

# 复合菌剂对盆栽番茄土壤理化性质及微生物活性的影响

曹恩琿<sup>1,2</sup>, 侯宪文<sup>1</sup>, 李光义<sup>1</sup>, 黄庆茂<sup>1,2</sup>, 李勤奋<sup>1\*</sup>

1. 海南大学环境与植物保护学院, 海南 儋州 571737; 2. 中国热带农业科学院环境与植物保护研究所, 海南 儋州 571737

**摘要:** 通过盆栽对照试验的方法, 研究复合菌剂 C1、C2 对土壤理化性质及微生物活性的影响, 结果表明: 与对照相比, 施用复合菌剂 C1、C2 能够减少土壤真菌的数量, 在施菌剂早期可以增加土壤细菌的数量, 对土壤放线菌影响较小; 提高土壤有机质、碱解氮、速效磷、速效钾等土壤养分的质量分数, 降低土壤酸度; 同时还能够显著地增强土壤脲酶、磷酸酶、纤维素酶及过氧化氢酶的活性。进一步对各处理的土壤因素进行主成分分析, 结果显示 PC1 为土壤碱解氮、速效磷、速效钾, PC2 为土壤矿化氮、脲酶、纤维素酶。综合评价土壤质量, 复合菌剂 C2 在各处理中综合得分最大。

**关键词:** 复合菌剂; 土壤微生物; 土壤酶活性; 土壤养分; 主成分分析

**中图分类号:** S153; S154.3

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1674-5906 (2011) 05-0875-06

微生物肥料(Biofertilizer), 亦称菌肥、生物肥料、接种剂等, 是指一类含有活微生物的特定制品, 应用于农业生产中, 能获得特定的肥料效应<sup>[1]</sup>。微生物肥料作为一种新型肥料, 施入土壤后, 通过其特定菌株的快速繁殖, 能固定大气中的氮素、释放土壤中固定态的磷、钾元素, 使得环境的养分潜力得以充分发挥, 并为作物生长营造一个良好的土壤微环境, 在减少化肥用量、降低环境污染、提高农作物品质等方面具有重要意义<sup>[2]</sup>。

人们对微生物的研究和应用始于 19 世纪末, 到现在已有 100 多年的历史了。Caron<sup>[3]</sup>首次使用了几种土壤细菌使豆科作物增产, 后证明是根瘤菌。20 世纪 20 年代, 欧美各国相继开始根瘤接种剂的研究与使用。此后 P.A.Mehkha 从土壤中分离出硅酸盐细菌和解磷细菌, 施用解磷细菌使土壤速效磷质量分数提高了 15%~42%。20 世纪 50 年代, 美、法等国将固氮螺菌接种禾本科作物, 使玉米增产 10%~20%, 固氮能力达 39 kg·hm<sup>-2</sup>。意大利、德国、比利时和日本等国发现玉米接种固氮螺菌可取代 20%~30% 的氮肥。Burr、Klopper、Suslow 相继发现植物根围存在着一些微生物, 可间接地促进植物生长, 称之为促进植物生长根细菌, 简称促生菌(plant growth promoting rhizobacteria, PGPR), 属荧光假单胞菌(*Pseudomonas fluorescens*), 由此开始了对根际细菌的研究及对有益微生物的筛选<sup>[4]</sup>。Bajwa 等<sup>[5]</sup>、Yan 等<sup>[6]</sup>也分别通过根瘤菌、从枝菌根真菌(AM)、EM 菌等有益微生物的菌效试验, 表明微生物肥料中的有益微生物可以提高土壤肥力, 改善土壤环境, 促进植物营养吸收等。

自 20 世纪 90 年代后期, 微生物肥料的研究与应用有向多菌株复合方向发展的趋势, 不同功能的多菌株组合、功能互补的复合微生物肥料已成为研究和应用的主要发展方向<sup>[7]</sup>。国外研究复合菌剂比较成功的例子之一, 是由 Higa 发明的 EM 菌剂, 其菌群稳定, 功能多样, 在日本、欧美国家等地应用广泛。目前, 国内微生物肥料多趋向于将固氮菌和磷、钾细菌复合在一起施用, 使得微生物肥料能同时供应作物氮、磷、钾营养元素。针对复合菌剂肥效的研究, 国内还基本停留在试验阶段, 且大部分集中在菌剂对植株促生、抗病等应用效果研究上, 在菌剂对土壤环境影响的综合评价方面, 还未展开较系统的研究。

本研究从微生态系统角度切入, 采用经室内试验和单一功能菌盆栽测效试验筛选得到的功能菌株。根据它们之间的促抑关系、对植株促生抗病效果等把几株功能菌进行优化组合, 得到复合菌剂 C1、C2。本文旨在探讨复合菌剂施用后对盆栽番茄土壤理化性质及微生物活性的影响, 以评价复合菌剂在土壤改良方面的效果, 同时为进一步研究菌肥肥效提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试土壤: 采集于海南省儋州市中国热带农业科学院试验场教学一队橡胶园, 土壤类型为砖红壤。添加适量有机肥后供试土壤的理化性质主要指标为土壤 pH(6.45), 有机质 24.02 g·kg<sup>-1</sup>、全氮 1.38 g·kg<sup>-1</sup>、全磷 0.51 g·kg<sup>-1</sup>、全钾 14.37 g·kg<sup>-1</sup>, 碱解氮 13.60 mg·kg<sup>-1</sup>、矿化氮 5.43 mg·kg<sup>-1</sup>、速效磷 70.05

**基金项目:** 国家木薯产业技术体系项目 (nycytx-17); 海南省重点科技项目 (ZDXM20100021)

**作者简介:** 曹恩琿 (1987 年生), 男, 硕士研究生, 主要从事农业废弃物利用方面的研究。E-mail: ceh.love.yl@163.com

\*通信作者: 李勤奋, 女, 副研究员, 硕士生导师。E-mail: qinfenli2005@163.com

**收稿日期:** 2011-04-02

mg·kg<sup>-1</sup>、速效钾270.00 mg·kg<sup>-1</sup>。

供试复合菌剂：复合菌剂 C1、复合菌剂 C2，经前期试验，复合菌剂中的菌株具有解磷、固氮、抗病、促生等作用。培养基：牛肉膏-蛋白胨培养基、马铃薯葡萄糖培养基、孟加拉红培养基、高氏 1 号培养基等。

供试植物：供试番茄(*Solanum lycopersicum*)品种为红宝石 2 号。

## 1.2 试验方法

### 1.2.1 试验设计

试验设 6 个施肥处理：空白对照(CK)、复合菌剂(C1)、复合菌剂(C2)、对照菌株(DN3)、对照固氮菌组(A)、化肥(F)，每个处理 6 个重复。采用盆栽试验，每盆装土 5 kg，栽种 2 株番茄幼苗，成活后间苗留 1 株生长较好的幼苗继续盆栽试验。试验于 2010 年 9 月 1 日育苗，9 月 20 日移栽，12 月 21 日收获。

对照菌株 DN3 为多粘芽孢杆菌(*Paenibacillus polymyxa*)，其作为单菌与复合菌在试验效果上进行比较，来判定多菌株复合后较单菌菌效的变化；对照固氮菌组 A 处理为经固氮活力测定确定具有固氮作用的菌株组合得到的组合菌，与多功能菌株组合后的复合菌进行菌效比较；设置化肥 F 处理目的是考察复合菌剂与化肥的肥效差异。

### 1.2.2 操作流程

在无菌条件下，分别从保存试管的斜面上挑取各菌，在适宜的固体培养基上划线，30℃下培养 2 d。挑取各菌单菌落至液体培养基(250 mL 的锥形瓶内分别加入 50 mL 培养基)，在 30℃下 200 r·min<sup>-1</sup> 振荡培养 24 h。各菌在各自适宜培养基分别培养，在复合菌处理番茄植株前，将各单一功能菌液按菌组配方等比例接菌量混合，即接同一浓度(600 nm, OD 值 0.50)，每种功能菌 15 mL，混合。

待番茄幼苗长出 4~6 片叶时将番茄移植入盆。将单菌液按等比混合，移栽时分别用混合菌液蘸根处理 10 min，在移植 7、20 d 时，分别进行菌液灌根处理(统一接种量：600 nm, OD 值 0.50)，每盆 60 mL。

当番茄达旺盛生长期(定植后 20 d 左右)，化肥 F 处理，每盆追施化肥时用尿素 2.06 g、过磷酸钙 0.94 g、硫酸钾 2.72 g 补充土壤 N、P、K，施肥时  $m(N) : m(P) : m(K)$  的比例为 1 : 0.46 : 1.32<sup>[8]</sup>。

在盆栽 0、7、15、30、60 d，每盆按多点法采集 0~20 cm 土层土壤得到混合土样。新鲜土样一部分置冰箱内冷藏(4℃，少于 72 h)供土壤微生物调查，采用平板活菌计数法。因试验主要是比较复合菌剂与化肥处理土壤微生物数量的变化动态，故只

测定 CK、F、C1、C2 处理即可。

将植株盆栽 30 d 左右采集的土分成 2 部分，一部分取新鲜土样测土壤脲酶(苯酚钠比色法)、酸性磷酸酶(磷酸苯二钠比色法)、过氧化物酶(KMnO<sub>4</sub> 滴定法)、纤维素酶(萘酚显色比色法)等；另一部分风干后用于土壤理化指标的测定：pH 值( $m(\text{土}) : V(\text{水})=1 : 2.5$ )、 $w(\text{土壤水})$ 、有机质(外加热法)、碱解 N(碱解—扩散法)、矿化 N(厌气培养法)、速效 P(NH<sub>4</sub>F—HCl 浸提)、速效 K(NH<sub>4</sub>OAc 浸提)等<sup>[9]</sup>。

### 1.3 数据处理

试验数据采用 Microsoft Excel 2003、SAS 9.0 等软件进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 番茄不同时期可培养土壤微生物的数量变化

在盆栽番茄不同处理时间，对 CK、F、C1、C2 处理的土壤采样，用不同的培养基进行了平板稀释计数，结果如图 1 所示。由图 1(a)可知，CK、F 处理真菌数量呈逐渐增加趋势。复合菌剂 C1、C2 盆栽前 15 d 真菌数量急速下降至最低水平(约  $4.00 \times 10^3$  cfu)，后缓慢上升，但菌落数一直在  $1.00 \times 10^4$  cfu 以下。由图 1(b)可知，各处理土壤样品中根际放线菌数量变化趋势基本一致，从苗期一直到末期始终处于下降趋势。由图 1(c)可知，CK、F 处理土壤样品中细菌数量变化趋势均从苗期后缓慢上升，到初花期达到最大值，之后缓慢下降；复合菌剂 C1、C2 接菌处理后细菌数量在前 7 d 明显上升，后下降，在第 30 天降至 CK(F)的水平，后直至第 60 天数量维持在同一水平，变化不大。不同菌、肥处理，可培养土壤微生物总量在番茄旺盛生长期(盆栽 30 d)分别为 CK( $4.72 \times 10^7$  cfu)、F( $4.79 \times 10^7$  cfu)、C1( $4.73 \times 10^7$  cfu)、C2( $4.96 \times 10^7$  cfu)，除复合菌剂 C2 相对其它处理有一定程度提高外，其余处理间差别不大。番茄盆栽不同时期各处理细菌的数量均占绝对优势，对微生物总量变化起决定作用。

### 2.2 复合菌剂对盆栽土壤化学性质的影响

#### 2.2.1 pH

除化肥 F 处理外，其它处理较种植番茄前土壤 pH 值均有提高，其中以复合菌剂 C1、C2 处理较明显，分别提高到 7.23、7.35(表 1)。这一中性略偏碱的土壤 pH 环境有利于以芽孢杆菌和链霉菌组成的复合菌剂更好的定殖，同时可以抑制土壤中真菌引起的病害。而对施入菌剂影响土壤酸度的机理有待进一步研究。

#### 2.2.2 有机质

复合菌剂 C1、C2 处理的土壤有机质质量分数，较空白对照处理 CK 分别高 5.16%、2.99%，但较化肥 F 处理要低些，与未种植番茄前的土壤比较，有

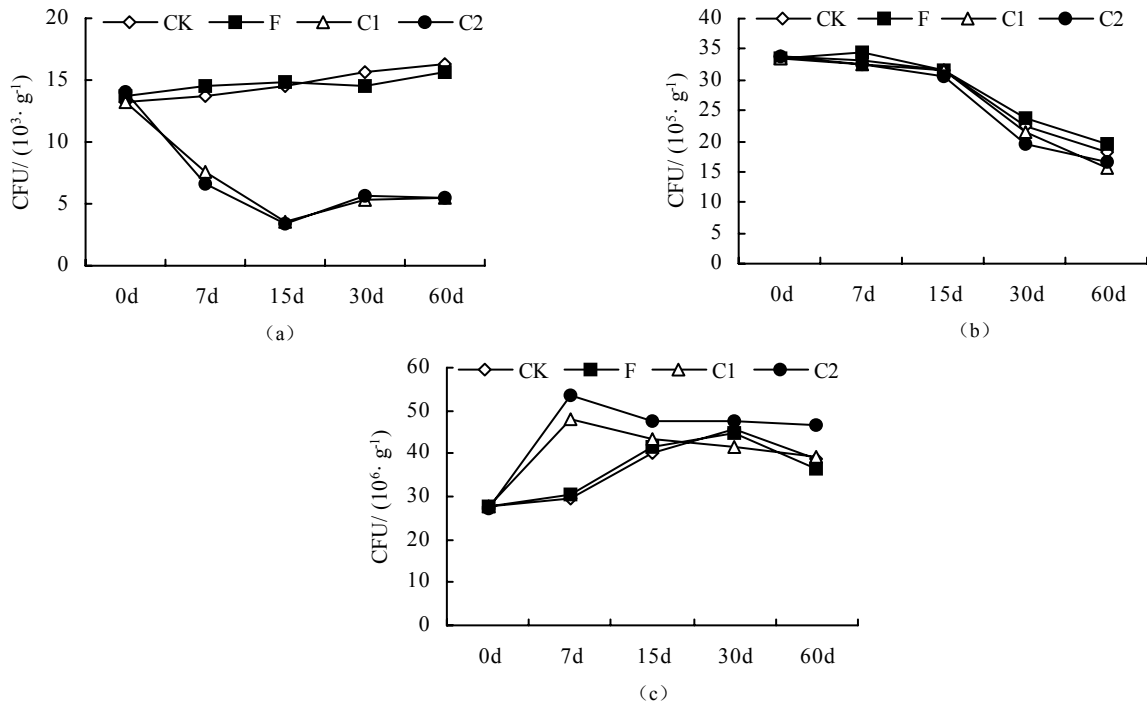


图1 番茄不同时期真菌 (a)、放线菌 (b)、细菌 (c) 的数量变化

Fig. 1 Changes of numbers of fungi (a), actinomycetes (b), bacteria (c) during different period of tomat

机质前后变化不大(表 1)。因施用复合菌剂 C1、C2 的处理植物生长较 CK 好, 土壤中植物根的残体也较多些, 另外由于外源微生物的进入可能导致外源或土壤中微生物的部分死亡, 相对提高了土壤有机质。化肥 F 的施入给植株提供了速效的营养, 同时可能影响了土壤微生物对土壤有机质的矿质化过程, 有机质质量分数相对较高。

### 2.2.3 碱解氮

复合菌剂(C1、C2)、固氮菌组 A、单菌 DN3 及化肥 F 处理碱解氮质量分数均较 CK 处理有显著提高, 且以 F 化肥处理、复合菌剂 C1、C2 处理提高最为明显, 分别提高了 87.02%、70.46%、73.86%, 相对 CK 差异极显著(表 1)。其中化肥处理碱解氮质量分数之所以最高, 是因为化肥中尿素分解较快, 很快就分解为铵态氮、硝态氮等可以被植物直接吸收利用的氮形态碱解氮。而复合菌剂 C1、C2 处理

碱解氮质量分数较高, 可能是因为复合菌中具有自生固氮能力的菌株发挥了固氮作用, 同时复合菌中的芽孢杆菌等还可以加速土壤有机氮的矿化, 所以土壤中碱解氮的质量分数较高; 低于化肥处理的原因可能是固氮菌固氮及促进有机氮矿化等产生的碱解氮没有化肥中尿素分解产生的碱解氮多。

### 2.2.4 矿化氮

从对比空白处理 CK 可得, 不同菌、肥处理的土壤在土壤氮的矿化能力上均高于空白处理 CK, 但各处理间存在一定差异(表 1)。其中复合菌剂 C1、C2 及固氮菌组 A 处理对提高土壤中易矿化氮有着显著的促进作用, DN3、F 处理的促进作用稍差些。复合菌剂 C1、C2 及固氮菌组 A 对土壤中易矿化氮的提高, 主要是因为它们均含有较高固氮能力的固氮功能菌, 可能同时也激活了土壤中其它微生物对氮的矿化作用, 所以培养后的矿化氮质量分

表 1 番茄盆栽土壤的理化指标

Table 1 Physicochemical index of potting tomato's soil

样品编号	pH	w(有机质)/(g·kg <sup>-1</sup> )	w(碱解氮)/(mg·kg <sup>-1</sup> )	w(矿化氮)/(mg·kg <sup>-1</sup> )	w(速效磷)/(mg·kg <sup>-1</sup> )	w(速效钾)/(mg·kg <sup>-1</sup> )
CK	7.11 ab	23.43 ± 0.18 c	10.94 ± 1.21 c	5.61 ± 0.57 c	68.33 ± 1.34 c	283.33 ± 20.00 c
F	6.37 b	25.26 ± 0.23 a	20.46 ± 2.32 a	5.73 ± 0.44 bc	118.90 ± 1.07 a	406.67 ± 30.00 a
DN3	7.09 ab	24.17 ± 0.14 b	14.42 ± 1.97 b	6.05 ± 0.60 b	82.16 ± 1.53 bc	320.00 ± 10.00 bc
A	7.10 ab	24.15 ± 0.09 b	16.31 ± 2.10 ab	6.45 ± 0.45 ab	93.13 ± 0.87 b	343.33 ± 30.00 b
C1	7.23 a	24.24 ± 0.11 b	18.65 ± 1.85 a	6.67 ± 0.71 ab	97.55 ± 0.71 b	370.00 ± 10.00 ab
C2	7.35 a	24.13 ± 0.07 b	19.02 ± 2.11 a	7.11 ± 0.35 a	104.05 ± 2.19 ab	366.67 ± 20.00 ab

同列数据比较, 不同字母表示  $P < 0.05$ , 下同

数明显高于空白处理 CK。单菌 DN3 可能也具有这种能力,但显然不如复合菌土壤氮矿化的效果好。化肥 F 处理可能是施氮肥引起短暂的土壤全氮的提高,这种提高同时也反映在了土壤矿化氮上<sup>[10]</sup>。

### 2.2.5 速效磷

不同菌、肥处理的土壤速效磷质量分数均高于空白处理 CK(表 1)。其中以化肥 F 处理最为显著,主要是因为所施化肥中含有效态磷肥—过磷酸钙,短期内提高了土壤中的速效磷质量分数。复合菌 C1、C2 处理虽在对土壤速效磷质量分数影响上不及化肥速效,但两复合菌剂中均含有解磷功能的芽孢杆菌,可以降解土壤中不能为植物直接利用磷成分,其对土壤磷的转化有较长效的作用。

### 2.2.6 速效钾

不同菌、肥处理对土壤速效钾的影响与对速效磷的影响相似(表 1)。番茄生长后期更需要从土壤中吸收大量速效钾来满足开花坐果等生殖生长的需要,这种需求降低了土壤中交换性钾质量分数,从而增加了土壤钾的释放量<sup>[11]</sup>,也就是说,复合菌在促进植物生长的同时,也间接地提高了土壤速效钾的质量分数。同时复合菌中的解钾功能菌可以降解土壤中难以被植物直接利用的钾成分。

## 2.3 复合菌剂对土壤酶活性的影响

### 2.3.1 脲酶

施用各菌、肥处理的土壤脲酶活性均高于空白处理 CK,其中复合菌剂 C2 处理的土壤脲酶活性最高,差异达到显著水平。复合菌剂 C1、固氮菌组 A、单菌 DN3 处理的土壤脲酶活性也较 CK 有一定程度的提高(表 2)。复合菌剂处理的土壤脲酶活性的提高可能有以下 2 种原因:(1)复合菌中具有分泌或者刺激植株根系分泌脲酶的功能微生物发挥作用。(2)复合菌中的固氮功能微生物具有长效固氮作用,部分土壤有机氮提高,根据酶的底物诱导学说,底物浓度的适当提高促进了脲酶的合成和活性的发挥。不管功能菌是以上哪种机能发挥作用,均可得到土壤脲酶活性与土壤微生物群密切相关的结论<sup>[11]</sup>。化肥 F 处理组脲酶活性与 CK 差异不大,可能是施肥中尿素为速效氮类肥料,其进入土壤后分

解代谢较快,在施肥后第 15 天测定,土壤中尿素残余较少,所以脲酶活性与空白处理相比差异不显著。这一结果与该处理碱解氮质量分数较高(表 1)的结果并未保持一致,与王延军等<sup>[11]</sup>的研究结果不同,具体原因有待进一步研究。

### 2.3.2 磷酸酶

除化肥 F、复合菌剂 C2 处理外,其它各处理土壤磷酸酶活性间差异不显著(表 2)。化肥 F 处理提高的原因可能是土壤施肥提高了土壤全氮的质量分数,而相关研究也表明,土壤磷酸酶活性与土壤氮质量分数呈正相关<sup>[11]</sup>,所以磷酸酶活性较 CK 有一定提高。复合菌剂 C2 提高土壤磷酸酶活性一部分原因是其中固氮功能菌对土壤氮提高的贡献,更多的可能是复合菌中具有解磷功能的芽孢杆菌分泌或者促进植株根系分泌磷酸酶,提高了土壤磷酸酶活性,复合菌剂 C1 在这方面的促进效果不明显。

### 2.3.3 纤维素酶

纤维素酶是糖苷水解酶的 1 种,它可以将纤维素物质水解成简单糖类,更好地被土壤微生物利用和分解,促进土壤有机质质量分数的提高,土壤中纤维素酶活性与土壤中难降解的纤维素类物质的分解直接相关<sup>[12]</sup>。从表 2 中可以看出,复合菌剂 C1、C2 与对照 CK 相比,土壤纤维素酶活性显著提高,可能是复合菌中具有分泌纤维素酶,降解土壤纤维素的功能菌株发挥作用的结果,而复合菌剂 C1 的效果较 C2 要好些。处理 DN3、A 对土壤纤维素酶活性提高也有一定的促进作用;化肥 F 处理与 CK 差异不显著。

### 2.3.4 过氧化氢酶

过氧化氢酶广泛存在于土壤和生物体内。土壤过氧化氢酶酶促过氧化物的分解有利于防止其对植株的毒害作用。相关研究表明,土壤中过氧化氢酶活性与土壤有机质及土壤微生物菌群有一定的相关性,与土壤肥力因子呈正相关<sup>[13]</sup>。施加复合菌肥 C1、C2 提高了土壤过氧化氢酶的活性,复合菌剂 C2 的这种促进效果更明显些(表 2)。化肥 F 处理的过氧化氢酶活性显著降低,具体原因有待进一步探究。

表 2 土壤酶活性指标

Table 2 Enzyme activity of several soil

样品编号	脲酶/[mg·(g·24h) <sup>-1</sup> ]	酸性磷酸酶/[μg·(g·24h) <sup>-1</sup> ]	纤维素酶/[mg·(g·24h) <sup>-1</sup> ]	过氧化氢酶/[mL·(g·30min) <sup>-1</sup> ]
CK	1.13 ± 0.03 b	26.98 ± 0.23 c	7.19 ± 0.11 c	18.49 ± 0.33 b
F	1.14 ± 0.04 b	31.48 ± 0.36 a	8.37 ± 0.08 bc	16.04 ± 0.28 c
DN3	1.17 ± 0.10 ab	26.68 ± 0.18 c	9.92 ± 0.10 b	18.41 ± 0.17 b
A	1.19 ± 0.03 ab	26.95 ± 0.15 c	10.67 ± 0.14 ab	17.06 ± 0.25 bc
C1	1.17 ± 0.02 ab	26.97 ± 0.20 c	11.84 ± 0.17 a	19.60 ± 0.19 ab
C2	1.22 ± 0.07 a	28.00 ± 0.13 b	10.13 ± 0.15 b	20.55 ± 0.16 a

## 2.4 土壤质量的主成分分析

对土壤微环境中的有机质、碱解氮、矿化氮、速效磷、速效钾等土壤理化性质及土壤脲酶、酸性磷酸酶、过氧化物酶、纤维素酶等土壤酶活性指标进行主成分分析可得，第1主成分为碱解氮、速效磷、速效钾主导的速效营养因子；第2主成分为矿化氮、脲酶、纤维素酶主导的土壤生物活性促进因子。以上2主成分的特征值和方差贡献率(表3)。可以看出PC1、PC2主成分方差贡献率分别为52.77%、37.44%，累积方差贡献率为90.21%，且整体上没有变量丢失，可以用来反映番茄盆栽土壤质量系统内的变异情况。特征值在某种程度上可以被用来表示各主成分影响力度大小的指标<sup>[14]</sup>。从特征值和方差贡献率来看，各主成分评价土壤质量的影响力由大到小依次为PC1，PC2。

表3 特征值与方差贡献率

Table 3 Eigenvalues and proportions of variance

主成分	特征值	方差贡献率/%	累积方差贡献率/%
PC1	4.749	52.77	52.77
PC2	3.369	37.44	90.21

以土壤质量的第1、第2主成分分别为横、纵坐标轴，作各处理得分散点分布图(图2)。结果显示，在以PC1所代表的土壤质量水平上，各处理土壤质量水平由大到小的顺序为F，C2，C1，A，DN3，CK；在以PC2所代表的土壤质量水平上，各处理土壤质量水平由大到小的顺序为C2，C1，A=DN3，CK，F。由图2也可以看出，各处理土壤质量水平在PC1上的分异程度明显大于在PC2上的分异程度，这与PC1对土壤质量水平的方差贡献率较大有关<sup>[15]</sup>。

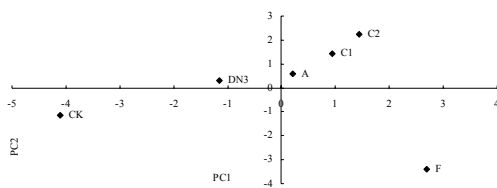


图2 不同菌、肥处理土壤在PC1和PC2的得分分布图  
Fig. 2 Distribution of scores from different fertilization soils

根据主成分分析结果，由公式  $Z_m = C_m^1 x_1 + C_m^2 x_2 + \dots + C_m^p$  可知<sup>[16]</sup>，主成分其实是原  $p$  个指标的线性组合，各指标的权数为特征向量  $C_p^{(i)}$ ；它刻画了各单项指标对于主成分的重要程度并决定了改主成分的实际意义。由上可知主成分个数  $m=2$ ，根据公式可得到2个主成分与原9项指标的线性组合公式。将标准化数据分别代入公式，便可得到7个

不同试验处理在2个主成分上的得分，再根据综合主成分函数模型  $F = \sum b_j Z_j = b_1 Z_1 + b_2 Z_2 + \dots + b_m Z_m$ ， $b$  为方差贡献率，从而求得综合得分，并对得分进行排序<sup>[17]</sup>(图3)，对各施肥处理土壤质量水平作出综合评价。结果表明，复合菌剂C2处理的综合得分最大，其余处理由大到小依次为C1，A，DN3，F，CK，其中CK最小。

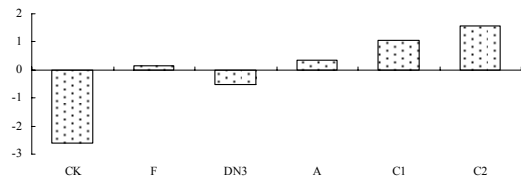


图3 不同菌、肥处理土壤在PC1和PC2上的综合得分  
Fig. 3 General scores of different fertilization soils on PC1 and PC2

以上分析可知，经过不同菌、肥处理的番茄盆栽土壤，在土壤质量水平上表现出一定差异，其中复合菌剂C1、C2处理相对空白处理CK土壤质量显著提高，较化肥处理F也有一定提高，说明复合菌剂C1、C2施用后，对番茄盆栽土壤微环境有较好的改良作用，菌效较显著。而复合菌剂C2的菌效要稍优于复合菌剂C1。

## 3 结论

经过番茄盆栽试验，施用复合菌剂C1、C2处理对土壤可培养微生物种群数量、有机质、碱解氮、速效磷、速效钾、土壤酶活等土壤指标均有不同程度影响，对土壤环境产生的综合效应显著优于空白处理，且经主成分分析得影响土壤质量的主要土壤环境指标也普遍优于单纯施用化肥、单一功能菌和简单固氮菌组处理的结果，其中复合菌剂C2在调控土壤微生态平衡和增加土壤营养供给方面的作用更加显著。由于盆栽试验是在相对稳定的土壤微环境中进行，存在小环境的局限性，所以对复合菌剂C1、C2应用在大田较复杂土壤微环境上，有进一步研究的必要。

## 参考文献：

- [1] 刘爱民, 黄为一. 生物肥料应用基础[M]. 北京: 高等教育出版社, 1979: 2-3.  
LIU Aimin, HUANG Weiyi. Biological Fertilizers Applied Basis [M]. Beijing: Higher Education Press, 1979: 2-3.
- [2] 张春燕. 高效固氮类芽孢杆菌的选育及其效应研究[D]. 福建: 福建农林大学, 2008.  
ZHANG Chunyan. Studies on Selective Breeding and Effects of Nitrogen-fixing Bacillus Strain[D]. Fujian: Fujian Agriculture and Forestry University, 2008.
- [3] 梅汝鸿. 植物微生物学[M]. 北京: 农业出版社, 1998: 9-10.

- MEI Ruhong. Plant Micro-ecology [M]. Beijing: Agricultural Press, 1998:9-10.
- [4] 孙亚凯. 功能性微生物菌株的筛选及组合菌群活性研究[D]. 天津: 天津大学, 2006.
- SUN Yakai. The Screen of the Functional Microbial Strains and the Study on Activities of Microbial Combination Communities[D]. Tianjin: Tianjin University, 2006.
- [5] BAJWA R, JAVAID A, RABBANI N. EM and VAM technology in Pakistan. VII: Effect of organic amendments and effective microorganisms(EM) on VA mycorrhiza, nodulation and crop growth in *Trifolium alexandrinum* L[J]. Pakistan Journal of Biological Science. 1999, 2: 590-593.
- [6] YAN P S, XU H L. Influence of EM Bokashi on nodulation, physiological characters and yield of peanut in nature farming fields[J]. Journal of Sustain Agriculture. 2002, 2(19): 105-112.
- [7] 李俊, 姜昕, 李力, 等. 微生物肥料的发展与土壤生物肥力的维持[J]. 中国土壤与肥料, 2006, 4: 1-5.
- LI Jun, JIANG Xin, LI Li, et al. Development of Microbial Fertilizer and Maintaining of Soil Biological Fertility [J]. Soils and Fertilizers Sciences in China, 2006, 4): 1-5.
- [8] 陈伦寿. 蔬菜营养与施肥技术[M]. 北京: 农业出版社, 2002.
- CHEN Lunshou. Vegetable Nutrition and Fertilization [M]. Beijing: Agriculture Press, 2002.
- [9] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- BAO Shidan. Soil Agrochemical Analysis [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000.
- [10] 王荫槐. 土壤肥料学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1992.
- WANG Yinhuai. Soil and Fertilizer Science [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1992.
- [11] 王延军, 宗良纲, 李锐, 等. 不同肥料对有机栽培番茄生长和土壤酶及微生物量的影响[J]. 南京农业大学学报, 2007, 30(3): 83-87.
- WANG Yanjun, ZONG Lianggang, LI Rui, et al. Effects of Different Fertilizers on the Growth of Tomato and Soil Enzymes Activities and Microbial biomass-C [J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2007, 30(3): 83-87.
- [12] 李燕红, 赵辅昆. 纤维素酶的研究进展[J]. 生命科学, 2005, 17(5): 15-18.
- LI Yanhong, ZHAO Fukun. Advances in cellulase research [J]. Chinese Bulletin of Life Sciences, 2005, 17(5): 15-18.
- [13] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986.
- GUAN Songmeng. Soil Enzymes and Methodology [M]. Beijing: Agriculture Press, 1986.
- [14] 王娟, 谷雪景, 赵吉, 等. 羊草草原土壤酶活性对土壤肥力的指示作用[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(4): 934-938.
- WANG Juan, GU Xuejing, ZHAO Ji, et al. Function of Soil Enzyme Activities in Indicating Soil Fertility in Leyluse Chinensis Steppe [J]. Journal of Agro-environment Science, 2006, 25(4): 934-938.
- [15] 陈吉, 赵炳梓, 张佳宝, 等. 主成分分析方法在长期施肥土壤质量评价中的应用[J]. 土壤, 2010, 42(3): 415-420.
- CHEN Ji, ZHAO Bingzi, ZHANG Jiabao, et al. Application of Principal Component Analysis in Evaluation of Soil Quality Under Different Long-Term Fertilization[J]. Soils, 2010, 42(3): 415-420.
- [16] 夏建国, 李廷轩, 邓良基, 等. 主成分分析法在耕地质量评价中的应用[J]. 西南农业学报, 2000, 13(2): 51-55.
- XIA Jianguo, LI Tingxuan, DENG Liangji, et al. The Application of the Principal Component Analysis Method in Quality Evaluation of Cultivated Land [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2000, 13(2): 51-55.
- [17] 李月芬, 汤洁, 李艳梅, 等. 用主成分分析和灰色关联度分析评价草原土壤质量[J]. 世界地质, 2004, 23(2): 169-174.
- LI Yuefen, TANG Jie, LI Yanmei, et al. Evaluation on grassland soil quality with analysis of principal component and grey relative [J]. Global Geology, 2004, 23(2): 169-174.

## Effect of combination bacteria on soil physicochemical properties and soil microbial activity by pot tomato experiments

CAO Enhui<sup>1,2</sup>, HOU Xianwen<sup>1</sup>, LI Guangyi<sup>1</sup>, HUANG Qingmao<sup>1,2</sup>, LI Qinfen<sup>1\*</sup>

1. The Environment and Plant Protection College, Hainan University, Danzhou 571737, China;

2. The Environment and Plant Protection Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Danzhou 571737, China

**Abstract:** A pot experiment was carried out to study the effect of combination bacteria C1 and C2 on physicochemical properties and microbial activity of the soil. The results showed that applied combination of bacteria C1 and C2 reduce the number of soil fungi, increase the number of soil bacteria at the beginning stage, while have only slight effect on the number of soil actinomycete. Additionally, the combination bacteria could increase the content of organic matter, available nitrogen, mineralized nitrogen, available phosphorus and available potassium. The activities of soil urease, phosphatase, cellulase and catalase also increased significantly. The Principal Component Analysis was used to further investigate the main properties affected by combination bacteria. The results demonstrated that PC1 were available nitrogen, phosphorus and potassium, PC2 were mineralized nitrogen, urease and cellulose. Comprehensive score of bacteria C2 was maximum among all the treatments according to the Comprehensive Evaluation of Soil Quality.

**Key words:** combination bacteria; soil microorganisms; soil enzyme activity; soil nutrients; principal component analysis (PCA)