

doi:10.11937/bfyy.20181760

土壤改良剂在植物寄生线虫防治中的应用

王芳¹, 刘大伟²

(1. 齐齐哈尔大学 生命科学与农林学院, 抗性基因工程与寒地生物多样性保护黑龙江省重点实验室,
黑龙江 齐齐哈尔 161006; 2. 东北农业大学 农学院, 黑龙江 哈尔滨 150030)

摘要:土壤改良剂通过增加土壤肥力,改善土壤结构根际微生物群落组成,提高植物抗病性,用来控制植物病害。一系列土壤改良剂,如动物粪便、植物残体、几丁质材料、蛋白质废弃物、矿物质肥料等,已用来防治植物寄生线虫。尽管一些改良剂对线虫控制效果并不总是令人满意,甚至一些研究结果存在争议,但土壤改良剂作为一种传统的生物防治策略,符合环保及健康理念,价格低廉,使用方便,受到各国普遍重视。不同改良剂杀(抑)线虫种群的作用机制不同,了解这些材料在施用过程中的杀(抑)线虫机理,有助于改良剂的利用,提高防治效果。该研究综述了土壤改良剂的主要类型,杀(抑)线作用方式及作用机理,讨论了在防治线虫过程中存在的问题及今后研究方向,以期为土壤改良剂的研究及应用提供借鉴。

关键词:土壤改良剂;植物寄生线虫;活性成分;作用机理;施用方法

中图分类号:S 482.5⁺1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2019)07-0154-07

植物寄生线虫是危害农作物的重要病原生物之一,其种类多、分布广,已报道 260 多个属 5 700 余种^[1]。几乎所有栽培植物都受到一种或一种以上线虫寄生,其危害程度超过细菌和病毒,仅次于真菌病害。全世界主要农作物每年因线虫病害造成的经济损失占 12.3%,超过 1 000 亿美元^[2]。防治线虫方法主要有种植抗病品种、轮作及生物防治等。由于每种方法在应用时均具有一定的局限性,如根结线虫寄主范围广,在轮作时受到限制,因此防治线虫时需采用多种策略。

不同来源的土壤改良剂能够改善土壤养分利用和理化性质,增加土壤 pH,改善土壤根际菌根真菌的定殖及土壤生物群落组成及丰度,有效控

制植物病害^[3-5]。许多植物寄生线虫天敌和寄生物具有广泛的宿主范围,并且某些拮抗真菌和细菌具有腐生能力,可以在土壤有机质中繁殖。通过提供选择性的食物来源增加线虫天敌的丰度,应用土壤改良剂成为植物寄生线虫生物防治的一种策略。土壤改良剂价格低廉、材料天然、来源及使用便利、杀线成分的释放贯穿植物的整个生长周期。20 世纪 80 年代以来,将动、植物及农业生产废料施加到土壤中,防治植物寄生线虫的研究逐渐引起人们的重视,美国、英国、印度、南非、澳大利亚、孟加拉国、保加利亚、墨西哥等国已开始使用土壤改良剂防治植物寄生线虫,并取得较好效果,尽管一些研究结果存在矛盾^[6]。该研究综述了具有杀线虫作用土壤改良剂的类型,杀(抑制)线虫的作用方式和机理,影响其施用效果的因子,及利用中存在的问题,以期为土壤改良剂的研究及应用提供借鉴。

1 土壤改良剂的主要类型

土壤改良剂的研究始于 19 世纪末,距今已有

第一作者简介:王芳(1981-),女,博士,讲师,现主要从事植物病原线虫生物防治等研究工作。E-mail: wangfangnd@hotmail.com.

基金项目:黑龙江省教育厅基本科研业务费科研资助项目(135309361);黑龙江省大学生创新创业训练资助项目(201810232077)。

收稿日期:2018-08-08

100多年历史。根据土壤改良剂原料来源和性质分为有机土壤改良剂和非有机土壤改良剂。有机改良剂比非有机改良剂具有更多的优点,除了为植物提供必需的养分,还可以改善土壤的理化性质,如土壤颗粒大小、土壤含水量、氧化还原点位等。目前,用来防治植物寄生线虫的土壤改良剂种类繁多,主要是农业生产中的废弃物及副产物,如动物废弃物、几丁质材料、植物残体及加工废料、酵母残渣、海藻残余物、饼肥、农场畜牧动物的粪肥、堆肥和绿肥、生物炭及矿物质肥料等。

1.1 动物废弃物

向土壤中增施肥料、骨粉和壳质粗粉可降低线虫危害。壳质粗粉中用得最多的是虾壳和蟹壳,尽管其防治机制还不完全清除,但添加甲壳已被证明特别有效。

1.2 植物残体及加工肥料

将产生大量的生物活性物质并具有杀线性能的植物,如十字花科、万寿菊属、野百合属植物及药用植物,以及人们所知甚少的一些海藻类植物,以叶子、树皮或破碎种子的形式,作为穴栽基质或土壤覆盖物使用防治线虫。印楝作为土壤覆盖物或用其蘸根及浸根都能有效降低线虫危害。

1.3 植物源提取物

将具有杀线虫性能的植物材料提取物或沥出液采用灌根、浸根、浸种等作为防治线虫,取得较好防治效果。目前已报道90多科300余种植物具有杀线活性。菊科(Compositae)及楝科(Meliaceae)作物的研究报道最多。菊科植物如小万寿菊(*Tagetes minuta*)、万寿菊(*Tagetes patula*)、百日菊(*Zinnia elegans*)、臭草(*Rutag raveolens*)、孔雀草(*Tagetes patula*)、向日葵(*Helianthus annuus*)等具有杀线化合物,通常作为轮作作物用于短体线虫(*Pratylenchus*)和根结线虫(*Meloidogyne* spp.)的防治。骆驼蓬(*Peganum harmala*)等几种植物提取物对松材线虫(*Bursaphelenchus xylophilus*)和南方根结线虫(*Meloidogyne incognita*)具有较好的毒杀活性,目前是从特定植物中抽提某种化合物加工成植物源农药使用。

1.4 绿肥

豆科、禾本科及十字花科作物常作为绿肥使

用,利用方式通常有与作物间、套作或是翻压。翻压可以在一定程度上降低土壤pH,提高土壤阳离子交换量及有机质含量,降低土壤容重,增加总孔隙度及持水能力,增强土壤的保肥能力。诸多报道表明将十字花科作物作为绿肥可以起到防病作用。将油菜叶片、茎和根组织的粉碎物作为土壤改良剂可以有效降低土壤中根结线虫(*Meloidogyne chitwoodi*)的群体密度。秋季种植油菜,春季将油菜的叶片、茎和根组织的粉碎物作为绿肥连续2年埋入土中,大大减轻根结线虫(*M. chitwoodi*)对马铃薯造成的危害。

1.5 饼肥及油渣

用于改良土壤的饼肥有芥子饼、豆饼、花生饼、芝麻饼、棉籽饼、印楝饼等。有研究发现用芥子饼和亚麻饼等饼肥分别处理土壤能有效防治鹰嘴豆的根结线虫病。还有如蓖麻、印楝、棉花、落花生和芥末的油渣等油料作物,与其它油料作物相比在降低线虫种群水平方面似乎特别有效。这些废料价格低廉,但在应用时需要长途运输到大田中,实际应用价值有限,一般只是在局部地区使用。

1.6 堆肥和粪肥

近年来用垃圾堆肥防治作物病害的研究发展很快,目前,很多国家和地区已生产出商品化的垃圾堆肥。堆肥的来源有城市垃圾、植物残体垃圾、农场牛鸡马的粪肥、工业垃圾、果园垃圾等。已有报道使用鸡粪后可以降低番茄根结线虫(*M. incognita*)的数量。

1.7 生物炭

由有机垃圾如动物粪便、动物骨头、植物根茎、木屑和麦秸秆在热解加工形成生物燃料时的固体副产物。一定量的生物炭与土壤结合可以显著改善土壤耕层、养分利用,提高作物的适应性和产量。近年来生物炭作为一种潜在的土壤改良剂在防治植物病害中受到重视。研究发现将生物炭添加到土壤中,激发植物过氧化氢(H_2O_2)积累以及诱导参与乙烯(ET)信号通路基因的转录增强,诱导植物系统防卫反应,抵抗多种植物防御叶部病原真菌^[7-9]。有研究表明1.2%浓度的生物炭添加到盆栽水稻中能有效降低根结线虫(*Meloidogyne graminicola*)的发育,但生物炭的分泌物

对线虫活性并没有直接毒杀效果。

1.8 矿物质肥料

一些矿物质肥料对线虫具有毒性,抑制线虫发育或繁殖。硅酸钙、硅酸钾及可溶性二氧化硅肥料改良土壤可以降低植物根系上的根瘤数量及 *Meloidogyne* spp. 卵的数量^[10-11]。由于肥料类型、施用量、剂型及试验地点、气候和环境之间的不同会影响线虫种群动态,对矿物质的利用产生复杂的影响,致使一些试验结果相互矛盾,在可控水平上产生高度可变性。有研究表明使用降低线虫危害促进植物生长的肥料可能会促进线虫繁殖,导致作物收获后的植物被侵染。

2 杀(抑制)植物寄生线虫的作用方式及机制

土壤改良剂及土壤类型对防治线虫影响很大,土壤改良剂施用时存在的一个主要问题就是控制效果不稳定。不同改良剂抑制植物寄生线虫种群的作用方式不同,土壤、改良剂、环境、微生物、线虫互作复杂,很难说明某一改良剂具体应用到哪种机制,因此了解这些改良剂抑制线虫机制对于改善施用方法,提高防治效果是非常必要的。

2.1 土壤理化性质的改变

土壤结构及生态的改变可以降低土传病害的发生。土壤改良剂通过改变土壤结构、颗粒凝聚、pH、O₂、CO₂ 及其它化学物,从而直接影响线虫种群结构。如施用改良剂后土壤颗粒凝聚力改变,使土壤孔隙大小发生变化,而土壤孔隙大小直接影响线虫的栖息地及运动。适宜线虫居住的土壤孔隙的直径为 30~90 μm,多数植物寄生虫和自由生活线虫的生态位在直径为 50~300 μm 土壤孔隙中,较大及较小的土壤孔隙度都会降低线虫活动^[12-13]。NICO 等^[14]报道在盆栽试验时当堆肥使用量占 50%~100%时,降低根结线虫植株及土壤中根瘤及 2 龄幼虫数量。

2.2 释放植物源杀线虫化合物

在古代植物就已经作为杀虫剂使用,目前已有报道有 100 余种植物具有杀线虫活性,许多杀线虫化合物已从植物当中分离和鉴定出来,包括萜类、倍半萜及二萜类化合物,脂肪酸、生物碱类化合物、甾类、酚类及芥子油类化合物等。印楝树

(*Azadirachta indica*)具有药用和杀虫性能,其叶片、油饼及籽油都已被证实具有杀线虫活性。柠檬苦素类似物(Limonoids)如印楝素(*Azadirachtin*),nimbin 及 salannin 是其杀虫的主要活性成分。一定浓度印楝素可以抑制丝状线虫(*Dirofilaria immitis*)4 龄幼虫蜕皮,可能是具有蜕皮激素和类神经肽化合物作用^[9]。在碱性砂质土壤(pH 8.5)中 1 hm² 施用 10%浓度的印楝素提取物 500 L,可对爪哇根结线虫(*Meloidogyne javanica*)幼虫具有毒杀作用^[15]。印楝籽油副产物油饼使用普遍,其富含的养分在降解过程中产生氨类化合物可毒杀线虫^[16]。菊科植物普遍抗穿刺短体线虫(*Pratylenchus penetrans*),可能与其含有多炔类有关。从非洲万寿菊(*Tagetes erecta*)中提取的 α-三联噻吩,及万寿菊(*T. patula*)中非挥发性杀线虫化合物(肉豆蔻酸和月桂酸)都具有杀线虫活性。烯丙基异硫氰酸酯(allyl isothiocyanates)是黑芥子(*Brassica nigra*)种油的主要成分,1 μg·mL⁻¹浓度就可抑制马铃薯金线虫的卵孵化。绿肥植物苏丹草(*Sorghum sudanese*)、普通高粱(*Sorghum vulgare*)二者均含有蜀黍苷(dhurrin),该化合物可以水解生成氰化物,并对北方根结线虫(*Meloidogyne hapla*)有活性。瑞香(*Daphne odora*)根中的一种瑞香毒素活性类似物-芫花萜(odoracin)对水稻干尖线虫(*Aphelenchoides besseyi*)有活性。将 8 周的非洲万寿菊或西姆杂草(*Siam weed*)的幼苗作为土壤改良剂,可以减少植物 *Amaranthus cruentus* 和 *Telfairia occidentalis* 寄生线虫 *M. incognita*, *Helicotylenchus* spp. 和 *Dolichodorus* spp. 的种群密度,增加土壤肥力^[17]。我国研究学者在这方面进行研究较多,利用苦参、苦楝和雷公藤等中草药药用植物提取液防治线虫取得了较好的效果^[18-21]。木醋液是由木材加工废弃物干馏得到的含有多种有机化合物的酸性液体,主要成分包括乙酸、酮类化合物、酚类化合物、醛类及醇类化合物等,木醋液浓度为 150 倍处理 72 h,对根结线虫的校正死亡率 70%以上。

2.3 提高拮抗微生物活性

土壤中除了真菌、细菌及捕食性线虫对植物寄生线虫具有拮抗作用,弹尾目昆虫、蚯蚓、螨虫、涡虫,原生动物也可以攻击线虫。单独施用有机

质而不施用生防菌经常会使植物寄生线虫种群受到抑制,虽然这一机制尚未查清,但可以肯定的是线虫受到抑制是有机质施用后增加了土壤中腐生和拮抗微生物的活性。添加土壤改良剂和绿肥来提高土壤中有机物含量,除了能为线虫拮抗菌提供生长必需的基质,也可以成为取食微生物线虫的替代品,有利于线虫拮抗微生物的建立及繁殖,增加土壤微生物种群数量和多样性。关于使用改良剂增加拮抗微生物活性的报道相对较少,普遍认为拮抗微生物的增加是由于食细菌及真菌的自由生活线虫增加。捕线虫真菌(*Dactylellina haptotyla*)和少孢节丛孢(*Arthrobotrys oligospora*)种群密度在有机改良土壤中高于传统土壤,但一些其它真菌的种群密度也较高^[22]。厚垣轮枝孢菌(*Verticillium chlamydosporium*)和洛斯里被毛孢(*Hirsutella rhossiliensis*),可寄生在线虫的卵和雌虫上,在添加有机改良剂的土壤中建立并存活下来^[23]。在印度麻(*Sunn hemp*)和玉米棒改良土壤中,厚垣普奇尼菌(*Pochonia chlamydosporia*)的繁殖数量随着土壤温度的增加而增加,在20℃时对卵的侵染率显著增加,并且随着氮水平的增加而增加,C/N浓度比为5 mmol·L⁻¹或100 mmol·L⁻¹侵染率最高^[24]。将*A. indica*叶片掺入到田间土壤,增加拮抗菌*P. chlamydosporia*,*P. lilacinum*和*Trichoderma harzianum*对线虫雌虫和卵块的寄生率^[25]。施用饼肥及几丁质也可达到防治胞囊线虫和根结线虫的效果。研究发现施用几丁质后具有分解几丁质能力的细菌及放线菌迅速增加,从而降低线虫繁殖率。

拮抗菌对有机物的响应并不总是积极的。改良剂对拮抗菌的刺激能力与有机物的种类、施加量,以及土壤中的拮抗菌类型相关。如与裸土相比,菽麻(*Crotalaria juncea*)和菠萝(*Ananas comosus*)类型改良剂,增加肾线虫(*Rotylenchulus reniformis*)蠕虫阶段的寄生百分比,而油菜籽(*Brassica napus*)和万寿菊(*T. erecta*)类型的改良剂对*R. reniformis*没有效果,并且只有*C. juncea*能增加卵寄生率^[26-27]。

有机物与线虫拮抗菌互作复杂,应用时要考虑改良剂的C/N比值。C/N比值低(<20)的动物排泄物、几丁质、尿素、油饼,棉籽和一些豆类植

物,产生的化感物质可以抑制线虫发育或繁殖。由于它们在分解期间产生高浓度的氨(NH₃),同样可能对植物生长和线虫的拮抗菌有害^[28-30]。对于这些改良剂,小量使用要比大量使用更能提高生物防治效果。试验结果表明C/N比值范围为14~20,此时既有杀线虫效果又不具有植物毒性。由于土壤表面有机物质的分解率要比埋入地表的低,可以减少有毒代谢产物的产生^[31]。因此,将一些有机物作为土壤覆盖物,比添加至土壤中更能有效抑制线虫。

2.4 降解过程中释放杀线化合物

一些土壤改良剂在降解过程中释放杀线物质复合物,包含有机酸、酚醛化合物、氨、硫代葡萄糖苷等对线虫有毒性的化合物,增加微生物群落产生化感物质如抗生素、几丁质酶等。厚垣普奇尼亚菌(*Pochonia chlamydosporia*)产生的几丁质酶能够消解南方根结线虫卵壳,特别是胚前发育期未成熟卵,抑制卵孵化率达40.32%~55.15%,在消解卵过程中起重要作用^[32]。在土壤中添加几丁质,有助于增加土壤和植物根际产几丁质酶微生物及线虫拮抗微生物的数量;但也有研究认为几丁质对线虫的主要防效是施用后不久释放的氨及亚硝酸^[33]。鸡粪似乎也特别有效,其活性也可能是依赖于具有杀线虫活性的氨的释放和累积。

将十字花科(Brassicaceae)作物油菜(*Brassica napus*)籽油和芥菜(*Brassica juncea*)进行生物熏蒸,可以有效抑制线虫。用浓度10 μmol·L⁻¹挥发性化合物异硫氰酸盐进行体外试验发现,其对*M. incognita*和*Tylenchulus semipenetrans*的幼虫具有毒杀作用^[34]。虽然十字花科作物具有的挥发物质能够抑制线虫,但它也是一些重要植物寄生线虫如*Meloidogyne* spp.的寄主,因此,十字花科作物经常作为土壤覆盖物使用。由于这些作物在不同发育阶段含有的硫代葡萄糖苷不同,要获得好的防治效果除了线虫的虫龄,植物的发育阶段、使用量、土壤湿度等条件都要考虑。黑麦(*Secale cereale*)、梯牧草(*Phleum pretense*)、米糠、葡萄糖及不含硫的糖浆在降解过程中产生的有机酸对植物寄生线虫也具有毒杀作用^[35]。用蒸熟或新鲜土豆皮、硫酸钙、蒸熟土豆皮与硫酸

钙混合物,韭菜叶改良土壤4周后,马铃薯胞囊线虫(*Globodera rostochiensis* 和 *G. pallida*)存活率降低99.9%,并在土壤中检测到高浓度的短链脂肪酸和二氧化碳浓度及低水平的氧气;在韭菜叶改良土壤中偶尔会检测到硫化氢,微生物生物量显著改变^[36]。用可溶性二氧化硅肥料改良土壤显著降低线虫 *Meloidogyne graminicola* 对水稻根系侵染量,推迟线虫发育,并发现胼胝质及酚类化合物在水稻根部聚集^[8]。

2.5 提高植物耐受性及抗性

土壤改良剂提高植物对土传病原物的抵抗能力,增加作物产量,可以说从根本上是因为改善植物生长发育所需的养分、水分及土壤结构。一个持续7年的马铃薯田间试验表明,将堆肥及粪肥添加到土壤中,虽然没有降低植物寄生线虫的数量,但是作物产量平均增加27%^[37]。利用秸秆还田覆盖地表,不仅为土壤微生物群落提供碳源,也通过降低温度和湿度波动,增加土壤环境稳定性,促进植株健壮生长,提高抗病能力。将黑麦(*Secale cereale*)作为覆盖物,*Paecilomyces lilacinum* 对 *M. incognita* 抑制率明显增加^[38]。如果从土壤表面除去黑麦残留物却没有这种效果,这表明将作物种植在覆盖物下比在不利于作物生长条件下所受线虫的胁迫更少,耐受性更强。与裸露的土壤相比,将稻草作为覆盖物可以抑制一年生杂草生长,保存土壤水分,并在降解时添加有机物质,抑制土传病害。将富含氮的作物残茬、堆肥、肥料和有机肥料留在土壤中,可以防止线虫长距离传播,降低土壤温度,降解过程中释放化感物质,导致线虫发育缓慢^[39]。在多年的高粱残茬上种植小麦要比单一施用 $20 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的有机改良剂能抑制短体线虫(*Pratylenchus thornei*)种群^[40]。引入作物残留管理和有机改良需要时间,但这些好处连续数年不断提高。种植及翻压绿肥通过改善土壤环境、促进植物生长,为土壤细菌和真菌等微生物、土壤动物(土壤昆虫和其它微小动物)提供了丰富的食物,土壤寄生性线虫和线虫总数随着翻压绿肥数量增加而趋于增加,但烟草根结线虫(*M. incognita*)危害极显著降低^[41-42]。

3 存在问题及展望

土壤改良剂对土壤微生物及寄生线虫种群的

影响十分复杂,一些防治效果也不总是起到积极的作用,其原因还难以解释。如施用液体猪粪后会增加土壤微生物之间的竞争,导致弱寄生菌洛斯里被毛孢(*H. rhossiliensis*)寄生线虫性能下降;影响生防菌从腐生到寄生状态的转变,降低一些兼性寄生物在土壤中活性^[43]。堆肥和家禽粪一直被认为是杀虫剂棉隆 Basamid® 的替代品,可以降低穿刺短体线虫(*Pratylenchus penetrans*)种群密度,但家禽粪便会产生硝酸盐浸出现象,给环境带来风险,因此,在使用具有杀线性能的改良剂时要考虑利用方式^[44]。为了取得明显防治效果常常需要大量使用土壤改良剂,其中一些在盆栽、小区及田间试验时表现效果积极,但离大规模应用还有距离,仍有许多基础研究工作急需加强。

3.1 加强对植物杀线虫活性成分的研究与应用,明确不同改良剂对植物寄生线虫的作用机理

对线虫产生抑制作用的可能是线虫专性拮抗菌,也可能是参与生物体降解的微生物。目前,很难区别线虫死亡的原因是拮抗微生物还是有机物产生的毒素。因此,在研究改良剂作用机制时,需要明确线虫个体寄生百分率及线虫种群抑制水平的关联性,评价不同种类土壤改良剂及植物生长、植物寄生线虫种群密度的影响。

3.2 加强对土壤生态及土壤因子变化对线虫天敌影响的研究

许多研究表明生物防治效果在温室中很好,但到田间防效则不稳定。这不是天敌对线虫作用的改变,而是土壤环境的影响,因此须加强土壤生态及土壤因子变化对线虫天敌影响的研究。

3.3 加强土壤改良剂复合使用的开发及应用

每一种植物寄生线虫防治方法都有它的局限性。一些具有防治病害的改良剂,由于使用量较大或运输条件不宜获得,在应用时受到限制。不同方法的恰当组合是防治植物寄生线虫的最佳策略。将土壤改良剂与种植抗病品种、栽培措施、化学防治等方法结合并系统研究,有利于在生产上大面积推广。选择适合当地推广的有机改良剂,开发和研制相关产品,并对其施用方法进行系统研究,以提高利用效果。

参考文献

[1] 黄云. 植物病害生物防治学[M]. 北京: 科学出版社, 2010:

155-160.

[2] GRABAU Z J, CHEN S Y. Efficacy of organic soil amendments for management of *Heterodera glycines* in greenhouse experiments[J]. J Nematol, 2014, 46(3): 267-274.

[3] 刘肖肖, 董元华, 李建刚. 不同土壤改良剂对番茄青枯病的防治效果[J]. 农业环境科学学报, 2013, 32(7): 1368-1374.

[4] 杜相革, 曲再红. 有机土壤改良剂和施用方式对番茄早疫病的防治效果[J]. 中国农学通报, 2004, 20(6): 71-72.

[5] 李洪连, 袁虹霞, 黄俊丽. 不同有机改良剂对棉花黄萎病的防病作用及其机制[J]. 植物保护学报, 2002, 29(12): 313-319.

[6] OKA Y, TKACHI N, SHUKER S. Enhanced nematocidal activity of organic and inorganic ammonia-releasing amendments using neem extracts[J]. J Nematol, 2007, 39: 9-16.

[7] HAREL Y M, ELADY, DALIA R D, et al. Biochar mediates systemic response of strawberry to foliar fungal pathogens[J]. Plant Soil, 2012, 357: 245-257.

[8] HUANG W K, JI H L, GHEYSEN G, et al. Biochar-amended potting medium reduces the susceptibility of rice to root-knot nematode infections[J]. BMC Plant Biol, 2015(15): 267-280.

[9] ELAD Y, DAVID D R, HAREL Y M, et al. Induction of systemic resistance in plants by biochar, a soil-applied carbon sequestering agent[J]. Phytopathol, 2010, 100: 913-921.

[10] HASSINK J, BOUWMAN L A, ZWART K B, et al. Relationships between habitable pore space, soil biota and mineralization rates in grassland soils[J]. Soil Biol Biochem, 1993(25): 47-55.

[11] ZHAN L P, PENG D L, WANG X L, et al. Priming effect of root-applied silicon on the enhancement of induced resistance to the root-knot nematode *Meloidogyne graminicola* in rice[J]. BMC Plant Biol, 2018(18): 50-54.

[12] QUÉNÉHERVÉ P, CHOTTE J L. Distribution of nematodes in vertisol aggregates under a permanent pasture in Martinique[J]. Appl Soil Ecol, 1996(4): 193-200.

[13] MATTEI D, DIAS-ARIEIRA C R, LOPES A P M, et al. Influence of rocksil, silifort® and wollastonite on penetration and development of *Meloidogyne javanica* in Poaceae and Fabaceae[J]. J Phytopathol, 2017, 165: 91-97.

[14] NICO A I, RAFAEL R M, JIMENEZ-DIAZ M, et al. Control of root-knot nematodes by composted agro-industrial wastes in potting mixtures[J]. Crop Prot, 2004(23): 581-587.

[15] OKA Y, BEN-DANIEL B H, COHEN Y. Control of *Meloidogyne javanica* by formulations of *Inula viscosa* leaf extracts[J]. J Nematol, 2006, 38: 46-51.

[16] ABBASI P A, RIGA E, CONN K L, et al. Effect of neem cake soil amendment on reduction of damping-off severity and population densities of plant-parasitic nematodes and soilborne plant pathogens[J]. Can J Plant Pathol, 2005(27): 38-45.

[17] OGUNDELE R A, OYEDELE D J, ADEKUNL O K. Management of *Meloidogyne incognita* and other phytonematodes infecting *Amaranthus cruentus* and *Telfairia occidentalis* with

African marigold (*Tagetes erecta*) and Siam weed (*Chromolaena odorata*)[J]. Australasian Plant Pathol, 2016, 45(5): 537-545.

[18] 杨秀娟, 何玉仙, 陈福如, 等. 不同植物提取液的杀线虫活性评价[J]. 江西农业大学学报, 2002, 24(3): 386-390.

[19] 王猛, 曹福祥, 滕涛, 等. 夹竹桃提取物对松材线虫致死性的研究[J]. 湖南林业科技, 2006, 33(3): 7-8.

[20] 李维蛟, 李强, 胡先奇. 木醋液的杀线活性及对根结线虫病的防治效果研究[J]. 中国农业科学, 2009, 42(11): 4120-4126.

[21] 侯启昌, 王伟浩. 3 种中草药提取液对蔬菜根结线虫的防治效果[J]. 贵州农业科学, 2017, 45(5): 66-67.

[22] JAFFEE B A. Do organic amendments enhance the nematode trapping fungi *Dactylellina haptotyla* and *Arthrobotrys oligo spora*? [J]. J Nematol, 2004, 36: 267-275.

[23] VIANENEN M, ABAWI G S. *Hirsutella rhossiliensis* and *Verticillium chlamydosporium* as biocontrol agents of the root-knot nematode *Meloidogyne hapla* on lettuce[J]. J Nematol, 2000, 32: 85-100.

[24] NESSIE D L, ROSA H, MANZANILLA-LÓPEZ C. Effect of temperature, pH, carbon and nitrogen ratios on the parasitic activity of *Pochonia chlamydosporia* on *Meloidogyne incognita*[J]. Biological Control, 2015, 80: 8023-8029.

[25] KHAN M R, MOHIDDIN F A, EJAZ M N. Management of root-knot disease in eggplant through the application of biocontrol fungi and dry neem leaves[J]. Turkish J Biol, 2012, 36: 161-169.

[26] WANG K H, SIPES B S, SCHMITT D P. Suppression of *Rotylenchulus reniformis* by *Crotalaria juncea*, *Brassica napus*, and *Tagetes erecta*[J]. Nematropica, 2001, 31: 235-249.

[27] WANG K H, SIPES B S, SCHMITT D P. Enhancement of *Rotylenchulus reniformis* suppressiveness by *Crotalaria juncea* amendment in pineapple soils[J]. Agr Ecosyst Environ, 2003, 94: 197-203.

[28] RODRIGUEZ-KABANA R, MORGAN-JONES G, CHET I. Biological control of nematodes; Soil amendments and microbial antagonists[J]. Plant Soil, 1987, 100: 237-247.

[29] OKA Y. Mechanisms of nematode suppression by organic soil amendments[J]. Applied Soil Ecology, 2010, 44: 101-115.

[30] JAFFEE B A, FERRIS H, SCOW K M. Nematode-trapping fungi in organic and conventional cropping systems[J]. Phytopathol, 1998(8): 344-350.

[31] STIRLING G R. Suppressive biological factors influence populations of root lesion nematode (*Pratylenchus thornei*) on wheat in vertosols from the northern grain-growing region of Australia[J]. Australasian Plant Pathol, 2011b, 40: 416-429.

[32] 张成敏, 武侠, 才秀华. 厚垣普奇尼亚菌 *Pochonia chlamydosporia* 产生的几丁质酶对南方根结线虫卵孵化的影响[J]. 中国农业科学, 2009, 42(10): 3509-3515.

[33] RAHMAN L, SOMER T. Suppression of root knot nematode (*Meloidogyne javanica*) after incorporation of Indian mustard cv. Nemfix as green manure and seed meal in vineyards[J]. Australasian Plant Pathol, 2005, 34: 77-83.

- [34] LAZZERI L, CURTO G, LEONI O, et al. Effects of glucosinolates and their enzymatic hydrolysis products via myrosinase on the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* (Kofoid et White) Chitw[J]. J Agric Food Chem, 2004, 52: 6703-6707.
- [35] TABA S, TOMOYOSE M, MOROMIZATO Z. Control mechanism associated with rice bran-amended soil for root-knot nematode, *Meloidogyne incognita* [J]. Int J Nematol, 2006(16): 126-133.
- [36] NEGIN E, NICOLE V, JOHAN A, et al. Agricultural waste amendments improve inundation treatment of soil contaminated with potato cyst nematodes, *Globodera rostochiensis* and *G. pallida* [J]. European J Plant Pathol, 2016, 145(4): 755-775.
- [37] KIMPINSKI J, GALLANT C F, HENEY R, et al. Effect of compost and manure soil amendments on nematodes and yields of potato and barley: A 7-year study [J]. J Nematol, 2003, 35: 289-293.
- [38] TIMPER P, PARAJULI G. Suppression of *Meloidogyne incognita* by *Paecilomyces lilacinus* is enhanced by planting cover crops [J]. J Nematol, 2012, 44: 494-495.
- [39] REDDY P P. Crop residue management and organic amendments [M]. Agro-ecological approaches to pest management for sustainable agriculture (ebook), Springer Nature, Singapore, 2017: 29-41.
- [40] LI Y, STIRLING G R, SEYMOUR N P. The effect of organic amendment input and crop management practices on the nematode community and suppression of root-lesion nematode (*Pratylenchus thornei*) in a grain-growing soil [J]. Australasian Plant Pathol, 2017, 46(5): 463-472.
- [41] 刘建香, 刘树芳, 郭云周, 等. 翻压绿肥数量与烟草线虫危害关系初报 [J]. 西南农业学报, 2015, 28(5): 2116-2119.
- [42] 李宏图, 罗建新, 彭德元, 等. 绿肥翻压还土的生态效应及其对土壤主要物理性状的影响 [J]. 中国农学通报, 2013, 29(5): 172-175.
- [43] BAO Y, CHEN S Y, VETSCH J, et al. Soybean yield and *Heterodera glycines* responses to liquid swine manure in nematode suppressive soil and conducive soil [J]. J Nematol, 2013, 45(1): 21-29.
- [44] TOM F, ELIZABETH K, NAOMI H, et al. Compost and poultry manure as preplant soil amendments for red raspberry: Comparative effects on root lesion nematodes, soil quality and risk of nitrate leaching [J]. Agr Ecosyst Environ, 2016, 223: 48-58.

Application of Soil Amendments for Management of Plant-parasitic Nematode

WANG Fang¹, LIU Dawei²

(1. College of Life Sciences and Agro-forestry, Qiqihar University/Heilongjiang Provincial Key Laboratory of Resistance Gene Engineering and Protection of Biodiversity in Cold Areas, Qiqihar, Heilongjiang 161006; 2. Agronomy College, Northeast Agricultural University, Harbin, Heilongjiang 150030)

Abstract: Soil amendments have been extensively used for management plant diseases by increasing soil fertility, improving soil rhizosphere microbial community composition and structure, as well as increasing plant disease resistance. A series of soil amendments, such as animal manure, crop residue, chitin material, waste protein, mineral fertilizer have been used for control of plant-parasitic nematodes. Although control effect of some amendments is not always satisfactory, and even exists controversial research results, the soil amendments have brought widely attention by global as a traditional biological control strategy because of conforming to environmental protection and health concept, low expense, easy to use. The action mechanism of those soil amendments in killing or suppression nematode populations is different, understanding the mechanism of these materials in the process of killing or suppression nematodes is contribute to the applying and improving the control effect. This study overviewed the main types of soil amendments, killing (suppression) function mode and mechanism, discussed the challenge in utilization and research direction, in order to provide references for its application in controlling plant-parasitic nematodes and future research studies.

Keywords: soil amendments; plant-parasitic nematode; active ingredients; function mechanism; application methods