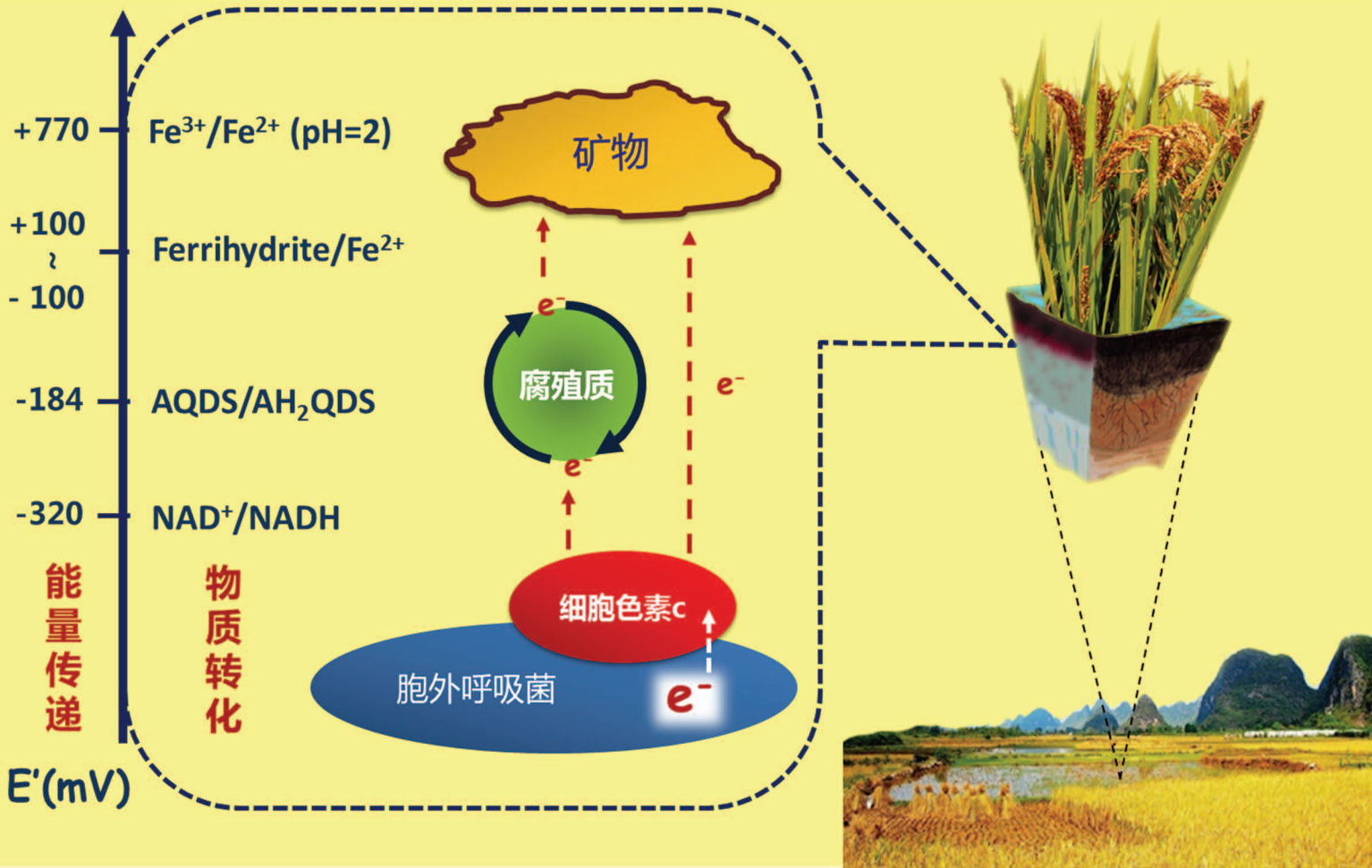


Acta Pedologica Sinica 土壤学报

Turang Xuebao

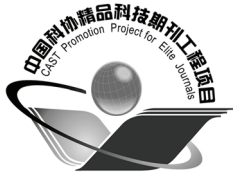


中国土壤学会 主办
科学出版社 出版

2016

第53卷 第2期

Vol.53 No.2



土壤学报

(Turang Xuebao)



第 53 卷 第 2 期 2016 年 3 月

目 次

综述与评论

- 土壤微生物—腐殖质—矿物间的胞外电子传递机制研究进展····· 吴云当 李芳柏 刘同旭 (277)
- 长期施肥对农田土壤氮素关键转化过程的影响····· 王 敬 程 谊 蔡祖聪等 (292)

新视角与前沿

- 土壤学不应忽视对作物土传病原微生物的研究····· 蔡祖聪 黄新琦 (305)

研究论文

- 西安少陵塬黄土—古土壤序列S₃剖面元素迁移及古气候意义····· 楚纯洁 赵景波 (311)
- 基于盲源分离的稀疏植被区土壤含盐量反演····· 刘 娅 潘贤章 石荣杰等 (322)
- 基于地类分层的土壤有机质光谱反演校正样本集的构建····· 刘艳芳 卢延年 郭 龙等 (332)
- 基于多分辨率遥感数据与随机森林算法的土壤有机质预测研究····· 王茵茵 齐雁冰 陈 洋等 (342)
- 鄂东南崩岗剖面土壤水分特征曲线及模拟····· 邓羽松 丁树文 蔡崇法等 (355)
- 放水冲刷对红壤坡面侵蚀过程及溶质迁移特征的影响····· 马美景 王军光 郭忠录等 (365)
- 汶川震区滑坡堆积体坡面土壤侵蚀率及水动力学参数研究····· 王仁新 何丙辉 李天阳等 (375)
- 咸水冻融灌溉对重度盐渍土壤水盐分布的影响····· 张 越 杨劲松 姚荣江 (388)
- 基于不同估算方法的贵州省土壤温度状况····· 陆晓辉 董宇博 涂成龙 (401)
- 拉萨灌丛草甸区土壤温度变化特征····· 巩玉玲 王兆锋 张懿锂等 (411)
- 砂土和黏土的颗粒差异对土壤斥水性的影响····· 杨 松 吴珺华 董红艳等 (421)
- AQDS加速红壤性水稻土中DDT厌氧脱氯效应研究····· 刘翠英 王 壮 徐向华等 (427)
- 激发式秸秆深还对土壤养分和冬小麦产量的影响····· 赵金花 张丛志 张佳宝 (438)
- 臭氧污染对麦田土壤不同活性有机碳库的影响····· 寇太记 程相涵 张东亮等 (450)
- 黑土区水稻土有机氮组分及其对可矿化氮的贡献····· 丛耀辉 张玉玲 张玉龙等 (457)
- 水土保持措施对红壤缓坡地土壤活性有机碳及酶活性的影响····· 黄尚书 成艳红 钟义军等 (468)
- 祁连山青海云杉林叶片—枯落物—土壤的碳氮磷生态化学计量特征····· 赵维俊 刘贤德 金 铭等 (477)
- 基于核酸DNA/RNA同位素示踪技术的水稻土甲烷氧化微生物研究····· 郑 燕 贾仲君 (490)
- 适应玉米的溶磷细菌筛选及其对玉米生长的影响····· 梅新兰 闪安琪 蒋 益等 (502)
- 旱地红壤线虫群落对不同耕作年限的响应及指示意义····· 王明伟 刘雨迪 陈小云等 (510)
- 西藏“玉米田养鹅”模式下养分吸收与养分平衡特征····· 沙志鹏 张宇阳 王 超等 (523)
- 加工番茄连作对土壤理化性状及微生物量的影响····· 康亚龙 景 峰 孙文庆等 (533)

研究简报

- CTMAB对BS-12修饰膨润土的复配修饰模式····· 余 璐 孟昭福 李文斌等 (543)
- 不同机械改土方式对白浆土物理特性及酶活性的影响····· 孟庆英 张春峰 贾会彬等 (552)

信息

- 《土壤学报》2015年度审稿专家名录····· (560)

封面图片: 微生物胞外电子传递: 能量传递与物质转化 (由吴云当、李芳柏、刘同旭提供)

DOI: 10.11766/trxb201505040153

水土保持措施对红壤缓坡地土壤活性有机碳及酶活性的影响*

黄尚书^{1, 2} 成艳红^{1, 2} 钟义军^{1, 2} 黄欠如^{1, 2†} 孙永明^{1, 2}
武琳^{1, 2} 章新亮^{1, 2} 许彦³

(1 江西省红壤研究所, 江西进贤 331717)

(2 国家红壤改良工程研究中心, 江西进贤 331717)

(3 江西生物科技职业学院, 南昌 330200)

摘要 基于植物篱和稻草覆盖控制红壤坡耕地水土流失的长期定位试验, 以花生常规等高种植为对照 (CK), 研究红壤缓坡地香根草篱 (H)、稻草覆盖 (M)、稻草覆盖+香根草篱 (HM) 3 种水保措施下旱、雨季土壤活性有机碳含量及土壤酶活性变化特征, 探讨不同水保措施对土壤活性有机碳含量及土壤酶活性的影响。结果表明: (1) 稻草覆盖、香根草篱处理均能显著提高土壤微生物生物量碳含量 ($p < 0.05$), 其中稻草覆盖和香根草篱相结合效果最佳, 且在旱季提升效果优于雨季; 而稻草覆盖是提高土壤可溶性有机碳含量的主要影响因素; (2) 稻草覆盖和稻草覆盖+香根草篱 2 种水土保持措施均能显著提高雨季土壤酶活性 ($p < 0.05$), 其中稻草覆盖起决定作用; 各水土保持措施对旱季土壤酶活性的影响较小。(3) 相关性分析表明, 土壤 β -葡(萄)糖苷酶和纤维素酶活性与土壤活性有机碳含量呈现良好的相关性 ($p < 0.05$), 对于评价红壤缓坡地水土保持措施土壤环境质量功能、指导实际生产等方面具有重要意义。

关键词 红壤缓坡地; 水土保持措施; 土壤活性有机碳; 土壤酶活性

中图分类号 S158 **文献标识码** A

红壤坡地是我国长江中下游地区主要的土地资源之一, 区域水热资源丰富, 生物生产力潜力巨大^[1], 是我国重要的土壤资源和多种农林产品的主产区。但由于不合理开发利用和区域自然地理环境, 致使该区水土流失日益严重。我国南方红壤地区总面积 $2.03 \times 10^6 \text{ km}^2$, 水土流失面积达 60 余万 km^2 , 该区成为我国水土流失范围最广、严重程度仅次于黄土高原的地区^[2]。水土流失也成为该区农业生产发展、生态环境改善、人民生活质量提高的限制因素^[3]。草篱、秸秆覆盖等生物水土保持措

施在有效减流减沙、保持坡地水土的同时^[4, 5], 对改善土壤养分, 促进土壤养分循环等均具有重要作用, 在国内外已得到广泛应用^[6]。研究表明, 香根草篱、稻草覆盖等措施对增加土壤壤有机质, 改善土壤团粒结构, 提高水稳性团聚体的数量和质量, 增强土壤抗侵蚀能力效果显著^[7], 可以有效减少红壤坡耕地土壤侵蚀量 85% 以上, 土壤有机质含量增幅为 9% ~ 13%^[8]。活性有机碳是指土壤有机质的活性部分, 是土壤中有效性较高、易被土壤微生物分解矿化、对植物养分供应有直接作用的那

* 国家自然科学基金项目 (41301235)、国家科技支撑计划项目 (2011BAD31B04-3, 2012BAD05B00) 和水利部行业专项 (201301050) 共同资助 Supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 41301235), the National Key Technology R&D Program of China (Nos. 2011BAD31B04-3 and 2012BAD05B00), and the Governmental Public Industry Research Special Funds for Projects (No. 201301050)

† 通讯作者 Corresponding author, E-mail: qianruhuang@163.com

作者简介: 黄尚书 (1989—), 男, 江西崇义人, 硕士, 助理研究员, 主要从事水土保持研究。E-mail: hss1232005@163.com

收稿日期: 2015-05-04; 收到修改稿日期: 2015-07-27

部分有机碳^[9]。尽管活性有机碳占全碳的比例很小，但其大小和周转对土壤有效养分的含量及其循环和利用具有重要意义，而土壤酶参与了土壤活性有机碳的分解和转化过程，其活性高低可反映土壤养分转化能力的强弱，是土壤生物过程的主要调节者^[10]。以往研究在不同生物水保措施控制土壤侵蚀和面源污染，对土壤有机碳、无机养分影响等方面进行了较为系统的研究^[4, 11]，但关于不同水保措施下土壤活性有机碳和土壤酶活性的影响以及土壤酶活性与土壤活性有机碳的关系研究相对较少。本文依托始于2009年的红壤坡地不同生物水保措施的水保效果野外试验基地，探讨了红壤缓坡花生地不同水土保持措施对土壤活性有机碳和土壤酶活性的影响，并分析了土壤酶活性与土壤活性有机碳的关系，从土壤微生物生态角度为红壤缓坡花生地选择合理的水保措施提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

本研究在江西省红壤研究所的水土流失定位试验站进行。该试验站的地理位置为28°15'30" N, 116°20'24" E, 气候温和、雨量丰富、日照充足、无霜期长，属中亚热带季风气候，年均降雨量1 537 mm，年蒸发量1 100~1 200 mm；有明显雨旱两季，3—6月为雨季，降雨量占全年雨量61%~69%；7—9月为旱季，蒸发量占全年蒸发量的40%~59%；年均气温17.7~18.5℃，最冷月气温（1月）平均气温为4.6℃；最热月（7月）平均气温一般在28.0~29.8℃。地形为典型低丘，土壤为第四纪黏土母质发育的红壤旱地，土壤质地为：沙粒 9.51%，粉粒 61.16%，黏粒 29.32%（俄罗斯制土粒分级标准）；基础地力为：pH 5.0，有机质 19.63 g kg⁻¹，全氮 1.93 g kg⁻¹，全磷 0.66 g kg⁻¹，全钾 1.39 g kg⁻¹，有效磷 24.21 mg kg⁻¹，速效钾 170.67 mg kg⁻¹，碱解氮 81.52 mg kg⁻¹，CEC 14.29 cmol kg⁻¹。

1.2 研究方法

该试验始于2009年，设置等高花生常规耕作（CK）、香根草篱（H）、稻草覆盖（M）、香根草篱+稻草覆盖（HM）4个处理，3次重复，完全随机排列。各处理基础肥力及花生种植方式和农事操作等基本一致。样地坡度10°，小区面积120 m²

（24 m×5 m）。香根草（*Vetiveria zizanioides*）篱每隔8 m双行种植，株行距为50 cm×50 cm，株高控制在80~100 cm，宽度在60 cm左右。覆盖材料采用自然凉干的稻草，不做任何处理均匀覆盖在土壤表层，每个小区稻草施用量为36 kg。花生品种选用进贤多粒土花生，种植密度为40 cm×15 cm，不同处理间花生每一行均对应等高种植，常耕小区对应种植72行花生，草篱小区种植66行花生。

1.3 取样与处理

选取2013年9月和2014年6月作为旱季和雨季的典型代表月份，降雨量分别为26 mm和229 mm，在确保取样时无降雨情况下，于2013年9月27日和2014年6月3日在径流小区的上坡位采集距离香根草篱带上部边缘4 m内表层0~15 cm土样，每个土样为采样区内10个采样点的混合样。采集的土样剔除可见的动、植物残体和石块等过2 mm筛，在4℃下保存用于测定土壤酶活性和微生物生物量碳。取出部分样品风干后磨碎过100目筛，用于测定土壤可溶性有机碳含量。

1.4 测定方法

β-葡糖苷酶采用对硝基酚比色法，以1 g土壤在30℃下培养1 h生成对硝基酚的mg数表示；多酚氧化酶活性采用邻苯三酚显色法，以1 g土壤在30℃下培养2 h分解邻苯三酚的mg数来表示；纤维素酶采用3, 5-二硝基水杨酸比色法，以10 g土壤在37℃下培养72 h后生成葡萄糖的mg数表示；蔗糖酶活性采用3, 5-二硝基水杨酸比色法，以1 g土壤在37℃下培养24 h后生成葡萄糖的mg数表示^[12]；土壤可溶性有机碳采用有机碳分析仪测定；土壤微生物生物量碳采用氯仿熏蒸—0.5 mol L⁻¹硫酸钾浸提法^[13]测定。

1.5 数据统计与分析

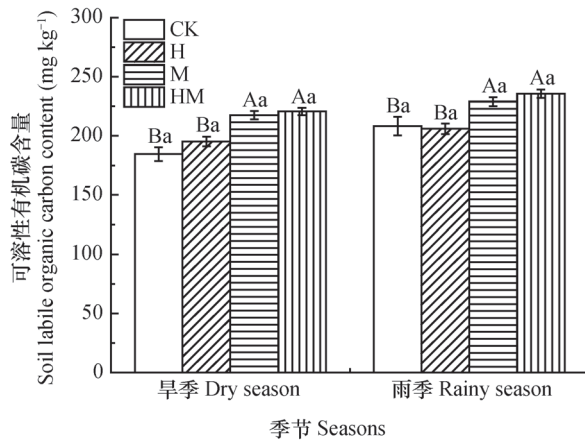
用Origin 8.1软件进行制图，DPS 7.05软件进行方差分析及相关性分析。

2 结果

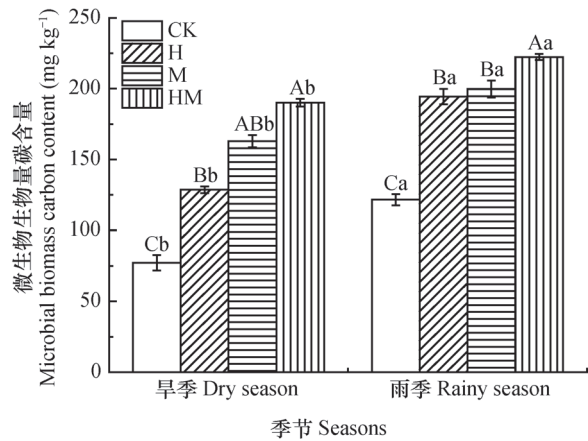
2.1 不同水土保持措施对土壤活性有机碳的影响

土壤微生物生物量碳（MBC）和可溶性有机碳（DOC）是土壤活性有机碳库的两个重要表征指标。图1列出了不同水保措施下土壤MBC和DOC含量，从图中可知，旱季土壤可溶性有机碳含量

变幅为161.6~234.7 mg kg⁻¹, 雨季为181.2~250.0 mg kg⁻¹, 相同处理土壤可溶性有机碳含量表现为雨季高于旱季, 平均高出5.21%~12.85%。与CK相比, M和HM处理可显著增加土壤可溶性有机碳含量 ($p < 0.05$), 旱季分别增加17.95%和19.57%, 雨季分别增加9.94%和13.18%。无论是在旱季, 还是在雨季, M与HM处理间、H与CK处理间土壤可溶性有机碳含量均无显著差异 ($p > 0.05$)。说明香根草篱对土壤可溶性有机碳含量无明显影响, 稻草覆盖是影响土壤可溶性有机碳含量的主要因素。



旱季土壤微生物生物量碳含量变幅为50.32~198.7 mg kg⁻¹, 雨季为105.3~229.6 mg kg⁻¹, 相同处理雨季土壤微生物生物量碳含量明显高于旱季, 平均高出17.00%~57.57%。H、M、HM处理土壤微生物生物量碳含量较CK分别提高59.95% (雨季)~66.70% (旱季), 64.27% (雨季)~111.17% (旱季), 82.91% (雨季)~146.4% (旱季), 均达到了显著差异 ($p < 0.05$)。说明香根草篱和稻草覆盖可明显提高土壤微生物生物量碳含量, 在旱季提升效果更突出。



注: CK: 等高花生常规耕作, H: 香根草篱, M: 稻草覆盖, HM: 香根草篱+稻草覆盖; 不同大写字母表示同一季节不同水保措施差异显著, 不同小写字母表示同一水保措施不同季节差异显著。下同 Note: CK: conventional contour peanut cultivation, Treatment H: hedgerows of Vetiver Grass, Treatment M: mulching with rice straw, and Treatment HM: hedgerows of Vetiver Grass + mulching with rice straw; Different capital letters mean significant difference between different water and soil conservation measures, and different lowercase letters mean significant difference between different seasons. The same as below

图1 不同水保措施下土壤可溶性有机碳、微生物生物量碳含量季节变化

Fig. 1 Soil water soluble organic carbon and microbial biomass carbon content in the soil as affected by soil and water conservation measure

2.2 不同水土保持措施对土壤酶活性的影响

如图2所示, 相同处理下, 雨季土壤 β -葡(萄)糖苷酶活性(13.49~12.86 mg g⁻¹ h⁻¹)与旱季土壤 β -葡(萄)糖苷酶活性(3.12~8.23 mg g⁻¹ h⁻¹)相比, 平均提高了17.88%~37.30%。与CK相比, M和HM处理显著增强了土壤 β -葡(萄)糖苷酶活性 ($p < 0.05$), 旱季分别提高56.87%和84.04%, 雨季分别提高48.81%和58.00%; 无论是旱季还是雨季, M和HM处理间土壤 β -葡(萄)糖苷酶活性均无显著差异 ($p > 0.05$), 但均显著高于H处理。

与 β -葡(萄)糖苷酶活性变化规律相似, 相同处理雨季土壤多酚氧化酶活性(0.21~0.62 mg g⁻¹ 2h⁻¹)明显高于旱季(0.10~0.40 mg g⁻¹ 2h⁻¹), 平均高出88.88%~108.43%。在雨季, 与CK相

比, M和HM处理均显著增加了土壤多酚氧化酶活性 ($p < 0.05$), 分别提高了28.48%和38.04%, 但两处理间无显著差异 ($p > 0.05$), 而H处理与CK处理无显著差异。说明: 在雨季, 稻草覆盖是影响土壤多酚氧化酶活性的主要因素; 而在旱季, 各处理间土壤多酚氧化酶活性无显著差异 ($p > 0.05$)。

除H处理, 其他处理雨季土壤纤维素酶活性(61.50~152.61 mg 10g⁻¹ 72h⁻¹)显著高于旱季土壤(56.19~128.40 mg 10g⁻¹ 72h⁻¹), 平均提高6.19%~38.97%。与CK相比, 雨季只有M和HM处理显著增强了土壤纤维素酶活性 ($p < 0.05$), 分别提高了45.45%和51.39%; M和HM处理间无显著差异 ($p > 0.05$); 与CK相比, 旱季仅HM处理显

著增强了土壤纤维素酶活性 ($p < 0.05$)，提高了 42.48%。说明稻草覆盖是影响雨季土壤纤维素酶活性的主要因素，香根草篱对雨季土壤纤维素酶活性无明显影响；香根草篱与稻草覆盖二者结合才能影响旱季土壤纤维素酶活性。

旱季土壤蔗糖酶活性变幅为 $70.33 \sim 148.5 \text{ mg g}^{-1} 24\text{h}^{-1}$ ，雨季为 $87.50 \sim 164.5 \text{ mg g}^{-1} 24\text{h}^{-1}$ ，相同处理雨季的土壤蔗糖酶活性明显高于旱季

土壤，平均高出 1.11% ~ 48.64%。与 CK 相比，M 和 HM 处理均显著增强了雨季土壤蔗糖酶活性 ($p < 0.05$)，分别提高了 45.21% 和 48.24%，M 和 HM 处理间无显著差异 ($p > 0.05$)；各处理对旱季土壤蔗糖酶活性影响均无显著差异 ($p > 0.05$)。说明草篱和稻草覆盖只影响雨季土壤蔗糖酶活性，而对旱季土壤蔗糖酶活性无明显影响，其中稻草覆盖是影响土壤蔗糖酶活性的主要因素。

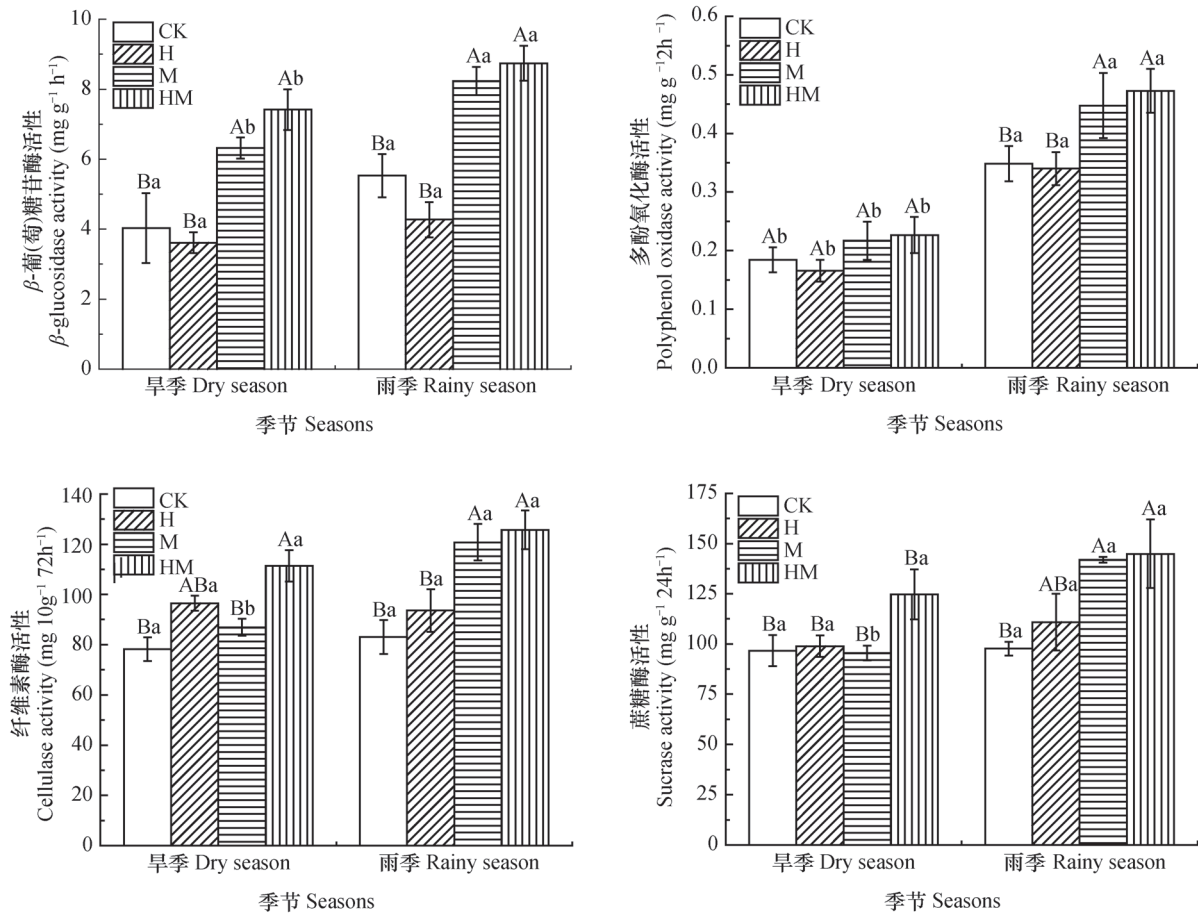


图2 不同水保措施下土壤酶活性的季节变化

Fig. 2 Soil enzyme activity in the soil as affected by soil and water conservation measure

2.3 土壤酶活性与土壤活性有机碳的关系

如表2所示，土壤β-葡(萄)糖苷酶和纤维素酶活性与雨季和旱季土壤可溶性有机碳、微生物生物量碳含量均呈显著正相关 ($p < 0.05$)，但土壤多酚氧化酶活性与土壤可溶性有机碳、微生物生物量碳含量的相关性不显著 ($p > 0.05$)。说明无论是旱季，或是雨季土壤可溶性有机碳、微生物生物量碳的含量与土壤β-葡(萄)糖苷酶、纤维素酶活性均具有高度一致性。

3 讨论

腐殖化的有机质、植物凋落物、根系分泌物和微生物生物量是土壤可溶性有机碳重要来源^[14]。本研究中，与无稻草覆盖处理相比，稻草覆盖可以显著提高土壤可溶性有机碳含量 9.94% ~ 19.57%，同时显著提高了土壤微生物生物量。这与前人的研究结果一致。稻草覆盖通过外源有机物料的添加不仅能增加土壤有机碳含量，而且还能刺激土壤微生物

表1 雨季和旱季土壤可溶性有机碳、微生物生物量碳含量与土壤酶活性的相关性

Table 1 Correlations between soil water soluble organic carbon content and soil enzymes activity in rainy and dry seasons

		微生物生物量碳 MBC	β -葡(萄)糖苷酶 β -glucosidase	多酚氧化酶 Polyphenol oxidase	纤维素酶 Cellulase	蔗糖酶 Sucrase
雨季 Rainy season	可溶性有机碳 DOC	0.47**	0.60**	0.14	0.50**	0.51**
	微生物生物量碳 MBC		0.37*	0.23	0.64**	0.63**
旱季 Dry season	可溶性有机碳DOC	0.80**	0.64**	0.16	0.42**	0.24
	微生物生物量碳MBC		0.71**	0.22	0.59**	0.27

注: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ Note: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

物的繁殖和生长^[15], 从而促进土壤有机质的更新与活化, 进而提高了土壤活性有机碳含量^[16]。香根草篱作为一种水土保持措施, 在改善土壤结构, 减少水土侵蚀量的同时, 也可以改善土壤水、热等微环境^[17], 提高土壤养分含量, 良好的土壤水、养、热条件可以加速土壤有机碳分解、转化, 为土壤微生物提供养料, 进而促进土壤微生物生长。然而, 本研究中香根草篱对红壤缓坡地土壤可溶性有机碳含量没有显著提升作用, 是因为本试验中为了翌年香根草篱长势良好, 其地上部分随当年冬天刈割而被带走, 造成凋落物等^[18]土壤可溶性有机碳的主要来源物大为较少; 此外, 本试验中香根草篱每隔8 m呈条状分布, 其水土保持功能和根际效应与距草篱的空间距离有关^[19], 本研究采集的土样是距草篱4 m内区域, 可能是造成香根草篱对红壤缓坡地土壤可溶性有机碳无明显影响的原因。而稻草覆盖则不同, 作为覆盖物的稻草秸秆广泛分布在红壤缓坡地上, 不仅使其对红壤缓坡地土壤有机质输入的量 and 范围要远远大于香根草篱, 还使其水土保持功能全方位覆盖, 这些均为稻草覆盖增加土壤可溶性有机碳含量提供了良好的条件, 造成稻草覆盖和香根草篱对红壤缓坡地土壤可溶性有机碳的影响差异明显。此外, 稻草覆盖和香根草篱较好地保护了红壤缓坡地风干大团聚体 (> 1 mm) 的稳定性, 增大了 > 0.5 mm水稳团聚体含量, 减少了 < 0.5 mm粒级的水稳团聚体含量^[20], 由于土壤团聚体微生物生物量碳主要分布于较大团聚体中 (> 1 mm)^[21]。因此, 稻草覆盖和香根草篱均可增加红壤缓坡地土壤微生物生物量碳含量。在旱季, 红壤缓坡地土壤含水率普遍较低, 土壤水分成为制约植物和土壤微生物生长、发育的重要因子。

由于香根草篱和稻草覆盖对土壤水分的保持和调节作用, 特别是它们在旱季对土壤的保水效应更加显著^[22]。而在雨季, 雨水充足, 土壤水分不是制约植物和土壤微生物生长、发育的限制因子, 因而, 红壤缓坡地香根草篱和稻草覆盖水保措施对旱季土壤微生物生物量碳的提升效果较雨季更突出。

除土壤微生物直接参与土壤中各种生化反应外, 土壤酶还参与土壤中各种代谢过程和能量转化, 这些来源于植物根系及其残体以及土壤微生物分泌的土壤酶系, 可以表征土壤生物活性的高低, 对土壤质量有重要影响^[23]。本研究中, 与武林等^[19]研究结果相似, 有稻草覆盖处理因外源碳的投入显著提高了红壤缓坡地雨季土壤酶活性。而香根草有发达的根系, 其根系含有岩兰草醇等物质, 对土壤微生物有一定的抑制作用^[24], 造成其对土壤酶活性有部分抑制作用, 致使其对雨季土壤酶活性提升效果不显著或没有提升效果。在旱季, 稻草覆盖和香根草篱对红壤缓坡地土壤酶活性提升效果较差或没有提升效果的原因可能是因为土壤微生物和植物受干旱胁迫, 活性不如雨季, 导致旱季土壤酶活性较低。研究表明, 土壤酶作为土壤环境的重要组分, 其与土壤微生物以及土壤活性有机碳等理化性质之间存在着不可分割的关系^[25], 本研究中, 红壤缓坡地水土保持措施主要是在改变土壤微生物量种类和数量的基础上, 影响土壤酶活性。土壤酶参与了土壤活性有机碳的分解和转化过程^[14], 而活性有机碳是评价土壤质量及土壤管理的一个重要指标^[26]。探讨红壤缓坡地水土保持措施对土壤酶的影响以及土壤酶与环境质量指标之间的关系, 可揭示红壤缓坡地水土保持措施下土壤环境质量的变化。本研究初步分析了红壤缓坡地土壤

酶活性与土壤可溶性有机碳、微生物生物量碳含量的相关关系, 发现土壤 β -葡(萄)糖苷酶、纤维素酶活性与土壤可溶性有机碳、微生物生物量碳呈显著或极显著正相关, 这与相关研究结果基本一致^[10]。但本研究中土壤多酚氧化酶活性等与土壤可溶性有机碳、微生物生物量碳含量相关性不显著, 这可能与红壤土壤pH不在多酚氧化酶活性适宜pH范围内有关。此外, 本研究中雨季土壤蔗糖酶活性与可溶性有机碳、微生物生物量碳含量呈极显著正相关, 而旱季则无显著相关关系。红壤缓坡地6月正是花生生长茂盛期, 雨水充足, 微生物活性较高, 花生根系发达, 分泌的蔗糖酶的量也多, 可溶性有机碳和微生物生物量碳等活性有机碳指标能充分反映花生、微生物活性, 因此土壤蔗糖酶与土壤活性有机碳的含量显著相关; 而旱季采样时, 花生已收获1个多月, 随着根系的大量减少, 以及微生物数量和活性的下降, 它们分泌的酶量下降, 且土壤蔗糖酶主要来源于作物根系, 因而它们与土壤中相关的碳含量的相关性未达到显著水平。综上所述, 红壤缓坡地土壤酶活性与土壤环境质量指标的关系有其独特性。因此, 在红壤缓坡地上完善土壤环境质量指标体系, 深入研究土壤酶与环境质量指标的关系, 对于评价红壤缓坡地水土保持措施土壤环境质量功能、指导实际生产等方面具有重要意义。

4 结 论

本试验分析了红壤缓坡花生地实施水土保持措施五年后, 雨、旱两季土壤活性有机碳含量和土壤酶活性的变化特征, 探讨了土壤活酶活性与土壤活性有机碳含量的关系, 主要结论有: (1) 红壤缓坡地土壤可溶性有机碳含量主要受稻草覆盖的影响, 含有稻草覆盖的水土保持措施(稻草覆盖、稻草覆盖+香根草篱)均可提高土壤可溶性有机碳的含量土壤微生物生物量碳。(2) 稻草覆盖是影响红壤缓坡地雨季土壤酶活性的主要因子, 稻草覆盖、稻草覆盖+香根草篱可提升红壤缓坡地雨季土壤酶活性; 水土保持措施对红壤缓坡地旱季土壤酶活性的影响较小。(3) 红壤缓坡地土壤 β -葡(萄)糖苷酶、纤维素酶活性与土壤活性有机碳含量存在相关性, 可用于指示土壤部分环境质量。红壤缓坡地土壤酶与土壤环境质量各指标间关系的深

入研究以及土壤酶环境质量评价功能的完善意义重大。

参 考 文 献

- [1] 方少文, 赵小敏, 莫明浩. 赣南红壤坡面不同措施径流泥沙及氮磷污染输出试验研究. 中国水利, 2012 (18): 10—13
Fang S W, Zhao X M, Mo M H. Experimental study on runoff sediment nitrogen and phosphorus pollution output under different measures in red soil slope of the south of Jiangxi (In Chinese). China Water Resources, 2012 (18): 10—13
- [2] 赵其国. 我国红壤的退化问题. 土壤, 1995, 27 (6): 281—285
Zhao Q G. The red soil degradation of China (In Chinese). Soils, 1995, 27 (6): 281—285
- [3] 梁音, 张斌, 潘贤章, 等. 南方红壤丘陵区水土流失现状及综合治理对策. 中国水土保持科学, 2008, 6 (1): 22—27
Liang Y, Zhang B, Pan X Z, et al. Current status and comprehensive control strategies of soil erosion for hilly region in the Southern China (In Chinese). Science of Soil and Water Conservation, 2008, 6 (1): 22—27
- [4] 钟义军, 叶川, 黄欠如, 等. 红壤缓坡花生地不同水土保持措施效果分析. 中国水土保持科学, 2011, 9 (3): 71—74
Zhong Y J, Ye C, Huang Q R, et al. Benefit analysis of different soil and water conservation measures at sloping *Arachis hypogaea* land with red soil (In Chinese). Science of Soil and Water Conservation, 2011, 9 (3): 71—74
- [5] 黄欠如, 章新亮, 李清平, 等. 香根草篱防治红壤坡耕地侵蚀效果的研究. 江西农业学报, 2001, 13 (2): 40—44
Huang Q R, Zhang X L, Li Q P, et al. Control effect of hedge of vetiver grass on red soil sloping land erosion (In Chinese). Acta Agriculturae Jiangxi, 2001, 13 (2): 40—44
- [6] 陈一兵, 林超文, 何国亚. 经济植物篱对水土流失的影响. 西南农业学报, 2001, 14 (Z1): 48—52
Chen Y B, Lin C W, He G Y. The effect of alley cropping on the soil and water losses (In Chinese). Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2001, 14 (Z1): 48—52
- [7] 蒲玉琳, 林超文, 谢德体, 等. 植物篱—农作坡地土壤团聚体组成和稳定性特征. 应用生态学杂志, 2013, 24 (1): 122—128
Pu Y L, Lin C W, Xie D T, et al. Composition and

- stability of soil aggregates in hedgerow-crop slope land (In Chinese). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2013, 24 (1): 122—128
- [8] 彭熙, 李安定, 李苇洁, 等. 不同植物篱模式下土壤物理变化及其减流减沙效应研究. *土壤*, 2009, 41 (1): 107—111
Peng X, Li A D, Li W J, et al. Changes of soil physical properties, runoff and soil erosion under different hedgerow system (In Chinese). *Soils*, 2009, 41 (1): 107—111
- [9] 沈宏, 曹志洪, 胡正义. 土壤活性有机碳的表征及其生态效应. *生态学杂志*, 1999, 18 (3): 32—38
Shen H, Cao Z H, Hu Z Y. Characteristics and ecological effects of the active organic carbon in soil (In Chinese). *Chinese Journal of Ecology*, 1999, 18 (3): 32—38
- [10] 万忠梅, 宋长春, 杨桂生, 等. 三江平原湿地土壤活性有机碳组分特征及其与土壤酶活性的关系. *环境科学学报*, 2009, 29 (2): 406—412
Wan Z M, Song C C, Yang G S, et al. The active soil organic carbon fraction and its relationship with soil enzyme activity in different types of marshes in the Sanjiang Plain (In Chinese). *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2009, 29 (2): 406—412
- [11] 李德荣, 董闻达, 王锋尖, 等. 红壤坡地果园不同水土保持措施对磷素流失的影响. *水土保持学报*, 2004, 18 (4): 81—84
Li D R, Dong W D, Wang F J, et al. Influence of different soil and water conservation measurements on phosphorus loss on orchard slope land of red soil (In Chinese). *Journal of Soil and Water Conservation*, 2004, 18 (4): 81—84
- [12] 关松荫. 土壤酶及其研究方法. 北京: 农业出版社, 1986
Guan S Y. Soil enzymes and its research methods (In Chinese). Beijing: Agriculture Press, 1986
- [13] 吴金水, 林启美, 黄巧云, 等. 土壤微生物生物量测定方法及其应用. 北京: 气象出版社, 2006
Wu J S, Lin Q M, Huang Q Y, et al. Soil microbial biomass—Methods and application (In Chinese). Beijing: China, Meteorological Press, 2006
- [14] Max M C, Wood M, Jarvis S C. Amicroplate fluorimetric assay for the study of enzyme diversity in soils. *Soil Biology & Biochemistry*, 2001, 33: 1633—1640
- [15] 高茂盛, 温晓霞, 黄灵丹, 等. 耕作和秸秆覆盖对苹果园土壤水分及养分的影响. *自然资源学报*, 2010, 25 (4): 547—555
Gao M S, Wen X X, Huang L D, et al. The effect of tillage and mulching on apple orchard soil moisture and soil fertility (In Chinese). *Journal of Natural Resources*, 2010, 25 (4): 547—555
- [16] Gregorich E G, Liang, B C, Ellert B H, et al. Fertilization effects on soil organic matter turnover and corn residue C storage. *Soil Science Society of America Journal*, 1996, 60 (2): 472—476
- [17] 李新平, 王兆骞, 陈欣, 等. 红壤坡耕地人工模拟降雨条件下植物篱笆水土保持效应及机理研究. *水土保持学报*, 2002, 16 (2): 36—40
Li X P, Wang Z Q, Chen X, et al. Research on soil and water conservation effect and mechanism of hedges under rainfall simulation in red soil slope field (In Chinese). *Journal of Soil and Water Conservation*, 2002, 16 (2): 36—40
- [18] 刘微, 王树涛. 土壤中溶解性有机物及其影响因素研究进展. *土壤通报*, 2011, 42 (4): 997—1002
Liu W, Wang S T. Review of researches on dissolved organic matter in soil and its affecting factors (In Chinese). *Chinese Journal of Soil Science*, 2011, 42 (4): 997—1002
- [19] 武琳, 黄欠如, 叶川, 等. 香根草篱对红壤坡耕地坡面土壤酶活性的影响. *土壤*, 2013, 45 (4): 673—677
Wu L, Huang Q R, Ye C, et al. Effects of *Vetiveria zizanioides* hedgerows on soil enzyme activities of slope in red soil sloping land (In Chinese). *Soils*, 2013, 45 (4): 673—677
- [20] 钟义军, 黄欠如, 武琳, 等. 水保措施对红壤旱地团聚体及其特性的影响. *土壤通报*, 2014, 45 (4): 961—965
Zhong Y J, Huang Q R, Wu L, et al. Effects of water and soil conservation measures on soil aggregate and its characteristics in red soil (In Chinese). *Chinese Journal of Soil Science*, 2014, 45 (4): 961—965
- [21] 刘敏英, 郑子成, 李廷轩. 茶园土壤团聚体中微生物量碳、氮的分布特征. *中国农业科学*, 2011, 44 (15): 3162—3168
Liu M Y, Zheng Z C, Li T X. Distribution characteristics of microbial biomass carbon and nitrogen in soil aggregates under tea plantation (In Chinese). *Scientia Agricultura Sinica*, 2011, 44 (15): 3162—3168
- [22] Ji S, Unger P W. Soil water accumulation under different precipitation, potential evaporation, and straw mulch conditions. *Soil Science Society of America Journal*, 2001, 65: 442—448
- [23] 和文祥, 谭向平, 王旭东, 等. 土壤总体酶活性指标的初步研究. *土壤学报*, 2010, 47 (6): 1232—1236
He W X, Tan X P, Wang X D, et al. Study on total

- enzyme activity indexes in soils (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2010, 47 (6): 1232—1236
- [24] 徐礼煜. 香根草系统在我国的应用与发展20年历程回顾. *生态学杂志*, 2009, 28 (7): 1406—1414
- Xu L Y. Application and development of vetiver system in China: Twenty years retrospection (In Chinese). *Chinese Journal of Ecology*, 2009, 28 (7): 1406—1414
- [25] 吴旭东, 张晓娟, 谢应忠, 等. 不同种植年限紫花苜蓿人工草地土壤有机碳及土壤酶活性垂直分布特征. *草业学报*, 2013, 22 (1): 245—251
- Wu X D, Zhang X J, Xie Y Z, et al. Vertical distribution characters of soil organic and soil enzyme activity in alfalfa field with different growing years (In Chinese). *Acta Prataculturae Sinica*, 2013, 22 (1): 245—251
- [26] Yan D, Wang D, Yang L. Long-term effect of chemical fertilizer, straw, and manure on labile organic matter fractions in a paddy soil. *Biology and Fertility of Soils*, 2007, 44 (1): 93—101

Effects of Soil and Water Conservation Measures on Soil Labile Organic Carbon and Soil Enzyme Activity in Gentle Slope Land of Red Soil

HUANG Shangshu^{1, 2} CHENG Yanhong^{1, 2} ZHONG Yijun^{1, 2} HUANG Qianru^{1, 2†} SUN Yongming^{1, 2}
WU Lin^{1, 2} ZHANG Xinliang^{1, 2} XU Yan³

(1 Red Soil Institute of Jiangxi Province, Jinxian, Jiangxi 331717, China)

(2 National Engineering and Technology Research Center for Red Soil Improvement, Jinxian, Jiangxi 331717, China)

(3 Jiangxi Biotech Vocational College, Nanchang 330200, China)

Abstract Red soil slopelands are one of the main land sources for agricultural production in South China, making the region an important agricultural zone of the country producing a huge variety of agricultural and forest products, thanks to its rich soil and hydrothermal resources and great biological production potential. However, owing to unreasonable development and its natural geographical environment, soil erosion in this area is getting more and more serious. The red soil region of South China amounts to a total of 2.03 million km², of which more than 60 million km² suffers a varying degree of soil erosion, putting the region next to the Loess Plateau in extensiveness and severity of soil and water loss in China. Hence soil erosion has become a major restraint hindering development of the agriculture production and improvement of the ecological environment and people's living quality of the region improvement. A number of biological water and soil conservation measures, like growing hedgerows, mulching the fields with straw, are now being applied extensively both inside and outside the country. They were found to be able to reduce soil erosion by more than 85%, increase the content of organic matter by 9% ~ 13%, and improve soil aggregate structure and water-stable aggregates in number and quality, thus enhancing erosion resistance of the soil significantly.

Soil labile organic carbon (LOC) refers to the labile fraction of soil organic matter. It is readily available, easily decomposed and mineralized by soil microbes to move and to be oxidized and mineralized, and directly available to plants and soil microorganisms. Although LOC accounts for a limited proportion in the soil total carbon, size and turnover of the fraction is very important to content, circulation and utilization of soil available nutrients. As soil enzymes are involved in decomposition and transformation of soil labile organic carbon and major regulators of soil biological processes, their activity is a good indicator of soil's capability of nutrient transformation. Most studies in the past used to focus on effects of various soil and water conservation measures on soil erosion, non-point source pollution, soil organic carbon and inorganic nutrients, with little attention given to effects of these measures on soil labile organic carbon, soil enzyme activities and their relationships.

Based on the soil and water conservation field experiments that started in 2009 and was designed to have three treatments, Treatment H (Hedgerows of Vetiver Grass), Treatment M (Mulching with rice straw), and Treatment HM (hedgerows of Vetiver Grass + mulching with rice straw), investigations were carried out of effects of the water and soil conservation measures on soil labile organic content and soil enzyme activity in a gentle slopeland of red soil grown with peanut and analyses done of relationships of soil enzyme activities with soil labile organic carbon, in an attempt to provide some theoretical basis for choosing reasonable water and soil conservation measures for peanut-growing gentle slopeland of red soil from the angle of soil microecology.

Results show that 1) all the treatments, H, M and HM, increased soil microbial biomass carbon content significantly ($p < 0.05$), with Treatment HM in particular. And the effects were more significant in the dry season than in the wet season, and the mulched rice straw was the main factor improving soil soluble organic carbon content. 2) although both Treatments M and HM improved soil enzyme activity significantly in the rainy season ($p < 0.05$), mulched rice straw was the decisive factor, and the soil and water conservation measures, including Treatment H, did not have much impact on soil enzyme activity in the dry season; and 3) soil β -glucosidase and cellulase were well related to content of soil labile organic carbon ($p < 0.05$), which has a great implication to evaluation of the functions of the soil and water conservation measures in protecting soil environmental quality and guidance of practical production in gentle slopelands of red soil.

Key words Slopeland of red soil; Soil and water conservation measures; Soil labile organic carbon; Soil enzyme activity

(责任编辑: 檀满枝)

CONTENTS

Reviews and Comments

- Mechanism of Extracellular Electron Transfer among Microbe-Humic-Mineral in Soils: A Review WU Yundang, LI Fangbai, LIU Tongxu (290)
 Effects of Long-term Fertilization on Key Processes of Soil Nitrogen Cycling in Agricultural Soil: A Review WANG Jing, CHENG Yi, CAI Zucong, et al. (303)

Insights and Perspectives

- Soil-borne Pathogens Should not Be Ignored by Soil Science CAI Zucong, HUANG Xinqi (310)

Research Articles

- Element Migration in S₃ Profile of the Shaolingyuan Loess-Paleosol Sequence in Xi'an and Its Paleoclimatic Implication CHU Chunjie, ZHAO Jingbo (320)
 Estimation of Soil Salt Content over Partially Vegetated Areas Based on Blind Source Separation LIU Ya, PAN Xianzhang, SHI Rongjie, et al. (330)
 Construction of Calibration Set based on the Land Use Types in Visible and Near-Infrared (VIS-NIR) Model for Soil Organic Matter Estimation LIU Yanfang, LU Yannian, GUO Long, et al. (340)
 Prediction of Soil Organic Matter based on Multi-resolution Remote Sensing Data and Random Forest Algorithm WANG Yinyin, QI Yanbing, CHEN Yang, et al. (353)
 Characteristic Curves and Model Analysis of Soil Moisture in Collapse Mound Profiles in Southeast Hubei DENG Yusong, DING Shuwen, CAI Chongfa, et al. (363)
 Research on Sediment and Solute Transport on Red Soil Slope under Simultaneous Influence of Scouring Flow MA Meijing, WANG Junguang, GUO Zhonglu, et al. (373)
 Research on Soil Erosion Rate and Hydrodynamic Parameters of Landslide Accumulation Slope in Wenchuan Earthquake Area WANG Renxin, HE Binghui, LI Tianyang, et al. (386)
 Effects of Saline Ice Water Irrigation on Distribution of Moisture and Salt Content in Coastal Saline Soil ZHANG Yue, YANG Jingsong, YAO Rongjiang (399)
 Soil Temperature Regime in Guizhou Province Relative to Assessment Method LU Xiaohui, DONG Yubo, TU Chenglong (409)
 Characteristics of Variation of Soil Temperature in Shrub Meadow Area of Lhasa GONG Yuling, WANG Zhaofeng, ZHANG Yili, et al. (419)
 Soil Water Repellency of Sands and Clay as Affected by Particle Size YANG Song, WU Junhua, DONG Hongyan, et al. (426)
 Effect of AQDS Accelerating Anaerobic Dechlorination of DDT in Hydragric Acrisols LIU Cuiying, WANG Zhuang, XU Xianghua, et al. (436)
 Effect of Straw Returning via Deep Burial Coupled with Application of Fertilizer as Primer on Soil Nutrients and Winter Wheat Yield ZHAO Jinhua, ZHANG Congzhi, ZHANG Jiabao (448)
 Effects of Ozone Pollution on Different Active Organic Carbon Stocks in Wheat Farmland Soil KOU Taiji, CHENG Xianghan, ZHANG Dongliang, et al. (455)
 Soil Organic Nitrogen Components and Their Contributions to Mineralizable Nitrogen in Paddy Soil of the Black Soil Region CONG Yaohui, ZHANG Yuling, ZHANG Yulong, et al. (466)
 Effects of Soil and Water Conservation Measures on Soil Labile Organic Carbon and Soil Enzyme Activity in Gentle Slope Land of Red Soil HUANG Shangshu, CHENG Yanhong, ZHONG Yijun, et al. (475)
 Ecological Stoichiometric Characteristics of Carbon, Nitrogen and Phosphorus in Leaf-Litter-Soil System of *Picea Crassifolia* Forest in the Qilian Mountains ZHAO Weijun, LIU Xiande, JIN Ming, et al. (488)
 The Application of Biomarker Genes for DNA/RNA-Stable Isotope Probing of Active Methanotrophs Responsible for Aerobic Methane Oxidation in Six Paddy Soils ZHENG Yan, JIA Zhongjun (500)
 Screening of Phosphate-solubilizing Bacteria Adaptable to Corn and Effects of the Bacteria on the Growth of Corn MEI Xinlan, SHAN Anqi, JIANG Yi, et al. (508)
 Response of Soil Nematode Community to Cultivation in Upland Red Soil Relative to Cultivation History and Its Significance as Indicator WANG Mingwei, LIU Yudi, CHEN Xiaoyun, et al. (521)
 Nutrient Absorption and Nutrient Balance in an Agro-pastoral Compound Production Pattern of "Raising Geese in Corn Fields" in Tibet SHA Zhipeng, ZHANG Yuyang, WANG Chao, et al. (531)
 Effects of Continuous Cropping of Processing Tomato on Physical-chemical Properties of and Microbial Biomass in the Soil KANG Yalong, JING Feng, SUN Wenqing, et al. (542)

Research Notes

- Mechanism of CTMAB Modifying BS-12 Modified Bentonite YU Lu, MENG Zhaofu, LI Wenbin, et al. (550)
 Effects of Mechanical Soil Amelioration Method on Physical Properties of and Enzyme Activity in Planosol MENG Qingying, ZHANG Chunfeng, JIA Huibin, et al. (559)

Cover Picture: Microbial Extracellular Electron Transfer: Energy Transfer and Substance Transformation (by WU Yundang, LI Fangbai, LIU Tongxu)

《土壤学报》编辑委员会

主 编：史学正

执行编委：(按姓氏笔画为序)

丁维新	巨晓棠	王敬国	王朝辉	史 舟	宇万太	朱永官
李永涛	李芳柏	李保国	李 航	吴金水	沈其荣	张玉龙
张甘霖	张福锁	陈德明	邵明安	杨劲松	杨明义	杨林章
林先贵	依艳丽	周东美	周健民	金继运	逢焕成	胡 锋
施卫明	骆永明	赵小敏	贾仲君	徐国华	徐明岗	徐建明
崔中利	常志州	黄巧云	章明奎	蒋 新	彭新华	雷 梅
窦 森	廖宗文	蔡祖聪	蔡崇法	潘根兴	魏朝富	

编辑部主任：陈德明

责任编辑：卢 萍 檀满枝 陈荣府

土 壤 学 报

Turang Xuebao

(双月刊, 1948年创刊)

第 53 卷 第 2 期 2016 年 3 月

ACTA PEDOLOGICA SINICA

(Bimonthly, Started in 1948)

Vol. 53 No. 2 Mar., 2016

编 辑 《土壤学报》编辑委员会
地址：南京市北京东路 71 号 邮政编码：210008
电话：025 - 86881237
E-mail: actapedo@issas.ac.cn

Edited by Editorial Board of Acta Pedologica Sinica
Add: 71 East Beijing Road, Nanjing 210008, China
Tel: 025 - 86881237
E-mail: actapedo@issas.ac.cn

主 编 史 学 正
主 管 中 国 科 学 院
主 办 中 国 土 壤 学 会
承 办 中国科学院南京土壤研究所

Editor-in-Chief Shi Xuezheng
Superintended by Chinese Academy of Sciences
Sponsored by Soil Science Society of China
Undertaken by Institute of Soil Science,
Chinese Academy of Sciences

出 版 科 学 出 版 社
地址：北京东黄城根北街 16 号 邮政编码：100717

Published by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

印刷装订 北京中科印刷有限公司
总发行 科 学 出 版 社
地址：北京东黄城根北街 16 号 邮政编码：100717
电话：010 - 64017032
E-mail: journal@mail.sciencep.com

Printed by Beijing Zhongke Printing Limited Company
Distributed by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China
Tel: 010 - 64017032
E-mail: journal@mail.sciencep.com

国外发行 中国国际图书贸易总公司
地址：北京 399 信箱 邮政编码：100044

Oversea distributed by China International Book Trading Corporation
Add: P. O. Box 399, Beijing 100044, China

国内统一连续出版物号：CN 32-1119/P

国内邮发代号：2-560

国外发行代号：BM45

定价：60.00 元

国 内 外 公 开 发 行



ISSN 0564-3929

