

朱寒阳,傅海平,张国林,等. 不同施肥措施对茶园土壤酶活性及土壤肥力的影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(23):371-374.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.23.091

不同施肥措施对茶园土壤酶活性及土壤肥力的影响

朱寒阳¹, 傅海平², 张国林¹, 周品谦², 邹冬生¹

(1. 湖南农业大学, 湖南长沙 410128; 2. 湖南省农业科学院茶叶研究所, 湖南长沙 410125)

摘要:于 2015 年在湖南省长沙县高桥镇茶园进行试验,以福鼎大白为供试材料,采用裂区设计,设置 5 种施肥模式(CK,不施肥;CF,单施化肥;RSC,单施菜籽饼;RSC. CF,化肥+菜籽饼;RSC. M,菜籽饼+绿肥)。收获后于耕层 0~20、20~40 cm 取样,研究该地区不同施肥模式对土壤酶活性以及土壤肥力的影响。对 0~20 cm 土样进行分析可知,在相同试验环境中,化肥+菜籽饼(RSC. CF)、菜籽饼+绿肥(RSC. M)的土壤酶活性高于其他 3 个处理,其土壤酶活性比 CK 处理高 2.15%~56.03%,比 CF 处理高 4.34%~20.85%,且 RSC. CF 的酸性磷酸酶、蔗糖酶、脲酶活性显著高于单施化肥(CF),RSC. M 的蔗糖酶活性显著高于单施化肥(CF)处理。在土壤肥力上,RSC. M 的有效磷、全磷、全钾、有机质含量比 CK 高 0.22%~294.89%,其中有效磷含量显著高于 CK;RSC. CF 的碱解氮、有效磷、速效钾、全氮、全磷、全钾、有机质含量比 CK 高 0.44%~218.66%,其中全磷含量显著高于 CK。综合分析表明,化肥+菜籽饼(RSC. CF)与菜籽饼+绿肥(RSC. M)这 2 种混合配施模式较优,加入菜籽饼能显著提高土壤酶活性和土壤肥力水平。

关键词:绿肥;菜籽饼;茶园;土壤肥力;土壤酶活性

中图分类号: S571.106 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)23-0371-04

湖南是我国重要的茶叶生产基地之一,但因湖南是多丘陵地区,土地贫瘠,且茶农对施肥处理不当,使得湖南茶叶的产量与质量较低,同时土壤质量也因此降低;土壤肥力水平在很大程度上受限于土壤酶活性,是因为土壤酶在土壤肥力的演化里起着重要的作用^[1],因此土壤酶活性常被作为反映土壤肥力变化与评价土壤营养物质的循环转化情况的重要指标之一^[2-3]。有研究表明,施有机物料或有机无机配施可以提高土壤多种酶的活性^[4-6],起到提升土壤肥力的作用,但当前对于有机肥应如何配施以及选用何种有机肥效果最佳仍存在争议。菜籽饼与绿肥作为一种重要的有机肥料,其在减少化肥用量、提高作物产量、培肥土壤地力等方面起着重要作用。本试验对采用不同施肥措施后土壤酶活性与土壤肥力关系进行研究,通过相关分析,减少化肥施用并为茶园土壤施肥提供更合理的方法,改善生态环境并为湖南茶园土壤减少化肥使用、改善生态环境、发展低碳农业提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地基本情况

试验地点位于湖南省长沙县高桥镇,地处 113°19'E、28°29'N,海拔 68 m,属亚热带季风气候。供试土壤为红壤,pH 值为 3.8;有机质含量 13.17 g/kg,碱解氮含量

95.2 mg/kg,速效磷含量 11.77 mg/kg,速效钾含量 67.03 mg/kg。供试茶树品种为福鼎大白。

1.2 试验材料

供试有机肥为菜籽饼,其养分含量分别为:全氮(N)6.25%,全磷(P₂O₅)2.65%,全钾(K₂O)1.71%,全碳(C)59.2%;化肥为尿素。供试绿肥为湖南省茶叶研究所选育绿肥新品种茶肥 1 号。

1.3 试验方法

该试验于 2015 年开始,共设 5 个处理,每个处理 3 次重复,随机区组排列,小区面积 30.0 m²,具体情况如表 1 所示。

表 1 不同施肥处理的试验设计

施肥处理	施肥量(kg/hm ²)		
	菜籽饼	尿素	绿肥
不施肥(CK)	0	0	0
尿素(CF)	0	825	0
菜籽饼(RSC)	6 750	0	0
菜籽饼+化肥(RSC. CF)	6 750	180	0
菜籽饼+绿肥(RSC. M)	6 750	0	36 000

土壤采集时间为 2017 年 4 月,各试验小区内按 5 点取样法取样,采集茶园 0~20、20~40 cm 土层样品,混匀。带回实验室,去除石砾、植物残根等杂物,湿土风干后过 2 mm 筛。

1.4 测定项目与方法

土壤酶活性通过试剂盒方法测量,土壤 pH 值采用电位法,土壤有机质含量测定采用重铬酸钾容量法,土壤全氮含量采用半微量凯氏定氮法,土壤碱解氮含量采用碱解扩散法,土壤有效磷含量采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗显色分光光度法,土壤速效钾含量采用醋酸铵提取火焰光度法测定^[7]。

1.5 数据分析

数据分析由 SPSS 22.0 和 Excel 2010 进行统计分析,

收稿日期:2018-03-22

基金项目:国家科技支撑计划(编号:2012BAD14B17);国家重点研发计划(编号:2016YFD0200900);湖南省教育厅研究生科创项目(编号:CX2016B274)。

作者简介:朱寒阳(1994—),男,湖南邵阳人,硕士研究生,主要从事农业生态研究。E-mail:565008638@qq.com。

通信作者:傅海平,副研究员,主要从事茶树生态栽培与绿肥研究,E-mail:fuhai ping2010@126.com;邹冬生,博士,教授,主要从事农业环境修复研究,E-mail:zoudongsheng2@sina.com。

Origin 8.0 软件作图。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对土壤酶活性的影响

脲酶是尿素胺基水解酶的通称,能将酰胺态有机氮化物水解为植物可直接吸收利用的无机氮化物。由图 1 可知,RSC. M 脲酶活性与 RSC. CF 无显著差异,且 RSC. CF 的脲酶活性显著大于 RSC、CF、CK ($P < 0.05$)。RSC. M 脲酶活性显著高于 CK,且高于 RSC、CF 处理,但不显著 ($P > 0.05$)。CK 处理中脲酶活性低于其他施肥处理,与 RSC. M、RSC. CF 处理差异显著。与 CK 相比,配施菜籽饼的处理中土壤脲酶活性皆有所提高,幅度为 3.07% ~ 7.70%。

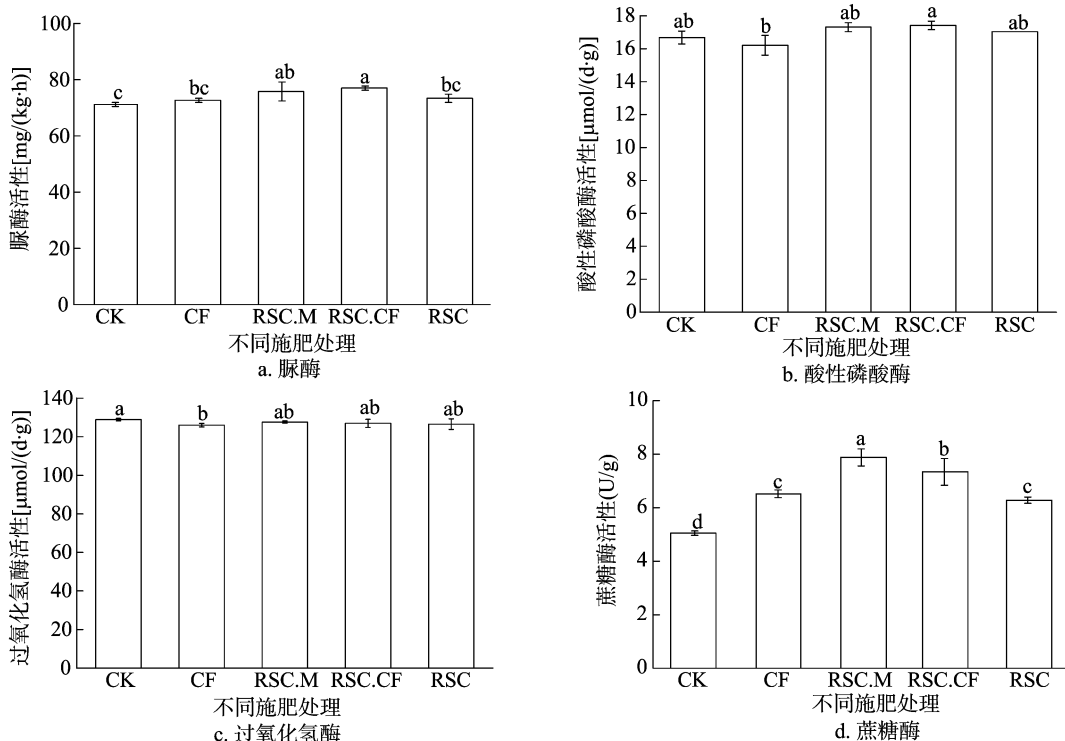
土壤酸性磷酸酶是土壤供磷能力的重要指标之一,它能促进土壤有机磷的矿化与分解,有助于植物对磷的吸收。CF 处理中酸性磷酸酶活性低于其他模式,但仅与 RSC. CF 差异显著 ($P < 0.05$),RSC. M、RSC. CF、RSC、CK 之间差异不显著。配施菜籽饼处理的酸性磷酸酶活性比 CK 高 2.15% ~ 4.43%。

蔗糖酶为将土壤中蔗糖分子分解成能够被植物和土壤微

生物吸收利用的葡萄糖和果糖的水解酶,为土壤生物体提供充足的能源,其活性反映了土壤有机碳累积与分解转化的规律。由图 1 可知,0 ~ 20 cm 中不同处理中的蔗糖酶活性依次为 RSC. M > RSC. CF > CF > RSC > CK,且 RSC. M、RSC. CF 的蔗糖酶活性与 CF 处理间皆差异显著;其中,配施了菜籽饼的处理蔗糖酶活性比 CK 高 24.35% ~ 56.03%。

过氧化氢酶是一种能酶促过氧化氢分解为水和氧,从而解除过氧化氢毒害作用的重要氧化还原酶,在一定程度上表征土壤生物氧化过程的强度。由图 1 可知,CK 与其他 3 种配施菜籽饼的处理间差异不显著,但与 CF 差异显著。与 CK 相比,CF 处理的过氧化氢酶活性降低了 2.2%;而配施了菜籽饼的处理过氧化氢酶活性降低了 1.0 ~ 1.8%。

综合分析来看,配施菜籽饼对土壤酶活性的提高是有效的,将化肥与菜籽饼配施后,土壤酶活性明显提高。在配施菜籽饼的处理中,RSC. M 与 RSC. CF 对酶活性的提高效果最佳。与 CK 相比,RSC. M 处理的土壤脲酶、酸性磷酸酶、蔗糖酶活性分别提高 6.47%、3.77%、56.03%;RSC. CF 处理的土壤脲酶、酸性磷酸酶、蔗糖酶活性分别提高 7.70%、4.43%、45.34%。



不同字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$), 下同

图1 不同有机培肥措施的土壤酶活性

2.2 不同施肥处理对土壤肥力的影响

由表 2 可知,不同施肥处理下的土壤养分状况明显存在差异。与对照 (CK) 相比,单施化肥 (CF) pH 值降低 3.87%,碱解氮、有效磷、速效钾这 3 种土壤速效养分含量变化幅度分别为 -27.69%、-55.46%、2.30%,全氮、全磷、全钾、有机质含量变化幅度则为 -12.43%、-2.08%、3.16%、-20.17%;RSC 处理的 pH 值降低 4.84%,碱解氮、有效磷、速效钾含量幅度变化分别为 -12.78%、96.12%、-26.66%,全氮、全磷、全钾、有机质含量的变化幅度则为 5.92%、

22.92%、2.21%、6.01%;RSC. M 的 pH 值降低 4.60%,碱解氮、速效钾、全氮含量也分别降低 11.16%、9.39%、-3.55%,有效磷、全磷、全钾、有机质含量则分别提高 294.89%、25.63%、0.22%、4.51%;RSC. CF 仅 pH 值这个指标降低 7.26%,碱解氮、有效磷、速效钾这 3 个土壤速效养分含量分别提高 9.52%、218.66%、1.30%,全氮、全磷、全钾、有机质含量则分别提高 25.44%、42.29%、0.44%、28.65%。

从显著性分析的结果来看,不施肥 (CK) 处理的 pH 值最高,且与其他处理差异显著 ($P < 0.05$);有效磷含量显著性低

表 2 不同施肥措施对土壤养分含量的影响

处理	pH 值	碱解氮含量 (mg/kg)	有效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)
CK	4.13 ± 0.041a	120.43 ± 15.02ab	5.68 ± 3.60b	125.800 ± 33.52a
CF	3.97 ± 0.011b	87.08 ± 15.72b	2.53 ± 1.09b	128.700 ± 13.64a
RSC. M	3.94 ± 0.075b	106.99 ± 19.67ab	22.43 ± 5.65a	113.990 ± 21.22a
RSC. CF	3.83 ± 0.062c	131.89 ± 23.06a	18.10 ± 8.72ab	127.430 ± 29.36a
RSC	3.93 ± 0.069bc	105.04 ± 16.54ab	11.14 ± 6.19bc	92.266 ± 7.39a

处理	全氮含量 (g/kg)	全磷含量 (g/kg)	全钾含量 (g/kg)	有机质含量 (g/kg)
CK	1.69 ± 0.22ab	0.480 ± 0.05b	13.60 ± 0.26a	26.63 ± 5.12ab
CF	1.48 ± 0.34b	0.470 ± 0.03b	14.03 ± 0.15a	21.26 ± 3.80b
RSC. M	1.63 ± 0.49ab	0.603 ± 0.09ab	13.63 ± 0.60a	27.83 ± 7.94ab
RSC. CF	2.12 ± 0.10a	0.683 ± 0.11a	13.66 ± 0.25a	34.26 ± 5.43a
RSC	1.79 ± 0.11ab	0.590 ± 0.05ab	13.90 ± 0.26a	28.23 ± 2.73ab

于 RSC. M,全磷含量则显著低于 RSC. CF,其他土壤肥力指标虽与 RSC. M、RSC. CF 处理不同,但差异不显著。单施化肥 (CF)处理的有效磷含量亦显著低于 RSC. M,其碱解氮、全氮、全磷、有机质含量则显著低于 RSC. CF。RSC. M 与 RSC. CF 相比则可以发现,RSC. M 的 pH 值显著高于 RSC. CF,其他指标差异不显著。

2.3 土壤酶活性和土壤肥力因子的相关性分析

由表 3 可知,过氧化氢酶活性与 pH 值呈显著正相关,与其他土壤养分因子皆呈正相关关系但不显著。脲酶活性与 pH 值相关系数为 -0.778,呈极显著负相关,与有效磷含量呈

极显著正相关,与全氮、全磷、有机质含量呈显著正相关。蔗糖酶活性与 pH 值的相关系数为 -0.747,呈极显著负相关,与过氧化氢酶活性呈负相关,与其他因子呈正相关,与全磷、有效磷含量相关系数为 0.610、0.727,呈显著正相关。酸性磷酸酶活性与 pH 值的相关性系数为 -0.436,与碱解氮、有效磷、全氮、全磷、有机质含量相关性系数分别为 0.648、0.795、0.691、0.818、0.778 并呈极显著相关,与全钾含量、pH 值外其他因子呈正相关。脲酶、蔗糖酶、酸性磷酸酶活性间亦均呈显著性正相关,这表明 3 种酶在提升土壤肥力、促进土壤养分转化上起到了重要作用。

表 3 土壤酶活性与主要养分含量的相关系数

指标	相关系数											
	过氧化氢酶活性	脲酶活性	蔗糖酶活性	酸性磷酸酶活性	pH 值 (水)	碱解氮含量	有效磷含量	速效钾含量	全氮含量	全磷含量	全钾含量	有机质含量
过氧化氢酶活性	1.000	-0.066	-0.268	0.250	0.550 *	0.427	0.224	0.302	0.076	0.073	0.055	0.043
脲酶活性	-0.066	1.000	0.796 **	0.685 **	-0.778 **	0.384	0.653 **	0.245	0.535 *	0.653 **	0.246	0.654 **
蔗糖酶活性	-0.268	0.796 **	1.000	0.548 *	-0.747 **	0.125	0.727 **	0.093	0.260	0.610 *	0.026	0.372
酸性磷酸酶活性	0.25	0.685 **	0.548 *	1.000	-0.436	0.648 **	0.795 **	0.183	0.691 **	0.818 **	-0.049	0.778 **

注: *、** 分别代表与对照组相比差异显著、极显著。

2.4 茶园土壤肥力的主成分分析

为筛选出影响土壤肥力的主要因子群,将土壤酶活性与土壤肥力因子汇总后进行主成分分析(表 4),前 3 个主成分的累积方差贡献率为 80.732% (大于 80%),第一主成分方差贡献率达到 50.026%,在 3 个主成分中为主要影响因子,且第一主成分可作为影响土壤肥力水平的综合指标来表示土壤的综合肥力构成(表 5)。用线性函数指代土壤综合肥力 (y) 与土壤各因子之间的关系可得:

$$y_1 = 0.084x_1 + 0.836x_2 + 0.685x_3 + 0.887x_4 - 0.629x_5 + 0.737x_6 + 0.826x_7 + 0.375x_8 + 0.793x_9 + 0.922x_{10} + 0.922x_{11} + 0.891x_{12}$$

式中: $x_1 \sim x_4$ 代表过氧化氢酶、脲酶、蔗糖酶、酸性磷酸酶这 4 种酶的活性, x_5 则代表 pH 值, $x_6 \sim x_8$ 则代表土壤速效养分——水解性氮、有效磷、速效钾含量, $x_9 \sim x_{12}$ 则分别表示全氮、全磷、全钾、有机质含量。根据特征向量,第一主成分中以脲酶与酸性磷酸酶活性,碱解氮、有效磷、全氮、全磷、有机质含量为主导因子,pH 值则为限制因子。第二主成分中则以过氧化氢酶、蔗糖酶活性和 pH 值为主导因子。

表 4 供试土壤主成分特征值

项目	特征值	方差贡献率 (%)	累计方差贡献率 (%)
第一主成分	6.003	50.026	50.026
第二主成分	2.247	18.722	68.748
第三主成分	1.438	11.984	80.732

3 讨论与结论

土壤酶活性变化可以反映土壤养分转化的动态过程,表示土壤肥力水平^[8-9]。本试验中 CF 处理的酶活性相比 CK 变化幅度为 -2.21% ~ 29.10%,且过氧化氢酶活性显著性低于 CK 处理,这与相关研究结果^[10-12]类似,且 CF 处理脲酶与蔗糖酶活性高于 CK 处理是因土壤中有机碳增多而获得短期提高,其他土壤酶活性降低也印证了长期单施化肥可能会降低土壤肥力水平^[13]。

配施菜籽饼的处理中土壤脲酶、酸性磷酸酶、蔗糖酶活性与 CK 处理相比皆有所提升,这说明配施菜籽饼能够提升土壤酶活性。将菜籽饼与化肥混合 (RSC. CF) 处理的土壤脲

表 5 供试土壤主成分的规格化特征向量

指标	第一主成分		第二主成分		第三主成分	
	规格化特征向量值	载荷	规格化特征向量值	载荷	规格化特征向量值	载荷
过氧化氢酶活性	0.084	0.348	0.802	-0.755	-0.213	0.060
脲酶活性	0.836	0.635	-0.317	0.608	0.188	0.247
蔗糖酶活性	0.685	0.496	-0.569	0.737	-0.047	-0.078
酸性磷酸酶活性	0.887	0.905	0.088	0.161	-0.224	-0.005
pH 值	-0.629	-0.350	0.702	-0.888	-0.165	-0.068
碱解氮含量	0.737	0.867	0.554	-0.298	-0.148	0.177
有效磷含量	0.826	0.867	-0.032	0.211	-0.402	-0.220
速效钾含量	0.375	0.348	0.521	-0.246	0.478	0.678
全氮含量	0.793	0.721	0.244	0.098	0.266	0.480
全磷含量	0.922	0.902	0.011	0.256	-0.170	0.029
全钾含量	0.086	-0.144	0.082	0.149	0.865	0.848
有机质含量	0.891	0.831	0.183	0.157	0.136	0.360

注:划线数据为绝对值最大的载荷值。

酶、酸性磷酸酶、蔗糖酶以及过氧化氢酶活性与 CF 处理相比分别提高 6.02%、7.48%、12.48%、0.75%。RSC. M 脲酶与酸性磷酸酶活性要略低于 RSC. CF,但在另 2 种酶活性高于 RSC. CF,且蔗糖酶活性显著优于 RSC. CF。RSC. M 的蔗糖酶活性远高于 RSC. CF,这可能与菜籽饼相关,菜籽饼分解有益于促进微生物繁殖并增强微生物活性,从而能够产生大量土壤酶,从而使 RSC. M 的酶活性有所提高。而从荣勤雷等的试验结果^[12]来看,RSC. M 脲酶活性略低于 RSC. CF,是因为绿肥与菜籽饼的施用效果想要达到最佳仍需要更多时间,因此从短期来看,RSC. CF 是 5 种施肥处理中最优的,RSC. M 次之。CK 过氧化氢酶活性高于其他模式且与 CF 差异显著,这可能与绿肥或化肥用量超量有关,这与刘磊等的研究^[14-15]一致,是因为肥料的施入增加了土壤中微生物和植物可直接利用的养分,所以土壤过氧化氢酶活性低于不施肥处理。除速效钾、全钾含量外,CF 其他各项指标均低于 CK。这在 Ebhin 等的试验中亦有所体现^[13,16],这从土壤肥力因素方面印证了长期单施化肥可能会降低土壤肥力水平。此外,不同的施肥处理土壤养分含量变化表现各异。菜籽饼+绿肥(RSC. M)与化肥+菜籽饼(RSC. CF)这 2 种施肥处理最优,且除 pH 值、速效钾含量、全钾含量,这 2 种施肥处理其余各项指标皆优于单施化肥(CF),RSC. CF 碱解氮、全氮、全磷、有机质与 CF 差异显著。大量研究表明,有机肥与化肥配施能够提高土壤有机质、全氮、全磷、碱解氮和速效磷的含量^[16-18]。

RSC. M 碱解氮、全钾、全磷、速效钾、全氮、有机质这 6 项肥力指标均低于 RSC. CF,这可能与土壤微生物分解绿肥需要碳源和氮源有关^[18-19],即当绿肥投入土壤后,虽然增加了土壤中的碳氮量,但是有机物质分解会促进微生物繁殖,增加土壤各类酶的数量使植株与微生物间在土壤碳氮源上产生争夺,从而在某种程度上抑制了绿肥分解和土壤养分释放。这与叶协锋等的研究结果^[20]一致。此外,RSC 在除全氮含量外各项肥力指标上与 RSC. M 表现出了相似趋势,这也证明了绿肥投入量过大导致 RSC. M 部分指标低于菜籽饼混合化肥 RSC. CF。因此,若将绿肥翻压量进行适当调整,绿肥混合菜籽饼(RSC. M)各项肥力指标或有所提高。

综上所述,结合酶活性/土壤肥力及主成分分析中土壤肥

力的函数表达可知,脲酶活性、酸性磷酸酶活性、碱解氮含量、有效磷含量、全氮含量、全磷含量、有机质含量更高的模式的土壤肥力更好;因此,RSC. CF 优于 CF,RSC. M 优于 CK。由此可见,配施菜籽饼有助于土壤肥力的提升。

参考文献:

[1] Boerner R E J, Brinkman J A, Smith A. Seasonal variations in enzyme activity and organic carbon in soil of a burned and unburned hardwood forest[J]. Soil Biology Biochemistry, 2005, 37: 1419 - 1426.

[2] 张志丹, 赵兰坡. 土壤酶在土壤有机培肥研究中的意义[J]. 土壤通报, 2006, 37(2): 362 - 368.

[3] 许光辉, 郑洪元. 土壤微生物分析方法手册[M]. 北京: 农业出版社, 1986: 249 - 251.

[4] Bhattacharyya P, Chakrabarti K, Chakraborty A. Microbial biomass and enzyme activities in submerged rice soil amended with municipal solid waste compost and decomposed cow manure[J]. Chemosphere, 2005, 60(3): 310 - 318.

[5] 徐 玲, 张杨珠, 曾希柏, 等. 不同施肥结构对稻田土壤肥力质量的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2006, 32(4): 362 - 367.

[6] 李晨华, 贾仲君, 唐立松, 等. 不同施肥模式对绿洲农田土壤微生物群落丰度与酶活性的影响[J]. 土壤学报, 2012, 49(3): 567 - 574.

[7] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.

[8] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986.

[9] 周礼恺. 土壤酶学[M]. 北京: 科学出版社, 1987.

[10] 李 娟, 赵秉强, 李秀英, 等. 长期有机无机肥料配施对土壤微生物学特性及土壤肥力的影响[J]. 中国农业科学, 2008, 41(1): 144 - 152.

[11] 陈霄宇, 周连仁, 刘 妍. 有机无机肥配施对黑土酶活性及作物产量的影响[J]. 东北农业大学学报, 2012, 43(2): 88 - 91.

[12] 荣勤雷, 梁国庆, 周 卫, 等. 不同有机肥对黄泥田土壤培肥效果及土壤酶活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(5): 1168 - 1177.

[13] Ebhin M R, Chhonkar P K, Singh D, et al. Changes in soil biological and biochemical characteristics in a long - term field trial on a sub - tropical inception[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2006, 38(7): 1577 - 1582.

[14] 刘 磊, 谷 洁, 高 华, 等. 不同施肥水平对小麦生长期土壤氧化还原酶活性的影响[J]. 水土保持通报, 2010(6): 12 - 16.

[15] 高 瑞, 吕家珑. 长期定位施肥土壤酶活性及其肥力变化的研究[J]. 中国生态农业学报, 2005, 13(1): 143 - 145.

[16] 段建南, 赵丽兵, 王改兰, 等. 长期定位试验条件下土地生产力和土壤肥力的变化[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2002, 28(6): 479 - 482.

[17] 卫 婷, 韩丽娜, 韩清芳, 等. 有机培肥对旱地土壤养分有效性和酶活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(3): 611 - 620.

[18] 高洪军, 朱 平, 彭 畅, 等. 黑土有机培肥对土地生产力及土壤肥力影响研究[J]. 吉林农业大学学报, 2007, 29(1): 65 - 69.

[19] 韩晓日, 郑国砥, 刘晓燕, 等. 有机肥与化肥配合施用土壤微生物量氮动态、来源和供氮特征[J]. 中国农业科学, 2007, 40(4): 765 - 772.

[20] 叶协锋, 杨 超, 李 正, 等. 绿肥对植烟土壤酶活性及土壤肥力的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(02): 445 - 454.