土壤熏蒸结合机械化深耕处理防治连作土壤西瓜根结线虫效果评价

吴青松[1]， 郭连兴[2]， 李学斌[2]， 王山松[2]， 彭德良[1]，
张桂娟[3]， 张 超[3]， 黄文坤[1*]

（1. 中国农业科学院植物保护研究所，植物病虫害生物学国家重点实验室，北京 100193；
2. 北京市大兴区农机技术推广站，北京 102600；3. 北京市大兴区植保植检站，北京 102609）

摘要 为筛选防治西瓜根结线虫（*Meloidogyne incognita*）的安全、高效防治技术，本研究对浅耕、深耕、浅耕＋棉隆、深耕＋棉隆 4 种土壤连作障碍处理耕作机械化技术防治西瓜根结线虫的效果及对土壤微量元素的影响等进行了评价。结果表明，与对照普通耕作模式相比，4 种处理均能显著降低土壤中西瓜根结线虫的数量，提高对根结线虫的防治效果，增加西瓜的产量。其中，以深耕＋棉隆处理的防治效果和增产效果最好。深耕＋棉隆处理可以增加交换性镁和有效硒的含量，对交换性钙和有效铜的含量没有显著影响。综合评价认为深耕＋棉隆处理适于在西瓜根结线虫发生非常严重的地区推广应用，而对于根结线虫发生特别轻的地区，仅以浅耕处理就能有效控制其危害。本研究提供了一种耕作措施与化学农药熏蒸相结合防治根结线虫的新方法，对于减少化肥农药用量，保护农业生态环境安全具有重要意义。

关键词 西瓜根结线虫； 连作障碍； 机械化深耕； 土壤熏蒸

中图分类号： S 436. 5 **文献标识码：** B **DOI：** 10. 3969/j. issn. 0529 - 1542. 2016. 03. 045

Effect of soil fumigation in combination with deep tillage on controlling root-knot nematodes in continuous cropping watermelon system

Wu Qingsong[1]， Guo Lianxing[2]， Li Xuebin[2]， Wang Shansong[2]， Peng Deliang[1]，
Zhang Guijuan[3]， Zhang Chao[3]， Huang Wenkun[1]

（1. *State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests*，*Institute of Plant Protection*，*Chinese Academy of Agricultural Sciences*，*Beijing* 100193，*China*；2. *Agricultural Machinery Technology Extending Station of Daxing County*，*Beijing* 102600，*China*；3. *Plant Protection and Quarantine Station of Daxing County*，*Beijing* 102609，*China*）

Abstract For screening safe and efficient control techniques to control root-knot nematode（*Meloidogyne incognita*）in continuous cropping watermelon system，four mechanical tillage technologies including shallow tillage，deep tillage，shallow tillage in combination with dazomet，and deep tillage in combination with dazomet were carried out to evaluate the effects on nematodes and micro minerals. Compared with the common tillage mode，all the four treatments significantly reduced the number of root-knot nematodes in the soil，improved the control efficacy，and increased the yield of watermelon. Among those treatments，deep tillage in combination with dazomet had the best effects on nematode control and watermelon yield. Treatment of deep tillage in combination with dazomet increased the level of exchangeable magnesium and effective selenium，but had no significant impact on the level of exchangeable calcium and effective copper. Comprehensive evaluation suggested that deep tillage in combination with dazomet was applicable to the areas where root-knot nematodes occurred severely，while the shallow tillage treatment was effective for the areas where the disease is not very serious. In this investigation，a new

收稿日期： 2016 - 01 -19 **修订日期：** 2016 - 02 - 05
基金项目： 国家自然科学基金（31571986）；国家重点基础研究发展计划（2013CB127502）；国家科技支撑计划（2012BAD19B06）
* 通信作者 E-mail：wkhuang2002@163. com

mode of controlling root-knot nematode was presented by deep tillage in combination with fumigation, which would be useful in decreasing the dosage of chemical and fertilizer, and protecting the agricultural eco-environment.

Key words　*Meloidogyne incognita*;　continuous cropping obstacle;　mechanical deep tillage;　soil fumigation

近几年来,随着农业产业结构调整、设施蔬菜温室的扩建以及保护地连作和复种指数的增加,设施蔬菜连作障碍逐年加剧,蔬菜根结线虫病(root-knot nematode, RKN)危害越来越严重,其中南方根结线虫(*Meloidogyne incognita*)是危害北方地区大棚蔬菜的主要线虫[1-2]。蔬菜根结线虫可以危害瓜类、茄果类、胡萝卜、白菜等几十种蔬菜,已上升为蔬菜生产上的重要病害,直接威胁经济作物的生产和农民增收。蔬菜根结线虫病的防治技术重点集中在农业和物理方法,配合使用化学方法的综合防治技术的研究上。田间管理上采用重施腐熟的有机肥,增施磷、钾肥,以提高植株抗病力,通过轮作和覆盖作物等农业措施改变土壤微生态环境,增加土壤肥力,从而降低有害线虫数量[3-6]。物理方法主要是在夏季进行土壤热消毒处理,包括生物熏蒸、高温闷棚、阳光消毒以及灌注热水处理等[7-9],化学方法主要是使用熏蒸性或非熏蒸性的土壤处理剂,或者是结合使用两种或多种技术的防治方法[10-13]。本实验室的前期研究表明,生物熏蒸结合阳光消毒是治理温室根结线虫病的一种低成本的有效控制技术[10];使用98%棉隆(dazomet)微粒剂结合夏季高温进行阳光消毒,能有效减轻番茄根结线虫的危害程度,同时可降低 30%左右的棉隆用量[11]。精耕细作是设施蔬菜栽培的重要特点,要求土壤疏松,以便蓄水保墒。设施蔬菜的产量和品质与根系分布深度有着密切联系,根系分布越深,对水肥的吸收范围越大,对不良环境的抵抗能力越强[14]。耕作活动会改变耕层土壤结构,不同耕作方式对土壤理化性质的影响不同,在土壤贮水能力、土壤容重、土壤温度、土壤微生物的种类和数量等方面存在差异,从而影响作物根系的生长以及对病虫害的抵抗能力[15-16]。马俊艳研究认为耕作和施肥会改善土壤的物理性状,深耕30 cm以上的农业措施可以使积聚于土壤上表层的养分均匀分布于整个耕作层之内,形成较深的耕作层,改善了土壤的水、气、热状况,促进作物根系深扎,增强了对恶劣环境和病虫害的抵抗能力。耕翻时配合施用有机肥,对于促进土壤微生物活动效果更好[17]。程晓亮研究认为旋耕和免耕方式下小麦根部病害高于同期深耕和秸秆清除,致病力测定也表明旋耕和免耕耕作方式下分离到的禾谷镰刀菌和离蠕孢菌的致病力高于深耕和秸秆清除[18]。王兰等对于棉花黄萎病的研究认为深翻的防病作用在于有效地减少了耕作层中黄萎病菌微菌核的数量[19]。但也有研究认为耕作会加重谷类作物的眼斑病,而免耕操作则降低眼斑病的发病程度[20-21]。因此,科学的耕作方式可以作为一项农艺措施来进行病害的防治。

我们对北京市大兴区庞各庄镇世同瓜园进行调查,发现西瓜受根结线虫的危害严重,通过特异性引物的分子鉴定结果为南方根结线虫(*M. incognita*)。为了更好地控制西瓜根结线虫(*M. incognita*)的危害,筛选出安全、高效的西瓜根结线虫病的防治技术,在该瓜园进行了土壤连作障碍处理深耕机械化技术防治西瓜根结线虫的田间试验,采用深耕技术结合棉隆熏蒸,最后用农膜严密覆盖闷棚的方法,评价是否可以有效地控制西瓜根结线虫的危害。

1　材料和方法

1.1　试验材料和试验地概况

供试线虫为南方根结线虫(*Meloidogyne incognita*);西瓜品种为'京颖',由北京市农林科学院蔬菜研究中心生产。试验地设在北京市大兴区庞各庄镇世同瓜园大棚根结线虫病发生严重的地块,土质为轻壤土,肥力中等,试验地以往的耕作方式为普通耕作模式(耕层深度 10 cm)。

1.2　试验设计和处理方法

每小区占地面积约 200 m^2,4 次重复,采取随机区组排列。试验共设 5 个处理:①普通耕作模式(对照):用大棚王拖拉机(山东潍坊拖拉机厂集团有限公司)悬挂连达牌旋耕机(石家庄连达农业机械有限公司,耕作深度 10 cm)进行整地作业;②浅耕:用小丰田园管理机(北京元凯机械制造有限公司)进行整地作业,旋耕两遍(耕作深度 20 cm);③深耕:用小牛-868 深耕机(元凯机械股份有限公司)进行整地作业,旋耕两遍(耕作深度 30 cm);④浅耕+棉隆:用小丰田园管理机进行整地作业,旋耕一遍,使土壤颗粒细小而均匀,按照30 kg/667 m^2的用量在地表均匀撒施棉隆,然后用小丰田园管理机进行二次旋耕,

旋耕后快速用无透膜进行完全覆盖，闷棚消毒 20 d 后揭去地膜，透气 15 d，进行作物种植；⑤深耕＋棉隆：操作方法与浅耕＋棉隆处理相同，但是所用机械为小牛- 868 深耕机。

1.3 取样调查方法

在西瓜定植前、膨瓜期、收获期进行“S”形 5 点取样，每点取土壤 0.5～1 kg（取样深度为 20 cm），混匀后取 1 kg 带回实验室按照浅盘法分离检测土壤线虫数量，同时测定土壤主要微量元素含量。在膨瓜期和收获期，进行随机 5 点取样，每点取 4 株共 20 株，调查根结线虫对西瓜的危害情况，计算根结指数和防治效果。西瓜收获期连续统计各处理西瓜产量。根结线虫危害程度分级按以下标准：0 级，无根结，根系健康；1 级，仅有少量根结，根结占全根系的 11%以下；3 级，根结明显，根结占全根系的 11%～25%；5 级，根结特别明显，根结占全根系的 26%～50%；7 级，根结数量很多，占全根系的 51%～75%；9 级，根结数量特别多，占全根系的 75%以上[10]。

1.4 药效计算方法

依据下列公式计算根结线虫的根结指数和防治效果，采用 SAS 软件进行统计分析，比较处理间的差异显著性[10]。

根结指数＝∑（各级植株数×相应病级数值）/（调查总株数×最高病级数值）×100；

防治效果（%）＝（对照区根结指数－处理区根结指数）/对照区根结指数×100。

1.5 土壤微量元素测定

对上述 3 个时期采集的土样，按照土壤微量元素检测标准进行微量元素测定。其中有效铁、锰、铜、锌含量测定采用 DTPA 浸提－原子吸收分光光度法[22]（主要仪器为原子吸收分光光度计）；有效硫测定采用磷酸盐－乙酸提取－硫酸钡比浊法[23]（主要仪器为分光光度计）；交换性钙、镁测定采用醋酸铵－EDTA 浸提－原子吸收分光光度法[24]（主要仪器为原子吸收分光光度计）；有效硒测定采用硝酸－高氯酸消解－原子荧光光谱法[25]（主要仪器为原子荧光光度计）。

1.6 产量测定

收获期摘取小区中所有西瓜，计算总重量，评价不同处理的增产率。

2 结果与分析

2.1 不同处理对土壤中根结线虫数量的影响

应用土壤连作障碍处理深耕机械化技术进行土壤处理后，均能显著降低土壤中的根结线虫数量。土壤处理前，根结线虫的基数基本一致，没有显著性差异。浅耕、深耕、浅耕＋棉隆、深耕＋棉隆及普通耕作措施（对照）处理后，以浅耕＋棉隆对线虫数量增长的抑制效果最好，线虫数量减少约 50%；其次是浅耕措施，线虫数量略有减少；而深耕处理与对照处理线虫数量显著增加（表 1）。

表 1 不同处理对土壤西瓜根结线虫数量的影响1)

Table 1 Effect of different treatments on the quantity of root-knot nematodes in greenhouse watermelon

处理 Treatment	线虫基数/条·(100 g)$^{-1}$ Nematode population base	收获期线虫数量/条·(100 g)$^{-1}$ Nematode population at harvest time	线虫增长率/% Nematode increase rate
浅耕 Shallow tillage	(185.7±10.6)a	(181.6±45.7)bc	−2.2 d
深耕 Deep tillage	(190.4±21.8)a	(225.6±54.9)b	18.5 b
浅耕＋棉隆 Shallow tillage and dazomet	(200.6±30.2)a	(103.9±51.2)c	−48.2 e
深耕＋棉隆 Deep tillage and dazomet	(208.2±24.3)a	(209.8±40.3)b	0.8 c
对照 CK	(198.7±25.8)a	(353.6±72.4)a	77.9 a

1) 同列数据后不同的小写字母表示处理间在 0.05 水平差异显著。下同。
Data followed by different letters in the same column are significantly different at 0.05 level. The same below.

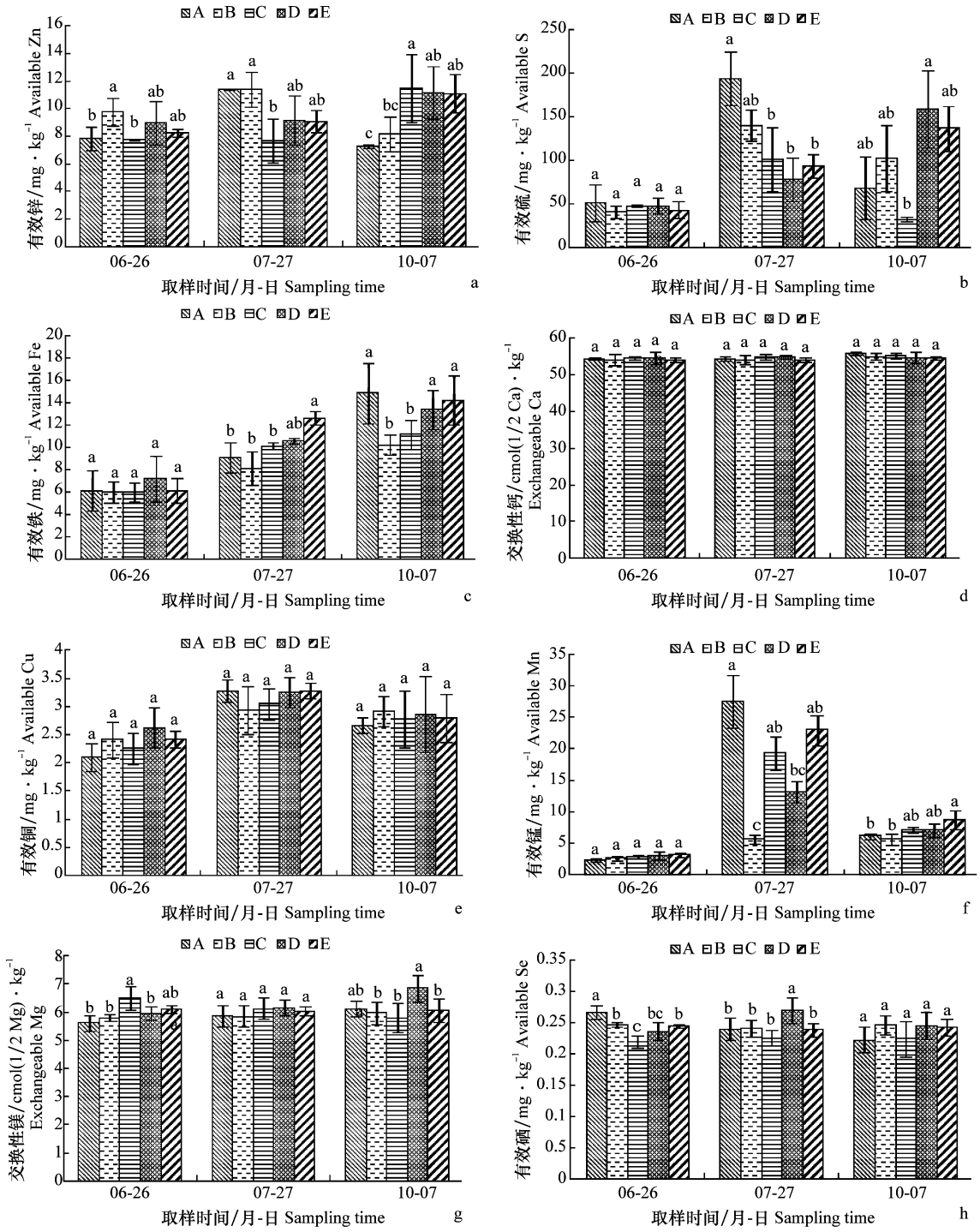
2.2 不同处理对西瓜根结线虫的防治效果

试验结果表明，通过应用土壤连作障碍处理深耕机械化技术，根结线虫危害程度显著降低，西瓜收获期检验发现浅耕、深耕、浅耕＋棉隆、深耕＋棉隆 4 种处理均可显著降低根结指数、提高对根结线虫的防治效果，其中以深耕＋棉隆的防治效果最好，防治效果在 80%以上，显著高于其他三个处理（表 2）。

2.3 不同处理对土壤中微量元素的影响

按照土壤微量元素检测标准，对西瓜定植前（6 月 26 日）、膨瓜期（7 月 27 日）、收获期（10 月 7 日）3 个时期采集的土样进行了微量元素测定。与对照相比，浅

耕、深耕处理膨瓜期土壤有效锌、有效硫的含量增加,而浅耕+棉隆处理收获期有效锌含量以及深耕+棉隆处理收获期有效硫含量显著增加(图 1a～b)。浅耕、深耕、浅耕+棉隆、深耕+棉隆处理在膨瓜期都降低了有效铁的含量,对交换性钙和有效铜的含量没有显著影响(图 1c～e)。浅耕处理可以短期增加有效锰的含量,而深耕、深耕+棉隆处理短期降低了有效锰的含量(图 1f)。此外,深耕+棉隆处理收获期可以增加交换性镁的含量,膨瓜期增加了有效硒的含量,但浅耕、深耕、浅耕+棉隆处理对有效硒的含量没有显著影响(图 1g～h)。



A: 浅耕; B: 深耕; C: 浅耕+棉隆; D: 深耕+棉隆; E: 对照(普通耕作模式)

A: Shallow tillage; B: Deep tillage; C: Shallow tillage and dazomet; D: Deep tillage and dazomet; E: CK, common tillage mode

图 1　不同处理对土壤微量元素含量的影响

Fig. 1　Effect of different treatments on the content of microelement in soil

表 2 收获期不同处理对西瓜根结线虫的防治效果

Table 2 Control effect of different treatments on the root-knot nematodes at harvest time in greenhouse watermelon

处理 Treatment	根结指数 Gall index	防治效果/% Control efficacy
浅耕 Shallow tillage	(66.67±7.7)b	(28.57±8.2)c
深耕 Deep tillage	(35.56±7.7)c	(61.90±8.2)b
浅耕+棉隆 Shallow tillage and dazomet	(33.33±3.6)c	(64.28±3.9)b
深耕+棉隆 Deep tillage and dazomet	(9.44±2.1)d	(89.88±2.3)a
对照 CK	(93.33±2.6)a	—

2.4 不同处理对西瓜产量的影响

应用土壤连作障碍处理深耕机械化技术进行土壤处理后，均能显著增加西瓜产量。浅耕、深耕、浅耕+棉隆、深耕+棉隆处理的西瓜增产率分别为：21.96%、24.89%、37.24%、39.43%，以深耕+棉隆处理的增产效果最好，其次是浅耕+棉隆处理(表 3)。

表 3 不同处理对西瓜产量的影响

Table 3 Effect of different treatments on watermelon yield

处理 Treatment	小区产量/kg Plot yield	增产率/% Increasing rate
浅耕 Shallow tillage	(666.5±50.2)b	(21.96±3.5)b
深耕 Deep tillage	(682.5±63.5)ab	(24.89±4.1)b
浅耕+棉隆 Shallow tillage and dazomet	(750.0±44.7)ab	(37.24±3.3)a
深耕+棉隆 Deep tillage and dazomet	(762.0±36.8)a	(39.43±2.8)a
对照 CK	(546.5±33.4)c	—

3 结论与讨论

本研究中土壤熏蒸结合机械化深耕处理技术显著降低了西瓜根结线虫数量，提高了土壤微量元素含量和西瓜产量，为防治蔬菜根结线虫，提高设施蔬菜生产的经济效益提供了一种合理的农业措施。设施蔬菜连年种植和近年来倡导的免耕操作易导致土壤耕层变薄、养分分布不均匀、微生物区系失衡及产量和品质降低等连作障碍问题[17]，也改变了土壤线虫及其他土传病害的群落结构和危害程度。对不同耕作方式下线虫群落结构的研究发现，两次犁地后降低了植物寄生线虫的数量，增加了食细菌线虫数量，而免耕措施增加了植物寄生线虫的数量[26]。不同耕作制度会影响土壤线虫群落的丰富度，改变线虫群落在土壤剖面的垂直分布，与免耕和 15 cm 耕作深度相比，25～30 cm 耕作深度影响了表面土壤的线虫栖息环境，将植物根系碎片混入到深土层，减少了植物寄生线虫的丰度，且耕作相对于作物覆盖和施肥措施对线虫群落和土壤生态结构的影响更大[27]，但也有研究表明，旋耕与免耕相比，免耕操作降低了连作旱稻田中水稻孢囊线虫的数量[28]。本研究结果发现深耕+棉隆处理对于西瓜根结线虫的防治效果好，但线虫数量却是浅耕+棉隆更少，原因可能是夏季温度高，线虫有向土壤深层移动的趋势，而深耕技术将深层土壤耕翻上来，随之也增加了耕作层的线虫数量，同时在取样上也存在不可避免的误差，但深耕+棉隆技术改变了耕层土壤结构，疏松土壤且增加通气透水性，使得作物对水肥的吸收范围更大，对不良环境的抵抗能力更强，在综合条件上更有利于防治西瓜根结线虫，获得高产。

棉隆是一种广谱性的熏蒸性杀线虫剂，易于在土壤中扩散且持效期长，可以有效防治根结线虫和多种土传病害，是低毒低残留的土壤消毒剂[11]，在地表撒施后进行整地作业，最后用农膜严密覆盖进行闷棚，可以有效对土壤进行消毒。但棉隆作为熏蒸剂，成本较高，施用过程中如果揭膜后放气不充分，容易产生药害[29]。因此，结合深耕等耕作措施防治西瓜根结线虫，不但可以提高西瓜产量和品质，而且可以降低生产成本，减少化肥和农药的使用量。

土壤微量元素是作物生长发育过程中的必需元素，虽然作物对微量元素的需要量很少，但微量元素作用的专一性却较强。有研究指出一定浓度的硒处理能够增强高温胁迫下西瓜幼苗的根系活力，提高叶片叶绿素含量和光合作用，增强西瓜幼苗体内的抗氧化酶活性，从而缓解和减轻高温胁迫伤害，增强抗逆性[30]。施用硫肥可以增加西瓜产量，提高西瓜含糖量[31]。一定浓度的钙处理可以促进西瓜苗期和生长期植株的生长，促进果实膨大，提高维生素 C 含量及可溶性蛋白含量[32]。本研究中通过深耕和棉隆熏蒸处理增加了土壤中有效硒、交换性镁的含量，对于提高西瓜产量和品质具有重要作用，适于在根结线虫发生非常严重的地区推广应用。此外，对于根结线虫发生较轻的地区，通过浅耕和高温暴晒 1 个月以上，也可以有效控制根结线虫的危害。

发展设施农业，需要打破地域和季节的自然限制，才能提供速生、高产、优质的农产品。在提高设施农业发展水平的同时，需要探索经济有效的轻简

化病虫害防治技术,降低蔬菜和瓜果中的化学农药残留量,才能保障农业生态环境安全。本研究探索了耕作措施与化学农药熏蒸相结合防治根结线虫的新途径,对于减少化肥农药用量,提高作物产量和品质,促进有机农业的发展等具有重要意义。

参考文献

[1] 朱英. 宁夏设施蔬菜连作障碍及综合防治技术研究[D]. 银川:宁夏大学,2014.

[2] 孙兴全,陈捷,樊泽澍,等. 浅析崇明设施大棚西瓜连作障碍的原因与对策[J]. 安徽农学通报,2010,16(22):81.

[3] 朱艳,陈立杰,段玉玺. 不同耕作方式对大豆胞囊线虫群体数量的影响[J]. 大豆科学,2007,26(2):208-212.

[4] 高学彪,周慧娟,冯志新. 几种农业措施对水稻潜根线虫病的防治作用及机理的研究[J]. 华中农业大学学报,1998,17(4):331-334.

[5] López-Lima D, Sánchez-Nava P, Carrión G, et al. 89% reduction of a potato cyst nematode population using biological control and rotation [J]. Agronomy for Sustainable Development, 2013, 33(2):425-431.

[6] Guertal E A, Sikora E J, Hagan A K, et al. Effect of winter cover crops on populations of southern root-knot and reniform nematodes[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 1998, 70(1):1-6.

[7] 张雪艳,石彦龙,王彦刚,等. 不同土壤处理措施对番茄土壤养分酶活性和线虫数量的影响[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版),2015,36(4):16-22.

[8] Laquale S, Candido V, Avato P, et al. Essential oils as soil biofumigants for the control of the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* on tomato[J]. Annals of Applied Biology, 2015, 167(2):217-224.

[9] 贺超兴,张志斌,王怀松. 高温热水处理防治温室番茄土壤根结线虫的研究[J]. 北方园艺,2009(5):140-142.

[10] 黄文坤,张桂娟,张超,等. 生物熏蒸结合阳光消毒治理温室根结线虫技术[J]. 植物保护,2010,36(1):139-142.

[11] 张卓,彭德良,黄文坤,等. 土壤药剂处理结合阳光消毒防治番茄根结线虫技术评价[J]. 植物保护,2011,37(3):161-164.

[12] Wang K H, McSorley R, Kokalis-Burelle N. Effects of cover cropping, solarization, and soil fumigation on nematode communities [J]. Plant and Soil, 2006, 286:229-243.

[13] Ijani A S M, Mabagala R B, Nchimbi-Msolla S. Efficacy of different control methods applied separately and in combination in managing root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) in common beans[J]. European Journal of Plant Pathology, 2000, 106(1):1-10.

[14] 胡桧,陈永生. 设施农业栽培耕整地机械化作业技术研究与探讨[J]. 中国农机化,2010(1):63-66.

[15] 焦彩强. 集约化生产模式下耕作对土壤物理性质的影响及效应分析[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2008.

[16] 范丙全. 不同农业措施影响下土壤微生物多样性演化规律研究[D]. 北京:中国农业科学院,2009.

[17] 马俊艳. 设施菜地土壤耕层增厚及土壤培肥机制研究[D]. 南京:南京农业大学,2011.

[18] 程晓亮. 耕作方式对小麦病害发生及根际真菌群落结构的影响[J]. 保定:河北农业大学,2010.

[19] 王兰,冯宏祖,龚明福,等. 覆膜滴灌棉田不同耕作措施对棉花黄萎病的影响[J]. 农业工程学报,2011,27(5):31-36.

[20] Bateman G L, Gutteridge R J, Gherbawy Y, et al. Infection of stem bases and grains of winter wheat by *Fusarium culmorum* and *F. graminearum* and effects of tillage method and maize-stalk residues [J]. Plant Pathology, 2007, 56(4):604-615.

[21] Bailey K L, Gossen B D, Lafond G P, et al. Effect of tillage and crop rotation on root and foliar diseases of wheat and pea in Saskatchewan from 1991 to 1998: Univariate and multivariate analyses [J]. Canadian Journal of Plant Science, 2001, 81:789-803.

[22] 常留锋,张炜,薛印革,等. DTPA 浸提-原子吸收分光光度法测定土壤微量元素技术[J]. 天津农业科学,2009,15(S1):27-28.

[23] 王雪征,茜晓哲,庞建周,等. 土壤有效硫的提取与测定研究进展[J]. 河北农业科学,2014,18(3):105-108.

[24] 董健京,王玮,梁聪杰. 石灰性土壤中交换性钙镁测定方法比较[J]. 山西科技,2013,28(4):35-36.

[25] 王长芹,付仁敬. 顺序注射氢化物发生-原子荧光光谱法测定土壤中总硒[J]. 中国热带医学,2013,13(2):234-235.

[26] Lenz R, Eisenbeis G. Short-term effects of different tillage in a sustainable farming system on nematode community structure [J]. Biology and Fertility of Soils, 2000, 31:237-244.

[27] Ito T, Araki M, Komatsuzaki M. Soil nematode community structure affected by tillage systems and cover crop managements in organic soybean production [J]. Applied Soil Ecology, 2015, 86:137-147.

[28] Ito T, Araki M, Komatsuzaki M. No-tillage cultivation reduces rice cyst nematode (*Heterodera elachista*) in continuous upland rice (*Oryza sativa*) culture and after conversion to soybean (*Glycine max*) in Kanto, Japan[J]. Field Crops Research, 2015, 179:44-51.

[29] 王会芳,王三勇,符美英,等. 棉隆对番茄根结线虫病的防治效果[J]. 热带生物学报,2014,5(3):249-252.

[30] 郝晓杰. 硒对高温胁迫下西瓜幼苗生理特性的影响[D]. 合肥:安徽农业大学,2012.

[31] 张明学,刘桂莲,王银福,等. 硫肥对西瓜含糖量和产量影响试验研究[J]. 中国农技推广,2009,25(12):33.

[32] 赵晓美. 钙、硅对西瓜生长发育及品质的影响[D]. 南宁:广西大学,2012.

(责任编辑:田　喆)