

토양수분 함량에 따른 인삼 뿌리썩음병균 *Cylindrocarpon destructans* 및 토양미생물의 밀도 변화

박규진* · 유연현 · 오승환
한국인삼연초연구원 수원시험장

Population Variations of *Cylindrocarpon destructans* Causing Root Rot of Ginseng and Soil Microbes in the Soil with Various Moisture Contents

Kyu Jin Park*, Yun Hyun Yu and Seung Hwan Ohh
Korea Ginseng & Tobacco Research Institute, P.O. Box 59, Suwon 440-600, Korea

ABSTRACT: Influence of the moisture content in soils was examined on population variations of soil microbes, including *Cylindrocarpon destructans* causing root rot of ginseng, *in vivo* and under the field condition. Fungal populations decreased in soils treated with various moisture contents *in vivo* as days after the treatment increased, but there was not a significant difference in the population among other treatments except 135% moisture content (flooding) at 15 weeks after the treatment. In flooded soils populations of total fungi and *C. destructans* were reduced to 1/10 and 1/50 of initial populations, respectively. There was, however, a little difference in the population of total bacteria or Actinomycetes between before and at 15 weeks after flooding. On the other hand, population variations of bacteria and Actinomycetes were much greater than those of fungi at different intervals after the moisture treatment. Variations of microbial populations in flooded soils under the field condition were similar to those *in vivo*. Especially, populations of *Fusarium* and pectolytic bacteria in flooded soils were reduced to 1/100 of populations in nonflooded soils at 170 days after treatment.

Key words: ginseng, *Cylindrocarpon destructans*, soil microbe, soil moisture content, flooding.

현재의 인삼재배 현황은 경지면적의 한정성 때문에 토양의 재배 경력을 무시한 채 경작하거나 재작(또는 연작)을 하는 실정으로, 특히 재작할 경우 *Cylindrocarpon destructans*에 의한 뿌리썩음병(根腐病) 피해로 인삼 생산량 및 품질이 저하되는 문제점이 발생하고 있다(1, 8, 9). 인삼 연작장해 해소 또는 뿌리썩음병의 피해를 경감시키기 위해서는 토양검정 차원에서 인삼종자를 이용한 생물검정을 통해 예정지토양의 전염원능력을 추정하고, 병발생이 심할 것으로 예상되는 포장에 회피하려는 방안이 검토되고 있다(5, 9). 또한 예정지포장 관리 방안으로 토양훈증제를 처리하거나 담진유훈에 의한 논삼재배를 통해 토양내 전염원밀도를 감소시키고, 또한 약 10년의 재작 소요기간을 그 이하로 단축하려는 시험도 수행하고 있다(3, 9). 하지만 현재까지의 논삼 재배연구는 적지 선정을 위한 토양이

화학성 조사, 예정지토양 관리방법, 그리고 제품 제조시의 품질 조사에 대한 연구가 대부분이고(3), 실제 토양병의 경감을 위한 논삼재배법의 주요 기작인 담수에 의한 병원균의 밀도감소 효과 및 토양미생물 변화에 대한 조사는 미진한 실정이다.

따라서 실험실조건에서 담수처리를 포함한 토양수분 함량을 인위적으로 조절한 이병토양내 병원균(*C. destructans*) 및 일반미생물의 밀도변화와 인삼유묘의 이병율을 경시별로 조사하였다. 그리고 포장조건에서 벼재배에 의한 담수처리가 인삼 재배토양의 미생물 밀도변화에 미치는 영향도 조사하였다.

재료 및 방법

접종원 및 토양접종. Potato dextrose agar(PDA, Difco)에서 배양한 인삼 뿌리썩음병균 *C. destructans* (Cy192-07)의 균총을 인삼뿌리 분말을 1%(w/w) 첨가

*Corresponding author.

한 살균토양에 접종하고 약 30일간 20°C 내외에서 배양한 후, 2주간 실온에서 건조시켜 접종원으로 사용하였다. 접종원의 후막포자수는 토양 1 g당 약 8×10^6 이었다. 그리고 충북 청원군 북이면에서 채집한 논토양을 공시하여, 접종원을 공시토양에 5%(w/w) 접종하고 혼합하여 인위적으로 이병토양을 제조하였다.

이병토양의 수분함량 조절. 500 ml 배양병($\phi 9 \times 10$ cm)에 이병토양을 500 g(건토기준)씩 넣고, 이병토양의 최대용수량(water holding capacity; 41.2%)의 10%, 30%, 60%, 90% 그리고 135%(담수조건)가 되게 각각 수분을 조절하였다. 그리고 마개를 씌워 토양수분을 일정하게 유지시키면서 실온 조건하에서 15주 동안 보관하였다. 처리토양의 미생물 밀도조사 및 생물검정을 위해서 수분함량별로 처리된 배양병내의 토양을 일정 시기별로 채취하고, 채취한 토양은 절대수분 함량이 5% 정도 되게 음건한 후 사용하였다.

인삼 채굴포장의 담수처리. 한국인삼연구소 연구원 증평시험장내 6년생 인삼 채굴포장(1984년 이식, 1988년 채굴) 일부를 1994년 4월 담수처리하여 논으로 전환시키고 벼를 재배하였다. 그리고 담수 후 30일과 170일에 담수처리 및 무처리 토양을 채취하여 토양미생물의 밀도변화를 조사하였다.

토양미생물상 조사. 경시별로 채취한 후 음건시킨 수분함량별 처리토양과 담수처리 포장의 토양을 serial dilution surface plating법에 의해 토양 중의 일반 미생물상 및 병원균의 밀도를 조사하였다(5). 공시병원균을 포함한 total fungi(TF)와 total fusaria(Fus)의 조사를 위해서는 12시간 광조사를 한 15°C 온도조건에서 acid PDA(Difco PDA 48 g, lactic acid 1 ml, streptomycin sulfate 300 mg, dw 1 L)와 PCNB 배지(4)상에서 5내지 10일간 각각 배양하였다. 특히 분리된 사상균은 육안 및 현미경 관찰을 통해 포자 및 colony 형태, 색깔 등에 의해 genus를 동정하였다. 그리고 total bacteria(TB) 및 Actinomycetes(TA)는 soil extract agar (SEA; dextrose 10 g, K_2HPO_4 0.4 g, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.2 g, yeast extract 1.0 g, agar 15 g, soil extract 250 ml, dw 750 ml), total pseudomonads(Ps)는 Pseudomonas isolation agar(PIA, Difco), 그리고 total pectolytic bacteria (Pe)는 modified crystal violet pectate(CVP) 배지(6)상에서 27°C 조건에서 2일간 배양 후 plate당 colony수를 조사하였다.

인삼증자의 생물검정. 경시별로 채취하여 건조시킨 수분함량별 처리토양을 500 ml 배양병($\phi 9 \times 10$ cm)에 200 g(건토기준)씩 넣고, 유근길이가 5 mm 내외 발아된 건전한 인삼증자를 배양병당 7립씩 2반복 파종

하였다. 토양수분 함량은 최대용수량의 60%되게 살균 증류수로 조절하고 마개를 씌워 일정하게 수분을 유지시켰고, 배양조건은 12시간 광조건의 15°C 항온기에서 파종 후 30일까지 배양하였다. 그리고 1내지 2일 간격으로 발아수 및 시들음 증상의 이병 개체수를 조사하였고, 발아전 입고율(Pre-damping off)은 '파종 종자수에 대한 미발아 이병종자수', 발아 후 이병율(Disease incidence)은 '발아 종자수에 대한 시들음 증상의 종자수'로 산출하였다(5).

결 과

토양수분 함량에 따른 *C. destructance*의 경시별 밀도변화. 인삼 뿌리썩음병원균(*C. destructans*) 접종원을 처리한 논토양의 병원균 밀도는 토양 1 g당 약 2×10^4 이었으며, 총사상균에 대한 밀도비는 0.76으로 사상균의 대부분을 차지하였다. 토양수분을 조절한 후 15주까지 처리토양내 병원균 밀도를 경시별로 조사한 결과, 담수처리(최대용수량비 135%) 경우 병원균 밀도는 처리 후 9주까지 급속히 감소하여 초기밀도의 1/50 수준까지 떨어지다 이후에는 약간의 증가를 보였다. 그러나 기타 수분함량별 처리토양의 균밀도 변화는 10%와 30% 처리토양의 경우 처리 후 3주까지 밀도변화가 거의 없다가 그 이후 급격히 감소하였고 처리 9주 이후에는 일정수준을 유지하거나 다시 증가를 보였다. 반면 60%와 90% 처리토양의 경우는 처리 초기부터 6주까지 전반적으로 완만하게 감소하다가 그 이후에는 처리전 밀도의 1/4 수준을 계속 유지하였다. 경시별 밀도변화는 30% 처리토양에서 가장 심하였다. 그리고 처리 15주 후의 균밀도는 30% 처리토양을 제외하고는 토양수분 함량에 따른 차이를 보이지 않았다(Fig. 1).

토양수분 함량에 따른 일반미생물의 경시별 밀도변화. 담수조건에서의 토양내 총사상균 밀도변화는 병원균 밀도변화 경향과 같이 뚜렷하지 않았다. 하지만 초기(처리 후 2주까지)에 감소하다 그 이후 9주까지 일정수준을 유지하였고, 다시 감소하여 처리 후 15주에는 초기밀도의 1/10 수준으로 떨어졌다. 반면 기타 수분처리토양의 균밀도는 경시별로 다소 변이를 보였지만 전반적으로 완만한 감소 경향을 보였고, 처리 15주 후의 균밀도는 초기밀도에 비해 약간의 감소를 보였다. 또한 처리토양간에도 큰 차이를 보이지 않았지만 30%, 10%, 60%, 90% 순으로 낮았다(Fig. 2). 담수처리를 포함한 토양수분 함량에 따른 총세균의 밀도변화는 처리간 차이를 보였고 경시별 밀도변화도

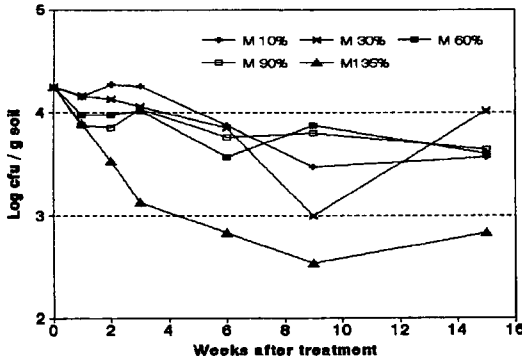


Fig. 1. Population variations of *C. destructans* in soils treated with various moisture contents at different intervals after treatment *in vivo*. Moisture contents(M_%) in the legend were percents to the water holding capacity.

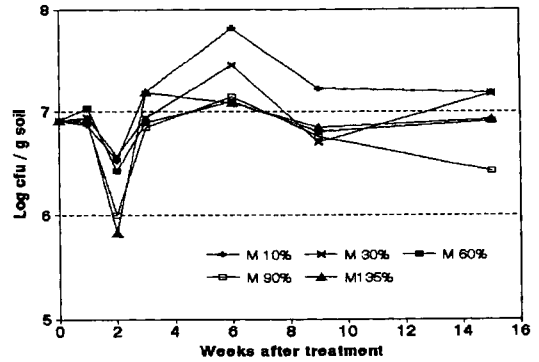


Fig. 3. Population variations of total bacteria in soils treated with various moisture contents at different intervals after treatment *in vivo*. Moisture contents(M_%) in the legend were percents to the water holding capacity.

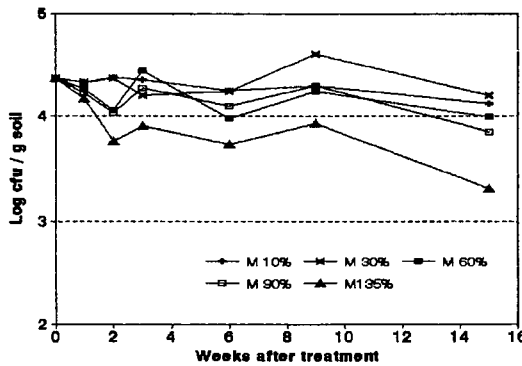


Fig. 2. Population variations of total fungi in soils treated with various moisture contents at different intervals after treatment *in vivo*. Moisture contents(M_%) in the legend were percents to the water holding capacity.

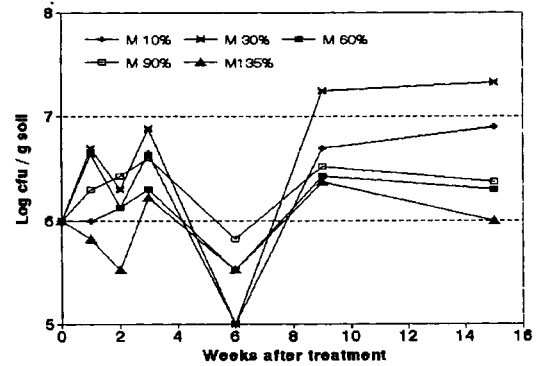


Fig. 4. Population variations of total Actinomycetes in soils treated with various moisture contents at different intervals after treatment *in vivo*. Moisture contents(M_%) in the legend were percents to the water holding capacity.

심하였지만, 처리간 변화 경향은 유사하였다. 즉 처리 1주 후에 급격히 감소하다 2주 후부터 6주까지 증가하였고 다시 감소하여 9주 후부터는 안정화되는 경향을 보였다. 처리 15주 후의 균밀도는 60%와 135%(담수 조건) 처리토양의 경우 처리전 밀도와 비슷하였던 반면 30%와 10% 처리토양은 높았고 90% 처리토양은 오히려 떨어졌다(Fig. 3). 토양수분 함량에 따른 총방선균의 밀도변화 경향은 처리 후 3주까지 처리간에 변이가 특히 심하였지만 그 이후의 경향은 전반적으로 유사하여, 처리 3주 후부터 6주까지 감소하다 다시 증가하였고, 처리 후 9주부터는 안정화되는 경향을 보였다. 처리 15주 후의 밀도는 135%(담수조건) 처리토양의 경우 처리전 밀도와 비슷한 수준을 보였던 반면, 30% 처리토양의 경우는 처리전 밀도에 비해 20배 이

상, 10% 처리토양의 경우는 약 8배, 그리고 60%와 90% 처리토양은 약 2배 정도 균밀도가 증가하였다. 특히 30%와 10% 처리토양의 밀도 변화폭은 다른 처리에 비해 컸다(Fig. 4).

담수기간별 인삼유묘 이병율. 수분함량별 각 처리 토양에서의 인삼유묘 이병율을 경시별로 조사한 결과, 병원균의 밀도감소 효과가 컸던 담수토양의 경우 발아전 입고율 및 발아 후 이병율은 담수기간이 증가할수록 낮아지는 경향을 보였다. 즉 발아전 입고율은 담수처리 1주 후부터 감소하여 6주 후부터는 그 증상이 관찰되지 않았고, 파종 16일 후 유묘이병율은 담수처리 2주 후부터 감소하여 20% 내외의 이병율을 보이다 9주부터는 이병증상을 보이지 않았다(Table 1). 그러나 인삼유묘 배양기간이 경과할수록 병발생이 진전

Table 1. The rates of pre- and post-emergence damping off of ginseng in soils^a inoculated chlamydo spores of *C. destructans* at different intervals after flooding *in vivo*

Syptom ^b	% at different intervals(weeks) after flooding							
	0	1	2	3	6	9	15	
Pre-DO	85.7	50.0	21.5	28.6	0.0	0.0	0.0	
Post-DO	100.0	100.0	28.4	0.0	20.0	0.0	0.0	

^a The population of *C. destructans* in soils was ab. 2×10^4 per g soil.

^b Pre-DO(preemergence damping off) was percent of no. of non-germinated and infected seeds to total no. of seeds tested, and Post-DO(postemergence damping off) was percent of no. of infected seedlings to total no. of germinated seedlings at 16 days after sowing. Each value represents the average of 2 replicates.

되어 파종 30일 후에는 담수처리 3주까지 100% 발병되었고 그 이상 처리에서는 50% 내외의 이병율을 보였다. 한편 담수 이외의 조건에서도 처리기간이 증가할수록 병발생이 감소하는 경향을 보였으나 수분함량에 관계없이 파종 30일전에 100%의 이병율을 보였다.

담수처리 포장의 토양미생물 밀도변화. 인삼 채굴 포장을 담수처리한 후 처리기간에 따른 담수토양의 미생물 밀도변화를 무처리 토양과 비교하였다. 사상균의 경우 담수처리 30일 후의 밀도는 군중에 따라 무처리 토양과 비슷하거나 약간의 감소 경향을 보였지만, 170일 후에는 모든 군종들이 감소하였다. 특히 *Fusarium* 및 *Trichoderma plus Gliocladium* 밀도는 무처리 및 30일 담수토양에 비해 약 1/100과 1/10 수준으로 각각 감소하였던 반면 총사상균 및 *Penicillium* 등의 밀도는 감소폭이 상대적으로 적었다. 세균의 경우 담수처리 30일 후의 밀도는 총세균을 비롯한 모든 군종이 무처리 토양에 비해 약간의 증가 경향을 보였고, 담수 170일 후에도 총세균 밀도는 담수 30일 토양과 큰 차이를 보이지 않았던 반면 pseudomonads와 펙틴

분해세균의 밀도는 담수 30일 후 및 무처리 토양의 밀도에 비해 약 1/10과 1/100수준으로 각각 감소하였다. 방선균의 경우 담수처리 토양의 밀도는 무처리 토양에 비해 감소하였고, 처리 일수에 따른 변화는 없었다. 군중별 밀도비 중 Fus/TF와 Fus/TB비는 처리기간이 증가함에 따라 감소하였고 특히 담수토양의 경우 그 감소폭은 무처리 토양에 비해 매우 컸다. 반대로 TB/TF비는 무처리 토양의 경우 처리기간이 증가함에 따라 약간의 감소를 보였던 반면 담수토양의 경우는 급격히 증가하였다(Table 2).

고찰

인삼 뿌리석음병균인 *C. destructans*를 인공접종한 토양을 실험실조건에서 담수처리하였을 때 담수 9주 내지 15주 후의 총사상균의 밀도는 처리전 밀도에 비해 1/10 감소하였고, *C. destructans*의 밀도는 처리전 토양에 비해 약 1/50 수준까지 감소하였다. 또한 포장 조건에서 인삼재배 토양을 담수한 경우에 있어서도 담수 170일 후의 *Fusarium* spp.의 밀도는 무처리 토양에 비해 약 1/100 수준까지 감소하였다. 이상의 결과는 담수처리 40내지 50일 후의 토양내 사상균의 밀도는 세균이나 방선균에 비해 급격히 감소하였고, 특히 *Fusarium*의 밀도는 85% 감소하였다는 보고(2,7)와 유사하였다. 그리고 세균 및 방선균은 담수처리 후 감소한다고 보고(7)하였고, 본 시험에서는 실험실조건의 경우 담수처리 후 총세균과 방선균 밀도는 처리전 토양과 비슷한 수준을 보였던 반면 포장조건의 경우는 총세균은 증가하였고 총방선균은 감소하여 특히 세균의 경우 다소 차이를 보였다. 하지만 담수처리에 의해 총세균이 증가하였던 포장조건에서 pseudomonads 및 펙틴분해세균의 밀도는 무처리 토양에 비해 1/10과 1/100 수준으로 오히려 감소하여 군중간에 차이가 있음을 알 수 있었다. 병원균을 포함한 사상균의 경시별

Table 2. Population variations of soil microbes at different intervals after flooding of the ginseng-harvested field plot^a

Treatment	Days after flooding	Log cfu/g soil								Fus/TF ($\times 10^{-1}$)	Fus/TB ($\times 10^{-3}$)	TB/TF ($\times 10^{-2}$)
		TF ^b	P+A	T+G	Fus	TB	Ps	Pc	TA			
Non	30	5.3	4.9	4.2	4.0	7.3	4.1	5.2	6.6	0.48	0.54	0.89
	170	5.3	4.7	3.6	3.8	7.2	4.5	5.4	6.7	0.33	0.43	0.78
Flooding	30	5.3	4.8	4.2	3.8	7.6	4.7	5.6	6.2	0.31	0.15	2.13
	170	4.7	4.3	3.0	2.0	7.5	3.0	3.5	6.1	0.02	0.00	6.80

^a The field, cultivated ginsengs from 1984 to 1988, was flooded in combination with rice culture from April to September in 1994.

^b TF, total fungi; P+A, *Penicillium plus Aspergillus* spp.; T+G, *Trichoderma plus Gliocladium* spp.; Fus, *Fusarium* spp.; TB, total bacteria; Ps, pseudomonads; Pc, pectolytic bacteria; and TA, total Actinomycetes.

밀도변화는 전반적으로 토양수분 함량에 관계없이 완만한 경향을 보였던 반면 세균과 방선균의 경우는 경시별 밀도변화뿐 아니라 토양수분 함량에 따른 변이도 심하였고, 특히 건조상태인 최대용수량 대비 10%와 30%의 수분조건에서 가장 심하였다. 이는 사상균이 상대적으로 환경변화에 대해 영향을 적게 받는데 반해 세균과 방선균은 환경변화에 대해 민감하게 반응하고 또한 균증식 및 사멸속도가 빠르기 때문으로 사료된다.

병원균(*F. oxysporum* f. sp. *cubensis*)의 밀도감소를 위해 30내지 50일의 담수기간이 소요되었으나, 실제 병방제에 응용한 경우에는 3내지 6개월의 담수처리를 하였다(2, 7). 본 시험에서도 9내지 15주의 담수처리에 의해 *C. destructans*의 밀도가 감소되었고, 병원균에 의한 인삼유묘 이병율도 이들 처리토양에서 낮았다. 또한 포장조건에서 벼재배와 함께 이루어진 170일의 담수처리에 의해 *Fusarium* 밀도가 1/100 수준으로 감소되었다. 따라서 벼 재배기간 동안의 담수처리는 토양병원균의 밀도를 감소시키는데 충분할 것으로 사료된다. 다만 최대용수량의 90%인 과습조건에서 15주를 경과하여도 병원균의 사멸효과가 낮았던 점으로 미루어 철저한 담수처리가 요구된다. 그리고 토양병방제를 위한 단독의 담수처리는 경제성이 없는데 반해 벼재배를 겸한 담수처리는 경제성면이나 효과면에서 바람직하다 하였다(2, 7). 따라서 인삼 뿌리썩음병방제를 위해 논삼재배법을 실제 이용할 경우 담수기간, 처리횟수 그리고 처리방법에 의한 병방제 효과시험이 포장조건에서 좀더 보완되어야 할 것으로 생각된다.

요 약

담수처리를 포함한 토양수분 함량에 따른 인삼 뿌리썩음병균 *Cylindrocarpum destructans*와 기타 미생물의 토양내 밀도변화를 실험실 및 포장조건에서 조사하였다. 실험실조건에서 담수처리 15주 후의 토양내 사상균 및 *C. destructans*의 밀도는 처리전 밀도의 1/10과 1/50 수준으로 각각 감소하였다. 최대용수량 대비 10, 30, 60, 90%의 수분처리토양에서도 균밀도의

감소 경향을 보였지만 감소폭은 담수처리 토양에 비해 매우 적었고, 처리간 밀도 차이도 거의 없었다. 세균과 방선균의 경우 담수처리 후의 토양밀도는 처리전 밀도와 큰 차이를 보이지 않았던 반면, 수분 30%과 10% 처리토양은 특히 증가하였다. 경시별 균밀도 변화는 사상균의 경우 그 변화가 적었던 반면 세균과 방선균은 매우 심하였다. 포장조건에서 담수처리 후 토양내 균밀도 변화는 실험실조건에서의 변화 경향과 유사하였다. 특히 담수처리 170일 후의 *Fusarium*과 펙틴분해세균의 밀도는 무처리 토양에 비해 1/100 수준으로 감소하였다.

참고문헌

1. Chung, H. S. 1975. Studies on *Cylindrocarpum destructans* (Zins.) Scholten causing root rot of ginseng. *Rept. Tottori Mycol. Inst. (Japan)* 12: 127-138.
2. Fly, W. E. 1982. Physical and chemical techniques to suppress initial disease. In: *Principles of Plant Disease Management*, pp. 151-174. Academic Press, New York.
3. 이일호, 김명수, 박찬수, 변정수, 오승환. 1994. 논삼 재배연구. 인삼연구보고서(재배분야), pp. 285-339. 한국인삼연초연구원.
4. Nash, S. M and Snyder, W. C. 1962. Quantitative estimations by plate counts of propagules of the bean root rot *Fusarium in field soils*. *Phytopathology* 52: 567-572.
5. 박규진. 1995. 인삼 뿌리썩음병을 일으키는 토양요인과 발병예측 model 개발. 서울대학교 대학원 박사학위논문. 114pp.
6. Schaar, N. W. 1988. *Laboratory Guide for Identification of Plant Pathogenic Bacteria*. 2nd ed. APS Press. 164pp.
7. Stover, R. H. 1979. Flooding of soil for disease control. In: *Soil disinfection*, ed. by D. Mulder, pp. 19-28. Elsevier, Amsterdam.
8. 유연현, 오승환. 1993. 인삼 병 연구의 과거와 현재. *고려인삼학회지* 17: 61-68.
9. 유연현, 오승환, 김기황, 박규진, 조대휘. 1995. 인삼 연작장해 해소 및 병해충 방제연구. 인삼연구보고서(재배분야), pp. 115-214. 한국인삼연초연구원.

(Received March 21, 1997)