

BEIFANG HANDI BAOHUXING GENGZUO JISHU
JI XIANGGUAN WENTI DE SHIYAN YANJIU

北方寒地保护性耕作技术 及相关问题的试验研究

张 伟 著
汪 春 审

东北林业大学出版社

北方寒地保护性耕作技术及 相关问题的试验研究

张 伟 著
汪 春 审

东北林业大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

北方寒地保护性耕作技术及相关问题的试验研究/张伟著. —哈尔滨: 东北林业大学出版社, 2005.8

ISBN 7-81076-813-1

I. 北… II. 张… III. 资源保护-土壤耕作-土壤技术-中国
IV. S341

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 005140 号

责任编辑: 戴 千

封面设计: 彭 宇



NEFUP

北方寒地保护性耕作技术及相关问题的试验研究

Beifang Hande Baohuxing Gengzuo Jishu ji Xiangguan Wenti de Shiyan Yanjiu

张 伟 著

汪 春 审

东北林业大学出版社出版发行

(哈尔滨市和兴路 26 号)

哈尔滨市工大节能印刷厂印装

开本 850 × 1168 1/32 印张 4.75 字数 120 千字

2005 年 8 月第 1 版 2005 年 8 月第 1 次印刷

印数 1—1 000 册

ISBN 7-81076-813-1

S·442 定价: 25.00 元



作者简介

张伟, 1966年生, 1991年毕业于黑龙江八一农垦大学农业机械化专业, 2005年获得工学博士学位。主要从事农业机械学的教学和科研工作, 主要研究方向为谷物干燥、保护性耕作。近年来, 主持过全国农业开发、省多项课题, 获得农业部、黑龙江省科技进步奖4项, 厅局级科技进步奖10余项, 发表论文10余篇。

前 言

针对我国北方寒地旱作农业区水资源紧张、春旱严重、生态环境恶化、土壤侵蚀严重、农业生产能耗大、成本高等普遍存在的问题,本着加速黑龙江省传统耕作体系的技术改造,建立适应黑龙江省不同气候、土壤条件干旱、半干旱区的保护性耕作技术理论体系,并在该技术理论体系指导下逐步形成适应北方寒地旱作农业区保护性耕作技术工作模式的指导思想,参照国内外经验,对保护性耕作技术理论和配套机械进行了较为深入的研究。

在免耕的基础上通过残茬覆盖对风蚀、土壤温度和土壤水分的影响进行了试验研究,对北方寒地旱作农业区残茬覆盖对地温的影响提出了新的见解和思想,总结出残茬覆盖的合理值,提出并完善了北方寒地保护性耕作技术理论体系,并在大豆生产试验中通过作物种子萌发、出苗、生长状况及产量的分析研究,验证了该技术理论体系的合理性和适应性。

三种覆盖处理方式相对于无覆盖地表(0~2.5cm)含水量增加12.5%~19.5%,地表粗糙度也有显著增加,主要原因是通过残茬覆盖起到了降低100cm以下高度的风速的作用,降低,土壤的风蚀量,因此,提高了减少风蚀的能力,但三种覆盖之间无显著性。残茬覆盖相对于无覆盖减少分布在0.1~0.5mm之间的土壤粒径20%左右,这部分粒径的土壤颗粒主要是以跃移的形式形成风蚀,是产生风蚀的主要原因,因此,保护性耕作主要是通过减少地表土壤颗粒的跃移运动,从而起到减少农田土壤损失的作用;<0.05mm风蚀粒径也有较大幅度降低,土壤肥力要素主要集中在最细最轻的颗粒中,所以,通过保护性耕作也可以起到保护土壤肥力的作用。

残茬覆盖对土壤温度有明显的调节作用,在早期有增温效果,5cm层相对于无覆盖增温1.5~2.1℃,随着土壤层的加深,覆盖对土壤温度的调节作用越来越小。4月20日至6月15日前后,随着

覆盖量的增加,土壤温度开始升高,但覆盖量增加到一定程度后,土壤温度将下降,在6月20日以后,随着覆盖量的增加,土壤温度逐渐降低。因此,在北方寒地农业区春播期间,考虑土壤温度这个影响因素时,完全可以进行残茬覆盖,覆盖的范围应在30%~50%之间。

随着覆盖量的增加,各层土壤水分也随之增加,其中,10~20cm层增加幅度最大,为30%,5~10cm层次之,为28.2%,20~30cm层最小,为20.8%。

通过残茬覆盖与风蚀、土壤温度和土壤水分的变化关系曲线采用非线性规划数学模型对残茬覆盖量进行优化,取得合理值为40.7%。在大豆生产试验中对作物生产全过程进行分析研究得到结论为30%覆盖地温高,水分也较合理,出苗情况最好,80%覆盖水分最高,出苗情况也比较理想,几种覆盖形式都强于无覆盖。出苗率上无覆盖表现最好,80%覆盖最差,主要原因是地表残茬覆盖后,影响了地表的平整度,而且播下的种子容易被架空在一定程度上影响了种子的出苗。保护性耕作明显缓解了旱情,产量也都高于当地传统种法,其中,无覆盖产量为 $1\ 160\text{kg}/\text{hm}^2$,30%覆盖 $1\ 572\text{kg}/\text{hm}^2$,50%覆盖 $1\ 089\text{kg}/\text{hm}^2$,80%覆盖 $983\text{kg}/\text{hm}^2$,这里30%覆盖表现最好。

总之,通过大豆生产试验,完全验证了前期残茬覆盖对土壤水分、温度的影响规律,可以用来指导北方寒地保护性耕作技术的推广和示范。

通过对深松铲的碎土方式及受力分析确定了深松铲主要参数范围,按照二次正交旋转试验的方法在土槽试验室完成全部试验,建立回归方程并进行合理优化,优化结果为:翼张角 31.87° 、刃角 20.78° 、翼倾角 21.44° ,最小工作阻力为 $2\ 689.39\text{N}$ 。

通过降维分析,研究各参数与牵引阻力的关系,在三个角度中,刃角对阻力的影响最大,翼张角、翼倾角影响程度相近。而且较大或较小的各个角度都将使牵引阻力增加,刃角取值应在零水平以下较小范围内,翼张角和翼倾角取值应在零水平附近。

根据前期深松铲试验和理论分析所确定的铲尖合理参数,设计并研制了1SJ—3型深松机,在大豆收获并秸秆还田的基础上进行了

深松试验,测得深松作业后对地表不平度、土壤容重、土壤渗水率及土壤各层含水量的影响。

最大地表不平度降低 23.3%,平均地表不平度降低 21.7%,可以看出深松对地表有较明显的改善作用,对提高播种质量、充分发挥保护性耕作技术的增产潜力有明显的积极作用。深松作业后,土壤变得松软,增强了土壤的透气性和吸水性能,同时土壤的层次和结构也没有受到破坏。深松后土壤渗水量提高幅度非常大,达到 89%,因此,对于春旱严重的黑龙江省,通过秋收后进行深松作业,可以有效地保存和吸收雪水,对缓解春旱,将起到很好的作用。

在理论分析和试验研究的基础上初步形成了适应北方寒地旱作农业的保护性耕作技术理论,为进一步的研究提供了可靠的基础。

编著者
2005 年 4 月

目 录

1 绪 论	(1)
1.1 研究的目的和意义	(1)
1.2 国内外研究概况、文献综述	(4)
1.3 本文的主要研究内容及方法	(9)
2 保护性耕作技术概述	(11)
2.1 基本概念和主要内容	(11)
2.2 保护性耕作的主要作用	(11)
2.3 保护性耕作工艺特点及工艺体系	(14)
2.4 保护性耕作机具体系	(15)
2.5 小 结	(16)
3 保护性耕作对风蚀影响的试验研究	(17)
3.1 风蚀机理	(17)
3.2 实验区基本情况	(24)
3.3 试验方案的设计	(25)
3.4 田间试验测试内容及试验方法	(26)
3.5 气象状况观测和土壤物理特性	(32)
3.6 试验数据的分析与处理	(38)
3.7 结 论	(50)
4 残茬覆盖对土壤水分的影响	(52)
4.1 概 述	(52)
4.2 试验方案的设计	(53)
4.3 实验数据的处理与分析	(53)
4.4 小 结	(60)
5 残茬覆盖对土壤温度的影响	(62)
5.1 概 述	(62)

5.2	试验方案的设计	(63)
5.3	试验数据的处理及分析	(64)
5.4	小 结	(70)
6	残茬覆盖最佳参数的确定	(71)
6.1	残茬覆盖确定的依据	(71)
6.2	理论分析	(72)
6.3	小 结	(76)
7	不同处理方式对作物生长的影响	(77)
7.1	生产试验安排	(77)
7.2	生产试验结果与分析	(78)
7.3	小 结	(82)
8	深松机理的分析	(84)
8.1	深松作业的主要作用	(84)
8.2	深松铲的碎土方式及受力分析	(85)
8.3	小 结	(95)
9	深松机主要工作部件铲尖的设计与试验	(96)
9.1	试验方案的设计	(96)
9.2	深松铲的设计	(97)
9.3	深松铲测力系统的应用	(99)
9.4	深松铲结构参数的优化	(104)
9.5	降维分析	(107)
9.6	小 结	(110)
10	深松机的设计与研制及作业效果的分析	(111)
10.1	深松机的设计与研制	(111)
10.2	作业效果的分析	(115)
10.3	工作阻力验证	(119)
10.4	小 结	(120)
11	结论和建议	(122)
11.1	结 论	(122)

11.2 建 议	(123)
参 考 文 献	(124)
附录 1	(132)
附录 2	(133)
附录 3	(134)
附录 4	(138)
附录 5	(140)
附录 6	(141)

1 绪 论

1.1 研究的目的和意义

农业的可持续发展是社会、经济可持续发展的基础,保护性耕作技术是农业可持续发展的重要技术内容。保护性耕作技术的宗旨就是在保护环境、提高环境质量、实现农业可持续发展的前提下,最有效地利用和节省资源,提高农业生产能力和农产品利润率,改善农产品的品质,保护农业在国际市场上的竞争力。

保护性耕作的优点是:①减少地表径流,减轻土壤风蚀水蚀,改善环境;②增加土壤含水量(Monsanto Conservation Seminar, 1981; E·B·罗伯特等,1985);③增加土壤有机质含量,改善土壤结构(J. Kirkby & R. P. C. Morgve, 1980);④提高水、土、光等资源的利用率(山西省农业科学院,1991),提高产量(高克昌,1992),降低生产成本,增加收入,改善经济效益(D. N. Sharma & M. L. Jain, 1984)。

保护性耕作作为一种先进的农业生产技术,在我国山西等省份得到了较好的发展,在东北尤其黑龙江省寒地旱作农业区的研究尚处于起步阶段,而且传统耕作方法已很难适应环境和资源的挑战。其中影响寒地农业可持续发展的主要因素有以下几个方面。

1.1.1 水资源危机

进入20世纪70年代,世界性水资源危机更加突出,干旱和半干旱地区的缺水已成为一种长期发展的趋势,大约每20年世界总用水量就会增加1倍。世界资源所警告:到2000年不管是发达国家还是不发达国家,都将面临棘手的水资源短缺,水资源短缺成为当今世界各国经济发展的严重制约因素(朱文珊等,1991)。

我国是一个水资源短缺、水旱灾害频繁的国家,如果按水资源总

量考虑,我国水资源总量居世界第六位,但是我国人口众多,若按人均水资源量计算,人均占有量只有 $2\,500\text{m}^3$, 约为世界人均水量的 $1/4$, 在世界排第 110 位(按 149 个国家统计,统一采用联合国 1990 年人口统计结果),已经被联合国列为 13 个贫水国家之一。

黑龙江省水资源拥有量为 $1\,352\text{亿}\text{m}^3$, 在全国仅处于中游水平, 水资源短缺已严重影响黑龙江省国民经济和社会发展。据有关部门最新统计,目前全省耕地干旱面积 $7\,500$ 万亩^①, 500 多条中小河流出现断流,嫩江、松花江水位一降再降,连创历史最低值,而黑龙江、乌苏里江、绥芬河也出现了历史罕见的枯水期。严峻的干旱形势,使我们不得不正视黑龙江省水资源的现状。黑龙江省境内分布着黑龙江、松花江、乌苏里江、绥芬河四大水系及众多的河流湖泊,正常年份水资源总量为 $777\text{亿}\text{m}^3$, 如果按国际上通常认为的一条河流的取水最高不超过 40% 计算,这些水资源与黑龙江省年水需求总量大体相当。可由于黑龙江省水资源时空分布不均匀,水资源调节能力差,加上经济发展和人口增加,致使黑龙江省人均占有水资源由 $2\,300\text{m}^3$ 迅速降至 $2\,058\text{m}^3$, 低于全国平均水平,季节性、地域性缺水矛盾日益突出。生态环境破坏,也使黑龙江省水土流失严重,截至目前全省水土流失面积达 $134\,500\text{km}^2$, 约占全省总土地面积的 30% , 严重破坏了水生态环境。而缺乏控制水利工程、水污染,也导致我省水资源短缺问题加重。

目前,黑龙江省水资源存在开发利用率低、配置不合理问题。全省水库总库容不足 $80\text{亿}\text{m}^3$, 仅占地表水资源量的 5% , 大量水资源白白流失,而拉林河、呼兰河、穆稜河等流域水田相对集中,超过了河流水资源的极限,发生了断流,位于河流下游地区的工农业生产遭受严重影响,生态进一步破坏。全省每年向江河排放未经处理的污水 $10\text{亿}\text{m}^3$, 又加剧了水资源的供需矛盾。而长期轻视节水,造成黑龙江省工业、农业和生活用水效率低下,浪费严重, 1m^3 的水平均产粮

①亩不是法定计量单位,为叙述方便本书部分章节仍采用亩, $1\text{亩} = 0.067\text{hm}^2$, ——编者

1kg,而发达国家一般为2kg;1万元工业产值取水量为 91m^3 ,是发达国家的5~10倍,而生活用水浪费现象更是比比皆是。黑龙江省水资源短缺已是不争的事实,连年的干旱又使这一问题加剧。“水”,黑龙江省300多万人民生命之所系,珍惜水资源,科学利用有限水资源已成当务之急。

在大庆西部地区,由于历史原因,目前已形成面积达 $4\,000\text{km}^2$ 的地下水水位区域降落漏斗。漏斗中心水位已经由最初的距地面以下9m下降到目前的40.78m。在大庆东部地区,地下水位也由最初的喷出地面5m下降到目前的距地面以下47.92m。

黑龙江省年平均降雨量300~950mm,时空分布不均匀。东部山区700~950mm,其中长白山主峰白头山地区可达1000mm以上,三江平原500~600mm,松嫩平原西部平原区仅300~400mm。降水多集中在7、8月份,占全年降水的50%以上,6~9月份汛期降水占全年降水的70%以上,且多以集中降雨形式出现。降水的年际变化亦较大,最大与最小年降水量之比有的达3倍以上,且有连续数年多雨与少雨的交替现象。

1.1.2 生态环境恶化、土壤退化严重

由于采用不合理的耕作方式与措施,土地退化严重,目前全国水土流失面积已达到3.6亿 hm^2 ,约占国土面积的38%,每年流失土壤10亿t,并且仍在继续增加。土地荒漠化、草原沙化面积仍在快速扩散。我国现有沙漠化土地33.4万 km^2 ,风沙化土地3.7万 km^2 ,加上沙漠戈壁116.2万 km^2 ,共153.3万 km^2 ,占国土总面积的15.9%,已超过全国耕地的总和。沙漠化土地的分布情况是:41%面积分布在大兴安岭两侧的半干旱地带,以农作物交错区的旱农区风沙危害为主;32%分布在大草原的荒漠草原地带,27%分布在西部干旱荒漠地带,受沙漠化影响的人口达到4亿。

黑龙江省水土流失面积1120万 hm^2 ,占全省总面积的24.7%。全省已有近140万亩耕地在14万条侵蚀沟的冲刷下消失了,黑土层厚度由原来的70~80cm变成20~30cm,并且表层正以每年0.5~1cm的速度流失,土壤有机质含量由12%降为1%~2%,地

力明显下降,全省每年因此减产粮食达到 25 亿 kg。

监测调查显示,黑龙江省西部的沙漠化土地正以平均每年 1km 的速度向东推进,而沙尘在风的携裹下每年流动速度则达到了 10km 以上。很多地方出现了类似沙漠的地貌景观。

黑龙江省西部地区的沙漠化土地面积已达 274 万 hm^2 ,呈东北—西南走向的带状分布,绵延在长 400km、宽 160km 的区域内。105 个乡镇、农场和牧场的 30 万 hm^2 耕地、25 万 hm^2 草原正受到风沙的现实危害。据测算,每年由此造成的直接经济损失高达 10 亿元以上。

从以上的分析可以看出,黑龙江省农业生产现状已经严重制约了农业的可持续发展,要发展成为一个农业强省也成为一句空话。而通过残茬覆盖、免耕和少耕等保护性耕作技术措施的实施,可以有效地减少风蚀危害,控制水土流失,保护土壤,提高作物的产量。因此,保护性耕作技术越来越得到国家和黑龙江省的重视,并进行了深入的研究和大范围的推广。但我们国家起步较晚,而且主要是针对华北一年两熟种植模式的研究和示范,对黑龙江省寒地旱作农业区不同土壤、气候条件的保护性耕作技术基础理论研究较少,难以形成具有适应性的实施模式,无法指导农业生产。因此,本书通过残茬覆盖对地温、水分、风蚀的影响及深松技术的理论研究,确定残茬合理覆盖量,研制适用的深松机械,为黑龙江省农业的可持续发展提供技术保障。

1.2 国内外研究概况、文献综述

1.2.1 国外保护性耕作研究情况

目前世界上已有 40 多个国家和地区建立了 300 多个旱农科研机构,其分布为:非洲 43 个,亚洲 45 个,南美洲 23 个。叙利亚、印度、尼日利亚、埃及、美国等国家分别有旱农研究中心(罗守藩等,1993)。

美国西部旱农区降水量在 300 ~ 500mm 之间,由于过度耕

作,土壤侵蚀严重,水土流失加剧,植被严重破坏,农田肥力日趋衰竭。到20世纪30年代,发生了两次震惊世界的黑风暴,自西向东,横扫美国大陆。黑风暴过后,大地被刮去5~30cm后的表土,30万 hm^2 以上的良田遭到破坏,土层变浅变瘦,土壤肥力降低,作物产量下降,严重的农田被毁,无法耕种。同时由于重型机械作业,土壤压实严重,导致土壤板结,消耗掉大量能源,土壤有机质下降,蒸发量增

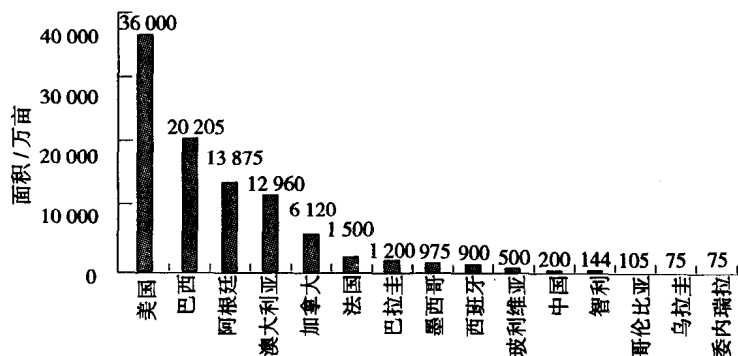


图 1-1 世界保护性耕作(免耕)应用面积

加,为此美国成立了土壤保护局,对各种保水、保墒的耕作法进行了深入的研究,探索出了一套行之有效的保护性耕作措施,休闲、轮作、免耕覆盖等(贾永莹,1984;中国农业科学院,1993)。同时,研制出了一些配套的农机具,如免耕播种机、深松铲、凿形犁等。到20世纪80年代,美国免耕面积达到400多万 hm^2 ,少耕达0.253亿 hm^2 以上。经过30余年的研究,在1977年,以免耕为中心的保护性耕作法获美国政府一等奖。1990年美国免耕农业杂志报道,在连续8年的玉米产量比赛中,免耕法赢得5年的高产奖,其公顷产量为12.6~15.75t。1995年美国保护信息中心对约1.13亿 hm^2 粮棉面积三类耕作(传统耕作、少耕、保护性耕作)进行统计,传统耕作4450万 hm^2 ,占39.4%;少耕2840万 hm^2 ,占25.1%;保护性耕作3990万 hm^2 ,占35.3%,保护性耕作和少耕之和已大于60%(周兴洋,2001)。

澳大利亚的干旱地区约有650万 hm^2 ,占国土面积的81%左右。

小麦是澳大利亚最主要的栽培作物,在生产和出口贸易中仅次于羊毛占第二位,在农业区,小麦面积占 60%,其总产量尽管只为世界的第九位,但出口量仅次于美国和加拿大而居第三位(K·G·布伦格尔,1987)。然而,其水资源非常缺乏,农作物生长主要依靠天然降雨,因天然降雨时间集中且多暴雨、强度大,故水土流失非常严重。在过去的 40 年,由于传统方式过度耕作,加大了水土流失速度,在昆士兰州的一些地区,土层厚度仅有 100mm。据一些科学家预测,如果不采取措施,这些土地的使用寿命仅有 70~100 年。以此推算,100 年以后澳大利亚农业耕作面积将减少 50%。新南威尔士州的冒尔地区是 20 世纪 40 年代开发出的农牧混合区,目前该地区用于放牧的土地肥力十分低下,土壤结构被严重破坏,生产力较低,一些农牧场相继破产。澳大利亚政府十分重视上述情况,从 20 世纪 70 年代初,由农业部投入大量资金相继在维多利亚州、新南威尔士州和昆士兰州等主要农牧区建立了许多保护性耕作研究站,吸收了数以千计的农业科学家、水土保持专家和农机科学家研究探索农业可持续发展的路子。经过十几年科学研究和生产实践,取得了辉煌的成果,这一成果的主要内容就是被称为当今澳大利亚农业革命的保护性耕作法(蒯海明,1990;罗守藩,1991)。

前苏联的旱农区分布在北纬 $50^{\circ} \sim 53^{\circ}$ 地区,包括草原带和半荒漠带,并有耕地 9 700 万 hm^2 ,占前苏联耕地的 46.5%,是前苏联的主要农作区。20 世纪 50 年代,前苏联将马尔采夫耕作法与加拿大的抗旱留茬无壁犁耕作法相结合形成了以无壁犁深松代替传统有壁犁翻耕法,配合使用除草剂,形成一套适合旱地的蓄水保墒保土耕作法,产生了巨大效果,并因此获得列宁奖金。该法在哈萨克、西伯利亚等地获得显著增产 ($180 \sim 466.5 \text{ kg}/\text{hm}^2$) 和减少成本 ($20\% \sim 25\%$) 的效果,既能稳固土壤,减少风蚀、水蚀,又能截流雨雪,同时减少蒸发(刘泽伟,1993;李洪文,1995;苏元开,1999)。

1.2.2 国内保护性耕作研究情况

我国与保护性耕作技术有关的抗旱耕作方法发展起步较晚,尽管我国的旱农实践历史悠久。20 世纪 50 年代,黑龙江试验了免耕

种小麦;20 世纪 60 年代江苏进行了稻茬免耕播小麦试验;20 世纪 70 年代,又开发了小麦免耕研究;西南农大提出了“自然免耕”理论;1980 年在兰州召开的“西北地区农业现代化学术研讨会”和在西安召开的“黄土高原综合治理学术会议”,推动了我国现代旱作农业的研究。北方很多研究机构都进行了免耕、少耕、覆盖、深松等试验,取得一定成果,并认识到保护性耕作可以保水、保土、保肥,并增加产量;对比分析了两种耕作制度下的效益;认识了保护性耕作应具备的条件;研究了水分平衡;形成了多种形式的保护性耕作技术,如免耕覆盖、深松覆盖等;研究了有一定适用性的保护性耕作机具。特别是进入 20 世纪 90 年代以后,由中国农业大学(东校区)承担的“八五”攻关课题“北方旱地主要类型区保护性耕作体系及配套机具的研究”、“九五”攻关课题“旱地可持续生产体系及关键机具研究”,由中国农业大学(东校区)、山西省农机局与澳大利亚昆士兰大学共同主持的“旱地保护性与带状耕作研究”、“旱地谷物可持续机械化生产体系的研究”等项目在典型的旱作区山西临汾、寿阳分别建立了冬小麦和春玉米一年两熟制机械化保护性耕作试验区。连续 9 年的试验结果表明,保护性耕作与传统耕作相比,具有以下几方面的优点:

(1)增加产量,干旱年增产多,丰水年增产少,平均玉米增产 16%,冬小麦增产 13%;

(2)提高水分利用效率,春玉米提高 17% 左右,冬小麦提高 25% 左右;

(3)增加休闲期土壤储水量,春小麦地 0 ~ 50cm 土层可多储 27mm 水,相当于每公顷多储 270m³ 水,冬小麦每公顷多储 75m³ 水;

(4)降低地表径流,控制水土流失,通过人工模拟降雨测得,小时降雨 82mm 时,春玉米保护性耕作处理径流量比传统径流量减少 70%,径流强度降低 61%,冬小麦径流减少 81%,径流强度降低 58%;

(5)改善土壤物理性状,土壤有机质增加,每年平均增加 0.03% ~ 0.06%;

(6)减少生产作业工序,节约用工。春玉米由传统的 12 道工序