

나선선충 접종 밀도가 토마토 생육에 미치는 영향

Effect of Density of *Helicotylenchus dihystra* on Growth of *Solanum lycopersicum*

김동근^{1*} · 류영현¹ · 이윤수² · 최인수³ · 허창석¹

¹유기농업연구소, ²강원대학교 식물자원응용공학과, ³부산대학교 식물생명과학과

Donggeun Kim^{1*}, Younghyun Ryu¹, Younsu Lee², Insoo Choi³ and Changsuk Hu¹

¹Organic Agriculture Research Institute, Uiseong 769-803, Korea

²Department of Applied Plant Science, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

³Department of Plant Bioscience, Pusan National University, Miryang 627-706, Korea

***Corresponding author**

Tel : +82-54-832-9669

Fax : +82-54-833-1359

E-mail: kimdgkr@korea.kr

Received March 13, 2014

Revised June 10, 2014

Accepted June 18, 2014

A greenhouse experiment was conducted to examine the effect of initial population density (Pi) of *Helicotylenchus dihystra* on six commercial tomato cultivars. Two-week-old tomato seedlings of six commercial cultivars were transplanted in d-10-cm clay pot and was inoculated with to give 0, 0.02, 0.2, and 2 nematodes/g soil. Plants were grown in a greenhouse for 60 days. Root and plant weights were unaffected but plant height declined only at inoculum level of 2 nematodes/g soil. At the highest initial population density (2 nematodes/g soil), plant height of tomato cv. Poseidon was reduced by 24%. Tomato cv. Hoyong produced the most nematodes with 7.0 nematodes/g soil and the least was tomato cv. Miniheuksu with 2.2 nematodes/g soil.

Keywords : Damage threshold, *Helicotylenchus dihystra*, *Lycopersicon esculentum*, Pf/Pi, tomato

서 론

나선선충과(Hoplolaimidae)에 속하는 나선선충(*Helicotylenchus* spp.)은 전 세계 약 186종이 있으며, 국내에는 8종이 알려져 있다(Kim, 2003). 이 선충은 기주범위가 매우 넓어 식량작물인 감자, 귀리, 동부, 밀, 보리, 벼, 옥수수, 완두콩, 수수, 콩, 팥, 호밀, 원예작물인 글라디올러스, 양파, 당근, 딸기, 마늘, 메론, 상추, 장미, 카네이션, 토마토, 회양목, 수목류인 감, 대나무, 바나나, 복숭아, 석류, 소나무류, 아보카도, 아카시아, 포도나무, 소나무류, 키위, 포플러, 그 외 고사리, 골풀, 담배, 목화, 사탕수수, 아마, 해바라기, 사탕수수 목초류, 잔디, 클로버 등 거의 대부분의 작물에 기생한다(Churchill과 Ruehle, 1971; Davis 등, 2004; McGawley와 Chapman, 1983; Townshend와 Potter, 1976; Yeates, 1984; Yeates와 Wouts, 1992). 전 세계적으로 분포되어 있으며 식물기생성 선충 중에서 가장 흔히 발견할 수 있는 종으로

남아프리카 구아바 재배지에서는 나선선충(*Helicotylenchus dihystra*)의 검출율이 96%이었으며, 밀도는 토양 100 g 당 평균 880마리(최고 = 5,200마리/100 g) 이었다(Willers와 Grech, 1985).

나선선충은 국내에서도 여러 작물에서 흔히 발견되는 종인데(Choi, 2001; Kim 등, 2013), 제주지역 콩밭에서는 약 62%의 토양에서 나선선충이 검출되었으며 최고 밀도는 토양 100 g 당 1,700마리/100 cm³이었고(Kim 등, 2013), 성주 참외 시설재배지와 상주 오이재배지역에서는 토양 100 g 당 305–1,000마리/100 cm³가 검출되었다(Kim, D.G. 미발표 결과).

나선선충은 구침을 이용하여 뿌리 조직 내로 침입하여 주로 뿌리의 성장점 세포를 가해하는데, 이로 인하여 성장점의 성장 억제, 부정근이 발생되며 주근과 측근이 덩수룩(stubby roots)하게 변한다. 나선선충이 침으로 찌른 뿌리 주변은 갈색으로 괴사가 일어나고 지상부 피해증상으로는 식물체가 황화 되거나, 키가 작아지고 잎의 위축이 발생되기도 한다(Taylor, 1961).

나선선충의 피해에 관해서는 연구된 것이 매우 적으며 나선선충은 대부분 다른 식물기생성 선충과 섞여서 나타나기 때문

에 나선선충에 의한 피해를 따로 구분하기가 어려운 점도 있다. 나선선충이 일으키는 피해에 관하여, 미국에서 옥수수를 대상으로 연구된 것을 보면, 옥수수에는 3종의 나선선충이 기생하며, 그 중에서도 *Helicotylenchus pseudorobustus*는 미국 중서부지역에서 옥수수의 주요 기생성선충으로 이 선충의 밀도가

높으면 옥수수의 키가 작아지고 수량이 감소된다고 하였다(O'Bannon과 Inserra, 1989; Townshend와 Potter, 1976).

이번 연구는 국내에서 가장 많이 발견되는 *H. dihystra* 나선선충을 밀도별로 시판 토마토 6종에 접종하고 나선선충이 토마토의 생육에 미치는 영향을 조사하였다.

Table 1. Effect of different inoculum levels of *Helicotylenchus dihystra* on six cultivars of *Solanum lycopersicum*^a

Variety	Inoculum level (No./g soil)	Plant		Root wt. (g)	No. of <i>Helicotylenchus</i> at harvest	
		Ht. (cm)	Wt. (g)		No./g soil	pf/pi ^c
Lovely 240	0	55.3 a ^b	9.3 a	7.5 a	0.00 b	0.0
	0.02	56.9 a	8.8 a	7.5 a	0.04 b	1.9
	0.2	52.0 a	7.5 a	5.0 b	0.36 b	1.8
	2	50.3 a	8.5 a	6.5 ab	3.00 a	1.5
Miniheuksu	0	40.0 b	7.8 a	8.3 a	0.00 b	0.0
	0.02	44.9 a	8.3 a	8.3 a	0.06 b	3.1
	0.2	42.4 ab	7.3 a	7.5 a	0.44 b	2.2
	2	41.4 ab	7.3 a	8.0 a	2.15 a	1.1
Ppotto	0	50.5 a	6.3 a	5.3 a	0.00 b	0.0
	0.02	47.5 a	5.8 a	6.0 a	0.05 b	2.6
	0.2	50.3 a	6.0 a	7.0 a	0.34 b	1.7
	2	39.9 a	5.3 a	7.0 a	4.10 a	2.1
TY250	0	52.1 b	12.5 a	9.0 a	0.00 b	0.0
	0.02	58.8 ab	11.3 a	7.0 b	0.03 b	1.7
	0.2	64.1 a	11.5 a	7.3 b	1.00 b	5.0
	2	54.0 ab	11.5 a	8.8 a	3.89 a	1.9
Poseidon	0	62.9 a	10.8 a	6.5 a	0.00 b	0.0
	0.02	57.0 ab	10.0 a	7.5 a	0.09 b	4.6
	0.2	57.6 ab	9.3 a	7.3 a	0.74 b	3.7
	2	48.0 b	9.3 a	6.8 a	5.67 a	2.8
Hoyoung	0	46.1 a	8.3 a	7.3 b	0.00 b	0.0
	0.02	43.8 a	7.0 a	7.0 b	0.07 b	3.7
	0.2	45.8 a	8.0 a	7.8 ab	0.55 b	2.8
	2	40.9 a	7.0 a	8.8 a	7.00 a	3.5
Contrast analysis						
Variety		0.001	0.001	0.001	0.394	
Inoculum level		0.008	0.160	0.158	0.001	
Variety * Inoculum level		0.475	0.994	0.002	0.518	
Inoculum level: 0 vs 0.02		0.902	0.373	0.831	0.001	
Inoculum level: 0 vs 0.2		0.942	0.382	0.523	0.001	
Inoculum level: 0 vs 2		0.043	0.187	0.439	0.001	

^aEach tomato cultivar was inoculated with *H. dihystra* on 10-d-cm clay pot and cultured in a greenhouse for 60 days. Each treatment was replicated 4 times.

^bMean separation in columns by Duncan's multiple range test, 5% level. Bold ($P < 0.05$) numbers in contrast analysis show significant difference.

^cPf = final population density, Pi = initial population density, Excellent hosts ($Pf/Pi > 10$), Good hosts ($10 > Pf/Pi > 1$), Maintenance hosts ($Pf/Pi \approx 1$), Poor hosts ($Pf/Pi < 1$) (Ferris et al., 1993).

재료 및 방법

나선선충 배양. 나선선충 *H. dihystra*는 균위의 오이 재배 포장에서 채집하였으며, 좋은 형태적 특징에 따라 동정하였다(Choi, 2001; Kim, 2003). 채집한 흙은 직경이 2 mm인 체로 쳐서 굵은 돌과 식물 뿌리 등은 골라내고, 3번 이상 잘 섞어 직경 10 cm 토화분에 담고, 토마토(품종: Rutgers)를 심어 온실에서 8주간 증식하였다. 8주후 토마토에서 증식된 선충은 깔데기법(Southey, 1986)으로 선충을 분리하여 밀도를 조사하고, 접종에 사용될 나선선충의 밀도를 ml 당 100마리로 조정하였다.

나선선충 접종 밀도가 토마토 품종별 생육에 미치는 영향. 국내 시판 토마토 품종인 'Lovely 240', '미니흑수', '뽕또', 'TY250', '포세이돈', '호용' 등 6품종을 이용하여 나선선충의 접종 밀도가 토마토의 생육에 미치는 영향을 조사하였다(Table 1). 나선선충의 접종 밀도는 0, 0.02, 0.2, 2마리/g 토양 이었고, 각 처리별 4반복으로 실험하였다.

토마토 묘는 상토(부농사)에서 2주간 육묘하였고, 그 중 균일한 묘를 골라 직경 10 cm 토화분에 1포기씩 이식하였다. 토화분에 사용된 토양은 사전 조사에서 식물기생성 선충에 감염되지 않은 깨끗한 강모래를 이용하였다. 재배는 유기농업연구소 온실에서 7-8월 사이에 하였으며 시험 기간 중의 온실 내 온도는 20-35°C이었다. 양분 공급을 위하여 하이포넥스 1,000배액을 4주 후부터 1주일 간격으로 화분 당 50 ml씩 관주하였다.

시험 60일 후 토화분을 비우고 뿌리에 붙은 흙을 잘 털어서 분리한 뒤 초장과 식물체 무게, 뿌리 무게를 측정하였다. 토양의 나선선충 밀도는 토양의 무게를 측정 후 깔데기법(Southey, 1986)으로 선충을 분리하고 해부현미경으로 선충 밀도를 조사하였다.

선충의 증식률(R, reproduction rate)은 $R = Pf/Pi$ 공식을 이용하여 구하였다(Pf = 최종 선충 밀도, Pi = 최초 선충 접종 밀도였다). 증식률(R)에 따른 기주의 판별은 우수 기주($R > 10$), 좋은 기주($10 > R > 1$), 일반 기주($R \approx 1$), 불량 기주($R < 1$)로 하였다(Ferris 등, 1993). 모든 시험성적은 SAS GLM procedure 및 단일변수 분석(contrast analysis)을 이용하여 분석하였다(SAS, Institute, Cary, NC).

결과 및 고찰

나선선충을 토마토에 접종하여 시험한 결과, 나선선충의 증식률(R)은 나선선충의 접종 밀도에 따라 차이가 있었는데, 낮은 밀도로 접종하였을 때 증식률이 약간 더 높은 경향이였다(Table 1). 토양 g 당 나선선충 2마리를 접종하였을 때 증식률(R)은 1.1-3.5이었다. 나선선충의 증식률은 나선선충의 종류와 작물에 따라 다르게 나타나는데, 목초류에서 *H. pseudorobustus* 나선선충(1.2마리/g 토양)의 증식률은 0.05-1.77이었다(Davis

등, 2004), 카네이션에서 *H. varicaudatus* 나선선충(1.6마리/g 토양)의 증식률은 8.0이었으며(Khanna과 Jyot, 2002), 맨드라미(*Celosia cristata*)에서 *H. dihystra* 나선선충(2마리/g 토양) 증식률은 16.4이었다(Rashid와 Azad, 2013). 증식률이 1 이하이면 불량기주이고 $R > 10$ 이상이면 우수기주임으로, 목초류는 불량기주에 가깝고, 맨드라미는 우수기주이다. 그리고 증식률이 $10 > R > 1$ 에 속하는 카네이션과 토마토는 좋은 기주에 속한다고 할 수 있다(Ferris 등, 1993). Muthukrishnan 등(1975)은 나선선충, *H. dihystra*에 대하여 오크라, 토마토, 가지, 양파는 좋은 기주이고, 동부, 평거기장(*Eleusine coracana*), 옥수수, 녹두는 불량기주라고 하였다.

나선선충을 낮은 밀도로 접종하였을 때 증식률이 약간 더 높은 경향이었는데, 이것은 Rashid와 Azad(2013)의 시험과 유사한 경향으로 선충 밀도가 낮으면 먹이가 되는 뿌리가 풍부하여 증식속도가 빨라진 것으로 생각된다. 나선선충을 접종하였을 때(2마리/g 토양), 가장 나선선충의 선충의 증식이 많았던 토마토 품종은 호용으로 최종 선충 밀도는 7.0마리/g 토양이었고, 가장 나선선충의 증식이 적었던 토마토 품종은 미니흑수 품종으로 최종 선충 밀도는 2.2마리/g 토양이었다.

나선선충이 접종된(2마리/g 토양) 토마토는 무접종에 비하여 식물체의 키가 작았다($P < 0.05$, Table 1, Fig. 1). 토마토 품종 중에서는 포세이돈 품종에서 가장 현저하여 무처리에 비하여 키가 24% 위축되었다($P < 0.05$). 식물체의 무게는 접종 밀도가 높을수록 적었으나 유의성은 없었다(Fig. 1). 낮은 밀도(0.2마리/g 토양 이하)에서는 식물체의 생육에 전혀 영향을 주지 않았다(Fig. 1). 이러한 결과는 나선선충의 피해는 밀도가 높을 때에만 발생한다는 다른 연구자들의 보고와 일치한다(Firoza와 Maqbool, 1995; Khanna과 Jyot, 2002; Rashid와 Azad, 2013).

나선선충의 피해는 나선선충의 종류와 작물에 따라 차이가 있는데, 카네이션에서는(*H. varicaudatus*, 160마리/100 g 토양) 식물 생육에 피해가 없었으며(Khanna과 Jyot, 2002), 토마토, 밀, 맨드라미에서는(*H. dihystra*, 400마리/100 g 토양) 황화현상, 성장 억제, 뿌리 발달이 불량해진다고 하였고(Firoza와 Maqbool, 1995; Rashid와 Azad, 2013), 사탕수수에서는(*H. dihystra*, 200마리/100 g 토양) 뿌리 무게 및 키가 유의성 있게 억제되었고(Rao와 Swarup, 1975), 구아바에서는(*H. dihystra*, 50마리/100 g) 접종 4개월 후 키가 53% 작아졌다(Willers와 Grech, 1985). 이번 토마토 접종 시험에서 200마리/100 g 토양 처리에서 토마토 키가 작아졌으나, 접종 밀도가 더 높았고 기간이 오래되면 더 큰 피해가 나타날 수 있다.

나선선충은 증식하는데 다른 선충에 비하여 더 많은 시간이 소요되는 것으로 알려져 있다(Churchill과 Ruehle, 1971). 이번 시험은 나선선충을 토마토에 인공 접종하여 화분에서 60일 동안 시험된 것으로 나선선충이 충분히 증식하기에는 짧은 기간이다. 만약 나선선충이 감수성기주에서 오랜 기간 증식할 기회가 만들어진다면 작물에 피해가 발생할 수 있겠다. 예를 들어,

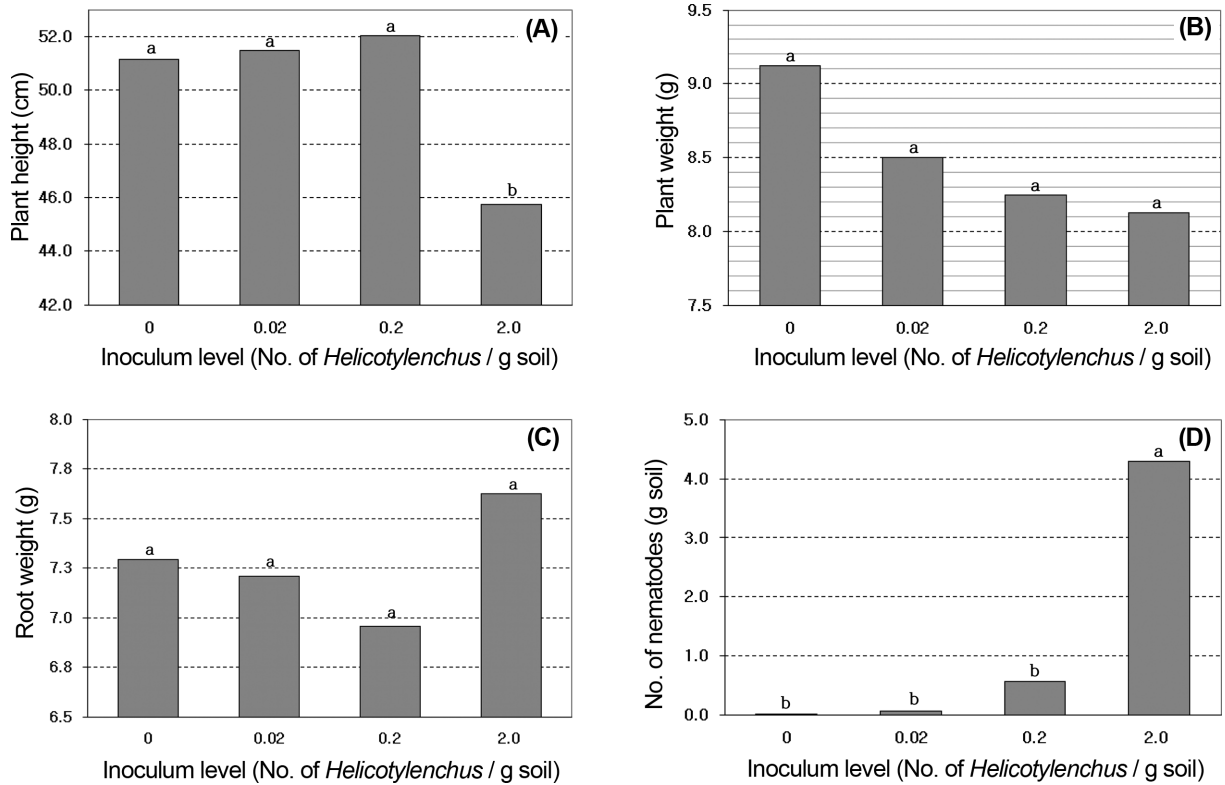


Fig. 1. Influences of inoculum levels of *Helicotylenchus dihystra* on plant height, plant weight, root weight and final population density of *Helicotylenchus* sp. on six cultivars of *Solanum lycopersicum*. (A) plant height, (B) plant weight, (C) root weight, (D) final population density of *H. dihystra*.

참외는 연장재배를 통하여 2월부터 10월까지 약 9개월간 재배되며, 시설오이와 시설고추는 경계작물로 동일한 시설하우스 내에서 수년간 연작하는 경우가 대부분이다. 따라서 이러한 특수한 재배환경에서는 나선선충이 충분히 증식될 수 있고 작물에 피해가 발생할 가능성이 있다.

나선선충의 뿌리 침입은 식물에 스트레스를 발생시키는데, 스트레스는 식물의 불량 환경에 대한 저항력을 약하게 만든다. 따라서 고온 건조한 시기나 수분이 부족한 지역, 혹은 건조농법에서는 나선선충이 중요한 식물기생성 선충이 될 수 있다. 또한 나선선충의 침입으로 생긴 뿌리의 상처를 통하여 토양병원균이 침입하여 복합적병해가 발생되기도 한다(Ma 등, 1994).

이번 시험 결과, 토마토 재배지에서 나선선충은 반드시 방제를 해야 할 중요선충은 아닌 것으로 판단된다. 단, 이 선충은 전세계적인 분포를 보이며, 거의 모든 작물을 가해할 수 있으므로 추후 재배환경의 변화에 따라 관찰이 필요한 선충이다.

요 약

나선선충 접종 밀도가 토마토의 생육에 미치는 영향을 조사하고자, 시판 토마토 6품종을 직경 10-cm 토화분에 심고, 나선선충을 0, 0.02, 0.2, 2마리/g 토양 수준으로 접종하여 60일간 온실에서 재배하였다. 나선선충은 식물체의 무게나 뿌리의 무

게에는 영향을 미치지 않았으나 키에는 영향을 주었는데($P < 0.05$), 토양 g 당 나선선충 2마리 접종 시 포세이돈 품종은 무처리에 비하여 키가 24% 위축되었다. 나선선충을 접종하였을 때 (2마리/g 토양), 가장 나선선충의 선충의 증식이 많았던 토마토 품종은 호용으로 최종 선충 밀도는 7.0마리/g 토양 이었고, 가장 나선선충의 선충의 증식이 적었던 토마토 품종은 미니흑수 품종으로 최종 선충 밀도는 2.2마리/g 토양 이었다.

Acknowledgement

This work was supported by Rural Development Administration (Project No. PJ907098), Suwon, Republic of Korea and a grant from Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology of Food, Agriculture, Forestry and Fisheries (No. 111155-03-2-HD110).

References

Choi, Y. E. 2001. Nematoda (Tylenchida, Aphelenchida). Economic insects of Korea 20. Insecta Koreana Suppl. 27. Nat. Inst. of Agric. & Tech. Suwon, Korea. 391 pp.
Churchill, R. C. J. and Ruehle, J. L. 1971. Occurrence, parasitism, and

- pathogenicity of nematodes associated with sycamore (*Platanus occidentalis* L.). *J. Nematol.* 3: 189–196.
- Davis, L. T., Bell, N. L., Watson, R. N. and Rohan, T. C. 2004. Host range assessment of *Helicotylenchus pseudorobustus* (Tylenchida: Hoplolaimidae) on pasture species. *J. Nematol.* 36: 487–492.
- Ferris, H., Carlson, H. L., Viglierchio, D. R., Westerdahl, B. B. Wu, F. W., Anderson, C. E., Juurma, Q. and Kirby, D. W. 1993. Host status of selected crops to *Meloidogyne chitwoodi*. *J. Nematol.* 25: 849–857.
- Firoza, K. and Maqbool, M. A. 1995. Numerical threshold for infection of the spiral nematode, (Cobb, 1893) Sher, 1961 on brinjal, tomato and wheat. *Pak. J. Nematol.* 13: 93–98.
- Khanna, A. S. and Jyot, J. 2002. Pathogenic potential of *Helicotylenchus varicaudatus* and *Paratylenchus curvatus* on *Dianthus caryophyllus*. *Nematol. Medit.* 30: 201–202.
- Kim, D. G. 2003. Two unrecorded species of spiral nematode (Hoplolaimidae) from Korea. *Korean J. Appl. Entomol.* 42: 91–100. (In Korean)
- Kim, D. G., Choi, I. S., Ryu, Y. H., Huh, C. S. and Lee, Y. S. 2013. Plant parasitic nematodes in soybean in Korea and their importance rating. *Korean J. Appl. Entomol.* 52: 327–333. (In Korean)
- Ma, C. Z., Zhang, J. Q. and Qian, Z. U. 1994. Pathogenicity of spiral nematode *Helicotylenchus pseudorobustus* and the Fusarium wilt disease complex on cotton seedlings. *Acta Phytopathol. Sinica* 24: 153–157.
- McGawley, E. C. and Chapman, R. A. 1983. Reproduction of *Criconemoides simile*, *Helicotylenchus pseudorobustus*, and *Paratylenchus projectus* on soybean. *J. Nematol.* 15: 87–91.
- Muthukrishnan, T. S., Rajendran, G. and Chandrasekran, J. 1975. Pathogenicity of *Helicotylenchus dihystra* to chilli (*Capsicum annum*) and its host range. *Indian J. Nematol.* 5: 180–184.
- O'Bannon, J. H. and Inserra, R. N. 1989. *Helicotylenchus* species as crop damaging parasitic nematodes. Nematology Circular 165. Florida Dept. of Agric. and Consumer Serv. Div. Plant Ind.
- Rao, V. R. and Swarup, G. 1975. Pathogenicity of the spiral nematode, *Helicotylenchus dihystra*, to sugarcane. *J. Nematol.* 4: 160–166.
- Rashid, A. and Azad, S. A. 2013. Studies on the pathogenicity of *Helicotylenchus dihystra* on *Celosia cristata*. *Indian J. Sci. Res.* 4: 153–154.
- SAS, 1990. SAS/STAT User's guide. Version 6. SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Southey, J. F. 1986. Laboratory Methods for Work with Plant and Soil Nematodes. Her Majesty's Stationery Office, London. 202 pp.
- Taylor, D. P. 1961. Biology and host-parasite relationships of the spiral nematode, *Helicotylenchus microlobus*. *Proc. Helminth. Soc. Wash.* 28: 60–66.
- Townshend, J. L. and Potter, J. W. 1976. Evaluation of forage legumes grasses and cereals as hosts of forage nematodes. *Nematologica* 22: 196–201.
- Willers, P. and Grech, N. M. 1985. Pathogenicity of the spiral nematode *Helicotylenchus dihystra* to Guava. *Plant Dis.* 70: 352.
- Yeates, G. W. 1984. *Helicotylenchus pseudorobustus* (Nematoda: Tylenchida) population changes under pasture during thirty-six months. *Pedobiol.* 27: 221–228.
- Yeates, G. W. and Wouts, W. M. 1992. *Helicotylenchus* spp. (Nematoda: Tylenchida) from managed soils in New Zealand. *New Zealand J. Zool.* 19: 13–23.