设施番茄连作障碍土壤修复及其对青枯病害的防治效果

郑雪芳 1，刘 波 1\*，朱育菁 1，陈德局 1，陈小强 1，魏余煌 2

(1. 福建省农业科学院农业生物资源研究所，福州 350003；2. 浙江省瑞安市农业局，瑞安 325200) 摘要：连作障碍的土壤修复是世界性难题。本研究利用土壤微生态修复剂结合青枯病植物疫苗菌剂来改良土壤 和预防青枯病发生。在连作7年的番茄地，设3种处理，处理1为添加量60 t/hm2的土壤微生态修复剂和植物 疫苗100倍稀释液，处理2为添加量30 t/hm2的土壤微生态修复剂和植物疫苗100倍稀释液，CK为不添加土 壤微生态修复剂和植物疫苗，研究不同处理对连作番茄土壤养分、土壤酶活性、植株生长特性及病害防效的影 响。结果表明，土壤微生态修复剂 2种不同添加量处理的番茄土壤有机质、全氮、全磷和交换性钙含量均显著 高于对照，而全钾含量显著低于对照；两种不同添加量处理的番茄土壤过氧化氢酶、脲酶、蔗糖酶和酸性磷酸 酶活性均显著高于对照，添加量为 30 t/hm2 处理的土壤各酶活性(酸性磷酸酶除外)大于添加量为 60 t/hm2 处理的土壤；添加30 t/hm2处理的单果重量(113.82 g)显著高于添加量60 t/hm2处理(104.07 g)和对照 处理( 104.99 g)(*P*<0.05),其对番茄青枯病防效达91.87%，大于添加量为60 t/hm2处理的防效(55.34%)。

关 键 词：连作障碍；土壤修复；番茄青枯病；综合治理技术

中图分类号：S476 文献标志码：A 文章编号：1005-9261(2018)01-0117-07

**Soil Restoration for Continuous Cropping Obstacles in Tomato Greenhouse Field and the  
Control Effect against Bacterial Wilt Disease**

ZHENG Xuefang1, LIU Bo1\*, ZHU Yujing1, CHEN Deju1, CHEN Xiaoqiang1, WEI Yuhuang2

(1. Agricultural Bio-Resources Institute, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350003, China; 2. Rui'an Bureau of  
Agriculture Zhejiang Province, Rui'an 325200, China)

**Abstract:** Soil restoration for continuous cropping obstacles has become a serious problem in the world. In this study, micro ecological preparation and plant vaccine agent (avirulent *Ralstonia solanacearum*) were combined to restore soil and prevent bacterial wilt disease. At 7 years continuous cropping tomato greenhouses field, two doses of micro ecological preparation (60 t/hm2 and 30 t/hm2) combining with plant vaccine agent were designed, and the control did not contain any micro ecological preparation or plant vaccine. The effects of different treatments on the contents of soil nutrients, soil enzymes, biological characteristics of tomato plant and the control efficiency against bacterial wilt disease were compared. The results showed that the contents of organic matter, total nitrogen, total phosphatase and exchangeable calcium for two doses of micro ecological preparation treatments were significantly higher than control treatment, while the content of total potassium was significantly lower. Moreover, the activities of soil urease, catalase, sucrose and acid phosphatase for two doses of micro ecological preparation treatments were also significantly higher than control treatment, and they were higher for the dose of 30 t/hm2 than for the dose of 60 t/hm2. The single fruit weight at the dose of 30 t/hm2 was 113.82 g, significantly higher than that of 60 t/hm2 dose (104.07 g) and control treatment (104.99 g) (*P*<0.05). Furthermore, the control efficiency of 30 t/hm2 micro ecological preparation (reaching to 91.87%) was also higher than that of 60 t/hm2.

收稿日期：2017-09-07

基金项目：国家重点研发项目(2017YFD201100)；国家自然科学基金(31701835)；福建省农业科学院科技创新团队(STTT2017-1-11)；福建 省农业科学院青年英才基金(YC2016-15)

作者简介：郑雪芳，博士，副研究员，E-mail： zhengxuefingiZ@163.com； \*通信作者，博士，研究员，E-mail： [fZliubo@163.com。](mailto:fzliubo@163.com)

**Key words:** continuous cropping obstacles; soil restoration; tomato bacterial wilt disease; comprehensive control measures

我国设施番茄面积达到100万hm2［1］。连作是目前我国设施番茄的主要栽培方式，长期连作导致土壤有 害微生物的富集，土传病害发生严重，如番茄的连茬种植使得青枯病原菌在土壤中的数量不断积累，导致青 枯病的大面积爆发［2］。已有研究表明，连作障碍的发生与土壤微生物群落变化密切相关，同一种作物长期连 续种植导致土壤某些特定微生物富集，病原菌数量增加，而有益细菌种类和数量减少［3,4］。 Xiong 等［5］报道， 长期连作的土壤微生物特性主要表现为多样性下降，细菌数量下降、真菌数量上升，病原微生物数量上升、 有益微生物数量下降等。

番茄连茬种植使得土壤生态环境恶化，品质和产量下降，引发严重的连作障碍，影响农业的可持续发 展和食品安全。连作障碍的防控技术主要包括轮作换茬、合理施肥、土壤改良等［6-8］。 Chen 等［6］研究表明， 低浓度的大蒜分泌物质有利于番茄植株生长，可以减轻连作障碍。将有益微生物以一定方式施入土壤中， 可以降低土壤中病原菌的密度，减轻病害发生，从而克服连作障碍［9］。李保会等［10］研究表明，复合微生物 制剂对连作障碍有一定的防治作用。张艳杰等［11］利用生防菌玫瑰黄链霉菌对设施番茄连作土壤进行修复， 表明其能增加土壤细菌和放线菌数量，促进植株生长和产量提高。添加一部分养分含量丰富的新土壤或深 翻改进土壤理化性状等土壤改良方法，在克服连作障碍上是行之有效的方法之一［12］。

近年来，福建省农业科学院与厦门江平生物基质有限公司合作，将养猪微生物发酵床垫料形成健康微 生物菌群作为整合微生物组，将其与栽培基质进行科学配伍堆制、发酵、加工形成土壤微生态修复剂，本 研究利用土壤微生态修复剂对连作障碍土壤进行修复，重建健康的土壤微生态环境，同时通过在番茄苗期 施用青枯病植物疫苗（无致病力青枯雷尔氏菌）来预防青枯病害。分析处理后土壤营养和酶活性变化、植 株生物学性状及青枯病害发性情况的变化，探究土壤微生态修复剂和青枯病植物疫苗对设施番茄连茬种植 的土壤修复效果，为番茄连作障碍治理和青枯病防控提供技术支撑。

**1** 材料与方法

**1.1** 试验地点

田间试验选址及番茄种植：田间试验选址在浙江省瑞安市马屿镇外三甲村（北纬27°77,东经120°45',海 拔111.2 m）属亚热带海洋型季风气侯，年平均温度17.9 °C,平均降雨量达1110〜2200 mm, 3—4月春雨期， 5—6月梅雨期，8—9月为热带暴风雨期。选择连作7年的番茄种植大棚为试验田，试验面积2亩（1亩=667 m2）。 **1.2** 试验材料

青枯病植物疫苗和土壤修复剂均为福建省农业科学院农业生物资源研究所研制的中试产品,植物疫苗 的有效成份为青枯雷尔氏菌无致病力菌株（avirulent *Ralstonia solanacearum）* FJATT458的发酵液，含活 菌量5.0X109 CFU/mL,发酵条件参见文献［13］。土壤微生态修复剂（经宏基组测序表明，其优势菌群为鞘 脂杆菌*Sphingobacterium、*食几丁质菌*Chitinophaga、*根瘤菌*Rhizobiaceae*等；基质载体主要成分为泥碳和 椰纤维）是福建省农业科学院与厦门江平生物基质有限公司合作研发的中试产品。试验选用的番茄品种为 红宝石，购自广州南蔬农业科技发展有限公司。

**1.3** 处理方法

2016年9月 20日进行番茄播种，采用32孔穴盘育苗， 1 个月后移载大棚种植， 1800株/亩。 2016年 10月 18 日，利用土壤微生态修复剂进行土壤修复，翻耕。处理1：添加土壤微生态修复剂量为60 t/hm2； 处理2：添加土壤微生态修复剂为30 t/hm2；将土壤微生态修复剂混入土壤修整后，浇水至土壤充分湿润； 第2 d进行番茄苗移栽和植物疫苗100倍稀释液灌根处理，300 mL/株,之后每个月用植物疫苗100倍稀释 液灌根1次；CK：以不施用土壤微生态修复剂和植物疫苗处理为对照，每处理3个重复，试验面积共约 0.3 hm2,各处理的面积分别约0.1 hm2,田间管理按常规方法进行。

**1.4** 土壤样本采集及养分含量和酶活性测定

采集采收期番茄土壤样本，每个处理采用五点取样法取5 株番茄，采集植株根围土壤（10〜20 cm， 200 g）为小样，再将处理组小样混合、拌匀、去砂砾和植物残体，过200目筛后，于4 °C冰箱保存。（1） 土壤理化性状测定:将样本送至福建省农业科学院土壤肥料研究所进行理化性状测定，主要测定项目为pH、 有机质含量、氮、磷和钾的含量、交换性钙含量。（2）土壤酶活性测定参照关松荫［14］方法进行：过氧化 氢酶采用KMnO4滴定法测定，以1 h内1 g 土消耗0.1 mol/L KMnOq的毫升数表示；脲酶采用苯酚纳比色 法，以1 g 土在37 C培养24 h释放出NH3-N的毫克数表示；蔗糖酶用滴定法，以1 g 土在37 C培养 24 h所消耗的0.1 mol/L NaSzOs的毫升数表示；酸性磷酸酶采用磷酸苯二钠比色法，以1 g 土壤的酚毫克 数表示磷酸酶活性。

**1.5** 番茄植株生物学特性测定及病害调查

分别在番茄苗期、开花期和结果期，每种处理各随机选取 15 株进行植株生物学性状测定，包括株高 （苗期）、花数（开花期）、挂果数（结果期）。在番茄采收期，对不同处理进行测产，每处理随机选取 10 株，每株各采集 5 个果实，采用天平称取果实重量，取平均值作为每株单果重，比较不同处理对番茄产 量的影响。

调查番茄在苗期、花期、结果期和采收期的青枯病发病率，计算各种不同处理对番茄青枯病害的防治 效果。发病率（％）=（发病株数/调查总株数）X100；防治效果（％）=（对照发病率一处理发病率）/ 对照发病率X100。

**1.6** 数据统计与分析

试验数据采用 Excel 2007、 DPS 7.05 软件进行系统处理和统计分析，采用 LSD 多重比较法进行差异显 著性检验。

**2** 结果与分析

1. 不同处理对土壤养分含量的影响

利用土壤微生态修复剂和植物疫苗可以调节土壤pH，由酸性（4.9）上调为中性（处理1的pH 7.27, 处理 2 的 pH 7.07），处理 1 和处理 2 的番茄根系土壤，有机质、全氮、全磷和交换性钙含量均显著高于 对照（*P*<0.05），全钾含量显著低于对照（*P*<0.05）（表1）；处理1的有机质含量（55.60 g/kg）显著 高于处理2 （51.30 g/kg）和对照（16.39 g/kg），处理2的交换性钙含量（16.18 cmol/kg）显著高于处理1

（14.70 cmol/kg）和对照（5.03 cmol/kg）（表 1）。

表 1 不同处理番茄根系土壤养分含量

Table 1 Content of tomato soil nutrients under different treatments

处理 测定项目 Test items

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Treatments | pH | 有机质含量  Organic content (g/kg) | 全氮  T otal nitrogen (%) | 全磷  Total phosphorus (%) | 全钾  Total potassium (%) | 交换性钙  Exchangeable calcium (cmol/kg) |
| 1 | 7.27±0.15 a | 55.60±1.43 a | 0.25±0.03 a | 0.17±0.01 a | 2.19±0.04 b | 14.70±0.18 b |
| 2 | 7.07±0.06 a | 51.30±1.16 b | 0.24±0.01 a | 0.18±0.02 a | 2.09±0.05 b | 16.18±0.36 a |
| CK | 4.50±0.20 b | 16.39±0.56 c | 0.12±0.01 b | 0.15±0.01 b | 2.84±0.01 a | 5.03±0.12 c |

注：同列数据后不同小写字母表示差异达显著水平(*P*<0.05)，下同。

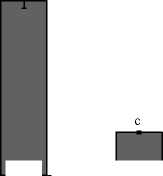
Note: Data with different lowercase letters within a column indicated significant difference at 0.05 level. The same below.

1. 不同处理对土壤酶活性的影响

研究表明，利用土壤微生态修复剂和植物疫苗处理，能够促进番茄根系土壤过氧化氢酶、脲酶、蔗 糖酶和酸性磷酸酶活性。添加量30 t/hm2处理组过氧化氢酶（1.03 mL/g）、脲酶（5.34 mg/g）、蔗糖酶 （70.55 mg/g）最高，分别比对照增加了 390.48%、307.63%和223.48%，差异均达显著水平（*P*<0.05）， 添加量60 t/hm2处理组的酸性磷酸酶含量最高，为60.56 mg/g,显著高于对照组（29.07 mg/g），与添加 量为30 t/hm2处理组（53.89 mg/g）差异不显著（图1）。

1. 不同处理对番茄田间植株生长特性的影响

对不同处理和不同生育期的番茄植株进行生物学性状测定，结果如表 2 所示，土壤微生态修复剂（两

0 1 1 1

(00/00!!!)&IAIse usel2e°

处理 Treatment 1

处理 Treatment 2

(00/00!!!) A-AIse use-IQns

堂腔®\*\*1

(00/00!!!) AUIAnQe Use-In

处理 Treatment 2

CK

处理 Treatment 1 处理 Treatment 2 CK

注：图中不同小写字母表示 0.05 水平上差异显著。

0

处理 Treatment 1 处理 Treatment 2

CK

Note: Data with different lowercase letters indicated significant difference at 0.05 level. 图 **1** 不同处理对土壤酶活性的影响**( 24 h )**

**Fig. 1 Effect of different treatments on the soil enzymatic activity (24 h)**

表 **2** 不同处理对番茄田间生长特性的影响

Table 2 Effect of different treatments on the growth of tomato plant in the field

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 处理  Treatment | 株高  Height of plant (cm) | 花数  Number of flowers | 挂果数  Number of fruits | 单果重  Weight of single fruit (g) |
| 1 | 82.33±1.77 a | 11.93±0.69 a | 1.93±0.36 a | 104.07±6.38 a |
| 2 | 74.33±1.89 b | 11.47±0.61 a | 0.73±0.30 a | 113.82±8.83 b |
| CK | 61.80±2.81 c | 8.93±0.84 b | 1.20±0.39 a | 104.99±3.94 a |

种剂量）结合植物疫苗处理植株的株高和花数均比对照组高且差异达显著水平（*P*<0.05）,挂果数在添加

60 t/hm2 土壤微生态修复剂处理组最高，为1.93个/株，但与对照比差异不显著。添加60 t/hm2 土壤微生态 修复剂处理的单果重量与对照相当，而添加30 t/hm2的土壤微生态修复剂处理的单果重量为113.82 g,显 著高于添加60 t/hm2土壤微生态修复剂和对照处理。

1. 不同处理对番茄青枯病害防效的影响 调查不同处理的番茄在不同生育期的青枯病发病率，在苗期、开花期和结果期田间青枯病发病率较轻，

采收期发病重，对照处理发病达18.40%, 添加 60 t/hm2土壤微生态修复剂的处理组发病率也达6.14%,添 加30 t/hm2土壤微生态修复剂处理组发病率最低为3.22%,防效可达82.50%,显著高于土壤微生态修复剂 添加量为60 t/hm2处理组（66.63%）（表3,图2）。

表 **3** 不同处理对不同生育期番茄青枯病发病率及防效的影响

Table 3 Effects of different treatments on incidence and control efficiencyof tomato bacterial wilt disease

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 处理  Treatment | 苗期 Seedling stage | | 开花期 Flower stage | | 结果期 Fruit stage | | 采收期 Harvest stage | |
| 发病率  Disease incidence (%) | 防效  Control effect  (%) | 发病率  Disease incidence (%) | 防效  Control effect  (%) | 发病率  Disease incidence (%) | 防效  Control effect  (%) | 发病率  Disease incidence (%) | 防效  Control effect  (%) |
| 1 | 0.34±0.0 b | 80.46 ±2.4 b | 0.60±0.02 b | 74.14±1.42 b | 2.78±0.08 b | 33.33±3.37 b | 6.14±1.38 b | 66.63 ±3.12 b |
| 2 | 0 | 100 a | 0.35±0.01 b | 84.91±3.84 a | 1.39±0.03 c | 66.67±4.32 a | 3.22±0.08 c | 82.50±2.73 a |
| CK | 1.74±0.01 a | - | 2.32±0.03 a | - | 4.17±0.02 a |  | 18.40±1.86 a | - |



处理 Treatment 1 处理 Treatment 2 CK

图 2 采收期不同处理番茄青枯病发病情况

Fig. 2 The disease incidence of tomato plants under different treatments at harvesting period

**3** 讨论

随着番茄产业的发展和集约化经营，番茄连作已十分普遍，特别是设施番茄。番茄连作一定年限后可造 成土壤养分、土壤酶活性和土壤微生物群落失调等一系列问题，致使土壤生物和非生物环境显著恶化，并在 很大程度上减弱了番茄的防御反应及抗逆能力，影响番茄植株的生长发育，从而造成番茄的连作障碍［15,16］。 Gou 等［17］指出长期连作设施蔬菜生产中，由于大量施用氮肥及氮肥利用率低导致土壤酸化。本研究中连作 7年的设施番茄土壤pH为4.5,严重酸化，利用土壤微生态修复剂改良后，土壤pH明显提高（土壤微生 态修复剂的 2 种不同添加量处理 pH 分别为 7.27 和 7.07），由酸性转为中性。葛晓颖等［1］研究表明番茄最 适宜生长 pH 7.0，本研究结果与其相吻合，与对照（酸性土壤）相比，利用土壤微生态修复剂改良后的中 性土壤明显促进番茄植株生长。此外，对不同处理番茄土壤营养成分测定结果显示，对照组土壤有机质、 氮、磷、交换性钙等营养成分含量低下，土壤贫瘠，利用生物基质改良土壤后，有机质、氮、磷、交换性 钙等营养成分含量显著提高，这与前人研究结果一致［18,19］，李鹏［18］利用园林废弃物加工处理后形成的植物 基质对土壤进行生态改良，表明其对增强地表土壤的含水量，土壤微生物含量， N、 P、 K 含量都有显著提 高。朱虹等［19］利用改良基质（树皮土基质）对盐碱土进行改良，能够增加有机质含量，促进植株生长，使 植物受盐碱胁迫程度降低，取得良好效果。

土壤酶活性反应了土壤的生物活性和土壤养分转化能力［20,21］。土壤酶活性的下降在一定程度上表明土 壤状况的恶化［22］。脲酶是土壤中主要的水解酶类之一，对尿素在土壤中的水解及作物对尿素氮的利用有重 大的影响［23,24］。过氧化氢酶催化过氧化氢分解，减轻过氧化氢过量累积对植物的危害［25］。蔗糖酶对增加土 壤中易溶性营养物质起着重要的作用，一般情况下土壤肥力越高，蔗糖酶活性越强［26,27］。酸性磷酸酶活性 是评价土壤磷素生物转化方向的强度和指标，研究证明磷酸酶与土壤碳、氮含量成正相关，与有效磷含量 和土壤 pH 也有关［28］。张晓鹏等［29］研究表明，土壤处理剂能提高黄瓜连作土壤中脲酶、蔗糖酶和磷酸酶活 性。万年鑫等［30］研究发现，玉米和马铃薯轮作能增加土壤脲酶、过氧化氢酶和蔗糖酶活性。本研究中联合 土壤微生态修复剂和青枯病植物疫苗修复的番茄连作土壤，测定的过氧化氢酶、脲酶、蔗糖酶和酸性磷酸 酶均得到显著提高，原因可能是生物基质含有大量的有机质等营养成分，提高土壤的肥力，从而增加土壤 酶活性。Anna和Przemyslaw［31］研究结果同样表明，肥力高的土壤其酶活性也较强。

设施番茄连作会引发严重的土传病害如青枯病［32,33］。目前对番茄青枯病的防治方法主要是化学农药防 治、抗病育种、轮作等，但由于各种条件限制未能达到预期效果。研究表明，一些有益微生物可作为植物 疫苗，通过改善土壤生态环境，增强作物免疫力，有效抑制土传病虫害和重茬障碍的发生［34］。 Raza 等［35］ 报道荧光假单胞菌菌株 WR-1 通过产挥发性有机化合物来有效控制番茄青枯病。 Zhou 等［36］研究表明油菜 假单胞菌 J12 能够抑制番茄根系土壤中青枯雷尔氏菌的生长，对番茄青枯病具有良好的防治效果。本研究 发现，利用土壤微生态修复剂，配合施用无致病力青枯雷尔氏菌研发青枯病植物疫苗“鄂鲁冷特”对番茄 具有很好的抗病和促长作用。其中土壤微生态修复剂用量 30 t/hm2 比 60 t/hm2 的效果更好，以采收期防效和 单果重为例，土壤微生态修复剂用量 30 t/hm2 的处理组对番茄青枯病防效为 82.5%，比土壤微生态修复剂用 量60 t/hm2处理组的防效(66.63%)提升24.04%，单果重提升9.37%，这可能是因为土壤微生态修复剂 用量过高，营养过剩，反而令植株生长过旺，抗病性减弱，如土壤微生态修复剂添加量60 t/hm2番茄植 株株高(82.33 cm)显著高于添加量为30 t/hm2处理的番茄(74.33 cm)。

发展设施农业，需要打破地域和季节的自然限制才能提供速生、高产、优质的农产品。在提高设施农 业发展水平的同时，要探索经济有效的轻简化病虫害防治技术，降低蔬菜中的化学农药残留量，才能保障 农业生态环境安全。本研究探索了土壤微生态修复剂与生防菌剂相结合来改良土壤、降低土传病害的新途 径，对于减少化肥农药用量，提高作物产量和品质，促进有机农业的发展等具有重要意义。

参 考 文 献

1. 葛晓颖，孙志刚，李涛，等.设施番茄连作障碍与土壤芽孢杆菌和假单胞菌及微生物群落的关系分析J].农业环境科学学报，2016, 35(2):

514-523.

1. Yadessa G B, Bruggen A, Ocho F L. Effects of different soil amendments on bacterial wilt caused by *Ralstonia solanacearum* and on the yield of tomato[J]. Journal of Plant Pathology, 2010, 92: 439-450.
2. 王敬国，陈清，林杉.设施菜田退化土壤修复与资源高效利用[M].北京：中国农业大学出版社，2011.
3. Tan Y, Cui Y, Li H, *et al*. Rhizospheric soil and root endogenous fungal diversity and composition in response to continuous panax notoginseng cropping practices[J]. Microbiology Research, 2017, 194: 10-19.
4. Xiong W, Zhao Q Y, Zhao J. 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.

1. Cheng F, Cheng Z H, Meng H W. Transcriptomic insights into the allelopathic effects ofthe garlic allelochemical diallyl disulfide on tomato roots[J].

Scientific Reports, 2016, 6: 38902.

1. Ding H, Cheng Z, Liu M, *et al*. Garlic exerts allelopathic effects on pepper physiology in a hydroponic co-culture system[J]. Biology Open, 2016, 5: 1-7
2. Renaud M ,Chelinho S, Alvarenga P, *et al*. Organic wastes as soil amendments-effects assessment towards soil invertebrat es [J]. Journal of Hazardous

Materials, 2017, 330: 149-156.

1. 高亚娟.草莓连作障碍土壤改良技术研究[D].扬州：扬州大学,2013.
2. 李保会.复合微生物菌肥对连作草莓矿质养分吸收及产量的影响[J].河北农业大学学报,2007, 30(3): 44-47.
3. 张艳杰，杨淑，陈英化，等.玫瑰黄链霉菌防治番茄连作障碍及对土壤微生物区系的影响[J].西北农业学报,2014, 23(8): 122-127.
4. 殷振江，周勇，张宇，等.浅析温室番茄连作障碍防控技术[J].陕西农业科学,2015, 61(7): 109-111.
5. 郑雪芳，朱育菁，刘波，等.番茄青枯病植物疫苗胶悬剂的制德及其对病害的防治效果[J].植物保护,2017, 43(2): 208-211.
6. 关松荫.土壤酶及其研究法[M].北京：农业出版社，1986.
7. Murphy C E, Lemerle D. Continuous cropping systems and weed selection[J]. Euphtica, 2006, 148(1): 61-73.
8. 刘润进，陈应龙.菌根学[M].北京：科学出版社,2007.
9. Guo J H, Liu X J, Zhang Y, *et al*. Significant acidification in major Chinese croplands[J]. Science, 2010, 327(5968): 1008-1010.
10. 李鹏.植物基质对土壤生态改良的效果研究[J].中国园艺文摘,2015, 31(12): 20-21.
11. 朱虹，王文杰，祖元刚，等•树皮土基质和降盐碱剂对盐碱土的改良效应[J].林业科学,2010, 46(7): 42-48.
12. 刘素慧，刘世琦，张自坤，等.大蒜连作对其根际土壤微生物和酶活性的影响[J].中国农业科学,2010, 43(5): 1000-1006.
13. Yao X H, Min H, Lu Z H, *et al*. Influence of acetamiprid on soil enzymatic activities and respiration[J]. European Journal of Soil Biology, 2006, 42(2): 120-126.
14. Lagomarsin A, Benedetti A, Marinari S, *et al*. Soil organic C variability and microbial functions in a Mediterranean agro-forest ecosystem [J]. Biology and

Fertility of Soil, 2011, 47(3): 283-291.

1. Albiach R, Canet R, Pomares F, *et al*. Microbial biomass content and enzymatic activities after the application of organic amendments to a horticultural

soil[J]. Bioresource Technology, 2000, 75(1): 43-48.

1. 郭永盛，李鲁华，危常州，等.施氮肥对新疆荒漠草原生物量和土壤酶海活性的影响[J].农业工程学报,2011, 27(S1): 249-256.
2. Kabana R R, Truelove B. Effects o f crop rotation and fertilization on catalase activity in a soil of the southeastern United States[J]. Plant and Soil, 1982,

69(1): 97-104.

1. Gu Y, Wang P, Kong C. Urease, invertase, dehydrogenase and polyphenoloxidase activities in paddy soil influenced by allelopathic rice variety[J]. European Journal of Soil Biology, 2009, 45(5/6): 436-441.
2. Antonious G F. Impact of soil management and two botanical insecticid es on urease and invertase acitivity[J]. Journal of Environmental Science and Health Part B: Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes, 2003, 38(4): 479-488.
3. 孙彩霞，陈利军，武志杰.Bt杀虫晶体蛋白的土壤残留及其对土壤磷酸酶活性的影响J]. 土壤学报,2004, 41(5): 761-765.
4. 张晓鹏，刘雅亭.土壤处理剂对黄瓜连作土壤中土壤酶活性及黄瓜品质影响的试验J].农业技术与装备,2015, 10: 4-6.
5. 万年鑫，郑顺林，周少猛，等.薯玉轮作对马铃薯根区土壤养分及酶活效应分析J].浙江大学学报,2016, 42(1): 74-80.
6. Anna P D, Przemyslaw C. The impact of the soil sealing degree on microbial biomass, enzymatic activity and physicochemical properties in the Ekranic Technosols of Torun[J]. Journal of Soils and Sediments, 2015, 15(1): 47-59.
7. Li L, Feng X, Tang M, *et al*. Antibacterial activity of Lansiumamide B to tobacco bacterial wilt (*Ralstonia solanacearum*)[J]. Microbiology Research, 2014, 169(8): 522-526.
8. 伍朝荣，黄飞，高阳，等 土壤生物消毒对土壤改良、青枯菌抑菌及番茄生长的影响J].中国生态农业学报,2017, 25(8): 1173-1180.
9. 张震，张炳欣，喻景权.黄瓜土传病害拮抗菌分离鉴定及生物活性测定J].浙江农业学报,2004,16(3): 151-155.
10. Raza W, Ling N, Liu D, *et al.* Volatile organic compounds produced by *Pseudomonas fluorescens* WR-1 restrict the growth and virulence traits of *Ralstonia solanacearum*[J]. Microbiological Research, 2016, 192: 103-113.
11. Zhou T, Chen D, Li C, *et al*. Isolation and characterization of *Pseudomonas brassicacearum* J12 as an antagonist against *Ralstonia solanacearum* and identification of its antimicrobial components[J]. Microbiology Research, 2012, 167(7): 384-394.