

国家生态屏障区 1-km 分辨率土壤保持数据集 (2000–2015)

王怡¹, 王晓峰^{2,3*}, 尹礼唱⁴

1. 长安大学地球科学与资源学院, 西安 710054; 2. 长安大学土地工程学院, 西安 710064;
3. 陕西省土地工程重点实验室, 西安 710064; 4. 中国科学院地理科学与自然资源研究所
陆地表层格局与模拟重点实验室, 北京 100101

摘要: 生态系统服务是生态系统为人类提供的诸多惠益。土壤保持作为陆地生态系统提供的主要调节服务之一, 是防止区域土地退化、降低洪涝灾害发生频率的重要保证, 其常用土壤保持量 (Soil Conservation, SC) 是评估指标之一。作为国家生态安全战略格局的重要组成部分, “两屏三带” 国家生态屏障区奠定了全国的生态安全格局, 深入探讨屏障区土壤保持的时空分布对我国的生态文明建设及可持续发展具有深远意义。基于修正的通用土壤流失方程 (Revised Universal Soil Loss Equation, RUSLE), 使用 MOD13A2 NDVI、ASTER GDEM、气象站点及中国土壤数据集等多种数据进行了国家生态屏障区 1-km 分辨率土壤保持数据集 (2000–2015) 的定量评估。数据格式为 ArcGIS TIFF, 单位是 $t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$, 空间分辨率为 1-km, 压缩后的数据量共计 168 MB。

关键词: 国家生态屏障区; 生态系统服务; 土壤保持; RUSLE 模型; 1-km; 2000–2015

DOI: <https://doi.org/10.3974/geodp.2020.03.04>

数据可用性声明:

本文关联实体数据集已在《全球变化数据仓储电子杂志 (中英文)》出版, 可获取:
<https://doi.org/10.3974/geodb.2020.03.19.V1>.

1 前言

作为一种重要的“定向流动服务”, 土壤保持服务 (Soil Conservation, SC) 是生态系统防止土壤流失侵蚀的调控能力、对泥沙的储积保持能力以及河流、湖泊、湿地、库坝中的淤泥储积能力^[1]。在气候变化和人类活动的共同影响下, 全球土壤侵蚀有加剧的风险, 土壤保持能力正面临严峻挑战^[2–3]。中国作为人口大国和农业大国, 也是世界上土壤侵蚀最严重的国家之一^[4]。日益严重的土壤侵蚀是中国多种生态问题的集中表现, 其对我国粮食安全、生态安全及社会经济的可持续发展造成严重威胁。因此, 水土资源作为人类赖以生存的重要物质基础, 其土壤保持的生态系统服务功能正受到越来越多的重视,

收稿日期: 2020-08-02; 修订日期: 2020-09-18; 出版日期: 2020-09-25

基金项目: 中华人民共和国科学技术部 (2018YFC0507300, 2019QZKK0405); 陕西省 (2018JM4016)

*通讯作者: 王晓峰 AAS-5271-2020, 长安大学土地工程学院; 陕西省土地工程重点实验室, wangxf@chd.edu.cn

数据引用方式: [1] 王怡, 王晓峰, 尹礼唱. 国家生态屏障区 1-km 分辨率土壤保持数据集 (2000–2015) [J]. 全球变化数据学报, 2020, 4(3): 241–247. <https://doi.org/10.3974/geodp.2020.03.04>.

[2] 王怡, 王晓峰, 尹礼唱. 国家生态屏障区 1-km 分辨率土壤保持逐年数据集 (2000–2015) [J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2020. <https://doi.org/10.3974/geodb.2020.03.19.V1>.

目前已经成为地理学和生态学等交叉领域的研究热点^[5]。

为改善生态环境问题,国务院于2010年12月发布的主体功能区划中提出了“两屏三带”生态安全建设框架以构建国家生态安全战略格局。樊杰等^[6]在主体功能区划的基础上提出了国家屏障方案。傅伯杰等^[7]在保证县域完整性的基础上,描述了国家生态屏障区范围,并开展了2000–2010年生态系统服务综合评估。国家生态屏障区的地理区域具体包括北方防沙带、青藏高原生态屏障、川滇-黄土高原生态屏障、南方丘陵山地带及东北森林带。定量分析屏障区的土壤保持时空分布,不仅有助于揭示土壤保持的时空分布及演变规律,也可为我国生态建设及可持续发展提供理论依据。本数据集是在国家重点研发计划的支持下完成的,主要目的是为构建国家屏障区土壤保持时间序列产品,开展屏障区生态系统服务权衡与协同的研究,确保人类权益和福祉。《国家生态屏障区1-km分辨率土壤保持逐年数据集(2000–2015)》^[8]是屏障区生态系统服务科学中的重要产出成果,是该区域生态环境土壤保持演变监测评估、生态系统可持续发展的重要数字化资源。本文介绍该数据的详细信息、数据算法基本原理及数据结果,并进行了数据对比分析以评估其准确度。

2 数据集元数据简介

《国家生态屏障区1-km分辨率土壤保持逐年数据集(2000–2015)》的名称、短名名称、作者、地理区域、数据年代、时间和空间分辨率、数据格式、出版与共享服务平台、数据共享政策等信息一并列于表1。

3 数据研发方法

3.1 数据源及预处理

(1) NDVI 数据,使用2000–2015年MOD13A2 1-km植被指数16天合成产品^[10]。经过批量格式转换、年最大值合成、批量裁剪和投影转换得到研究区的年NDVI栅格数据集。该数据集用于计算RUSLE模型中的植被覆盖度因子。

(2) DEM 数据,采用ASTER Global Digital Elevation Model(ASTER GDEM)数据^[11],空间分辨率为90 m。在该数据的基础上使用ArcGIS10.2软件计算坡度和坡长因子。

(3) 逐月气候数据集,下载自中国气象数据共享网^[12]。从中提取降雨数据,使用专业气象软件ANUSPLIN^[13]工具进行插值,得到研究区月尺度的空间分辨率为1 km的降雨栅格数据,用于RUSLE模型中的降雨侵蚀力因子的计算。

(4) 土壤数据,采集自世界土壤数据库(Harmonized World Soil Database, HWSD)的中国土壤数据集(v1.1)^[14]。从中提取出研究区的土壤类型(砂粒、粉粒、黏粒)含量、土壤有机碳含量等数据,用于计算RUSLE模型中土壤可蚀性因子。以上所有数据均统一重采样至1,000 m×1,000 m,投影坐标系统一为Albers_WGS_1984。

3.2 RUSLE 模型

采用修正的通用土壤流失方程(RUSLE)^[15–16]估算国家生态屏障区的土壤保持量。基于“地表覆被替换假设”,分别在裸地、植被覆盖及工程措施等情形下各种土地利用类型潜在的土壤侵蚀量 A_p 及实际土壤侵蚀量 A_r ,土壤保持量 A_c 的计算公式如下:

表 1 《国家生态屏障区 1-km 分辨率土壤保持逐年数据集（2000-2015）》元数据简表

条目	描述
数据集名称	国家生态屏障区 1-km 分辨率土壤保持逐年数据集（2000–2015）
数据集短名	NBZ_SC_1km_2000-2015
作者信息	王怡 AAS-5036-2020，长安大学地球科学与资源学院，wangyichangan134@163.com 王晓峰 AAS-5271-2020，长安大学土地工程学院；陕西省土地工程重点实验室，wangxf@chd.edu.cn 尹礼唱 AAS-4914-2020，中国科学院地理科学与资源研究所陆地表层格局与模拟院重点实验室；中国科学院大学，yinlichang3064@163.com
地理区域	涉及的省份包括：黑龙江、吉林、青海、甘肃、四川、新疆、内蒙古、河北、辽宁、西藏、宁夏、云南、广西、广东、贵州、湖南、江西、山西 北方防沙带（36°45'N–45°06'N，75°50'E–124°18'E） 青藏高原生态屏障（29°40'N–38°10'N，82°50'E–105°5'E） 川滇-黄土高原生态屏障（24°10'N–38°50'N，99°05'E–114°25'E） 南方丘陵山地带（22°45'N–27°10'N，103°10'E–119°15'E） 东北森林带（40°52'N–53°34'N，118°48'E–134°22'E）
数据年代	2000–2015
时间分辨率	1 年
空间分辨率	1 km
数据格式	.tif
数据量	168 MB（压缩后）
投影坐标	WGS_1984_Albers
基金项目	中华人民共和国科学技术部（2018YFC0507300，2019QZKK0405）；陕西省（2018JM4016）
出版与共享服务平台	全球变化科学研究数据出版系统 http://www.geodoi.ac.cn
地址	北京市朝阳区大屯路甲 11 号 100101，中国科学院地理科学与资源研究所
数据共享政策	全球变化科学研究数据出版系统的“数据”包括元数据（中英文）、通过《全球变化数据仓储电子杂志（中英文）》发表的实体数据和通过《全球变化数据学报（中英文）》发表的数据论文。其共享政策如下：（1）“数据”以最便利的方式通过互联网系统免费向全社会开放，用户免费浏览、免费下载；（2）最终用户使用“数据”需要按照引用格式在参考文献或适当的位置标注数据来源；（3）增值服务用户或以任何形式散发和传播（包括通过计算机服务器）“数据”的用户需要与《全球变化数据学报（中英文）》编辑部签署书面协议，获得许可；（4）摘取“数据”中的部分记录创作新数据的作者需要遵循 10% 引用原则，即从本数据集中摘取的数据记录少于新数据集总记录量的 10%，同时需要对摘取的数据记录标注数据来源 ^[9]
数据和论文检索系统	DOI，DCI，CSCD，WDS/ISC，GEOSS，China GEOSS，Crossref

$$A_c = A_p - A_r = R \times K \times L \times S \times (1 - C \times P) \tag{1}$$

式中， A_c 为单位面积土壤保持量， A_c 、 A_p 及 A_r 的单位均为 $(t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1})$ ； 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； C 为地表植被覆盖因子； P 为土壤保持工程措施因子。各因子的计算方法如下：

（1）采用 Wischmeier 等^[16]提出的经验公式计算降雨侵蚀力因子 R ，具体公式如下：

$$R = \sum_{i=1}^{12} \left(1.735 \times 10^{1.5 \lg \frac{p_i^2}{P} - 0.8188} \right) \quad (2)$$

式中, P 为年降雨量 (mm), p_i 为月均降雨量 (mm)。

(2) 采用 Williams 模型^[17]根据不同土壤颗粒组成含量和有机质含量计算得到土壤可蚀性因子 K , 计算公式如下:

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

式中, SAN 、 SIL 、 CLA 分别代表土壤中砂粒、粉粒和黏粒含量 (%), TOC 为土壤有机质含量 (%), $SNI = 1 - SAN/100$ 。

(3) 坡长因子 L 的计算采用 Wischmeier 等^[16]提出的方法进行计算, 计算公式如下:

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

$$m = \frac{\beta}{\beta + 1} \quad (4)$$

$$\beta = \frac{\sin \theta / 0.0896}{3.0 \times (\sin \theta)^{0.8} + 0.56}$$

式中, L 为坡长因子; λ 为根据 DEM 提取的坡长; m 为坡长指数; θ 为根据 DEM 提取的坡度值。

坡度因子 S 采用 Zhang 等^[18]提出的坡度公式提取, 具体公式如下:

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

式中, S 为坡度因子; θ 为根据 DEM 提取的坡度值。

(4) C 为植被覆盖因子, f 为植被覆盖度, 采用蔡崇法等^[19]提出的计算公式:

$$C = \begin{cases} 1 & f = 0 \\ 0.6508 - 0.3436 \lg f & 0 < f \leq 78.3\% \\ 0 & f > 78.3\% \end{cases} \quad (6)$$

$$f = \frac{NDVI - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}}$$

式中, $NDVI$ 为归一化植被指数。

(5) 采用基于坡度斜率指数 α 的经验公式^[20-21]计算水土保持措施因子 P :

$$P = 0.2 + 0.03\alpha \quad (7)$$

4 数据结果

4 数据结果与验证

4.1 数据集组成

NBZ_SC_1km_2000-2015 数据集是 ArcGIS TIFF 格式的 2000–2015 年国家生态屏障区的年土壤保持数据,空间分辨率为 1 km,单位是 $\text{t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$,投影坐标系为 WGS_1984_Albers。压缩后的总数据量共计 168 MB,数据解压后在 ArcGIS 软件下应用此数据。

4.2 数据结果

国家生态屏障区 2000–2015 年 1-km 分辨率土壤保持的空间分布见图 1。在 2000–2015 年,全区的平均土壤保持量为 $2,996.49 \text{ t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$,总体上呈现东南高而西北低的格局,即高值区集中于川滇-黄土高原生态屏障和南方丘陵山地带,中间值分布于东北森林带和青藏高原生态屏障的东南部,而低值区位于青藏高原生态屏障的西北部 and 北方防沙带。在 2000–2015 年,国家屏障区 84.7% 的区域土壤保持服务增加,除青藏高原生态屏障区的部分区域外,其他子屏障的土壤保持服务均显著增加 ($P<0.05$),增速较大区域集中在川滇-黄土高原屏障带的中部。

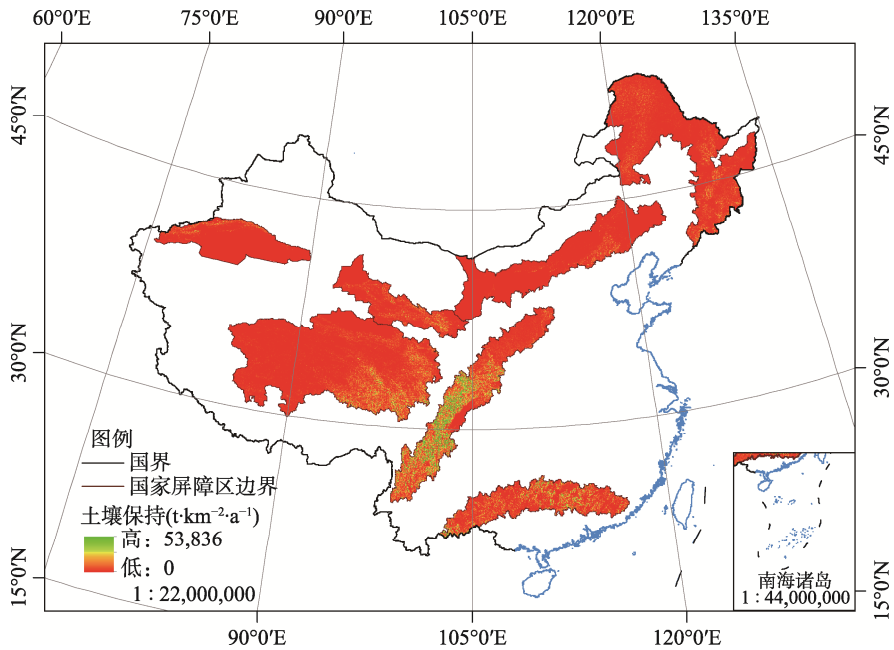


图 1 国家生态屏障区 1-km 分辨率土壤保持数据集（2015）

（注：本图基于国家测绘地理信息局审图号为 GS(2019)1831 号的标准地图制作，底图无修改）

4.3 数据结果验证

通过查阅文献，我们对比了本区域同类数据（不同年份的年土壤保持均值）进行国家生态屏障区土壤保持精度的验证评估。

共采集 17 个相关数据（表 2），它们的量化模型均采用通用土壤流失方程，No.1–13 为青藏高原生态屏障中的三江源区域 2000–2012 年的土壤保持年均值^[22]；后 4 个分别为同区域的 2000、2005、2010 及 2015 年的土壤保持年均值^[23]。结果显示，本数据集与同类数据的相对误差绝对值在 6.98–993.32 t·km⁻²·a⁻¹ 间波动，且相对误差的百分比多数小于 20%。经计算，本数据集的 RMSE 为 431.16，总体精度为 82.74%（即 1 减去 RMSE 除以土壤保持模拟数据的平均值）。因此，基于本文技术流程获取的土壤保持结果与同类数据的相关性较高，能够从较宏观的角度精确反映近年来国家生态屏障区土壤保持的变化态势。

表 2 不同年份土壤保持均值数据对比分析表

No.	年均值	本数据集	相对误差	相对误差（%）
1	1,983.47	2,454.37	470.90	19.19
2	1,846.34	2,482.97	636.63	25.64
3	2,169.57	2,326.17	156.59	6.73
4	2,600.55	2,498.71	-101.84	-4.08
5	2,747.47	2,518.09	-229.39	-9.11
6	2,767.06	2,662.07	-104.99	-3.94
7	2,149.98	2,358.90	208.92	8.86
8	3,491.89	2,558.02	-933.87	-36.51
9	2,698.50	2,582.31	-116.19	-4.50
10	3,011.94	2,760.14	-251.80	-9.12
11	3,580.04	2,586.72	-993.32	-38.40
12	2,933.58	2,556.55	-377.03	-14.75
13	2,904.19	2,561.50	-342.69	-13.38
14	2,454.37	2,060.76	-393.61	-19.10
15	2,662.07	2,463.29	-198.78	-8.07
16	2,586.72	2,579.75	-6.98	-0.27
17	2,411.76	2,448.10	36.34	1.48

5 讨论与结论

为构建国家生态屏障区土壤保持时间序列产品，基于遥感、气象、地形及土壤类型等数据使用 RUSLE 模型计算了潜在土壤侵蚀量及实际土壤侵蚀量，进行了屏障区土壤保持的建模研究。该结果可为进一步研究和科学决策提供基础信息。关于 RUSLE 模型在中国不同区域应用的差异性，还有待进一步研究，例如，青藏高原区域。

作者分工：王怡对数据集的开发做了总体设计；王晓峰、尹礼唱采集和处理了土壤保持数据；王怡设计了模型和算法；王怡进行了数据的精度验证；王怡、王晓峰撰写了数据论文等。

参考文献

- [1] 刘月, 赵文武, 贾立志. 土壤保持服务: 概念、评估与展望[J]. 生态学报, 2019, 39(2): 432–440.
- [2] Reid, W. V., Mooney, H. A., Cropper, A., *et al.* Millennium ecosystem assessment synthesis report [R]. <http://www.millenniumassessment.org>. March 23, 2005.
- [3] Wall, D. H., Six, J. Give soils their due [J]. *Science*, 2015, 347(6223): 695.
- [4] 郑粉莉, 王占礼, 杨勤科. 我国土壤侵蚀科学研究回顾和展望[J]. 自然杂志, 2008(1): 12–16, 63.
- [5] 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.
- [6] 樊杰. 中国主体功能区划方案[J]. 地理学报, 2015, 70(02): 186–201.
- [7] 傅伯杰, 王晓峰, 冯晓明. 国家屏障区生态系统评估[M]. 北京: 科学出版社, 2016: 271–345.
- [8] 王怡, 王晓峰, 尹礼唱. 国家生态屏障区 1-km 分辨率土壤保持逐年数据集(2000–2015) [J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2020. <https://doi.org/10.3974/geodb.2020.03.19.V1>.
- [9] 全球变化科学研究数据出版系统. 全球变化科学研究数据共享政策 [OL]. <https://doi.org/10.3974/dp.policy.2014.05> (2017 年更新).
- [10] NASA MODIS Data Service [DB/OL]. <https://modis.gsfc.nasa.gov/data/>.
- [11] ASTER Global Digital Elevation Model V002 [DB/OL]. <http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp/>.
- [12] 中国气象数据[DB/OL]. <http://www.nmc.cn/>.
- [13] Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., *et al.* Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas [J]. *International Journal of Climatology*, 2005, 25(2): 1965–1978.
- [14] <http://www.fao.org/home/en/>.
- [15] Zhang, L. W., Fu, B. J., Lü, Y. H., *et al.* Balancing multiple ecosystem services in conservation priority setting [J]. *Landscape ecology*, 2015, 30(3): 535–546.
- [16] Wischmeier, W. H., Smith, D. D. Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains: Guide for selection of practices for soil and water conservation (No. 282) [Z]. Agricultural Research Service, US Department of Agriculture. (1965).
- [17] William, J. R., Arnold, J. G. A system of erosion—sediment yield models [J]. *Soil Technology*, 1997, 11(1): 43–55.
- [18] Liu, B. Y., Nearing, M. A., Risse, L. M. Slope gradient effects on soil loss for steep slopes [J]. *Transactions of the ASAE*, 1994, 37(6): 1835–1840.
- [19] 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(2): 19–24.
- [20] Lufafa, A., Tenywa, M. M., Isabirye, M., *et al.* Prediction of soil erosion in a Lake Victoria basin catchment using GIS-based universal soil loss mode [J]. *Agricultural Systems*, 2003, 76(3): 883–894.
- [21] 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: 284–293.
- [22] Jiang, C., Li, D., Wang, D., *et al.* Quantification and assessment of changes in ecosystem service in the Three-River Headwaters Region, China as a result of climate variability and land cover change [J]. *Ecological Indicators*, 2016, 66: 199–211.
- [23] 李付杰, 孙倩莹, 王世曦等. 2000–2015 年三江源区生态系统服务评估[J]. 环境工程技术学报, 2020, 10(5): 786–797.