

# 생강에서 뿌리혹선충과 뿌리썩이선충의 사멸을 위한 온탕침지처리 연구

조동훈 · 박교남 · 김양호 · 고경봉 · 박영진\*

농림축산검역본부 식물검역기술개발센터

## Study on Hot Water Immersion Treatment for Control of *Meloidogyne* spp. and *Pratylenchus* spp. in a Ginger, *Zingiber officinale*

Donghun Cho, Kyonam Park, Yangho Kim, Kyung-bong Koh and Youngjin Park\*

Plant Quarantine Technology Center, Animal and Plant Quarantine Agency, Gimcheon 39660, Korea

**ABSTRACT:** Plant parasitic nematodes, *Meloidogyne* and *Pratylenchus* spp., are mostly detected in imported bulbs and tubers including a ginger, *Zingiber officinale* in Korea by quarantine inspection. However, there is little information on hot water immersion treatment (HWIT) for control of exotic nematodes, which induce economic loss by discard or send back to exporter, in imported gingers. In here, we determined that mortality of two plant parasitic nematodes and thermal stability of ginger. *Meloidogyne* and *Pratylenchus* spp. were completely killed at 48°C and 49°C for 30 sec by HWIT. Thermal conduction of *Z. officinale* to reach a target temperature as 50°C take 10~32 min and 6~16 min for core and inner 5 mm region from surface, respectively. When ginger exposed at 51°C for 30 min, growth of *Z. officinale* was not affected by heat treatment compared with control. Based on these results, HWIT at 51°C for 30 min completely killed artificially infected juveniles of *Meloidogyne* spp. in *Z. officinale*. Therefore, this condition for HWIT will be used as fundamental information on phytosanitary to kill two plant parasitic nematodes without damage on ginger.

**Key words:** Root-knot nematode, Root-lesion nematode, Hot water immersion treatment, Quarantine, Phytosanitary, Ginger

**초록:** 식물기생성 선충인 뿌리혹선충과 뿌리썩이선충은 국내에서 생강을 포함한 수입 구근류에서 주로 검출되는 검역대상 해충이다. 그러나 이러한 선충류가 검출된 수입 생강의 경우 적절한 소독처리기준이 마련되어 있지 않아 폐기 및 반송처리로 인한 경제적 손실이 발생하고 있다. 본 연구에서는 생강에 침입한 검역 대상 선충의 사멸을 위한 식물소독처리 기준 마련을 위해 뿌리혹선충과 뿌리썩이선충을 사멸할 수 있는 온탕침지법에 관하여 조사하였다. 그 결과, 뿌리혹선충과 뿌리썩이선충은 각각 48°C와 49°C에서 30초간의 온탕침지 처리로 사멸되었다. 52.5°C로 설정된 60 L의 항온수조에 침지된 생강의 열전도 조사에서 생강 중심부와 내부 5 mm 두께의 온도가 50°C까지 도달하기까지는 각각 10~32분과 6~16분이 소요되었으며 51°C에서 30분 동안 온탕침지한 생강은 정상적으로 생육하였다. 본 결과를 바탕으로 뿌리혹선충의 유충을 생강에 인공 접종 한 후 51°C에서 30분간 온탕침지 하였을 때 처리한 선충이 모두 사멸되었다. 따라서 이상의 온탕침지 처리 조건은 생강에 영향을 주지 않고 두 종의 선충을 사멸시킬 수 있는 식물소독법의 기초자료가 될 것이다.

**검색어:** 뿌리혹선충, 뿌리썩이선충, 온탕침지 처리, 검역, 식물소독, 생강

뿌리혹선충(*Meloidogyne* spp.)과 뿌리썩이선충(*Pratylenchus* spp.)은 각각 Meloidogynidae와 Pratylenchidae과에 속하는 식물기생 선충으로 검역과정에서 관리급 선충으로 규정되어 있다. 이들 선충은 각종 작물의 뿌리 성장점 부근에 침입하여 영양분의 흡수와 선충이 분비하는 호르몬의 작용으로 기생 부위

의 식물 세포는 세포수가 증가되고 비대현상이 일어나 혹모양으로 변하게 된다(Choi, 1982). 따라서 이러한 식물기생성 선충은 궁극적으로 작물의 생육 지장을 초래함으로써 전세계적으로 큰 피해를 주고 있다. 뿌리혹선충의 경우 국내 시설원에 재배지에서 매년 30~40%의 수량 감소를 가져오고 있다. 이러한 식물 기생선충의 피해를 감소시키기 위해 윤작, 객토, 태양열 소독, 담수처리, 토양 훈증, 살선충제 처리 방법 등이 있지만 사용의 편리성 때문에 유기합성 농약이 주로 사용되고 있다

\*Corresponding author: happy2pyj@gmail.com

Received January 23 2017; Revised April 2 2017

Accepted April 15 2017

(Park et al., 2012).

생강(*Zingiber officinale*)은 동남아시아 원산의 외떡잎식물 생강과 생강목에 속하는 여러해살이풀로써 주로 식용과 약용 작물로써 세계적으로 널리 재배 되고 있으며, 약 85속 1,200여 종에 이르고 있다(Jo et al., 2011). 이러한 생강의 국내 소비를 증진시키기 위해 중국에서 대량으로 수입하여 반입하고 있으나 식물 검역과정에서 뿌리혹선충과 뿌리썩이선충이 검출되고 있는 실정이다(Animal and Plant Quarantine Agency, 2016). 국내에서 이들 선충 감염으로 인한 수입 생강의 폐기·반송 비율은 2005년부터 2015년까지 평균 검역수량의 6.5%로써 약 583톤에 달하고 있으며 수입 생강의 폐기·반송 조치는 경제적으로 40 ft 컨테이너 한 대당 약 1억 원 가량의 손실을 초래하여 국내로 수입된 생강의 유통 비용을 증가시키고 있다(Animal and Plant Quarantine Agency, 2016).

국내에서는 뿌리썩이선충과, 시스트선충과, 씨알선충과, 잎선충과에 속하는 식물기생선충을 금지급 검역대상해충으로 지정하여 농림축산검역본부에서 관리하고 있다. 이러한 식물선충의 소독을 위한 방법으로써 채소, 범씨 등의 종자에 대한 병원균 방제 및 발아 목적으로 일부 사용되고 있는 온탕침지법이 일부 묘목류의 뿌리혹선충 및 뿌리썩이선충 방제를 위해 사용되고 있다(Ma et al., 2011). 특히, 뿌리썩이선충의 경우 외국산 수입품목에 따라 온탕침지 조건은 다양하지만, 43°C ~ 48°C의 온도조건에서 30분~1시간 동안 처리하여 효과적으로 선충을 방제하고 있다(Castillo and Vovlas, 2007). 그러나 생강과 같은 구근류에서 검출되는 검역대상선충에 대해서는 효과적인 소독법이 개발되어 있지 않아 검역현장에서 효과적인 대응을 하지 못하였다.

따라서 본 연구에서는 수입 생강에서 발생하는 검역대상 식물선충의 효과적인 소독법 개발을 위한 온탕침지 조건의 설정을 위해 기초시험을 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 공시선충의 분리 및 생강

뿌리혹선충과 뿌리썩이선충은 농림축산검역본부 식물검역부 식물검역기술개발센터내의 가온 유리 온실에서 생강을 재배한 토양에서 선충을 증식시킨 후 토양에서 분리하여 사용하였다. 선충의 분리는 600 메쉬의 선충분리용 체를 이용하여 수돗물로 토양을 3회 세척한 후 Baermann 깔대기법으로 25°C의 인큐베이터에서 24시간 치상 후 멸균증류수를 이용하여 선충을 모아 해부현미경 하에서 선충 종류 및 밀도를 조사하였다. 생강은 검역과정을 통과한 중국산 대강을 이용하였으며, 황토

생강식품(전북)에서 구입하여 실험에 이용되기 전까지 13°C의 저온창고에 보관하였다.

### 실험실내 온탕침지

선충의 사멸조건과 생강의 열전도 및 열해 여부를 확인하기 위해 60 L의 항온수조(DS-21L, Dasol Scientific LTD, Hwasung)를 사용하였다. 수조 내부는 35 L의 멸균증류수를 채운 후 열평형 조건을 유지하기 위해 30 W 용량의 수류 모터(UP-30, Hyupsin Co., Seoul)를 설치하였다. 수조 내부의 온도는 Resistance Temperature Detector (RTD)가 장착된 온도계(Giltron GT375, Micro Precision Calibration Inc., Taiwan)를 사용하여 측정하였다.

### 선충의 사멸조건 조사

온탕침지에 의한 공시선충의 사멸조건을 확인하기 위해 항온수조의 내부 온도를 35°C에서 50°C까지 지정한 후 1분에서 35분간 열처리를 진행하였다. 뿌리혹선충의 난낭과 뿌리혹선충 및 뿌리썩이선충의 유충 모두 100 µL의 멸균증류수에 균일하게 교반되었으며, 200 µL의 Eppendorf tube (E-tube)에 선충의 난낭 또는 유충을 처리한 후 E-tube가 항온수조에 잠길 수 있도록 실험관 랙을 이용하여 고정시킨 후 침지하였다. 뿌리혹선충의 난낭은 5개씩 3반복으로 온탕처리를 진행한 후 19일 동안 부화유무를 조사하였다. 뿌리혹선충과 뿌리썩이선충의 유충은 각 100마리씩 3반복으로 온탕처리를 진행한 후 24시간 후에 사멸여부를 조사하였다.

### 생강의 열전도 시간 및 열해 조사

온탕침지에 의한 생강의 열전도도를 측정하기 위해 항온수조의 내부 온도를 51°C와 52.5°C로 설정하였다. 이후 13°C의 저온실에 보관된 생강을 항온 수조에 침지시켜 생강 중심부와 내부 5 mm 두께의 온도가 각각 48, 49, 50, 51, 52°C까지 도달하는데 걸리는 시간을 12채널 온도 측정 센서(BTM-4208SD, LT Lutron, Taiwan)를 이용하여 2초 간격으로 실시간 기록하였으며, 센서부의 규격은 탐침의 길이 3 mm와 직경 1 mm로 이루어졌다. 생강의 중심부와 내부 5 mm의 두께는 공업용 캘리퍼(CD67-S20PM, Mitutoyo Corp, Tokyo, Japan)를 이용하여 측정하였다. 생강내 센서의 설치는 탐침부 말단에서 생강의 목표 두께까지 캘리퍼를 이용하여 두께를 측정한 후 네임펜(namepen®-F, Monami, Seoul)으로 센서에 표시를 한 후 생강

에 직각으로 삽입하였다. 측정자료로 생강의 두께를 독립변수 (X)로 하고 목표 온도에 도달하기 까지 걸린 시간을 종속변수 (Y)로 하여 회귀방정식을 SigmaPlot 10.0 (Systat software, Inc., CA, USA) 프로그램을 이용하여 구하였다. 또한 생강의 열해 여부를 조사하기 위해 36 ± 6 mm 두께의 생강을 51°C 에서 10분, 20분, 30분 동안 온탕침지 한 후 원예용 상토에 재식하였다. 이후 3달 동안 가온 유리 온실에서 재배하여 생강 부위별 (뿌리, 줄기, 잎) 길이를 측정하였다. 생강은 처리 시간 당 5반복으로 온탕처리를 진행하였다.

### 온탕침지 소독효과의 실내검정

뿌리혹선충 유충 (10 juveniles/μl)이 균일하게 현탁된 멸균 증류수 5 μl를 생강에 접종하였다. 실내검정에 이용된 생강의 평균 두께는 36 ± 2 mm이었다. 공시선충의 인위적인 접종은 캘리퍼를 이용해 생강의 내부 5 mm와 중심부의 두께를 측정 한 후 10 μl 피펫 팁(BT10F, Neptune, CA, USA)의 표면에 네임펜을 이용하여 표시하였다. 피펫 팁을 이용하여 생강의 내부로 펀치를 시도하였으며, 내부에 존재하는 생강즙액은 피펫 팁을 이용하여 제거한 후 멸균증류수 5 μl에 현탁된 선충을 처리하여 인공접종을 하였다. 선충의 인공접종 후 생강의 천공부위는 글루건과 글루건심(JD450, JAYA, Namyangju)를 이용하여 생강 표면 주위를 봉인하여 항온수조에서 선충이 유실되는 것을 방지하였다. 생강에 대한 온탕침지는 51°C 항온수조에서 30분간 처리하였다. 뿌리혹선충의 유충은 각 100마리씩 5반복으로 온탕처리를 진행한 후 4시간 후에 사멸여부를 조사하였다.

### 통계 및 Probit 분석

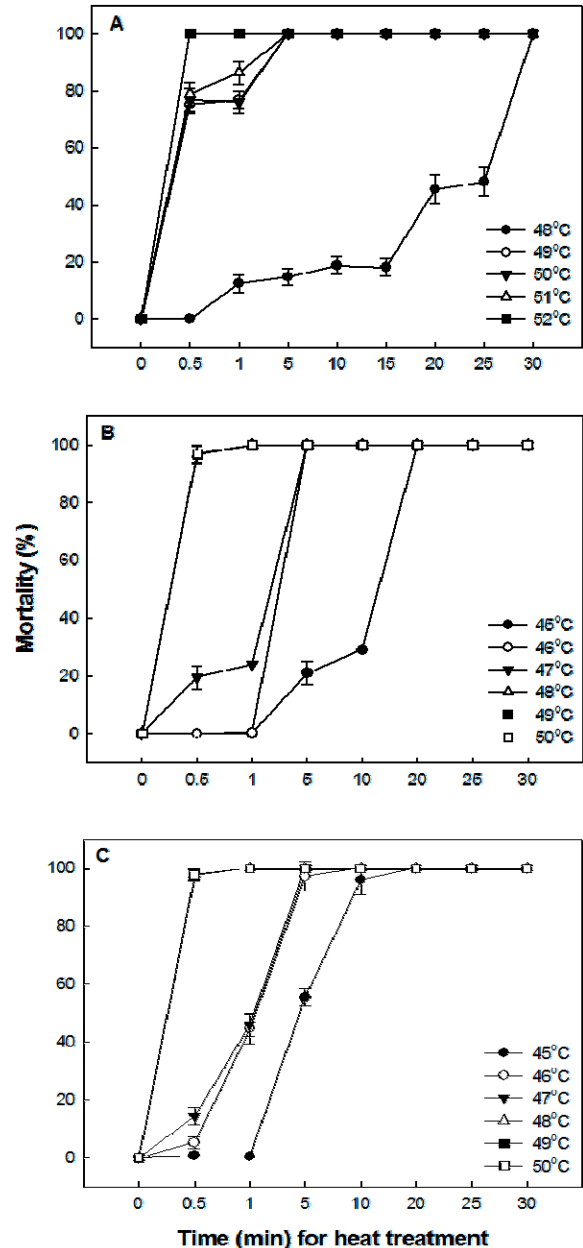
선충의 사멸 결과는 백분율 자료로서 arsine 변환 후 SAS의 PROC GLM (SAS Institute, 1989)을 이용하여 ANOVA 분석 및 처리 평균 간 비교를 실시하였다. 온탕침지 처리에 의해 사멸한 선충의 알 또는 유충의 90% 치사 시간(90% of lethal time, LT<sub>90</sub>) 분석(Finney, 1971)은 EPA Probit 프로그램 버전 1.5 (U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH)를 이용하여 산출하였다.

## 결과

### 선충의 온탕침지에 의한 사멸 조건

온탕침지에 의한 뿌리혹선충과 뿌리썩이선충의 사멸효과는

열처리 시 선충에 노출되는 처리온도 및 처리시간에 정의 상관관계로 나타났으며, 선충의 종류와 발육시기에 따라서도 다르게 나타났다(Fig. 1; Table 1). 뿌리혹선충 난낭의 경우 48°C에 노출되었을 때 열처리 시간이 증가할수록 이들의 사멸효과가 12.4% (1분), 14.7% (5분), 18.7% (10분), 45.46% (20분),



**Fig. 1.** Effect of hot water immersion treatment on mortality of two quarantine nematodes, *Meloidogyne* and *Pratylenchus* spp. Eggs of *Meloidogyne* spp. (A), and juveniles of *Meloidogyne* spp (B) or *Pratylenchus* spp. (C) were exposed to different temperatures and times in water bath. Each treatment was replicated three times with 5 eggs or 100 juveniles per replication. Error bar indicate standard deviation. Picture of hot water immersion treatment of ginger in water bath (D).

**Table 1.** Ninety percent of lethal mortality (LT<sub>90</sub>) on two quarantine nematodes, *Meloidogyne* and *Pratylenchus* spp., by hot water immersion treatment at different temperatures

Temperature (°C) <sup>a</sup>	Nematode (stage)	LT <sub>90</sub> (95% CL) <sup>b</sup>	Slope ± SE	χ <sup>2</sup>
48	<i>Meloidogyne</i> spp. (egg)	25.80 (23.05-26.02)	53.51 ± 14.70	1058.91
45	<i>Meloidogyne</i> spp. (juvenile)	9.36 (6.20-18.84)	3.77 ± 0.82	9.48
46	<i>Pratylenchus</i> spp. (juvenile)	3.29 (2.47-3.10)	3.14 ± 0.18	12.59

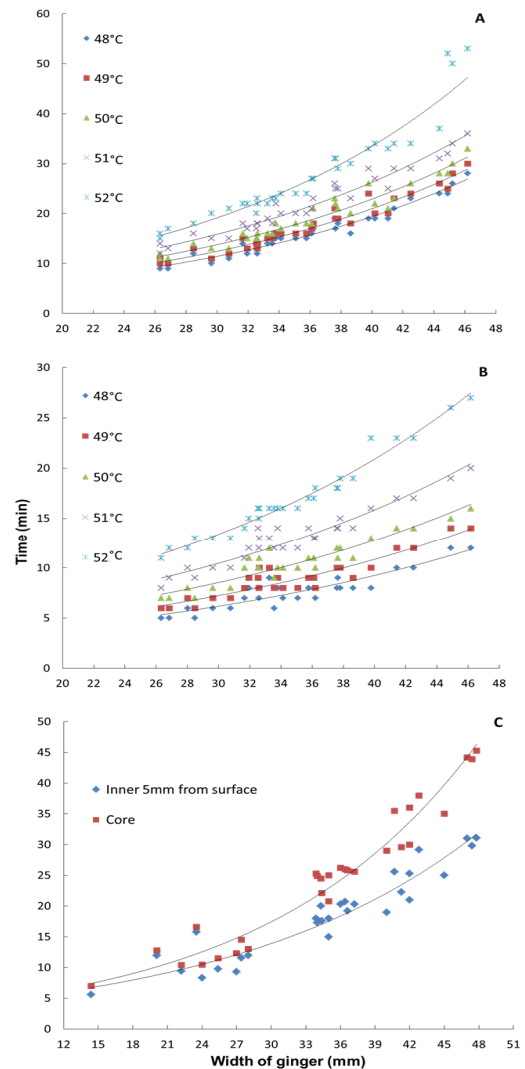
<sup>a</sup>Mortality values were monitored at 24 h after heat treatment.

<sup>b</sup>Results on LT<sub>90</sub> with 95% confidence limits (CL) of two quarantine nematodes by heat treatment are expressed time (min). The LT<sub>90</sub>s for experimental treatments were calculated using the EPA Probit Analysis Program version 1.5 (U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH), and the differences in LT<sub>90</sub>s are considered significantly different if the confidence limits do not overlap.

100% (30분)으로 높아져 온탕침지 처리시간별 살충력에 있어서 통계적인 유의차가 인정되었다( $F=781.92$ ;  $df=7, 16$ ;  $P < 0.0001$ ). 뿌리혹선충 난낭을 대상으로 100% 사멸효과를 나타내기까지 걸리는 열처리 시간은 48°C에서 26분, 52°C에서 30초가 소요되었다(Fig. 1A). 뿌리혹선충 유충의 경우 45°C에 노출되었을 때 사멸효과가 0.5% (1분), 18% (5분), 24% (10분), 100% (20분)으로 조사되었으며, 열처리 온도가 45°C에서 50°C까지 증가하였을 때 유충의 100% 사멸을 위한 처리 시간은 20분에서 1분까지 단축되었다(Fig. 1B). 그러나 열처리온도가 48°C 이상일 때 유충의 100% 사멸을 위한 처리 시간은 1분 미만으로써 처리평균간 비교에서 통계적으로 유의차가 인정되지 않았다( $F=0.06$ ;  $df=6, 14$ ;  $P=0.9454$ ). 뿌리썩이선충 유충은 45°C의 열처리에서는 처리시간이 증가할수록 유충의 사멸효과가 높게 나타났으며, 처리온도가 높아질수록 사멸효과를 나타내는데 걸리는 처리시간이 감소하였다(Fig. 1C). 그러나 뿌리혹선충의 유충과 동일하게 열처리온도가 48°C 이상일 때 1분 미만의 열처리를 통해 100% 사멸효과를 가질 수 있었으나 그 이상의 처리온도에 대한 뿌리썩이선충의 유충 사멸효과는 통계적으로 유의차가 인정되지 않았다( $F=1.09$ ;  $df=6, 14$ ;  $P=0.4055$ ).

### 생강의 열전도 조사

생강의 온탕침지에 필요한 일정 온도까지 도달에 소요되는 시간을 생강의 중심부와 내부 5 mm 부분으로 나누어 측정하였으며, 생강의 두께에 따라 온도가 높아질수록 생강에 대한 열전도 시간도 증가하는 것으로 확인되었다(Fig. 2; Table 2). 수조 내부 온도를 52.5°C로 설정한 후 생강 중심부의 온도가 48°C, 50°C, 52°C까지 도달하는데 걸리는 시간은 생강의 폭이 26 mm일 때 각각 9분, 11분, 17분이었으며, 생강의 폭이 46 mm 이상일 때 각각 29분, 33분, 50분이 소요되었다(Fig. 2A). 또한, 생강 내부 5 mm 두께의 온도가 48°C, 50°C, 52°C까지 도달하는데



**Fig. 2.** Thermal conductivity between time and width of a ginger, *Zingiber officinale*, by hot water immersion treatment at different temperatures. Times to reach a target temperatures (48°C, 49°C, 50°C, and 51°C) on core region (A) and inner 5 mm of width (B) from a surface of ginger in 52.5°C of water bath. Times to reach at 51°C on core region and inner 5 mm of width from a surface of ginger in 51°C of water bath (C). Each independent treatment was real-time monitored by 12 channels of thermal recorder (BTM- 4208SD, LT Lutron, Taiwan) and measured a width of ginger by caliper (CD67-S20PM, Mitutoyo Corp, Tokyo, Japan).

**Table 2.** Regression equations predicting the time required to approach a target temperature by ginger's thickness in water bath at 52.5°C

Target temperature (°C)	Inner region of ginger (R <sup>2</sup> value) <sup>a</sup>	
	Core	Inner 5mm
48	Y=2.3321e <sup>0.053x</sup> (0.9558)	Y=1.8524e <sup>0.0402x</sup> (0.7965)
49	Y=2.6019e <sup>0.052x</sup> (0.9502)	Y=2.1488e <sup>0.0405x</sup> (0.8408)
50	Y=2.9994e <sup>0.050x</sup> (0.9488)	Y=2.5468e <sup>0.0404x</sup> (0.8608)
51	Y=3.4874e <sup>0.051x</sup> (0.9528)	Y=3.0244e <sup>0.0414x</sup> (0.9051)
52	Y=3.5811e <sup>0.056x</sup> (0.9530)	Y=3.5378e <sup>0.0444x</sup> (0.9713)

<sup>a</sup>Y is time taken to each target temperature and X is the thickness of ginger.

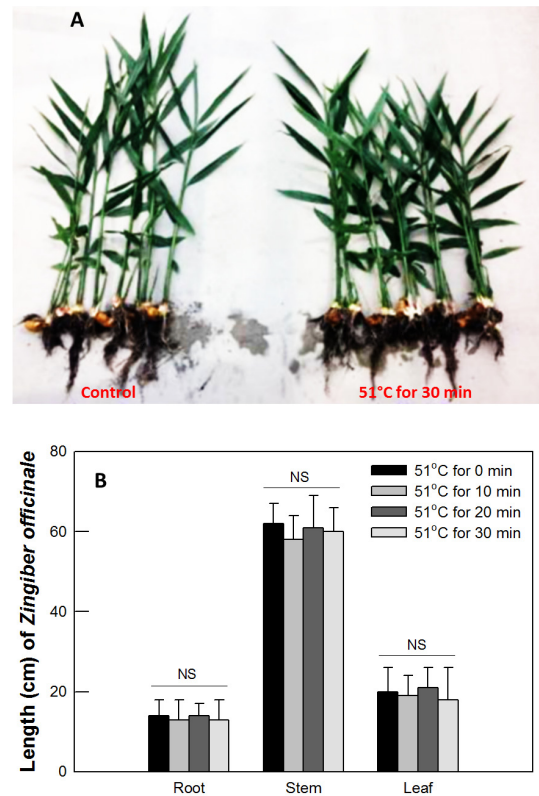
걸리는 시간은 생강의 폭이 26 mm일 때 각각 5분, 7분, 12분이었으며, 생강의 폭이 46 mm 이상일 때 각각 12분, 15분, 27분이 소요되었다(Fig. 2B). 그러나 수조내부 온도를 51°C로 설정한 후 생강 중심부와 내부 5 mm의 온도가 50°C까지 도달하는데 걸리는 시간은 생강의 폭이 14 mm일 때 각각 5분과 7분이었으나 생강의 폭이 46 mm 이상일 때 각각 31분과 45분으로 조사되었다(Fig. 2C).

### 생강의 열해 조사

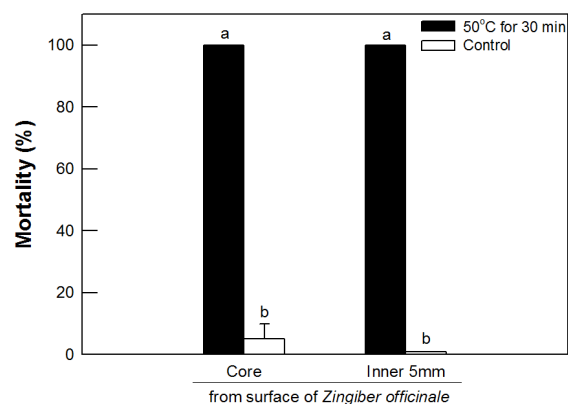
생강의 열해조사에서는 51°C의 항온수조에 26 mm의 두께의 생강을 대상으로 최대 30분간의 열처리를 한 후 상토에 재식하여 열해가 발생하지 않는 것을 확인하였다(Fig. 3). 무처리와 51°C에서 30분간 열처리한 생강을 비교하였을 때 전반적인 발육의 차이가 통계적으로 인정되지 않았다(Fig. 3A). 열처리가 된 생강은 무처리와 비교하여 통계적으로 뿌리( $F=0.68$ ;  $df=3, 16$ ;  $P=0.5795$ ), 줄기( $F=1.43$ ;  $df=3, 16$ ;  $P=0.2698$ ), 잎( $F=0.80$ ;  $df=3, 16$ ;  $P=0.5105$ )의 생육에 대한 유의차가 인정되지 않았다. 이 때 열처리 후 3달 동안 재식한 생강의 뿌리, 줄기, 말단부 잎의 최소길이와 최대길이를 측정한 결과 각각 6~14 cm, 51~59 cm, 7~17 cm로 조사되었다(Fig. 3B).

### 온탕침지 소독효과의 실내검정

생강에 인공 접종된 뿌리혹선충의 유충은 온탕침지 처리로 인하여 모두 치사하였다(Fig. 4). 소독효과의 실내검정을 위한



**Fig. 3.** Growth of a ginger, *Zingiber officinale*, after hot water immersion treatment in 51°C for 30 min. whole plant of 3 months-cultured ginger after hot water immersion treatment (A). Growth comparison with different heat treatment duration in 51°C (B). Growth was measured by three parts as root, stem, and leaf of a ginger. Each independent treatment was consisted of 5 gingers. Error bar indicate standard deviation. NS above standard deviation bars indicate no significant difference among means at Type I error=0.05 (LSD test).



**Fig. 4.** Mortality of hot water immersion treatment on artificially infected juveniles of *Meloidogynespp.* in a ginger, *Zingiber officinale*. Nematodes were located in core and inner 5mm region from surface of ginger and ginger was exposed at 51°C for 30 min in water bath. Each treatment was replicated five times with 100 juveniles per replication. Error bar indicate standard deviation. Different letter above standard deviation bars indicate significant difference among means at Type I error=0.05 (LSD test).

뿌리혹선충의 인공감염에서 글루건을 이용한 생강표면의 코팅에서 선충은 영향을 입지 않았다. 51°C에서 30분 동안의 온탕침지 처리 후 생강의 중심부와 내부 5 mm에 접종된 뿌리혹선충의 유충은 모두 100%의 살충효과를 나타내어 깊이에 따른 살충력의 차이는 통계적으로 유의하지 않았다( $F=0.58$ ;  $df=3, 16$ ;  $P=0.6850$ ).

## 고찰

생강을 포함한 다양한 종류의 구근류를 국외에서 국내로 수입할 때 검역대상 선충류의 검출에 의한 반입금지 조치가 이루어지고 있다. 여기에는 뿌리혹선충과 뿌리썩이선충이 주로 포함되며(Animal and Plant Quarantine Agency, 2016), 뿌리썩이선충의 경우 국내에 분포하는 것으로 알려진 *P. penetrans*를 포함한 *P. crenatus*, *P. fallax*, *P. kumamotoensis*, *P. panamaensis* 등의 5종이 검출되고 있다(Castilo and Vovlas, 2007; Kim and Chun, 2014). 이러한 선충의 국내 유입시 농업환경과 자연생태계의 교란에 영향을 미칠 수 있기에 외래 선충에 대한 효과적인 소독연구가 시급한 실정이다. 생강에 대한 소독법으로써 온탕침지 연구는 재식용 생강에 감염된 선충류(뿌리혹선충과 뿌리썩이선충)와 식물병원성 세균 (*Pseudomonas solanacearum*) 및 진균(*Fusarium oxysporum*)등으로부터 수량감소와 방제비용의 절감을 위한 선충(seed selection)의 일환으로써 토양 훈증법과 함께 진행되어왔다 (Trujillo, 1964). Bridge (1975)와 Trujillo (1964)의 연구에서 생강 구근의 경우 45~60°C 이상의 온도에서 일정시간(10~50분) 열처리로 뿌리혹선충류에 대한 방제가 가능하였으나, 동시에 구근의 활력 감소를 가져온다는 보고가 있었다. 비록 본 연구가 기존의 일부 보고와 동일하지만 국내 검역현장에 적용하기 위한 엄격한 식물소독법의 일환으로써 실험적 근거를 마련하기 위한 본 연구를 수행하였다.

온탕침지에 따른 선충의 열 감수성 조사에서는 Wang and McSorley (2008)의 결과와 동일하게 난낭 형태의 알이 유충보다 열에 대해 안정한 것으로 뿌리혹선충을 대상으로 조사되었다. 유충의 경우 48°C에서 30초 이상 열처리로 인해 100% 사멸효과가 나타났으나 난낭의 경우 동일한 온도 조건에서 30분 이상 열처리 하였을 때 100% 사멸효과가 나타났다(Fig. 1A). 유충과 난낭간의  $LT_{90}$ 의 분석에서도 유충이 난낭 보다 낮은 온도와 짧은 처리시간으로 90% 이상의 사멸효과를 나타내었다(Table 1). 따라서 난낭이 가지고 있는 열에 대한 저항성은 유충에 비해 열에 대해 안정적인 구조와 난낭 성분인 것으로 판단된다. 뿌리혹선충의 난낭과 알껍질은 gelatin과 chitin 성분으로 이루어져 있으며, 미생물제제 또는 살선충 물질들은 이들 성분

들의 분해를 통해 뿌리혹선충의 알 부화억제를 유도함으로써 선충의 밀도를 감소시키는 방제전략을 사용하고 있다(Kim et al., 2011; Park et al., 2012). 그러나 서로 다른 두 종의 유충간 비교에서는 뿌리썩이선충이 뿌리혹선충 보다 열처리에 대해서 감수성인 것으로 본 연구결과 조사되었다(Fig. 1B and C). 이를 바탕으로 두 종의 선충에 대한 온탕침지 소독처리 시 열처리 온도와 처리시간에 따른 기준을 뿌리혹선충 난낭의 사멸 조건으로 정하는 것이 두 종의 선충을 동시에 사멸하는데 유리할 것이다. 특히, 뿌리혹선충은 시설 원예작물인 오이, 수박, 참외, 토마토, 멜론 등에 피해를 주기 때문에 다양한 식물기생선충류 중에서 가장 많은 경제적 손실을 가져다주는 해충으로써 방제의 중요성이 제기된다(Lee et al., 2013).

검역현장에서 생강과 같은 구근류에 포함된 선충을 효과적으로 사멸하기 위해서 온탕침지 시 작물의 생육에 영향을 주지 않는 온도와 시간의 구명은 매우 중요하다. 이를 위해서 본 연구에서는 표면적이 일정하지 않은 부정형의 생강을 모델로 하여 선충의 사멸에 필요한 온도까지 생강 내부로 전이되는 열전도를 시간별로 조사하였다. 열전도에 있어서 생강의 두께가 증가할수록 생강 내부로 전이되는 열이 평형을 이루기까지 소요되는 시간이 증가한다는 것을 확인하였다. 이를 토대로 52.5°C의 항온수조에서 생강 폭이 26~46 mm 범위에 속할 때 생강의 중심부 온도가 52°C 까지 도달하는데 걸리는 시간은 17~50분이 소요되며, 회귀방정식  $Y=3.5811e^{0.056x}$  ( $R^2=0.9530$ )을 이용하여 생강의 두께(X)별 온도 도달 시간(Y)을 예측할 수 있다. 특히, 동일한 생강의 두께에서 목표 온도까지 도달하는 시간은 일부 생강마다 상이하게 조사되었다. 이는 동일한 두께의 생강에 전달되는 열에너지가 생강의 표면적 크기에 따른 열전도율로 인해 상이하게 열평형을 이루기 때문인 것으로 사료된다. 또한 본 연구에서는 평균 두께가 36 mm인 생강을 51°C의 온도조건에서 최대 30분간 열처리를 진행하여 생강의 열해를 조사하였으나, 무처리와 비교하여 생강의 생육에 있어서 그 차이가 유의하지 않다는 것을 확인하였다(Fig. 3). 기존 Trujillo (1964)의 보고에서 실험에 사용된 생강은 하와이에서 생산된 것으로서 50°C에서 30분 동안 열처리를 하였을 때 열해가 30% 이상 발생하였으나, 본 연구에서 사용한 중국산 생강의 경우 동일한 처리조건에서 열해가 발생하지 않아 이들 생강 간의 품종 및 건전성의 차이로 인한 결과로 사료된다. 뿌리혹선충에서 난낭은 유충보다 열처리에 대한 내성이 높은 것으로 보고되었다(Wang and McSorley, 2008). 따라서 수입 식물의 구근류에 감염된 검역대상의 식물 기생성선충을 사멸하기 위한 열처리 조건은 가장 내성이 높은 발육단계인 난낭을 완전히 사멸할 수 있는 열처리 온도와 시간이 되어야 할 것이다. 실제 수입되는 생강(대강)

의 폭은 최대 46 mm 이상이 포함될 수 있기에 51°C 미만의 열처리 온도 조건에서 시간을 최대 45분 이상 연장한 후 생강의 열해를 주지 않는 온탕침지 조건에 대한 구멍이 추가로 필요하다. 생강과 같은 구근류의 경우는 이용목적에 따라 식용과 재식용으로 구분되어 국내에 수입되고 있다. 재식용 생강의 경우 위에 제시한 온도조건에서 구근의 발아억제와 같은 열해가 만성적으로 발생할 수 있으므로, 본 연구에서 도출된 온탕침지조건을 식용 구근류에 국한하여 검역현장에 적용할 수 있을 것이다.

종자소독을 위한 온탕침지의 경우 당근, 배추, 셀러리, 파슬리, 상추의 경우 50°C에서 30분간의 열처리는 종자발아에 영향을 미치지 않으며, 종자전염성 병원균들을 효과적으로 방제할 수 있었다(Nega et al., 2003). 그러나 Miller et al. (2005)의 보고에서는 상추와 배추의 경우 47°C에서 30분, 50°C에서 25분으로 최적처리 온도와 시간은 조금씩 다르게 보고되었다. 이는 동일한 작물이라도 온탕침지의 대상이 되는 품종과 종자의 건전성 정도에 따라 온도에 대한 반응이 다르게 나타날 수 있음을 제시한다. 따라서 온탕침지 처리를 실제 검역현장에 적용하기 위해서는 열처리 조건 외에도 수입되는 작물의 품종, 건전성 및 수입목적을 고려하여 소독처리를 진행해야 할 것으로 사료된다.

본 연구를 통해서 생강의 표면과 내부에 침입한 뿌리혹선충과 뿌리썩이선충에 대한 사멸효과를 온탕침지 처리를 통해 확인할 수 있었다. 이러한 온탕침지 조건은 국내로 수입되는 다양한 구근류에 침입한 검역대상 선충류에 대한 식물소독법과 식물검역을 위한 근거자료로 이용될 수 있을 것이다.

## 사 사

본 연구는 2016년도 농림축산검역본부 식물검역기술개발센터 자체기술개발과제의 지원으로 수행되었다.

## Literature Cited

Animal and Plant Quarantine Agency, 2016. Pest Information System. <http://10.110.128.100/main/main.asp> (accessed on 11 January, 2017).

Bridge, J. 1975. Hot water treatment to control plant parasitic nematodes of tropical crops. Meded. Fac. Landbouww. Rijks. Univ. Gent. 40, 249-259.

Castilo, P., Vovlas, N., 2007. *Pratylenchus* (Nematoda:Pratylenchidae): Diagnosis, biology, pathogenicity and management. Brill Leiden, Boston.

Choi, Y.H., 1982. Phytonematology. Hyangmoonsa, Korea, pp. 58-69.

Finney, D.J., 1971. Probit analysis. Cambridge University Press, Cambridge.

Jo, M.H., Ham, I.K., Lee, G.H., Lee, J.K., Lee, G.S., Park, S.K., Kim, T.I., Lee, E.M., 2011. Comparison of active ingredients between field grown and *in vitro* cultured Rhizome of Korean native ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). Korean J. Plant Res. 24, 404-412.

Kim, D., Chun, J.Y., 2014. Identification of root-lesion nematode (Pratylenchidae: *Pratylenchus*) intercepted on imported plants. Korean J. Appl. Entomol. 53, 51-57.

Kim, S.S., Kang, S.I., Kim, Y.S., Lee, S.H., Hong, K.W., Kim, K.Y., 2011. Biological control of root-knot nematode by *Streptomyces samponii* KK1024. Korean J. Soil Sci. Fert. 44, 1150-1157.

Lee, Y.S., Park, Y.S., Kim, S.B., Kim, S.Y., 2013. Biological control of root-knot nematode by *Lysobacter capsici* YS1215. Korean J. Soil Sci. Fert. 46, 105-111.

Ma, K., Cho, Y., Jeong, B., Choi, D., 2011. Control effect on root-knot nematodes by hot water dipping treatment in kiwifruit. Korean J. Organic Agric. 19, 255-258.

Miller, S.A., Melanie, L., Lewis, I., 2005. Hot water and chlorine treatment of vegetable seeds to eradicate bacterial plant pathogens. Ohio State University Extension Fact Sheet, Ohio.

Nega, E., Ulrich, R., Werner, S., Jahn, M., 2003. Hot water treatment of vegetable seed - an alternative seed treatment method to control seed-borne pathogens in organic farming. J. Plant Dis. Protect 110, 220-234.

Park, M.H., Walpola, B.C., Kim, S.J., Yoon, M.H., 2012. Control effect of root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*) by biological nematicide. Korean. J. Soil Sci. Fert. 45, 162-168.

SAS Institute, Inc. 1989. SAS/STAT User's Guide, 6.03 ed. SAS Institute, North Carolina.

Trujillo, E.E. 1964. Diseases of ginger (*Zinger officinale*) in Hawaii. Circular 62. Hawaii Agricultural Experiment Station, Univ. of Hawaii, Honolulu.

Wang, K.H., McSorley, R. 2008. Exposure time to lethal temperatures for *Meloidogyne incognita* suppression and its implication for soil solarization. J. Nematol. 40, 7-12.