

旱地保护性耕作土壤风蚀模型研究^{*}

臧英¹, 高焕文²

(¹ 华南农业大学工程学院, 广东 广州 510642; ² 中国农业大学工学院, 北京 100083)

摘 要: 在分析国外风蚀模型资料的基础上, 建立了适用于保护性耕作的风蚀模型。该模型以小时为步长, 根据气象数据、地表土壤水分、秸秆残茬覆盖率及地表粗糙度, 模拟不同耕作体系下农田土壤风蚀流失量情况; 针对保护性耕作的特点, 考虑到残茬覆盖对土壤含水量和地表粗糙度的影响; 通过田间风蚀测定数据的验证, 证明所建立的保护性耕作风蚀模型的模拟值与实测值比较吻合。

关键词: 保护性耕作; 土壤风蚀; 模型
中图分类号: S 157. 1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2006) 02-0001-07

为解决北方干旱缺水、产量低而不稳、水土流失严重、沙尘暴猖獗等问题, 从 20 世纪 90 年代初开始, 我国科技工作者在国家和农业部有关科研项目支持下, 比较系统地开展了保护性耕作的试验研究。在保护性耕作研究中, 除了进行长期定位试验研究外, 利用计算机模型模拟不同保护性耕作体系下的土壤—作物系统效应, 便于总结试验成果, 为研究成果的推广应用提供辅助工具。

一些发达国家已经在作物模型、水土模型及保护性耕作模拟方面做了长期大量的工作, 将水文模型与作物系统模型结合在一起, 建立了一些综合性的模拟模型, 用来模拟保护性措施对农业生产持续性的影响, 如美国的 WEPS 模型、EPIC 模型和澳大利亚的 PERFECT 模型^[1~3]。王晓燕在保护性耕作与水蚀模型方面做了初步研究^[4]。但目前关于保护性耕作措施条件下的风蚀模型方面的研究在国内还是空白。

本文在分析国外模型资料的基础上, 针对保护性耕作生产系统的特点, 模型主要考虑受残茬覆盖影响较大的地表粗糙度、土壤含水量等风蚀影响因素, 建立了适合于分析保护性耕作风蚀防治效应的模型。

1 模型建立

1.1 流失量数值计算

风蚀是发生在大范围的地表状况下的过程。为了确定不同地表的侵蚀率, 本模型将整个侵蚀过程简单地分割成由风力或跃移颗粒作用下疏松土壤

(直径 < 2 mm) 的直接扬起与跃移和蠕移颗粒被截留两个独立的侵蚀过程。本研究的目标是估算不同耕作体系下风蚀流失量, 以线风蚀流失强度作为风蚀流失量的测度对象, 建立一维模拟区域内土壤风蚀质量守恒方程, 表示如下^[5, 6]:

$$\frac{dq}{dx} = G_e - G_t \tag{1}$$

式中, q —水平风蚀土壤流量[kg/(m·s)]; x —沿风向从模拟区域非侵蚀边界到下风口距离(m); G_e —疏松土壤的净扬起量[kg/(m²·s)]; G_t —跃移颗粒被截留量[kg/(m²·s)]。

疏松土壤的净扬起量不仅受到地表覆盖的影响, 同时也受到地表粗糙度的影响, 其表达式如下^[7]:

$$G_e = C_e(q_e - q) \tag{2}$$
$$C_e = 0.06 \left\{ 0.075 + 0.934 \exp \left[- \frac{C_{cov}}{0.149} \right] \right\} \tag{3}$$
$$[(1 - F_{cov}) \exp(-2.5Z_a)] \tag{3}$$
$$q_e = 0.4u_*^2(u_* - 0.8u_{*t}) \tag{4}$$

式中, C_e —扬起系数(1/m); q_e —模拟区域最大的扬起土壤量[kg/(m·s)]; C_{cov} —地表残茬覆盖率(%); F_{cov} —由团聚体、地表壳和石块覆盖而不会产生扬沙的地表所占百分比; Z_a —模拟区域空气动力学粗糙度(mm); u_* —模拟摩阻速度(m/s); u_{*t} —地表临界摩阻速度(m/s)。

对于给定的地表状况, 只要土壤释放量超过风的输送量, 则跃移和蠕移颗粒运动量就会下降。另外, 当挟带沙尘的风穿过粗糙地表时, 大部分土壤颗

^{*} 收稿日期: 2005-10-28
基金项目: 科技部农业科技成果转化资金项目(02EFN 216900734)
作者简介: 臧英(1973—), 女, 山东诸城人, 博士后, 主要从事农业机械化研究。E-mail: yingzang@sina.com
(C) 1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

粒仍随风运动,但有部分的跃移和蠕移土壤颗粒被地表覆盖物(土块,石块和倒伏残茬等)和直立残茬截留。其截留量计算式为^[7, 8]:

$$G_t = C_t \left(1 - \frac{q_c}{q_e} \right) q + C_i q \quad (5)$$

$$C_i = \frac{SAI}{H_{res}} = \frac{nDH_{res}}{H_{res}} = nD \quad (6)$$

$$C_t = 0.033 \frac{SZ_{rr}}{u_*^2} \quad (7)$$

$$q_c = 0.4 u_*^2 \left\{ u_* - 0.8 \left[1.7 - 1.35 \exp \left(-0.4 \frac{1}{-0.076 + 1.111 / Z_a} \right) \right] \right\} \quad (8)$$

式中, C_i —直立残茬的截留系数(1/m); n —单位面积的茎秆数; D —茎秆直径(mm); H_{res} —茎秆高度(mm); C_t —地表覆盖物造成的粗糙地表的截留系数(1/m); q_c —跃移和蠕移的输送能力[kg/(m·s)]。

1.2 控制部分

摩阻速度的大小是决定土壤风蚀发生与否的重要因素。只有当摩阻速度超过临界摩阻速度时,地表才发生土壤风蚀现象。

1.2.1 摩阻速度 摩阻速度主要受模拟区域空气动力学粗糙度的影响。风蚀观测过程中,由于条件有限,不可能在每一模拟区域内安装气象观测站。由于气象观测点与模拟区域之间的环境存在差异,空气动力学粗糙度也就不同,因此在两环境下的摩阻速度也必将存在一定差异。为了便于将气象观测站的风速直接用于模拟区域风蚀研究,对气象观测点的摩阻速度进行了修正。

研究表明^[9],在近地 100m 高度内,风速随高度的变化符合对数关系,故气象观测点的摩阻速度可表示为^[7, 10]:

$$u_{*w} = \frac{0.4u}{\ln \left(\frac{Z}{Z_0} \right)} \quad (9)$$

式中, u —风速观测高度 Z 处实测风速值(m/s); Z_0 —气象观测点的空气动力学粗糙度(mm)。

地表无直立残茬时,模拟区域摩阻速度为:

$$u_* = u_{*w} \left(\frac{Z_a}{Z_0} \right)^{0.067} \quad (10)$$

地表有直立残茬时,模拟区域摩阻速度为:

$$u_* = u_{*w} \left(\frac{Z_a}{Z_0} \right)^{0.067} \times \left[0.86 \exp \left(\frac{-nDH_{res}}{0.0298} \right) + 0.025 \exp \left(\frac{-nDH_{res}}{0.356} \right) \right] \quad (11)$$

1.2.2 临界摩阻速度 临界摩阻速度的大小体现地表土壤可蚀性程度,其主要受地表粗糙度、石块和地表壳覆盖、残茬覆盖、地表团聚体大小和密度以及

地表土壤湿度的影响。在国内已有的风蚀模型中,考虑了地表壳、石块和 $> 2\text{mm}$ 的团聚体覆盖对风蚀的影响,没有考虑残茬覆盖,本模型全面考虑了这些因素对土壤风蚀的影响。

裸露的地表,临界摩阻速度主要考虑到地表覆盖(壳、石块和 $> 2\text{mm}$ 的团聚体)和地表粗糙度的影响,计算式为^[11, 12]:

$$u_{*tB} = 1.7 - 1.35 \exp \left[\frac{-\frac{F_{cov}}{-0.076 + \frac{1.111}{Z_a}}}{-0.076 + \frac{1.111}{Z_a}} \right] \quad (12)$$

(1) 覆盖的影响 由于残茬覆盖可以进一步减少裸露的地表面积,对其下伏的土壤颗粒起到保护作用,从而增加了地表的抗风蚀能力。临界摩阻速度增加量与地表残茬覆盖率之间的关系为^[13]:

$$u_{*tR} = 0.034 \times (1 - F_{cov}) \times C_{cov} \quad (13)$$

式中, u_{*tR} —由残茬覆盖引起的临界摩阻速度变化量(m/s); Sallaway^[14]通过试验得出裸露地表所占百分比与地表残茬覆盖量之间呈负指数关系,本研究通过田间试验测定,证实了这一结论,并得出适合丰宁地区春麦作物的地表残茬覆盖率 C_{cov} 与残茬覆盖量 $P_{res}(\text{t/hm}^2)$ 关系如下:

$$C_{cov} = 10 \left[1 - 0.9803 \exp(-1.16 P_{res}) \right] \quad (14)$$

由于河北坝上高原属于半干旱地区,降雨量少,故残茬的腐解过程对地表残茬覆盖量的影响不大,所以本模型中未考虑残茬覆盖的腐解过程,主要考虑耕作对地表残茬覆盖量的影响,借鉴 PERFECT 中的“残茬耕作子模型”,并根据丰宁坝上的试验测定,标定不同机具作业对残茬覆盖率的影响(如表 1 所示),用于定量分析不同的耕作体系对土壤风蚀的影响。

(3) 土壤含水量的影响 土壤湿度直接影响着土壤的抗风蚀能力,土壤在湿润状态下凝聚力强,不易发生风蚀。Saleh 和 Fryrear^[15]研究表明随着地表含水量的增加,临界摩阻速度增加,其增加量与土壤含水量之间呈线性关系。本研究针对试验区典型砂壤土,通过风洞试验建立了临界摩阻速度增加量与含水量之间的定量关系(如图 1 所示):

$$u_{*tW} = 1.1492\theta + 2.7117 \quad (15)$$

式中, u_{*tW} —由土壤含水量变化引起的临界摩阻速度的变化量(m/s); θ —地表(0~5cm)土壤含水量。

则经土壤含水量和残茬覆盖修正的地表临界摩阻速度 u_{*t} 为:

$$u_{*t} = u_{*tB} + u_{*tR} + u_{*tW} \quad (16)$$

表 1 不同耕作机具对地表残茬覆盖的影响
Table 1 Effect of tillage machinery on straw mulch

机具 Machinery	铧式犁翻耕 Moldboard plough	浅松 Shallow tillage	圆盘耙 Disc harrow	深松 Subsoiling	免耕 No tillage	冬季休闲 Winter fallow
覆盖的减少率(%) Coverage decrease	100*	26	30*	20*	0	35*

* 为丰宁坝上测试结果;Experiment results in Fengning, Hebei.

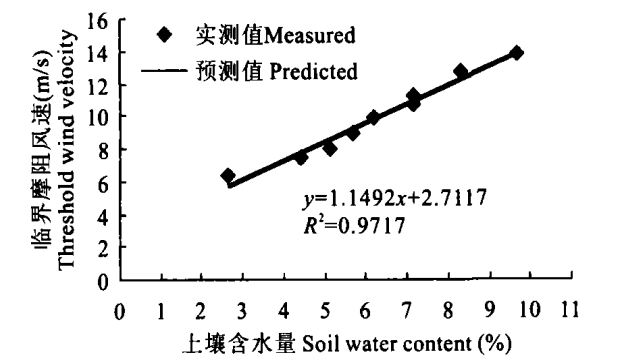


图 1 临界摩阻风速与土壤含水量的关系
Fig. 1 Relationship between threshold wind velocity and soil water content

1.3 影响风蚀的因素

1.3.1 土壤含水量 旱地农田的主要供水项为降水,主要支出项为地表径流和蒸散,连续日土壤水分平衡方程如下所示:

$$sw_i - sw_{i-1} = P - ET - Q - D \quad (17)$$

式中, sw_i 和 sw_{i-1} 分别为第 i 日和第 $i-1$ 的土壤含水量 (mm); P - 降水量 (mm); ET - 蒸散量 (mm); Q - 径流量 (mm); D - 渗漏量 (mm)。

对于土壤风蚀研究来说,土壤-大气界面的土壤湿度是直接影响土壤可蚀性的重要因子。由于降雨大到可以产生径流时,不可能有风蚀出现,所以研究风蚀时可以不考虑地表径流。此外,河北坝上地区年降水量较少,属于半干旱地区,渗漏量约为零,因此降水和土壤蒸散决定着地表的干湿程度。针对保护性耕作的特点,本模型主要考虑地表残茬覆盖对地表蒸发的影响。

(1) 潜在蒸散量

蒸腾蒸发(蒸散)计算一般包括潜在蒸散和实际蒸散,实际蒸散又可以分为地表蒸发和作物蒸腾两部分。本文主要考虑一年一熟地区冬春季严重的土壤风蚀时期,因此实际蒸散只包含地表蒸发,而且主要决定于大气的物理状况、土壤物理状况和水文特性。

本文选择 Van Bavel^[10]修正的 Penman 公式计算潜在蒸散量,主要是因为该方程中不包含经验常数或函数,只要求输入每天的平均气温、最高气温、

最低气温、相对湿度、太阳辐射量和风速等气象资料,这些数据可以从气象站获得。而且 Jensen 通过大量的试验研究证明,该方法最适用于干旱、半干旱地区潜在土壤蒸散量的估计^[17],表达式为:

$$ET_p = \frac{\Delta H / L + \lambda(e_s - e_a)}{(\Delta + 1)} \quad (18)$$

式中, ET_p - 潜在蒸散量 (mm/d); L - 水汽化潜热 (MJ/kg); Δ - 饱和水汽压随温度变化的曲线斜率 (kPa/°C); e_s, e_a - 分别为高度 z 上的饱和与实际水汽压 (kPa); λ - 紊流扩散系数 [kg/(m² · kPa · d)]; H - 地表辐射能量 [MJ/(m² · d)]。

(2) 土壤蒸发

土壤潜在蒸发与潜在蒸散、土壤含水量及地表面的覆盖情况有关。土壤潜在蒸发是在农田潜在蒸散的基础上考虑作物覆盖与残茬覆盖的影响而得。本模型主要估算发生土壤风蚀高峰期冬春季的风蚀土壤流失量,该地区为一年一熟作物种植区,根据田间实际测得在春季地表秸秆覆盖可以减少地面温度 1℃ ~ 2℃,从而减少了地表蒸发,因此对于保护性耕作,土壤潜在蒸发主要考虑地表残茬覆盖的影响。研究表明,秸秆覆盖可明显地降低土壤水分蒸发,且二者之间呈明显的负相关关系:

$$EP = ET_p e^{(-0.1436 P_{res})} \quad (19)$$

式中, P_{res} - 地表残茬覆盖量 (kg/hm²)。

当土壤中水分充足时,地表土壤水分蒸发通常以潜在的蒸发率进行。当土壤中水分不充足时,假设自下层进入最上模拟层的土壤水量超过潜在的土壤蒸发量,则认为土壤实际蒸发等于潜在的土壤蒸发率;如果进入最上模拟层的土壤水量小于潜在的土壤蒸发量,则根据最上一层土壤有效水估计潜在的土壤蒸发率,其表达式为:

$$\begin{aligned} EA &= EP \quad A_w \geq 0.7 \\ EA &= EP \times (A_w / 0.7) \quad 0 \leq A_w < 0.7 \\ EA &= 0 \quad A_w < 0 \\ A_w &= \frac{\theta - \theta_r}{\theta - \theta_r} \end{aligned} \quad (20)$$

其中, EA - 实际土壤蒸发 (mm/h); A_w - 地表土壤中实际有效水分与最大有效水分之比; θ - 凋萎含水率 (体积%); θ_r - 田间持水率 (体积%); θ - 地表

土壤含水率(体积%)。

(3) 土壤水分再分配

达西定律和质量守恒原理是土壤水分运动所遵循的基本规律,田间土壤水分运动,可近似为一维垂直向的流动,则基于达西定律估算土壤水再分配的流量方程为^[18~20]:

$$Q_i = (h_i - 1 - h_i) \times K \times T / D \quad (21)$$

式中, Q_i —时间单位面积通过的水流量(m); h —土壤水头(m); K —土壤导水率(m/s); T —时间步长(s); D —土壤水在邻近土层间流动的距离(m)。

根据质量守恒原理,土壤水分平衡方程为:

$$W_i = WI_i + Q_{ni} \quad (22)$$

$$\theta = W_i / T_i \quad (23)$$

式中, W_i —第*i*层土壤湿度(mm); WI_i —第*i*层初始土壤湿度(mm); Q_{ni} —流入第*i*层的实际水量(mm); θ —第*i*层土壤含水量(m^3/m^3); T_i —第*i*层层厚(mm)。

1.3.2 空气动力学粗糙度 空气动力学粗糙度主要受垄、地表覆盖(包括土块、石块和倒伏残茬等覆盖)和直立残茬的影响。本试验地是以平作方式种植为主,所以本模型以地表覆盖和直立残茬两影响因素计算空气动力学粗糙度。

(4) 地表覆盖的影响

地表覆盖对空气动力学粗糙度的影响体现在随机粗糙度的大小,随机粗糙度受许多因素的影响作用,比如耕作、降雨量、径流以及土壤质地等。研究表明^[19],降雨量和耕作是对随机粗糙度影响最大的两因素。本模型也主要考虑这两个因素,由地表覆盖物影响的空气动力学粗糙度为:

$$WZ_{rr} = 15 \exp \left[\frac{2 \ 1546 - \frac{14 \ 44}{2 \ 3 \ SZ_{rr}}}{SZ_{rr}} \right] \quad (24)$$

式中, SZ_{rr} —当前的随机粗糙度,是指初始随机粗糙度(SZ_{rr0})经累积降雨(P_c)冲刷和覆盖影响的随机粗糙度值,表达式为:

$$SZ_{rr} = \exp \left[1 - \left(\frac{(1 - 0.4 C_{cov}) P_c}{A} \right)^q \right] SZ_{rr0} \quad (25)$$

$$A = 91.08 + 765 F_{sil}$$

$$C = 0.53 + 4.66 F_{sand} - 3 F_{sand}^{1.5} - 1.22 F_{sand}^{0.5}$$

式中, F_{sil} 、 F_{sand} —分别为表土层(0~5 cm)中粘土和砂土含量。

研究表明不同耕作机具对随机粗糙度影响程度不同,表 2 给出不同耕作机具对随机粗糙度影响程度的经验值^[4, 21, 22]。

表 2 不同耕作机具对地表粗糙度的影响

Table 2 Effect of tillage machinery on ground roughness

机具 Machinery	铧式犁翻耕 Moldboard plough	浅松 Shallow tillage	圆盘耙 Disc harrow	深松 Subsoiling	免耕 No tillage	冬季休闲 Winter fallow
地表粗糙度 Ground roughness	1.0	0.6	0.8	0.2	0	0

(3) 直立残茬的影响

直立残茬对空气动力学粗糙度的影响体现在残茬的叶和茎对风的阻碍作用,由于直立残茬的存在将明显提高零风速的高度即增加空气动力学粗糙度。本试验区秋季联合收割机收割小麦一般留茬较低,因此直立残茬对空气动力学粗糙度的影响,主要表现在无叶茎秆对空气动力学粗糙度的影响,其表达式为:

$$WZ_v = \frac{4H_{res}}{A - \frac{B \ln(nDH_{res}) + C}{nDH_{res}}} \quad (26)$$

其中, $A = 28.41 - 3.72 \ln D$; $B = -3.052 + 0.6 \ln D$; $C = -8.33 + 1.54 \ln D$; n 、 D 、 H_{res} 如前所述。

由于有直立残茬时,直立残茬对空气动力学粗糙度的影响远大于地面覆盖的影响,所以在本模型中: $Z_a = WZ_{rr}$ 无直立残茬时

$$Z_a = WZ_v \quad \text{有直立残茬时} \quad (27)$$

2 模型初步验证

本文利用在河北省丰宁县鱼儿山镇保护性耕作土壤风蚀测试的结果,对所建立的旱地保护性耕作风蚀模型进行了检验。

2.1 模型运行的准备

模型要求输入的数据包括:气象数据、耕作管理措施、土壤参数、模拟区域地理位置和模拟初始土壤含水量。

2.1.1 气象数据 气象数据包括日平均气温、日最高气温、日最低气温、日相对湿度、日太阳辐射、日平均风速、小时平均风速、小时风向和小时平均降雨。上述气象数据均由气象站获得。

2.1.2 耕作管理措施 不同的耕作管理体系是由一套耕作管理措施构成的,例如耕作日期、所用机具及残茬处理等。这些措施影响了地表残茬覆盖量、地表粗糙度、地表土壤团聚体结构及土壤含水量等,因

而可根据风蚀模拟结果评价不同耕作体系防止风蚀的效应。这是本模型的主要目的。

2 1 3 土壤参数 土壤参数包括土壤水分常数、土

壤机械物理组成、容重和土壤反射率等。

(1) 土壤水分常数包括凋萎含水量、田间持水量和饱和含水量, 田间实测数据如表 3 所示:

表 3 土壤水分常数(%)
Table 3 Soil water constant

处理方式 Treatment	凋萎含水率 Withered water content		饱和含水率 Saturated water content		田间持水率 Field water capacity	
	重量含水率 Water content (w/w)	体积含水率 Water content (v/v)	重量含水率 Water content (w/w)	体积含水率 Water content (v/v)	重量含水率 Water content (w/w)	体积含水率 Water content (v/v)
传统耕作 Traditional tillage	2 35	3 01	31 9	40 83	17 89	22 90
免耕覆盖 No tillage and mulch	2 27	3 06	33 3	44 96	18 03	24 34

(2) 土壤机械物理组成和容重田间实测数据如表 4 所示:

表 4 土壤机械物理组成和容重
Table 4 Soil physical characters and bulk density

处理方式 Treatment	颗粒含量百分数(粒径:mm) Percentage of particles (particle size: mm)						容重 Bulk density (g/cm ³)
	1~ 0 25	0 25~ 0 05	0 05~ 0 01	0 01~ 0 005	0 005~ 0 001	< 0 001	
传统耕作 Traditional tillage	23 04	55 87	8 35	3 13	1 05	8 56	1 23
免耕覆盖 No tillage and mulch	21 21	51 2	12 64	4 21	2 1	8 64	1 44

(3) 土壤裸地反射率 γ 变化范围为 0 10 (干燥、有机质含量高、黑色、粘重土壤) 到 0 30 (砂地), 当土壤含水量增加时, γ 略微减小。所试土壤为细砂壤土, 有机质含量低于 2%, 则 γ 值为 0 15。

2 1 4 模拟区域地理位置及地表状况 模拟区域地理位置主要包括模拟区的海拔、经度、纬度及子午线等。试区海拔 1 500 m、经度 115°、纬度 41°。子午线是基于地球每小时旋转 15° 计算出来的, 将地球分成不同时间带, 每一时间包含 15° 经度, 东边的边界即为标准子午线。对于中心地带从西经 90° 到 105° 的时间带的子午线为 90°, 本初子午线为 0°。根据上述确定方法, 本试区子午线为 105°。

地表状况主要包括随机粗糙度、地表残茬覆盖量等。目前随机粗糙度多采用计量钉的方法测定。作者基于计量钉的测量原理, 采用两相交直线先确定一个水平面, 然后测量线上各标记处地表距已知水平面的垂直距离, 最后计算出标准差, 根据定义其值即为该试区的随机粗糙度。传统耕作和保护性耕作处理试区随机粗糙度实际测量结果分别为 14 9 mm 和 28 5 mm。

地表残茬覆盖量测定采用一个 1 m × 1 m 的方框, 在供测试的地块, 按照“S”形, 选择 10 个点, 将方框摆放在地表, 拣出方框内的全部秸秆(不要土下面的根茬), 将秸秆烘干, 称重, 10 点秸秆称重平均后

即为单位面积秸秆覆盖量(t/hm²)。保护性耕作处理试区地表残茬覆盖量实际测量结果为 0 61 t/hm²。

2 1 5 土壤初始含水量 以 2002 年 3 月 23 日开始田间风蚀观测试验为起点进行模拟, 取当时实测的土壤含水量为土壤水分模拟的初始值。

2 2 风蚀模型验证

根据 2002 年 3 月 23 日至 4 月 30 日期间田间风蚀观测及风蚀模拟结果, 验证风蚀模型的模拟效果。不同处理土壤流失量逐日预测值与实测值的比较如图 2 所示, 统计关系如图 3 所示。从图中可以看出保护性耕作与传统耕作的土壤流失量预测值与实测值吻合的比较好, 相关系数为 0 94, 斜率在 0 85 左右、预测值与实测值比值在 1 15 左右, 均接近于 1。

3 结 语

针对农田土壤风蚀, 建立了保护性耕作土壤风蚀模型, 以小时为步长, 根据气象数据、地表土壤水分、秸秆残茬覆盖率及地表粗糙度, 模拟不同耕作体系下农田土壤风蚀流失量情况, 为评价不同保护性耕作措施对土壤风蚀的防治效应提供了依据。

国外的农田风蚀预报模型一般考虑秸秆残茬覆盖率及地表粗糙度两个因素, 本模型在此基础上增加了可明显增加地表抗蚀性的因素地表土壤水分对

风蚀的影响。

通过田间风蚀测定数据的验证,证明所建立的保护性耕作风蚀模型的模拟值与实测值比较吻合。从模拟效果来看,本文针对保护性耕作技术特点所

设计的风蚀模型是成功的。由于只有 1a 的试验数据,对模型的验证与评价还只是初步的,尚需要进一步验证。

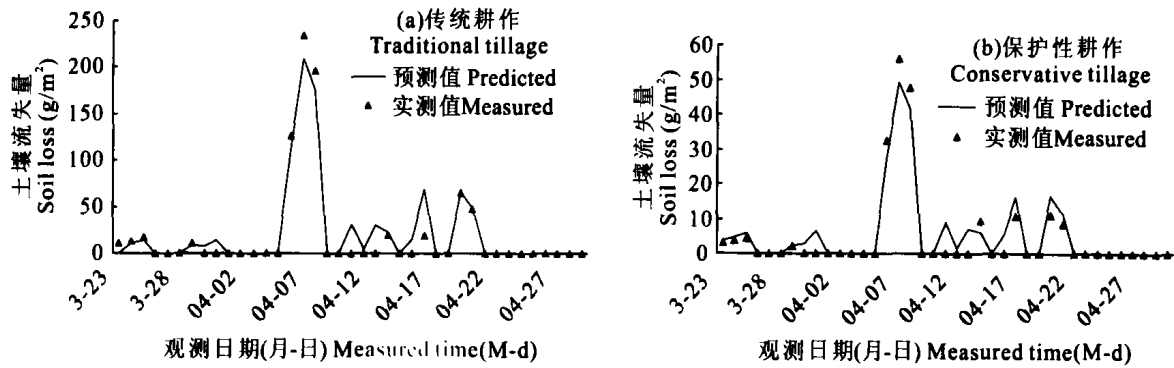


图 2 土壤流失量预测值与实测值比较

Fig. 2 Contrast between simulated and observed value of soil loss

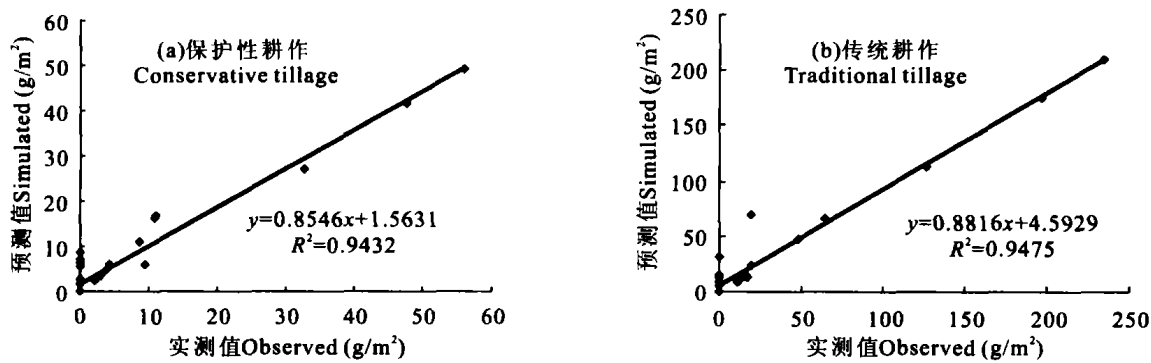


图 3 土壤流失量模拟值与实测值的关系

Fig. 3 Statistical relationship between simulated and observed value of soil loss

参考文献:

[1] L E Wagner. An overview of the wind erosion prediction system[R]. Kansas City, Missouri: Westin Crown Center, 1996

[2] J R Williams, C A Jones ,P T Dyke. A modeling approach to determining the relationship between erosion and soil productivity [J]. Transactions of the ASAE, 1984, 27(1): 129- 144

[3] Littleboy M, Silburn D M, Freebairn D M .PERFECT acompute simulation model of productivity erosion runoff functions to evaluate conservation techniques[R]. Brisbane, Australia: Queensland Department of Primary Industries, 1989

[4] 王晓燕. 旱地机械化保护性耕作径流与土壤水平衡模型试验研究[D]. 北京:中国农业大学工程学院, 2000

[5] L J Hagen, L E Wager , E L Skidmore. Analytical solutions and sensitivity analyses for sediment transport in WEPS [J]. Transactions of the ASAE, 1999, 42 6: 1715- 1721

[6] Stout J. Wind erosion within a simple field[J]. Trans Am Soc Agric Engin, 1990, 33 5: 1597- 1600

[7] Hagen L J. Crop residue effects on aerodynamic processes and wind erosion [J]. Theoretical and Applied Climatology, 1996, 54: 39- 46

[8] Hagen L J, D V Armbrust. Aerodynamic roughness and saltation trapping efficiency of tillage ridges [J]. Trans Am Soc Agric Engin. 1992, 35 4: 1179- 1184

[9] 翁笃鸣,陈万隆,沈党成,等. 小气候和农田小气候[M]. 北京: 农业出版社, 1981

[10] 朱朝云,丁国栋,杨明远. 风沙物理学[M]. 北京:中国林业出版社, 1992

[11] Hagen L J. Wind erosion; emission rates and transport capacities on rough surfaces [R]. St Joseph, MI : ASAE paper No. 912082

[12] Chepil W S, N P Woodruff. The physics of wind erosion and its control [J]. Adv in Agron, 1963, 15: 211- 302

[13] 刘玉璋,董光荣,李长治. 影响土壤风蚀主要因素的风洞实验研究[J]. 中国沙漠, 1992, 12 4: 41- 48

[14] Sallaway M M, Lawson D, Yule D F. Ground cover during fallow from wheat, sorghum and sunflower stubble under three

tillage practices in Central Queensland [J]. Soil and Tillage Research, 1989, 12: 347– 364

[15] Saleh A, D W Fryrear. Threshold velocities of wet soils as affected by wind blown sand [J]. Soil Science, 1995, 160: 304 – 309

[16] Van Bavel. Potential evaporation: the combination concept and its experimental verification [J]. Water Resource Research, 1966, 2 (3): 455– 467.

[17] Jensen M E. Consumptive use of water and irrigation water requirement [R]. New York: the Tech. Committee on Irrigation. Water Requirements, Irrigation and Drain. Div, Am Soc Civ Eng, 1974

[18] 雷志栋,杨诗秀,谢森传. 土壤水动力学[M]. 北京:清华大学出版社, 1988

[19] Hillel D. Computer simulation of soil water dynamics: a compendium of recent work [R]. Ottawa, Canada: International Development Research Centre, 1977.

[20] Saxton K E, P F Brooks, R Richmons et al. Users manual for SPAW -a Soil Plant Air Water Model[M]. Pullman, WA : USDA ARS in cooperation with Washington State Univ., 1984

[21] Ted M Zobeck, C A Onstad. Tillage and rainfall effects on random roughness: a review [J]. Soil and Tillage Research, 1987, 9: 1– 20

[22] Lane L J, M A Nearing. USDA water erosion prediction project: hill slope profile model documentation [R]. West Lafayette, USDA ARS NSERL Report No. 2

A model of soil erosion under conservation tillage

ZANG Ying¹,GAO Huan wen²

(¹ College of Engineering, South China Agricultural University,Guangzhou 510642, China;
² College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: Based on the analysis of models abroad, a model of soil erosion was set up to assess the impacts of conservation tillage practices in dry land areas of Northern China. Supplied with local soil and crop parameters and climate data, the model could simulate soil loss on hour basis to evaluate different conservation tillage system. According to the characteristics of conservation tillage, the effect of residual cover on soil water content and roughness was considered. The preliminary results of calibration and validation showed that the model could be used to simulate soil loss caused by wind erosion with high accuracy.

Key words: conservation tillage; soil erosion; model