

정식 후 초기 관수횟수 감소에 따른 배추 뿌리혹병 발생 억제효과

장석원* · 김희동¹ · 김성기¹ · 이은섭¹ · 노용택영동대학교 바이오지역혁신센터 및 의생명과학과, ¹경기도농업기술원

Suppression Effect of Clubroot Disease by Reduced Irrigation Times after Planting in Chinese Cabbage

Seog-Won Chang*, Hee-Dong Kim¹, Sung-Kee Kim¹, Eun-Seob Yi¹ and Yong-Taek RhoBio-Regional Innovation Center and Department of Medical Life Science, Youngdong University,
Youngdong, Chungcheong Buk-Do, 370-701, Korea¹Gyeonggi-Do Agricultural Research & Extension Station, Hwasung 445-970, Korea

(Received on July 3, 2008)

Clubroot of Chinese cabbage, caused by *Plasmodiophora brassicae*, is one of the most serious plant diseases in the world. The objectives of this study were to investigate the effect of the irrigation times on the development of clubroot after planting and to evaluate the effect of clubroot disease on yield of chinese cabbage in pot and field. The clubroot disease gradually increased with increasing irrigation frequency after planting. The growth characters and yield of chinese cabbage by irrigation times varied according to soil moisture and clubroot disease severity. Based on marketable yield and control value, an ideal irrigation point was at the soil matric potential of 0.06 MPa. These results suggest that the suppression on clubroot disease development could be achieved by initially reduced irrigation times after planting. Future studies on irrigation times using fungicide treatment and resistant cultivar under natural field conditions are required to improve the control effect of clubroot.

Keywords : Chinese cabbage, Clubroot, Irrigation times, Marketability

배추는 국내에서 가장 많이 재배되는 채소 중 하나로 2006년 재배면적이 42,035ha에 이른다(통계청, 2006). 배추 뿌리혹병은 1920년 서울과 수원에서 발생된 이후 국내에서 큰 피해가 보고되지 않았지만, 1990년대 말부터 현재까지 전국의 배추 주산단지에서 발생면적이 넓어 큰 문제가 되고 있다(Nakata and Takimoto, 1928; 김 등, 2003). 배추 뿌리혹병균(*Plasmodiophora brassicae*)은 토양 내에서 생존 년수가 길며 빗물 또는 관개수, 수송차량, 농작업 도구 또는 농기계 등 다양한 경로로 전파가 가능하고 포장 간, 지역 간 병원균의 전파가 용이하여 방제가 매우 어려운 병원균으로 알려져 있다(Karling, 1968).

농촌진흥청(2001)에 따르면 배추 뿌리혹병 방제시험을 '98년부터 '00년까지 5개 지역에서 추진한 결과 가장 바

람직한 화학적 방제방법으로 배추 육묘상을 배추 정식전 플루아지남 수화제로 침지처리하고 이식 전 본밭에 플루설파마이드 분제로 전면 토양 혼화하는 방법이 추천되고 있다. 하지만 위의 방법은 높은 방제효과를 보였지만 포장 전체에 약제를 살포해야 하기 때문에 투입되는 비용이 적지 않아 농가에서 사용하기에 현실적으로 부담이 큰 실정이다. 그래서 그 대안으로 국내 연구자들은 방제약제의 작기 연용 효과(장 등, 2000), 육묘용 상토 처리(홍 등, 2003), 재배토양 석회질소 처리(김 등, 2006) 등 노력과 농약 사용을 줄이고 방제 효과를 높이는 연구를 시도하여 왔다.

배추 뿌리혹병은 포장 내 감염시기에 따라 그 피해 정도에 큰 차이가 있는데, 감염시기가 빠를수록 피해 정도는 현저히 증가하는 것으로 알려져 있다(김 등, 2000a). 김 등(2000a)에 의하면 배추는 본밭 정식 후 20일 이내에 감염되면 모두 위조한 다음 고사로 이어져 수확이 불가능하였으며, 정식 40일 후에 감염된 배추는 뿌리에 흑

*Corresponding author

Phone) +82-43-840-1238, Fax) +82-43-840-1239

E-mail) changsw@youngdong.ac.kr

이 형성되더라도 거의 피해가 없어 수량도 건전주와 비슷하였다고 하였다. 따라서 김 등(2003)은 정식 후 40일까지 배추가 뿌리혹병에 걸리지 않도록 오염된 물의 유입이나 침수를 방지하고 배수관리가 필요하다고 제안하였다.

배추 뿌리혹병균의 감염 기작을 살펴보면, 휴면포자로부터 나온 1차 유주자가 토양 내에서 미세근을 통해 뿌리 조직 내에서 포자낭을 형성하고, 감염된 미세근이나 피질세포의 포자낭으로부터 용출된 2차 유주자가 뿌리혹병의 진전을 유도한다(Dobson 등, 1983). 따라서 배추가 뿌리혹병균 유주자에 의해서 감염되기 위해서는 수분과 뿌리의 상태가 중요하다(Colhoun, 1953; Karling, 1968). 특히, 뿌리의 토양착착이 시작되는 정식 후 초기 토양수분이 매우 중요하다(Takahashi, 1994). Dobson 등(1982)도 토양수분장력(soil matric potential)을 조절함으로써 뿌리혹병 감염을 일정기간 저지할 수 있다고 보고한 바 있다.

그럼에도 불구하고 우리나라 배추 재배농가에서는 정식 후 식물체의 초기 활착을 위해 토양 내 뿌리혹병균의 존재에 관계없이 수분공급을 관행적으로 실시하고 있는 실정이다. 하지만 국내에서 정식 후 초기 관수횟수가 배추 뿌리혹병 발생에 미치는 영향에 대한 연구는 매우 부족한 실정이다. 따라서 필자들은 위의 선행연구를 바탕으로 배추 정식 후 관수횟수의 조절을 통하여 뿌리혹병의 경종적 억제 정도와 수량성을 검토한 바, 얻어진 연구 결과를 보고하는 바이다.

재료 및 방법

배추 육묘. 시험에 사용된 배추 품종은 조생추석배추(홍농종묘)로 2000년 가을 작기에 육묘용 상토(바이오믹스, New England Organics, MA, USA)가 들어 있는 128공 프러그묘판에서 20일간 육묘하였다.

포트 시험. 육묘 배추는 뿌리혹병 감염토양이 담긴 포트(1/5,000 와그너포트)에 1주씩 정식하였다. 사용된 토양은 1997년 연천 대홍수로 뿌리혹병균 전염원이 유입된 이후로 울무와 단호박이 재배되어 오다가 2000년 봄 작기에 배추(품종명: '노랑봄배추', Seminis)를 재배하였다. 봄 작기에 무사마귀병이 심하게 감염(발병도 2~3 정도)되었기 때문에 토양을 포트에 담기전 플루설파마이드분제(Flusulfamide DP 0.3%)를 20 kg/10a로 환산하여 토양혼화한 후 시험을 실시하였다. 10a당 시비량은 N-P₂O₅-K₂O를 32-9-21.8 kg 수준으로 하여 인산은 전량 기비하였고, 요소와 가리는 기비:추비 비율을 60:40, 55:45로 각각 8엽 전개 시에 시비하였다. 포트에서의 식물체 크기와 병원균 감염 시기(김 등, 2003)를 고려하여 식물체를 정식

한 후 30일까지 재배하면서 토양수분장력이 0.02 MPa, 0.04 MPa, 0.06 MPa, 0.08 MPa에 도달(관수 개시점)하면 관수하였다. 수분측정은 Tensiometer(Pressure Gauge Type: Dik-3161, Daiki Rika Kogyo Co., Ltd., Saitama, Japan)를 이용하였다. 관수 중지점은 저면 관수를 이용하였기 때문에 0.01 MPa에 맞추기가 쉽지 않아 포트가 최대 포장 용수량 상태에 이르면 관수를 중지하였다. 본 시험은 25±3°C가 유지되는 온실에서 2회 수행하였으며, 시험구 배치는 임의배치법 3반복으로 실시하였다.

포장 시험. 본 시험은 2000년 가을 작기에 실시하였다. 시험 포장은 포트시험을 위해 채취한 토양과 동일한 경기도 연천소재 경기도농업기술원 북부농업시험장(현 제2농업연구소)[시험 토양: 미사질양토(덕천통)]에 위치하였다. 사용된 포장은 봄 작기에 뿌리혹병이 심하게 감염(발병도 2~3정도)되었기 때문에 가을 작기 전 토양에는 푸루설파마이드분제(Flusulfamide DP 0.3%) 20 kg/10a을 토양 혼화한 후 시험을 실시하였다. 시험의 정밀도를 높이기 위하여 포장으로부터 이슬과 강우의 간섭(Interference) 효과를 제거하기 위해 비닐하우스(plastic house)를 설치하여 수행하였다. 포장에서 배추 식물체의 정식은 8월 25일, 재식거리는 90×45 cm로 하였다. 10a당 시비량은 N-P₂O₅-K₂O를 32-9-21.8 kg 수준으로 하여 인산은 전량 기비, 요소와 가리는 기비:추비 비율을 60:40, 55:45로 하여 각각 8엽 전개 시에 시비하였다. 잡초방제는 3회에 걸쳐 인력 제초하였고, 병해충 방제는 노균병(디메토모르프 액상수화제, 동방아그로, 20 g/10a을 정식 후 30일과 40일에 각각 살포)과 파밤나방(비펜스린수화제, 바이엘, 20 g/10a을 정식 후 20일과 27일에 각각 살포)을 대상으로 실시하였다. 벼룩잎벌레 방제는 파단입제(3 kg/10a)를 정식 후 포장에 살포하였다. 시험구 배치는 난괴법 3반복으로 수행하였다.

관수시설 설치 및 수분조사는 범 등(1999)의 방법에 준하여 실시하였다. 관수 배관은 정식이 끝난 직후에 배치하였다. 물은 물탱크에 펌프(금성, 1/2HP)와 배관을 연결하여 공급하였다. 각 처리 별로 공급되는 공급수의 압력을 일정하게 유지하고, 관수량을 정확하게 계량하기 위하여 물 탱크와 배관 사이에 계량기 및 개폐기를 설치한 뒤 배관을 배치하였다. 이때 처리간의 간섭을 막기 위하여 두둑을 약 20 cm 차단하였고 중간에 차단막을 설치하였다. 식물체를 정식한 후 30일까지 토양수분장력이 0.02 MPa, 0.04 MPa, 0.06 MPa, 0.08 MPa에 도달(관수 개시점)하면 물을 공급하였고, 0.01 MPa에 도달(관수 중지점)하면 관수를 중지하였다. 관수방법은 물방울 튀김 등 오차를 줄이기 위해 이랑을 통한 저면 관수를 이용하였다.

시험구의 토양 수분장력 조사는 토양수분 장력계(Dik-3161, Daiki Rika Kogyo Co., Ltd., Saitama, Japan)의 센서를 각 처리구의 중간에 위치해 있는 배추 정식점 사이에 10 cm 깊이로 매설하고 매일 오전 10시와 오후 4시에 측정하였다. 각 처리 별 반복 사이에서 토양수분에 큰 차이를 보이지 않아 3반복 토양수분 평균치가 관수 개시점에 도달하면 처리 별로 일괄 관수를 실시하였다. 정식 후 30일이 되었을 때 설치된 관수시설을 제거한 후 모든 처리구에 관수 중지점까지 저면 관수를 동시에 실시하였다. 이후 뿌리혹병을 제외하고 수확에 영향을 줄만한 병해충 피해가 없었으므로 수확시기까지 손제초를 제외하고는 방임하여 재배하였다.

발병도 및 생육조사. 병 발생 정도는 정식 후 30일(꽃트 시험)과 60일(포장 시험)에 반복당 30주를 각각 조사하였다. 발병도는 장 등(2000)의 방법에 따라 평가하였다. 즉, 식물체 별 발병 정도를 0=뿌리혹이 형성되지 않음, 1=개체당 1~10%의 뿌리에 뿌리혹이 형성되고 뿌리혹은 직경 1 mm로 독립적임(가중치 10), 2=11~30% 뿌리에 뿌리혹이 형성되고 뿌리혹이 부풀고 때로는 융합점(가중치 30), 3=31~60% 뿌리에 뿌리혹이 형성되고 측근과 직근에도 형성됨(가중치 60), 4=60% 이상의 뿌리에 심하게 발병 (가중치 100)으로 구분하였다. 발병도는(각 등급치에 해당하는 개체수×가중계수)/공시개체수로 산출하였다. 기타 생육 조사요령은 농촌진흥청 농사시험연구조사기준에 의거 조사하였다.

통계 분석. 통계분석은 SAS 프로그램(version 6.12, SAS Institute, Cary, NC)을 이용하여 수행하였다.

결과 및 고찰

꽃트 시험. 관수 횟수별 배추 뿌리혹병 발생 및 생육은 Table 1과 같다. 배추묘 정식 후 30일까지의 관수 개시점 토양수분 장력별 관수횟수는 0.02 MPa 4.0회, 0.04 MPa 3.0회, 0.06 MPa 2.0회, 0.08 MPa 1.0회였다. 뿌리

혹병 발생 정도는 관수횟수가 적을수록 낮은 경향이었다. 이와 같은 결과는 Dobson 등(1982)이 토양수분장력(soil matric potential)을 조절함으로써 뿌리혹병 감염을 일정기간 저지할 수 있다고 보고한 결과와 유사하였다. Dobson 등(1982)의 보고에서는 토양수분장력 0.08 MPa 이하에서 모근 감염(root-hair infection)이 방지되고 반면에 0.015 MPa 이하면 피질세포의 감염이 멈춰 뿌리혹병이 감소한 것으로 나타났다.

정식 후 30일까지의 관수 횟수 별 생육상황을 보면, 잎의 생육 및 생체중은 토양수분장력 0.02 MPa와 0.04 MPa에서 관수 시 다른 두 처리보다 양호하였다. 특히 0.06 MPa나 0.08 MPa처리구보다 2배 이상의 생체중 증가를 보였다. 이는 토양이 건조했던 0.06 MPa와 0.08 MPa보다 잦은 관수로 인해 상대적으로 많은 수분의 보충이 지상부 수분함량의 증가로 이어져(범 등, 1999) 지상부 생육이 촉진된 것으로 보여진다. 이와 같이 토양수분장력 0.02 MPa나 0.04 MPa 처리구의 발병도가 0.06 MPa와 0.08 MPa보다 상대적으로 높았음에도 불구하고 생체중이 무거웠던 것은 필자들이 꽃트 크기를 고려해서 발병도와 생육 조사시기를 수확 30일 전인 정식 후 30일에 실시했기 때문으로 보인다.

김 등(2000b)은 봄배추 포장에서 뿌리에 병원균 침입후 감염과정을 잠복기(약 20일), 흑 비대기(약 20일), 흑 부패기(약 10일) 및 토양내 잔존기로 구분하였다. 따라서 본 시험에서는 배추 생육조사 시기가 정식 후 30일이었던 것을 감안하면 토양수분장력 0.06 MPa나 0.08 MPa 처리구에서 병 발생이 심했다라도 뿌리의 상태가 감염초기거나 잠복기 혹은 흑 비대기로 추정되므로 정상주에 비해 원활하지는 않지만 수분과 양분 공급이 이루어져 생체중의 증가로 이어졌던 것으로 생각된다.

포장 시험. 관수 횟수 별 배추 뿌리혹병 발생 및 생육은 Table 2와 같다. 처리 별 관수횟수는 관수 개시점 토양수분장력 0.02 MPa 6.0회, 0.04 MPa 3.0회, 0.06 MPa 2.0회, 0.08 MPa 1.0회였다. 이러한 결과는 범 등(1999)이

Table 1. Clubroot disease severity and growth characters of chinese cabbage by different irrigation time for 30 days after planting in a pot

Irrigation time	Irrigation times (no.)	Disease severity (%)	Leaf characters			Fresh weight (g/plant)
			Number (no.)	Length (cm)	Width (cm)	
0.02 MPa	4	6.4±2.4 ^{a,b}	16.1±2.2	22.6±3.0	11.7±1.8	63.6±7.0a
0.04 MPa	3	1.6±1.0 ^b	14.7±2.1	24.4±2.1	12.1±1.0	68.6±10.2a
0.06 MPa	2	0.1±0.4 ^c	13.4±1.8	19.4±1.9	10.2±2.4	30.3±7.7b
0.08 MPa	1	0.1±0.4 ^c	10.1±1.3	19.4±2.4	9.7±1.4	30.9±6.4b

^aValues in each column with different letters show significant differences at $P = 0.05$ according to the Fisher's protected least significant difference (LSD) test.

^bMeans±standard deviation.

Table 2. Growth characters of chinese cabbage by different irrigation time for 30 days after planting in a pot

Irrigation time	Irrigation times (no.)	Leaf characters		
		Number (no.)	Length (cm)	Width (cm)
0.02 MPa	6	37.2±3.9 ^a	41.2±4.4	29.0±3.1
0.04 MPa	3	35.8±3.7	38.8±3.7	26.7±2.9
0.06 MPa	1	32.0±3.4	38.7±3.9	26.7±2.4
0.08 MPa	1	28.4±3.1	35.0±3.7	23.6±2.6

^aMeans±standard deviation.

노지오이 가을 재배 기간동안 토양수분장력 차이에 따른 관수간격과 횃수를 조사한 결과, 토양수분장력 0.02 MPa 시 관수간격은 2.3일, 관수횃수는 37회, 0.1 MPa 시 관수간격은 14.8일, 관수횃수는 6.0회로 나타났으며, 0.02 MPa 처리구는 0.1 MPa 처리에 비하여 약 84% 정도 물 관리 노력을 많이 했다고 보고한 것과 같은 경향이였다.

관수 횃수 별 배추 뿌리혹병 발생 정도는 횃수가 잦을 수록 높아 풋트 결과와 같은 경향이였다. 김 등(1999)에 의하면 배추 뿌리혹병 발생에 미치는 토양수분은 최대 용수량의 80% 수준에서 가장 양호한 것으로 나타나, 정식 후 초기에 토양수분이 충분히 지속되었던 0.02 MPa 처리구에서 뿌리혹병이 가장 심했던 본 결과와 매우 유사하였다. 이렇게 수분함량이 높을수록 병 발생이 높아지는 이유는 수분에 의한 병원균의 이동이 증가(Dobson 등, 1982)하여 뿌리 접촉빈도가 증가될 수 있기 때문으로 판단된다. 정식 전 농가에서 관행적으로 이루어지는 뿌리돌림 상처 감염(Agrios, 1988; 장 등, 2000)을 촉진시킬

수 있다. 즉, 농가에서는 육묘과정에서 뿌리돌림을 통해 묘의 신근 발생을 유도하는데, 정식 1~2일전 이루어지는 뿌리돌림은 뿌리의 상처를 유발하며 육묘 식물체는 상처가 아물기도 전에 본밭에 정식됨에 따라 뿌리혹병균과의 접촉으로 감염이 증가될 수 있기 때문이다.

또한 뿌리혹병균의 서식 공간과도 관련 있어 보인다. 김 등(2000)에 의하면 뿌리혹병균은 토양 깊이가 깊을수록 밀도가 급격히 줄어들었으며 병원균의 97%가 지하 5 cm 이내의 표토에 분포하였다고 보고하였다. 따라서 정식부터 생육초기까지 배추 근권은 주로 표토에 존재하기 때문에 수분 증가는 감염과 관계가 깊은 병원균의 뿌리 접촉빈도를 더욱 증가시키는 주요 원인이 된 것으로 보인다. 그러므로 정식 직전 뿌리돌림을 자제하고 육묘나 상토를 살균제에 침지 처리(홍 등, 2003)하여 정식하는 등 적절한 예방이 필요할 것으로 판단된다. 전체적으로 풋트

Table 3. Disease severity, growth characters, and yield of chinese cabbage by different irrigation times for 30 days after planting in a field

Irrigation time	Disease severity (%)	Mean weight (kg/plant)	Marketability (%)	Marketable yield (kg/10a)
0.02 MPa	64.6a ^a	1.3±0.2 ^b	30.0±3.4	1,043.3d
0.04 MPa	34.6b	1.9±0.3	76.7±6.5	3,652.7b
0.06 MPa	12.0c	2.3±0.3	88.9±7.4	5,306.0a
0.08 MPa	5.5c	1.5±0.2	52.2±5.1	2,035.6c

^aValues in each column with different letters show significant differences at $P=0.05$ according to the Fisher's protected least significant difference (LSD) test.

^bMeans±standard deviation. Data are means of three replicates.

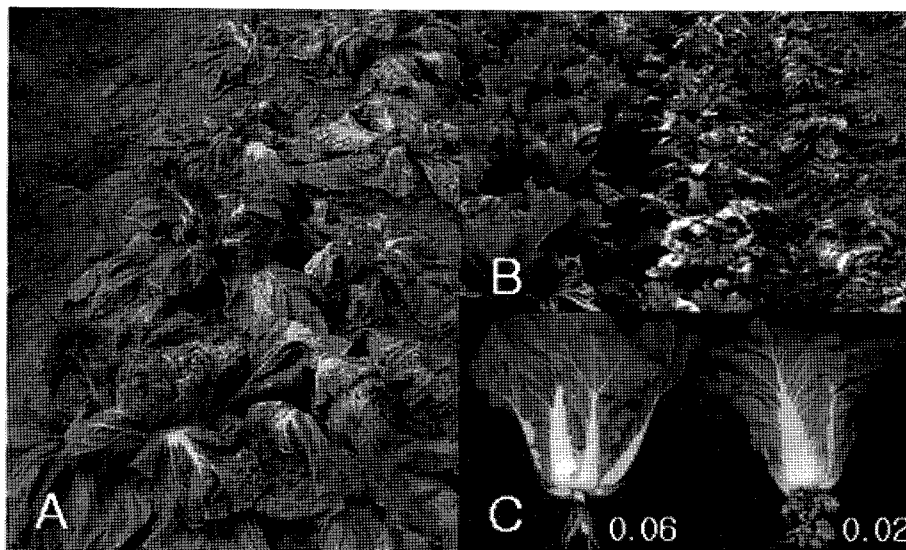


Fig. 1. Chinese cabbage plants infected by *Plasmodiophore brassicae* at a commercial field (A). Plants treated by fungicide and no fungicide-treated plants (B). Fewer irrigation times after planting can decrease the severity of clubroot disease (C). 0.06: 0.06 MPa, 0.02: 0.02 MPa.

시험의 병 발생정도가 포장시험에서보다 낮았던 이유는 뚜렷하지 않다. 하나의 가능성으로 포트 시험에 사용된 토양이 포장시험과 동일한 필지의 표토에서 채취되었지만 제한된 지점이었으므로 병원균 농도가 상대적으로 낮았기 때문이 아닐까 하는 점을 추정할 수 있었다.

관수 횟수 별 배추 평균무게, 상품화율 및 상품수량은 Table 3과 같다. 처리내용 중 토양수분장력 0.06 MPa에서 관수할 때 배추 평균무게, 상품화율 및 상품수량이 가장 높았다(Fig. 1). 토양수분장력 0.02 MPa와 0.08 MPa 처리구에서 생육이 저조했던 것은 각각 뿌리혹병이 심했던 것과 수분부족에 의한 초기 생육 부진의 결과로 생각된다. 따라서 관수 개시점 0.08 MPa에서는 뿌리혹병의 억제효과를 얻을 수 있었지만, 생육이 매우 저조했기 때문에 실제 배추 재배에서는 관수 개시점을 0.06 MPa로 낮추는 것이 유리할 것으로 판단된다.

이상의 결과로 볼 때, 배추 뿌리혹병 감염토양에서 뿌리혹병 발생을 낮추고 상품성 있는 배추를 생산하기 위해서는 기존의 정식 후 초기 잦은 관수를 지양하고 토양 수분장력이 약 0.06 MPa 정도에서 관수하는 것이 적절한 것으로 나타났다. 하지만 배추 뿌리혹병 방제가 쉽지 않다는 점을 고려할 때, 향후 적정 살균제 처리조합 혹은 저항성 품종 재식시의 관수 횟수에 대한 보강 연구가 필요할 것으로 보인다.

요 약

배추재배에서 뿌리혹병은 세계적으로 가장 문제가 되고 있는 병 중 하나이다. 본 연구는 배추 정식 후 관수횟수가 뿌리혹병의 발생 정도에 미치는 영향을 평가하기 위하여 포트와 포장에서 실시되었다. 토양수분장력 별 시험에서 토양수분장력 별 관수횟수는 적을수록 발병도가 낮은 경향이였다. 상품수량은 0.06 MPa 처리구에서 10a당 5,306 kg으로서 다른 처리보다 증수하여 가장 경제적인 관수개시점으로 나타났다. 향후 적정 살균제 처리조합 혹은 저항성 품종 재식시의 관수 횟수에 대한 보강 연구가 필요할 것으로 보인다.

감사의 말씀

본 논문은 산업자원부 지정 영동대학교 바이오지역혁신센터(RIC) 성과활용사업 지원에 의해 일부 수행되었음.

참고문헌

- Agrios, G. N. 1988. Plant Pathology. 3th ed. Academic Press. London. pp. 288-291.
- 범인숙, 김용웅, 김광식, 김길용, 손보균, 김현우. 1999. 토양 수분포텐셜이 오이(*Cucumis sativus* L.) 생육과 토양 이화학적 특성에 미치는 영향. 한국토양비료학회지 32: 171-181.
- Colhoun, J. 1953. A study of the epidemiology of the clubroot disease of Brassicae. *Ann. Appl. Biol.* 40: 262-283.
- Dobson, R., Gabrielson, R. L. and Baker, A. S. 1982. Soil water matric potential requirements for root-hair and cortical infection of Chinese cabbage by *Plasmodiophore brassicae*. *Phytopathology* 72: 1598-1600.
- Dobson, R., Gabrielson, R. L. and Baker, A. S. 1983. Role of primary and secondary zoospores of *Plasmodiophore brassicae* in the development of clubroot in Chinese cabbage. *Phytopathology* 73: 559-561.
- 홍순성, 김진영, 박경열. 2003. 배추뿌리혹병(*Plasmodiophore brassicae*) 방제를 위한 육묘용 상토와 농약처리 효과. 식물병연구 9: 64-67.
- 장석원, 홍순성, 김성기, 김희동, 이은섭. 2000. 배추 뿌리혹병 방제약제의 처리방법 개선을 통한 방제효과 제고. 식물병연구 6: 39-42.
- Karling, J. S. 1968. The Plasmodiophorales. Hafner Publishing company. New York. 1-256 pp.
- 김충희, 조원대, 김홍모. 2000a. 배추 뿌리혹병균의 토양 내 분포. 식물병연구 6: 27-33.
- 김충희, 조원대, 김홍모. 2000b. 봄 배추 뿌리혹병의 포장감염 시기와 피해. 식물병연구 6: 23-26.
- 김충희, 조원대, 양종분. 1999. 배추 뿌리혹병 뿌리혹의 형성에 미치는 온도, 토양수분, 토양 pH, 광의 영향. 식물병과농업. 5: 84-89.
- 김충희, 조원대, 이상범. 2003. 우리나라 배추 뿌리혹병 연구현황과 향후 과제. 식물병연구 9: 57-63.
- 김점순, 이정태, 이계준. 2006. 석회질소에 의한 배추뿌리혹병 방제효과. 식물병연구 12: 278-283.
- Nakata, K. and Takimoto, K. 1928. List of diseases of cultivated plants in Korea. *J. Agric. Exp. Stn., Govern.-Gen. Chosen* 15: 77-78 (In Japanese).
- 농촌진흥청. 2001. 십자화과 채소의 뿌리혹병 발생생태 및 방제 대책 연구. 대형공동연구과제 완결보고서. 111 pp.
- Takahashi, K. 1994. Influences of some environmental factors on viability of resting spores of *Plasmodiophore brassicae* wor. incubated in sterile soil. *Ann. Phytopath. SPC. Jpn.* 60: 658-666.
- 통계청. http://www.kosis.kr/domestic/theme/do01_index.jsp/ 농업어업/작물통계. (2008. 8. 7)