

岸坡坡耕地不同耕地类型下土壤酶与土壤微生物的研究

雷 明, 李 昌 晓, 马 朋, 马 俊

(三峡库区 生态环境教育部重点实验室, 西南大学 生命科学学院, 重庆 400715)

摘 要:以三峡水库岸坡系统中的坡耕地为研究背景,以 4 种典型的耕地类型(柑橘园、玉米地、胡豆地、弃耕地)为对象,对土壤微生物、土壤酶活性和土壤化学性质及其之间的关系进行了研究。结果表明:全钾、全氮、有效磷、有机质含量在土壤垂直剖面上差异显著,而且,全氮、有效磷、有机质含量在不同耕地类型之间的差异也不显著;有效氮、全磷、速效钾含量及 pH 在 0~20 cm 土层的不同耕地类型之间以及在 0~20 cm 土层与在 20~60 cm 土层都基本达到显著水平。细菌、真菌、放线菌数量在土壤垂直剖面上,由上至下呈显著递减趋势;三大菌群数量在同一剖面不同耕地类型之间差异显著。土壤酶活性在土壤垂直剖面上,除了蔗糖酶活性差异不大以外,过氧化氢酶、脲酶、蛋白酶和磷酸酶活性都基本达到显著差异;而蛋白酶活性在 0~40 cm 土层中不同耕地之间表现不显著,其它酶活性都有较大差异。三大土壤微生物数量、五大土壤酶活性与土壤化学性质之间相互作用,关系密切。

关键词:三峡库区;土壤微生物;土壤酶;土壤化学性质

中图分类号:S 718.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2013)11-0175-07

三峡工程竣工后,三峡水库“冬蓄夏排”的反季节调节方式^[1-2]致使岸坡坍塌、水土流失、富营养化等现象较严重,而处于岸坡上的坡耕地在其中扮演着重要角色^[3-4]。大量资料表明,一方面,坡耕地是大量江河泥沙的主要来源,阻塞河道;另一方面,坡耕地严重的水土肥流失使坡耕地土层变薄,养分耗竭,造成坡耕地生产能力低下,也导致水体严重的富营养化,严重阻碍了山区农业的可持续发展及生态安全;加上库区人地矛盾日益尖锐,人们不断开展不合理的农事活动,一定程度上也使库区的环境进一步恶化^[5-6]。

土壤酶和土壤微生物是土壤环境的重要组成部分,作为土壤微环境的敏感“探针”^[7-9],其在土壤物质循环和能量流动中起着关键性作用。而国内以土壤微生物和土壤酶来研究坡耕地的报道较少,现以三峡水库岸坡系统中的坡耕地为研究背景,以 4 种典型的耕

地类型(柑橘园、玉米地、胡豆地、弃耕地)为对象,对土壤微生物、酶活性和土壤化学性质及其之间的关系进行了研究。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

该研究区域位于三峡库区忠县境内的汝溪河流域,呈坡地类型(平均坡度 20°左右);研究区属亚热带东南季风山地气候,温热寒凉,四季分明,雨量充沛,日照充足。 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的年积温 5 891.4 $^{\circ}\text{C}$,年均温 18.2 $^{\circ}\text{C}$,无霜期 341 d,日照时数 1 327.5 h,日照率 29%,年降雨量 1 172.1 mm,相对湿度 80%,降雨多集中在 6~8 月,占全年的 40%。水库蓄水后,原有的耕地被水淹没,迫使居民将耕地向海拔更高的区域推进,通过实地踏查,发现研究区域存在的耕地类型主要是坡耕地,柑橘是该区域的主要经济作物,也是分布比较广泛的作物,像玉米、胡豆等传统的作物也有一定分布;土壤主要为中性紫色土,质地为中壤或轻壤,土层厚度因受到干扰大小不同而异^[10]。人地矛盾突出,水土流失、崩塌现象较严重^[11]。

1.2 试验材料

在三峡库区忠县石宝镇境内的汝溪河流域,对样地经纬度、海拔、干扰情况进行记录,并对地被物进行描述(表 1)。每个点分为上中下 3 层取样,上层厚度

第一作者简介:雷明(1984-),男,湖北恩施人,硕士,现主要从事植物生态学及土壤微生物等方面的研究工作。E-mail:leiming8@swu.edu.cn.

基金项目:国家林业公益性行业科研专项资助项目(201004039);留学回国人员科研启动基金资助项目(教外司留[2010-1561]);中央财政林业科技推广示范资助项目;联合国开发计划署全球环境基金小额赠款资助项目(CPR/SGP/OP5/CORE/LD/11/04)。

收稿日期:2013-01-31

为 0~20 cm, 中层厚度为 20~40 cm, 下层厚度为 40~60 cm。将每个点的土样分层混合后用四分法^[12]取 1 kg 土壤样品, 然后装入聚乙烯自封袋中, 以供土壤养分分析; 同理, 分别取 1.0、0.5 kg 土样于已消毒的聚乙烯自封袋中, 并冷藏运输, 分别供土壤酶和土壤微生物的测定。将土样带回实验室, 用于土壤养分和土壤酶分析的土样经过风干、磨碎、过筛(孔径≤1 mm), 然后和用于土壤微生物测定的土样一起保存在 4℃ 冰箱中待测。

1.3 试验方法

在三峡库区忠县石宝镇境内汝溪河流域, 通过实地踏查, 选取柑橘园、玉米地、胡豆地作为研究样地, 并选取邻近的一块弃耕地作为对照样地。在具有大致相同坡度、坡向的坡耕地内, 选定具有典型代表性的样地作为研究区域。所选相同坡度的岸坡上接受光照辐射强度大致相同, 土壤预热条件基本一致。共设置了 4 个样地, 包括 1 个柑橘园类型、1 个玉米地类型、1 个胡豆地类型及 1 个弃耕地类型(样地基本情况见表 1), 在每块样地中随机布设 3 条“S”型样带, 每个样带设 5 个重复样点, 以保证样点的设置完全满足统计学随机性原则。

表 1 位于同一岸坡上的样地概况

Table 1 Descriptions of sampling plots on a riparian slope

耕地类型 Farmland types	坡度 Slope /(°)	经纬度 Latitude and longitude	样地数 Number of sampling sites	备注 Notes
柑橘园 Citrus field	23	108°10'04" 30°25'44"	3	平均数高 3.2 m, 平均株行距 2 m×2 m, 平均冠幅 2.3 m ² ; 地面有腐殖质层及少许杂草
玉米地 Corn field	23	108°10'02" 30°25'43"	3	平均株行距 30 cm×40 cm, 处于拔节期
胡豆地 Strictosidine field	20	108°10'01" 30°25'42"	3	行距 25 cm, 已经成熟收获, 留下少许秸秆
弃耕地 Abandoned farmland	10	108°10'07" 30°25'45"	3	曾经是耕地, 弃耕 2 a, 土层中有明显腐殖质层, 地被丝茅, 总盖度达 98%

1.4 项目测定

细菌、放线菌、真菌采用稀释平板法测定。细菌用牛肉膏蛋白胨培养基, 真菌用马丁培养基, 放线菌用改良高氏 1 号+3% KCr₂O₄ 培养基^[13-14]; 土壤酶的测定参照林先贵^[15]的方法: 过氧化氢酶采用高锰酸钾滴定法测定, 结果以单位土重消耗 0.1 mol/L KMnO₄ 的体积(mL)表示; 用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定蔗糖酶活性, 以 24 h 后 1 g 土壤葡萄糖的 mg 数表示; 脲酶采用苯酚钠比色法测定, 其活性以 3 h 后每单位土重产生的 NH₄⁺-N 的 μg 数表示; 用茚三铜比色法测定蛋白酶活性, 以 24 h 后 1 g 土壤中氨基氮的 mg 数表示; 采用磷酸苯二钠比色法测定磷酸酶活性, 以单位土重单位时间形成酚的质量(μg)表示。pH 以 1:2.5 土水比混合后用 pH 计测定, 有机质采用重铬酸钾外加热法, 全 N 采用凯

氏定氮法测定, 碱解-扩散法测定速效 N, 全 P、速效 P 利用钼蓝比色法, 全 K、速效 K 采用原子吸收法测定^[16]。

2 结果与分析

2.1 土壤化学性质的差异性分析

由图 1 可知, 每种耕地类型各土层之间的土壤全氮、有效氮、全磷、有效磷、全钾、速效钾、有机质含量及 pH 变化存在一定的规律性。

有效氮含量在土层剖面由上至下呈递减趋势, 含量在 55.754~104.770 mg/kg 之间, 弃耕地 0~20 cm 土层有效氮含量最高, 柑橘园 40~60 cm 土层最低。弃耕地土壤层之间有效氮含量差异显著($P<0.05$), 柑橘园 0~20 cm 土层含量显著高于中下层($P<0.05$), 而玉米地和胡豆地 40~60 cm 土层含量显著低于上层土壤($P<0.05$)。0~40 cm 土层胡豆地中有效氮含量较高, 而柑橘园土壤中有效氮的含量是最低的。全磷含量在土壤剖面上也呈现上高下低的趋势, 在 0.090~0.143 g/kg 之间, 最高含量出现在玉米地 0~20 cm 土层, 而弃耕地 20~40 cm 土层含量最低, 玉米地和胡豆地 0~20 cm 土层都显著高于 40~60 cm 土层($P<0.05$)。弃耕地中上层土壤中全磷含量显著低于柑橘园和玉米地($P<0.05$)。全钾、有机质含量分别在 9.836~11.090、8.842~15.316 g/kg 之间, 它们都在土壤剖面上分布差异较小, 全钾含量只在胡豆地的中下部达明显差异($P<0.05$), 而柑橘园 0~20 cm 土层中的有机质含量显著高于中下层($P<0.05$)。值得一提的是, 有机质含量在耕地类型之间没有显著性差异, 而胡豆地中上层土壤中全钾含量显著低于柑橘园和玉米地($P<0.05$)。速效钾含量在 0.041~0.180 mg/kg 之间, 0~20 cm 土层含量显著高于中下层($P<0.05$)。在 0~20 cm 土层, 柑橘园速效钾含量显著高于玉米地、胡豆地、弃耕地($P<0.05$), 而在 20~40 cm 土层, 弃耕地显著低于胡豆地($P<0.05$)。由此发现, 各耕地类型中上层土壤 pH<7, 显酸性, 柑橘园 0~20 cm 土壤 pH 值显著低于胡豆地和弃耕地($P<0.05$), 而在 40~60 cm 土层, 各耕地土壤 pH>7, 偏碱性。全氮、有效磷在各土层及各类型土壤中的含量虽有差异但都未达到显著水平。

2.2 土壤微生物的差异性分析

由图 2 可以看出, 三大微生物类群数量在所有类型耕地内各土层之间呈现明显的规律性。微生物数量在土壤垂直剖面的分布, 呈现上高下低的趋势, 而且除放线菌在弃耕地中的分布以外, 三大类群微生物, 在所有耕地中的各土层之间达到显著差异($P<0.05$)。对于弃耕地中的放线菌数量, 0~20 cm 土层大于 40~60 cm 土层($P<0.05$)。由图 2 还可知, 细菌、真菌、放线菌数量分别在 $13.176\times10^6\sim117.984\times10^6$ cfu/g、 $0.263\times10^4\sim$

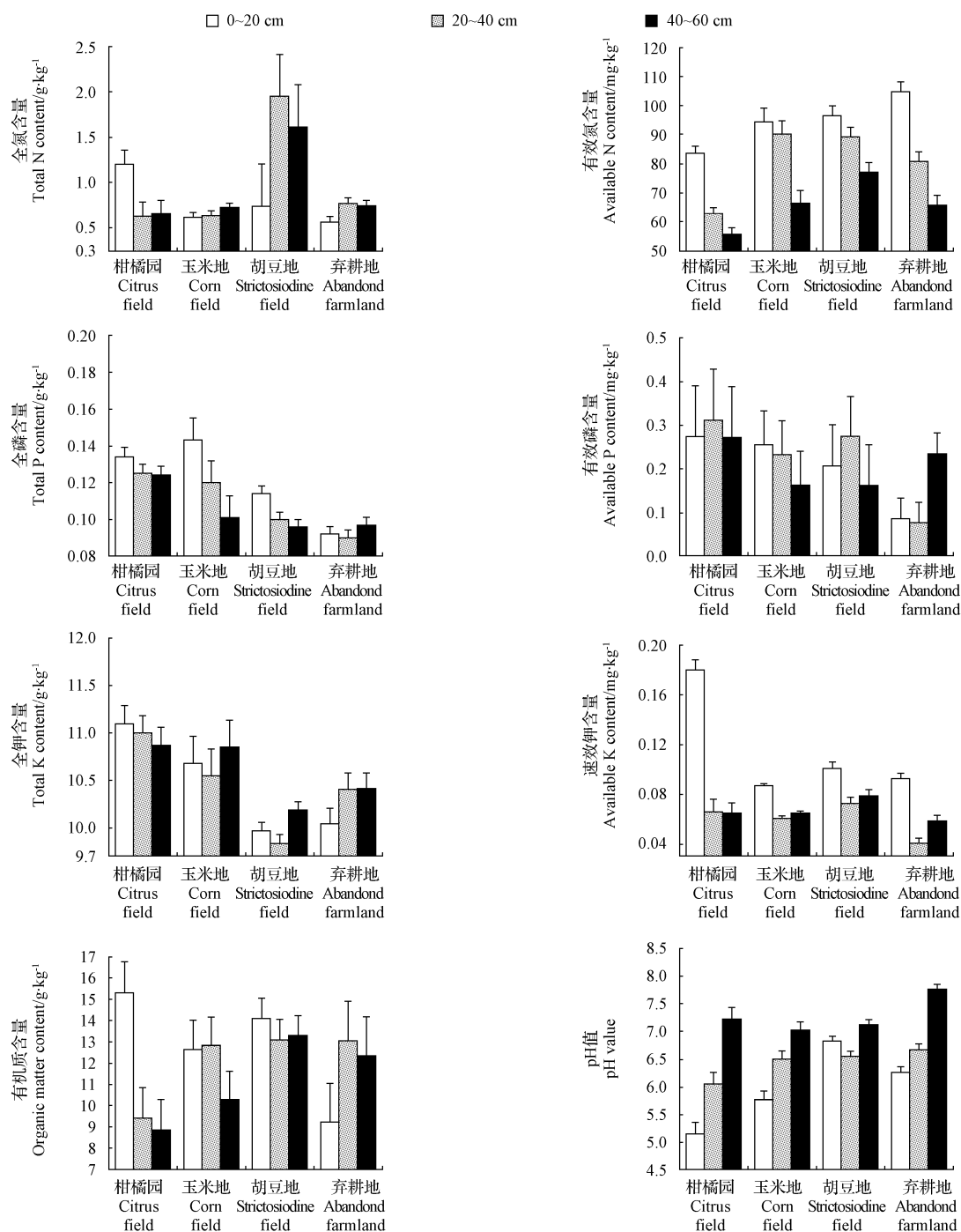


图1 不同耕地类型土壤化学性质

Fig.1 Soil chemical properties in different farmland types

6.983×10^4 cfu/g, $0.873 \times 10^5 \sim 28.998 \times 10^5$ cfu/g 之间, 而且三大微生物类群数量大小顺序为细菌>放线菌>真菌。其中, 真菌在弃耕地 0~20 cm 土层与下层差异非常大, 高达 27 倍。

各研究指标在所有土层各耕地类型之间差异较大。细菌数量, 在 0~20 cm 土层中, 柑橘园>弃耕地>玉米地>胡豆地, 差异达到显著水平 ($P < 0.05$)。在 20~40 cm 及 40~60 cm 土层, 细菌数量在各耕地类型中差异均达

到显著水平 ($P < 0.05$); 对于真菌数量, 在 0~20 cm 土层中, 弃耕地显著高于柑橘园、胡豆地、玉米地 ($P < 0.05$)。在 20~40 cm 土层, 胡豆地>玉米地>柑橘园>弃耕地 ($P < 0.05$)。而在 40~60 cm 土层, 玉米地中真菌数量最高; 对于放线菌数量, 在 0~20 cm 及 20~40 cm 土层, 放线菌数量在各耕地类型之间差异显著 ($P < 0.05$)。而下层土与中上层不同的是, 弃耕地下层土中放线菌数量却是最高。

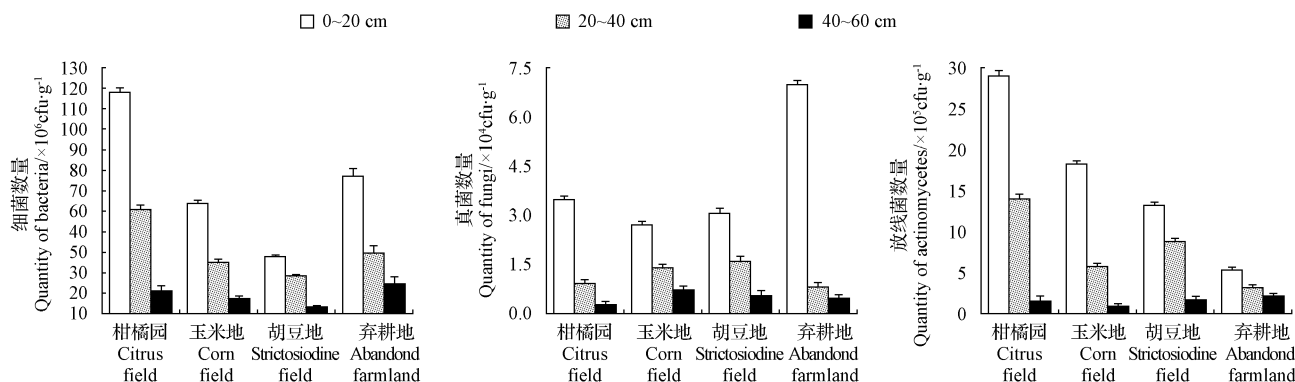


图2 不同耕地类型微生物数量

Fig. 2 The number of soil microorganisms in different farmland types

2.3 土壤酶活性的差异性分析

由图3可知,过氧化氢酶、蔗糖酶、脲酶、蛋白酶和磷酸酶活性在土壤垂直剖面上呈规律性分布。过氧化氢酶活性在土壤剖面上由上至下呈递增关系,处于5.742~16.247 $\text{mL} \cdot \text{g}^{-1}$ 之间,其含量在玉米地的0~20 cm和40~60 cm土层达显著差异,柑橘园0~20 cm土层的含量明显低于中下层,与之不同的是,弃耕地在40~60 cm土层与中上层有显著的差异($P < 0.05$);而弃耕地中过氧化氢酶活性显著高于柑橘园和玉米地($P < 0.05$)。蔗糖酶活性在0.009~0.013 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 之间,其活性虽在土壤剖面上有差异,但都未达到显著水平;与过氧化氢酶活性类似的是,柑橘园土壤中蔗糖酶活性处于相对

较低的水平。脲酶活性在2.690~3.710 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 之间,其活性在玉米地40~60 cm土层显著高于中上层($P < 0.05$),而与之相反的是,胡豆地0~20 cm土层中的活性高于中下层;而且,在0~20 cm土层中,胡豆地的脲酶活性相对于其它耕地类型表现出更高活性,在中下土层中,胡豆地、玉米地中的脲酶活性都显著高于柑橘园($P < 0.05$)。蛋白酶活性在0.027~0.093 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 之间,柑橘园、玉米地和弃耕地中蛋白酶活性在土壤剖面上一致表现为0~20 cm土层<20~60 cm土层蛋白酶活性,差异显著($P < 0.05$),而在胡豆地各土层中,虽有差异,但未达到显著水平;在40~60 cm土层,胡豆地中蛋白酶活性还表现出较低水平,而在中上土层中,各

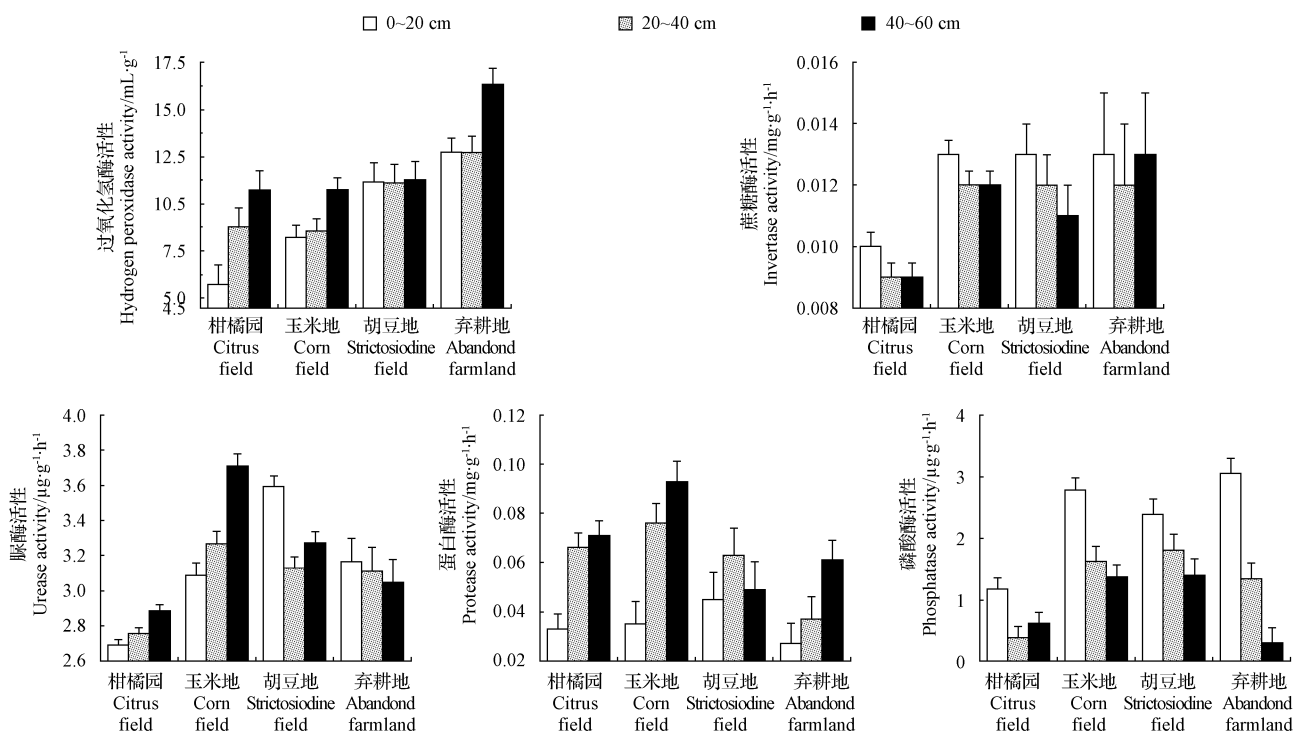


图3 不同耕地类型土壤酶活性

Fig. 3 Soil enzyme activities in different farmland types

耕地类型差异不明显。与过氧化氢酶活性表现相反的是,磷酸酶活性在土壤剖面上由上至下呈递减趋势,差异在 $0.291 \sim 3.051 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 之间,值得一提的是,最高活性与最低活性同时出现在弃耕地 $0 \sim 20 \text{ cm}$ 和 $40 \sim 60 \text{ cm}$ 土层中,相差 10 倍之多,各土层差异显著 ($P < 0.05$)。柑橘园和胡豆地的磷酸酶活性在 $0 \sim 20 \text{ cm}$ 土层分别显著高于 $20 \sim 40 \text{ cm}$ 土层和 $40 \sim 60 \text{ cm}$ 土层,其活性在玉米地的 $0 \sim 20 \text{ cm}$ 土层也显著高于中下层土壤;总体来说,胡豆地和玉米地中磷酸酶活性较高,而柑橘园中的磷酸酶活性则表现出较低的水平。

2.4 土壤中各研究指标之间的相关性

由表 2 可知,土壤微生物数量、土壤酶活性与土壤化学性质之间存在一定的关系。细菌数量与全磷、速效钾含量呈极显著正相关关系,与全钾、有效氮含量呈显

著正相关关系。真菌数量与有效氮、速效钾含量呈极显著正相关关系。与细菌数量类似的是,放线菌数量与全磷、速效钾含量呈极显著正相关关系、与有效氮、有机质含量呈显著正相关关系。土壤微生物同时与 pH 值呈极显著负相关关系。

由表 2 还可以看出,过氧化氢酶活性与全磷、速效钾含量呈极显著负相关,与全钾呈显著负相关关系。蔗糖酶活性与有效氮含量呈极显著正相关关系。脲酶活性分别与全磷、速效钾含量呈显著负相关关系,与全钾含量呈极显著负相关关系。蛋白酶活性分别与有效氮、速效钾含量呈极显著负相关关系。磷酸酶活性只与有效磷含量呈极显著正相关。五大土壤酶活性都与 pH 值呈显著正相关关系。

表 2 微生物数量、酶活性与土壤化学性质的相关性

Table 2 Correlations between soil microorganisms, enzyme activities and different soil chemical properties

项目 Item	全氮	全磷	全钾	有效氮	有效磷	速效钾	有机质	pH
细菌 Bacteria	-0.067	0.394 **	0.290 *	0.312 *	0.067	0.767 **	0.132	-0.804 **
真菌 Fungi	-0.131	0.074	-0.162	0.643 **	-0.080	0.537 **	0.076	-0.467 **
放线菌 Actinomyces	0.037	0.522 **	0.219	0.311 *	0.156	0.792 **	0.274 *	-0.784 **
过氧化氢酶活性 Hydrogen peroxidase activity	-0.177	-0.408 **	-0.254 *	-0.115	-0.046	-0.501 **	0.032	0.726 **
蔗糖酶活性 Invertase activity	-0.242	-0.093	-0.177	0.284 *	0.042	-0.273 *	-0.067	0.314 *
脲酶活性 Urease activity	-0.112	-0.255 *	-0.315 **	0.232	-0.140	-0.314 *	0.067	0.374 **
蛋白酶活性 Protease activity	0.142	-0.016	0.020	-0.341 **	0.003	-0.469 **	-0.169	0.368 **
磷酸酶活性 Phosphatase activity	-0.145	-0.178	-0.053	-0.158	0.327 **	-0.095	-0.018	0.366 **

注:*, ** 分别表示在 $P < 0.05$ 与 $P < 0.01$ 水平上差异显著。

Note: *, ** stand for significant difference at $P < 0.05$ and $P < 0.01$ level respectively.

3 讨论与结论

3.1 土壤化学性质的差异性

土壤化学性质是土壤的基本属性和本质特征,直接关系到土壤能量交换和物质循环的效率,关系到供应和协调植物生长的能力^[17],土壤化学性质虽然部分受土壤母质本身的影响,但受环境的影响更大^[18-20],造成其不同耕地类型之间及不同土壤剖面之间的显著差异。

该研究结果表明,各耕地类型土壤中以及土壤剖面之间土壤化学性质呈现显著差异。这种差异是成土条件、雨水淋蚀、植物吸收与分解、酸雨等环境因素及人为活动综合作用的结果。其中全氮含量在人为翻耕较频繁的耕地类型(胡豆地、玉米地)和人为干扰相对较小的耕地类型(柑橘园、弃耕地)之间,没有显著差异,而柑橘园中的有效氮含量较低。调查发现,除了库区农民对玉米、胡豆地的施肥行为外,胡豆自身也能够固氮,但全氮含量低,有效氮含量高,可能是因为大量的全氮转化成了有效氮。柑橘园中的有效氮可以由强大的地上部分吸收固定,导致土壤中有效氮含量维持较低水平;另外,由于玉米和胡豆对氮素的固定效率有限,过剩的氮素容易淋失,对环境造成潜在威胁。该研究发现,有效磷含

量差异性也不大,这些经施肥(过磷酸钙)的土壤,磷素含量却极低,一方面可能是植物吸收的结果,另一方面可能是磷素的大量流失抵消了差异性。柑橘园中磷素含量相对较高,可能是土壤较少受到扰动、发达根系的固持作用等所造成的。该研究中,柑橘园 $0 \sim 20 \text{ cm}$ 土层有机质较高,可能是由于掉落的枯落叶和果实腐烂所造成,有利于土壤的物质循环,其含量与全氮含量表现基本一致的趋势。

3.2 土壤微生物的差异性

土壤微生物是使土壤具有生命力的最主要成分,在土壤形成和发育过程中起重要作用,是评价土壤质量的一个重要指标^[21]。土壤微生物活性受许多环境因子的影响,如土壤类型、碳源状况、pH 值、水分以及植物种类等^[22],其中不同耕地类型所致的土壤理化性质的异质性对土壤微生物的改变已在很多报道中得到证实^[23]。该研究结果表明,土壤微生物数量的分布状况在不同耕地类型中有明显差异,这种差异主要是不同的植物类型所形成的与之相适应的环境差异所造成的;在垂直剖面上土壤微生物表现出由上至下递减的趋势,可能是由于土壤表层枯枝落叶分解、转化进入土壤,形成较厚的腐殖

质层,聚集了大量的营养元素,同时植被根系绝大多数分布于表层,根系分泌物能刺激微生物活动,加上土壤表层温度和通气状况利于微生物的生存与繁衍,因而表层土壤微生物数量最大。总体上看,三大类群土壤微生物数量表现为细菌>放线菌>真菌,而这三大菌群数量在柑橘园中都较大,可能是因为柑橘园 0~40 cm 土层拥有较多枯落物;弃耕地 0~20 cm 土层真菌数量不但明显高于中下层土壤,而且也高于其它耕地类型,可能是因为弃耕地地表大量的 1 a 生丝茅枯落物为真菌提供了物质。同样,在玉米地 20~60 cm 土层,真菌数量也相对高于其它类型,可能是由于耕地中留下的小麦茬,翻耕过程中,进入下层,为真菌代谢提供了丰富的物质来源。说明细菌在土壤微生态环境中起主要作用。

3.3 土壤酶活性的差异性

土壤酶是指土壤中的聚积酶,来自土壤微生物、植物和动物活体或残体,是土壤生化过程的产物。它们主要是以物理或化学的结合形式吸附在土壤有机和无机颗粒上,或与腐殖质络合。不同植被土壤酶活性的差异,反映了各种植被土壤的物质和能量的转化状况,它表征了土壤的综合肥力特征及土壤养分转化过程,所以土壤酶活性可以作为衡量土壤熟化和肥力的指标^[24]。该试验结果表明,过氧化氢酶、蔗糖酶、脲酶、蛋白酶、磷酸酶活性在各耕地类型中分布均有显著性差异,可能主要是因为每一种植被对养分的需求具有差异性以及土壤本身酶底物的差异性所造成;在垂直剖面上土壤酶总体上也表现出上高下低的趋势,主要是由于上层土壤环境中存在大量酶作用的底物,而且通气状况较下部好的因素。但是,土壤酶活性受 pH 值影响较明显,致使某些酶活出现不一致的分布状况。

3.4 土壤中各研究指标之间的相关性

土壤的微生物数量及其分布在一定程度上反映了土壤化学性质的状态,从而直接影响土壤养分的有效性和肥力状况^[25-26],而土壤养分在一定程度上也会影响土壤微生物状况^[27-29]。土壤的许多生化过程,如土壤中腐殖质的合成与分解,营养物质的转化速度等都与土壤酶活性密切相关^[30]。

该研究中,细菌、真菌、放线菌数量与土壤主要养分呈显著正相关关系,表明土壤养分含量的增加会促进微生物的生长繁殖,同时微生物数量增加也会有助于提高土壤养分的供应水平。而三大菌群与 pH 值呈极显著负相关,可能是由于 pH 值在最适值附近上下波动都会影响到菌群的活性,这与徐雄等^[31]研究结果基本一致。赵林森等^[32]、薛立等^[33]研究结果还表明,农业土壤的酶活性与土壤化学性质之间存在着良好的相关性。该研究中,脲酶与氮素含量关系不大,而与磷钾含量有相关性,可能是研究区磷和钾素含量较低,土壤环境启动了一种

“应急机制”,来维持土壤环境中物质循环和能量流动,至于具体的原因,还有待进一步深入研究。其中,pH 值基本上与上述几种酶都呈极显著相关,充分说明土壤酶必须在一定的 pH 值范围内才具有较大的生物活性。

通过该研究得出,柑橘园和弃耕地在稳定坡耕地土壤环境方面有显著优势,希望库区农民通过结构调整,加大耕地向果园类型发展。

参考文献

- [1] 罗芳丽,王玲,曾波,等. 三峡库区岸生植物野古草(*Arundinella anomala* Steud.)光合作用对水淹的响应[J]. 生态学报,2006,26(11):3602-3609.
- [2] 任雪梅,杨达源,徐永辉,等. 三峡库区消落带的植被生态工程[J]. 水土保持通报,2006,26(1):42-43,49.
- [3] 陈国阶. 长江上游水土流失主要成因与防治对策[J]. 农村生态环境,2000(3):5-8.
- [4] 朱波,彭奎,谢红梅. 川中丘陵区典型小流域农田生态系统氮素收支探析[J]. 中国生态农业学报,2006,14(1):108-111.
- [5] 韦杰,贺秀斌. 三峡库区坡耕地水土保持措施研究进展[J]. 世界科技研究与发展,2011,33(1):41-45.
- [6] 王幸,张洪江,程金花,等. 三峡库区坡耕地植物篱模式效益评价研究[J]. 中国生态农业学报,2011,19(3):692-698.
- [7] 沈宏,曹志洪,徐本生. 玉米生长期土壤微生物量与土壤酶变化及其相关性研究[J]. 应用生态学报,1999,10(4):471-474.
- [8] 王波,邓艳萍,肖新,等. 不同节水水稻作模式对土壤理化特性和土壤酶活性影响研究[J]. 水土保持学报,2009,23(5):219-222.
- [9] 王兵,刘国彬,薛蓬. 退耕地养分和微生物量对土壤酶活性的影响[J]. 中国环境科学,2010,30(10):1375-1382.
- [10] 杜高赞,高美荣. 三峡库区典型消落带土壤粒径分布及分形特征[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2011,35(1):47-50.
- [11] 崔丽娟,李伟,赵欣胜,等. 湿地岸坡恢复技术研究[J]. 世界林业研究,2011,24(3):16-21.
- [12] Acosta-Martínez V, Cruz L, Sotomayor-Ramírez D, et al. USDA, ARS. Enzyme activities as affected by soil properties and land use in a tropical watershed[J]. Applied Soil Ecology, 2007, 35(1):35-45.
- [13] 程丽娟,薛泉宏. 微生物学实验指导[M]. 西安:世界图书出版社,2000.
- [14] 刘志恒. 现代微生物学[M]. 北京:科学出版社,2000.
- [15] 林先贵. 土壤微生物研究原理与方法[M]. 北京:高等教育出版社,2010.
- [16] 刘光崧. 土壤理化分析与剖面描述[M]. 北京:中国标准出版社,1996.
- [17] Ilany T, Ashton M S, Montagnini F, et al. Using agro forestry to improve soil fertility; Effects of intercropping on *Ilex paraguariensis* (yerbamate) plantations with *Araucaria angustifolia* [J]. Agro Gorestry Systems, 2010, 80(3):399-409.
- [18] Boulton A M, Jaffee B A, Scow K M. Effects of a common harvester ant (*Messor andrei*) on richness and abundance of soil biota [J]. Applied Soil Ecology, 2003, 23(3):257-265.
- [19] Doran J W. Microbial biomass and mineralizable nitrogen distributions in no-tillage and plowed soil [J]. Biology and Fertility of Soils, 1987, 5(1):68-75.
- [20] Beare M H, Parmelee R, Hendrix P F, et al. Microbial and faunal interactions and effects on litter nitrogen and decomposition in agroecosystems

- [J]. Ecological Monographs, 1992, 62(4): 569-591.
- [21] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [22] 肖育贵. 不同林型凋落物土壤微生物数量动态的研究[J]. 林业科技讯, 1996, 17(1): 28-29.
- [23] Van Breemen N, Finzi A C. Plant-soil interactions: ecological aspects and evolutionary implications[J]. Biogeochemistry, 1998, 42 (1-2): 1-19.
- [24] 王波, 邓艳萍, 肖新, 等. 不同节水稻作模式对土壤理化特性和土壤酶活性影响研究[J]. 水土保持学报, 2009, 23(5): 219-222.
- [25] 李阜棣. 土壤微生物[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996.
- [26] Martin A. 广西农学院农业微生物学教研组. 土壤微生物[M]. 1964 译. 北京: 科学出版社, 1983.
- [27] Deboz K, Rasmussen P H, Pedersen A R. Temporal variations in microbial biomass C and cellulolytic enzyme activity in arable soil: Effects of organic matter Input[J]. Applied Soil Ecology, 1999, 13(3): 209-218.
- [28] Taylor J P, Wilson B, Mills M S, et al. Comparison of microbial numbers and enzymatic activities in surface and subsoil using various techniques[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2002, 34(3): 387-401.
- [29] Vepsäläinen M, Erkomaa K, Kukkonen S, et al. The impact of crop plant cultivation and peat amendment on soil microbial activity and structure[J]. Plant and Soil, 2004, 264(1/2): 273-286.
- [30] 王振宇, 吕金印, 李凤民, 等. 根际沉积及其在植物-土壤碳循环中的作用[J]. 应用生态学报, 2006, 17(10): 1963-1968.
- [31] 徐雄, 张健, 张猛, 等. 果-草人工生态系统中土壤微生物、土壤酶与土壤养分的关系[J]. 水土保持学报, 2005, 19(6): 178-181.
- [32] 赵林森, 王九龄. 杨槐混交林生长及土壤酶与肥力的相互关系[J]. 北京林业大学学报, 1995, 17(4): 1-7.
- [33] 薛立, 陈红跃, 徐英宝, 等. 混交林地土壤物理性质与微生物数量及酶活性的研究[J]. 土壤通报, 2004, 35(2): 155-158.

Effects of Different Farmland Use Patterns on Soil Enzymes Activities and Soil Microorganisms in Sloped Farmland on Riverbank Slopes

LEI Ming, LI Chang-xiao, MA Peng, MA Jun

(Key Laboratory for the Eco-Environment of the Three Gorges Reservoir Region of the Ministry of Education, College of Life Sciences, Southwest University, Chongqing 400715)

Abstract: The soil microbial, enzyme activities and chemical properties were studied in four different farmland use types (citrus field, corn field, strictosidine field, abandoned farmland) on riverbank slopes of the Three Gorges Reservoir Region. The results showed that the content of total potassium, total nitrogen, available phosphorus and organic matter had no significant difference among soil layers. In addition, the content of total nitrogen, available phosphorus and organic matter also had no significant difference among all the farmland use types. In 0~20 cm soil layer, the content of available nitrogen, total phosphorus, available potassium and pH value had significant difference among all farmland use types, and also between 0~20 cm soil layer and 20~60 cm soil layer. The quantity of bacterial, fungi and actinomycetes was not decreased with soil depth, but also among all farmland use types of the same layer. There was a significant difference with the activity of soil catalase, urease, protease and phosphatase among different soil layers, except invertase. But, in 0~40 cm soil layer, the activity of protease didn't show a significant difference among all farmland use types, but had big difference of other soil enzymes. The quantity of soil microbial, activity of five major soil enzymes and soil chemical properties interacted closely.

Key words: Three Gorges Reservoir Region; soil microbial; soil enzyme; soil chemical properties