

基于地形梯度的土壤侵蚀强度分布特征研究

——以钦江流域为例

高峰¹, 华 璀¹, 卢 远¹, 陶艳成^{2,3}, 李卫宁⁴

(1. 广西师范学院 资源与环境科学学院, 南宁 530001; 2. 广西科学院 广西红树林研究中心, 广西 北海 536000;
3. 广西红树林保护与利用重点实验室, 广西 北海 536000; 4. 桂林理工大学 南宁分校 土木与测绘工程系, 南宁 530001)

摘 要:地形因素是影响土壤侵蚀空间分布格局的重要因素之一,以钦州流域为例,应用 DEM 数据,在 ArcGIS 10.1 空间统计分析模块下,采用高程梯度、坡度梯度和地形位梯度三种方法对比研究,通过分析不同土壤侵蚀强度在三种地形梯度上的分布指数,揭示研究区域的土壤侵蚀强度分布的模式及其与地形因素之间的对应关系。结果表明:(1) 在高程和坡度梯度上,中度、强烈、极强烈和剧烈主要分布在 1~2 地形梯度上;在地形位梯度上,微度侵蚀在 1 级区域上占据了优势地位,分布面积最大,这与在高程和坡度梯度上的分布恰恰相反。(2) 对三种方法的比较表明,地形位综合了高程和坡度的信息,可以反映土壤侵蚀强度随地形变化的分布趋势以及土壤侵蚀强度的分布特征。(3) 研究可为区域土壤侵蚀强度空间分布格局和水土保持规划的研究提供一种可行的定量分析方法。

关键词:土壤侵蚀强度;坡度;高程;地形位指数;分布指数

中图分类号:S157

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2014)02-0022-05

Research on Spatial Distribution Characteristics of Soil Erosion Intensity Based on Terrain Gradient

—A Case Study in Qinjiang Watershed

GAO Feng¹, HUA Cui¹, LU Yuan¹, TAO Yan-cheng^{2,3}, LI Wei-ning⁴

(1. College of Resources and Environment Science, Guangxi Teachers Education University,

Nanning 530001, China; 2. Guangxi Mangrove Research Center, Guangxi Academy of Sciences, Beihai,

Guangxi 536000, China; 3. Guangxi Key Laboratory of Mangrove Conservation and Utilization, Beihai, Guangxi 536000,

China; 4. Civil and Surveying Engineering, College of Technology, Guilin University of Technology, Nanning 530001, China)

Abstract: Terrain is not only one of the important factors affecting the spatial distribution pattern of soil erosion, but also a prerequisite for soil erosion assessment and land evaluation. A good understanding of the relationships between soil erosion intensity class and terrain gradient is essential for soil and water conservation planning. In this paper, elevation, slope, and terrain niche were conceptually divided into 13 classes, which were used to describe the terrain difference across the study area, Qinjiang watershed in Guangxi. The nondimensional distribution index was used to examine characteristics of soil erosion intensity. Using DEM and other materials from field survey based on the spatial statistic analysis module in ArcGIS 10.1, the distribution pattern of soil erosion intensity and their relationships with terrain factors in the study area were revealed by analyzing the nondimensional distribution index for different soil erosion intensity classes on varying terrain gradients. Results showed that: (1) moderate erosion, intensive erosion, extremely strong erosion, and severe erosion distributed mainly on the 1~2 terrain gradients at the elevation and slope gradients. The distribution index of mild erosion occupies a dominant position on the 1 terrain gradients at the terrain niche gradients, whereas the micro erosion in the elevation and slope gradients shows an opposed trend; (2) comparing the three methods, the terrain niche was found to be able to explicitly show distribution

收稿日期:2013-06-02

修回日期:2013-10-22

资助项目:广西北部湾经济区城市化与生态环境交互耦合机制研究(210167);广西教育厅项目(201106LX297)

作者简介:高峰(1987—),男,山西人,硕士研究生,主要从事遥感和 GIS 应用、区域土壤侵蚀定量评价与监测系统研究。E-mail: belong0204@163.com

通信作者:华璀(1962—),女,副教授,硕士生导师,主要从事资源环境遥感、土地资源管理与规划研究。E-mail: huacui163@163.com

trends of soil erosion intensity with variations in terrain, and the terrain niche index seems to be more effective to reflect distribution characteristics of soil erosion intensity in that the terrain niche synthesizes information of both elevation and slope; (3) this study provides a feasible quantitative method for the spatial pattern of soil erosion intensity and soil and water conservation planning.

Key words: soil erosion intensity; slope; elevation; terrain niche index; distribution index

地形因素是影响土壤侵蚀空间分布的重要因素之一,国内外学者对其做了大量研究^[1-7]。DEM 为影响土壤侵蚀地形因子的定量计算提供了基础平台^[8-11],地形位指数是为了综合反映一个地区地形条件的空间差异,利用地理信息系统建模方法,将高程和坡度组合成一个数字指标^[12]。国内学者针对地形因素与土地利用类型分布、土地利用格局变化之间的关系进行了深入研究^[12-14]。既然土地利用类型分布与地形因素之间的对应关系已被大量研究证实,而不同等级的土壤侵蚀强度斑块与土地利用类型斑块相似,那么土壤侵蚀强度等级斑块也必然具有某种程度上的自相似性^[15]。然而把坡度和高度综合在一起研究地形梯度变化对土壤侵蚀强度分布的影响则未见报道。土壤侵蚀强度分布格局受地形的影响,以往研究多从单一地形因子与土壤侵蚀之间的关系进行探讨,而专门针对土壤侵蚀强度分布特征与高程、坡度、地形位关系的对比研究很少。因此,通过分析土壤侵蚀强度不同等级的分布与高程、坡度、地形梯度之间的相互关系,将有助于评价流域土壤侵蚀强度的空间结构和不同地形位上的土壤侵蚀强度不同等级的分布规律。本文利用 RS 和 GIS 技术,采用地形位指数和分布指数,探讨钦江流域土壤侵蚀强度不同等级和地形因子之间的关系,揭示其分布规律和差异,这对于认清地形因素对土壤侵蚀强度的发育和选择以及制定流域水土保持措施和规划具有重要意义。

1 研究区概况

钦江流域位于北纬 21°52′—22°34′,东经 108°34′—109°30′,地处我国广西南部钦州市,属桂南直流入海河流。发源于灵山县平山镇东山麓白牛岭,从东北流向西南,流域面积 2 392 km²,地形呈舟状,除流域的出口西南部外,其他三面高,中间低,地势由东北沿西南方向逐渐降低,东北部及四周多为低山丘陵地区,高程为 250~846 m,河流两岸为台地,高程 10~60 m;岩性以泥岩、泥质粉岩、沙岩为主^[16]。钦江流域属亚热带季风气候,春夏季多暴雨,同时受热带气旋的影响,雨量丰沛,多年平均降雨量为 1 600 mm,呈现由上游河源至下游河口递增趋势。降雨时空分布不均匀,4—9 月汛期的雨量约占全年降雨量的

80%左右,流域上游灵山县雨量略少。河流下游地势低平,由上游携带的泥沙在河流入海口沉积,形成冲积平原,高程 1~6 m。植被分类上属于桂南植被区,生长着热带雨林和亚热带的季雨林,主要生长马尾松、杉木、桉树及荷木等多种用材林,森林覆盖率高。

2 数据准备及研究方法

2.1 数据准备

本文研究数据来源于 2010 年钦江流域土地利用现状图和 30 m 分辨率 DEM 数据。此外还有钦江流域多年日降雨量、土壤可蚀性 K 值、植被覆盖度图和水土保持措施因子数据。基于以上数据,根据通用土壤流失方程 USLE 和水利部颁布的土壤侵蚀分类分级标准(SL190-2007)计算得到流域土壤侵蚀强度空间分布图^[17]。研究结合流域地形特点和土地利用特点,将生成的高程图、坡度图、地形位图进行分级。研究区最高海拔 846 m,最低海拔 0 m,且在 650 m 以上土地利用类型分布相对均一,基本都为林地,可单独分为一级。为了便于计算比较,在进行高程分级时,把 50 m 以下和 650 m 以上各作为一级,中间按 50 m 间隔进行划分;坡度 3°以下和 36°以上各作为一级,中间区域按 3°间隔进行分级;地形位等级基于 ArcGIS 10.1 软件的 Equal Interval 分类方法,对地形位指数进行重分类,分成 13 级^[12](表 1)。

表 1 高程、海拔和地形位指数分级区间

等级	高程/m	坡度/(°)	地形位指数
1	≤50	≤3	0.000~0.161
2	50~100	3~6	0.161~0.322
3	100~150	6~9	0.322~0.483
4	150~200	9~12	0.483~0.644
5	200~250	12~15	0.644~0.805
6	250~300	15~18	0.805~0.966
7	300~350	18~21	0.966~1.127
8	350~400	21~24	1.127~1.288
9	400~450	24~27	1.288~1.449
10	450~500	27~30	1.449~1.610
11	500~550	30~33	1.610~1.771
12	550~600	33~36	1.771~1.932
13	>650	>36	1.932~2.093

2.2 研究方法

2.2.1 地形位指数 地形位指数可以综合描述高程

与坡度变化对土地利用空间格局的影响。本文利用地形位指数定量描述对流域土壤侵蚀强度的空间分异影响,其计算公式为^[12-13]

$$T = \lg\left[\left(\frac{E}{\bar{E}} + 1\right)\left(\frac{S}{\bar{S}} + 1\right)\right] \quad (1)$$

式中: T ——地形位指数; E, \bar{E} ——区域中任意一点的高程值及该点所在区域的平均高程值; S, \bar{S} ——区域中任意一点的坡度值及所在区域的平均坡度值。高程越高、坡度越大的点,其地形位指数越大,反之则越小;高程较高但坡度较小或高程较小坡度较高的点,其地形位指数位于居中。

2.2.2 分布指数 地形位指数可以反映地形条件对景观组分空间分布的影响,即在地形位梯度上不同景观组分出现的频率。为消除面积差异带来的量纲影响,本文采用分布指数来描述不同土壤侵蚀强度在地形位梯度上的分布情况,公式为^[12-13]

$$P = \left(\frac{S_e}{S_i}\right) \times \left(\frac{S}{S_e}\right) \quad (2)$$

式中: P ——分布指数; e ——地形因子,分别为坡度、高程、地形位; S_e ——地形因子特定等级下的 i 土壤侵蚀等级的面积; S_i —— i 土壤侵蚀等级面积; S_e ——整个区域 e 地形因子特定等级下的总面积; S ——整个区域面积。

分布指数是一个标准化、无量纲的指数。利用上述公式可分别得到高程、坡度、地形位上的分布指数。分布指数曲线越平缓,表明某种土壤侵蚀强度等级分布于标准分布的偏离越小,其对地形差异的适宜性越大;反之,表明某种土壤侵蚀强度等级对地形具有较强的选择,在其优势地形位上该等级发育较多。当分布指数 $P=1$ 时,表示某土壤侵蚀强度等级在某地形位上的比重与研究区内该土壤侵蚀强度等级的比重相等;当 $P>1$ 时,表明某土壤侵蚀强度等级在该地形位上的比重大于该土壤侵蚀强度等级总面积在研究区的比重,所以将 $P>1$ 的区间设定为优势地形位区间。在强烈的人为干扰作用下,不同时期的 P 值变化体现了土壤侵蚀强度等级在相应地形位上发生的调整。

3 结果与分析

3.1 基于高程梯度的土壤侵蚀强度特征分析

从图 1A 各高程等级的土壤侵蚀强度分布指数分析可知,中度、强烈、极强烈和剧烈在 1 级高程等级(0~50 m)上的分布指数大于 1,其中,强烈和极强烈是该区域的主要土壤侵蚀等级,分布范围最大,剧烈和中度侵蚀次之。这 4 种侵蚀等级在第 1 级上分布

最多,土地利用类型多为旱地和水田,人为活动影响剧烈;随着高程的增加,分布指数均呈下降趋势,当大于 5 级(200~250 m)时,基本接近于 0;由于随着海拔高度的升高,受地形因素等的限制,耕地适宜性程度降低,人为干扰减弱,农业生产活动趋于缓和。微度和轻度在 1 级高程等级(0~50 m)上分布指数小于 1;主要是因为低海拔地区农业生产活动剧烈,人为干扰较强,再加上不合理的土地利用方式,造成了低海拔地区土壤侵蚀强度主要以中度以上为主,微度和轻度分布较小。在 2—3 级高程等级(100~150 m)上,微度侵蚀分布指数持续增大,而轻度侵蚀分布指数先增大后减小,且轻度侵蚀增大的幅度远小于微度侵蚀,这主要是因为在此高程等级上,经过多年退耕还林政策的实施,修建了大量梯田等水土保持工程措施,有效减小了土壤侵蚀强度。在 3 级高程等级(>150 m)以上,微度侵蚀分布指数大幅上升,在 8 级高程等级处(350~400 m)轻微下降后又开始增加,轻度侵蚀正好相反;主要原因是因为随着海拔高程的增加,草地和林地的分布越来越大,草地和林地占据了优势地位,对地表径流和产沙起到缓冲作用,降低了土壤侵蚀强度;此外,在 8—10 级海拔高程等级(350~500 m)间,出现了峰值,这主要是因为在此高程区间上,人为种植了大量经济林,经过一定年限后,砍伐造成大量“迹地”,加剧了土壤侵蚀。

3.2 基于坡度梯度的土壤侵蚀强度特征分析

从图 1B 各坡度等级土壤侵蚀强度的分布指数分析可知,中度、强烈、极强烈和剧烈分布指数在坡度等级 1 级(0~3°)上,其分布指数大于 1,说明在该坡度区域有优势地位,极强烈面积分布最大,极强烈为该区域土壤侵蚀的主导等级类型,从土地利用方式角度来看,3°以下是适宜耕作的区域,土地利用类型多为旱地、水田和未利用地,较易发生土壤侵蚀。在坡度等级 2 级(3°~6°)上,中度、强烈、极强烈和剧烈分布指数均呈下降趋势,但强烈侵蚀下降最快,此外,微度和轻度侵蚀分布指数呈上升趋势,且轻度分布指数超过了 1,这主要是因为坡耕地改梯田工程的实施,有效减轻了该坡度区域的土壤侵蚀强度,说明了坡耕地改梯田工程初见成效。随着坡度的增加,除轻度侵蚀外,其它侵蚀等级的分布指数逐渐减小,并趋于 0,这主要是由于随着坡度的升高,地表覆被由农作物逐渐过渡到草地和林地,有效减轻了降雨侵蚀力对表层土壤的击溅,降低了地表产流产沙效应。在坡度等级 11—13 级(>33°)上,轻度侵蚀分布指数又有所抬升,这可能是因为该坡度区域经济林地的砍伐,造成了暂时性的土壤侵蚀加剧。

3.3 基于地形位梯度的土壤侵蚀强度特征分析

从图 1C 各地形位梯度土壤侵蚀强度等级的分布指数分析可知,微度侵蚀在 1 级区间上,其分布指数大于 1,分布占有明显的区位优势,分布面积最大,为该区域的主导侵蚀等级;此外,在 1 级以上,微度侵蚀随着地形位梯度的增加,先急剧下降,随后缓慢抬升,在 5 级后又有所下降直至升到最大值 2.75 左右,这主要是由于随着海拔和坡度的增加,坡式水田和坡式旱地分布面积的增大,导致侵蚀强度增大,微度侵蚀分布下降,但是当海拔和坡度增加到一定程度后,草地和林地占据了主导土地利用类型,微度侵蚀又逐渐恢复了优势区位。轻度、中度、强烈、极强烈和剧烈在 1 级区间上的分布指数均小于 0.5,分布面积最小,主要是因为此区域坡度和海拔均较小,综合影响后导致上述 5 种侵蚀类型面积均较小,且极强烈分布面积为 0;在 1 级区间后,轻度、中度、强烈、极强烈和

剧烈侵蚀都先急剧增加,随后轻度、中度和剧烈经过一定的稳定期后,逐渐下降趋向于 0,这是由于 1—4 级区域水田和旱地分布较多,且人为影响因素较大,是土壤侵蚀的重点区域;在 8 级区间以后,轻度、中度和剧烈侵蚀逐渐趋向于 0,主要是因为随着地形位的升高,地形条件的发育不适宜于农业生产活动,认为干扰等因素减少,自然地表面覆被未受到破坏,导致土壤侵蚀等级和分布面积下降;强烈和极强烈侵蚀在 2 级区域后,分布面积急剧下降,随后又抬升,最终趋向于 0,主要是由于经过坡耕地改梯田工程和多年退耕还林政策的实施,有效减轻了土壤侵蚀强度,达到了良好的水土保持效益;此外,随着高程和坡度的增加,土地利用类型逐渐由旱地和水田逐渐过渡到草地和林地,这也从侧面说明了土壤侵蚀强度对土地利用类型具有选择性。

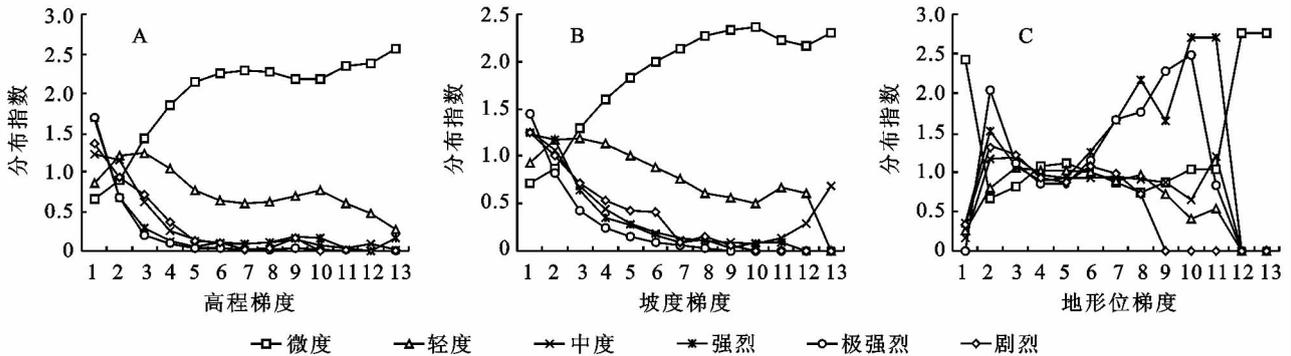


图 1 高程、坡度、地形位梯度上土壤侵蚀强度分布指数

4 结论与讨论

(1) 钦江流域土壤侵蚀强度等级在不同地形分级区域,具有明显的差异性。在高程和坡度梯度上,轻度、中度、强烈、极强烈和剧烈分布在 1—2 级地形梯度上,主要是由于该区域地理环境和水土资源更有利于农业生产活动,土地利用方式多为旱地和水田,人为干扰等因素影响强烈,同种侵蚀等级在两种地形梯度上分布指数具有一定的相似性;轻度侵蚀在高程和坡度梯度上的分布指数波动较大;中度侵蚀在坡度梯度的 10—13 级区域的分布指数急剧上升,这可能是由于在较高坡度地区迹地和裸地等的存在,加剧了土壤侵蚀,提高了侵蚀强度等级;轻度、中度、强烈、极强烈和剧烈侵蚀在高程和坡度的 3 级以上区域的分布基本相似。在地形位梯度上,微度侵蚀在 1 级区域上占据了优势地位,分布面积最大,这与在高程和坡度梯度的分布恰恰相反,这主要是由于在高程和坡度的综合影响下,土壤侵蚀强度等级受到制约,真实反映了高程和坡度对土壤侵蚀强度空间分布的综合选择效应。

从以上分析可以得知,在地貌条件较复杂区域,采用地形位指数分析土壤侵蚀强度等级分布更加合理和方便。

(2) 从分布指数的变化趋势来看,轻度、中度、强烈、极强烈和剧烈侵蚀等级随着地形梯度的增大而减少,逐渐趋向于 0,这在 3 种地形梯度上的分布是基本一致的;轻度侵蚀在高程和坡度梯度上具有先增加后减小,再增加后突然减小的趋势,这与坡耕地改梯田工程、退耕还林的实施,迹地的出现有关;在地形位梯度上,轻度、中度、强烈、极强烈和剧烈侵蚀先增加后平缓减小,经过一段稳定期,再上升后最终趋向于 0;微度侵蚀与其它 5 种侵蚀等级处于相反趋势,最终分布指数值达到 2.7 左右;这主要是与土壤侵蚀强度对高程和坡度综合选择以及土地利用类型的空间分布有关。以上分析结论也能从侧面说明钦江流域土地利用类型的地形分布特征。

(3) 通过对三种方法的研究对比发现,地形位指数比单独用高程或坡度地形因子更能有效地反映土壤侵蚀强度分布规律。因为地形位指数综合了高程

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,代亨林. 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)