

# 生物复混肥施用量对土壤养分及作物生长的影响<sup>①</sup>

赵兰凤, 李华兴\*, 缙武龙, 张丽娟, 胡伟, 李永涛

(华南农业大学资源环境学院, 广州 510642)

**摘要:** 通过盆栽试验, 以等养分量的有机无机肥做对照, 研究了生物复混肥施用量对土壤有效 N、P、K 含量及玉米和油麦菜生长的影响。结果表明: 生物复混肥的施用可以显著提高土壤有效 N、P、K 含量; 施 N 量为 0.1 g/kg 土的生物复混肥处理可以显著提高玉米和油麦菜的 N、P、K 吸收量及玉米的生物量。

**关键词:** 生物复混肥; 有机无机肥; 玉米; 油麦菜

**中图分类号:** S144

生物复混肥是指把特定功能微生物与主要以动植物残体(如畜禽粪便、农作物秸秆等)为来源并经无害化处理腐熟后的有机物料和少量的无机肥料混合而成的一种兼具微生物肥料、有机肥和无机肥料效应的肥料。功能微生物是生物复混肥的核心组分, 施用功能微生物肥料能够活化并促进植物对营养元素的吸收, 减少化肥使用量, 降低成本, 同时还能改善土壤条件及农产品品质, 减少污染<sup>[1]</sup>。我国有关生物复混肥肥效方面的研究较多, 其结果一致表明, 生物复混肥具有增加产量、培肥土壤、提高作物品质、增强作物抗病性的作用<sup>[2-5]</sup>。张辉等<sup>[6-7]</sup>的试验结果表明, 施用生物有机无机复合肥后, 全量养分和速效养分都有不同程度的提高, 还可以促进植株生长发育, 提高产量, 改善作物品质。但是, 生物复混肥的适宜施用量还缺乏较为系统的研究, 种植者普遍认为施肥越多越好, 因而盲目施肥现象严重, 不仅增加了成本, 降低生产效益, 造成肥料资源的浪费。为此, 本研究通过盆栽试验来研究生物复混肥不同施用量对土壤养分和作物生长的影响, 旨在找出最佳的施肥量, 为生物复混肥的合理施用提供科学的依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 供试材料

1.1.1 供试土壤 采自华南农业大学资环学院农场的赤红壤性旱地土壤(母岩为花岗岩), 其主要理化

性质为: 砂壤土; 有机质 19.00 g/kg; pH 7.66; 全 N、P、K 分别为 1.26、0.51 和 23.88 g/kg; 碱解 N、有效 P 和速效 K 分别为 24.7、42.7 和 91.4 mg/kg。测定方法参照文献<sup>[8]</sup>。

1.1.2 供试肥料 生物复混肥和有机无机肥。生物复混肥是在有机无机肥的基础上添加了吸附有效微生物(固氮菌、有机磷细菌、地衣芽孢杆菌和无机磷细菌)的蛭石, 在有机无机肥中添加等量灭菌的蛭石, 其他养分含量均不变, 有效微生物数量为  $0.26 \times 10^8$  cfu/g 生物复混肥。生物复混肥和有机无机肥的基本性质为: 全 N、 $P_2O_5$ 、 $K_2O$  的含量分别为 41.1、62.8 和 76.9 g/kg; 有机质含量为 188.5 g/kg; pH 7.71; 有效 P 51.1 mg/kg。

1.1.3 供试作物 农大一号饲料玉米 *Zea mays* L. 和油麦菜 *Lactuca sativa* L. var. *longifolia* Lam.

### 1.2 方 法

1.2.1 试验设计 试验采用盆栽的方式于 2007 年在玻璃网室中进行。共设 7 个处理, 分别为不施肥、有机无机肥和生物复混肥, 有机无机肥和生物复混肥各设 3 个水平 N 添加量: 0.1、0.2、0.3 g/kg 土, 每个处理设 5 次重复。试验分玉米和油麦菜 2 组进行, 每组 21 盆, 共 42 盆。每盆装风干土(过 3 mm 筛) 5 kg, 肥料作基肥 1 次施入。

1.2.2 试验管理与取样 玉米催芽后直接播种, 出齐苗后进行间苗, 每盆保留 3 棵; 油麦菜在育苗 15

①基金项目: 广东省科技计划项目(2002C2050201, 2003A038, 2006B20301050)、广东省农业厅科技项目(粤农土肥(2004)28号)和国家自然科学基金项目(40771110)资助。

\* 通讯作者(huaxli@scau.edu.cn)

作者简介: 赵兰凤(1978—), 女, 山西原平人, 硕士, 助理实验师, 主要从事生物肥料与农业可持续发展研究。E-mail: lanfengzhao@scau.edu.cn

天后移入盆中, 每盆植 3 棵。移苗 10、25、40 和 65 天时采集土壤样本, 用于分析其基本的化学性质。不同处理的管理措施均一致。

1.2.3 土壤主要有效养分的测定 碱解N用碱解扩散法, 速效P用Bray 1 法, 速效K用中性NH<sub>4</sub>OAC 浸提火焰光度法测定<sup>[8]</sup>。

1.2.4 植株养分含量的测定 全N用H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 消煮-蒸馏法, 全 P 用 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 消煮-钒钼黄比色法, 全 K 用 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 消煮-火焰光度计法测定<sup>[6]</sup>。

1.2.5 植株生物量的测定 玉米、油麦菜在移苗后 65 天收获, 收获后称其烘干重 (105℃ 杀青 30 min; 70℃ 烘干至恒重)。

## 2 结果与分析

### 2.1 生物复混肥对土壤养分含量的影响

2.1.1 对土壤碱解 N 含量的影响 从表 1 可以看出, 在玉米种植 25 天和油麦菜种植 10 天后, 土壤碱解 N 含量都是随着生物复混肥和有机无机肥施用量的增加而显著增加。在玉米试验中, 除施 N 量为 0.1 g/kg 土水平在植后 40 天和 0.3 g/kg 土水平在植后 65 天时, 生物复混肥处理的土壤碱解 N 含量与等养分含量的有机无机肥处理差异不显著外, 其它采样期均显著高于等养分含量的有机无机肥处理。而油麦菜在植后 10 天, 除施 N 量为 0.2 g/kg 土和 0.3 g/kg 土的生物复混肥处理的土壤碱解 N 含量显著高于等养分含量的有机无机肥处理之外, 其它各采样期与等养分含量的有机无机肥处理差异不显著。上述结果表明, 生物复混肥可显著提高土壤碱解 N 含量, 但其提高土壤碱解 N 含量又因作物品种和作物生长期而异。

表 1 不同取样时期各处理土壤碱解 N 含量比较 (mg/kg)

Table 1 Content of soil available N at different sampling time under different treatments

作物	处理	N 水平 (g/kg)	不同取样时期土壤碱解 N 含量			
			10 天	25 天	40 天	65 天
玉米	不施肥	0	25.9 ± 1.22 g	25.4 ± 1.04 f	24.5 ± 0.55 e	28.5 ± 1.12 c
		0.1	38.9 ± 1.73 f	26.7 ± 0.43 e	28.7 ± 0.91 abc	32.5 ± 1.13 ab
		0.2	96.8 ± 0.96 d	28.8 ± 0.87 d	27.0 ± 0.60 cd	31.1 ± 1.25 bc
	生物复混肥	0.3	158.6 ± 1.11 b	36.3 ± 0.17 b	25.6 ± 0.60 de	34.2 ± 0.65 a
		0.1	67.9 ± 0.60 e	28.3 ± 0.55 d	29.7 ± 1.03 ab	31.1 ± 1.08 bc
		0.2	119.5 ± 0.72 c	30.5 ± 0.40 c	29.9 ± 0.10 a	35.1 ± 0.42 a
		0.3	181.1 ± 1.56 a	40.1 ± 0.87 a	27.8 ± 0.40 c	32.7 ± 0.71 ab
		0.1	104.35 ± 1.79 e	33.7 ± 0.10 ab	28.9 ± 1.14 abc	25.2 ± 3.76 b
		0.2	193.6 ± 1.72 c	31.3 ± 1.05 cd	29.8 ± 0.36 a	32.1 ± 0.58 a
油麦菜	不施肥	0	35.5 ± 0.55 f	30.3 ± 1.03 d	26.5 ± 0.79 c	26.4 ± 0.37 b
		0.1	107.3 ± 1.60 e	35.5 ± 0.40 a	29.5 ± 1.21 ab	25.1 ± 0.37 b
		0.2	173.4 ± 2.08 d	33.5 ± 0.52 abc	30.7 ± 1.81 a	30.9 ± 1.47 a
	生物复混肥	0.3	211.6 ± 1.11b	33.0 ± 0.45 bc	26.7 ± 0.50 bc	30.2 ± 1.42 a
		0.1	104.35 ± 1.79 e	33.7 ± 0.10 ab	28.9 ± 1.14 abc	25.2 ± 3.76 b
		0.2	193.6 ± 1.72 c	31.3 ± 1.05 cd	29.8 ± 0.36 a	32.1 ± 0.58 a
		0.3	231.1 ± 1.68 a	32.1 ± 1.13 bcd	30.0 ± 0.17 a	32.0 ± 0.59 a

注: 表中数值为 3 次重复的平均值 ± 标准误, 同种作物同列数据后字母相同表示无显著差异 (p=0.05, Duncan's 法), 下同。

2.1.2 对土壤有效 P 含量的影响 表 2 表明, 土壤有效 P 含量均随着生物复混肥和有机无机肥施用量的增加而显著增加。在玉米和油麦菜植后 40 天, 生物复混肥处理的土壤有效 P 含量除个别时期与等养分含量的有机无机肥处理差异不显著外, 其它取样时期均显著高于有机无机肥处理。而在作物生长后期(65 天), 施用生物复混肥处理的土壤有效 P 含量与等养分含量的有机无机肥处理无显著差异。以上结果说明,

在作物生长前中期, 与等养分含量的有机无机肥相比, 生物复混肥处理能显著提高土壤有效 P 含量。其原因主要是土壤中的 P 元素大多以难溶性的化合物形态存在, 不能直接被植物吸收利用, 而施生物复混肥的处理, 肥料中功能微生物可以分解转化这些迟效养分, 增加土壤中 P 的有效性。在作物生长的后期, 生物复混肥处理的土壤有效 P 含量与有机无机肥处理无显著差异, 可能是因为生物复混肥处理增加了作物生物

量,从而促进了对土壤有效 P 的吸收,降低了土壤有效 P 含量。

表 2 不同取样时间各处理土壤有效 P 含量比较 (mg/kg)

Table 2 Content of soil available P at different sampling time under different treatments

作物	处理	N 水平 (g/kg)	不同取样时期土壤有效 P 含量					
			10 天	25 天	40 天	65 天		
玉米	不施肥	0	36.4 ± 0.43 f	35.1 ± 0.21 e	36.9 ± 0.43 f	36.9 ± 1.06 d		
		0.1	43.9 ± 0.52 e	44.5 ± 0.42 d	40.9 ± 0.63 e	47.5 ± 0.27 c		
		0.2	53.7 ± 0.32 d	54.2 ± 0.79 b	51.4 ± 0.36 c	59.1 ± 0.55 b		
		0.3	60.6 ± 0.32 b	70.8 ± 0.32 a	68.1 ± 0.32 a	79.8 ± 4.32 a		
	生物复混肥	0.1	44.7 ± 0.64 e	51.5 ± 0.52 c	44.9 ± 0.63 d	47.0 ± 0.70 c		
		0.2	55.0 ± 0.42 c	55.6 ± 0.24 b	51.2 ± 0.32 c	62.8 ± 1.99 b		
		0.3	70.4 ± 0.24 a	69.9 ± 0.73 a	65.9 ± 0.75 b	83.5 ± 2.55 a		
		油麦菜	不施肥	0	41.8 ± 0.46 f	38.8 ± 0.64 g	50.3 ± 0.34 f	38.6 ± 1.51 d
				0.1	53.5 ± 1.01 e	50.7 ± 0.13 f	45.9 ± 0.38 g	49.3 ± 0.27 c
0.2	71.9 ± 1.25 d			61.9 ± 1.17 d	63.2 ± 1.04 c	65.6 ± 3.17 b		
0.3	83.1 ± 0.64 b			80.2 ± 0.22 b	80.5 ± 0.13 a	86.7 ± 4.02 a		
生物复混肥	0.1	52.5 ± 0.55 e	54.0 ± 0.34 e	57.2 ± 0.46 e	51.3 ± 0.85 c			
	0.2	77.9 ± 0.38 c	64.7 ± 0.83 c	61.2 ± 0.79 d	70.2 ± 3.92 b			
	0.3	90.9 ± 0.79 a	83.0 ± 0.67 a	72.5 ± 0.55 b	89.0 ± 2.55 a			

2.1.3 对土壤速效 K 含量的影响 从表 3 可以看出,土壤速效 K 含量与土壤有效 P 含量一样,均随着生物复混肥或有机无机肥施用量的增加而显著增加。无论是玉米还是油麦菜试验,在植后 40 天内,生物复混肥处理的土壤速效 K 含量除个别时期与等养分含量的有机无机肥处理差异不显著外,其它时期均显著高于等养分含量的有机无机肥处理。而在作物生长的后期(65 天),施用生物复混肥处理土壤速效 K 含

量除在油麦菜施 N 量为 0.3 g/kg 土水平仍显著高于等养分含量的有机无机肥处理外,其它处理均与等养分含量的有机无机肥处理差异不显著。以上结果说明,在作物生长前中期,与等养分含量的有机无机肥处理相比,生物复混肥的施用明显提高了土壤的速效 K 含量,提高土壤的供 K 能力,而在后期由于生物复混肥处理提高了作物生物量而增加植物对土壤 K 的吸收,从而减少了土壤有效 K 的含量。

表 3 不同取样时间各处理土壤速效 K 含量比较 (mg/kg)

Table 3 Content of soil available K at different sampling time under different treatments

作物	处理	N 水平 (g/kg)	不同取样时期土壤速效 K 含量					
			10 天	25 天	40 天	65 天		
玉米	不施肥	0	61.8 ± 0.50 f	51.1 ± 0.50 f	45.7 ± 1.65 g	32.4 ± 2.08 c		
		0.1	174.7 ± 0.53 e	143.8 ± 0.95 e	122.9 ± 0.99 f	48.6 ± 3.6 c		
		0.2	270.2 ± 0.74 d	231.1 ± 1.33 c	215.8 ± 0.83 d	86.7 ± 13.41 b		
		0.3	382.3 ± 0.33 b	362.7 ± 0.19 a	314.3 ± 1.65 b	182.9 ± 11.66 a		
	生物复混肥	0.1	173.2 ± 0.94 e	148.8 ± 1.49 d	127.8 ± 0.76 e	42.9 ± 4.12 c		
		0.2	281.7 ± 1.44 c	262.9 ± 1.65 b	222.9 ± 1.65 c	89.5 ± 4.54 b		
		0.3	401.5 ± 1.33 a	361.9 ± 0.5 a	335.2 ± 0.95 a	163.8 ± 4.15 a		
		油麦菜	不施肥	0	59.4 ± 0.57 f	62.9 ± 0 f	60.9 ± 0.95 f	27.5 ± 0.38 c
				0.1	184.8 ± 0.95 e	172.4 ± 0.95 e	161.9 ± 1.9 e	45.7 ± 8.61 c
0.2	297.1 ± 1.65 d			291.4 ± 1.65 d	261.5 ± 2.25 c	97.6 ± 6.41 b		
0.3	393.3 ± 2.52 b			387.6 ± 0.95 b	349.5 ± 0.95 b	112.9 ± 0 b		
生物复混肥	0.1	187.1 ± 2.25 e	175.2 ± 0.95 e	169.5 ± 0.95 d	43.5 ± 3.71 c			

0.2	306.7 ± 3.43 c	302.9 ± 1.65 c	265.7 ± 1.65 c	99.5 ± 9.38 b
0.3	405.7 ± 1.65 a	393.3 ± 0.95 a	380.9 ± 1.9 a	175.7 ± 7.87 a

## 2.2 生物复混肥对植株养分吸收量和生物量的影响

2.2.1 对植株养分吸收量的影响 成熟期植株体内养分含量和养分吸收量是合理施肥的重要依据<sup>[9]</sup>。从表 4 可见，与等养分含量的有机无机肥处理相比，施 N 量为 0.1 g/kg 土的生物复混肥处理可以显著提高玉米和油麦菜的 N、P、K 吸收量，施 N 量为 0.2 g/kg 土的生物复混肥处理可以显著增加玉米的 N 和 P 吸

收量和油麦菜的 N 吸收量。施 N 量为 0.3 g/kg 土的生物复混肥处理比施用等养分含量的有机无机肥处理有提高植株 N、P、K 吸收量的趋势但差异未达到显著水平。施 N 量为 0.1 g/kg 土和 0.2 g/kg 土生物复混肥处理的植株养分吸收量无显著差异。因此，施用 0.1 g/kg 土的生物复混肥处理既可以促进植株养分吸收和提高作物生物量（表 5），又可以节约用肥。

表 4 不同施肥处理对植株 N、P、K 吸收量的影响 (mg/盆)

Table 4 Effects of different fertilization treatments on amount of N, P, K uptaked by crops

作物	处理	N 水平 (g/kg)	N 吸收量	P 吸收量	K 吸收量
玉米	不施肥	0	314.53 ± 20.38 d	31.34 ± 1.58 d	305.97 ± 12.97 d
		0.1	389.13 ± 30.01 c	36.15 ± 3.09 cd	538.31 ± 60.22 c
		0.2	441.89 ± 25.50 bc	40.19 ± 5.04 bc	851.25 ± 82.25 ab
	生物复混肥	0.3	429.57 ± 7.00 bc	40.69 ± 0.19 bc	863.45 ± 50.56 ab
		0.1	459.99 ± 8.50 ab	46.69 ± 3.37 ab	705.53 ± 10.73 b
		0.2	514.67 ± 20.96 a	51.56 ± 2.44 a	991.48 ± 78.20 a
		0.3	447.48 ± 7.72 b	42.32 ± 0.71 bc	929.48 ± 22.87 a
		0.1	381.34 ± 6.25 abc	36.97 ± 1.20 a	858.89 ± 56.78 b
		0.2	439.20 ± 30.90 a	38.62 ± 3.35 a	978.48 ± 31.64 ab
油麦菜	不施肥	0	244.83 ± 6.58 d	25.79 ± 1.10 c	308.80 ± 6.75 d
		0.1	333.58 ± 4.96 c	30.67 ± 0.77 bc	710.57 ± 11.78 c
		0.2	371.81 ± 39.21 bc	34.93 ± 2.44 ab	933.73 ± 71.04 ab
	生物复混肥	0.3	430.76 ± 20.76 ab	40.38 ± 2.49 a	1061.60 ± 58.63 a
		0.1	381.34 ± 6.25 abc	36.97 ± 1.20 a	858.89 ± 56.78 b
		0.2	439.20 ± 30.90 a	38.62 ± 3.35 a	978.48 ± 31.64 ab
		0.3	434.46 ± 13.78 ab	40.90 ± 0.84 a	1069.22 ± 34.09 a
		0.1	381.34 ± 6.25 abc	36.97 ± 1.20 a	858.89 ± 56.78 b
		0.2	439.20 ± 30.90 a	38.62 ± 3.35 a	978.48 ± 31.64 ab

表 5 不同施肥处理对作物生物量的影响 (g/盆)

Table 5 Effects of different fertilization treatments on crop biomass

处理	N 水平 (g/kg)	玉米干重	油麦菜干重
不施肥	0	19.38 ± 0.79 d	8.70 ± 0.36 d
	0.1	20.87 ± 1.47 cd	10.10 ± 0.15 c
	0.2	23.07 ± 1.38 bc	11.24 ± 0.79 bc
	0.3	22.98 ± 0.38 bc	12.44 ± 0.66 ab
生物复混肥	0.1	23.84 ± 0.39 ab	10.94 ± 0.41 bc
	0.2	26.36 ± 0.97 a	12.55 ± 0.88 ab
	0.3	24.16 ± 0.25 ab	13.36 ± 0.47 a

2.2.2 对作物生物量的影响 从表 5 可以看出，在玉米试验中，除施 N 量为 0.3 g/kg 土外，施用生物复混肥比施用等养分含量的有机无机肥具有显著的增产效果。施 N 量为 0.2 g/kg 土和 0.1 g/kg 土的生物复混肥处理的生物量分别比施用等养分含量的有机无机肥处理的提高 14.26% 和 14.23%，以施 N 量为 0.1 g/kg 土生物复混肥处理的效果最佳。在油麦菜的试验

中，施用生物复混肥处理虽然比施用等养分含量的有机无机肥有增产的趋势，但均未达到显著差异。随着生物复混肥施用量的增加，油麦菜的生物量随之增加，而玉米生物量的增加则不显著。上述结果表明，生物复混肥的增产效果因作物而异，生物复混肥在不同作物中的增产效果不一样的原因有待于进一步研究。

### 3 结论

在试验的前中期, 施用生物复混肥处理的土壤有效 N、P、K 含量显著高于施用等养分的有机无机肥处理, 且在整个生育期内随着生物复混肥施用量的增加而显著增加。施 N 量为 0.1 g/kg 土的生物复混肥处理可以显著提高植株 N、P、K 吸收量。在玉米试验中, 除施 N 量为 0.3 g/kg 土外, 施用生物复混肥比等养分含量的有机无机肥具有显著的增加生物量的效果, 施 N 量为 0.2 g/kg 土和 0.1 g/kg 土的生物复混肥分别比施用等养分含量的有机无机肥提高 14.26% 和 14.23%, 以施 N 量为 0.1 g/kg 土生物复混肥处理的效果最佳。在油麦菜试验中, 施用生物复混肥较施用等养分含量的有机无机肥有增产的趋势, 但均未达到显著差异。生物复混肥的增产效果因作物而异。

#### 参考文献:

- [1] 张树清. 生物肥料种类、作用及其未来发展方向. 中国农业信息, 2005(3): 4-6
- [2] 邓卓相, 王为辉. 水稻施用福茂牌微生物复合肥料肥效. 华南热带农业大学学报, 2001, 7(2): 11-17
- [3] 倪治华. 有机无机生物活性肥料施用技术对蔬菜作物生长及产量的影响. 土壤通报, 2003, 34(6): 548-550
- [4] 王永龙, 叶华斌, 阚磊. 小麦施用生物有机无机复合肥的增产效果. 江苏农业科学, 1997(2): 42-43
- [5] 唐承成. 水稻专用生物复合肥效应. 贵州农业科学, 2003, 31(4): 29-31
- [6] 张辉, 李维炯, 倪永珍, 杨合法生物有机无机复合肥效应的初步研究. 农业环境保护, 2002, 21 (4): 352-356
- [7] 张辉, 李维炯, 倪永珍. 生物有机无机复合肥对土壤性质的影响. 土壤通报, 37(2): 273-277
- [8] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业出版社, 2000: 12-284, 421-429
- [9] 魏荔, 张怀文, 孙义祥, 贺建德, 陈新平. 不同施肥处理对糯玉米产量和养分吸收量的影响. 北京农业, 2008(3): 27-29

## Effects of Doses of Compound Biofertilizer on Soil Nutrients and Crop Growth

ZHAO Lan-feng, LI Hua-xing, GOU Wu-long, ZHANG Li-juan, HU Wei, LI Yong-tao

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

**Abstract:** The effects of different doses of compound biofertilizer on the content of soil available N, P, K and growth of maize and lettuce were studied by the pot experiment. The results showed that application of compound biofertilizer could obviously increase the content of soil available N, P and K. The amounts of N, P and K uptaken by maize and lettuce increased significantly by compound biofertilizer with a dose of N 0.1 g/kg soil, and the maize biomass increased significantly by compound biofertilizer with a dose of N 0.1 g/kg soil.

**Key words:** Compound biofertilizer, Organic-inorganic fertilizer, Maize, Lettuce