

doi: 10.6046/gtzyyg.2017.s1.17

引用格式: 史青云, 赵志芳, 宋坤, 等. 基于RS和GIS的滇池流域水蚀荒漠化动态监测[J] 国土资源遥感, 2017, 29(s1): 101-105. (Shi Q Y, Zhao Z F, Song K, et al. Dynamic monitoring of water erosion desertification in Dianchi watershed based on RS and GIS [J] Remote Sensing for Land and Resources, 2017, 29(s1): 101-105.)

# 基于RS和GIS的滇池流域水蚀荒漠化动态监测

史青云<sup>1</sup>, 赵志芳<sup>1</sup>, 宋坤<sup>2</sup>, 闫洁茹<sup>1</sup>

(1. 云南大学资源环境与地球科学学院, 昆明 650091; 2. 昆明理工大学国土资源工程学院, 昆明 650091)

**摘要:** 滇池流域生态区位重要, 但研究资料表明区内还存在一定程度上的荒漠化。为较好发挥区内生态环境效应, 本研究基于RS与GIS技术, 对2000年、2008年和2015年滇池流域水蚀荒漠化进行分析, 结果表明该流域内水蚀荒漠化主要分布在滇池流域东北部的盘龙区、官渡区、呈贡县和南部的晋宁县, 且总体呈减少趋势。2000—2008年间水蚀荒漠化面积减少78.44 km<sup>2</sup>, 年平均减少9.81 km<sup>2</sup>; 2008—2015年间减少速率较快, 共减少218.89 km<sup>2</sup>, 年平均减少27.36 km<sup>2</sup>。近年来滇池流域封山育林、人工造林和土地利用方式的改变, 使水蚀荒漠化得到明显改善。

**关键词:** 滇池流域; 水蚀荒漠化; 遥感; 动态监测

**中图法分类号:** TP 79 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-070X(2017)s1-0101-05

## 0 引言

根据《中国荒漠化和沙化状况公报》统计, 我国共有荒漠化土地约262.37万km<sup>2</sup>, 占全国国土面积的27.33%<sup>[1-2]</sup>。因此, 土地荒漠化已经成为我国重大环境问题之一, 严重威胁着人类正常的生存和发展<sup>[3]</sup>。据1997年《联合国防治荒漠化公约》相关资料, 水蚀荒漠化是指以流水侵蚀作用为主, 在人为和气候等因素的共同作用下使地表植被遭受破坏, 造成土地生产力严重下降直至丧失, 出现以劣质地或石质(碎石质等)坡地为标志的土地严重退化现象<sup>[4-5]</sup>。

滇池流域是云南省居民最密集、人类活动最频繁、经济最发达的地区, 是支撑昆明国民经济建设和社会事业发展的基础<sup>[6]</sup>。但该区生态环境比较脆弱, 荒漠化问题较严峻, 近年来的研究主要集中在滇池流域荒漠化的现状研究<sup>[7]</sup>, 对荒漠化的动态变化研究较少<sup>[8-9]</sup>。因此, 通过对比3个时期的遥感图像, 获取滇池流域的水蚀荒漠化动态变化信息, 根据监测结果分析水蚀荒漠化变化的特征和原因, 并针对性提出滇池流域水蚀荒漠化治理措施建议。

## 1 研究区概况和研究方法

### 1.1 研究区概况

滇池流域位于云南省中部, 地理坐标 N24°28' ~

25°28', E102°28' ~ 103°01' (图1)。

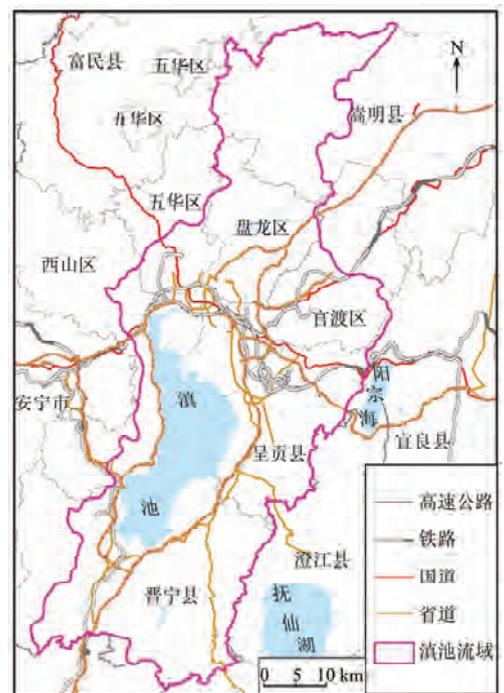


图1 滇池流域地理位置

Fig. 1 Geography location of Dianchi watershed

研究区处于长江、珠江和红河3大水系分水岭地带, 南北长约109 km, 东西宽约52 km, 总面积约3 035 km<sup>2</sup>。滇池流域属金沙江流域, 地势总体上北东高、南西低, 以中部滇池湖盆为核心, 地势向盆地

收稿日期: 2017-06-01; 修订日期: 2017-07-04

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“全国自然资源遥感综合调查与信息系统建设”(编号: DD20160077)和云南省云岭学者云南大学项目(编号: C6153001)共同资助。

第一作者: 史青云(1990-), 男, 硕士研究生, 主要从事资源环境、遥感地质和环境评价方面研究。Email: 378708715@qq.com。

通信作者: 赵志芳(1971-), 女, 教授, 主要从事资源环境、遥感地质和第四纪地质方面研究。Email: zzf\_1002@163.com。

四周逐渐增高,构成典型的盆地地形,最高点为东北部嵩明梁王山,海拔为 2 840 m,最低为滇池水面,海拔为 1 886 m。四周溶蚀、侵蚀山区与盆地高差约为 400 ~ 800 m,属低山—低中山地貌。滇池流域位于低纬度高海拔地区,夏无酷暑,冬无严寒,干雨季分明,属亚热带高原季风气候区。研究区内平均降水量为 972 mm,平均气温为 14.7 ℃,省会昆明坐落于滇池流域内。

## 1.2 研究方法

### 1.2.1 水蚀荒漠化分类

根据文献[4]中对水蚀荒漠化的定义,结合滇池流域特点将水蚀荒漠化按照侵蚀程度和植被覆盖度划分为无荒漠化、轻度、中度和重度 4 种类型,在遥感影像上主要通过劣地或石质坡地、现代沟谷所占该地区面积比例植被覆盖度及地表景观等间接综合特征进行判识(表 1)。

表 1 水蚀荒漠化强度分级

Tab.1 Water erosion desertification intensity classification

荒漠化代号	荒漠化程度	劣地或石质坡地面积所占比例/%	现代沟谷 <sup>①</sup> 面积所占比例/%	植被覆盖度/%	地表景观综合特征
SS-0	无荒漠化	—	—	>70	植被覆盖度较高,地形平坦,沟谷不发育
SS-1	轻度	≤10	≤10	(50,70]	斑点状分布劣地或石质坡地,细沟发育,切割深度小于 1 m,裸露沙石地表零星分布的裸地
SS-2	中度	(10,70)	(10,70)	(30,50]	有较大面积分布劣地或石质坡地,沟谷切割深度在 1 ~ 3 m,较广泛地分布在裸露沙石地表
SS-3	重度	≥70	≥70	≤30	密集分布劣地或石质坡地,沟谷切割深度大于 3 m,地表较破碎

①现代沟谷包括细沟、切沟及冲沟。

### 1.2.2 水蚀荒漠化动态度

水蚀荒漠化动态度可定量描述区域不同程度水蚀荒漠化的变化速度,表示研究区在一定时间范围内某种水蚀荒漠化类型的数量变化情况,即

$$K = \frac{U_b - U_a}{U_a} \frac{1}{T} \times 100\% \quad (1)$$

式中:  $K$  为研究时段内某一类型水蚀荒漠化动态度;  $U_a$  和  $U_b$  分别为研究期初及研究期末某一水蚀荒漠化程度的面积;  $T$  为研究时长,当  $T$  的时段设定为年时,  $K$  为某种水蚀荒漠化程度的年均变化率<sup>[10]</sup>。动态度为正值表示某段时间内该水蚀荒漠化类型的数量呈增加趋势;反之,则呈减少趋势。

### 1.2.3 数据预处理

采用 2000 年 ETM+、2008 年 TM、2015 年 ZY-

3,GF-1 和 GF-2 等遥感数据,原始数据中的云、雪等分布范围均小于 5%。经图像镶嵌、正射校正等处理,分别将 ETM+ 和 TM 图像按 B5(R),B4(G),B3(B) 波段合成,ZY-3,GF-1 和 GF-2 图像按 B3(R),B2(G),B1(B) 波段合成彩色图像。

### 1.2.4 遥感信息提取

表 2 为水蚀荒漠化遥感解译标志。在遥感影像上,植被为绿色点状、斑块状,劣地或石质坡地为浅紫色—浅灰色、浅白色斑块状,而沟谷为明显的沟壑起伏不平,呈切割破碎影纹,在背阴坡上伴有深黑色调阴影。目视判读计算植被和劣地或石质坡地、沟谷所占面积,基于不同水蚀荒漠化在遥感影像上的影纹特征,建立水蚀荒漠化直接或间接解译标志。经野外验证,水蚀荒漠化图斑解译精度为 88.6%。

表 2 水蚀荒漠化遥感解译标志

Tab.2 Water erosion desertification interpretation marks of remote sensing

冰蚀荒漠化程度	典型影像	解译标志	野外照片
轻度		目估绿色植被覆盖达 50% ~ 70%; 灰色影纹劣地或石质坡地 < 10%; 条带状现代沟谷 < 10%	
中度		目估绿色植被覆盖达 30% ~ 50%; 灰色影纹劣地或石质坡地占 10% ~ 30%; 条带状现代沟谷占 10% ~ 30%	
重度		目估绿色植被覆盖 ≤ 30%; 灰色影纹劣地或石质坡地 ≥ 30%; 条带状现代沟谷 ≥ 30%	

## 2 结果分析

### 2.1 滇池流域水蚀荒漠化现状分析

滇池流域水蚀荒漠化主要分布在滇池流域东北部的盘龙区、官渡区、呈贡县和南部的晋宁县等县区,如表 3 和图 2 所示。

表 3 滇池流域 2000 年、2008 年和 2015 年水蚀荒漠化面积  
Tab.3 Area of water erosion desertification in Dianchi watershed in 2000, 2008 and 2015 (km<sup>2</sup>)

水蚀荒漠化程度	2000 年	2008 年	2015 年
轻度	126.90	108.43	82.71
中度	334.22	260.99	86.47
重度	29.56	42.82	24.17
总计	490.68	412.24	193.35

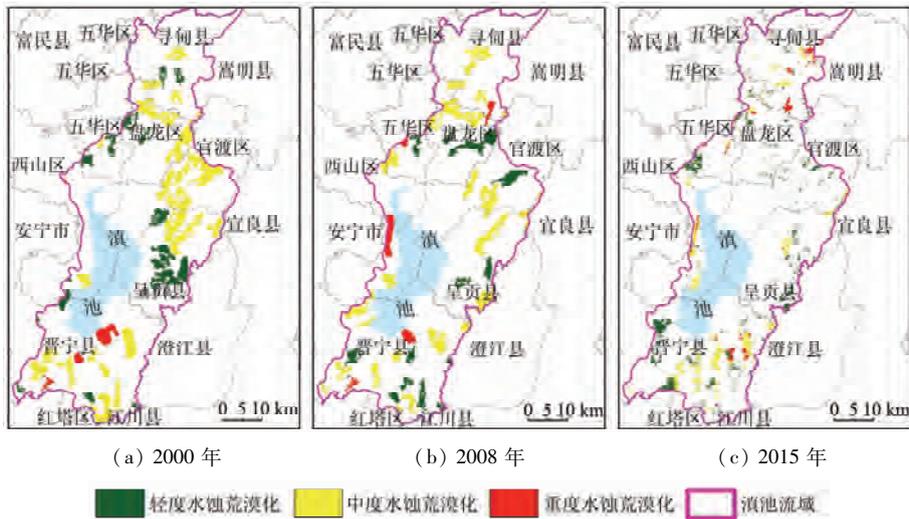


图 2 滇池流域 2000 年、2008 年和 2015 年水蚀荒漠化分布

Fig.2 Distribution of water erosion desertification in Dianchi watershed in 2000, 2008 and 2015

从表 3 和图 2 中可以看出,2000 年滇池流域水蚀荒漠化面积为 490.68 km<sup>2</sup>,占比 16.16%; 其中中度水蚀荒漠化最多,其次是轻度水蚀荒漠化,最小为重度水蚀荒漠化。2008 年该研究区水蚀荒漠化面积为 412.24 km<sup>2</sup>,占比 13.58%; 其中,中度水蚀荒漠化最多,其次是轻度水蚀荒漠化,最小仍为重度水蚀荒漠化。2015 年该研究区水蚀荒漠化面积为 193.35 km<sup>2</sup>,占比 6.37%; 其中中度水蚀荒漠化最多,其次是轻度水蚀荒漠化,最小依旧为重度水蚀荒漠化。

综上所述,2000—2015 年间滇池流域水蚀荒漠化以中度为主,并整体呈减少趋势,重度水蚀荒漠化呈先增加后减少的变化趋势; 2000—2015 年 16 a 间水蚀荒漠化总面积共减少 297.33 km<sup>2</sup>,年平均变化率为 18.58 km<sup>2</sup>·a<sup>-1</sup>; 2000—2008 年间水蚀荒漠化面积减少 78.44 km<sup>2</sup>,年平均变化率为 9.81 km<sup>2</sup>·a<sup>-1</sup>; 特别是 2008—2015 年间减少最明显,面积共减少 218.89 km<sup>2</sup>,年平均变化率为 27.36 km<sup>2</sup>·a<sup>-1</sup>。

### 2.2 滇池流域水蚀荒漠化变化研究

#### 2.2.1 3 期水蚀荒漠化变化分析

依据 2000 年、2008 年和 2015 年统计的滇池流域水蚀荒漠化面积,利用公式(1),得到滇池流域 2000—2015 年间水蚀荒漠化动态度(表 4)。

表 4 滇池流域水蚀荒漠化动态度

Tab.4 Dynamics of water erosion desertification in the Dianchi watershed

水蚀荒漠化程度	2000—2008 年	2008—2015 年	2000—2015 年
轻度	-0.018 19	-0.029 65	-0.021 76
中度	-0.027 39	-0.083 59	-0.046 33
重度	0.056 07	-0.054 44	-0.011 40

1) 2000—2008 年、2008—2015 年和 2000—2015 年间滇池流域水蚀荒漠化动态度变化明显,尤其是中度和重度水蚀荒漠化动态度较大; 特别是 2008—2015 年间中度和重度水蚀荒漠化动态度均小于 -0.05,表明在 2008—2015 年间中度、重度水蚀荒漠化变化较快,中度和重度水蚀荒漠化得到明显改善; 2000—2008 年间轻度、中度水蚀荒漠化动态度均小于 0,重度水蚀荒漠化动态度大于 0,表明在此阶段轻度和中度水蚀荒漠化得到改善,而重度水蚀荒漠化进一步恶化。

2) 3 期数据中,滇池流域水蚀荒漠化面积总体呈减少趋势。2000—2015 年间,轻度和中度水蚀荒漠化都有所减少,且中度最明显; 而重度水蚀荒漠化动态度在 2000—2008 年间为正值、2008—2015 年间为负值,2000—2015 年间也为负值,表明重度水蚀荒漠化面积先增加后减少,整体呈减少趋势。

2.2.2 2 期水蚀荒漠化变化分析

1)2000—2008 年间滇池流域水蚀荒漠化以稳定为主,减轻面积大于加重面积,总体上呈减轻趋势(表 5)。其中,未荒漠化土地转化为荒漠化土地 125.53 km<sup>2</sup>,而荒漠化土地转化为未荒漠化土地 203.96 km<sup>2</sup>;同时荒漠化减轻面积为 254.79 km<sup>2</sup>,加重面积为 154.71 km<sup>2</sup>。期间未荒漠化及减轻面积均大于加重面积,表明该阶段滇池流域水蚀荒漠化得到改善。

表 5 滇池流域 2000—2008 年水蚀荒漠化转移矩阵

Tab.5 Water erosion desertification transformation matrixes in Dianchi watershed from 2000 to 2008 (km<sup>2</sup>)

2000 年	2008 年				总计
	SS-0	SS-1	SS-2	SS-3	
SS-0	2 419.52	24.48	74.52	26.53	2 545.04
SS-1	67.31	33.13	26.46	0	126.90
SS-2	120.67	50.83	160.00	2.72	334.22
SS-3	15.98	0	0	13.58	29.56
总计	2 623.48	108.43	260.98	42.82	

2000—2008 年间水蚀荒漠化加重的区域主要位于滇池流域西部和东北部,其中五华区、西山区和盘龙区较剧烈;相反水蚀荒漠化缓解区域主要分布在滇池流域东部和南部地区,集中于官渡区、呈贡县和晋宁县等县区。

2)2008—2015 年间滇池流域水蚀荒漠化仍以稳定为主,减轻面积远大于加重面积,总体上呈减轻趋势(表 6)。

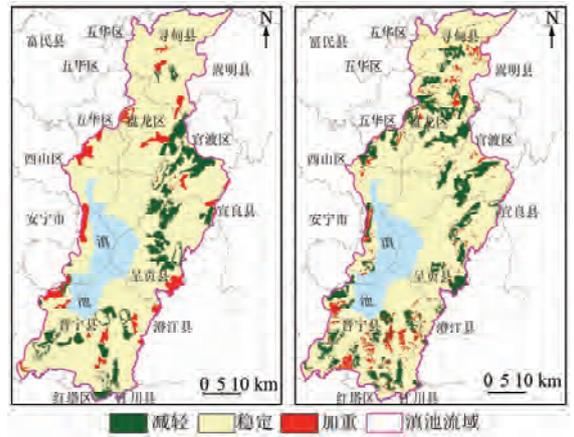
表 6 滇池流域 2008—2015 年水蚀荒漠化转移矩阵

Tab.6 Water erosion desertification transformation matrixes in Dianchi watershed from 2008 to 2015 (km<sup>2</sup>)

2008 年	2015 年				总计
	SS-0	SS-1	SS-2	SS-3	
SS-0	2 507.10	58.21	40.89	17.29	2 623.48
SS-1	98.03	4.88	5.49	0.03	108.43
SS-2	205.91	19.40	31.43	4.24	260.98
SS-3	31.34	0.21	8.66	2.61	42.82
总计	2 842.38	82.71	86.47	24.17	

从表 5 可以看出,未荒漠化土地转化为荒漠化土地 116.39 km<sup>2</sup>,而荒漠化土地转化为未荒漠化土地 335.28 km<sup>2</sup>;荒漠化减轻面积达 363.55 km<sup>2</sup>,加重面积达 126.15 km<sup>2</sup>。期间未荒漠化及减轻面积远大于加重面积,表明该阶段滇池流域水蚀荒漠化得到进一步改善。

2008—2015 年间除滇池流域南部的晋宁县和北部的嵩明县水蚀荒漠化程度加重以外,其他部分地区均取得不同程度的改善,主要是盘龙区、西山区、官渡区和呈贡县等县区较明显。总体上,滇池流域 2 期水蚀荒漠化均得到明显改善(图 3)。



(a) 2000—2008 年 (b) 2008—2015 年

图 3 滇池流域 2000—2015 年间水蚀荒漠化变化分布  
Fig.3 Distribution of water erosion desertification in Dianchi watershed from 2000 to 2015

2.3 水蚀荒漠化动态变化原因分析

通过分析滇池流域森林覆盖率、土地利用方式和水蚀荒漠化动态变化情况<sup>[9]</sup>,发现滇池流域水蚀荒漠化面积和强度下降较大的官渡区、西山区和盘龙区同时也是林地明显增加、森林覆盖率明显提高的地区。据统计盘龙区自 2012 年已形成封山育林约 10.0 km<sup>2</sup>,新增人工防护林约 0.5 km<sup>2</sup>,新增人造经济林约 4.0 km<sup>2</sup>,提高了滇池流域北部松花坝水源保护区以及东北部、南部和西部各大水库水源保护区的森林植被覆盖率,有效保持了水土,使水蚀荒漠化得到明显改善。其他措施包括退耕还林政策、停止开山采石、恢复采矿区植被、制定法规制度保护林地、发展生态农业、使用沼气和沼肥、土地利用方式及强度的改变等,均对滇池流域生态环境保护起到积极作用。近年来滇池流域经济快速发展,工程建设用地增加,也使水蚀荒漠化得到改善。

3 结论

1)2000—2015 年间滇池流域水蚀荒漠化主要分布在滇池流域东北部的盘龙区、官渡区、呈贡县和南部的晋宁县等县区;以中度水蚀荒漠化为主,并且整体呈减少趋势,仅重度水蚀荒漠化呈先增加后减少的趋势;期间水蚀荒漠化减少 297.33 km<sup>2</sup>,年平均变化率为 18.58 km<sup>2</sup> · a<sup>-1</sup>;特别是 2008—2015 年间减少最明显,年平均变化率为 27.36 km<sup>2</sup> · a<sup>-1</sup>。

2)2000—2008 年和 2008—2015 年间水蚀荒漠化总体动态变化较大,尤其是重度水蚀荒漠化动态最大,表明其变化速度最快。2 期数据中,2008—2015 年间动态均小于 2000—2008 年间动态,且均为负值,表明水蚀荒漠化得到改善,且 2008 年以后滇池流域水蚀荒漠化治理速度加快。

3) 2000—2008 年间水蚀荒漠化加重的区域主要位于滇池流域西部和东北部, 而滇池流域东北部和南部地区得到改善; 2008—2015 年间滇池流域水蚀荒漠化现象取得明显改善, 仅晋宁县和嵩明县部分地区仍在继续恶化; 总体上, 2000—2015 年间滇池流域水蚀荒漠化均得到不同程度改善。

4) 滇池流域水源保护区森林植被覆盖度的提高、停止开山采石、恢复采矿区植被、制定法规制度保护林地、发展生态农业、使用沼气和沼肥、土地利用方式及强度的变化等措施使水蚀荒漠化得到改善。建议进一步巩固和维持植树造林、绿化荒山等保护措施。

### 参考文献 (References):

- [1] 石建忠, 陈翔翔, 张龙生, 等. 甘肃省土地荒漠化状况及分析[J]. 环境科学学报, 2006, 26(9): 1539 - 1544.  
Shi J Z, Chen X S, Zhang L S, et al. The condition and changing trend analysis of desertification land in Gansu Province[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2006, 26(9): 1539 - 1544.
- [2] 李青梅. 我国土地荒漠化现状与防治对策[J]. 现代园艺, 2016(10): 142.  
Li Q M. Present situation and control countermeasures of land desertification in China[J]. Xiandai Horticulture, 2016(10): 142.
- [3] 卢琦. 中国沙情[M]. 北京: 开明出版社, 2000.  
Lu Q. Desertification[M]. Beijing: Kaiming Press, 2000.
- [4] 中华人民共和国林业部防治沙漠化办公室. 联合国关于在发生严重干旱和/或荒漠化的国家特别是在非洲防治荒漠化的公约[M]. 北京: 中国林业出版社, 1994.  
Combating Desertification of the People's Republic of China Ministry of Forestry Office. Elaboration of an International Convention to Combat Desertification in These Countries Experiencing Serious Drought and/or Desertification Particularly in Africa[M]. Beijing:

- China Forestry Publishing House, 1994.
- [5] 毛雨景, 赵志芳, 吴文春, 等. 云南省水蚀荒漠化遥感调查及成因分析[J]. 国土资源遥感, 2013, 25(1): 123 - 129. doi: 10.6046/gtzyyg. 2013. 01. 22.  
Mao Y J, Zhao Z F, Wu W C, et al. Remote sensing investigation of water erosion desertification and cause in Yunnan Province[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2013, 25(1): 123 - 129. doi: 10.6046/gtzyyg. 2013. 01. 22.
- [6] 徐旌, 张军, 刘燕, 等. 基于 RS, GIS 的滇池流域水土流失变化研究[J]. 水土保持学报, 2004, 18(2): 80 - 83.  
Xu J, Zhang J, Liu Y, et al. Study on change of soil erosion in Dianchi Lake basin based on RS and GIS[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2004, 18(2): 80 - 83.
- [7] 张华, 王宇, 柴金龙. 滇池流域石漠化特征分析[J]. 中国岩溶, 2011, 30(2): 181 - 186.  
Zhang H, Wang Y, Chai J L. Analysis on the desert's characteristics in Dianchi watershed[J]. Carsologica Sinica, 2011, 30(2): 181 - 186.
- [8] 李建国, 刀红英, 张亮, 等. 滇池流域水土流失监测[J]. 水土保持研究, 2004, 11(2): 75 - 77.  
Li J G, Dao H Y, Zhang L, et al. Soil and water loss monitoring in the Dianchi watershed[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2004, 11(2): 75 - 77.
- [9] 刘会玉, 王充, 林振山, 等. 基于 RS 和 GIS 的滇池流域水土流失动态监测[J]. 南京师大学报(自然科学版), 2012, 35(2): 120 - 124.  
Liu H Y, Wang C, Lin Z S, et al. Dynamic monitoring of water loss and soil erosion in Dianchi lake basin based on RS and GIS[J]. Journal of Nanjing Normal University (Natural Science Edition), 2012, 35(2): 120 - 124.
- [10] 美丽. 基于 RS, GIS 的乌拉盖湿地荒漠化动态变化分析[J]. 内蒙古科技与经济, 2015(20): 41 - 43.  
Mei L. Dynamic change analysis of desertification in Ural wetland based on RS and GIS[J]. Inner Mongolia Science Technology and Economy, 2015(20): 41 - 43.

## Dynamic monitoring of water erosion desertification in Dianchi watershed based on RS and GIS

SHI Qingyun<sup>1</sup>, ZHAO Zhifang<sup>1</sup>, SONG Kun<sup>2</sup>, YAN Jieru<sup>1</sup>

(1. School of Resource Environment and Earth Sciences, Yunnan University, Kunming 650091, China; 2. Faculty of Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650091, China)

**Abstract:** Most of the Dianchi watershed is in the fragile ecological environment, which desertification problem is very prominent. This research extracted water erosion desertification from remote sensing images of Dianchi watershed in 2000, 2008 and 2015 by RS and GIS technology. The results show that the water erosion desertification mainly distributed in the northeast and south of the study area, and the overall trend is decreasing. The area of water erosion desertification decreased 78.44 km<sup>2</sup> from 2000 to 2008, decreased 9.81 km<sup>2</sup> every year; the area of water erosion desertification decreased 218.89 km<sup>2</sup> from 2008 to 2015, decreased 27.36 km<sup>2</sup> every year. People had closed hillsides to facilitate afforestation, reforested and modified of land use patterns improving water erosion desertification phenomenon of Dianchi watershed, in recent years.

**Keywords:** Dianchi watershed; water erosion desertification; remote sensing; dynamic monitoring

(责任编辑: 陈理)