

# 水蚀预报模型 WEPP 在水土保持评估中的应用

王京民<sup>1</sup>, 马 浩<sup>1</sup>, 王 蕊<sup>2</sup>

(1. 国家林业局 西北林业调查规划设计院, 陕西 西安 710048; 2. 中国水电顾问集团 西北勘测设计研究院, 陕西 西安 710065)

**摘 要:**准确预测土壤侵蚀能够为水土保持工作决策部门及时制定水保措施, 改善现有水保设施, 建立重点保护区提供参考和指导。传统的经验模型逐渐显露出一些不足, 基于物理过程的水蚀预报模型(WEPP)能够预测整个流域土壤侵蚀的时空变化以及坡面或坡面上某点的侵蚀量, 一定程度上克服了传统模型的不足。介绍了 WEPP 模型的产生和发展历程, 总结和归纳了国内外学者将 WEPP 模型用于不同区域的水土保持监测和侵蚀预测的进展, 分析了 WEPP 模型在研究应用中的不足和缺陷, 以及当前模型发展的新方向。

**关键词:**土壤侵蚀; 模型; WEPP; 水土保持

**中图分类号:** S714.7      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1001-7461(2012)06-0052-08

## A Literature Review on the Application of Water Erosion Prediction Project in the Evaluation of Soil and Water Conservation

WANG Jing-min<sup>1</sup>, MA Hao<sup>1</sup>, WANG Rui<sup>2</sup>

(1. Northwest Institute of Forest Inventory, Planning and Design, SFA, Xi'an, Shaanxi 710048, China;

2. Northwest Investigation Design & Research Institute of CHECC, Xi'an, Shaanxi 710065, China)

**Abstract:** Quick and correct prediction of soil erosion plays an important role for the decision-making department in planning water and soil conservation measures timely, improving water and soil conservation facilities, and setting key conservation areas. Traditional empirical models show flaws in this aspect. A newly process-based soil erosion model-Water Erosion Prediction Project(WEPP) shows its advantages because it can predict the space-time distribution of the soil erosion and the place where soil erosion occurs in the whole hill slope. This paper introduced WEPP briefly, reviewed previous works in evaluation and application of WEPP in different areas, pointed out the deficiency of WEPP in water and soil conservation. Some hot problems and new directions of WEPP were discussed.

**Key words:** soil erosion; model; WEPP; soil and water conservation

水土流失评估是水土保持研究和实践的基础工作。制定水土保持方案时, 可行性分析需要预测水土保持效益, 后期评估流域综合治理成果, 也需要进行效益分析<sup>[1]</sup>。水土保持的效益评价一般从 3 方面来评估: 生态效益、经济效益和社会效益<sup>[2-3]</sup>。而这 3 个方面效益评价的基础是合理评估实施水土保持措施前后的水土流失量。土壤侵蚀模型由于能够预测不同土地利用和水土保持措施条件下土壤流失量, 成为水土保持效益评价中不可或缺的工具。当

前科学研究和实践中应用的土壤侵蚀模型主要有 2 种类型: 1) 经验模型, 以通用土壤流失方程式为代表<sup>[4]</sup>, 广泛应用于世界许多国家, 在评价不同土地利用和水土保持措施条件下的土壤流失量方面发挥了很大作用; 2) 过程模型, 主要用于模拟不同土地利用条件下的时空产流产沙过程, 在水土保持效益评价中的应用越来越多。其中, 水蚀预报模型 WEPP (Water Erosion Prediction Project)<sup>[5-12]</sup>集成了水文和侵蚀方面的主要研究成果, 在不同国家和地区的

应用比较广泛,具有一定的代表性。同时较之经验模型在对侵蚀过程及其机理的阐述中较为欠缺,WEPP 由于可以模拟侵蚀过程,描述侵蚀的动态变化,进而估算土壤侵蚀时空分布显示出一定的优越性。评述 WEPP 在国内外水土保持效益中的应用,有助于了解土壤侵蚀过程模型的研究和应用进展,把握水土流失评估方法的发展及其存在的问题,为我国水土保持研究和实践提供参考信息。

## 1 WEPP 简介

### 1.1 WEPP 的发展历程

早期的土壤侵蚀模型是经验统计模型,代表模型是通用土壤流失方程(USLE, Universal Soil Loss Equation)<sup>[5-8]</sup>,该方程最早将坡度、坡长、气候因子(降雨)、不同植被的保护功效、土壤可蚀性引入土壤侵蚀预报。近 40 多 a 来,经多次改进和完善,已广泛应用于水土保持实践中。但该模型仍存在缺陷,如相互作用的变量重复计算、部分因子间的交互作用被忽略、特别是方程不能预报径流量,也不适于预测场降雨侵蚀量及侵蚀量的空间分布。

为克服 USLE 模型的局限,美国农业部在 1985 年发起了水蚀预报模型的研究和开发。经 10 a 时间,终于完成了 WEPP 的开发<sup>[13-14]</sup>。此后不断改进,目前新版本为 V2010.1 版本,可以与 GIS 技术结合。通过互联网使用的 GEOWEPP 也已问世。

WEPP 模型是基于物理过程的连续模拟模型,以“日”为步长,可以预测坡面和小流域的径流与土壤侵蚀,是目前最为成熟的水蚀侵蚀预报模型之一。“坡面版”可用于预报任意长度坡面上的土壤侵蚀,坡面可具有复杂的形状,但不随时间变化,同时也可沿坡面包括多种不同的土壤和作物。“流域版”将坡面单元与侵蚀沟及积水单元联系起来。模型输入文件主要有气象数据文件、坡面数据文件、土壤数据文件和作物与管理文件。WEPP 模型有 9 个功能模块,包括天气随机生成模块、冬季过程模块、灌溉模块、水文过程模块、土壤模块、植物生长模块、残留物分解模块、地表径流模块、侵蚀模块。

当前对 WEPP 的研究主要在以下方面:对模型的验证以及适用性评价,敏感性分析;将模型应用于不同土地利用方式下的土壤侵蚀预测;使用模型进行研究区的土壤侵蚀空间分布研究;引进 3S 技术以更好的促进 WEPP 模型的模拟精度以及效率。

### 1.2 国外研究进展

由于坡面土壤侵蚀和流域土壤侵蚀的内部机理不甚相同,侵蚀因子和产沙过程都有差异,因此在模

型的模拟精度和适用性的研究上一般都是分为坡面模拟和流域模拟两部分研究。同时,各种不同土地利用方式导致了土壤侵蚀量的不同,大部分关于模型精度和适用性的研究在注重坡面和流域分开研究的同时,也是依据不同的土地利用类型来独立进行研究的,只有少数研究者同时将不同土地利用方式结合起来模拟侵蚀。

1.2.1 坡面模拟精度 耕地土壤侵蚀能够导致土壤质量降低,改变土壤有机组成,继而影响到作物产量,同时不同耕作方式以及作物生长都能够产生不同程度的土壤侵蚀。因此,国内外纷纷将 WEPP 模型应用在农耕地上以评估其精度和适用性。H. A. Grønsten<sup>[15]</sup>等于 2003 年在挪威东南部的 2 个试验点对模型 V2002.7 版进行了应用。在每个试验点模拟了 4 种耕作方式(秋季耕作、秋季耙地、冬季轮作、春季耕作)下的侵蚀。使用了均值和方差、决定系数以及有效系数作为检验模型表现的标准。研究表明:在 2 个试验点 4 种耕作方式的模拟中,年径流量都存在低估现象(尤其在冬季和低降雨量模拟时),但对单场降雨较小的情况下模型高估径流量,而对单场降雨量较大的情况模型预测偏低,模型对雪深和冰冻深度较为准确,侵蚀量的预测大部分偏小,模型对夏季径流量模拟偏大,可能是因为未考虑到土壤开裂以及生物活性增加。

当前,全球草地退化现象严重,由于普遍存在的过渡放牧导致草地土壤侵蚀迅速加剧,有学者将 WEPP 模型用于模拟草地土壤侵蚀中。2007 年, C A Moffet<sup>[16]</sup>等使用 WEPP 模型模拟发生火灾的牧草地的土壤侵蚀量变化,在位于美国爱达荷地区的 Reynolds Creek 试验流域内进行了试验。设计了 5 种模拟方案,主要的变化是几个模型参数(沟内侵蚀力、临界剪切力、随机糙度、达西-韦斯巴赫糙率系数、地表覆被)的确定方法不同,有些采用模型自动生成,有些采用实测值。后一种方案一般是对前一方案中某个或多个参数的获取方式进行改变。研究表明:由于火灾后地表植被截流能力大为下降,导致火灾后的土地径流量比火灾前有明显增加,同时产流时间提前,侵蚀量增加很多,但是侵蚀沟的宽度没有灾前宽。在火烧后的土壤侵蚀预测中,WEPP 存在低估现象,WEPP 模型自动生成的部分参数与实测值有偏差可能是导致这一现象产生的原因。

1.2.2 流域模拟 由于 WEPP 模型参数较多,附带的数据库在我国大部分地区不能适用,因此我国对流域模拟精度的评估较少;而国外学者在将 WEPP 模型用于不同土地利用方式下流域土壤侵

蚀的精度评价和适用性已做了大量研究。由于流域通常是大区域范围,因此土地利用方式可能不同于坡面的单一性,而是包括了多种土地利用方式。

由于耕地的重要性以及特殊性,大量国外学者将流域版 WEPP 用于以农耕地为主的流域,进行土壤侵蚀预测精度评价和适用性研究,取得一定成果。刘宝元<sup>[17]</sup>等于 1997 年在美国 15 个小流域针对 WEPP95 的预测精度和模型参数的敏感性进行了研究。将实测值与模拟值进行对比发现:模型在流域产沙量的预测上基本合理,即使有的流域绝对值不够准确,但是其预测值的大小等级与实际侵蚀状况一致。模型较为准确的反映径流量和产沙量的等级状况,有助于进行正确的水土保持管理措施。对模型的敏感性分析表明:模型对坡长因子比较敏感,流域的泥沙产量对总曼宁系数、裸土曼宁系数和渠道坡度敏感;针对较小径流量事件,模型的产沙量对水力传导率敏感。2000 年, A. K. Tiwari<sup>[18]</sup> 等在美国的 20 个不同的自然流域(包括耕地、林地、草地)进行了土壤侵蚀量的预测,使用 WEPP、RUSLE 与 USLE 3 个模型预测结果对比表明:3 个模型对土壤侵蚀量的预测值都高出了实测值允许误差的上下限,说明模型的计算与参数处理存在问题,需对部分参数进行修正以提高预测能力。同样是在具备耕地、林地、草地的土耳其 Ayvali Dam 流域, A. Yukse<sup>[19]</sup>等于 2006 年将 GEOWEPP 模型进行了应用评估,同时引进了其他相关技术,包括 Arcgis, Topaz, 以期获得 WEPP 模型中需要的输入文件:坡面、气候、土壤、作物管理。地形数据是通过基于 DEM 的 TOPAZ 生成,研究指出 WEPP 在该流域的适用性良好,模拟较为准确。K. Sakai<sup>[20]</sup>于 2004 年在日本的 Okinawa 的小流域对模型进行了应用。除了部分数据来自实际获取以外,其他数据是使用模型自动生成。研究表明:随机糙度和有效水力传导率在耕种后最大,之后一直下降直达到最低值。多数降雨的模拟中,产沙量高于实测值,这可能是因为 WEPP 中的 CLIGEN 的参数基于美国的数据库,与日本有差异而造成的。模型在预测流域总径流量时相对较为准确,但计算的洪峰流量要高于实测值。2006 年, R. Cruse<sup>[21]</sup> 等在 Iowa 地区对 WEPP 模型进行了应用。使用从 NEXRD 获得的降雨数据,和美国国家资源清查获得的地形、土壤、耕作和管理数据作为输入数据进行年平均土壤侵蚀量和降雨量以及径流量的预测。同时单独对 2003 年 5 月 4 日该地区的日平均径流量、侵蚀量进行了预测表明,地形在土壤侵蚀预测中起关键作用。该

地区的土壤侵蚀随时空变化而变化,某些区域侵蚀较为严重,需要对该区域的水土保持措施做出改进和进一步加强监测。WEPP 在该地区的产沙量、侵蚀量预测与实测值较为接近,认为在城镇尺度上结合多种技术进行大范围的土壤侵蚀实时预测和降雨量的预测是可行的。

不同经营措施,以及林地开垦是造成林地土壤侵蚀变化的主要因素,也有学者使用 WEPP 模型预测林地土壤侵蚀变化量。S. H. Pun<sup>[22]</sup>等于 2006 年在美国的 Hermada 流域使用了改进的 WEPP 模型(V2006.5)进行侵蚀模拟。在模型的土壤输入文件中加入了一个限制层以防止深层渗透的高估,并且考虑到了无降雨时壤中流汇集到沟内可能产生的侵蚀。研究表明,WEPP 对枯枝落叶物和地面生物量预测与实测值高度吻合,这对森林流域的侵蚀预测相当重要。在对流域径流量的模拟中前 2 年有高估现象,后几年的模拟较为准确。作者认为修正版的 WEPP 模型可用于森林流域的土壤侵蚀预测,同时建议模型应当在更广的气候、植被以及土壤条件下进行应用,但模型的冬季水文过程需要做出修正。

采用不同方法开展对模型评估。R. A. Cecilio<sup>[23]</sup>、A. Pandey<sup>[24]</sup>等在巴西和印度采用不同的方法进行了侵蚀模拟和敏感性分析。J. M. Laflen<sup>[25]</sup>等于 2004 年引入实测土壤侵蚀量的函数(重复小区的变化系数),同时置信区间是变化系数与实测土壤侵蚀量、累积分布值的函数,最终确立一个最低和一个最高范围,该范围是由实测侵蚀量与 95%置信区间决定的。将模型预测得到的数据与最高最低范围进行比较表明:WEPP 模型和 USLE 模型在算法和参数确定方面,部分预测值超出范围上下限,未经修正的 2 个模型运行的结果基本相同。同时,沟灌中土壤侵蚀性参数的估计需要改进,要获得更好的结果,需对植物生长、残茬分解过程进行更合理的模拟。D. Raclot<sup>[26]</sup>等于 2005 年在地中海某流域使用模型进行了适用性研究。模型运行过程当中,气候输入数据使用了 2 种算法:将日降雨量作为输入通过 CLIGEN 生成、使用断点降雨量作为输入通过断点气候数据生成器生成。研究表明:WEPP 模型对流域的水文过程模拟较好,结果接近实测值,但在土壤侵蚀量的预测中,表现不甚理想。模型对流域多年土壤侵蚀量的模拟基本准确,但是在短期和单场降雨的侵蚀预测上与实测值有误差。

### 1.3 国内研究进展

WEPP 模型被引入我国以来,经历了对模型机理的研究,对模型在中国的适应性与模拟精度进行

研究,到目前第 3 个阶段开始将模型在国内某些地区进行应用,同时将模型运用于水土保持和农业等相关领域。

1.3.1 模型内部机理的研究 缪驰远<sup>[27]</sup>、闫峰陵<sup>[28]</sup>等对模型中部分的因子和参数的计算方法进行研究。雷廷武<sup>[29]</sup>等人对 WEPP 模型中重要的参数—土壤可蚀性参数的获取进行了研究,结果表明模型现有的计算土壤可蚀性参数可能导致结果与实际有较大误差,存在原理性缺陷,进一步提出在满足特定条件下估算土壤剥蚀率并将其作为最大可能土壤剥蚀率来估计土壤可蚀性参数较为可行。张晴雯<sup>[30]</sup>等对 WEPP 模型中的侵蚀产沙模型进行了验证,从细沟剥蚀率和产沙量两方面判定由理论分析得出的值与直接由实验数据估算得出的值进行对比,发现两者之间具有良好的对应关系,结果可以互相验证,为 WEPP 模型的验证提供了工具。

1.3.2 模型适用性和精度的研究 我国学者目前对 WEPP 适应性的研究主要集中在坡面版在耕地中的应用。景卫华,刘远利,幸定武、王建勋<sup>[31-34]</sup>等人在不同区域对模型的适用性进行了研究。利用 1985—1992 年的降雨数据在黄土丘陵区对不同坡长下 WEPP 的适用性进行研究,模拟不同坡长条件下单场降雨、年降雨和多年平均径流量以及侵蚀量,研究表明 WEPP 对次降雨、年径流量和侵蚀量模拟效果较好,但是多年平均径流量和侵蚀量的模拟中模型表现不理想,可能是由于模拟时间短,样本数量少造成的。在参数敏感性分析中得出模型运行中侵蚀量对坡长因子较为敏感,而径流量对坡长因子敏感度一般<sup>[35]</sup>。陈晓燕<sup>[36]</sup>等于 2000 年将 WEPP 模型用于四川盆地丘陵区紫色土的土壤侵蚀预测中。在研究区进行了单次降雨侵蚀模拟,通过对 1 年中 8 次降雨的模拟,发现 WEPP 对坡面径流量的预测接近于实际值,土壤侵蚀量却有出入,但也能够反映整体坡面的径流发生过程和侵蚀分布状况。同时,还进行了输入参数的敏感性测试,得出模型对有效水力传导率和临界剪切力比较敏感。严冬春<sup>[37]</sup>等将 WEPP 模型用于四川丘陵区紫色土区域 2004、2005 年的径流和侵蚀模拟。结果表明在缓坡的土壤侵蚀模拟中,实测值和模拟值较为接近,而年降雨侵蚀量的模拟误差也在可接受范围内。使用模型对土壤侵蚀的空间分布进行研究,发现模拟的侵蚀曲线与实测坡面侵蚀曲线接近,能够反映出实际坡面土壤侵蚀程度和分布。

1.3.3 模型的应用 缪驰远、莫放、刘淑燕、莫春华、代华龙、幸定武<sup>[38-43]</sup>等将模型在土壤侵蚀或者侵

蚀产沙、小流域径流调控等方面进行应用。缪驰远<sup>[44]</sup>在四川遂宁选取紫色土 20°坡面小区测量单次降雨产沙量,对实测值与 WEPP 和 USLE 运行得出的模拟值进行比较,得出 WEPP 模拟效果多数优于 USLE。李志<sup>[45]</sup>等在黄土高原沟壑区选择坡面径流场,对于模型侵蚀参数进行校准,进而模拟当地传统耕作方式,模拟坡地的小麦和玉米产量,得出模拟结果与两种作物年均产量较为一致,建议使用更长序列数据校准模型可以使模拟效果更好。

郑进军<sup>[46]</sup>等引入新的方法以对比分析 WEPP 模型的应用结果,2006 年在川中丘陵区使用 WEPP 模型进行了坡面侵蚀的空间分布研究和侵蚀速率估算。研究表明坡耕地的侵蚀速率随坡长增加而增大,侵蚀速率在坡面前半部分远小于后半部分。在使用了 137Cs 法测算土壤的侵蚀速率后,发现土壤侵蚀速率随坡长变化呈波动变化,而且在坡顶部的侵蚀速率远高于用 WEPP 模型计算出的速率,这可能是由于进行人工刨地耕作造成的,指出 WEPP 在紫色土区域用于坡耕地的侵蚀速率计算有局限性。

李志、马浩、倪九派<sup>[47-49]</sup>等将模型的应用领域扩大,除侵蚀预测外,将模型应用于土壤侵蚀对气候变化响应、作物及灌草植被生长模拟,也将 GIS 与 GEOWEPP 结合从不同的空间尺度对流域产沙量进行研究,为 WEPP 模型的发展进行了有益尝试。

## 2 WEPP 在水土保持效益评价中的应用

由于 WEPP 模型能够模拟土壤侵蚀的时空分布以及产沙过程,而且模型中的作物管理因子和耕作模式可以用来代表不同方式的水土保持措施,因而模型在水土保持生态效益评价中是可以引入的。同时使用 3S 技术将土壤、地形数据进行处理从而生成不同精度的土壤以及地形分布图,作为模型的输入数据能够减少工作量、提高工作效率并且达到提高预测精度的效果。目前国内外已经有研究者将 WEPP 模型应用到水土保持的效益评价中。

M. Pudasaini<sup>[50]</sup>等于 2004 年在澳大利亚悉尼建立侵蚀模拟区,将 WEPP 应用在该区域进行建筑用地侵蚀模拟。使用大尺度压力喷雾降雨模拟器从而获取相关数据,WEPP 模型在模拟建筑用地的土壤侵蚀当中,预测较为准确,也适用于不同土地利用方式下的侵蚀量模拟。基于 WEPP 模拟结果,在裸土上种植草本可以使土壤侵蚀量减少 90% 以上。

在以耕地为主的流域内,L. Pieri<sup>[51]</sup>等于 2006 年于意大利博洛尼亚地区 Centonara 流域的试验基

地对模型进行了应用。对比分析了 3 种作物轮作方式下的土壤侵蚀状况(持续玉米、玉米-小麦、玉米-小麦-苜蓿-苜蓿)。研究指出,有保护措施连续玉米耕作产生的地表径流最少,侵蚀量也较少,但该方法容易导致土壤质量下降;玉米-小麦轮作方式下的径流量和土壤侵蚀量较上一方法都有所增加;4 a 轮作(玉米-小麦-苜蓿-苜蓿)方案在模型的应用当中表现出来的侵蚀量则是最小的。2006 年 G. A. Baigorria<sup>[52]</sup>等将计算机技术、GIS 技术与 WEPP 模型结合起来,开发出新的软件 GEMSE,从而在大尺度上生成流域的土壤侵蚀空间分布图,以供水土保持工作中决策者制定方案使用,同时也能够对现有水土保持措施的作用进行较好的评估。在软件中建立了气候、土壤、地形、管理 4 个数据库,将其中的数据作为 WEPP 模型的输入数据,进而将模型运行后产生的输出数据在软件中进行统计数据分析,可自动生成研究区域的土壤侵蚀空间分布图和径流量空间分布图,从中可看出不同区域土壤侵蚀的程度以及热点地区。将模型用于秘鲁北部的 La Encanada 流域,运行的结果与实际情况较为接近,土壤侵蚀量随着土壤质地、土地利用方式、坡度、气候的变化表现出明显的变化,建议使用更高分辨率的气候分布图以提高侵蚀量预测的精度。

王莉<sup>[53]</sup>、王树军<sup>[54]</sup>等对水土保持效益评价进行了初步探索。刘世梁<sup>[55]</sup>等利用模型基于山东丘陵区土地整理状况,模拟不同梯田构建土壤流失的情景,分析了降雨强度和梯田宽度对不同坡度的水土流失效应,得出梯田建设对于土壤流失量和产沙量都有影响的结果;梁改革<sup>[56]</sup>等在黄土高原丘陵沟壑区利用 WEPP 模型对不同梯田模式下春玉米生育期进行作物生育期的降雨、径流、入渗、蒸发、土壤水进行作物生育期需水耗水过程计算,得出隔坡梯田与水窖蓄水配合不仅可以满足作物生长过程需水,可防止水土流失,是适宜推广的坡地降雨径流调控方式,指导坡地水土资源利用效率;熊勤学<sup>[57]</sup>等在丹江口坡地农田使用试验数据在 WEPP 模型中模拟了 4 种植物篱的坡面径流量和土壤侵蚀量,研究表明坡面版 WEPP 在模拟植物篱对坡面径流与土壤侵蚀的影响中较为准确,可以有效减少田间试验次数,同时得到了 4 种植物篱中紫穗槐的方式效果最好,为在该区域进行植被配置和选择最佳种植方式以达到最佳水土保持效益提供了参考。

3 问题与分析

WEPP 模型能够模拟土壤侵蚀的物理过程,在

时间和空间轴上体现出土壤侵蚀的变化而显示出比传统经验统计模型的优势,引起各国学者大量的研究。但是随着研究的开展,模型的不足渐渐体现出来,主要表现在 3 个方面。

1) 模型的参数众多,使得模型的实用性受到限制。如引入 3S 和其他相关技术,使之为模型服务,快速、高效地获取模型所需基本参数,从而达到减少工作量,提高模型效率和预测精度的目的。同其他技术产生的数据进行良好转换以及融合都是决定 WEPP 模型能否广泛推广和利用的重要途径,对模型的发展有着深远的意义。

2) 模型内部运行机制中土壤侵蚀机理尚未明确,如模型未考虑土壤表层结皮与土壤侵蚀的关系;作为侵蚀产沙基础的方程式是稳态的,而实际上,土壤侵蚀的过程是一个随时间变化而不断变化的动态过程。这些都制约了模型的推广和适用性。因此,对基本原理进行大量的研究,从而使模型能够真正代表土壤侵蚀的物理过程是提高模拟精度和效率的根本。

3) 目前 WEPP 模型的应用范围主要局限在坡面和小流域上,由于不同区域径流和产沙过程不同,导致无法全部使用模型进行准确模拟。现有研究表明,只要对模型进行适当的参数修正和调试,对模型进行有效的尺度转换,该模型在世界很多地区进行侵蚀模拟是可行的。如何将其准确推演到大流域或大面积坡面上,并且建立独立、完善的数据库,是今后 WEPP 模型推广过程当中急需解决的问题。

由于 WEPP 模型存在的问题,导致其在水土保持效益评价中的应用受到限制。通过进一步提高模型评价的精度,在模型中引入统一的评价指标体系,从而开发出单独的水保效益评价模块,与其他输入参数和模拟结果相结合,得到量化的水土保持效益评估结果,从而使提出的相应水保措施具有代表性和可行性,使其能够得到推广或者改进。

参考文献:

[1] 王礼先,朱金兆. 水土保持学[M]. 北京:中国林业出版社, 2005:1-2.

[2] 蔡士强. 水土保持效益评价[J]. 河北水利水电技术,1994(4): 19-21.

CAI S Q. Benefit evaluation of soil and water conservation[J]. Hebei Water Resources and Hydropower Engineering, 1994 (4):19-21. (in Chinese)

[3] 张艳军,赵纯勇,郭跃. 水土保持的生态效益价值分析-以重庆市南岸区为例[J]. 沈阳师范大学学报:自然科学版,2005,23 (2):216-219.

ZHANG Y J, ZHAO C Y, GUO Y. Analysis of soil and water

- conservation in value of ecology—the soil and water conservation planning in Nan'an district[J]. Journal of Shenyang Normal University: Natural Science, 2005, 23(2): 216-219. (in Chinese)
- [4] HUANG C H, ZHENG F L. Research progress on soil erosion process and erosion prediction model in the USA[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2003, 23(3): 1-5.  
HUANG C H, 郑粉莉. 美国土壤侵蚀过程及其预报模型研究进展[J]. 水土保持通报, 2003, 23(3): 1-5. (in English)
- [5] WISCHMEIER W H, SMITH D D. Predicting rainfall erosion losses—a guide to conservation planning[R]. USDA Agriculture Handbook No. 537. U. S. Department of Agriculture, 1978; 21-22.
- [6] WISCHMEIER W H, JOHNSON C B, CROSS B V. A soil erodibility nomograph farmland and construction sites [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1971, 26: 189-193.
- [7] 李光录, 张胜利. 土壤侵蚀模型研究现状及回顾[J]. 西北林学院学报, 2000, 15(2): 76-83.  
LI G L, ZHANG S L. A review of the researches of soil erosion models[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2000, 15(2): 76-83. (in Chinese)
- [8] 牛志明, 解明曙. 新一代土壤水蚀预测模型-WEPP[J]. 中国水土保持, 2001(1): 20-23.  
NIU Z M, XIE M S. WEPP—a new generation of model to predict soil erosion by water[J]. Soil and Water Conservation in China, 2001(1): 20-23. (in Chinese)
- [9] 张玉斌, 郑粉莉, 贾媛媛. WEPP 模型概述[J]. 水土保持研究, 2004, 11(4): 146-149.  
ZHANG Y B, ZHENG F L, JIA Y Y. WEPP model and its application[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2004, 11(4): 146-149. (in Chinese)
- [10] 郑粉莉, 刘峰, 杨勤科, 等. 土壤侵蚀预报模型研究进展[J]. 水土保持通报, 2002, 21(6): 16-18.  
ZHENG F L, LIU F, YANG Q K, *et al.* Review of research progress in soil erosion prediction model[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2002, 21(6): 16-18. (in Chinese)
- [11] 刘宝元, 史培军. WEPP 水蚀预报流域模型[J]. 水土保持通报, 1998, 18(5): 6-12.  
LIU B Y, SHI P J. Water Erosion Prediction Project (WEPP) model for watershed scale[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 1998, 18(5): 6-12. (in Chinese)
- [12] 史婉丽, 杨勤科, 张光辉. WEPP 模型的最新研究进展[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(6): 173-177.  
SHI W L, YANG Q K, ZHANG G H. Current progress in water erosion prediction project[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2006, 24(6): 173-177. (in Chinese)
- [13] LAFLEN J M, LWONARD J L, FOSTER G R. WEPP, a new generation of erosion prediction technology[J]. Journal of Soil and Water Cons., 1991, 46(1): 34-38.
- [14] NEARING M A, FOSTER G R, LANE L J, *et al.* A process-based soil erosion model for USDA-Water Erosion Prediction Project technology[J]. Trans. ASAE, 1989, 32(5): 1587-1593.
- [15] GRÖNSTEN H A, LUNDEKVAM H. Prediction of surface runoff and soil loss in southeastern Norway using the WEPP hillslope model[J]. Soil & Tillage Research, 2006, 85(1-2): 186-199.
- [16] MOFFET C A, PIERSON F B, ROBICHAUD P R, *et al.* Modeling soil erosion on steep sagebrush rangeland before and after prescribed fire[J]. Catena, 2007, 71(2): 218-228.
- [17] LIU B Y, NEARING M A, BAFFAUT C. The WEPP watershed model: III. Comparisons to measured data from small watersheds[J]. Transactions of the ASAE, 1997, 40(4): 945-952.
- [18] TAWARI A K, RISSE L M, NEARING M A. Evaluation of WEPP and its comparison with USLE and RUSLE [J]. Transactions of the ASAE, 2000, 43(5): 1129-1135.
- [19] YÜKSEL A, AKAY A E, REIS M. *et al.* Using the WEPP Model to predict sediment yield in a sample watershed in Kahramanmaraş Region[C]//Turkey: International Congress River Basin Management, 2007: 11-22.
- [20] SAKAI K, OSAWA K. Soil runoff analysis using the WEPP Model in Okinawa, Japan[C]//ASAE: Annual International Meeting, 2005.
- [21] CRUSE R, FLANAGAN D, FRANKENBERGER J, *et al.* Daily estimates of rainfall, water runoff and soil erosion in Iowa[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2006, 61(4): 191-199.
- [22] DUN S H, WU J Q, ELLIOT W J, *et al.* Adapting the Water Erosion Prediction Project (WEPP) Model to forest conditions [C]//USA: ASABE Annual International Meeting, 2006.
- [23] CECÍLIO R A, RODRIGUEZ R G. Analysis of the RUSLE and WEPP Models for a small watershed located in Vicosa, Minas Gerais State, Brazil[C]//Australia: 13<sup>th</sup> International Soil Conservation Organization Conference, 2004.
- [24] PANDEY A, CHOWDARY V M, MAL B C, *et al.* Runoff and sediment yield modeling from a small agricultural watershed in India using the WEPP model[J]. Journal of Hydrology, 2008, 348(3-4): 305-319.
- [25] LAFLEN J M, FLANAGAN D C, ENGEL B A. Soil erosion and sediment yield prediction accuracy using WEPP[J]. Journal of the American Water Resources Association, 2004, 40(2): 289-297.
- [26] RACLOT D, ALBERGEL J. Runoff and water erosion modelling using WEPP on a Mediterranean cultivated catchment [J]. Physics and Chemistry of the Earth, 2006, 31(17): 1038-1047.
- [27] 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 C Y, LIU B Y, LIU G, *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)
- [28] 闫峰陵, 李朝霞, 史志华, 等. 红壤团聚体特征与坡面侵蚀定量关系[J]. 农业工程学报, 2009, 25(3): 37-41.  
YAN F L, LI Z X, SHI Z H, *et al.* Quantitative relationship between aggregate characteristics of red soil and slope erosion

[J]. Transactions of the CSAE, 2009,25(3):37-41. (in Chinese)

[29] 雷廷武,张晴雯,姚春梅,等. WEPP 模型中细沟可蚀性参数估计方法误差的理论分析[J]. 农业工程学报,2005,21(1):9-12. LEI T W, ZHANG Q W, YAO C M, *et al.* Theoretical analysis of estimation error of soil erodibility for rill erosion in WEPP model[J]. Transactions of the CSAE, 2005,21(1):9-12. (in Chinese)

[30] 张晴雯,雷廷武,姚春梅,等. WEPP 细沟剥蚀率模型正确性的理论分析与实验验证[J]. 农业工程学报,2004,20(1):35-39. ZHANG Q W, LEI T W, YAO C M, *et al.* Theoretical analysis and experimental verification of the detachment rate equation of rill erosion in WEPP [J]. Transactions of the CSAE, 2004,20(1):35-39. (in Chinese)

[31] 景卫华, 贾忠华, 罗钊. WEPP 模型在黄土地区的适用性分析[J]. 水资源与水工程学报,2006,17(2):28-31. JING W H, JIA Z H, LUO W, *et al.* Suitability analysis of WEPP model in the loess plateau[J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2006,17(2):28-31. (in Chinese)

[32] 刘远利, 郑粉莉, 王彬, 等. WEPP 模型在东北黑土区的适用性评价——以坡度和水土保持措施为例[J]. 水土保持通报,2010,30(1):139-145. LIU Y L, ZHENG F L, WANG B, *et al.* Assessment of WEPP model applicability in black soil zone of northeast China—a case study of slope gradient and soil and water conservation measures[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2010,30(1):139-145. (in Chinese)

[33] 幸定武, 高建恩. WEPP 在黄土高原坡面径流调控中的适用性研究[J]. 人民黄河, 2008,30(4):66-67.

[34] 王建勋,郑粉莉,江忠善,等. 基于 WEPP 的黄土丘陵区不同坡长条件下坡面土壤侵蚀预测[J]. 北京林业大学学报, 2008,30(2):151-156. WANG J X, ZHENG F L, JIANG Z S, *et al.* Hillslope soil erosion prediction based on WEPP model under different slope lengths in hilly-gully region of the loess area[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2008, 30(2): 151-156. (in Chinese)

[35] 王建勋,郑粉莉,江忠善,等. WEPP 模型坡面版在黄土丘陵沟壑区的适用性评价—以坡度因子为例[J]. 泥沙研究,2008(6):52-60 WANG J X,ZHENG F L,JIANG Z S, *et al.* Assessment on WEPP model applicability (Hillslope version) to hill-gully region of the Loess Plateau—a case study in slope gradient factor[J]. Journal of Sediment Research, 2008(6): 52-60. (in Chinese)

[36] 陈晓燕,何炳辉,缪驰远,等. WEPP 模型在紫色土坡面侵蚀预测中的研究[J]. 水土保持学报,2003,17(3):42-44. CHEN X Y, HE B H, MIAO C Y, *et al.* Study on application of WEPP model for sloping surface erosion prediction in purple soil[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2003,17(3):42-44. (in Chinese)

[37] 严冬春,文安邦,张中启,等. 坡面版 WEPP 模型在川中丘陵区的应用研究[J]. 水土保持学报,2007,21(5):42-45,63. YAN D C, WEN A B, ZHANG Z Q, *et al.* Using study of sloping WEPP model in Sichuan hilly basin[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2007, 21(5): 42-45, 63. (in Chinese)

[38] 缪驰远,何丙辉,陈晓燕. WEPP 模型中的 CLIGEN 与 BPC-DG 应用对比研究[J]. 中国农学通报,2004,20(6):321-324. MIAO C Y, HE B H, CHEN X Y, *et al.* Study on the application and contrast of CLIGEN and WEPP model application [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2004,20(6):321-324. (in Chinese)

[39] 莫放,贾忠华,罗钊,等. 基于水蚀模型 WEPP 和 GIS 的高原小流域侵蚀模拟—以延安地区向阳沟小流域为例[J]. 水资源与水工程学报,2005,16(4):41-45. MO F, JIA Z H, LUO W, *et al.* Simulation of water erosion by jointly application of WEPP and GIS—taking Xiangyanggou catchment in Yan'an as an example[J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2005,16(4):41-45. (in Chinese)

[40] 刘淑燕,秦富仓,项元和,等. 基于 WEPP 模型进行坡度因子与侵蚀量关系研究[J]. 干旱区资源与环境. 2006,20(4):97-101. LIU S Y, QIN F C, XIANG Y H, *et al.* Study on the relationship between slope and the amount of soil loss based on WEPP[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2006,20(4):97-101. (in Chinese)

[41] 莫春华,李新建,陈媛媛. WEPP 模型在湿地系统的应用[J]. 南水北调与水利科技,2008,6(5):90-97. MO C H, LI X J, CHEN Y Y. Application of WEPP model in wetland systems [J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2008, 6(5): 90-97. (in Chinese)

[42] 代华龙,曹叔尤,刘兴年,等. 基于 WEPP 模型的紫色土坡面水蚀预报[J]. 中国水土保持科学, 2008,6(2):60-65. DAI H L, CAO S Y, LIU X N, *et al.* Prediction of water erosion on purple soil slope based on WEPP model[J]. Science of Soil and Water Conservation, 2008,6(2):60-65. (in Chinese)

[43] 幸定武,高建恩,梁改革. WEPP 在黄土高原小流域径流调控中的应用研究[J]. 人民黄河,2009,31(9):70-71.

[44] 缪驰远,何丙辉,陈晓燕. 水蚀模型 USLE 与 WEPP 在紫色土水蚀预测中的应用对比研究[J]. 农业工程学报, 2005,21(1):13-16. MIAO C Y, HE B H, CHEN X Y. Application and comparison of the erosion model USLE and WEPP in predicting erosion of purple soil[J]. Transactions of the CSAE, 2005,21(1):13-16. (in Chinese)

[45] 李志,刘文兆,张勋昌,等. 解集 GCMs 输出评估黄土塬区农田侵蚀的潜在变化[J]. 生态学报,2010, 30(19): 5306-5315. LI Z, LIU W Z, ZHANG X C, *et al.* Downscaling GCMs output to assess the potential changes of field erosion in the Loess Tableland[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(19): 5306-5315. (in Chinese)

[46] 郑进军,张信宝,贺秀斌. 川中丘陵区坡耕地侵蚀空间分布的 WEPP 模型和 137Cs 法研究[J]. 水土保持学报,2007,21(2): 19-23.

ZHENG J J, ZHANG X B, HE X B. Combing WEPP Model with 137Cs to study spatial pattern of soil redistribution on purple slope-land in Sichuan Hilly Basin[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2007,21(2):19-23. (in Chinese)

[47] 李志,刘文兆,张勋昌,等. 黄土塬区坡面土壤侵蚀对全球气候变化的响应[J]. 水土保持通报,2010,30(1):1-6.

LI Z, LIU W Z, ZHANG X C, *et al.* Response of slope erosion to global climate change on the Loess Tableland[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2010,30(1):1-6. (in Chinese)

[48] 马浩,张岩,尹忠东,等. 川中丘陵紫色土区作物及灌草植被生长模拟研究[J]. 中国农学通报,2011,27(2):40-45.

MA H, ZHANG Y, YIN Z D, *et al.* Modeling vegetation growth in the purple soil area of central Sichuan[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011,27(2):40-45. (in Chinese)

[49] 倪九派,高明,魏朝富,等. 基于水系改进的高分辨率 DEM 和 GEOWEPP 的流域产沙量估算及其空间尺度效应研究[J]. 土壤学报,2010,47(1):1-6.

NI J P, GAO M, WEI C F, *et al.* Watershed sediment yield and effect of spatial scale based on high resolution digital elevation model and GeoWEPP[J]. Acta Pedologica Sincia, 2010,47(1):1-6. (in Chinese)

[50] PUDASAINI M, SHRESTHA S, RILEY S. Application of Water Erosion Prediction Project (WEPP) to estimate soil erosion from single storm rainfall events from construction sites[C]//Australia published on CDRCM: 3<sup>rd</sup> Australian New Zealand Soils Conference, 2004.

[51] PIERI L, BITTELLI M, WU J Q, *et al.* Using the Water Erosion Prediction Project (WEPP) model to simulate field-observed runoff and erosion in the Apennines mountain range, Italy[J]. Journal of Hydrology, 2007,336 (1-2):84-97.

[52] BAIGORRIA G A, ROMERO C C. Assessment of erosion hotspots in a watershed: Integrating the WEPP model and GIS in a case study in the Peruvian Andes[J]. Environmental Modelling & Software, 2007,22 (8):1175-1183.

[53] 王莉,刘艳锋. 三峡库区传统耕作措施水土保持机理研究[J]. 中国水土保持,2010(10):13-16.

WANG L, LIU Y F. Mechanism of soil and water conservation of conventional farming measures of the Three Gorges Reservoir Area[J]. Soil and Water Conservation in China, 2010(10):13-16. (in Chinese)

[54] 王树军. WEPP 模型在旱地种植系统中的应用[J]. 水土保持应用技术,2010(5):13-15.

WANG S J. Application of WEPP in dryland cropping systems[J]. Technology of Soil and Water Conservation, 2010 (5):13-15. (in Chinese)

[55] 刘世梁,王聪,张希来,等. 土地整理中不同梯田空间配置的水土保持效应[J]. 水土保持学报,2011,25(4):59-62.

LIU S L, WANG C, ZHANG X L, *et al.* Soil and water conservation effect of different terrace configurations in land consolidation project[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2011,25(4):59-62. (in Chinese)

[56] 梁改革,高建恩,韩浩,等. 基于作物需水与降雨径流调控的隔坡梯田结构优化[J]. 中国水土保持科学,2011,9(1):24-32.

LIANG G G, GAO J E, HAN H, *et al.* Optimization of structure of slope-separated terrace based on crop water requirement and control of rainfall runoff[J]. Science of Soil and Water Conservation, 2011,9(1):24-32. (in Chinese)

[57] 熊勤学,刘章勇,姚桂枝,等. 基于水蚀预报模型的丹江口坡地农田植物篱防蚀效应评价[J]. 应用生态学报,2010,21(9):2383-2388.

XIONG Q X, LIU Z Y, YAO G Z, *et al.* Anti-erosion effect of hedgerows in hillside croplands of Danjiangkou based on the evaluation with water erosion prediction project (WEPP) model[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010,21(9):2383-2388. (in Chinese)

简 讯

《2011 年中国学术期刊引证报告》数据显示,《西北林学院学报》的影响因子为 1. 054,年度被引频次 2221,分别在我国 38 种大学学报(农业科学)中排名第 6 和第 3。为此,对广大作者、读者的厚爱和鞭策以及编委会全体委员的辛勤努力表示诚挚的感谢。

我国大学学报(农业科学)影响因子、被引频次前 10 位列表

排名	期 刊	影响因子	排名	期 刊	被引频次
1	北京林业大学学报	1. 453	1	北京林业大学学报	3 180
2	华中农业大学学报	1. 244	2	东北林业大学学报	2 389
3	上海水产大学学报	1. 223	3	西北林学院学报	2 221
4	浙江林学院学报	1. 092	4	华中农业大学学报	2 116
5	福建林学院学报	1. 063	5	南京农业大学学报	2 019
6	西北林学院学报	1. 054	6	中国农业大学学报	1 879
7	河南农业大学学报	0. 974	7	沈阳农业大学学报	1 865
8	浙江大学学报(农业与生命科学版)	0. 961	8	东北农业大学学报	1 792
9	东北农业大学学报	0. 942	9	江西农业大学学报	1 754
10	南京农业大学学报	0. 900	10	浙江大学学报(农业与生命科学版)	1 723