青海湖流域土壤保持量动态变化

张 静[1,2], 曹生奎[1,2], 曹广超[1,2], 陈克龙[1,2],
蒋 刚[1,2], 张 涛[1,2], 汉光昭[1,2], 林阳阳[1,2]

(1. 青海师范大学 生命与地理科学学院, 青海 西宁 810008;
2. 青海师范大学 青海省自然地理与环境过程重点实验室, 青海 西宁 810008)

摘 要: [目的] 对青海湖流域近 24 a 的土壤保持量进行评估,揭示其时空变化规律,为定量评估青海湖流域土壤保持功能和区域土壤保持的重要性提供理论支撑。[方法] 利用通用土壤流失方程(USLE)和 GIS 技术,评估和揭示 1987—2010 年青海湖流域土壤保持量的时空动态变化。[结果] 近 24 a 来青海湖流域土壤保持量平均为 4.68×10^8 t/a;单位面积土壤保持量高值区分布在青海湖流域主要河流的河源区及中部地区,低值区主要集中分布在青海湖周围、河谷以及青海湖流域西北部地区。在各生态系统中,高寒草甸的土壤保持量最大,平均为 2.68×10^8 t/a。近 24 a 来青海湖流域土壤保持量呈先增加后减小的变化趋势,并在 2005 年达到最大,相比于 1987 年,2010 年其土壤保持总量共计增加了 2.17×10^8 t,其中,高寒草甸的土壤保持量增加最多,增加了 1.20×10^8 t。[结论] 近 24 a 来,青海湖流域土壤保持功能在不断增强,土壤侵蚀程度不断减弱,表明青海湖流域的生态环境在不断改善。

关键词: 青海湖流域; 通用土壤流失方程; 土壤保持量; 时空变化

文献标识码: A **文章编号**: 1000-288X(2016)02-0326-06 **中图分类号**: P951

文献参数: 张静, 曹生奎, 曹广超, 等. 青海湖流域土壤保持量动态变化[J]. 水土保持通报, 2016, 36(2): 326-331. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2016.02.060

Variation of Soil Conservation Quantity in Qinghai Lake Basin

ZHANG Jing[1,2], CAO Shengkui[1,2], CAO Guangchao[1,2], CHEN Kelong[1,2],
JIANG Gang[1,2], ZHANG Tao[1,2], HAN Guangzhao[1,2], LIN Yangyang[1,2]

(1. *College of Life and Geographical Science, Qinghai Normal University, Xining, Qinghai* 810008, *China*; 2. *Qinghai Province Key Laboratory of Physical Geography and Environmental Process, Qinghai Normal University, Xining, Qinghai* 810008, *China*)

Abstract: [Objective] Soil conservation plays an important role in preventing soil erosion. We choose Qinghai Lake basin as the research area to examine and assess the temporal-spatial variation pattern of soil conservation quantity. [Methods] Universal soil loss equation(USLE) and GIS technology were used to illustrate the variation of soil conservation quantity from 1987 to 2010. [Results] The soil conservation quantities in Qinghai Lake basin were at an average of 4.68×10^8 t/a in the past 24 years. The high conservative areas of soil conservation capacity per unit area were at the upper and middle reaches of main river in Qinghai Lake basin, and the areas with low conservation level was around the Qinghai Lake and at the northwestern of Qinghai Lake basin. Among different regional ecosystems, the amount of soil conservation in the alpine meadow was the maximum, with an average of 2.68×10^8 t/a. Total quantities of soil conservation in Qinghai Lake basin showed an increase-decrease trend from 1987 to 2010, and it reached the largest in 2005. Compared with the one in 1987, soil conservation quantities in Qinghai Lake basin increased to 2.17×10^8 t by the end of 2010. The increment of soil conservation quantities in alpine meadow was the largest, about 1.2×10^8 t. [Conclusion] In the past 24 years, soil conservation capability of Qinghai Lake basin increased and soil erosion slowed down,

收稿日期: 2015-01-04 **修回日期**: 2015-03-24

资助项目: 国家社会科学基金项目"青海湖湿地生态系统服务价值动态及驱动机制研究"(10CJY015); 中国科学院"西部之光"项目(科发人教字[2012]179 号); 青海省重点实验室发展专项(2015-Z-Y01); 青海师范大学中青年科研基金项目(072020324)

第一作者: 张静(1988—),女(汉族),山西省孝义市人,硕士研究生,研究方向为全球变化生态学及生态水文。E-mail:294582383@qq.com。

通信作者: 曹生奎(1979—),男(汉族),青海省西宁市人,博士,教授,主要从事全球变化生态学方面的研究。E-mail:caoshengkui@163.com。

the ecological environment of Qinghai Lake basin got better and better.

Keywords: Qinghai Lake basin; universal soil loss equation; soil conservation quantities; temporal-spatial variation

随着人类活动的增多和自然环境的变化,土壤侵蚀现象越来越严重,已经成为人类面临的一个严峻问题。土壤侵蚀使大量的水土资源流失,导致土壤肥力降低、土地沙化、水库和湖泊淤塞、河床淤积抬高等生态环境问题,诱发自然灾害,同时生态环境的恶化又会进一步加剧贫困化,制约生态环境和社会经济的协调发展[1]。土壤侵蚀所带来的危害性突出了土壤保持的重要性和紧迫性。土壤保持,不仅在预防土壤侵蚀所造成的危害方面,而且在维持区域生态安全与可持续发展过程中都发挥着重要作用[2]。目前对土壤保持的定量评估大多是建立在通用土壤流失方程的基础上,并与日益发展的 GIS 技术相联系,使研究内容实现了空间和时间上的有机结合。通用土壤流失方程(universal soil loss equation, USLE)是 1954 年由美国农业部水土保持局提出的[3],最初应用于土壤侵蚀的研究,但现在也是研究土壤保持的一种有效方法。如 Ali[4] 应用 USLE 模型对印度半干旱半湿润气候的土壤侵蚀进行了研究;Ljubomir[5] 结合 GIS 和 RS 对塞尔维亚东南部的土壤侵蚀速率进行了评价等。20 世纪 80 年代以来,USLE 模型在我国得到了广泛的应用。例如,肖寒[6]、肖玉[7]、刘敏超[8]、陈龙[9]和孙文义[10]等专家学者分别对中国海南岛、青藏高原、三江源、澜沧江流域和黄土高原等地区的土壤保持功能进行了研究,并取得了丰硕成果。但大多数研究都只局限于某一固定时段,对土壤保持量动态变化的研究还较少,还不能深刻揭示土壤保持的时空变异性。

青海湖流域位于青南高原高寒区、西北干旱区和东部季风区的交汇处[11],特殊的地理位置使其形成了复杂多样的景观类型,具有极为重要的生态地位。而且青海湖流域属于全球变化的敏感区和生态系统典型脆弱区[12],对全球气候变暖和人类不合理的活动会更加敏感。近几十年来,青海湖流域的草场已开始退化,土壤侵蚀加剧[13]。同时青海湖流域总体土壤侵蚀敏感程度较高,中度及中度以上敏感类型的面积占 83.08%[14]。目前已有诸多学者[15-17]开展了青海湖流域土壤侵蚀方面的研究,但对该地区土壤保持的定量研究和动态评估报道较少。因此,本研究在 GIS 支持下对青海湖流域近 24 a 的土壤保持量进行评估,揭示其时空变化规律,为定量评估青海湖流域土壤保持功能和区域土壤保持的重要性提供理论支撑。

1　研究区概况

青海湖流域位于青海省东北部,位于 36°15′—38°20′N,97°50′—101°20′E[18]。面积约 29 646 km^2,海拔在 3 184～5 279 m 之间。其气候属于高原大陆性气候,降水主要集中在 6—8 月,昼夜温差大,太阳辐射强。青海湖,中国最大的咸水湖也在此区域内,较大的入湖支流有布哈河、沙柳河、哈尔盖河、黑马河和泉吉河。植被以草地为主,包括以茏茏草、紫花针茅为优势种的温性草原、高寒草原和以嵩草为主的高寒草甸等[19]。区域内主要的土壤类型有高山草甸土、高山草原土、高山寒漠土、沼泽土、风沙土等。

2　数据与方法

2.1　数据来源

青海湖流域周边 14 个气象站点在 1987,1995,2000,2005 和 2010 年的月降水量数据;对应年份的 Landsat TM/ETM$^+$ 影像数据和 NDVI 数据;青海湖流域及周边地区 1∶50 万的地形图;青海省土壤类型图;青海湖流域 30 m 分辨率的 DEM 数据。

2.2　青海湖流域生态系统类型的解译

参考国家土地利用现状分类标准(GB/T21010-2007)及青海湖流域的土地利用特征,将青海湖流域划分为湖泊、河流、居民/工矿用地、耕地、山地灌丛、河谷灌丛、温性草原、高寒草甸、湖滨沼泽、河谷沼泽、高寒沼泽、高山稀疏流石坡植被(简称稀疏植被)、石砾地、裸土地、裸岩和沙地,共 16 种类型。在此基础上根据遥感数据空间分辨率、植被类型的可读性、野外实地调查和相关资料,建立青海湖流域植被类型遥感图像解译标志,利用 ArcGIS 软件进行人机交互式解译,并进行矢量化。

2.3　土壤保持量的评估方法

运用 USLE 计算青海湖流域潜在土壤侵蚀量和现实土壤侵蚀量,二者之差即为青海湖流域的土壤保持量。潜在土壤侵蚀量是指生态系统在没有植被覆盖和水土保持措施情况下的土壤侵蚀量,即 $C=1$,$P=1$,此时通用土壤流失方程为[7]:

$$A_p = R \cdot K \cdot LS \quad (1)$$

式中:A_p——单位面积潜在土壤侵蚀量〔t/(hm^2 · a)〕;R——降水侵蚀力指数〔MJ · mm/(hm^2 · h · a)〕;

K——土壤可蚀性因子〔t·h/(MJ·mm)〕；LS——坡长坡度因子。

现实土壤侵蚀量考虑了植被覆盖和水土保持措施，其通用土壤流失方程为：

$$A_r = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \tag{2}$$

式中：A_r——单位面积现实土壤侵蚀量〔t/(hm²·a)〕；C——地表植被覆盖因子；P——土壤保持措施因子。

土壤保持量计算公式为：

$$A_c = A_p - A_r \tag{3}$$

式中：A_c——单位面积土壤保持量〔t/(hm²·a)〕；A_p——单位面积潜在土壤侵蚀量〔t/(hm²·a)〕；A_r——单位面积现实土壤侵蚀量〔t/(hm²·a)〕。

2.3.1 *R* 值的估算 R 值是降水侵蚀力指数，降水量对地表侵蚀起着直接的作用。R 值的计算方法众多，计算公式为[7]：

$$R = 0.0355P_{5-10} + 0.6576 \tag{4}$$

式中：R——降水侵蚀力指数〔MJ·mm/(hm²·h·a)〕；P_{5-10}——青海湖流域5—10月降水量总和(mm)。利用公式(4)分别计算了青海湖流域14个气象站点在1987，1995，2000，2005和2010年的 R 值，然后利用ArcGIS软件中的克里金插值法插值得到青海湖流域对应年份的 R 值分布图。

2.3.2 *K* 值的估算 K 值的大小表示土壤被冲蚀的难易程度，反映土壤对侵蚀外营力剥蚀和搬运的敏感性[20]。其值由土壤的性质决定。本演技 K 值采用刘吉峰等[20]的研究成果，青海湖流域不同土壤类型的 K 值详见表1。

表1 青海湖流域土壤类型及 *K* 值

土壤类型	高山寒漠土	高山草甸土	高山草原土	山地草甸土	高山漠土	黑钙土	栗钙土	沼泽土	草甸土	风沙土
K 值	0.401	0.199	0.257	0.338	0.412	0.171	0.423	0.138	0.485	0.281

2.3.3 *LS* 的估算 LS 为坡度坡长因子，其中 L 为坡长因子，S 为坡度因子，在数字高程模型(DEM)中提取。本研究在提取坡长时，采用的方法是在ArcGIS软件中对原始DEM数据进行填洼后计算水流长度，以其作为坡长。LS 的计算公式为[21]：

$$LS = 1.02\left(\frac{\gamma}{20}\right)^{0.25} \cdot \left(\frac{\alpha}{5.16}\right)^{1.3} \tag{5}$$

式中：γ——坡长(m)；α——坡度(°)。

2.3.4 *C* 值的估算 C 为地表覆盖因子，表明了植被的生长状况，土壤侵蚀与植被的覆盖度有紧密联系。青海湖流域植被覆盖度的计算主要是采用归一化植被指数即NDVI进行提取计算。得到植被覆盖度后计算 C 值，其计算方程为[22]：

$$C = \begin{cases} 1 & (f_c = 1) \\ 0.6508 - 0.3436\lg f_c & (0 < f_c < 78.3\%) \\ 0 & (f_c \geqslant 78.3\%) \end{cases} \tag{6}$$

式中：C——地表覆盖因子；f_c——植被覆盖度。

2.3.5 *P* 值的估算 P 为土壤保持措施因子，其取值在0～1之间。若没有采用任何土壤保持措施其值为1，通过参考相关研究成果[23-24]，根据青海湖流域的生态系统类型确定其具体的 P 值(表2)。在ArcGIS软件中，将 P 值赋值到青海湖流域生态系统类型的矢量图中，并转为栅格图层，从而得到青海湖流域1987—2010年的 P 值因子图。

表2 青海湖流域不同生态系统的 *P* 值

生态系统类型	P 值	生态系统类型	P 值	生态系统类型	P 值	生态系统类型	P 值
裸岩	1	河流	0	山地灌丛	1	稀疏植被	1
裸土地	1	湖泊	0	高寒沼泽	1	高寒草甸	1
石砾地	1	温性草原	1	湖滨沼泽	1	耕地	0.3
沙地	1	河谷灌丛	1	河谷沼泽	1	居民/工矿用地	0.25

3 结果与分析

3.1 青海湖流域土壤保持量时空分布

将 R 值、K 值、LS 值、C 值和 P 值的栅格图层在ArcGIS软件中依据公式(3)，通过栅格计算器工具计算获得1987—2010年青海湖流域土壤保持量的空间分布图，并与相对应的青海湖流域生态系统矢量图层叠加，通过掩膜提取工具获得不同时期青海湖流域各生态系统土壤保持量及其空间分布状况(表3，附图9)。结果显示，青海湖流域单位面积土壤保持量高值区分布在青海湖流域主要河流的河源区及中部地区，低值区主要集中分布在青海湖周围、河谷以及青海湖流域西北部地区。这主要受降水、地形、土壤和植被覆盖度和人类活动的共同影响。青海湖流域1987，

1995,2000,2005 和 2010 年单位面积的最大土壤保持量分别为 610,750,910,1 070,900 t/hm^2,在 2005 年出现最高值。

1987—2010 年青海湖流域土壤保持总量在 3.27×10^8～6.26×10^8 t/a 间变化,平均为 4.68×10^8 t/a,单位面积的平均土壤保持量为 158.11 t/hm^2。单位面积土壤保持量最大的是山地灌丛,近 24 a 来,其单位面积平均土壤保持量为 253.98 t/hm^2;单位面积土壤保持量最少的是湖滨沼泽,其单位面积平均土壤保持量为 26.22 t/hm^2。

在各生态系统中,高寒草甸的土壤保持量最大,其值在 1.89×10^8 t/a～3.60×10^8 t/a 间变化,平均值为 2.68×10^8 t/a,占整个青海湖流域平均土壤保持总量的 57.36%。其次是稀疏植被和裸岩,它们的土壤保持量在近 24 a 里分别在 4.19×10^7～9.94×10^7 和 3.58×10^7～6.86×10^7 t/a 间变化,平均土壤保持量分别为 6.81×10^7 t/a 和 5.21×10^7 t/a,分别占整个青海湖流域平均土壤保持总量的 14.54% 和 11.13%。因高寒草甸、稀疏植被和裸岩在青海湖流域中所占面积较大,其平均面积约占总面积的 65.28%(高寒草甸约占 45.16%;稀疏植被约占 12.18%;裸岩约占 7.94%),因此这 3 种生态系统的土壤保持总量占整个青海湖流域平均土壤保持总量的 83.03%,对青海湖流域的水土保持起着决定性作用,在开发过程中要特别注意对这 3 种生态类型的保护。石砾地和居民/工矿用地的土壤保持量最小,24 a中它们的土壤保持量分别在 4.00×10^4～4.40×10^5 t/a 和 3.00×10^4～2.80×10^5 t/a 间变化,平均土壤保持量分别为 1.6×10^5 t/a 和 1.0×10^5 t/a,仅占整个青海湖流域土壤保持量的 0.04%和0.02%。总体来看:青海湖流域 16 种生态系统土壤保持量的大小顺序依次为:高寒草甸>稀疏植被>裸岩>温性草原>湖泊>高寒沼泽>山地灌丛>沙地>河流>裸土地>耕地>河谷灌丛>湖滨沼泽>河谷沼泽>石砾地>居民/工矿用地。

3.2　青海湖流域土壤保持量动态变化

青海湖流域土壤保持总量在近 24 a 来呈逐渐增加趋势,年均线性增加率为 6.346×10^6 t/a,土壤保持量最高值出现在 2005 年。在影响土壤保持量的因子中,K 值、LS 值和 P 值在一段时间内的变化很小,可以忽略不计,因此土壤保持量主要是受 R 值和 C 值的影响。R 值主要受降水影响,C 值主要受植被生长状况影响,而降水量又会影响地表植被的生长,可见 R 值和 C 值间的关系密切,且 R 值越大,C 值越小,土壤保持量越大。所以在 2005 年 R 值最大,C 值与其他年份相比较小,故青海湖流域的土壤保持量最高值也出现在 2005 年。

在各生态系统类型中,由于面积的变化,高寒沼泽、湖滨沼泽、河谷沼泽和耕地的土壤保持量呈先减小后增加的趋势;湖泊、温性草原的土壤保持量则处于增加—减小的波动变化中;石砾地和裸土地的土壤保持量表现出先增加后减小的变化特点;其他类型的土壤保持量是先增加,在 2005 年达到最大,而后稍有减小。

表 3　青海湖流域 1987－2010 年不同生态系统土壤保持量

类 型	1987 年		1995 年		2000 年		2005 年		2010 年	
	土壤保持量/(10^6 t·a^{-1})	贡献率/%	土壤保持量/(10^6 t·a^{-1})	贡献率/%	土壤保持量/(10^6 t·a^{-1})	贡献率/%	土壤保持量/(10^6 t·a^{-1})	贡献率/%	土壤保持量/(10^6 t·a^{-1})	贡献率/%
裸 岩	35.80	10.95	48.60	11.43	47.05	11.24	68.56	10.96	60.52	11.13
裸土地	1.62	0.50	2.12	0.50	2.48	0.59	3.27	0.52	1.84	0.34
石砾地	0.11	0.03	0.15	0.04	0.44	0.11	0.08	0.01	0.04	0.01
河 流	1.73	0.53	1.43	0.34	2.71	0.65	3.75	0.60	3.56	0.65
湖 泊	15.97	4.89	26.97	6.34	18.78	4.49	25.99	4.15	24.98	4.59
高寒草甸	189.35	57.93	238.88	56.2	244.32	58.36	359.89	57.53	309.78	56.95
稀疏植被	41.91	12.82	57.53	13.53	60.54	14.46	99.37	15.88	80.92	14.88
温性草原	17.00	5.20	24.01	5.65	19.51	4.66	28.56	4.57	24.01	4.41
河谷灌丛	0.18	0.06	0.29	0.07	0.46	0.11	1.10	0.18	0.28	0.05
山地灌丛	7.59	2.32	7.46	1.75	7.66	1.83	8.95	1.43	9.46	1.74
高寒沼泽	10.70	3.27	12.58	2.96	10.27	2.45	19.20	3.07	21.58	3.97
湖滨沼泽	0.69	0.21	0.19	0.04	0.26	0.06	0.79	0.13	0.28	0.05
河谷沼泽	0.47	0.14	0.52	0.12	0.21	0.05	0.33	0.05	0.55	0.1
耕 地	1.12	0.34	1.47	0.35	0.92	0.22	0.93	0.15	1.74	0.32
居民/工矿用地	0.03	0.01	0.05	0.01	0.05	0.01	0.28	0.04	0.10	0.02
沙 地	2.59	0.79	2.83	0.67	2.95	0.70	4.51	0.72	4.28	0.79
总 计	326.86	100	425.08	100	418.61	100	625.56	100	543.92	100

不同时段青海湖流域土壤保持量变化结果显示(表4),1987—1995年青海湖流域土壤保持量共计增加了9.82×10^7 t。在各生态系统中,高寒草甸的土壤保持量增加最为明显,增加了4.95×10^7 t;其次为裸岩,增加了1.28×10^7 t;湖滨沼泽的土壤保持量减少最多,减少了4.98×10^5 t。1995—2000年青海湖流域土壤保持量呈减少趋势,土壤保持总量共计减少了6.47×10^6 t。其中,湖泊、温性草原、高寒沼泽和裸岩的土壤保持量在明显减少,分别减少了8.19×10^6 t,4.50×10^6 t,2.30×10^6 t和1.56×10^6 t。而高寒草甸的土壤保持量增加最多,增加了5.44×10^6 t;其次是稀疏植被,增加了3.01×10^6 t。2000—2005年青海湖流域土壤保持量呈增加趋势,土壤保持总量共计增加了2.07×10^8 t。在各生态系统中,高寒草甸、稀疏植被和裸岩的土壤保持量增加最多,分别增加了1.16×10^8 t,3.88×10^7 t和2.15×10^7 t。2005—2010年青海湖流域土壤保持量共计减少了8.16×10^7 t。除山地灌丛、高寒沼泽、河谷沼泽和耕地的土壤保持量在增加外,其余的都在减少。其中,高寒草甸的土壤保持量减少最多,减少了5.01×10^7 t;其次是稀疏植被,减少了1.85×10^7 t。

综合分析1987—2010年青海湖流域土壤保持量的变化状况可以看出(表4),同1987年相比,到2010年其土壤保持总量共计增加了2.17×10^8 t。在各生态系统类型中,只有石砾地和湖滨沼泽的土壤保持量在减小,其余的均在增加。其中,高寒草甸的土壤保持量增加最多,增加了1.20×10^8 t;其次是稀疏植被、裸岩和高寒沼泽,分别增加了3.90×10^7 t,2.47×10^7 t和1.09×10^7 t。表明青海湖流域土壤的保持功能在不断的增强,土壤的侵蚀在不断的减弱,这正是青海湖流域生态环境在不断转优的表现。这归结于2000年后国家在青海湖流域地区实施了退耕还林还草工程和一系列生态环境保护建设工程。同时当地居民的环保意识在不断增强,近年来青海湖流域气候变化呈现暖湿化,这些都有利于青海湖流域生态环境的好转和恢复,从而使其土壤保持功能在增强。

4 结论

(1) 1987—2010年近24 a来青海湖流域的土壤保持量在$3.27\times10^8\sim6.26\times10^8$ t/a间变化,平均为4.68×10^8 t/a。土壤保持高值区主要分布在青海湖流域主要河流的河源地区及河流中部地区,低值区主要集中分布在青海湖周围、河谷以及青海湖流域西北部地区。在各生态系统中,高寒草甸的土壤保持量最大,其次是稀疏植被和裸岩,它们的平均土壤保持量分别为2.68×10^8 t/a,6.81×10^7 t/a和52.11×10^7 t/a。三者的土壤保持总量占整个青海湖流域土壤保持量的83.03%,对青海湖流域的土壤保持总量起着决定性的作用,因此在开发过程中要特别注意对这3种生态系统的保护。

表4 青海湖流域1987—2010年土壤保持量变化 10^5 t

类 型	1987—1995年	1995—2000年	2000—2005年	2005—2010年	1987—2010年
裸 岩	128.04	−15.55	215.08	−80.42	247.15
裸土地	5.01	3.60	7.88	−14.21	2.27
石砾地	0.41	2.90	−3.59	−0.42	−0.70
河 流	−3.04	12.82	10.36	−1.83	18.32
湖 泊	109.93	−81.86	72.08	−10.09	90.06
高寒草甸	495.26	54.39	1 155.68	−501.05	1 204.28
稀疏植被	156.18	30.09	388.33	−184.56	390.04
温性草原	70.16	−44.99	90.42	−45.45	70.14
河谷灌丛	1.04	1.77	6.40	−8.21	1.00
山地灌丛	−1.35	1.98	12.89	5.09	18.61
高寒沼泽	18.79	−23.03	89.21	23.81	108.79
湖滨沼泽	−4.98	0.69	5.30	−5.03	−4.01
河谷沼泽	0.48	−3.15	1.26	2.14	0.73
耕 地	3.54	−5.51	0.12	8.08	6.23
居民/工矿用地	0.25	0.02	2.25	−1.82	0.70
沙 地	2.41	1.16	15.60	−2.28	16.89
总 计	982.11	−64.66	2 069.27	−816.22	2 170.49

(2) 近24 a来青海湖流域土壤保持量呈逐渐增加趋势,在2005年达到最高,与1987年相比,到2010年土壤保持总量共计增加了2.17×10^8 t。其中,高寒草甸的土壤保持量增加最多,增加了1.20×10^8

t/a;其次是稀疏植被、裸岩和高寒沼泽,分别增加了 3.90×10^7 t,2.47×10^7 t 和 1.09×10^7 t。近 24 a 来只有石砾地和湖滨沼泽的土壤保持量在减小,分别减少了 7.00×10^4 t 和 4.01×10^5 t。这表明青海湖流域土壤的保持功能在不断的增强,土壤的侵蚀在不断的减弱,说明青海湖流域的生态环境在不断转优。

[参 考 文 献]

[1] 赵晓丽,张增祥,谭文彬,等. 西部地区土壤侵蚀特征及其危害分析[J]. 水土保持学报,2002,22(3):15-19.

[2] 饶恩明,肖燚,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.

[3] 傅炜. 黄土地区通用土壤流失方程模型研究[J]. 干旱区资源与环境,1997,11(1):58-66.

[4] Ali S, Sharda V N. Evaluation of the universal soil loss equation(USLE) in semi-arid and sub-humid climates of India[J]. Applied Engineering in Agriculture, 2005,21(2):217-225.

[5] Ljubomir Z, Veljko P, Darko J. et al. Application of USLE, GIS and remote sensing in the assessment of soil erosion rates in Southeastern Serbia[J]. Polish Journal of Environmental Studies, 2012,21(6):1929-1935.

[6] 肖寒,欧阳志云,赵景柱,等. 海南岛生态系统土壤保持空间分布特征及生态经济价值评估[J]. 生态学报,2000,20(4):552-558.

[7] 肖玉,谢高地,安凯. 青藏高原生态系统土壤保持功能及其价值[J]. 生态学报,2003,23(11):2367-2378.

[8] 刘敏超,李迪温,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.

[9] 陈龙,谢高地,裴厦,等. 澜沧江流域生态系统土壤保持功能及其空间分布[J]. 应用生态学报,2012,23(8):2249-2256.

[10] 孙文义,邵全琴,刘纪远. 黄土高原不同生态系统水土保持服务功能评价[J]. 自然资源学报,2014,29(3):365-375.

[11] 曹生奎,陈克龙,曹广超,等. 青海湖流域矮嵩草草甸土壤有机碳密度分布特征[J]. 生态学报,2014,34(2):482-490.

[12] 李小雁,许何也,马育军,等. 青海湖流域土地利用/覆被变化研究[J]. 自然资源学报,2008,23(2):285-296.

[13] 高小红,王一谋,冯毓荪,等. 基于遥感和 GIS 的青海湖地区土地利用变化及其对生态环境影响的研究[J]. 遥感技术与应用,2002,17(6):304-309.

[14] 赵明月,赵文武,安艺明,等. 青海湖流域土壤侵蚀敏感性评价[J]. 中国水土保持科学,2012,10(2):15-20.

[15] 陈兴芳,殷青军,张志军. 青海湖流域土壤侵蚀现状及防御对策研究[J]. 北京农业,2011,33(11):149-151.

[16] 张娟,沙占江,王静慧,等. 基于遥感和 GIS 的青海湖流域冻融侵蚀研究[J]. 冰川冻土,2012,34(2):375-381.

[17] 沙占江,张娟,宋昌斌,等. 基于 RS/GIS 的布哈河流域土壤侵蚀现状研究[J]. 水土保持通报,2012,32(6):253-255.

[18] 陈克龙,韩艳丽,曹生奎. 青海湖流域植被生态补偿标准初探[J]. 青海师范大学学报:自然科学版,2012,28(1):21-24.

[19] 李旭谦. 青海湖流域草地类型及其分布[J]. 青海草业,2009,18(4):20-23.

[20] 刘吉峰,李世杰,秦宁生. 青海湖流域土壤可蚀性 K 值研究[J]. 干旱区地理,2006,29(3):321-326.

[21] 陈兴芳. 基于 USLE 模型的青海湖流域土壤侵蚀现状评价[D]. 青海 西宁:青海师范大学,2012.

[22] 蔡崇法,丁树文,史志华,等. 应用 USLE 模型和地理信息系统 IDRIS 预测小流域上壤侵蚀量的研究[J]. 水上保持学报,2000,14(2):19-24.

[23] 齐述华,蒋梅鑫,于秀波. 基于遥感和 ULSE 模型评价 1995—2005 年江西土壤侵蚀[J]. 中国环境科学,2011,31(7):1197-1203.

[24] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning [M]. US: USDA Agrieuhural Handbook,1978.