

沂蒙山区土壤侵蚀强度的垂直动态变化研究

刘前进^{1,2}, 于兴修^{1,2}, 王瑶^{1,2}, 蔡强国³

(1. 临沂师范学院, 山东 临沂 276005; 2. 山东省水土保持与环境保育重点实验室, 山东 临沂 276005; 3. 中国科学院 地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: 以具北方土石山区的典型特征的沂蒙山区为研究区, 以 TM 影像和地形图为源数据, 借助 GIS 和 RS 技术, 根据全国土壤侵蚀分类分级标准, 获取 1986 和 2004 年 2 期土壤侵蚀强度数据, 在垂直分布上分析了土壤侵蚀强度等级间转化的分布特征。结果表明, 1986—2004 年期间, 土壤侵蚀强度转化以向微度和相邻级别转化为主; 土壤侵蚀强度加剧的面积为 810.7 km², 占总面积 7.15%, 侵蚀强度减缓的面积为 1 913.8 km², 占总面积 16.88%, 在海拔 150~400 m 间土壤侵蚀加剧和减缓的面积分别占其总变化面积的 81.51% 和 73.43%。各等级土壤侵蚀强度面积随高程均呈现先增大后减小趋势, 且其峰值出现的高程随着侵蚀强度级别的增加而升高。微度、轻度和中度等级发生变化的高程范围随着转向侵蚀级别的增大呈升高趋势; 强度、极强度和剧烈转向微度等级的高程范围位置相对较低, 极强度和剧烈等级转向轻度和中度侵蚀的高程范围位置相对较高。

关键词: 土壤侵蚀; 动态变化; 垂直分布; 沂蒙山区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)05-0033-06

中图分类号: S157

Vertical Dynamic Change of Soil Erosion in Yimeng Mountainous Area

LIU Qian-jin^{1,2}, YU Xing-xiu^{1,2}, WANG Yao^{1,2}, CAI Qiang-guo³

(1. Linyi Normal University, Linyi, Shandong 276005, China; 2. Shandong Provincial Key Laboratory of Soil and Water Conservation & Environmental Protection, Linyi, Shandong 276005, China; 3. Institute of Geographical Science and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: This study aimed to explore the characteristics of the vertical distribution of the conversion between soil erosion degrees by taking the Yimeng mountainous area, one of the most representative areas in the rocky area of Northern China, as a case study. The study was based on the national standards for classification and gradation of soil erosion and supported by the GIS and RS technology and the data from Landsat TM image and relief map. Results showed that from 1986 to 2004, soil erosion was mainly converted to minimal degree and adjacent degrees. The area of aggravated soil erosion was 810.7 km² and the area of alleviated soil erosion was 1913.8 km², accounting for 7.15% and 16.88% of the total changed area, respectively. About 81.51% of the aggravated areas and 73.43% of the alleviated areas occurred between 150 and 400 m above mean sea level. The areas for all the soil erosion degrees ascended at first and then descended subsequently with rising elevation. Elevation for peak value of the erosion area rose with increased soil erosion degree. Elevation ranges for minimal, slight, and moderate erosion degrees rose with increased soil erosion degree. Locations of the elevation range from intense, very intense, and severe erosion to minimal degree were relatively low and those from very intense and severe erosion to moderate degree were relatively high.

Keywords: soil erosion; dynamic change; vertical distribution; Yimeng mountainous area

土壤侵蚀空间分布特征动态变化可以有效地揭示土壤侵蚀与环境因子的空间关系, 是国际上土壤侵蚀和景观生态学研究的热点之一^[1-2]。目前对土壤侵蚀

空间分布特征的研究, 从时间尺度上可分为静态研究和动态的研究, 从维度上可分为水平维度研究和垂直维度研究。静态研究以研究特定时刻土壤侵蚀空间分

收稿日期: 2009-11-19

修回日期: 2010-04-08

资助项目: 新世纪优秀人才支持计划“中尺度流域面源污染前置库控制技术”(NCET-08-0877); 山东省自然科学基金“鲁中南山地丘陵区水土保持生态修复模式研究”(Q2006E01), “鲁中南山地丘陵区水土流失强度景观格局动态变化研究”(Y2008E23); 山东省博士基金“鲁中南山地丘陵区农业非电源污染效应与土地利用结构优化研究”(2007BS08025)

作者简介: 刘前进(1979—), 男(汉族), 山东省安丘市人, 硕士, 副教授, 主要从事水土流失与 3S 应用研究。E-mail: liuqj_79@126.com。

布差异性及其影响因子为主,在坡度、坡向、土地利用、高程等对土壤侵蚀的影响及土壤侵蚀空间格局等方面取得了大量的研究成果^[3-7]。动态研究以研究不同时段土壤侵蚀面积等指标的变化为主,主要研究了土地利用、高程等对土壤侵蚀时空变化规律的影响^[8-12],但目前对土壤侵蚀垂直分布动态变化的研究较少^[13],尤其是在垂直分布上对土壤侵蚀强度等级间相互转化的研究鲜有报道。沂蒙山区是北方土石山区的典型代表,土壤表层疏松,夹杂石砾,土层浅薄,土壤涵蓄能力低,土壤侵蚀面积达 50%,是我国土壤侵蚀治理的重点区,土壤侵蚀动态变化的相关研究缺乏。

研究沂蒙山区土壤侵蚀强度等级间相互转化的高程分布规律,可以弥补以往只注重从水平方向上研究土壤侵蚀时空动态变化的不足,为进一步研究土壤侵蚀时空变异规律及其驱动因子奠定基础,可为该区治理水土流失提供科学依据,也可为北方土石山区的相关研究提供借鉴。

1 研究区概况

沂蒙山区位于山东省中南部,选取其中的苍山、费县、平邑、沂南、蒙阴和沂水共 6 个县为研究区。研究区面积 11 336 km²,人口密度为 497 人/km²,海拔 20~1 155 m,丘陵山地占 84%。土壤类型以褐土和棕壤为主;气候为暖温带季风大陆型气候,四季分明,气候温和,多年平均年降水量 824.8 mm,主要集中在 6—9 月。

沂蒙山区侵蚀地貌发育处于中年(偏老)至老年(偏壮)期,流域下游基本发育至老年期^[14-15]。地貌经过壮年期的发育,水系、坡地基本稳定,流域侵蚀缓和,地形基本稳定,低山丘陵与准平原共存,人类活动对侵蚀地貌的演化作用越来越大。地貌可以分为两类,一类是常规的地貌类型,另一类是岱崮地貌类型,以岱崮地貌类型为主。

常规地貌类型的侵蚀过程经历从降雨溅蚀、面蚀、沟蚀的过程,从坡顶到坡底发育有细沟、切沟和冲沟,典型的土地利用/覆被分布为林灌地、灌草地、果园至耕地过渡。在岱崮地貌类型上,由于崮顶与坡面高差大,崮顶来水对坡面冲刷剧烈,导致坡顶处岩石出露,在土层较深处发育有各级沟道,自上至下分布灌草地、果园和耕地,林灌地分布较少。

2 数据来源与处理

根据《土壤侵蚀分类分级标准》(SL190—96)^[16],借鉴相关学者研究成果^[6,17-18],在 ENVI 平台上解译 1986 年和 2004 年 TM 影像,获取土地利用数据,利用归一化植被指数提取植被覆盖度数据^[19];在研究区内布置 251 个验证点,利用野外调查、土地利用历史数据结合 1:10 万地形图对土地利用的分类精度进行评估,结果表明,1986 和 2004 年总体的分类精度分别为 89.61% 和 82.23%,满足分析需求。在 ArcGIS9 中数字化 1:10 万地形图,经插值生成空间分辨率为 30 m 的数字高程模型(DEM)。

在空间分析模块中生成并修正坡度图^[20];将坡度图、土地利用图和植被覆盖度图叠加,得到 1986 和 2004 年土壤侵蚀强度等级分布数据,土壤侵蚀强度共分为 6 级,即微度、轻度、中度、强度、极强度和剧烈。

在 ArcGIS 空间分析模块下,利用 DEM,以 50 m 为带宽划分高程带,鉴于高程 800 m 以上各带的面积均小于 10 km²,且总面积所占比例较小(0.17%),故大于 800 m 以上区域不予分析,因此共划分为 16 个高程带(表 1)。利用 ArcGIS 的叠加模块,将 2 期土壤侵蚀强度叠加并进行统计得到 1986—2004 年土壤侵蚀强度面积转移矩阵(表 2),并计算得到相应的转移率和生成率矩阵(表 3—4)。将高程带和土壤侵蚀强度变化数据叠加得到 1986—2004 年土壤侵蚀强度变化高程分布数据。

表 1 高程带划分及其面积

带号	高程范围/m	面积/km ²	面积比/%	带号	高程范围/m	面积/km ²	面积比/%
50	< 50	722.9	6.38	500	450~ 500	181.3	1.60
100	50~ 100	1 077.2	9.50	550	500~ 550	96.5	0.85
150	100~ 150	2 233.0	19.70	600	550~ 600	57.0	0.50
200	150~ 200	2 681.2	23.65	650	600~ 650	31.8	0.28
250	200~ 250	1 602.4	14.14	700	650~ 700	22.1	0.20
300	250~ 300	1 223.2	10.79	750	700~ 750	13.8	0.12
350	300~ 350	643.2	5.67	800	750~ 800	11.2	0.10
400	350~ 400	452.3	3.99	—	> 800	18.9	0.17
450	400~ 450	268.0	2.36	合计		11 336	100

3 结果与分析

3.1 土壤侵蚀强度的总体变化趋势

由表 2 可见, 微度和轻度侵蚀面积均增加, 其中以轻度侵蚀增加面积最大(523.5 km²), 变化率较高

(38.1%); 轻度、强度、极强度和剧烈侵蚀面积均减小, 减小面积以强度最大(378.1 km²), 减小比例以剧烈最大(60.2%)。

由此表明, 1986—2004 年土壤侵蚀程度明显减轻, 水土保持效果显著。

表 2 1986—2004 年土壤侵蚀强度面积转移矩阵

侵蚀等级	微度	轻度	中度	强度	极强度	剧烈	2004 年合计	变化量	变化率/%
微度	6 755.3	473.1	232.9	102.1	20.5	3.1	7 587.1	177.7	2.40
轻度	393.8	833.2	500.9	155.2	11.9	0.6	1 895.5	523.5	38.16
中度	173.8	61.5	592.1	271.6	98.8	13.0	1 210.8	- 178.5	- 12.85
强度	70.1	4.0	61.2	342.9	30.2	8.6	516.9	- 378.1	- 42.24
极强度	14.8	0.1	2.0	22.5	66.5	4.2	110.2	- 121.2	- 52.37
剧烈	1.5	0.0	0.2	0.8	3.4	9.6	15.5	- 23.5	- 60.21
1986 年合计	7 409	1 372	1 389	895	231	39	11 336	—	—

注: 变化量为 2004 年某一级土壤侵蚀强度的面积与 1986 年该级侵蚀强度面积的差值, 变化率为变化量与 1986 年相应级别土壤侵蚀强度面积的百分比。

表 3 为 1986—2004 年土壤侵蚀强度面积转移率矩阵。分析表 3 可知, (1) 侵蚀级别越高, 未发生转移的面积比率越低。各级土壤侵蚀强度未发生变化的比率由大到小分别为: 微度(91.17%) > 轻度(60.73%) > 中度(42.62%) > 强度(38.31%) > 极强度(28.74%) > 剧烈(24.51%)。 (2) 微度侵蚀主要转化为轻度和中度, 转移面积比例分别为 5.32% 和 2.35%。 (3) 对于轻度、中度和强度侵蚀区, 土壤侵蚀的转移以向相邻较低强度转移的比例较大。轻度土壤侵蚀有 34.48% 转移为微度侵蚀, 4.48% 转化为中度侵蚀; 中度土壤侵蚀以向轻度(36.05%) 和微度(16.77%) 转移为主; 强度侵蚀分别向较低侵蚀等级的转移率为中度(30.34%) > 轻度(17.34%) > 微度(11.41%), 向较高级别侵蚀转移率较低, 仅为 2.6%。 (4) 极强度和剧烈侵蚀向中度侵蚀等级转化的比例较大。极强度土壤侵蚀以向中度(42.72%) 转移为主, 其次是强度(13.07%)、微度(8.85%) 和轻度(5.13%), 转向剧烈等级的仅为 1.49%; 剧烈等级的转移率由大到小依次为中度(33.25%) > 强度(21.99%) > 极强度(10.80%) > 微度(7.95%) > 轻度(1.51%)。 (5) 研究区土壤侵蚀强度变化表明, 较低级别(微度、轻度) 土壤侵蚀转移率较小, 较高级别(剧烈、极强度和强度) 的土壤侵蚀景观受干扰而转移的程度较强。

的转入来源中, 邻近较高强度的转移占较大比例。轻度侵蚀面积中, 微度和中度转化而来的面积分别占 20.78% 和 26.42%; 中度面积的转入来源主要为强度(22.43%)、微度(14.35%) 和极强度(8.16%)。 (3) 强度、极强度和剧烈侵蚀的转入来源除了邻近较低强度的转化, 微度的转移占有较大比例。由微度、中度和极强度转移的面积分别占强度侵蚀面积的 13.56%, 11.84% 和 5.85%; 极强度面积中, 微度和强度转移面积占 13.45% 和 20.46%; 剧烈侵蚀面积由其它等级转化而来的面积达到了 38.41%, 以极强度侵蚀最多(22.17%), 其次是微度侵蚀(9.85%)。 (4) 结合表 3 可见, 微度土壤侵蚀转化为轻度、中度、强度、极强度和剧烈的比率虽然仅为 5.32%, 2.35%, 0.95%, 0.20% 和 0.02%, 但其绝对面积较大, 分别是相应等级侵蚀面积转入来源的 20.78%, 14.35%, 13.56%, 13.45% 和 9.85%, 因此防止微度土壤侵蚀向高级别土壤侵蚀转化, 对整个区域土壤侵蚀格局具有决定性的作用。

表 3 1986—2004 年土壤侵蚀强度面积转移率矩阵 %

侵蚀等级	微度	轻度	中度	强度	极强度	剧烈
微度	91.17	34.48	16.77	11.41	8.85	7.95
轻度	5.32	60.73	36.05	17.34	5.13	1.51
中度	2.35	4.48	42.62	30.34	42.72	33.25
强度	0.95	0.29	4.40	38.31	13.07	21.99
极强度	0.20	0.01	0.14	2.52	28.74	10.80
剧烈	0.02	0.00	0.01	0.08	1.49	24.51
1986 年合计	100	100	100	100	100	100

表 4 为 1986—2004 年土壤侵蚀强度面积转入率矩阵。由表 4 可知, (1) 微度土壤侵蚀转入面积主要由轻度和中度侵蚀转移而来, 轻度和中度侵蚀的转移面积分别占 6.24% 和 3.07%。 (2) 轻度和中度侵蚀

表 4 1986—2004 年土壤侵蚀强度面积转入率矩阵

%

侵蚀等级	微度	轻度	中度	强度	极强度	剧烈	2004 年合计
微度	89.04	6.24	3.07	1.35	0.27	0.04	100
轻度	20.78	43.96	26.42	8.19	0.63	0.03	100
中度	14.35	5.08	48.90	22.43	8.16	1.07	100
强度	13.56	0.76	11.84	66.33	5.85	1.66	100
极强度	13.45	0.13	1.79	20.46	60.34	3.83	100
剧烈	9.85	0.25	1.27	4.86	22.17	61.59	100

注: 转入率为其它等级侵蚀强度转化为某级侵蚀强度的面积与 2004 年某级侵蚀强度总面积的百分比。

3.2 土壤侵蚀强度随高程的变化特征

3.2.1 基本特征 统计空间叠加 1986 和 2004 年土壤侵蚀强度数据可知, 1986—2004 年, 共有 2 724.6 km² 的土壤侵蚀强度发生了变化, 占总面积的

24.03%, 其中侵蚀强度增高的面积为 810.7 km², 占总面积 7.15%, 侵蚀强度降低的面积为 1 913.8 km², 占总面积的 16.88%; 侵蚀强度没有发生变化的面积为 8 611.4 km², 占总面积的 75.97% (图 1)。

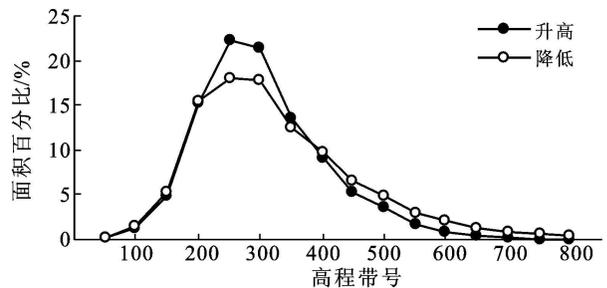
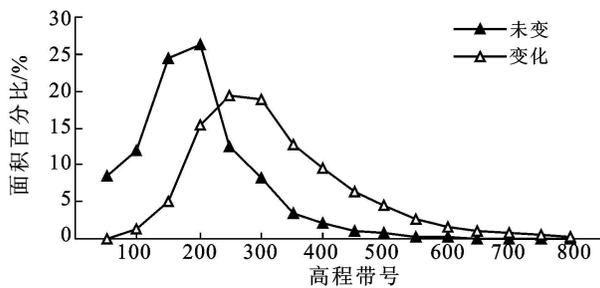


图 1 土壤侵蚀强度变化率高程分布

由图 1 可见, (1) 土壤侵蚀的变化曲线随高程的增大, 呈先升高后降低趋势, 但峰形和峰值位置不同。(2) 土壤侵蚀强度未发生变化的分布比发生变化的分布的位置低, 且集中程度较高。土壤侵蚀强度未发生变化的面积百分比随高程的分布曲线较发生变化的土壤侵蚀强度面积百分比曲线峰形较陡, 其峰值出现位置较低。在 50~ 250 带(海拔 < 250 m) 土壤侵蚀强度未发生变化的面积占未发生变化总面积的 83.66%; 在 200~ 400 带(海拔 150~ 400 m) 土壤侵蚀强度发生变化的面积占发生变化总面积的 75.83%。(3) 在 200~ 400 带(海拔 150~ 400 m) 土壤侵蚀强度升高比降低的位置分布集中。土壤侵蚀强度升高的面积百分比和土壤侵蚀强度降低的面积百分比的 5 个最大值与土壤侵蚀强度发生变化的面积百分比的分布均集中分布在 200~ 400 带, 其所占比例分别为 81.51% 和 73.43%。(4) 在高于 400 带(350 m) 处, 土壤侵蚀强度降低的面积百分比的值比土壤侵蚀强度升高的面积百分比的值大, 说明在海拔较高处土壤侵蚀减缓面积比例较大, 加剧面积比例较小, 表明高海拔处土壤侵蚀得到了较好的治理。(5) 尽管所研究的海拔范围为 20~ 800 m, 但是土壤侵蚀发生变化的高程范围很集中, 250 带(海拔 200~ 250

m) 处的变化最大, 其次主要是 300 带(250~ 300 m), 200 带(150~ 200 m), 350 带(300~ 350 m) 和 400 带(350~ 400 m)。

3.2.2 等级转化特征 将微度、轻度、中度、强度、极强度和剧烈等级的面积与高程带关系点绘如图 2。土壤侵蚀面积变化随高程具有明显的规律: (1) 各等级土壤侵蚀面积随高程均呈现先增大后减小趋势, 且其峰值出现的高程随着侵蚀强度级别的增加而增加, 表明侵蚀级别越高, 其所处的高程就越大。(2) 微度、轻度土壤侵蚀面积变大, 强度、极强度和剧烈土壤侵蚀面积减小, 中度土壤侵蚀面积变化复杂。微度土壤侵蚀面积呈小幅增大趋势, 其峰值出现的高程带由 150 变为 200 带; 轻度土壤侵蚀面积在 200 带之上呈明显增加趋势, 其峰值由 1986 年的 200 带变为 2004 年的 250 带, 曲线峰形变平缓; 中度土壤侵蚀面积在 50~ 400 带间减小, 在 400~ 800 带间增加, 峰值位置不变, 峰形变平缓; 强度土壤侵蚀面积在所有高程带上呈减小趋势, 以在高于峰值处减小幅度较大, 峰值位置由 350 带变为 300 带, 峰形变缓; 极强度土壤侵蚀面积和剧烈土壤侵蚀面积在所有高程带上均变小, 在高于峰值处的变化幅度较大, 峰形变缓, 峰值位置不变。

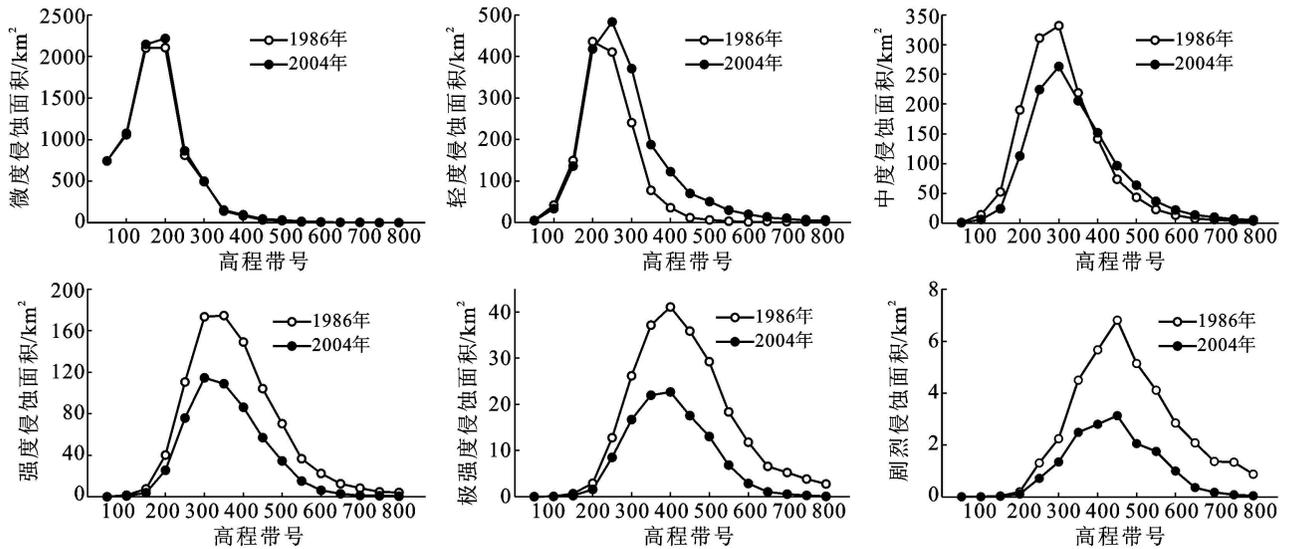


图 2 1986—2004 年土壤侵蚀强度面积高程分布

选取转化率最大的 5 个高程带(即跨度为 250 m)分析土壤侵蚀强度类型间转移的高程分布及其转移集中程度(见表 5)。从表 5 可以明显看出:(1) 侵蚀强度等级越高,其所对应的未发生变化的高程带范围(E_R)位置越高,面积转移比(C_R)值随侵蚀级别升高而减小。(2) 微度、轻度和中度等级的 E_R 随着转

向侵蚀级别的增大呈升高趋势;强度、极强度和剧烈等级转向微度等级的 E_R 位置相对最低,强度转向其它等级的 E_R 位置变化不显著,极强度和剧烈等级转向轻度和中度侵蚀的 E_R 位置相对较高。(3) C_R 以转向微度和相邻级别的数值较大;侵蚀级别越高,其转向其它级别的 C_R 值越小。

表 5 1986—2004 年土壤侵蚀强度面积转移高程分布

项目	微度侵蚀	轻度侵蚀	中度侵蚀	强度侵蚀	极强度侵蚀	剧烈侵蚀
微度侵蚀	E_R/m < 250	100~ 350	150~ 400	200~ 450	250~ 500	250~ 500
	$C_R/\%$ 93.02	86.33	81.65	83.50	81.09	78.07
轻度侵蚀	E_R/m 50~ 300	100~ 350	150~ 400	200~ 450	250~ 500	250~ 350; 450~ 600
	$C_R/\%$ 92.90	93.08	89.48	82.52	77.60	73.53
中度侵蚀	E_R/m 100~ 350	150~ 400	150~ 400	200~ 450	250~ 500	300~ 550
	$C_R/\%$ 83.71	80.18	86.42	83.69	75.32	69.01
强度侵蚀	E_R/m 150~ 400	250~ 500	200~ 450	200~ 450	250~ 500	250~ 500
	$C_R/\%$ 78.94	70.78	74.99	84.17	80.94	73.39
极强度侵蚀	E_R/m 200~ 450	300~ 550	300~ 550	250~ 500	250~ 500	300~ 550
	$C_R/\%$ 72.88	66.56	68.06	76.40	81.30	77.73
剧烈侵蚀	E_R/m 250~ 500	350~ 600	350~ 600	300~ 550	300~ 550	300~ 550
	$C_R/\%$ 68.58	65.76	61.17	67.85	74.83	75.89

注: E_R 为高程范围; C_R 为在 E_R 内,行转化为列所对应强度的转移面积占总转移面积的百分比;如,行为中度,列为微度,对应 E_R 为 100~ 350, C_R 为 83.71,表示在 100~ 350 m 范围内的中度侵蚀转为微度的面积占中度转为微度总面积的 83.71%;行与列侵蚀等级相同(即表中对角线上数据)表示在对应的高程带内该等级没有发生变化,如轻度的 E_R 为 100~ 350, C_R 为 93.08%,表明在 100~ 350 m 范围内未发生转移的轻度土壤侵蚀面积占未发生转移的轻度总面积的 93.08%。

3.3 影响因素

土地利用因子是影响土壤侵蚀的重要人为因素。分析土地利用变化垂直分布特征可以发现,土地利用类型间的转移具有明显的垂直分带性。选取转化率最大的 5 个高程带,统计土地利用类型间转移的高程分布及其转移集中程度见表 6。表 6 表明,土地利用

类型的转化集中在 50~ 400 m,其中林草地转化为耕地和其它用地的位置相对较高,在 100~ 350 m 之间,耕地面积变化量最大(- 1 741.73 km²),林草地变化率最高,为 72.70%。土地利用变化剧烈的高程区间(50~ 400 m)与土壤侵蚀强度变化幅度较大的高程范围(150~ 400 m)基本吻合,土地利用相对于土壤侵蚀

强度变化的范围要大,其在较低海拔处($< 100\text{ m}$)有一定分布。统计分析表明,在低于 100 处,土地利用变化以耕地转化为其它用地为主。由于其它土地利

用类型在《土壤侵蚀分类分级标准》(SL190—96)中定为微度土壤侵蚀。因此可以推断,土地利用变化对土壤侵蚀强度的垂直分布变化具有决定性的作用。

表 6 1986—2004 年土地利用面积转移矩阵

项目	林草地	耕地	其它	2004 面积合计	变化量	变化率/ %	
林草地	面积/ km^2	673.07	1 738.40	404.84	2 816.31	1 185.57	72.70
	E_R/m	150~ 400	100~ 350	100~ 350	—	—	—
	$C_R/\%$	56	78	79	—	—	—
耕地	面积/ km^2	719.67	4 743.87	757.05	6 220.59	- 1 741.73	- 21.87
	E_R/m	100~ 350	50~ 300	50~ 300	—	—	—
	$C_R/\%$	67	81	83	—	—	—
其它	面积/ km^2	237.99	1 480.05	581.05	2 299.09	556.16	31.91
	E_R/m	50~ 300	50~ 300	50~ 300	—	—	—
	$C_R/\%$	76	88	92	—	—	—
1986 年面积合计	1 630.74	7 962.33	1 742.93	11 336.00	—	—	

注:土地利用类型按照《土壤侵蚀分类分级标准》(SL190-96)中规定划分。

4 结论

本研究试从垂直分布上,探讨土壤侵蚀强度时空变化,为进一步定量研究人类活动与自然因素变化对土壤侵蚀的影响提供借鉴,研究结果表明:

(1) 1986—2004 年近 20 a 间,微度侵蚀主要转化为轻度和中度侵蚀;对于轻度、中度和强度侵蚀区,土壤侵蚀的转移以向相邻较低强度转移的比例较大;极强度和剧烈侵蚀向中度侵蚀等级转化的比例较大。轻度和中度侵蚀的生成来源中,邻近较高强度的转移占较大比例;强度、极强度和剧烈侵蚀的生成来源除了邻近较低强度的转化,微度的转移也占有较大比例。

(2) 研究区共有 2 724.6 km^2 的土壤侵蚀强度发生了变化,占总面积的 24.03%,侵蚀强度增大的面积为 810.7 km^2 ,占总面积 7.15%,侵蚀强度降低的面积为 1 913.8 km^2 ,占总面积的 16.88%。在海拔 150~ 400 m 间土壤侵蚀加剧和减缓的面积分别占其总变化面积的 81.51% 和 73.43%,表明土壤侵蚀强度升高比降低的位置分布要集中。

(3) 各等级土壤侵蚀面积随高程均呈现先增大后减小趋势,且其峰值出现的高程随着侵蚀强度级别的增加而升高。1986—2004 年期间,微度土壤侵蚀面积在 150~ 200 带间,轻度土壤侵蚀面积在大于 200 带处,中度土壤侵蚀面积在 400~ 800 带间呈增加趋势,强度、极强度和剧烈土壤侵蚀呈减小趋势。

(4) 侵蚀强度等级越高,其所对应的未发生变化的高程带范围(E_R)位置越高,面积转移比(C_R)则越小,表明土壤侵蚀分布的位置越高,集中程度越小;微度、轻度和中度等级发生变化的高程范围(E_R)随着转

向侵蚀级别的增大呈升高趋势;强度、极强度和剧烈转向微度等级的高程范围(E_R)位置相对最低,强度转向其它等级的高程范围(E_R)位置变化不显著,极强度和剧烈等级转向轻度和中度侵蚀的高程范围(E_R)位置相对较高。面积转移比(C_R)以转向微度和相邻级别的数值较大;侵蚀级别越高,其转向其它级别的面积转移比(C_R)值越小。

(5) 土地利用变化具有明显的垂直分异性,其变化剧烈的高程区间与土壤侵蚀强度变化幅度较大的高程范围较为一致。因此,在垂直维度上,深入定量分析土地利用变化对土壤侵蚀的影响将具有重要意义。

[参 考 文 献]

- [1] 邱扬,傅伯杰.异质景观中水土流失的空间变异与尺度变异[J].生态学报,2004,24(2):330-337.
- [2] 许月卿,蔡运龙.贵州省猫跳河流域土壤侵蚀量计算及其背景空间分析[J].农业工程学报,2006,22(5):50-54.
- [3] 韩富伟,张柏,宋开山,等.长春市土壤侵蚀潜在危险度分级及侵蚀背景的空间分析[J].水土保持学报,2007,21(1):39-43.
- [4] 花利忠,贺秀斌,朱波.川中丘陵区小流域土壤侵蚀空间分异评价研究[J].水土保持通报,2007,27(3):111-114.
- [5] 姚华荣,杨志峰,崔保山.GIS支持下的澜沧江流域云南段土壤侵蚀空间分析[J].地理研究,2006,25(3):421-429.
- [6] Xu Y Q, Peng J, Shao X M. Assessment of soil erosion using RU SLE and GIS: a case study of the Maotiao River watershed, Guizhou Province, China[J]. Environment Geology, 2009, 56: 1643-1652.
- [7] 沈中原,李占斌,杜中,等.大理河流域土壤侵蚀空间分布的地貌特征研究[J].水土保持学报,2008,22(5):79-81.

(下转第 87 页)

量、pH 值、全盐含量分别为 162.40, 6.83 和 3.51 g/kg, 与油松比较, 分别降低了 16.24, 0.68, 0.70 g/kg; 与侧柏比较, 分别降低了 34.10, 0.91 和 1.12 g/kg。分析这一结果产生的原因, 一是青海云杉林木密度、郁闭度大, 地表枯落物累积厚度和枯落物累积干质量

比油松、侧柏大, 因而提高了土壤的有机质和 CEC。二是青海云杉根系多, 土壤疏松, 孔隙度大, 雨水的淋溶强度大, CaCO₃ 向下淋溶后降低了土壤的 pH 和全盐。处理间的差异显著性经 LSR 检验达到显著和极显著水平(表 5)。

表 5 不同树种对土壤化学性质的影响

林分	采样深度/ cm	有机质含量/ (g · kg ⁻¹)	CEC/ (cmol · kg ⁻¹)	pH 值	CaCO ₃ 含量/ (g · kg ⁻¹)	全盐/ (g · kg ⁻¹)
青海云杉	0—40	172.40aA	28.15aA	6.83cA	162.40cC	3.51cA
油松	0—40	129.30bB	23.93bB	7.51bA	178.64bB	4.21bA
侧柏	0—40	100.85cC	20.34cC	7.74aA	196.50aA	4.63aA

3 结论

青海云杉、油松、侧柏 3 种树种的土壤理化性质和来源涵养功能具有明显的差异。土壤孔隙度、团粒结构、物理性黏粒变化顺序为青海云杉> 油松> 侧柏, 而土壤容重、物理性砂粒变化顺序为侧柏> 油松> 青海云杉; 土壤有机质、CEC 变化顺序为青海云杉> 油松> 侧柏, 而 CaCO₃ 含量、pH 值、全盐变化顺序为侧柏> 油松> 青海云杉。土壤蓄水量和树种枯落物持水量变化顺序为青海云杉> 油松> 侧柏。

[参 考 文 献]

[1] 中国科学院兰州沙漠研究所河西考察队. 甘肃省河西地区水土资源的合理开发利用[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 2-8.

[2] 张万儒. 森林土壤分析方法[M]. 北京: 中国标准出版社, 1999: 56-68.

[3] 安韶山, 常庆瑞, 李壁成. 不同林龄植被培肥改良土壤效益研究[J]. 水土保持通报, 2001, 21(3): 75-77.

[4] 张社奇, 王国栋, 时新玲. 黄土高原油松人工林地土壤水分物理性质研究[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(1): 60-63.

[5] 林德喜, 樊后保, 苏兵强. 马尾松下套种阔叶林对土壤理化性质的影响[J]. 土壤学报, 2004, 41(4): 655-659.

[6] 庞学勇, 刘世全, 刘庆. 川西亚高山人工云杉林有机物和养分库的退化与调控[J]. 土壤学报, 2004, 41(1): 126-132.

[7] 郑祥, 鲍毅新, 孔军苗. 金华北山阔叶林大型土壤动物群落的初步研究[J]. 土壤, 2005, 37(5): 551-554.

[8] 于东升, 史学正, 王洪杰, 等. 发生分类高山土与系统分类参比特征[J]. 土壤, 2005, 37(6): 613-619.

(上接第 38 页)

[8] 李月臣, 刘春霞, 赵纯勇, 等. 三峡库区重庆段水土流失的时空格局特征[J]. 地理学报, 2008, 63(5): 502-513.

[9] 张明阳, 王克林, 陈洪松. 基于 RS 和 GIS 的喀斯特区域水土流失动态监测与分析: 以广西环江县为例[J]. 资源科学, 2007, 29(3): 124-131.

[10] 许月卿, 彭建. 贵州猫跳河流域土地利用变化及其对土壤侵蚀的影响[J]. 资源科学, 2008, 30(8): 1218-1225.

[11] 邱扬, 傅伯杰, 王军, 等. 黄土丘陵小流域土壤侵蚀的时空变异及其影响因子[J]. 生态学报, 2004, 24(9): 1872-1877.

[12] 梁音, 潘贤章, 孙波. 42 年来兴宁县土壤侵蚀时空变化规律研究[J]. 水土保持通报, 2006, 26(6): 24-24.

[13] 陈利顶, 刘洋, 吕一河, 等. 景观生态学中的格局分析: 现状、困境与未来[J]. 生态学报, 2008, 28(11): 5521-5531.

[14] 姜鲁光, 张祖陆. 基于地貌演进背景的流域自然与人为侵蚀定量评估: 以鲁中南山地为例[J]. 山地学报, 2005, 23(4): 462-468.

[15] 孙希华, 姚孝友, 周虹, 等. 基于 DEM 的山东沂沭泗河流域地貌演化与水土流失研究[J]. 水土保持通报, 2005, 25(4): 24-28.

[16] 中华人民共和国水利部. 土壤侵蚀分类分级标准 SL190-96[J]. 北京: 中国水利水电出版社, 1997.

[17] 岳彩英, 田昆, 徐天蜀. 利用卫星遥感和 GIS 技术进行昭通地区土壤侵蚀调查研究[J]. 水土保持通报, 2003, 23(2): 36-39.

[18] 谭炳香, 李增元, 王彦辉, 等. 基于遥感数据的流域土壤侵蚀强度快速估测方法[J]. 遥感技术与应用, 2005, 20(2): 215-220.

[19] 彭征, 廖和平, 郭月婷, 等. 山地城市土地覆盖变化对地表温度的影响[J]. 地理研究, 2009, 28(3): 674-684.

[20] Yang Q K, David JUPP, Li Rui, et al. Re-scaling lower resolution slopes by histogram Matching. Advances in Digital Terrain Analysis[M]. Springer Berlin Heidelberg, 2008: 193-210.