

风蚀预报系统(WEPS) 介绍

廖超英^{1,2}, 郑粉莉², 刘国彬², 李靖¹, 马文章¹

(1. 西北农林科技大学, 陕西 杨陵 712100; 2. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100)

摘 要: 风蚀预报系统是美国农业部组织多学科科学家开发的、目前最完整、手段最先进的土壤风蚀预报模型, 成为风蚀定量评价、指导风蚀防治实践以及环境规划与评价的重要技术工具。对风蚀预报系统的设计、结构、模拟过程及模拟技术等做了简要介绍。
关键词: 风蚀; 计算机模型; 风蚀预报系统
中图分类号: S 157. 1 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2004) 04-0077-03

A Brief Introduction to Wind Erosion Prediction System

LIAO Chao-ying^{1,2}, ZHENG Fen-li², LIU Guo-bin², LI Jing¹, MA Wen-zhang¹

(1. Northwest Sate h University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanx 712100, Ch na;
2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences & Ministry of Water
Resources, Yangling, Shaanx 712100, Ch na)

Abstract: The Wind Erosion Prediction System (WEPS) is a process-based, continuous, daily time-step model developed by an ARS-led, national, multidisciplinary team of scientists organized by the United States Department of Agriculture, which can simulate weather, field conditions, and soil erosion by wind. WEPS is currently the most advanced, complete and widely used technical tool for assessment and control of wind erosion, as well as environmental planning and assessment. The structure, design, simulating processes and modeling techniques of the WEPS model are presented.
Key words: wind erosion; computer model; Wind Erosion Prediction System (WEPS)

土壤风蚀是世界上许多国家和地区的主要环境问题之一, 我国受土壤风蚀及土地沙漠化影响的面积占国土总面积的 1/2 以上。准确预测风蚀及风蚀引起的环境变化, 对于土壤保持规划、指导与检验各种土壤风蚀防治措施、减轻风蚀引起的空气污染、维护风蚀土地的可持续利用等十分必要。

风蚀预报系统(WEPS) 是美国农业部组织多学科科学家开发研究的一个连续的以过程为基础的模式, 可以模拟每日的天气、田间条件及风蚀状况等。研究开发风蚀预报系统的目的, 是为了提高土壤风蚀评价技术, 取代曾作为重要预测工具在土壤保持、环境规划及环境评价等方面被广泛应用的经验性的风蚀方程(WEQ) ^[1], 增加一些诸如植物伤害评价、风蚀悬浮土壤流失量计算等新功能。本文对风蚀预报系统的设计、结构、模拟过程及模拟技术等作简要介绍。

1 模型设计观念

风蚀预报系统为模块化设计, 风蚀预报系统的每一个子程序包含在一个独立的文件中, 这使风蚀预报系统子模型的各个组成部分易于维护、修改或必要时予以更换。这种模块化设计观念, 增加了未来仿真模型在很少修改代码的情况下, 直接由风蚀预报系统各子模型中借用某些组分的可能

性, 也减轻了需要时将其转化为其它计算机语言的任务。

由主程序控制时间间隔的长短。为了减少计算时间, 除了水文子模型和侵蚀子模型中选定的子程序使用小时或不足小时的时间间隔外, 风蚀预报系统以日为时间间隔。主程序调用子模型的顺序如图 1 所示^[2]。每个子模型控制子模型内部的运算顺序, 然而, 管理子模型模拟各种田间作业是按照它们在管理计划中出现的次序进行的。目前, 管理计划必须涵盖至少 1 年, 可涵盖多年。管理计划可以从一年的任何一天开始, 而风蚀预报系模型模拟必须从没有生长作物的时间开始。

风蚀预报系统模拟非均一田野的情况, 是通过把非均一的田野分成若干均一的亚区, 再分别模拟各均一亚区的情况。这里“均一”指一个亚区内土壤类型、生物量以及管理措施相似。为此, 开发了基本风蚀预报系统子模型(侵蚀子模型除外), 各个子模型运行时不需要主程序如何处理非均一田野的信息。

2 模拟过程

在给定的土壤和生物量条件下, 当风速大于跃移起动风速时便开始发生土壤风蚀。风蚀起动后, 土壤风蚀持续的时

① 收稿日期: 2004-07-10
基金项目: 农业部 948 项目(2003- Z57)
作者简介: 廖超英(1959-), 男, 安徽宿州人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事生态环境、水土保持与荒漠化防治的教学与科研。

间长短和严重程度,取决于风速分布和地表状况的演变。由于风蚀预报系统是一个连续的以日为时间尺度的模型,它不仅模拟基本的风蚀过程,而且模拟改变土壤风蚀易感性的过程。

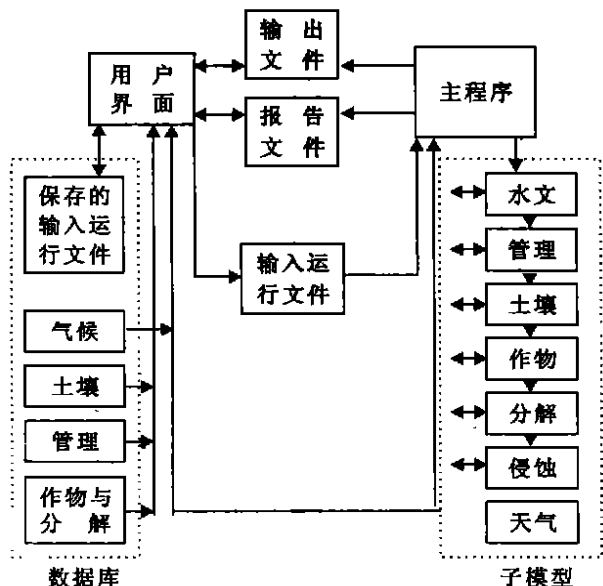


图 1 风蚀预报系统模型结构

风蚀预报系统为模块化结构,由 1 个用户界面、1 个主程序(管理程序)、7 个子模型和 4 个数据库组成,如图 1 所示。用户界面根据数据库和天气生成程序提供的信息,产生“输入运行”文件。在实际应用中,常常是通过编辑用户界面中默认的“输入运行”文件来生成新的“输入运行”文件。

风蚀预报系统中大多数子模型以每日天气作为改变田间条件物理过程的自然驱动力。水文子模型说明土壤温度和水分状况的变化;土壤子模型模拟土壤性质的变化过程;作物子模型和分解子模型分别模拟植物生长过程和植物分解过程。最后,当风速大于侵蚀临界时,用侵蚀子模型来计算土壤流失量或沉积量。

典型的田间管理活动,如耕地、栽植、收获及灌溉等使土壤和生物量状况产生跳跃式的变化。这些管理活动及它们对系统状态的影响,通过函数分组,由风蚀预报系统的管理子模型来模拟。

3 模拟区域

风蚀预报系统中,模拟区域是一块或几块相邻的田野,如图 2。用户必须输入模拟区域及任何具有不同土壤、管理或作物亚区的几何图形。此外,还须输入地表及土壤的初始条件。风蚀预报系统可输出用户选定时间间隔计量区内的土壤流失量或沉积量。通过选择多样的和重叠的计量区,可获得模拟区域内不同空间尺度的输出结果。风蚀预报系统还可分别给出跃移-蠕移土壤流失量和悬浮土壤流失量,这对于评价风蚀对其它地区的影响是非常有用的。

4 天气模拟

风蚀预报系统需要风速、风向来模拟风蚀过程,需要风速、风向及其他天气变量驱动风蚀预报系统中水文、土壤可蚀性、作物生长及作物残余物分解等随时间变化的过程。天

气生成程序由程序 WINDGEN、CLIGEN 及一个用户界面程序(CLI_WIND)组成,它们提供所需的以日为单位的天气变量和以更短时间为单位的风速^[3]。

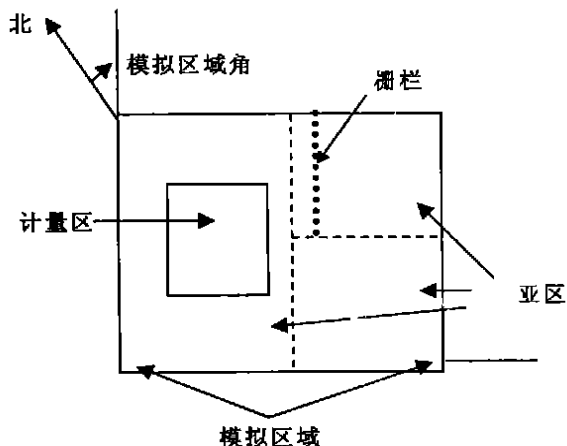


图 2 风蚀预报系统模拟区域图形

WINDGEN 为风蚀预报系统模拟风速和风向^[4,5],是专门为使用 WEPS 开发的软件。WINDGEN 不仅模拟每日的风向、最大风速和最小风速,而且根据历史记录,提供每天最大风速出现的时间。当需要的时候在风蚀预报系统内生成每日不同时段的风速。目前,为 WINDGEN 建立的一个数据库由 673 个地点的记录组成^[4,6],该数据库由美国北卡罗来纳州国家气候数据中心风能资源信息系统(WERIS)数据库中每月风速风向历史记录摘要建成。

CLIGEN 是为水蚀预报模型(WEPP)建立的天气生成程序^[7]。它用于风蚀预报系统是为了生成年平均气温以及日降雨量、最高最低温度、太阳辐射和露点温度。日平均气温和海拔高度用于在风蚀预报系统中计算日平均空气密度。CLIGEN 及其数据库在水蚀预报模型文件中有详细说明^[8]。

5 田间条件模拟

水文子模型^[9]评定土壤表面湿度,说明土壤温度变化,根据每日融雪、径流、渗透、土壤蒸发和植物蒸腾计算土壤水分平衡。融雪取决于日最高气温和雪初始含水量;用修正曲线数字法计算径流;将水加到最上层的模拟层,多余的水分渗透到下面的层次;可能蒸散量用修正 Penman 法计算,并根据作物叶面积指数,把总的日可能蒸散量分为可能土壤蒸发量和可能植物蒸腾量;每日土壤水分可用性数据用来估算每小时可能土壤蒸发速率;通过一个简化的有限差分逼近达西定律的方法模拟水分再分布。

土壤的团聚性和表面状态能显著影响土壤对风蚀的抵抗能力。因此,用风蚀预报系统土壤子模型^[10]模拟每日土壤及表面暂时性特性随各种天气过程如干湿、冻融、冻干、降雨量、降雨强度以及时间的变化。土壤容重、团聚体大小分布及干团聚体密度等土壤性质每天都得到更新。随机糙度、定向糙度、结皮产生、结皮覆盖比例、结皮密度、结皮稳定性、结皮厚度以及结皮表面松散可蚀性物质等表面特性也由土壤子模型来说明。

土壤表面植被的存在影响风蚀搬运土壤的数量。因此,用作物子模型^[11]模拟作物的生长。作物生长模型是由侵蚀生产力计算器(EPIC)作物生长模型^[12]改编的,用来计算每

日根、茎、叶、繁殖器官质量的生长及叶、茎面积的生长。为了满足预测生长作物对风蚀影响的需要,一些附加的功能和更改加入了作物子模型。植物体各部分的弹性、排列、各部分随高度的分布以及单位面积植物数量等都是影响风蚀的因子^[13]。鉴于以下 3 个原因,应分别来考虑叶和茎:①单位面积幼苗茎削减风能的能力大约是叶子的 10 倍;②叶子比茎对风沙危害更为敏感;③叶子和茎的分解速率不同。

风蚀预报系统的分解子模型^[14]模拟微生物活动引起的作物残余物生物量的减少。以温度和湿度作为驱动变量模拟分解过程。直立作物残余物削减土壤表面风能的作用比平躺作物残余物显著的多,因此,将直立作物残余物与平躺作物残余物分开考虑,此外,子模型还模拟作物残余物由直立到平躺的转化过程。收获之后剩余的生物量分别归入直立库、表面库、埋藏库和根库,分层计算地下生物量的分解。因为作物残余物分解随作物类型而异、随残余物年龄而变化,所以,每个库进一步细分为:①最近收获的作物库;②收获两年的作物库;③普通作物库,包括所有更早的作物残余物。

人们期望风蚀预报系统能反映各种管理措施对风蚀的影响,这个任务可由管理子模型完成^[15]。管理子模型表现了所有主要管理措施类型,如初次耕地、二次耕地、中耕、栽植、参考文献:

[1] Woodruff N P, Siddoway F H. A wind erosion equation [J]. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 1965, 29(5): 602– 608.

[2] Tatarko J. WEPS technical documentation [P]: main program. SWCS WEPP/WEPS Symposium. Ankeny, IA. 1995

[3] Tatarko J, Skidmore E L, Wagner L E. Technical Documentation [P]: weather submodel SWCS WEPP/WEPS Symposium. Ankeny, IA, 1995.

[4] Skidmore E L, Tatarko J. Stochastic wind simulation for erosion modeling [J]. Trans. ASAE, 1990, 33: 1893– 1899.

[5] Wagner L E, Tatarko J, Skidmore E L. WINDGEN – Wind data statistical database and generator [R]. ASAE, Paper No. 92– 2111. St. Joseph, MI 49085– 9659, 1992.

[6] Skidmore E L, Tatarko J. Wind in the Great Plains: speed and direction distributions by month [A]. In: Hanson J D, Shaffer M J, Cole C V (eds.) Sustainable Agriculture for the Great Plains [M]. USDA – ARS, ARS– 89, 1991. 245– 263.

[7] Nicks A D, Williams J R, Richardson C W, et al. Generating climatic data for a water erosion prediction model [R]. St. Joseph, MI ASAE, Paper No. 87– 2541. 49085– 9659, 1987.

[8] Nicks A D, Jane L J. Weather generator, In: Lane L J, Nearing M A (eds). USDA – Water erosion prediction project: Hillslope profile model documentation [R]. NSERL Report No. 2, USDA – ARS, West Lafayette: National Soil Erosion Research Laboratory, IN 47907, 1989, 21– 219.

[9] Durar A A, Skidmore E L. WEPS technical documentation [P]: hydrology submodel SWCS WEPP/WEPS Symposium [J]. Ankeny, IA, 1995.

[10] Hagen L J, Zobeck T M, Skidmore E L, et al. WEPS technical documentation [P]: soil submodel SWCS WEPP/WEPS Symposium. Ankeny, IA, 1995.

[11] Retta A, D Armbrust V. WEPS technical documentation [P]: crop submodel. SWCS WEPP/WEPS Symposium. Ankeny, IA, 1995.

[12] Williams J R, Jones C A, Dyke P T. The EPIC Model. An Erosion/ Productivity Impact Calculator: 1. Model Documentation. Sharply A N, Williams J R. (eds.) USDA Tech. Bulletin No. 1768. 1990, 1 235.

[13] Shaw R H, Periera A R. Aerodynamic roughness of a plant canopy: A numerical experiment [J]. Agric. Meteorol, 1982, 26: 51– 65.

[14] Steiner J L, Schomberg H H, Unger P W. WEPS technical documentation [P]: residue decomposition submodel. SWCS WEPP/WEPS Symposium. Ankeny, IA, 1995.

[15] Wagner L E, Ding D. WEPS technical documentation [P]: management submodel. SWCS WEPP/WEPS Symposium. Ankeny, IA, 1995.

[16] Hagen L J. WEPS technical documentation [P]: erosion submodel. SWCS WEPP/WEPS Symposium. Ankeny, IA, 1995.

播种、收获、灌溉、施肥、焚烧秸秆及放牧等。每项操作的一系列物理过程在管理子模型内被模拟,这些物理过程包括:①土壤处理(土壤团聚体大小分布的变化、土壤孔隙度变化、土层内作物残余物与土壤的混合以及土层倒置);②表面改变(决定地表定向糙度的土垄土堤的产生与破坏、地表随机糙度的变化以及地表结皮的破坏);③生物量操作(埋藏作物残余物、重铺作物残余物、收割直立作物残余物、平铺直立作物残余物、杀死作物、移去残余物);④土壤改良(施肥、种植及灌溉)。

6 侵蚀过程模拟

根据当时地表粗糙度(定向糙度及随机糙度)、平铺及直立生物量、土壤团聚体大小分布、结皮及岩石覆盖状况、结皮表面松散可蚀性物质状况及土壤表面湿度,侵蚀子模型判断风蚀是否发生^[16]。如果 10 m 高处日最大风速达到 8 m/ s、积雪厚度小于 20 mm,每小时数次评价地表状况以确定是否会发生风蚀。侵蚀子模型的模拟过程执行下列操作:①根据地表空气动力学粗糙度计算摩阻流速;②计算静态临界摩阻流速;③计算每个格栅点的土壤流失量或沉积量;④及时更新土壤表面变量,以反映风蚀造成的土壤表面状态变化。