

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.06.007

保护性耕作高产高效体系*

高焕文¹ 何明² 尚书旗³ 房孝全⁴

(1. 中国农业大学工学院, 北京 100083; 2. 青岛市农机局, 青岛 266021;
3. 青岛农业大学机电工程学院, 青岛 266109; 4. 青岛农业大学农学院, 青岛 266109)

摘要: 2009~2012年3个生产周期的试验结果表明,保护性耕作高产、高效体系在基本不增加投入的条件下,小麦比传统耕作平均增产29%,超过了增产20%的预期目标,保护性耕作在正常气候范围内,实现高产、高效是可能、可行的,为提高保护性耕作产量和效益,提供了一条有效的途径。小麦高产、高效的原因,主要是在保护性耕作基本技术体系基础上,加入优化种植模式(窄行12 cm、宽行28 cm,小宽窄行)、适当加大播种量(10%~20%)和采用沟灌等新技术内容,形成了保护性耕作高产、高效体系,把保护性耕作的水土优势,转化成了产量和效益优势。

关键词: 保护性耕作 高产高效 技术体系

中图分类号: S233.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2013)06-0035-04

High Yield and Benefit System for Conservation Tillage

Gao Huanwen¹ He Ming² Shang Shuqi³ Fang Xiaoquan⁴

(1. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China

2. Qingdao Farm Machinery Bureau, Qingdao 266021, China

3. School of Electrical and Mechanical Engineering, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China

4. School of Agriculture and Plant Protection, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China)

Abstract: The experiment results in 2009–2012 showed that the average yield in conservation tillage high yield and benefit system (CTHYBS) was 29% higher than that in traditional tillage without input increasing, which was more than the expected goal of 20%. It was preliminarily proved that conservation tillage (CT) could realize high yield and benefit under normal weather condition. In order to improve the yield and benefit of wheat, optimum planting mode (12 cm + 28 cm narrow/wide row), sowing rate increasing (10%~20%) and furrow irrigation were adopted based on elementary technique system of CT, therefore, an high yield and benefit technique system was formed. The soil and moisture advantages in CT could be transferred to advantages of yield and benefit with CTHYBS.

Key words: Conservation tillage High yield and benefit Technical systems

引言

保护性耕作是从防治土壤侵蚀发展起来的,因其良好的保土、保水功能和减少耕作、降低成本、增加效益,在大规模农场和旱地农业为主的美国、澳大利亚、加拿大、巴西等国家得到了迅速推广。但是保护性耕作在小规模农户的应用和产量等问题一定程度上制约了在全世界、特别是发展中国家的推广应

用。我国经过20年努力,成功地研发出一系列适合小地块的免耕播种机具,保护性耕作在小规模农户的应用问题逐渐解决,2011年我国保护性耕作应用面积达到567万 hm^2 。随着全球气候转暖,人口增长,水、土、能源等生产资源缩减,食物安全日益突出,产量已经成为发展保护性耕作的突出问题。美国国际发展署近期实施了可持续农业与自然资源管理项目(SANREM),旨在促进保护性耕作发展,使

收稿日期: 2012-12-23 修回日期: 2013-01-23

* 农业部保护性耕作创新资助项目(2009年度)和玉米机械化生产工艺与装备系统优化研究与示范资助项目(200903059)

作者简介: 高焕文,教授,博士生导师,主要从事农业机械化和保护性耕作研究, E-mail: ghwbgs@cau.edu.cn

主要粮食作物持续增产^[1]。我国农学界进行了大量高产、高效栽培技术试验研究,通过适时早播、合理密植、调整行距、科学施肥、选择优良品种、直播改移栽等,实现小麦、玉米、花生增产增收^[2-5]。但这些试验多是在传统耕作条件下进行的,难以直接应用于保护性耕作。我国小麦、玉米一年两熟地区保护性耕作体系的前期试验^[6-7],重点在保护性耕作实施的必要性、可行性,保水、保土效果,对提高产量着力不多,近年来有关高产、高效的试验研究又比较少,且多为单一技术^[8-9],导致保护性耕作,特别是小麦的增产幅度还不能满足形势要求。为了把保护性耕作的水土优势,转化成产量和效益优势,2008年在青岛建立了保护性耕作体系试验区,在保护性耕作实施5年、基本技术过关的基础上,开展以小麦种植模式、播种量、灌溉方式等为主要内容的体系试验,以期形成保护性耕作高产高效技术体系,把小麦增产幅度提升到20%或以上,促进保护性耕作在我国和第三世界国家稳定、快速发展。

1 试验条件、材料与方法

试验设在山东省青岛市平度兰底镇桑园村,种植制度为小麦、玉米平作一年两熟,是山东、河南、河北等省典型的种植方式。试验区地下水贫瘠、靠池塘蓄雨灌溉,地势平坦,土壤质地类型为潮土,播前0~20 cm平均有机质13.60 g/kg,碱解氮143.2 mg/kg、速效磷41.69 mg/kg、速效钾152.99 mg/kg, pH值6.4。试验地土壤肥力基本均匀,肥力水平3~4级。

保护性耕作的作业工艺为:玉米机收,秸秆全部粉碎覆盖;小麦免耕施肥播种、品种鲁麦23;施硫酸钾复合肥750 kg/hm²(N:P:K质量比为3:2:4),浇越冬水1次450 m³/hm²,返青水1次375 m³/hm²;小麦机收、秸秆全部粉碎还田,免耕施肥播种玉米。传统耕作的作业工艺为:玉米机收,表施化肥,旋耕2次翻埋秸秆、肥料及整地,地表基本不见秸秆;小麦常规播种,品种鲁麦23、播量225 kg/hm²,小麦收获后免耕播种玉米。

保护性耕作体系在已有4项技术(秸秆覆盖、免耕播种、杂草病虫害防治、深松)基础上,重点试验种植模式、播种量、灌溉方式等3项技术。

(1) 种植模式

设计3种保护性耕作小麦种植模式:小宽窄行A₁(宽行28 cm、窄行12 cm);大宽窄行A₂(宽行40 cm、窄行20 cm);等行宽带A₃(行距30 cm、种带9 cm)。

A₁模式用河南豪丰2BMFS-12/6型免耕施肥播种机,A₂模式用山东工力2BMFS-8/4型免耕施

肥播种机,A₃模式用山东大华2BMFS-8型免耕施肥播种机。3种免耕播种机结构相似:带状旋耕防堵,耧腿式开沟播种,种肥垂直及侧分施,均与44.1 kW以上中型拖拉机配套。

(2) 播种量

设计3种播种量:正常播量B₁(225 kg/hm²);加大10%播量B₂(247.5 kg/hm²);加大20%播量B₃(270 kg/hm²)。

(3) 灌溉方式

设计2种灌溉方式:保护性耕作为沟灌方式,传统耕作为畦灌方式。

(4) 传统对照

20 cm等距种植模式,青岛2B-9型传统小麦播种机,与14.7 kW拖拉机配套。

(5) 试验区布置

保护性耕作为种植模式与播种量双因子、三水平、3次重复,共27小区,区组内小区随机排列,灌溉方式全部采用沟灌。传统耕作为单因子单水平、3次重复、3个小区,合计30个小区。为适应机械作业,试验小区长70 m、宽4.8 m,小区间隔带1 m,区组间隔带10 m,试验区占地1.5 hm²,体系试验区见图1。除所试验的技术环节外,保护性耕作与传统对照的施肥量、灌水量及管理措施相同。



图1 青岛市保护性耕作体系试验区

Fig. 1 Experiment area of conservation tillage technical system in Qingdao city

2 结果与分析

2.1 保护性耕作高产高效技术体系确定

2012年保护性耕作不同体系及传统对照小麦产量见表1,测产日期2012年6月21日。2010年和2011年保护性耕作不同体系及传统对照小麦产量见文献[10]。

表中分组平均产量,代表9种不同技术体系产量。从表1可知,2012年保护性耕作最优体系为A₁B₃体系,产量达到10.94 t/hm²。但从表中也可看出,B₃并非在任何情况下都有最高产量,如A₂B₃小于A₂B₂,为更具普遍性,设定以A₁模式3个播量的平均产量,即A₁模式平均产量作为保护性耕作高

表1 2012年保护性耕作不同体系及传统对照产量
Tab.1 Wheat yields of different CT technical systems and CK in 2012 t/hm²

种植模式	播种量			模式平均
	B ₁	B ₂	B ₃	
A ₁	13.76	10.16	10.31	
	7.58	9.81	10.49	
	9.59	11.46	12.02	
分组平均	10.31	10.48	10.94	10.58
A ₂	7.87	5.09	7.35	
	7.16	8.01	6.07	
	7.52	8.18	6.62	
分组平均	7.52	7.09	6.68	7.10
A ₃	9.38	9.63	5.95	
	8.58	8.70	9.72	
	5.21	11.38	10.34	
分组平均	7.72	9.90	8.67	8.76
CK*	7.18	9.70	7.25	8.04

注: * 对照模式 CK 没有播种量变化,表中是 CK 的 3 次重复。

产、高效体系产量。2010 年和 2011 年试验结果与 2012 年相同,结论可靠。2012 年保护性耕作高产、高效体系产量 10.58 t/hm²,比传统对照产量高 31.6%。保护性耕作高产、高效体系组成:小宽窄行种植模式、加 10%~20% 播种量、沟灌。方差检验 2012 年体系对小麦产量的影响极显著 ($\alpha = 0.05$)。试验显示,不是任何保护性耕作体系都增产,不适合的技术体系如 A₂ 模式体系,比传统耕作减产 11.7%。

2.2 保护性耕作高产、高效技术体系的增产效果与分析

对产量的影响,主要有气候、土壤和体系 3 个方面。土壤对产量有直接影响,基于试验时间仅仅 3 年,不同体系提高土壤肥力的作用有限,此次分析中暂不考虑。随着试验年限增加,土壤的作用将逐渐突出。2009~2012 年气候特征、保护性耕作高产、高效体系 (CTHYBS) 和传统对照产量见表 2。

表2 2009~2012年气候特征、保护性耕作高产、高效体系与传统对照产量

Tab.2 Weather character and wheat yields of CTHYBS and CK in 2009 to 2012

小麦生长年度	气候特征	保护性耕作	传统对照	与 CK 相比 产量增加/%
		高产体系产量/ 量/t·hm ⁻²	产量/ t·hm ⁻²	
2009~2010	冬春低温	8.17	6.90	18.4
2010~2011	冬春干旱	8.72	6.38	36.7
2011~2012	夏季干旱	10.58	8.04	31.6
平均		9.16	7.11	28.8

成熟度等的影响,产量波动较大,但保护性耕作高产、高效体系平均产量仍然达到 9.16 t/hm²,比传统耕作增产 28.8%,实现并超过了增产 20% 的预期目标。初步证明保护性耕作实现高产、高效是可能、可行的。试验第 1 年是低温,特别是春季低温加重了秸秆覆盖导致的春季升温迟缓问题,对产量发生负面影响,同时试验第 1 年技术和经验欠成熟,保护性耕作产量相对最低,增产幅度仅 18.4%;第 2 年冬春两季干旱,保护性耕作抗旱优势充分体现,绝对产量增长不多,但增产幅度达到最高的 36.7%;第 3 年夏季干旱,对保护性耕作也比较有利,同时高产、高效技术成熟,达到绝对产量最高的 10.58 t/hm²,比传统耕作增产 31.6%。气候不仅影响每年产量高低,而且影响平均产量。青岛市的典型气候为十年七旱,试验期 3 年处于正常范围,总体上对保护性耕作有利,推高了体系增产幅度。但在第 1 年气候不利于保护性耕作情况下,仍然比传统增产 18.4%,可以看出,高产高效体系对产量的影响仍是主要的,粗略估计 28.8% 的增幅中,体系的贡献在 20% 左右。

2.3 2010~2012年种植模式对产量的影响

需要说明,这里的种植模式不是单纯农艺上的行距,而是行距和免耕播种机两者结合的模式。不论行距或免耕播种机任何一个发生变化,都可能对产量造成重大影响。由于目前难以把两者对产量的定量贡献剥离开来,所以将两者作为一个因素—种植模式来处理。但在定性分析中,将分别分析行距与免耕播种机的影响。

3 年试验结果的方差检验,模式对产量影响均极显著 ($\alpha = 0.05$)。表 3 中, A₁ 模式各年产量最高,3 年平均比传统对照高 28.8%,是 3 种模式中最佳增产模式; A₂ 模式产量低于传统对照 5.1%, A₃ 模式产量仅比传统高 2.0%,说明不是任何保护性耕作技术模式都可以比传统增产;相反,不适当的技术模式,可能比传统耕作减产。 A₁ 模式增产原因有: ① A₁ 为小宽窄行模式、平均行距 20 cm, A₂、A₃ 模式行距平均 30 cm, 20 cm 行距比 30 cm 行距的公顷穗数多,说明其生长空间分布合理,形成了高产的基础。如 2011 年 20 cm 行距每公顷 645 万穗,而 30 cm 行距每公顷 495 万穗,多 23.2%; 2012 年 20 cm 的公顷穗数比 30 cm 行距的多 28%。 ② 对保护性耕作来说宽窄行比等行距不仅有边际效应,作物光照好、空气流通、秸秆粗壮抗倒伏能力强,而且播种机通过性好,播后作物残茬堆积空间大,减少残茬掩埋幼苗的可能性,更适合保护性耕作地表条件^[10]。

3 年试验历经了不同气候年型,受气候和技术

表3 2010~2012年不同种植模式的产量(模式产量为该模式3种播量的均产)

Tab.3 Wheat yields of different plant modes in 2010-2012

种植模式	产量/ $t \cdot hm^{-2}$				与CK相比 产量增减/%
	2010	2011	2012	平均	
A ₁	8.17	8.72	10.58	9.16	28.8
A ₂	5.70	7.46	7.10	6.75	-5.1
A ₃	6.50	6.48	8.76	7.25	2.0
CK	6.90	6.38	8.04	7.11	

A₃模式产量居其次,A₂模式产量最差,2种模式都是30cm的宽行距,公顷穗数低是产量低的重要原因。A₃模式为等行距,没有宽窄行的优势。A₂虽然为宽窄行,但播种机结构上出现匹配问题,窄行过大、拔草封闭板太宽、板前堵草壅土,影响出苗;种子与肥料距离过大、种子苗期供肥不足,千粒质量减小。如2010年A₁和A₃模式千粒质量37.3g,而A₂模式34.9g,造成A₂模式产量反而低于A₃,成为产量最低的种植模式。说明宽窄行免耕播种机对宽窄行大小是有要求的,在适合的尺寸范围内、宽窄行增产,超过范围反而会减产。

种植模式优化对提高产量影响重大,且改变模式不需要增加资源投入,投入产出比很高,是值得大力推广的一种增产技术。

2.4 2011~2012年播种量对产量的影响

对2011年和2012年播种量和产量方差检验结果,播种量对产量的影响显著($\alpha = 0.1$),增加10%~20%的播量,可以增产5.36%~8.29%(表4)。分析原因,主要是保护性耕作目前仍使用传统耕作的小麦品种,其播种量与传统耕整地条件相适应。而保护性耕作地表有秸秆覆盖、地面未经平整,除干旱情况因土壤墒情好出苗率较高外,出苗率一般低于传统耕作,致使幼苗群体偏小。增加幼苗群体有多种方法,改善地面平整度和坚实度、减少秸秆覆盖量及改善覆盖均匀度、提高机器播种质量、加大播种量等。相对来说,加大播种量的方法是最简单、投入最少的方法,以增加10%~20%播种量计算,1hm²多投入22.5~45.0kg麦种,而增收的小麦为425~600kg,投入产出在1:10以上,是当前具有现实意义的增产方法。

2.5 灌溉方式对产量的影响

传统耕作采用小畦灌溉,每12行或18行小麦筑一条30cm宽顺垄向的畦埂(图2a),每几十米

表4 2011~2012年不同播种量的产量(播量产量为该播量下3种模式产量平均值)

Tab.4 Wheat yields of different sowing rates in 2011-2012

播种量	产量/ $t \cdot hm^{-2}$			与常规播量相比 产量增加/%
	2011	2012	平均	
B ₁	7.15	8.52	7.84	
B ₂	7.31	9.16	8.24	5.10
B ₃	8.22	8.76	8.49	8.29

长、筑一条横垄向的临时小埂,形成灌水小畦。以顺垄向的畦埂计算,约占用耕地8%~11%。虽然畦埂两侧的麦苗有边际效益,有助提高一些产量,但畦埂占用耕地引起公顷产量减少是肯定的。保护性耕作采用沟灌,利用带状旋耕播种时形成的种沟灌水(图2b),不需要筑畦埂,基本不占用耕地。保守估计,可以比传统耕作增产5%以上。但种沟毕竟不是专门修挖的灌水沟,大小不规范,还时有秸秆、土块掉在沟内阻碍水流,经常需要清除,会增加灌水人的工作量。

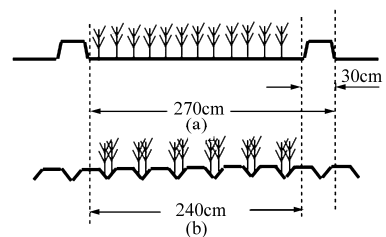


图2 灌溉方式

Fig.2 Irrigation methods

(a) 传统耕作筑有畦埂 (b) 保护性耕作无畦埂

3 结论

(1) 3年试验结果,确定了保护性耕作高产高效体系,即在4项基本技术基础上增加小麦小宽窄行(12cm+28cm)种植模式,加大10%~20%播种量,沟灌3项技术的保护性耕作技术体系。按3年平均计,保护性耕作高产、高效体系比传统耕作平均增产29%,初步证明保护性耕作实现高产高效是可能、可行的。

(2) 在试验的高产、高效体系各技术环节中,种植模式增产作用最大,播种量和灌溉方式作用次之,保护性耕作基本技术对增产有着基础性作用。种植模式改为小宽窄行,不需要增加资源投入,投入产出比高。加大播量(10%~20%),是当前提高保护性耕作产量的有力举措,沟灌增加有效耕地面积,也是有效的增产措施。

(下转第49页)

- the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008,39(7): 68~71. (in Chinese)
- 6 贾洪雷,马成林,刘枫,等. 秸秆与根茬粉碎还田联合作业工艺及配套机具[J]. 农业机械学报, 2005,36(11): 52~55.
Jia Honglei, Ma Chenglin, Liu Feng, et al. Study on technology and matching machine for stalk/stubble breaking and mulching combined operation[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005,36(11): 52~55. (in Chinese)
 - 7 丁艳,彭卓敏,夏建林. 国内典型秸秆还田技术及机具的比较与分析[J]. 中国农机化, 2010(3): 43~46.
Ding Yan, Peng Zhuomin, Xia Jianlin. Domestic comparison and analysis of a typical straw machinery[J]. Chinese Agricultural Mechanization, 2010(3): 43~46. (in Chinese)
 - 8 李兵,王继先,张健美,等. GBSL-180型双轴式旋耕灭茬播种机设计[J]. 农业机械学报, 2008,39(3): 180~182.
 - 9 刘小伟. 双辊秸秆还田旋耕机的研制开发[D]. 北京: 中国农业大学, 2000.
Liu Xiaowei. Research and development of double rollers cultivation machine for straw-soil returning [D]. Beijing: China Agricultural University, 2000. (in Chinese)
 - 10 李永磊,宋建农,王继承,等. SGTN-180型旋耕埋草施肥联合作业机的设计与试验[J]. 中国农业大学学报, 2011, 16(2): 143~147.
Li Yonglei, Song Jiannong, Wang Jicheng, et al. Design and experiment of a SGTN-180 type rotary tillage-straw returning-fertilization combined machine [J]. Journal of China Agricultural University, 2011,16(2): 143~147. (in Chinese)
 - 11 宋建农,李自华. 反转旋耕理论分析[J]. 北京农业工程大学学报, 1990, 10(3): 15~22.
Song Jiannong, Li Zihua. Theoretical studies of reverse rotary tillage [J]. Journal of Beijing Agricultural Engineering University, 1990,10(3): 15~22. (in Chinese)
 - 12 Hendrick J G, Gill W R. Rotary-tiller design parameters, part I: direction of rotation [J]. Transactions of the ASAE, 1971, 14(4):669~694.
 - 13 王长兵. 逆转旋耕基础理论研究[D]. 镇江: 江苏工学院, 1993.
Wang Changbing. Studies on the basic theory of up-cut cultivation [D]. Zhenjiang: Jiangsu Institute of Technology, 1993. (in Chinese)
 - 14 丁为民. 反转旋耕及旋耕刀的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 1999.
Ding Weimin. Research on up-cut rotary tillage and rotary blade [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 1999. (in Chinese)
 - 15 Maciej M. A torque evaluation for a rotary subsoiler[J]. Soil and Tillage Research, 2005,84(2):175~183.
 - 16 吴俭敏,朱立成,米义,等. 新型土槽试验台的研制[J]. 农机化研究, 2011,33(3): 92~95.
Wu Jianmin, Zhu Licheng, Mi Yi, et al. The development of the new soil bin test-bed[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2011,33(3): 92~95. (in Chinese)

(上接第 38 页)

参 考 文 献

- 1 Dedatta S K. New priority of agronomic research for global food security [C] // The Proceedings of 3rd International Agronomy Congress, New Delhi, India, 2012:18a~18b.
- 2 李昌宴. 玉米高产高效栽培技术[J]. 四川农业科技, 2012(5):14.
- 3 郭春强,廖平安,罗鹏,等. 小麦高产高效可持续生产模式及水肥调控技术研究与应用[J]. 天津农业科学, 2012,18(3): 67~70.
Guo Chunqiang, Liao Ping'an, Luo Peng, et al. Sustainable production model of high yield and high efficiency of wheat and fertilization technology research and application[J]. Tianjing Agricultural Sciences, 2012,18(3):67~70. (in Chinese)
- 4 张碧岱,张建宏,冯丽蓉. 晋西南山区“晋花4号”花生高产高效栽培技术[J]. 陕西农业科学, 2012(3):258~259.
- 5 熊之曦,黄斌,郝光辉,等. 高产高效栽培模式与技术探讨[J]. 绿色科学, 2012(4):135~136.
- 6 杜修梅,姜坤相,杨椿蓉,等. 中单808在广安地区采用保护性耕作的意义及高产栽培措施[J]. 农村经济与科技, 2012, 23(2):24~25.
- 7 赵云蛟,王林宝. 玉米宽行平作保护性耕作技术[J]. 农机使用与维修, 2012(4):130~131.
- 8 周兴祥,高焕文,刘俊峰. 华北平原一年两熟保护性耕作体系试验研究[J]. 农业工程学报, 2001,17(6):80~83.
Zhou Xingxiang, Gao Huanwen, Liu Junfeng. Conservation tillage system experiment on double cropping area of Huabei plain[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2001,17(6):80~83. (in Chinese)
- 9 刘立晶,高焕文,李洪文. 玉米-小麦一年两熟保护性耕作体系试验研究[J]. 农业工程学报, 2004,20(6):70~73.
Liu Lijing, Gao Huanwen, Li Hongwen. Experiment and research on corn and wheat double cropping [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2004,20(6):70~73. (in Chinese)
- 10 高焕文,何明,蒋金琳,等. 保护性耕作机械化种植模式与播种量试验[J]. 农业机械学报, 2012,43(8):42~45.
Gao Huanwen, He Ming, Jiang Jinlin, et al. The experiments on mechanized planting mode & sowing rate of conservation tillage [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012,43(8):42~45. (in Chinese)