

生态退化与恢复对三江源区土壤保持功能的影响

康惠惠^{1,2}, 潘韬², 盖艾鸿¹, 刘玉洁²

(1. 甘肃农业大学 资源与环境学院, 甘肃 兰州 730070;

2. 中国科学院 地理科学与资源研究所, 中国科学院 陆地表层格局与模拟重点实验室, 北京 100101)

摘要: [目的] 探讨生态退化与恢复对土壤保持功能的影响及其作用机理, 为三江源区生态保护与建设决策提供一定依据。[方法] 通过构建土地覆被状况等来表征三江源区宏观生态系统变化, 定量分析生态系统变化对土壤保持功能的影响, 并探讨其主要机制。[结果] 三江源地区从 2000—2010 年的生态系统经历了显著的退化和恢复过程。不同覆被类型下土壤保持能力依次为: 林地>耕地>高覆盖度草地>中覆盖度草地>低覆盖度草地>湿地>未利用地。在研究区生态退化及恢复的过程中, 2000—2010 年的单位面积潜在流失量从 1.25×10^4 t/hm² 增加到 1.50×10^4 t/hm², 单位面积实际流失量从 2000 年的 3 200 t/hm² 增加到 2005 年的 3 500 t/hm², 至 2010 年持续增加到 3 800 t/hm²。在生态恢复过程中, 三江源区高覆盖度草地及湿地面积增加, 从一定程度上减轻生态系统退化的趋势, 三江源区单位面积土壤保持量从 2000 年的 9 300 t/hm², 增加到 2005 年的 1.03×10^4 t/hm², 直至 2010 年三江源区单位面积土壤保持量为 1.11×10^4 t/hm²。[结论] 土地覆被类型及植被覆盖程度对土壤保持功能有重要影响, 三江源的生态退化与恢复过程与源区土壤保持功能变化联系紧密。

关键词: 生态退化; 生态恢复; 三江源区; 土壤保持; 生态系统服务

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2017)03-0007-08

中图分类号: S158.3, Q149

文献参数: 康惠惠, 潘韬, 盖艾鸿, 等. 生态退化与恢复对三江源区土壤保持功能的影响[J]. 水土保持通报, 2017, 37(3): 7-14. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2017.03.002; Kang Huihui, Pan Tao, Gai Aihong, et al. Effects of ecological degradation and restoration on soil conservation function in Three Rivers Headwater region[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(3): 7-14. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2017.03.002

Effects of Ecological Degradation and Restoration on Soil Conservation Function in Three Rivers Headwater Region

KANG Huihui^{1,2}, PAN Tao², GAI Aihong¹, LIU Yujie²

(1. College of Resources and Environmental Sciences, Gansu Agricultural University,

Lanzhou, Gansu 730070, China; 2. Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: [Objective] To explore the effect of ecological degradation and restoration on soil conservation function and its mechanism, and to provide a certain basis for decision making regarding ecological protection and construction in Three Rivers Headwater Region. [Methods] By building indices such as land cover condition to characterize the macro-ecosystem changes in headwater region, we quantitatively analyzed the effect of ecosystem changes on soil conservation function, and discussed its main mechanism. [Results] The ecosystems in headwater region experienced significant degradation and recovery process from 2000 to 2010. Soil conservation capacity of different types ranked as: forest land>cultivated land>high coverage grass>medium coverage grass>low coverage grassland>wetland>unused land. In the process of ecological degradation and recovery in the study area, the potential loss per unit area increased from 1.25×10^4 t/hm² to 1.50×10^4 t/hm²

收稿日期: 2016-09-23

修回日期: 2016-10-16

资助项目: 国家自然科学基金面上项目“黄河源区高寒草地退化对土壤水分影响的空间差异”(41671107); 国家自然科学基金青年项目“高寒草甸不同退化程度下的水源涵养服务变化过程及机理研究”(41301092); 中国科学院青年创新促进会会员项目(2016049)

第一作者: 康惠惠(1991—), 女(汉族), 甘肃省定西市人, 硕士研究生, 研究方向为土地信息管理。E-mail: khhdyx@qq.com。

通讯作者: 盖艾鸿(1967—), 男(汉族), 甘肃省平凉市人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要主要从事制图学及 GIS 应用研究。E-mail: gaiah@gnsau.edu.cn。

during 2000—2010, The actual loss per unit area increased from 3 200 t/hm² in 2000 to 3 500 t/hm² in 2005, and to 3 800 t/hm² in 2010. In the process of ecological restoration, the areas of high coverage grassland and wetland in Three Rivers Headwater Region increased, alleviating the trend of ecosystem degradation to some extent. Soil conservation quantity per unit area in Three River Headwater Region increased from 9 300 t/hm² in 2000 to 1.03×10⁴ t/hm² in 2005, and to 1.11×10⁴ t/hm² in 2010. [Conclusion] The types of land cover and vegetation coverage had important effects on soil conservation function, the ecological degradation and restoration of Three Rivers Headwaters Region were closely related to the change of soil conservation function.

Keywords: ecological degradation; ecological restoration; Three Rivers Headwater Region; soil conservation; ecosystem service

生态系统服务是生态系统形成和所维持的人类赖以生存和发展的环境条件与效用,它是通过生态系统的功能直接或间接得到的产品和服务,不仅可以维持人类赖以生存的环境和空间,而且对于经济社会的可持续发展也至关重要。土壤保持作为一项重要的生态系统服务功能,不仅是土壤形成、植被固着、水源涵养等的重要基础,也是维持区域生态安全的重要保障^[1-5]。

近年来,随着人口的持续增加和经济社会的高速发展,人类在过度开采和利用自然资源过程中造成一系列生态环境恶化、生物多样性丧失等问题,使得生态系统服务功能发生严重退化,例如:严重的水土流失致使土壤沙化、人地矛盾增强;植被覆盖率降低,生态功能减弱;生物多样性遭到严重破坏,许多珍贵物种濒临灭绝等等^[5-6]。随着对生态系统服务功能重要程度认识的加深,人们也愈发重视生态保护和恢复的作用。自 50 年代开始直至今,中国各级政府在农牧交错区、风蚀水蚀交错区、干旱荒漠区、湿地等进行了大量退化或脆弱生态系统保护和恢复重建工作^[7-8],后期评估结果表明,这些工作大多取得了很好的成效^[9-10]。

三江源区位于青藏高原腹地,生态本底脆弱,严重的土壤侵蚀会使土壤层变薄,含蓄水能力降低,甚至对源区及流域中下游地区的生态环境安全和区域可持续发展产生重大影响。研究表明,20 世纪 90 年代以来三江源区长期过度放牧、乱垦滥挖等不合理的人类活动导致的草地严重退化是造成三江源区草地生态系统土壤侵蚀加剧的主要因素;三江源区水土流失严重,土壤侵蚀潜在危险性在不断增大^[11-14],需要加强监督、管理和遏制区域土壤侵蚀的发展。自 2005 年起三江源生态保护与建设工程启动以来,国内学者的评估结果表明生态保护工程对生态恢复产生积极影响。邵全琴等^[11]在评估三江源生态建设一期工程成果后认为研究区生态系统退化趋势被初步

遏制,生态系统结构逐渐向良性方向发展;杜加强等^[15]的研究发现,近 30 a 三江源区植被覆盖度呈增加趋势。因此开展生态与退化恢复过程对土壤保持功能的影响分析对于生态保护与建设具有重要的参考意义。然而,前期大多数研究着重于价值评估^[16-18],对于生态退化与恢复过程中的土壤保持功能定量变化及其影响机制研究仍不多见。

鉴于此,本研究拟基于三江源区 2000—2010 年土地利用与覆被数据,构建土地覆被指数,调查研究区在此 10 a 间的生态退化与恢复状况;利用 InVEST 模型定量模拟土壤保持功能的变化,分析其变化特征、趋势及空间格局,探讨生态退化与恢复对土壤保持功能的影响及其作用机理。

1 数据与方法

1.1 研究区概况

三江源区位于青藏高原的腹地、青海省南部,平均海拔 3 500~4 800 m,面积约 3.63×10⁵ km²;区内河流密布、湖泊、沼泽众多,雪山冰川广布,被誉为“中华水塔”。区域地形复杂多样,中西部和北部多宽阔而平坦的滩地,东南部是高山峡谷;气候特征表现为典型的高原大陆性气候,植被以高寒草甸和高寒草原为主。近年来,土地荒漠化速度加快,人类过度放牧、乱垦滥挖导致森林与草地植被类型的破坏而引起草场退化,直接影响到了生态系统的土壤保持能力。2005 年国务院批准《青海三江源自然保护区生态保护和建设总体规划》,在三江源自然保护区开展生态保护和建设 1 期工程,初步遏制了生态环境恶化,植被覆盖度有所恢复。

1.2 数据来源

土地利用数据(2000,2005,2010 年)来源于中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn>),该土地利用数据是由中国科学院地理科学与资源研究所、遥感应用研究所组织全国各区科研力量,通过解译 100 m 分辨率 TM/ETM 遥感影像得到并

通过大量控制点验证;流域范围气象数据(包括气温、降水等)来源于中国气象局中国气象科学数据共享服务网(<http://www.escience.gov.cn/metdata/page/index.html>)。本文选取 2 个时段(2000—2005, 2005—2010 年)将所需数据输入模型。数字高程模型(DEM)数据源于中国科学院资源环境数据中心,空间分辨率为 1 km。

1.3 方法

1.3.1 生态退化与恢复的表征 采用土地覆被状况及土地覆被转类途径及面积来表征生态退化与恢复背景下,土地覆被在不同阶段的变化。土地覆被状况的表达式为:

$$Z=(C_i/A)\times 100\% \quad (1)$$

式中: Z ——土地覆被状况; C_i ——某一覆被类型的面积(km^2); A ——研究区的总面积(km^2),研究采用这个指标来获取不同时期不同类型用地覆被结构及其面积比例大小。

利用转移矩阵的方法,通过定量分析在 2000—2010 年两期不同时段、不同土地覆被类型之间的转移途径及幅度来表征三江源区生态系统的变化方向。

1.3.2 InVEST 模型 InVEST(integrated valuation of ecosystem services and trade-offs)是由自然资本资助项目开发、用以量化模拟不同土地利用变化情景下多种生态系统服务(如生物多样性、碳储存与吸收、产水量、土壤保持等)变化的评估模型^[19]。其中,土壤保持子模型则是采用像元尺度的通用土壤流失方程,基于土地利用数据、土壤性质、DEM、降雨和气象数据等,计算一定区域的土壤侵蚀速率和侵蚀量,土壤侵蚀量越小,土壤保持功能越好。土壤流失量用下列方程计算:

$$\text{USLE}=R\cdot K\cdot LS\cdot C\cdot P \quad (2)$$

$$\text{RKLS}=R\cdot K\cdot LS \quad (3)$$

式中:USLE——栅格的实际土壤侵蚀量(t);RKLS——栅格的潜在土壤流失量(t); R ——降雨侵蚀力因子; K ——土壤可蚀性因子; LS ——坡度和坡长因子; C ——植被覆盖因子; P ——管理因子。降雨侵蚀力表征了降雨引起土壤发生侵蚀的潜在能力,本文采用水文站的降雨量资料计算出年平均降雨侵蚀力 $[\text{MJ}\cdot\text{mm}/(\text{hm}^2\cdot\text{h}\cdot\text{a})]$,采用插值得出降雨侵蚀力分布图。土壤可蚀性因子 $[(\text{t}\cdot\text{hm}^2\cdot\text{h})/(\text{MJ}\cdot\text{hm}^2\cdot\text{mm})]$ 通常用标准小区上单位降雨侵蚀力所引起的土壤流失量来表示,采用 EPIC 模型中的公式进行计算,对全国第 2 次普查数据得到的土壤数据,每种土类赋予土壤可蚀性 K 值,即获得了三江源地区土壤可蚀性因子 K 值空间分布数据并根据已有

的研究对结果进行校正。对于坡度坡长因子,InVEST模型中对 LS 的取值采取缓坡、陡坡分段计算,坡度阈值默认为 25° 。当坡度小于边坡阈值时,方法如下:

$$LS=\left(\frac{F_a\times C_s}{22.13}\right)^n\left(\frac{\sin(s\times 0.01745)}{0.09}\right)^{1.4}\times 1.6$$

$$n=\begin{cases} 0.5 & (S\geq 5\%) \\ 0.4 & (3.5\%<S<5\%) \\ 0.3 & (1\%<S\leq 3.5\%) \\ 0.2 & (S\leq 1\%) \end{cases} \quad (4)$$

当坡度大于边坡阈值时

$$LS=0.08\lambda^{0.35}P_s^{0.6}$$

$$\lambda=\begin{cases} C_s & (\text{流向}=1,4,16,64) \\ 1.4C_s & (\text{其他流向}) \end{cases} \quad (5)$$

式中: LS ——坡长坡度因子; F_a 和 C_s ——栅格汇流量和栅格分辨率; S 和 P_s ——坡度和百分数坡度; n ——坡长指数。

地表覆盖管理因子 C 及土壤保持措施因子 P 可以反映植被或作物以及管理措施对土壤流失的影响,介于 $0\sim 1$ 。本研究通过查阅文献资料、借鉴相近区域研究情况进行取值获得不同植被类型的 C 值, p 值。本研究的地理数据空间分析和数据处理主要在 ArcGIS 10.3 中完成。

2 结果分析

2.1 三江源地区生态退化与恢复的时空格局

2.1.1 土地覆被状况的变化 从表 1 的三江源区 2000—2011 年土地覆被状况变化可以发现,三江源区中覆盖度及低覆盖度草地的面积较大,占研究区总面积的 $1/2$ 以上,未利用地次之,为 21.16% ;耕地及建设用地的面积最小。

分析 2000—2010 年土地覆被状况变化情况可以看出,在生态退化背景下,林地、高覆盖度草地、中覆盖度草地及低覆盖度草地的面积呈减少趋势。其中,中覆盖度草地及低覆盖度草地的面积比例变化幅度较大,分别为 0.071% 、 0.108% ;同时未利用地的面积增加了 $56\,563\text{ hm}^2$,相应的面积比例增加了 0.163% 。而在生态恢复阶段,研究区内耕地、高覆盖度草地、湿地面积均有所增加,其中高覆盖度草地面积比例变化幅度最大,为 0.0176% ,耕地及湿地面积增加比例依次为 0.0029% 、 0.0067% ;未利用地的面积减少了 $8\,117\text{ hm}^2$,呈下降趋势;林地、中覆盖度草地、低覆盖度草地虽然面积减少,但相较于生态退化阶段的变化幅度,恢复阶段的面积比例减少幅度大大降低。

表 1 三江源区 2000—2010 年土地覆被状况变化

土地类型	2000 年		2005 年		2010 年	
	面积/hm ²	比例/%	面积/hm ²	比例/%	面积/hm ²	比例/%
耕地	80 036	0.23	82 884	0.24	83 863	0.24
林地	1 394 612	4.02	1 394 277	4.02	1 393 905	4.02
高覆盖度草地	1 782 543	5.14	1 775 895	5.12	1 781 985	5.14
中覆盖度草地	8 524 564	24.58	8 499 875	24.51	8 497 692	24.50
低覆盖度草地	13 302 643	38.36	13 264 867	38.25	13 264 203	38.25
湿地	2 250 485	6.49	2 260 404	6.52	2 262 373	6.52
建设用地	7 648	0.02	7 766	0.02	8 064	0.02
未利用地	7 339 171	21.16	7 395 734	21.32	7 389 617	21.30

2.1.2 土地覆被转类途径和面积 如表 2 所示, 2000—2005 年期间, 三江源区土地覆被转类途径主要为高覆盖度草地有 77.47 km² 转为耕地、中覆盖度草地, 中覆盖度草地分别有 48.29 km² 转为低覆盖草

地, 306.55 km² 转为未利用地, 低覆盖度草地转为未利用地, 面积为 395.28 km²。总体上, 2000—2005 时段三江源区土地覆被退化趋势较为明显, 而且主要表现为由高生态级别向低生态级别转移。

表 2 三江源区 2000—2005 年各类土地覆被转类途径及面积

土地类型	2000—2005 年土地覆被转类途径及面积/km ²							
	耕地	林地	高覆盖度草地	中覆盖度草地	低覆盖度草地	湿地	建设用地	未利用地
耕地	793.57	—	3.09	3.35	0.35	—	—	—
林地	—	13 941.17	0.67	1.28	3	—	—	—
高覆盖度草地	32.14	0.01	17 744.15	45.33	0.43	0.6	—	2.77
中覆盖度草地	1.94	0.69	1.82	84 881.90	48.29	3.16	1.29	306.55
低覆盖度草地	1.07	0.88	8.77	15.65	132 589.91	14.87	—	395.28
湿地	—	—	0.33	1.42	0.07	22 501.75	0.05	1.23
建设用地	—	—	0.12	0.04	—	—	76.32	—
未利用地	0.12	0.02	—	49.78	6.62	8.22	—	73 896.17

表 3 给出了三江源区 2005—2010 年各类土地覆被转类途径及面积。从表 3 中可以看出, 在 2005—2010 年, 三江源区各土地覆被类型面积变化不大, 中覆盖度草地有 63.26 km² 转为高覆盖度草地, 低覆被盖草地 86.73 km² 转为中覆盖度草地。未利用地转

为低覆盖度草地、湿地的面积分别为 49.45, 83.66 km²。整体来看, 相较于 2000—2005 年土地覆被变化主要表现为退化情形, 2005—2010 年土地覆被变化主要表现为高覆被度草地及湿地面积总量呈增加而未利用地面积呈降低的趋势。

表 3 三江源区 2005—2010 年各类土地覆被转类途径及面积

土地类型	2005—2010 年土地覆被转类途径及面积/km ²							
	耕地	林地	高覆盖度草地	中覆盖度草地	低覆盖度草地	湿地	建设用地	未利用地
耕地	827.39	—	0.93	0.52	—	—	—	—
林地	—	13 939.05	0.8	2.85	0.07	—	—	—
高覆盖度草地	7.4	—	17 737.87	2.17	8.57	—	2.94	—
中覆盖度草地	1.42	—	63.26	84 881.42	42.15	10.33	0.17	—
低覆盖度草地	2.42	—	13.52	86.73	132 539.04	6.96	—	—
湿地	—	—	1.34	1.63	2.75	22 598.22	0.1	—
建设用地	—	—	0.04	0.19	—	—	77.43	—
未利用地	—	—	2.09	1.41	49.45	83.66	—	73 251.51

从表 3 可以看出在 2005—2010 年, 三江源区各土地覆被类型面积变化不大, 中覆盖度草地有 63.26

km² 转为高覆盖度草地, 低覆被盖草地 86.73 km² 转为中覆盖度草地。未利用地转为低覆盖度草地、湿地

的面积分别为 49.45, 83.66 km²。整体来看,相较于 2000—2005 年土地覆被退化情形,2005—2010 年期间土地覆被变化主要表现为高覆盖度草地及湿地面积总量呈增加而未利用地面积呈降低的趋势。

2.2 土壤保持功能变化

三江源区 2000 年的单位面积潜在流失量为 1.25×10^4 t/hm²,总的潜在流失量为 4.31×10^9 t;到 2005 年,分别增加为 1.39×10^4 t/hm² 及 4.74×10^9 t。直至 2010 年,研究区的单位面积潜在流失量及总的潜在流失量继续增加到 1.50×10^4 t/hm² 及 5.15×10^9 t。实际土壤流失指在土地利用/覆被和工程措施的作用下产生的土壤流失。三江源区 2000 年的单位面积实际流失量为 3 200 t/hm²,总的实际流失量为

1.11×10^9 t。到 2005 年分别增加到 3500 t/hm², 1.20×10^9 t。2010 年,研究区的单位面积实际流失量及实际流失总量分别增加到 3 800 t/hm² 及 1.31×10^9 t。

由图 1 可以看出,低覆盖度草地及中覆盖度草地的土壤侵蚀总量较大,其次是未利用地。其中低覆盖度草地因为分布面积广使得土壤侵蚀总量也相对于其他覆被类型较高,耕地的单位面积流失量虽然较高达到 5 200 t/hm²,但因为其面积比例小,其土壤侵蚀总量也相对较小。湿地的单位面积土壤侵蚀量在所有的土地覆被类型中最小,说明湿地的土壤保持力较强。可以发现,2000—2010 年期间,三江源区土壤侵蚀量不断递增。

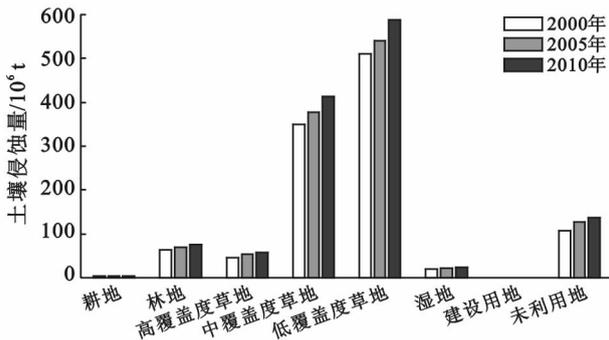
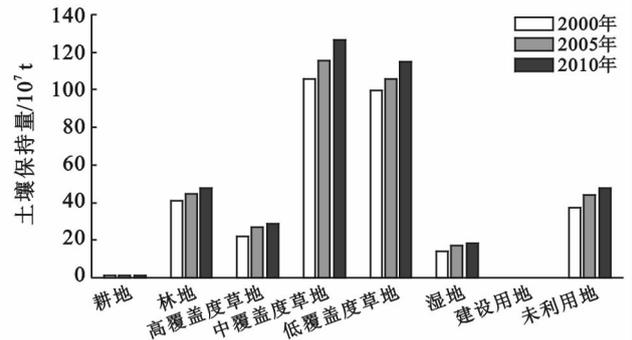


图 1 不同时期不同覆被类型的三江源区土壤侵蚀量及土壤保持量变化



因此 2000 年三江源区单位面积土壤保持量为 9 300 t/hm²,土壤保持总量为 3.18×10^9 t。到 2005 年三江源区单位面积土壤保持量为 1.03×10^4 t/hm²,土壤保持总量为 3.51×10^9 t。同时得出 2010 年三江源区单位面积土壤保持量为 1.11×10^4 t/hm²,土壤保持总量为 3.82×10^9 t。

由结果可知,中覆盖度草地的单位面积土壤保持力相对低覆盖度草地较高,即使覆被面积较低覆盖度草地小,但其土壤保持总量高于低覆盖度草地的土壤保持总量。总体来看 2000—2010 年土壤保持量呈现出增长的趋势,这表明三江源区的土壤保持功能在往好的方向发展。

2000—2010 年土壤保持变化量有增有减,这说明部分地区的生态系统土壤保持能力增强,而有些地区的土壤保持能力减弱。从图 2 可以看出,土壤保持量呈现出由东向西逐渐递减的趋势,土壤保持量增强的高值集中分布在研究区中部的玉树东北部、称多县西南部,及东部的甘德、玛沁、同德及兴海县南部,说明这些地区的生态系统得到较好的保护和恢复并发挥了其生态系统服务功能。

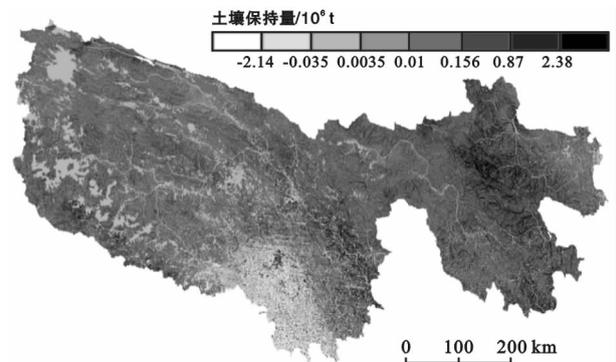


图 2 2000—2010 年三江源区土壤保持量空间变化

土壤保持量降低的地区主要集中在研究区西部的囊谦县及杂多县的南部。综合来看 2000—2010 年土壤保持变化量呈现增加的地区占研究区总面积的一半以上,说明研究区 2010 年土壤保持量增加的面积远远大于减少的面积,该期间增强是研究区土壤保持功能变化的主要趋势。

2.3 土地覆被变化与土壤保持功能的关系

2.3.1 土地覆被类型与土壤保持的关系 表 4 给出了三江源区不同时期不同覆被类型的单位面积土壤

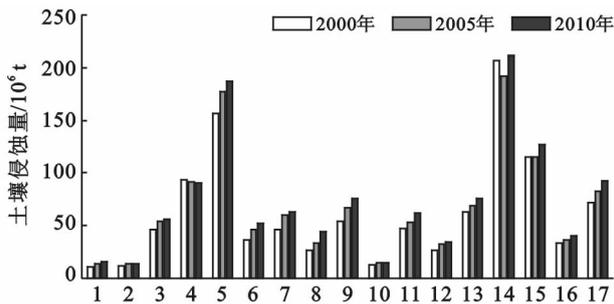
保持量。由表 4 可以看出,从 2000—2010 年,随着时间的推移不同覆被类型的单位面积土壤保持量呈上升趋势,土壤保持功能增强。林地的单位面积土壤保持量最高,耕地次之;高中低覆盖度草地的土壤保持能力依次降低,未利用地最低为 50.65 t。

表 4 三江源区不同时期不同覆被类型的单位面积土壤保持量 t

土地类型	2000 年	2005 年	2010 年
耕地	151.18	143.57	169.32
林地	291.83	318.80	342.41
高覆盖度草地	124.65	149.95	160.38
中覆盖度草地	123.92	135.80	148.56
低覆盖度草地	74.87	79.68	86.81
湿地	63.67	75.11	81.37
未利用地	50.65	59.38	64.59

2.3.2 不同县域土地覆被变化与土壤侵蚀量的关系

图 3 为 2000—2010 年的各县土壤侵蚀量变化结果,从图 3 中可以看出,三江源区东部同德、泽库等县的土壤侵蚀量较西部治多、杂多县的土壤侵蚀量低,土壤保持量的变化呈现出由东向西逐渐递减的趋势,各县不同时期的土壤侵蚀量也各有增减。



注:1 为同德县;2 为泽库县;3 为久治县;4 为囊谦县;5 为治多县;6 为兴海县;7 为曲麻莱县;8 为玛多县;9 为玛沁县;10 为河南蒙古自治县;11 为称多县;12 为甘德县;13 为达日县;14 为杂多县;15 为玉树县;16 为班玛县;17 为唐古拉乡。

图 3 2000—2010 年三江源区各县土壤侵蚀量

在 2000—2005 年期间玛多高、中低覆盖度草地面积减少 1 056 hm²,湿地面积增加 894 hm²,2005—2010 期间中覆盖度草地面积减少 1 799 hm²;称多县前期中覆盖度草地面积减少 217 hm²,低覆盖度草地及湿地面积增加 226 hm²,而后期高中覆盖度草地减少 3 288 hm²;玉树、杂多县前期土地覆被面积变化很小,后期高、低覆盖度草地面积减少 1 284 hm²,中覆盖度草地面积减少 625 hm² 从而导致 2005—2010 年期间土壤侵蚀量增加幅度较 2000—2005 年期间大。曲麻莱、泽库、久治、治多、唐古拉等大部分县土壤侵蚀量均有所上升,且在 2000—2005 期间土壤侵蚀增

加量均高于 2005—2010 年的侵蚀量。结合土地覆被面积变化来看,曲麻莱县 2000—2005 年高、中低覆盖度草地面积减少 261,25 309,38 998 hm²,且未利用地面积大幅增加,2005—2010 年期间土地覆被面积变化较小;泽库县前期高、中低覆盖度草地及湿地面积减少 1 681 hm²,后期面积减少幅度变小土壤侵蚀增加量有所减缓;唐古拉乡、治多县湿地面积各增加 284,213 hm²,其土壤侵蚀量相较 2000—2005 年增加量减少一半。囊谦县高覆盖度草地及中覆盖度草地面积在 2000—2005,2005—2010 期间各增加 1 606,2 846 hm²,土壤侵蚀量持续减少。说明在土地覆被好转的情况下,土壤保持功能得到较好的保护并发挥了其功能。

2.3.3 降雨侵蚀力及各县土壤侵蚀量空间变化的分布格局 降雨侵蚀力与土壤侵蚀量基本成相对应关系^[20],从图 4 中 2000—2010 年降雨侵蚀力及各县土壤侵蚀量空间变化的分布格局来看,随着降雨侵蚀力的增强,土壤侵蚀量也有所增加。三江源区南部降水量丰富,降雨侵蚀力因子远高于其他区域,潜在土壤侵蚀量较高。北部及西北地区分布着大片荒漠及滩地,生态环境更为脆弱,降雨侵蚀力较低,但受风力侵蚀较为严重。各市县之间土壤保持能力差异较大,东部的久治、玛沁县及东南部的囊谦、玉树县均受降雨侵蚀力的影响较大,虽然植被覆盖度有所好转,但是该地区降雨强度较大,对土壤的冲击力和破坏程度大,致使该地区土壤侵蚀量较高。

为了进一步分析气候与土地利用在三江源区土壤保持功能变化中的相对作用,假设研究区气候条件不变,而只有土地利用变化的情况计算土壤侵蚀量的变化情况如表 5 所示。可以看出土壤侵蚀量的增长幅度较低且对植被覆盖度低的土地覆被类型影响较大,耕地、低覆盖度草地、湿地及未利用地的土壤侵蚀量均有所增加,而林地及高中覆盖度草地的侵蚀量减少,可见其对土壤侵蚀的影响力相对与土地覆被变化对土壤侵蚀的影响较弱。

表 5 气候不变情况下三江源区 2000—2010 年不同覆被类型的土壤侵蚀量 10⁶ t

土地类型	2000 年	2005 年	2010 年
耕地	4.224	4.374	4.425
林地	64.077	64.061	64.044
高覆盖度草地	44.971	44.803	44.956
中覆盖度草地	349.242	348.23	348.141
低覆盖度草地	510.258	508.809	508.783
湿地	19.701	19.787	19.805
未利用地	108.128	108.961	108.871

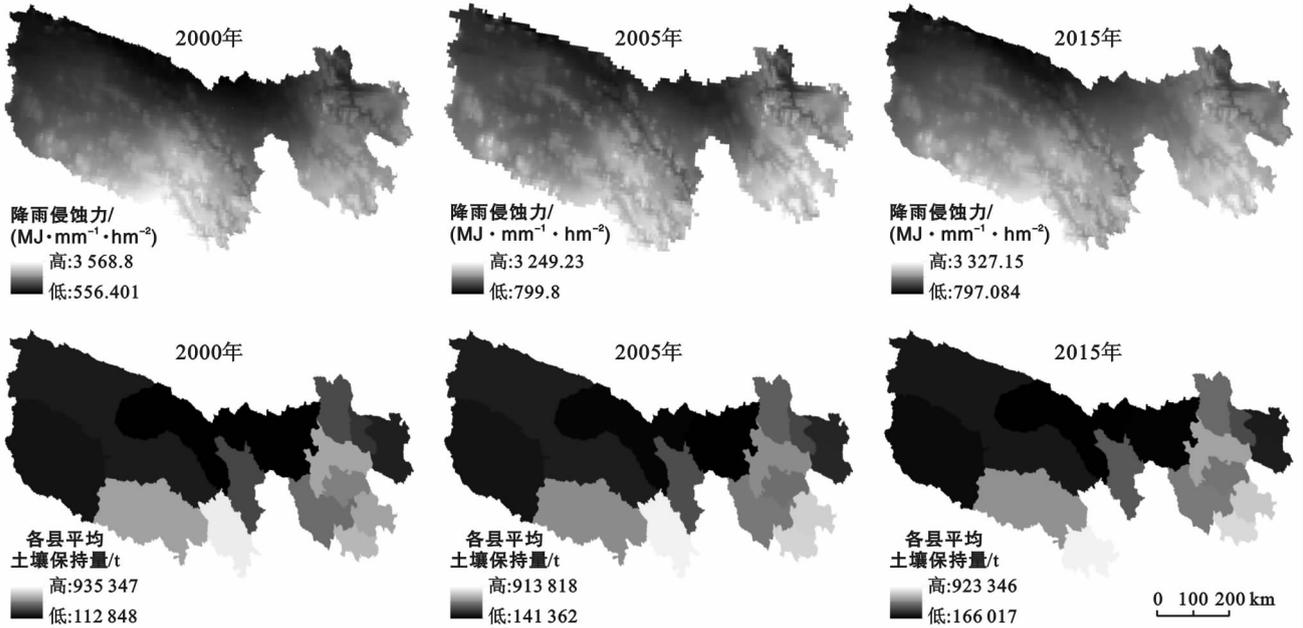


图 4 三江源区 2000—2010 年降雨侵蚀力及县域平均土壤侵蚀量分布

3 讨论与结论

3.1 讨论

土壤保持功能不仅与生态系统的结构密切相关,同时受到植被、气候、土壤和人为活动等因素的共同影响。InVEST 模型综合考虑了上述主要因素,评价结果较为符合研究区实际状况。三江源地区土壤保持总量从 2 000 的 3.18×10^9 t 上升到 2005 的 3.51×10^9 t,至 2010 年增加到 3.82×10^9 t。研究将模型得出的结果与土地覆被变化相结合进行分析,2000—2010 年期间,各县土壤侵蚀量有增有减。

本研究采取方法数据也存在一定的不确定性。例如研究采用模型所需的各因子在计算过程中均会产生一定的误差。模型中参数的选择也会使运算中产生误差,如计算 R 值时,水文站点分布不均匀,插值计算精度有限,模型所需的参数表中 C 值、 p 值及泥沙截留率通过查阅文献资料、借鉴相近区域研究情况进行取值获得不同植被类型相应取值。然而,这样的参数确定方法,应用到三江源地区时可能产生不可避免的误差。

3.2 结论

三江源区土地覆被状况和生态系统从 2000—2010 年,经历了先退化后恢复的阶段。在生态退化过程中,林地、高覆盖度草地、中覆盖度草地及低覆盖度草地的面积呈减少趋势;在生态恢复过程中,研究区内耕地、高覆盖度草地、湿地面积均有所增加,相较于退化时期其余覆被类型的面积减少速率有所降低。这些土地利用与覆被的变化对土壤保持产生了较大影响。

三江源地区不同覆被类型下土壤保持能力依次为:林地>建设用地>耕地>高覆盖度草地>中覆盖度草地>低覆盖度草地>湿地>未利用地,其中林地的单位面积土壤保持量最高,这可能与其分布于山地和降水丰富地区有关,其潜在土壤侵蚀较高,土壤保持功能可充分发挥。高、中覆盖度草地土壤保持力也较高,三江源区东部的黄河源区覆盖有高密度草地,良好的植被覆盖为该地区提供了较强的土壤保持能力。可见土壤保持功能的强弱与覆被类型和植被覆盖程度密切相关;低覆盖度草地虽然覆盖程度较高,但因大部分分布于研究区西部地势平坦的荒滩,潜在土壤侵蚀较低。

在生态恢复过程中,结合实际人类活动与土壤保持功能之间的联系影响可以看出,通过三江源区生态保护和建设工程的实施,退耕还林草、沙漠化防治及水土保持的政策手段对降低草地载畜压力,减轻生态退化区退化趋势及生态恢复产生了积极的影响。自 2005 年后生态退化趋势有所减缓,三江源区高覆盖度草地及湿地面积增加,未利用地面积减少,中覆盖度草地及低覆盖度草地景观破碎度降低,相应的土壤保持量持续上升,生态系统土壤保持能力有所增强。

三江源区生态环境十分脆弱,草地覆盖度占 68% 以上。生态退化造成的草地结构退化所产生严重的土壤侵蚀会对源区及流域中下游地区乃至国内外的生态环境安全及经济发展产生影响,因此加强研究区生态系统的管理与保护,遏制土壤保持功能退化十分必要。

[参 考 文 献]

- [1] Costanza R, d'Arge R, De Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. *Ecological Economics*, 1997, 25(1): 3-15.
- [2] Daily G. *Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems*[M]. California: Island Press, 1997.
- [3] 董全. 生态公益: 自然生态过程对人类的贡献[J]. *应用生态学报*, 1999, 10(2): 233-240.
- [4] 黄和平, 杨劼, 智颖飙. 皇甫川流域封育植被土壤保持功能及服务价值研究[J]. *水土保持通报*, 2008, 28(3): 173-177.
- [5] 王敏, 阮俊杰, 姚佳, 等. 基于 InVEST 模型的生态系统土壤保持功能研究: 以福建宁德为例[J]. *水土保持研究*, 2014, 21(4): 184-189.
- [6] 丁忠兵. 论三江源地区的生态地位与可持续发展[J]. *青海社会科学*, 2006(2): 45-50.
- [7] 刘敏超, 李迪强, 温琰茂, 等. 三江源地区土壤保持功能空间分析及其价值评估[J]. *中国环境科学*, 2005, 25(5): 627-631.
- [8] 包维楷, 刘照光, 刘庆. 生态恢复重建研究与发展现状及存在的主要问题[J]. *世界科技研究与发展*, 2001, 23(1): 44-48.
- [9] 於方, 周昊, 许申来. 生态恢复的环境效应评价研究进展[J]. *生态环境*, 2009, 18(1): 374-379.
- [10] 胡云锋, 刘纪远, 齐永青, 等. 内蒙古农牧交错带生态工程成效实证调查和分析[J]. *地理研究*, 2010, 29(8): 1452-1460.
- [11] 邵全琴, 樊江文, 刘纪远, 等. 青海三江源生态建设一期工程成效评估[J]. *地理学报*, 2016, 71(1): 3-20.
- [12] 刘纪远, 徐新良, 邵全琴. 近 30 a 来青海三江源地区草地退化的时空特征[J]. *地理学报*, 2008, 63(4): 364-376.
- [13] 吴万贞, 周强, 于斌, 等. 三江源地区土壤侵蚀特点[J]. *山地学报*, 2009, 27(6): 683-687.
- [14] 黄麟, 邵全琴, 刘纪远. 近 30 a 来青海省三江源区草地的土壤侵蚀时空分析[J]. *地球信息科学学报*, 2011, 13(1): 12-21.
- [15] 杜加强, 贾尔恒, 阿哈提, 等. 三江源区近 30 a 植被生长动态变化特征分析[J]. *草业学报*, 2016, 25(1): 1-12.
- [16] 饶恩明, 肖焱, 欧阳志云, 等. 海南岛生态系统土壤保持功能空间特征及影响因素[J]. *生态学报*, 2013, 33(3): 746-755.
- [17] 吴秀芹, 蔡运龙. 土地利用/土地覆盖变化与土壤侵蚀关系研究进展[J]. *地理科学进展*, 2003, 22(6): 576-584.
- [18] 赖敏, 吴绍洪, 戴尔阜, 等. 生态建设背景下三江源自然保护区生态系统服务价值变化[J]. *山地学报*, 2013, 31(1): 8-17.
- [19] 徐新良, 刘纪远, 邵全琴, 等. 30 a 来青海三江源生态系统格局和空间结构动态变化[J]. *地理研究*, 2008, 27(4): 829-839.
- [20] 黄从红, 杨军. 基于 InVEST 模型的生态系统服务功能研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2014.
- [10] 苑淑娟, 牛国权, 刘静, 等. 瞬时拉力下两个生长期 4 种植物单根抗拉力与抗拉强度的研究[J]. *水土保持通报*, 2009, 29(5): 22-26.
- [11] 熊燕梅, 夏汉平, 李志安, 等. 植物根系固坡抗蚀的效应与机理研究进展[J]. *应用生态学报*, 2007, 18(4): 895-904.
- [12] Waldron L J, Dakessian S. Soil reinforcement by roots: Calculation of increased soil shear resistance from root properties[J]. *Soil Science*, 1981, 132(6): 427-435.
- [13] 李建兴, 何丙辉, 谌芸, 等. 不同护坡草本植物的根系分布特征及其对土壤抗剪强度的影响[J]. *农业工程学报*, 2013, 29(10): 144-152.
- [14] Zhang Chaobo, Chen Lihua, Liu Xiuping, et al. Tri-axial compression test of soil-root composites to evaluate influence of roots on soil shear strength[J]. *Ecological Engineer*, 2010, 36(1): 19-26.
- [15] 程洪, 谢涛, 唐春, 等. 植物根系力学与固土作用机理研究综述[J]. *水土保持通报*, 2006, 26(1): 97-102.
- [16] 李勇, 吴钦孝, 朱显谟, 等. 黄土高原植物根系提高土壤抗冲性能的研究(I): 油松人工林根系对土壤抗冲性的增强效应[J]. *水土保持学报*, 1990, 4(1): 1-5.
- [17] 周萍, 文安邦, 张信宝, 等. 植物固结地埂的水土保持功能探析[J]. *人民长江*, 2012, 43(7): 81-84.
- [18] 赵丽兵, 张宝贵. 紫花苜蓿和马唐根的生物力学性能及相关因素的试验研究[J]. *农业工程学报*, 2007, 23(9): 7-12.
- [19] Genet M, Stokes A, Salin F, et al. The influence of cellulose content on tensile strength in tree roots[J]. *Plant and Soil*, 2005, 278(1): 1-9.

(上接第 6 页)