

黄瓜连作土壤高温处理对根结线虫和枯萎病的影响

张广旭¹, 吕亭辉^{1†}, 周 娣², 郑世伟¹, 姚梦蝶¹, 余朝阁^{1*}, 李天来^{1*}

(1 沈阳农业大学园艺学院/设施园艺省部共建教育部重点实验室/北方园艺设施设计与应用技术国家地方联合工程研究中心; 2 沈阳农业大学图书馆, 沈阳 110161)

摘要:【目的】设施黄瓜连作导致根结线虫和枯萎病发生普遍且严重, 利用夏季温室休闲期高温闷棚是解决上述土传病害安全而有效的途径之一。本试验模拟高温闷棚, 研究不同温度处理连作土壤根结线虫和枯萎病的变化, 旨在为利用太阳光进行温室高温消毒提供理论支撑。【方法】本试验以连作 1~19 茬 ‘津优 30’ 黄瓜品种的土壤为试材, 首先探明不同连作茬次黄瓜的根结线虫和枯萎病发生程度以及土壤中二者病原物种群数量的动态变化, 然后对发病较重的第 17 茬连作土壤分别进行 45℃、50℃、55℃ 和 60℃ 的高温处理, 最后测定比较不同温度处理后的土壤中病原物数量变化, 并对高温处理后的土壤进行栽培试验, 测量和比较两种病害的发生程度及植株各项生长指标。【结果】随着黄瓜连作茬次的增加, 土壤中根结线虫和枯萎病菌的种群数量均增加, 两种病害也逐茬加重, 至第 17 茬两种病害的发病程度及其对应病原物的数量均达最高(或次高)水平; 对第 17 茬黄瓜连作土壤进行 45℃~60℃ 的高温处理, 随着温度的升高, 土壤中的根结线虫和枯萎病菌的数量均减少, 当处理温度达 55℃ 时可完全杀灭土壤中根结线虫, 达 60℃ 时可同时杀灭枯萎病菌; 用高温处理的连作土壤栽培黄瓜秧苗, 其根结线虫病和枯萎病的发生程度均随着处理温度的升高而减轻, 当处理土壤的温度达到 50℃ 和 60℃ 以上时, 根结线虫病和枯萎病分别被完全控制; 另外, 用 60℃ 处理的连作土壤定植黄瓜, 其后期植株生长指标和壮苗指数也显著优于对照。【结论】土传病害随连作茬次增加而加重主要是缘于土壤中病原物积累, 定植前对土壤 55℃ 以上的高温处理, 可有效减少乃至完全杀灭土壤中根结线虫和枯萎病菌, 从而减轻或杜绝两种病害的发生。

关键词: 黄瓜; 连作土壤; 高温; 根结线虫; 枯萎病

Effects of high-temperature treatment on root knot nematode and Fusarium wilt in continuous cucumber cropping soil

ZHANG Guang-xu¹, LV Ting-hui^{1†}, ZHOU Di², ZHENG Shi-wei¹, YAO Meng-die¹, YU Chao-ge^{1*}, LI Tian-lai^{1*}
(1 College of Horticulture, Shenyang Agricultural University/Key Laboratory of Protected Horticulture, Ministry of Education/
National & Local Joint Engineering Research Center of Northern Horticultural Facilities Design & Application Technology;
2 Library of Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

Abstract: 【Objectives】Continuous cucumber cropping causes severe and widespread root knot nematodes and blight. High temperature shed sealing in the summer greenhouse fallow period is one of the safe and effective ways to solve this problem. This study simulated high temperature shacks to treat soil at different temperatures. We monitored changes in root-knot nematodes and blight to provide theoretical support for greenhouse high temperature disinfection with sunlight. 【Methods】This experiment used the soil of the continuous cropping 1–19 crops of ‘Jinyou30’ cucumber variety. First we detected the dynamics of root-knot nematode and Fusarium wilt in different cucumber continuous cropping systems and populations of the two pathogens in soil.

收稿日期: 2018-06-26 接受日期: 2018-10-31

基金项目: “十三五”国家重点研发计划(2016YFD0201004); 辽宁省教育厅项目(LSNFW201703); 沈阳市重点研发专项(17-143-3-00); 辽宁省村级综合服务平台项目。

联系方式: 张广旭 E-mail: 446405279@qq.com; †吕亭辉与第一作者同等贡献 E-mail: lvlthm@sina.com

*通信作者 余朝阁 E-mail: yuzhaoge@126.com; 李天来 E-mail: tianlaili@126.com

Secondly we carried out the high-temperature treatment to the 17th crop soil at 45°C, 50°C, 55°C and 60°C. Finally, we measured and compared the changes of the number of pathogens in the soil treated with different temperatures, and carried out cultivation experiments on high temperature treated soil, followed by measuring the incidence of both diseases and the growth indicators of the plants and did comparison. **【 Results 】** With more crops of cucumber continuous cropping, the population of root knot nematodes and *Fusarium oxysporum* in the soil increased gradually. By the 17th crop, the incidence of both diseases and the number of corresponding pathogens reached the highest (or second highest) level. The 17th crop soil was treated with the high temperature of 45°C–60°C. With the increase of soil treatment temperature, the number of root knot nematodes and *Fusarium wilt* was both reduced. When the treatment temperature reached 55°C, root-knot nematodes in soil killed completely, and killed *Fusarium oxysporum* was killed simultaneously when the temperature reached 60°C. The degree of occurrence of root knot nematode and blight in cucumber seedlings cultivated with high temperature treated soil was also reduced with the increase of treatment temperature. When the soil treatment temperature reached 50°C and above 60°C, root knot nematode and *Fusarium wilt* was completely controlled. In addition, when the continuous cropping of cucumbers was planted on the soil treated with 60°C, the late plant growth index and seedling index in late growing stages became significantly better than the control. **【 Conclusions 】** The increase in soil-borne diseases with continuous cropping was mainly due to the accumulation of pathogens in the soil. High temperature treatment above 55°C to soil before planting can effectively reduce or even completely kill root-knot nematodes and *Fusarium oxysporum* in soil, thereby reducing or eliminating the occurrence of these diseases.

Key words: cucumber; continuous cropping soil; high-temperature treatment; root knot nematode; *Fusarium wilt*

黄瓜是设施生产重要果菜，全国设施栽培面积千万亩以上^[1]，占设施蔬菜总面积近 20%。随着设施蔬菜生产专业化和规模化趋势的发展，必然要求设施黄瓜主产区在同一块土地连续多年种植黄瓜，而黄瓜是易于发生连作障碍的蔬菜作物，因而连作障碍已成为制约设施黄瓜生产的重要因素^[2-3]。引起连作障碍的原因有多种，但最主要的原因还是土壤中病原物积累而导致的土传病害加重^[3-4]。而在黄瓜与众多连作相关的病害中，根结线虫和枯萎病发生尤为普遍且严重^[5-8]。

当前防治连作病害方法有嫁接、药剂灌根和土壤消毒等措施，上述措施均可不同程度减轻连作障碍，但是单一使用其中一种措施均存在明显的不足之处。如嫁接在设施黄瓜栽培中基本普及，但嫁接一定程度上影响了产品的品质。药剂灌根主要是对未发病植株起着保护作用，对已发病植株治愈效果通常并不明显，而且极易导致农药残留。土壤消毒措施主要在黄瓜定植前应用，又可分为生物、化学和物理消毒方法。前两种主要是应用生物农药或化学农药进行土壤处理，通过抑菌或杀菌起着防病作用，但往往存在生物消毒效果一般、化学消毒农药残留超标等问题；物理消毒主要是利用温室 7、8 月份温室休闲期高温闷棚，该法不仅无任何农药残留、还可促进土壤矿质元素转化，但是闷棚温度指标尚不清楚。

本研究首先探明根结线虫和枯萎病的发生程度及二者病原物的数量与黄瓜连作茬次之间的关系；然后对发病严重的连作土壤高温处理，并用处理过的土壤栽培黄瓜，调查不同温度处理的病害发生程度、土壤病原物数量及植株生长情况。旨在为温室高温消毒防治连作病害提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 供试材料

‘津优 30’黄瓜连作土壤于 2016 年 2 月黄瓜拉秧后取自沈阳农业大学园艺学院科研基地 20 号日光温室。该温室跨度 8 m、长度 60 m，于 2006 年 8 月至 2015 年期间，每年 8 月由温室东端向西依次挖 3 个南北走向栽培槽，长 7.0 m、宽 0.65 m、深 0.30 m，两槽间距 0.75 m，槽内铺料薄膜与温室土壤隔离，从温室外同一块地取 30 cm 深表层土，通过添加肥料将其调配为含有机质 2.30%、全磷 1.61 g/kg、全钾 10.6 g/kg、碱解氮 102 mg/kg、速效磷 41.3 mg/kg、速效钾 223 mg/kg，搅拌均匀后填平栽培槽，每年 9 月和翌年 3 月，分别进行秋冬茬和春茬黄瓜栽培（品种均为‘津优 30’），每槽定植 2 行，株距 35 cm、行距 50 cm。2015 年 9 月至 2016 年 2 月（秋冬茬），该温室黄瓜连作的茬口有 1、3、5、7、

9、11、13、17、19茬,每个茬次有3个栽培槽(即3次重复)。

1.2 连作黄瓜根结线虫和枯萎病调查与土壤病原物数量测定

1.2.1 根结线虫和枯萎病田间调查 2016年2月于2015年秋冬茬黄瓜生产结束时,调查不同连作茬次黄瓜的根结线虫和枯萎病发生情况。由于调查的黄瓜植株整体上根结线虫发病重,且不同病株间严重程度不一致;而枯萎病整体上发病较轻,各病株病害级别几乎全部为1级。所以在调查根结线虫时,记录不同植株发病严重程度级别,病害分级标准参照李洪连等方法^[9],然后计算病情指数表示发病程度;而枯萎病则直接统计发病植株占调查全部植株数量的百分率,用发病率表示发病程度。调查方法为栽培槽东侧行由北向南调查第3、6、9、12、15株,西侧行由南向北调查第3、6、9、12、15株。每处理调查10株,3次重复。

1.2.2 土壤中根结线虫和枯萎病菌数量测定 上述黄瓜拉秧后,采集不同连作茬次的土壤,采样方法为从距栽培槽南端约1.2、2.4、3.6、4.8、6.0 m的槽中部取土,取土范围的长度和宽度20 cm左右、深度30 cm左右,将所取土样混合均匀,及时分离检测根结线虫和镰刀菌数量。根结线虫分离采用淘洗过筛蔗糖密度梯度离心法^[10],然后在显微镜观测幼虫及成虫总数;尖孢镰刀菌分离计数采用稀释涂布平板法^[11],培养3~4 d后统计菌落数并鉴定病菌类型。经沈阳农业大学线虫研究室和本实验室鉴定,本连作土壤中根结线虫为南方根结线虫(*Meloidogyne incognita*),枯萎病菌为尖孢镰刀菌黄瓜专化型(*Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumarinum* Owen)。

1.3 高温处理连作土壤对病害和病原物的影响

1.3.1 连作土壤高温处理与黄瓜秧苗培育 取发病较重的第17茬黄瓜连作的土壤,取样点及方法同1.2.2,每槽所取土样充分混匀后均分5份,分别放在高压灭菌锅中进行45℃、50℃、55℃、60℃的温度处理2 h(上述温度下灭菌锅内气压仍为常压),以未经温度处理的连作土壤为对照。

1.3.2 高温处理对土壤病原物和黄瓜病害的影响 取上述经45℃、50℃、55℃和60℃处理的和未经高温处理(CK)的土壤,测定不同处理土壤中根结线虫(*M. incognita*)和镰刀菌(*F. oxysporum* f. sp. *cucumarinum*)数量,测定方法参照本文1.2.2。每处理5个样品,重复3次。

将上述经不同温度处理的土壤和对照土壤分别装于直径12 cm、高12 cm的塑料钵中,每钵装土保

持压实后10 cm高度,以备定植黄瓜秧苗。黄瓜用沈阳农业大学蔬菜无土育苗营养基质(专利号ZL03133591.8)于50孔穴盘中育苗,待秧苗长至一叶一心期,选取生长整齐一致的秧苗分别定植于上述装有不同处理土壤的塑料钵中。定植后置于沈阳农业大学园艺学院科研基地29号温室(育苗温室),昼温25℃~32℃、夜温18℃~20℃,空气湿度白天80%、夜间90%的条件下培养25 d,然后调查根结线虫和枯萎病发病情况,病害分级标准及病情指数计算公式参照李洪连等^[9]的方法。

1.3.3 土壤高温处理对黄瓜植株生长的影响 育苗及定植同上,定植后21 d测量各处理土壤栽培的黄瓜秧苗株高、茎粗、全株鲜重、地下及地上部分干重,并计算全株干重和病情指数。壮苗指数计算公式:壮苗指数=(茎粗/株高+根干重/地上部干重)×全株干重。上述病害调查和生长指标测定均为每处理10株,设3次重复。

1.4 数据分析

试验数据应用Excel进行基本统计,然后采用SPSS19软件邓肯法进行差异显著性分析(均为 $P < 0.05$ 水平)和相关性分析。

2 结果与分析

2.1 黄瓜连作对土传病害与土壤病原物数量的影响

2.1.1 连作对黄瓜根结线虫和枯萎病发生的影响

图1表明,黄瓜根结线虫病情指数和枯萎病发病率均随连作茬次的增加而升高。其中根结线虫病情指数于黄瓜连作第1~5茬缓慢升高,但是在连作5茬以内各茬病情指数之间差异未达到显著水平;连作第7茬以后根结线虫病情指数开始迅速升高,并于第17茬达到发病高峰,病情指数为60.0,然后略有下降;黄瓜连作第13~19茬期间,根结线虫病情指数均处于较高水平,且各茬黄瓜病情指数之间均无显著差异(图1A)。而枯萎病发病率于连作第3茬时无显著变化,第5茬开始迅速升高,并于第13茬达到发病高峰,发病率为46.76%,然后发病率缓慢下降;17茬与19茬的发病率略低于13茬,但未达到显著水平。黄瓜连作第11~19茬期间,枯萎病发病率保持在较高水平,各茬黄瓜发病率之间也没有显著差异(图1B)。上述结果说明,两种病害均随黄瓜连作茬次增加而加重,并于第13~17茬发病程度最重。

2.1.2 黄瓜连作对土壤中病原物数量的影响 图2表明,土壤中根结线虫(*M. incognita*)和尖孢镰刀菌

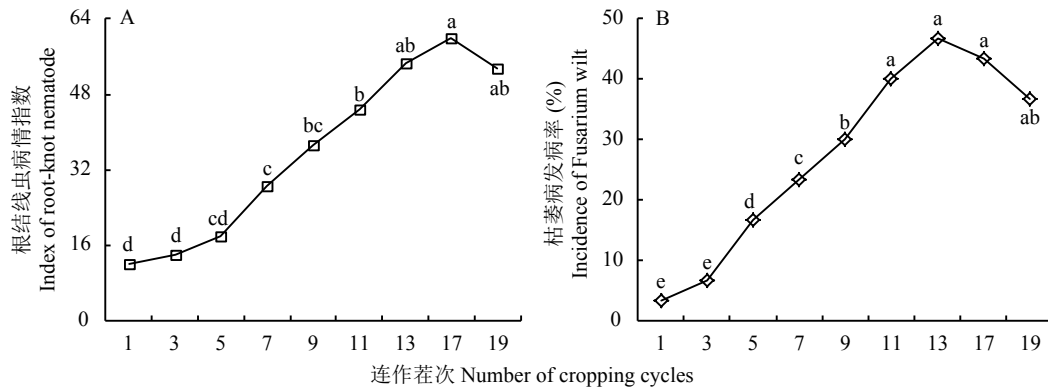


图1 黄瓜根结线虫和枯萎病发生情况随连作年限的变化

Fig. 1 Change of disease incidence of root knot-nematode and Fusarium wilt with continuous crop's numbers

[注 (Note): 不同字母表示不同茬次间在 0.05 水平差别显著

Different letters mean significantly differences among different numbers of cropping cycles at the 0.05 level.]

(*F. oxysporum* f. sp. *cucumarinum*) 数量均随黄瓜连作茬次的增加而增多。其中根结线虫虫口密度从黄瓜连作第 1 茬到第 13 茬缓慢升高, 至第 17 茬迅速升高并达到最高水平, 虫口密度为每克干土 17.6 条, 第 19 茬迅速下降, 但仍保持较高水平 (图 2A)。而尖孢镰刀菌数量于连作第 3 茬时即迅速升高, 并于第 13 茬达到最高水平, 然后缓慢下降; 黄瓜连作第 11~19 茬期间, 土壤中镰刀菌数量始终保持高水平稳定, 每克干土中病菌孢子数 $4.4 \times 10^4 \sim 5.0 \times 10^4$ cfu/g, 且各茬黄瓜连作土壤之间病菌孢子数无显著差异 (图 2B)。上述结果表明, 黄瓜长期连作导致土壤中根结线虫和镰刀菌等病原物积累。

2.1.3 连作黄瓜发病程度与土壤中病原物数量的关系

比较图 1 和图 2 可见, 不同连作茬次黄瓜的根结线虫和枯萎病发生程度, 与其栽培土壤中相应病

原物的数量变化规律相似, 将各茬黄瓜根结线虫病病情指数与相应茬次土壤中根结线虫的虫口密度、枯萎病发病率与相应茬次土壤中尖孢镰刀菌数量进行相关性分析, 结果表明其相关系数分别为 0.947 和 0.971, 均达到显著水平, 说明这两种病害随着黄瓜连作茬次的增加而加重, 主要是因为连作导致土壤中病原物积累的结果。

2.2 高温处理连作土壤对土传病害与病原物的影响

2.2.1 高温处理土壤对黄瓜根结线虫和枯萎病发生的影响 取根结线虫和枯萎病发生均严重的第 17 茬黄瓜连作土壤, 对其分别进行 45℃、50℃、55℃、和 60℃ 的温度处理 (图 3), 结果发现, 45℃ 温度处理黄瓜连作土壤, 处理与对照之间对黄瓜根结线虫病病情指数均为 13.3, 50℃ 至 60℃ 的温度处理黄瓜连

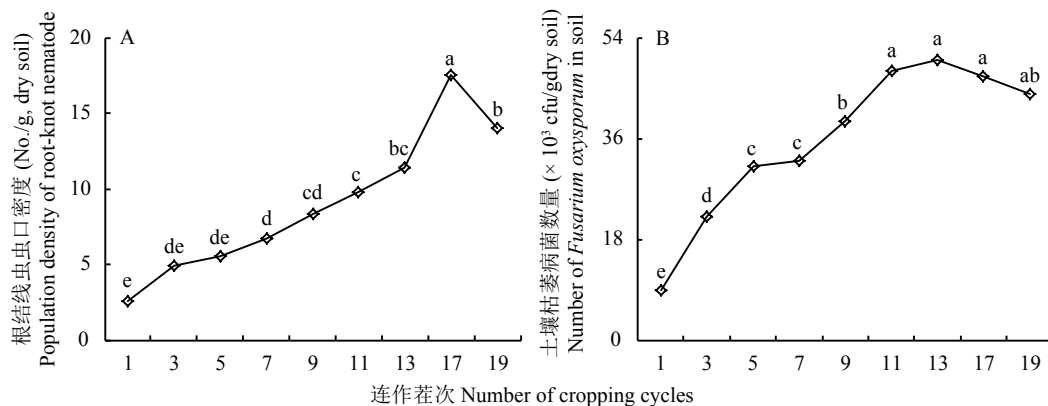


图2 黄瓜连作土壤中根结线虫和枯萎病菌数量

Fig. 2 Number of *M. incognita* and *F. oxysporum* in continuous cucumber cropping soil

[注 (Note): 不同字母表示不同茬次间在 0.05 水平差别显著

Different letters mean significantly differences among different numbers of cropping cycles at the 0.05 level.]

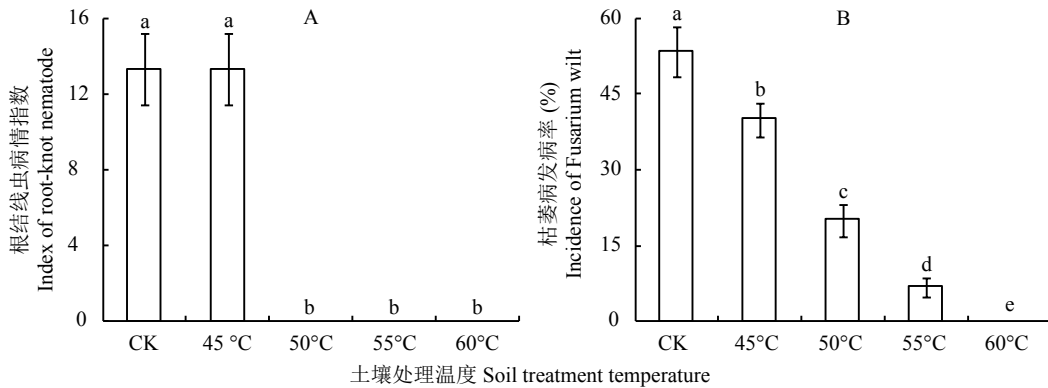


图 3 不同温度处理黄瓜连作土壤根结线虫病情指数和枯萎病发病率

Fig. 3 Index of root knot-nematode and incidence of Fusarium wilt in continuous cropping soil treated with different temperatures

[注 (Note): 柱上不同小写字母表示处理间在 0.05 水平差异显著
Different letters above the bars mean significant differences among treatments at the 0.05 level.]

作土壤 2 h, 各处理黄瓜根结线虫病情指数均为 0 (图 3A), 说明 45°C 的温度处理土壤不能抑制黄瓜根结线虫的发生, 而 50°C 以上的温度处理则可以完全抑制黄瓜根结线虫的发生; 45°C 至 60°C 的温度范围处理黄瓜连作土壤, 各处理黄瓜枯萎病发病率均显著低于对照, 且随着处理温度的升高而显著降低, 其中 60°C 的温度处理, 黄瓜枯萎病发病率降至 0% (图 3B), 说明 45°C 以上的温度处理土壤, 随着处理温度的升高对枯萎病抑制效果也越明显, 处理温度达到 60°C 时, 则可以完全抑制枯萎病的发生。

2.2.2 高温处理对土壤中根结线虫和尖孢镰刀菌数量的影响 图 4A 显示, 黄瓜连作土壤中根结线虫的虫口密度, 在 45°C 至 55°C 的温度范围内随着处理温度的升高而显著降低, 当温度升至 55°C 以上时,

根结线虫虫口密度降至 0, 说明 45°C 以上的温度处理可减少土壤中根结线虫数量, 而当对土壤处理的温度达到 55°C 以上时, 可完全杀灭其中的根结线虫; 土壤中尖孢镰刀菌数量在 45°C 至 60°C 的温度范围内也随着处理温度的升高而显著降低, 当处理温度升至 60°C 时, 镰刀菌数量降为 0 (图 4B), 说明 45°C 以上的温度处理也减少土壤枯萎病菌数量, 而且处理温度越高, 杀菌效果越好, 当处理温度达到 60°C 以上时可完全杀灭土壤中枯萎病菌。

2.3 高温处理连作土壤对黄瓜植株生长的影响

由表 1 可见, 用 45°C、50°C 和 55°C 处理的连作土壤定植黄瓜秧苗, 植株的株高、茎粗、鲜重、干重以及壮苗指数等生长指标与对照之间均无显著差异; 用 60°C 的温度处理的连作土壤定植黄瓜秧

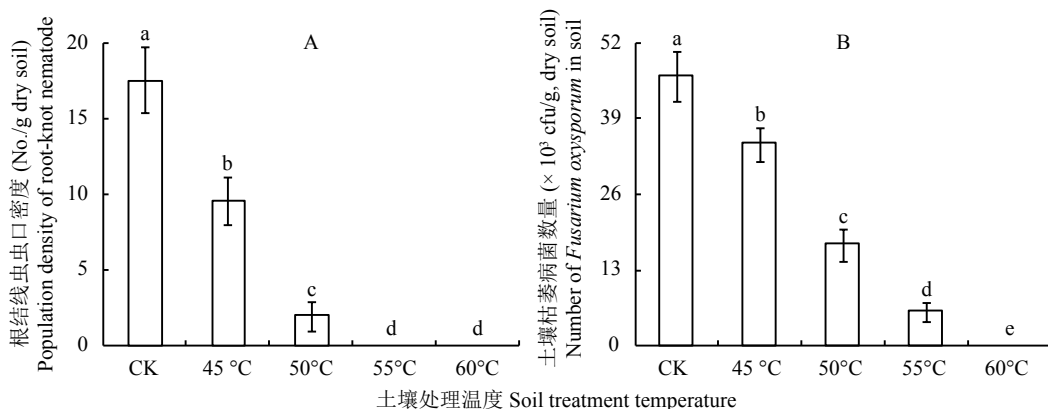


图 4 不同温度处理的黄瓜连作土壤中根结线虫和枯萎病菌数量

Fig. 4 Number of *M. incognita* and *F. oxysporum* in continuous cucumber cropping soil treated with different temperatures

[注 (Note): 柱上不同小写字母表示处理间在 0.05 水平差异显著
Different letters above the bars mean significant differences among treatments at the 0.05 level.]

表 1 不同温度处理连作土壤对黄瓜生长指标的影响

Table 1 Growth parameters of cucumber in continuous cropping soil treated with different temperatures

项目 Item	CK	45℃	50℃	55℃	60℃
株高 Plant height (cm)	9.20 ± 0.50 b	9.60 ± 0.60 b	10.10 ± 0.60 ab	10.10 ± 0.50 ab	11.40 ± 0.70 a
茎粗 Stem diameter (cm)	0.52 ± 0.01 ab	0.54 ± 0.02 a	0.48 ± 0.01 b	0.53 ± 0.02 a	0.55 ± 0.03 a
鲜重 Fresh weight (g/plant)	18.90 ± 2.30 b	21.10 ± 2.50 b	18.30 ± 3.20 b	20.60 ± 3.40 b	28.60 ± 3.90 a
干重 Dry weight (g/plant)	2.36 ± 0.32 b	2.62 ± 0.21 b	2.39 ± 0.33 b	2.65 ± 0.46 b	4.11 ± 0.49 a
壮苗指数 Seedling index	0.72 ± 0.11 b	0.72 ± 0.09 b	0.75 ± 0.08 b	0.79 ± 0.13 b	1.19 ± 0.15 a

注 (Note): 同行数值后不同小写字母表示处理间在 0.05 水平差异显著 Values followed by different letters in a row mean significant differences among treatments at the 0.05 level.

苗, 植株上述生长指标均高于对照, 而且除茎粗以外, 株高、鲜重、干重及壮苗指数等生长指标与对照之间差异均达到显著水平。上述结果说明, 用 60℃ 处理 2 h 的连作土壤定植黄瓜秧苗, 不仅显著促进秧苗生长, 还具有显著的壮苗作用。

3 讨论

3.1 黄瓜连作土传病害和病原物动态变化

在黄瓜连作土壤中, 单位质量干土中根结线虫的虫口密度和尖孢镰刀菌的数量均随着连作茬次的增加而增加, 这一结果与时立波等^[12]关于番茄种植年限与土壤中根结线虫虫口密度间关系及赵青云等^[13]关于香草兰种植年限与土壤中尖孢镰刀菌数量之间关系的研究结果一致。同时, 该两种病原物所致病害的病情指数与其在土壤中积累的数量呈相同变化趋势。相关性分析表明, 两种病害的病情指数与土壤中相应病原物的数量均呈显著正相关。说明黄瓜连作病害加重, 主要是由土壤中病原物积累造成的。两种病害及其病原物数量在黄瓜连作 17 茬时达较高水平, 之后则有下降趋势。这可能是因为随着连作茬次的增加, 土壤中根结线虫和枯萎病菌的拮抗微生物也随着此两种病原物的积累而积累, 当拮抗微生物积累到一定数量时, 必然抑制根结线虫和枯萎病菌的繁殖; 另外, 土壤中化感物质也随着连作茬次增加而积累, 当积累到一定数量时也会对病原物产生抑制作用, 上述抑制病原物的因素均可能影响连作病害的发生。关于连作病害达到最高水平后的进一步变化规律及其深层机制, 还有待进一步研究。

3.2 根结线虫与枯萎病之间的相互关系

关于植物根结线虫与枯萎病之间的相互关系研究从上世纪八十年代以来偶有报道, 多数研究认为, 土壤中根结线虫促进植物枯萎病的发生^[14-15], 而马

冉等研究则发现, 预先接种南方根结线虫能显著减轻香蕉枯萎病的发病程度, 但同时接种 2 种病原物或先接种枯萎病菌后再接种南方根结线虫, 则加重香蕉枯萎病的发生^[16]。本研究中, 两种病害均随着连作茬次的增加而加重, 土壤中其相应的病原物也随连作茬次的增加而积累, 这与前人研究结果一致; 但在病害调查中发现, 各茬黄瓜根结线虫明显比枯萎病发病程度严重, 也存在不少黄瓜植株单独发生根结线虫或枯萎病的情况。因此, 此两种病害发生的相互作用关系尚需深入探究。

3.3 土壤高温处理对土传病害与病原物的抑制作用

本研究中, 45℃ 处理黄瓜连作土壤显著降低土壤中尖孢镰刀菌数量和枯萎病病情指数, 而王惟萍等^[17]研究发现 45℃ 则可完全杀灭土壤中尖孢镰刀菌。可能因为本研究处理时间仅为 2 h, 而后者处理时间最短就为 1 d (24 h)。对黄瓜连作土壤进行 50℃~60℃ 的处理, 均显著降低其中的根结线虫和枯萎病菌的数量, 并抑制后期两种病害的发生程度, 且随着处理温度的升高, 杀菌和防病的效果也越明显; 55℃ 时可完全杀灭土壤中根结线虫, 达 60℃ 时可同时杀灭枯萎病菌, 上述处理一旦杀灭了土壤病原物, 即可完全控制相应病害的发生。以上研究结果对设施蔬菜生产中温室高温消毒技术具有重要的指导意义, 设施生产在夏季温室休闲期将温室土壤翻耕, 利用此时太阳光照强、气温高的特点对温室进行高温闷棚, 使耕层土温达 55℃ 以上, 必然对后期栽培具有重要的防病作用。

3.4 土壤高温处理对黄瓜植株生长的影响

用 60℃ 处理的连作土壤定植黄瓜, 后期植株生长指标和壮苗指数也显著优于对照。张子龙等研究发现, 用经过高温灭菌的连作土壤栽培植物, 植株的株高、茎粗等生长指标均显著高于未进行高温处

理土壤的相应指标, 根系形态也明显改善, 根长和根系活力增加^[18]。导致连作障碍的原因除与病原物积累有关外, 还与土壤中作物根系分泌的自毒物质等因素有关, 自毒物质不仅刺激病菌生长和孢子萌发, 还对植物生长具有一定的抑制作用^[19-20]。本研究中用于 60℃ 高温处理的连作土壤栽培黄瓜, 植株生长状况明显改善, 可能是因为经 60℃ 高温处理后, 抑制或钝化了连作土壤中的自毒物质、或者改变了土壤中养分状态 (如从不可吸收状态转化为可吸收状态), 其具体原因及机制还有待进一步探究。

4 结论

黄瓜连作导致土壤中根结线虫和枯萎病菌数量积累, 进而导致两种病害加重。用 55℃ 以上的高温处理连作土壤不仅能够减少土壤中根结线虫和枯萎病菌的数量, 而且能抑制甚至避免这两种病害的发生, 并具有促进黄瓜植株生长和壮苗作用。

参考文献:

- [1] 李天来. 我国设施蔬菜科技与产业发展现状及趋势[J]. *中国农村科技*, 2016, (5): 75-77.
Li T L. Development status and trend of science technology and industry about protected vegetable in China[J]. *Science and Technology in Chinese Rural*, 2016, (5): 75-77.
- [2] 李天来, 杨丽娟. 作物连作障碍的克服—难解的问题[J]. *中国农业科学*, 2016, 49(5): 916-918.
Li T L, Yang L J. Overcoming continuous cropping obstacles—the difficult problem[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2016, 49(5): 916-918.
- [3] 侯慧, 董坤, 杨智仙, 等. 连作障碍发生机理研究进展[J]. *土壤*, 2016, 48(6): 1068-1076.
Hou H, Dong K, Yang Z X, *et al.* Advance in mechanism of continuous cropping obstacle[J]. *Soils*, 2016, 48(6): 1068-1076.
- [4] Hiddink G A, Termorshuizen A J, van Bruggen A H C. Mixed cropping and suppression of soil borne diseases[A]. Lichtfouse E. Genetic engineering, biofertilisation, soil quality and organic farming, sustainable agriculture reviews[M]. Netherlands: Springer, 2010, 4: 119-146.
- [5] 王维华, 许琳, 刘润进. 不同AMF组合提高黄瓜抗根结线虫效果比较[J]. *菌物学报*, 2017, 36(7): 1010-1017.
Wang W H, Xu L, Liu R J. Effects of combined inoculation with various arbuscular mycorrhizal fungi on plant resistance to root-knot nematode disease in cucumber[J]. *Mycosystema*, 2017, 36(7): 1010-1017.
- [6] 吴青松, 郭连兴, 李学斌, 等. 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[J]. *植物保护*, 2016, 42(3): 244-249.
Wu Q S, Guo L X, Li X B, *et al.* Effect of soil fumigation in combination with deep tillage on controlling root knot nematodes in continuous cropping watermelon system[J]. *Plant Protection*, 2016, 42(3): 244-249.
- [7] 袁玉娟, 胡江, 凌宁, 等. 施用不同生物有机肥对连作黄瓜枯萎病防治效果及其机理初探[J]. *植物营养与肥料学报*, 2014, 20(2): 372-379.
Yuan Y J, Hu J, Ling N, *et al.* Effects and mechanisms of application with different bio-organic fertilizers in controlling Fusarium wilt of cucumber[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2014, 20(2): 372-379.
- [8] 郭晋云, 胡晓峰, 李勇, 等. 黄瓜枯萎病对黄瓜光合和水分生理特性的影响[J]. *南京农业大学学报*, 2011, (1): 79-83.
Guo J Y, Hu X F, Li Y, *et al.* Effect of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum* on photosynthesis and water physiological characteristics in cucumber[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2011, (1): 79-83.
- [9] 李洪连, 徐敬友. 农业植物病理学实验实习指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 2007.
Li H L, Xu J Y. Experiment and practice instruction on agricultural plant pathology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2007.
- [10] 刘维志. 植物病原线虫学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
Liu W Z. Plant nematology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000.
- [11] 吕亭辉. 人工营养基质缓解连作黄瓜根结线虫及枯萎病的作用[D]. 沈阳: 沈阳农业大学硕士学位论文, 2017.
Lv T H. Effects of artificial nutrient substrate on root knot nematode and Fusarium wilt of continuous cropping cucumber[D]. Shenyang: MS Thesis of Shenyang Agricultural University, 2017.
- [12] 时立波, 王振华, 吴海燕, 刘静. 连作年限对番茄根围土壤根结线虫二龄幼虫与自由生活线虫数量的影响[J]. *植物病理学报*, 2010, 40(1): 81-89.
Shi L B, Wang Z H, Wu H Y, Liu J. Influence of continuous tomato-cropping on second-stage juveniles of root-knot nematode and free-living nematodes from rhizosphere soil in plastic greenhouse[J]. *Acta Phytopathologica Sinica*, 2010, 40(1): 81-89.
- [13] 赵青云, 王辉, 王华, 等. 种植年限对香草兰生理状况及根际土壤微生物区系的影响[J]. *热带作物学报*, 2012, 33(9): 1562-1567.
Zhao Q H, Wang H, Wang H, *et al.* Effects of planting period on *Vanilla* physiological indices and rhizosphere soil microbial community structure[J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2012, 33(9): 1562-1567.
- [14] 廖月华, 杨珊根, 黄文生, 等. 蔬菜根结线虫对黄瓜枯萎病发生的影响研究[J]. *江西植保*, 1995, 18(4): 17-18.
Liao Y H, Yang S G, Huang W S, *et al.* Effects of vegetable root-knot nematode on cucumber Fusarium wilt[J]. *Jiangxi Plant Protection*, 1995, 18(4): 17-18.
- [15] 李勋卓, 舒静, 丁克坚, 等. 上海地区土壤线虫类型与西瓜枯萎病的关系研究[J]. *安徽农业科学*, 2007, 35(10): 2934-2935.
Li X Z, Shu J, Ding K J, *et al.* Relationship between types of soil nematodes and watermelon wilt caused by *Fusarium oxysporum* in Shanghai region[J]. *Journal of Anhui Agricultural Science*, 2007, 35(10): 2934-2935.
- [16] 马冉, 徐春玲, 项宇, 等. 南方根结线虫和香蕉枯萎病菌4号生理小种对香蕉复合致病力的测定[J]. *华中农业大学学报*, 2012, 31(1): 62-68.

- Ma R, Xu C L, Xiang Y, *et al.* Virulence of *Meloidogyne incognita* and *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* race 4 complex on bananas[J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2012, 31(1): 62–68.
- [17] 王惟萍, 石延霞, 赵一杰, 等. 土壤环境条件对威百亩熏蒸防治黄瓜枯萎病的影响[J]. *植物保护学报*, 2017, 44(1): 159–167.
- Wang W P, Shi Y X, Zhao Y J, *et al.* Effects of soil environment on the metam sodium fumigation against cucumber *Fusarium wilt*[J]. *Journal of Plant Protection*, 2017, 44(1): 159–167.
- [18] 张子龙, 王文全. 植物连作障碍的形成机制及其调控技术研究进展[J]. *生物学杂志*, 2010, 27(5): 69–72.
- Zhang Z L, Wang W Q. Progress on formation mechanism and control measurements of continuous cropping obstacles in plants[J]. *Journal of Biology*, 2010, 27(5): 69–72.
- [19] 杨瑞秀, 高增贵, 姚远, 等. 甜瓜根系分泌物中酚酸物质对尖孢镰孢菌的化感效应[J]. *应用生态学报*, 2014, 25(8): 2355–2360.
- Yang R X, Gao Z G, Yao Y, *et al.* Allelopathic effects of phenolic compounds of melon root exudates on *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis*. [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2014, 25(8): 2355–2360.
- [20] 庄敬华, 杨长城, 高增贵, 等. 连作对甜瓜化感作用的模拟试验[J]. *植物保护*, 2008, 34(5): 137–139.
- Zhuang J H, Yang C C, Gao Z G, *et al.* Simulation of allelopathy of melon under continuous cropping[J]. *Plant Protection*, 2008, 34(5): 137–139.