

유묘 뿌리썩음병 진전에 따른 인삼재배 토양의 유별

박규진* · 박은우¹ · 정후섭¹

한국인삼연구소 연구원 경작시험장, ¹서울대학교 농업생명과학대학 농생물학과

Grouping the Ginseng Field Soil Based on the Development of Root Rot of Ginseng Seedlings

Kyu Jin Park*, Eun Woo Park¹ and Hoo Sup Chung¹

Korea Ginseng & Tobacco Research Institute, P.O. Box 59, Suwon 440-600, Korea

¹Department of Agriculture Biology, College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Suwon 441-744, Korea

ABSTRACT : Disease incidence (DI), pre-emergence damping-off (PDO), days until the first symptom appeared (DUS), disease progress curve (DPC), and area under disease progress curve (AUDPC) were investigated *in vivo* after sowing ginseng seeds in each of 37 ginseng-cultivated soils which were sampled from 4 regions in Korea. Non linear fitting parameters, A, B, K and M, were estimated from the Richards' function, one of the disease progress models, by using the DI at each day from the bioassay. Inter- and intra-relationships between disease variables and stand-missing rate (SMR) in fields were investigated by using the simple correlation analysis. Disease variables of the root rot were divided into two groups: variables related to disease incidence, e.g., DI, AUDPC and A parameter, and variables related to disease progress, e.g., B, K and M parameters. DI, AUDPC, and DUS had significant correlations with SMR in ginseng fields, and then it showed that the disease development *in vivo* corresponded with that in fields. Soil samples could be separated into 3 and 4 groups, respectively, on the basis of the principal component 1 (PC1) and the principal component 2 (PC2), which were derived from the principal component analysis (PCA) of Richards' parameters, A, B, K and M. PC1 accounted for B, K and M parameters, and PC2 accounted for A parameter.

Key words : ginseng, root rot, bioassay, Richards' function, principal component analysis, soil grouping.

인삼의 주요 토양병의 하나인 뿌리썩음병(根腐病)은 6년생 수확시 지하부 이병율 또는 결주율을 기준으로 할 때 초작지의 경우는 50% 내외, 그리고 연작지의 경우는 50% 이상 100%까지 피해를 끼치는 가장 심각한 병이다. 이 병의 발생에는 인삼 연작장해의 원인균으로 보고되고 있는 *Cylindrocarpon destructans*가 주로 관여하며(1, 18), 그밖에 *Fusarium solani*, *Erwinia carotovora*, *Pseudomonas fluorescens* 등이 단독 또는 복합적으로 관여한다는 보고도 있다(7, 18). 또한 인삼은 숙근성 식물이라는 특성과 차광 하에서 재배되는 특성 때문에 토양 환경요인은 인삼생육 및 뿌리썩음병 발병에도 크게 영향을 미칠 것으로 추정된다.

인삼 뿌리썩음병의 발병 상태를 구명하기 위해서는 토양내 병원균의 밀도 조사가 우선되어야 하나, 주요 병원균인 *C. destructans*의 경우 토양 내 밀도가 부생성 *Fusarium* 등 다른 미생물에 비해 상대적으로 낮고 균사생장도 늦기 때문에 토양으로부터 직접 전염원 밀도를 조사하기 어렵다. 또한 인삼 뿌리썩음병은 다른 토양병과 마찬가지로 전염원과 발병에 관여하는 요인들간의 상호관계가 복잡하고 다양하여 포장조건에서 뿌리썩음병의 발병 상황을 조사하기 어렵다. 따라서 인삼 뿌리썩음병 발병에 영향을 미치는 근권 토양요인의 구명을 위해 발병억제토양(disease suppressive soil)과 유발토양(disease conducive soil)의 개념에서 인삼 재배토양을 분류하여 많은 연구를 수행하였다(2, 3, 7, 8, 9). 이들 연구에서는 지상부 결주율을 기

*Corresponding author.

준으로 한 건전토양과 이병토양, 6년생 채굴 후 수량에 따른 우양포장과 불량포장 토양, 재배 경력에 따른 초작지와 재작지(또는 연작지) 토양 또는 년생별 재배 토양 대상으로 토양균간 미생물상 및 이화학적 특성을 비교·조사하였다. 그러나 포장에서의 인삼 결주를 또는 생산량은 환경요인들이 상호 복합적으로 관여한 결과이며, 이들에 의한 토양분류는 상대적 기준치에 의한 것이고, 재배 경력, 재배 년생 또는 예정지 관리방법에 의한 분류는 식물병학적 개념이 부족하여 병발생에 관여하는 토양요인을 구명하기에는 부적합하다.

따라서, 본 연구에서는 각 공시토양에서의 뿌리썩음병 전염원 능력(inoculum potential)을 추정하고, 발병에 관여하는 병발생 변수들을 구명하기 위해 토양수분 및 온도 조건을 조절한 실험실에서 생물검정법을 이용하여 인삼 유묘의 뿌리썩음병 진전 상황을 조사하였다. 그리고 생물검정 결과가 포장에서의 발병 양상과 일치하는가를 확인하기 위하여 병발생 변수와 지상부 결주율간의 상관성을 조사하였다. 또한 유묘의 병진전 양상에 따라 인삼 재배토양을 분류하기 위해 생물검정에 의한 병발생 변수간의 상호관계를 조사하고, 추정된 병진전 곡선의 유형별로 토양을 분류하였다. 급후 유별된 토양군별 토양특성을 조사하여, 인삼 뿌리썩음병의 발병에 미치는 토양 환경요인을 구명하는데 이용하고자 한다.

재료 및 방법

토양시료 채집. 토양시료는 1차로 예정지 관리 및 재배 방법이 유사하였던 한국인삼연초연구원의 증평 및 음성 시험포에서 92년 8월 하순경에 지상부 결주율, 재배 년생 및 해가림 유형(관행 및 개량형)이 상이한 인삼 2년생부터 6년생 근권토양(92년도 기준) 28점을 수집하였다. 그리고 92년 10월 초중순에 증평, 수원 및 대전 시험포의 예정지와 5, 6년생 채굴지 토양 9점을 추가로 수집하여 총 37점의 토양을 시험에 공시하였다. 토양시료는 경작 중인 토양의 경우는 근권 부근에서, 그리고 예정지 또는 채굴 토양의 경우는 포장의 중심에서 일정 간격으로 3개소 이상 토양 표토 밑 5 cm부터 20 cm 사이에서 채취하였다. 채집된 토양은 상대수분 함량이 약 10% 되게 음건한 후 2 mm 토양 체로 걸러 시험에 사용하였다.

재배포장에서의 인삼 결주율. 인삼 지상부 결주율 조사는 인삼연초연구원의 증평과 음성 시험장 내 재배포장에서 년생 및 해가림 구조별로 인삼생육 상황

이 비교적 양호한 곳과 불량한 곳을 포장의 중심 부근에서 선정하여 토양시료 채집 직전에 1 내지 2칸(칸: 90×180 cm)씩 각각 실시하였다. 결주율은 재식본수에 대한 지상부 결주본수 비율(%)로 산출하고, 결주 기준은 당해 년도에 출아가 되지 않은 개체수와 생육중에 지상부가 고사된 개체수를 모두 포함시켰다.

인삼 종자의 생물검정. 생물검정 방법은 공시토양을 500 ml 배양병(φ9×10 cm)에 200 g(건토 기준)씩 넣고 유근이 5 mm 내외 발아된 건전한 인삼 종자를 배양병 당 7립씩 3반복 파종하였다. 시험 토양의 수분 함량은 최대용수량의 60% 되게 살균 증류수로 조절하였고 마개를 씌워 일정하게 유지시켰으며, 배양조건은 12시간 광주건의 15°C 항온기에서 파종 후 30일까지 배양하였다.

인삼 유묘의 이병율 검정. 이병율 조사는 파종 후 30일까지 1 내지 2일 간격으로 발아수 및 시들음 증상의 이병 개체수를 조사하여 발병정도를 나타내는 몇 가지 관련 변수를 산출하였다. 발아전 입고율(pre-emergence damping-off; PDO)은 '파종 종자수에 대한 미발아 이병 종자수', 이병율(disease incidence; DI)은 '발아 종자수에 대한 시들음 증상의 종자수', 최초 병징 발현일(days until the first symptom appeared; DUS)은 파종 후 병징이 나타난 최초 일로 계산하였다. 병진전 곡선면적(area under disease progress curve; AUDPC)은 파종 후 30일까지 2일 간격으로 조사한 이병율의 평균치로 병진전 곡선(disease progress curve; DPC)을 작성하고, 그 면적을 다음의 계산식을 사용하여 구하였다.

$$AUDPC = \sum \frac{(t_{i+1} - t_i)}{2} (y_i + y_{i+1})$$

이때 y_i 는 t_i 일째의 이병율이다.

병진전 곡선 분석. 각 공시토양에서 나타나는 병진전 곡선에 대한 분석은 비선형 회귀분석(non-linear regression analysis)을 이용하였고, Richards' function(16)을 병진전 자료에 적용하였다. 회귀분석은 Statistical Analysis System(SAS)의 NLIN procedure를 사용하였으며 parameter 추정은 Marquadt 방법에 의했다(17). 사용된 Richards' function은 $Y = A * [1 + e^{(B - Kt)}]^{-(1/M)}$ 로서, 여기서 Y는 시기별 이병율(disease incidence at day t), A는 asymptote parameter, B는 location parameter, K는 rate parameter, M은 shape parameter, t는 파종 후 일수(days after sowing)이다. 또한 A, B, K, M 추정치들로부터 다음과 같은 식에 의해 절대 병진전율 Ra(absolute rate of disease increase)와 상대 병진

진율 R_r (relative rate of disease increase)을 계산하였다 (13).

$$Ra = A * K / (2M + 2)$$

$$Rr = K / M$$

토양 유별을 위한 자료분석 전략. 유묘 뿌리썩음병 진전 양상과 관련하여 식물병학적 측면에서 공시된 인삼 재배토양의 분류를 시도하였다. 자료분석에 대한 기본 전략은 우선 실내에서의 유묘 뿌리썩음병 검정 결과를 인삼 재배토양의 분류에 활용할 수 있는지를 판단한 후 병진전곡선 유형에 따라 토양을 유별하였다. 유묘검정 결과의 활용 여부를 판단하기 위해서 재배포장에서의 인삼 결주율과 실내시험에서 나타난 발아전 입고율(PDO), 이병율(DI), 최초 병징 발현일(DUS), 병진전 곡선면적(AUDPC) 간에 상관관계를 조사하였다. 또한 유묘 뿌리썩음병 진전 양상을 나타내는 병진전곡선의 유형을 구분하기 위하여 병진전곡선 모형의 parameter 추정치에 대한 주요인 분석을 실시하여 각 parameter 추정치들이 갖고 있는 정보의 축약을 시도하였다. 그리고 주요인 분석(principal component analysis; PCA)에서 얻어진 2개의 주요인들을 사용하여 병진전 곡선의 유형을 구분하였다.

통계분석 방법. 단순상관 분석은 컴퓨터 응용 software의 하나인 Quattro Pro(Version 4.0)를 이용하여 실시하였다. 또한 cluster 분석(CA) 및 주요인 분석은 Ludwig and Reynolds(10)의 통계분석용 program에 적용하였다. 특히 cluster 분석은 Q-mode distance indices는 percent dissimilarity 또는 chord distance를 이용하였고, clustering strategy는 centroid (unweighted) pair-group method를 이용하였다.

결 과

재배포장에서의 인삼 결주율. 각 지역에서의 지상부 결주율은 년생 또는 조사 장소에 따라 다양하여 지역별 차이를 비교할 수 없었다. 년생에 따른 지상부 결주율은 2년생의 경우 10% 내외로 가장 낮았고, 년생이 증가할수록 결주율도 증가하는 경향을 보였다. 그러나 동일한 년생에서도 재배 조건이나 조사 장소에 따라 변이가 심하였다. 벚짚(판행)과 PE 차광망(개량) 등 해가림 구조물에 따른 결주율 역시 년생 및 조사 장소에 따른 변이가 심하여 그 차이를 비교할 수 없었다(Table 1).

유묘 뿌리썩음병의 진전. 실험실 조건 하에서 실시한 생물검정 시험에서 인삼 종자의 발아는 파종 후

10일경부터 시작하여 20일경이면 대부분 완료되었다. 지상부의 시들음 병징 발현 시기는 조사토양에 따라 차이를 보이지만 대부분 파종 후 20일경부터 나타났고, 발아 초기부터 나타나기 시작하는 경우도 있었다. 최초 병징 발현일(DUS)이 빠를수록, 또는 발아전 입고율(PDO)이 높을수록 파종 30일 후의 유묘 이병율(DI)도 높아지는 경향이었지만, 최초 병징 발현일과 발아전 입고율간에는 뚜렷한 경향을 보이지 않았다. 병진전 곡선면적(AUDPC)은 파종 30일 후의 유묘 이병율 경향과 일치하였다. 한편 예정지 토양이나 저년생 인삼 재배토양에서의 유묘 이병율은 고년생 인삼 재배토양에 비해 낮았고 최초 병징 발현일은 늦은 경향을 보였으며, 발아전 입고율은 년생간 변이가 심하였다. 또한 지역 또는 재배조건에 따른 유묘 이병율이나 발아전 입고율 등도 토양간 변이가 심하여 일정한 경향을 보이지 않았다(Table 1).

유묘 이병율과 포장 결주율. 생물검정에 의한 유묘 뿌리썩음병 이병율과 포장에서의 인삼 지상부 결주율 간의 상관성을 조사한 결과, 포장에서의 인삼 지상부 결주율이 높았던 토양일수록 유묘 이병율과 병진전 곡선면적이 높고 넓었으며, 최초 병징 발현일은 빨랐다. 이들간의 상관계수는 0.652, 0.712, 그리고 -0.608로 1% 수준에서 통계적 유의성이 인정되었다. 따라서 포장에서의 결주율은 실내에서의 생물검정에 의한 발병율과 일치함을 확인하였다. 그러나 발아전 입고율은 지상부 결주율과는 유의성 있는 상관관계를 보이지 않았다(Fig. 1).

유묘 뿌리썩음병 진전곡선 분석. 유묘 뿌리썩음병의 진전 양상을 나타내는 토양들의 병진전 곡선을 비선형 회귀분석을 실시하여 Richards' parameter인 A, B, K, M의 추정치를 구하였다. 하지만 유묘 이병율이 극히 낮아 병진전 양상이 뚜렷하지 않은 토양의 경우 parameter의 추정치를 구할 수 없었다. parameter의 추정치들은 공시토양간 다양한 차이를 보였다(Table 2). 그리고 A 추정치는 발아전 입고율과 유묘 이병율이 높을수록, 병진전 곡선면적이 넓을수록, 또는 최초 발병 발현일이 빠를수록 증가하는 경향을 보였다. 이들간의 상관계수는 0.469, 0.966, 0.828, 그리고 -0.450으로 1% 또는 5% 수준에서 통계적 유의성이 인정되었다. 병진전 pattern을 나타내는 B, K, M 추정치는 서로간에 1% 유의 수준에서 정의 상관을 보였지만, A 추정치 및 병발생 변수들과는 유의성이 없었다. 절대 병진전율(Ra)은 A 추정치가 증가할수록 증가하는 경향이었으나, 상대 병진전율(Rr)은 A 추정치에 따른 뚜렷한 경향을 보이지 않았다.

Table 1. Characteristics of field soils tested and disease variables of seedling rot of ginseng in each soil sample *in vivo*

Soil No.	Region	Field type	Age of ginseng	Shading type	SMR ^a (%)	PDO ^b (%)	DI (%)	AUDPC	DUS (days)
1	Taejon	Preplanting	-	-	-	10.7	11.9	137.9	18.0
2	Taejon	Field	5	Straw	100	10.7	96.5	1049.5	14.0
3	Taejon	Field	6	Straw	28	7.1	26.4	157.8	16.0
4	Suwon	Preplanting	-	-	-	21.4	4.2	4.2	30.0
5	Suwon	Field	5	Straw	100	7.1	61.9	637.3	10.0
6	Suwon	Field	6	Straw	50	7.1	67.3	666.3	14.0
7	Jeungpueng	Preplanting	-	-	-	17.9	14.9	52.9	24.0
8	Jeungpueng	Field	5	Straw	100	21.4	100.0	1090.6	10.0
9	Jeungpueng	Field	6	Straw	80	10.7	100.0	1066.6	14.0
10	Jeungpueng	Preplanting	-	-	-	21.4	8.3	8.3	30.0
11	Jeungpueng	Nursery	1	Straw	-	28.6	45.2	164.0	26.0
12	Jeungpueng	Nursery	1	Straw	-	33.3	58.3	924.9	18.3
13	Jeungpueng	Field	2	Straw	10	28.6	91.7	633.3	20.0
14	Jeungpueng	Field	2	PE	8	7.1	29.8	179.6	21.0
15	Jeungpueng	Field	3	Straw	30	0.0	64.3	421.3	23.0
16	Jeungpueng	Field	3	Straw	70	45.2	100.0	874.8	18.0
17	Jeungpueng	Field	3	PE	19	19.0	53.2	583.0	22.7
18	Jeungpueng	Field	3	PE	47	51.4	100.0	860.6	20.0
19	Jeungpueng	Field	4	Straw	40	0.0	21.4	192.2	20.0
20	Jeungpueng	Field	4	Straw	90	14.3	83.3	433.3	26.0
21	Jeungpueng	Field	4	PE	50	9.5	22.2	205.2	22.3
22	Jeungpueng	Field	4	PE	80	19.0	38.9	339.3	23.3
23	Jeungpueng	Field	5	Straw	60	71.4	100.0	993.2	16.0
24	Jeungpueng	Field	5	Straw	100	21.4	100.0	1099.8	16.0
25	Jeungpueng	Field	6	Straw	60	0.0	78.6	407.2	23.0
26	Jeungpueng	Field	6	Straw	90	51.0	100.0	880.4	18.0
27	Jeungpueng	Field	6	PE	40	4.8	0.0	0.0	31.0
28	Jeungpueng	Field	6	PE	90	47.6	75.0	1178.4	18.0
29	Jeungpueng	Field	5	Straw	100	47.6	91.7	980.5	17.3
30	Jeungpueng	Field	4	Straw	40	14.3	16.7	83.3	28.3
31	Eumsung	Field	2	Straw	10	0.0	9.5	66.5	28.7
32	Eumsung	Field	3	Straw	20	14.3	20.0	60.0	28.5
33	Eumsung	Field	4	Straw	35	23.8	42.2	208.6	23.3
34	Eumsung	Field	5	Straw	50	38.1	33.3	355.7	23.0
35	Eumsung	Field	5	Straw	90	33.3	100.0	1004.0	18.0
36	Eumsung	Field	6	Straw	50	19.0	34.5	192.7	24.0
37	Eumsung	Field	6	Straw	80	33.3	58.3	403.1	22.0

^a SMR, stand-missing rate in fields.

^b PDO, DI, AUDPC and DUS were disease variables examined from the bioassay; PDO, preemergence damping-off; DI, disease incidence at 30 days after sowing; AUDPC, area under disease progress curve; and DUS, days until the first symptom appeared.

유묘 뿌리썩음병 진전에 따른 토양 유형별, 공시토양을 병진전 양상에 따라 분류하고 토양군별 특성을 구명하기 위해 병발생 변수 중 병진전 양상을 잘 나타내었던 Richards' parameter A, B, K, M 변수를 대상으로 주요인 분석(Principal component analysis; PCA)을 실시하였다. 전체 변수에 대한 제1 주요인(PC1)의 기

여도(eigenvalue)는 약 69%, 그리고 제2 주요인(PC2)은 약 24%를 차지하여 두 주요인은 전체 변수를 대부분 설명할 수 있다. PC1은 B, K, M 변수와의 상관계수가 각각 0.9 이상으로, B, K, M 3 변수의 특성을 모두 나타내었다. 그리고 PC2는 A 변수와의 상관이 0.98로, A 변수의 특성을 나타내었다(Table 3, 4).

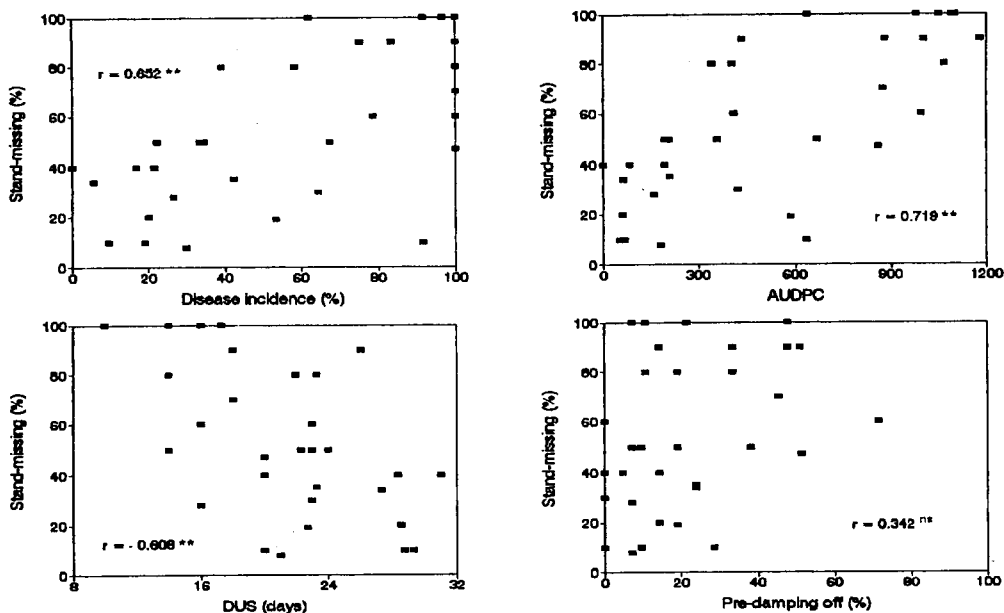


Fig. 1. Relationships between the disease incidence (DI), the area under disease progress curve (AUDPC), days until the first symptom appeared (DUS) and the preemergence damping off (PDO) in bioassay, and the stand-missing rate in fields.

Table 2. Parameter estimates of the Richards' function for the seedling rot progression of ginseng in soil samples

Soil No.	Richards' parameter ^a						Soil No.	Richards' parameter ^a					
	A	B	K	M	Ra	Rr		A	B	K	M	Ra	Rr
1	12.4	2.93	0.43	1.01	1.33	0.43	20	60.8	19.92	1.00	1.12	14.34	0.89
2	87.1	4.38	0.41	1.08	8.58	0.38	21	22.5	24.78	1.03	4.79	2.00	0.22
3	30.2	24.26	0.83	5.07	2.06	0.16	22	20.5	15.98	1.24	2.37	3.77	0.52
4	NE ^b	NE	NE	NE	NE	NE	23	100.0	11.75	0.57	2.15	9.05	0.27
5	59.4	33.51	1.36	9.18	3.97	0.15	24	100.0	17.78	0.87	2.81	11.42	0.31
6	67.2	24.50	1.05	4.87	6.01	0.22	25	78.3	28.40	1.07	3.58	9.15	0.30
7	NE	NE	NE	NE	NE	NE	26	100.0	41.24	1.48	11.27	6.03	0.13
8	94.7	38.51	1.55	12.06	5.62	0.13	27	NE	NE	NE	NE	NE	NE
9	89.2	21.11	1.03	4.24	8.77	0.24	28	67.5	11.67	1.02	1.53	13.61	0.67
10	NE	NE	NE	NE	NE	NE	29	92.6	76.65	2.84	25.62	4.94	0.11
11	58.6	9.89	0.54	1.01	7.87	0.53	30	NE	NE	NE	NE	NE	NE
12	56.7	20.22	1.17	6.05	4.70	0.19	31	NE	NE	NE	NE	NE	NE
13	91.0	11.04	0.50	1.61	8.72	0.31	32	NE	NE	NE	NE	NE	NE
14	33.6	9.63	0.36	2.41	1.77	0.15	33	47.8	28.39	0.98	4.05	4.64	0.24
15	44.5	26.38	2.00	1.00	22.25	2.00	34	33.9	41.50	1.52	14.45	1.67	0.11
16	82.4	29.35	1.27	6.58	6.90	0.19	35	99.7	25.03	1.10	4.69	9.64	0.23
17	37.9	16.52	1.06	3.01	5.01	0.35	36	29.9	28.90	1.05	5.84	2.29	0.18
18	90.9	25.04	1.01	6.19	6.38	0.16	37	48.8	24.89	1.03	4.04	4.99	0.25
19	22.1	40.29	1.45	10.86	1.35	0.13							

^a A, B, K, M, Ra and Rr were derived from the Richards' function.

^b NE : not estimable.

주요인 분석에 의한 공시토양 30점의 PC1과 PC2 좌표값을 plotting한 결과 PC2에 비해 eigenvalue가 높았던 PC1의 좌표는 PC2에 비해 상대적으로 넓게 분

포하였다. 근거리에 있는 토양군끼리 묶어 8개의 소집단으로 1차 분류하고, 이들 8개의 소집단을 PC1을 기준으로 3개의 토양군(BKM1, BKM2, BKM3)으로 묶

었으며, 또한 PC2를 기준으로 소집단을 3개의 토양군 (A1, A2, A3)으로 묶어 분류하였다. 공시토양 중 변수

Table 3. The contribution of the first 3 principal components of Richards' parameters from the principal component analysis

Principal component	Eigenvalue	Contribution (%)	Sum contribution (%)
I	2.775	69.4	69.4
II	0.970	24.2	93.6
III	0.213	5.3	99.0

Table 4. Correlation of Richards' parameters on the first 3 principal components from the principal component analysis

Parameter ^a	Principal component		
	I	II	III
A	0.224	0.974	-0.027
B	0.983	-0.066	0.049
K	0.927	-0.122	-0.350
M	0.948	-0.043	0.297

^a A, B, K, and M were derived from the Richards' function.

Table 5. Disease incidence and Richards' parameter estimates of seedling rot of ginseng in soil samples for individual soil groups

Group	PDO ^a (%)	DI (%)	AUDPC	DUS (days)	Richards' parameter ^b					
					A	B	K	M	Ra	Rr
BKM1	27.6 ±7.2 ^c	63.7 ±13.8	629.7 ±139.1	17.8 ±1.8	62.7 ±13.2	40.4 ±0.4	1.5 ±0.0	12.2 ±0.5	3.6	0.1
BKM2	21.3 ±3.8	62.8 ±6.9	568.8 ±79.9	19.3 ±1.1	57.4 ±6.6	24.7 ±1.2	1.1 ±0.0	5.0 ±0.4	5.2	0.2
BKM3	26.7 ±8.1	70.4 ±12.8	652.1 ±168.1	19.4 ±1.6	67.9 ±11.7	11.0 ±2.1	0.6 ±0.1	1.6 ±0.3	8.2	0.4
A1	31.4 ±6.2	97.0 ±1.9	905.5 ±61.8	17.0 ±1.0	92.1 ±2.2	23.1 ±3.3	1.0 ±0.1	5.1 ±1.1	7.4	0.2
A2	23.0 ±6.1	65.2 ±5.0	667.4 ±133.0	18.7 ±2.4	61.7 ±1.7	20.2 ±3.2	1.0 ±0.1	4.0 ±1.2	6.4	0.3
A3	17.0 ±3.3	33.8± 4.0	268.6 ±39.2	21.4 ±0.7	30.9 ±3.2	23.5 ±3.4	1.0 ±0.1	5.3 ±1.1	2.5	0.2
A4	13.4 ±2.9	10.5 ±2.5	39.3 ±12.0	28.6 ±0.8	NE ^d	NE	NE	NE	NE	NE

^a PDO: preemergence damping-off; DI: disease incidence at 30 days after sowing; AUDPC: area under disease progress curve; DUS : days until the first symptom appeared.

^b A, B, K, M, Ra, and Rr were derived from Richards' function.

^c Average ± standard error: No. of soil samples examined; 4 for BKM1, 15 for BKM2, 9 for BKM3, 11 for A1, 6 for A2, 11 for A3, and 7 for A4 group.

^d NE : not estimable.

의 추정값이 다른 토양에 비해 크게 차이를 보였던 15번(Ra=22.25, Rr=2.0)과 29번(B=76.65, M=25.62) 토양은 토양분류에서 제외시켰다(Fig. 2). 그리고 생물검정시 유묘 이병율이 극히 낮아 Richards' parameter의 추정값을 산출할 수 없었던 한 개의 토양군(A4)을 포함하여 이병율 정도에 따라서는 총 4개 토양군, 그리고 병진전 양상에 따라서는 3개 토양군으로 공시토양을 최종 분류하였다. 한편 cluster analysis에 의해서는 크게 2개 토양군으로 구분할 수 있었다. 그러나 clust-

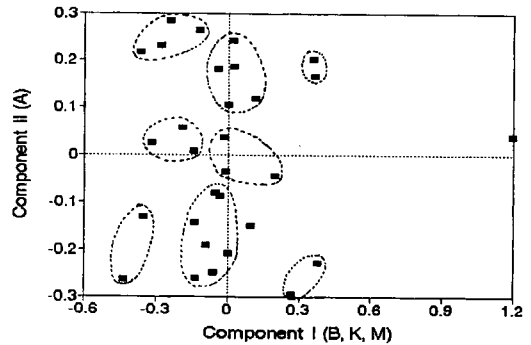


Fig. 2. Groupings of ginseng field soils by the first and second principal components of Richards' parameters in the principal component analysis.

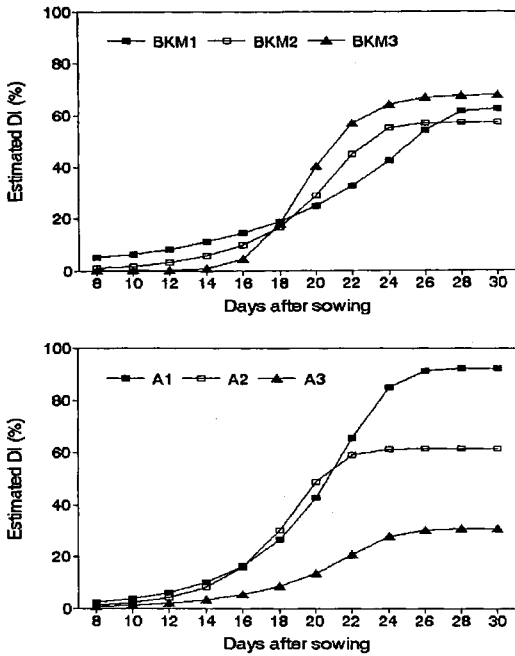


Fig. 3. Estimated disease progress curves of soil groups based on Richards' parameters. Above, based on 'B, K, M' parameters; Below, based on 'A' parameter.

er 분석조건에 따른 변이가 심하고 토양군별 발병 양상을 충분히 해석하기 어려워 주요인 분석에 의한 토양분류를 하는데 보조 수단으로 응용하였다.

토양군별 병진전 특성. PC1에 의해 분류된 각 토양군의 뿌리썩음병 진전 모형들의 B, K, M 각 평균값은 토양군간에 뚜렷한 차이를 보였다. 그러나 발병정도를 나타내는 A값, 발아전 입고율, 유묘 이병율, 병진전 곡선면적 그리고 최초 병징 발현일의 각 평균값은 큰 차이를 보이지 않았다. 각 토양군에서 병진전 양상을 나타내는 B, K, M 값은 모두 BKM1군이 가장 높았고, BKM3군이 가장 낮았다. 즉 병진전 곡선의 모양에 의하면 BKM1군에 속하는 공시토양에서는 뿌리썩음병 발생이 비교적 빨리 시작되었지만 이병을 증가는 천천히 이루어진 반면, BKM3군에서는 병발생이 늦게 시작되었지만 상대적으로 빠르게 진전되었다. PC2에 의해 구분된 토양군간에는 각 군의 A 및 병발생 변수의 평균값에 있어서 뚜렷한 차이가 있었으나, B, K, M의 각 평균값에는 뚜렷한 차이가 없었다. 즉 A1, A2 및 A3군 토양들은 거의 비슷한 시기에 병발생이 시작되었으나 A1군 토양에서는 빠른 속도로 병이 진전되어 파종 후 30일 경에는 약 90% 이상의 유묘가 발병되었고, A3군 토양에서는 병진전 속도가 완만하

여 최종적으로 약 30%의 유묘만이 발병되었다(Table 5, Fig. 3).

고찰

인삼 재배토양을 대상으로 인삼 뿌리썩음병의 전염원 능력을 추정하기 위하여 인삼 종자를 이용한 생물검정을 실험실에서 실시하여 유묘의 병진전 양상을 조사하였다. 사용된 생물검정 방법은 토양 내 전염원 밀도 조사가 어려운 *Aphanomyces euteiches*의 전염원 능력 추정을 위해 사용되었던 soil indexing method (15)와 유사하였다. soil indexing method는 rolled towel method(12)와 most probable number method(14) 등 다른 방법에 비해 간편하고 토양 반복간의 변이가 적었지만, 온실에서 포트시험으로 수행된 관계로 수분조절의 어려움과 시험 공간이 과다하게 차지하는 단점도 있었다(11). 하지만 본 시험에서는 소형 배양병(용적 500 ml)을 이용하여 종자를 파종하고, 온도 및 광주조건을 일정하게 유지시킨 배양기 상에서 수행하였기 때문에 soil indexing method의 단점을 해소할 수 있었다. 또한 뿌리썩음병 발생에 영향을 주는 환경요인 중 토양수분 및 온도를 일정하게 유지시켰기 때문에 발병에 미치는 토양 미생물 및 이화학성의 영향만을 조사할 수 있었다.

공시토양의 생물검정에 의해 조사된 인삼 유묘의 병 발생 변수들과 병진전 양상을 나타내는 Richards' parameter인 A, B, K, M간 상호관계를 조사한 결과, 유묘의 뿌리썩음병 발생은 발병정도를 나타내는 변수(DI, AUDPC, A)와 병진전 pattern을 나타내는 변수(B, K, M)에 의해 크게 영향을 받았다. 그리고 포장에서의 인삼 지상부 결주율은 유묘의 발병정도를 나타내는 변수들 및 DUS와 유의성 있는正的 상관 관계를 보였다. 따라서 인삼 종자를 이용하여 실험실에서 실시한 뿌리썩음병에 대한 생물검정법을 이용하여 재배토양에서의 뿌리썩음병 전염원 능력을 추정할 수 있고, 뿌리썩음병 발병 양상을 설명할 수 있을 것으로 판단된다.

한편 지금까지는 인삼 뿌리썩음병에 대한 발병 역제 토양과 유발토양의 개념에서 인삼 결주율, 생산량, 재배 경력, 또는 재배 년생을 기준으로 토양을 분류하고 토양군별 특성 조사를 하여 발병에 미치는 토양요인을 구명하려 하였다(2, 3, 7, 8, 9). 그러나 결주율 또는 생산량에 의한 토양분류는 상대적 기준치에 의한 것이어서 조사 시기에 따라 분류 기준이 다르고 토양군간 토양요인 경향이 일정하지 않아 포장에서의 발병요인을 설명할 수 없었다. 또한 재배 경력, 재배 년생 등에 의

한 토양분류는 식물 병리학적 개념이 부족하고, 분류 기준에 따른 각 토양군간의 발병정도 차이를 비교할 수 없었다. 하지만 인삼유묘의 뿌리썩음병 이병율 및 병진전 양상은 포장에서의 발병 양상을 잘 나타낼 것으로 사료되어, 병발생에 영향을 미치는 토양 환경요인을 구명하기 위해 유묘의 병진전 양상에 따라 공시 토양을 유별하였다. 인삼 유묘의 뿌리썩음병 진전 양상을 나타내는 병진전 곡선 및 병진전 곡선 모형의 parameter들은 Jegger(6)가 보고한 것과 같이 parameter 값에 따른 병진전 경향을 해석하는데 어려움은 있었으나, 공시토양간 차이를 잘 나타내었다. 그리고 대부분의 병발생 변수들이 발병정도(병발생량)를 나타내는데 비해 Richards' parameter인 A, B, K M은 발병정도뿐 아니라 병진전 유형을 나타낸다. 따라서 생물검정에 의한 뿌리썩음병 진전양상에 따라 공시토양을 유별하기 위해 먼저 각 토양의 병진전 곡선 모형의 parameter 값을 주요인 분석하여 B, K M을 제1 주요인(PC1), 그리고 A를 제2 주요인(PC2)으로 구분하여, 이들 parameter들이 갖고 있는 정보를 축약하였다. 그리고 PC1과 PC2를 기준으로 공시토양을 각각 3개 및 4개의 토양군으로 유별할 수 있었다. 공시토양의 유별을 위한 자료분석은 주요인 분석(PCA) 외에 Cluster 분석(CA)도 실시하였다. 그러나 Cluster 분석은 분석조건(Q-mode distance indices 또는 clustering strategy)에 따라 유별되는 토양들이 차이를 보였기 때문에 주요인 분석의 보조 수단으로 사용하였다. 유사한 연구로는 토양학 측면에서 토양 이화학적 특성에 따른 산림토양의 유별을 위해 주요인 분석 등 4가지 numerical classification method를 사용한 예가 있다. 이 연구에서는 주요인 분석과 Discriminant analysis(DA)가 토양 유별을 위한 분석방법으로 적합하였고, Cluster 분석은 한계성을 보여 유별을 위한 보조 수단으로 사용하였고 보고하였다(4). 식물병학 측면에서는 poplar leaf rust(*Melampsora medusae*)에 대한 eastern cottonwood의 저항성 정도를 지역별로 유별하기 위해 Richards' parameter인 $Y_f(A)$, Ra, M 변수와 몇 가지 병발생 변수를 Cluster 분석한 보고가 있다(5). 하지만 병진전 곡선의 유형에 따라 통계적으로 토양을 분류하여 토양군별 식물병학적 특성을 비교한 연구는 전무하다.

이상의 결과들을 종합적으로 고찰할 때 인삼유묘의 병발생은 발병정도 및 병진전 양상을 나타내는 변수들의 영향을 받았고, Richards' parameter는 유묘의 발병정도 및 병진전 양상을 모두 나타내었다. 그리고 이들 parameter를 기준으로 병진전 양상에 따라 분류된 각 토양군들은 발병 및 병진전과 관련된 변수들간에

차이를 보였다. 따라서 생물검정에 의한 인삼 유묘의 병진전 양상에 따라 분류된 토양군들은 포장에서의 뿌리썩음병 발병에 영향을 미치는 토양 미생물 생태 및 이화학적 등 환경요인을 구명하는데 이용될 수 있을 것이다. 또한 생물검정법을 이용하여 토양에서의 인삼 뿌리썩음병 전염원 능력을 추정함으로써 포장에서의 병진전 양상을 예측할 수 있을 것으로 사료된다.

요 약

인삼 재배토양 및 예정지 토양 37점을 수집하여 배양병에 인삼 종자를 파종하고, 각 토양을 대상으로 인삼 뿌리썩음병에 대한 생물검정을 실험실에서 실시하여 발아전 입고율(PDO), 최초 병징 발현일(DUS) 및 유묘 이병율(DI)을 조사하고, 병진전 곡선(DPC) 및 그 면적(AUDPC)을 산출하였다. 또한 Richards' function을 사용하여 병진전 자료에 대한 비선형 회귀분석을 실시하여 Richards' parameter인 A, B, K 그리고 M값을 추정하였다. 그리고 생물검정에서 나타난 병발생에 관한 변수들간 또는 포장에서의 지상부 결주율과의 상호관계는 단순 상관분석을 통하여 조사하였다. 그 결과 병발생 변수는 이병정도(병발생량)를 나타내는 변수(DI, AUDPC, A)와 병진전 pattern에 관여하는 변수(B, K, M)로 크게 구분할 수 있었다. 그리고 포장에서의 인삼 지상부 결주율은 특히 DI, AUDPC, DUS와 유의성 있는正的 상관 관계를 보여, 생물검정과 포장에서의 발병 양상이 일치함을 확인하였다. 한편 인삼 유묘의 뿌리썩음병 병진전 양상을 잘 나타내었던 병진전 곡선 모형의 A, B, K, M 추정치를 주요인 분석(principal component analysis)한 결과, 제1 주요인(B, K, M; PC1)과 제2 주요인(A; PC2)으로 구분할 수 있었으며, 주요인별로 공시토양을 각각 3개와 4개의 토양군으로 유별할 수 있었다.

참고문헌

1. Chung, H. S. 1975. Studies on *Cylindrocarpon destructans* (Zins.) Scholten causing root rot of ginseng. Rept. Tottori Mycol. Inst. (Japan) 12 : 127-138.
2. 정영륜, 김홍진, 오승환, 이일호. 1983. 인삼근부병 억제토양과 유발토양의 특성. 한국식물보호학회지 22 : 203-207.
3. 정영륜, 김홍진, 오승환, 박규진. 1984. 인삼근부병 억제토양 및 유발토양의 근권환경 비교. 한국식물보호학회지 23 : 142-146.
4. Duning, X., Rust, R. H. and Crum, J. R. 1985. Num-

- erical classification of forested soils in the high mountain region of southwestern China. *Soil Sci*, 141 : 127-137.
5. Hamelin, R. C., Shain, L., Ferriss, R. S. and Thielges, B. A. 1993. Quantification of disease progress and defoliation in the poplar leaf rust-Eastern cottonwood pathosystem. *Phytopathology* 83 : 140-144.
 6. Jeger, M. J. 1987. Modelling the dynamics of pathogen populations. In: *Populations of Plant Pathogens*, pp. 91-107, ed. by M. S. Wolfe and C. E. Caten. Blackwell Scientific Publications.
 7. 김홍진, 이순구, 오승환, 김요태. 1981. 인삼근부병 방제연구. 인삼연구보고서(인삼재배), pp. 3-19. 한국인삼연초연구소.
 8. 김홍진, 박규진, 이순구, 이종화. 1987. 인삼 연작장해의 생물학적 방제연구. 인삼연구보고서(인삼재배), pp. 1-141. 한국인삼연초연구소.
 9. 김영호, 이장호, 오승환, 유연현, 이일호. 1993. 폐포지 인삼생육과 인삼생육에 미치는 요인. *고려인삼학회지* 17 : 45-51.
 10. Ludwig, J. A. and Reynolds, J. F. 1988. *Statistical Ecology*. Wiley-Interscience. 337pp.
 11. 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.
 12. Mitchell, J. E., Bhalla, H. S. and Yang, G. H. 1969. An approach to the study of the population dynamics of *Aphanomyces euteiches* in soil. *Phytopathology* 59 : 206-212.
 13. Park, E. W. and Lim, S. M. 1985. Empirical estimation of the asymptote of disease progress curves and use of the Richards' generalized rate parameters for describing disease progress. *Phytopathology* 75 : 786-791.
 14. Pfender, W. F., Rouse, D. I. and Hagedorn, D. J. 1981. A "most probable number" method for estimating inoculum density of *Aphanomyces euteiches* in naturally infested soil. *Phytopathology* 71 : 1169-1172.
 15. 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.
 16. Richards, F. T. 1959. A flexible growth for empirical use. *J. Exp. Bot.* 10 : 290-300.
 17. SAS Institute Inc. 1985. *SAS User's Guide: Statistics*, Version 5 Ed. Cary, NC. 956pp.
 18. 유연현, 오승환. 1993. 인삼 병 연구의 과거와 현재. *고려인삼학회지* 17 : 61-68.

(Received 10 Feb. 1997)