

蚓粪施用对土壤微生物特征以及酶活性的影响^①

张 池, 陈旭飞, 周 波, 张聪俐, 李静娟, 张 静, 戴 军*

(华南农业大学资源环境学院, 广州 510642)

摘 要: 通过将不同比例的蚓粪(0, 5%, 10% 和 20%)施用于菜园土, 研究玉米种植期间蚓粪施用对土壤微生物学特征和酶活性的影响。结果显示: 随着土壤中蚓粪比例的增加, 土壤溶解性碳、碱解氮、速效磷含量明显增加, 微生物生物量碳氮的含量显著提高, 过氧化氢酶、转化酶和脲酶活性增强($P < 0.05$), 其中 20% 蚓粪处理上述各指标含量和活性均为最高水平。与对照相比, 蚓粪处理土壤的呼吸速率明显较高, 特别是 5% 的蚓粪处理($P < 0.05$)。另外, 与对照相比, 蚓粪处理的微生物生物量碳氮比和代谢熵差异不大($P > 0.05$)。相关分析结果显示: 土壤溶解性碳、碱解氮、速效磷与微生物生物量碳氮含量、转化酶、过氧化氢酶和脲酶活性变化呈显著正相关关系($P < 0.05$)。多元数据分析结果进一步显示: 与对照和 5% 的蚓粪处理相比, 10% 和 20% 蚓粪处理综合生物学特征差异显著, 生物学综合质量较高($P < 0.05$)。利用农业有机废弃物生产蚓粪, 并选择适宜的蚓粪比例培肥土壤的技术具有一定的应用价值。

关键词: 蚓粪; 菜园土; 微生物学性状; 酶活性

中图分类号: S154; X713

蚯蚓粪作为高效有机肥越来越受到人们的重视。前人研究结果表明施用蚓粪对提高油菜、茄子和玉米等农作物生长和增加土壤养分含量具有积极作用^[1–3]。然而, 目前始终较少研究关注在这些作物生长期中, 蚓粪对其土壤微生物性状和酶活性等综合生物学特征的影响。微生物和酶是土壤养分循环和转化的重要推动者和参与者, 不同种类有机肥或不同比例有机肥的施加均能影响土壤微生物学特征和酶活性^[4–5]。微生物生物量碳氮大小、活性和代谢能力、呼吸速率和代谢熵等是土壤微生物学特征重要指标^[6]。同时, 转化酶、过氧化氢酶、脲酶、酸性和碱性磷酸酶等对微生物活动极其敏感^[7]。因此, 本研究在玉米生长期中, 通过添加不同比例蚓粪于土壤中, 分析上述微生物学特性以及酶活性的变化, 并结合土壤溶解性碳、碱解氮和速效磷等养分变化以及其与微生物特征和酶活性变化的关系, 从而最终探明不同比例蚓粪对土壤生物学质量的影响, 这将为蚓粪进一步应用于农业生产、培肥改良土壤提供科学依据和理论支持。

1 材料与方法

1.1 供试材料

制备蚓粪: 将自然堆沤后风干的牛粪湿润至饱

和含水量的 60%, 按每公斤干牛粪加入赤子爱胜蚓(*Eisenia foetida*)100 条(鲜重约 30 g)的比例, 向牛粪中加入鲜活蚯蚓。将基质在室温条件下培养 2 个月, 使得蚯蚓充分消化所有物料, 全部转化为蚓粪。分离蚯蚓和蚓粪, 将蚓粪风干、研磨过 2 mm 筛, 备用。

供试玉米为广东省农科院蔬菜研究所的丰甜一号(*Zea mays*-Fengtian1)。

供试土壤为菜园土(肥熟旱耕人为土, Fimi-orthic anthrosols), 采集于广州郊区华南农业大学教学农场(113°17'E, 23°8'N)。采样深度 0~20 cm, 自然风干后研磨过 2 mm 筛备用。

蚓粪以及土壤的基本理化性质如表 1 所示。

1.2 研究方法

本试验设置为作物栽培条件下的不同蚓粪施用水平的单因素试验设计。蚓粪与土壤混匀施用, 蚓粪施用水平分为: 0, 5%, 10% 和 20%。试验共设置 4 个处理, 每个处理 3 次重复, 具体如下: ①菜园土对照(以下简称为 S); ②5% 蚓粪 + 95% 菜园土(5%ES); ③10% 蚓粪 + 90% 菜园土(10%ES); ④20% 蚓粪 + 80% 菜园土(20%ES)。

①基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(41201305)、广东省自然科学基金博士启动项目(S2012040007806)、中国博士后科学基金资助项目(2012M511819)和广东省教育部产学研结合项目(2011A09020003)资助。

* 通讯作者(jundai@scau.edu.cn)

作者简介: 张池(1980—), 女, 山西太原人, 博士后, 主要从事土壤肥力、土壤生态等方面研究。E-mail: zhangchi121@163.com

表 1 蚓粪和供试土壤的基本理化性质
Table 1 Basic physicochemical properties of vermicompost and the parent soil

材料	pH	含水率 (%)	有机质 (g/kg)	全氮 (g/kg)	全磷 (g/kg)	全钾 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	速效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	黏粒 (g/kg)
蚓粪	5.94	14.5	451	21.1	5.79	17.3	337	1 040	15 079	-
菜园土	5.91	3.00	40.6	1.57	7.36	22.5	88.0	136	358	199

称取 3 000 g 过 2 mm 筛混合蚓粪的土壤,装于 4 L 的塑料盆中(盆高 20 cm,底直径 15 cm)。调节混合土壤水分至 60% 的饱和含水量。在每盆土壤中播种饱满玉米种 3 颗,待玉米间苗后,培养 30 天。玉米生长发育期间不进行追肥,试验每 3 天采用称重法调节水分含量。30 天时收获,取出土壤风干、过 2 mm 筛、备用。

1.3 土壤样品的测定方法

土壤溶解性碳的测定采用 K_2SO_4 浸提、重铬酸钾消化法测定^[8]。速效磷采用 NH_4F-HCl 浸提,钼锑抗比色法测定;碱解氮采用碱解扩散法测定。

土壤微生物生物量碳氮采用氯仿熏蒸-硫酸钾浸提法测定^[9]。土壤样品调至 60% 田间持水量并稳定 24 h 后,在 28℃ 黑暗条件下培养 7 天。用无酒精氯仿 28℃ 黑暗真空条件下熏蒸 24 h,与不熏蒸的对照样品同时用 0.5 mol/L K_2SO_4 、按质量与体积比 1 : 4 土液比振荡浸提 30 min(200 r/min),5 100 g 力下离心 10 min 后过滤,浸提液中的有机碳采用重铬酸钾消化法测定,浸提液中的氮含量采用过硫酸钾氧化-紫外分光光度法测定。土壤微生物生物量碳(B_c)按下列公式计算: $B_c = E_c/0.38$,其中 E_c 为熏蒸和不熏蒸样品的浸提液中有有机碳的差值;微生物生物量氮(B_N)按下列公式计算: $B_N = E_N/0.45$,其中 E_N 为熏蒸和对应不熏蒸样品的浸提液中的氮的差值^[10]。土壤呼吸测定采用 NaOH 吸收法,测定标准条件下微生物碳源矿化过程中 CO_2 的产生量^[11]。50 g 土壤样品(干重)调至 60%田间持水量并稳定 24 h 后,在 28℃黑暗条件下 1 L 玻璃瓶中密封培养,用 NaOH 吸收瓶中产生的 CO_2 ,在 7 天后用过 1 mol/L $BaCl_2$ 沉淀碱吸收瓶中的 CO_3^{2-} ,用标准酸滴定剩余的 NaOH 以计算 CO_2 产生量。呼吸速率为单位时间内单位有机碳含量的呼吸量;另外,微生物代谢熵(qCO_2)以单位微生物量碳每天产生的 CO_2 量来确定^[12-13]。

土壤过氧化氢酶采用 $KMnO_4$ 容量法测定,酶活性以每克土壤消耗的 $KMnO_4$ 毫升数(0.02 mol/L $KMnO_4$, ml/g)表示;脲酶采用苯酚钠比色法,在 578 nm 波长处比色测定,酶活性以 37℃ 恒温培养 24 h 后 1 g 土壤中 NH_3-N 的毫克数表示(NH_3-N , mg/g Soil, 37℃,

24 h)。转化酶采用滴定法测定,酶活性以 37℃ 恒温培养 24 h 后 1 g 土壤消耗的 0.1 mol/L $Na_2S_2O_3$ 毫升数表示($Na_2S_2O_3$, ml/g soil, 37℃, 24 h)。另外,磷酸酶采用磷酸苯二钠比色法测定(酸性磷酸酶缓冲液为 pH 5.0 醋酸盐,碱性磷酸酶缓冲液为 pH 9.6 的硼酸盐),在 578 nm 波长处比色测定,以上两种酶活性均以 37℃ 恒温培养 24 h 后 1 g 土壤中苯酚的毫克数(酚, mg/g Soil, 37℃, 24 h)表示^[14]。

1.4 数据分析方法

试验数据均采用平均值±标准差,并用 Duncan 多重比较法进行差异显著性检验。主成分分析(Principal components analysis)通过在 R 中导入 ADE-4 软件包^[15-16],将各处理中相互关联的多个变量合成少数独立而又能反映总体信息的指标,并应用置换检验(Permutation test)比较不同处理间生物质量综合特征的差异;多元数据分析结果利用二维空间载荷图和得分图直观而形象地进行反映,处理间的差异显著性水平用 $P = 0.05$ 表示。

2 结果与分析

2.1 土壤微生物学特性

从表 2 可以看出,随着蚓粪施入量的增加,菜园土中各处理的土壤微生物生物量碳含量显著增加($P<0.05$);与对照 S 相比,5%ES、10%ES 和 20%ES 处理土壤微生物生物量碳分别提高 64.7%、89.7% 和 144%。对于微生物生物量氮,20%ES 处理的含量显著高于其他各处理;与对照相比,其含量显著提高 303%($P<0.05$);与 5%ES 和 10%ES 处理相比,其含量显著提高 190% 和 127%($P<0.05$)。而对于微生物生物量碳氮比,研究结果显示:5%ES 和 10%ES 处理略高于 S 处理,而 20%ES 处理则低于 S,但其两两之间差异并不显著($P>0.05$);同时,20%ES 处理微生物生物量碳氮比显著低于 5%ES 处理 50%($P<0.05$)。对于土壤呼吸速率,3 种不同比例蚓粪处理均高于对照处理,其中 5%ES 和 20%ES 的呼吸速率显著高于对照 135% 和 45.9%($P<0.05$)。对于代谢熵,3 种不同比例蚓粪加入均能提高熵值,但处理之间的差异并不显著($P>0.05$)。

表 2 不同处理土壤微生物学性状变化
Table 2 Variations of soil microbial characteristics in different treatments

处理	微生物生物量碳 (mg/kg)	微生物生物量氮 (mg/kg)	微生物生物 量碳氮比	呼吸速率 (g/(kg·d))	代谢熵 (mg/mg)
S	136 ± 34.2 c	14.6 ± 2.14 b	9.66 ± 3.98 ab	0.74 ± 0.08 c	1.23 ± 0.41 a
5%ES	224 ± 31.4 b	20.3 ± 5.07 b	11.5 ± 3.37 a	1.74 ± 0.21 a	1.72 ± 0.28 a
10%ES	258 ± 24.1 b	25.9 ± 4.45 b	10.1 ± 1.97 ab	0.92 ± 0.09 bc	1.37 ± 0.18 a
20%ES	332 ± 56.9 a	58.8 ± 8.09 a	5.75 ± 1.56 b	1.08 ± 0.13 b	1.81 ± 0.68 a

注：表中数据为平均值 ± 标准差，每一列数据小写字母不同表示处理间差异达到 $P<0.05$ 显著水平， $n=3$ ，下表同。

2.2 土壤酶活性

如表 3 所示，随着蚓粪施入量的增加，菜园土各处理的土壤过氧化氢酶和脲酶的活性逐渐升高($P<0.05$)。与对照相比，处理 5%ES、10%ES 和 20%ES 的过氧化氢酶活性显著提高 57.1%、92.9%和 114%($P<0.05$)，脲酶活性显著提高 124%、135% 和 237%($P<0.05$)。对于转化酶，10%ES 和 20%ES 酶活性显著高于对照($P<0.05$)，并分别提高 42.2% 和 95.2%。另外，对于酸

性和碱性磷酸酶，各处理间差异并不显著($P>0.05$)。

2.3 土壤 DOC、碱解氮和速效磷变化

随着土壤中蚓粪比例的增加，土壤 DOC、碱解氮和速效磷含量均显著增加($P<0.05$)。与对照 S 处理相比，5%ES、10%ES 和 20%ES 处理的 DOC 含量分别提高 20.7%、248% 和 382%，碱解氮含量分别提高 41.4%、73.3% 和 142%，速效磷含量分别提高 41.9%、88.2% 和 193%(表 4)。

表 3 不同处理土壤酶活性变化
Table 3 Variations of soil enzyme activities in different treatments

处理	过氧化氢酶 (ml/g)	转化酶 (ml/g)	脲酶 (ml/g)	酸性磷酸酶 (mg/g)	碱性磷酸酶 (mg/g)
S	0.56 ± 0.05 c	1.47 ± 0.12 c	0.95 ± 0.01 c	1.30 ± 0.05 a	0.78 ± 0.15 a
5%ES	0.88 ± 0.18 b	1.08 ± 0.06 c	2.13 ± 0.06 b	1.32 ± 0.14 a	0.57 ± 0.16 a
10%ES	1.08 ± 0.03 a	2.09 ± 0.30 b	2.23 ± 0.22 b	1.34 ± 0.07 a	0.65 ± 0.12 a
20%ES	1.20 ± 0.01 a	2.87 ± 0.50 a	3.20 ± 0.25 a	1.27 ± 0.12 a	0.93 ± 0.19 a

表 4 不同处理的土壤 DOC、碱解氮和速效磷
养分含量变化
Table 4 Variations of soil DOC, available N and P contents in
different treatments

处理	DOC (mg/kg)	碱解氮 (mg/kg)	速效磷 (mg/kg)
S	49.2 ± 24.8 c	116 ± 3.11 d	136 ± 4.64 d
5%ES	59.4 ± 9.43 c	164 ± 4.86 c	193 ± 6.43 c
10%ES	171 ± 16.1 b	201 ± 2.16 b	256 ± 2.84 b
20%ES	237 ± 27.8 a	281 ± 25.37 a	398 ± 8.29 a

2.4 土壤性质多元数据分析以及各指标的相关矩阵

菜园土各处理的土壤性质的主成分分析结果如图 1 所示，第一主成分(PC1)和第二主成分(PC2)的累计方差贡献率达到 74.0%。其中：第一主成分(PC1)的方差贡献率为 58.1%，其主要与转化酶、DOC、 B_N 、速效磷、 B_C 、碱解氮、过氧化氢酶、脲酶和 B_C/B_N 变化有关；第二主成分方差贡献率为 15.9%，其分别与碱性磷酸酶、呼吸速率和代谢熵有关。主成分得分

图(图 1b)显示：菜园土中处理之间的差异达到极显著水平($P=0.001$)。处理 S 明显偏向 B_C/B_N 较高的方向，处理 5%ES 明显偏向酸性磷酸酶、代谢熵和呼吸速率较高而碱性磷酸酶较低的方向，处理 10%ES 和 20%ES 明显偏向 DOC、碱解氮、速效磷、 B_N 和 B_C 含量、过氧化氢酶、脲酶、转化酶活性较高，同时 B_C/B_N 、代谢熵、呼吸速率较低的方向。处理 S 和 5%ES 的土壤综合生物学特征差异主要体现在第二主成分上，而处理 S 与 10%ES 和 20%ES 的土壤综合特征差异主要体现在第一主成分上。另外，在主成分载荷图中，代表各土壤变量的箭头间余弦角度显示了各变量的相互关系(图 1a)，角度越小，相关性越高。相关分析结果显示(表 5)：可溶性碳、碱解氮、速效磷含量与微生物生物量碳和氮含量、转化酶、过氧化氢酶和脲酶活性之间有显著的正相关关系($P<0.05$)，微生物生物量碳氮比与微生物生物量氮之间存在显著的负相关关系($P<0.05$)。

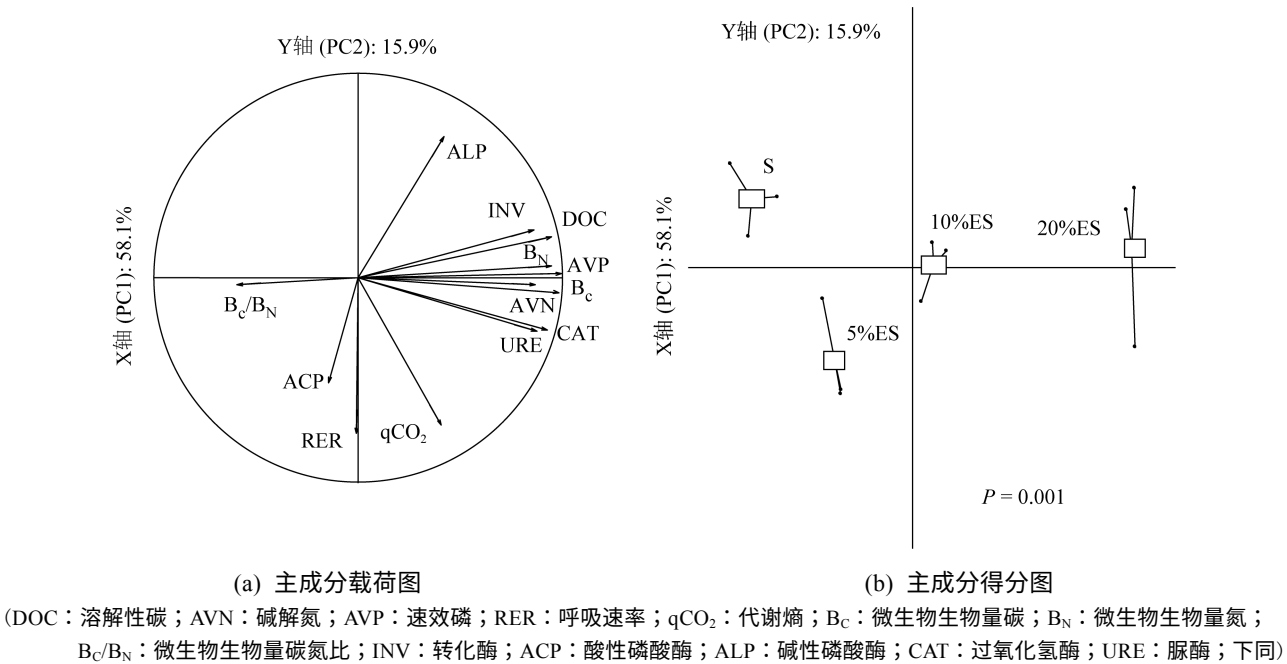


图 1 各处理土壤性质的主成分分析

Fig. 1 Principal component analysis of soil properties in treatments

表 5 土壤各指标间的相关矩阵

Table 5 Correlation of all indicators in soil

	AVN	AVP	CAT	INV	URE	ACP	ALP	B _C	B _N	B _C /B _N	DOC	RER	qCO ₂
AVN	1.00												
AVP	0.97***	1.00											
CAT	0.87***	0.86***	1.00										
INV	0.85***	0.85***	0.64***	1.00									
URE	0.92***	0.93***	0.89	0.68*	1.00								
ACP	-0.17	-0.13	0.00	-0.16	-0.07	1.00							
ALP	0.34	0.46	0.07	0.39	0.27	-0.43	1.00						
B _C	0.90***	0.89***	0.80*	0.64	0.85***	-0.19	0.35	1.00**					
B _N	0.88***	0.95***	0.74	0.79	0.86***	-0.07	0.52	0.76	1.00				
B _C /B _N	-0.49	-0.55	-0.42	-0.57	-0.43	-0.12	-0.22	-0.20	-0.70*	1.00			
DOC	0.92***	0.93***	0.84***	0.87***	0.80**	-0.22	0.44	0.84***	0.85***	-0.53	1.00		
RER	0.08	0.00	0.12	-0.35	0.31	0.02	-0.31	0.19	-0.04	0.31	-0.22	1.00	
qCO ₂	0.44	0.36	0.44	0.28	0.47	0.25	-0.25	0.18	0.37	-0.45	0.20	0.46	1.00

注：* 表示相关性达到 $P<0.05$ 显著水平；** 表示相关性达到 $P<0.01$ 显著水平；*** 表示相关性达到 $P<0.001$ 显著水平。

3 讨论

有机肥的施加能够带入土壤大量微生物、酶，以及各种微生物生长所需的养分和酶催化的底物。前人研究表明有机肥添加显著增加土壤微生物生物量碳氮含量^[17-20]，本研究结果也显示随着蚓粪施入量的增加，菜园土微生物生物量碳氮含量递增(表 2)。同时，有研究显示蚓粪施用可提高土壤中性磷酸酶、蛋白酶、脲酶和蔗糖酶等的活性^[21]，并且随着蚓粪量的增加，酶活性显著增强^[1]。本研究结果显示(表 2、

表 3)：随着蚓粪施入量的增加，过氧化氢酶、转化酶和脲酶活性均明显提高($P<0.05$)。另外，本研究蚓粪加入也明显促进了溶解性碳和碱解氮含量的提高($P<0.05$ ，表 4)，而二者与微生物生物量碳氮和上述酶活性呈显著正相关关系($P<0.05$ ，表 5)，这些现象说明蚓粪的施加促进了碳、氮养分循环和转化，加速了微生物生长和繁殖的能力，从而增加了微生物生物量碳氮含量，提高了与碳、氮元素密切相关的酶活性。但是，研究结果显示随着蚓粪量施入的增加，土壤速效磷含量增加，而各处理间酸性和碱性磷酸酶活性变

化却并不明显,速效磷和两种磷酸酶活性间也均未呈现显著的正相关关系($P>0.05$,表 5)。由于磷酸酶的活性不仅受速效磷的影响,同时其与土壤中腐殖质含量和能分解有机磷化合物的微生物数量密切相关^[14],因此本研究中菜园土各处理腐殖质组成和解磷微生物数量差异,很可能是造成其酶活性差异不显著的原因。

土壤呼吸速率表明了微生物分解矿化有机物的能力和强度。较多研究结果显示有机肥的施用能显著提高土壤呼吸、释放 CO_2 ^[22-23]。本研究结果也进一步证实蚓粪的施入显著地增加了土壤呼吸速率,特别是 5% 蚓粪处理的呼吸速率最高($P<0.05$,表 2)。另外,代谢熵显示了微生物种群的年轻化水平^[24]。本研究结果显示:与对照相比较,尽管各处理间差异并不显著($P>0.05$,表 2),但是蚓粪的加入增加菜园土的代谢熵,这种现象表明蚓粪加入对土壤年轻活性微生物种群有一定的增加作用。同时,不同微生物生物量碳氮比反映了土壤细菌和真菌等群落结构的强烈变化^[25-26]。本研究结果显示与对照处理相比,蚓粪处理的微生物生物量碳氮比变化并不明显($P>0.05$,表 2)。与其他各处理相比,20% 蚓粪处理的土壤微生物生物量碳氮比较低(表 2)。由于细菌碳氮比一般为 3.5,而真菌为 10~15 左右^[26],因此 20% 蚓粪处理较低的微生物生物量碳氮比很可能是由于其蚓粪施入后土壤真菌数量减少、细菌增加造成的,更多关于微生物种群特征变化的研究有待进一步进行。

已有研究结果表明随着有机肥施入量的增加,微生物生物量碳氮、酶活性变化愈加明显^[27-28]。本研究结果显示:10% 和 20% 蚓粪处理生物学综合质量特征明显高于 5% 蚓粪处理和对照土壤($P<0.05$,图 1),转化酶、DOC、 B_N 、速效磷、 B_C 、碱解氮、过氧化氢酶、脲酶均是其特征指标。土壤生物学质量提高是农业可持续发展的必要保证。因此,在未来农业生产中,利用农业有机废弃物生产蚓粪,并选择适宜的蚓粪比例投入农田、提高土壤质量、培肥土壤的绿色技术将具有重要的应用价值和发展前景。

4 结论

(1) 在玉米种植期间,施用蚓粪显著提高了菜园土壤溶解性碳、碱解氮、速效磷、微生物生物量碳氮含量、呼吸速率,并增加了土壤过氧化氢酶、转化酶和脲酶活性。

(2) 随着蚓粪含量的增高,土壤溶解性碳、碱解氮、速效磷、微生物生物量碳氮含量和过氧化氢酶、

转化酶和脲酶活性均呈现显著增加,20% 蚓粪处理的上述指标含量均为最高水平。

(3) 10% 和 20% 蚓粪处理土壤的综合生物学特征明显优于 5% 蚓粪和对照处理。利用农业有机废弃物生产蚓粪,并选择适宜的蚓粪比例应用于农业生产的技术,具有重要应用价值。

参考文献:

- [1] 苏晓红,高志岭,刘建玲,廖文华,曹桂凤,李志伟,康胜乐. 蚯蚓粪和磷肥配施对油菜生长和土壤性质的影响[J]. 河北农业大学学报, 2012, 33(3): 8-12
- [2] 常青,杨丽娟,周丹丹,宋夏夏. 施用蚓粪对茄子产量、品质及土壤养分的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2012, 43(1): 94-97
- [3] 张聪俐,戴军,周波,陈旭飞,李静娟,张静,张池. 不同比例蚓粪对玉米生长以及土壤肥力特性的影响[J]. 华南农业大学学报, 2013, 34(2): 137-143
- [4] López-López G, Lobo MC, Negre A, Colombas M, Rovira JM, Martorell A, Reolid C, Sastre-Conde I. Impact of fertilization practices on soil respiration, as measured by the metabolic index of short-term nitrogen input behavior[J]. Journal of Environmental Management, 2012, 113: 517-526
- [5] 张鹏,贾志宽,路文涛,张晓芳,孙红霞,杨保平. 不同有机肥施用量对宁南旱区土壤养分、酶活性及作物生产力的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(5): 1122-1130
- [6] Varma A, Oelmüller R. Advanced Techniques in Soil Microbiology[M]. New York: Springer, 2007
- [7] Gil-Stores F, Trasar-Cepeda C, Leirós MC, Seoane S. Different approaches to evaluating soil quality using biochemical properties[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2005, 37: 877-887
- [8] Dai J, Becquer T, Rouiller JH, Reversat G, Bernhard-Reversat F, Lavelle P. Influence of heavy metals on C and N mineralisation and microbial biomass in Zn-, Pb-, Cu-, and Cd-contaminated soils[J]. Applied Soil Ecology, 2004, 25: 99-109
- [9] Vance ED, Brookes PC, Jenkinson DS. An extraction method for measuring soil microbial biomass C[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1987, 19(6): 703-707
- [10] Sparling GP. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter[J]. Australia Journal of Soil Research, 1992, 30: 195-207
- [11] Wang WJ, Dalal RC, Moody PW, Smith CJ. Relationships of soil respiration to microbial biomass, substrate availability and clay content[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2003, 35: 273-284
- [12] Zibilska LM. Carbon mineralization[A]//Weaver RW, Angle S, Bottomley P, Bezdicsek D, Smith S. Methods of Soil Analysis Part2-Microbiological and Biochemical Properties [M]. Madison: Soil Science Society of America, 1994: 835-859

- [13] Anderson TH. Microbial eco-physiological indicators to assess soil quality[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2003, 98: 285–293
- [14] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986: 234–279
- [15] R Development Core Team. The R Project for Statistical Computing[OL]. <http://www.R-project.org>.
- [16] Thioulouse J, Chessel D, Doledec S, Olivier JM. ADE-4: A multivariate analysis and graphical display software[J]. Statistics and Computing, 1997, 7: 75–83
- [17] Saini VK, Bhandari SC, Tarafdar JC. Comparison of crop yield, soil microbial C, N and P, N-fixation, nodulation and mycorrhizal infection in inoculated and non-inoculated sorghum and chickpea crops[J]. Crops Research, 2004, 89: 39–47
- [18] Kaur K, Kapoor KK, Gupta AP. Impact of organic manures with and without mineral fertilizers on soil chemical and biological properties under tropical conditions[J]. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2005, 168: 117–122
- [19] Mastro RE, Chhonkar PK, Singh D, Patra AK. Changes in soil biological and biochemical characteristics in a long-term field trial on a sub-tropical inceptisol[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2006, 38: 1 577–1 582
- [20] Li J, Zhao BQ, Li XY, Jiang RB, So HB. Effects of long-term combined application of organic and mineral fertilizers on microbial biomass, soil enzyme activities and soil fertility[J]. Agricultural Sciences in China, 2008, 7(3): 336–343
- [21] 崔玉珍, 牛明芬. 蚯蚓粪对土壤的培肥作用及草莓产量和品质的影响[J]. 土壤通报, 1998, 29(4): 156–157
- [22] 乔云发, 苗淑杰, 王树起, 韩晓增, 李海波. 不同施肥处理对黑土土壤呼吸的影响[J]. 土壤学报, 2007, 44(6): 1 028–1 035
- [23] 刘晓雨, 潘根兴, 李恋卿, 张旭辉. 太湖地区水稻土长期不同施肥条件下油菜季土壤呼吸 CO₂ 排放[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(12): 2 506–2 511
- [24] 张宝贵, 李贵桐, 申天寿. 威廉环毛蚯蚓对土壤微生物量及活性的影响[J]. 生态学报, 2000, 20(1): 168–172
- [25] Joergensen RG, Anderson TH, Wolters V. Carbon and nitrogen relationships in the microbial biomass in soils of beech (*Fagus sylvatica* L.) forest[J]. Biology and Fertility of Soils, 1995, 19: 141–147
- [26] Paul EA, Clark FE. Components of the soil biota[A]//Paul EA, Clark FE. Soil Microbiology and Biochemistry[M]. 2nd. San Diego: Academic Press, 1996: 71–107
- [27] Kautz T, Wirth S, Ellmer F. Microbial activity in a sandy arable soil is governed by the fertilization regime[J]. European Journal of Soil Biology, 2004, 40(2): 87–94
- [28] Plaza C, Hernandez D, Garcia-Gil JC, Polo A. Microbial activity in pig slurry-amended soils under semiarid conditions[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2004, 36(10): 1 577–1 585

Effects of Vermicompost on Microbial Characteristics and Enzyme Activities in Soil

ZHANG Chi, CHEN Xu-fei, ZHOU Bo, ZHANG Cong-li, LI Jing-juan, ZHANG Jing, DAI Jun*

(College of Natural Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: Under laboratory conditions, the pot culture of maize was conducted with vermicompost which involved four levels(0, 5%, 10% and 20%) for 30 days in vegetable soil. The effects of vermicompost on soil microbial characteristics and enzyme activities were evaluated. With the increase of vermicompost, contents of dissolved organic carbon, available nitrogen and phosphorus, and microbial carbon and nitrogen and activities of catalase, invertase and urease were increased significantly ($P<0.05$), while the highest contents and activities were shown in 20%ES. To compared with control, soil respiration rate was improved significantly in vermicompost treatment, especially for 5%ES ($P<0.05$), but no significant differences for metabolic quotient and the ratio of microbial carbon and nitrogen were shown. According to correlation results, contents of dissolved carbon, available nitrogen and phosphorus have remarkable positive relationship with contents of microbial carbon and nitrogen, activities of catalase, invertase and urease ($P<0.05$). Multivariate analysis showed that: significant higher soil biological qualities were shown between 10%, 20% vermicompost treatments and control, 5% vermicompost treatments($P<0.05$). Furthermore, vermicompost could be produced by organic wastes from agriculture and applied in grain production. Its suitable proposition in soil suggests a potential application of improving soil quality.

Key words: Vermicompost, Vegetable soil, Microbiological characteristics, Enzyme activities