应用生态学报 2016年8月 第27卷 第8期 http://www.cjae.net
Chinese Journal of Applied Ecology, Aug. 2016, **27**(8): 2520-2526 DOI: 10.13287/j.1001-9332.201608.015

不同微生物菌剂对基质酶活性和番茄产量及品质的影响

侯乐梅 孟瑞青 乜兰春* 齐迎斌
(河北农业大学园艺学院, 河北保定 071000)

摘 要 以鸡粪配方基质(腐熟鸡粪:腐熟玉米秸秆:河沙体积为3:4:3)和牛粪配方基质(腐熟牛粪:腐熟玉米秸秆:河沙体积为3:4:3)为试材,研究了基质中分别添加地福来、酵素菌、EM菌、枯草芽孢杆菌和农用微生物菌剂对基质酶活性和番茄产量及品质的影响.结果表明:两种配方基质添加微生物菌剂40和60 d时根际基质的脲酶、蔗糖酶和碱性磷酸酶活性均显著提高,番茄植株生长量、果实产量及维生素C含量显著高于对照.鸡粪和牛粪配方基质均以添加地福来效果最好,番茄单株产量分别较各自对照增加14.7%和40.0%,果实维生素C含量分别提高22.2%和39.7%.在不添加微生物菌剂的情况下,鸡粪配方基质栽培的番茄单株产量和果实维生素C含量高于牛粪配方基质;分别添加地福来后,两种基质栽培的番茄单株产量和果实维生素C含量无显著差异.

关键词 微生物菌剂; 基质酶活性; 番茄; 产量; 品质

Effects of different microbial agents on substrate enzyme activities and tomato yield and quality. HOU Le-mei, MENG Rui-qing, NIE Lan-chun, QI Ying-bin (*College of Horticulture, Agricultural University of Hebei, Baoding* 071000, *Hebei, China*).

Abstract: Chicken manure substrate (fermented chicken manure:fermented corn stalk:river sand = 3:4:3) and cattle manure substrate (fermented cattle manure:fermented corn stalk:river sand = 3:4:3) were used to study the effects of microbial agents ('Difulai', enzyme microorganism, EM bacteria, *Bacillus subtilis*, and agricultural microbial agent) on substrate enzyme activities and tomato yield and quality. The results showed that the activities of urease, invertase and alkaline phosphatase in both two substrates all significantly increased at 40 d and 60 d after microbial agent addition. The growth, yield and vitamin C content of tomato were higher than those of control. Among the microbial agents, 'Difulai' showed the best effect in both two substrates. Plant yield increased by 14.7% and 40.0%, tomato vitamin C content increased by 22.2% and 39.7% respectively in chicken manure and cattle manure substrate with 'Difulai' addition. Yield and vitamin C content of tomato plant in chicken manure substrate without microbial agent addition were higher than that in cattle manure substrate, while there was no significant difference in two substrates with 'Difulai' addition.

Key words: microbial agent; substrate enzyme activity; tomato; yield; quality.

我国农业正处于由传统农业向现代农业的转变期,现代农业的发展存在着资源短缺和环境恶化的压力,农业废弃物资源化利用[1-2]、非耕地开发[3]、土壤连作障碍克服[4-6]等都是生产中急需解决的问题.利用基质进行无土栽培是解决沙荒地、盐碱地等非耕地利用[3]和克服连作障碍的一项有效措施,也是农业废弃物资源化利用的一条有效途径[7].

微生物菌剂是人工培植的有益微生物菌群经加工制成的微生物活菌制剂,能够在土壤或基质中繁殖,形成有利于植物生长的微生物优势菌群,这些微生物菌群在繁殖代谢过程中产生活性物质,改善土壤微生态平衡[8-12],增强营养吸收,促进植物生

本文由河北省现代农业产业技术体系蔬菜创新团队资助 This work was supported by the Earmarked Fund for Hebei Vegetables Innovation Team of Modern Agro-industry Technology Research System.
2015-12-31 Received, 2016-05-03 Accepted.
* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yynlc@hebau.edu.cn

长[8,13-15]，提高产量，改善品质[16-18]. 目前，微生物菌剂对土壤生态改善方面的研究报道较多，但无土栽培基质中添加微生物菌剂的效应研究报道较少. 本文以前期筛选出的分别以腐熟鸡粪和腐熟牛粪为主成分的两种配方基质为试材，研究了添加不同微生物菌剂对基质酶活性和番茄产量及品质的影响，以期为无土栽培基质优化研究提供参考和依据.

1　材料与方法

1.1　试验材料

供试番茄品种为‘中研金盾’. 两种配方基质为前期番茄无土栽培试验筛选出的配方，分别为腐熟鸡粪：腐熟玉米秸秆：河沙为 3：4：3（体积比，简称鸡粪配方基质）和腐熟牛粪：腐熟玉米秸秆：河沙为 3：4：3（体积比，简称牛粪配方基质）.

5 种微生物菌剂分别为地福来（北京地福来科技发展有限公司）、酵素菌（山东潍坊神州生物肥料有限公司）、EM 菌、枯草芽孢杆菌和农用微生物菌剂（沧州旺发生物技术研究所）.

1.2　试验设计

试验于 2015 年 3—6 月在河北农业大学农林试验基地塑料大棚内进行. 基质槽长 4 m，宽 0.5 m，深 0.25 m，槽间距 0.6 m. 3 月 23 日定植，株距 0.33 m，每槽种植两行. 定植时分别穴施地福来 250 倍液、EM 菌 300 倍液、枯草芽孢杆菌 100 倍液、酵素菌 200 倍液和农用微生物剂 200 倍液，每穴 0.33 L，以穴浇等量清水为对照（CK），每处理 2 槽，3 次重复，随机区组排列. 分别在定植后 20（开花期）、40（结果初期）和 60 d（盛果期）采用五点取样法取番茄根际基质，测定酶活性. 定植 45 d 后，每小区取 10 株番茄，分别测定其株高、茎粗、叶片数、最大功能叶的叶长、叶宽. 果实成熟后计产，每小区取 9 个成熟度一致的果实，分别测定可溶性糖、有机酸和维生素 C 含量.

1.3　测定项目与方法

基质酶活性测定：脲酶活性测定采用靛酚蓝比色法[19]，以 24 h 每克基质中 NH_4^+-N 的质量来表示；蔗糖酶用 3，5-二硝基水杨酸比色法测定[19]，以 24 h 每克基质中葡萄糖的质量来表示；过氧化氢酶用高锰酸钾滴定法测定[20]，以 20 min 每克基质消耗 0.02 mol · L^{-1}高锰酸钾的质量来表示；磷酸酶活性用磷酸苯二钠比色法测定[19]，以 24 h 每克基质中释放出的酚的质量来表示.

果实品质指标测定：采用蒽酮比色法测定可溶性糖含量[21]；用氢氧化钠滴定法测定有机酸含量[22]；采用 2，6-二氯酚靛酚滴定法测定维生素 C 含量[22].

1.4　数据处理

采用 Microsoft Excel 2003 对试验数据进行统计整理，采用 DPS 7.05 软件对数据进行方差分析，采用邓肯氏新复极差法进行显著性测验.

2　结果与分析

2.1　添加不同微生物菌剂对基质酶活性的影响

两种配方基质中添加不同微生物菌剂 20、40 和 60 d 的番茄根际基质酶活性分别见表 1 和表 2. 添加 20 d 后，番茄进入开花期，添加地福来和枯草芽孢杆菌的鸡粪配方基质脲酶、蔗糖酶和碱性磷酸酶活性显著高于 CK；添加 EM 菌的蔗糖酶和碱性磷酸酶活性显著高于 CK；添加农用微生物菌剂的蔗糖酶显著高于 CK；添加酵素菌的脲酶和碱性磷酸酶活性显著高于 CK；而添加不同微生物菌剂的基质过氧化氢酶活性均与 CK 差异不显著. 40 d 后即番茄结果初期，添加不同微生物菌剂的基质脲酶、蔗糖酶和碱性磷酸酶活性均显著高于 CK，且这 3 种酶活性均以添加地福来的最高，分别比 CK 高 120%、71%、141%. 此时添加不同微生物菌剂的基质过氧化氢酶活性仍与 CK 差异不显著. 60 d 后即番茄盛果期，添加不同微生物菌剂的基质脲酶、蔗糖酶和碱性磷酸酶活性显著高于 CK，且添加地福来、EM 菌、酵素菌和农用微生物菌剂的基质过氧化氢酶活性也显著高于 CK，而添加枯草芽孢杆菌的基质过氧化氢酶活性依然与 CK 差异不显著.

从表 2 可以看出，牛粪配方基质中各种酶活性普遍高于鸡粪配方基质. 牛粪配方基质添加不同微生物菌剂 20 d 后（番茄开花期），基质中脲酶、蔗糖酶和碱性磷酸酶活性均显著高于 CK，40 d 时（结果初期），这 3 种酶活性均以添加地福来的最高，分别比 CK 高 76%、84%、72%，而基质过氧化氢酶活性与 CK 差异不显著. 60 d 后即番茄盛果期，添加不同微生物菌剂的基质脲酶、蔗糖酶、碱性磷酸酶活性依然显著高于 CK，且添加地福来、EM 菌、酵素菌和农用微生物菌剂的基质过氧化氢酶活性也显著高于 CK，而添加枯草芽孢杆菌的基质过氧化氢酶活性仍然与 CK 差异不显著. 可见牛粪基质较鸡粪基质酶活性响应迅速. 各种酶中过氧化氢酶活性较其他 3 种酶响应缓慢.

2.2　添加不同微生物菌剂对番茄生长和产量的影响

从表3可以看出，添加5种微生物菌剂的鸡粪

表 1 鸡粪配方基质中添加不同微生物菌剂对基质酶活性的影响

Table 1 Effects of adding different microbial agents to chicken manure substrates on substrate enzyme activities

施用时间 Application time (d)	微生物菌剂种类 Type of microbial agent	脲酶 Urease ($mg \cdot g^{-1} \cdot d^{-1}$)	蔗糖酶 Invertase ($mg \cdot g^{-1} \cdot d^{-1}$)	碱性磷酸酶 Alkaline phosphatase ($mg \cdot g^{-1} \cdot d^{-1}$)	过氧化氢酶 Calatase ($mg \cdot g^{-1} \cdot 20\ min^{-1}$)
20	地福来 Difulai	1.58±0.05b	5.86±0.10c	2.04±0.05a	1.99±0.01a
	EM 菌 EM bacteria	1.44±0.07c	8.03±0.05b	1.99±0.03a	1.99±0.01a
	枯草芽孢杆菌 *Bacillus subtilis*	1.63±0.04ab	10.44±0.60a	1.88±0.00b	1.96±0.00a
	酵素菌 Enzyme microorganism	1.69±0.04a	3.77±0.30d	1.87±0.09b	1.94±0.01a
	农用微生物菌剂 Agricultural microbial agent	1.47±0.04c	5.40±0.14c	1.62±0.04c	1.97±0.00a
	对照 CK	1.39±0.03c	3.67±0.10d	1.55±0.01c	1.99±0.03a
40	地福来 Difulai	1.43±0.06a	11.85±0.08a	3.62±0.12a	2.01±0.03a
	EM 菌 EM bacteria	1.11±0.06c	10.83±0.17b	2.67±0.08c	2.00±0.00a
	枯草芽孢杆菌 *Bacillus subtilis*	1.28±0.06b	11.83±0.19a	2.94±0.08b	1.99±0.02a
	酵素菌 Enzyme microorganism	1.31±0.03b	10.64±0.20b	2.24±0.00e	1.96±0.02a
	农用微生物菌剂 Agricultural microbial agent	0.89±0.05d	10.52±0.23b	2.46±0.11d	1.97±0.03a
	对照 CK	0.65±0.03e	6.91±0.16c	1.50±0.09f	1.97±0.03a
60	地福来 Difulai	2.04±0.18a	10.89±0.35b	1.26±0.04b	1.62±0.11b
	EM 菌 EM bacteria	1.41±0.06c	11.26±0.30a	1.34±0.06b	1.85±0.00a
	枯草芽孢杆菌 *Bacillus subtilis*	1.54±0.11bc	9.04±0.41c	1.42±0.06b	1.48±0.07c
	酵素菌 Enzyme microorganism	1.66±0.09b	7.16±0.24d	2.20±0.02a	1.67±0.04b
	农用微生物菌剂 Agricultural microbial agent	1.59±0.10b	9.33±0.17c	1.40±0.02b	1.64±0.07b
	对照 CK	1.00±0.05d	6.61±0.35e	1.06±0.04c	1.51±0.00c

表中同列不同小写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$) Different small letters in the same column meant significant difference among treatments at 0.05 level. 下同 The same below.

表 2 牛粪配方基质中添加不同微生物菌剂对基质酶活性的影响

Table 2 Effects of adding different microbial agents to cattle manure substrates on substrate enzyme activities

施用时间 Application time (d)	微生物菌剂种类 Type of microbial agent	脲酶 Urease ($mg \cdot g^{-1} \cdot d^{-1}$)	蔗糖酶 Invertase ($mg \cdot g^{-1} \cdot d^{-1}$)	碱性磷酸酶 Alkaline phosphatase ($mg \cdot g^{-1} \cdot d^{-1}$)	过氧化氢酶 Calatase ($mg \cdot g^{-1} \cdot 20\ min^{-1}$)
20	地福来 Difulai	4.91±0.06a	9.95±0.36c	2.17±0.06e	2.00±0.01a
	EM 菌 EM bacteria	3.99±0.05b	7.45±0.68d	3.26±0.08a	2.00±0.00a
	枯草芽孢杆菌 *Bacillus subtilis*	3.97±0.05b	10.07±0.31b	2.34±0.08d	2.00±0.02a
	酵素菌 Enzyme microorganism	3.99±0.06b	14.38±0.55a	2.48±0.13c	2.01±0.00a
	农用微生物菌剂 Agricultural microbial agent	3.60±0.04c	7.89±0.18d	2.69±0.04b	2.00±0.03a
	对照 CK	2.91±0.04d	4.49±0.51e	1.83±0.02f	2.00±0.01a
40	地福来 Difulai	3.39±0.04a	14.98±0.15a	2.66±0.07a	2.01±0.01a
	EM 菌 EM bacteria	2.98±0.03c	11.44±0.17d	2.23±0.12b	1.98±0.04a
	枯草芽孢杆菌 *Bacillus subtilis*	3.21±0.06b	12.93±0.20b	2.37±0.08b	2.00±0.01a
	酵素菌 Enzyme microorganism	2.27±0.05e	12.70±0.17b	2.80±0.00a	1.98±0.03a
	农用微生物菌剂 Agricultural microbial agent	2.72±0.06d	12.35±0.15c	2.64±0.02a	2.01±0.01a
	对照 CK	1.93±0.03f	8.13±0.20e	1.55±0.12c	2.01±0.03a
60	地福来 Difulai	4.60±0.11b	8.40±0.21a	1.44±0.06a	1.92±0.03a
	EM 菌 EM bacteria	4.95±0.15a	8.39±0.29a	1.31±0.06a	2.00±0.00a
	枯草芽孢杆菌 *Bacillus subtilis*	3.83±0.13d	6.08±0.38b	0.87±0.06b	1.78±0.05b
	酵素菌 Enzyme microorganism	3.62±0.23e	8.44±0.31a	1.02±0.02b	1.92±0.00a
	农用微生物菌剂 Agricultural microbial agent	4.37±0.12c	8.46±0.23a	1.37±0.04a	1.92±0.04a
	对照 CK	2.85±0.05f	4.69±0.22c	0.55±0.04c	1.77±0.08b

配方基质栽培的番茄地上部生长指标均显著高于CK;添加地福来的根干质量也显著高于 CK.可见,基质中添加不同微生物菌剂均可促进番茄植株的地上部生长;添加地福来的基质也促进了番茄根系的生长.从单株产量来看,基质添加不同微生物菌剂的产量均显著高于 CK,其中以添加地福来、EM 菌和农用微生物菌剂的基质单株产量最高,分别比 CK 增加14.7%、11.9%和 11.9%,其次为添加枯草芽孢杆菌和酵素菌的基质,分别比 CK 增加 9.6%和 8.5%.

由表 4 可以看出,牛粪配方基质中添加地福来、枯草芽孢杆菌、酵素菌、农用微生物菌剂番茄地上部生长指标、根干质量和单株产量均显著高于CK,其

表 3　鸡粪配方基质中添加不同微生物菌剂对番茄生长和产量的影响

Table 3　Effects of adding different microbial agents to chicken manure substrates on tomato growth and yield

微生物菌剂种类 Type of microbial agent	株高 Plant height (cm)	茎粗 Stem diameter (cm)	叶片数 Number of leaves	最大叶长 Maximum leaf length (cm)	最大叶宽 Maximum leaf width (cm)	根干质量 Root dry mass (g)	地上部干质量 Shoot dry mass (kg)	单株产量 Plant yield (kg)
地福来 Difulai	155.41± 3.72ab	11.08± 0.61a	21.85± 0.75a	46.29± 2.23b	43.18± 2.67ab	10.72± 0.44a	0.91± 0.01a	2.03± 0.05a
EM 菌 EM bacteria	158.13± 3.96a	10.87± 0.50a	21.74± 0.79ab	50.39± 2.71a	45.00± 2.70a	10.40± 0.51ab	0.89± 0.01b	1.98± 0.04ab
枯草芽孢杆菌 *Bacillus subtilis*	150.24± 5.87b	10.46± 0.66b	21.62± 0.71ab	46.11± 2.71b	43.50± 2.42a	10.26± 0.30ab	0.88± 0.01b	1.92± 0.05b
酵素菌 Enzyme microorganism	150.57± 5.59b	11.10± 0.62a	21.62± 0.51ab	47.06± 2.55b	44.00± 2.77a	10.28± 0.59ab	0.88± 0.01b	1.94± 0.05b
农用微生物菌剂 Agricultural microbial agent	149.51± 3.72b	10.21± 0.66b	21.28± 0.73b	46.99± 2.37b	42.48± 2.26ab	10.38± 0.40ab	0.92± 0.01a	1.98± 0.05ab
对照 CK	135.47± 4.44c	9.53± 0.37c	20.59± 0.74c	44.73± 2.25b	40.88± 2.14b	10.09± 0.19b	0.78± 0.01c	1.77± 0.05c

表 4　牛粪配方基质中添加不同微生物菌剂对番茄生长和产量的影响

Table 4　Effects of adding different microbial agents to cattle manure substrates on tomato growth and yield

微生物菌剂种类 Type of microbial agent	株高 Plant height (cm)	茎粗 Stem diameter (cm)	叶片数 Number of leaves	最大叶长 Maximum leaf length (cm)	最大叶宽 Maximum leaf width (cm)	根干质量 Root dry mass (g)	地上部干质量 Shoot dry mass (kg)	单株产量 Plant yield (kg)
地福来 Difulai	157.25± 6.26a	10.44± 0.73b	22.53± 0.88a	50.14± 2.60ab	47.23± 2.55ab	10.73± 0.51a	0.92± 0.01a	2.10± 0.06a
EM 菌 EM bacteria	155.69± 7.47a	10.42± 0.71b	22.06± 0.87ab	47.36± 2.94cd	43.90± 2.57c	10.50± 0.46a	0.89± 0.01b	1.99± 0.05b
枯草芽孢杆菌 *Bacillus subtilis*	156.27± 6.28a	10.99± 0.61a	21.35± 0.67c	50.83± 2.28a	48.64± 1.91a	10.61± 0.46a	0.91± 0.01a	2.03± 0.04b
酵素菌 Enzyme microorganism	146.63± 3.07b	11.16± 0.36a	21.31± 0.62c	48.71± 2.27bc	46.31± 2.32b	10.27± 0.41a	0.88± 0.01b	1.97± 0.05b
农用微生物菌剂 Agricultural microbial agent	153.88± 5.50a	10.78± 0.45ab	21.65± 0.67bc	50.00± 2.31ab	46.53± 2.14b	10.24± 0.49a	0.88± 0.01b	1.98± 0.04b
对照 CK	134.07± 3.67c	9.60± 0.42c	19.14± 0.77d	46.42± 2.81d	40.69± 2.06d	9.13± 0.46b	0.64± 0.01c	1.50± 0.05c

中以添加地福来的基质单株产量最高，比 CK 增加 40.0%，添加 EM 菌、枯草芽孢杆菌、酵素菌和农用微生物菌剂的番茄单株产量分别比 CK 增加 32.7%、35.3%、31.3%和 32.0%.

比较两种基质，不添加微生物菌剂时，鸡粪配方基质栽培的番茄单株产量高于牛粪配方基质.添加微生物菌剂后，牛粪配方基质比鸡粪配方基质增产幅度大.两种基质均以添加地福来效果最好，添加地福来后两种基质栽培的番茄单株产量无显著差异.

2.3　添加不同微生物菌剂对番茄品质的影响

从表 5 可以看出，鸡粪配方基质中添加地福来的番茄果实有机酸含量显著低于 CK，可溶性糖含量与 CK 差异不显著，果实糖酸比提高；添加枯草芽孢杆菌和酵素菌的番茄果实可溶性糖含量均显著高于 CK，有机酸含量与 CK 差异不显著，果实糖酸比也提高；添加 EM 菌和农用微生物菌剂的番茄果实可溶性糖含量和有机酸含量均与 CK 差异不显著.添加不同微生物菌剂的 5 个处理番茄果实维生素 C 含量均显著高于对照，以添加地福来的果实维生素 C 含量最高，较 CK 增加 22.2%.

由表 6 可以看出，牛粪配方基质中添加地福来的番茄果实可溶性糖含量显著高于 CK，有机酸含量显著低于 CK；添加 EM 菌和农用微生物菌剂的番茄果实可溶性糖含量显著高于 CK，有机酸含量与 CK 差异不显著；添加枯草芽孢杆菌和酵素菌的番茄果实可溶性糖含量与 CK 差异不显著，有机酸含量显著低于 CK；5 个处理均提高了番茄果实糖酸比.添加不同微生物菌剂的 5 个处理番茄果实维生素 C 含量均显著高于 CK，以添加地福来的果实维生素 C 含量最高，较 CK 增加 39.7%.

比较两种基质，不添加微生物菌剂时，鸡粪配方基质栽培的番茄果实维生素 C 含量高于牛粪配方基质.添加微生物菌剂后，牛粪配方基质比鸡粪配方基质提高幅度大，两种基质均以添加地福来的效果最好.添加地福来后，两种基质栽培的番茄果实维生素 C 含量无显著差异.

表 5 鸡粪配方基质添加不同微生物菌剂对番茄品质的影响
Table 5 Effects of adding different microbial agents to chicken manure substrates on tomato quality

微生物菌剂种类 Type of microbial agent	可溶性糖含量 Soluble sugar content (%)	有机酸含量 Organic acid content (%)	糖酸比 Sugar acid ratio	维生素 C 含量 Vitamin C content (mg · 100 g^{-1})
地福来 Difulai	2.51±0.08bc	0.27±0.00b	9.35±0.31	22.00±0.50a
EM 菌 EM bacteria	2.43±0.08c	0.31±0.02a	7.78±0.24	21.00±0.50a
枯草芽孢杆菌 *Bacillus subtilis*	2.73±0.06a	0.30±0.00ab	9.13±0.18	21.67±0.29a
酵素菌 Enzyme microorganism	2.63±0.13ab	0.33±0.02a	8.11±0.30	19.67±0.58b
农用微生物菌剂 Agricultural microbial agent	2.38±0.07c	0.34±0.03a	7.17±0.93	21.00±0.50a
对照 CK	2.42±0.03c	0.34±0.03a	7.75±0.69	18.00±0.00c

表 6 牛粪配方基质添加不同微生物菌剂对番茄品质的影响
Table 6 Effects of adding different microbial agents to cattle manure substrates on tomato quality

微生物菌剂种类 Type of microbial agent	可溶性糖含量 Soluble sugar content (%)	有机酸含量 Organic acid content (%)	糖酸比 Sugar acid ratio	维生素 C 含量 Vitamin C content (mg · 100 g^{-1})
地福来 Difulai	2.54±0.05a	0.25±0.04bc	10.56±2.04	21.00±1.00a
EM 菌 EM bacteria	2.63±0.01a	0.29±0.02ab	9.10±0.60	18.67±0.58b
枯草芽孢杆菌 *Bacillus subtilis*	2.33±0.03b	0.22±0.02c	9.72±0.81	17.83±0.76b
酵素菌 Enzyme microorganism	2.28±0.11b	0.21±0.02c	10.81±0.84	16.33±0.29c
农用微生物菌剂 Agricultural microbial agent	2.50±0.07a	0.31±0.02a	8.03±0.62	18.83±0.76b
对照 CK	2.34±0.08b	0.30±0.00a	7.26±0.27	15.03±1.00d

3 讨 论

酶是土壤或基质中生物活性最强的部分,反映了土壤或基质中各种生化过程的强度,可以作为评价土壤或基质肥力状况的生物活性指标,酶活性越高,土壤或基质性状越好[23].钱海燕等[11]研究了秸秆还田配施微生物菌剂对土壤酶活性的影响,结果显示,土壤中脲酶、蔗糖酶、过氧化氢酶活性显著提高.张雪艳等[12]研究表明,在秸秆反应堆中添加生物菌剂后,显著提高了土壤中脲酶、蔗糖酶、碱性磷酸酶活性,改善土壤养分状况.本试验研究表明,在两种配方基质中加入不同微生物菌剂后,首先提高了基质中的脲酶、蔗糖酶、碱性磷酸酶活性,60 d 后过氧化氢酶活性也显著增强,这与前人对土壤酶的研究结果基本一致.脲酶参与土壤或基质有机氮的转化[24],蔗糖酶反映土壤或基质中的碳元素转化,磷酸酶能促进有机磷化合物或无机磷酸盐的转化[25],过氧化氢酶反映基质呼吸强度,减轻过多的过氧化氢对植物的毒害作用[24].两种配方基质各种酶活性对微生物菌剂的响应不同,牛粪配方基质酶活性比鸡粪配方基质响应快;各种酶中过氧化氢酶活性较其他 3 种酶响应缓慢,这可能与基质理化性质或种植作物种类有关,尚待进一步研究.

微生物菌剂通过改善土壤或基质的理化性质,促进植物生长,提高产量,改善品质.张钰等[13]研究表明,基质中添加适量的微生物菌剂可促进黄瓜生长和提高叶绿素含量,王涛等[15]在连作土壤中施用微生物菌肥后,也得到类似的结果.赵贞等[18]研究表明,不同微生物菌肥不仅促进黄瓜营养生长,还可提高产量和果实中可溶性糖、维生素 C 含量等.朱英等[14]研究表明,微生物菌剂对番茄生长有一定的促进作用;孟阿静等[17]研究结果进一步显示,施用微生物菌肥也可以显著提高番茄果实中维生素 C、番茄红素含量和番茄产量.这些有关微生物菌剂应用的研究多针对的是土壤,基质无土栽培是解决非耕地开发和农业废弃物资源化利用的有效途径.在这一领域,以农业废弃物为主成分的基质研发与优化是关键,虽有不少基质配方的报道[26-28],但利用微生物菌剂优化基质的研究报道并不多[13].本文在前期番茄栽培试验筛选出的两种配方基质的基础上,研究了添加不同微生物菌剂对番茄产量及品质的影响,结果表明,分别在两种配方基质中添加 5 种微生物菌剂,番茄植株生长量、果实产量和维生素 C 含量均显著提高.鸡粪和牛粪配方基质均以添加地福来效果最好,产量分别较其对照增加了 14.7% 和 40.0%,维生素 C 含量分别提高了 22.2% 和 39.7%,其中牛粪配方基质提高幅度大.两种基质在不添加微生物菌剂的情况下,鸡粪配方基质栽培的番茄单株产量和果实维生素 C 含量高于牛粪配方基质,这与前期基质筛选试验中的结果一致(另文报道),而

分别添加地福来后,牛粪配方基质栽培的番茄单株产量和果实维生素 C 含量与鸡粪配方基质无显著差异.因此本试验中的两种基质添加地福来后均可作为番茄栽培的优化基质,具有促长、增产和改善果实品质的效果.添加微生物菌剂后,基质中微生物的数量和多样性增加,基质酶活性提高,促进基质中有机质的分解、有机氮和有机磷化合物的转化,促进番茄对基质中营养元素的吸收及转化,后期过氧化氢酶活性的提高减轻了生长后期过氧化氢对番茄的毒害作用,这是微生物菌剂促长、增产和提高品质的生理基础.至于不同微生物菌剂与不同基质和作物的互作及机理尚待进一步研究.

参考文献

[1] Wang P (王　鹏), Liu S-P (刘社平), Wang J (王　净), *et al*. Effect of different straw bio-fermentation strains on solar greenhouse environment and the growth and development of over-summer tomato cultivation. *North Horticulture* (北方园艺), 2015(21): 47-52 (in Chinese)

[2] Li P (李　鹏), Zhang J-B (张俊飚). Empirical studies of agricultural production waste recycling efficiency: Based on peasant household substrate management with three-stage DEA model. *China Environmental Science* (中国环境科学), 2013, **33**(4): 754-761 (in Chinese)

[3] Cao K (曹　凯), She X (佘　新), Zhao Y-Y (赵艳艳), *et al*. Selection of soilless substrate for sand land tomato. *Journal of Northwest A&F University* (Natural Science) (西北农林科技大学学报:自然科学版), 2013, **41**(6): 147-152 (in Chinese)

[4] Tan G-Y (檀国印), Yang Z-L (杨志玲), Yuan Z-L (袁志林), *et al*. Plant growth-promoting rhizobacteria and its potential in overcoming continuous cropping obstacles. *Chinese Journal of Tropical Crops* (热带作物学报), 2013, **34**(1): 135-141 (in Chinese)

[5] Hao Y-J (郝永娟), Wei J (魏　军), Liu C-Y (刘春艳), *et al*. Effects of biological soil amendment on defense enzyme activity and phenolic compound of cucumber continuous cropping. *Acta Phytopathologica Sinica* (植物病理学报), 2009, **39**(4): 444-448 (in Chinese)

[6] Ma N-N (马宁宁), Li T-L (李天来). Effect of long-term continuous cropping of protected tomato on soil microbial community structure and diversity. *Acta Horticulturae Sinica* (园艺学报), 2013, **40**(2): 255-264 (in Chinese)

[7] Xue S-H (薛书浩), Meng H-W (孟焕文), Cheng Z-H (程智慧), *et al*. Application research on compound substrate in soilless culture of greenhouse tomato. *Journal of Northwest A&F University* (Natural Science) (西北农林科技大学学报:自然科学版), 2009, **37**(11): 107-112 (in Chinese)

[8] Lei X-D (雷先德), Li J-W (李金文), Xu X-L (徐秀玲), *et al*. Effect of microbial inoculants on spinach growth characteristics and soil microbial diversity. *Chinese Journal of Eco-Agriculture* (中国生态农业学报), 2012, **20**(4): 488-494 (in Chinese)

[9] Cao E-H (曹恩珲), Hou X-W (侯宪文), Li G-Y (李光义), *et al*. Effect of combination bacteria on soil physicochemical properties and soil microbial activity by pot tomato experiments. *Ecology and Environmental Sciences* (生态环境学报), 2011, **20**(5): 875-880 (in Chinese)

[10] Yang F (杨　芳), Tian J-L (田俊岭), Yang P-P (杨盼盼), *et al*. Effects of inoculant of photosynthetic bacteria on tomato quality, soil fertility and soil microbial characteristics. *Journal of South China Agricultural University* (华南农业大学学报), 2014, **35**(1): 49-54 (in Chinese)

[11] Qian H-Y (钱海燕), Yang B-J (杨滨娟), Huang G-Q (黄国勤), *et al*. Effects of returning rice straw to fields with fertilizers and microorganism liquids on soil enzyme activities and microorganisms in paddy fields. *Ecology and Environmental Sciences* (生态环境学报), 2012, **21**(3): 440-445 (in Chinese)

[12] Zhang X-Y (张雪艳), Tian L (田　蕾), Wang G (王　冠), *et al*. Effect of maize straw reactor compound with biological fermentation bacteria on soil carbon and nitrogen ratio and enzyme activity of tomato. *North Horticulture* (北方园艺), 2015(4): 165-169 (in Chinese)

[13] Zhang Y (张　钰), Sun J (孙　锦), Guo S-R (郭世荣). Effects of different microbial agents on growth and wilt disease resistance of cucumber seedlings in substrates. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica* (西北植物学报), 2013, **33**(4): 780-786 (in Chinese)

[14] Zhu Y (朱　英), Sun Q (孙　权), Si H-L (司海丽), *et al*. Effect of microbial agents on tomato seedling growth in greenhouse. *North Horticulture* (北方园艺), 2013(19): 55-58 (in Chinese)

[15] Wang T (王　涛), Xin S-J (辛世杰), Qiao W-H (乔卫花), *et al*. Effect of different microbial fertilizers on continuous cropping cucumber growth and soil physicochemical properties. *China Vegetables* (中国蔬菜), 2011(18): 52-57 (in Chinese)

[16] Wang Y-F (王彦飞), Cao G-F (曹国璠). Effect of different biological fertilizer on yield and quality of hot pepper. *North Horticulture* (北方园艺), 2010(17): 13-15 (in Chinese)

[17] Meng A-J (孟阿静), Ma Y-R (马彦茹), Yang X-H (杨新华), *et al*. Effect of microbial fertilizer applied on yield and quality of tomato in solar greenhouse. *North Horticulture* (北方园艺), 2014(7): 169-171 (in Chinese)

[18] Zhao Z (赵　贞), Yang Y-J (杨延杰), Lin D (林　多), *et al*. Effects of microbe bacterial manures on growth, development, yield and quality of cucumber in solar greenhouse. *China Vegetables* (中国蔬菜), 2012 (18): 149-153 (in Chinese)

[19] Yao H-Y (姚槐应), Huang C-Y (黄昌勇). Soil Microbial Ecology and Its Experimental Technology. Beijing: Science Press, 2006 (in Chinese)

[20] Yang L-F (杨兰芳), Zeng Q (曾 巧), Li H-B (李海波), *et al*. Measurement of catalase activity in soil by ultraviolet spectrophotometry. *Chinese Journal of Soil Science* (土壤通报), 2011, **42**(1): 207-210 (in Chinese)

[21] Zou Q (邹 琦). Guide of Plant Physiology Experiment. Beijing: China Agriculture Press, 2003 (in Chinese)

[22] Gao J-F (高俊凤). Guide of Plant Physiology Experiment. Beijing: Higher Education Press, 2006 (in Chinese)

[23] Zou C-J (邹春娇), Zhang Y-Y (张勇勇), Zhang Y-M (张一鸣), *et al*. Regulation of biochar on matrix enzyme activities and microorganisms around cucumber roots under continuous cropping. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2015, **26**(6): 1772-1778 (in Chinese)

[24] Zhang X-P (张学鹏), Ning T-Y (宁堂原), Yang Y (杨 艳), *et al*. Effects of different application rates of calcium cyanamide on soil microbial biomass and enzyme activity in cucumber continuous cropping. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2015, **26**(10): 3073-3082 (in Chinese)

[25] Xie Y-Y (解媛媛), Gu J (谷 洁), Gao H (高华), *et al*. Dynamic changes of soil enzyme activities in microorganism inoculants, enzymes and chemical fertilizers in different proportions after straw returning soil. *Research of Soil and Water Conservation* (水土保持研究), 2010, **17**(2): 233-238 (in Chinese)

[26] Xu W-J (徐文俊), Cheng Z-H (程智慧), Meng H-W (孟焕文), *et al*. Influence of the formula of organic waste substrate from crop production on growth and yield of tomato. *Journal of Northwest A&F University* (Natural Science) (西北农林科技大学学报:自然科学版), 2012, **40**(4): 127-133 (in Chinese)

[27] Nie S-M (聂书明), Du Z-P (杜中平). Effects of different substrate formulas on fruit quality and yield of tomato. *Chinese Agricultural Science Bulletin* (中国农学通报), 2013, **29**(16): 149-152 (in Chinese)

[28] Xie X (颉 旭), Wang X-Y (王新右), Zhao F (赵帆), *et al*. Effects of different substrates formula on growth and fruit quality of tomato in greenhouse. *Journal of Gansu Agricultural University* (甘肃农业大学学报), 2014, **49**(4): 58-62 (in Chinese)

作者简介 侯乐梅,女,1989 年生,硕士研究生. 主要从事设施蔬菜生理生态及生长调控研究. E-mail: 571903566@qq.com

责任编辑 张凤丽

侯乐梅, 孟瑞青, 乜兰春, 等. 不同微生物菌剂对基质酶活性和番茄产量及品质的影响. 应用生态学报, 2016, **27**(8): 2520-2526

Hou L-M, Meng R-Q, Nie L-C, *et al*. Effects of different microbial agents on substrate enzyme activities and tomato yield and quality. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2016, **27**(8): 2520-2526 (in Chinese)