

윤작작물 재배에 의한 배추 뿌리혹병 방제 효과

김점순* · 이정태 · 이계준

농촌진흥청 국립식량과학원 고령지농업연구센터

Effect of Crop Rotation on Control of Clubroot Disease of Chinese Cabbage Caused by *Plasmodiophora brassicae*

Jeom-Soon Kim*, Jeong-Tae Lee and Gye-Jun Lee

Highland Agriculture Research Center, NICS, RDA, Pyeongchang 232-955, Korea

(Received on November 4, 2009; Accepted on December 4, 2009)

To select rotation crops for control of clubroot of Chinese cabbage, potato, corn, soybean, onion and groundsel were planted in the field infected with clubroot pathogen (*Plasmodiophora brassicae*) in highland area in 2000. In comparison of economical efficiency among rotation crops, potato and onion gained about 16.9 and 14.9 times higher, respectively, than successive cultivation of Chinese cabbage. Resting spore densities of *Plasmodiophora brassicae* after harvesting rotation crops were in the range of $0.3\sim 1.2\times 10^3$ /g soil in all cultivated soils with rotation crops while that of successive Chinese cabbage cultivation soil was very high as much as 89.3×10^3 /g soil. And disease severity of Chinese cabbage clubroot was 4.9, 20.2, 24.4, 25.1 and 27.8% in onion, soybean, potato, corn, and groundsel cultivation plot, respectively, while that of successive Chinese cabbage cultivation plot was very high as 77.8%. Effect of rotation period of onion, potato, soybean on disease control was investigated from 2002 to 2005. Resting spore densities of *Plasmodiophora brassicae* after cultivating rotation crops were decreased until 2nd year and maintained low density at 3rd year in all plots, while that of successive Chinese cabbage cultivation plot was increased 2.6 to 23.6 times for three years. When Chinese cabbage was rotation-cultivated with potato, soybean and onion for three years, disease severities of Chinese cabbage clubroot decreased 92 to 4.4%, 72 to 10.4% and 72 to 12.2%, respectively, while that of successive Chinese cabbage cultivation plot maintained 100%. As the rotation period increased, the yields of Chinese cabbage increased, while that of successive Chinese cabbage cultivation plot decreased. At 3rd year, Chinese cabbage with high quality could be much more produced 2,205, 2,493 and 2,476 g in potato, soybean and onion cultivation plot, respectively, than 95 g in successive Chinese cabbage cultivation plot.

Keywords : Chinese cabbage, Clubroot, Control, Rotation

우리나라의 배추 재배면적은 2008년 37,285 ha이며 생산량은 약 2,585천 톤으로 채소 중 고추에 이어 두 번째로 많이 재배되는 중요한 작물이다(국가통계포털, 2009). 그러나 1990년대 초반부터 발생하기 시작한 뿌리혹병(*Plasmodiophora brassicae* Voronin)의 영향으로 큰 피해를 입고 있는 실정이다(김과 오, 1997; 심 등, 1998; 김 등, 1999; 농촌진흥청, 2002; 김 등, 2006). 특히 서늘한 여름기후를 이용, 배추를 재배하여 고소득을 올리는 강원

도 고랭지대에서는 1996년 6.5 ha, 2000년 457.9 ha, 2005년 692 ha로 뿌리혹병 발생이 급격히 증가하다가 2007년 344.5 ha, 2008년 264.1 ha 등으로 최근에는 발생면적이 상당히 감소한 것으로 조사되었다(강원도청 농정산림국, 개인교신). 이러한 감소추세는 토양소독제 등 약제의 꾸준한 사용, 저항성 품종의 재배와 근년에 줄어든 집중강우의 영향으로 생각되나 여전히 뿌리혹병은 배추 재배의 가장 큰 위협요소이다.

뿌리혹병의 방제를 위하여 저항성 품종의 이용(김과 오, 1997; 이 등, 2001a), 생물적 방제법(용 등, 2003), 경종적 방제법(Imawa 등, 1994; Murakami 등, 2000; 농촌진흥청, 2001; 김 등, 2006), 화학적 방제법(Tanaka, 1996; 오 등,

*Corresponding author

Phone) +82-33-330-1980, Fax) +82-33-330-1519

Email) kimjs33@korea.kr

1997; 심 등, 1998; 장 등, 2005; 장 등, 2005) 등 다양한 연구가 활발히 수행되어 왔으나 현재 농가에서 가장 많이 사용되는 방법은 살균제를 이용한 화학적 방제법이다. 그러나 약제의 지나친 사용은 토양과 수질을 악화시키고 나아가서는 농민과 소비자의 안전까지 위협하는 등 바람직하지 않은 결과를 초래할 수 있다. 실제로 강원도 고랭지 배추 경작자들의 농약 사용실태를 조사한 결과 배추 뿌리혹병이 가장 문제가 되는 병이라고 대답했으며 조사 농가 전체의 46%가 기준량 이상으로 농약을 살포하고 그 결과 46.7%가 작물의 약해를, 51.2%는 농약중독 현상을 경험하였다고 하였다(김 등, 2002). 한편, 뿌리혹병균은 토양 전염성으로 배추 재배 역사가 길수록 연작에 의해 발병이 증가하고, 주산지의 작부체계는 배추를 연작하거나 배추, 무의 작부체계가 일반적이어서 뿌리혹병 발생을 증가시키는 원인이 될 수 있다고 하였다(김 등, 1999). 따라서 이 병의 방제를 위한 적절한 작부체계의 도입을 고려해 볼 필요가 있는데 이 등(2001b)은 1998~2000년 2개 지역에서의 시험을 통해 저항성 무와 대파를 윤작할 경우 배추 연작재배보다 발병이 50% 이상 줄어들어 방제 효과가 우수하였다고 하였으며 김 등(2003)도 지역적으로 경제성 있는 장단기 작부체계의 개발을 제안한 바 있다. 본 연구는 배추과 이외의 작물을 재배하여 배추 뿌리혹병 발병 경감 효과와 경제성을 구명함으로써 강원도 고랭지 배추 재배지에 도입 가능한 적정 윤작작물을 선발하고자 수행하였다.

재료 및 방법

윤작작물의 선발. 고랭지에서 많이 재배되는 감자, 옥수수과 지력증진 작물인 콩, 단경기 작물로 양파, 곰취 등의 작물을 선택하였다. 강원도 평창군 대관령면 횡계리의 해발 800 m에 위치한 뿌리혹병 이병포장에 2000년 각 작물을 심은 뒤 2001년에 배추를 재배하였다. 감자는 70×25 cm 간격으로 5월 10일에 파종하였고 양파, 곰취는 각각 18×12 cm, 20×20 cm 간격으로 5월 15일, 5월 22일에 정식하였으며 옥수수, 콩, 배추는 각각 60×25 cm, 60×15 cm, 60×35 cm 간격으로 6월 5일에 정식하여 농촌진흥청 표준재배법에 준하여 재배하였다. 각 작물을 재배하기 전(2000년 4월 25일)과 후(2000년 10월 6일) 그리고 배추 재배 후(2001년 8월 16일)에 토양을 채취하여 휴면포자 밀도를 조사하였다. 시험구는 구면적 20 m²로 하여 난괴법 3반복으로 배치하였고, 작물별 수량 조사는 농촌진흥청 농사시험연구조사기준(농촌진흥청, 1995)에 준하였으며 작물별 수확 시기에 맞추어 서울 가락동

농산물 도매시장의 평균가격을 산출하여 경제성을 분석하였다.

윤작작물 재배기간에 따른 배추 뿌리혹병 방제 효과. 윤작작물 선발 시험을 통해 선발된 감자, 양파와 콩을 대상으로 하였다. 각 작물별 품종은 뿌리혹병에 감수성인 칠성여름배추를 대조로 하고 감자는 수미, 양파는 히구마, 콩은 화엄꽃콩 등 고랭지에서 많이 재배되는 품종을 선정하였다. 강원도 평창군 대관령면 횡계리의 해발 800 m에 위치한 뿌리혹병 상습 발생지에 2002년부터 2004년까지 윤작작물을 1, 2, 3년간 재배한 후 2005년에 배추를 재배하여 윤작작물 재배기간에 따른 뿌리혹병 발생 정도를 조사하였다. 작물별로 감자는 70×25 cm 간격으로 5월 상순에 파종, 양파는 18×12 cm 간격으로 5월 중순에 정식, 콩은 60×15 cm 간격으로 6월 상순에 파종, 배추는 60×35 cm 간격으로 6월 상순에 정식하였으며 농촌진흥청 표준재배법에 준하여 재배하였다. 시험구는 구당 면적을 20 m²로 하여 난괴법 3반복으로 배치하였고 배추의 수량조사는 농촌진흥청 농사시험연구조사기준(농촌진흥청, 1995)에 준하였다.

토양 휴면포자 밀도 조사. Takahashi와 Yamaguchi(1987)의 방법을 개량한 형광염색방법(김 등, 2000)을 이용하였다. 시험구별 5개 지점에서 표토 0~5 cm의 토양 200 g씩을 채취하여 실내에서 풍건한 후 곱게 빻은 다음 10 mesh 체를 통과시켰다. 이 시료 10 g씩 2개를 평량하여 1개는 건조기에 건열시켜 수분함량을 측정하고 나머지 시료는 0.05%의 Tween 20을 첨가한 살균증류수를 가하여 20°C에서 2시간 동안 160 rpm에서 진탕 후 현탁액을 140 mesh → 325 mesh → 500 mesh 체로 순차 여과하여 미세현탁액을 조제하였다. 미세현탁액에 2% 1N NaOH 용액을 2 ml 첨가하여 30분간 진탕한 후 40%(W/V)의 설탕용액 위층에 올리고, 10분간 정치시켜 큰 입자는 제거한 다음 1 ml를 채취하여 3,000 rpm에서 10분간 원심분리하고 상등액 0.95 ml를 제거하여 포자를 농축시켰다. 농축된 현탁액에 염색액(Calcofluor white M2R (200 µg/ml) in 40% glycerol: Ethidium bromide (200 µg/ml) in 40% glycerol=1:1) 50 µl를 첨가하여 충분히 현탁한 다음 UV형광 현미경(Nikon E600, Japan)을 사용하여 휴면포자를 계수하고 이를 토양 건물 1g당 휴면포자수로 환산하였다.

발병 조사. 정식 후 30, 40일과 수확기에 시험구별 발병증상을 조사하였고 수확기에 뿌리를 뽑아 발병 정도를 0~9까지 6단계(0: 병징 없음, 1: 측근에 작은 흑이 조금씩 생기고 생장 다소 지연, 3: 측근에 흑이 다수 생기고 경미한 생장지연, 5: 주근의 아래 부분에 흑이 형성되고 생육 지연, 7: 주근에 흑이 크게 형성되고 생육저해, 9:

주근에 흑이 조기에 형성되고 생육완전 정지)로 등급화하여 발병도 {Disease severity(%)=[Σ(각 등급×해당 등급의 개체수)/(전체개체수×9)]×100}를 구하였다.

결과 및 고찰

윤작작물의 선발. 2000년 각 작물을 재배한 후 작물별 수량과 소득을 분석한 결과는 Table 1과 같다. 배추는 정식 후 30일에 뿌리혹병에 감염된 후 생육이 매우 불량하여 104천원/10a으로 소득이 매우 낮은 반면 감자와 양파는 수량이 많고 소득도 각각 1,757천원/10a과 1,548천원/10a으로 배추 연작에 비해 월등히 높았다. 콩과 옥수수도 배추 연작에 비해 소득이 약 7~8배 높았으나 곱취는 2년 1작으로 당년에 수확하지 못하여 경제성 분석을 하지 못하였다. 2000년 가을 윤작작물을 재배한 후 토양내 휴면포자 밀도를 조사한 결과 시험 전(1.2×10³/g 토양)에 비해 배추를 연작(89.3×10³/g 토양)했을 때는 70여배 이상 증가하였으나 콩(0.3×10³/g 토양), 양파(0.4×10³/g 토양) 재배에서는 각각 78%와 67%가 감소했으며 옥수수, 감자, 곱취 재배에서도 낮아졌거나 시험 전과 같은 밀도를 보였다. 2001년 전체적으로 배추를 재배한 후에 조사한 결과 양파(6.7×10³/g 토양)와 감자(8.5×10³/g 토양) 재배에서 가장 큰 밀도 감소 효과를 보였고 곱취, 옥수수, 콩 재배에서도 배추 연작(630×10³/g 토양)에 비해 현저히 낮은 밀도를 보였다(Table 2). 배추 정식 후 40일에 조사한 뿌리혹병 발병 정도는 배추 연작구에서 발병률 82.7%와 발병도 77.8%로 매우 높았으나 양파를 재배했던 구에서는 발병률 21.7%와 발병도 4.9%를 보여 가장 낮았으며 콩, 감자, 옥수수, 곱취 재배구의 순으로 낮은 발병을 보였다(Table 3). 따라서 고랭지의 배추 뿌리혹병 발병지에 재배할 수 있는 윤작작물로는 경제성과 병원균 밀도 감소 효과가 우수한 감자, 양파, 콩이 좋을 것으로 판단

Table 2. Resting spore density of *Plasmodiophora brassicae* before and after cultivation of rotation crops and Chinese cabbage

Crop cultivation		Density of resting spore (×10 ³ /g soil)		
2000	2001	Before cultivation	After harvesting crops	After harvesting Ch ^y
Potato	Ch		0.9 b ^z	8.5 b
Corn	Ch		0.7 b	14.6 b
Soybean	Ch	1.2	0.3 b	15.3 b
Onion	Ch		0.4 b	6.7 b
Groundsel	Ch		1.2 b	12.0 b
Ch	Ch		89.3 a	630.0 a

^yCh: Chinese cabbage.

^zMeans followed by the same letters within a column are not significantly different at 5% level by the Duncan's multiple range test.

Table 3. Effect of rotation crops on clubroot incidence and yield of Chinese cabbage harvested at 40 days after planting

Crop cultivation		Diseased plant (%)	Disease severity (%)	Plant weight (g/plant)
2000	2001			
Potato	Ch	41.5 b ^z	24.4 b	1,171 a
Corn	Ch	42.2 b	25.1 b	1,093 a
Soybean	Ch	28.8 b	20.2 b	1,090 a
Onion	Ch	21.7 b	4.9 b	1,291 a
Groundsel	Ch	45.4 b	27.8 b	1,250 a
Ch ^y	Ch	82.7 a	77.8 a	519 b

^yCh: Chinese cabbage.

^zMeans followed by the same letters within a column are not significantly different at 5% level by the Duncan's multiple range test.

되었다. 그러나 이들 작물의 1년간의 윤작으로는 뿌리혹병 발병도가 4.9~24.4%, 발병률이 21.7~41.5%로 높아 배추의 생육이 저조하였으며 포기당 무게가 1,090~1,291 g으로 상품성이 거의 없었다. 따라서 이 작물들의 뿌리혹병 방제효과를 명확히 검토하기 위해서는 재배기간을 늘려 시험해야 할 필요성이 있었다.

Table 1. Yield and economical analysis of rotation crops in 2000

Crop	Yield (kg/10a)	Price ^a (won/kg)	Gross Income (1,000 won)	Management cost ^b (1,000 won)	Income (1,000 won)	Income index (%)
Potato	4,319	538	2,324	567	1,757	1,689
Corn	1,724	616	1,062	215	847	814
Soybean	546	1,530	835	109	726	698
Onion	4,910	460	2,259	711	1,548	1,489
Ch ^c	2,776	202	561	457	104	100

^aAverage price at Garak-Dong Agricultural Wholesale Market in Seoul: the highest quality potato sold in September 1998, 1999 and 2000, the highest quality corn sold in August 1998, the highest quality soybean sold in September 1998, the highest quality onion sold in October 1998, 1999 and 2000, and Chinese cabbage sold in August 1998, 1999 and 2000.

^b1999 Regional income data of agricultural product (R.D.A).

^cCh: Chinese cabbage.

Table 4. Resting spore density of *Plasmodiophora brassicae* before and after cultivation of rotation crops for 1 to 3 years

Crop	Density of resting spore ($\times 10^3/g$ soil)			
	Before cultivation	After 1 st year	After 2 nd year	After 3 rd year
Potato		8.1 b ^z	3.6 b	3.9 b
Soybean	38.0	5.8 b	5.2 b	6.3 b
Onion		7.6 b	4.6 b	4.2 b
Successive Ch ^y		100.0 a	430.0 a	900.0 a

^ySuccessive Ch: Successive cultivation of Chinese cabbage.

^zMeans followed by the same letters within a column are not significantly different at 5% level by Tukey's studentized range test.

윤작작물 재배기간에 따른 배추 뿌리혹병 방제 효과.

윤작작물로 선발된 감자, 양파, 콩을 배추 뿌리혹병 발병지에 1, 2, 3년간 재배한 후의 병원균 휴면포자의 밀도 변화는 Table 4와 같다. 각 작물을 1년 재배한 후의 휴면포자 밀도는 배추연작의 경우 $1.0 \times 10^5/g$ 토양으로 시험 전 $3.8 \times 10^4/g$ 토양보다 증가하였으나 콩은 $5.8 \times 10^3/g$ 토양, 양파는 $7.6 \times 10^3/g$ 토양, 감자는 $8.1 \times 10^3/g$ 토양으로 감

소하여 병원균 밀도를 낮추는 효과가 있었다. 2년 재배한 후에는 감자, 양파, 콩에서 $3.6 \sim 5.2 \times 10^3/g$ 토양으로 배추를 2년 연작한 경우의 $4.3 \times 10^5/g$ 토양에 비해 밀도감소 효과가 뚜렷했으며 3년 재배한 후에도 배추 연작에서 $9.0 \times 10^5/g$ 토양으로 2배 이상 증가한 반면 감자, 양파, 콩의 경우 $3.9 \sim 6.3 \times 10^3/g$ 토양으로 낮은 밀도가 유지되는 것을 볼 수 있었다. 이와 같은 결과는 뿌리혹병 상습 발병지에 감자, 상추, 콩, 양파, 사탕무, 토마토 등 배추과 이외의 작물을 윤작하는 것이 병원균의 밀도를 저하시킬 수 있다는 연구 결과(Ikegami, 1992)와 김 등(2000)이 배추를 연작한 포장의 토양 내 뿌리혹병균의 밀도는 점차 증가하거나 유지되는 반면 배추 재배 후 당귀나 메밀 등 비기주 작물을 재배한 포장에서는 밀도가 급격히 감소하는 경향을 보였다는 결과와 유사하여 작부체계 운용에 의한 경종적 방제의 가능성이 있다는 것을 확인한 결과라 생각된다.

재배기간에 따른 배추 뿌리혹병의 발병정도와 수량성을 살펴 본 결과는 Table 5, 6과 같다. 작물을 1년 재배한 후 배추를 재배했을 때 뿌리혹병의 발병 정도는 정식

Table 5. Effect of rotation crops on incidence of clubroot disease of Chinese cabbage after cultivation for 1 to 3 years

Crop (Main)	Cultivation period (Sub)	Diseased plant (%)			Disease severity (%)	Control value ^x (%)
		30 DAP ^w	40 DAP	Harvesting time		
Potato	1 year	0	75	100	92.0	8.0
	2 year	0	24	100	35.0	65.0
	3 year	0	0	11	4.4	95.6
	Average	0	33	70 b ^z	43.8 b	56.2
Soybean	1 year	0	67	100	72.0	28.0
	2 year	0	27	100	35.0	65.0
	3 year	0	0	29	10.4	89.6
	Average	0	31	76 b	39.0 b	60.9
Onion	1 year	0	77	100	72.0	28.0
	2 year	0	21	100	31.0	69.0
	3 year	0	0	33	12.2	87.8
	Average	0	33	78 b	38.3 b	61.6
Successive Ch ^y	1 year	100	100	100	100.0	-
	2 year	100	100	100	100.0	-
	3 year	100	100	100	100.0	-
	Average	100	100	100 a	100.0 a	-
Main		-	-	**	**	-
Sub		-	-	**	**	-
Main×Sub		-	-	**	**	-

^wDAP: Days after planting.

^xControl value (%): [(disease severity of untreated plot-disease severity of treated plot)/disease severity of untreated plot]× 100.

^ySuccessive Ch: Successive cultivation of Chinese cabbage.

^zMeans followed by the same letters within a column are not significantly different at 5% level by Tukey's studentized range test.

Table 6. Yield of Chinese cabbage after cultivation of rotation crops in the field infected with clubroot disease for 1 to 3 years

Crop (Main)	Cultivation period (Sub)	Plant weight (g/plant)	Head weight (g/plant)	Marketable yield (kg/10a)
Potato	1 year	932	0	0
	2 year	1,620	0	0
	3 year	2,205	1,616	5,656
	Average	1,586 b ^z	539 a	1,885 a
Soybean	1 year	875	0	0
	2 year	2,105	0	0
	3 year	2,493	1,579	5,527
	Average	1,824 ab	526 a	1,842 a
Onion	1 year	1,275	0	0
	2 year	1,769	0	0
	3 year	2,476	1,788	6,260
	Average	1,840 a	596 a	2,087 a
Successive Ch ^y	1 year	346	0	0
	2 year	126	0	0
	3 year	95	0	0
	Average	188.9 c	0 b	0 b
Main		**	**	-
Sub		**	**	-
Main×Sub		**	**	-

^ySuccessive Ch: Successive cultivation of Chinese cabbage.

^zMeans followed by the same letters within a column are not significantly different at 5% level by Tukey's studentized range test.

후 30일에 배추 연작의 경우에는 100%의 발병률을 보였으나 윤작작물 재배구에서는 발병이 없었으며 정식 후 40일에는 감자 75%, 콩 67%, 양파 77%의 발병률을 보여 발병을 지연시키는 효과가 있는 것으로 판단되었다. 배추 수확기에 조사한 결과 발병률은 모두 100%였으나 발병도에서는 배추 연작은 100%인 반면 감자 92%, 콩 72%, 양파 72%로 발병억제 효과가 있었으며 이 때의 배추 포기당 무게가 연작구의 346 g에 비해 감자 932 g, 콩 875 g, 양파 1,275 g으로 윤작작물 재배구에서 훨씬 높아 수량성에서도 윤작효과가 인정되었다. 2년간 재배 후 뿌리혹병의 발병 정도는 정식 후 40일에 감자 24%, 콩 27%, 양파 21%의 발병률을 보여 배추 연작의 100%에 비해 발병을 지연시키는 효과가 더 뚜렷하였으며 이에 따라 배추 수확기의 발병도도 감자 35%, 콩 35%, 양파 31%로 크게 낮아졌다. 배추의 포기당 무게도 연작의 126 g에 비해 각각 감자 1,620 g, 콩 2,105 g, 양파 1,769 g으로 매우 높았다. 작물을 3년간 재배한 후 배추를 재배하였을 때는 정식 후 30일에 배추를 연작한 경우에는 100%의 발병률

을 보였으나 윤작작물 재배구에서는 정식 후 40일까지 발병하지 않아 발병 지연 효과가 명확하였으며 배추 수확기에는 발병도가 배추 연작의 100%에 비해 감자 4.4%, 콩 10.4%, 양파 12.2%로 매우 낮았으며 배추의 포기당 무게도 배추 연작의 95 g에 비해 감자 2,205 g, 콩 2,493 g, 양파 2,476 g으로 상품성 있는 배추를 생산할 수 있었다. 이상의 결과에서 감자, 콩, 양파로 1~3년간 재배할 경우 배추를 연작하는 것에 비해 뿌리혹병 방제 효과가 뚜렷하고 수량증대 효과도 높아 통계적 유의성이 있었다. 그러나 윤작작물들 사이의 유의성은 없었으며 뿌리혹병에 대한 발병경감 효과는 재배 연수가 길어질수록 커지는 것으로 나타났다. 즉 비기주 작물을 오랫동안 재배할수록 배추 뿌리혹병의 발병을 낮출 수 있었다. 본 연구에서 3년간 윤작작물을 재배하였을 때 발병도는 현저히 낮아졌으나 발병률이 11.1~33.3%로 나타나 이 병의 완전 방제는 어려웠다. 이는 휴면포자의 토양 내 생존기간이 길어 기주가 재배되지 않는 동안 낮은 밀도로 유지되고 있다가도 기주식물이 재배될 때 급속히 병원균의 증식이 일어나기 때문으로 생각된다(Macfarlane, 1952; Colhoun, 1958). 따라서 윤작작물을 도입할 때는 저항성 품종의 재배, 약제의 묘상처리, 석회질소의 토양혼화 등을 병행하면 윤작효과를 높여 윤작기간을 줄일 수 있을 것으로 생각된다. 또한 약제의 처리량도 줄일 수 있어 친환경적이면서 지속적인 방제방법이 될 수 있을 것으로 판단된다.

요 약

고랭지의 배추 뿌리혹병 방제에 적합한 윤작작물을 선발하고자 2000년 감자, 옥수수, 콩, 양파, 곰취 등을 뿌리혹병 이병포장에 재배하면서 뿌리혹병 발생에 미치는 영향을 조사하였다. 윤작작물들간의 경제성 비교에서는 감자와 양파 재배가 배추 연작에 비해 각각 약 16.9와 14.9 배 더 높은 소득을 나타내었다. 윤작작물 재배 후의 토양 내 휴면포자 밀도는 모든 작물에서 $0.3\sim 1.2\times 10^3/g$ 토양이었고 배추 연작재배에서는 $89.3\times 10^3/g$ 토양이었다. 2001년 동일 포장에 배추를 재배한 결과 뿌리혹병 발병도는 배추 연작재배의 77.8%에 비해 양파, 콩, 감자, 옥수수, 곰취 재배에서 각각 4.9, 20.2, 24.4, 25.1, 27.8%로 낮게 나타났다. 윤작작물의 재배기간에 따른 뿌리혹병 방제 효과를 양파, 감자, 콩 등의 작물로 2002년부터 2005년까지 시험하였다. 윤작작물 재배 후의 휴면포자 밀도는 모든 작물에서 2년째 재배까지 감소하였고 3년째 재배에서는 낮은 밀도가 유지되는 반면 배추 연작재배에서는 3년 동안 2.6에서 23.6배까지 증가하였다. 3년간의 윤작작물 재

배를 통한 배추의 뿌리혹병 발병도는 감자 재배가 92%에서 4.4%, 콩 재배가 72%에서 10.4%, 양파 재배가 72%에서 12.2%를 보이며 크게 감소한 반면 배추 연작재배에서는 100%를 유지하였다. 배추의 수량은 윤작기간이 길어질수록 증가되었으나 연작재배에서는 감소하였으며 3년째에는 연작재배의 배추 포기당 무게 95 g에 비해 감자, 콩, 양파 재배에서는 각각 2,205, 2,493, 2,476 g의 상품성 있는 배추가 생산되었다.

참고문헌

- Colhoun, J. 1958. Club root disease of crucifers caused by *Plasmodiophora brassicae* Woron, A monograph. Commonwealth Mycol. Inst. Kew Surrey. England. 108 pp.
- 국가통계포털. “채소생산량(엽채류)”. 농작물생산조사. <<http://www.kosis.kr/>>. (2009.10.1).
- Ikegami, H. 1992. Ecology of *Plasmodiophora brassicae* and control of clubroot disease. *Soil Microorganisms* 39: 1-10.
- Iwama, H., Osozawa, S., Ushiroda, T. and Kubota, T. 1994. Analysis of soil water matric potential requirement for infection of turnip with *Plasmodiophora brassicae* using negative pressure water circulation technique. *Soil Sci. & Plant Nutr.* 40: 293-299.
- 장현철, 이선욱, 김점순, 윤여순, 최근숙, 김학기, 김병섭. 2005. Flusulfamide 입제에 의한 배추무사마귀병의 방제효과. *식물병연구* 11: 43-47.
- 장경수, 김진철, 임희경, 조광연, 최경자. 2005. 다양한 살균제의 배추 뿌리혹병 방제 효과. *농약과학회지* 9: 422-428.
- 김충희, 조원대, 김홍모. 2000. 배추뿌리혹병균의 토양 내 분포. *식물병연구* 6: 27-33.
- 김충희, 조원대, 이상범. 2003. 우리나라 배추 뿌리혹병 연구현황과 향후과제. *식물병연구* 9: 57-63.
- 김충희, 조원대, 양종문. 1999. 배추뿌리혹병 발생실태와 뿌리혹의 생성생태. *식물병과 농업* 5: 77-83.
- 김두욱, 오정행. 1997. 배추 무사마귀병의 발생상황과 병원균(*Plasmodiophora brassicae*)의 병원성 및 배추품종의 병저항성. *한국식물병리학회지* 13: 95-99.
- 김점순, 이정태, 이계준. 2006. 석회질소에 의한 배추 뿌리혹병 방제효과. *식물병연구* 12: 278-283.
- 김성문, 최해진, 김희연, 이동경, 김태한, 안문섭, 허장현. 2002. 강원도 고랭지대 배추 경작자들의 농약 사용 실태. *한국농약과학회지* 6: 250-256.
- Lee, S. B., Lee, C. S., Kim, S. K., Hong, S. S., Choi, J. K., Lee, J. H. and Kim, C. H. 2001a. Screening resistant varieties of crucifer crops to clubroot disease caused by *Plasmodiophora brassicae* in Korea. *Plant Pathol. J.* 17: 369-370(abstract).
- Lee, S. B., Lee, C. S., Kim, Y. K., Lee, S. Y. and Kim, C. H. 2001b. Effect of crop rotation on the development of clubroot disease of Chinese cabbage caused by *Plasmodiophora brassicae*. *Plant Pathol. J.* 17: 369(abstract).
- Macfarlane, I. 1952. Factors affecting the survival of *Plasmodiophora brassicae* Wor. in the soil and its assessment by a host test. *Ann. Appl. Biol.* 39: 239-256.
- Murakami, H., Tsushima, S. and Shishido, Y. 2000. Soil suppressiveness to clubroot disease of Chinese cabbage caused by *Plasmodiophora brassicae*. *Soil Biology & Biochemistry* 32: 1637-1642.
- 농촌진흥청. 1995. 농사시험연구조사기준. 603 pp.
- 농촌진흥청. 2001. 십자화과 채소의 뿌리혹병 발생생태 및 방제 대책 연구. 대형공동과제 완결보고서. 111 pp.
- 농촌진흥청 고령지농업시험장. 2002. 고랭지 채소재배기술. 561 pp.
- 오정행, 조장환, 김봉구, 차재천, 정길웅, 황철호, 김두욱. 1997. 배추 뿌리혹병(*Plasmodiophora brassicae*)의 발병유인 및 약제방제. *한식병지* 13: 244-247.
- 심홍식, 박진우, 이정운, 성재모. 1998. 배추 뿌리혹병 피해양상과 약제방제에 관한 연구. *작물보호논문집* 40: 23-28.
- Takahashi, K. and Yamaguchi, T. 1987. An improved method for estimating the number of resting spores of *Plasmodiophora brassicae* in soil. *Ann. Phytopath. Soc. Japan* 53: 507-515.
- Tanaka, S. 1996. Recent progress in studies on clubroot disease of crucifers. *Shokubutsu Boeki (Plant Protection)* 50: 281-284.
- 용영록, 김중훈, 김병섭, 전지영, 윤철수. 2003. 유용 길항균이 배추 뿌리혹병 방제에 미치는 영향. *원예과학기술지* 21: 194-198.