

安晨宇,王仁德,周海涛,等.秋免耕对坝上地区农田风蚀及土壤理化性质的影响[J].中国沙漠,2022,42(2):95-103.

# 秋免耕对坝上地区农田风蚀及土壤理化性质的影响

安晨宇<sup>1,2</sup>, 王仁德<sup>1</sup>, 周海涛<sup>3</sup>, 李庆<sup>1</sup>, 张新军<sup>3</sup>,  
常春平<sup>2</sup>, 郭中领<sup>2</sup>, 李继峰<sup>2</sup>

(1.河北省科学院 地理科学研究所 河北省地理信息开发应用工程技术研究中心, 河北 石家庄 050011; 2.河北师范大学 地理科学学院 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; 3.河北省农林科学院 河北省燕麦技术创新中心, 河北 张家口 075000)

**摘要:** 秋免耕是中国北方风蚀区农田保护性耕作的主要措施,对土壤风蚀的抑制作用已得到普遍验证,但对土壤性质的影响还缺乏足够认识,是否具有保墒作用还存在争议。以地处北方农牧交错带的河北坝上地区康保县作为典型研究区,采用野外调查取样和室内实验分析手段,通过比较秋免耕地与邻近秋翻耕地风蚀前后表层土壤理化性质变化的差异,研究秋免耕对土壤理化性质的影响,探究其保土保水保肥作用。结果表明:与秋翻耕地相比,秋免耕地风蚀量平均降低了73.23%,耕作层土壤含水率平均提高了11.93%,反映出秋免耕具有较强的保土作用和一定的保水作用。同时,秋免耕地通过减少土壤风蚀降低了富含养分的细颗粒损失,使年内表层土壤粉粒含量平均提高0.27%,沙粒含量平均降低0.35%,有机质和全氮含量分别平均增加5.63%、1.14%,说明免耕具有抑制土壤进一步沙化、贫瘠化的作用。在坝上地区农田实施秋免耕不仅具有保土作用,还具有保水保肥作用。长期坚持实施免耕留茬保护性耕作,对防止土壤土地沙化、贫瘠化,改善农业生产条件具有重要意义。

**关键词:** 秋免耕; 农田风蚀; 土壤理化性质; 保土保水保肥; 河北坝上

文章编号: 1000-694X(2022)02-095-09

DOI: 10.7522/j.issn.1000-694X.2021.00093

中图分类号: S157.4

文献标志码: A

## 0 引言

土壤风蚀指在风力作用下地表物质被侵蚀和输送的过程<sup>[1]</sup>。严重的土壤风蚀会造成土地沙化退化、土壤肥力损失、风沙灾害频发、大气颗粒物污染等生态环境问题,是中国北方地区面临的主要生态威胁<sup>[2-5]</sup>。中国土壤风蚀区面积达196万km<sup>2</sup>,主要分布在干旱、半干旱以及部分半湿润地区,其中,旱作农田土壤风蚀尤为严重<sup>[6-9]</sup>。为控制农田风蚀,中国北方许多地区实施了农田保护性耕作、退耕还林还草、农田防护林等措施,其实施效果需要进行评估。

与传统以保墒为主要目的的保护性耕作(深耕、秋耕等)不同,在风蚀区推广实施的保护性耕

作,指通过免耕、晚耕、高留茬、高地垄、密植等技术及地表覆盖、合理种植等综合配套措施,减少农田土壤侵蚀,保护农田生态环境的可持续农业技术<sup>[10-11]</sup>。其中,秋免耕以技术简单、防风蚀效果好等优点而得到较多的采用<sup>[12-18]</sup>。免耕通过避免机械扰动,促进土壤团聚体发育,稳定土壤结构,降低土壤有机碳矿化,从而降低土壤黏粉粒吹蚀引起的有机碳衰减及有机质损失<sup>[19-25]</sup>。免耕保护性耕作的蓄水保墒效应普遍高于常规翻耕的土壤<sup>[12,26-30]</sup>。但也有研究认为,免耕不能明显提高土壤水分和养分。马月存等<sup>[31]</sup>认为农牧交错带莜麦播种前单纯免耕处理下不同土壤深度含水率与传统翻耕处理相比变化趋势不一。Singh等<sup>[32]</sup>认为免耕加速了干旱多风

收稿日期:2021-03-21; 改回日期:2021-07-15

资助项目:国家自然科学基金项目(42077069,41630747);国家燕麦荞麦产业技术体系项目(CARS-08-B-04/CARS-07-A-6/CARS-07-G-01);中央引导地方科技发展资金项目(206Z6302G);河北省现代农业产业技术体系杂粮杂豆产业创新团队项目(HBCT2018070204)

作者简介:安晨宇(1994—),女,河北石家庄人,硕士研究生,主要研究方向为土壤风蚀及农田防护。E-mail: 614130304@qq.com

通信作者:王仁德(E-mail: wangrendel10@163.com)

区播种期的水分流失。有试验表明,免耕在0—5 cm土层有机质、全氮含量均高于翻耕,但5 cm以下土层相反,并建议免耕一段时间要进行一次翻耕<sup>[33-34]</sup>。总之,免耕减少土壤风蚀的作用已得到普遍共识,但其保水保肥效果目前并无定论,这是造成目前秋免耕并没有在中国北方地区得到普遍采用的一个重要原因。

保护性耕作实行效果受气候、农田土壤质地、种植制度、耕层深度等因素的影响<sup>[35-36]</sup>,具有地域性。本文以农田风蚀严重的河北坝上地区作为研究区,采用空间换时间的方法,通过对比秋免耕和秋翻耕两种耕作方式各自风蚀前后农田土壤理化性质变化的差异,揭示免耕保护性耕作对减少土壤风蚀和保持土壤水肥的作用,以期找出适用于坝上地区的耕作模式,为区域土壤质量改善和保护性耕作的推广提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区选在河北坝上地区的康保县(41°25′24″—42°08′57″N, 114°11′21″—114°55′57″E, 图1)。该区地处内蒙古高原南缘,中国北方农牧交错带中部。气候属温带大陆性季风气候,冷热剧变,干燥少雨,年均气温1.2℃,无霜期114 d,降水集中在6—8月,年降水量约350 mm,年干燥度达2.15。四季均有大风,年平均风速2.99 m·s<sup>-1</sup>,最大风速20.4 m·s<sup>-1</sup>。冬春季节风大沙多,是土壤风蚀的高发期。地带性土壤为砂质栗钙土,质地较粗,结构松散,养分含量低,易受风蚀。长期形成的秋耕、深耕等传统耕作方式致使农田地表大面积裸露,与冬春季强风叠加,为土壤风蚀提供物资基础和动力条件,使本区成为中国北方农田土壤风蚀沙化最严重地区<sup>[14,37]</sup>。

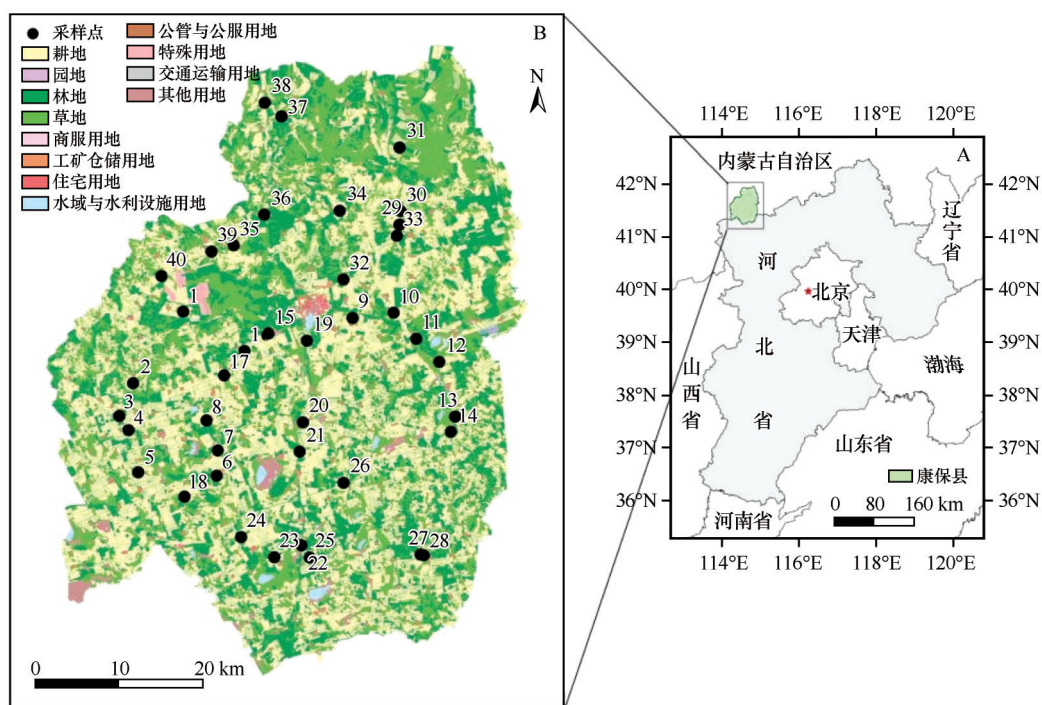


图1 研究区及采样点位置图

Fig.1 Study area and sampling sites

### 1.2 采样与分析方法

本文以传统秋翻耕地作为参照,通过比较秋免耕与传统秋翻耕两种地类在经过1个风蚀季后,土壤风蚀量、耕层含水率、表土粒度组成、表土肥力等变化的差异,研究免耕保护性耕作对农田风蚀及土壤理化性质的影响,进而分析其保土保水保肥

作用。

#### 1.2.1 采样时间和地点

坝上地区农田风蚀主要发生在冬春季。采样工作于农作物播种前的2020年5月13—21日进行,目的是能够反映整个风蚀季的土壤变化情况。采样地点参考研究区土地利用类型图,并通过野外实

地调查确定。在选择样地时,要求必须满足以下4个条件:一是每组样地均包含秋免耕地(莜麦留茬)和与其相邻的秋翻耕地(翻耕耙平)2种地类;二是考虑到当地冬春季的主导风向为西北风,要求西北上风向必须是草地或灌木林地等风蚀较弱的地类,作为不可蚀边界;三是要求秋免耕地位于秋翻耕地的西侧或北侧,以尽量避免翻耕农田产生的风蚀物对免耕地土壤性质的影响;四是采样点位于平坦开阔的大田区,避免山坡等地形因素干扰。最终,在康保县境内共选取了39组典型样地。

### 1.2.2 土壤风蚀量的确定

采用改进粒度对比法分别确定两种地类的风蚀量<sup>[38]</sup>。使用自制的土壤取样器分表层(0—1.0 cm)和表层以下(1.0—2.0 cm)分别进行取样,取样面积为0.4 m×0.4 m,每个地类进行3次重复取样。通过比较一个风蚀季结束后,农田耕作层表层与表层以下可蚀性颗粒与不可蚀颗粒含量的变化,计算农田风蚀量。具体公式如下<sup>[38]</sup>:

$$q_{EP} = \frac{t'_{NEP}}{s} \left( \frac{P_{EP}^{\circ}}{P_{NEP}^{\circ}} - \frac{P'_{EP}}{P'_{NEP}} \right) \quad (1)$$

式中: $q_{EP}$ 为单位面积上的风蚀量( $g \cdot m^{-2}$ ); $t'_{NEP}$ 为表层土样中不可蚀颗粒物的质量( $g$ ); $s$ 为取样面积( $m^2$ ); $P_{NEP}^{\circ}$ 为下层土样中不可蚀颗粒物的质量分数(%); $P_{EP}^{\circ}$ 为下层土样中可蚀颗粒物的质量分数(%); $P'_{NEP}$ 为表层土样中不可蚀颗粒物的质量分数(%); $P'_{EP}$ 为表层土样中可蚀颗粒物的质量分数(%)。

### 1.2.3 土壤含水率的测量

采用烘干法测量土壤含水率<sup>[39]</sup>。使用铝盒分别在秋免耕地和秋翻耕地的耕作层中,分地表以下0—10、10—20、20—30 cm三层进行取样。将田间取回的土样立即称重,然后置于105±2 °C烘箱中烘干至恒重,再称重求出土壤失水质量占烘干土样质量的比值。

$$\text{土样含水率} = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100\% \quad (2)$$

式中: $W_1$ 为铝盒重( $g$ ); $W_2$ 为铝盒+湿土样品重( $g$ ); $W_3$ 为铝盒+烘干土样品重( $g$ )。

### 1.2.4 表层土壤粒度组成及肥力变化的测量

本研究的难点在于如何确定风蚀季前后表层土壤粒度组成及肥力的变化。考虑到风蚀对土壤的影响主要在表层<sup>[40]</sup>,因此,本研究采用了空间换

时间的方法,以表层(0—1.0 cm)土壤作为经过风蚀影响的土壤,以表层以下(1.0—2.0 cm)土壤作为未受风蚀影响,即风蚀发生前的土壤。通过比较表层和表层以下土壤粒度组成及肥力的差异,研究风蚀前后土壤理化性质及肥力的变化。具体采样方法与改进粒度对比法的采样方法相同。

将野外采集的土壤样品自然晾干,碾碎后过2 mm孔径的土壤筛,用马尔文激光粒度分析仪对土壤分散粒度组成进行分析。其余土样研磨并过0.25 mm平筛,采用重铬酸钾容量-外加加热法<sup>[41]</sup>和凯氏定氮法分别对土壤有机质含量、全氮含量进行分析。

## 2 结果分析

### 2.1 秋免耕对土壤风蚀量的影响

经过一个风蚀季,秋免耕地的风蚀量显著低于秋翻耕地( $P<0.01$ ,图2)。39个有效样地中,秋免耕地平均风蚀量为367.64  $g \cdot m^{-2}$ ,秋翻耕地平均为1 373.41  $g \cdot m^{-2}$ ,秋免耕地风蚀量仅为秋翻耕地的26.77%,说明秋免耕大幅减少了农田地表的风蚀起沙量。39个有效样地中,绝大多数样地(31个)具有秋免耕地风蚀量明显低于秋翻耕地的趋势,少数样地(8个)表现出秋免耕地风蚀量高于秋翻耕地的趋势。有7个样点秋免耕风蚀量为负值,这表明对于部分免耕留茬地表,不仅有效制止了风蚀作用,甚至还出现了风积现象。

### 2.2 秋免耕对土壤含水率的影响

通过比较两种地类耕作层土壤含水率可知(图3),秋免耕地耕作层土壤的平均含水率显著高于秋翻耕地( $P<0.05$ )。秋翻耕地0—30 cm土层土壤含水率平均为7.22%,秋免耕地平均为8.08%,较秋翻耕地平均高11.93%。39个样点中,有27个样点表现出秋免耕地耕作层的平均土壤含水率高于秋翻耕地的趋势,说明秋免耕地土壤含水率高于秋翻耕地是普遍现象。

从不同土层深度土壤含水率的比较来看,0—10 cm土层秋免耕地和秋翻耕地平均土壤含水率分别为6.25%、4.78%,秋免耕地较秋翻耕地平均高30.75%( $P<0.01$ ),39个样点中有30个样点表现出这一趋势;10—20 cm土层秋免耕地和秋翻耕地平均

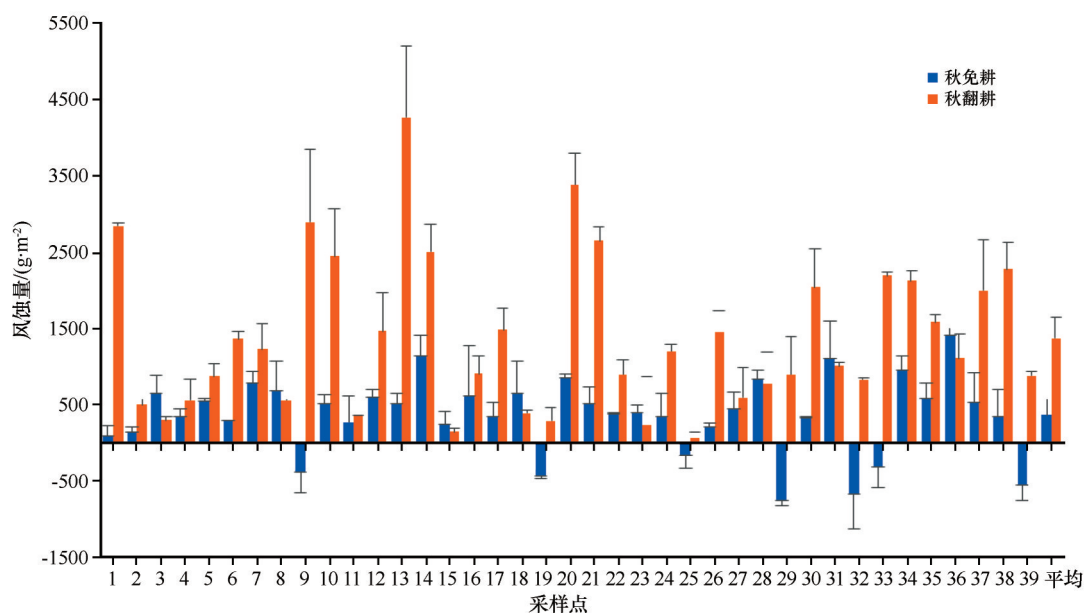


图2 秋免耕和秋翻耕土壤风蚀量的比较

Fig.2 Comparison of soil wind erosion amount between no-tillage farmland and tillage farmland after wind erosion season

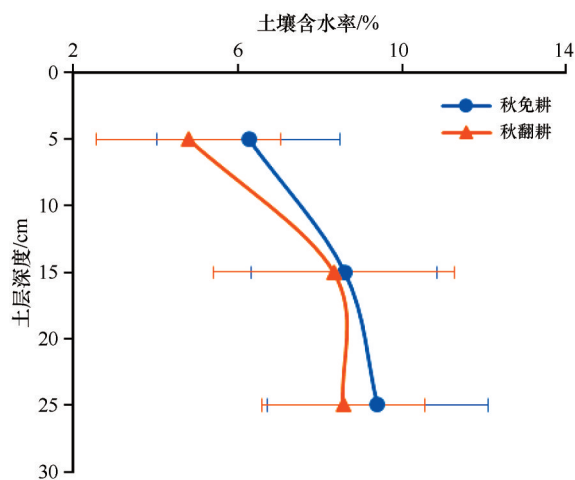


图3 0—30 cm 土层不同耕作方式土壤含水率剖面分布变化特征

Fig.3 Comparison of soil moisture content in 0—30 cm soil layer between no-tillage farmland and tillage farmland after wind erosion season

土壤含水率分别为8.60%、8.33%，秋免耕地较秋翻耕地高3.27%，39个样点中18个表现出这一趋势；

20—30 cm 土层秋免耕地和秋翻耕地平均含水率分别为9.40%、8.55%，秋免耕地较秋翻耕地高出9.85%，39个样点中有26个表现出这一趋势。这表明，坝上地区实行秋免耕保护性耕作可以提高各土壤层的蓄水能力，特别是表层(0—10 cm)和下层(20—30 cm)，这对于干旱缺水的坝上地区具有重要意义。

### 2.3 秋免耕对表层土壤粒度组成的影响

通过比较两种地类表层与下层土壤不同粒径颗粒百分含量及平均粒径的变化可知(表1)，经过一个风蚀季，秋免耕地表层土壤中平均黏粒含量略有降低(−0.03%)，平均粉砂含量明显增加(0.27%)，平均沙粒含量则明显减少(−0.35%)；秋翻耕地则相反，表层土壤平均黏粒含量略有增加(0.02%)，平均粉砂含量明显减少(−0.87%)，平均沙粒含量则明显增加(0.47%)。相对应的，秋免耕地表层土壤的平均粒径略有降低，从风蚀季开始时的108.95 μm，降

表1 不同耕作方式风蚀前后土壤颗粒组成的比较

Table 1 Comparison of soil particle composition before and after wind erosion under different tillage methods

耕作方式	黏土<0.002 mm	粉沙0.002—0.063 mm	沙粒0.063—0.5 mm	平均粒径/μm
秋免耕风蚀前	0.54±0.34	44.64±8.47	51.37±8.02	108.95±25.97
秋免耕风蚀后	0.52±0.32	44.9±7.59	51.02±7.39	108.26±25.87
秋翻耕风蚀前	0.55±0.39	43.73±9.25	50.56±8.57	121.67±34.7
秋翻耕风蚀后	0.57±0.43	42.86±8.56	51.03±7.12	125.68±40.67

低到风蚀季结束时的  $108.26\text{ }\mu\text{m}$ (表 1);秋翻耕地表层土壤的平均粒径则有增加,从风蚀季开始时的  $121.67\text{ }\mu\text{m}$ ,增大到  $125.68\text{ }\mu\text{m}$ 。这表明,经过一个风蚀季,与秋翻耕地表出现一定的沙化趋势相比(沙粒含量增加),秋免耕地并没有出现沙化的趋势,甚至粉砂含量还有一定的增加,这充分说明了秋免耕在防治农田风蚀沙化上的显著作用。

2.4 秋免耕对土壤肥力的影响

2.4.1 对土壤有机质含量的影响

土壤有机质含量是评价土壤肥力水平高低的重要指标。经过一个风蚀季,秋免耕地表层土壤有机

质含量显著增加( $P<0.01$ ,图 4),秋翻耕地则显著减少。39个样地中,秋免耕地有 27 个样点表现出风蚀后有机质含量增加的趋势,风蚀后土壤有机质平均含量为  $21.20\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,明显高于风蚀前的  $20.06\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,提高了 5.63%。秋翻耕地有 28 个样点表现出风蚀后有机质含量降低的现象,风蚀后土壤有机质平均含量为  $18.74\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,明显低于风蚀前的  $19.38\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,降低了 3.32%。由于土壤有机质主要富集于细颗粒中<sup>[42]</sup>,这表明,与传统秋翻耕造成土壤细颗粒损失及土壤有机质下降不同,秋免耕通过减少土壤富含养分的细颗粒损失、残茬还田和残茬截获风蚀物,能够增加土壤有机质含量,有利于提高土壤肥力。

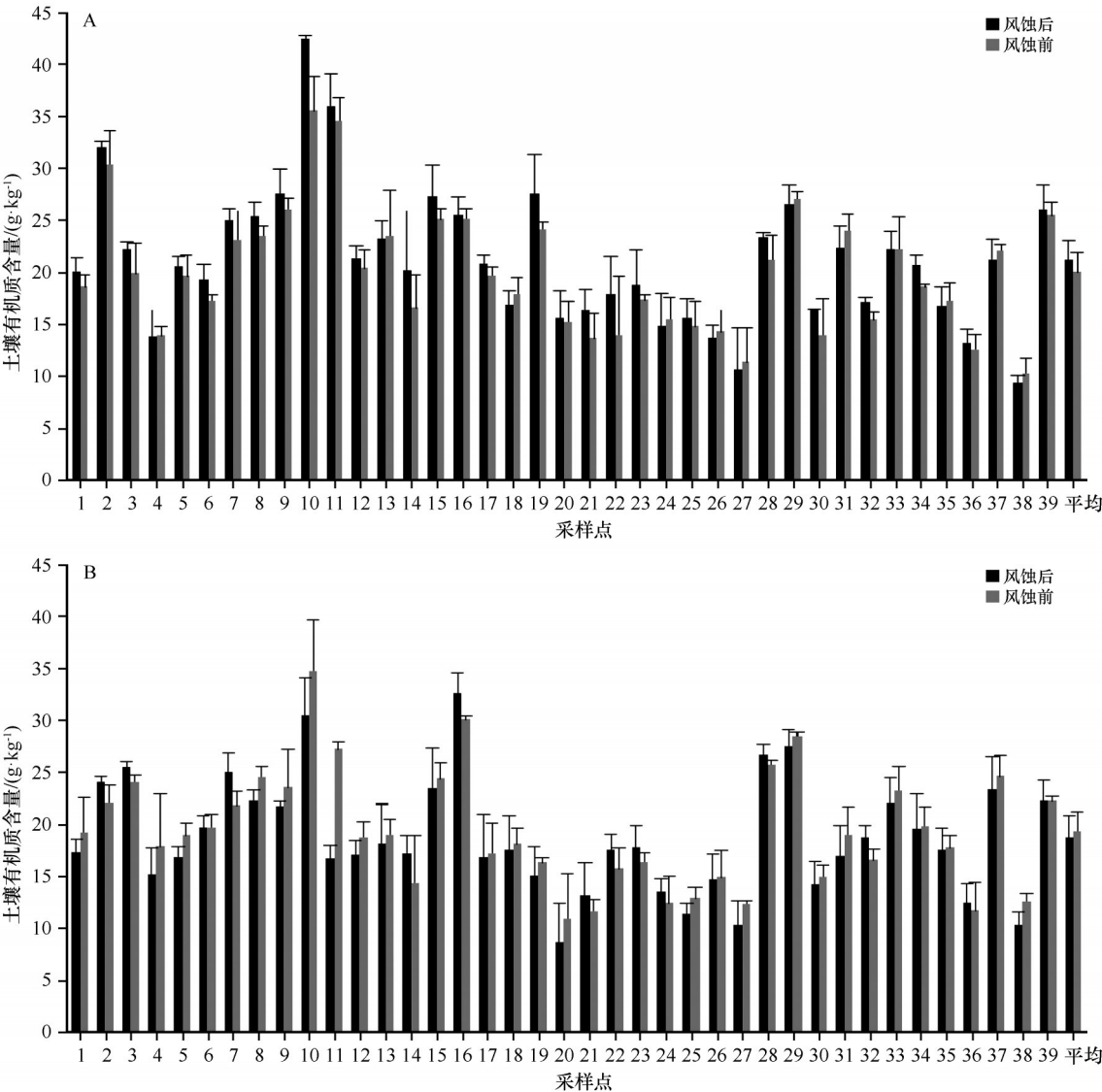


图 4 秋免耕地(A)和秋翻耕地(B)风蚀前后土壤有机质含量的比较  
Fig.4 Comparison of organic matter content in surface soil before and after wind erosion season  
for no-tillage farmland (A) and tillage farmland (B)

### 2.4.2 对土壤全氮含量的影响

土壤全氮含量是评价土壤肥力的又一重要指标。经过一个风蚀季,秋免耕地表层土壤全氮含量显著增加( $P<0.05$ ,图5),秋翻耕地则减少。39个有效样地中,秋免耕地有27个样点表现出风蚀后土壤全氮含量增加的趋势,风蚀前土壤全氮平均含量为 $1.27\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,风蚀后升至 $1.29\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,升高了1.14%;

秋翻耕地有27个样点表现出风蚀后土壤全氮含量降低的现象,风蚀前土壤全氮平均含量为 $1.21\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,风蚀季后降至 $1.19\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,降低了1.55%。这一研究结果与有机质的研究结果是统一的。由于土壤养分主要富集在细颗粒中,秋免耕由于留茬的存在,有利于细颗粒沉积,导致表层土壤全氮含量增加,而秋翻耕地细颗粒损失明显,加剧表层土壤氮肥的流失。

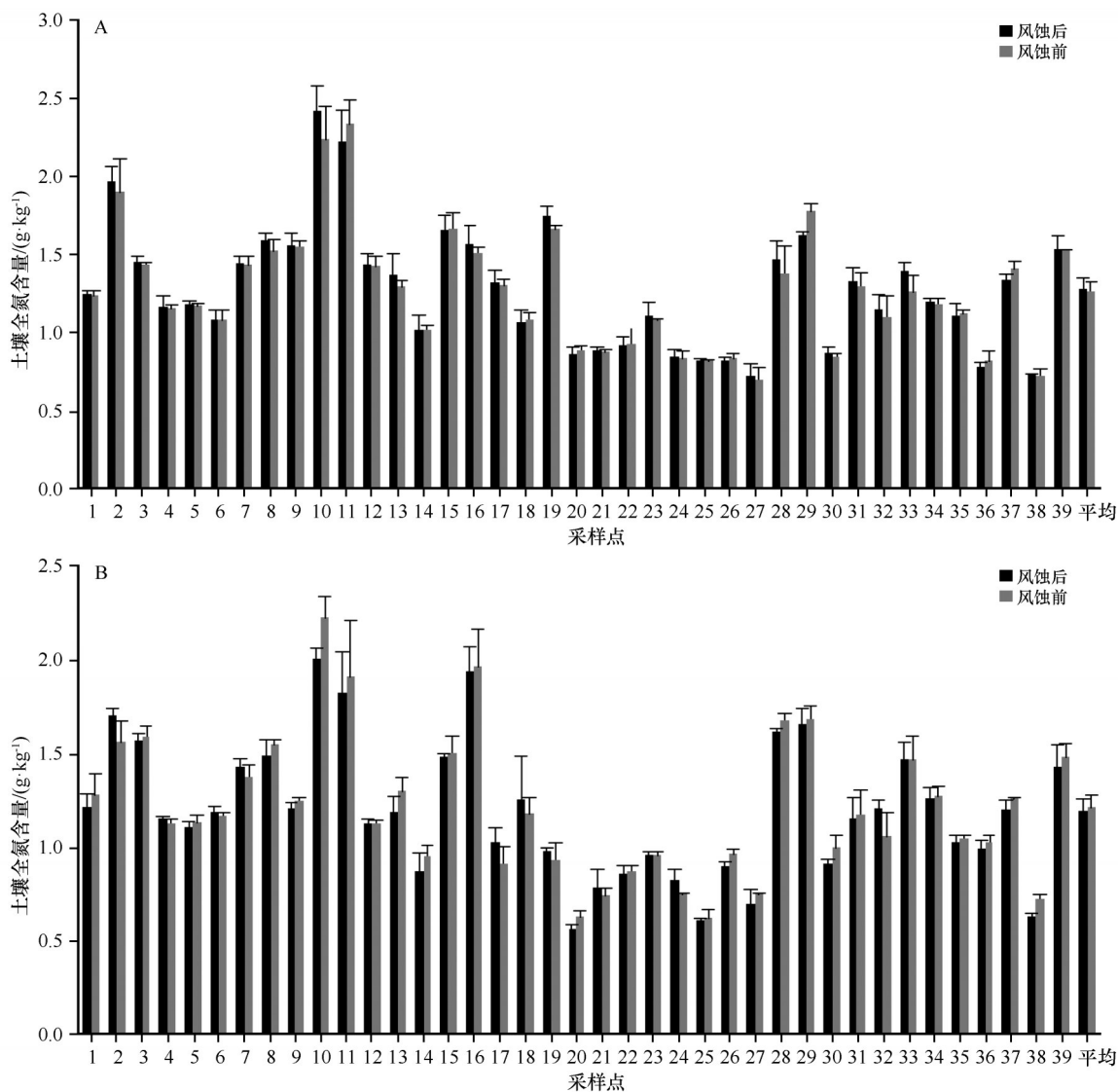


图5 秋免耕地(A)和秋翻耕地(B)风蚀前后土壤全氮含量的比较

Fig.5 Comparison of total nitrogen content in surface soil before and after wind erosion season for no-tillage farmland (A) and tillage farmland (B)

## 3 讨论

### 3.1 秋免耕对土壤性质影响原因分析

免耕对土壤风蚀的抑制作用已为国内外同行所熟知,但其对土壤理化性质的影响,特别是保水

保肥作用还缺少定量研究。本研究通过比较秋免耕地与秋翻耕地风蚀前后土壤理化性质变化的差异表明,与秋翻耕地相比,秋免耕不仅大幅降低了土壤风蚀量(图2),有效阻止了表层土壤的沙化(表1),还对增加表层土壤中有机质(图4)和全氮(图5)的含量,发挥了显著作用。39个有效样地中并非所

有样地均表现出完全相同的趋势,这可能与野外取样偏差、实验方法精度有关,也可能与样地选择不够合理有关。

分析可知,秋免耕地对土壤风蚀量、表土粒度组成及表土肥力的影响是相互统一的,其根源都在于有效减少了地表细颗粒的损失。秋免耕地由于有农作物残茬的长期覆盖,不仅部分吸收了地表风动能对下垫面的剪切力,还增加了地表紧实度,减少了地表与风的接触面积<sup>[15]</sup>,从而大幅降低了地表风蚀量,减少了地表细颗粒的损失,部分秋免耕地表面甚至出现了风积(图2)。这就造成秋免耕地土壤表面并未出现秋翻耕地普遍发生的沙粒含量增加的现象,反而出现一定程度的细颗粒(粉砂)含量增加的趋势(表1)。至于秋免耕地黏粒含量略有降低而秋翻耕地则略有增加这一问题,可能是由另外两种粒级颗粒(粉砂和沙粒)的含量变化造成的,也可能与风蚀物的分选搬运有关,这还需要进一步研究。由于土壤养分主要富集于细颗粒中,表土中细颗粒含量的增加,进一步造成了秋免耕地地表有机质(图4)及全氮含量的增加(图5)。当然,秋免耕地增加土壤肥力可能还和减少土壤扰动,使土壤团聚体增加,土层环境稳定,减少土壤有机碳矿化,促进有机质积累有关<sup>[21,23-24,43]</sup>。

总之,与秋翻耕地相比,实施秋免耕后,农田土壤风蚀量大幅减少,甚至出现一定的风积现象,从而使表土细颗粒损失减少,表土沙化趋势被遏制,表土有机质和全氮含量有不同程度的提高。同时,土壤有机质又能通过改变土壤全氮的有效性来改变土壤养分的储存和利用<sup>[44-45]</sup>。因此,秋免耕对改善坝上地区农田土壤肥力条件具有一定的作用。

### 3.2 秋免耕的保水作用

免耕通过保持作物残茬覆盖,提供遮阴,减少了土壤水分蒸发,可使耕作层内土壤含水率提高<sup>[13,27,31]</sup>。但也有学者认为,秋翻可接纳秋冬降水,有利于土壤蓄水保墒<sup>[46]</sup>。Singh等<sup>[32]</sup>认为免耕加速了干旱多风区播种期的水分流失。马月存等<sup>[31]</sup>认为农牧交错带莜麦播种前单纯免耕处理下不同土壤深度含水率与传统翻耕处理相比变化趋势不一。总之,免耕是否具有保水作用,具有怎样的保水作用目前并无定论。

保护性耕作实行效果受气候、农田土壤质地、种植制度、耕层深度等因素的影响<sup>[35-36]</sup>,具有一定的

地域性特征。免耕保水效果与土壤质地有关,免耕耕作措施下沙质壤土的保水效果较好<sup>[47-49]</sup>,这与本研究区以壤质沙土为主的土壤质地基本类似。本研究证实,与传统翻耕对照,免耕处理使耕作层(0—30 cm)土壤含水率提高11.93%,这与国内外保护性耕作有利于保持土壤水分的研究结果一致<sup>[12,26-28]</sup>,说明秋免耕措施确实能够发挥一定的保水作用,这对于干旱缺水的坝上地区具有重要意义。而免耕措施在其他地区的适用性则需要进一步验证。

本研究证实,秋免耕在坝上地区能有效抑制农田地表土壤沙化退化、缓解干旱、增强地力、改善土壤环境。但本试验只开展了1年,连续多年秋免耕保护性耕作的实施效果还需研究。下一步计划进行长期定位试验的分析和监测,并加强各种耕作方式在年际间组合效应研究,以便提出更加有效的适应于风沙土的耕作措施,并进行推广应用。

## 4 结论

秋免耕就中国北方地区应用较广的一种农田保护性耕作手段,但其保水保肥作用目前还缺乏定量研究。本研究采用野外调查取样和室内实验分析相结合的手段,通过比较秋免耕地与秋翻耕地风蚀前后土壤理化性质变化的差异,就秋免耕措施对坝上农田土壤的保土保水保肥作用进行研究。结果表明,经过一个风蚀季,秋免耕地的平均风蚀量为 $367.64\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ ,仅为秋翻耕地平均风蚀量的26.77%,说明秋免耕可大幅减少农田地表的风蚀起沙量;0—30 cm耕作层的土壤含水率平均为8.08%,较秋翻耕地平均高出11.93%,说明秋免耕处理具有一定的保水作用。秋免耕地表层土壤中沙粒含量减少0.35%,平均粒径从风蚀季开始时的 $108.95\text{ }\mu\text{m}$ 降低到风蚀季结束时的 $108.26\text{ }\mu\text{m}$ ,说明经过一个风蚀季,秋免耕农田地表并未出现沙化现象。相对应的,秋免耕地表层土壤中有机质和全氮含量普遍增加,其中,有机质含量提高了5.63%,全氮含量升高了1.14%,说明秋免耕措施在坝上地区具有一定的保肥作用。总之,与秋翻耕地相比,秋免耕措施在坝上地区发挥了较为显著的保土保水保肥作用,这与秋免耕有效减少了地表细颗粒的损失有直接关系。

### 参考文献:

- [1] 张春来,宋长青,王振亭,等.土壤风蚀过程研究回顾与展望

- [J].地球科学进展,2018,33(1):27-41.
- [2] Hashizume M U K, Nishiwaki Y, Michikawa T, et al. Health effects of Asian dust events: a review of the literature [J]. Japanese Journal of Hygiene, 2010, 65: 413-421.
- [3] Morman S A, Plumlee G S. The role of airborne mineral dusts in human disease [J]. Aeolian Research, 2013, 9: 203-212.
- [4] Webb N P, Chappell A, Strong C L, et al. The significance of carbon-enriched dust for global carbon accounting [J]. Global Change Biology, 2012, 18: 3275-3278.
- [5] 王涛, 吴薇, 薛炯, 等. 中国北方沙漠化土地时空演变分析 [J]. 中国沙漠, 2003, 23(3): 24-29.
- [6] 陈印军, 张燕卿, 徐斌, 等. 调整治沙方略抑制沙尘暴危害 [J]. 中国农业资源与区划, 2002, 23(4): 10-12.
- [7] Zhao H L, Zhou R L, Zhang T H, et al. Effects of desertification on soil and crop growth properties in Horqin sandy cropland of Inner Mongolia, north China [J]. Soil & Tillage Research, 2005, 87: 175-185.
- [8] 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 [J]. 地球科学进展, 1994, 9(5): 6-12.
- [9] 董治宝, 董光荣, 陈广庭. 以北方旱作农田为重点开展我国的土壤风蚀研究 [J]. 干旱区资源与环境, 1996, 10(2): 31-37.
- [10] 张海林, 高旺盛, 陈阜, 等. 保护性耕作研究现状、发展趋势及对策 [J]. 中国农业大学学报, 2005, 10(1): 16-20.
- [11] 常旭虹. 保护性耕作技术的效益和应用前景分析 [J]. 耕作与栽培, 2004(1): 1-3, 44.
- [12] 秦红灵, 高旺盛, 马月存, 等. 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 [J]. 生态学报, 2007, 27(9): 3778-3784.
- [13] 陈智, 麻硕士. 干旱半干旱地区农田风蚀危害及其对策研究 [J]. 内蒙古民族大学学报(自然科学版), 2006, 21(2): 159-164.
- [14] 李玄姝, 常春平, 王仁德. 河北坝上土地利用方式对农田土壤风蚀的影响 [J]. 中国沙漠, 2014, 34(1): 23-28.
- [15] 赵永来, 陈智, 孙悦超, 等. 作物残茬覆盖农田地表土壤抗风蚀效应试验 [J]. 农业机械学报, 2011, 42(6): 38-42.
- [16] 刘树林, 王涛, 屈建军. 浑善达克沙地土地沙漠化过程中土壤粒度与养分变化研究 [J]. 中国沙漠, 2008, 28(4): 611-616.
- [17] Chimsah F A, Cai L, Wu J, et al. Outcomes of long-term conservation tillage research in northern China [J]. Sustainability, 2020, 12: 1062.
- [18] Mendez M J, Buschiazzi D E. Wind erosion risk in agricultural soils under different tillage systems in the semiarid Pampas of Argentina [J]. Soil & Tillage Research, 2009, 106: 311-316.
- [19] 苏永中, 赵哈林. 农田沙漠化过程中土壤有机碳和氮的衰减及其机理研究 [J]. 中国农业科学, 2003, 36(8): 928-934.
- [20] 罗珠珠, 蔡立群, 李玲玲, 等. 长期保护性耕作对黄土高原旱地土壤养分和作物产量的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2015, 33(3): 171-176.
- [21] 祁剑英, 马守田, 刘冰洋, 等. 保护性耕作对土壤有机碳稳定化影响的研究进展 [J]. 中国农业大学学报, 2020, 25(1): 1-9.
- [22] Six J, Elliott E T, Paustian K. Aggregate and soil organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems [J]. Soil Science Society of America Journal, 1999: 63.
- [23] 张婧, 张仁陟, 左小安. 保护性耕作对黄土高原农田土壤理化性质的影响 [J]. 中国沙漠, 2016, 36(1): 137-143.
- [24] 徐嘉晖, 孙颖, 高雷, 等. 土壤有机碳稳定性影响因素的研究进展 [J]. 中国生态农业学报, 2018, 26(2): 222-230.
- [25] 杨华, 李彤, 王威雁, 等. 保护性耕作对西北旱区丛枝菌根真菌及土壤理化性质的影响 [J]. 西北农业学报, 2020(10): 1-9.
- [26] 何腾兵, 樊博, 李博, 等. 保护性耕作对喀斯特山区旱地土壤理化性质的影响 [J]. 水土保持学报, 2014, 28(4): 163-167.
- [27] 毛红玲, 李军, 贾志宽, 等. 旱作麦田保护性耕作蓄水保墒和增产增收效应 [J]. 农业工程学报, 2010, 26(8): 44-51.
- [28] 邵运辉, 吕军杰, 李俊红, 等. 长期免耕覆盖对旱地小麦-玉米周年产量及水分利用的影响 [J]. 河南农业科学, 2020(10): 1-16.
- [29] Lampurlanés J, Angás P, Cantero-Martínez C. Root growth, soil water content and yield of barley under different tillage systems on two soils in semiarid conditions [J]. Field Crops Research, 2001, 69: 27-40.
- [30] Fabrizzi K P, García F O, Costa J L, et al. Soil water dynamics, physical properties and corn and wheat responses to minimum and no-tillage systems in the southern Pampas of Argentina [J]. Soil and Tillage Research, 2005, 81: 57-69.
- [31] 马月存, 秦红灵, 高旺盛, 等. 农牧交错带不同耕作方式土壤水分动态变化特征 [J]. 生态学报, 2007, 27(6): 2523-2530.
- [32] Singh P, Sharratt B, Schillinger W F. Wind erosion and pm10 emission affected by tillage systems in the world's driest rainfed wheat region [J]. Soil & Tillage Research, 2012, 124: 219-225.
- [33] 徐阳春, 沈其荣, 雷宝坤, 等. 水旱轮作下长期免耕和施用有机肥对土壤某些肥力性状的影响 [J]. 应用生态学报, 2000, 11(4): 549-552.
- [34] 冯跃华, 邹应斌, 王淑红, 等. 免耕对土壤理化性状和直播稻生长及产量形成的影响 [J]. 作物研究, 2004(3): 137-140.
- [35] 谢瑞芝, 李少昆, 李小君, 等. 中国保护性耕作研究分析: 保护性耕作与作物生产 [J]. 中国农业科学, 2007(9): 1914-1924.
- [36] Franzluebbers A J. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality [J]. Soil & Tillage Research, 2002, 66: 95-106.
- [37] Zhao H L, Zhou R L, Zhang T H, et al. Effects of desertification on soil and crop growth properties in Horqin sandy cropland of Inner Mongolia, north China [J]. Soil and Tillage Research, 2006, 87: 175-185.
- [38] 王仁德, 常春平, 彭帅, 等. 基于粒度对比法的坝上农田风蚀与粉尘释放量估算 [J]. 农业工程学报, 2013, 29(21): 108-114.
- [39] 吕贲忠, 李保国. 土壤学实验 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2010: 49-51.
- [40] 张加琼, 周学雷, 张春来, 等. 张家口坝上地区农田土壤风蚀的<sup>137</sup>Cs示踪研究 [J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2010, 46(6): 724-728.
- [41] 聂立水, 王登芝. 土壤分析 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2019: 78-113.

- [42] Lobe I, Amelung W, Du Preez C C. Losses of carbon and nitrogen with prolonged arable cropping from sandy soils of the South African Highveld [J]. *European Journal of Soil Science*, 2001, 52: 93–101.
- [43] 罗万银, 董治宝. 风蚀对土壤养分及碳循环影响的研究进展与展望 [J]. *地理科学进展*, 2005, 24(4): 75–83.
- [44] 陈朝阳, 陈志厚, 吴平, 等. 南平植烟土壤有机质状况及其与土壤养分的关系 [J]. *安徽农业科学*, 2011, 39(19): 11547–11550.
- [45] 王清奎, 汪思龙, 冯宗炜, 等. 土壤活性有机质及其与土壤质量的关系 [J]. *生态学报*, 2005, 25(3): 513–519.
- [46] 辛玉霞, 马君, 周国君, 等. 杜蒙县土壤风蚀问题及其应对措施 [J]. *黑龙江农业科学*, 2013(1): 38–40.
- [47] 刘连华, 陈源泉, 杨静, 等. 免耕覆盖对不同质地土壤水分与作物产量的影响 [J]. *生态学杂志*, 2015, 34(2): 393–398.
- [48] 车建明, 刘洪禄, 赵立新. 夏玉米免耕节水效果的研究 [J]. *灌溉排水*, 2002, 21(1): 53–54.
- [49] Riley H C F, Bleken M A, Abrahamsen S, et al. Effects of alternative tillage systems on soil quality and yield of spring cereals on silty clay loam and sandy loam soils in the cool, wet climate of central Norway [J]. *Soil and Tillage Research*, 2005, 80: 79–93.

## Effect of no-tillage in autumn on farmland wind erosion and soil properties in Bashang district

An Chenyu<sup>1,2</sup>, Wang Rende<sup>1</sup>, Zhou Haitao<sup>3</sup>, Li Qing<sup>1</sup>, Zhang Xinjun<sup>3</sup>,  
Chang Chunping<sup>2</sup>, Guo Zhongling<sup>2</sup>, Li Jifeng<sup>2</sup>

(1. Hebei Engineering Research Center for Geographic Information Application, Institute of Geographical Sciences, Hebei Academy Sciences, Shijiazhuang 050011, China; 2. Hebei Key Laboratory of Environmental Change and Ecological Construction, College of Geographical Sciences, Hebei Normal University, Shijiazhuang 050024, China; 3. Hebei Oat Technology Innovation Center, Hebei Academy of Agricultural Sciences, Zhangjiakou 075000, Hebei, China)

**Abstract:** No-tillage in autumn is one of the main farmland conservation tillage measures in wind erosion area of northern China. Its inhibitory effect on soil wind erosion has been widely verified, but its effect on soil properties and moisture is still controversial. Therefore, taking Kangbao county, in Bashang district, as a typical area of agro-pastoral ecotone of northern China, by field sampling and comparing the differences in topsoil properties between no-tillage in autumn and nearby tillage before and after wind erosion season, the effect of no-tillage in autumn on soil physical and chemical properties as well as its impact on soil fertilizer and moisture were studied in the paper. The results showed that, compared with tillage farmlands, the average soil loss of no-tillage of farmlands by wind erosion decreased by 73.23% and average soil moisture content increased 11.93%, reflecting the protective effect of no-till on soil and moisture. Compared with autumn tillage, no-tillage decreased the loss of fertile fine particles by preventing soil from wind erosion. The average contents of silt in no-tillage by increased 0.27%, sand decreased by 0.35% and the average content of nutrients such as organic matter and total nitrogen increased by 5.63% and 1.14% respectively within a year. Hence, no-tillage could inhibit the further desertification and barrenness of soil. The results suggested that the enforcement of no-tillage in autumn not only has the effect of soil conservation, but also has the effect of soil moisture and fertilizer conservation in Bashang area. The long-term enforcement of the no-tillage stubble measures plays an important role in inhibiting desertification and barrenness of soil and is of great significance in improving agricultural production conditions.

**Key words:** no-tillage in autumn; wind erosion of farmland; soil properties; conservation of soil, water and fertilizer; Bashang district of Hebei Province