식물병 연구
Plant Dis. Res. 6 (1) : 23-26 (2000)

Plant Disease Research
©The Korean Society of Plant Pathology

봄배추 무사마귀병의 포장 감염시기와 피해

김충회* · 조원대 · 김홍모
농업과학기술원, 식물병리과

Yield Loss of Spring Chinese Cabbage as Affected by Infection Time of Clubroot Disease in Fields

Choong-Hoe Kim*, Won-Dae Cho and Hong-Mo Kim
Plant Pathology Division, National Institute of Agricultural Science & Technology, Suwon 441-707, Korea

Effects of infection time of the clubroot pathogen, *Plasmodiophora brassicae*, on yield loss of Spring-sown Chinese cabbage plants were examined in field experiments. Yield loss of Chinese cabbage plants increased as the infection time becomes early. Plants infected at 20 days after transplanting or earlier were completely killed before harvest, and those infected at 30 days after transplanting were healthy in appearance but their head weights were reduced to 59% with poor commodity value. The plants infected 40 days after transplanting were not affected in yield. Development of root hairs in diseased plants was greatly reduced as the infection progressed, and root length was reduced to 1/2 to 1/3 of that of healthy plants. Root galls were first developed 20 days after inoculation and rapidly enlarged to reach the peak in size 20 days from initial development, and decayed thereafter. Development and decay of root galls tended to be faster at later season as air temperature became high, regardless of the infection time. Diseased plants started to wilt approximately 10 days after root gall development. Root galls began to decay 10 days after initial plant wilting, and then were completely rotten within following 10 days. Based on the results, root gall development stages on Spring-sown Chinese cabbage plants could be grouped into 20 days of latent period, 20 days of root gall enlargement period, and 10 days of root gall decay period, followed by survival period in soil.

Keywords : **Chinese cabbage, clubroot, infection time, *Plasmodiophora brassicae*, root gall, yield loss.**

봄배추는 대개 4월 초순에 파종하여 4월 하순~5월 초순에 정식하고 6월에 수확하는 작형으로 대개 정식 60~70일이면 수확이 가능하다. 우리나라에서 가을 작형, 고랭지 작형과 함께 가장 일반적인 배추재배 작형이다. 배추무사마귀병은 최근 작형을 불문하고 심하게 발생하여 배추생산의 가장 큰 문제가 되고 있는데(김충회 등, 1999a) 배추는 정식후 60-70일의 본 포장 생육기간중 언제든지 무사마귀병균에 노출되어 병에 걸릴 수가 있다(田村, 1977). 전세계적으로 무사마귀병의 발생생태에 관한 연구는 병원균의 생활사나 피해를 중심으로 연구되어 왔으나(Ikegami, 1992; Iwanami 등, 1993; Naiki, 1987) 병에 걸리는 시기의 빠르고 늦음에 따라 그 피해정도가 대단히 다를 것으로 생각된다(伊藤 등, 1992; 米山, 1986). 따라서 수확전에 고사한 포기는 육묘상이나 정식초기에 이병된 포기들일 경우로 추정할 수 있고 반대로 수확기에 임박하여 걸린 배추들은 수확이 가능할 것으로 생각되나 이에 대한 상세한 정보는 찾아보기 힘들다. 또한 이와같은 피해사정의 밑받침이 되는 병에 걸린 이병주가 언제부터 포장에서 뿌리에 혹을 생성하게 되며 언제 혹이 부패되는지, 뿌리혹의 생성 및 부패에 따라 지상부 배추의 생육이 어떻게 달라지며 언제 위조가 시작되는지에 대한 상세한 연구가 없어 이 병의 방제관리에 상당한 어려움이 있었다.

이 연구는 배추 무사마귀의 감염시기별 피해정도와 뿌리혹의 생성 및 부패과정을 조사하기 위하여 포장에서 시험하였다. 이 연구는 배추무사마귀병의 발생생태를 조사하기 위한 3

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

개년 시험연구의 일환으로 수행되었으며 일부 결과는 이미 전문학술지에 보고된 바 있다(김 등, 1999a ; 김 등, 1999b ; 김 등, 1999c).

재료 및 방법

시험포장. 경기도 이천 소재 농업과학기술원 식물병리과 이천시험지 포장에서 시험을 수행하였다. 무사마귀병 이병포장은 경기도 연천시 소재 상습 발병지에서 채취한 토양을 이천 포장에 전면 살포하여 인공 이병토양을 조성하였고 '98년의 가을 작형시 배추를 재배하여 무사마귀병이 심하게 발생하고 있음을 확인하였다. 시험구 포장의 전체 면적은 30평으로 구당 면적은 5평, 구당 재식주수는 60주로 모두 6개구(처리)로 나누어 시험을 수행하였다. 처리는 무사마귀병균의 접종시기로 하여 건전주를 이병포장에 이식하는 시기를 정식시, 정식후부터 10일, 20일, 30일, 40일로 나누어 6개 처리구를 두었다.

배추육묘. 배추는 정상배추(봄배추)를 공시하였다. Flora gard 토양이 담긴 25공 프러그 tray(연결폿트)에 폿트 구멍당 3립씩 파종하여 발아후 1주만 남기고 제거하였으며 22-28℃ 비닐하우스에서 정식시까지 육묘하였다. 3-4엽기의 배추묘는 정식시 본포장 이식주를 제외하고 모두 무사마귀병이 발생하지 않은 인근 건전포장에 5월 초순, 75×40cm 간격으로 정식하였으며 이후의 경종관리는 모두 농촌진흥청 표준경종법(농촌진흥청, 1978)에 준하였다.

접종방법. 이병포장 이식에 의한 자연접종과 휴면포자 현탁액의 토양관주 접종방법을 병행하였다. 배추의 무사마귀병 감염시기를 인공적으로 제어하기 위하여 건전포장에 정식하여 자라고 있는 배추를 5-10일 간격으로 이병포장으로 이식하는 방법을 사용하였다. 정식시 감염구 처리는 정식시 배추묘를 이병포장에 직접 재식하였고 정식후 10일, 20일, 30일, 40일의 감염구는 해당일에 건전포장 재식 배추를 이병포장에 이식하고 10^7개/ml농도의 휴면포자 현탁액을 이식후 주원에 100 ml씩 관주하였다. 휴면포자 현탁액은 부패된 배추의 뿌리혹을 마쇄하여 제조하였다. 배추의 이식시는 주변토양을 충분히 뿌리에 붙여서 배추가 시들지 않도록 이식하였다. 한번의 감염시기(처리)별로 60주씩 일몰후 이식하여 식물체에 대한 영향을 최소화하였다.

결과조사. 각 처리별 이식후 10일 경과후부터 매일 표본을 채취하여 뿌리혹의 형성유무를 조사하였으며 최초 뿌리혹 생성시기로부터 5-10일 간격으로 지상부 생체중, 엽기, 지하부 무게, 잔뿌리 정도, 근두부 직경, 뿌리 길이를 조사하였고 뿌리혹은 무게, 모양, 생성위치, 부패여부를 조사하였다. 배추 지상부 생육은 전체적인 생육상황, 식물체의 위조여부, 수확시 상품성의 유무를 중점적으로 조사하였다. 배추 근두부의 직경은 dial caliper를 이용하여 측정하였다. 모든 처리구의 배추는 6월 25일 수확하였다.

결과 및 고찰

감염시기와 수량. 감염시기에 따라 그 피해정도에 큰 차이가 있었으며 감염시기가 빠를수록 피해정도는 현저히 증가하였다(Fig. 1, Table 1). 정식시, 정식후 10일, 20일에 감염된 배추는 모두 위조 고사하여 수확이 불가능하였으며 정식후 30일에 감염된 배추는 외관상 생육이 건전하였으나 수량이 건전주의 59%에 불과하여 상품성이 없었다. 정식후 40일 감염

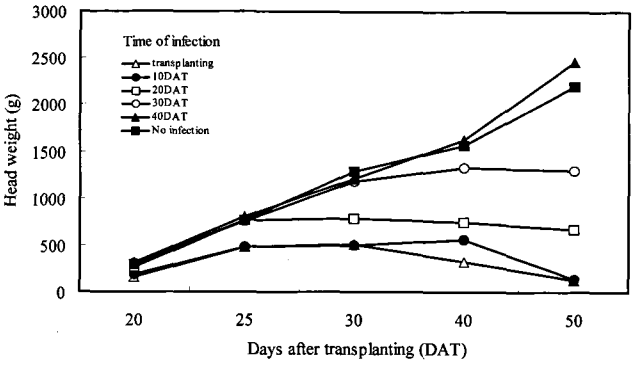

Fig. 1. Yield loss of Spring-sown Chinese cabbage plants as influenced by time of infection on or after field transplanting in Ichun, Kyonggi province in 1999.

Table 1. Effect of infection time of clubroot disease on yield and growth of Spring-sown Chinese cabbage plants at harvest in fields of Ichun, Kyonggi province in 1999

Infection time	Head wgt. (g)	Root growth	Plant growth	Commodity value
At transplanting	130	Completely rotten	Wilted to death	None
10 DAT[a]	134	Completely rotten	Wilted to death	None
20 DAT	668	Completely rotten	Wilted to death	None
30 DAT	1,300	Gall formed	Poor	None
40 DAT	2,458	Good	Good	Good
No infection	2,202	Good	Good	Good

[a]DAT : days after transplanting.

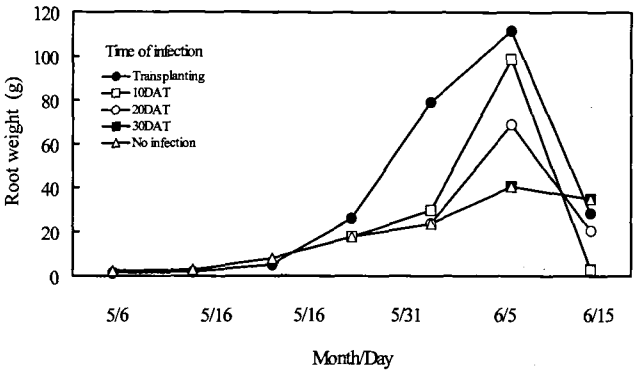

Fig. 2. Growth of roots of Chinese cabbage plants as affected by infection time of clubroot in fields at Ichun in 1999.

주는 전혀 피해가 없어 수량도 건전주와 비슷하였다. 이병배추는 감염후 20일부터 혹이 형성되기 시작하여 지상부 생육이 극도로 위축되었으며 따라서 지상부 포기무게가 급격히 감소하였다. 이와 같은 결과를 보면 정식후 적어도 40일 이전에 병에 걸린 배추는 수확전까지 수량에 미치는 영향이 크기 때문에 이 시기전에 배추가 무사마귀병에 걸리지 않도록 포장이 침수되거나 무사마귀병균에 오염된 물이 포장에 유입되지 않도록 하는 등의 포장관리가 필요할 것으로 생각된다.

감염시기와 지하부의 발육. 지하부는 뿌리혹이 형성되기 시작하는 감염 20일 이후부터 이병주의 근중이 건전주에 비해 급격히 증가하기 시작하여 뿌리혹 생성후 10-20일, 즉 정식후 40일후에 뿌리무게가 최고에 달하였으며 정식시 이병주의 경우 건전주의 근중의 2.8배, 정식 10일후 감염시와 20일후 감염시는 각각 2.4배, 1.7배였다(Fig. 2). 이병주에 생긴 뿌리혹은 감염시기와 상관없이 정식후 40일이 지나면 혹의 일부 혹은 전부가 부패하기 시작하여 이에따라 뿌리무게가 급격히 감소하여 수확시는 건전주보다 이병주의 근중이 적게 되었다. 반면에 건전주의 뿌리무게는 정식후 시간이 경과할수록 점진적으로 증가하여 정식 40일에 최고치인 40g에 달하여 그후 수확기까지 유지되었다. 이병주의 뿌리무게의 증가속도는 건전주에 비해 현저히 높게 나타나고 있고 또한 감염시기와 상관없이 생육후기에 갈수록 빨라지고 있는데 이것은 봄배추의 생육기간중 후기에 가까울수록 기온이 높아져 뿌리혹의 발육도 그만큼 빨라지는 것으로 해석된다. 뿌리에 생성된 혹의 부패도 최초 혹 생성후 경과시간보다는 혹 생성시기의 기온에 따라 크게 영향을 받는 것으로 생각되며 따라서 후기 감염일수록 온도가 높아져 뿌리혹 부패의 시기도 앞당겨 지는 것으로 생각되었다(Fig. 2).

정식시 감염된 배추에 있어서 근두부의 굵기, 근장, 잔뿌리의 생성정도를 건전주와 비교하여 보면 근두부의 굵기에 있어서는 건전주와 이병주 사이에 큰 차이가 없이 정식후 일수가 증가할수록 커지는 경향이었다(Table 2). 그러나 근장은 감염주가 건전주 근장의 1/2-1/3 수준으로 뿌리의 수직신장이 부진한 것으로 나타나고 있다. 잔뿌리의 발육정도도 건전주에 비해 현저히 낮아서 감염 30일 후에는 건전주의 1/3-1/4에 불과하였으며 감염 40일 이후에는 잔뿌리가 거의 소실되었다. 따라서 이병주의 경우 뿌리혹의 비대때문에 뿌리의 길이가 훨씬 짧아지고 잔뿌리의 생성이 억제되므로 결과적으로 수분의 흡수가 불량하게 되어 이병주의 지상부가 시드는 주요 원인이 되는 것으로 생각된다.

뿌리혹의 생성, 소실과 배추생육. 정식시 감염의 경우 뿌리혹의 발달과정과 배추의 생육과의 관계를 비교하여 요약해 보면 Fig. 3과 같다. 뿌리혹은 감염후 20일경부터 뿌리표면에 오돌도돌한 돌기가 형성되기 시작하여 육안관찰이 가능해지며 따라서 봄배추 정식시 감염주의 잠복기는 20일로 생각된다. 혹의 최초 관찰후 5일이 지나면 뿌리혹이 염주알 모양으로 비대하며 주근외에 세근에도 혹이 생기기 시작한다. 혹 생성후 약 10일이 경과하면 배추뿌리의 수분흡수 기능이 떨어져 결구초기에 다다른 배추가 시들기 시작하며 이후 10일이 지나면 이미 생긴 뿌리혹의 부패가 진행되기 시작하여 배추는 심하게 위조한다. 혹 생성후 한달이 지나면 혹은 완전히 부패되

Table 2. Temporal root growth of Chinese cabbage plants infected with clubroot disease at transplanting in fields of Ichun, Kyonggi province in 1999

Item examined	Treatment	Days after infection					
		0	20	25	30	40	50
Diameter(mm) of collar root	Inoculated	–[a]	7.2	13.0	14.8	15.2	17.1
	Uninoculated	–	10.4	15.1	14.2	16.7	21.0
Root length(cm)	Inoculated	–	–	10.4	11.0	11.3	7.2
	Uninoculated	–	–	21.0	20.7	21.8	22.8
Root hair-development index(0-5)[b]	Inoculated	–	1.7	1.6	0.8	0.0	0.0
	Uninoculated	–	1.0	3.2	2.8	3.0	3.0

[a]Not examined.
[b]0: none, 5: abundunt.

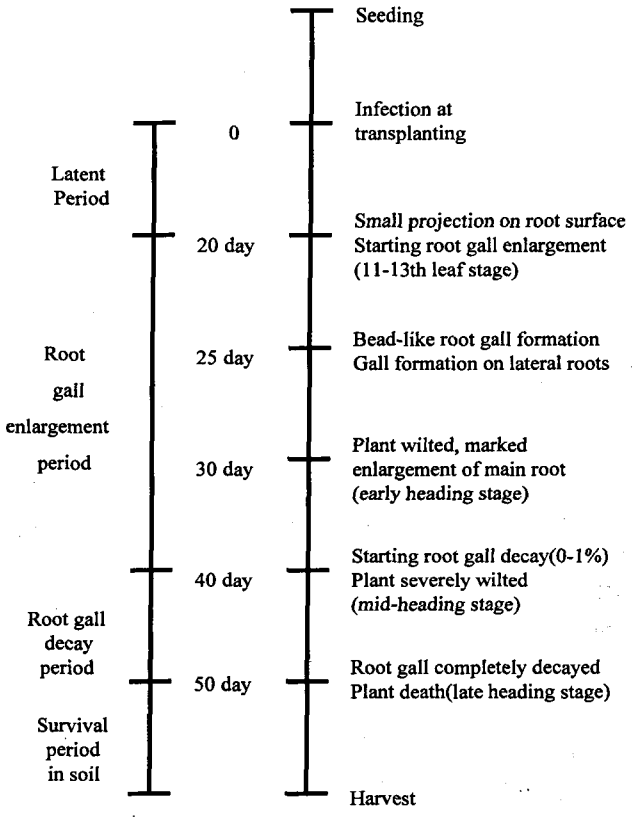

Fig. 3. A diagram showing stages of root gall development of Spring-sown Chinese cabbage plants after infection with clubroot disease at transplanting in fields and its influence on plant growth.

며 지상부 배추도 완전히 고사한 채 수확기를 맞게 된다. 이를 요약해 보면 감염후 20일의 잠복기를 거쳐 혹이 형성되며 이후 20일간에 걸쳐 혹이 신장하는 비대기를 갖고 이후 10일 동안의 혹 부패기를 거쳐서 그후 토양에 휴면포자가 확산 생존하는 토양내 잔존기로 구분되었다. 이상의 결과로 보아 배추 무사마귀병은 그 감염시기가 빠를수록 수량에 대한 영향이 커지며 봄배추의 경우 정식 40일 이전에 감염된 배추는 거의 상품성이 없어지므로 이 기간동안 배추가 이병되지 않도록 각별한 방제관리가 필요하다고 하겠다.

요 약

봄배추 무사마귀병의 감염시기별 피해정도를 포장시험으로 조사하였다. 정식후 감염시기가 빠를수록 수량에 대한 피해가 컸으며 정식후 20일 이전 감염배추는 수확전 완전히 고사하였고 정식후 30일에 감염된 배추는 수확시까지 외관상 건전한 생육을 보였으나 포기무게가 건전주의 59%에 불과하여 상품성이 없었다. 정식 40일 이후 감염배추는 수량에 대한 영향이 없었다. 이병배추는 감염후 시간이 경과할수록 잔뿌리의 생성이 감소되어 생육후기에는 거의 잔뿌리가 없었으며 뿌리의 신장도 건전주에 비해 1/2~1/3 수준으로 감소하였다. 뿌리혹은 감염 20일후에 처음으로 관찰되어 이후 급속히 비대하였으며 최초 생성 20일후에 최대치에 달하였고 그후 혹뿌리의 부패로 근중이 감소하기 시작하여 수확기에는 건전주보다 낮아졌다. 뿌리혹의 발달 및 부패속도는 감염시기와 상관없이 배추 생육기의 온도가 높아질수록 빨라지는 경향을 보였다. 식물체 위조는 뿌리혹이 생성된지 10일후에 처음으로 관찰되었으며 그후 10일경부터 혹이 부패하기 시작하여 열흘 동안 완전히 부패 소실되었고 식물체도 고사하였다. 따라서 봄배추의 무사마귀병 포장정식시 감염은 20일간의 잠복기 20일간의 혹비대기를 거쳐 10일동안의 혹부패기, 그후의 토양내 잔존기로 구분이 가능하였다.

참고문헌

Ikegami, H. 1992. Ecology of *Plasmodiophora brassicae* and control of clubroot disease. *Soil Microorganism* 39: 1-10.

伊藤克己, 管原眞治, 加藤喜重郎, 宮川壽之, 小出仁士, 木下忠孝. 1983. 作付體系, 地力 維持對策等の組合せによるハクサイ根こぶ病の防除に關する研究.(第2報) 栽培作物の生育および收量について. 愛知農總試研報 15: 250-258.

Iwanami, H., Inoue, S. and Noguchi, M. 1993. Status of clubroot incidence on cruciferous vegetables and its control in Kinki and Chugoku districts. *Chugoku Research Report* 21: 142-159.

김충회, 조원대, 양종문. 1999a. 배추무사마귀병 발생실태와 뿌리혹의 생성생태. *식물병과 농업* 5(2): 77-83

김충회, 조원대, 양종문. 1999b. 배추무사마귀병 뿌리혹의 형성에 미치는 온도, 토양수분, 토양pH, 광의 효과. *식물병과 농업* 5(2): 84-89

김충회, 조원대, 양종문. 1999c. 배추무사마귀병의 뿌리혹 형성에 미치는 묘령, 접종원 농도 및 접종방법의 효과. *식물병과 농업* 5(2): 90-94

米山伸吾. 1986. ハクサイ根こぶ病の藥劑による防除.(1)數種藥劑による防除效果および根こぶ形成程度と收量との關係. *關東病蟲研報* 33: 109-110.

Naiki, T. 1987. Life cycle and control of Plasmodiophora brassicae, causing clubroot disease of cruciferocus plants. *Soil Microorganism* 29: 25-39.

농촌진흥청. 1978. 새로운 채소재배기술. *표준영농교본46.* 237pp.

田村實. 1977. ハクサイ根こぶ病の發生生態. *植物防疫* 31(9): 362-366.