

设施黄瓜连作土壤对黄瓜枯萎病菌致病力的影响

李世贵, 曾文, 刘快, 国振宇, 赵晓迪, 顾金刚

(中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北方干旱半干旱耕地高效利用全国重点实验室/农业农村部农业微生物资源收集与保藏重点实验室, 北京 100081)

摘要: 为系统研究设施蔬菜连作障碍的发生机制, 探讨连作年限对蔬菜土传病害病原菌致病力的影响。本文以山东省德州市王杲铺镇看水庄村不同连作年限的设施黄瓜大棚中采集的土壤样品为研究对象, 通过测定其土壤理化性质分析土壤次生盐渍化的程度, 并用不同连作年限土壤进行盆栽实验, 分析黄瓜植株的生长情况、发病情况及黄瓜枯萎病菌在黄瓜植株内和根际土壤中的定殖情况, 研究不同连作年限土壤对黄瓜枯萎病菌致病力的影响。结果表明, 所有土壤样品的pH均在8.0以上, 呈碱性; 土壤样品的全磷含量与pH变化趋势一致; 连作8年土壤中黄瓜枯萎病菌在黄瓜植株茎部的定殖数量最多, 黄瓜植株的病情指数和发病率最高, 说明黄瓜枯萎病菌在黄瓜植株茎部定殖数量多少与黄瓜植株的病情指数和发病率高低的变化趋势一致。综上所述, 本研究为设施蔬菜土壤土传病害的防控提供了理论依据。

关键词: 连作土壤; 土传病害; 黄瓜枯萎病菌; 致病力; 次生盐渍化

中图分类号: S154.36

文献标志码: A

文章编号: 2096-3491(2023)06-0600-06

Effect of continuous cropping soil of greenhouse cucumber on the pathogenicity of *Fusarium oxysporium* f. sp. *cucumberinum*

LI Shigui, ZENG Wen, LIU Kuai, GUO Zhenyu, ZHAO Xiaodi, GU Jingang

(State Key Laboratory of Efficient Utilization of Arid and Semi-arid Arable Land in Northern China, Key Laboratory of Microbial Resources Collection and Preservation, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: In order to systematically study the occurrence mechanism of vegetable continuous cropping obstacles in facilities and explore the effect of continuous cropping years on the pathogenicity of vegetable soil-borne diseases. In this study, the soil samples were collected from the different continuous cropping cucumber greenhouses in Kanshuizhuang Village, Wanggaopu Town, Dezhou City, Shandong Province. The degree of soil secondary salinization was analyzed by measuring the soil physical and chemical properties. The growth, disease incidence and the colonization of *Fusarium oxysporium* f. sp. *cucumberinum* were analyzed by pot experiments, and effects of the continuous cropping soil on its pathogenicity were studied. The results showed that the pH of all soil samples was above 8.0, indicating alkalinity. The total phosphorus content of soil samples was consistent with the trend of pH changes. In the soil of continuous cropping for 8 years, the number of the pathogens colonized the stem of cucumber plants was the largest, and the disease index and incidence rate of cucumber plants were the highest, indicating that the number of the pathogens colonized the stem of cucumber plants is consistent with the change trend of disease index and incidence rate of cucumber plants. This study provides a theoretical basis for the prevention and control of soil-borne diseases of facility vegetables in the future.

收稿日期: 2023-09-26 修回日期: 2023-11-09 接受日期: 2023-12-28

作者简介: 李世贵(1978-), 男, 副研究员, 博士, 主要从事农业微生物资源研究与蔬菜土传病害防控及退化土壤的微生物治理。E-mail: lishigui@caas.cn

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD0200604-5)

引用格式: 李世贵, 曾文, 刘快, 等. 设施黄瓜连作土壤对黄瓜枯萎病菌致病力的影响[J]. 生物资源, 2023, 45(6): 600-605.

Li S G, Zeng W, Liu K, et al. Effect of continuous cropping soil of greenhouse cucumber on the pathogenicity of *Fusarium oxysporium* f. sp. *cucumberinum* [J]. Biotic Resources, 2023, 45(6): 600-605.

Key words: continuous cropping soil; soil-borne disease; *Fusarium oxysporium* f. sp. *cucumberinum*; pathogenicity; secondary salinization

0 引言

近年来,我国设施蔬菜种植发展迅速^[1]。由于设施蔬菜多是连年重茬种植,导致一些土传病害日趋严重^[2,3]。同时,设施种植处于半封闭状态,大量追施化肥、且化肥施用不平衡以及不合理灌溉等,容易造成土壤次生盐渍化^[4,5],导致土壤退化、土传病害加重,影响蔬菜正常生长,降低蔬菜的产量和品质。因此,连作障碍已成为当前设施蔬菜发展中急待解决的难题^[6-8]。本研究以山东省德州市王杲铺镇看水庄村不同连作年限(连作3年、8年和11年)的设施黄瓜大棚中采集的土壤样品为研究对象,通过测定土壤理化性质分析土壤次生盐渍化的程度;将较易感病的黄瓜品种“中农春秋”进行不同连作年限土壤的盆栽试验,分析不同处理条件下黄瓜的生长情况、发病情况及黄瓜枯萎病菌的定殖情况,研究不同连作年限土壤对黄瓜枯萎病致病力的影响,为今后设施蔬菜土壤土传病害的防控提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 土壤样品采集

在山东省德州市王杲铺镇看水庄村采集种植黄瓜的大棚土壤样品。选取了连作黄瓜年限为3年、8年、11年共3个不同年限的大棚土壤。每个大棚分三个区域,采用“S”型采样法采集,首先把覆盖在土壤表面的落叶清理,剔除土壤中的杂物,每个点采集5~10 cm、15~20 cm、25~30 cm耕层土壤,将取样点的三个不同层次的土各取100 g混合组成一个混合样品,充分混匀并用无菌自封袋装好,带回实验室。

1.2 土壤元素及理化性质的测定

土壤样品在室内自然风干、去杂、过筛后,进行理化性质的测定。将不同连作年限的大棚土壤样品分别混均后取出100 g,在通风背阳的地方自然风干后,过40目筛。用无二氧化碳的蒸馏水,按水土比5:1制成水土混合液,振荡5 min后离心(180 r/min),保留上清液测定pH值和电导率,pH值采用玻璃电极法测定^[9],电导率采用电导率仪测定^[10]。其他理化性质的具体测定方法^[9]为:Na⁺、速效钾含量采用火焰光度计法测定,Cl⁻含量采用硝酸银滴定法测定,碱解氮含量采用碱解扩散法测定,全氮含量采用凯氏定氮法测定,全磷、速效磷含量采用氢氧化钠

碱熔-钼锑抗比色法测定,有机质含量采用重铬酸钾容量法测定。

1.3 黄瓜品种

“中农春秋”黄瓜种子由中国农业科学院蔬菜花卉研究所提供。

1.4 主要培养基及配方

马铃薯葡萄糖琼脂培养基(PDA):马铃薯200 g,葡萄糖20 g,琼脂20 g,蒸馏水1 000 mL。

马铃薯葡萄糖液体培养基(PDB):马铃薯200 g,葡萄糖20 g,蒸馏水1 000 mL。

黄瓜枯萎病菌专性培养基(PEA):马铃薯200 g,琼脂20 g,蒸馏水1 000 mL,95%敌克松结晶粉1 g,95%酒精17 mL,硫酸链霉素1.0 g。

1.5 黄瓜枯萎病菌

黄瓜枯萎病菌(*Fusarium oxysporium* f. sp. *cucumberinum*) ACCC 37438由中国农业微生物菌种保藏管理中心提供。

1.6 盆栽试验

1.6.1 催芽及播种育苗

将黄瓜种子在50~55℃的水中搅拌1~2 min,37℃无菌水中浸泡6~8 h,将漂浮的坏种子丢掉,把水滤净,将剩余种子平铺在装有湿润滤纸的培养皿中,放置在25~28℃的光照培养箱中催芽24 h左右。将育苗基质装入育苗盘中,用水浇透后,将发芽的黄瓜种子按行播种,在上面覆一层薄土,喷水保湿。将其放入日光温室进行培养,光照24 h,温度28℃,待黄瓜幼苗长到2~3片真叶时,再移栽进行盆栽试验。

1.6.2 黄瓜枯萎病菌菌悬液的制备

将黄瓜枯萎病菌接种于PDA培养基上进行活化扩繁,5 d后,用直径0.6 cm的打孔器从菌落边缘取菌块,接种到PDB培养基中,每瓶PDB培养基中接入3个菌块,放入28℃恒温摇床中,转速为180 r/min,进行连续震荡培养3~4 d。将培养好的黄瓜枯萎病菌菌液经纱布过滤后在显微镜下进行血球计数板计数,将其制成孢子浓度为 1.0×10^6 个/mL的菌悬液。

1.6.3 温室盆栽试验

待黄瓜幼苗第2~3片真叶长出时,将一部分黄瓜幼苗从育苗基质中取出进行断根处理后直接移栽到装有不同连作年限土壤的花盆中,为对照组;另一部分黄瓜幼苗从育苗基质中取出进行断根处理后,

首先在黄瓜枯萎病菌悬液中浸泡 5 min,然后移栽到装有不同连作年限土壤的花盆中,并在黄瓜幼苗根部土壤中接种黄瓜枯萎病菌菌悬液,每棵苗 5 mL,为处理组。共两组 6 个处理,每个处理 9 个盆,每盆 3 棵黄瓜幼苗。植株生长期间,将其放置在光线充足的地方,并随时观察土壤湿度,保持黄瓜幼苗生长的适宜环境(温度:28℃,湿度:70%,光照强度:0.6 kLx,光照时间:24 h)。每天观察黄瓜植株的发病情况,并记录。病情分级为 0 级:无症状;1 级:胚轴及子叶症状轻微,子叶失去光泽;2 级:植株轻度萎蔫,胚轴出现坏死斑,或一片子叶黄化;3 级:植株中度萎蔫,子叶下垂或僵化;4 级:植株严重萎蔫,倒伏枯死或不出苗。选取具有代表性的定植第 30 d 黄瓜植株的发病情况进行分析,计算病情指数^[11]及发病率。在黄瓜植株接种黄瓜枯萎病菌当天测定黄瓜植株生长各项指标的初始数据,以后每隔 10 d 进行检测。检测前,将黄瓜幼苗从花盆中取出,把根部洗干净,吸水纸吸干,阴凉处晾晒 10 min。株高用直尺测量,测定时从黄瓜植株根颈部到生长点为基准进行;茎粗用游标卡尺测量,以第一真叶下部节间为基准进行;叶片数为展开叶数;将根部用根系扫描仪 Epson Perfection V700 PHOTO 进行根系扫描,用 Photoshop CS6 去除图片的边框和杂根等,再用 WinRHIZO 软件进行根系分析,得到根部的原始数据。在黄瓜植株生长第 30 d 取样时,测量黄瓜植株的生长指标后将黄瓜植株根、茎部位分别称取 1 g,先用清水冲洗干净,再用 75% 的酒精浸泡 30 s 后用 2% 的次氯酸钠消毒 5 min,最后用无菌水冲洗 3 遍,再在灭过菌的研钵中进行研磨,将原液收集到已灭菌的 1.5 mL 的离心管里。用无菌水进行稀释,将原液稀释 10⁵ 倍,在 9 mm PEA 平板上进行涂布,24 h 后观察菌落生长情况并计数。取样完毕后,再将每盆土壤进行 3 点取样,采集黄瓜植株根际附近的土壤,放入无菌自封袋里,快速带回实验室用无菌水稀释 10³

倍,在 9 mm PEA 平板上进行涂布,24 h 后观察菌落生长情况并计数。用 SPSS 数据处理系统处理叶片数、株高、茎粗、根部扫描数据以及菌落数量。

1.7 数据处理

所有数据均经 Excel 处理后,采用 IBM SPSS 22 进行单因素方差对比统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同连作年限土壤理化性质分析

不同连作年限的大棚土壤样品的 pH、电导率和其他理化性质测定结果见表 1。

对土壤样品的理化性质进行分析,结果表明:所有土壤样品的 pH 均在 8.0 以上,呈碱性。连作 8 年的大棚土壤样品的 pH 和全磷含量显著高于连作 3 年和 11 年的大棚土壤样品。连作 8 年的大棚土壤样品 pH 最高,pH 为 8.45;连作 11 年的大棚土壤样品 pH 最低,pH 为 8.26;连作 3 年的大棚土壤样品 pH 居中。随连作年限的增加,土壤样品 pH 的变化呈现出低-高-低的规律。土壤样品的全磷含量与 pH 变化趋势一致。

从土壤样品的电导率来看,连作 8 年的大棚土壤样品的电导率最低,为 215 μs/cm,连作 3 年的大棚土壤样品的电导率最高,为 360 μs/cm。连作 11 年的大棚土壤样品的电导率居中。土壤样品 Na⁺、Cl⁻ 含量高低和土壤样品电导率大小的变化趋势一致。

2.2 盆栽试验结果分析

2.2.1 不同处理盆栽试验的黄瓜植株发病情况分析

选取定植第 30 d 黄瓜植株的发病情况进行分析(表 2),结果表明:盆栽试验 30 d 时,在不同连作年限土壤盆栽试验条件下,对照处理均未发病,接种黄瓜枯萎病菌的处理,黄瓜植株的病情指数均在 37 以

表 1 土壤理化性质

Table 1 Soil physical and chemical properties

棚龄/ 年	pH	电导率 /μs·cm ⁻¹	土壤有机质 /g·kg ⁻¹	全氮 /g·kg ⁻¹	碱解氮 /mg·kg ⁻¹	全磷 /g·kg ⁻¹	速磷 /mg·kg ⁻¹	Na ⁺ /mg·kg ⁻¹	Cl ⁻ /mg·kg ⁻¹	速效钾 /mg·kg ⁻¹
3	8.38±0.19 ^b	360±76.74 ^{ab}	27.41±5.02 ^b	1.61±0.05 ^c	89.19±14.68 ^c	1.99±0.15 ^b	283.3±22.17 ^b	121.67±13.32 ^b	118.67±23.86 ^a	597±0.037 ^b
	8.45±0.19 ^a	215±18.16 ^{ab}	33.04±0.57 ^{ab}	2.23±0.05 ^{bc}	137.07±14.68 ^b	3.22±0.1 ^a	512.96±38.31 ^b	104.33±2.52 ^b	57.51±2.53 ^a	599±0.035 ^b
11	8.26±0.16 ^b	238±32.05 ^{ab}	23.45±5.81 ^b	1.58±0.3 ^c	115.46±19.29 ^b	2.01±0.42 ^b	379.81±84.25 ^b	114±8.19 ^b	75.19±23.54 ^a	609±0.075 ^b

注:不同小写字母表示每列数据的差异显著(P<0.05)

Note: data with different letters indicate significant difference at 0.05 level in each column

上,发病率均在59%以上,黄瓜植株病情指数和发病率随着连作年限不同而不同。盆栽试验条件下,黄瓜植株的病情指数和发病率在连作8年土壤中最高,分别达到54.51%和80.56%;连作11年土壤中最低,病情指数和发病率分别为37.15%和59.72%;而连作3年土壤中黄瓜植株的病情指数和发病率均居中。黄瓜植株的病情指数和发病率随连作年限的增长,呈现低-高-低的规律。

表2 不同连作年限土壤植株接种黄瓜枯萎病30 d后的发病情况

Table 2 The incidence of cucumber wilt disease after 30 days of inoculation in soils with different continuous cropping years

棚龄	病情指数	发病率/%
3年	53.12 ^b	66.67 ^b
8年	54.51 ^b	80.56 ^c
11年	37.15 ^a	59.72 ^a

注:不同小写字母表示每列数据的差异显著($P < 0.05$)

Note: data with different letters indicate significant difference at 0.05 level in each column

2.2.2 不同处理盆栽试验黄瓜植株的生长情况

盆栽试验一共历时35 d,全部取样后测量黄瓜植株的生理指标:株高、茎粗、株重,进行差异显著性分析,结果见表3。结果表明:在连作8年大棚土壤

中,对照和处理的株高均最矮。尤其是与连作3年的处理相比差异显著。在连作8年大棚土壤中,处理的株重和茎粗均最小,但从对照和处理的株重和茎粗分别比较来看差异均不显著。

用根际扫描仪进行根部扫描得到根长、根面积和根体积,进行差异显著性分析,结果见表4。结果表明:从对照和处理的根长、根面积和根体积分别比较来看差异均不显著。

2.2.3 不同处理的盆栽试验中黄瓜枯萎病的定殖情况

对黄瓜植株定植30 d后,不同处理组的黄瓜植株茎部、根部及黄瓜植株根际附近土壤的定殖情况进行分析,结果见表5。结果表明:利用3年、8年、11年三个不同连作年限的大棚土壤进行盆栽试验时,黄瓜枯萎病菌在不同处理和对照的黄瓜植株茎部和根部的定殖情况存在差异,而在土壤中的定殖情况无差异显著。在黄瓜植株茎部,连作8年的定殖数量最多、连作3年的次之、连作11年的最少;在黄瓜植株根部,连作3年的根部处理定殖数量最少。相对于茎部和根部来说,黄瓜枯萎病菌在土壤中的定殖数量要少。

3 结论与讨论

结合盆栽试验中黄瓜植株的发病情况分析和黄瓜枯萎病菌在黄瓜植株茎部的定殖数量分析可看出:连作8年黄瓜枯萎病菌在黄瓜植株茎部的定

表3 不同连作年限土壤盆栽黄瓜地上部分生长指标

Table 3 The growth indexes of aboveground parts of cucumber plants in different continuous cropping soil pots

棚龄	株高/cm		株重/g		茎粗/cm	
	对照	处理	对照	处理	对照	处理
3年	58.53±3.66 ^a	46.30±4.27 ^b	25.59±4.51 ^a	23.97±4.541 ^a	3.67±0.29 ^a	3.97±0.06 ^a
8年	51.93±10.65 ^a	29.70±7.81 ^a	20.44±7.89 ^a	18.51±5.37 ^a	3.90±0.61 ^a	3.83±0.29 ^a
11年	54.73±24.97 ^a	34.57±2.98 ^{ab}	13.86±1.44 ^a	23.69±6.83 ^a	4.00±0.27 ^a	4.20±0.27 ^a

注:不同小写字母表示每列数据的差异显著($P < 0.05$)

Note: data with different letters indicated significant difference at 0.05 level in each column

表4 不同连作年限土壤盆栽黄瓜地下部分生长指标

Table 4 The growth indexes of underground parts of potted cucumbers in soils with different continuous cropping years

棚龄	根长/cm		根面积/cm ²		根体积/cm ³	
	对照	处理	对照	处理	对照	处理
3年	479.30±57.77 a	384.70±30.81 a	23.929±2.84 a	20.68±2.64 a	0.94±0.11 a	0.874±0.15 a
8年	427.27±18.43 a	382.62±0.85 a	21.869±2.29 a	19.41±1.77 a	0.66±0.11 a	0.657±0.11 a
11年	388.19±36.78a	355.76±33.45 a	22.401±2.08 a	18.91±1.10 a	1.02±0.12 a	0.79±0.04 a

注:不同小写字母表示每列数据的差异显著($P < 0.05$)

Note: data with different letters indicate significant difference at 0.05 level in each column

表5 不同连作年限土壤盆栽黄瓜不同部位黄瓜枯萎病菌定殖情况

Table 5 Colonization of *Fusarium oxysporium* f. sp. *cucumberinum* in different parts of potted cucumber in soils with different continuous cropping years

棚龄	茎部/ 10^6 cfu·g ⁻¹	根部/ 10^6 cfu·g ⁻¹	根际附近土壤/ 10^4 cfu·g ⁻¹
3年	45.44±4.13 ^b	45.00±5.22 ^a	19.56±1.88 ^a
8年	52.89±4.65 ^c	53.78±6.24 ^b	19.00±2.50 ^a
11年	30.67±2.92 ^a	59.78±5.07 ^b	19.78±1.64 ^a

注:用不同小写字母表示每列数据的差异显著($P < 0.05$)

Note: data with different letters indicate significant difference at 0.05 level in each column

殖数量最多,黄瓜植株的病情指数和发病率最高;连作11年的定殖数量最少,黄瓜植株的病情指数和发病率最低;连作3年的定殖数量居中,黄瓜植株的病情指数和发病率也居中。表明黄瓜枯萎病菌在黄瓜植株茎部定殖数量多少与黄瓜植株的病情指数和发病率高低的趋势一致,连作8年的土壤有助于黄瓜枯萎病菌在黄瓜植株茎部的定殖,增强了黄瓜枯萎病菌的致病力。从表5也可以看出,在根际附近土壤中不同连作年限的黄瓜枯萎病菌定殖数量差异不显著,在根部和茎部均出现差异。而从病情指数和发病率高低来看,黄瓜枯萎病菌在茎部的定殖数量是影响到黄瓜枯萎病致病力大小的重要因素。从黄瓜枯萎病致病机制来看^[12],黄瓜枯萎病主要侵害黄瓜茎部维管束,侵入导管内的病原菌生长发育进而阻碍水分流动是造成植物枯萎的主要原因^[13];病原菌侵入后分泌的果胶酶、纤维素酶和 β -葡萄糖苷酶等降解细胞壁,而且细胞内多糖物质的释放为病原菌的生长发育提供营养保障^[14],加速病菌的生长繁殖及入侵,进一步促进了植株死亡^[15]。

参考文献

[1] 蒋卫杰, 邓杰, 余宏军. 设施园艺发展概况、存在问题与产业发展建议[J]. 中国农业科学, 2015, 48(17): 3515-3523.
Jiang W J, Deng J, Yu H J. Development situation, problems and suggestions on industrial development of protected horticulture [J]. Sci Agric Sin, 2015, 48(17): 3515-3523.

[2] 张广旭, 吕亭辉, 周娣, 等. 黄瓜连作土壤高温处理对根结线虫和枯萎病的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25(6): 917-924.
Zhang G X, Lü T H, Zhou D, et al. Effects of high-

temperature treatment on root knot nematode and *Fusarium* wilt in continuous cucumber cropping soil [J]. Plant Nutr Fertil Sci, 2019, 25(6): 917-924.

[3] 王飞, 李世贵, 徐凤花, 等. 连作障碍发生机制研究进展[J]. 中国土壤与肥料, 2013(5): 6-13.
Wang F, Li S G, Xu F H, et al. The research progress on mechanism of continuous cropping obstacle [J]. Soils Fertil Sci China, 2013(5): 6-13.

[4] 房云波, 孟春玲. 保护地内土壤次生盐渍化对土壤性状的影响及对策[J]. 辽宁农业科学, 2006(6): 40-41.
Fang Y B, Meng C L. Effects of soil secondary salinity on soil characteristic in sheltered ground [J]. Liaoning Agric Sci, 2006(6): 40-41.

[5] 赵风艳, 吴凤芝, 刘德, 等. 大棚菜地土壤理化特性的研究[J]. 土壤肥料, 2000(2): 11-13.
Zhao F Y, Wu F Z, Liu D, et al. Study on the physical and chemical characteristics of soil in greenhouse vegetables [J]. Soils Fertil, 2000(2): 11-13.

[6] 李慧, 李乃荟, 崔文静, 等. 碱性土壤改良剂对盆栽黄瓜生长及枯萎病的防治效果[J]. 中国蔬菜, 2020(6): 69-73.
Li H, Li N H, Cui W J, et al. Effects of alkaline soil ameliorant on growth and *Fusarium* wilt control of potted cucumber [J]. China Veg, 2020(6): 69-73.

[7] 聂园军, 杨三维, 赵佳, 等. 不同土壤处理方式对连作黄瓜生长的影响[J]. 山西农业科学, 2018, 46(12): 2018-2022.
Nie Y J, Yang S W, Zhao J, et al. Effects of different soil treatments on continuous cropping cucumber growth [J]. J Shanxi Agric Sci, 2018, 46(12): 2018-2022.

[8] 杨丽文. 黄瓜的主要病害类型及防治技术研究[J]. 种子科技, 2022, 40(14): 91-93.
Yang L W. Study on main disease types and control techniques of cucumber [J]. Seed Sci Technol, 2022, 40(14): 91-93.

[9] 李科, 李志军. 土壤农化分析方法[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社. 2019.
Li K, Li Z J. Soil agrochemical analysis methods [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2019.

[10] 朱丹, 贾双琳. 土壤电导率的测定影响因素研究[J]. 广东化工, 2021, 49(7): 85-87.
Zhu D, Jia S L. Influencing factors of soil conductivity measurement [J]. Guangdong Chemical Industry, 2021, 49(7): 85-87.

[11] 方中达. 植病研究方法[M]. 第三版. 北京: 中国农业出版社, 1998年.
Fang Z D. Research method of plant disease [M]. The third edition. Beijing: China Agricultural Press, 1998.

[12] 徐彦刚, 贺振, 李瑞, 等. 黄瓜枯萎病研究进展[J]. 中

- 国瓜菜, 2018, 31(6): 1-6.
- Xu Y G, He Z, Li R, *et al.* Research progress of cucumber *Fusarium* wilt [J]. *China Cucurbits and Vegetables*, 2018, 31(6): 1-6.
- [13] King B C, Waxman K D, Nenni N V, *et al.* Arsenal of plant cell wall degrading enzymes reflects host preference among plant pathogenic fungi [J]. *Biotechnology for Biofuels*, 2011, 4(1): 4.
- [14] Lionetti V, Métraux J P. Plant cell wall in pathogenesis, parasitism and symbiosis [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2014, 5(5): 612.
- [15] 顾泽辰. 氮素形态对黄瓜枯萎病及土壤真菌群落特征的影响[D]. 江苏: 南京农业大学, 2020.
- Gu Z C. The effect of nitrogen nutrition forms on *Fusarium* wilt and soil fungal community of cucumber [D]. Jiangsu: Nanjing Agricultural University.

□

(编辑: 张丽红)