

RWEQ 模型中土壤结皮和可蚀性因子的改进和应用

巩国丽¹, 黄麟²

(1. 山西能源学院, 山西 太原 030006; 2. 中国科学院 地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: [目的] 将基于中国土壤粒径分级标准的土壤普查数据应用到 RWEQ 模型中, 旨在解决不同土壤粒径分级标准间土壤质地资料的转换问题。[方法] 利用对数正态分布模型进行土壤粒径转换, 并探讨该模型在描述内蒙古自治区、吉林省、陕西省等地区土壤粒径分布中的适用情况。[结果] 对数正态分布模型能够较好模拟土壤颗粒含量。土壤结皮因子和土壤可蚀性因子高值区均分布于中国北方风沙土区, 其次为寒钙土等地。[结论] 结皮可降低或增加土壤可蚀性, 未来研究的关键在于确定不同气候条件下, 引起地表结皮而将土壤风蚀可蚀性降到最低时的降雨量。

关键词: 土壤粒径; RWEQ 模型; 土壤结皮; 土壤可蚀性

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2018)02-0271-04

中图分类号: X192, S152

文献参数: 巩国丽, 黄麟. RWEQ 模型中土壤结皮和可蚀性因子的改进和应用[J]. 水土保持通报, 2018, 38(2): 271-274. DOI: 10. 13961/j. cnki. stbctb. 2018. 02. 044; Gong Guoli, Huang Lin. Improvement and application of soil crust and erodibility factors in RWEQ model[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(2): 271-274.

Improvement and Application of Soil Crust and Erodibility Factors in RWEQ Model

GONG Guoli¹, HUANG Lin²

(1. Shanxi Institute of Energy, Taiyuan, Shanxi 030006, China;

2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: [Objective] In order to solve the problems about transferring the existing data of soil texture between different standards, the soil census data based on Chinese soil particle size classification standard were applied to revise the wind erosion equation model(RWEQ). [Methods] This thesis tried to use the lognormal distributed model to convert the soil particle size and discussed the applicability and feasibility of lognormal distributed model in describing the character of soil particle distribution in Inner Mongolia Autonomous Region, Jilin Province, and Shaanxi Province, etc. [Results] The research result showed that lognormal distributed model can well simulate the content of soil particles. The regions with high soil crust factor and soil erodible fraction are those windy desert region in Northern China, followed by the regions with frigid calcic soils. [Conclusion] Soil crust factor can either decrease or increase erodible fraction in different cases. Determining rainfall amount that soil surface can crust and subsequently minimize the soil wind erodibility in different climate conditions should be the key to the future.

Keywords: soil structure; revised wind erosion equation model(RWEQ); soil crust factor; soil erodible fraction

土壤结皮一般分为生物性结皮与物理性结皮, 生物性结皮为由细菌、苔藓、藻类等低等生物与土壤相互作用在其表面形成的微层^[1-2], 在降低土壤侵蚀方面作用显著, 且抗旱性强, 在我国北方干旱半干旱区分布广泛^[3]。物理性结皮为在一定的降水滴溅等条件下, 地表土壤细小颗粒形成微层^[4], 物理性结皮能减小土壤风蚀, 但是该结皮易碎, 在一定程度上也易于增加土壤风蚀量^[5]。土壤可蚀性为土壤对风蚀破

坏作用的敏感性。

RWEQ(revised wind erosion equation model)模型的形成前提为牛顿第一定律, 即风力大于阻力(来自于植被、地表等的阻力)的前提下, 土壤颗粒在风力作用下发生位移。基于此前提, Fryrear 等^[6]在美国进行了大量试验, 得出了除气候条件, 植被状况和地表土壤粗糙度外, 充分考虑土壤可蚀性和土壤结皮的定量估算区域土壤风蚀量的经验模型——RWEQ 模

收稿日期: 2017-03-02

修回日期: 2017-06-19

资助项目: 国家“十二五”科技支撑计划课题“国家尺度生态系统监测与评估技术集成应用系统”(2013BAC03B00)

第一作者: 巩国丽(1985—), 女(汉族), 山西省平遥县人, 博士, 工程师, 主要从事土壤侵蚀方面的研究。E-mail: gongguoli00@163.com。

通讯作者: 黄麟(1981—), 女(汉族), 四川省宜宾市人, 博士, 副研究员, 硕士生导师, 主要从事生态系统综合评估方面的研究。E-mail: huanglin@igsnr.ac.cn。

型,但 RWEQ 模型中的土壤结皮和土壤可蚀性因子计算都需要用到土壤质地资料。然而,目前对土壤分级的标准不尽一致,RWEQ 模型的开发者使用的土壤质地资料为美国制,而中国土壤普查资料中土壤质地的分类系统为国际制。不同分类系统的土壤质地资料不能笼统代入结皮和可蚀性因子公式中进行计算。因此,探讨不同土壤粒径分级标准间土壤质地资料的转换问题具有重要意义。首先需要进行土壤质地转换^[7-12]。在对粒度转换方法的讨论上,郭中领^[13]对土壤分形模型、对数正态分布模型、Weibull 分布模型、逻辑生长模型等粒度转换方法进行了比较,结果表明对数正态模型与分形模型的预测精度最高,且对于预测小于 0.02 mm 的土壤累积百分比而言,分形模型拟合精度最高,但是分形模型的应用需要不少于 5 个的土壤颗粒百分比数据,而一般所能获取的土壤质地资料有限,通常仅有砂砾、粉砂和黏土的含量等。在此情况下,本文尝试利用对数正态分布模型,探讨其转换土壤质地资料的可行性。

1 数据与方法

(1) 修正土壤风蚀方程(RWEQ)。

$$Q_x = Q_{\max} [1 - e^{-\frac{x}{s}}]^2$$

$$Q_{\max} = 109.8(WF \cdot EF \cdot SCF \cdot K' \cdot COG)$$

$$s = 150.71(WF \cdot EF \cdot SCF \cdot K' \cdot COG)^{-0.3711}$$

式中: Q_{\max} ——最大沙通量; Q_x ——地块长度 x 处的

沙通量; s ——关键地块长度,土壤风蚀量是在气候因子 WF,土壤可蚀性 EF 和结皮因子 SCF,土壤粗糙度 K' 以及植被因子 COG 基础上估算而得^[6]。

气候因子 WF 是在充分考虑风、土壤湿度、降雪等条件的基础上利用下载(<http://cdc.cma.gov.cn>)的国家台站的日均风速、降水、温度、日照时数、纬度等以及下载(<http://westdc.westgis.ac.cn>)的中国雪深长时间序列数据集来计算完成^[14-15];不同土地覆被类型的土壤粗糙度因子 K' 计算方式不同。草地、沙地等的土壤粗糙度因子采用滚轴式链条法来测定^[16]。农田的土壤粗糙度按照不同作物类型与耕作方式根据 RWEQ 中的建议参数来确定^[6];植被因子 COG 则用像元二分法求取的植被覆盖度进一步获得^[17],数据来源于从 MODIS 官网下载的 NDVI。

Fryear 等^[18]建立以下方程来描述土壤可蚀性因子 EF 的值:

$$EF = (29.09 + 0.31S_a + 0.17S_i + 0.33S_a/C_l - 2.59OM - 0.95CaCO_3) / 100$$

式中: S_a ——土壤砂粒含量; S_i ——土壤粉砂含量; S_a/C_l ——土壤砂粒和黏土含量比;OM——有机质含量; $CaCO_3$ ——碳酸钙含量。

Hagen 等^[19]利用下列方程来计算土壤结皮因子 SCF 的值。

$$SCF = \frac{1}{1 + 0.0066(C_l)^2 + 0.021(OM)^2}$$

式中: C_l ——黏土含量;OM——有机质含量。

表 1 RWEQ 标准数据库中物质含量范围

物质名称	S_a	S_i	C_l	S_a/C_l	OM	$CaCO_3$
含量范围	5.5~93.6	0.5~69.5	5.0~39.3	1.2~53.0	0.18~4.79	0.0~25.2

利用土壤剖面数据和土壤图等进而获取包括土壤颗粒和有机质含量数据(空间分辨率为 1 km)的中国土壤特征数据集(<http://westdc.westgis.ac.cn>)^[20],利用全国 1:400 万土壤碳酸钙含量分布图(1980s)(<http://www.geodata.cn>)取得土壤碳酸钙含量。此外,模型对于土壤物质含量超出表 1 范围的使用模型推荐输入参数^[6](表 2)。

(2) 对数正态分布。假定土壤的累积粒径分布近似服从对数正态分布,对应于某一直径 D 的待估计累积质量百分含量 C 与其相邻的 2 个实测百分含量之间存在对数线性关系^[21],即:

$$C = C_1 + \frac{\lg D - \lg D_1}{\lg D_2 - \lg D_1} (C_2 - C_1)$$

式中: C ——对应于颗粒直径 D 的待估计的累积百分含量; C_1, C_2 ——对应于 2 个相邻直径为 D_1 和 D_2 ($D_1 < D < D_2$) 的实测百分含量。

表 2 RWEQ 模型内嵌适用的土壤资料

土壤质地 (美国制)	砂粒	粉砂	有机质	碳酸钙
砂土	93	4	0.3	1
壤砂土	84	10	0.5	2
砂壤土	64	26	0.5	3
砂黏壤土	59	13	1	3
砂黏土	52	7	1	3
粉砂土	6	88	1.5	3
粉壤土	21	67	1.5	3
壤土	41	41	1.5	3
粉黏壤土	10	56	2	3
粉黏土	6	47	2.5	3
黏壤土	32	34	2.5	3
黏土	20	20	3	3

(3) 土样测定及模型验证方法。随机采集土壤样品,对样品进行预处理,去除植被残余等杂质,平铺

混合风干后取 0.5 g 过 2 mm 筛,用激光粒度分析仪测定土壤粒度分布情况,仪器的重复测量误差 $<2\%$,测量范围为 0.002~2 mm。

利用实测结果获取 0.2, 0.05 和 0.02 mm 土壤粒径的累积百分含量。将 0.2 和 0.02 mm 土壤粒径累积百分含量数据代入对数正态分布模型中计算得出 0.05 mm 土壤粒径累积百分含量模拟值。

利用误差分析来验证模拟结果是否适用于中国北方地区,设用实测数据求得的结果为 f_s , 利用模型求得的结果为 f_m , 则两者的相对误差 R_E 由下列公式求出:

$$R_E = \left| \frac{(f_s - f_m)}{f_s} \right|$$

2 结果分析

2.1 模型验证

利用 2012 年在中国内蒙古自治区、吉林省、陕西省等地采集的 75 个土样实际测得的土壤理化性状与利用对数正态分布模型模拟结果进行对比分析。对对数正态分布模型的模拟结果(<0.05 mm 累积分布百分比)与实测结果比较得出在 0.05 mm 土壤颗粒累积百分比大于 65% 的情况下,模型模拟结果与实测值相较有所低估,在 0.05 mm 土壤颗粒累积百分比小于 60% 时,模型模拟结果与实测值相较有所高估,但总体来看模型模拟结果与实测值的相对误差小于 10%,相对误差最小值达到 0.29%,相对误差中位数为 0.53%。

2.2 土壤结皮和可蚀性因子的时空分布规律

研究区土壤结皮和可蚀性因子的计算结果如图 1—2 所示。

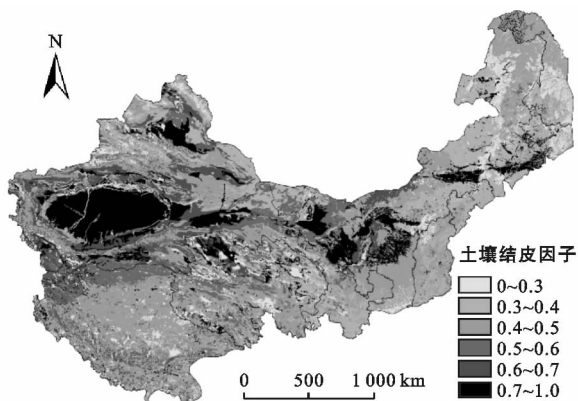


图 1 研究区土壤结皮因子分布

中国北方各大沙漠区风沙土的土壤结皮和可蚀性因子值均最高,其中土壤结皮因子达到 0.7 以上;内蒙锡林郭勒盟以西的棕钙土、淡棕钙土,新疆自治

区北部的盐土、棕漠土、棕钙土,西藏南部的寒冻土,青海省柴达木盆地西北盐壳等地的结皮因子达到了 0.6 以上;甘肃省中东部的灰棕漠土,内蒙西部的灰棕漠土、灰漠土、棕漠土以及青藏高原西北部的寒钙土、淡寒钙土等地的结皮因子值均在 0.5 以上;青藏高原大部分的寒钙土,黄土高原地区的黄绵土,三江源地区的草毡土、大兴安岭地区的棕色针叶林土等的植被结皮因子达到了 0.4 以上,其余地区的土壤结皮因子值较低。

可蚀性因子的最高值仍然分布于各大沙漠的风沙土区,其次为内蒙锡林郭勒盟的棕钙土区,青藏高原区的大部分寒钙土区,新疆的棕漠土区;再次为内蒙锡林郭勒盟的栗钙土区,三江源的寒钙土区;东北的棕色针叶林土,内蒙古中部地区的粗骨土、石质土等的土壤可蚀性因子值较低。

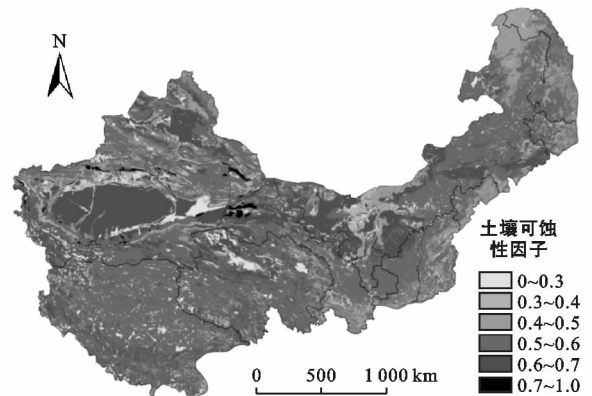


图 2 研究区土壤可蚀性因子分布

2.3 土壤结皮和可蚀性因子的相关关系

地表 25 mm 范围内粒径小于 0.84 mm 的土壤颗粒为可蚀性颗粒^[22]。当土壤表面受到降水影响时,土壤粒径会重新分布并在表面形成结皮,这一表层结皮会极其坚固或者脆弱,有可能增加土壤风蚀量,也有可能减少土壤风蚀量^[5]。降水量、降水强度、降水频次影响着结皮的形成盖度及强度,日照时间及强度等可使得结皮由于干燥脱水、光降解等原因而破碎^[23-24]。此外,牲畜踩踏、耕作等机械破坏、侵蚀过程的磨损等也都可以造成结皮破碎,进而影响土壤可蚀性。为更好确定降水所形成的结皮对土壤风蚀可蚀性影响的定量关系,未来需确定不同日照等气候条件下的不同降水量对不同类型土壤的风蚀可蚀性的影响,进一步确定引起地表结皮而将土壤风蚀可蚀性降到最小时的降雨量。

3 结论

(1) 模拟结果与实测结果比较得出在 0.05 mm

土壤颗粒累积百分比大于 65% 的情况下,模型模拟结果与实测值相较有所低估,在 0.05 mm 土壤颗粒累积百分比小于 60% 时,模型模拟结果与实测值相较有所高估,但总体来看模型模拟结果与实测值的相对误差小于 10%,对土壤质地资料进行转换的对数正态分布模型能够较好地模拟土壤颗粒含量。

(2) 模拟得出的土壤结皮因子显示高值分布于中国北方风沙土区,其次为内蒙锡林郭勒盟以西的棕钙土,新疆北部的棕漠土、盐土,西藏南部的寒钙土,青海柴达木盆地西北盐壳等地;再次为青藏高原寒钙土等地;黄土高原地区的黄绵土,三江源地区的草毡土、大兴安岭地区的棕色针叶林土相对较低。

(3) 模拟得出的土壤可蚀性因子最高值分布与结皮因子类似,为各大沙漠的土壤风沙土区,其次为内蒙锡林郭勒盟的棕钙土区,青藏高原区的大部分寒钙土和新疆的棕漠土区;再次为内蒙锡林郭勒盟的栗钙土区,三江源的寒钙土区;东北的棕色针叶林土,内蒙古中部地区的粗骨土、石质土等的土壤可蚀性因子值较低。

(4) 结皮可降低或增加土壤可蚀性,未来的关键应确定不同气候条件下,引起地表结皮而将土壤风蚀可蚀性降到最小小时的降雨量。

(5) 除土壤结皮、土壤可蚀性因子之外,气候因子、植被因子、土壤粗糙度因子等都需要进一步参数改进。如风速需要降尺度满足 RWEQ 模型中气候因子计算所需,何种降尺度方法较为适用是值得进一步研究的问题;此外,RWEQ 模型中的起沙风速设定为 5 m/s,不同土壤类型的起沙风速也不同,如塔克拉玛干沙漠区的起沙风速较低^[25],对于不同土壤及覆被类型区域的临界起沙风速需要进一步研究;在植被覆盖度因子的计算中,应考虑枯萎植被对风蚀的削弱作用;在地表土壤粗糙度因子的计算中,应考虑降水对地表土壤粗糙度的影响^[26]。

[参 考 文 献]

- [1] Belnap J. The world at your feet: desert biological soil crusts[J]. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2003, 1(4): 181-189.
- [2] 赵哈林,郭秩瑞,周瑞莲,等. 植被覆盖对科尔沁沙地土壤生物结皮及其下层土壤理化特性的影响[J]. *应用生态学报*, 2009, 20(7): 1657-1663.
- [3] Belnap J, Lange O L. *Biological Soil Crusts: Structure, Function, and Management*[M]. New York: Springer-verlag, 2001.
- [4] 段争虎,刘新民,屈建军. 沙坡头地区土壤结皮形成机理的研究[J]. *干旱区研究*, 1996, 13(2): 31-36.
- [5] Zobeck T M. Abrasion of crusted soils: Influence of abrader flux and soil properties[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1991, 55(4): 1091-1097.
- [6] Fryrear D W, Saleh A, Bilbro J D, et al. Revised Wind Erosion Equation (RWEQ) [M]. Wind Erosion and Water Conservation Research Unit, Technical Bulletin1, Southern Plains Area Cropping Systems Research Laboratory, USDA-ARS, 1998.
- [7] Buchan G D, Grewal K S, Robson A B. Improved models of partical-size distribution: An illustration of model comparison techniques[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1993, 57 (4): 901-908.
- [8] Crawford J W, Sleeman B D, Young I M. On the relation between number-size distributions and the fractal dimension of aggregates[J]. *Journal Soil Science*, 1993, 44 (4): 555-565.
- [9] 郭中领,张科利,董建志,等. 利用分形理论解决不同土粒分级标准间土壤质地资料的转换问题[J]. *地理科学*, 2011, 31(10): 1254-1260.
- [10] Press W H, Teukolsky S A, Vetterling W T, et al. *Numerical Recipes in Fortran*[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1992.
- [11] Skaggs T H, Arya L M, Shouse P J, et al. Estimating particles-size distribution from limited soil texture data [J]. *Soil Science Society of Journal*, 2001, 65(4): 1038-1044.
- [12] Zobeck T M, Gill T E, Popham T W. A two-parameter Weibull function to describe airborne dust particle size distribution [J]. *Earth Surface and Landforms*, 1999, 24(10): 943-955.
- [13] 郭中领. RWEQ 模型参数修订及其在中国北方应用研究[D]. 北京: 北京师范大学, 2012: 59-63.
- [14] 车涛,戴礼云. 中国雪深长时间序列数据集[DB/OL]. 寒区旱区科学数据中心. 2011. doi: 10. 3972/westdc. 001. 2014. db.
- [15] Dai Liyun, Che Tao, Wang Jian, et al. Snow depth and snow water equivalent estimation from AMSR-E data based on a priori snow characteristics in Xinjiang, China[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2012, 127 (12): 14-29.
- [16] Ali S. Soil roughness measurement: Chain method[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1993, 48(6): 527-529.
- [17] Gutman G, Ignatov A. The derivation of the green vegetation fraction from NOAA/AVHRR data for use in numerical weather prediction models[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1998, 19(8): 1533-1543.

(3) 针对腰坝绿洲地区特殊的水文环境和社会经济结构,未来应加快调整产业结构,推广节水灌溉技术,加强水资源科学管理,加强生态环境保护,提高水资源可利用量。

[参 考 文 献]

- [1] 师伟. 阿拉善腰坝绿洲地下水资源开发利用及其合理配置研究[D]. 陕西 西安:长安大学, 2007.
- [2] 孙富行. 水资源承载力分析与应用[D]. 江苏 南京:河海大学, 2006.
- [3] 朱一中, 夏军, 谈戈. 关于水资源承载力理论与方法的研究[J]. 地理科学进展, 2002, 21(2):180-188.
- [4] 段新光, 芳芳. 基于模糊综合评判的新疆水资源承载力评价[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(3):119-122.
- [5] 黄永基, 滇真. 区域水资源供需分析方法[M]. 江苏 南京:河海大学出版社, 1990.
- [6] 刘秀屏. 区域水资源合理配置研究[D]. 江苏 南京:河海大学, 2005.
- [7] 贺丽媛, 夏军, 张利平. 水资源供需预测的研究现状及发展趋势[J]. 长江科学院院报, 2007, 24(1):61-64.
- [8] 余卫东. 黄土高原地区水资源承载力研究:以山西省河津市为例[D]. 江苏 南京:南京气象学院, 2003.
- [9] Zhang Junyi, Wang Lachun. Assessment of water resource security in Chongqing City of China: What has been done and what remains to be done? [J]. Natural Hazards, 2015, 75(3):2751-2772.
- [10] 苏永红, 冯起, 刘蔚, 等. 应用模糊综合评判方法评价石羊河流域水资源承载力[J]. 干旱区研究, 2009, 26(2):169-175.
- [11] 张美玲, 梁虹, 祝安, 等. 贵州水资源承载力基于熵权的模糊物元评价[J]. 人民长江, 2007, 38(2):54-57.
- [12] Meng Lihong, Chen Yaning, Li Weihong, et al. Fuzzy comprehensive evaluation model for water resources carrying capacity in Tarim River Basin, Xinjiang, China[J]. Chinese Geographical Science, 2009, 19(1):89-95.
- [13] 王学全, 卢琦, 李保国. 应用模糊综合评判方法对青海省水资源承载力评价研究[J]. 中国沙漠, 2005, 25(6):944-949.
- [14] 陈守煜. 系统模糊决策理论与应用[M]. 辽宁 大连:大连理工大学出版社, 1994.
- [15] 许雪燕. 模糊综合评价模型的应用及研究[D]. 四川 成都:西南石油大学, 2011.
- [16] 谢季坚, 刘承平. 模糊数学方法及其应用[M]. 湖北 武汉:华中理工大学出版社, 1999:37-52.
- [17] 施雅风, 曲耀光. 乌鲁木齐河流域水资源承载力及去合理利用[M]. 北京:科学出版社, 1992.
- [18] 张兴榆, 曹明明, 黄贤金. 基于综合评判模型的干旱半干旱地区水资源承载力评价研究:以黄河中游延安市为例[J]. 南京大学学报:自然科学, 2008, 44(6):674-682.
- [19] 吕萍, 刘东, 赵菲菲. 基于熵权的建三江分局水资源承载力模糊物元评价模型[J]. 水土保持研究, 2011, 18(2):246-250.
- [20] 王江, 李靖, 魏红义, 等. 基于 TOPSIS 法的区域水资源承载力预测评价:以陕西省关中地区为例[J]. 水土保持研究, 2008, 15(3):161-163.
- [18] Fryrear D W, Krammes C A, Williamson D L, et al. Computing the wind erodible fraction of soils[J]. Journal Soil Water Conservation, 1994, 49(2):183-188.
- [19] Hagen L J, Skidmore E L, Saleh A. Wind erosion: Prediction of aggregate abrasion coefficients [J]. Transactions of the ASAE, 1992, 35(6):1847-1850.
- [20] Shanguan Wei, Dai Yongjiu, Liu Baoyuan, et al. A soil particle-size distribution dataset for regional land and climate modelling in China[J]. Geoderma, 2012, 171-172:85-91.
- [21] Zobeck T M, Popham T W, Skidmore E L, et al. Aggregate-mean diameter and wind-erodible soil predictions using dry aggregate-size distributions[J]. Soil Science Society of America Journal, 2003, 67(2):425-436.
- [22] Chepil W S. A compact rotary sieve and the importance of dry sieving in physical soil analysis[J]. Soil Science Society of America Journal, 1962, 26(1):4-6.
- [23] Belnap J, Eldridge D. Disturbance and Recovery of Biological Soil Crusts[M]//Biological Soil Crusts: Structure, Function, and Management. Berlin Heidelberg: Springer, 2003:363-383.
- [24] Jimenez A, Huber-Sannwald E, Belnap J, et al. Biological soil crusts exhibit a dynamic response to seasonal rain and release from grazing with implications for soil stability[J]. Journal of Arid Environments, 2009, 73(12):1158-1169.
- [25] Kurosaki Y, Mikami M. Threshold wind speed for dust emission in east Asia and its seasonal variations [J]. Journal of geophysical research, 2007, 112, D17202, doi:10.1029/2006 JD007988.
- [26] Zobeck T M, Popham T W. Modification of the wind erosion roughness index by rainfall[J]. Soil Tillage Research, 1997, 42(1/2):47-60.

(上接第 274 页)