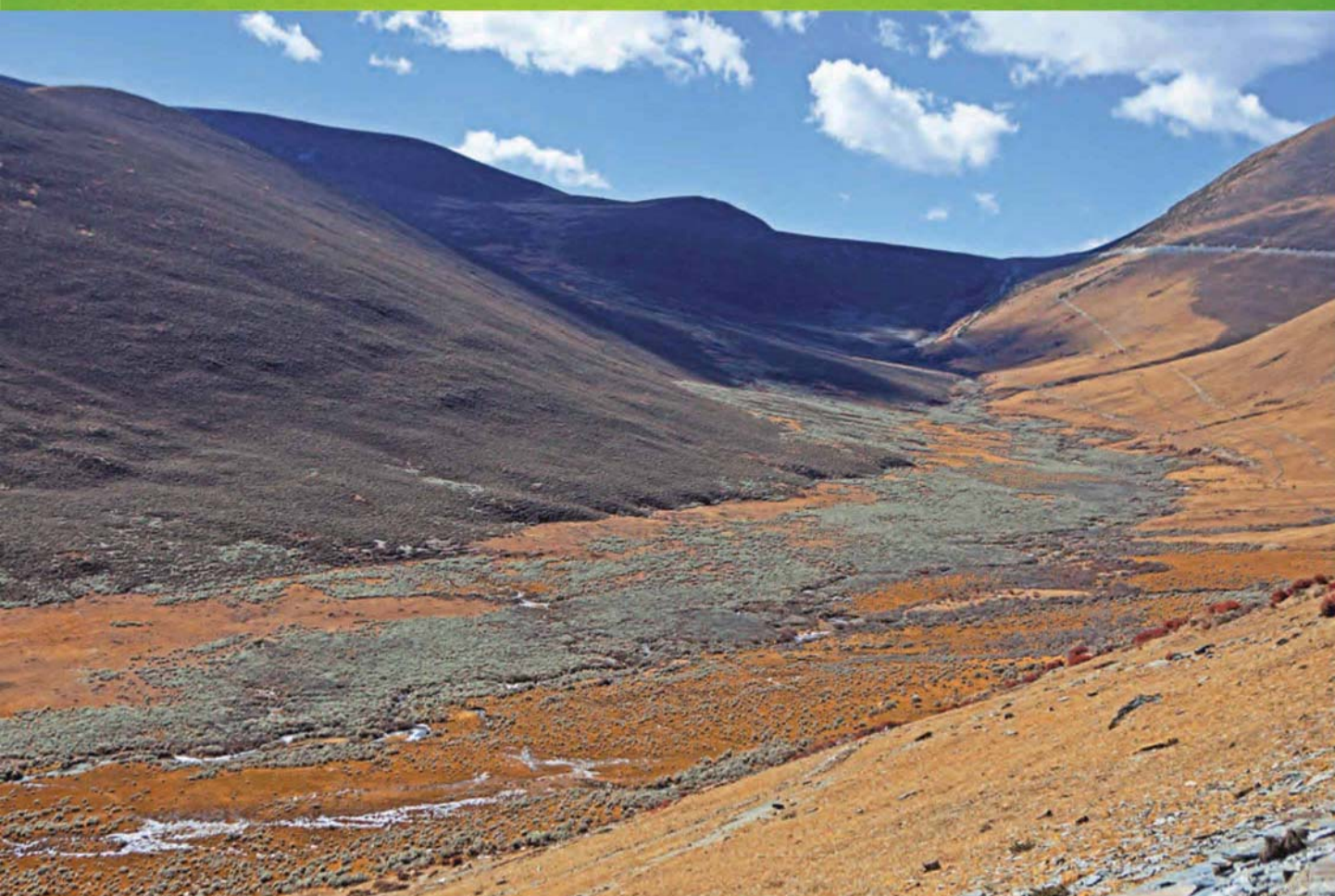


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

中国生态学会 2013 年学术年会专辑



第 33 卷 第 18 期 Vol.33 No.18 **2013**

中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 18 期

2013 年 9 月 (半月刊)

目 次

中国生态学会 2013 年学术年会专辑 卷首语

- 美国农业生态学发展综述 黄国勤, Patrick E. McCullough (5449)
- 水足迹研究进展 马 晶, 彭 建 (5458)
- 江西省主要作物(稻、棉、油)生态经济系统综合分析评价 孙卫民, 欧一智, 黄国勤 (5467)
- 植物干旱胁迫下水分代谢、碳饥饿与死亡机理 董 蕾, 李吉跃 (5477)
- 生态化学计量学特征及其应用研究进展 曾冬萍, 蒋利玲, 曾从盛, 等 (5484)
- 三峡库区紫色土植被恢复过程的土壤团粒组成及分形特征 王轶浩, 耿养会, 黄仲华 (5493)
- 城市不同地表覆盖类型对土壤呼吸的影响 付芝红, 呼延佼奇, 李 锋, 等 (5500)
- 华南地区 3 种具有不同入侵性的近缘植物对低温胁迫的敏感性 王宇涛, 李春妹, 李韶山 (5509)
- 沙丘稀有种准噶尔无叶豆花部综合特征与传粉适应性 施 翔, 刘会良, 张道远, 等 (5516)
- 水浮莲对水稻竞争效应、产量与土壤养分的影响 申时才, 徐高峰, 张付斗, 等 (5523)
- 珍稀药用植物白及光合与蒸腾生理生态及抗旱特性 吴明开, 刘 海, 沈志君, 等 (5531)
- 不同温度及二氧化碳浓度下培养的龙须菜光合生理特性对阳光紫外辐射的响应 杨雨玲, 李 伟, 陈伟洲, 等 (5538)
- 土壤氧气可获得性对双季稻田温室气体排放通量的影响 秦晓波, 李玉娥, 万运帆, 等 (5546)
- 免耕稻田氮肥运筹对土壤 NH_3 挥发及氮肥利用率的影响 马玉华, 刘 兵, 张枝盛, 等 (5556)
- 香梨两种树形净光合速率特征及影响因素 孙桂丽, 徐 敏, 李 疆, 等 (5565)
- 沙埋对沙米幼苗生长、存活及光合蒸腾特性的影响 赵哈林, 曲 浩, 周瑞莲, 等 (5574)
- 半干旱区旱地春小麦全膜覆土穴播对土壤水热效应及产量的影响 王红丽, 宋尚有, 张绪成, 等 (5580)
- 基于 Le Bissonnais 法的石漠化区桑树地埂土壤团聚体稳定性研究 汪三树, 黄先智, 史东梅, 等 (5589)
- 不同施肥对雷竹林径流及渗漏水中氮形态流失的影响 陈裴裴, 吴家森, 郑小龙, 等 (5599)
- 黄土丘陵区不同植被土壤氮素转化微生物生理群特征及差异 邢肖毅, 黄懿梅, 安韶山, 等 (5608)
- 黄土丘陵区植被类型对土壤微生物量碳氮磷的影响 赵 彤, 闫 浩, 蒋跃利, 等 (5615)
- 林地覆盖对雷竹林土壤微生物特征及其与土壤养分制约性关系的影响 郭子武, 俞文仙, 陈双林, 等 (5623)
- 降雨对草地土壤呼吸季节变异性的影响 王 旭, 闫玉春, 闫瑞瑞, 等 (5631)
- 基于土芯法的亚热带常绿阔叶林细根空间变异与取样数量估计 黄超超, 黄锦学, 熊德成, 等 (5636)
- 4 种高大树木的叶片性状及 WUE 随树高的变化 何春霞, 李吉跃, 孟 平, 等 (5644)
- 干旱荒漠区银白杨树干液流动态 张 俊, 李晓飞, 李建贵, 等 (5655)
- 模拟增温和不同凋落物基质质量对凋落物分解速率的影响 刘瑞鹏, 毛子军, 李兴欢, 等 (5661)
- 金沙江干热河谷植物叶片元素含量在地表凋落物周转中的作用 闫帮国, 纪中华, 何光熊, 等 (5668)
- 温带 12 个树种新老树枝非结构性碳水化合物浓度比较 张海燕, 王传宽, 王兴昌 (5675)
- 断根结合生长素和钾肥施用对烤烟生长及糖碱比、有机钾指数的影响 吴彦辉, 薛立新, 许自成, 等 (5686)
- 光周期和高脂食物对雌性高山姬鼠能量代谢和产热的影响 高文荣, 朱万龙, 孟丽华, 等 (5696)
- 绿原酸对凡纳滨对虾抗氧化系统及抗低盐度胁迫的影响 王 芸, 李 正, 李 健, 等 (5704)

基于盐分梯度的荒漠植物多样性与群落、种间联接响应	张雪妮, 吕光辉, 杨晓东, 等 (5714)
广西马山岩溶植被年龄序列的群落特征	温远光, 雷丽群, 朱宏光, 等 (5723)
戴云山黄山松群落与环境的关联	刘金福, 朱德煌, 兰思仁, 等 (5731)
四川盆地亚热带常绿阔叶林不同物候期凋落物分解与土壤动物群落结构的关系	王文君, 杨万勤, 谭 波, 等 (5737)
中亚热带常绿阔叶林不同演替阶段土壤活性有机碳含量及季节动态	范跃新, 杨玉盛, 杨智杰, 等 (5751)
塔克拉玛干沙漠腹地人工植被及土壤 C N P 的化学计量特征	李从娟, 雷加强, 徐新文, 等 (5760)
鄱阳湖小天鹅越冬种群数量与行为学特征	戴年华, 邵明勤, 蒋丽红, 等 (5768)
营养盐加富和鱼类添加对浮游植物群落演替和多样性的影响	陈 纯, 李思嘉, 肖利娟, 等 (5777)
西藏达则错盐湖沉积背景与有机沉积结构	刘沙沙, 贾沁贤, 刘喜方, 等 (5785)
西藏草地多项供给及调节服务相互作用的时空演变规律	潘 影, 徐增让, 余成群, 等 (5794)
太湖水体溶解性氨基酸的空间分布特征	姚 昕, 朱广伟, 高 光, 等 (5802)
基于遥感和 GIS 的巢湖流域生态功能分区研究	王传辉, 吴 立, 王心源, 等 (5808)
近 20 年来东北三省春玉米物候期变化趋势及其对温度的时空响应	李正国, 杨 鹏, 唐华俊, 等 (5818)
鄱阳湖湿地景观恢复的物种选择及其对环境因子的响应	谢冬明, 金国花, 周杨明, 等 (5828)
珠三角河网浮游植物生物量的时空特征	王 超, 李新辉, 赖子尼, 等 (5835)
南京市景观时空动态变化及其驱动力	贾宝全, 王 成, 邱尔发 (5848)
川西亚高山-高山土壤表层有机碳及活性组分沿海拔梯度的变化	秦纪洪 王 琴 孙 辉 (5858)
城市森林碳汇及其抵消能源碳排放效果——以广州为例	周 健, 肖荣波, 庄长伟, 等 (5865)
基于机器学习模型的沙漠腹地地下水含盐量变化过程及模拟研究	范敬龙, 刘海龙, 雷加强, 等 (5874)
干旱区典型绿洲城市发展与水资源潜力协调度分析	夏富强, 唐 宏, 杨德刚, 等 (5883)
海岸带区域综合承载力评估指标体系的构建与应用——以南通市为例	魏 超, 叶属峰, 过仲阳, 等 (5893)
中街山列岛海洋保护区鱼类物种多样性	梁 君, 徐汉祥, 王伟定 (5905)
丰水期长江感潮河口段网采浮游植物的分布与长期变化	江志兵, 刘晶晶, 李宏亮, 等 (5917)
基于生态网络的城市代谢结构模拟研究——以大连市为例	刘耕源, 杨志峰, 陈 彬, 等 (5926)
保护区及周边居民对野猪容忍性的影响因素——以黑龙江凤凰山国家级自然保护区为例	徐 飞, 蔡体久, 琚存勇, 等 (5935)
三江源牧户参与草地生态保护的意愿	李惠梅, 张安录, 王 珊, 等 (5943)
沈阳市降雨径流初期冲刷效应	李春林, 刘 淼, 胡远满, 等 (5952)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 514 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 59 * 2013-09	



封面图说: 川西高山地带土壤及植被——青藏高原东缘川西的高山地带坡面上为草地, 沟谷地带由于低平且水分较充足, 生长有很多灌丛。川西地区大约在海拔 4000m 左右为林线, 以下则分布有亚高山森林。亚高山森林是以冷、云杉属为建群种或优势种的暗针叶林为主体的森林植被。作为高海拔低温生态系统, 高山-亚高山地带土壤碳被认为是我国重要的土壤碳库。有研究表明, 易氧化有机碳含量与海拔高度呈显著正相关, 显示高海拔有利于土壤碳的固存。因而, 这里的表层土壤总有机碳含量随着海拔的升高而增加。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201305070964

王轶浩, 耿养会, 黄仲华. 三峡库区紫色土植被恢复过程的土壤团粒组成及分形特征. 生态学报, 2013, 33(18): 5493-5499.

Wang Y H, Geng Y H, Huang Z H. Composition and fractal features of purple soil aggregates during the vegetation restoration processes in the Three Gorges Reservoir Region. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(18): 5493-5499.

三峡库区紫色土植被恢复过程的土壤团粒组成及分形特征

王轶浩*, 耿养会, 黄仲华

(重庆市林业科学研究院 重庆市三峡库区森林生态保护与恢复市级重点实验室, 重庆 400036)

摘要: 采用空间代替时间方法, 研究了三峡库区紫色土植被恢复过程的土壤团粒结构特征。结果表明: 与撂荒地相比, 柏木新造林、幼龄林和中龄林表层土壤的 5—2 mm 干筛团聚体分别增加 6.03%、10.32% 和 10.97%, 而 <0.25 mm 干筛团聚体明显减少; 各层土壤的 ≥0.25 mm 水稳性团聚体均随植被恢复进程而明显增加, 但其分形维数明显减小; 紫色土水稳性团聚体的平均质量直径和几何平均直径均与 ≥5 mm 团聚体呈极显著 ($P < 0.01$) 正相关, 与 <0.25 mm 团聚体呈极显著负相关, 相反地, 分形维数与 <0.25 mm 团聚体呈极显著正相关。研究表明三峡库区植被恢复能有效改善紫色土土壤团粒结构, 且随植被恢复年限增加而增强, 但是, 对郁闭度过大的柏木中龄人工林, 应适当抚育间伐。

关键词: 土壤团聚体; 分形维数; 植被恢复; 紫色土; 柏木

Composition and fractal features of purple soil aggregates during the vegetation restoration processes in the Three Gorges Reservoir Region

WANG Yihao*, GENG Yanghui, HUANG Zhonghua

Chongqing Key Laboratory of Forest Ecology, Protection and Restoration in Three Gorges Reservoir Region, Forestry Academy of Chongqing, Chongqing 400036, China

Abstract: The quantity and quality of soil aggregates are important parameters of soil physical properties and plays an important role for sustaining soil porosity, improving soil infiltration, preventing soil erosion and so on. The Three Gorges Reservoir Region is regarded as an important region to secure the ecological safety of the mid-upper reaches of Yangtze River of China. Thus, big attention has been always paid to prevent the soil and water losses in this region, and many projects of vegetation restoration were carried out. Purple soil is the important soil resource easy to be eroded in this region. This study tries to understand and assess the changes of purple soil structure in different phases of vegetation restoration. *Cupressus funebris* is one of the most important tree species used for forestation and widely distributes in the low mountain and hill areas of this region. Using the method of taking space instead of time, the structure characteristics of purple soil aggregate during the vegetation restoration processes were investigated. Results showed that the dry-sieved soil aggregates in all soil layers at different restoration phases were mainly composed of particles with size ≥ 2 mm. Their ratio to the total was above 80%, but the proportion of particles with size of 0.5—0.25 mm was the least. Compared with abandoned land, the quantity of dry-sieved soil aggregates (5—2 mm) in surface soil layer for new forest land, sapling forest and mid-mature forest of *Cupressus funebris* was increased by 6.03%, 10.32% and 10.97% respectively, but the dry-sieved soil aggregates of <0.25 mm was decreased obviously. The water stable soil aggregates at different restoration phases were mainly composed of particles with sizes <0.25 mm and 3—1 mm. The quantity of water stable soil aggregates of ≥ 0.25 mm obviously increased with the vegetation restoration processes in all soil layers, but decreased with increasing soil depth. Their fractal dimension

基金项目: 国家林业公益性行业科研专项 (201004039); 重庆市科委基本科研业务费专项 (BS1002) 联合资助

收稿日期: 2013-05-07; 修订日期: 2013-06-27

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wyih515@163.com

(D) decreased significantly with the vegetation restoration processes. Mean weight diameter (MWD) and geometric mean diameter (GMD) of dry-sieved aggregates were positively related with the bigger size particles (≥ 3 mm) and negatively related with the smaller size particles (< 3 mm), but they all had a significant relation with ≥ 10 mm and 2—1 mm. The D was influenced significantly by the amount of particles with size < 1 mm, especially the particles < 0.5 mm ($P < 0.01$). The MWD and the GMD of water stable aggregates presented a significantly positive relation ($P < 0.01$) with the amount of particles with size ≥ 5 mm and negative relation ($P < 0.01$) with particles < 0.25 mm, inversely, the D presented a significantly positive relation ($P < 0.01$) with particles < 0.25 mm. Whether the dry-sieved or the water stable soil aggregates, their relation between D and soil particle sizes reflected that the increase of small aggregates would improve soil fractal dimension, but weaken the structure stability of aggregates; and the increase of big aggregates could decrease the soil fractal dimension, but strengthen the structure stability of aggregates. Thus, the purple soil aggregates structure can be effectively improved after vegetation restoration in this region studied, and the improvement increases with the vegetation restoration time. However, the mid-mature artificial forest of *Cupressus funebris* with higher canopy density shall be thinned properly.

Key Words: soil aggregates; fractal dimension; vegetation restoration; purple soil; *Cupressus funebris*

土壤团粒结构是重要的土壤属性,它影响着土壤的许多过程^[1],诸如土壤通气性、渗透性、土壤肥力等^[2],在维持土壤孔隙、提高降雨入渗和防止土壤侵蚀等方面起着重要的作用^[3-4]。因此,开展土壤团粒结构及其稳定性研究成为国内外学者关注的热点^[5-6]。同时,土壤团粒结构由形状和大小各异的土壤颗粒组成,且表现出自相似结构,具有一定的分形特征^[7],通常难以用常规方法量化。20 世纪 60 年代兴起的分形理论由于能客观表征土壤团粒结构含量及粒径大小组成^[2],80 年代起被应用到土壤结构的分形研究中,并成为了量化研究土壤复杂体的一种有效工具^[8]。近年来,国内学者利用分形理论对土壤团粒结构特征进行了广泛研究^[9-10],但对三峡库区紫色土植被恢复过程的土壤团粒结构分形特征研究尚鲜有报道。

三峡库区作为我国长江中上游重要的生态屏障区,其水土流失问题一直备受关注。紫色土不仅是三峡库区的主要土地资源,而且是库区水土流失的主要策源地^[11]。多年来,为防止库区水土流失而实施了大规模的植被生态恢复工程,并取得一定效果,目前库区的森林覆盖率达 45% 以上。在此背景下了解紫色土各个植被恢复阶段的土壤结构变化对于客观评价植被恢复成效具有重要意义。柏木(*Cupressus funebris*)作为三峡库区的主要造林树种之一,广泛分布于该区域 300—1000 m 的低山丘陵区^[12]。本文在三峡库区汝溪河小流域,采用“空间代替时间”方法,选择撂荒地(1a)和柏木新造林、幼龄林、中龄林等 4 个植被恢复阶段为研究对象,对其土壤团粒组成和分形特征进行研究,旨在揭示三峡库区紫色土植被恢复过程中土壤团粒结构、分形维数的变化规律,为掌握库区植被恢复过程的改良土壤、保持水土等生态服务功能提供参考依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

本研究在三峡库区重庆市忠县境内的汝溪河小流域(E107°53'56"—E108°14'31", N30°22'37"—E30°44'53")进行。研究区属亚热带湿润季风气候,年均气温 18.2 °C, ≥ 10 °C 年积温 5787 °C,年降雨量 1200 mm,相对湿度 80%,无霜期 341d。地貌系川东平行岭谷丘陵区,海拔变化在 175—500 m。土壤以石灰性紫色砂页岩发育的紫色土为主,土层较薄,其厚度变化在 20—50 cm,土壤容重为 1.24—1.66 g/cm³,土壤 pH 值为 5.12—6.21。地带性森林植被为中亚热带常绿阔叶林,但原生植被早已破坏殆尽,现有森林植被以人工林和灌丛草被为主,乔木树种以柏木、马尾松(*Pinus massoniana*)为主,分布有少量青冈(*Cyclobalanopsis glauca*(Thunberg) Oersted)、白栎(*Quercus fabrei*)等阔叶树种;灌木有黄荆(*Vitex negundo*)、马桑(*Coriaria nepalensis*)、盐肤木(*Rhus chinensis*)等;草本有丝茅(*Imperata koenigii*)、芒(*Miscanthus sinensis*)、栗褐苔草(*Carex brunnea*)、青蒿(*Artemisia annua*)等。

1.2 典型样地设置

在小流域内选择地形条件基本一致、且具有代表性的撂荒地(Ⅰ)、柏木新造林(Ⅱ)和幼龄林(Ⅲ)、中龄林(Ⅳ),各设置 20 m×20 m 的典型样地,并对样地内的植被特征和地形条件进行调查(表 1)。

1.3 土壤样品采集及测定

2012 年 10 月,以梅花状 5 点取样法,在每个典型样地内用土样采集器按 0—20 cm、20—40 cm、40—60 cm 土层分层取样,其中柏木新造林地由于土层浅薄,仅取 0—20 cm 土层土样,每层土样组成混合样品,然后装入密封塑料袋,带回实验室用于测定土壤团聚体组成。首先将土样中石块、石砾及明显的有机物质挑去,再进行分干处理,之后采用干筛法测定土壤干筛团聚体、湿筛法测定水稳性团聚体。

表 1 典型样地基本概况

Table 1 Characteristics of typical plots for the vegetation restoration processes

恢复阶段 Restoration stages	地形特征 Topographic characteristics			土层厚度 Soil thickness /cm	植被特征 Vegetation characteristics					
	坡度 Slope gradient/(°)	坡向 Slope aspect	坡位 Slope position		主要树 (草)种 Tree (grass) species	林(草)龄 Ages/a	覆盖率 Coverage /%	密度 Density /(株/hm ²)	平均高 Height /m	平均胸径 DBH /cm
I	20	北向	中坡	40—60	青蒿、野菊花	1	草 70	—	0.4	—
II	23	西北向	下坡	20—30	柏木、黄荆	2	灌 50、草 100	1666	0.9	—
III	20	西北向	中坡	40—60	柏木、丝茅	10	乔 50、草 95	1800	5.8	15.3
IV	25	西北向	中坡	40—50	柏木、苔草	20	乔 75、草 45	2500	9.0	24.0

具体测定步骤为:将称重后的分干土样倒入已按孔径(10、7、5、3、2、1、0.5、0.25 mm)大小顺序套好的筛组中,手摇动筛组,确保所有土样按其团聚体粒径大小筛到对应的筛子中,然后将各级筛中的团聚体称重,计算土样的干筛团聚体组成。再根据干筛法求得的各级团聚体的含量,把干筛分取的风干样品按比例配成 50 g 土样,同样将该土样置于已按孔径(5、2、1、0.5、0.25 mm)大小顺序套好的筛组中,并将筛组置于振荡架上,放入水位线与筛组最上面一个筛子上缘部分齐平的水桶中、振荡 30 min,最后将各级筛上的团聚体洗入铝盒,先烘干、再风干称重,计算该土样的水稳性团聚体组成。

1.4 数据处理

土壤平均质量直径(*MWD*)和几何平均直径(*GMD*)的计算公式^[13]如下:

$$MWD = \sum_{i=1}^n \bar{x}_i w_i \quad (1)$$

$$GMD = \exp\left(\sum_{i=1}^n w_i \ln \bar{x}_i\right) \quad (2)$$

式中, $\bar{x}_i$ 为土壤各粒径的平均直径(mm); w_i 为土壤各粒径的质量百分比(%)。

土壤分形维数则采用杨培岭等^[14]提出的土壤分形模型计算:

$$(3-D) \lg(\bar{x}_i/x_{\max}) = \lg[w(\delta < \bar{x}_i)/w_0] \quad (3)$$

式中, D 为土壤分形维数; $\bar{x}_i$ 为土壤各粒径的平均直径(mm); $x_{\max}$ 为最大粒径平均直径(mm); $w(\delta < \bar{x}_i)$ 为小于某一粒径的土粒质量(g); w_0 为土粒总质量(g)。分别以 $\lg[w(\delta < \bar{x}_i)/w_0]$ 和 $\lg(\bar{x}_i/x_{\max})$ 为纵、横坐标绘图, $(3-D)$ 即其直线回归方程的斜率,由此可通过拟合直线回归方程计算土壤分形维数 D 。

采用 Excel2003 软件对数据进行处理,利用 SPSS13.0 软件进行土壤团聚体分形维数的线性方程拟合、土壤团聚体组成与其分形特征间的 Pearson 相关分析。

2 结果与分析

2.1 土壤干筛团聚体组成与分形特征

三峡库区紫色土植被恢复过程中土壤团聚体的干筛结果及其分形特征见表 2。可知,各植被恢复阶段的所有土层土壤干筛团聚体组成均以 ≥ 2 mm 粒径团聚体为主,基本都达到 80% 以上,其中又以 5—3 mm 和 3—2 mm 粒径团聚体所占比例较大,它们之和变化在 38.75—51.00% 之间,而以 0.5—0.25 mm 粒径团聚体最少,变化在 0.37—3.03% 之间。各土层的 ≥ 2 mm 粒径团聚体随植被恢复过程的变化不同,表层(0—20 cm)土壤的 ≥ 2 mm 粒径团聚体随植被恢复进程而增加,柏木新造林、幼龄林和中龄林比撂荒地分别增加 11.17%、11.01% 和 6.02%;亚表层(20—40 cm)则减少;下层(40—60 cm)则变化不明显。对于 5—2 mm 粒径团聚体,各土层均随植被恢复进程而明显增加,表层土壤大小排序为中龄林(49.72%)>幼龄林(49.07%)>新造林(44.78%)>撂荒地(38.75%);柏木幼龄林和中龄林的亚表层土壤比撂荒地分别增加 10.31% 和 10.98%,下层土壤则分别增加 3.95% 和 6.61%。表层土壤的 < 0.25 mm 团聚体则随植被恢复进程而减少。

由表 2 可知,紫色土植被恢复过程的土壤干筛团聚体分形维数变化在 1.53—2.15 之间,其中以撂荒地的表层土壤最大,幼龄林的亚表层土壤最小。各植被恢复阶段的表层土壤干筛团聚体分形维数大小排序为撂荒地>新造林>中龄林>幼龄林,它们的线性方程拟合优度均在 0.9332 以上,且都达到极显著($P < 0.01$)。

2.2 土壤水稳性团聚体组成与分形特征

土壤水稳性团聚体的组成及其分形特征见表 3。可知,各植被恢复阶段的土壤水稳性团聚体组成均以 < 0.25 mm、3—1 mm 粒径为主,分别变化在 33.05—55.87% 和 15.04—26.95% 之间,其中,撂荒地各土层的 < 0.25 mm 团聚体均占绝对优势(达到 58% 以上),其它 3 个恢复阶段除幼龄林下层土壤的 < 0.25 mm 团聚体所占比例超过 50% 外,其余各层土壤的 < 0.25 mm 团聚体均低

于 50%, 而以大团聚体 (≥ 0.25 mm) 居多。相比撂荒地, 柏木新造林、幼龄林和中龄林各土层的 <0.25 mm 团聚体均明显减少, 但大团聚体均明显增加, 说明随植被恢复进程, 紫色土的土壤入渗能力、持水性和通气性均得到有效改善。此外, 各植被恢复阶段的 <0.25 mm 团聚体随土层加深而增加, 大团聚体则减少, 但撂荒地的各粒径土壤水稳性团聚体均随土层变化较小。

表 2 土壤干筛团聚体组成及分形维数

Table 2 Composition and fractal dimension of soil dry-sieved aggregates

恢复阶段 Restoration stages	土层 Soil layers /cm	土壤干筛团聚体组成 Composition of soil dry-sieved aggregates/%									<i>D</i>	<i>R</i> ²
		≥ 10 mm	10— 7mm	7— 5mm	5— 3mm	3— 2mm	2— 1mm	1— 0.5mm	0.5— 0.25mm	<0.25 mm		
I	0—20	16.74	12.58	8.38	20.70	18.05	8.51	6.38	3.03	5.63	2.15	0.9910 **
	20—40	18.25	16.82	14.91	24.73	15.30	5.48	1.89	0.75	1.87	1.77	0.9672 **
	40—60	26.48	11.84	6.02	18.46	24.75	9.42	0.96	0.37	1.70	1.69	0.9332 **
II	0—20	16.36	12.70	13.78	26.34	18.44	6.66	1.86	0.83	3.02	1.89	0.9534 **
III	0—20	17.12	11.68	9.59	26.89	22.18	6.97	2.99	1.08	1.50	1.69	0.9789 **
	20—40	10.51	13.15	9.34	24.83	25.50	11.42	3.02	0.68	1.01	1.56	0.9784 **
	40—60	20.63	8.41	10.66	27.73	19.43	7.66	2.06	1.03	2.40	1.83	0.9632 **
IV	0—20	12.79	9.40	10.57	28.62	21.10	8.70	4.40	1.72	2.71	1.87	0.9831 **
	20—40	12.28	7.50	8.39	22.32	28.69	12.57	4.25	1.40	2.61	1.83	0.9704 **
	40—60	16.06	6.91	5.69	18.20	31.61	15.39	2.52	0.73	2.88	1.83	0.9414 **

** 表示差异极显著 ($P < 0.01$)

各植被恢复阶段的土壤水稳性团聚体分形维数变化较小, 分布在 2.67—2.84 之间 (表 3)。相比撂荒地, 柏木新造林、幼龄林和中龄林表层土壤的分形维数分别减小 0.06、0.16 和 0.08; 幼龄林和中龄林的亚表层土壤减小 0.07、0.06, 其下层分别减小 0.05、0.09, 说明撂荒地进行植被恢复后, 土壤水稳性团聚体的分形维数下降。各植被恢复阶段的土壤水稳性团聚体分形维数则随土层加深有增加趋势, 但并不明显。同样地, 土壤水稳性团聚体各分形维数的线性方程拟合效果均较好, 拟合优度在 0.9 以上, 且都达到显著 ($P < 0.05$) 或极显著 ($P < 0.01$)。

表 3 土壤水稳性团聚体组成及其分形维数

Table 3 Composition and fractal dimension of soil water stable aggregates

恢复阶段 Restoration stages	土层 Soil layers /cm	土壤水稳性团聚体组成 Composition of soil water stable aggregates/%						<i>D</i>	<i>R</i> ²
		≥ 5 mm	5—3mm	3—1mm	1—0.5mm	0.5—0.25mm	<0.25 mm		
I	0—20	4.14	7.50	16.97	6.99	6.29	58.11	2.83	0.9687 **
	20—40	5.19	7.50	16.97	6.99	4.72	58.64	2.83	0.9583 **
	40—60	5.70	5.54	16.33	6.22	7.33	58.87	2.84	0.9705 **
II	0—20	24.22	15.71	15.04	3.21	4.22	37.60	2.77	0.9017 *
III	0—20	17.84	8.51	26.95	8.22	5.43	33.05	2.67	0.9503 **
	20—40	6.34	4.91	22.27	9.91	9.48	47.09	2.76	0.9766 **
	40—60	2.86	4.00	21.05	10.59	7.55	53.95	2.79	0.9750 **
IV	0—20	8.23	15.69	22.23	6.12	4.03	43.71	2.75	0.9206 *
	20—40	2.59	15.08	19.97	8.08	4.61	49.68	2.77	0.9469 **
	40—60	8.50	5.65	26.01	8.92	4.94	45.96	2.75	0.9453 **

* 和 ** 分别表示差异显著和极显著

2.3 土壤团粒结构组成及其各参数间的相关分析

MWD 和 *GMD* 是反映土壤团粒结构大小分布状况的常用指标, 其值越大表明团聚体的平均粒径团聚度越高, 稳定性越强^[13]。由表 4 可知, 土壤干筛团聚体的 *MWD* 与 *GMD*、 ≥ 10 mm 粒径团聚体均呈极显著正相关, 相关系数分别为 0.945 和 0.785, 而与 10—7 mm、3—2 mm 和 2—1 mm 粒径团聚体呈显著相关, 相关系数分别为 0.640、-0.648 和 -0.754, 说明 *MWD* 随 *GMD*、 ≥ 10 mm 和 10—7 mm 粒径团聚体增加而增加, 而随 3—2 mm 和 2—1 mm 粒径团聚体增加而减小。*GMD* 则与 1—0.5 mm 粒径团聚体呈极显著负相关, 与 ≥ 10 mm、2—1 mm 粒径团聚体呈显著相关, 相关系数分别为 0.641 和 -0.700。由此可见, 增加较大粒径 (≥ 3 mm) 团聚体的含量能提高土壤团聚体结构稳定性, 而较小粒径 (< 3 mm) 团聚体含量的增加则不利于土壤团聚体

结构稳定性的提高。土壤干筛团聚体的分形维数则与<1 mm 粒径团聚体呈显著或极显著正相关,其中与 0.5—0.25 mm 和 <0.25 mm 粒径团聚体的相关性达到 0.01 水平,相关系数分别为 0.820 和 0.974,而与 *MWD*、*GMD*、其它粒径团聚体均不相关(表 4),说明紫色土干筛团聚体分形维数受<1 mm 粒径团聚体含量的影响明显,尤其是<0.5 mm 粒径团聚体含量。

表 4 土壤干筛团聚体各参数间的相关性
Table 4 Correlation analyses for parameters of soil dry-sieved aggregates

参数 Parameters	<i>MWD</i>	<i>GMD</i>	<i>D</i>	土壤干筛团聚体粒径 Particle sizes of soil dry-sieved aggregates/mm								
				≥10	10—7	7—5	5—3	3—2	2—1	1—0.5	0.5—0.25	<0.25
平均质量直径 <i>MWD</i>	1	0.945 **	-0.155	0.785 **	0.640 *	0.428	0.106	-0.648 *	-0.754 *	-0.618	-0.356	-0.235
几何平均直径 <i>GMD</i>		1	-0.420	0.641 *	0.625	0.509	0.238	-0.542	-0.700 *	-0.768 **	-0.586	-0.514
分形维数 <i>D</i>			1	-0.001	-0.136	-0.043	-0.122	-0.330	-0.111	0.637 *	0.820 **	0.974 **

由表 5 可知,紫色土水稳性团聚体 *MWD* 和 *GMD* 间的相关性极高,达到 0.992($P<0.01$),并且它们均与≥5 mm 粒径团聚体呈极显著正相关,相关系数分别为 0.961 和 0.942,而与<0.25 mm 粒径团聚体呈极显著负相关。同样表明较大粒径水稳性团聚体增加能提高土壤团聚体结构的稳定性,而小粒径水稳性团聚体增加则会降低土壤团聚体结构的稳定性。

土壤水稳性团聚体分形维数与其它参数的相关性(表 5)表明,其与<0.25 mm 粒径团聚体呈极显著正相关,相关系数为 0.911;与 *GMD*、3—1 mm 粒径团聚体则呈显著负相关,相关系数分别为-0.710 和-0.807,说明较小粒径水稳性团聚体增加利于提高土壤水稳性团聚体分形维数,而较大粒径水稳性团聚体增加则会降低土壤水稳性团聚体分形维数,土壤干筛团聚体的分形特征也同样表明(表 4)。王玉杰等^[15]研究认为土壤团粒分形维数愈小,土壤愈具有良好的结构与稳定性。可见,土壤较大粒径团聚体的增加对改善土壤结构、提高土壤稳定性方面都具有重要的积极作用。

表 5 土壤水稳性团聚体各参数间的相关性
Table 5 Correlation analyses for parameters of soil water stable aggregates

参数 Parameter	<i>MWD</i>	<i>GMD</i>	<i>D</i>	土壤水稳性团聚体粒径 Particle sizes of soil water stable aggregates/mm					
				≥5	5—3	3—1	1—0.5	0.5—0.25	<0.25
平均质量直径 <i>MWD</i>	1	0.992 **	-0.625	0.961 **	0.614	0.110	-0.596	-0.520	-0.879 **
几何平均直径 <i>GMD</i>		1	-0.710 *	0.942 **	0.591	0.211	-0.503	-0.492	-0.926 **
分形维数 <i>D</i>			1	-0.526	-0.235	-0.807 *	-0.194	0.194	0.911 **

3 讨论

土壤干筛团聚体粒径组成受到土地利用方式的明显影响^[10,16],王景燕等^[4]研究认为退耕还林后 0—15 cm 土层的≥0.25 mm 干筛团聚体显著增加。研究表明:植被恢复后表层(0—20 cm)土壤的≥0.25 mm 干筛团聚体也增加,但各土层以 5—2 mm 粒径团聚体的增加最为明显,这与史东梅等^[16]研究结果一致。也有研究认为人为活动较多的果园、坡耕地等土地利用方式的 5—2 mm 粒径干筛团聚体高于人为干预较少的乔木林地和灌丛^[9],而其≥5 mm 粒径的团聚体却明显低于乔木林地和灌丛,这可能与森林植被开垦后强烈的人为活动有关,导致土壤团聚体结构破坏^[8],较大粒径(≥5 mm)团聚体向较小粒径(<5 mm)团聚体转变。植被恢复后,土壤团粒结构得到逐步恢复(小粒径团聚体向大粒径团聚体转变),但由于缺少人为调控,土壤团粒结构恢复只能依靠自然演变,此时会更多地受时间尺度影响。本研究发现植被恢复时间愈长,各土层的 5—2 mm 粒径团聚体含量愈高,但各土层的≥5 mm 粒径团聚体变化不明显,这可能与研究对象所处的生态恢复阶段有关。

≥0.25 mm 水稳性团聚体是评价植被恢复后土壤生态效应的重要指标^[6,17],其含量愈高,表明土壤生态服务功能恢复的愈好。紫色土进行植被恢复后,柏木幼龄林和中龄林的表层土壤≥0.25 mm 水稳性团聚体比撂荒地分别提高 25.06% 和 14.40%,下层土壤则分别提高 4.93% 和 12.91%。史东梅等^[16]研究也认为农耕地退耕后≥0.25 mm 水稳性团聚体显著提高。丁文峰等^[18]研究则表明林地破坏开垦后的≥0.25 mm 水稳性团聚体则下降。可见,三峡库区紫色土经退耕还林、植被恢复后,土壤生态功能得到改善和提高。究其原因,这一方面是因为植被恢复后,地表枯落物和地下根系增多,从而增加了土壤中天然有机质来源,促使土壤中大团聚体含量提高;另一方面是植被恢复后,其冠层和地表覆盖物能有效减少降雨和地表径流对土壤大团聚体的冲刷和破坏作用^[16],以及人为对土壤大团聚体的破坏活动减弱^[19]。张大鹏等^[6]研究认为土壤水稳性大团聚体含量随着植被恢复年限的增加而增加,而本研究中柏木中龄林的表层土壤水稳性大团聚体却比幼龄林减少 10.66%,这可能是因为柏木中龄林的冠层郁闭度过高致使其林地草本植物分布较少,表层土壤有机质含量较低,而土壤水稳性大团聚体形成主要靠有机质的胶结作用^[3]。柏木中龄林下层土壤水稳性大团聚比幼龄林提高 7.98%,则说明中龄林下层土壤具有良好的环境条件和较强

的根系功能。此外,土壤黏粒变化和微生物作用都会影响到土壤团聚体的形成^[20]。

土壤团聚体分形维数是描述土壤肥力的一个定量指标^[8]。普遍认为,土壤分形维数越高,土壤越紧实,质地黏重且通透性差^[21],而分形维数越小,土壤相对越松散,结构良好且通透性好^[15],土壤肥力越高^[8]。本研究发现,植被恢复的柏木新造林、幼龄林和中龄林各层土壤水稳性团聚体分形维数比撂荒地均减小,且随植被恢复进程,其分形维数越小,说明经过植被恢复后,紫色土土壤结构得到改善,并且植被恢复时间愈长,土壤结构改良愈明显。这是因为土壤团聚体分形维数与其组成存在明显对应关系^[22],随植被恢复进程土壤大粒径团聚体增加而小粒径团聚体减少。相关分析也表明,无论干筛团聚体还是水稳性团聚体,其分形维数均与较大粒径团聚体呈负相关,而与较小粒径团聚体呈显著正相关(表4,表5),其中均以<0.25 mm 粒径团聚体的影响最明显。同样地,柏木中龄林的表层土壤团聚体的分形维数比幼龄林大,这说明柏木中龄林改良表层土壤团聚结构的作用要低于柏木幼龄林,这与李阳兵等^[8]研究认为“人工林随着林龄增加,土壤团聚体分形维数降低,并逐渐接近天然林”不同。所以,对于三峡库区紫色土的柏木中龄人工林,应根据其冠层郁闭程度以及乔-灌-草结构特征进行适当地抚育间伐经营,以促进土壤结构改善和充分发挥植被恢复后土壤的生态服务功能。

4 结论

三峡库区紫色土进行植被恢复后,能有效促进土壤团聚结构改善,表现为<0.25 mm 粒径的干筛团聚体和水稳性团聚体均明显减少,各层土壤5—2 mm 粒径的干筛团聚体和≥0.25 mm 粒径的水稳性大团聚体则明显增加,土壤团聚体分形维数降低,并且随植被恢复年限增加,土壤团聚结构的这种变化格局愈明显。因此应加强三峡库区紫色土的森林植被恢复,但对于冠层郁闭度过大的柏木中龄人工林应进行适当的抚育经营,有利于提高土壤的生态功能。紫色土土壤平均质量直径和几何平均直径均随粒径相对较大的团聚体含量增加而增加,随粒径相对较小的团聚体含量增加而减少。土壤分形维数则与粒径相对较大的团聚体含量呈负相关,与粒径相对较小的团聚体含量呈正相关,其中干筛团聚体和水稳性团聚体的分形维数均与<0.25 mm 团聚体呈极显著正相关。

References:

- [1] Rohošková M, Valla M. Comparison of two methods for aggregate stability measurement — a review. *Plant Soil and Environment*, 2004, 50(8): 379-382.
- [2] Wu C Z, Hong W. Study on fractal features of soil aggregate structure under different management patterns. *Acta Pedologica Sinica*, 1999, 36(2): 162-167.
- [3] Dong L L. Characteristics of soil water stable aggregates under different land-use types. *Scientia Silvae Sinicae*, 2011, 47(4): 95-100.
- [4] Wang J Y, Hu T X, Gong W, Gong Y B, Luo C D. Fractal features of soil aggregate structure in slope farmland with different de-farming patterns in south Sichuan Province of China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(6): 1410-1416.
- [5] Cerdà A. Aggregate stability against water forces under different climates on agriculture land and scrubland in southern Bolivia. *Soil and Tillage Research*, 2000, 57(3): 159-166.
- [6] Zhang D P, Fan S H, Cai C J, Liu G L, Liu Y D. Soil aggregates of returning farmland to different bamboo forests in Southern Sichuan Province. *Scientia Silvae Sinicae*, 2013, 49(1): 27-32.
- [7] Liang S C, Dong M, Wang B S, Zhang W Y. Fractal characteristics of particle size distributions of mangroves soils in Yingluo Bay. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(1): 11-14.
- [8] Li Y B, Wei C F, Xie D T, Gao M. The fractal features of soil aggregate structure before and after vegetation destruction on Karst mountain areas. *Chinese Journal of Soil Science*, 2006, 37(1): 51-55.
- [9] Zhou P, Liu G B, Hou X L. Fractal features of soil aggregate structure under different land use in the Hilly-gully region of Loess Plateau. *Science of Soil and Water Conservation*, 2008, 6(2): 75-82.
- [10] Liu M Y, Chang Q R, Qi Y B. Fractal features of soil aggregate and microaggregate under different land use. *Science of Soil and Water Conservation*, 2006, 4(4): 47-51.
- [11] Shi X M, Shi D M, Wen Z L. Study on soil anti-erodibility of different land utilization types in purple soil hilly region. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2007, 21(4): 63-66.
- [12] Cheng R M, Xiao W F, Li X X, Li J W. Research of *Cupressus funebris* forest in the Three Gorges Reservoir Area. *Forest Research*, 2004, 17(3): 382-386.
- [13] Zhou H, Lü Y Z, Yang Z C, Li B G. Effects of conservation tillage on soil aggregates in Huabei Plain, China. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40(9): 1973-1979.
- [14] Yang P L, Luo Y P, Shi Y C. Soil fractal character token by particle-mass distribution. *Chinese Science Bulletin*, 1993, 38(20): 1896-1899.
- [15] Wang Y J, Wang Y Q, Xia Y P, He Z M, Jiang C, Zhang S T. Soil fractal features of typical forest stands in Jinyun mountain of Chongqing city. *Science of Soil and Water Conservation*, 2006, 4(4): 39-46.
- [16] Shi D M, Lü G, Jiang G Y, Lu X P. Study on anti-erodibility and change of soil physical property in *Pinus massoniana* woodland. *Journal of Soil*

and Water Conservation, 2005, 19(6): 35-39.

- [17] Silva Fraga V, Salcedo I H. Declines of organic nutrient pools in tropical semi-arid soils under subsistence farming. *Soil Science Society of America Journal*, 2004, 68(1): 215-224.
- [18] Ding W F, Ding D S. The fractal features of soil granule structure before and after vegetation destruction on Loess Plateau. *Geographical Research*, 2002, 21(6): 700-706.
- [19] Zhang Z, Wei C F, Xie D T, Gao M, Zeng X B. Effects of land use patterns on soil aggregate stability in Sichuan Basin, China. *Particuology*, 2008, 6(3): 157-166.
- [20] An S S, Zhang Y, Zheng F L. Fractal dimension of the soil aggregate and its responds to plant rehabilitation in the Hilly-gully region of Loess Plateau. *Science of Soil and Water Conservation*, 2008, 6(2): 66-70, 82-82.
- [21] Liao E H, Zhang S R, Deng L J, Xiang H Y. Fractal dimensions of particle in the hill area and their applications. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 2002, 20(3): 242-245, 281-281.
- [22] Liu J F, Hong W. Study on fractal feature of soil fertility under different original *Castanopsis Kanakamii* stands. *Journal of Mountain Science*, 2001, 19(6): 565-570.

参考文献:

- [2] 吴承祯, 洪伟. 不同经营模式下土壤团粒结构的分形特征研究. *土壤学报*, 1999, 36(2): 162-167.
- [3] 董莉丽. 不同土地利用类型下土壤水稳性团聚体的特征. *林业科学*, 2011, 47(4): 95-100.
- [4] 王景燕, 胡庭兴, 龚伟, 宫渊波, 罗承德. 川南坡地不同退耕模式对土壤团粒结构分形特征的影响. *应用生态学报*, 2010, 21(6): 1410-1416.
- [6] 张大鹏, 范少辉, 蔡春菊, 刘广路, 刘亚迪. 川南不同退耕还竹林土壤团聚特征比较. *林业科学*, 2013, 49(1): 27-32.
- [7] 梁士楚, 董鸣, 王伯荪, 张炜银. 英罗港红树林土壤粒径分布的分形特征. *应用生态学报*, 2003, 14(1): 11-14.
- [8] 李阳兵, 魏朝富, 谢德体, 高明. 岩溶山区植被破坏前后土壤团聚体分形特征研究. *土壤通报*, 2006, 37(1): 51-55.
- [9] 周萍, 刘国彬, 候喜禄. 黄土丘陵区不同土地利用方式土壤团粒结构分形特征. *中国水土保持科学*, 2008, 6(2): 75-82.
- [10] 刘梦云, 常庆瑞, 齐雁冰. 不同土地利用方式的土壤团粒及微团粒的分形特征. *中国水土保持科学*, 2006, 4(4): 47-51.
- [11] 史晓梅, 史东梅, 文卓立. 紫色土丘陵区不同土地利用类型土壤抗蚀性特征研究. *水土保持学报*, 2007, 21(4): 63-66.
- [12] 程瑞梅, 肖文发, 李新新, 李建文. 三峡库区柏木林研究. *林业科学研究*, 2004, 17(3): 382-386.
- [13] 周虎, 吕贻忠, 杨志臣, 李保国. 保护性耕作对华北平原土壤团聚体特征的影响. *中国农业科学*, 2007, 40(9): 1973-1979.
- [14] 杨培岭, 罗远培, 石元春. 用粒径的重量分布表征的土壤分形特征. *科学通报*, 1993, 38(20): 1896-1899.
- [15] 王玉杰, 王云琦, 夏一平, 何正明, 蒋成, 张生涛. 重庆缙云山典型林分土壤结构分形特征. *中国水土保持科学*, 2006, 4(4): 39-46.
- [16] 史东梅, 吕刚, 蒋光毅, 卢喜平. 马尾松林地土壤物理性质变化及抗蚀性研究. *水土保持学报*, 2005, 19(6): 35-39.
- [18] 丁文峰, 丁登山. 黄土高原植被破坏前后土壤团粒结构分形特征. *地理研究*, 2002, 21(6): 700-706.
- [20] 安韶山, 张扬, 郑粉莉. 黄土丘陵区土壤团聚体分形特征及其对植被恢复的响应. *中国水土保持科学*, 2008, 6(2): 66-70, 82-82.
- [21] 廖尔华, 张世熔, 邓良基, 项虹艳. 丘陵区土壤颗粒的分形维数及其应用. *四川农业大学学报*, 2002, 20(3): 242-245, 281-281.
- [22] 刘金福, 洪伟. 不同起源格氏栲林地的土壤分形特征. *山地学报*, 2001, 19(6): 565-570.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33 ,No.18 Sep. ,2013(Semimonthly)

CONTENTS

Development of agroecology in USA	HUANG Guoqin, McCullough Patrick E. (5449)
Research progress on water footprint	MA Jing, PENG Jian (5458)
Analysis and evaluation of the eco-economic systems of the main crops (rice, cotton and rapeseed) in Jiangxi Province, China	SUN Weimin, OU Yizhi, HUANG Guoqin (5467)
Relationship among drought, hydraulic metabolic, carbon starvation and vegetation mortality	DONG Lei, LI Jiyue (5477)
Reviews on the ecological stoichiometry characteristics and its applications	ZENG Dongping, JIANG Liling, ZENG Congsheng, et al (5484)
Composition and fractal features of purple soil aggregates during the vegetation restoration processes in the Three Gorges Reservoir Region	WANG Yihao, GENG Yanghui, HUANG Zhonghua (5493)
Impacts of different surface covers on soil respiration in urban areas	FU Zhihong, HUYAN Jiaoqi, LI Feng, et al (5500)
Chilling sensitivities of three closely related plants with different invasiveness in South China	WANG Yutao, LI Chunmei, LI Shaoshan (5509)
The flower syndrome and pollination adaptation of desert rare species <i>Eremosparton songoricum</i> (litv.) Vass.(Fabaceae)	SHI Xiang, LIU Huiliang, ZHANG Daoyuan, et al (5516)
Competitive effect of <i>Pistia stratiotes</i> to rice and its impacts on rice yield and soil nutrients	SHEN Shicai, XU Gaofeng, ZHANG Fudou, et al (5523)
Photosynthetic physiological ecology characteristics of rare medicinal plants <i>Bletilla striata</i>	WU Mingkai, LIU Hai, SHEN Zhijun, et al (5531)
Photosynthetic responses to Solar UV radiation of <i>Gracilaria lemaneiformis</i> cultured under different temperatures and CO ₂ concentrations	YANG Yuling, LI Wei, CHEN Weizhou, et al (5538)
The effect of soil oxygen availability on greenhouse gases emission in a double rice field	QIN Xiaobo, LI Yu'e, WAN Yunfan, et al (5546)
Effects of nitrogen management on NH ₃ volatilization and nitrogen use efficiency under no-tillage paddy fields	MA Yuhua, LIU Bing, ZHANG Zhisheng, et al (5556)
Study on characteristics of net photosynthetic rate of two kinds of tree shape and Impact Factors in Korla fragrant pear	SUN Guili, XU Min, LI Jiang, et al (5565)
Effects of sand burial on growth, survival, photosynthetic and transpiration properties of <i>Agriophyllum squarrosum</i> seedlings	ZHAO Halin, QU Hao, ZHOU Ruilian, et al (5574)
Effects of using plastic film as mulch combined with bunch planting on soil temperature, moisture and yield of spring wheat in a semi-arid area in drylands of Gansu, China	WANG Hongli, SONG Shangyou, ZHANG Xucheng, et al (5580)
Study on soil aggregates stability of mulberry ridge in Rocky Desertification based on Le Bissonnais method	WANG Sanshu, HUANG Xianzhi, SHI Dongmei, et al (5589)
Effects of fertilization on nitrogen loss with different forms via runoff and seepage under <i>Phyllostachy praecox</i> stands	CHEN Peipei, WU Jiasen, ZHENG Xiaolong, et al (5599)
Characteristics of physiological groups of soil nitrogen-transforming microbes in different vegetation types in the Loess Gully region, China	XING Xiaoyi, HUANG Yimei, AN Shaoshan, et al (5608)
Effects of vegetation types on soil microbial biomass C, N, P on the Loess Hilly Area	ZHAO Tong, YAN Hao, JIANG Yueli, et al (5615)
Influence of mulching management on soil microbe and its relationship with soil nutrient in <i>Phyllostachys praecox</i> stand	GUO Ziwu, YU Wenxian, CHEN Shuanglin, et al (5623)
Effect of rainfall on the seasonal variation of soil respiration in Hulunber Meadow Steppe	WANG Xu, YAN Yuchun, YAN Ruirui, et al (5631)
Spatial heterogeneity of fine roots in a subtropical evergreen broad-leaved forest and their sampling strategy based on soil coring method	HUANG Chaochao, HUANG Jinxue, XIONG Decheng, et al (5636)
Changes of leaf traits and WUE with crown height of four tall tree species	HE Chunxia, LI Jiyue, MENG Ping, et al (5644)
Sap flow dynamics of <i>Populus alba</i> L.× <i>P.talassica</i> plantation in arid desert area	ZHANG Jun, LI Xiaofei, LI Jiangui, et al (5655)
Effects of simulated temperature increase and vary little quality on litter decomposition	LIU Ruipeng, MAO Zijun, LI Xinghuan, et al (5661)
The effects of leaf stoichiometric characters on litter turnover in an arid-hot valley of Jinsha River, China	YAN Bangguo, JI Zhonghua, HE Guangxiong, et al (5668)
Comparison of concentrations of non-structural carbohydrates between new twigs and old branches for 12 temperate species	ZHANG Haiyan, WANG Chuankuan, WANG Xingchang (5675)
Combined effects of root cutting, auxin application, and potassium fertilizer on growth, sugar:nicotine ratio, and organic potassium index of flue-cured tobacco	WU Yanhui, XUE Lixin, XU Zicheng, et al (5686)
Effects of photoperiod and high fat diet on energy intake and thermogenesis in female <i>Apodemus chevrieri</i>	GAO Wenrong, ZHU Wanlong, MENG Lihua, et al (5696)
Effects of dietary chlorogenic acid supplementation on antioxidant system and anti-low salinity of <i>Litopenaeus vannamei</i>	WANG Yun, LI Zheng, LI Jian, et al (5704)

- Responses of desert plant diversity, community and interspecific association to soil salinity gradient ZHANG Xueni, LÜ Guanghui, YANG Xiaodong, et al (5714)
- Community characteristics in a chronosequence of karst vegetation in Mashan county, Guangxi WEN Yuanguang, LEI Liquan, ZHU Hongguang, et al (5723)
- Association between environment and community of *Pinus taiwanensis* in Daiyun Mountain LIU Jinfu, ZHU Dehuang, LAN Siren, et al (5731)
- The dynamics of soil fauna community during litter decomposition at different phenological stages in the subtropical evergreen broad-leaved forests in Sichuan basin WANG Wenjun, YANG Wanqin, TAN Bo, et al (5737)
- Seasonal dynamics and content of soil labile organic carbon of mid-subtropical evergreen broadleaved forest during natural succession FAN Yuexin, YANG Yusheng, YANG Zhijie, et al (5751)
- The stoichiometric characteristics of C, N, P for artificial plants and soil in the hinterland of Taklimakan Desert LI Congjuan, LEI Jiaqiang, XU Xinwen, et al (5760)
- A preliminary investigation on the population and behavior of the Tundra Swan (*Cygnus columbianus*) in Poyang Lake DAI Nianhua, SHAO Mingqin, JIANG Lihong, et al (5768)
- Effects of nutrient enrichment and fish stocking on succession and diversity of phytoplankton community CHEN Chun, LI Sijia, XIAO Lijuan, HAN Boping (5777)
- The depositional environment and organic sediment component of Dagze Co, a saline lake in Tibet, China LIU Shasha, JIA Qinxian, LIU Xifang, et al (5785)
- Spatiotemporal variation of interacting relationships among multiple provisioning and regulating services of Tibet grassland ecosystem PAN Ying, XU Zengrang, YU Chengqun, et al (5794)
- Spatial distribution of dissolved amino acids in Lake Taihu, China YAO Xin, ZHU Guangwei, GAO Guang, et al (5802)
- RS- and GIS-based study on ecological function regionalization in the Chaohu Lake Basin, Anhui Province, China WANG Chuanhui, WU Li, WANG Xinyuan, et al (5808)
- Trends of spring maize phenophases and spatio-temporal responses to temperature in three provinces of Northeast China during the past 20 years LI Zhengguo, YANG Peng, TANG Huajun, et al (5818)
- Species selection for landscape rehabilitation and their response to environmental factors in Poyang Lake wetlands XIE Dongming, JIN Guohua, ZHOU Yangming, et al (5828)
- Temporal and spatial pattern of the phytoplankton biomass in the Pearl River Delta WANG Chao, LI Xinhui, LAI Zini, et al (5835)
- Spatio-temporal dynamics of land use/land cover and its driving forces in Nanjing from 1995 to 2008 JIA Baoquan, WANG Cheng, QIU Erfa (5848)
- Changes of organic carbon and its labile fractions in topsoil with altitude in subalpine-alpine area of southwestern China QIN Jihong, WANG Qin, SUN Hui (5858)
- The carbon sink of urban forests and efficacy on offsetting energy carbon emissions from city in Guangzhou ZHOU Jian, XIAO Rongbo, ZHUANG Changwei, et al (5865)
- Groundwater salt content change and its simulation based on machine learning model in hinterlands of Taklimakan Desert FAN Jinglong, LIU Hailong, LEI Jiaqiang, et al (5874)
- Analysis of coordination degree between urban development and water resources potentials in arid oasis city XIA Fuqiang, TANG Hong, YANG Degang, et al (5883)
- Constructing an assessment indices system to analyze integrated regional carrying capacity in the coastal zones: a case in Nantong WEI Chao, YE Shufeng, GUO Zhongyang, et al (5893)
- Fish species diversity in Zhongjieshan Islands Marine Protected Area (MPA) LIANG Jun, XU Hanxiang, WANG Weiding (5905)
- Distribution and long-term changes of net-phytoplankton in the tidal freshwater estuary of Changjiang during wet season JIANG Zhibing, LIU Jingjing, LI Hongliang, et al (5917)
- Study of urban metabolic structure based on ecological network: a case study of Dalian LIU Gengyuan, YANG Zhifeng, CHEN Bin, et al (5926)
- Factors influencing of residents' tolerance towards wild boar in and near nature reserve: Taking the Heilongjiang Fenghuangshan Nature Reserve as the example XU Fei, CAI Tiju, JU Cunyong, et al (5935)
- Herdsmen's willingness to participate in ecological protection in Sanjiangyuan Region, China LI Huimei, ZHANG Anlu, WANG Shan, et al (5943)
- Analysis of first flush in rainfall runoff in Shenyang urban city LI Chunlin, LIU Miao, HU Yuanman, et al (5952)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 陈利顶

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 33 卷 第 18 期 (2013 年 9 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 18 (September, 2013)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
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	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail: journal@ cspg. net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@ cspg. net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
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	Foreign	China International Book Trading Corporation Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元