

南方根结线虫二龄幼虫对不同类型盐离子的趋化反应

孟 丽^{1,2}, 漆永红², 刘玉霞¹, 曹素芳³, 杜 蕙², 吕和平², 李敏权^{1,2*}

(1. 甘肃农业大学草业学院, 兰州 730070; 2. 甘肃省农业科学院植物保护研究所, 兰州 730070;
3. 甘肃省农业科学院林果花卉研究所, 兰州 730070)

摘要 为了明确南方根结线虫对不同盐离子的趋化性,在琼脂糖平板培养基上测试了南方根结线虫2龄幼虫对37种无机盐和11种有机盐的趋化反应。结果表明,Cl⁻和SCN⁻盐对南方根结线虫均有排斥作用;对南方根结线虫有排斥作用的NO₃⁻盐为Ba(NO₃)₂、NH₄NO₃、Mn(NO₃)₂;H₂PO₄⁻或HPO₄²⁻盐为KH₂PO₄、K₂HPO₄;CO₃²⁻或HCO₃⁻盐为Na₂CO₃、K₂CO₃、(NH₄)₂CO₃和KHCO₃;OH⁻盐为KOH和NaOH;有机酸为C₂H₄O₂、C₃H₆O₃和C₄H₆O₆。含有相同阳离子的不同盐对南方根结线虫的吸引或排斥作用不受影响。阴离子对南方根结线虫的排斥作用大小为SCN⁻>NO₃⁻>Cl⁻>OH⁻>CO₃²⁻>H₂PO₄⁻>有机酸>SO₄²⁻。只有KCl、Ba(NO₃)₂、NH₄NO₃、Mn(NO₃)₂、(NH₄)₂CO₃、C₂H₄O₂和C₄H₆O₆对线虫的趋化性随浓度的增加而增加,而其他被测试的41种盐浓度对线虫的趋化性没有显著影响。

关键词 南方根结线虫; 无机盐; 有机盐; 趋化性

中图分类号: S 432.45 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.0529-1542.2014.02.016

Chemotaxis of the second stage juveniles of *Meloidogyne incognita* in response to different salt ions

Meng Li^{1,2}, Qi Yonghong², Liu Yuxia¹, Cao Sufang³, Du Hui², Lü Heping², Li Minquan^{1,2}

(1. Grassland College, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 2. Institute of Plant Protection, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China; 3. Institute of Fruit and Floriculture Research, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China)

Abstract In order to determine the chemotaxis of *Meloidogyne incognita*, the chemotactic responses of the second stage juveniles of *M. incognita* to 37 inorganic salts and 11 organic salts were investigated on agarose plates with different salt gradients. *M. incognita* was repellent to chloride and SCN⁻. *M. incognita* was repellent to nitrates including Ba(NO₃)₂, NH₄NO₃, Mn(NO₃)₂, and hydrogen-phosphate salts including KH₂PO₄, K₂HPO₄, and carbonate including Na₂CO₃, K₂CO₃, (NH₄)₂CO₃, KHCO₃, and hydroxyl salts including KOH and NaOH, and organic acid including C₂H₄O₂, C₃H₆O₃ and C₄H₆O₆. No difference was observed in the repellence or attraction properties of different salts. The effect of repellence was ranked in order as SCN⁻>NO₃⁻>Cl⁻>OH⁻>CO₃²⁻>H₂PO₄⁻>organic acid>SO₄²⁻. A significantly positive relationship was observed in the chemotaxis of nematodes and concentration of KCl, Ba(NO₃)₂, NH₄NO₃, Mn(NO₃)₂, (NH₄)₂CO₃, C₂H₄O₂ and C₄H₆O₆, while the concentration of other salts tested did not influence nematode chemotaxis significantly.

Key words *Meloidogyne incognita*; inorganic salts; organic salts; chemotaxis

根结线虫(*Meloidogyne* spp.)是植物病原线虫中种类最多,分布最广,危害最严重的一类线虫,其寄主范围超过3 000种,主要危害茄科、葫芦科、十字花科等植物根部,形成串球瘤状根结,破坏根组织

的分化和生理活动,抑制地上部正常生长,进而严重影响作物的产量和品质^[1]。根结线虫不仅直接危害植物的根和茎,线虫造成的伤口还可诱发和加剧其他土传病害的发生,如枯萎病(*Fusarium oxyspo-*

rum Schlecht)、黄萎病 (*Verticillium dahliae* Kleb.) 和立枯病 (*Rhizoctonia solani* Kühn) 等^[2]。根结线虫病主要以化学防治为主,但化学防治对环境影响大、易对作物产生药害等,因此,探索防治根结线虫的新方法势在必行。

长期以来,人们认为土壤中自由生活的线虫利用特定的识别机制发现寄主或获得食物。线虫的趋性包括对寄主根^[3]、pH^[4]、CO₂^[5]、温度^[6]、性诱剂^[7]、无机盐离子^[8]等的反应。趋化性^[9]是线虫向化学物质运动或远离,其信号主要由位于线虫头区的侧器和内唇区的感觉器接受。研究线虫头部感官结构的形态学发现,线虫寻找食物主要是由寄主或被取食物释放的化学趋性因子决定的,其他的刺激因素如热力、振动、触觉等作用较小,并且一般限于寻找食物的行为。关于线虫对一些盐的趋化性有一些报道,Castro 研究了 K⁺、NH₄⁺、Cs⁺、NO₃⁻、Cl⁻ 对南方根结线虫 (*Meloidogyne incognita* Chitwood) 侵染前 2 龄幼虫的趋避性^[8]。Saux 和 Quénehervé^[9]测定了 Cl⁻、NO₃⁻、OAc⁻、SO₄²⁻ 4 种阴离子和 Ca²⁺、K⁺、Na⁺、Mg²⁺、NH₄⁺ 5 种阳离子对肾形小盘线虫 (*Rotylenchulus reniformis* Linford et Oliveira) 的趋化性。Qi 等^[10]研究了 SO₄²⁻、H₂PO₄⁻、Cl⁻ 和 NO₃⁻ 等对马铃薯腐烂茎线虫 (*Ditylenchus destructor* Thorne) 的趋化性。Steiner 提出^[11],植物寄生线虫通过化学感应定殖于寄主。Perry 综述了线虫的化感器对不同吸引物的反应^[12]。Croll 研究表明^[13],植物寄生线虫头部的感觉器官对土壤中的物质具有趋化性,盐离子对线虫的作用包括吸引、排斥或不受影响。

Devine 和 Jones 报道^[14],施入土壤中的盐及肥料在供植物吸收的同时也显著影响着线虫的行为,从而间接影响田间的发病情况。这是由于土壤中施加的盐容易被作物吸收提高植物的抗病性,更重要的是有些盐在土壤环境下产生的剧毒化合物对线虫迁移和侵染具有抑制作用,这些化合物阻碍线虫完成生活史,遏制了线虫的危害,起到某种程度的防治作用。了解盐对南方根结线虫的影响具有重要的价值,本试验测试了南方根结线虫对 48 种盐的趋化反应,旨在为南方根结线虫的防治提供依据。

1 材料与与方法

1.1 供试线虫

采自甘肃省武威市发放镇日光温室内发病的番

茄根系,经鉴定后确定为南方根结线虫^[15]。采用 Giannakou 等^[16]的方法,将病根洗净,在解剖镜下从番茄根系挑取新鲜卵囊,放入直径 9 cm 的培养皿内,用 0.5% 次氯酸钠表面消毒 3 min,无菌水洗 3 次后放入 24 孔培养板中,在室温 25 °C 左右孵化 2 龄幼虫,每隔 24 h 换水 1 次,保证每次选用的 2 龄幼虫新鲜和活力一致。

1.2 供试盐

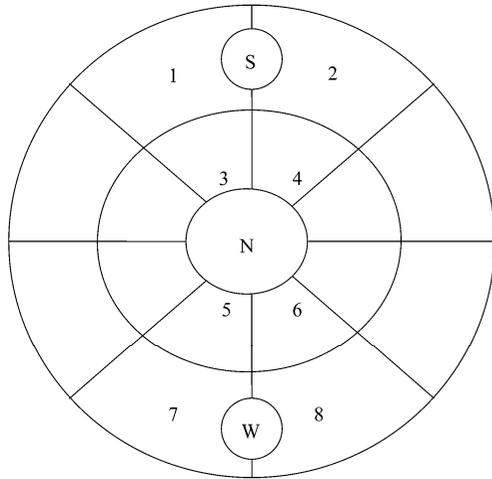
本试验包括 48 种盐,其中 37 种为无机盐,11 种为有机酸及其盐。供试盐分别是 NH₄Cl、NaCl、KCl、CuCl₂ · 2H₂O、FeCl₃ · 3H₂O、CsCl; (NH₄)₂SO₄、Na₂SO₄、K₂SO₄、MnSO₄ · H₂O、FeSO₄ · 7H₂O、CuSO₄ · 5H₂O、(NH₄)₂SO₄ · FeSO₄ · 6H₂O; NH₄NO₃、NaNO₃、KNO₃、Ba(NO₃)₂、Mn(NO₃)₂; Na₂HPO₄、NaH₂PO₄、(NH₄)₂HPO₄、NH₄H₂PO₄; KH₂PO₄、K₂HPO₄; NH₄HCO₃、(NH₄)₂CO₃、Na₂CO₃、K₂CO₃、KHCO₃、CaCO₃、NaHCO₃; C₂H₄O₂、C₂H₃O₂Na、C₂H₃O₂K、C₂H₃O₂NH₄; NH₄SCN、KSCN、NaSCN; NaOH、KOH; Na₂WO₄ · 2H₂O、CO(NH₂)₂、C₃H₆O₃、C₄H₆O₆、C₆H₈O₇、C₆H₅Na₃O₇、C₇H₅NaO₃ 和 C₁₀H₁₄N₂Na₂O₈。以上盐均为分析纯,定购于天津市恒兴化学试剂厂。每种盐设 6 个浓度,分别为 2 × 10⁻²、1 × 10⁻²、0.5 × 10⁻²、0.25 × 10⁻²、0.125 × 10⁻² 及 0.062 5 × 10⁻² mol/L。

1.3 生测方法

试验方法在 Wuyts 等^[17]的基础上有所改进。将直径为 5 cm 的培养皿底部通过两个内外环划分成 16 部分(见图 1)。先在培养皿中倒入 0.8% 琼脂糖 5 mL,接着在琼脂糖平板外环的圈内分别加入 50 μL 的待测盐溶液和蒸馏水,室温 25 °C 放置 1 h,然后将 2 μL 约 30 头南方根结线虫接种于中心环内,在 25 °C 培养箱黑暗放置 5 h。之后,在培养皿表面喷洒乙醇停止线虫运动。在显微镜下数出 1~8 区各区线虫的数量。每个浓度的盐重复 3 次,以蒸馏水处理为对照。

1.4 数据处理

本试验中,趋化指数定义为从 +2 到 -2 范围内的正值(吸引)和负值(排斥)。参照 Saux 和 Quénehervé 的方法^[9]有所改进,其表达式为:趋化指数 = Σ(p · I_d),其中 p 表示各区线虫比率,即 1~8 区各区线虫数量与 8 个区线虫总数量的比率;I_d 表示距离系数,即 1~2 区为 +2 cm,3~4 区为 +1 cm,5~6 区为 -1 cm,7~8 区为 -2 cm。



S为盐溶液, W为蒸馏水, N为南方根结线虫
S: Salts; W: Distilled water; N: Nematodes

图 1 南方根结线虫趋化性测试区

Fig. 1 Test arena for investigating the chemotaxis of *Meloidogyne incognita*

数据处理采用 DPS 软件, Duncan 氏新复极差法检验差异显著性 ($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 南方根结线虫对 37 种无机盐和 11 种有机盐的趋化性

南方根结线虫对不同的无机盐和有机盐的趋化性不同(表 1), 除 Cl^- 和 SCN^- 盐对南方根结线虫均有排斥作用外, 其他含有同一阴离子的盐对线虫的作用趋势不同, 有的表现吸引, 有的表现排斥。其中对南方根结线虫有排斥作用的 NO_3^- 盐为 $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ 、 NH_4NO_3 、 $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2$, H_2PO_4^- 或 HPO_4^{2-} 盐为 KH_2PO_4 、 K_2HPO_4 , CO_3^{2-} 或 HCO_3^- 盐为 Na_2CO_3 、 K_2CO_3 、 $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 和 KHCO_3 , OH^- 盐为 KOH 和 NaOH , 有机酸为 CH_3COOH 、 $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$ 和 $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6$, 其他供试盐在不同浓度对南方根结线虫均存在吸引和排斥作用。

表 1 南方根结线虫对不同盐离子在不同浓度下的趋化性及趋化指数¹⁾

Table 1 Chemotaxis and its chemotactic index of different salt ions at different concentrations to *M. incognita*

盐 Salts	各浓度($\times 10^{-2}$ mol/L)的趋化指数						趋化性评价 Chemotaxis
	Chemotactic index of different inorganic ions at different concentrations						
	0.062 5	0.125	0.25	0.5	1	2	
NaCl	-0.08 a	-0.41 b	-0.25 ab	-0.03 a	-0.43 b	-0.41 b	排斥
KCl	-0.15 a	-0.24 a	-0.14 a	-0.14 a	-0.38 a	-0.42 a	排斥
FeCl_3	-0.76 c	-0.38 ab	-0.62 bc	-0.37 ab	-0.52 bc	-0.13 a	排斥
NH_4Cl	-0.52 a	-0.70 a	-0.73 a	-0.49 a	-0.51 a	-0.35 a	排斥
CsCl	-0.60 a	-0.15 a	-0.39 a	-0.09 a	-0.15 a	-0.54 a	排斥
CuCl_2	0.20 a	-0.41 b	-0.51 b	-0.15 b	-0.22 b	-0.47 b	排斥
CuSO_4	0.33 a	0.15 ab	-0.23 c	0.20 ab	-0.07 bc	0.24 ab	吸引排斥共存
Na_2SO_4	-0.03 a	0.21 a	0.14 a	0.30 a	0.19 a	-0.02 a	吸引排斥共存
MnSO_4	0.24 a	-0.02 b	0.24 a	0.37 a	-0.12 b	-0.19 b	吸引排斥共存
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \text{FeSO}_4$	-0.18 a	0.23 a	0.31 a	-0.23 a	-0.07 a	0.24 a	吸引排斥共存
FeSO_4	0.11 a	-0.16 a	-0.11 a	-0.05 a	0.29 a	0.30 a	吸引排斥共存
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	0.24 ab	0.48 a	-0.14 cd	-0.003 bc	-0.13 cd	-0.44 d	吸引排斥共存
K_2SO_4	-0.05 b	-0.16 bc	-0.44 c	-0.10 b	-0.24 bc	0.28 a	吸引排斥共存
NaNO_3	-0.25 bc	-0.35 cd	-0.57 d	0.12 a	-0.03 ab	-0.37 cd	吸引排斥共存
KNO_3	0.05 a	0.04 a	-0.19 ab	-0.43 b	-0.58 b	-0.49 b	吸引排斥共存
$\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$	-0.17 a	-0.28 a	-0.35 a	-0.39 a	-0.33 a	-0.54 a	排斥
NH_4NO_3	-0.24 ab	-0.15 a	-0.50 abc	-0.71 bc	-0.36 ab	-0.86 c	排斥
$\text{Mn}(\text{NO}_3)_2$	-0.46 ab	-0.34 a	-0.65 ab	-0.61 ab	-0.63 ab	-0.78 b	排斥
$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	0.36 ab	0.54 a	0.10 abc	0.27 ab	-0.41 c	-0.14 bc	吸引排斥共存
$\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.17 ab	-0.06 ab	-0.36 b	0.48 a	-0.14 ab	-0.24 ab	吸引排斥共存
$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	-0.28 a	-0.06 a	-0.10 a	0.09 a	-0.45 a	-0.26 a	吸引排斥共存
$\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	0.14 ab	-0.21 b	0.25 a	0.04 ab	-0.69 c	-0.74 c	吸引排斥共存
KH_2PO_4	-0.35 a	-0.18 a	-0.15 a	-0.39 a	-0.47 a	-0.17 a	排斥
K_2HPO_4	-0.36 ab	-0.17 a	-0.96 c	-0.36 ab	-0.73 bc	-0.61 abc	排斥
CaCO_3	0.53 a	0.17 ab	0.03 b	-0.07 b	-0.18 b	-0.28 b	吸引排斥共存
NaHCO_3	0.11 a	-0.20 ab	-0.53 b	-0.15 a	0.09 a	0.10 a	吸引排斥共存
Na_2CO_3	-0.13 a	-0.09 a	-0.17 a	-0.10 a	-0.57 b	-0.60 b	排斥
NH_4HCO_3	0.05 a	0.22 a	-0.27 a	-0.34 a	-0.35 a	-1.09 b	吸引排斥共存
$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$	-0.31 a	-0.27 a	-0.38 a	-0.64 ab	-0.56 ab	-0.87 b	排斥
KHCO_3	-0.54 a	-0.40 a	-0.54 a	-0.47 a	-0.68 a	-0.47 a	排斥
K_2CO_3	-0.21 a	-0.61 a	-0.67 a	-0.69 a	-0.64 a	-0.63 a	排斥
$\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2\text{Na}$	-0.44 c	0.53 a	-0.04 b	0.10 b	0.22 ab	-0.03 b	吸引排斥共存

续表 1 Table 1(Continued)

盐 Salts	各浓度($\times 10^{-2}$ mol/L)的趋化指数						趋化性评价 Chemotaxis
	Chemotactic index of different inorganic ions at different concentrations						
	0.062 5	0.125	0.25	0.5	1	2	
$C_2H_3O_2NH_4$	0.33 a	-0.17 b	-0.13 b	-0.26 b	-0.15 b	-0.35 b	吸引排斥共存
$C_2H_4O_2$	-0.15 a	-0.01 a	-0.19 a	-0.33 ab	-0.33 ab	-0.69 b	排斥
$C_2H_3O_2K$	0.32 a	-0.15 b	-0.31 b	-0.59 bc	-0.45 bc	-0.86 c	吸引排斥共存
NH_4SCN	-0.16 a	-0.57 ab	-0.44 ab	-0.74 b	-0.66 ab	-0.58 ab	排斥
$NaSCN$	-0.62 ab	-0.33 a	-0.35 a	-0.76 b	-0.60 ab	-0.75 b	排斥
$KSCN$	-0.51 a	-0.66 ab	-1.06 b	-0.63 ab	-0.78 ab	-1.01 b	排斥
$Na_2WO_4 \cdot 2H_2O$	0.22 ab	0.48 a	0.27 ab	0.12 ab	-0.29 b	0.31 ab	吸引排斥共存
$C_7H_5NaO_3$	-0.23 a	-0.19 a	0.53 a	0.33 a	0.29 a	0.19 a	吸引排斥共存
$C_6H_5Na_3O_7$	0.27 a	-0.17 b	-0.13 ab	0.18 ab	0.18 ab	0 ab	吸引排斥共存
$C_{10}H_{14}N_2Na_2O_8$	0.24 ab	0.29 ab	0.55 a	-0.55 c	-0.28 bc	-0.30 bc	吸引排斥共存
$C_6H_8O_7$	-0.08 a	0.24 a	0.06 a	0.16 a	-0.42 a	-0.16 a	吸引排斥共存
$C_4H_6O_6$	-0.04 a	-0.37 abc	-0.20 ab	-0.35 abc	-0.53 bc	-0.67 c	排斥
$C_3H_6O_3$	-0.18 a	-0.20 ab	-0.45 ab	-0.50 ab	-0.26 ab	-0.65 b	排斥
$CO(NH_2)_2$	-0.14 ab	-0.13 ab	-0.06 a	0 a	0.12 a	-0.60 b	吸引排斥共存
$NaOH$	0.20 a	-0.19 a	-0.17 a	-0.3 a	-0.13 a	-0.36 a	排斥
KOH	-0.42 ab	-0.22 a	-0.43 ab	-0.46 ab	-0.83 c	-0.78 bc	排斥

1) 表中数据为平均值,同行数据后不同小写字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 $P < 0.05$ 水平上差异显著。

The data in the figure are mean. Different lowercase letters within the same row show significant differences at $P < 0.05$ levels by Duncan's, multiple range test.

从试验得出,含有相同阳离子的不同盐对南方根结线虫的作用趋势不同,有的表现为吸引,有的表现为排斥,表明阳离子对南方根结线虫的吸引或排斥属性不受影响。南方根结线虫对盐的趋化性主要由阴离子决定,阴离子对南方根结线虫的排斥顺序为 $SCN^- > NO_3^- > Cl^- > OH^- > CO_3^{2-} > H_2PO_4^- >$ 有机酸根 $> SO_4^{2-}$ 。

2.2 南方根结线虫对 48 种盐在 6 种不同浓度下的趋化指数

从表 1 看出,在不同浓度下比较南方根结线虫对同一种盐的吸引或排斥反应发现,只有 KCl 、 $Ba(NO_3)_2$ 、 NH_4NO_3 、 $Mn(NO_3)_2$ 、 $(NH_4)_2CO_3$ 、 $C_2H_4O_2$ 、 $C_4H_6O_6$ 的趋化值随浓度的增加而增加,而被测的其他盐,各浓度对线虫的趋化性没有显著影响。在所测的盐浓度中,南方根结线虫对不同盐的趋化指数不同,其中最高趋化指数为 0.55(最大值为 2.0),最低趋化指数为 -1.09(最小值-2.0)。供试的所有盐中, SCN^- 盐对线虫有明显的排斥作用,其趋化指数最低,而 SO_4^{2-} 盐的趋化指数最高。

3 讨论

在生产中,施入土壤中的盐及肥料在供植物吸收的同时也影响着线虫的行为。本试验研究了 37 种无机盐对南方根结线虫运动行为的影响,且首次明确了南方根结线虫对 11 种有机酸及其盐,如 $C_2H_4O_2$ 、 $C_2H_3O_2Na$ 、 $C_2H_3O_2K$ 、 $C_2H_3O_2NH_4$ 、 $CO(NH_2)_2$ 、

$C_3H_6O_3$ 、 $C_4H_6O_6$ 、 $C_6H_8O_7$ 、 $C_6H_5Na_3O_7$ 、 $C_7H_5NaO_3$ 和 $C_{10}H_{14}N_2Na_2O_8$ 的趋化性。

大量研究证实,盐离子对不同的线虫吸引或排斥能力不同。Saux 和 Quénéhervé^[9] 得出, Na^+ 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 OAc^- 对肾形小盘螺旋线虫 (*R. reniformis*) 有吸引力,该线虫的趋化性决定于阳离子。Qi 等^[10] 研究得出, SO_4^{2-} 和 $H_2PO_4^-$ 对马铃薯腐烂茎线虫有排斥作用,而 Cl^- 和 NO_3^- 对其有吸引作用。Castro 报道^[8], K^+ 、 NH_4^+ 、 Cs^+ 、 NO_3^- 、 Cl^- 对南方根结线虫 (*M. incognita*) 侵染性 2 龄幼虫有强烈的排斥性。本试验得出,阳离子对南方根结线虫的趋化性没有影响,不同盐中,即使相同的阳离子也表现出不同的趋化反应。南方根结线虫对盐的趋化性主要由阴离子决定,其中 Cl^- 和 SCN^- 对南方根结线虫的排斥性最强, SO_4^{2-} 盐最弱。由此可以得出,不同的线虫对盐离子的趋化反应不同,有的吸引,有的排斥,取决于线虫本身的特性。

Prot 等^[18] 研究了不同离子对南方根结线虫的排斥力为 $K^+ > Cs^+$ 、 NH_4^+ 和 $NO_3^- > Cl^-$ 。本试验得出, SCN^- 盐对南方根结线虫有明显的排斥作用,其趋化指数最低,而 SO_4^{2-} 盐的趋化指数最高,供试盐离子对南方根结线虫的排斥力依次为 $SCN^- > NO_3^- > Cl^- > OH^- > CO_3^{2-} > H_2PO_4^- >$ 有机酸根 $> SO_4^{2-}$ 。Saux 报道^[9], Ca^{2+} 对南方根结线虫 (*M. incognita*) 的 2 龄幼虫几乎没有影响,而 NH_4NO_3 对该线虫有强烈的排斥力。本试验得出,含有同一阴离子的盐对线虫的作

用趋势不同,有的表现吸引,有的表现排斥,其中对南方根结线虫有排斥作用的 NO_3^- 盐为 $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ 、 NH_4NO_3 、 $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2$ 、 H_2PO_4^- 或 HPO_4^{2-} 盐为 KH_2PO_4 、 K_2HPO_4 、 CO_3^{2-} 或 HCO_3^- 盐为 Na_2CO_3 、 K_2CO_3 、 $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 和 KHCO_3 、 OH^- 盐为 KOH 和 NaOH 。另外,本试验首次得出,对南方根结线虫有排斥作用的有机酸为 $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$ 、 $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$ 和 $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6$ 。

盐离子不但能够影响线虫的运动,还能够影响线虫的存活。氨盐的杀线活性很早以前就被人所知,Okamoto 等^[19]的试验表明,硫酸铵和碱性稳定生物固体有机肥混合处理土壤比单独用硫酸铵或碱性稳定生物固体有机肥处理的效果更显著,虽然铵盐不具有杀线性,但在碱性土壤中可以形成氨气,铵盐对线虫有剧毒。因此,将毒杀线虫的阳离子(NH_4^+)和对线虫有排斥力的阴离子(SCN^- 、 NO_3^- 、 Cl^-)组成化合物,或许比单独含有这些阳离子或阴离子的化合物有更好的防治效果,在这方面尚需进一步研究。

线虫对某一种盐的排斥反应除受到盐本身的化学特性影响外,还受到 pH 值的影响。本试验得出,南方根结线虫对不同浓度盐的趋化性是不同的,只有 KCl 、 $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ 、 NH_4NO_3 、 $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2$ 、 $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 、 $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$ 、 $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6$ 7 种盐的趋化指数随浓度的增加而降低,而其他被测试的 41 种盐浓度对线虫的趋化性没有显著的影响。实际生产中,在土壤施加对南方根结线虫有排斥作用的一些盐及其离子,如含 Cl^- 和 SCN^- 的盐,含 NO_3^- 的 $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ 、 NH_4NO_3 、 $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2$; 含 H_2PO_4^- 或 HPO_4^{2-} 的盐 KH_2PO_4 、 K_2HPO_4 ; 含 CO_3^{2-} 或 HCO_3^- 的盐 Na_2CO_3 、 K_2CO_3 、 $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 和 KHCO_3 ; 含 OH^- 的盐 KOH 和 NaOH ; 有机酸 $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$ 、 $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$ 和 $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6$ 。这些盐在某种程度影响着线虫的行为,对减轻田间的发病或许有一定的作用。

参考文献

- [1] 刘维志. 植物病原线虫学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [2] Abawi G S, Barker K R. Effects of cultivar, soil temperature, and population levels of *Meloidogyne incognita* on root necrosis and *Fusarium* wilt of tomatoes[J]. Phytopathology, 1984, 74: 433 - 438.
- [3] Bird A F. The attractiveness of roots to the plant parasitic nematodes *Meloidogyne javanica* and *M. hapla*[J]. Nematologica, 1959, 4: 322 - 335.
- [4] Jairajpuri M S, Azmi M I. Aggregation and repulsion of nematodes at pH gradients[J]. Nematologia Mediterranea, 1978, 6: 107 - 112.
- [5] Robinson A F. Optimal release rates for attracting *Meloidogyne incognita*, *Rotylenchulus reniformis* and other nematodes to carbon dioxide in sand[J]. Journal of Nematology, 1995, 27: 42 - 50.
- [6] El-Sherif M, Mai W F. Thermotactic response of some plant parasitic nematodes[J]. Journal of Nematology, 1969, 1: 43 - 48.
- [7] Greet D N, Green C D, Poulton M E. Extraction, standardization and assessment of the volatility of the sex attractants of *Heterodera rostochiensis* Woll and *H. schachtii* Schm[J]. Annals of Applied Biology, 1968, 61: 511 - 519.
- [8] Castro C E, Belser N O, McKinney H E, et al. Strong repellency of the root knot nematode, *Meloidogyne incognita* by specific inorganic ions[J]. Journal of Chemical Ecology, 1990, 16: 1297 - 1309.
- [9] Saux R L, Quénehervé. Differential chemotactic responses of two plant-parasitic nematodes, *Meloidogyne incognita* and *Rotylenchulus reniformis*, to some inorganic ions[J]. Nematology, 2002, 4: 99 - 105.
- [10] Qi Y H, Li X H, Ma J, et al. Chemotaxis of *Ditylenchus destructor* in response to different inorganic ions[J]. Russian Journal of Nematology, 2008, 16(2): 69 - 76.
- [11] Steiner G. The problem of host selection and host specialization of certain plant-infesting nemas and its application in the study of nemec pests[J]. Phytopathology, 1925, 15: 499 - 534.
- [12] Perry R N. An evaluation of types of attractants enabling plant-parasitic nematodes to locate plant roots[J]. Russian Journal of Nematology, 2005, 13: 83 - 88.
- [13] Croll N A, Maggenti A R. A peripheral nervous system in nematode, with a discussion of its functional and phylogenetic significance[J]. Proceeding of the Helminthological Society of Washington, 1968, 35: 108 - 115.
- [14] Devine K J, Jones P W. Investigations into the chemoattraction of the potato cyst nematodes *Globodera rostochiensis* and *G. pallida* towards fractionated potato root leachate[J]. Nematology, 2003, 5: 65 - 75.
- [15] 高赞, 漆永红, 刘永刚, 等. 甘肃河西地区番茄根结线虫病病原鉴定[J]. 植物保护, 2009, 35(3): 127 - 129.
- [16] Giannakou I O, Karpouzias D G, Anastasiades I, et al. Factors affecting the efficacy of non-fumigant nematicides for controlling root-knot nematodes[J]. Pest Management Science, 2005, 61: 961 - 972.
- [17] Wuys N, Swennen R, De W D. Effect of plant phenylpropanoid pathway products and selected terpenoids and alkaloids on the behaviour of the plant-parasitic nematodes *Radopholus similis*, *Pratylenchus penetrans* and *Meloidogyne incognita* [J]. Nematology, 2006, 8: 89 - 101.
- [18] Prot J C. Behaviour of juveniles of *Meloidogyne javanica* in salts gradients[J]. Revue de Nématologie, 1979, 2: 11 - 16.
- [19] Oka Y, Tkachi N, Shuker S, et al. Field studies on the enhancement of nematicidal activity of ammonia-releasing fertilisers by alkaline amendments[J]. Nematology, 2006, 8: 881 - 893.