

## 온도가 딸기뿌리썩이선충(*Paratylenchus penetrans*)과 사과뿌리썩이선충(*P. vulnus*)의 증식에 미치는 영향

강헌일<sup>1</sup>, 박세근<sup>1</sup>, 고희래<sup>1</sup>, 김은화<sup>1</sup>, 박은형<sup>1</sup>, 박병용<sup>1,\*</sup>

국립산림과학원 산림병해충연구과, <sup>1</sup>농촌진흥청 국립농업과학원 작물보호과

## Effect of temperature on reproduction of *Pratylenchus penetrans* and *P. vulnus*

Heonil Kang, Se-Keun Park<sup>1</sup>, Hyoung-Rai Ko<sup>1</sup>, Eunhwa Kim<sup>1</sup>, Eunhyung Park<sup>1</sup> and Byeong-Yong Park<sup>1,\*</sup>

Forest Entomology and Pathology Division, National Institute of Forest Science, Seoul 02455, Republic of Korea

<sup>1</sup>Division of Crop Protection, National Institute of Agricultural Science, RDA, Wanju 55365, Republic of Korea

### \*Corresponding author

Byeong-Yong Park

Tel. 063-238-3316

E-mail. [daggernema@korea.kr](mailto:daggernema@korea.kr)

Received: 11 November 2022

First revised: 13 December 2022

Second revised: 15 December 2022

Revision accepted: 19 December 2022

**Abstract:** Perilla plant is a special crop that is used as oilseed and food in Korea. Root lesion nematodes have caused great damage to perilla plants, so for effective management of root lesion nematodes, it is necessary to understand their ecology in perilla. In this study, we investigated the effect of temperature in the development of *Pratylenchus penetrans* (Pp) and *Pratylenchus vulnus* (Pv) when the nematodes infected the perilla plant. To estimate the effect of temperature, we assessed the reproduction factor (RF); final population/initial population (Pf/Pi) of these two nematode species. We used perilla plants as inoculated hosts and investigated the density of nematodes at 10 weeks after inoculation. As a result, the RF of Pp was highest at 20°C (0.41 (1st test), 2.2 (2nd test)) followed by 25, 30, and 15°C. The RF of Pv was highest at 30°C (9.84 (1st test), 31.39 (2nd test)), followed by 25, 20, and 15°C. Comparing the RF by temperature between Pp and Pv, Pv was higher than Pp at all temperatures used in the test. This study showed the optimal development temperature of Pp was 20–25°C and Pv was 30°C, respectively.

**Keywords:** *Pratylenchus penetrans*, *Pratylenchus vulnus*, nematodes, optimal development temperature

## 서 론

들깨 (*Perilla frutescens* Britten var. Japonica Hara)는 유지작물(들기름)과 깻잎장아치, 무침 등의 식재료로 이용되고 있는 특용작물이다. 깻잎은 독특한 향을 지니고 있어

우리나라에서는 상추와 함께 쌈채소로 많이 이용되고 있다. 우리나라 들깨의 재배면적은 2020년 기준 36.1천ha이며, 생산량은 38.8천ton이다(MAFRA 2021). 그중 서울특별시 농수산식품공사의 깻잎 경매 반입량 비율(2020년 기준)은 경상남도 44.7%, 충청남도 41.4%, 경기도 5.4%, 경

상북도 3.9% 순이며, 상위 3개 도(경상남도, 충청남도, 경기도)의 경매 반입량이 91.5%를 차지하고 있다. 지역별 주요 경매 반입량 비율은 경상남도 밀양이 44.6%, 충청남도 금산 40.4%, 경상북도 경산 3.8%, 경기도 남양주 3.3% 순이며, 상위 3개 시군(밀양, 금산, 경산)이 전체 경매 반입량의 88.8%를 차지한다(KAFFTC 2022). 앞들개는 주로 비닐하우스 시설에서 생산되고 있어 잣빛곰팡이병, 응애, 진딧물 등 병해충에 의해 큰 피해를 받고 있다(Moon *et al.* 1998; Chung *et al.* 2014). 최근에는 식물기생선충이 앞들개 생산에 큰 영향을 미치는 것으로 보고된 바 있다(Kim *et al.* 2013).

들개 재배지 주요 식물기생선충으로는 뿌리혹선충류(*Meloidogyne* spp.), 뿌리썩이선충류(*Pratylenchus* spp., *Pratylenchoides* sp.), 나선선충류(*Helicotylenchus* spp., *Scutellonema* spp.) 등이 알려져 있다(Kim and Jeong 2013; Ko *et al.* 2021). 2021년 들개 재배지의 식물기생선충 감염현황 조사에서 조사된 재배지의 39%와 55%가 뿌리썩이선충과 나선선충에 각각 감염되었으며, 다른 선충에 비해 높은 감염율을 보인다고 하였다(Ko *et al.* 2021). 특히 뿌리썩이선충 3종(*Pratylenchus penetrans*, *P. vulnus*, *Pratylenchoides leiocauda*)은 들개 재배지에 큰 피해를 주고 있고, 경제적으로 중요하다고 하였다. 딸기뿌리썩이선충(*P. penetrans*)와 사과뿌리썩이선충(*P. vulnus*)에 의한 피해 및 생태적 특성을 구명하기 위하여, 기주에 따른 토양 온도나 재배 온도에 따른 증식률 비교, 기주별 최적 온도 구명, 기주와 온도에 따른 알의 부화 등의 연구가 수행되었다(Moody *et al.* 1973; Acosta and Malek 1979; Towson and Lear 1982; Takayuki and Adachi 1997; Pudasaini *et al.* 2008). 그러나, 국내 들개 재배지에 피해를 주고 있는 뿌리썩이선충류와 온도와 관계에 대한 연구가 수행된 바 없다.

본 연구는 딸기뿌리썩이선충과 사과뿌리썩이선충이 들개에 감염되었을 때 온도가 뿌리썩이선충의 생장에 어떠한 영향을 끼치는지를 알아보기 위하여 수행되었다.

## 재료 및 방법

### 1. 시험 선충 채집

딸기뿌리썩이선충(*Pratylenchus penetrans*)은 충청남도 금산군의 앞들개 시설재배 하우스 토양과 앞들개 뿌리에

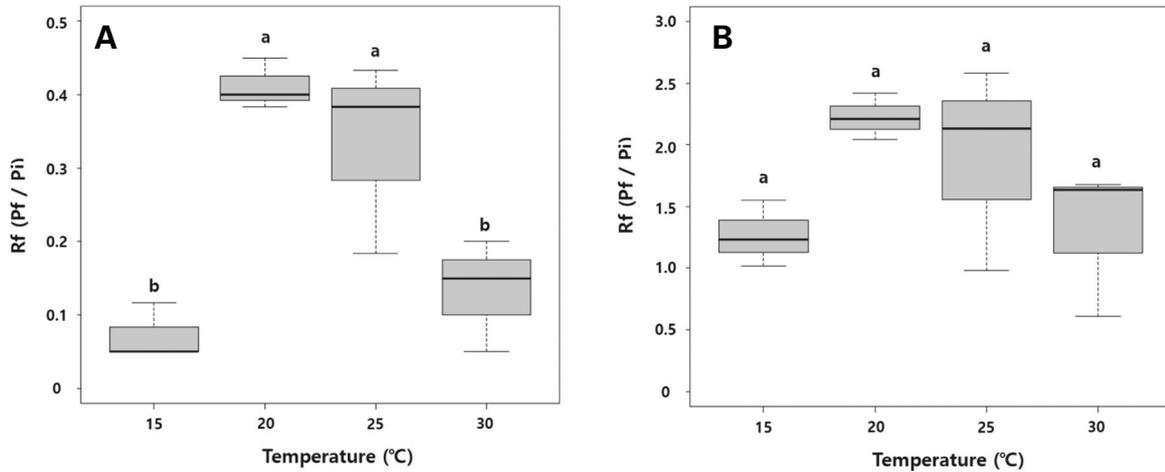
서 채집하였으며, 사과뿌리썩이선충(*P. vulnus*)은 경상남도 밀양시의 앞들개 시설재배 하우스에서 채집하였다. 뿌리썩이선충의 종별 증식을 위하여 체법과 깔때기법을 이용하여 토양과 앞들개 뿌리에서 뿌리썩이선충을 분리 후 들개(품종명: 앞들개 1호)에 지역별로 각각 접종하여 증식하였다. 증식된 뿌리썩이선충은 간이 샘플을 만든 후 광학현미경(DM5000; LEICA, Germany)을 이용하여 형태적 동정 후 시험에 사용하였다(Southey 1986).

### 2. 온도별 뿌리썩이선충 증식

온도에 따른 딸기뿌리썩이선충과 사과뿌리썩이선충의 증식지수(Reproduction factor, RF, Pf/Pi) 비교를 위하여 3주간 육묘한 앞들개(품종: 앞들개 1호)를 플라스틱 포트(너비 9 cm×높이 9.5 cm, 300 cm<sup>3</sup>)에 심고 포트별로 300 마리씩 뿌리썩이선충을 각각 접종하였다. 뿌리썩이선충을 접종한 포트는 인공광원이 있는 인큐베이터에서 광주기 16D:8N으로 하여 15, 20, 25, 30°C 온도 조건에서 10주간 재배하였으며, 1차 시험에서는 5반복, 2차 시험에서는 3반복으로 시험하였다. 1차 시험은 2021년 9월 20일에서 2021년 11월 30일까지, 2차 시험은 2022년 2월 20일에서 2022년 4월 29일까지 각각 10주간 수행되었다. 선충 접종 후 10주간 재배된 앞들개는 처리구별 뿌리썩이선충의 증식지수를 비교하기 위하여 포트의 모든 토양과 뿌리에서 뿌리썩이선충을 분리하였다. 토양의 선충분리는 30메쉬 체와 400메쉬 체를 사용하여 토양과 크기가 큰 토양 부유물을 거른 후 깔때기법으로 24시간 후에 뿌리썩이선충을 분리하였다(Barker 1985). 뿌리 속의 뿌리썩이선충의 분리는 뿌리를 잘 씻어 잘게 자른 후에 깔때기법으로 24시간 후에 뿌리썩이선충을 분리하였다. 분리된 선충은 해부현미경(M250; Leica, Germany)을 사용하여 밀도를 조사하였다. 온도에 따른 딸기뿌리썩이선충(*Pratylenchus penetrans*)과 사과뿌리썩이선충(*P. vulnus*)의 증식지수(Reproduction factor, RF)는 들개가 재배된 토양과 뿌리 속의 최종 선충 밀도(Pf, Final Population)를 초기 접종 밀도(Pi, Initial Population)로 나누어 구하였다(Seinhorst 1966).

### 3. 통계 분석

들개에서 뿌리썩이선충 2종의 온도별 증식지수에 대



**Fig. 1.** Effect of temperature as a reproduction factor of *Pratylenchus penetrans* in perilla plants: (A) 1st test ( $n=5$ ) and (B) 2nd test ( $n=3$ ). Rf: Reproduction factor, Pf: Final population, and Pi: Initial population. Different letters indicate statistically significant differences (Duncan's multiple range test at  $\alpha=0.05$ ).

한 통계적 유의성 검정은 통계 프로그램 R을 이용하여 일원배치 분산분석 (one-way ANOVA)을 수행하였으며, 실험 결과에 대한 사후 검정은 유의확률 0.05 수준에서 Duncan's multiple range test를 이용하였다(Kim 2011).

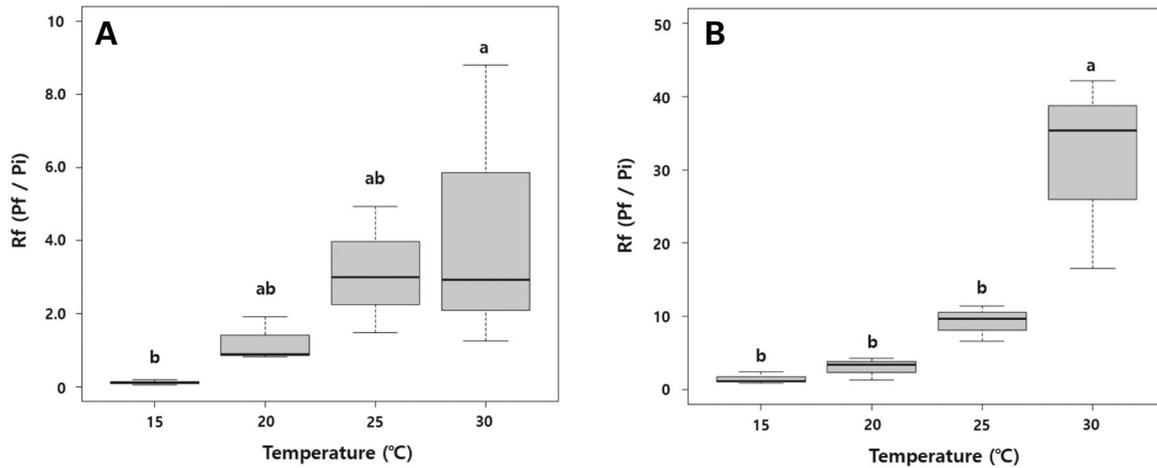
## 결과 및 고찰

딸기뿌리썩이선충 (*P. penetrans*)의 처리구별 각각의 증식지수(RF)은 1차 시험 15°C에서는 0.08, 20°C는 0.41, 25°C는 0.32, 30°C는 0.15였다(Fig. 1A). 2차 시험에서 딸기뿌리썩이선충의 증식지수는 15°C에서 1.3, 20°C에서 2.2, 25°C에서 1.9, 30°C에서는 1.3이었다(Fig. 1B). 딸기뿌리썩이선충의 최종 평균 밀도(포트 기준 토양 300 cm<sup>3</sup>)는 1차 시험 15°C는 23.0마리, 20°C는 124.0마리, 25°C는 95.0마리, 30°C는 44.0마리였으며, 2차 시험의 최종 평균 밀도는 15°C는 380.3마리, 20°C는 667.3마리, 25°C는 570.0마리, 30°C는 392.0마리였다. 딸기뿌리썩이선충의 증식지수는 1, 2차 시험 모두 20°C에서 재배된 들깨에서 가장 높았으며, 25°C, 30°C, 15°C 순으로 높았다. 딸기뿌리썩이선충의 증식지수를 통계 분석한 결과 1차 시험에서는 20°C와 25°C 처리구는 15°C와 30°C 처리구와 통계적으로 유의미한 차이를 보였으나, 20°C와 25°C에서의 증식지수 간에는 통계적인 유의성이 없었다. 2차 시험 결과, 딸기뿌리썩이선충은 25°C까지 온도가 높아질수록 증식지수가

증가하였다가 30°C에서 증식지수가 감소하는 추세를 보였으나 통계적 유의성은 없었다.

사과뿌리썩이선충 (*P. vulnus*)의 온도별 증식지수(Pf/Pi)는 1차 시험에서 15°C는 0.15, 20°C는 1.29, 25°C는 3.85, 30°C는 9.84로 나타났다(Fig. 2A). 2차 시험의 처리구별 증식지수는 15°C에서 1.45, 20°C에서 2.99, 25°C에서 9.22, 30°C에서는 31.39이었다(Fig. 2B). 사과뿌리썩이선충의 최종 평균 밀도(포트 기준 토양 300 cm<sup>3</sup>)는 1차 시험 15°C는 44.0마리, 20°C는 388.0마리, 25°C는 1,156.0마리, 30°C는 2,952마리였으며, 2차 시험의 온도별 최종 밀도는 15°C 436.0마리, 20°C 896.7마리, 25°C 2,765.3마리, 30°C 9,415.7마리였다. 사과뿌리썩이선충의 증식지수는 1, 2차 시험 모두 30°C에서 재배된 들깨에서 가장 높았으며(RF 9.84, 31.39), 25°C, 20°C, 15°C 순으로 높았다. 사과뿌리썩이선충의 증식지수에 대한 1차 시험 분석 결과 15°C와 30°C 온도 간에는 통계적인 유의성을 보였으나, 15°C, 20°C와 25°C의 온도별 증식지수, 20°C, 25°C와 30°C의 온도별 증식지수 간에는 각각 통계적으로 유의미한 차이를 보이지 않았다. 2차 시험에서는 30°C와 15°C, 20°C, 25°C의 온도별 증식지수 간에는 통계적으로 유의미한 차이를 보였으나, 15°C, 20°C와 25°C의 온도 간에는 통계적 유의성이 없었다.

딸기뿌리썩이선충 (*P. penetrans*)을 완두에 접종하였을 때 25°C에서 가장 잘 증식하였으며, 초기 접종 밀도 대비 최소 32배 증식되었다(Acosta and Malek 1979). 딸기뿌리



**Fig. 2.** Effect of temperature as a reproduction factor of *Pratylenchusvulnus* in perilla plants: (A) 1st test ( $n=5$ ) and (B) 2nd test ( $n=3$ ). Rf: Reproduction factor, Pf: Final population, and Pi: Initial population. Different letters indicate statistically significant differences (Duncan's multiple range test at  $\alpha=0.05$ ).

썩이선충을 알팔파에 접종 후 토양온도 10°C, 20°C, 30°C에서 7개월간 증식하였을 때, 뿌리와 토양 내의 선충 밀도는 토양온도가 상승할수록 증가하였다(Kimpinski and Willis 1981). 양파에 딸기뿌리썩이선충을 처리 12주 후에 선충밀도를 조사하였을 때, 토양 온도 7~19°C에서 양파를 재배하였을 때보다 25°C에서 가장 높은 밀도로 증식되었다는 보고가 있다(Ferris 1970). 사과뿌리썩이선충(*P. vulnus*)을 알팔파 캘러스에 접종하였을 때, 25°C의 증식률이 20°C에서의 증식률보다 더 높았으며, 30°C나 35°C에서는 증식되지 않았다(Lownsbery *et al.* 1967). 반면에 Sher and Bell (1965)의 연구에서는 장미에 사과뿌리썩이선충을 접종하였을 때 32.2°C가 15.6°C와 23.9°C보다 더 잘 증식되는 것으로 나타났다. 당근 조직에서는 사과뿌리썩이선충을 증식하였을 때 최적 증식 온도는 26°C이며, 15°C와 33°C에서는 증식이 잘 되지 않았다(Towson and Lear 1982). 본 연구에서 딸기뿌리썩이선충은 들깨에서의 증식이 20°C에서 가장 높았으며 증식지수(Pf/Pi)는 최소 0.41에서 최대 2.2로 나타났다. 사과뿌리썩이선충을 들깨에서 증식시켰을 때는 30°C에서 가장 잘 증식되었으며, 증식지수(Pf/Pi)는 최소 9.84에서 최고 31.39로 나타났다. 들깨에서 사과뿌리썩이선충의 평균 증식지수는 1차 2.19, 2차 11.26으로 딸기뿌리썩이선충의 0.24 (1차), 1.67 (2차) 보다 높았다. 본 연구 결과와 선행 연구 결과를 종합하면, 들깨에서 딸기뿌리썩이선충의 최적 증식온도는 20~25°C이며, 사과뿌리썩이선충의 최적 증식 온도는 30°C인 것으로

사료된다. 다만 본 실험은 인큐베이터 내에서 통제된 환경 조건에서 수행되었으므로 자연조건에서는 본 실험과 다른 반응이 나타날 수도 있을 것으로 생각된다. 두 종의 뿌리썩이선충은 1차 실험에서의 증식지수보다 2차 실험의 증식지수가 높게 나타났다. 1차 실험 시기는 21년 9월로 7~8월의 여름철 높은 기온으로 인하여 대상 선충의 활력이 저하되어 발생한 결과로 추정된다. 다만, 1, 2차 실험 모두 온도에 따른 선충의 증식 반응은 유사한 경향을 보여, 온도에 대한 두 종의 뿌리썩이선충의 반응은 유의미한 결과로 사료된다.

2021년에 보고된 연구는 잎들깨의 주요한 재배지역인 충청남도 금산군과 경상남도 밀양시에서 검출된 뿌리썩이선충의 종류는 지역별로 상이한 검출경향을 보였다고 했는데, 금산군에서는 딸기뿌리썩이선충(*Pratylenchus penetrans*)과 잎들깨뿌리썩이선충(*Pratylenchoides leio-cauda*)이, 밀양시에는 사과뿌리썩이선충(*Pratylenchus vulnus*)만 각각 검출된다고 보고하였다(Ko *et al.* 2021). Kim and Jeong (2013)에 따르면 생물 종의 분포는 대상 지역의 단순한 환경 특성보다 기후 및 지형과 같은 복합적인 특성에 기인한다고 하였으며, Van Gundy (1985)의 연구 결과에서는 토양 내 식물기생선충의 성장 및 병원성은 토성, 토양 수분, 통기성, 삼투압 등 토양의 특징에 의해 많은 영향을 받는다고 하였다. 충남 금산군과 경남 밀양시 두 지역의 지역별 기온을 보면 충청남도 금산군의 평균기온은 11.8°C, 최저평균기온은 6.1°C, 최고평균기온은 18.5°C이

며, 경상남도 밀양시는 평균기온이 13.6°C, 최저평균기온은 7.9°C, 최고평균기온은 20.3°C이다(KMA 2022). 두 지역의 기온차이를 비교하면 경상남도 밀양시가 평균기온 1.8°C, 최저평균기온 1.0°C, 최고평균기온 1.8°C가 더 높다. 2021년 들깨 시설재배지 내의 토양 온도와 대기 온도를 비교한 결과 대기온도가 상승할수록 토양 온도가 정의 상관관계로 상승한다는 결과를 얻었다(자료 미제시). 본 실험 결과를 보면 상대적으로 지역 기온이 높은 경남 밀양시의 우점종인 사과뿌리썩이선충의 증식 최적 온도는 30°C이고, 충남 금산군의 우점종인 딸기뿌리썩이선충의 증식 최적 온도는 상대적으로 낮은 20~25°C라는 결과를 얻었다. 이러한 점을 고려하였을 때, 온도가 두 종의 지역별 분포에 영향을 주었을 것이라고 추정된다. 그러나, 온도만이 뿌리썩이선충의 지역별 분포에 영향을 주는 주요한 원인이라고는 할 수 없으며, 온도 외에 다른 환경 요인도 선충의 지역별 분포에 영향을 주었을 것으로 사료된다. 두 종의 뿌리썩이선충이 각 지역별로 다르게 분포하는 이유를 명확히 구명하기 위해서는, 온도뿐만 아니라 대상 선충 두 종간의 중간 경합, 생활사, 지역별 토성, 토양수분, 재배방법 등 여러 가지 생물적·환경적 요인이 미치는 영향에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

## 적 요

온도가 딸기뿌리썩이선충(*Pratylenchus penetrans*)과 사과뿌리썩이선충(*P. vulnus*)의 증식에 미치는 영향을 구명하기 위하여 들깨에 뿌리썩이선충을 접종 10주 후에 선충의 증식지수(Reproduction factor, Pf/Pi)를 조사하였다. 딸기뿌리썩이선충의 증식지수는 20°C에서 재배된 들깨에서 가장 높았으며, 25°C, 30°C, 15°C 순으로 각각 높았다. 딸기뿌리썩이선충의 증식은 들깨의 재배온도가 25°C까지 증가하다가 30°C에서는 감소하는 경향을 보였다. 사과뿌리썩이선충의 증식은 30°C에서 재배된 들깨에서 가장 높았으며, 25°C, 20°C, 15°C 순으로 높았다. 사과뿌리썩이선충의 증식지수는 온도가 높아질수록 증가하는 경향을 보였다. 두 종간의 증식지수를 비교한 결과 사과뿌리썩이선충(증식 최적 온도 30°C)은 딸기뿌리썩이선충(증식 최적 온도 20~25°C)보다 상대적으로 높은 온도에서 더 많이 증식되는 경향을 보였다.

## CRedit authorship contribution statement

Heonil Kang: Designation of experiment and analyzing data. Se-Keun Park: Analyzing data. Hyoung-Rai Ko: Designation of experiment. Eunhwa Kim: Management of host plants, Extraction of nematode, Microscopic examination on root. Eunhyung Park: Microscopic examination on soil. Byeong-Yong Park: Designation of experiment, Writing and correction of draft paper

## 사 사

본 논문은 농촌진흥청 아젠다 과제(과제번호: PJ0147712022)의 지원에 의한 연구 결과의 일부입니다.

## REFERENCES

- Acosta N and RB Malek. 1979. Influence of temperature on Population development of eight species of *Pratylenchus* on soybean. *J. Nematol.* 11:229-232.
- Barker KR. 1985. Nematode extraction and bioassays. pp. 19-35. In: An Advanced Treatise on *Meloidogyne*. Volume II: Methodology (Barker KR, CC Carter and JN Sasser, eds.). North Carolina State University Graphics. Raleigh, NC.
- Chung SO, HJ Kim, SD Bae, SA Jang and CG Park. 2014. Efficacy of acaricides and insecticides to *T. kanzawai* and *A. egomae*. *J. Agric. Life Sci.* 48:1-8. <https://doi.org/10.14397/jals.2014.48.5.1>
- Ferris JM. 1970. Soil temperature on onion seedling injury by *Pratylenchus penetrans*. *J. Nematol.* 2:248-251.
- KAFFTC. Food Archive. Korea Agro-Fisheries & Food Trade Corporation. Naju, Korea. <https://www.kamis.or.kr>. Accessed on 12th Dec. 2022.
- Kim TG and JC Jeong. 2013. Effect of climate and terrain variables on species distribution model. *J. Nat. Park Res.* 4:164-168.
- Kim JH. 2011. R Multivariate Analysis of Variance. Kyowoo. Seoul. p. 406.
- Kimpinski J and CB Willis. 1981. Influence of soil temperature and pH on *Pratylenchus penetrans* and *P. crenatus* in Alfalfa and Timothy. *J. Nematol.* 13:333-338.
- KMA. Regional climate characteristics of Korea. <https://www.weather.go.kr>. Accessed on 12th Dec. 2022.
- Ko HR, HI Kang, EH Kim, EH Park and SG Park. 2021. Incidence of plant-parasitic nematodes in perilla in Korea. *Korean. J.*

- Environ. Biol. 39:147–155. <https://doi.org/10.11626/KJEB.2021.39.2.147>
- Lownsbery BF, CS Huang and RN Johnson. 1967. Tissue culture and Maintenance of the root-lesion nematode, *Pratylenchus vulnus*. *Nematologica* 13:390–394.
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA). 2021. Agriculture, Forest, Livestock and Food Major Statistics Year book. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. Sejong, Korea. p. 576.
- Moody EH, BF Lownsbery and JM Ahmed. 1973. Culture of the root-lesion nematode *Pratylenchus vulnus* on carrot Disks. *J. Nematol.* 5:225–226.
- Moon BJ, SH Roh, YJ Son, HS Kang, JP Lee, BS Kim and DS Chung. 1998. Occurrence of gray mold rot of perilla caused by *Botrytis cinerea*. *Korean J. Plant Pathol.* 14:467–472.
- Pudasaini MP, N Viaene and M Moens. 2008. Hatching of the root-lesion nematode, *Pratylenchus penetrans*, under the influence of temperature and host. *Nematology* 10:47–54. <https://doi.org/10.1163/156854108783360078>
- Seinhorst JW. 1966. The relationships between population increase and population density in plant parasitic nematodes I. Introduction and migrator nematodes. *Nematologica* 12:157–169.
- Sher SA and AH Bell. 1965. The effects of soil type and soil temperature on root-lesion nematode disease of roses. *Plant Dis. Rept.* 49:849–851.
- Southey JF. 1986. Laboratory Methods for work with Plant and Soil Nematodes. HMSO Books. Norwich, UK. pp. 68–69.
- Takayuki M and H Adachi. 1997. Effect of temperature on *Pratylenchus penetrans* development. *J. Nematology* 29:306–314.
- Towson JP and B Lear. 1982. Effect of temperature on reproduction and motility of *Pratylenchus vulnus*. *J. Nematology* 14:602–603.
- Van Gundy SD. 1985. Ecology of Meloidogyne spp. -Emphasis on environmental factors affecting survival and pathogenicity. pp. 177–182. In: *An Advanced Treatise on Meloidogyne*. Vol. I. Biology and Control (Sasser JN and CC Carter, eds.). North Carolina State University Graphics. NC. USA.