

郭中领,常春平,王仁德. 使用有限风速数据计算 RWEQ 模型的风因子[J]. 江苏农业科学,2015,43(1):350-353.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.01.115

使用有限风速数据计算 RWEQ 模型的风因子

郭中领¹, 常春平¹, 王仁德²

(1. 河北师范大学资源与环境科学学院/河北省环境演变与生态建设省级重点实验室,河北石家庄 050024;

2. 河北省科学院地理科学研究所,河北石家庄 050011)

摘要:修正的土壤风蚀方程(revised wind erosion equation,RWEQ)被广泛应用于土壤风蚀预报,风因子是该模型的重要参数。RWEQ 将风蚀力定义为风因子(wind factor,Wf),RWEQ 最初要求使用逐小时风速数据计算 Wf。基于中国河北省康保县、拉伯克市两地长时间逐小时风速数据计算了月均、年均 Wf(Wf₂₄),并对比了由当地标准时间(local standard time,简称 LT)1 日 4 风速(02:00、08:00、14:00、20:00)计算的 Wf(Wf₄)。结果表明,对于康保县,Wf₂₄ 与 Wf₄ 符合得很好(年均 Wf₂₄ 与 Wf₄ 误差为 -2.60%),1 日 4 风速能够用于计算土壤风蚀量;对于拉伯克市,Wf₂₄ 与 Wf₄ 之间的误差相对较大(年均 Wf₂₄ 与 Wf₄ 误差为 11.16%),1 日 4 风速可用于评估不同农田管理措施的防风蚀效果;1 日 4 风速的其他组合、1 日 3 风速以及 1 日 2 风速等风速组合类型亦可以用于 RWEQ 模型。可以看出,站点风速的日变化特点是选取风速数据组合的重要影响因素。

关键词:土壤风蚀;风蚀力;风因子;风速

中图分类号: S157.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)01-0350-04

我国是世界上遭受风蚀最为严重的国家之一,对土壤风蚀进行定量预测预报是土壤风蚀研究的核心任务之一^[1]。为了准确计算土壤风蚀量,评价各种防风蚀措施,学者们先后提出了不同形式的土壤风蚀预报模型,比如区域尺度的 WEAM^[2]、IWEMS^[3]、AUSLEM^[4]等,以及田块尺度的 WEQ^[5]、WEPS^[6]等。其中,修正的土壤风蚀方程(revised wind erosion equation,RWEQ)被广泛应用于土壤风蚀预报^[7-10],该模型由美国农业部(USDA)农业研究服务(Agricultural Research Service)组织开发,它是一个基于过程模拟的经验性模型。RWEQ 模型能够成功模拟田间管理措施、不

同作物轮作对风蚀量的影响^[7]。风是 RWEQ 模拟风蚀的基本驱动力,风蚀力一般被用来描述风吹扬地表细粒物质的潜力。自从 Bagnold 开创性提出“风沙流的强度与风速的立方成正比”以来,许多学者先后提出大量不同形式的风蚀力表达式^[11-12]。RWEQ 表达风蚀力的具体形式为:

$$W = (U_i - U_c)^2 U_i. \quad (1)$$

式中:W 为风力值,m³/s³;U_i 为距离地面 2 m 处风速,m/s;U_c 为距离地面 2 m 处的临界起沙风速,m/s。RWEQ 模型将 U_c 设为定值 5.0 m/s,当风速低于 5.0 m/s 时,风力值为 0,无风蚀发生。RWEQ 模型定义平均风力值为风因子(wind factor,Wf),表达式为^[6]:

$$Wf = \sum_{i=1}^N \rho \frac{(U_i - U_c)^2 U_i}{gN}. \quad (2)$$

式中:Wf 为风因子值,kg/(m·s);ρ 为空气密度,kg/m³;g 为重力加速度,m/s²;N 为观测时段内记录风速的次数。

高质量的风速数据是准确计算 Wf 的必要条件。RWEQ 模型要求逐小时风速数据为输入参数。然而,自然界的风往往呈湍流状态,变化十分迅速。因此,风速观测中往往是记录并保存一些代表性时段的风速数据。保存风速数据的代表性

收稿日期:2014-02-20

基金项目:国家自然科学基金(编号:41330746);国家自然科学基金青年基金(编号:41301291、41101251);河北省自然科学基金青年基金(编号:D2014205063、D2013302034);河北省软科学重点项目(编号:13454213D);河北省科技计划(编号:13109);河北师范大学科研基金(编号:130531)。

作者简介:郭中领(1983—),男,河北巨鹿人,博士,讲师,主要从事土壤风蚀、可持续农业研究。E-mail:gzldhr@163.com。

[2]何永坤,郭建平. 1961—2006 年东北地区农业气候资源变化特征[J]. 自然资源学报,2011,26(7):1199-1208.

[3]Chavas D R,Izaurrealde R C,Thomson A M,et al. Long-term climate change impacts on agricultural productivity in eastern China[J]. Agricultural and Forest Meteorology,2009,149(6/7):1118-1128.

[4]Xiong W,Holman I,Lin E,et al. Climate change,water availability and future cereal production in China[J]. Agriculture Ecosystems & Environment,2010,135(1/2):58-69.

[5]刘实,王勇,缪启龙,等. 近 50 年东北地区热量资源变化特征[J]. 应用气象学报,2010,21(3):266-278.

[6]宋辞,裴韬,周成虎. 1960 年以来青藏高原气温变化研究进

展[J]. 地理科学进展,2012,31(11):1503-1509.

[7]王发科,祁贵明,郭晓宁,等. 柴达木盆地南缘农业界限温度的气候变化特征[J]. 干旱气象,2009,27(3):227-231.

[8]张连强,赵新平,欧阳宗继,等. 求算界限温度日期的一种新方法——样条函数插值法[J]. 地理学报,1993,48(1):70-74.

[9]杜军,胡军. 索朗欧珠. 西藏高原农业界限温度的变化特征[J]. 地理学报,2005,60(2):289-298.

[10]郭瑞鸽,刘寿东,杜筱玲. 江西气温稳定通过 10℃初日变化及其对双季早稻物候期的影响[J]. 中国农业气象,2011,32(1):12-16.

[11]韦玉春,陈锁忠. 地理建模原理与方法[M]. 北京:科学出版社,2005.

时段随着不同地域或者观测方法变化很大。比如美国政府主导的 Automated Surface Observing System (ASOS) 观测标准规定保存逐小时系列风速数据。世界气象组织建议将 10 min 风速数据作为标准风速。我国很多气象站点记录由当地标准时间(local standard time, 简称 LT) 1 日 4 风速数据(02:00、08:00、14:00、20:00)^[13-14]。本研究使用中国、美国 2 个典型风蚀严重地区的气象站点长时间序列的逐小时风速数据计算 RWEQ 模型的风因子,旨在为土壤风蚀研究提供依据。

1 材料与方法

本研究逐小时风速数据观测地点是美国德克萨斯州拉伯克市、中国河北省康保县。拉伯克市位于美国 Llano Estacado 平原,这一地区干燥多风,土壤风蚀问题非常严重。康保县位于我国农牧交错带东部的河北省坝上地区,是典型的风蚀治理区。拉伯克市、康保县的风速数据采集时间分别是 2001—2009 年、1992—2002 年,采集高度分别为 2、10 m。RWEQ 模型中, Wf 值直接用于风蚀通量的计算。首先使用逐小时和 1 日 4 风速数据(LT 02:00、08:00、14:00、20:00)计算拉伯克市(2001—2009 年)和康保县(1992—2002 年)两地的月平均及年平均 Wf 值,再对比分析 2 种风速数据 Wf 值的差别,进而确定 RWEQ 模型是否可以使用 1 日 4 风速数据。另外,笔者还分析了 1 日 3 风速、1 日 2 风速数据的情景,用 2 m 高度风速数据直接计算 Wf 值^[6]。由于本研究目的主要是对比不同风速数据类型风蚀力的差别,因此公式(2)所需的空气密度(ρ)、重力加速度(g)可分别设为 1.293 kg/m³、9.8 m/s²。使用相对误差来评估不同风速数据计算出的月平均及年平均 Wf 值的差别,相对误差公式为:

$$RE = (WE_{24} - WE_4) / WE_{24} \times 100\%。$$
 (3)

表 1 康保县、拉伯克市逐小时与 1 日 4 风速数据(LT 02:00、08:00、14:00、20:00)求得风因子值

时段	康保县			拉伯克市		
	Wf_{24} [kg/(m·s)]	Wf_4 [kg/(m·s)]	$Wf-RE$ (%)	Wf_{24} [kg/(m·s)]	Wf_4 [kg/(m·s)]	$Wf-RE$ (%)
1 月	0.704 4	0.665 0	5.60	0.919 9	0.931 0	-1.20
2 月	0.549 8	0.552 9	-0.55	1.226 3	0.984 7	19.71
3 月	1.364 6	1.300 6	4.69	1.394 7	1.245 2	10.72
4 月	1.936 4	1.999 7	-3.27	1.709 5	1.390 5	18.66
5 月	1.045 8	1.009 0	3.51	0.739 8	0.661 4	10.59
6 月	0.303 4	0.293 2	3.34	0.440 4	0.378 5	14.05
7 月	0.042 6	0.050 2	-17.65	0.022 5	0.023 0	-2.54
8 月	0.024 4	0.031 3	-28.43	0.009 9	0.004 1	58.56
9 月	0.332 1	0.293 7	11.58	0.049 9	0.025 9	48.17
10 月	0.532 2	0.659 0	-23.83	0.175 4	0.129 3	26.27
11 月	0.835 5	0.963 4	-15.31	0.529 4	0.518 0	2.14
12 月	0.683 7	0.754 4	-10.34	0.856 5	0.881 7	-2.95
年均值	0.696 2	0.714 4	-2.60	0.672 8	0.597 8	11.16

注: $Wf-RE$ 表示逐小时与 1 日 4 风速数据求得 Wf 值的相对误差。

上述分析表明,对于康保县,1 日 4 风速数据(LT 02:00、08:00、14:00、20:00)计算的风因子误差总体较小,可以用于 RWEQ 模型预测月均或年均风蚀量。对于拉伯克市,1 日 4 风速数据计算的风因子误差总体较大,这种误差会影响风蚀通量、风蚀量的预测精度。但当风速数据用于评估不同农田

式中: WE_{24} 为由逐小时风速数据计算得到的月均或年均 Wf 值; WE_4 为由 1 日 4 风速数据求得的月均或年均 Wf 值; RE 为 WE_{24} 与 WE_4 的相对误差。

2 结果与分析

如表 1 所示, Wf_{24} 为由逐小时风速求得的风蚀力值, Wf_4 为由 1 日 4 风速数据求得的风蚀力值。从 Wf_{24} 的各月分布来看,康保县 3、4、5 月的风蚀力最大,6、7、8 月的风蚀力最小。拉伯克市 2、3、4 月的风蚀力最大,7、8、9 月的风蚀力最小。 Wf_4 亦表现出类似的规律。对于康保县, Wf_{24} 、 Wf_4 的各月均值符合较好,大部分月份误差都介于 -20% 与 12% 之间,年均 Wf_{24} 、 Wf_4 误差仅为 -2.60%。8、10 月虽然误差绝对值较大,但风蚀力绝对值较小,故对全年风蚀力影响不大。拉伯克市 Wf_{24} 、 Wf_4 的各月均值偏离程度较大,风蚀力较大的 2、3、4 月的误差也都超过了 10%,年均 Wf_{24} 、 Wf_4 误差为 11.16%。RWEQ 模型在计算风蚀通量时需要直接用到 Wf 值。RWEQ 模型的最大输沙率方程基于单一风蚀事件风蚀方程, Wf 值是这个输沙通量方程的重要输入参数。RWEQ 模型线性回归的最大输沙通量方程为:

$$Q_{\max} = 109.8 \times (Wf \times EF \times SCF \times K' \times COG)。$$
 (4)

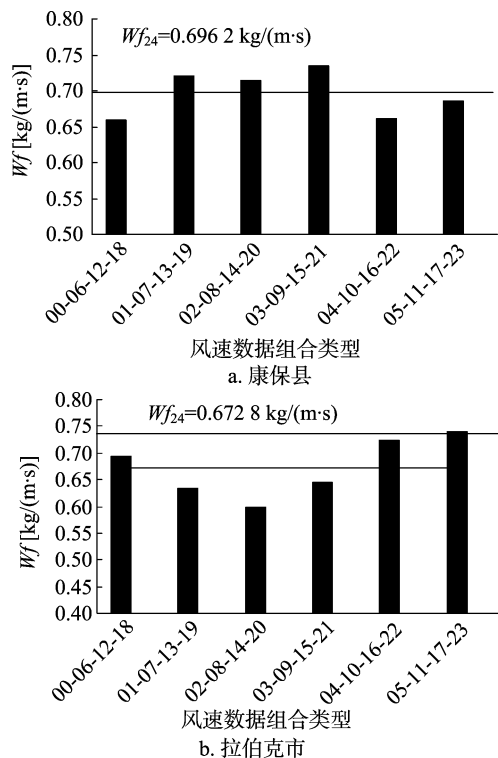
式中: Q_{\max} 为最大输沙率, kg/m; Wf 为风因子, kg/(m·s); EF 为土壤可蚀性; SCF 为土壤结皮因子; K' 为地表粗糙度因子; COG 为结合残茬因子。

从数量关系上来看,当确定了方程(4)的其他输入参数时,方程(4)的形式意味着 Q_{\max} 对 Wf 的响应是线性的。因此,若逐小时与 1 日 4 风速之间的 Wf 误差较小,则 RWEQ 预测风蚀量的误差也会较小。

管理措施的防风蚀效果,风蚀量数据仅作为相对数值进行比较时,使用 1 日 4 风速数据仍然是可行的^[15]。

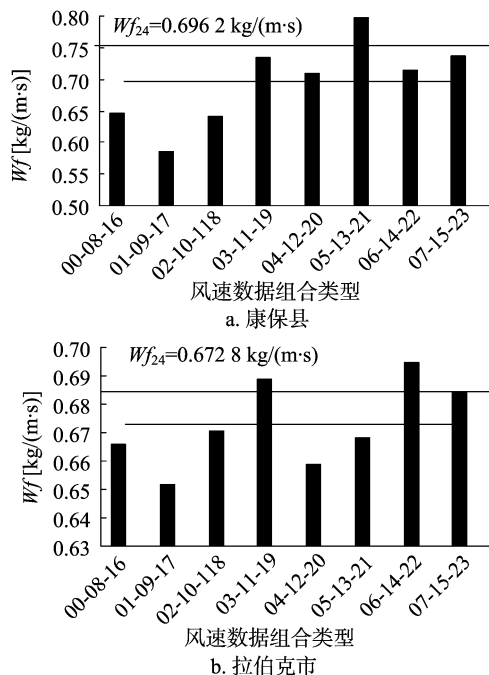
不同地点风速日变化差异说明,不同风速的组合类型会对风蚀力的估算产生影响。对于康保县,除了 LT 02:00、08:00、14:00、20:00 这个 1 日 4 风速数据组合外,LT 05:00、

11:00、17:00、23:00 的风速组合也能很好地预测风因子(图1-a)。对于拉伯克市,LT 00:00、06:00、12:00、18:00 和 LT 03:00、9:00、15:00、21:00 这 2 个风速组合均优于 LT 02:00、08:00、14:00、20:00 风速组合,是预测风蚀力的良好组合(图1-b)。如果采用 1 日 3 风速数据预测风蚀力,LT 04:00、12:00、20:00 与 LT 06:00、14:00、22:00 风速组合在康保县是可行的;LT 02:00、10:00、18:00 与 LT 05:00、13:00、21:00 风速组合在拉伯克市是可行的(图2)。如果仅采用 1 日 2 风速数据用于预测风蚀力,在康保县可以使用 LT 05:00、16:00 和 LT 11:00、22:00 风速组合(图3);在拉伯克市可以使用 LT 06:00、17:00 与 LT 11:00、22:00 风速组合。上述有限风速数据组合与逐小时求得的年均风因子误差均介于 -5% 与 5% 之间,可以用于 RWEQ 模型。逐小时与 1 日 4 风速数据求得的风蚀力差别应与风速日变化特点关系紧密。1 d 当中风速变化的典型模式为:一般上午风速最小,午后风速达到最大。白天风速往往比夜晚要大,出现侵蚀性大风的概率也大^[16-17]。本研究中,康保县最大风速一般出现在 LT 14:00,最小风速出现在 LT 04:00;拉伯克市最大风速一般出现在 LT 15:00,最小风速出现在 LT 06:00(图4)。RWEQ 模拟风蚀的步长从 1 d 到 1 年^[18]。因此,在使用有限风速数据对某一步长的风蚀力进行估算时,要充分考虑不同时间点风速数据的组合,既要选取白天的高风速数据,又不能忽视晚上的低风速数据。这种风速日变化的差异可能是导致 1 日 4 风速数据(LT 02:00、08:00、14:00、20:00)在康保县预测风蚀力误差较小而在拉伯克市误差较大的重要原因。如果使用 1 d 当中有限的风速数据进行风蚀力预测,要考虑该地风速日变化的特点。不同的地区风速日变化规律也不相同。



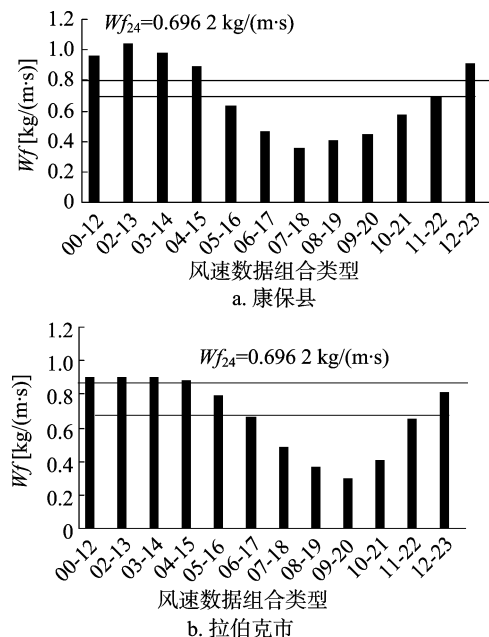
00-06-12-18表示00:00-06:00-12:00-18:00组合,依此类推

图1 康保县、拉伯克市不同1日4风速数据组合类型求得的年均 W_f 值



00-08-16表示00:00-08:00-16:00组合,依此类推

图2 康保县、拉伯克市不同1日3风速数据组合类型求得的年均 W_f 值



00-12表示00:00-12:00组合,依此类推

图3 康保县、拉伯克市不同1日2风速数据组合类型求得的年均 W_f 值

3 结论

本研究使用康保县、拉伯克市两地长时间逐小时风速数据,探讨了1日4风速、1日3风速、1日2风速等不同风速数据的组合类型是否能够估算 W_{f24} 值(风因子),进而用于 RWEQ 模型。结果表明,康保县 1 日 4 风速(LT 02:00、08:00、14:00、20:00 及 LT 05:00、11:00、17:00、23:00)、1 日 3 风速(LT 04:00、12:00、20:00 及 LT 06:00、14:00、22:00)及

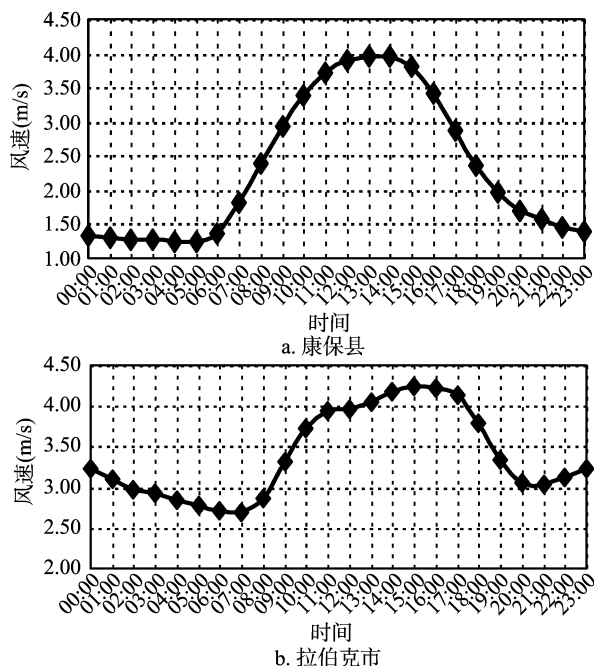


图4 康保县、拉伯克市2地多年平均逐小时风速日变化曲线

1日2风速(LT 05:00、16:00及LT 11:00、22:00)等风速组合能很好地预测 Wf_{24} 值。拉伯克市1日4风速(LT 00:00、06:00、12:00、18:00及LT 03:00、9:00、15:00、21:00)、1日3风速(LT 00:00、08:00、16:00及LT 07:00、15:00、23:00)及1日2风速(LT 06:00、17:00及LT 11:00、22:00)等风速组合可以很好地估算 Wf_{24} 值。总体而言,上述风速组合亦可以用于RWEQ模拟风蚀量数据。风速的日变化特点会影响风速数据组合的选取。

参考文献:

- [1] Shi P J, Yan P, Yuan Y, et al. Wind erosion research in China: past, present and future [J]. Progress in Physical Geography, 2004, 28 (3): 366 – 386.
- [2] Shao Y P, Raupach R, Leys J F. A model for predicting aeolian sand drift and dust entrainment on scales from paddock to region [J]. Australian Journal of Soil Research, 1996, 34 (3): 309 – 342.
- [3] Lu H, Shao Y P. Toward quantitative prediction of dust storms: an integrated wind erosion modelling system and its applications [J]. Environmental Modelling & Software, 2001, 16 (3): 233 – 249.
- [4] Webb N P, McGowan H A, Phinn S R, et al. AUSLEM (Australian

- Land Erodibility Model): a tool for identifying wind erosion hazard in Australia [J]. Geomorphology, 2006, 78 (3): 179 – 200.
- [5] Woodruff N P, Siddway F H. A wind erosion equation [J]. Soil Science Society of America Journal, 1965, 29 (5): 602 – 608.
- [6] Hagen L J, Wagner L E, Skidmore E L. Analytical solutions and sensitivity analyses for sediment transport in WEPS [J]. Transactions of the ASAE, 1999, 42 (6): 1715 – 1721.
- [7] Zobeck T M, Sterk G, Funk R, et al. Measurement and data analysis methods for field – scale wind erosion studies and model validation [J]. Earth Surface Processes and Landforms, 2003, 28 (11): 1163 – 1188.
- [8] Webb N P, McGowan H A. Approaches to modelling land erodibility by wind [J]. Progress in Physical Geography, 2009, 33 (5): 587 – 613.
- [9] Ravi S, D'odorico P, Breshears D D, et al. Aeolian processes and the biosphere [J]. Reviews of Geophysics, 2011, 49 (3): RG3001.
- [10] Guo Z L, Zobeck T M, Stout J E, et al. The effect of wind averaging time on wind erosivity estimation [J]. Earth, Surface Processes and Landforms, 2012, 37 (7): 797 – 802.
- [11] Greeley R, Iversen J D. Wind as a geological process on Earth Mars, Venus and Titan [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1985.
- [12] Dong Z B, Liu X P, Wang H T, et al. Aeolian sand transport: a wind tunnel model [J]. Sedimentary Geology, 2003, 161 (1/2): 71 – 83.
- [13] Liu Q J, Wagner L E. Building Chinese wind data for wind erosion prediction system using surrogate US data [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2013, 68 (4): 104A – 107A.
- [14] 张国平, 刘纪远, 张增祥, 等. 中国风蚀景观面积变化与地表风场强度的关系 [J]. 地理学报, 2002, 57 (1): 1 – 10.
- [15] Guo Z, Zobeck T M, Zhang K, et al. Estimating potential wind erosion of agricultural lands in northern China using the revised wind erosion equation and geographic information systems [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2013, 68 (1): 13 – 21.
- [16] Ephraïm J E, Goudriaan J, Marani A. Modelling diurnal patterns of air temperature, radiation, wind speed, and relative humidity by equations from daily characteristics [J]. Agricultural Systems, 1996, 51 (4): 377 – 393.
- [17] van Donk S J, Liao C, Skidmore E L. Using temporally limited wind data in the wind erosion prediction system [J]. Transactions of the ASABE, 2008, 51 (5): 1585 – 1590.
- [18] Fryrear D W, Wassif M M, Tadrus S F, et al. Dust measurements in the Egyptian northwest coastal zone [J]. Transactions of the ASABE, 2008, 51 (4): 1255 – 1262.