

과제구분	기본연구	수행시기		전반기	
중장기Code		RIMS Code			
연구과제 및 세부과제		연구분야 (Code)	수행 기간	연구실	책임자
고랭지농업 안정생산기술 개발		LS0208	'93~'10	환경농업연구과	김승경
무사마귀병 발생생태 및 방제법 개발		LS0602	'97~'06	환경농업연구과	이재홍
색인용어	배추, 무사마귀병, 발생생태, 방제				

ABSTRACT

Clubroot is one of the most critical disease in cruciferous plants. This study was conducted to find out ecological environment of *Plasmodiophora brassicae*, causal organism, and elucidate control methods of this disease.

In investigation of soil environment affecting the incidence of clubroot, except only soil pH, any chemical elements didn't affect it severely. But, only soil pH affected it slightly.

In host range test of cruciferous weeds on clubroot, *Arabis glabra*, *Barbarea sibirica*, *Lepidium virginicum*, and *Thlaspi arvense* turned out to be hosts of clubroot.

Selection of resistant cultivar was tested on radish, chinese cabbage and cabbage. On radish, 18 cultivars involving Cheongunmu turned out to be resistant in 1997, 14 cultivars containing Backjamu in 1999 and 15 cultivars with Backgwangmu in 2000, respectively. In chinese cabbage 8 cultivars containing 94CC789 were resistant in 1998, 12 cultivars with CR Singing in 1999, and 7 cultivars involving CR Green in 2000. In cabbage, all tested cultivar were susceptible. Resistant cultivars in chinese cabbage were turned to be susceptible in 2003.

As one of control methods of clubroot, crop rotation, elimination of inoculum source, lime treatment, and seedling using paper pot was not effective when they were treated respectively. When they were treated two or more combinantly, control effects were good.

On studies of chemical treatments, Fluazinam WP, Azoxystrobin WP, and Trifloxystrobin WG was good, but growth retardance in several days was occurred at those treatments. Cyazofamid SC was more effective than any other chemicals, and treatment injury was not occurred.

In advaced integrated control method, lime treatment, resistant cultivar, seedling using paper pot, and chemical treatment was tested with single, two or more methods. When inoculum density was low, only chemical treatment showed good on clubroot. But when inoculum density was high, chemical treatment was not enough. But when it was two or more methods involving chemical treatment, the effect was very excellent.

1. 연구목표

우리나라에서 재배되고 있는 배추는 대부분 70일 전후의 재배기간이 소요되는 결구형 배추이다. 배추는 생육적온이 20℃ 전후로서 여름철 단경기에는 주로 산간고랭지에서 재배되고 있는 바 특정지역에서 연작하기 때문에 병해의 다발이 문제가 되고 있다.

무사마귀병은 1920년경 수원, 서울근교지역에서 최초로 발생이 보고된 바 있으나 그 당시에는 크게 문제되지 않았다. 그러나 강원도에서 '96년 6.5ha 발생을 시발로 최근 급격히 발생면적이 증가하여 '99년 370ha, 2006년에는 401.5ha에 이르게 되었다.

무사마귀병은 십자화과작물 대부분에서 발생하며 십자화과 잡초 중 일부에서도 발병한다. 병원균 (*Plasmodiophora brassicae*)은 분류학상 조균류 고생균강 근류병균목에 해당하고 균사가 없으며 휴면포자, 유주자, 변형체 등의 형태로 존재한다. 그리고, 병원균은 휴면포자의 상태로 토양 내에서 7~8년 이상 생존이 가능하고 기주의 뿌리 세포내 휴면포자의 수가 매우 많게 되어 본병의 방제는 매우 어려운 상태에 놓이게 된다. 본 병의 피해경감을 위해서는 약제처리 등의 방제도 중요하지만 예방이나 확산방지를 위한 연구 등의 종합적인 검토가 필요하다.

따라서 본시험에서는 본 병이 발생하기 쉬운 환경조건 구명, 기주범위 검토, 저항성 품종, 경종적 방제방법, 우수방제약제 선발, 그리고 이들 개별적 방제방법을 조합하여 종합적인 방제방법을 수립하고자 시험을 수행하였다.

2. 재료 및 방법

가. 무사마귀병 발생원인 조사

'96년도에 발병했던 시군을 대상으로 무사마귀병이 발생했던 발병지와 인근지를 대상으로 6개 시군 245점을 채취하였다. 시험은 토양검정과 생물검정으로 나누어 수행하면서 발병에 미치는 토양환경을 구명하였다. 토양검정은 토성, 토양산도, 칼슘, 유기물 등 일반적인 토양의 이화학성을 분석하였다. 생물검정은 온실에서 포트시험으로 수행하였고, 시험에 사용한 품종은 노랑봄배추를 이용하였다. 파종은 11월 20일에 128공 트레이에 실시하였고, 정식은 12월 19일에 크기 12×15cm 사각포트에 하였으며, 발병조사는 2월 10일에 수행하였다. 그리고 평창, 태백 등 주요 발생지역에서 재배품종, 발생시기 및 연작연수 등을 조사하였다.

나. 무사마귀병 십자화과 잡초기주 구명

본 시험은 98년과 99년 2회에 걸쳐 수행하였으며 시험에 이용한 병원균은 강원도 태백시 장성동에 소재한 무사마귀병 상습발생포장에서 채취한 균으로서 접종은 원예용상토에 십자화과 잡초종자를 파종한 후 본엽이 2~3매 전개되었을 때 포자농도를 토양 1gr당 10⁶개 정도가 되게 접종하였다. 십자화과 잡초로서 미나리냉이 등 13종을 이용하였고 병원균을 접종한 뒤 1차 감염 및 2차 감염(혹형성)상황을 조사하였다.

다. 무사마귀병 저항성 품종 선발 및 실증

저항성 품종 선발시험을 수행하기 위하여 97년에는 무 주요품종 및 계통 35종을, 98년에는 배추 21종, 양배추 8종을, 99년도에는 무 27종, 배추 28종, 양배추 71종을, 그리고 2000년에는 무 32종, 배추 12종, 양배추 3종을 수집하여 이를 시험에 이용하였다. 시험은 97년에는 태백시 장성동 농가포장에서

수행하였고 98년부터는 계속해서 평창군 방림면 농가포장에서 실시하면서 처리별로 수확시기에 발병주율을 조사하였다.

저항성 품종 실증시험은 시중에서 저항성 품종으로 시판되고 있는 CR계통의 배추종자를 이용하였고 시험은 평창군 방림면 농가포장에서 수행하였으며 수확시의 발병주율을 조사하였다.

라. 경종적 방법에 의한 배추 무사마귀병 방제법 개발

1) 단기윤작에 의한 배추 무사마귀병 방제

본 시험은 98년부터 2000년까지 3년 동안 수행하였고 양파, 저항성 무, 당근 및 감자 등을 98년 1년간 재배한 뒤 99년도에 방제효과를 조사하였으며 98년, 99년 2년간 재배한 뒤 2000년에 다시 배추를 재배하여 동일한 조사를 실시하였다. 전작물로서 배추품종으로는 고냉지여름을 이용하였고, 감자는 수미, 양파는 히구마, 무는 1기작에서는 고산지대형, 2기작은 백두무를, 당근은 홍춘5촌을 각각 이용하였다.

2) 전염원 제거에 의한 배추 무사마귀병 방제

본 시험은 1998년도에 전염원의 제거와 발병과의 관계를 구명하기 위하여 실시하였다. 시험구 처리로는 수확 후 3일(7월 7일)과 수확 후 10일(7월 15일)에 이병뿌리제거를 각각 실시한 후 가을재배 작형에서 병 발생양상을 검토하였다.

3) 배추 무사마귀병 방제를 위한 석회시용 효과구명

본 시험은 2000년도에 수행하였는데, 시험에 앞서 목표 pH 를 7.0으로 설정하여 10a당 석회소요량을 측정하였다. 공시토양 20g에 소석회 0, 25, 50, 75, 100, 150, 200mg 첨가후 증류수 50ml씩 첨가 후 실온에서 24시간 방치후 5시간 진탕한 뒤 pH를 측정하였으며 이 결과를 바탕으로 그림 1과 같이 pH 곡선을 그린 후 다음 계산식과 같이 석회시용량을 결정하였는 바 결과로 10a당 300kg이 소요되었다.

<계산식>

$20g : 48mg = 125,000kg : 10a당회 석회시비량$

$10a당 석회시비량 = 48mg \times 125,000kg / 20g = 300kg$

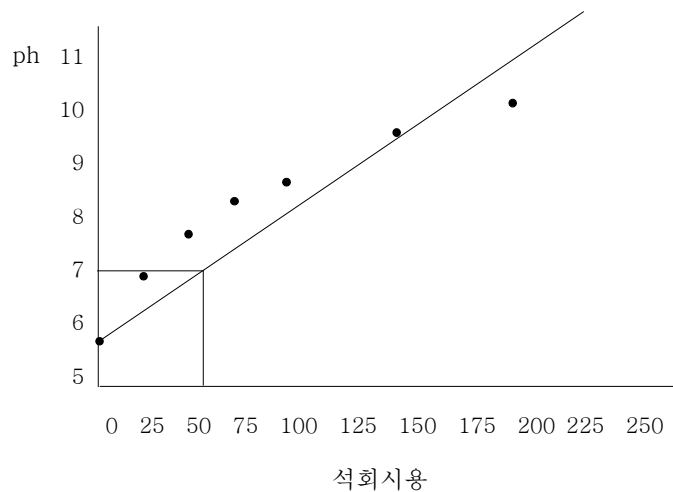


그림 1. 석회처리별 토양의 pH

따라서 생석회, 고토석회 및 소석회를 10a당 300kg 시용한 후 배추에서의 무사마귀병 방제효과를 조사하였다.

4) 종이꽃트 이용 무사마귀병 방제

본 시험은 2001년도에 수행하였으며, 72공과 128공 등 2종류의 종이꽃트를 이용하여 육묘하였다. 정식은 직접 셀을 떼어낸 후 그대로 심었으며 수확시 주당 생체중과 발병도를 조사하였다.

5) 무사마귀병 방제를 위한 친환경자재 선발

본 시험은 2005년도에 수행하였고, 시험에 이용한 재료는 무사마귀병이나 토양병해에 효과가 좋다고 하는 시판되고 있는 농약이 아닌 친환경자재들로 피토알렉신등 14종 이었다. 시험은 봄재배와 가을재배로 나누어 수행하였고, 봄재배에서 효과가 좋았던 자재들은 가을재배에 다시 검토하였다.

마. 우수방제약제 선발

우수약제 선발에 대한 시험은 97년부터 2004년까지 2001년을 제외하고 7년 동안 검토하였으며 해에 따라서 다른 약제를 이용하거나 처리방법을 달리하였다. 병행해서 농약품목등록시험도 3회 수행하였다. 대조약제로 후루설과미드분제를 이용하여 난괴법 3반복으로 처리하였으며 약제처리후 40일째 발병주율을 조사하였고 수확시에는 지상부생체중과 발병도를 조사하였다. 그리고 약제처리 후 수시로 약해유무를 조사하였다.

바. 종합방제법 개발

1) 무사마귀병 병원균 오염도별 방제방법

본 시험은 2001년도에 수행하였고, 시험토양은 병원균의 밀도를 휴면포자 g토양당 10^4 개와 10^5 개로 되게 조제한 다음 1/1000a 와그너꽃트에 80%정도 되게 오염토양을 채운 다음 파종 후 25일된 묘를 이식하였다. 이식전후에 토양에 약제처리를 하였고 수확시 발병도를 조사하였다.

2) 종이꽃트 육묘×석회시용×약제처리 조합

본 시험은 2001년도에 봄재배, 가을재배 등 2회에 걸쳐 수행하였다. 종이꽃트는 128공을 이용하였

고, 석회처리는 소석회를 10a당 0, 200, 400, 600kg 등 4수준으로 나누어 사용하였으며, 약제는 후루설과파이드분제 등 3종을 이용하였다. 처리별로 수확시에 발병도와 지상부 생체중을 조사하였다.

3) 저항성품종×석회사용×약제처리 조합

본 시험은 2006년도에 봄재배와 가을재배로 나누어 수행하였으며 시험품종으로서 감수성 품종으로는 봄재배, 가을재배 모두 고냉지여름 품종을 이용하였고 저항성 품종으로서는 봄재배시 CR노랭이, 가을재배시 CR농심을 이용하였다. 석회사용은 10a당 200kg을 사용하였고, 약제로는 후루설과파이드분제와 시아조파미드액상수화제 2종을 공시하였다. 처리별로 수확시에 발병도와 지상부 생체중을 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 무사마귀병 발생원인 조사

무사마귀병 발생에 미치는 환경요인에 대하여는 아직 연구가 미진한 실정이다.(김,1995) 본연구에서는 무사마귀병이 발생하는 데 있어 토양환경의 인자를 검토하기 위하여 발병지의 토양의 이화학성을 조사한 바 그 결과는 표 1과 같고 발병 토양과 무발병 토양에서 이화학성의 차이는 없는 것으로 나타났으며 전체적으로 보면 인산이 적정치보다 3배이상 높고, 유기물의 함량이 적정치보다 낮은 경향이였다.

표 1. 무사마귀병 발생지 및 인근지 토양분석 결과

구 분	pH	OM (%)	P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ex. Cation (10me/100g)			LR (kg/10a)	EC (ds/m)	
				K	Ca	Mg			
적정치	6.1~6.5	3.1~4.0	201~300	0.6~0.8	4.1~6.0	1.1~1.5	-	-	
전체 토양	최대	8.1	8.2	1687	3.04	19.92	5.58	487	2.40
	최소	4.0	0.2	89	0.05	0.55	0.06	0	0
	평균	6.21	2.33	792.78	0.93	7.96	1.76	129.14	0.50
발병 토양	최대	8.0	8.2	1669	3.04	16.63	5.29	487	2.395
	최소	4.0	0.2	147	0.05	0.55	0.06	0	0
	평균	6.06	2.34	807.21	0.97	6.93	1.39	128.22	0.58
무발병 토양	최대	8.1	6.9	1687	2.12	19.92	5.58	487	1.95
	최소	4.9	0.2	89	0.05	1.21	0.19	0	0.07
	평균	6.44	2.20	754.97	0.87	9.29	2.17	123.84	0.39

생물검정 시험결과는 표 2와 같고, 병 발생은 전체토양에서 42%(102점/245점), 발병지 토양 55%(67점/121점), 인근지 토양 28%(35점/124점)로 나타났다. 그리고 뿌리썩음등에 의해 검정할 수 없는 토양은 발병지에서 20점, 인근지에서 7점 등 전체 27점이였다.

단순히 토양환경과 발병과의 관계를 분석해 보면 토양의 이화학 성분은 무사마귀병의 발병에 큰 영향을 미치지 않고, 발병에는 병원균의 오염유무가 가장 큰 요인으로 판단되었다. 표 3은 발병율과 토양성분과의 상관관계를 나타낸 것이다 토양화학성과 무사마귀병발병과의 상관은 그다지 큰 경향은 나타나지는 않았지만 pH가 다소 높은 부의 상관관계를 나타냈다.

무사마귀병의 포자는 토양내에서 수년동안 살면서 알맞은 환경하에서 발아하여 변형체를 만들고 이들에게서 비롯된 유주자가 작물의 뿌리를 통해서 침입하는데 이때 칼슘이온이 휴면포자의 발아를 억제한다고 한다(Myers 등, 1985). 따라서 산성토양에서 발생이 잘될 수 있는데 본연구의 결과와 일치하는 경향이다.

표 2. 무사마귀병 발생지 및 인근지 토양 무사마귀병 발생주율(%)

전체 토양		발병지 토양		인근지 토양	
발생율	검정불능*	발생율	검정불능	발생율	검정불능
42%	11%	55%	17%	28%	6%
(102/245)	(27/245)	(67/121)	(20/121)	(35/124)	(7/124)

*모잘록병 또는 뿌리마름병 등에 의한 뿌리썩음 증상으로 인하여 무사마귀병의 발생유무를 검정할 수 없었음

표 3. 발병율과 토양성분과의 상관관계

	발병율	pH	유기물	인산	칼륨	칼슘	마그네슘
발병율	1.000	-0.500	-0.140	-0.193	-0.210	-0.385	0.209
pH		1.000	0.245	0.118	0.050	0.693	0.029
유기물			1.000	0.213	0.136	0.317	0.053
인산				1.000	0.283	0.223	-0.127
칼륨					1.000	0.167	0.304
칼슘						1.000	0.242
마그네슘							1.000

발병지에서의 재배상황 조사결과는 표 4와 같고, 주 재배품종은 노랑봄배추와 고랭지여름 배추가 많았으며, 정식은 4월에서 5월 사이, 발병 시기는 6월 중순부터 7월 하순 사이에 심했다. 발병지에서의 연작은 3년부터 15년까지 평균 6.8년 정도로 나타났으며, 태백이 평균 7.6년으로 가장 길게 나타났다. 병 발생은 기온이 올라가는 시기인 여름에 발생이 많고, 연작 년수는 길어질수록 발병면적이나 발생정도가 심해지는 것으로 생각된다.

표 4. 발병지에서의 재배상황

장소	발생면적 (필지수)	품종명	정식시기	발생시기	연작 년수
태백	14.3ha (92)	노랑봄, 노랑여름, 강력여름, 여름대형	4월 하순 ~ 6월 중순	5월 하순 ~ 7월 하순	4 ~ 15 (7.6)
평창	4.5ha (8)	고랭지여름, 큰여름	5월 상순	6월 상순 ~ 6월 중순	3 ~ 5 (4)
횡성	2.3ha (2)	노랑봄, 정상여름	5월 중순, 6월 상순	6월 중순, 6월 하순	3, 5 (4)
원주	2.0ha (2)	노랑봄	5월 상순	6월 중순	3
삼척	0.1ha (2)	강력여름, 큰여름	6월 상순, 6월 중순	7월 중순, 7월 하순	2, 3 (2.5)
계	23.2ha (106)	노랑봄 등 6품종	4월 하순 ~ 6월 중순	5월 하순 ~ 7월 하순	2 ~ 15 (6.8)

나. 무사마귀병 십자화과 잡초기주 구명

13종의 십자화과 잡초에서 병원균 접종 결과 표 5와 같이 나타났으며, 1차감염은 13종의 모든 잡초에서 확인되었고 2차감염은 장대나물 등 4종에서 확인되었다. 장대나물과 말냉이는 흑형성이 빠르고 큰 것이 특징적이었으며, 나도냉이와 콩다닥냉이는 흑형성이 이보다 조금 늦으며 작았다. 최근 고랭지에서는 무사마귀병 방제 및 지력증진의 일환으로 양파나 호박 등을 재배하고 있으며 병원균 밀도상승의 원인중 하나인 잡초기주의 제거 등에도 힘쓴다면 무사마귀병의 방제효과는 더욱더 향상될 것으로 기대된다.

표 5. 십자화과 잡초의 무사마귀병 발생

식물명	발병정도		식물명	발병정도	
	1차감염* (근모감염)	2차감염** (피층감염)		1차감염* (근모감염)	2차감염** (피층감염)
미나리냉이	○	-	말냉이	○	+++
싸리냉이	○	-	좁개갓냉이	○	-
황새냉이	○	-	개갓냉이	○	-
속속이풀	○	-	냉이	○	-
장대나물	○	+++	꽃다지	○	-
콩다닥냉이	○	++	<i>Arabidopsis</i> sp.	○	-
나도냉이	○	++			

* ○ : 1차감염 일어남, × : 1차감염 일어나지 않음

** - : 뿌리혹 형성하지 않음, + : 뿌리혹 조금 형성, ++ : 뿌리혹 중간정도 형성,

+++ : 뿌리혹 크게 형성

다. 무사마귀병 저항성 품종 선발 및 실증

무사마귀병에 대한 저항성 품종 선발시험은 97년부터 2000년까지 4년에 걸쳐 태백시와 평창군에서 실시하였다. 무에서는 97년도 35 품종 및 계통을 공시하였고 그 결과 청운무 등 18종이 저항성품종으로 나타났고(표 6), 99년도에는 27종 중 청운무, 백자무 등 14종이 저항성으로 나타났으며(표 7), 2000년도에는 32종 중 백광무 등 15종이 무사마귀병에 대하여 저항성으로 나타났다. 본 시험은 재배작형이 봄재배로 수행하였기 때문에 여름무의 경우 추대를 나타낸 경우가 많았다.

표 6. 무 품종 및 계통별 무사마귀병 발생('97)

품 종 명	숙성	재배형	발병율 (%) [↓]	품 종 명	숙성	재배형	발병율 (%) [↓]
청 운 무	중	추	0	하령무	중	고냉지	90.2
대진여름무	중	고냉지	13.5	고냉지무	만	고냉지	4.0
관동여름무	중	고냉지	0	NO 517			0
백 광 무	중	터널	0	NO 518			93.3
대부령여름무	중	고냉지	62.2	원교 108호			-
9 5 3 0 7			0	부친 (27)			100
9 2 3 4 3			8.1	모친 (25)			100
속성대형봄무	조	터널(하우스)	0	장춘대형봄무	조	터널(하우스)	0
청 학 무	중	노지	0	녹 두 봄 무	조	노지	86.2
하 청 무	중	평지여름	0	정력여름무	중	고냉지(추작)	98.3
정상여름무	중	고냉지(추작)	41.9	백 두 무	중	고냉지	0
오대여름무	조	노지	2.0	청 광 무	중	고냉지	98.3
백 양 무	중	추과	0	한농 971			100
고산지대형봄무	조	노지(고냉지)	0	한농 972			0
천하대형봄무	조	하우스	0	한농 973			100
동해대형봄무	중	하우스	0	한농 974			100
대형추석무	중	고냉지(추작)	75.6	한농 975			88.3
신진주무	중	추	0	한농 976			98.3
태왕무	만	추작(고냉지)	0				

표 7. 무 품종 및 계통별 무사마귀병 발생('99)

품종(계통)명	발병주율(%)	발병도	추대율(%)	품종(계통)명	발병주율(%)	발병도	추대율(%)
관동여름	17.5	2.5	30	새롬	77.5	67.0	100
대부령여름	100	73.5	60	61309	0	0	65
청운	0	0	100	RA8	0	0	0
백자	0	0	100	RA22	15	3.3	100
태백	0	0	100	RA83	0	0	0
백광	0	0	0	하청	0	0	100
95307	0	0	0	청학	0	0	100
95341	0	0	100	만백	0	0	0
96371	85	19.5	20	한울대형봄	10	3.5	0
97336	100	90	100	한농여름	100	81.0	100
91144	95	53.3	0	하추무	100	63.3	15
오양	0	0	100	평강김장	2.5	2.3	100
태청	0	0	40	송백	2.5	0.8	100
명산	5	0.5	100				

표 8. 무 품종 및 계통별 무사마귀병 발생('00)

품종(계통)명	발병주율(%)	추대율(%)	비 고	품종(계통)명	발병주율(%)	추대율(%)	비 고
관동여름	100	0	여름무	하청무	0	100	평탄지여름무
대부령여름	100	0	"	청학무	0	100	가을무
92343	100	0	"	서호무	0	100	"
청운	0	77.5	가을무	장성무	7.5	100	"
백자	0	100	"	백운무	0	100	"
태백	50	100	"	소춘무	87.5	0	노지봄소형무
백광	0	0	봄무	수지무	92.5	0	노지여름소형무
백봉	92.5	0	"	백단무	0	100	"
동자	100	2.5	가을소형무	보람알타리무	50	0	봄알타리
신진	0	0	봄 알타리	소담알타리무	37.5	0	가을알타리
남강	100	0	"	청옥무	0	0	하우스봄무
초봄알타리	0	0	-	송백무	0	77.5	김장무
신진주	10	100	-	동치미무	100	100	"
백옥무	0	0	봄무	한농여름무	100	0	여름무
새로운대형무	100	0	"	하추무	100	0	"
서광다발무	0	0	평탄지여름무	토광무	0	97.5	김장무

배추의 저항성 품종검정 시험에서 98년도에는 21종 중 94CC789 등 8종이 저항성으로 나타났고(표 9), 99년도에는 28종 중 CR싱싱 등 12종이 저항성으로 나타났으며(표 10), 2000년도에는 CR그린 등 7종이 무사마귀병에 대해 저항성으로 나타났었다(표 11). 이 결과는 일본에서도 검토되었는 바 CR계 품

종이 저항성품종이라고 보고된바 있어 동일한 양상을 보이고 있었다(김과 오, 1997). 배추에서도 일부 품종에서 추대하였으며 무에서와 마찬가지로 가을 재배작형의 품종에서 추대를 보였다.

표 9. 배추 품종 및 계통별 무사마귀병 발생('98)

품종명	회사명	발병주율 (%)	발병도 (%)	품종명	회사명	발병주율 (%)	발병도 (%)
매력배추	농우	100	100	산촌배추	한농	100	100
정상배추	"	100	100	황심봄배추	서울	100	100
금춘배추	"	100	100	CR1	"	15.0	3.8
94CC789	"	0	0	CR2	"	10.0	2.5
96CC368	"	100	100	CR3	"	17.5	10.8
96CC370	"	100	97.5	노랑봄배추	흥농	100	100
고냉지여름배추	중앙	100	100	CH238	"	0	0
CH179	"	0	0	신춘1호배추	한농	100	100
CH208	"	0	0	통일4계배추	"	100	100
CH211	"	12.5	3.1	개나리배추	"	100	97.5
CH237	"	7.5	1.9				

표 10. 배추 품종 및 계통별 무사마귀병 발생('99)

품종(계통)명	발병주율 (%)	발병도	추대율 (%)	품종(계통)명	발병주율 (%)	발병도	추대율 (%)
CR상싱(607)	0	0	85	흑장미	100	90	100
CR902(해남R)	0	0	0	CCX01	100	90	0
80018	0	0	0	CCX02	100	79.5	0
80028	0	0	0	CCX04	0	0	100
80082	100	88.5	0	CCX05	0	0	0
70553	0	0	45	CCX06	0	0	100
70556	0	0	100	고냉지여름	100	90	0
CH208	0	0	100	신현CR	100	88.5	0
CH211	40	10.0	35	황황65CR	100	14.0	0
CH240	42.5	4.8	100	CR간코	90	37.0	100
CR242	15	1.5	100	우타게70	25	4.5	40
CR그린	0	0	100	류토쿠CR	90	13.5	15
개나리	100	69.3	0	시교95607	0	0	100

표 11. 배추 품종 및 계통별 무사마귀병 발생('00)

품종(계통)명	발병주율(%)	발병도	비고	품종(계통)명	발병주율(%)	발병도	비고
CR 싱싱	27.5	5.3		DH001	100	90	
CR 481(HNS 481)	22.5	2.3		DH002	100	90	
CR 새로나	27.5	3.8		DH003	97.5	87.8	
CH 208	0	0	추대	CR 안심	45.0	9.5	
CR 그린	12.5	1.3	추대	CR 파워	100	90	
CR 하계	5.0	0.5		TB-801	100	85	

양배추 저항성 검정 시험은 98년부터 2000년까지 3년 동안 총 82계통 및 품종을 검토하였으며, 검토 결과 모든 품종 및 계통이 발병하여 저항성 품종 및 계통은 없고 모두 감수성인 것으로 나타났다(표 12, 표 13, 표 14).

표 12. 양배추 품종 및 계통별 무사마귀병 발생('98)

품종명	회사명	발병주율(%)	발병도(%)	품종명	회사명	발병주율(%)	발병도(%)
천룡양배추	농우	100	100	대월양배추	홍농	100	100
동북양배추	"	100	100	우진1호양배추	"	100	100
보룡양배추	"	100	100	자색양배추	서울	100	100
홍월적양배추	"	100	100	대통양배추	"	100	100

표 13. 양배추 품종 및 계통별 무사마귀병 발생('99)

품종(계통)명	발병도	품종(계통)명	발병도	품종(계통)명	발병도	품종(계통)명	발병도
Zennith	39.5	BN 26	43	BN 97167	87	Nath Suwati	70
BN 96155	50.5	Rareball	51	BN 97170	90	Regs	-
Saint	47.0	Winner	-	BN 97183	57	Castello	30
Green Challenger	47.5	BN 96365	66	BN 96281	24	Quisto	30
Quartz	49.5	Fast Vantage	44	Grand 11	18	Silk Road	31.1
BN 96115	35.0	Discovery	43	Tropic Sun	63	Neenakshi	11
대월	53.5	BN 94	30	KK Cross	40	Green Fix	18.9
우진1호	73.5	BN 89	-	Oskar	57	Okina	72.9
BN127	54.5	BN 101	22.5	Green Hero	72	Eldorado	90
윈터헌트	53.0	Green Flash	78	Omphalos 1	90		42
레드선	66.0	Champ	84	Omphalos 2	87	Shogun	51
대통	67.5	Green Flash	55.7	YR 호월	60	Green Star	63.8
추강	47.5	BN 111	-	Green Coronet	37.5	Hayadori	90
Green Valley	69.5	Balbro	90	Krishna	45	Sabila	28
사군자	78.0	Green Voyager	75	Fast Green	66	BN 163	13
BN 97162	20	Constanza	54	Laurels	69	Grand 22	90
BN 97233S	18	Izalco	43	BN 96366	52.5	YCR	60
YCR	54	Green Gem	35				

표 14. 양배추 품종 및 계통별 무사마귀병 발생('00)

품종(계통)명	발병주율		
	I	II	평균
우진1호	100	100	100
대월	100	100	100
제니스	100	100	100

배추에서 무사마귀병에 대한 저항성 품종 실증 결과 2002년까지는 CR계통에서 발병이 되지 않았으나 2003년부터는 저항성 품종에서도 이병화가 나타나기 시작해서 2005년 이후부터는 저항성 품종에서도 80% 이상의 발병주율을 나타냈다. 이것은 계속된 연작으로 인해 병원균의 분화가 이루어져 저항성도 무너져 점점 이병화된 것으로 생각된다.

표 15. 배추 무사마귀병 저항성 품종 실증

수행년도	품종명	발병주율(%)	품종명	발병주율(%)
2002	큰여름	100	CR산촌	0
	고냉지여름	100	CR그린	0
	CR싱싱	0	CR하계	0
	씨알파워	0	노랑만점	65
	CR안심	0		
2003	CR강풍	52.9	고냉지여름	100
	CR안심	48.6	CR싱싱	31.4
	CR퍼펙트	50.7	CR진심	35.7
	CR으뜸	52.1	노랑만점	68.6
	CR하계	44.3	CR여름맛	40.0
2004	CR강풍	92.4	고냉지여름	100
	CR안심	42.4	CR싱싱	40.9
	CR퍼펙트	98.5	CR진심	100
	CR으뜸	28.8	CR노랑만점	83.3
	CR그린	68.9	CR하계	51.5
	CR파워	25.8		
2005	CR퍼펙트	91.8	CR하계	94.1
	CR안심	88.2	CR산촌	97.6
	CR노랭이봄	96.5	CR맛	90.6
	CR농심	84.7	CR여름맛	87.1
	CR으뜸	97.6		
2006 (봄재배)	CR노랭이	16.67	CR여름맛	10.61
	CR농심	3.79	CR산촌	7.14
	CR맛	7.58	CR하계	9.85
	CR정성	18.18	춘광	100
2006 (가을재배)	CR황금	71	CR하계	80
	CR안심	76	CR맛	59
	CR제왕	100	CR천하일품	57
	CR농심	75		

라. 경종적 방법에 의한 배추 무사마귀병 방제법 개발

1) 단기윤작에 의한 배추 무사마귀병 방제

우리나라 배추 주산지중 평야지대에서는 무사마귀병균을 방제할 목적으로 답전윤환등 경종적 방법을 장구하나 이런 관리가 토양내 무사마귀병의 휴면포자의 생존에 미치는 영향에 관한 연구는 거의 전무한 실정이다(Iwanami 등, 1992). 십자화과 작물을 연작하면 무사마귀병균 휴면포자가 토양내에 축적되므로 비십자화과 작물 또는 저항성작물을 윤작하여 휴면포자 밀도를 낮추는 효과가 있다고 한다(Ikegami, 1985). 본 연구에서는 단기윤작에 의한 무사마귀병의 방제효과 시험에서 1년 동안 윤작하거나 2년 동안 윤작하였을 때 모두 병의 방제효과는 없는 것으로 나타났다. 윤작을 하면 병원균의 밀도가 1/10 이하로 떨어진다는 보고가 있지만 이 시험에서는 시험구가 협소하였고 처리구간 격리가 이루어 지지 않았기 때문에 강우에 의해서 병원균의 이동이 이루어졌기 때문인 것으로 생각된다.

표 16. 단기윤작에 의한 무사마귀병 방제효과('98-'99)

전작('98년)	후작('99년)	발병도	방제가(%)	생체중(g)
배추	배추	90	-	450.7
양파	배추	90	0	626.7
무(저항성)	배추	90	0	333.3
당근	배추	87	3.3	628.0
감자	배추	90	0	1128.3

표 17. 단기윤작에 의한 무사마귀병 방제효과('98-'00)

전작('98, '99년)	후작('00년)	발병도	방제가(%)
양파	배추	90	0
무(저항성)	"	90	0
당근	"	90	0
감자	"	90	0

2) 전염원 제거에 의한 배추 무사마귀병 방제

전염원의 제거에 의한 무사마귀병 방제효과 시험결과 표 18과 같이 전염원인 이병뿌리를 제거한 처리와 제거하지 않은 처리간에 차이없이 모두 발병이 100%로 전염원의 제거가 병발생의 경감에는 효과가 없는 것으로 나타났다. 이 결과는 시험했던 포장의 전염원의 밀도가 매우 높고 병원균은 토양속에서 생존력이 매우 높기 때문에 병원균 밀도가 낮은 포장에서 검토할 필요가 있다고 판단된다.

표 18. 이병뿌리 제거에 의한 병 방제효과

처 리 내 용	발병주율(%)	발병도(%)	방제가
수확시 이병뿌리 제거	100	100	0
수확 7일후 이병뿌리 제거	100	100	0
방입구(이병물 방지)	100	100	-

3) 석회시용에 의한 배추 무사마귀병 방제

석회처리전 시험포장의 토양 pH는 5.4였으나 석회처리 후에는 토양 pH가 6.5로 나타났다. 정식 35일째 발병주율 조사에서는 생석회가 45%로 가장 효과가 좋았으나 수확시 발병도 조사에서는 발병도 100%로 처리간 차이가 없는 것으로 나타났다(표 19).

표 19. 석회시용에 의한 무사마귀병 방제효과

처리내용*	위조주율(%)**	발병도(g/구)	생체중(g/구)	처리내용	위조주율(%)**	발병도	생체중(g/구)
생석회	45	90	0	생석회 + 약제처리	0	23.5	2013
고토석회	80	90	0	고토석회 + 약제처리	0	24.5	2170
소석회(입상)	75	90	0	소석회(입상)+ 약제처리	0	24.0	1550
소석회(분말)	60	90	0	소석회(분말)+ 약제처리	0	26.5	2158
무처리	100	90	0	약제처리	0	23.0	2045

* 석회 시용량 : 300kg/10a, 약제 : 아족시스트로빈액상수화제 1,000배액 정식시 관주

** 정식후 35일째 조사

4) 종이פות 이용 무사마귀병 방제

종이פות를 이용하여 육묘하면 10-20% 정도의 방제효과가 나타났고 셀의 크기가 큰 72공 종이פות가 좀 더 효과가 좋았으며, 약제처리와 병용했을 때 방제효과가 좀 더 좋게 나타났다(표 20). 이것은 종이פות가 뿌리를 감싸고 있어 어느 정도 뿌리가 클 때까지 병원균의 침입으로부터 보호해 주는 것으로 판단된다.

표 20. 종이פות 이용 무사마귀병 방제효과

구 분	발 병 도		주당생체중(g)	
	무처리	아미스타관주	무처리	아미스타관주
162공 트레이	90	8.0	672	1066
72공 종이פות	70	6.0	1009	1311
128공 지피פות	71	11.7	954	1413

5) 무사마귀병 방제를 위한 친환경자재 선발

봄재배에서는 피토알렉신, 땅병왕 및 지하부대 등의 방제효과가 등록약제인 후루설파미드분제에 비하여 비슷하거나 더 우수한 것으로 나타났다(표 21). 이 자재들을 가을재배에 다시 집중적으로 처리한 결과 모든 자재들에서 발병주율 100%로 방제효과가 전혀 없는 것으로 나타났다(표 22). 이것은 미생물제재의 특성상 온도나 여러 가지 환경요인에 의한 영향을 많이 받는 경향이 있고, 가을재배에서는 특히 초기 고온과 강우에 의해 병발생이 급진전하였기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 봄재배에서 방제효과가 우수하였던 자재들은 더 면밀한 검토가 필요할 것으로 생각된다.

표 21. 봄재배시 친환경자재 처리별 무사마귀병 방제효과

처 리 약 제	이병주율(%)				방제가 (%)
	I	II	III	평균	
피토알렉신 SL 300배 관주처리	65.5	72.7	49.1	62.43	26.96
피토알렉신 SL 200배 관주처리	56.4	54.5	78.2	63.03	26.25
피토알렉신 SL 100배 관주처리	34.5	25.5	40	33.33	61.00
피토알렉신 GR 주당 1g 파구처리	100	87.3	92.7	93.33	-
미라클 1,000배액 정식시 관주	54.5	81.8	96.4	77.57	9.24
이비에이 400배 정식시 관주	92.7	60	56.4	69.70	18.45
뿌리왕 300배 정식시 관주	50.9	90.9	80	73.93	13.50
흑제로 250배 정식시 관주	100	69.1	94.5	87.87	-
은초롱 1,000배 정식시 관주	80	58.2	49.1	62.43	26.96
사마기 1,000배 정식시 관주	78.2	87.3	92.7	86.07	-
뿌리탄 500배 정식시 관주	60	96.4	40	65.47	23.40
땅병왕 1,000배 정식시 관주	32.7	7.3	12.7	17.57	79.44
지하부대 1,000배 정식시 관주	12.7	10.9	5.5	9.70	88.65
하이피에치 500배 정식시 관주	70.9	27.3	49.1	49.10	42.55
사마귀왕 10kg/10a 정식전 토양전면훈화	89.1	58.2	30.9	59.40	30.50
황금탄골드 정식전 6kg/10a 토양전면훈화	100	87.3	83.6	90.30	-
후루설파마이드분제 20kg/10a 토양전면훈화	25.5	23.6	41.8	30.30	64.55
무처리	67.3	100	89.1	85.47	-

* 파종 정식 약제처리 조사

표 22. 가을재배시 친환경자재 처리별 무사마귀병 방제효과

처 리 내 용	이병주율(%)				방제가 (%)
	I	II	III	평균	
땅병왕 1,000배 정식시 관주	100	100	100	100	-
땅병왕 500배 정식시 관주	100	100	100	100	-
땅병왕 1,000배+ 목초액 500배 정식시 관주	100	100	100	100	-
땅병왕 500배+ 목초액 500배 정식시 관주	100	100	100	100	-
땅병왕 400배 정식시 침지	100	100	100	100	-
땅병왕 200배 정식시 침지	100	100	100	100	-
지하부대 1,000배 정식시 관주	100	100	100	100	-
지하부대 500배 정식시 관주	100	100	100	100	-
지하부대 1,000배+ 침투력 5,000배 정식시 관주	100	100	100	100	-
지하부대 500배+ 침투력 5,000배 정식시 관주	100	100	100	100	-
지하부대 400배 정식시 침지	100	100	100	100	-
지하부대 200배 정식시 침지	100	100	100	100	-
피토알렉신 SL 300배 관주처리	100	100	100	100	-
피토알렉신 SL 150배 관주처리	100	100	100	100	-
피토알렉신 SL 100배 관주처리	100	100	100	100	-
피토알렉신 GR 주당 5g 파구처리	100	100	100	100	-
후루설파마이드분제 20kg/10a 토양전면혼화	67.3	80.0	41.8	63.03	36.97
무처리	100	100	100	100	-

마. 우수방제약제 선발

97년도 시험에서는 후루아지남액상수화제를 정식 10일 간격으로 3회 처리하였을때 방제가 58.8로 가장 효과가 좋게 나타났고 대조약제인 후루설파마이드분제의 경우 방제가 28.6으로 매우 낮게 나타났다 (표 23).

현재 일본에서는 PCNB, 클로로타로닐, 후루지아남, 후루설파마이드가 무사마귀병약으로 등록되어 있다(Tanaka 등, 1999). 한편 국내에서는 후루지아남, 후루설파마이드에 대한 연구가 보고된바 있다(김 등, 1997; 장 등, 2000).

표 23. 약제처리별 방제효과 및 상품성('97)

처 리 약 제	처 리 방 법	발 병 도 (%)				방제가 (%)	상품성 ¹ (%)
		I	II	III	평균		
후루설파마이드 DP	토양혼화처리	42.5	76.3	93.8	70.8 b ²	28.6	48.3 b ²
"	과구처리	98.8	41.3	98.8	79.6 bc	19.8	33.9 c
베노밀 WP	정식시 1회 관주	93.8	96.3	96.3	95.4 d	3.8	26.1 cd
"	정식 10일간격 3회 관주	90.0	100	98.8	96.3 d	3.0	28.3 cd
다코닐 WP	정식시 1회 관주	100	66.3	100	88.8 cd	10.5	28.9 cd
"	정식 10일간격 3회 관주	100	31.3	96.3	75.8 b	23.6	34.4 c
후루아지남 SC	정식시 1회 관주	62.5	62.5	26.3	50.4 a	49.2	71.6 a
"	정식 10일간격 3회 관주	36.3	68.8	17.5	40.8 a	58.8	73.3 a
무처리	-	100	100	97.5	99.2 d	0	17.8 d

¹ 구중 1kg이하 : 0, 1~2kg : 33%, 2~3kg : 67%, 3~4kg : 100%

² DMRT(Duncan's multiple range test) 0.05

98년도 시험에서는 후루아지남액상수화제의 정식시 2,000배 관주처리가 방제가 79.1로 가장 효과가 좋았고 후루아지남수화제 2,000배 관주처리도 방제가 72.3으로 좋게 나타났다(표 24). 그러나 후루아지남액상수화제나 후루아지남수화제의 관주처리는 생육초기 3-7일 정도의 생육지연현상이 나타났으며 이것은 생육중기로 접어들면서 회복되었다.

표 24. 약제처리별 방제효과('98)

약 제 명	처리농도	발 병 도 (%)				방제가 (%)
		I	II	III	평균	
후루설파마이드분제	20kg/10a	60.4	51.9	49.3	53.9	46.1
후루아지남분제	40kg/10a	52.3	37.2	40.7	43.4	56.6
후루아지남액상수화제	2,000배액	20.4	21.5	20.7	20.9	79.1
후루아지남수화제	2,000배액	24.1	29.6	29.3	27.7	72.3
무처리	-	100	100	100	100	-
다조메입제	30kg/10a	-	-	-	4.1	95.9

99년도 시험에서는 다조메입제를 토양소독제로 처리하였을 때 방제가 80% 이상의 높은 방제효과를 나타냈고 후루아지남수화제 관주처리나 후루설파마이드분제 토양혼화처리는 방제가 70% 이하로 다소 낮게 나타났으며 후루아지남수화제 관주처리는 98년도 시험에서와 같이 생육초기에 다소 생육지연현상이 발생하였다(표 25).

표 25. 약제처리별 방제효과('99)

약제처리	처리농도	발병도			방제가 (%)	생체중 (g)
		I	II	평균		
후루아지남수화제 관주	2,000배액	30.3	29	29.8 bc*	66.2	1023.7
후루설파마이드분제토양혼화	20kg/10a	29	30.3	28.0 bc	68.2	1233.1
터부코나졸수화제 관주	2,000배액	88	44.3	73.4 a	16.6	469.3
아족시스트로빈액상수화제관주	2,000배액	46	44	48.3 b	45.1	1031.3
후루아지남수화제묘판침지+ 관주	2,000배액	31.3	26.3	28.3 bc	67.8	1035.6
다조메입제(토양소독)	30kg/10a	13.5	20.5	17.0 c	80.7	1635.7
무처리	-	90	90	88 a	-	226.2

*DMRT(0.05%)

CV(%) 20.56

2000년도 시험에서는 단일 약제처리와 두가지 약제 동시처리 시험을 수행하였으며 후루설파마이드분제 토양혼화와 아족시스트로빈액상수화제 관주처리가 방제가 72.3%로 가장 높게 나타났다(표 26). 후루아지남수화제, 아족시스트로빈수화제 및 후루설파마이드분제 단일 처리는 방제가 60% 정도로 다소 낮게 나타났다.

표 26. 약제처리별 방제효과('00)

공시약제	처리농도	처 리 방 법	발병도	방제가 (%)	생체중 (g)
후루아지남수화제	2,000배액	정식시 관주(150ml/주)	34.7 ab	61.6	1129
후루설파마이드분제	20kg/10a	정식전 토양혼화처리	66.4 c	26.3	1134
아족시스트로빈액상수화제	1,000배액	정식시 150ml/주 관주	31.8 ab	64.7	1463
후루설파마이드분제 토양혼화(20kg/10a) + 아족시스트로빈액상수화제 1,500배액 관주(150ml/주)			24.9 a	72.3	1782
후루설파마이드분제 토양혼화(20kg/10a) + 아족시스트로빈액상수화제 1,000배액 침지			69.3 c	23.0	821
아족시스트로빈수화제	500배액	정식시 150ml/주 관주	30 ab	66.7	1742
아족시스트로빈수화제	1,000배액	"	44.2 b	50.9	1606
무처리	"		90 d	0	0

C.V.(%) 18.563

2002년도 시험에서는 트리플록시스트로빈입상수화제 위주로 시험을 수행하였으며 2,000배액을 정식시 관주처리하였을 경우 방제가 85.0%의 높은 방제효과를 나타냈다(표 27). 이 약제도 후루아지남수화제보다는 약하지만 초기생육에 있어 미미한 생육지연현상을 나타냈다.

표 27. 약제처리별 방제효과('02)

시험약제 및 처리방법	발병도	방제가 (%)	생체중 (g)
후루설파마이드분제 정식전 전면 토양혼화처리(20kg/10a)	26.7	66.7	3117
트리프록시스트로빈입상수화제 1,000배액 정식시 침지	43.3	45.9	2930
트리프록시스트로빈입상수화제 2,000배액 정식시 관주(150ml/주)	12.0	85.0	3067
트리프록시스트로빈입상수화제 3,000배액 정식시 관주(150ml/주)	27.3	65.9	2967
아족시스트로빈수화제 750배액 정식시 관주(150ml/주)	28.3	64.6	2660
후루설파마이드분제 토양혼화(20kg/10a)+ 트리프록시스트로빈입상수화제 3,000배액 정식시 침지	17.7	77.9	3280
후루설파마이드분제 토양혼화(20kg/10a)+ 아족시스트로빈 수화제 750배액 정식시 침지	26.3	67.1	2942
무처리	80.0	-	2530

2003년도 시험에서는 시아조파미드액상수화제 중심으로 시험을 수행하였고 정식시 1,000배액 관주처리나 400배액 침지처리의 경우 방제가 85% 이상의 높은 방제효과를 나타냈다(표 28). 이 약제는 다른 약제와 달리 초기생육지연 등의 현상이 전혀 없었으며 가을재배에서 농약품목등록시험을 병행 수행하여 무사마귀병 방제약제로 등록하였다.

표 28. 약제처리별 방제효과('03)

시험약제 및 처리방법	발병주율 (%)				방제가
	I	II	III	평균	
시아조파미드액상수화제 1,000배 관주	10.6	12.9	12.5	12.0	88.0
시아조파미드액상수화제 400배 정식전 침지	15.1	9.7	16.7	13.8	86.2
피리메타닐,클로로타로닐액상수화제 500배 정식전 침지	23.6	18.1	29.2	23.6	76.4
후루설파마이드입제 토양혼화(30kg/10a)	81.7	76.3	86.1	81.4	18.6
후루설파마이드분제 토양혼화(20kg/10a)	38.9	20.8	15.3	25.0	75.0
무처리	100	100	100	100	-

2004년도 시험에서는 가능성이 있는 다양한 약제들을 공시하였다. 시험결과 이프로발리카브·쿠퍼옥시클로라이드수화제 등 5종의 약제에서 심한 약해를 나타냈으며, 방제효과는 이프로프로피수화제, 디메쏘모르프·만코지수화제 및 옥사실엠수화제가 다소 좋게 나타났으나 시아조파미드액상수화제와는 크게 차이가 있는 것으로 나타났다(표 29).

표 29. 약제처리별 방제효과('04)

시험약제 및 처리방법	발병주율				비고
	I	II	III	평균	
시아조파미드액상수화제 400배액 침지	7.2	5.5	0	4.23	
이프로발리카브·쿠퍼옥시클로라이드수화제 1,000배액 관주	100	100	100	100	약해발생
이프로·프로피수화제 500배액 관주	25.5	14.5	16.4	18.80	
디메쏘모르프·만코지수화제 500배액 관주	21.8	23.6	31.8	25.73	
웨이나미돈·싸이목사닐수화제 1,000배액 관주	-	-	-	-	약해발생
메타실동수화제 1,000배액 관주	100	100	100	100	
파목사돈·싸이목사닐액상수화제 1,000배액 관주	-	-	-	-	약해발생
족사마이드·싸이목사닐수화제 1,000배액 관주	-	-	-	-	"
디메쏘모르프수화제 1,000배액 관주	100	100	100	100	
옥사실엠수화제 500배액 관주처리	29.1	14.5	34.5	26.03	
싸이목사닐·만코지수화제 500배액 관주 무처리	-	-	-	-	약해발생
무처리	100	100	100	100	

바. 종합방제법 개발

1) 무사마귀병 병원균 오염도별 방제방법

균밀도가 g건토당 10⁴개에서는 대부분의 처리에서 발병도 20% 이내로 단일처리에서도 방제효과가 좋게 나타났으나 10⁵개에서는 아족시스트로빈수화제 관주처리를 제외하고 단일처리에서는 방제효과가 낮았으며 두가지 이상의 복합처리에서 방제효과가 좋았다(표 30). 균 밀도가 낮을 때에는 한가지 방제방법만으로도 충분한 방제효과가 나타나지만 균 밀도가 높은 포장에서는 한가지 방법이 아닌 두가지 이상의 방제방법을 병행할 필요가 있다고 생각된다.

표 30. 병원균 오염도별 약제처리에 따른 무사마귀병 방제효과

시험약제 및 처리방법	균밀도별 발병도	
	10 ⁴ /g건토	10 ⁵ /g건토
후루설파마이드분제 전면토양혼화(20kg/10a)	12	27
후루아지남수화제 2,000배액 침지	16	40
아족시스트로빈수화제 500배액 침지	20	33
아족시스트로빈수화제 750배액 관주(150ml/구)	11	15
석회시용+ 후루설파마이드분제 토양혼화(20kg/10a)	8	16
석회시용+ 후루아지남수화제 2,000배액 침지	18	38
석회시용+ 아족시스트로빈수화제 750배액 관주(150ml/구)	7	17
후루설파마이드분제 전면토양혼화(20kg/10a)+ 후루아지남수화제 2,000배액 침지	7	18
후루설파마이드분제 전면토양혼화(20kg/10a)+ 아족시스트로빈수화제 500배액 침지(150ml/구)	10	18
무처리	48	78

2) 종이팩트 육묘×석회시용×약제처리 조합

봄재배에서는 전반적으로 10a당 400kg 석회시용에서 발병도 및 생체중 모두 좋게 나타났으며 처리별

로는 후루아지남분제 토양전면혼화후 후루아지남수화제 침지처리, 후루아지남분제 토양전면혼화후 아족시스트로빈액상수화제 침지처리 및 종이פות트 육묘후 후루설파마이드분제 토양혼화 처리가 방제효과가 좋게 나타났다(표 31). 그리고 가을재배에서도 마찬가지로 석회 10a당 400kg처리에서 방제가 및 주당 생체중이 좋게 나타났고 처리별로는 후루설파마이드분제 토양혼화후 정식시 아족시스트로빈수화제 정식시 침지처리 및 종이פות트 육묘후 후루설파마이드분제 토양혼화처리가 방제효과가 좋게 나타났다(표 32).

표 31. 처리별 발병도 및 주당생체중(봄재배)

처 리 방 법	석회처리량(kg/10a)							
	0		200		400		600	
	발병도	생체중	발병도	생체중	발병도	생체중	발병도	생체중
무처리	90	0	90	860	57.0	1241	74.0	708
후루설파미분제 20kg/10a 토양혼화	39.7	869	26.0	1017	17.3	1351	17.3	1086
후루아지남분제 40kg/10a 토양혼화	35.7	1093	30.7	1020	25.0	1261	27.7	1023
아족시스트로빈수화제 750배액 관주	44.3	1024	20.3	1154	16.7	1159	15.3	1018
후루아지남분제 토양혼화+ 후루아지남수화제 2000배액 침지	17.3	919	23.0	1206	17.0	1529	21.3	1197
후루아지남분제 토양혼화+ 아족시스트로빈수화제 750배액 침지	21.3	1344	26.7	1180	8.3	1388	17.0	1236
후루설파미분제 토양혼화+ 아족시스트로빈액상수화제 1500배액 침지	42.7	1138	18.0	1217	14.0	1264	10.0	1248
종이פות트+ 후루설파마이드분제 토양혼화	71.0	1047	21.7	1313	7.3	1463	9.7	1379

표 32. 처리별 발병도 및 주당생체중(가을재배)

처리방법	석회처리량(kg/10a)							
	0		200		400		600	
	발병도	생체중	발병도	생체중	발병도	생체중	발병도	생체중
무처리	76.3	741	90	481	38.0	870	48.0	651
후루설파마이드분제 20kg/10a 토양혼화	19.3	917	32.3	879	1.7	823	4.3	1018
후루아지남분제 40kg/10a 토양혼화	56.0	831	34.7	807	19.0	856	19.0	852
아족시스트로빈수화제 750배액 관주	54.0	532	19.0	891	4.7	937	12.3	891
후루아지남수화제 2000배액 관주	20.3	691	35.0	981	11.7	1194	11.3	726
후루아지남수화제 2000배액 침지	66.0	710	52.7	938	3.3	990	2.3	942
후루설파마이드분제 토양혼화+ 아족시스트로빈수화제 750배액 침지	16.0	923	6.7	685	2.3	899	0	1102
종이פות트+ 후루설파마이드분제 토양혼화	31.3	956	4.3	671	0	1078	0	972

3) 저항성품종×석회시용×약제처리 조합

약제에서는 시아조파미드액상수화제 관주처리가 방제가 90% 이상으로 가장 우수하였고 시아조파미드액상수화제 침지처리는 다소 방제효과가 낮게 나타났으며 주당 지상부 생체중에서도 시아조파미드액상수화제 관주처리가 가장 우수하였다(표 33). 석회처리시 토양의 pH는 5.2에서 6.6으로 높아졌고 발병주율은 5내지 15% 정도 낮아졌으며, 생체중은 100내지 400gr 정도 높게 나타났다(표 34). 저항성 품종을 이용하고 석회를 사용하여 pH를 6.5이상으로 높여주며 더불어 시아조파미드액상수화제 관주 등의

처리를 병행하면 아무리 병원균의 밀도가 높은 오염포장이라도 방제가 90% 이상의 우수한 방제효과를 기대할 수 있다.

표 33. 약제처리별 방제효과 및 지상부생체중

봄 재 배			가 을 재 배		
약제처리 내용	방제가 (%) [*]	생체중 (g) [*]	약제처리 내용	방제가 (%)	생체중 (g)
후루설파마이드분제 토양혼화	85.7	2,034	시아조파미드액상수화제 침지	55.7	1,009
시아조파미드액상수화제 침지	74.5	1,979	시아조파미드액상수화제 관주	94.0	2,004
시아조파미드액상수화제 관주	94.4	2,485	시아조파미드액상수화제 관주 + 전착제 ^{**}	96.0	1,518
후루설파마이드분제 토양혼화 + 시아조파미드액상수화제 침지	93.4	1,873	시아조파미드액상수화제 침지 + 관주	98.9	1,602
후루설파마이드분제 토양혼화+ 시아조파미드액상수화제 관주	96.9	1,893	시아조파미드액상수화제 침지 + 관주+ 전착제	99.5	1,620
무처리	-	1,523	무처리	-	199

* 저항성품종과 감수성품종, 석회시용 유무를 모두 합하여 평균한 수치

** 강력전 2,000배액

표 34. 저항성 품종, 석회시용에 따른 재배작기별 발병주율 및 주당 지상부 생체중

구 분		감수성 품종		저항성 품종	
		석회시용	무시용	석회시용	무시용
발병주율(%)*	봄재배	19.20	28.99	0.61	4.85
	가을재배	27.40	31.19	16.92	23.61
주당 지상부 생체중(g)*	봄재배	1,854	1,462	2,641	2,529
	가을재배	1,365	1,310	1,883	1,533

* 약제처리 6조합의 평균수치

4. 적 요

가. 무사마귀병 발생원인 조사

토양검정 시험결과 발병 토양과 무발병 토양에서 이화학성의 차이는 없는 것으로 나타났으며 전체적으로 보면 인산이 적정치보다 3배 이상 높고, 유기물의 함량이 적정치보다 낮은 경향이였다.

생물검정 시험결과 병 발생은 전체토양에서 42%(102점/245점), 발병지 토양 55%(67점/121점), 인근지 토양 28%(35점/124점)로 나타났다. 그리고 토양시료의 부족이나 뿌리썩음에 의해 검정할 수 없는 토양은 발병지에서 20점, 인근지에서 7점 등 전체 27점이였다.

발병지에서의 재배상황 조사결과 주 재배품종은 노랑봄배추와 고랭지여름 배추가 많았으며, 정식은 4월에서 5월사이, 발병시기는 6월 중순부터 7월 하순 사이에 심했다. 발병지에서의 연작은 3년부터 15년까지 평균 6.8년 정도로 나타났으며, 태백이 평균 7.6년으로 가장 길게 나타났다.

나. 무사마귀병 십자화과 잡초기주 구명

13종의 십자화과 잡초에서 병원균 접종 결과 표 5와 같이 나타났으며, 1차 감염은 13종의 모든 잡초에서 확인되었고 2차감염은 장대나물 등 4종에서 확인되었다. 장대나물과 말냉이는 흑형성이 빠르고 컸으며, 나도냉이와 콩다닥냉이는 흑형성이 이보다 조금 늦으며 작았다.

다. 무사마귀병 저항성 품종 선발 및 실증

무사마귀병에 대한 저항성 품종 선발시험은 97년부터 2000년까지 4년에 걸쳐 태백시와 평창군에서 실시하였다. 무에서는 97년도 35 품종 및 계통을 공시하였고 그 결과 청운무 등 18종이 저항성 품종으로 나타났고, 99년도에는 27종 중 청운무, 백자무 등 14종이 저항성으로 나타났으며, 2000년도에는 32종 중 백광무 등 15종이 무사마귀병에 대해 저항성으로 나타났다.

배추의 저항성 품종검정 시험에서 98년도에는 21종 중 94CC789 등 8종이 저항성으로 나타났고, 99년도에는 28종 중 CR싱싱 등 12종이 저항성으로 나타났으며, 2000년도에는 CR그린 등 7종이 무사마귀병에 대해 저항성으로 나타났다.

양배추 저항성 검정 시험은 98년부터 2000년까지 3년동안 총 82계통 및 품종을 검토하였고, 검토결과 모든 품종 및 계통에서 발병하였으며 저항성 품종 및 계통은 없고 모두 감수성인 것으로 나타났다.

배추에서 무사마귀병에 대한 저항성 품종 실증 결과 2002년까지는 CR계통에서 발병이 되지 않았으나 2003년부터는 저항성 품종에서도 이병화가 나타나기 시작해서 2005년 이후부터는 저항성 품종에서도 80% 이상의 발병주율을 나타냈다.

라. 경종적 방법에 의한 배추 무사마귀병 방제법 개발

1) 단기윤작에 의한 배추 무사마귀병 방제

단기윤작에 의한 무사마귀병의 방제효과 시험에서 1년동안 윤작하거나 2년동안 윤작하였을 때 모두 병의 방제효과는 없는 것으로 나타났다.

2) 전염원 제거에 의한 배추 무사마귀병 방제

전염원의 제거에 의한 무사마귀병 방제효과 시험결과 전염원인 이병뿌리를 제거한 처리와 제거하지 않은 처리간에 차이 없이 모두 발병이 100%로 전염원의 제거가 병발생의 경감에는 효과가 없는 것으로 나타났다.

3) 석회시용에 의한 배추 무사마귀병 방제

석회처리전 시험포장의 토양 pH는 5.4였으나 석회처리 후에는 토양 pH가 6.5로 나타났다. 정식 35일째 발병주율 조사에서는 생석회가 45%로 가장 효과가 좋았으나 수확시 발병도 조사에서는 발병도 100%로 처리간 차이가 없는 것으로 나타났다.

4) 종이꽃트 이용 무사마귀병 방제

종이꽃트를 이용하여 육묘하면 10-20% 정도의 방제효과가 나타났고 셀의 크기가 큰 72공 종이꽃트가 좀더 효과가 좋았으며, 약제처리와 병용했을 때 방제효과가 좀 더 좋게 나타났다.

5) 무사마귀병 방제를 위한 친환경자재 선발

봄재배에서는 피토알렉신, 땅병왕 및 지하부대 등이 방제효과가 등록약제인 후루설펜과미드분제와 비슷하거나 더 우수한 것으로 나타났다. 이 자재들을 가을재배에 다시 집중적으로 처리한 결과 모든 자재들에서 발병주율 100%로 방제효과가 전혀 없는 것으로 나타났다.

마. 우수방제약제 선발

97년도 시험에서는 후루아지남액상수화제를 정식 10일 간격으로 3회 처리하였을 때 방제가 58.8로 가장 효과가 좋게 나타났고 대조약제인 후루설펜과미드분제의 경우 방제가 28.6으로 매우 낮게 나타났다.

98년도 시험에서는 후루아지남액상수화제의 정식시 2,000배 관주처리가 방제가 79.1로 가장 효과가 좋았고 후루아지남수화제 2,000배 관주처리도 방제가 72.3으로 좋게 나타났다. 그러나 후루아지남액상수화제나 후루아지남수화제의 관주처리는 생육초기 3-7일 정도의 생육지연현상이 나타났으며 이것은 생육중기로 접어들면서 회복되었다.

99년도 시험에서는 다조메입제를 토양소독제로 처리하였을 때 방제가 80% 이상의 높은 방제효과를 나타냈고 후루아지남수화제 관주처리나 후루설펜과미드분제 토양혼화처리는 방제가 70% 이하로 다소 낮게 나타났으며 후루아지남수화제 관주처리는 98년도 시험에서와 같이 생육초기에 다소 생육지연현상이 발생하였다.

2000년도 시험에서는 단일 약제처리와 두가지 약제 동시처리 시험을 수행하였으며 후루설펜과미드분제 토양혼화와 아족시스트로빈액상수화제 관주처리가 방제가 72.3%로 가장 높게 나타났다. 후루아지남수화제, 아족시스트로빈수화제 및 후루설펜과미드분제 단일 처리는 방제가 60% 정도로 다소 낮게 나타났다.

2002년도 시험에서는 트리플록시스트로빈입상수화제 위주로 시험을 수행하였으며 2,000배액을 정식시 관주처리하였을 경우 방제가 85.0%의 높은 방제효과를 나타냈다. 이 약제도 후루아지남수화제보다는 약하지만 초기생육에 있어 미미한 생육지연현상을 나타냈다.

2003년도 시험에서는 시아조파미드액상수화제 중심으로 시험을 수행하였고 정식시 1,000배액 관주처리나 400배액 침지처리의 경우 방제가 85% 이상의 높은 방제효과를 나타냈다.

2004년도 시험에서는 가능성이 있는 다양한 약제들을 공시하였다. 시험결과 이프로발리카브·쿠퍼옥시클로라이드수화제 등 5종의 약제에서 심한 약해를 나타냈으며, 방제효과는 이프로프로피수화제, 디메쏘모르프·만코지수화제 및 옥사실렘수화제가 다소 좋게 나타났으나 시아조파미드액상수화제와는 크게 차이가 있는 것으로 나타났다.

바. 종합방제법 개발

1) 무사마귀병 병원균 오염도별 방제방법

균밀도가 g건토당 10^4 개에서는 대부분의 처리에서 발병도 20% 이내로 단일처리에서도 방제효과가 좋게 나타났으나 10^5 개에서는 아족시스트로빈수화제 관주처리를 제외하고 단일처리에서는 방제효과가 낮았으며 두가지 이상의 복합처리에서 방제효과가 좋았다.

2) 종이꽃트육묘×석회시용×약제처리 조합

봄재배에서는 전반적으로 10a당 400kg 석회시용에서 발병도 및 생체중 모두 좋게 나타났으며 처리별로는 후루아지남분제 토양전면혼화후 후루아지남수화제 침지처리, 후루아지남분제 토양전면혼화후 아족시스트로빈액상수화제 침지처리 및 종이꽃 육묘후 후루설과마이드분제 토양혼화 처리가 방제효과가 좋게 나타났다. 그리고 가을재배에서도 마찬가지로 석회 10a당 400kg처리에서 방제가 및 주당 생체중이 좋게 나타났고 처리별로는 후루설과마이드분제 토양혼화후 정식시 아족시스트로빈수화제 정식시 침지처리 및 종이꽃트 육묘후 후루설과마이드분제 토양혼화처리가 방제효과가 좋게 나타났다.

3) 저항성품종×석회시용×약제처리 조합

약제에서는 시아조파미드액상수화제 관주처리가 방제가 90% 이상으로 가장 우수하였고 시아조파미드액상수화제 침지처리는 다소 방제효과가 낮게 나타났으며 주당 지상부 생체중에서도 시아조파미드액상수화제 관주처리가 가장 우수하였다. 석회처리시 토양의 pH는 5.2에서 6.6으로 높아졌고 발병주율은 5내지 15% 정도 낮아졌으며, 생체중은 100내지 400g 정도 높게 나타났다.

5. 인용문헌

- Chang, S. W., Hong, S. S., Kim, S. K., Kim, H. D., Lee, E. S. 2000. 배추 무사마귀병 방제약제의 처리방법 개선을 통한 방제효과. *Research in Plant Disease*. 6(1):39-42.
- Ikegami, H. 1985. Decrease of clubroot fungus by cultivation of different crops in heavily infested soil. *Research Bulletin of the Faculty of Agri. Gifu Univ.* 50:19-32
- Iwanami, H., Inoue, S. and Noguchi, M. 1992. Effects of rotation crops on the density of resting spore of clubroot and yield in Chinese cabbage [*Brassica chinensis*]. *Kinki Chugoku Agricultural Research (Japan)*. 83:65-69
- Kim, D. W. 1995. 배추 무사마귀병의 발생상황, 약제 방제 및 품종저항성 검정. 단국대학교, 석사학위논문.
- Kim, D. W. and Oh, J. H. 1997. Incidence, pathogenicity of clubroot fungus (*Plasmodiophora brassicae*) and varietal resistance in chinese cabbage. *Korean Journal of Plant Pathology*. 13(2):95-99.
- Myers, D. F. and Campbell, R. N. 1985. Lime and the control of clubroot of crucifers: Effects of pH, calcium, magnesium and their interactions. *Phytopathology* 75 : 670-673.
- Tanaka, S., Kochi, S. I., Kunita, H., Ito, S. I., and Mitsuro, K. I. 1999. Biological mode of action of the fungicide, flusulfamide, against *Plasmodiophora brassicae* (clubroot). *European J.*

6. 연구결과 활용

연도(연차)	활용구분	제 목 명	달성
'97	영농활용	무사마귀병 저항성 무품종 선발	○
'99	"	무사마귀병 저항성 무품종(5종 추가)	○
'00	논문작성	무사마귀병 잡초기주 및 간이검정법	○
'01	영농활용	무사마귀병 종합방제기술 개발	○
'01	"	무사마귀병균 오염도별 최적방제기술 개발	○
'03	농자재등록	무사마귀병 방제약제 품목 등록	○
'06	영농활용	저항성 품종, 약제 및 석회시용 등을 이용한 무사마귀병 방제기술	○

7. 연구원 편성

세부과제	구분	소속	직급	성명	수행업무
무사마귀병 발생생태 및 방제법 개발	책임자	환경농업연구과	농업연구사	이재홍	세부과제 총괄
	공동연구자	"	"	정태성	조사분석
	"	"	"	김성일	조사분석
	"	"	"	최준근	연구자문
	"	농업과학기술원	"	이세원	조사분석