

农牧交错带不同农田耕作模式土壤风蚀的 风洞实验研究*

杨秀春¹ 严 平² 刘连友² 徐 斌^{1†}

(1 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081)

(2 北京师范大学资源学院, 北京 100871)

摘 要 在农牧交错带——内蒙古自治区太仆寺旗采集的土壤样品的风洞实验研究结果表明:耕作模式的不同导致土壤风蚀状况的差异。在深松、翻耕、翻耕碾碎、小麦茬 10 cm、荞麦茬 10 cm、胡麻茬 10 cm 与无残茬等 7 种耕作模式的风洞实验中,翻耕碾碎风蚀速率均值最大,达到 $124.8 \text{ g m}^{-2} \text{ min}^{-1}$,胡麻茬最小,为 $15.14 \text{ g m}^{-2} \text{ min}^{-1}$,前者是后者风蚀速率的 8.24 倍。7 种耕作模式风蚀速率均值的大小顺序为:翻耕碾碎 > 无残茬 > 深松 > 荞麦茬 > 翻耕 > 小麦茬 > 胡麻茬。结合对不同耕作模式土壤风蚀速率与风速关系的进一步分析可定量揭示出:翻耕碾碎、无残茬模式防风蚀效果最差,胡麻茬、小麦茬、翻耕模式防风蚀效果最好,深松、荞麦茬防风蚀效果居中。本文结论对农牧交错带旱作农业增强农田防风抗蚀能力有借鉴意义。

关键词 农牧交错带;土壤风蚀;耕作模式;风洞实验

中图分类号 S152.3 **文献标识码** A

农牧交错带日益严重的土壤风蚀是我国北方干旱、半干旱区域土地退化的主要过程之一^[1]。例如,内蒙古奈曼旗中部玉米农田土壤风蚀模数达到 $4\,400 \sim 11\,600 \text{ t km}^{-2} \text{ a}^{-1}$,荞麦、黑豆等作物农田土壤风蚀模数达到 $21\,800 \sim 26\,100 \text{ t km}^{-2} \text{ a}^{-1}$,已形成大面积沙漠化农田^[2]。在农牧交错带,脆弱的生态环境,再加之简单粗放的传统耕作模式,造成了大面积的沙质地表,大风季节与农田裸露时期同步,导致强烈土壤风蚀。如何改变农牧交错带旱作农业传统农田耕作模式^[3-6],建立既蓄水保墒又防风治沙的农业耕作新技术就成为当前农牧交错带防沙治沙以及促进旱区农业可持续发展的重要现实问题。

土壤风蚀的发生、发展受到气候、土壤、植被、耕作技术等多重因素的综合影响。要将土壤风蚀降低到最小程度,就要综合考虑以上因子的可变性和可控性,从而达到土壤风蚀防治的目的。为了定量对比不同耕作模式农田土壤防风抗蚀能力的强弱,必须观测不同耕作模式农田的土壤风蚀数据。风洞实验是风蚀研究中常用手段之一,大量风洞实验研

究已在土壤风蚀原理^[7,8]、自然因素和人为因素对土壤风蚀的贡献程度^[9]、植被对土壤风蚀的影响^[10,11]、土壤水分与粒度特征的差异对临界风速和风速的影响^[12,13]、风蚀率与地表破坏率之间的关系等方面取得了丰富研究结论^[14,15]。尽管如此,在不同耕作模式如何影响农田土壤风蚀状况方面还缺乏系统实验观测与定量对比研究。基于此,本文对不同耕作模式农田土壤风蚀状况进行了风洞实验研究。

1 材料与方 法

1.1 实验区基本情况

实验区选在内蒙古自治区锡林郭勒盟太仆寺旗头支箭乡小河套村(图 1)。太仆寺旗是内蒙古自治区锡林郭勒盟最大的农业旗,属于农牧交错的沙化、旱作农业区。太仆寺旗牧业生产历史悠久,始于远古匈奴;农业生产则始于清朝。太仆寺旗耕地面积平均占全旗土地总面积的 33.91%,牧草地面积平均占全旗土地总面积的 53.79%。太仆寺旗地处中

* 国家“十五”科技攻关项目“沙区农田、草地土壤风蚀防治技术研究”(2002BA517A10)和农业部项目“发展生态农业治理沙漠化土地技术研究与示范”(2003070405)资助

† 通讯作者

作者简介:杨秀春(1975~),女,博士后,主要从事土壤风蚀及保护性耕作技术研究。E-mail: yangxc@263.net

收稿日期:2004-09-27;收到修改稿日期:2005-05-16

温带,属半干旱大陆性气候,年平均降水 407 mm,多集中在 7~9 月,年平均蒸发量 1 900 mm,是降水量

的 4.66 倍。太仆寺旗的主要土壤类型为栗钙土,面积约为 2 713 km²,占全旗土地总面积的 77.98%。

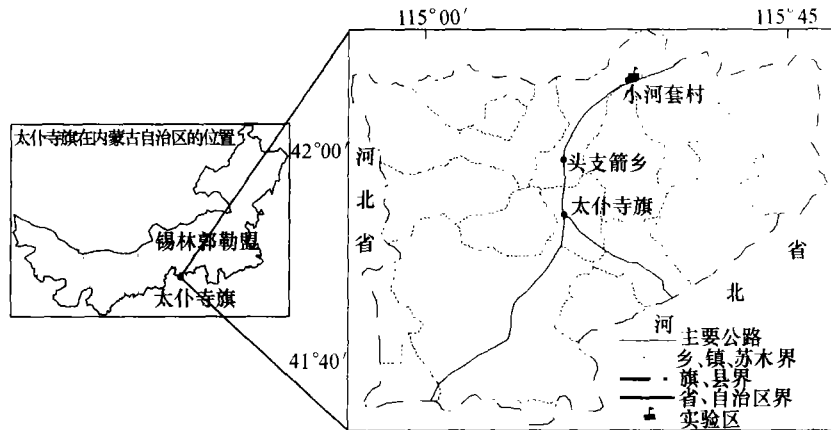


图 1 实验区位置

Fig.1 Location of experiment site

风力是引起土壤风蚀的主要因素,使土壤产生风蚀的风速为起沙风速。据观测,实验区内起沙风速为 $\geq 6 \text{ m s}^{-1}$ 。

1.2 研究方法

1.2.1 土样采集与处理 实验中风洞实验样品采集自实验区农田的原状栗钙土,地理坐标为东经 115°25',北纬 42°06'。风洞实验样品通过大型开挖,用标准土样箱(76 cm × 26 cm × 18 cm)装取 0~18 cm 的表层原状土。共采集了原状土壤样品 4 块,其中 1 块为备用土样。

采样均在相对开阔平坦的部位选取采样地点。采样过程中对每种土壤的发生剖面 and 地表状况进行了描述。土壤样品 1 的原始床面为小麦残茬 10 cm (根据田间现场残茬测定,其平均高度为 10 cm;荞麦茬和胡麻茬的平均高度也都约为 10 cm),使用野外与样品同步采集的小麦茬根据野外测定的小麦密度对其进行恢复,并对已经受损的小麦茬进行更换,然后样品 1 在风洞内进行风蚀试验;一系列测定完成之后,将小麦茬在不破坏土壤结构和根系的情况下齐根剪掉,在根茬处用细铁丝打孔插入野外采集的荞麦茬,设定的密度以野外采集的为准,然后用样品 4 的土壤对土样 1 进行床面恢复,以防土壤表层细粒物质不断流失,再放入风洞内进行风蚀测定;胡麻茬的风蚀测定同荞麦茬的处理过程类似;无残茬的处理过程是将胡麻茬齐根剪断,用样品 4 进行床面恢复,然后进入风洞进行吹蚀实验;留茬处理完成后,进行翻耕处理,首先进行床面恢复处理,然后用

松土铲对无残茬的土壤床面进行深松处理,最后进行风洞吹蚀实验;在深松的基础上,用松土铲对土壤表层进行翻耕处理,但不打碎土块,然后进行风洞吹蚀实验;吹蚀完成后,将翻耕后的土壤用松土铲将土块打碎,并进行耙地处理,最后进行风洞吹蚀实验。土壤样品 2 的原始床面也是小麦残茬,在实验过程中将其作为重复样品,进行上述实验过程,以使实验结果更加可靠。土壤样品 3 的原始床面为草地原状土,由于其表层有轻微冻结现象,所以用来模拟秋冬寒冷季节的翻耕状况。处理方式为翻耕 3 cm、翻耕 8 cm 和土块打碎。土壤样品 4 主要用以恢复床面的原始状态。

1.2.2 风洞实验 风洞实验在中国科学院寒区旱区环境与工程研究所风沙物理与沙漠环境实验室沙坡头野外风洞中进行,该风洞被国内外广泛认可。该风洞为直流闭口吹气式活动风洞,全长 35 m,实验风速范围为 3~25 m s⁻¹,实验段长 21 m,截面为 1.2 m × 1.2 m。风速用防沙毕托管连接数字压力仪测定。

样品经过自然风干后,在沙坡头野外风洞内进行吹蚀实验。测定留茬土壤自然抗蚀性时用原状样品直接进行实验;测定耕作土壤风蚀过程时,先对样品表面进行深松、翻耕等处理,然后进行实验。样品置于风洞实验段中部,土壤表面与风洞底板保持水平。样品吹蚀面积为 0.76 m × 0.26 m。收集的吹蚀后的土壤,用精度为 1 g 的电子天平称重以确定吹蚀量。

不同耕作模式下的土壤抗风蚀性能以风蚀速率进行表征。风蚀速率是指单位时间、单位面积上的吹蚀量,具体计算公式为:

$$R_d = \frac{W_d}{st} \quad (1)$$

式中: R_d 为风蚀速率, W_d 为吹蚀量, s 是样品吹蚀面积, t 为吹蚀时间。

结合实验区农业生产实际情况,实验共设计了 7 种耕作模式,其中翻耕碾碎是对实验区农业生产中沿袭的传统翻耕模式的模拟(表 1)。

表 1 7 种耕作模式设置方法

Table 1 Setting of seven cultivation patterns

耕作模式 Cultivation patterns		设置方法 Disposed means
翻耕处理 Treatment of plowing	深松 Subsoiling	用松土铲对土壤床面进行深松处理,深度为 5 cm,间距为 3 cm,只松动土壤但不翻转土层
	翻耕 Deep plowing	在深松的基础上,用松土铲对土壤表层进行翻耕处理,翻耕深度约为 3 cm,翻耕后的土块不进行打碎处理
	翻耕碾碎 Plowing and scrunching	翻耕后的土壤,用松土铲将土块打碎,并用木板代替耙将土壤表层耙平
留茬处理 Treatment of stubble	小麦茬 10 cm Wheat stubbles 10 cm tall	小麦茬留茬高约为 10 cm,根据野外测定的小麦密度对小麦茬进行恢复处理,并对已经受损的小麦茬进行更换处理
	荞麦茬 10 cm Buckwheat stubbles 10 cm tall	将上面处理的小麦茬齐根剪断,在不破坏土壤结构的情况下,在根茬处用细铁丝打孔插入野外采集的荞麦,设定的密度以野外采集时测定的为准
	胡麻茬 10 cm Benne stubbles 10 cm tall	将上面处理的荞麦茬齐根剪断,在不破坏土壤结构的情况下,同样在根茬处用细铁丝打孔插入野外采集的胡麻,设定的密度以野外采集时测定的为准
	无残茬 No-stubble	将胡麻茬齐根剪断,恢复床面原始状态,以测定没有覆盖物情况下的风蚀状况

土壤样品风蚀实验的技术流程如图 2:

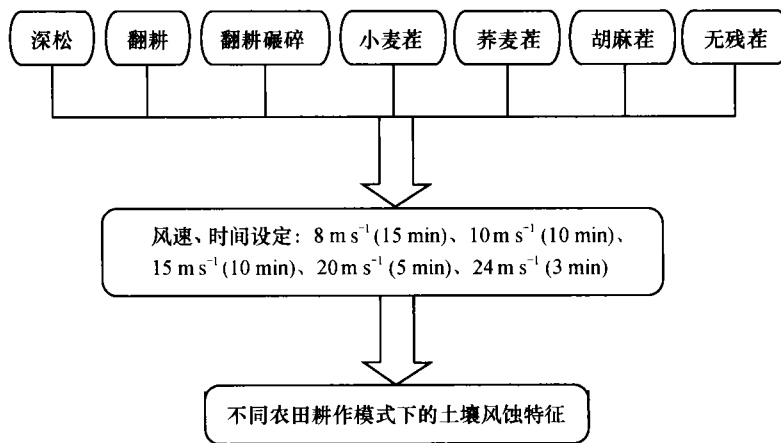


图 2 农田土壤风蚀风洞实验技术流程

Fig.2 Technical flowchart of the wind tunnel experiment on wind erosion

2 结果与讨论

2.1 风洞实验结果

2.1.1 不同耕作模式风蚀速率及其对比

不同耕作模式风蚀速率实验结果见表2。

实验数据表明:

(1) 表 2 中 7 种耕作模式下风蚀速率随风速的增加均呈现出变大趋势。当然,由于具体耕作条件的差异,不同耕作模式在不同风速下风蚀速率的增幅不同,以 20 m s⁻¹ 风速下的风蚀速率较 8 m s⁻¹ 风速下的风蚀速率增幅比较而言,以翻耕碾碎最大,翻耕碾碎在 20 m s⁻¹ 风速下的风蚀速率是 8 m s⁻¹ 风速下的风蚀速率的 255.5 倍;胡麻茬最小,在

20 m s⁻¹风速下的风蚀速率是 8 m s⁻¹风速下风蚀速率的 25.05 倍。

(2) 深松、翻耕与翻耕碾碎 3 种耕作模式中, 平均风蚀速率以翻耕碾碎相对最大, 为 124.8 g m⁻² min⁻¹, 翻耕相对最小, 为 21.01 g m⁻² min⁻¹, 前者是后者的 5.94 倍, 其原因也在于土块在翻耕后不进行打碎处理增加了地表粗糙度。

(3) 在留茬的 4 种处理方式下, 是否留有残茬以及残茬种类的差异对风蚀速率会产生客观影响, 比较而言, 无残茬风蚀速率均值相对最大, 达到

70.15 g m⁻² min⁻¹, 胡麻茬相对最小, 为 15.14 g m⁻² min⁻¹, 前者是后者的 4.63 倍。

(4) 7 种处理方式下风蚀速率均值的大小顺序为: 翻耕碾碎 > 无残茬 > 深松 > 荞麦茬 > 翻耕 > 小麦茬 > 胡麻茬, 比较而言, 翻耕碾碎的风蚀速率值最大, 达到 124.8 g m⁻² min⁻¹, 是胡麻茬风蚀速率的 8.24 倍。

实验中还进一步观测了翻耕模式在不同处理方式下的风蚀速率与风速的关系, 翻耕模式的不同处理方式为: 翻耕 3 cm、翻耕 8 cm 和翻耕碾碎(表 3)。

表 2 不同耕作模式在不同风速下的风蚀速率

Table 2 Wind erosion rates of different cultivation patterns under different wind speeds

风速 Wind speed (m s ⁻¹)	时间 Time (min)	深松 Subsoiling	翻耕 Deep plowing	翻耕碾碎 Plowing and scrunching	小麦茬 Wheat stubble	荞麦茬 Buckwheat stubble	胡麻茬 Benne stubble	无残茬 No-stubble
8	15	1.69	4.72	5.32	0.34	1.01	1.01	1.35
10	10	2.33	5.06	8.33	0.51	1.49	1.32	3.54
15	10	6.07	12.60	24.80	4.55	3.54	2.53	43.52
20	5	41.50	25.30	258.1	33.40	81.98	25.30	88.11
24	3	145.1	57.35	327.3	65.97	136.6	45.55	214.2
R_d 平均值 R_d average value	—	39.33	21.01	124.8	20.95	44.93	15.14	70.15

表 3 不同翻耕模式和不同风速下的风蚀速率

Table 3 Wind erosion rates in different patterns of plowing and wind speeds

风速 Wind speed (m s ⁻¹)	时间 Time (min)	翻耕 3 cm Plowing 3 cm deep	翻耕 8 cm Plowing 8 cm deep	翻耕碾碎 Plowing and scrunching
8	15	4.39	7.76	8.54
10	10	4.61	8.77	9.22
15	10	5.57	11.85	15.32
20	5	15.18	16.19	71.86
24	3	21.93	22.54	290.2
R_d 平均值 R_d average value	—	10.33	13.42	79.02

由表 3 可见翻耕模式的不同处理, 会导致不同的风蚀速率。在翻耕 3 cm 的情况下, 风蚀速率均值为 10.33 g m⁻² min⁻¹; 在翻耕 8 cm 的情况下, 风蚀速率均值为 13.42 g m⁻² min⁻¹。翻耕 3 cm 与翻耕 8 cm 的土壤风蚀速率相差不大, 由于这两种翻耕处理只翻土而不打碎土块, 增加了地表粗糙度, 风蚀速率相对并不大。而一旦翻耕后打碎土块, 相同风力吹蚀下, 土壤风蚀速率会快速增加, 随着吹蚀风速的加

大, 土壤风蚀速率会较翻耕 3 cm 与翻耕 8 cm 出现大幅度的增加, 例如, 在 8 m s⁻¹ 风速的吹蚀下, 翻耕 3 cm、翻耕 8 cm 与翻耕碾碎三种情况下的土壤风蚀速率还相差不大, 但是, 随着风速加大, 翻耕碾碎情况下的土壤风蚀速率快速增加, 在 24 m s⁻¹ 风速时分别达到翻耕 3 cm 与翻耕 8 cm 土壤风蚀速率的 13.23 倍和 12.87 倍。翻耕碾碎情况下相应土壤平均风蚀速率为 79.02 g m⁻² min⁻¹, 分别是翻耕 3 cm

与翻耕 8 cm 土壤平均风蚀速率的 7.65 倍和 5.89 倍。

2.1.2 不同耕作模式风蚀速率与风速的关系 风洞风蚀实验表明:风蚀率随风速的增大而增大,风蚀率与风速之间服从指数函数律^[9,14]。由表 2 可建立 7 种耕作模式风蚀速率(R_d)与风速(v)之间的定量关系(表 4)。

表 4 7 种耕作模式风蚀速率与风速之间的拟合式

Table 4 Fitting equations of the wind erosion rates and wind speeds in seven cultivation patterns

耕作模式 Cultivation patterns	R_d-v 关系 R_d-v relationships	相关系数 R Correlation coefficient R
深松 Subsoiling	$R_d = 0.137e^{0.2833v}$	0.99*
翻耕 Deep plowing	$R_d = 1.166e^{0.1587v}$	0.99*
翻耕碾碎 Plowing and scrunching	$R_d = 0.5227e^{0.2804v}$	0.98*
小麦茬 Wheat stubble	$R_d = 0.0195e^{0.3526v}$	0.99*
荞麦茬 Buckwheat stubble	$R_d = 0.0528e^{0.3338v}$	0.97*
胡麻茬 Benne stubble	$R_d = 0.1023e^{0.2554v}$	0.97*
无残茬 No-stubble	$R_d = 0.1664e^{0.3136v}$	0.97*

注:表中 * 表示 0.05 显著水平($n=5, r_{0.05}=0.8783$) Note: Symbol * represents statistical significance at 0.05($n=5, r_{0.05}=0.8783$)。

由表 3,可建立不同翻耕模式土壤风蚀速率与风速之间的定量关系(表 5)。

表 5 不同翻耕模式下风蚀速率与风速之间的拟合式

Table 5 Fitting equations of the wind erosion rates and wind speeds in different patterns of plowing

耕作模式 Cultivation patterns	R_d-v 关系 R_d-v relationships	相关系数 R Correlation coefficient R
翻耕 3 cm Plowing 3 cm deep	$R_d = 1.579e^{0.1071v}$	0.96*
翻耕 8 cm Plowing 8 cm deep	$R_d = 4.532e^{0.0654v}$	0.99*
翻耕碾碎 Plowing and scrunching	$R_d = 1.016e^{0.2205v}$	0.96*

注:表中 * 表示 0.05 显著水平($n=5, r_{0.05}=0.8783$) Note: Symbol * represents statistical significance at 0.05($n=5, r_{0.05}=0.8783$)

由表 4、表 5 可见:不同耕作模式下风蚀速率与风速之间的关系显著。

2.2 讨论

(1) 通过风洞实验,定量观测了不同耕作模式对风蚀的不同影响,由此可为实验区耕作方式的改变提供科学依据。实验区在秋季收割后,农民按照传统生产习惯往往对田块进行翻耕处理(相对于风

洞实验中的“翻耕碾碎”),或者是割去残茬不作处理,虽然其目的是为了蓄水保墒,但是却忽略了该地区强烈风力吹蚀的作用与影响。风洞实验表明翻耕碾碎、无残茬的土壤风蚀情况较其他模式严重,在秋收后采取免耕高茬模式具有减少风蚀的积极作用。

(2) 风洞实验表明翻耕碾碎防风抗蚀效果最差,翻耕碾碎在 20 m s^{-1} 风速下的风蚀速率是 8 m s^{-1} 风速下风蚀速率的 255.5 倍,而胡麻茬 20 m s^{-1} 风速下的风蚀速率仅是 8 m s^{-1} 风速下风蚀速率的 25.05 倍,由此就定量地揭示了在实验区改变传统耕作模式的必要性与迫切性。实验区风大、风多,再加之秋后对土地的翻耕,无疑就导致了严重土壤风蚀,所以,改变耕作模式,在农田休闲期留茬,对于实验区防风治沙具有十分积极的意义和重要作用。

(3) 风洞实验表明翻耕模式的土壤风蚀速率为 $21.01 \text{ g m}^{-2} \text{ min}^{-1}$,其防风蚀效果仅次于胡麻茬、小麦茬,优于其他模式,但是翻耕模式在实验区的实际农业生产中却很难起到如风洞实验般的防风蚀效果。在实验区,在秋收后对田块进行翻耕,土块虽然能暂时增加地表粗糙度,但是由于降水少、旱灾频繁,风大沙多,必然会逐渐破坏土壤结构,降低土壤颗粒之间的结持力,使土块松散、破碎,从而产生严重的土壤风蚀。

(4) 本文参考相关研究^[9,14],建立了不同耕作模式土壤风蚀速率与风速之间的指数关系(表 4、表 5),虽然对土壤风蚀速率与风速之间究竟是存在指数函数关系或是幂函数关系还有一些不同认识^[8],但是无论是指数关系还是幂律关系,都揭示出了风蚀速率随风速的非线性、快速变化,在相同风速不同耕作模式下,必然导致土壤风蚀状况的差异较大,例如翻耕碾碎在 8 m s^{-1} 风速下的风蚀速率是胡麻茬风蚀速率的 5.25 倍,在 15 m s^{-1} 、 20 m s^{-1} 风速下的风蚀速率则分别是胡麻茬风蚀速率的 9.8 倍与 10.2 倍,翻耕碾碎风蚀速率随风速的增长迅速,增幅较胡麻茬大,由此,不同耕作模式的选择对于实验区防治土壤风蚀就有了重要的现实意义。

3 结论

通过对 7 种耕作模式的风洞实验研究,结果表明:耕作模式不同导致土壤风蚀速率的客观差异;在 7 种耕作模式的风洞实验中,翻耕碾碎风蚀速率均值最大,达到 $124.8 \text{ g m}^{-2} \text{ min}^{-1}$,胡麻茬最小,为 $15.14 \text{ g m}^{-2} \text{ min}^{-1}$,前者是后者风蚀速率的 8.24 倍;

7种耕作模式风蚀速率均值的大小顺序为:翻耕碾碎>无残茬>深松>荞麦茬>翻耕>小麦茬>胡麻茬。

结合对不同耕作模式土壤风蚀速率随风速变化的分析,表明:翻耕碾碎、无残茬模式防风蚀效果最差,胡麻茬、小麦茬、翻耕模式防风蚀效果最好,深松、荞麦茬防风蚀效果居中。

致谢 本文风洞实验研究得到了中国科学院寒区旱区环境与工程研究所董治宝研究员、刘玉璋副研究员的大力指导与帮助。

参考文献

- [1] 陈渭南,董光荣,董治宝. 中国北方土壤风蚀问题研究的进展与趋势. 地球科学进展,1994,9(5): 6~12. Chen W N, Dong G R, Dong Z B. A achievements and needs of studies on wind erosion in northern China (In Chinese). *Advance in Earth Sciences*, 1994, 9(5):6~12
- [2] 徐斌,刘新民,赵学勇. 内蒙古奈曼旗中部农田土壤风蚀及其防治. 水土保持学报,1993,7(2): 75~78. Xu B, Liu X M, Zhao X Y. Soil wind erosion in farmland and its control in the middle part of Naiman Banner, Inner Mongola Autonomous (In Chinese). *Journal of Soil and Water Conservation*, 1993, 7(2): 75~78
- [3] Noel D U, Jay D A, Joaquim S. An evaluation of the environmental costs and benefits of conservation tillage. *Environmental Impact Assessment Review*, 1998, 18(6): 521~550
- [4] Gao Z Q, Yin J, Miao G Y, *et al.* Effects of tillage and mulch methods on soil moisture in wheat fields of Loess Plateau, China *Pedosphere*, 1999, 9(2): 161~168
- [5] 张海林,秦耀东,朱文珊. 耕作措施对土壤物理性状的影响. 土壤,2003,35(2):140~144. Zhang H L, Qin Y D, Zhu W S. Effects of tillage on soil physical properties (In Chinese). *Soils*, 2003, 35(2): 140~144
- [6] Patrick G, Charles G, Joseph M, *et al.* Effects of soil management practices and tillage systems on surface soil water conservation and crust formation on a sandy loam in semi-arid Kenya. *Soil and Tillage Research*, 2004, 75(2): 173~184
- [7] 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. 中国沙漠,1992,12(4): 41~49. Liu Y Z, Dong G R, Li C Z. The wind tunnel experiment on wind erosion's main factors (In Chinese). *Journal of Desert Research*, 1992, 12(4): 41~49
- [8] 董光荣,李长治,金炯,等. 关于土壤风蚀风洞实验的某些结果. 科学通报,1987,32(4):277~301. Dong G R, Li C Z, Jin J, *et al.* Some conclusions of wind tunnel experiment on wind erosion (In Chinese) *Science Bulletin*, 1987, 32(4): 277~301
- [9] 董治宝,陈广庭. 蒙古后山地区土壤风蚀问题初论. 土壤侵蚀与水土保持学报,1997,3(2): 84~90. Dong Z B, Chen G T. Discussion on the issues of wind erosion of Hou mountain, Inner Mongolia (In Chinese) *Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation*, 1997, 3(2): 84~90
- [10] 董治宝,陈渭南,李振山,等. 植被对土壤风蚀影响作用的实验研究. 土壤侵蚀与水土保持学报,1996,2(2):1~8. Dong Z B, Chen W N, Li Z S, *et al.* The laboratory study on the role of vegetation in soil erosion by wind (In Chinese) *Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation*, 1996, 2(2): 1~8
- [11] 董治宝,高尚玉, Fryrear D W. 直立植物—砾石覆盖组合措施的防风蚀作用. 水土保持学报,2000,14(1):7~11, 17. Dong Z B, Gao S Y, Fryrear D W. Drag measurement of standing vegetation-clod cover surface (In Chinese). *Journal of Soil and Water Conservation*, 2000, 14(1): 7~11, 17
- [12] 杨秀春,刘连友,严平. 土壤短期吹蚀的粒度分维研究. 土壤学报,2004,41(2):176~182. Yang X C, Liu L Y, Yan P. Fractal dimension of soil partical size by wind erosion in a short period (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2004, 41(2): 176~182
- [13] 董治宝,陈渭南,李振山,等. 风沙土水分抗风蚀性研究. 水土保持通报,1996,16(2):17~23. Dong Z B, Chen W N, Li Z S, *et al.* Study on sandy soil's moisture preventing wind erosion (In Chinese). *Water and Soil Conservation Bulletin*, 1996, 16(2):17~23
- [14] 刘连友,刘玉璋,李小雁,等. 砾石覆盖对土壤吹蚀的抑制效应. 中国沙漠,1999,19(1):60~63. Liu L Y, Liu Y Z, Li X Y, *et al.* Effect of gravel mulch restraining soil deflation by wind tunnel simulation (In Chinese) *Journal of Desert Research*, 1999, 19(1): 60~63
- [15] Chepil W S, Milne R A. Comparative study of soil drifting in the field and in a wind tunnel. *Sci Agr.*, 1939, 19: 249~257

WIND TUNNEL EXPERIMENT ON EFFECTS OF DIFFERENT CULTIVATION PATTERNS ON SOIL WIND EROSION IN AGRO-GRAZING ECOTONE, INNER MONGOLIA

Yang Xiuchun¹ Yan Ping² Liu Lianyou² Xu Bin^{1†}

(1 *Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Science, Beijing 100081, China*)

(2 *Institute of Resources Science, Beijing Normal University, Beijing 100871, China*)

Abstract Soil was collected from Taipusi County, Inner Mongolia, for wind tunnel experiment. Results indicate that different cultivation patterns result in objective difference in wind erosion. In the wind tunnel experiment, seven cultivation patterns were simulated with the soil, such as subsoiling, deep plowing, plowing and scrunching, 10 cm high wheat stubbles, 10 cm high buckwheat stubbles, 10 cm high benne stubbles, and no-stubble. Among them, the pattern of plowing and scrunching was the highest in wind erosion rate, being $124.8 \text{ g m}^{-2} \text{ min}^{-1}$, whereas the pattern of benne stubbles the lowest, being $15.14 \text{ g m}^{-2} \text{ min}^{-1}$. The seven farming patterns were in the order of plowing and scrunching > no-stubble > subsoiling > 10 cm high stubble of buckwheat > deep plowing > 10 cm high stubble of wheat > 10 cm high stubble of benne in average wind erosion rate. The relationship between wind erosion rate and wind speed was analysed, showing that in terms of effect of wind erosion control, the patterns of plowing and scrunching and no-stubble were the poorest and the patterns of benne stubbles, wheat stubbles and plowing were the best, and the patterns of subsoiling and buckwheat stubbles were medium. The conclusion drawn in this paper is of some significance for reference in controlling wind erosion in dryland agriculture in the agro-grazing ecotone.

Key words Agro-grazing ecotone; Wind erosion; Cultivation pattern; Wind tunnel