

# 东北典型薄层黑土区土壤可蚀性模型适用性分析

王彬<sup>1,2</sup>, 郑粉莉<sup>1,2\*</sup>, 王玉玺<sup>3</sup>

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 杨凌 712100; 2. 中国科学院水利部水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 杨凌 712100; 3. 黑龙江水土保持科学研究院, 哈尔滨 150400)

**摘要:** 土壤可蚀性是土壤侵蚀预报和环境效应评价模型的重要参数。该文选取东北典型薄层黑土区宾州河流域为研究区, 通过校验极细砂粒含量转换式, 分析侵蚀—生产力影响模型 (erosion productivity impact calculator, EPIC)、通用土壤流失方程 (universal soil loss equation, USLE) 和修正土壤流失方程 (revised universal soil loss equation, RUSLE2) 3 种模型  $K$  值估算方法间的差异, 以探讨各估算方法在东北典型薄层黑土区的适用性。结果表明: 与实测值相比, RUSLE2 模型整体“低估”极细砂粒含量, 平均低估 22.5%; 建立的薄层黑土区极细砂粒含量转换方程可使估算精度提高 95% 以上。RUSLE2 模型  $K$  值估算方法适用于薄层黑土区。EPIC 与 USLE 模型  $K$  值估算方法均“高估”薄层黑土区的土壤可蚀性, 但通过建立的修正方程进行校正, 仍可用于中国东北薄层黑土区  $K$  值估算。该研究可为薄层黑土区及相似地区的土壤侵蚀定量评价和土壤质量危险性评价提供必要的科学依据。

**关键词:** 土壤, 砂, 模型, 可蚀性, 极细砂粒, 含量,  $K$  值估算, 东北黑土区

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2012.06.021

中图分类号: S157.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2012)-06-0126-06

王彬, 郑粉莉, 王玉玺. 东北典型薄层黑土区土壤可蚀性模型适用性分析[J]. 农业工程学报, 2012, 28(6): 126-131.  
Wang Bin, Zheng Fenli, Wang Yuxi. Adaptability analysis on soil erodibility models in typical thin layer black soil area of Northeast China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(6): 126-131. (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

土壤侵蚀不仅造成土地资源严重退化甚至彻底破坏, 而且大量径流泥沙及其挟带的污染物对水体质量和河道运行安全造成严重威胁<sup>[1]</sup>, 已成为全球性的重要环境问题之一。土壤侵蚀除受降雨侵蚀力 (erosivity)、地形、植被和人为活动的影响外, 还取决于土壤的内因因素土壤可蚀性 (erodibility), 通常采用土壤可蚀性  $K$  值进行衡量<sup>[2-3]</sup>。土壤可蚀性是土壤在雨滴打击、径流冲刷等外营力作用下被分散、搬运的难易程度, 分为可分离性和可搬运性<sup>[4]</sup>。目前, 土壤可蚀性作为表征土壤内性质质的定量指标, 已被广泛的应用于通用土壤流失方程 (USLE, universal soil loss equation), 修正土壤流失方程 (RUSLE2, revised universal soil loss equation), 水蚀预报模型 (WEPP, water erosion prediction project) 及侵蚀—生产力影响模型 (EPIC, erosion productivity impact calculator) 等土壤侵蚀预报和环境效应评价模型<sup>[5-8]</sup>, 成

为土壤侵蚀预报模型的必要参数。

东北黑土地是中国主要商品粮产区, 严重的水土流失直接威胁着国家的粮食战略安全<sup>[9-10]</sup>。据 2010 年中国水土流失与生态安全综合科学考察 (东北组) 报告<sup>[9]</sup>, 东北黑土区表层土壤流失速率为 3~10 mm/a, 平均土层厚度已由 20 世纪 50 年代的 60~70 cm 下降至目前的 20~30 cm, 部分地区甚至出现“破皮黄”, 土壤退化严重。然而, 目前国内土壤可蚀性的研究主要集中于黄土高原、南方红壤和紫色土等主要水蚀区, 而对同为中国主要水蚀区之一的黑土区的研究仍处于起步阶段, 尤其对现有土壤可蚀性估算模型在东北黑土区的适用性评价研究较少<sup>[11-17]</sup>。本文选取土壤侵蚀严重的黑龙江省宾县宾州河流域为研究区, 以不同地形地貌部位 36 个典型剖面的薄层黑土为研究对象, 分析并建立适用于薄层黑土区的极细砂粒含量转换算式, 探讨目前国内较多采用的 EPIC、USLE、RUSLE2 等模型  $K$  值估算方法间存在的差异, 进而评价各  $K$  值估算方法在东北典型薄层黑土区的适用性, 以期以薄层黑土区及相似地区的土壤侵蚀定量评价、土壤质量危险性评价与农业可持续性发展提供必要的科学依据。

## 1 研究区概况

研究区位于黑龙江省宾县宾州河流域 (127°26'04"~127°32'02" E, 45°43'13"~45°51'37" N), 流域面积 375 km<sup>2</sup>, 属松嫩平原东部边缘的薄层黑土区。该区地处张广才岭支脉, 为漫岗丘陵地貌, 地势平缓, 耕地常见

收稿日期: 2011-10-13 修订日期: 2012-01-12

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40871137); 国家重点基础研究发展计划 (973) 项目 (2007CB407201) 和中法合作项目 (PFCC 2009-20919ZC)。

作者简介: 王彬 (1983—), 男, 汉族, 河南新乡人, 博士生, 主要从事土壤侵蚀预报与土壤可蚀性研究。杨凌 西北农林科技大学资源环境学院, 712100。Email: wangbin1836@yahoo.com.cn

\*通信作者: 郑粉莉 (1960—), 女, 汉族, 陕西蓝田人, 博士, 研究员, 博士生导师, 主要从事土壤侵蚀过程及预报和侵蚀环境效应评价研究。杨凌 西北农林科技大学资源环境学院, 712100。Email: flzh@ms.iswc.cn

农业工程学会会员: 王彬 (E040000379A)

坡度 1°~7°，坡长达数百米，甚至数千米。寒温带大陆性季风气候明显，气温年较差大，年均气温 3.9℃，年均降雨量为 548.5 mm，无霜期 148 d 左右<sup>[18]</sup>。研究区土壤以黑土为主，占流域面积的 2/3 以上，其次为草甸土和白浆土。研究区平均黑土层厚度 10~50 cm，有机质含量 1%~7%。区内主要侵蚀方式为水力侵蚀，其侵蚀面积占流域总耕地面积的 62.2%，年均侵蚀速率 3~5 mm/a<sup>[18]</sup>。

## 2 材料与方 法

### 2.1 供试样品

以黑龙江省宾县 1:1 万地形图及土壤类型图 为底图，于 2008 年 5 月在宾州河流域进行详细调查及现场考察，

并以地貌部位、黑土土层厚度及侵蚀的空间分布作为参考依据，在宾州河流域上、中、下游选取 6 个典型坡面为采样坡面，并在各坡面的上部、中部和下部分别选取土壤剖面 2 个（即 2 个重复）为采样剖面，即共确定 36 个土壤样品采样剖面。按照 0~5、>5~10、>10~20、>20~40、>40~60 cm 5 个层次分层采集扰动土壤样品 178 个和原状土壤样品 140 个。土壤样品经传统方法前期处理后，分别采用硫酸重铬酸钾法<sup>[19]</sup>、吸管法<sup>[19]</sup>、环刀法<sup>[19]</sup>、干筛法<sup>[19]</sup>和 LB 法<sup>[20]</sup>分别测定供试土壤样品的有机质质量分数、颗粒组成、体积质量和团聚体平均质量直径（MWD）等指标，并采用野外盘式入渗仪法<sup>[21]</sup>原位测定相应的土壤导水率，见表 1。

表 1 采样坡面土壤基本情况  
Table 1 General information of soil in sampling slopes

坡面号	样品个数	砂粒质量分数 0.05~2 mm (mg·g <sup>-1</sup> )	粉粒质量分数 0.002~0.05 mm (mg·g <sup>-1</sup> )	黏粒质量分数 <0.002 mm (mg·g <sup>-1</sup> )	体积质量 (g·cm <sup>-3</sup> )	土壤有机质 质量分数 (mg·g <sup>-1</sup> )	团聚体平均 质量直径 (mm)	导水率 (mm·min <sup>-1</sup> )
BX-A	30	1.6~7.2	56.4~66.8	26.2~40.1	1.07~1.43	1.37~2.83	0.49~0.91	0.12~0.34
BX-B	30	1.9~5.0	55.1~62.8	34.3~42.1	1.05~1.59	0.35~2.40	0.46~0.96	0.08~0.29
BX-C	30	2.0~7.2	50.5~66.1	27.6~44.8	0.98~1.48	2.11~5.20	0.42~0.67	0.13~0.22
BX-D	30	2.8~7.5	48.4~63.2	33.2~38.5	0.92~1.46	1.37~7.47	0.45~1.22	0.19~0.25
BX-E	28	3.1~5.5	56.0~68.4	28.1~40.1	1.00~1.46	0.78~2.65	0.32~0.79	0.14~0.31
BX-F	30	0.5~3.9	54.9~64.6	34.9~41.2	1.09~1.41	1.08~4.46	0.43~0.81	0.14~0.21

注：采用美国土壤质地分类制。

### 2.2 K 值计算方法

目前，国内采用较多的土壤可蚀性 K 值计算方法为通用土壤流失方程（USLE）、修正土壤流失方程（RUSLE2）及侵蚀—生产力影响模型（EPIC）中所提供的方法。不同的 K 值计算模型，具有相应的土壤质地和有机质含量适用范围。

#### 1) USLE 模型 K 值计算方法

对于粉粒和极细砂质量分数之和小于 70 mg/g，有机质质量分数小于 12 mg/g 的土壤，计算公式<sup>[22]</sup>为

$$K = \left[ \frac{2.1 \times 10^{-4} (12 - OM) M^{1.14} + 3.25(S - 2) + 2.5(P - 3)}{100} \right] \quad (1)$$

式中， $M = (f_{silt} + f_{vfs}) \times (100 - f_{clay})$ ， $f_{silt}$  为粉砂粒质量分数，mg/g； $f_{vfs}$  为极细砂粒质量分数（0.05~0.1 mm），mg/g； $f_{clay}$  为黏粒质量分数，mg/g； $OM$  为土壤有机质质量分数，mg/g； $S$  为结构系数； $P$  为渗透性等级， $S$  与  $P$  值的获取参考美国农业部土壤调查手册。公式中  $K$  值计算结果为美制单位 (acre·h)/(100·acre·ft·in)，转换为国际制单位 (t·hm<sup>2</sup>·h)/(hm<sup>2</sup>·MJ·mm)，本文中  $K$  值均为国际制单位。

#### 2) EPIC 模型 K 值计算方法

EPIC 模型中仅需提供土壤有机碳含量和颗粒组成的信息便可对土壤可蚀性进行估算<sup>[23]</sup>。

$$K = \left( 0.2 \times 0.3e^{[-0.0256 f_{sand} (1 - f_{silt}/100)]} \right) \times \left( \frac{f_{silt}}{f_{clay} + f_{silt}} \right)^{0.3} \times \left[ 1 - \frac{0.25C}{C + e^{(3.72 - 2.95C)}} \right] \times \left[ 1 - \frac{0.7 f'_{sand}}{f'_{sand} + e^{(22.9 f'_{sand} - 5.51)}} \right] \quad (2)$$

式中， $f_{sand}$  为砂粒质量分数，mg/g； $C$  为有机碳质量分数，

mg/g； $f'_{sand} = 1 - f_{sand}/100$ 。

#### 3) RUSLE2 模型 K 值计算方法

RUSLE2 模型中的  $K$  值估算方法是 USLE 模型标准诺谟图和其相应经验公式的改良方法。RUSLE2 模型的  $K$  值算式形式与式（1）相似，仅对土壤结构因子  $K_s$  进行了调整<sup>[22,24]</sup>，其应用范围与 USLE 一致，具体算式如下

$$K_s = 3.25(2 - S) \quad (3)$$

即

$$K = \left[ \frac{2.1 \times 10^{-4} (12 - OM) M^{1.14} + 3.25(2 - S) + 2.5(P - 3)}{100} \right] \quad (4)$$

## 3 结果与分析

### 3.1 K 值计算中极细砂粒含量的确定

除 EPIC 模型外，现有  $K$  值计算模型中，皆需提供极细砂粒含量（very fine sand, Vfs）。但该粒级并非现行土壤质地分类标准的划分范围，给已具有土壤质地资料的地区进行土壤可蚀性估算带来较大的不便。

#### 3.1.1 RUSLE2 的极细砂粒转换模型分析

采用实测极细砂粒含量与 RUSLE2 模型 (v2008)<sup>[22,24]</sup> 的极细砂粒含量转换方程（RUSLE-Vfs，式（5）所得结果进行比较，验证该方程在薄层黑土土壤极细砂粒含量计算中的适用性。

$$f_{vfs} = 0.74 f_{sand} - 0.62 f_{sand}^2 \quad (5)$$

式中， $f_{vfs}$  为极细砂粒质量分数，mg/g。

由图 1 可见，经式（5）转换所得的结果对极细砂粒含量整体存在“低估”现象，“低估”变幅为 0.24%~44%，平均低估 22.5%。可见，RUSLE2 模型的转换方程会使薄

层黑土极细砂粒含量产生较大偏差,需构建适用的薄层黑土区的极细砂粒含量转换式,以降低由此带来的误差,达到减少土壤可蚀性  $K$  值计算累积误差的目的。

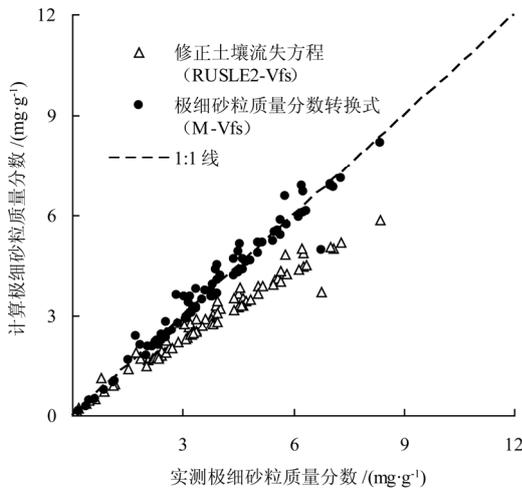


图1 极细砂质量分数计算值与实测值的关系

Fig.1 Relationship between calculated and measured very fine sand content

### 3.1.2 薄层黑土区极细砂粒含量转换算式 (M-Vfs) 的建立与验证

将 178 对实测数据随机平均分为 2 组,分别用于建立和验证薄层黑土区极细砂粒含量转换算式 (M-Vfs)。基于 89 对实测数据获取的相关关系 (图 2),建立了修正的极细砂粒含量转换算式,如式 (6)。

$$f_{vfs} = 0.9803f_{sand} - 0.1933 \quad (6)$$

$$R^2 = 0.977 (P < 0.01, n = 89)$$

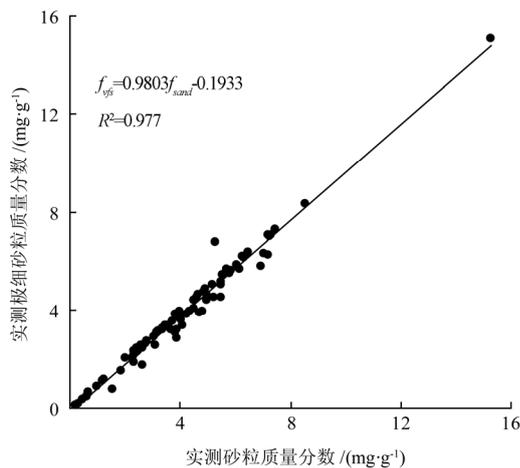


图2 实测砂粒与极细砂粒质量分数相关关系图

Fig.2 Correlation relation between measured sand fraction and very fine sand content

将另一组相对独立的实测数据代入修正极细砂粒含量转换算式 (6),对其结果进行验证。发现经 M-Vfs 算式转换所得细砂粒含量与实测值间的相对误差明显降低 (图 1),平均相对误差降低至 -0.98%。即相对于 RUSLE2 提供的转换式 (5),新建 M-Vfs 算式 (6) 所得结果的

平均误差降低至 RUSLE2-Vfs 算式误差的 4.36%,计算准确度得到了较大的提高。

## 3.2 土壤可蚀性 $K$ 值估算

### 3.2.1 $K$ 值估算结果的差异性

采用 EPIC、USLE 和 RUSLE2 模型的  $K$  值估算方法对薄层黑土的土壤可蚀性进行估算,结果表明 (表 2),5 个采样层次土壤的可蚀性  $K$  值变化范围依次为 0.035~0.056, 0.020~0.054 和 0.011~0.043,均值分别为 0.050, 0.039 和 0.030。另外,由于目前  $K$  值研究多集中于耕层土壤 (0~20 cm),为方便研究结果间的对比我们也对耕层土壤  $K$  值进行了分析,其变化范围依次为 0.038~0.054, 0.023~0.049 和 0.014~0.040,均值分别为 0.050, 0.040 和 0.030。由此可见,不同土壤可蚀性  $K$  值估算方法在薄层黑土区土壤可蚀性估算中存在较大的差异,模型的适用性有待验证。

表2 3种模型估算  $K$  值的统计描述

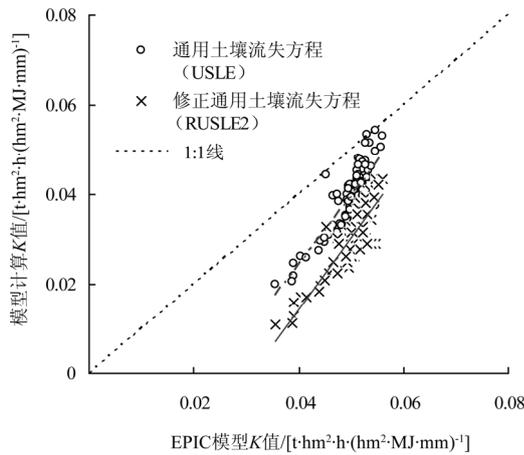
Table 2 Statistical character about  $K$  value calculated by three different models

土壤层次	$K$ 值估算方法	均值	中位数	标准差	极小值	极大值	偏度	峰度	样本数
5 个采样层次	EPIC	0.050	0.051	0.004	0.035	0.056	-1.570	2.847	178
	USLE	0.039	0.040	0.007	0.020	0.054	-0.509	0.545	178
	RUSLE2	0.030	0.032	0.007	0.011	0.043	-0.570	0.396	178
0~20 cm	EPIC	0.050	0.051	0.004	0.038	0.054	-2.541	7.686	36
	USLE	0.040	0.040	0.007	0.023	0.049	-0.970	1.578	36
	RUSLE2	0.030	0.031	0.006	0.014	0.040	-0.976	1.588	36

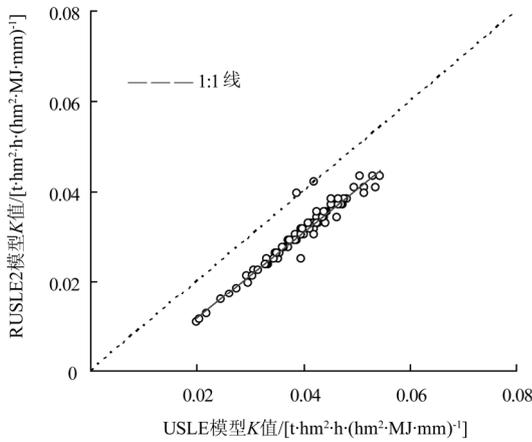
注: 5 个采样层次包括 0~5、>5~10、>10~20、>20~40 和 >40~60 cm, 其统计描述是对上述所有土壤层次计算所得的  $K$  值进行统计分析的结果。0~20 cm (即耕层) 的  $K$  值是指耕层混合土样的土壤可蚀性值。

以目前国内采用较多的 EPIC 模型  $K$  值估算方法为基准,对比分析 USLE 和 RUSLE2 模型的  $K$  值估算结果,发现 3 种模型估算的  $K$  值间存在极显著正相关关系 (图 3),说明各  $K$  值估算方法均可在一定程度上反映土壤可蚀性的变化规律,但其承载真实土壤可蚀性  $K$  值信息的准确程度存在一定的差异。图 3 表明,相对于 EPIC 模型  $K$  值估算结果,USLE 模型“低估”了土壤可蚀性  $K$  值 (图 3a),“低估”变幅为 0.60%~47.09%,平均“低估”21.53%;同时,RUSLE2 模型也“低估”了土壤可蚀性  $K$  值 (图 3a),且“低估”变幅远大于 USLE 的估算结果,其变化范围为 20.42%~70.86%,平均“低估”39.83%。可见,USLE 及 RUSLE2 模型所计算的土壤可蚀性  $K$  值均小于目前采用较多的 EPIC 模型计算方法。其原因应为 USLE 及 RUSLE2 模型考虑的土壤状况较为全面,包括土壤质地、有机质、土壤结构及入渗性能等 4 个方面,能够综合的反映土壤内在性质对侵蚀环境的敏感程度;而 EPIC 模型仅考虑土壤的质地及有机碳含量 2 个方面,忽略了土壤孔性和结构特征。实际上我们在野外进行的实测资料表明,土壤入渗性及孔性特征在研究流域上、中、下游不同地形部位存在着明显的分布特征<sup>[25]</sup>,因此可认为 EPIC 模型在一定程度上造成了土壤可蚀性信息损失,造成土壤可蚀性  $K$  值相对增大。

对比分析 USLE 和 RUSLE2 模型的  $K$  值估算结果(图 3b)，发现 2 种方法估算的  $K$  值有极显著的线性相关关系( $R^2=0.93, P<0.01$ )，且与 1:1 线基本平行，表明 USLE 和 RUSLE2 模型所得结果反映的  $K$  值变化规律基本相同。与 RUSLE2 模型相比，USLE 模型整体“高估”了土壤可蚀性  $K$  值，“高估”变幅为 14.30%~45.65%，平均“高估”23.78%。该结论与 Klik<sup>[26]</sup>和张科利等<sup>[27]</sup>对于高黏粒含量土壤的研究结果，USLE 模型会“高估”其土壤可蚀性  $K$  值的结论一致。同时，研究区土壤的黏粒含量变化于 26.2%~41.2% (表 1)，属较高黏粒含量土壤，从另一侧面印证了上述结论，说明 RUSLE2 模型的  $K$  值算法较适用于东北薄层黑土区土壤可蚀性  $K$  值估算。



a. EPIC 与 USLE/RUSLE2 模型  $K$  值相关关系



b. USLE 与 RUSLE2 模型  $K$  值相关关系

图 3 USLE, EPIC, RUSLE2 3 种模型  $K$  值相关关系图

Fig.3 Correlation relation of  $K$  values among three models of USLE, EPIC and RUSLE2

### 3.2.2 $K$ 值估算模型的适用性

以黑龙江省水土保持科学研究所 1985—1990 年(1986 和 1989 年资料缺失)在宾县薄层黑土区实测的耕层土壤(0~20 cm)  $K$  值为参考，比较分析上述 3 种模型在研究区的适用性。由表 3 可见，实测薄层黑土区的土壤可蚀性  $K$  值变化于 0.008~0.056 之间，平均值为 0.032。而 EPIC、USLE 和 RUSLE2 模型估算的薄层黑土耕层土壤可蚀性  $K$  值分别为 0.038~0.054，0.023~0.049 和 0.014~0.040，均值分别为 0.050，0.040 和 0.030。显然，

RUSLE2 模型的  $K$  值估算方法所得表层土壤  $K$  值与实测值极为接近，进一步说明 RUSLE2 模型的  $K$  值估算方法适用于薄层黑土区土壤可蚀性的估算。

表 3 黑龙江省宾县薄层黑土区土壤可蚀性实测值<sup>[17]</sup>

Table 3 Measured value of soil erodibility in thin layer black soil area in Bin county of Heilongjiang province

年度	年侵蚀量 /[t·(hm <sup>2</sup> ) <sup>-1</sup> ]	年降雨侵蚀力 $R$ 值/ [MJ·(hm <sup>2</sup> ·h) <sup>-1</sup> ]	土壤可蚀性 $K$ 值/ [t·hm <sup>2</sup> ·h·(hm <sup>2</sup> ·MJ·mm) <sup>-1</sup> ]
1985	28.76	913.29	0.031
1987	16.73	299.04	0.056
1988	5.65	665.48	0.008
1990	21.81	704.63	0.031
均值	18.25	645.57	0.032
RUSLE2 估算值			0.030

注：试验小区为标准小区，小区坡长 20 m，坡度 9%。

### 3.2.3 $K$ 值估算方法的校正

基于 EPIC、USLE 和 RUSLE2 模型的  $K$  值估算方法差异性分析发现，尽管各估算方法所得关系点皆偏离 1:1 线(图 3)，但均呈现明显的规律性。因此，鉴于  $K$  值估算模型适用性分析的结果，以适用于东北薄层黑土区的 RUSLE2 计算  $K$  值为基准对其他估算模型进行校正，得到以下关系式

$$K_{RUSLE2} = 0.9608K_{USLE} - 0.0075 \quad (7)$$

$$R^2 = 0.93 \quad (P < 0.01, n = 178)$$

$$K_{RUSLE2} = 1.5876K_{EPIC} - 0.049 \quad (8)$$

$$R^2 = 0.76 \quad (P < 0.01, n = 178)$$

采用式(7)和式(8)分别对 USLE 和 EPIC 模型计算的  $K$  值进行校正(图 4)可见，校正后的  $K$  值平均相对误差分别降低至 0.43%和 1.06%。这一结果表明，尽管式(1)和式(2)计算的土壤可蚀性  $K$  值与适用于东北薄层黑土区的 RUSLE2 计算结果存在较大差异，但通过校正后仍可用于中国东北薄层黑土区土壤可蚀性  $K$  值的计算。因此，今后的研究可针对已收集的资料情况(如土壤普查资料)，选择符合条件的公式进行土壤可蚀性  $K$  值计算，以服务中国土壤侵蚀预报工作。

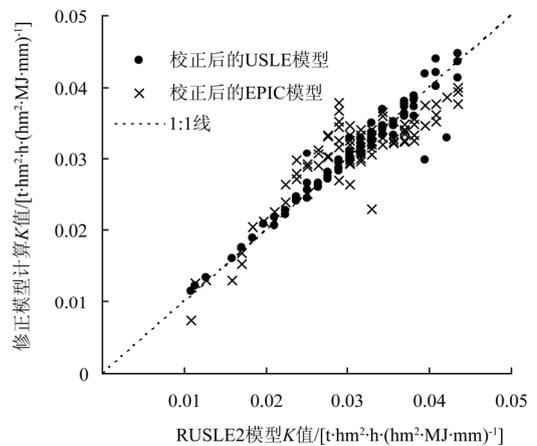


图 4 RUSLE2 与修正模型估算  $K$  值的关系

Fig.4 Relationship of estimated value between RUSLE2 and modified models

## 4 结 论

通过分析极细砂粒含量算式在典型薄层黑土区的适用性, 及 EPIC、USLE 和 RUSLE2 模型  $K$  值估算结果的差异性, 得到如下结论:

1) 典型薄层黑土区, RUSLE2 模型所提供的极细砂粒含量转换方程会整体“低估”极细砂粒含量, “低估”幅度为 0.24%~44%, 平均低估 22.5%。

2) 建立了薄层黑土区极细砂粒含量转换模型。经验证, 所得细砂粒含量与实测值之间的平均误差降低至 -0.98%, 计算准确度较原计算方法提高了 95.64%。

3) RUSLE2 模型  $K$  值估算方法适用于薄层黑土区; EPIC 与 USLE 模型  $K$  值估算方法均会“高估”薄层黑土区的土壤可蚀性, 但通过建立的修正方程进行校正, 仍可用于中国东北薄层黑土区土壤可蚀性  $K$  值估算。

致谢: 黑龙江省水土保持科学研究院解运杰、樊华和刘凤飞等老师在本试验野外考察与土样采集中提供了大量的帮助, 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室史竹叶老师在室内分析中提供了热心的帮助, 他们为试验的顺利完成提供了便利和保障, 在此表示衷心的感谢。

### [参 考 文 献]

- [1] 景可, 王万忠, 郑粉莉. 中国土壤侵蚀与环境[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 83-96.
- [2] Kinnell P I A. Event soil loss, runoff and the Universal Soil Loss Equation family of models: A review[J]. Journal of Hydrology, 2010, 385(1/4): 384-397.
- [3] 缪驰远, 刘宝元, 刘刚, 等. 东北典型黑土区剖面粒径分布特征及其可蚀性研究[J]. 水土保持学报, 2008, 22(3): 18-23. Miao Chiyuan, Liu Baoyuan, Liu Gang, et al. Study on particle distribution and its erodibility in typical black soil area of Northeast China[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2008, 22(3): 18-23. (in Chinese with English abstract)
- [4] Morgan R P C. Soil Erosion and Conservation (3rd ed) [M]. MA: Blackwell Publishing, 2005: 116-149
- [5] Bryan R B. Soil erodibility and processes of water erosion on hill-slope [J]. Geomorphology, 2000, 32(3/4): 385-415.
- [6] 刘宝元, 张科利, 焦菊英. 土壤可蚀性及其在侵蚀预报中的应用[J]. 自然资源学报, 1999, 14(4): 345-350. Liu Baoyuan, Zhang Keli, Jiao Juying. Soil erodibility and its use in soil erosion prediction model[J]. Journal of Natural Resources, 1999, 14(4): 345-350. (in Chinese with English abstract)
- [7] 朱冰冰, 李占斌, 李鹏, 等. 土地退化/恢复中土壤可蚀性动态变化[J]. 农业工程学报, 2009, 25(2): 56-61. Zhu Bingbing, Li Zhanbin, Li Peng, et al. Dynamic changes of soil erodibility during process of land degradation and restoration [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2009, 25(2): 56-61. (in Chinese with English abstract)
- [8] 陆建忠, 陈晓玲, 李辉, 等. 基于 GIS/RS 和 USLE 鄱阳湖流域土壤侵蚀变化[J]. 农业工程学报, 2011, 27(2): 337-344. Lu Jianzhong, Chen Xiaoling, Li Hui, et al. Soil erosion changes based on GIS/RS and USLE in Poyang Lake basin[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2011, 27(2): 337-344. (in Chinese with English abstract)
- [9] 水利部, 中国科学院, 中国工程院. 中国水土流失与生态安全: 东北黑土卷[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 57-80.
- [10] 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, 30(1): 12-16. Zheng Fenli, Wang Zhanli, Yang Qinke. The retrospection and prospect on soil erosion research in China[J]. Chinese Journal of Nature, 2008, 30(1): 12-16. (in Chinese with English abstract)
- [11] 杨学明, 张晓平, 方华军, 等. 20年来部分黑土耕层有机质和全氮含量的变化[J]. 地理科学, 2004, 24(6): 710-714. Yang Xueming, Zhang Xiaoping, Fang Huajun, et al. Changes in organic matter and total nitrogen of black soils in Jilin Province over the past two decades[J]. Scientia Geographica Sinica, 2004, 24(6): 710-714. (in Chinese with English abstract)
- [12] 郑粉莉, 王占礼, 杨勤科. 我国水蚀预报模型研究的现状、挑战与任务[J]. 中国水土保持科学, 2005, 3(1): 7-14. Zheng Fenli, Wang Zhanli, Yang Qinke. Status, challenge and tasks of water erosion prediction model research in China[J]. Science of Soil and Water Conservation, 2005, 3(1): 7-14. (in Chinese with English abstract)
- [13] 张晓平, 梁爱珍, 申艳, 等. 东北黑土水土流失特点[J]. 地理科学, 2006, 26(6): 687-692. Zhang Xiaoping, Liang Aizhen, Shen Yan, et al. Erosion characteristics of black soils in Northeast China[J]. Scientia Geographica Sinica, 2006, 26(6): 687-692. (in Chinese with English abstract)
- [14] 王其存, 齐晓宁, 王洋, 等. 黑土的水土流失及其保育治理[J]. 地理科学, 2003, 23(3): 361-365. Wang Qicun, Qi Xiaoning, Wang Yang, et al. Erosion of black soils and its reclamation[J]. Scientia Geographica Sinica, 2003, 23(3): 361-365. (in Chinese with English abstract)
- [15] 阎百兴, 杨育红, 刘兴土, 等. 东北黑土区土壤侵蚀现状与演变趋势[J]. 中国水土保持, 2008, 12: 26-30. Yan Baixing, Yang Yuhong, Liu Xingtu, et al. Status and trends of soil erosion in Northeast China [J]. Soil and Water Conservation in China, 2008, 12: 26-30. (in Chinese with English abstract)
- [16] 张科利, 蔡永明, 刘宝元, 等. 土壤可蚀性动态变化规律研究[J]. 地理学报, 2001, 56(6): 673-681. Zhang Keli, Cai Yongming, Liu Baoyuan, et al. Fluctuation of soil erodibility due to rainfall intensity[J]. Acta Geographica Sinica, 2001, 56(6): 673-681. (in Chinese with English abstract)
- [17] 张宪奎, 许靖华, 卢秀琴, 等. 黑龙江省土壤流失方程的研究[J]. 水土保持通报, 1992, 12(4): 1-9, 18. Zhang Xiankui, Xu Jinghua, Lu Xiuqin, et al. A study on the soil loss equation in Heilongjiang Province[J]. Bulletin of

- Soil and Water Conservation, 1992, 12(4):1—9/18. (in Chinese with English abstract)
- [18] 黑龙江省宾县土壤普查办公室. 宾县土壤[Z]. 哈尔滨: 黑龙江省土壤普查办公室, 1984.
- [19] 刘光崧. 土壤理化分析与剖面描述[M]. 北京: 中国标准出版社, 1996.
- [20] ISO/DIS 10930. Soil quality—Measurement of the stability of soil aggregates subjected to the action of water[S]. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2011.
- [21] 许明祥, 刘国彬, 卜崇峰, 等. 圆盘入渗仪法测定不同利用方式土壤渗透性试验研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(4): 54—58.  
Xu Mingxiang, Liu Guobin, Bu Congfeng, et al. Experimental study on soil infiltration characteristics using disc permeameter[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2002, 18(4): 54—58. (in Chinese with English abstract)
- [22] USDA-Agricultural Research Service. Science document: Revised universal soil loss equation, version 2 (RUSLE2) [EB/OL]. [http://fargo.nserl.purdue.edu/rusle2\\_dataweb/](http://fargo.nserl.purdue.edu/rusle2_dataweb/), 2008-5-13.
- [23] Sharply A N, Williams J R. EPIC-Erosion/Productivity impact calculator: Model documentation[M]. U S Department of Agriculture Technical Bulletin, 1990. No.1768
- [24] USDA-Agricultural Research Service. Revised Universal Soil Loss Equation Version 2 [M/OL]. <http://www.ars.usda.gov/Research/docs.htm?docid=6010>, 2008-12-28
- [25] 王彬. 东北典型薄层黑土区土壤可蚀性关键因子分析与土壤可蚀性计算[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2009.  
Wang Bin. Key Factor and Calculation of Soil Erodibility in the Typical Eroded Black Soil Area in Northeast China[D]. Yangling: Northwest Agriculture and Forestry University, 2009. (in Chinese with English abstract)
- [26] Klik A, Zartl A S. Comparison of soil erosion simulations using WEPP and RUSLE with field measurements. In: Ascough II J C, Flanagan D C (Eds.) [M]. MI: ASAE, 2001.
- [27] 张科利, 彭文英, 杨红丽. 中国土壤可蚀性值及其估算[J]. 土壤学报, 2007, 44(1): 7—13.  
Zhang Keli, Peng Wenyong, Yang Hongli. Soil erodibility and its estimation for agricultural soil in China[J]. Acta Pedologica Sinica, 2007, 44(1): 7—13. (in Chinese with English abstract)

## Adaptability analysis on soil erodibility models in typical thin layer black soil area of Northeast China

Wang Bin<sup>1,2</sup>, Zheng Fenli<sup>1,2\*</sup>, Wang Yuxi<sup>3</sup>

(1. College of Resources and Environment, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling, 712100, China; 2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, 712100, China;  
3. Institute of Soil and Water Conservation of Heilongjiang Province, Harbin, 150400, China)

**Abstract:** Soil erodibility is a crucial parameter in soil erosion prediction and evaluation on environmental effects. The typical eroded black soil area of Northeast China, the Binzhou River Basin, was taken as the research area. In order to evaluate the applicability of each  $K$  value calculating method in the typical eroded black soil area, the very fine sand content transform model (VFS model) in RUSLE2 (revised universal soil loss equation) was calibrated, and differences among  $K$  value calculating methods of EPIC (erosion productivity impact calculator), USLE (universal soil loss equation) and RUSLE2 were discussed respectively. Results showed that the VFS model in RUSLE2 underestimated 22.5% of the very fine sand content, compared to the observed value. Therefore, a revised VFS model was built based on the measured data, and the accuracy of very fine sand content which was calculated by the model improved by 95%. Furthermore, RUSLE2 was the most appropriate method for  $K$  value calculation, in the typical eroded black soil area. EPIC and USLE models overestimated the  $K$  value, but they can still be applied in the typical thin layer black soil region when they were calibrated by the revised  $K$  value estimators. The results provides scientific basis to support soil erosion quantification and soil quality risk assessment in the typical thin layer black soil region and similar areas.

**Key words:** soils, sand, models, erodibility, very fine sand, contents,  $K$  value calculating method, black soil region of Northeast China