

## 배추무사마귀병 뿌리혹의 부패에 미치는 몇가지 환경요인

김충희\* · 조원대 · 김홍모

농업과학기술원 식물병리과

**요약** : 배추 무사마귀병 뿌리혹의 부패에 미치는 온도, 토양수분, 담수, 토양미생물의 영향을 실내에서 조사하였다. 뿌리혹의 완전부패까지 소요일수는 온도가 높을수록 빨라서 32℃ 이상에서는 3일, 16~20℃에서는 12일, 8℃에서는 28일이 소요되었다. 토양수분이 높을수록 뿌리혹의 부패도 빨라서 포화수분의 경우 32℃에서는 3일, 24℃에서는 8일이 소요되었고, 32℃에서는 토양수분의 영향이 24℃에서 보다 낮았다. 담수에 의한 뿌리혹의 부패촉진효과는 32℃에서는 나타나지 않았으나, 24℃와 12℃에서는 높았다. 뿌리혹의 부패에 대한 외부 토양미생물의 영향은 나타나지 않았다. 뿌리혹의 부패에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 온도였으며 온도가 비교적 낮을수록 다른 환경요인에 의해 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 뿌리혹내 휴면포자는 뿌리혹의 부패 후 시간이 경과할수록 그 성숙도가 증가하였으며, 신선한 뿌리혹은 부패한 후에 비하여 휴면포자의 밀도도 낮았고 그 성숙도도 저조하였다. 완전히 부패한 뿌리혹내 휴면포자의 밀도는 1 g 조직당  $6.5 \times 10^6$  개였으며 성숙 휴면포자율도 95% 이상에 달하였다.(2000년 9월 5일 접수, 2000년 12월 12일 수리)

**Key words** : Chinese cabbage, clubroot, root gall decay, inoculum density, resting spores, *Plasmodiophora brassicae*.

### 서론

배추 무사마귀병의 병원균인 *Plasmodiophora brassicae* WORONIN의 휴면포자는 뿌리혹의 부패와 함께 성숙하여 토양에 확산되어 월동한 후 다음 작기에 전염원이 된다(Karling 1968). 봄배추의 경우 뿌리혹은 감염후 20일후에 형성되어 대체로 20일 동안의 비대기를 거친 다음 10일 동안에 완전히 부패하는데(김 등, 1999d) 뿌리혹의 부패에는 토양내 여러 가지 환경요인이 관여할 것으로 추정된다. 뿌리혹에 존재하는 휴면포자는 뿌리혹의 비대 및 부패와 함께 성숙하는데 뿌리혹의 생성 후 경과시간 및 부패상태에 따라 성숙정도도 달라질 것으로 생각된다. 뿌리혹이 부패하여 토양에 나출된 휴면포자가 발아한 후 십자화과 기주에 부착하여 병을 일으키는 기작이나 생태에 관한 연구는 상당수 존재하나(Naiki, 1987; Tanaka, 1996) 뿌리혹이 생성된 후 언제 부패가 시작되며 또한 이때에 뿌리혹을 둘러싸고 있는 외부 환경요인이 혹의 부패에 미치는 영향에 관한 연구보고는 거의 찾아보기 어렵다.

본 연구는 배추 무사마귀병의 발생생태를 구명하기 위한 시험의 일환으로 뿌리혹의 부패에 미치는 온도, 토양수분 등 몇가지 환경요인의 영향을 실내의 제어된 환경하에서 조사하였다. 배추 무사마귀병 뿌리혹의 생성생태에 관한 몇가지 연구결과는 이미 전문 학술지에 발표된 바 있다(김 등, 1999a~c).

### 재료 및 방법

#### 시험토양

경기도 연천, 강원도 평창, 태백 소재 60개 관찰포에서

\*연락처자

채취한 자연 발병토양(김 등, 1999a)을 모두 섞어 시험에 공시하였다. 토성은 경기도 연천지역이 사양토, 그리고 평창과 태백토양은 양토였다. 공시한 토양의 수분함량은 담수 처리를 제외하고 모두 최대용수량의 80%로 조절하여 사용하였다.

#### 뿌리혹 표본

경기도 이천 시험지 소재 무사마귀병 시험포에서 채취한 뿌리혹을 표본으로 사용하였다. 뿌리혹은 최초 생성 후 10일이 경과한 정식 30일 후에 이병주로부터 근두부를 자르고 포장에서 가능한한 상처가 나지 않도록 채취하여 뿌리혹이 붙어 있는 지하부 전체를 시험에 공시하였다. 뿌리혹 표본은 부패가 시작되기 전인 신선한 혹을 채취할 수 있도록 그 시기를 고려하였으며, 채취 즉시 각종 시험에 공시하였다. 공시한 혹이 달린 지하부 뿌리무게는 120~150 g 이었다.

#### 온도 시험

뿌리혹의 부패에 미치는 온도의 영향을 조사하기 위하여 다연실 항온기를 4℃부터 36℃까지 4℃ 간격으로 설정하였다. 공시토양을 17×23×15 cm 플라스틱 상자에 담고 뿌리혹 표본을 토양속의 중앙에 위치하도록 하였다. 토양내 수분은 토양을 주먹으로 쥐었을 때 흙이 뭉쳐지는 정도인 최대용수량의 80%에 가깝도록 조절하여 사용하였다. 플라스틱 포트는 뚜껑을 닫아서 수분의 유실을 막았으며, 각 온도별로 3반복하였다. 결과조사는 처리 후 3일부터 2~3일 간격으로 토양속에 들어 있는 뿌리혹의 부패정도를 조사하여 혹이 완전히 부패하여 형체가 없어져 연화할 때까지의 기간을 일수로 표시하였다.

#### 토양수분 시험

토양수분을 최대용수량의 40~100%까지 20% 간격으로

조절하여 앞의 시험에서와 동일한 포트에 담고 뿌리혹을 매몰한 후 고온구역(32°C)과 중온구역(24°C)으로 설정한 항온기에 두고 앞서와 동일한 방법으로 뿌리혹이 완전히 부패될 때까지의 기간을 조사하였다. 각 토양수분 처리당 3반복하였다.

#### 담수 시험

토양을 앞의 시험과 동일한 크기의 포트에 담고 뿌리혹을 매몰한 다음 물을 담아둔 것과 그대로 둔 것으로 나누어 부패에 미치는 담수의 효과를 조사하였다. 온도는 고온(32°C), 중온(24°C), 저온(12°C) 구역으로 나누어 각 구역별로 담수처리와 비담수 처리를 하였으며, 시험은 3반복하였다.

#### 토양미생물의 영향 시험

뿌리혹의 부패에 미치는 토양미생물의 영향을 조사하기 위하여 토양을 고압멸균한 것과 멸균하지 않은 자연토양으로 나누어 앞의 시험과 동일한 방법으로 시험을 수행하였다. 온도는 담수시험의 경우와 마찬가지로 고온, 중온, 저온영역을 설정하여 각 구역에 포트를 3반복하여 위치시키고 2~3일 간격으로 매몰한 뿌리혹의 부패정도를 조사하여 완전히 부패할 때까지의 기간을 일수로 표시하였다.

#### 휴면포자 성숙도 조사

앞의 시험과 유사한 방법으로 뿌리혹을 토양에 매몰한 후 포트를 실온(주/야, 35/15°C)에 두고 2~3일 간격으로 뿌리의 부패정도를 조사하였고, 뿌리혹 조직의 일부를 Takahashi(1990)의 형광염색법을 개량한 방법으로 염색한 다음 조직내 휴면포자의 밀도를 현미경상에서 조사하였다. 뿌리혹 조직은 겉에 묻어 있는 흙을 흐르는 물에 씻어 제거한 후 멸균수를 첨가한 후 유발로 마쇄하여 휴면포자 현탁액을 조제하였으며, 이 현탁액을 4중 가제로 여과한 후 8,000 rpm에서 원심분리하고 그 침전부를 멸균수로 현탁하였다. 현탁액 5 µl에 형광염색액(calcofluor white M2R 100 µg/ml와 Ethidium bromide 100 µg/ml의 동량혼합액) 5 µl을 가한 후 즉시 UV 형광현미경 200배 시야에서 혈구계산판을 이용하여 전체 휴면포자당 활성포자(적색을 띤 포자나 기형포자, 파괴된 포자 등을 제외하고 완전한 구형으로 선명한 형광의 푸른빛을 발사하는 포자)의 비율을 조사하여 %로 산출하였다.

#### 뿌리혹내 휴면포자 밀도측정

배추가 시들고 고사한 포기에서 채취한 지하부가 완전히 연화, 부패한 뿌리혹과 지상부 포기가 위조되지 않고 생육하고 있는 포기에서 채취한 막 뿌리혹이 형성된 신선한 뿌리혹을 공시하여 뿌리혹 g 조직당 휴면포자의 밀도를 앞서 설명한 형광염색법으로 한 시료당 30반복으로 혈구계산판을 이용해 조사하였다.

### 결과 및 고찰

#### 뿌리혹 부패에 미치는 온도의 영향

온도가 높을수록 뿌리혹의 부패도 빨라서 32°C 이상의 고온에서는 3일 안에 혹이 완전히 연화 부패되었고, 28°C에서는 5일, 24°C에서는 8일이 소요되었다(표 1). 20°C 이하에서는 온도가 내려갈수록 뿌리혹의 부패속도도 기하급수적으로 낮아져 16°C와 20°C에서는 12일, 8°C에서는 28일이 소요되었고, 4°C의 낮은 온도에서는 완전부패에 117일이 소요되었다. 봄배추의 경우는 생육후기가 5~6월에 해당하므로 수확기 이후 포장에 남아있는 뿌리혹의 부패는 고냉지나 가을재배 작형에 비해 급속도로 이루어 질 것으로 생각된다.

따라서 부패된 혹에서 유출된 휴면포자도 장마기간등을 통하여 가을작형에 비해 그만큼 빨리 토양내로 확산될 수 있을 것으로 생각된다. 4°C의 낮은 온도에서는 뿌리혹의 부패에 거의 4개월이 소요되었는데 가을작형의 수확기 이후 겨울동안 혹의 부패가 서서히 이루어지더라도 봄철 기온 상승과 함께 뿌리혹도 급격히 부패하여 4~5월의 봄작형 정식시기에는 충분히 성숙한 휴면포자가 토양중에 유출될 수 있을 것으로 생각된다.

#### 뿌리혹 부패에 미치는 토양수분의 영향

토양수분량이 높을수록 그리고 24°C보다는 32°C에서 뿌리혹의 부패가 신속하였으나, 32°C의 경우 24°C에 비해 토양수분의 효과가 그리 크지 않은 것으로 나타났다(표 2). 32°C에서는 토양수분이 낮을 경우에도 5일만에 뿌리혹이 완전히 부패되어 토양수분이 많은 경우보다 불과 1~2일 정도 늦어지는데 그쳤다. 32°C에서 토양수분의 효과가 크지 않은 것은 뿌리혹의 부패에 요구되는 수분이 뿌리혹 자체에 많이 포함되어 있어 뿌리혹을 둘러싼 토양내 수분정도가 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 생각된다. 24°C에서

Table 1. Effect of temperature on the root gall decay of clubroot disease of Chinese cabbage in the controlled environment<sup>a)</sup>

Temperature (°C)	Days required for complete decay	Temperature (°C)	Days required for complete decay
36	3	20	12
32	3	16	12
28	5	12	22
24	8	8	28
		4	117

<sup>a)</sup>Roots with galls were buried in soil at 80% of maximum soil moisture capacity.

는 32℃와 동일한 토양수분 수준에 비해 혹의 부패에 걸리는 시간이 4~7일 더 소요되었으며 토양수분의 수준에 따라 혹의 부패에 걸리는 시간의 편차도 고온에 비해 컸다. 이와 같은 경향을 보면 혹의 부패에 대한 토양수분의 영향은 뿌리혹이 가진 자체의 수분량 때문에 온도만큼 영향이 크지 않은 것으로 생각되며, 토양내 뿌리혹의 부패는 대부분 온도에 의하여 크게 영향을 받는 것으로 생각된다.

**Table 2. Effect of soil moisture on the root gall decay of clubroot disease of Chinese cabbage in the controlled environment**

Soil moisture (%) <sup>a)</sup>	Days required for complete decay	
	High (32℃)	Medium (24℃)
100	3	8
80	4	8
60	5	10
40	5	12

<sup>a)</sup>Percentage of maximum soil moisture capacity.

**뿌리혹의 부패에 미치는 담수효과**

32℃에서는 담수, 비담수 처리 모두 3일 후에 완전히 혹이 부패하여 담수가 혹의 부패에 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다(표 3). 그러나 24℃에서는 담수처리가 비담수처리에 비해 혹의 부패를 3일간 앞당겼다. 이러한 부패 촉진 효과는 12℃에서에서 훨씬 더 두드러지게 나타나 담수처리가 비담수처리에 비해 13일 일찍 뿌리혹이 부패되었다. 이와 같은 결과를 보면 앞서의 토양수분의 시험에서와 같이 뿌리혹의 부패에 어떤 다른 환경요인보다 온도가 가장 중요한 영향요인으로 생각되며, 온도가 낮을수록 다른 환경요인의 효과가 상대적으로 커지는 것으로 생각된다.

**뿌리혹의 부패에 미치는 토양미생물의 영향**

뿌리혹 자체에 존재하는 토양미생물외에 토양내 다른 미

생물이 뿌리혹의 부패에 미치는 영향을 조사하기 위하여 살균토양과 자연토양에서의 뿌리혹의 부패정도를 조사하였다. 그 결과 표 4에서 보는 바와 같이 32℃, 24℃, 12℃에서 각각 처리간 차이가 없이 동일한 시간대에서 뿌리혹이 완전히 부패되었다. 따라서 뿌리혹의 부패는 다른 외부의 미생물에 의해서기 보다는 주로 뿌리혹이 자체로 가지고 있는 미생물에 의하여 영향을 받는 것으로 생각된다.

**뿌리혹의 부패정도와 휴면포자의 성숙정도와의 관계**

부패되기 이전의 신선한 뿌리혹을 채취하여 주야 35/15℃의 온도에서 뿌리혹을 방치하면서 뿌리혹의 부패정도별 뿌리혹 조직내 성숙 휴면포자의 밀도를 조사하였다. 혹이 부패되기 이전의 신선한 뿌리혹내 성숙한 활성 휴면포자의 밀도는 전체 휴면포자수의 45.2%에 불과하였으나 뿌리혹이 부패되기 시작하여 그 시일이 경과할수록 성숙 휴면포자의 비율도 급속히 증가하여 뿌리혹이 완전히 부패된 시점인 5일 후에는 78.6%로 증가하였다(Table 5). 그 이후부터는 성숙휴면포자의 증가속도는 크게 둔화되었으나 부패 후 시간이 경과할수록 증가하는 경향은 뚜렷하였다. 이와 같이 뿌리혹의 부패가 진행되어 시간이 경과할수록 휴면포자도 성숙하기 때문에 실제 배추밭에서 뿌리혹이 부패되어 토양으로 유출되는 휴면포자들은 대부분 완전히 성숙한 활성포자로 생각된다.

**뿌리혹 조직내 휴면포자의 밀도**

배추포기가 아직 시들지 않고 그 뿌리가 부패되지 않은 신선한 뿌리혹내 휴면포자의 밀도는 지상부 식물체가 말라 죽을 정도로 완전히 부패한 뿌리혹내 휴면포자의 밀도의 1/34에 불과하였으며, 성숙한 활성 휴면포자율도 70% 미만으로 나타났다(표 6). 완전히 뿌리혹이 부패되어 악취를 발산하는 혹 조직내 휴면포자의 밀도는 1g 조직당 6.5×10<sup>6</sup>개로 나타났으며 성숙한 활성 휴면포자율도 95% 이상이었다. 이와 같은 결과로 볼 때 뿌리혹이 포장내 방치되어 완전히 부패되었을 때에 뿌리혹내 휴면포자들은 거의 성숙한 활성포자로 생각할 수 있으며, 그 밀도도 뿌리혹

**Table 3. Effect of flooding on the root gall decay of clubroot disease of Chinese cabbage in the controlled environment**

Treatment	Days required for complete decay		
	High temp. <sup>a)</sup> (32℃)	Medium temp.(24℃)	Low temp.(12℃)
Flooding	3	5	22
Non-flooding	3	8	35

<sup>a)</sup>Temperature.

**Table 4. Effect of soil microorganism on the root gall decay of clubroot disease of Chinese cabbage in the controlled environment**

Soil	Days required for complete decay		
	High temp. <sup>a)</sup> (32℃)	Medium temp.(24℃)	Low temp.(12℃)
Sterilized	8	12	28
Non-sterilized	8	12	28

<sup>a)</sup>Temperature.

Table 5. Maturity of resting spores of *Plasmodiophora brassicae* as affected by the level of decay of root galls of Chinese cabbage plants in the laboratory condition

Level of decay (%) <sup>a)</sup>	Days from initial decay	Maturity of resting spores(%)	Condition of galls
0	0	45.2	Fresh
10	1	47.8	Partially rotten
70	3	60.8	Mostly rotten
100	5	78.6	Completely rotten
100	7	80.4	Decay water produced
100	10	81.0	-

<sup>a)</sup>Percentage of rotten areas in the root gall.

Table 6. Density and degree of maturity of resting spores of *Plasmodiophora brassicae* as influenced by root gall decay of clubroot disease of Chinese cabbage plants

Condition of root gall	Condition of above ground plant growth	No. resting spores/g tissue	Mature resting spores(%)
Completely rotten	Wilted to death	$6.5 \times 10^9$	95 <
Fresh	Normal	$1.9 \times 10^5$	< 70

조작 1 g당  $6.5 \times 10^6$ 개 정도로써 뿌리혹의 평균무게를 100 g으로 보았을 때 뿌리혹당  $6.5 \times 10^8$ 개의 천문학적인 숫자의 휴면포자가 형성되어 토양에 방출되므로써 한 작기 이후 잔존하는 토양내 무사마귀병균 전염원의 밀도가 매우 높음을 알 수 있다. 따라서 이 결과를 보면 배추 수확 후 뿌리혹의 제거가 토양내 전염원의 확산을 방지하고 전염원의 밀도를 낮추는데 매우 효과적임을 알 수 있다.

### 인용문헌

- Karling, J. S. (1968) The Plasmodiophorales, 2nd ed. Hafner Publ. Co., N.Y. pp.256.
- 김충희, 조원대, 양종문 (1999a) 배추무사마귀병 발생상태와 뿌리혹의 생성상태. 식물병과 농업 5(2) : 77~83.
- 김충희, 조원대, 양종문 (1999b) 배추무사마귀병 뿌리혹의 형성에 미치는 온도, 토양수분, 토양pH, 광의 효과. 식물병과 농업 5(2) : 84~89.

- 김충희, 조원대, 양종문 (1999c) 배추무사마귀병의 뿌리혹 형성에 미치는 묘령, 접종원 농도 및 접종방법의 효과. 식물병과 농업 5(2):90~94.
- 김충희, 조원대, 김홍모 (1999d) 배추무사마귀병의 포장 감염시기와 피해. 식물병 연구 6(1):23~26.
- Naiki, T. (1987) Life cycle and control of *Plasmodiophora brassicae*, causing clubroot disease of cruciferous plants. Soil Microorganism 29:25~39.
- Takahashi, K. (1990) Methods for assessing viability of resting spores of clubroot fungi of crucifers. Plant Prot. 44(6):22~25.
- Tanaka, S. (1996) Recent progress in studies on clubroot disease of crucifers. Plant Prot. 50(7):27~30.

---

**Some Environmental Factors Affecting Decay of Root Galls in Club Root Disease of Chinese Cabbage**

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

**Abstract** : Effects of temperature, soil moisture level, flooding, and soil microflora on decay of root galls in club root disease of Chinese cabbage were examined in the laboratory. Number of days required for complete decay of root galls was 3 days at 32°C or higher, 12 days at 16~20°C and 28 days at 8°C. As soil moisture content goes up, root gall decay became faster resulting 3 days for complete decay under saturated moisture condition at high temperature of 32°C, and 8 days under the same moisture level at 24°C. Soil moisture effect was relatively low at 24°C compared to 32°C. Stimulation of decay by soil flooding was not observed at 32°C but became apparent at 12°C. Influence of soil microflora on root gall decay was negligible. Based on these results, temperature appears to be the most important factor affecting root gall decay in soil. Root gall decay is thought to be affected more easily by other environmental factors under low temperature conditions. Maturity of resting spores of *Plasmodiophora brassicae* in root galls tended to increase as time prolongs during root gall decay. Density of the resting spores was lower in fresh root galls where their maturity was also low as compared to completely decayed root galls. Number of resting spores in completely decayed root gall was  $6.5 \times 10^6$ /g tissue and its maturity was over 95%.

---

\*Corresponding author (FAX : +82-31-290-0453, E-mail : choonghoekim@rda.go.kr)