

배추무사마귀병 발생실태와 뿌리혹의 생성생태

김충회* · 조원대 · 양종문
농업과학기술원 식물병리과

Survey of Field Conditions of Clubroot Disease Incidence of Chinese Cabbage in Major Production Areas and Ecology of Root Gall Development

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

In 1997 surveys, 82 out of 180 crucifer fields were infected with clubroot disease in a range of 1-100% of diseased plants, and among crucifer crops Chinese cabbage was the most severe. In cropping systems Chinese cabbage-monocropping or Chinese cabbage-radish were found to be most common in major Chinese cabbage production areas. Welsh onion, squash, or paddy rice were also planted between cropping of Chinese cabbage. Paddy fields converted to upland were lowered in incidence of clubroot disease, and fields with loam to silty loam soil were more severe in disease than those with sandy soil. Soil pH and organic contents were not related to clubroot disease severity. Soil fauna, such as, total fungi, bacteria, actinomyces, *Pseudomonads* and *Bacillus*, were not correlated with severity of the disease. Root gall development on Chinese cabbage seedlings was initially observed under a microscope 13 days after inoculation with *Plasmodiophora brassicae* but 18 days by naked eyes after inoculation. Root galls were formed mostly around collar roots and gradually spread to main root, lateral roots and secondary root branches. Root galls started to enlarge greatly in size and weight from 23 days after inoculation. Chinese cabbage plants at mid-growth stage with root gall development were reduced to 1/2 of that of healthy plants in number of leaves, 1/4-1/5 in above ground fresh weight, 1/6 in root length, but increased to 3 times in diameter of collar root. Diseased plants had little root hairs. Diseased Chinese cabbage plants at harvest were reduced by 9.1-11.8% in head weight compared to healthy plants, but increased by 2.8-5.7 times greater in root weight depending on the clubroot severity. In healthy plants, a positive correlation was observed between root and head weight but those relationships were not found in the diseased plants.

Keywords : Chinese cabbage, clubroot, cropping system, ecology, *Plasmodiophora brassicae*, root gall, soil property

최근 들어 배추무사마귀병(병원균: *Plasmodiophora brassicae* WORNIN)이 배추 주생산지인 경기도 연천, 평택, 강원도 평창, 태백에 발생하여 많은 피해를 주고 있다. 우리나라에서는 이병의 발생에 대한 기록이 1920년으로 거슬러 올라가지만 (권업모범장연구보고, 1928) 지금까지 큰 문제는 없다가 3-4

년 전부터 발생정도가 심해져 '97년의 경우 대발생하여 현재 까지 배추재배의 가장 심각한 문제가 되었다.

병에 걸린 배추는 뿌리에 크고 작은 혹이 생기는데 병든 뿌리는 잔뿌리가 거의 없어 수분의 흡수기능이 떨어져 식물체 지상부가 위조하고 생육이 위축되며 시간이 지나면 완전히 시들어 말라죽게 된다. 병원균은 토양서식 점균류의 일종으로 인공배지에서 자라지 않으며 병원균의 휴면포자는 불량환경에 대해 견딤성이 강해서 토양에서 10수년동안 생존이 가능한 것으로 알려졌다.

* Corresponding author
Phone) +82-331-290-0402 Fax) +82-331-290-0453
E-mail) chkim@niast.go.kr

국내에서의 이병에 대한 연구는 무사마귀병이 문제된 90년대 후반부터 품종저항성 검정이나 방제약제 선발을 중심으로 연구가 이루어졌으나(류재당 등, 1995; 김두욱, 1999) 그나마 그 수도 매우 적고 특히 지하부 뿌리혹의 생성생태에 관한 연구는 거의 없다.

본 연구는 배추무사마귀병 발생생태의 구명을 위하여 '97년부터 3년간 실시하고 있는 시험연구의 일환으로 배추무사마귀병의 발생실태 및 뿌리혹의 생성생태를 조사하기 위하여 수행되었다.

재료 및 방법

병발생 상황조사. 배추 주생산지인 경기도 파주, 연천, 평택 그리고 고랭지 재배지역인 강원도 평창, 태백, 철원을 중심으로 7월의 고랭지 작형으로부터 10월의 가을재배에 걸쳐 배추, 양배추, 무를 대상으로 무사마귀병의 발생정도를 조사하였다. 경기, 강원지역외에 충남 청양, 전남 담양, 전북 남원지역도 함께 조사하였다. 조사포장은 지역에 따라 3-40개 포장이었으며 이들 중 발병포장의 수를 조사하고 발병포장내에서는 포장내 전체 식물을 대상으로 발병주율을 조사하여 그 범위를 기술하였다.

작부체계조사. 배추주산지인 경기도 연천(연천시), 평택(진위면), 강원도 평창(방림면), 태백(하장읍)에서 지역당 15-16개 포장을 선정하여 중점관찰 포장으로 정하였으며 주기적으로 그 포장을 방문하여 '97년 이후 시험기간동안 작부체계를 조사하였다.

토양 이화학적, 생물상 조사. 중점 관찰포장을 포함한 53개 포장을 선정하여 무사마귀병 발병 등급을 무발병(0)에서 발병주율 30% 이상까지 5개 등급으로 나누고 포장의 성격(논 혹은 밭), 토성(사토, 사양토, 양토, 식양토), 토양산도, 포장경사도, 유기물 함량을 조사하여 발병 등급별로 비교하였다. 토양은 150-200g씩 포장당 5개 지점에서 표토 깊이(0-5cm)를 채취하였으며 이들 토양을 잘 섞어서 실내에서 풍건한 후 20mesh 체로 걸러 50g을 취하여 이화학적 분석에 사용하였다. 토양의 이화학적 분석은 농업과학기술원 토양관리과에 의뢰, 조사하였으며 토성은 토양조사편람(농촌진흥청, 1973)에 의거 Hydrometer법으로, 토양화학적 분석은 농촌진흥청(1988)에 따라 pH를, 유기물함량은 Tyurin법으로 조사하였고 토양경사도는 육안으로 조사하였다. 토양의 생물상은 토양시료 채취 직후의 토양을 대상으로 희석평판법으로 선택배지에서 진균, 세균, 방선균, 형광/비형광성 *Pseudomonas*, *Bacillus*

의 밀도를 조사하였다(Dhingra and Sinclair, 1985; Weaver, 1994; Schaad, 1988). 세균은 Tryptic soy agar, 진균은 Rose-bengal agar, 방선균은 Glucose starch asparagine agar, 형광성 *Pseudomonas*는 PCSM배지, 비형광성 *Pseudomonas*는 SNR배지, 그리고 *Bacillus*는 heat and peptone agar를 사용하였다.

육묘상의 뿌리혹 생성조사. 162공 프리그 tray(연결포트)를 사용하여 육묘시 무사마귀병의 발생과정을 조사하였다. 배추 품종은 장미배추(농우종묘)를 공시하였으며 토양은 TK1(Flora gard) peat를 사용하였다. 연결포트에 토양을 담아 6개 tray를 만들고 7월 2일 파종하여 24-35°C의 온실에 두었다. -65°C에 보관중인 무사마귀병에 걸린 뿌리혹을 잘게 썰어 살균수를 넣고 믹서로 갈아 현탁액을 만든 후 2중 가제로 걸러 휴면포자가 농도가 10⁷개/ml이 되도록 정한 후 접종원으로 사용하였다. 파종후 16일째에 3개 tray에 접종원의 현탁액을 충분히 관주하였으며 대조구의 3개 tray는 동량의 지하수를 관주하였다. 접종구와 비접종구의 tray는 서로 오염되지 않도록 격리시켜 온실에 두고 파종후 18, 23, 30일에 각각 38-44개 식물을 뽑아 지하부를 물에 씻어 엽수, 지상부 생체중, 뿌리 생체중, 잔뿌리 정도, 뿌리혹의 생성유무, 뿌리혹의 무게 및 크기, 흑형성 위치를 조사하였다. 잔뿌리는 그 정도에 따라 잔뿌리 없음(-)과 잔뿌리 많음(+++)의 등급으로 조사하였으며 흑의 크기는 뿌리혹의 가로와 세로를 Dial caliper를 이용해 측정하였다. 흑형성 위치는 지제부, 주근, 측근, 세근으로 나누어 기술하였다. 파종 13일째 배추 뿌리상의 흑형성 유무도 뿌리를 물에 잘 씻은 후 현미경상 10배 시야에서 조사하였다.

생육중기 배추의 뿌리혹 형성조사. 생육중기에 달한 배추에서의 뿌리혹의 생성생태를 조사하기 위하여 중점관찰 포장 중 심하게 발생한 포장에서 채취한 토양을 고압멸균한 것과 멸균하지 않은 자연 이병토양으로 나누어 직경 10.5cm×높이 10cm의 원형포트에 담고 장미배추를 4월 1일 파종하였으며 포트는 온실에 두고 생육을 관찰하였다. 파종 60일째인 6월 1일에 각 처리구에서 6-9개 식물을 채취하여 지하부를 물에 씻고 엽수, 지상부 생체중, 근장, 근경, 잔뿌리정도, 흑형성 유무를 조사하였다. 뿌리혹이 이미 토양에서 부패되어 정확한 무게를 조사하는 것이 불가능한 경우는 뿌리혹의 크기를 근거로 흑의 형성정도를 무형성(0)~큰흑(+++)의 등급으로 나누어 기술하였다. 근장은 지제부에서 세근의 뿌리끝까지 직선거리를 측정하였으며 근경은 근두부의 직경을 Dial capiper를 이용하여 측정하였다.

수확기 배추의 뿌리혹 생성조사. 경기도 연천시 소재 시험

포장의 수확기에 달한 배추에서 건전주와 이병주를 포함하여 모두 52주를 무작위로 선택하여 뿌리혹의 생성유무, 지상부 생체중, 뿌리생체중, 잔뿌리 정도, 뿌리혹 부패 여부를 조사하였다. 이 포장은 노랑봄배추를 4월 17일 정식하여 6월 17일 수확하였으며 수확시에 본 조사를 실시하였다. 지상부 포기무게와 지하부 뿌리무게와의 관계를 조사하기 위하여 배추 표본을 먼저 건전주와 이병주로 나누었고 이병주는 뿌리혹의 형성정도에 따라 소(+), 중(++), 심(+++)으로 구분하여 등급별로 조사하였다. 건전주와 이병주는 각각 지상부 무게를 종속변수(Y)로 뿌리무게는 독립변수(X)로 하여 분포도를 작성하였다.

결과 및 고찰

무사마귀병의 발생상황. 전국 180개의 조사 포장중에서 82개 포장에서 무사마귀병이 발생되어 발생포장이 45.6%에 달하였으며 발생포장내의 발병정도는 발병주율이 1-100%로 포장에 따라 심한 차이를 나타내었고 발병주율이 80-100%에 달하는 포장도 상당수 관찰되어 배추 주산지의 무사마귀병의 피해가 심각한 것으로 드러났다(Table 1). 지역별로 보면 배추의 재배 역사가 긴 경기도의 파주, 연천, 평택, 고랭지 재배 주산지인 강원도 평창, 태백에서 발병이 심하였고 그 밖의 청양, 담양, 남원, 철원지역에서는 발병이 적은 것으로 나타났다. 작물별로는 무보다 배추, 양배추에서 심하게 발생하였다. 이와 같은 결과를 보면 무사마귀병균이 토양서식균이므로 배추의 재배역사가 길수록 연작에 의해 발병이 증가한 것으로 생각되며 배추, 양배추보다 무에서 발병이 적은 것은 배추, 양배추 품종의 대부분이 무사마귀병에 이병성인 것에 비하여 무

품종에는 무사마귀병에 저항성인 품종이 다수 존재하기 때문으로 풀이된다. 발병상황을 조사한 1997년의 경기도 연천지역과 강원도 평창, 태백지역의 무사마귀병 발생면적은 각각 253ha와 20ha로 조사되었다.

배추 주산지의 작부체계. 지역별 중점 관찰포의 작부체계를 보면 배추를 연작하거나 배추-무우의 작부체계가 일반적이고 평택의 경우는 수도와의 답전윤환 혹은 배추와 배추사이에 호박을 재배하는 경우가 많았다(Table 2). 강원도 태백은 고랭지 기후 때문에 배추의 연작, 배추-무우 혹은 배추-휴한의 작부체계였다. 경기도 연천의 경우는 배추와 무의 교호재배, 배추의 연작이외에 봄배추 재배후 파나, 쪽파를 재배하거나 들깨를 재배하는 포장도 상당수 있었다. 이와 같은 배추 주산지의 작부체계를 고려해 볼 때 배추의 연작 내지는 무 등의 감수성 기주로 연작하는 경우가 압도적으로 많아서 주산지의 무사마귀병의 발생을 증가시키는 한 원인이 되지 않았나 생각된다.

배추주산지 토양의 이화학적성과 발병과의 상관. 무사마귀병의 발병 정도별로 나눈 53개 포장의 토성빈도를 비교해보면 발병이 없는 곳은 논포장이 많고 30% 이상 발병이 많은 포장일수록 밭포장의 비율이 높았다(Table 3). 토성을 비교해 보면 무사마귀병 발병이 적은 포장은 사토, 사양토, 양토, 식양토 전반에 걸쳐 골고루 분포하고 있으나 발병이 심한 포장 특히 발병주율이 30% 이상에 달하는 포장은 양토, 식양토 토양이 많았다. 논포장에서 발병이 심한 포장이 적은 것은 수도재배시 답수에 의하여 토양내 무사마귀병균이 어느 정도 영향

Table 1. Incidence level of clubroot disease of crucifers in major production areas surveyed from July to October in 1997, Korea

Province	Region	Crop	No. fields surveyed	No. fields diseased	Range of ^a incidence(%)	
Kyonggi	Pajoo	Chinese cabbage	15	4	20-80	
		Chinese cabbage	25	16	10-100	
	Yeonchon	Cabbage	2	1	80	
Kangwon	Pyongtaek	Chinese cabbage	40	18	10-80	
		Pyongchang	Chinese cabbage	13	6	30-90
			Radish	3	1	40
	Taebaek	Cabbage	4	2	40-90	
		Chinese cabbage	38	21	5-100	
		Cabbage	10	3	1-5	
Chungnam	Chulwon	Radish	5	3	1-5	
		Chinese cabbage	5	1	30	
Chunnam	Damyang	Chinese cabbage	15	1	20	
Chunbuk	Namwon	Radish	5	5	1-30	
Total			180	82	1-100	

^aBased on percentage of diseased plants.

Table 2. Cropping system of Chinese cabbage in major production areas in 1998

Cropping system	Frequency (No. fields) at			
	Yeonchun	Pyongtaek	Pyongchang	Taebaek
C. ^a cabbage - C. cabbage	6	0	1	9
C. cabbage - radish	3	0	6	2
C. cabbage - rice	1	4	0	-
C. cabbage - fallow	0	0	0	3
C. cabbage - perilla	3	0	2	0
C. cabbage - rye	0	0	1	1
C. cabbage - soybean	0	0	3	0
C. cabbage - welsh onion	2	0	0	0
C. cabbage - spinach	0	1	0	1
C. cabbage - squash - C. cabbage	0	8	0	0
C. cabbage - squash - cucumber	0	1	0	0
Radish - radish	0	0	1	0
C. cabbage - welsh onion - radish	1	0	0	0
C. cabbage - squash - welsh onion - C. cabbage	0	1	0	0
C. cabbage - squash - spinach - C. cabbage	0	1	0	0
Green bean - radish	0	0	1	0
Total	16	16	15	16

^aC : Chinese.

Table 3. Soil properties of Chinese cabbage fields with varying degree of clubroot disease incidence in major production areas in 1998 surveys

Level of disease incidence(%)	No. fields surveyed	Frequency(No.fields)		No. fields belonged to			
		Paddy fields ^a	Upland	Sand	Sandy loam	Loam	Silty loam
0	26	8	18	8	6	8	4
< 5	10	2	8	2	4	2	2
5-10	7	3	4	1	3	3	0
11-30	1	0	1	0	0	1	0
30 <	9	1	8	0	2	3	4
Total	53	14	39	11	15	17	10

^aPaddy fields converted to upland.

Table 4. Soil pH, organic matter content and slope degree of Chinese cabbage fields with different level of clubroot disease incidence in major production areas in 1998 surveys

Level of disease incidence(%)	No. fields surveyed	Soil pH	Slope degree	Content of organic matters(%)
0	26	5.72	1.2	2.33
< 5	10	5.42	0.1	2.20
5-10	7	5.75	0	2.21
11-30	1	5.86	0	2.50
30 <	9	5.90	2.3	2.06

을 받기 때문으로 풀이되며 발병이 많은 포장에 양토, 식양토 토양이 많은 것은 이들 토양의 물빠짐이 사토, 사양토에 비하여 열악하여 결과적으로 무사마귀병균의 활동에 적합한 환경을 제공하였기 때문으로 생각되었다.

토양 pH와 발병정도와는 큰 상관이 없는 것으로 나타났는데 전 조사포장의 pH가 5.4-5.9의 분포였다(Table 4). 포장의

유기물 함량도 무사마귀병 발병 정도와 일관성 있는 경향을 보이지 않았으며 포장 경사도와도 큰 상관이 없는 것으로 나타났다. 무사마귀병의 발생은 산성토양에서 심하다는 결과는 이미 교과서적인 사실로 받아들여지고 있지만 본 조사의 경우는 중점 관찰포의 토양 pH의 변화가 심하지 않아서 확인할 수 없었다. 토양유기물과 발병정도와의 관련성에 대해서는 현

Table 5. Biological properties of soil sampled from Chinese cabbage fields with varying degree of clubroot disease incidence in major production areas in 1998 surveys

Level of disease incidence(%)	No. fields	Total fungi ($\times 10^4$ cfu) ^a	Total bacteria ($\times 10^6$ cfu)	Total Actinomycetes ($\times 10^5$ cfu)	Fluorescent <i>Pseudomonas</i> ($\times 10^3$ cfu)	Non-fluorescent <i>Pseudomonas</i> ($\times 10^5$ cfu)	<i>Bacillus</i> ($\times 10^5$ cfu)
0	3	9.3	32.5	6.7	37.7	6.0	16.8
< 5	3	4.3	15.8	2.0	43.4	5.2	35.0
5-10	4	5.8	6.5	3.2	36.6	6.8	36.8
11-30	1	5.5	53.0	16.0	36.5	6.0	67.5
30 <	6	10.2	17.1	7.8	29.9	6.9	30.5

^aBased on a gram of soil.

Table 6. Development of root galls on Chinese cabbage seedlings growing in plastic plug nursery trays 18 days after pathogen inoculation in a greenhouse

Plant	No. leaves	Above ground wgt (g)	Root wgt(g)	Degree of root hair	Gall wgt(g)	Gall size (length \times widths, mm)	Site of gall formation ^a
Healthy	4.72	1.01	0.19	++	-	-	-
Diseased	4.67	0.97	0.21	+~++	0.07	3.73 \times 6.50	CR,MR,LR

^aCR : collar root, MR : main root, LR : lateral root.

재까지 구체적인 결과가 보고된 경우는 없지만 본 조사에서도 대부분의 조사포장의 유기물 함량이 2.0-2.5%의 범위에 분포하고 있어 토양내 유기물 함량의 발병에 대한 영향을 평가하기에는 어려움이 있었다.

토양의 생물상과 발병과의 상관. 배추포장의 무사마귀병 발병정도별 토양내 생물상을 비교해 보면 진균, 세균, 방선균뿐만 아니라 세균중에서도 형광성/비형광성 *Pseudomonas*, *Bacillus*의 토양내 밀도에서도 무사마귀병 발병 정도에 따라 일관성 있는 경향을 보이지 않았다(Table 5). 따라서 토양의 미생물상에 의하여 발병의 정도를 해석하기에는 무리가 있었다. 이와 같은 결과를 볼 때 배추 무사마귀병균의 발생에는 토양의 생물상 이외에 여러 가지 환경요인이 복합적으로 관여되고 있는 것으로 생각되었다.

배추육묘상에서의 뿌리혹의 생성. 배추육묘용 연결포트에서 배추를 파종한 후 2-3엽기에 무사마귀병균 현탁액을 접종하고 18, 23, 30일 후에 식물체를 포트에서 제거하여 뿌리를 잘 씻고 지상부 생육 및 뿌리혹의 형성유무를 조사하여 보면 접종 18일에 이미 주근이나 지제부, 측근에 깨알같은 혹이 형성된 것을 관찰할 수 있었고 혹의 무게는 평균 0.07g에 달하였다(Table 6). 배추의 생육초기에도 병든 식물체의 지상부 생체중은 건전식물에 비해 4.0% 낮았으며 근중은 9.5% 높게 나타나고 있으며 잔뿌리의 생성량도 건전묘에서 좋은 경향이있

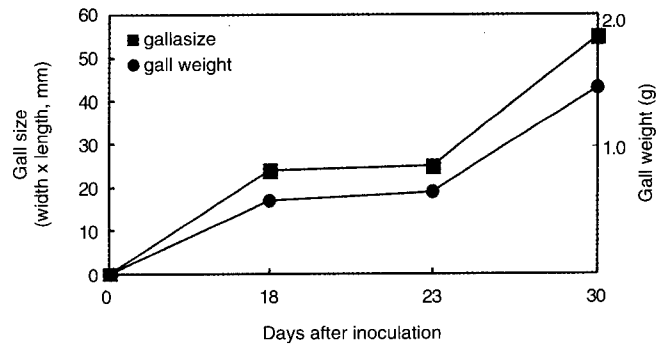


Fig. 1. Temporal development of root galls of Chinese cabbage seedlings growing in plastic plug trays after inoculation of *Plasmodiophora brassicae*.

다. 혹의 형성은 현미경상에서 관찰하면 접종후 13일째에 뿌리의 지제부, 주근, 세근 등에서 조직의 용기현상이 관찰되어 이미 혹이 형성되고 있음을 알 수 있었다(Table 7). 접종 18일째에 최초 육안 관찰된 뿌리혹은 접종 23일까지도 그 비대속도가 극히 완만하다가 그후 급격히 커져서 뿌리혹의 크기나 무게가 현저히 증가하였다(Fig. 1). 뿌리에 혹이 생기는 위치를 보면 최초에는 지제부의 근두부를 중심으로 생기다가 점차 주근과 측근에도 형성되기 시작하여 접종후 시일이 경과할수록 혹 생성이 뿌리의 전부분으로 확대하였으며 가장 많이 생기는 부위는 지제부 > 주근, 측근 > 세근의 순위였다(Table 7). 지금까지 뿌리혹의 생성시기나 생성위치, 그 이후의 혹의 비대에 대한 상세한 사항은 잘 알려져 있지 않았으

Table 7. Temporal pattern of root galls at various parts of roots of Chinese cabbage seedlings growing in plastic plug trays after pathogen inoculation in a greenhouse

Site of root	Frequency of root gall formation			
	13 DAI ^a	18DAI	23DAI	30DAI
Collar root	11	21	32	26
Main root	1	13	19	24
Lateral root	0	3	19	29
Secondary root branch	1	0	6	1
No. roots examined	30	41	38	44

^aDAI : Days after inoculation.**Table 9.** Growth of Chinese cabbage plants as influenced by root gall development at harvest in a field of Yeonchon in 1998

Degree of a root gall formation	No. plants sampled	Above ground fresh wgt(g)	Root wgt(g)	Degree of root hair	No. plants with gall rot/No. plants sampled
-	27	2666	34	+++	-
+	16	2424	47	+++	9/16
++	6	2351	70	+	4/6
+++	3	2390	194	+	0/3

^a - : no gall, + : gall wgt < 50g, ++ : gall wgt 50-70g, +++ : gall wgt 70g<.**Table 8.** Development of root galls and their influence on Chinese cabbage growth at mid-growth stage growing in plastic pots 60days after pathogen inoculation in a greenhouse

Soil type ^a	No. leaves	Above ground fresh wgt(g)	Root length(mm)	Collar root diam(mm)	Degree of root hair	Degree of root gall formation
Healthy soil	12.2	37.6	18.8	6.8	+++	-
Diseased soil	6.9	8.5	3.1	20.3	-	+++

^a14-day-old seedlings were transplanted into the described soil.

나 본 연구결과를 보면 뿌리혹은 접종후 13일경이면 현미경 상으로 관찰이 가능하였고 최초 육안으로 관찰이 가능한 시기는 접종후 18일경이었다. 따라서 무사마귀병의 잠복기는 온도에 따라 다소 다르게 나타나겠지만 봄배추 육묘상의 경우는 13-18일로 생각된다. 뿌리혹의 생성이 처음에 지체부 부근에 많이 형성되는 것은 휴면포자의 발아에서 생긴 병원균의 유주자가 수분이 많이 있는 지체부 부위에 모이기 때문으로 풀이되며 점차로 병원균이 주근을 따라 지하부 뿌리를 이동하여 뿌리의 전부분에 걸쳐 발병하는 것으로 생각된다. 혹의 크기나 혹부계의 경시적인 비대생장을 비교하여 보면(Fig. 1) 두가지 경우 다 매우 유사하게 나타나 접종 23일 이후 급격히 증가하므로 저항성 품종선택의 경우처럼 혹의 육안관찰이나 크기 조사가 필요할 때는 혹이 충분히 발육한 후인 접종후 23일 이후가 적당할 것으로 생각된다.

생육중기 뿌리혹의 발달과 배추생육. 건전토양에 이식한 배추의 생육이 11-13엽기에 도달했을 때와 같은 시기인 60일 후

에 이병토에 이식한 배추를 포트에서 뽑아 지하부를 물에 씻어 뿌리혹의 발달과 배추의 생육상황을 조사하였다(Table 8). 이병토에서 자란 배추는 엽수가 건전토 배추의 1/2수준으로 생육이 극도로 위축되었으며 지상부 생체중은 건전주의 그것에 비하여 1/4~1/5 수준에 불과하였다. 이병주 뿌리의 길이도 건전배추의 1/6에 불과하여 뿌리가 뽑지 못하고 있었고 잔뿌리는 거의 없었다. 뿌리혹은 지체부 근두부를 중심으로 형성되어 뿌리 직경이 건전주의 3배에 달하였다. 이병주의 뿌리혹은 크기나 무게를 측정하는 것이 불가능하리만치 뿌리혹의 일부 혹은 대부분이 부패되어 있었다. 이와 같은 결과를 보면 육묘후 본답에서 감염되어도 배추가 심한 피해를 받게 되며 병원균 접종후 30-60일 사이에 혹의 부패가 시작되고 있음을 말해주고 있다.

수확기 뿌리혹의 비대와 배추생육. 수확기 배추의 뿌리혹 형성정도에 따라 무형성, 소, 중, 심의 등급을 두어 지상부 생체중과 지하부 생체중, 잔뿌리정도, 혹부패 여부를 조사하였

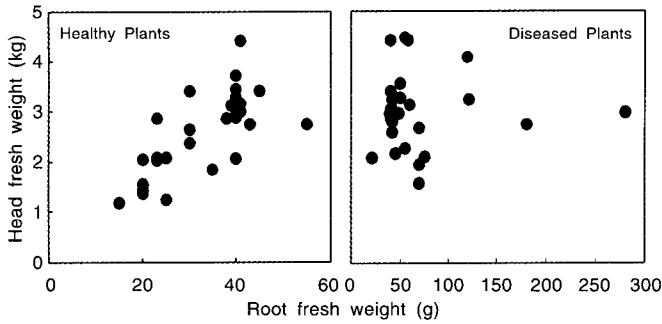


Fig. 2. Relationships between head and root weight of the healthy and diseased Chinese cabbage plants at harvesting time in a field of Yeonchon in 1998.

다. 건전배추의 지상부 무게는 평균 2.7kg였으며 포기가 위조되지 않은 무사마귀병 이병배추는 건전주에 비하여 200-300g 낮은 2.3-2.4kg이었다(Table 9). 뿌리 무게는 뿌리혹의 형성 정도가 심할수록 급격히 증가하여 심한 경우 건전주의 2-5배 이상에 달하였다. 잔뿌리의 양은 건전주에 비하여 이병주에서 급격히 감소하였다. 이병주 중에는 뿌리무게가 클수록 혹 부패 빈도는 낮게 나타났다.

건전주와 이병주를 구분하여 뿌리생체중과 지상부 생체중의 관계를 보면 건전주의 경우 뿌리 무게가 증가할수록 지상부 무게도 증가하는 정의 상관관계가 보이나(Fig. 2) 이병주의 경우는 이와 같은 경향을 볼 수 없었으며 뿌리무게가 100g 이상으로 증가시 지상부 무게는 오히려 감소하는 경향을 보이고 있다. 또한 건전주의 뿌리 무게는 대개 20-50g에 정도였으나 이병주의 경우는 뿌리 무게가 20-300g 걸쳐 넓게 분포하고 있었다.

지금까지의 시험결과를 보면 육묘시 혹은 생육 중기 이전에 무사마귀병에 걸린 배추는 수확전에 고사하던가 아니면 생육이 극도로 위축되어 결구되지 않고 시들어 상품성이 없는 경우가 대부분이었다. 생육후기에 감염된 배추의 경우는 수확기까지 외관상 건전하게 보이는데 이런 배추도 수확하여 지상부 무게를 건전주와 비교하여 보면 9-12% 수량이 떨어지고 있어 배추의 생육후기까지 무사마귀병에 걸리지 않도록 잘 관리할 필요가 있다고 생각된다.

요 약

1997년 경기, 강원 일원의 배추, 무, 양배추의 무사마귀병

발생은 180개 조사농가 중 45.6%가 발생하여 그 발병주율이 1-100%의 범위내에서 80% 이상의 심하게 발생한 포장이었다. 작부체계를 보면 배추를 연작하거나 배추-무의 작부방식이 일반적이었으며 파, 호박으로 윤작하거나 수도 등으로 답전윤환하는 곳도 있었다. 논재배의 경우 밭재배에 비해 발병이 적은 포장이 많았으며 발병이 심한 곳일수록 양토, 식양토 토성이 많았다. 포장의 토양산도, 유기물 함량은 포장간의 차이가 적고 발병정도와는 일정한 상관이 없었다. 토양내 진균, 세균, 방선균, 형광/비형광성 *Pseudomonas*, *Bacillus*의 밀도로 본 생물상도 발병과는 큰 상관이 없었다. 배추육묘시 무사마귀병균을 접종하고 흑형성을 관찰한 결과 현미경하에서 접종 13일후에 최초로 흑형성이 관찰되었고 육안으로는 18일 후에 관찰되었다. 흑은 근두부에서 가장 많이 형성되어 점차 지하부 근, 측근, 세근으로 확산되었다. 뿌리혹은 접종 23일 이후에 크기나 중량이 급격히 증가하였다. 생육중기에 달한 이병 배추는 뿌리혹에 의하여 엽수는 건전주의 1/2, 지상부 생체중은 1/4-1/5, 근장은 1/6 수준으로 감소하였고 반대로 근두부의 뿌리직경은 건전주의 3배에 달하였다. 이병주는 잔뿌리가 거의 없었다. 수확시 위조하지 않은 배추를 대상으로 뿌리혹의 형성 정도별로 지상부 무게와 뿌리무게를 조사해 본 결과 흑형성 정도가 심할수록 지상부 무게가 9.1-11.8% 감소하였으며 반대로 뿌리무게는 2.8-5.7배로 증가하였다. 건전주의 경우 뿌리무게와 지상부 포기무게와는 정의 상관이 있었으나 이병주의 경우는 일정한 경향을 볼 수 없었다.

참고문헌

Dhingra, O. D. and Sinclair, J. B. 1985. Basic Plant Pathology Methods. 355pp.
 김두욱. 1995. 배추무사마귀병(*Plasmodiphora brassicae* woron.)의 발생상황, 약제방제 및 품종저항성 검정. MS thesis, 단국대학교 33pp.
 권업오범장연구보고. 1928. 조선작물병해목록. 조선총독부권업오범장. 15:77-78.
 농촌진흥청. 1973. 토양조사편람 제2권. 농업기술연구소 간행. 257pp.
 Schaad, N. W. 1988. Laboratory Guide for Identification of Plant Pathogenic Bacteria. 2nd ed. APS Press, MN, USA. 164pp.
 농촌진흥청. 1988. 토양화학분석법, 토양·식물체·토양미생물. 농업기술연구소 간행. 450pp.
 류재당, 이상엽, 류재기, 김용기. 1995. 십자화과 채소무사마귀병 방제약제 방제법 구명시험. 농업과학기술원 시험연구사업보고서. 357-362.
 Weaver, R. W. 1994. Methods of Soil Analysis, Part 2, Microbiological and Biochemical Properties. Soil Science Society of America Inc. 1124pp.