

## 旱地玉米保护性机械化耕作技术和机具体系<sup>①</sup>

陈君达<sup>②</sup> 李洪文

(中国农业大学机械工程学院)

**摘 要** 在6年的保护性耕作研究中,先后试验研究了碎秆免耕、碎秆深松、倒秆免耕、立秆免耕、碎秆免耕+耙、碎秆深松+耙等保护性耕作方案,研制出组合式限深切草轮、行间压草轮,以及单体防堵分草板等免耕播种机的关键作业部件。农机与农艺相结合的试验结果表明,保护性耕作具有明显的减少水土流失、增产增收的效果,已形成一种新的机械化旱作技术和机具体系。

**关键词** 旱地; 玉米; 保护性耕作; 机械化; 技术与机具体系

**中图分类号** S 233.1

## Technology and Machinery System of Mechanized Conservation Tillage for Dryland Maize

Chen Junda Li Hongwen

(College of Machinery Engineering, CAU)

**Abstract** In 6 years' research of conservation tillage, no-till with chopped and pressed stalk, subsoiling with chopper and pressed stalk, no-till and harrow with chopped stalk as well as subsoiling and harrow with chopped stalk were tried while the key components in no-till planter, such as cutter and depth control wheels, pressing wheel between two units, etc. were developed. The experiment of machinery and agronomy showed that conservation tillage can save and keep more water, give higher yields and increased incoming. The new technology and machinery system of mechanized conservation tillage for dryland maize were developed.

**Key words** dryland; maize; conservation tillage; mechanization; technology and machinery system

在我国北方旱地,传统的玉米种植方式是:秋季收获后秸秆还田或清除地面秸秆,然后翻耕;春季整地、耙地、准备种床,然后播种。整个作业过程中,多次搅动土壤,不但机器进地次数多,能耗加大,增加土壤压实,而且土壤水分散失严重。常常是播种后等待几十天,什么时候降雨什么时候种子才可能出苗;个别年份甚至太旱,根本无法播种。

与传统耕作方法不同,保护性耕作以大量的作物残茬覆盖地表,将耕作量减少到能保证种子发芽即可。其优点是能减少水土流失,增加土壤含水量,改善土壤结构,减少作业量,降低成本,提高作物产量,增加农民收入。<sup>[1]</sup>

收稿日期:1998-01-28

①国家“八五”科技攻关项目

②陈君达,北京清华东路17号 中国农业大学(东校区)46信箱,100083

## 1 基础方案设计

根据保护性耕作的要求,从1992年开始,对于玉米保护性耕作试验,设计了5种处理:粉碎秸秆覆盖+免耕(简称碎秆免耕),压倒秸秆覆盖+免耕(简称倒秆免耕),直立秸秆覆盖+免耕(简称立秆免耕),粉碎秸秆覆盖+深松(简称碎秆深松),对照处理为传统铧式犁翻耕(简称传统)。表1数据表明,与传统耕作相比,除了1995年的立秆免耕外,保护性耕作处理的产量均高于传统耕作,具有良好的增产增收效益。其中碎秆深松的增产效果较好,倒秆免耕次之,差的是立秆免耕。秸秆累积增多后,产量增长有减缓趋势。

表1 玉米保护性耕作产量对比

$t \cdot \text{hm}^{-2}$

处 理	1993		1994		1995		3年平均	
	产量	增产率/%	产量	增产率/%	产量	增产率/%	产量	增产率/%
碎秆免耕	3.092	18.38	8.031	20.39	5.096	15.35	5.406	18.37
碎秆深松	3.192	22.20	8.793	31.80	4.812	8.92	5.599	22.59
倒秆免耕	3.185	21.94	8.030	20.37	5.417	22.61	5.544	21.39
立秆免耕	2.989	14.43	7.281	9.14	4.322	-2.17	4.864	6.50
传统	2.612		6.671		4.418		4.567	
平均值	3.115	19.26	8.034	20.43	4.912	11.18	5.353	
增产率/%		19.30		20.45		11.18		17.21

4种保护性耕作处理中,碎秆免耕和倒秆免耕分别需要粉碎秸秆或压倒秸秆1项作业,碎秆深松需要粉碎秸秆和深松2项作业;立秆免耕不需要这些作业,成本最低,但是播种困难,地温低,产量最低,总的经济效益不高。

## 2 方案改进

根据连年秸秆覆盖,地表秸秆量积累,连年免耕或深松,地表不平度增大,播种机虽经不断改进完善,播种质量却有所下降的情况,从1996年开始,取消立秆免耕处理,保留碎秆免耕、碎秆深松和倒秆免耕3种处理,并增加3种新的表土作业试验处理(碎秆免耕+圆盘耙地(简称碎秆免耕耙),碎秆深松+圆盘耙地(简称碎秆深松耙),碎秆免耕+播前旋耕(简称碎秆免耕旋)),加上传统耕作,共7种处理。

## 3 试验结果分析

### 3.1 土壤体积密度、含水率和产量

试验测定内容包括土壤体积密度、含水率、作物产量和经济效益,结果见表2。

免耕后土壤的体积密度有所增加,但是并未年年增加,而是保持在一定范围之内( $1.3 \sim 1.4 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )。说明在土壤自身调节和根系的作用下,年年免耕不致使土壤变得坚硬。

保护性耕作具有明显的增加蓄水和保墒的效果。与传统耕作相比,秸秆覆盖免耕平均含水率增加8%,秸秆覆盖深松增加12%;耙地后,土壤含水率有增有减,规律还不明显。

保护性耕作不但能多蓄水,提高产量,而且水分利用率也高于传统耕作。据多年平均值,免耕覆盖地水分利用率比传统高16%,深松覆盖地比传统高11%。

保护性耕作的产量明显高于传统耕作,其中最好的是免耕碎秆覆盖地,连续多年产量均高于传统耕作,深松碎秆覆盖次之,5年中4年增产,1年平产,1993~1997年增产率分别为19.4%,21%,11.2%,1.2%,13.4%。1996年属低温多雨年,3个处理中2个减产,总体平产。经过耙地处理的免耕和深松地,由于地温有所提高,播种质量更好,产量不但明显高于传统,而且明显高于未耙地,碎秆免耕耙的产量比碎秆免耕高27.6%,碎秆深松耙比碎秆深松的产量高17.1%,耙地后的产量分别比传统高29.1%和21.87%。<sup>[2]</sup>

表2 玉米不同处理播种时表层(0~20 cm)土壤的体积密度  $\rho_v$ 、含水率  $\eta_w$ 、水分利用率  $\eta$  和作物产量  $Y$

测试项目	处理方式	1993	1994	1995	1996	1997	平均
$\rho_v / (\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	碎秆免耕	1.17	1.32	1.30	1.40	1.33	1.30
	碎秆深松	1.15	1.26	1.29	1.37	1.27	1.27
	碎秆免耕耙					1.28	1.28
	碎秆深松耙					1.27	1.27
	倒秆免耕	1.19	1.36	1.33	1.40	1.39	1.33
	立秆免耕	1.19	1.32	1.29	1.40		1.30
	传统	1.12	1.22	1.25	1.28	1.29	1.23
$\eta_w / \%$	碎秆免耕	13.72	16.23	15.39	17.59	18.67	16.32
	碎秆深松	13.45	18.64	15.95	18.40	18.81	17.05
	碎秆免耕耙					18.83	18.83
	碎秆深松耙					18.12	18.12
	倒秆免耕	13.94	18.03	14.58	17.96	18.28	16.56
	立秆免耕	14.96	18.10	12.95	17.26		15.82
	传统	13.85	16.20	12.79	16.34	17.00	15.24
$\eta / (\text{kg} \cdot \text{mm} \cdot \text{hm}^{-2})$	碎秆免耕	8.27	8.13	9.30	8.62	7.24	8.31
	碎秆深松	8.29	8.60	8.55	7.06	7.45	7.99
	碎秆免耕耙					8.24	8.24
	碎秆深松耙					8.02	8.02
	倒秆免耕	8.25	8.00	10.20	6.44	7.95	8.17
	立秆免耕	7.50	6.87	7.95	5.25		6.89
	传统	6.31	6.73	8.10	7.53	7.16	7.17
$Y / (\text{t} \cdot \text{hm}^{-2})$	碎秆免耕	3.09	8.03	5.10	5.76	4.42	5.27
	碎秆深松	3.19	8.79	4.81	4.78	4.54	5.22
	碎秆免耕耙					5.64	5.64
	碎秆深松耙					5.32	5.32
	倒秆免耕	3.18	8.03	5.42	4.36	4.85	5.17
	立秆免耕	2.99	7.28	4.32			4.86
	传统	2.61	6.67	4.42	4.90	4.37	4.59

### 3.2 经济效益

由表3可见,保护性耕作的经济效益很显著,单位面积的纯收入比传统耕作增加52.6%~77.7%。

表3 不同处理的经济效益对比

处 理	投入/(元·hm <sup>-2</sup> )											小计	
	种子	人工	畜工	机械作业							税收		农药
				粉碎秸秆	耕地	深松	耙地	播种	喷药	收获			
碎秆免耕	117.3	690	108	120	0	0	0	135	60	450	300	180	2 160.3
碎秆深松	117.3	690	108	120	0	180	0	135	60	450	300	180	2 340.3
碎秆免耕耙	117.3	690	108	120	0	0	90	135	60	450	300	180	2 250.3
碎秆深松耙	117.3	690	108	120	0	180	90	135	60	450	300	180	2 379.3
倒秆免耕	117.3	690	108	60 <sup>①</sup>	0	0	0	135	60	450	300	180	2 100.3
传统	146.6	1 280	260	0	225	0	90	105	0	450	300	0	2 775.6

  

处 理	产 出			纯收入/(元·hm <sup>-2</sup> )		纯收入增加率/ %
	产量 <sup>②</sup> / (t·hm <sup>-2</sup> )	价格 <sup>③</sup> / (元·t <sup>-1</sup> )	毛收入/ (元·hm <sup>-2</sup> )	收入值	比传统增加值	
碎秆免耕	5.278 8	1 060	5 595.53	3 435.23	1 340.53	63.9
碎秆深松	5.224 4	1 060	5 537.86	3 197.56	1 102.86	52.6
碎秆免耕耙	5.636 0	1 060	5 974.16	3 723.86	1 629.16	77.7
碎秆深松耙	5.320 0	1 060	5 639.20	3 208.90	1 114.20	53.2
倒秆免耕	5.167 4	1 060	5 477.44	3 377.14	1 282.44	61.2
传统	4.594 6	1 060	4 870.30	2 094.70	—	—

①压倒;②多年试验的平均值;③1997年国家保护价。

究其原因:一是保护性耕作产量较高,二是作业工序少,减少了作业投入。人畜工投入减少742元·hm<sup>-2</sup>,机械作业成本有增有减,在-246~84元·hm<sup>-2</sup>之间,其中仅有碎秆深松耙处理的投入略有增加,为246元·hm<sup>-2</sup>。<sup>[3]</sup>

## 4 机具研制

由于保护性耕作的所有田间作业都是在免耕而且地表有秸秆覆盖的情况下进行的,传统机具无法直接采用,因此需要改进已有机具或研制与保护性耕作条件相适应的新机具,并形成保护性耕作的机具体系。

### 4.1 玉米免耕覆盖播种机

播种机的性能直接影响到播种质量和作物生长。传统的播种机在免耕秸秆覆盖地表作业,由于地表土壤较硬,入土困难,秸秆堵塞机具,作业无法进行。采用2BQM系列的播种机在无秸秆的免耕地上作业,效果较好,而在秸秆覆盖地上堵塞非常严重。因此,玉米免耕覆盖播种机的研制工作主要集中在防堵装置上。

组合限深式切草器。2BQM-6型玉米免耕播种机的试验表明,不切断秸秆,很难防止堵塞。为此,在限深轮中间夹装1个直径比限深轮大15cm的圆切刀,形成一个集限深切草于一体的组合式限深切草装置。春季播种时,秸秆切断率在95%以上,减轻堵塞的效果较好,在以后的其他试验中一直采用这种结构。

全封闭单体防堵装置。用铁皮将易发生堵塞的破茬分禾器与圆切刀之间的空间密封起来,

以防止堵塞。结果表明,机组可以运行较远距离,但有时会有秸秆窜入铁皮下方,形成堵塞,清草也比较困难。

**弹齿拨草杆。**为了把断秆从分禾器上拨开,在分禾器侧前方装一弹齿拨草杆。在倒秆处理试验中,秸秆未被弹到侧面,而是向前弹开一段距离,随着机器运动,又发生堵塞。

**不对称分禾器。**期望秸秆在不对称分禾器上能自动向窄的一侧滑落,但是效果不很理想。

**行间压草轮。**在2个播种单体之间安装1个可以上下浮动并且随着机器前进的胶轮,当播种开沟器上挂草有堵塞趋势时,可使秸秆短暂停止运动,从而防止堵塞。它与组合式限深切草器配合,效果较好。生产试验中发现,在秸秆量较大,秸秆集堆时仍然有堵塞现象。一般堵塞都发生在限深轮与开沟器之间的楔形空间。为解决这一问题,进行了下列试验:1)把压草胶轮换成直径相同的铸铁轮,并且在两侧安装拨草杆;但由于重量不足,排堵效果不好,而且拨草杆有时也会挂草。2)在开沟器的两侧,安装2个拨草轮齿,试图通过该齿随时拨走开沟器上的秸秆,排除并防止堵塞。试验结果表明:在秸秆量不很大的情况下,拨草齿具有一定的拨草作用;但是当秸秆量大而且覆盖较厚时,由于缺乏一定动力,拨草齿不能很好拨草,甚至反而挂草堵塞。据分析,如果加上动力驱动后,拨草效果可能更好。

为了消除上述的楔形空间,用铁板占有这一空间,使秸秆无处进入楔形空间,从而排除堵塞。试验结果表明,这种单体防堵分草板具有一定的防堵效果。

多年试验表明,在粉碎秸秆、覆盖率低于60%的情况下,采用所研制的玉米免耕覆盖播种机可以顺利播种,播种质量较好。<sup>[4]</sup>

## 4.2 可调翼铲式深松机

深松可以打破犁底层、加深耕层而不翻转土壤,从而调节土壤三相比、改善土壤结构、减轻土壤侵蚀和提高土壤的蓄水抗旱能力,而且对于北方寒冷的旱区,深松还可以适当提高地温,促进种子发芽;但是常用的深松机作业后,地表存在明显的沟,而且不平,种床较差,影响播种质量。为了解决这一问题,研制了可调翼铲式深松机。这种深松机除了有一个坚实的铲柄外,在铲柄两侧各安装有略上翘的翼,其上下位置可调。作业时,铲尖深入土壤30 cm以下,以大约45°的方向向两侧上方松动土壤;同时,两翼也以大约45°的方向向两侧上方松动土壤。这样,靠近中间沟的部位被两侧松动,松土质量较好,松后地表平整,有利于后续作业。<sup>[5]</sup>

## 4.3 其他机具

在玉米地保护性耕作中,还根据需要使用喷雾机、秸秆粉碎机、秸秆压倒机、圆盘耙和浅松机等。由于这些机具有的与通常使用的机具相同,有的虽需自行研制但难度不大,在此不一一赘述,而只做简要说明。

**喷雾机。**由于地面覆盖有秸秆,人工除草较难,只能利用喷雾机喷施除草剂除草。作业时可能有一些除草剂喷到秸秆上,影响除草效果;因此应略微加大施用量,同时适当增加配水量,使大部分药剂能喷在地表,形成保护膜。

**秸秆粉碎机。**要求粉碎后秸秆较短。

**秸秆压倒机。**用此只是为了压倒秸秆,因此可用其他机具代替。由于压倒秸秆后将直接播种,中间没有任何其他作业,因此,要求每压1次正好压倒4行,以便播种时4行玉米免耕覆盖播种机能顺着压倒方向前进,不致带起整秸秆,引起堵塞。

## 5 体系研究

经过多年研究,从技术可行性、操作方便性和增产、保水保土效果等方面综合考虑,认为碎秆覆盖免耕、碎秆覆盖深松、倒秆覆盖免耕、碎秆覆盖免耕+耙和碎秆覆盖深松+耙这5种方案较好。

保水效果。在保护性耕作休闲期,土壤表层的贮水厚度比传统耕作高14~27 mm,平均高20.68 mm,播种前的土壤含水率比传统耕作高13.4%~25.8%,平均高19.8%。试验结果表明:动土量越多(传统翻耕,深松、耙),土壤蓄水保水效果越差;覆盖率越高(倒秆免耕),蓄水保水效果越好;圆盘耙耙地,土壤含水率略有降低,平均下降2 mm,约1.6%,是表土作业的负作用之一。

产量。保护性耕作不翻耕土壤,地表有覆盖秸秆,土壤水分蒸发少,水土流失少,土壤能够保蓄较多的水分,有利于作物出苗和生长,千粒质量比传统大39.46 g,增加10%;因此保护性耕作产量比传统耕作高0.051~1.269 t·hm<sup>-2</sup>,平均高0.594 t·hm<sup>-2</sup>,增产率达16%。

经济效益。保护性耕作中增加1次耙地,相当于增加成本90元·hm<sup>-2</sup>,但是耙地或旋耕后,产量比免耕和深松处理增加0.254 t·hm<sup>-2</sup>,相当于增加收入269元·hm<sup>-2</sup>,扣除增加的作业费用,纯收入增加179元·hm<sup>-2</sup>。耙地作业可使寒冷地方的地温尽快回升,使播种时土壤温度更适宜种子发芽出苗;同时耕地作业能平整土地,创造良好的种床,使播种难度降低,播种质量提高。保护性耕作虽增加了1次作业,但增产效果明显,经济效益较好。<sup>[6]</sup>

## 6 结 论

1) 保护性耕作具有明显的保水保土、增产增收、减少水土流失的效果,可以作为实现我国北方旱地农业持续发展的一条重要途径。

2) 只需研制部分关键机具,加上已有的机具或对已有机具作改进,保护性耕作完全可以实现机械化,形成一种新的机械化旱作技术和机具体系。

3) 保护性耕作推广中的关键机具是免耕覆盖播种机;关键技术是防止秸秆堵塞;在低温地区,农艺上的关键是要解决秸秆覆盖状态下地温的降低问题,其办法之一是进行表土耕作。

4) 圆盘耙耙地可以降低地表秸秆覆盖率,提高地温,增加作物产量,有明显的经济效益。

5) 在我国,对旱地玉米实施保护性耕作,不但可行,而且增产增收,经济效益显著。

## 参 考 文 献

- 1 陈君达,王兴文,李洪文.旱地农业保护性耕作体系与免耕播种技术.北京农业工程大学学报,1993,13(1):27~33
- 2 李洪文,陈君达,高焕文.旱地农业三种耕作措施的对比研究.干旱地区农业研究,1997(1):7~11
- 3 李洪文.秸秆覆盖状态下深松与免耕的对比研究.中国农业大学学报,1996,1(增刊):58~62
- 4 陈君达,李洪文,高焕文.玉米免耕整秆覆盖播种机的防堵装置.北京农业工程大学学报,1994,14(3):34~39
- 5 李洪文,高焕文,王兴文.可调翼铲式深松机的试验研究.北京农业工程大学学报,1995,15(2):33~39
- 6 高焕文.北方旱地机械化耕作模式探讨.中国农业大学学报,1996,1(增刊):7~12