

# 中国特色保护性耕作技术

高焕文, 李问盈, 李洪文

(中国农业大学、农业部保护性耕作研究中心, 北京 100083)

**摘要:** 国外多年的保护性耕作实践表明, 旱地保护性耕作能减少土壤风蚀水蚀, 抑制沙尘暴。项目研究目的是检验保护性耕作技术在我国适应性、应采取的工艺体系及机具。从 1991 年开始, 中国农业大学和山西省农机局等合作, 开始农艺农机结合的保护性耕作系统试验, 10 年试验表明, 保护性耕作不仅减少水土流失, 而且增产增收。通过改进保护性耕作工艺, 开发研制中小型保护性耕作机具, 形成了中国特色的保护性耕作技术。主要特色在于用小型机具在小地块上实现保护性耕作、以及能在贫瘠的土地上获得较高产量, 从而满足我国既要保护环境又要提高产量的要求。研究表明, 我国北方自然条件、种植制度、经济水平等差别较大, 在保护性耕作推广中需要分区采用不同的技术体系。

**关键词:** 保护性耕作; 中国特色; 增产机理; 小型保护性耕作机具

中图分类号: S345

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2003)03-0001-04

## 1 保护性耕作与提高作物产量

### 1.1 北方旱作农业存在的问题

我国干旱、半干旱地区的面积占国土面积 52.5%, 主要分布在北方 16 个省、市、自治区。

旱农地区的主要问题, 一是旱灾频繁、土壤瘠薄、产量低而不稳。以山西为例, 春旱、伏旱、“卡脖子”旱经常发生, 可以说“十年九旱”, 造成大面积减产。迄今为止旱灾仍然是我国最主要的自然灾害之一。二是水土流失、沙尘暴猖獗、焚烧秸秆造成大气污染<sup>[1]</sup>。

水土流失、沙尘肆虐的原因除毁林开荒、草原过载外, 和农田耕作方法不当、管理粗放也密切相关。如沿用至今的焚烧秸秆、铧式犁翻耕、土地裸露休闲的旱地传统耕作, 就是不适当的耕作方法。

### 1.2 中国采用保护性耕作的问题

保护性耕作起因于美国 20 世纪 30 年代的沙尘暴, 为治理沙尘暴而开展的大量试验研究中, 保护性耕作法(当时称为免耕法)被证明是抑制农田扬沙最成功的方法。几十年间人们已经看到保护性耕作在保水保土、环境保护上所起的作用, 在中国也少有人对此质疑。但是, 中国要不要采用保护性耕作, 即保护性耕作是否适合我国国情, 却一直是争论的问题。认为不适合的意见主要是免耕降低产量、不适合中国人多地少的国情, 免耕需要大量除草剂、中国农民用不起, 同时污染环境。不同意见可以追述到 20 世纪 70 年代, 对中国要不要搞免耕法的普遍意见是, 美国地多人少、可以搞免耕法, 中国人多地少、要吃饭, 只能搞“三深法”深翻、深松、加深活土层。

从技术上说, 保护性耕作是建立在机械化基础上的, 如秸秆粉碎、免耕播种、深松等关键作业, 只能用机器来完成。但实现了保护性耕作的西方国家, 多使用大型昂贵的机具; 在我国地块小、动力小、经济欠发达情况

下, 没有现成的保护性耕作机具能使用。所以, 在上世纪 90 年代前, 可以说我国既缺乏对保护性耕作系统的试验、评估, 也缺乏必要的手段与技术去进行大面积推广。

### 1.3 保护性耕作能提高作物产量

中国农业大学和山西省农机局等合作, 从 1992 年在山西临汾和寿阳进行农艺农机结合的保护性耕作系统试验, 10 年的试验证明保护性耕作可以提高产量 13%~17%, 临汾城隍试验区连续 9 年的小麦产量见表 1。

### 1.4 保护性耕作的增产分析

保护性耕作增产有两方面原因, 即土壤水分增加和土壤肥力提高。

#### 1.4.1 土壤水分增加

旱作农业没有灌溉, 土壤水分基本来自降雨。雨水消耗分 3 部分: 第一是径流, 第二是地表蒸发, 两者都是无效消耗, 余下的第三部分才是供作物生长的有效水分。要增加有效水分, 必需减少径流、减少蒸发。

##### 1) 保护性耕作减少径流

中国农业大学等在山西寿阳建立了天然径流测试区, 并和人工模拟降雨试验相结合, 测定不同耕作处理的径流量, 保护性耕作比传统翻耕径流量减少 60% (图 1), 土壤流失少 80%。翻耕土壤径流大是雨水直接拍击裸露而疏松的土壤, 造成地表结壳, 水分入渗减缓。而秸秆覆盖的土壤, 基本无结壳, 利于水分入渗, 秸秆残茬还阻碍水流、减缓径流速度, 使雨水入渗时间增加。

##### 2) 保护性耕作减少蒸发

中国农业大学在临汾试区测定, 冬小麦休闲期内传统耕作地蒸发量平均 217 mm, 占休闲期降雨量的 79%, 而保护性耕作地蒸发量为 197 mm, 占 71%, 蒸发减少 11.2%, 有效水分增加 20 mm。

径流和蒸发减少了, 土壤含水率增加。如表 1 所示, 保护性耕作的播前土壤含水率高 14.13%, 对小麦在早年出苗和根系发育十分有利, 是增产的重要原因。

#### 1.4.2 保护性耕作提高土壤肥力

##### 1) 土壤有机质、速效氮、速效钾提高

保护性耕作把大量秸秆通过覆盖的方式还田, 直接

表 1 临汾试验区年度土壤蓄水、水分利用效率、产量一览表

Table 1 Soil water content, water use efficiency and wheat yield in Linfen experimental plots

试验年度	年降雨量/mm	播种前(0~50 cm 土层)蓄水量(SWC)			水分利用效率(WUE)			小麦产量/kg·hm <sup>-2</sup>		
		/mm			/kg·hm <sup>-2</sup> ·mm <sup>-1</sup>					
		传统耕作	保护性耕作	增加率/%	传统耕作	保护性耕作	增加率/%	传统耕作	保护性耕作	对比增加/%
1993*	旱年 469	69	75	9	8.1	11.1	37	1548	1985	28.2
1994	平水 523	93	95	2	12.3	13	5.7	3002	3161	5.3
1995	旱年 434	70	79	12	8.1	8.8	8.6	2342	2513	8.3
1996	平水 534	123	128	4	19.1	22.8	19.4	3456	3867	11.9
1997	丰水 574	125	130	4	15.3	16.3	6.5	3908	4142	5.99
1998	干旱 359	93	118	27	10.2	11.5	12.7	2495	3060	22.6
1999	旱年 421	82	104	27	12.6	15.2	20.6	2148	2645	23.1
2000	干旱 328	74	95	28	10.8	19.4	79.6	1152	2078	80.3**
2001	旱年 443	74	95	28	13.4	16.9	26.1	2917	3814	30.7
平均	455			14.13		17.08		17.01		

注:1993\*——指 1992.6~1993.6 的期间,其它各年意义同。  
80.3\*——2000 年山西特大干旱,传统耕作产量剧减,保护性耕作相对增产幅度较大,属特例情况,故在各项计算中,没有计入 2000 年的数值。

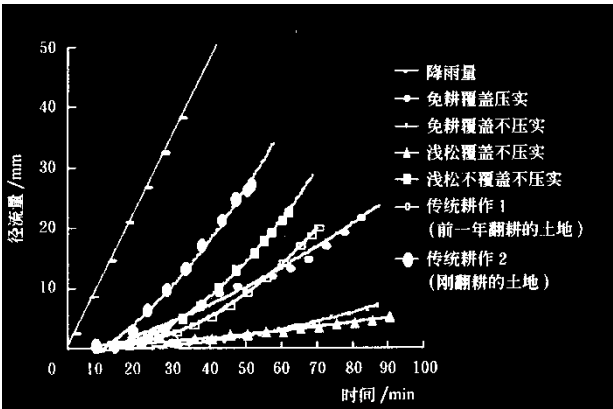


图 1 不同耕作处理的累计径流量  
Fig. 1 Accumulated run-off in different tillage

增加有机质。减少耕作、特别是取消翻耕,减少土壤中的有机碳与空气接触,从而减少有机质以 CO<sub>2</sub> 的形式逃逸到大气中去。保护性耕作使得土壤有机质增加,空气中的 CO<sub>2</sub> 下降,对土壤和大气都有好处。

2) 保护性耕作增加蚯蚓数量

保护性耕作主要依靠作物根系和蚯蚓等穿插疏松土壤,蚯蚓数量多少是土壤肥沃程度的重要标志。中国农业大学在山西临汾的测定,传统翻耕地基本没有蚯蚓,而保护性耕作 6 年后的小麦地蚯蚓达到 3~5 条/m<sup>2</sup>,10 年后达到 10~15 条/m<sup>2</sup>。

1. 4. 3 保护性耕作对增产的不利因素

保护性耕作也有不利增产的因素,主要是降低地表温度,播种质量不易保证和杂草控制较困难,需要通过加强管理来克服。

2 保护性耕作中小型机具研制

保护性耕作的主要作业,如免耕播种、深松、秸秆粉碎等都需要机械去完成。保护性耕作机具不能直接从国外引进,必须研制适合我国国情的机具。因为国外的保护性耕作机具多数为大型、牵引式为主,如免耕播种机靠多横梁、开沟器之间距离大解决作业时秸秆的堵塞。机具

转弯半径大,需要地头长,不适合我国小地块的国情;二是国外播种机施肥量少,每公顷 100 kg 左右,多采用种肥混施,而我国每公顷一般要施 400 多 kg,必须种肥分施;三是国外保护性机具结构复杂、价格昂贵。

需要研制的保护性耕作关键机具有免耕播种机、深松机、浅松机等,有些作业可以使用传统机械,如喷雾机、秸秆粉碎机、圆盘耙等。

2. 1 免耕施肥播种机

免耕施肥播种机除要有传统播种机的开沟、下种、下肥、覆土、镇压功能外,一般还必需有清草排堵、破茬入土、种肥分施和地面仿形功能。

2. 1. 1 玉米免耕施肥播种机

现以中国农业大学研制的 2BMF-4C 轮齿拨草式玉米免耕播种机为例(图 2)。介绍其功能。



图 2 2BMF-4C 轮齿拨草式玉米免耕播种机  
Fig. 2 2BMF-4C maize no-tillage planter

1) 清草排堵功能 免耕覆盖播种机要在有大量秸秆残茬及杂草覆盖的地面上工作,为避免秸秆杂草缠绕机件或堵塞机体,必须有足够的防堵功能。多数免耕播种机采用垂直切草盘+分草板的排堵装置,能在秸秆覆盖量较小情况下通过;部分播种机上采用了八字型双分草盘,排堵能力较强,但土壤翻动量大。2BMQF-4C 播种机上采用“垂直切草盘+轮齿式拨草器”,排堵能力强(适应覆盖量可达 10 t/hm<sup>2</sup>),而且土壤搅动量小。

2) 破茬入土功能 免耕地面比较坚硬,又有根茬,故要选择入土力强的开沟器。我国应用较多的是双圆盘开沟器和靴式开沟器,产生的沟形较好,且圆盘不容易缠草或挑起草根,但需要较大的压力才能入土,且结构复杂、故障多。2BMF-4C 播种机采用尖角铲式开沟器,沟形窄、入土性好、可自动回土,且结构简单。

3) 种肥分施功能 要在播种时每公顷施 400 kg 以上的化肥,不烧伤种子,种肥之间应隔开 4~5 cm 以上的距离。2BMF-4C 播种机采用中国农业大学研制的专利产品“复合型种肥分施开沟器”,肥种垂直分施,间距在 5 cm 以上,满足了大施肥量和不烧伤种子的要求。

4) 地面仿形功能 保护性耕作地面平整性比传统作业差,为保证播深一致,2BMF-4C 免耕播种机采用平行四边形单体仿形,改善了播深均匀性。2BMF-4C 免耕施肥播种机适合于一年一熟玉米种植区使用。

### 2.1.2 小麦免耕施肥播种机

与玉米免耕播种机相比,因为小麦行距窄(15~20 cm),更容易发生堵塞。中国农业大学研制的 2BMF-6 小型小麦免耕播种机(图 3),采用双排梁结构,使同一排梁上的开沟器间距达到 30~40 cm;增加梁之间的距离;以及种肥采用同一个开沟器等,较好地解决了防堵和种肥分施问题。与 11~13.3 kW 小型拖拉机配套,适应我国地块小、拖拉机动力小的需要。目前已在一年一熟地区小麦、苜蓿等免耕播种中大量采用。



图3 2BMS-6 小麦免耕播种机在作业  
Fig. 3 2BMS-6 wheat no-tillage drill

## 2.2 深松机

深松以其深松但不翻转土壤,而被确定为一项基本的保护性耕作作业。与传统不同的是在秸秆覆盖地上作业,需要防止秸秆堵塞。为此,在设计上主要采用加高机梁离地间隙,多铲时采用双梁结构等。新开发的一种单柱带翼深松机(图 4,1SY-210 型单柱带翼式深松机)。利用铲柱上的翼铲,不仅实现表层全面深松底层间隔深松,而且加宽了两铲之间的距离,亦有助于减少秸秆杂草堵塞。该机适合各种作物和体系,是目前保护性耕作深松中使用最多的机型。

## 2.3 浅松机

图 5 所示为 1QJ-240 型大箭铲浅松机,主要由 4 个 60 cm 宽的箭形铲和带横齿的镇压轮组成。箭铲在表土下 5~10 cm 的地方通过,切断草根、消灭杂草、疏松表土,带横齿的镇压轮在平地的基础上,增加碎土功效,使浅松作业后的地表细碎平整。

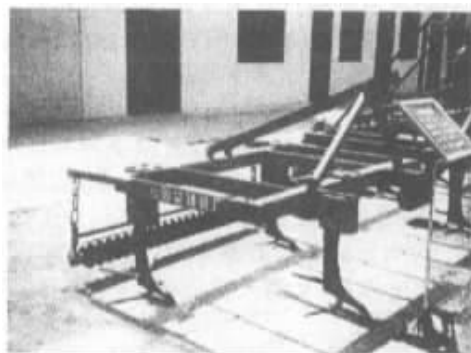


图4 1SY-210 型单柱带翼深松机  
Fig. 4 1SY-210 single tine subsoiler with wings

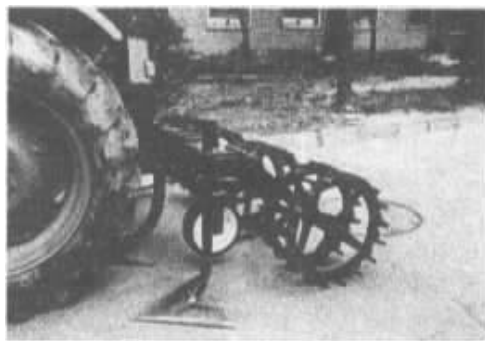


图5 1QJ-240 型浅松机  
Fig. 5 1QJ-240 shallow loosener

## 3 中国特色的保护性耕作体系

中国特色的保护性耕作体系,指该作业工艺和机具能满足我国及第三世界国家地块小、动力小、经济欠发达、既要保持水土又要提高产量的要求。其特点为:

1) 用小型保护性耕作机具在小地块上实现了保护性耕作。

2) 保护性耕作能在贫瘠土地上获得较高产量。

以中国和澳大利亚、加拿大等国相比,他们的旱地土壤有机质多在 2% 以上,保护性耕作小麦产量 1.5~2 t/hm<sup>2</sup>,而山西旱地土壤有机质不到 1%,但保护性耕作产量达 2~3 t/hm<sup>2</sup>(表 1)。主要措施是我国施肥量大。经过对种肥分施安全距离、肥料位置的研究,特别是施肥播种机的攻关,开发出了具有自主知识产权的“种肥垂直分施开沟器”,化肥施在种子正下方 3~5 cm 处,才解决了大施肥量和深施肥的难题。

3) 增加表土作业,改善免耕播种质量。

试验研究发现,收获机或拖拉机要进地作业,常常在土壤表面压出许多沟辙,造成播种深浅不一,地轮打滑产生缺苗断垄。在秸秆量太大或分布不均的情况下,播种机出现堵塞也影响播种质量。在这种情况下,仅靠改进播种机不能完全解决。试验增加表土作业,在减少地表秸秆覆盖量、消除地面不平和平和消灭杂草方面,取得了积极的效果。如圆盘耙作业,耙后地表疏松、沟辙消除、一次可降低秸秆覆盖率 15%~24%;旋耕机浅旋,

对平地、粉碎及混合秸秆效果良好,但杀死蚯蚓,破坏土壤结构;浅松作业切断草根,消灭杂草、疏松表土,松后地表比较平整,秸秆覆盖量降低很少。

#### 4) 综合防治杂草。

我国农业劳动力相对富裕,而除草剂的效率、性价比比较国外差,保护性耕作中应采取喷除草剂、机械除草、人工除草相结合的方式。特别是把除草和表土作业结合起来的方式,例如播种前有杂草时,结合耙地或浅松作业,既完成表土作业,又消灭了杂草,一举两得。同时也减少了除草剂用量。

### 4 适应不同类型区的保护性耕作体系

根据我们的试验研究,目前中国的保护性耕作体系可按 4 种类型区来建立,即黄土高原一年一熟区、西北冷凉风沙区、东北高寒易旱区、华北一年两熟区。各类型区的基本情况、存在问题、保护性耕作的任务与特点如下。需要根据不同类型区的任务和特点,因地制宜地建立保护性耕作体系。

1) 黄土高原一年一熟区 包括山西、陕西、甘肃的大部分地区。特点是干旱、水蚀严重,种植制度以小麦或玉米一茬作物为主。针对这些特点,本区保护性耕作模式以增加土壤含水率和提高土壤肥力为主要目标。技术措施以秸秆覆盖、免(少)耕播种、以松代翻为重点。

2) 北部冷凉风沙区 包括河北、山西北部,辽宁西部,内蒙古、甘肃、青海、宁夏的部分地区。特点是冬季气温低、春季干旱风大、土地瘠薄、风蚀沙化严重。种植以耐寒作物小麦、莜麦、胡麻、谷子、糜子、小豆、马铃薯、青贮玉米为主。本区大多为农牧交错,大部分作物秸秆要用来喂牲畜及做燃料。针对这些特点,本区保护性耕作的目标是防治沙尘暴、提高产量和培肥地力。技术措施是留茬覆盖、免耕播种、杂草综合防治。

3) 华北一年两熟区 包括河北、河南、山东、北京、天津等,农业上精耕细作,提水灌溉,以小麦玉米一年两熟为主,高投入、高产出。存在问题是地下水位急剧下

降、成本高、焚烧秸秆污染环境、地力持续下降,所以也有开展保护性耕作的迫切要求,以减少地下水消耗、降低生产成本和培肥地力。本区实施保护性耕作的难度较大,玉米秸秆地免耕播种小麦的机具和病虫害防治等问题都还在研究中。

4) 东北高寒易旱区 包括黑龙江、吉林、内蒙古东北部地区。气温低、无霜期短,春天风大、风蚀和春旱严重。种植作物以一茬玉米为主。本区保护性耕作以抵御春旱、控制风蚀为主要目标。为了解决低温的影响,需要研究试验垄作保护性耕作技术,对于干旱严重的地方,必要时可结合行走式“坐水种”技术。

#### [参 考 文 献]

- [1] 高绪科等. 旱地麦田蓄水保墒耕作措施的研究[J]. 干旱地区农业研究, 1991, (4): 1~9.
- [2] 陈君达, 李洪文, 高焕文. 玉米免耕整秆覆盖播种机防堵装置研究[J]. 北京农业工程大学学报, 1994, (3): .
- [3] 李洪文, 高焕文. 可调翼深松铲试验研究[J]. 北京农业工程大学学报, 1995, (2): 33~39.
- [4] 杜 兵, 廖植樨, 邓健等. 用人工模拟降雨研究玉米保护性耕作措施和压实对水土保持的影响[J]. 中国农业大学学报, 1996(1): 63~67.
- [5] 高焕文, 李洪文, 李问盈. 可持续机械化旱作农业研究[J]. 干旱地区农业研究, 1999, (1): 57~62.
- [6] 高焕文, 姚建忠, 李洪文等. 适合中国国情的保护性耕作工艺与机具[J]. 农业工程学报, 1999, 15(6):
- [7] 杜 兵, 邓 键, 李问盈等. 冬小麦保护性耕作法与传统耕作法的田间对比试验[J]. 中国农业大学学报, 2000, (2): 55~58.
- [8] Gao Huanwen, Li Hongwen, Chen Junda. Sustainable mechanized dry land farming research in Northern China [C]. ISTRO International Conference, Fort Worth, Texas, U. S. A., 2-5/07/2000.
- [9] 王晓燕, 高焕文, 李洪文等. 保护性耕作对农田地表径流与土壤水蚀影响的试验研究[J]. 农业工程学报, 2000, (3): 66~69.
- [10] 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): 81~84.

## Conservation tillage technology with Chinese characteristics

Gao Huanwen, Li Wenying, Li Hongwen

(College of Engineering, China Agricultural University, Conservation Tillage

Research Center, Ministry of Agriculture, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Conservation tillage (CT) has been shown as a wind and water erosion reduction technology from many years, research in developed countries. This program mainly evaluates the suitability of CT to China and what kinds of technology and machinery should be adopted. From 1991, China Agricultural University cooperated with Shanxi Agricultural Mechanization Bureau and so on, commenced systematic CT experiments combined agronomy and mechanization research together. It has been proved that the CT can not only reduce the wind and water erosion, but also increase the crop yield, after 10 years' experiment. Through improvement of CT operations and development of small size CT equipment, the conservation tillage technology with Chinese characteristics is basically formed, which can realize CT in small piece of land with small CT equipment, and can gain higher yield from poor soil. Therefore, it can meet the requirements of protecting environment and increasing farmers' incomes. The study shows that, due to different natural conditions, cropping systems and economical levels, different CT technological systems should be adopted in different regions.

**Key words:** 万方数据 conservation tillage; Chinese characteristics; yield-increasing mechanism; small size conservation tillage equipment