

우리나라 배추 뿌리혹병 연구현황과 향후과제

김충회* · 조원대 · 이상범
농업과학기술원 작물보호부 식물병리과

Review of Researches on Clubroot Disease of Chinese Cabbage in Korea and Future Tasks for Its Management

Choong-Hoe Kim*, Won-Dae Cho and Sang-Bum Lee

Plant Pathology Division, Department of Plant Protection, National Institute of Agricultural Science and Technology, Suwon 441-707, Korea
(Received on March 29, 2003)

Clubroot disease of crucifer crops caused by *Plasmodiophora brassicae* had been first reported in 1928 in Korea, and maintained mild occurrence until 1980s. Since 1990s the disease has become severe in alpine areas of Kyonggi and Kangwon, gradually spread to plain fields throughout the country, and remains as the greatest limiting factor for its production. Researches on the disease has begun in late 1990s after experiencing severe epidemics. Survey of occurrence and etiological studies have been carried out, particularly, on the pathogen physiology, race identification, quantification of soil pathogen population, and host spectrum of the pathogen. Ecology of gall formation and its decay, yield loss assessment associated with time of infection, and relationships between crop rotation and the disease incidence was also studied during late 1990s. In studies of its control, more than 200 crucifer cultivars were evaluated for their resistance to the disease. Lime application to field soil was also attempted to reduce the disease incidence. Resistant radish and welsh onion were recommended as rotation crops with crucifers after 3-year field experiments. However, so far, most studies on clubroot disease in Korea have been focused on chemical control. Two fungicides, fluazinam and flusulfamide, were selected and extensively studied on their application technologies and combination effects with lime application or other soil treatment. To develop environmentally-friendly control methods, solar-disinfection of soil, phosphoric acid as a nontoxic compound, and root-parasiting endophytes as biocontrol agents were examined for their effects on the disease in fields. In the future, more researches are needed to be done on development of resistant varieties effective to several races of the pathogen, establishment of economically-sound crop rotation system, and improvement of soil-disinfection technique applicable to Korean field condition, and development of methodology of pretreatment of fungicides onto seeds and seedbeds.

Keywords : clubroot disease, chinese cabbage, crucifer, Korea

현재 우리나라 배추의 재배면적은 약 52,000 ha로 약 314만톤이 생산되며 이중 시설재배가 6,300여 ha로 약 12%를 점하고 있다. 노지배추중 고랭지 배추는 약 7,300 ha에서 29만톤이 생산되며 그 물량은 2,320억원에 이른다. 배추의 작형은 크게 보아 봄재배, 가을재배, 고랭지재배로 나누며 고랭지재배 작형은 주로 400~600 m의 고원지

대에서 과종기에 따라 초여름, 한여름, 늦여름재배로 세분되고 있다.

배추에는 국내에서 모두 25종의 병해가 기록되어 있으며 이중 곰팡이 병해가 17종, 세균 4종, 바이러스 1종, 선충 3종이 있다(한국식물병리학회, 1998). 이중에서 피해가 큰 병해를 보면 '80년대 뿌리마름병과 무름병이 있었고 최근에는 전국적으로 뿌리혹병이 만연하여 생산의 가장 큰 제한요인으로 되었다(Fig. 1).

여기에서는 최근 문제가 되고 있는 배추 뿌리혹병(11무사마귀병)의 국내 발생현황과 연구현황을 소개하고 현

*Corresponding author
Phone)+82-31-290-0402, Fax)+82-31-290-0453
E-mail)kimchoonghoe@rda.go.kr

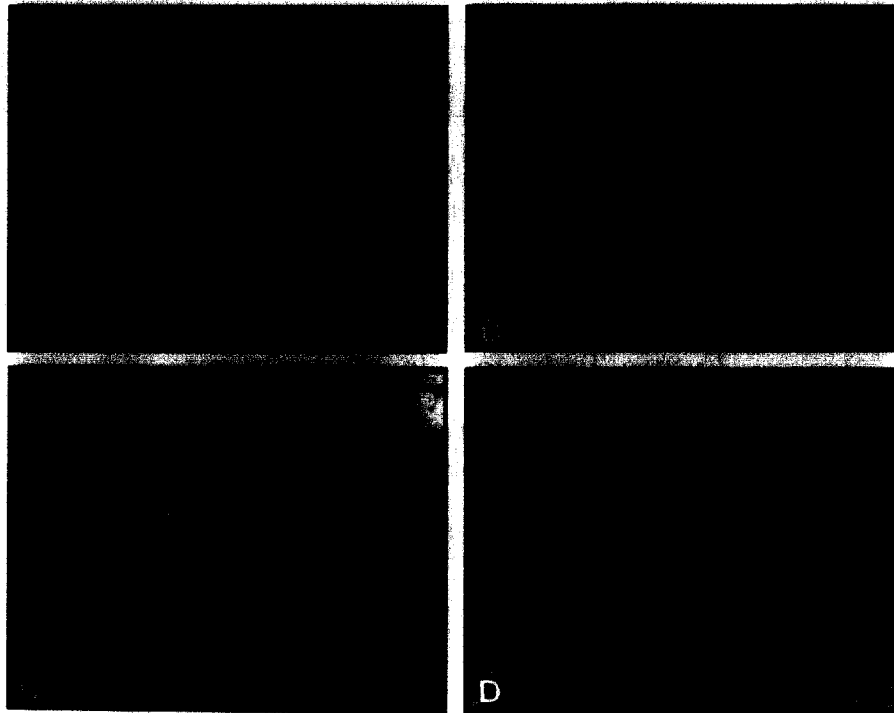


Fig. 1. Photographs of clubroot disease of crucifers. **A:** a chinese cabbage field severely infected; **B** and **C:** root galls formed on infected chinese cabbage and radish respectively; **D:** scanning electron micrograph of resting spores of *Plasmodiophora brassicae* in root gall tissues.

재 뿌리혹병의 방제에 대한 당면문제점을 도출하여 향후 연구방향을 제시해 보고자 한다.

분야별 연구현황

발생현황. 뿌리혹병에 대한 우리나라 최초의 기록은 1928년 권업모범장 연구보고에서 1920년 9월, 서울과 수원에서 발생이 있었으나 크게 문제되지 않았다는 데에서 찾을 수 있다(권업모범장, 1928). 그 이후 1990년까지 뿌리혹병 발생상황에 대한 국내의 구체적인 보고는 없지만 1991년부터 1994년까지의 전국적인 발생조사(김·오, 1997)에서 현지 농민들과의 청취조사 결과 전북 장수지역에서 뿌리혹병이 '80년대부터 계속 발생하고 있었다는 증언이 있었으며 '85년 9월 경기 이천지방의 가을배추에서 심하게 발생하였다는 기록이 있어 '90년 이전에도 지역에 따라 이 병이 꾸준히 발생하고 있었던 것으로 생각된다. 앞의 조사에서 경기 화성, 고양, 의정부, 평택, 강원 횡성, 춘천, 경북 안동, 경남 함안, 전북 장수의 노지 및 비닐하우스에서 발생이 확인되었다. '93년 심 등의 경기 고양과 평택지방의 조사에서는 배추의 발병주율이 61~100% 달하는 농가가 조사농가의 28~30%에 달하여 매우 심하

게 발생하고 있음이 들어났다(심 등, 1998). 저자들에 의한 '97년의 조사에서는 상기 지역외에 경기 파주, 연천, 양주, 수원, 강원 평창, 태백, 충남 청양, 아산, 서산, 전남 담양, 해남, 전북 무주, 경남 김해, 양산, 거창, 경북 봉화에도 발생하여 발병포장율이 38%에 달하였고, 발병주율은 포장에 따라 1~100%로 제주를 제외한 전국에서 심하게 발생하고 있는 것으로 조사되었다(김 등, 1999c). 이 해의 뿌리혹병 발생면적은 275 ha에 달하였으며 '98년 295 ha, '99년에는 5개도 25개 시·군에서 700여 ha가 발생하여 해마다 발생지역이 확대되고 그 면적도 급격히 늘어나고 있었다. 2002년 강원도 고랭지 배추의 뿌리혹병 발생상황을 보면 평창, 횡성, 홍천, 정선, 강릉, 태백, 삼척을 포함한 10개 시·군에서 384 ha가 발생하여 '96년의 6.5 ha, '98년의 102.1 ha에 비하여 크게 증가하고 있는 것으로 들어났다.

병원성 및 병원성 분화. 우리나라 배추 뿌리혹병균은 외국과 마찬가지로 병원성이 매우 분화되어 있으며 전국에서 수집된 뿌리혹병균 318균주를 대상으로 William의 판별법을 사용하여 race를 조사한 결과 판별가능 최대 16개 race 중 race 10과 12를 제외한 모든 race가 국내에 존재하고 있었다(농촌진흥청, 2001; Cho *et al.*, 2003). race

Table 1. Regional distribution of races of *Plasmodiophora brassicae* on chinese cabbage in Korea

Province	Region	Races detected	No. races
Kyonggi	Yeonchon	1, 4, 5, 8, 9, 16	6
	Pajoo	1~3, 5~9, 16	9
	Yangjoo	1~6, 8, 9	8
	Suwon	2, 7	2
	Pyongtaek	3, 5, 6, 8, 9, 15	6
Kangwon	Pyongchang	1~6, 8, 11, 16	9
	Taebaek	1~6, 8, 9, 13, 16	10
Choongbuk	Danyang	5, 8	2
Choongnam	Cheongyang	5, 8, 9, 13, 16	5
	Asan	3~5, 7~9, 11, 13, 15	9
	Seosan	2, 5, 8, 9, 11, 13, 15	7
Jeonbuk	Moojoo	1~4	4
Jeonnam	Haenam	1~5, 7~9, 11, 13~16	13
	Kimhae	5	1
Kyongnam	Yongsan	5, 16	2
	Geochang	1~4, 8, 13	6

의 분포를 보면 배추의 재배역사가 긴 강원 태백, 전남 해남에서 10개와 13개 race가 각각 발견되어 병원성 변이가 가장 심한 곳으로 나타났다. 국내 존재 race 중 가장 보편적으로 발견되는 것은 race 5와 8이었고 race 14는 전남 해남에서만 발견되었다(Table 1).

뿌리혹병균은 배추 외에 양배추, 무, 갓, 케일, 순무, 꽃양배추, 브로커리 등 십자화과 작물뿐만 아니라 냉이 등 잡초에도 병원성이 있었으며 타작물에 비해 무, 꽃양배추, 냉이에는 병원성이 약하였다(김·오, 1997; 농촌진흥청, 2001). 배추에 형성된 한개의 혹에서는 대부분 동일한 race가 검출되었지만 그 중 어떤 혹은 2개~3개의 race가 혼재해 있는 것도 있었다.

토양내 뿌리혹병균의 검출. 토양내 뿌리혹병균의 밀도를 측정하기 위한 방법으로 토양현탁액내 휴면포자를 몇차례 체를 이용하여 불순물을 걸러내고 원심분리하여 농축한후 형광염색하여 형광현미경 아래에서 조사하는 Takahashi 방법을 많이 사용하고 있는데 김 등(2000a)은 이 방법을 개량하여 밀도 측정시간을 4시간으로 크게 단축하였고 검출한계 밀도를 g토양 당 10^4 포자에서 10^3 포자로 낮추었다. Lee 등(2000)은 김 등의 방법을 좀 더 개량하였으며 NaOH와 glycerol을 이용하여 토양내 존재 휴면포자의 88.8~99.6%를 재검출할 수 있었다. 배추뿌리 조직에서 PCR을 이용하여 직접 뿌리혹병균의 존재여부를 특이적으로 가늠할 수 있는 방법도 연구되었다(Chee *et al.*, 1998).

Table 2. Density and degree of resting spore maturity of *Plasmodiophora brassicae* in relation to root gall decay of chinese cabbage

Root gall condition	Condition of plant growth	No. resting spore/g gall tissue	% mature resting spore
Fully rotten	Wilted to death	6.5×10^6	95<
Fresh	Normal	1.9×10^5	<70

병원균의 생리학적 성장. 휴면포자의 발아는 16~18°C 범위에서 가장 양호하였으며 이 범주를 벗어나면 발아율이 급격히 저하 하였고 최적 산도는 pH6 이었다(김 등, 2000c). 작물체의 뿌리 마쇄액도 휴면포자 발아에 상당한 영향을 주어 배추, 무, 강낭콩은 발아를 촉진하였으며 반대로 상추, 시금치 등의 뿌리 마쇄액은 발아를 50% 이상 억제하였다. 휴면포자는 40~70°C의 고온에서도 비교적 잘 생존하였으며 한시간 후의 생존율은 40°C에서 44%, 70°C에서는 8%였다. 담수하에서는 휴면포자의 생존력이 급격히 줄어들어 5개월 후 밀도의 31%가 감소하였다(김 등, 2000c). 휴면포자의 성숙도는 뿌리혹의 부패 후 시간이 경과할수록 증가하였으며, 신선한 뿌리혹은 부패한 혹에 비하여 휴면포자의 밀도도 낮고 성숙도도 저조하였다(Table 2). 완전히 부패한 뿌리혹내 휴면포자의 밀도는 1g조직당 6.5×10^6 개였으며 그 중 성숙 휴면포자율은 95%이상에 달하였다(김 등, 2000b).

뿌리혹의 형성 및 부패생태. 배추유묘의 뿌리혹형성은 현미경하에서 접종13일 후, 육안으로는 18일 후에 최초 관찰되었는데 뿌리혹은 근두부에서 가장 많이 형성되었고 후에 주근, 측근, 세근에서도 형성되었으며 접종23일후에 혹의 크기와 중량이 급격히 증가하였다(김 등, 1999c). 포장에서 생육중기의 이병배추는 건전주에 비해 뿌리직경은 3배, 뿌리무게는 2.8~5.7배 많았으며 근장은 1/6로 감소하였고 이병뿌리의 근모는 거의 없었다. 뿌리혹의 형성 및 발육은 25°C에서 가장 좋았으며 토양수분은 최대용수량의 80%, 토양산도는 pH6이 가장 적합하였고 광/암처리 각각 12시간에서 혹의 발육이 가장 빠르게 나타나 혹의 생성 및 발육에는 환경이 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다(김 등, 1999b). 완전 성숙된 뿌리혹의 부패는 온도가 높을수록 빨라서 32°C에서는 12일, 8°C의 저온에서는 28일이 소요되었으며 토양수분이 많을수록 뿌리혹이 빨리 부패되었다. 여러 환경요인 중에서 뿌리혹의 부패에 온도가 가장 큰 영향을 미치는 것으로 들어났으며 온도가 낮을수록 토양수분등 다른 환경요인에 의해 영향을 많이 받았다. 토양 담수효과를 보면 고온(32°C)에서는 혹부패에 큰 영향이 없었지만 온도가 낮을 경우(12~24°C)

담수에 의해 흑부패가 촉진되었다.

토성과 발병. 우리나라 배추재배지의 산도는 pH4.5~6.5의 범위였으며(김·오, 1997; 심 등, 1998) 포장내 토양 pH와 뿌리혹병 발병 정도와는 상관이 없었다. 발병은 식양토, 양토, 사양토, 사토 등 토성과 상관없이 발생하고 있었으며(김·오, 1997; 심 등, 1998; 김 등, 1999c) 포장의 유기물 함량, 포장 경사도 및 형광성/비형광성 *Pseudomonas* 등 토양내 미생물상과는 상관이 없었다(김 등, 1999c).

병원균의 토양내 분포. 뿌리혹병균은 토양깊이가 깊을수록 밀도가 급격히 줄어들었으며 병원균의 97%가 지하 5 cm 이내의 표토에 분포하였고(Table 3) 병원균은 배추포기 중심에 모여 있지 않고 전포장에 골고루 퍼져 있었다(김 등, 2000a). 강원도 평창군 배추연작지 농가포장의 병원균 밀도는 g토양 당 10⁴개 휴면포자 이하에서부터 10⁶이상까지 넓게 분포하고 있었다(Table 4).

감염과 배추생육. 봄배추의 경우 포장에서 최초 감염 후 20일의 잠복기를 거쳐 흑 형성이 육안으로 보이기 시작하였으며 이후 흑이 커지기 시작하여 약 20일 후에 흑이 최대치에 달하고 흑 생성후 한달이 지나면 흑이 부패되어 휴면포자가 토양내로 유출되었다(김 등, 2000d). 이

병배추는 시간이 갈수록 잔뿌리의 생성이 감소되어 생육 후기에는 잔뿌리가 거의 없게 되며 뿌리 길이도 건전주에 비해 1/2-1/3수준으로 감소하였다. 뿌리혹의 발달 및 부패에는 배추 생육기간중의 온도가 가장 중요한 요인이었으며 온도가 높을수록 빨라졌다. 배추의 시들음 증상은 최초 뿌리혹이 생긴지 약 10일이 지난후에 나타났으며 뿌리혹의 발달 및 부패속도에 따라 달랐으나 대부분 20일 안에 완전히 고사하였다. 김 등(2000d)은 봄배추 포장에서의 병원균 침입후 감염과정을 잠복기(약20일), 흑비대기(약20일), 흑부패기(약10일) 및 토양내 잔존기로 구분하였다(Fig. 2).

감염시기와 피해. 배추는 포장내 감염시기에 따라 그 피해정도에 큰 차이가 있었으며, 감염시기가 빠를수록 피해정도는 현저히 증가하였다. 포장 정식시 및 정식 후 10일, 20일에 감염된 배추는 모두 위조, 고사하여 수확이 불가능하였으며 정식 후 30일에 감염된 배추는 외관상 생육이 건전하였으나 수량이 건전주의 59%에 불과하여 상품성이 없었다(Fig. 3). 정식 후 40일 감염배추는 흑이 형성되더라도 거의 피해가 없어 수량도 건전주와 비슷하였다(김 등, 2000d). 이 결과에 따라 정식 후 40일까지는 배추가 뿌리혹병에 걸리지 않도록 오염된 물의 유입이나 침수 및 배수관리가 필요한 것으로 나타났다.

포장재배력과 발병정도. 작물을 경작하지 않은 야산

Table 3. Distribution of *Plasmodiophora brassicae* in relation to soil depth in heavily-infested chinese cabbage field in Korea

Soil depth (cm)	Density of resting spore(×10 ⁴ /g soil)	Standard deviation
Surface	1,049	60.5
5	17.3	3.5
10	9.4	4.8
15	8.0	1.4
20	9.2	1.8
25	3.9	1.3
30	3.5	1.6
35	0.9	0.6
40	0.4	0.5
45	0	0

Table 4. Density of *Plasmodiophora brassicae* in 23 chinese cabbage fields in a major production area of Pyongchang, Kangwon province

Density range (×10 ⁴ spores/g soil)	Frequency (No. fields)	Proportion
<1.0	8	0.35
1~9	9	0.39
10~100	6	0.26
100<	0	0
Total	23	1.0

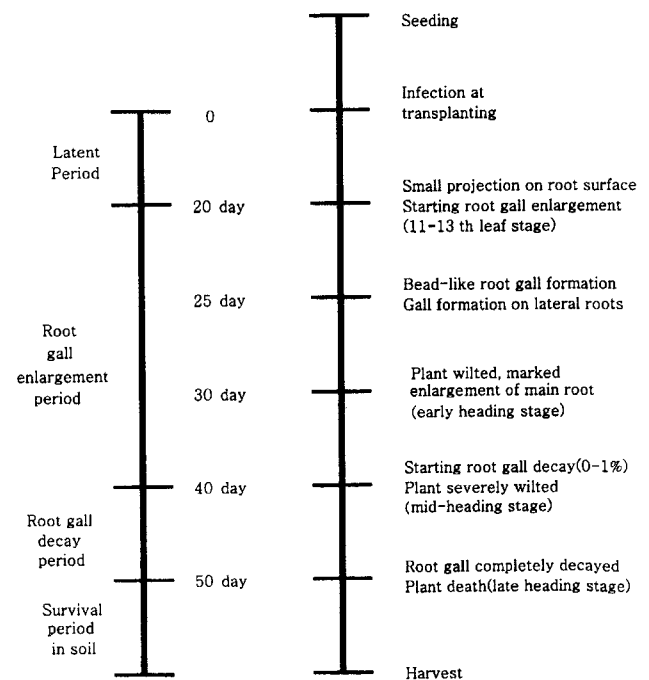


Fig. 2. A diagram showing stages of root gall development of Spring-sown chinese cabbage plants after infection with clubroot disease at transplanting in fields and its influence on plant growth.

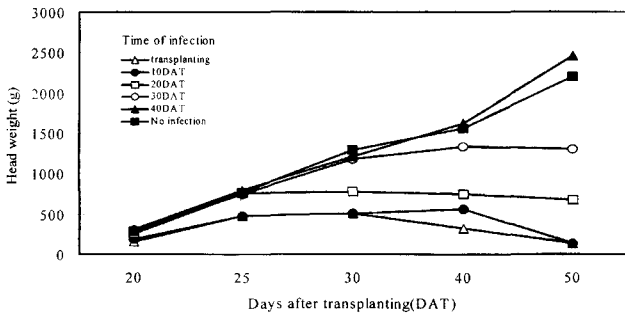


Fig. 3. Yield loss of Spring-sown Chinese cabbage plants as influenced by time of infection on or after field transplanting in Ichun, Kyonggi province.

이나 나대지에는 뿌리혹병균이 전혀 검출되지 않거나 g 토양 당 10^4 이하의 낮은 밀도로 검출되었다. 십자화과 작물이 아닌 고추, 옥수수 등의 재배지에서의 뿌리혹병균 밀도는 g 토양 당 $0.36 \sim 2.75 \times 10^4$ 개로 배추재배지의 $3.95 \sim 27.13 \times 10^4$ 개에 비해 현저하게 낮았다(김 등, 2000a). 강원도 평창, 태백의 농가포장의 재배력별로 뿌리혹병균 휴면포자의 밀도를 보면 배추, 무를 연작하고 있는 포장에서 밀도가 높은 반면 옥수수, 콩, 메밀, 당귀 등 십자화과 작물과는 거리가 먼 작물을 재배한 곳에서 병원균 밀도가 현저히 감소하였다.

인공접종 방법. 뿌리혹병균 휴면포자의 밀도를 $10^9/m^2$ 로 높이면 뿌리혹의 형성이 빠르고 감염식물의 수도 증가하였으나, $10^5/m^2$ 에서는 발병이 늦어지고 발병개체의 수도 현저히 감소하였으며 $10^3/m^2$ 이하에서는 발병하지 않았다(김 등, 1999a). 이병토양접종, 포자 현탁액의 관주접종, 침지접종 중 병토접종에서 발병이 가장 빠르고 뿌리혹의 발육도 좋아서 접종 25일 후 모든 접종주가 발병되었다. 관주접종이나 침지접종도 발병의 시기가 병토접종에 비해 다소 늦어진다는 점은 있으나 발병유발에는 문제가 없었다. 다만 관주접종의 경우 침지접종에 비해 발병이 고르지 않다는 문제점이 있었다. 유효검정시 병발생에 적당한 묘령은 16일이었으며 이보다 묘령이 높아질 경우 유효기간이 길어지고 식물이 커서 취급에 문제가 있었다.

품종저항성. 29개 배추품종 및 계통의 유효저항성 검정결과 우리나라 배추품종은 모두 이병성이었으며 일본에서 육성된 CR계통은 저항성이었다(김·오, 1997). '98년부터 3년간 포장에서 배추, 무, 양배추 등 227품종을 대상으로 저항성을 검정한 결과 대부분의 배추품종은 이병성이었으며 무는 많은 품종이 저항성이었고 양배추는 모두 이병성으로 나타났다(Lee et al., 2001; 농촌진흥청, 2001). 첫째에는 저항성으로 나타났던 두종의 배추품종도 다음해에는 점차 이병화되기 시작하여 3년차에는 모두 이

Table 5. Reaction of Korean crucifer cultivars to clubroot disease in three-year field experiments

Crucifer	Reaction ^a	No. cultivars		
		1998	1999	2000
Chinese cabbage	R	2	1	0
	M	20	5	5
	S	33	11	7
Radish	R	26	9	23
	M	16	3	10
	S	3	21	8
	R	0	0	8
Cabbage	M	0	0	15
	S	0	1	2

^aR : resistant, M : intermediate, S : susceptible.

병성으로 되었다(Table 5). 저항성 배추계통으로 육성된 CR계 품종도 지역이나 재배시기(봄, 가을)에 따라 이병성, 중도저항성, 저항성 등으로 각기 다르게 나타나 저항성 정도에 일관성이 없었다. 이러한 현상은 양배추와 무 품종에서도 볼 수 있었으며 타지역에서 저항성 반응을 보인 품종들도 배추의 경우 경기도 수원, 무와 양배추는 강원도 평창에서 이병성으로 나타나는 경우가 많아 이 지역에 다양한 종류의 병원성 분화형(race)이 존재하는 것으로 생각되었다. 저자들이 수행한 3년간의 시험에서 지속적으로 저항성을 보인 배추품종은 없었으며 중도저항성 품종으로 CR계통 5품종이 있었고, 무는 저항성 품종으로 백광 등 3품종, 양배추는 제니스가 중도 저항성 품종으로 나타났다(농촌진흥청, 2001).

윤작효과. '98-2000년의 2개 지역에서의 시험결과(Table 6) 윤작작물로 저항성 무와 대파가 배추연작의 경우보다 발병이 50%이상 줄어들어 방제효과가 우수하였다(Lee et al., 2001). 약초인 황기는 지역에 따라 윤작효과가 있는 곳이 있었으나 그 효과에 일관성이 없었고 특히 다음 작기의 배추의 생육을 억제하는 효과가 있어 윤작작물로는 부적합하였다. 순무는 윤작효과가 전혀 없었으며 저항성 무와 대파 중에서는 저항성 무가 토양내 휴면포자의 밀도를 낮추는 부수적인 효과가 있어 더 바람직하게 생각되었다(농촌진흥청, 2001).

경종적·생물적 방제. 수확 후의 이병뿌리를 제거하여 전염원을 줄이는 방법은 2년간 수행한 경기도 수원, 이천의 포장시험에서 발병억제 효과가 없었으며 포장의 물빠짐을 좋게하기 위하여 두둑을 30 cm 이상으로 높혀 재배하는 방법도 효과가 없는 것으로 나타났다(농촌진흥청, 2001). 배추 파종구 주변에 석회를 다량 사용하여 토

Table 6. Effect of crop rotation on clubroot disease incidence of chinese cabbage based on 3-year field experiments conducted at three different areas, Suwon, Ichun and Yeoncheon in Kyonggi province

Rotation crop	Final disease incidence (Avr.)	Control value
Astragalus	21.7	46.9
Resistant radish	14.9	55.9
Welsh onion	13.2	65.1
Shallot	21.7	46.8
Chinese cabbage	41.9	-

양pH를 8.4정도로 높혀도 첫해에는 전혀 방제효과가 없었던 반면에 다음해 시험에서는 발병이 14% 감소하였고 동일 장소의 3년차 시험에서는 무처리에 비해 39% 발병 감소 효과가 있었다. 그러나 3년차 시험에서는 석회과다 시용으로 인한 배추의 붕소결핍 증상이 나타나 실제적용에는 문제가 있었다.

이병토양의 태양열 소독은 노지재배에서는 큰 효과를 볼 수 없었으며 시설재배에서는 효과가 좋아서 살균제처리와 대등한 방제효과를 보였다(농촌진흥청, 2001). 배추 뿌리에서 분리한 내생균의 일종인 *Heteroconium chaetospora*를 배추종자에 처리한 후 포장에서의 방제효과를 조사한 결과 발병억제 효과 및 생육촉진효과가 거의 없었다(농촌진흥청, 2001).

약제 방제. 시판 방제약제들의 뿌리혹병균에 대한 살균효과를 보면 500 ppm 처리에서 후루아지남, 후루설파마이드, 아인산염이 각각 84%, 64%, 96%로 아인산염의 살균효과가 우수하게 나타났다(김 등, 2000c). 포장실험에서 후루아지남 분제와 후루설파마이드 분제의 처리효과는 각각 방제가 74~82%와 64~84%로 비슷하였으나 후자

와 석회처리(200 kg/10a)를 병행하였을 때는 방제효과를 10% 증진할 수 있었다(류 등, 1995). 후루아지남 분제를 종자분의하고 동시에 토양에 전면혼화하면 100% 방제효과가 있었으며(오 등, 1997), 후루아지남 분제와 석회(20 kg/10a)를 병행처리해도 방제효과가 크게 증진되지 않았다(심 등, 1998). 상기 두가지 약제는 시험장소에 따라 방제효과에 큰 차이를 보였으며 전면 토양혼화외에 배추정식구의 집중적인 토양혼화도 큰 방제효과를 보이지 않았고 후루아지남 수화제의 토양관주 효과도 지역에 따라 방제효과에 일관성을 보이지 않았다(농촌진흥청, 2001). '98년부터 3년간의 시험에서 토양소독제 다조메 입제의 토양소독 효과는 년차와 장소에 따라 차이는 있었으나 대체로 방제가 80~100%의 높은 효과를 보였다. '98~'99년의 포장시험에서 여러가지 조합처리 중 후루아지남 수화제의 육묘상 침지와 후루설파마이드 분제의 정식전 토양혼화처리는 3개 지역의 시험에서 94~98%의 방제가를 보였으며 이러한 높은 방제효과는 2000년의 시험에서도 재현되었다. 이외에 후루아지남 수화제의 토양관주 및 후루설파마이드 분제의 토양혼화 조합처리도 3개 지역에서 82~96%의 높은 방제효과를 보였다(Table 7). 실내시험에서 병원균의 사멸효과가 좋았던 아인산염은 포장시험에서 48%의 낮은 방제효과를 가져왔으며 후루아지남 수화제의 생육기 토양관주도 방제효과는 있었으나 배추의 생육을 저해하여 사용에 문제가 있었다. 한편 후루설파마이드 분제는 연용처리에 의하여 방제효과가 증진되어 1회 25%, 2회 연용 84%, 3회 연용 89%의 방제효과가 있었으며, 2회 연용후 봄, 가을, 봄의 3회 재배가 가장 경제적으로 타당성이 있었다(장 등, 2000). '98~'00년의 3년간 5개 지역의 시험에서 가장 바람직한 약제방법으로 배추 육묘상을 후루아지남 수화제로 침지처리하고 이식전 본답은 후루

Table 7. Effect of fungicide application on clubroot disease incidence of chinese cabbage in different field trials in 2000

Fungicide and treatment	Control value at different trial					
	Spring at Suwon	Autumn at Suwon	Spring at Ichun	Autumn at Ichun	Vinylhouse at Pyongtaek	Summer at Pyongchang
Fluazinam wp, seedbed-soaking (A)	- ^a	80.5	88.3	80.1	-	-
Fluazinam wp, soil-drench (B)	92.3	85.3	96.3	82.9	-	61.6
Fluazinam wp, seedbed-soaking + soil-drench	-	-	96.3	85.6	-	-
Flusulfamide d, Soil-mix (C)	70.3	72.1	81.5	60.9	65.3	26.3
A + C	-	-	96.1	91.3	78.1	-
B + C	-	-	96.1	95.6	82.3	-
Dazomet, soil-fumigation (20 kg/10a)	93.8	-	97.3	87.0	-	-
Dazomet, soil-fumigation (30 kg/10a)	100	-	97.3	91.3	-	-
Disease incidence (%) in nontreated check	63.0	92.6	96.3	85.2	90.5	90.0

^a -: not examined.

설과마이드 분제로 전면 토양혼화하는 방법이 추천되었으며 후루설과마이드 분제의 2~3회 연용처리후에는 후루아지남 수화제로 육묘상을 침지처리만 하여도 높은 방제효과를 올릴 수 있었다(농촌진흥청, 2001).

태양열처리와 상기 두 약제의 조합처리는 노지에서는 방제효과가 낮아 적용이 어려웠으며 시설재배의 경우 각 방법의 단독처리효과가 매우 높아 조합처리에 의한 이점은 나타나지 않았다(농촌진흥청, 2001).

맺는말

뿌리혹병 문제를 해결하기 위해서는 가장 시급한 조치가 저항성 품종의 육성·보급이라고 생각되는데 지금까지의 육성·보급된 CR계통의 저항성 품종들이 병원균의 새로운 race에 대해 저항성을 단 기간내에 상실함에 비추어 앞으로는 병원균의 여러 종류의 race에 대해서도 저항성을 유지할 수 있는 다인자 저항성 내지는 포장저항성(수평저항성)을 가진 품종을 육성해 내는데 힘을 쏟아야 한다. 한편 뿌리혹병의 발생을 줄일 수 있는 경제성있는 작부체계의 개발도 시급하다고 생각되며 이를 위하여 지역적 특성을 고려한 장단기 윤작작물의 선정이 이루어져야 한다. 현재까지 연작에 의해 증가된 토양내 병원균의 밀도를 단시간 내에 줄일 수 있는 간편한 토양소독 기술의 개발·보급도 필요하며, 현재 사용하고 있는 약제의 대량 포장사용 대신 적은 약량으로 종자나 육묘에 처리하여 방제효과를 올릴 수 있는 전처리 약제방제방법, 이를테면 종자처리나 파종구 처리, 육묘상처리에 의해 본답에서도 좋은 방제효과를 올릴 수 있는 약제방제방법을 시급히 개발할 필요가 있다. 유기합성 농약을 대신할 수 있는 아인산염 등 저독성 약제의 사용기술의 개발, 내지는 내생균 등의 종자처리에 의해 지속적인 방제효과를 올릴 수 있는 생물학적 방제방법의 개발도 필요하다고 생각된다. 지역에 따라 어느 한 방법에 의해 큰 방제효과를 올릴 수 없는 경우, 앞서 설명한 여러방법중 동시처리가 가능한 방법을 조합하여 사용할 수 있는 실용 가능한 종합방제기술(IPM)의 개발에 많은 노력을 기울여야 할 것이다.

참고문헌

Chee, H. Y., Kim, W. G., Cho, W. D., Jee, H. J. and Choi, Y. C. 1998. Detection of *Plasmodiophora brassicae* by using polymerase chain reaction. *Korean J. Plant Pathol.* 14(6): 589-593.

장석원, 홍순성, 김성기, 김희동, 이은섭. 2000. 배추 뿌리혹병 방제약제의 처리방법 개선을 통한 방제효과 제고. *식물병연구* 6(1): 39-42.

Cho, W. D., Kim, W. G. and Takahashii, K. 2003. Occurrence of clubroot in cruciferous vegetable crops and races of the pathogen in Korea. *Plant Pathol. J.* 19(1): 64-68.

한국식물병리학회. 1998. 한국식물병명목록. 제3판. 436pp.

권업모범장. 1928. 조선작물병해목록. 조선총독부 권업모범장 연구보고 15: 77-78.

김충희, 조원대, 김홍모. 2000a. 배추 뿌리혹병균의 토양내 분포. *식물병연구* 6(1): 27-33.

김충희, 조원대, 김홍모. 2000b. 배추 뿌리혹병 뿌리혹의 부패에 미치는 몇 가지 환경요인. *한국농약과학회지* 4(4): 61-65.

김충희, 조원대, 김홍모. 2000c. 배추 뿌리혹병균 휴면포자의 발아 및 생존에 미치는 몇가지 환경요인. *한국농약과학회지* 4(4): 66-71.

김충희, 조원대, 김홍모. 2000d. 봄 배추 뿌리혹병의 포장감염 시기와 피해. *식물병연구* 6(1): 23-26.

김충희, 조원대, 양종문. 1999a. 배추 뿌리혹병의 뿌리혹 형성에 미치는 묘령, 집종원 농도 및 집종방법의 영향. *식물병과농업* 5(2): 90-94.

김충희, 조원대, 양종문. 1999b. 배추 뿌리혹병 뿌리혹의 형성에 미치는 온도, 토양수분, 토양pH, 광의 영향. *식물병과농업* 5(2): 84-89.

김충희, 조원대, 양종문. 1999c. 배추 뿌리혹병 발생실태와 뿌리혹의 생성생태. *식물병과농업* 5(2): 77-83.

김두욱, 오정행. 1997. 배추 뿌리혹병의 발생상황과 병원균 (*Plasmodiophora brassicae*)의 병원성 및 배추품종의 병저항성. *한식병지* 13(2): 95-99.

Lee, C. S., Lee, S. B. and Kim, C. H. 2000. An improved method for estimating number of resting spores of *Plasmodiophora brassicae* in soil. *Plant. Pathol. J.* 16(6): 344(abstract).

Lee, S. B., Lee, C. S., Kim, Y. K., Lee, S. Y. and Kim, C. H. 2001. Effect of crop rotation on the development of clubroot disease of chinese cabbage caused by *Plasmodiophora brassicae*. *Plant Pathol. J.* 17(6): 369(abstract).

Lee, S. B., Lee, C. S., Kim, S. K., Hong, S. S., Choi, J. K., Lee, J. H. and Kim, C. H. 2001. Screening resistant varieties of crucifer crops to clubroot disease caused by *Plasmodiophora brassicae* in Korea. *Plant Pathol. J.* 17(6): 369-370(abstract).

오정행, 조장환, 김봉구, 차재천, 정길웅, 황철호, 김두욱. 1997. 배추 뿌리혹병(*Plasmodiophora brassicae*)의 발병유인 및 약제방제. *한식병지* 13(4): 244-247.

심홍식, 박진우, 이정운, 성재모. 1998. 배추 뿌리혹병 피해양상과 약제방제에 관한 연구. *작물보호논문집* 40(1): 23-28.

농촌진흥청. 2001. 십자화과 채소의 뿌리혹병 발생생태 및 방제대책연구. *대형공동과제 완결보고서*. 111pp.

류재당, 이상엽, 류재기, 김용기. 1995. 십자화과채소 뿌리혹병 방제약제 방제법 구명시험. *농업과학기술원 시험연구보고서* 357-362.