

## 旱地玉米机械化保护性耕作技术及机具研究

李洪文 陈君达 邓 健 赵卫东  
(中国农业大学机械工程学院) (中关村科技园丰台园)

**摘 要** 在我国北方旱作地区进行了连续 7 a 的玉米保护性耕作与传统耕作的田间对比试验, 结果表明: 保护性耕作的平均土壤体积质量虽较传统耕作高 5%, 但不会导致土壤严重压实; 土壤含水率较传统耕作平均增加 12%, 深松地达 20.7%, 提高了土壤保蓄水能力; 玉米产量平均增加 13%, 且成本降低。研制了不同的播种机防堵机构以及组合式限深切草器与双齿盘拨草配合防堵的 2BMQF-4C 型玉米免耕覆盖播种机和可调翼铲式深松机。

**关键词** 旱地农业; 保护性耕作; 免耕播种机; 深松机

**分类号** S345; S 513; S 223.25

## Study on Technology and Machines of Mechanized Conservation Tillage for Dryland Maize

Li Hongwen Chen Junda Deng Jian Zhao Weidong  
(College of Machinery Engineering, CAU) (Zhongguancun Technology District)

**Abstract** In 7 years' conservation tillage research, 7 tillage treatments were tested, soil bulk density, moisture, yield and economic benefit were analyzed, 5 conservation tillage methods suitable for different situation were decided. Based on experiments of several anti-blockage mechanisms, maize no-till planter, type 2BMQF-4C, was developed with combined cutter and double tooth disk to prevent stalk blockage. Subsoiler with adjustable wings was also developed.

**Key words** dryland farming; conservation tillage; no-till planter; subsoiler

我国北方旱地玉米的传统种植方式是, 秋季收获后将秸秆还田或搬运出耕地后翻耕, 春季耙地、整地, 准备种床, 然后播种。整个作业过程中, 多次搅动土壤, 土壤水分散失严重; 机器进地次数多, 能耗大, 土壤被压实。由于年年干旱, 在无法灌溉的旱农区, 仍然是靠天吃饭。

为了寻求一种能够保水、增产、增收的旱地农业耕作技术, 中国农业大学从 1992 年开始, 与澳大利亚昆士兰大学合作开展了旱地保护性耕作研究。研究分为 2 个阶段, 1992 至 1996 年为第 1 阶段, 主要是建立基本适合于我国北方旱农区的保护性耕作技术体系, 并研制配套机具; 1997 至 2000 年为第 2 阶段, 主要是完善第 1 阶段所形成的技术体系, 改进配套机具, 开发新型机具。

试验地点设在山西省寿阳县, 属于半干旱地区, 全年无霜期 120~ 140 d, 年降雨量 450~

收稿日期: 2000-01-10

中澳国际合作项目

李洪文, 北京清华东路 17 号 中国农业大学(东校区)46 信箱, 100083

580 mm, 年蒸发量 1 600~ 1 800 mm, 种植制度为一年一季<sup>[1]</sup>。

## 1 保护性耕作试验

### 1.1 试验设计

根据保护性耕作的要求和实际生产中的可行性, 设计了 4 种保护性耕作处理: 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)和粉碎秸秆覆盖+ 深松(简称碎秆深松); 将传统铧式犁翻耕(简称传统)作为对照处理。试验作物为玉米。

由于第 1 阶段试验中年覆盖, 地表秸秆量过大, 致使地温偏低、播种困难, 产量增长率有下降的趋势, 因此, 在第 2 阶段研究中, 试验方案有所改变。

为了提高地温, 改善地表状况, 参考国外保护性耕作技术, 增加了 2 种表土耕作处理: 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)。

虽然立秆免耕比其他 3 种保护性耕作少一道作业工序, 但由于产量低, 且播种困难, 从 1997 年开始, 取消了这种处理。

碎秆免耕、碎秆深松和倒秆免耕处理仍在原地块进行, 以保证试验的长期连续性。将碎秆免耕和碎秆深松地块的一半用于新增试验, 原有的立秆免耕地改为碎秆免耕和倒秆免耕<sup>[2]</sup>。

### 1.2 试验结果与分析

#### 1.2.1 土壤体积质量与含水率

表 1 示出玉米播种时不同处理 0~ 20 cm 土层内土壤的体积质量和含水率。可以看出, 保护性耕作的土壤体积质量高于传统耕作, 免耕地平均比传统耕作地高 5%, 但是, 在土壤自身调节和根系的作用下, 连续 7 a 免耕地的土壤体积质量基本上维持在一定的范围之内(1.3~ 1.4 g·cm<sup>-3</sup>), 说明保护性耕作不会导致土壤越来越硬。

表 1 玉米播种时不同处理 0~ 20 cm 土层内土壤体积质量和含水率

测试项目	处理方式	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	多年平均
土壤体积 质量 /(g·cm <sup>-3</sup> )	碎秆免耕	1.17	1.32	1.30	1.40	1.33	1.39	1.43	1.33
	碎秆深松	1.15	1.26	1.29	1.37	1.27		1.40	1.29
	碎秆免耕耙					1.28	1.37	1.27	1.31
	碎秆深松耙					1.27		1.34	1.30
	倒秆免耕	1.19	1.36	1.33	1.40	1.39	1.36	1.44	1.35
	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	1.35	1.39	1.27
含水率 /%	碎秆免耕	13.72	16.23	15.39	17.59	18.67	9.07	8.07	14.11
	碎秆深松	13.45	18.64	15.95	18.40	18.81		11.56	16.14
	碎秆免耕耙					18.83	11.88	7.42	12.71
	碎秆深松耙					18.12		7.60	12.86
	倒秆免耕	13.94	18.03	14.58	17.96	18.28	12.81	8.43	14.86
	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	10.90	6.53	13.37

说明: 1997 年秋季收获后土壤过干, 无法深松, 故 1998 年无深松处理。下表同。

保护性耕作能够提高土壤保蓄水能力。与传统耕作相比, 免耕地含水率平均增加 12%, 深

松地平均增加 20.7%。1997 至 1999 年的数据表明, 由于耙地作业增加了动土量, 降低了地表覆盖率和土壤保蓄水能力, 虽然其含水率仍然高于传统耕作, 但是却低于免耕和深松处理。对于干旱地区, 这是表土耕作带来的负面效应。

### 1.2.2 产量与效益

不同耕作方式的玉米产量和产量增长率见表 2 和表 3。与传统耕作相比, 碎秆免耕增产 14.9% 碎秆深松增产 3.9%, 倒秆免耕增产 11.2%, 而立秆免耕却减产 6.4%, 保护性耕作平均增产 10.3%, 免耕处理的增产率相对稳定, 而深松处理受气候和播种质量的影响, 增产幅度波动较大。

表 2 保护性耕作与传统耕作的玉米产量  $t \cdot hm^{-2}$

处 理	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	多年平均
传统	2.61	6.67	4.42	4.91	4.37	7.25	3.65	4.84
碎秆免耕	3.09	8.03	5.10	5.76	4.42	8.55	3.94	5.56
碎秆深松	3.19	8.79	4.81	4.78	4.99		3.62	5.03
倒秆免耕	3.19	8.03	5.42	4.36	4.85	7.94	3.84	5.38
立秆免耕	2.99	7.28	4.32	3.53				4.53
碎秆免耕耙					5.64	9.14	3.90	6.23
碎秆深松耙					5.32		3.73	4.53
保护性耕作平均	3.12	8.03	4.91	4.61	4.95	7.95	3.81	5.34

说明: 1996 年的种子质量较差, 发芽率低, 产量数据不正常。下表同。

表 3 不同耕作方式的玉米产量增长率 %

耕作方式		1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
与传统 比较	保护性耕作平均	19.35	20.43	11.14	1.15	15.42	17.84	4.27
	免耕处理	20.31	20.39	19.00	3.05	6.06	13.72	6.58
	深松处理	22.22	31.78	8.82	- 2.65	14.19		- 0.82
	耙地					25.40		4.52
与不耙 比较	免耕耙					27.60	6.90	- 1.02
	深松耙					6.61		3.04

耙地作业可以改善播种质量, 提高地温, 虽然增加了水分的散失, 但是增产效果较明显, 比其他非耙地的保护性耕作平均增产 8% 以上(1997—1999 年), 在含水率合适的年份(1997), 甚至达到 27%。

保护性耕作不但能多蓄水, 提高产量, 而且水分利用效率也高于传统, 多年平均结果表明, 免耕覆盖地水分利用效率比传统高 16%, 深松覆盖地水分利用效率比传统高 11%。

寿阳地区各种处理的玉米生产成本投入见表 4。与以人畜力作业为传统的传统耕作 1 相比, 保护性耕作机械作业成本平均增加  $168 \text{ 元} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 由于保护性耕作采用精量播种, 减少了播种量, 降低了人畜力投入, 因此非机械作业成本减少  $1450 \text{ 元} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 即使不计人工成本, 也可以节省成本  $446 \text{ 元} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。与以机械作业为传统的传统耕作 2 相比, 由于保护性耕作减少了作业次数, 不但非机械作业成本少, 而且机械作业成本也减少了  $117 \text{ 元} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。耙地作业虽增加机械

作业投入  $90 \text{ 元} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 但多增产  $0.41 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 净收增加  $435 \text{ 元} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 经济效益仍较好。

与传统耕作相比, 保护性耕作是一种低投入高产出高收入的耕作技术, 特别适用于经济条件较差的我国北方旱区。可以根据不同的自然和气候条件选用具体的作业技术: 碎秆免耕适合于冬季风大的地区, 倒秆可以防止被风吹走; 碎秆深松适合于土壤比较板结的地区, 也适合于保护性耕作应用初期, 以打破长期保持的犁底层; 当地表不平时, 可用园盘耙地; 在春季温度较低的地区, 可以通过增加耙地作业来提高地温。

表 4 不同处理的玉米生产成本

元 $\cdot \text{hm}^{-2}$ 

处 理	机械作业	非机械作业		合 计	
		计入人工	不计人工	计入人工	不计人工
碎秆免耕	405	2 307	1 617	2 712	2 022
碎秆深松	585	2 307	1 617	2 892	2 202
倒秆免耕	255	2 307	1 617	2 562	1 872
碎秆免耕耙	495	2 307	1 617	2 802	2 112
碎秆深松耙	675	2 307	1 617	2 982	2 292
传统耕作 1	315	3 758	2 063	4 028	2 333
传统耕作 2	600	2 873	1 703	3 473	2 303

说明: 1. 传统耕作 1 以人畜力作业为主, 传统耕作 2 以机械作业为主。

2. 人工成本为  $10 \text{ 元} \cdot \text{d}^{-1}$ ; 畜力成本为  $15 \text{ 元} \cdot \text{d}^{-1}$ 。

## 2 机具研制

保护性耕作的工艺过程是, 收获后处理秸秆, 必要时进行深松或者耙地, 冬季休闲, 春季免耕播种, 田间管理, 收获。目前国内玉米收获仍以手工作业为主, 秸秆粉碎、喷药机已有多种机型供选用, 虽已有一些深松机和免耕播种机, 但均无法满足保护性耕作的需要; 因此, 机具研制的重点为免耕覆盖播种机和深松机, 其中以免耕覆盖播种机为主。

### 2.1 玉米免耕覆盖播种机

首先利用自行研制的窄形开沟器解决了原有播种机开沟入土难、动土量大的问题, 随后, 重点研究免耕播种机的防堵机构。

组合限深式切草器。2BMQ-6 型玉米免耕播种机的试验结果表明, 不切断秸秆, 很难防止堵塞。为此, 在限深轮中间夹装一个直径比限深轮大  $15 \text{ cm}$  的圆切刀, 形成一个集限深、切草于一体的组合式装置。播种时, 秸秆切断率达  $95\%$  以上, 能较好地减轻秸秆堵塞。

全封闭单体防堵装置。用铁板密封易堵塞的破茬分禾器与圆切刀之间的空隙, 防止秸秆在此堵塞。结果表明, 这种装置有一定的防堵效果, 但当有秸秆窜入铁板下方形成堵塞时, 清除非常困难。

弹齿拨草杆。为了把断秆从分禾器上拨开, 在分禾器侧前方装上弹齿拨草杆。这种方法在粉碎秸秆地有一定的排堵效果, 但在倒秆覆盖地试验中, 整秸秆不能被弹到侧面, 而是向前弹开一段距离, 然后又随着机器运动, 仍然会造成堵塞。

不对称分禾器。为了让秸秆在分禾器上失去平衡而向一侧滑落, 设计了这种分禾器, 但是防堵效果不理想。

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机器前进的轮子,当播种开沟器上挂有秸秆时,轮子可以短时间压住秸秆,使之短暂停留,并从分禾器上滑落,从而防止堵塞。这种行间压草轮与组合式限深切草器配合,具有非常好的防堵效果。

双齿盘防堵机构。虽然行间压草轮与组合式限深切草器配合具有较好的防堵性能,但是结构复杂,成本较高,因此研制了双齿盘防堵结构。这种机构的2个拨草齿盘,在随机器一起运动的同时,将分禾器2侧的秸秆向后拨开,从而排除秸秆堵塞。

在上述试验基础上,研制出了2BMQF-4C型玉米免耕覆盖播种机,这种播种机利用新研制的窄型复合开沟器开沟,土壤扰动较小,容易入土,种肥上下分施,气吸式排种器精量播种;利用双齿盘机构防堵,结构简单,排堵性能好,尤其适用于粉碎秸秆覆盖地。据农业部农业机械鉴定总站测定,采用这种机构的播种机可以在覆盖量为 $15\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的玉米秸秆粉碎覆盖地顺利通过。

## 2.2 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,达到调节土壤三相比、改善土壤结构、减轻土壤侵蚀和提高土壤蓄水抗旱能力的目的;对于北方寒冷的旱区,由于深松可以适当提高地温,还可以促进种子发芽;但是常用的深松机作业后存在明显的铲沟,地表不平,种床较差,影响播种质量。

为解决上述问题,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 $45^\circ$ 的方向向两侧上方松动土壤,同时,两翼也以大约 $45^\circ$ 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。这种深松机可应用于玉米和小麦2种作物,尤其适用于小麦地<sup>[3]</sup>。

## 3 结 论

1) 保护性耕作具有明显的保蓄水和增产增收效果,是我国北方旱地农业持续发展的一条重要途径。

2) 根据特定的气候和自然条件,可以选择不同的保护性耕作方式。在适当的气候条件下进行耙地作业,可以增加地温,改善播种质量,提高增产幅度,经济效益较好。

3) 笔者研制的2BMQF-4C型玉米免耕覆盖播种机能够实现种肥上下分施,防堵性能好,可较好地完成免耕播种作业,尤适用于粉碎秸秆覆盖地。

## 参 考 文 献

- 1 高焕文,李洪文,陈君达 可持续机械化旱作农业研究 干旱地区农业研究,1999,17(1):57~62
- 2 陈君达,李洪文 旱地玉米保护性耕作机具与作业工艺的组合研究 农业工程学报,1998,14(3):129~133
- 3 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