

基于美国保护性耕作分析的东北黑土区耕地保护*

贾洪雷¹ 马成林¹ 李慧珍¹ 陈忠亮²

(1. 吉林大学工程仿生教育部重点实验室, 长春 130025; 2. 吉林省科技厅, 长春 130051)

【摘要】 我国东北黑土区侵蚀严重,为找到控制水土流失的有效途径,分析了美国实施保护性耕作的实践经验,阐述了其发展概况、作用和实践中遇见的问题,具体介绍了美国保护性耕作中免耕(含条耕、带耕、垂直耕)、覆盖耕、垄耕等几种常见耕作模式和相关机具。对我国东北黑土区耕地保护途径的选择、保护性耕作的理解、耕作模式改革创新、秸秆还田、深松施肥和防治病虫害具有借鉴意义。

关键词: 保护性耕作 东北黑土区 土壤侵蚀

中图分类号: S222 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)10-0028-07

Tillage Soil Protection of Black Soil Zone in Northeast of China Based on Analysis of Conservation Tillage in the United States

Jia Honglei¹ Ma Chenglin¹ Li Huizhen¹ Chen Zhongliang²

(1. Key Laboratory of Bionic Engineering, Ministry of Education, Jilin University, Changchun 130025, China

2. Jilin Provincial Science & Technology Department, Changchun 130051, China)

Abstract

The black soil layers in the northeast of China undergo serious erosion. In order to seek an effective way to control soil and water loss in the area, the practical experiences in conservation tillage in the United States were introduced for analysis including the general situation of development, effects and challenges encountered. Popular modes there such as no tillage, strip tillage, zone tillage, vertical tillage, mulch tillage, and ridge tillage as well as the related implements were outlined. That is helpful for understanding conservation tillage itself, handling residue management, deep chiseling and pest or weed control. That may also serve as references while making reform and innovation of tillage modes and selecting tillage soil protection measures in the northeast of China.

Key words Conservation tillage, Black soil zone in northeast of China, Soil erosion

引言

我国东北地区耕地总面积 2 567.12 万 hm^2 , 约占全国耕地的 21.08%。其范围内的松辽流域, 分布着中国东北黑土区。长期以来自然因素和不合理的生产经营活动使东北黑土地水土流失日趋严重, 其中耕地水土流失占总水土流失的 50% 以上, 如果不加以有效防治, 大部分黑土层将会消失。针对如

何控制耕地水土流失保护黑土地的问题, 笔者调研了美国保护性耕作系统的理论和实践, 并特别调研了寒冷地区实施保护性耕作容易出现的问题及解决的途径。

1 美国保护性耕作概念和进展

在美国保护性耕作 (conservation tillage, 简称 CT) 是指播种后 30% 以上的地表有作物的残留物覆

盖以减少土壤水蚀的一切耕播系统。在风蚀严重地区,则指在关键的风蚀期内至少有 $1\ 121\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 的小粒谷物残留物留在地表的一切耕播系统^[1]。播种前不扰动或较少扰动土壤。控制杂草常采用除草剂,也可用覆盖作物进行覆盖,或机械除草。在播前或播种同时将肥料和石灰施入土壤。

1.1 意义和作用

保护性耕作对易侵蚀和干旱的土壤具有较大的优点。作物残留物覆盖田间地表可以有效防止土壤水蚀和风蚀,在美国大平原连续多年采用少耕法,每年可保持 $50\sim 100\ \text{mm}$ 的土壤水。华盛顿东部小麦用传统耕法每年风蚀土壤达 $32\ \text{t}/\text{hm}^2$,而采用保护性耕作只有 $2\ \text{t}/\text{hm}^2$,仅为前者 6%。保护性耕作减少土壤的有机质及营养成分流失,也减少农药流动,降低水污染,改善水源水质。保护性耕作法因减少土壤扰动而降低了碳排放,减少大气污染,覆盖物又增加了土壤有机碳(SOC),使土壤有机质增加,可耕性改善^[2]。保护性耕作某种意义上是一种“覆盖耕作”,所以美国自然资源保护局称保护性耕作系统为“作物残留物管理”(CRM)。

保护性耕作对土壤的可耕性影响要看长期效应。文献[3]从土壤堆密度、孔隙度和团粒结构等方面考察了明尼苏达州南部轻壤土的可耕性,保护性耕作与传统犁耕相比, $0\sim 15\ \text{cm}$ 耕层内需经过 3 年,在 $15\sim 30\ \text{cm}$ 的耕层内需经 7 年才显示优势。说明要取得土壤有机质和蚯蚓活动增加、孔隙度和透水性改善等效果需要连续坚持保护性耕作。此外,深松也是保护性耕作用以增加土壤孔隙度的途径之一。

国际土壤耕作组织认为,保护性耕作是目前能够实现粮食生产和环境保护协调发展的可持续发展农业技术,是土壤保护的成功范例。

1.2 发展和面对的问题

1934 年美国史无前例的黑风暴从西部开始横扫美洲大陆。1942 年美国成立了土壤保护局(现为自然资源保护局),总结开发出了保护性耕作法。

1982 年以来,全美 CRM 的调查是由保护性耕作信息中心(CTIC)根据国家自然资源保护局(NRCS)的分类定义进行的,是 NRCS 在全美唯一的在县级水平衡量跟踪农作物耕作类型的调查数据^[4]。它是 NRCS 对土壤保护措施的接受程度、显示能源节省和检测环境改善程度非常重要的评估手段。数据统计分 5 组:免耕(包括条耕、带耕、垂直耕)、覆盖耕、垄耕、减少耕(RDT,其地表残留物覆盖率定义为 $15\%\sim 30\%$)和集约/传统耕(地表残留物覆盖率为 15% 以下)。下面将根据 CTIC 的数据

来说明美国保护性耕作的发展概况。美国保护性耕作应用面积不断扩大,1965 年为 2.35%,1979 年为 16%。1985 年通过食品安全法(FSA),实行保护土壤和作物亏损补贴。1996 年抗除草剂的转基因大豆和棉花出现,在免耕地上增产可达 35%,这些因素大大推动了保护性耕作发展,到 1998 年面积达到 37.2%,同时减少耕法(RDT)面积达 26%。之后 5 年发展趋缓,可能与有的耕地改为草地等因素有关。2002 年免耕达 20%,覆盖耕 16%,垄耕 1%,计 37%。2004 年卫星监测结果,全美有 4 573 万 hm^2 耕地应用保护性耕作法,达 41%^[5]。保护性耕作应用由大田作物发展到蔬菜。2007 年 CTIC 抽样统计结果^[4],免耕 23.8%,覆盖耕 17.2%,垄耕 0.8%,还有减少耕(RDT)21.4%,所以 2007 年保护性耕作应用为 41.8%,如果把减少耕 RDT 也加进去,则达 63.2%。

保护性耕作是极为复杂的系统。虽然 50 多年来已经基本形成一套保护性耕作制度和办法,但理论和实践还在不断深入发展,多学科对保护性耕作机理的研究也不断出现新成果。对保护性耕作各种耕法之优点和不足的认识逐渐加深,认为应因地制宜加以实施。目前存在的问题有:保护性耕作条件下病虫害问题较难解决;免耕在较温暖和排水好的地方效果好,而在寒冷、地温低、排水不好、土壤粘重的条件下效果就差,因而,出现了条耕、带耕、垄耕等许多耕法。连作玉米实施免耕时,土壤中上一年玉米茬根球的存在会影响当年玉米苗生长,称为植化相克效应。另外高产玉米产生大量残留物,需要特殊处理,土壤会出现暂时缺氮,春天需要施氮肥来补充,从玉米连作数年的长期效果看,土壤中有机氮逐渐增加。

对某些问题还存在不同观点,如对于水质影响的各种研究结论是互相矛盾的。对其耕作模式的分类方法也有不同看法。总之,有关保护性耕作方法的各种问题,包括经济性和相应机具都处于研究发展中。

2 中国东北黑土地水土流失问题

水土流失(土壤侵蚀)是指地表土壤及母质、岩石在水力、风力、重力和冻融等外力的作用下,受到各种破坏、移动和堆积的过程以及水本身的损失现象。

东北黑土层是在漫长的地质变迁和特殊的气候条件等因素共同作用下逐渐形成的。其原有的黑土层深厚,在 $60\sim 80\ \text{cm}$ 之间。它富含作物生长必需的有机质(高达 $5\%\sim 8\%$,甚至 10% 以上,是黄土地

的10倍);另外,它有特殊的团粒结构,其中含大量微小孔隙,如同天然的土壤水库。这为作物生长提供了必需的水份和营养。

东北黑土区已有二百年垦殖历史,耕地比重大,垦殖指数高,森林覆盖率低,由于受自然和人为因素影响,其水土流失呈日益加剧趋势,生态环境日趋恶化。耕地坡度一般 $3^{\circ} \sim 5^{\circ}$ 、坡长500~2000 m,风蚀、水蚀造成的水土流失都比较严重:夏季降水多以暴雨形式集中在6月至9月间,极易发生水蚀;春季风多,十年九春旱,地表裸露,风蚀严重。据第二次全国水土流失遥感普查,黑龙江省水土流失面积达11.2万 km^2 ,占全省总面积的25%,其中耕地流失面积5.67万 km^2 ,占总流失面积的51%。黑土层每年流失厚度0.7~1 $\text{cm}^{[6]}$,原来60~80 cm厚的黑土层只剩下了20~30 cm,有的地方甚至已“露黄”。土壤有机质每年以0.13%速率递减,从原始的7%~10%下降到2%~3%。长期以来,小型拖拉机和牛马犁耕作使农田耕层变浅,化肥和农药使用量加大,使土壤板结、堆密度增大、孔隙度减少等物理性状恶化。与开垦初期相比,开垦40年的黑土地,土壤堆密度由0.79 g/cm^3 增加到1.06 g/cm^3 ,总孔隙度由69.7%下降到58.9%,田间持水量由57.7%下降到41.9%,开垦80年后,三项指标进一步恶化,分别是1.26 g/cm^3 、52.5%及26.69%,土壤质量退化严重^[7]。

为保障国家粮食安全,保护生态环境,国家农业综合开发办公室和水利部决定从2008年起在黑龙江省和吉林省实施东北黑土区水土流失重点治理工程。分析美国保护性耕作成功的经验后,确信保护性耕作是东北黑土区耕地保护的有效途径。

20世纪末东北已经开始按各自的定义开展保护性耕作的研究和推广。进行了少耕、免耕、玉米宽窄行高留茬交替耕作以及玉米根茬行侧免耕播种等多种耕作模式的试验推广。尽管地表覆盖和秸秆还田数量各有不同,但东北实行保护性耕作的却不到10%,用于田面覆盖的秸秆量不足总量的10%,所以各省区都在积极推广保护性耕作。存在的问题首先是秸秆还田有困难:寒冷地区秋天还田的秸秆到来年春天来不及腐烂,影响春播。俄罗斯全俄农业机械化研究所把秸秆粉碎成20、15、10和5 cm各种长度段,分组对比试验,结果表明,只有把秸秆粉碎成5 cm以内进行混埋还田才不会影响来年春播,这是不经济的,也是难以做到的。覆盖的秸秆会影响地温回升而延误播种期。但是没有大量秸秆还田而裸露的地表又永远无法保护黑土地,所以必须在技术上突破这个困难。其次,多数农村土地分散,动力

偏小,深松困难,又缺乏先进实用可靠的免耕播种机等保护性耕作机具。第三,现在凡是耕作改革都自称为保护性耕作,缺乏必要的规范和权威性的技术指导。第四,缺乏对保护性耕作有力的政策导向和必要的监督机制。

3 美国保护性耕作常见模式

美国保护性耕作模式的演变体现了美国专家与农民几十年探索最佳经济和环境效益的过程。必须从气候条件、土壤特性、作物要求等许多实际情况出发,经过反复试验才能确定应该采用的耕作方法。研究推广保护性耕作要用系统观点综合考虑,对任何一种耕作模式中的田面覆盖、播种、施肥、除草、种子包衣等各环节的设计安排和交互作用、汇碳效果、对水土资源影响以及成本核算等方面要全面评估。

CTIC的调查将保护性耕作模式分为3组统计,即免耕(包括条耕、带耕、垂直耕)、覆盖耕和垄耕。另外还有也有土壤保护作用的减少耕(田面覆盖率在15%~30%)。

3.1 免耕

是指除施肥外,从收获到播种期间不扰动土壤的耕作/播种系统。通常在作物残留物覆盖的地表上,装有免耕播种部件(图1)的免耕播种机(图2)

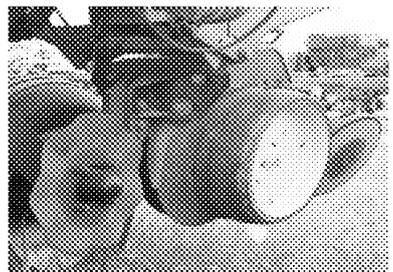


图1 免耕播种部件

Fig. 1 No-tillage sowing parts

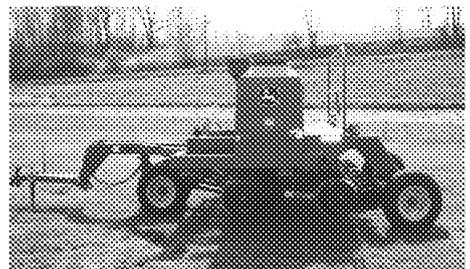


图2 免耕播种机

Fig. 2 No-tillage planter

用波纹圆盘(图3)切开覆盖物,随后用双圆盘开沟器进行播种(扰动土壤不超过田面的25%)。这是美国应用最早的保护性耕作模式。在不太寒冷也不潮湿的土地上产量不比传统耕作低。

免耕节省油耗和作业时间,降低劳动和机具成

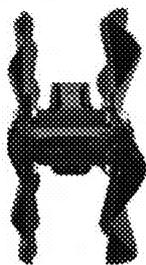


图 3 波纹圆盘

Fig. 3 Wavy coultter

本,减少作业时的尘土和碳排放对大气的污染。覆盖物降低径流和土壤侵蚀,帮助雨水及灌溉水维持渗透,减少蒸发。由于土壤扰动少和有覆盖物为蚯蚓等田间生物提供食物和栖息地,连续免耕三五年后土壤的有机质、孔隙度、透气透水性增加,产量也逐年提高。

研究和实践表明,在下述情况下免耕会减产:覆盖物厚;土壤排水不好;播种太早;地表秸秆分布不均,或土壤表面不平。如在印地安那州北方,上述因素导致玉米植株减少,出苗不齐,早期生长缓慢,出现植化相克效应,成熟期推迟,影响产量。这种情况下,玉米减产比大豆更明显,因为大豆植株减少时能补偿。只要从行上把覆盖物移开就能提高地温 1°C 左右。玉米连作时,移开行上覆盖物可显著提高地温、长势、成熟度和产量^[8]。

3.2 条耕

在全覆盖地表上的一窄条范围内将覆盖物拨开,秋后耕出宽 20 cm 、深 10 cm 的待播条带,条内形成一条 $7.5\sim 10\text{ cm}$ 高的小垄,次年春天垄高往往下沉到 $2.5\sim 5\text{ cm}$,播种后地表平整。行间仍覆盖着残留物。肥料通常在条耕时以液态注入或施入干料。它是把传统全耕与免耕结合起来,耕作只限于很窄的播种条带内(土壤扰动占田面 30%)。秋天条耕作物产量可等同于铧式犁耕翻。此法在俄亥俄州用得较多。因为免耕使春天地温复苏慢,种玉米有风险,所以往往秋天进行条耕,为次年春天播玉米做准备,称为秋条耕。

条耕优点:保护土壤,行间所铺残留物未受扰动;玉米有温暖松软的种床;条耕时把肥料送到靠近作物根部;可以较早播种;燃料消耗仅为全面耕翻的 $1/4$ 。

行清除器、圆盘刀、耕作器及覆盖圆盘安装在一个机架上,两边装上划行器。该机宽度要与播种机宽度一致或成倍数。每行需动力 $11\sim 14.7\text{ kW}$ 。

行清除器(图4):拨开残留物开出裸露土壤带,在残留物覆盖很厚时尤为重要。单个圆盘配置在行清除器前方或后方,从中间切开残留物便于向两侧

分拨。耕作器(图5)铲很窄,带鼯鼠刀(图6),底部有小翼,以增加松土和深处施肥。尽量减少上部的土壤扰动,耕作深度在 $10\sim 20\text{ cm}$ 范围内变化,取决于功率大小和施肥深度。

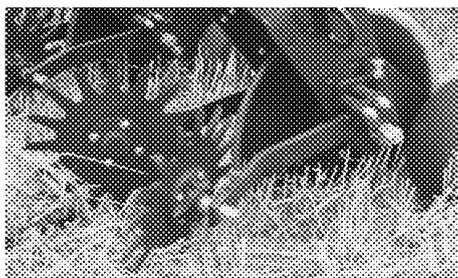


图 4 行清除器

Fig. 4 Row cleaner

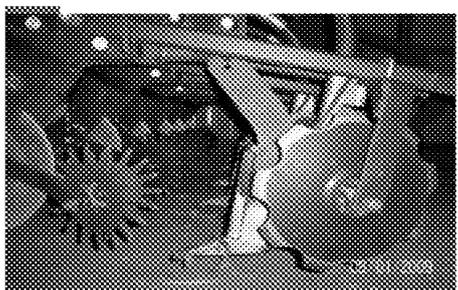


图 5 耕作部件

Fig. 5 Tillage assembly



图 6 鼯鼠刀

Fig. 6 Mole blade

一对圆盘刀用于收集耕作器甩出来的土壤,使其都处于窄条之内,圆盘不要插到土里。

条耕播种和施肥都需要对准耕条,为此应用一种实时自动导向器,播种机和施肥机上再不需安装划印器^[9]。

施肥系统:有磷钾干粉施肥器、液压肥料罐、高压无水氨车(图7)。秋天地温超过 10°C 时不宜施氮肥(易挥发),宜在春天出苗后进行。

条耕用在大豆茬最理想,但条耕前应将豆秸粉碎并均匀撒在地里。条耕小麦茬时也应收获时将麦秆切短,并应安装行清除器。



图7 无水氨注施机

Fig.7 Anhydrous ammonia injecting machine

但条耕设备成本比免耕播种机和条播机要高,动力也大。春天气温高时可采用免耕。秋天条耕必须在土壤饱和前完成。

试验发现,连茬玉米用动力旋耕 20 cm 宽、10 cm 深的耕条,可改善生长成熟期和产量,优于播到原行上的免耕播种,但仍低于全幅耕作。行内耕作不一定比播种于老种行之间的免耕法增产^[8]。

3.3 带耕

带耕是一种深条耕。用机器准备一个窄的播种区:15 ~ 25 cm 宽,10 cm 深,并深松破坏犁底层(图8)。有一套2~3个波纹圆盘刀,前圆盘刀25.4 mm 宽,13个波,对准播行中线破碎大土块和上年留下的秸秆;后2个圆盘刀50.8 mm 宽,8个波,偏离播行中心线76.2 mm 对称布置,且带偏角,把土壤甩到行的中线上,但不压实;后边设一滚动刀框用来形成良好种床。

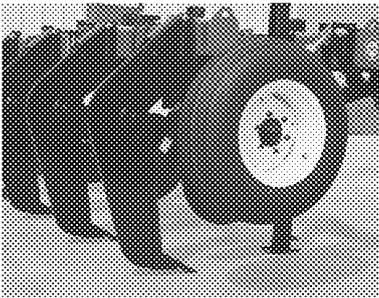


图8 带耕深松机

Fig.8 Zone-tillage subsoiler

带耕综合考虑铧式犁犁耕和免耕的负面影响,对土壤的扰动限制在播种行内(田面的30%)。美国东北部常年铧式犁犁耕作,土壤20~30 cm 深处形成犁底层,严重影响作物生长。用深松铲耕至犁底层下5 cm(有的工作深度可达50 cm),破坏犁底层有利于排水。美国东北部采用带耕越来越多,用带耕种植各种田间作物和大粒种子的蔬菜^[8](图9)。

田面仅1/3被耕作,降低了作业成本,行内变暖较快有利于春播,提高了播种质量,提高了出苗率。其他2/3田面用残留物覆盖,可以减少土壤侵蚀,改善水分供给,增加蚯蚓活动。带耕的种床准备作业

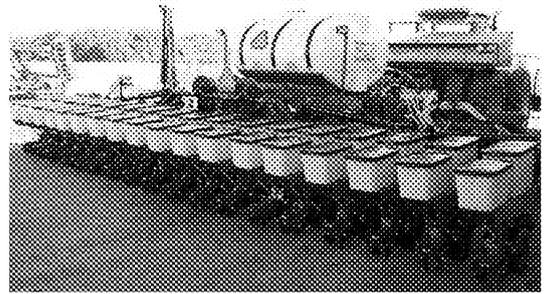


图9 带耕播种机

Fig.9 Zone-tillage planter

可在秋天进行。

但带耕几年后多年生杂草增加,需要在秋天将其控制住;相关设备较贵。

3.4 垂直耕

即深松耕法,秋天在残留物覆盖的地里,用铲柄很窄铲头带翼的深松铲(图10)深耕33~35 cm 以打破犁底层(图11),次年春天顺沟播种。深松后松碎土壤形成种沟,水可均匀进入土壤,保持土壤潮湿,提高地温。缺点是耕作阻力很大,促进杂草生长。2004年伊阿华州立大学将其与全面翻耕和免耕法对比试验,结果3种耕法植株数基本一致,但垂直耕法产量较高。2008年俄亥俄州立大学试验表明垂直耕法最有利^[10]。

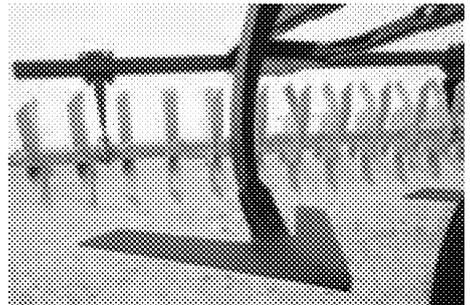


图10 垂直耕作深松铲

Fig.10 Vertical-tillage subsoiler

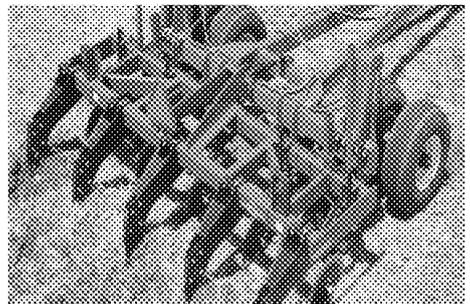


图11 垂直耕作机

Fig.11 Vertical-tillage machine

3.5 覆盖耕作

在播种前或播种同时一次或两次扰动全部地表(图12),在作物全年生长期间,在地表(或混入土中)要保持50%以上均匀分布的作物残留物,播后

地表残留物不少于 30%，以减少水土流失和土壤风蚀，增加土壤有机质，并给蚯蚓等生物创造好的生活环境。采用的农具是凿形犁或二次耕作机械，如田间中耕机、旋转耙和圆盘机具(图 13、14)等。靠药剂或中耕控制杂草。覆盖耕一直应用很广，到 2007 年占全美耕地 16%^[11]。

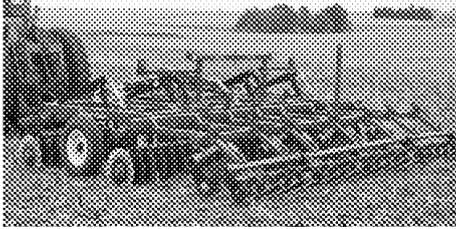


图 12 覆盖耕作机

Fig. 12 Mulch-tillage machine

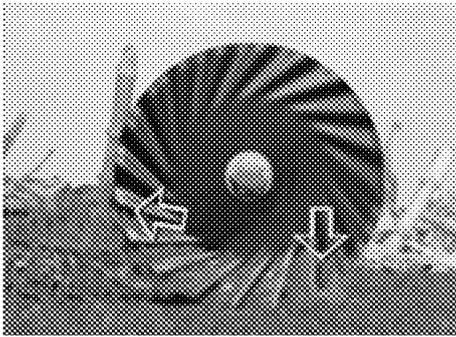


图 13 涡轮圆盘刀

Fig. 13 Turbine coultter blade

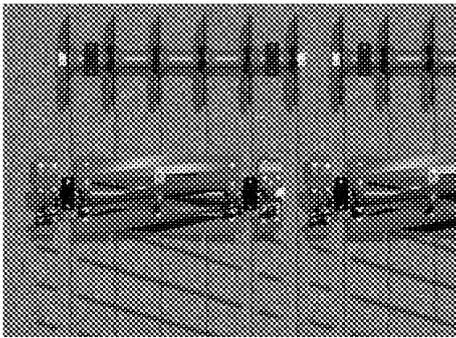


图 14 圆盘-涡轮刀片

Fig. 14 Disk-turbine coultter blade

3.6 垄耕

春天在垄顶播种，垄耕播种前后的老茬、作物残留物、种子、化肥、植化相克区及粪肥分布情况如图 15，作物高 30~45 cm 时进行第 2 遍中耕恢复垄形，也可在玉米青饲收获后起垄(若玉米收获后切碎秸秆起垄则次年播种有困难)，垄高 15~20 cm。玉米、高粱春播时垄高 10~15 cm，播大豆 7.5~10 cm，收获后保持垄形，行距不小于 75 cm。播种时专用播种机用齿耙(图 16)、圆盘开沟器、刀或行清除器(图 17)在原垄顶准备种床，播种时可将 80%~100% 的草籽翻到垄沟里，播种后垄顶会降低。第一次中耕松土并消灭杂草，第二次中耕恢复垄形可达

20 cm。这种方法可比传统耕翻和免耕大幅降低除草剂用量。在 12.5~17.5 cm 高的垄上播种，产量与全面耕翻相近。种床提高，地温即提高，普渡大学试验：春天垄顶温度比犁铧秋翻只低 0.5~1℃，比免耕高 2~2.8℃，垄耕是成功的耕法。播种机必须清除覆盖物并把种子播在垄的中线上。为保持播种部件在垄顶工作，需要可靠的随垄稳定装置，如图 16 和图 18 所示的一对轮子。有的机器上每组单体都有随垄轮，所以机器重量在各支点上应有合理的分配。中耕机(图 19)必须准确恢复垄形。收获时要适当切碎秸秆均匀覆盖在地表上。收获机上需装 2 个窄的轮子，以便跨垄行走，不破坏垄形。由于耐寒品种出现和机器昂贵，该法的应用在减少，目前不到 1%。

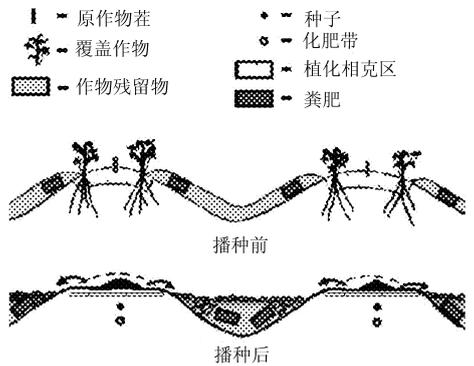


图 15 垄耕播种前后物质分布示意图

Fig. 15 Materials distribution before and after planting

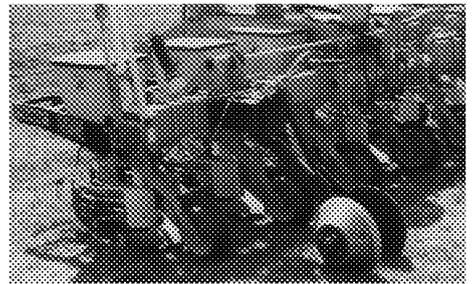


图 16 垄耕播种机

Fig. 16 Ridge planter

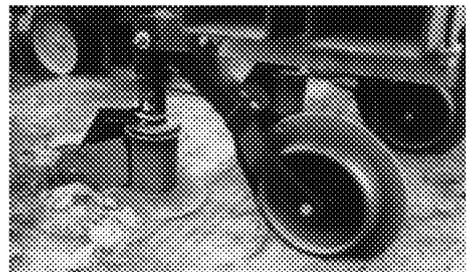


图 17 垄耕播种机水平圆盘式垄顶清除器

Fig. 17 Horizontal disc cleaner attached to ridge planter

4 结束语

美国保护性耕作系统体现出了实用性、科学性

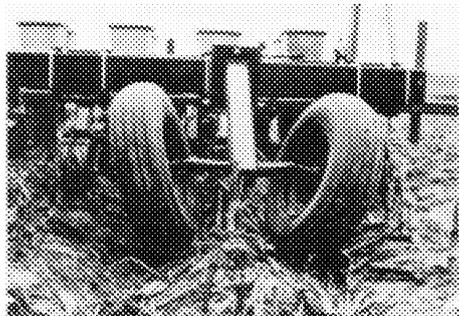


图 18 播种机随垄导向轮

Fig.18 Guide wheel of planter



图 19 垄耕中耕机复垄器

Fig.19 Ridger of cultivator

和先进性。

美国保护性耕作系统以作物残留物覆盖田面多少为标准,所以秸秆还田多少是关键。我国东北的保护性耕作也应该建立一种规范或准则,以推动保护性耕作健康发展。

我国东北传统耕法已经不能适应保护黑土地、保护生态环境和提高产量的需求,所以正在试验改变耕法^[12]。东北黑土区总体处于寒冷地带,秸秆还田和春天种床温度是备受关注的问题。在寒冷条件下粉碎秸秆翻埋还田^[13],秸秆不能腐烂,影响来年

春天播种,不能保证全苗。留高茬(20~45 cm)还田,秸秆量又显得少。美国寒冷地区的保护性耕作系统实践既解决地表覆盖秸秆还田又考虑种床地温,值得借鉴^[14]。

美国保护性耕作系统基本通过使用大功率拖拉机和先进适用的配套农具来实现,适用于较大规模生产方式。我国东北地区自然条件、生产规模、人文社会条件等都与其不同。因此,可以根据自身条件因地制宜创造性地研究开发适宜的耕法和先进适用的大型和小型的保护性耕作机具。

参 考 文 献

- 1 Daniel Walter, Paul Jasa. Conservation tillage in the United States: an overview[EB/OL]. Institute of Agriculture and Nature Resource, University of Nebraska-Lincoln, <http://agecon.okstate.edu/labranza/walters/conservation.doc>, 2002.
- 2 Roy Roberson. Long-term conservation-tillage study shows benefits, concerns [EB/OL]. Farm Press, <http://southeastfarmpress.com/news/030106-Naderman-conservation/index.html>, 2006. 1. 3.
- 3 Voorhee W B, Lindstrom M J. Long-term effects of tillage methods on soil tilth independent of wheel compaction[J]. Soil Science Society of America Journal, 1984, 48(1): 152~156.
- 4 CTIC. National crop residue management survey[EB/OL]. www.CTIC.purdue.edu/http://www.conservationsinformation.org/?action=members_crmsurvey, 1982/2009.
- 5 CTIC. National survey shows more farmers choose conservation tillage[EB/OL]. www.CTIC.purdue.edu, 2004. 11. 09.
- 6 张学忠, 曾赛里. 东北半干旱抗旱灌溉区节水农业理论与实践[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.
- 7 于磊, 张柏. 中国黑土退化现状与防治对策[J]. 干旱区资源与环境, 2004, 18(1): 99~103.
- 8 Smith Darrel. Poised for take-off (conservation tillage)[EB/OL]. Farm Journal, <http://www.encyclopedia.com/Farm+Journal/publications.aspx?date=200509&pageNumber=1>, 2005. 9. 28.
- 9 Smith Darrel. Conservation now (renewable energy contracts)[EB/OL]. Farm Journal <http://www.encyclopedia.com/Farm+Journal/publications.aspx?date=200603&pageNumber=2>, 2006. 3. 19.
- 10 Mike Miller. Vertical tillage practice offers the most benefits[EB/OL]. Ohio State University Extension, Medina County, <http://medinagazette.northcoastnow.com/2008/04/15/vertical-tillage-practice-offers-the-most-benefits/>, 2008. 04. 15.
- 11 Natural Resources Conservation Service, USDA, Residue management-mulch-till [EB/OL]. Alabama Guide Sheet No. AL329B, <http://efotg.nrcs.usda.gov/references/public/NM/344spec.pdf>, 2001. 8.
- 12 高焕文. 保护性耕作与农业可持续发展[C]//哈尔滨现代农业装备论坛, 2008.
- 13 Jia Honglei, Wang Lichun, Li Chunsheng, et al. Combined stalk-stubble breaking and mulching machine[J]. Soil and Tillage Research, 2010, 107: 42~48.
- 14 杨学明, 张晓平, 方华军, 等. 北美保护性耕作及对中国的意义[J]. 应用生态学报, 2004, 15(2): 335~340. Yang Xueming, Zhang Xiaoping, Fang Huajun, et al. Conservation tillage systems in North America and their significance for China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(2): 335~340. (in Chinese)
- 15 贾洪雷, 陈忠亮, 马成林, 等. 北方旱作农业区耕作体系关键技术[J]. 农业机械学报, 2008, 39(11): 59~63. Jia Honglei, Chen Zhongliang, Ma Chenglin, et al. Key technologies for the tillage system in area of dry farming of northern China[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(11): 59~63. (in Chinese)