

doi:10.11937/bfyy.20171600

无机化合物对北方根结线虫 二龄幼虫存活的影响

吴晓晶¹, 李程亮^{1,2}, 周园园¹, 段玉玺¹, 陈立杰¹

(1. 沈阳农业大学 植物保护学院, 北方线虫研究所, 辽宁 沈阳 110866;

2. 西北农林科技大学 植物保护学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要:以北方根结线虫(*Meloidogyne hapla*)为靶标材料,采用离体触杀的方法,测定了8种无机化合物对北方根结线虫存活的影响,研究了北方根结线虫对无机化合物和pH的适应性,以期对北方根结线虫的生态防治提供参考依据。结果表明:不同的无机化合物对北方根结线虫J2的影响不同;同一种化合物在不同浓度下对J2的致死率也不同,并且随着无机化合物浓度的增加,J2的死亡率上升。其中, NH_4HCO_3 、 $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 这4种化合物对J2作用最为敏感,半致死浓度 LC_{50} 分别是 $0.005\ 957$ 、 $0.000\ 771$ 、 $0.000\ 159$ 、 $0.000\ 161\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$,即为敏感的化合物,而其它化合物只在高浓度下致死效果明显。通过萌发试验,进一步验证了这4种无机化合物的 LC_{50} 和 LC_{90} 对番茄种子的影响,结果表明,其对种子的萌发均无影响,但对根的伸长有一定的抑制作用。同时通过pH试验,明确了北方根结线虫J2适宜存活的pH范围在4~12。

关键词:北方根结线虫;无机化合物;死亡率;pH

中图分类号:S 432.4⁺5 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)24-0053-07

根结线虫病在世界范围内广泛发生,常见的根结线虫有南方根结线虫(*Meloidogyne incognita*)、

北方根结线虫(*Meloidogyne hapla*)、花生根结线虫(*Meloidogyne arenaria*)和爪哇根结线虫(*Meloidogyne javanica*)4种,它们造成的损失占整个栽培作物损失的90%以上^[1-3]。在我国辽宁省,*M. hapla*主要危害露地花生,且以锦州、兴城花生种植区危害最为严重。

病害的发生往往是病害三角导致的,即寄主的感病性、寄生物的致病性以及利于病原物发生的环境条件^[4]。北方根结线虫病的发生和危害与环境条件密切相关,说明*M. hapla*对其生存环境有一定的适应性。由于北方根结线虫病是一种典

第一作者简介:吴晓晶(1989-),女,福建三明人,博士研究生,研究方向为植物线虫学。E-mail:wuxiaojing0106@163.com

责任作者:段玉玺(1964-),男,博士,教授,博士生导师,现主要从事植物病理学和线虫学的教学与科研等工作。E-mail:duanyx6407@163.com

基金项目:农业部公益性行业科研专项资助项目(201103018,200903040-03);国家自然科学基金资助项目(31471748)。

收稿日期:2017-07-24

activity of polyphenol oxidase was the lowest in $0.146\ \text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}\text{FW}$, which was 42.0% lower than CK. The polyphenols treated with different treatments could effectively remove hydroxyl radicals, DPPH· and hydrogen peroxide, among which the effect of treatment with 0.6% FeSO_4 + 0.3% ZnSO_4 was the most significant. Comprehensive analysis of the antioxidant effect of the treatment with 0.6% FeSO_4 + 0.3% ZnSO_4 was optimal.

Keywords: ‘pear-jujube’; iron and zinc fertilizer; polyphenols; antioxidant

型的土传病害,线虫可长期存活在土壤中,因此土壤中的无机化合物、土壤 pH 等因素可影响线虫的存活^[5]。

关于无机化合物对线虫影响的研究,已经取得一些进展。有研究表明 NH_4^+ 、 Cs^+ 、 NO_3^- 和 Cl^- 对南方根结线虫二龄幼虫(the second stage juveniles, J2)具有很强的抑制作用^[6]。据报道, NH_4OH 在碱性沙壤土中对爪哇根结线虫的杀虫效果明显, OKA 等^[7-8]认为,在碱性土壤中铵化物更易形成氨水,并且 NH_4^+ 可穿过生物膜,改变膜内的 pH,对细胞膜造成破坏,从而起到杀死线虫的作用。因此通过土壤碱性结合含铵类化肥来释放氨,可以用来防治线虫^[9]。土壤中的离子还会影响线虫体内微量元素的分布, Cu^{2+} 、 Zn^{2+} 处理后,线虫体内微量元素密度降低,表皮层微量元素含量增加^[10-11],对线虫产生致死作用。无机离子不仅对 J2 具有毒杀作用,对巨细胞的发育也有抑制作用,亚磷酸处理可以导致小麦的巨细胞几乎完全空泡化^[12],影响线虫生长发育繁殖。此外,土壤 pH 可影响线虫的存活。KHAN 等^[13]研究表明,南方根结线虫侵入、为害寄主植物及其生长繁殖能力均在 pH 5.6 下增强,而在 pH 3.2 时受到抑制。然而,北方根结线虫危害严重,但目前尚鲜见关于无机化合物对其影响的研究。基于此,该试验在离体条件下,研究了北方根结线虫(J2)对无机化合物和 pH 这 2 种因子的适应能力,并且研究敏感化合物对番茄种子萌发的影响,以期生态防治北方根结线虫病提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试北方根结线虫由沈阳农业大学北方线虫(J2)研究所保存。单卵囊用 0.5% NaClO 消毒后接种到感病番茄品种‘L402’上进行无菌扩繁,培养温度为 25~28℃,接种 30~45 d 后,番茄根系上有大量卵囊出现,从感病番茄根系上挑取新鲜卵囊,用 0.5% NaClO 消毒 3 min,再用无菌水冲洗 5 次,分别移入已灭菌的自制孵化池中,再将孵化池置于盛有无菌水的培养皿中,于 25℃ 恒温箱中培养,每隔 24 h 换水 1 次,保证每次选用的 J2 新鲜、活力一致。

供试药品:碳酸氢铵(NH_4HCO_3)、碳酸钠(Na_2CO_3)、碳酸钾(K_2CO_3)、氯化锰($\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)、硫酸亚铁($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)、氯化铁($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)、氯化铜($\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)、硫酸铜($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)共 8 种化合物,均为分析纯试剂。

仪器设备:Sartorius-PB-10 型 pH 计(德国赛多利斯股份公司);Leica BME 生物显微镜(德国);恒温箱;自制孵化池;自制睫毛针;计数器;1.5 mL 离心管;各种型号移液枪;镊子等。

1.2 试验方法

1.2.1 无机化合物母液的配制

参考段玉玺等^[14]试验结果并经多次预试验验证,为了避免因称取药品量过少造成误差,将供试的 8 种无机化合物分别配制成分母液,再根据使用要求进行稀释。母液浓度及不同浓度梯度见表 1。

表 1 8 种化合物母液的浓度和不同浓度梯度

化合物名称 Compound	母液浓度 Concentration	浓度 1 Concentration 1	浓度 2 Concentration 2	浓度 3 Concentration 3	浓度 4 Concentration 4
碳酸氢铵 NH_4HCO_3	0.020	0.004	0.005	0.008	0.010
碳酸钠 Na_2CO_3	0.020	0.012	0.015	0.017	0.020
碳酸钾 K_2CO_3	0.020	0.010	0.013	0.015	0.017
氯化锰 $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	0.20	0.01	0.04	0.06	0.12
硫酸亚铁 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.10	0.02	0.04	0.06	0.08
氯化铁 $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0.005 0	0.000 1	0.000 5	0.001 0	0.003 0
氯化铜 $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.002 00	0.000 05	0.000 10	0.000 20	0.000 30
硫酸铜 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0.002 00	0.000 05	0.000 10	0.000 20	0.000 30

1.2.2 无机化合物对 *M. hapla* J2 的致死浓度

配制线虫悬浮液,使 100 μL 的线虫悬浮液中含有 20 条左右新鲜的北方根结线虫 J2。按照表 1 的浓度将 100 μL 线虫悬浮液、无机化合物母液以及无菌水加入 1.5 mL 已灭菌的离心管中,配制成总体积为 1 mL 的不同浓度的溶液,并且用 pH 计测定相应浓度在 25 $^{\circ}\text{C}$ 下的 pH,每处理 4 次重复,无菌水作对照。置于 25 $^{\circ}\text{C}$ 培养箱中黑暗处理 24 h(注意打开离心管的盖通气),之后在解剖镜下检查各处理线虫的死亡和存活情况,并计算线虫的校正死亡率。用睫毛针反复触碰或者 NaOH 刺激来判断线虫死活^[15]。经过多次试验最后确定对 J2 致死具有代表性的浓度范围,并计算 LC_{50} 和 LC_{90} 。

1.2.3 pH 对 *M. hapla* J2 致死率的影响

将 HCl 与 NaOH 的标准溶液梯度稀释,按照表 1 的浓度将 100 μL 线虫悬浮液与酸碱稀释液加入 1.5 mL 已灭菌的离心管中,配制成总体积为 1 mL 的不同 pH 溶液,并用 pH 计测出各溶液在 25 $^{\circ}\text{C}$ 下的 pH,每处理 4 次重复,无菌水作对照,置于 25 $^{\circ}\text{C}$ 培养箱中黑暗处理 24 h(注意打开离心管的盖),之后在解剖镜下检查各处理线虫的死亡和存活情况,并计算线虫的校正死亡率。线虫校正死亡率(%)=(处理组线虫死亡率-对照组线虫死亡率)/(1-对照组线虫死亡率) $\times 100$ 。

1.2.4 敏感化合物对番茄种子萌发的影响

挑选整齐度一致、大小均一的番茄种子,用供试敏感化合物 LC_{50} 和 LC_{90} 溶液催芽处理。挑选 20 粒番茄种子朝一个方向整齐地放入 9 cm 培养皿内,皿底垫有化合物溶液浸湿的定性滤纸(溶液体积 5 mL),于 25 $^{\circ}\text{C}$ 恒温条件下催芽。每处理

重复 3 次,蒸馏水作对照。每日相同时间调查萌发种子数量,连续调查 8 d,第 8 天分别统计发芽率及萌发种子的出芽和幼根长度。发芽率(%)=8 d 内正常发芽的种子数/供试种子总数 $\times 100$ 。

1.3 数据分析

采用 Excel 2010 软件对试验数据进行统计分析,并计算毒力回归方程 $y=a+bx$ 、相关系数 R^2 、 LC_{50} 和 LC_{90} 。使用 Duncan's 新复极差法检验差异显著。

2 结果与分析

2.1 无机化合物对 *M. hapla* J2 存活的影响

试验结果表明,供试无机化合物在一定浓度范围内对 *M. hapla* J2 均具有致死作用,但不同无机化合物对 *M. hapla* J2 的致死作用不同。同一种化合物在不同浓度下对 *M. hapla* J2 存活的影响不同,致死作用随着化合物浓度的增加而增加(图 1)。由表 2 可以看出,*M. hapla* J2 对 NH_4HCO_3 、 $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 较为敏感,在较低浓度下可使 *M. hapla* J2 的死亡率达到 50% 以上。根据回归方程计算得到这 4 种无机化合物的半致死浓度 LC_{50} 分别为 0.005 957、0.000 771、0.000 159、0.000 161 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$;其中 $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 和 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 的 LC_{50} 值最小, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 和 NH_4HCO_3 次之。而其它 4 种化合物只有在高浓度下对 *M. hapla* J2 才呈现明显的抑制作用。这说明不同的无机化合物对 *M. hapla* J2 存活的影响差异显著,无机化合物 NH_4HCO_3 、 $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 为敏感化合物。

表 2

8 种无机化合物对 *M. hapla* J2 的致死性

Table 2

Mortality of eight compounds tested against *M. hapla* J2

无机化合物 Compounds	回归方程 Regression equation	相关系数(R^2) Correlation coefficient	LC_{50} /($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)	LC_{90} /($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)
NH_4HCO_3	$y=15\,590x-42\,875\,0$	0.836 6	0.005 957	0.008 523
Na_2CO_3	$y=10\,449x-116\,040\,0$	0.953 4	0.015 891	0.019 719
K_2CO_3	$y=11\,058x-93\,083\,0$	0.919 4	0.012 939	0.016 557
$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	$y=624.08x+29\,390\,0$	0.930 1	0.033 025	0.097 119
$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	$y=630.25x+47\,300\,0$	0.814 1	0.004 284	0.067 751
$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	$y=27\,483x+28\,817\,0$	0.582 4	0.000 771	0.002 226
$\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	$y=370\,593x-8\,743\,9$	0.954 9	0.000 159	0.000 266
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	$y=364\,736x-8\,612\,0$	0.955 3	0.000 161	0.000 270

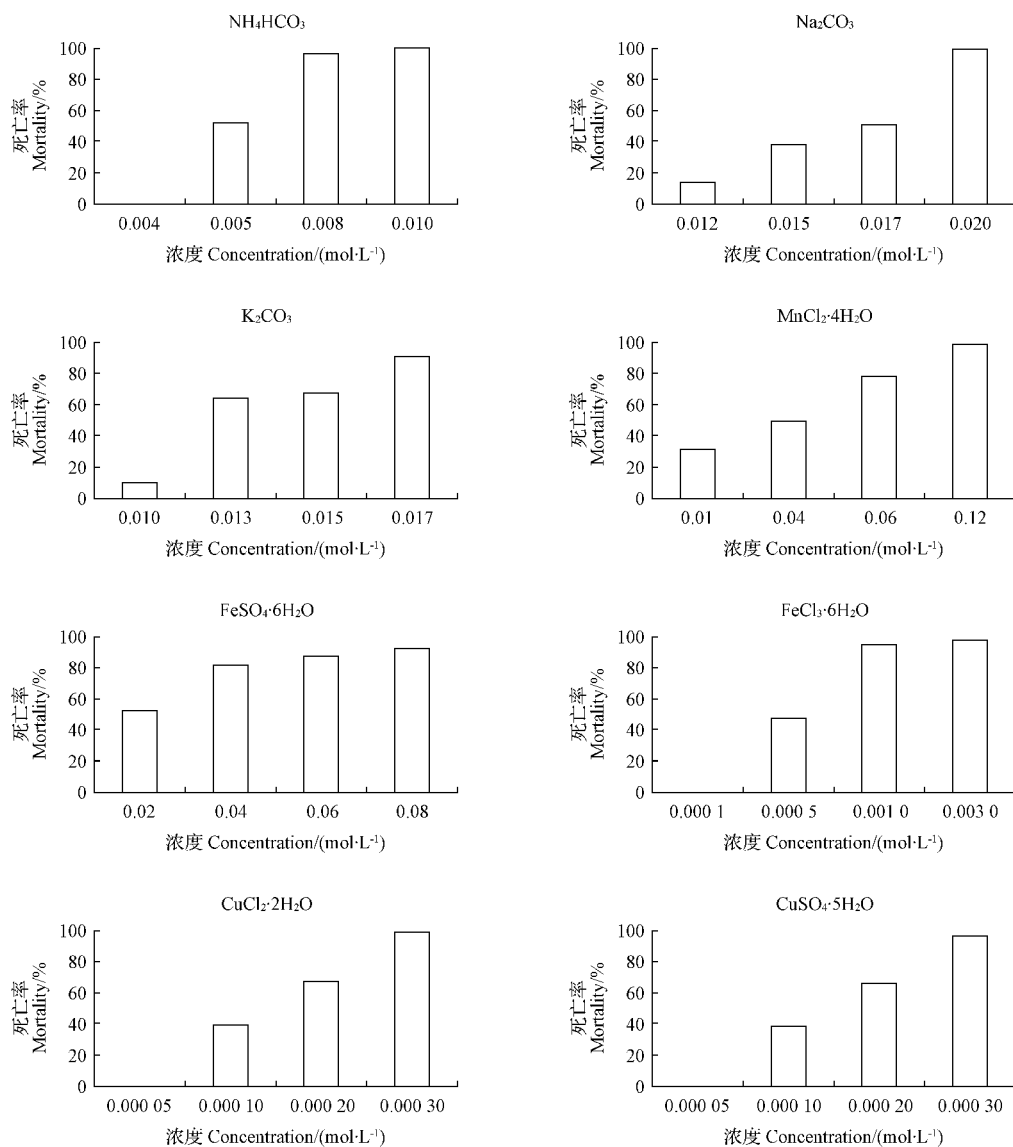


图1 不同浓度的8种无机化合物对 *M. hapla* J2 存活的影响

Fig. 1 Effect of 8 compounds on survival of *M. hapla* J2 at different concentration

2.2 不同 pH 对 *M. hapla* J2 存活的影响

试验结果表明, *M. hapla* J2 在 pH 为 1.05、2.07、12.89 条件下死亡率为 100%, 此外, *M. hapla* J2 在 pH 2.96 时的死亡率较高, 而在 pH 4~12 的范围内均可正常存活。表明 *M. hapla* J2 对酸碱的适应能力很强, 能够在较大 pH 范围内存活 (图 2)。由图 3 可知, 供试化合物中 Na₂CO₃、K₂CO₃ 的 pH 较高, pH 在 11.00 左右。含铁的化合物 FeSO₄·7H₂O 和 FeCl₃·6H₂O 偏酸, FeSO₄·7H₂O 的 LC₅₀ 和 LC₉₀ 的 pH 分别

为 3.88、3.64, FeCl₃·6H₂O 的 LC₅₀ 和 LC₉₀ 的 pH 分别为 3.22、2.60, 这可能影响 *M. hapla* J2 的活性, 但是 NH₄HCO₃、CuCl₂·2H₂O、CuSO₄·5H₂O 的 pH 均在线虫存活的 pH 范围内, 这也表明化合物对 *M. hapla* J2 的致死作用不仅仅与酸度有关。

2.3 北方根结线虫 J2 敏感化合物对番茄种子萌发的影响

由表 3 可知, 敏感化合物 NH₄HCO₃、FeCl₃·6H₂O、CuCl₂·2H₂O、CuSO₄·5H₂O 在 LC₅₀ 和

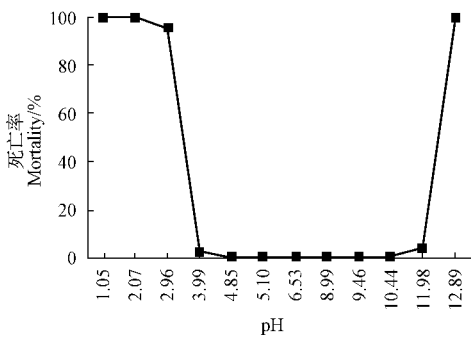


图 2 不同 pH 对 *M. hapla* J2 的致死作用
Fig. 2 Mortality of *M. hapla* J2 at different pH

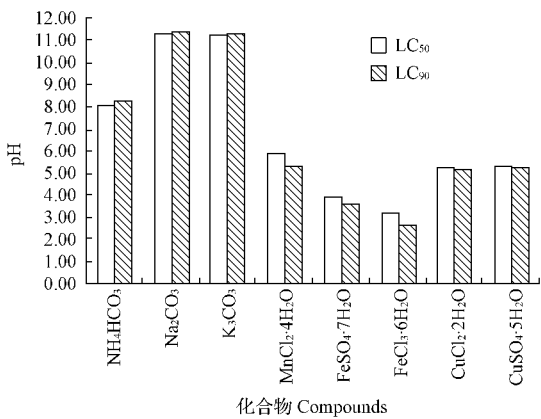


图 3 8 种无机化合物的 LC₅₀ 和 LC₉₀ 溶液对应的 pH
Fig. 3 pH corresponded with the LC₅₀ and LC₉₀ of 8 compounds

表 3 敏感化合物对番茄种子萌发的影响
Table 3 Effects of sensitive compounds on germination of tomato seeds

敏感化合物 Sensitive compound	LC ₅₀			LC ₉₀		
	芽长 Length of bud/cm	根长 Length of radicle/cm	萌发率 Germination rate/%	芽长 Length of bud/cm	根长 Length of radicle/cm	萌发率 Germination rate/%
NH ₄ HCO ₃	2.5±0.11a	6.1±0.12b	83.33±2.08a	1.6±0.60bc	4.4±0.33c	89.58±2.08a
FeCl ₃ ·6H ₂ O	0.8±0.38d	0.1±0.11e	87.50±3.61a	0.2±0.02d	0.0±0.00e	93.75±3.61a
CuCl ₂ ·2H ₂ O	2.1±0.07ab	1.2±0.05d	81.25±0.00a	1.3±0.05c	0.2±0.08e	79.17±5.51a
CuSO ₄ ·5H ₂ O	2.2±0.08ab	1.3±0.43d	91.67±4.17a	1.9±0.44bc	0.4±0.09de	81.25±3.61a
H ₂ O(CK)	2.1±0.29ab	7.0±1.43a	81.07±9.67a	2.1±0.29ab	7.0±1.43a	81.07±9.67a

注:表中数据为 3 次重复平均数±标准差。同列数据后不同小写字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。

Note: Data in the table are mean±SD. Different lowercase letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level by Duncan's new multiple range test.

LC₉₀ 下对番茄种子的萌发均无明显的抑制作用。但是它们的 LC₅₀ 和 LC₉₀ 对根的伸长有一定的抑制作用,其中 FeCl₃·6H₂O 的 LC₅₀ 和 LC₉₀ 对芽的伸长影响显著。

3 结论与讨论

该试验通过体外生物测定,首次以北方根结线虫作为靶标,研究了 8 种无机化合物及不同

pH 对 *M. hapla* J2 存活的影响。结果表明敏感化合物 $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 和 NH_4HCO_3 在低浓度下可使 *M. hapla* J2 的死亡率达到 50% 以上,同时 *M. hapla* J2 对 pH 有很强的适应性。这些数据将为生态防治北方根结线虫病提供有利的理论基础。

有研究表明,南方根结线虫 J2 的酸度适应范围是 pH 4.1~11.0^[16]。不同的 pH 溶液对南方根结线虫孵化和其 J2 的存活有极显著影响,且趋势一致。当 pH 在 5~8 时,其卵孵化率与 J2 存活率分别在 80% 和 86% 以上;当 pH 小于 5 或者大于 8 时,其卵孵化率与 J2 存活率都呈逐渐递减趋势^[17]。然而,影响根结线虫存活的不仅与酸碱度有关,与无机化合物也密切相关。

研究表明,不同化合物不同浓度处理对南方根结线虫的影响差异显著,且随着无机化合物浓度的增加,J2 死亡率上升,其中 $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 和 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 在低浓度下就可使 *M. incognita* J2 致死,LC₅₀ 分别为 0.000 3、0.000 4 mol · L⁻¹^[14],而在该研究中 $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 和 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 对 *M. hapla* J2 致死的 LC₅₀ 分别为 0.000 159、0.000 161 mol · L⁻¹均小于对 *M. incognita* J2 致死的 LC₅₀,表明北方根结线虫对这 2 种化合物更加的敏感。据报道,重金属离子可以影响线虫的繁殖^[18-19],在培养基中加入一定浓度的 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 培养秀丽小杆线虫,最终获得耐 Cu^{2+} 的线虫,繁殖率显著降低^[20]。韩冰洁等^[15]用 NH_4HCO_3 、 $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 和 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 处理 *M. incognita* J2,结果表明,这 3 种无机化合物均减弱了线虫对番茄植株的致病力,表现为 NH_4HCO_3 抑制作用最强, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 次之, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 最弱,且经 NH_4HCO_3 处理后,根系内巨细胞形成缓慢,14 d 时出现巨型细胞空洞现象,明确化合物对根结线虫生长发育和致病能力具有一定的影响。此外,白春明等^[16]的研究表明, NH_4HCO_3 对 *M. incognita* J2 致死作用明显,浓度为 0.025 mol · L⁻¹ (25 °C, pH 7.95) 时校正死亡率达 53.5%,浓度达到 0.05 mol · L⁻¹ (25 °C, pH 8.20) 时校正死亡率可达 100%。而在该研究中 NH_4HCO_3 对 *M. hapla* J2 致死的 LC₅₀ 为 0.005 957 mol · L⁻¹, LC₉₀ 为 0.008 523 mol · L⁻¹,明显小于 *M. incognita* J2

致死的 LC₅₀ 和 LC₉₀,说明北方根结线虫对 NH_4HCO_3 表现为不耐受^[16]。因此含铵类化肥在碱性土壤中能够作为防治线虫的肥料在生产上应用^[9]。

生产上一直缺乏对根结线虫有效的防治方法。采用安全、经济的方法控制根结线虫的为害是防治工作的长远目标。这些无机化合物为有效防治根结线虫病提供新思路,为开发安全高效的新型根结线虫防治药剂奠定基础,从而有望成为新的防治手段。将 NH_4HCO_3 、 $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 和 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 与生物制剂或非生物制剂进行组合,例如与抗线生防菌进行组合^[21-23],优化发酵条件,从而在一定程度上提高整体的防治效果。不过二者相互之间的作用还需深入研究。同时还需要明确 NH_4HCO_3 、 $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 和 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 处理是否能够导致北方根结线虫致病能力下降,及其作用的机理有待进一步研究。无机化合物对根结线虫的作用,不仅体现在防治方面,还可以深入研究相应离子对致病基因的表达作用。

参考文献

- [1] KOENNING S, OVERSTREET C, NOLING J, et al. Survey of crop losses in response to phytoparasitic nematodes in the United States for 1994 [J]. Journal of nematology, 1999, 31 (4S):587.
- [2] PERRY R N, MOENS M, STARR J L. Root-knot nematodes[M]. USA: CABI, 2009.
- [3] ELLING A A. Major emerging problems with minor *Meloidogyne* species[J]. Phytopathology, 2013, 103(11):1092-1102.
- [4] 谢联辉. 普通植物病理学[M]. 北京: 科学出版社, 2013.
- [5] 刘维志. 植物病原线虫学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [6] CASTRO C, BELSER N, MCKINNEY H, et al. Strong repellency of the root knot nematode, *Meloidogyne incognita* by specific inorganic ions[J]. Journal of Chemical Ecology, 1990, 16 (4):1199-1205.
- [7] OKA Y, PIVONIA S. Use of ammonia-releasing compounds for control of the root-knot nematode *Meloidogyne javanica* [J]. Nematology, 2002, 4(1):65-71.
- [8] OKA Y, PIVONIA S. Effect of a nitrification inhibitor on nematocidal activity of organic and inorganic ammonia-releasing compounds against the root-knot nematode *Meloidogyne javanica* [J]. Nematology, 2003, 5(4):505-513.
- [9] OKA Y, TKACHI N, SHUKER S, et al. Laboratory studies on the enhancement of nematocidal activity of ammonia-releasing fertilisers by alkaline amendments[J]. Nematology, 2006, 8(3):

335-346.

[10] SÁVOLY Z, NAGY P, VARGA G, et al. A novel method for investigation of uptake and distribution of polluting microelements and nanoparticles in soil-inhabiting nematodes[J]. Microchemical Journal, 2013, 110: 110558-110567.

[11] BŪDA V, ČEPULYTĖ-RAKAUSKIENĖ R. The effects of α -solanine and zinc sulphate on the behaviour of potato cyst nematodes *Globodera rostochiensis* and *G. pallida*[J]. Nematology, 2015, 17(9): 1105-1111.

[12] OKA Y, TKACHI N, MOR M. Phosphite inhibits development of the nematodes *Heterodera avenae* and *Meloidogyne marylandi* in cereals[J]. Phytopathology, 2007, 97(4): 396-404.

[13] KHAN M, KHAN M. Effects of simulated acid rain and root-knot nematode on tomato[J]. Plant Pathology, 1994, 43(1): 41-49.

[14] 段玉玺, 白春明, 陈立杰, 等. 无机化合物对南方根结线虫行为的影响[J]. 植物保护学报, 2009(6): 537-544.

[15] 韩冰洁, 朱晓峰, 王媛媛, 等. 三种化合物处理对南方根结线虫生长发育及致病能力的影响[J]. 植物保护学报, 2015(2): 251-257.

[16] 白春明, 段玉玺, 陈立杰, 等. 铵类化合物对南方根结线虫 2 龄幼虫存活的影响[J]. 植物保护, 2009(1): 74-78.

[17] 伏召辉, 杜超, 作均祥. 温湿度及酸碱度对南方根结线虫生长发育的影响[J]. 北方园艺, 2012(6): 137-140.

[18] 陈剑东, 韩琪. 水体重金属对秀丽隐杆线虫 *Caenorhabditis elegans* 的急性毒性研究[J]. 农业科技与信息, 2016(31): 43-44.

[19] 张守申. 二氧化钛纳米与重金属 Cd 离子相互作用降低 Cd²⁺ 对秀丽隐杆线虫的毒性[D]. 泰安: 山东大学, 2014.

[20] 宋少娟, 郭亚平, 阴琨, 等. 秀丽小杆线虫耐铜性筛选及其耐铜机制探讨[J]. 四川动物, 2008, 27(5): 832-834.

[21] XIONG J, ZHOU Q, LUO H, et al. Systemic nematicidal activity and biocontrol efficacy of *Bacillus firmus* against the root-knot nematode *Meloidogyne incognita*[J]. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 2015, 31(4): 661-667.

[22] RADWAN M, FARRAG S, ABU-ELAMAYEM M, et al. Biological control of the root-knot nematode, *Meloidogyne incognita* on tomato using bioproducts of microbial origin[J]. Applied Soil Ecology, 2012, 56: 5658-5662.

[23] LAMOVŠEK J, UREK G, TRDAN S. Biological control of root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.); Microbes against the pests/BIOTIČNO ZATIRANJE OGORČIC KORENINSKIH ŠIŠK (*Meloidogyne* spp.); MIKROORGANIZMI PROTI ŠKODLJIVCEM[J]. Acta Agriculturae Slovenica, 2013, 101(2): 263-275.

Effects of Inorganic Compounds on Survival of *Meloidogyne hapla* Juveniles

WU Xiaojing¹, LI Chengliang^{1,2}, ZHOU Yuanyuan¹, DUAN Yuxi¹, CHEN Lijie¹

(1. Plant Protection College, Shenyang Agricultural University/Nematological Institute of Northern China, Shenyang, Liaoning 110866; 2. College of Plant Protection, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract: *Meloidogyne hapla* was used as the target material to study the effects of eight compounds on the survival of *M. hapla* J2 at different concentrations *in vitro*, in order to provide basic knowledge for ecological control. The results showed that different inorganic compounds had different effect on *M. hapla*; and the lethality of the same compounds at different concentration was different too, with the increase of concentration, the mortality of J2 increased. While NH_4HCO_3 , $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ were the most sensitive among 8 compounds, and the LC_{50} were respectively 0.005 957, 0.000 771, 0.000 159, 0.000 161 mol \cdot L⁻¹. All compounds at LC_{50} and LC_{90} had no inhibitory effect on tomato seed germination except for roots elongation in the latter stage. And the study found that the suitable pH range for survival of *M. hapla* J2 was 4—12.

Keywords: *Meloidogyne hapla*; inorganic compound; mortality; pH