

基于EPIC模型的粉粒含量与土壤可蚀性关系研究

程昊¹, 韩庚友², 包会之², 张彩荣^{3*}

¹中煤建工集团有限公司, 北京

²中煤建工基础工程有限公司, 浙江 杭州

³北京林业大学水土保持学院, 北京

收稿日期: 2022年2月18日; 录用日期: 2022年3月22日; 发布日期: 2022年3月30日

摘要

土壤可蚀性是土壤侵蚀研究的重点问题之一, 为研究土壤粉粒含量与土壤可蚀性K值关系, 依据EPIC模型, 构建了沙粒、粉粒、粘粒含量分别为1%到98%的所有整数组合的数据集, 计算了在有机质含量为2%的前提条件下的土壤可蚀性K值, 分析了各种粘粒含量条件下土壤可蚀性与粉粒含量的关系, 结果表明两者间存在明显正相关关系, 粉粒含量中等时, 前者斜率大于后者, 粉粒含量较大或较小时, 前者斜率小于后者。

关键词

土壤可蚀性K值, 粉粒含量, 机械组成, 相关关系

Study on the Relationship between Silt Content and Soil Erodibility Based on EPIC Model

Hao Cheng¹, Gengyou Han², Huizhi Bao², Cairong Zhang^{3*}

¹China Coal Construction Engineering Group Co., Ltd., Beijing

²China Coal Construction Engineering-Foundation Engineering Co., Ltd., Hangzhou Zhejiang

³School of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing

Received: Feb. 18th, 2022; accepted: Mar. 22nd, 2022; published: Mar. 30th, 2022

*通讯作者。

文章引用: 程昊, 韩庚友, 包会之, 张彩荣. 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. DOI: 10.12677/ojswc.2022.101002

Abstract

Soil erodibility is one of the key issues in soil erosion research. According to the EPIC model, a data set of all integer combinations of sand, powder, and clay content from 1% to 98% was constructed for studying the relationships between soil powder content and soil erodibility K value, and the soil erodibility K value under the premise of an organic matter content of 2% was calculated. The relationship between soil erodibility and silt content under various clay content conditions is analyzed, and the results show that there is an obvious positive correlation between the two. When the silt content is medium, the slope of the former is greater than the latter, and when the silt content is larger or higher, the slope of the former is smaller than that of the latter.

Keywords

Soil Erodibility K Value, Silt Content, Mechanical Composition, Correlation

Copyright © 2022 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

土壤侵蚀作为当今世界普遍关注的全球变化问题，是导致人类赖以生存且日趋紧缺的土地资源退化和损失的重要因素，已成为全球性的环境问题，严重威胁着人类的生存与发展[1]。土壤可蚀性是土壤侵蚀研究的重点问题之一，土壤可蚀性是指土壤受侵蚀破坏的可能性，反映了土壤对侵蚀的敏感程度，是定量研究土壤侵蚀的基础，也是许多土壤侵蚀预报模型的必要参数，国际上常用K值作为其度量指标[2]。土壤可蚀性的强弱，取决于土壤的机械组成、有机质含量等土壤自身的理化特性。土壤可蚀性的获取主要有两种途径，一种是通过模拟实验直接测定，另一种是通过获取土壤的理化特性数据，应用估算模型间接获取，后者在我国较为常用。

侵蚀-生产力评价模型(EPIC)是目前我国研究土壤可蚀性使用较为广泛的模型，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K值的关系，张永勤等[1]对武夷山垂直山地土壤可蚀性K值进行了定量研究分析，揭示了土壤可蚀性K值的垂向分布特征；饶良懿等[2]对砗砗岩覆土区二老虎沟小流域的土壤可蚀性K值进行了估算和比较研究，获得了当地土壤可蚀性K值范围和空间分布规律；吴小波等[3]采用EPIC模型对雷公山4种森林类型土壤可蚀性K值进行估算，揭示了雷公山土壤可蚀性状况。已有的这些研究认为粉粒含量与土壤可蚀性与粉粒结构呈显著正相关关系[4]，也有研究的出相反结论。从地理学角度来看，也许存在空间差异性问题，从物理学角度来看，具有探讨空间无差异性的意义，因此有待进一步深入。本研究根据EPIC模型，对土壤粉粒含量与土壤可蚀性K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

依据EPIC模型，在确定有机质含量为2%的前提条件下，构建了沙粒、粉粒、粘粒含量为1%到98%的所有可能整数组合的数据集，共4851个组合，计算了其土壤可蚀性K值，观察K值在极大和极小两

种条件下的粉粒含量, 计算各个 K 值段的粉粒含量阈值, 分析 K 值随粉粒含量增加的变化特征。土壤可蚀性 K 值计算公式如下:

$$K = \left\{ 0.2 + 0.3e^{\left[-0.0256W_a \left(1 - \frac{W_i}{100} \right) \right]} \right\} \times \left(\frac{W_i}{W_i + W_l} \right)^{0.3} \times \left[1 - \frac{0.25C}{C + e^{(3.72 - 2.95c)}} \right] \times \left[1 - \frac{0.7W_n}{W_n + e^{(-5.51 + 22.9W_n)}} \right] \quad (1)$$

$$W_n = 1 - W_a / 100$$

$$C = OM / 100$$

式中: W_a 是砂粒(0.05~2 mm)含量, %; W_i 是粉粒(0.002~0.05 mm)含量, %; W_l 是黏粒(<0.002 mm)含量, %; C 是有机碳含量, %; OM 是有机质含量, %。

3. 结果及分析

计算结果显示, 当土壤有机质含量为 2% 时, 数据集中所有粒径含量整数组合的 K 值小于 0.06, 其中 3810 个粒径组合的 K 值介于 0.01 至 0.03 期间(表 1), 占总数的 79%, 而其他 3 个粒径组合的 K 值无一超过总组合数的 10%。

3.1. 土壤极端粒径结构对 K 值的影响

进一步分析发现, 粉粒含量较小时, K 值也较小。当粉粒含量小于 5% 和 1% 时, K 值分别低于 0.02 和 0.012; 而当 K 值小于 0.007 时, 粉粒含量无一例外均小于等于 1%; 当粉粒含量为 2 时, K 值均大于 0.007。由此可见, 粉粒含量为 1% 与 K 值小于 0.007 两者之间具有较好的重合性, 前者为后者的充分且必要条件。

粉粒含量较大时, K 值也较大。当前者大于 90% 时, 后者最低为 0.051, 而当 K 值大于 0.056 时, 粉粒含量最低为 91%。后者为前者的充分且必要条件。

由此可见, 粉粒含量是导致 K 值出现极端值的充分必要条件, 此时砂粒和粘粒含量与 K 值没有显著关系。

3.2. K 值临界值与粉粒含量临界值关系

对 K 值分段分析可以发现, 每个 K 值区间均与粉粒含量临界值相对应(表 1), 中低 K 值分段对应于粉粒含量的高限值, 而高 K 值分段对应于粉粒含量的低限值。尽管如此, 由于各个阈值的含量在实际中并不少见, 因此每个 K 值分段均能对应一些类型的土壤。

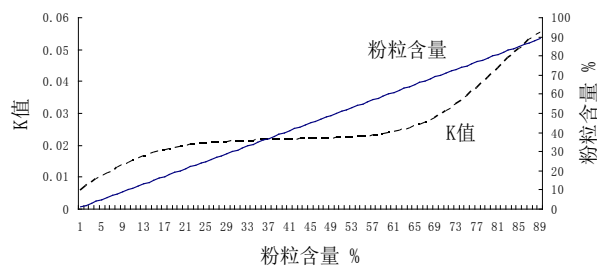
Table 1. Threshold value of soil particle content corresponding to different K value segments

表 1. 不同 K 值分段对应的土壤颗粒含量阈值

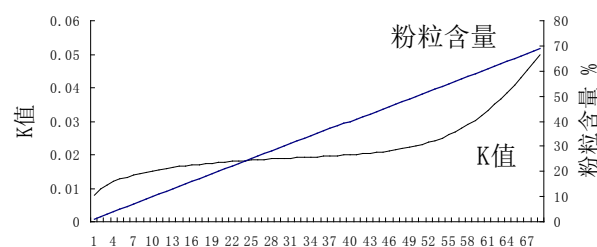
K 值	组合个数	砂粒含量	粉粒含量	粘粒含量
<0.01	287		<6%	
0.01~0.02	2172		<40%	
0.02~0.03	1638	<75%	<75%	
0.03~0.04	398	<25%	<83%	<83%
0.04~0.05	247	<17%	>38%	<61%
>0.05	109	<10%	>70%	<30

3.3. K 值与粉粒含量特征关系

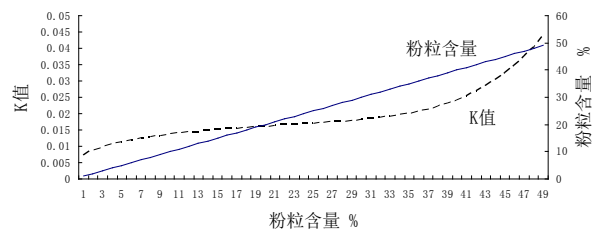
分析粉粒含量与土壤可蚀性 K 值得关系发现, 粉粒含量与 K 值呈正相关关系(图 1、图 2), 当粉粒含量较高或较低时, 粉粒含量曲线斜率与 K 值斜率接近, 粉粒含量的增加导致 K 值增加速度缓慢; 而粉粒含量中等时, 其斜率缓于 K 值斜率, 含量的增加导致 K 值迅速增加。该现象在 K 值分段特征中也有所体现, K 上限值为 0.02 和 0.03 时, 粉粒含量跨度为 35%, 斜率相对较为平缓, 而 K 上限值为 0.03 和 0.04 时, 粉粒含量跨度仅为 8%, 也表明该分段的粉粒含量曲线可能更陡。



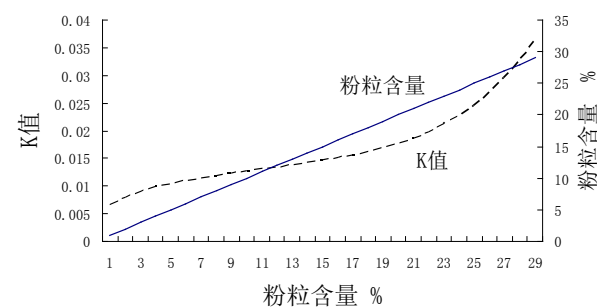
(a) 粘粒含量 10%



(b) 粘粒含量 30%



(c) 粘粒含量 50%



(d) 粘粒含量 70%

Figure 1. The variation characteristics of K value with powder content
图 1. K 值随粉粒含量变化特征

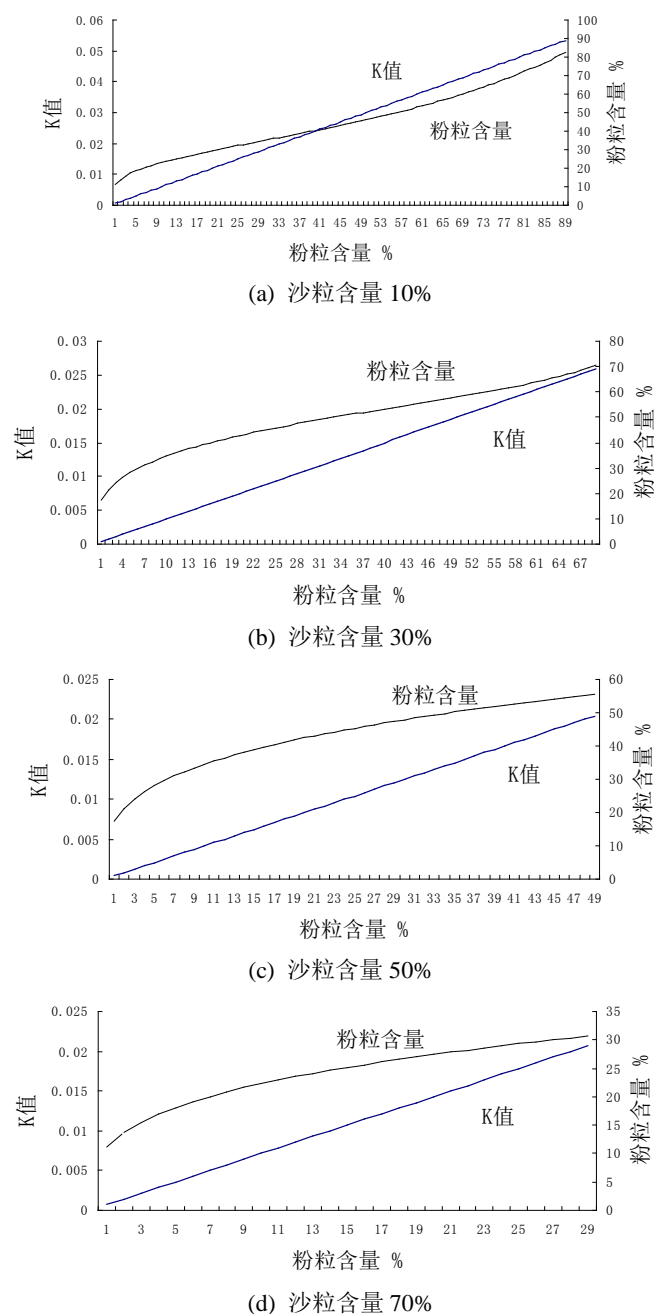


Figure 2. The variation characteristics of K value with powder content
图 2. K 值随粉粒含量变化特征

4. 讨论

前人对土壤颗粒含量与土壤可蚀性关系开展了大量研究, 乔锋等[4]揭示了藏东南典型气候带土壤可蚀性强弱及 K 值分布特征, 利用利用 EPIC 模型对该地区土壤可蚀性 K 值进行了估算, 发现土壤可蚀性 K 值与粉粒含量呈显著正相关, 与海拔、砂粒含量呈显著负相关, 但与土壤有机碳含量相关性不显著; 梁博[5]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 K 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。而朱成刚[6]等探讨了河谷坡地的土壤特

性与土壤可蚀性的关系,出现了截然相反的结论,研究结果显示,土壤可蚀性 K 值与土壤中粉粒的含量呈显著负相关关系。从水土保持科学角度来看,可能源于不同的研究区域、土地利用性质等多方面原因。因此几乎所有研究都强调区域土壤类型等特征,但是由于土壤特征不仅仅限于机械组成,导致土壤可蚀性研究复杂化。

从 EPIC 模型来看,土壤可蚀性与粉粒含量关系是不受地域、土壤种类、微地貌、土地利用性质等各种因素影响,是具有统一规律的,在某些研究条件下可尝试运用该无差别的结论,而无需强调地域、土壤类型,甚至有条件的固化该结论,可以在一定条件下减少该类重复研究。

5. 结论

在固定有机质含量和粘粒含量时, K 值与粉粒含量呈正相关关系。当粉粒含量较高或较低时与 K 值斜率接近,含量的增加导致 K 值增加速度缓慢;而粉粒含量中等时,其斜率缓于 K 值斜率,含量的增加导致 K 值迅速增加。

6. 可靠性验证

为验证本研究结论在实际应用中的意义,引用前人对不同土壤类型可蚀性 K 值的计算结果进一步分析。我国的土壤可蚀性计算大部分是根据全国第二次土壤普查资料并应用 EPIC 模型中 K 值的计算公式计算或通过诺谟图查算,如张宪奎等[7]计算了东北黑土的土壤可蚀性 K 因子平均值为 0.26;方纲等[8]应用 EPIC 模型中 K 值的计算公式得出福建省红壤区的 K 因子平均值为 0.224;邓良基等[9]研究四川省自然土壤可蚀性特征发现紫土潮土的 K 值为 0.344。分析发现,土壤可蚀性 K 值与研究区土壤类型密切相关,土壤类型不同,其可蚀性 K 值差异明显。如潮土的 K 值高达 0.344,这是由于潮土的粉粒和粘粒含量较高,粉粒含量平均达 49%,粘粒含量达 40%,而砂粒含量所占比重很小,平均含量为 11% [10],所以其表土层的可蚀性很高;而黑土成土母质多为第四纪沉积物,土壤中各个粒级含量比较均一,以黑龙江北安地区为例,该区土壤中粉粒含量相较于潮土而言略低,含量为 44%,但其粘粒含量较高,达 53% [10],再加上其有机质含量较高,因此土壤可蚀性 K 值中等(低于潮土);红壤具有明显的粗骨粒特征,粉粒含量相对较低,但有机质含量一般都较高,因此其土壤可蚀性相较而言最低,如福建省红壤区粉粒含量在 15%~36%之间[8]。由此可见,土壤中的粉粒含量影响着 K 值的大小。粉粒含量越高,土壤可蚀性 K 值就越大,土壤越容易受到侵蚀,这与本研究的结论一致。因此,该结论可靠,对该领域的研究有实际参考意义。

7. 建议

土壤理化特性与土壤可蚀性密切相关,其中土壤粉粒含量与土壤可蚀性的关系具有较多的前期研究结果,理论上具有正相关性、负相关性、无明显相关性 3 种可能性。从纯数学解析角度来看,EPIC 模型显然认为两者具有正相关性,且适用于所有含量区间。但本文仅对 4851 个土壤机械组成的组合进行了分析,实际可能的组合远大于此数字,建议下一步进行更为严谨的论证。另外,计算土壤可蚀性的模型很多,EPIC 模型仅是其中一个,如果进行更多模型的解析,将有助于对此问题进行更加深入的了解。

基金项目

本文研究为中煤建工集团有限公司资助科技创新项目。

参考文献

- [1] 张永勤. 武夷山山地土壤可蚀性 K 值的垂直分异及成因分析[J]. 亚热带水土保持, 2012, 24(3): 19-22.

-
- [2] 饶良懿, 徐也钦, 胡剑汝. 砒砂岩覆土区小流域土壤可蚀性 K 值研究[J]. 应用基础与工程科学学报, 2020, 28(4): 763-773.
 - [3] 吴小波, 王震洪, 何建敏, 曹荣权. 雷公山 4 种森林类型的土壤可蚀性 K 值及影响因素[J]. 贵州农业科学, 2014, 42(7): 64-67+72
 - [4] 乔锋, 王明刚, 李晶, 杨文姬, 喻武, 聂晓刚. 色季拉山垂直气候带土壤可蚀性研究[J]. 西南林业大学学报(自然科学), 2018, 38(6): 121-126.
 - [5] 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.
 - [6] 朱成刚, 李卫红, 李大龙, 刘志明, 富磊. 伊犁河谷土壤理化性质及可蚀性特征分析[J]. 资源科学, 2016, 38(7): 1212-1221.
 - [7] 张宪奎, 许靖华, 卢秀琴, 邓育江, 高德武. 黑龙江省土壤流失方程的研究[J]. 水土保持通报, 1992(4): 1-9+18.
 - [8] 方纲, 阮伏水, 吴雄海, 郭志明. 福建省主要土壤可蚀性特征初探[J]. 福建水土保持, 1997(2): 19-23.
 - [9] 邓良基, 侯大斌, 王昌全, 张世熔, 夏建国. 四川自然土壤和旱耕地土壤可蚀性特征研究[J]. 中国水土保持, 2003(7): 23-25.
 - [10] 中国科学院南京土壤研究所. 中国土壤[M]. 北京: 科学出版社, 1978.