

扰动地表及不同坡位土壤养分特征分析

贺小容¹, 何丙辉¹, 秦伟², 左长清²

(1. 西南大学 资源环境学院 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400715; 2. 中国水利水电科学研究院 泥沙研究所, 北京 100048)

摘要:通过径流小区试验,研究了 20 m 坡长条件下人为扰动地表后不同坡位的土壤养分含量特征。研究结果表明,上坡和下坡扰动地表小区土壤养分含量均低于同一坡位自然坡面小区。其中,上坡 7 个养分指标含量差异均达极显著水平;下坡除土壤有机质含量差异不显著外,其他养分指标含量差异也达极显著水平。中坡,除土壤全氮、有机质及全磷含量是扰动地表小区极显著高于自然坡面小区外,其他土壤养分指标含量也是扰动地表小区极显著低于自然坡面小区。但是从整个径流小区坡面看,自然坡面小区土壤养分含量明显高于扰动地表小区。不同坡位,对于扰动地表小区,土壤氮素、钾素及有机质含量高低依次为下坡>中坡>上坡;土壤磷素含量高低依次为中坡>下坡>上坡。对于自然坡面小区,土壤氮素、钾素及有机质含量是下坡>上坡>中坡;土壤磷素含量是下坡>中坡>上坡。

关键词:扰动地表;径流小区;土壤养分;坡位

中图分类号:S153.6;S158.2

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2014)02-0017-05

Analysis of Soil Nutrient Characteristics in Disturbed Surface and Different Slope Positions

HE Xiao-rong¹, HE Bing-hui¹, QIN Wei², ZUO Chang-qing²

(1. College of Resources and Environment, Southwest University; Key Laboratory of

Eco-environments in Three Gorges Reservoir Region, Ministry of Education, Chongqing 400715, China;

2. Department of Sediment Research, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100048, China)

Abstract:Through experiments in runoff plots, this paper studied the soil nutrient characteristics in slope with 20 m long under disturbed surface and different slope positions. The results showed that the soil nutrient contents of upper and lower slope in disturbed surface plots were lower than the natural plots under the same slope position. In upper slope position, for all soil nutrients, there were very significant difference between the two kinds of plots($P < 0.01$). In lower slope position, in addition to the organic matter, the other soil nutrient contents also had the very significant difference between the two kinds of plots($P < 0.01$). In middle slope position, the contents of total nitrogen, organic matter and total phosphorus in disturbed surface plots were significantly higher than those in the natural plots; the contents of other soil nutrients in disturbed surface plots were also very significantly lower than those in the natural plots($P < 0.01$). But judged from the all runoff plots, the contents of soil nutrients in the natural plots were significantly higher than disturbed surface plots. The nutrient contents of different slope positions, for disturbed surface plots, the contents of nitrogen, potassium and organic matter followed the sequence of lower slope > middle slope > upper slope; the content of phosphorus was in the order of middle slope > lower slope > upper slope. For the natural plots, the contents of nitrogen, potassium and organic matter followed the sequence of lower slope > upper slope > middle slope; the content of phosphorus indicated lower slope > middle slope > upper slope.

Key words:disturbed surface; runoff plots; soil nutrient; slope position

紫色土是重庆典型的土壤类型。紫色土风化速度快、养分储量丰富,历来是农业发展的主要区域^[1-2]。而紫色土侵蚀严重,侵蚀模数高达 3 798 ~ 9 831 t/(km² · a),是长江上游的主要侵蚀产沙区之

收稿日期:2013-07-08

修回日期:2013-09-09

资助项目:国家科技支撑计划项目(2011BAD31B03);农业部公益性行业科研项目(201003014-6-3);水利部公益性行业科研专项经费项目(201201047);国家自然科学基金(41271291)

作者简介:贺小容(1986—),女,四川江安人,硕士,主要从事城市水土保持研究。E-mail:hexiaorong0502@163.com

通信作者:何丙辉(1966—),男,湖南汨罗人,博士,教授,主要从事土壤侵蚀与小流域综合治理研究。E-mail:hebinghui@yahoo.com.cn

—^[3]。养分流失是土壤退化的本质,流失的养分又影响水库、湖泊的水质。土壤养分的流失途径包括挥发、垂直淋洗、径流和泥沙携带流失等。傅涛等^[4]的研究结果表明,紫色土坡面养分流失的主要途径是随径流和泥沙携带而流失。因此,水土流失严重时,土壤养分流失量也随之增加。煤矿开采、开荒等人为扰动地面活动频繁,植被破坏,造成大量的土地疏松裸露,加剧了土壤侵蚀。经调查统计,近年来我国各类生产建设项目等人为活动所造成的水土流失问题十分突出,就“十五”期间开发建设项目水土流失量就达 9.46 亿 t。一些研究^[5-8]表明,开发建设中扰动地面加剧了水土流失。近几年,重庆房建工程、农林开发等项目活动频繁,扰动地表,造成了严重水土流失。而以往在重庆所作相关研究较少,由于不同地方土壤类型、气候条件等不同,因此其养分流失规律有所不同。可见,研究重庆地区人为扰动地表对土壤养分含量的影响,对该区开发建设活动中治理水土流失具有指导意义。

此外,许多研究表明:坡位对土壤养分的分布有着重要影响,不同的坡面位置其土壤的化学物理性质变异明显,且不同坡位土壤养分分布的差异主要是由坡面土壤性质和坡面养分在降雨侵蚀过程中的再分

配所造成的^[9-13]。但是所得到的结论有所不同:一些学者认为下坡位是坡面养分的汇集处,其土壤养分含量高于中坡位和上坡位;另一些学者则认为土壤养分含量在不同坡位上的变化无明显规律;还有一种观点认为上坡、中坡、下坡的土壤养分含量差别不大,差异不显著。我国南方紫色土区关于坡位对土壤养分含量的影响研究极少。本研究拟探讨重庆紫色土区人为扰动地表后不同坡位的土壤养分含量特征,为以后农业开发、开荒等人为活动更好地防治水土流失提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于重庆市北碚区歇马镇(106°18′2.46″—106°25′0.5″E,29°43′50.51″—29°48′59.12″N),该镇距重庆主城 30 km,属亚热带温暖湿润季风气候区,年平均气温 18.6℃,全年日照时效 1 006.2 h,无霜期 359 d,年降雨量 1 173.6 mm,气候温和,光雨热同季,热量丰富,雨量充沛。地貌为浅丘地貌类型,海拔高度 175~1 312 m,土壤以侏罗纪沙溪庙组母质发育的中性紫色水稻土和灰棕紫泥土为主。供试土壤的基本化学性质见表 1。

表 1 供试土壤的基本化学性质

| 全氮/ (g·kg ⁻¹) | 全磷/ (g·kg ⁻¹) | 全钾/ (g·kg ⁻¹) | 有机质/ (g·kg ⁻¹) | 碱解氮/ (mg·kg ⁻¹) | 有效磷/ (mg·kg ⁻¹) | 速效钾/ (mg·kg ⁻¹) | pH |
|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------|
| 0.91±0.06 | 0.35±0.20 | 19.08±1.17 | 15.05±1.03 | 91.61±1.17 | 21.34±1.06 | 124.12±1.15 | 7.26±0.16 |

1.2 小区设置

为了研究人为扰动地表及坡位对土壤养分的影响,本试验共设置了两个处理,每个处理设两次重复,小区随机排列。径流小区设计为长方形,规格为 1 m×20 m。为了防止各小区间发生土壤颗粒和养分的交换,小区之间用水泥墙体的田埂隔开,田埂宽 15 cm,墙体埋设在地下 30 cm,高出地面 20 cm。在径流小区与径流池相连一端,沿小区宽度方向挖一个集流槽,在集流槽中间位置设“V”型径流入水口。每一个

小区的径流入水口高度保持一致。各小区基本情况见表 2。根据试验需要,对径流小区的空间位置进行划分:上坡位置距离坡顶 5 m;中坡位置距离坡顶 10 m;下坡位置距离坡顶 15 m。4 个小区样地作处理前,其土壤条件、土壤养分情况基本一致。试验开始前,人为扰动 1,3 号小区表土:人工翻松表土约 30 cm,并拔去荒草植被,表面耙平。2,4 号对照小区不作松土及拔草处理,保持自然坡面,其上长有杂草,覆盖度约为 60%。

表 2 径流小区基本情况

| 小区编号 | 土壤类型 | 小区处理方式 | 小区规格/(m×m) | 坡度 | 坡向 | 植被覆盖度/% |
|------|------|--------|------------|-----|----|---------|
| 1 | 紫色土 | 扰动地表 | 1×20 | 15° | 阳坡 | 0 |
| 2 | 紫色土 | 保持自然坡面 | 1×20 | 15° | 阳坡 | 55 |
| 3 | 紫色土 | 扰动地表 | 1×20 | 15° | 阳坡 | 0 |
| 4 | 紫色土 | 保持自然坡面 | 1×20 | 15° | 阳坡 | 60 |

1.3 样品采集与分析方法

试验于 2012 年 4 月开始进行,经过 1 个雨季后,于 2012 年 10 月中旬开始采样,采样时先将每个小区土壤表面杂草小心铲除,露出土壤,采集表层土(0—30 cm),分别在每个小区的上坡、中坡、下坡位置选取

三个点采集混合土样,混合均匀后用四分法分取 1 kg 左右组成 1 个土壤样品,测定土壤养分,每个坡位重复测定 3 次,取其平均值。野外采集的土壤样品,在硬纸板上摊开成均匀的薄层,并将土壤掰成直径 1 cm 左右的小土块,放在通风的室内风干后,去掉植物残

体及其他杂物,按分析要求研磨成不同粒度,装磨口玻璃瓶备用。

土壤养分主要测定土壤有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、有效磷和有效钾含量 7 个指标。具体分析方法是:有机质采用重铬酸钾容量法;全氮采用半微量开氏蒸馏法;全磷采用氢氧化钠熔融—钼锑钒比色法;全钾采用火焰分光光度计法;碱解氮采用碱解扩散法;有效磷采用碳酸氢钠浸提—钼锑钒比色法;速效钾采用火焰分光光度计法。采用 Excel 2007 及 SPSS 18.0 分析软件进行数据的处理和统计对比分析。

2 结果与分析

2.1 人为扰动地表及不同坡位土壤有机质及氮素含量

土壤有机质是土壤最重要的组成成分,也是决定土壤性质和土壤生产力的最重要因素^[14]。由表 3 可知,上坡和下坡扰动地表小区土壤有机质含量均低于同一坡位自然坡面,且在上坡时含量差异达到极显著水平,相差 2.79 g/kg,比自然坡面低 21%;中坡人为扰动土壤有机质含量极显著高于自然坡面小区,相差 0.86 g/kg,比自然坡面高 7%。综合 3 种坡位分析,人为扰动小区土壤有机质含量低于自然坡面小区。这是由于人为扰动清除了地表覆盖物,形成的裸露疏松地表加剧了土壤侵蚀。对于不同坡位,人为扰动小区土壤养分含量高低依次为下坡(14.21 g/kg) > 中坡(13.45 g/kg) > 上坡(10.58 g/kg),且不同坡位间土壤有机质含量差异达到了显著或极显著水平;自然

坡面小区土壤有机质含量是下坡最高,上坡次之,中坡最低,且下坡和上坡有机质含量差异达极显著水平,相差 0.92 g/kg,比上坡高 7%。土壤全氮含量是衡量土壤氮素供应状况的重要指标,主要决定于有机质的积累和分解作用的相对强度^[15]。分析可知,土壤全氮含量的变化规律与土壤有机质一致,即上坡和下坡人为扰动小区土壤养分含量均低于同一坡位自然坡面,且差异均达到极显著水平,中坡人为扰动土壤全氮含量极显著高于自然坡面,比自然坡面高 44%;对于不同坡位,人为扰动小区土壤全氮含量从上坡到下坡逐渐增加,而自然坡面小区土壤全氮含量是下坡 > 上坡 > 中坡。据相关分析,土壤全氮含量与有机质含量呈极显著的正相关关系($\alpha = 0.01, R = 0.802^{**}$)。从土壤碱解氮看,上坡、中坡和下坡三种坡位人为扰动小区土壤碱解氮含量均低于相应坡位自然坡面小区,且在上坡和下坡时含量差异达到极显著水平,分别比自然坡面低 37%和 15%。对于不同坡位,土壤碱解氮含量变化规律与土壤全氮及有机质一致,即人为扰动小区土壤碱解氮含量是下坡最高,中坡次之,上坡最低,且不同坡位间碱解氮含量差异达到极显著水平;自然坡面小区土壤碱解氮含量高低依次为下坡 > 上坡 > 中坡,且不同坡位间碱解氮含量差异达到极显著水平,其中中坡与下坡相差 29.56 mg/kg,比下坡低 30%。从以上分析可知,土壤氮素和有机质都有向下坡汇集的趋势,且由于人为扰动地表,改变了原状土壤的理化性质,使得其土壤氮素与有机质含量变化规律与自然坡面有所不同。

表 3 扰动地表及不同坡位土壤有机质、氮素含量及方差分析

| 坡位 | 小区编号 | 小区处理方式 | 全氮/(g · kg ⁻¹) | 有机质/(g · kg ⁻¹) | 碱解氮/(mg · kg ⁻¹) |
|----|------|--------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| 上坡 | 1 | 扰动地表 | 0.60 ± 0.03dD | 10.58 ± 0.27eE | 52.92 ± 3.92dD |
| 上坡 | 2 | 保持自然坡面 | 0.79 ± 0.03cC | 13.37 ± 0.12cCD | 83.75 ± 2.01bB |
| 中坡 | 1 | 扰动地表 | 0.89 ± 0.03bcBC | 13.45 ± 0.12bcBC | 66.35 ± 2.11cC |
| 中坡 | 2 | 保持自然坡面 | 0.62 ± 0.04dD | 12.59 ± 0.74dD | 69.15 ± 2.82cC |
| 下坡 | 1 | 扰动地表 | 0.97 ± 0.08bB | 14.21 ± 0.15aAB | 83.92 ± 4.43bB |
| 下坡 | 2 | 保持自然坡面 | 1.18 ± 0.09aA | 14.29 ± 0.10aA | 98.71 ± 0.65aA |

注:每列不同大写字母表示差异达极显著水平($P < 0.01, LSD$),不同小写字母表示差异达显著水平($P < 0.05, LSD$)。

2.2 人为扰动地表及不同坡位土壤磷素含量特征

土壤磷素是植物必需的大量营养元素,但与其它大量元素相比,土壤磷的含量相对较低。由图 1 可知,上坡和下坡人为扰动土壤全磷含量均低于相应坡位自然坡面,且差异均达极显著水平,在下坡位时差异最大,相差 0.06 g/kg,比自然坡面低 17%;中坡人为扰动土壤全磷含量极显著高于自然坡面,但差异比下坡位小,仅相差 0.03 g/kg。因此,从整个小区来说,人为扰动小区的土壤全磷含量低于自然坡面小区。从不同坡位看,人为扰动小区土壤全磷含量是中

坡最高,为 0.33 g/kg,下坡次之,为 0.30 g/kg,上坡最低,为 0.26 g/kg,且不同坡位间土壤全磷含量差异达到极显著水平;对于自然坡面小区,其土壤全磷含量高低依次为下坡 > 中坡 > 上坡,且中坡和下坡含量差异达到极显著水平,相差 0.06 g/kg,比下坡低 17%,上坡和中坡全磷含量差异不显著,仅相差 0.01 g/kg。

由图 2 可知,同一坡位时,人为扰动小区土壤有效磷含量均极显著地低于同一坡位自然坡面小区,且在上坡和下坡时差异都较大,下坡位时差异最大,相差 14.09 mg/kg,比自然坡面低 47%,上坡位相差

11.01 mg/kg,比自然坡面低 55%。自然坡面小区的土壤有效磷含量极显著高于人为扰动小区,这与自然坡面植被的阻挡作用而减少有效磷流失有关。另外,可能是杂草根系在生命活动中呼吸产生的 CO_2 使土壤酸化,加快缓效磷的活化,也在一定程度上增加了有效磷含量。不同坡位时,人为扰动小区土壤有效磷含量变化规律与土壤全磷一致,即中坡位土壤有效磷含量最高,下坡次之,上坡最低,且上坡和下坡含量差异达到极显著水平,相差 7.09 mg/kg,比下坡低 45%,但中坡和下坡有效磷含量差异不显著,仅相差 1.71 mg/kg;对于自然坡面小区,其土壤有效磷含量高低依次为下坡>中坡>上坡,分别为 30.01 mg/kg,21.14 mg/kg 和 19.84 mg/kg,且中坡与下坡有效磷含量差异达到极显著水平,比下坡低 30%,但上坡和中坡之间差异不显著。

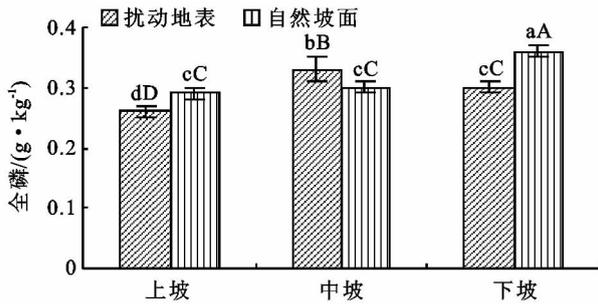


图1 不同处理及坡位土壤全磷含量

注:柱状图上不同大写字母表示差异达极显著水平($P < 0.01$, LSD),不同小写字母表示差异达显著水平($P < 0.05$, LSD),下同。

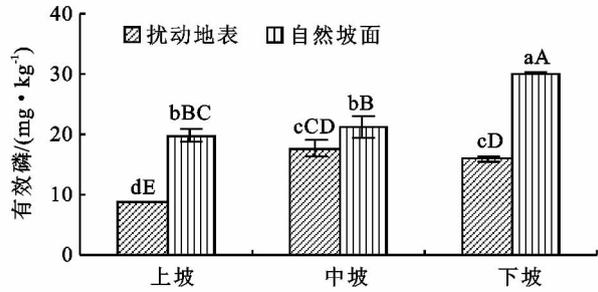


图2 不同处理及坡位土壤有效磷含量

2.3 人为扰动地表及不同坡位土壤钾素含量特征

从图3可以看出,同一坡位时,人为扰动小区土壤全钾含量均极显著地低于同一坡位自然坡面小区,且在上坡时差异最大,相差 7.11 g/kg,比自然坡面低 37%。这可能是由于全钾的移动主要是依靠泥沙带动,而人为扰动小区由于松土除草,形成裸露疏松地表,疏松表土在没有植被阻挡条件下,其泥沙流失量显著增加,因此随之流失的全钾也显著增加,使得自然坡面小区的全钾含量极显著高于人为扰动小区。从不同坡位看,人为扰动地表小区土壤全钾含量高低依次为下坡>中坡>上坡,含量依次为 15.81 g/kg,

13.49 g/kg,11.95 g/kg,且不同坡位间土壤全钾含量差异达到极显著水平,可见土壤全钾有向下坡汇集的趋势;对于自然坡面小区,土壤全钾含量是下坡略高,上坡次之,中坡最低,但是不同坡位间土壤全钾含量差异均不显著,中坡和下坡全钾含量仅相差 0.44 g/kg,只比下坡低 2%,这可能是由于杂草植被对全钾的流失有很好的控制作用,阻挡了土壤大颗粒流失,而全钾在土壤不同颗粒中分配较为平均,侵蚀作用只能将较细颗粒侵蚀走,对全钾含量影响不明显。

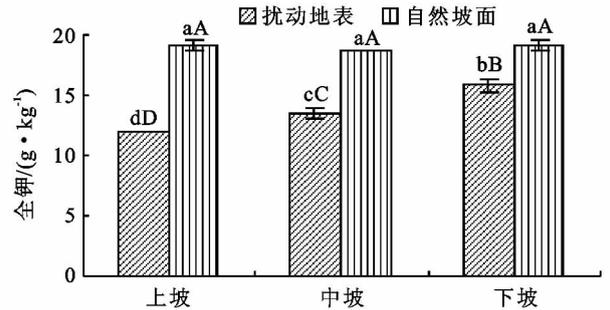


图3 不同处理及坡位土壤全钾含量

由图4可知,同一坡位时,土壤速效钾含量变化规律与土壤全钾一致,即人为扰动小区土壤速效钾含量均极显著地低于同一坡位自然坡面小区,且在上坡和下坡时差异都较大,上坡时差异最大,相差 38.22 mg/kg,比自然坡面低 34%,下坡位相差 34.12 mg/kg,比自然坡面低 24%。从不同坡位看,人为扰动小区土壤速效钾含量变化规律与土壤全钾一致,即土壤速效钾含量是下坡最高,为 106.77 mg/kg,中坡次之,为 90.23 mg/kg,上坡最低,为 75.83 mg/kg,且不同坡位间土壤速效钾含量差异达到极显著水平;对于自然坡面,其土壤速效钾含量变化规律也与土壤全钾一致,即速效钾含量高低依次为下坡>上坡>中坡,但不同坡位间土壤速效钾含量差异达到极显著水平,其中上坡和下坡速效钾含量相差 26.84 mg/kg,比下坡低 19%。可见土壤速效钾含量变化规律与土壤全钾基本一致,只是略有不同。

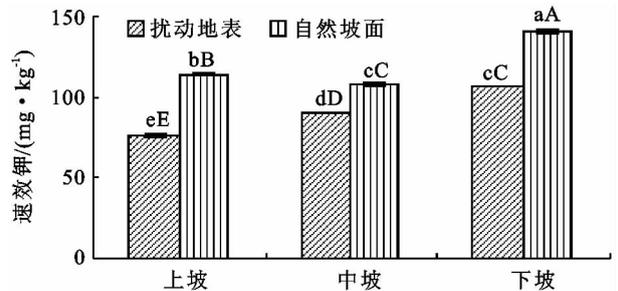


图4 不同处理及坡位土壤速效钾含量

3 结论与讨论

人为扰动地表,清除地表覆盖物,造成土地疏松

裸露,降低了土壤保持养分的能力。另外,坡位也是影响土壤养分含量的重要因素。本文通过径流小区试验,探讨了人为扰动地表后不同坡位的土壤养分含量特征。研究表明,同一坡位时,上坡和下坡人为扰动小区土壤养分含量均低于同一坡位自然坡面小区;中坡,除土壤全氮、有机质及全磷含量是人为扰动小区略高于自然坡面小区外,其他养分指标含量也是自然坡面小区高于人为扰动小区。全氮、有机质及全磷含量变化规律与其他土壤养分指标不一致的原因可能与其流失方式有关。全氮、有机质及全磷的移动主要依靠泥沙中最易流失的黏粒带动^[15]。扰动地表小区无植被拦挡作用,使得土壤全氮、有机质及全磷流失加剧,但是中坡位置由于有来自上坡径流泥沙的养分补给,因此其养分含量变化不大;自然坡面小区,由于植被的拦挡作用,中坡位置来自上坡的养分补给比扰动地表小区少,因此使得中坡位置扰动地表小区土壤全氮、有机质及全磷含量比自然坡面小区高。而上坡位置,扰动地表小区由于既无植被拦挡作用,又无养分补给,因此其养分含量明显低于自然坡面小区。下坡位置,虽然两种处理都要来自坡上的养分补给,但是由于扰动地表小区地表疏松裸露,径流冲刷严重,使得随径流泥沙流失的养分增多,因此其养分含量也低于自然坡面小区。但是综合三种坡位,从整个径流小区来看,人为扰动小区土壤养分含量明显低于自然坡面小区。可见农业开发、开荒等人为活动扰动地表,破坏植被,加剧了土壤养分的流失。张茨林等^[16]的研究也表明人为扰动地表后会造成严重的水土流失。地表覆盖物可以显著地减少侵蚀,保护土壤免受雨滴的直接冲击;同时覆盖还会减缓径流速度,减少沟间侵蚀。由于人为扰动清除了地表覆盖物,造成地表疏松裸露,为水土流失创造了条件。土壤失去植被保护,将直接遭受雨水的击溅、剥蚀、冲刷,极易产生水力侵蚀^[17]。另一方面,人为扰动还破坏了地表土壤结构,改变了原状土壤的理化性质,影响土壤的透水性、抗蚀性等,使土壤的入渗、拦截、蓄水能力下降,从而加剧土壤养分随径流泥沙的流失。因此,在进行开荒、农业开发等人为活动时,除了要尽量降低对地面的扰动程度外,还要加强对裸露疏松地表的治理防护,比如可以用防雨布遮盖,使其免受雨水冲刷,控制水土流失,维护土壤肥力。

不同坡位时,对于人为扰动小区,土壤全氮、有机质、碱解氮、全钾及速效钾含量是下坡>中坡>上坡;土壤全磷和有效磷是中坡>下坡>上坡。对于自然坡面小区,土壤全氮、有机质、碱解氮、全钾及速效钾含量是下坡>上坡>中坡;土壤全磷和有效磷是下坡

>中坡>上坡。可见人为扰动小区土壤养分含量规律与自然坡面小区有所不同,这可能是由于人为扰动地面后形成的裸露疏松地表,改变了土壤养分流失规律。但是人为扰动小区和自然坡面小区土壤养分都有向下坡汇集的趋势,其土壤养分含量高于中坡和上坡,且不同坡位间部分养分指标含量差异达到极显著或显著水平。这可能是由于径流向下坡的冲刷作用,使得养分向下坡富集,加之径流泥沙携带的养分在下坡的沉积作用,使得下坡的养分含量明显高于中、上坡,可见下坡是养分的汇集处。这与以往的研究结论略有不同。陈晓燕^[18]的研究表明,土壤养分含量在不同坡位上的变化没有呈现出明显规律。这可能是由于其设置的坡长较短(5 m),且采用的人工降雨,使得土壤含量变化无明显规律。高雪松等^[9]的研究表明,下坡位是坡面养分的汇集处,其土壤养分含量高于中坡位和上坡位,但坡位间的养分含量差异不显著。这可能是由于该研究区域的下垫面不同,植被覆盖度较大,减缓了径流速度,降低了径流冲刷对土壤养分沿坡面再分配的作用。陈世品等^[19]的研究结果表明,不同土层的土壤养分含量均为下坡>中坡>上坡,坡位效应明显。这可能是此研究的坡长较长,且坡度较大,加之清除了林下植被使径流向坡下冲刷作用增强,所以使养分随径流泥沙向下坡富集,养分含量明显高于中、上坡。可见,人为扰动地表,清除植被后,加强了径流沿坡面冲刷作用,尤其造成上坡土壤养分流失严重。今后在进行农林开发、开荒等人为活动时,特别要加强对上坡的治理防护,降低侵蚀作用,防止土壤退化。

本文研究了人为扰动地表后不同坡位的土壤养分含量特征,今后可进一步研究不同扰动方式对土壤养分含量的影响。另外,可增加在不同坡度、不同降雨强度条件下,人为扰动对土壤养分含量影响的研究,进一步揭示人为扰动地面后土壤养分沿坡面流失规律及其影响因素,为今后的农业开发、开荒等人为活动防治水土流失提供一定的科学依据。

参考文献:

- [1] 何毓蓉,等. 中国紫色土(下篇)[M]. 北京:科学出版社, 2003.
- [2] 李仲明. 四川土壤资源特征及合理利用[J]. 资源开发与保护, 1985, 1(1): 1-6.
- [3] 何毓蓉, 黄成敏. 四川紫色土退化及其防治[J]. 山地研究, 1993, 11(4): 209-215.
- [4] 傅涛, 倪九派, 魏朝富, 等. 不同雨强和坡度条件下紫色土养分流失规律研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(1): 71-74.

和坡度的信息,它能更方便地分析土壤侵蚀强度随地形变化的分布趋势。通过研究发现,地形位上的土壤侵蚀强度分布趋势和实际分布基本一致。因此,在土壤侵蚀强度空间分布格局和水土保持规划研究中,地形位分布指数是一种有效的定量分析方法。

参考文献:

- [1] Chaplot V. Impact of terrain attributes, parent material and soil types on gully erosion[J]. *Geomorphology*, 2013,186:1-11.
- [2] Jose L R, Martin C S. Methodology for estimating the topographic factor LS of RUSLE3D and USPED using GIS[J]. *Geomorphology*, 2012,175/176:98-106.
- [3] 赵岩洁,李阳兵,冯永丽. 三峡库区紫色岩小流域土壤侵蚀强度动态监测[J]. *资源科学*, 2012,34(6):1125-1133.
- [4] 陈正发,郭宏忠,史东梅,等. 地形因子对紫色土坡耕地土壤侵蚀作用的试验研究[J]. 2010,24(5):83-87.
- [5] 陈世发,查轩. 红壤典型小流域土壤侵蚀与地形高度关系研究:以朱溪河小流域为例[J]. *韶关学院学报:自然科学版*, 2010,31(6):74-78.
- [6] 高华端,李锐. 区域土壤侵蚀过程的地形因子效应[J]. *亚热带水土保持*, 2006,18(2):6-14.
- [7] 林敬兰,蔡志发,陈明华,等. 闽南地区地形坡度与土壤侵蚀的关系研究[J]. *福建农业学报*, 2002,17(2):86-89.
- [8] 隋欣,王维芳. 基于 DEM 的 USLE 土壤侵蚀方程地形因子获取与分析[J]. *测绘工程*, 2010,19(5):20-23.
- [9] 杨勤科,赵牡丹,刘咏梅,等. DEM 与区域土壤侵蚀地形因子研究[J]. *地理信息世界*, 2009(1):25-31.
- [10] 赵牡丹. 基于 DEM 的区域尺度水土流失地形因子研究[D]. 陕西杨凌:中国科学院水利部水土保持研究所, 2007.
- [11] 汪邦稳,杨勤科,刘志红,等. 基于 DEM 和 ArcGIS 的修正通用土壤流失方程的地形因子值提取[J]. *中国水土保持科学*, 2007,5(2):18-23.
- [12] 梁发超,刘黎明. 基于地形梯度的土地利用类型分布特征分析:以湖南省浏阳市为例[J]. *资源科学*, 2010,32(11):2138-2144.
- [13] 郭洪峰,许月卿,吴艳芳. 基于地形梯度的土地利用格局与时空变化分析:以北京市平谷区为例[J]. *经济地理*, 2013,33(1):160-166.
- [14] 龚文峰,袁力,范文义. 基于地形梯度的哈尔滨市土地利用格局变化分析[J]. *农业工程学报*, 2013,29(2):250-259.
- [15] 汪涛,黄子杰,吴昌广,等. 基于分形理论的三峡库区土壤侵蚀空间格局变化[J]. *中国水土保持科学*, 2011,9(2):47-51.
- [16] 陶艳成,华璿,卢远,等. 基于 DEM 的钦江流域水文特征提取研究[J]. *广西师范学院学报:自然科学版*, 2012,29(4):60-64.
- [17] 高峰,华璿,卢远,等. 基于 GIS 和 USLE 的钦江流域土壤侵蚀评估[J]. *水土保持研究*, 2014,21(1):18-22,28.
- [5] 罗婷,王文龙,李宏伟,等. 开发建设中扰动地面新增水土流失研究[J]. *水土保持研究*, 2012,19(3):30-35.
- [6] 蔺明华,张来章,白志刚,等. 开发建设项目新增水土流失研究[M]. 郑州:黄河水利出版社, 2008.
- [7] 周波. 木里露天煤矿水土流失量预测及防治对策[J]. *草业科学*, 2006,23(7):63-66.
- [8] 李锐,唐克丽. 神府—东胜矿区一二期工程中环境效应考察[J]. *水土保持研究*, 1994,1(4):5-17.
- [9] 高雪松,邓良基,张世熔. 不同利用方式与坡位土壤物理性质及养分特征分析[J]. *水土保持学报*, 2005,19(2):53-56.
- [10] Harris R F, Chesters G, Allen O N. Dynamics of soil aggregation[J]. *Advance in Agronomy*, 1996,18:107-169.
- [11] Ovalles F A, Collins M E. Soil-landscape relationships and soil variability in north central Florida[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1986,50(2):401-408.
- [12] Miller M P, Singer M J, Nielsen D R. Spatial variability of wheat yield and soil properties on complex hills[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1988,52(4):1133-1141.
- [13] 何小三,黄建建,王玉娟,等. 不同坡位对油茶林地土壤养分及生长量的影响[J]. *江西林业科技*, 2012(3):22-24.
- [14] 杨剑虹,王成林,代亭林. 土壤农化分析与环境监测[M]. 北京:中国大地出版社, 2008.
- [15] 湛芸,马云,何丙辉. 植物篱对紫色土物理性质及养分的影响[J]. *水土保持学报*, 2011,25(6):59-63.
- [16] 张茨林,谢颂华,等. 面状开发建设项目水土流失监测研究[J]. *水土保持通报*, 2007,27(4):71-74.
- [17] 宋晓强,张长印,刘洁. 开发建设项目水土流失成因和特点分析[J]. *水土保持通报*, 2007,27(5):108-113.
- [18] 陈晓燕. 不同尺度下紫色土水土流失效应分析[D]. 重庆:西南大学, 2009.
- [19] 陈世品,黎茂彪,陈爱玲. 不同坡位糙花少穗竹林养分分配格局[J]. *福建林学院学报*, 2007,27(3):193-198.

(上接第 21 页)