

广东省典型土壤类型和土地利用方式 对土壤酶活性的影响

徐华勤^{1,2}, 章家恩^{1*}, 冯丽芳¹, 全国明¹, 胡蓉蓉¹, 毛丹鹃¹

(1 华南农业大学农业部生态农业重点开放实验室, 广东广州 510642;

2 湖南农业大学农业生态研究所, 湖南长沙 410128)

摘要: 通过野外调查与室内分析,研究了广东省韶关红壤、广州赤红壤、雷州砖红壤 3 个典型地带性土壤分布区 4 种不同土地利用方式(包括林地、果园、草地和农田)对表层(0~20 cm)土壤几种主要酶活性(过氧化氢酶、纤维素酶、蔗糖酶、脲酶、蛋白酶活性)的影响。结果表明,不同土壤类型和不同土地利用方式对土壤酶活性均有一定影响,其中土地利用方式影响更为明显。土壤酶活性多表现为果园和林地较高,农田和草地较低;而土壤过氧化氢酶对土地利用方式和土壤类型的响应均较其它几种酶弱。典范相关分析结果表明,全磷、速效磷、速效氮含量是土壤养分因子中影响土壤酶活性的最重要因素,5 种酶中纤维素酶和蛋白酶活性与土壤养分因子关系最大,而土壤酶活性之间也存在着一定的共性关系。

关键词: 土地利用方式; 土壤类型; 土壤酶活性

中图分类号: S155.4; S154.2

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2010)06-1464-08

Effects of typical soil types and land use patterns on soil enzyme activities in Guangdong Province

XU Hua-qin^{1,2}, ZHANG Jia-en^{1*}, FENG Li-fang¹, QUAN Guo-ming¹, HU Rong-rong¹, MAO Dan-juan¹

(1 Key Laboratory of Ecological Agriculture of Ministry of Agriculture of the People's Republic of China/
South China Agricultural University, Guangdong, Guangzhou 510642, China;

2 Institute of Agricultural Ecology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

Abstract: Soil enzyme activities have been used as bioindicators for soil quality and health due to their high sensitivity to soil changes. With the intensity and amplification of land use, the impacts on soil fertility, nutrient status and soil enzyme activities by land use changes and soil types received more and more attentions. In this paper, field investigation and lab experiment analysis were carried out to study activities of catalase, cellulose, invertase, urease, and protease in the surface soil (0-20cm). Three soil types including Latosolic red soil, Red soil, Latosol and four land use patterns including grassland, forest, farmland and orchard were selected in this study. Results showed that land use patterns and soil types affected activities of cellulose, invertase, urease, and protease. Higher activities in forest lands and orchard were found compared to those in the cropland and grassland. Soil type had less pronounced effect on enzyme activities compared to agricultural land use pattern. The response of activity of catalase was weaker than those of the other studied enzymes. The results of canonical correlation analysis showed that total P, available P and available N were the domain factors influencing soil enzyme activities, especially cellulose and protease activities. There were also correlations between the various soil enzyme activities.

Key word: land use patterns; soil type; soil enzyme activities

收稿日期: 2010-01-20

接受日期: 2010-03-22

基金项目: 国家自然科学基金(30770403、40871118); 中国博士后科学基金(20080440761); 广东省自然科学基金(8151064201000048, 9451064201003801)资助。

作者简介: 徐华勤(1972—),女,湖南省长沙市人,博士后,副研究员,主要从事农业生态和土壤生态研究。E-mail: xu7541@163.com

* 通讯作者 E-mail: jeanzh@scau.edu.cn

土壤酶作为土壤的重要组成部分,在维持土壤正常生态功能方面发挥着十分重要的作用。它参与土壤许多重要的生物化学过程和物质循环,其活性的高低可以反映土壤养分转化的强弱,对土壤肥力的演化具有重要影响^[1-2]。土地利用变化可以引起陆地生态以及生物地球化学循环过程的变化,导致土壤性质变化和土地生产力改变,影响土壤质量和土壤环境变迁;也会影响土壤酶活性的空间变异和生物活性的变化^[3-4]。从土壤酶活性的角度探讨不同土地利用方式对土壤生物性状的影响已日益引起人们关注^[5-7]。

赤红壤、红壤和砖红壤是广东省最重要的地带性土壤,其分布面积分别为 66551.1、42354.5 和 9023.4 km²,占全省土壤面积的 24.8%、37.96% 和 5.15%^[8]。这类土壤以页岩、片麻岩和花岗岩为母质发育而成,土壤偏酸性,持水性较差,有机质含量低,缺磷贫钾。近年来不合理的农业利用方式导致的土壤质量退化、水土流失,对广东省农业可持续发展产生了严重影响^[9-10]。目前关于该地区土壤生物学质量的研究较少。本课题组通过野外调查和采样分析,研究了广东省典型地带性土壤(砖红壤、赤红壤和红壤)在 4 种不同土地利用方式下的土壤微生物生物量等生态特征及其与土壤肥力因子的关系^[11]。本文主要报道不同土壤类型不同土地利用方式下土壤 5 种主要酶活性变化,并探讨在广东省典型土壤类型下将土壤酶活性作为评价土壤肥力指标的可行性,以期为广东省的土壤健康评价和可持续利用提供科学参考。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

广东省地处北纬 20°13′~25°31′和东经 109°39′~117°19′,属南亚热带海洋性季风气候,高温多雨、干湿季节明显,年平均气温 21~22℃,最冷月均温 13~14℃,最热月均温 28~29℃,≥10℃积温 6000~8000℃;年平均降水量 1600~2000 mm,4~9 月是雨季,雨量占全年的 80% 以上,10 月至翌年 3 月是旱季。日照充足,各地平均每年都在 1800 h 以上,年太阳辐射量为 4300~5500 MJ/m²。红壤、赤红壤、砖红壤为该区主要地带性土壤。

1.2 采样及测定方法

根据广东省土壤类型的空间分布特征,分别选定在粤北韶关地区红壤区域、粤中广州地区赤红壤区域、粤西南雷州地区砖红壤区域,分别按照草地

(撂荒多年后形成的荒地)、果园(连续种植 5 年以上的荔枝园)、农田(水稻刚收获后的水旱轮作田)、林地(人工次生林地—马尾松林)4 种主要不同土地利用方式取样。取样时间为 2008 年 7 月,样地面积分别为草地 10 m×5 m;果园和农田 20 m×10 m;林地 40 m×20 m。采用蛇形采样法取 0~20 cm 深土样,5 个点混合为一个土样,3 次重复,共 36 个土壤样品。现场调查每个样地的基本情况,包括种植方式、耕作制度、灌溉情况、近 5 年来的投入产出水平以及施肥的具体情况。

土样采集后除去动植物残体和碎石,用聚乙烯封口袋密封并采用低温储运。带回实验室后,一部分新鲜样品立即过 2 mm 筛,用于测定土壤酶活性;另一部分样品在室温下风干,碾磨并过筛,用于测定土壤基本理化性质。

土壤纤维素酶用 3,5-二硝基水杨酸比色法,以 37℃ 下培养 72 h 后 10 g 土壤生成的葡萄糖毫克数表示;脲酶活性采用苯酚钠-次氯酸钠比色法测定,结果以培养 24 h 后 1 g 土壤氨基氮的毫克数表示;土壤蛋白酶活性用茚三酮比色法,结果以 24 h 后 1 g 土壤中氨基氮的毫克数表示;土壤蔗糖酶活性用硫代硫酸钠滴定法测定,结果以培养 24 h 后 1 g 土壤滴定所需 0.05 mol/L Na₂S₂O₃ 的毫升数来表示;土壤过氧化氢酶活性用高锰酸钾滴定法,结果以 20 min 后 1 g 土壤滴定所需 0.1 mol/L KMnO₄ 的毫升数表示^[12]。土壤理化性质采用常规分析方法^[13]。

数据经 Excel 2003 整理后,采用 SPSS13.0 进行统计分析,处理间的差异显著性采用单因素方差分析(One-way ANOVA)检验,并用 Duncan 法进行两两之间的多重比较,两组变量间典范相关分析运用 DPS 软件处理。

2 结果与分析

2.1 土壤酶活性

2.1.1 纤维素酶活性 在广州、韶关、雷州 3 个地区土壤纤维素酶活性在 0.25~0.69 mg/(g·72h)之间(表 1)。不同利用方式下均呈现类似的趋势,即林地>果园>农田>草地,差异达显著水平。

不同土壤类型中,草地、农田利用方式下,土壤纤维素酶活性均以韶关红壤较高,差异显著;林地则表现为韶关红壤明显低于广州赤红壤和雷州砖红壤;而在果园利用方式下,3 种土壤纤维素酶活性比较接近,没有明显差异。

2.1.2 脲酶活性 土壤脲酶活性在 3.25 ~ 11.25 mg/(g · 24h) 之间(表 1)。在 3 个地区,不同利用方式间均差异显著。在广州赤红壤地区,以果园最高[9.25 mg/(g · 24h)],农田与果园接近,明显高于林地和草地;在韶关红壤地区,以农田最高[9.32 mg/(g · 24h)],果园次之,明显高于草地和林地;在雷州砖红壤地区,则为果园 > 林地 > 农田 > 草地。

不同土壤类型之间土壤脲酶活性也有显著差异。果园、草地和林地均以雷州砖红壤为最高,广州赤红壤地区和韶关红壤地区次之;农田则为韶关红壤 > 广州赤红壤 > 雷州砖红壤。

2.1.3 蛋白酶活性 不同利用方式之间土壤蛋白酶活性差异达显著水平(表 1)。广州赤红壤地区为林地 > 果园 > 农田 > 草地;韶关红壤地区依次为果园 > 林地 > 草地 > 农田;而在雷州砖红壤地区为林地、果园较高,草地与农田接近。

不同土壤类型下土壤蛋白酶活性也有显著差异。果园和草地以韶关红壤最高,其次为广州赤红壤和雷州砖红壤;林地和农田则表现为广州赤红壤 > 韶关红壤 > 雷州砖红壤的趋势。

2.1.4 蔗糖酶活性 土壤蔗糖酶活性在 0.85 ~ 6.13 mL/(g · 24h) 之间(表 1)。在 3 个地区,土壤蔗糖酶活性在不同利用方式下的变化趋势均为果园 > 农田 > 林地 > 草地,差异显著。特别是雷州砖红壤地区,果园土壤蔗糖酶活性明显较高[6.13 mL/(g · 24h)],分别是农田、林地、草地的 3.11、3.86、3.94 倍。

不同土壤类型之间,蔗糖酶活性均以韶关红壤地区最高,差异显著。其中,果园和草地表现为韶关红壤 > 雷州砖红壤 > 广州赤红壤;农田和林地则为韶关红壤 > 广州赤红壤 > 雷州砖红壤。

2.1.5 过氧化氢酶活性 土壤过氧化氢酶活性在 6.54 ~ 8.39 mL/(g · 20min) 之间(表 1)。不同土地利用方式下,广州地区的草地过氧化氢酶活性偏低;韶关红壤果园和草地过氧化氢酶明显低于农田和林地,而雷州砖红壤的 4 种利用方式下过氧化氢酶活性没有显著差异。

不同土壤类型下土壤过氧化氢酶活性差异表现为:草地为韶关红壤 > 广州赤红壤 > 雷州砖红壤的趋势;果园则韶关红壤明显偏低,而农田、林地的不同土壤类型间无明显差异。

表 1 不同利用方式和不同土壤类型对土壤酶活性的影响

Table 1 Effects of different land uses and soil types on soil enzyme activities

土地利用方式 Land use	土壤类型 Soil type	纤维素酶 Cellulose [Glucose mg/(10g · 72h)]	脲酶 Urease [NH ₃ -N mg/(g · 24h)]	蛋白酶 Protease [NH ₃ -N mg/(g · 24h)]	蔗糖酶 Invertase [Na ₂ S ₂ O ₃ mL/(g · 24h)]	过氧化氢酶 Catalase [KMnO ₄ mL/(g · 20min)]
草地	赤红壤 LRS	0.025 ± 0.007 d	4.21 ± 1.02 d	0.38 ± 0.03 d	0.85 ± 0.11 d	7.56 ± 1.32 b
Grassland	红壤 RS	0.042 ± 0.004 c	4.11 ± 0.97 d	0.51 ± 0.13 cd	1.25 ± 0.33 c	6.54 ± 0.38 bc
	砖红壤 LS	0.033 ± 0.012 cd	4.98 ± 1.11 d	0.44 ± 0.05 d	0.98 ± 0.27 cd	8.15 ± 0.22 a
果园	赤红壤 LRS	0.054 ± 0.031 b	9.25 ± 1.07 b	0.65 ± 0.10 c	1.75 ± 0.53 b	8.22 ± 1.31 a
Orchard	红壤 RS	0.053 ± 0.021 b	7.52 ± 0.71 c	0.88 ± 0.14 ab	6.13 ± 0.39 a	7.21 ± 0.15 b
	砖红壤 LS	0.051 ± 0.016 b	11.25 ± 2.17 a	0.62 ± 0.09 c	5.32 ± 1.03 ab	8.39 ± 0.43 a
农田	赤红壤 LRS	0.043 ± 0.009 c	8.21 ± 1.07 bc	0.52 ± 0.03 cd	1.35 ± 0.23 c	7.98 ± 0.53 b
Farmland	红壤 RS	0.050 ± 0.011 bc	9.32 ± 0.21 b	0.42 ± 0.12 d	2.21 ± 0.71 b	7.78 ± 0.13 b
	砖红壤 LS	0.036 ± 0.003 cd	7.68 ± 0.93 c	0.42 ± 0.06 d	1.21 ± 0.42 c	7.96 ± 0.09 b
林地	赤红壤 LRS	0.069 ± 0.023 a	5.19 ± 0.43 cd	0.95 ± 0.07 a	1.21 ± 0.39 c	7.79 ± 1.21 b
Forest	红壤 RS	0.055 ± 0.013 b	3.25 ± 0.68 d	0.63 ± 0.08 c	1.91 ± 0.26 b	8.11 ± 0.59 a
	砖红壤 LS	0.066 ± 0.017 a	8.95 ± 0.83 bc	0.83 ± 0.12 b	0.95 ± 0.21 cd	8.19 ± 0.77 a

注(Note): 表中数据为 3 次重复的平均值,同列数据后不同字母表示差异达 5% 显著水平。Data in the table is average value of three replicates. Values followed by different letters in a column are significant at 5% level. LRS—Latosolic red soil; RS—Red soil; LS—Latosol.

2.2 土壤酶活性与土壤养分因子的典范相关分析

典范相关分析(Canonical correlation analysis)是研究两组变量之间相关关系的一种多元分析方法,它提示了“两组”指标间的内部联系,能更深刻地反映了两组随机变量之间的线性相关情况^[14]。综合变量对间的典范相关程度不同,就形成了不同的典范变量对。根据不同土壤类型和利用方式下土壤酶活性指标(表1)和样地土壤基本理化性状(表2),本研究选择有机质(X_1)、全氮(X_2)、全磷(X_3)、全钾(X_4)、速效氮(X_5)、速效磷(X_6)、速效钾(X_7)7个土壤养分含量指标,和过氧化氢酶(Y_1)、蔗糖酶(Y_2)、纤维素酶(Y_3)、脲酶(Y_4)、蛋白酶(Y_5)5个土壤酶活性指标,建立土壤养分典范变量(U)和土壤酶活性典范变量(V)的线性组合函数,并着重研究相关关系较大的第一对和第二对典范变量。

第1对典范变量为:

$$U_1 = 0.0439X_1 + 0.1061X_2 - 0.0005X_3 + 0.6876X_4 + 0.0230X_5 - 0.7027X_6 - 0.1398X_7$$

$$V_1 = -0.2827Y_1 + 0.1933Y_2 + 0.7605Y_3 - 0.2224Y_4 - 0.5047Y_5$$

第2对典范变量为:

$$U_2 = -0.3833X_1 + 0.0478X_2 + 0.0825X_3 + 0.5241X_4 + 0.5286X_5 - 0.4368X_6 + 0.3144X_7$$

$$V_2 = 0.2042Y_1 + 0.0550Y_2 - 0.4512Y_3 + 0.0177Y_4 + 0.8667Y_5$$

由表3可知,在不同利用方式土壤上,第一对典型变量的相关系数为0.9999,卡方检验的结果也表明了第一对典型变量呈极显著相关($P < 0.01$)(表4)。第1土壤养分综合因子中起主要作用的是全磷(X_4)和速效磷(X_6);第1土壤酶活性综合因子中起主要作用的是纤维素酶(Y_3)、蛋白酶(Y_5)。同样,第二对典型变量的相关系数为0.9667,卡方检验的结果也表明了第二对典型变量极显著相关($p < 0.01$)。第2土壤养分综合因子中起主要作用的是全磷(X_4)、速效氮(X_5);第2土壤酶活性综合因子中起主要作用的是蛋白酶(Y_5)。总的来看,土壤养分因子中起主要作用的是全磷、速效磷和速效氮;而纤维素酶和蛋白酶与土壤养分因子关系最大,土壤酶活性之间也存在共性关系。

3 讨论

土壤纤维素酶、蔗糖酶、蛋白酶、脲酶是土壤的几种主要水解酶类,纤维素酶和蔗糖酶是参与土壤

有机碳循环的酶,其活性反映了土壤有机碳累积与分解转化的规律。脲酶和蛋白酶活性的提高有利于土壤有机态氮向有效氮的转化,提高土壤氮素供应水平。不同土地利用方式下,土壤纤维素酶、蔗糖酶、蛋白酶、脲酶活性表现为果园和林地普遍较高,说明其土壤生物活性高,土壤状况良好。原因可能在于果园和林地植物凋落物和根系分泌物不仅使微生物大量繁殖,丰富了土壤酶的来源;同时这些凋落物的分解和根系的生理代谢过程也向土壤释放多种酶^[14]。本研究中林地为人工次生林地,果园为广东省传统的荔枝园,因经济效益低下,农民疏于管理。这两种利用方式下土壤酶活性均较高,说明在华南水热资源丰富的条件下,土地被改造为人工次生林地和果园后,在人为干扰较少时,仍能保持较高的土壤生物活性。农田土壤是水旱轮作时的旱田,其土壤酶活性偏低可能是由于作物生长过程中吸收了大量养分,而作物收获后未留下秸秆和残茬,返还到土壤中的有机物很少,使土壤有机质含量较低^[15]。草地为农田撂荒多年后形成的荒草地,其土壤酶活性仍偏低,说明其土壤环境状况仍较差。过氧化氢酶是促使过氧化氢分解为水和氧,解除过氧化氢毒害作用的一种酶,本研究中不同土地利用方式下和不同土壤类型中,土壤过氧化氢酶的响应都不如其它几种酶明显,与安韶山等^[16]和刘梦云等^[17]的研究结论相似。

本研究中与耕地相比,林地是有利于促进土壤生物活性的利用方式,但也有报道发现,在黄河三角洲滨海盐碱地,林地与草地、耕地相比土壤含盐量比较高,营养水平、土壤酶活性却比较低,属于立地条件较差的地块^[18]。侯雪莹等^[19]、王光华等^[15]研究发现,在有机质含量较高的黑土中自然草地植被恢复使土壤酶活性显著增加。本研究中弃耕多年后的荒草地土壤酶活性偏低,可能与土壤本身有机质含量较低有关^[11];而赤红壤、砖红壤、红壤的土壤酶活性除过氧化氢酶之外,其余4种酶活性均有显著差异,说明土壤类型和土地利用措施都是影响土壤酶活性变化的重要因素,但土壤酶活性产生差异的关键因子并未得到确定。

土壤微生物数量、微生物生物量、土壤酶活性被认为是土壤生物学质量的重要指标。章家恩等^[20]指出,华南地区不同土地利用方式下土壤可培养微生物数量为果园 > 粮作旱地 > 荒草地;王晓龙等^[21]研究表明,红壤小流域不同土地利用方式下,人类扰动较小的林地(板栗园和橘园)土壤微生物

表 2 样地土壤基本理化性质
Table 2 Soil physico-chemical properties of study sites

土地利用 Land use	土壤类型 Soil type	有机质 OM	(g/kg)			(mg/kg)			水分含量 Moisture (%)	pH
			全氮 Total N	全磷 Total P	全钾 Total K	速效氮 Avail. N	速效磷 Avail. P	速效钾 Avail. K		
草地	赤红壤 LRS	16.36 ± 1.55	0.67 ± 0.07	0.03 ± 0.002	19.81 ± 0.52	66.36 ± 4.29	1.16 ± 0.33	37.42 ± 2.54	17.57 ± 0.71	5.35 ± 0.43
Grassland	红壤 RS	32.03 ± 3.55	1.39 ± 0.08	0.15 ± 0.01	31.77 ± 0.85	235.13 ± 9.88	6.31 ± 0.52	39.54 ± 3.67	16.80 ± 0.91	5.01 ± 0.06
果园	砖红壤 LS	5.51 ± 0.07	0.40 ± 0.01	0.22 ± 0.01	4.52 ± 0.34	104.01 ± 2.61	8.70 ± 0.81	10.67 ± 1.10	19.03 ± 1.44	4.67 ± 0.08
	赤红壤 LRS	26.58 ± 1.31	1.02 ± 0.05	1.44 ± 0.023	51.85 ± 0.79	223.22 ± 6.77	87.14 ± 2.61	68.64 ± 4.31	17.05 ± 0.36	4.98 ± 0.23
Orchard	红壤 RS	22.23 ± 0.70	1.35 ± 0.11	0.20 ± 0.002	27.40 ± 0.26	508.24 ± 13.70	7.76 ± 0.41	82.88 ± 3.76	18.88 ± 0.53	4.51 ± 0.45
	砖红壤 LS	27.74 ± 5.87	1.01 ± 0.09	0.37 ± 0.009	7.49 ± 0.26	303.10 ± 7.47	13.17 ± 0.23	141.39 ± 1.54	17.89 ± 0.48	4.81 ± 0.07
农田	赤红壤 LRS	26.63 ± 2.22	0.94 ± 0.08	0.70 ± 0.059	53.59 ± 0.25	189.92 ± 7.89	30.62 ± 3.76	135.91 ± 8.36	15.57 ± 0.42	5.72 ± 0.04
Farmland	红壤 RS	25.28 ± 1.90	1.07 ± 0.04	0.13 ± 0.004	27.44 ± 0.76	162.70 ± 9.41	5.91 ± 0.71	12.65 ± 1.01	21.17 ± 1.35	6.48 ± 0.14
	砖红壤 LS	23.67 ± 0.64	1.12 ± 0.12	1.24 ± 0.038	6.85 ± 0.22	190.86 ± 23.76	63.08 ± 4.67	93.7 ± 3.41	18.66 ± 0.38	4.84 ± 0.07
林地	赤红壤 LRS	22.56 ± 3.57	1.43 ± 0.03	0.07 ± 0.003	43.23 ± 0.63	572.49 ± 27.23	2.79 ± 0.33	3.98 ± 0.01	20.53 ± 1.01	4.36 ± 0.18
Forest	红壤 RS	24.31 ± 0.74	1.67 ± 0.07	0.11 ± 0.006	45.93 ± 0.21	251.99 ± 23.41	4.80 ± 0.86	72.54 ± 3.99	14.08 ± 0.74	4.46 ± 0.03
	砖红壤 LS	22.64 ± 1.89	2.04 ± 0.05	0.73 ± 0.029	8.60 ± 0.22	433.14 ± 1.48	30.99 ± 2.03	213.29 ± 13.86	18.85 ± 0.57	4.75 ± 0.30

注(Note): LRS—Latosolic red soil; RS—Red soil; LS—Latosol.

表 3 土壤酶和土壤肥力因子的典范变量
Table 3 Canonical variables of soil enzyme activities and fertility properties

项目 Item	土壤性质 Soil properties			土壤酶 Soil enzyme		
	第一变量 1st variable	第二变量 2nd variable	第三变量 3rd variable	第一变量 1st variable	第二变量 2nd variable	第三变量 3rd variable
特征根 Eigenvalues	0.9998	0.9345	0.7278	0.9998	0.9345	0.7278
典范相关系数 Canonical correlation coefficient	0.9999	0.9667	0.8531	0.9999	0.9667	0.8531
特征向量 Eigenvectors						
<i>P1</i>	0.0439	-0.3833	-0.0384			
<i>P2</i>	0.1061	0.0478	-0.0075			
<i>P3</i>	-0.0005	0.0825	0.0234			
<i>P4</i>	0.6876	0.5241	-0.7245			
<i>P5</i>	0.0230	0.5286	-0.0006			
<i>P6</i>	-0.7027	-0.4368	0.6858			
<i>P7</i>	-0.1398	0.3144	0.0524			
<i>Q1</i>				-0.2827	0.2042	0.3294
<i>Q2</i>				0.1933	0.0550	0.2333
<i>Q3</i>				0.7605	-0.4512	-0.2343
<i>Q4</i>				-0.2224	0.0177	-0.8745
<i>Q5</i>				-0.5047	0.8667	0.1323

表 4 典范变量的显著性检验
Table 4 Chi-square tests

典范向量 Canonical vector	典范相关系数 Canonical correlation coefficient	特征根 Eigenvalues	自由度 <i>Df</i>	Q^2	<i>P</i>
1	0.9999	0.9998	35	70.7833	0.0003
2	0.9667	0.9345	24	15.5107	0.0049
3	0.8531	0.7278	15	4.2660	0.1967
4	0.5663	0.3207	8	0.6082	0.5997
5	0.1367	0.0187	3	0.0094	0.9998

量碳、氮要明显高于扰动强烈的花-橘间作地和花生地。刘文娜等^[22]认为,在同一用地方式下,潮土、褐土和砂姜黑土的土壤微生物量碳含量存在差异,这可能与土壤质地结构具有较大的关系。我们的前期研究也表明,在3种土壤类型和4种不同土地利用方式下,土壤微生物量C、N差异显著,均表现为果园和林地高于农田和草地^[11]。本研究同样表明,3种土壤类型下几种主要土壤酶活性表现为果园和林地普遍较高。可见,在华南地区,由于红壤、赤红壤、

砖红壤有机质和其他养分含量偏低、土壤结构劣化,频繁的人为干扰往往使土壤生物活性降低,且在撂荒后恢复需要较长时间,而适当的人为干扰增加凋落物(如人工次生林、果园等),加快了土壤中有机物的补给,则有利于促进土壤生物活性增加。

土壤酶活性是否可以作为土壤肥力的评价指标一直是学者争论的热点问题,而研究的主要途径就是通过土壤酶活性与土壤肥力因素间的相关性分析。典范相关分析在研究土壤生物多样性影响因

子中的应用已经受到人们重视,但在土壤酶活性与土壤性质关系研究上应用还较少。本研究通过土壤酶活性与养分因子的典范相关分析发现,3种土壤类型的4种不同土地利用方式下,土壤养分因子中起主要作用的是全磷、速效磷和速效氮;而纤维素酶和蛋白酶与土壤养分因子关系最大。表明以土壤酶活性作为评价土壤肥力的指标是基本可行的,与前人的研究结论一致^[23-26]。研究结果还表明,土壤中氮素与碳素的转化是相互影响的,土壤酶在促使土壤有机物质转化中不仅显示其专性特性,同时存在共性关系。酶的专性特性能反映土壤中这种或那种有机化合物的转化进程,而有共性关系的土壤酶的总体活性在一定程度上反映着土壤肥力的水平。

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 Biol. Biochem.*, 2005, 37: 1419-1426.
- [2] Zhang Y M, Zhou G Y, Wu N *et al.* Soil enzyme activity changes in different aged spruce forest of the east Qinghai Tibetan plateau [J]. *Pedosphere*, 2004, 14(3): 305-312.
- [3] Paz-Ferreiro J, Trasar-Cepeda C, Leirós M C *et al.* Biochemical properties in managed grassland soils in a temperate humid zone: Modifications of soil quality as a consequence of intensive grassland use[J]. *Biol. Fert. Soils*, 2009, 45(7): 711-722.
- [4] Guo Y J, Ni Y, Han J G. The influence of land use change on chemical and biological properties of steppe soils in Northern China [J]. *Arid Land Res. Manag.*, 2009, 23(3): 197-212.
- [5] Creamer R E, Bellamy P, Black H I J *et al.* An inter-laboratory comparison of multi-enzyme and multiple substrate-induced respiration assays to assess method consistency in soil monitoring[J]. *Biol. Fert. Soils*, 2009, 45(6): 623-633.
- [6] Elfstrand S, Hedlund K, Mrtensson A. Soil enzyme activities, microbial community composition and function after 47 years of continuous green manuring [J]. *Appl. Soil Ecol.*, 2007, 35: 610-621.
- [7] Nayak D R, Babu J Y, Adhya T K. Long-term application of compost influences microbial biomass and enzyme activities in a tropical Aeric Endoaquept planted to rice under flooded condition[J]. *Soil Biol. Biochem.*, 2007, 39: 1897-1906.
- [8] 甘海华, 吴顺辉, 范秀丹. 广东土壤有机碳储量及空间分布特征[J]. *应用生态学报*, 2003, 14(9): 1499-1502.
Gan H H, Wu S H, Fan X D. Reserves and spatial distribution characteristics of soil organic carbon in Guangdong province[J]. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2003, 14(9): 1499-1502.
- [9] 肖辉林. 华南红壤丘陵坡地的环境特征与可持续利用问题[J]. *山地学报*, 2002, 20(5): 594-599.
Xiao H L. Environmental features of hilly slope land of red soil in south china and the sustainable utilization[J]. *J. Mount. Res.*, 2002, 20(5): 594-599.
- [10] 吴箐, 王诗忠, 张景书, 等. 模拟酸雨对鹤山赤红壤风化过程的影响[J]. *中山大学学报(自然科学版)*, 2006, 45(6): 113-117.
Wu Q, Wang S Z, Zhang J S *et al.* The effect of simulated acid rain on weathering process of lateritic red soil in Heshan, Guangdong Province[J]. *Acta Sci. Nat. Univ. Sunyatseni*, 2006, 45(6): 113-117.
- [11] 徐华勤, 章家恩, 冯丽芳, 等. 广东省不同土地利用方式对土壤微生物量碳氮的影响[J]. *生态学报*, 2009, 29(8): 4112-4118.
Xu H Q, Zhang J E, Feng L F *et al.* Effects of different land use patterns on microbial biomass carbon and nitrogen in Guangdong province[J]. *Acta Ecol. Sin.*, 2009, 29(8): 4112-4118.
- [12] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1981.
Institute of Soil Science CAS. Soil chemical and physical properties analysis[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1981.
- [13] 中国科学院南京土壤研究所微生物室. 土壤微生物学研究法[M]. 北京: 科学出版社, 1985.
Institute of Soil Science CAS. Soil microbiology research[M]. Beijing: Science Press, 1985.
- [14] 岳庆玲, 常庆瑞, 刘京, 等. 黄土高原不同土地利用方式对土壤养分与酶活性的影响[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2007, 35(7): 102-108.
Yue Q L, Chang Q R, Liu J *et al.* Effect of different land utilization on soil nutrient and soil enzyme in Loess Plateau [J]. *J. Northwest A & F Univ. (Nat. Sci. Ed.)*, 2007, 35(7): 102-108.
- [15] 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.
Wang G H, Jin J, Han X Z *et al.* Effects of different land management practices on black soil microbial biomass C and enzyme activities[J]. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2007, 18(6): 1275-1280.
- [16] 安韶山, 黄懿梅, 李壁成, 等. 用典范相关分析研究宁南宽谷丘陵地区不同土地利用方式土壤酶活性与肥力因子的关系[J]. *植物营养与肥料学报*, 2005, 11(5): 704-709.
An S S, Huang Y M, Li B C *et al.* The relation between soil enzyme activities and soil properties of different land use way in Loess Hilly region by canonical correlation analysis[J]. *Plant Nutr. Fert. Sci.*, 2005, 11(5): 704-709.
- [17] 刘梦云, 常庆瑞, 齐雁冰, 等. 宁南山区不同土地利用方式土壤酶活性特征研究[J]. *中国生态农业学报*, 2006, 14(3): 67-70.
Liu M Y, Chang Q R, Qi Y B *et al.* Features of soil enzyme activity under different land uses in Ningnan Mountain area[J]. *Chin. J. Eco-Agric.*, 2006, 14(3): 67-70.
- [18] 邢尚军, 张建锋, 宋玉民, 等. 黄河三角洲盐碱地不同土地利

- 用方式下土壤化学性状与酶活性的研究[J]. 林业科技, 2008, 33(2): 16-18.
- Xing S J, Zhang J F, Song Y M *et al.* Study on soil chemical properties and enzymatic activities of Saline-Alkali land under different land utilization modes in the Yellow River Delta[J]. For. Sci. Techn., 2008, 33(2): 16-18.
- [19] 侯雪莹, 韩晓增, 王树起, 等. 土地利用方式对黑土酶活性的影响[J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(2): 215-219.
- Hou X Y, Han X Z, Wang S Q *et al.* Effect of land use type on enzyme activity in black soil[J]. Chin. J. Eco-Agric., 2009, 17(2): 215-219.
- [20] 章家恩, 刘文高, 胡刚, 等. 不同土地利用方式下土壤微生物数量与土壤肥力的关系[J]. 土壤与环境, 2002, 11(2): 140-143.
- Zhang J E, Liu W G, Hu G. The relationship between quantity index of soil microorganisms and soil fertility of different land use systems[J]. Soil Environ. Sci., 2002, 11(2): 140-143.
- [21] 王晓龙, 胡锋, 李辉信, 等. 红壤小流域不同土地利用方式对土壤微生物量碳氮的影响[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(1): 143-147.
- Wang X L, Hu F, Li H X *et al.* Effects of different land used patterns on soil microbial biomass carbon and nitrogen in small red soil watershed[J]. J. Agro-Environ. Sci., 2006, 25(1): 143-147.
- [22] 刘文娜, 吴文良, 王秀斌, 等. 不同土壤类型和土地利用方式对土壤微生物量碳的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(3): 406-411.
- Liu W N, Wu W L, Wang X B *et al.* Effects of soil type and land use pattern on microbial biomass carbon[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2006, 12(3): 406-411.
- [23] 孙启祥, 张建锋, Franz M. 不同土地利用方式土壤化学性状与酶学指标分析[J]. 水土保持学报, 2006, 20(4): 98-100.
- Sun Q X, Zhang J F, Franz M. Evaluation of soil chemical properties and enzymes activity under different land use systems[J]. J. Soil Water Conserv., 2006, 20(4): 98-100.
- [24] 樊军, 郝明德. 黄土高原旱地轮作与施肥长期定位试验研究 II. 土壤酶活性与土壤肥力[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(2): 146-150.
- Fan J, Hao M D. Study on long-term experiment of crop rotation and fertilization in the Loess plateau II. Relationship between soil enzyme activities and soil fertility[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2003, 9(2): 146-150.
- [25] Geisseler D, Horwath W R. Short-term dynamics of soil carbon, microbial biomass, and soil enzyme activities as compared to longer-term effects of tillage in irrigated row crops[J]. Biol. Fert. Soils, 2009, 46: 65-72.
- [26] Feng Y Z, Xian G L, Wang Y M. Free-air CO₂ enrichment (FACE) enhances the biodiversity of purple phototrophic bacteria in flooded paddy soil[J]. Plant Soil, 2009, 324: 317-328.