

胡基华,李 晶,张淑梅,等. 解淀粉芽孢杆菌 TF28 对设施连作黄瓜根际土壤酶活性和微生物的调节[J]. 江苏农业科学,2020,48(7):152-156.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.07.028

解淀粉芽孢杆菌 TF28 对设施连作黄瓜根际土壤酶活性和微生物的调节

胡基华¹, 李 晶^{1,2}, 张淑梅^{1,2}, 陈静宇¹, 曹 旭^{1,2}, 孟利强^{1,2}, 姜 威^{1,2}, 刘宇帅^{1,2}

(1. 黑龙江省科学院微生物研究所,黑龙江哈尔滨 150010; 2. 黑龙江省科学院高新技术研究院,黑龙江哈尔滨 150020)

摘要:为研究解淀粉芽孢杆菌 TF28 对设施连作黄瓜根际土壤环境影响,以液体(L)、颗粒(P)和复合(LP)3 种处理与没有施用 TF28 的空白对照进行对比试验,测定设施黄瓜生育指标、土壤酶活性及微生物种群数量。结果表明,移栽后 2~3 周后 L、P 和 LP 3 种处理株高分别提高 18.78%、17.27%、11.88%;L 和 LP 2 种处理对黄瓜根须数量与空白对照相比分别提高 35.20% 和 48.66%。移栽 2~8 周,与空白对照相比,P 处理对碱性磷酸酶活性、酸性磷酸酶活性高 69.43%、77.43%,L 处理脲酶活性提高 40.99%,LP 处理过氧化氢酶活性提高 163.24%。与空白对照相比,3 种处理都能显著增加土壤细菌和放线菌数量,降低真菌数量。这说明 TF28 的添加对连作黄瓜中的酶活性、微生物数量及群落结构有明显的调节作用。

关键词:黄瓜;连作障碍;土壤理化性质;解淀粉芽孢杆菌细菌;微生物;调节作用

中图分类号: S182 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)07-0152-05

随着我国设施农业的不断发展,连作障碍越来越突出^[1]。黄瓜作为设施蔬菜主要品种,近年来其连作障碍的发生机制及其防治措施受到学者们较广泛的关注,已有的研究表明,土壤微生物区系失衡是黄瓜连作障碍发生的主要原因之一^[2],且施用有机肥及微生物肥可有效改善土壤微生物生态环境,能有效解除作物连作障碍^[3]。解淀粉芽孢杆菌(*Bacillus amyloliquefaciens*)在自然界中分布广泛,是一类重要的生防资源菌,也是具有较高开发价值的农用微生物^[4-6],在植物病害生物防治方面具有广阔的应用前景^[7]。内生解淀粉芽孢杆菌 TF28 是从大豆根部分离出的 1 株内生细菌,具有广谱抗菌活性^[8],前期研究发现对番茄具有抗病作用,并对生长具有调控作用,同时能提高果实品质^[9]。

笔者对菌株 TF28 以液体(L)、颗粒(P)和复合(LP)3 种处理方法与空白对照(CK)进行对比试验,研究其对棚室连作黄瓜的生长发育、土壤菌群和根

迹微生态酶活的变化,找到可以改善棚室连作土壤质量和环境的菌株和方法,从而更有利于设施农业健康发展,实现设施蔬菜生产能力的持续稳定健康发展。

1 材料与方法

1.1 试验设计

内生解淀粉芽孢杆菌 TF28 由黑龙江省科学院微生物研究所黑龙江省生物工程重点实验室分离保存。本试验地点在黑龙江省哈尔滨市太平镇兴业村,于 2018 年 2 月 23 日穴盘育苗,4 月 5 日移栽到温室大棚中;黄瓜品种为“早熟绿神”,种子购于哈尔滨全福种苗有限公司。试验颗粒为腐殖酸颗粒;细菌 NYD 培养基(货号 BS1002);PDA 培养基(北京陆桥技术股份有限公司);放线菌培养基(货号 BS1075)。将解淀粉芽孢杆菌 TF28 制成浓度为 10^8 CFU/mL 的菌悬液,置于 4℃ 冰箱中待用。试验用颗粒剂制备:将菌悬液用喷壶均匀地喷涂在腐殖酸颗粒上,制成含菌量为 2 亿~3 亿 CFU/g 的颗粒剂,常温保存备用。

施菌剂方法:(1)液体处理(L), 10^8 CFU/mL 菌悬液 5 mL 浇在苗根部;(2)颗粒剂施肥法(P),移栽时将颗粒剂(2 亿~3 亿 CFU/g)按 5 g/株均匀撒在垄沟,再将瓜苗栽上;(3)复合施用法(LP),瓜苗移

收稿日期:2019-03-15

基金项目:黑龙江省院所基本应用技术研究专项(编号:ZNBZ2018SW02)。

作者简介:胡基华(1970—),女,吉林长春人,博士,副研究员,主要从事生物防治研究。E-mail:158631375@qq.com。

通信作者:李 晶,博士,研究员,主要从事农业微生物基础应用研究。E-mail:lj0706@sohu.com。

栽时,苗根部均匀放置 5 g/株颗粒剂(2 亿~3 亿 CFU/g),将瓜苗栽上后再浇灌 5 mL 菌悬液(10^8 CFU/mL);以清水处理为空白对照。移植第 1 周和第 2 周,随机选取健壮的黄瓜,对株高、叶面积(根部起测量第 5 张叶片)、根须数量、主根长度和根部干质量等生育指标进行测定,3 个重复,每个重复 5 株;黄瓜果实移栽第 5 周测定,共取样 3 次,每次取 1 空(72 株/空)成熟果实,黄瓜移栽至大棚后每周取 1 次土样,采用 5 点取样法取样,将每个处理 5 点的土壤样品混合为 1 个重复,过 2 mm 筛,−80 ℃ 冻存备用。

1.2 测定仪器与方法

离心机 AIGMA 3-18K(日本);紫外分光光度计 INESA-UV757CRT(青岛聚创环保设备有限公司),96 孔板 Costar 3590,石英比色皿 0.35 mL(型号为 YA1150, Solarbio 北京)。叶面积采用叶面积测量仪 YMJ-B(浙江托普仪器有限公司)测量;土壤 pH 值采用 FILDSCOUT pH400 Meter 2109 仪读取;碱性磷酸酶(S-AKP/ALP)活性检测试剂盒 Solarbio(货号 BC0285)、土壤酸性磷酸酶(S-ACP)

试剂盒 Solarbio(货号 BC0145)、土壤脲酶(S-UE)活性检测试剂盒 Solarbio(货号 BC0125)、土壤过氧化氢酶(S-CAT)活性检测试剂盒 Solarbio(货号 BC0105),4 种酶活性测定按规程进行操作,其中脲酶活性测试中 37 ℃ 水浴锅用 37 ℃ 恒温培养箱代替。

1.3 数据分析

采用 Excel 2007 和 SPSS 17.0 软件进行数据分析,应用 ANOVA 单因素(LSD 法)进行显著性检验。

2 结果与分析

2.1 TF28 对黄瓜生育指标和土壤理化性质的调节作用

施用 TF28 菌剂 2~3 周后对黄瓜的叶片、根部采用 5 点取样法进行对比,结果(表 1)表明,P、LP、L 3 种处理株高与空白对照相比分别提高 18.78%、17.27%、11.88%;L 和 LP 2 种处理根须数量分别高于空白对照 35.20% 和 48.66%;3 种处理对叶面积、果实质量、根长和根质量影响不显著。

表 1 施用 TF28 对棚室连作黄瓜生育指标影响

处理	株高 (cm)	叶面积 (cm ²)	果实质量 (kg)	根须数量 (根)	根长 (cm)	根质量 (g)
P	43.00 ± 11.46a	65.67 ± 32.48a	12.37 ± 2.15a	13.33 ± 2.89a	15.33 ± 5.86a	9.44 ± 4.58a
LP	42.45 ± 7.14a	72.51 ± 31.63a	13.93 ± 1.62a	16.67 ± 10.97ab	15.67 ± 0.58a	10.52 ± 5.72a
L	40.50 ± 8.77ab	70.64 ± 38.97a	13.41 ± 2.31a	18.33 ± 4.04b	16.33 ± 3.51a	12.92 ± 5.02a
CK	36.20 ± 5.66b	69.45 ± 24.79a	12.53 ± 2.44a	12.33 ± 3.06a	18.33 ± 2.00a	9.87 ± 2.75a

注:同列数据后不同小写字母表示各处理间在 0.05 水平差异显著。下同。

由图 1 可见,L 处理的 pH 值为 7.35~5.12,移栽后 1 周最高,7 周最低;LP 处理的 pH 值为 6.58~5.85,6 周最高,5 周最低;P 处理的 pH 值 6.34~5.23,1 周最高,6 周最低;CK 处理 pH 值较平稳,在 6.18~5.23 之间,1 周最高,5 周最低。

2.2 TF28 对连作黄瓜土壤酶活性的影响

由图 2-A 可见,3 种处理对连作黄瓜根际碱性磷酸酶活性具有调节作用。在移栽后 3 周,L、P 和 LP 处理的碱性磷酸酶活性都高于 CK,其中 L 处理与 CK 差异明显,提高了 23.11%;在移栽后 6 周,L 和 LP 2 种处理的碱性磷酸酶活性呈下降趋势,P 处理呈上升趋势,与 CK 差异明显,提高 35.03%;在移栽后 7 周,LP 处理的碱性磷酸酶活性高于 CK 24.19%,其他 2 种处理趋于空白对照。由图 2-B

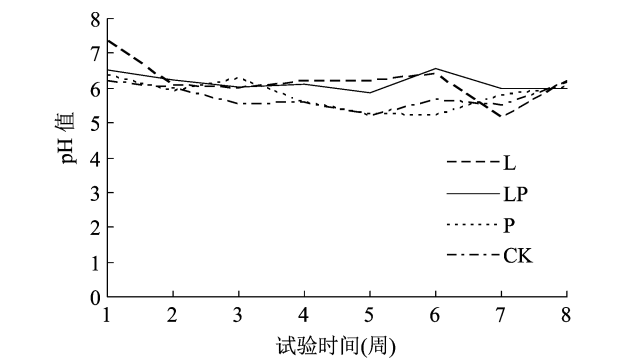
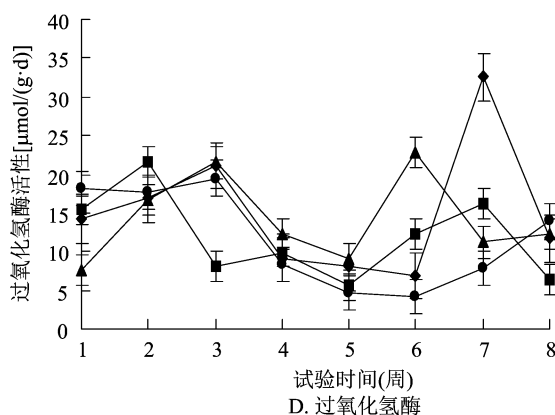
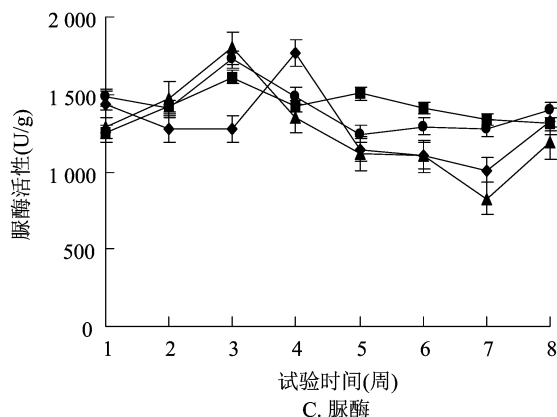
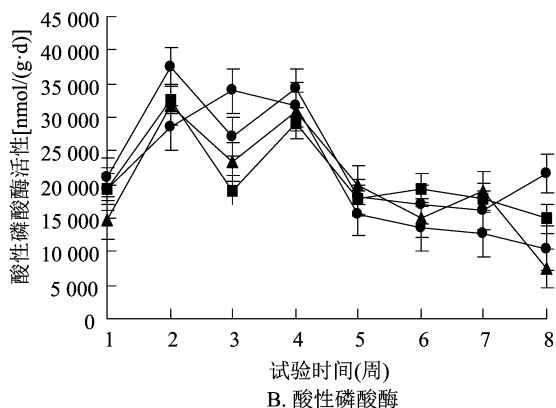
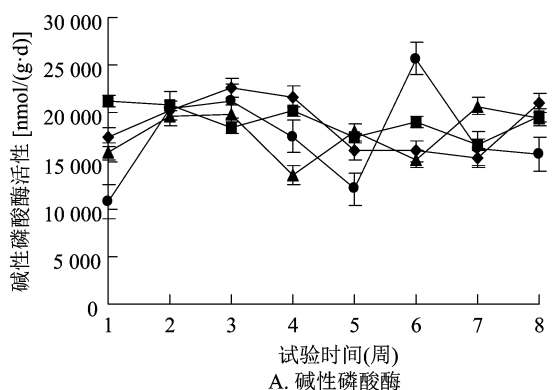


图 1 TF28 对黄瓜连作土壤 pH 值的调节作用

可见,3 种处理酸性磷酸酶活性在移栽后 2 周均提高,L 和 CK 处理差异明显,提高 14.33%;移栽后 3 周 3 种处理都高于空白对照,分别提高 41.47%、22.20% 和 77.43%;移栽后 4 周 3 种处理仍高于空

白对照,其中 L 处理明显高于 CK,较 CK 提高 17.91%。由图 2-C 可见,L 处理的脲酶活性在移栽后 4 周明显高于 CK 24.34%。由图 2-D 可见,L、LP 和 P 3 种处理过氧化氢酶活性都明显高于 CK,分别

提高 158.70%、163.24% 和 138.97%;移栽后 6 周 LP 处理明显高于 CK 86.15%;移栽后 7 周 L 处理明显高于 CK 102.36%;移栽后 8 周 3 种处理都明显高于 CK,分别提高 83.20%、91.52% 和 119.62%。



—◆— L —▲— LP —●— P —■— CK
图2 TF28 对棚室连作黄瓜土壤酶活性调节作用

2.3 菌株 TF28 对黄瓜根际土壤微生物数量的影响

施用 TF28 菌剂的 3 个处理对棚室连作黄瓜土壤中细菌、真菌和放线菌具有调节作用,提高细菌和放线菌的数量,降低了真菌的数量。由表 2 可见,移栽后 L 处理的黄瓜根际土壤细菌数量从移栽后 1~8 周分别比 CK 增加 368.35%、279.21%、256.90%、134.54%、263.43%、90.35%、9.95% 和 -4.51%;LP 处理黄瓜根际土壤细菌分别比 CK 增加 367.57%、378.22%、357.66%、186.91%、254.73%、17.95%、5.30%、-21.83%;P 处理黄瓜根际土壤细菌分别比 CK 增加 271.07%、355.05%、252.36%、187.22%、237.85%、64.86%、26.32% 和 -0.58%。

由表 3 可见,移栽后 L 处理的黄瓜根际土壤放线菌数量从移栽后 1~8 周分别比 CK 增加 125.16%、146.56%、141.14%、123.21%、

131.75%、125.79%、69.18% 和 46.36%;LP 处理放线菌数量分别比 CK 增加 52.20%、78.63%、56.96%、125.00%、89.95%、49.69%、64.15% 和 30.46%;P 处理放线菌数量分别比 CK 增加 159.12%、222.90%、223.42%、215.48%、207.41%、251.57%、45.28% 和 68.87%。

由表 4 可见,移栽后 L 处理的黄瓜根际土壤真菌数量从移栽后 1~8 周分别比 CK 降低 69.72%、51.52%、46.01%、39.34%、43.41%、35.34%、21.60% 和 30.29%;LP 处理真菌数量分别比 CK 降低 23.85%、41.21%、47.79%、65.57%、77.52%、81.95%、70.04%、65.14%;P 处理真菌数量分别比 CK 降低 51.38%、70.91%、70.99%、84.43%、72.87%、63.16%、24.80% 和 23.43%。

3 讨论

植物根际是植物与外界环境交流的主要场所,

表 2 3 种处理对黄瓜根际土壤细菌数量的影响

处理	细菌数量(×10 ⁶ CFU/g)							
	移栽后 1 周	移栽后 2 周	移栽后 3 周	移栽后 4 周	移栽后 5 周	移栽后 6 周	移栽后 7 周	移栽后 8 周
L	24.12 ±1.03a	19.15 ±0.59a	18.88 ±0.92a	14.87 ±0.72a	14.21 ±1.03a	9.86 ±1.58a	6.85 ±1.09a	6.56 ±0.99a
LP	24.08 ±1.22a	24.15 ±0.94a	24.21 ±1.36a	18.19 ±1.52a	13.87 ±0.87a	6.11 ±0.93a	6.56 ±0.82a	5.37 ±0.49a
P	19.11 ±0.11a	22.98 ±0.92a	18.64 ±1.29a	18.21 ±1.82a	13.21 ±0.83a	8.54 ±1.09a	7.87 ±0.87a	6.83 ±1.28a
CK	5.15 ±1.22b	5.05 ±1.38b	5.29 ±0.79b	6.34 ±0.97b	3.91 ±1.83b	5.18 ±1.24a	6.23 ±1.66a	6.87 ±1.97a

表 3 3 种处理对黄瓜根际土壤放线菌数量的影响

处理	放线菌数量(×10 ⁶ CFU/g)							
	移栽后 1 周	移栽后 2 周	移栽后 3 周	移栽后 4 周	移栽后 5 周	移栽后 6 周	移栽后 7 周	移栽后 8 周
L	3.58 ±1.51a	3.23 ±1.21a	3.81 ±1.06a	3.75 ±0.04a	4.38 ±1.14a	3.59 ±1.03a	2.69 ±1.33a	2.21 ±1.23a
LP	2.42 ±1.01a	2.34 ±0.29a	2.48 ±1.45a	3.78 ±0.09a	3.59 ±1.28a	2.38 ±0.31a	2.61 ±0.18a	1.97 ±1.11a
P	4.12 ±0.92a	4.23 ±0.13a	5.11 ±0.38a	5.30 ±0.45a	5.81 ±1.29a	5.59 ±1.39a	2.31 ±0.37a	2.55 ±1.57a
CK	1.59 ±0.51b	1.31 ±0.19b	1.58 ±0.63b	1.68 ±0.79b	1.89 ±0.99a	1.59 ±0.18b	1.59 ±0.38b	1.51 ±0.81b

表 4 3 种处理对黄瓜根际土壤真菌数量的影响

处理	真菌数量(×10 ⁶ CFU/g)							
	移栽后 1 周	移栽后 2 周	移栽后 3 周	移栽后 4 周	移栽后 5 周	移栽后 6 周	移栽后 7 周	移栽后 8 周
L	0.33 ±0.13a	0.85 ±0.31a	0.61 ±0.18a	0.74 ±0.29a	0.73 ±0.12a	0.86 ±0.09a	0.98 ±0.02a	1.22 ±0.18a
LP	0.83 ±0.06a	0.97 ±0.30a	0.59 ±0.11a	0.42 ±0.09a	0.29 ±0.09a	0.24 ±0.01a	0.37 ±0.07a	0.61 ±0.10a
P	0.53 ±0.13a	0.48 ±0.10a	0.38 ±0.04a	0.19 ±0.07a	0.35 ±0.36a	0.49 ±0.40a	0.94 ±0.03a	1.34 ±0.11a
CK	1.09 ±1.05b	1.65 ±1.15b	1.13 ±1.32b	1.22 ±0.95b	1.29 ±0.88b	1.33 ±1.06b	1.25 ±0.87b	1.75 ±1.63b

土壤中微生物的含量与生态系统功能的发挥密切相关,是土壤有机质养分的一种短暂而最有效的贮存形式^[10-11],同时也是土壤肥力水平的活指标^[12]。内生细菌具有在植物体内定殖传导,不易受外界环境影响等优点,解淀粉芽孢杆菌 TF28 是广谱生防菌株,有研究表明接种 TF28 后能够提高番茄抗灰霉病能力,番茄叶片防御酶活性及 JA(茉莉酸)和 SA(水杨酸)含量升高^[9],本试验对 TF28 以液体、颗粒剂和复合 3 种形式施用,可以提高棚室连作黄瓜苗期株高和根须数量,显著提高设施黄瓜土壤中细菌和放线菌的数量,降低真菌数量,其中以颗粒形式施用比其他 2 种处理效果要好。说明 TF28 可以改善棚室连作黄瓜土壤质量和环境,对土壤具有调节作用,利于植株生长发育,可以抑制由于连作引起的由“细菌型”向“真菌型”转变。已有研究表明,不同作物的根际有其特定的微生物群落,就是同一作物在不同生育时期和营养状态下,其根际微生物数量也呈现一定的动态变化^[13]。微生物数量及多样性的增加,作用期较短,这与张昕等研究 2 株生防菌对黄瓜根围的环境生态效应结果^[14]相似,生防菌株的施入对土壤中细菌的种群数量有短期影响,但随着黄瓜生育期的延长,施入生

防细菌土壤的细菌数量最终与对照土壤中细菌数量持平。其原因可能是土壤本身的微生物生态环境有一定的自我恢复能力,在受到外来因素扰动后,短期内出现激烈的变化,但是随着时间的推移逐步恢复到原有的水平。

土壤酶是土壤组分中最活跃的有机成分之一^[15],酶活性反映土壤物质能量代谢强度^[16]。设施蔬菜连作会导致土壤酶活性降低、微生物群落结构单一化、有害微生物数量增多^[17-21]。土壤磷酸酶活性可以用来评价土壤磷素状况^[18],磷酸酶酶促作用能加快土壤有机磷的脱磷速度;碱性磷酸酶作为一种适应酶,当植物缺少磷肥时碱性磷酸酶会增加,其活性会随着磷素含量的上升而降低^[19]。土壤磷酸酶活性与作物的生育期和土壤水分含量、土壤温度、土壤 pH 值等多方面因素有关^[20-21]。本研究中 3 种处理均提高了碱性磷酸酶、酸性磷酸酶。在移栽后 8 周内,所有样品除了第 1 周 L 处理呈碱性,其他样品都在酸性范围内,酸性磷酸酶活性 L 处理在第 2 周最高,为 37 407.71 nmol/(g·d),碱性磷酸酶活性 P 处理在第 6 周达到最高值 25 684.77 nmol/(g·d),3 种处理无论是单个样品还是 8 周平均数值,酸性磷酸酶作为优势酶作用要

大于碱性磷酸酶,在苗期酸性磷酸酶呈先升高再降低的趋势,与战厚强等的研究结果^[22]相同。脲酶是催化尿素水解的唯一酶,可以将酰胺态有机氮化物水解转化为植物可直接利用的无机氮的酶,脲酶活性可以反映出土壤供氮水平和能力^[23]。本试验结果显示,L、LP 处理脲酶活性在苗期移栽后 3、4 周与对照差异显著,说明 TF28 可以改善棚室连作土壤供氮水平。土壤中的过氧化氢酶活性能够反映土壤中碳、氮物质的转化情况^[24]。已有研究表明,生物炭的添加对设施连作黄瓜根域基质酶活性和微生物具有调节作用^[25]。本试验中 L 和 LP 2 种处理的过氧化氢酶活性在移栽后 6、7 周达到最高值,说明 TF28 对碳、氮转化具有促进作用。从移栽后连续 8 周对 4 种酶活性进行测试,结果显示,酸性磷酸酶活性在移栽后 2 周出现最高值,脲酶活性在移栽后 3、4 周出现最高值,碱性磷酸酶活性在移栽后 6 周出现最高值,过氧化氢酶活性的最高值出现在移栽后 7 周,4 种酶活性达到最高值的时间有先后顺序,依次是酸性磷酸酶、脲酶、碱性磷酸酶和过氧化氢酶,这些活性变化还须要进一步研究其代谢功能来验证说明。3 种处理中 P 处理能明显提高碱性磷酸酶,L 处理能明显提高酸性磷酸酶、脲酶和过氧化氢酶。

4 结论

解淀粉芽孢杆菌 TF28 对设施连作黄瓜根际土壤酶活性、微生物含量和 pH 值具有调节作用,3 种处理中 L 和 P 2 种处理效果明显,可以提高苗期植株株高、苗期根须数量以及土壤中的碱性磷酸酶、脲酶和过氧化氢酶活性,酸性磷酸酶是主导磷酸酶。施用 TF28 可提高土壤细菌和放线菌数量,降低真菌数量。8 周连续采样结果显示,无论是菌群数量、pH 值、4 种酶活性都呈波浪状起伏,说明土壤自身调节能力,TF28 可以促进土壤自身恢复调节。

参考文献:

- [1] 吴风芝,赵风艳,刘元英. 设施蔬菜连作障碍原因综合分析防治措施[J]. 东北农业大学学报,2000,31(3):241-247.
- [2] 喻景权,周杰. “十二五”我国设施蔬菜生产和科技进展及其展望[J]. 中国蔬菜,2016(9):18-30.
- [3] 吕雅悠,于迪,丁方丽,等. 促植物生长根际细菌 A21-4 对田间辣椒生长及根际土壤微生态环境的影响[J]. 中国生物防治学报,2016,32(1):86-92.
- [4] Niazi A, Manzoor S, Bejai S, et al. Complete genome sequence of a

- plant associated bacterium *Bacillus amyloliquefaciens* subsp. *plantarum* UCMB5033[J]. Standards in Genomic Sciences,2014,9(3):718-725.
- [5] 吴一品,林艺芬,林河通,等. 生防菌解淀粉芽孢杆菌研究进展[J]. 包装与食品机械,2012,30(6):49-52.
- [6] 张龙来,康向辉,魏孝义,等. 1 株解淀粉芽孢杆菌 HN011 抑菌次级代谢产物的分析[J]. 华南农业大学学报,2016,37(1):63-69.
- [7] 车晓曦,李校堃. 解淀粉芽孢杆菌(*Bacillus amyloliquefaciens*)的研究进展[J]. 北京农业,2010(3):7-10.
- [8] Zhang S M, Sha C Q, Wang Y X, et al. Isolation and characterization of antifungal *Endophytic bacteria* from soybean[J]. Microbiology, 2008,35(10):1593-1599.
- [9] 张淑梅,李晶,姜威,等. 内生细菌 TF28 诱导番茄抗病分子机制研究[J]. 中国生物防治学报,2015,31(6):913-920.
- [10] 刘卉,周清明,黎娟,等. 生物炭施用对土壤改良及烤烟生长的影响[J]. 核农学报,2016,30(7):1411-1419.
- [11] 魏赛金,黄国强,倪国荣,等. 稻草还田配施腐解菌剂对水稻土壤微生物的影响[J]. 核农学报,2016,30(10):2026-2032.
- [12] Ritz K, Wheatley R E. Effects of water amendment on basal and substrate induced respiration rates of mineral soils[J]. Biology and Fertility of Soils,1989,8(3):242-246.
- [13] Marcial G C, Fagbola O, Costa R, et al. Dynamics of fungal communities in bulk and maize rhizosphere soil in the tropics[J]. Applied and Environmental Microbiology,2003,69(7):3758-3766.
- [14] 张昕,张立钦,林海萍,等. 引入黄瓜根围的株生防菌株的生态效应[J]. 浙江林学院学报,2007,24(6):649-653.
- [15] Marx M C, Wood M, Jarvis S. A microplate fluorimetric assay for the study of enzyme diversity in soils[J]. Soil Biology and Biochemistry,2001,33(12/13):1633-1640.
- [16] 孙真,郑亮,邱浩斌. 植物根际促生细菌定殖研究进展[J]. 生物技术通报,2017,33(2):8-15.
- [17] 刘来,黄保健,孙锦,等. 大棚辣椒连作土壤微生物数量、酶活性与土壤肥力的关系[J]. 中国土壤与肥料,2013(2):5-10.
- [18] 刘建新. 不同农田土壤酶活性与土壤养分相关关系研究[J]. 土壤通报,2004,35(4):523-525.
- [19] 王灿,王德建,孙瑞娟,等. 长期不同施肥方式下土壤酶活性与肥力因素的相关性[J]. 生态环境,2008,17(2):688-692.
- [20] 李科江,张素芳,贾文竹,等. 半干旱区长期施肥对作物产量和土壤肥力的影响[J]. 植物营养与肥料学报,1999,5(1):22-26.
- [21] Veronicea A M, Leo C, David S R, et al. Enzyme activities as affected by soil properties and land use in a tropical watershed[J]. Applied Soil Ecology,2007,35(1):35-45.
- [22] 战厚强,颜双双,王家睿,等. 水稻秸秆还田对土壤磷酸酶活性及速效磷含量的影响[J]. 作物杂志,2015(2):78-83.
- [23] 于天一,逢焕成,唐海明,等. 不同母质类型水稻土酶活性及其与理化性质的关系[J]. 土壤学报,2013,50(5):1043-1047.
- [24] 何念祖. 浙江省几种水稻土的酶活性及其与土壤肥力的关系[J]. 浙江农业大学学报,1986,12(1):43-47.
- [25] 邹春娇,张勇勇,张一鸣,等. 生物炭对设施连作黄瓜根域基质酶活性和微生物的调节[J]. 应用生态学报,2015,26(6):1772-1778.