2020, Potato dry rot disease: current status, pathogenomics and management. *3 Biotech* 10:503 doi:10.1007/s13205-020-02496-8
- Vaughn K.C., and L.P. Lehnen Jr. 1991, Mitotic disruptor herbicides. *Weed Sci* 39:450-457.
- Wharton P., R. Hammerschmidt, and W. Kirk 2007, *Fusarium* dry rot. Michigan potato diseases series. Michigan State University, MI, USA.