

耿士均,王波,刘刊,等.专用微生物肥对不同连作障碍强度土壤上辣椒生长发育的影响[J].江苏农业科学 2012 40(8):134-137.

## 专用微生物肥对不同连作障碍强度土壤上 辣椒生长发育的影响

耿士均<sup>1</sup>,王波<sup>1</sup>,刘刊<sup>1</sup>,商海燕<sup>1</sup>,权俊娇<sup>1</sup>,陆小平<sup>1</sup>,沈其荣<sup>2</sup>

(1. 苏州大学园艺系,江苏苏州 215123; 2. 南京农业大学资源与环境学院,江苏南京 210095)

**摘要:** 为了探究专用微生物肥对土壤连作障碍的缓解作用,以不同连作障碍程度的土壤为栽培介质,施用 2% 的专用微生物肥,进行辣椒土培盆栽试验。结果表明,施用专用微生物肥后,各项生理生化指标与对照相比均有所上升,其中有机质、全氮、速效磷、速效钾含量分别上升 3.5% ~ 20.6%、58.8% ~ 136.0%、44.7% ~ 72.5%、16.9% ~ 53.5%。辣椒植株根系活力、SPAD 值分别上升 28.1% ~ 30.4%、10.1% ~ 17.9%,丙二醛含量、相对电导率均下降 27.4% ~ 29.0%、6.2% ~ 18.9%。说明专用微生物肥对连作障碍有一定的缓解作用,但由于土壤连作障碍程度的不同而产生显著性差异的改良效果。

**关键词:** 辣椒; 专用微生物肥; 连作障碍

**中图分类号:** S606 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2012)08-0134-04

近年来,设施园艺在我国发展非常迅速,栽培面积逐年增加,形成了不同区域特色的设施类型、生产模式和技术体系<sup>[1]</sup>。但因为过分追求经济效益,盲目超量施用农药和化肥,造成土壤生态环境恶化,作物的产量和品质下降,引发了严重的连作障碍,影响了农业的可持续发展和食品安全<sup>[2]</sup>。所以完善连作障碍克服技术体系,建立一个绿色环保的农业生态环境是急需解决的问题。土壤连作障碍造成植株长势衰弱、产量降低及病害严重的现象已成为生产难题,对土壤环境的破坏问题和农业生产带来的影响也越来越大<sup>[3-4]</sup>。吴凤芝等认为,土壤连作会造成土壤有效养分含量下降,土壤肥力降低,植株根系活力下降,植株长势变差<sup>[2,5]</sup>;郝永娟等认为,连作后根际土壤微生物种群结构失调,土壤微生物群落多样性指数、丰富度及均匀度和微生物活性均降低<sup>[6]</sup>。近年来,学者发现根际微生态失调、微生物种群结构失衡可能是连作障碍发生的主要原因<sup>[7]</sup>,并且探索通过改变土壤微生物种群结

构和重建土壤微生物系统动态平衡来克服土壤连作障碍的环境友好型、资源优化型的防治措施<sup>[8]</sup>,如利用微生物制剂、生物土壤添加剂、蚯蚓粪、有机肥和微生物肥合理搭配等缓解作物连作障碍<sup>[9-11]</sup>。本试验以辣椒为栽培材料,通过施用专用微生物肥来研究不同程度连作障碍的土壤,分析施肥后辣椒的长势、生理学指标和土壤各项理化性状,旨在综合评价种植年限对土壤理化性质和植物长势的影响,探究专用微生物肥对连作障碍的缓解和克服效果,为丰富与发展连作障碍理论提供科学依据。

### 1 材料与方法

#### 1.1 材料

本试验于 2010 年 9—12 月在苏州大学园艺试验培养室内进行,供试园艺作物为辣椒海丰 27 号,北京海丰园艺公司产品;专用微生物肥料为 Bio 抗土传病高效生物肥,该肥料由南京农业大学植物营养与肥料系研制,江苏新天地生物肥料工程中心有限公司生产(抗病菌种有效活菌数  $\geq 0.5$  亿个/g,有机质含量  $\geq 25\%$ ,氮磷钾含量  $\geq 6\%$ );供试土壤为大棚连作 3、5、10 年的土壤,在生产中连作障碍发生程度分别为轻、中、重,采自昆山千灯蔬菜基地,基础肥力见表 1。

#### 1.2 试验设计

试验采用 25 cm × 8 cm × 6 cm 的白色塑料盆为栽培器皿,每盆分别装敲碎且过筛的生理性连作障碍程度轻、中、重

收稿日期: 2011-12-26

基金项目: 农业部固体有机废弃物高附加值资源化技术引进、创新研究与产业化开发项目(编号: 2006-G62)。

作者简介: 耿士均(1987—),男,安徽蚌埠人,硕士,主要从事园艺植物栽培与生理方面的研究。E-mail: dateinfall@163.com。

通信作者: 王波,副教授,博士,主要从事植物营养生理方面的研究工作。Tel: (0512) 65880230; E-mail: wangb@suda.edu.cn。

(上接第 133 页)

[12] 梁亮,陈洁,苏小俊,等.根系硝酸还原酶对小白菜硝酸盐吸收和代谢的影响[J].江苏农业科学 2008(3):153-155.

[13] 朱小梅,李泽碧,吴家旺,等.不同施肥对白菜产量和品质的影响[J].江苏农业科学 2007(1):193-195.

[14] Takebe M, Yoneyama T. Changes of ascorbic acid concentrations in the leaves and tubers of sweet potato (*Ipomoea batatas* Lam.) and potato (*Solanum tuberosum* L.) [J]. Japanese Society of Soil Science and Plant Nutrition, 1992 63(4): 447-454.

[15] Gunes A, Inal A, Aktas M. Reducing nitrate content of NFT grown winter onion plants (*Allium cepa* L.) by partial replacement of  $\text{NO}_3$  with amino acid in nutrient solution [J]. Scientia Horticulturae, 1996 65(2): 203-208.

[16] Batra D J, Tibbits T W. Calcium localization in lettuce leaves with and without tipburn: comparison of controlled-environment and field-grown plants [J]. American Society for Horticultural Science, 1991 116(5): 870-875.

表1 供试土壤的基础肥力

| 连作程度 | pH 值 | 有机质含量<br>(g/kg) | 全氮含量<br>(g/kg) | 速效磷含量<br>(mg/kg) | 速效钾含量<br>(mg/kg) |
|------|------|-----------------|----------------|------------------|------------------|
| 轻    | 6.25 | 14.2            | 2.50           | 116.9            | 223.5            |
| 中    | 6.93 | 25.9            | 2.95           | 215.8            | 393.0            |
| 重    | 5.80 | 29.7            | 2.60           | 136.5            | 374.8            |

的3种风干土2.5 kg。装土过程中要轻轻压实,最后土表离盆口1.5 cm左右,然后分别添加2%(肥料与土壤重量比)供试专用微生物肥料。每类土壤均设计对照,对照不加微生物肥料,但是添加化学试剂补充微生物肥料中所含的氮磷钾元素。栽培辣椒幼苗,每个小盆栽幼苗4株,各处理均设3次重复,盆钵摆放随机排列。

### 1.3 测定项目和方法

1.3.1 土壤测定 采集每盆中约0~5 cm深土壤,混合均匀风干后测定土壤养分<sup>[12]</sup>:重铬酸钾容量法测定土壤有机质含量,凯氏定氮法测定全氮含量,钼锑抗比色法测定速效磷含量,火焰光度计测定速效钾含量,酸度计测定土壤pH值(水土重量比2:1)。

1.3.2 植株测定 常规的方法测定植株株高,培养3个月后收获,记录其鲜重,杀青,于70℃烘干至恒重,测定其干重。

用H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>法测定辣椒叶片组织中氮磷钾的百分含量<sup>[12]</sup>,TTC法测定植株根系活力<sup>[13]</sup>,用SPAD-502(日本美能达公司)测定叶绿素相对含量,分光光度计测量丙二醛含量<sup>[14]</sup>,叶片电导率测定方法参考文献<sup>[15]</sup>。

1.3.3 种子消毒、催芽和苗期管理 种子消毒及催芽处理:将挑选好的种子用蒸馏水漂洗,洗去表面污物,用滤纸吸干,再用干净的纱布包好,放入70%乙醇中浸泡30 s,然后用1%高锰酸钾消毒2次,每次10 min,用无菌水冲洗干净,然后播到石英砂中催芽,注意水分和光照的管理。

苗期管理及幼苗移栽:等幼苗长到2~3张真叶时进行分苗,选择无病、健壮、生长势均一的辣椒幼苗进行移栽,每盆4株。

### 1.4 数据处理

数据处理和绘图用Microsoft Excel 2003进行,数据分析采用SPSS 18.0进行One-way ANOVA方差分析,并分析各参数在不同处理间的差异,采用最小显著差异法LSD进行多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 专用微生物肥对土壤有效养分含量的影响

2.1.1 对土壤有机质和全氮含量的影响 由表2可知,土壤有机质含量随着连作程度的加剧而升高,全氮含量随着连作程度的加剧而降低;施用供试肥料后有机质含量随着连作程度的加剧先增高后降低,全氮含量随着连作程度的加剧而降低。与对照相比,施用供试肥料后土壤有机质含量和全氮含量均上升,其中轻、中、重的有机质含量分别上升6.0%、21.5%、3.5%,且连作程度中组与轻、重组的含量差异显著;全氮含量分别上升93.5%、73.5%、116.0%,且连作程度轻、中组与重组间差异显著。这是因为试验中投入的专用微生物肥中除含有大量的有机质和氮元素外,还有大量的有益微生

表2 对土壤有机质和全氮含量的影响

| 连作障碍程度 | 有机质含量(g/kg) |       | 全氮含量(g/kg) |       |
|--------|-------------|-------|------------|-------|
|        | 无肥          | 加肥    | 无肥         | 加肥    |
| 轻      | 41.9b       | 44.4b | 0.46a      | 0.89a |
| 中      | 42.7b       | 51.9a | 0.34b      | 0.59a |
| 重      | 45.8a       | 47.4b | 0.25c      | 0.54b |

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ ),下同。

物,加强了土壤的生物活性,促进了有机质的合成和氮的积累。

2.1.2 对土壤速效磷和速效钾含量的影响 由表3可知,随着连作程度的加剧,土壤速效磷和速效钾含量先增高再降低,且连作程度中组的速效磷、速效钾含量与轻、重组差异显著;施用专用微生物肥后,速效磷和速效钾的含量依然随着连作程度的加剧呈现先增高后降低的趋势。施用专用微生物肥后,与对照相比,速效磷和速效钾的含量均升高且差异显著,其中轻、中、重组速效磷含量分别上升72.5%、51.3%、44.7%,速效钾含量分别上升53.5%、16.9%、29.5%。这主要是因为肥料中的有益微生物促进土壤中难溶磷和钾的降解和释放,加强了土壤养分的转化和形成,使其含量上升。

表3 对土壤速效磷和速效钾含量的影响

| 连作障碍程度 | 速效磷含量(mg/kg) |        | 速效钾含量(mg/kg) |        |
|--------|--------------|--------|--------------|--------|
|        | 无肥           | 加肥     | 无肥           | 加肥     |
| 轻      | 166.4b       | 287.1b | 399.1b       | 612.8b |
| 中      | 364.5a       | 551.5a | 737.0a       | 861.4a |
| 重      | 205.6b       | 297.5c | 218.1c       | 282.4c |

### 2.2 专用微生物肥对辣椒植株生长状况的影响

2.2.1 对植株鲜重、株高、根重的影响 土壤连作使土壤养分失衡、土壤活性降低、微生物种群结构发生变化等,并且随着连作障碍程度加剧而加重,严重影响作物正常生长<sup>[5]</sup>。由表4可知,随着连作程度的加剧,辣椒植株的鲜重、株高、根重依次降低,施用肥料后依然如此。施肥后,辣椒植株的鲜重、株高、根重与对照相比显著升高,轻、中、重组的鲜重分别增加165.5%、73.2%、25.0%,株高分别增加32.8%、13.3%、10.8%,根重分别增加164%、97.6%、92.7%,增加的趋势随着连作土壤程度的加剧而降低。这是因为加入专用微生物肥后,加强了土壤生物活性,提高了辣椒植株活力,充分吸收和利用土壤中营养物质,促进植株的生长和发育。

表4 专用微生物肥对辣椒植株鲜重、株高、根重的影响

| 连作障碍程度 | 鲜重(g) |      | 株高(cm) |      | 根重(g) |      |
|--------|-------|------|--------|------|-------|------|
|        | 无肥    | 加肥   | 无肥     | 加肥   | 无肥    | 加肥   |
| 轻      | 5.8   | 15.4 | 24.7   | 32.8 | 0.47  | 1.24 |
| 中      | 5.6   | 9.7  | 22.6   | 25.6 | 0.42  | 0.83 |
| 重      | 4.8   | 6.0  | 21.2   | 23.5 | 0.41  | 0.79 |

2.2.2 对辣椒植株内氮磷钾百分含量的影响 由图1可以看出,随着连作障碍程度的加剧、施肥与否,辣椒植株中氮元素含量都是先升高后降低,磷元素都基本不变,钾元素都是先降低后升高;施肥后,与对照相比,辣椒植株中氮磷钾元素的含量均升高,其中轻、中、重组植株内氮元素含量分别上升111.2%、41.9%、67.2%,磷元素含量分别上升21.7%、

9.4%、16.4%，钾元素含量分别上升116.4%、299.8%、300.7%。这是由于加入专用微生物肥后，植株根系活力提高，加强了对营养元素的吸收和利用，使植株中营养元素含量升高。

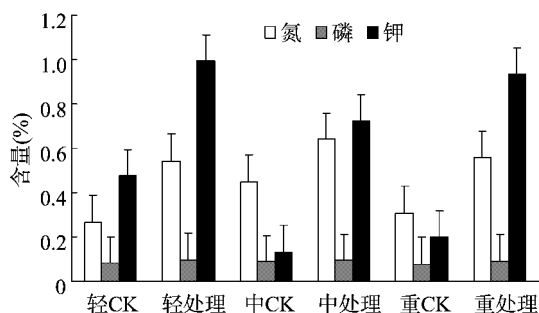


图1 专用微生物肥对辣椒植株中氮磷钾含量的影响

2.2.3 对植株丙二醛含量和相对电导率的影响 由表5可知，随着土壤连作障碍程度的加剧，辣椒植株内丙二醛含量升高、相对电导率先升高后降低，其中丙二醛含量轻组与中、重组差异显著；施肥后，辣椒植株体内的丙二醛含量和相对电导率随连作程度加剧的变化趋势与对照一致。施肥后，辣椒植株内丙二醛含量和相对电导率与对照相比均降低，其中丙二醛含量分别降低27.4%、29.0%、28.7%且连作程度轻、中组与重组差异显著；相对电导率分别降低19.0%、6.2%、16.7%且轻组与中、重组差异显著，这说明专用微生物肥可以提高辣椒植株的抗逆性，加强逆境生存能力。

表5 专用微生物肥对辣椒植株内丙二醛含量和电导率的影响

| 连作障碍程度 | 丙二醛含量 (mmol/g) |       | 电导率 (相对伤害率%) |         |
|--------|----------------|-------|--------------|---------|
|        | 无肥             | 加肥    | 无肥           | 加肥      |
| 轻      | 3.61b          | 2.62b | 15.3% a      | 12.4% b |
| 中      | 3.90a          | 2.77b | 16.2% a      | 15.2% a |
| 重      | 4.18a          | 2.98a | 15.6% a      | 13.0% a |

2.2.4 对植株叶绿素含量和根系活力的影响 由表6可知，随着土壤连作程度的加剧，无论施肥与否，辣椒植株的叶绿素含量和根系活力呈现降低趋势。对照中连作程度轻、中组与重组的叶绿素含量差异显著，根系活力差异显著；施肥后，连作轻、中组与重组的叶绿素含量差异显著，根系活力差异显著。施肥后，辣椒植株的叶绿素含量和根系活力与对照相比均上升，其中轻、中、重组的SPAD值分别上升17.9%、10.6%、11.6%，根系活力分别上升29.7%、28.1%、30.4%，这是因为加入肥料后，通过有益微生物的作用改善土壤生态环境，促进植物产生多重生理活性物质，提高根系活力和叶绿素的合成，从而促进辣椒植株的生长。

表6 专用微生物肥对辣椒叶绿素含量和根系活力的影响

| 连作障碍程度 | 叶绿素含量 (SPAD值) |       | 根系活力 [TTC还原量 mg/(g·h)] |      |
|--------|---------------|-------|------------------------|------|
|        | 无肥            | 加肥    | 无肥                     | 加肥   |
| 轻      | 31.8a         | 37.5a | 3.7a                   | 4.8a |
| 中      | 30.2a         | 33.4a | 3.2b                   | 4.1b |
| 重      | 27.7b         | 30.9b | 2.3c                   | 3.0c |

### 3 讨论

设施土壤是一个人为干扰作用强、相对密闭的独特环境，土壤的利用方式、土壤肥力和土壤环境状况对植物的生长发育有较大的影响<sup>[6]</sup>。本试验中使用的专用微生物肥富含有机质和养分，为微生物繁殖提供能源，并且本身含有大量有益拮抗菌，施用后可以改善土壤微生物的生活条件，增加和活化土壤养分，提高土壤供肥能力，提高土壤微生物多样性，土壤微生物的总量增加，从而促进根系生长，增强植株抗性和产量，有效防治一些土传病害和根结线虫<sup>[16-18]</sup>。

土壤有机质是土壤固相部分重要的组成成分，是土壤肥力评价的重要指标，其含量高低在一定程度上代表土壤肥力的高低，土壤有机质含量的变化直接反映了土壤肥力的演变过程<sup>[7]</sup>。土壤有机质含量随着连作程度的加剧而升高，这可能是农民大量施用有机肥料以及土壤中残留的动物残体和植物根系导致的结果；加入肥料后，在有益微生物的作用下增强了土壤活性，促进土壤中腐殖质的形成和其他物质间的转化，从而促进土壤有机质合成，使其含量升高。土壤中的氮素是植物生长和产量的限制因素，对改善产品品质有明显作用，主要存在于土壤有机质和土壤胶体复合体内。全氮含量随着连作程度加剧而降低，可能是因为外源氮素补充不能被土壤充分吸收固定，大部分通过淋失、挥发等途径进入环境，使土壤供氮水平降低。施肥后，由于肥料的作用使土壤活性增强，有利于全氮的积累。但是由于不同连作障碍程度的土壤被破坏的程度不同，肥料的作用效果有差别，使有机质和全氮含量升高的程度有差异。

土壤中磷和钾的共同特点是潜在养分在总量中所占比重最大，其中速效磷和速效钾活性最高，是当季作物磷和钾的主要来源。对于大多数植物来说，速效磷和速效钾的含量是评价土壤中磷和钾素水平和预测植物施肥水平反映的一个有效指标<sup>[19]</sup>。随着连作程度的加剧，土壤速效磷和速效钾含量先增高再降低，这是农民大量施用磷钾肥导致含量升高，但是随着连作年限增加，土壤中微生态系统遭到破坏，植物的吸收量大于施肥供应量使速效成分含量降低。施肥后，速效钾和速效磷含量上升，这是因为加入的微生物肥料中含有大量的营养元素和有益微生物。一方面有益微生物中含有促进土壤中难溶磷和钾释放的细菌，促进其降解和释放；另一方面新加入的微生物增强了土壤生物活性，促进了土壤养分的转化和形成，增强了土壤活性和肥力，使速效养分含量升高。

植物含氮、磷、钾量的多少主要取决于植物的种类、生长时间和环境条件等因素。植物体内氮磷钾元素的含量、分布及其相互比例，是土壤肥力及植株营养状况的良好指标<sup>[20]</sup>。丙二醛含量和相对电导率是反映植物膜系统状况的一个重要的生理生化指标。植物在受到逆境或者其他损伤的情况下，植物细胞中丙二醛含量会发生变化，细胞膜容易破裂，膜蛋白受伤，因而使胞质的胞液外渗，使相对电导率增大<sup>[13-14]</sup>。植物叶绿素含量与光合作用有关，根系是植物吸收营养和水分的主要器官，其活力与根际微生物、植物的生长发育、作物产量的形成都有良好的相关性<sup>[20]</sup>。

试验中发现，随着连作程度的加剧，辣椒植株的生长受到抑制，这是由于有害微生物和代谢产物的积累，使土壤生态环

境恶化, 营养元素缺失直接影响植株根部的活动, 进而影响叶绿素合成, 不利于辣椒植株的生长。经过施肥处理后, 辣椒植株的长势明显好于对照, 株高、鲜重、根重、根系活力、植株内的氮磷钾含量、SPAD 值明显升高, 丙二醛含量和相对电导率明显下降, 原因可能是专用微生物肥中有益微生物迅速繁殖优化了土壤微生物种群结构, 活化了土壤酶活性, 改善土壤理化性质, 增强土壤通透性, 从而加快土壤中有机物质的分解, 促进土壤中固定养分向有效养分的转化, 进而促进辣椒植株根系及地上部的生长, 抗逆性增强。罗佳等认为微生物有机肥可以提高植株体内防御酶活性, 增强植株棉花抗病性<sup>[21]</sup>; 王飞等认为专用微生物肥和生物有机肥可以增强棉花、番茄、甜瓜、香蕉植株的长势, 提高产量及抗病性<sup>[10, 16, 22-23]</sup>, 这与本试验研究结果一致。

本试验还发现专用微生物肥对辣椒植株不同生理指标、不同程度连作障碍的土壤理化指标的影响存在差异, 这是由于土壤连作是个量变过程, 不同连作障碍程度的土壤因为土壤环境被破坏程度的不同, 进而在施肥后产生差异性的改良效果。但由于连作障碍的产生是作物-土壤-微生物及其环境等诸多复杂因素综合作用的结果, 使任何单一的措施或通过少数几个措施都很难彻底解决问题, 所以将来的研究方向是从多因素相互影响和互作的角度来考虑<sup>[24-25]</sup>, 充分利用科学水平的进步, 用可持续的绿色调控技术来从根本上解决这一农业生产难题。

#### 4 结论

专用微生物肥可以促进不同程度连作土壤中有效养分的提高, 提高土壤有机质、全氮、速效磷、速效钾的含量, 增强土壤肥力, 且随着连作障碍程度的不同产生差异性的改良效果。

专用微生物肥能很好地缓解土壤连作障碍, 可以促进不同连作程度土壤上辣椒植株的正常生长发育, 使植株的生物量、根系活力、叶绿素含量和植株内氮磷钾含量显著提高, 丙二醛含量和相对电导率显著下降。

此外, 本试验由于只测定辣椒植株生长前期的指标, 因此不能确定专用微生物肥是否到后期也能发挥作用。关于专用微生物肥料能作用多长时间及有效作用下降的时候如何及时地补救和采用何种措施补救使得肥料持续高效, 还有待于进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] 喻景权. “十一五”我国设施蔬菜生产和科技进展及其展望[J]. 中国蔬菜, 2011(2): 11-23.
- [2] 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.
- [3] Lee S C, Hwang I S, Choi H W, et al. Involvement of the pepper anti-microbial protein *CaAMPI* gene in broad spectrum disease resistance[J]. Plant Physiology, 2008, 148(10): 1004-1020.
- [4] Kipkoriony L R, Fusao M. Peach seedling growth in replant and non-replant soils after inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2006, 38: 2536-2542.
- [5] 郭修武, 胡禧熙, 李坤, 等. 连作葡萄对土壤中脲酶活性及养分含量的影响[J]. 土壤通报, 2010, 41(2): 320-322.
- [6] 郝永娟, 魏军, 刘春艳, 等. 生物土壤添加剂减轻黄瓜连作障碍的微生物效应[J]. 华北农学报, 2009, 24(4): 231-234.
- [7] Janvier C, Villeneuve F, Alabouvette C, et al. Soil health through soil disease suppression: which strategy from descriptors to indicators[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2007, 39(1): 1-23.
- [8] 邱立友, 戚元成, 王明道, 等. 植物次生代谢物自毒作用及其与连作障碍的关系[J]. 土壤, 2010, 42(1): 1-7.
- [9] 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.
- [10] 王飞, 李俊华, 赵思峰, 等. 拮抗菌和生物有机肥防治棉花黄萎病及其对土壤酶活性的影响[J]. 土壤通报, 2011, 42(3): 584-588.
- [11] Nguyen M T, Ranamukhaarachchi S L. Soil-borne antagonists for biological control of bacterial wilt disease caused by *Ralstonia solanacearum* in tomato and pepper[J]. Journal of Plant Pathology, 2010, 92(2): 395-406.
- [12] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [13] 高俊凤. 植物生理学指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [14] 中国科学院上海植物生理研究所, 上海市植物生理学会. 现代植物生理学实验指南[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [15] 徐传保, 赵兰勇, 张廷强, 等. 以电导法配合 Logistic 方程确定四种竹子的抗寒性[J]. 北方园艺, 2009, 3(2): 182-184.
- [16] 何欣, 郝文雅, 杨兴明, 等. 生物有机肥对香蕉植株生长和香蕉枯萎病防治的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(4): 978-985.
- [17] 李俊华, 蔡和森, 尚杰, 等. 生物有机肥对新疆棉花黄萎病防治的生物效应[J]. 南京农业大学学报, 2010, 33(6): 50-54.
- [18] 蒋小芳, 罗佳, 沈其荣, 等. 不同原料堆肥的有机无机复混肥对辣椒产量和土壤生物性状的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(4): 766-773.
- [19] 陆欣. 土壤肥料学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002.
- [20] 张山泉, 陈川, 徐沐, 等. 硫酸-过氧化氢消化法测定植株氮磷钾方法的改进[J]. 土壤, 2003(2): 174-175.
- [21] 罗佳, 赵爽, 袁玉娟, 等. 施用微生物有机肥对棉花抗病性相关酶活性的影响[J]. 南京农业大学学报, 2011, 4(3): 89-93.
- [22] 朱震, 陈芳, 肖同建, 等. 拮抗菌生物有机肥对番茄根结线虫的防治作用[J]. 应用生态学报, 2011, 22(4): 1033-1038.
- [23] 陈芳, 肖同建, 朱震, 等. 生物有机肥对甜瓜根结线虫病的田间防治效果研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(5): 1262-1267.
- [24] Ding J, Sun Y, Xiao C L, et al. Physiological basis of different allelopathic reactions of cucumber and figleaf gourd plants to cinnamic acid[J]. Journal of Experimental Botany, 2007, 58: 3765-3773.
- [25] Yu X Y, Wang X F, Zhang W Q, et al. Antisense suppression of an acid invertase gene (*MAII*) in muskmelon alters plant growth and fruit development[J]. Journal of Experimental Botany, 2008, 59(11): 2969-2977.