

河北农业大学

---

硕士学位论文

---

阴山北麓半干旱区不同耕作方式对农田风蚀的影响

---

姓名：赵君

---

申请学位级别：硕士

---

专业：作物栽培学与耕作学

---

指导教师：张立峰；刘景辉

---

20120527

Y2143312

## 摘要

本文选取当地有代表性的传统翻耕、燕麦免耕、燕麦不同高度留茬五种耕作方式，对不同耕作方式的地表土壤风蚀的发生规律进行了研究，进而评价不同耕作方式土壤的抗风蚀效应。旨在为提出适宜本区域的保护性耕作制的关键技术及优化途径提供理论依据。研究结果表明：

五种耕作方式下风速随高度的上升而逐渐增大，当距地表高度达到 150cm 时，风速趋于稳定，增大趋势明显放缓，五种耕作方式下风速沿高度的变化遵循乘幂函数关系，燕麦无茬免耕的地表粗糙度最小，地表粗糙度随燕麦留茬高度的增加极显著增大，这表明燕麦田留茬能有效地增大地表粗糙度，减降近地风速。

五种耕作方式下垫面近地气流层的输沙量均随高度的增加呈下降趋势，输沙量随高度的变化均遵循对数规律分布，近地表 7.5cm-31.5cm 处，留茬处理的输沙量比传统翻耕和燕麦无茬免耕均显著降低，燕麦留茬 30cm 免耕播种的输沙总量最小。

燕麦留茬处理的土壤风蚀量明显降低。在各留茬处理中，随留茬高度的增加，吹蚀量呈变小的趋势，燕麦留茬 30cm 免耕播种的土壤结构性能最好，吹蚀量最小。

不同耕作方式下，燕麦留茬 20cm 免耕播种的有机质和全氮含量表现最高，全磷含量各处理差异不大。不同耕作处理 0-5cm 深度土壤相对含水量表现为免耕处理高于传统翻耕，并随秸秆留茬高度的增加而增高。5-10cm、10-15cm 土层各处理的土壤含水量变化不大。春季播种前各耕作方式 0-5cm 土层地温差异明显，地温顺序为：燕麦留茬 30cm 免耕播种<燕麦留茬 20cm 免耕播种<燕麦留茬 10cm 免耕播种<燕麦无茬免耕播种<传统翻耕，随着土层的加深不同耕作方式的地温差异逐渐缩小。

在降低近地表风速、提高土壤结构性能、涵养水分方面，与传统翻耕相比，免耕处理的生态效益表现较好，且留茬处理又强于无茬处理。在免耕基础上，随着燕麦田留茬高度的增高，抗风蚀效应显著增强。

在武川地区推广应用保护性耕作措施，尤其是燕麦留茬 30cm 免耕播种的耕作方式，对于减少土壤侵蚀，减轻沙尘暴的发生，改善生态环境都具有广阔的前景。当地传统翻耕马铃薯栽培，在马铃薯采收后应采取有效的地面覆盖方法，以降低土壤风蚀。

**关键词：**耕作方式；土壤风蚀；土壤理化性质；生态效益

# The effects of different tillage methods on wind erosion from cropland in semiarid area of North of Yin Mountain

Postgraduate: Zhao jun

Major: Crop Cultivation and Farming System

Supervisor: Prof. Zhang li feng, Liu jing hui

## Abstract

This paper selected the local representative of the traditional tillage, no-till oats , oat stubble height of five kinds of different farming methods, different ways of farming the occurrence of surface soil erosion has been studied law, then the evaluation of different anti-wind erosion of soil tillage effects. Designed to make appropriate conservation tillage in the region's key technologies and system optimization approach provides a theoretical basis. The results show that:

Five kinds of tillage under increased wind speed with height gradually increased, when Jude Biao height of 150cm, the wind speed tends to stabilize and increase the trend is slowing down, five tillage methods under wind speed changes along the height followed by power function , oat stubble-free till the minimum surface roughness, surface roughness increases with oat stubble height increased significantly, indicating that Yan wheat stubble can effectively increase the surface roughness, cut down nearly to wind speed.

Five kinds of tillage land surface air layer near the sediment volume increases with decreasing height, with a high sediment load changes that are to follow a logarithmic distribution, at the near-surface 7.5-31.5cm, stubble handling sediment than traditional tillage without stubble tillage and oats were significantly lower, oats stubble tillage sowing 30cm minimum amount of sediment.

Oat stubble treatment significantly reduced the amount of soil erosion. Processing in the stubble, stubble height with the increase in the amount of wind erosion was a smaller trend, oat stubble tillage sowing 30cm of soil structure, the best performance, the smallest amount of wind erosion.

Under different tillage, no-tillage sowing oats stubble 20cm of organic matter and total nitrogen performance of the highest total phosphorus content of each treatment is insignificant. Tillage treatment 0-5cm depth soil moisture content was expressed as no-till than conventional tillage treatment, and with the increase of straw stubble height increased. 5-10cm, 10-15cm layer of treated soil moisture changed little. Spring tillage prior to planting the ground 0-5 cm soil temperature differences are significant, the ground temperature in the order: oat stubble tillage sowing 30cm <20cm stubble tillage sowing oats <10cm stubble tillage sowing oats<no stubble tillage sowing oats <conventional tillage, with different soil cultivation methods to enhance the difference in temperature is gradually shrinking.

In the lower near-surface wind speed, improve soil structure and properties, conserve

moisture, the comparison with traditional tillage, no-tillage treatment performed better eco-efficiency, and stubble handling and stronger than then on-crop treatment. On the basis of the no-tillage, stubble height with the increase of wheat Yan, significantly enhanced anti-erosion effect.

Areas in Wu chuan measures promote the use of conservation tillage, especially no-till seeding of oats stubble 30cm farming practices, reducing soil erosion, reduce the incidence of dust storms, improve the ecological environment has broad prospects. Local traditional tillage potato cultivation, potato harvest should take effective method of ground cover to reduce soil erosion.

**Key words:** Tillage methods; Wind erosion; The physicochemical properties of soil; Ecological benefit

## 1 引言

### 1.1 研究背景

沙尘暴和土壤风蚀所造成的地表土壤搬运、堆积和破坏，是导致干旱、半干旱及部分半湿润地区草原退化及土地荒漠化最重要、最直接的过程。土壤风蚀是全球性土地退化的主要成因之一，也是许多国家和地区面临的主要环境问题。近些年来，土壤风蚀和荒漠化已严重威胁到了人类的生活。全球约有 9 亿人口受到不同程度荒漠化的影响，受危害国家达一百几十个之多，占全球陆地总面积的 1/4，即全球约有  $3.59 \times 10^9 \text{ hm}^2$  受到土壤风蚀及土地荒漠化的影响。每年因沙漠化造成的经济损失约达 423 亿美元。在我国，有将近二分之一的国土面积受到土壤风蚀和荒漠化的影响，是世界上荒漠化面积分布最广及受危害程度最严重的国家之一<sup>[1]</sup>。

近年来，我国北方频繁出现的沙尘暴天气，引起了社会广泛关注。中科院对沙尘暴的成分及来源进行分析研究<sup>[2]</sup>，结果表明：产生沙尘的粉尘主要来自于农田，沙尘暴的主要成因是退化的耕地和草地，而并非沙漠。高尚武<sup>[4]</sup>研究表明，京津地区大气中的沙尘 85% 由当地农田输送外，其余 15% 来自于西北荒漠和黄土高原地区的土壤风蚀。

阴山北麓地区是一条狭长的干旱、半干旱农牧交错区域，其生态相对比较脆弱，且半干旱区的草原植被和农田对环境变化十分敏感。长期以来，阴山北麓农牧交错区内的农田耕作方式多数沿用传统的翻耕。从头年 11 月到翌年 5 月底，地表有长达 8 个多月时间处于裸露状态，地表少有植被，蒸发强烈，土壤失墒严重。加之秋冬春三季该区气候干旱且大风天数多，以及冬春季节交替土壤冻融导致的农田土壤表层疏松干燥，这都为土壤风蚀创造了有利的条件<sup>[5]</sup>。目前，该地区因风蚀造成的退化农田面积已占该地区农田总面积的 46.9%<sup>[6]</sup>，土壤风蚀问题已经升级成为制约该地区农业可持续发展突出的环境问题。因此，如何有效防治阴山北麓农牧交错区农田土壤风蚀显得十分必要。本文根据近年来国家制定实施的农田保护性耕作技术，针对阴山北麓当地的实际情况，以当地几种主要耕作方式为研究对象，监测主要环境因素与土壤风蚀的关系，对不同耕作方式的抗风蚀能力做出评价，以对今后防风蚀的研究提供理论依据和为措施的创新提供技术参考。

### 1.2 土壤风蚀的研究概况

#### 1.2.1 土壤风蚀的概念及发生过程

土壤风蚀是指一定风速的气流作用于土壤或土壤母质，土壤颗粒发生位移造成土壤结构破坏、土壤物质损失的过程<sup>[7]</sup>。从全球范围来看，风蚀是一种比较普遍的现象，不仅发生在干旱和半干旱地区，而且在部分半湿润地区也有发生。风蚀在微观上表现为土壤细颗粒和营养物质被搬运，吹蚀和堆积，在宏观上则表现为土地沙化和荒漠化，

因而土壤风蚀是风沙流、沙漠化及沙尘暴灾害的首要环节。风蚀不仅使风蚀区表土细微颗粒和营养物质流失、土壤粗化、土壤肥力和土地生产力下降，形成沙埋或沙割危害，影响当地人民的生产和生活，此外细颗粒物质可悬浮于大气中随风输移到很远的地方，对所在地及周边广大地区的环境造成严重影响，尤其在沙尘暴期间，这种影响显得更为突出。

风蚀的发生过程包括沙粒的起动、输移和沉积。当风速达到一定值时，沙粒便开始起动。使沙粒沿地表开始运动所必需的最小风速称为起动风速（又称临界起沙风速）。一般来说沙粒愈大，植被覆盖度愈大，地面愈粗糙，表土愈湿，起动风速也愈大。当风速大于起动风速时，随着风速的增加，风蚀急剧发展，就会形成风沙流，进而强化风蚀的发展，其原因就是挟沙风的风蚀能力要比净风的风蚀能力高出几倍甚至数十倍<sup>[8]</sup>。根据风力、颗粒质量和大小的不同，风沙输移有跃移、悬移和蠕移 3 种运动形式。研究表明风对沙粒的搬运过程主要集中分布在 1 m 高程之内，被搬运的沙粒有 90%发生在 0~20 cm 高程内<sup>[9]</sup>。这表明风沙运动是一种贴近地表的沙粒搬运现象。当风速减弱，垂直风速小于重力产生的沉降速度时，沙粒就开始下降沉积。

国外对土壤风蚀的研究起步比较早，国内学者通过学习国外研究经验，结合我国的实际情况，在风蚀控制方面取得了一些成果。我国水力作用下土壤可蚀性研究及在侵蚀预报和水土保持应用等方面成果，也为土壤风蚀的研究提供了借鉴<sup>[29]</sup>。在我国受土壤风蚀影响的范围占国土总面积的一半以上，创新控制土壤风蚀的理论与技术至为重要。

## 1.2.2 影响土壤风蚀的因素

土壤风蚀是一个综合的自然地理过程，包括气候、地形地貌、土壤、植被等多种因素。这些因素发生变化时，会导致土壤风蚀过程甚至方向的变化。Merrill 等<sup>[10]</sup>认为土壤和植被因素决定了风蚀潜在的危险程度，土壤因素包括地表粗糙度、土壤可蚀性和水分含量；植被因素又包括地表植物的种类及其残茬覆盖度。此外耕作措施也是影响风蚀的一个重要因子，包括土壤的耕作和种植措施<sup>[11]</sup>。在研究土壤风蚀及防治方面时，主要考虑的是人为能够改变的因素，并且利用某些因素的有利性及可控性，使土壤风蚀程度降低到最小。

### （1）气候因素

气候因子也称侵蚀性因子，Chepil 等<sup>[12-15]</sup>研究认为影响风蚀的气候因子主要有降水、气温、湿度和风况。气候条件对风蚀的作用与影响不仅仅表现在单因子的作用上，而是风速、降水和温度等因子综合作用的结果。

风速是影响土壤风蚀的首要气象因子，风蚀速率与风速呈现出一定函数关系<sup>[16]</sup>。风是引起土壤风蚀的最直接动力，风速越大，其风蚀能力越强。空气中的沙尘密度随着风速的增大呈现幂指数的变化<sup>[17]</sup>。

温度和降水也是影响风蚀的重要因子<sup>[18]</sup>，它们决定着一个地区的干旱程度，连续

干旱会使地表下垫面变得更加容易风蚀。

## (2) 土壤表面特征和理化性质

决定土壤易受侵蚀的特性有土壤质地、密度和结构的稳定性。土壤质地是形成土壤结构单元的基础，不同大小的颗粒按照不同比例结合在一起，在粘粒及腐殖质等胶结物质和胶结力的作用下，形成抵抗风蚀的土壤结构体。一般认为，土壤质地粘重、团聚体结构好、有机质含量高、表层含水量高、稳定性强的土壤抗风蚀特性就强，反之就弱。

土壤质地是影响风蚀的重要因素之一。土壤中的粘粒( $<0.002\text{mm}$ )和粉粒( $0.002\sim0.05\text{mm}$ )含量越高，越容易形成团粒结构，形成的土壤结构就越稳定，抗风蚀能力强<sup>[19]</sup>。土壤表层的干团聚体结构决定了地表粗糙度的大小，因此土壤表层团聚体的大小分布可以作为其抗风蚀性能力的指示标志，粒径大于 $0.84\text{mm}$ 的颗粒一般认为是不可蚀颗粒<sup>[20]</sup>。土壤表面不可蚀性颗粒的覆盖度达到80%时，土壤风蚀量接近于零<sup>[21]</sup>。土壤水分是通过增大起动风速来实现对风蚀的影响，在如何描述土壤水分的影响作用方面国内外学者做了较多的研究工作。当土壤中有水分存在时，水分子和土壤颗粒间的拉张力会增加颗粒间的内聚力，从而增加土壤的抗风蚀性<sup>[22]</sup>。胡孟春等<sup>[23]</sup>研究结果表明，含水率是沙土重要的抗风蚀因子，当含水率低于2%时，其抗风蚀能力的变化较大，高于2%时其抗风蚀能力趋于稳定。土壤中碳酸钙含量的增加对水稳定性团聚体结构的影响较小，但可以降低壤砂土的风蚀可蚀性，提高粉砂壤土和砂壤土的风蚀可蚀性。在碳酸钙含量较高的土壤中，碳酸钙和有机质的含量越高，其风蚀可蚀性就越大<sup>[24]</sup>。土壤有机质也是影响风蚀量的一个重要因子。有机质含量高的土壤抗风蚀能力强，土壤中作物分解后的有机质含量增加能提高粒径 $>0.84\text{mm}$ 的水稳定性团聚体的含量，而降低粒径 $<0.02\text{mm}$ 的水稳定性团聚体的含量，使土壤风蚀可蚀性增强<sup>[24]</sup>。

## (3) 地表粗糙度和植被盖度

地表粗糙度是指影响地表风速及土壤风蚀强度的植被、地表形态诸要素的总和，可以反应地表对风速的减弱作用以及对风沙流的影响。从流体力学的角度看，风沙运动时风沙流的形成依赖于空气和地表这两种不同密度的物理介质间的相互作用。流经地表的流体，地面的粗糙特性会对流体产生强烈影响，形成各种特性的边界层流体<sup>[25]</sup>。认识和掌握风沙运动的规律才能为制定防治土地沙漠化提供依据<sup>[26]</sup>。地表粗糙度直接影响沙粒的起动风速，进而影响绝对和相对输沙量。并且地表粗糙度对土地荒漠化的形成、沉积物的输运、沙丘的迁移及戈壁风蚀面的形成、发育等都具有重要影响<sup>[27]</sup>。由于风速大小是土壤风蚀的主要动力因素，减弱风速必定会降低风蚀率。地表粗糙度与土壤风蚀率间存在显著的相关关系，随地表粗糙度的增大，土壤风蚀率呈非线性降低趋势。地表粗糙度对风蚀率的影响表明，地表粗糙度对评价耕作土壤的抗风蚀能力具有重要意义。

植被作为地理环境的重要组成部分，处于大气圈与土壤圈之间，强烈地影响着大气圈与土壤圈的能量转换与传递，是影响土壤风蚀最活跃的因素之一<sup>[28]</sup>。植物防止土

壤风蚀的作用早已为人类所认识，目前在世界各地正被广泛地应用。在土壤风蚀量的预报中，植被被列为主要的风蚀因子之一<sup>[29, 30]</sup>。大量研究结果表明，植被覆盖和风蚀呈指数函数关系。关于植物防风固沙功能机理的研究，目前比较一致的结论是，植物主要通过3种方式阻止地表风蚀或风沙活动：一是植物覆盖部分地表，使被覆盖部分免受风力的直接作用；二是增加了下垫面的粗糙度，吸收和分散地面以上一定高度内的风动量，从而减弱到达地表的风动量；三是当风蚀发生时，气流受到植物的阻挡，消耗了大量的运动能量，从而拦截运动沙粒，促使其沉淀。上述3种途径都是通过下垫面与近地表气流场的相互作用，从而对地表土壤形成保护，减少风蚀的输沙量。

#### （4）耕作活动

人为干扰也是引发土壤风蚀的重要因素之一。在我国北方，由于传统的秋翻和春翻，致使农田在冬春大风季节时期基本呈裸露状态。以铧式犁翻耕为主的这种传统耕作方式，造成农田地表大面积的裸露，蒸发面加大，且蒸发强烈，土壤失墒严重，这就为土壤风蚀创造了条件。尤其在春季，气温回升快，没有降水，风大且天数多。翻耕后的逐渐解冻的农田，土壤表层干燥疏松，极易发生风蚀。相关研究表明<sup>[31,32]</sup>，翻耕后的土地土质疏松，表土干燥，土壤表面的可蚀性颗粒增加；同时由于耕作后地表的湍流增加，风蚀率往往很大。刘玉璋等<sup>[33]</sup>研究表明，翻耕面积每增加1%，风蚀量增加 $19.32 \text{ kg} \cdot \text{yr}^{-1} \cdot \text{hm}^{-2}$ ；翻耕和未翻耕土壤在7级风( $14\sim15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ )以下时差别较小；在7级风以上时，翻耕地是未翻耕地的14.8倍。此外过度的开垦会加剧土壤风蚀，因此对农田进行科学的耕作管理，是控制风蚀的另一种措施。

### 1.2.3 土壤风蚀的防治措施

土壤风蚀的形成必须具备两个基本前提：第一，土壤表面存在可蚀性颗粒物；第二，要有能够使地表土壤颗粒产生运动的风速。只要满足形成土壤风蚀的这两个基本条件，就会有土壤风蚀现象发生。所以，要防治土壤风蚀，就需要改变土壤的表面结构，降低近地面风速。

#### （1）实施保护性耕作

保护性耕作是一种最大限度减少土壤耕作和让作物残茬留于地表的耕作方法，也是一种改良及集约的防治水蚀和风蚀的作物栽培方法。作物残茬秸秆覆盖相当于自然条件下的植被覆盖，保护了农田土壤，能有效地防止土壤风蚀的发生。保护性耕作在美国、加拿大等一些国已被广泛应用，对控制土壤风蚀、水蚀非常有效。研究表明，与秋耕裸地相比，免耕地的风蚀量减少了66.67%，比旋耕方式减少61.5%。保护性耕作的主要技术就是少耕、免耕和覆盖。采取保护性耕作，首先能提高地表覆盖度，减少雨水和风力对地表的直接侵蚀和吹蚀，同时还增大了地表粗糙度，显著降低了地表风速，有效减少土粒运动和飞扬，进而降低土壤风蚀发生。相关研究表明<sup>[34,35]</sup>，在相同条件下，植被覆盖度每增加20%，土壤侵蚀模数就减少40%~50%，有利于土壤

的形成和发育。其次，因地表有作物残茬秸秆覆盖，减少了水分的蒸发，增加了土壤湿度，使团粒结构增加，这也有利于抑制风蚀。此外，保护性耕作后的土壤有机质的增加，土壤水稳定性团聚体大量产生，土壤容重降低，形成良好的土壤结构，从而使土壤的抗风蚀能力提高。

## （2）营造防护林

防护林是最主要的防治土壤风蚀的生物措施。防风林降低风速的机制主要体现在两个方面：第一，使近地面的气流抬升，从而降低地表风速；第二，增加阻力，降低风的动能。防风林的行距、带间距、树高、疏透度、有无灌草搭配以及林带走向等参数，都会对防风林的防风效果产生影响。Mohammed 等<sup>[36]</sup>对苏丹的防风林进行了研究，确定了防护林带的几个重要指标：林带走向应垂直于风向，长度应大于所需要受保护区域的长度，其间不能留有空隙，林带宽度约 25~30 m，林木交错栽植；树种应有很强的适应性，应选择速生、高大且生命周期长的树种，林带的通透性不宜太小。Woodruff 等<sup>[37]</sup>对多排防风林带的防风效果比较研究后发现，2~3 排的防风林，其防风效果最好。朱廷曜等<sup>[38]</sup>研究发现，疏透度分别为 25% 和 45%~50% 的林带，平均风速下降约为 44% 和 38%，有效防护距离分别为 20~25 和 25~30 倍树高。Schwab 等<sup>[39]</sup>对乔灌结合的防风林带进行了研究，认为林带有效地降低了农田风速，并且可以起到保墒和保护农作物的作用。金文等<sup>[40]</sup>用低速风洞对防护林搭配灌草条件下的绕林流场进行了研究，认为防护林带搭配灌草能降低流场扰动，具有一定的固沙作用；在林后一定区域，有灌草时的风速均小于无灌草时的风速。

防风林的防风固沙作用得到了广泛的认可，但在许多土壤风蚀地区，大风天气多发生在冬春季节。在这个时期，因林木枝叶稀少，防风林的防护效果并不理想。此外，要形成一个完全成熟的防风林带，需要一个较长的周期。因此，需要结合当地实际情况，配合其它措施，才能控制土壤风蚀。

## （3）实行留茬和地表覆盖措施

地表覆盖就是采用一定的材料覆盖地表，从而避免地表风蚀的一种方法。其作用机理主要是：减小地表的风速，避免可蚀性颗粒裸露，固定土壤颗粒<sup>[41]</sup>。用砾石覆盖地表是西北地区经常使用的一种防风蚀方法。董智等<sup>[42]</sup>研究结果表明：采用砾石覆盖方法防风蚀时，因不同的风沙具有不同的特点，所以须搭配使用不同直径的砾石，砾石的覆盖度应大于 65%。利用草方格固定流沙的方法起源于对包兰铁路沙坡头段的铁路防护，在我国很多风沙区被广泛采用，后又成功地用于京通铁路的防护。臧英等<sup>[43]</sup>研究表明，免耕并覆盖农作物秸秆，能使土壤风蚀量减少 73%。比较秸秆覆盖和耕作两个因素，秸秆覆盖对减小风蚀的作用最大。此外秸秆覆盖还可以增加农田土壤养分。刘汉涛等<sup>[44, 45]</sup>研究认为，在距地表 0~70 cm 的高度范围内，不同耕作体系的土壤风蚀量和扬起沙尘的高度随风速的增加而增加，随作物秸秆残茬高度的增加而降低，当秸秆高度为 30 cm 时，土壤风蚀量仅为传统耕地的 1/4 左右。白相萍等<sup>[46]</sup>研究也表明，麦田留高茬的土壤含水率比传统耕作高 10%~15%，且留高茬能增加土壤肥力，提高

农作物产量。

### 1.3 保护性耕作技术及其研究概况

#### 1.3.1 保护性耕作的概念及原理

19世纪末，由于美国在西部开发中的过度垦殖，导致20世纪30年代发生了震惊世界的“黑风暴”。其结果引起人们对传统耕作措施的反思与质疑，也引发了对农业耕作技术的改革，发展成以“少耕和免耕”代替“铧式犁翻耕”、以“秸秆覆盖”代替“裸露休闲”为主要内容的保护性耕作。保护性耕作已成为世界上目前效果最好、应用最广的一项旱作农业技术，受到越来越多国家的关注<sup>[47]</sup>。

保护性耕作概念有各种各样的说法，目前还没有一个统一的定义。国外通常以秸秆残茬覆盖度为标准，指在一季作物之后地表留茬覆盖至少达到30%为保护性耕作，如免耕、覆盖耕作、带状耕作及起垄等；当秸秆残茬覆盖度在15%~30%的耕作方式称为少耕。同国外保护性耕作的概念相比，国内保护性耕作的概念内涵更广泛。我国学者最初把保护性耕作定义为：以水土保持为中心，保持适量的地表覆盖物，尽量减少土壤耕作，并用秸秆覆盖地表，减少风蚀和水蚀，提高土壤肥力和抗旱能力的一项先进农业耕作技术（中国耕作制度研究会，1991）。但目前国内对保护性耕作的认识也没有统一。张海林、高旺盛等定义的保护性耕作是指通过少耕、免耕、地表微地形改造技术及地表覆盖、合理种植等综合配套措施，从而减少农田土壤侵蚀，保护农田生态环境，并获得生态效益、经济效益及社会效益协调发展的可持续农业技术<sup>[48]</sup>。

保护性耕作技术的五个基本原理：一是依靠少耕、免耕技术，实现耕地“最少动土”。二是依靠地表覆盖技术，实现耕地的“最少裸露”。三是依靠土壤保水技术，实现耕地的“适度湿润”。四是依靠土壤地形改造技术，实现耕地的“适度粗糙”。五是依靠综合管理技术，实现耕地“效益最大”<sup>[53]</sup>。

#### 1.3.2 保护性耕作的生态效应研究进展

##### （1）保护性耕作对土壤水分的影响

保护性耕作可以减少地表径流的损失，减少土壤表面的无效蒸发。传统耕作地面无秸秆保护，在雨水的直接拍击下，表面极易结壳而产生径流。秸秆覆盖能明显减轻了阳光直射地面，避免风力直接吹拂地面；土壤的水分蒸发因地表覆盖的秸秆阻隔，而降低了蒸发散失的速度，使蒸发减少<sup>[49]</sup>。张海林等<sup>[50,51]</sup>研究表明：覆盖免耕使夏玉米生长发育前期耗水减少，后期耗水量增加，蒸散量加大，且有效地减少株间土壤蒸发，而增加了作物的蒸腾量，变非生产性耗水为有效耗水，提高了水分利用效率。樊向阳等研究结果表明<sup>[52]</sup>：不同生育期春玉米耗水规律在覆盖与不覆盖处理下没有差异，秸秆、地膜覆盖均使棵间土壤水分蒸发减少，总耗水量减少。中国农业大学在临汾试验区对保护性耕作小麦9年的监测结果显示：保护性耕作下休闲期的蓄水量比传统耕

作高 14%，对小麦出苗及根系发育十分有利；保护性耕作的水分利用效率比传统耕作平均高 17%<sup>[53]</sup>。

## （2）保护性耕作对土壤理化性质的影响

保护性耕作减少了对土壤的扰动，能保持和改善土壤结构。多数研究结果证明保护性耕作能改善土壤理化性质。国外研究报告<sup>[54]</sup>：美国式覆盖免耕对 0~7.5 cm 土层的影响要高于 7.5~30 cm 土层，免耕地 0~5 cm 土层中有机质、全氮含量高于对照。也有研究表明<sup>[55]</sup>免耕和传统耕作的 0~15 cm 或 0~30 cm 土层中有机质和全氮无差别。

高焕文多年研究表明<sup>[56]</sup>，保护性耕作技术比翻耕土壤有机质年均提高 0.03%~0.05%。张树梅等对连续 6 年免耕试验地的土壤养分进行分析发现<sup>[57]</sup>：免耕覆盖比常规耕作 0~5 cm 土层中有机质含量平均高 0.55%，硝态氮低 30.35%，土壤 pH 值降低 0.19；0~20cm 土层中水解氮低 4.97%，铵态氮低 58.3%，认为秋耕秸秆还田和秋耕覆盖是调控土壤供氮强度的两条主要措施。刘世平研究表明<sup>[58]</sup>：连续 11 年少耕和免耕会使土壤有机质、全氮、速效钾等在土表上层富集和积累，从而提高土壤耕层养分含量。此外相关研究表明<sup>[59]</sup>：免耕 1 年后，土壤表层 7.6 cm 内的微生物量最大，10 年后趋于平衡，比对照多 30%。高云超等<sup>[60]</sup>研究发现：连续多年免耕秸秆覆盖可以提高 0~10 cm 土层内的土壤细菌总数、棒状细菌和放线菌数量，芽孢杆菌数量能增多好几倍。

土壤容重是土壤的重要物理性质。它会影响土壤的孔隙度与孔隙度大小分配，以及土壤的穿透阻力，进而影响土壤水肥气热条件和作物根系在土壤中的生长。保护性耕作对土壤容重影响的研究结果并不一致。罗珠珠等研究表明<sup>[61]</sup>免耕在初始阶段会导致表层土壤容重增大，但随时间的推移，连续免耕 2~3 年后，土壤容重开始维持稳定不再持续上升。而严洁等研究<sup>[62]</sup>表明半量秸秆还田 5 年的土壤容重平均值为  $1.29\text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ，比传统翻耕的土壤容重减少  $0.04\text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ；而全量秸秆还田的土壤容重为  $1.30\text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ，比传统翻耕的土壤容重减少  $0.03\text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。多数研究认为保护性耕作对土壤温度具有“增温效应”和“降温效应”的双重效应。陈素英等<sup>[80]</sup>研究秸秆覆盖对土壤温度的影响，试验结果表明：秸秆覆盖能有效平抑地温变化，降低地温的日振幅，缓和昼夜温差，从而避免了地温的剧烈变化，有效地缓解地温激变对作物根部的伤害。

## （3）保护性耕作对作物生长发育及产量的影响

保护性耕作会影响作物地上部分的生长发育。丁玉川等<sup>[63]</sup>研究免耕整秸秆半覆盖对旱地玉米生长发育及产量的影响表明：免耕秸秆覆盖后土壤温度降低，影响了玉米正常的生育进程，表现为出苗迟、出苗率低、植株生长发育缓慢、生育期延长。刘立晶等<sup>[64]</sup>对华北一年两熟地区保护性耕作技术体系进行研究表明，保护性耕作有利于玉米根系的生长，保证了玉米产量。

保护性耕作对作物产量影响的认识分歧最多，在不同作物及不同研究条件下研究者得出的结果不一样。田秀平等<sup>[65]</sup>研究认为：免耕、深松、翻耕的大豆、小麦和玉米

产量均表现为免耕最低，而玉米、小麦以深松产量最高。澳大利亚秸秆覆盖、少耕和免耕分别比对照增产 20%、25% 和 30%<sup>[66]</sup>。中国农业大学保护性耕作研究中心的研究结果显示，保护性耕作能使玉米增产 4.1%，小麦增产 7.3%，小杂粮增产 11.2%，大豆增产 32%<sup>[67]</sup>。生产中种植者考虑到保护性耕作可能会降低作物的产量，减少经济回报，尤其是在保护性耕作措施实行的前几年，这就妨碍了保护性耕作措施在作物生产中的应用。事实上我们选择保护性耕作，不能仅考虑作物的产量，更应该考虑种植收益。种植收益是成本、产量和价格的综合体现。总的来说，保护性耕作虽然在控制病虫害成本方面高于传统耕作措施，但在劳动力、燃料和机械投入上成本低。总体看来，保护性耕作比其它耕作方式有相同或略高的经济回报。不管是短期还是长期，保护性耕作具有竞争力强的经济回报<sup>[81]</sup>。

### 1.3.3 保护性耕作防治土壤风蚀机理研究进展

以少耕、免耕、作物留茬、残余物覆盖等为内容的保护性耕作对风蚀过程及防控机理方面的研究较多。作物种类、高度、密度等对风蚀量、侵蚀强度等指标的防治起到了很大作用；灌溉、施肥等保墒培肥的农田管理措施对增加土壤团粒结构与抗蚀性有明显的促进作用。因此，作物种植方式、土壤理化性质、耕作和管理措施的正确应用均能改变风蚀情况。保护性耕作通过少耕、免耕和覆盖等关键技术，减少了农田的近地表风速，增加地表粗糙度，增加了团聚体的稳定性，并增加土壤表层的含水量，从而提高了土壤抗风蚀的能力。

保护性耕作能降低地表风速，但保护性耕作类型不同，降低地表风速的程度不一样。有研究认为保护性耕作通过增大地表覆盖度，改变近地表气流的空气动力学因子，从而降低侵蚀力，达到防风效果<sup>[68,69]</sup>。杨利华等<sup>[70]</sup>研究表明玉米整秆留茬越冬，地表风速降低了 24%~71%，高度 15~30cm 的留茬玉米地，地表风速减小了 9%~16%，而耙茬灭茬的地块风速仅减小 2%。刘目兴<sup>[71]</sup>等研究表明，垄作可有效降低近地表风速，垂直方向上风速梯度增大。因为水的粘滞力和表张力可以有效抵御风蚀，所以土壤表层水分含量的多少与土壤风蚀的强弱密切相关。相关研究表明<sup>[72]</sup>，当土壤表层含水量增加时，土壤的吹蚀量明显减少，土壤含水量与风蚀量之间存在较好的反比关系。地表粗糙度反映了地表对风速的减弱作用以及对风沙流的影响，地表粗糙度值的大小取决于植被覆盖、作物的播种方向及地形，地表粗糙度越大风蚀强度就越小。土壤风蚀速率随地表粗糙度的增大而迅速减小，二者间具有很好的相关性<sup>[73]</sup>。耕层土壤的干团聚体有利于控制风蚀，当土壤表层干团聚体的数量维持在 60%~75%，可有效地控制未受保护农田裸露的土壤风蚀<sup>[74]</sup>。于爱忠等研究表明<sup>[75]</sup>，传统耕作、秸秆翻压、免耕、免耕秸秆覆盖的不可蚀性颗粒（粒径 ≥ 1mm）的团聚体数量分别比对照高出 1.08、1.44、2.06、3.03 个百分点。臧英等<sup>[76]</sup>研究认为，作物秸秆残茬覆盖具有较强的固土能力，可以增强土壤的抗风蚀能力，且残茬覆盖的抗风蚀能力又主要与其高度和覆盖度有关。风蚀量与残茬覆盖度之间存在负相关关系，当覆盖度为 57.6%，风速小于 13m/s 时，风蚀量就接近于零；随着秸秆残茬覆盖度的减少，土壤风蚀量便开始缓慢

增加；当覆盖度减少到 20% 时，风蚀量便开始大幅度增加。残茬高度和起动风速之间存在着正相关关系。

综上所述，将保护性耕作防治土壤风蚀的机理可用图 1 来表示：

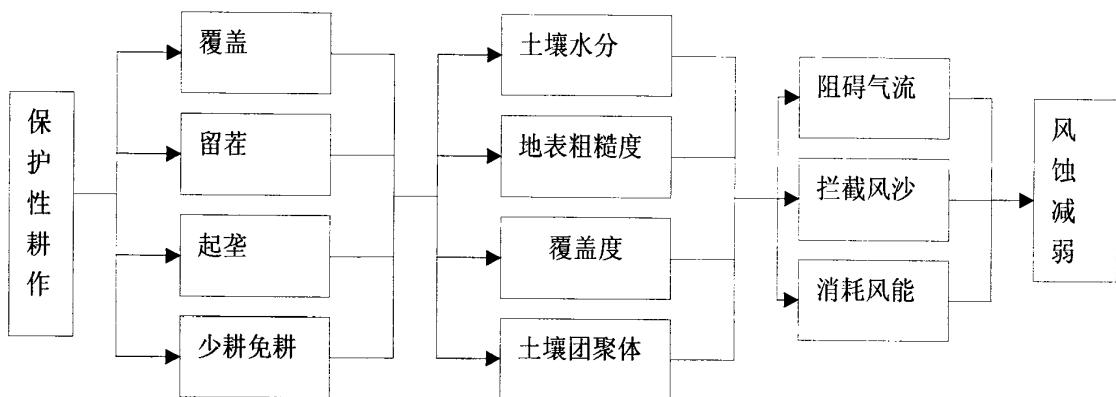


图 1 保护性耕作防治土壤风蚀机理

Fig.1 Mechanism that conservation tillage protecting and controlling from soil wind erosion

#### 1.3.4 我国保护性耕作研究进展及存在的问题

保护性耕作技术在国外已趋成熟，对发展旱地农业和农业生态环境保护具有十分重要的意义。我国从 20 世纪 70 年代末开始引进、试验、示范和推广少耕、免耕等保护性耕作技术，从 20 世纪 90 年代以后才真正开始研究，历时短，大多数地区还处在试验与示范阶段。近年来许多研究机构针对农田土壤风蚀防治及相关问题进行了一系列的研究。哈斯等<sup>[77]</sup>研究发现农田土壤风蚀强度由秋翻地到春翻地和留茬地呈明显降低的趋势。妥德宝等<sup>[78]</sup>观察研究了粮薯、粮草、灌草间作和残茬覆盖度对减轻农田土壤风蚀的作用，认为在农田防护林不完善的阴山北麓旱农区，采用带状留茬间作、轮作具有良好生态效应，可有效地控制农田土壤风蚀和沙化，减轻风蚀危害。

保护性耕作能有效降低土壤风蚀强度，在我国北方干旱地区具有重大的推广价值。从目前的情况看，保护性耕作防治风蚀的技术机理还没有完全弄清；在北方干旱半干旱地区，保护性耕作防治土壤风蚀的技术理论研究明显滞后于实践探索，没有形成先进适用的防治土壤风蚀的保护性耕作技术体系。总体来说，北方农牧交错带保护性耕作对农田土壤风蚀影响的研究起步较晚，存在以下的问题：

- (1) 早期人们把重点放在了沙漠地区防治风蚀的研究，缺乏对采取农业措施防治农田土壤风蚀的系统研究。
- (2) 保护性耕作条件下农田土壤风蚀机理及影响因素的研究内容不系统，研究方法不统一规范，研究结果缺乏可比性。
- (3) 目前国内缺乏保护性耕作体系防治农田土壤风蚀效应的量化研究方面的资料，亟待进一步加强研究解决。

(4) 由于保护性耕作技术不完善,免耕农田的作物产量不高,且各地生产中偏重技术及其模式的生产效益,缺乏从经济、生态和社会效益等方面进行的综合分析评价。急需完善保护性耕作技术体系,提出符合地区情况的保护性耕作技术的综合评价方法。

#### 1.4 研究目的和意义

阴山北麓地区因长年干旱缺雨大风日数多的自然原因,及长期采用传统耕作种植方式,土壤已受到中度或强度风蚀作用,生态环境严重恶化。针对北方农牧交错区农田土壤风蚀严重的现状,考虑研究区气候、土壤、耕作和种植模式等特点,选取当地几种有代表性的耕作方式,即传统翻耕、燕麦免耕、燕麦不同高度留茬,研究这几种不同耕作方式下地表土壤风蚀的发生规律,定量评价不同耕作方式土壤的抗风蚀效应及生态效益,最终确定出适合该地区防治土壤风蚀的最佳耕作方式,为提出适宜本区域的保护性耕作制的关键技术及优化途径提供理论依据。本项研究对提高阴山北麓农牧交错区农田土壤抗风蚀能力,促进区域农业可持续发展具有重要意义。

## 2 试验方案

### 2.1 试验地概况

试验于 2009~2010 年在内蒙古农业大学武川旱作试验站 ( $N41^{\circ} 11.719' E111^{\circ} 17.767'$ ) 进行。武川县位于内蒙古自治区中部，属阴山北麓地区。海拔 1500~2000m 之间，是我国典型的干旱半干旱农牧交错区。地形南山北丘，东西狭长，全县山地面积占 41.9%、丘陵面积占 50.4%、滩地、河川面积占 7.7%。南部为农区、北部为牧区，是典型的冷凉风沙农牧带。气候特点为春季干燥、季风强烈，夏季短促、降雨少，冬季寒冷漫长。年平均气温  $2.5^{\circ}\text{C}$ 、降水量 360mm 左右，降水季节分布不均，主要集中在 7、8、9 三个月，无霜期 110 天左右，全年积温  $2100^{\circ}\text{C}$ 。全年平均风速为  $4.5\text{m/s}$ ，4~5 月风速最大，月均风速可达  $6\text{m/s}$ ，最高风速能达到  $20\text{m/s}$ （如图 3）。由于受到蒙古高压气团的控制，全年多西北风（如图 2），尤其在冬季和春季盛行西北风和西风，但春季偏东风或偏南风的频率比冬季增多。全年至少有 40 余天强风日，最多年份可达 80 天。全年 8 级以上大风天数为 20~80 天。主要集中于头年 11 月份至翌年 4 月份，农田作物覆盖率低，地表常处于裸露状态，是风蚀多发季节。图 4 为 2010 年武川县月平均风速。

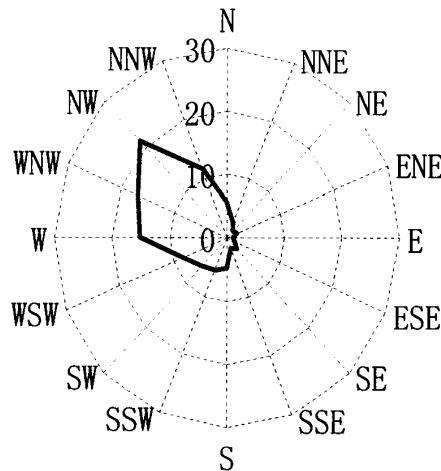


图 2. 1991~2001 年间风向频率均值玫瑰图（武川县气象局提供）  
Fig.2 The rose map of the mean of wind direction frequency in 1991-2001

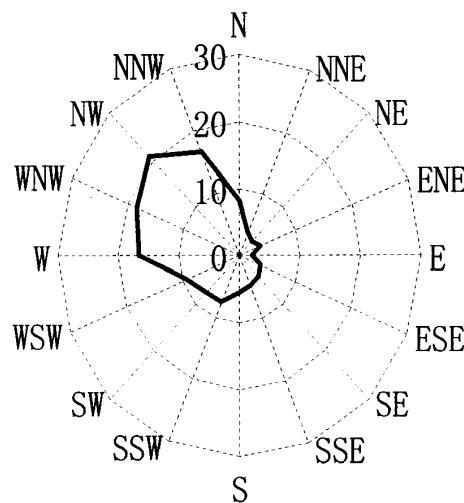


图 3. 1991~2001 年间各风向最大风速玫瑰图（武川县气象局提供）  
Fig.3 The rose map of maximum wind speed with each direction in 1991-2001

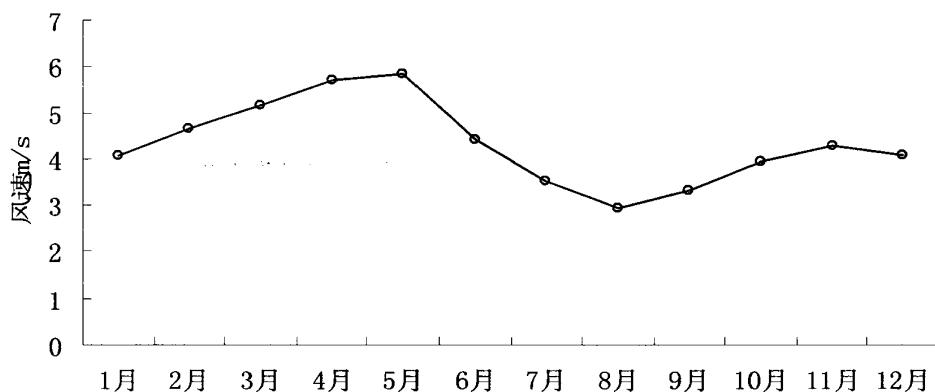


图 4. 2010 年武川县平均月风速  
Fig.4 The average monthly wind speed of Wu Chuan county in 2010

## 2.2 试验设计

试验区土壤为栗钙土，基本理化性状如表 1。

表 1 供试土壤基本理化性状

Table 1 The basic properties of the farmland

项目 Project	有机质 (g/Kg)	全磷 (g/Kg)	碱解氮 (mg/Kg)	速效氮 (mg/Kg)	速效钾 (mg/Kg)
数值 Quantitative value	17.68	1.43	49.31	74.13	169.51

选择平缓的试验地，田间试验采用单因素完全随机试验设计，设置 5 个处理，分别为：

传统翻耕 (T1)：种植的作物为马铃薯，在马铃薯收获后翻耕一次，耕深 20cm 左右。

燕麦无茬免耕播种 (T2)：在燕麦收获后至春季种植作物前对土壤不做任何翻动，直接用免耕播种机进行播种，留茬高度 0cm。

燕麦留茬 10cm 免耕播种 (T3)：在燕麦收获后至播种前，不翻动土壤，直接用免耕播种机进行播种，留茬高度 10cm。

燕麦留茬 20cm 免耕播种 (T4)：在燕麦收获后至播种前，不翻动土壤，直接用免耕播种机进行播种，留茬高度 20cm。

燕麦留茬 30cm 免耕播种 (T5)：在燕麦收获后至播种前，不翻动土壤，直接用免耕播种机进行播种，留茬高度 30cm。

田间试验免耕地从 2008 年开始进行免耕生产，至试验进行时为免耕生产的第三年。每处理重复 3 次，共设 15 个小区，每个小区长 45m，宽 3m。植被覆盖度通过样线法测得，燕麦残茬覆盖度在 65%~70%。全年无灌溉。播种前一次性施用底肥，施用磷酸二铵 150Kg/hm<sup>2</sup>，尿素 75Kg/hm<sup>2</sup>，氯化钾 60Kg/hm<sup>2</sup>。免耕处理采取侧深施底肥，落种行和落肥行单独开沟，种、肥左右间隔 10cm。田间管理采用常规管理方法，化学除草和人工除草相结合。

野外观测主要集中在 2010 年春季 4~5 月份大风时期进行，该时期是风蚀发生的重点时段。观测内容包括：风速、输沙量、风蚀量、粗糙度、土壤水分、土壤养分、地温、吹蚀量。

## 2.3 主要指标的测定及计算方法

### 2.3.1 风速测定

采用 DEM-6 型三杯风速仪测定分别测定距地表 20、50、100、150、200cm 高度处的风速，数据通过 LVCJY-02 型数据采集器采集，每 3min 测定一次风速。

### 2.3.2 粗糙度

地表粗糙度表征地表粗糙程度，可以反应地表风速的减弱作用以及对风沙流的影响，取决于地形的起伏、植被覆盖、地表团聚体及颗粒组成等。通过公式：  
 $K=\exp[(V1\ln Z2-V2\ln Z1)/(V1-V2)]$  估算。

K—地表粗糙度，cm；Z1，Z2—地表以上两个不同高度，cm；V1 和 V2—Z1，Z2 高度处的风速。

采用 DEM-6 型三杯风速仪测定距地表 50cm 和 150cm 高度处 1min 的平均风速，每一处理重复测定 6 次。

### 2.3.3 输沙量测定

选择典型大风日作为观测日，采用 SCC-6 型集沙仪测定 5~58cm 气流层内的输沙量，每处理重复测定 3 次。

SCC-6 型集沙仪为铁皮制作，如图 5 所示，集沙仪有 9 个高 5cm 的正方体接纳孔，按 1cm 等间距排列，每一层同一高度安装两个集沙孔，开口均与地面平行，集沙仪下端埋入地下。该沙尘采集器下面安装有轴承结构，转动灵活，通过上方安装的尾翼，可以控制沙尘采集器始终随主风向自由旋转，使得沙尘采集器入口始终正对风口，这样可以最大限度收集到风蚀沙粒物。同时考虑到垂直集沙仪对于集沙断面风沙流具有一定的影响，尤其是集沙仪底部，如果集沙仪口紧贴地面，对床面附近的气流影响非常严重，使得测量结果偏差大，可靠性降低，因此此集沙仪抬高了集沙口距地面的距离，集沙口下端距离地面 5cm。这样集沙仪收集到的跃移沙粒是单位时段内 5~58cm 高度处的风蚀沙粒物。

将集沙仪收集到的沙尘样进一步做养分含量分析。

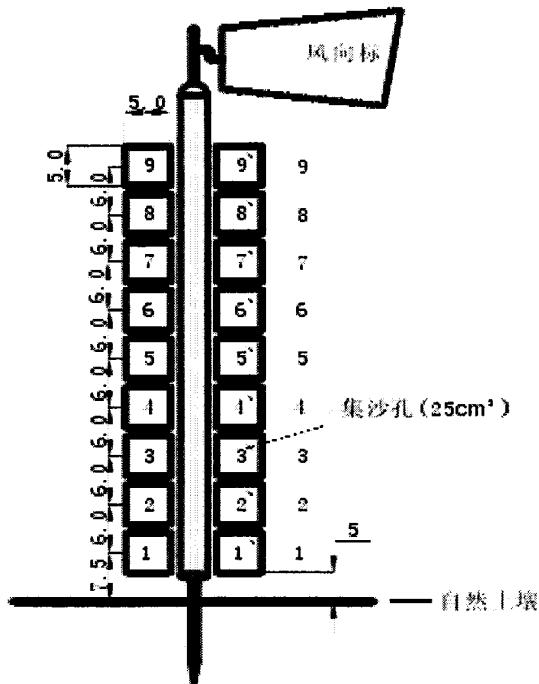


图 5. SCC-6 型集沙仪

Fig.5 SCC-6 type Sand Collector in wind erosion

### 2.3.4 风蚀量的观测

野外风蚀量测定采用手工制造的风蚀圈测定（风蚀圈、尼龙套及放置后的风蚀圈，详见图），每处理重复测定 6 次。每个风蚀圈由直径 25cm，高 5cm 的尼龙套及同样大小的软铁环组成。试验时，在尼龙套内部放置 1.6kg 采集自附近农田表层的混合土，混合土放置前在实验室过 2mm 筛并测定土壤水分。秋季作物收获后，将风蚀圈埋放在秋天耕翻后的各处理农田的中心位置，保持风蚀圈内土壤表层与地面相平，下一年春季播种前取回，称量风蚀圈内土壤湿重，并测定土壤含水量。放置时和取后风蚀圈

中单位面积干土重的差值即为野外观测土壤风蚀量 ( $t/hm^2$ )。

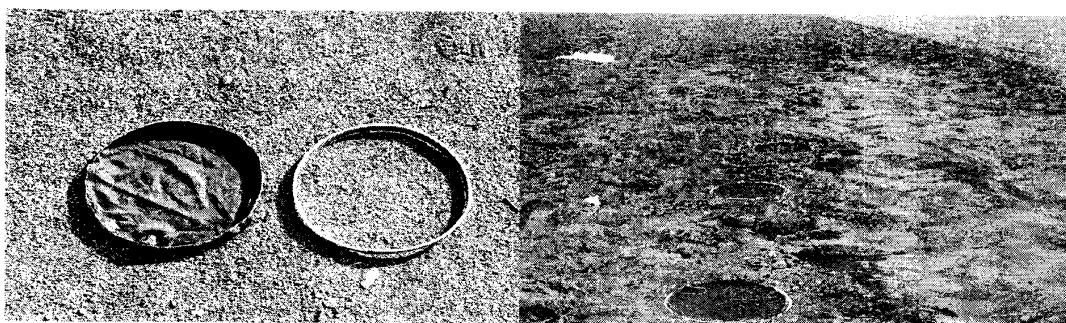


图6. 风蚀圈示意图

Fig6. The erosion plates in field experiment

### 2.3.5 人工吹蚀量的测定

吹蚀仪(图5)由河北农业大学张北试验站提供,已获国家发明专利(专利号:z1 2010 1 01399415),用小型风机产生恒定风速,最大风量恒定。野外观测采用电压和电流保持稳定蓄电池供电。野外土壤风蚀量用吹蚀仪进行测量。实验装置见图7。

测定在无风天选取代表性的下垫面进行，将仪器置于该地块之上，测定用斜于地表  $30^{\circ}$  方向的恒定风速 ( $13.9-17.1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) 对不同耕作方式的土壤进行吹蚀，吹蚀时间为 3min/次，每处理选取 3 点进行测定，每点测定 10 次，收集 10 次测定的土壤，带回实验室称重求取平均值，用以计算吹蚀量，设计测量面积为  $150\text{cm} \times 200\text{cm} = 30000\text{cm}^2$ 。相邻样点应间隔在 10m 以上，地块以未被人为踩踏过并且保证自然状态下为标准进行选择。土样收集用毛刷完成。试验中不考虑风的运动特点，只考虑吹蚀的因果关系。

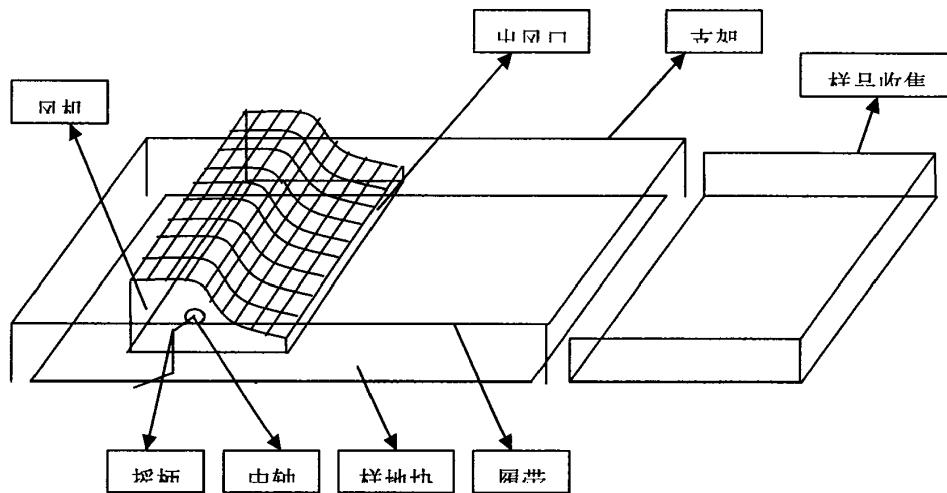


图 7 人工吹蚀量野外测定装置

Fig.7 The field device used as measuring artificial deflation amount

### 2.3.6 土壤相对含水量测定

播种前采用铝盒称重法测定土壤相对含水量，用土钻取 0~20cm 土层的土壤，每 5cm 为一层土样，称重并于 105℃下烘干至恒重，称干重计算土壤相对含水量，每次取样后及时将取样孔用土填平。在田间挖土壤剖面，用环刀取样测定土壤容重。

### 2.3.7 土壤养分测定

分别取不同处理的 0-15cm 土壤带回实验室风干测定土壤养分含量。

有机质：利用稀释热法测定。

全 氮：利用半微量开氏法测定。

全 磷：利用  $\text{HClO}_4\text{-H}_2\text{SO}_4$  法测定。

速效磷：利用  $0.5\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{NaHCO}_3$  浸提法测定。

碱解氮：利用蒸发皿扩散法测定。

速效钾：利用乙酸铵浸提火焰光度法测定。

### 2.3.8 不同处理地温测定

每处理按 0-5cm、5-10cm、10-15cm 深度埋入地温计，选择四月中旬到五月中旬一个月七天测定一次地温，测定时选择晴朗的天气连续定点测量，于 8:00, 10:00, 12:00, 14:00, 16:00, 18:00 记录每个处理的地温，选取平均值记录备用。

### 2.3.9 数据处理

全部数据采用 office2003 软件处理分析，其中统计部分采用 SAS 统计软件进行分析。

### 3 结果与分析

#### 3.1 不同耕作方式下的风速及粗糙度变化特征

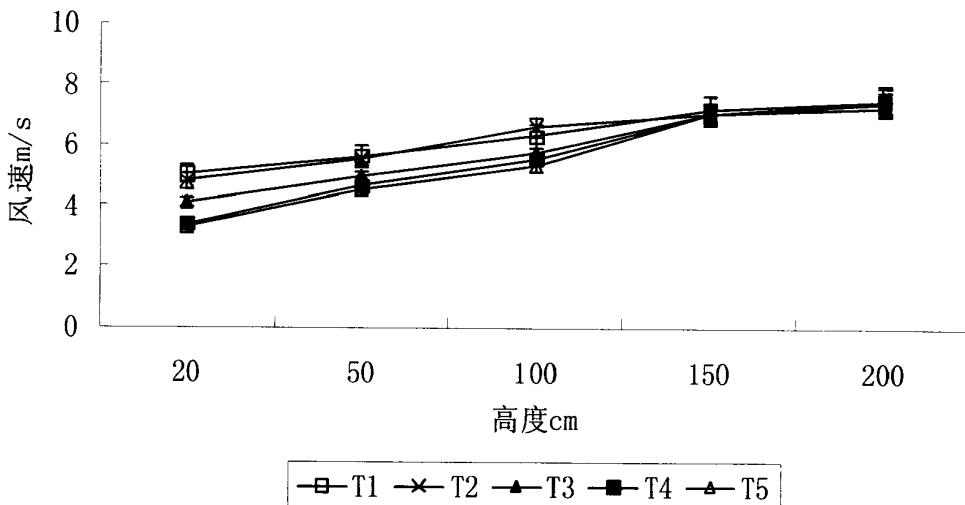


图 8. 不同耕作方式下风速随高度的变化

Fig 8 The wind speed changed with height under different tillage methods

由图 8 可知, 五种耕作方式下风速随高度的上升而逐渐增大, 当距地表高度达到 150cm 时, 风速趋于稳定, 增大趋势明显放缓。距地表高度为 20cm 处, T1 的风速最大, 达到了 5.05m/s, T5 的风速最小, 仅有 3.27m/s, 比 T1 降低了 35.25%, 而 T3、T4 分别较 T1 降低了 19.01%, 32.48%。在 20cm-100cm 高度范围内, 留茬处理与 T1、T2 间差异极显著, 但留茬处理 T4 和 T5 间差异不显著 (见表 2)。随着高度的增加, 留茬处理的风速较 T1 和 T2 下降的幅度变小, 近地面高度为 150cm 时, 各耕作方式间风速差异不显著。

表 2 不同高度处各耕作方式风速的方差分析

Table 2 The variance analysis of wind speed at different height under different tillage methods

处理 Treatment	距地表高度 Height above ground				
	20cm	50cm	100cm	150cm	200cm
T1	5.05aA	5.65aA	6.62aA	7.23aA	7.55aA
T2	4.80bB	5.54aA	6.31bB	7.08aA	7.54aA
T3	4.09cC	5.00bB	5.77cC	7.08aA	7.46abA
T4	3.41dD	4.66cC	5.58dC	7.07aA	7.40abA
T5	3.27dD	4.52cC	5.34eD	7.07aA	7.31bA

注: a, b, c 表示在  $P < 0.05$  水平上差异显著; A, B, C 表示  $P < 0.01$  水平上差异显著。

Note: a, b, c represents while  $P < 0.05$  marked significant difference; A, B, C represents while  $P < 0.01$  marked significant difference.

通过分析各点采集到的不同高度 (Z) 的风速 (V) 数据, 把风速沿距地表高度的变化分别进行对数、幂函数、线性函数及指数函数的相关性分析, 得出五种耕作方式下风速沿高度的变化遵循乘幂函数关系 (如表 3)。两者之间的相关系数的平方都在 0.96 以上, T2 最高达到了 0.992, 表明拟合效果良好, 比较真实地反映了风速在垂直高度上的实际分布情况。得到的关系式如下:

$$V=aZ^b \quad (式 1)$$

式中: V—各高度的风速  $m\cdot s^{-1}$ ;

Z—风杯仪距地表高度 cm;

a、b—回归系数

表 3 不同耕作方式风速 (V) 与高度 (Z) 的乘幂函数关系

Table 3 The power function relationship between wind speed and height under different tillage methods.  $V=aZ^b$

处理 Treatment	$V=aZ^b$ 关系式参数		$R^2$
	a	b	
T1	2.889	0.178	0.967
T2	2.651	0.195	0.992
T3	1.844	0.259	0.977
T4	1.206	0.344	0.988
T5	1.078	0.365	0.979

地表粗糙度作为地面主要物理性状指标, 是一个反映地表微地貌形态的阻力特征值。由表 4 可知, T2 的粗糙度最小仅为 0.40cm, T5 粗糙度最大达到了 2.92cm, 各处理间差异达到极显著。留茬处理的粗糙度比其他两种耕作方式的大。与 T1 相比 T3、T4、T5 分别增大了 52.01%、146.32%、220.45%, 与 T2 相比 T3、T4、T5 分别增大了 244.47%、458.19%、626.17%。地表粗糙度随燕麦留茬高度的增加极显著增大, 这表明燕麦田留茬能有效地增大地表粗糙度, 减降近地风速, 抑制土壤风蚀。

表 4 不同耕作方式粗糙度的方差分析

Table 4 The variance analysis of land surface roughness under different tillage methods

处理 Treatment	各重复的粗糙度 ( $K/cm$ )						平均值
	1	2	3	4	5	6	
T1	0.81	1.10	1.26	0.54	0.81	0.95	0.91bB
T2	0.34	0.53	0.25	0.43	0.35	0.52	0.40aA
T3	1.36	1.32	1.45	1.16	1.45	1.58	1.39cC
T4	2.04	2.18	2.34	1.69	2.71	2.51	2.25dD
T5	2.97	2.71	2.19	2.80	3.19	3.67	2.92eE

注: a, b, c 表示在  $P<0.05$  水平上差异显著; A, B, C 表示  $P<0.01$  水平上差异显著。

Note: a, b, c represents while  $P<0.05$  marked significant difference; A,B,C represents while  $P<0.01$  marked significant difference.

### 3.2 不同耕作方式下输沙量的比较

#### 3.2.1 不同耕作方式下输沙量沿高度的分布特征

输沙量是评价不同下垫面土壤风蚀程度的重要指标。如图 9 所示,五种耕作方式下垫面近地气流层的输沙量均随高度的增加呈下降趋势。近地表 7.5cm~31.5cm 处, T1 的输沙量与 T2 的输沙量接近,留茬处理的输沙量比前两者均显著低,在距地表 19.5cm 处输沙量下降幅度最大,与 T1 相比 T3、T4、T5 分别降低了 43.38%、45.59%、55.88%,与 T2 相比 T3、T4、T5 分别降低了 38.48%、40.88%、52.06%。随着留茬高度的增加输沙量降低。距地表高度增加到 43.5cm 处时,各耕作方式下的输沙量逐渐趋于一致。

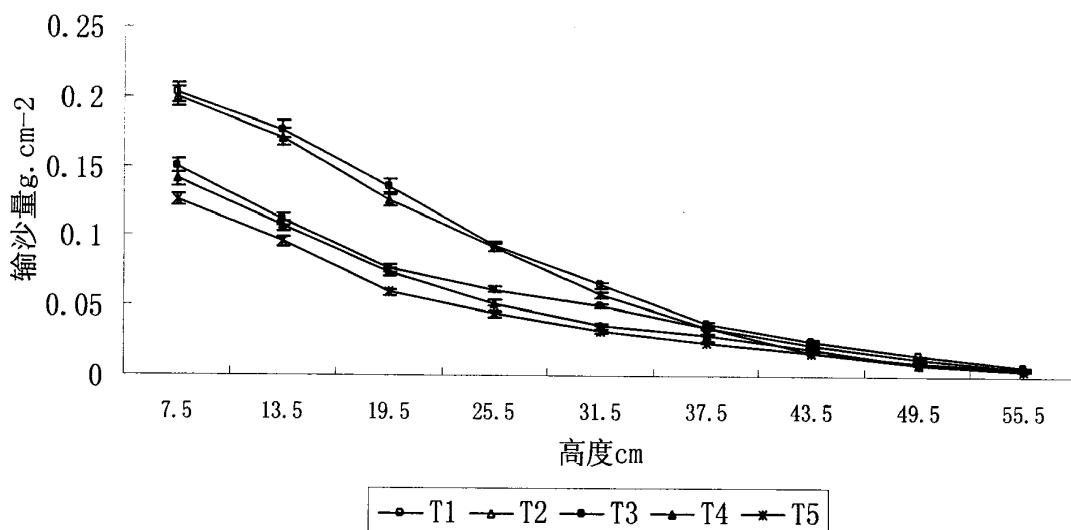


图 9. 各耕作方式下输沙量沿高度的分布

Fig 9 The disposition of sand transporting quantity With the change of height under different tillage methods

通过对集沙仪不同高度的输沙量进行统计分析,取 3 个点输沙量的平均值进行计算,把收集到的土壤输沙量沿高度的分布分别进行对数、幂函数、线性函数及指数函数的相关分析,结果显示不同耕作方式下测得的输沙量随高度的变化均遵循对数规律分布(如表 5)。

表 5 输沙量与高度间对数函数关系  $q=a\ln(Z)+b$  的统计参数

Table 5 The Statistical parameter of logarithmic function relationship between sand transporting quantity and height  $q=a\ln(Z)+b$

处理 Treatment	统计参数			5~58cm 高度的平均输沙量 $/g\cdot cm^{-2}$
	a	b	$R^2$	
T1	-0.108	0.441	0.971	0.757
T2	-0.098	0.219	0.972	0.722
T3	-0.068	0.154	0.994	0.517
T4	-0.064	0.144	0.994	0.475
T5	-0.057	0.127	0.991	0.412

统计分析发现，两者的相关系数的平方都在 0.97 以上，最高的达到了 0.994，说明拟合效果较准确，比较真实地反映了该高度范围内输沙量的实际分布情况。其关系式如下：

$$q=a\ln(Z)+b \quad (\text{式 2})$$

式中： q — 各高度层输沙量 ( $g\cdot cm^{-2}$ );  
z — 采沙器进沙口距地表高度 (cm);  
a、b — 回归系数。

该方程是通过对不同耕作方式下垫面采集的样品进行分析的结果。从回归系数 a 可以看出，不同耕作方式下的土壤输沙量均随高度的增加呈下降的趋势。参数 b 反映了近地表处输沙量的大小，与地表粗糙度和覆盖度有关。由参数 b 可以看出，各留茬处理近地表的输沙量明显较 T1 减少。

### 3.2.2 不同耕作方式下输沙总量的方差分析

分别将五种耕作方式下各高层土壤输沙总量进行方差分析，如表 6 所示，T1 输沙总量最大达到了  $0.76 g/cm^2$ ，T5 最小仅有  $0.41 g/cm^2$ 。与 T1 相比 T3、T4、T5 分别降低了 31.70%、37.29%、45.55%，与 T2 相比 T3、T4、T5 分别降低了 28.41%、34.27%、42.93%。燕麦留茬处理与 T1、T2 间差异极显著，T3 与 T4、T4 与 T5 间差异不显著，T3 与 T5 间差异极显著。综合图 9 和表 6 分析说明，燕麦留茬处理明显减少土壤输沙量。表 6 不同耕作方式下输沙总量的方差分析处理

Table 6 The variance analysis of sand transporting quantity under different tillage methods

Treatment	各重复的输沙总量 ( $g/cm^2$ )						平均值
	1	2	3	4	5	6	
T1	0.73	0.79	0.74	0.77	0.73	0.78	0.76aA
T2	0.69	0.75	0.71	0.74	0.70	0.74	0.72abAB
T3	0.50	0.54	0.51	0.53	0.50	0.53	0.52cC
T4	0.46	0.49	0.47	0.48	0.46	0.49	0.47cdCD
T5	0.40	0.43	0.40	0.42	0.40	0.42	0.41dD

注： a, b, c 表示在  $P<0.05$  水平上差异显著； A, B, C 表示  $P<0.01$  水平上差异显著。

Note: a, b, c represents while  $P<0.05$  marked significant difference; A,B,C represents while  $P<0.01$  marked significant difference.

### 3.3 不同耕作方式风蚀量的变化

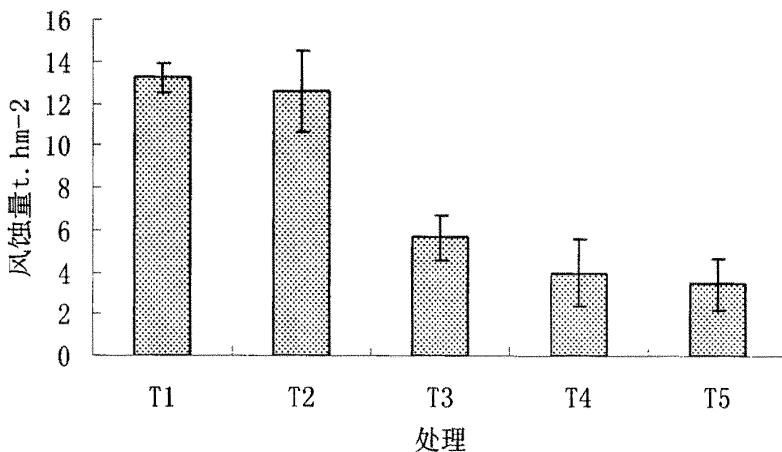


图 10. 不同耕作方式下风蚀量的比较

Fig.10 the comparison of amount of wind erosion under different tillage methods

2009 年 10 月至 2010 年 5 月农田休闲期，利用风蚀圈野外观测农田土壤风蚀量结果如图 10。T2 的风蚀量与 T1 接近，与 T1 相比只减少了 4.55%。燕麦留茬处理的土壤风蚀量明显降低，T5 风蚀量最小只有  $3.45 \text{ t}/\text{hm}^2$ 。与 T1 相比 T3、T4、T5 分别减少了 56.89%、69.70%、73.86%，与 T2 相比 T3、T4、T5 分别减少了 54.84%、68.25%、72.62%，这说明留茬处理能提高土壤抗风蚀能力。由表 7 可知，各处理间差异极显著。

表 7 不同耕作方式下风蚀量的方差分析

Table 7 The variance analysis of amount of wind erosion under different tillage methods

Treatment	各重复的风蚀量 ( $\text{t}/\text{hm}^2$ )						平均值
	1	2	3	4	5	6	
T1	13.22	13.13	13.24	13.23	13.15	13.22	13.20aA
T2	12.63	12.5	12.67	12.65	12.52	12.63	12.60bB
T3	5.86	5.18	6.03	5.95	5.26	5.86	5.69cC
T4	4.21	3.38	4.41	4.31	3.49	4.21	4.00dD
T5	3.67	2.80	3.88	3.78	2.91	3.67	3.45eE

注：a, b, c 表示在  $P < 0.05$  水平上差异显著；A, B, C 表示  $P < 0.01$  水平上差异显著。

Note: a, b, c represents while  $P < 0.05$  marked significant difference; A,B,C represents while  $P < 0.01$  marked significant difference.

### 3.4 不同耕作方式对吹蚀量的影响

由表 8 可以看出，五种耕作方式中，T1 的土壤结构性能差，吹蚀量最大为  $0.55 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$ 。T5 的土壤结构性能最好，吹蚀量只有  $0.260 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$ 。与 T1 相比

T3、T4、T5 分别减少了 40.66%、47.67%、52.92%，与 T2 相比 T3、T4、T5 分别减少了 32.15%、40.16%、46.16%。各处理间差异极显著。监测表明，在各留茬处理中，随留茬高度的增加，吹蚀量呈变小的趋势。

表 8 不同耕作方式下垫面的人工吹蚀量比较

Table 8 The comparison of artificial deflation amount under different tillage methods

处理	吹蚀量 $\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$
Treatment	
T1	0.55aA
T2	0.48bB
T3	0.33cC
T4	0.29dD
T5	0.26eE

注：a, b, c 表示在  $P<0.05$  水平上差异显著；A, B, C 表示  $P<0.01$  水平上差异显著。

Note: a, b, c represents while  $P<0.05$  marked significant difference; A,B,C represents while  $P<0.01$  marked significant difference.

### 3.5 不同耕作方式下土壤养分含量的变化特征

#### 3.5.1 不同深度土层养分含量的变化

从表 9 可以看出，不同深度土层的养分含量不同，其中有机质含量随着土层深度呈现降低的趋势。不同耕作方式下，T4 的有机质含量表现最高，T5 表现较 T4 的低，原因可能是 T5 地温太低导致作物残茬难以分解所以有机质含量较低。全氮含量与有机质表现相似，全磷含量表现为不同耕作处理差异不大，主要随着土层深度的变化而变化，表层含量高于深层土壤。速效性养分含量表现为中土层含量高于上层和下层，可能是因为上层中的养分由于侵蚀而导致损失严重，下层水分含量较低难以溶解而形成有效养分所致。

## 阴山北麓半干旱地区不同耕作方式对农田风蚀的影响

表 9 各处理不同土层深度的养分含量  
Table 9 The nutrient content of soil layer in different depths

处理 Treatment code		有机质 (g/kg <sup>-1</sup> )	全氮 (g/kg <sup>-1</sup> )	全磷 (g/kg <sup>-1</sup> )	碱解氮 (mg/kg <sup>-1</sup> )	速效磷 (mg/kg <sup>-1</sup> )	速效钾 (mg/kg <sup>-1</sup> )
0-5cm	T1	18.60	3.67	1.38	10.85	25.01	146.68
	T2	19.95	3.46	1.33	14.53	47.67	228.22
	T3	20.98	2.82	0.73	16.45	62.20	248.06
	T4	22.01	2.60	1.39	12.78	50.62	140.70
	T5	19.04	2.43	1.27	9.62	29.69	162.72
5-10cm	T1	17.06	3.42	1.34	20.48	86.83	141.52
	T2	20.39	3.18	1.49	17.68	69.83	116.69
	T3	16.50	3.23	1.24	15.75	85.84	146.41
	T4	15.82	2.79	1.45	13.83	33.14	209.74
	T5	17.20	2.68	1.32	13.83	28.70	147.22
10-15cm	T1	17.20	3.02	1.38	17.68	47.91	129.56
	T2	19.95	2.98	0.60	15.23	30.40	159.45
	T3	11.01	2.73	0.85	7.73	37.13	116.96
	T4	11.01	2.24	0.70	6.32	23.34	68.04
	T5	15.13	2.01	1.35	16.98	28.20	128.74

### 3.5.2 土壤风蚀物中养分含量的变化

风蚀会带走土壤中养分。由表 10 可以看出，集沙仪所收集的风蚀物中的养分含量较相应 0-5cm 深度土层养分含量显著少，各处理之间的差异不同。各处理风蚀物中的有机质含量约占 0-5cm 土壤中有机质含量的 55%-60% 左右，全氮含量约占 60% 左右，全磷含量约占 63% 左右，碱解氮含量约占 70% 左右，速效磷含量约占 50% 左右，速效钾含量约占 30% 左右。

表 10 不同耕作处理收集的风蚀物养分含量

Table 10 The nutrient content of wind erosion matter under different tillage methods

处理	有机质 Organic Matter	全氮 Total Nitrogen	全磷 Total Phosphatic	碱解氮 Quick Nitrogen	速效磷 Quick Phosphatic	速效钾 Quick Potassium
Treatment code	(g/kg <sup>-1</sup> )	(g/kg <sup>-1</sup> )	(g/kg <sup>-1</sup> )	(mg/kg <sup>-1</sup> )	(mg/kg <sup>-1</sup> )	(mg/kg <sup>-1</sup> )
0-5cm	T1	18.61	3.72	1.45	10.93	25.03
	T2	20.04	3.53	1.30	14.57	47.74
	T3	21.03	2.84	0.71	16.54	62.23
	T4	22.07	2.61	1.46	12.82	50.65
	T5	19.04	2.44	1.31	9.64	29.73
风蚀物	T1	10.51	2.26	0.89	8.16	10.00
	T2	11.37	2.12	0.76	9.59	21.02
	T3	13.54	1.89	0.46	10.36	25.12
	T4	13.65	1.74	0.83	8.93	20.26
	T5	12.80	1.63	0.77	6.55	18.47
						50.32

### 3.6 不同耕作方式下土壤相对含水量的变化特征

#### 3.6.1 不同深度土层相对含水量变化

由表 11 可见, 不同耕作处理 0~5cm 深度土壤相对含水量表现免耕处理高于传统翻耕, 并随秸秆留茬高度的增加土壤含水量增高。T4 与 T5 土壤含水量为 7.33%~8.08%, 差异不显著, 与其他处理之间差异显著; T1 与 T2 与 T3 之间差异极显著。T5 的含水量较 T1 高约 6 个百分点。5~10cm 深度土壤相对含水量表现为 5% 水平下, T1、T2 之间差异不显著, 与留茬处理差异显著, 留茬处理之间差异不显著。1% 水平下 T1、T3、T4 差异不显著, T2 与 T5 差异显著。T5 的含水量较 T1 高约 1 个百分点。10~15cm 深度土壤相对含水量在 5% 显著水平下, 处理间的土壤含水量差异与 0~5cm 相似, 留茬处理与 T1、T2 差异显著。1% 水平下 T1、T3、T5 差异不显著, T2 与 T4 差异显著。T5 的含水量较 T1 高约 0.5 个百分点。

表 11 不同处理春播前土壤相对含水量方差分析

Table 11 The variance analysis of relative water content of soil before the spring sowing with different treatments

土层 Soil horizon	处理 Treatment	相对水分含量 (%)			
		1	2	3	均值
0-5cm	T1	2.33	1.98	1.32	1.88 dD
	T2	3.26	3.04	2.79	3.03 cC
	T3	5.34	4.67	4.77	4.93 bB
	T4	7.38	7.26	7.34	7.33 aA
	T5	7.55	7.79	8.90	8.08 aA
5-10cm	T1	5.18	4.92	5.53	5.21 bAB
	T2	5.34	4.79	5.05	5.06 bB
	T3	6.23	5.98	6.14	6.12 aAB
	T4	6.79	6.02	5.33	6.05 aAB
	T5	6.55	6.46	5.89	6.30 aA
10-15cm	T1	5.78	5.92	5.53	5.74 bcAB
	T2	5.64	5.79	5.33	5.59 cB
	T3	6.13	5.78	6.54	6.15 abAB
	T4	6.29	6.22	6.51	6.34 aA
	T5	6.45	6.31	5.96	6.24 aAB

注: a, b, c 表示在  $P<0.05$  水平上差异显著; A, B, C 表示  $P<0.01$  水平上差异显著。Note: a, b, c represents while  $P<0.05$  marked significant difference; A,B,C represents while  $P<0.01$  marked significant difference.

### 3.6.2 不同耕作方式含水量随土层深度的变化

由图 11 和表 12 可以看出, 不同处理的土壤含水量表现为 5-10cm、10-15cm 土层变化不大, 表土层相对含水量变化较大, 其中 T1 处理含水量最低, T2 其次, 留茬处理随茬高呈现递增趋势。5-10cm、10-15cm 土层相对含水量在 5%-7% 之间, T5 处理的表土层相对含水量较 T1 高出 6.2 个百分点。表层土壤较高的含水量, 有助于春播作物安全成苗。

表 12 不同处理土壤相对含水量均值

Table 12 the mean value of relative water content under different treatments

处理 Treatment	各土层土壤相对含水量均值 (%)		
	0-5cm	5-10cm	10-15cm
T1	1.88	5.21	5.74
T2	3.03	5.06	5.59
T3	4.93	6.12	6.15
T4	7.33	6.05	6.34
T5	8.08	6.30	6.24

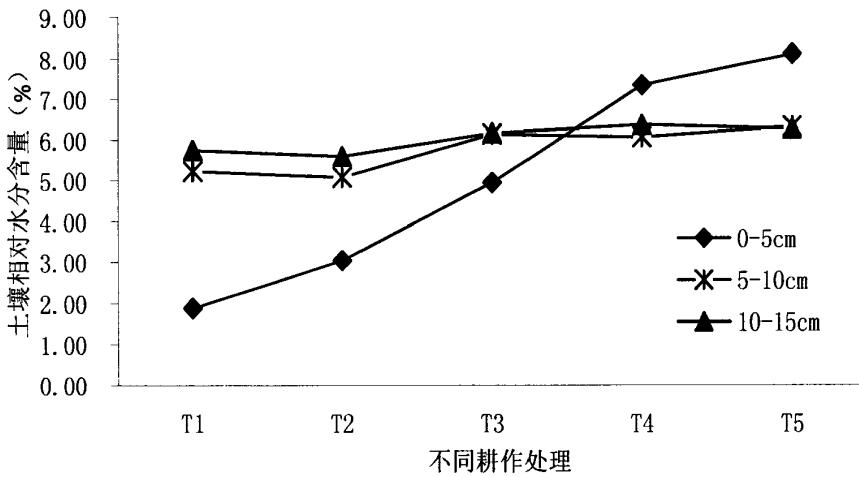


图 11 不同深度土层土壤相对含水量  
Fig.11 The relative water content in different soil depths

### 3.7 不同耕作方式对地温的影响

监测春季 4 月 15 日至 5 月 20 日不同耕作方式下的地温结果表明, 燕麦免耕留茬处理对地温的升高不利, 由于覆盖物和茬高遮挡阳光, 导致地温在同时期升高的速度较慢。随着土层的加深不同耕作方式的地温差异逐渐缩小。地温顺序为: T5< T4 < T3 < T2 < T1。燕麦留茬无论茬口高低都在不同程度上抑制了春季地温的迅速升高, 对于春季播种不利, 但留茬覆盖的保水效果较传统翻耕和裸地要好。T1 处理 0-5cm 的地温在 4 月 15 号比 T5 处理高 6℃, 在 4 月 22 号高 0.36℃, 在 4 月 29 号高 1.5℃, 在 5 月 6 号高 2.5℃, 在 5 月 13 号高 2.3℃, 在 5 月 20 号高 3.3℃。其他两个土层在同一时期差异不大, 5 月 20 日之前 10-15cm 土层的地温略低于 5-10cm 土层的地温。

表 13 不同处理对地温的影响

Table.13 The Effect of different treatments on geothermal

土层 Soil horizon	处理 Treatment	各观测日地温 (℃)					
		4.15	4.22	4.29	5.06	5.13	5.20
0-5cm	T1	-0.92	0.85	2.30	4.53	7.84	10.52
	T2	-1.38	0.70	2.20	4.42	7.72	9.98
	T3	-2.35	0.73	1.04	3.76	6.68	7.89
	T4	-5.50	0.62	0.98	3.32	5.55	7.73
	T5	-5.90	0.55	0.76	2.99	5.53	7.16
5-10cm	T1	-7.80	0.42	0.44	2.34	5.02	7.03
	T2	-8.34	0.36	0.43	2.18	4.87	6.88
	T3	-7.84	0.18	0.27	1.93	4.59	6.52
	T4	-8.96	0.06	0.30	1.72	4.32	6.03
	T5	-9.43	0.03	0.24	1.66	3.97	6.45
10-15cm	T1	-8.30	-1.28	0.13	1.62	3.77	6.79
	T2	-8.75	-2.03	-0.04	1.55	3.62	6.43
	T3	-9.92	-3.52	-1.28	1.42	3.19	5.78
	T4	-10.04	-3.87	-3.60	1.24	3.24	5.64
	T5	-10.57	-4.23	-3.98	1.27	3.04	6.23

### 3.8 不同耕作方式对农田生态效益的影响

由表 14 可以看出, 不同耕作方式距地表 20cm 处风速比较, 免耕处理与 T1 间差异极显著, T4 和 T5 间差异不显著, 与 T1 相比 T3、T4、T5 分别降低了 19.01%、32.48%、35.25%, 与 T2 相比 T3、T4、T5 分别降低了 14.79%、28.96%、31.88%, 这说明在降低近地表风速方面, 免耕处理表现较好, 且留茬处理又强于无茬处理。各处理的地表粗糙度差异极显著, 随燕麦留茬高度的增加极显著增大, 这表明燕麦田留茬能有效地增大地表粗糙度。风蚀量和人工吹蚀量各处理间差异极显著, 与 T1 相比, 免耕处理的风蚀量和人工吹蚀量显著降低, 随着留茬高度的增加, 两者均呈下降趋势, 其中 T5 的风蚀量和人工吹蚀量下降最大, 较 T1 分别下降了 73.86%, 52.92%, 这说明免耕尤其以结合留茬处理的耕作方式对降低土壤风蚀强度效果明显。燕麦免耕留茬处理的输沙量与 T1、T2 间差异极显著, 表明燕麦留茬处理能明显减少土壤输沙量。从对 0-5cm 土层土壤相对含水量的分析可以看出, 免耕处理后的土壤相对含水量极显著的增加了, 且随着的留茬高度的增加, 土壤相对含水量增加, 各处理间差异极显著, 这表明燕麦田免耕生产具有涵养水分的作用, 结合留茬处理效果更明显。综上分析说明, 在免耕基础上, 随着燕麦田留茬高度的增高, 抗风蚀效应显著增强。研究结果表明,

以燕麦田留茬免耕为特征的保护性耕作方式，在阴山北麓地区对防治农田土壤风蚀、固土减尘具有显著的生态效果。

表 14 不同耕作方式的生态效益

Table 14 The ecological effects comparison of different tillage methods

处理 Treatment	20cm 风速 (m/s)	风蚀量 (t · hm <sup>-2</sup> )	人工吹蚀量 (g · cm <sup>-2</sup> · min <sup>-1</sup> )	粗糙度 (cm)	输沙总量 (g · cm <sup>-2</sup> )	0~5cm 土壤相对含水量 (%)
T1	5.05aA	13.20aA	0.55aA	0.91bB	0.76aA	1.88eE
T2	4.80bB	12.60bB	0.48bB	0.40aA	0.72abAB	3.03dD
T3	4.09cC	5.69cC	0.33cC	1.39cC	0.52cC	4.93cC
T4	3.41dD	4.00dD	0.29dD	2.25dD	0.47cdCD	7.33bB
T5	3.27dD	3.45eE	0.26eE	2.92eE	0.41dD	8.08aA

注：a, b, c 表示在 P<0.05 水平上差异显著；A, B, C 表示 P<0.01 水平上差异显著。

Note: a, b, c represents while P<0.05 marked significant difference; A,B,C represents while P<0.01 marked significant difference.

## 4 讨论

### 4.1 不同耕作方式对近地面风况和输沙量的影响

耕作方式不同会客观地造成田块近地面风况的不同，从而影响到田块防风抗蚀能力。不同的耕作措施和种植作物，可形成不同粗糙度的地面，从而使沙粒和地表的碰撞过程、沙粒的临界起沙风速以及风沙输送量不同<sup>[8]</sup>。因此，地表粗糙度是一个重要指标，它直接影响到风沙输送量。研究地表粗糙度是深入理解近地面风沙活动产生机制，防治风沙危害的关键。

本试验结果表明，不同耕作方式的地表粗糙度存在明显差异。燕麦田无茬免耕处理地表粗糙度最小，传统翻耕处理次之，燕麦高留茬免耕田最大。燕麦无茬免耕处理的地表粗糙度较传统翻耕低的原因，与翻耕后地表形成大的垡片覆被，而燕麦无茬免耕地则相对比较平坦有关<sup>[79]</sup>。留茬处理由于地表有植被覆盖，吸收了大量的风能，削弱了近地表风速，并抬高了土壤零风速面，从而使地表粗糙度增大。利用自然风速测定的地表粗糙度具有一定的波动性，但总体上说，能够反映不同耕作方式下的地表粗糙度变异。本研究结果显示，留茬处理明显减少了对风沙的输送量，尤其是近地面7.5-37.5cm内输沙量较翻耕田与无茬免耕田耕作方式明显减少，原因在于留茬处理的残茬增加了地表粗糙度，加大风速的脉动性<sup>[25]</sup>，同时作物残体也保护了易侵蚀性颗粒，使风沙流对地表沙粒的搬运能力减弱，并防止了跃移质在运动过程中获得能量而重新启动，有效地控制了土壤风蚀的发生和地表细粒物质及有机质的流失。其次，留茬地块与传统耕翻地相比较，留茬不破坏土壤耕层结构，保持土壤自然状态，因此其团粒结构稳定，土壤颗粒间的黏着力较大。此外，留茬地减少了人为扰动，加上根茬的固结作用，进一步增强了土壤的机械稳定性，从而大大减少了土壤风蚀量，这有利于土壤保持较高的生物生产力。因此，燕麦田留茬种植方式是阴山北麓半干旱风沙区值得采用与推广的耕作方式。

### 4.2 不同耕作方式下的土壤风蚀差异及抗风蚀效应

农田土壤风蚀缘于气候、土壤和植被等多个风蚀影响因子的综合作用，但不同的耕作方式和种植模式对农田风蚀的影响也很大<sup>[77]</sup>。本试验通过采用风蚀圈法确定不同耕作方式的风蚀量的结果与人工吹蚀量的测定结果一致，传统翻耕处理的风蚀量和人工吹蚀量均最大，燕麦无茬免耕处理次之，燕麦留茬免耕处理最小，这和刘汉涛等人的研究结果相似<sup>[44]</sup>。传统翻耕风蚀量大的原因是人工对土壤扰动后，致使农田土壤结构遭到破坏，地表裸露疏松，土壤团聚性差，抗风蚀能力比较低。燕麦无茬免耕处理虽然没有对农田进行任何翻动，但其地表处于裸露状态，也易于受到风力侵蚀，抗风蚀能力相对较弱。而燕麦留茬免耕处理因地表有作物残茬覆盖，不但使被覆盖的部分免受风力的直接冲击，削弱了到达地表的风动量，使得到达地面的风的剪切应力降低，

而且也保护了土壤的易蚀性颗粒，增加了地表粗糙度和土壤湿度，使地表土壤趋于稳定，从而达到了抑制农田土壤风蚀的效果。

### 4.3 不同耕作方式下的土壤理化性质

土壤养分状况是衡量土壤肥力水平的重要指标之一，它可以充分反映长期培肥土壤的效果。土壤的有机质含量高不仅表示肥力较高，而且表征着土壤有良好的结构与生产能力，土壤速效养分含量的高低则反映了土壤能够为作物生长提供养分的能力。不同的耕作方式会改变土壤结构、土壤养分及养分的有效性，从而改变养分的供应量。耕作同样也使得土壤有机碳的分布发生了变化。免耕处理下土壤中的有机碳主要集中于表层土壤中，并随土层加深而急剧减少，而传统处理下的土壤有机碳垂直分布上相对均匀<sup>[85, 86]</sup>。本试验结果与此结论相一致，免耕处理 0-5cm 土层土壤有机质含量明显高于传统翻耕。免耕处理的土壤表层土壤有机碳主要来源于作物残茬、枯枝落叶等，相比底层土壤的有机碳明显增多，而犁耕由于其对土壤形成扰动，把表层土壤有机物翻埋到底层土壤中，故底层和表层土壤有机碳基本相同<sup>[87]</sup>在风力作用下，直径<100μm 的颗粒会悬浮到风中随风输送，由于比较细小的土壤颗粒通常含较多的有机质和营养物质，所以悬浮颗粒是最富含有机质和植物营养物质的部分。通过对集沙仪收集到的风蚀物进行养分分析发现，各处理风蚀物中的有机质含量约占 0-5cm 土壤中有机质含量的 55%-60% 左右，全氮、全磷和碱解氮含量所占比例达到了 60% 以上，速效磷含量约占 50% 左右，速效钾含量约占 30% 左右，这说明风力侵蚀会通过搬运土壤细小颗粒造成营养物质的流失，因此在阴山北麓半干旱地区采取有效的地表覆盖技术来减少风蚀引起的土壤养分流失是十分必要的。

土壤湿度是影响土壤可蚀性的另一个重要因素。本试验研究表明，不同耕作处理 0-5cm 深度土壤相对含水量表现为免耕处理高于传统翻耕，并随秸秆留茬高度的增加土壤含水量增高，这与前人关于秸秆覆盖对土壤湿度影响研究<sup>[49]</sup>结果相似。燕麦留茬免耕处理有效降低了风速，且覆盖物降低了土壤水分蒸发，从而起到了有效的保水作用。早春时期，各处理土壤均处于封冻状态，随着天气变暖，土壤冻结水开始消融，土壤冻融可导致土壤结构发生剧烈的改变，冻融时间越短则变化越剧烈。传统翻耕田由于地表裸露，地表土壤温度升温快，土壤表层十分疏松，在大风作用下水分蒸发强烈。燕麦留茬免耕处理，由于秸秆的覆盖作用有效地平抑了地温变化，降低地温的日振幅，缓和昼夜温差，避免了地温的剧烈变化<sup>[80]</sup>，从而延缓了土壤的冻融过程，降低土壤结构的松散程度。因此在阴山北麓地区实施留茬免耕对于保护农田土壤不被大风侵蚀作用明显。

### 4.4 不同耕作方式的生态效益

近年来，国内外研究学者从水土保持、土壤理化性质等方面对保护性耕作生态效应做了大量研究，取得了长足进展。秦红灵等<sup>[82]</sup>对农牧交错地区不同农田耕作方式对其水分环境的影响过程及规律研究表明，免耕地的土壤贮水能力大于翻耕地。杜兵等<sup>[83]</sup>研究结果表明，采用保护性耕作法的冬小麦地夏休闲期蓄水量明显高于传统耕作。一般来说，发生风蚀，是因为地表裸露，直接与空气接触，而在有地表覆盖的情况下一般是不会有风蚀现象发生的，因此，地表覆盖也就成了防治风蚀的主要方法之一。作物秸秆残茬覆盖，具有较强的固土能力，可增强土壤的抗风蚀能力<sup>[84]</sup>，残茬覆盖的抗风蚀能力主要与其高度和覆盖度有关。这些研究结果比较一致，都认为保护

性耕作有涵养水分、固土减尘、防治土壤风蚀的作用。

## 5 结论

1、五种耕作方式下风速随高度的上升而逐渐增大，当距地表高度达到150cm时，风速趋于稳定，增大趋势明显放缓，五种耕作方式下风速沿高度的变化遵循乘幂函数关系，在20cm-100cm高度范围内，留茬处理与传统翻耕和燕麦无茬免耕播种间差异均极显著，但燕麦留茬20cm免耕播种与燕麦留茬30cm免耕播种间差异不显著。燕麦无茬免耕的地表粗糙度最小，地表粗糙度随燕麦留茬高度的增加极显著增大，这表明燕麦田留茬能有效地增大地表粗糙度，减降近地风速。

2、五种耕作方式下垫面近地气流层的输沙量均随高度的增加呈下降趋势，输沙量随高度的变化均遵循对数规律分布，近地表7.5cm-31.5cm处，留茬处理的输沙量比传统翻耕和燕麦无茬免耕均显著降低，燕麦留茬30cm免耕播种的输沙总量最小。

3、燕麦留茬处理的土壤风蚀量明显降低，燕麦留茬30cm免耕播种风蚀量最小只有 $3.45 \text{ t}/\text{hm}^2$ 。与传统翻耕相比减少了73.86%。在各留茬处理中，随留茬高度的增加，吹蚀量呈变小的趋势，燕麦留茬30cm免耕播种的土壤结构性能最好，吹蚀量只有 $2.60 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$ ，与传统翻耕相比减少了52.92%。

4、不同耕作方式下，燕麦留茬20cm免耕播种的有机质和全氮含量表现最高，全磷含量表现为不同耕作处理差异不大。集沙仪所收集的风蚀物中的养分含量较相应0-5cm深度土层养分含量显著少，各处理之间的差异不同。不同耕作处理0-5cm深度土壤相对含水量表现为免耕处理高于传统翻耕，并随秸秆留茬高度的增加土壤含水量增高。不同处理的土壤含水量表现为5-10cm、10-15cm土层变化不大，表土层相对含水量变化较大，其中传统翻耕含水量最低，燕麦无茬免耕播种次之，留茬处理随留茬高度的增加呈现递增趋势。春季播种前各耕作方式0-5cm土层地温差异明显，地温顺序为：燕麦留茬30cm免耕播种<燕麦留茬20cm免耕播种<燕麦留茬10cm免耕播种<燕麦无茬免耕播种<传统翻耕，随着土层的加深不同耕作方式的地温差异逐渐缩小。

5、在降低近地表风速、提高土壤结构性能、涵养水分方面，与传统翻耕相比，免耕处理的生态效益表现较好，且留茬处理又强于无茬处理。在免耕基础上，随着燕麦田留茬高度的增高，抗风蚀效应显著增强。研究结果表明，以燕麦田留茬免耕为特征的保护性耕作方式，在阴山北麓地区对防治农田土壤风蚀、固土减尘具有显著的生态效果。

6、在武川地区推广应用保护性耕作措施，尤其是燕麦留茬30cm免耕播种的耕作方式，对于减少土壤侵蚀，减轻沙尘暴的发生，改善生态环境都具有广阔的前景。

## 参 考 文 献

- [1] 陈渭南, 董光荣, 董治宝. 中国北方风蚀问题研究的进展与趋势[J]. 地球科学进展, 1994, 9(5): 5-12
- [2] 陈渭南, 董光荣, 董治宝. 中国北方土样风蚀问题研究进展与趋势[J]. 地球科学进展, 1994, 9(5): 6-11
- [3] 张伟, 梁远, 汪春. 土壤风蚀机理的研究[J]. 农机化研究, 2006, 2(2): 43-44
- [4] 高尚武等. 京津地区风沙污染及防止对策研究[J]. 环境科学, 1982, 5(5): 49-54
- [5] 陈智, 麻硕士, 范贵生等. 麦薯带状间作农田地表土壤抗风蚀效应研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(1): 51-54
- [6] 何文清, 赵彩霞, 高旺盛等. 不同土地利用方式下土壤风蚀主要影响因子研究——以内蒙古武川县为例[J]. 应用生态学报, 2005, 16(11): 2092-2096
- [7] 李玉宝. 干旱半干旱区土壤风蚀评价方法[J]. 干旱区资源与环境, 2000, 14(2): 49~52
- [8] 邹学勇, 刘玉璋, 吴丹等. 若干特殊地表风蚀的风洞实验研究[J]. 地理研究, 1994, 13(2): 41-48.
- [9] 朱震达, 赵兴梁, 凌裕泉等. 治沙工程学[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1998
- [10] Merrill, S.D., A.L.Black, D.W.Fryrear, et al. Soil wind erosion hazard of spring wheat-fallow as affected by long-term climate and tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1999, 63: 1768-1777
- [11] Zobeck T.M. Abrasion of crusted soil: influence of a brader flux and properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1991, 55(4): 1091-1097
- [12] Chepil, W.S., Siddoway, F.H., Wind erodibility of knolly terrain. *J. Soil and Water Conserve.*, 1965, 19: 179~181
- [13] Chepil, W.S. Climatic factor for estimating wind erodibility fields. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1962, 17(4): 162~165
- [14] Chepil, W.S. Wind erodibility of farm fields. *J. Soil and Water Conserv.*, 1959, 14: 214~219
- [15] Chepil, W.S. Soil conditions that influence wind erosion. *USDA Tech. Bull.*, 1958, 1185
- [16] Terrence J.Toy, George R.Foster, Kenneth G.Renard. *Wind Erosion: Process, Prediction, Measurement and Control*. John Wiley & Sons, Inc. New York. 2002
- [17] Woodruff, N.P., Siddoway, F.H. Soil science society. *American Proceedings*, 1965, 29(3): 602
- [18] Skidmore, E.L., L.J. Hagen, D.V. Armburst, et al. Methods for investigating basic processes and conditions affecting wind erosion. In: R. Lal (ed.), *Soil erosion Research Methods*, 1994, 2nd ed., pp. 295-330. Soil and Water Conservation Society and St. Lucie Press, Ankeny, IA
- [19] 金栋梁. 森林对水文要素的影响[J]. 人民长江, 1989(1): 28~35
- [20] Chepil, W.S. Properties of soil which influence wind erosion: II. Dry aggregate structure as an index of erodibility[J]. *Soil Sci.*, 1950, 69: 403-414
- [21] Lyles, L., Tatarko, J. Soil wind erodibility index in seven north central states[J]. *Trans. ASAE*, 1988, 31: 1396-1399
- [22] Bisal, F., Hsich, J. Influence of moisture on the erodibility of soil by wind[J]. *Soil Science*, 1966, 102: 143-146
- [23] 胡孟春, 刘玉章, 乌 兰等. 科尔沁沙地土壤风蚀的风洞实验研究[J]. 中国沙漠, 1991, 11(1): 22-29
- [24] Chepil, W.S. Factors that influence clod structure and erodibility of soil by wind. III. Calcium carbonate and decomposed organic matter[J]. *Soil Science*, 1954, 77(6): 473~480

- [25] 李振山, 陈广庭. 粗糙度研究的现状及展望[J]. 中国沙漠. 1997, 17(1):99-109
- [26] 马世威, 马玉明等. 沙漠学[M]. 内蒙古人民出版社, 1998. 20-24
- [27] 刘小平, 董治宝等. 空气动力学粗糙度的物理与实践意义[J]. 中国沙漠. 2003, 23 (4) :337-345.
- [28] 董治宝, 陈渭南, 董光荣等. 植被对风沙土风蚀作用 的 影 响 [J]. 环 境 科 学 学 报 , 1996, 16(4):437-443
- [29] Woodruff,N.P., siddoway,F H. Soil science society.American Proceedings,1965,29(3):602
- [30] Hagen L J. A Wind Erosion Prediction System to Meet the User's Needs[J]. Journal of Soil and Water Conservation,1991, 46(2):106-111
- [31] 移小勇, 赵哈林, 李玉霖等. 科尔沁沙地不同风沙土的风蚀特征 [J]. 水土保持学报, 2006, 20(2):10-13
- [32] Zhang C L,Zou X Y,Gong J R,et al.Aerodynamic roughness of cultivated soil and its influence on soil erosion by wind in a wind tunne1[J].Soil and Tillage Research,2004,75:53-59
- [33] 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 [J]. 中国沙漠. 1992, 12(2):41-49
- [34] 杨文治, 余存祖 · 黄土高原区域治理与评价[M] · 北京:科学出版社, 1992: 302-314
- [35] 郑粉利 · 草被防止土壤侵蚀机理的研究[M] .现代土壤科学研究 · 北京:北京出版社, 1994: 36-38
- [36] Mohammed AE, Stigter CJ, Adam HS. 1996. On shelterbelt design for combating sand invasion.*Agriculture,Ecosystems and Environment*,57: 81-90
- [37] Woodruff NP, Fryrear DW, Lyles L. 1963. Reducing wind velocity with field shelterbelts.*Kansas Agricultural Experiment Station, Technical Bulletin*,131: 1-26
- [38] Zhu T-Y (朱廷曜), Guan D-X (关德新), Zhou G-S(周广胜), et al. 2001. Ecological Engineering of Farm land Shelterbelt. Beijing: Forestry Press. ( in Chi-nese)
- [39] Schwab GO, Fangmeier DD, Elliot WJ, et al. 1993. Wind erosion and control practices// Soil and Water Conservation Engineering. New York: Wiley: 114-133
- [40] JinW (金 文), WangY (王 元), ZhangW (张 炜). 2003. Experimental research with PIV on flow fields through wind breaks behind brushwood.Journal of DesertResearch(中国沙漠),23(5): 600-603 ( in Chinese)
- [41] 刘裕春, 李钢铁, 郭丽珍等. 国内外保护性农业耕作技术研究[J]. 内蒙古林学院学报(自然科学版), 1999, 21(3):83~88
- [42] Dong Z (董 智), LiH-L (李红丽), ZuoH-J (左合君), et al. 2004. Wind tunnel test on sand-preventing mechanism of soil coagulantsand-barrier.*Journal of Arid Land Resources and Environment*(干旱区资源与环境),18(3): 154-159 ( in Chinese)
- [43] 臧 英, 高焕文. 国外农田风蚀发生机理与防治技术的研究[J]. 农业工程学报, 2003, 19(2):56-50
- [44] 刘汉涛, 麻硕士, 窦卫国等. 残茬高度对土壤风蚀量影响的试验研究[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(1):30-34
- [45] 荣姣凤, 张海涛, 毛 宁. 土壤风蚀量随风速的变化规律研究 [J]. 干旱地区农业研究, 2004, 22(2):149-153
- [46] Bai X-P (白相萍), Zhang L-X (张立新), Wang C(王超), et al. 2002. Analysis on experimental effects of maintaining high wheat residues without tillage.*Mechanization in Rural and Pastoral Areas*(农村牧区机械化), (4): 56-58 ( in Chinese)
- [47] 高焕文, 李问盈. 保护性耕作技术与机具[M]. 北京:化学工业出版社, 2004: 1-10

## 阴山北麓半干旱地区不同耕作方式对农田风蚀的影响

- [48] 张海林, 高旺盛. 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 (01): 16-20
- [49] 马春梅, 孙莉, 唐远征等. 保护性耕作土壤肥力动态变化的研究-秸秆覆盖对土壤水分的影响(II) [J]. 农机化研究, 2006, 5 (05): 43-47
- [50] 张海林, 陈 阜, 秦耀东等. 覆盖免耕夏玉米耗水特性的研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(2):36-40
- [51] 张海林, 秦耀东, 朱文珊. 覆盖免耕土壤裸间蒸发的研究 [J]. 土壤通报, 2003, 34(4):259-261
- [52] 樊向阳, 齐学斌, 郎旭东等. 不同覆盖条件下春玉米田耗水特征及提高水分利用率研究[J]. 干旱地区农业研究, 2002, 20(2):60-64
- [53] 高焕文. 保护性耕作概念、机理与关键技术[J]. 四川农机, 2005, (04): 27-30
- [54] Needeman BA, Wander MM, Bollero GA et al. Interation of tillage and soil texture: biologically active soil organic matter in Illinois[J]. Soil Sciences Society of America Journal, 1999, 63(5):1326-1334
- [55] 高焕文, 李洪文, 陈君达. 可持续机械化作农业研究[J]. 干旱地区农业研究, 1999, 17 (01): 63-66
- [56] 张树梅, 薛宗让. 旱地玉米免耕系统土壤养分研究-土壤有机质、酶及氟变化[J]. 华北农学报, 1998, 13(2):42-47
- [57] 刘世平. 长期少免耕土壤供肥特征及水稻吸肥规律的研究[J]. 江苏农学院学报, 1995, 16(2):77-80
- [58] D L Karlen. 美国的水土保持耕作系统及研究方向[J]. 水土保持科技情报, 1995, (1):60.
- [59] 高云超, 朱文珊. 秸秆覆盖免耕对土壤细菌群落区系的影响 [J]. 生态科学, 2000, 19(3):27-32
- [60] 罗珠珠, 黄高宝, 张国盛. 保护性耕作对黄土高原旱地表土容重和水分入渗的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23 (04): 69-73
- [61] 严洁, 邓良基, 黄剑. 保护性耕作对土壤理化性质和作物产量的影响[J]. 中国农机化, (02): 31-34
- [62] 丁玉川, 王树楼, 王茄. 免耕整秸秆半覆盖对旱地玉米生长发育及产量的影响[J]. 玉米科学, 1994, 2 (01): 28-63
- [63] 刘立晶, 高焕文. 玉米-小麦一年两熟保护性耕作体系试验研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20 (03): 70-73
- [64] 田秀平, 陶永香, 王立军等. 不同耕作处理对白浆土养分状况及农作物产量的影响[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2002, 14(3):9-11.
- [65] 亨耳. 国外农机[J]. 农村机械化, 1998, (12):42.
- [66] 新华网 . 国家将投巨资用于推广保护性耕作 [EB/OL]. <http://news.xinhuanet.com/newscenter/2004204/03/con-tent416179.html>, 2004-08-15
- [67] Fryrear D. W. Soil cover and wind erosion [J ]. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers , 1985 , 28 (3) :781-784
- [68] 董玉祥, 康国定. 中国干旱半干旱地区风蚀气候侵蚀力的计算与分析[J]. 水土保持学报, 1994, 8(3):1-7
- [69] 杨利华, 马瑞崑, 秦玉忠, 吕洪庆, 姚艳荣, 贾秀领. 土壤保护耕作对怀来县玉米地沙化的阻滞效果[J]. 河北农业科学, 2005, 9 (3): 52-54

- [70] 刘目兴, 刘连友, 王静爱等. 农田休闲期不同保护性耕作措施的防风效应研究[J]. 中国沙漠, 2007, 27(1) :46-52
- [71] 海春兴, 周心澄, 李晓佳. 河北坝上不同土地利用方式下土壤表层水分变化对风蚀的影响[J]. 水土保持学报, 2005, 19 (2): 29-32
- [72] 张春来, 邹学勇, 董光荣, 等. 耕作土壤表面的空气动力学粗糙度及其对土壤风蚀的影响[J]. 中国沙漠, 2002, 22(5) :474-475
- [73] 苏永中,赵文智. 土壤有机碳动态:风蚀效应[J]. 生态学报, 2005, 8: 2049-2054
- [74] 于爱忠,黄高宝. 保护性耕作对内陆河灌区春季麦田不可蚀性颗粒的影响[J].水土保持学报, 2006, 20 (3): 6-9
- [75] 臧英,高换文,周建忠.保护性耕作对农田土壤风蚀影响的试验研究[J].农业工程学报, 2003, 19(2):56-60
- [76] 哈斯, 陈渭南. 耕作方式对土壤风蚀的影响[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1996, 2 ( 1):10 -16
- [77] 妥德宝, 段玉, 赵沛义, 郑大玮, 陈铭, 赵举. 带状留茬间作对防治干旱地区农田风蚀沙化的生态效应[J]. 华北农学报, 2002, 17(4) :63-67
- [78] 王云超, 张立峰等. 河北坝上农牧交错区不同下垫面土壤风蚀特征研究[J]. 中国农学通报, 2006, 22 ( 8 ) : 565-568
- [79] 陈素英, 张喜英等. 稜秆覆盖对玉米田棵间蒸发和土壤温度的影响[J]. 灌溉排水学报, 2004, 23 ( 4 ) : 32-36
- [80] 李建兴. 保护性耕作技术与经济效益浅析[J]. 农业装备与车辆工程, 2009, (8) : 67-69
- [81] 秦红灵, 李春阳, 高旺盛等. 北方农牧交错带干旱区保护性耕作对土壤水分的影响研究[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(6):22-26
- [82] 杜兵, 邓健, 李问盈等. 冬小麦保护性耕作法与传统耕作法的田间对比试验[J]. 中国农业大学学报, 2000, 5 ( 2 ):55-58
- [83] 臧英, 高换文, 周建忠. 2003. 保护性耕作对农田土壤风蚀影响的试验研究[J]. 农业工程学报, 19(2):56-60
- [84] 林而达, 李玉娥, 郭李萍等. 中国农业土壤固碳潜力与气候变化[M]. 北京:科学出版社, 2005: 102-113
- [85] ArshadM. A. , FranzluebbersA. J. , AzoozR. H. Components of surface soil structure under conventional and no-tillage in northwestern Canada[ J ]. Soil& Tillage Research, 1999, 53: 41-47
- [86] Alvarez R. , Díaz R. A. , Barbero N. , et al. Soil organic carbon, microbial biomass and CO<sub>2</sub>-C production from three tillage systems[ J ]. Soil& Tillage Research, 1995, 33: 17-28

## 在读期间发表的学术论文

在读期间发表的学术论文（必须以河北农业大学名义发表的文章）：署名为第一作者的已发表论文复印件，包括刊物封面、目录、版权页和论文全文及被索引的相关证明。

发表论文：

赵君，张立峰，刘景辉。燕麦不同留茬高度对土壤水分和养分含量的影响。内蒙古农业科技，2012年第1期13, 14页。

赵君，张立峰，刘景辉。几种保护性耕作对土壤含水量和风蚀量的影响。安徽农业科学，2010年第9期4720, 4728页。

赵君，张立峰，刘景辉，李明。燕麦不同留茬高度对农田土壤风蚀的影响。湖北农业科学（待发），2012。

## 作 者 简 介

赵君，男，1975年11月生于内蒙古呼和浩特市。2007年在河北农业大学农学院作物与耕作系攻读农学硕士学位，导师张立峰教授，研究方向为农田保护性耕作，硕士论文题目为“阴山北麓半干旱区不同耕作方式对农田风蚀的影响”。

## 致 谢

本论文是在我尊敬的老师张立峰教授和刘景辉教授的悉心指导下顺利完成。从研究的选题到试验设计再到材料准备以及试验过程，最后到论文撰写，每个细微的环节上都闪现着导师智慧的光芒。老师给予我那些前瞻性的启迪，使我在试验过程中避免了许多误区，并将在今后的人生道路中给我以坚定的力量，导引我走向远方。我敬爱的导师学识渊博、为人友善、兢兢业业、胸怀宽广，你们敦厚的品质值得我用尽一生来学习。

在论文完成过程中感谢辅助我完成试验的同学们，还要感谢河北农业大学的相关老师们，是你们为我提供支持，使我才能顺利完成学业。最后要感谢我的评委老师们，向你们道一声辛苦了，谢谢大家！

赵君

2012年4月10日

# 内蒙古农业科技

## INNER MONGOLIA AGRICULTURAL SCIENCE AND TECHNOLOGY

★ 全国优秀农业期刊

★ 华北地区优秀期刊

★ 内蒙古自治区十佳期刊

★ 中国期刊方阵“双效期刊”

★ 《中国核心期刊(遴选)数据库》来源期刊

★ 《全国学术期刊综合评价数据库》来源期刊

★ 科技部《中文科技期刊数据库》全文收录期刊

★ 《中国期刊网》、《中国学术期刊(光盘版)》全文收录期刊



内蒙古农牧业科学

INNER MONGOLIA  
AGRICULTURAL  
SCIENCE AND TECHNOLOGY

蒙古文版 英文版 中文版

2012.1  
内蒙古农牧业科学

1973年创刊

2012年第1期(总第233期)

出版日期 2012年2月20日

## 《内蒙古农业科技》

### 编委会

主任 冯万玉

副主任 康煊 白晨

安玉麟 陈伟

委员(按姓氏笔画排列)

王勇 王千里 王卫灵  
(研究员) (编审) (高级会计师)

王建平 云和义 白全江  
(研究员) (研究员) (研究员)

冯勇 刘建设 苏文斌  
(研究员) (研究员) (研究员)

李荣富 李元清 张辉  
(研究员) (研究员) (研究员)

张建平 陈源闻 妥德宝  
(研究员) (研究员) (研究员)

杨海鹰 赵举 侯安宏  
(研究员) (研究员、博士) (研究员)

姚一萍 郭九峰 敦惠霞  
(研究员) (研究员、博士) (编审)

国内统一连续出版物号:CN15-1114/S

国际标准连续出版物号:ISSN1007-0907

广告许可证号:1501004000006

# I N N E R M O N G O L I A A G R I C U L T U R A L S C I E N C E A N D T E C H N O L O G Y

### 农业论坛

- “十五”以来内蒙古小麦育种研究进展及发展建议 ..... 崔国惠, 李元清, 于美玲, 等(1)  
河套地区复种的可行性及技术研究 ..... 闫文芝, 史有国, 张建成(4)  
内蒙古能源植物菊芋  
生产现状及发展对策 ..... 门果桃, 任龙梅, 贾利敏, 等(6)  
发展烟草种植促进烟区经济 ..... 贾虎虎(8)  
内蒙古自治区蔬菜生产发展情况分析 ..... 赵敏(9)  
欠发达地区加快新农村建设  
进程的思路和对策 ..... 朱富荣, 沈可东, 张高训, 等(11)  
关于化解当前村级债务的思考 ..... 张卿(12)  
浅谈和谐社会建设中如何发挥农村财政政策的作用 ..... 李建强, 顾希梅(15)  
通辽地区发展高粱产业前景分析 ..... 白乙拉图, 塔娜, 包春光, 等(17)  
浅谈呼和浩特市花卉产业发展现状及对策 ..... 张文柱, 庞云, 张秀珍, 等(18)  
大同市燕麦产业发展现状及对策 ..... 何太(20)  
景宁山区发展农机化生产的思路和对策 ..... 沈正伟, 林敏莉, 柳宗林, 等(22)  
包头市九原区农业生产施肥现状  
及存在问题 ..... 薛凤莲, 张翠英, 张建玲, 等(23)  
加快乌兰察布市畜牧业结构调整步伐 ..... 张丽红(24)

### 试验研究

- 兴安盟地区燕麦引种试验 ..... 朝克图, 温丽, 田淑华, 等(25)  
授粉对玫瑰花开放过程中衰老的影响 ..... 郭金丽, 徐英杰, 张姝媛(27)  
燕麦不同留茬高度对土壤水分和养分含量的影响 ..... 赵君, 张立峰, 刘景辉, 等(13)  
高粱遗传图谱构建及分子标记研究进展 ..... 葛占宇, 马尚耀, 成慧娟, 等(28)  
绿豆播期研究初报 ..... 孔庆全, 赵存虎, 贺小勇, 等(32)  
宁夏黄土丘陵地区马铃薯  
不同栽培模式比较 ..... 王元元, 郭江涛, 王效瑜, 等(35)  
不同播种期对秋覆膜马铃薯生长发育及产量的影响 ..... 杨志刚, 曾凡文(37)  
晋春16号小麦栽培技术研究 ..... 马涛, 般建军(39)  
2003年以来内蒙古产地蔬菜  
易超标农药分析 ..... 张福金, 李国银, 王秋渝, 等(41)  
速冻与缓冻贮藏对不同成熟度  
海红果主要化学成分的影响 ..... 梁杰, 赵福诗, 遇艳萍, 等(44)

### 土壤肥料与植物保护

- 旱寒区黄绵土冬小麦氮肥底施与追施比例试验 ..... 李顺乾(47)  
庆元县龙溪乡水稻配方施肥试验与实践 ..... 叶正付(49)  
喷施植物光合作用生物增效剂  
对马铃薯产量和品质的影响 ..... 张智芳, 杨海鹰(50)  
单质肥料对玉米水分生产率的影响 ..... 韩占强, 刘莉琴, 王伟(52)  
马铃薯使用永业生命素的增产效果试验 ..... 牛道平, 岳国强(54)  
阿拉善左旗向日葵配方肥  
施用效果研究初探 ..... 袁永年, 刘云生, 王雪玲, 等(56)  
保护地番茄水肥一体化技术应用研究 ..... 张翠英, 薛凤莲, 张建玲, 等(57)  
不同放牧强度下荒漠草原土壤有机碳的空间变异特征 ..... 李有威, 刘源, 于娜, 等(58)  
短花针茅荒漠草原不同放牧强度  
对土壤理化性质的影响 ..... 刘源, 李有威, 于娜, 等(61)  
节能日光温室蔬菜冬季施肥技术 ..... 苏琴(67)  
番茄灰霉病及其人工接种抗病性鉴定技术研究 ..... 张维慧, 刘海英(63)  
大豆孢囊线虫种衣剂防效试验 ..... 黄少鹏, 黄国利(65)  
几种药剂对番茄细菌性溃疡

# 燕麦不同留茬高度对土壤水分和养分含量的影响

赵君<sup>1,2</sup>, 张立峰<sup>1</sup>, 刘景辉<sup>3</sup>, 李明<sup>2</sup>

(1.河北农业大学农学院,河北 保定 071000;2.内蒙古农业大学职业技术学院,内蒙古 包头 014109;

3.内蒙古农业大学农学院,内蒙古 呼和浩特 010010)

**摘要:**以内蒙古武川地区耕地为试验地,对燕麦不同留茬高度的试验田进行土壤水分、土壤养分的监测。结果表明:与传统耕作相比,燕麦田留茬能有效地增加土壤水分和养分含量,燕麦留茬 20cm 免耕播种的有机质和全氮含量表现最高,0~5cm 深度土壤相对含水量随秸秆留茬高度的增加而增高。

**关键词:**燕麦留茬;水分含量;养分含量

中图分类号:S512.6;S345 文献标识码:A 10.3969/j.jssn.1007-0907.2012.01.008 文章编号:1007-0907(2012)01-0013-02

## Effect of Different Oat Stubble Height on Soil Water Content and Nutrient Content

ZHAO Jun

(Agricultural College, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, China)

**Abstract:** Wuchuan area of West-to-east Mountain North was selected to study the affection of different residual stubble height of oats on soil moisture and nutrient content in the experimental field. The study showed that residual stubble effectively increased soil moisture and nutrient content and that organic matter and total nitrogen content were higher than other treatments for residual stubble height of 20cm. The study also showed that soil moisture content increased along with the increasing of the stubble height.

**Key words:** Residual stubble height; Moisture content; Nutrient content

中国北方干旱、半干旱地区降雨少、土壤贫瘠等自然条件与长期的传统耕作方法相互作用,使土壤含水量和含养量减少,造成产量的降低和土壤结构的破坏导致生态环境的恶化。不同的耕作方式影响了土壤的含水量,改变土壤结构、土壤养分及养分的有效性,从而改变养分的供应量,影响了作物的产量。保护性耕作栽培是农业耕作模式的新发展方向,目前在世界范围内有较好的应用。探讨不同耕作方式对土壤水分含量和养分含量特征状况研究,对于农牧交错带旱作农田更有效地保蓄土壤水分和养分,提高作物产量增加当地经济效益,保护环境有着重要的现实意义。

### 1 材料和方法

选用内蒙古武川县典型的同一农牧交错地区的燕麦种植区域做试验。田间试验采用随机设计,4个处理,分别为:传统翻耕(T1);种植马铃薯,收获后耕深 20cm 左右;燕麦无茬免耕播种(T2);留茬高度 0cm,春季直接免耕播种;燕麦留茬 10cm 免耕播种(T3);留茬高度 10cm,春季直接免耕播种;燕麦留茬 20cm 免耕播种(T4);留茬高度 20cm,春季直接免耕播种。

田间试验于 2010 年 12 月初至 2011 年 5 月底,每处理重复 3 次,随机排列。观测内容包括:土壤水分含量、土壤养分含量。

**土壤水分含量测定:**播种前采用铝盒称重法测定土壤相对含水量,用土钻分别取 0~5cm、5~10cm、10~15cm 耕层土样,放入小铝盒在 105℃ 的烘箱中烘干,干燥冷却并称重。通过质量差计算土壤水分含量。

**土壤养分含量测定:** 分别取不同处理 0~15cm 土壤风干测定土壤养分含量。测定内容:有机质,利用稀释热法测定;全氮,利用半微量开氏法测定;全磷,利用  $HClO_4-H_2SO_4$  法测定;速效磷,利用 0.5mol/L  $NaHCO_3$  浸提法测定;碱解氮,利用蒸发皿扩散法测定;速效钾,利用乙酸铵浸提火焰光度法测定。

### 2 结果与分析

#### 2.1 燕麦不同留茬高度对土壤含水量的影响

由表 1 可以看出,不同处理的土壤含水量表现为 5~10cm、10~15cm 土层变化不大;0~5cm 表土层相对含水量变化较大,其中 T1 处理含水量最低, T2 次之, T4 处理的相对含水量较 T1 高出 5.45 个百分点,留茬处理随茬高呈现递增趋势。5~10cm、10~15cm 土层相对含水量在 5.06%~6.34%。表层土壤较高的含水量,有助于春播作物安全成苗。

表 1 各处理不同土壤深度相对含水量比较

处理	各土层土壤相对含水量均值(%)		
	0~5cm	5~10cm	10~15cm
T1	1.88	5.21	5.74
T2	3.03	5.06	5.59
T3	4.93	6.12	6.15
T4	7.33	6.05	6.34

#### 2.2 燕麦不同留茬高度对土壤养分含量的影响

从表 2 可以看出,不同深度土层的养分含量不同,其中有机质含量随着土层深度呈现降低的趋势。全氮含量与有机质表现相似,全磷含量表现为不同耕作处理差异不大,主要随着土层深

收稿日期:2011-12-31

基金项目:国家“十一五”科技支撑重点项目“农牧交错风沙区保护性耕作技术集成研究与示范(2006BAD15B05)”

作者简介:赵君(1975—),男,内蒙古呼和浩特人,讲师,硕士,研究方向为作物耕作学研究。

表 2 各处理不同土层深度的养分含量比较

处理		有机质(g/kg)	全氮(g/kg)	全磷(g/kg)	碱解氮(mg/kg)	速效磷(mg/kg)	速效钾(mg/kg)
0~5cm	T1	18.60	3.67	1.38	10.85	25.01	146.68
	T2	19.95	3.46	1.33	14.53	47.67	228.22
	T3	20.98	2.82	0.73	16.45	62.20	248.06
	T4	22.01	2.60	1.39	12.78	50.62	140.70
5~10cm	T1	17.06	3.42	1.34	20.48	86.83	141.52
	T2	20.39	3.18	1.49	17.68	69.83	116.69
	T3	16.50	3.23	1.24	15.75	85.84	146.41
	T4	15.82	2.79	1.45	13.83	33.14	209.74
10~15cm	T1	17.20	3.02	1.38	17.68	47.91	129.56
	T2	19.95	2.98	0.60	15.23	30.40	159.45
	T3	11.01	2.73	0.85	7.73	37.13	116.96
	T4	11.01	2.24	0.70	6.32	23.34	68.04

度的变化而变化,表层含量高于深层土壤。速效性养分含量表现为中土层含量高于上层和下层,可能是因为上层中的养分由于侵蚀而导致损失严重,下层水分含量较低难以溶解而形成有效养分所致。

### 3 小结

燕麦留茬 20cm 免耕播种对表土层有机质含量有蓄积作用,全氮含量、全磷含量表现为不同耕作处理差异不大。传统耕作对土壤水分保持能力下降,不同耕作处理 0~5cm 深度土壤相对含水量为免耕处理高于传统翻耕,并随秸秆留茬高度的增加土壤含水量增高。不同处理的土壤含水量为 5~10cm、10~15cm 土层变化不大,0~5cm 表土层相对含水量变化较大,其中传统翻耕含水量最低,燕麦无茬免耕播种次之,留茬处理随留茬高度的增加呈现递增趋势。

燕麦留茬在提高土壤结构性能、涵养水分方面,与传统翻耕相比表现较好,且留茬处理又强于无茬处理。随着燕麦田留茬高度的增高,土壤结构的稳定性增强,生态环境效益有所改善。

综上分析说明,采用燕麦留茬,在免耕基础上,随着燕麦田留茬高度的增高,土壤结构稳定,水分含量、养分含量增加,有利于作物生长和非生长季节生态环境的保护,是一种可持续的耕作途径。

### 参考文献:

- [1] Zhang H-L,Gao W-S,Chen F,Zhu W-S.Prospects and present situation of conservation tillage[J].China Agric Univ,2005,10(1):16-20.
- [2] Zhu W-S,Jia C-Q.Effects and prospects of reduced tillage with mulch in wheat field[J].Crops,1997,(4):26-27.

(上接 12 页)问题,及时纠正,并明确乡镇不准平调、挪用、侵占村级资金。定期实行村级财务公开,自觉接受群众监督。

### 4.4 发展壮大集体经济,提高化解村级债务能力

这是化解村级债务的治本之策。首先,要大力发展战略性新兴产业,在发展中逐步化解债务。坚持科学发展观,围绕富民强县这个中心,积极实施工业强县、旅游富县、科技兴县三大战略,努力做强工业,提高民营经济建设力度,提高经济效益,形成村级经济收入稳定的态势。其次,要充分发挥本地资源优势,大力发展特色产业,通过为农民提供产业信息引导,流通服务中创收,壮大集体经济,增加农民收入,提高村集体化债能力。

### 4.5 积极争取上级支持,增加转移支付力度

一是对上级政府指令性而产生的债务,应通过政策优惠,酌

- [3] 马春梅,孙莉,唐远征,等.保护性耕作土壤肥力动态变化的研究—秸秆覆盖对土壤水分的影响(Ⅱ)[J].农机化研究,2006,5(5):43-47.
- [4] 林而达,李玉娥,郭李萍,等.中国农业土壤固碳潜力与气候变化[M].北京:科学出版社,2005,102-113.
- [5] 秦红灵,李春阳,高旺盛,等.北方农牧交错带干旱区保护性耕作对土壤水分的影响研究[J].干旱地区农业研究,2005,23(6):22-26.
- [6] 刘俊青,付晓峰,杨海顺,等.燕麦新品种蒙燕一号的选育[J].内蒙古农业科技,2010,(6): 47,577.
- [7] 李杰林,兰惊雷,李永昌,等.山西少、免耕之保护性耕作技术浅议[J].山西农业科学,2008,36(1):8-11.
- [8] 张伟,张冬梅,樊修武,等.不同耕作方式对旱地土壤环境和玉米产量的影响[J].山西农业科学,2010,38(7):44-47.
- [9] 籍增顺,王盛霞,洛希图,等.旱地玉米免耕覆盖土壤水分研究[J].山西农业科学,1994,22(3):7-12.
- [10] 崔月孝,韩仲芳,崔冰,等.旱地玉米免耕整秸秆覆盖保持水土效果[J].山西农业科学,1994,22(3):20-21.
- [11] 王笳,王树楼,丁玉川,等.旱地玉米免耕整秸秆覆盖土壤养分、结构和生物研究[J].山西农业科学,1994,22(3):17-19.
- [12] 籍增顺.国外免耕农业研究[J].山西农业科学,1994,22(3):63-68.
- [13] 山西省农业科学院旱作农业耕作栽培体系及增产机理课题组.旱地玉米(高粱)少免耕整秸秆半覆盖节水增产技术[J].山西农业科学,1991,19(4):1-4.
- [14] 王建雄,韩美善,张润桃,等.莜麦生产定位思考与栽培技术规范[J].山西农业科学,2007,35(12): 68-70.

(责任编辑 敦惠霞)

情停息、贴息、核销、减免等措施逐步化解。二是对于政府专项贷款、建设国债等债务,应予以减免一部分,延长还贷期,或停息挂账。三是积极争取项目支持和财政补助。对应体制和政策因素兴办公益事业形成的债务,要争取国家、省、市对县区的转移支付力度,通过转移支付补助来化解债务。

### 4.6 精简人员,减少开支

随着农村税费改革和撤乡并镇,乡镇工作形式和任务发生了很大变化,乡镇村级干部的工作量也会越来越轻,因此,也不需要太多的人员。对新增的投资建设项目要严格把关,避免盲目投资建设,对一些超能力、超范围的事权由省市统筹安排。

(责任编辑 吴云霞)