

卧虎山水库不同算法LS因子值适用性分析

胡 刚^{1,2}, 宋 慧¹, 石星军³, 张绪良¹, 方海燕²

(1. 青岛大学师范学院地理系, 山东 青岛 266071; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所陆地水循环及地表过程重点实验室, 北京 100101; 3. 青岛大学物理科学学院, 山东 青岛 266071)

摘要:在总结以往LS因子相关算法研究基础上,结合McCool的LS因子参照值,对LS算法的适用性进行评价分析。研究表明,除去复合算法和Remortel修正算法外,其他不同算法LS因子值都小于参照值;研究区LS因子值的最优算法为基于Remortel迭代运算的修正算法;其次为结合刘宝元的陡坡公式和Remortel改进L指数因子迭代运算的复合算法,以及Remortel第4版AML程序算法;再次为Böhner算法,而Moore算法和Desmet算法,由于其与参照值的相关性相对较差,而且其RMSE相对较大,不推荐在该区使用。

关 键 词:LS因子;Remortel算法;卧虎山水库;土壤侵蚀模型

中图分类号:S157/TP306 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-0690(2015)11-1482-07

过去几十年,USLE及其修订版RUSLE被广泛用以估算片蚀和细沟侵蚀的年均土壤流失量。模型中地形对土壤侵蚀的影响,用无量纲的LS因子来计算表示,其中L表示坡长因子,S表示坡度因子。坡长因子L描述了坡长与土壤侵蚀量之间的定量关系,USLE和RUSLE中的L因子表示标准化到22.13 m坡长上的土壤侵蚀量^[1]。坡度因子S则反映了坡度对侵蚀的影响^[2]。

坡长指坡面漫流的起点到坡度减小至有沉积发生位置的水平距离,或者到径流汇聚的固定渠道的水平距离^[3]。坡长的量化有不同的方法和算法,概括来讲,有栅格网格累积法^[4]、单位径流能量理论方法^[5]、汇水面积法^[6]和网络三角技术^[7]等。Hickey等较早提出了基于AML(ArcMacro language)的坡长因子算法^[8],之后Remortel对其算法进行了改进^[9],并基于C++语言开发了坡长因子计算程序,实现了ASCII格式的DEM的读取^[10]。国内学者也对此做过相关研究,如罗红等设计出基于AML语言提取坡长值的最大溯源径流路径法^[11],张宏鸣等以Remortel的LS算法为基础,设计出利用正向-反向遍历算法取代原累积坡长的算法,运行效率有了较大提高^[12]。张宏鸣等提出了适

合于流域或区域尺度侵蚀坡长提取与分析的分布式侵蚀坡长提取算法^[13]。汪邦稳等^[14]对Remortel的程序^[9]进行了改进,将产生坡面侵蚀的临界坡度作为确定坡长截止位置的一个限制条件加入到程序中,提高了该程序在黄土高原地区的适用性。尽管如此,自USLE问世以来,坡长因子始终是最具争议的侵蚀影响因子,也是模型应用的主要限制因素^[15,16]。

坡度的计算方法也有很多,例如邻域、二次曲面、最大坡度、最大坡降坡度等^[10]。不同算法和方法会对坡度结果产生影响,而且误差来源和性质的差异也会导致出现截然不同的结论。如Skidmore^[17]、Florinsky^[18]认为三阶差分坡度算法精度高于二阶差分算法,而Hodgson^[19]、Jones^[20]的研究则表明二阶差分算法能给出较三阶差分算法精度高的坡度坡向计算结果。李天文^[21]、刘学军^[22]等通过对坡度坡向算法的理论分析,结合实验数据得出所有的三阶差分算法中以三阶不带权差分算法精度最高。Hickey等^[23]通过不同坡度算法的比较,得出最大坡降坡度保留了原有DEM局地变异,而没有高估坡度。本研究S因子的计算算法采用最大坡降坡度法。

收稿日期:2014-06-18; **修订日期:**2014-09-19

基金项目:国家自然科学基金面上项目(41173094)、中国科学院陆地水循环及地表过程重点实验室基金项目(2013A002)资助。

作者简介:胡 刚(1976-),男,山东滨州人,博士,主要从事土壤侵蚀、环境演变、水土资源利用与3S应用研究。E-mail: geo_hug@126.com

地形因子尽管可以分成坡度因子和坡长因子,而在侵蚀预测应用中,坡度和坡长因子一般一起评价计算^[2]。对于 LS 因子值的计算,由于不同水蚀地区的土壤类型及地形地貌差异,需选择典型样区,计算 LS 因子值并分析算法的地区适用性^[13]。

作为全国水土保持区划方案一级分区的北方土石山区^[24],地表土石混杂,石多土少,与其他水土流失严重区域相比,尽管土壤侵蚀量相对有限,但土壤流失后,地面呈现砂砾化或石化,使得土壤农业利用价值大大降低或丧失。鲁中南山地丘陵区是北方土石山区的典型代表,也是该一级分区下面 13 个 3 级分区之一。本文选择位于鲁中南山地丘陵区的卧虎山水库流域作为研究对象,在总结各种 LS 因子值的相关算法基础上,对其区域适用性进行评价分析。

1 研究区域和研究方法

1.1 研究区域

本文所涉及研究区为位于泰山北麓的济南市南部山区卧虎山水库流域,地理位置介于 $116^{\circ}56'24''\sim 117^{\circ}20'24''E$ 、 $36^{\circ}19'48''\sim 36^{\circ}41'24''N$,水库流域面积 559 km^2 。水库流域由锦绣川、锦阳川、锦云川三川流域组成,玉符河即发源于此。卧虎山水库是济南市唯一的一座大型水库,上游串联中型水库一座——锦绣川水库(流域面积 166 km^2),小型水库 16 座,塘坝 42 座。水库流域内花岗岩、花岗片麻岩占 31%,石灰岩占 69%。流域土壤类型主要由粗骨土、棕壤、潮土、褐土组成。流域多年平均降水量 698 mm ,多年平均径流量 $0.735\times 10^8\text{ m}^3$ 。作为城市重要的饮用水水源地,年均供水量 $2\,000\times 10^4\text{ m}^3$,占全市供水量的 3%~5%,年回灌补源用水量 $3\,000\times 10^4\text{ m}^3$,为济南泉水常年持续喷涌起到了积极作用。

1.2 研究方法

LS 因子值算法的适用性是本研究的重点,在总结前人已有 LS 因子值算法基础上,基于 DEM 数据计算研究区各种算法的 LS 因子值。同时,根据 McCool 等的研究成果^[25],得到 LS 因子参照值,并进行两者的对比分析。本文之所以将 McCool 之值作为参照值,是因其值及计算方法是根据 10 000 多个径流小区实测资料归纳整理得到,具有一定的理论普适性,这也是 USLE/RUSLE 得以广为应用的原因所在。

本研究所用 DEM 数据为来源于 NASA 的 30 m

分辨率 ASTER GDEM 数据,需要说明的是,该数据在局部水库、湖泊等平坦区域存在异常。为消除误差,通过实地 GPS 测量,结合部分 1:5 万地形图及 googleearth 遥感影像进行校正。本研究所用图件统一到 WGS84 坐标系下,使用 UTM 投影。

在与参照值进行对比分析时,考虑到数据量,在依据不同算法生成的 LS 因子值流域分布图上,利用 HawthTools 工具随机生成 200 个点,并提取其 LS 因子值用以对比。地形因子参照标准 LS 值,采用 McCool 等研究成果中的数据^[25],该表中地形因子 LS 值适用于细沟侵蚀和细沟间侵蚀比率中等的情形,表中坡度范围为 0.2%~60%,坡长范围为 0.9~305 m,在表中列出了上述范围中数个标准坡度和标准坡长,以及在标准坡度和坡长下的 LS 因子值。由于流域实际的坡度和坡长值并非一定是标准坡度和标准坡长值,落入标准坡度坡长区间的 LS 值,则采用 Kriging 插值得到。由于选择流域的坡度和坡长值,有部分超出 McCool 等研究成果的坡度^[25](最大到 60%)和坡长值(最长到 1 000 ft,约合 305 m)的范围,因此实际参与对比分析的数据点共有 136 个(表 1)。

表 1 流域随机分布 136 点的坡度及坡长相关参数

Table 1 The related parameters of slope gradient and slope-length for randomly distributed 136 points in Wohushan Reservoir Basin

	最大值	最小值	平均值	标准偏差
坡度(%)	58.92	3.33	31.24	11.87
坡长(m)	293.34	15.00	137.36	75.10

在分析时主要用回归分析及均方根误差(the Root Mean Square Error, RMSE, 公式中量用 R_{RMSE} 表示),RMSE 计算如下:

$$R_{\text{RMSE}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (LS_i^{\text{calculated}} - LS_i^{\text{McCool}})^2}{N}}$$

其中, $LS_i^{\text{calculated}}$ 为根据不同算法计算得到随机点 i 处的 LS 因子值, LS_i^{McCool} 为随机点 i 处的 McCool 参照值 LS 因子值, N 为样点个数。

2 不同 LS 因子值算法

2.1 Remortel、Moore、Desmet 及 Böhner 算法

Remortel^[9]的 AML 程序算法的基本过程为,在完成填挖处理的栅格 DEM 上,计算每个栅格单元

的水流来向和去向基础上,从高到低,利用多重循环和迭代方法,完成累计坡长的计算。在该算法中,坡长起点定义为无径流汇入的栅格单元,坡长终点则约定为当下坡单元坡度减少 50 % 以上发生沉积时即为终点。

目前 Remortel 的 AML 程序算法已经发展到第 4 版,该版程序中坡长指数 m 的取值较之前版本更为精细,具体为应用 McCool 等研究成果中的值^[26],并通过局部内插得到。而坡度因子则是根据 McCool 等于 1987 年提出的 S 因子公式^[27]计算得来。

坡长因素考虑了坡面的纵坡面形态对侵蚀的影响,但没有考虑坡面的平面形态对侵蚀的影响,为了弥补这一缺陷,单位汇水面积(The Unit Contributing Area)得以在坡长因子计算中引入,使其能够体现复杂地形对侵蚀的影响。

Moore 等基于单位径流能量理论方法,推导出以单位汇水面积为基础的 LS 因子算法^[28]。该算法中 L 和 S 因子作为一个整体来考虑,单位汇水面积体现了径流汇集和分散(即凹型和凸型坡面)的情形,与原有的经验公式相比,更适合复杂地形地貌。

Desmet 算法^[29]同样以单位汇水面积为基础,但算法中将 L 和 S 因子单独考虑,其中 L 因子的计算中仅考虑栅格入口处的汇水面积,同时加入了以坡度为自变量的修正系数。对于 S 因子而言,如 Desmet 所言^[29],基于栅格数据的坡度因子计算可以采用不同的方法,本研究中流算法的坡度因子计算采用 McCool 等人的研究成果^[27]。栅格 DEM 中每一栅格的 LS 因子值可以通过 L 和 S 的乘积得到。

Böhner 算法^[30]是基于输沙指数(Sediment Transport Index)得到,输沙指数整合集水区的加权平均坡度,以覆盖整个斜坡和局部的过程差异^[30],因为水沙的传输过程尤其对于斜坡下部的依赖性更强。

以上述及算法,限于篇幅在此仅作简要介绍,详情可参见相关文献资料。

2.2 改进算法

1) Remortel 修正算法。在上述 Remortel 第 4 版 AML 程序算法中,其计算的前提为假设牧场和林地有低侵蚀敏感性,也即意味着在该算法程序中坡长指数(m)取细沟和细沟间侵蚀之比较低情形下的数值,而这和本研究中所依据的 LS 因子参照值数据适用于细沟侵蚀和细沟间侵蚀比率中等的情形有所不同。这也是之后分析中 Remortel 算法计算结果小于参照值的原因。

据此我们对 Remortel 第 4 版 AML 程序算法进行了修正,根据 McCool 等研究成果中的值^[25],将坡长指数(m)修改为适用于细沟和细沟间侵蚀之比中等情形下的数值,并将其称为 Remortel 修正算法。

2) 复合算法。USLE 和 RUSLE 中 S 因子的设计主要针对缓坡,刘宝元等研究表明,对于坡度大于 10° 的坡面,应用 McCool 的坡度因子公式会产生比较大的误差^[31],并根据安塞、天水、绥德径流小区的数据得到了陡坡的坡度因子公式。

对于研究区的坡度而言,大于 10° 的坡面占到总面积的 60.61%,因此如果根据 McCool 的坡度因子公式计算 LS 因子值,可能会出现较大偏差。为了寻找更适合研究区的 LS 因子值算法,本研究将 McCool 的坡度因子算法^[27]与刘宝元的陡坡坡度公式^[31]相结合,即采用如下的坡度因子计算公式:

$$S = \begin{cases} 10.8 \sin \theta + 0.03 & \theta < 5^\circ \\ 16.8 \sin \theta - 0.5 & 5^\circ \leq \theta < 10^\circ \\ 21.9 \sin \theta - 0.96 & \theta \geq 10^\circ \end{cases}$$

坡长因子还是采用的 Remortel 修改后的迭代运算算法,两者结合得到 LS 因子值。

在上述 LS 因子算法设计中,Moore、Desmet 及 Böhner 算法都涉及到汇水面积或单位汇水面积的计算,而这两者又依赖于径流流向算法的设计^[31,32]。径流流向算法总体来讲可以分为单流向算法和多流向算法,单流向算法将源栅格的物质流转入下坡的唯一栅格,而多流向算法则会将源栅格的物质流分到多个接收栅格。两者算法的直接结果为,单流向算法会出现平行流和收敛流的情形,而多流向算法则会有分散流的出现^[29],而且单流向算法对细小的错误非常敏感^[33]。

根据初步研究,在计算 LS 值过程中涉及到的水流流向算法中,D8 算法得到的结果与相关研究结论更为相符,因此在本研究中采用 D8 流向算法计算相关参数。

3 结果与讨论

3.1 原算法与参照值比较

根据随机点提取坡度和坡长,得到相同坡度和坡长条件下的不同算法 LS 因子值。136 个随机点的不同算法 LS 值与参照值如图 1 所示。

由图 1 看出,Remortel 算法与参照值的相关性最好,其相关系数达到 0.986 9,其次依次为 Böhner 算法、Moore 算法及 Desmet 算法,相关系数分别为

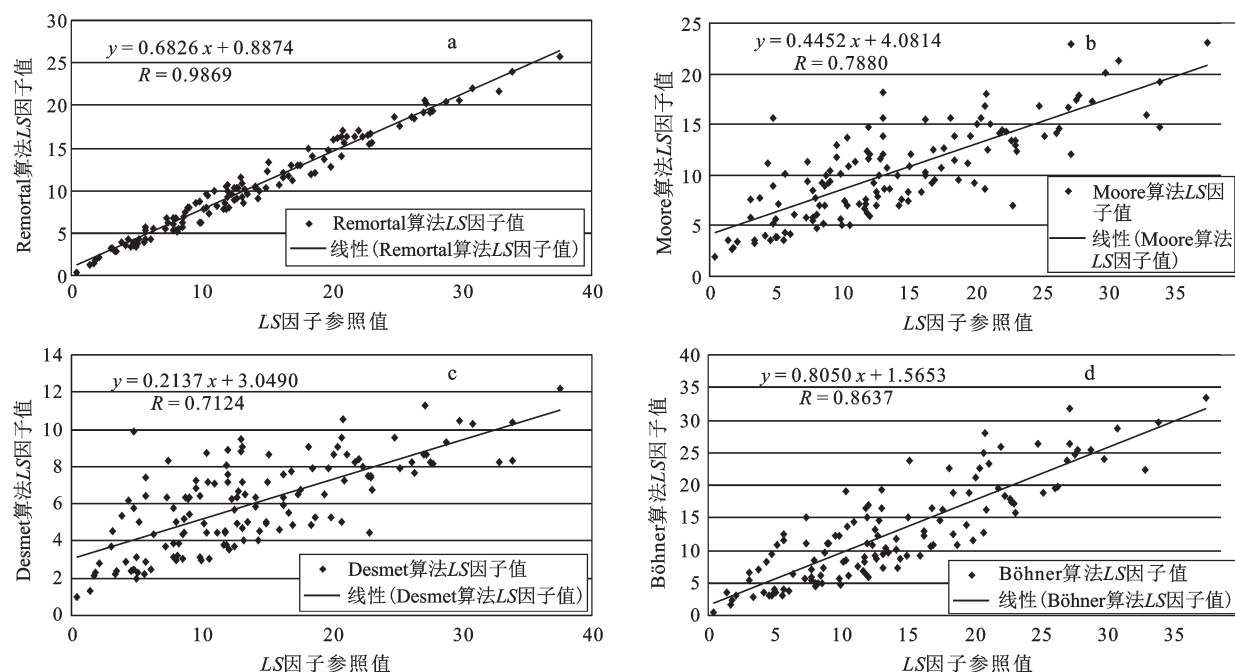


图1 不同算法LS因子值的计算值与参照值的比较

Fig.1 Comparison of reference value with calculated LS value from different algorithm

0.863 7、0.788 0和0.712 4。从回归分析得到的线性方程的斜率来看,4种算法的回归方程斜率都小于1,说明与参照值相比,4种算法得到LS因子值都相对偏小,从回归线与1:1线的关系也可以清楚的看出这一点(图1)。4种算法中,Böhner算法的回归线性方程斜率达到了0.805,是4种算法中最为接近1的,说明根据Böhner算法得到的LS因子值在4种算法中与参照值最为接近,系统误差相对较小。这一点也可以从参照值与各算法LS因子值的均方根误差看出(表2),4种传统算法中Böhner算法的均方根误差为4.18,为传统算法中最小的,其次从小到大依次为Remortel、Moore、Desmet算法。这说明尽管如前所述Remortel算法与参照值的相关性最好,但该算法得到的LS值与参照值的拟合程度还是稍弱于Böhner算法,4种传统方法中Böhner算法与参照值拟合最好。

表2 不同算法LS因子值的均方根误差

Table 2 RMSE of LS value from different algorithm

	Desmet	Moore	Remortel	Böhner	修改算法	复合算法
RMSE	10.15	6.31	4.41	4.18	0.44	4.12

3.2 改进算法之分析

Remortel修正算法计算值与参照值对比如图

2a所示,可以看到两者都具有良好的相关性和一致性,两者的相关系数达到了0.998 6,其与参照值的均方根误差也只有0.44,线性回归线也与1:1线近乎重合。

复合算法计算值与参照值的相关关系如图2b所示。可以看到尽管两者的线性相关系数达到0.997 1,高于Remortel第4版LS因子算法的相关系数0.986 9,但其均方根误差达到4.12,大于修改后的Remortel算法计算值的RMSE。同时无论从线性方程的斜率,还是线性回归线和1:1线的关系看,复合算法的计算值大于McCool的LS因子参考值。

3.3 LS算法适宜性

通过上面的分析可以看出,对于研究区而言,除去采用刘宝元陡坡S因子和Remortel迭代运算L因子的复合算法及Remortel修正算法计算结果大于参照值外,其他相关算法的计算值都小于McCool的参照值。就计算值与参照值的相关性而言,修改坡长指数(m)的Remortel修正算法和根据刘宝元陡坡公式修正的复合算法相关性最好,两者分别达到了0.998 6和0.997 1,但两者的均方根误差则相差较大,复合算法的RMSE达到了4.12,而Remortel修正算法则只有0.44。其他算法计算值与参照值的相关性从大到小依次为Remortel算法、Böhner算法、Moore算法和Desmet算法,相关系数分别为0.986 9、

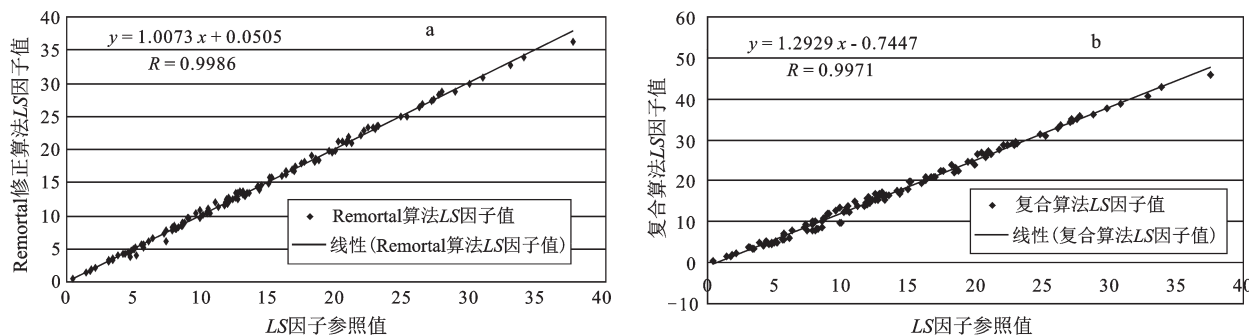


图2 改进算法LS因子值的计算值与参照值的比较

Fig.2 Comparison of reference value with calculated LS value from combination algorithm

0.863 7、0.788 0 和 0.712 4, 而就这四种算法的 RMSE 而言, 则分别为 4.41、4.18、6.31 和 10.15。

综合相关性和均方根误差两个方面, 我们认为研究区 LS 因子值的最优算法为 Remortal 修正算法, 其次为综合刘宝元陡坡因子和 Remortal 改进 L 因子迭代算法的复合算法, 再次可以考虑应用 Remortal 的第 4 版 AML 计算程序算法和 Böhner 算法, 而对于 Moore 算法和 Desmet 算法而言, 由于其与参照值的相关性相对较差, 而且其 RMSE 相对较大, 则不推荐在该区使用。

4 结 语

LS 因子作为土壤侵蚀模型的重要参数, 选择合适的区域 LS 算法, 对于提高土壤侵蚀模型的预报精度具有重要意义。本文通过以上分析初步得出以下结论:

1) 对于研究流域来讲, 与参照值相比, 根据 Remortal、Moore、Desmet 及 Böhner 算法得到的 LS 因子值都相对偏小。与之相比, 根据刘宝元陡坡公式计算得到的 S 因子与 Remortal 改进算法迭代得到的 L 因子相结合的复合算法, 计算值比参照值明显要大。

2) 从不同算法得到的 LS 因子值与参照值的相关性而言, 相关性最高的是 Remortal 改进算法和根据刘宝元陡坡公式改进的复合算法, 两者相关系数近乎一致, 分别达到了 0.998 6 和 0.997 1, 但复合算法的 RMSE 为 4.12, 要远大于 Remortal 改进算法的 0.44; 其次为 Remortal 算法和 Böhner 算法, 与参照值的相关系数两者分别为 0.986 9 和 0.863 7, 但 Remortal 算法的 RMSE 稍大于 Böhner 算法。与之相比, 计算值与参照值相关性较差的为 Moore 算法和 Desmet 算法, 相关系数分别为 0.788 0 和 0.712 4,

RMSE 也是几种算法中相对较大的, Desmet 算法的 RMSE 为几种算法中最大的, 达到了 10.15。

3) 综合考虑计算值与参照值的相关性和均方根误差, 研究区 LS 因子值的最优算法为 Remortal 修正算法, 其次为结合刘宝元的陡坡公式和 Remortal 改进 L 因子迭代算法的复合算法, 以及 Remortal 的第 4 版 AML 计算程序算法, 再次为 Böhner 算法, 而 Moore 算法和 Desmet 算法, 由于其与参照值的相关性相对较差, 而且其 RMSE 相对较大, 不推荐在该区使用。

需要说明的是本研究中仅将各种算法的 LS 因子计算值与 McCool 的参照值进行了对比, 在实践中还需要进一步检验。

参考文献:

- [1] Liu B Y, Nearing M A, Shi P J et al. Slope length effects on soil loss for steep slopes[J]. Soil Society of American Journal, 2000, 64(5): 1759-1763.
- [2] Renard K G, Foster G R, Weesies G A et al. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Agriculture Handbook No. 703[M]. Washington DC, USA: United States Department of Agriculture, 1997.
- [3] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting Rainfall Erosion Losses—A Guide to Conservation Planning. Agriculture Handbook No. 537[M]. Washington DC, USA: United States Department of Agriculture, 1978.
- [4] Hickey R. Slope angle and L solutions for GIS[J]. Cartography, 2000, 29(1): 1-8.
- [5] Moore I D, Wilson J P. Length-slope factors for the revised universal soil loss equation: simplified method of estimation[J]. J. Soil Water Conserv., 1992, 47(5): 423-428.
- [6] Desmet P J, Govers G A. A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex land-

- scape units[J].J.Soil Water Conserv.,1996,**51**(5):427-433.
- [7] Cowen J.A Proposed Method for Calculating the *LS* Factor for Use with the USLE in a Grid-Based Environment[C].Proceedings of the Thirteenth Annual ESRI User Conference. California:Palm Springs,1993:65-74.
- [8] Hickey R,Smith A,Jankowski P.Slope length calculations from a DEM within ARC/INFO Grid[J].Computers,Environment and Urban Systems,1994,**18**(5):365-380.
- [9] Remortel V R,M H Hickey R.Estimating the *LS* Factor for RUSLE through Iterative Slope Length Processing of Digital Elevation Data within ArcInfo Grid[J].Cartography,2001,**30**(1):27-35.
- [10] Remortela R D V,Maichlea R W,Hickey R J.Computing the *LS* factor for the Revised Universal Soil Loss Equation through array-based slope processing of digital elevation data using a C++ executable[J].Computer & Geoscience,2004,**30**(9/10):1043-1053.
- [11] 罗 红,马友鑫,刘文俊,等.采用最大溯源径流路径法估算 RUSLE 模型中地形因子探讨[J].应用生态学报,2010,**21**(5):1185~1189.
- [12] 张宏鸣,杨勤科,刘晴蕊,等.基于 GIS 的区域坡度坡长因子提取算法[J].计算机工程,2010,**36**(9):246~248.
- [13] 张宏鸣,杨勤科,李 锐,等.流域分布式侵蚀学坡长的估算方法研究[J].水利学报,2012,**43**(4):437~444.
- [14] 汪邦稳,杨勤科,刘志红,等.基于 DEM 和 GIS 的修正通用土壤流失方程地形因子值的提取[J].中国水土保持科学,2007,**5**(2):18~23.
- [15] Moore I D,Wilson J P.Slope length factors for the revised universal soil loss equation:simplified method of estimation[J].Journal of Soil and Water Conservation,1992,**47**(5):423-429.
- [16] Renard K,Foster G R,Weesies G A et al.RUSLE: Revised universal soil loss Equation[J].Journal of Soil and Water Conservation,1991,**46**(1):30-33.
- [17] Skidmore A K.A comparison of techniques for the calculation of gradient and aspect from a gridded digital elevation model[J].International Journal of Geographical Information Systems,1989,(3):323-334.
- [18] Florinsky I V.Accuracy of local topographic variables derived from digital elevation models[J].INT.J.Geographical Information Science,1998,**12**(1):47-61.
- [19] Hodgson M E.What cell size does the computed slope aspect angle represent?[J].Photogrammetric Engineering and Remote Sensing,1995,**61**(5):513-517.
- [20] Jones K H.A comparison of algorithms used to compute hill slope as a property of the DEM[J].Computer and Geosciences,1998,**24**(4):315-323.
- [21] 李天文,刘学军,陈正江,等.规则格网 DEM 坡度坡向算法的比较分析[J].干旱区地理,2004,**27**(3):398~403.
- [22] 刘学军,龚健雅,周启鸣,等.基于 DEM 坡度坡向算法精度的分析研究[J].测绘学报,2004,**33**(3):258~263.
- [23] Hickey R.Slope Angle and Slope Length Solutions for GIS[J].Cartography,2000,**29**(1):1-8.
- [24] 赵 岩,王治国,孙保平,等.中国水土保持区划方案初步研究[J].地理学报,2013,**68**(3):307~317.
- [25] McCool D K,G R Foster,G A Weesies.Slope Length and Steepness Factors (*LS*),Chapter 4,in Renard et al.Predicting soil erosion by water:a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), Agriculture Handbook No. 703[M].Washington DC, USA:United States Department of Agriculture,1997:101-141.
- [26] McCool D K,Foster G R,Mutchle C K et al.Revised slope length factor for the Universal Soil Loss Equation[J].Transactions of the ASAE,1989,**32**(5):1571-1576.
- [27] Mc Cool D K,Brown L C,Foster G R et al.Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation[J].Transactions of the ASABE,1987,**30**(5):1387-1396.
- [28] Moore I D,Grayson R B,Ladson A R.Digital terrain modelling:a review of hydrological,geomorphological,and biological applications[J]. Hydrological Processes,1991,**5**(1):7-35.
- [29] Desmet P,Grovers G.A GIS procedure for automatically calculating the USLE *LS* factor on topographically complex landscape units[J].Journal of Soil and Water Conservation,1996,**51**(5):427-433.
- [30] Böhner J,T Selige.Spatial Prediction of Soil Attributes Using Terrain Analysis and Climate Regionalisation,Analysis and Modelling Applications[M].Göttingen:Göttinger Geographische Abhandlungen,2006.
- [31] 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.
- [32] David G.Tarboton.A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models[J].Water Resources Research,1997,**33**(2):309-319.
- [33] Desmet P J J,Govers G.Comparison of routing algorithms for digital elevation models and their implications for predicting ephemeral gullies[J].International journal of geographical information systems,1996,**10**(3):311-331.

The Applicability of *LS* Factor Value from Different Algorithms in Wohushan Reservoir Basin

HU Gang^{1,2}, SONG Hui¹, SHI Xing-jun³, ZHANG Xu-liang¹, FANG Hai-yan²

(1. Department of Geography, Normal College of Qingdao University, Qingdao, Shandong 266071, China; 2. Key Laboratory of Water Cycle & Related Land Surface Processes, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 3. College of Physics, Qingdao University, Qingdao, Shandong 266071, China)

Abstract: The Universal Soil Loss Equation (USLE) model and its principal derivative and the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) model have been widely used in the past decades. However, the use of USLE and RUSLE has been limited by the inability to generate reliable estimates of the *LS* factor. Several different *LS* factor algorithms from the previous studies were briefly summarized in this article and their applicability was evaluated in Wohushan reservoir basin. According to the Agriculture Handbook No. 703 and 537 of US Agriculture Department, the *LS*-values in McCool's table are the same as the *LS* algorithms in USLE/RUSLE. Although there is some regional heterogeneity in the specific regional applications for *LS* calculations, the difference is very limited within a certain slope length and slope gradient. Based on these reasons, the *LS*-values from McCool's are primarily preferred as the reference value. There are four basic *LS* algorithms which were Remortel, Moore, Desmet and Böhner used to be compared with reference value. In addition, two revised algorithms, i.e. the improved iterative Remortel algorithm and complex algorithm, were presented. The slope-length exponent (*m*) in the former algorithm was revised from low rill/interrill ratio class to moderate class. The complex algorithm was composed of *L*-factor and *S*-factor from different research, of which the latter was from the above mentioned improved algorithm of Remortel and *S*-factor was made up of *S* algorithm from McCool and that of Liu BY. In this article, the *LS* values of the six above algorithms were compared with that of McCool's by RMSE (the Root Mean Square Error), the correlation coefficient and the slope of the regression equation. The results indicated that, other than the improved algorithm of Remortel and the complex algorithm, the *LS*-value obtained by different algorithms are all less than that of reference value. It is also found that the optimal algorithm in the study area is the improved iterative algorithm of Remortel, followed by both the AML program of *LS* factor from RUSLE Version 4 of Remortel and the complex algorithm. The Böhner's algorithm could also be used in this area. However, the algorithms from Moore and Desmet were recommended not to use in the study area because of their relatively higher RMSEs and relatively poor correlation coefficients.

Key words: *LS* factor; Remortel algorithms; Wohushan reservoir; soil erosion model