

柯希欢, 李霞, 张琛, 等. 菇-热-酶-肥新型栽培方式对大棚黄瓜形态、生理和产量的影响[J]. 江苏农业学报, 2015, 31(4): 877-882.

doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2015.04.026

菇-热-酶-肥新型栽培方式对大棚黄瓜形态、生理和产量的影响

柯希欢^{1,2}, 李霞¹, 张琛^{1,2}, 王新风^{3,4}, 纪丽莲^{3,4}

(1. 江苏省农业科学院粮食作物研究所, 江苏 南京 210014; 2. 南京农业大学生命科学院, 江苏 南京 210095; 3. 淮阴师范学院生命科学学院, 江苏 淮安 223300; 4. 江苏省生物质能与酶技术重点实验室, 江苏 淮安 223300)

摘要: 为探究菇-热-酶-肥新型栽培方式的应用效果, 以津优 35 黄瓜为试验材料, 实行草菇-黄瓜轮作方式进行日光温室大棚栽培, 以常规栽培的大棚黄瓜作为对照, 测定黄瓜植株干物质累积、植株形态指标以及生理指标。与对照相比, 菇-热-酶-肥处理后黄瓜的瓜、茎、叶均能够累积更多有机物, 其叶片数、叶片长、叶片宽、节间距、株高、根部体积、侧根数、根鲜质量等形态指标显著高于对照, 根系活力、硝酸还原酶活性等生理指标显著高于对照, 但处理与对照黄瓜之间的叶绿素含量没有显著差异。说明该栽培方式不是通过增加叶绿素含量而是通过优化黄瓜植株的形态表现和改善植株生理功能来提高产量。

关键词: 黄瓜; 菇-热-酶-肥; 形态; 生理; 产量

中图分类号: S634.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2015)04-0877-06

Effects of mushroom-heat-enzyme-fertilizer on the morphology, physiology and yield of greenhouse cucumber rotated with straw mushroom

KE Xi-huan^{1,2}, LI Xia¹, ZHANG Chen^{1,2}, WANG Xin-feng^{3,4}, JI Li-lian^{3,4}

(1. Institute of Food crops, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210095, China; 2. College of Life Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 3. College of Life Sciences, Huaian Normal College, Huaian 223300, China; 4. Biomass and Enzyme Technology Laboratory of Jiangsu Province, Huaian 223300, China)

Abstract: To evaluate the effects of a newly applied cultivation mode of mushroom-heat-enzyme-fertilizer in greenhouse, cucumber variety Jinyou 35 were used as experimental material in a straw mushroom-cucumber rotation system and were measured for the dry matter accumulation, plant morphological and physiological parameters. Compared to those of conventionally cultivated cucumber (CK), the fruits, stems and leaves of cucumber variety Jinyou 35 applied with the new cultivation technique showed more dry matter accumulation, leaf number, and lateral root number, larger leaf area and root volume, longer internode, higher plant and heavier root fresh weight, and stronger root vigor and nitrate reductase activities.

However, chlorophyll contents did not show significant difference. It was suggested that mushroom-heat-enzyme-fertilizer cultivation mode increased cucumber yield by improving the plant morphological and physiological characteristics rather than by increasing the chlorophyll contents.

Key words: cucumber (*Cucumis sativus* L.); mushroom-heat-enzyme-fertilizer; morphology; physiology; yield

收稿日期: 2015-02-03

基金项目: 国家自然科学基金项目(30871459、31371554); 江苏省农业科技自主创新基金项目[CX(13)3026]

作者简介: 柯希欢(1989-), 男, 湖北黄石人, 硕士研究生, 主要从事作物生理栽培研究。(Tel) 15195766937; (E-mail) 826976550@qq.com

通讯作者: 李霞, (Tel) 025-84390361; (E-mail) jsplxl@jaas.ac.cn

黄瓜 (*Cucumis sativus* L.) 起源于印度喜马拉雅山,喜温、喜湿,较耐弱光,是人们普遍喜爱的蔬菜^[1-4]。中国黄瓜栽种面积始终保持在 1×10^6 hm^2 左右,其中保护地面积约占 42%。近年来,随着设施园艺的发展,黄瓜生产已由过去的以露地为主,发展到春秋露地、春秋大棚和日光温室等多种栽培方式,尤以日光温室黄瓜面积为最大^[5]。然而在日光温室黄瓜生产过程中由连作引起的连作障碍^[6-8],造成黄瓜产量降低、品质变劣、病害严重等^[9-11]。许多学者认为土壤连作障碍的主要影响因子是土壤中微生物群落结构组成的变化,也有研究者将连作障碍归结为土传病虫害严重、土壤 pH 值和酶活性变化、黄瓜根系分泌物的自毒作用等^[12-13]。对土壤连作障碍,目前主要采取的措施有:改善栽培制度、完善栽培技术、应用抗性品种等。吴凤芝发现不同作物间轮作是连作障碍的最佳防范措施^[14]。杜社妮等研究了日光温室中 6 种轮作方式对土壤养分、盐分、微生物区系、酶活性的影响,发现黄瓜-大蒜和黄瓜-玉米轮作是改良土壤生态效果理想的轮作模式^[15]。

菇-热-酶-肥栽培模式是一种新型草菇-黄瓜轮作方式,该模式首先种植草菇,草菇以稻草为原料生长,收获草菇之后剩余的草料残渣即为菌糠,菌糠还田再配合使用鸡粪等有机肥,覆土发酵,这个过程利用土壤中的微生物产生纤维素酶和漆酶等分解菌糠,分解的菌糠作为后续黄瓜生产的有机肥料,进一步增加了大棚土壤中全氮、全磷、全钾、有机质、有效磷的含量,改善土壤结构,此发酵分解过程还会产生大量热量,提高大棚温度,为冬季日光温室大棚的黄瓜生长提供有利条件。目前已有报道从土壤的改良上来研究轮作对黄瓜产量的影响^[16-18],而有关日光温室大棚轮作对黄瓜的生长形态、生理以及产量的影响研究却不多,在一定程度上影响了该模式的应用。武玲等研究了通过改善土壤来提高草菇-黄瓜轮作中黄瓜的产量^[19],本试验也选取草菇-黄瓜轮作方式,进一步研究日光温室大棚中菇-热-酶-肥协同作用对黄瓜形态、生理特性以及产量的影响,为该新型栽培模式的大规模应用提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验地点

试验在江苏省淮安市淮阴区丁集镇丁集村日光能大棚进行,土壤为砂壤土。大棚宽 10 m、长 80 m

左右,南北向,顶高 3.0 m,每个大棚面积约 800 m^2 。

1.2 试验材料

草菇 V28 菌种,由江南生物科技有限公司惠赠;津优 35 黄瓜,购自淮安市中园园艺发展有限公司。

1.3 试验设计

试验于 2013–2014 年进行,第 1 年处理组大棚在前茬黄瓜拉秧后,棚内施以牛粪为主的有机肥,6 月底或 7 月初栽培草菇,干稻草用量为 45.0 ~ 52.5 t/hm^2 ,草菇收获后保持菌糠覆土状态,9 月中旬向棚内施发酵好的鸡粪作为基肥,翻耕整地;对照组大棚为上一年栽种黄瓜后搁置的大棚,进行常规栽培。9 月底黄瓜采用基质育苗,10 月上中旬嫁接并直接移栽到大棚,12 月底采收至第 2 年 6 月,6 月下旬拉秧,完成草菇-黄瓜轮作。于第 2 年 3–4 月,测定黄瓜的形态和生理指标。

1.4 干物质的累积及累积速率

在黄瓜生长旺盛时期(2014 年 3–4 月),测定黄瓜干物质的累积及累积速率。在菇-热-酶-肥处理组大棚和对照组大棚各选取 10 株生长状况(植株高度、叶片数、结瓜数、瓜大小、健康状况等)较为一致的黄瓜植株作为研究对象,从中取 5 株,剪下地上部分,将各株植株分成瓜、茎、叶 3 部分,置于烘箱中 105 $^{\circ}\text{C}$ 杀青 30 min,再将温度调至 80 $^{\circ}\text{C}$ 烘干至恒质量,称量各部分干质量。将剩下 5 株植株于一周后剪下地上部分烘干称质量,过程同上。

1.5 植株形态指标的测定

植株形态包括地上部分和地下部分。从处理组和对照组各随机选取 5 株黄瓜植株测其叶片数、叶片长、叶片宽、茎宽、茎窄、株高和根体积、侧根数、根长,并测定根鲜质量。

1.6 生理指标的测定

1.6.1 叶绿素含量 从处理组大棚和对照组大棚各随机选取 5 株黄瓜植株。采用 SPAD-502 叶绿素仪测定每张叶片从上往下数第 4、5、6 共 3 个叶位 5 个不同位点叶绿素含量,取平均值作为叶片的相对叶绿素含量值^[20]。然后将对应叶片用 80% 的丙酮浸提法提取叶绿素^[21],用紫外可见分光光度计(T6 新世纪,北京普析通用仪器责任有限公司生产)分别在 663 nm 和 645 nm 波长下测定吸光值并根据 Arnon 公式换算成单位面积的叶绿素含量^[22]。

1.6.2 根系活力 采用 TTC 法测定根系活力^[23],以单位根鲜质量单位时间内转化 TTC 生成 TTF 的

量衡量根系活力。

1.6.3 叶片硝酸还原酶活性 黄瓜3个叶位叶片硝酸还原酶活性参照文献[24]进行测定。

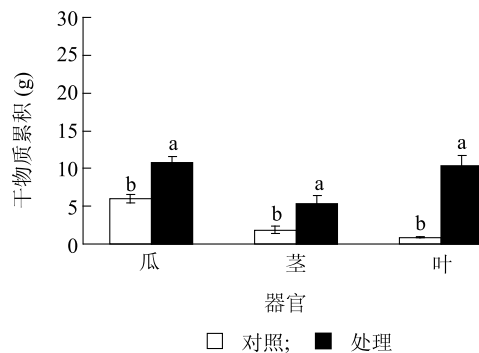
1.7 数据处理

用SPSS 19.0软件,通过单因素方差分析检验来分析数据的差异显著性和Pearson参数系数的相关性。

2 结果

2.1 菇-热-酶-肥栽培方式对黄瓜生物量积累的影响

由图1可知,不同处理方式下黄瓜的干物质积累量表现出很大的差异,处理组瓜干物质积累量是对照组的1.8倍,茎干物质积累量是对照组的2.9倍,叶干物质积累量是对照组的11.5倍。菇-热-酶-肥处理组黄瓜各器官干物质积累量以及总干物质积累量均显著大于常规栽培对照组($P<0.05$)。



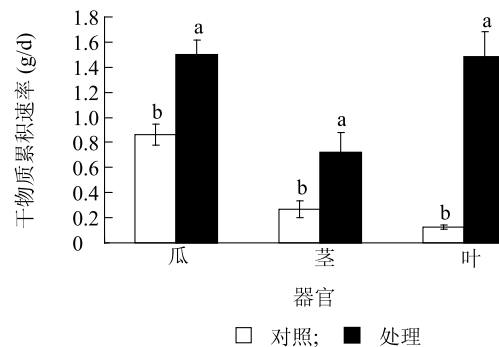
同一器官中不同小写字母表示差异达0.05显著水平($P<0.05$)。

图1 菇-热-酶-肥栽培方式处理后黄瓜干物质的积累量

Fig.1 Dry matter accumulation of cucumber in a mushroom-cucumber rotation system featured by mushroom-heat-enzyme-fertilizer synergism

由图2可知,处理组的瓜、茎、叶这3种器官生物量的累积速率均显著高于对照组($P<0.05$)。处

理组瓜的干物质累积速率比对照组高73.4%,茎的干物质累积速率比对照组高170.9%,叶的干物质累积速率比对照组高1038.5%。处理组生物量的累积主要集中在瓜和叶2种器官上,而对照组叶片上干物质累积较少。可见利用菇-热-酶-肥新型栽培方式能够有效提高黄瓜各器官的生长速率,从而达到提高产量、增加效益的作用。



同一器官中不同小写字母表示差异达0.05显著水平($P<0.05$)。

图2 菇-热-酶-肥栽培方式处理后黄瓜各器官干物质的累积速率

Fig.2 Dry matter accumulation rate of cucumber in a mushroom-cucumber rotation system featured by mushroom-heat-enzyme-fertilizer synergism

2.2 菇-热-酶-肥栽培方式对黄瓜植株生长形态的影响

由表1可看出,通过菇-热-酶-肥新型栽培方式处理的黄瓜植株地上部分除了茎宽、茎窄与对照组没有显著性差异之外,其他指标均显著高于对照($P<0.05$)。处理组黄瓜植株有较多的叶片数,较大的叶长和叶宽,保证了叶片能够接收更多的光能,积累更多的有机物。黄瓜植株地下部分各指标处理组均显著大于对照组($P<0.05$),处理组的黄瓜植株有较多的根部体积、侧根数、根鲜质量,这就为根部吸收更多的营养物质提供了基础,并进而利于植株积累更多的有机物。

表1 菇-热-酶-肥栽培方式黄瓜地上部分形态指标的变化

Table 1 The changes of morphological indices of cucumber in a cucumber-mushroom rotation system featured by mushroom-heat-enzyme-fertilizer synergism

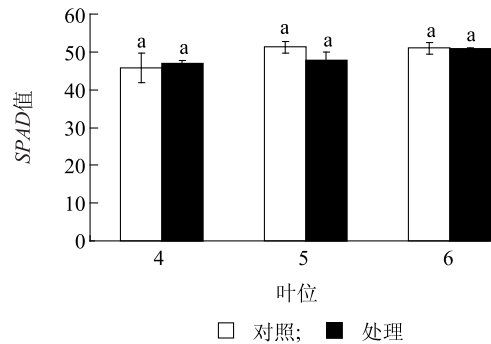
处 理	叶片数	叶片长 (cm)	叶片宽 (cm)	节间距 (cm)	茎宽 (cm)	茎窄 (cm)	株高 (cm)	根体积 (cm ³)	侧根数	根鲜质量 (g)
对照	14.3±1.3b	16.6±1.7b	13.7±0.4b	4.2±0.2b	0.80±0.02a	0.75±0.03a	130.8±16.2b	20.4±0.5b	9.3±1.2b	22.6±1.3b
菇-热-酶-肥栽培方式	18.0±0.7a	20.9±1.0a	15.8±0.4a	5.8±0.5a	0.79±0.03a	0.73±0.04a	190.4±11.8a	25.2±1.7a	13.3±0.6a	26.3±0.7a

同一竖栏内不同小写字母表示差异达0.05显著水平($P<0.05$)。

2.3 菇-热-酶-肥栽培方式对黄瓜不同叶位叶片叶绿素含量的影响

叶片叶绿素含量与叶绿素仪所测得的 SPAD 值具有良好的一致性^[25-27]。图 3 显示, 菇-热-酶-肥新型栽培方式处理和常规栽培处理下黄瓜同一叶位的 SPAD 值没有显著性差异。

进一步通过浸提法测定离体叶片的叶绿素含量及其组分的变化(表 2), 可知, 对照组黄瓜 3 个叶位叶片叶绿素 a 含量、叶绿素 b 含量及总叶绿素含量与对照组相比均无显著差异。



同一叶位不同小写字母表示差异达 0.05 显著水平 ($P < 0.05$)。

图 3 菇-热-酶-肥栽培方式处理后黄瓜叶片的 SPAD 值

Fig. 3 The SPAD value of cucumber leaves in a mushroom-cucumber rotation system featured by mushroom-heat-enzyme-fertilizer synergism

表 2 不同栽培方式不同叶位黄瓜叶片叶绿素含量

Table 2 The chlorophyll content of leaves on different leaf positions of cucumber in a cucumber-mushroom rotation system featured by mushroom-heat-enzyme-fertilizer synergism

叶绿素	处理	叶绿素含量 (mg/m^2)		
		叶位 4	叶位 5	叶位 6
叶绿素 a	对照	393.14 \pm 49.29a	461.08 \pm 29.06a	514.28 \pm 66.46a
	菇-热-酶-肥栽培方式	396.32 \pm 43.98a	426.72 \pm 46.95a	470.66 \pm 25.15a
叶绿素 b	对照	129.74 \pm 16.69a	157.42 \pm 11.57a	178.88 \pm 28.74a
	菇-热-酶-肥栽培方式	135.28 \pm 18.30a	148.40 \pm 15.94a	169.74 \pm 5.83a
总叶绿素含量	对照	522.90 \pm 65.79a	618.50 \pm 40.20a	693.16 \pm 94.99a
	菇-热-酶-肥栽培方式	531.60 \pm 62.02a	575.16 \pm 62.57a	640.36 \pm 27.34a
叶绿素 a/叶绿素 b	对照	3.03 \pm 0.07a	2.93 \pm 0.08a	2.88 \pm 0.09a
	菇-热-酶-肥栽培方式	2.94 \pm 0.10a	2.87 \pm 0.07a	2.77 \pm 0.15a

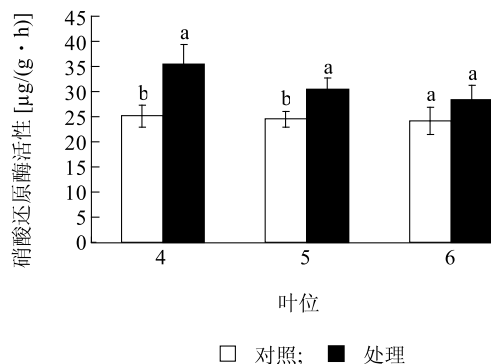
同一叶位同一指标数值后不同小写字母表示差异达 0.05 显著水平 ($P < 0.05$)。

2.4 菇-热-酶-肥栽培方式对黄瓜根系活力的影响

对照组根系活力为 89.9 $\mu\text{g}/(\text{g} \cdot \text{h})$, 处理组根系活力为 137.8 $\mu\text{g}/(\text{g} \cdot \text{h})$, 处理组黄瓜根系活力比对照组高 53.3%, 显著大于对照组 ($P < 0.05$)。

2.5 菇-热-酶-肥栽培方式对黄瓜叶片硝酸还原酶活性的影响

由图 4 可知, 菇-热-酶-肥处理组黄瓜叶片叶位 4、叶位 5 的硝酸还原酶活性显著高于常规栽培对照组; 叶位 6 两种处理间硝酸还原酶活性没有表现出显著性差异, 但处理组比对照组的硝酸还原酶活性高 14.9%。总体来看, 菇-热-酶-肥新型栽培方式下黄瓜叶片硝酸还原酶的活性较高。



同一叶位不同小写字母表示差异达 0.05 显著水平 ($P < 0.05$)。

图 4 菇-热-酶-肥栽培方式处理后黄瓜叶片的硝酸还原酶活性

Fig. 4 The activities of nitrate reductase of cucumber leaves in a mushroom-cucumber rotation system featured by mushroom-heat-enzyme-fertilizer synergism

2.6 黄瓜植株生理形态各指标的相关性

从表3可以看出,黄瓜干物质的累积量与叶片数、叶片长、叶片宽、根体积、侧根数、根系活力、硝酸还原酶活性达显著性相关,其中与叶片宽、侧根数、

根系活力极显著相关,表明菇-热-酶-肥新型栽培方式通过影响叶片数量、叶片大小、根部形态与活性以及叶片硝酸还原酶活性,增强了有机物的积累。

表3 菇-热-酶-肥栽培方式处理后黄瓜植株生理、形态各指标的相关性分析

Table 3 The correlation analysis between morphological and physiological indices of cucumber in a mushroom-cucumber rotation system featured by mushroom-heat-enzyme-fertilizer synergism

指 标	叶片数	叶片长	叶片宽	叶绿素含量	根体积	侧根数	根系活力	硝酸还原酶活性	茎宽	茎窄
	—相关系数—									
干物质累积量	0.888 *	0.841 *	0.949 **	0.236	0.942 *	0.936 **	0.984 **	0.843 *	-0.252	-0.532
叶片数		0.886 *	0.753	0.110	0.920 **	0.837 *	0.874 *	0.586	0.151	-0.745
叶片长			0.820 *	0.057	0.837 *	0.825 *	0.896 *	0.735	0.260	-0.683
叶片宽				0.112	0.893 *	0.912 *	0.947 **	0.881 *	-0.317	-0.363
叶绿素含量					0.104	-0.040	0.292	0.352	-0.218	0.940
根体积						0.846 *	0.908 *	0.646	-0.930	-0.456
侧根数							0.913 *	0.824 *	-0.232	-0.664
根系活力								0.893 *	-0.163	-0.550
硝酸还原酶活性									-0.352	-0.407
茎宽										-0.366

* 与 ** 分别表示相关性达显著 ($P<0.05$) 和极显著水平 ($P<0.01$)。

3 讨 论

光合作用是植物将光能转换为可用于生命过程的化学能,并进行有机物合成的生物过程^[28],植物干物质的90%以上来自光合作用^[29]。在本研究中菇-热-酶-肥处理组的黄瓜各部分干物质的累积量和累积速率都显著高于对照组 ($P<0.05$),反映出处理组黄瓜能积累更多的干物质。叶绿素是植物叶绿体内参与光合作用的重要色素,是光反应进行的基础,长期以来叶绿素含量被作为衡量叶片光能吸收和利用能力的指标^[30]。本研究中同一叶位处理组与对照组之间的叶绿素含量并没有显著差异,说明处理组提高黄瓜的产量以及茎、叶干物质的累积并不是通过提高单个叶片的光能吸收和利用能力,而是通过增大叶片面积和增多叶片数来捕获更多的光能,提高群体光合利用效率。根系是植物长期适应陆地生活的重要器官之一,植物根系形态构型在很大程度上决定了植物根系在土壤中的空间分布和所接触到土壤体积大小,因而对植物的养分吸收速率十分重要^[31],根系活力越强,吸收表面积越大,就越有利

于吸收水分和养分^[32]。硝酸还原酶活性直接影响到土壤中无机氮的利用效率,从而对作物的产量和品质产生影响^[33]。总体上处理组黄瓜有较多的根、较大的根体积、较高的根系活力以及较高的叶片硝酸还原酶活力,这为其积累更多的有机物提供了形态基础和生理基础。

菇-热-酶-肥新型栽培方式实行草菇-黄瓜轮作在生产上可以实现:(1)资源的合理利用。稻草秸秆为水稻生产过程中的副产物,在现代的生产中一般作为废弃物抛弃或者直接燃烧,这样不但会浪费稻草中所储存的有机物,燃烧产生的大量烟雾还会污染空气。将稻草秸秆用于生产草菇可以实现资源的合理利用,同时绿色环保。(2)节约能源。稻草秸秆在生产完草菇之后剩下的菌糠残渣,可作为基质供土壤微生物产生的纤维素酶和漆酶分解,分解后的产物是后续生产黄瓜的肥料。在过去的日光温室黄瓜生产中,一般都会将化肥作为黄瓜生产的施用肥料。实行菇-热-酶-肥新型栽培方式不但可以节省化肥,微生物在分解菌糠以及鸡粪等有机肥的过程中产生大量的热,这为冬季日光温室黄瓜生长提

供了有利条件,达到节约能源的作用。(3)缓解连作障碍。在之前的日光温室大棚生产中常会因为连作而引起连作障碍,草菇-黄瓜轮作不但可以改善土壤的成分还可以显著提高黄瓜的产量,起到实质性的缓解连作障碍的作用。

参考文献:

- [1] 张政,刘伟,罗庆熙,等. 黄瓜品质研究进展[J]. 长江蔬菜, 2004(6): 37-40.
- [2] 徐强,耿友玲,齐晓花,等. 不同栽培环境下黄瓜果实单宁含量主基因-多基因遗传分析[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(12): 194-197.
- [3] 董晓娅,邱白晶,管贤平. 电化学分析方法检测黄瓜中残留的西维因[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(11): 337-339.
- [4] 田福发,余翔,周玲玲,等. 冲施不同浓度沼液肥对温室黄瓜产量和品质的影响[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(2): 122-123.
- [5] 赵国云,苗伟利,张有为. 津美系列水果黄瓜品种特性及丰产要点[J]. 北方园艺, 2010(1): 108-109.
- [6] 朱立民. 日光温室蔬菜生产连作障碍探析及解决途径[J]. 园艺与种苗, 2014(10): 47-50.
- [7] 吴焕涛,魏珉,杨凤娟,等. 轮作和休茬对日光温室黄瓜连作土壤的改良效果[J]. 山东农业科学, 2008(5): 59-63.
- [8] 梁银丽,陈志杰,徐福利,等. 日光温室不同连作年限对黄瓜生理特性的影响[J]. 西北植物学报, 2003, 23(8): 1398-1401.
- [9] 刘娟,田永强,高丽红. 夏季填闲作物及秸秆还田对日光温室黄瓜连作土壤养分和微生物的影响[J]. 中国蔬菜, 2011(8): 12-16.
- [10] 贺丽娜,梁银丽,高静,等. 连作对设施黄瓜产量和品质及土壤酶活性的影响[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版, 2008, 36(5): 155-159.
- [11] 吴凤芝,王学征. 设施黄瓜连作和轮作中土壤微生物群落多样性的变化及其与产量品质的关系[J]. 中国农业科学, 2007, 40(10): 2274-2280.
- [12] 吴艳飞,张雪艳,李元,等. 轮作对黄瓜连作土壤环境和产量的影响[J]. 园艺学报, 2008, 35(3): 357-362.
- [13] 张有为,李愚鹤. 北方日光温室黄瓜栽培存在的突出问题及对策[J]. 北方园艺, 2011(13): 59-60.
- [14] 吴凤芝,赵凤艳,刘元英. 设施蔬菜连作障碍原因综合分析与防治措施[J]. 东北农业大学学报, 2000, 31(3): 241-247.
- [15] 杜社妮,白岗栓. 轮作对日光温室土壤环境生态修复的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2010, 32(4): 407-412.
- [16] 张雪艳,田永强,高艳明,等. 温室黄瓜不同栽培制度对土壤微生物群落功能结构的影响[J]. 园艺学报, 2011, 38(7): 1317-1324.
- [17] 张俊英,许永利,刘志强. 蚯蚓粪缓解大棚黄瓜连作障碍的研究[J]. 北方园艺, 2010(4): 58-60.
- [18] 周晓芬,杨军芳. 不同施肥措施及 EM 菌剂对大棚黄瓜连作障碍的防治效果[J]. 河北农业科学, 2004, 8(4): 89-92.
- [19] 武玲,陆雅萍,丁泽华,等. 草菇菌糠还田对大棚土壤肥力和黄瓜产量的影响[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(5): 372-374.
- [20] 薛香,吴玉娥. 小麦叶片叶绿素含量测定及其与 SPAD 值的关系[J]. 湖北农业科学, 2010, 49(11): 2701-2702, 2751.
- [21] 舒展,张晓素,陈娟,等. 叶绿素含量测定的简化[J]. 植物生理学通讯, 2010, 46(4): 399-402.
- [22] ARNON D I. Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenol-oxidase in *Beta vulgaris*[J]. Plant Physiology, 1949, 24: 1-15.
- [23] 张志良,瞿伟菁,李小芳,等. 植物生理学指导[M]. 4 版. 北京: 高等教育出版社, 2013: 32-33.
- [24] 张志良,瞿伟菁,李小芳,等. 植物生理学指导[M]. 4 版. 北京: 高等教育出版社, 2013: 34-35.
- [25] 艾天成,李方敏,周治安,等. 作物叶片叶绿素含量与 SPAD 值相关性研究[J]. 湖北农学院学报, 2000, 20(1): 6-8.
- [26] 王娟,韩登武,任岗,等. SPAD 值与棉花叶绿素和含氮量关系研究[J]. 新疆农业科学, 2006, 43(3): 167-170.
- [27] 艾天成,周治安,李方敏,等. 小麦等作物叶绿素速测方法研究[J]. 甘肃农业科技, 2001(4): 16-18.
- [28] 叶子飘. 光合作用对光合 CO₂ 响应模型的研究进展[J]. 植物生态学报, 2010, 34(6): 727-740.
- [29] 王强,张其德,卢从明,等. 超高产杂交稻不同生育期的光合色素含量、净光合速率和水分利用效率[J]. 植物生态学报, 2002, 26(6): 647-651.
- [30] LUDEWING F, SONNEWALD U. High CO₂-mediated down-regulation of photosynthetic gene transcripts is caused by accelerated leaf senescence rather than sugar accumulation[J]. FEBS Letters, 2000, 479: 19-24.
- [31] 未晓巍,吕杰,武慧,等. 植物根系研究进展[J]. 北方园艺, 2012(18): 206-209.
- [32] 宋海星,王学位. 玉米根系活力及吸收面积的空间分布变化[J]. 西北农业学报, 2005, 14(1): 137-141.
- [33] 郭战玲,沈阿林,冠长林,等. 不同小麦品种开花后硝酸还原酶活性与氮效率的关系[J]. 中国农学通讯, 2008, 24(5): 219-223.

(责任编辑:孙 宁)