

# 旱作农区轮作和留茬处理方式对风蚀的影响 ——应用 EPIC 模型进行模拟和分析的武川案例

王尔大<sup>1</sup>, Wyatte Harman<sup>1</sup>, 郑大玮<sup>2</sup>, 常 欣<sup>3</sup>, 程 序<sup>3</sup>

(<sup>1</sup> 美国德克萨斯州农业试验站, Temple, TX 76502, USA; <sup>2</sup> 中国农业大学资源环境学院, 北京 100094;

<sup>3</sup> 中国农业大学作物学院, 北京 100094)

SIS A

**摘要:** 近一、二十年来, 中国北方加剧的风蚀, 气候恶化, 西北和北京地区出现日益频繁的沙尘天气, 也在迅速降低这些地区的土壤乃至农牧业的生产力。本研究首次引用美国农业部研究局系统开发的 EPIC (environmental policy integrate climate, 考虑气候的环境决策) 模型, 对位于农牧交错带的内蒙古武川县, 评估其改进轮作和残留秸杆处理方式对风蚀的影响。模拟结果表明, 收获后在田间保留作物秸杆, 或推迟田间秸杆的处理(移出)时间, 以及改进当前的轮作系统, 即扩大玉米、油菜和莜麦的比例, 相应减少杂豆等越冬和生长期地表裸露面积较大的作物, 能有效地减少风蚀, 从而逐步减轻中国北方地区沙尘暴的严重危害。长期保持表土有利于维持土地生产力, 对改善此地区内农村贫困将有深远意义。

**关键词:** 风蚀; 土壤损失; EPIC 模拟模型; 旱作农区; 轮作

## Impacts of Alternative Rotations and Different Crop Residual Managements on Wind Erosion —A Case Study in Wuchuan County Using EPIC Model

WANG Er-da<sup>1</sup>, Wyatte Harman<sup>1</sup>, ZHENG Da-wei<sup>2</sup>, CHANG Xin<sup>3</sup>, CHENG Xu<sup>3</sup>

(<sup>1</sup> Blackland Research Extension Center, The Texas A and M University System, Temple, TX 76502, USA;

<sup>2</sup> College of Resources and Environment, China Agricultural University, Beijing 100094;

<sup>3</sup> College of Crops, China Agricultural University, Beijing 100094)

**Abstract:** For decades, wind erosion has triggered dust/sand storms, which influence crop and livestock productivity in Beijing and northern China. The EPIC (environmental policy integrated climate) field-scaled simulation model was introduced from USDA-ARS, and used to assess impacts of improved crop rotations and crop residue management practices on wind erosion in Wuchuan County of Inner Mongolia. The results indicate that preservation of crop stalks or delayed crop residue harvesting as well as altering current crop rotation systems by expanding corn, naked oats, and rapeseed production, rather than peas which leave more proportion of naked top soil, can significantly reduce wind erosion, thus diminishing the severity of dust/sand storms in North China. Saving and protecting topsoil over time will sustain land productivity and has long-term implications for improving conditions of rural poverty in the region.

**Key words:** Wind erosion; Soil loss; EPIC simulation model; Rain-fed areas; Rotation

2000 年春, 北京地区出现 12 次沙尘暴、扬沙和浮尘天气, 严重污染空气, 危害人的健康。在过去的

50 年里, 中国受风蚀的土地面积增至 160 万 km<sup>2</sup>, 近年一直以每年 2 460 km<sup>2</sup> 的速度在拓展。遥感和

收稿日期: 2002-01-24

基金项目: 国家重点基础研究资助项目(G200018606)

作者简介: 王尔大(1954-), 男, 辽宁辽阳人, 1992 年获美国科罗拉多州农业经济学博士学位。现在美国从事资源和环境经济学的研究和教学。

Tel: 254-774-6109; Fax: 254-774-6145; E-mail: ewang@brc.tamus

气象资料已证明,内蒙古中部和河北坝上地区连片区域是重要的沙尘源之一。新中国成立以来的 50 年中,这一地区曾进行过 3~4 次大规模的开荒,破坏了草地植被。一年生农作物土地覆盖时间短,又错误地搬用平原地区的土地耕作方法(如秋耕),出现掠夺式种植,加剧了该地区风蚀形势的恶化<sup>[1]</sup>,耕地很快沙化。为了阻滞这种趋势,国家已决定拿出 60 亿元人民币,在今后 20 年开展前所未有的环京津风沙源治理工程。北京地区的沙尘源——内蒙古自治区的中部和河北省的北部,自然成为重点治理地区。

以往国内有关沙尘暴的研究,主要集中在探明哪些因子对风蚀和土壤流失有重要意义、沙尘暴和扬沙天气的预测、所造成损失的评估及防治措施等方面。已发现风速、土壤类型和含水量、土地的植被覆盖和利用方式,以及地形等对风蚀关系重大<sup>[2]</sup>。同时,有史以来的人类农耕活动,包括超载过牧及滥垦草地,都对加剧风蚀和土壤流失起决定性作用<sup>[3]</sup>。此外,还有一些研究试图寻找适宜的评估指标,发现了土地覆盖度、植物种植/裸地比率,以及土地的质量是必须考虑的 3 个最主要变量<sup>[4]</sup>。进入 20 世纪 90 年代,遥感技术被建议应用与收集大尺度区域的相关数据和影像<sup>[5]</sup>,这一进展有助于探明近年京津地区的扬沙、沙尘暴天气的主要沙尘源地。

国际上一般认为<sup>[6]</sup>,对风蚀的定量化研究很困难。许多这方面的工作大多基于实验室或可移动式的田间风洞车的测定。近年来,由于技术和设备的改进,使在田间尺度(数百公顷)对一次沙尘暴全过程的测量成为可能。这种进展推动了对有关风蚀模型的深入研究。

迄今为止,就国内的沙尘暴防治研究而言,在农牧交错带地区占有大量面积的旱作农田被严重忽视。很少见到研究在其上的种植方式和土地耕作方式对风蚀的影响。而早在 20 世纪 30 年代,曾饱受连年强烈沙尘暴之苦的美国,却一直把主要精力放在农田的“水土保持耕作”(conservation tillage)上,成效显著<sup>[7]</sup>。在相应的模型开发过程中,也十分注重开发不同农作措施包括土地耕作对风蚀的影响模块。EPIC 模型便是这方面的一个典范。

EPIC 模型是美国农业部研究局(USDA-ARS)系统 1984 年开发成的一种用途广泛的土壤侵蚀——土地生产力模型。起初名为“侵蚀-生产力相关性计算器”(erosion-productivity impact calculator)<sup>[8]</sup>。近年进一步改进后更名为“考虑气候的环

境决策模型”(environmental policy integrate climate)。其特点是只要给定若干参数,包括气候、土地景观特征值、土壤属性以及作物栽培管理,就能对与水蚀和风蚀有关的过程进行模拟。

EPIC 模型中计算土壤侵蚀的基本函数采用的是经典的通用土壤流失方程——USLE (universal soil losing equation, Wischmeier and Smith), 该方程是将影响水土流失的 6 个因子用连乘积的形式组成。其函数式为:  $A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$ , 其中  $A$  为土壤年流失量,  $R$  为降雨和径流因子,  $K$  为土壤可蚀因子,  $L$ 、 $S$  为坡长坡度因子,  $C$  为植被与经营管理因子,  $P$  为水土保持因子。随着该模型应用深度和广度的增加,模型研发者们又在该方程的基础上推导和建立了 4 个方程,以使其适用不同于美国的地区和气候条件。

本项目以风蚀研究为主,主要是以 EPIC 模型中的风蚀计算模型进行的(Richardson and Wright),其特点是通过模拟每天的风速及风向来估算由此产生的土壤损失量。

$$V_j = a_1 V_i (-\ln(f_j))^{a_2}$$

方程中,  $V_j$  为方程 f 中第  $j$  天的风速,  $V_i$  为第 1 天的主要风速,  $a_1$  和  $a_2$  为参数常量, 即  $V_i$  值由方程 f 来确定, 从而由模型计算相应风速下的侵蚀量,  $f$  则为风蚀试验方程, 该方程要根据不同的立地条件取相应的参数方程。此公式为 WIES 经典方程提供了模拟测算每日风速所必需的变量因子。即在下式的 YWR 变量计算中, 其值由函数关系式  $f(v_j)$  来求得:

$$YWR = 0.255 [V^{i1} - V^{i2} - 0.5(SW/WP)^2]^{3/2}$$

式中,  $V^{i1}$  即为  $V^i$  值, 而  $V^{i2}$  为封闭流域内速度降低值,  $SW$  和  $WP$  分别为 10mm 表土层内实际的和 1 500kPa 下的水分含量。

$$YW = (FI)(FR)(FV)(FR) \int_0^{DW} YWR dt$$

上式为基础的 WIES(wind erosion continuous simulation)风蚀方程,  $YW$  为风蚀量 ( $kg \cdot m^{-1}$ ),  $FI$  为土壤可蚀性因子,  $FR$  为地表粗糙度因子,  $FV$  为植被盖度因子。 $FR$  为风通过的没有防护措施的地块距离,  $DW$  为当风速大于可产生侵蚀速度的持续时间, 而  $YWR$  则是在时间  $t$  内的风蚀量 ( $kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$ ), 由此可在模型中计算逐月及全年的风蚀量。

EPIC 模型自 20 世纪 80 年代开发以来,除美国外,在不少国家如加拿大、日本和西欧国家也得到广泛应用,其中之一是用于评估政府对土壤侵蚀的政策<sup>[9]</sup>。但迄今为止,国内尚很少见到成功应用的事

例。本文就是以内蒙古武川县为对象,试图发挥 EPIC 模型的优势,应用于风蚀管理的研究。重点放在不同的轮作改进方案和留茬处理方式对风蚀的影响之上。

## 1 试验区域与方法

### 1.1 试验区域

选择处于沙尘源区内的内蒙古后山地区的武川县作为对象。该县有 19 万 ha 农地,其中 60% 是耕地,其余为草地。为典型的半农半牧、农牧交错带地区。

武川县城位于北纬  $40^{\circ}33'$ ,东经  $112^{\circ}17'$ 。全县大部分是起伏度不大的蜿蜒丘陵和浅谷。气候条件较为严峻,年降水量仅有  $250\sim400\text{mm}$ ,且主要集中在夏季。无霜期  $90\sim120\text{d}$ 。全年月平均风速达  $4.5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。5 月份风速最大,月均风速可达  $6\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。每年至少有 40 余天强风日,有的年份则多达 80d (图 1)。代表性土壤为栗钙土,多孔,沙性。耕层很浅,有机质含量低。由于气候干燥、地表覆盖不良,加上土壤结构差,极易在强风时产生沙尘。平均每年当地沙尘暴天数 20d,大多发生于冬末和春季。作物生产完全是旱作雨养农业。春麦、油菜、莜麦、杂豆和马铃薯是最主要的农作物。广种薄收,单产很低。如玉米单产仅为  $2.4\text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ ,春麦只有  $0.6\text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ 。1975~1987 年间风蚀面积以平均每年 2.5% 的速率扩大<sup>[7]</sup>。近 4~5 年由于持续干旱,风蚀面积有进一步扩大的趋势。

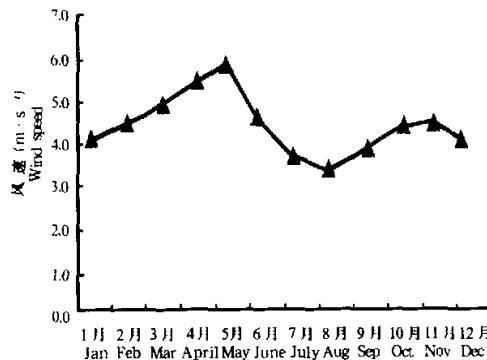


图 1 武川县的平均月风速

Fig. 1 The monthly even wind velocity in Wuchuan County

自然条件严酷、盲目开垦草地、撂荒耕种、土壤风蚀、广种薄收及农民贫困之间,已形成向下式螺旋怪圈。按照国定标准,全县农户约  $2/3$  为贫困户。

有些农民因土壤侵蚀和沙化过重不得不背井离乡,沦为“生态难民”。

1996 年以来,当地政府组织了若干治理风蚀的活动,包括改良草地、植树以及推行等高沟种植等,对改善生态环境起到一定作用。但能否和如何建成“生态屏障”,则有待深入研究后明确指导方针。

### 1.2 研究方法

引用 EPIC 模型,模拟各种可能的(改进或改变)农作制度和耕作方式对土壤风蚀及土地生产力的影响,从而优化农业实践,减轻土地侵蚀,减少沙尘源。EPIC 模型是以逐日的作物生长和环境评价为对象进行模拟的<sup>[10]</sup>,需投入实际观测和试验取得的土壤、气候、农作措施、种植制度和管理等有关数据。这些数据大部分取自武川近 15 年来“旱农”攻关课题。基于几十个或几百个小流域累计的模拟结果,以日、月和年为单位的县级尺度的作物产量预测、径流量、降水入渗量、水蚀和风蚀量、养分吸收和损失,进入模拟的农作物有 60 种,还有施肥、灌溉、秸秆收获、放牧啃食等多种因素。最后将上述所有因子都归入不同的轮作方式之中。模拟预测的时间尺度定为 60 年。

应用 EPIC 模型的前提,是必须进行可适性的验证(validation)。本研究采用的方法是依据若干较为可靠的观测、统计历史数据,对试用 EPIC 模型的模拟结果进行印证比较。此外,正式的模拟结果也同已有的邻近区域的研究结果<sup>[11,12]</sup>进行比较。

对模拟结果还进行显著性统计分析,以确定替代性轮作方式和不同的秸/茬处理方式是否会对风蚀强度和作物产量有实质性差异。

### 1.3 试验处理

1.3.1 基础处理(对照) 作物收获后将秸秆立即移出田块用作燃料或粗饲料;紧接着浅耕,以备来春清理根茬整地,代表武川乃至整个后山地区现实生产的实况。轮作方式为现行的莜麦—玉米—春麦—杂豆—马铃薯(代号 MCWPP)。

1.3.2 推迟处理 4 种推迟处理秸秆的时间。即收后不清理田块,分别到来春的 1、2、3 和 4 月才将秸秆移出田块。

1.3.3 秸秆及根茬保留处理 目的是保护表土,减少水分蒸发,补充土壤有机质。下茬作物播前采取条带(局部)耕作。

1.3.4 MCWP 处理 将基础处理轮作中划去杂豆,成 4 年轮作(MCWPP),余不变。

1.3.5 CWPP 处理 将基础处理轮作中划去莜麦,

成 4 年轮作(CWPP),余不变。

1.3.6 CWM 处理 将基础处理轮作中划去杂豆和马铃薯,成 3 年轮作(CWM),余不变。

1.3.7 MCPP 处理 将基础处理轮作中划去春麦,成 4 年轮作(MCPP),余不变。

## 2 结果与分析

采用 2 个指标,即年和月的风蚀量以及表土层被侵蚀厚度,对不同的轮作和秸秆管理方式造成的影响,进行 60 年的模拟分析,并进行多因素统计分析。

### 2.1 收获后推迟清理或保留秸秆及根茬对减轻风蚀的作用

从 60 年平均模拟预测结果看,作物收获后将秸秆立即移出田块的年风蚀量为  $57 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ ,年表土层减薄 4.3mm(图 2、图 3)。 $57 \text{ t} \cdot \text{yr}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$  这个数值比一般估计的<sup>[11]</sup>要大出  $12 \text{ t} \cdot \text{yr}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$ 。原因可能是因为连年采用传统的铧式犁耕翻加上秸秆及根茬全部被清理,因而土壤的有机质、养分和结构均恶化而使土壤更易被侵蚀的关系。

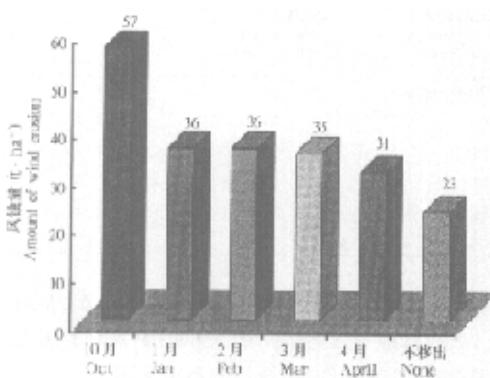


图 2 不同的秸秆处理方式对年风蚀量影响的模拟

Fig. 2 Simulation of the impacts of different method of handling stalks on the annual amount of wind erosion

模拟结果表明,收获后清理秸秆及根茬的时间愈推迟,对减轻风蚀的作用愈大。来年 1、2 月清理的风蚀量 ( $36 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ ,年表土层减薄 2.7mm) 相同,均比收获后即清理(10月)的风蚀量减少 37%。至于 1、2 月清理的风蚀量相同,原因可能与表土均已冻结有关。如将清理时间推迟到 3、4 月,则风蚀量进一步分别降为  $35 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ 、 $2.6 \text{ mm}$  和  $31 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ 、 $1.7 \text{ mm}$ 。

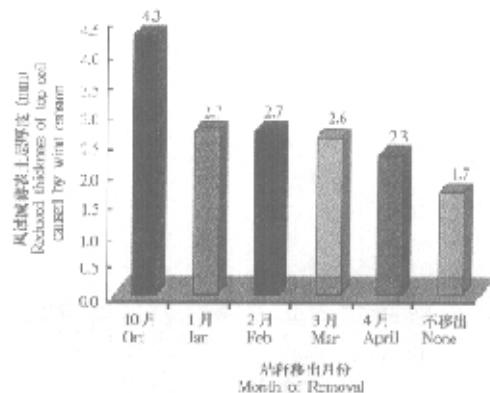


图 3 不同的秸秆处理方式对年风蚀量——表土减薄影响的模拟

Fig. 3 Simulation of the impacts of different method of handling stalks on the reducing thickness of top soil

2.3mm。推迟到 4 月减轻风蚀量的作用之所以更大,显然与 4 月份强风天数明显增多有关。总之,减轻风蚀的环境对策是将秸秆及根茬在原田一直保留到下年春播前。

然而最有效的对策是完全不收走秸秆及根茬,60 年模拟分析的结果表明,年风蚀量平均降为  $23 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ ,年表土层少减 1.7mm(图 2、图 3),比对照减少 60%。

图 1 和图 4 表明,月风蚀量的变化同风速的月间分布有密切关系,因此,随着收获后清理秸秆及根茬的时间从 1 月至 5 月,风蚀量从  $1 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  增至  $27 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ 。到 6 月,特别是春播作物出苗封垄后,风蚀量开始下降。保留秸秆及根茬的处理趋势相同,只是逐月风蚀量均降低 60% 左右。值得注意的是从 2 ~ 5 月,虽然风速的增大不很显著,月风蚀量却翻番。总之,全年风蚀量主要是在月均风速最大的 4、5 两个月形成的。

### 2.2 不同替代性轮作方式对风蚀的影响

不同种植方式之所以对风蚀产生不同的影响,主要是田间密度和覆盖,以及在生物量残留上有差异。

从表 1 可见,莜麦—玉米—杂豆—马铃薯 4 年轮作(MCPP)的年风蚀量最大,为  $68 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ ,年表土层减薄 5.1mm。而(MCWPP)(MCWP)(CWPP)3 种轮作风蚀量在  $54 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ 、 $4.1 \text{ mm}$  至  $57 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ 、 $4.3 \text{ mm}$ 。3 年轮作的 CWM 模式年风蚀量最小,为  $44 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ 、 $3.3 \text{ mm}$ 。MCPP 方式之所以风蚀量最

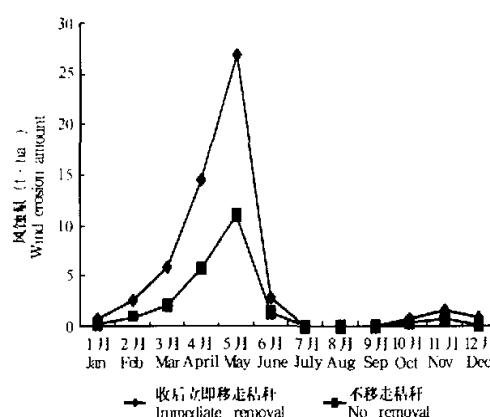


图4 收获后立即移走和一直保留秸秆对月风蚀量影响的比较

Fig. 4 Comparison of the amount of wind erosion between the immediate removing stalks after harvesting, and the stalks kept mulching on the topsoil

表1 不同轮作方式和秸秆处理移走时间相应的年风蚀量估算

Table 1 Estimates on the amount of annual wind erosion under different rotation and stalks handling

| 秸秆移出时间<br>Time of<br>removing stalks | 风蚀量( $t \cdot ha^{-1}$ )<br>Amount of<br>wind erosion | 风蚀减薄表土厚度<br>(mm)<br>Reduced top soil depth<br>by wind erosion | 作物轮作<br>Crop rotation<br>pattern | 风蚀量( $t \cdot ha^{-1}$ )<br>Amount of<br>wind erosion | 风蚀减薄表土厚度<br>(mm)<br>Reduced top soil depth<br>by wind erosion |
|--------------------------------------|---|---|----------------------------------|---|---|
| 10月 Oct                              | 57  | 4.3   | MCWPP (Base)                     | 57  | 4.3   |
| 1月 Jan                               | 36  | 2.7   | MCWP                             | 54  | 4.1   |
| 2月 Feb                               | 36  | 2.7   | CWPP                             | 56  | 4.2   |
| 3月 Mar                               | 35  | 2.6   | CWM                              | 44  | 3.3   |
| 4月 Apr                               | 31  | 2.3   | MCPP                             | 68  | 5.1   |
| 不移走 None                             | 23  | 1.7   |                                  |   |   |

MCPP 方式。表 2 区分了属前一种情况的“A”类 3 种处理和属后一种情况的“B”类 3 种处理。同类中作物单产差异不显著。

同样,就马铃薯和春麦单产差异统计分析而言,多个处理与对照持平或略高。而就杂豆和莜麦而言,在秸秆及根茬不移走的情况下,单产与对照持平或降低。MCWPP 方式在秸秆及根茬不移走的情况下比其它方式单产高,原因是土壤水分条件改善和风/水蚀减轻,从而增进了土地的长期生产力。

2.3.2 不同替代性轮作方式对风蚀的影响差异分析 同对单产的影响相比,不同替代性轮作方式对风蚀的影响差异要大得多。由表 3 可见,有 A、B、C、D 4 类风蚀量水平。MCPP 方式的风蚀量  $68 t \cdot ha^{-1}$ 、 $5.1 mm$  列为 A 类,CWPP 和 MCWP 方式的风蚀量  $54 \sim 57 t \cdot ha^{-1}$ 、 $4.1 \sim 4.3 mm$  列为 B 类,CWM

大,应与其分配给田间密度、覆盖度以及生物量残留均较有利于减轻风蚀的玉米、莜麦的生长时间最少,而给田间密度、覆盖度以及生物量残留均较低(少)的杂豆和马铃薯最多有关。

### 2.3 统计分析

采用相当于 Fisher 最低差异显著法 (LSD) 的 3 组 pair-wise 测验(双平均数显著性测验),对收获后推迟清理(各时段)或保留秸秆及根茬,和不同替代性轮作方式对风蚀及作物单产的影响差异的可靠性,进行统计分析。

2.3.1 不同替代性轮作方式对作物单产的影响差异分析 总体看,某种作物的单产在不同替代性轮作方式中大体相近。原因是在模拟时,不同替代性轮作方式采用同样的气候、施肥量数据,田间管理措施也相似。

不论何种秸秆及根茬处理方式,MCWPP 和 CWPP 方式中的玉米单产均高于 CWM、MCWP 和

方式的风蚀量  $44 t \cdot ha^{-1}$ 、 $2.6 mm$  列为 C 类,风蚀量最小( $23 t \cdot ha^{-1}$ 、 $2.3 mm$ )的 MCWPP 加秸秆及根茬不移走处理列为 D 类,统计分析差异显著。

2.3.3 不同秸秆及根茬处理方式对风蚀的影响差异分析 统计分析集中于 MCWPP 方式的 10、1、2、3、4 月移走秸秆及根茬时段,对风蚀的影响。模拟 60 年的结果,秸秆及根茬于收获后(10 月)即移走的对照处理,相应风蚀量( $57 t \cdot ha^{-1}$ 、 $4.3 mm$ )均显著高于其它处理。而 1、2、3 月移走秸秆及根茬处理间风蚀量差异统计分析不显著。4 月移走秸秆及根茬处理的风蚀量( $31 t \cdot ha^{-1}$ 、 $2.3 mm$ )比对照低 46%,比 3 月移走处理低 11%。以上分析说明,收获后一直或尽可能长地保持秸秆及根茬,对减轻风蚀量有重大作用。因此,将优化秸秆及根茬的收后处理列为环境保护的策略具有现实意义。

表 2 不同轮作方式作物产量差异显著度的 Pair-wisest 测验 (LSD)

Table 2 Pair-wise test for the significance of yield differences within various rotations

| 作物          | T 值类别<br>Type of T value | 中值<br>Average | 考察个数<br>Number of sample | 处理<br>Treatment | 作物轮作类型<br>Rotation pattern | 桔茬移出否<br>Whether stock removing |          |
|-------------|--------------------------|---------------|--------------------------|-----------------|----------------------------|---------------------------------|----------|
|             |                          |               |                          |                 |                            | 否<br>No                         | 是<br>Yes |
| 玉米 Corn     | A                        | 2.82          | 12                       | 2               | MCWPP                      | 否<br>No                         | 是<br>Yes |
|             | A                        | 2.39          | 12                       | 1               | MCWPP( Base)               | 是<br>Yes                        | 否<br>No  |
|             | A                        | 2.36          | 15                       | 4               | CWPP                       | 是<br>Yes                        | 否<br>No  |
|             | B                        | 2.25          | 20                       | 5               | CWM                        | 是<br>Yes                        | 否<br>No  |
|             | B                        | 2.19          | 15                       | 3               | MCWP                       | 是<br>Yes                        | 否<br>No  |
|             | B                        | 2.09          | 15                       | 6               | MCPP                       | 是<br>Yes                        | 否<br>No  |
| 杂豆 Peas     | A                        | 0.97          | 12                       | 2               | MCWPP                      | 否<br>No                         | 是<br>Yes |
|             | B                        | 0.78          | 12                       | 1               | MCWPP( Base)               | 是<br>Yes                        | 否<br>No  |
|             | B                        | 0.74          | 15                       | 4               | CWPP                       | 是<br>Yes                        | 否<br>No  |
|             | B                        | 0.64          | 15                       | 6               | MCPP                       | 是<br>Yes                        | 否<br>No  |
| 马铃薯 Potato  | A                        | 2.02          | 12                       | 2               | MCWPP                      | 否<br>No                         | 是<br>Yes |
|             | A                        | 1.95          | 15                       | 3               | MCWP                       | 是<br>Yes                        | 否<br>No  |
|             | A                        | 1.93          | 15                       | 4               | CWPP                       | 是<br>Yes                        | 否<br>No  |
|             | A                        | 1.77          | 15                       | 6               | MCPP                       | 是<br>Yes                        | 否<br>No  |
| 油菜 Rapeseed | B                        | 1.58          | 12                       | 1               | MCWPP( Base)               | 是<br>Yes                        | 否<br>No  |
|             | A                        | 1.4           | 12                       | 2               | MCWPP                      | 否<br>No                         | 是<br>Yes |
|             | B                        | 1.11          | 15                       | 3               | MCWP                       | 是<br>Yes                        | 否<br>No  |
|             | B                        | 1.08          | 12                       | 1               | MCWPP( Base)               | 是<br>Yes                        | 否<br>No  |
| 小麦 Wheat    | B                        | 1.02          | 15                       | 6               | MCPP                       | 是<br>Yes                        | 否<br>No  |
|             | B                        | 0.92          | 20                       | 5               | CWM                        | 是<br>Yes                        | 否<br>No  |
|             | A                        | 1.06          | 20                       | 5               | CWM                        | 是<br>Yes                        | 否<br>No  |
|             | A                        | 0.99          | 12                       | 2               | MCWPP                      | 否<br>No                         | 是<br>Yes |
|             | A                        | 0.9           | 15                       | 3               | MCWP                       | 是<br>Yes                        | 否<br>No  |
|             | A                        | 0.89          | 15                       | 4               | CWPP                       | 是<br>Yes                        | 否<br>No  |
|             | B                        | 0.64          | 12                       | 1               | MCWPP( Base)               | 是<br>Yes                        | 是<br>Yes |

表 3 有关年风蚀量估算的统计分析 (GLM 和 LSD)

Table 3 Statistical analysis for estimating amount of the wind erosion (GLM and LSD)

| 作物轮作 | T 值类别<br>Type of T value | 中值<br>Average | 考察个数<br>Number of sample | 处理<br>Treatment | 轮作类型<br>Rotation pattern | 桔茬移出时间(月)<br>Time of stock removal (month) |   |
|------|--------------------------|---------------|--------------------------|-----------------|--------------------------|--|---|
|      |                          |               |                          |                 |                          | 10   | 无 |
| 作物轮作 | A                        | 68            | 60                       | 6               | MCPP                     | 10   |   |
|      | B                        | 57            | 60                       | 1               | MCWPP( Base)             | 10   |   |
|      | B                        | 56            | 60                       | 4               | CWPP                     | 10   |   |
|      | B                        | 54            | 60                       | 3               | MCWP                     | 10   |   |
|      | C                        | 44            | 60                       | 5               | CWM                      | 10   |   |
| 桔茬移出 | D                        | 23            | 60                       | 2               | MCWPP                    | 无  |   |
|      | A                        | 57            | 60                       | 1               | MCWPP( Base)             | 10   |   |
|      | B                        | 36            | 60                       | 7               | MCWPP                    | 1  |   |
|      | B                        | 36            | 60                       | 8               | MCWPP                    | 2  |   |
|      | C                        | 31            | 60                       | 10              | MCWPP                    | 3  |   |

### 3 结论

本文报告了用 EPIC 模型研究在内蒙古武川县不同替代性轮作方式和不同桔秆及根茬处理方式对作物单产和风蚀量的影响。用 pair-wise 测验确定了不同结果差异之间是否有统计分析上的意义。

结果显示,收获后保持桔秆及根茬到来年春播,风蚀量可比收后即移走桔秆及根茬处理减少 60%;同时作物单产不变或还有提高。值得注意的是从 1~5 月间,每月都比上月风蚀量增加 100%,尽管此期间月均风速变化不大。鉴于每年 4、5 月间的风

速最大,而其它月几乎可忽略不计,因此,桔秆及根茬管理策略应着重针对这 2 个月加以考虑。

不同替代性轮作方式造成不同的风蚀量后果,主要原因在于单位面积产生的生物量 (biomass) 及其对地表的覆盖作用不同。种植密度愈高,植株顶部生长愈旺盛,减少风蚀量作用愈强。从这一点出发,诸如玉米、莜麦和油菜等田间密度相对高,植株顶部生长旺盛的作物,在武川县的种植制度中应尽量多安排。

收获后在田间保持桔秆及根茬对抑制风蚀有至关重要的作用。保持时间长短同风蚀量减少呈正相

关。“优化秸秆及根茬管理”指的是尽可能把秸秆及根茬在田间保持较长的时间，最好不移走或留到来年4、5月播种之前。之所以还保留“推迟移走秸秆及根茬”方案，是考虑到绝大部分农民毕竟还需要用秸秆及根茬解决燃料、取暖和粗饲料问题。因此，要从技术（如可再生能源利用技术）开发和政策补偿等方面采取切实措施，特别是要缓解取暖用燃料的不足，从而保证优化秸秆及根茬管理的实施。同理，若为了减轻风蚀而减少杂豆、春麦的种植面积，也要先着手解决好农民口粮问题。

总之，在当前武川县既定的、较严酷自然条件和不尽科学合理的农作栽培耕作管理方式的情况下，如不采取有效的措施，严重的就地风蚀和为华北地区沙尘暴提供尘源的局面将会继续，甚至进一步恶化。控制风蚀的策略无疑是多方面的，但是，改变现行在收获后马上移走秸秆及根茬的做法，到下茬作物播前一直保留秸秆及根茬，以及尽可能在粮田安排较多的玉米、莜麦等，对减轻风蚀有现实意义。对于越冬期和生长季地表裸露比例较高且时间长、有较强市场需求、经济效益较好的作物如马铃薯，则建议需采取与留茬作物带状间作的方式。

本研究在EPIC模型的验证上受到缺少田间实测风蚀历史资料的局限，只能从已发表的论文著作中寻找数据加以弥补。同时，后山地区的土壤不全是栗钙土，单用栗钙土一种土类进行模拟，也会影响到模拟结果在比县更大的尺度上的可应用性。总之，模型模拟结果的精确度还有待进一步提高。

## References

- [ 1 ] Cheng X. Relationship between agriculture, ecological deterioration, restoration and reconstruction in Loess Plateau areas of northwest China. *Scientia agricultura Sinica*, 2001, 34(1):84-90. (in Chinese)  
程序. 西北黄土高原区农业与生态恶化及恢复重建. 中国农业科学, 2001, 34(1), 84-90.
- [ 2 ] Zhang G P, Liu J Y. Analysis of China soil - wind erosion's spatial distribution and its driving factors. *Acta Geographic Sinica*, 2001, 56(2):21-28. (in Chinese)  
张国平, 刘纪远. 中国土壤风蚀空间分布及其驱动因子分析. 中国地理学报, 2001, 56(2):21-28.
- [ 3 ] Cheng X, Unique ecosystem characters of North China jigsaw-pattern zone containing both agriculture and pasture as well as e-  
cological principles of abatement and development. *Chinese journal of Applied Ecology*, 2002, 13(11):57-61. (in Chinese)  
程序. 北方农牧交错带生态系统的独特性及其开发治理的生态学原则. 应用生态学报, 2002, 13(11):57-61.
- [ 4 ] Lin J, Sun S H, Wang J H. Evaluation methodology of land desertification level caused by wind erosion in the sand dust storm frequently-occurring area. *J. of Desert Research*, 2001, 56(2):18-21. (in Chinese)  
林今, 孙斯衡, 王俊厚. 沙尘暴频发区土地荒漠化的评估方法. 沙漠研究, 2001, 56(2):18-21.
- [ 5 ] Zhu Z D, Wang T. The analysis on the desertification direction of Chinese land based on the research of several typical area over last Ten years. *Acta Geographica Sinica*, 1992, 45(4):430-440. (in Chinese)  
朱震达, 王涛. 基于近十年来若干典型地区研究的中国土地荒漠化发展方向分析. 中国地理学报, 1992, 45(4):430-440.
- [ 6 ] Potter K N, Williams J R, Larney F J, Bullock M S. Evaluation of EPIC's wind erosion sub-model using data from southern Alberta. *Canadian J. Soil Sci.*, 1998, 78:485-492.
- [ 7 ] Cheng X. Rethinking of the transition zone between agricultural and pastoral areas, and the innovation of industries of grass and livestock. *Journal of Grasses Industry*, 2001, 10(S1):27-35. (in Chinese)  
程序. 对农牧交错带的再认识及其草、畜产业的创建. 草业学报, 10(S1):27-35.
- [ 8 ] Williams J R. EPIC0320 user guide. Blackland Research Center, Texas A&M University USA, 2001.
- [ 9 ] Chen X W, Harman W, Magre M, Wang E, Srinivasan R, Williams J. Water Quality Assessment with Agro-Environmental Indexing of Non-point Sources, Trinity River Basin. *Applied Engr. in Agri.*, 2000, 16(4): 405-427.
- [ 10 ] Wang E, Harman W, Williams J. Economic and environmental impacts of utilizing feedlot manure integrated with conservation tillage agriculture, Texas High Plains. *J. of Environmental Quality*, 2001, (31)July-August:79-85.
- [ 11 ] Dong Z B, Chen G T. A preliminary insight into the wind erosion problem in Houshan Area of Inner Mongolia. *Journal of Soil Eros. and Water Conservation*, 1997, 3(2):11-12. (in Chinese)  
董志宝, 陈广庭. 内蒙后山地区风蚀问题的初步探讨. 土壤侵蚀与水土保持, 1997, 3(2):11-12.
- [ 12 ] Gao R L. Wind erosion disaster and its control in Loess Plateau of China. *Journal of Catastrophology*, 1996, 11(3):15-18. (in Chinese)  
高荣乐. 中国黄土高原风蚀灾害及其控制. 灾害科学, 1996, 11(3): 15-18.