

不同比例蚓粪对玉米生长以及土壤肥力特性的影响

张聪俐, 戴 军, 周 波, 陈旭飞, 李静娟, 张 静, 张 池

(华南农业大学 资源环境学院, 广东 广州 510642)

摘要:在实验室条件下,将不同比例的蚓粪施用于果园土和菜园土,研究蚓粪对玉米 *Zea mays* 生长和土壤肥力特征的影响.结果显示:施用蚓粪能够显著增加玉米株高、地上部和地下部的干质量、叶绿素 SPAD 值、植株地上部和地下部的全氮和全钾含量($P<0.05$);施入 10% 蚓粪时,2 种土壤中的玉米株高均达到最高水平;果园土和菜园土中分别施入 5% 和 10% 蚓粪时玉米干物质质量最大.施入 20% 蚓粪时,2 种土壤植株地上部的全氮和全钾含量最多,地下部的全氮含量最多;蚓粪施入能够有效调节土壤 pH;随着蚓粪比例的增加,2 种土壤的有机质、碱解氮、有效磷以及速效钾的含量明显增高($P<0.05$).主成分分析结果显示:2 种土壤中,20% 蚓粪处理土壤肥力综合特征均显著区别于对照处理($P<0.05$).蚓粪可以作为一种环境友好肥料应用于作物生产和土壤培肥,根据不同土壤特征,利用多种农业有机废弃物生产蚓粪,并选择适宜的蚓粪比例进行农业生产,有利于农业的可持续发展.

关键词:蚓粪;玉米;植物生长;土壤肥力
中图分类号:S141; X705 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-411X(2013)02-0137-07

Effects of Vermicompost at Different Propositions on the Growth of *Zea mays* and Soil Fertility

ZHANG Congli, DAI Jun, ZHOU Bo, CHEN Xufei, LI Jingjuan, ZHANG Jing, ZHANG Chi
(College of Natural Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: Microcosm experiment was conducted to evaluate the effects of vermicompost at different proportions on the growth of *Zea mays* and soil fertility in orchard and vegetable soil. The results showed that significant increases were observed in the height, the aboveground and underground biomass, chlorophyll SPAD, total N and K uptake in aboveground and underground parts of *Z. mays* with the addition of vermicompost ($P<0.05$). The height of *Z. mays* was at the highest level of 10% vermicompost in these two types soil. The aboveground and underground biomass were the maximum at the level of 5% vermicompost in the orchard soil and 10% vermicompost in garden soil, respectively. When the proportion of vermicompost was 20%, total N and K contents uptake in aboveground parts and total N uptake in underground parts of *Z. mays* were more remarkable than others. In addition, vermicompost adjusted soil pH. Contents of soil organic matter, available N, P and K increased significantly with the increasing ratio of vermicompost in soil ($P<0.05$). Principal component analysis showed significant differences in soil fertility between 20% vermicompost and control treatments in two types of soil. As a kind of environmental friendly fertilizer, the study confirmed the promise of vermicompost on crop production and soil fertilization. In the future, it is necessary to produce vermicompost by various agricultural organic wastes and perform suitable proposition of vermicompost according to soil properties.

Key words: xermicompost; *Zea mays*; plant growth; soil fertility

增施有机肥是土壤改良以及可持续管理的一种有效方法^[1]. 蚓粪是一种优良的有机肥,已有研究表明,蚓粪的合理施用将会对土壤肥力及作物生长产生显著的促进作用. 蚓粪具有良好的物理性质,有利于团聚体和水稳性团聚体形成^[2],因其具有很好的孔性、通气性、保肥性、排水性^[3],进而能够促使更多有益微生物生存,具备良好的营养物质吸收和保持的能力^[4]. 蚓粪含有丰富的有机质碳等养分,有较高的酶活性^[5-7],这些养分有助于植物根系发育,促使作物生长旺盛,提高作物产量^[8-9],有助于蔬菜干物质积累^[9-10],有利于促进幼苗的发育^[11-12],提高植株叶绿素含量和改变根系活力^[13],减缓病害的发生^[14].

本研究在不同类型土壤中添加蚓粪进行玉米盆栽试验,通过分析蚓粪对于玉米生长情况以及主要养分含量的影响,探讨其对作物生长的作用,并研究蚓粪对土壤肥力特征的影响,以期对蚓粪改良土壤

提供科学依据和理论支持.

1 材料与方法

1.1 材料

蚓粪的制备:将自然堆沤后风干的牛粪湿润至饱和含水量的 60%,按 1 kg 干牛粪加入赤子爱胜蚓 *Eisenia foetida* 100 条(质量约 30 g)的比例,向牛粪中加入鲜活蚯蚓. 随后,将基质在室温条件下培养 2 个月,使得所有物料经过蚯蚓充分消化. 分离蚯蚓和消化后的基质,风干、研磨,过 2 mm 筛,备用.

供试作物:玉米 *Zea mays*,为广东省农业科学院蔬菜研究所的丰甜一号.

供试土壤:果园土和菜园土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.

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

材料	pH	$w/(g \cdot kg^{-1})$				$w/(mg \cdot kg^{-1})$			$w/\%$	
		有机质	全氮	全磷	全钾	速效磷	速效钾	碱解氮	黏粒	水
蚓粪	5.94	450.71	21.05	5.79	17.30	1 039.9	15 078.8	337.1	0	14.50
果园土	6.87	25.80	0.88	3.12	10.50	37.8	108.4	57.3	18.90	1.50
菜园土	5.91	40.57	1.57	7.36	22.51	134.5	358.0	88.0	19.90	3.00

1.2 试验方法

采用单因素试验设计. 蚓粪施用水平(w)分别为:0、5%、10%、20%. 蚓粪与土壤混匀施用,试验共设置 8 个处理,每个处理 3 次重复. 具体处理如下:1)果园土对照(OS);2)5%蚓粪+95%果园土(5% ECOS);3)10%蚓粪+90%果园土(10% ECOS);4)20%蚓粪+80%果园土(20% ECOS);5)菜园土对照(VS);6)5%蚓粪+95%菜园土(5% ECVS);7)10%蚓粪+90%菜园土(10% ECVS);8)20%蚓粪+80%菜园土(20% ECVS).

称取 3 000 g 过 2 mm 筛混合土壤,装于 4 L 的塑料盆中,盆高 20 cm、底直径 15 cm,并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子 3 颗,待玉米间苗后,计时培养 30 d. 玉米生长发育期间不进行追肥,试验每 3 d 采用称重法调节水分含量. 在 10、20、30 d 时分别测定株高,30 d 时测定叶绿素 SPAD 值^[15]. 30 d 时收获,植株样品 105 ℃杀青 30 min,70 ℃烘干至恒质量,测定植株干质量. 土壤取出风干后过 2 mm 筛,备用.

1.3 植株样品以及土壤样品的测定

植株烘干后进行 $H_2SO_4-H_2O_2$ 消煮. 全氮利用凯氏定氮法测定;全磷利用钒钼黄比色法测定;全钾利用火焰光度法测定. 叶绿素含量采用日本产的 SPAD-502 叶色测量仪测定,以 SPAD 值表示^[15]. 蚓粪性质的测定参照中华人民共和国农业行业标准(NY525—2002)^[16]. 土壤 pH 的测定用 pH 计电位法(水土质量比 2.5:1.0);有机质的测定采用重铬酸钾容量法;全氮的测定采用开氏消煮法;全磷的测定采用 NaOH 熔融-钼锑抗比色法;全钾的测定采用 NaOH 熔融-火焰光度法;有效磷的测定采用 NH_4F-HCl ,钼锑抗比色法;碱解氮的测定采用碱解扩散法;速效钾的测定采用 NH_4OAc 浸提-火焰光度法.

1.4 数据分析方法

试验数据均以平均值±标准差表示,并用 Duncan's 多重比较法进行差异显著性检验. 通过 ADE-4 多元数据分析软件对土壤肥力各项指标进行主成分分析(Principal components analysis)和判别分析(Discrimination analysis).

2 结果与分析

2.1 玉米植株

从表 2 可以看出,在果园土处理中,添加蚓粪处理与对照相比,玉米生长差异显著($P < 0.05$);10% ECOS 植株株高最高,处理 5% ECOS、10% ECOS 和 20% ECOS 分别比对照提高 97.4%、114.5% 和 69.2%。处理 5% ECOS、10% ECOS 和 20% ECOS 的叶绿素 SPAD 值以及总干质量均与对照呈显著差异($P < 0.05$)。由表 3 可知,处理 10% ECOS、20% ECOS 的植株地上部全氮含量比对照分

别提高 56.1%、180.1%,且均与对照呈显著差异($P < 0.05$);处理 10% ECOS、20% ECOS 的植株地下部全氮含量比对照分别提高 91.2%、266.3%,均与对照呈显著差异($P < 0.05$);处理 10% ECOS、20% ECOS 的植株地上部全磷含量与对照差异不显著($P > 0.05$);处理 10% ECOS、20% ECOS 的植株地上部全钾含量均与对照呈显著差异($P < 0.05$),并分别提高 14.0%、20.2%;处理 5% ECOS、10% ECOS、20% ECOS 的地下部全钾含量与对照呈显著差异($P < 0.05$),并分别提高 31.2%、96.2%、106.9%。

表 2 果园土中各处理玉米的生长特征¹⁾
Tab.2 Growth characteristics of *Zea mays* in different orchard soil treatments

处理	株高/cm	SPAD	干质量/mg		
			地上部	地下部	合计
OS	39.00 ± 2.65d	14.09 ± 0.36b	1.30 ± 0.16b	1.07 ± 0.34c	2.37 ± 0.27b
5% ECOS	77.00 ± 3.61b	27.99 ± 3.06a	7.90 ± 0.81a	3.24 ± 0.22a	11.14 ± 0.90a
10% ECOS	83.67 ± 3.21a	28.40 ± 5.27a	7.81 ± 1.23a	3.10 ± 0.11ab	10.92 ± 1.34a
20% ECOS	66.00 ± 1.73c	29.67 ± 1.46a	7.11 ± 0.92a	2.75 ± 0.36b	9.87 ± 0.94a

1) 同列数据后凡是有一个相同小写字母者,表示在 0.05 水平差异不显著($n = 3$, Duncan's 法)。

表 3 果园土中各处理玉米的养分含量¹⁾
Tab.3 Nutrient uptake of *Zea mays* in different orchard soil treatments

处理	$w(\text{全氮})/(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$		$w(\text{全磷})/(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$		$w(\text{全钾})/(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$	
	地上部	地下部	地上部	地下部	地上部	地下部
OS	8.79 ± 1.13c	4.14 ± 0.33c	3.70 ± 0.59a	2.30 ± 0.74a	11.21 ± 0.55b	4.27 ± 0.33c
5% ECOS	8.11 ± 1.37c	4.80 ± 1.20c	2.43 ± 0.39b	1.87 ± 0.57a	10.97 ± 0.43b	5.64 ± 0.71b
10% ECOS	13.73 ± 1.39b	7.84 ± 2.49b	3.70 ± 0.24a	2.14 ± 0.16a	12.77 ± 1.26a	8.44 ± 0.53a
20% ECOS	24.65 ± 0.64a	15.02 ± 0.99a	4.76 ± 0.72a	2.73 ± 0.26a	13.46 ± 0.30a	8.90 ± 0.27a

1) 同列数据后凡是有一个相同小写字母者,表示在 0.05 水平差异不显著($n = 3$, Duncan's 法)。

由表 4 可知,在菜园土处理中,处理 10% ECVS 植株最高,处理 5% ECVS、10% ECVS 和 20% ECVS 株高分别比对照提高 28.0%、47.6% 和 38.1%。处理 5% ECVS、10% ECVS 和 20% ECVS 的叶绿素 SPAD 值均与对照呈显著差异($P < 0.05$),并分别提高 56.6%、111.5% 和 96.8%。处理 5% ECVS、10%

ECVS 和 20% ECVS 的地上部干质量均与对照呈显著差异($P < 0.05$),处理 10% ECVS、20% ECVS 的地下部干质量与对照呈显著差异($P < 0.05$),处理 5% ECVS、10% ECVS、20% ECVS 的总干质量均与对照呈显著差异($P < 0.05$),并分别提高 92.0%、212.3%、204.6%,总干质量最大的为处理 10% ECVS。

表 4 菜园土中各处理玉米的生长特征¹⁾
Tab.4 Growth characteristics of *Zea mays* in different vegetable soil treatments

处理	株高/cm	SPAD	干质量/mg		
			地上部	地下部	合计
VS	56.00 ± 5.29c	14.18 ± 1.69c	2.92 ± 0.87c	1.78 ± 0.48b	4.70 ± 1.26c
5% ECVS	71.67 ± 2.89b	22.23 ± 2.55b	7.04 ± 1.16b	1.98 ± 1.74b	9.02 ± 2.77b
10% ECVS	82.67 ± 4.62a	30.03 ± 3.38a	10.51 ± 1.00a	4.16 ± 0.33a	14.68 ± 1.22a
20% ECVS	77.33 ± 3.06ab	27.94 ± 3.45a	10.83 ± 1.66a	3.49 ± 0.68ab	14.32 ± 2.33a

1) 同列数据后凡是有一个相同小写字母者,表示在 0.05 水平差异不显著($n = 3$, Duncan's 法)。

从表 5 可以看出,处理 10% ECVS、20% ECVS 的植株地上部全氮含量均与对照呈显著差异 ($P < 0.05$),并分别提高 155.8%、217.2%;处理 10% ECVS、20% ECVS 的植株地下部全氮含量均与对照呈显著差异 ($P < 0.05$),分别提高 224.9%、286.0%. 处理 5% ECVS 和 10% ECVS 的植株地上部全钾含量和对照有显著差异 ($P < 0.05$),并分别提高 45.6% 和 45.2%.

表 5 菜园土中各处理玉米的养分含量¹⁾

Tab.5 Nutrient uptake of *Zea mays* in different vegetable soil treatments

处理	$w(\text{全氮})/(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$		$w(\text{全磷})/(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$		$w(\text{全钾})/(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$	
	地上部	地下部	地上部	地下部	地上部	地下部
VS	6.84 ± 0.62c	3.55 ± 0.75b	3.33 ± 0.72ab	2.73 ± 0.44a	11.47 ± 0.12a	5.54 ± 1.07b
5% ECVS	8.69 ± 2.42c	5.75 ± 0.66b	3.90 ± 0.24a	3.24 ± 0.51a	11.15 ± 0.12a	8.01 ± 0.24a
10% ECVS	17.39 ± 1.37b	11.70 ± 0.92a	2.54 ± 0.24b	3.00 ± 0.13a	10.91 ± 0.29a	7.99 ± 0.59a
20% ECVS	21.57 ± 1.58a	13.90 ± 1.57a	3.72 ± 0.30a	3.28 ± 0.37a	11.51 ± 0.80a	6.77 ± 1.03ab

1) 同列数据后凡是有一个相同小写字母者,表示在 0.05 水平差异不显著 ($n = 3$, Duncan's 法).

表 6 和表 7 显示,果园土和菜园土中各处理有机质、碱解氮、有效磷以及速效钾含量均随着蚓粪施入量的增加而显著升高 ($P < 0.05$). 果园土中,处理 5% ECOS、10% ECOS 和 20% ECOS 的有机质含量分别比对照提高 95%、183% 和 270%;碱解氮含量分别比对照提高 75%、145% 和 283%;速效磷含量分别比对照提高 230%、262% 和 949%;速效钾含量分别比对照提高 594%、1 295% 和 4 097%. 菜园土中,处理 5% ECVS、10% ECVS 和 20% ECVS 的有机质含量分别比对照提高 23%、42% 和 114%;碱解氮含量分别比对照提高 42%、73% 和 143%;速效磷含量分别比对照提高 42%、89% 和 193%;速效钾含量分别比对照提高 325%、627% 和 1 640%. 从表 6 可以看出,处理 20% ECOS 的水浸提土壤所得 pH [$\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$] 为 7.20,显著低于果园土中其他各处理 ($P < 0.05$);而 1 mol/L KCl 溶液浸提土壤所得 pH [$\text{pH}(\text{KCl})$] 随着蚓粪施入量的增加而显著升高 ($P < 0.05$). 从表 7 可以看出,菜园土中各处理 pH (H_2O) 随着蚓粪施入量的增加而显著升高 ($P < 0.05$),处理 20% ECVS 的值最高,为 7.00;同时,pH (KCl) 亦随着蚓粪施入量的增加而显著升高 ($P < 0.05$).

表 6 果园土中各处理的土壤肥力特征¹⁾

Tab.6 Fertility characteristics of different treatments in orchard soil

处理	$w(\text{有机质})/(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$	$w/(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$			$\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$	$\text{pH}(\text{KCl})$
		碱解氮	速效磷	速效钾		
OS	27.94 ± 5.59d	65.54 ± 3.85d	33.29 ± 1.45d	55.60 ± 2.87d	7.49 ± 0.04a	6.64 ± 0.01c
5% ECOS	54.33 ± 2.42c	114.70 ± 6.22c	109.94 ± 2.85c	385.82 ± 12.45c	7.42 ± 0.06a	6.73 ± 0.01b
10% ECOS	79.04 ± 4.00b	160.71 ± 6.74b	120.52 ± 6.96b	775.85 ± 47.12b	7.47 ± 0.09a	6.75 ± 0.03b
20% ECOS	103.07 ± 4.98a	251.03 ± 3.60a	349.32 ± 5.91a	2 323.29 ± 76.04a	7.20 ± 0.10b	6.87 ± 0.01a

1) 同列数据后凡是有一个相同小写字母者,表示在 0.05 水平差异不显著 ($n = 3$, Duncan's 法); pH (H_2O) 为水浸提土壤所得 pH, pH (KCl) 为 1 mol/L KCl 溶液浸提土壤所得 pH.

表 7 菜园土中各处理的土壤肥力特征¹⁾

Tab.7 Fertility characteristics of different treatments in vegetable soil

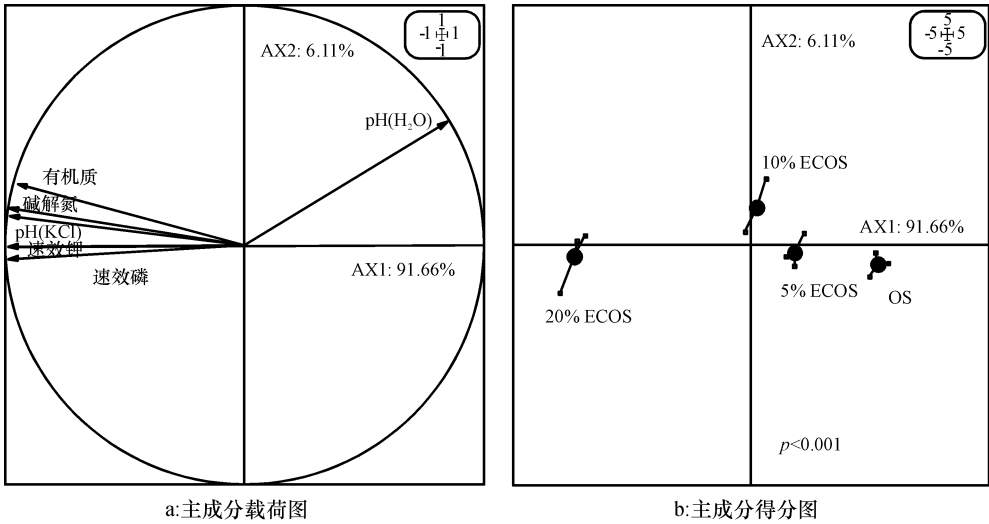
处理	$w(\text{有机质})/(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$	$w/(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$			$\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$	$\text{pH}(\text{KCl})$
		碱解氮	速效磷	速效钾		
VS	48.12 ± 2.04d	116.04 ± 3.11d	135.74 ± 4.64d	141.88 ± 40.97d	6.64 ± 0.05c	6.01 ± 0.01d
5% ECVS	59.19 ± 2.28c	164.30 ± 4.86c	193.14 ± 6.43c	603.64 ± 46.98c	6.86 ± 0.05b	6.15 ± 0.02c
10% ECVS	89.52 ± 2.88b	201.11 ± 2.16b	256.155 ± 2.84b	1 023.16 ± 30.75b	6.94 ± 0.10ab	6.35 ± 0.03b
20% ECVS	102.90 ± 6.06a	281.42 ± 25.37a	398.09 ± 8.29a	2 469.20 ± 229.65a	7.00 ± 0.08a	6.53 ± 0.06a

1) 同列数据后凡是有一个相同小写字母者,表示在 0.05 水平差异不显著 ($n = 3$, Duncan's 法); pH (H_2O) 为水浸提土壤所得 pH, pH (KCl) 为 1 mol/L KCl 溶液浸提土壤所得 pH.

2.2 土壤的化学性质多元数据分析

果园土各处理的土壤化学性质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97.77%,说明这2个独立的主成分变量可以反映原始变量的绝大部分信息.主成分载荷图(图1a)显示;第一主成分(PC1)的方差贡献率为91.66%,其依次与有机质、碱解氮、pH(KCl)、速效钾、速效磷相关,且各变量之间呈正相关关系.第二

主成分的方差贡献率为6.11%,主要与pH(H₂O)相关.主成分得分图(图1b)显示,;果园土中各处理之间的差异达到极显著水平($P < 0.001$),处理之间的差异主要来源于第一主成分.处理OS、5% ECOS、10% ECOS明显偏向pH(H₂O)较高的方向,而处理20% ECOS则偏向有机质、碱解氮、pH(KCl)、速效钾和速效磷较高的方向.果园土中添加20%蚓粪有利于提高土壤中有机质、碱解氮、速效钾和速效磷的含量.



a 图中 X 轴代表第一主成分 AX1,Y 轴代表第二主成分 AX2,每个箭头代表一个性质的矢量;2 个矢量间的余弦角度大小代表两者间的关系,角度越小,相关性越高;矢量在 2 个主成分轴上的投影长短代表该变量与主成分的关系,投影越长,贡献越大. b 图中黑圆圈代表各处理在得分图上的位置;黑圆圈周围连接的是该处理的 4 个重复的位置.

图1 果园土肥力综合特征的主成分分析

Fig.1 Principal component analysis of fertility characteristics in orchard soil

菜园土各处理的土壤化学性质主成分分析结果(未给出)与果园土类似,其各处理之间的差异达到极显著水平($P < 0.001$),且随着蚓粪施入量的增加,各处理的化学性质综合性状越好.

3 讨论与结论

3.1 蚓粪施用对作物生长的影响

蚓粪有机质含量极其丰富.有机质中的腐植酸已被证明是一类生物活性物质,它不仅能加速种子发芽,而且有助于增加根系活力和促进作物生长^[17].前人研究结果^[18]指出,在蚓粪与土壤体积比为0:1~1:5的范围内,随着蚓粪施用量的增加,番茄产量和果品品质都能提高.刘健等^[19]的研究也显示,与纯泥炭和纯蚓粪相比,混合基质均能显著提高小白菜苗高、叶绿素浓度、植株营养元素、生物产量等,其中以低比例(20%蚓粪、40%蚓粪)的基质效果最好.陈学良等^[13]研究结果表明,25%的蚓粪添加量最适宜番茄幼苗的地上部生长.本研究结果显示,30 d 各处理的

玉米地上、地下部及其总干质量均随着蚓粪施入量的增多而升高.在施加0~10%蚓粪范围内,随着蚓粪比例的增加株高升高,但在20%蚓粪施入量的钵中株高却有所降低.这一现象说明在土壤中使用适宜的蚓粪施用比例能够促进作物的生长,但过量施用也会带来一定的抑制作用,这与前人研究结果一致.

蚓粪的施入有助于作物体内养分的含量提高^[19-20].本研究果园土和菜园土中各处理的植株地上部和地下部全氮和全钾或全氮和全磷含量均随着蚓粪施入量的增加逐渐升高.叶绿素是光合作用过程中影响光能吸收和转化的关键色素,其含量高低是衡量叶片衰老的重要生理指标^[21].植株的氮^[22]、磷和钾素^[23]水平与叶绿素含量紧密相关.王小治等^[24]研究结果表明,蚓粪处理的匍匐翦股颖草叶绿素含量均显著高于非蚓粪处理.刘健等^[19]研究显示,20%和40%的蚓粪对小白菜的叶绿素浓度的增高作用最为显著.本研究结果也表明,在试验进行30 d

时,随着蚓粪施入量的增加,各处理玉米叶片的叶绿素含量明显提高.

由此可见,蚓粪施用对于增加植株干物质的积累、促进植株生长、提高氮磷钾含量和作物的光合作用强度均起了重要作用. 其中,10% 的蚓粪施入最有利于植株干物质的积累以及生长,20% 蚓粪的施入最有利于提高植株氮磷钾含量及光合作用强度.

3.2 蚓粪施用对土壤肥力的影响

赵海涛等^[25]研究指出,以牛粪为原料形成的蚓粪全氮质量分数为 1.61%. 朱维琴等^[26]的研究显示,用猪粪饲养蚯蚓所得蚓粪的有机质、全氮、全磷和全钾质量分数分别为 21.6%、1.01%、2.64% 和 0.86%. 本研究所使用的以牛粪为原料的蚓粪,有机质、全氮、全磷、全钾含量非常丰富,其质量分数分别为 450.71、21.05、5.79 和 1.73 g · kg⁻¹. 由于蚓粪具有较高的植物所需的氮磷钾等营养元素,因此其被作为有机肥料施入土壤^[5, 27-29]. Ngo 等^[30]研究发现与常规施肥相比,蚓粪施入使得土壤的有机质碳和全氮含量显著提高. 苏晓红等^[31]研究表明,蚓粪施入后土壤全磷、有效磷以及水溶性磷含量显著增加. 本研究所用蚓粪的速效养分的含量亦非常丰富. 将蚓粪施入土壤后,无论果园土和菜园土,各处理的有机质、碱解氮、有效磷和速效钾的含量均随着蚓粪施入量的增加而显著提升. 这说明蚓粪的施入可以改善土壤肥力状况,增加土壤养分含量,从而改良土壤.

蚓粪的 pH 与使用的有机物料密切相关^[32]. 本研究所使用蚓粪来源于牛粪,其 pH 偏酸性,与前人研究结果一致^[33]. 由于果园土 pH 为 6.87,随着蚓粪 (pH5.94) 施入量的增加,各处理土壤的 pH(H₂O) 逐渐降低;这与 Atiyeh 等^[34]报道 pH5.7 的猪粪加入商用 pH6.3 的 Metro-mix360 中造成其 pH(H₂O) 下降的研究结果一致. 然而, Gutiérrez-Miceli 等^[18]研究结果显示:当以羊粪为原料的蚓粪和土壤 pH(H₂O) 接近时,蚓粪加入土壤后 pH 未发生显著变化. 本研究中,菜园土 pH 为 5.91,其与蚓粪 pH5.94 相差不大,随着蚓粪施入量的增加,土壤 pH(H₂O) 并未降低,反而出现逐渐升高的趋势,其机理有待进一步探讨. 另外,随着蚓粪的加入,2 种土壤的 pH(KCl) 均显著升高,这可能是由于蚓粪中有机质含量较多,其能够与土壤中单体铝复合,降低交换性铝的含量,从而升高了土壤的 pH(KCl)^[17].

本研究结果得出,施入蚓粪也能够显著增强土壤肥力,特别是蚓粪比例为 20% 时,土壤氮磷钾养分

含量最高. 另外,蚓粪的施入能够有效调节土壤酸碱度,使其更适合作物生长. 综上所述,蚓粪作为一种环境友好肥料,其对提高作物产量和培肥地力具有重要作用. 在当前以节能、降耗、减污为目标的绿色食品生产时代,根据不同土壤特征,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,具有重要科学意义和应用价值.

参考文献:

[1] REES R M, BALL B C, CAMPBELL C D, et al. Sustainable management of soil organic matters[M]. New York: CABI Publishing, 2001.

[2] 张余良, 孙长载. 几种不同组合蚯蚓粪复合有机肥的效果试验[J]. 天津农业科学, 2006, 12(1): 12-14.

[3] MCINEMEY M, BOLGER J. Temperature wetting cycles and soil texture effects on carton and nitrogen dynamics in stabilized earthworm casts[J]. Soil Biol Biochem, 2000, 32: 335-341.

[4] EDWARDS C A, ARANCON N Q. Vermicomposts suppress plant pest and disease attacks [J]. Bio Cycle. 2004, 45(3): 51-54.

[5] 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): 13-14.

[6] 卢芹. 蚯蚓粪作为花卉栽培基质的应用研究[J]. 山东林业科技, 2000(1): 12-13.

[7] ZHANG C, LANGLEST R, VELASQUEZ E, et al. Cast production and NIR spectral signatures of Aporectodea caliginosa fed soil with different amounts of half-decomposed Populus nigra litter [J], Biol Fert Soils, 2009, 45(8): 839-844.

[8] 王胜, 郑仕军, 沈丽, 等. 蚯蚓粪对油菜根肿病的控制效果评价[J]. 西南农业学报, 2010, 23(6): 1910-1913.

[9] ALBIACH R, CANET R, POMARES F, et al. Microbial biomass content and enzymatic activities after the application of organic amendments to a horticultural soil [J]. Bioresource Technol, 2000, 75(1): 43-48.

[10] ATIYEH R M, ARANCON N, EDWARDS C A, et al. Influence of earthworm-processed pig manure on the growth and yield of greenhouse tomatoes[J]. Bioresource Technol, 2000, 75(3): 175-180.

[11] 卓少明. 不同比例蚯蚓粪与常规基质培育豌豆苗菜效果比较[J]. 热带农业科学, 2006, 26(6): 10-12.

[12] 王耀晶, 王步宇, 刘鸣达. 药渣蚓粪对番茄幼苗生长发育的影响[J]. 北方园艺, 2010(10): 48-49.

[13] 陈学良, 邓英毅, 唐瑞英, 等. 荔枝盆栽土添加蚓粪试验[J]. 中国果树, 2011(2): 38-40.

- [14] 胡艳霞, 孙振钧, 周法永, 等. 蚯蚓粪对黄瓜苗期土传病害的抑制作用[J]. 生态学报, 2002, 22(7): 1106-1115.
- [15] 刘艳, 安景文, 华利民, 等. 氮肥不同施用时期对春玉米早衰的影响[J]. 土壤通报, 2011, 42(4): 902-905.
- [16] 中华人民共和国农业部. NY525—2002 中华人民共和国农业行业标准: 有机肥料[S]. 北京: 中国农业出版社, 2002: 1-9.
- [17] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 32-173.
- [18] GUTIERREZ-MICELI F A, SANTIAGO-BORRAZ J, MONTES-MOLINA J A, et al. Vermicompost as a soil supplement to improve growth, yield and fruit quality of tomato (*Lycopersicum esculentum*) [J]. Bioresource Technol, 2007, 98(15): 2781-2786.
- [19] 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(5): 628-631.
- [20] MATERECHERA S A. Nutrient availability and maize growth in a soil amended with earthworm casts from a South African indigenous species[J]. Bioresource Technol, 2002, 84(2): 197-201.
- [21] 叶春升, 罗奇祥, 张福群, 等. 肥料不同施用方式对水稻早衰的影响[J]. 江西农业学报, 2006, 18(4): 1-5.
- [22] 王磊, 白由路. 不同氮处理春玉米叶片光谱反射率与叶片全氮和叶绿素含量的相关研究[J]. 中国农业科学, 2005, 38(11): 125-133.
- [23] MOCHIZUKI T, NOGUCHI Y, SONE K, et al. Aroma components of amphiploid strawberries derived from interspecific hybrids of *Fragaria* × *Ananassa* and diploid wild species [M]. Leuven: International Society Horticultural Science, 1997: 75-80.
- [24] 王小治, 王爱礼, 王守红, 等. 污泥蚓粪对匍匐剪股颖草生长的影响[J], 农业环境科学学报, 2011, 30(8): 1683-1687.
- [25] 赵海涛, 罗娟, 单玉华, 等. 蚓粪有机无机复混肥对黄瓜产量和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(5): 1288-1293.
- [26] 朱维琴, 贾秀英, 李喜梅, 等. 猪粪及其蚓粪对 Pb、Cd 吸附行为的比较研究[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(5): 1796-1802.
- [27] EDWARDS C E, ARANCON N Q. The use of earthworms in the break down of organic wastes to produce vermicomposts and animal feed protein [M] // EDWARDS C A. Earthworm ecology. 2nd edition. BocaRaton: CRC Press, 2004: 345-380.
- [28] ARANCON N Q, EDWARDS C A, LEE S, et al. Influences of vermicomposts, produced by earthworms and microorganisms from cattle manure, food waste and paper waste, on the germination, growth and flowering of petunias in the greenhouse[J]. Apply Soil Ecology, 2008, 39: 91-99.
- [29] PRAMANIK P, GHOSH G K, GHOSAL P K, et al. Changes in organic C, N, P and K and enzyme activities in vermicompost of biodegradable organic wastes under liming and microbial inoculants[J]. Bioresource Technol, 2007, 98(13): 2485-2494.
- [30] NGO P T, RUMPEL C, DIGNAC M F, et al. Transformation of buffalo manure by composting or vermicomposting to rehabilitate degraded tropical soils[J]. Ecol Eng, 2011, 37(2): 269-276.
- [31] 苏晓红, 高志岭, 刘建玲, 等. 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, 2010, 33(3): 8-12.
- [32] ALVES M R, LANDGRAF M D, RESENDE M O O. Absorption and desorption of herbicide alaclor on humic acid fractions obtained from two vermicompost[J]. J Environ Sci Heal, 2001, 36(6): 797-808.
- [33] JORDAO C P, PEREIRA M G, EINLOFT R, et al. Removal of Cu, Cr, Ni, Zn and Cd from electroplating wastes and synthetic solutions by vermicompost of cattle manure[J]. J Environ Sci Heal, 2002, 37(5): 875-892.
- [34] 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 Technol, 2001, 78(1): 11-20.

【责任编辑 周志红】