

DOI: 10.11766/trxb201509220260

侵蚀地形对马尾松林下土壤特性的影响*

汪邦稳¹ 夏小林¹ 段 剑²

(1 安徽省(水利部淮河水利委员会)水利科学研究院, 水利水资源安徽省重点实验室, 合肥 230088)

(2 江西省水土保持科学研究院江西省土壤侵蚀与防治重点实验室, 南昌 330029)

摘 要 土壤是植被生长的重要物质基础, 其分布和发育受土壤侵蚀的影响。红壤丘陵区马尾松林下土壤侵蚀严重, 生态环境脆弱, 探清该区马尾松林下土壤侵蚀对土壤分布及其特性的影响, 对该地区的植被重建和生态恢复具有重要意义。基于调查取样和分析测试获取的数据, 采用统计和灰色关联度分析法分析侵蚀地形对红壤丘陵区马尾松林下土壤特性的影响。结果表明: 不同侵蚀地形的土壤特性差异显著, 相对于山脊坡和鞍部坡, 切沟土壤理化性质的大部分指标含量最高, 微生物数量最多, 土壤酶活性最大; 不同侵蚀地形的土壤特性指标间的相关性差异较大, 与山脊坡和鞍部坡相比, 切沟的土壤理化性质指标与土壤酶及微生物指标的显著正相关明显增多, 土壤特性与切沟的关联度也最高; 切沟形成的微环境提升了土壤特性, 为植被恢复提供了有利的条件。因此, 加大侵蚀沟的环境研究可为快速恢复该地区的土壤与植被提供科学依据。

关键词 土壤; 侵蚀地形; 马尾松林; 红壤丘陵区

中图分类号 S156.1 **文献标识码** A

红壤丘陵区是我国水土流失严重的地区之一。自20世纪80年代开展大规模植树造林以来, 水土流失得到明显治理^[1], 但大面积的马尾松纯林存在水土流失严重、林下植被稀少等现象^[2]。当前, 南方红壤丘陵区马尾松纯林的生态问题得到关注^[2-3]。林下水土流失规律^[4-5]和林下植被恢复得到重视^[6]; 土壤作为生态系统的重要组成部分, 也得到较多研究^[7-8]。然而, 对红壤丘陵区马尾松林侵蚀地形的土壤特性关注较少。

地形是水土流失的重要因子, 一方面地形影响着水土流失过程, 另一方面水土流失造成的地表土壤剥离、搬运和沉积过程重塑着地形, 从而形成新的侵蚀地形, 如沟、谷等^[9]。同时, 侵蚀地形影响着微气候和水土流失等, 因此也是土壤形成的重要因子^[10-11]。侵蚀地形的特征、指标及提取方法已有诸多研究^[9, 12]。鉴于红壤丘陵区马尾松林下侵蚀地形的土壤特性研究的不足, 选取山脊坡、鞍部坡和切沟3种侵蚀地形, 通过野外调查取样, 采

用统计和灰色关联度等方法, 探讨红壤丘陵区马尾松林下不同侵蚀地形间的土壤特性差异、各侵蚀地形土壤特性指标间的相关性, 以及土壤特性与侵蚀地形的关联度, 阐明侵蚀地形对土壤特性的影响, 为采用工程措施快速恢复该地区的土壤与植被提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区域位于江西省赣县(25°26'~26°17'N, 114°42'~115°22'E)的低山丘陵区, 土壤为花岗岩发育的砖红壤(钙质湿润富铁土), 平均海拔400 m左右, 气候为中亚热带丘陵季风湿润气候, 年均降水量1 423.4 mm, 集中在4—6月, 年均温度19.4℃, ≥10℃积温为5 528℃, 年均无霜期289 d。

研究样地在赣县大田乡(25°52'0.02"~25°52'13.49"N, 115°06'12.20"~115°06'42.83"),

* 国家自然科学基金项目(41201276)资助 Supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 41201276)

作者简介: 汪邦稳(1981—), 男, 安徽合肥人, 博士, 工程师, 主要研究方向为土壤侵蚀与环境。E-mail: bangwenbest@126.com

收稿日期: 2015-09-22; 收到修改稿日期: 2015-12-21

相对高度150~186 m, 坡度 8° ~ 30° 。区域马尾松林为20世纪80年代末飞播造林, 林龄约20年, >2 m的马尾松平均树高在2.9~5 m。马尾松种植前处于荒芜状态, 林分人为干扰轻微, 林地退化明显; 林下草被稀疏, 灌木稀少, 阳坡半阳坡植被盖度仅为36.9%, 草被植物主要为芒萁 (*Dicranopteris dichotoma*) 和白茅 (*Imperata cylindrica*); 土壤表土层流失殆尽, 母质层裸露; 细沟、浅沟密度 $>20 \text{ km km}^{-2}$ ^[3]。依据水利部土壤侵蚀分类分级标准^[13], 研究地的土壤侵蚀强度和程度分别达到中度和强烈以上。

1.2 调查和取样方法

调查和采样时间为2013年4月中下旬和10月中旬。样地分坡面和侵蚀沟进行布设, 坡面样地分山脊坡和鞍部坡, 侵蚀沟为切沟, 切沟特征见表1。在样地区选择了4个代表性山丘, 在每个山丘的山脊坡、鞍部坡和切沟中, 分别沿坡面方向随机布设1条样带, 分上、中、下坡位各设1个面积为 $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ 的样地, 共获得36个样地(图1)。为尽可能做到采样条件一致, 采样时确保研究区2个星期无降雨^[14]。在布设的样地里, 土壤体积含水量利用TDR-100随机对9个点的表层土壤(0~15 cm)进

表1 切沟特征

Table 1 Characteristics of the gullies under study

沟号 Gully number	面积 Area (m^2)	最大深度 Maximum depth (m)	平均深度 Average depth (m)	沟长 Length (m)	沟均宽 Average width (m)	沟发育的 坡面坡度 Slope ($^{\circ}$)
I	744.5	6.1	3.2	41.2	18.1	12
II	842.3	11.6	6.4	67.1	12.7	25
III	644.7	6.5	4.1	40.4	15.7	30

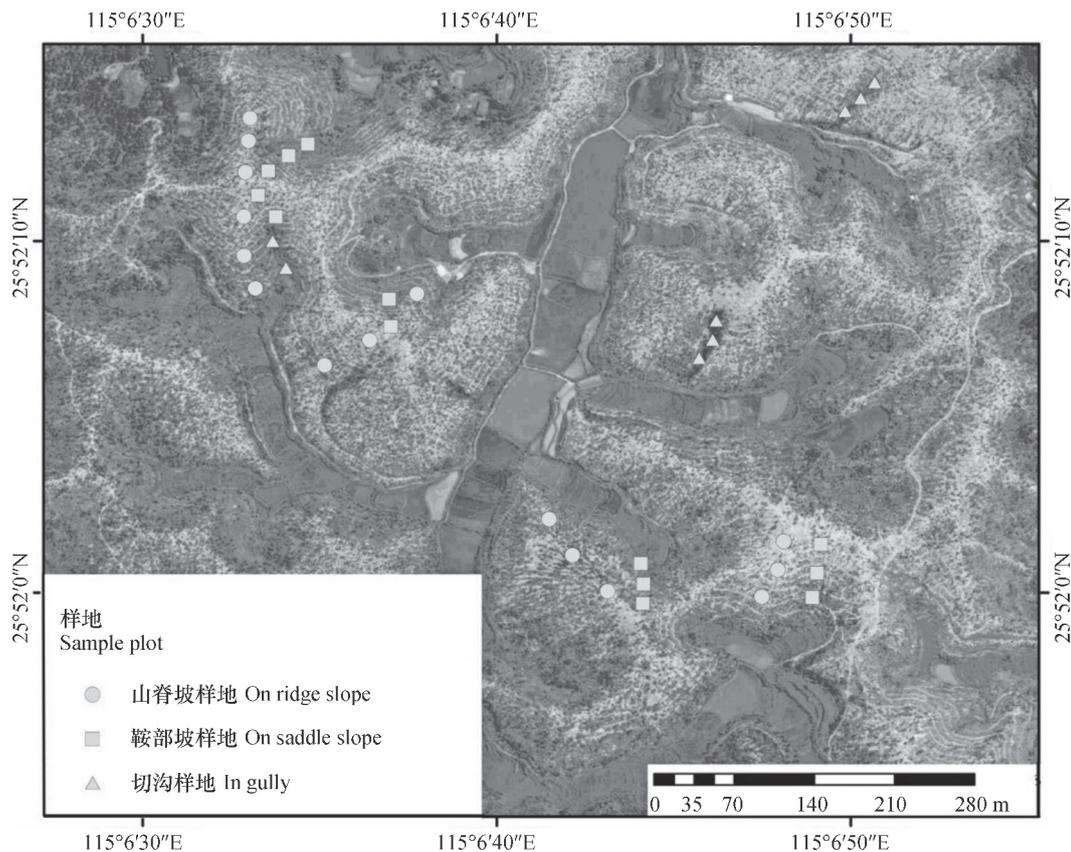


图1 样地布设图

Fig. 1 Distribution of sample plots

行探测获取, 土壤样品是对表层土壤(0~15 cm)随机采集5点组成的混合样。土壤样品采集后, 去除较大的石砾和植物根叶等, 每个样品分成2份, 一份放于冰箱4℃冷藏, 另一份避光风干, 过筛后备用。

1.3 土壤特性测定

土壤有机碳、全氮、全磷、全钾、碱解氮、有效磷、速效钾、pH(水土比2.5:1)和土壤颗粒组成采用鲁如坤^[15]的方法分析。土壤酶活性采用松荫^[16]的分析方法: 蔗糖酶活性采用3, 5-二硝基水杨酸比色法; 脲酶活性采用靛酚蓝比色法; 酸性磷酸酶活性采用磷酸苯二钠比色法; 过氧化氢酶活性采用高锰酸钾滴定法。土壤微生物数量采用稀释平板法^[16-17]: 细菌、真菌和放线菌的测定分别选用牛肉膏蛋白胨培养基、PDA培养基和高氏I号培养基, 每一浓度梯度设置3个重复。

1.4 数据处理

不同侵蚀地形的土壤特性差异评价采用双尾方差分析(LSD)方法, 各指标间的相关性分析采用简单相关分析(Pearson)法, 土壤特性与侵蚀地形的相关度采用灰色关联度分析法^[18]。

$$\varepsilon(i, j) = \frac{\min_i \min_j |A'(0, j) - A'(i, j)| + \max_i \max_j |A'(0, j) - A'(i, j)|}{|A'(0, j) - A'(i, j)| + \rho \max_i \max_j |A'(0, j) - A'(i, j)|} \quad (2)$$

式中, $\varepsilon(i, j)$ 为第*i*个侵蚀地形第*j*个指标的关联系数; $\min_i \min_j |A'(0, j) - A'(i, j)|$ 为两极最小差, $\max_i \max_j |A'(0, j) - A'(i, j)|$ 为两极最大差; ρ 为分辨系数, 取值范围为[0, 1], 本文取0.5; $i=1, 2, \dots, M; j=1, 2, \dots, N$ 。

4) 关联度的求取。从关联系数的计算来看, 得到的是各比较数列与参比数列在指标的关联系数值, 结果较多, 信息过于分散, 因而有必要将每个比较数列各指标的关联系数集中体现在一个值上, 这个值就是关联度(r_i), 常用的方法为平均值法, 见式(3)。关联度越大, 曲线越近。

$$r_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \varepsilon(i, j) \quad (3)$$

所有数据统计与处理在SPSS 19.0和Excel 2007中完成。

灰色关联度分析方法是在灰色系统基础上用关联度大小描述系统发展过程中因素相对变化的趋势, 其基本思想是根据序列曲线几何形状的相似程度来判断其联系是否紧密, 曲线越近, 联系越紧密, 反之就小。不同侵蚀地形与土壤特性的关系, 可以通过一定的数据处理, 找出它们的关联性, 以探索侵蚀地形对土壤形成发育的影响。灰色关联度分析简述如下:

1) 参比数列和比较数列的确定。在侵蚀地形灰色系统里, 设 $A(M, N)$ 为评价矩阵, 即为比较序列, 其中*M*为评价对象个数, *N*为评价指标个数; $A(0, N)$ 为参比序列, 本文选取侵蚀地形各土壤特性指标中的最优指标作为参比序列^[18]。

2) 数据归一化处理。为消除系统中不同指标的量纲, 转换为可比较的数据列, 采用初值化方法(式(1))对原始数据进行归一化处理。

$$A'(i, j) = \frac{A(i, j)}{A(0, j)} \quad (1)$$

3) 计算各侵蚀地形的指标序列(比较序列)与参比序列的关联系数。

2 结果

2.1 不同侵蚀地形的土壤特性

红壤丘陵侵蚀区马尾松林下侵蚀地形的土壤理化性质中除全磷和机械组成的砂粒外(表2), 其他指标受侵蚀地形的影响差异显著。山脊坡的所有土壤化学指标值最小, 全氮和全磷在鞍部坡的土壤含量最大, 分别达到0.51 g kg⁻¹和0.11 g kg⁻¹; 有机碳、全钾、碱解氮、有效磷、速效钾和pH均在切沟的土壤中表现最大, 分别达19.67 g kg⁻¹、33.79 g kg⁻¹、92.40 mg kg⁻¹、0.56 mg kg⁻¹、60.31 mg kg⁻¹和4.59。山脊坡的土壤含水量最小, 为12.82%, 切沟的土壤含水量最大, 为15.28%。

依据全国第二次土壤普查推荐的土壤养分含量分级标准^[19-20], 研究区的马尾松林下土壤养分等级较低。各侵蚀地形的土壤有机质均<20 g kg⁻¹,

处于4级及以下，属于稍缺以下水平；土壤全氮 $< 0.75 \text{ g kg}^{-1}$ ，处于5级及以下，唯有鞍部坡的全氮达到 0.51 g kg^{-1} ，处于5级，属于缺的水平；碱解氮 $< 120 \text{ mg kg}^{-1}$ ，处于3级及以下，只有切沟的碱解氮为 92.40 mg kg^{-1} ，达到3级，属于中等水平，鞍部坡和山脊坡的碱解氮处于5级，属于缺的水平；有效磷 $< 3 \text{ mg kg}^{-1}$ ，处于6级，属于极缺的水平；速效钾 $< 100 \text{ mg kg}^{-1}$ ，处于4级及以下，只有切沟的速效钾超过 60 mg kg^{-1} ，属于稍缺水平。综上分析，研究区侵蚀地形中土壤养分指标中仅有切沟的碱解氮处于中等水平，其他指标均处于稍缺或缺的水平。说明红壤丘陵区水土流失严重的马尾松林土壤养分贫瘠，土壤肥力较差。这主要是历史和人为的原因，尤其在20世纪50~60年代，原有植被遭到毁灭性破坏，加剧了水土流失发生，导致表土流失殆尽，心土层甚至母质层裸露，生态环境恶化^[2]。直至20世纪80年代开始认识到问题的严重性，开展植树造林，但因水土流失导致的土地退化

严重，只能选择乡土马尾松作为先锋树种^[1, 6]。20多年来，虽然生态环境明显改善^[1]，但土壤养分含量仍然较低，砂粒含量达到60%左右，土壤结构没有明显改善。红壤丘陵侵蚀区马尾松林下土壤肥力尽管较差，但不同侵蚀地形的土壤理化特征表现出了显著性差异，切沟土壤养分的多数指标等级明显高于山脊坡（表2）。

红壤丘陵区马尾松林下侵蚀地形的土壤中除放线菌外，细菌、真菌和微生物总量受不同侵蚀地形的影响差异显著（表3），其数量在不同侵蚀地形中的大小顺序为切沟 > 鞍部坡 > 山脊坡。切沟的细菌、真菌和微生物总数分别较山脊坡相应微生物数量高266.6%、214.7%和124.0%。说明相对其他侵蚀地形，切沟的土壤微生物状况最好。

红壤丘陵区马尾松林下侵蚀地形的土壤中脲酶和过氧化氢酶活性受不同侵蚀地形的影响差异显著（表4），其不同侵蚀地形中表现为切沟 > 鞍部坡 > 山脊坡。切沟中的土壤脲酶和过氧化氢酶活性

表2 侵蚀地形的土壤理化性质

Table 2 Physical and chemical properties of the soil in erosional landform

侵蚀地形 Erosional landform	有机碳 Organic C (g kg^{-1})	全氮 Total N (g kg^{-1})	全磷 Total P (g kg^{-1})	全钾 Total K (g kg^{-1})	碱解氮 Alkaline N (mg kg^{-1})	有效磷 Available P (mg kg^{-1})
山脊坡 Ridge	$7.50 \pm 0.73\text{a}$	$0.24 \pm 0.03\text{a}$	$0.08 \pm 0.01\text{a}$	$25.07 \pm 1.86\text{a}$	$43.99 \pm 4.93\text{a}$	$0.13 \pm 0.05\text{a}$
鞍部坡 Saddle	$14.99 \pm 1.50\text{b}$	$0.51 \pm 0.05\text{b}$	$0.11 \pm 0.02\text{a}$	$30.82 \pm 2.10\text{ab}$	$55.97 \pm 4.20\text{ab}$	$0.41 \pm 0.15\text{ab}$
切沟 Gully	$19.67 \pm 3.00\text{c}$	$0.47 \pm 0.14\text{b}$	$0.10 \pm 0.02\text{a}$	$33.79 \pm 1.36\text{b}$	$92.40 \pm 8.83\text{b}$	$0.56 \pm 0.12\text{b}$
侵蚀地形 Erosional land-form	速效钾 Available K (mg kg^{-1})	pH	机械组成 Mechanical composition (%)			土壤水分 Soil moisture (%)
			砂粒 Sand (2 mm ~ 0.02 mm)	粉粒 Silt (0.02 mm ~ 0.002 mm)	黏粒 Clay ($< 0.002 \text{ mm}$)	
山脊坡 Ridge	$21.61 \pm 2.73\text{a}$	$4.53 \pm 0.07\text{ab}$	$59.96 \pm 3.93\text{a}$	$22.33 \pm 4.53\text{a}$	$17.71 \pm 1.69\text{a}$	$12.82 \pm 0.46\text{a}$
鞍部坡 Saddle	$32.70 \pm 4.13\text{b}$	$4.37 \pm 0.05\text{a}$	$60.16 \pm 3.28\text{a}$	$15.50 \pm 2.40\text{ab}$	$24.34 \pm 2.46\text{b}$	$14.96 \pm 0.84\text{b}$
切沟 Gully	$60.31 \pm 5.87\text{c}$	$4.59 \pm 0.02\text{b}$	$69.56 \pm 4.14\text{a}$	$9.81 \pm 1.38\text{b}$	$20.63 \pm 3.55\text{ab}$	$15.28 \pm 1.31\text{bc}$

注：同列不同字母表示 $p < 0.05$ 水平差异显著，平均值 \pm 标准误；下同 Note: Different letters in the same column mean significant difference ($p < 0.05$), mean value \pm standard error. The same below

表3 侵蚀地形的土壤微生物特征

Table 3 Characteristic of soil microbes relative to erosional landform

侵蚀地形 Erosional landform	细菌 Bacterias (10^4 CFU g^{-1})	真菌 Fungi (10^4 CFU g^{-1})	放线菌 Actinomycetes (10^4 CFU g^{-1})	微生物总数 Microorganism amount (10^4 CFU g^{-1})
山脊坡 Ridge	$8.20 \pm 1.30\text{a}$	$3.36 \pm 0.44\text{a}$	$8.65 \pm 1.33\text{a}$	$20.21 \pm 2.87\text{a}$
鞍部坡 Saddle	$16.65 \pm 2.46\text{ab}$	$6.47 \pm 0.85\text{ab}$	$7.27 \pm 1.11\text{a}$	$30.39 \pm 3.55\text{ab}$
切沟 Gully	$30.06 \pm 3.50\text{b}$	$10.59 \pm 1.35\text{b}$	$4.64 \pm 0.62\text{a}$	$45.29 \pm 5.15\text{b}$

表4 侵蚀地形的土壤酶活性

Table 4 Soil enzyme activity relative to erosional landform

侵蚀地形 Erosional landform	蔗糖酶Invertase (mg glucose g ⁻¹ (24h) ⁻¹) (37℃)	脲酶Urease (mg NH ₄ ⁺ g ⁻¹ (24h) ⁻¹) (37℃)	酸性磷酸酶Acid phosphatase (mg p-nitrophenol g ⁻¹ h ⁻¹) (37℃)	过氧化氢酶Catalase (ml 0.02molL ⁻¹ KMnO ₄ g ⁻¹) (20min) ⁻¹
山脊坡Ridge	24.54 ± 1.83a	0.06 ± 0.01a	0.16 ± 0.02a	0.77 ± 0.11a
鞍部坡Saddle	28.00 ± 1.25a	0.18 ± 0.01b	0.20 ± 0.04a	1.27 ± 0.09bc
切沟Gully	30.18 ± 3.34a	0.19 ± 0.02b	0.21 ± 0.02a	1.54 ± 0.12c

分别比山脊坡相应酶活性高218.2%和101.3%。相对其他侵蚀地形,切沟的脲酶和过氧化氢酶活性最高,说明切沟的土壤环境更有利于氮素的转化和过氧化氢的分解。

2.2 各侵蚀地形的土壤理化性质与土壤酶和微生物间的关系

红壤丘陵侵蚀区马尾松林下山脊坡的土壤中只有全磷、碱解氮和土壤水分与土壤酶或微生物显著相关(表5)。全磷与细菌($r=0.819$)、真菌($r=0.730$)、放线菌($r=0.875$)及微生物总量($r=0.888$)极显著正相关,这与微生物具有解磷作用相一致^[17]。说明山脊坡全磷虽然含量较低,但对微生物的种类和数量极其重要。碱解氮与土壤脲酶极显著正相关($r=0.669$),这与脲酶具有分解氮素作用相一致。土壤水分与土壤酶和微生物呈负相关关系,其中与脲酶($r=-0.698$)、酸性磷酸酶($r=-0.548$)和过氧化氢酶($r=-0.574$)极显著或显著负相关。这主要是

山脊坡的土壤水分低,导致生长有植被的土壤比地表裸露的土壤水分更低^[3],所以,山脊坡的土壤水分相对较高的都是地表裸露处,而裸露的地表因没有植被生长使得土壤微生物较少,土壤酶活性较低^[21]。

红壤丘陵侵蚀区马尾松林下鞍部坡的土壤中全钾、有效磷、pH和土壤水分与酶活性或微生物表现出显著或极显著相关(表6)。土壤全钾与酸性磷酸酶显著负相关($r=-0.626$),土壤pH与真菌极显著正相关($r=0.836$),虽然与已有的结果相似^[8, 22],但其原因有待进一步研究。有效磷与真菌显著正相关($r=0.623$),这与微生物具有解磷作用有关。土壤水分与脲酶活性极显著正相关($r=0.755$),这是因为鞍部坡的植被条件相对较好,说明在植被条件较一致的环境中,土壤水分对脲酶活性具有提升作用。

红壤丘陵侵蚀区马尾松林下切沟土壤中的有机碳、全氮、碱解氮和有效磷均表现出了与土壤酶或微生物显著相关性(表7)。有机碳与土壤脲酶

表5 山脊坡土壤理化性质与土壤酶和微生物的相关性

Table 5 Relationship between soil physicochemical properties and soil enzymes and microbes in the soil on ridges

	蔗糖酶 ^①	脲酶 ^②	酸性磷酸酶 ^③	过氧化氢酶 ^④	细菌 ^⑤	真菌 ^⑥	放射菌 ^⑦	微生物总数 ^⑧
有机碳 ^⑨	-0.224	0.184	-0.240	-0.043	0.230	0.211	0.213	0.236
全氮 ^⑩	0.306	0.306	-0.106	0.068	0.257	0.232	0.345	0.309
全磷 ^⑪	0.254	0.148	-0.278	-0.130	0.819**	0.730**	0.875**	0.888**
全钾 ^⑫	0.387	0.200	-0.331	-0.252	0.326	0.277	0.269	0.318
碱解氮 ^⑬	0.018	0.669**	0.386	0.399	-0.128	-0.064	-0.036	-0.087
有效磷 ^⑭	-0.160	-0.037	-0.265	0.257	0.243	0.114	0.193	0.218
速效钾 ^⑮	-0.054	0.148	-0.402	-0.231	0.136	0.117	0.110	0.132
pH	0.398	-0.136	0.196	-0.183	-0.124	-0.275	-0.114	-0.154
土壤水分 ^⑯	-0.487	-0.698**	-0.548*	-0.574*	-0.083	-0.093	-0.039	-0.072

注: * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$,下同 Note: * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$. ①Invertase (INV), ②Urease (URE), ③Acid phosphatase (ACP), ④Catalase (CAT), ⑤Bacteria, ⑥Fungi, ⑦Actinomycetes, ⑧Microorganism amount, ⑨Organic C, ⑩Total N, ⑪Total P, ⑫Total K, ⑬Alkaline N, ⑭Available P, ⑮Available K, ⑯Soil moisture. The same below

表6 鞍部坡土壤理化性质与土壤酶和微生物的相关性

Table 6 Relationship between soil physicochemical properties and soil enzymes and microbes in the soil on saddles

	蔗糖酶 ^①	脲酶 ^②	酸性磷酸酶 ^③	过氧化氢酶 ^④	细菌 ^⑤	真菌 ^⑥	放射菌 ^⑦	微生物总数 ^⑧
有机碳 ^⑨	-0.015	-0.160	-0.114	-0.130	-0.191	-0.120	-0.138	-0.242
全氮 ^⑩	0.106	0.064	0.091	-0.061	0.004	-0.244	-0.281	-0.151
全磷 ^⑪	-0.105	-0.083	0.014	0.002	-0.331	0.321	-0.069	-0.221
全钾 ^⑫	-0.372	0.129	-0.626*	0.081	0.110	-0.032	0.245	0.163
碱解氮 ^⑬	-0.124	-0.229	-0.050	-0.404	-0.134	-0.172	0.059	-0.146
有效磷 ^⑭	-0.169	0.007	-0.139	0.037	-0.224	0.623*	-0.074	-0.047
速效钾 ^⑮	-0.025	0.177	-0.417	0.016	-0.345	0.411	-0.042	-0.200
pH	-0.085	-0.050	-0.257	-0.064	0.180	0.836**	0.152	0.433
土壤水分 ^⑯	-0.096	0.755**	-0.042	0.152	-0.096	0.158	-0.241	-0.115

表7 切沟土壤理化性质与土壤酶和微生物的相关性

Table 7 Relationships between soil physicochemical properties and soil enzymes and microbes in the soil in gullies

	蔗糖酶 ^①	脲酶 ^②	酸性磷酸酶 ^③	过氧化氢酶 ^④	细菌 ^⑤	真菌 ^⑥	放射菌 ^⑦	微生物总数 ^⑧
有机碳 ^⑨	0.054	0.785*	0.541	-0.007	-0.376	0.101	0.289	-0.226
全氮 ^⑩	-0.290	0.533	-0.049	-0.349	0.604*	0.664*	0.203	0.265
全磷 ^⑪	0.019	0.047	-0.121	0.385	0.044	0.590	-0.209	0.267
全钾 ^⑫	0.103	-0.498	0.444	0.517	-0.464	0.119	-0.309	-0.412
碱解氮 ^⑬	0.076	0.213	0.094	-0.124	0.573	0.149	0.173	0.603*
有效磷 ^⑭	-0.251	0.747*	-0.255	0.209	0.640*	-0.163	-0.275	0.431
速效钾 ^⑮	0.064	-0.191	-0.014	-0.358	0.219	0.268	0.450	0.402
pH	0.193	0.463	-0.274	0.274	0.044	0.063	-0.510	-0.033
土壤水分 ^⑯	0.298	-0.222	0.008	-0.409	-0.019	0.170	0.349	0.130

显著正相关 ($r=0.785$)；全氮与细菌 ($r=0.604$) 和真菌 ($r=0.664$) 显著正相关；碱解氮与土壤微生物总量显著正相关 ($r=0.603$)；有效磷与脲酶 ($r=0.747$)、细菌 ($r=0.640$) 显著正相关。这些相关性也被关松荫^[16]和赵汝东等^[7-8]证明。

2.3 侵蚀地形与土壤特性的关联度

为进一步分析土壤特性对侵蚀地形的响应，揭示侵蚀地形对土壤发育的影响程度，选取侵蚀地形的各项土壤特性指标中的最优指标作为参比序列，各侵蚀地形的土壤特性指标作为比较序列，采用灰色关联度法分析土壤特性与侵蚀地形的关联度，结果见表8。土壤特性与侵蚀地形的关联度大小顺序为切沟 (0.93) > 鞍部坡 (0.61) > 山脊坡 (0.39)，土壤特性与切沟的关联度最大。说明相比山脊坡和鞍部坡，切沟对红壤丘陵侵蚀区马尾松林的土壤特性影响最大。

3 讨论

3.1 不同侵蚀地形土壤特性的差异

红壤丘陵侵蚀区马尾松林下土壤养分尽管相对贫瘠，但不同侵蚀地形的土壤特性差异显著。例如切沟的有机碳、全钾、碱解氮、有效磷、速效钾以及土壤水分含量最高 (表2)，微生物数量最多 (表3)，土壤酶活性最大 (表4)。这些显著的空间差异主要是由土壤侵蚀引起的^[23]。因为土壤侵蚀致使土壤养分流失，而土壤养分流失与土壤颗粒组成关系密切^[24]。土壤氮磷流失主要以泥沙结合态为主^[25-26]。在侵蚀地形中，山脊坡以剥蚀为主，鞍部坡以搬运为主，稳定的沟床以沉积为主，因此，以沉积为主的切沟氮磷含量，除全磷外都显著高于山脊坡。有机质和钾素容易被土壤黏粒吸附^[27]，而黏粒更容易在侵蚀过程中富集^[28]。所

表8 土壤特性指标关联系数及其与侵蚀地形关联度

Table 8 Correlation coefficients between soil property indices and correlativity between soil properties and erosional landform

指标 Index	关联系数Correlation coefficient			参比序列 Reference sequence
	山脊坡 Ridge	鞍部坡 Saddle	切沟 gully	
蔗糖酶 ^①	0.33	0.56	1.00	1.00
脲酶 ^②	0.33	0.86	1.00	1.00
酸性磷酸酶 ^③	0.33	0.95	1.00	1.00
过氧化氢酶 ^④	0.33	0.59	1.00	1.00
细菌 ^⑤	0.33	0.45	1.00	1.00
真菌 ^⑥	0.33	0.47	1.00	1.00
放射菌 ^⑦	1.00	0.59	0.33	1.00
微生物总数 ^⑧	0.33	0.46	1.00	1.00
有机碳 ^⑨	0.33	0.57	1.00	1.00
全氮 ^⑩	0.33	1.00	0.79	1.00
全磷 ^⑪	0.33	1.00	0.69	1.00
全钾 ^⑫	0.33	0.59	1.00	1.00
碱解氮 ^⑬	0.33	0.40	1.00	1.00
有效磷 ^⑭	0.33	0.58	1.00	1.00
速效钾 ^⑮	0.33	0.41	1.00	1.00
pH	0.64	0.33	1.00	1.00
土壤水分 ^⑯	0.33	0.59	1.00	1.00
关联度 r_i	0.39	0.61	0.93	

以, 从山脊坡到鞍部坡再到切沟的侵蚀过程中, 逐渐富集的黏粒吸附更多的有机质和钾素, 最终致使土壤黏粒、有机质和钾素的含量在侵蚀地形的表现为: 切沟 > 鞍部坡 > 山脊坡。

单一土地利用的土壤水分空间分布主要受地形和土壤性质的影响^[29-30]。侵蚀地形土壤水分含量大小顺序为切沟 > 鞍部坡 > 山脊坡, 有3个原因: 一是从山脊坡—鞍部坡—切沟的地形对径流起到汇聚作用, 同时受重力的影响, 土壤水也将趋于从山脊坡向鞍部坡和切沟汇聚; 二是从山脊坡—鞍部坡—切沟土壤黏粒含量逐渐增大, 从而使得土壤对水分的保持力增大; 三是鞍部坡和切沟是凹面地形, 削弱了光照条件, 降低了蒸发能力^[31]。本研究的土壤水分在三种侵蚀地形中的分布特征与在黄土高原中的研究结果相似^[32]。

除放线菌外, 细菌、真菌和微生物总量在不同侵蚀地形间差异显著, 数量高低依次为切沟 > 鞍部坡 > 山脊坡。一是因为侵蚀的作用, 使得山脊坡

的凋落物及土壤养分向鞍部坡和切沟运动^[33], 降低了山脊坡的微生物; 二是因为土壤微生物与土壤肥力和植被状况关系密切^[17]; 由于切沟和鞍部坡的土壤理化指标相对较高, 致使微生物量也较高。该结果与东北黑土区的微生物在小流域的分布相似^[34]。与山脊坡相比, 鞍部坡和切沟的土壤有机碳分别增加了1倍和1.7倍, 而土壤微生物总数分别增加0.5倍和0.75倍, 两者增幅度不相一致。这主要因为不是所有的碳源都能被微生物利用, 森林微生物的敏感碳源主要为糖类, 同时与阔叶林相比, 针叶林的微生物碳源代谢能力较弱^[35]; 加上侵蚀地形造成的光热等外部条件的差异, 最终导致侵蚀地形中土壤微生物数量与土壤有机碳不一致。

3.2 不同侵蚀地形土壤指标间相关性差异

土壤理化性质与土壤酶和微生物性质的相关性是普遍存在的, 但土壤环境和质量不同, 其指标间的相关程度存在着差别^[34]。土壤酶活性是表征土壤质量的重要指标, 它参与土壤的所有生化反应,

与土壤微生物一起共同推动土壤的代谢过程^[16]。土壤微生物在土壤物质转化中具有多种重要作用，与土壤肥力和植物营养关系密切^[17]。本研究区属于同类母质发育的土壤，如果不同侵蚀地形的土壤环境和质量相同，其土壤指标间的相关性应该相同。然而，本研究中不同侵蚀地形的土壤指标间的相关性存在着明显差异，例如，在山脊坡中只有全磷、碱解氮与脲酶、细菌和真菌呈现出显著正相关；在鞍部坡只有有效磷、pH和土壤水分与脲酶和真菌表现出显著正相关；而在切沟中，有机碳、全氮、碱解氮和有效磷与脲酶、细菌、真菌和微生物总量均呈现出显著正相关。与山脊坡和鞍部坡相比，切沟的土壤理化性质指标与土壤酶及微生物指标的显著正相关明显增多，显著负相关明显减少。这正说明了由于侵蚀地形形成的环境条件不同，导致土壤环境和质量差异，致使土壤指标间的相关性发生变化，原因是土壤酶和微生物比土壤理化性质更容易受植被、光热等外界条件的影响^[36]。

总之，基于灰色关联度分析，土壤特性与侵蚀地形的关联度大小表现为切沟 > 鞍部坡 > 山脊坡，说明在因水土流失造成心土层甚至母质层裸露的红壤丘陵侵蚀区，侵蚀地形因改变了径流对泥沙的剥离、搬运和沉积的途径和位置，影响了地表的光热条件，从而促使不同侵蚀地形的土壤形成环境差异较大^[10-11, 37]。红壤侵蚀区马尾松林下的切沟相对于山脊坡和鞍部坡，其土壤特性最好，因为切沟的形成改变了水土流失过程，使得山脊坡和鞍部坡的侵蚀泥沙沉积于此，促进了局部地形处的土壤形成，从而为植被恢复创造了有利的条件^[3, 14, 38]。因此，采用工程措施改变微地形（如竹节水平沟）可以促进红壤丘陵侵蚀区马尾松林下土壤的形成，加快植被的恢复；但微地形改造的方式和大小等，还需要进一步的探索研究。

4 结 论

红壤丘陵侵蚀区马尾松林下不同侵蚀地形的土壤特性差异显著。相对于山脊坡和鞍部坡，切沟的土壤特性最好，表现在有机碳、全钾、碱解氮、有效磷、速效钾以及土壤水分含量最高，微生物数量最多，土壤酶活性最大。红壤丘陵侵蚀区马尾松林下不同侵蚀地形的土壤特性指标间的相关性差异较大。山脊坡中只有全磷、碱解氮与脲酶、细菌和真

菌呈现出显著正相关；鞍部坡只有有效磷、pH和土壤水分与脲酶和真菌表现出显著正相关；而在切沟中，有机碳、全氮、碱解氮和有效磷与脲酶、细菌、真菌、微生物总量均呈现出显著正相关。与山脊坡和鞍部坡相比，土壤特性与切沟的关联度也最高。红壤丘陵侵蚀区马尾松林下切沟形成的微环境可以明显改善土壤理化性质、增强酶活性，提升微生物数量，为植被恢复创造了有利条件。因此，加大侵蚀沟的环境研究可为采用工程措施快速恢复该地区的土壤和植被提供科学依据和数据支撑。

参 考 文 献

- [1] Liang Y, Li D C, Lu X X, et al. Soil erosion changes over the past five decades in the red soil region of southern China. *Journal of Mountain Science*, 2010, 7 (1) : 92—99
- [2] 赵其国. 我国南方当前水土流失与生态安全中值得重视的问题. *水土保持通报*, 2006, 26 (2) : 1—8
Zhao Q G. Some considerations for present soil and water conservation and ecology security of south China (In Chinese). *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2006, 26 (2) : 1—8
- [3] 汪邦稳, 段剑, 王凌云, 等. 红壤侵蚀区马尾松林下植被特征与土壤侵蚀的关系. *中国水土保持科学*, 2014, 12 (5) : 9—16
Wang B W, Duan J, Wang L Y, et al. Relationship between vegetation and soil erosion under *Pinus massoniana* forest in eroded red soil region of southern China (In Chinese). *Science of Soil and Water Conservation*, 2014, 12 (5) : 9—16
- [4] Cao L, Liang Y, Wang Y, et al. Runoff and soil loss from *Pinus massoniana* forest in southern China after simulated rainfall. *Catena*, 2015, 129 (1) : 1—8
- [5] Gu Z J, Wu X X, Wang X L, et al. Using live vegetation volume to analyze the effects of plot *Pinus massoniana* Lamb on water and soil conservation under natural rainfall events. *International Journal of Sediment Research*, 2013, 28 (4) : 579—587
- [6] 何圣嘉, 谢锦升, 周艳翔, 等. 南方红壤侵蚀区马尾松林下植被恢复限制因子与改造技术. *水土保持通报*, 2013, 33 (3) : 118—124
He S J, Xie J S, Zhou Y X, et al. Limiting factors and transformation techniques for undergrowth restoration of *Pinus massoniana* in eroded red soil area of Southern China (In Chinese). *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2013, 33 (3) : 118—124
- [7] 赵汝东, 樊剑波, 何园球, 等. 坡位对马尾松林下土壤理化

- 性质、酶活性及微生物特性影响. 生态环境学报, 2010, 19 (12): 2857—2862
- Zhao R D, Fan J B, He Y Q, et al. Effect of slope position on soil physicochemical properties, enzyme activities and microbial properties in *Pinus massoniana* plantation (In Chinese). *Ecology and Environmental Sciences*, 2010, 19 (12): 2857—2862
- [8] 赵汝东, 潘剑波, 何园球, 等. 林分密度对马尾松林下土壤养分及酶活性的影响. *土壤*, 2012, 44 (2): 297—301
- Zhao R D, Fan J B, He Y Q, et al. Soil enzyme activities and microbial properties in *Pinus massoniana* plantations of different parent rock areas (In Chinese). *Soils*, 2012, 44 (2): 297—301
- [9] 秦伟, 朱清科, 赵磊磊, 等. 基于RS和GIS的黄土丘陵沟壑区浅沟侵蚀地形特征研究. *农业工程学报*, 2010, 26 (6): 58—64
- Qin W, Zhu Q K, Zhao L L, et al. Topographic characteristics of ephemeral gully erosion in loess hilly and gully region based on RS and GIS (In Chinese). *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2010, 26 (6): 58—64
- [10] Florinsky I V. Digital terrain analysis in soil science and geology. Pushchino, Russia: Academic Press, 2012: 145—149
- [11] Dubayah R, Loechel S. Modeling topographic solar radiation using GOES data. *Journal of Applied Meteorology*, 1997, 36 (2): 141—154
- [12] 郭明航, 杨勤科, 王春梅. 中国主要水蚀典型区侵蚀地形特征分析. *农业工程学报*, 2013, 29 (13): 81—89
- Guo M H, Yang Q K, Wang C M. Analysis on erosional terrain characteristics of typical samples in main water erosion region of China (In Chinese). *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, 29 (13): 81—89
- [13] 中华人民共和国水利部. 土壤侵蚀分类分级标准: SL190—2007. 北京: 中国水利水电出版社, 2008
- Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. Standards for classification and gradation of soil erosion: SL190—2007 (In Chinese). Beijing: China Water & Power Press, 2008
- [14] Xu X L, Ma K M, Fu B J, et al. Relationships between vegetation and soil and topography in a dry warm river valley, SW China. *Catena*, 2008, 75 (2): 138—145
- [15] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000
- Lu R K. Analytical methods for soil and agro-chemistry (In Chinese). Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000
- [16] 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 methodology (In Chinese). Beijing: Agriculture Press, 1986
- [17] 中国科学院南京土壤研究所微生物室. 土壤微生物研究法. 北京: 科学出版社, 1985
- Department of Microbiology, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. Soil microbial research method (In Chinese). Beijing: Science Press, 1985
- [18] 张北赢, 徐学选, 刘文兆, 等. 黄土丘陵区不同土地利用的土壤水分灰色关联度. *生态学报*, 2008, 28 (1): 361—366
- Zhang B Y, Xu X X, Liu W Z, et al. Grey relational analysis of soil moisture under different landuses in the Loess Hilly Region (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28 (1): 361—366
- [19] 王尚义, 石瑛, 牛俊杰, 等. 煤矸石山不同植被恢复模式对土壤养分的影响——以山西省河东矿区1号煤矸石山为例. *地理学报*, 2013, 68 (3): 372—379
- Wang S Y, Shi Y, Niu J J, et al. Influence of vegetation restoration models on soil nutrient of coal gangue pile: A case study of No.1 coal gangue pile in Hedong, Shanxi (In Chinese). *Acta Geographica Sinica*, 2013, 68 (3): 372—379
- [20] 全国土壤普查办公室. 全国第二次土壤普查暂行技术规程. 北京: 农业出版社, 1979
- National soil survey office. The provisional technical regulation of the second soil census (In Chinese). Beijing: Agriculture Press, 1979
- [21] 梅杰, 周国英. 不同林龄马尾松林根际与非根际土壤微生物、酶活性及养分特征. *中南林业科技大学学报*, 2011, 31 (4): 46—49
- Mei J, Zhou G Y. Study of rhizosphere and non-rhizosphere microbial, enzyme activity and nutrients element content of soil in different stand ages *Pinus massoniana* forest (In Chinese). *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2011, 31 (4): 46—49
- [22] 罗达, 史作民, 唐敬超, 等. 南亚热带乡土树种人工纯林及混交林土壤微生物群落结构. *应用生态学报*, 2014, 25 (9): 2543—2550
- Luo D, Shi Z M, Tang J C, et al. Soil microbial community structure of monoculture and mixed plantation stands of native tree species in south subtropical China (In Chinese). *Chinese Journal*

- of Applied Ecology, 2014, 25 (9): 2543—2550
- [23] 张孝存. 东北典型黑土区流域侵蚀—沉积对土壤质量的影响. 西安: 陕西师范大学, 2013
- Zhang X C. Effects of soil erosion—deposition on soil quality in the typical black soil area of northeast China (In Chinese). Xi'an: Shaanxi Normal University, 2013
- [24] 王洪杰, 李宪文, 史学正, 等. 不同土地利用方式下土壤养分的分布及其与土壤颗粒组成关系. 水土保持学报, 2003, 17 (2): 44—46, 50
- Wang H J, Liu X W, Shi X Z, et al. Distribution of soil nutrient under different land use and relationship between soil nutrient and soil granule composition (In Chinese). Journal of Soil and Water Conservation, 2003, 17 (2): 44—46, 50
- [25] 袁东海, 王兆骞, 陈欣, 等. 红壤小流域不同利用方式氮磷流失特征研究. 生态学报, 2003, 23 (1): 188—198
- Yuan D H, Wang Z Q, Chen X, et al. Losses of nitrogen and phosphorus under different land use patterns in small red soil watershed (In Chinese). Acta Ecologica Sinica, 2003, 23 (1): 188—198
- [26] 叶芝菡, 刘宝元, 付素华, 等. 土壤侵蚀过程中的养分富集率研究综述. 中国水土保持科学, 2009, 7 (1): 124—130
- Ye Z H, Liu B Y, Fu S H, et al. Review of research on enrichment ratio of nutrient in soil erosion process (In Chinese). Science of Soil and Water Conservation, 2009, 7 (1): 124—130
- [27] 程先富, 史学正, 王洪杰. 红壤丘陵区耕层土壤颗粒的分形特征. 地理科学, 2003, 23 (5): 617—621
- Cheng X F, Shi X Z, Wang H J. Fractal characteristics of particle of arable layers in hilly region of red soil (In Chinese). Science Geographica Sinica, 2003, 23 (5): 617—621
- [28] 肖培青, 郑粉莉. 上方来水来沙对细沟侵蚀泥沙颗粒组成的影响. 泥沙研究, 2003, (5): 64—68
- Xiao P Q, Zheng F L. Effects of up slope runoff and sediment on rill erosion sediment particle size distribution (In Chinese). Journal of Sediment Research, 2003, (5): 64—68
- [29] 邱扬, 傅伯杰, 王军, 等. 黄土丘陵小流域土壤水分时空分异与环境关系的数量分析. 生态学报, 2000, 20 (5): 741—747
- Qiu Y, Fu B J, Wang J, et al. Quantitative analysis of relationships between spatial and temporal variation of soil moisture content and environmental factors at a gully catchment of the Loess Plateau (In Chinese). Acta Ecologica Sinica, 2000, 20 (5): 741—747
- [30] 黄奕龙, 陈利顶, 傅伯杰, 等. 黄土丘陵小流域土壤水分空间格局及其影响因素. 自然资源学报, 2005, 20 (4): 483—492
- Huang Y L, Chen L D, Fu B J, et al. Spatial pattern of soil water and its influencing factors gully catchment of the Loess Plateau (In Chinese). Journal of Natural Resources, 2005, 20 (4): 483—492
- [31] Moore I D, Burch G J, Machenzie D H. Topographic effects on the distribution of surface soil—water and the location of ephemeral gullies. Transactions of the ASAE, 1988, 31 (4): 1098—1107
- [32] 连纲, 郭旭东, 傅伯杰, 等. 黄土高原小流域土壤容重及水分空间变异特征. 生态学报, 2006, 26 (3): 647—654
- Lian G, Guo X D, Fu B J, et al. Spatial variability of bulk density and soil water in a small catchment of the Loess Plateau (In Chinese). Acta Ecologica Sinica, 2006, 26 (3): 647—654
- [33] 王会利, 毕利东, 张斌. 退化红壤马尾松恢复林地土壤微生物生物量变化及其控制因素研究. 土壤学报, 2008, 45 (2): 313—320
- Wang H L, Bi L D, Zhang B. Change in microbial biomass and its controlling factors in degraded soil after reforestation of Pinus massoniana (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2008, 45 (2): 313—320
- [34] 易祯. 东北黑土区典型流域农耕地土壤微生物指标的空间变化特征研究. 杨凌: 西北农林科技大学, 2013
- Yi Y. A study on the spatial distribution on soil microbial indicators at the typical watershed of black soil region (In Chinese). Yangling: Northwest Agriculture & Forest University, 2013
- [35] 江玉梅, 谢晶, 曹广洋, 等. 江西退化红壤人工重建森林土壤微生物碳源代谢功能研究. 土壤学报, 2014, 51 (1): 158—165
- Jiang Y M, Xie J, Cao G P, et al. Metabolic function of soil microbe to carbon sources under reestablished forests on degraded red soil in Jiangxi Province (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2014, 51 (1): 158—165
- [36] 胡婵娟, 刘国华, 郭雷, 等. 土壤侵蚀对土壤理化性质及土壤微生物的影响. 干旱区研究, 2014, 31 (4): 702—708
- Hu C J, Liu G H, Guo L, et al. Effects of soil erosion on soil physicochemical properties and soil microorganisms (In Chinese). Arid Zone Research, 2014, 31 (4): 702—708
- [37] Dessalegn D, Beyene S, Ram N, et al. Effects of topography and land use on soil characteristics along toposequence of Ele watershed in southern Ethiopia. Catena, 2014, 115 (1): 47—54
- [38] Davies K W, Bates J D, Miller R F. Environmental and vegetation relationships of the Artemisia tridentate spp. Wyomingensis alliance. Journal of Arid Environments, 2007, 70 (3): 478—494

Effects of Erosional Landform on Soil Properties under *Pinus massoniana* Forest

WANG Bangwen¹ XIA Xiaolin¹ DUAN Jian²

(1 *Anhui Province Key Laboratory of Water Conservancy and Water Resources, Anhui & Huaihe River Institute of Hydraulic Research, Hefei 230088, China*)

(2 *Key Laboratory of Soil Erosion and Prevention, Jiangxi Institute of Soil and Water Conservation, Nanchang 330029, China*)

Abstract The knowledge of properties and distributions of soils is essential to planning and managing sustainable land use and preventing degradation of the lands, especially lands under *Pinus massoniana* forest, which are typical degraded lands in red-soil erosion areas of Southern China, reaching 1.42×10^5 km² in area at the end of the 1980s. Soil is an important material basis for vegetation growth and its distribution and development is subject to the influence of soil erosion. The soil under *Pinus massoniana* forest in the hilly red soil area of South China is exposed to severe soil erosion, making the eco-environment therein very fragile. It is, therefore, of great significance to vegetation restoration and ecological rehabilitation in such areas, to determine impacts of erosional landform on distribution and properties of the soil. For that end, this study analyzed effects of erosional landform on properties of the soil under *Pinus massoniana* forests in the region (25°26' ~ 26°17'N, 114°42' ~ 115°22'E) in Ganxian County of Jiangxi Province, China. The soil in the studied region is laterite derived from granite with the featured of a calcareous humid ferrisol, coarsein texture (60.8% of sand, 18.7% of silt, and 20.5% of clay). Located under the subtropical hilly humid monsoon climate, the region enjoys a mean annual precipitation of about 1 423.4 mm concentrated mainly in the rainy season lasting from April to June. Soil sampling was carried out during the mid-and late-April and mid-October 2013. Four hills were selected typical of the study area. On the ridge, saddle and gully of each hill, a belt transect was laid out at random along the slope and on the upper, mid and lower slope, a sample plot (10 m × 10 m) was delineated separately, making up a total of 36 sample plots. In order to keep the samples as consistent as possible in sampling condition, it must be made sure that there had been no rain for 2 weeks before sampling. Soil volumetric water content (SWC) of a sample plot was determined by averaging the soil water contents measured at 9 random sampling points across its topsoil layer (0 ~ 15 cm) with TDR-100 (a portable Time Domain Reflectometry), and the soil sample of a sample plot was a mixture of soil samples collected from its topsoil layer at 5 random sampling points. After collection, the soil samples were sieved, separately, to remove plant roots and large stones from the soil with a 2 mm mesh sieve, and then divided into two portions, one stored at 4°C in an icebox and the other air-dried and sieved again, both ready for analysis of soil texture, enzyme, edaphon and chemical properties, etc. To improve precision of the analysis, each soil sample had three replicates in analysis and then means were worked. Statistics and the grey relational degree analysis were performed of the data obtained in the analysis with the aid of SPSS 19.0 and Excel 2007. In the end of study, the following conclusions were drawn. 1) The soil under *Pinus massoniana* forests varied significantly with erosional landform in soil properties. Compared with the soils on the ridge and saddle of the hill, the soil in the gully was higher in the most of the soil property indices, in number of soil microbes and in soil enzyme activity; 2) The correlativity between soil physical and chemical properties also varied sharply with erosional landform. Compared with the soils on the ridge and saddle of the hill, the soil in the gully had more soil physical and chemical property indices positively related to the indices of soil microbes and

soil enzyme activity, and the relationship between soil properties and gully was the highest in correlativity, reaching 0.93; 3) The micro-environment formed in gullies improved soil properties, providing favorable natural conditions for restoration of vegetation. Therefore, the study on environment of erosional gullies may provide some scientific basis for rapid restoration of soil and vegetation in the hilly red soil areas of south China.

Key words Soil; Erosional terrains; *Pinus massoniana* forest; Hilly red soil region

(责任编辑：陈荣府)

中国土壤学会第十三次全国会员代表大会暨 第十一届海峡两岸土壤肥料学术交流研讨会通知

由中国土壤学会主办，陕西省土壤学会、黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室、西北农林科技大学、中国科学院水利部水土保持研究所等单位承办，于2016年9月16—18日在陕西省西安市召开中国土壤学会第十三次全国会员代表大会，并同期召开“第十一届海峡两岸土壤肥料学术交流研讨会”。

会议主题：土壤科学与生态文明

具体内容：

(一) 重点围绕土壤资源合理开发与永续利用，土壤障碍的形成过程与调控，土壤污染过程与污染土壤修复，土壤肥力提升与养分高效利用，土壤圈物质循环与生态环境效应，土壤高强度利用与全球变化，持续优质高产农业与生态环境协调发展的技术、理论及对策等，以大会报告、专题研讨和墙报三种形式进行研讨和交流。

(二) 审议第十二届理事会工作报告、财务报告等；选举第十三届中国土壤学会理事、常务理事、秘书长、理事长，确定各专业委员会主任；讨论并确定第十三届理事会的主要任务。

(三) 颁发中国土壤学会科技奖、中国土壤学会奖、中国硫肥研究杰出贡献奖、中国土壤学会优秀青年学者奖。

联系方式：

1. 陕西省土壤学会

地址：陕西杨凌西农路26号，邮编：712100

联系人：韩凤朋

联系电话：029-87011704，87019629（传真）

E-mail: soil@ms.iswc.ac.cn

2. 中国土壤学会办公室

地址：南京市北京东路71号，邮编：210008

联系人：蒋宇霞 严卫东

联系电话：025-86881532，86881538（传真）

E-mail: sssc@issas.ac.cn