

基于RWEQ模型的土壤颗粒含量与土壤可蚀性关系研究

刘洋¹, 李欣², 闫晴¹, 张彩荣¹

¹北京林业大学水土保持学院, 北京

²陕西镇安抽水蓄能有限公司, 陕西 商洛

收稿日期: 2023年5月26日; 录用日期: 2023年6月23日; 发布日期: 2023年6月30日

摘要

本文为研究土壤颗粒含量与土壤可蚀性因子EF值的关系, 依据RWEQ模型, 构建了各土壤颗粒含量分别从1%到98%以及粉粒、粘粒和砂粒含量为1%、2%、10%、30%、50%、70%、90%的整数组合数据集, 计算了有机质含量为2%的前提条件下的土壤可蚀因子EF值, 分析了不同土壤颗粒含量条件下土壤可蚀因子变化以及其两者间的相关性。结果表明: 1) 土壤砂粒含量越高, 土壤可蚀性因子EF值越大, 说明砂粒含量与土壤可蚀性因子EF值呈正相关; 2) 当土壤粘粒含量较低时, 向土壤中加入粘土颗粒, 土壤可蚀性降低速度显著加快, 说明粘粒含量越高, 土壤抗侵蚀能力提升越快; 3) 影响土壤可蚀性的主要因子为土壤砂粒含量与土壤粘粒含量的比值(Sa/Cl), 其比值越大, 土壤可蚀性越低, 控制好粘土与砂粒的比例, 可有效提高土地抗侵蚀能力。

关键词

RWEQ模型, 土壤颗粒含量, 土壤可蚀性因子

Study on the Relationship between Soil Particle Content and Soil Erodibility Based on RWEQ Model

Yang Liu¹, Xin Li², Qing Yan¹, Cairong Zhang¹

¹School of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing

²Shaanxi Zhen'an Pumped Storage Co., Ltd., Shangluo Shaanxi

Received: May 26th, 2023; accepted: Jun. 23rd, 2023; published: Jun. 30th, 2023

文章引用: 刘洋, 李欣, 闫晴, 张彩荣. 基于 RWEQ 模型的土壤颗粒含量与土壤可蚀性关系研究[J]. 农业科学, 2023, 13(6): 619-626. DOI: 10.12677/hjas.2023.136084

Abstract

In order to study the relationship between soil particle content and soil erodibility factor EF value, based on the RWEQ model, the integer combination data sets of soil particle content from 1% to 98% and silt, clay and sand content of 1%, 2%, 10%, 30%, 50%, 70% and 90% were constructed in this paper. The soil erodibility factor EF value under the premise of the organic matter content of 2% was calculated, and the changes in soil erodibility factor under different soil particle contents and the correlation between them were analyzed. The results showed that: 1) The higher the soil sand content, the greater the soil erodibility factor EF value, indicating that the sand content was positively correlated with the soil erodibility factor EF value; 2) When the soil clay content was low, adding clay particles to the soil, the soil erodibility decreased significantly faster, indicating that the higher the clay content, the faster the soil erosion resistance increased; 3) The main factor affecting soil erodibility is the ratio of soil sand content to soil clay content (Sa/Cl). The greater the ratio, the lower the soil erodibility. Controlling the ratio of clay to sand can effectively improve soil erosion resistance.

Keywords

RWEQ Model, Soil Particle Content, Soil Erodibility Factor

Copyright © 2023 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

土壤侵蚀是土壤退化的一种表现形式。土壤退化的两个主要因素分别为水蚀和风蚀，二者导致的全球退化土地面积约占 84%，使土壤过度侵蚀成为目前世界上最重要的环境问题之一[1]。以风蚀机制为基础的风蚀定量化研究是近年来风蚀研究的热点内容，在 20 世纪中旬国外学者就对此进行了一系列研究，在美国农业部的主导下，对 WEQ 模型进行了较大的修正，将经验和过程结合起来，并充分考虑了土壤可蚀性、土壤结皮、土壤水分、地表粗糙度、植被覆盖度、气候因子等与土壤风蚀相关的因子，形成了修正风蚀模型——RWEQ [2]。在众多模型中，RWEQ 模型充分考虑了气候条件因素、土壤可蚀与结皮因素、植被覆盖情况等，其因子覆盖全面，数据易于获取，常用于在小于一年的时间尺度上进行土壤风蚀量预报，适用区域范围更广，时间尺度更加灵活[3]。基于此，利用 RWEQ 模型进行土壤数据模拟，分析在不同土壤颗粒含量下土壤抗侵蚀能力的表现，揭示影响土壤可蚀性变化的主要特征和影响因子，了解区域生态环境变化，评价生态工程成效，对促进区域生态文明建设和区域可持续发展具有重要的科学意义。

土壤风蚀模型是土壤侵蚀分析的重要技术手段，经验证，通过参数的修正和公式调整，RWEQ 模型可以应用到我国北方土壤风蚀评估中，诸多学者在不同研究地点，根据不同样本分析了砂粒、粉粒、粘粒含量与土壤可蚀性的关系，江凌等[4]运用遥感和地理信息技术对青海省土壤年均风蚀模数进行了估算，经 RWEQ 模型计算青海省各类土壤类型平均 EF 值最高的是风沙土，其砂粒含量过高，粘粒含量所占比例过小是其土壤可蚀性最高的主要原因。杨雪琴等[5]应用修正风蚀模型对四川省石渠县进行了土壤可蚀性计算，得出当地土壤可蚀性因子范围和时空分布规律。已有的这些研究认为土壤可蚀性与土壤砂粒和

粉粒质量分数呈显著正相关,与土壤粘粒质量分数呈显著负相关。砂粒含量与土壤可蚀性因子呈显著正相关关系,也有研究得出相反结论[6][7][8]。从地理学角度看,存在空间差异性问题,从物理学角度看,具有探讨空间无差异性的意义,因此有待进一步深入。本研究依据 RWEQ 模型,对土壤砂粒含量与土壤可蚀性 EF 值关系进行研究分析,以期为该领域研究提供参考。

2. 研究方法

本文采取赋值法研究土壤颗粒含量与土壤可蚀性因子之间的关系,依据 RWEQ 模型,在确定有机质含量为 2%、碳酸钙含量为 2%的前提下(数据来源:中国土壤特征数据集 <http://soil.geodata.cn/>),选用 EXCEL 2020 构建了砂粒、粘粒以及粉粒含量从 1%到 98%以及砂粒、粘粒含量分别为 1%、10%、30%、50%、70%、90%的所有可能整数组合数据集,共计 1323 组数据,并且使用该软件计算了以上不同土壤颗粒含量下的土壤可蚀性因子 EF 值,分析 EF 值随土壤颗粒含量变化而变化的特征。土壤可蚀性因子计算公式如下:

$$EF = (29.09 + 0.31Sa + 0.17Si + 0.33Sa/Cl - 2.59OM - 0.95CaCO_3) / 100$$

式中: Sa——土壤砂粒含量; Si——土壤粉砂含量; Sa/Cl——土壤砂粒和粘土含量比; OM——有机质含量; CaCO₃——碳酸钙含量。

3. 结果分析

计算结果显示,当有机质含量为 2%时,数据集中所有颗粒含量整数组合的土壤可蚀性因子 EF 值小于 0.62,其中土壤可蚀性因子 EF 最小值为 0.2906,最大值为 0.6166,土壤可蚀性因子 EF 值介于 0.29 至 0.31 之间的组合占总数的一半以上。由表 1 我们可知,土壤可蚀性因子 EF 值 < 0.3 的数据集有 880 组,占总数据集的 66%;土壤可蚀性因子 EF 值介于 0.3~0.4 的数据集有 334 组,占数据集的 25.2%;土壤可蚀性因子 EF 值在 0.4~0.5 的数据集有 72 组,占数据集的 5.4%;土壤可蚀性因子 EF 值在 0.5~0.6 以及大于 0.6 的数据集共 45 组,占总数据集的 3.3%。

进一步分析发现,当砂粒含量和粘粒含量的比值(Sa/Cl)较小时,土壤可蚀性因子 EF 值也较小,当砂粒和粘粒的比值小于 6 时,土壤可蚀性因子 EF 值均小于 0.3126;而当 EF 值小于 0.3 时,砂粒和粘粒的比值均小于等于 5.5,当砂粒含量大于 6 时,EF 值均大于 0.3。当砂粒和粘粒的比值较大时,土壤可蚀性因子 EF 值也较大。当砂粒和粘粒的比值大于 10 时,EF 值最低也为 0.3369,而当 EF 值大于 0.6 时,砂粒和粘粒的比值最低也为 93。

初步分析,砂粒含量和粘粒含量的比值与土壤可蚀性因子呈现正相关,即砂粒和粘粒的比值越高,土壤可蚀性因子 EF 值越高。可见,降低土壤中砂粒质量分数或增加土壤中粘粒质量分数,可降低土壤可蚀性。

Table 1. Distribution of EF values

表 1. EF 数值分布情况表

EF 值	组合个数	占比
<0.30	880	66%
0.30~0.40	334	25.2%
0.40~0.50	72	5.4%
0.50~0.60	35	2.6%
>0.60	10	0.7%

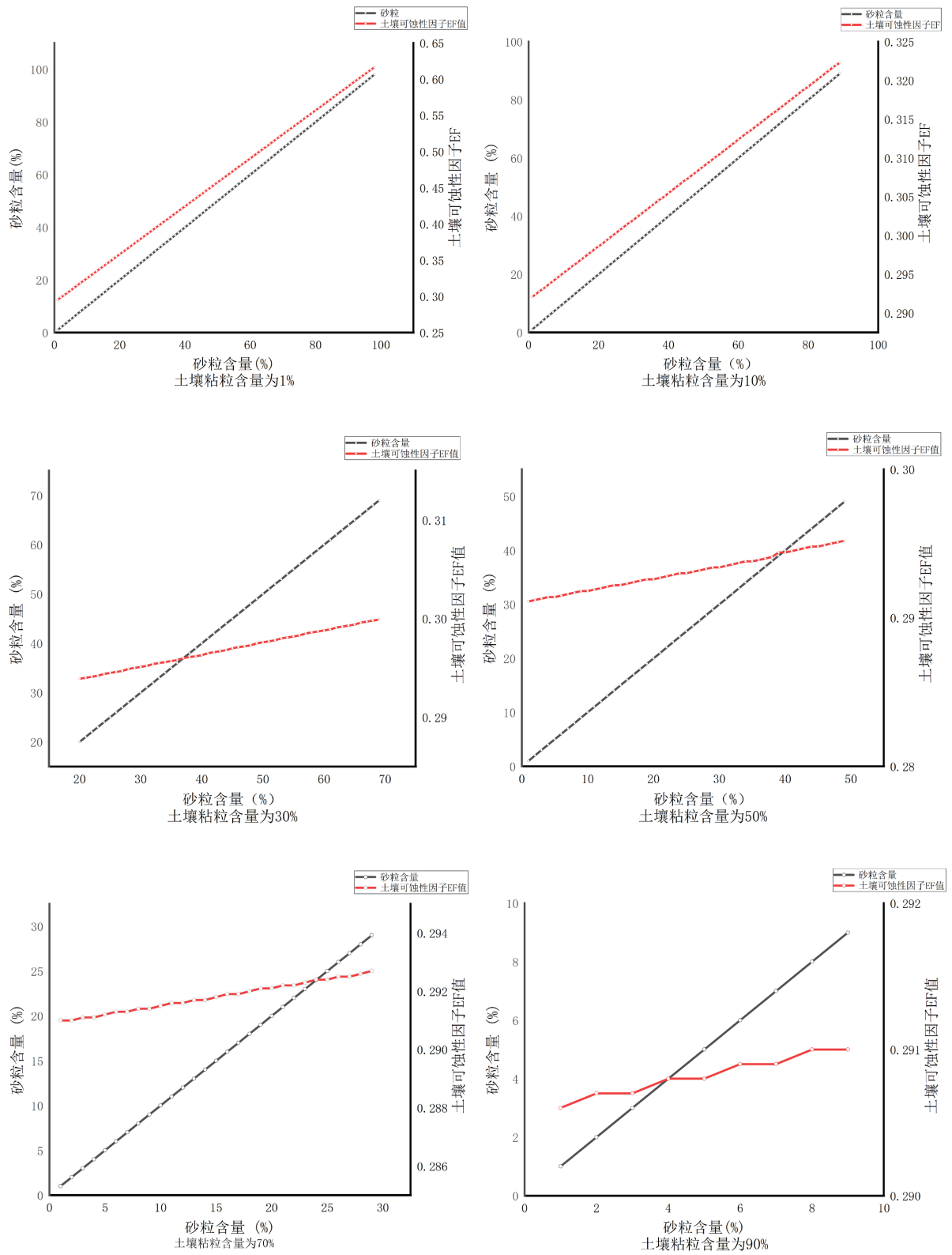


Figure 1. Variation characteristics of soil erodibility factor EF value with sand content

图 1. 土壤可蚀性因子 EF 值随砂粒含量变化特征

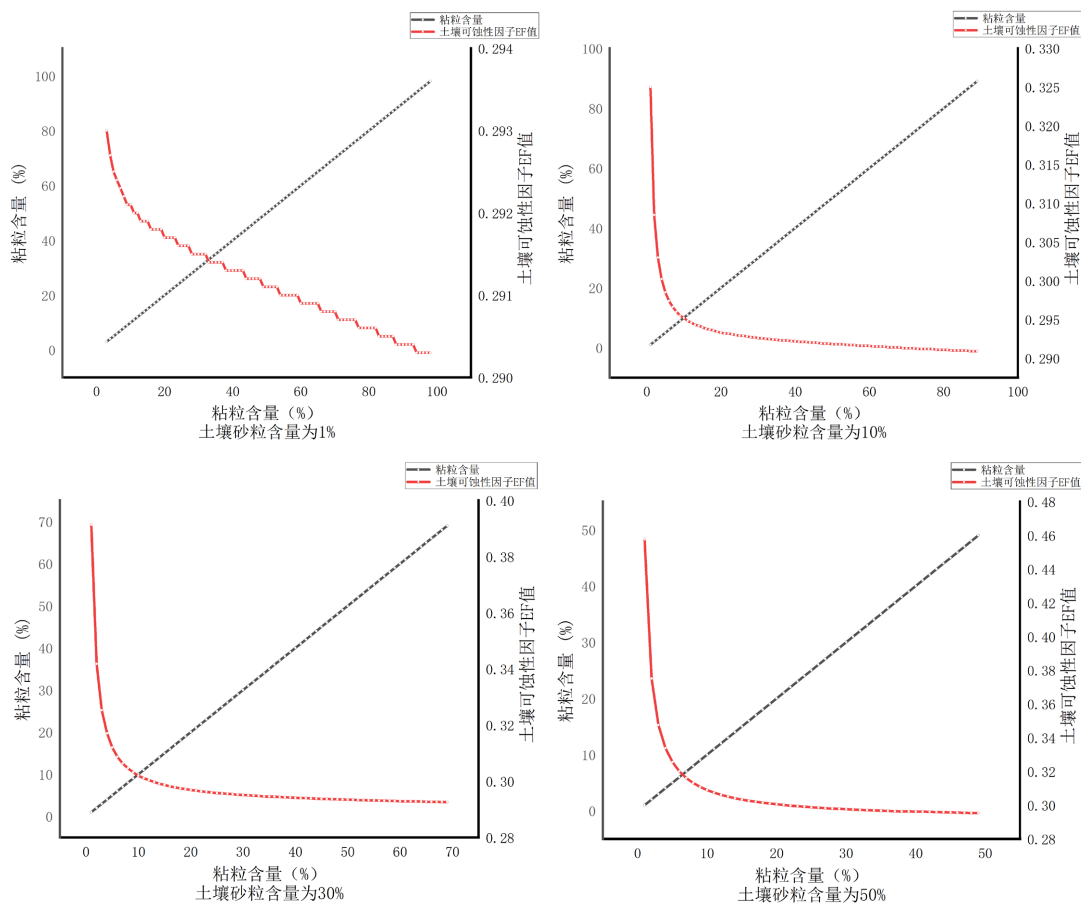
3.1. 土壤可蚀性因子 EF 值和各土壤颗粒含量特征关系

3.1.1. 土壤可蚀性因子 EF 值与砂粒含量的关系

分析砂粒含量和土壤可蚀性因子 EF 值的关系时, 将粘粒含量设为固定值, 砂粒含量设为自变量, 土壤可蚀性因子 EF 值设为应变量, 运用 ORIGIN PRO 2022 绘制出三者关系的双 Y 轴点线图, 通过图 1 可以发现, 砂粒含量和土壤可蚀性因子 EF 值呈正相关关系。当砂粒含量较低时, 砂粒含量曲线斜率远大于 EF 值斜率, 此时 EF 值曲线呈不规则抛物线型; 而当砂粒含量较大时, 砂粒含量曲线斜率接近 EF 值曲线, 砂粒含量的增加导致 EF 值迅速增加。当 EF 值上限为 0.294 和 0.292 时, 砂粒含量跨度仅有 20%, 斜率相对平缓; 而土壤可蚀性因子 EF 值上限为 0.6 和 0.325 时, 砂粒含量跨度仅有 9%, 表明该分段的砂粒含量曲线更陡, 土壤可蚀性因子 EF 值增长更快。

3.1.2. 土壤可蚀性因子 EF 值与粘粒含量的关系

同上文, 运用软件 ORIGIN PRO 2022, 将砂粒含量设为固定值, 以粘粒含量为自变量、土壤可蚀性因子 EF 值为应变量绘制双 Y 轴点线图。观察图 2, 可以明显看出粘粒含量与土壤可蚀性因子 EF 值呈负相关关系。当粘粒含量较高时, 土壤可蚀性因子 EF 值的曲线斜率变化较缓, 远小于粘粒含量曲线斜率, 此时 EF 值曲线呈阶梯式下降抛物线; 而当粘粒含量较低时, 土壤可蚀性因子 EF 值曲线较陡, 随着粘粒含量的增加, EF 值急剧下降, 后随着粘粒含量的增大而缓慢降低。分析图 2 中所有土壤可蚀性因子曲线前半段, 当粘粒含量较低时, 此时向土壤中加入粘土颗粒会使土壤的可蚀性显著降低, 但随着粘粒含量的逐渐增大, 土壤可蚀性的降低速率趋于稳定, 并最终维持在 0.29~0.291。



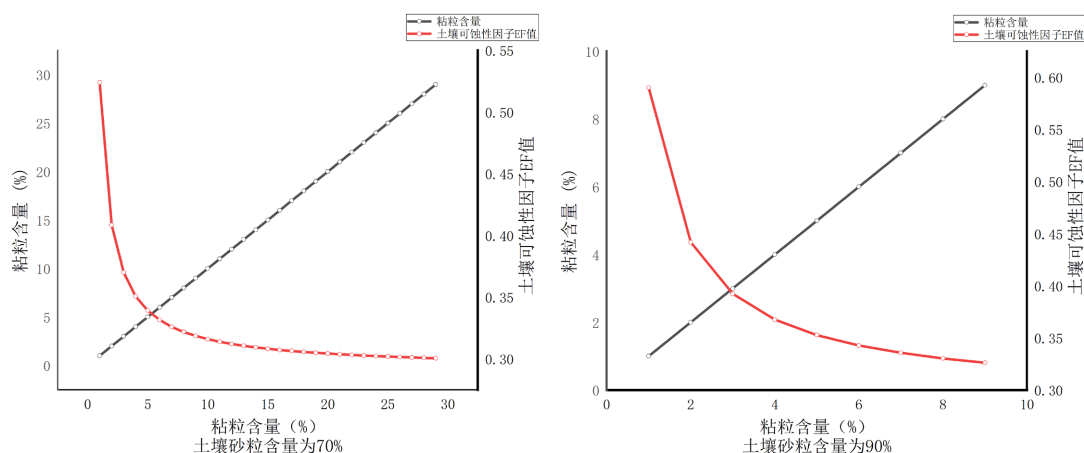


Figure 2. Variation characteristics of soil erodibility factor EF value with clay content

图 2. 土壤可蚀性因子 EF 值随粘粒含量变化特征

4. 空间异质性检验

上述研究表明,砂粒含量和粘粒含量的比值(Sa/Cl)与土壤可蚀性因子 EF 值呈现正相关,即前两者的比值越大,EF 值越大,但此结论不存在绝对性。分析数据组表 2,可以看出,组合①②中,随着粘粒含量降低,EF 值却增加,而组合②③中也表明,随着砂粒含量增加,EF 值减小,这显然同上述两者均与 EF 值呈现正相关的结论不符;而组合③④中,随着砂粒含量增加,EF 值也随之增加,组合④⑤中,随着粘粒含量降低,EF 值也随之减小,此时又与结论相一致。此项分析意在说明,上述结论是在固定剩余参数的前提下获得,然而在实际环境中,风蚀因素存在空间异质性、分布不均匀、不连续,且各土粒含量与有机质含量以及碳酸钙含量对于 EF 值的影响存在耦合作用,两者与 EF 值的关系也存在不唯一性。

Table 2. Relationship between critical values of soil particle content and EF values

表 2. 土壤颗粒含量临界值与 EF 值关系表

组合标号	砂粒含量	粘粒含量	EF 值
①	0.98	0.01	0.6247
②	0.01	0.98	0.3016
③	0.10	0.70	0.2915
④	0.29	0.70	0.2927
⑤	0.29	0.30	0.2911

5. 讨论

在土壤侵蚀过程中,由于侵蚀营力只是土壤侵蚀过程的外部因素,而土壤自身性质才是其内在的因素[9]。1998年,刘连友等[10]对半干旱区三种典型土壤进行风洞模拟测定,并通过粒度分析,指出土壤可蚀性不仅取决于土壤的内在性状,而且与不同风速的外在风蚀效应密切相关;董治宝等[11]通过风洞试验研究了风成砂粒度特征对其风蚀可蚀性的影响,发现风尘成沙的风蚀度随颗粒的变化服从分段函数,在相当粒径条件下,混合砂粒较均匀粒径者易风蚀;梁博[12]探讨了拉林铁路沿线灌丛草地土壤理化性质及可蚀性的空间分布特征,最终发现土壤可蚀性因子 EF 值与粉粒含量呈正相关关系,本文中的相关结论与其结论相一致。

通过前人的研究和本研究可以发现, 土壤可蚀性受到土壤颗粒含量影响, 降低土壤中砂粒和粉粒质量分数或增加土壤中粘粒质量分数, 可降低土壤可蚀性, 其原因在于砂粒和粉粒的黏结力较弱, 抗侵蚀能力弱, 而粘粒粘结力较强, 抗侵蚀能力也强[13] [14] [15], 但这些研究都是在较小尺度上进行的讨论, 而这种主要集中在小坡度的研究会使土壤可蚀性的研究受到限制。除此之外, 对于土壤侵蚀的研究通常分为水蚀和风蚀, 其中计算模型又以水蚀为主的 EPIC 和风蚀为主的 RWEQ 模型最为常用[16] [17] [18], 但现实中土壤的侵蚀常常是由风蚀水蚀交替发生, 因此, 这种分别进行的研究对土壤可蚀性的探讨是不利的。在今后的工作中, 我们要加强土壤可蚀性的试验研究, 将室外的观测同室内的模拟试验结合起来, 将遥感技术同现有的侵蚀预报模型结合起来, 进一步完善侵蚀预报模型中的土壤可蚀性因子, 从而准确地预报侵蚀量, 确定合理的土地利用方式。

6. 结论

本文利用赋值法, 在确定有机质含量为 2%、碳酸钙含量为 0.02 的前提下, 得到以下结论:

- 1) 在固定有机质含量和粉粒含量时, EF 值和砂粒含量呈正相关关系。当土壤砂粒含量低于 50% 时, 土壤砂粒含量曲线斜率大于可蚀性因子 EF 值斜率, 由此表明, 当土壤砂粒含量大于 50% 时, 土壤可蚀性因子 EF 值明显增加, 而土壤的抗风蚀能力显著降低。
- 2) 当砂粒含量较高时, 其斜率远大于 EF 值斜率, 砂粒含量的增加会导致 EF 值增加缓慢; 当砂粒含量较低时, 两者斜率接近, 且砂粒含量的增加使得 EF 值迅速增加。
- 3) 砂粒含量和粘粒含量的比值与土壤可蚀性因子 EF 值呈正相关关系, 增加粘粒质量分数或者降低砂粒质量分数, 可有效减少土壤可蚀性。

参考文献

- [1] 冯颖思, 宋刚, 祝秋萍, 陈迪云, 陈永亨. 某铀矿下游水系沉积物剖面的放射性核素分布特征[J]. 中国环境科学, 2013, 33(8): 1442-1446.
- [2] 巩国丽, 刘鑫, 要玲, 任丽霞, 王敏. RWEQ 模型中风因子的改进及应用[J]. 中国水土保持科学(中英文), 2021, 19(4): 143-148. <https://doi.org/10.16843/j.sswc.2021.04.017>
- [3] Yalcin, G.M. and Ilhan, S. (2008) Multivariate Analyses to Determine the Origin of Potentially Harmful Heavy Metals in Beach and Dune Sediments from Kizkalesi Coast (Mersin), Turkey. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, **81**, 57-68. <https://doi.org/10.1007/s00128-008-9461-2>
- [4] 江凌, 肖焱, 欧阳志云, 徐卫华, 郑华. 基于 RWEQ 模型的青海省土壤风蚀模数估算[J]. 水土保持研究, 2015, 22(1): 21-25+32+2. <https://doi.org/10.13869/j.cnki.rswc.2015.01.005>
- [5] 杨雪琴, 丁锐, 谢骏锴, 等. 基于 RWEQ 模型的石渠县土壤风蚀评价及影响因素分析[J]. 湖北农业科学, 2019, 58(15): 26-29+43. <https://doi.org/10.14088/j.cnki.issn0439-8114.2019.15.006>
- [6] 程昊, 韩庚友, 包会之, 等. 基于 EPIC 模型的粉粒含量与土壤可蚀性关系研究[J]. 水土保持, 2022, 10(1): 6-12.
- [7] 刘珺, 郭中领, 常春平, 王仁德, 李继峰, 李庆, 王旭洋. 基于 RWEQ 和 WEPS 模型的中国北方农牧交错带潜在风蚀模拟[J]. 中国沙漠, 2021, 41(2): 27-37.
- [8] 胡梦甜, 张慧, 高吉喜, 仇宽彪, 王延松, 吕久俊, 鞠昌华. 基于 RWEQ 模型修正的土地沙化敏感性评价[J]. 水土保持研究, 2021, 28(1): 368-372.
- [9] 迟文峰, 白文科, 刘正佳, 党晓宏, 匡文慧. 基于 RWEQ 模型的内蒙古高原土壤风蚀研究[J]. 生态环境学报, 2018, 27(6): 1024-1033. <https://doi.org/10.16258/j.cnki.1674-5906.2018.06.005>
- [10] 刘连友, 王建华, 李小雁, 刘玉璋, 拓万权, 彭海梅. 耕作土壤可蚀性颗粒的风洞模拟测定[J]. 科学通报, 1998, 43(15): 1663-1666
- [11] 董治宝, 钱广强. 关于土壤水分对风蚀起动风速影响研究的现状与问题[J]. 土壤学报, 2007, 44(5): 934-942+176.
- [12] 梁博. 拉林铁路沿线灌丛草地土壤理化性质及可蚀性 K 值研究[J]. 高原农业, 2021, 5(2): 169-176.
- [13] 张寒冰, 高阳, 崔艳智. 基于 RWEQ 模型的典型沙区风蚀治理成效研究[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2019,

- 55(2): 342-350. <https://doi.org/10.13209/j.0479-8023.2019.010>
- [14] 丰秋兰, 周运超. 喀斯特山区土壤颗粒的分布特征及其对可蚀性的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2022, 48(5): 563-571. <https://doi.org/10.13331/j.cnki.jhau.2022.05.009>
- [15] 胡云锋, 刘纪远, 庄大方, 等. 不同土地利用/土地覆盖下土壤粒径分布的分维特征[J]. 土壤学报, 2005, 42(2): 336-339.
- [16] 赵哈林, 郭轶瑞, 周瑞莲, 等. 植被覆盖对科尔沁沙地土壤生物结皮及其下层土壤理化特性的影响[J]. 应用生态学报, 2009, 20(7): 1657-1663.
- [17] 段争虎, 刘新民, 屈建军. 沙坡头地区土壤结皮形成机理的研究[J]. 干旱区研究, 1996(2): 31-36.
- [18] 张鹏, 尹忠东, 尚河英, 等. 新疆卡拉贝利工程区不同地表风蚀特征[J]. 中国农业大学学报, 2016, 21(9): 115-122.