

苦驴河上游小流域土壤侵蚀及其养分流失特征

邓威¹, 汪晶晶¹, 白云¹, 李玉成¹, 叶寅², 张学胜¹

(1. 安徽大学 资源与环境工程学院, 安徽 合肥 230601; 2. 安徽省农业科学院 土壤肥料研究所, 安徽 合肥 230001)

摘要: [目的] 定量分析苦驴河上游小流域土壤侵蚀及其养分流失特征, 为巢湖上游小流域水土保持工作提供科学依据。[方法] 基于遥感技术(RS)和地理信息系统(GIS), 利用修正通用土壤流失方程(RUSLE)定量评估研究区土壤侵蚀及其养分流失状况, 分析土壤侵蚀强度与坡度、高程和土地利用等因子的关系。[结果] ① 2018年研究区平均土壤侵蚀模数为 394.45 t/(km²·a), 主要为微度和轻度侵蚀。② 土壤侵蚀强度与坡度呈明显的正相关, 且随着坡度增加, 强度及以上侵蚀的面积比例逐渐增加。同一高程范围内不同土地利用对土壤侵蚀程度影响不同, 以各土地利用的平均土壤侵蚀模数表示为: 未利用地 [1 022.55 t/(km²·a)] > 林地 [655.04 t/(km²·a)] > 旱地 [285.78 t/(km²·a)] > 水田 [139.80 t/(km²·a)]。③ 土壤养分流失与土壤侵蚀的空间分布趋势一致, 土壤有机碳(SOC)、总氮(TN)、总磷(TP)平均流失量分别为 3.66, 0.27, 0.07 t/(km²·a)。[结论] 苦驴河上游小流域土壤侵蚀及其养分流失受地形地貌影响显著, 南高北低, 南部丘陵水土流失较为严重, 山林地和坡耕地是该地区水土保持工作的重点区域。

关键词: RUSLE; 土壤侵蚀; 土壤养分流失; 苦驴河上游小流域

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2020)01-0085-06

中图分类号: S157.1

文献参数: 邓威, 汪晶晶, 白云, 等. 苦驴河上游小流域土壤侵蚀及其养分流失特征[J]. 水土保持通报, 2020, 40(1): 85-90. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2020.01.013; Deng Wei, Wang Jingjing, Bai Yun, et al. Characteristics of soil erosion and nutrient loss in small watershed on upper reaches of Kulü River[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020, 40(1): 85-90.

Characteristics of Soil Erosion and Nutrient Loss in Small Watershed on Upper Reaches of Kulü River

Deng Wei¹, Wang Jingjing¹, Bai Yun¹, Li Yucheng¹, Ye Yin², Zhang Xuesheng¹

(1. School of Resources and Environmental Engineering, Anhui University, Hefei, Anhui 230601, China;

2. Soil Fertilizer Research Institute, Anhui Academy of Agricultural Sciences, Hefei, Anhui 230001, China)

Abstract: [Objective] The characteristics of soil erosion and nutrient loss in a small watershed on the upper reaches of the Kulü River were quantitatively analyzed to provide a scientific basis for soil and water conservation in small watersheds on the upper reaches of Chaohu Lake. [Methods] A remote sensing system (RS) and geographic information system (GIS) were used to assess quantitatively the soil erosion and nutrient loss in the research area using the revised universal soil equation (RUSLE). The relationships between soil erosion intensity and factors such as slope, elevation, and land use types were also analyzed. [Results] ① The average soil erosion modulus in the research area in 2018 was 394.45 t/(km²·a), the intensity of soil erosion was mainly at micro or mild level. ② The intensity of soil erosion was positively correlated with the slope gradient, and with increase of the slope gradient, the proportion of erosion area that was intensely eroded increased gradually. Within the same range of elevation, different land use types had different impacts on soil erosion. The average soil erosion modulus of each land use type was unused land [1 022.55 t/(km²·a)] > forest land [655.04 t/(km²·a)] > dry land [285.78 t/(km²·a)] > paddy field [139.80 t/(km²·a)]. ③ The trend of the spatial distribution of soil nutrient loss was consistent with that

收稿日期: 2019-08-21

修回日期: 2019-09-23

资助项目: 国家科技重大专项“派河小流域山林地水源涵养技术筛选验证与应用推广”(2017ZX07603-002-001)

第一作者: 邓威(1995—), 男(汉族), 安徽省亳州市人, 硕士研究生, 研究方向为水污染防治。Email: 884611762@qq.com。

通讯作者: 李玉成(1963—), 男(汉族), 安徽省合肥市人, 博士, 教授, 主要从事环境生物地球化学和水污染防治研究。Email: Li-yucheng@163.com。

of soil erosion. The average losses of soil organic carbon (SOC), total nitrogen (TN), and total phosphorus (TP) were 3.66, 0.27, and 0.07 t/(km² · a), respectively. [Conclusion] The distribution characteristics (high to the south and low to the north) of soil erosion and nutrient loss at the small watershed on the upper reaches of Kulü River are significantly affected by topography and geomorphology. Soil and water loss are the most serious in hilly areas. In the research area, mountain forest land and sloped farmland are the key areas for soil and water conservation.

Keywords: RUSLE; soil erosion; soil nutrient loss; the small watershed on the upper reaches of Kulü River

土壤侵蚀是全球性的环境问题之一,不仅导致土壤退化、土地生产力降低,而且随径流泥沙运移的污染物质对下游地区的生态环境和社会经济发展产生较大影响^[1]。土壤侵蚀模型是研究土壤侵蚀的重要方法,它能够定量评估土壤侵蚀的空间分布特征。国内外学者建立了众多模型来研究土壤侵蚀,其中以修正通用土壤流失方程(RUSLE)应用最为广泛,且国内学者^[2-5]结合中国实际,对 RUSLE 参数因子进行修正,具有很好的应用效果。目前对巢湖流域的土壤侵蚀和养分流失研究^[6-9]中,尺度主要集中在县域或环湖河流层次,关注重点在土壤侵蚀的面积、总量和空间分布上。

苦驴河上游是巢湖主要支流——派河的重要水源地,同时也是发生土壤侵蚀和养分流失的主要地区。面向“水十条”派河国控断面考核达标、引江济淮对派河水质提出高要求及国家级巢湖生态文明先行示范区建设等多方需求,派河上游苦驴河等小流域土壤侵蚀及污染问题成为学者和政府关注的重点。

本研究基于高精度遥感影像、数字高程模型(DEM)、2018 年研究区实地土壤调查获得的土壤数据和土地利用数据,利用 RUSLE 模型定量描述苦驴河上游土壤侵蚀及其养分流失的空间分布特征,分析了土壤侵蚀强度与坡度、高程和土地利用等因子的关系,以为派河流域水土流失防治和生态治理工作提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

苦驴河上游小流域(31°43′—31°49′ N, 116°54′—116°60′ E)位于安徽省合肥市肥西县,是派河上游的子流域,总面积 48.09 km²,海拔为 32~164 m,平均海拔 61 m(见封 2 附图 1),地势南高北低,以丘陵岗地为 主;属亚热带季风气候,年均气温 15~16 ℃,降雨量年际变化不大,年均降雨量约 1 100 mm,且降雨多集中在 7—10 月份;土壤类型以黄棕壤和水稻土为主;土地利用为林地、旱地、水田、水体和居民用地。受地形地貌、自然气候、生产活动(毁林开荒)等因素的影响,研究区内部分地区侵蚀较为严重,土壤侵蚀

与养分流失已成为主要环境问题之一。

1.2 数据获取和预处理

本研究使用的基础数据包括:①10 m 分辨率数字高程模型(DEM)(见封 2 附图 1);②苦驴河上游小流域内小型气象站 2016 年至 2018 年的月降雨数据;③安徽省国防科技情报研究所提供的 2018 年高分二号影像,进行辐射定标、大气校正、正射校正和图像融合等预处理后波段运算提取 NDVI 数据和土地利用数据;④根据不同土地利用的分布状况,结合均匀布点的原则,共采集 49 个表层土壤样品,参照《土壤农化分析》对基本理化性质进行测试分析,利用激光粒度仪测定基本机械组成;⑤流域划分数据,从派河水污染治理“十三五”规划中获得。

1.3 土壤侵蚀及其养分流失量计算

1.3.1 土壤侵蚀量计算 本研究采用修正通用土壤流失方程(RUSLE)对研究区的土壤侵蚀量进行定量评估,表达式为:

$$A=R \times K \times LS \times C \times P \quad (1)$$

式中:A 为年土壤侵蚀模数[t/(hm² · a)]; R 为降雨侵蚀力因子[MJ · mm/(hm² · h · a)]; K 为土壤可蚀性因子[t · hm² · h/(hm² · MJ · mm)]; LS 为坡度坡长因子; C 为植被覆盖与管理因子; P 为水土保持措施因子。

(1) 降雨侵蚀力因子(R)。降雨是引起土壤侵蚀和水土流失的重要因子之一,降雨侵蚀力因子能够反映降雨对土壤侵蚀的影响。国内学者对中国不同地区提出多种降雨侵蚀力的简易算法^[10-12]。本研究利用研究区内一座小型气象站 2016 年至 2018 年的平均月降雨量数据,采用吴素业^[13]以安徽省岳西县降雨数据为基础建立的月降雨模型来计算降雨侵蚀力。由于研究区面积较小,降雨的空间分布较均匀,故采用唯一降雨侵蚀力因子 R 值为 4 029.38 (MJ · mm)/(hm² · h · a)。

(2) 土壤可蚀性因子(K)。土壤可蚀性因子反映土壤对侵蚀的敏感性,是评价土壤遭受侵蚀难易程度的重要指标。本研究采用 Williams 等^[14]在 EPIC

模型中 K 因子的计算方法,并根据张科利等^[15]的研究进行修正,数据来自研究区内 49 个土壤样品的检测结果。 K 为美制单位,乘以 0.1317 转化为国际单位($t \cdot \text{hm}^2 \cdot \text{h}/(\text{hm}^2 \cdot \text{MJ} \cdot \text{mm})$)。经计算得到土壤可蚀性因子 K 值栅格图(图 1a)。

(3) 坡度坡长因子(LS)。坡度坡长因子反映坡度和坡长对土壤侵蚀的影响,是降雨侵蚀动力的加速因子^[16]。坡长因子采用 Wischmeier 等^[17]提出的计算方法。坡度因子采用分段计算,缓坡($<14^\circ$)采用 McCool 等^[18]提出的方法,陡坡($>14^\circ$)采用 Liu 等^[19]提出的方法。经计算得到坡度坡长因子 P 值栅格图(图 1b)。

(4) 植被覆盖与管理因子(C)。植被覆盖与管理

因子反映植被覆盖与管理措施对土壤侵蚀的影响,是侵蚀动力的抑制因子。本文根据李苗苗等^[20]提出的像元二分模型计算植被覆盖度,并采用蔡崇法等^[21]提出的方法计算植被覆盖与管理因子。经计算得到植被覆盖与管理因子 C 值栅格图(图 1c)。

(5) 水土保持措施因子(P)。水土保持措施因子反映了水土保持措施对土壤的保护作用,本文以土地利用现状为基础,结合前人研究^[9,22-23],根据各土地利用对水土保持措施因子进行赋值。未利用土地(裸地为主)无任何水土保持措施,赋值为 1;居民用地和水域赋值为 0,即土壤侵蚀视为 0;林地赋值为 1;旱地赋值为 0.35;水田赋值为 0.15。赋值得到水土保持措施因子 P 值栅格图(图 1d)。

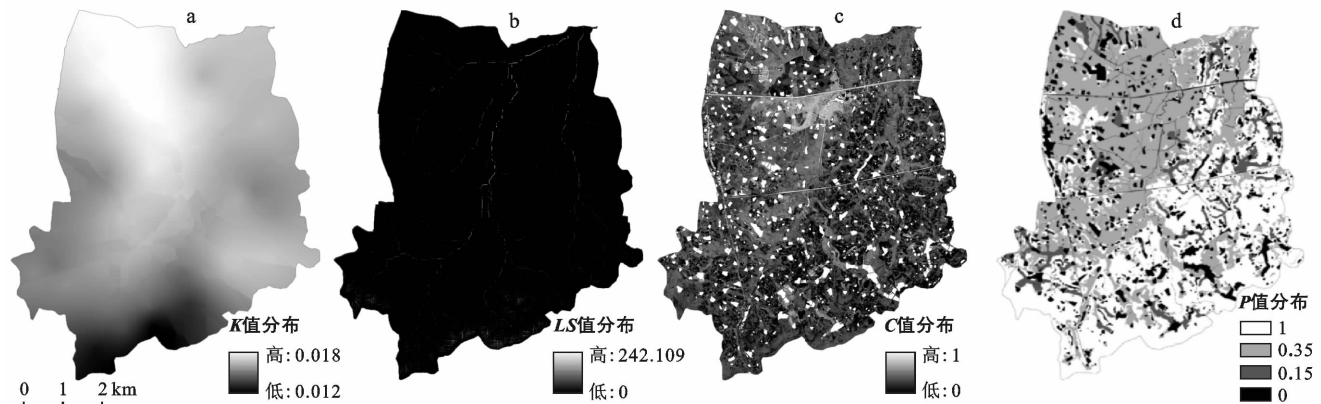


图 1 RUSLE 模型因子

1.3.2 养分流失量计算 将苦驴河上游小流域土壤样品的全氮(TN)、全磷(TP)、有机碳(SOC)数据,在 ArcGIS 中生成养分空间分布图,并转为栅格图。在 ArcGIS 中将土壤侵蚀栅格图与土壤养分栅格图相乘得到土壤养分流失量空间分布图,再乘以栅格面积得到土壤养分流失总量。

2 结果与分析

2.1 精度验证

根据《安徽省水土保持公报(2016—2017 年)》,江淮丘陵区中东部水土流失重点预防区(涉及肥西县、肥东县和蜀山区等共 3 市 11 区县)土壤侵蚀状况以微度侵蚀为主,轻度及中度侵蚀次之。轻度侵蚀面积占总面积的 5.31%,中度侵蚀面积占总面积的 2.34%,强度及以上侵蚀面积占总面积的 1.86%;苦驴河上游小流域轻度侵蚀占总面积的 13.29%,中度侵蚀面积占总面积的 1.61%,强度及以上侵蚀面积占总面积的 1.15%。总体来看,苦驴河上游小流域与江淮丘陵区中东部水土流失预防区的土壤侵蚀状

况一致,但研究区轻度及以下侵蚀面积占总面积的比例高于预防区平均水平,而强度及以上侵蚀面积占总面积的比例低于预防区平均水平。

本研究通过将 RUSLE 模型预测结果与水土保持试验站实测数据比较,来检验模型的预测精度。由于研究区内无水土保持监测点,故利用临近的金寨县椿树岗的监测数据,由安徽水利厅提供。数据表明 2018 年标准径流小区的侵蚀模数为 $343.54 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$,模型预测结果为 $394.45 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。模型预测结果较监测数据稍高,但总体精度可靠,可进行下一步处理分析。

2.2 不同土壤侵蚀强度的分布特征

根据水利部颁发的《土壤侵蚀强度分类分级标准》(SL-2007),将研究区的土壤侵蚀划分为微度侵蚀、轻度侵蚀、中度侵蚀、强度侵蚀、极强度侵蚀和剧烈侵蚀,得到研究区土壤侵蚀强度空间分布特征(见封 2 附图 2)。研究区土壤侵蚀呈现不连续块状和条带状分布的特征,主要侵蚀级别为微度侵蚀和轻度侵蚀,分别占总面积的 83.95% 和 13.29%。中度及以

上土壤侵蚀呈条带状分布在南部丘陵和河道两岸。

研究区土壤侵蚀的统计分析结果(见表 1)表明, 全流域平均土壤侵蚀模数为 $394.45 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$, 为微度侵蚀, 年侵蚀量为 $1.90 \times 10^4 \text{ t}$ 。微度和轻度侵蚀地区侵蚀量分别占总侵蚀量的 15.79% 和 34.61%, 强

度及以上侵蚀面积比例为 0.54%, 侵蚀量贡献率达到 35.55%, 主要由于研究区地形变化剧烈, 疏林地较多, 植被覆盖率较低。部分地区土壤侵蚀强度超过 $1.50 \times 10^4 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$, 应是今后水土保持工作的重点区域。

表 1 苦驴河上游小流域土壤侵蚀特征

侵蚀级别	侵蚀面积/ km^2	侵蚀面积比例/ %	平均土壤侵蚀模数/ $(\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1})$	侵蚀量/ $(\text{t} \cdot \text{a}^{-1})$	侵蚀量比例/ %
微度	40.37	83.95	74.18	2 994.51	15.79
轻度	6.39	13.29	1 027.26	6 565.11	34.61
中度	0.77	1.61	3 439.04	2 663.73	14.04
强度	0.26	0.55	6 248.50	1 642.93	8.66
极强度	0.18	0.38	1.07×10^4	1 967.67	10.37
剧烈	0.10	0.22	2.99×10^4	3 133.95	16.52
总计	48.09	100.00	394.45	1.90×10^4	100.00

2.3 不同坡度等级内土壤侵蚀强度分析

研究区坡度范围为 $0^\circ \sim 25^\circ$, 根据水利部颁布的水力侵蚀坡度等级划分标准(2007), 将研究区划分为

$0^\circ \sim 5^\circ, 5^\circ \sim 8^\circ, 8^\circ \sim 15^\circ, 15^\circ \sim 25^\circ$ 这 4 个坡度等级。通过叠加分析, 得到不同坡度等级内土壤侵蚀强度分布结果(见表 2)。

表 2 不同坡度等级内土壤侵蚀强度分布特征

坡度/ $(^\circ)$	面积/ km^2	平均土壤侵蚀模数/ $(\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1})$	侵蚀量 比例/%	侵蚀面积比例/%					
				微度	轻度	中度	强度	极强度	剧烈
<5	44.01	293.82	68.17	86.89	11.68	0.82	0.27	0.19	0.15
$5 \sim 8$	2.32	821.99	10.05	64.26	27.69	5.81	1.20	0.75	0.29
$8 \sim 15$	1.59	2 088.96	17.54	38.17	36.00	14.69	5.82	4.02	1.30
$15 \sim 25$	0.17	4 788.74	4.24	19.31	21.61	27.37	15.12	11.06	5.53

由表 2 可知, 研究区土壤侵蚀强度与坡度呈明显的正相关, 且随着坡度增加, 强度及以上侵蚀的面积比例逐渐增加。 $0^\circ \sim 5^\circ$ 地区平均土壤侵蚀模数最低, 且主要以微度侵蚀为主; $15^\circ \sim 25^\circ$ 地区平均土壤侵蚀模数为 $4 788.74 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$, 稍低于强度侵蚀水平, 该地区内强度及以上侵蚀面积比例为 31.71%。总体而言, $8^\circ \sim 25^\circ$ 地区的土壤侵蚀最严重, 以 3.66% 的侵蚀面积贡献 21.78% 的侵蚀总量, 表明坡度在 $8^\circ \sim 25^\circ$ 的区域是今后水土流失防治的重点。

2.4 不同高程及土地利用的土壤侵蚀强度分析

根据研究区内土地利用在不同高程的分布, 分为 $0 \sim 50, 50 \sim 80, 80 \sim 110, 110 \sim 170 \text{ m}$ 这 4 个高程范围。通过叠加统计, 得到不同高程及土地利用的土壤侵蚀强度分布结果(见表 3)。由表 3 可知, 研究区高程主要集中在 $50 \sim 80 \text{ m}$, 面积占总面积的 71.66%, 对全流域土壤侵蚀总量的贡献率为 49.16%。高程在 80 m 以上范围内土壤侵蚀最为严重, 侵蚀面积占全流域面积的 7.92%, 土壤侵蚀量占侵蚀总量的 28.13%。

表 3 不同高程及土地利用类型的土壤侵蚀强度特征

高程带/ m	面积/ km^2	平均侵蚀模数/ $(\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1})$	侵蚀量 比例/%	平均土壤侵蚀模数/ $(\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1})$			
				水田	旱地	林地	未利用地
$0 \sim 50$	9.82	438.73	22.71	189.95	419.05	827.91	693.19
$50 \sim 80$	34.46	270.63	49.16	130.04	211.19	433.57	1 152.41
$80 \sim 110$	3.14	1 290.05	21.38	127.80	416.45	1 411.37	
$110 \sim 170$	0.67	1 913.52	6.75			1 918.59	
总计	48.09	394.45	100	139.80	285.78	655.04	1 022.55

土壤侵蚀主要发生在旱地、林地和未利用地 3 种土地利用中, 平均土壤侵蚀模数分别为 285.78, 655.04,

$1 022.55 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$, 其中林地土壤侵蚀模数较旱地高出约 $400 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$, 一方面因为林地主要分布

在丘陵地区,坡度坡长因子影响较大,且无任何水土保持措施,易发生土壤侵蚀,另一方面因为研究区林地植被覆盖率较低,为 51.76%,多为经济林和次生林,土壤侵蚀抑制作用较低。

2.5 养分流失分析

将土壤侵蚀栅格图与土壤 SOC, TN, TP 分布栅格图相乘得到土壤养分流失空间分布特征(见封 2 附图 3—5)。根据土壤侵蚀和养分流失图可以看出,土壤养分流失与土壤侵蚀的空间分布趋势一致,南高北低,尤其是南部丘陵养分流失最严重。研究区土壤 SOC, TN, TP 平均流失量分别为 3.66, 0.27, 0.07 t/(km²·a)。

将 TN, TP 流失量分别折算(折算比为 2.17 和 5.88)为每 hm² 每年流失 5.86 kg 尿素和 4.12 kg 过磷酸钙,因此养分流失对生态环境和农业生产均产生较大影响。对研究区不同土地利用的土壤侵蚀及其养分流失量进行统计分析(见表 4)。结果表明各土地利用的养分流失状况差异显著,其中水田的平均养分流失量最小,未利用地的平均养分流失量最大,主要原因为未利用地的土壤侵蚀最严重,土壤流失量越大,随泥沙运携的养分流失越多。研究区因土壤侵蚀引起的土壤 SOC 流失量为 175.34 t/a, TN 流失量为 12.87 t/a, TP 流失量为 3.13 t/a。

表 4 不同土地利用的土壤侵蚀及其养分流失特征

不同土地利用类型	面积/ km ²	土壤侵蚀模数/ (t·km ⁻² ·a ⁻¹)	平均养分流失量/ (t·km ⁻² ·a ⁻¹)			土壤侵蚀总量/ (t·a ⁻¹)	养分流失总量/ (t·a ⁻¹)		
			SOC	TN	TP		SOC	TN	TP
林地	20.07	655.04	6.49	0.47	0.11	1.31×10 ⁴	130.24	9.44	2.28
旱地	18.78	285.78	2.25	0.17	0.04	5 366.32	42.25	3.21	0.80
水田	2.55	139.80	1.26	0.09	0.02	356.85	3.22	0.24	0.06
未利用地	0.07	1 022.55	7.65	0.59	0.15	69.41	0.52	0.04	0.01
总计	48.09	394.45	3.66	0.27	0.07	1.90×10 ⁴	175.34	12.87	3.13

3 讨论

(1) 研究区主要土地利用为林地、旱地和水田等。未利用地的平均土壤侵蚀模数最大,为 1 022.55 t/(km²·a),其次是林地 655.04 t/(km²·a)。对不同土地利用类型的 RUSLE 模型因子进行统计(表 5),与同类型研究对比发现,植被覆盖与管理因子 C 值存在

较大差异,林地较多情况赋值小于 0.01^[21,23],根据蔡崇法等^[21]提出的方法逆推得到植被覆盖率约为 73%,远远高于本研究的林地植被覆盖率(51.76%),而研究区林地的植被覆盖与管理因子 C 值为 0.08,两者差别较大。其余因子则数值差别较小,对土壤侵蚀计算结果影响较小,因此本研究与同类型研究差别主要在于林地植被覆盖率的高低对植被覆盖与管理因子的影响。

表 5 不同土地利用类型的模型因子特征

土地利用类型	降雨侵蚀力因子/ (MJ·mm·hm ⁻² ·h ⁻¹ ·a ⁻¹)	土壤可蚀性因子/ (t·hm ² ·h·hm ⁻² ·MJ ⁻¹ ·mm ⁻¹)	坡度坡长因子	植被覆盖与管理因子	水土保持措施因子	土壤侵蚀模数/ (t·km ⁻² ·a ⁻¹)
林地	4 029.38	0.02	1.23	0.08	1	655.04
旱地	4 029.38	0.02	0.84	0.14	0.35	285.78
未利用地	4 029.38	0.01	0.76	0.23	1	1 022.55
水田	4 029.38	0.02	0.95	0.15	0.15	139.80

(2) 研究区内人类活动对植被的影响比较强烈,一方面表现为对林地的破坏,村民大肆砍伐林木,部分地区天然植被已不复存在,近几年政府进行清洁小流域建设时开始封山育林,但时间较短,效果不显著,现存植被多为次生林和人工林;另一方面是对林种的改变,该地区原生林主要为针叶林、阔叶林和灌木林等混交林,后经过村民改造大面积种植苗木,导致该地区植被覆盖率降低,易发生土壤侵蚀。

的变化将对土壤侵蚀产生较大影响。因此在苦驴河上游小流域水土保持工作中,提高植被覆盖度和增加水土保持措施是减少土壤侵蚀最有效的措施。常用的方法包括退耕还林^[24]、植物篱^[25]、秸秆覆盖^[26]和坡改梯^[27]等,考虑到实际效果和操作成本,发现退耕还林、植物篱拦截和秸秆覆盖较为可取。

4 结论

(3) 由于研究区内地形、土壤、气象等因素短时间内不会发生较大变化,故植被覆盖和水土保持措施

(1) 苦驴河上游小流域平均土壤侵蚀模数为 394.45 t/(km²·a),侵蚀强度主要为微度和轻度侵

蚀,强度及以上侵蚀主要发生在小流域南部丘陵和河道两岸。

(2) 土壤侵蚀强度与坡度呈明显的正相关,且随着坡度增加,强度及以上侵蚀面积比例逐渐增加。同一高程范围内,土地利用类型对土壤侵蚀影响不同。研究区内未利用地的土壤侵蚀最严重,平均土壤侵蚀模数达到 $1\ 022.55\ \text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$,其次是林地,土壤侵蚀模数为 $655.04\ \text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。而旱地和水田平均土壤侵蚀模数较低,分别为 285.78 和 $139.80\ \text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。

(3) SOC, TN 和 TP 平均流失量分别为 3.66 , 0.27 , $0.07\ \text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。养分流失与土壤侵蚀的空间分布趋势一致,南高北低,南部丘陵水土流失较为严重。

[参 考 文 献]

- [1] 李占斌,朱冰冰,李鹏. 土壤侵蚀与水土保持研究进展[J]. 土壤学报,2008,45(5):802-809.
- [2] 卜兆宏,孙金庄,周伏建,等. 水土流失定量遥感方法及其应用的研究[J]. 土壤学报,1997,34(3):235-245.
- [3] 周伏建,黄炎和. 福建省降雨侵蚀力指标 R 值[J]. 水土保持学报,1995,9(1):13-18.
- [4] 游松财,李文卿. GIS 支持下的土壤侵蚀量估算:以江西省泰和县灌溪乡为例[J]. 自然资源学报,1999,14(1):62-68.
- [5] 杨胜天,程红光,步青松,等. 全国土壤侵蚀量估算及其在吸附态氮磷流失量匡算中的应用[J]. 环境科学学报,2006,26(3):366-374.
- [6] 张海林,揭毅,黄建武,等. 巢湖上游区域土壤侵蚀定量研究[J]. 资源环境与工程,2008,22(5):547-551.
- [7] 胡宏祥. 巢湖北岸中东部水土迁移过程及规律研究[D]. 合肥:合肥工业大学,2008.
- [8] 夏林益,王心源,张广胜. 皖西丰乐河流域水土流失及防治对策[J]. 水土保持研究,2006,13(3):162-164.
- [9] 肖武,徐建飞,杨坤,等. 基于 GIS 和 USLE 模型的巢湖流域土壤侵蚀评价[J]. 科学技术与工程,2017,17(16):35-43.
- [10] 黄炎和,卢程隆,郑添发,等. 闽东南降雨侵蚀力指标 R 值的研究[J]. 水土保持学报,1992,6(4):1-5.
- [11] 马志尊. 应用卫星影像估算通用土壤流失方程各因子值方法的探讨[J]. 中国水土保持,1989(3):24-27.
- [12] 伍育鹏,谢云,章文波. 国内外降雨侵蚀力简易计算方法的比较[J]. 水土保持学报,2001,15(3):31-34.
- [13] 吴素业. 安徽大别山区降雨侵蚀力简化算法与时空分布规律[J]. 中国水土保持,1994(4):12-13.
- [14] Sharpley A N, Williams J R. EPIC-erosion/productivity impact calculator(2): User manual. [J]. Technical Bulletin-United States Department of Agriculture, 1990, 4(4):206-207.
- [15] 张科利,彭文英,杨红丽. 中国土壤可蚀性值及其估算[J]. 土壤学报,2007,44(1):7-13.
- [16] 邓辉,何政伟,陈晔,等. 基于 GIS 和 RUSLE 模型的山地环境水土流失空间特征定量分析:以四川泸定县为例[J]. 地球与环境,2013,41(6):669-679.
- [17] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning [R]. Washington: Agriculture handbook, 1978.
- [18] Mccool D K, Brown L C, Foster G R, et al. Revised slope steepness factor for the universal soil loss equation[J]. Transactions of the ASAE, American Society of Agricultural Engineers(USA), 1987, 30(5):1387-1396.
- [19] Liu Baoyuan, Nearing M A, Risse M. Slope gradient effects on soil loss for steep slopes[J]. Transactions of the ASAE, 1994,37(6):1835-1840.
- [20] 李苗苗,吴炳方,颜长珍,等. 密云水库上游植被覆盖度的遥感估算[J]. 资源科学,2004,26(4):153-159.
- [21] 蔡崇法,丁树文,史志华,等. 应用 USLE 模型与地理信息系统 IDRISI 预测小流域土壤侵蚀量的研究[J]. 水土保持学报,2000,14(2):19-24.
- [22] 查良松,邓国徽,谷家川. 1992—2013 年巢湖流域土壤侵蚀动态变化[J]. 地理学报,2015,70(11):1708-1719.
- [23] 汤丽洁,舒畅. 基于 GIS 和 RS 的巢湖流域水土流失评估[J]. 水土保持通报,2013,33(1):305-308.
- [24] 王甜,黄志霖,曾立雄,等. 三峡库区退耕还林土壤侵蚀及养分流失控制:以兰陵溪小流域为例[J]. 水土保持研究,2018,25(5):83-88.
- [25] 曹艳,刘峰,包蕊,等. 西南丘陵山区坡耕地植物篱水土保持效益研究进展[J]. 水土保持学报,2017,31(4):57-63.
- [26] 杨青森,郑粉莉,温磊磊,等. 秸秆覆盖对东北黑土区土壤侵蚀及养分流失的影响[J]. 水土保持通报,2011,31(2):1-5.
- [27] 王志伟,朱捍华. 生态措施对亚热带丘陵区紫色土水土保持效应及机理[J]. 农业现代化研究,2011,32(2):226-229.