西北农业学报 2019,28(11):1871-1878
Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica

网络出版日期:2019-11-26 doi: 10.7606/j.issn.1004-1389.2019.11.016
网络出版地址:http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1220.s.20191125.2017.034.html

# 功能菌对土壤与堆肥原料养分释放的影响

林 薇,杨官凯,马 慧,郑文德,马嘉伟,张凯歌,张雪艳
(宁夏大学 农学院,银川 750021)

**摘 要** 以连作土壤和堆肥原料为材料,以不添加菌剂为对照,添加地衣芽孢杆菌(L1)、侧孢芽孢杆菌(L2)、解磷解钾菌(L3)、胶冻样芽孢杆菌(L4)、酵母菌(L5)和光合细菌(L6)为不同处理,研究不同功能菌对其理化性质以及黄瓜幼苗长势的影响,以期筛选高效释磷、释钾、固氮的菌种。结果表明:各菌剂处理下连作土壤和堆肥原料 pH、氮素相似,堆肥原料电导率(除 L4)、速效磷和钾均显著高于连作土壤处理。L4 处理电导率显著高于其他处理,较 CK 显著增加 311.94%,L5 处理连作土壤速效磷、速效钾质量分数较 CK 分别显著提高 91.61%、298.72%,L5 处理堆肥原料速效钾质量分数显著高于其他处理,且显著高 CK 59.76%。总体而言,各菌剂处理较 CK 对连作土壤黄瓜种子萌发以及生长影响不大,但 L5 处理较其他处理有利于连作土壤黄瓜种子的萌发以及幼苗的生长。L5 和 L6 处理对堆肥原料黄瓜幼苗株高、叶面积、鲜质量有明显的促进作用,L5 处理下黄瓜幼苗株高、叶面积、平均鲜质量比 CK 分别提高 62.25%、93.54%、58.42%。通过主成分分析表明,L5 处理对连作土壤以及堆肥原料土壤养分含量的提高以及黄瓜幼苗的生长有显著促进作用。

**关键词** 功能菌;连作土壤;有机物料;土壤养分;植株生长

**中图分类号** S154.3;S642.2 **文献标志码** A **文章编号** 1004-1389(2019)11-1871-08

近年来中国设施农业发展迅猛,是世界设施园艺面积最大的国家,尤其设施蔬菜面积和产量均占据世界首位,2017 年设施蔬菜种植占蔬菜种植面积的 32.3%[1-3]。设施蔬菜连作种植普遍,栽培方式固定单一,使病原菌种群数量激增、土壤盐分积累及微生物区系失衡及多样性降低等,造成不同程度连作障碍现象,制约了中国设施园艺产业可持续发展[4-6]。

通过以菌治菌的生物防治,探索从源头进行病虫害防治、减轻农药残留和化肥用量是提高设施蔬菜产量和质量的有效途径[7]。添加功能菌对作物生长和土壤改良有明显的调控作用,可增进土壤肥力、制造和协助农作物吸收营养、活化土壤中难溶的化合物,促进作物吸收利用,产生多种活性物质和抗、抑病物质,改善土壤微生态平衡[8-9]。国内外已有众多学者关于施用生物菌剂对土壤环境及作物生长和品质影响进行研究,Sahoo 等[10]发现固氮菌株通过固氮和植物生长促进活动显著提高水稻的生长和产量。张鸿雁等[11]施用放线菌制剂 Act12 提高人参的根系活力、增加产量并改善品质以及土壤微生物区系。Zhang 等[12]研究表明,接种外源功能微生物能够促进农业废弃物堆肥过程,增加肥力,并提高有机肥的附加值。庞天德等[13]施用经生物菌剂发酵处理的牛粪生物有机肥较施用未经发酵的普通牛粪有机肥,蔬菜各形态指标和品质指标均有不同程度的提高。张雪艳等[14]采用生物有机肥显著促进穴盘黄瓜幼苗生长和维持基质质量。地衣芽孢杆菌、侧孢芽孢杆菌、解磷解钾菌、胶冻样芽孢杆菌等被广泛应用于作物促生以及土壤改良中,酵母菌作为一种天然发酵剂,含有丰富的氨基酸、维生素、酶等营养物质[15],光合细菌具有固氮、固碳、解磷等功能[16],均有益于植株生长以及土壤改良,但针对连作土壤和堆肥原料系统探究功能菌株对其释磷、释钾,固氮的研究鲜有报道。

黄瓜是宁夏设施主栽作物,其连作障碍严重,

**收稿日期**:2019-04-05 **修回日期**:2019-05-20
**基金项目**:国家自然科学基金(31760593);十三五自治区重点研发计划重大项目(2016BZ0902);自治区科技创新领军人才培养项目(KJT2017001)。
**第一作者**:林 薇,女,硕士研究生,研究方向为设施蔬菜栽培与生理。E-mail:1002499830@qq.com
**通信作者**:张雪艳,女,博士,副教授,研究方向为设施蔬菜栽培与生理。E-mail:zhangxueyan123@sina.com

因此针对功能菌株的释磷、释钾、固氮效果，以宁夏产生严重连作障碍的土壤和堆肥原料为材料，分别添加 6 种不同功能的菌株处理 1 个月后，这个过程主要用来进行土壤和堆肥原料养分的释放后播种黄瓜，探究不同菌株处理后黄瓜幼苗生长和基质养分释放特性，为筛选促进土壤和堆肥原料有效释放养分的菌株，为蔬菜作物低肥料投入高效栽培提供理论依据。

# 1 材料与方法

## 1.1 试验设计

试验于 2018-10-11 至 2018-12-18，在宁夏大学实训温棚内进行。试验采用盆栽，以黄瓜为研究对象，以连作障碍严重的土壤和堆肥原料（秸秆复配牛粪）为材料，以不添加菌剂为对照（CK），设添加地衣芽孢杆菌（L1）、侧孢芽孢杆菌（L2）、解磷解钾菌（L3）、胶冻样芽孢杆菌（L4）、酵母菌（L5）、光合细菌（L6）共 7 个处理，每个处理重复 5 盆，盆栽盆为 50 cm ×20 cm×14 cm，样品体积均为 1 L，3 次重复，随机区组排列。菌株由沧州生物技术有限公司提供的商品菌株，堆肥原料由宁夏有机肥厂提供，连作障碍土为取自宁夏银川永宁镇政权村生理障碍严重的田园土，其基本理化性质见表 1。10 月 12 日进行土壤和堆肥原料菌剂处理，菌剂浓度均为每克 2 亿活芽孢，使用菌剂处理 30 d，保持 50%～60%含水量；菌剂处理 30 d 后，11 月 15 日至 12 月 18 日将处理土壤和堆肥原料进行穴盘育苗，播种黄瓜种子，每个处理 5 株，3 次重复，所有处理统一水肥管理。

**表 1 连作土壤和堆肥原料基础养分特性**

**Table 1 The basic nutrient characteristics of continuous cropping soil and compost raw materials**

| 材料 Material | 速效氮/(mg/kg) Available nitrogen | 速效磷/(mg/kg) Available phosphorus | 速效钾/(mg/kg) Available potassium | 电导率(mS/cm) Conductivity | pH |
|---|---|---|---|---|---|
| 连作土壤 Continuous cropping soil | 6.3 | 361.52 | 28.96 | 0.59 | 7.04 |
| 堆肥原料 Compost raw materials | 9.87 | 1 190.27 | 251.414 | 1.54 | 7.58 |

## 1.2 样品采集与分析

1.2.1 样品采集 播种 7 d 后，记录出苗率；播种 32 d 后，每个处理选取 10 株测定株高和叶面积、植株干鲜质量；菌株处理前和处理后每个处理随机选取 3 盆采集原始连作土壤和堆肥原料样品，风干后过 1 mm 筛，用于测定土壤化学指标。

1.2.2 指标分析 采用卷尺测定株高，以从子叶到根基部的高度为基准；采用卷尺测定叶长与叶宽，计算叶面积；采用称重法测定植株干鲜质量；采用土水比 1∶10（质量比体积）土壤悬液电位计法测定 pH；电导率值采用电导法测定；采用半微量凯氏定氮法测定土壤速效氮质量分数[17]；速效磷采用 0.5 mol/L $NaHCO_3$ 浸提－钼锑抗比色法测定[18]；采用 1mol/L $NH_4AC$ 浸提－火焰光度法测定土壤速效钾[19]。

## 1.3 数据分析

所有数据每个处理测定 3 个平行样本，测定结果取其平均值，采用 Origin 2018 和 SPSS 20.0 进行数据分析，利用 LSD 方法在 $P<0.05$ 水平进行单因素显著性分析，利用主成分分析进行综合评定。

# 2 结果与分析

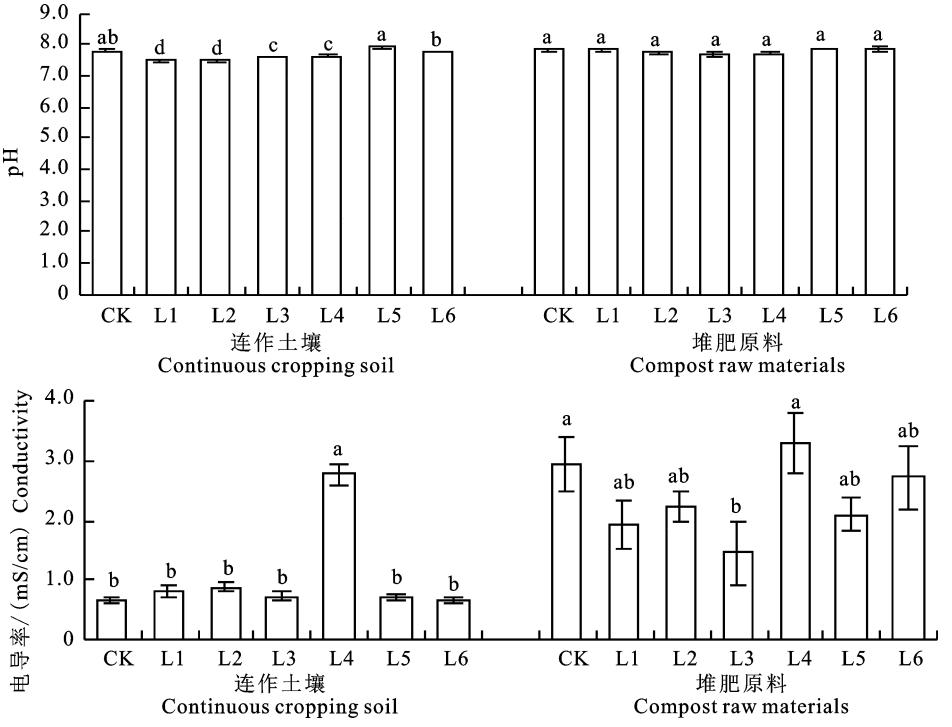
## 2.1 不同菌剂处理对连作土壤和堆肥原料 pH 和电导率的影响

由图 1 可知，各菌剂处理下连作土壤和堆肥原料 pH 相似，L5 处理下连作土壤 pH 最高（7.92），其与 CK 无显著差异，但显著高于其他处理，堆肥原料各菌株处理间无显著差异。各菌剂处理下堆肥原料电导率均显高于连作土壤处理（除 L4 处理），L4 处理下连作土壤电导率显著高于其他处理，较 CK 显著增加 311.94%，其他处理间无显著差异；L3 处理下，堆肥原料电导率显著低于 CK 和 L4 处理，其他处理与 CK 间无显著差异。

## 2.2 不同处理对连作土壤和堆肥原料速效养分的影响

如表 2 所示，堆肥原料各处理氮素与连作土壤相似，速效磷和钾显著高于连作土壤。CK 与其他处理（除 L1）连作土壤速效氮质量分数无显著差异，L1 处理下连作土壤速效氮质量分数最高为 36.40 mg/kg，显著高于 CK 79.31%；L5 处理下堆肥原料速效氮质量分数显著高于 L3 和 L6

111.48%、62.80%,且与其他处理无显著性差异。L5 处理下连作土壤速效磷、速效钾质量分数显著高于其他处理,较 CK 分别显著提高 91.61%、298.72%;各菌剂处理下堆肥原料速效磷、速效钾质量分数相对于 CK 无显著性差异,且各处理间无显著差异(除 L5 处理),L5 处理下堆肥原料速效钾质量分数显著高于其他处理,且 L5 显著高 CK 59.76%。




不同小写字母表示差异显著　Different lowercase letters show significant difference

**图 1　不同处理下连作土壤和堆肥原料 pH 和电导率的变化**

**Fig. 1　Changes in pH and conductivity of continuous cropping soil and compost raw materials under different treatments**

**表 2　不同处理下连作土壤和堆肥原料速效养分的变化($\bar{x}\pm s$)**

**Table 2　Changes of available nutrients in continuous cropping soil and compost raw materials under different treatments**　　mg/kg

| 土壤样品 Soil sample | 处理 Treatment | 速效氮 Available nitrogen | 速效磷 Available phosphorus | 速效钾 Available potassium |
|---|---|---|---|---|
| 连作土壤 Continuous cropping soil | CK | 20.30±4.28 bc | 338.65±8.90 c | 26.48±2.47 b |
| | L1 | 36.40±6.75 a | 337.22±15.93 c | 31.43±2.47 b |
| | L2 | 31.50±5.66 ab | 353.90±12.39 c | 33.90±2.47 b |
| | L3 | 31.73±0.23 ab | 351.51±0.95 c | 28.96±0.00 b |
| | L4 | 14.70±1.46 c | 451.12±25.53 b | 33.90±2.47 b |
| | L5 | 14.93±1.63 c | 648.89±16.51 a | 105.58±2.47 a |
| | L6 | 21.70±6.35 bc | 358.19±11.97 c | 33.90±2.47 b |
| 堆肥原料 Compost raw materials | CK | 30.57±2.47 ab | 607.91±48.72 a | 231.64±6.54 b |
| | L1 | 34.07±7.26 ab | 639.36±12.33 a | 248.94±27.52 b |
| | L2 | 32.43±5.12 ab | 713.71±53.77 a | 266.25±15.44 b |
| | L3 | 20.30±3.21 b | 613.15±34.26 a | 256.36±15.04 b |
| | L4 | 28.23±1.63 ab | 680.82±27.96 a | 276.13±6.54 b |
| | L5 | 42.93±7.71 a | 677.96±27.06 a | 370.06±11.33 a |
| | L6 | 26.37±2.37 b | 767.56±92.46 a | 293.43±34.34 b |

注:不同小写字母表示处理间差异达到 5%显著水平。下同。

Note: Different lowercase letters indicate the difference between treatments significant differences at 0.05 level. The same below.

### 2.3 不同处理对连作土壤和堆肥原料黄瓜种子萌发及生长的影响

如表 3 所示，总体而言，各菌剂处理较 CK 对连作土壤黄瓜种子萌发以及生长没有促进作用，但各处理间差异显著，其中 L5 处理较其他菌剂处理有利于连作土壤黄瓜种子的萌发以及幼苗的生长，出苗率、株高、叶面积、平均鲜质量比其他处理下抑制效果最低。L3 处理下有利于堆肥原料黄瓜种子的萌发，出苗率为 80%；L5 处理下堆肥原料黄瓜幼苗的株高、叶面积、平均鲜质量与其他处理差异显著，株高、叶面积、平均鲜质量比 CK 分别提高 62.25%、93.54%、58.42%；相比于 CK，L6 处理下堆肥原料株高、叶面积、平均鲜质量分别提高了 11.66%、2.82%、7.43%。

**表 3 不同处理下连作土壤和堆肥原料黄瓜种子萌发及幼苗生长状况($\bar{x}\pm s$)**

**Table 3 Seeding germination and seedling growth of continuous cropping soil and compost raw materials under different treatments**

| 土壤样品 Soil sample | 处理 Treatment | 出苗率/% Emergence rate | 株高/cm Plant height | 叶面积/cm² Leaf area | 植株鲜质量/g Plant fresh mass |
|---|---|---|---|---|---|
| 连作土壤 Continuous cropping soil | CK | 87 | 18.54±1.40 a | 28.12±3.34 a | 4.28±0.85 a |
| | L1 | 60 | 10.00±1.03 bc | 24.83±2.55 abc | 2.27±0.09 b |
| | L2 | 53 | 5.13±1.33 d | 12.04±2.79 d | 0.65±0.02 c |
| | L3 | 47 | 10.00±2.81 bc | 16.54±4.21 cd | 1.80±0.13 bc |
| | L4 | 73 | 7.41±1.18 cd | 17.00±1.40 bcd | 2.27±0.41 b |
| | L5 | 87 | 13.69±0.74 b | 25.66±1.63 ab | 3.07±0.51 ab |
| | L6 | 53 | 6.00±1.45 cd | 12.50±1.94 d | 0.73±0.14 c |
| 堆肥原料 Compost raw materials | CK | 73 | 7.55±0.84 b | 15.63±1.26 b | 2.02±0.02 b |
| | L1 | 67 | 7.10±1.17 bc | 12.08±1.68 bc | 1.15±0.03 d |
| | L2 | 20 | 5.33±1.20 bc | 18.25±3.19 b | 1.54±0.07 c |
| | L3 | 80 | 5.42±0.88 bc | 14.35±1.80 b | 1.58±0.08 c |
| | L4 | 33 | 3.20±0.20 c | 6.50±2.17 c | 1.07±0.05 d |
| | L5 | 27 | 12.25±0.75 a | 30.25±4.80 a | 3.20±0.13 a |
| | L6 | 53 | 8.43±1.72 b | 16.07±1.70 b | 2.17±0.10 b |

### 2.4 不同菌种对连作土壤和堆肥原料理化指标及黄瓜幼苗生长影响的综合评价

以 6 个不同菌剂处理下连作土壤和堆肥原料理化指标及黄瓜幼苗生长指标为评价对象，对其所测指标进行主成分分析。由表 4 可知，6 个不同菌剂处理下连作土壤分析表明：主成分 1 的特征值为 5.55，贡献率为 61.63%，主成分 2 的特征值为 1.79，贡献率为 19.93%，主成分 3 的特征值为 1.27，贡献率为 14.15%，前 3 个主成分特征值之和为 8.61，累计贡献率达 95.70%，表明前 3 个主成分可解释差异产生的 95.70%。6 个不同菌剂处理下堆肥原料分析表明：主成分 1 的特征值为 5.12，贡献率为 56.88%，主成分 2 的特征值为 2.10，贡献率为 23.35%，前 2 个主成分特征值之和为 7.22，累计贡献率达 80.23%，表明前 2 个主成分可解释差异产生的 80.23%。

由表 5 可以看出，各处理下连作土壤综合得分为 L5＞L1＞L4＞L3＞L6＞L2，L5 处理得分最高，即酵母菌处理效果最优。各处理下堆肥原料综合得分为 L5＞L6＞L2＞L4＞L1＞L3。L5 得分最高，即酵母菌处理效果最优，光合细菌 次之。

由图 2 可知，L1、L3 和 L4 处理下对连作土壤的促进效果明显优于堆肥原料，但 L2 及 L6 处理对堆肥原料影响效果显著，总体而言，L5 处理对连作土壤、堆肥原料的整体效果影响最显著。

## 3 讨论与结论

土壤是植物生长发育的基础，土壤物理性质的改变使土壤在水、肥、气、热方面存在差异，进而影响植物的生长[20]。连作障碍土壤表现出土壤养分不均衡性变化，土壤的次生盐渍化严重，使作物根部无法吸收足够的养分[21-22]，本研究与该结论一致，因此，设施连作土壤改良修复以及提前防控对设施蔬菜可持续生产具有重要意义。

土壤微生物的改变是产生作物连作障碍的主要因素[23]。土壤微生物作为土壤生态系统中最

**表 4　主成分的特征值与方差贡献率**

**Table 4　Eigenvalues and variance contributions of principal components**

| 土壤样品 Soil sample | 主成分 Principal component | 相关矩阵的特征值 The eigenvalues of the correlation matrix | | | 提取因子载荷的平方和 Sum of square of factor load | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 特征值 Eigenvalues | 贡献率/% Contribution | 累积贡献率/% Cumulative proportion | 特征值 Eigenvalues | 贡献率/% Contribution | 累积贡献率/% Cumulative proportion |
| 连作土壤 Continuous cropping soil | 1 | 5.55 | 61.63 | 61.63 | 5.55 | 61.63 | 61.63 |
| | 2 | 1.79 | 19.93 | 81.55 | 1.79 | 19.93 | 81.55 |
| | 3 | 1.27 | 14.15 | 95.70 | 1.27 | 14.15 | 95.70 |
| 堆肥原料 Compost raw materials | 1 | 5.12 | 56.88 | 56.88 | 5.12 | 56.88 | 56.88 |
| | 2 | 2.10 | 23.35 | 80.23 | 2.10 | 23.35 | 80.23 |

**表 5　不同处理主成分值、隶属函数值、综合评价值及排序**

**Table 5　The principal component value, membership function value, comprehensive evaluation value and ranking ofdifferent treatments**

| 土壤样品 Soil sample | 处理 Treatment | F1 | F2 | F3 | U1 | U2 | U3 | D | 排序 Rank |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 连作土壤 Continuous cropping soil | L1 | −0.471 | 1.053 | 0.510 | 0.266 | 1.000 | 0.825 | 0.502 | 2 |
| | L2 | −2.239 | −0.155 | −0.184 | 0.000 | 0.439 | 0.347 | 0.143 | 6 |
| | L3 | −1.056 | 0 .515 | −0.060 | 0.178 | 0.750 | 0.433 | 0.335 | 4 |
| | L4 | 0.602 | −1.099 | 0.765 | 0.428 | 0.000 | 1.000 | 0.423 | 3 |
| | L5 | 4.403 | 0.199 | −0.342 | 1.000 | 0.603 | 0.239 | 0.805 | 1 |
| | L6 | −1.238 | −0.513 | −0.689 | 0.151 | 0.273 | 0.000 | 0.154 | 5 |
| 堆肥原料 Compost raw materials | L1 | −1.040 | −0.809 | | 0.208 | 0.268 | | 0.225 | 5 |
| | L2 | −0.147 | 0.583 | | 0.359 | 0.673 | | 0.428 | 3 |
| | L3 | −2.275 | −1.733 | | 0.000 | 0.000 | | 0.000 | 6 |
| | L4 | −1.440 | 1.708 | | 0.141 | 1.000 | | 0.330 | 4 |
| | L5 | 3.658 | −1.090 | | 1.000 | 0.187 | | 0.820 | 1 |
| | L6 | 1.245 | 1.342 | | 0.593 | 0.894 | | 0.543 | 2 |

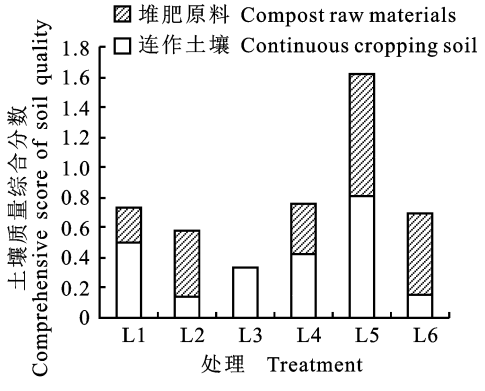



**图 2　不同菌剂处理下连作土壤和堆肥原料综合分数的变化**

**Fig. 2　Changes of the composite fraction of continuous cropping soil and compost raw materials in different treatments**

重要和最活跃的组分,在促进土壤养分转化循环、促进作物生长以及可持续利用中占主导地位[24]。本研究表明,功能菌剂的添加可以加快连作土壤养分的活化和循环,但不同功能菌存在差异,各菌剂处理较 CK 的电导率均有所提高,不同功能菌剂下对连作土壤速效养分有显著影响,L5 处理下速效磷、速效钾质量分数显著高于其他处理,较 CK 分别显著提高 91.61%、298.72%。这与张立恒等[25]的研究结果一致,木霉菌剂显著提高连作土壤中速效磷和速效钾的质量分数。樊琳等[26]研究也表明添加菌剂土壤中速效磷和速效钾质量分数都有较大程度增加,尤其是土壤速效磷。杨颂[27]研究表明不同菌剂对参后地土壤养分含量的影响不同,可以不同程度的改善土壤质量。

有机肥是改善连作障碍的重要措施,传统的有机肥已不能满足土壤环境改变的需要,大量研究表明,通过有机肥中添加微生物能够提高效率、促进代谢、去除有害物质[28-29]。齐连芬等[30]研究表明,微生物菌剂的添加不仅可以促进番茄产量

的增加、品质的提升、而且可以减少肥料使用。本试验研究发现，L4 处理显著提高堆肥原料的电导率，L5 处理下堆肥原料速效钾质量分数显著高于其他处理。L5、L6 处理下的堆肥原料对黄瓜幼苗生长有明显的促进作用。这与黄炎[31]研究结果一致，新型生物有机肥比普通腐熟鸡粪堆肥对茄子植株促生效果更显著。

综上所述，通过运用主成分对不同功能菌对 2 种土壤理化指标以及黄瓜幼苗生长的影响综合评价表明，连作土壤综合得分为 L5＞L1＞L4＞L3＞L6＞L2；堆肥原料综合得分为 L5＞L6＞L2＞L4＞L1＞L3。综合土壤质量综合分数可以看出酵母菌不管是改善连作土壤还是有机发酵料理化性质以及黄瓜幼苗生长方面效果最佳。

**参考文献 Reference：**


[1] 朱 明. 新常态下设施农业的任务和未来[J]. 农业工程技术，2016，36(1)：19-21.
ZHU M. The task and future of facility agriculture under the new normal[J]. *Agricultural Engineering Technology*，2016，36(1)：19-21.

[2] 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]. *Scientia Agricultura Sinica*，2015，48(17)：3515-3523.

[3] 朱崇敬，王平山. 小议我国设施蔬菜科技与产业发展现状及趋势[J]. 农家参谋，2018(3)：48.
ZHU CH J，WANG P SH. Discussion on the status quo and trend of the development of vegetable science and technology and industry in China[J]. *The Farmers Consultant*，2018(3)：48.

[4] 苏世鸣，任丽轩，霍振华，等. 西瓜与旱作水稻间作改善西瓜连作障碍及对土壤微生物区系的影响[J]. 中国农业科学，2008，41(3)：704-712.
SU S M，REN L X，HUO Z H，*et al*. Effects of intercropping watermelon with rain fed rice on Fusarium wilt and the microflora in the rhizosphere soil[J]. *Scientia Agricultura Sinica*，2008，41(3)：704-712.

[5] 王玉彦，吴凤芝，周新刚. 不同间作模式对设施黄瓜生长及土壤环境的影响[J]. 中国蔬菜，2009(16)：8-13.
WANG Y Y，WU F ZH，ZHOU X G. Effects of different intercropping patterns on the growth of cucumber in greenhouse and soil environment[J]. *China Vegetables*，2009(16)：8-13.

[6] 郭晓冬. 设施栽培条件下土壤的连作障碍及防治措施[J]. 甘肃农业科技，2003(7)：38-40.
GUO X D. Soil continuous cropping obstacles and control measures under facility cultivation conditions[J]. *Gansu Agricultural Science and Technology*，2003(7)：38-40.

[7] 王晓巍，张玉鑫，马彦霞，等. 甘肃省设施蔬菜产业绿色发展现状及对策[J]. 中国蔬菜，2018(9)：9-13.
WANG X W，ZHANG Y X，MA Y X，*et al*. Present situation and countermeasures of green development of facility vegetable industry in Gansu province[J]. *China Vegetables*，2018(9)：9-13.

[8] 沈德龙，曹凤明，李 力. 我国生物有机肥的发展现状及展望[J]. 中国土壤与肥料，2007(6)：1-5.
SHEN D L，CAO F M，LI L. Development status and prospect of microbial organic fertilizer in China[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*，2007(6)：1-5.

[9] JACOBSEN C S，HJELMSOMH. Agricultural soils，pesticides and microbial diversity[J]. *Current Opinion in Biotechnology*，2014，27：15-20.

[10] SAHOO R K，ANSARI M W，DANGAR T K，*et al*. Phenotypic and molecular characterisation of efficient nitrogen-fixing *Azotobacter* strains from rice fields for crop improvement[J]. *Protoplasma*，2014，251：511-523.

[11] 张鸿雁，薛泉宏，申光辉，等. 放线菌制剂对人参生长及根域土壤微生物区系的影响[J]. 应用生态学报，2013，24(8)：2287-2293.
ZHANG H Y，XUE Q H，SHEN G H，*et al*. Effects of actinomycetes agent on ginseng growth and rhizosphere soil microflora[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*，2013，24(8)：2287-2293.

[12] ZHANG J C，ZENG G M，CHEN Y N，*et al*. Phanerochaete chrysosporium inoculation shapes the indigenous fungal communities during agricultural waste composting[J]. *Biodegradation*，2014，25(5)：669-680.

[13] 庞天德，李 铭，姚 娜，等. 牛粪发酵生物有机肥对 3 种蔬菜生长及品质的影响[J]. 热带农业科学，2016，36(7)：9-12.
PANG T D，LI M，YAO N，*et al*. Effect of fermented cow dung bio-organic fertilizer on the growth and quality of three kinds of vegetables[J]. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*，2016，36(7)：9-12.

[14] 张雪艳，田 蕾，高艳明，等. 生物有机肥对黄瓜幼苗生长、基质环境以及幼苗根系特征的影响[J]. 农业工程学 报，2013，29(1)：117-125.
ZHANG X Y，TIAN L，GAO Y M，*et al*. Effects of bioorganic fertilizer on cucumber seedling growth，substrate nutrient content and seedling root characteristics[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*，2013，29(1)：117-125.

[15] 陈晓航. 食品工业废水处理中酵母菌的使用分析[J]. 能源与环境，2019(2)：90-91.
CHEN X H. Analysis of the use of yeast in wastewater treatment of food industry[J]. *Energy and Environment*，2019(2)：90-91.

[16] 李雪洁，赵 鑫，李嘉欣，等. 光合细菌在环境领域的研究

与应用进展[J]. 环境科学与管理,2016,41(10):32-35.
LI X J,ZHAO X,LI J X,*et al*. Research and application progress of photosynthetic bacteria in environment fields [J]. *Environmental Science and Management*, 2016, 41(10):32-35.

[17] HOUBA,V J G,TEMMINGHOFF E J M,GAIKHORS H. Soil analysis procedures using 0.01M calcium chloride as extraction regent[J]. *Commun Soil Science Plant Analysis*,2000,31,1299-1396.

[18] 马彦霞. 日光温室番茄栽培茎质的根际环境及化感作用研究[D]. 兰州:甘肃农业大学,2013.
MA Y X. Study on rhizosphere environment and all elopathy of culture media in solar greenhouse tomato [D]. Lanzhou:Gansu Agricultural University,2013.

[19] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 第 3 版. 北京:中国农业出版社,2000:39-114.
BAO SH D. Soil Agrochemical Analysis[M]. 3rd edition. Beijing:China Agriculture Press,2000:39-114.

[20] 曾　艳. 氮肥、土壤质地对茶树根系生长特性影响的研究[D]. 成都:四川农业大学,2014.
ZENG Y. The effects of nitrogen and soil texture on the roots of tea tree [D]. Chengdu: Sichuan Agricultural University,2014.

[21] 陈名蔚,王　峰,韩益飞,等. 蔬菜连作障碍成因分析和防止技术初探[J]. 南方农业,2017,11(30):3-4.
CHEN M W, WANG F, HAN Y F, *et al*. Preliminary analysis on the causes of vegetable continuous cropping obstacles and prevention techniques[J]. *South China Agriculture*,2017,11(30):3-4.

[22] 黄绍文,王玉军,金继运,等. 我国主要菜区土壤盐分、酸碱性和肥力状况[J]. 植物营养与肥料学报,2011,17(4):906-918.
HUANG SH W,WANG Y J,JIN J Y,*et al*. Status of salinity,pH and nutrients in soils in main vegetable production regions in China[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*,2011,17(4):906-918.

[23] 马宁宁,李天来. 设施番茄长期连作土壤微生物群落结构及多样性分析[J]. 园艺学报,2013,40(2):255-264.
MA N N,LI T L. Effect of long-term continuous cropping of protected tomato on soil microbial community structure and diversity[J]. *Acta Horticulturae Sinica*,2013,40(2):255-264.

[24] 章家恩,廖宗文. 试论土壤的生态肥力及其培育[J]. 土壤与环境,2000(3):253-256.
ZHANG J E,LIAO Z W. Discussion on soil ecological fertility and its cultivation[J]. *Ecology and Environmental Sciences*,2000(3):253-256.

[25] 张立恒,李　坤,胡熙禧,等. 接种微生物菌剂对葡萄连作土壤速效养分及酶活性的影响[J]. 北方园艺,2015(4):162-164.
ZHANG L H,LI K,HU X X,*et al*. Effect of microbial agents on the available nutrient and enzyme activity of grape replant soil[J]. *Northern Horticulture*,2015(4):162-164.

[26] 樊　琳,柴如山,刘立娟,等. 稻草和猪粪发酵残渣配施菌剂对大棚连作土壤的改良作用[J]. 植物营养与肥料学报,2013,19(2):437-444.
FAN L,CHAI R SH,LIU L J,*et al*. Effects of the rice straw-pig manure fermentation residues inoculated with microorganisms on improvement of continuous cropping soil in greenhouse[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*,2013,19(2):437-444.

[27] 杨　颂. 不同微生物菌剂对参后地土壤理化性质及酶活性的影响[D]. 吉林:吉林农业大学,2015.
YANG S. Effects of different microbial agents on physicochemical property and enzyme activities in *Panax ginseng* continuous cropping ground [D]. Jilin: Jilin Agricultural University,2015.

[28] 黄金枝,胡桂萍,俞燕芳,等. 微生物在农业废弃物堆肥应用中的研究进展[J]. 广东农业科学,2019(1):1-7.
HUANG J ZH,HU G P,YU Y F,*et al*. Research progress of microbe in agricultural waste composting[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*,2019(1):1-7.

[29] 李　冉,孟海波,赵立欣,等. 微生物和生物炭联用对猪粪堆肥后重金属 Pb 和 Cd 的钝化效果[J]. 农业工程学报,2018,34(23):164-169.
LI R,MENG H B,ZHAO L X,*et al*. Immobilization effect of Pb and Cd during composting of pig manure by combination of biochar and microbial agent[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*,2018,34(23):164-169.

[30] 齐连芬,王丹丹,牛瑞生,等. 基于主成分分析的温室番茄最佳有机肥与微生物菌剂配比[J]. 北方园艺,2019(1):7-13.
QI L F,WANG D D,NIU R SH,*et al*. Comparison of optimum tomato ratio of organic fertilizer and microbial bacteria based on principal component analysis in solar freenhouse[J]. *Northern Horticulture*,2019(1):7-13.

[31] 黄　炎. 鸡粪生物有机肥的研制及其促生防病效果与机制研究[D]. 南京:南京农业大学,2016.
HUANG Y. Developing of chicken manure based bio-organic fertilizer and its promoting effect and mechanisms on plant growth promotion and soil-borne bacterial wilt disease suppression[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University,2016.

# Functional Bacteria Improves Nutrient Release from Soil and Compost Raw Materials

LIN Wei, YANG Guankai, MA Hui, ZHENG Wende, MA Jiawei, ZHANG Kaige and ZHANG Xueyan

(School of Agriculture Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

**Abstract** The continuous cropping soil and compost raw materials were used as materials, the treatments included CK without bacteria addition, and adding *Bacillus licheniformis*, *Bacillus laterosporus*, phospholysis potassium bacteria, *Bacillus mucilaginosus*, photosynthetic bacteria and yeast, respectively. The effects of different bacteriaon physicochemical properties of soil and growth of cucumber seedlings were studied, in order to screen for strains with high-efficiency of phosphorus release, potassium release and nitrogen fixation. The results showed that pH and nitrogen had no significant difference between continuous soil and compost raw materials, however, the conductivity (except for *Bacillus mucilaginosus*), available phosphorus and potassium were significantly higher in compost raw materials than in continuous cropping soil. Compared with CK, value of continuous cropping soil and compost raw materials treated by *Bacillus mucilaginosus* increased by 311.94%. Adding yeast could significantly increase the available phosphorus and potassiumin continuous cropping soilby 91.61% and 298.72% respectively, and increase the available potassium incompost raw materials by 59.76%. Adding bacteria except for yeast had little effect on seed germination and seedling growth of cucumber under continuous cropping soil. Adding yeast and photosynthetic bacteria significantly promoted plant height, leaf area and fresh mass of cucumber seedlings, increased by 62.25%, 93.54% and 58.42% respectively. Principal component analysis indicated that adding yeast promoted nutrient activities in continuous cropping soil and composting materials and growth of cucumber seedlings grown on it.

**Key words** Functional bacteria; Continuous cropping soil; Organic materials; Soil nutrients; Plant growth

**Received** 2019-04-05 **Returned** 2019-05-20

**Foundation item** The National Natural Science Foundation of China (No. 31760593); the Major Project of Key Research Plan of the 13th 5-year Autonomous Region (No. 2016BZ0902); the Autonomous Region Science and Technology Innovation Leading Talents Training Project (No. KJT2017001).

**First author** LIN Wei, female, master student. Research area: facility vegetable cultivation and physiology. E-mail: 1002499830@qq.com

**Corresponding author** ZHANG Xueyan, female, Ph. D, associate professor. Research area: facility vegetable cultivation and physiology. E-mail: zhangxueyan123@sina.com

(责任编辑:史亚歌 **Responsible editor: SHI Yage**)