

沈阳农业大学

硕士学位论文

1HS-1.2型中耕深松机蓄水保墒试验研究

姓名：王秀珍

申请学位级别：硕士

专业：农业机械化工程

指导教师：邱立春

20060501

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，也不包含为获得沈阳农业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：王香珍

时间：2006年6月13日

导师签名：邱立春

时间：2006年6月14日

关于论文知识产权和使用授权的说明

本论文的知识产权为沈阳农业大学所有。本人完全了解沈阳农业大学有关保留、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。同意沈阳农业大学可以用不同方式在不同媒体上发表、传播学位论文的内容。

学位论文中的所有内容不经沈阳农业大学授权不得以任何方式擅自对外发表。

(保密的学位论文在解密后应遵守此协议)

研究生签名：王香珍

时间：2006年6月13日

导师签名：邱立春

时间：2006年6月14日

摘 要

辽宁省西部的阜新、彰武等半干旱地区,自然条件恶劣,水资源严重匮乏,旱灾频繁发生,耕作制度上,由于传统的铧式犁耕作,使得耕地存在坚实的犁底层,不仅使土壤通透性和蓄水保墒能力降低,影响土壤中微生物的生存与繁衍,导致土壤的肥力下降,而且抑制作物根系向土壤深层延伸,严重影响了农作物正常的生长发育,从而使作物产量下降。

针对上述问题,应用自行设计的 IHS-1.2 型中耕深松机,在伏雨前对田间作物进行中耕深松,使土壤形成虚实并存的结构,满足干旱少雨地区土壤蓄水要求,使土壤充分吸收雨水,满足作物生长的水、肥、气、热条件,促进作物根系的生长发育,实现保水、保土、保肥、保护环境,促进农业可持续发展。

本论文研究是辽宁省十五科技攻关项目“保护性耕作技术研究及机具研制”中的重要内容,试验工作是在辽宁省阜新县“国家 863 项目”试验基地完成。

本论文的主要研究内容及成果如下:

1. 通过 IHS-1.2 型中耕深松机进行田间总体试验设计,确定中耕深松深度为 20cm,前铲型式为小翼铲,前后铲距为 70cm,后铲型式为小凿铲,配套的动力最小为 25 马力的拖拉机;对 IHS-1.2 型中耕深松机的仿形机构中的弹簧和仿形轮以及深松机构中的连接钢筋和铲柱连接片进行结构改进。

2. 通过对改进后的 IHS-1.2 型中耕深松机进行田间试验,根据中耕深松的农机技术要求和农艺要求检测分层深松对作物和土壤影响及机具的作业适应性;并对土壤理化指标进行监测;研究玉米、谷子和花生等主要作物在中耕深松或不深松时土壤理化指标变化(含水量、孔隙度、温度和有机质的变化),通过方差分析说明在置信度为 95%的情况下,中耕深松对玉米地土壤的理化指标影响最显著,其次为谷子地土壤的理化指标,最后为花生地土壤的理化指标。

3. 通过田间观测和对比研究中耕深松和不深松时玉米、谷子和花生等主要作物生长发育情况,通过方差分析说明在置信度为 95%的情况下,中耕深松对玉米的生长发育指标——株高、茎粗影响显著,对其穗长、穗粗影响较不显著;对谷子的生长发育指标——株数和株高影响显著,对其穗长、穗粗影响较不显著;对花生的生长发育指标——单株果重影响不显著。

4. 重点对玉米的根系进行研究, 用薄膜法和交叉法对深松和未深松的玉米根系根长和根系根长密度进行研究比较, 以每 10cm 深度的土壤划分为一个层次, 在共 80cm 的土壤深度中, 深松后玉米的根系根长为 373. 21cm, 根系根长密度最大为 0. 04cm/cm³, 最小为 0. 01 cm/cm³, 未深松玉米的根系根长为 263. 21cm, 根系根长密度最大为 0. 0275 cm/cm³, 最小为 0. 005cm/cm³。

5. 对中耕深松机械化技术进行效益分析, 说明中耕深松可以减少径流、水蚀, 减少风蚀, 抑制沙尘暴; 可以使土壤蓄水量增加, 提高土壤肥力; 重点调查中耕深松和未深松玉米的产量和机械化作业成本, 表明农民种植每公顷玉米可以纯收入 2391. 26 元; 从土壤蓄水量增加, 提高土壤肥力等方面进行生态效益分析, 论证 1HS-1. 2 型中耕深松机在农业生产中的运用具有可行性和推广性。

关键词: 深松机, 中耕, 深松, 蓄水保墒, 试验研究

Abstract

Fuxin and Zhangwu etc. the western half arid area of Liaoning province, the nature condition is bad, short of water seriously, drought happens continually, and because of the traditional plowing system is in existence, it makes the soil has solid plough sile, which not only makes the ability of ventilate and stored water reduce, but also inhibits the microorganism of soil from breeding, which not only lead to the fertility of soil decrease but also inhibits the root system of crop from extending the depth of soil, which influences seriously the development of crops, and leads to the output of crops drop.

Aimed at the above problems, applying the 1HS-1.2 subsoiler which is designed by ourselves, subsoiling the crops in fields before rains, to make the soil has the structure of virtual and solid and absorb the rainwater, which satisfied the need of crops to absorb "water、fertility、gas、heat", accelerating the root system of crops, realizes protecting water、protecting soil、protecting fertility、protecting environment, promoting sustainable development of agriculture.

Study of this dissertation is important content in "study of technology for preventive tillage and manufacturing the machine" of the ten-five science and technology and tackle key problem in Liaoning province, the experiment is carried in basic field of "China's 863 items" in Fuxin county of Liaoning province.

The production of research is as follows:

1. Through the overall experiment and design for 1HS-1.2 subsoiler, ascertaining the depth of subsoiling is 20cm, the front shovel is small wing-shovel, the distance of front shovel and back shovel is 70cm, the back shovel is small chisel-shovel, the corresponding power is 25 horse-powered tractor; Improving the structure of 1HS-1.2 subsoiler, which is spring and profile modeling wheel of profile modeling structure and connecting reinforcing steel bar and connecting slice of shovel's pillar of subsoiling structure.

2. Testing in field for the improved 1HS-1.2 subsoiler, thinking about the requirement of agricultural machine agricultural of subsoiling, examining and testing of the influence of layered subsoiling to crops and the adaptation of machine; Observing and testing of the physical and chemical index of the soil: Researching changes physical and chemical index (moisture、the degree of hole、temperature and the

organic substance) of soil about the maize、millet and earthnut etc which is subsoiled or no subsoiled, on the condition of 95% of the trustful degree ,through variance analysis and showing, the influence of subsoiling to maize is the best remarkable, the second is millet and the last is earthnut.

3. Observing and comparing the development of the maize、millet and earthnut, on the condition of 95% of the trustful degree ,through variance analysis and showing, the influence of subsoiling to height and thick of maize is remarkable, the influence to length and thick of spike is less remarkable; the influence to height and number of millet is remarkable, the influence to length and thick of spike is less remarkable; the influence to fruit of single plant of earthnut is not remarkable.

4. Researching about the root system of maize is stressed, contrasting the length and density of main root which is subsoiled or no subsoiled by means of intersect and means of film, one layer of soil is 10cm, the total depth of soil is 80cm, the length of subsoiled root system is 373.21cm, the longest of the density of root system is $0.0438\text{cm}/\text{cm}^3$, the shortest one is $0.0075\text{ cm}/\text{cm}^3$,but the the length of no subsoiled root system is 263.21cm, the longest of the density of root system is $0.0275\text{ cm}/\text{cm}^3$, the shortest one is $0.0050\text{ cm}/\text{cm}^3$.

5. Analysis of benefit of mechanized and subsoiling technology, showing subsoiling can reduce runoff、water erosion 、wind erosion and inhabit sand and dust; investigating the output of maize is stressed, analysis of benefit of economy from increasing the output of maize and decreasing the cost of task through contrasting, showing the income of farmer who grows a hektare's maize is 2391.26 yuan; analysis of benefit of zoology from increasing the stored water ability and fertility of soil, showing it has feasibility and promotion that 1HS-1.2 subsoiler exercises in agricultural manufacture.

Keywords: subsoiler, cultivation, subsoiling, conserve moisture, experiment and research

第一章 绪论

1.1 研究的目的和意义

干旱是一种自然现象，也是世界性问题。旱地农业是指在半干旱地区依靠天然降水从事生产的农牧业以及一些有限补墒灌溉的农牧业。我国是世界主要的干旱国家之一，旱地面积占全国总耕地的 75%。解决旱作农业生产问题是促进农业可持续发展，保证粮食安全的关键。

辽宁省西部地区自然条件恶劣、严重缺水、旱灾频繁发生、水土流失严重、土壤肥力不足、持水能力低下，尚属“雨养农业”，靠天吃饭。在这些无灌溉条件的旱区，通过改善耕作措施，提高土壤蓄雨纳肥能力和自然降雨的利用是发展旱地农业生产，实现保水、保土、保肥、保护环境，促进农业可持续发展的重要途径。

土壤机械化中耕深松机蓄水保墒试验研究是针对辽宁西部半干旱地区土层浅薄、年降水量低，且降水集中、水土流失严重的特点，结合辽宁省十五科技攻关课题“辽宁省保护性耕作技术研究及机具研制”内容，以辽宁西部阜新、彰武县境内的农业部级保护性耕作示范区作为研究试验基地，应用 1HS-1.2 型中耕深松机，通过土壤深松试验，系统地研究机械中耕深松对土壤蓄水保墒的影响。通过农机与农艺相结合，选择适宜的中耕深松作业机具、作业时间和作业生产工艺，达到田间蓄水保墒，改善作物生长环境。

1.1.1 我国旱作农业地区水资源概况

(1) 旱作农业

关于旱作农业（简称旱农）的定义，英、美大百科全书阐述为“旱农是指在有限降水，典型的是在年降水量少于 500mm 的地区，不采用灌溉而种植作物的农业”或“旱农是指在有限降水的半干旱气候或地区从事无灌溉的作物生产。”我国的学者定义为“旱农是旱地农业的简称，是指降水量有限且季节分布不均，年季变化较大，又没有或无力引用外加水资源的半干旱和半湿润易旱区的‘雨养农业’。在这种条件下从事的农业生产的地区，称为旱农区。目前，世界上干旱、半干旱地区的主要依据是年均降水量。一般把降水量在 200mm 以下的地区，划分为干旱区，属无农业区；年降水量 250~500mm 的地区，划分为半干旱区，为旱农地区的主体。我国干旱、半干旱地区占全国土地面积的地区，划分为半干旱区，为旱农地区的主体。我国干旱、半干旱地区占全国土地面积

的 52.5%，其中降水量 200mm 以下的干旱区占国土总面积的 30.8%；其余为年降水量 200~600mm 的半干旱地区。

(2) 我国旱作农业区水资源严重缺乏

我国水资源量 2.8 万亿 m^3 ，人均占有水资源量为 2200 m^3 ，约为世界人均占有量的 1/4，耕地单位面积占有水资源量 21600 m^3/hm^2 ，仅为世界平均值的 2/3，干旱缺水成为我国北方地区的主要自然灾害。

这种水资源紧缺和水土资源的极不匹配，导致了我国水旱灾害频繁发生。几乎所有耕地的绝大多数作物都需要不同程度的灌溉。干旱缺水与国民经济发展和人口增长对水需求的日益增长的不协调，导致我国水危机日益严重。近年来河川断流、湖泊干涸、地下水位持续下降等水危机特征在华北、西北、东北以至全国均频繁出现和加剧。目前全国灌溉面积仅占总耕地面积的 42%，干旱缺水严重制约了农业乃至整个国民经济的发展。且随着国民经济迅速发展和人口急剧增长，干旱缺水状况呈不断加剧趋势。据统计，1949 到 1998 年，全国平均每年受旱面积为 2160 万 hm^2 ，约占全国播种面积的 17%，其中成灾面积 873 万 hm^2 ，占全国播种面积的 7%。1988 年至 1998 年的 10 年间全国每年受旱成灾面积达 1000~1333 万 hm^2 ，减产粮食 100~200 亿 kg。进入 21 世纪，我国每年农田受旱面积达 700~2000 万 hm^2 。全国 669 座城市中有 400 座供水不足，110 座严重缺水。干旱缺水的基本国情决定了我国农业必须走节水的道路。

1.1.2 辽宁省西部地区的基本情况

辽宁省西部是指有代表性的阜新地区—阜新蒙古族自治县。它隶属于辽宁省阜新市，地处辽宁省的西北部，地理坐标为东经 121° 01' 14" ~122° 25' 51"，北纬 41° 44' 39" ~42° 34' 13"。北与内蒙古自治区的奈曼旗、库伦旗、科尔沁左翼后旗接壤，西与辽宁省朝阳市北票（市）相邻，南与辽宁省锦州市义县、北宁市、黑山县相连，东与彰武县毗邻。县境东西长 114km，南北宽 83.2km。地理位置优越，京沈铁路（西线）和 101 国道从境内穿过，是东北与关内联系的交通要道之一。东距沈阳、南距锦州，均在 200km 范围内，具有明显的区位优势。

(1) 辽宁省西部地区自然情况

1) 气候条件 阜新自治县属温带半干旱季风大陆性气候区，总的气候特点是：春季干旱多风，夏季炎热，昼夜温差大，秋季冷凉早霜，冬季寒冷少雪。全县多年平均气温

7.2℃,作物生长季平均气温 20.2℃,大于 0℃日数为 231d,活动积温为 3667.8℃;大于或等于 10℃积温日数为 169d,有效积温为 3298.3℃,无霜期为 144d。本区多年平均年降雨量为 423mm,年内分配不均,其中春季占 12.3%,夏季占 68.5%,秋季占 17.7%,冬季占 1.5%。

年平均蒸发量为 1847.6mm,平均干燥度为 3.7 左右。全县平均风速为 3.4m/s,六级以上大风日数平均为 74.8d,其中春季 35.1d,秋季 3.8d。由于春季降水少,风大,十年九春旱。本区适种植物有玉米、高粱、谷子、糜子、马铃薯等,在局部有灌溉条件的地区也可以种植春小麦等作物,是典型的一年一熟旱作农业区。

2) 地貌与水系 阜新蒙古族自治县地处科尔沁沙地的南缘,属低山丘陵区,地势由西北向东南依次为低山、丘陵、缓丘和平原,其中低山、丘陵和平原面积分别占总面积的 3.6%、86.3%、10.1%。有河流 20 余条,分别汇入大凌河、绕阳河和柳河 3 个水系。

3) 土壤和植被 本区地带性土壤为褐土和棕壤,且以褐土为主,褐土占总面积的 71%,余者为棕壤、草甸土、盐土、风沙土等。土壤有机质含量较低,平均仅为 10.7g/kg,土壤严重缺磷少氮。本区植被属于华北植物区系和内蒙古植物区系的交错地带。据调查现有植物 109 科,407 属,902 种。主要树种有油松、杨树、山楂、梨、杏、李、沙棘等。县内草场主要为丘陵草丛草场、草甸草原草场等类型。全县林草覆盖率仅为 38%。

4) 人口和耕地 全县下辖 36 乡镇,1 个国营农场。有人口 72.9 万,其中农业人口 66.9 万,城镇人口 6.0 万,劳动力 25.0 万人。现有耕地 23.73 万 hm^2 ,农村人均耕地 0.36 hm^2 ,比辽宁省农村人均耕地 0.19 hm^2 多出 0.17 hm^2 ,丰富的土地资源是阜新县农业和农村经济发展的优势条件。

(2) 辽宁省土壤耕作情况

多年以来,辽宁省机耕一直以铧式犁作业为主。由于过度的翻、耙、压机械作业引起了土壤风蚀加剧、土壤团粒结构破坏、犁底层增厚、土壤失墒、肥力下降和干旱。这种传统耕作,机器多次进地完成灭茬、翻、耙、压、起垄镇压等基本耕作工序,从而造成作业成本和油料增加,土壤压实而致使机耕质量差,经济效益低。

1) 耕地作业质量下降 辽宁省农田作业以中小型动力为主,其中小四轮拖拉机保有量约为 13.7 万台。联产承包后,耕地划分零散,农机分散在千家万户,无法集中管理,大、中型农业机械作业受到限制,经营规模小,土地耕作出现混乱局面,有些土地耕翻达不到标准,农机作业质量下降,造成了犁底层上升,耕作层变浅(约 10~15cm),

土壤板结，有机质下降（1.2%降至0.6%左右），地力减退，严重影响粮食产量提高。

2) 土壤压实严重 由于作业机具性能单一，耕作工序多，致使机组进地频繁。据统计，按传统的耕作方式完成一年的农田作业，机组进地次数达10余次。使土壤多次被压实，严重的影响了土壤的三相比，造成土壤理化性能恶化，妨碍作物根系吸取土壤深层水份和营养，阻挡水分的渗透，加重水土流失，使作物生长性能下降。

3) 水土流失，地力下降 辽宁省普遍采用传统耕作方法，这样会引起灾害性的土壤侵蚀，长此下去土壤结构遭破坏，造成地力减退。由于过度耕作，土壤被压实之后，其渗透率低，雨的径流量大，加剧了土壤的水土流失，风蚀和水蚀，表现出农业生产受自然灾害的影响越来越大，抗逆性差。

阜新地区的气候条件和土壤特点十分适宜进行保护性耕作。美国农业部水土保持专家兰瑞·瓦格纳博士、国家农业部保护性耕作研究中心主任高焕文教授、辽宁省政府参事著名农机专家李宝筏教授等先后来阜新，对阜新地区机械化保护性耕作工作进行考察和论证。在专家的指导下，结合阜新耕作习惯、作物品种、机具装备等实际条件，提出了适合阜新机械化保护性耕作的六种技术模式，即“旋耕覆盖模式”、“灭茬覆盖模式”、“重耙覆盖模式”、“高留茬耕播模式”、“深松覆盖技术模式”和“免耕覆盖技术模式”。通过研制开发和引进推广适用的机械设备，改革耕作制度，实现工程措施和农艺、生物措施的结合，形成一整套适合本地特点，系统的、综合配套的、经济适用的机械化保护性耕作技术模式。

1.1.3 中耕深松技术

土壤耕作是农业生产上的一项重要作业，它是改良土壤不良性状的常规措施，通过耕地为作物正常生长创造一个良好的耕层结构和表面状态，以改善土壤肥力条件，达到提高土地生产率，增加作物产量的目的。过去，土地耕作采用同层耕翻，即在犁铲的挤压与摩擦作用下，使耕层底部土壤的自然结构遭到破坏，变成坚硬的犁底层，破坏了土壤原有的通透性，影响作物根系的伸展发育，对此，现在的农业生产采用新的耕作方式，例如，中耕深松技术就是典型的农业生产中改进耕作方式的实例。

(1) 土壤深松的重要性

土壤深松是获取农作物高产必不可少的一项机械化作业项目。它有两大大作用：其一是打破犁底层，消除土壤的压实效应；其二是消除多种土壤障碍，用于土壤改良。

耕地土壤由于人畜的践踏和机器轮子的碾压而被过度压实，特别是由于铧式犁年复一年的耕翻，在耕层底部形成坚硬的犁底层。中国科学院地理研究所等单位，对我国犁底层的调查研究结果表明：无论是在平原、丘陵，还是在小于 15° 坡耕地和梯田内，都普遍存在犁底层——畜力耕作田地的犁底层一般出现在 12~15cm 深处，厚度约 8~10cm；拖拉机耕作田地的犁底层，其深度位于 25~30cm 处，厚度约 15cm。土壤被压实后，由于土壤中孔隙减小，使土壤的渗水性和透气性降低而造成水土流失和被侵蚀。又由于不能充分供给氧气和排除二氧化碳、硫化氢、甲烷等有害气体，阻碍根系正常新陈代谢和其它生理功能。由于土壤中的气、热交换不充分，影响土壤中起保氧作用的微生物的生存和繁衍，导致土壤肥力下降。由于犁底层的存在，作物根系不能穿孔通过，而只能在犁底层以上卷曲生长；由于犁底层的阻隔，下雨时降水不能入渗而形成地表径流，以至造成严重的水土流失；当干旱缺水时，由于犁底层的阻隔，下层土壤水不能上升供应作物的生长所需。当犁底层一旦被打破，作物根系就能舒展生长，降水充分入渗，干旱时下层土壤水又可上升供养作物，这就为作物的高产创造了良好的土壤条件。

表 1-1 我国中低产田的类型及治理方法

Table 1-1 Output contrast of the middle-and-low-yielding fields in China

类 型	瘠薄地	坡耕地	干旱地	盐碱地	渍涝地	风砂地	潜育化稻田
数量/万 hm^2	2440	1300	1020	533	526	466	426
治理方法	深松施 有机肥	缓坡地深 松作业	深松加土 表覆盖	深松加罐 水洗盐	深松加 排水	植树 种草	深松作业

表 1-1 表明，在我国中低产田的 7 种土壤障碍中，除风砂地外，其余六种都需要采用深松作业作为治理措施。

(2) 深松垄作技术

在耕作制度中所用的深松工具有凿形深松铲、鸭掌铲、双翼铲、形似双翼铲但翼展更宽的箭形铲以及铲刃与前进方向垂直（即铲刃横置）的宽幅的全方位深松铲，除了后者作业后土层剖面全部疏松外，其余犁型作业后在耕层内相邻铲之间均剩有三角形未经疏松的土层，其断面大小因铲间距和作业深度而异，但接近地表的土层均是疏松的。因此，在平作基础上深松后的耕层构造均属全松（或全虚）构造。

深松垄作的特点是在垄作中分层深松、土层不乱、间隔深松、虚实并存、耕种结合、耕管结合。“耕种结合、耕管结合”是原垄作耕法特点的继承，深松垄作的特点主要体

现在“分层深松、间隔深松”上。

表 1-2 垄作深耕与平作根系、产量对比

Table 1-2 The roots and output contrast of ridge culture deeps plough and being flat

耕 法	株高/cm	茎粗/cm	根深/cm	侧根数/条	株根瘤数/个	产量/kg	增长幅度/%
三深耕法（垄作）	79.3	0.63	29	55	56	128	137
平翻耕法（平作） ¹	64	0.40	18	34	34	93.7	100

分层作业，即前铲松上层，后铲松下层，以求土层不乱、耕后土壤散碎适度和在深松部位耕层中无土块架空。分层深松不同之处在于深松时上下土层均不翻转，表土、底土位置不变，使底土层在原地熟化。

深松垄作的独特之处是创造“间隔深松、虚实并存”的耕层构造。深松铲宽 7cm，深度 25~27cm，相邻两深松铲距为 35cm 或 70cm，因此形成了固、液、气三相比很不相同并同时存在的耕层构造。深松部位通透性很强，可大量渗透雨水，可使伏雨变成春墒，解决翌年春旱问题。实部位有丰富的毛细管体系，使疏松部位所贮水分上升，供给垄台根系。在伏雨季节中，垄沟部位水分多、温度高，不论何种深松方法，根系均向深松部位伸展，直到犁底层以下，根深才能叶茂。

“耕种结合、耕管结合”在继承原垄作耕法的基础上，又有所发展，也就是间隔深松。可在播前进行，也可结合播种进行随播随深松，或者在第一次中耕、铲、耩同时进行深松。深松式的深耕，没有耙、耩、镇压等辅助作业，故可与播种、中耕相结合。

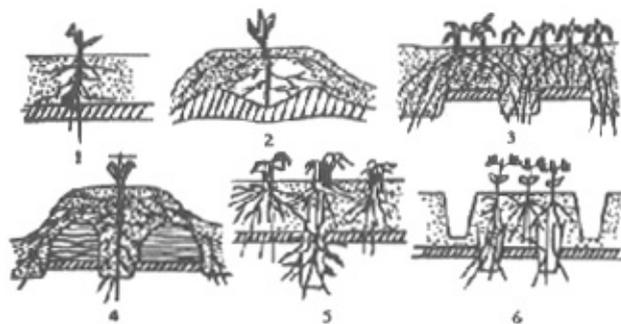


图 1-1 几种耕法的耕层结构及根系分布

Figure 1-1 Topsoil structure and root system distribution of several cultivating method

1. 一平翻耕法，2—原垄作耕法，3—松、耙松耕法，4—垄沟与垄底深松，5—耙茬深松，6—低湿地台田深松

(3) 深松垄作的农艺学基础

中耕深松的核心是“分次局部深松”、“间隔深松、虚实并存、用养结合”与“耕种

结合、耕管结合”。

1) 深松降低了土壤容重, 增大了孔隙度 深松的松土作用因土壤的类型而异。例如, 黑钙土、白浆土与盐碱土上可降低土壤容重分别为 $0.02\sim 0.15/\text{cm}^3$ 、 $0.04\sim 0.18/\text{cm}^3$ 和 $0.10\sim 0.19/\text{cm}^3$ 。同理, 深松增大土壤孔隙度为 $5\sim 10\%$, 因土而异。深松耕法松土作用的持续时间在黑钙土上为 2 年, 白浆土与盐碱土均为 1 年。

2) 协调了土壤的三相比例 土壤由固体、液体、气体三种成分组成, 即所谓土壤的“三相”, 它们是相互联系和相互制约的, 深松能协调土壤三相的比例关系, 因而能协调土壤中水、肥、气、热四种要素。一般深松耕法如在黑钙土、白浆土与草甸土上可使固相减少 $5\sim 10\%$, 深松可使固相减少 $1\sim 3\%$, 深松后下雨可使液相增加 2% 左右, 可使气相增加 $5\sim 15\%$ 。

3) 促进土层内热量变化, 有利于作物生长 耕层的热量来源于太阳光辐射, 要提高地温就得增加土壤的热容量和降低土壤的散热性, 即降低其导热系数。所谓热容量就是单位体积的物质温度增高 1°C 所需的热量。导热系数就是物体传热的性能。

深松耕法是调节土壤“三相”比例的重要手段。一般深松后, 耕层土壤的固相很少, 气相增加, 因而吸热多, 增温快, 空气导热系数较小, 散热慢、保温好。因而深松区比对照区的地温可高出 $0.5\sim 1.0^\circ\text{C}$ 。由于土壤“三相”中水分的热容量为最大, 对土壤的温度影响也大, 故土壤水分少时土壤就容易增温。

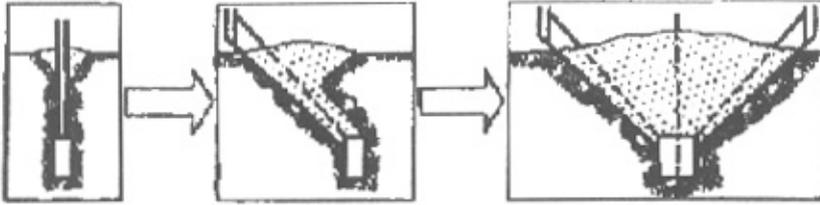
4) 中耕深松促进用地养地结合 深松耕法创造了“虚实并存”的耕层结构, 虚部为垄沟与深松过的垄体下部或垄台中心部位通气透水、放寒增温, 促进了好气分解, 以用地为主; 而实部如垄台或垄台的两侧未松过土的部位及垄台底, 通气透水性差、地温较低, 以嫌气分解、腐殖化过程和养地方法。

5) “虚实并存”使耕层兼备蓄水与供水功能 虚部容量较小, 大孔隙较多, 便于蓄积多余的大气降水。实部容重较大, 大孔隙较少, 小孔隙较多, 土壤较密接, 便于毛细管输送水分。再加垄沟便于排水, 就使得耕层具有抗旱涝的能力, 保证了稳产。

1.2 国内外深松机具的研究现状

1.2.1 土壤深松机具的演化过程

国内外土壤深松机具的发展, 经历了耧式犁——偏柱犁——全方位深松机三个演化进程, 见图 1-2。



凿式铲 (Chisoleq shovel) 偏柱犁 (Leaning columned plow) 全方位深松机 (Omni-directional subsoiler)

图 1-2 土壤深松机具的演化过程

Figure 1-2 Evolutionary process of subsoiler of soil

(1) 凿式铲类深松机具

凿式深松铲的结构特征是由铲柱和凿尖组成工作部件，无论铲柱后倾或是制成曲线型，它们在横垂面内的投影总是铅垂的。工作时竖直的铲柄与凿尖撬动土壤，使土壤松碎。但在稍深的土层处，铲柄与凿尖对两侧土壤产生强烈挤压，反而使土壤压实而无松碎作用，并使能耗增大。这类深松机具耕作阻力大，松土范围非常有限，其松土系数不足 0.3，并且在松后的土层中留下竖直的沟缝，导致跑墒和水土流失。

(2) 偏柱犁

80 年代初期，英国人首创偏柱犁，或称弯腿犁、巴拉犁。偏柱犁的结构特征是其犁柱在横垂面向内一侧偏斜，并在其下端装置横向水平刀。偏斜的刀杆扩大了对土壤的撬动范围；偏置刀杆与底部水平刀组合的结果使土堡产生抬升运动，一部分土壤受到拉伸而破坏。这类深松机具在减少阻力和扩大松土范围方面比凿式铲有实质性进步，但松土系数提高不多。由于是不对称工作部件，在受力和布置方面不合理。

(3) 全方位深松机

80 年代初期，在偏柱犁出现的同时，前苏联将一种用于铺设暗管的梯形框架式工作部件用于土壤深松，获得良好效果，称之为全方位深松机。全方位深松机的结构特征是其深松部件由左右对称的侧刀与一个底刀组成的梯形框架，其周边均为刀刃。工作时深松部件从土层中切离出梯形截面的堡条，并使它抬升、后移，通过两侧刃和水平刀刃，从框架中流出，继而下落铺放到田里。在此过程中堡条受剪切、弯曲和拉伸等作用而得到松碎，因而具有松土范围大、碎土作用强的特点。

1.2.2 国外深松机具的研究现状

目前，国外新型的深松机具主要有弯腿犁、振动深松机和主被动联合耕作机三种。

(1) 弯腿犁

Williams Cooksley 及 Pidgeon 等人自 80 年代开始研究弯腿犁(bentleg plow), 加拿大的 Harrion 设计了一种弯折 45° 角的弯腿犁, 见图 1-3, 弯折部分具有 15° 的起土角, 利用起土角取代凿形齿进行碎土并提高机具的入土性能。这种弯腿犁的牵引能耗与传统的竖直式心土犁相似, 工作时竖直的铲柄与凿尖撬动土壤, 使土壤松动, 其松土碎土的效果更好, 见图 1-4。

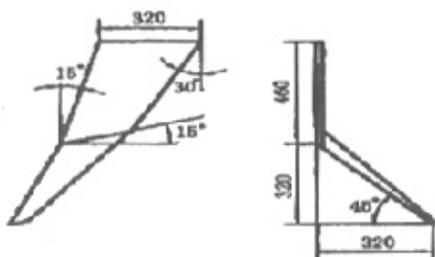


图 1-3 弯腿犁的形状和尺寸

Figure 1-3 The Shape and size of bentleg plow

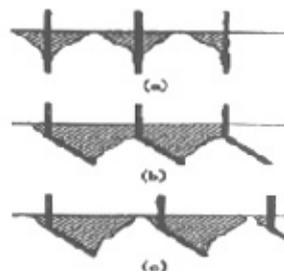


图 1-4 竖直深松铲和弯腿犁深松效果的比较

Figure 1-4 Subsoiling effect comparison of Vertical deep loose shovel and bentleg plow

(2) 振动深松机

日本 Sakai 等人设计与中型拖拉机(30~45kw)配套的四铧振动深松机并对其进行了试验(1993), 确定了最佳参数。当齿尖的振幅为 50mm, 振动频率为 3.4Hz, 振动角 30° 时, 其牵引力比刚性深松机减少 40%, 而总功率仅增加 2%左右。拖拉机的牵引力通常受到轮胎和土壤之间的附着能力的限制, 而不是受到发动机功率的限制, 这种限制使得发动机的功率不能充分利用, 造成油耗成本过高、作业效率低下并破坏耕地的土壤结构。虽然这种振动深松机的总功率略有增加, 但由于牵引阻力的减少则可大大改善拖拉机的牵引性能, 提高发动机的功率利用率, 见图 1-5。

(3) 主被动联合耕作机

为了使拖拉机发动机功率的利用率提高。美国的 Shinners 等人设计了一种主被动联合耕作机具。这种机具由两个凿铲式被动工作部件和两个旋转式主动工作部件组成。旋转工作部件是由动力输出轴通过锥齿轮减速器和链传动驱动的, 正向旋转, 因此它的牵引阻力为负值, 即它本身对机具产生一个驱动力。这样整个机组的总牵引阻力大大减少, 见图 1-6。

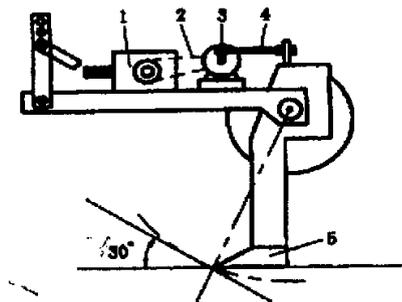


图 1-5 振动深松机的结构简图

Table 1-5 Diagram of mechanism of vibrating subsoiler

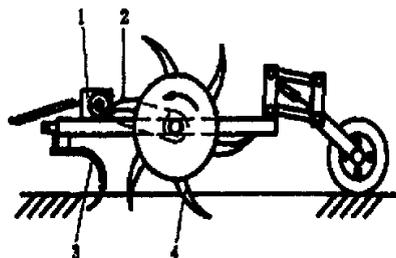


图 1-6 主被动联合耕作机的结构简图

Table 1-6 Diagram of mechanism of combining active and passive tillage elements

图 1-5 中, 1—减速箱, 2—链传动, 3—被动工作部件, 4—主动工作部件

图 1-6 中, 1—减速箱, 2—链传动, 3—链传动, 4—连杆, 5—凿形齿

1.2.3 国内深松机具的研究现状

我国目前的深松机按工作部件不同可分为: 凿形铲式深松机、全方位深松机、带翼柱式深松机和振动式深松机等。

(1) 凿形铲式深松机

该机型是山西旋耕机厂生产的新产品, 有五铲式和两铲式两个机型。该机的松动铲为凿形铲, 实际上是一矩形断面铲柄的延长, 其下部按一定的半径弯曲, 铲尖是凿形, 凿形铲的宽度为 20mm (见图 1-7)。利用铲尖对土壤作用的过程中产生的扇形松土区来保证松土的宽度, 对土壤耕层的搅动较少, 深度可达到 20~40cm, 但不将底层土壤翻至表层。该机具有深松后地表起伏不明显、土壤疏松适度、耕后沟底形成暗沟、能耗低等特点。根据作业需要, 深松深度可调。

(2) 全方位深松机

全方位深松机是利用 V 形深松器对土壤进行深松, 其碎土机理如图 1-8 所示。该机型深松区域大, 松土系数高达 0.77。全方位深松机用于旱作土地打破犁底层, 显著改善土壤的蓄水保墒能力, 对治理干旱缺水地、土层瘠薄地、盐碱地、渍涝地、缓坡地、黏重土壤等多种土壤障碍均有显著效果。

(3) 带翼铲柱式深松机

由中国农业大学研制的 1SY-210 型凿形带翼深松机 (如图 1-10 所示) 是由三个可

调翼式松土铲组成，采用双梁结构，以增大两相邻松土铲的距离来保证在秸秆覆盖地的通过性能。翼铲对称安装在铲柄的两侧，两个翼铲的铲尖水平距离为 70cm，翼铲的入土角为 17° 。



图 1-7 IS-5 型凿形铲式深松机

Table 1-7 IS-5 chiseled shovel type subsoiler

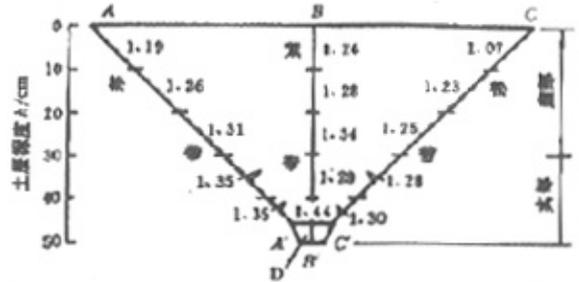


图 1-8 全方位深松后断面内的土壤容重分布

Table 1-8 Distributing of Soil's Rengzhong after omni-directional subsoiling

翼铲对土壤的作用机理与铲尖相似，在铲尖松动范围内的翼铲对浅层土壤进行二次疏松，可明显降低表层土壤的密度差别，提高了全面松动表层土壤和地表均匀的能力。

翼铲扩大了深松铲对土壤的松土范围，实现了土壤表层的全面深松，底层隔离深松，提高了单柱式凿形铲的松土质量。带翼柱铲式深松机在土壤表层可以像全方位深松机一样，全面疏松土壤，保持较平整的地表，在表层又可以像凿形铲一样间隔地疏松土壤。利用这种深松机可以为密植作物保护性耕作法准备良好的种床，而且不像全方位深松机那样需要大功率的拖拉机牵引。

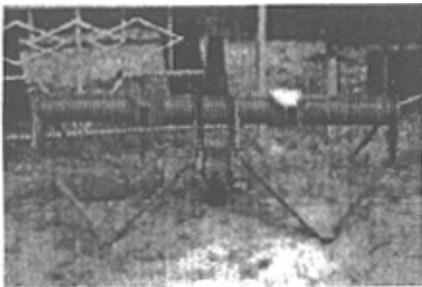


图 1-9 ISQ-250 型全方位深松机

Table 1-9 ISQ-250 omni-directional subsoiler

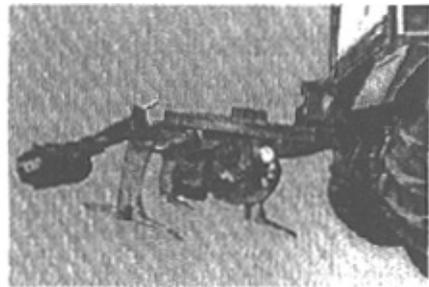


图 1-10 ISY 型凿形带翼深松机

Table 1-10 ISY Chiseled subsoiler with wings

(4) 振动式深松机

针对一般深松机存在的动力消耗大等问题，河北省农机修造服务总站研制了

1SZ-60 型（见图 1-11）和 1SZ-360 型（见图 1-12）振动式深松机。主要由机架、主轴（传动装置）、犁体、脱草装置、限深装置、切草装置等六部分组成。其中松土犁体采用锄铲式振动结构，能在作物残茬、秸秆粉碎覆盖地表的地上，既深松不翻垄，又松动了土壤，还打破犁底层，满足了保护性耕作农艺要求。1SZ-160 型振动深松机为单行，1SZ-360 型为三行，采用三点悬挂与拖拉机挂接，后动力输出轴转速 500~800r/min。该机单行犁体深松宽度 60cm，振幅约 15mm。



图 1-11 1SZ-60 型振动式深松机

Table 1-11 ISZ-60 vibrating subsoiler

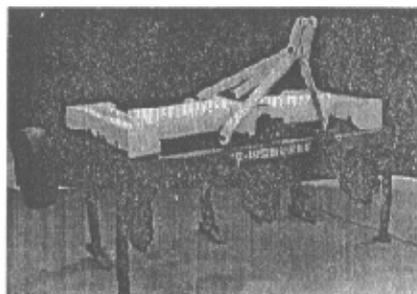


图 1-12 1SZ-360 型振动式深松机

Table 1-12 ISZ-360 vibrating subsoiler

1.3 本论文研究的主要内容

本论文是在 1HS-1.2 中耕深松机的研究基础上，通过对土壤中耕深松试验，研究土壤深松前后的理化指标的变化以及蓄水保墒的能力；研究采用不同深松作业机具和作业方法对田间作物的影响以及改善作物生长环境的程度，为新一代深松机的优化设计，结构改进以及性能评价提供科学的依据。具体研究内容：

(1) 对 1HS-1.2 型中耕深松机主要工作部件的性能测试和牵引试验，检测机具的结构设计，确定工作部件的选型及配套动力的选择。

(2) 对 1HS-1.2 型中耕深松机田间试验，检测分层深松对作物和土壤影响及机具的作业适应性；为新机具的结构设计、改进与完善提供理论依据。

(3) 土壤（田间）含水量和理化指标的连续监测试验：研究深松或不深松，土壤蓄水、蒸发规律，确定最佳中耕时间（季节）和最佳中耕深度，研究玉米、谷子和花生等主要作物中耕深松或不深松土壤理化指标的变化（含水量、孔隙度、温度和有机质的变化），分析并说明中耕深松对不同作物土壤理化指标的影响。

(4) 田间观测和对比研究中耕深松和不深松时玉米、谷子和花生等主要作物生长

发育情况，并重点对玉米的根系进行研究，分析并说明中耕深松对不同作物生长发育的影响。

(5) 对中耕深松效果进行社会效益、经济效益和生态效益的分析，评价 1HS-1.2 型中耕深松机在农业生产中推广应用的可行性。

1.4 拟解决的关键问题

本课题拟解决的关键问题是：

(1) 通过田间试验主要是对深松前后及使用不同深松机具进行作业后土壤蓄水保墒及土壤含水量的研究进而实现对原有 1HS-1.2 中耕深松机机具进行选型和结构的改进，使其综合性能达到进一步优化。

(2) 对改进后的 1HS-1.2 中耕深松机进行田间试验，测定并分析中耕深松对玉米、谷子和花生等主要作物土壤含水量的影响程度，并总结中耕深松后土壤水分的蒸发规律。

(3) 测定并分析中耕深松对种植玉米、谷子和花生等主要作物土壤理化指标及生长发育的影响程度，为不同作物进行中耕深松作业提供理论依据。

(4) 研究中耕深松作业对玉米根系生长发育的影响程度，主要对中耕深松和未深松的玉米的根系根长和根系根长密度进行研究对比。

第二章 1HS-1.2 型中耕深松机总体试验设计和改进

1HS-1.2 型中耕深松机是沈阳农业大学的 2004 届硕士研究生王微,徐晓丹等针对辽宁省西部半干旱地区的气候条件和土壤特点,结合作物中耕深松,达到土壤蓄水保墒的目标所研制。

2.1 1HS-1.2 型中耕深松机的结构特点

1HS-1.2 型中耕深松机整机尺寸(长×宽×高,mm):1580×1500×1170,整机重量为 350kg。具体结构如图 2-1,图 2-2 所示。1HS-1.2 型中耕深松机整机由仿形机构、深松机构和悬挂机构三部分组成。

(1) 悬挂机构

悬挂机构包括:横梁、下拉杆、竖直拉杆、斜拉杆、固定片等。

(2) 仿形机构

仿形机构包括:U 型连接块、仿形上横梁、仿形前拉杆、仿形后拉杆、弹簧、弹簧拉杆、前夹片、后夹片、仿形下横梁、轮支撑叉、轮、轮轴等。

(3) 深松机构

深松机构包括:连接钢筋、铲柱连接片、前铲柱、后铲柱、凿型铲、鸭掌铲、双翼铲等。

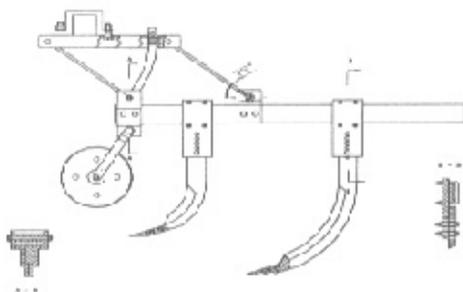


图 2-1 单体主视图

Figure 2-1 Monomer main view

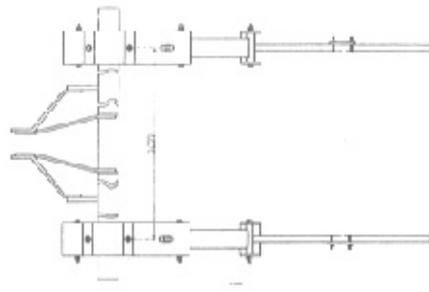


图 2-2 单体横向配置图

Figure 2-2 Monomer landscape orientation configure

2.2 1HS-1.2 型中耕深松机的总体试验设计

2.2.1 1HS-1.2 型中耕深松机的田间试验

(1) 中耕深松试验前的准备工作

1) 试验区的规划 在辽宁省阜新县他本扎兰镇马蹄营子村的“国家 863 项目”试验田中选择一块未耕地进行试验, 该试验田长 70m, 宽 15 m, 在试验时分别在两块地头留有 5m, 作为深松作业机组的调整区, 试验区为 60×15 (长×宽, m) 的中心地带, 试验时的具体情况见图 2-3 和图 2-4 所示。



图 2-3 试验田情况

Figure 2-3 Situation of experimental plot



图 2-4 田间测试现场

Figure 2-4 The testing scene in the field

2) 分层深松的选择与深松铲的配置 本机单体采用两个深松铲纵向配置, 两铲的工作线重合。前后铲的耕深都可调, 但前后铲配合工作时, 前铲比后铲的耕深浅, 即进行分层深松, 采用这种分层深松方法, 实际上是深松垄作耕作技术的发展, 这样在作物苗期进行深松时, 上下土层均不翻转, 表土、底土的位置不变, 使底土层在原地熟化, 更重要的是机组单体的横向影响范围较小, 解决了中耕深度大对作物根系的影响与破坏, 有效的保护了作物的生长环境。

3) 机具的作业深度 中耕深松作业的主要目的是为了打破犁底层, 加深耕层, 蓄水保墒, 增加降雨入渗、接纳伏雨, 增加土壤水库容量。在试验中我们进行实地调查, 当地在长期农业生产中所形成的犁底层在距地表 15cm 左右, 因此将整个机组的耕深确定为 20~30cm 之间, 这样可以减少不必要的动力消耗, 耕深可根据不同地区的土壤耕作状况作在一定的范围之内做出调整。本次试验我们将前铲耕深确定为 10~15cm 之间调整, 后铲在 20~30cm 之间调整。

4) 机具的作业方式 本机采用单横梁挂接两组仿形深松单体, 辽西地区的作物垄距为 50cm, 因此两组单体之间的距离为 2 倍垄距 (100cm), 在不同的地区进行作业时, 单体之间的距离可根据当地的实际情况作出一定的调整, 调节范围为两铲间距, 即 768~1374mm, 以横梁中心为基点进行对称调整, 它们作业时分别与拖拉机两轮的前进方向在同一条直线上, 具体的作业方式如图 2-5 所示。由此, 拖拉机往复工作一趟完成相邻的四垄田地, 在机组作业过程中, 两组单体根据各自的地面状况仿行, 相互之间没有干涉作用。

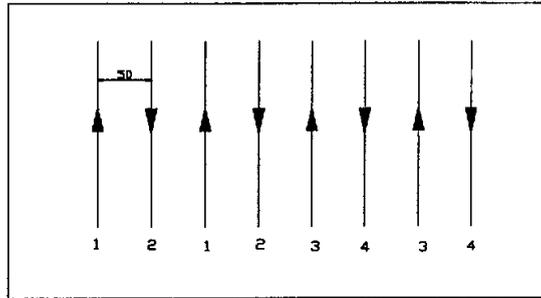


图 2-5 深松机在田间作业方式

Figure 2-5 Farm exercise mode of subsoiler

(2) 中耕深松试验的基本情况

- 1) 试验时间: 2005 年 4 月 15 日
- 2) 试验地点: 辽宁省阜新县他本扎兰镇马蹄营子村的“国家 863 项目”试验田
- 3) 试验设备: 丰收-250 型拖拉机和 1HS-1.2 型中耕深松机组成的深松机组、不同型号的深松工作部件 (鸭掌铲、大翼铲、小翼铲、大凿铲、小凿铲)、解放 141 汽车一台、BLR-3 型拉力表、白色粉笔、卷尺、AZS-2 便携式土壤水分测量仪、土钻、铁锹一把, 数码相机。

4) 试验时土壤的具体情况: 试验区的土壤为褐色砂壤土, 由于在深松时土壤应该处于合适的耕作时期 (适耕期), 其主要取决于土壤含水量, 深松时土壤含水量应该在 13%~22%, 因此, 田间试验时首先对土壤的含水量进行了测试, 测试数据见表 2-1。

表 2-1 土壤各层次的含水量

Table 2-1 Water content of soil's every level

土壤层次 (cm)	0~5	5~10	10~15	15~20	20~25	25~30
含水量 (%)	15.65	20.31	20.44	20.97	22.19	22.80

5) 试验内容和目的: 验证 1HS-1.2 型中耕深松机的结构组成: 通过对 1HS-1.2 型中耕深松机在试验过程中工作指标的测定, 确定合理的前后铲的铲头型式、前后铲之间的距离; 通过对 1HS-1.2 型中耕深松机田间试验的观察对其结构进行改进, 以达到更好的田间作业效果, 满足当地农民的农业生产要求。

6) 试验方法: 采用正交试验设计方法, 通过改变前后铲的铲头型式、前后铲之间的距离和中耕深松的深度, 安排 9 次试验, 记录下每次试验的牵引阻力、上沟槽宽度和下沟槽宽度的数据, 通过方差分析确定 1HS-1.2 型中耕深松机结构的最优组合。

2.2.2 1HS-1.2 型中耕深松机试验设计和方差分析

(1) 试验因素

对 1HS-1.2 型中耕深松机的田间试验进行正交试验设计, 首先选取了四个因素——深松深度、前铲型式、前后铲距、后铲型式, 每个因素选取了三个水平, 见表 2-2 所示。

1) 深松深度 由于长期的传统耕作形成了坚硬的犁底层, 耕作阻力大, 所以打破犁底层后深松深度在很大程度上影响着作业机具的牵引阻力的大小, 进而决定着动力机械的能量消耗, 但是深度太浅又不能达到改善作物生长环境, 提高作物产量的目的, 根据当地实际情况, 本次试验把深松深度确定为 20cm、25cm、30cm 进行调节。

2) 前铲型式 采用分层深松的目的就是土壤耕作后土层均不翻转, 表土、底土位置不变, 使底土层在原地熟化, 而且, 根据农艺的要求, 深松时动土宽度应该合理; 深松后地表起伏不应该太明显。由于前铲在很大程度上影响着松土的宽度, 在试验中选择鸭掌铲、大翼铲和小翼铲进行铲头更换。

3) 前后铲距 中耕深松作业过程中要求机组作业平稳, 作业过程中深松深度、深松间距应保持一致, 前后铲间距在很大程度上影响着上述指标, 而且也决定着深松机的牵引阻力, 经过理论研究分析, 前后铲间距应为 35cm 和 70cm, 本次试验将其定为 3 个水平: 35cm、70cm、70cm (拟水平法——李达, 1998)。

4) 后铲型式 后铲最终影响着深松深度, 深松后土体结构应该是上宽下窄, 土壤上虚下实, 土层深处形成窄道, 有利于蓄水和排涝, 为了达到上述农艺要求, 而且减小深松阻力, 结合前人的研究成果, 在试验中, 选择鸭掌铲、大凿铲和小凿铲。

表 2-2 试验因素及水平

Table 2-2 Experimental factors and their levels

因素 水平	A	B	C	D
	深松深度 (cm)	前铲型式	前后铲距 (cm)	后铲型式
1	20	大翼铲	35	鸭掌铲
2	25	小翼铲	70	小齿铲
3	30	鸭掌铲	70	大齿铲

(2) 试验指标

试验指标是根据中耕深松作业后评价其作业效果的主要参数而确定的,主要有上沟槽宽度、下沟槽宽度和牵引阻力,各自的测量方法如下:

1) 上沟槽宽度和下沟槽宽度的测定:由 FENGSHOU-250 拖拉机 III 档作业,深松机限位轮固定在 30cm 位置,深松过后的土壤会产生比较明显的虚实界线,这时用白色粉笔涂于该界线上,之后用卷尺进行测量,并记录下数据,见表 2-3 所示。

2) 牵引阻力测定:采用 BLR-3 型拉力表,1HS-2 型中耕深松机为后悬挂式,由 FENGSHOU-250 拖拉机与之组成深松机组。测试时使用解放 141 汽车牵引深松机组,拖拉机用空档,深松机限位轮固定在 30cm 位置。当机组稳定工作时,测定机组工作时的总牵引力和 FENGSHOU-250 拖拉机的滚动阻力,后由下式计算出深松机牵引阻力:

$$\text{深松机牵引阻力} = \text{机组总牵引阻力} - \text{FENGSHOU-250 拖拉机的滚动阻力}$$

(3) 试验方案与试验结果

由于前后铲距 C 因素根据经验可知取 35cm 和 70cm 两水平较为合适(汪懋华, 2000),使得各因素的水平数不相等,为了减少试验次数采用标准型正交表来安排试验,这就是拟水平法的基本思想。所谓拟水平法就是把个别水平数少的因素虚拟为和其他因素一样多的水平数,成为水平数相同的试验,用标准型正交表来安排试验方案。

本论文选择 $L_9(3^4)$ 正交表(徐中儒, 1998),结果见表 2-3 所示。

从表 2-3 的极差分析结果可以看出:对于试验指标上沟槽宽度来讲,其影响因素顺序为前铲型式、深松深度、后铲型式、前后铲距,因素的优水平 A 取 2 水平, B 取 1 水平, C 取 3 水平, D 取 1 水平较好,最优组合处理为 $B_1A_2D_1C_3$ 。

对于试验指标下沟槽宽度来讲,其影响因素顺序为后铲型式、深松深度、前铲型式、前后铲距,因素的优水平 A 取 1 水平, B 取 1 水平, C 取 2 水平, D 取 1 水平较好,最

优组合处理为 $D_1A_1B_1C_2$ 。

对于试验指标牵引阻力来讲，其影响因素顺序为深松深度、前铲型式、前后铲距、后铲型式，因素的优水平 A 取 1 水平，B 取 2 水平，C 取 2 水平，D 取 2 水平较好，最优组合处理为 $A_1B_2C_2D_2$ 。

(4) 试验结果的方差分析

通过方差分析的方法，能够估计试验误差，能从条件因素和试验因素影响所形成的总的方差中，将属于试验误差范畴的方差与试验因素水平引起的方差分解开来，并将两类方差在一定条件下进行比较，就可以了解每个试验因素对试验指标影响是否显著，从而得到影响试验指标的主次因素和最优组合。

表 2-3 试验安排与试验结果

Table 2-3 Experimentation plan and results

试验号	A	B	C	D	试验结果								
					上沟槽宽度/mm			下沟槽宽度/mm			牵引阻力/N		
1	1	1	1	1	421	434	445	35	38	38	7000	7100	7000
2	1	2	2	2	332	315	341	25	27	25	6300	6200	6000
3	1	3	3	3	310	298	308	33	30	32	6500	6500	6400
4	2	1	2	3	430	428	445	30	31	31	7600	7500	7500
5	2	2	3	1	340	332	338	36	35	34	7200	7100	7400
6	2	3	1	2	315	305	303	25	25	26	7700	7600	7700
7	3	1	3	2	440	436	429	24	26	25	8600	8500	8700
8	3	2	1	3	327	332	340	30	30	29	8900	8700	9000
9	3	3	2	1	312	307	305	36	36	35	8300	8200	8500
上沟槽宽 度	K_{1j}	-18	696	0	12	下沟槽宽 度	K_{2j}	13	8	6	53		
	K_{2j}	24	-225	3	-6		K_{3j}	3	1	6	-42		
	K_{3j}	6	-459	9	6		R_j	12	7	1	95		
	R_j	42	1145	9	18								
较优水平 主次因素 较优组合	A_2	B_1	C_3	D_1		较优水平 主次因素 较优组合	A_1	B_1	C_2	D_1			
		$B>A>D>C$					$D>A>B>C$						
		$B_1A_2D_1C_3$					$D_1A_1B_1C_2$						
牵引 阻力	K_{1j}	-4	6.5	7.7	4.8								
	K_{2j}	4.3	3.8	3.1	4.3								
	K_{3j}	14.4	4.4	3.9	5.6								
	R_j	18.4	2.7	4.6	1.3								
较优水平 主次因素 较优组合	A_1	B_2	C_2	D_2									
		$A>C>B>D$											
		$A_1C_2B_2D_2$											

根据试验方案和试验结果, 试验指标的较优水平、主次因素和较优组合如表 2-4 所示。

表 2-4 试验指标初步分析表

Table 2-4 Elementary analysis of criterion

	上沟槽宽度	下沟槽宽度	牵引阻力
较优水平	A ₂ B ₁ C ₃ D ₁	A ₁ B ₁ C ₂ D ₁	A ₁ B ₂ C ₂ D ₂
主次因素	B>A>D>C	D>A>B>C	A>C>B>D
较优组合	B ₁ A ₂ D ₁ C ₃	D ₁ A ₁ B ₁ C ₂	A ₁ C ₂ B ₂ D ₂

1) 上沟槽宽度的方差分析

表 2-5 上沟槽宽度的方差分析

Table 2-5 Variance analysis of the above groove

方差来源	平方和	自由度	均方差	F	显著性水平
A	88	2	44	0.761	—
B	82842	2	41421	716.626	0.01
C	-6	2	-3	-0.052	—
D	8	2	4	0.069	—
误差	1156	20	57.8		
总和	109378	28		F _{0.25} (2, 20)=1.49, F _{0.10} (2, 20)=2.59 F _{0.05} (2, 20)=3.49, F _{0.01} (2, 20)=5.85	

2) 下沟槽宽度的方差分析

表 2-6 下沟槽宽度的方差分析

Table 2-6 Variance analysis of the nether groove

方差来源	平方和	自由度	均方差	F	显著性水平
A	-12.11	2	-6.055	-1.443	—
B	-17.67	2	-8.835	-2.106	—
C	-21.22	2	-10.61	-2.529	—
D	480.11	2	240.055	57.224	0.01
误差	83.89	20	4.195		
总和	513	28		F _{0.25} (2, 20)=1.49, F _{0.10} (2, 20)=2.59 F _{0.05} (2, 20)=3.49, F _{0.01} (2, 20)=5.85	

3) 牵引阻力的方差分析

表 2-7 牵引阻力的方差分析

Table 2-7 Variance analysis of the draw resistance

方差来源	平方和	自由度	均方差	F	显著性水平
A	25.239	2	12.620	22.488	0.01
B	8.450	2	4.225	7.529	0.01
C	9.346	2	4.673	8.327	0.01
D	8.099	2	4.050	7.217	0.01
误差	11.224	20	0.5612		
总和	62.357	28		F _{0.25} (2, 20)=1.49, F _{0.10} (2, 20)=2.59 F _{0.05} (2, 20)=3.49, F _{0.01} (2, 20)=5.85	

(5) 试验结论

从表 2-5、表 2-6 和表 2-7 的方差分析可以得出下面的结论：

对上沟槽宽度来讲，影响最显著的因素为前铲型式，其显著性水平为 0.01，其它各因素的影响均不显著；对于下沟槽宽度来讲，影响最显著的因素为后铲型式，其显著性水平为 0.01，其它各因素的影响均不显著；对于牵引阻力来讲，影响最显著的因素为深松深度，其显著性水平为 0.01；其次为前后铲距，其显著性水平为 0.01；再次为前铲型式，其显著性水平为 0.01；最后为后铲型式，其显著性水平为 0.01，而且前铲型式和后铲型式的影响差异很小，几乎一致。

由于在中耕深松作业时，在满足作业要求的情况下，牵引阻力是主要考虑的试验指标，因此，综合以上极差分析和方差分析试验结果，可以得出：本次试验的最优组合为 $A_1C_2B_2D_2$ ，即在中耕深松作业中：深松深度取 20cm，前铲型式为小翼铲，前后铲距为 70cm，后铲型式为小齿铲。

2.3 1HS-1.2 型中耕深松机的改进

通过对 1HS-1.2 型中耕深松机进行田间试验，发现该机在某些结构上有不合理的地方，为此，进行的改进如下：

2.3.1 仿形机构的改进

仿形机构的作用是尽可能确保耕深一致，在机组作业过程中，两组单体根据各自的地面状况仿形，相互之间没有干涉作用，不会产生由于耕深的不稳定对作物根系的破坏作用，有效的为作物生长创造良好的生长环境，进而提高作物的产量。

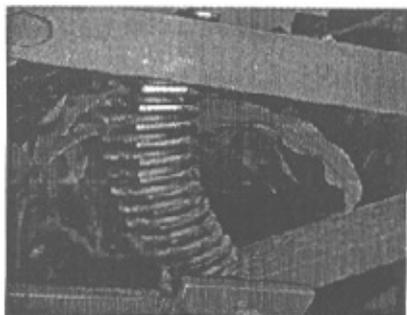


图 2-6 仿形机构中的弹簧

Figure 2-6 The spring in the modelling profile machine

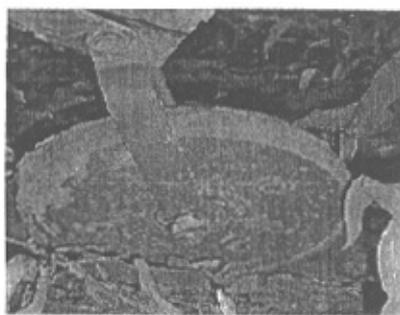


图 2-7 仿形机构中的限深轮

Figure 2-7 The wheel of restrict the deep in the modelling profile machine

(1) 仿形弹簧的改进

仿形机构的主要零部件是仿形弹簧(见图 2-6), 弹簧是一种常用的弹性零件, 在承受载荷时能随载荷的大小产生相应大小的弹性变形, 将机械功或动能转化为变形成能; 载荷卸除后能迅速恢复原状, 将变形转化为机械功或动能。弹簧的这一特征使其在各种机器和仪器仪表中得到广泛的应用。

由于仿形弹簧设计的刚度稍大(使弹簧产生单位变形所需的载荷称为弹簧的刚度), 在试验过程中, 发现在深松作业时, 深松机都处于前部低, 后部高, 不能保证入土深度, 致使不能稳定地进行田间作业, 额外消耗着动力机械的一部分能量, 为此, 本论文将弹簧的改进方案设计如下:

圆柱形压缩螺旋弹簧和圆柱形拉伸螺旋弹簧, 特征为直线型, 刚度稳定、结构简单、制造方便、应用最广, 用于承受压缩和拉伸载荷。

1) 弹簧的强度计算:

该深松机的弹簧材料选用碳素弹簧钢, II类(选用合理, 没有做出改动)。

弹簧的最大工作载荷 F_2 由工作条件决定, 且 $F_2 < F_{1in}$ (F_{1in} —弹簧的极限工作载荷)。

两个深松单体的最大水平力为 $F=1337.69+586.09=1923.78$ N, 为了安全取 2500N 进行强度校核。仿形机构的夹角为 39° , 所以最大工作载荷为

$$F_2=2500 \times \tan 39^\circ = 2024.46 \text{ N}$$

$$F_{1in} = 1.25F_2 \quad (2-1)$$

式中: F_{1in} —弹簧的极限工作载荷, (N)。

$$\text{则: } F_{1in} = 1.25 \times 2024.46 = 2530.58 \text{ N}$$

根据弹簧拉杆的尺寸选择弹簧的中径为 48mm, 弹簧指数 $C=6$ (一般选 $4 < C < 16$)。

$$\text{由: } d = \frac{D_2}{C} \quad (2-2)$$

式中: D_2 —弹簧的中径, (mm);

C —弹簧指数。

初步得到弹簧的直径 $d=8\text{mm}$ 。

$$\text{由曲度系数公式: } K = \frac{4C-1}{4C-4} + \frac{0.615}{C} \quad (2-3)$$

得 $K=1.2525$

根据弹簧常用材料及其许用应力 (GB/T1239.6-92), 可知 II 类碳素弹簧钢丝的剪切

弹性模量 G 为 80000Mpa, 许用剪切应力 $[\tau]=0.5\sigma_B$ (2-4)

根据碳素弹簧钢丝的机械性能 (GB 表 4357-89), 得到 $\sigma_B=1370$ Mpa, 将其代入公式 2-4 得:

$$[\tau]=0.5 \times 1370=685 \text{ Mpa}$$

根据弹簧丝直径的设计计算式: $d \geq 1.6 \sqrt{\frac{KF_2 C}{[\tau]}}$ (2-5)

$$\text{得 } d=7.54\text{mm} > 7\text{mm}$$

2) 弹簧的变形计算

变形计算的目的是确定弹簧所需的工作圈数, 圆柱形螺旋弹簧在轴向载荷作用下产生的轴向变形量 λ 可由材料力学的公式计算, 对于压缩弹簧公式应为:

$$\lambda_2 = \frac{8F_2 D_2^3 z}{Gd^4} = \frac{8F_2 C^3 z}{Gd} \quad (2-6)$$

将弹簧的变形量 $\lambda_2=50\text{mm}$ 代入公式 2-6 得:

$$50 = \frac{8 \times 2024.46 \times 6^3 \times z}{80000 \times 8} \quad \text{得 } z=9.15$$

弹簧的结构和尺寸见表 2-8 和附录。

表 2-8 圆柱形弹簧的几何尺寸
Table 2-8 The size of the coil spring

名称与代号	计算公式	尺寸/mm
弹簧丝直径 d	由强度计算确定	8
弹簧中径 D_2	$D_2=Cd$	48
弹簧外径 D	$D=D_2+d$	56
弹簧内径 D_1	$D_1=D_2-d$	40
弹簧指数 C	$C=D_2/d$	6
工作圈数 z	由变形条件确定	10
总圈数 z_1	$z_1=z+2$	12
自由高度 H_0	$H_0=pz+1.5d$	197
节距 p	$P=d+\delta$	18.51
两圈间的间隙 δ	$\delta=p-d$	10.51

(2) 仿形轮的改进

仿形轮 (见图 2-7 所示) 的作用是配合仿形弹簧实现深松机随地面起伏保持深松深

度一致的功能，也就是实现仿形机构所能发挥的作用。

在试验过程中仿形轮出现干磨现象，发出噪音，仔细检查后发现没有为仿形轮轴选用合适的轴承，为此本论文选择轴承的具体方案如下：

滚动轴承是机械设备中广泛使用的机械零件之一，它是依靠主要元件间的滚动接触来支撑转动零件的。与滑动轴承相比，滚动轴承具有启动灵活、摩擦阻力小、效率高、润滑简便及易于互换等优点，所以应用广泛。滚动轴承现已经标准化，并由轴承厂专业化生产。在一般的机械设计中，主要是根据具体的工作条件，正确地选择轴承的类型和尺寸以及进行轴承组合设计。

由于仿形轮在作业过程中同时承受径向载荷和不很大的轴向载荷，而且其价格较抵，所以可以选用能承受一定轴向力的径向轴承，即深沟球轴承，从经济性角度考虑其价格较抵。

根据设计的轮轴的直径，选用代号为 6305 的深沟球轴承，表示：内径为 25mm，中系列深沟球轴承（直径系列），正常宽度系列，正常结构，0 级公差（普通级别），0 组游隙。

2.3.2 深松机构的改进

在后续的试验中发现连接前后铲柱和和横梁的连接钢筋强度不够，由于大面积的中耕深松作业，工作强度加大，发生变形断裂，为此，将直径为 10mm 的连接钢筋改为直径为 16mm，将铲柱连接片加宽 10mm，加长 7mm，以满足零部件进行装配。

第三章 中耕深松效果和土壤理化性质的测定与分析

本章主要对 1HS-1.2 型中耕深松机进行田间试验和改进后,研究其在田间的作业效果以及作业后土壤理化性质的改变。

3.1 1HS-1.2型中耕深松机深松试验

(1) 中耕深松的农艺要求:

1) 深松后要求土壤表层较平整,表土、底土位置不变,使底土层在原位熟化,促进作物根系的发育,为作物生产输送充足的养分。

2) 深松前后土壤虚部和实部的孔隙度相差达到 10%,形成虚实并存的土壤结构使土壤的气相增加,容重降低。

3) 深松部件在田间作业时不能伤害作物的根系,以保证为作物生长提供良好的环境。

(2) 中耕深松的技术要求:

1) 适耕条件:土壤含水量在 13%~22%。

2) 深松间隔:密植作物(小麦等)的深松间隔为 30~50cm;宽行作物(玉米等)的深松间隔 40~70cm,(最好与当地玉米种植行距相同)。

3) 作业的深松深度、深松间距应保持均匀一致。

3.1.1 深松后土壤状况的测定

(1) 深松时的基本情况:

1) 试验时间:2005年6月18日

2) 试验地点:辽宁省阜新县他本扎兰镇马蹄营子村的“国家 863 项目”试验田

3) 试验设备:FENGSHOU-250 拖拉机与 1HS-1.2 型中耕深松机组成的深松机组、AZS-2 便携式土壤水分测量仪、环刀、塑料袋若干、电子天平、数码相机、铁锹

4) 试验时土壤的具体情况:试验田的土壤为褐色砂壤土,土壤各层次(0~20cm)的平均含水量 22.8%(下雨后两天)。



图 3-1 试验区

Figure 3-1 The area of experiment

5) 试验目的和内容: 验证改进后的 1HS-1.2 型中耕深松机在田间的作业效果是否满足中耕深松的农艺要求和技术要求, 将改进后的 1HS-1.2 型中耕深松机再一次进行田间试验, 并对中耕深松后的土壤和作物的根系进行观察和测定。

6) 试验方法: 土壤水分的测试: 仪器是 AZS-2 便携式土壤水分测量仪和环刀 (见图 3-2)。

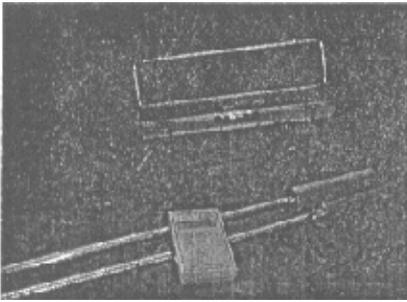


图 3-2 水分测试仪

Figure 3-2 Tester of the moisture

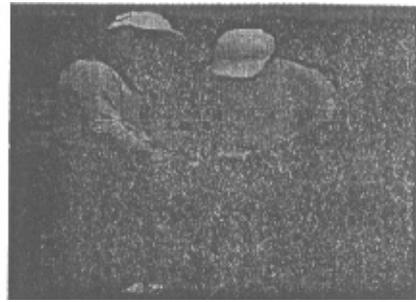


图 3-3 测试现场

Figure 3-3 The scene of testing

测试水分的测试: 按“S”形取五个点, 每个点取 4 (6) 个层次, 每个层次深度为 5cm, 依次取到 20 (30) cm 深度。在每个土层, 将仪器的探头垂直插入土壤, 记下读数, 最后取每个层次五个数据的平均值, 此时得到的是体积含水量, 后根据公式 3-1 求得土壤的重量含水量 (%)。

$$W = 0.8031 \times W_v + 5.6914 \quad (3-1)$$

式中: W_v ——土壤的体积含水量, (%)。

土壤孔隙度的测试: 在试验区分别采用深松与未深松进行对比试验, 将试验区分为 A、B 两个地块, A—为深松区, B—为未深松区, 深松深度为 20cm, 按“S”形分别在 A、B 两个地块取五个点, 每个点取 4 个层次, 每个层次深度为 5cm, 依次取到 20cm 深度, 用环刀在每个深松区将每个层次 (体积为 100cm^3) 的土壤精确取出装在塑料袋里, 然后用电子天平称出其质量 (湿土的质量), 根据公式 3-2 和 3-3 求得土壤的孔隙度。

$$G_v = \frac{M \times (1 - W)}{V} \quad (3-2)$$

式中: G_v ——土壤单位体积的质量, 即土壤容重, (g/cm^3);

M ——湿土的质量, (g);

W ——土壤重量含水量, (%)。

$$\delta = \left(1 - \frac{G_v}{2.65} \right) \times 100 \quad (3-3)$$

式中： δ ——土壤孔隙度，(%)。

(2) 深松后土壤的观察和测定

试验现场对中耕深松后土壤的土层进行观察，情况见图 3-4 和图 3-5，发现表土、底土位置基本没有发生变化，满足农艺要求。

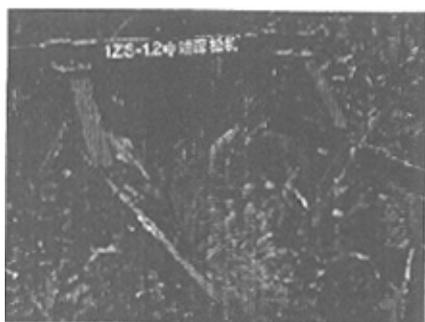


图 3-4 深松玉米地

Figure 3-4 Subsoiled ground of maize

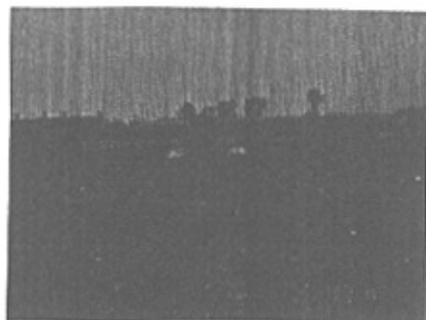


图 3-5 深松黄豆地

Figure 3-5 Subsoiled ground of soya bean

现场取土样，对土壤的孔隙度进行了测试，数据与分析见表 3-1 和表 3-2：

表 3-1 土壤各层次孔隙度的测试数据

Table 3-1 The testing data of hole degree of soil's every layers

土壤层次/cm	0~5	5~10	10~15	15~20
未深松/%	45.1	45.9	44.7	45.5
	45.3	45.3	44.2	45.4
	44.9	46.2	44.5	44.9
	45.5	45.8	45.2	45.7
	44.7	46.3	45.3	46.1
深松后/%	59.5	54.8	53.2	51.9
	59.3	55.2	52.7	51.7
	59.9	55.5	53.5	51.5
	58.4	56.1	53.9	52.3
	60.7	54.9	54.1	52.9

从表 3-2 的土壤各层次孔隙度的方差分析可以看出：中耕深松后 0~5cm 层次的土壤孔隙度相差 14.6%，5~10cm 层次的土壤孔隙度相差 9.8%，10~15cm 层次的土壤孔隙度相差 8.7%，15~20cm 层次的土壤孔隙度相差 6.54%，从各层次的方差值也可以看出，各层次孔隙度变化的显著性依次为 0~5cm、5~10cm、10~15cm、15~20cm。

表 3-2 土壤各层次孔隙度的方差分析

Table 3-2 Variance analysis of hole degree of soil's every layers

土壤层次/cm	组	计数	求和	平均	方差
0~5	未深松	5	225.50	45.10	0.100
	深松后	5	298.50	59.70	0.100
5~10	未深松	5	229.50	45.90	0.155
	深松后	5	276.50	55.30	0.275
10~15	未深松	5	223.90	44.78	0.217
	深松后	5	267.40	53.48	0.312
15~20	未深松	5	227.60	45.52	0.192
	深松后	5	260.30	52.06	0.308

由于 2005 年 6 月份阜新县降雨频繁在历年是罕见的，而中耕深松时间也是有时间限制的，应该在作物合适的生长期进行，所以进行中耕深松试验时土壤的湿度偏大，如果在正常年份进行中耕深松作业，土壤各层次的孔隙度变化应该比这次更显著。

(3) 深松后耕深稳定性的测定

为了检测改进后 1HS-1.2 中耕深松机对土壤耕作深度的稳定性，在试验现场，对中耕深松后土壤的深度进行测定，试验数据见表 3-3:

表 3-3 深松后土壤深松深度的测试
Table 3-3 Mensurating the depth of subsoiled soil

取点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
深度/cm	20.5	20.3	20.3	20.1	19.8	19.7	20.1	20.3	20.0	19.8

根据 GB/T5262，深松深度的稳定性 $\geq 80\%$ ，所以对中耕深松深度的稳定性进行如下分析:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (3-4)$$

$$\bar{X} = \frac{20.5+20.3+20.3+20.1+19.8+19.7+20.1+20.3+20.0+19.8}{10} = 20.09 \quad (\text{cm})$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n}} \quad (3-5)$$

S=0.251

$$V = \frac{S}{\bar{X}} \times 100\% \quad (3-6)$$

V=12.49%

$$U=1-V$$

(3-7)

$$U=0.8751$$

式中： \bar{X} ——中耕深松的平均深度，(cm)；

x_i ——第*i*个测点的深松深度，(cm)；

n ——测量深松深度的测点数；

S ——深松深度的标准差，(cm)；

V ——深松深度的变异系数；

U ——深松深度的稳定性。

从上述数据分析看出，中耕深松深度的稳定性为 87.51% > 80%，能够满足作业要求。

3.1.2 深松后作物根系的观察

为了研究中耕深松作业是否伤害作物的根系，6月18日对玉米和花生进行中耕深松后，分别于8月9日和8月9日在试验田进行了作物生长情况的调查，深松后玉米的生长情况见图3-6，把深松和未深松花生的根系进行了对比，见图3-7，发现深松后花生的根系比未深松花生的根系较发达，而且作物的长势也较好。



图 3-6 深松后玉米生长情况

Figure 3-6 The growing situation of subsoiled maize

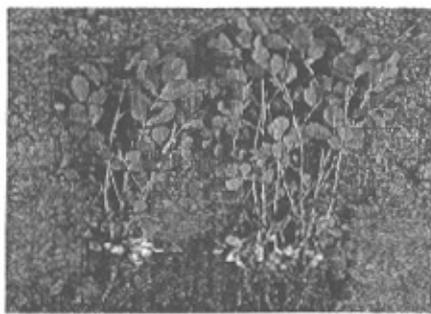


图 3-7 深松后花生的生长情况

Figure 3-6 The growing situation of subsoiled earthnut

可以看出 1HS-1.2 型中耕深松机进行田间作业后不但没有伤害作物根系的生长，而且为作物根系的生长创造了良好的生长环境，促进了作物根系的生长发育。

3.2 深松后土壤理化性质的测定与分析

(1) 试验时间：2005 年 8 月 9 日、9 月 10 日和 10 月 9 日

(2) 试验地点：阜新县他本扎兰镇马蹄营子村的“国家 863 项目”试验田

(3) 试验目的：对中耕深松后不同作物（玉米、谷子和花生）的土壤的理化性质

进行测试，研究中耕深松对不同作物土壤理化性质的影响程度。

玉米品种为沈丹 2109，谷子品种为金谷 2401，花生品种为大白沙。

3.2.1 土壤水分的测定与分析

土壤含水量的多少直接影响到土壤物理机械特性和作物生长发育，因此本论文重点对不同种类作物土壤的含水量的多少进行了对比研究。

(1) 玉米地土壤水分的测试与分析

2005年8月9日、9月10日和10月9日三次对玉米地土壤水分的测试数据与分析如下：

1) 土壤各层次的水分分布

深松后和未深松玉米地各层次土壤水的分布的对比，见图 3-8、图 3-9 和图 3-10。

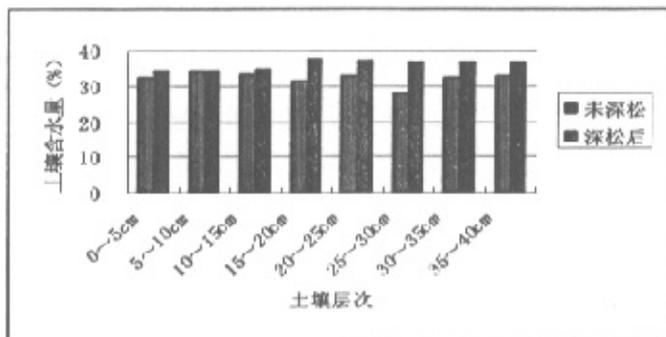


图 3-8 8月9日土壤含水量测试

Figure 3-8 Testing moisture of soil on 9th Aug

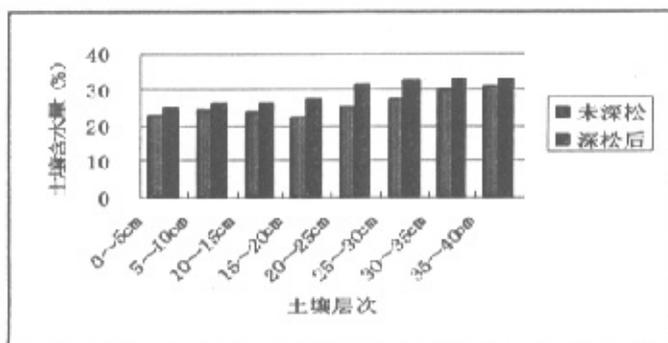


图 3-9 9月10日土壤含水量测试

Figure 3-9 Testing moisture of soil on 10th Sept

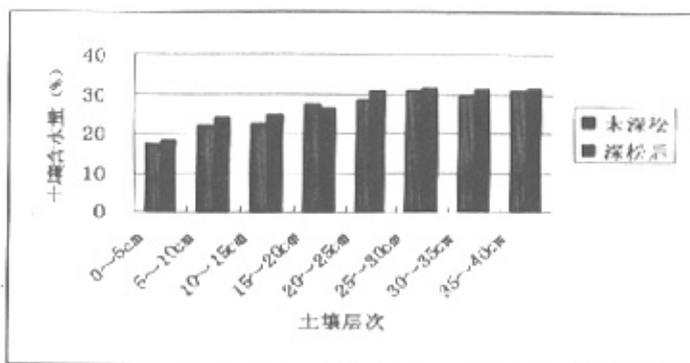


图 3-10 10月9日土壤含水量测试

Figure 3-10 Testing moisture of soil on 9th October

2) 方差分析

为了比较三次测试时间中耕深松对玉米地土壤含水量影响的显著程度，分别对三次试验进行组内均值比较，置信度为 95%， $T_{0.05}(7) = 1.8946$ ，见表 3-4。

表 3-4 不同时间土壤水分测试的方差分析

Table 3-4 Variance analysis of testing moisture of soil in different time

测试时间	差值均数	标准差	标准误	T 值	自由度	P 值(双侧)
8.9 (深松-未深松)	3.95125	2.83878	1.00366	3.937	7	0.006
9.10 (深松-未深松)	1.13250	1.11872	0.39553	2.863	7	0.024
10.9 (深松-未深松)	3.48500	1.73624	0.61385	5.677	7	0.001

由表 3-4 可以看出：因为 $T_{8.9} = 3.937 > T_{0.05}(7) = 1.8946$ ， $T_{9.10} = 2.863 > T_{0.05}(7) = 1.8946$ ， $T_{10.9} = 5.677 > T_{0.05}(7) = 1.8946$ ，说明在置信度为 95% 的情况下，中耕深松后土壤各层次蓄水效果较显著，而且由于 T 值的大小依次为 $T_{10.9} > T_{8.9} > T_{9.10}$ ，说明玉米地中耕深松后，土壤蓄水效果的显著程度为：十月份最显著，依次为八月份和九月份。

(2) 谷子地土壤水分的测试与分析

2005 年 8 月 9 日、9 月 10 日和 10 月 9 日三次对谷子地土壤水分的测试数据与分析如下：

1) 各层次土壤水分的分布

深松后和未深松谷子地各层次土壤水的分布的对比，见图 3-11、图 3-12 和图 3-13。

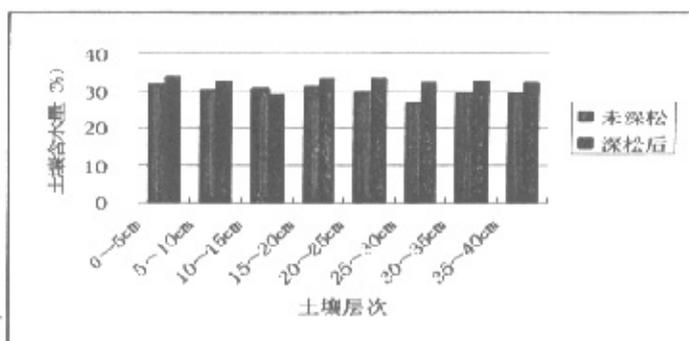


图 3-11 8月9日土壤含水量测试

Figure 3-11 Testing moisture of soil on 9th August

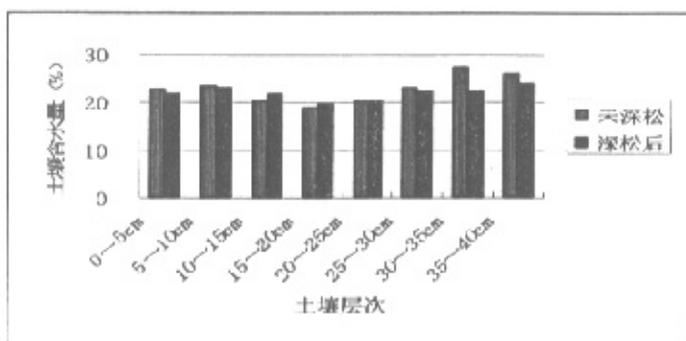
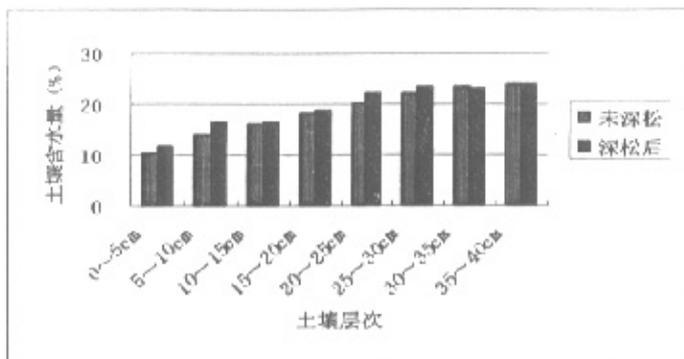


图 3-12 9月10日土壤含水量测试

Figure 3-12 Testing moisture of soil on 10th September



3-13 10月9日土壤含水量测试

Figure 3-13 Testing moisture of soil on 9th October

2) 方差分析

为了比较三次测试时间中耕深松对谷子地土壤含水量影响的显著程度, 分别对三次试验进行组内均值比较, 置信度为 95%, $T_{0.05}(7) = 1.8946$, 见表 3-5。

表 3-5 不同时间土壤水分测试的方差分析

Table 3-5 Variance analysis of testing moisture of soil in different time

测试时间	差值均数	标准差	标准误	T 值	自由度	P 值 (双侧)
8.9 (深松-未深松)	2.49625	2.00848	0.71011	3.515	7	0.010
9.10 (深松-未深松)	-0.93125	2.05434	0.72632	-1.282	7	0.241
10.9 (深松-未深松)	0.98125	1.03965	0.36757	2.670	7	0.032

由表 3-5 可以看出: 因为 $T_{8.9}=3.515 > T_{0.05}(7)=1.8946$, $T_{9.10}=-1.282 < T_{0.05}(7)=1.8946$, $T_{10.9}=2.670 > T_{0.05}(7)=1.8946$, T 值的大小说明, 在置信度为 95% 的情况下, 中耕深松后蓄水效果八月和十月显著, 九月不显著, T 值的大小依次为 $T_{8.9} > T_{10.9} > T_{9.10}$, 说明谷子地中耕深松后, 土壤蓄水效果的显著程度为: 八月份最显著, 依次为十月份, 九月份不显著。

(3) 花生地土壤水分的测试与分析

2005 年 8 月 9 日、9 月 10 日和 10 月 9 日三次对花生地土壤水分的测试数据与分析如下:

1) 各层次土壤水分的分布

深松后和未深松谷子地各层次土壤水的分布的对比, 见图 3-14、图 3-15 和图 3-16。

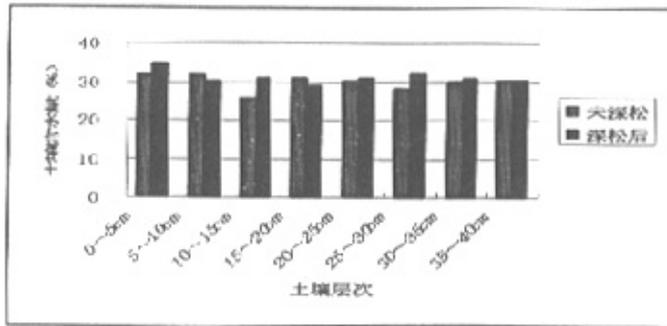


图 3-14 8 月 9 日土壤含水量测试
Figure 3-14 Testing moisture of soil on 9th August

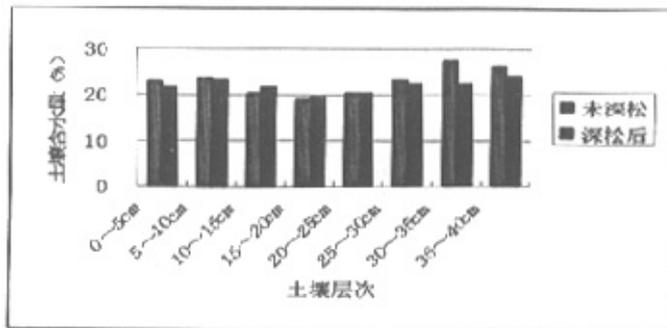


图 3-15 9 月 10 日土壤含水量
Figure 3-15 Testing moisture of soil on 10th September

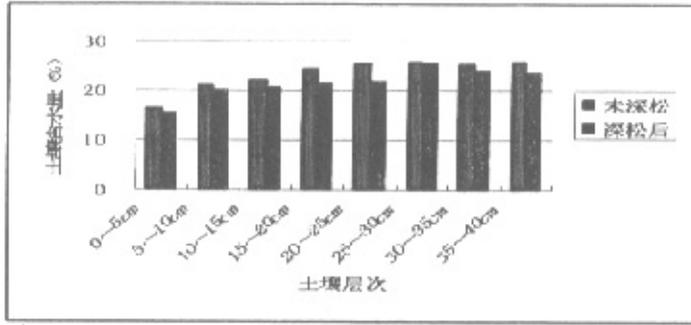


图 3-16 10月9日土壤含水量测试

Figure 3-13 Testing moisture of soil on 9th October

2) 方差分析

为了比较三次测试时间中耕深松对花生地土壤含水量影响的显著程度, 分别对三次试验进行组内均值比较, 置信度为 95%, $T_{0.05}(7) = 1.8946$, 见表 3-6。

表 3-6 不同时间土壤水分测试的方差分析

Table 3-6 Variance analysis of testing moisture of soil in different time

测试时间	差值均数	标准差	标准误	T 值	自由度	P 值 (双侧)
8.9 (深松-未深松)	1.22500	2.58297	0.91322	1.341	7	0.222
9.10 (深松-未深松)	-4.49875	1.81475	0.64161	-7.012	7	0.000
10.9 (深松-未深松)	-1.78750	1.13819	0.40241	-4.442	7	0.003

由表 3-6 可以看出: 因为 $T_{8.9} = 1.341 < T_{0.05}(7) = 1.8946$, $T_{9.10} = -7.012 < T_{0.05}(7) = 1.8946$, $T_{10.9} = -4.442 < T_{0.05}(7) = 1.8946$, T 值的大小说明中耕深松后蓄水效果八月较显著, 九月和十月不显著, T 值的大小依次为 $T_{8.9} > T_{10.9} > T_{9.10}$, 说明花生地中耕深松后, 土壤蓄水效果的显著程度为: 八月份最显著, 依次为十月份和九月份。

(4) 不同作物同一时期蓄水效果比较

为了比较中耕深松对不同作物在同一时期的蓄水效果的显著性, 把对玉米、谷子和花生的方差分析结果整理见表 3-7、表 3-8 和表 3-9。

表 3-7 8月9日不同作物土壤水分测试方差分析

Table 3-7 Variance analysis of testing moisture of soil of different crop on 9th August

作物种类	差值均数	标准差	标准误	T 值	自由度	P 值 (双侧)
玉米 (深松-未深松)	3.95125	2.83878	1.00366	3.937	7	0.006
谷子 (深松-未深松)	2.49625	2.00848	0.71011	3.515	7	0.010
花生 (深松-未深松)	1.22500	2.58297	0.91322	1.341	7	0.222

表 3-8 9 月 10 日不同作物土壤水分测试方差分析

Table 3-8 Variance analysis of testing moisture of soil of different crop on 10th September

作物种类	差值均数	标准差	标准误	T 值	自由度	P 值 (双侧)
玉米 (深松-未深松)	1.13250	1.11872	0.39553	2.863	7	0.024
谷子 (深松-未深松)	-0.93125	2.05434	0.72632	-1.282	7	0.241
花生 (深松-未深松)	-4.49875	1.81475	0.64161	-7.012	7	0.000

表 3-9 10 月 9 日不同作物土壤水分测试方差分析

Table 3-9 Variance analysis of testing moisture of soil of different crop on 9th October

作物种类	差值均数	标准差	标准误	T 值	自由度	P 值 (双侧)
玉米 (深松-未深松)	3.48500	1.73624	0.61385	5.677	7	0.001
谷子 (深松-未深松)	0.98125	1.03965	0.36757	2.670	7	0.032
花生 (深松-未深松)	-1.78750	1.13819	0.40241	-4.442	7	0.003

从表 3-7、表 3-8 和表 3-9 的 T 值可以看到: 8 月 9 日测试, $T_{\text{玉米}}=3.937 > T_{\text{谷子}}=3.515 > T_{\text{花生}}=1.341$, 9 月 10 日测试, $T_{\text{玉米}}=2.863 > T_{\text{谷子}}=-1.282 > T_{\text{花生}}=-7.012$, 10 月 9 日测试, $T_{\text{玉米}}=5.677 > T_{\text{谷子}}=2.670 > T_{\text{花生}}=-4.442$, 说明中耕深松对玉米地土壤的蓄水效果影响最显著, 依次为谷子地和花生地, 因此在后续的试验当中主要以玉米作物研究对象。

(5) 结论

1) 证明中耕深松对不同作物土壤蓄水效果的影响程度是不同的, 这主要是由于适合种植不同作物的土壤的粘性不同导致, 种植玉米的土壤粘性最大, 其次为谷子地土壤, 而种植花生的土壤砂性较大。

2) 证明中耕深松后土壤水分的蒸发挥规律: 中耕深松后, 土壤的孔隙度增大, 容易蓄纳天然降水, 所以这一时期土壤的含水量比未深松土壤的含水量显著增大, 但是随着时间的增长, 深松后砂性土壤水分的蒸发量比粘性土壤水分的蒸发量大, 所以粘性土壤水分在中耕深松后蓄水效果日益显著, 而砂性土壤中耕深松后蓄水效果日益降低。

3.2.2 土壤容重的测定与分析

由于土壤的容重的大小直接关系到土壤的孔隙度大小, 土壤的孔隙度是土壤的养分“水、热、气、肥”四大要素之一, 因此在试验中对其进行测定和分析:

(1) 土壤各层次容重

对 2005 年 10 月 9 日测试的玉米地、谷子地和花生地土壤容重的数据进行对比, 见图 3-17、图 3-18 和图 3-19。

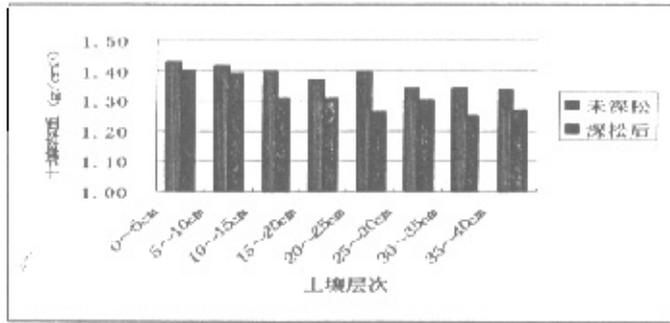


图 3-17 玉米地土壤各层次容重

Figure 3-17 Rong Zhong of every layers of soil in field of maize

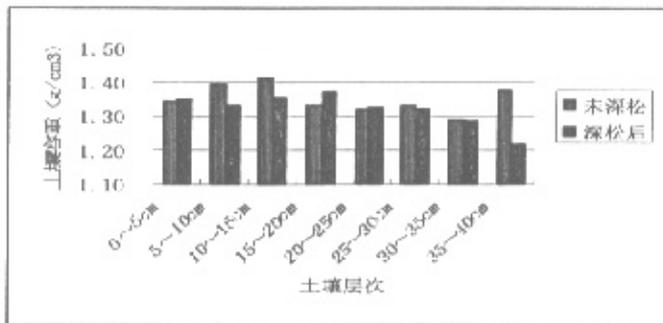


图 3-18 谷子地土壤各层次容重

Figure 3-18 Rong Zhong of every layers of soil in field of millet

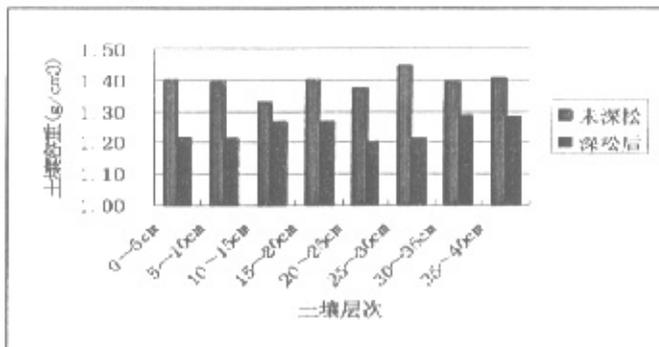


图 3-19 花生地土壤各层次容重

Figure 3-19 Rong Zhong of every layers of soil in field of earthnut

(2) 方差分析

为了说明中耕深松对各层次土壤容重的影响是否显著,对种植不同作物土壤容重的影响程度,对不同作物各层次土壤容重进行方差分析,置信度为 95%, $T_{0.05}(7) = 1.8946$,见表 3-10。

表 3-10 不同作物各层次土壤容重方差分析

Table 3-10 Variance analysis of testing Rong Zhong of soil on different crop

作物种类	差值均数	标准差	标准误	T 值	自由度	P 值 (双侧)
玉米 (未深松-深松)	0.06875	0.03603	0.01274	5.397	7	0.001
谷子 (未深松-深松)	0.14875	0.05410	0.01913	7.777	7	0.000
花生 (未深松-深松)	0.03125	0.06379	0.02255	1.386	7	0.208

从表 3-10 可以看出: 因为 $T_{玉米}=5.397 > T_{0.05}(7) = 1.8946$, $T_{谷子}=7.777 > T_{0.05}(7) = 1.8946$, $T_{花生}=1.386 < T_{0.05}(7) = 1.8946$, 说明中耕深松对玉米地和谷子的各层次土壤容重影响显著, 对花生地各层次土壤容重影响不显著, 而且 $T_{谷子} > T_{玉米} > T_{花生}$, 所以, 中耕深松对谷子地土壤容重的影响最显著, 其次是玉米地和花生地。

3.2.3 土壤有机质的测定

土壤有机质的粘结力小于粘粒而大于砂粒, 所以增加有机质能使粘质土变的疏松些, 粘结力、粘着力和可塑性减弱些; 砂质土壤增加有机质会提高其粘结性和保肥能力。另外, 土壤有机质含量高, 有效腐殖质也会相应增加, 从而促进土壤团聚化作用, 使土壤结构得到改善。

(1) 测试方法: 电砂浴加热-重铬酸钾氧容量法

1) 方法原理: 用定量的重铬酸钾-硫酸溶液, 在电砂浴加热条件下, 使土壤的有机碳氧化, 剩余的重铬酸钾用硫酸亚铁标准溶液滴定, 并以二氧化硅为添加物作试剂空白滴定, 根据氧化前后氧化剂质量的差值, 计算出有机碳量, 再乘以系数 1.724, 即为土壤有机质含量。

2) 试剂: 硫酸银、二氧化硅、邻菲落啉指示剂、重铬酸钾-硫酸溶液、重铬酸钾标准溶液、硫酸亚铁标准溶液。

3) 仪器设备: 电砂浴、磨口三角瓶 (150ml)、磨口简易空气冷凝管 (直径: 0.9cm, 长 19cm)、温度计 (200~300℃)。

4) 标定方法: 吸取重铬酸钾标准溶液 200ml, 加浓硫酸 3~5ml, 邻菲落啉指示剂 3~5 滴, 用硫酸亚铁标准溶液滴定, 再进行计算。

在未深松和深松后的地块进行“S”形采样, 土壤类型为褐色砂壤土, 采样点均为 5 点, 深度均为 30cm, 在试验室进行测试, 取得五点的平均值, 计算结果如下:

未深松地块土壤全碳含量为: 0.672 g/kg, 有机质含量为: 11.63 g/kg。

深松后的地块土壤全碳含量为：0.675g/kg，有机质含量为：11.69g/kg。

(2) 结果分析

由于试验区还没有完全实行保护性耕作技术，土壤表面没有秸秆覆盖，因而没有增加有机肥的数量，而且深松前后测试的时间间隔较短，因此有机质的含量变化不大；但是由于深松后土壤的孔隙度增加，使虚部土壤成为好气环境，微生物矿化分解活动加强，因此使有机质的含量略有变化，但根据以往研究表明，随着中耕深松时间的延长，有机物的含量会有增加的趋势。

3.2.4 土壤温度的测定

土壤温度是农作物发芽、生根、生长和开花结实，土壤养分分解转化，水气运行，微生物生命活动的必要条件。土壤温度直接影响着土壤中水、气的保持和运动以及其他一些物理过程。同时，土壤温度还支配着土壤中化学反应的类型和速率，并强烈影响生物过程，如种子发芽、幼苗出土及生长、根系发育以及微生物的活动。

影响地温的因素主要有：地表覆盖、土壤孔隙结构和土壤含水量。

对中耕深松后土壤的温度进行测定：

(1) 试验情况：

1) 试验时间：2005年9月10日

2) 试验仪器：轻便插入式的曲管温度计——温度计球部附近的管子弯曲成90°。

3) 试验方法：在深松后的地块的虚部和实部分别进行“S”形采样，采样点均为5点，温度计球部埋入地下10cm的深度，读取数据，取得五点的平均值，计算结果如下：

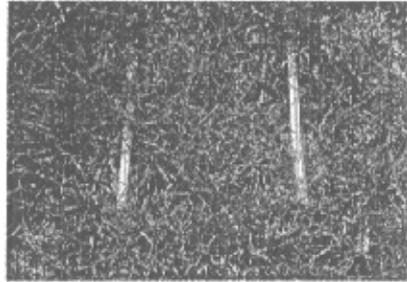


图 3-20 曲管温度计

Figure 3-20 The flexural tubal thermometer

实部土壤10cm处温度为：白天最高温34.36℃，最低温10.83℃，日较差23.53℃。

虚部土壤10cm处温度为：白天最高温35.28℃，最低温9.43℃，日较差25.85℃。

(2) 结果分析：

中耕深松后，土壤虚部白天增温高，夜间降温低，日较差温度较大；土壤实部呈现与虚部相反的规律。说明土壤的通气性和温湿特性随着水分特性的改变而改变，能够使微生物矿化分解活动加强，从而有助于有机质的分解，提高农作物的产量。

第四章 深松后作物的生长发育和玉米根系的研究

4.1 深松后作物的生长发育的研究

中耕深松能够改变土壤的理化性质,为作物创造良好生长的环境,促进作物的生长发育,最终导致作物产量的增加,为了作出进一步的论证,作出以下研究:

4.1.1 玉米生长发育的研究

(1) 试验基本情况及数据记录:

- 1) 试验时间: 2005年9月10日和10月9日
- 2) 试验地点: 阜新县他本扎兰镇马蹄营子村的“国家863项目”试验田
- 3) 试验仪器: 游标卡尺、卷尺、电子天平、数码相机
- 4) 试验方法: 在深松和未深松的试验田中随意选择一平方米大小的地块,任意抽取七株作物测量能够反映其生长发育情况的株高、茎粗、穗长、穗粗,并记录数据,取十个数据的平均值,记录如表4-1,测试情况见图4-1。

表 4-1 玉米生长发育调查

Table 4-1 The investigation of development grows of maize

土壤处理	株高/m	茎粗/cm	穗长/cm	穗粗/cm
未深松	2.74	1.86	17.36	5.29
深松后	3.04	2.17	19.58	5.55



图 4-1 玉米生长发育情况

Figure 4-1 The situation of development grows of millet



图 4-2 谷子生长发育情况

Figure 4-1 The situation of development grows of maize

(2) 数据分析:

从表 4-1 可以看出,中耕深松后玉米的株高、茎粗、穗长、穗粗都有所增加,为了

比较中耕深松后和未进行中耕深松的玉米的生长发育差异是否明显,分别对最能反映其生长发育的株高、茎粗、穗长、穗粗进行方差分析如表 4-2 所示,置信度为 95%, $F_{0.05}(1, 12) = 4.75$ 。

表 4-2 玉米生长发育方差分析
Table 4-2 Variance analysis of development grows of maize

指标	差异源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值
株高	组间	0.306	1	0.306	49.384**	0.000
	组内	0.074	12	0.006		
	总计	0.380	13			
茎粗	组间	0.349	1	0.349	9.127*	0.011
	组内	0.459	12	0.038		
	总计	0.808	13			
穗长	组间	17.161	1	17.161	4.422	0.057
	组内	46.571	12	3.881		
	总计	63.732	13			
穗粗	组间	0.002	1	0.002	0.056	0.816
	组内	0.341	12	0.028		
	总计	0.343	13			

从表 4-2 可以得出:在置信度为 95%的情况下,株高的 $F_{\text{观}}=49.385 > F_{0.05}(1, 12) = 4.75$,茎粗的 $F_{\text{观}}=9.127 > F_{0.05}(1, 12) = 4.75$,穗长的 $F_{\text{观}}=4.422 < F_{0.05}(1, 12) = 4.75$,穗粗的 $F_{\text{观}}=0.056 < F_{0.05}(1, 12) = 4.75$,方差分析结果表明,中耕深松后和未深松的玉米株高的生长发育差异极显著,玉米茎粗的生长发育差异显著,玉米穗长的生长发育差异较不显著,玉米穗粗的生长发育差异不显著。

4.1.2 谷子生长发育的研究

(1) 数据调查

谷子数据调查的时间、地点、仪器和方法均与玉米相同,调查数据见表 4-3。

表 4-3 谷子生长发育调查
Table 4-3 The investigation of development grows of millet

土壤处理	株数/株·m ²	株高/cm	穗长/cm	穗粗/cm
未深松	49	100.79	22.43	2.23
深松后	61	120.99	23.66	2.60

(2) 数据分析

从表 4-3 可以看出,中耕深松后谷子的一平方米株数、株高、穗长、穗粗都有所增加,为了比较中耕深松后和未进行中耕深松的谷子的生长发育差异是否明显,分别对最能反

映其生长发育的株高、穗长、穗粗进行方差分析如表 4-4 所示, 置信度为 95%, $F_{0.05}(1, 18) = 4.41$ 。

表 4-4 谷子生长发育方差分析
Table 4-4 Variance analysis of development grows of millet

指标	差异源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值
株高	组间	2040.200	1	2040.200	9.165*	0.007
	组内	4006.818	18	222.601		
	总计	6047.018	19			
穗长	组间	7.565	1	7.565	1.238	0.280
	组内	109.985	18	6.110		
	总计	117.550	19			
穗粗	组间	0.711	1	0.711	3.625	0.073
	组内	3.531	18	0.196		
	总计	4.242	19			

从表 4-4 可以得出: 在置信度为 95% 的情况下, 株高的 $F_{\text{观}} = 9.165 > F_{0.05}(1, 18) = 4.41$, 穗长的 $F_{\text{观}} = 1.238 < F_{0.05}(1, 18) = 4.41$, 穗粗的 $F_{\text{观}} = 3.625 < F_{0.05}(1, 18) = 4.41$, 方差分析结果表明, 中耕深松后和未深松的谷子株高的生长发育差异显著, 谷子穗长的生长发育差异不显著, 谷子穗粗的生长发育差异较不显著。

4.1.3 花生生长发育的研究

(1) 数据调查

花生数据调查的时间、地点、仪器均与玉米和谷子相同, 由于花生的生长发育与玉米和谷子不同, 使得试验方法不同, 在试验时分别在中耕深松后的地块和未深松的地块取 2 次样品, 共取 4 次样品, 每次取样的花生株数不一定相同, 但样品株数都大于 10 株, 试验测得的是每次取样的 10 株单株果重, 试验数据见表 4-5。

表 4-5 花生生长发育调查
Table 4-5 The investigation of development grows of earthnut

土壤处理	取样	10 株单株果重/g										平均重量/g
未深松	17 株	58.8	43.9	13.7	46	27.7	21.6	33.4	21.5	22.7	20.9	31.02
	19 株	58.5	43.9	13.4	45.7	27.4	21.3	33.1	21.2	22.4	20.6	30.72
深松后	20 株	30.8	28.3	30.1	22.6	17.2	17.2	35.4	39.6	38.8	42.4	30.24
	21 株	30.2	27.7	29.5	22.0	16.6	16.6	34.8	39.0	37.2	41.8	29.54

(2) 数据分析

从表 4-5 可以看出, 中耕深松后花生的单株果重比未深松的单株果重有所减少,

为了比较花生的单株果重减少的是否明显,对最能反映其生长发育的单株果重进行方差分析如表 4-6 所示,置信度为 95%, $F_{0.05}(1, 38) = 4.08$ 。

从表 4-6 可以得出:在置信度为 95%的情况下,花生的单株果重的 $F_{0.05} = 0.071 < F_{0.05}(1, 38) = 4.08$,方差分析结果表明,中耕深松后花生单株果重比未深松的单株果重减少的不显著,但还是有所减少。

表 4-6 花生生长发育的方差分析

Table 4-6 Variance analysis of development grows of earthnut

差异源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值
组间	9.604	1	9.604	0.071	0.791
组内	5121.920	38	134.787		
总计	5131.524	39			

4.1.4 试验结论

通过对中耕深松后和未深松的玉米,谷子和花生的生长发育指标进行试验测定和数据的方差分析,说明中耕深松对不同作物生长发育的影响程度是不同的,其中影响最明显的是玉米和谷子的株高,玉米的茎粗影响明显;对玉米和谷子的穗长和穗粗影响不明显,但其数量都有所增加;花生的单株果重不但没有增加反而有所减少,只是减少的不太明显,没有起到增产的作用。

4.2 深松后玉米根系的研究

由于中耕深松对改善玉米生长发育起到的作用比较明显,所以重点对玉米的根系进行研究。根长是单位土壤面积的总根长,单位是 km/m^2 ,表征植物根系总量的大小。在根系研究中,根长作为最常用的参数,是因为大多数研究人员认为根长密度是估算根系吸收土壤水分和养分的最优参数之一,因此根长的测定在根系研究中显得尤为重要。

4.2.1 玉米根长的研究

1) 试验时间:2005年10月9日

2) 试验地点:阜新县他本扎兰镇马蹄营子村的“国家863项目”试验田

3) 试验仪器:铁锹一把、镢子一把、红色标笔(3支)、5mm厚的透明有机玻璃、0.1mm厚的透明塑料薄膜、小刀、直尺、数码相机

4) 试验方法:薄膜法和交叉法(张喜英,1999)

薄膜法:是对传统壕沟方法的一种改进,Reijmerink(1964,1973)把一块5mm厚的

透明有机玻璃安放在剖面上，玻璃上覆盖一张 0.1mm 厚的透明塑料薄膜，然后用特制的铅笔(本试验中用的是红色标笔)在塑料薄膜上描绘出裸露根系及其结构水平分布状况，见图 4-3 和图 4-4。

在铺膜前首先用铁锹和镢子挖了一个 1.5m×1m×0.8m (长×宽×高)的方坑，以便人能站在坑里观察绘制裸露根系的结构在垂直面上的分布情况。

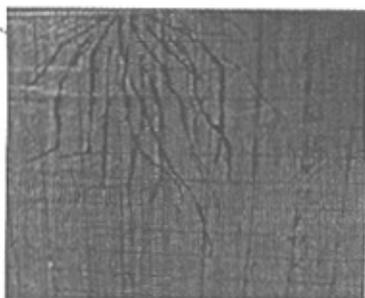


图 4-3 深松后根系的分布情况

Figure 4-3 The distributing of subsoiled root system

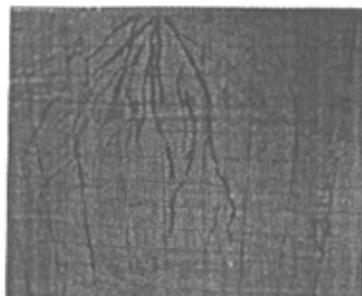


图 4-4 未深松根系的分布情况

Figure 4-3 The distributing of no subsoiled root system

交叉法：也叫截线法 (Line-intersection method)，是根长的测定方法之一。交叉法是用根系与线段之间的交点数，根据公式计算出根长的一种方法。交叉法因其有理论基础，简单快速，是最常用的测定根长的方法之一。Newman(1966)推导出用交叉法计算根长的公式：

$$R = \pi NA / 2A \quad (4-1)$$

式中：R—总根长；N—根系与非常纤细的线段之间的交点；

A—矩形面积；H—矩形面上所有线段的总长度。图 4-5 是对公式 4-1 的解释：

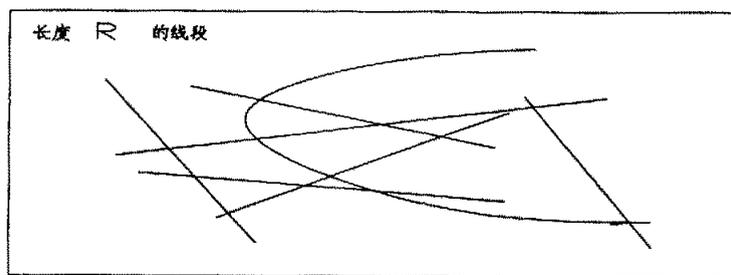


图 4-5 在一个矩形平面上根系与直线的交点用于计算根长

Figure 4-5 Calculating the length of root by intersection of root system and straight line point in rectangle

对公式 4-1 的推导过程如下：

长为 ΔR 的线段 PQ，位于具有面积 A 的平面内，PQ 代表一段根系，它很短，可以认为是直的；另有一根纤细的线段 MN (长度 h) 也位于 A 内。MN 与 PQ 相交的条件是 PQ

的中点 D 位于 MN 的 $1/2 \Delta R$ 内，也就是面积为 $(\Delta R)h$ 的长条带中（假设 $(\Delta R)h$ 很小），见图 4-6，如果 MN 相对于 PQ 是随机的，那么 D 在 $(\Delta R)h$ 范围内的概率为 $(\Delta R)h/A$ 。当 D 点在 MN 一半的 $1/2 \Delta R$ 内时，PQ 与 MN 形成的角度假设为 θ ，这时 D 至 MN 的距离应小于 $1/2 \Delta R |\sin \theta|$ ，那么 PQ 和 MN 出现焦点 p 的概率是：

$$1/(2\Delta R)|\sin \theta|/(1/2\Delta R) = |\sin \theta|$$

假设 D 在 A 中的任意位置，则：

$$p = \Delta R h |\sin \theta| / A$$

如果 A 内有许多纤细的线段，总长度是 H，那么 PQ 与这些线段的总交点数为：

$$N = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{\Delta R H}{A} |\sin \theta| d\theta$$

所以

$$N = (2\Delta R H) / (\pi A)$$

假设具有总长度 R 的根系位于 A 内，R 可以看作是由无数个 ΔR 组成，那么：

$$N = (2RH) / (\pi A)$$

总根长：

$$R = \pi AN / (2H)$$

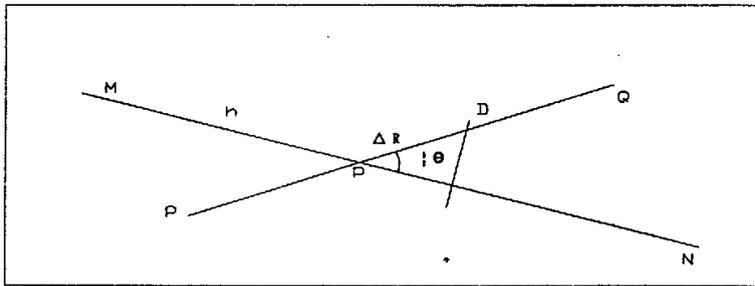


图 4-6 对公式 4-1 推导过程的描述

Figure 4-6 The description of reasoning process to formula 4-1

Marsh(1971)发现 A 与 H 之间有一简单的关系，可对 Newman 的方法进行简化。对于一个不限定大小的矩形平面，但随机直线要用同一间距的垂直和水平直线形成的网格代替（直线之间的间距为网格单位），根据测定根系与垂直和水平直线的交叉数 (N)，得到根长：

$$\text{根长} = 11 (N \times \text{网格单位}) / 14$$

$$\text{当网格单位为 } 5\text{cm 时, 根长} = 3.92857 \times N \quad (4-2)$$

5) 玉米根系根长测定数据

在上图 4-3 和图 4-4 中, 当网格单位为 5cm, 根据公式 4-2 求得根长分别为:

中耕深松后, 玉米根系和网格的总交叉数为: $N=67$ 根系根长=263.21cm;

未深松玉米主根根系和网格的总交叉数为: $N=95$ 根系根长=373.21cm;

说明中耕深松后根系的根长明显大于未深松根系的根长。

4.2.2. 玉米根长密度的研究

为了更清晰地表示出中耕深松后和未深松玉米根系的差异情况, 分别对玉米的根系根长密度进行测量, 根系根长密度的求法: $\rho = L / V$ (4-3)

式中: ρ ——根系根长密度, (cm/cm^3);

L ——根系的根长, (cm);

V ——每个土壤层次的体积, (cm^3).

将挖掘深度 80cm 的土壤平均分成八个层次, 即每 10cm 深度为一个分界面, 每个层次的土壤体积以中耕深松后根系所达到的最大体积为一致标准, 将这个体积近视为圆柱体的进行计算, 即半径 $R=10\text{cm}$, $V=3140\text{cm}^3$, 则交点数和根长密度如表 4-7 所示:

表 4-7 玉米主根根长密度的测试数据

Table 4-7 The testing data of long density of the main root of maize								
土壤深度/cm	10cm	20cm	30cm	40cm	50cm	60cm	70cm	80cm
未深松各层交点数 N	22	24	11	7	6	5	4	4
各层次的根长/cm	86.46	94.32	43.23	27.51	23.58	19.65	15.72	15.72
未深松根长密度/ $\text{cm} \cdot \text{cm}^{-3}$	0.0275	0.0301	0.0138	0.0088	0.0075	0.0063	0.0050	0.0050
深松后交各层点数 N	35	33	29	10	8	7	6	6
各层次的根长/cm	137.55	129.69	113.97	39.3	31.44	27.51	23.58	23.58
深松后根长密度/ $\text{cm} \cdot \text{cm}^{-3}$	0.0438	0.0413	0.0363	0.0125	0.0100	0.0088	0.0075	0.0075

从表 4-7 可以看出, 中耕深松后, 土壤中各层次的玉米的根系根长密度都大于未深松的玉米的根系根长密度, 对上表的数据用图 4-7 作进一步的说明:

从图 4-7 可以看出, 中耕深松后, 玉米根系的根长密度比未深松玉米根系的根长密度增加, 但增加的幅度不一样, 土壤 10~30cm 深度根系根长密度差异幅度较大, 从 30~40 cm 差异幅度逐渐下降, 从 40~80cm 差异趋于平缓, 但深松后根系根长密度仍大于未深松根系的根长密度。

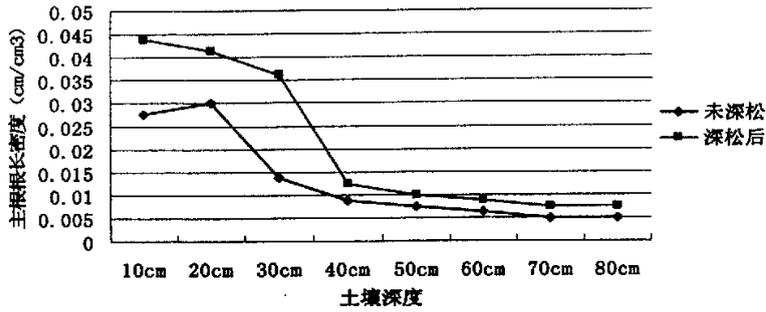


图 4-7 玉米主根根长密度的对比

Figure 4-7 Contrasting of long density of the main root of maize

为了更形象直观地观察根系的生长发育情况，将深松后根系和未深松根系挖掘出来，分别对整个根系和单根进行拍摄并对比，见图 4-8、图 4-9、图 4-10 和图 4-11。

- (1) 深松后根系单根比未深松根系单根直径大；
- (2) 深松后根系根长比未深松根系根长更长，这和上面的试验结果相一致；
- (3) 深松后单根上的须根数目比未深松单根上的须根数目增多；
- (4) 深松后根系根长密度比未深松根系的根长密度都增加，和上面试验结果相一致。

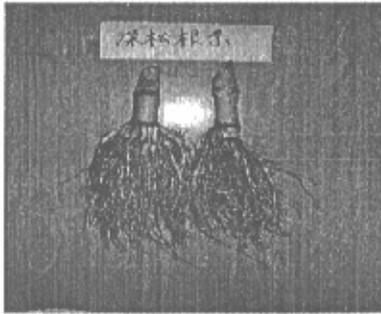


图 4-8 深松后根系图

Figure 4-8 The picture of root system after subsoiling



图 4-9 未深松根系图

Figure 4-9 The picture of root system no subsoiling



图 4-10 深松后单根图

Figure 4-10 The picture of single root after subsoiling



图 4-11 未深松单根图

Figure 4-11 The picture of single root no subsoiling

4.2.3 试验结论

通过对中耕深松后玉米的根系和未深松的玉米的根系进行研究,表明中耕深松后玉米根系的根长和直径增加,根系的根长密度增大,而且单根上的须根也增多。说明中耕深松促进了玉米根系的生长发育,进一步证明了中耕深松疏松土壤,打破犁底层,活土层加深,为作物根系的生长发育创造良好的环境,促进作物生长发育,为作物生长输送充足的养分。

第五章 中耕深松机械化技术的效益分析

5.1 社会效益分析

随着我国农村经济的不断发展和改革的不断深入，对农业生产重视程度也日益增加，我国的农业发展不仅面临着机遇，而且面临着挑战，如何实现我国农业可持续发展的战略目标是当今迫切需要解决的问题。

旱区农业持续发展有如下两个主要问题。一是降雨少、气温低、土壤贫瘠、自然条件恶劣，产量低而不稳，农民生活贫困。二是水土流失和风蚀沙化十分严重。大量的水土流失不仅导致土壤肥力下降，而且残食耕地，土石山区耕层变薄，黄土高原被冲的沟壑纵横、支离破碎，加剧了“旱、薄、粗、穷”的局面。

风蚀沙化则是我过北方旱区近来更为突出的问题，由于过度的开垦及不适当的耕作方式，植被破坏，土地沙漠化愈来愈快，沙尘暴发生的频率愈来愈高。据统计，我国发生沙尘暴的次数逐年上升，20世纪50年代5次，60年代8次，70年代13次，80年代14次，90年代23次，严重影响了工农业生产和城乡人民群众的生活。沙漠化面积已经占国土面积的28%，而且还以每年2460km²的速度迅速发展。

水土流失、生态恶化的原因，除大量开荒、林草植被减少外，还与耕作方式不当、管理粗放密切相关。如旱地采用焚烧秸秆、铧式犁翻耕、土地裸露休闲的传统耕作，就是不恰当的方式。翻耕可以疏松土壤、翻埋肥料杂草，再经过碎土平地，创造良好的种床，但地表疏松裸露、蒸发与径流大、风刮起沙、水冲土流，是导致沙尘暴猖獗、荒漠化加剧的重要原因。

中耕深松机械化技术是保护性耕作技术的重要环节，保护性耕作技术可以减少土壤水蚀。保护性耕作技术比传统的耕作可以减少土壤流失量80%以上。如1999年有两次大于40mm的降雨，传统的耕作水土流失73.65t，而免耕覆盖处理的流失量14.5t，减少水蚀80%。1998年没有暴雨，土壤流失量总体较少，但传统的土壤流失1.72t，而免耕覆盖处理流失0.46t，减少73%，保护性耕作减少土壤流失的效果仍然非常明显。

保护性耕作也可以减少土壤风蚀，减少沙尘暴侵袭，降低沙漠化。沙漠是经过多年风蚀形成的，已经没有什么微粒存留下来，留下的基本是大颗粒的粗沙，微粒主要存在于耕作的农田和荒漠的草地，且耕作愈多的农田，微粒含量愈多。因此，沙尘暴的沙源主要来自裸露的农田和退化的草原。保护性耕作把秸秆根茬留在地表，利用根茬固土、

秸秆挡土，可以有效地减少扬沙和土粒转移。保护性耕作使地表湿润、增加团粒结构，也是减少风蚀的重要因素。据统计，保护性耕作可以减少风蚀（农田扬沙）60%左右。

保护性耕作可以减少径流。径流发生的原因主要是降雨速度超过入渗速度，不能下渗的雨水就会沿着地表大量流走。没有覆盖的土地，雨水直接拍击土壤，使土粒细碎化并封满土壤表面孔道，形成所谓的结壳，阻止水分入渗，使径流大量增加。反之，秸秆覆盖保护土壤、免受雨滴拍击，避免结壳，径流将大幅度减少。同时秸秆残茬阻碍水流、减缓径流、使雨水入渗时间增加，也是减少径流的原因。压实是影响径流的第二位因素。压实使土壤密实、地表光滑，入渗减少、径流增大。反之，地表疏松、粗糙不平将增加入渗、减少径流，因此，中耕深松机械化技术在此发生着关键的作用。

5.2 经济效益分析

在分析中耕深松机械化技术的经济效益时，本论文主要从以下三个方面进行阐述：作物产量、作业成本和农民收入。

5.2.1 中耕深松机械化技术的作物产量

以玉米为例：于2005年10月9日，在辽宁省阜新县他本扎兰镇马蹄营子村的“国家863项目”玉米试验田里，分别把中耕深松和未深松的试验田分为5个小区，在每个小区里取一个已经成熟收割的玉米，测量其生长指标：百粒重、秃尖长和单穗重，并分别估测其产量（每亩按3300株玉米计算），见表5-1。

表 5-1 玉米产量调查
Table 5-1 The investigation of maize's output

土壤处理	指标	小区号					均值
		1	2	3	4	5	
未深松	百粒重/g	28.5	29.0	30.5	25.5	22.4	27.18
	秃尖长/cm	13.0	19.5	18.6	12.5	8.9	14.5
	单穗重/g	228.0	209.4	262.3	142.8	156.5	198.0
	产量/kg/hm ²	11286	10363.5	12984	7069.5	7450.5	9831
深松后	百粒重/g	32.1	29.7	34.2	29.4	40.0	33.08
	秃尖长/cm	12.3	13.2	6.3	15.1	5.7	10.52
	单穗重/g	242.7	181.8	294.1	239.9	243.2	240.3
	产量 kg/hm ²	12012	8997	14559	11875.5	12039	11896.5

从表 5-1 可以看出：中耕深松后，玉米的百粒重从 27.18g 增加到 33.08g，增加幅

度为 21.7%，玉米的秃尖长从 14.5cm 减少到 10.52cm，减少幅度为 3.98%，玉米的单穗重从 198.0g 增加到 240.3g，增加幅度为 21.36%，玉米每公顷的产量从 9831kg 增加到 11896.5kg，增加幅度为 21%。从而可以证明：中耕深松可以提高作物的产量。

5.2.2 中耕深松机械化技术的作业成本

以 25 马力四轮拖拉机中耕深松作业 60 公顷为例计算机械作业成本费用，(F_y):

$$F_y = F_n + F_w + F_x + B + F_{gt} \quad (5-1)$$

式中： F_n —能源消耗费，(元)；

F_w —维修费，(元)；

F_x —主机及机具折旧费，(元)；

B —劳动报酬，(元)

F_{gt} —管理费，(元)。

作业成本 C_y ，(元/公顷)：

$$C_y = \frac{F_y}{Q_{xwl}} \quad (5-2)$$

式中： Q_{xwl} —计算期作业量(公顷)，按作业 20 天计算，得：

$$Q_{xwl} = 20 \times (0.33 \text{ 公顷/小时}) \times (9 \text{ 小时/天}) = 60 \text{ (公顷)}$$

(1) 能源消耗费 (F_n)

每公顷柴油消耗 21kg，每千克柴油 3.2 元，一个作业季副燃油消耗共计 200 元。

$$F_n = 21 \times 3.2 \times 60 + 200 = 4232 \text{ (元)}$$

(2) 维修费 (F_w)

$$F_w = 300 \text{ (元)}$$

(3) 主机和机具的大修提存费 (F_x)

1) 主机的大修提存费，(F'_x)

$$F_x^i = \frac{\sum_{j=1}^n (Z_{gvt}^i \cdot R_{jt}^i)}{Q_{ni}^i} \cdot Q_{zml} \quad (5-3)$$

式中： Z_{gvt}^i —固定资产原值，（元），主机固定资产原值以 3.5 万元计算；

R_{jt}^i —大修提存率，主机为 8%；

Q_{ni}^i —一年作业量，（公顷），一般主机年作业量为 400 公顷；

Q_{zml} —计算期作业量，（公顷），60 公顷。

$$\text{则： } F_x^i = \frac{35000 \times 8\%}{400} \cdot 60 = 420 \text{（元）}$$

2) 机具的大修提存费，（ F_x^* ）

$$F_x^* = \frac{\sum_{j=1}^n (Z_{gvt}^* \cdot R_{jt}^*)}{Q_{ni}^*} \cdot Q_{zml} \quad (5-4)$$

式中： Z_{gvt}^* —机具的固定资产原值，（元）为 4000 元；

R_{jt}^* —机具的大修提存率，一般为 5%；

Q_{ni}^* —机具的年作业量，（公顷），一般机具的年作业量为 100 公顷。

$$\text{则： } F_x^* = \frac{4000 \times 5\%}{100} \times 60 = 120 \text{（元）}$$

3) 主机与机具的大修提存费（ F_x ）

$$F_x = F_x^i + F_x^* = 420 + 120 = 540 \text{（元）}$$

(4) 主机与机具的折旧费（ F_z ）

1) 主机折旧费（ F_z^i ）

$$F_z^i = \sum_{i=1}^n \frac{Z_{gvt}^i - Z_{jzt}^i}{T_{ni}^i} \cdot Q_{zml} \quad (5-5)$$

式中： Z_{jzt}^i —固定资产残值，（元），主机残值率 4%，则主机残值为 1400 元；

T_{ni}^i —主机使用年限，（年），一般为 12 年。

$$\text{则: } F_z' = \frac{35000-1400}{12 \times 400} \times 60 = 420 \text{ (元)}$$

2) 机具的折旧费 (F_z')

$$F_z' = \sum_{i=1}^n \frac{Z_{zj}^i - Z_{zj}^r}{T_{zj} \cdot Q_{zj}} \cdot Q_{zj} \quad (5-6)$$

式中: Z_{zj}^i —机具原值为 4000 元;

Z_{zj}^r —机具的固定资产残值, (元), 机具残值率为 5.5%, 残值为 220 元;

T_{zj} —机具的使用年限, (年), 一般为 10 年。

$$\text{则: } F_z' = \frac{4000-220}{10 \times 100} \times 60 = 226.8 \text{ (元)}$$

3) 主机和机具的折旧费 (F_z)

$$F_z = F_z' + F_z'' = 420 + 226.8 = 646.8 \text{ (元)}$$

(5) 劳动报酬 (B)

以日工资计算劳动报酬, 每人每班 50 元, 共计 20 天

则: 总工资 B=1000 (元)

(6) 管理费 (F_g)

一般为收入的 5%-10%, 确定 $F_g=1000$ (元)

(7) 机械化分层深松的作业费用 (F_y)

$$F_y = F_n + F_w + F_z + B + F_g$$

$$F_y = 4232 + 300 + 540 + 646.8 + 1000 + 1000 = 7718.8 \text{ (元)}$$

$$C_y = \frac{F_y}{Q_{zj}} = \frac{7718.8}{60} \approx 128.65 \text{ (元/公顷)}$$

5.2.3 中耕深松机械化技术的农民收入

根据以上对中耕深松机械化作业后作物的产量和机械作业成本的计算, 可以估测中耕机械化作业技术的农民的收入。

以玉米每公顷增产 2065.5kg, 玉米现在市场价为 1.22 元/kg 为标准计算, 则农民

种植每公顷玉米增收:

$$2065.5 \times 1.22 = 2519.91 \text{ 元/公顷}$$

减去每公顷机械作业成本 128.65 元, 农民种植每公顷玉米可以纯增收 2391.26 元。

5.3 生态效益分析

由于人们长期以来沿用传统的耕作方式进行农业生产, 使得土壤暴露、形成坚实的犁底层、风蚀剧烈、有机质和水分跑失严重, 加剧了土壤贫瘠和生态环境的恶化; 同时由于长期对土地的大肆掠夺, 造成农田土壤物质与能量的收支失衡, 土壤肥力日趋下降, 土地得不到休养生息, 农业生态系统恶化严重制约我国粮食产量的进一步提高。

中耕深松机械化技术是在作物苗期对作物进行分层、间隔深松。可以打破长期形成的坚实的犁底层, 使土壤贮水量增加, 水分利用效率提高; 降低容重, 增加土壤的孔隙度; 提高土壤有机质的含量; 可以促进作物根系的生长发育, 为作物创造良好的生长环境。

中耕深松机械化技术可以形成虚实并存的耕层结构, 耕层的虚部深蓄水, 成为耕层内的“土壤水库”, 实部提墒供水, 由于毛管浸润和蒸发为动力, 具有“抽水机”的作用, 协调了水分贮与供的矛盾。可以抗春旱, 防夏涝, 秋墒春用, 再加上水分的渗透能力增强, 可以避免产生地表径流, 最终增加耕层的有效水。

由于水分特性的改变, 使得耕层土壤各部分的通气性和温热特性随之变化, 虚部上层孔隙度增加, 表面地温提高, 上层水分比底层水分含量减小, 成为好气环境, 微生物的矿化分解活动加强, 促使有机质的分解; 实部的孔隙度小, 而且日较差温度比虚部日较差温度小, 上、下层水分含量相差不大, 有效水的含量高于虚部, 成为嫌气性环境。腐殖化合成活动相对加强, 有机质含量略有提高。对作物是“既发小苗, 又发老苗”, 早熟高产。

由于中耕深松机械化技术打破了坚实的犁底层, 疏松土壤, 可以使实部位有丰富的毛细管体系, 使疏松部位所贮水分上升, 供给莖台根系。在伏雨季节中, 垄沟部位水分多、温度高, 根系均向深松部位伸展, 直到犁底层以下, 根深才能叶茂。

第六章 结论和建议

6.1 结论

本论文开始于 2005 年 4 月到 2006 年 4 月结束,在此期间做了大量的田间试验、数据调查与数据分析,在原设计的 1HS-1.2 型中耕深松机的基础上,结合辽宁省西部地区的自然条件和现有的农业机械化的发展水平,对 1HS-1.2 型中耕深松机进行了改进设计。通过对改进后的 1HS-1.2 型中耕深松机进行田间试验,并且农机与农艺相结合,对深松后和未深松的土壤的物理指标、作物的生长发育情况以及玉米根系生长进行对比研究,取得了如下主要研究成果:

(1) 通过对 1HS-1.2 型中耕深松机进行田间总体试验设计,确定中耕深松深度为 20cm,前铲型式为小翼铲,前后铲距为 70cm,后铲型式为小凿铲,配套的动力最小为 25 马力的拖拉机;对 1HS-1.2 型中耕深松机进行结构改进,确定弹簧的直径为 8mm,工作圈数 10 圈,仿形轮的轴承选择 6305 深沟球轴承,连接钢筋的直径为 16mm,铲柱连接片加长 10mm,加宽 7mm。

(2) 对改进后的 1HS-1.2 型中耕深松机进行田间试验,从中耕深松的农艺要求和技术要求两方面出发,检测分层深松对作物和土壤影响及机具的作业适应性,测定出中耕深松前后土壤的孔隙度相差 9.91%,深松稳定性为 87.51%;土壤理化指标监测:研究玉米、谷子和花生等主要作物中耕深松或不深松土壤理化指标(含水量、孔隙度、温度和有机质)的变化,通过方差分析说明在置信度为 95%的情况下,中耕深松对玉米地土壤的理化指标影响最显著,其次为谷子地土壤理化指标,最后为花生地土壤理化指标。

(3) 田间观测和对比研究中耕深松和不深松时玉米、谷子和花生等主要作物生长发育情况,通过方差分析说明在置信度为 95%的情况下,中耕深松对玉米的生长发育指标——株高、茎粗影响显著,对其穗长、穗粗影响较不显著;对谷子的生长发育指标——株数和茎高影响显著,对其穗长、穗粗影响较不显著;对花生的生长发育指标——单株果重影响不显著。

(4) 重点对玉米的根系进行研究,用薄膜法和交叉法对深松和未深松的玉米根系根长和根长密度进行研究比较,以每 10cm 深度的土壤为一个层次,在共 80cm 的土壤深度中,深松后玉米的根系根长为 373.21cm,根系根长密度最大为 0.0438cm/cm³,最小为

0.0075 cm/cm³,未深松玉米的根系根长为263.21cm,根系根长密度最大为0.0275 cm/cm³,最小为0.005cm/cm³。

(5) 对中耕深松机械化技术进行效益分析,说明中耕深松可以减少径流、水蚀,减少风蚀,抑制沙尘暴;可以使土壤蓄水量增加,提高土壤肥力;重点调查中耕深松和未深松玉米的产量和机械化作业成本,表明农民种植每公顷玉米可以纯收入2391.26元;从土壤蓄水量增加,提高土壤肥力等方面进行生态效益分析,论证1HS-1.2型中耕深松机在农业生产中的运用具有可行性和推广性。

6.2 建议

由于时间的关系,再加上本人的基础理论水平有限,使得一些基础理论和试验研究有待于进一步深入开展,建议今后重点从事以下几方面的研究工作:

(1) 从辽西地区的实际情况看,当地的大马力拖拉机很少,农民拥有的大马力拖拉机为25马力拖拉机,所以用1HS-1.2型中耕深松机进行田间作业时中耕深度为20cm已经满足当地的农业生产要求,不宜再加大深松深度,否则耗资耗力。

(2) 在今后的深入研究中,应该运用相关软件把深松机构的关键部件建立动力学模型并对其进行仿真分析。

参考文献

1. 柏雪源, 等. 1998. 国外几种新型深松机具的研究. 农机与食品机械, (4): 34~35.
2. 北京农业机械化学院. 1981. 农业机械学(上册). 北京: 农业出版社, 80~100.
3. 北京农业工程大学. 2001. 农业机械学. 北京: 中国农业出版社.
4. 边少峰. 1998. 国内外玉米高产耕作栽培技术比较. 1998 吉林省青年学术会论文集[C]. 吉林: 吉林大学出版社, 317~319.
5. 蔡典雄, 等. 半湿润偏干旱地区麦田保护耕作技术研究. 干旱地区农业研究, 13 (4) 30~33.
6. 迟仁立, 左树珍. 1982. 土壤耕作现代化的探讨. 农业现代化研究, (1): 30~33.
7. 陈良玉等. 2000. 机械设计基础. 沈阳: 东北大学出版社.
8. 陈雷臻, 等. 1999. 双翼活土深松机的研究设计. 农机化研究, 18 (1): 62~64.
9. 陈明, 等. 1995. 全方位深松部件结构参数的试验研究. 北京农业工程大学学报, 1995, 15 (1): 27.
10. 大连理工大学工程画教研室. 2005. 机械制图. 北京: 高等教育出版社.
11. 丁昆仑, [英]M. J. Hann. 1997. 深松耕作对土壤水分物理特性及作物生长的影响. 中国农村水利水电, (11): 13~16.
12. 丁永凯, 丁建伟. 1990. 深松部件的工作性能及其应用. 农机化研究.
13. D. 希勒尔. 1981. 土壤和水. 北京: 农业出版社, (1): 139~179.
14. 傅积平, 等. 1978. 机械耕作条件下的土壤改良. 北京: 农业出版社.
15. 高焕文, 等. 1999. 可持续机械化旱作农业研究. 干旱地区农业研究, 17 (1): 57~62.
16. 高焕文, 李问盈. 2004. 保护性耕作技术与机具. 化学工业出版社, (1): 1~35, 158~170.
17. 谷谒白, 刘向阳. 1994. ISQ-250 型全方位深松机的研制与试验. 北京农业工程大学学报, 14 (4): 42~48.
18. 谷谒白, 刘向阳. 1996. ISQ-250 型全方位深松机. 推广机具, (2): 20~21.
19. 谷谒白, 刘向阳. 1998. 全方位深松技术及应用. 农村机械化. (7): 34.
20. 郭新荣, 谷谒白. 1997. 全方位深松机造成鼠道的机理. 中国农业大学学报, 2 (4): 53~58.
21. 何奇镜, 佟培生. 1999. 吉林省中部地区玉米少耕法研究报告[III. 玉米少中耕试验报告]. 吉林农业科学, 24 (2): 8~12.
22. [美国]吉尔 W R. 1983. 耕作和牵引土壤动力学. 北京: 中国农业机械出版社, 362.
23. 《机械设计手册》联合组编写. 1983. 机械设计手册. 北京: 化学工业出版社.
24. 机械设计手册. 1982. 北京: 机械工业出版社.
25. 机械工程手册. 1991. 北京: 机械工业出版社.
26. 机械零件设计手册第二版. 1980. 北京: 冶金工业出版社.
27. 吕英华, 秦双月. 2002. 测土与施肥. 北京: 中国农业出版社, 1~35.
28. 李宝筏, 任文涛等. 1999. 土壤-耕作机具系统研究的若干进展[A]. 中国农机学会地面机器系统分会地面机器系统研究的回顾与展望研讨会论文[C], 5~9.

29. 李洪文, 等. 1997. 旱地农业三种耕作措施的对比研究. 干旱地区农业研究, 15 (1): 7~11.
30. 李洪文, 等. 1999. 可调翼铲式深松机的试验研究. 北京农业工程大学学报, 15 (2): 33~39.
31. 李洪文, 等. 2000. 保护性耕作条件下深松技术研究. 农业机械学报, 31 (6) 42~45.
32. 李洪文, 等. 2000. 平翻深松机械的改装及应用效果. 农机推广, (23): 37.
33. 李达. 1998. 试验设计. 沈阳: 沈阳农业大学, 1~56.
34. 刘鸿文. 1995. 简明材料力学. 北京: 高等教育出版社.
35. 廖植樾, 等. 1995. 全方位深松机对土壤物理化学性质的影响. 北京农业工程大学学报, 15 (1): 18~24.
36. [美]L.M 沃尔什, J.D 比坦. 1982. 土壤测定与植物分析. 北京: 农业出版社, 39~52.
37. 林春江. 2002. 机械制图与公差. 北京: 中国农业出版社.
38. 马耀光等. 2004. 旱地农业节水技术. 北京: 化学工业出版社, (1). 98~109.
39. 彭文生等. 2002. 机械设计. 北京: 高等教育出版社, (1): 339~388.
40. 邱立春. 1996. 关于辽宁省当前机械化耕作中存在的问题及对策. 中国农业大学学报, 增: 29~32.
41. 邱立春. 1998. 全方位深松机系统动态模型与减阻节能研究: [博士学位论文]. 沈阳: 沈阳农业大学.
42. 邱立春, 李宝筏. 2000. 自激振动深松机减阻试验研究. 农业工程学报, 16 (6): 72~76.
43. 盛骤, 等. 2000. 概率论与数理统计. 北京: 高等教育出版社, (17): 1~279.
44. 宋日, 等. 2000. 深松土对玉米根系生长发育的影响. 吉林农业大学学报, 22 (4): ~75, 80.
45. 宋继辉, 广丽. 1997. 全方位深松机改良土壤效果初探. 黑龙江农业科学, 18 (1): 51~52.
46. 孙耀邦. 1996. 土壤耕作技术与应用. 北京: 中国农业出版社, (1): 95~138.
47. 唐登银, 谢贤群. 1990. 农田水分与能量试验研究. 北京: 科学出版社.
48. 王俊发等, 等. 2000. 振动深松机理探讨. 佳木斯大学学报, 18 (4): 335~338.
49. 王雪艳等. 2004. 振动深松机技术经济分析. 山东理工大学学报, 1672-6197 (2004) 03-0038-04.
50. 王微. 2004. 1HS-1.2 型中耕深松机试验研究: [硕士学位论文]. 沈阳: 沈阳农业大学.
51. 汪懋华. 2000. 农业机械化工程技术. 河南: 河南科学技术出版社, 43~83.
52. 徐晓丹. 2004. 1HS-1.2 型中耕深松机的研制: [硕士学位论文]. 沈阳: 沈阳农业大学.
53. 徐中儒. 1988. 农业设计最优回归设计. 黑龙江: 黑龙江科学技术出版社.
54. 徐中儒. 1998. 回归分析与试验设计. 北京: 中国农业出版社, (1): 1~54.
55. [苏]西涅奥科夫 P H. 1981. 土壤耕作机械的理论与计算. 北京: 中国农业机械出版社, 67.
56. 西北农业大学干旱半干旱研究中心. 1992. 旱地农业蓄水保墒技术. 北京: 农业出版社, (1): 1~9.
57. 熊顺贵. 2001. 基础土壤学. 北京: 中国农业大学出版社.
58. 于强, 符新伟. AutoCAD 机械零件绘制技巧与典型实例. 北京: 人民邮电出版社.
59. 于希臣, 等. 1999. 风沙半干旱区中耕深松的作用. 辽宁农业科学, (3): 34~36.
60. 宰松梅, 仵峰. 1999. 粘质土旱作深松保墒试验研究. 灌溉排水, 18 (3) 48~51.
61. 张淑静, 等. 1994. ISQ-250 型全方位深松机. 现代化农业, (11): 30~31.

62. 张喜英. 1999. 作物根系与土壤水利用. 北京: 气象出版社, (1): 1~26.
63. 赵聚宝, 徐祝龄等. 1995. 中国北方旱地农田水分开发利用. 北京: 中国农业出版社, 10~25.
64. 中国农业机械化学学院. 1988. 农业机械设计手册(上册). 北京: 机械工业出版社, 135~150.
65. 中国科学院南京土壤研究所主编. 1978. 土壤理化分析. 上海: 上海科技出版社, 469~512.
66. 中国土壤学会农业化学专业委员会编. 1984. 土壤农业化学常规分析方法. 北京: 北京科学出版社, 199~205.
67. 周开勤. 2001. 机械零件手册. 北京: 高等教育出版社, (5): 101~123.
68. 朱惠斌. 2003. 自激振动深松机的计算机仿真及其参数优化: [硕士学位论文]. 沈阳: 沈阳农业大学.
69. 朱瑞祥, 邱立春. 2000. 农业机械化管理学. 吉林: 吉林科学技术出版社, (1) 77~87.
70. Cowan IR. 1965. Transport of water in the soil-plant-atmosphere system, *J.Appl.Ecol.*, 2:221~239.
71. Harrison H P. 1998. Soil reacting for a bentleg plow. *Trans of the ASAE.*, 31(1):47~51.
- Hainsworth JM, Aylmore LAG. 1986. Water extraction by single plant root, *Soil Sci.Soc.Am.J.*, 50:841~848.
72. Harisson, H. P. and Z. J. Licsko. 1989. Soil Reacting Wrenches and Dynamics for Three Models of Bentleg Plows. *Transactions of the ASAE* 32 (1).
73. Novak V. 1987. Estimation of soil-water extraction patterns by roots, *Agric. Water Manag.*, 12:271~278
74. Qiu Lichun Li Baofa. 1999. Experimental Study on The Self-Excited Vibration Subsoiler for Reducing Draft. *Innovation of Agricultural Engineering Technologies for the 21st Century (ICAE'99)*. Beijing: China Agricultural University Press, I-93~I-95
75. Qiu Lichun. 1998. The Anti-Drag Test And Analysis On The System Of Self-Exciting Vibration Subsoiler. *Proceeding of International Symposium on Northeastern Asia Agricultural Development in 21st Century (NEAAD'98)* p118~120.
76. Reeder, R. C. and R. K. wood. 1993. Five Subsoiler Designs and Their Effects on Soil Properties and Crop Yields. *Transactions of the ASAE* 36 (6).
77. Solonetzic And Associated Soils. *Canadian Agricultural Engineering*, 33 (2):231~238.
- Shinner, K. J. and R. Alcock. 1990. Combining Active and Passive Tillage Elements to Reduce Draft Requirement. *Transactions of the ASAE* 32 (2).
78. Sakai, K. and S. I. Hata. 1993. Design Parameters of Four-shank Vibrating Subsoiler. *Transactions of the ASAE* 36 (1).
79. Travis G.R. et al. 1991. Effects Of Deep Plowing On Soil Water Content And Drainage Of Wesley R.A. et al. 1993. Economic Analysis Of Irrigation And Deep Tillage In Soybean Production Systems On Clay Soil. *Soil And Tillage Research*, 28 (1):63~78.

致谢

本论文是自 2004 年以来,在导师邱立春教授的悉心指导下完成的。在整个论文的研究阶段,从选题、论证、设计、试验到论文的写作,导师都倾注了大量的心血,给予了许多关键性的指导。在三年的学习和研究期间,导师严谨的治学态度和孜孜不倦的探索精神一直影响着我,是我学习的榜样的楷模。在此要感谢邱老师这三年来对我学习和做人上的谆谆教导,感谢师母赵立楨教授在生活上无微不至的关怀!

在材料收集和田间试验研究过程中,得到了沈阳农业大学土壤与环境工程学院黄毅教授的悉心指导和无私帮助,并提供了很多珍贵的资料,在此特别对黄老师表示感谢!在田间试验过程中,还得到了土壤与环境工程学院邹洪涛博士、郭海彬学士、赵志刚学士、童建林学士和工程学院陈彬老师、孙峰硕士、张亚双硕士、赵国臣硕士、杨懿硕士等的帮助。

在试验研究和撰写论文的过程中还得到了中科院生态所、辽宁省农机研究所、辽宁省农科院和阜新县农机局等单位的大力支持和工作人员的热情帮助。尤其是张旭东所长给我提供了很多宝贵的意见和珍贵的资料,在此表示感谢!还得到了工程学院王瑞丽老师、田素博老师的指导。

在整个学习和成长过程当中,感谢父母和小弟一直给予我精神上鼓励和经济上的支持,他们对我的无微不至的关怀和照顾使我铭记在心,终身难忘。

值此论文完成之际,谨向上述老师和同学以及给予本人关心、支持和帮助的所有个人和单位表示最诚挚的谢意!

王秀珍

2006 年 4 月 22 日

攻读硕士学位期间发表文章

1. 王秀珍, 邱立春. 2006. 1HS-1.2 中耕深松机对土壤含水量影响试验研究. 农机化研究, (4): 150~151;
2. 王秀珍, 邱立春. 2005. 中耕深松对土壤含水量和作物生长发育的影响. 中国农业工程学会学术年会论文集, (第一分册): 117~120;
3. 孙峰, 邱立春, 王秀珍. 2006. 燃煤热风炉在温室生产中的应用研究. 农机化研究, (6): 179~181.