

doi: 10.11838/sfsc.20160516

蚓粪和益生菌互作对土壤性状、菠菜产量和品质的影响

申 飞^{1,2}, 刘满强^{1,2}, 李辉信^{1,2}, 曾令涛¹, 胡 锋¹, 赵荷娟³, 胡哲伟³, 朱同彬^{4*}

(1. 南京农业大学资源与环境学院, 江苏 南京 210095; 2. 江苏省有机固体废弃物资源化协同创新中心, 江苏 南京 210095; 3. 南京市农业科学研究所, 江苏 南京 210046; 4. 中国地质科学院岩溶地质研究所/国土资源部、广西壮族自治区岩溶动力学重点实验室, 广西 桂林 541004)

摘 要: 选取两种益生菌 (巨大芽孢杆菌和解淀粉芽孢杆菌) 分别与化肥和蚓粪配施, 研究了蚓粪和益生菌配施对设施蔬菜地土壤化学性状、酶活性及菠菜产量和品质的影响。结果表明: 在等养分条件下与单施化肥相比, 蚓粪能够显著提高土壤有效磷含量及 pH 值, 降低速效钾、铵态氮含量及 EC 值, 有利于土壤脲酶、蛋白酶和过氧化氢酶活性的提高, 有效改善菠菜品质; 与单施蚓粪相比, 益生菌与蚓粪配施不仅显著提高土壤硝态氮含量、蔗糖酶活性, 还增加了土壤 EC 值, 提高了菠菜可溶性糖、蛋白及维生素 C 含量, 且解淀粉芽孢杆菌配施蚓粪还增加了菠菜产量; 而益生菌配施化肥对菠菜产量增加和品质改善效果不及益生菌配施蚓粪效果显著。综合比较两种益生菌和蚓粪配施效果, 以蚓粪配施解淀粉芽孢杆菌对土壤性状改善和蔬菜产量、品质提高效果最好。

关键词: 菠菜; 蚓粪; 益生菌; 产量; 品质; 土壤性状

中图分类号: S141; S636.1

文献标识码: A

文章编号: 1673-6257(2016)05-0090-06

随着经济和生活水平的提高, 人们对高品质蔬菜的需求越来越大, 促进蔬菜高产优质的施肥措施受到广泛关注。蚓粪作为有机肥料的一种, 与化肥相比, 具有较好的理化性质, 如养分含量高、质地均一、表面积大, 通水性好和透气性佳等特点^[1-3], 能够提高作物产量和品质^[4-6]。作物生长过程中添加土壤益生菌, 不仅可以使土壤中难以被作物直接吸收利用的养分转化为易吸收利用, 还能调控土壤微生物区系结构, 改善土壤环境, 促进作物生长^[7-8]。基于蚓粪和益生菌的良好作用, 国内外对蚓粪和益生菌在蔬菜上的应用有较多研究^[9-13]。周东兴等^[14]和王延军等^[15]在番茄上施用蚓粪和郜春花等^[16]、薛智勇等^[17]、雷先德等^[18]在土壤中添加解磷菌和解钾菌等有益微生物菌剂对番茄和甘薯品质均产生了积极影响。值得注意的是, 先前的研究多数关注于单施蚓粪或益生菌对蔬菜生

长的影响, 两者配施对蔬菜产量和品质的影响研究较少。考虑到蚓粪能够为益生菌提供有利的环境, 两者配施可能会更有利于蔬菜生长。本文选取素有“绿色蔬菜之王”的菠菜作为研究对象, 研究蚓粪和益生菌配施条件下土壤基本理化性质、酶活性及菠菜产量和品质的变化, 以期对蚓粪和益生菌应用于蔬菜种植提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

田间试验开展于南京市江宁区禄口镇金陵绿谷现代园艺科技示范园内的温室大棚, 供试土壤为黄棕壤, 蚓粪采自汤泉农场由赤子爱胜蚓 (*Eisenia foetida*) 处理半年的牛粪, 菠菜种子为广东菠菜良种种植中心的圆叶大菠菜。试验用菌为本研究室自行筛选的专利菌巨大芽孢杆菌 (*Bacillus megaterium* JX15, 保藏号 CGMCC No. 5622, 专利号: CN201210245861.7) 和解淀粉芽孢杆菌 (*Bacillus amyloliquefaciens* JX1, 保藏号 CGMCC No. 5624, 专利号: ZL2012102455680), 分别具有产 IAA、固氮解磷和产 IAA、解钾的功能。蚓粪及土壤理化性质见表 1。

收稿日期: 2015-07-31; 最后修订日期: 2015-09-22

基金项目: 江苏省农业科技自主创新资金项目 [CX (13) 3037]; 中国地质科学院岩溶地质研究所基本科研业务费项目 (2015004)。

作者简介: 申飞 (1990-), 男, 江苏姜堰人, 硕士研究生, 从事土壤生物培肥相关研究。E-mail: 2013103077@njau.edu.cn。

通讯作者: 朱同彬, E-mail: zhutongbin@gmail.com。

表1 供试土壤和蚓粪基本理化性质

	有机质 (g · kg ⁻¹)	全氮 (g · kg ⁻¹)	全磷 (P g · kg ⁻¹)	全钾 (K g · kg ⁻¹)	有效磷 (P mg · kg ⁻¹)	速效钾 (K mg · kg ⁻¹)	碱解氮 (mg · kg ⁻¹)	pH 值	含水量 (%)
黄棕壤	15.3	0.95	0.63	10.1	40.5	119	34.1	5.41	21.9
蚓粪	598	9.98	11.5	18.3	5 690	2 089	628	8.08	70.5

1.2 试验设计

试验共设 6 个处理: CF (单施化肥)、VC (单施蚓粪)、CF + BM (化肥 + 巨大芽孢杆菌)、VC + BM (蚓粪 + 巨大芽孢杆菌)、CF + BA (化肥 + 解淀粉芽孢杆菌) 和 VC + BA (蚓粪 + 解淀粉芽孢杆菌)。每个处理 4 次重复, 共 24 个小区, 随机区组排列, 小区面积为 2.5 m × 2.5 m。蚓粪施用量折合大田 7.5 t · hm⁻² (干基重), 一次性撒施于试验小区中。供试化肥为 CO(NH₂)₂、NH₄H₂PO₄ 和 KCl, 其施用量依据蚓粪所含氮、磷、钾含量和施用量折算而成, 共计 N 75 kg · hm⁻², P₂O₅ 199 kg · hm⁻², K₂O 167 kg · hmm⁻²。接种的菌液试验前由发酵罐发酵而来, 含量在 1 × 10⁸ cfu · mL⁻¹, 施用量为 1 L · mm⁻², 不接菌处理按普通细菌培养基 (10 g 蛋白胨 + 5 g 酵母浸粉 + 10 g 氯化钠, 定容 1 L) 稀释 100 倍后使用, 采用喷洒的方式, 均匀施入小区, 施入后随肥料一起翻耕。各处理后期管理措施保持一致。

试验于 2014 年 11 月 17 日播种, 播种量为 72 kg · hm⁻², 2015 年 1 月 15 日采集土壤样品和植物样品进行土壤理化性质和菠菜品质分析测定, 于 2015 年 1 月 20 日收获计产。

1.3 测定方法

每个小区按五点法采集土壤样品, 测定土壤基本理化性质^[19]。铵态氮、硝态氮采用 2 mol · L⁻¹ KCl 浸提, 连续流动分析仪 (Seal AutoAnalyzer 3) 测定; 有效磷采用 NH₄F-HCl 浸提, 钒钼黄比色法测定; 速效钾采用 NH₄OAc 浸提, 火焰光度法测定; pH 值水土比 5:1, pH 计测定。土壤酶活性测定^[20]: 磷酸酶活性采用磷酸苯二钠比色法测定, 37 °C 恒温培养箱培养 3 h, 以每克土产生的酚毫克数表示 (mg · g⁻¹); 蔗糖酶活性采用 3, 5 - 二硝基水杨酸比色法测定, 37 °C 培养 24 h, 以每克土产生的葡萄糖毫克数表示 (mg · g⁻¹); 土壤脲酶活性采用靛酚蓝比色法测定, 37 °C 培养 24 h 以每克土产生的 NH₃ - N 毫克数表示 (mg · g⁻¹); 过氧化

氢酶活性采用高锰酸钾滴定法测定, 以每克土消耗 0.1 mol · L⁻¹ KMnO₄ 毫升数表示 (mL · g⁻¹); 蛋白酶活性采用茚三酮比色法测定, 30 °C 培养 24 h 以后每克土中 NH₂ - N 毫克数表示 (mg · g⁻¹)。菠菜品质测定^[21]: 维生素 C 含量采用 2, 6 - 二氯靛酚滴定法; 可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝 G - 250 染色法; 可溶性糖含量采用蒽酮比色法; 硝态氮含量采用水杨酸比色法; 蚓粪理化指标测定参照国家有机肥料标准 NY 525 - 2012。

1.4 数据分析

使用 Excel 2007 整理数据和表格制作, Origin 8.5 作图, SPSS 17.0 软件对数据进行方差分析, 并用 LSD 法进行差异显著性检验 ($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 蚓粪和益生菌配施对土壤化学性状的影响

由表 2 可以看出, 与试验前土壤有效磷 (40.5 mg · kg⁻¹) 含量相比, 菠菜收获时各处理土壤有效磷含量均有所提高。与 CF 处理 (116 mg · kg⁻¹) 相比, 单施蚓粪、蚓粪和益生菌配施、化肥和益生菌配施均显著提高了土壤有效磷含量。VC、VC + BM 和 VC + BA 处理之间无显著差异, 但均高于 CF、CF + BM 和 CF + BA 处理, 达到显著性差异 ($P < 0.05$)。菠菜收获时各处理的土壤速效钾含量较试验前 (119 mg · kg⁻¹) 均明显提高。VC (140 mg · kg⁻¹)、VC + BM (189 mg · kg⁻¹) 和 VC + BA (144 mg · kg⁻¹) 处理的土壤速效钾含量显著低于 CF 处理 (281 mg · kg⁻¹) ($P < 0.05$), 而 CF + BM (272 mg · kg⁻¹) 和 CF + BA (283 mg · kg⁻¹) 处理的土壤速效钾含量与 CF 处理无显著性差异。相关分析表明, 菠菜产量与土壤速效钾含量呈显著负相关 (表 3), 这表明本试验土壤速效钾含量可能制约着菠菜产量的提高, 为促进菠菜更好的生长, 在施用蚓粪和益生菌的同时, 应注意钾肥的适当补充。

表2 蚓粪和益生菌配施对土壤化学性状的影响

处理	有效磷 (P mg · kg ⁻¹)	速效钾 (K mg · kg ⁻¹)	铵态氮 (mg · kg ⁻¹)	硝态氮 (mg · kg ⁻¹)	pH 值	EC 值 (μs · cm ⁻¹)
CF	116c	281a	70.8a	92c	5.39b	108ab
VC	168a	140c	25.2c	100c	6.17a	85c
CF + BM	139b	272a	54.6b	117b	5.36b	111a
VC + BM	165a	189b	25.6c	130ab	6.0a	108ab
CF + BA	126bc	283a	72.1a	139a	5.48b	140a
VC + BA	161a	144c	26.4c	145a	6.2a	101ab

注：同列不同字母表示差异达5%显著水平，下同。

表3 土壤性状与菠菜产量和品质的相关性分析

	土壤										
	铵态氮	硝态氮	有效磷	速效钾	pH 值	EC 值	蔗糖酶	脲酶	磷酸酶	蛋白酶	过氧化氢酶
产量	-0.601**	0.307	0.592**	-0.456*	0.568**	-0.196	0.678**	0.582**	0.133	0.425*	0.536**
可溶性糖	-0.687**	0.609**	0.622**	-0.668**	0.636**	-0.049	0.745**	0.851**	0.326	0.598**	0.612**
可溶性蛋白	-0.819**	0.406*	0.708**	-0.679**	0.776**	-0.342	0.671**	0.789**	0.358	0.690**	0.800**
硝态氮	0.730**	-0.545**	-0.603**	0.655**	-0.460*	0.108	-0.587**	-0.705**	-0.458*	-0.555**	-0.316
维生素 C	-0.544**	0.400	0.506*	-0.566**	0.703**	-0.099	0.565**	0.667**	0.259	0.442*	0.559**

注：* 和 ** 分别代表在 $P < 0.05$ 和 $P < 0.01$ 水平显著性相关。

单施蚓粪、蚓粪配施益生菌处理的土壤铵态氮含量低于 $30 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，3 个处理无显著性差异，均低于单施化肥或化肥配施益生菌处理，以 CF + BA 和 CF 处理最高，分别为 72.1 和 $70.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。与铵态氮相比，土壤硝态氮呈现出相反趋势。与单施化肥和化肥配施益生菌相比，单施蚓粪和蚓粪配施益生菌均提高硝态氮含量，以 VC + BA 处理的含量最高，达 $145 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

单施蚓粪或蚓粪配施益生菌处理均能提高土壤 pH 值，且显著高于单施化肥或化肥配施益生菌处理。施用蚓粪或者蚓粪配施益生菌处理的土壤 EC 值均低于单施化肥和化肥配施益生菌处理，以 VC 处理 ($85 \mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$) 最低。pH 值和 EC 值结果表明蚓粪和益生菌配施能够减缓土壤酸化和盐渍化，从而维持相对较好的土壤环境。

2.2 蚓粪和益生菌配施对菠菜地土壤酶活性的影响

由表 4 可以看出，施用蚓粪或蚓粪配施益生菌均有利于提高土壤酶活性，但对于不同的酶所产生的效果又有差异。土壤脲酶、蛋白酶和过氧化氢酶活性表现为 VC、VC + BM 和 VC + BA 处理均显著 ($P < 0.05$) 高于其对应的 CF、CF + BM 和 CF + BA 处理，但 VC、VC + BM 和 VC + BA 处理之间差异不显著。CF 与 VC 处理的蔗糖酶，磷酸酶活性差异不显著，而磷酸酶活性除 CF 和 VC + BA 处理差异达显著 ($P < 0.05$) 水平外，其他处理均没有显著性差异。比较 VC、VC + BM 和 VC + BA 处理的土壤酶活性可以发现，除蔗糖酶外，VC + BM 和 VC + BA 处理的酶活性与 VC 处理无显著差异，说明在本试验中施用蚓粪比化肥更能提高菠菜地土壤酶活性，而益生菌的添加除对蔗糖酶活性有影响外，对其他酶活性影响不大。

表4 蚓粪和益生菌配施对土壤酶活性的影响

处理	蔗糖酶 (mg · g ⁻¹)	脲酶 (mg · g ⁻¹)	磷酸酶 (mg · g ⁻¹)	蛋白酶 (mg · g ⁻¹)	过氧化氢酶 (mL · g ⁻¹)
CF	398c	53.7c	0.72b	324b	0.89b
VC	445c	70.1a	0.8ab	381a	1.16a
CF + BM	430c	55.5c	0.77ab	328b	0.82b
VC + BM	560b	75.9a	0.82ab	376a	1.19a
CF + BA	517b	61.2b	0.85ab	326b	0.75c
VC + BA	655a	73.5a	0.90a	389a	1.34a

2.3 蚓粪和益生菌配施对菠菜产量的影响

由图1可以看出, 蚓粪和益生菌的施用能够提高菠菜产量, 以蚓粪和益生菌配施处理最高。与CF (12 994 kg · hm⁻²) 相比, VC + BM 和 VC + BA 处理的菠菜产量分别提高了17%和24%, 达到显著性差异。VC (14 111 kg · hm⁻²)、CF + BM (13 333 kg · hm⁻²) 和CF + BA (13 211 kg · hm⁻²) 处理菠菜产量虽有提高, 但与CF相比无显著性差异。相关性分析表明(表3), 菠菜产量与有效磷、pH值、蔗糖酶、脲酶、蛋白酶和过氧化氢酶呈显著正相关, 与铵态氮、速效钾呈显著负相关($P < 0.05$)。

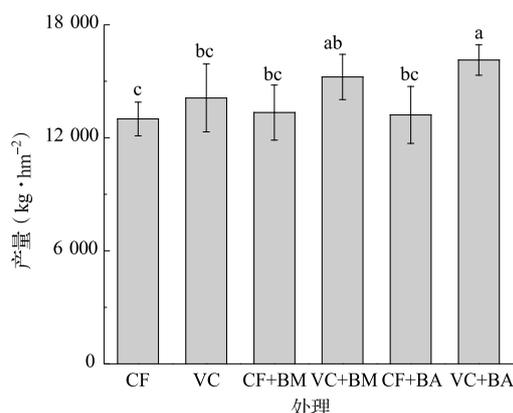
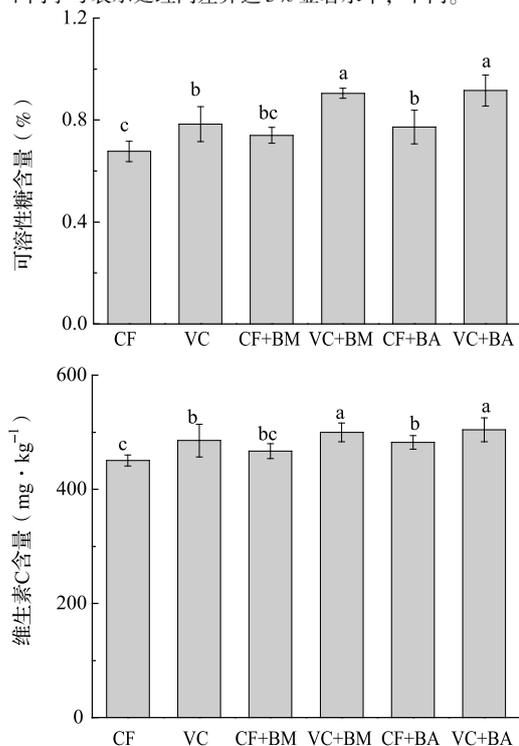


图1 蚓粪和益生菌配施对菠菜产量的影响

注: 不同字母表示处理间差异达5%显著水平, 下同。



2.4 蚓粪和益生菌配施对菠菜品质的影响

由图2可以看出, 与单施化肥处理相比, 蚓粪或蚓粪配施益生菌显著提高菠菜可溶性糖、维生素C和可溶性蛋白含量, 有效降低硝态氮含量。比较VC、VC + BM 和 VC + BA 处理可以看出, VC + BM 和 VC + BA 处理的可溶性糖、维生素C和可溶性蛋白含量显著高于VC处理, 硝态氮含量差异水平不显著, 但VC + BM 和 VC + BA 处理的菠菜品质无显著差异。比较CF、CF + BM 和 CF + BA 处理可以看出, CF处理的硝态氮含量显著高于CF + BM 和 CF + BA 处理, 可溶性糖和维生素C含量显著低于CF + BA 处理, 与CF + BM 差异不显著, 而可溶性蛋白含量差异未达显著水平, 说明本试验中与单施化肥相比, 化肥配施解淀粉芽孢杆菌对菠菜品质提高作用较明显, 而蚓粪配施益生菌相比单施蚓粪有利于提高菠菜品质, 但两种益生菌对于提高菠菜品质并没有显著差异。相关性分析表明(表3), 菠菜的可溶性糖、维生素C和可溶性蛋白含量与土壤铵态氮和速效钾呈显著负相关($P < 0.05$), 与土壤硝态氮、有效磷、pH值、蔗糖酶、脲酶、蛋白酶和过氧化氢酶则呈显著正相关($P < 0.05$); 菠菜的硝态氮含量则表现出完全相反的规律。

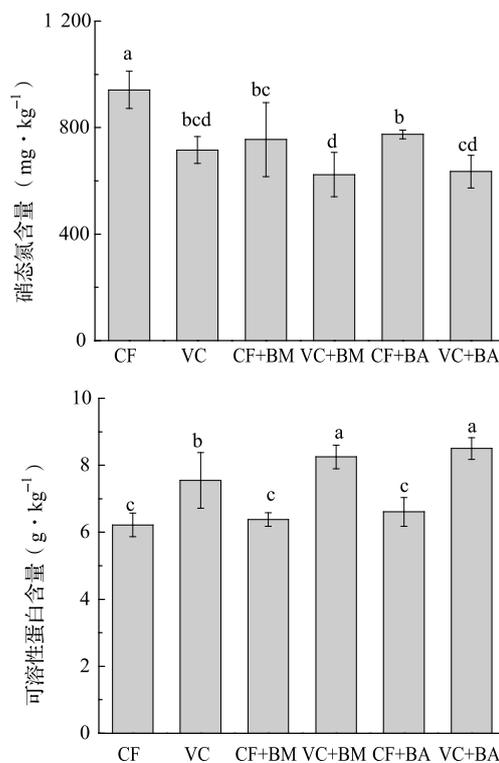


图2 蚓粪和益生菌配施对菠菜品质的影响

3 讨论与结论

为追求经济效益,蔬菜生产中菜农会施用大量化肥,造成土壤生产力和蔬菜品质下降^[22]。如何提高蔬菜产量和品质,特别是降低叶菜类硝态氮含量受到普遍关注。本研究发现,与施化肥或单施蚓粪相比,蚓粪配施益生菌显著提高了菠菜产量、可溶性蛋白、可溶性糖和维生素 C 含量,有效降低硝态氮含量 ($P < 0.05$),化肥配施益生菌对菠菜产量提高的效果不及蚓粪配施益生菌。原因可能在于蚓粪和益生菌配施能够为菠菜提供更多的养分,菠菜产量与土壤有效养分和酶活性呈显著相关性证实了这一点(表 3)。此外,蚓粪本身还含有赤霉素、细胞分裂素、乙烯酸等植物生长调节物质以及大量组成尚不明确的腐殖物质^[23-25],这些物质可能更有利于提高外加益生菌的活性,发挥其功效,改善了作物生长环境,而对菠菜生长和品质改善起到重要作用。

除影响菠菜生长外,蚓粪和益生菌的添加还改变了土壤性状和微生物学性质。蚓粪配施益生菌提高了土壤有效磷、硝态氮含量和酶活性。值得注意的是,与单施化肥相比,蚓粪和益生菌处理的土壤硝态氮含量虽然提高,但菠菜体内的硝态氮含量却呈降低趋势,这表明蚓粪和益生菌的施用可能会改变菠菜对无机氮的吸收利用(如降低对硝态氮的吸收)或者促进体内硝态氮的转化,其具体原因值得深入研究。土壤酶参与土壤中许多重要的生物化学过程,如腐殖质的合成与分解,其活性可以代表土壤中物质代谢的旺盛程度,是表征土壤肥力的重要指标之一^[20,26]。有研究表明,施用有机物料或者微生物肥料有利于提高土壤微生物数量和部分土壤转化酶活性^[27-29]。本研究结果显示,与化肥及化肥配施益生菌相比,蚓粪和益生菌配施不仅能够显著提高蔗糖酶、脲酶和蛋白酶活性,对过氧化氢酶活性也有显著提高,但对磷酸酶活性促进作用不显著,原因可能是蚓粪和益生菌施入土壤后,一方面蚓粪自身含有大量活性微生物,微生物活动产生大量的酶;另一方面,蚓粪和益生菌施入土壤后增加了土壤微生物数量和丰富度而提高土壤酶活性,这跟张池等^[30]和钱海燕等^[31]的研究结论一致。

综上所述,与单施化肥及化肥配施益生菌相比,蚓粪配施益生菌更能有效增加土壤有效磷含量和酶活性,改善土壤 pH 值,显著提高菠菜产量和

可溶性糖、蛋白和维生素 C 含量,降低硝态氮含量,蚓粪和益生菌配合施用对于提高蔬菜优质高产效果更佳。实际农业生产中也要注意益生菌和蚓粪配合施用方式,除本试验提供的喷洒方式外,其他方式,如与蚓粪拌匀预培养一段时间后施用,在后期研究中也关注。

参考文献:

- [1] Edwards C A, Neuhauser E F. Earthworms in waste and environment management [M]. Netherlands: SPB Academic Press, 1988. 21 - 32.
- [2] Zaller J G. Vermicompost as a substitute for peat in potting media: Effects on germination, biomass allocation, yields and fruit quality of three tomato varieties [J]. Scientia Horticulturae, 2007, 112: 191 - 199.
- [3] Atiyeh R M, Edwards C A, Subler S, et al. Pig manure vermicompost as a component of a horticultural bedding plant medium: effects on physicochemical properties and plant growth [J]. Bioresource Technology, 2001, 78: 11 - 20.
- [4] Arancon N Q, Edwards C A, Bierman P, et al. The influence of vermicompost applications to strawberries: Part I. Effects on growth and yield [J]. Bioresource Technology, 2004, 93: 145 - 153.
- [5] 孔跃. 生物有机肥对番茄及小白菜生长与品质影响效应的研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2007.
- [6] Atiyeh R M, Lee S S, Edwards C A, et al. The influence of humic acid derived from earthworm-processed organic waste on plant growth [J]. Bioresource Technology, 2002, 84: 7 - 14.
- [7] 刘江, 岳寿松, 戴俊英. 有效微生物 (EM) 在我国农业持续发展中的作用 [J]. 沈阳农业大学学报, 1997, 28 (专刊): 175 - 177.
- [8] Schulz D G. Effective microorganisms for organic agriculture: A case study from Sri Lanka. organic agriculture, A key to a sound development and a sustainable environment [M]. San Paulo: Brazil, 1992: 152 - 159.
- [9] 舒友琴, 梁丽琴, 扶庆权, 等. 菠菜叶蛋白的提取研究 [J]. 食品科学, 2005, 26 (10): 124 - 127.
- [10] 尚庆茂, 张志刚, 朱为民. 蚯蚓粪基质与肥料添加量对辣椒穴盘育苗效果的研究 [J]. 上海农业学报, 2006, 22 (2): 13 - 16.
- [11] 张晓蕾, 王波, 王亦丰, 等. 蚯蚓粪复合基质氮素添加量对番茄幼苗生长的影响 [J]. 中国蔬菜, 2010, (16): 47 - 53.
- [12] 杨梅. 几种瓜类蔬菜育苗基质及其施肥配方的研究 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2007.
- [13] 刘健, 薛进军, 梁高生, 等. 蚯蚓粪在小白菜穴盘育苗上应用研究 [J]. 广西农业科学, 2008, 39 (5): 628 - 631.
- [14] 周东兴, 申雪庆, 周连仁, 等. 蚯蚓粪对番茄农艺性状和品质的影响 [J]. 东北农业大学学报, 2012, 43 (11): 28 - 33.
- [15] 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.
- [16] 郜春花, 卢朝东, 张强. 解磷菌剂对作物生长和土壤磷素的影响 [J]. 水土保持学报, 2006, 20 (4): 54–56.
- [17] 薛智勇, 汤江武, 钱红, 等. 硅酸盐细菌在不同土壤中的解钾作用及对甘薯的增产效果 [J]. 土壤肥料, 1996, (2): 23–26.
- [18] 雷先德, 李金文, 徐秀玲, 等. 微生物菌剂对菠菜生长特性及土壤微生物多样性的影响 [J]. 中国生态农业学报, 2012, 20 (4): 488–494.
- [19] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [20] 关松荫. 土壤酶及其研究法 [M]. 北京: 农业出版社, 1986.
- [21] 王晶, 敖红, 张杰, 等. 植物生理生化实验技术和原理 [M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 2003.
- [22] Liu M Q, Hu F, Chen X Y, et al. Organic amendments with reduced chemical fertilizer promote soil microbial development and nutrient availability in a subtropical paddy field: The influence of quantity, type and application time of organic amendments [J]. Applied Soil Ecology, 2009, 42: 166–175.
- [23] Handreck K A. Vermicomposts as components of potting media [J]. Biocycle, 1986, 27: 58–62.
- [24] Elvira C, Sampedro L, Benitez E, et al. Vermicomposting of sludges from paper mill and dairy industries with *Eisenia andrei*: A pilot-scale study [J]. Bioresource Technology, 1998, 63: 205–211.
- [25] Albanell E, Plaixats J, Cabrero T. Chemical changes during vermicomposting (*Eisenia fetida*) of sheep manure mixed with cotton industrial wastes [J]. Biology and Fertility of Soils, 1988, 6: 266–269.
- [26] 余松烈. 作物栽培学 [M]. 北京: 农业出版社, 1982. 203–215.
- [27] Albiach R, Canet R, Pomanes F, et al. Microbial biomass content and enzymatic activities after the application of organic amendments to a horticultural soil [J]. Bioresource Technology, 2000, 75: 43–48.
- [28] Marcote I, Hernández T, Garcíndez T, et al. Influence of one or two successive annual applications of organic fertilizers on the enzyme activities of a soil under barley cultivation [J]. Bioresource Technology, 2001, 79: 147–154.
- [29] de Caire G Z, de Cano M S, Palma R M, et al. Changes in soil enzyme activities following additions of cyanobacteria biomass and exopolysaccharide [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2000, 32 (13): 1985–1987.
- [30] 张池, 陈旭飞, 周波, 等. 不同比例蚓粪对旱地土壤微生物学特性以及酶活性的影响 [J]. 中国农业大学学报, 2014, 19 (1): 118–124.
- [31] 钱海燕, 杨滨娟, 黄国勤, 等. 秸秆还田配施化肥及微生物菌剂对水田土壤酶活性和微生物数量的影响 [J]. 生态环境学报, 2012, 21 (3): 440–445.

Effect of vermicompost and probiotics interaction on yield and quality of spinach and soil properties

SHEN Fei^{1,2}, LIU Man-qiang^{1,2}, LI Hui-xin^{1,2}, ZENG Ling-tao¹, HU Feng¹, ZHAO He-juan³, HU Zhe-wei³, ZHU Tong-bin^{4*} (1. College of Resources and Environmental Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095; 2. Jiangsu Collaborative Innovation Center for Solid Organic Waste Resource Utilization, Nanjing 210095; 3. Nanjing Institute of Agricultural Sciences, Nanjing 210046; 4. Institute of Karst Geology, CAGS, Guilin Guangxi 541004)

Abstract: In this study, the effect of two probiotic (*Bacillus megaterium* and *Bacillus amyloliquefaciens*) combined with mineral fertilizer and vermicompost on soil properties, spinach yield and quality was investigated. The results showed that, under the same nutrient level, vermicompost significantly improved the content of soil available phosphorus and pH value, reduced the content of available potassium, ammonium nitrogen and EC value, increased the activities of favorable soil urease, protease and catalase, effectively improved the quality of spinach. Compared with the single application of vermicompost, probiotics with vermicompost fertilizer not only significantly increased soil nitrate content and invertase activity, but also increased the soil EC value, the spinach soluble sugar, protein and vitamin C content. *Bacillus amyloliquefaciens* combined with vermicompost also increased the yield of spinach. This improving efficiency was better than chemical fertilizers combined with probiotics. By comprehensive comparison of effects of the two kinds of probiotics and vermicompost, vermicompost with applied solution of *Bacillus amyloliquefaciens* had the best effect on soil properties improvement and vegetable yield and quality.

Key words: spinach; vermicompost; probiotics; yield; quality; soil properties