

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.06.009

# 果草套种对南方丘陵山地表层土壤 微生物量碳氮及酶活性的影响

姚月锋, 徐广平, 黄玉清, 莫凌

(广西壮族自治区 中国科学院 广西植物研究所 广西喀斯特植物保育与恢复生态学重点实验室, 广西 桂林 541006)

**摘要:** [目的] 探究不同果草套种模式下 0—10 cm 土层土壤微生物量碳、氮及酶活性的差异, 为改善土壤肥力条件、促进桂林旅游城市生态循环农业经济的发展提供理论依据。[方法] 在桂林潮田河流域大山口农业综合示范区内设置样地, 采集表层(0—10 cm)土壤样品, 测定与分析不同果草套种模式下表层土壤微生物量碳、氮及酶活性的差异。[结果] 0—10 cm 土层土壤氮磷钾、土壤微生物量碳氮和土壤酶活性大小基本表现为: 阳朔金桔+牧草>桂橙 1 号+牧草>翠冠梨+牧草>对对照样地。其中, 阳朔金桔+牧草模式对 0—10 cm 土层土壤微生物量碳、氮含量和土壤酶活性的影响最为明显( $p<0.05$ )。相关性分析表明, 土壤微生物量碳氮和 3 种土壤酶活性存在极显著正相关关系。[结论] 果草套种模式特别是阳朔金桔+牧草模式对南方丘陵山地表层土壤肥力条件的改善作用较为明显。

**关键词:** 果草套种; 土壤微生物量碳; 土壤微生物量氮; 土壤酶活性; 丘陵山地

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)06-0053-05

中图分类号: S154.3

## Effects of Fruit and Grass Intercropping on Soil Microbial Biomass C, N and Soil Enzyme Activities in Hilly Lands of Southern China

YAO Yuefeng, XU Guangping, HUANG Yuqing, MO Ling

(Guangxi Key Laboratory of Plant Conservation and Restoration Ecology in Karst Terrain,

Guangxi Institute of Botany, CAS and Guangxi Zhuang Autonomous Region, Guilin, Guangxi 541006, China)

**Abstract:** [Objection] Differences of soil microbial biomass carbon, nitrogen and soil enzyme activities in different patterns of fruit and grass intercropping were compared in order to provide a support for soil fertility melioration and agriculture modernization. [Methods] Top soil layer(0—10 cm) from four patterns of fruit and grass intercropping was sampled in sites of Dashankou comprehensive agriculture demonstration zone, which located at Chaotian watershed of Guilin area. Variance and correlation analyses were used to compare the differences of soil microbial biomass carbon, nitrogen and soil enzyme activities. [Result] Soil total nitrogen, total phosphorus, total potassium and their available components, soil microbial biomass carbon, nitrogen and soil enzyme activities behaved almost similar ranks as: *Fortunella margarita*+grass>Guicheng No. 1+grass>*Pyrus* spp+grass>control plot. Pattern of *Fortunella margarita*+grass intercropping had significant effects on soil microbial biomass carbon, nitrogen and soil enzyme activities( $p<0.05$ ). This pattern ameliorated soil better than other patterns did. There existed positive correlations between soil microbial biomass carbon, biomass nitrogen and soil enzyme activities. [Conclusion] Fruit and grass intercropping, especially the pattern of *Fortunella margarita*+grass, had significant effects on soil amelioration in hilly lands in the southern of China.

**Keywords:** fruit and grass intercropping model; soil microbial biomass carbon; soil microbial biomass nitrogen; soil enzyme activity; hilly lands

收稿日期: 2014-10-31

修回日期: 2014-12-04

资助项目: 国家科技支撑计划项目“漓江流域遥感动态评估与监管技术体系研究; 漓江流域面源污染和水土流失治理技术与示范”(2012BAC16B01/2); 广西科技攻关计划项目(1298006-2); 广西科学院基本科研业务费(13YJ22ZWS22); 广西植物研究所基本业务费(13010; 12001)

第一作者: 姚月锋(1981—), 男(汉族), 广西自治区灵山县人, 博士, 助理研究员, 主要从事恢复生态学研究。E-mail: yuefeng.yao@yahoo.com。

通信作者: 莫凌(1974—), 女(汉族), 广西自治区来宾县人, 学士, 副研究员, 主要从事植物生理生态学研究。E-mail: ml@gxib.cn。

土壤微生物是土壤生态系统的重要组成部分,其参与整个土壤生态系统的地球化学循环过程<sup>[1]</sup>。土壤微生物量碳(microbial biomass C, MBC)、氮(microbial biomass N, MBN)含量比较稳定,一般占土壤有机碳和全氮比例的 1%~5%,是土壤有机碳中最活跃的部分和植物所需养分重要的“源”和“库”<sup>[2]</sup>。其不仅是研究土壤有机碳和氮素循环及其转化过程的重要指标,同时又是衡量土壤质量、维持作物生产力的一个重要指标。土壤酶活性作为土壤生态系统对代谢所需和有效养分的直接反映<sup>[3]</sup>,受种植模式、地理位置、植被等诸多因子的影响<sup>[4-5]</sup>,不同生态系统土壤肥力状况存在较大差异<sup>[6]</sup>。尽管土壤中的酶以质量计的数量很小,但作为土壤中生物活性最强的部分之一,常被用来表征土壤环境的优劣、土壤肥力以及生态系统物质循环能力的强弱<sup>[7-9]</sup>。

桂林地区因气候条件优越,农业资源丰富,名优农特产品众多,素有“桂北粮仓”之称。近年来,作为广西地区唯一的全国首批 10 个生态循环农业示范市之一,桂林市把发展生态循环农业作为推动农业科学发展的主要途径。其中,在水果主产区重点推广普及的“养殖—沼气—种植”三位一体的循环农业模式已逐渐成为循环农业经济体系的核心之一。这种循环农业不仅可以改善土壤肥力、提高单位面积的复种指数,同时还可以有效改善小气候,提高生态和经济效益等<sup>[10-11]</sup>。本研究通过在桂林市潮田河流域大山口农业综合示范区内,对引进的桂橙 1 号、阳朔金桔和翠冠梨进行种植,同时套种牧草,分析果草套种模式对表层土壤微生物量碳氮及酶活性的影响,以期改善土壤肥力条件、促进桂林旅游城市生态循环农业经济的发展提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

取样点位于桂林市潮田河流域,灵川县潮田乡大山口农业综合示范区(25°13'N, 110°30'E)内,海拔高度为 210~240 m。属中亚热带季风气候,四季分明,雨量充沛,年平均气温 18.7 °C,极端最低气温为 -4.9 °C,极端最高气温为 38.5 °C,年平均日照 1 614.7 h,年平均雨量 1 926 mm,年平均无霜期 318 d。植被类型主要以灌木为主。土壤类型为地带性红壤。本试验选择示范区内 2009 年春季新引进种植的桂橙 1 号、阳朔金桔和翠冠梨样地为研究对象,样地内果树株行距为 3 m×3 m。同时,选择没有种植果树且没有修整过的同一地形自然撂荒地作为对照样地。在果树样地内,于 2009 年 10 月下旬套种豆科牧草白三

叶(*Trifolium repens* L., 多年生)、禾本科牧草鸭茅(*Dactylis glomerata* L., 多年生)及特高黑麦草(*Lolium perenne* L., 1 年生),开沟播种,豆科与禾本科牧草相间种植(表 1)。于 2010 年 4 月底在特高黑麦草旁开沟播种柱花草(*Stylosanthes guianensis*, 1 年生热带草种,于 2010 年 12 月刈割),2011 年 2 月初补播特高黑麦草。牧草播种前样地内撒施 300 kg/hm<sup>2</sup> 的石灰及钙镁磷肥,并在播种后每 2 个月浇 1 次沼气液。禾本科牧草于 40~50 cm 高、豆科于 20~30 cm 高时刈割,每年刈割 3~4 次。

表 1 牧草播种标准

牧草名	用种量/ (kg·hm <sup>-2</sup> )	条播行距/ cm	播种深度/ cm
白三叶	7.14	30	1~1.5
特高黑麦草	14.28	20~30	1~2
鸭茅	7.14	15~30	1~2
柱花草	14.28	30	1~2

### 1.2 样本采集及分析

于 2011 年 4 月 28 日在作物生长期进行采样。在每个样地内随机选择 3 个点,用土钻采集 0—10 cm 的表层土壤样本,设 3 次重复。将样地采集的土壤样品,装在无菌自封袋中,迅速置于密封冰袋容器中冷藏后带回实验室于 4 °C 冰箱中保存。去除土壤中的植物和动物残体等杂质,混合均匀后风干、磨细过 100 目筛,置于干燥阴凉处密封保存。

土壤氮磷钾指标采用常规方法进行测定<sup>[12]</sup>。土壤微生物量碳用氯仿熏蒸—K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 浸提法,岛津 TOC-V<sub>CPH</sub> 分析仪测定,计算公式为:

$$MBC = 2.22E_c$$

式中: $E_c$ ——熏蒸与未熏蒸土样有机碳的差值<sup>[13]</sup>。

土壤微生物量氮采用氯仿熏蒸浸提—全氮测定法测定<sup>[14]</sup>。土壤脲酶采用苯酚钠比色法,以 37 °C 在脲酶作用下 24 h 内每克土中生成的 NH<sub>3</sub>-N 质量表示(mg/g);蛋白酶用铜盐比色法,以 37 °C 在蛋白酶作用下 24 h 内每克土中生成的氨基氮质量表示(mg/g);过氧化氢酶用高锰酸钾滴定法,以在过氧化氢酶作用下每克土 24 h 所消耗的 0.1 mol/L KMnO<sub>4</sub> 的体积表示<sup>[15]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同果草套种模式表层土壤氮磷钾

由表 2 所示,经过不同果草套种模式处理,南方丘陵山地 0—10 cm 土层土壤的氮磷钾含量变化较

大。其中,阳朔金桔+牧草模式处理 0—10 cm 土层土壤的全氮、全磷、全钾及其速效成分含量最高,分别达 0.31,0.62,7.48,43.28,14.75 和 48.36 mg/kg。而对照样地全氮、全磷、全钾及其速效成分含量均最低,分别为 0.13,0.42,4.04,31.56,9.75 和 35.46 mg/kg,显著低于 3 种不同果草套种模式( $p < 0.05$ )。

表 2 不同果草套种模式处理对表层土壤氮磷钾的影响

套种模式	全氮/ (g · kg <sup>-1</sup> )	全磷/ (g · kg <sup>-1</sup> )	全钾/ (g · kg <sup>-1</sup> )	速效氮/ (mg · kg <sup>-1</sup> )	速效磷/ (mg · kg <sup>-1</sup> )	速效钾/ (mg · kg <sup>-1</sup> )
桂橙 1 号+牧草	0.26 <sup>b</sup>	0.53 <sup>b</sup>	7.36 <sup>a</sup>	42.77 <sup>a</sup>	14.41 <sup>a</sup>	46.11 <sup>b</sup>
阳朔金桔+牧草	0.31 <sup>a</sup>	0.62 <sup>a</sup>	7.48 <sup>a</sup>	43.28 <sup>a</sup>	14.74 <sup>a</sup>	48.36 <sup>a</sup>
翠冠梨+牧草	0.19 <sup>c</sup>	0.50 <sup>b</sup>	5.94 <sup>b</sup>	40.14 <sup>b</sup>	12.17 <sup>b</sup>	42.41 <sup>c</sup>
对照样地	0.13 <sup>d</sup>	0.42 <sup>c</sup>	4.04 <sup>c</sup>	31.56 <sup>c</sup>	9.75 <sup>c</sup>	35.46 <sup>d</sup>

注:不同指标同列中不同小写字母表示差异显著( $p < 0.05$ )。下同。

## 2.2 不同果草套种模式表层土壤微生物量碳氮

果草套种模式下样地 0—10 cm 土层土壤微生物量碳、氮含量均显著高于对照样地( $p < 0.05$ ),依次表现为:阳朔金桔+牧草>桂橙 1 号+牧草>翠冠梨+牧草>对照样地(表 3)。LSD 分析结果表明,阳朔金桔+牧草模式样地 0—10 cm 土层微生物量碳、氮含量显著高于桂橙 1 号+牧草、翠冠梨+牧草模式( $p < 0.05$ ),分别为 350.50 和 7.21 mg/kg。而对照样地 0—10 cm 土层土壤微生物量碳、氮含量最低,分别为 214.89 和 3.05 mg/kg。不同果草套种模式下 0—10 cm 土层土壤微生物量碳、氮相关性分析结果表明,土壤微生物量碳和氮相关性显著( $r = 0.992, p < 0.01$ ),说明不同果草套种模式下土壤碳、氮相互作用关系密切。

表 3 不同果草套种模式处理对表层土壤微生物量碳氮的影响

指标	mg/kg			
	桂橙 1 号+牧草	阳朔金桔+牧草	翠冠梨+牧草	对照样地
土壤微生物量碳	313.01 <sup>b</sup>	350.50 <sup>a</sup>	280.57 <sup>c</sup>	214.89 <sup>d</sup>
土壤微生物量氮	6.11 <sup>b</sup>	7.21 <sup>a</sup>	4.70 <sup>c</sup>	3.05 <sup>d</sup>

## 2.3 不同果草套种模式表层土壤酶活性

不同果草套种模式对 0—10 cm 土层土壤脲酶活性影响差异显著( $p < 0.01$ )(图 1),其中,阳朔金桔+牧草模式的 0—10 cm 土层土壤脲酶活性最高为 1.95 mg/g,而对照样地的最低为 0.92 mg/g。在 0—10 cm 土层中土壤脲酶活性大小表现为:阳朔金桔+牧草>桂橙 1 号+牧草>翠冠梨+牧草>对照样地。果草套种模式明显提高 0—10 cm 土层土壤蛋白酶活性。3 种果草套种模式的土壤蛋白酶活性与对照样地

3 种不同果草套种模式下,桂橙 1 号+牧草和阳朔金桔+牧草 0—10 cm 土层土壤全钾、速效氮、速效磷差异不显著( $p > 0.05$ )。同时,桂橙 1 号+牧草与翠冠梨+牧草表层土壤全磷差异也不显著( $p > 0.05$ )。而 3 种不同果草套种模式 0—10 cm 土层土壤全氮、速效钾差异显著( $p < 0.05$ )。

间的差异显著( $p < 0.01$ ),但 3 种果草套种模式的土壤蛋白酶活性差异不显著( $p > 0.01$ )。阳朔金桔+牧草模式的 0—10 cm 土层土壤蛋白酶活性最高为 0.79 mg/g,而撂荒地的最低为 0.37 mg/g,各模式间 0—10 cm 土层土壤蛋白酶活性大小依次为:阳朔金桔+牧草>桂橙 1 号+牧草>翠冠梨+牧草>对照样地。不同果草套种模式中,阳朔金桔+牧草模式的 0—10 cm 土层土壤过氧化氢酶活性最高为 2.95 mg/g,而对照样地最低为 1.91 mg/g。除阳朔金桔+牧草模式与其他果草套种模式间 0—10 cm 土层土壤过氧化氢酶活性大小差异显著外( $p < 0.01$ ),桂橙 1 号+牧草、翠冠梨+牧草与对照样地间差异不显著( $p > 0.01$ ),表明阳朔金桔+牧草模式相比其他模式对表层土壤过氧化氢酶活性的影响最大。

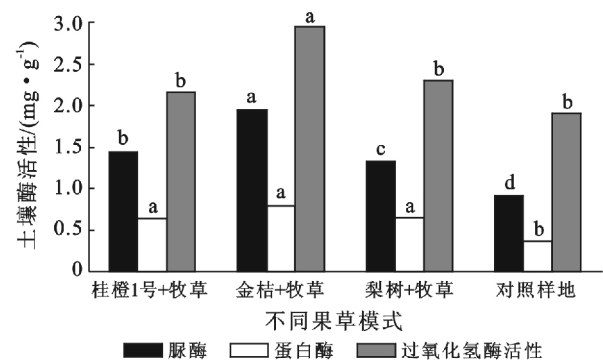


图 1 不同果草套种模式 0—10 cm 土层土壤酶活性

## 3 讨论

果草套种模式即有利于改善土壤理化性质、增加果树产量,同时改善土壤—植被—大气的环境,使其形成一个相对稳定的复合生态系统<sup>[11,16]</sup>。随着农业

产业结构的调整,发展经济果树种植已成为广西区内农业增效、农民增收的主要途径。“桂橙 1 号”是广西地区首个通过审定的甜橙新品种。阳朔金桔以树形挺直美观、四季常青,果实金黄亮丽,品质细嫩清脆、甜酸适度而闻名于世。翠冠梨属砂梨系,可溶性固形物含量 12%~14%。因此,通过对以上 3 种水果的引进种植,同时套种牧草,分析果草套种模式下的表层土壤微生物量碳氮及酶活性的响应,以期为促进桂林旅游城市生态循环农业的发展提供理论依据。

本研究中 3 种果草套种模式下的 0—10 cm 土层土壤全氮、全磷、全钾及其有效成分含量均明显高于对照样地,说明合理的施肥、果草套种等人为措施可以改良土壤环境条件,从而促进果树及牧草的成长。同时,3 种果草套种模式下 0—10 cm 土层土壤微生物量碳、氮含量明显高于对照样地,表明果草套种模式可以有效促进土壤微生物量碳、氮含量的提高。其中,阳朔金桔+牧草模式对土壤微生物量碳、氮含量的影响尤为显著。而对照样地中,由于地表未套种果树及牧草,加上土壤微生物的呼吸作用,0—10 cm 土层土壤微生物量碳、氮含量明显低于其他果草套种模式。在套种的牧草当中,白三叶、柱花草作为豆科植物,具有发达的根瘤菌,有很强的固氮能力,可以明显提高土壤氮的含量,改善土壤结构,促进土壤微生物的生长<sup>[17-18]</sup>。此外,白三叶草在高温干旱季节地上部分枯萎死亡,在土壤表面可以形成覆盖物,其木质素及蛋白质复合体在土壤中形成土壤有机质,明显增加了土壤微生物量碳氮含量,有效增加土壤肥力<sup>[19]</sup>。这表明在果草套种模式下,通过果草有机体的分解、根系分泌物以及豆科植物根瘤菌的固氮作用向土壤中提供碳源、氮源物质,有助于提高土壤微生物量碳氮含量。俞慎<sup>[20]</sup>等在研究马尾松林、小叶栎林、马尾松和小叶栎混交林以及荒地的红壤微生物量碳含量表明,荒地表层土壤微生物量碳的含量相比其他 3 种不同植被覆盖下最低。王光华<sup>[21]</sup>等研究也表明休闲裸地表层土壤微生物量碳与其他种植作物的土地管理方式相比最低,这与地面上缺乏套种作物为微生物生长提供可利用的能源少有关。土壤微生物量的变化主要受环境条件、植物生长、土地利用模式等因素的综合影响<sup>[2]</sup>。果草套种模式不同,植物残体和根系残留物及根系分泌物在土壤中积累亦不同,则土壤微生物所得碳源数量不同,从而使土壤微生物量碳、氮在不同果草套种模式下表现出较大差异。果草套种模式下,枯枝落叶和植物根系的分泌物和脱落物向土壤提供了大量的功能物质,同时促进了土壤微生物的繁殖,增加了土壤微生物量碳氮含量。土壤微生物量碳

氮含量的增加,表明果草套种模式下的土壤条件更适合于土壤微生物生存和繁殖。

土壤酶是土壤中活跃的有机成分之一,在土壤养分循环以及植物生长所需养分的供给过程中起到重要的作用<sup>[22]</sup>。由于土壤酶主要来自土壤微生物、植物根系和土壤动物,因此,不同果草套种模式下 0—10 cm 表层土壤脲酶、蛋白酶和过氧化氢酶的酶活性间存在着显著的差异性。其中,阳朔金桔+牧草模式下 0—10 cm 土层土壤酶尤其为脲酶和过氧化氢酶的活性最活跃,而对照样地的 3 种土壤酶活性最差,表明经过果草套种,土壤的酶活性得到提高;而在对照样地中,由于缺乏植物有机体的分泌物和凋落物向土壤提供有机碳,使得表层土壤的微生物量碳、氮和相应的酶活性降低,导致土壤肥力下降。分别对不同果草套种模式的土壤微生物量碳、氮和土壤酶进行相关分析,结果表明,土壤微生物量碳、氮与土壤酶活性都存在极显著的正相关关系,其相关系数的范围为 0.83~0.99( $p<0.01$ )。表明土壤酶活性与土壤微生物存在着密切的关系。通过果草套种、合理的施肥、割草等人为措施可以改良土壤环境条件,增加土壤微生物量、提供土壤酶活性,进而促进果树与牧草的生长。

## 4 结论

(1) 在果草套种模式下,0—10 cm 土层土壤的全氮、全磷、全钾及其速效成分含量大小依次表现为:阳朔金桔+牧草>桂橙 1 号+牧草>翠冠梨+牧草>对照样地,合理的人为措施可以提高 0—10 cm 土层土壤全氮、全磷、全钾及其速效成分,改善土壤肥力条件。

(2) 不同果草套种模式对 0—10 cm 土层土壤微生物量碳、氮含量有显著影响,其影响大小依次表现为:阳朔金桔+牧草>桂橙 1 号+牧草>翠冠梨+牧草>对照样地。其中,阳朔金桔+牧草模式样地 0—10 cm 土层微生物量碳、氮含量显著高于其他果草套种模式。各果草套种模式下 0—10 cm 土层土壤微生物量碳、氮相关性显著,彼此间相互作用关系密切。

(3) 阳朔金桔+牧草模式对 0—10 cm 土层土壤酶活性的影响最为显著。不同果草套种模式下 0—10 cm 土层土壤 3 种酶(脲酶、蛋白酶、过氧化氢酶)的酶活性大小均表现为:阳朔金桔+牧草>桂橙一号+牧草>翠冠梨+牧草>对照样地。

### [参 考 文 献]

- [1] Zelles L. Fatty acid patterns of phospholipids and lipopolysaccharides in the characterization of microbial communities in soil: A review [J]. *Biology and Fertility*

- of Soils, 1999, 29(2):111-129.
- [2] 赵先丽,吕国红,于文颖,等. 辽宁省不同土地利用对土壤微生物量碳氮的影响[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(10):1966-1970.
- [3] Caldwell B A. Enzyme activities as a component of soil biodiversity: A review [J]. *Pedobiologia*, 2005, 49(6): 637-644.
- [4] García R R, Ochoa V, Hinojosa M B, et al. Suitability of enzyme activities for the monitoring of soil quality improvement in organic agricultural systems [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2008, 40(9):2137-2145.
- [5] Sinsabaugh R L, Lauber C L, Weintraub M N, et al. Stoichiometry of soil enzyme activity at global scale [J]. *Ecology Letters*, 2008, 11(11):1252-1264.
- [6] 张娟,吴宏亮,康建宏,等. 不同种植模式对新压砂瓜田土壤养分和土壤酶活性的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2014, 32(2):107-113.
- [7] Burke D J, Weintraub M N, Hewins C R, et al. Relationship between soil enzyme activities, nutrient cycling and soil fungal communities in a northern hardwood forest [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2011, 43(4): 795-803.
- [8] 周晓兵,张元明,陶冶,等. 古尔班通古特沙漠土壤酶活性和微生物量氮对模拟氮沉降的响应[J]. 生态学报, 2011, 31(12):3340-3349.
- [9] 刘丽丹,谢应忠,邱开阳,等. 宁夏盐池沙地3种植物群落土壤酶活性变化的初步研究[J]. 干旱区资源与环境, 2014, 28(4):153-156.
- [10] 曾丹娟,黄玉清,莫凌,等. 果园套种牧草地上生物量的动态变化及其对土壤肥力的影响[J]. 草业科学, 2011, 28(12):2170-2174.
- [11] 寇建村,杨文权,朝明玉,等. 关中地区果草系统产草量与对杂草的控制[J]. 草业科学, 2013, 30(3):436-446.
- [12] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京:中国农业出版社, 2000.
- [13] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社, 2000.
- [14] Brookes P C, Landman A, Pruden G, et al. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: A rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1985, 17(6):837-842.
- [15] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京:农业出版社, 1986.
- [16] 刘传和,陈杰忠. 我国果园生草栽培研究概况[J]. 亚热带植物科学, 2005, 34(2):76-80.
- [17] 宋同清,王克林,彭晚霞,等. 亚热带丘陵茶园间作白三叶草的生态效应[J]. 生态学报, 2006, 26(11):3647-3655.
- [18] 董荣书,张洁,黄艳霞,等. 热研2号柱花草高效固氮根瘤菌的筛选[J]. 热带作物学报, 2013, 34(7):1247-1251.
- [19] 向佐湘,肖润林,王久荣,等. 间种白三叶草对亚热带茶园土壤生态系统的影响[J]. 草业学报, 2008, 17(1): 29-35.
- [20] 俞慎,王俊华,李振高,等. 四种不同植被覆盖下的红壤微生物量碳、氮的差异[J]. 中国农业大学学报, 1997, 2(S):74-78.
- [21] 王光华,金剑,韩晓增,等. 不同土地管理方式对黑土土壤微生物量碳和酶活性的影响[J]. 应用生态学报, 2007, 18(6):1275-1280.
- [22] 王树起,韩晓增,乔云发,等. 不同土地利用和施肥方式对土壤酶活性及相关肥力因子的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(6):1311-1316.