韓應昆誌 36(2) : 185~191 (1997)
Korean J. Appl. Entomol.

당근뿌리혹선충(*Meloidogyne hapla*)에 대한 저항성고추 선발 및 저항성기작 연구

Screening Resistant Red Pepper Varieties to *Meloidogyne hapla* and their Resistance Mechanisms

한상찬 · 김용균
Sang-Chan HAN & Yong-Gyun KIM

ABSTRACT One hundred seventy five red pepper varieties were bioassayed for selecting resistant varieties to northern root-knot nematode, *Meloidogyne hapla*. Fifteen native varieties (IT 102794, 104806, 105516, etc) and two imported varieties were proved to be resistant while the currently cultivated varieties such as Hongtap, Kangsan, Hongsil, and Bookang were moderately resistant to the nematodes. Resistant varieties resulted in less nematode infection and development than did the susceptibles. Roots of the resistant strains had significantly higher esterase and peroxidase activities than did those of the susceptibles.

KEY WORDS northern root-knot nematode, *Meloidogyne hapla*, red pepper, resistant strains, esterase, peroxidase

초 록 당근뿌리혹선충(*Meloidogyne hapla*)에 대한 저항성품종을 선발하고자 175개 고추품종을 대상으로 조사하였다. 그 결과 재래종 15품종(IT 102794, 104806, 105516 등)과 도입종 2품종이 저항성이었고 재배품종 중에서는 홍탑고추, 강산고추, 홍실고추와 부강고추가 중도저항성이었다. 저항성반응을 보인 품종에서는 감수성인 것에 비하여 선충의 침입수도 적었고 발육도 부진하였다. 또 에스테라제와 퍼옥시다제의 활력에서 저항성 고추품종의 뿌리는 감수성인 것에 비하여 현저히 높았다.

검색어 당근뿌리혹선충, 고추, 저항성품종, 에스테라제, 퍼옥시다제

고추는 필수 조미료 채소로서 경작면적이 약 87,500 ha(농림통계연보, 1996)로 채소재배면적의 30%정도를 차지하고 있을 정도로 경종작물 중 중요성이 큰 작물이다. 고추 주산지에서는 대부분의 농가가 연작을 하고 있기 때문에 병해충에 의한 피해가 심하게 발생되고 있는 실정이다. 이들 요인중 뿌리혹선충류(*Meloidogyne* spp.)도 중요한 위치를 차지하고 있다. 고추 주산단지에서의 뿌리혹선충 포장검출율은 76%(조와 한 1983)와 67%(김 등 1987)나 되며 밀도 또한 높은 곳(>100마리/100 ml 토양)이 선충 발생포장의 46%로 보고되었다(조와 한 1983).

뿌리혹선충류에 의한 피해에 관하여 포장에서 조사된 바는 없으나 미국의 경우 매년 15%정도 감수될 것으로 추정하고(Anonymous 1971) 있으며, 폿트접종시험에 의하면 당근뿌리혹선충(*Meloidogyne hapla*)이 주당 10,000마리 이상이면 고추 수량이 15% 감소되고(조와 한 1983), 고구마뿌리혹선충(*M. incognita*)의 밀도가 높을 경우 42%까지 감수되며 피해허용수준은 토양 ml당 2.2마리였다(Di Vito *et al.* 1982).

뿌리혹선충에 대한 고추의 저항성은 Hare(1957)에 의하여 처음 보고 되었으며 이는 우성인자에 의하여 지배된다고 하였다. 그 후 *M. incognita, M. javanica, M. arenaria*에 대한 저항성자원이 *Capsicum frutescens*에서 발견되었고(Di Vito *et al.* 1979), 또 최근에는 *M. incognita, M. javanica, M. arenaria, M. hapla*의 저항성자원이 *Capsicum chacoense*에서 선발되었다(Di Vito *et al.* 1992). 한국에서는 임실, 밀양극조생고추, Riogarande가 당근뿌리혹선충에 대하여 중간저항

안동대학교 자연과학대학 생명자원과학부, 경북 안동시 송천동 388번지(School of Bioresource Sciences, College of Natural Sciences, Andong National University, Andong, Korea)

성이었다(조 등 1986). 고추에서의 뿌리혹선충 발생상황이나 접종시험에 의한 피해 및 감수정도로 보아 이들 선충에 의한 고추의 수량감소가 예상되지만 현재 국내에서 유통되고 있는 농약으로는 방제가 어려운 실정이다. 따라서 뿌리혹선충에 대한 저항성품종을 선발 또는 육성하여 이용하는 것이 바람직하다.

우리나라에 발생하는 뿌리혹선충은 당근뿌리혹선충, 고구마뿌리혹선충, 자바뿌리혹선충(*M. javanica*) 등이 있으나 고추에서는 당근뿌리혹선충이 가장 널리 분포되어 있으므로 본 실험에서는 당근뿌리혹선충에 대한 저항성 고추품종을 선발하고 그 기작을 규명코자 하였다.

재료 및 방법

저항성 품종 또는 계통 선발

고추의 당근뿌리혹선충에 대한 저항성 품종 또는 계통을 선발하기 위하여 101개의 한국 재래종, 26개의 도입 품종(계통) 및 43종의 재배 품종(종묘회사에서 육성하여 시중에 공급되는 F_1) 등 모두 170품종을 이용하였다. 살균토양(사양토)을 150 ml 종이컵에 채우고 25±1C 항온기에서 발아시킨 고추씨를 컵당 2개씩 파종하였다. 발아 5~7일된 고추묘에 토마토(*Lycopersicon esculentum*, 서광)에서 증식시킨 당근뿌리혹선충 2령 유충을 컵당 100마리씩 접종하고 비닐하우스에서 접종된 고추를 생육시켰다. 고추 품종당 10반복하였다.

6주 후에 고추를 뽑아 뿌리를 물에 깨끗이 씻은 다음 뿌리혹착생정도를 육안 조사후 품종당 5뿌리씩 Byrd 등(1983)의 방법으로 염색하여 뿌리내의 선충 발육상황을 해부현미경하에서 조사하였다. 조사결과 저항성 반응을 보인 품종에 대하여는 상기의 방법으로 다시 시험하였다. 저항성 판정기준은 Smith와 Taylor(1947) 방법에 따라 Table 1과 같이 구분하였다.

저항성 기작

가. 생물학적 해석

선충에 대한 반응 검정결과 저항성인 품종과 감수성인 품종을 공시선충이 70~100마리/토양 150 ml 함유된 사양토를 150 ml들이 컵에 담고 고추를 컵당 2립씩 파종하고 발아 3일 후부터 3 또는 6일 간격으로 품종당 3포트씩 뽑아 Byrd 등(1983)의 방법으로 염색하여 선충의 침입수와 발육상황을 해부현미경으로 조사하였다.

Table 1. Discriminating index and criterion of resistance of red pepper to *M. hapla* infection

Degree of resistance	Degree of nematode infection	
	Root-gall index (%)	# Nematodes (♀ adults/plant)
resistant ('R')	0	0
moderately resistant ('MR')	1-25	1-10
medium ('M')	26-50	11-20
moderately susceptible ('MS')	51-75	21-50
susceptible ('S')	76-100	>50

나. 생화학적 해석

효소시료추출—선충의 침입정도에 따라 저항성과 감수성 품종을 구분 후 각각에서 16개체씩 임의로 골라 식물의 지하부와 지상부로 나누었다. 각 부위를 0.1% Triton-X가 포함된 600 µl의 0.1 M 인산완충용액(pH 6.5)에서 조직분쇄기(Ultra-Turrax T8, IKA Labortechnik, 독일)로 시료를 분쇄했다. 분쇄된 시료를 12,000 g에서 5분 동안 원심분리하여 상층액을 각각의 효소시료로 사용하였다. 추출된 효소시료의 총단백질량은 표준용액이 bovine serum albumin으로 Bradford (1976)방법에 의해 측정되었다.

에스테라제활력—Townson 등(1972)의 방법을 이용하여 에스테라제활력을 측정했다. 효소반응액의 최종 조성은 10 µl의 효소추출액, 2 µl의 50 mM p-nitrophenyl acetate, 988 µl의 0.1 M 인산완충용액으로 10분간 25°C에서 반응시켰다. Double-beam spectrophotometer(Uvikon 930, Tegimenta, 스위스)를 이용하여 분리된 p-nitrophenol의 양을 400nm에서 측정하였다. 표준용액으로 p-nitrophenol(0~100 µM)을 이용하였다.

퍼옥시다제활력—Ridge와 Osborne(1970)의 방법을 이용하여 퍼옥시다제의 활력을 측정했다. 효소반응용액은 20 µl의 효소추출액, 3.75 µl의 guaiacol, 150 µl의 1 M H_2O_2, 1320 µl의 0.1 M 인산완충용액으로 10분간 25°C에서 반응시켰다. Double-beam spectrophotometer를 이용하여 시간적으로 변화되는 흡수도를 407 nm에서 측정하였다.

결과 및 고찰

저항성 품종으로 판정된 것은 한국 재래품종 중에서는 IT102794, IT104483, IT104806, IT105273, IT

105516, IT105558, IT105957, IT105977, IT108789, IT108858, IT109007, IT109034, IT109130, IT109143, IT113609와 도입종 중에서는 Chirda Rudchaburi와 F6 Malasia이고 현재 재배되고 있는 품종 중에서는 강한 저항성(R)반응을 나타낸 품종은 없었으며, 홍탑고추, 강산고추, 홍실고추와 부홍건고추의 4개 품종이 중도 저항성(MR)이었다(Table 2).

Table 2. Resistant degree of red pepper varieties to *M. hapla*

Varieties (Strain)	Root-gall index	No. of ♀/Plant	Degree of resistance
IT102356	15.0	9	MR
102358	32.1	22	MS
102062	75.4	52	S
102794	1.2	0	R
102827	10.4	2	MR
103160	28.6	5	M
103214	27.0	14	M
103430	14.3	0	MR
103631	55.0	29	MS
103854	16.0	8	MR
104479	15.0	40	MS
104480	9.4	8	MR
104483	0.0	0	R
104567	5.0	0	MR
104667	2.5	0	MR
104800	2.5	0	MR
104806	6.3	1	MR
104808	0.0	0	R
104837	29.2	6	M
104906	8.3	4	MR
104909	14.3	13	M
104921	5.0	4	MR
104946	41.7	11	MS
104970	7.1	0	MR
105177	53.3	10	MS
105207	5.0	2	MR
105236	25.0	29	MS
105248	25.0	8	MR
105273	0.0	0	R
105390	14.3	11	M
105516	0.0	0	R
105521	10.7	6	MR
105558	0.0	0	R
105628	18.8	17	M
105658	15.6	3	MR
105675	4.2	0	MR
105687	5.0	6	MR
105715	10.7	15	M
105739	75.6	17	S

Table 2. Continued

Varieties (Strain)	Root-gall index	No. of ♀/Plant	Degree of resistance
IT105763	24.1	2	MR
105774	25.0	45	MS
105784	18.7	1	MR
105832	16.7	2	MR
105847	50.0	4	M
105859	16.7	8	MR
105924	41.6	9	M
105930	62.5	15	MS
105957	0.0	0	R
105977	0.0	0	R
105999	5.0	1	MR
108781	62.5	28	MS
108789	0.0	0	R
108825	5.6	0	MR
108858	0.0	0	R
108883	20.8	11	M
108911	19.4	7	MR
108982	5.4	0	MR
109007	0.0	0	R
109034	0.0	0	R
109055	30.0	15	M
109077	31.3	12	M
109103	4.2	6	MR
109130	0.0	0	R
109143	0.0	0	R
109146	28.1	22	MS
109158	25.0	29	MS
109190	43.8	16	MS
109191	75.0	38	S
110959	8.3	11	M
111000	77.5	51	S
111023	8.3	25	MS
111028	35.7	27	MS
111058	26.0	6	M
111072	33.3	12	M
111091	25.0	14	M
111093	40.8	18	M
111111	6.3	4	MR
113108	85.0	49	S
113157	31.3	41	MS
113328	68.8	52	S
113367	25.0	15	M
113374	25.0	20	M
113382	34.4	11	M
113427	18.8	3	MR
113450	26.0	25	MS
113575	30.0	21	MS
113594	21.2	18	M
113603	50.0	62	S
113604	26.0	28	MS

Table 2. Continued

Varieties (Strain)	Root-gall index	No. of 우/Plant	Degree of resistance
IT113606	25.0	11	M
113607	75.0	53	S
113609	0.0	0	R
113611	5.7	9	MR
113612	12.5	11	M
113613	35.3	21	MS
113614	72.5	57	S
113618	25.0	15	M
PM217	76.0	42	S
PI224414	32.1	27	MS
224415	10.7	23	MS
224417	17.8	5	MR
234250	27.2	10	M
241677	6.3	3	MR
244669	26.0	14	M
249434	14.3	17	M
249635	64.0	28	MS
257048	9.4	5	MR
257049	12.0	4	MR
257052	32.1	7	M
257054	76.5	42	S
271642	26.0	13	M
281312	40.0	8	M
YSC-1	35.0	7	M
YSO-1	33.3	8	M
YSO-2	62.5	15	MS
YYC-1	33.6	9	M
Yu1010,chung,H	12.5	7	MR
Yu1019,chung,H	75.6	39	S
Small type kreenu	56.3	32	MS
CAO 24	25.0	19	M
F6 Malasia	10.0	4	MR
Chirda Rudchaburi	0.0	0	R
Kalang	58.3	8	MS
Yod Son	20.0	1	MR
F-2	15.0	6	MR
Kantoorome	25.0	12	M
Mannyang	26.0	22	MS
Geumbong	28.1	23	MS
Nokgwang	28.3	12	M
Saemaeul geumjang #3	33.4	25	MS
Hongtab	18.8	8	MR
Bugang	22.2	26	MS
Ggwari put	21.2	12	M
Geumtab	12.5	13	M
Jogwang	81.3	47	S
Pungchon	85.0	48	S
Hongbog	55.0	32	MS
Dabog geon	81.2	40	S
Cheongbog	25.0	18	M

Table 2. Continued

Varieties (Strain)	Root-gall index	No. of 우/Plant	Degree of resistance
Hongilpum	68.8	35	MS
Nongwoojosaeng mul	17.9	22	MS
Gonggongchil	32.1	12	M
Sinbaram	35.7	41	MS
Alchan	81.1	39	S
Daewang	34.4	10	M
Gangsan	10.7	4	MR
Sinheung	39.3	17	M
Hanmaeum	12.5	12	M
Taeyang	28.6	20	M
Woodeungsaeng	33.3	11	M
Jeoncheonhu	28.6	12	M
Hongsil	4.2	7	MR
Jangwoon	20.8	26	M
Booheung geon	10.0	3	MR
Hongeun	25.0	22	MS
Gwangbog	25.0	12	M
Cheongyang	87.5	45	S
Daemyeong	75.4	36	S
Daejanggyeong	25.0	14	M
Wang	80.0	39	S
Daeheung geon	30.0	35	MS
Hyangchon	35.0	17	M
Oryun	25.0	12	M
Jeogtoma	25.0	13	M
Yicheonnyeon	43.8	41	MS
Geoseong	25.4	26	MS
Dongbang	35.0	24	MS
Taean	81.3	38	S
Daepung	3.1	6	MR

PM217은 Castagnonesereno 등(1992)에 의하여 고구마뿌리혹선충(*M. incognita*)에 대한 저항성으로 알려진 것이나 당근뿌리혹선충에는 감수성 반응을 나타내었다. 이는 선충의 종류와 기후, 사용된 토양 등 환경에 기인한 것으로 생각된다. 또 1차년도에 강한 저항성반응을 보였던 품종(계통) 중 PI 257048, PI 257049 F6 Malasia 등은 2차년도 실험에서도 뿌리혹 착생과 선충의 침입, 증식이 극히 적어 저항성인 품종으로 판정되었으나, PI 2446969, PI 249434, PI 282312, YSO-1, Yu 1019, chung, H 등은 감수성 또는 중간성 반응을 보였다. 이로 미루어 보아 단 1회의 생물검정(뿌리혹착생과 선충발육 조사)만으로 저항성 여부를 결정하기는 어려울 것으로 생각된다.

당근뿌리혹선충에 대한 고추의 저항성기작을 해석하고자 감수성 반응과 저항성반응을 보인 품종을 선충

Table 3. Penetration and development of *M. hapla* on its susceptible and resistant red pepper varieties

Varieties	DAI[1]	Frequencies (%) of developmental stages			# Nematodes per root
		2nd	3rd & 4th instar	Adult	
Pungchon (Susceptible)	3	100.0	0.0	0.0	21
	6	96.3	3.7	0.0	54
	9	67.2	32.8	0.0	61
	15	17.8	75.0	7.2	56
	21	1.6	65.6	32.8	61
	27	0.0	23.8	76.2	63
IT 109143 (Resistant)	3	100.0	0.0	0.0	18
	6	100.0	0.0	0.0	46
	9	92.3	7.7	0.0	39
	15	58.6	41.4	0.0	29
	21	7.7	88.5	3.8	26
	27	6.7	80.0	13.3	15

[1]DAI represents days after nematode infection.

이 접종된 토양에 파종하고 발아 3일 후부터 뿌리에의 침입과 발육을 조사한 바 생육 초기(발아 후 6일까지)에 있어서 뿌리내의 침입 선충수는 각각 21, 54마리와 18, 46마리로서 별 차이가 없었으나 시간이 지날수록 감수성품종과 저항성품종에서의 선충수는 차이가 많아졌다. 또한 선충 발육상황을 보면 감수성인 풍촌고추에서는 발아 15일 후에 암컷성충이 7.2%(4마리), 27일 후에는 76%(48마리)나 되었으나 저항성인 IT 109143에서는 발아 후 21일에 3.8%(1마리), 27일에 13.3%(2마리)로서 극히 낮았다.

McClure 등(1974)은 감수성과 저항성 목화를 대상으로 고구마뿌리혹선충에 대한 반응을 조사한바 저항성 목화에서는 뿌리혹 착생수가 적고 그 크기도 작은 것이 특징이며 특히 선충의 증식이 불량하다고 하였다. 또 Windham과 Williams(1994)는 고구마뿌리혹선충을 감수성과 저항성 옥수수에 접종한 다음 그 침입과 발육 상황을 조사한 바 품종간에 초기 침입수는 비슷하나 선충의 발육은 저항성품종에서 극히 저조하였다고 하였다. 이로 보아 저항성 품종에서는 선충의 침입은 물론 침입후 발육이 정상적으로 되지 않아 증식율이 떨어지는 것으로 보여진다.

선충에 대한 감염성이 달랐던 고추 품종들은 에스테라제와 퍼옥시다제의 활력에서도 서로 다른 차이를 보였다(Fig. 1). 이러한 활력의 변이는 저항성으로 판정된 품종의 뿌리조직에서 감수성 품종보다 높은 에스테라제와 퍼옥시다제의 활력을 보였다. 반면 지상부의 조직에서는 이들 감염성이 다른 품종간에 차이를 보이지 않았다. 이러한 식물체 부위간에 효소활력의 차이는

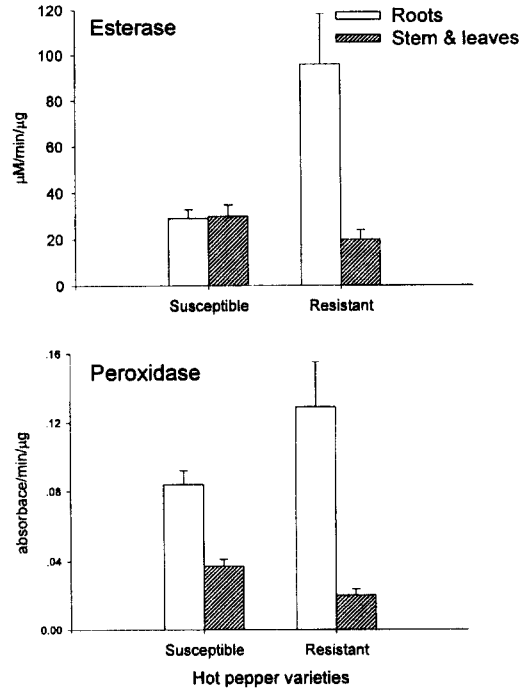

Fig. 1. Enzyme activities of susceptible and resistant red pepper varieties to *M. hapla*.

감수성보다는 저항성 품종에서 뚜렷하다. 즉 저항성품종은 외부침입인자에 대해 적극적인 방어기작을 보유하고 있는 것으로 사료된다.

Hassan 등(1994)은 고구마뿌리혹선충에 저항성인 토마토에서는 퍼옥시다제, polyphenol oxidase, ascorbic oxidase와 catalase의 활력이 높았고 아미노산은 종류

에 따라 함량차이가 있다고 하였다. Noel과 McClure (1978)는 고구마뿌리혹선충과 목화품종간에 효소활력을 조사한 바 선충이 기생되지 않은 뿌리에 있어 퍼옥시다제의 활력은 저항성 품종에서 컸으나, 6-phosphogluconate dehydrogenase는 같았다고 보고하였고, Huang과 Rohde(1973)는 phenol화합물인 chlorogenic acid가 저항성에 관여한다고 주장하였다. 이들 결과로 미루어 보아 저항성에 관여하는 요인 중 효소활력변화도 중요한 위치를 차지한다고 보겠다.

사 사

공시품종을 제공하여 준 농업과학기술원 생물자원부 관계관과 경북대학교 농과대학 김병수 교수에게 감사드린다. 이 연구는 1995년도 학술진흥재단의 공모과제연구비(02 G 0113)에 의해 수행되었다.

인용문헌

Anonymous. 1971. Estimated crop losses due to plant parasitic nematoes in the United States. Suppl. J. Nematol. Special public. No. 1.

Byrd, D. W., T. Kirkpatrick & K. R. Barker. 1983. An improved technique for clearing and staining plant tissues for detection of nematode. J. Nematol. **15**: 142-143.

Bradford, M. M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities to protein utilizing the principle of protein-dye binding. Anal. Biochem. **72**: 248-254.

Castagnonesereno, P., M. Bongiovanni & A. Dalmasso. 1992. Differential expression of root-knot nematode resistance genes in tomatoand pepper-evidence with Meloidogyne incognita virulent and avirulent near-isogenic lineages. Ann. Appl. biol. **120**: 487-492

조현제, 한상찬. 1983. 당근뿌리혹선충이 고추와 토마토의 생육 및 수량에 미치는 영향. 한식보지. **22**: 15-20.

조현제, 한상찬. 1986. 경제작물 주산단지의 선충 발생상황 조사. 한식보지. **25**: 175-182.

조현제, 한상찬, 최동로. 1986. 당근뿌리혹선충에 대한 경제작물의 품종 저항성 검정. 농시논문집. **28**: 94-97.

Di Vito, M. N., N. Greco & A. Carter. 1982. Effect of various population densities of *M. incognita* on the yield of pepper. J. Nematol. **14**: 437.

Di Vito, M. N., F. Saccardo, A. Errico, G. Zaccheo & F. Catalano. 1992. Genetic of resistance to root-knot nematodes in *Capsicum chacoense, C. chinense* and *C. frutescens*. Proceedings of the EUCARPIA Meeting on Genetics and Breeding on Capsicum and Eggplant. Rome, 7-9 Sept.: 205-209.

Harre, W. W. 1957. Inheritance of resistance to root-knot nematodes in pepper. Phytopath. **47**: 45-49

Hassan, H. M., A. M. Khalf-Allah, I. K. A. Ibrahim & H. M. Badr 1994. Free amino acids and oxidative enzymes in infested roots of tomato genotypes resistant and susceptible to *Meloidogyne incognita*. Nematologia-Mediterranea. **22**: 179-183.

Huang, C. L. & R. A. Rohde. 1973. Phenol accumulation related to resistance in tomato to infection by root-knot and lesion nematodes J. Nematol. **5**: 253-258.

Khan, A. A. & M. W. Khan. 1991. Penetration and development of M. incognita race-1 and *M. javanica* in susceptible and resistant vegetables. Nematropeca. **21**: 71-77.

김지인, 한상찬, 최귀문. 1987. 고추연작지의 뿌리혹선충 발생상황. 농시논문집. **29**: 120-123.

McClure, M. A., K. C. Ellis & E. I. Nigh. 1974. Resistance of cotton to the root-knot nematode, *Meloidogyne incognita*. J. Nematol. **6**: 17-20.

Noel, G. R. & M. A. McClure. 1978. Peroxidase and 6-phosphogluconate dehydrogenase in resistant and susceptible cotton infected by *Meloidogyne incognita*. J. Nematol. **10**: 34-39.

Ridge, I. & D. A. Osborne. 1970. Hydroxyproline and peroxidases in cell walls of *Pistan sativum*. Regulation by ethylene. J. Exp. Bot. **21**: 843-846.

Smith, A. L. & A. L. Taylor. 1947. Phytopath. **37**: 85.

Townson, H. 1972. Esterase polymorphism in *Aedes aegypti*: the genetics and Km values of electrophoretically heterogeneous forms. Ann. Trop. Med. Parasitol. **66**: 255-266.

Veech, J. A. & M. A. McClure. 1977. Terpenoid aldehydes in cotton roots susceptible and resistant to the root-knot nematode, *Meloidogyne incognita*. J. Nematol. **9**: 225-229.

Wehner, T. C., S. A. Walters & K. R. Barker. 1991. Resistance to root-knot nematodes in cucumber and horned cucumber. J. Nematol. **23**: 611-614.

Windham, G. L. & W. P. Williams. 1994. Penetration and development of *Meloidogyne incognita* in roots of

resistant and susceptible corn genotypes. J. Nematol. **26**: 80-85.

Zacheo, G., C. Orlando & T. Bleve-Zacheo. 1993. Characterization of anionic peroxidases in tomato isolines infected by *Meloidogyne incognita*. J. Nematol. **25**: 249-256.

(1997년 2월 21일 접수)