

黄土高原森林草原区退耕还林还草 土壤保持效应评估

薛亚永^{1,2}, 王晓峰^{1,3}

(1. 长安大学地球科学与资源学院, 陕西 西安 710054; 2. 中国科学院生态环境研究中心城市与区域国家生态重点实验室, 北京 100085;
3. 陕西省灾害监测与机理模拟重点实验室, 陕西 宝鸡 721016)

摘要: 黄土高原地处生态过渡带和环境脆弱区, 区内大范围的土壤侵蚀严重影响了当地的生态环境。以黄土高原森林草原区为研究对象, 应用修正通用土壤流失方程, 根据 2000、2005、2010 年气象数据及土地利用等数据, 从不同坡度、植被覆盖度、土地利用类型评估了黄土高原森林草原区退耕还林还草工程的土壤保持效应。结果表明, (1) 随着退耕还林还草工程的实施, 林地和草地面积明显增加, 分别增加 2 219.41 km²、2 205.27 km², 研究区植被覆盖度逐渐改善。(2) 2000—2010 年土壤保持量增加 2.41 亿 t, 单位面积土壤保持量由 3 033.15 t·km⁻²·a⁻¹ 增加至 5 114.86 t·km⁻²·a⁻¹, 土壤保持效应显著提升。(3) 研究区土壤保持效应与植被覆盖度呈正相关关系, 在不同土地利用类型中, 林地、草地和耕地具有较高的土壤保持效应, 单位面积土壤保持量分别为 5 405.57、3 598.41、3 078.81 t·km⁻²·a⁻¹。退耕还林还草工程的实施提升了区域的土壤保持效应, 但是, 区内东北部由于矿产资源开采导致的植被破坏、地表塌陷以及土壤侵蚀问题亟待解决。

关键词: 退耕还林还草工程; 土壤保持效应; 修正通用土壤流失方程; 黄土高原

中图分类号: S157.2 **文献标志码:** A

Evaluation on soil conservation effect of returning cropland to forest and grassland in forest-steppe zone of loess plateau

XUE Ya-yong^{1,2}, WANG Xiao-feng^{1,3}

(1. School of Earth Science and Resources, Chang'an University, Xi'an, Shaanxi 710054, China;

2. State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Centre for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China; 3. Shaanxi Key Laboratory of Disasters Monitoring & Mechanism Simulation, Baoji, Shaanxi 721016, China)

Abstract: As an ecological transition zone and fragile eco-environmental region, Loess Plateau has suffered severe and large-scale soil erosion, and which has in turn greatly affected regional environment. In our study, on the basis of 2000, 2005 and 2010 meteorological data, soil conservation benefits under different slope gradients, vegetation coverage and land-use types were separately assessed with the method of Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) at the forest-steppe zone of Loess Plateau. By analyzing, the main conclusions (results) were as follows: (1) Since the implementation of Grain for Green Project in 1999, the total vegetation coverage of the study area has gradually increased, and the area of woodland and grassland have also significantly increased, with increment of 2 219.41 km² and 2 205.27 km² respectively. (2) From 2000 to 2010, soil conservation quantity increased by 241 million ton, and soil conservation quantity per unit area increased from 3 033.15 t·km⁻²·a⁻¹ to 5 114.86 t·km⁻²·a⁻¹, indicating a remarkable improvement of regional soil conservation benefits. (3) Soil conservation benefits were positively correlated to vegetation coverage. In different land use types, woodland, grassland and cultivated land had much higher soil conservation benefits than others, whose soil conservation quantity per unit area of 5 405.57, 3 598.41 t·km⁻²·a⁻¹ and 3 078.81 t·km⁻²·a⁻¹ respectively. Soil conservation benefits of the study area have notably improved in the help of Grain for Green Project, however

收稿日期: 2016-05-13 修回日期: 2016-06-14

基金项目: 国防科工委重大专项(30-Y30B13-9003-14/16); 陕西省自然科学基金(2014JM5211); 陕西省教育厅重点实验室科研计划项目(14JS010)

作者简介: 薛亚永(1990—), 男, 甘肃平凉人, 硕士, 研究方向为生态遥感及气候变化。E-mail: xueyayong123@163.com。

通信作者: 王晓峰, 男, 陕西西安人, 博士, 副教授, 主要从事生态遥感及建模方面的研究。E-mail: wangxf@chd.edu.cn。

there is a series of serious problems of vegetation deterioration, surface subsidence and soil erosion caused by exploitation of mineral resources in northeastern part of this area. More measures should be taken to harmonize the exploitation activities with ecological restoration.

Keywords: grain for green project; soil conservation benefits; RUSLE; Loess Plateau

黄土高原地处半湿润区和干旱半干旱区的过渡地带,是我国乃至世界上水土流失最严重、土壤侵蚀规律最复杂的地区之一^[1-3]。严重的土壤侵蚀不仅造成土地退化,同时还直接影响区域生态系统的服务功能和社会经济的可持续发展^[4-6]。该区域严重的土壤侵蚀是自然环境与人类活动共同作用的结果,其中人类不合理的土地利用方式是造成土壤侵蚀加剧的重要因素^[7-8]。减轻和防治土壤侵蚀是世界性的课题,在控制土壤侵蚀的多种措施中,生物措施尤其植被种植受到人们的广泛关注^[9]。为有效控制土壤侵蚀,恢复生态环境,我国于1999年实施了最大规模的退耕还林还草工程。作为重要的生态过渡带,黄土高原森林草原区,生态环境脆弱,水土流失严重,不仅是气候变化的敏感区,更是黄土高原生态环境建设的重点区域^[10]。因而,科学评估退耕还林还草工程的生态环境效应对区域生态环境的恢复与建设有着重要意义。近年来,国内学者主要从植被恢复^[11-13]、土壤改良^[14-16]、粮食安全^[17-18]等方面对黄土高原退耕还林还草的生态效益进行评估研究,然而对土壤保持效应的生态评估工作相对较少。另外,在实际评估中,由于土壤侵蚀的空间异质性造成水土流失率难以确定,使得较大规模尺度上的泥沙沉积量不易确定,而土壤流失模型(例如:USLE, RUSLE, LISEM, WEPP, PESERA 和 EROSION-3D)的开发成为模拟土壤流失的有效方法。其中修正通用土壤流失方程(RUSLE)是目前应用最广泛、具有较好实用性的土壤流失遥感定量模型^[19-21]。因此,本文选取黄土高原森林草原区为研究对象,利用修正通用土壤流失方程(RUSLE),定量评估黄土高原森林草原区退耕还林还草的土壤保持效应,旨在为黄土高原生态系统的可持续发展提供决策支持。

1 数据来源及研究方法

1.1 研究区域概况

黄土高原森林草原区位于105°01'~112°21'E, 34°01'~38°13'N,包括山西、陕西、甘肃、宁夏四省(自治区)60个区县,面积约11.60万km²,占黄土高原总面积的19.5%(见图1)。本区地处黄河中游丘陵沟壑地带,有黄河、泾河、渭河等黄河支流穿流而

过,是黄土高原和黄河流域重要的水源区。区内地形破碎,沟壑纵横,平均海拔高程1200~1600m;气候属半湿润区和半干旱区气候过渡带,年均气温4.3℃~14.3℃,年均降雨量400~776mm,年内分布不均,60%~70%的降雨量集中在6—9月份,且以暴雨为主。该区既属于黄土高原半湿润—半干旱气候森林草原生态类型区^[10],又是黄土高原人工乔灌木适生区^[22],植被分布具有海拔和坡度分异规律,主要乔木有柴松、油松和辽东栎等;灌木有沙棘和虎榛子;草本植物则以艾蒿和铁秆蒿等蒿属为主。土壤类型为黑垆土和面积坡沟残积的黄绵土,土层深厚,土质疏松,易受水力和重力侵蚀,水土流失严重。区内藏有丰富的煤、石油、天然气能源和金属资源。

1.2 数据来源及处理

本研究的数据主要包括2000、2005、2010年气象数据、土壤类型数据、数字高程模型(DEM)、MODIS数据、土地利用类型数据等。土壤类型数据来自中国科学院南京土壤研究所土壤分中心的1:100万土壤数据集(<http://www.soil.csdb.cn>)。DEM数据来自我国30m分辨率数字高程数据产品(SRTM-DEM数据产品)。根据研究区地形坡度特征,将坡度分为5级,分别是0~3°、3~5°、5~8°、8~15°、>15°。植被覆盖度数据基于250m分辨率的MOD13A2数据产品,通过MRT、ArcGIS和ENVI软件对其进行合成、投影、剪裁后由像元二分模型计算得出。参照刘宪锋等^[23]研究结果,并结合研究区实际情况,将植被覆盖度分为5个等级,分别是极低覆盖度(<10%),低覆盖度(10%~30%),中等覆盖度(30%~50%),高覆盖度(50%~70%),极高覆盖度(>70%)。土地利用数据是30m分辨率的栅格数据,土地利用类型分为林地、草地、耕地、湿地、人工表面(居民、工矿和交通用地)。其它用地,数据来源于中国科学院生态环境研究中心全国生态环境10a变化评估数据库(<http://wps1.gscloud.cn/index.shtml>)。将土壤保持量与坡度、植被覆盖度和土地利用类型在ArcGIS中进行叠加,分析土壤保持量的变化特征。

1.3 研究方法

修正通用土壤流失方程(RUSLE)估算土壤保持

量是通过无植被覆盖的潜在土壤侵蚀量和实际土地覆盖的土壤侵蚀量之差来获取。计算公式为:

$$A_c = A_p - A_r = R \times K \times LS \times (1 - C_F \times P_F) \quad (1)$$

式中, A_c 为单位面积土壤保持量($t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$); A_p 为单位面积土壤潜在侵蚀量($t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$); A_r 为单位面积实际土壤侵蚀量($t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$); R 为降雨侵蚀力因子($MJ \cdot mm \cdot km^{-2} \cdot h^{-1} \cdot a^{-1}$); K 为土壤可蚀性因子($t \cdot km^2 \cdot h \cdot km^{-2} \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$); L 、 S 为坡长、坡度因子(无量纲); C 为地表植被覆盖因子(无量纲); P 为土壤保持措施因子(无量纲)^[24]。

(1) 降雨侵蚀力(R)

R 因子采用 Wischmeier 等提出的利用各月降雨量推求的经验公式, 计算公式为:

$$R = \sum_{i=1}^{12} 1.735 \times 10^{1.5 \lg(p_i^2/p) - 0.08188} \quad (2)$$

其中, R 为降雨侵蚀力因子($MJ \cdot mm \cdot km^{-2} \cdot h^{-1} \cdot a^{-1}$); p 为年降雨量(mm); p_i 为月降雨量(mm); i 为月份^[25]。

(2) 土壤可蚀性(K)

表征土壤性质对侵蚀敏感程度的指标, 采用 Williams 模型估算方法。计算公式为:

$$K = (0.2 + 0.3 \exp(-0.0256 SAN(1 - \frac{SIL}{100})) (\frac{SIL}{CLA + SIL})^{0.3} (1 - \frac{0.25C}{C + \exp(3.72 - 2.95C)}) \times (1 - \frac{0.7SNI}{SNI + \exp(-5.51 + 22.9SNI)}) \times 0.1317 \quad (3)$$

式中, SAN 、 SIL 和 CLA 分别是砂粒、粉粒和粘粒含量(%); $SNIC$ 为土壤有机碳含量(%)^[26]。

(3) 坡度、坡长因子(L 、 S)

地形是导致土壤侵蚀发生的直接诱导因子, 坡长、坡度因子(L 、 S) 反映了地形坡度和坡长对土壤侵蚀的影响。采用通用水土流失方程中的坡长指数 L 的计算方法计算坡长因子。

计算公式为:

$$L = (\lambda/22.1)^m \quad (4)$$

式中, λ 为坡长(m); m 为坡长效应指数, 当坡度 $< 1^\circ$ 时, $m = 0.2$; 坡度 $1 \sim 3^\circ$, $m = 0.3$; 坡度 $3 \sim 5^\circ$, $m = 0.4$; 坡度 $> 5^\circ$, $m = 0.5$ ^[27]。

坡度因子计算公式为:

$$s = \begin{cases} 10.8 \sin\theta + 0.03 & \theta < 5^\circ \\ 16.8 \sin\theta - 0.50 & 5^\circ \leq \theta < 10^\circ \\ 21.9 \sin\theta - 0.96 & \theta \geq 10^\circ \end{cases} \quad (5)$$

式中, S 为坡度因子, θ 为坡度值($^\circ$)^[28]。

(4) 植被因子(C)

C 因子采用蔡崇法等的方法计算。计算公式为:

$$f = \frac{NDVI - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}} \quad (6)$$

$$C = \begin{cases} 1 & f = 0 \\ 0.6508 - 0.3436 \ln f & 0 < f \leq 78.3\% \\ 0 & f > 78.3\% \end{cases} \quad (7)$$

式中, C 为植被因子; f 为植被覆盖度; $NDVI$ 为归一化植被指数; $NDVI_{\max}$ 、 $NDVI_{\min}$ 分别为最大值最小值^[29]。

(5) 水土保持措施因子(P)

P 是指实施土壤保持措施后, 土壤流失量相对于顺坡种植时土壤流失量的比例, 取值范围为 $0 \sim 1$, 在不发生侵蚀的地区 P 值取 0, 而未采取任何保护措施的地区 P 值取 1。研究区的主要土壤保持措施为淤地坝和梯田, 但该数据由于遥感数据的尺度很难反映, 故在本文中 P 值定为 1^[28]。

2 结果分析

2.1 研究区土地利用类型变化分析

研究区土地利用类型以林地、草地和耕地为主, 三者占区域土地面积的 90% 以上(表 1)。2000—2010 年, 因退耕还林还草工程的实施, 土地利用类型发生显著变化, 大量耕地退耕为林地和草地, 退耕面积达 4 424.68 km², 占研究区面积的 3.8%。2000—2005 年退耕还林还草工程初期, 退耕区域广泛, 退耕强度较大, 退耕面积占总退耕面积的 80.97%, 其中退耕林地和草地分别为 1 415.84、2 360.01 km²。2005—2010 年, 随着退耕还林还草工程的不断深入, 区域内适宜退耕还林还草的坡耕地、未利用土地的面积不断减少, 退耕强度逐渐减缓。在退耕还林还草的同时, 人工表面的增加也较为显著, 2000—2010 年人工表面增加 227.95 km², 其主要原因是随着经济的快速发展和城镇化建设的不断推进, 居民用地与工矿用地的扩张, 成为人工表面增加的主要方式, 其中工矿用地的开发主要集中分布于研究区东北部的山西省孝义市和汾西县。

2.2 研究区植被覆盖度变化分析

研究区 2000—2010 年植被覆盖度明显增加(图 2), 平均植被覆盖度由 36.41% 增加至 40.08%, 大部分区域为低覆盖度和中等覆盖度程度, 极高和极低植被覆盖度面积较少, 其中低植被覆盖度面积由 51 643 km² 减少到 30 895 km², 减少 40.17%。减少区域主要集中在陕西省志丹县、安塞县、延川县以及

甘肃省镇原县等地;中等植被覆盖度面积由 37 089 km² 增加到 57 054 km²,增加区域主要分布在陕西省榆林市的志丹县、延川县和延长县等;高植被覆盖度面积增加相对较少,主要增加区域分布于山西吕梁山一带、陕西黄陵县子午岭国家级自然保护区和黄龙县的褐马鸡自然保护区、陇县秦岭细鳞鲑国家级

自然保护区,以及甘肃麦积区;极高植被覆盖度则零星分布于子午岭和黄龙山保护区内。截至 2010 年,除陕西清涧县、子洲县和绥德县以及甘肃镇原县和彭德县外,大部分地区的植被覆盖度均有明显提高,植被恢复效果显著。

表 1 2000—2010 年研究区土地利用类型概况

Table 1 Variation of land-use types at the forest-steppe zone of Loess Plateau in 2000—2010

土地利用类型 Land-use types	2000 年		2005 年		2010 年	
	面积/km ² Area	所占比重/% Proportion of the total	面积/km ² Area	所占比重/% Proportion of the total	面积/km ² Area	所占比重/% Proportion of the total
林地 Wood land	37377.92	32.24	38793.76	33.46	39597.33	34.15
草地 Grass land	37485.54	32.33	39851.55	34.37	39690.81	34.23
湿地 Marsh	223.47	0.19	241.74	0.21	198.85	0.17
耕地 Cropland	39578.37	34.13	35710.38	30.80	34972.23	30.16
人工表面 Artificial surface	1169.72	1.01	1247.61	1.08	1399.47	1.21
其它 Others	115.57	0.10	105.55	0.09	91.90	0.08

2.3 研究区土壤保持效应评估

2000—2010 年土壤保持效应显著增加(图 3),土壤保持量共增加 2.41 亿 t,其中 2000—2005 年,单位面积土壤保持量由 3 033.15 t·km⁻²·a⁻¹增加至 3 902.11 t·km⁻²·a⁻¹,2010 年增加至 5 114.86 t·km⁻²·a⁻¹,与 2000 相比增加了 2 081.71 t·km⁻²·a⁻¹。研究区东南部土壤保持效应较高,主要包括陕西黄陵县、黄龙县、宜川县,2010 年单位面积土壤保持量均为 6 000 t·km⁻²·a⁻¹;研究区北部及东北部土壤保持量较低,主要包括陕西绥德县、子洲县以及山西孝义市、汾西县等地,单位面积土壤保持量不足 2 000 t·km⁻²·a⁻¹。随着退耕还林还草工程的实施,绥德县、子洲县土壤保持能力显著提升,单位面积土壤保持量分别由 1 170.64、907 t·km⁻²·a⁻¹增加到 2 555.60、2 370.62 t·km⁻²·a⁻¹,而孝义市、汾西县单位面积土壤保持量未有明显变化,分别为 25 589.14、1 997.22 t·km⁻²·a⁻¹。其主要原因可能是山西孝义市和汾西县含有大量的煤矿,在退耕还林还草工程建设的过程中,当地煤炭资源的开采破坏了地表植被,造成地表破碎化,加剧了区域土壤侵蚀。

2.3.1 不同坡度梯度的土壤保持效应 土壤保持效应随坡度的增加而提高(图 4)。在 0~3°区域内单位面积土壤保持量最小,在坡度 > 15°区域,单位面积土壤保持量较大,并且在 2010 年高达 12 588.85 t·km⁻²·a⁻¹。因此,合理治理坡度较大的区域,可以有效提高区域的土壤保持能力。2000—2005 年各坡

度梯度上的单位面积土壤保持量未有明显变化,主要原因是退耕还林还草工程初期,人工植被分布稀疏未能在地表形成良好覆盖,因此在不同坡度梯度上土壤保持效应差异较小。在 2005—2010 年,单位面积土壤保持量明显增大,平均增量为 2 000 t·km⁻²·a⁻¹。因为,在 2005—2010 年,退耕还林还草力度明显降低,土地利用变化趋于稳定。前期退耕还林还草的人工植被逐年生长,在地表上层起到很好的郁闭作用,稳固土壤表层,使得此时期内土壤保持效应显著提高。

2.3.2 不同植被覆盖度的土壤保持效应 区域内植被覆盖度的改善对土壤保持效应起到重要作用。随着植被覆盖度的增大,单位面积土壤保持量呈增加趋势(表 2)。在极低植被覆盖区,单位面积土壤保持量显著低于其它覆盖区。植被覆盖度由低增加至中等时,单位面积土壤保持量有所增加,当增加至高覆盖度时,单位面积土壤保持量明显增多。2000—2010 年,随着植被覆盖度的增大,单位面积土壤保持量均呈增加趋势,并且随着年限的增长趋势越明显。在极低覆盖度和低覆盖度区域内单位面积土壤保持量增量较少,分别增加了 414.1 t·km⁻²·a⁻¹、993.42 t·km⁻²·a⁻¹,在高覆盖度区单位面积土壤保持量增量最多,增加 2 356.69 t·km⁻²·a⁻¹。因此植被覆盖度的增加,对于土壤保持效应的提高至关重要。

2.3.3 不同土地利用类型的土壤保持效应 在各

土地利用类型中林地(5 405.57 t·km⁻²·a⁻¹)、草地(3 598.41 t·km⁻²·a⁻¹)和耕地(3 078.81 t·km⁻²·a⁻¹)单位面积的土壤保持量明显高于其它土地利用类型。其中林地显著高于草地和耕地,其它用地(3 027.97 t·km⁻²·a⁻¹)和人工表面(2 938.21 t·km⁻²·a⁻¹)差异较小,湿地(2 626.91 t·km⁻²·a⁻¹)最低(图 5)。森林的冠层对降水有阻截作用,枯枝落叶层具有节流作用。此外,研究区属于黄土高原半湿润和半干旱的过渡带,生物气候及土壤水分条件适宜乔冠木的生长,并且分布着陕西省子午岭国家自然保护区、山西省庞泉沟国家级自然保护区以及多处省市县级自然保护区,能够有效保护区域内的森林及自然植被。因此,在研究区内森林具有较高的土壤保持效应。相比之下,草地和耕地对降水不具有阻截作用,不能很好地阻抗降水对地表的冲刷,仅对地表土壤有一定的稳固作用,因此草地和耕地

的保持效应略低于林地。

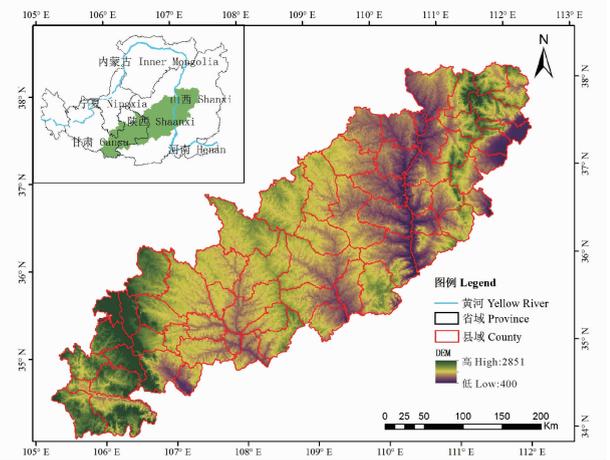


图 1 黄土高原森林草原区范围

Fig. 1 The scope of the forest-steppe area of Loess Plateau

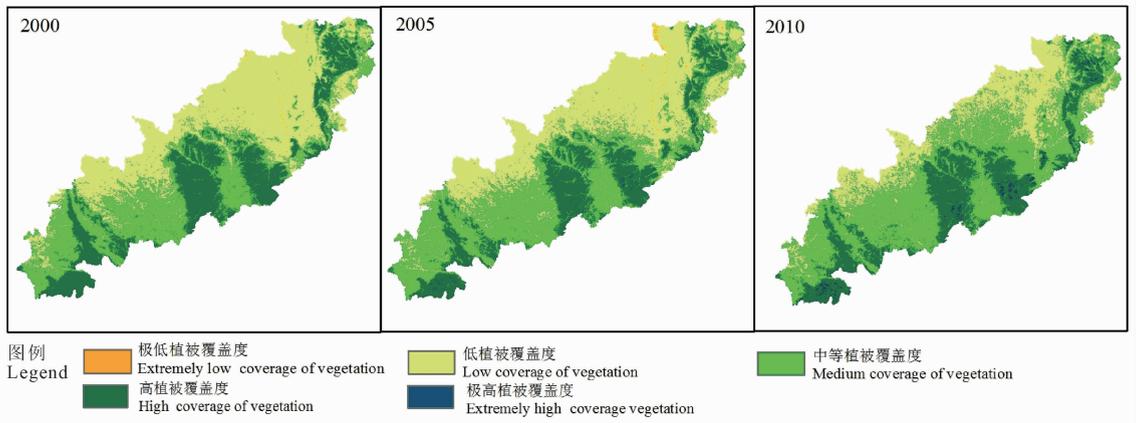


图 2 2000—2010 年研究区植被覆盖度变化

Fig. 2 Variation of vegetation coverage at the forest-steppe zone of Loess Plateau in 2000—2010

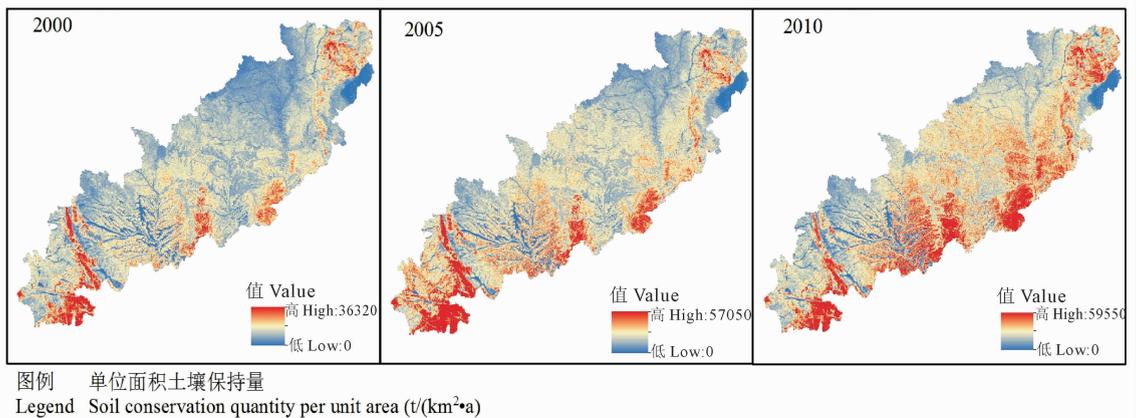


图 3 2000—2010 年研究区单位面积土壤保持量变化

Fig. 3 Variation of soil conservation quantity at the forest-steppe zone of Loess Plateau in 2000—2010

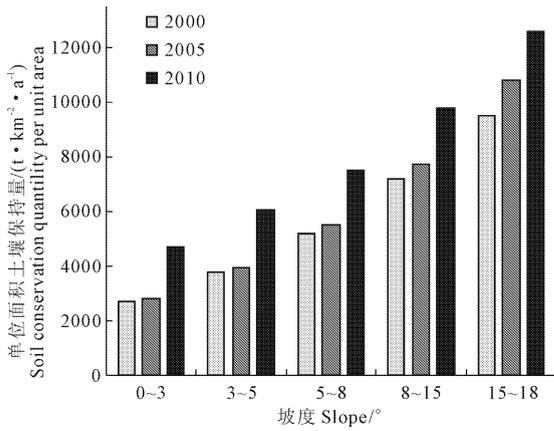


图4 基于不同坡度梯度的土壤保持效应

Fig.4 Soil conservation benefits under different slope gradients

表2 基于不同植被覆盖度的土壤保持效应

Table 2 Soil conservation benefits under different vegetation coverages

植被覆盖度 Vegetation coverage	单位面积土壤保持量 Soil conservation quantity per unit area/(t·km ⁻² ·a ⁻¹)		
	2000	2005	2010
极低植被覆盖度 Extremely low coverage of vegetation	460.73	842.67	874.82
低植被覆盖度 Low coverage of vegetation	1818.70	842.67	2812.12
中等植被覆盖度 Medium coverage of vegetation	2350.61	3204.90	3972.33
高植被覆盖度 High coverage of vegetation	3516.41	4855.54	5875.10
极高植被覆盖度 Extremely high coverage of vegetation	5602.48	6190.74	7485.37

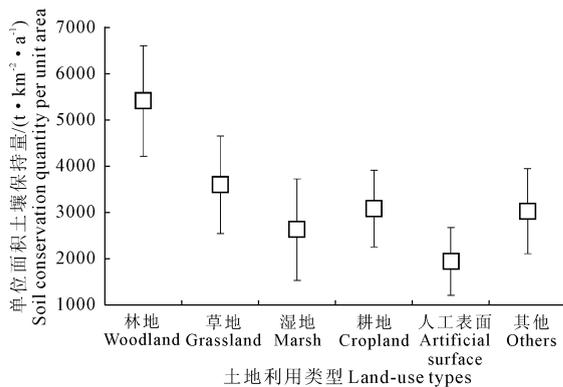


图5 基于不同土地利用类型的土壤保持效应

Fig.5 Soil conservation benefits under different land-use types

3 讨论

大量研究表明,植被恢复对土壤保持力有正效

应,植被的形态结构对生态水文过程的调节能够抑制土壤侵蚀的发生^[30-31]。主要通过森林冠层对雨水的截留和再分配,以及枯枝落叶层的吸附作用,使地表土层应对暴雨冲刷的能力增强。此外,草灌类植被的繁生增加了坡面径流阻力,削弱了径流侵蚀,地下根系的延伸还能有效稳固了土壤结构,从而起到土壤保持的作用。本研究区处于半湿润和半干旱气候的过渡地带,夏季降水集中且多暴雨,雨强较大。同时,研究区土质以黄棉土为主,黄棉土质地疏松软绵、易受雨水侵蚀,加之自然环境的变迁以及不合理的人类活动导致区内植被覆盖低,导致土壤侵蚀严重。因此,植被恢复对研究区的土壤保持效应明显。退耕还林还草工程通过人为因地制宜、造林种草、恢复林草植被,改善了生态环境,从而在一定程度上增强了区域的土壤保持效应。

另一方面,人类活动对土壤保持的负效应在研究区也较为突出。虽然黄土高原开展了大范围的退耕还林还草工程,但该区是我国煤炭、石油、天然气、等矿产资源的富集区,特别是东北部的山西省和陕西省榆林市是我国的重工业能源基地,矿产资源开采导致的植被破坏、土壤侵蚀以及水资源污染等环境问题,在一定程度上削弱了退耕还林还草工程所带来的生态效应。同时,耕地作为人类赖以生存的基本资源,也承受着来自城镇扩张和生态环境保护的双重压力。在社会经济发展以及生态环境保护的同时,因地制宜,提高耕地利用效率,实现粮食生产与生态环境协调发展,对于区域粮食安全,社会经济的可持续发展至关重要。

本研究利用遥感数据,宏观评价了黄土高原森林草原区退耕还林还草的土壤保持效应,为黄土高原土壤侵蚀的生态决策提供参考依据。然而,本文在研究方法上也存在一定的局限性。在RUSLE模型中,P因子是水土保持措施因子,用于反映人为的水土保持措施。研究区主要的水土保持措施淤地坝和梯田,由于本研究所使用的遥感数据分辨率较低无法反映,故将其定为1。在今后的研究中,采用高分辨率的卫星遥感数据(例如高分卫星数据),能够进一步确定水土保持措施因子,将有助于更准确的评估研究区退耕还林还草工程的土壤保持效应。

4 结论

本文利用修正通用土壤流失方程,以黄土高原森林草原区为研究区,基于不同坡度、植被覆盖度和土地利用类型,定量评测了2000、2005和2010年研究区的土壤保持效应。得出以下结论:

(1) 2000—2010 年, 由于退耕还林还草生态工程的实施, 研究区土地利用类型发生显著变化, 大量坡耕地退耕为林地和草地, 退耕面积为 4 606.13 km², 林地和草地面积分别增加 2 219.41、2 205.27 km²。并且, 区内植被覆盖度明显改善, 低植被覆盖面积由 51 643 km² 减少到 30 895 km², 中等植被覆盖面积由 37 089 km² 增加到 57 054 km², 平均植被覆盖度由 36.41% 增加至 40.08%。

(2) 研究区 2000—2010 年土壤保持量显著增加, 增加土壤保持量 2.41 亿 t。同时, 单位面积土壤保持量也逐渐增大, 由 3 033.15 t·km⁻²·a⁻¹ 增加至 5 114.86 t·km⁻²·a⁻¹, 土壤保持效应显著提升。

(3) 土壤保持效应随植被覆盖度的增加而增加, 随坡度梯度增加而降低; 不同土地利用类型中, 林地(5 405.57 t·km⁻²·a⁻¹)、草地(3 598.41 t·km⁻²·a⁻¹)和耕地(3 078.81 t·km⁻²·a⁻¹)均具有较高的土壤保持效应, 且林地的土壤保持效应明显高于草地和耕地。

参考文献:

- [1] 谢宝妮, 秦占飞, 王洋, 等. 黄土高原植被净初级生产力时空变化及其影响因素[J]. 农业工程学报, 2014, 30(11): 244-253.
- [2] David P, Kounang N. Ecology of soil erosion in ecosystems[J]. *Ecosystems*, 1998, 1(5): 416-426.
- [3] 姚文艺, 肖培青. 黄土高原土壤侵蚀规律研究方向与途径[J]. 水利水电科技进展, 2012, 32(2): 73-78.
- [4] Fu B J, Liu Y, Lü Y H, et al. Assessing the soil erosion control service of ecosystems change in the Loess Plateau of China[J]. *Ecological Complexity*, 2011, 8(4): 284-293.
- [5] Lantican M A, Pingali P L, Rajaram S. Is research on marginal lands catching up? The case of unfavourable wheat growing environments[J]. *Agricultural Economics*, 2003, 29(3): 353-361.
- [6] 高海东, 李占斌, 李鹏, 等. 基于土壤侵蚀控制制度的黄土高原水土流失治理潜力研究[J]. 地理学报, 2015, 70(9): 1503-1515.
- [7] 孟兆鑫, 邓玉林, 刘武林. 基于 RS 的岷江流域土壤侵蚀变化及其驱动力分析[J]. 地理与地理信息科学, 2008, 24(4): 57-61.
- [8] 史培军, 王静爱, 冯文利, 等. 中国土地利用/覆盖变化的生态环境安全响应与调控[J]. 地球科学进展, 2006, 21(2): 111-119.
- [9] 徐宪立, 马克明, 傅伯杰, 等. 植被与水土流失关系研究进展[J]. 生态学报, 2006, 9: 3137-3143.
- [10] 舒若杰, 高建恩, 赵建民, 等. 黄土高原生态分区探讨[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(3): 143-148.
- [11] 许智超, 张岩, 刘宪春, 等. 半干旱黄土区退耕还林十年植被恢复变化分析——以陕西吴起县为例[J]. 生态环境学报, 2011, 20(1): 91-96.
- [12] 韦振锋, 王德光, 张翀, 等. 近 12 年陕甘宁黄土高原区植被物候时空变化特征[J]. 生态与农村环境学报, 2014, 30(4): 423-429.
- [13] 张东海, 任志远, 王晓峰, 等. 基于 MODIS 的陕西黄土高原植被覆盖度变化特征及其驱动力[J]. 生态与农村环境学报, 2013, 29(1): 29-25.
- [14] 李小英, 段争虎. 黄土高原土壤水分与植被相互作用研究进展[J]. 土壤通报, 2012, (6): 1508-1514.
- [15] 栗妍, 魏玮, 邱扬, 等. 黄土丘陵小流域植被恢复驱动下的土壤养分特征[J]. 水土保持研究, 2014, 21(6): 115-121.
- [16] 吕海波. 黄土高原退耕柠条林对土壤理化性质的影响研究[J]. 生态环境学报, 2013, 22(1): 47-49.
- [17] 刘忠, 李保国. 退耕还林工程实施前后黄土高原地区粮食生产时空变化[J]. 农业工程学报, 2012, 28(11): 1-8.
- [18] 王兵, 刘国彬, 张光辉, 等. 黄土高原实施退耕还林(草)工程对粮食安全的影响[J]. 水土保持通报, 2013, 33(3): 241-245.
- [19] Meusburger K, Konz N, Schaub M, et al. Soil erosion modelled with USLE and PESERA using QuickBird derived vegetation parameters in an alpine catchment[J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2010, 12(3): 208-215.
- [20] 盛莉, 金艳, 黄敬峰. 中国水土保持生态服务功能价值估算及其空间分布[J]. 自然资源学报, 2010, 25(7): 1105-1113.
- [21] Feng X M, Wang Y F, Chen L D, et al. Modeling soil erosion and its response to land-use change in hilly catchments of the Chinese Loess Plateau[J]. *Geomorphology*, 2010, 118(3-4): 239-248.
- [22] 杨文治, 马玉玺, 韩仕峰, 等. 黄土高原地区造林土壤水分生态分区研究[J]. 水土保持学报, 1994, 8(1): 1-9.
- [23] 刘宪锋, 杨勇, 任志远, 等. 2000—2009 年黄土高原地区植被覆盖度时空变化[J]. 中国沙漠, 2013, 33(4): 1244-1249.
- [24] 蒋春丽, 张丽娟, 张宏文, 等. 基于 RUSLR 模型的黑龙江省 2000—2010 年土壤保持量评价[J]. 中国生态农业学报, 2015, 23(5): 642-649.
- [25] Wischmeier W H, Smith D D. A universal soil-loss equation to guide conservation farm planning[J]. *Transactions in International Congress on Soil Science*, 1960: 418-425.
- [26] Williams J R, Dyke P T, Jones C A. Epic - a model for assessing the effects of erosion on soil productivity[J]. *Developments in Environmental Modelling*, 1983, (5): 553-572.
- [27] Remortel V, Maichle R, Hickey R, et al. Computing the RUSLE LS factor through array-based slope length processing of digital elevation data using a C++ executable[J]. *Computers & Geosciences*, 2004, 30(9-10): 1043-1053.
- [28] Burrough P A. Principles of geographical information systems for land resources assessment[M]. Clarendon Press, 1987.
- [29] 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.
- [30] 王丽艳, 张成梁, 韩有志, 等. 煤矸石山不同植被恢复模式对土壤侵蚀和养分流失的影响[J]. 中国水土保持科学, 2011, 9(2): 93-99.
- [31] Wang Y L, Zhang C L, Han Y Z, et al. Effects of different vegetation restoration patterns in Gangue Pile on soil erosion and nutrient loss[J]. *Science of Soil & Water Conservation*, 2011, 9(2): 93-99.
- [32] 胡婵娟, 郭雷. 植被恢复的生态效应研究进展[J]. 生态环境学报, 2012, 22(10): 1640-1646.