

土壤侵蚀评价研究进展

谢 潇^{1,2,3,4*}, 王 晶^{1,2,3,4}

¹陕西省土地工程建设集团有限责任公司, 陕西 西安

²陕西地建土地工程技术研究院有限责任公司, 陕西 西安

³自然资源部退化及未利用土地整治工程重点实验室, 陕西 西安

⁴陕西省土地整治工程技术研究中心, 陕西 西安

收稿日期: 2024年3月7日; 录用日期: 2024年4月10日; 发布日期: 2024年5月20日

摘 要

土壤侵蚀使得土地资源遭到严重破坏, 引起土壤质量退化, 是导致沙漠化、石漠化的重要因素。土壤侵蚀评价有助于掌握土壤侵蚀的强度及危害程度, 是土壤侵蚀防治的基础。在文献资料调研的基础上, 对土壤侵蚀的国内外评价标准方法进行了总结分析, 对比了不同评价方法的优缺点, 可为土壤侵蚀评价的研究提供参考。

关键词

土壤侵蚀, 土壤侵蚀模型, 评价因子, 评价模型

Research Progress of Soil Erosion Evaluation

Xiao Xie^{1,2,3,4*}, Jing Wang^{1,2,3,4}

¹Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group Co., Ltd., Xi'an Shaanxi

²Institute of Land Engineering and Technology, Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group Co., Ltd., Xi'an Shaanxi

³Key Laboratory of Degraded and Unused Land Consolidation Engineering, Ministry of Natural Resources, Xi'an Shaanxi

⁴Shaanxi Provincial Land Consolidation Engineering Technology Research Center, Xi'an Shaanxi

Received: Mar. 7th, 2024; accepted: Apr. 10th, 2024; published: May 20th, 2024

Abstract

Soil erosion causes serious destruction of land resources and degradation of soil quality, which is

*通讯作者。

文章引用: 谢潇, 王晶. 土壤侵蚀评价研究进展[J]. 世界生态学, 2024, 13(2): 186-192.

DOI: 10.12677/ije.2024.132024

an important factor leading to desertification and rocky desertification. Soil erosion evaluation is helpful to grasp the intensity and harm degree of soil erosion and is the basis of soil erosion control. On the basis of literature investigation, the evaluation standard methods of soil erosion at home and abroad are summarized and analyzed, and the advantages and disadvantages of different evaluation methods are compared, which can provide reference for the study of soil erosion evaluation.

Keywords

Soil Erosion, Soil Erosion Model, Evaluation Factor, Evaluation Model

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

土壤侵蚀评价是指选择土壤侵蚀的因素因子, 将其作为评价指标, 通过建立评价模型及标准, 对土壤侵蚀的强弱程度做出评定。土壤侵蚀评价的目的在于掌握土壤侵蚀的强度及其造成的危害, 是土壤侵蚀治理的关键, 同时也是水土保持科学研究的重要内容。准确评价区域土壤侵蚀情况可以为水土保持规划和综合治理提供科学依据。然而, 由于土壤侵蚀本身是一个非常复杂的自然和社会过程, 受气象、地形、地质、土壤、植被、水文等自然过程及人类活动的综合影响, 再加上土壤侵蚀类型多样, 发生发展过程复杂, 土壤侵蚀评价研究还有许多问题有待进一步研究。主要表现在: 对土壤侵蚀的机理与过程等问题的研究还相当薄弱, 土壤侵蚀评价模型缺乏强有力的理论支持; 土壤侵蚀评价因素因子的定量研究还没有形成相对统一的评价指标体系, 各指标因子的分级临界值更是因人因地而异; 土壤侵蚀评价方面的指标体系研究较少, 土壤侵蚀评价指标体系规范仍有待完善。

2. 国外主要的土壤侵蚀评价体系及优缺点

Table 1. Soil erosion intensity scale (Bahadur, 2009)

表 1. 土壤侵蚀强度分级表(Bahadur, 2009)

级别	平均侵蚀模数(t/(km ² ·a))
无到极微	0~100
极微	100~300
微度	300~600
轻度	600~900
中度	900~1200
强烈	1200~2500
中等强烈	2500~5000
极强烈	5000~10,000
剧烈	10,000~40,000
极剧烈	>40,000

总的来说, 国外土壤侵蚀的评价的指标主要从自然指标、政府管理指标对土壤侵蚀进行评价。土壤侵蚀的评价从 1934 年开始已有了很多研究。

前苏联依据浅沟密度、坡度等指标提出了土壤水力侵蚀的 4 级分类法[1]。美国农业部水土保持局在自 1982 年开展全国资源调查时分别采用土壤流失方程 USLE 和土壤风蚀方程 WEQ 对土壤侵蚀进行定量评价。评价时首先计算区域平均土壤侵蚀模数, 然后土壤侵蚀强度按照土壤侵蚀模数相对于土壤流失量(T)的倍数分为 6 级: $\leq T$ 、 $T \sim 2T$ 、 $2T \sim 3T$ 、 $3T \sim 4T$ 、 $4T \sim 5T$ 和 $> 5T$ 。对于水力侵蚀, 评价时考虑的指标有 7 项: 降雨侵蚀力因子、土壤可蚀性因子、坡长因子、坡度因子、管理与覆盖因子、水土保持措施因子和容许土壤流失量[2]。

Bahadur (2009)应用 USLE (通用土壤侵蚀模型)进行土壤侵蚀模数计算, 并根据土壤侵蚀模数将研究区域的土壤侵蚀强度分为 10 级[3], 见表 1。Bhattacharyya et al. [4]按照土壤侵蚀模数将印度地区的土壤侵蚀模数分为 6 级, 各个级别的侵蚀模数($t/(km^2 \cdot a)$)分别为: 微度(< 500), 轻度($500 \sim 1000$), 中度($1000 \sim 2000$), 强烈($2000 \sim 4000$), 极强烈(> 4000)。

这些土壤侵蚀评价方法主要是利用土壤侵蚀模型对区域的土壤侵蚀模数进行计算, 然后依据得出的土壤侵蚀模数值进行土壤侵蚀强度的分级。这种分级方法的优点是对土壤侵蚀的分级方法进行了统一明确的规定, 相对来说易于操作。但是土壤侵蚀模型一般都需要大量详细的数据, 对于有些地区来说这些数据并不容易获取; 同时, 这种评价方法没有考虑到区域性的差异, 并且这些分级方法大多数是针对水力侵蚀的。

Table 2. Soil erosion evaluation factors of Colombia QUERIM method

表 2. 哥伦比亚 QUERIM 法的土壤侵蚀评价因子

因子	次因子	等级	说明	标准
地质	风化程度	1	高度风化	
		2	中度风化	
		3	轻度风化	
	有效深度	1	适度	> 50 cm
		2	表层	$25 \sim 50$ cm
		3	浅表	$10 \sim 25$ cm
		4	极浅	$0 \sim 10$ cm
	表土质地	1	好	
		2	中	
		3	粗	
土壤	有机质含量(表土)	1	很高	$> 6.0\%$
		2	高	$2.5\% \sim 6.0\%$
		3	中等	$1.5\% \sim 2.5\%$
		4	低	$1.0\% \sim 1.5\%$
		5	很低	$< 1.0\%$
	结构	1	强	
		2	中	
		3	弱	
		4	无结构	

续表

	分裂等级	1	无分裂	
		2	轻度分裂	
		3	中度分裂	
		4	高度分裂	
地貌	坡度	1	平坦	0%~3%
		2	轻度倾斜	3%~7%
		3	中度倾斜	7%~12%
		4	高度倾斜	12%~25%
		5	陡	25%~50%
		6	非常陡	>50%
管理因子	土地利用	1	水域	
		2	树及灌木植被	
		3	天然牧场	
		4	人工牧场	
		5	低地水稻	
		6	裸地及焚烧	
	地表植被覆盖	1	高	80%~100%
		2	较高	60%~80%
		3	中度	40%~60%
		4	低	20%~40%
		5	很低	0%~20%
		6	无	0

美国哥伦比亚土壤侵蚀专家 Vrieling A [5]提出在专家打分基础上各因子综合的定性方法对土壤侵蚀风险等级进行分级,即定性侵蚀风险绘图法(QUERIM)。选取的主因子有气候、地质、土壤、地貌、气候及土壤有效深度、坡度等影响土壤侵蚀过程的次因子。各个因子的取值及对土壤侵蚀的作用大小均由专家评估确定。最终根据各因子的加权平均确定区域土壤侵蚀风险的等级。该方法的成功取决于合适专家的选择,次因子的选择及其相互关系根据地区的不同而发生变化。针对哥伦比亚的东部平原地区,选取的评价因子及其分级见表 2。这种评价方法优点如下:不需要固定的数据,适用地域范围较广;次因子的选择和其组合关系因地区而异,能反映当地重要的侵蚀过程和因子;采用了当地长期从事该研究的专家的知识,克服了现有的结合地理数据的模型脱离实际的弊端。其缺点在于对于专家选择的依赖性较高,基于专家经验的侵蚀控制因子的分级、权重与判别规则对评价结果影响很大,需要深入研究。

3. 国内主要的土壤侵蚀评价体系及优缺点

3.1. 国内土壤侵蚀评价方法

土壤侵蚀已成为影响我国生态环境的重要问题之一,我国政府对土壤侵蚀防治非常重视,自 20 世纪 80 年代以来,自 20 世纪 80 年代以来已开展了四次全国土壤侵蚀状况调查(表 3),为政府相关部门制订土

壤侵蚀防治对策提供了有效的科学依据。有关土壤侵蚀强度的分级研究较多, 朱显谟[6]根据地表植被情况、土壤肥力减退情况等提出了黄土地区土壤侵蚀五级分类法, 黄秉维[7]提出了多项指标分类。而目前为止, 国内的土壤侵蚀评价方法, 仍未达到统一(表 4)。

Table 3. Four soil erosion surveys in China

表 3. 我国四次土壤侵蚀调查情况

年份	监测部门	监测方法	监测内容	监测成果
1985	水利部遥感技术应用中心	遥感技术调查、现场踏勘	地形、地质、土壤、地貌等, 水文径流泥沙	划分土壤侵蚀强度等级, 绘制了土壤侵蚀图
1999	由水利部水土保持司	利用 TM 影像并结合 GIS 技术		土壤侵蚀分类分级、土壤侵蚀图
2011	水利部水土保持监测中心	RS 与 GIS 技术		各土壤侵蚀因子空间分布图、全国土壤侵蚀量图、全国土壤侵蚀强度图
2018	水利部	卫星遥感、无人机等, 结合野外调查、模型计算、统计分析	土地利用、植被覆盖、土壤侵蚀面积与强度、水土保持措施情况	重点关注区域、国家级水土流失重点防治区、大江大河流域的水土流失面积、强度和动态变化情况(报告、统计表、专题图件)

Table 4. Evaluation method of soil erosion in China

表 4. 国内土壤侵蚀评价方法

作者	土壤侵蚀评价描述
孙佳(2007) [8]	确定了参与土壤侵蚀评价的有植被因子中的植被盖度、土地利用类型因子和土壤因子, 采用层次分析法确定了紫色土土壤侵蚀评价参评因子的权重, 并通过实地调查与文献分析对各评价因子进行了级别划分。建立了紫色土土壤侵蚀评价指标体系, 通过土壤侵蚀总分值来进行土壤侵蚀程度分级。
刘淑珍等(2009) [9]	人为土壤侵蚀评价应包含潜在危险度评价及分类分级评价, 以 SL190-2007 “土壤侵蚀分类分级标准” 为参照, 根据青藏高原冻融侵蚀广泛分布的特征, 补充提出冻融侵蚀强度分级指标。
崔云燕等(2009) [10]	运用 GIS, 以美国通用水土流失方程为模型, 对大连市土壤侵蚀强度进行客观评价。
傅伯杰等(2006) [11]	在考虑土地利用地形、土壤、降雨等影响因素的基础上, 应用尺度转换的方法, 构建了不同尺度土壤侵蚀评价指数, 提出了多尺度土壤侵蚀评价指数的研究思路与方法。
鄢铁平等(2011) [12]	通过数据挖掘找出耕作方式、坡度、植被覆盖度等指标间的内在联系, 确定影响坡面土壤侵蚀的关键因子, 建立了研究区坡面土壤侵蚀评价指标评价权重体系。
高振纪等(2005) [13]	在分析黄土高原水土流失影响因素的基础上, 初步建立了水土流失监测指标体系, 水土流失监测指标体系包括三方面的内容: 水土流失影响因素, 水土流失状况和水土保持效益。
韩武波(2004) [14]	采取专家系统分析方法确定了排土场水土流失的 8 个评价因子(地形坡度、地表物质组成等), 采用专家评分法确定各因子的影响度, APH 法确定影响因子权重, 引入水土流失影响度综合评价指数, 建立了水土流失评价模型, 并进行了级别划分。
王蕾等(2009) [15]	针对伊犁河流域土壤侵蚀现状及其评价因子的特征。吸收社会科学研究中的广义归纳法的原理及其优点, 通过系统的理论分析和研究, 确定了评价指标体系及权重, 形成了一套适合伊犁河流域的土壤侵蚀评价方法。

土壤侵蚀评价的方法有两种, 定性评价方法和定量评价方法。定性评价方法主要是: 1) 基于地理信息系统(GIS)、遥感(RS)和相关基础图件, 对地表信息进行提取、分析处理的遥感调查方法; 2) 利用各种测量学方法求取侵蚀土壤的厚度的测量学方法, 根据测量手段的差异, 又分为高程实测法、航空摄影测量法、直接丈量法等; 3) 将土壤剖面各层次性质(如厚度、颜色、有机质含量、质地等)与未经干扰的原

始剖面性质进行对比, 确定侵蚀强弱分类的土壤分类学方法。定量评价方法主要是利用土壤侵蚀模型来进行评价, 其中, 最为著名、应用最为广泛的是 USLE (Universal Soil Loss Equation)土壤侵蚀模型。

3.2. 国内土壤侵蚀评价标准

目前我国土壤侵蚀评价的标准主要有两个: 《SL190-2007 土壤侵蚀分类分级标准》[16]和《水土流失危险程度分级标准》[17], 均由水利部颁发。前者主要规定了土壤侵蚀的强度及程度分级标准。后者则主要是对水土流失(即土壤侵蚀)的危险程度划分进行了规定。

3.2.1. 《SL190-2007 土壤侵蚀分类分级标准》[16]

该标准根据土壤侵蚀发生的外营力将全国土壤侵蚀区划分为 3 个一级土壤侵蚀类型区。同时根据地形、地质、地貌、土壤等因素在 3 个一级区划的基础上划分了 9 个二级类型区, 不同的侵蚀类型对应不同的分布区域。在进行水力侵蚀评价时, 首先根据不同的侵蚀类型区规定了容许土壤流失量, 在此基础上规定了土壤水力侵蚀的强度分级标准。重力侵蚀主要是根据崩塌面积占坡面面积比来进行分级。风力侵蚀的强度主要依据地表形态、植被盖度、风蚀厚度、侵蚀模数四个指标来进行划分。对于混合侵蚀(泥石流), 标准中以单位面积年冲出量、固体物质补给形式、补给量、沉积特征及泥石流浆体密度等做为判别指标, 给出了相应的分级标准。

3.2.2. 《SL718-2015 水土流失危险程度分级标准》[17]

标准中水土流失危险程度指植被遭到破坏或地表被扰动后, 引起或加剧水土流失的可能性及其危害程度的大小, 亦称土壤侵蚀危险程度。

标准中的水力侵蚀危险程度等级划分规定了两种方法: 采用抗蚀年限进行判别和采用植被自然恢复年限和地面坡度进行判别。

风力侵蚀危险程度等级的划分采用的指标为地表形态(或植被覆盖度)和气候干湿地区类型。

滑坡危险程度等级划分采用的指标为潜在危害程度和滑坡稳定性。

泥石流危险程度等级划分采用的指标为潜在危害程度及泥石流发生可能性。

该标准的重点在于评判植被遭到破坏或者地表被扰动后, 引起或者加剧水土流失的可能性, 而对于土地退化评价来说主要是评价土地退化发生的程度。

3.3. 国内土壤侵蚀评价的优缺点

从以上国内土壤侵蚀评价的方法标准可以看出国内土壤侵蚀的评价主要有两种方法, 一种是根据区域特征进行分区, 对不同区域及不同的侵蚀类型给出相应的评价因子分级, 来进行土壤侵蚀级别的划分。另一种是通过选择评价因子, 根据各侵蚀因子的重要性, 分别赋予不同的权重, 通过评价因子的加权或者加权平均并制定评价准则, 利用综合指数法来进行土壤侵蚀评价。

前者的优点在于制定评价标准时考虑了土壤侵蚀的类型及地域特征, 分别给出了土壤侵蚀的分级指标及标准, 评价指标的选择符合不同土壤侵蚀类型的侵蚀特征, 同时指标分级的标准与区域的现状较为符合。缺点是标准中有冻融侵蚀的二级类型区, 但是并未给出冻融侵蚀强度的评价分级标准[9]。同时由于每个地区的成土因素等的情况不同, 标准中的某些分级标准对于某些地区的实际情况并不适应[18][19]。再者土壤侵蚀强度分级的评价指标较少, 主要评价指标地表土壤的流失及植被覆盖度的减少, 而对于耕地来说, 同时需要评价土壤侵蚀对于土壤质量的影响。

后者的优点是可以根据区域的特点选取评价指标, 较能符合区域特征。但在实际评价时过程较为繁琐, 且对专家的主观意识依赖较强。

4. 结论

本文综述了目前国内外土壤侵蚀评价的现状, 对比了不同评价方法的优缺点, 主要结论如下: 1) 土壤侵蚀评价是土壤侵蚀治理的关键, 同时也是水土保持科学研究的重要内容, 受到了广泛关注与研究。2) 目前的土壤侵蚀评价方法有定性评价和定量评价, 有野外实测法和经验模型法, 有通过区域特征分区进行评价, 也有通过选择评价因子, 根据各侵蚀因子的重要性, 分别赋予不同的权重, 通过评价因子的加权或者加权平均并制定评价准则, 利用综合指数法的评价方法。每种方法各有其优缺点。3) 目前我国缺乏全面统一的土壤侵蚀评价标准, 土壤侵蚀评价指标体系规范仍有待完善。

基金项目

陕西省重点研发计划项目(2023-YBSF-454; 2022FP-34); 陕西省土地工程建设集团内部科研项目(编号: DJNY2024-24)。

参考文献

- [1] (苏)科兹缅科. 土壤侵蚀的防止[M]. 北京: 科学出版社, 1965.
- [2] 谢云, 赵莹, 张玉平, 刘宝元, 李晶. 美国土壤侵蚀调查的历史与现状[J]. 中国水土保持, 2013(10): 53-60.
- [3] Krishna Bahadur, K.C. (2008) Mapping Soil Erosion Susceptibility Using Remote Sensing and GIS: A Case of the Upper Nam Wa Watershed, Nan Province, Thailand. *Environmental Geology*, 57, 695-705. <https://doi.org/10.1007/s00254-008-1348-3>
- [4] Ranjan, B., Birendra, G., Prasanta, M., et al. (2015) Soil Degradation in India: Challenges and Potential Solutions. *Sustainability*, 7, 3528-3570. <https://doi.org/10.3390/su7043528>
- [5] Vrieling, A., Sterk, G. and Beaulieu, N. (2002) Erosion Risk Mapping: A Methodological Case Study in the Colombian Eastern Plains. *Journal of Soil and Water Conservation*, 57, 158-163.
- [6] 朱显谟. 黄土区土壤侵蚀的分类[J]. 土壤学报, 1956(2): 99-115.
- [7] 黄秉维. 编制黄河中游流域土壤侵蚀分区图的经验教训[J]. 科学通报, 1955(12): 17-24.
- [8] 孙佳. 紫色土土壤侵蚀评价指标体系研究[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 西南大学, 2007.
- [9] 刘淑珍, 刘海军, 钟祥浩, 肖长伟, 王小丹, 陶和平, 辜世贤. 青藏高原土壤侵蚀评价体系及监测方法[J]. 山地学报, 2009, 27(1): 76-81.
- [10] 崔云燕, 张华. 大连市土壤侵蚀评价[J]. 海洋开发与管理, 2009, 26(11): 106-110.
- [11] 傅伯杰, 赵文武, 陈利顶, 吕一河, 王德. 多尺度土壤侵蚀评价指数[J]. 科学通报, 2006(16): 1936-1943.
- [12] 鄢铁平, 孙燕, 廖炜, 张秋文, 龚兰兰. 关联规则支持下坡面土壤侵蚀评价指标体系构建——以鄂西北丹江库区郧西县为例[J]. 中国水利, 2011(22): 49-51+55.
- [13] 高振纪, 邬伦, 马修军. 黄土高原水土流失监测指标体系研究[J]. 水土保持研究, 2005(4): 53-55.
- [14] 韩武波, 马锐, 白中科, 魏忠义. 黄土区大型露天矿排土场水土流失评价[J]. 煤炭学报, 2004(4): 400-404.
- [15] 王蕾, 高亚琪, 孙丽, 郭靖, 黄力平. 伊犁河流域土壤侵蚀评价指标体系研究[J]. 现代农业科技, 2009(23): 308-311.
- [16] 中华人民共和国水利部水土保持司. 土壤侵蚀分类分级标准(SL190-2007) [S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007.
- [17] 中华人民共和国水利部水土保持监测中心. 水土流失危险程度分级标准(SL718-2015) [S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2015.
- [18] 柴宗新. 试论广西岩溶区的土壤侵蚀[J]. 山地研究, 1989(4): 255-260.
- [19] 曹建华, 蒋忠诚, 杨德生, 裴建国, 杨慧, 罗为群. 我国西南岩溶区土壤侵蚀强度分级标准研究[J]. 中国水土保持科学, 2008, 6(6): 1-7.