

생물검정 및 토양환경요인에 의한 인삼 뿌리썩음병의 발병예측 모형의 적합성 검정

박 규 진*

한국인삼연초연구원 신사업연구부

Fitness Analysis of the Forecasting Model for the Root Rot Progress of Ginseng Based on Bioassay and Soil Environmental Factors

Kyu Jin Park*

Korea Ginseng & Tobacco Research Institute, Taejon 305-345, Korea

(Received on January 24, 2001)

As stand-missing rate (SMR) of ginseng plants in fields are directly related to the ginseng root rot, the forecasting model for the root rot progress in ginseng fields was developed, using the estimated SMRs by disease incidence (DI) of ginseng seedling in the soil-indexing bioassay and the estimate of DI derived from soil environmental factors or rhizoplane microflora. For fitness analysis of the forecasting model, simple correlation and linear regression between SMRs at different planting ages in fields and their estimates by 3 factors of the model were evaluated. The SMR estimated from the factor of DI in the bioassay had much higher fitness to the SMR observed in fields than that from the factors of soil environments and rhizoplane microflora. The estimated SMRs in young and aged ginseng fields by DI in the bioassay were significantly correlated with the observed SMRs in 3- and 5-year-old ginseng fields, respectively ($p=0.01$). This implicates that indexing preplanting field soils with the forecasting model using DI in the bioassay can provide an information to determine the suitability of the fields for ginseng cultivation, and that indexing cultivating field soils can be helpful to determine the time of harvesting to reduce further yield loss by root rot in continuous cultivation in the next year.

Keywords : disease forecasting model, ginseng, root rot

서 론

다년생이며 숙근성 식물인 인삼에 있어서 *Cylindrocarpon* 또는 *Fusarium*에 의한 뿌리썩음병 피해는 재배지 포장에서 특히 심각하며, 현재까지 병방제 약제가 개발되어 있지 않고, 병발생에 관여하는 토양요인들이 매우 다양하기 때문에 인삼재배 기간 중에 활용할 수 있는 방제방법이 미비한 실정이다(박, 1995; 박과 정, 1997; 박 등, 1997b; 유 등, 1996).

현재 뿌리썩음병 발생의 경감을 위해 재배전 예정지 토양 관리시 토양훈증제를 처리하거나 담수처리를 하고 한편으로는 길항균을 이용한 생물학적 방제법이 시도되고 있으나(유 등, 1996), 일차적으로 중요한 것은 예정지 토

양의 발병 조건 및 전염원 밀도 또는 전염원능력을 조사하고 발병 가능성을 진단하여 건전한 예정지를 선정하는 것이다. 따라서 재배적지 선정을 위한 토양검정 차원에서 뿌리썩음병 발생을 예측하기 위해 먼저 생물검정법을 이용하여 유묘 병발생량(이병율) 및 병진전 양상을 조사하였고, 병발생 변수에 직접 또는 간접영향을 미치는 토양 환경요인들을 구명하였다. 그리고 이들 요인들을 이용하여 뿌리 발달 또는 생육이 상대적으로 저조한 저년생(2, 3년생) 인삼과 뿌리 발달 또는 생육이 왕성하여 뿌리간의 교차가 일어나는 고년생(4, 5, 6년생) 인삼의 병발생을 예측할 수 있는 모형을 개발하였다(박, 1995; 박 등, 1997a; 박과 정, 1997).

본 연구에서는 개발된 병발생 예측 모형의 적합성 검정을 위해 1992년도부터 2000년도에 걸쳐 동일 포장에서 연차별로 조사한 인삼 지상부 결주율과 예측 모형의 3 요인별 저년생과 고년생의 추정치간의 상관분석 및 회귀분석을 각각 실시하였다. 그리고 조사 포장수 및 년수를 확

*Corresponding author
Phone) +82-42-866-5335, Fax) +82-42-861-1949
E-mail) kjpark@gtr.kgtri.re.kr

대하여 인삼유묘 이병율을 이용한 발병예측 모형식의 적합성을 재확인하였다.

재료 및 방법

발병을 추정을 위한 자료분석 및 모형 개발. 뿌리썩음병의 전염원능력 및 발병에 관여하는 토양 환경요인을 구명하기 위해 1992, 1993, 1994년도에 37개의 인삼 재배포장을 선정하여 각 포장에서의 지상부 결주율과 각 수집한 토양에서의 인삼유묘 이병율과 토양 미생물상 및 이화학적 성을 조사하였다. 그리고 통계분석을 통해 지상부 결주율과 생물검정에 의한 유묘 이병율 등 병발생 변수에 직접 또는 간접영향을 미치는 토양환경요인들을 조사하였다(박, 1995; 박 등, 1997a; 박과 정, 1997). 이들 구명된 분석 요인 및 자료들은 발병을 추정 및 모형 개발에 이용하였다. 포장에서의 발병을 추정을 위해서는 실제 포장에서의 년생별 지상부 결주율과 생물검정에 의한 유묘 이병율간의 상관 및 회귀분석을 하여 회귀 직선식을 산출하였고, 이때의 년생은 저년생(2-3년생)과 고년생(4-6년생)으로 구분하였다. 그리고 유묘 이병율의 추정을 위해서는 이병율에 대해 단순상관이 높거나 또는 경로분석(path coefficient analysis) 결과 직접영향 효과가 높았던 근면 또는 토양미생물과 이화학적 성들을 대상으로 다중회귀분석(multiple regression analysis)을 실시하여 다중회귀방정식을 산출하였다. 그리고 이상의 결과를 토대로 1) 생물검정에 의한 유묘 이병율의 직접 조사치, 2) 근면 미생물 및 3) 토양요인에 의한 이병율의 추정치를 이용하여 저년생과 고년생 포장에서의 지상부 결주율을 각각 추정함으로써 토양에서의 인삼 뿌리썩음병 발병(지상부 결주율)을 예측할 수 있는 시험 모형을 개발하였다(박, 1995).

요인별 발병예측 모형식의 적합성 검증. 인삼 재배포장에서 매년 조사한 년생별 결주율(SMR)과 발병예측 모형에서 3요인, 즉 유묘 이병율(BioA), 근면 미생물 요인(MFR) 및 토양환경요인(Soil)에 의해 산출된 저년생과 고년생의 결주율 추정치(E2와 E4) 간의 적합성 여부를 검증하기 위해 각각 단순상관분석 및 직선회귀분석을 통해 분석하였다. 지상부 결주율은 시험 모형의 개발을 위해 선정한 37개의 포장과 1994년도에 추가한 4개 포장을 대상으로 1998년도까지 매년 5-6월에 조사하였다. 추가한 포장은 한국인삼연초연구원 증평시험장 내의 포장으로 1983, 1984년도에 6년생 인삼을 채굴하였고, 1994년도에 인삼을 재식하였다. 결주율은 재식본수에 대한 지상부 결주본수 비율(%)로 산출하고, 결주 기준은 당해 년도에 출아가 되지 않은 개체수와 생육 중 뿌리썩음에 의해 지상

부가 고사된 개체수를 모두 포함시켰다.

유묘 이병율을 이용한 발병예측 모형식의 적합성 확인. 요인별 발병예측 모형식의 적합성 검증 결과, 유묘 이병율(BioA)을 이용한 결주율 추정치는 다른 요인에 의한 추정치에 비해 실제 포장에서의 결주율과 상관성이 높았다. 따라서 1996년과 1997년도에 인삼재배 예정지 18개 포장을 추가로 선정하여 생물검정에 의한 인삼유묘 이병율을 구하고 모형식에 적용하여 결주율 추정치를 산출하였으며, 한편 인삼 이식후 2000년도까지 포장에서의 지상부 결주율을 년생별로 조사하였다. 그리고 총 59개 포장을 대상으로 저년생과 고년생의 결주율 추정치(E2와 E4)와 년생별 결주율 조사치(SMR)간의 적합성을 단순상관분석 및 직선회귀분석을 통해 재검정하였다. 96년도에 추가한 포장은 재작지 2개 포장(한국인삼연초연구원 증평시험장; 1984년과 1995년도 2회 채굴)과 초작지 4개 포장(대전 시험포1, 음성시험장 1, 수원시험장 2)이고, 97년도에는 재작지 3개 포장(증평시험장; 1989년도 채굴)과 초작지 3개 포장(대전 시험포 1, 수원시험장 2), 그리고 6개의 이병포장(수원시험장)을 추가하여, 각각 1996년도와 1997년도에 인삼을 이식하였다.

결과 및 고찰

포장에서의 결주율 조사치와 요인별 추정치간의 적합성 검증. 발병예측 모형에 의한 요인별 결주율 추정치와 동일포장에서 연차별로 조사한 결주율 조사치간의 적합성을 검증하기 위해 상관분석 및 회귀분석을 실시하였다. 유묘 이병율에 의한 저년생의 결주율 추정치(E2-BioA)는 2년생 및 3년생 결주율 조사치(SMR2, 3)와 5%와 1% 수준에서 각각 유의성 있는 상관관계를 보였던 반면, 근면미생물 및 토양환경요인에 의한 추정치(E2-MFR, E2-Soil)는 2년생 조사치와는 상관성이 없었으나 3년생 조사치와는 1% 수준에서 유의성이 있는 상관관계를 보였다. 유묘 이병율과 근면미생물 및 토양환경요인에 의한 고년생의 결주율 추정치(E4-BioA, E4-MFR, E4-Soil)는 4년생 및 5년생 결주율 조사치(SMR4, SMR5)와는 각각 1% 또는 5% 수준에서 통계적으로 유의성이 있는 상관관계를 보였다. 하지만 6년생 포장에서의 결주율 조사치(SMR6)는 유묘 이병율과 토양환경요인에 의한 추정치와는 각각 1% 수준에서 상관관계를 보였지만, 근면미생물에 의한 추정치와는 통계적 유의성이 없었다. 또한 각 년생별 결주율 조사치와 요인별 추정치간의 회귀분석 결과, 조사치와 근면미생물 및 토양요인에 의한 추정치간 회귀직선식에서의 기울기(회귀계수)는 0.4 내외이었던 반면, 유묘이

Table 1. Correlation coefficients and equations of linear regression between stand-missing rates at different planting ages in the ginseng fields and their estimates derived from the forecasting models based on the 3 factors^a

SMR ^b (x)	Estimates ^c (y)	No. fields examined	Correlation coefficient (r)	y = Ax + B	
				A	B
SMR2	E2 (BioA)	10	0.668 ^{ns}	0.80	4.48
	E2 (MFR)	10	0.272 ^{ns}	-	-
	E2 (Soil)	10	0.081 ^{ns}	-	-
SMR3	E2 (BioA)	14	0.851 ^{**}	0.76	1.85
	E2 (MFR)	14	0.769 ^{**}	0.52	8.26
	E2 (Soil)	14	0.730 ^{**}	0.40	14.03
SMR4	E4 (BioA)	16	0.868 ^{**}	0.66	21.95
	E4 (MFR)	16	0.615 [*]	0.29	40.06
	E4 (Soil)	16	0.790 ^{**}	0.31	43.19
SMR5	E4 (BioA)	18	0.829 ^{**}	0.69	15.12
	E4 (MFR)	16	0.513 [*]	0.36	38.01
	E4 (Soil)	18	0.737 ^{**}	0.30	40.08
SMR6	E4 (BioA)	20	0.748 ^{**}	0.75	10.52
	E4 (MFR)	20	0.130 ^{ns}	-	-
	E4 (Soil)	20	0.637 ^{**}	0.33	39.38

^a factors: BioA, disease incidence in the soil-indexing bioassay; MFR, microflora on the rhizoplane of ginseng seedlings; Soil, soil environmental factors.

^b SMR_n: stand-missing rates at different planting ages (n) in the ginseng fields.

^c E_n (factor): their estimates at different planting ages (n) by the forecasting models based on the 3 factors.

^d ns: not significant; * and **: significant at p = 0.05 and p = 0.01, respectively.

병율에 의한 추정치와 조사치간에는 0.7 이상으로 높았고 y 절편도 0에 가까웠다(Table 1). 이상의 결과에서 유묘 이병을 및 근권요인(토양 이화학성 및 미생물상 밀도)에 의한 포장 결주율의 추정이 가능하였으나, 근권요인의 경우 유묘 이병율에 비해 포장 결주율에 미치는 직접영향이 낮아(박, 1995; 박과 정, 1997), 결주율 추정치와 실측치간의 상관성 및 적합성도 상대적으로 낮았다. 또한 근권요인 조사치는 방법에 따른 변이가 심하고, 특히 토양 이화학성을 조사하기 위해서는 조사 항목수가 많고 그 과정이 복잡하여 조사치를 모형식에 실제 적용시키기에는 어려움이 있다. 따라서 각 년생에서의 포장 결주율을 추정하기 위해서는 생물검정에 의한 유묘 이병율을 이용하여 직접 산출하는 것이 가장 바람직할 것으로 사료된다.

유묘 이병율을 이용한 발병예측 모형식의 적합성 확인. 조사 포장수를 확대하여 유묘이병율에 의한 발병예측 모형식의 적합성을 재확인하기 위해 결주율 추정치와 포장에서의 년생별 결주율 조사치간 상관분석을 실시하였다. 저년생 결주율의 추정치(E2-BioA)는 3년생 결주율 조사치(SMR3)와는 1% 수준에서 통계적으로 유의성 있

는 상관관계를 보였던 반면, 2년생 조사치와는 통계적 유의성이 없었고, 고년생 결주율의 추정치(E4-BioA)는 4, 5, 6년생 결주율 조사치(SMR4, 5, 6)와 각각 1% 수준에서 통계적으로 유의성이 있는 상관관계를 보였다. 또한 각 년생별 결주율 조사치와 모형식에 의한 추정치간의 회귀분석 결과, 3년생과 5년생의 경우 회귀직선식의 기울기(회귀계수)는 0.96으로 1에 가까웠고 y 절편은 각각 2.5와 12로 0에 가까웠던 반면, 4, 6년생의 경우에는 상대적으로 기울기가 낮고(0.52와 0.75) y 절편은 20내외의 높은 경향을 보였다(Fig. 1, 2). 이상의 결과에서 인삼재배 포장에서의 지상부 결주율 조사치와 조사포장 토양에서의 유묘 이병율간의 회귀분석을 통해 구한 발병예측 모형식에서 저년생 인삼의 결주율 추정치는 3년생 포장, 그리고 고년생 인삼의 결주율 추정치는 5년생 포장에서의 실제 결주율 조사치와 1% 통계적 유의수준에서 일치하였다. 따라서 인삼 재배예정지 선정시 인삼 뿌리썩음병에 대한 토양검정 차원에서 토양 채취후 생물검정법을 이용하여 유묘 이병율을 구하고, 이를 발병예측 모형식에 적용함으로써 3년생과 5년생 생육기의 지상부 결주율을 예측하여

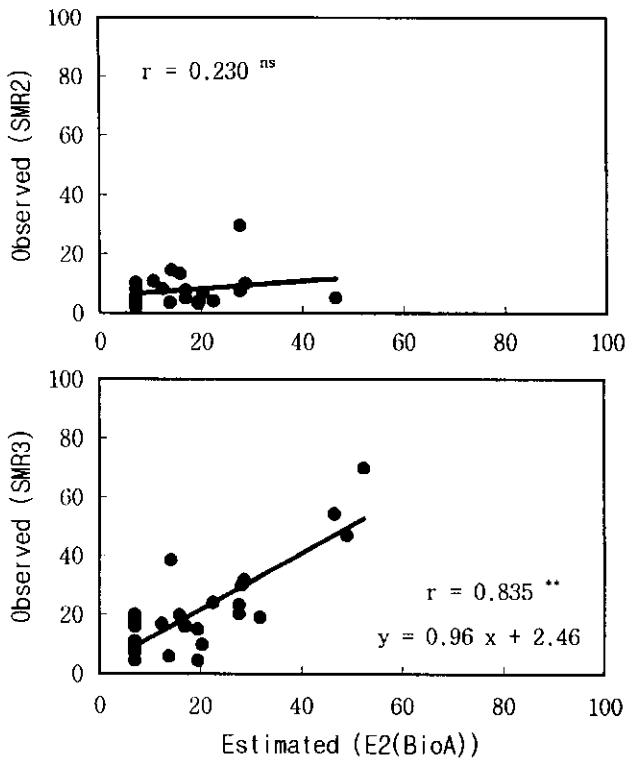


Fig. 1. Correlation between stand-missing rates (SMR) of 2- (top) and 3-year-old ginseng (bottom) in fields and their estimates from the forecasting model based on the disease incidence in the soil-indexing bioassay (ns: not significant; **: significant at $p = 0.01$).

인삼재배 적지 여부를 판정할 수 있다. 또한 인삼 생육기간 중에도 이를 적용할 경우 고년생에서의 병진전을 예측할 수 있어 조기수확 여부를 판정 내릴 수 있을 것으로 사료된다. 이와 유사한 연구로 Adams(1981)는 onion white rot의 병발생을 예측하기 위해 토양 내 균핵 밀도와 이병율과의 관계를 회귀곡선식으로 나타냈고, 병원균의 밀도 조사가 어려운 *Aphanomyces*의 경우에는 생물검정법을 이용하여 전염원 능력을 조사하고 포장에서의 병발생과의 관계를 조사하였다(Malvick 등, 1994; Reiling 등, 1960). 하지만 실제 토양내에서는 전염원의 분포가 균일하지 못하고 기주와 병원체간의 상호관계가 환경조건에 따라 변하기에 전염원 밀도의 추정방법 또는 추정치의 해석 등에 한계점도 있다는 보고도 있다(Gilligan, 1985). 한편 숙근성 식물인 인삼의 경우 뿌리썩음병 진전을 매년 조사할 수 없어 발병율을 지상부 결주율로 추정하였다. 하지만 포장에서 지상부 결주 현상의 주원인은 뿌리썩음병이나, 그밖에 지상부 병원균, 해충 또는 생리장해 등에 의해서도 나타나기 때문에(김 등, 1993; 유 등, 1996) 결주율 조사시 주의가 요구된다. 또한 포장에서의 인삼 뿌리썩음병 발병 상황은 년생에 따라 차이를 보여, 저년

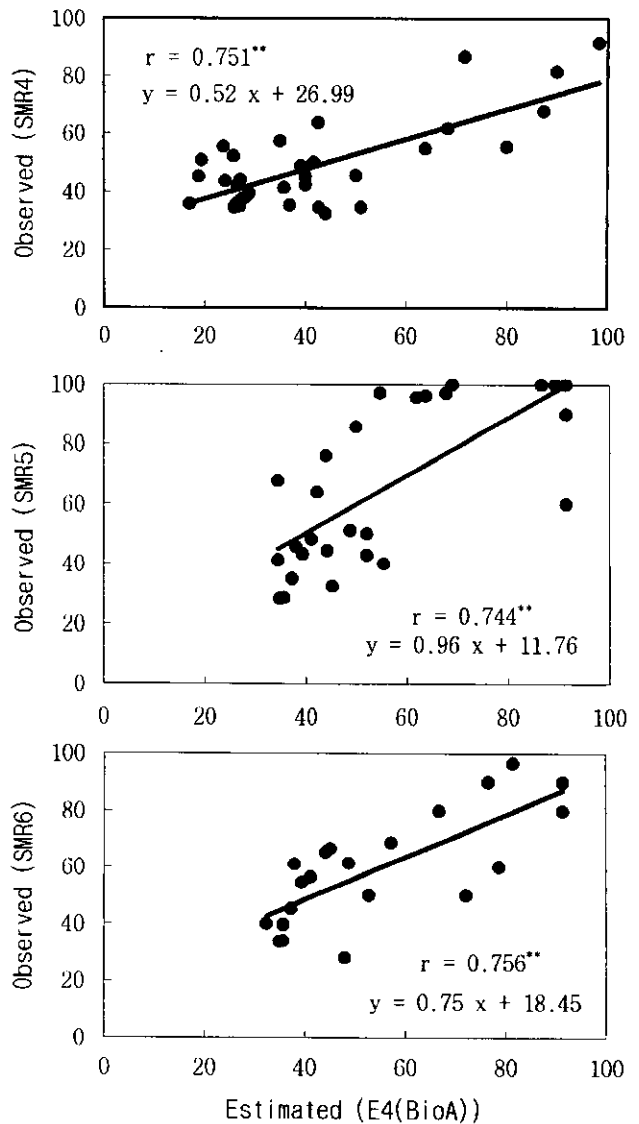


Fig. 2. Correlation between stand-missing rates (SMR) of 4- (top), 5- (middle) and 6-year-old ginseng (bottom) in fields and their estimates from the forecasting model based on the disease incidence in the soil-indexing bioassay (**: significant at $p = 0.01$).

생(2, 3년생) 인삼의 경우 재배 전 토양의 전염원능력에 따른 1차 감염 또는 monocycle의 발병 양상을 나타낸다. 반면 고년생(4, 5, 6년생) 인삼의 경우는 토양의 전염원 능력보다는 전년도에 증가된 전염원 밀도 또는 당해 년도에 감염된 뿌리조직에 의한 2차 감염 또는 polycycle의 발병 양상을 보인다. 따라서 뿌리썩음병 이병율 또는 지상부 결주율은 재배 년수가 경과할수록 증가하고 증가의 폭도 4년근 이후 특히 커진다(박, 1995; 유 등, 1996). 그러므로 생물검정에서의 유묘 이병율과 포장에서의 인삼 결주율간에 상관성은 있었지만, 특히 2차 감염이 주로 일어나는 실제 고년생 포장에서의 병진전 양상은 생물검정

에서의 1차 감염에 의한 병진전 양상과는 다르다. 따라서 뿌리 생육 관련변수와 2차 감염에 관여하는 토양환경요인들을 적용한 모형(Bloomberg, 1988)이나 일본 농림수산성 농업연구센터에서 개발한 배추 무사마귀병을 예로 한 연작장해의 종합적 방제를 위한 모형(1989)에서와 같이 인삼 뿌리썩음병 발병 및 진전을 포장 수준에서 예찰하기 위해서는 2차 감염에 영향을 주는 요인들(뿌리 생육 및 발달 상태 그리고 재식밀도, 기상 등)에 관한 자료들이 추가로 반영되어야 할 것이다.

감사의 말씀

본 연구는 한국담배인삼공사의 출연금으로 수행되었습니다.

요 약

생물검정에 의한 유묘 이병율의 직접 조사치, 또는 근면 및 토양요인에 의한 이병율의 추정치를 이용하여 포장에서의 년생별 지상부 결주율을 추정함으로써 토양에서의 인삼 뿌리썩음병 발병을 예측할 수 있는 시험 모형을 개발하였다. 그리고 발병예측 모형의 요인별 결주율 추정치와 포장에서 결주율 조사시간의 적합성을 통계분석을 통해 조사한 결과, 유묘 이병율에 의한 결주율 추정치는 근권요인(토양 이화학적 및 미생물상 밀도)에 의한 추정치에 비해 결주율 조사치에 대한 적합성이 더 높았다. 조사 포장수를 확대하여 유묘이병율에 의한 발병예측 모형식의 적합성을 재확인한 결과, 저년생 인삼의 결주율 추정치는 3년생 포장, 그리고 고년생 인삼의 결주율 추정치는 5년생 포장에서의 실제 결주율 조사치와 1% 통계적 유의수준에서 일치하였다. 유묘 이병율에 의한 발병예측 모형식은 인삼 뿌리썩음병에 대한 토양검정 차원에서 적용할 경우 재배예정지의 적지 여부를 판정할 수 있고,

인삼 생육기간 중에 적용할 경우 고년생 포장에서의 병진전을 예측할 수 있어 조기수확 여부를 판정할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- Adams, P. B. 1981. Forecasting onion white rot disease. *Phytopathology* 71: 1178-1181.
- Bloomberg, W. J. 1988. Modeling control strategies for laminated root rot in managed Douglas-fir stands: Model development. *Phytopathology* 78: 403-409.
- Gilligan, C. A. 1985. Probability models for host infection by soilborne fungi. *Phytopathology* 75: 61-67.
- 김영호, 이장호, 오승환, 유연현, 이일호. 1993. 폐포지 인삼생육과 인삼생육에 미치는 요인. *고려인삼학회지* 17: 45-51.
- Malvick, D. K., Percich, J. A., Pflieger, F. L., Givens, J. and Williams, J. L. 1994. Evaluation of methods for estimating inoculum potential of *Aphanomyces euteiches* in soil. *Plant Dis.* 78: 361-365.
- 農林水産省 農業研究 Center. 1989. 連作障害 綜合防除 System 開發の手引: ハクサイ根 こぶ病を 事例として. 日本, 養賢堂. 255pp.
- 박규진. 1995. 인삼 뿌리썩음병을 일으키는 토양요인과 발병예측 model 개발. 서울대학교 대학원 박사학위논문. 114pp.
- 박규진, 박은우, 정후섭. 1997a. 유묘 뿌리썩음병 진전에 따른 인삼재배 토양의 유별. *한식병지* 13: 37-45.
- 박규진, 정후섭. 1997. 인삼유묘 뿌리썩음병 진전에 따른 토양군별 특성. *한식병지* 13: 46-56.
- 박규진, 조대휘, 유연현, 오승환. 1997b. 재작지에서 2년생 인삼의 뿌리썩음병 진전과 근권 미생물 밀도변화. *한식병지* 13: 262-268.
- Reiling, T. P., King, T. H. and Fields, R. W. 1960. Soil indexing for pea root rot and the effect of root rot on yield. *Phytopathology* 50: 287-290.
- 유연현, 오승환. 1996. 인삼 병. 최신고려인삼(재배편), pp.197-244. 한국인삼연초연구원.