

국내 토양병해 발생현황과 종합 관리방안

김충회* · 김용기

농업과학기술원 작물보호부 식물병리과

Present Status of Soilborne Disease Incidence and Scheme for Its Integrated Management in Korea

Choong-Hoe Kim* and Yong-Ki Kim

Plant Pathology Division, National Institute of Agricultural Science and Technology, Suwon 441-707, Korea

(Received on June 27, 2002)

Incidence of soilborne diseases, as a major cause of failure of continuous monocropping becomes severe in recent years. For examples, recent epidemics of club root of chinese cabbage, white rot of garlic, bacterial wilt of potato, pepper phytophthora blight, tomato fusarium wilt and CGMMV of watermelon are the diseases that require urgent control measures. Reasons for the severe incidence of soilborne diseases are the simplified cropping system or continuous monocropping associated with allocation of major production areas of certain crop and year-round cultivation system that results in rapid degradation of soil environment. Neglect of breeding for disease resistance relative to giving much emphasis on high yield and good quality, and cultural methods putting first on the use of chemical fertilizers are thought to be the reason. Counter-measures against soilborne disease epidemics would become most effective when the remedies are sought for individual causes. As long-term strategies, development of rational cropping system which fits local cropping and economic condition, development and supply of cultivars resistant to multiple diseases, and improvement of soil environment by soil conditioning are suggested. In short-term strategies, simple and economical soil-disinfestation technology, and quick and accurate forecasting methods for soilborne diseases are urgent matter for development. For these, extensive supports are required in governmental level for rearing soilborne disease specialists and activation of collaborating researches to solve encountering problems of soilborne diseases.

Keywords : cropping system, disease incidence, Korea, management, soilborne diseases

토양병이란 대부분의 생활환을 토양에서 보내는 토양 서식 병원균이나 생활환의 일부를 토양에서 보내는 토양 침입 병원균에 의하여 발생하는 병해를 일컫는다. 전세계 어느 나라를 보더라도 이들에 의한 피해가 발생 병해중 가장 중요한 위치를 차지하고 있으며 이들을 방제하기 위한 노력이 식물병리학의 역사라 해도 과언이 아닐 정도다. 토양병해는 그 특성상 가해부위가 토양에 묻혀있는 뿌리나 땅가죽기에 국한하므로 공기전염성 병해의 국부적인 병반과는 달리 식물전체를 죽게 하는 전신감염성의 병해를 초래한다. 일단 식물이 이병되면 토양이라는 균일한 배지를 통해 전염 이동하므로 일시에 전면적에서 발

생하기 쉽고 또한 발생부위가 지하부에 있으므로 지상부 잎의 병반처럼 일찍이 눈에 띄지 않아서 조기 발견이 매우 어렵다. 또한 식물체가 시드는 증상이 발견된다고 하더라도 이미 병세가 진전되어 손을 쓰기에는 늦은 경우가 대부분이기 때문에 그 피해는 커지기 마련이다. 특히 토양 병발생을 사전에 예찰하기 위한 방법이 마땅치 않고 일단 병이 발생하였다 하더라도 토양속에 있는 지하부 침입부위를 대상으로 방제한다는 것은 약제의 사용방법, 침투력, 효율성 면에서 많은 문제가 있다(박창석, 1990).

현재의 작부체계를 보면 대부분의 경우 경제성이 있는 일정작물 또는 근연작물을 선정하여 같은 장소에서 계속 재배하므로 토양이화학성, 생물상의 획일화 경향을 피할 수 없는 상황이 되었으며 이러한 환경에서 토양병해의 발생은 연작장해의 주범으로 자리잡혀 가고 있으며 그 피해는 당분간 지속되거나 더욱 악화될 가능성이 있다.

*Corresponding author

Phone)+82-31-290-0402, Fax)+82-31-290-0453

E-mail)choonghoekim@rda.go.kr

국내 토양병 발생현황

토양병을 일으키는 대표적인 병원체는 곰팡이로 *Phytophthora*속(역병균), *Pythium*속(잘록병균, 뿌리썩음병균), *Fusarium*속(시들음병균, 뿌리썩음병균), *Rhizoctonia*속(뿌리썩음병균, 밀둥썩음병균), *Verticillium*속(반쪽시들음병균), *Sclerotium*속(흑색썩음균핵병균), *Plasmodiophora*속(무사마귀병균), *Sclerotinia*속(균핵병균), 세균으로 *Ralstonia*속(꽃머름병균), *Erwinia*속(무름병균), *Pseudomonas*속(세균성썩음병균), *Agrobacterium*속(뿌리혹병균)이 있고 바이러스로는 TMV(담배모자이크바이러스), CGMMV(오이녹반모자이크바이러스)가 대표적이다. 이들은 대부분 토양내 혹독한 환경에서도 견딜 수 있는 내구체를 만들거나 토양내 남아있는 식물체 조직속에서 장기간 생존할 수 있도록 적응되어 있으며 또한 *Fusarium*과 같이 기주가 분화된 몇몇종을 제외하고는 대부분 여러 가지 작물을 침해할 수 있는 다범성인 병원체들이다. 이들중 최근 우리나라에서 대발생하여 큰 피해를 초래하고 있는 병해의 발생현황을 소개해 보면 아래와 같다(Table 1).

십자화과 무사마귀병. 최근 무·배추 재배의 가장 큰 문제로 대두되고 있는 병해다. 원래 우리나라에서는 1926년부터 조금씩 발생되고 있었으나 1997년 경기도 연천의 대홍수에 의한 침수로 병원균이 물을 따라 이웃으로 퍼

져 집단적으로 발생하므로써 사회문제화 되었다. 이 해의 발생면적은 5개도 9개시군에서 275 ha, 이듬해에는 295 ha로 약간 증가하였다가 '99년에는 5개도 25개시군에서 700 ha가 발생하여 해마다 발생면적이 확대되고 있다. 특히 경기, 강원외의 고랭지 배추·무에 급격히 번져서 이지역 생산의 가장 큰 제한요인으로 되었으며 지금은 평지에까지 내려와 경기 평택, 파주, 충남 당진, 아산, 청양, 전북 남원, 전남 담양, 해남, 경북 봉화 등 무·배추를 재배하는 곳이면 어디든지 발생하는 일반적인 병해가 되었다(김충회 등, 1999)(Table 2).

병원균은 곰팡이의 원조인 끈적균의 일종(*Plasmodiophora brassicae*)으로 토양에서 수년간 생존하며 주로 병든 무·배추 뿌리의 흑 조직에서 살다가 환경이 좋아지면 발아하여 무·배추의 잔뿌리를 침입하여 뿌리혹을 만든다. 가을재배보다는 봄재배에서, 사질토 보다는 부식질이나 점토질 토양에서 발생이 심하다. 토양내 존재하는 병원균의 휴면포자는 주위 환경에 견디는 힘이 매우 강해 여간해서 잘 죽지 않으며 배추·무·양배추를 연작하는 밭에서는 해마다 병원균이 토양에 누적되어 병 발생이 점점 심해진다(김충회 등, 2000a)(Table 3).

고추 역병. 명실상부한 고추생산의 가장 큰 제한요인이 되는 병해다. 8월이후 고추밭에서 벌겋게 타죽은 고추는 역병에 의한 것이라 해도 거의 틀림이 없다. 병원곰팡

Table 1. Important soilborne diseases and their hosts occurring on economic crops in Korea

Disease name	Type of pathogen	Host plant	Overwintering form	Survival period (year)
Phytophthora disease	fungus	cucurbit, solanaceous crop, green onion, strawberry	oospore	2~8
Fusarium wilt	fungus	cucurbit, tomato, eggplant, crucifer, strawberry, sweet potato, lettuce, spinach, sesame	chlamyospore	5~15
Sclerotinia rot	fungus	cucurbit, solanaceous crop, crucifer, green onion, onion, lettuce, strawberry, carrot	sclerotium	2~5
Aphanomyces root rot	fungus	crucifer	oospore	2~5
Pythium root rot	fungus	ginger	oospore	2~5
Club root	fungus	crucifer	resting spore	2~7
White rot	fungus	garlic, green onion, onion	sclerotium	several years
Verticillium wilt	fungus	eggplant, tomato	sclerotium	5~15
Monosporascus root rot	fungus	cucurbit	ascocarp	several years
Corticium rot	fungus	cucurbit, solanaceous crop, crucifer, legumes	sclerotium	2~5
Scab	actinomyces	potato	spore	semi-permanent
Soft rot	bacteria	solanaceous crop, crucifer, lettuce, green onion, carrot	cell	several years
Bacterial wilt	bacteria	solanaceous crop, sesame, lettuce, radish, soybean, strawberry	cell	several years
Black rot	bacteria	crucifer	cell	several years
TMV	virus	solanaceous crop	particle	1 to several years
CGMMV	virus	cucurbit	particle	1 to several years

Table 2. Severity of club root of crucifer growing in major production areas in 1999

Province(region) surveyed	% field diseased	% incidence in diseased field
Gyeonggi (Pajoo, Yeonchun, Pyongtaek)	27~64	10~100
Gangwon (Pyongchang, Taebaek, Cheolwon)	33~60	1~100
Chungnam(Cheongyang)	20	30
Jeonbuk(Namwon)	100	1~30
Jeonnam(Damgyang, Haenam)	7~40	10~100
Gyeongbuk(Bongwha)	36	5~30

Table 3. Soil density of resting spores of club root pathogen in chinese cabbage-growing fields in Pyongchang, Gangwon province in 1999's survey^a

No. resting spore/g soil	Frequency of fields(%)
<10 ⁴	30.4
10 ⁴ ~10 ⁵	39.1
10 ⁵ ~10 ⁶	17.4
10 ⁶ <	0

^aA total of 16 fields were examined.

이(*Phytophthora capsici*)는 대표적인 토양에 주거하는 곰팡이로 운동성이 있는 병원유주자가 토양내 수분을 따라 이동해서 고추의 땅가줄기를 침해하며 식물체 전체를 말라죽게 한다. 주산지에 해마다 발생하며 특히 생육기에 비가 많이 오는 해에는 건잡을 수 없이 피해가 크다(Hwang and Kim, 1995). 토양수분이 병원균을 이동시키므로 저습지, 물빠짐이 나쁜 식양질 토양에서 발생이 많다. 2000년 우리 나라 고추 주산지의 역병 발생주율은 43%에 달하였으며 작년에는 21%가 발생하였다(김충희, 2002)(Table 4). 고추는 대표적인 경제작물중의 하나로 생육기가 길며 주로 타작물을 재배하기 힘든 산간 경사지에 많이 재배

Table 4. Severity of phytophthora blight of red-pepper surveyed at major growing areas in late August in 2000~2001

Province	% plant diseased	
	2001	2000
Chungbuk	8.2	30.9
Jeonbuk	26.7	39.4
Jeonnam	29.6	58.9
Gyeongbuk	17.7	43.2
Average	20.6	43.1

되는 특성 때문에 연작이 불가피할 경우가 많아 토양내 전염원의 밀도를 증가시키는 원인이 되고 있다.

마늘 흑색썩음균핵병. 우리 나라 마늘 생산의 가장 큰 골칫거리로 등장한 병해로 매년 발생하여 심각한 피해를 가져오고 있다. 특히 발마늘 재배에서 발생이 심하며 한지형보다는 난지형 마늘에서 피해가 크다. 주산지인 전남 무안, 해남, 고흥, 경남 남해, 창녕에서 집단적으로 발생하며 최근에는 충남 서산지역에까지 올라와 점점 피해면적이 늘어나고 있으나 경북 의성지역에는 아직까지 발병이 없다. 병원균(*Sclerotium cepivorum*)은 불완전균에 속하는 곰팡이의 일종으로 토양속에서 균핵의 형태로 장기간 생존하며 가을 마늘 파종과 함께 균핵이 발아하여 종구를 침입하며 이듬해 2~4월에 병징이 나타난다. 이병된 종구는 점차 썩어 출아하지 못하거나 출아하여도 지상부 전체가 말라죽으며 썩은 종구표면에는 검정 코울타르와 같은 균핵으로 덮여 있다. 늦가을~겨울에 걸쳐 비나 눈이 많이 오고 온난한 해에 발생이 심하다. 그 해의 기상 에 따라 발생정도에 차이를 보이지만 매년 발병 포장비율이 20~40%에 달하는 피해가 큰 토양병해중의 하나다 (Table 5).

생강 뿌리썩음병. 생강의 최대병해로 생강재배 농민들에게는 '노랑병'으로 잘 알려진 병해다. 우리 나라 주산지인 충남 서산, 태안, 전북 익산 등지에서 6월

Table 5. Severity of white rot of garlic when surveyed at major growing areas in late April in 2000 and 2001

Region surveyed		% field diseased		Average incidence(%)	
		2000	2001	2000	2001
Jeonnam	Mooan	39.1	22.7	23.8	6.7
	Haenam	40.0	22.0	17.0	9.6
	Koheung	64.6	18.0	21.8	3.6
Gyeongnam	Namhae	47.6	13.8	22.1	6.3
	Changryung	76.9	37.5	32.6	20.0
Gyeongbuk	Euisung	0	0	0	0
Average		40.3	19.4	19.6	7.7

Table 6. Incidence of rhizome rot of ginger in Chungnam province in 1998

Region surveyed	Acreage(ha) surveyed	Acreage(ha) diseased	% incidence
Seosan	148.39	36.013	24.3
Taeon	70.85	19.273	27.2
Ammyon	6.57	1.637	24.9
Total/average	225.85	56.923	25.5

하순 이후 흔히 볼 수 있는 병해로 지상부가 노랗게 색깔이 변하거나 이미 시들어 말라죽은 식물은 거의 이병에 의한 피해로 생각해도 과언이 아니다. 병원균은 어느 토양속에서나 흔히 발견되는 토양 곰팡이의 하나인 *Pythium myriotylum*으로 역병균처럼 토양수분을 따라 전염하여 집단적으로 발생하며 심한 곳은 거의 전식물이 고사한다. 병원균은 생강 이외에 외류, 고추, 토마토 등 채소와 밀, 메밀 등의 식량작물 대두, 완두, 팥 등의 두류에도 발생하여 뿌리를 썩히는 매우 기주범위가 넓은 균으로 그만큼 토양에 대한 적응력이 큰 균이다. 생강 주산단지처럼 같은 포장에 계속 생강만 심는 것도 병 발생을 많게 하는 요인이 된다. 생육기 특히 6월~9월에 비가 많이 오는 해에는 견잡을 수 없을 정도로 병이 번져 피해가 크지만 매년 생강 재배면적의 20% 이상이 이 병에 의해 피해를 본다고 생각하면 틀림이 없다(김충희 등, 1996)(Table 6). 포장에서의 발생도 문제지만 생강 저장굴에서 생강을 썩히므로 피해가 더 커진다.

고구마 덩굴썩짐병(시들음병). 고구마가 땅콩을 대체할 수 있는 고소득작물로 인식되고 이에 따라 재배면적이 기하급수적으로 늘어나면서 문제병해로 대두되었다. 고구마를 주 경제작물로 재배하고 있는 경기 여주, 전남 해남, 전북 고창 등지에서 이 병 때문에 경작지를 계속 옮겨 다녀야할 정도로 피해가 크다. 병원균은 *Fusarium oxysporum* f.sp. *batatas*로 각종 작물의 시들음병, 위황병,

덩굴썩짐병을 일으키는 대표적인 토양서식 곰팡이다. 병원균은 토양속에서 후막포자의 형태로 장기간 생존이 가능하며 주로 식물체의 뿌리를 통해 줄기 도관부를 침해하여 식물체를 시들어 죽게 한다. 역병균류와는 달리 부식질이 많은 질칼흙 토양보다는 산성토양의 척박한 모래땅에서 발생이 많다. 고구마를 연작하면 토양내 병원균의 밀도가 높아져 조금씩 발병이 증가하다가 한계밀도 이상으로 높아지면 전포장에서 집단적으로 발생하여 포장을 황폐화시킨다(김충희, 2002)(Table 7).

감자·토마토 풋마름병. 세균병으로서는 무름병과 함께 채소에 가장 많이 피해를 가져오는 병해로 감자의 경우는 봄감자 보다 가을감자에서 발생이 많다. 우리나라에서는 1998년 이후 심하게 발생하고 있지만 발생지역이 제주 및 전남, 경남의 남해안 지역에 국한되어 있어 병든 씨감자를 통하여 전국으로 확산하지 않도록 무발병지역을 설정하여 타 지역확산을 규제하고 있다(Table 8). 그러나 최근의 조사에서 보면 발생지역이 남해안 지역에서 점차 위쪽으로 올라오는 경향을 보이므로 향후 면밀한 관찰이 필요하다. 토마토의 경우는 노지재배 뿐만 아니라 양액재배에서도 큰 문제가 되어 폐원되는 경우까지 속출하고 있다(Table 10). 병원균의 기주범위가 매우 넓어 감자·토마토외에 피해가 큰 작물로는 파프리카, 고추, 피망, 가지, 담배 등의 가지과 작물들이다(이승돈, 1999)(Table 9). 병원세균 *Ralstonia solanacearum*은 토양내 식물체의 뿌리나, 이병잔재물에서 장기간 생존하는 전형적인 토양세균으로 씨감자 등 영양번식 괴경이나 작물체 지하부의 상처를 통하여 식물체로 침입하며 주로 토양수분의 이동에 의하여 인접 식물체로 퍼져 집단적으로 발생하게 된다. 양액재배 토마토, 파프리카, 감자의 경우는 양액이 풋마름병균에 오염되면 오염 양액의 순환에 따라 순식간에 전체 식물체가 감염되어 피해가 커지므로 주의하지 않으면 폐원에 이르는 무서운 병해다.

수박 오이녹반모자이크바이러스(CGMMV). '98년 수

Table 7. Incidence of fusarium wilt of sweet potato growing in major production area in 2000 and 2001

Area surveyed		% field diseased		Frequency of field based on severity ^a			
		2000	2001	severe	high	intermediate	little
Gyeonggi	Euojoo	61.8	26.2	6	7	2	2
	Kangwha	21.0	9.1	0	0	1	1
Jeonbuk	Kochang	40.0	0	-	-	-	-
Jeonnam	Haenam	46.7	18.6	2	1	3	2
Gyeongnam	Kimhae	-	0	-	-	-	-
Total/average		52.7	10.8	8	8	6	5

^a Severe; % diseased plant over 40%; high: 20-40%; intermediate: 10-19%; little: <10%.

Table 8. Incidence of bacterial wilt of spring- and autumn-growing potato in major production areas in 1999 to 2001

Province surveyed	% field diseased					
	2001		2000		1999	
	spring	autumn	spring	autumn	spring	autumn
Jeonnam	13.1	28.3	4.9	25.5	15.2	17.5
Gyeongnam	8.7	40.0	7.4	18.0	6.5	45.7
Jeju	15.3	26.7	7.8	66.1	5.2	33.9
Total/average	12.4	31.7	6.7	36.5	9.0	32.4

Table 9. Pathogenicity types of *Ralstonia solanacearum* isolates to various solanaceous crops and their distribution in Korea

Pathogenicity type	Pathogenicity on					Biotype	Race	% distribution
	potato	tomato	pepper	eggplant	tobacco			
I	○	○	○	○	○	3, 4	1	27.5
II	○	○	○	○	×	3, 4	1	14.5
III	○	○	×	○	○	3, 4	1	11.6
IV	○	○	×	○	×	4	1	8.7
V	○	○	×	×	×	2, 3	1, 3	17.4
VI	×	○	×	×	×	2, 4	1, 3	10.1
Others	● ^a	●	●	●	●	2, 3, 4	1, 3	10.2

^avarious.**Table 10.** Incidence of bacterial wilt of tomato growing in open fields in 1998

Area surveyed	Time of survey	Acreage (pyong) surveyed	% acreage diseased	
Chungbuk	Choongju(Sinni)	May	2,500	45
	Choongju(Yongdu)	Jul	3,500	80
Chungnam	Hongsung	Sep	1,500	21
Jeonbuk	Iksan	Oct	3,400	24
Gyeongbuk	Angang	May	3,200	19
Gyeongnam	Jinju	Sep	2,600	23
Total/average			16,700	35.3

박대목용 박과종자가 감염되어 큰 피해를 초래한 후 현재에 이르기까지 수박 및 오이 재배단지의 문제병해로 남아있다(Table 11). 그러나 '99년 이후 체계적인 방제활동이 이루어져 점차 발생이 줄어드는 경향이다. 병원바이러스(cucumber green mottle mosaic virus)는 다른 바이러스처럼 진딧물 등에 의한 충매전염을 하지 않고 종자나 토양을 통하여 이웃으로 퍼지기 때문에 방제가 쉽지 않으며 토양속에서도 안정적으로 장기간 생존이 가능하다. 오염된 종자내의 병원바이러스를 제거하기 위하여 열처리나 제3인산소다 같은 약제를 사용하지만 완벽한 소독이 어렵기 때문에 무병지에서 채종한 종자를 사용하는 것이 최선이다. 또한 병원바이러스는 식물체의 즙액에 의하여 손쉽게 접촉 전염하므로, 접촉, 적과, 적엽, 순자르기 등

을 할 때 매번 기구나 손을 10% 탈지분유액으로 소독하는 등의 위생관리가 필요하다.

기타 병해. 이외에 최근 발생이 심해지는 박과작물의 검은점뿌리썩음병, 균핵병, 배추의 무름병, 뿌리마름병, 검은썩음병, 밑동썩음병, 가지과 작물에 피해가 큰 더뎡이병, 담배모자이크바이러스, 반쪽시들음병, 흰비단병 등도 모두 병원균이 토양에 서식하면서 병을 일으키는 토양전염성 병해들로서 연작장해의 주요 원인이 되고 있다.

토양병 다발생의 원인

동일포장내 특정작물의 연작. 우리 나라는 경지면적이 협소하고 영농의 규모가 영세하기 때문에 재배하여 이

Table 11. Incidence of cucumber green mottle mosaic virus(CGMMV) of watermelon in major production areas in 1999~2000

Area surveyed		2000		1999	
		% field diseased	% plant infected	% field diseased	% plant infected
Chungnam	Buyeo	-	-	16.7	15.3
	Nonsan	-	-	33.3	21.1
Jeonbuk	Gochang	33.3	0.1	25.0	-
Gyeongbuk	Sungju	23.1	0.2	21.4	10.1
	Goryung	25.0	0.2	25.0	5.2
	Andong	0	0	27.3	19.4
	Yechun	8.3	2.9	37.5	18.3
	Gumi	37.5	5.7	25.0	4.7
	Dalsung	100	30~50	-	-
	Gunwi	100	5~50	-	-
Gyeongnam	Haman	50.0	30~80	16.7	0.1
	Jinju	75.0	50~100	33.3	43.3
	Euiryung	60.0	50~80	-	-
	Changryung	66.7	50	-	-
	Changwon	100	70	-	-

득을 볼 수 있는 경제작물의 수도 그만큼 적고 또 이들을 대체할 수 있는 작물도 마땅치 않기 때문에 농민들 입장에서 보면 돈이 되는 작물의 연작은 거의 불가피하다 해도 과언이 아니다. 또한 작금의 재배양식을 보면 지역 별로 재배환경이 맞는 곳을 주산단지로 권장하여 생산자의 전문화가 이루어지고 있고 시설재배기술의 향상에 의해 주년 재배가 가능해지고 유리온실 등 고정시설에서의 지속적인 생산 등이 가능해짐에 따라 지역 특성에 맞는 특정 작물의 연작은 현실적으로 거의 피할 수 없는 상황에 와 있다.

같은 작물을 동일포장에 계속적으로 심게 되면 토양내의 생물적 균형이 깨져 그 작물과 관련이 있어 생존이 가능한 미생물(예: 병원균)만 살아남고 나머지 관련이 없는

유익한 미생물은 점점 그 밀도가 줄어들어 미생물의 종류가 단순해질 뿐만 아니라 그 수도 줄어들어 생물상이 단순해지는 것이 일반적인 경향이다(최성호 등, 1997)(Fig. 1). 그 작물에서 영양 취득이 가능한 병원균들은 연작할 수록 점점 그 밀도가 늘어나게 되며 병원균들과 토양에서 함께 경쟁상태에 있던 균들이 쇠퇴함에 따라 병원균들의 독점적인 증식이 가능하게 되어 그 수가 병을 일으킬 수 있는 한계밀도를 넘어가면 심하게 발생하게 된다.

참깨의 경우를 보면 참깨를 연작했을 때 Fig. 1에서 보는 바와 같이 다른 작물과 윤작하는 경우에 비해 미생물량이 급격히 줄어들며 대신 병원균이 선택적으로 증식하게 되어 참깨를 재배하면 할수록 시들음병 발생은 증가하게 된다(강승원 등, 1986)(Table 12).

연작에 의한 또 하나의 피해는 토양이·화학성의 악화로 할 수 있다. 특정작물을 연이어 재배하게 되면 그 작물에 필요한 영양소만 흡수되는 대신 필요없는 영양원소들은 토양에 계속 남아 있게되어 영양의 불균형을 초래할 뿐만 아니라 그 작물의 뿌리에서 분비되는 parabenzoic acid, HCN 등 독소물질이 토양에 누적하게 되어 작물의 자람을 방해하고 뿌리를 손상시켜 병원균의 침입처를 제공하게 된다. 토양독소 뿐만 아니라 토양에 남아있는 염류들도 연작년수가 길어짐에 따라 그 양이 집적되어 염류농도가 높아지면 식물체의 수분이 토양내로 다시 빠져나와 식물체가 시들어 죽게되는 소위 염류장해 현상이 일어나며 염류장해가 일어나면 뿌리가 손상 받게되고 따라

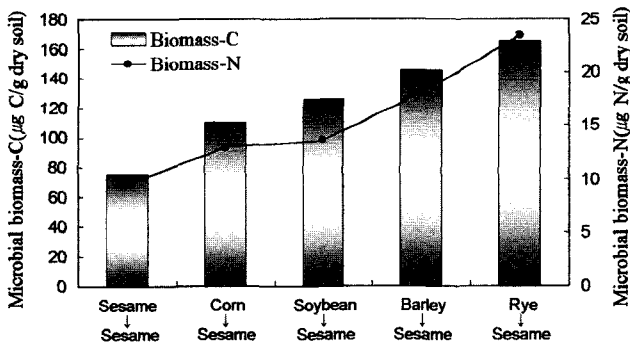


Fig. 1. Change of microbial biomass in soil with different cropping system.

Table 12. Incidence of fusarium wilt of sesame growing in fields with different cropping system

Cropping system	% plant wilted
Five-year continuous monocropping	49.9
Every 1-year rotation with upland rice	25.6
Every 2-year rotation with upland rice	22.6
Every 3-year rotation with upland rice	17.6

Table 13. Comparison of population density of *Plasmodiophora brassicae* in soil from different source

Soil source	No. resting spores/g soil
Play ground	7.5×10^3
Mountain	0
Pine field	0
Grass field	2.3×10^3
Chinese cabbage field	2.7×10^5
Pepper field	1.6×10^4
Angelica field	3.6×10^3

Table 14. Incidence of root discoloration and fusarium wilt of tomato in relation to salt accumulation in field soil

Salt concentration (dS/m)	Degree of root discoloration ^a	% plant wilted
8.2	+++	80
6.0	+++	40
3.5	++	10
1.0	+	0

^a +++, ++ and + : Over 50%, 20-50% and less than 20% of roots were discoloured to brown, respectively.

서 병원균의 침입을 유도하게 된다(Table 14)(양성석 등, 2000b).

작물을 연속하게 되면 토양의 물리성도 연속하는 작물의 습성과 관련된 쪽으로 변화하여 균형이 깨지게 되는데 가장 큰 피해는 토양이 압축되어 가밀도가 높아지고 토양내 공극률이 줄어들어 결국 토양내 통기성이 나빠지므로 뿌리의 생육에 지장을 초래하며 병 발생을 촉진한다(Table 15). 이와 같은 현상은 참깨의 포장실험에서도 잘 나타나고 있다(최성호 등, 1997).

이와 같은 연속에 의한 부정적인 결과들은 모두 수량에 악영향을 주어 Table 16에서 보는 바와 같이 연속년수가 길어질수록 생산성이 급격히 떨어지는 결과를 초래하게 된다(강승원 등, 1986). 앞서 언급하였듯이 연속을 하게 되면 토양병 발생이 급격히 늘어나게 되는데 최근에 우

Table 15. Change of physical property of field soil in relation to cropping system with sesame

Cropping system	Soil bulk density (g/cm ³)	Soil porosity (%)
Sesame-Sesame	1.49	43.9
Corn-Sesame	1.41	47.5
Soybean-Sesame	1.37	49.7
Barley-Sesame	1.30	51.2
Rye-Sesame	1.32	51.6

Table 16. Yield loss of sesame in relation to different cropping system

Cropping system	Yield (kg/10a)	Relative yield index	% yield loss
First year cultivation	77	100	0
Three-year monocropping	51	63	34
Five-year monocropping	39	51	49

리나라 채소의 주요 연작지를 대상으로 연작장해의 원인을 조사한 결과 80%의 농민들이 토양병 발생을 연작장해의 주원인으로 꼽아 토양병 발생이 심각한 수준임을 반증하고 있다.

우리나라 토양의 특수성. 우리나라 토양의 대부분은 석회, 고토, 칼리 등 염기성물질이 적은 화강암으로 되어 있어 여름에 비가 많이 와 염기성 물질의 유실이 많으며 유안, 염화카리와 같은 산성비료를 많이 쓰기 때문에 토성이 산성화 되어 pH 6 이하의 토양이 65%에 달하고 있고 pH 7 이하의 토양은 95%에 이른다(농업기술연구소, 1992). 산성토양은 대부분의 토양전염성 곰팡이들의 번식에 알맞아 시들음병, 균핵병, 역병, 밀둥썩음병, 무사마귀병 등의 발생을 증가시키는 원인으로 작용한다. 반면에 토양내 유용 미생물의 대부분을 차지하고 있는 세균들의 번식은 중성이나 약알카리 토양에서 양호하므로 산성토양으로 인한 유용세균의 생육불량은 병 발생을 가중시키는 원인이 되고 있다. 이러한 면에서 토양산도를 높이기 위하여 석회를 토양에 사용하는 것은 매우 바람직하긴 하지만 작물의 생육기에 비가 많이 오는 우리나라 환경에서는 빗물에 의한 석회의 유실이 많아서 토양개량 효과가 미미한 것이 문제로 남아있다.

토양내 유기물 함량이 낮다는 것도 토양병 발생을 많게 하는 한 요인으로 작용하는데 우리나라 토양의 평균 유기물 함량은 1920년대의 3.4%에서 1970년대에 2.0%로 감소하였으며 그 주원인으로 단기 생산성을 높이기 위한 화학비료 편중 농사, 생산비 및 노동력 절감정책, 농촌의 일손부족 등에 의한 퇴비생산 곤란 등을 꼽을 수 있다

(농업기술연구소, 1992). 그 원인이야 어쨌든 간에 토양내 유기물이 적어지면 그것을 영양원으로 삼는 유익한 미생물의 번식이 줄어들게 되고 따라서 토양병원균의 독점적 증식을 억제할 수 있는 토양의 정화능력이 약화되어 결과적으로 토양병 발생을 많게 하는 요인이 되고 있다. 또한 토양내 적정수준의 유기물은 직접 식물체의 영양원으로도 이용되어 식물체의 건전한 생육을 유도하므로써 간접적으로 식물체의 병에 대한 저항력을 키우는 역할도 하므로 토양병 방제에 부가적인 효과가 있다.

품질 및 수량위주의 품종육성. 품종이 전문적으로 육성 보급되기 전에는 재래종을 포함한 유전적 배경이 틀린 다양한 품종들이 재배되고 있어서 병해의 문제는 일부지역의 특정품종에 국한되어 있었다. 특히 재래종의 대부분은 과거 수십여년 동안 그 지방의 재배환경에 잘 적응되어온 품종들이므로 토양병을 포함한 여러 가지 악조건에서 잘 견디게 진화하여 생존한 품종들이라고 할 수 있다. 그러나 최근들어 품질 좋고 수량이 많은 품종들이 집중적으로 육성되어 선택적으로 재배하게 되었는데 품종육성의 과정에서 지나치게 품질이나 수량에 치우쳐왔기 때문에 병에 대한 저항성은 그만큼 소홀히 다루어져 왔던 것이 사실이다. 이 때문에 작금의 농가 보급품종의 많은 수가 병해에 대한 저항력이 낮거나 아주 없는 수준에 와있다(Table 17). 외국의 연구결과를 보면 품질이나 수량의 우수성이 병에 대한 감수성과 정의 상관이 있음이 종종 보고되고 있는데 이런 면을 고려하면 수량이나 품질에서 우수한 품종의 선택적 재배는 토양병에 대한 감수성을 증가시키는 한 요인으로 작용하고 있다. 이외에도 소수품종의 광범위한 면적에서의 대량재배는 그 품종을 침해할 수 있는 토양병원균의 선발압이 커져 때에 따라서 병의 대발생을 초래할 염려가 있다. 결과적으로 품종육성이 품질이나 수량쪽에 너무 치우치고 병 저항성의 면이 소홀히 다루어지는 현실에서는 병 발생 만연의 소지는 항구적으로 지속된다고 할 수 있겠다.

토양병해 발생의 특수성에 대한 인식부족. 토양병해 발생에 대한 재배자나 연구자들의 인식부족도 병 발생을 많게 하는 한 요인이 되고 있다. 토양병해는 지상부에 국

부적으로 발생하여 피해를 주는 흰가루병, 잿빛곰팡이병, 노균병과는 여러모로 큰 차이가 있다. 따라서 그 발생의 특수성을 인식하여 조기에 대처하지 않으면 집단적으로 발생하여 큰 피해를 초래하기가 쉽다(박창석, 1990).

지상부의 병해는 병의 발생이 잎이나 줄기에 극부적으로 나타나며 눈으로 쉽게 확인이 가능하기 때문에 병든 부위의 제거나 약제의 살포에 의하여 병에 걸리지 않은 부위를 보호할 수 있다. 또한 병원균이 지상부의 병환부에 노출되어 있는 경우가 대부분이기 때문에 병 발생초기에 약제살포 시기를 선택할 수 있고 약액과 병원균과의 접촉이 용이하므로 효율적인 약제방제가 가능하다. 그러나 토양전염성 병해는 병원균이 토양속에 살고 있으므로 존재범위가 지상부 병해처럼 병환부에 국한되어 있지 않고 토양내 넓게 분포하고 있으며 병원균이 존재하는 곳을 가리기가 어렵다. 또한 식물체의 뿌리나 줄기의 도관부, 혹은 땅가부근의 줄기를 침해하여 주 전체를 고사케 하는 전신적 병해를 초래하므로 병 발생초기에 발견하였다 하더라도 이미 시기가 늦어 병 방제가 불가능한 경우가 대부분이다. 병원균의 토양내 광범위한 분포는 예방위주의 약제방제라도 병원균과 약액의 접촉 기회가 매우 적어 효과가 떨어질 뿐만 아니라 시용약량도 많은 분량을 요구하므로 경제성이 없을 때가 많고 토양내 잔류독성 등의 환경오염 문제를 초래할 가능성도 있다. 또한 지상부 병해는 병의 발생예찰이 어느 정도 가능하지만 토양병해는 그 발생양상이 포장의 지형, 재배력, 토양의 이화학적 등의 요인에 따라 매우 다르기 때문에 여러 포장에 동시에 적용할 수 있는 효과적인 병 발생예찰은 사실상 불가능하다.

토양병에 대한 약제방제의 효과를 보면 병원균이 토양속에 넓게 퍼져 있으므로 지상부의 약제살포로는 토양내 골고루 분산침투하여 효과를 발휘하기가 어렵기 때문에 지상부 병해와는 달리 약제방제 효과가 낮다는 특징이 있다(김충희, 1993)(Table 18). 현재 토양처리용 약제로 분제, 관주제, 입제, 훈증제 등이 있으나 그 종류가 극히 제한되어 있고 훈증제를 제외하면 토양내 침투력이 낮을 뿐만 아니라 적용범위가 매우 좁고 효과도 저조하기 때문

Table 17. Degree of cultivar resistance of tomato, pepper, chinese cabbage and cabbage to their prime diseases in Korea

Crop	Prime disease	No. cultivar			
		total	resistant	intermediate	susceptible
Tomato	fusarium wilt	23	0	1	22
Pepper	phytophthora blight	50	0	2	48
Chinese cabbage	club root	55	0	5	50
Cabbage	club root	15	0	1	14

Table 18. Inhibition of phytophthora blight incidence of pepper by fungicide application in major production areas

Year	Region	% disease incidence	
		fungicide application	untreated
1987	Gyeongbuk Euisung	23	43
	Chungbuk Choongju	7	21
	Jeonbuk Imsil	12	22
1988	Gyeongbuk Euisung	42	51
1989	Chungbuk Choongju	63	87
1990	Chungbuk Goisan	16	37
	Choongju	35	77
Average		26	48

Table 19. Reduction of club root incidence of chinese cabbage by crop rotation in field in 2000

Cropping system	% incidence	Pathogen density (No. resting spore/g soil)
Angelica-Angelica-Cabbage	56	7×10^3
Radish*-Radish*-Cabbage	0	6.2×10^3
Turnip-Turnip-Cabbage	98	3.6×10^4
Cabbage-Cabbage-Cabbage	93	2.3×10^4

*: Resistant radish.

에 약제 방제만으로 토양내의 병원균을 효과적으로 방제한다는 것은 현실적으로 불가능하다.

토양병해 종합관리 대책

합리적 작부체계의 도입운영. 작부체계는 토양병해 발생에 의한 연작장해를 근본적으로 해소할 수 있는 최선의 방법이나 현실여건이 맞지 않는 데에 큰 문제가 있다. 경제여건이 맞지 않는다고 가장 효과적인 타개책을 도외시한다면 토양의 악화에서 비롯되는 제반 문제들은 점점 더 나빠져 이윽고 견잡을 수 없는 상황에까지 도달할 수 있다. 따라서 경제성만 탓하지 말고 지역의 특수성을 고려하여 가능한 몇몇 작목을 선정한 후 표준 작부체계를 만들어 운용하는 것이 매우 절실하며 시급한 문제다. 같은 작물을 심지 않는다는 것은 토양내 병원균에게 영양원을 계속 공급하지 않는다는 것을 의미하며 영양원이 없는 병원균은 점차 그 밀도가 줄어들게 되고 굶는 기간이 길어지게 되면 결국은 사멸에 이르게 될 수밖에 없다(농촌진흥청, 2001b)(Table 19).

앞에 언급한 바와 같이 토양병원균은 약제살포에 의해

잘 죽지 않는다. 그러나 작부체계(윤작 등)를 잘 운용하면 이와 같이 방제하기 어려운 병원균도 효과적으로 제어할 수 있으며 따라서 연작장해 현상도 쉽게 해소할 수가 있다(김충희 등, 1996)(Table 20). 작부체계의 효과는 거리가 먼 작물을 윤작할수록 그 효과가 커지는데 이것은 원거리 작물들일수록 병원균을 공유할 수 있는 가능성이 적어지고 영양원의 이용성 등 토양의 이화학성에서 서로 보완적인 역할을 할 가능성이 높아지며 미생물상의 측면에서도 기주가 워낙 다르기 때문에 한쪽으로 치우쳐진 미생물 분포를 되돌릴 수 있는 기회가 높기 때문이다. 작물이 달라지면 그 작물의 뿌리에서 분비되는 물질에 의해 그 전작물에 기생하여 살던 병원균이 정화되는 효과가 매우 높다. 이러한 현상은 Allelopathy(타감작용)의 한 기작으로 이미 알려진 것이지만 비기주 작물을 재배한 토양에서 병원균의 생존 및 발아가 억제되는 것으로 설명될 수 있다(김충희 등, 2000b)(Table 21). 고추 역병을 대상으로 시험한 결과를 보면 콩과 작물이나 참깨와 같은 유지작물, 혹은 파 등의 작물들과 윤작하면 고추를 재배하지 않고 내버려둔 경우보다 훨씬 더 병 발생을 줄이는 효과가 있었다. 경제성 면에서 큰 문제가 없다면 원거리 작물을 윤작한다는 차원에서 채소의 경우는 두류, 화본과 작물(백류, 옥수수 등), 혹은 참깨, 들깨, 땅콩 등과 같이 작부체계를 조합하여 운용하면 농약 사용 없이도 토양병의 발생을 효과적으로 억제할 수 있는 좋은 수단이 되리라 생각된다. 이와 같이 작부체계의 효과는 비기주 작물의 재배에 의한 병원균 영양원의 차단효과, 비기주 작물 뿌리 분비물질에 의한 직접적인 병원균 정화작용, 그리고 토양미생물상, 이화학성의 변화에 의한 간접적인 병원균 억제효과 등으로 나누어 생각할 수 있다.

작부체계중에서 가장 효과적인 것은 담전윤환의 형태다. 논밭의 윤환이 가능한 곳은 이같은 방법으로 토양병의 발생을 효과적으로 억제할 수 있다. 대부분의 토양병원균은 호기성이므로 벼를 재배하는 기간 동안의 담수상태에서 급격히 그 밀도가 감소하거나 사멸하므로 벼를 재

Table 20. Incidence of rhizome rot of ginger in relation to cropping system in field

Cropping system	% incidence
First year cultivation	2.3
Paddy rice rotation	5.0
Every one-year rotation	0.6
Every two-year rotation	10.7
Two-year monocropping	22.6
Four-year monocropping	26.3

Table 21. Inhibition of germination of resting spores of *Plasmodiophora brassicae* by root exudate of various plants

Origin of root exudate	% germination of resting spores
Lettuce	15~20
Spinach, melon, eggplant, barley, soybean, green pea	21~30
Tomato, carrot, jobs-tears, cucumber, water-melon, welsh-onion, crown daisy, chard, wheat, rye, sorghum, corn, red-bean	31~40
Kidney bean, radish	4~50
Chinese cabbage	51~60

배하는 논상태만으로 훌륭히 토양을 소독하는 부수적인 효과가 있다. 이의 가장좋은 예가 마늘, 양파에서 가장 문제가 되는 흑색썩음균핵병이라 할 수 있는데 이병은 밭마늘에서는 견잡을 수 없을 정도로 피해가 크지만 논마늘에서는 거의 피해가 없다(Table 22). 왜냐하면 논 상태에서는 흑색썩음균핵병균의 월동형태인 균핵이 생존할 수 없을뿐더러 밭상태의 월동균핵도 논상태로 되면 모두 부패 사멸하기 때문이다. 또 다른 예로 외류, 고구마에서 문제가 되는 덩굴썩김병을 들 수 있는데 오이밭을 논으로 바꾸면 토양내 fusarium 병원균이 혐기상태에서 살 수 없기 때문에 그 밀도가 급격히 줄어들어 발병이 억제된다(최진식, 박창석, 1982)(Fig. 2).

이와 같이 지역적 여건에 맞는 합리적 작부체계를 개

발 운용하는 것은 농업토양의 안정적 유지, 연작장해의 해소, 환경친화적 병해방제의 측면에서 매우 바람직한 방법이므로 근시안적으로 단순히 경제적인 측면만을 부각시켜 가능, 불가능만을 따진다는 것은 여러모로 생각해 봐야 할 점이 있다.

토양환경의 개선. 앞서 언급한 작부체계의 운용도 토양환경 개선의 가장 효과적인 방법중의 하나지만 이것이 불가능 할 때 연작지의 경우 객토, 유기물 및 석회시용 등의 인위적인 토양개량이 토양의 건전성, 생산성을 유지 시키는데 필수적이다. 우리 나라처럼 집약적인 농업방식으로 년중 토양을 놀리지 않는 재배양식에서는 토양의 흑사는 거의 불가피하며 도시 근교 농업에서 보는 바와 같이 작기가 짧은 작물로 년중 3~6회 재배하는 곳에서의 제반 토양성상의 악화는 이미 염려할 만한 수준에 도달해 있다. 이러한 토양에 생산성을 유지시켜 지속농업을 가능케 하는 방법의 가장 큰 골자는 토양내에서 작물생산으로 수탈한 만큼 되돌려주는 일일 것이다. 이를 위하여 토양을 재배하지 않고 내버려두는 방법, 처너지 토양으로 객토하는 방법, 수탈된 석회 등 영양원소나 유기물을 되돌려 주어 토양의 이화학성이나 생물상을 개선해 주는 방법 등 여러 가지가 있을 수 있으며 이와 같은 방법은 현지 재배토양의 특성을 분석한 후 그것에 맞는 적절한 방법을 선택하므로써 상용할 만한 효과를 기대할 수 있을 것이다. 유기물의 시용도 무조건 많이 준다고 좋은 것만은 아니며 유기물의 종류, 부숙정도, 시용량, 작물의 종류, 대상병원균에 따라 그 효과가 다르므로 그 방법의 전문가와 상의하여 시용하는 것이 바람직 할 것이다(양성석 등, 2000a)(Table 23, 24).

복합저항성 품종의 육성. 병 방제의 측면에서 저항성 품종의 개발은 그 육성에 많은 시간과 노력, 경비가 들지만 일단 개발하고 나면 경제성이나, 방제효과, 농업환경의 보호 측면에서 가장 이상적인 방제 방법이다. 그러나 불행하게도 현재는 품종 육성이 품질이나 수량증진을 목표로 하여 수행되어 왔기 때문에 병해 저항성을 목표로 한 육종은 최근에 병 문제가 불거져 시급히 해결하지 않

Table 22. Incidence of white rot of garlic in relation to cropping system at Namhae in Gyeongnam province in 1999

Area surveyed	No. fields surveyed	% incidence	
		paddy-upland rotation	upland cropping
Seomyon	96	<0.1	19.4
Nammyon	51	0	15.7
Idongmyon	43	0	15.0

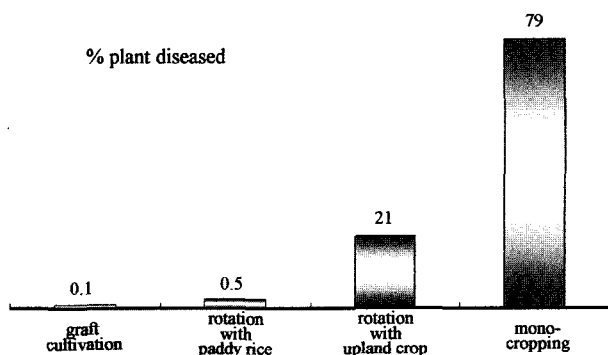


Fig. 2. Incidence of fusarium wilt of cucumber plants growing in field with different cultivation method or cropping system.

Table 23. Incidence of fusarium wilt of cucumber and tomato in pot soil applied with organic manure from livestock

Organic manure	% fusarium wilt incidence		Average
	tomato	cucumber	
Chicken	57.1	48.1	52.1
Pig	28.6	37.0	33.3
Cow	14.3	14.8	14.6

Table 24. Incidence of fusarium wilt of cucumber in relation to application of organic manure with different maturity in greenhouse test

Origin	Degree of maturity	% plant diseased	Degree of root discoloration ^a
Chicken	mature	55	+
	immature	100	++
Pig	mature	40	+
	immature	100	++

^a++ and + : 20-50% and less than 20% of roots were discolored to brown, respectively.

으면 안될 작금에 이르러 시작되어 아직은 이렇다 할 결과물이 없는 상태다. 그 결과 현재 시중에 나와 있는 품종의 대부분이 그 작물의 으뜸병해에 매우 취약한 상태에 있기 때문에 그만큼 병해방제에 많은 시간과 노력을 기울이지 않으면 기대할 만한 성과를 얻을 수 없는 경우가 허다하여 토양병 발생이 최대의 현안문제로 떠오른 한 원인이 되었다. 그러나 저항성품종 육성은 일단 괄목한 만한 품종이 육성되었다 할지라도 대부분의 경우 새로운 병원균 혈통의 출현에 의해 그 품종이 가지고 있던 저항성이 무너질 수 있으므로 병원균 혈통의 변화 양상을 추적하여 계속 이루어지지 않으면 안 된다는 점에서 그리 쉽지 않은 작업이다.

또한 특정작물의 한 병해에 대해 저항성이라 할지라도 그 작물의 다른 중요한 병에는 감수성일 경우가 허다하므로 그 작물의 주요병해에 대해 모두 저항성인 복합 저항성품종을 육성하는 것이 매우 바람직하다. 더구나 지상부의 병해 같으면 효과적인 약제방제가 가능하므로 큰 문제가 없겠지만 약제 방제효과가 낮은 토양병해의 경우에는 다른 대체수단이 없기 때문에 복잡 저항성품종의 개발은 매우 시급하며 절실한 과제가 되고 있다(Table 25). 한 병해에 대한 저항성품종의 육성도 수년~수십년의 기간이 필요하거늘 여러 병해에 대한 저항성품종의 육성은 그만큼 더 많은 시간과 노력이 필요하기 때문에 어려운 점이 한두 가지가 아니겠으나 장기적인 안목에서 지금부터 조금씩 이에 대한 노력을 기울인다면 우리 후손들은

Table 25. Crops and diseases urgently needed breeding for resistance to multi-diseases

Crop	Target diseases
<u>Crucifer</u>	
Chinese cabbage, radish	club root, soft rot, virus
Cabbage	club root, black rot
<u>Solanaceous crop</u>	
Pepper	phytophthora blight, anthracnose, virus
Tomato	phytophthora blight, gray mold, fusarium wilt, bacterial wilt, virus
Potato	phytophthora blight, bacterial wilt, scab, virus
<u>Cucurbit</u>	
Cucumber	downy mildew, scab, gray mold, virus
Watermelon, melon, chinese melon	phytophthora rot, monosporascus root rot, gummy stem blight, CGMMV
<u>Liliaceae</u>	
Garlic, green onion, onion	white rot, downy mildew, virus
<u>Others</u>	
Strawberry	anthracnose, fusarium wilt, powdery mildew
Lettuce	sclerotinia rot, soft rot
Ginger	rhizome rot
Sweet potato	fusarium wilt, virus

머지 않은 장래에 병에 대한 큰 염려 없이 농사지을 수 있는 날이 반드시 올 수 있으리라 생각된다.

당장은 마땅한 저항성품종이 없는 작목중 접목이 가능한 작물에서는 저항성품종 대신에 저항성 대목을 이용하는 방법이 있으며 그 효과는 저항성품종 재배시와 동일하다(최진식, 박창석, 1982). 이와 같은 방법으로 외류 덩굴쪄김병 방제를 위한 박·참박 등의 대목이용, 토마토 꽃마름병이나 시들음병을 방제하기 위한 홍진101호 등 저항성 대목 이용이 이미 상용화되어 널리 쓰이고 있다(Fig. 2).

저항성품종의 재배가 바람직한 또 하나의 이유는 저항성품종을 재배하므로써 약제 방제효과가 크게 높아진다는 점이다. 품종의 저항성 정도는 아주 높은 것에서부터 낮은 것까지 상대적이다. 따라서 가능한한 농민들이 병에 덜 걸리는 품종을 선택하여 재배하면 병에 아주 잘 걸리는 품종을 재배할 때보다 약제방제 횟수도 줄고 또한 방제효과도 아주 높아진다(김충희, 1993)(Table 26). 마치 건 강한 사람이 질병에 걸리더라도 몸이 약한 사람보다 쉽

개 병이 치유되는 것과 마찬가지로. 이와 같이 저항성 품종의 재배는 유전적으로 병에 덜 걸리게 하는 효과 외에도 약제방제 효율을 높이는 등 여러 면에서 이득이 있다.

토양소독 기술의 개발 보급. 앞서 설명하였듯이 토양 병해는 약제사용만으로는 효율적인 방제가 불가능하므로 토양내 병원균의 밀도를 줄이기 위한 경종적, 물리적, 생물적, 화학적 방법을 동원하여 방제효과를 증진시키기 위한 노력이 필요하며 따라서 농약살포에 의존하는 방법에서 탈피하여 보다 체계적이며 종합적인 방제관리가 이루어져야 한다. 토양내의 병원균은 지상부 병원균과는 달리 식물체 없이도 장기간 토양에 계속해서 남아있기 때문에 병원균을 단기간에 박멸한다는 측면에서 보다는 보다 장기적인 안목에서 병원균의 밀도를 줄여 경제적인 피해한계 수준 이하로 병 발생을 억제한다는 측면에서 방제대책을 강구할 필요가 있다.

여기서의 토양소독 기술이란 꼭 농약에 의한 소독만을 뜻하는 것이 아니고 작부체계에 의한 자체 토양정화능력, 담수, 스팀열처리, 태양열 소독과 같은 물리적방법, 유기물이나 석회 등 영양원소 사용에 의한 토양이화학성 개선효과 등을 포함하는 포괄적인 용어를 뜻한다. 이외에도 토양병 발생은 작물의 경종관리에 따라 크게 영향을 받기 때문에, 파종기의 조만, 재식밀도의 조절, 재배지의 선택, 관수나 시비 등의 관리방법에 따라 병 발생의 억제가 가능하다. 예를 들면 고추 역병은 찰흙성분이 많고 물빠짐이 나쁜 토양에 주로 발생하여 피해를 주지만 이와는 반대로 오이 덩굴쪄짐병은 모래성분이 많고 물빠짐이 좋은 사질토양에서 발생이 많으므로 재배지의 토성을 고려하여 작물을 선택한다면 병 발생을 현저히 줄일 수 있다.

밭포장에 일정기간 물을 대어 토양을 혐기상태로 두면 담전순환에서 보는 바와 같은 토양내 병원균의 밀도 감소나 사멸 등의 효과를 얻을 수 있다(김충희 등, 2000b)(Table 29). 주로 물과 관련성이 적은 시들음병균이나 균핵병 등을 대상으로 우리 나라 뿐만 아니라 세계도처에서 많은 연구가 이루어졌으며 담수가 가능한 곳은 이 방법이 표준 방제방법으로 사용되고 있는 나라들도 있다. 담수의

효과는 담수기간이나, 물의 온도, 대상병원균의 종류 등에 따라 달라지지만 상추 재배의 가장 큰 문제병해로 등장한 균핵병의 예로 보면 물의 온도가 높을 때 4주후면 토양내 전염원인 균핵이 거의 모두 사멸하여 효과적인 방제가 가능하였다(신동범, 이준탁, 1987)(Table 28).

태양열을 이용하여 토양을 소독하는 방법은 이스라엘이나 일본에서 보편적으로 사용하고 있는데 주로 한여름철 토양을 이중비닐로 덮어 비닐안의 온도를 높여줌으로써 병원균의 사멸을 유도하는 방법이다. 이방법은 토양내 미생물의 공백상태 없이 병원균만을 선택적으로 사멸케 한다는 데에 큰 이점이 있지만 방법이 번거롭고, 날씨에 의존성이 크고, 여름철에만 가능하며 효과에 일관성이 없다는 데에 문제점이 있어 우리나라에서는 보편적으로 사용되고 있지 못하다(농촌진흥청, 2001b)(Table 27).

이밖에 토양의 물리적인 소독방법으로 열처리, 스팀살균 등의 방법이 사용되고 있으나 이와 같은 방법은 유리

Table 27. Inhibition of club root disease of chinese cabbage by solar sterilization of soil at Yeonchon and Pyungtaek in 2000

Treatment	Control value (%) at ^a	
	Yeonchon (open field)	Pyongtaek (under structure)
Solar sterilization of soil	-	95
Solar sterilization + fungicide application	29	100
Fungicide application	12	69
Untreated control	0	0

^aIncidence of the disease in the untreated plots was 100% and 65% at Yeonchon and Pyongtaek, respectively.

Table 28. Inhibition of development of lettuce sclerotinia rot in field by flooding the soil before planting

Water temperature (°C)	% sclerotia killed after			
	1 wk	2 wk	3 wk	4 wk
15	0	0	0	0
20	0	0	33	53
25	0	0	77	93
30	0	60	83	100

Table 29. Change of population density of club root pathogen in soil by flooding

Treatment	No. resting spore/g soil	
	at beginning	after 152 days
Unflooded	6.86 × 10 ⁴	7.06 × 10 ⁴
flooded	6.86 × 10 ⁴	4.75 × 10 ⁴

Table 26. Effect of fungicide application on development of phytophthora blight of red pepper cultivars with varying degree of resistance in field in 1990

Cultivar	Degree of cultivar resistance	% disease incidence		
		No application	3-times of application	6-times of application
Chungyang	susceptible	100	96	89
Dabok	intermediate	95	96	49
Mangang	resistant	37	14	16

온실과 같은 대규모 시설이 갖추어진 곳에서는 항구적으로 소독할 수 있는 방법으로 미국이나 유럽의 대규모 육묘장이나 경제적 가치가 매우 높은 작물의 시설재배에서 주로 이용되고 있다.

약제에 의한 토양 소독방법은 앞서 설명하였듯이 수화제의 토양관주, 입제 및 분제의 토양혼화 등의 방법이 있으나 토양내 존재하는 병원균의 특수성 때문에 효과를 발휘하기가 매우 어렵다. 이와 같은 방법은 병원균에 선택적으로 작용하여 토양내 유익한 미생물을 보호한다는 차원에서 긍정적인 면이 없지 않으나 토양관주의 경우 인력과 노력이 많이 드는데 비해 약액의 토양침투력이 약해 효과가 지나치게 낮다는 데에 문제점이 있고 입제나 분제를 토양에 전면 사용하여 섞어쓰는 방법은 약량이 지나치게 많이 들어, 토양환경에 부담이 되며 또한 기대할 만한 방제효과를 얻지 못하는 경우 등이 있어 문제가 된다. 그러나 대상병원균의 생활환이나 작물의 재배양식을 고려하여 적당한 방법을 조합하여 사용하면 꽤 좋은 방제효과를 올리는 경우도 있으므로 사안에 따라 지속적인 연구가 필요하다.

앞에 설명한 병원균에 선택적인 토양소독 방법에 비해 토양소독 효과가 월등한 방법이 바로 전세계적으로 많이 사용하고 있는 병원균-비선택적 토양훈증 방법이다. 이 방법은 토양을 가스로 훈증하여 토양내의 모든 생물체를 죽이는 방법으로 사용절차가 까다롭고, 가격이 비싸며, 취급에 많은 주의가 필요하다는 문제점이 있으나 토양소독의 효과가 확실하므로 전세계의 대단위 재배지에서는 파종전 반드시 실시하는 방법이다. 토양훈증제는 메틸브로마이드와 크로르피크린, 그리고 두 약제의 혼합제로 싸이론 훈증제가 일찍이 사용되었으며, 이들 약제들이 용액형태인데 반해 현재는 입제형으로 취급이 보다 간편한 다조메 훈증제가 개발, 사용되고 있고 우리나라에도 전남 고흥의 마늘재배지나 고소득 시설재배지에서 점차 사용량이 늘어나고 있다. 토양훈증제는 토양에 시용후 멸균가스가 공기중으로 휘산하지 않도록 토양을 비닐로 전면 피복하여야 하며 일정기간(5~10일) 가스가 토양내에서 살균효과를 발휘할 수 있도록 방치한 후 비닐을 걷어내고 경운하여 작물의 파종전 토양내 남아있는 가스를 모두 휘산시켜야 하는 번거로움이 있다. 또한 토양훈증제는 독성이 매우 강하므로 취급에 상당한 주의가 필요하기 때문에 이의 사용에 대한 면밀한 교육이 필요하다는 점에서도 일반 농약의 사용과는 차이가 있다. 토양훈증제의 가격도 일반 농약에 비해 매우 비싸므로 고소득 작물 외에는 사용을 꺼리게 만드는 데에도 문제가 있다. 그러나 일단 토양소독을 하게되면 효과가 확실하고 재오염이 없는

한 수년동안 그 효과가 지속되며, 토양내의 여러 병원균, 부정성 병원균(작물 생육을 억제하는 근권미생물) 및 잡초에도 동시에 효과를 볼 수 있다는 장점이 있어서 연작장해 현상이 심한 곳에서는 한번 시도해 볼 가치가 있는 좋은 방법이다. 최근 배추 무사마귀병, 생강 뿌리썩음병을 대상으로 본 연구소에서 시험한 결과 그 효과가 확실함이 증명되었다(김충희 등, 1998; 농촌진흥청, 2001b)(Table 30, 31). 토양훈증제는 대단위 재배지에서 함께 사용하여야 효과적이는데 이것은 토양소독후 이웃의 소독하지 않은 토양에서 오는 병원균의 재오염을 방지해야 하기 때문이다. 따라서 우리나라의 연작장해나 토양병 대발생의 현상에 비추어 단기적인 안목에서 당장 실행가능하며 효과가 확실한 방법은 토양훈증 방법이라고 할 수 있으며 가격이 비싼 점은 지방이나 중앙행정기관의 보조에 의해, 토양훈증 작업은 지역단위 아니면 넓은 포장단위로 전문 용역회사에 맡겨 수행토록 하면 얼마든지 실행이 가능하며 이에 따라 연작장해내지는 토양병 발생을 효과적으로 억제할 수 있으리라 생각된다.

토양병해의 조기 예찰기술 확립. 토양병 발생은 병원균의 존재 외에 재배환경, 이론테면 작부체계, 시비 및 관수방법, 약제방제체계, 기타 경종방법과 밀접히 연관되어 있기 때문에 토양병 발생예찰도 그 포장의 연을 수 있는 정보를 종합하여 병 발생의 정도를 예측하지 않으면 안된다. 도열병을 포함한 지상부에서 발생하는 병들은 병원균의 비산포자 밀도나 기상환경을 근거로 신뢰할 수 있는 예찰방법의 개발이 어느 정도 가능하지만 토양병해는 토양환경, 재배환경, 병원균 생존간의 상호작용에서 비롯되므로 병원균 밀도나 기상환경 만으로는 효과적인 예찰이 불가능하다. 토양병 예찰의 또 다른 어려운 점은 병징이 국부적으로 발현하지 않고 전신감염적 병징으로 나타나기 때문에 이미 병징을 발견할 때는 식물이 시들어 죽는 과정에 있기 때문에 손을 쓸 수 있는 여유가 없다는 점이다. 이 같은 점 때문에 토양병의 예찰은 작물을 심기 전부터 시행하지 않으면 낭패하기 쉬우며 그 포장의 경

Table 30. Inhibition of club root development on chiaese cabbage by soil fumigation and fungicide application in fields in 2000

Treatment	Control value (%) at ^a		
	Suwon (spring)	Ichon (spring)	Ichon (autumn)
Soil fumigation	94	97	87
Fungicide application	70	72	81
Untreated control	0	0	0

^aDisease incidence of the untreated control plots was 63%, 96% and 85% at Suwon, Ichon(spring) and Ichon(autumn), respectively.

Table 31. Inhibition of development of rhizome rot of ginger by soil fumigation in field in 1997

Item examined	Soil fumigation	Ordinary fungicide application
% Germination of rhizome	90.1	85.3
Plant height	36.8	32.8
% Disease incidence	3.5	34.2
Yield (kg /10a)	1,260	714.0
Degree of weed emergence	none	plenty

중관리, 포장의 재배력, 토성 등을 포함하는 제반 특성과 상관하여 포장단위로 실시해야 하는 어려움이 있다. 그러나 일단 특정포장의 재배환경이 파악되고 작물의 유전적 특성, 토양내 병원균의 밀도에 대한 정보를 종합하여 예찰체계가 확립되면 토양환경이나 재배환경이 토양내 병원균에 직접적인 영향을 끼치게 되므로 병원균의 변화양상만을 근거로 효율적인 예찰이 가능할 것으로 생각되며 (Fig. 3) 이에 대한 연구가 지속적으로 진행되고 있다(김충희 등, 1996).

생물학적 방제기술 활용. 유기합성 농약 대신에 병원균을 억제하는 능력이 있는 살아있는 미생물을 선발 활용하여 식물병을 방제하는 방법으로 최근 선진 각국에서 연구가 많이 이루어지고 있으며 상당수의 제품들이 시중에 나와 상용화되었다(Lisansky, 1999; 山田, 2000). 농업환경 등을 포함한 생태계에 부정적인 영향을 끼치지 않고 지속농업을 가능케 한다는 의미에서 그 가치가 있지만 아직 약효 면에서 일반농약의 수준에 미치지 못해 개선할 점이 많이 있다. 따라서 현재의 수준에서는 미생물 농약은 단독으로 사용하는 것보다는 다른 방제수단, 예를 들면 경종적 방제기술(담수, 유기물사용, 태양열 소독, 객토)시 그 효과를 증진할 수 있으며 유기 합성농약과 함께 사용시는 사용약량이나 살포횟수를 줄인다 든가 하는 측면에서 이점이 있다.

우리나라의 미생물 농약에 관한 연구·개발은 선진 외국에 비해 30~50년 늦은 1980년대 초에 시작되어 현재까지 32종의 미생물(곰팡이 11종, 세균 16종, 바이러스 5종)이 고추역병 등 35종의 병해충을 대상으로 연구되었다. 우리나라 미생물 농약의 본격적인 연구는 1980년 후반부터라고 할 수 있는데 이 시기의 유기합성농약의 오용에 대한 사회적인 우려가 커지면서 전문인력의 확충과 연구체계의 확립에 따라 미생물 농약의 개발에 많은 투자가 이루어져 괄목할만한 성과가 나오기 시작하였으며 1992년 농진청 농업과학기술원, 인삼연초연구원 등에서 개발한 미생물 3종이 실용화된 이후 현재까지 5개의 미생물

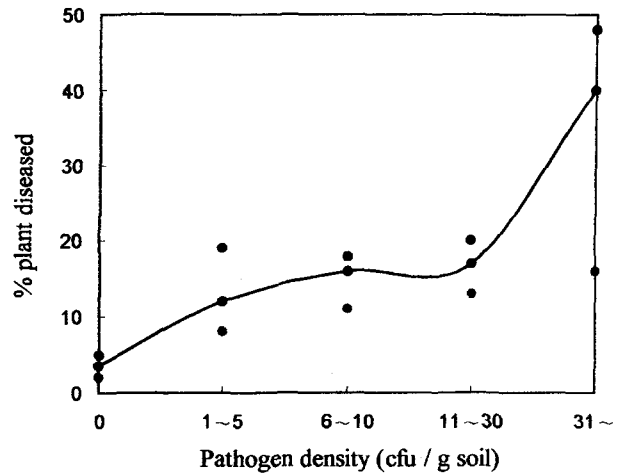


Fig. 3. Relationship between pathogen density in soil and rhizome rot development in ginger fields in 1997.

제품이 상용화되었다(농촌진흥청, 2001a).

현재까지 실용화된 미생물 제품을 중심으로 미생물 농약연구의 현황을 살펴보면 1992년 농업과학기술원에서 개발한 고추역병 등 5개병해 방제용 미생물 2종을 비왕산업(주) 등 6개 산업체에서 제품으로 생산하여 「특허탄」 「만석균」 「뉴흰나라」 등 4개 상품명으로 판매하고 있으며(김용기 등, 1998) (Table 32) 같은 해 한국인삼연초연구원에서 인삼뿌리썩음병 방제용으로 개발한 미생물이 「바이코나」라는 이름으로 제품화되어 사용되고 있다.

이외에도 식물체에 병에 대한 저항성을 유도하여 식물병을 방제할 수 있는 세균 1종을 선발하여 작년부터 동부한농(주)과 함께 조기 실용화를 목적으로 공동연구를 수행하고 있으며(Ahn *et al.*, 2002; Jeun *et al.*, 2001; Park *et al.*, 2001)(Table 33) 병원력이 상실된 병원균을 백신처럼 이용하여 외류 덩굴썩김병을 억제할 수 있는 기술도 1999년 개발하여 현재 실용화 연구가 추진중에 있다. 이밖에 대학에서도 최근 채소의 갈록병, 풋마름병, 잿빛곰팡이병 등의 방제용 미생물에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.

지금까지 국내에서는 미생물 농약의 등록규정이 없어 이미 실용화된 미생물 제품이 토양개량제나 4중 복합비료의 형태로 시중에 유통되었으나 2000년 6월 농진청이 「미생물 농약의 등록에 관한 규정」을 국내에 설정하여 이들 제품들은 적정한 시험기준을 거쳐 미생물 농약으로 등록 고시될 전망이며 이밖에도 현재 국내에서 연구되고 있는 병해충 방제용 미생물이 많아 향후 미생물 농약 제품등록 수는 급격히 늘어날 것으로 예상되어 미생물 농약 등록규정고시가 앞으로 미생물 농약 개발의 활성화에

Table 32. Inhibition of phytophthora blight of red-pepper by application of microbial antagonist AC-1 in field in 1992 ·

Treatment	% plant diseased after		
	56 days	67 days	81 days
Antagonist AC-1	1.7	12.5	43.3
Fungicide (Metalaxyl-copper)	1.7	20.0	50.0
Untreated	6.7	44.2	72.5

Table 33. Inhibition of development of cucumber anthracnose and tobacco wild fire disease by treatment with a rhizosphere bacterium having ability of induced systemic resistance(ISR) in greenhouse in 1999

Treatment	% leaf diseased	
	cucumber anthracnose	tobacco wild fire
EXTN-1	5.5	0.0
Untreated	43.5	20.2

크게 기여할 수 있을 것으로 생각된다.

미생물 농약은 일반 화학농약에 비해 약효가 낮고 환경에 따라 약효의 변동이 심하다는 등의 결점이 있으나 농산물에 대한 잔류독성의 염려가 없고 농업생태계에 안전하다는 이점이 있어 현재처럼 환경의 보호가 절실한 시점에서는 더욱 개발할 가치가 있다고 생각된다. 이 때문에 국내뿐만 아니라 선진 각국에서 미생물 농약에 관한 연구는 최근들어 매우 활발히 이루어지고 있는데 외국에서 개발된 제품보다는 국내 부존자원인 토착미생물을 이용한 미생물 농약이 국내환경에 잘 적응할 뿐만 아니라 취약한 국내기술의 육성측면에서도 매우 바람직하다고 생각되므로 향후 이 방면에 대한 많은 지원이 요청되고 있다.

요 약

최근 연작장해의 주원인으로 지적되는 토양병해의 발생은 매우 심각한 양상을 띄고 있다. 그 예로 배추 무사마귀병, 마늘 흑색썩음균핵병, 감자의 풋마름병, 고추 역병, 토마토 시들음병, 수박의 CGMMV 등을 들수 있으며 이 모두 시급히 해결하지 안되는 현실문제다. 토양병 발생이 이렇게 심각해진 것은 특정작물의 주산단지화 및 주년 생산체계, 시설원예의 보편화에 의한 획일적인 작부체계 내지는 동일작물 연작에 의해 토양환경이 급속히 악화되는데 그 근본 원인이 있으며 이외에 수량 및 품질위주의 품종 육성에 의해 작물의 병 저항성을 소홀히 한 점이나 화학비료 위주의 경종방법 등도 토양병 발생을 부

추기는 한 원인으로 지적되고 있다. 토양병 발생에 대한 대책으로 그 원인을 찾아 제거하는 방법이 가장 효율적이라고 생각되는바 장기적인 대책으로 지역의 현실여건 및 경제성을 고려한 합리적 작부체계의 개발·운용, 작물별로 피해가 심한 다수 병해를 대상으로 한 복합저항성 품종의 육성·보급, 농토배양 및 토양개량을 통한 악화된 토양환경의 개선을 들 수 있고 단기적인 대책으로는 간편한 토양소독 기술의 개발·보급, 신속·정확한 토양병 예찰기술의 정립이 긴급하다. 이를 위하여 토양병 전문연구자의 육성 및 현장문제 해결을 위한 공동연구의 활성화 등에 국가적인 차원에서의 적극적인 지원이 요망되고 있다.

참고문헌

- Ahn, I. P., Park, K. S. and Kim, C. H. 2002. Rhizobacteria-induced resistance perturbs viral disease progress in tobacco and triggers defense-related gene expression. *Mol. Cells* 13: 302-308.
- 농업기술연구소. 1992. 증보 한국토양총설. 725pp.
- 최진식, 박창석. 1982. 남부 시설원예시대의 주요병 발생생태에 관한 연구. *한식보호지* 21(3): 1-6.
- 최성호, 김동휘, 김충국, 서종호. 1997. 발작물 기지 현상 경감 기술 개발연구. *작물시험장 시험연구보고서(작물환경편)*: 17-26.
- Hwang, B. K. and Kim, C. H. 1995. Phytophthora blight of pepper and its control in Korea. *Plant Dis.* 79(3): 221-227.
- Jeun, Y. C., Park, K. S. and Kim, C. H. 2001. Different mechanisms of induced systemic resistance and systemic acquired resistance against *Colletotrichum orbiculare* on the leaves of cucumber plants. *Mycobiology* 29(1): 19-28.
- 강승원, 이장우, 채규창, 백수봉. 1986. 참깨 윤작체계시험. *경기도 농촌진흥청 시험연구보고서*: 211-218.
- 김충희. 1993. 고추의 진균 및 세균병해 발생현황과 방제대책. *한국고추연구회지* 2: 1-11.
- 김충희. 2002. 2001년 농작물 병해 발생개황. *식물병연구* 8(1): 1-10.
- 김충희, 조원대, 김홍모. 2000a. 배추 무사마귀병균의 토양내 분포. *식물병연구* 6(1): 27-33.
- 김충희, 조원대, 김홍모. 2000b. 배추 무사마귀병균 휴면포자의 발아 및 생존에 미치는 몇가지 환경요인. *농약과학회지* 4(4): 66-71.
- 김충희, 조원대, 양종문. 1999. 배추 무사마귀병 발생실태와 뿌리혹의 생성생태. *식물병과농업* 5(2): 77-83.
- 김충희, 한기돈, 박경석. 1996. 생강 주산지에서의 뿌리썩음병 발생실태. *한식병지* 12(3): 336-344.
- 김충희, 양성석, 한기돈. 1998. *Pythium myriotyrum*에 의한 생강뿌리썩음병의 포장내 발병진전에 미치는 토양소독, 살균제시용, 좁은 이랑재배효과. *한식병지* 4(3): 253-259.

- 김용기, 최용철, 유갑희, 이경희, 신용화. 1988. 고추 역병 방제용 길항미생물에 의한 생물학적 방제. 농시연보 30(3): 8-18.
- 이승돈. 1999. 한국의 주요 식물세균병 발생 및 특성. 서울대학교 대학원 박사학위논문 150pp.
- Lisansky, S. 1999. *Biopesticides* Vol. 1. *Markets*. CPL Scientific Information Services, 195pp.
- 박창석. 1990. 난방제 토양전염성병의 발생생태와 방제방안. 농진청 심포지엄 6: 23-35.
- Park, K. S., Ahn, I. P. and Kim, C. H. 2001. Systemic resistance and expression of the pathogenesis-related genes mediated by the plant growth-promoting rhizobacterium *Bacillus amyloliquefaciens* EXTN-1 against anthracnose disease in cucumber. *Mycobiology* 29: 48-53.
- 농촌진흥청. 2001a. 병해충 잡초의 생물적 방제기술. 432pp.
- 농촌진흥청. 2001b. 십자화과채소의 무사마귀병 발생생태 및 방제대책 연구. 대형공동연구과제 완결보고서. 111pp.
- 신동범, 이준탁. 1987. 담리작 상치 시설재배지에서의 균핵병 발생생태에 관한 연구. 한식병지 3(4): 252-260.
- 양성석, 김충희, 남기웅. 2000a. 시설과채류 *Fusarium*병의 발생생태에 관한 연구. 2. 유기물의 종류, 시용량 및 부숙정도가 토마토와 오이의 *Fusarium*병 발생과 토양미생물상 변화에 미치는 영향. 식물병연구 6(2): 65-70.
- 양성석, 김충희, 남기웅. 2000b. 시설과채류 *Fusarium*병의 발생생태에 관한 연구. 3. 토양의 염류농도가 토마토와 오이의 뿌리생육 및 *Fusarium*병 발생에 미치는 영향. 식물병연구 6(2): 71-75.
- 山田昌雄. 2000. 微生物農藥. 農村教育協會. 228pp.