

大围山花岗岩风化物发育土壤抗蚀性垂直分异

罗兰花¹, 王翠红¹, 谢红霞¹, 周清¹, 周敏²

(1. 湖南农业大学 资源环境学院, 长沙 410128; 2. 永清环保股份有限公司, 长沙 410014)

摘要:为了研究花岗岩风化物发育土壤抗蚀性垂直分异特征,以湖南省浏阳市大围山花岗岩风化物发育而成的山地土壤为例,选取了土壤的有机质、团聚状况、团聚度、分散率、 >0.25 mm 水稳性团粒含量五项抗蚀性指标以及采用 EPIC 模型计算出土壤的可蚀性 K 值,对土壤抗蚀性垂直分异特征进行了研究。结果表明:大围山花岗岩风化物发育土壤团聚状况和团聚度随海拔高度的升高呈现递减的趋势,趋势较为显著;土壤分辨率随海拔高度的升高而增大,趋势不显著;有机质含量和 >0.25 mm 水稳性团粒含量与海拔相关性很小;土壤可蚀性 K 值随海拔高度的升高而增大,趋势较显著。大围山花岗岩风化物发育的土壤抗侵蚀能力弱,容易被侵蚀,但因土壤所处地貌部位、山地土壤类型以及植被覆盖情况的不同而产生差异。总体上随海拔高度的升高土壤抗蚀性呈现递减的趋势,但趋势不显著。

关键词:山地土壤;花岗岩风化物;抗蚀性;可蚀性 K 值

中图分类号:S157.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2018)01-0062-04

Study on Vertical Differentiation of Anti-Erodability of Soil Developed from Granite Weathering in Dawei Mountain

LUO Lanhua, WANG Cuihong¹, XIE Hongxia¹, ZHOU Qing¹, ZHOU Min²

(1. College of Resources and Environment Science, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 2. Yonker Environmental Protection Co., LTD., Changsha 410014, China)

Abstract: In order to study the vertical differentiation of anti-erodability of soil developed from granite weathering, we collected soil samples developed from granite weathered materials in Dawei Mountain Liuyang City, Hu'nan Province. The soil organic matter, agglomeration status, agglomeration degree, dispersion rate and >0.25 mm water stable aggregate content were selected and soil erodibility K value was calculated by EPIC model to study vertical differentiation characteristics of soil anti-erodability. The results showed that with increasing altitude, the soil agglomeration status, agglomeration degree and soil erodibility K value increased, the trend was significant; the soil dispersion rate increased, the trend was not significant; and the content of organic matter and >0.25 mm water stable aggregate content had little correlation with altitude. The anti-erodability of soil developed from granite weathering in Dawei Mountain was weak, and the soil is easy to be eroded, but erodability was different due to the different physiognomy positions, soil types and vegetation coverage. In general, the soil anti-erodability showed a decreasing trend with the increase of altitude, but the trend was not significant.

Keywords: mountain soil; granite weathering; erosion durability; K value of soil erodibility

土壤抗蚀性是指土壤对侵蚀营力分散和搬运作用的抵抗能力,即土壤对侵蚀的易损性或敏感性的倒数^[1],它是土壤承受降雨和径流分离及输移等过程的综合效应^[2]。其大小不仅与土壤内在的理化性质密切相关,还受降雨特性和土地利用状况等外部因素的影响^[3-5]。土壤可蚀性表征的是土壤对侵蚀的敏感程度,是对土壤抗蚀性从另一个角度的描述,是研究土

壤侵蚀的重要指标^[6]。国际上通常用土壤可蚀性 K 值这一指标来表征土壤的抗蚀抗冲能力^[7], K 值越大,抗蚀抗冲能力越差。

国内外关于土壤抗蚀性的研究方法很多,主要通过测定土壤流失量或以土壤的某些性质来作为土壤抗蚀性指标^[8],对土壤抗蚀性进行评价,但至今未取得普遍适用的指标。1990 年 Williams 等^[9]提出侵蚀一生产力

评价模型(EPIC),为土壤可蚀性 K 值研究提供了计算模型。我国有不少专家学者对我国土壤可蚀性垂直分异特征,开展了很多研究。刘斌涛等^[10]揭示了青藏高原土壤可蚀性随海拔高度升高而降低;张永勤^[11]发现武夷山山地土壤可蚀性 K 值随海拔升高也呈现递减的规律。目前对花岗岩发育土壤抗蚀性仅有个别研究,王秋霞等^[12]研究了花岗岩崩岗区土壤可蚀因子的空间变化特征;周刚等^[13]发现花岗岩红壤区林地土壤抗蚀性最强,最差的为坡耕地。但对花岗岩风化物发育山地土壤抗蚀性垂直分异特征的研究还是较少。本文选择湖南省大围山不同海拔高度的花岗岩风化物发育山地土壤进行抗蚀性研究,利用土壤的 5 项抗蚀性指标和 1 项可蚀性指标 K 值对土壤抗蚀性进行定量表征,揭示花岗岩风化物发育土壤抗蚀性垂直分异特征,为花岗岩风化物发育土壤抗蚀性和大围山山地土壤侵蚀定量研究提供数据和科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

大围山位于湖南省浏阳市的东北部,地处湘东幕阜山—罗霄山接壤地带的大围山支脉,是重要的旅游

胜地和国家森林公园,属于中亚热带季风湿润气候,夏无酷暑、冬无严寒,年平均气温在 11~16℃,平均降雨量 1 200~2 000 mm,年相对湿度高于 83%。地处亚热带典型常绿阔叶林地带,原生植被多被破坏,现存的主要为原始次林和人工林。海拔高低相差大,地形复杂,雨量充沛,植物资源丰富,植被垂直变化明显。海拔 500 m 以下为常绿阔叶林,500~1 000 m 为常绿落叶阔叶混交林,1 000~1 400 m 为落叶阔叶林,1 400 m 以上为草灌群落。大围山植被状况较好,覆盖度大,有利于土壤有机质的积累,使得大围山土壤有机质含量高,腐殖质层较厚。大围山成土母质主体是燕山期花岗岩侵入体,土壤垂直地带变化明显,一般海拔 800 m 以下是山地红壤、800~1 200 m 为山地黄壤、1 200~1 600 m 为山地黄棕壤、1 600 m 以上为山地灌丛草甸土^[14]。

1.2 样地选择与样品采集

本研究根据不同海拔高度进行采样,包括 9 个土壤剖面 A 层,采样过程中完整记录了土样采集点经度纬度、土样所处海拔、土地利用类型,土壤类型、土层采集深度等信息(表 1)。本试验对土壤剖面花岗岩母质发育而成的山地土壤进行分析。

表 1 土样信息表

采样位置			采样地点	植物生长情况	采集深度/
纬度 N	经度 E	海拔/m			cm
28°26.812′	114°01.943′	189	大围山脚	杨树、杉树、铁芒萁	0~15
28°24.887′	114°03.806′	721	钓鱼山丘往内 800 m 山坡下	乔木、灌木、竹林	0~20
28°25.650′	114°05.050′	937	大围山栗木桥往上 200 m	乔灌木、竹林、马尾松	0~18
28°25.507′	114°05.752′	1173	栗木桥至船底途中	竹林、杉树、阔叶树	0~17
28°25.713′	114°05.735′	1249	株数桥宾馆至钓鱼山庄	乔木、灌木、杉树	0~24
28°25.392′	114°08.030′	1488	大围山红莲寺往七星马场	杜鹃等灌丛、茅草	0~7
28°25.801′	114°09.134′	1535	大围山七星山庄后山	灌丛、草本	0~7
28°26.185′	114°09.598′	1578	七星走廊至七星峰顶	芒草、禾本科	0~13
28°24.641′	114°06.009′	1582	大围山五指峰	茅草、灌草、松树	0~17

1.3 研究方法

本文采用的抗蚀性指标中:团聚状况、团聚度、有机质含量和>0.25 mm 水稳性团粒含量数值越大,土壤抗侵蚀能力越好;分散率越高,反映土壤结构水稳性越差,即抗侵蚀能力越差。土壤可蚀性 K 值定量表现土壤可侵蚀能力,数值越大抗侵蚀能力越小。利用烘干法测定自然风干土壤的水分含量;用吸管法^[15]作土壤机械组成分析、微团聚体分析;利用重铬酸钾—浓硫酸外加热法^[16]测定土壤有机碳含量,再通过计算得到土壤有机质含量。用吸管法^[17]测定土壤砂粒、粉粒、黏粒的重量百分数。

团聚状况、团聚度、分散率、>0.25 mm 水稳性团粒含量、土壤有机质含量 5 项指标及可蚀性 K 值,

计算方法如下:

团聚状况=(>0.05 mm 微团聚体分析值)-(>0.05 mm 机械组成分析值)^[17] (1)

团聚度=团聚状况/(>0.05 mm 微团聚体分析值)^[17] (2)

分散率=(<0.05 mm 微团聚体分析值)/(<0.05 mm 机械组成分析值)^[17] (3)

>0.25 mm 水稳性团粒含量=>0.25 mm 团粒质量/风干土样质量/水分系数^[17] (4)

土壤有机质=土壤有机碳(g/kg)×1.724 (5)

土壤有机碳= $\frac{c \times 5}{V_0} \times (V_0 - V) \times 10^{-3} \times 3.0 \times 1.1$
m×k ×1000 (6)

式中:1.724 为土壤有机碳换成土壤有机质的平均换

算系数; c 为 $0.800\ 0\ \text{mol/L}$ ($1/6\ \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) 标准溶液的溶度; 5 为重铬酸钾标准溶液加入的体积 (ml); V_0 为空白滴定用去 FeSO_4 体积 (ml); V 为样品滴定用去 FeSO_4 体积 (ml); 3.0 为 $1/4$ 碳原子的摩尔质量 (g/mol); 1.1 为氧化校正系数; m 为风干土样质量 (g); k 为将风干土换算成烘干土的系数。

$$K = \{0.2 + 0.3 \exp[-0.0256 S_a [1 - \frac{S_i}{100}]]\} \times [\frac{S_i}{C_i + S_i}]^{0.3} \times [1 - \frac{0.25C}{C + \exp(3.718 - 2.947C)}] \times [1 - \frac{0.75S_n}{S_n + \exp(-0.509 + 22.899S_n)}] \quad (7)$$

$$S_n = 1 - \frac{S_a}{100} \quad (8)$$

式中: S_a 为砂粒 ($0.05 \sim 2\ \text{mm}$) 的重量百分数; S_i 为粉粒 ($0.002 \sim 0.05\ \text{mm}$) 的重量百分数; C_i 为黏粒 ($<0.002\ \text{mm}$) 的重量百分数; C 为百分数表示的土壤有机碳含量, 由有机质含量除以 1.724 得到; K 值计算结果为美国制单位^[9,18], 乘以 $0.131\ 7$ 换算为国际制单位 $[(\text{t} \cdot \text{hm}^2 \cdot \text{h}) / (\text{hm}^2 \cdot \text{MJ} \cdot \text{mm})]$ 。

2 结果与分析

2.1 土壤有机质含量和土壤颗粒组成

189 m 处因海拔低受人类活动的影响大, 将其除去进行分析。土壤有机质是土壤水稳性结构的胶

结剂, 含有机质丰富的土壤可形成较多良好结构, 增加土壤疏松度和通透性, 从而增加了土壤的抗蚀性的能力^[19]。除去海拔为 189 m 处的土样, 1 488 m 处有机质含量最少, 为 $26.93\ \text{g/kg}$; 其余七个剖面土样的有机质含量均高于 $38\ \text{g/kg}$, 1 249 m 处的土壤有机质含量高达 $95.42\ \text{g/kg}$ 。总体上, 大围山花岗岩风化物发育山地土壤有机质含量较高, 养分丰富, 土壤肥沃。由于有机质含量受到植被覆盖情况, 母质形成条件、气候等多种因素的影响, 利用 SPSS 相关性分析得出, 土壤有机质含量与海拔相关性很小, 相关系数仅为 -0.58 (表 2)。

机械组成中 $<0.05\ \text{mm}$ 土粒含量明显大于 $>0.25\ \text{mm}$ 土粒含量。土样中 189 m 和 1 578 m 处的 $>0.25\ \text{mm}$ 土粒含量稍小, 分别为 9.82% , 10.05% , 1 582 m 的 $>0.25\ \text{mm}$ 土粒含量达到 26.5% , 其余 6 个土样 $>0.25\ \text{mm}$ 土粒含量差异不明显。土样中 $<0.05\ \text{mm}$ 土粒含量最小为 51.50% , 最大为 68.44% , $>0.05\ \text{mm}$ 土粒含量与海拔相关性很小, 相关系数仅为 0.023 。微团聚体组成中 $<0.05\ \text{mm}$ 土粒含量小于 $>0.25\ \text{mm}$ 土粒含量, 各土样的 $>0.25\ \text{mm}$ 土粒含量差异不大, 与海拔的相关系数仅为 -0.292 ; $>0.05\ \text{mm}$ 土粒含量中除 189 m, 1 535 m 处的稍高, 其余土样 $>0.05\ \text{mm}$ 土粒含量都偏低, 总体上随海拔升高有增加的趋势, 但趋势不明显, 相关系数为 0.617 (表 3)。

表 2 不同海拔土壤有机质含量

高程/m	189	721	937	1173	1249	1488	1535	1578	1582
有机碳/ $(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$	11.73	31.99	32.64	43.22	55.35	15.62	22.50	47.25	37.99
有机质/ $(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$	20.22	55.15	56.27	74.51	95.42	26.93	38.79	81.46	65.49

表 3 不同海拔土壤机械组成及微团聚体组成

高程/m	机械组成		微团聚体组成	
	$>0.25\ \text{mm}$	$<0.05\ \text{mm}$	$>0.25\ \text{mm}$	$<0.05\ \text{mm}$
	土粒含量/%	土粒含量/%	土粒含量/%	土粒含量/%
189	9.82	68.44	33.67	42.55
721	19.66	56.55	50.13	9.55
937	17.52	56.13	62.85	10.2
1173	18.73	53.84	57.95	8.05
1249	19.33	51.85	53.05	10.05
1488	18.55	54.62	51.79	17.87
1535	17.35	63.56	41.64	30.2
1578	10.05	51.50	61.77	11.15
1582	26.5	55.58	46.29	21.16

2.2 土壤抗蚀性特征及垂直分异

通过计算得出不同海拔土壤的 5 项抗蚀性指标 (图 1)。189 m 处因海拔低受人类活动的影响大, 在做土壤抗蚀性垂直分异特征分析时, 将该点剔除。土样团聚状况数据中, 土样团聚状况最小为 0.334 , 最大为 0.470 , 差异不大, 土样团聚状况随海拔升高而减小, 相关系数为 -0.876 , 显著性为 0.004 , 通过显著水平

0.05 的检验。1 582 m 处的土壤团聚度最小为 0.436 , 937 m 处的为 0.512 , 土壤的团聚度与海拔呈较为显著的负相关, 相关系数为 -0.836 , 显著性为 0.010 。由 $<0.05\ \text{mm}$ 微团聚体分析值与机械组成分析值计算获得土壤的分散率, 1 535 m 处采集的土样分散率最大, 总体上土壤的分散率随海拔升高而增大, 但不太显著, 相关系数仅为 0.682 。 $>0.25\ \text{mm}$ 水稳性团粒含量仅 1 535 m 为 $672.77\ \text{g/kg}$, 水稳性团粒含量适中, 另外七个不同海拔高度土样水稳性团粒含量都高于 $700\ \text{g/kg}$, 且含量随海拔变化规律不明显。综合 5 项抗蚀性指标的数值可知, 除去受人类活动干扰较大土样数据 (海拔 189 m), 土壤团聚状况、团聚度两项指标和海拔高度的相关性可以得出土壤抗蚀性随海拔高度的升高呈现递减的趋势, 且较为显著; $>0.25\ \text{mm}$ 水稳性团粒含量、有机质含量和分散率三项指标与海拔高度的相关性很小。总体而言随海拔高度升高, 土壤抗蚀性呈现不显著的递减趋势。

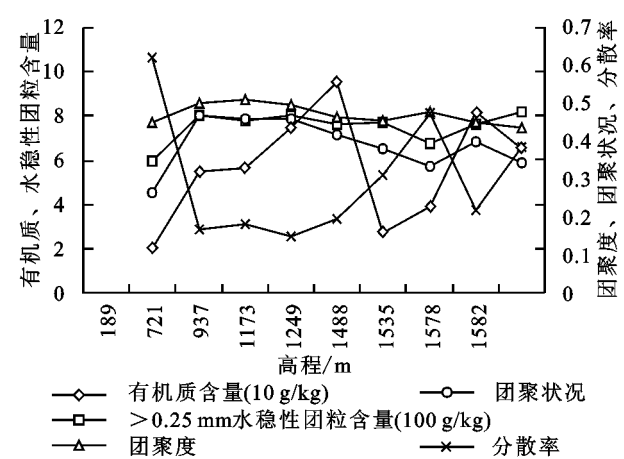


图 1 不同海拔土壤抗蚀性指标曲线

利用 EPIC 模型计算不同海拔土壤可蚀性 K 值 (图 2)。同样将受人类干扰较大的海拔 189 m 处的土样数据剔除进行分析,从计算结果可知:从不同海拔采集土样的可蚀性 K 值均处于 $0.028 \sim 0.033$ ($t \cdot \text{hm}^2 \cdot \text{h}) / (\text{hm}^2 \cdot \text{MJ} \cdot \text{mm})$ 范围间,这与王秋霞等^[12]对花岗岩崩岗区土壤淋溶层可蚀性 K 值研究的结果是一致的。根据梁音、史学正^[7]研究得到我国东部丘陵区土壤可蚀性 K 值的分级指标,土样可蚀性级别为中可蚀性土壤和中高可蚀性土壤,即属于易被侵蚀的土壤。1 582 m 处的可蚀性 K 值为 0.033 ($t \cdot \text{hm}^2 \cdot \text{h}) / (\text{hm}^2 \cdot \text{MJ} \cdot \text{mm})$,土壤的抗侵蚀能力相对较差。土壤可蚀性 K 值随海拔高度的升高而增大,趋势较显著,相关系数为 0.783 ,显著性为 0.022 ,通过显著水平 0.05 的检验。由土壤可蚀性 K 值得到土壤抗蚀性随海拔高度升高呈现递减,且递减趋势较为显著。

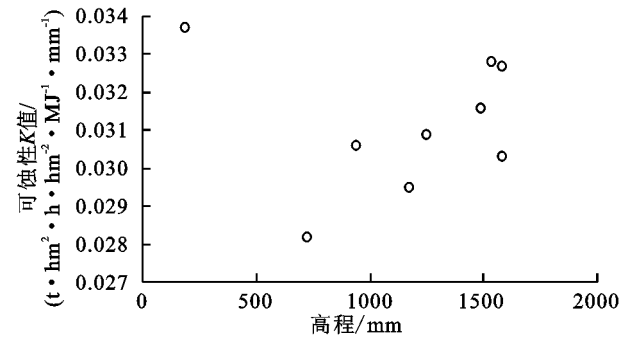


图 2 可蚀性 K 值点状图

3 结论

通过在大围山不同海拔高度采集土样,测定土样有机质含量、土壤机械组成和微团聚体含量,计算出土壤的 5 项抗蚀性指标,并通过 EPIC 模型法估算土壤可蚀性 K 值。结果表明:大围山花岗岩风化物发育的山地土壤的可蚀性 K 值在 $0.028 \sim 0.033$ ($t \cdot \text{hm}^2 \cdot \text{h}) / (\text{hm}^2 \cdot \text{MJ} \cdot \text{mm})$ 范围间,属于中可蚀性土壤和中高

可蚀性土壤,即为较易被侵蚀的土壤。土壤可蚀性 K 值随海拔高度的升高而增大,趋势较显著,显著性通过 0.05 水平的检验。5 项抗蚀性指标中有机质和 $>0.25 \text{ mm}$ 水稳性团粒含量与海拔高度相关性不大,土壤团聚状况和团聚度与海拔高度呈负相关,相关系数分别为 -0.876 和 -0.836 ,土壤分散率随海拔高度的升高而增大,但趋势不显著,相关系数仅为 0.682 。总的来说,大围山花岗岩风化物发育的山地土壤抗侵蚀能力弱,易被侵蚀,随着海拔高度升高土壤抗蚀性呈现递减的趋势,但是趋势不显著。

大围山花岗岩风化物发育的山地土壤抗蚀性不仅受海拔高度的影响,也受到气候、植被、人类活动等因素的影响,抗侵蚀能力弱,为避免水土流失,应注意加强防治措施。大围山的原生植被几乎被破坏,现存植被几乎都是原始次林和人工林,这可能会对土壤的抗侵蚀能力造成一定的影响。但原因还需进一步研究。

参考文献:

[1] 蒋定生. 黄土高原水土流失与治理模式[M]. 北京:中国水利水电出版社,1997.

[2] 阮伏水,吴雄海. 关于土壤可蚀性指标的讨论[J]. 水土保持通报,1996,16(6):68-72.

[3] 田积营. 子午岭连家砭地区土壤物理性质与土壤抗蚀指标的初步研究[J]. 土壤学报,1964,12(3):21-38.

[4] 方学敏,万兆惠,徐永年. 土壤抗蚀性研究现状综述[J]. 泥沙研究,1997(2):87-91.

[5] Wu W D, Zheng S Z, Lu Z, et al. Effect of plant roots on penetrability and anti-erodibility of red soil derived from granite[J]. Pedosphere,2000,10(2):183-188.

[6] 井光花,于兴修,李样炜. 土壤可蚀性研究进展综述[J]. 中国水土保持,2011(10):44-46.

[7] 梁音,史学正. 长江以南东部丘陵区土壤可蚀性 K 值研究[J]. 水土保持研究,1999,6(2):47-52.

[8] 丁文峰,李占斌. 土壤抗蚀性的研究动态[J]. 水土保持科技情报,2001(1):36-39.

[9] Williams J R, Shaply A N. EPIC (Erosion. Productivity Impact Calculato)I. Model Documentstion[M]. U. S. Department of Agriculture technical Bulletin,1990.

[10] 刘斌涛,陶和平,史展,等. 青藏高原土壤可蚀性 K 值的空间分布特征[J]. 水土保持通报,2014,34(4):11-16.

[11] 张永勤. 武夷山山地土壤可蚀性 K 值的垂直分异及成因分析[J]. 亚热带水土保持,2012,24(3):19-22.

[12] 王秋霞,张勇,丁树文,等. 花岗岩崩岗区土壤可蚀性因子估算及其空间变化特征[J]. 中国水土保持科学,2016,14(4):1-8.

[13] 周刚,赵辉,陈国玉,等. 花岗岩红壤区不同地类土壤抗蚀性分异规律研究[J]. 中国水土保持,2008(9):27-29.

- Geographical Sciences, 2010, 20(2): 231-247.
- [5] Hou S, Wang P, Guo Y, et al. Factors driving riverbed scouring and sedimentation in the Bayangaole to Toudaoguai reaches of the Upper Yellow River[J]. Journal of Geographical Sciences, 2016, 26(9): 1305-1320.
- [6] 王平, 侯素珍, 张原锋, 等. 黄河上游孔兑高含沙洪水特点与冲淤特性[J]. 泥沙研究, 2013, (1): 67-73.
- [7] 刘韬, 张士峰, 刘苏峡. 十大孔兑暴雨洪水产输沙关系初探: 以西柳沟为例[J]. 水资源与水工程学报, 2007, 18(3): 18-21.
- [8] 李璇. 西柳沟流域水沙流失特点及治理措施探讨[J]. 内蒙古水利, 2013(1): 89-90.
- [9] 刘通, 黄河清, 邵明安, 等. 气候变化与人类活动对鄂尔多斯地区西柳沟流域入黄水沙过程的影响[J]. 水土保持学报, 2015, 29(2): 17-22.
- [10] 冉大川, 张栋, 焦鹏, 等. 西柳沟流域近期水沙变化归因分析[J]. 干旱区资源与环境, 2016, 30(5): 143-149.
- [11] 赵昕, 汪岗, 韩学士. 内蒙古十大孔兑水土流失危害及治理对策[J]. 中国水土保持, 2001(3): 4-6.
- [12] 曾茂林, 朱小勇, 康玲玲, 等. 水土流失区淤地坝的拦泥减蚀作用及发展前景[J]. 水土保持研究, 1999, 6(2): 127-133.
- [13] 刘晓林, 杨胜天, 周旭, 等. 1980 年以来黄河内蒙古段十大孔兑流域土地利用变化时空特征[J]. 南水北调与水利科技, 2016(1): 30-36.
- [14] 冉大川, 刘斌, 罗全华, 等. 泾河流域水沙变化水文分析[J]. 人民黄河, 2001, 23(2): 9-11.
- [15] 王万忠. 黄土地区降雨特性与土壤流失关系的研究[J]. 水土保持通报, 1983, 3(4): 7-13.
- [16] Liu Xiaoyan, Yang Shengtian, Dang Suzhen, et al. Response of sediment yield to vegetation restoration at a largespatial scale in the Loess Plateau[J]. Science China Technological Sciences, 2014, 57(8): 1482-1489.
- [17] 罗娅, 杨胜天, 刘晓燕. 黄土高原次降雨径流产沙变化及其与雨强和植被盖度变化的相关性, 干旱区研究, 2015, 32(4): 698-709.
- [18] 刘晓燕, 刘斌, 杨胜天. 黄土高原沟壑区产沙驱动力及减沙潜力分析[J]. 人民黄河, 2014, 36(5): 1-3.
- [19] 刘晓燕, 杨胜天, 王富贵, 等. 黄土高原现状梯田和林草植被的减沙作用分析[J]. 水利学报, 2014, 45(11): 1239-1300.
- [20] 高云飞, 郭玉涛, 刘晓燕, 等. 黄河潼关以上现状淤地坝拦沙作用研究[J]. 人民黄河, 2014, 36(7): 37-99.
- [21] 赵广举, 穆兴民, 温仲明, 等. 皇甫川流域降水和人类活动对水沙变化的定量分析[J]. 中国水土保持科学, 2013, 11(4): 1-8.

(上接第 61 页)

- [10] Taylor G H, Daly C. Using PRISM climate grids and GIS for extreme precipitation mapping[C]// Proceedings of the 14th Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, Seattle, WA, USA, 2004.
- [11] 朱华忠, 罗天祥, Daly C. 中国高分辨率温度和降水模拟数据的验证[J]. 地理研究, 2003, 22(3): 351-359.
- [12] 赵登忠, 张万昌, 刘三超. 基于 DEM 的地理要素 PRISM 空间内插研究[J]. 地理科学, 2004, 24(2): 205-211.
- [13] 韩庆红, 陈渭民, 王普才, 等. PRISM 在松花江流域降水分布中的应用研究[J]. 南京气象学院学报, 2006, 29(1): 56-61.
- [14] 夏智武, 刘鹏举, 陈增威, 等. 山地环境日气温 PRISM 空间插值研究[J]. 北京林业大学学报, 2016, 38(1): 83-90.
- [15] 蒋育昊, 刘鹏举, 夏智武, 等. 基于 PRISM 的山地环境大气湿度的空间插值[J]. 福建农林大学学报: 自然科学版, 2016, 45(6): 692-699.
- [16] Daly C. Variable influence of terrain on precipitation patterns: Delineation and use of effective terrain height in PRISM[R]. World Wide Web document. <http://www.ocs.orst.edu/prism/effter.pdf>, 2002.
- [17] 徐成东. 基于线性加权回归模型的降水量空间插值方法研究[D]. 河南开封: 河南大学, 2008.

(上接第 65 页)

- [14] 侯红波. 浏阳大围山土壤研究初探[J]. 湖南林业科技, 2004, 31(3): 27-28.
- [15] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤物理性质测定[M]. 北京: 科学出版社, 1978.
- [16] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1980.
- [17] 卢喜平, 史东梅, 蒋光毅, 等. 两种果草模式根系提高土壤抗蚀性的研究[J]. 水土保持学报, 2004, 18(5): 64-67.
- [18] 谢红霞, 陈琼, 李锦龙, 等. 长沙市东郊不同母质发育耕型红壤的可蚀性因子 K 值估算[J]. 水土保持通报, 2012, 32(3): 133-135.
- [19] 张振国, 黄建成, 焦菊英, 等. 安塞黄土丘陵沟壑区退耕地植物群落土壤抗蚀性分析[J]. 水土保持研究, 2008, 15(1): 28-31.