

徐彬, 徐健, 祁建杭, 等. 江苏省设施蔬菜连作障碍土壤理化及生物特征[J]. 江苏农业学报, 2019, 35(5): 1124-1129.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2019.05.018

江苏省设施蔬菜连作障碍土壤理化及生物特征

徐彬¹, 徐健¹, 祁建杭¹, 韩光杰¹, 李传明¹, 陆玉荣¹, 刘怀阿¹, 刘琴¹,
孙俊²

(1. 江苏里下河地区农业科学研究所, 江苏 扬州 225007; 2. 扬州绿源生物化工有限公司, 江苏 扬州 225008)

摘要: 为阐明江苏省设施蔬菜连作障碍土壤特征, 采集不同区域、不同连作周期的土壤, 测定分析土壤团粒结构、pH值、土壤电导率、微生物类群以及土壤酶活性差异。结果表明, 蔬菜长期连作土壤团粒粒径丰度下降, <0.25 mm 微粒团粒显著增加; 连作土壤 pH 值多地呈下降趋势, 但差异不显著; 长期连作土壤电导率显著高于短期连作土壤, 土壤脲酶活性降低, 过氧化氢酶活性显著增高; 土壤微生物类群变化明显, 与短期连作土壤相比, 长期连作土壤中 *B/F* 值(细菌与真菌数量比)下降 29.73%~53.31%, 造成连作障碍的病原菌尖孢镰刀菌数量上升 31.43%~73.68%。设施蔬菜连作影响土壤理化特征、微生物类群、土壤酶活性, 土壤微生物类群的变化是造成设施蔬菜连作障碍的主要生物因素之一。

关键词: 设施蔬菜; 连作障碍; 理化特征; 微生物类群; 尖孢镰刀菌; 土壤酶活性

中图分类号: S151.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2019)05-1124-06

Soil physical, chemical and biological characteristic analysis of long-term vegetable monoculture in greenhouse in Jiangsu province

XU Bin¹, XU Jian¹, QI Jian-hang¹, HAN Guang-jie¹, LI Chuan-ming¹, LU Yu-rong¹, LIU Huai-a¹,
LIU Qin¹, SUN Jun²

(1. Institute of Agricultural Sciences of the Lixiahe District in Jiangsu Province, Yangzhou 225007, China; 2. Yangzhou Luyuan Bio-chemical Co., Ltd., Yangzhou 225008, China)

Abstract: In order to clarify the soil characteristics of long-term vegetable monoculture in greenhouse in Jiangsuprovince, soil samples from different regions and different monoculture terms were collected, and aggregate composition, acidity (pH), electrical conductivity (EC), microorganism groups and enzyme activity of soil were analyzed. The results showed that soil particle size abundances decreased in long-term monoculture field. The pH value of continuous cropping soil in many areas showed a downward trend, but the difference was not significant. The EC of long-term continuous cropping soil was significantly higher than that of short-term continuous cropping soil. Soil urease activities decreased, and soil catalase activities increased significantly. Soil microorganism groups changed significantly, *B/F* value (the ratio of bacteria to fungi) of long-term continuous cropping soil decreased by 29.73%~53.31%, while the number of *Fusarium oxysporum* increased

by 31.43%~73.68%. Long-term monoculture of vegetable in greenhouse had significant effects on physicochemical and biological characteristics of soil, microorganism groups and soil enzyme activity. The change of soil microorganism groups is one of the main biological factors causing continuous cropping obstacles in greenhouse.

Key words: greenhouse vegetable; continuous cropping obstacles; physical and chemical characteristic;

收稿日期: 2019-04-17

基金项目: 江苏省重点研发计划项目 (BE2017339、BE2018361); 江苏省农业科技自主创新基金项目 [CX(18)3052]; 扬州市重点研发计划项目 (YZ2017043、YZ2018063); 扬州市高效农业项目 (2018GXNY003)

作者简介: 徐彬 (1992-), 男, 江苏高邮人, 硕士, 研究实习员, 主要从事应用微生物研究, (E-mail) 13270002585@163.com

通讯作者: 刘琴, (E-mail) bio-lq@126.com

microorganism groups; *Fusarium oxysporum*; soil enzyme activity

蔬菜是中国重要的经济作物^[1]。近年来江苏省设施蔬菜发展迅速,种植面积达 $7.995 \times 10^5 \text{ hm}^2$,有效保障了蔬菜供给,成为主要的农业经济产业^[2-4]。由于设施蔬菜生产具有高度集约化、复种指数高、肥料施用量大和作物种类单一等特点,随着种植年限的增加,土壤理化性状和生物学特性会发生很大变化,蔬菜种植土壤质量下降^[5-6],从而导致土壤盐渍化、土传病害加重、蔬菜产量降低、品质变劣等连作障碍问题,严重制约了设施蔬菜的可持续发展^[7-8]。已有研究结果表明,长期连作影响土壤团粒的稳定性,减弱土壤的抗蚀性^[9];设施种植表层土壤的 pH 值随着种植年限的延长呈先下降后上升的趋势^[10];新建蔬菜大棚在第3~4年就出现了土壤次生盐渍化,5年以上的设施大棚土壤电导率显著提高^[11]。蔬菜连作不仅能够影响土壤的理化特性,还对土壤微生物和酶活性产生重要影响。长期连作的土壤微生物特性主要表现为微生物多样性下降,造成土壤中主要病原真菌镰刀菌(*Fusarium* spp.)数量上升^[12]。同时随着种植年限延长,植物根际的脱氢酶、脲酶和蔗糖酶活性降低,酸性磷酸酶活性增强^[13]。本研究针对设施蔬菜连作障碍逐年加重、危害严重的问题,采集江苏省不同区域、不同种植年限的设施蔬菜土壤,系统测定土壤理化特征及生物学特性的动态变化,进一步阐明影响江苏省设施蔬菜土壤连作障碍的主要因素,为设施蔬菜连作土壤的改良提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 土样采集与处理

根据江苏省设施蔬菜种植的实际情况,在镇江市、盐城市、南通市、扬州市等不同土壤类型的设施蔬菜基地,分别选择短期连作(1~5年)及长期连作(5年以上)的蔬菜大棚采集土壤样品。采集土样的大棚常年种植番茄、辣椒、甜瓜、西瓜等茄果类蔬菜,土传病害等连作障碍不同程度发生(表1)。2018年春季,每个采样地块以对角线五点取样法选取5个采样点,去除5 cm表层土壤后取样,5个土壤样品均匀混合后采用四分法留取500 g备用。土壤样品在遮光、通风的环境中自然风干后,去除残留根系和杂质,分装并低温保存。

表1 江苏省不同地区土壤样品采集地基本情况

Table 1 Information of soil samples in different regions of Jiangsu province

采集地点	作物	连作周期(年)	连作障碍程度
镇江市	番茄	2~3	+
		8~9	++
盐城市	辣椒	3~4	+
		9~10	++
南通市	甜瓜	4~5	+
		17~18	+++
扬州市	西瓜	2~3	+
		8~9	++

+++;程度严重;++;程度较重;+:程度较轻。

1.2 培养基

细菌培养使用牛肉膏蛋白胨培养基,真菌培养使用PDA培养基,放线菌培养使用改良高氏一号培养基^[14],尖孢镰刀菌培养使用KOMADA选择性培养基^[15]。

1.3 样品测定

土壤团粒结构测定采用干筛法^[16]。土壤pH值测定采用电位法^[17]。土壤电导率(EC)测定采用电导法^[18]。土壤微生物分离计数参照程丽娟等^[19]的稀释平板涂抹法,以B/F值衡量细菌与真菌的比例。土壤脲酶(S-UE)活性测定采用靛酚蓝比色法^[20]。土壤过氧化氢酶(S-CAT)活性测定采用紫外分光光度法^[21]。所有测定均重复3次。

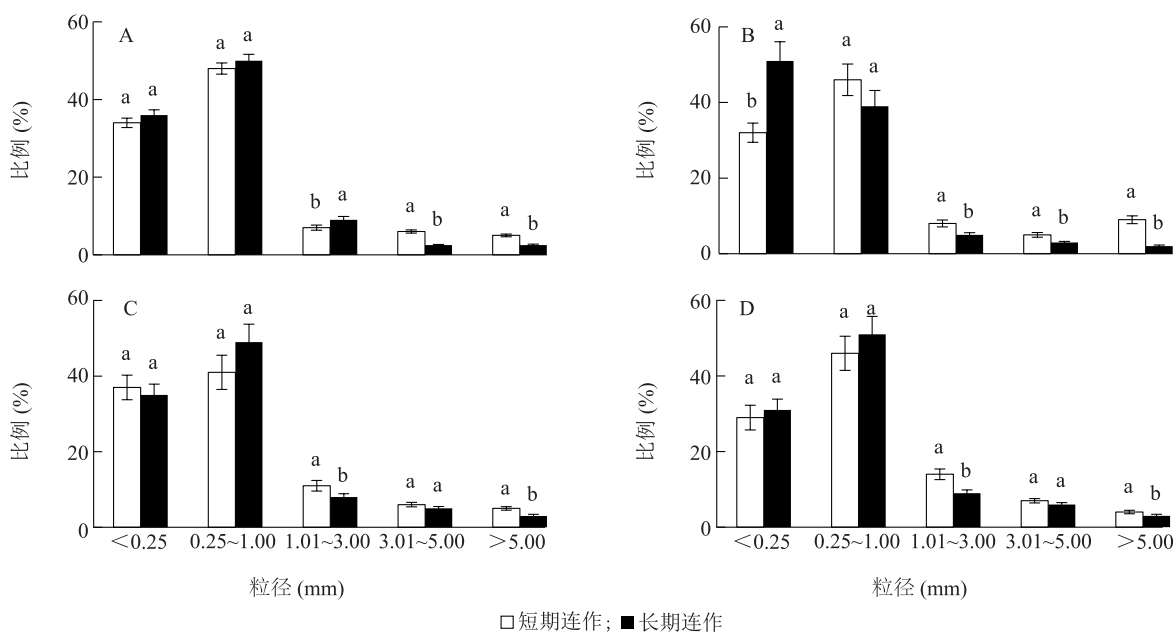
1.4 数据处理

采用SPSS 17.0统计软件包进行数据统计分析。采用Duncan's多重比较法检验各处理组间差异显著性。

2 结果与分析

2.1 设施蔬菜连作对土壤团粒结构的影响

镇江、盐城、南通和扬州4地设施蔬菜土壤团粒结构测定结果(图1)表明,长期连作的土壤团粒粒径分布丰度下降,表现为较大粒径团粒(>3.00 mm粒径)明显减少,微粒团粒(<0.25 mm粒径)显著增加,导致土壤质地变细,影响了土壤的吸水、持水能力及胶体淋溶性状。



A: 镇江; B: 盐城; C: 南通; D: 扬州。不同字母表示处理间在 0.05 水平差异显著。

图1 不同地区蔬菜连作土壤团粒结构分析

Fig.1 Analysis of soil aggregate composition in vegetable monoculture soil at different areas

2.2 设施蔬菜连作对土壤 pH 值的影响

不同连作周期的设施蔬菜土样 pH 值测定结果表明, 镇江、盐城、南通和扬州 4 地设施蔬菜连作土壤 pH 值范围为 5.9~7.6, 镇江、南通、扬州 3 地长期连作土壤的 pH 值呈下降趋势, 盐城地区则略有上升, 但均无显著差异(图 2)。不同地区之间连作土壤 pH 值存在差异, 其中以南通、盐城设施蔬菜土壤偏碱性, 镇江、扬州土样偏酸性。

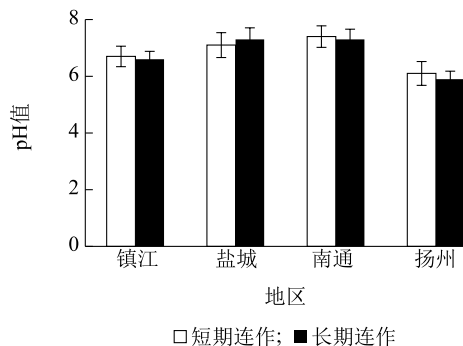


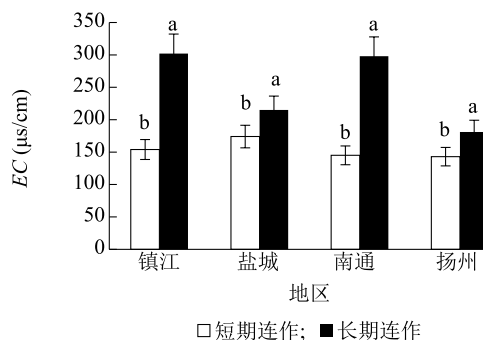
图2 不同地区蔬菜连作土壤 pH 值分析

Fig.2 Analysis of acidity (pH) in monoculture vegetable soil at different areas

2.3 设施蔬菜连作对土壤电导率的影响

不同地区、不同连作周期土壤电导率测定结果

表明, 4 个不同取样地区土壤电导率均表现为长期连作的设施蔬菜土壤高于短期连作的土壤, 差异显著(图 3)。其中镇江、南通地区长期连作土壤电导率分别高达 298 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 和 302 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 较短期连作土壤电导率分别提高了 26.6% 和 96.1%。



不同字母表示处理间在 0.05 水平差异显著。

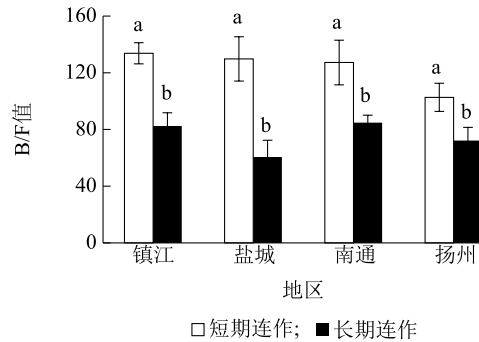
图3 不同地区蔬菜连作土壤电导率 (EC)

Fig.3 Analysis of electrical conductivity (EC) in monoculture vegetable soil at different areas

2.4 设施蔬菜连作对土壤微生物类群的影响

镇江、盐城、南通和扬州地区不同设施蔬菜土壤微生物类群分析结果表明, 蔬菜长期连作土壤中细菌、放线菌数量呈下降趋势, 而真菌数量呈上升趋势, B/F 值较短期连作土壤分别下降了 51.3、79.2、

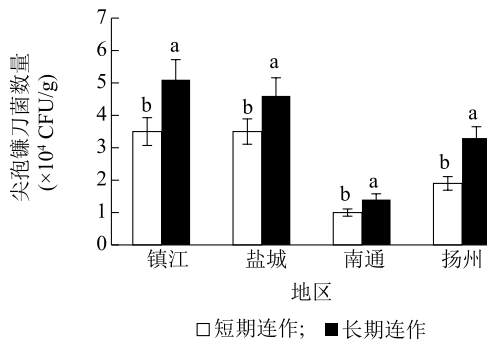
42.4和30.52,差异显著(图4)。相反,长期连作土壤中引起蔬菜土传病害的主要病原真菌尖孢镰刀菌数量显著增加,不同地区长期连作土壤较短期连作增加了31.4%~73.7%(图5)。



不同字母表示处理间在0.05水平差异显著。

图4 不同地区蔬菜连作土壤B/F值分析

Fig.4 Analysis of B/F value in monoculture vegetable soil at different areas



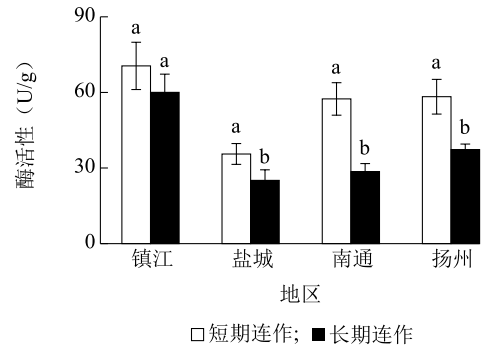
不同字母表示处理间在0.05水平差异显著。

图5 不同蔬菜连作土壤尖孢镰刀菌数量分析

Fig.5 Analysis of the number of *Fusarium* in monoculture vegetable soil at different areas

2.5 设施蔬菜连作对土壤酶活性的影响

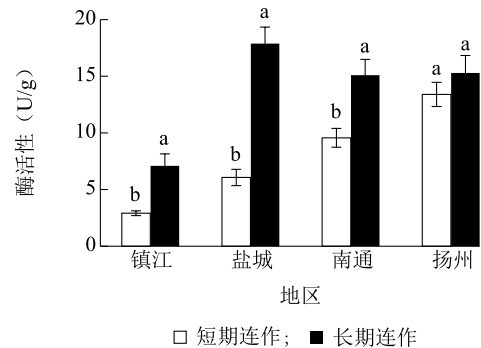
测定并比较不同连作周期设施蔬菜土壤中S-UE和S-CAT的活性,结果表明,4个地区设施蔬菜土壤内S-UE活性均表现为长期连作土壤低于短期连作土壤;除镇江地区外,盐城、南通、扬州3地长期连作土壤S-UE较短期连作活性分别降低29.48%、50.23%和35.99%,差异显著(图6)。过氧化氢酶活性测定结果与脲酶活性相反,蔬菜长期连作的土壤S-CAT活性显著增高,活性高达7.09~15.29 U/g,较短期连作的土壤S-CAT活性提高0.14~1.95倍(图7)。



不同字母表示处理间在0.05水平差异显著。

图6 不同地区蔬菜连作土壤脲酶活性

Fig.6 Analysis of urease activities in monoculture vegetable soil at different areas



不同字母表示处理间在0.05水平差异显著。

图7 不同地区蔬菜连作土壤过氧化氢酶活性

Fig.7 Analysis of catalase activities in monoculture vegetable soil at different areas

3 讨论

设施栽培条件下,地表长期覆盖栽培改变了土壤原有的生态环境^[22]。土壤常处于高温、高湿、高蒸发、无雨水淋溶的封闭循环代谢环境中,导致土壤板结、孔隙度降低,土壤质量持续恶化,土壤酸化、次生盐渍化和土传病害加重的连作生产障碍矛盾突出^[23]。本研究结果也充分证明,随连作周期的延长,土传病害等连作障碍日益加重,成为制约设施栽培蔬菜持续、高效发展的主要因素之一。

土壤的理化特征是评价土壤生态环境好坏的重要指标。随着种植年限的延长,设施蔬菜土壤团粒粒径明显降低,土壤团粒粒径的分布丰度下降,微粒团粒增加,直接影响土壤内部空气的流通,降低土壤呼吸商,从而影响植物根际微生物的代谢,这与崔星等^[24]、高新吴等^[25]的研究结果基本一致。土壤酸

化是限制大多数作物生长的主要环境胁迫因子^[14]。先前研究结果表明,设施蔬菜土壤随着连作周期的延长,土壤呈逐渐酸化的趋势^[26-27]。本研究发现随着种植年限的延长,镇江、海门、扬州3地设施蔬菜土壤也呈酸化趋势。但盐城地区pH值反而有所升高,这可能与沿海地区盐碱地土壤特性有关。一定范围内的pH变化并不直接影响蔬菜的生长,但pH的变化会影响土壤离子浓度和电导率,进而影响土壤微生物类群^[28-29]。冯武焕等^[30]发现设施蔬菜土壤电导率是露地的2.0~3.3倍。本研究中,设施蔬菜长期连作土壤电导率显著上升,说明长期连作的设施蔬菜土壤盐分累积明显。设施蔬菜地长期大量施肥且缺乏正常的淋溶条件,造成 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 等离子在土壤中残留,可能是造成土壤酸化及盐渍化的主要原因。

土壤微生物类群是反映土壤生态环境以及作物生长状况的重要参数^[31]。日光温室土壤细菌和放线菌的数量随种植年限的增加呈先增加后减少的趋势,但是真菌数量持续上升,导致土壤持续偏真菌化^[32]。长期连作导致微生物的生存环境逐渐恶化,引起细菌数量下降和放线菌数量增长变慢,而真菌因对环境胁迫的忍耐能力较强,则随种植年限的增长其数量持续稳定增长^[33-34]。本研究中长期连作蔬菜土壤B/F值显著降低,其中导致土传病害的主要真菌尖孢镰刀菌数量明显增加,与连作障碍的严重程度密切相关,说明土壤微生物类群的变化是造成设施蔬菜连作障碍的重要生物因素^[35]。土壤酶活性测定结果表明,长期连作的蔬菜土壤中过氧化氢酶活性升高,而脲酶活性呈下降趋势。土壤脲酶活性与土壤微生物数量、有机物质含量、全氮和速效氮含量相关,土壤脲酶活性越低,土壤的营养状况越贫乏,微生物代谢活性下降^[35]。同时较高的土壤过氧化氢酶活性表明植物受明显的土壤环境胁迫^[36]。因此,长期连作的设施蔬菜土壤总体表现为土壤团粒粒径丰度下降,pH降低,电导率显著上升,过氧化氢酶活性显著上升,脲酶活性显著下降,B/F值显著降低,其中导致土传病害的主要真菌尖孢镰刀菌数量显著增加,但不同地区、不同作物连作引起的连作障碍仍有差异。针对以上问题,应制定适宜的土壤改良计划,提高设施蔬菜的种植效率,保障农产品的安全生产。

参考文献:

- [1] 张学杰. 我国蔬菜及其加工出口产业发展状况与对策[J]. 中国蔬菜, 2018(8): 1-7.
- [2] 马军伟, 王剑华, 童举希. 产业链整合视野下江苏省现代农业科技园转型升级研究[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(23): 350-353.
- [3] 夏礼如, 李岩, 孟力力. 江苏设施蔬菜产业发展主要风险因子分析及应对措施[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(18): 332-333.
- [4] 朱方林. 从经济学角度看江苏蔬菜产业布局[J]. 长江蔬菜, 2018(2): 22-23.
- [5] HU W Y, ZHANG Y X, HUANG B, et al. Soil environmental quality in greenhouse vegetable production systems in eastern China: Current status and management strategies[J]. Chemosphere, 2017(170): 183-195.
- [6] 付丽军, 张爱敏, 王向东, 等. 生物有机肥改良设施蔬菜土壤的研究进展[J]. 中国土壤与肥料, 2017(3): 1-5.
- [7] YANG L Q, HUANG B, MAO M C, et al. Sustainability assessment of greenhouse vegetable farming practices from environmental, economic, and socio-institutional perspectives in China[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2016, 23(17): 17287-17297.
- [8] 李灵, 张洪江, 张玉, 等. 岩茶种类和种植年限对茶园土壤中微量元素含量分异特征的影响[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2010, 31(2): 53-58.
- [9] 王珊, 毛玲, 廖浩, 等. 种植年限对植烟土壤团聚体组成与稳定性的影响[J]. 西南农业学报, 2017, 30(6): 1421-1425.
- [10] 李玉涛, 李博文, 马理, 等. 不同种植年限设施番茄土壤理化性质变化规律的研究[J]. 河北农业大学学报, 2016, 39(1): 63-68.
- [11] 文芳芳. 种植年限对设施大棚土壤次生盐渍化与酸化的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2016(4): 49-53.
- [12] XIONG W, ZHAO Q Y, ZHAO J, et al. Different continuous cropping spans significantly affect microbial community membership and structure in a vanilla-grown soil as revealed by deep pyrosequencing[J]. Microbial Ecology, 2015, 70(1): 209-218.
- [13] 李倩, 杨水平, 崔广林, 等. 不同种植年限条件下黄花蒿根际土壤微生物生物量、酶活性及真菌群落组成[J]. 草业学报, 2017, 26(1): 34-42.
- [14] 周德平, 褚长彬, 刘芳芳, 等. 种植年限对设施芦笋土壤理化性状、微生物及酶活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(2): 459-466.
- [15] SUN E J, SU H J, KO W H. Identification of *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense race 4 from soil or host tissue by cultural characters[J]. Phytopath, 1978, 68(11): 1672-1673.
- [16] 中国土壤学会. 土壤农业化学常规分析方法[M]. 北京: 科学出版社, 1983.

- [17] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986.
- [18] NDIAYE P I, MOULIN P, DOMINGUEZ L, et al. Removal of fluoride from electronic industrial effluent by RO membrane separation[J]. Desalination, 2005, 173(1): 25-32.
- [19] 程丽娟, 薛泉宏. 微生物学实验技术[M]. 西安: 世界图书出版社, 2000.
- [20] 林先贵. 土壤微生物研究原理与方法[M]. 北京: 高等教育出版社, 2010.
- [21] 姚槐应, 黄昌勇. 土壤微生物生态学及其实验技术[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [22] 倪中应, 石一珺, 谢国雄, 等. 杭州市典型设施栽培土壤环境质量调查[J]. 浙江农业学报, 2017, 29(12): 2091-2096.
- [23] 周义苏. 蔬菜连作障碍产生原因与生物防治[J]. 农业与技术, 2018, 38(22): 9-10.
- [24] 崔 星, 师尚礼. 绿洲灌溉区与旱作区连作苜蓿土壤理化性质的研究[J]. 草地学报, 2014, 22(2): 306-311.
- [25] 高新昊, 张英鹏, 刘兆辉, 等. 种植年限对寿光设施大棚土壤生态环境的影响[J]. 生态学报, 2015, 35(5): 1452-1459.
- [26] 刘兆辉, 江丽华, 张文君, 等. 山东省设施蔬菜施肥量演变及土壤养分变化规律[J]. 土壤学报, 2008, 45(2): 296-303.
- [27] 吕 品, 于志民, 张继舟, 等. 设施栽培对黑土养分变化与 Cd 累积的影响[J]. 国土与自然资源研究, 2018(1): 296-303.
- [28] CURTIS A, LOCKWOOD M. Natural resource policy for rural Australia: a social perspective[M]//PRATLEY J, ROBERTSON A I. Agriculture and the environmental imperative. Melbourne: CSIRO Publishing, 1998: 211-242.
- [29] 顾京晏, 顾 卫, 张 化, 等. 我国设施农业土壤次生盐渍化生物改良措施研究进展[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2016, 52(1): 70-75.
- [30] 冯武焕, 吕 爽, 王 虎, 等. 种植年限对西安菜田土壤肥力、盐渍化及酸碱度的影响[J]. 农学学报, 2017, 7(3): 24-30.
- [31] LIU H A, COMINO J R, WU H S, et al. Assessment of a new bio-organic remediation as a bio-fungicide in *fusarium*-infested soils of watermelon monoculture areas from China[J]. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 2018, 18(3): 735-751.
- [32] 朱 良, 李 良, 韩国君, 等. 日光温室种植年限对土壤养分与土壤微生物数量的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2017, 52(3): 33-36.
- [33] 叶胜兰. 种植年限对桔梗土壤肥力和生物学活性的影响[J]. 农业与技术, 2017, 37(21): 43-47.
- [34] ZHENG S J, GARCIA-BASTIDAS F A, LI X D, et al. New geographical insights of the latest expansion of *Fusarium oxysporum* sp.cubense tropical race 4 into the greater Mekong subregion[J]. Frontiers in Plant Science, 2018, 9: 457-466.
- [35] 孙艳艳, 蒋桂英, 刘建国, 等. 加工番茄连作对农田土壤酶活性及微生物区系的影响[J]. 生态学报, 2009, 30(13): 3599-3607.
- [36] 王 建, 卢超超, 芦珊珊, 等. 蔬菜大棚土壤过氧化氢酶活性及与养分关系研究[J]. 甘肃科学学报, 2018, 30(2): 45-49.

(责任编辑:张震林)