

汪 帆, 林德喜, 袁照年, 等. 袋控施肥对甘蔗地土壤养分含量和酶活性的影响[J]. 江苏农业学报, 2016, 32(2): 325-330.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2016.02.014

袋控施肥对甘蔗地土壤养分含量和酶活性的影响

汪 帆^{1,2}, 林德喜¹, 袁照年^{2,3}, 张 华²

(1. 福建农林大学资源与环境学院, 福建 福州 350002; 2. 福建农林大学甘蔗研究所, 福建 福州 350002; 3. 广西大学广西蔗糖产业协同创新中心, 广西 南宁 530004)

摘要: 为了提高肥料利用率和节约劳动力, 通过 2 年田间试验探讨了袋控施肥对甘蔗产量、蔗地土壤养分含量和土壤酶活性的影响。结果表明: 在总养分一致、两季甘蔗只施 1 次肥料条件下, 3 种复混肥(复混肥 A、B 分别为 60% 包膜、30% 包膜缓释肥与尿素和氯化钾的混合肥, 复混肥 F 为常规复合肥)均为袋控施用处理蔗茎产量高于常规施用处理, 其中以 CB2 处理(2 孔复混肥 B 袋控处理)蔗茎平均产量最高(114.44 t/hm²)。蔗茎产量和土壤有效磷、速效钾含量, 以及脲酶、蔗糖酶活性在宿根年均表现为复混肥 A、B 处理高于复混肥 F 处理, 且在相同的施肥量下以 2 孔袋控施肥最佳。复混肥 B 处理宿根年土壤碱解氮含量最少, 均低于 70 mg/kg。3 种复混肥处理磷酸酶活性均表现为常规施肥处理高于袋控施肥处理。可见, 袋控施肥的蔗茎产量高于常规施肥, 复混肥 A、B 的袋控施肥处理能保证养分稳定释放, 并在一定程度上提高甘蔗产量、土壤养分含量和酶活性, 其中以复混肥 B 的 2 孔袋控施肥处理效果最好。

关键词: 袋控施肥; 土壤养分; 土壤酶活性; 甘蔗

中图分类号: S566.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2016)02-0325-06

Effects of bag-controlled fertilization on contents of soil nutrients and soil enzymes activities of sugarcane land

WANG Fan^{1,2}, LIN De-xi¹, YUAN Zhao-nian^{2,3}, ZHANG Hua²

(1. College of Resources and Environment, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 2. Institute of Sugarcane, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 3. Guangxi Collaborative Innovation Center of Sugarcane Industry, Guangxi University, Nanning 530004, China)

Abstract: Field experiments were carried out for two years to investigate the effects of bag controlled fertilization on sugarcane yield, soil nutrient content and soil enzymes activities for improving fertilizer use efficiency and saving labor. Three kinds of compound fertilizers were tested. Compound fertilizer A and B were 60% and 30% of coated fertilizer mixed with urea and potassium chloride respectively, and fertilizer F was the conventional compound fertilizer. Fertilizers A, B and F were packed in bags with 2 holes or 4 holes. Treatments with bag controlled fertilizers A, B and F had higher sugar-

cane yield than the treatments with conventional fertilization (no bag). The treatment CB2 (fertilizer B packed in a 2-hole bag) showed the highest yield of 114.44 t/hm². Cane yield, soil available phosphorus, available potassium, and the activities of urease and sucrose were higher in 2-hole bag-controlled fertilizer A and B treatments in the ratoon year. Soil alkali-hydrolyzable nitrogen in fertilizer B treatment was the lowest (less than 70 mg/kg) in ratoon year. The soil phosphatase activity in conven-

收稿日期: 2015-12-15

基金项目: 现代农业产业技术体系专项资金项目(CAR S-20-3-3)

作者简介: 汪 帆(1988-), 男, 安徽歙县人, 硕士研究生, 主要从事土壤肥料和肥力研究。(E-mail) wanfanfufu@163.com

通讯作者: 林德喜, (E-mail) ldx2063@163.com。袁照年, (E-mail) yzn05@sina.com

tional fertilization treatments for all three fertilizers were higher than those in bag-controlled fertilization treatments. It is obvious that bag controlled fertilization produced higher cane yield than the conventional fertilization. Bag-controlled fertilizers A and B increased the sugarcane yield, soil nutrient contents and soil enzyme activity because of the stable fertilizer release. Compound fertilizer B packed in a 2-hole bag exhibited the best fertilization effect.

Key words: bag-controlled fertilization; soil nutrient; soil enzyme activity; sugarcane

甘蔗是生物产量较高,对肥料需求量较大的经济作物之一,生产中肥料的投入日益增多。但肥料在施入土壤后还存在养分淋失、挥发及被土壤固定等损失,加重了环境负荷^[1-2]。目前,中国化肥当季利用率普遍较低^[3],新的肥料类型和新的施肥方式成为研究提高肥料利用率的热点之一。土壤养分提供植物生长所必需的矿质元素,是评价土壤肥力的重要指标。土壤酶直接参与土壤中物质的转化、养分释放和固定过程,与土壤养分密切相关^[4-6]。土壤酶活性的变化能改变作物吸收养分的有效性^[7],因此土壤酶活性是评价各种农业措施和肥料效果的重要因素。目前,对土壤酶活性与土壤养分关系的影响因素的研究主要集中在不同土地利用方式、有机肥和化肥配施以及不同耕作处理和秸秆覆盖等上^[8-14]。袋控施肥是将肥料装在可降解材料制作的袋内,袋上打孔并埋于土壤表层以下 20 cm,养分通过小孔释放,具有延缓养分释放、减少养分淋失量等特点,可应用于多年生植物。袋控施肥近年来在多年生果树^[15-17]种植中应用较多,在甘蔗种植中的应用还鲜有报道。本研究以不同肥料袋控施肥方式进行大田试验,分析不同处理对甘蔗产量、土壤养分和土壤酶活性的影响,比较 2 孔与 4 孔袋控施肥方式及不同肥料类型的差异,为袋控施肥方式在大田生产中的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点

试验地设在福建农林大学甘蔗试验园,于 2013 年 3 月种植第一季,2015 年 2 月收获第二季。土壤类型为耕型壤质水稻土,2013 年 3 月耕层(0~20 cm)土壤基本养分状况:有机质 14.94 g/kg,全氮 0.88 g/kg,全磷 0.53 g/kg,全钾 19.89 g/kg,碱解氮 70.07 mg/kg,有效磷 24.60 mg/kg,速效钾 161.64 mg/kg,pH 值 6.56。

1.2 试验设计

采用复混肥 A、B 和 F 作为处理用肥,其中复混

肥 A 以 60%包膜的缓控释肥(N:P₂O₅:K₂O=20:8:18)为主配制,复混肥 B 以 30%包膜的缓控释肥(N:P₂O₅:K₂O=20:8:18)为主配制,复混肥 F 以总养分含量 45%(N:P₂O₅:K₂O=15:15:15)的常规复合肥为主配制。以磷肥用量控制使每个施肥处理 N、P₂O₅、K₂O 用量和比例均一致(分别为 N 450 kg/hm²、P₂O₅ 120 kg/hm²、K₂O 450 kg/hm²),氮钾不足部分均用尿素和氯化钾补足。

采用随机区组设计,共设 10 个处理,每个处理 3 次重复,每个小区面积为 15.0 m²,小区之间设 2 畦保护行。处理如下:①不施肥空白(CK)、②复混肥 A 袋控施用,袋子打 2 个孔(CA2);③复混肥 A 袋控施用,袋子打 4 个孔(CA4);④复混肥 A 常规施用(NA);⑤复混肥 B 袋控施用,袋子打 2 个孔(CB2);⑥复混肥 B 袋控施用,袋子打 4 个孔(CB4);⑦复混肥 B 常规施用(NB);⑧复混肥 F 袋控施用,袋子打 2 个孔(CF2);⑨复混肥 F 袋控施用,袋子打 4 个孔(CF4);⑩复混肥 F 常规施用(NF),也是蔗农常规施肥方式。处理②、③、⑤、⑥、⑧和⑨每个小区施 30 袋。

各处理用肥均在 2013 年 3 月播种时一次性施入,两季甘蔗生产过程只施这一次肥料。袋控处理中用的袋子为可降解材料制作,按各处理要求分别在袋底打 2 个孔和 4 个孔,孔直径 2 mm。各处理 30 个小袋均匀分布于小区内深 20 cm 左右的土层中,袋孔朝上。常规施肥方式是指挖浅沟均匀撒施肥并覆土。甘蔗品种为福农 41,新植、宿根两季甘蔗均在 2 月收获,生长周期 11 个月。试验所用两种缓控释肥的主要成分为尿素、磷酸氢二铵和硫酸钾,尿素含 N 46%,氯化钾含 K₂O 60%。

1.3 测定项目和方法

土壤养分和酶活性测定分别于 2013 年 3 月、2014 年 2 月(下文用新植年表示)和 2015 年 2 月(下文用宿根年表示)进行,各小区按 S 型 5 点取样法采集 0~20 cm 土层土样,将土样混合均匀后去除枯枝落叶、石块等杂质,取部分新鲜土样保存在 4 ℃

冰箱中,剩余土样风干后保存。采用碱解-扩散法测定土壤速效氮含量,0.5 mol/L 碳酸氢钠浸提-钼蓝比色法测定土壤速效磷含量,乙酸铵浸提-火焰光度法测定土壤速效钾含量。脲酶活性测定:采用苯酚-次氯酸钠比色法,其活性以 24 h 后 1 g 土壤中 NH_4^+ -N 质量(mg)表示。蔗糖酶活性测定:采用3,5-二硝基水杨酸比色法,其活性以 24 h 后 1 g 土壤中葡萄糖质量(mg)表示。酸性磷酸酶活性测定:采用磷酸苯二钠比色法,其活性以 24 h 后 1 g 土壤中酚质量(mg)表示^[18]。

1.4 数据分析

采用 Microsoft Excel 2010 和 SPSS 18.0 对试验数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同施肥方式对甘蔗产量的影响

由表 1 可知,新植年各施肥处理蔗茎产量比对照(CK)显著增加 15.25%~41.94% ($P<0.05$),宿根年各施肥处理蔗茎产量比 CK 处理显著增加 7.78%~52.95% ($P<0.05$)。2 季平均产量各施肥处理比 CK 显著增加 15.54%~43.32% ($P<0.05$),其中以 CB2 处理最高,CA2 处理次之。从施肥方式分析,3 种复混肥处理均以袋控施用处理蔗茎平均产量高于常规施用处理;从肥料类型分析,复混肥 A、B 处理的蔗茎产量较高;从打孔数量上分析,在相同肥料类型中,2 孔处理的蔗茎产量较高 ($P<0.05$)。表明在本试验条件下,以复混肥 B、2 孔袋控施用方式产量最高(114.44 t/hm²) ($P<0.05$)。

表 2 新植年和宿根年不同施肥处理土壤速效氮、磷、钾含量

Table 2 Soil available N,P and K contents in different fertilization treatments in the new plant year and ratoon root year

处理	碱解氮含量 (mg/kg)		有效磷含量 (mg/kg)		速效钾含量 (mg/kg)	
	新植年	宿根年	新植年	宿根年	新植年	宿根年
CK	73.55d	75.45de	20.41b	16.57e	151.17g	130.45f
CA2	85.35c	79.18cd	25.58a	24.21ab	178.76ab	157.44a
CA4	85.90c	84.72bc	26.12a	23.72abc	180.41ab	151.40bc
NA	93.80bc	73.05def	25.75a	22.36cd	168.29de	143.62de
CB2	93.76bc	67.99fg	25.34a	24.93a	177.55b	155.53ab
CB4	94.80bc	69.85efg	25.94a	24.69a	181.51a	150.54bc
NB	99.20ab	66.09g	25.54a	23.71abc	165.34ef	141.61e
CF2	98.48ab	89.36b	25.65a	22.68bcd	169.38d	150.58bc
CF4	103.96ab	99.62a	26.43a	22.21cd	172.51c	147.43cd
NF	106.67a	78.63cd	25.82a	21.53d	164.22f	138.58e

新植年、宿根年分别表示 2014 年 2 月和 2015 年 2 月测定。各处理见表 1 注。同列不同字母表示差异达到 0.05 显著水平。

表 1 不同施肥方式对蔗茎产量的影响

Table 1 Effects of different fertilization manners on cane yields

处理	新植年蔗茎产量 (t/hm ²)	宿根年蔗茎产量 (t/hm ²)	2 年平均蔗茎产量 (t/hm ²)
CK	75.10d	84.53f	79.85f
CA2	94.69b	129.29a	111.99ab
CA4	99.57b	119.29bc	109.43bc
NA	91.85bc	111.21c	101.53d
CB2	106.60a	122.27b	114.44a
CB4	100.18b	118.31bc	109.25bc
NB	95.08b	120.43b	107.76bc
CF2	97.21b	113.46c	105.34cd
CF4	96.05b	91.11e	93.58e
NF	86.55c	97.96d	92.26e

CK:不施肥空白对照;CA2:复混肥 A 袋控施用,袋子打 2 个孔;CA4:复混肥 A 袋控施用,袋子打 4 个孔;NA:复混肥 A 常规施用;CB2:复混肥 B 袋控施用,袋子打 2 个孔;CB4:复混肥 B 袋控施用,袋子打 4 个孔;NB:复混肥 B 常规施用;CF2:复混肥 F 袋控施用,袋子打 2 个孔;CF4:复混肥 F 袋控施用,袋子打 4 个孔;NF:复混肥 F 常规施用。同列不同字母表示差异达到 0.05 显著水平。

2.2 不同施肥方式对土壤速效养分的影响

新植年各施肥处理土壤碱解氮含量比 CK 显著提高 16.04%~45.03% ($P<0.05$),宿根年各施肥处理土壤碱解氮含量均较新植年降低(表 2)。从施肥方式分析,宿根年 3 种复混肥处理均以袋控施用处理土壤碱解氮含量高于常规施用处理;从肥料类型分析,复混肥 F 处理的宿根年土壤碱解氮含量较高;从打孔数量上分析,在相同的肥料类型中,4 孔处理的宿根年土壤碱解氮含量较高 ($P<0.05$)。表明在本试验条件下,以复混肥 F、4 孔袋控施用方式土壤碱解氮含量(99.62 mg/kg)最高 ($P<0.05$)。

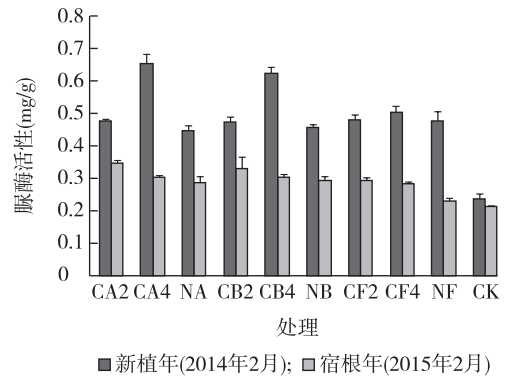
新植年土壤有效磷含量各施肥处理比 CK 显著提高 24.15%~29.50% ($P<0.05$); 宿根年各施肥处理土壤有效磷含量均较新植年降低,但仍比比 CK 提高 29.93%~50.45% ($P<0.05$)。从施肥方式分析,3 种复混肥均以袋控施用处理宿根年土壤有效磷含量高于常规施用处理;从肥料类型分析,复混肥 B 处理的宿根年土壤有效磷含量较高;从打孔数量上分析,在相同的肥料类型中,2 孔处理的宿根年土壤有效磷含量较高。表明在本试验条件下,以复混肥 B、2 孔袋控施用方式土壤有效磷含量最高 (24.93 mg/kg) ($P<0.05$)。

新植年各施肥处理土壤速效钾含量比 CK 显著提高 8.63%~20.07% ($P<0.05$); 宿根年各施肥处理土壤速效钾含量较新植年降低,但比 CK 显著提高 6.23%~20.69% ($P<0.05$)。从施肥方式分析,3 种复混肥均以袋控施用处理宿根年土壤速效钾含量高于常规施用处理;从肥料类型分析,复混肥 A、B 处理的宿根年土壤有效磷含量较高;从打孔数量上分析,2 孔处理的宿根年土壤速效钾含量较高。表明在本试验条件下,以复混肥 A 和 B、2 孔袋控施用方式土壤速效钾含量最高 (分别为 157.44 mg/g、155.53 mg/g) ($P<0.05$)。

2.3 不同施肥方式对土壤酶活性的影响

由图 1 可知,新植年各施肥处理土壤脲酶活性比 CK 提高 89.03%~176.37%; 宿根年各施肥处理土壤脲酶活性明显低于新植年,但比 CK 提高 7.51%~62.91%。从施肥方式上分析,宿根年 3 种复混肥处理的土壤脲酶活性均以袋控施用处理高于常规施用处理;从肥料类型分析,宿根年复混肥 A、B 处理的土壤脲酶活性较高;从打孔数量上分析,宿根年 2 孔处理的土壤脲酶活性较高。表明在本试验条件下,以复混肥 A 和 B、2 孔袋控施用方式宿根年土壤脲酶活性最高 (分别为 0.347 mg/g、0.329 mg/g) ($P<0.05$)。

新植年各处理蔗糖酶活性在 7.08 mg/g 至 10.94 mg/g 之间,NF 处理最高,NA 处理最低 (图 2)。除 CB2 处理外,各处理宿根年土壤蔗糖酶活性均较新植年降低,3 个常规施用方式处理和 CK 降幅在 52.62%~71.51%,其他 5 个袋控处理较新植年下降 8.13%~38.30%。而 CB2 处理较新植年增加了 5.33%,达到 8.15 mg/g。从施肥方式上分析,3 种复混肥处理的宿根年土壤蔗糖酶活性均以袋控施用处

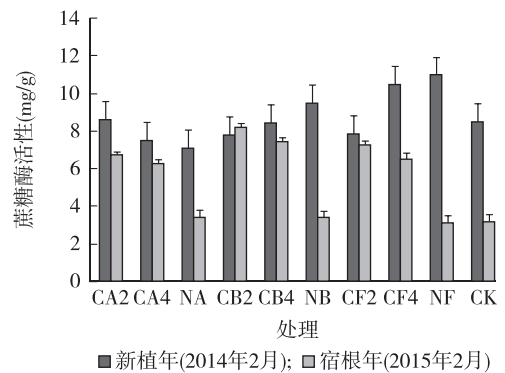


各处理见表 1 注。

图 1 不同施肥处理对土壤脲酶活性的影响

Fig.1 Effects of different fertilization treatments on the activity of soil urease

理高于常规施用处理;从肥料类型分析,复混肥 B 处理的宿根年土壤蔗糖酶活性较高;从打孔数量上分析,2 孔处理的宿根年土壤蔗糖酶活性较高。表明在本试验条件下,以复混肥 B、2 孔袋控施用方式宿根年土壤蔗糖酶活性最高 (8.15 mg/g) ($P<0.05$)。



各处理见表 1 注。

图 2 不同施肥处理对土壤蔗糖酶活性的影响

Fig.2 Effects of different fertilization treatments on the activity of soil sucrose

酸性磷酸酶是一种水解性酶,能够加速有机磷的脱磷速度,提高土壤磷的有效性。由图 3 可知,新植年各施肥处理的土壤酸性磷酸酶活性均比 CK 提高 76.65%~228.19%。除了 NF 处理外,各施肥处理间的酸性磷酸酶活性相差不大。宿根年各施肥处理酸性磷酸酶活性均比 CK 提高 49.32%~196.38%。从施肥方式上分析,3 种复混肥处理的宿根年土壤酸性磷酸酶活性均以常规施用处理高于袋控施用处理;从肥料类型分析,复混肥 B 处理的宿根年土壤酸性磷酸

酶活性较高;从打孔数量上分析,复混肥 A、B 常规施用方式处理的宿根年土壤酸性磷酸酶活性较高,复混肥 F 以 4 孔处理较高。表明在本试验条件下,以复混肥 B、常规施用方式宿根年土壤酸性磷酸酶活性最高 (0.655 mg/g) ($P<0.05$)。

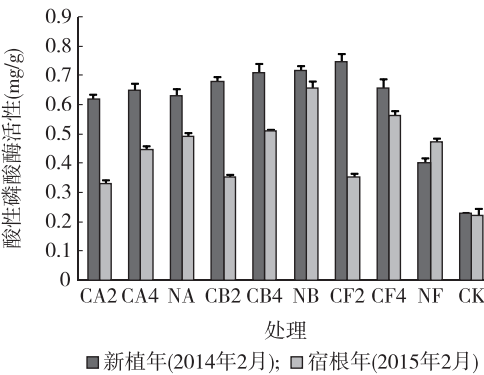


图3 不同施肥处理对土壤酸性磷酸酶活性的影响
Fig.3 Effects of different fertilization treatments on the activity of soil acid phosphatase

2.4 土壤养分含量和土壤酶活性以及蔗茎产量的相关性分析

相关分析结果(表3)表明,土壤脲酶活性、蔗糖酶活性和酸性磷酸酶活性与土壤碱解氮含量、土壤有效磷含量和土壤速效钾含量均为极显著正相关 ($P<0.01$),且脲酶、蔗糖酶和酸性磷酸酶活性之间也均存在极显著相关 ($P<0.01$)。

甘蔗产量与土壤碱解氮含量为极显著负相关,与土壤速效钾含量、脲酶和蔗糖酶活性也存在负相关,表明蔗茎产量的增长与甘蔗植株对氮素和钾素的吸收密切相关,蔗茎产量越高,氮素和钾素的消耗越大。蔗茎产量与土壤有效磷和土壤酸性磷酸酶活

性呈正相关,这可能是由于试验前土壤磷素含量过高,磷素对甘蔗生长的影响不明显。

3 讨论

3 种复混肥处理的蔗茎产量均以袋控施用处理高于常规施用处理,其中以 CB2 处理(2 孔复混肥 B 袋控处理)蔗茎平均产量最高 (114.44 t/hm²)。彭福田等^[16]和丁霄等^[17]的研究结果表明,袋控施肥对土壤养分的补充能使土壤养分更接近稳态营养理论,因而能克服常规施肥短期内土壤有效氮水平过高和“后劲”不足的问题,有效提高了作物产量,本研究结果与其相似。

蔗茎产量、土壤有效磷和速效钾含量,以及脲酶、蔗糖酶活性在宿根年均表现为复混肥 A、B 处理高于复混肥 F 处理,且在相同施肥量下以 2 孔袋控施肥最佳。张俊丽等^[19]研究结果表明,施肥能有效提高土壤酶活性。刘飞等^[20]研究发现,与普通氮、磷、钾肥相比,控释肥能明显提高土壤中脲酶、蔗糖酶的活性,从而改善土壤养分供应状况,提高肥料利用率,增加马铃薯产量。张自坤等^[21]试验结果表明,控释掺混肥对大蒜产量和土壤脲酶、蔗糖酶活性的影响均优于普通复合肥。袋控施肥处理的土壤有效养分浓度比较稳定,与缓控释肥对土壤有效养分浓度的影响相似^[22]。本试验中复混肥 A、B 含不同比例的缓释肥,其袋控施肥处理养分释放缓慢,能满足甘蔗各个时期的需肥,到甘蔗生长后期,即宿根年,仍能够保证较高的磷、钾含量和土壤酶催化反应的底物浓度,而复混肥 F 全部由常规化肥组成,养分释放快,降低了肥料的利用率,使后期养分供应不足,不利于酶促反应的进行,最终复混肥 F 处理的甘蔗产量低于复混肥 A、B 袋控施肥处理。

表3 土壤养分含量和土壤酶活性以及蔗茎产量的相关性

Table 3 Correlation between soil nutrient contents and soil enzyme activities and cane yields

分析项目	碱解氮	有效磷	速效钾	脲酶	蔗糖酶	酸性磷酸酶	蔗茎产量
碱解氮	1.000	—	—	—	—	—	
有效磷	0.424**	1.000	—	—	—	—	
速效钾	0.550**	0.759**	1.000	—	—	—	
脲酶	0.576**	0.725**	0.916**	1.000	—	—	
蔗糖酶	0.592**	0.601**	0.714**	0.603**	1.000		
酸性磷酸酶	0.472**	0.651**	0.622**	0.671**	0.220	1.000	
甘蔗蔗茎产量	-0.421**	0.229	-0.122	-0.135	-0.242	0.003	1.000

n=60; **表示在0.01水平上显著相关。

3种复混肥中,复混肥B处理的宿根年土壤碱解氮含量最少,且3种复混肥有袋控施肥处理宿根年磷酸酶活性都低于常规施肥。谢如林等^[23]研究结果表明作物产量越高,根系代谢越强烈,作物从土壤中吸收的氮素以及带走的氮素越多,与本研究的结果基本一致。本试验中,复混肥B处理的土壤脲酶活性达到0.295~0.329 mg/g,在各施肥处理中处于较高水平,且甘蔗植株生长旺盛,产量最高,从土壤中吸收了较多氮素,导致土壤中碱解氮含量最少(低于70 mg/kg)。土壤有机磷在土壤酸性磷酸酶的作用下能转化成可供植物吸收的无机磷,因此该酶活性高低可用于表征土壤磷素营养状况^[24]。王俊华等^[25]研究结果表明较高的有效磷含量可抑制磷酸酶活性。本试验中,3种复混肥处理的磷酸酶活性均表现为常规施肥处理高于袋控施肥处理,因为袋控施肥处理宿根年较高的有效磷含量抑制了磷酸酶活性,这与蒋晓梅等^[26]在桃树上的研究结果不一致,可能与作物种类不同有关,需要进一步研究。

综上所述,复混肥A、B的袋控施肥处理能保证养分稳定释放,并在一定程度上提高了甘蔗产量、土壤养分含量和酶活性,其中以复混肥B的2孔袋控施肥处理效果最好。各施肥处理的土壤脲酶活性、蔗糖酶活性和酸性磷酸酶活性均比不施肥处理有显著提高,这表明施肥能有效提高土壤酶活性水平。对于土壤酶活性和土壤养分之间的相互关系是否受缓释肥配比以及试验年限的影响,还需要进一步深入研究。此外,施肥与土壤微生物群落结构及酶活性变化的关系也值得进一步探讨。

参考文献:

- [1] 张夫道.长期施肥条件下土壤养分的动态和平衡Ⅱ.对土壤氮的有效性和腐殖质氮组成的影响[J].植物营养与肥料学报,1996,2(1):39-47.
- [2] 胡泽友,郭朝晖,周作明,等.湖南省稻田化肥施用与氮磷流失状况的研究[J].湖南农业大学学报:自然科学版,2000,26(4):264-266.
- [3] 刘守龙,黄道友,吴金水,等.典型红壤丘陵区土壤氮素含量及其分布的演变规律[J].植物营养与肥料学报,2006,12(1):12-17.
- [4] 张宪武.土壤微生物研究:理论,应用,新方法[M].沈阳:辽宁科学技术出版社,1993:13-24.
- [5] MONREAL C M, BERGSTROM D W. Soil enzymatic factors expressing the influence of land use, tillage system and texture on soil biochemical quality[J]. Soil Sci Can J, 2000, 80: 419-428.
- [6] BÖHME L, LANGER U, BÖHME F. Microbial biomass, enzyme activities and microbial community structure in two European long-term field experiments[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2005, 109(1/2):141-152.
- [7] AJWA H A, DELL C J, RICE C W. Changes in enzyme activities and microbial biomass of tallgrass prairie soil as related to burning and nitrogen fertilization[J]. Soil Biol Biochem, 1999, 31: 769-777.
- [8] 万超,徐福利,邹诚,等.黄土丘陵沟壑区不同土地利用模式对土壤酶活性和土壤微生物影响研究[J].西北农业学报,2009,18(2):158-162.
- [9] 刘恩科,赵秉强,李秀英,等.长期施肥对土壤微生物量及土壤酶活性的影响[J].植物生态学报,2008,32(1):176-182.
- [10] 张志栋,刘景辉,王永强,等.施肥对旱作免耕土壤酶活性与CO₂排放量的影响[J].干旱地区农业研究,2010,28(5):85-91.
- [11] 邱现奎,董元杰,万勇善,等.不同施肥处理对土壤养分含量及土壤酶活性的影响[J].土壤,2010,42(2):249-255.
- [12] 吴凤芝,孟立君,王学征.设施蔬菜轮作和连作土壤酶活性的研究[J].植物营养与肥料学报,2006,12(4):554-558.
- [13] 杨招弟,蔡立群,张仁陟,等.不同耕作方式对旱地土壤酶活性的影响[J].土壤通报,2008,39(3):514-517.
- [14] 林诚,王飞,李清华,等.不同施肥制度对黄泥田土壤酶活性及养分的影响[J].中国土壤与肥料,2009(6):24-27.
- [15] 张守仕,彭福田,姜远茂,等.肥料袋控缓释对桃氮素利用率及生长和结果的影响[J].植物营养与肥料学报,2008,14(2):379-386.
- [16] 彭福田,彭勇,周鹏,等.肥料袋控缓释对沾化冬枣氮素利用率与生长结果的影响[J].园艺学报,2006,33(2):223-228.
- [17] 丁霄,孙占育,孙锋,等.袋控肥对吐鲁番无核白葡萄产量品质的影响[J].西北农业学报,2009,18(6):249-252.
- [18] 关松荫.土壤酶及其研究法[M].北京:农业出版社,1986.
- [19] 张俊丽,高明博,温晓霞,等.不同施氮措施对旱作玉米地土壤酶活性及CO₂排放量的影响[J].生态学报,2012,32(19):6247-6254.
- [20] 刘飞,诸葛玉平,王会,等.控释肥对马铃薯生长及土壤酶活性的影响[J].水土保持学报,2011,25(2):185-188.
- [21] 张自坤,刘世琦,齐建建,等.控释掺混肥对大蒜根际土壤酶活性的影响[J].山东农业科学,2010(3):56-58.
- [22] 边秀举,李会彬,赵炳祥,等.两种缓效肥对黑麦草草坪应用效果初探[J].园艺学报,2005,32(5):930-932.
- [23] 谢如林,谭宏伟,周柳强,等.不同氮磷施用量对甘蔗产量及氮肥、磷肥利用率的影响[J].西南农业学报,2012,25(1):198-202.
- [24] 张华勇,尹睿,黄锦法,等.稻麦轮作田改为菜地后生化指标的变化[J].土壤,2005,37(2):182-186.
- [25] 王俊华,尹睿,张华勇,等.长期定位施肥对农田土壤酶活性及其相关因素的影响[J].生态环境,2007,16(1):191-196.
- [26] 蒋晓梅,彭福田,张江红,等.肥料袋控缓释对桃树土壤酶活性及植株生长的影响[J].水土保持学报,2015,29(1):279-284.

(责任编辑:张震林)