

# 免耕对农牧交错带农田休闲期土壤风蚀 及其相关土壤理化性状的影响

秦红灵<sup>1</sup>, 高旺盛<sup>1,\*</sup>, 马月存<sup>1</sup>, 杨世琦<sup>1</sup>, 赵沛义<sup>2</sup>

(1. 中国农业大学 农学与生物技术学院 北京 100094 2. 内蒙古农业科学院 土化所, 呼和浩特 010031)

**摘要** :以北方农牧交错带为研究对象,分析了免耕对农田土壤风蚀的影响,评价了不同耕作方式下与土壤风蚀相关的土壤物理、化学和生物学特性的差异。研究结果表明:翻耕农田土壤风蚀量是免耕地的 3~8 倍,翻耕地和免耕地的地表粗糙度分别为 0.032 和 0.417;与翻耕地相比,免耕地表层 0~10 cm 土壤粘粒和粉粒含量较多,免耕地土层 0~5 cm 和 5~10 cm 的土壤容重、坚实度和土壤水分都大于翻耕地,其中 0~5 cm、5~10 cm 和 10~20 cm 土层土壤坚实度分别是翻耕地的 4.7、2.8 倍和 3.8 倍。经过 3 年的免耕 0~5 cm 土层土壤全氮、有机质、有效磷和有效钾含量均高于翻耕土壤,有效钾含量比翻耕地增加了 77%。所有测定土层的土壤有机质含量免耕地均高于翻耕地,在 0~5 cm 和 5~10 cm 土层达到 5% 显著水平。免耕地表层 0~10 cm 土壤微生物量碳是翻耕地的 2.1 倍。

**关键词** :免耕,翻耕,土壤理化性状,风蚀

文章编号:1000-0933(2007)09-3778-07 中图分类号:S154.1 S157.1 文献标识码:A

## Effects of no-tillage on soil properties affecting wind erosion during fallow in Ectone of north China

QIN Hong-Ling<sup>1</sup>, GAO Wang-Sheng<sup>1,\*</sup>, MA Yue-Cun<sup>1</sup>, YANG Shi-Qi<sup>1</sup>, ZHAO Pei-Yi<sup>2</sup>

1 College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100094, China

2 Department of Soil Chemistry, Inner Mongolia Academy of Agricultural Sciences, Hohhot 010031, China

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (9) 3778~3784.

**Abstract** :The objectives were to analyze the effects of wind erosion under plough tillage and no-tillage, evaluate changes in soil physical, chemical and biological properties due to different tillage practices, and to discuss the effects of soil properties on wind erosion. Results showed that : (1) soil loss from plough tillage (FT) was as much as 3~8 times that from no-tillage (NT); the aerodynamic roughness lengths under plough and no-tillage were 0.032, 0.417, respectively. (2) No-tillage soil contained more clay and fine sand in the 0~10 cm topsoil layer than the plough tillage soil. In the 0~5 and 5~10 cm soil depth, the bulk density, soil hardness and soil moisture were more under no-tillage than plough tillage. Especially, the soil hardness in 0~5, 5~10 and 10~20 cm under no-tillage were as much as 4.7, 2.8 and 3.8 times, respectively. (3) Plough tillage practice decreased available K at the 0~5 cm depth by 77% compared to no-tillage. A similar trend was observed for total N, soil organic matter (SOM) and available P, although decreases were lower than that

基金项目 国家自然科学基金资助项目 (30471010), 国家“十一五”科技支撑计划课题 (2006BAD02A15)

收稿日期 2007-01-04; 修订日期 2007-07-09

作者简介 秦红灵 (1978~), 女, 河南南阳人, 博士生, 主要从事农业生态研究. E-mail: honglingqin2005@sohu.com

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wshgao@cau.edu.cn

**Foundation item** :The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China (No. 30471010), National Eleventh-five-year Project (No. 2006BAD02A15)

**Received date** 2007-01-04 **Accepted date** 2007-07-09

**Biography** QIN Hong-Ling, Ph. D. candidate, mainly engaged in agricultural ecology. E-mail: honglingqin2005@sohu.com

of available K. A cross depths ,the concentrations of SOM were lower in the plough tillage soils than in the no-tillage soil , but differences were significant ( $P < 0.05$ ) only at the 0 — 5 cm and 5 — 10 cm depths. (4) Microbial biomass carbon concentration under NT was 2.1 times that of PT in the 0 — 10 cm soil depth.

**Key Words :** No-tillage ; Plough tillage ; Soil properties ; Wind erosion

近 50a 来 ,我国每年有  $9.1 \times 10^7 \text{ hm}^2$  的农田受到土壤风蚀的威胁 ,有  $6.7 \times 10^6 \text{ hm}^2$  的农田已经被流动沙丘掩埋 ,在中国北方农牧交错带的雨养农业区农田土壤风蚀危害尤其严重<sup>[1,2]</sup>。北方农牧交错带属于一年一熟区域 ,每年作物在 4 月底种植 9 月底或 10 月初收获 ,每年有近 7 个月的时间土地处于裸露状态 ,尤其从表土解冻后的 3 月中旬到作物播种前的 4 月底 ,表土干燥且疏松 ,大风天气频繁发生更加剧了土壤风蚀。研究表明 ,保护性耕作可以有效减少土壤风蚀 ,抑制农田土壤退化并改善土壤理化性状<sup>[3]</sup> ,原因在于 ,免耕条件下土壤表层有更多的粉粒含量 ,团聚体稳定性和土壤保水性增加 ,土壤抗风蚀能力增强<sup>[4~8]</sup>。因此 ,近年来保护性耕作在中国得到了广泛应用。

对保护性耕作条件下土壤风蚀及土壤理化性状已有很多的研究 ,但针对农田休闲期与土壤风蚀相关的土壤理化性状的研究却比较少。因此 ,本研究在土壤风蚀危害严重的北方农牧交错带 ,通过翻耕与免耕的对比试验 ,分析农田休闲期免耕对土壤风蚀及其相关土壤理化性状的影响 ,评价保护性耕作的农田生态效益。

1 研究区概况

本试验于内蒙古武川县旱农试验站 (41°08'N , 111°17'E )完成。该县位于北方农牧交错带的中段 ,海拔 1555m ,是我国典型的半干旱偏旱农业区。该区年降水量仅有 354 mm ,60% ~ 70% 降雨集中在 7 月到 9 月份。全年平均温度 2.6℃ ,7 月份月均温最高为 18.5℃ ,1 月份月均温最低为 - 15.4℃。年积温 2241 ~ 2900℃ ,无霜期 90 ~ 120d ,只能满足一季作物的生长。每年大风和沙尘暴天气有 20d 左右 ,晚春 (4、5 月份)风速最大 ,月均风速达 3.5 m/s ,以西北风为主 ,每年平均侵蚀模数为  $9985 \text{ t} / (\text{km}^2 \cdot \text{a})$ <sup>[9]</sup>。土壤为栗钙土 ,砂粒含量 67.0% ,粉粒含量 31.5% ,粘粒含量 1.5% ,无论是耕作农田还是休闲农田近几年的土壤侵蚀和荒漠化程度都比较严重<sup>[10]</sup>。

2 研究方法

2.1 试验设计

试验从 2003 开始 ,在武川旱作试验站保护性耕作试验区进行 ,设置翻耕与免耕两个耕作处理 ,田间试验大区设置 ,长 90m ,宽 15m ,每个处理 2 个重复。免耕处理除播种外 ,没有其他土壤扰动。每年秋收后残茬覆盖 (莠麦茬 ,茬高 15 cm) 秸秆不还田。春季免耕播种 ,没有深松措施 ,2006 年是免耕的第四年 ,翻耕处理按照当地传统习惯 ,秋季作物收获后用传统铧式犁翻地 ,农田从 9 月底到翌年 4 月底都是裸露的。翻耕作为对照 ,年年翻耕。农田终年无灌溉 ,采用除草剂除草 ,一次性随播种施足底肥 ,二铵  $150 \text{ kg} / \text{hm}^2$  ,尿素  $75 \text{ kg} / \text{hm}^2$  ,氯化钾  $60 \text{ kg} / \text{hm}^2$ 。

2.2 土壤风蚀与风速测定

利用风洞试验在室内模拟测定了翻耕与免耕留茬地土壤风蚀量。风洞试验样品在 2006 年 4 月初采自试验区农田原状栗钙土 ,样品经特制的装置开挖 ,用标准取样箱 (50 cm × 45 cm × 15 cm) 装取 0 ~ 15 cm 的表层原状土。共采集了原状土壤样品 5 块 ,翻耕地和免耕地各 2 块 ,1 块为备用土样。试验在内蒙古农业大学机电工程学院野外风洞 (OFDY-1.2) 内进行 ,洞体总长 11.8 m ,试验段长 7.2 m ,风洞内壁横断面为 1.0 m × 1.2 m ,风速 2 ~ 20 m/s 连续可调。试验时将土壤置于风洞试验段中部 ,土壤表面与风洞底板持平。利用比托管测定风洞底板表层 2.5、5.0、10.0、20.0 cm 和 60.0 cm 风速 ,试验风速以上风向风洞底板表层 0.6m 处风速为准。土壤风蚀速率的测定用吹蚀前后称重法 ,计算单位时间内单位面积的土壤风蚀量 ,即土壤风蚀速率。试验测定了两种耕作方式在 6、9、12、15、18 m/s 5 个风速下持续吹蚀 10 min 的土壤风蚀速率。风速从低到高

依次进行,每次吹蚀后都将土样恢复至原状土,并在每次吹蚀前后对土样拍照和文字描述。用高 50 cm 单格为 1 cm×3 cm 的狭缝式积沙仪在土样末端收集不同高度的风蚀物,并用电子天平称重,求单位时间内单位面积的输沙率 ( $\text{kg m}^{-2} \text{min}^{-1}$ )。

2.3 土壤理化和生物性状测定

2006 年 4 月多次重复测定了翻耕与免耕土壤条件下与风蚀相关农田土壤和植被相关特性。采用浙江大学研制的 GT-1 型土壤坚实度计 10 次重复测定土壤坚实度,烘干法 3 次重复测定土壤重量含水量,环刀法 3 次重复测定土壤容重。

利用直径 3cm 的小土钻分层 (0~5 cm, 5~10 cm, 10~20 cm 和 20~30 cm) “S”型随机采集,每个处理 15 个土样,然后混合得到分层的混合土样测定土壤化学特性。土样风干后过 2 mm 的筛子,移除土块、植物根和大的土壤动物。采用吸管法测定土壤粒径,半微量凯式定氮法测定土壤全氮,0.5 mol/L  $\text{NaHCO}_3$  浸提,钼锑抗吸光光度法测定土壤有效磷,1 mol/L  $\text{NH}_4\text{AC}$  浸提,火焰光度法测定土壤有效钾,重铬酸氧化外加热法测定土壤有机质。

植被特性采用 1  $\text{m}^2$  样方法测定。每个样方中植被覆盖度采用样线法<sup>[11]</sup>,残茬高度随机多重重复测定求平均值。

土壤微生物量碳采用氯仿熏蒸法,滤液用重铬酸钾法测有机碳<sup>[12~14]</sup>。利用直径 3 cm 的小土钻分层 (0~10 cm, 10~20 cm 和 20~30 cm) “S”型随机采集,每个处理 15 个土样,然后混合均匀放置在封口布袋子里。湿土迅速过 2mm 的筛子,移除土块、植物根和大的土壤动物。在培养箱 25  $^{\circ}\text{C}$  放置 1 周后测定,微生物量碳 =  $2.64 \times$  熏蒸与不熏蒸土壤中有有机碳的差值。

2.4 数据分析

多次重复求平均值对数据进行统计分析。单尾检验重复间的差异显著性,新复级差法检验处理间的差异显著性水平,用不同的字母或 \* 表示 5% 的显著性水平。并用 SPSS10.0 统计软件对数据进行相关的回归模拟分析。

3 结果与分析

3.1 免耕对土壤风蚀的影响

从图 1 可见,虽然翻耕和免耕条件下土壤风蚀率都随风速的增加而增加,但两者也存在明显的不同。翻耕条件下,土壤风蚀率与风速呈线性关系,免耕条件下呈幂函数的关系。表 1 列出了翻耕与免耕两种耕作方式下风蚀率与风速之间的定量关系,其中  $y$  是风蚀率 ( $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min})$ ), $x$  是风速 ( $\text{m}/\text{s}$ ), $R^2$  是相关系数。从表 2 可见,在同样风速条件下,翻耕地土壤风蚀率是免耕地的 3~8 倍,说明免耕能够有效地降低风蚀强度。

表 1 土壤风蚀率与风速之间的相关分析

Table 1 The regression relationship between wind erosion modulus and wind velocity			
处理 * Treatment	回归类型 Regression types	回归方程 Regression equation	决定系数 ( $R^2$ ) Coefficient of determination
翻耕 Plow tillage (FT)	线性 linearity	$y = 22.34x - 125.19$	$R^2 = 0.99$
免耕 No tillage (NT)	幂数 power	$y = 0.0039x^{3.47}$	$R^2 = 0.98$

\* 下同 the same below

表 2 风速对土壤风蚀侵蚀率的影响 ( $\text{mg}/\text{m}^2 \cdot \text{min}$ )

Table 2 Effect of wind velocity on wind erosion modulus			
风速 Wind velocity ( $\text{m}/\text{s}$ )	翻耕 (PT) Plough tillage	免耕 (NT) No-tillage	免耕/翻耕 PT/NT
6.00	19.69	3.60	5.47
9.00	68.67	8.40	8.17
12.00	129.02	32.67	3.95
15.00	215.82	54.58	3.95
18.00	281.20	96.49	2.91

图 2 可见 6、9、12、15、18m/s 5 个风速条件下翻耕与免耕土壤的风速廓线。不管是翻耕还是免耕,风速阔线均符合对数函数方程。在风洞地表 5cm 处,免耕条件下的风速是 2~7 m/s,翻耕条件下则有 4~9 m/s,因此,当同样的大风天气,翻耕土壤更容易产生土壤风蚀。

地表粗糙度受土壤表层植被和物理特性的影响,是反映土壤抗风蚀能力的一个重要指标<sup>[15,16]</sup>。如果测定的风速廓线符合方程  $u_z = A + B \ln z$ ,其中  $u_z$  是高度  $z$  处的风速, $A$ 、 $B$  是相关系数。当  $u_z = 0$  时,可以得到地表粗糙度  $z_0 = \exp(-A/B)$ 。此方法已被董治宝运用来研究人工植被对固定沙丘风流和地表粗糙度的影响<sup>[17,18]</sup>,本文中应用 SPSS 软件模拟风速廓线方程,利用风速 15 m/s 时翻耕地和免耕地的风速廓线得到翻耕地与免耕地的地表粗糙度,分别为 0.032 和 0.417,免耕地是翻耕地的 13 倍,表明免耕土壤具有更强的抗风蚀能力。

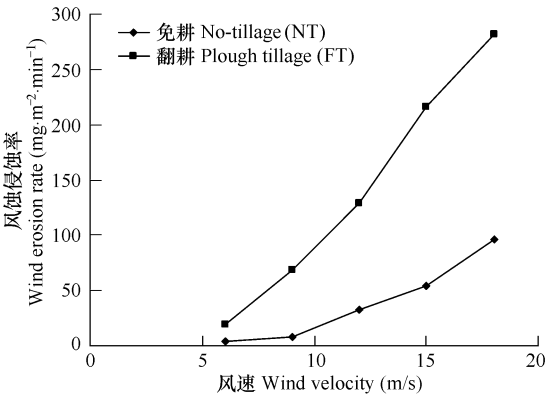


图 1 翻耕与免耕条件下土壤风蚀率与风速之间的关系

Fig. 1 The relationship between wind erosion modulus and wind velocity under plough tillage and no-tillage

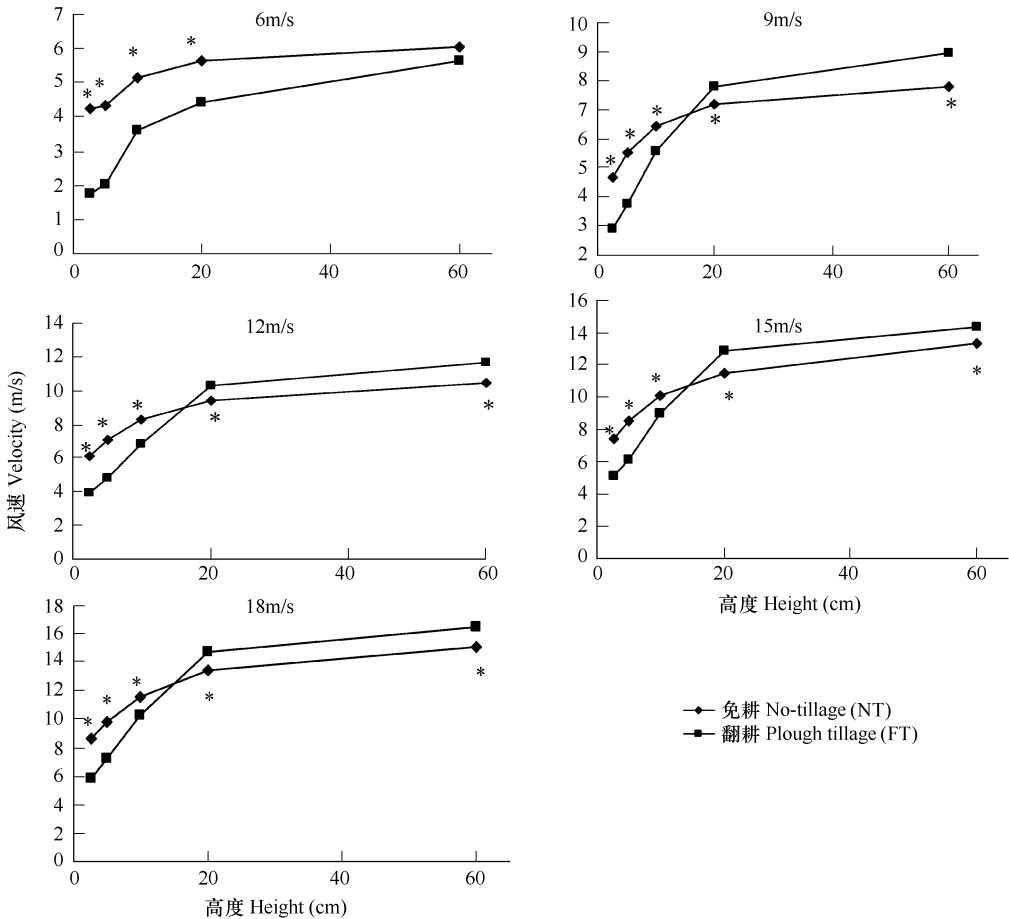


图 2 5 种风速条件翻耕与免耕条件下的风速廓线

Fig. 2 Wind-speed profiles under plough tillage and no-tillage with five wind velocity

3.2 不同耕作措施下与农田风蚀密切相关的土壤理化及生物性状差异分析

3.2.1 免耕对土壤物理特性的影响

从表 3 可见,免耕土壤表层 0~10cm 土壤粘粒和粉粒含量比翻耕地高,表明免耕土壤通过减少土壤风蚀

保留更多的细小颗粒在土壤表层。这是因为风蚀侵蚀物主要由粒径 <0.05mm 的细小颗粒组成<sup>[9]</sup>,免耕农田减少土壤风蚀,并通过直立秸秆残茬截获部分正在流动的风蚀物。从表 3 可见,免耕农田留茬高度 20cm,地表残茬覆盖度 25%。相反,翻耕地却是裸露的。

表 3 翻耕与免耕条件下的土壤粒径分布  
Table 3 Soil particle size distribution under plough tillage (FT) and no-tillage (NT)

土层深度 Depth (cm)	处理 Treatment	粘粒 Clay (<0.002mm)	粉粒 Silt (0.05~0.002mm)	极细砂粒 Very fine sand (0.01~0.05mm)	细砂粒 Fine sand (0.25~0.10mm)	粗砂粒 Coarse sand (0.25~2.00mm)
0~10	翻耕 FT	1.18 a	41.24 b	15.34 a	16.96 a	24.28 a
	免耕 NT	1.69 a	43.86 a	16.15 a	14.52 b	23.78 b
10~20	翻耕 FT	2.12 a	48.62 b	15.33 a	12.58 a	21.36 a
	免耕 NT	1.14 b	52.01 a	13.59 b	11.06 b	22.19 a
20~30	翻耕 FT	2.10 a	48.95 b	15.47 b	12.15 a	21.34 a
	免耕 NT	1.25 b	51.52 a	16.94 a	12.44 a	17.83 b

不同的字母表示 5% 水平差异显著 Values followed by a different small letter denote significant difference at 0.05 probability level

土壤容重、坚实度和土壤水分是农田风蚀的重要影响因子,三者与土壤风蚀率呈明显负相关。从表 4 可见,免耕地 0~5 cm 和 5~10 cm 土层的土壤容重、坚实度和土壤水分都大于翻耕地,特别是免耕地土壤坚实度在 0~5 cm、5~10 cm 和 10~20 cm 3 个土层分别是翻耕地的 4.7、2.8 倍和 3.8 倍,显著高于翻耕地。因此,免耕能够通过改善土壤物理性状有效地抵抗土壤风蚀的危害。

3.2.2 免耕对土壤化学特性的影响

在荒漠化严重地区,农田翻耕引起土地质量的退化,加重土壤风蚀的危害,反过来,土壤风蚀又通过带走农田细小颗粒加速土壤有机质等土壤养分的流失。研究表明,免耕地能够通过减少土壤风蚀增加表层土壤养分储备。从表 5 可见,与翻耕地相比,免耕增加了土壤表层 0~5cm 的土壤全氮,有效磷,有效钾和土壤有机质的含量,特别是土壤有效钾免耕地比翻耕地增加了 77%。在 0~30cm 的 4 个测定层翻耕地的土壤有机质均小于免耕地,0~5cm 和 5~10cm 两个土层差异达到 5% 显著水平。土壤有机质又通过改变土壤氮、磷和钾的有效性来改变土壤养分的储存和利用。

表 4 翻耕与免耕条件下的土壤物理特性  
Table 4 Soil physical properties under plough tillage (FT) and no-tillage (NT)

土层深度 Depth (cm)	处理 Treatment	土壤坚实度 Soil compact (kg cm <sup>-2</sup> )	土壤容重 Bulk density (g cm <sup>-3</sup> )	土壤水分含量 Soil moisture content (%)
0~5	翻耕 FT	0.90b	1.48b	1.25b
	免耕 NT	4.25a	1.59a	4.35a
5~10	翻耕 FT	0.98b	1.40b	3.00b
	免耕 NT	2.77a	1.53a	8.39a
10~20	翻耕 FT	0.96b	1.37b	9.30a
	免耕 NT	3.64a	1.51a	8.80b
20~30	翻耕 FT	2.24a	1.46a	9.17a
	免耕 NT	2.34a	1.27b	9.30a

不同的字母表示 5% 水平差异显著 Values followed by a different small letter denote significant difference at 0.05 probability level

免耕下地表土壤有机质的增加与较多有机物质的输入有关。作物收获后,免耕通过残茬还田增加了有机碳量的输入。同时,由于风蚀颗粒富含养分含量<sup>[20]</sup>,免耕农田通过减少土壤风蚀,秸秆残茬截获风蚀颗粒也增加了土壤有机质来源。

表 5 翻耕与免耕条件下的土壤化学特性

Table 5 Soil chemical properties under plough tillage (FT) and no-tillage (NT)

土层深度 Soil depth (cm)		0 ~ 5	5 ~ 10	10 ~ 20	20 ~ 30
有效磷 Available P (mg/kg)	翻耕 FT	10.70a	10.00b	8.70a	3.00a
	免耕 NT	10.80a	13.30a	5.80b	3.10a
有效钾 Available K (mg/kg)	翻耕 FT	84.99b	76.03b	84.94a	74.97b
	免耕 NT	150.16a	84.97a	73.47b	79.02a
土壤有机质 SOM (%)	翻耕 FT	1.70b	1.61b	1.70a	1.70a
	免耕 NT	1.99a	1.78a	1.80a	1.76a
全氮 Total N (%)	翻耕 FT	0.12a	0.13a	0.13a	0.12a
	免耕 NT	0.13a	0.13a	0.12b	0.13a

不同的字母表示 5% 水平差异显著 Values followed by a different small letter denote significant difference at 0.05 probability level

3.2.3 免耕对土壤微生物量碳的影响

土壤表层 0 ~ 10cm 免耕地土壤微生物量碳是翻耕地的 2.1 倍 ,免耕条件下土层 0 ~ 10cm 的微生物量碳高于 10 ~ 20cm ,翻耕地存在相反的趋势 (图 3 )。不同耕作方式下土壤微生物量碳的变化与和土壤粉粒含量、土壤有机质、全氮、有效磷和有效钾的变化相一致 ,与土壤抗风蚀能力正相关 ,可以建议把土壤微生物量碳作为评价影响土壤风蚀的一个生物学指标。

免耕地较多的土壤微生物量碳与较多的有机碳源的输入和较少的土壤扰动有关。首先 ,农田播种、施肥、除草等田间管理措施都将影响土壤微生物生长的环境。土壤温度和水分的频繁变化都不利于土壤微生物的生长和繁衍<sup>[21]</sup>。免耕由于土壤扰动少 ,可以调控土壤的温度和水分<sup>[22-23]</sup> ,创造了更有利于土壤微生物生长的环境。其次 ,翻耕农田移走了大部分产出物 ,由于减少的碳源输入而降低了土壤微生物的数量和种类<sup>[24]</sup>。与翻耕地相比 ,免耕地表层聚集更多的有机物质提供微生物的生长需要。

4 结论

在农牧交错带 ,翻耕地风蚀模数是免耕地的 3 ~ 8 倍 ,地表粗糙度免耕地是翻耕地的 13 倍。地表粗糙度反映了土壤抗风蚀能力的大小 ,受到地表植被和表层土物理特性的影响。

(1)在土壤物理特性上 ,免耕土壤表层 0 ~ 10 cm 土壤粘粒和粉粒含量比翻耕地高 ,表明免耕土壤通过减少土壤风蚀使土壤表层保留更多的粘粒和粉粒含量。免耕地土层 0 ~ 5 cm 和 5 ~ 10 cm 的土壤容重、坚实度和土壤水分都大于翻耕地 ,特别是免耕地土壤坚实度在 0 ~ 5 cm、5 ~ 10 cm 和 10 ~ 20 cm 3 个土层分别是翻耕地的 4.7、2.8 和 3.8 倍 ,显著高于翻耕地。免耕下土壤物理特性比翻耕地更有利于抵抗土壤风蚀的强度。

(2)在土壤化学性状上 ,与翻耕地相比 ,免耕增加了土壤表层 0 ~ 5 cm 的全氮、有效磷、有效钾和土壤有机质的含量。在 0 ~ 30 cm 的 4 个测定层翻耕地的土壤有机质均小于免耕地 ,0 ~ 5 cm 和 5 ~ 10 cm 两个土层差异达到 5% 显著水平。因此 ,免耕地土壤表层通过减少土壤风蚀增加了土壤养分储备。(3)在表层 0 ~ 10 cm 土壤免耕地土壤微生物量碳是翻耕地的 2.1 倍 ,由于土壤微生物量碳与土壤抗风蚀能力紧密相关 ,建议把土壤微生物量碳作为评价影响土壤风蚀的一个生物学指标。

在风蚀危害严重的北方半干旱农牧交错带 ,不合理的耕作引起了土地质量的退化。为了保护土壤 ,恢复生态健康 ,采用保护性耕作措施来保护农田意义重大。

References :

[1] Wang T. Land use and sandy desertification in north China. Journal of Desert Research ,2000 ,20 (2) :103 — 113.

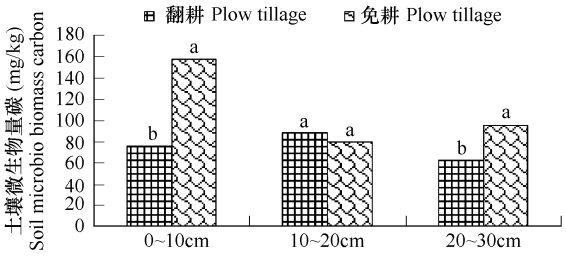


图 3 耕与免耕条件下的土壤微生物量碳

Fig. 3 The microbial biomass C under plough tillage and no-tillage

[2 ] Zhao H L , Zhang T H , Zhou R L. Soil environment and productivity formation processes of corn in five types of farmland of Horqin sandy land. *Acta Pedologica Sinica* ,2003 , 40 ( 2 ) :194 — 199.

[3 ] Ammond R B. Long-term conservation tillage studies : impact of no-till on seed corn maggot. *Crop Protection* ,1997 ,3 221 — 225.

[4 ] Tollner E W , Hargrove W L , Langdale G W. Influence of conventional and no-till practices on soil physical properties in the southern Piedmont. *Research of Soil and Water Conservation* ,1984 ,39 73 — 76.

[5 ] Izaurrealde R C , Hobbs J A , Swallow C W. Effects of reduced tillage practices on continuous wheat production and on soil properties. *Agronomy Journal* ,1986 ,78 787 — 791.

[6 ] Hill R C. Long-term conventional and no-tillage effects on selected soil physical properties. *Soil Science and Society of America Journal* ,1990 ,54 : 161 — 166.

[7 ] Singh B , Chanasyk D S , McGill W B , Nyborg M P K. Residue and tillage management effects on soil properties of a typic cryoborol under continuous barley. *Soil and Tillage Research* ,1994 ,32 117 — 133.

[8 ] Francis G S , Cameron K C , Swift R S. Soil physical conditions after six years of direct drilling or conventional cultivation on a silt loam soil in New Zealand. *Australian Journal of Soil Science* ,1987 ,25 :517 — 529.

[9 ] Chen Z X , Wei E F , Shi S B. Strategies for Rejuvenation of Degenerated Natural Grassland Within Northern Agro-grazing Ecotone of Yinshan Mountains , Inner Mongolia. *Research of Soil and Water Conservation* ,2002 ,9 ( 1 ) 41 — 45.

[10 ] Dong Z B , Cheng G T , A preliminary insight into the wind erosion problem in houshan area of inner mongolia. *Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation* ,1997 ,3 ( 2 ) 84 — 90.

[11 ] Mueller D D , Ellenberg H. *Aims and Methods of Vegetation Ecology*. Wiley Press : New York ,1974.

[12 ] Srivastava S C. , Singh J S. Carbon and phosphorus in the soil biomass of some tropical soils of India. *Soil Biol. Biochem* ,1988 ,20 743 — 747.

[13 ] Vance E D , Brookes P C , Jenkinson D S. An extraction ethod for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biol. Biochem* ,1987 ,19 :703 — 707.

[14 ] Lin Q W , Wu Y G , Liu H L. Modification of fumigation extraction method for measuring soil microbial biomass carbon. *Chinese Journal of Ecology* ,1998 ,18 ( 2 ) :63 — 66.

[15 ] Fryrear D W , Skidmore E L. Methods of controlling wind erosion. In : Follett R. , Stewart BA. eds. , *Soil Erosion and Crop Productivity*. ASA , CSSA , SSSA , Madison , WI ,1985 ,443 — 457.

[16 ] Li F R , Kang L F , Zhang H. Changes in intensity of wind erosion at different stages of degradation development in grasslands of Inner Mongolia , China. *Journal of Arid Enviroments* ,2005 ,62 :567 — 585.

[17 ] Dong Z B , Gao S Y , Fryrear D W. Drag coefficients , roughness length and zero-plane displacement height as disturbed by artificial standing vegetation. *Journal of Arid Environments* ,2001 ,49 :484 — 505.

[18 ] Dong Z B , Liu X P , Wang X M. Aerodynamic roughness of gravel surface. *Geomorphology* ,2002 ,43 17 — 31.

[19 ] Li X Y , Liu L Y , Gong J D. Influence of pebble mulch on soil erosion by wind and trapping capacity for windblown sediment. *Soil and Tillage Research* ,2001 ,59 :137 — 142.

[20 ] Su Y Z , Zhao H L , Zhang T H. Soil properties following cultivation and non-grazing of a semi-arid sandy grassland in northern China. *Soil and Tillage Research* ,2004 ,75 :27 — 36.

[21 ] Piao H C , Hong Y T , Yuan Z Y. Seasonal changes of microbial biomass carbon related to factors in soils from Karst areas of southwest China. *Biology and Fertility of Soils* ,2000 ,30 294 — 297.

[22 ] Zhang X P , Fang H J , Yang X M , *et al.* Effects of No-tillage Practices on Temperature and Moisture of a Black Soil in the Spring and Early Summer. *Chinese Journal of Soil Science* ,2005 36 ( 3 ) 313 — 316.

[23 ] Yao B L , Jing M , Shi J L. Effects of no-tillage with straw mulch on water saving during fallow and soil temperature regulation in growing season. *Journal of Gansu Agricultural University* ,2005 ,40 ( 2 ) :208 — 211.

[24 ] Feng Y *et al.* Soil microbial communities under conventional-till and no-till continuous cotton systems. *Soil Biology and Biochemistry* ,2003 ,35 : 1693 — 1703.

参考文献：

[1 ] 王涛. 中国北方的土地利用和沙质荒漠化. *中国沙漠* ,20 ( 2 ) :103 ~ 113.

[2 ] 赵哈林 张铜会 周瑞莲. 科尔沁沙地沙质农田的土壤环境与生产力形成过程. *土壤学报* ,2003 ,40 ( 2 ) :194 ~ 199.

[9 ] 陈正新 尉恩凤 史世斌,等. 内蒙古阴山北麓农牧交错带退化草地复壮对策. *水土保持研究* ,2002 ,9 ( 1 ) 41 ~ 45.

[10 ] 董治宝 陈广庭. 内蒙古后山地区土壤风蚀问题初论. *水土保持学报* ,1997 ,3 ( 2 ) 84 ~ 90.

[14 ] 林启美 吴玉光 刘焕龙. 熏蒸法测定土壤微生物量碳的改进. *生态学杂志* ,1999 ,18 ( 2 ) 63 ~ 66.

[19 ] 张晓平 方华军 杨学明,等. 免耕对黑土春夏季节温度和水分的影响. *土壤通报* 2005 ,36 ( 3 ) 313 ~ 316.

[20 ] 姚宝林 景明 施炯林. 覆盖免耕在休闲期的节水和生育期的调温效应. *甘肃农业大学学报* ,2005 ,40 ( 2 ) :208 ~ 211.