

黑龙江八一农垦大学

硕士学位论文

大庆市盐碱耕地风蚀机理及耕播机破茬部件的试验研究

姓名：李叶龙

申请学位级别：硕士

专业：农业机械化工程

指导教师：张伟

20070401

## 摘要

风蚀是造成土壤流失、环境污染的重要原因之一，沙尘暴的尘源大部分来自裸露的农田和退化草地。大庆市有 48.67 万  $\text{hm}^2$  的耕地，全部的耕地都采用传统的耕作方式，冬春两季土地裸露在空气中，加之本地区春季大风，持续时间长，造成沙尘暴频繁，对环境造成严重污染，为此迫切需要改变传统的耕作方式，对农田进行保护，防治农田土壤风蚀的发生。免耕、秸秆残茬覆盖是一种有效的防治农田土壤风蚀的措施，但如果连续进行免耕，虽然有防治农田土壤发生风蚀的效果，但同时也使土壤紧实，硬度加大，透气性差，不利于作物生长。针对以上状况本试验主要进行以下研究：

建立免耕覆盖、深松覆盖、耙茬覆盖和传统耕作四种处理方式的试验区，利用自行制造的沙尘采集仪，风速仪等测试设备对不同耕作体系的土壤风蚀进行了系统的测定，通过耕作与覆盖相结合的方式，来找出一种适合本地区，即可防止风蚀发生又可改善土壤结构的耕作方式。同时针对免耕覆盖造成的地块硬度大，地表秸秆多，破茬部件入土困难等特点，对双圆盘开沟器进行参数优化，使其在较小的配重下能够完成开沟破茬、切断秸秆的功能。试验结果表明：

(1) 与传统耕作方式比较，免耕覆盖表层土壤含水率增加 38% 左右，深松覆盖、耙茬覆盖分别增加 8% 和 11%；免耕覆盖的粗糙度相对传统耕作增加 85%，深松覆盖和耙茬覆盖分别增加 39% 和 54%，说明保护性耕作可以有效地增加表层土壤含水率和地表粗糙度，对于增加表层土壤含水率耙茬覆盖要好于深松覆盖，而对于提高地表粗糙度上深松覆盖要好于耙茬覆盖。

(2) 与传统耕作比较：免耕覆盖减少土壤风蚀量 83%，深松覆盖和耙茬覆盖分别减少 63% 和 54%，且风蚀量随高度的增加呈幂函数关系减少。保护性耕作可以减少 75% 的近地表吹起的颗粒，减少 40% 扬上天空的微粒量。说明耙茬覆盖，深松覆盖虽然对地表造成了一定的破坏但仍然具有较好的防治农田土壤风蚀的效果，且深松覆盖好于耙茬覆盖。

(3) 对免耕播种过程中所遇到的堵塞问题，以及目前两类破茬器的优缺点进行了分析，提出了通过改变双圆盘开沟器参数（直径、夹角、聚点），使其满足免耕播种中破茬要求的方案。对破茬单体的结构进行了设计，通过分析给出了参数的优化范围，确定了采用饱和-D 最优设计方法进行试验。

**关键词：**土壤风蚀；残茬覆盖；双圆盘；破茬器

## Abstract

Eolation is an important reason of soil spillage and environmental pollution. Most dust of sandstorm comes from the exposed farmland and the degenerated lawn. DaQing has 486,700 hm<sup>2</sup> cultivation, which is used Traditional farming methods. Lands exposed in the air in both winter and spring. At the same time, the local area has the gale, which lasts long in spring, with frequent dust storm and serious pollution to the environment. So it is important to change the traditional cultivation way urgently to protect the farmland and prevent it from occurring of farmland eolation. Zero tillage and the straw stalk remnant stubble covering is an effective way to prevent farmland eolation. But the way of zero tillage also has the disadvantageous that causes the soil compact, enlarging the degree of hardness, causing a bad air permeability. It is disadvantageous to the growth of crops. According these simultaneously, to research as follows:

Four kinds processing treatment comparisons is established to assay soil eolation of the different cultivation system, including zero tillage-covering, deep-pulverize covering, harrowing stubble covering and the traditional cultivation. All of which were self-manufactured, such as the sand dust acquisition instrument and anemoscope. Geoponical ways suiting the area will be got out though combining the cultivation to the cover way. In other words, which is a geoponic way of preventing eolation and improving the soil structure. Simultaneously aiming at zero tillage makes land mass indurations, too much surface straw stalk, tatter device get into the soil difficultly and so on, parameter of twin disc furrow opener will be optimized and used of ditching, stubble ploughing and straw stalk cutting under a light balancer. The result of the research indicated that:

(1) Comparing with the traditional cultivated way: zero tillage covering can make moisture content of the surficial soil increase about 38%; deep-pulverize covering, harrowing stubble covering separately increase 8% and 11%; roughness of zero tillage covering increase 85% comparing with tradition cultivation; deep-pulverize covering and harrowing stubble covering separately increase 39% and 54%. It has shown that protective cultivation may increase the soil moisture content and surface roughness effectively. Harrowing stubble covering is better than deep-pulverize covering on the part of increasing surface soil moisture content, but deep-pulverize covering is better than harrowing stubble covering on part of enhancing surface roughness.

(2) Comparing with the way of traditional cultivated, zero tillage covering can reduce the quantity of eolation 83%, deep-pulverize covering and harrowing stubble covering separately reduce 63% and 54%. The eolation reduces assuming the power function relations along with the high increasing. Protective tillage can reduce 75% of the near-surface winds of particles and 40% in the amount of particles into the sky. It means that though deep-pulverize covering is disadvantage in surface soil in a certain extent, but it is advantage on controlling soil erosion, moreover, deep-pulverize covering is better than harrowing stubble covering.

(3) To analysis the problem of blockage in the zero tillage sowing process and the advantages and disadvantages of the two kinds of tatter device, Proposed the plan, which satisfied tattering request in

the zero tillage sowing process through changes the twin disc furrow opener parameter(diameter, included angle, condensation point). This experiment has carried on the design to the tatter device. The monomer structure has been produced , the parameter optimized scope has been analysed, and the optimal design of saturation-D has been carried on the experiment.

**Key words: Soil Eolation; Stubble Mulch; Twin Disc; Tatter Device Instrument**

# 独 创 性 声 明

本人声明所呈交的论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得黑龙江八一农垦大学或其它教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

研究生签名：

时间：

年 月 日

## 关于论文使用授权的说明

本人完全了解黑龙江八一农垦大学有关保留、使用学位论文的规定，即：学校有权保留送交论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文。同意黑龙江八一农垦大学可以用不同方式在不同刊物上发表，传播学位论文的全部或部分内容。

（保密的学位论文在解密后应遵守此协议）

研究生签名：李叶龙

时间：07 年 6 月 12 日

导师签名：

时间：

年 月 日

## 第一章 绪论

### 1.1 研究的目的和意义

随着人类对土地的不断开发和利用,土壤的水土流失日趋严重,针对于此,专家学者提出了保护性耕作概念。它是相对于传统翻耕的一种新型耕作技术。国外将保护性耕作定义为:“不引起土壤全面翻转的耕作方法。它与传统的耕作方法不同,要求大量的作物残茬留在地表,将耕作减少到能保证种子发芽即可,它要求使用农药来控制杂草和害虫”<sup>[1]</sup>。

我国学者在多年科学研究的基础上,把保护性耕作定义为:对农田实行免耕、少耕,尽可能减少土壤耕作,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。其优点是:①减少地表径流,减轻土壤风蚀水蚀,改善环境,增加水分入渗;②增加土壤有机质含量,改善土壤结构;③提高水、土、光等资源的利用率;④产量提高;⑤生产成本下降,收入增加,经济效益改善<sup>[1]</sup>。

风蚀是造成土壤流失、环境污染的重要原因之一,也是保护性耕作技术所要解决的问题之一,为此许多专家学者对此进行了大量的研究,也取得了很大的成效,但我国地域辽阔,不同地区的气候条件、土壤状况、水文状况、植被状况适合种植的作物种类等条件都存在巨大差异,这就决定了我国利用保护性耕作防治农田土壤风蚀的研究有很强的地域性特点。目前国内的研究大都集中在南方一年两熟区,其技术也得到了广泛的应用,取得了显著效果,其主要种植作物是小麦和玉米。另外京津地带关于治理风蚀的研究也比较多。而北方则主要集中在内蒙古高原农牧交错地带且大都是针对小麦残茬。相对北方旱作农业区的研究较少。为此本研究将针对北方旱作农业区——大庆地区盐碱耕地进行保护性耕作防治农田土壤风蚀的试验性研究。

大庆市地处黑龙江省西部半干旱地区,平原集中,地势平坦。耕作面积 48.67 万  $\text{hm}^2$ ,占土地面积的 32%,主要种植作物为玉米和大豆。现有草原面积为 68.93 万  $\text{hm}^2$ ,占土地面积的 45% 其中 53.3 万  $\text{hm}^2$  的草原有“三化(退化、沙化、碱化)”现象,气候具有明显的大陆性季风特征,春季大风多、降水少。地区内植被生态环境的破坏、农田裸露及水蚀和风蚀严重,使保持水土、防风固沙、涵养水分等能力降低,形成了“越穷越垦,越垦越穷”的恶性循环,造成了干旱少雨、沙尘暴频繁,使得水土流失,严重制约了大庆市农业与畜牧业的快速发展。因此要解决这些问题,在禁止放牧修养草原的同时,也必须改变传统的农田耕作方式。

本次试验采用耕作与残茬覆盖相结合的方式与传统耕作相对比,研究防治农田土壤风蚀的措施以及农田土壤风蚀的规律。目的:1. 找出农田土壤风蚀的规律;2. 验证已有的关于农田土壤风蚀的规律在本地区的适用性,为在本地区推广提供依据;3. 找出适合本地区防治农田土壤风蚀的耕作方式。

任何一种耕作方式的大面积推广都离不开机械化,对于农业机械来说它主要服务于农业耕作方式的要求。而保护性耕作的突出特点就是少、免耕和秸秆残茬覆盖,利用传统播种机械播种易出现残茬妨碍播种以及秸秆堵塞的问题,解决的方案就是在播种时对秸秆残茬进行处理。为此国内一些学者提出了破茬器的概念,本试验将利用传统双圆盘开沟器的一些优点,通过参数优化使其满足本地区小型耕播机破茬(玉米茬)的要求,同时使其开出的沟形能够满足侧施肥的要求。

## 1.2 国内外研究状况

### 1.2.1 国外风蚀研究状况

土壤风蚀的研究是随着风沙现象的有关研究领域和土壤侵蚀研究而发展起来的。科学风蚀的概念形成于 19 世纪末期。国外土壤风蚀研究的历史和成果大致分为三个阶段<sup>[2]</sup>, 20 世纪 30 年代前为风蚀研究的萌芽阶段。当时人们只是把它看作是一种地质过程, 风蚀现象的研究仅仅局限在地质学领域, 研究方法以考察和描述为主, 但却首次将朴素的风蚀知识提到科学的高度。

20 世纪 30 年代以来, 风蚀研究已有突破性进展, 实现了从定性描述到定量研究的飞跃。30 至 40 年代, 美国大平原地区遭遇了灾害性“黑风暴”的袭击, 这使土壤风蚀的研究得到了空前的重视, 系统的土壤风蚀研究应运而生。Bagnold 通过野外调查和风洞试验来确定引起沙粒运动的力学机制, 提出了沙粒的运动主要是发生在距地表 100cm 左右的高度范围内, 而大气旋流在保持沙粒运动中只起很小的作用<sup>[3]</sup>。同时, 他还创造性地应用和发展了冯·卡门(Von Karman)、普朗特(Prantl)及谢尔德(Shield)的现代流体力学理论, 建立了“风沙物理学”理论体系。Bagnold 的代表著作《风沙和荒漠沙丘物理学》的发表标志着土壤风蚀科学研究的开始。与此同时, 加拿大、前苏联以及澳大利亚等国根据具体的土壤风蚀问题与特点, 也相继开始了土壤风蚀的研究。总的来说 20 世纪 30 年代到 60 年代, 是土壤风蚀研究的大发展阶段。

60 年代中期至今, 是土壤风蚀研究的进一步检验和完善阶段。60 年代的计量革命和计算机技术的发展与应用, 使土壤风蚀的研究走向了定量模型的研究。众多学者利用现代化的观测仪器和实验设备, 全面的检验、完善和重建各种风蚀模型, 使其具有更广泛的应用价值。

80 年代以来人们又开始致力于发展综合性的、基于物理过程的风蚀模型。由此可见, 国际上土壤风蚀的研究经历了定性描述、动力学试验分析和定量模型阶段, 在土壤风蚀机理、土壤风蚀的危害及土壤风蚀的防治机理与技术方面取得了突破性的进展, 形成了比较科学的体系。

### 1.2.2 国内风蚀研究状况

20 世纪 50 年代以前随着西方近代土壤风蚀科学知识的传入, 我国一些学者开始对土壤风蚀问题进行了一些调查、成因分析及粗略的分类与描述, 提出了一些防治农田土壤风蚀的办法和建议。50-60 年代, 我国学者开始围绕着土壤风蚀、风沙活动的自然条件、风蚀地形发育及风沙运动规律等开展了系统的研究。从宏观上基本弄清了我 国风蚀沙害的空间分布、危害方式及其区域性差异, 对引起土壤风蚀的自然与人为因素及其常态的或加速作用等方面的认识较以前也更深刻。

进入 70 年代, 土壤风蚀研究进入了一个新的阶段。这一时期的研究, 开始广泛的应用遥感技术、实地调查、定位观测、室内实验模拟等现代技术手段, 但整个 70 年代及 80 年代初期的研究缺乏系统性。直至 1987 年, 董光荣等在我国率先开展了影响土壤风蚀的若干因素的试验研究, 树起了我国土壤风蚀研究的里程碑, 他们的研究为我国试验研究人类的经济活动对土壤风蚀影响提供了新的思路, 带动了我国土壤风蚀研究的深入发展。在此以后, 专门的土壤风蚀研究相继兴起。进入 20 世纪 90 年代以后, 在定量分析的基础上, 开始采用多元统计数学模型与动态仿真模型模拟土壤风蚀过程。在此基础上提出了区域治理的途径与措施、区域土地资源开发与利用的方

向。从而我国风蚀研究进入了新的阶段。特别是近几年我国北方的沙尘暴频发,同时认识到沙尘暴的尘源大部分来自于裸露的农田和退化草地,从而掀起了对防治农田土壤风蚀的研究浪潮,2000年以后众多学者开始针对不同地域进行了大量研究取得了一定成果,但由于我国地域辽阔、地形地貌、气候条件等差异较大,况且风蚀本身就是一个漫长的形成过程,所以对其规律的探索也是一个比较长的过程。还需要不断的探索与研究。

### 1.2.3 国外免耕播种机研究状况

国外从20世纪40年代初就开始对保护性耕作进行研究,随着保护性耕作优越性的体现,免耕种植面积逐年增大,各种形式的少免耕播种机的研制加强,并且逐渐成熟。



图 1-1 John Deere 752 型小麦免耕播种机  
Fig 1-1 The wheat sowing machine of John Deere 752 which is zero tillage



图 1-2 John Deere 7100 玉米免耕播种机  
Fig 1-2 The corn sowing machine of John Deere 7100 which is zero tillage

目前国外免耕播种机已比较成熟,大都是联合作业机,一次可完成破茬、开沟、播种、施肥、喷药等多项作业,而且大都是多横梁、宽幅、牵引式的,例如美国迪尔公司生产的1820型少耕、免耕播种机与1910型种肥车配合使用,播幅可达18.59m<sup>[5]</sup>,加拿大萨斯卡彻温省生产的免耕播种机,幅宽可达20m,而且全部是牵引式的<sup>[4]</sup>。播种机一般为气力式排种,土壤工作部件较复杂,动土量较小,播种比较均匀。以下为国外常用的几种免耕播种机介绍:

图1-1为美国John Deere 752型小麦免耕播种机,1993年引进到北京市通县张辛庄农场,在玉米秸秆覆盖地上免耕播种小麦,1994-1995两年的试验表明,由于部分种子被播在玉米苞叶上而导致小麦减产,后来只能在耕后地上使用。该机采用单圆盘开沟器,结构复杂、体型大、气力输送种子、价格昂贵。

图1-2为美国John Deere 7100型6行玉米免耕精播机,同样1993年引进到北京通县张辛庄农场,为当时世界先进的免耕精播机,73.6kW拖拉机牵引,作业质量良好,双圆盘开沟、双限深轮仿形。但是,结构复杂、机器质量大、价格昂贵。北京市通县农机化所曾经用三年时间仿造了一台,但由于结构复杂,机器笨重,造价达10万元以上,与国产6行免耕播种机相比,价格高出7~8倍,在我国无市场,没有得到推广。

图1-3为美国GREAT PLAINS(大平原)1205NT型免耕播种机。配套动力为73.6kW,开沟器为双圆盘开沟器,前边装有波纹形破茬圆盘,还有4速可调链轮盒,T形播种深度控制手柄,配有小粒种子播种附件,3种开沟圆盘可选,工作幅宽3.66m.,整机重量2767kg。可以播种18~

20 行, 播种深度 0~8.89cm。无施肥装置, 可调换小粒播种附件, 进行小粒作物播种。但从图中也可看出地轮在播种机的最外侧安装, 从而播不到地边, 不能充分利用土地资源。

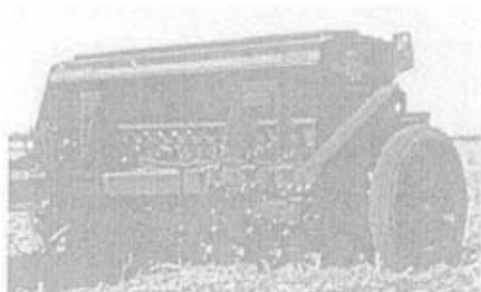


图 1-3 GREAT PLAINS 1205NT 型免耕播种机

Fig 1-3 The sowing machine of GREAT PLAINS 1205NT which is zero tillage



图 1-4 Big Rig 小麦免耕播种机

Fig 1-4 The wheat sowing machine of Big Rig which is zero tillage

图 1-4 为澳大利亚 Big Rig 大型离心分配气力输送多梁小麦免耕播种机。有 5 排横梁, 尖角型开沟器。种子二次分配, 首先种子从种箱用外槽轮排出总量; 然后用自带的发动机产生气力通过输送管将种子输送到安装于播种机架上的分配器, 再由分配器把种子分到各行。整个播种机质量大, 结构复杂, 机组长, 转弯半径大, 不适合我国国情。但其多梁结构和尖角型开沟器对我国免耕播种机的开沟器设计及减少开沟器的堵塞性、提高免耕播种机的通过性有启发, 可以借鉴。

## 1.2.4 国内免耕播种机研究现状

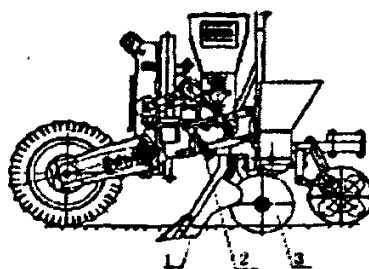
我国免耕播种机研究起步较晚, 且我国地块小, 免耕播种机多设计为悬挂式, 因此不能设计太重, 否则拖拉机的液压机构将不能提升播种机。但是免耕播种机是在较坚硬的未耕地上直接播种, 机器没有足够的重量, 土壤工作部件难以入土。因而目前我国自行开发研制的免耕播种机主要是解决土壤工作部件的入土问题以及防止秸秆堵塞等问题。

我国对免耕播种机研究的具体情况如下:



图 1-5 2BQM-6A 型玉米免耕播种机

Fig 1-5 The corn sowing machine of 2BQM-6A which is zero tillage



1.破茬松土器 2.四杆仿行机构 3.圆盘开沟器

图 1-6 2BQM-6A 气吸式免耕播种机

Fig 1-6 The aspiration sowing machine of 2BQM-6A which is zero tillage

20 世纪 90 年代, 我国科研工作者对免耕播种机的研究主要集中在免耕播种机的土壤工作部件上。如施森宝等人<sup>[5,6]</sup>设计的 2BQM-6 和它的改进型 2BQM-6D, 大连农牧机械制造厂生产的

2BQM-6A 型免耕播种机, 图 1-5 是目前较为成熟的一种。该机主要是采用了凿形刀式破茬松土装置, 其工作原理为: 推力分茬, 凿形刀因其入土性能好, 工作时不需增加配重, 因此整机重量小, 可采用悬挂式。

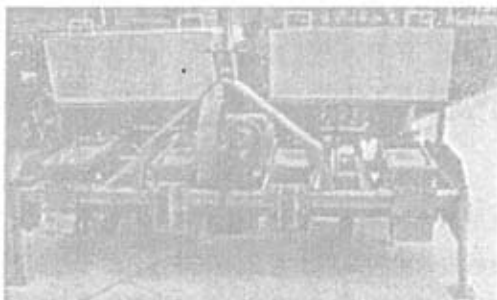


图 1-7 2BMDY-4 带状粉碎玉米免耕覆盖播种机

Fig 1-7 The zonary corn shatter sowing machine of 2BMDY-4 which is zero tillage and overlaying

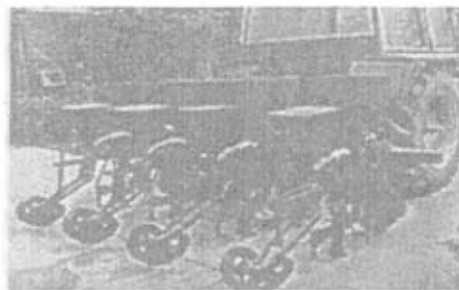


图 1-8 2BMQF-4C 轮齿拨草型玉米免耕精播机

Fig 1-8 The gear evulsion weeds corn sowing machine of 2 BMQF-4C which is zero tillage

胡鸿烈等 1990 年研制了 2BQM-6A 气吸式免耕播种机, 该机采用了凿形刀式破茬松土器、双圆盘开沟器、四杆仿形机构, 如图 1-6 所示。破茬松土器和开沟器工作深度比较稳定, 其变异系数分别为 2.0%~15.4% 和 4.9%~12.1%。在小麦秸秆量为  $965\text{kg}/\text{hm}^2$ , 秸秆含水率为 64.3% 的地块中播种, 其通过系数可达 0.97<sup>[7]</sup>。该机于 1991 年就已投产, 1992 年通过农业部农机试验鉴定总站的科研鉴定, 是一种比较成熟的免耕播种机。

陈君达、李洪文等<sup>[8]</sup>通过组合式限深切草器、全封闭单体防堵装置、弹齿拨草杆、不对称分禾器和行间压草轮等 5 种防堵装置的对比试验, 分析了排堵机理, 研制出理想的组合式限深切草器与行间压草轮配合使用的防堵装置。

董竹亮等<sup>[9]</sup>1993 研制了 2BM-2/3 型免耕播种机, 其能够一次完成扒秆破茬松土、播种施肥、覆土镇压等作业。并于当年通过山西省级鉴定, 该机可用于玉米秸秆整株覆盖条件下播种, 但要求秸秆必须顺行压倒, 且整株秸秆与前进方向的夹角不大于  $30^\circ$ 。这是因为该机具的最前面是破茬松土器, 对秸秆无切断作用, 否则就会导致堵塞。

河北省农林科学院<sup>[10]</sup>研制了 2BY-3 型玉米免耕播种机, 其播种深度、均匀性、种肥分施等性能要求均达到 96% 以上, 并且该机具获得国家专利。

张晋国、高焕文<sup>[11]</sup>研制了带状粉碎防堵装置, 该装置性能好, 能高效解决华北一年两熟高产小麦收获后的直接播种问题, 并成功研制了 2BMDY-4 带状粉碎玉米免耕覆盖播种机, 如图 1-7 所示, 该机为 4 行悬挂式, 带状粉碎, 种肥垂直分施, 单体仿形, 半精量播种。其主要特点是在开沟器前 20cm 范围内安装了粉碎刀片, 实现了开沟前的秸秆粉碎, 并且将粉碎后的秸秆通过导草板抛向开沟器后方两侧, 因此具有很强的防堵性能, 可在小麦、玉米地直接进行玉米播种。可以说是目前国内防堵性能最好的免耕播种机。1999 年 6 月, 该机具通过农业部农业机械试验鉴定总站性能鉴定。



图 1-9 切草盘+轮齿式拨草器

Fig 1-9 The gear evulsion weeds machine of slicing up disk and + gears

蒋金琳等<sup>[12]</sup>1998 年对免耕播种机上的土壤工作部件的结构参数及设计计算进行了分析,为合理选取工作部件提供了依据和分析基础。

中国农业大学研制的 2BMQF-4C 轮齿拨草型玉米免耕施肥精播机,如图 1-8。该机采用了专利产品“切草盘+轮齿式拨草器”如图 1-9,该机构不仅有较好的切断秸秆、劈开玉米根茬、清除杂草、防堵功能,而且它还起限深作用,同时用作播种施肥的驱动轮;采用了单体平行四连杆仿形机构,从而保证播深一致,改善了播深的均匀性;采用了尖角形开沟器,开沟窄、入土性能好、自动回土性好,种肥垂直施,施肥量大,不烧种,种肥分施间距调节方便。该机于 1999 年 6 月通过农业部农业机械试验鉴定总站鉴定。

从我国目前情况来看,我国对免耕播种机虽有大量的研究,种类不少,但毕竟起步较晚,免耕播种机不免存在缺陷。总体上说我国免耕播种机在生产规模上、品种上、质量上,都远远不能满足推广保护性耕作技术的需要,特别是针对玉米残茬地块目前的破茬技术还不成熟,还没有向农民提出推荐机型。另外不同地区、不同条件下实施免耕播种作业对机具的要求也有很大差异性,所有的免耕播种机都有其适宜作业的条件,因而结合不同地区农业生产实际条件及要求,开发研制适合当地的免耕播种机,才能满足在不同地区推广保护性耕作技术的需要。

## 1.3 课题研究主要内容和方法

### 1.3.1 保护性耕作对农田土壤风蚀影响的试验研究

针对大庆地区春季干旱、大风及其土壤盐碱化严重的特点建立四种处理形式,分析残茬覆盖、耕作两人工控制因子对农田土壤风蚀的影响。进一步完善适应本地区的保护性耕作理论体系。主要包括:

1. 当地气候、土壤等条件的数据采集
2. 设置四种不同处理方式,采集农田土壤输沙量
3. 分析不同处理方式对农田土壤输沙量的影响

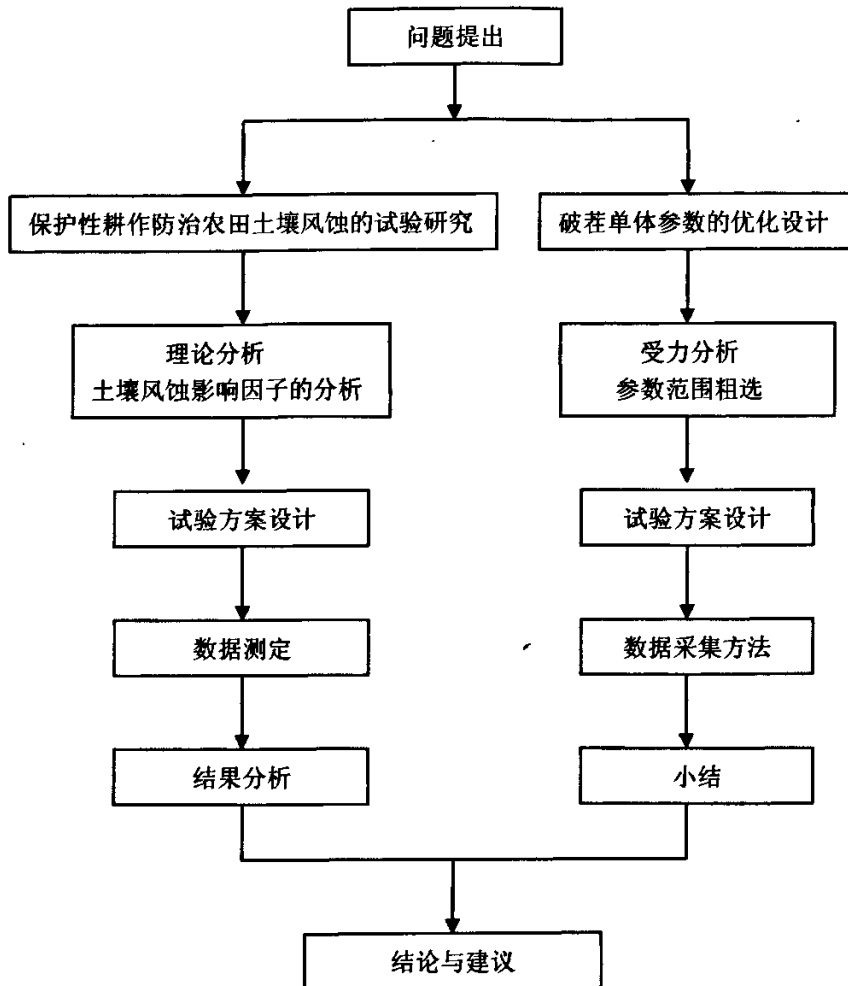
### 1.3.2.破茬单体结构参数的优化

根据双圆盘开沟器的特点,通过改变其参数:圆盘直径、两圆盘夹角、聚点位置,及适当的配重使其能够满足破茬的要求,同时开出两沟,满足农艺上侧施肥的要求。

1. 理论分析,确定优化参数及其范围。
2. 通过参数优化使双圆盘开沟器具备在免耕覆盖地块破茬的功效。

### 1.3.3 研究工作框图

本研究的技术框架图如下：



## 第二章 保护性耕作防治农田土壤风蚀的试验设计

### 2.1 引言

#### 2.1.1 风蚀产生的原因

土壤风蚀是狭义的风蚀概念,它是指松散的土壤物质被风吹起、搬运和堆积的过程以及被风吹起的颗粒的磨蚀过程,其实质是在风力的作用下发生的表层土壤中细颗粒和营养物质的吹蚀、搬运与沉积的过程<sup>[1]</sup>。风蚀过程主要包括土壤团聚体和基本粒子的分离、输送和沉积。这一过程直接的生态后果表现为:一是造成表土层大量富含营养元素的细微颗粒的损失,致使农田表土层粗化、土壤肥力下降和土地生产力衰退;二是土壤风蚀过程中会产生大量的气溶胶颗粒,这些颗粒悬浮于大气中,是造成所在地区乃至周缘地区沙尘天气出现的重要尘源。土壤风蚀是一个综合的自然地理过程,其中包括气候、植被、土壤、地形地貌等多种因子。这些因子发生变化,会导致土壤风蚀程度乃至方向的变化,严重的土壤风蚀不仅危害本地,造成地表细粒物质和土壤养分、有机质的大量流失,土地生产力下降,影响农作物的正常生长,而且殃及四方,产生大范围的粉尘污染和其他的风沙问题,影响人类身体健康,并对交通、通讯和水利等设施构成危害。

土壤风蚀的主要形式包括土壤颗粒的跃移、挤移、撞移、悬移和磨移<sup>[13]</sup>。跃移:土粒被风力提升到空中,然后又落回地面,落回时将其他土粒击出使之发生移动。跃移是其他风蚀形式的前提,它包括了直径 $0.05\sim 0.5\text{mm}$ 土粒的移动。要控制风蚀,就得减少土壤中这种颗粒的数量,并保护它们不受风力侵蚀。挤移:是在跃移所带砂粒的撞击下发生土粒移动的一

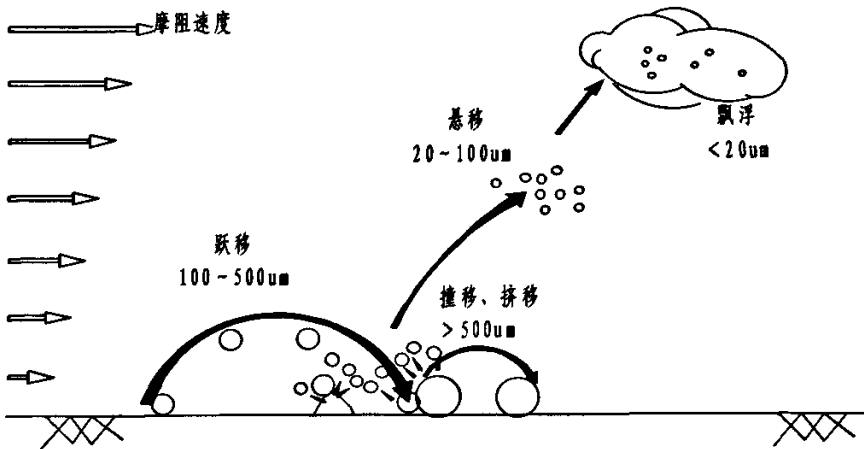


图 2-1 风蚀形成过程简图

Fig. 2-1 The diagram of orming process of wind erosion f

种侵蚀。这种侵蚀形式使仅靠风力无法移动的大颗粒发生表面蠕动,就像一个弹子受到另一个弹子撞击时出现的那种移动。撞移:是土壤突起顶端受到侵蚀轰击时击出粗土粒的过程。和挤移移动不同的是,这些土粒都大得无法在平面上移动。这种类型的侵蚀将击出更多的可能为突起所保护的易侵蚀土粒。悬移:是指悬空细颗粒的迁移。细颗粒悬空主要是粗颗粒跳

跃移动时造成的。细粉粒和粘粒级的这类颗粒可以被带到相当高的空中。风刮起尘土时,即可看到这种形式的侵蚀。土壤细粒组分的迁移,经过几年时间就会使土壤质地变粗,更易侵蚀,而且降低了土壤生产力。磨移:是指携沙风对那些多少有些坚硬的物质如土块和表面结皮的磨损作用。粗结构物质对砂丘砂磨损作用比较敏感,石灰含量高的土壤也会增强磨损作用。砂丘砂是土壤中磨损力最大的因子,因为它不含细土,具有较高的比重和尖锐边缘。

由上分析可知,跃移是产生风蚀的根源,风蚀形成过程如图 2-1 所示。减少跃移可以避免大颗粒因受到挤移和撞移而变成易侵蚀的土壤颗粒,也就避免了悬移所造成的沙尘风暴。

### 2.1.2 影响风蚀的主要因子

地表土壤的风蚀起沙过程是运动的空气流与地面粒子在界面上相互作用的一种动力过程<sup>[14]</sup>。研究表明,这是一个由许多因素控制影响的复杂物理过程。对于风蚀起沙的诸多影响因子,国内外已有很多研究。Wodruff 等<sup>[15]</sup>把地表土壤的风蚀起沙量用土壤侵蚀度、地表粗糙度、气候因子、盛行风方向的田地长度(或宽度)和植被覆盖等五个因子表示,建立了半经验性的土壤风蚀方程;Gillette 等<sup>[16]</sup>认为,地表的沙尘排放量是风速和地表状况(包括土壤水分和地表植被等)的函数;Shao 等<sup>[17]</sup>把所有的影响因素概括地分为天气和气候条件(主要是大风和少量的降水)、土壤状态(包括土壤的矿物成分、粒子尺度分布特征、土壤硬度和土壤水分等)、地表粗糙元素(非侵蚀性土壤集合、植被覆盖度)以及土壤的利用和管理等四个方面;贺大良<sup>[18]</sup>等利用室内风沙环境风洞对影响土壤风蚀起沙的风况(含沙量和风速大小)、土壤表面的覆盖状况(植被等)、地表物质组成和人为因素(开垦和放牧)等影响因子进行了初步的模拟试验。已有的许多风蚀起沙模型表明,地面风蚀起沙量的多少在计算中主要受摩擦速度  $u^*$  (或风速  $u$ ) 和地表风蚀起沙的临界摩擦速度  $u_{*c}^*$  (或临界风速  $u_{c0}$ ) 所影响,上述诸多因素正是通过影响  $u$  和  $u_{*c}^*$  进而影响地面起沙量的,其中  $u_{*c}^*$  主要受风力和地表粗糙度等的影响, $u^*$  主要受粒子尺度、土壤水分、植被覆盖以及土壤硬度等的影响<sup>[19~21]</sup>。

而对于一定地区在一定时间内其年风总量、年降雨量、植被覆盖度、非侵蚀性团聚体的含量等因素是不会发生较大变化的。为此确定农田土壤风蚀的影响因子为:风力、地表粗糙度、表层土壤水分、粒子尺度(各粒径组成比)。

## 2.2 试验区基本情况

试验区设在黑龙江省大庆地区(行政上隶属绥化)安达牧场 2 队,安达牧场位于嫩江下游左岸的松嫩平原上,地理坐标为东经  $125^{\circ} 04'$ , 北纬  $46^{\circ} 13'$ , 地形平坦开阔,东高西低,海拔高度在 152-141 米之间。土壤以碳酸盐草甸黑钙土为主,在平地、低洼处有零星小面积的盐碱斑分布,黑土层厚度 10-25cm, PH 值 7-7.8 之间呈中性到碱性反应。境内无河,地上水不丰富,年蒸发量是降雨量的四倍,且降雨不均匀,主要集中在 7-9 月,占全年降水量的 80%左右,因此春季干旱严重,属典型的大陆气候;年平均气温  $2.5^{\circ}\text{C}$ ,最高气温  $39.5^{\circ}\text{C}$ ,最低气温  $-44.3^{\circ}\text{C}$ ,全年有效积温  $2782^{\circ}\text{C}$ ,属于黑龙江第一积温带和第二积温带接壤区。此地区春季多风,一般风速 5-7 级,全年最多风向为西北,西南和南风,年平均风速为  $3.8\text{m/s}$ 。年平均日照 2850h,属长日照区,作物生长期(5-9 月)平均日照 1265.2h。

## 2.3 试验方案的设计

### 2.3.1 试验方案

本试验在覆盖的基础上引入耙地和深松两种耕作方式。旨在通过少量耕作来改善土壤结构,通过秸秆残茬覆盖防治农田土壤风蚀的发生,找出一种既能改善土壤结构又具有防治风蚀发生的耕作方式。

试验区设4种处理,传统耕作、耙茬覆盖(37%)、深松覆盖(21%)、免耕覆盖(29%)每一处理面积为 $200 \times 50 \text{ m}^2$ ,总占地约为 $4 \text{ hm}^2$ ,由于试验处理区面积较大,不设重复试验。各处理的具体内容如下:

- 1.传统耕作:秋季收获后用铧式犁翻耕20cm左右,同时用圆盘耙整地,地表破坏率100%;
- 2.耙茬覆盖:秋季收割留茬高20cm左右,部分秸秆粉碎还田,播种前用圆盘耙耙地,耙深5cm左右,地表残茬覆盖率为37%,地表破坏率100%;
- 3.深松覆盖:秋季收割留茬高20cm左右,部分秸秆粉碎还田,播种前用深松铲深松,深度20cm左右,地表残茬覆盖率为21%,地表破坏率40%;
- 4.免耕覆盖:秋季收割留茬高20cm左右,部分秸秆粉碎还田,地表残茬覆盖率为29%,地表破坏率0;

### 2.3.2 实验主要设备和仪器

风蚀量采样器、风速仪、烘箱、目筛、0.001g精度电子天平、环刀等。

## 2.4 试验测试内容

### 2.4.1 输沙量的测定

土壤风蚀包括三个过程:沙粒的分离、搬运和沉积过程。当风(或挟沙风)作用于地表,作用力达到一定程度(起沙风)时,沙粒脱离地表进入气流中,被风输送,或沉积下来。就试验区内土壤风蚀的危害程度来说,研究的重点是土壤的损失,即沙粒的分离和搬运过程<sup>[1]</sup>。其测定内容包括:①土壤风蚀物重量,②土壤风蚀物颗粒组分,③土壤风蚀物养分含量。

### 2.4.2 地表覆盖率的测定

秸秆覆盖是本试验的重要措施,通常用覆盖率来表示,本次试验采用直线横断法。该方法是美国自然资源保护部门使用的估算躺在地表的残余覆盖面积的简单准确方法。

### 2.4.3 地表特性测定

#### 1. 表层土壤含水率的测定(0-2.5cm)

土壤风蚀程度是随着干旱期到来而增加,随适宜的湿润条件而减少。土壤中的水分可以

把土壤颗粒粘结在一起,而且随着土壤含水量的增加,土壤粘聚力增大,从而提高了土壤的抗蚀性,增大了临界起动风速。本文主要分析不同处理方式对表土层(0-2.5cm)土壤含水量的影响差异,从而间接地比较出不同处理方式对土壤风蚀的影响。

## 2. 地表粗糙度的测定

地表粗糙度是指影响地表风速及土壤风蚀强度的植被及地表形态诸要素的总和,可以反映地表对风速的减弱作用以及对风沙流的影响<sup>[22]</sup>。它是对风力有削弱作用的因素。在粗糙度因子中,主要包括地表自然植被、农作物残余物(残茬)、农田防护林、土垄、土块和难蚀性碎片、地形的局部变化等<sup>[23]</sup>。从空气动力学角度上,粗糙度因子决定气流接触地表的范围及其强度,从而影响土壤风蚀发展规模。增加地表粗糙度,在一定程度上可以控制土壤风蚀的发生、改善农业生态环境。因此通过分析粗糙度的差异来间接比较出不同耕作方式对农田土壤风蚀的影响。

## 3. 土壤物理机械组成

土壤质地是形成土壤结构单元的物质基础,大小不同的颗粒按不同的比例结合在一起,在胶结力的作用下,形成抗风蚀力侵蚀的土壤结构体。它直接影响着土壤的可蚀性。

### 2.4.4. 土壤养分测定

不同处理表层(0-2.5cm)有机质和营养成分(全磷、全氮、全钾)的测定。

### 2.4.5 风速的测定

影响侵蚀性的主要因子是风对地表的作用力,在对风蚀力更详细的评价中,斯基德莫尔和伍德拉夫分析了美国 212 个地区的风速记录,他们认为只有平均风速大于 5.4m/s 的风,才具有侵蚀性,并用于研究工作<sup>[24]</sup>。

## 2.5 实验方法

首先采集处理地块的土壤及地表状况等信息,然后在地块上布置风蚀量采样器,以 24 小时为一次采集单位,测定平均风速,以 $\geq 5.4\text{m/s}$ 的风速为有效风,然后采集风蚀物进行分析。

### 2.5.1 秸秆覆盖率的计算

在试验前首先对不同处理方式的覆盖率进行计算,计算办法采用直线横断法。准备一根打有 100 个结(均布),长度为 30.48m 的绳。

测量主要分为以下几个步骤:

1. 选三个对整个田间有代表性的地块。要避免已经受水灾、干旱、杂草和虫害、放牧等测算有影响的地块。

2. 拉开绳子。对角交叉于作物茎向,固定测量绳的一端,与作物茎向对角交叉拉开测量绳,这样测量绳至少与使用的机具作业方向交叉一遍。

3. 查看每个标记下的残余物，即有多少个标记下有残余物。总共有 100 个标记，有多少个标记下有残余物，其覆盖率即位多少。例如，有 32 个标记下有残余物，那么其覆盖率即为 32%。

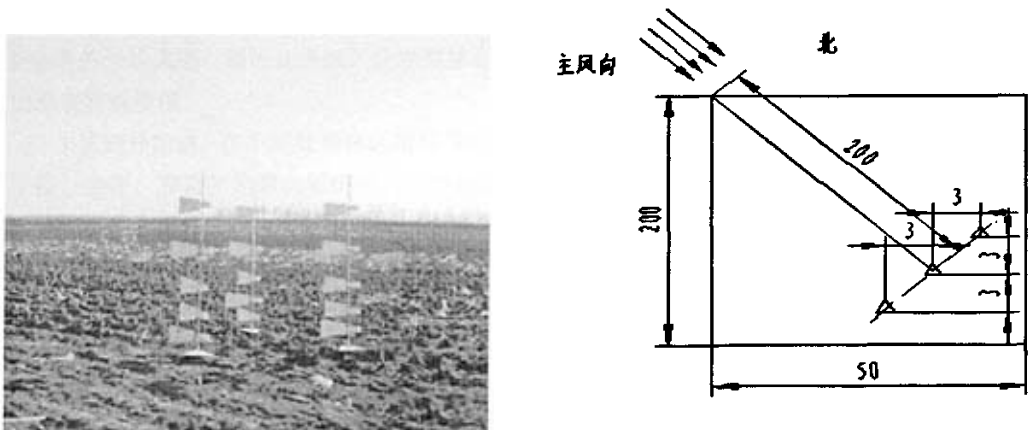
4. 在所要测量的地块的其它两个面积上重复这个过程，至少用三个不同的代表性位置重复这个计算过程。每个覆盖面积百分数的测量结果进行平均以获得整个田间覆盖面积的更好的估算<sup>[25]</sup>。

其计算结果为：免耕覆盖的覆盖率为 29%，深松覆盖的覆盖率为 21%，耙茬覆盖的覆盖率为 37%，传统耕作的覆盖率为 0。

### 2.5.2 风蚀量采样器的原理及布置

#### 1. 采样器原理

关于风蚀量采样器，臧英曾作过系统的理论分析和试验研究，采样器的设计需满足的三个基本原则<sup>[1]</sup>：等动力性、高效率性、非选择性。等动力性是指采沙盒进沙口风沙流的流速等于没有采沙器存在时的自然风速。高效率性是指采沙器能够采集到进入采沙器内的所有颗粒量，即采集率为 100%。非选择性是指采沙器能够等效率的采集到不同大小的颗粒，其工作原理为携载沙尘的空气(风沙流)在风蚀量采样器周围风场的作用下，通过采沙器的进沙口进入采沙器的扩散段内，由于扩散段的扩散作用，风沙流的速度马上降下来，然后采沙器内的沙尘在没有到达扩散段的末端时，靠重力作用沉积在集沙盒里，而空气依靠内外压差由采沙盒上部的筛网所形成的通风屏排出去。风蚀量采样器通过尾翼利用风力自动调整采沙器的进沙口方向，使其能够时时正对侵蚀风向。在本试验中所用到的风蚀量采样器将按照其工作原理和结构进行研制。具体结构见附录 I



△-风蚀量采集器

图 2-2 风蚀量采集器布置示意图

△-Collector of wind erosion quantity

Fig 2-2 Arrangement diagram of collector of wind erosion quantity

## 2. 采样器的布置

资料表明<sup>[26,27]</sup>, 临界地长应达到风力最大搬运能力 63.2% 的地长, 由于风速和地表状况的不同, 其值变化范围在 31-129m 之间。通常情况设备安装于田间的位置需要至少满足主风向的地长达到临界地长, 一般可取 150m 左右。根据当地气象站提供的气象数据分析可知, 所选试区在春季期间的主风向为西北方向。我们在每一处理试区选定垂直主风向距上风口长度为 150-200m 的 3 个观测点, 而且使各采样器在采沙过程中互不干扰, 布置如图 2-2 所示。每一观测点上, 按入风口距地表 0.15、0.45、0.70、1.00、1.50m 高度安装 5 个采沙器, 通过尾翼的作用使得采沙器入风口时时正对风向。每次扬沙过后将采集器中的沙样清空倒入塑料袋内, 带回实验室, 在 55℃ 下烘干 72 小时后称重、分析。试验过程中所测的风速为 2m 高度处的风速<sup>[1]</sup>。

### 2.5.3 各影响因子观测方法

1. 观测期间, 采用环刀法测定不同处理试区表土层(0-2.5cm)的土壤含水量, 每隔 5 天测试一次, 每种处理试区选取 5 个点。

2. 地表粗糙度利用各观测点两个高度(50cm 和 200cm)的风速测定值计算, 计算公式为<sup>[29]</sup>:

$$\lg K = \frac{u_1 \lg z_2 - u_2 \lg z_1}{u_1 - u_2} \quad (2-1)$$

式中: K—地表粗糙度;

$z_1$ ,  $z_2$ —两个测风点距地表的高程;

$u_1$ ,  $u_2$ —分别为  $z_1$  和  $z_2$  高程处的风速。

本次试验中, 采用手持风速仪在各个处理试区分别测量距地表 50cm 和 200cm 高程处的 1 分钟的平均风速, 每种处理试区分别测量 6 组风速值, 再将每次测量结果按上述公式推算出地表粗糙度值。

3. 试验开始前, 在不同处理试区用环刀取表土层(0-2.5cm)土样, 测定土壤有机质、全氮、全磷、全钾、容重和物理机械组成, 每种处理试区选取 10 个点。其中采用重铬酸钾滴定法测定有机质含量, 采用凯式定氮法测定全氮含量, 采用比色法测定全磷含量, 采用火焰光度法测定全钾含量, 采用比筛法测定土壤物理机械组成, 采用烘干法测定容重。

4. 每天上午 8.00 到下午 18.00 点, 每隔 2h 一次测定不同处理地块各高度层的风速, 取其平均值作为当日不同地块不同高度的日平均风速, 同时记录下当天可蚀风 ( $\geq 5.4\text{m/s}$ ) 持续时间。

### 2.5.3 风蚀采样实验时间安排

由于本地区每年春季 3 月份到 5 月份是干旱且大风集中的月份, 从 2006 年 4 月 1 日起致 2006 年 5 月 8 播种前进行连续风速观测和风蚀采样 (除下雨的日期), 4.1-4.3 为第一次采样时间, 持续 48 小时, 其后每隔 24 小时进行一次采样 (雨天除外), 共计 18 次, 收集时间为

当天上午 9.00 到次日上午 9.00。

表 2-1 风蚀采样时间表  
Table 2-1 wind erosion sampling timetable

| 次数 | 集沙时间段(日期) | 持续时间（小时） | 次数 | 集沙时间段(日期) | 持续时间（小时） |
|----|-----------|----------|----|-----------|----------|
| 1  | 4.1-4.3   | 48       | 10 | 4.20-4.21 | 24       |
| 2  | 4.4-4.5   | 24       | 11 | 4.22-4.23 | 24       |
| 3  | 4.6-4.7   | 24       | 12 | 4.24-4.25 | 24       |
| 4  | 4.8-4.9   | 24       | 13 | 4.26-4.27 | 24       |
| 5  | 4.10-4.11 | 24       | 14 | 4.29-4.30 | 24       |
| 6  | 4.12-4.13 | 24       | 15 | 5.1-5.2   | 24       |
| 7  | 4.14-4.15 | 24       | 16 | 5.3-5.4   | 24       |
| 8  | 4.16-4.17 | 24       | 17 | 5.5-5.6   | 24       |
| 9  | 4.18-4.19 | 24       | 18 | 5.7-5.8   | 24       |

注：4.27 下午小雨

2.6 气象状况及土壤物理特性

2.6.1 气象状况观测

风力是产生土壤风蚀的原动力，称之为“风蚀力”。大气边界层气流运动过程中施加力于地面物质，当风力逐渐增加到某一临界值时，沙粒便获得足够的动量，从而脱离静止状态而进入大气。这个使沙粒开始运动的最小风速称之为临界起动风速。根据有关研究结果，只有平均风速大于 5.4m/s 的风，才具有侵蚀性，并用于研究工作<sup>[28]</sup>。同时将每日（即观测前一日 9:00 至观测当日 9:00）可蚀风出现的累积时间定义为可蚀风持续时数。

全观测期内日平均风速和日可蚀风持续时数的变化动态如图 2-3，可以看出，观测期内日平均风速和可蚀风持续时数的变幅较大。呈现平均风速大，可持续时间长同时出现的规律。观测期的各风向风速大于 5.4m/s 的频数百分比如表 2-2 所示，可蚀风的主导风向为西北。

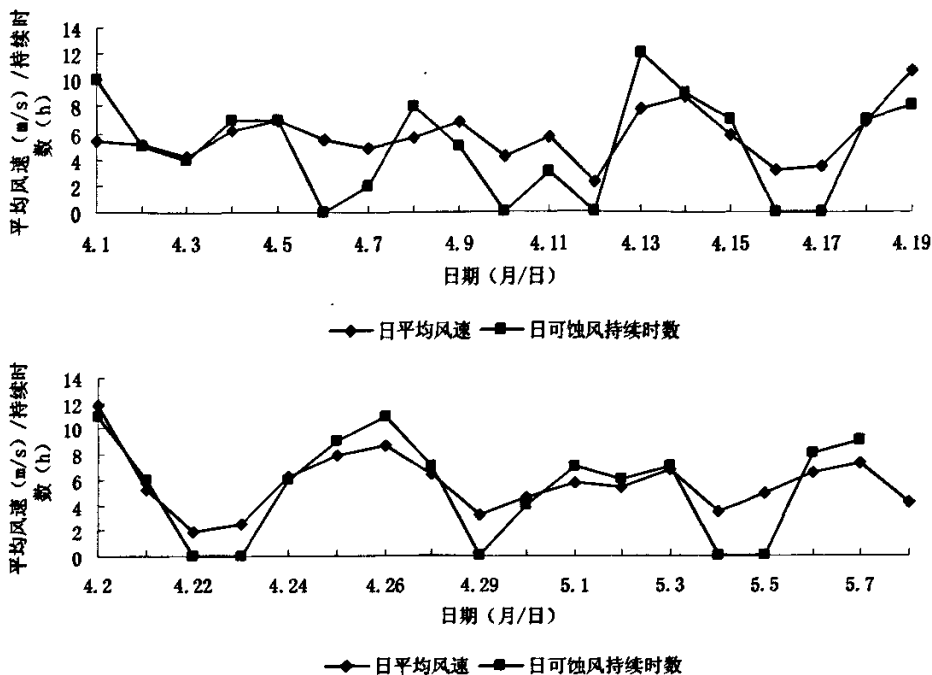


图 2-3 日平均风速和日可蚀风 ( $\geq 5.4\text{m/s}$ ) 持续时数的变化动态

Fig. 2-3 The change tendency of daily average wind speed and the date may eclipse the wind ( $\geq 5.4\text{m/s}$ ) to continue hous

表 2-2 可蚀风（风速 $>5.4\text{m/s}$ ）风向的频数百分比

| Table 2-2 may eclipse the wind (wind speed $> 5.4\text{m/s}$ ) the wind direction frequency percentage |      |      |      |      |      |       |       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| 风向                                                                                                     | N    | NNE  | NE   | ENE  | E    | ESE   | SE    |
| 频数                                                                                                     | 6.23 | 2.31 | 1.12 | 0    | 0    | 0     | 0.63  |
| 续                                                                                                      |      |      |      |      |      |       |       |
| 风向                                                                                                     | S    | SSW  | WS   | WSW  | W    | WNW   | NW    |
| 频数                                                                                                     | 2.23 | 3.07 | 5.73 | 5.25 | 4.87 | 19.97 | 28.35 |
|                                                                                                        |      |      |      |      |      |       | 17.48 |

2.6.2 土壤物理特性

1. 土壤含水量

土壤基本因子可间接地影响土壤风蚀。土壤含水量是影响土壤风蚀的最重要的土壤基本因子之一。为了解不同耕作方式对土壤含水量的影响，在风蚀观测期间，采用环刀法测定了表土层内的土壤含水量。分别将四种处理方式（0-2.5cm）土层内的土壤水分 5 次观测值作为样本进行单因素方差分析，从表 2-4 中可以看出在不同耕作体系下，表土层(0-2.5cm)的土壤含水量存在着极显著差异。

表 2-3 不同处理方式土壤表土含水量

Table 2-3 The content of surface soil water which is different processing

| 序号 | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|
| 传统 | 0.1452 | 0.1611 | 0.1442 | 0.1653 | 0.1432 |
| 深松 | 0.2011 | 0.2232 | 0.2403 | 0.2321 | 0.2412 |
| 耙耱 | 0.2155 | 0.2431 | 0.1986 | 0.2213 | 0.2143 |
| 免耕 | 0.2511 | 0.2236 | 0.2606 | 0.2445 | 0.2609 |

表 2-4 方差分析

Table 2-4 Analysis of variance

| 变异来源 | 平方和    | 自由度 | 均 方    | F 值    | 显著水平   |
|------|--------|-----|--------|--------|--------|
| 处理间  | 0.0261 | 3   | 0.0087 | 39.619 | 0.0000 |
| 处理内  | 0.0035 | 16  | 0.0002 |        |        |
| 总变异  | 0.0296 | 19  |        |        |        |

表 2-5 Duncan 多重比较（字母表示结果）

Table 2-5 Duncan multiple comparison (letters express results)

| 处理 | 均值      | 5%显著水平 | 1%极显著水平 |
|----|---------|--------|---------|
| 免耕 | 0.24814 | a      | A       |
| 深松 | 0.22758 | b      | AB      |
| 耙耱 | 0.21856 | b      | B       |
| 传统 | 0.1518  | c      | C       |

为了检验各处理方式下土壤平均含水量的相对显著性，还需进一步作多重比较。现用 Duncan 法进行多重比较见表 2-5，分析结果显示传统耕作的土壤含水量与三种覆盖方式的含水量均有极显著差异；免耕覆盖与耙耱覆盖有极显著差异，与深松覆盖有显著差异；耙耱覆盖与深松覆盖无显著差异。四种处理方式的表土（0-2.5cm）的土壤含水量的变化趋势为：免耕覆盖>深松覆盖>耙耱覆盖>传统耕作。说明秸秆覆盖可有效的保持表土层的水分，而对地表破坏则会加大表土层水分的损失。耙地处理的损失要大于深松的损失。

2. 地表粗糙度

不同处理区域下采用手持风速仪分别测定 50cm 和 200cm 高度处 1 分钟的平均风速<sup>[1]</sup>，每种处理试区分别测量 6 组风速值，根据方程（2-1）计算出的地表粗糙度值列于表 2-6~2-7 中。分别将四种耕作体系的 6 个测点作为样本进行单因素方差分析。

计算公式为<sup>[29]</sup>：

$$\lg K = \frac{u_1 \lg z_2 - u_2 \lg z_1}{u_1 - u_2}$$

(2-1)

式中：K—地表粗糙度；  
Z<sub>1</sub>，Z<sub>2</sub>—两个测风点距地表的高程；  
u<sub>1</sub>，u<sub>2</sub>—分别为 Z<sub>1</sub>和 Z<sub>2</sub>高程处的风速。

表 2-6 传统耕作地表粗糙度  
Table 2-6 The surface roughness of traditional cultivation

| 处理 | 参数                   | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     |
|----|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 传统 | 200cm 高风速 (m/s)      | 12.90 | 8.00  | 8.60  | 7.60  | 14.00 | 5.60  |
|    | 50 cm 高风速 (m/s)      | 7.10  | 6.20  | 5.70  | 5.00  | 11.60 | 3.40  |
|    | 风速比 $u_{200}/u_{50}$ | 1.81  | 1.29  | 1.51  | 1.52  | 1.21  | 1.64  |
|    | 粗糙度 K                | 9.16  | 0.42  | 3.27  | 3.47  | 0.06  | 5.86  |
|    | 平均粗糙度 K              | 3.71  |       |       |       |       |       |
| 耙耱 | 200cm 高风速 (m/s)      | 10.30 | 7.40  | 8.0   | 7.20  | 12.80 | 4.50  |
|    | 50 cm 高风速 (m/s)      | 5.00  | 4.10  | 4.10  | 3.63  | 6.72  | 2.18  |
|    | 风速比 $u_{200}/u_{50}$ | 2.06  | 1.80  | 1.95  | 1.97  | 1.90  | 2.05  |
|    | 粗糙度 K                | 13.52 | 8.93  | 11.64 | 12.14 | 10.75 | 13.45 |
|    | 平均粗糙度 K              | 11.74 |       |       |       |       |       |
| 深松 | 200cm 高风速 (m/s)      | 8.20  | 6.20  | 8.00  | 5.80  | 12.80 | 3.70  |
|    | 50 cm 高风速 (m/s)      | 3.86  | 3.4   | 3.86  | 2.10  | 5.85  | 1.64  |
|    | 风速比 $u_{200}/u_{50}$ | 2.12  | 1.82  | 2.06  | 2.76  | 2.18  | 2.24  |
|    | 粗糙度 K                | 14.52 | 9.28  | 13.66 | 22.76 | 15.53 | 16.42 |
|    | 平均粗糙度 K              | 15.36 |       |       |       |       |       |
| 免耕 | 200cm 高风速 (m/s)      | 7.6   | 5.5   | 7.4   | 5.8   | 12.9  | 3     |
|    | 50 cm 高风速 (m/s)      | 2.4   | 1.6   | 2.52  | 2     | 3.87  | 1.09  |
|    | 风速比 $u_{200}/u_{50}$ | 3.16  | 3.43  | 2.93  | 2.9   | 3.33  | 2.73  |
|    | 粗糙度 K                | 26.36 | 28.31 | 24.40 | 24.10 | 27.59 | 22.50 |
|    | 平均粗糙度 K              | 25.54 |       |       |       |       |       |

表 2-7 不同处理方式地表粗糙度  
Table 2-7 The surface roughness of different processing way

| 序号 | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 传统 | 9.16  | 0.42  | 3.27  | 3.47  | 0.06  | 5.86  |
| 耙耱 | 13.52 | 8.93  | 11.64 | 12.14 | 10.75 | 13.45 |
| 深松 | 14.52 | 9.28  | 13.66 | 22.76 | 15.53 | 16.42 |
| 免耕 | 26.36 | 28.31 | 24.40 | 24.10 | 27.59 | 22.50 |

表 2-8 方差分析表  
Table 2-8 Analysis of variance

| 变异来源 | 平方和      | 自由度 | 均方       | F 值    | 显著水平   |
|------|----------|-----|----------|--------|--------|
| 处理间  | 1476.859 | 3   | 492.2862 | 50.368 | 0.0001 |
| 处理内  | 195.476  | 20  | 9.7738   |        |        |
| 总变异  | 1672.335 | 23  |          |        |        |

表 2-9 Duncan 多重比较（字母标记表示结果）  
Table 2-9 Duncan multiple comparison (letters express results)

| 处理 | 均值       | 5%显著水平 | 1%极显著水平 |
|----|----------|--------|---------|
| 免耕 | 25.54776 | a      | A       |
| 深松 | 15.36591 | b      | B       |
| 耙耱 | 11.74102 | b      | B       |
| 传统 | 3.71131  | c      | C       |

从表 2-8 中可以看出其显著水平为 0.0001，表明不同处理形式土壤粗糙度存在极显著差异。

为了检验各种处理方式下土壤粗糙度的相对显著性，还需进一步作多重比较。现用 Duncan 检验法进行检验，分析及检验结果见表 2-9。分析结果显示传统耕作与三种覆盖处理间均有极显著的差异；免耕覆盖与耙地覆盖、深松覆盖间也存在极显著差异；而深松覆盖与耙地覆盖间无显著差异，四种处理方式的地表粗糙度的变化趋势为：免耕覆盖>深松覆盖>耙地覆盖>传统耕作。说明残茬覆盖可以明显地增大地表粗糙度，而覆盖的同时对地表进行耙地和深松，由于对地表进行了破坏造成了粗糙度的下降。

3. 土壤物理机械组成

Chepi 研究表明土壤中粉粒（0.05-0.002mm）和粘粒（<0.002mm）的含量越高，越容易形成不可蚀的团聚体结构，相反，沙粒（0.05-1mm）比例越高则越难以形成团块，抗风蚀性较低。但单一的颗粒组成并不能产生高稳定性的土壤结构，土壤结构的稳定性还取决于各级粒径的适当组合，Chepil 发现，由 20-30%的粘粒，40-50%的粉粒和 20-40%的砂粒组成的混合结构（即壤土+粘壤土），具有较强的抗风蚀性<sup>[30]</sup>。通过对取自 0-2.5cm 表土样品的筛选，可获得表 2-10 的土壤粒径组成。粒径在 0.05-1mm 的组分占 75-89%，0.002-0.05mm 的组分占 8%-12%左右，小于 0.001mm 的组分 4%-7%左右。所以试验区极易产生风蚀危害。

表 2-10 试验区各处理方式土壤物理组成  
Table 2-10 pilot area each processing way soil physics composition

| 处理方式 | 不同粒径组分含量百分数（粒径：mm） |          |           |            |        |
|------|--------------------|----------|-----------|------------|--------|
|      | 1-0.5              | 0.5-0.25 | 0.25-0.05 | 0.05-0.002 | <0.002 |
| 传统耕作 | 3.28               | 15.13    | 64.45     | 11.97      | 4.30   |
| 耙耱覆盖 | 4.49               | 15.48    | 63.01     | 8.78       | 7.31   |
| 深松覆盖 | 3.36               | 16.11    | 60.77     | 10.23      | 7.84   |
| 免耕覆盖 | 5.25               | 14.22    | 62.42     | 12.47      | 5.12   |

注：1-0.25mm 粗砂级，0.25-0.05 细砂级，0.05-0.002 粉粒级，≤0.002 粘粒级<sup>[31]</sup>

2.7 本章小结

1. 选定了大庆地区（行政上隶属绥化）安达牧场 2 队为农田土壤风蚀测试区，设计免耕覆盖、耙耱覆盖、深松覆盖和传统耕作 4 种处理，总占地 4hm<sup>2</sup>。试验面积较大所以不设

重复处理。收集当地气象资料，确定春季可蚀风的主风向为西北方向，并按垂直主风向布置沙尘测试仪器，每一处理布置3组沙尘采集仪。

2. 试验表明，不同耕作体系表土层（0-2.5cm）土壤含水量存在明显差异，四种处理表土层（0-2.5cm）内的土壤含水量的变化趋势是：免耕覆盖>深松覆盖>耙茬覆盖>传统耕作，说明保护性耕作可以在一定程度上保持土壤中的水分含量，并且随着地表破坏的加大其含水率逐渐降低。免耕覆盖、深松覆盖、耙茬覆盖相对传统耕作其表土层含水率分别增加了64%、50%和44%，但总体上看，观测期内各处理表土层干燥、疏松，易于风蚀。

3. 分析对比了不同耕作体系对地表粗糙度的影响。分析结果显示传统耕作与三种覆盖处理间均有极显著的差异；免耕覆盖与耙地覆盖、深松覆盖间也存在极显著差异；而深松覆盖与耙地覆盖间无显著差异，说明残茬覆盖可以明显地增大地表粗糙度，而覆盖的同时对地表进行耕作时由于对地表进行了破坏又造成了粗糙度一定程度的下降。四种处理方式的地表粗糙度的变化趋势为：免耕覆盖>深松覆盖>耙地覆盖>传统耕。

### 第三章 保护性耕作防治农田土壤风蚀的结果及分析

#### 3.1 不同处理方式输沙量测试结果及分析

因为风蚀量是由日平均风速和可蚀风日持续时数共同决定的,所以取观测期间日平均风速较大和可蚀风日持续时数较长的五次风蚀事件作为样本进行分析,各处理方式下农田土壤风蚀观测数据统计结果如表 3-1:

表 3-1 各高度层输沙量 ( $\text{g}/\text{cm}^2$ )  
Fig 3-1 The sediment discharge of each high level ( $\text{g}/\text{cm}^2$ )

| 处理 | 高度 (cm) | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     |
|----|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 传统 | 15      | 3.296 | 0.842 | 0.643 | 2.984 | 1.437 |
|    | 40      | 0.796 | 0.511 | 0.603 | 1.125 | 0.929 |
|    | 70      | 0.217 | 0.159 | 0.302 | 0.156 | 0.256 |
|    | 100     | 0.052 | 0.048 | 0.043 | 0.055 | 0.053 |
|    | 150     | 0.068 | 0.041 | 0.043 | 0.321 | 0.049 |
| 耙茬 | 15      | 0.646 | 0.549 | 0.495 | 1.267 | 0.712 |
|    | 40      | 0.374 | 0.298 | 0.268 | 0.815 | 0.361 |
|    | 70      | 0.192 | 0.116 | 0.198 | 0.102 | 0.111 |
|    | 100     | 0.034 | 0.036 | 0.028 | 0.041 | 0.031 |
|    | 150     | 0.032 | 0.032 | 0.029 | 0.076 | 0.032 |
| 深松 | 15      | 0.607 | 0.533 | 0.417 | 1.146 | 0.684 |
|    | 40      | 0.237 | 0.176 | 0.226 | 0.553 | 0.104 |
|    | 70      | 0.096 | 0.084 | 0.184 | 0.069 | 0.072 |
|    | 100     | 0.028 | 0.029 | 0.031 | 0.026 | 0.027 |
|    | 150     | 0.033 | 0.029 | 0.023 | 0.067 | 0.021 |
| 免耕 | 15      | 0.275 | 0.194 | 0.201 | 0.523 | 0.197 |
|    | 40      | 0.126 | 0.096 | 0.084 | 0.142 | 0.053 |
|    | 70      | 0.084 | 0.062 | 0.108 | 0.072 | 0.053 |
|    | 100     | 0.025 | 0.024 | 0.019 | 0.027 | 0.032 |
|    | 150     | 0.023 | 0.023 | 0.016 | 0.014 | 0.013 |

注: 1、2006. 4. 13; 2、2006. 4. 14; 3、2006. 4. 19; 4、2006. 4. 20; 5、2006. 4. 26

##### 3.1.1 输沙量随高度的分配规律

气流中的土壤颗粒,由于运动方式(蠕移、跃移和悬移)和粒径大小的不同,其单位面积上的输沙量随高度而发生变化。分别对四种处理五次的风蚀采集样本利用DPS3.0进行不同高度与风蚀量的相关分析。分析结果表明输沙量随高度的变化均遵循幂函数曲线关系<sup>[1]</sup>,如图3-1、3-2,关系式为:

$$q = az^b$$

式中：q—为各高度层土壤输沙量(g/cm<sup>2</sup>)；z—为采沙器进口距地面高度；a、b为回归系数。

该方程是通过通过对不同耕作地表以及不同时期采集的样品进行分析的结果。从回归系数b可以看出，土壤输沙量随着高度的增加呈下降趋势。由于不同处理方式下各样地的差异性以及不同采样时期气象条件的不同，各试区之间以及不同采样时期的风蚀强度均有差异，因而输沙量随高度变化的回归模式参数也不相同见表3-2。表中Q为采样期间穿过1cm宽，从地面到150cm高垂直面的输沙量，其值是Q从0—150cm积分计算得出，积分式为：

$$Q = \int_0^{150} q dz$$

表3-2 输沙量与高度的函数关系 (q = az<sup>b</sup>)

Table 3-2 The functional relation of sediment and height(q = az<sup>b</sup>)

| 日期（月/日） | 处理<br>方式 | 统计参数    |          |        | 输沙量 Q（g/cm <sup>2</sup> ） |
|---------|----------|---------|----------|--------|---------------------------|
|         |          | a       | b        | r      |                           |
| 4. 13   | 传统耕作     | 24.359  | -0.9879  | 0.9982 | 732.64                    |
|         | 耙地覆盖     | 7.4161  | -0.8890  | 0.9604 | 114.03                    |
|         | 深松覆盖     | 13.9032 | -0.7527  | 0.9928 | 194.06                    |
|         | 免耕覆盖     | 3.3241  | -0.9156  | 0.9868 | 55.35                     |
| 4. 14   | 传统耕作     | 11.1249 | -0.9398  | 0.9546 | 218.84                    |
|         | 耙地覆盖     | 7.5114  | -0.9562  | 0.9727 | 166.77                    |
|         | 深松覆盖     | 14.6283 | -1.2216  | 0.9978 | 197.24                    |
|         | 免耕覆盖     | 1.9282  | -0.84293 | 0.9986 | 26.77                     |
| 4. 19   | 传统耕作     | 4.2320  | -0.6592  | 0.8422 | 68.49                     |
|         | 耙地覆盖     | 4.9464  | -0.8398  | 0.9548 | 68.63                     |
|         | 深松覆盖     | 3.8182  | -0.8075  | 0.9486 | 51.97                     |
|         | 免耕覆盖     | 1.7034  | -0.7870  | 0.9242 | 23.23                     |
| 4. 20   | 传统耕作     | 95.1743 | -0.6752  | 0.9821 | 1491.73                   |
|         | 耙地覆盖     | 19.7137 | -0.9987  | 0.9301 | 672.42                    |
|         | 深松覆盖     | 27.2417 | -0.5624  | 0.9678 | 557.71                    |
|         | 免耕覆盖     | 21.0293 | -0.6635  | 0.9991 | 337.35                    |
| 4. 26   | 传统耕作     | 19.2026 | -0.9415  | 0.9392 | 382.11                    |
|         | 耙地覆盖     | 12.4429 | -1.0479  | 0.9742 | 870.43                    |
|         | 深松覆盖     | 7.8578  | -1.0525  | 0.9983 | 594.68                    |
|         | 免耕覆盖     | 3.4960  | -1.0659  | 0.9875 | 336.13                    |

由表3-2可知，输沙量与高度的函数关系的相关系数在0.01显著水平达到0.80以上，说明这一关系式基本能够反映该高度范围内输沙量垂直分布的实际。其中系数a、b值与风速、输沙量、地表状况有一定的关系。由于表中b值的变化幅度较小，所以输沙量的大小由a、b值

共同作用决定。由Q值可以看出：在对农田土壤进行残茬覆盖时可明显减少近地表土壤风蚀量；在覆盖的同时进行深松、耙地等耕作方式虽然对地表造成了一定的破坏但仍具有较好的防治农田土壤风蚀发生的效果，同时改善了土壤结构有利于作物生长。

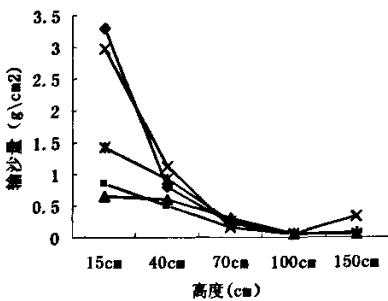


图 3-1 同一处理条件下不同采样时间  
输沙量与高度的关系

Fig 3-1 The relation of sediment and height with  
the same different processing way

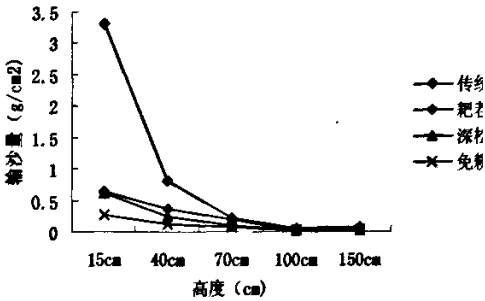


图3-2 同一风蚀过程不同处理  
输沙量与高度的关系

Fig 3-2 The relation of sediment and  
height with the same deflation

3.1.2 不同处理方式对各高度层土壤输沙量的影响

分别对不同处理方式15cm, 40cm, 70cm, 100cm和150cm高度的输沙量进行方差分析。

(1) 对15cm高度层的输沙量进行方差分析结果表明，其显著水平为0.0000，即不同耕作体系15cm高度层输沙量存在极显著差异，进行Duncan多重比较表明传统耕作与耙茬覆盖、深松覆盖、免耕覆盖在0.01水平下均有显著差异；而免耕覆盖与耙茬覆盖、深松覆盖在0.01水平下也有显著差异；耙茬覆盖与深松覆盖在0.05水平下无显著差异。见表3-3~3-5

表3-3 不同处理方式15cm高度的输沙量

Table 3-3 The sediment of 15cm with the same different processing way

| 处理方式 | 1     | 2     | 3     |
|------|-------|-------|-------|
| 传统耕作 | 3.06  | 2.84  | 3.302 |
| 耙茬覆盖 | 1.22  | 1.07  | 1.379 |
| 深松覆盖 | 1.12  | 0.98  | 1.287 |
| 免耕覆盖 | 0.463 | 0.452 | 0.475 |

表3-4 方差分析表

Table 3-4 Analysis of variance

| 变异来源 | 平方和     | 自由度 | 均 方    | F 值     | 显著水平   |
|------|---------|-----|--------|---------|--------|
| 处理间  | 11.2264 | 3   | 3.7421 | 148.154 | 0.0000 |
| 处理内  | 0.2021  | 8   | 0.0253 |         |        |
| 总变异  | 11.4285 | 11  |        |         |        |

表3-5 Duncan 多重比较 (字母标记表示结果)

Table 3-5 Duncan multiple comparison (letters mark results)

| 处理   | 均值      | 5%显著水平 | 1%极显著水平 |
|------|---------|--------|---------|
| 传统耕作 | 3.06733 | a      | A       |
| 耙茬覆盖 | 1.22300 | b      | B       |
| 深松覆盖 | 1.12900 | b      | B       |
| 免耕覆盖 | 0.46333 | c      | C       |

说明覆盖、对地表进行耙茬(深松)所形成的不同地表对15cm高度层的输沙量影响是十分显著的,三者之间的输沙量有明显的区别。免耕覆盖相对传统耕作输沙量降低了84%,耙茬覆盖、深松覆盖相对传统耕作输沙量降低了60%和63%。

(2)对40cm高度层的输沙量方差分析结果表明:其显著水平为0.0000,即不同耕作体系40cm高度层输沙量存在极显著差异。进一步检查两两之间的差异性,进行Duncan多重比较表明:传统耕作、耙茬覆盖、深松覆盖、免耕覆盖两两之间在0.01水平下存在显著差异。见表3-6~3-8

表3-6不同处理方式40cm高度的输沙量

Table 3-6 The sediment of 40cm with the same different processing way

| 处理方式 | 1     | 2     | 3     |
|------|-------|-------|-------|
| 传统耕作 | 1.32  | 1.29  | 1.354 |
| 耙茬覆盖 | 0.705 | 0.647 | 0.764 |
| 深松覆盖 | 0.432 | 0.396 | 0.468 |
| 免耕覆盖 | 0.167 | 0.154 | 0.18  |

表3-7方差分析表

Table 3-7 Analysis of variance

| 变异来源 | 平方和    | 自由度 | 均方     | F值      | 显著水平   |
|------|--------|-----|--------|---------|--------|
| 处理间  | 2.2032 | 3   | 0.7344 | 496.831 | 0.0000 |
| 处理内  | 0.0118 | 8   | 0.0015 |         |        |
| 总变异  | 2.215  | 11  |        |         |        |

表3-8 Duncan多重比较 (字母标记表示结果)

Table 3-8 Duncan multiple comparison (letters mark results)

| 处理   | 均值      | 5%显著水平 | 1%极显著水平 |
|------|---------|--------|---------|
| 传统耕作 | 1.32133 | a      | A       |
| 耙茬覆盖 | 0.70533 | b      | B       |
| 深松覆盖 | 0.43200 | c      | C       |
| 免耕覆盖 | 0.16700 | d      | D       |

说明在40cm高度层, 四种不同的处理方式所造成的不同地表对输沙量的影响仍然十分显著, 且耙茬覆盖和深松覆盖之间也出现了差异, 相对传统耕作其输沙量分别降低了46%和67%, 免耕覆盖降低了87%, 在这个层次深松覆盖的防风蚀效果明显好于耙茬覆盖。

(3) 对70cm高层的输沙量进行方差分析结果表明: 其显著水平为0.0015, 即不同耕作体系70cm高度层输沙量存在极显著差异。进一步检查两两之间的差异性, 进行Duncan多重比较表明: 传统耕作与耙茬覆盖之间在0.05水平下有显著性差异; 传统耕作与深松覆盖、免耕覆盖在0.01水平下存在显著性差异, 深松覆盖与免耕覆盖在0.05水平下无显著差异。见表(3-9~3-11)

表3-9 不同处理方式70cm高度的输沙量

Table 3-9 The sediment of 70cm with the same different processing way

| 处理方式 | 1     | 2     | 3     |
|------|-------|-------|-------|
| 传统耕作 | 0.363 | 0.306 | 0.421 |
| 耙茬覆盖 | 0.239 | 0.215 | 0.265 |
| 深松覆盖 | 0.168 | 0.117 | 0.022 |
| 免耕覆盖 | 0.093 | 0.189 | 0.097 |

表3-10 方差分析表

Table 3-10 Analysis of variance

| 变异来源 | 平方和    | 自由度 | 均 方    | F 值    | 显著水平   |
|------|--------|-----|--------|--------|--------|
| 处理间  | 0.1289 | 3   | 0.043  | 13.892 | 0.0015 |
| 处理内  | 0.0247 | 8   | 0.0031 |        |        |
| 总变异  | 0.1536 | 11  |        |        |        |

表3-11 Duncan多重比较 (字母标记表示结果)

Table 3-11 Duncan multiple comparison (letters mark results)

| 处理   | 均值      | 5%显著水平 | 1%极显著水平 |
|------|---------|--------|---------|
| 传统耕作 | 0.36333 | a      | A       |
| 耙茬覆盖 | 0.23967 | b      | AB      |
| 深松覆盖 | 0.12633 | c      | B       |
| 免耕覆盖 | 0.10233 | c      | B       |

免耕覆盖相对传统耕作其输沙量减少63%, 深松覆盖和耙茬覆盖分别减少53%和35%, 说明随着高的增加不同处理方式对输沙量的影响差异逐渐减弱, 对地表破坏较大的耙茬覆盖与传统耕作比较接近, 而对地表破坏较小的深松覆盖与免耕覆盖接近。

(4) 对100cm高层的输沙量进行方差分析结果表明: 其显著水平为0.0047, 即不同处理方式100cm高度层输沙量存在极显著差异。进一步检查两两之间的差异性, 传统耕作与深松覆盖、免耕覆盖之间在0.01水平下存在显著差异; 传统耕作与耙茬覆盖在0.05水平下存在显

著性差异；耙茬覆盖、深松覆盖、免耕覆盖之间在0.05水平下无显著性差异。见表（3-12～3-14）

表3-12 不同处理方式100cm高度的输沙量  
Table 3-12 The sediment of 100 cm with the same different processing way

| 处理方式 | 1     | 2     | 3     |
|------|-------|-------|-------|
| 传统耕作 | 0.096 | 0.088 | 0.067 |
| 耙茬覆盖 | 0.068 | 0.056 | 0.046 |
| 深松覆盖 | 0.052 | 0.048 | 0.041 |
| 免耕覆盖 | 0.042 | 0.049 | 0.036 |

表3-13 方差分析表  
Table 3-13 Analysis of variance

| 变异来源 | 平方和    | 自由度 | 均 方    | F 值   | 显著水平   |
|------|--------|-----|--------|-------|--------|
| 处理间  | 0.0031 | 3   | 0.001  | 9.791 | 0.0047 |
| 处理内  | 0.0008 | 8   | 0.0001 |       |        |
| 总变异  | 0.0039 | 11  |        |       |        |

表3-14 Duncan多重比较（字母标记表示结果）  
Table 3-14 Duncan multiple comparison (letters mark results)

| 处理   | 均值     | 5%显著水平 | 1%极显著水平 |
|------|--------|--------|---------|
| 传统耕作 | 0.0837 | a      | A       |
| 耙茬覆盖 | 0.0567 | b      | AB      |
| 深松覆盖 | 0.047  | b      | B       |
| 免耕覆盖 | 0.0423 | b      | B       |

免耕覆盖、深松覆盖、耙茬覆盖相对传统耕作，其输沙量分别降低了48%，43%，32%说明随着高度的增加三种处理的防风效果进一步减弱，且有趋向一致的趋势。

（5）对150cm高层的输沙量进行方差分析结果表明：不同耕作体系之间差异的显著水平为0.0395>0.05，即不显著，从而不进行多从比较。见表（3-15～3-16）

表3-15 不同处理方式150cm高度的输沙量  
The3-15 Sediment of 150 cm with the same different processing way

| 处理方式 | 1     | 2      | 3      |
|------|-------|--------|--------|
| 传统耕作 | 0.077 | 0.056  | 0.072  |
| 耙茬覆盖 | 0.067 | 0.0643 | 0.0697 |
| 深松覆盖 | 0.056 | 0.0499 | 0.0671 |
| 免耕覆盖 | 0.047 | 0.052  | 0.049  |

表3-16 方差分析表

Table 3-16 Analysis of variance

| 变异来源 | 平方和    | 自由度 | 均 方    | F 值   | 显著水平   |
|------|--------|-----|--------|-------|--------|
| 处理间  | 0.0007 | 3   | 0.0002 | 4.501 | 0.0395 |
| 处理内  | 0.0004 | 8   | 0.0001 |       |        |
| 总变异  | 0.0011 | 11  |        |       |        |

说明随着高度的增加不同处理方式对农田土壤风蚀的影响进一步减少,到达150cm高度其影响基本消失。总体看来深松覆盖和耙茬覆盖具有较好的防治风蚀的效果,深松覆盖的效果又要好于耙茬覆盖。

### 3.1.3 不同处理方式对总风蚀量的影响分析

土壤输沙量是评价土壤风蚀程度的重要指标,针对不同处理形式,以总输沙量为数据进行方差分析,比较不同处理方式对土壤输沙量影响的差异。分别将四种处理方式,每一体系的3个测点的五次风蚀过程总土壤输沙量进行方差分析。结果见表3-17~3-19。

方差分析结果表明,不同处理方式对农田土壤输沙量的影响极显著。同时对不同处理方式两两之间的土壤输沙量的相对显著性进行Duncan检验,分析及检验结果表明:三种覆盖处理与传统耕作间均有极显著差异;免耕覆盖与耙茬覆盖和深松覆盖间有显著性差异;而耙茬覆盖与深松覆盖间无显著性差异。说明秸秆残茬覆盖可以有效地防止风蚀的发生,而对地表进行耕作又会增加风蚀的发生,说明覆盖与耕作相结合的方式是可以降低风蚀发生的机率的。

表3-17 不同处理方式的总输沙量

Table 3-17 The total sediment discharge of each high level

| 处理方式 | 1     | 2     | 3     |
|------|-------|-------|-------|
| 传统耕作 | 5.009 | 4.826 | 5.194 |
| 耙茬覆盖 | 2.291 | 3.131 | 1.453 |
| 深松覆盖 | 1.834 | 1.617 | 2.051 |
| 免耕覆盖 | 0.828 | 0.793 | 0.865 |

表3-18 方差分析表

Table 3-18 Analysis of variance

| 变异来源 | 平方和     | 自由度 | 均 方    | F 值    | 显著水平   |
|------|---------|-----|--------|--------|--------|
| 处理间  | 28.7352 | 3   | 9.5784 | 48.735 | 0.0000 |
| 处理内  | 1.5723  | 8   | 0.1965 |        |        |
| 总变异  | 30.3076 | 11  |        |        |        |

表3-19 Duncan多重比较（字母标记表示结果）  
Table 3-19 Duncan multiple comparison (letters mark results)

| 处理   | 均值      | 5%显著水平 | 1%极显著水平 |
|------|---------|--------|---------|
| 传统耕作 | 4.81033 | a      | A       |
| 耙茬覆盖 | 3.00000 | b      | B       |
| 深松覆盖 | 2.37133 | b      | BC      |
| 免耕覆盖 | 0.84967 | c      | C       |

免耕覆盖相对传统耕作其总风蚀量减少83%，深松覆盖、耙茬覆盖相对传统耕作分别减少63%和54%，与减少15cm层的土壤风蚀量的程度较接近，这也说明近地表的风蚀物占总风蚀物的比重较大。

## 3.2 不同耕作体系土壤风蚀物的理化分析

### 3.2.1 不同处理方式对风蚀粒径的影响

沿着侵蚀地表运动的风蚀物包括不同大小的土壤颗粒。采用筛析法按照离散的粒径范围，筛分每一高度收集到的风蚀物，确定出每个粒径级占风蚀物的百分比，说明风蚀物粒度的分布情况。所选筛子目数分别是 20、25、35、60、80、120、170、230、325 和 650 目共 10 级。150cm 高度范围内各层土壤颗粒的粒度组成如表 3-20、图 3-3 所示。由表 3-20 可以看出，四种不同类型地表土壤风蚀物颗粒的粒径均主要富集在 0.021-0.124mm 之间，而且从图中可以看出，无论在何种处理条件下风沙流中沙粒的粒径在铅直分布上是不同的，随着高度的增加，风蚀物各粒径含量中砂粒组分含量减少，粉粒及粘土含量增加，即越靠近地表(<40cm)的气流所含的沙粒越粗，而离地表越远的气流所含的沙粒越细。其原因在于较粗的沙粒具有较大的重力，升力还不足以把它带到较高的层次。

平均直径是指小于某粒径的百分比等于 50%所对应的粒径值，它是通过颗粒大小分布曲线估计出来的值<sup>[32]</sup>。图 3-4 为同一高度层不同处理方式下风蚀土壤颗粒大小分布曲线，从图中可以估计出：

(1) 在 15cm 高度处，免耕覆盖、深松覆盖、耙茬覆盖和传统耕作，四种处理风蚀土壤颗粒的平均直径分别为 56 $\mu$ m，60 $\mu$ m，58 $\mu$ m 和 75 $\mu$ m；在 40cm 高度处，四种处理风蚀土壤颗粒的平均直径分别为 39 $\mu$ m，41 $\mu$ m，40 $\mu$ m 和 59 $\mu$ m；在 70cm 高度处，四种处理风蚀土壤颗粒的平均直径分别为 31 $\mu$ m，40 $\mu$ m，42 $\mu$ m 和 42 $\mu$ m；在 100cm 高度处，四种处理风蚀土壤颗粒的平均直径分别为 30 $\mu$ m，38 $\mu$ m，34 $\mu$ m 和 41 $\mu$ m；在 150cm 高度处，四种处理风蚀土壤颗粒的平均直径分别为 28 $\mu$ m，33 $\mu$ m，34 $\mu$ m 和 39 $\mu$ m。

(2) 免耕覆盖、深松覆盖、耙茬覆盖和传统耕作四种类型地表土壤风蚀物之间的颗粒平均直径的差异随高度增加逐渐变小；低于 70cm 范围内，免耕覆盖、深松覆盖、耙茬覆盖和传统耕作四种处理按风蚀土壤颗粒的平均直径由小到大的顺序排列大致为：免耕覆盖<（深松覆盖、耙茬覆盖）<传统耕作，其中深松覆盖、耙茬覆盖的平均粒径大小基本相同，而在 100cm、150cm 高度处，四种处理方式风蚀土壤颗粒大小分布曲线已趋于一致。

(3) 上述分析说明保护性耕作可以减少近地表(<70cm)以跃移运动为主的颗粒运动,从而起到减少农田土壤损失的作用。这是因为在风沙运动的三种基本形式中,以跃移运动最为重要,它不但占运动颗粒的主体,而且表层蠕移运动和悬移运动也都与之有关,表层蠕移质需要从跃移质直接获得动量,悬移质的细砂土,由于受附面层流层的隐蔽作用和颗粒之间本身具有的粘结性,很难为风力所直接吹起,只有当跃移质的冲击作用把它们驱出地面以后,气流中的涡旋才能把它们带走<sup>[33]</sup>

表 3-20 不同处理方式各高度层土壤风蚀物粒级百分含量 (%)

Table 3-20 The percentage of soil wind erosion grain grades of each high levels with different processing ways(%)

| 处 理 | 高度<br>(cm) | 颗粒 (μm) |         |         |         |         |        |       |       |       |      |
|-----|------------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|-------|-------|-------|------|
|     |            | 840-710 | 710-500 | 500-250 | 250-178 | 178-124 | 124-89 | 89-61 | 61-44 | 44-21 | <21  |
| 传 统 | 15         | 0.25    | 0.84    | 6.21    | 5.72    | 15.1    | 28.9   | 17.4  | 9.6   | 12.5  | 0.2  |
|     | 40         | 0       | 0.63    | 8.20    | 5.24    | 7.90    | 17.2   | 18.6  | 18.4  | 21.3  | 1.77 |
|     | 70         | 0       | 0       | 3.1     | 2.4     | 1.5     | 9.3    | 23.2  | 25.4  | 33.6  | 0.1  |
|     | 100        | 0       | 0       | 0.84    | 0.3     | 0.58    | 7.71   | 18.8  | 24.3  | 38.9  | 7.12 |
|     | 150        | 0       | 0       | 0.51    | 0.29    | 0.76    | 7.8    | 22.23 | 28.2  | 40    | 0    |
| 耙 耨 | 15         | 0.49    | 0.68    | 3.51    | 3.84    | 9.12    | 24.80  | 23.11 | 14.25 | 18.32 | 1.68 |
|     | 40         | 1.20    | 0.17    | 0.79    | 0.98    | 3.21    | 12.63  | 21.14 | 20.42 | 34.69 | 4.62 |
|     | 70         | 0       | 0       | 0.13    | 0.42    | 0.61    | 7.21   | 20.69 | 25.58 | 44.21 | 0    |
|     | 100        | 0       | 0       | 0.25    | 0.23    | 0.25    | 5.64   | 18.65 | 27.53 | 45.90 | 0    |
|     | 150        | 0       | 0       | 0.98    | 0.54    | 1.36    | 7.13   | 16.21 | 25.97 | 44.61 | 2.93 |
| 深 松 | 15         | 0.33    | 0.74    | 4.22    | 3.92    | 10.21   | 23.31  | 23.09 | 13.22 | 19.25 | 0.78 |
|     | 40         | 1.23    | 0.11    | 0.77    | 1.14    | 3.46    | 11.98  | 20.49 | 21.12 | 35.32 | 3.26 |
|     | 70         | 0       | 0       | 0.11    | 0.45    | 0.54    | 7.31   | 19.45 | 25.58 | 45.56 | 0    |
|     | 100        | 0       | 0       | 0.11    | 0.32    | 0.29    | 6.61   | 19.21 | 27.23 | 41.63 | 0    |
|     | 150        | 0       | 0       | 0       | 1.10    | 1.45    | 7.23   | 17.12 | 26.21 | 46.42 | 0    |
| 免 耕 | 15         | 0.29    | 0.72    | 4.85    | 3.78    | 7.6     | 23.92  | 20.12 | 15.32 | 22.31 | 0.84 |
|     | 40         | 0       | 0       | 1.48    | 2.83    | 0.32    | 6.99   | 18.87 | 24.78 | 43.86 | 0    |
|     | 70         | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 4.72   | 11.64 | 34.83 | 45.89 | 2.33 |
|     | 100        | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 2.80   | 14.89 | 28.33 | 53.74 | 0.15 |
|     | 150        | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 1.26   | 16.11 | 29.04 | 52.99 | 0    |

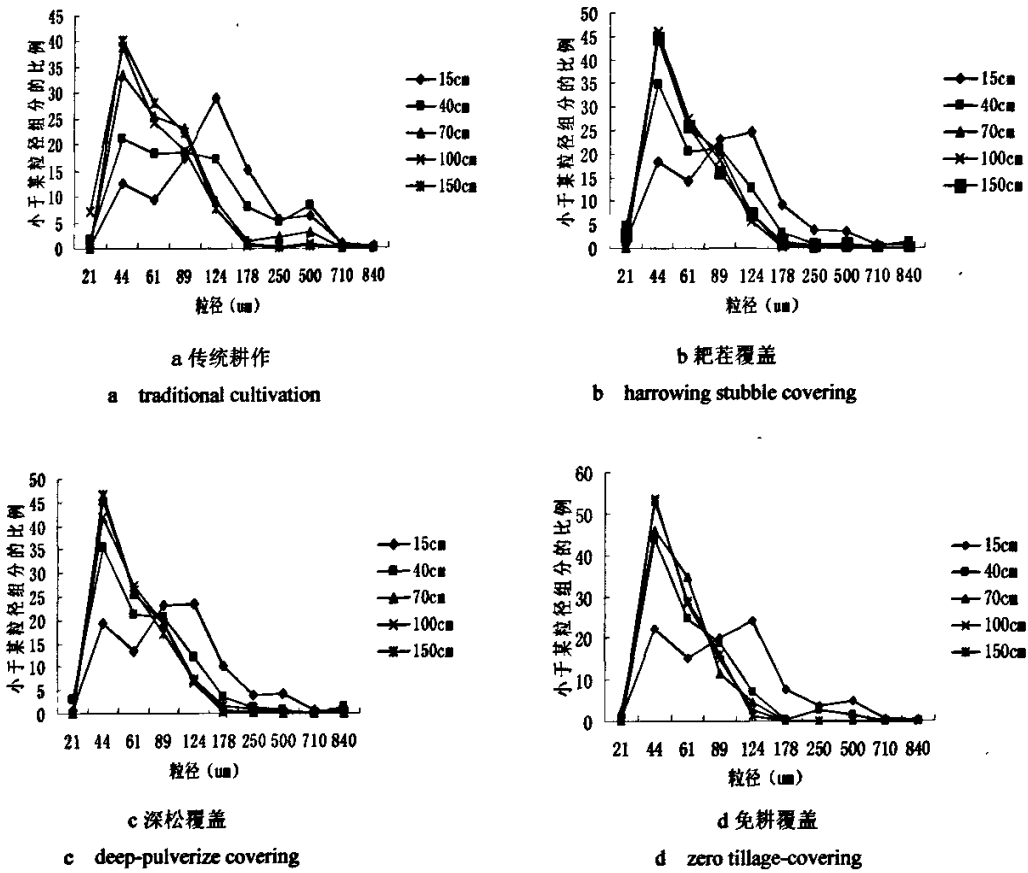


图 3-3 不同高度颗粒大小分布

Fig 3-3 The distribution of different size of granule

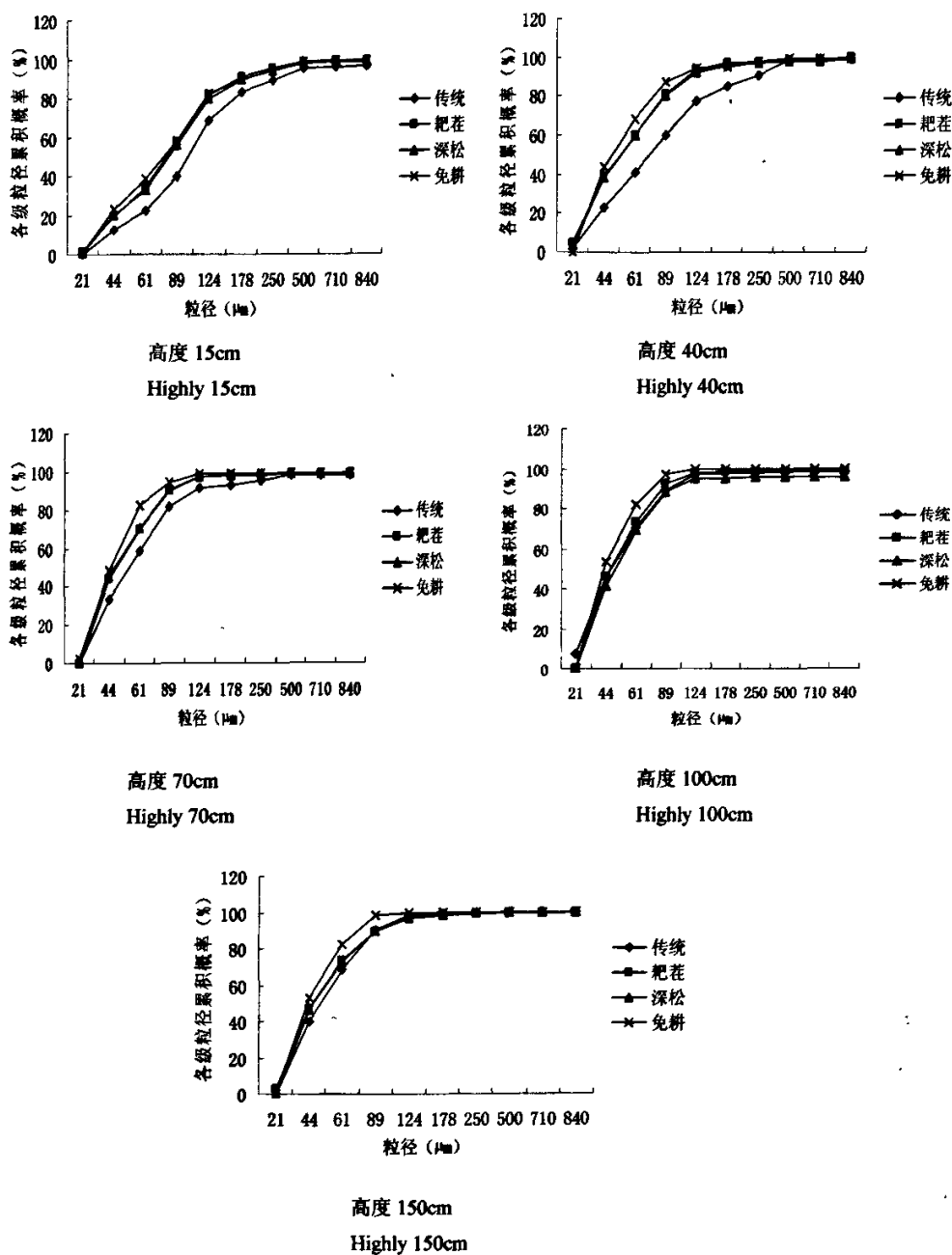


图 3-4 不同地表同一高度土壤风蚀物的粒度组成

Fig. 3-4 The granule composition which is the different surface and the same hight

因为 50 $\mu\text{m}$  是砂粒级与粉粒级的分界线<sup>[31]</sup>, 粒径大于 50 $\mu\text{m}$  的颗粒多以跃移的运动形式进入气流中, 而粒径小于 50  $\mu\text{m}$  的颗粒更易以悬移的形式进入气流中, 表 3-21 是不同地表

各高度层土壤风蚀物（多次混合物）大于 50  $\mu\text{m}$  和小于 50  $\mu\text{m}$  的颗粒含量。对于不同类型地表随着风速的增加，输沙量必然增加，因此也必然有更多的粒径大于 50  $\mu\text{m}$  的颗粒以跃移的运动形式进入气流中，同时风沙流的密度得以加大，高度得以增加，而大量的小于 50 $\mu\text{m}$  的极细砂、粉粒和粘粒等在更高的范围内以悬移形式运动。这说明大风环境中，将有更多的土壤物质被搬运，并在风力的作用下飘移到更远的地方。

表 3-21 不同地表各高度层土壤风蚀物中不同粒级含量 (g)  
Table 3-21 The granule composition which is the different surface and each high (g)

| 高度<br>(cm) | ≤50 $\mu\text{m}$ |      |      |      | ≥50 $\mu\text{m}$ |      |      |      |
|------------|-------------------|------|------|------|-------------------|------|------|------|
|            | 传统耕作              | 耙茬覆盖 | 深松覆盖 | 免耕覆盖 | 传统耕作              | 耙茬覆盖 | 深松覆盖 | 免耕覆盖 |
| 15         | 6.82              | 1.75 | 1.49 | 2.21 | 10.42             | 3.16 | 3.41 | 1.39 |
| 40         | 5.57              | 2.32 | 2.21 | 2.16 | 4.74              | 0.91 | 0.88 | 0.41 |
| 70         | 3.61              | 2.23 | 2.41 | 1.65 | 0.82              | 0.25 | 0.13 | 0.14 |
| 100        | 3.12              | 1.72 | 1.51 | 1.43 | 0.28              | 0.10 | 0.18 | 0.09 |
| 150        | 2.11              | 1.26 | 1.22 | 1.21 | 0.21              | 0.11 | 0.07 | 0.10 |

采样高度在 15cm 高度处，免耕覆盖大于 50  $\mu\text{m}$  的土壤颗粒含量分别比传统耕作减少 86.6%，深松覆盖和耙茬覆盖比传统耕作分别减少 67%和 69%，即减少了吹起的对地表破坏性最强的大颗粒量，说明保护性耕作明显减少以跃移为主的颗粒运动；在 150cm 高处，免耕覆盖小于 50  $\mu\text{m}$  的土壤颗粒含量比传统耕作减少 42.6%，深松覆盖和耙茬覆盖分别减少 40%和 42%，说明保护性耕作能够减少微粒升空，从而减轻了对下风口空气的污染程度。

3.2.2 土壤风蚀物及养分的状况

为了保证用于养分及有机质分析的风蚀物样品量，此次分析样品为将同一处理同一位置上多次采集到的土样在相同高度的混合物，采用常规的分析方法测定土壤风蚀物中的全 N、全 P、全 K 及有机质百分含量。同时分析了免耕覆盖和传统耕作两处理试区表土层（0-2.5cm）土壤养分和有机质状况。不同地表及各高度层所收集到的风蚀土壤养分和有机质分析结果如表 3-22、3-23 所示。

从表 3-22 中可以看出：免耕覆盖试区（0-2.5cm）的土壤有机质和养分的百分含量除有机质和全氮高于传统耕作以外，全磷、全钾的百分含量几乎没有差别，这是因为在试验区选择的保护性耕作农田仅是残茬覆盖二年的农田，养分含量还未明显增加。

表 3-22 两种处理试区表土层（0-2.5cm）土壤有机质及养分的含量  
Table 3-22 The content of organic matter and nutrient of the soil surface layer (0-2.5cm)from two kinds of processing sample

| 处理<br>方式 | 养分含量% |       |      |      |
|----------|-------|-------|------|------|
|          | 全氮    | 全磷    | 全钾   | 有机质  |
| 传统耕作     | 0.096 | 0.014 | 1.83 | 1.25 |

|      |       |       |      |      |
|------|-------|-------|------|------|
| 免耕覆盖 | 0.142 | 0.016 | 1.82 | 1.67 |
|------|-------|-------|------|------|

由于免耕覆盖对地表无破坏,防治土壤风蚀的效果最好,在三种覆盖中最具典型性,所以取免耕覆盖与传统耕作相对比研究土壤风蚀物中养分及有机质的变化规律。由表 3-23 可以看出:两种耕作措施下土壤风蚀物中的有机质及养分的百分含量都表现出随高度上升的趋势,这主要是因为距地表较高的气流中富含着大量的具有较高有机质及养分含量的细微的土壤颗粒所致;在相同高度上免耕覆盖风蚀物中有机质及养分的百分含量高于传统耕作,这是由于残茬的作用使在同一高度上免耕覆盖细颗粒的含量高于传统耕作细颗粒的含量所致。

表 3-23 两种处理试区不同高度土壤风蚀物有机质及养分含量

Table 3-23 The content of deflation organic matter and the nutrient of the soil surface layer from two kinds of processing sample

| 处理<br>方式 | 高度<br>(cm) | 养分含量%  |        |        |      |
|----------|------------|--------|--------|--------|------|
|          |            | 全氮 (N) | 全磷 (P) | 全钾 (K) | 有机质  |
| 传统耕作     | 15         | 0.102  | 0.017  | 1.87   | 1.76 |
|          | 40         | 0.134  | 0.027  | 2.01   | 2.05 |
|          | 70         | 0.167  | 0.036  | 1.95   | 2.80 |
|          | 100        | 0.204  | 0.048  | 1.91   | 3.10 |
|          | 150        | 0.221  | 0.054  | 1.98   | 3.67 |
| 免耕覆盖     | 15         | 0.211  | 0.023  | 1.76   | 2.01 |
|          | 40         | 0.238  | 0.029  | 1.80   | 2.98 |
|          | 70         | 0.265  | 0.037  | 1.91   | 3.42 |
|          | 100        | 0.243  | 0.045  | 1.79   | 3.29 |
|          | 150        | 0.310  | 0.055  | 1.96   | 4.01 |

对比表 3-22 和 3-23 可知:土壤风蚀物中的有机质和养分的百分含量明显高于相应的地块表层土壤,这是因为有机质及养分主要集中在细微的土壤颗粒之中,由于风力的分选作用,使不同地表土壤中的细微颗粒优先分选出来而输送到气流中,并随气流漩涡升入空中,从而导致土壤风蚀物中的有机质和养分含量高于土壤表层。

以土壤风蚀物中的有机质及养分富集率(风蚀物中有机质及养分的百分含量与相应土壤表层有机质及养分的百分含量之比)作为表征风蚀过程中土壤肥力迁移指标<sup>[34][35]</sup>。有机质、全氮、全磷及全钾的平均富集率分别为:传统耕作作为 2.04 和 1.73、2.6、1.06;免耕覆盖为 1.88 和 1.78、2.36、1.01。这说明在土壤风蚀过程中,土壤有机质和养分损失是比较大的,而且全磷损失最大,其次是有机质的损失,由表 3-24 可以看出:不同处理方式下其土壤风蚀物中的有机质及养分富集率随高度的增加而增加,而且两种措施下相比较除全钾富集率外免耕覆盖其它养分及有机质富集率均高于传统耕作。这又说明了保护性耕作减少近地表得以跃移为主的土壤颗粒的运动。

表 3-24 两种试区地表土壤有机质及养分的高集率

Table 3-24 The emplacement percentage of organic matter and nutrient content of the soil surface layer from two kinds of processing sample

| 处理方式 | 高度 (cm) | 全氮     | 全磷     | 全钾     | 有机质    |
|------|---------|--------|--------|--------|--------|
| 传统耕作 | 15      | 1.0625 | 1.2142 | 1.0218 | 1.408  |
|      | 40      | 1.3958 | 1.9285 | 1.0983 | 1.64   |
|      | 70      | 1.7395 | 2.5714 | 1.0655 | 2.24   |
|      | 100     | 2.1250 | 3.4285 | 1.0437 | 2.48   |
|      | 150     | 2.3020 | 3.8571 | 1.0819 | 2.936  |
| 免耕覆盖 | 15      | 1.4859 | 1.4375 | 0.9670 | 1.2035 |
|      | 40      | 1.6760 | 1.8125 | 0.9890 | 1.7844 |
|      | 70      | 1.8661 | 2.3125 | 1.0494 | 2.0479 |
|      | 100     | 1.7112 | 2.8125 | 0.9835 | 1.970  |
|      | 150     | 2.1830 | 3.4375 | 1.0769 | 2.4011 |

在整个观测期间,各高度层土壤风蚀物中全 N、全 P、全 K 及有机质含量情况如表 3-25、图 3-5 所示。从图 3-5 中可以看出:随着高度的增加土壤风蚀物中 N、P、K 及有机质的绝对量呈下降的趋势,这主要由于富含养分的细小土壤颗粒随着高度的增加而减少;即使养分及有机质富集率高于传统耕作的情况下,免耕覆盖不同高度土壤风蚀物中全 N、全 P、全 K 及有机质量均低于传统耕作。这是说明保护性耕作不仅能够减少总的风蚀量,而且能够减少风蚀过程中富含养分的细小土壤颗粒的流失,从而减少了农田土壤养分的损失。

表 3-25 两种处理试区不同高度土壤风蚀物有机质及养分含量

Table 3-25 The content of organic matter and nutrient of different hight from two kinds of processing sample

| 处理<br>方式 | 高度<br>(cm) | 养分 (g) |        |        |      |
|----------|------------|--------|--------|--------|------|
|          |            | 全氮 (N) | 全磷 (P) | 全钾 (K) | 有机质  |
| 传统耕作     | 15         | 2.12   | 0.61   | 32.41  | 32.1 |
|          | 40         | 1.11   | 0.42   | 16.54  | 20.6 |
|          | 70         | 0.92   | 0.20   | 13.47  | 15.4 |
|          | 100        | 0.73   | 0.16   | 12.04  | 13.8 |
|          | 150        | 0.49   | 0.13   | 10.96  | 10.9 |
| 免耕覆盖     | 15         | 0.85   | 0.27   | 11.98  | 16.4 |
|          | 40         | 0.69   | 0.20   | 10.79  | 15.2 |
|          | 70         | 0.60   | 0.19   | 10.32  | 13.8 |
|          | 100        | 0.54   | 0.16   | 9.64   | 10.6 |
|          | 150        | 0.42   | 0.13   | 9.21   | 9.7  |

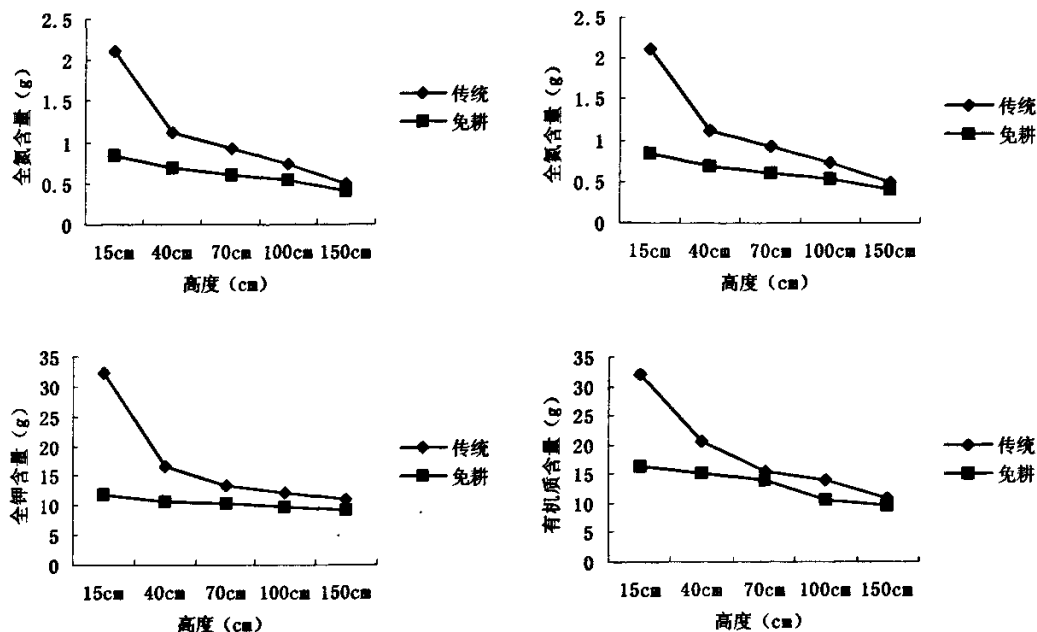


图 3-5 不同处理条件下风蚀土壤中养分含量随高度变化情况

Fig. 3-5 The different situation of nutrient content in different processing conditions in the wind erosion soil change along with highly

### 3.3 本章小结

1. 在距地表 0-150cm 高度范围内, 不同处理方式土壤输沙量随着高度的增加呈幂函数关系逐渐减少。土壤颗粒主要集中在近地表层(<40cm)内运动, 且传统耕作与保护性耕作相比其总土壤风蚀量有显著性差异。免耕覆盖相对于传统耕作其风蚀量降低了 83%, 耙茬覆盖与深松覆盖相对传统耕作分别降低了 54%和 65%, 说明对农田进行覆盖可有效防治风蚀发生, 在覆盖基础上进行耙茬或深松虽然对地表造成了一定的破坏增加了风蚀发生的机会, 但总体来看仍然具有较好的防风蚀效果, 所以在进行残茬覆盖时可间隔 1 年或 2 年对土地进行一次深松或耙茬, 这样即有利于农田土壤风蚀的防治又可改善土壤结构有益于作物的生长(本实验即是在连续 2 年覆盖的基础上进行的)。

2. 不同耕作体系对 15cm, 40cm, 75cm 和 100cm 高度的土壤输沙量的影响均具有显著性差异, 而对 150cm 高度的土壤输沙量的影响不显著。多重比较结果表明:  $\leq 40$ cm 高度范围内在覆盖的基础上对农田进行深松或耙茬后的防风蚀的效果相对免耕覆盖有较大的差别的, 但相对传统耕作来说还是有比较理想的效果, 而对 40-100cm 范围内则差别逐渐变小,  $\geq 100$ cm 高度后三种覆盖处理方式相对传统耕作则不明显; 免耕覆盖和深松覆盖、耙茬覆盖可以明显的减少低于 40cm 高度的土壤输沙量, 说保护性耕作减少近地表土壤颗粒运动的数

量较多,随着高度增加,保护性耕作体系减少农田土壤颗粒运动的数量相对减少。

3. 风蚀土壤颗粒粒度组成随着高度的增加,砂粒级颗粒含量减少,而粉砂及粘土级含量增多。对于砂粒级颗粒免耕覆盖相对传统耕作减少86.6%,深松覆盖和耙茬覆盖比传统耕作分别减少67%和69%;对于粉砂级免耕覆盖相对传统耕作减少42.6%,深松覆盖和耙茬覆盖分别减少40%和42%,说明保护性耕作能明显减少大砂粒对地表和作物的伤害,同时能够减少微粒升空,从而减轻了对下风口空气的污染程度。

4. 免耕覆盖试区(0-2.5cm)的土壤有机质和养分的百分含量除有机质和全氮高于传统耕作以外,全磷、全钾的含量几乎没有差别,说明连续二年实施保护性耕作仍未引起表层土壤养分发生较大的变化;土壤风蚀物中的有机质和养分的百分含量明显高于相应的地表土壤,这是因为有机质及养分主要集中在细微的土壤颗粒之中,在风力的分选作用,土壤中的细微颗粒优先分选出来输送到气流中;不同处理方式下其土壤风蚀物中的有机质及养分富集率随高度的增加而增加,而且两种措施下相比较除全钾富集率外免耕覆盖其它养分及有机质富集率均高于传统耕作,这又说明了保护性耕作减少近地表得以跃移为主的土壤颗粒的运动。

5.同第二章观测结果对比来看,免耕覆盖、深松覆盖、耙茬覆盖相对传统耕作其表土层含水率分别增加了64%、50%和44%;四种处理方式的地表粗糙度分别为:免耕覆盖 25.54 深松覆盖 15.36 耙地覆盖 11.74 传统耕作 3.71。免耕覆盖的总土壤风蚀量相对于传统耕作其风蚀量降低了83%,耙茬覆盖与深松覆盖相对传统耕作分别降低了54%左右和65%左右。说明表土含水量和地表粗糙度是影响农田土壤风蚀的关键性因子,增加表土含水量加大地表粗糙度可以有效地防治农田土壤的发生。

## 第四章 免耕播种机破茬部件的参数优化设计

### 4.1 引言

对于保护性耕作而言,地表存在大量的秸秆残茬。一般免耕播种机播种时,地表残茬覆盖率都在 30%以上,这些残茬可能是粗的或细的、高的或矮的、切碎的或长的、以及与土壤接触在一起的或呈蓬松状的残茬。在这种地表状况下,播种机要完成开沟、播种、施肥、覆土镇压等作业,普通的播种机容易被残茬堵塞而不能正常工作,所以必安装专门的破茬部件。播种机作业中发生秸秆堵塞主要有以下两种方式:(1)秸秆缠绕在土壤工作部件上面,如缠绕在铧式和凿形开沟器立柱上、其它支撑柱上以及机架的构件上。(2)残茬积聚在两个相邻的工作部件之间或堵在机架梁与地面之间。目前国内用于免耕播种机的防堵技术主要有无动力型和动力型。

无动力驱动型免耕播种机尖角开沟器入土容易,无需加配重;开沟窄;动土量小;不易搅混土层,有利于保墒;阻力小。因此现在免耕播种机械一般采用尖角式开沟器。但是尖角开沟器对大根茬地区不适应,由于根茬大,当尖角式开沟器碰到大根茬时,或由于阻力突然增加而导致拖拉机熄火;或将根茬连土被拔出(带走大量泥土),导致种子覆土量不足。这样不仅降低播种机的播种效率,使播种质量得不到保证,而且容易损坏播种机和拖拉机的工作部件。

动力驱动型免耕播种机主要是旋耕或灭茬播种机,驱动播种机的适应范围相对于无驱动播种机较广,它能够打碎地中秸秆,除去土中的根茬,保证好的播种质量。但是它相对无驱动也有较多的弊端,结构复杂、成本高、动土量较大不易保墒、油耗高,加大了作业成本;而且转速高,振动量大,刀具易磨损,使用寿命短,返修率高。

以上两类播种机的破茬部件都有自身的优缺点和适应性,不同地区不同作物不同种植方式以及不同地区的经济条件选用不同的破茬部件,而本地区主要的种植作物是玉米且多是单户小规模种植经济条件有限,又由于一年一熟,生长期较长具有秸秆粗大、根系发达等特点,根茬直径一般超过 20cm。所以要在本地区推广保护性耕作必须得有适应本地区具体情况的破茬部件。为此,有必要根据本地区的经济条件以及作物生长的特点设计出结构简单、经济、可靠的破茬部件,来满足本地区免耕播种的需求。本设计就是根据双圆盘开沟器的特点通过参数优化使其能够满足破茬的要求。

#### 4.1.1 圆盘开沟器工作原理

双圆盘开沟器的工作部件是两倾斜圆盘,该两圆盘一般情况下相互倾斜对称形成夹角 $\phi$ ,工作时,双圆盘开沟器靠自身重力及弹簧压力入土,在土壤反作用力下各自绕自己的轴线旋转,同时两圆盘将土壤向两侧推挤而形成种沟。圆盘转动时能够切破土块、切断土表秸秆及土中根茬等,一般不会发生尖角开沟器所遇到的挂茬、秸秆拥堵等现象,对土壤的适应能力较强,工作可靠。

### 4.1.2 双圆盘开沟器的缺点与不足

据研究表明一年一熟玉米根茬根深在 65~85mm 范围内,主根地下深度在 35~55mm 范围内,破茬部件的工作深度如果大于平均主根深度 48mm 就可以将根茬主根切开,切开主根整个玉米根茬就基本解体。如果破茬部件的工作深度大于平均根深 78mm 就可以将种子播在无玉米根茬的土壤中<sup>[41]</sup>。所以应用双圆盘开沟器破茬时必须保证开沟深度在 80mm 以上。由于双圆盘开沟器是针对传统耕作设计的,它的参数性能能够较好的满足传统耕作中的使用要求,而对于免耕或秸秆覆盖等保护性耕作方式来说由于土壤坚实,地块较硬,地表秸秆较多等原因,使其入土困难。达到需要的深度时需配重较大,难以满足国内以悬挂为主的小型耕播机的需要。为此本试验针对免耕覆盖对双原盘开沟器进行参数优化,使其能够在最小配重下满足破茬开沟的要求。

### 4.1.3 双圆盘破茬部件的设计要求

从国内目前拖拉机的动力来看,对于双圆盘开沟器的牵引力是足够的,主要是悬挂力不足,限制了农具重量,使得圆盘开沟器入土困难,需要从解决圆盘入土能力,合理设置配重着手研究。其具体设计要求如下:

1. 要求在较小的配重,开沟深度达到 80mm 满足破茬的需要。
2. 要求开出的沟形能够满足侧施肥的要求,即开沟宽度在 60mm 左右<sup>[36]</sup>,中间凸起较高能有效地分隔开种肥,防止烧种现象的发生。

## 4.2 破茬单体的结构设计及参数选择

### 4.2.1 破茬单体结构及仿行原理

破茬单体分四个部分:上连接体,下连接体,破茬圆盘,仿行弹簧。如图 4-1 破茬单体结构: 1 卡板; 2 上连接体; 3 销轴; 4 下连接体; 5 圆盘柄; 6 破茬圆盘; 7 仿行弹簧。其工作原理为:通过卡板将上连接体连接在横梁上,通过销轴和仿行弹簧将下连接体和上连接体进行连接。下连接体通过螺栓和破茬圆盘柄进行连接。工作中遇到突起障碍时,下连接体带动破茬圆盘以销轴为轴绕上连接体转动,同时仿行弹簧阻碍其转动从而起到仿行的作用。

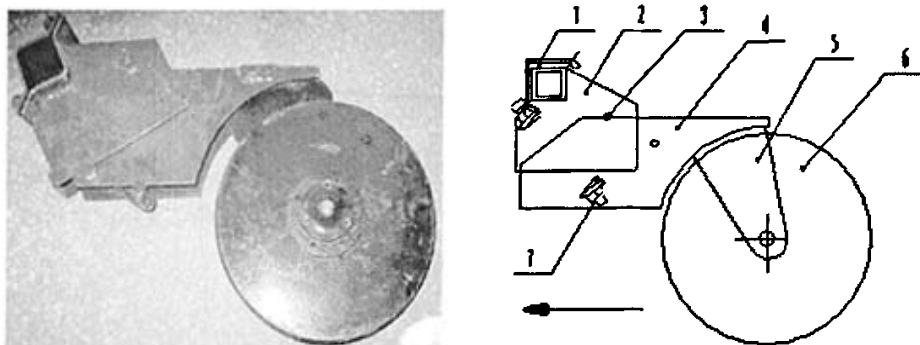


图 4-1 破茬单体结构示意图

Fig. 4-1 The structural diagram of tatter device monomer

## 4.2.2 双圆盘破茬单体优化参数的确定

双圆盘开沟器的主要设计参数为圆盘直径、两圆盘夹角、聚点的位置，他们决定着双圆盘开沟器性能的好坏。经过多年的研究与应用，其技术已成熟，各参数的优化范围也已确定<sup>[37]</sup>。本试验的目的是针对其在免耕播种中所遇到的问题，重新对参数进行优化，使其在最小的配重下能够开出适宜的沟深具备破茬能力，并使其开出的沟型能够满足侧施肥的要求。为此本设计所选优化参数为：圆盘直径（D）；两圆盘夹角（ $\Phi$ ）；聚点位置（ $\beta$ ）；配重。

## 4.2.3 圆盘受力分析及计算

### 1. 圆盘受力分析

圆盘开沟器在作业时受机架的牵引力和垂直压力以及土壤对它的反作用力。由于机架对圆盘的作用力一定是与安装圆盘的轴垂直，而其大小和方向完全由圆盘与土壤的作用力来确定，因此在此仅分析圆盘与土壤的作用力。圆盘对土壤的作用力是一个比较复杂的三维力系。圆盘工作时对土壤有两种作用：一是随着圆盘的滚动切割土壤；二是随着圆盘的平移推压土壤。因此圆盘对土壤的作用力可以分为切割力和推力。

由于圆盘刀刃的面积相对于圆盘面积较小，可忽略。其受力根据 Sinekov 和 Skakuin-Q 的研究成果，将刃角两边的正应力和剪应力看成一个合力  $q$ 。因此圆盘的受力可以按照刀刃处的切削力  $Q$ ，圆盘侧面的正压力  $N$ ，和圆盘侧面的剪切力  $F$  三部分进行计算。其各力的作用为： $Q$  为开沟器刃部楔入土壤的入土阻力； $N$  为推土正压力，是产生土壤侧移的主要原因，同时这个力克服被扰动土壤与未扰动土壤之间的界面阻力； $F$  为土壤与开沟器之间相对运动产生的剪力，是圆盘滚动阻力的主要原因。假设圆盘受上述各种力是均匀分布的，即按照应力进行计算。由于圆盘有偏角，除刀刃处两侧都接触土壤，其余部分仅有一侧接触土壤，因此如图 4-2 所示，仅一侧受力。其各力计算如下：

#### ① 刀刃处的切削力 $Q$

$$Q = \int q dl$$

式中： $L$ —圆盘刀刃与土壤接触的弧长，且为

$$L = R\theta = R \arccos \frac{R-h}{R} \quad \text{即,}$$

$$Q = \int_0^{\arccos \frac{R-h}{R}} q d(R\theta)$$

$$= qR \arccos \frac{R-h}{R} \quad (4-1)$$

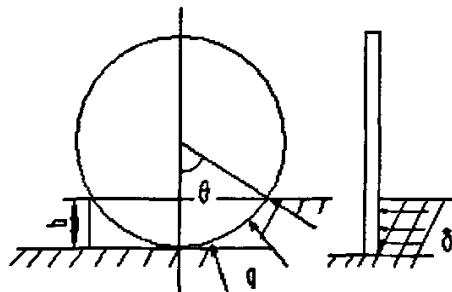


图 4-2 圆盘与土壤作用力示意图

Fig. 4-2 The diagram of circular disc

因  $q$  是由作业土壤性质决定的，所以对圆盘来

讲，影响  $Q$  的因素为圆盘半径  $R$  与入土深度  $h$ 。将 (4-2) 对  $R$  求偏导得

$$\frac{\partial Q}{\partial R} = q \arccos \frac{R-h}{R} - \frac{h}{R\sqrt{2Rh-h^2}} \quad (4-2)$$

由(4-2)可知当  $R > h$  时,  $\frac{\partial Q}{\partial R} > 0$ , 所以  $Q$  是  $R$  增函数, 即  $Q$  是直径  $D$  的增函数。

### ② 圆盘侧面正压力 $N$

$$N = \iint_S \delta ds \quad (4-3)$$

式中:  $S$ —圆盘侧面与土壤接触面积。且为

$$\begin{aligned} S &= \int_0^R 2\sqrt{2Rh - h^2} dh \\ &= 2R \arccos \frac{R-h}{R} - (R-h)\sqrt{2Rh - h^2} \end{aligned} \quad (4-4)$$

分析(4-3)和(4-4)可知,  $N$  为  $R$  的增函数, 即  $N$  是圆盘直径  $D$  的增函数。

### ③ 圆盘侧面的剪切力 $F$

$$F = \iint_S \tau ds \quad (4-5)$$

同样由(4-5)和(4-4)分析可知,  $F$  为  $R$  的增函数, 即  $F$  是圆盘直径  $D$  的增函数。

另外, 还可以由库仑定律进行计算。

$$F = C + N \tan \phi$$

式中:  $C$ —土壤粘附力;  $\phi$ —土壤与开沟器表面摩擦角

因此, 在开沟深度一定的情况下, 圆盘所受土壤的作用力随圆盘直径  $D$  的增大而增大。

### 2. 开沟宽度的计算<sup>[37]</sup>

开沟宽度取决于圆盘直径、两圆盘夹角和聚点的位置, 其计算公式为

$$B = D * (1 - \cos \beta) \sin(\phi/2) \quad (4-6)$$

式中:  $B$ —开沟宽度,  $D$ —圆盘直径,

$\beta$ —聚点位置(如图4-4),  $\phi$ —两圆盘间夹角

### 3. 圆盘厚度计算

该圆盘开沟器用于免耕播种, 其工作环境较恶劣, 土壤较传统翻耕播种的硬, 因此本次设计工作环境类似的圆盘耙, 将该圆盘厚度按照圆盘耙经验公式的进行设计<sup>[37]</sup>。

$$t = 0.008D \quad (4-7)$$

式中:  $D$ —耙片直径。

分别将圆盘直径  $D$  代入(4-7)式, 然后进行圆整。

### 4. 圆盘刀刃角 $i$ <sup>[37]</sup>

圆盘刀刃越锋利劈茬效果越好、越易入土, 但也易损坏。所以刀刃必须适中。本设计参考圆犁刀的刃角进行设计, 当圆盘直径  $\leq 450\text{mm}$  时, 刀刃角  $i = 20^\circ \pm 2^\circ$ ; 当  $\geq 450\text{mm}$  时,  $i = 30^\circ \pm 2^\circ$ 。刃厚  $t$  为  $0.1 \sim 0.3\text{mm}$ (见图4-3)

### 5. 圆盘材料



图 4-3 圆盘刀刃示意图

Fig. 4-3 The diagram of circular disc sharp

圆盘材料为 65Mn。

#### 4.2.4 参数选定的依据

##### 1. 圆盘直径的选定

由上面受力分析可知,圆盘的直径越小,入土阻力越小,入土越容易,越有利开沟。但是圆盘直径太小:易使地面的残茬及覆草上滑,破茬切割性能变差;圆盘转动摩擦力不足导致圆盘不转动,遇到秸秆而不能越过,推着秸秆前进,导致堵塞。而圆盘直径太大,易使秸秆沿圆盘前的地表滑动,圆盘对秸秆没有切割作用<sup>[38]</sup>。所以当要求有破茬作用时必须合理选择圆盘直径。传统双圆盘开沟器的直径范围在 300-380cm 之间,而免耕覆盖具有土壤硬度大,秸秆多的特点所以选则在更大的范围内进行优化,范围在 320-460cm 之间进行优化试验。

##### 2. 两圆盘夹角范围的选定

表 4-1 圆盘偏角对开沟器受力的影响

Table 4-1 The impact of circular disc deflective angle by stress of furrow opener

| 圆盘偏角 $\alpha$ | 5°     | 10°    | 15°    |
|---------------|--------|--------|--------|
| 剪力 T/N        | 148.16 | 126.11 | 158.20 |
| 正压力 N/N       | 66.06  | 131.70 | 219.52 |
| 入土阻力 Q/N      | 219.52 | 94.20  | 105.73 |

根据张守勤等对圆盘不同偏角(夹角是偏角的二倍)对比试验结果(如表 4-1 所示<sup>[39]</sup>)可知,当圆盘偏角(夹角)不同时其受到的土壤作用也不同。而圆盘入土难是免耕中所遇到的主要问题之一。所以本试验选择夹角范围在 10°-30°(偏角 5°-15°)之间进行优化。

##### 3. 聚点范围的选定

聚点的位置用  $\beta$  表示,如图 4-4,  $\beta$  角越大开出沟越宽,种沟中的凸起越高,同时其受到土壤的作用力则越大<sup>[37]</sup>。传统聚点范围在 55°-75° 之间,考虑到凸起高度和受力越小越好的原则,本试验确定的试验范围在 55°-90° 之间进行优化。

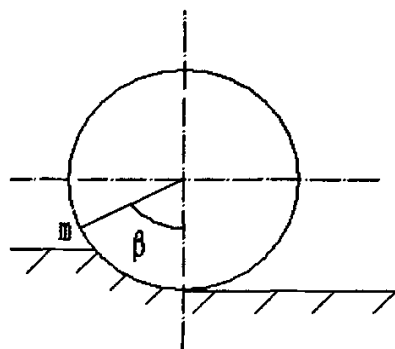


图 4-4 双圆盘聚点位置

Fig.4-4 The position of the circular accumulation

#### 4.3 试验主要设备和仪器

18 马力小型四轮拖拉机,米尺,自制两垄双梁,自制各种参数破茬器,TE-3 型土壤硬度计,环刀,0.001g 精度天平等。

4.4 试验设计及说明

依据双圆盘开沟器的特点，及所要求破茬单体具有的性能，选定：圆盘直径（D）、两圆盘夹角（ $\phi$ ）、聚点位置（ $\beta$ ）及配重（G）作为研究因子。

采用饱和-D 最优设计方法（两次重复），确定破茬单体最佳设计参数及水平。

影响破茬单体工作性能的结构参数优化的范围为：直径 320-460mm，夹角  $10^{\circ}$ - $30^{\circ}$ ，聚点  $55^{\circ}$ - $90^{\circ}$ 。由于最优设计着眼于参数估计的精度，饱和-D 最优设计所建立的方程得到的预测值具有较好的拟合度。而且它所包含的试验点数也较少，为此本试验采用饱和-D 最优设计方案，以开沟深度作为评价指标。确定破茬部件的设计参数，为双圆盘破茬部件的设计及使用提供理论依据。因素水平编码表如表 4-2

表 4-2 因素水平编码表  
Table 4-2 Code table of factor and level

| 编码值       | X <sub>1</sub> | X <sub>2</sub> | X <sub>3</sub> | 直径 D | 夹角 $\phi$ | 聚点 $\beta$ |
|-----------|----------------|----------------|----------------|------|-----------|------------|
| 1         | 1              | 1              | 1              | 460  | 30        | 90         |
| u         | 0.1925         | 0.1925         | 0.1925         | 403  | 22        | 75         |
| $\lambda$ | -0.2912        | -0.2912        | -0.2912        | 370  | 17        | 66         |
| -1        | -1             | -1             | -1             | 320  | 10        | 54         |

4.5 试验方法

4.5.1 地表状况数据的采集方法

由于地表状况及土质对圆盘入土、开沟和破茬等性能有较大的影响，不同条件下所优化出的参数也将有区别，不同地区这些条件是不同的，所以在优化试验时必须给出当地的这些条件作为参数的依据。为此在试验时将主要影响因素：秸秆覆盖率、秸秆直径、秸秆含水率、根茬含水率、土壤容重、土壤含水量和土壤硬度进行采集<sup>[40]</sup>。具体采集方法：

1. 玉米秸秆覆盖率

用一根长 30.48m 平均打了 100 个结的绳。在试验区域内以一个顶点为起点对角线拉开，察看有多少个结下有覆盖物。有几个其残茬覆盖率就是多少。测量 5 次取其平均值。

2. 玉米秸秆直径

在试验田中 5 个不同地点，随机测量 20 根玉米秸秆直径，取其平均值作为玉米秸秆的直径。

3. 玉米秸秆含水率

将地表中的秸秆随机抽取 10 根，称出每根秸秆的重量后，放入烘干箱内，温度控制在  $75^{\circ}\text{C}$  初次连烘 24h，取出再次称量每根秸秆的重量，再次放入烘干箱内，烘 5h，当相邻两次重量相差 0.05g，则可认为秸秆已烘干，然后算出秸秆含水率。

4. 玉米根茬含水率

在试验田中 5 个不同区域随机取 10 根根茬。将整个根茬随土壤一块刨出，然后将根系上面的土壤冲洗掉，再将上面的水甩干、晾干。称出每个根茬的重量，放入烘干箱内烘干(方法同上)。分别算出每个根茬的含水率，然后取平均值。

5. 土壤容重与含水率

在试验田中随机取 5 个样点，用容积为 100cm<sup>3</sup> 的环刀，分别取 0-5cm，5-10cm 土层的土壤，称其重量，再进行烘干，算出它们的容重及含水量。

6. 土壤硬度

试验采用南京土壤仪器厂生产的 TE-3 型土壤硬度计，在试验区域内随机取 5 个点进行测量深度为 5cm、10cm、15cm 处的土壤硬度值及在 0-15cm 间最大硬度值。

4.5.2 试验方法

1.饱和 D 最优设计

饱和 D 最优设计试验安排如表 4-3 所示

| 表 4-3 饱和 D 最优设计试验安排 |                |                |                |      |     |     |
|---------------------|----------------|----------------|----------------|------|-----|-----|
| 试验<br>序号            | 设计矩阵           |                |                | 试验方案 |     |     |
|                     | x <sub>1</sub> | x <sub>2</sub> | x <sub>3</sub> | D    | Φ   | β   |
| 1                   | -1             | -1             | -1             | 320  | 10° | 55° |
| 2                   | 1              | -1             | -1             | 460  | 10° | 55° |
| 3                   | -1             | 1              | -1             | 320  | 30° | 55° |
| 4                   | -1             | -1             | 1              | 320  | 10° | 90° |
| 5                   | 0.1925         | 0.1925         | -1             | 403  | 17° | 55° |
| 6                   | 0.1925         | -1             | 0.1925         | 403  | 10° | 75° |
| 7                   | -1             | 0.1925         | 0.1925         | 320  | 17° | 75° |
| 8                   | -0.2912        | 1              | 1              | 370  | 30° | 90° |
| 9                   | 1              | -0.2912        | 1              | 460  | 22° | 90° |
| 10                  | 1              | 1              | -0.2912        | 460  | 30° | 66° |

研究表明两垄耕播机上传统双圆盘在免耕覆盖地块中开沟深度 80mm 每个盘上需要配重 100kg，本试验在两垄耕播机上进行，以每个圆盘上施配重 100kg 作为参照。各试验参数的圆盘破茬器分别行进 30m，间隔抽取 10 点，测定开沟深度及开沟宽度，取其平均值作为目标值。由于饱和和最优设计的剩余自由度为零，所以每一试验号重复 2 次。然后利用 DPS 数据处理系统进行处理：

- (1) 方程的拟合及检验
- (2) 单因子效应分析
- (3) 双因子效应分析
- (4) 贡献率分析

通过数据处理优化出各参数的最佳范围。然后重新施加配重，确定出新参数下满足沟深 80mm 所需的配重，从而达到满足沟深，降低配重的要求。同时从开沟宽度的角度分析，对比理论计算值与实际测量值之间的差异。最终得出最佳值。

## 4.6 试验数据

由于本试验需要在 5 月份播种期间来进行，所以试验所需要的数据的采集及田间试验由下一届研究生来做。

## 4.7 本章小结

1. 本章对免耕播种过程中所遇到的问题，以及目前两种破茬器的优缺点进行了分析，提出了通过改变双圆盘开沟器参数使其满足免耕播种中破茬要求的方案。具体分析了：双圆盘的工作原理，双圆盘开沟器的缺点与不足，提出了双圆盘破茬部件的设计要求。

2. 对圆盘进行受力分析，确定出参数的优化范围：直径 320-460mm，夹角  $10^{\circ}$ - $30^{\circ}$ ，聚点  $55^{\circ}$ - $90^{\circ}$ 。确定了采用饱和 D 最优设计方法进行试验，对破茬单体的结构进行设计及加工。

3. 由于地表状况及土质对圆盘入土、开沟性能有较大的影响，为此确定秸秆覆盖率、秸秆直径、秸秆含水率、根茬含水率、土壤容重、土壤含水量和土壤硬度作为影响开沟性能的外界因素。

## 第五章 结论与建议

### 5.1 研究结论

针对大庆地区春季干旱少雨、多风的气候特点,进行保护性耕作防治农田土壤风蚀试验研究,试验设四种处理方式:传统耕作、深松覆盖、耙茬覆盖和免耕覆盖,对双盘开沟器进行参数优化以使其能在免耕覆盖的情况下进行开沟破茬。试验结论如下:

1. 不同处理试区表层(0-2.5cm)土壤含水量存在明显差异,免耕覆盖、深松覆盖、耙茬覆盖相对传统耕作其表层土壤含水率分别增加了64%、50%和44%。不同处理试区的地表粗糙度存在明显差异,免耕覆盖、深松覆盖、耙茬覆盖和传统耕作的平均粗糙度分别为25.54、15.36、11.74和3.71。

2. 在距地表0-150cm高度范围内,不同处理方式土壤输沙量随着高度的增加呈幂函数关系减少,土壤颗粒主要集中在近地表层( $\leq 40$ cm)内运动。不同处理方式对15cm,40cm,70cm和100cm高度的土壤输沙量的影响均具有显著性差异,而对150cm高度的土壤输沙量的影响不显著。多重比较结果表明,三种覆盖处理可以明显减少 $<70$ cm高度的输沙量,也就是说保护性耕作减少近地表土壤颗粒运动的数量较多,随着高度增加,保护性耕作体系减少农田土壤颗粒运动的数量相对减少。对四种处理方式的总风蚀量方差分析结果表明,不同处理方式对农田土壤输沙量的影响极显著。免耕覆盖相对传统耕作其总风蚀量减少83%,深松覆盖、耙茬覆盖相对传统耕作分别减少63%和54%。

3. 四种不同类型地表土壤风蚀物颗粒的粒径主要富集在0.021-0.124mm之间;随着高度的增加,风蚀物各粒级含量中砂粒组分含量减少,粉粒及粘土组分增加;对于砂粒颗粒免耕覆盖相对传统耕作减少86.6%,深松覆盖和耙茬覆盖比传统耕作分别减少67%和69%;对于粉粒颗粒免耕覆盖相对传统耕作减少42.6%,深松覆盖和耙茬覆盖分别减少40%和42%。

4. 免耕覆盖试区(0-2.5cm)的土壤有机质和养分含量除有机质和全氮高于传统耕作以外,全磷、全钾的含量几乎没有差别;土壤风蚀物中的有机质和养分含量明显高于相应的表土层;两种处理方式下土壤风蚀物中的有机质及养分百分含量都表现出随高度上升的趋势,而随着高度的增加土壤风蚀物中N、P、K及有机质绝对含量呈下降的趋势。因为养分主要富集在细微颗粒中,所以从另一个角度反映出了土壤风蚀的规律。

5. 对圆盘进行受力分析,初步确定参数的优化范围:直径320-460mm,夹角 $10^{\circ}$ - $30^{\circ}$ ,聚点 $55^{\circ}$ - $90^{\circ}$ 。确定了采用饱和-D最优设计方法进行试验。其所含的试验点是最少的,精度高,而且效率高。

### 5.2 创新点及下一步研究建议

#### 5.2.1 本文的创新点

在大庆地区首次运用定量分析的方法研究耙茬覆盖和深松覆盖相对传统耕作的防风蚀效果;应用表层土壤养分和相对应的风蚀物中养分对比的方式,分析风蚀对表层土壤养分和

有机质的影响；对双圆盘参数进行优化，使其满足在免耕覆盖条件下开沟破茬的要求。

### 5.2.2 下一步研究的建议

1. 由于自然条件的多变性，农田土壤风蚀的试验研究还需长期的定位监测，进一步分析保护性耕作防治农田土壤风蚀的机理。
2. 在进行秸秆覆盖时，建议间隔一年或两年进行一次深松作业或耙茬作业，这样既可以在一定程度上防治农田土壤风蚀的发生，又可改善土壤结构利于作物生长。
3. 本文只是利用耕作方式防治北方旱作农业区农田土壤风蚀的初步研究，为建立适合本地区的保护性耕作体系及理论体系还需进一步深入研究。
4. 破茬单体的下一步试验中，应注意外界因素的影响及不同覆盖量对参数的影响。

## 参考文献

- [1] 臧英.保护性耕作防治土壤风蚀的试验研究[D].北京:中国农业放大学工学院, 2003.
- [2] 董治宝, 李振山. 国外土壤风蚀的研究历史与特点[J].中国沙漠, 1995, 15(1): 100~104.
- [3] Bagnold R.A.The physics of blown sand and desert dunes.London:Methuen.1941.
- [4] 赵士杰, 王春光. 加拿大萨斯卡彻温省保护性耕作技术考察报告[J].农村牧业机械化, 2002(4):69~71.
- [5] 施森宝, 胡鸿烈, 丁加明.秸秆覆盖免耕法[J].农业工程学报.1990, 6(3):31~36.
- [6] 施森宝, 胡鸿烈等.国产免耕覆盖播种机的研制与试验[J].北京农业大学学报, 1989, 15(3):273~279.
- [7] 胡鸿烈, 丁加明, 曾爱军等.2BQM-6A 型免耕播种机的研制[J].北京农业大学学报, 1993, 19(2)41~47.
- [8] 陈君达, 李洪文, 高焕文.玉米免耕整秆覆盖播种机的防堵装置[J].农业工程大学学报, 1994, 14(3):34~39.
- [9] 董竹蔚, 高克昌, 石秀琴.2BM-2/3 型免耕播种机的研制[J]. 山西农业科学, 1994, 22(3): 41~45.
- [10] 郭云岭.2BY-3 型玉米免耕播种机试验研究[J].河北农业科学, 1998, 2(2):5~9.
- [11] 张晋国, 高焕文.免耕播种机新型防堵装置的研究[J].农业机械学报, 2000, 31(4):33~35.
- [12] 蒋金琳, 宋殿香, 王兴成等.免耕播种机土壤工作部件的设计计算[J].莱阳农学院学报, 1998, 15(1):75~7.
- [13]Chepil, W.S.W.Dust storms in the Southen Great Plains.Transactions of theASE, 1981, 24(4):991~994.
- [14] 刘贤万.实验风蚀物理与风沙工程学[M].北京: 科学出版社, 1995.
- [15] Woodruff N P et al. A wind erosion equation[C]. Soil Sci So-ciety, Proceedings, 1965.
- [16] Gillette A D. Ranjit Passi. Modeling dust emission caused bywind erosion[J]. J Geophys Res, 1988, 93: 14234~14242.
- [17] Shao Y, M L Lance. Wind erosion prediction over the Austral-ian continent[J]. J Geophys Res, 1997, 102: 30091~30105.
- [18] 贺大良, 邹本功, 李长治等.地表风蚀物理过程风洞试验的初步研究[J].中国沙漠, 1986, 6(1): 25~30.
- [19] Marticorena B, G Bergametti. Modeling the atmospheric dustcycle, 1, Design of a soil-derived dust emission scheme[J]. JGeophys Res, 1995, 100:16415~16430.
- [20] Lu H, Shao Y. A new model for dust emission by saltationbombardment[J]. J Geophys Res, 1999, 104:16827~16841.
- [21] Shao Y, M R Raupach, J F Leys. A model for predicting aeolian sand drift entrainment on scalesfrom paddock to region[J]. J Soil Res, 1996, 34: 309~34 .
- [22] 姚文艺.风力侵蚀及其预报方法[J].中国水土保持, 1994 (3) :16~19.
- [23] M.J.柯克比, R.P.C.摩根编著, 王礼先, 吴斌等译.土壤侵蚀[M].水利电力出版

- 社.1985:258~262.
- [24] Smika, D.E., and G.A.Wicks. Soil water and storage during fallow in the Central Great Plains as influenced by tillage and herbicide treatments . Soil Sci. Soc.Amer.Proc.1968.32:591~595.
- [25] David Shelton 等, 估算残余物覆盖面积, 保护性耕作制与管理, 2000:32~33.
- [26] J.E.Stout and D.W. Fryrear.formance of awindblown-particle sampler. Transactions of ASAE.198932(6):2041~2045.
- [27] D.W Fryear and A.Saleh.Wind erosion:field length.Soil Science.1996.161(6):398~Doran J W.1980.Soil Microbial and Biochemicail Changes Assoiated with.
- [28] Smika, D.E., and G.A.Wicks. Soil water and storage during fallow in the Central Great Plains as influenced by tillage and herbicide treatments . Soil Sci. Soc.Amer.Proc.1968.32:591~595.
- [29] 周兴祥.一年两熟地区机械化保护性耕作体系试验与分析[D].北京:中国农业大学工学院.2001:6~7.
- [30] Chepil WS. Wind credibility of farm fields. Soil and Water Conservation, 1959, 14(5):214.
- [31] 姚贤良, 程云生等.土壤物理学[M].北京:农业出版社, 1986:29.
- [32] T. M. Zobeck. and D.W. Fryrear, -Chemical and physical characteristics of windblown sediment II. chemicalcharacteristica and total soil and nutrient discharge. Transaction of the ASAE, 1986. 29(4): 1037~1041.
- [33] 朱朝云, 丁国栋, 杨明远.风沙物理学[M].北京:中国林业出版社, 1992.
- [34] 哈斯.河北坝上地区高原土壤风蚀物垂直分布的初步研究[M].中国沙漠, 1997, 17(1): 9~14.
- [35] T. M. Zobeck. and D.W. Fryrear, - Chemical and physical characteristics of windblown sediment II. chemicalcharacteristica and total soil and nutrient discharge. Transaction of the ASAE, 1986. 29(4): 1037~1041.
- [36] 蒋金琳, 宋殿香等.免耕播种机土壤工作部件的设计计算[J].莱阳农学院学报, 1998, 15(1): 75~78.
- [37] 中国农业机械化科学研究院编. 农业机械设计手册(上册).北京, 机械工业出版社, 1988:314~315.
- [38] 沈卫强, 杨军, 李忠新. 免耕播种机破茬与开沟部件的特点及配置形式[J]. 新疆农机化, 2004(4):24~25.
- [39] 张守勤, 左春怪, 马成林.圆盘开沟器受力模型的研究[J]. 农业机械学报, 1998, 29:68~69.
- [40] 徐云峰.小型免耕播种机的设计与试验研究[D]. 北京:中国农业放大学工学院, 2005.
- [41] 蒋金琳.玉米免耕播种机切茬挖茬装置研究[D].北京:中国农业大学工学院, 2004.
- [42] 苏元升, 高焕文, 张晋国.免耕播种开沟器工作性能的测试与分析[J].中国农业大学学报, 1999, 4(4):28~30.
- [43] 张永成. 饱和 D 最优设计方法在农业试验中的应用.马铃薯杂志, 1997, 11(3)171~176.
- [44] 苏元升, 高焕文, 李汝芋.土壤工作部件田间测试系统的研制[J]. 中国农业大学学报. 1999, 4(2):47~49.

- [45] 丛茜, 初亮. 土壤与非光滑表面减粘降阻界面动力学模型[J]. 吉林工业大学学报, 1997, 27(4):27~30.
- [46] 张晋国, 高焕文. 免耕播种机新型防堵装置的研究[J]. 农业机械学报, 2000, 31(4):33~35.
- [47] 廖庆喜, 王世学, 高焕文. 免耕播种机新型锯齿防堵装置防堵机理的研究[J]. 中国农业大学学报, 2003, 8(4):14~19.
- [48] 廖庆喜, 高焕文, 舒彩霞. 免耕播种机防堵技术研究现状与发展趋势[J]. 农业工程学报, 2004, 20(1):108~111.
- [49] 赵武石, 张锋伟, 吴建民, 高爱民. 免耕播种机防堵装置用切刀静强度的有限元分析[J]. 机械研究与应用, 2005, 18(3):82~84.
- [50] 张云文. 驱动圆盘切茬器的试验研究[J]. 中国农业大学学报, 1999, 4(6):38~40.
- [51] 王凤花. 浅析免耕开沟器[J]. 山东农机, 2003, 4:10.
- [52] 任文涛, 刘涌. 精量播种机开沟器长度设计方法的研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2003, 34(6):448~451.

## 致谢

衷心感谢导师张伟教授和保护性耕作组全体老师给予我的精心指导和无私的帮助。从论文的选题到试验、破茬单体的研制以及论文的写作，自始至终都凝聚着导师的心血。在张老师精心指导的三年学习生涯中，其严谨的治学态度、渊博的学识使我受益终生；他对我生活的关心、人生态度的教诲，让我在人生观点有了很大的改变，在此不仅学到了知识，更重要的是学会了许多做人的道理，使我终生难忘。

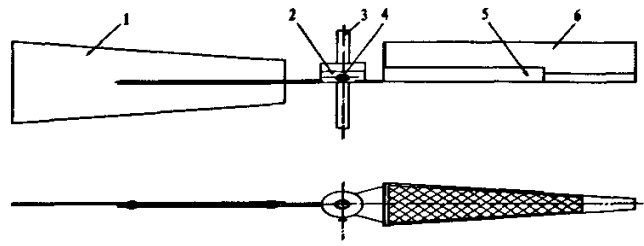
同时也感谢所有帮助过我的同学及亲友，在此由衷说一声谢谢！

作者：李叶龙

2007年4月

附录 I

风蚀量采样器主要由集沙器、定位套、尾翼、定位轴、定位顶丝和集沙器镶嵌座等组成，其结构如图 2-2 所示。其中采沙器是风蚀量采样器的主要部件，尾翼(导风板)主要用于自动调整进沙口的指向，使进沙口能够时时正对风向，其面积为 350mm×150mm，通过田间试验观测表明，当 2m 高度的风速达到 3m/s 以上时，尾翼可以正常的调整进沙口对正风向。支撑

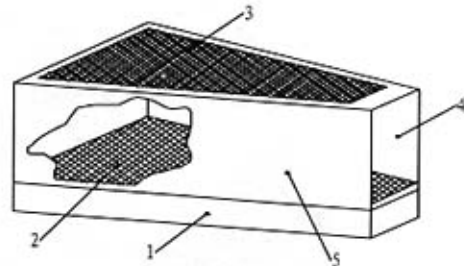


1. 尾翼 2. 定位套 3. 定位轴 4. 定位顶丝 5. 集沙器镶嵌套 6. 集沙器

图 2-2 风蚀量采样器结构示意图

架和固定栓两部件主要用于将采集器固定在不同的高度处。

采沙器由采沙盒、集沙盒和密封圈三部分构成，如图 2-3 所示。采沙盒是主要的采沙部件，其进沙口面积 5cm 高 x 2cm 宽，285mm 长的通道壁以 11° 的角度渐渐向外扩展，形成一个扩散断，这样可以减慢进入采沙盒内的空气的运动，从而使沙尘在未运动到扩散断的末端时靠重力作用沉积到集沙盒



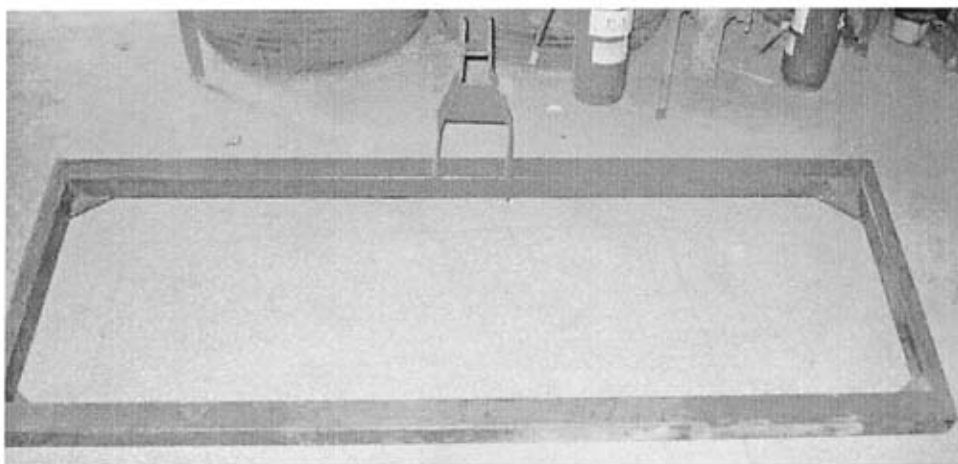
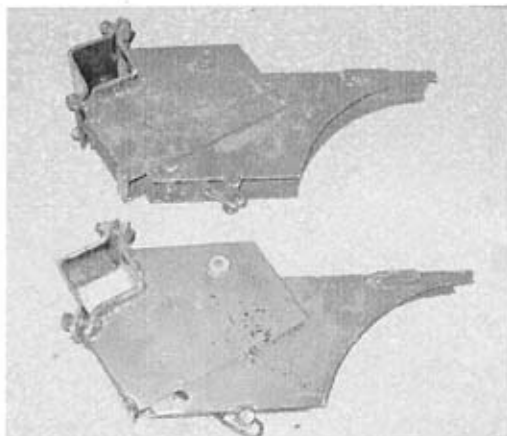
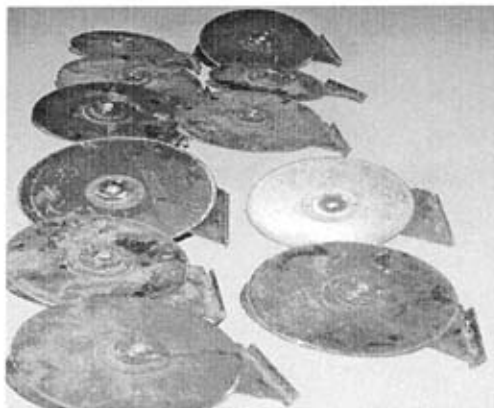
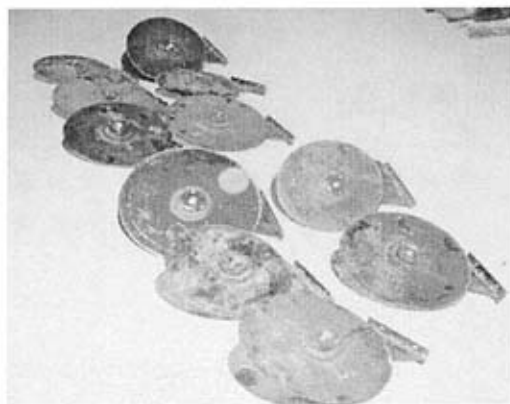
1. 集砂盒 2. 18 目筛网 3. 60 目筛网 4. 入口 5. 采砂盒

图 2-3 风蚀量采沙器结

内。采沙盒的上部是 60 目筛网形成的一个通风屏，它是内外气流流通的通道，外面快速运动的气流进入采沙盒，产生一个压力作用于通风屏上，从而推动空气排出采沙盒。因为土壤颗粒的运动会造成采集到的土壤颗粒的额外破碎或增加细小的土壤颗粒通过 60 目的筛网损失掉，为此在集沙盒内部与进沙口下部平齐的部位安装了 18 目筛网，它主要用于降低沉积下来的土壤颗粒的运动，同时也可以减少杂质(如秸秆、草叶等)进入集沙盒内。集沙盒主要用于盛装沉积下来的沙样。为了减小采集盒与集沙盒组装后出现的缝隙对采沙器采集率造成的影响，采用橡胶密封圈密封连接处。

## 附录 II

双圆盘破茬单体各参数圆盘、连接体、双梁如图所示：



## 个人简历

作者:李叶龙

性别:男

出生日期:1978.10

籍贯:黑龙江省克东县

学历:硕士

毕业院校:黑龙江八一农垦大学

## 在读期间发表论文

李叶龙, 张伟. 大庆地区玉米出苗期土壤温度影响的试验研究[J]. 农机化研究. 2007, (5) 153~154