

保护性耕作的发展

高焕文 李洪文 李问盈

【摘要】 当今人类正面临着全球气候变暖、资源短缺、耕地退化和人口膨胀的巨大挑战,发展保护性耕作有助于解决这些问题,促进农业可持续发展。目前已经成为南北美洲、澳洲国家的主流耕作方法,欧、亚、非洲国家也在应用推广。我国保护性耕作的农艺研究早在20世纪60年代已经开始,但机械化保护性耕作系统试验相对较晚。1991年以来,研究了大批轻型以及驱动型免耕播种机具,通过农艺农机结合的田间试验形成了一批保护性耕作技术模式,为示范推广奠定了基础。

关键词: 保护性耕作 农业可持续发展 综述

中图分类号: S233.1 **文献标识码:** A

Development of Conservation Tillage

Gao Huanwen Li Hongwen Li Wenyong

(China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract

Human beings are facing great challenges today on global warming, resources shortage, land degradation and population expansion. The development of CT (conservation tillage) should have big help to reply the challenges and promote sustainable agriculture forward. CT has become the major tillage method in American and Australian continents, also has development in European, Asian and African continents with different levels. The agronomy study of CT in China had started in early 60' last century, but the mechanized CT was started later. From 1991, quite a few of light as well power driven no-till planters, together with many CT field technologies have been created, thus, a sound base for CT demonstration and extension was formed.

Key words Conservation tillage, Sustainable farming, Summary

1 保护性耕作与农业可持续发展

在人类所面临的全球变暖、气候异常、石油枯竭、水资源匮乏、耕地退化、人口膨胀等问题面前,农业工程将发挥重要作用。发展保护性耕作有可能从多方面应对挑战,促进我国农业可持续发展。

1.1 保护性耕作对减少温室气体排放的作用

全球气候变暖的原因是温室气体排放,温室气体主要包括 CO_2 、 CH_4 、 N_2O 。 CO_2 对气候变暖的贡献率为 60%。农业上排放 CO_2 主要是焚烧秸秆、机械作业燃油和土壤碳逸出。保护性耕作可减少农机

作业量,降低石油消耗。我国北方每年平均每公顷可节约燃油 54 kg,相当减少 CO_2 排放 142.5 kg。

土壤碳库和大气碳库存在平衡关系,加拿大对土壤碳平衡研究结果表明,传统耕作期间土壤碳贮量下降,大气中 CO_2 含量增加,实施保护性耕作后则土壤碳贮量上升,大气 CO_2 含量下降(图 1)。

按照秸秆全部还田每年增加土壤有机质 0.03% 计算,每公顷可以增加有机质 0.74 t,相当于减排 CO_2 2.71 t/hm²。

N_2O 是土壤中的氮素在细菌作用下,经过硝化和反硝化过程产生的。我国年产 3 300 万吨氮肥,

收稿日期: 2008-05-19

高焕文 中国农业大学工学院 教授 博士生导师, 100083 北京市

李洪文 中国农业大学工学院 教授 博士生导师

李问盈 中国农业大学工学院 副教授

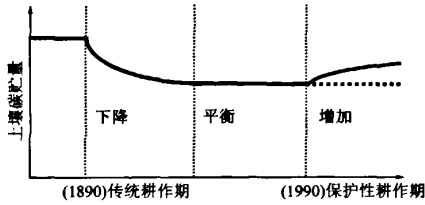


图1 加拿大对土壤碳平衡研究结果

Fig. 1 Soil carbon balance by Canadian study

平均每公顷施氮 270 kg, 是使用氮肥最多的国家之一。每年排放的 N_2O 气体占世界的 1/10, 是减排的重点。减少 N_2O 主要靠改变施肥方法和发展保护性耕作。农田风蚀导致土壤氮损失 17~34 kg/hm², 估计其中的 1.25% (PICC 建议值) 转化为 N_2O 排放到大气中, 保护性耕作减少风蚀 60%, 全国每年可以减少 N_2O 排放 2 001~6 024 t; 农田水蚀导致全氮流失 50 kg/hm², 保护性耕作减少水蚀 80%, 可使我国 N_2O 排放每年减少 7 850~10 200 t; 如保护性耕作减少 20% 秸秆 (1.2×10^4 万 t) 焚烧, 可减少 6 000 t N_2O 气体排放。合计全国可减少 N_2O 气体排放

4.4%~6.2%^[1]。

1.2 保护性耕作对降低能源消耗的作用

2006 年我国农机用油 3 630 万吨, 农田作业消耗占 60% 左右, 平均油耗约 180 kg/hm²。当年, 机械化程度只有 39.3%^[2], 如全面机械化需要 8 000~9 000 万吨柴油。农田作业能耗大的原因: 传统机械化作业工序多、耗油大; 部分农业机器性能差、油耗高; 农业机械利用效率低、浪费大; 作业地块小、不平整, 机耕道路差。

以河北一年两熟地区三秋收玉米播小麦阶段为例, 传统翻耕作业有 9 道工序, 耗油 106 kg/hm²。近年来采用的旋耕与秸秆还田技术比传统翻耕节油 26%, 但三秋阶段仍要 8 项作业, 耗油 78 kg/hm²。保护性耕作最大限度地减少耕作次数, 与旋耕体系相比, 三秋阶段减少 3 道作业, 进一步节油 38% (表 1)。从北方不同作业类型区来看, 保护性耕作可以比传统耕作至少降低油耗 30%, 平均节油 54 kg/hm²。

保护性耕作减少径流 60%, 抑制无效蒸发 10%

表 1 河北三秋阶段旋耕体系与保护性耕作油耗对比

Tab. 1 Fuel consumption comparison of rotary hoeing system and conservation tillage system in the fall period of Hebei province

序号	传统耕作(旋耕)体系			保护性耕作体系		
	作业工序	作业机具	油耗/kg·hm ⁻²	作业名称	作业机具	油耗/kg·hm ⁻²
1	运玉米穗	拖车	13.5	运玉米穗	拖车	13.5
2	粉碎秸秆	秸秆还田机	15	粉碎秸秆	秸秆还田机	15
3	第 1 次旋耕	旋耕机	15	运种子化肥	拖车	3
4	第 2 次旋耕	旋耕机	15	免耕播种小麦	免耕播种机	13.5
5	平地作畦	平地作畦机	6	喷药	喷雾机	3
6	运种子化肥	拖车	3			
7	播种小麦	小麦播种机	6			
8	播后镇压	V 型镇压器	4.5			
合计			78			48

左右, 对雨养农业可以提高水分利用效率 20% 左右。对灌溉农业, 可减少一次灌水, 节水 20%~25%。

保护性耕作通过秸秆还田补充土壤养分, 培肥地力, 提高对化肥的吸收能力, 可以减少化肥施用量 10%~20%。保护性耕作具有显著的节水、节肥潜力, 当然只有在保护性耕作实施一定时间后, 土壤得到改善, 相应的水、肥管理技术成熟, 潜力才能发挥出来。

1.3 保护性耕作对抑制耕地退化的作用

耕地质量下降是一个全国性的问题, 北方尤为严峻。西部地区耕地沙化、荒漠化, 东北、华北土壤有机质下降。耕地质量下降, 主要是土壤侵蚀和掠夺性生产所致。全世界耕地质量下降, 83% 是由土

壤侵蚀引起的。

我国西北部地区的土壤侵蚀以风蚀为主, 东北和黄土高原地区以水蚀为主、兼有风蚀。北方农田土壤风蚀量每年 10~20 t/hm², 中国农业大学近年来在河北、内蒙古对传统耕作的农田表土与土壤风蚀物中营养物质含量的测定结果如表 2 所示。

由表可见, 风蚀物中营养物质含量远比表土高。随着风蚀时间增加, 风蚀物中营养物质含量递减, 但翻耕把新的土壤翻上来, 又开始新的营养物质流失。按风蚀量 10~20 t/hm²、风蚀物有机质含量为表列一半估算, 每年土壤损失有机质 150~300 kg/hm²。连续 100 年的翻耕、风蚀将使土壤有机质含量下降 0.6~1.2 个百分点, 出现灾难性后果。

表2 农田表土与土壤风蚀物的营养物质含量测定结果

Tab.2 Nutrition contents of top soil and wind erosion collection

测定地点、时间	测定方法	类型	有机质含量/%	全氮含量/%	全磷含量/%	全钾含量/%
河北省丰宁县 2002年	沙尘采集仪 田间取样	表土(5 cm)	1.3	0.096	0.014	1.83
		风蚀物	3.016	0.167	0.0378	1.995
		富集率	2.32	1.74	2.70	1.09
内蒙古正蓝旗 2003年	野外风洞 田间取样	表土(5 cm)	1.38	0.103	0.016	1.82
		风蚀物	3.01	0.179	0.038	1.96
		富集率	2.18	1.74	2.38	1.08

风蚀不仅造成土壤养分流失,影响农作物正常生长,而且产生大范围的粉尘污染,影响身体健康,危害交通、通讯和水利设施。中国农业大学等在河北、内蒙古、山西等地的测试结果表明,保护性耕作

比传统翻耕减少风蚀57%(41%~76%),如表3所示。保护性耕作减少土壤营养物质损失,通过秸秆还田补充有机质、氮、磷、钾,增加蚯蚓和土壤微生物数量,培肥地力。

表3 2002~2004年各监测点观测的农田扬尘量对比

Tab.3 Wind erosion comparison between TT and CT crop fields

序号	测试地点	测定方法	测试时间	土质	风蚀量(g/采样器)		减少率/%
					传统耕作	保护性耕作	
1	河北省丰宁	沙尘采集仪	2002年	沙壤土	11.71	2.81	76
2	河北省张北	沙尘采集仪	2002年	沙壤土	10.65	3.6	66
3	内蒙古正蓝旗	沙尘采集仪	2003年	沙壤土	5.7	3.37	41
4	山西省阳高	沙尘采集仪	2004年	壤土	9.15	5.05	45

2 保护性耕作的起源及国外发展概况

2.1 起源

19世纪末,美国实施西部大开发,大量干旱半干旱草原被开垦成农田,并采用机械化耕种播种。由于连年翻耕,植被被破坏,土壤遭退化,导致了一场震惊世界的“黑风暴”。仅1935年美国就毁掉300万hm²耕地,冬小麦减产510万t。“黑风暴”推动了人们对传统耕作方法的反思和对保土保水新方法的探索。

1937年美国俄亥俄州的农民试验发现,在保证播种质量和有效除草条件下,免耕能够获得相同的作物产量。经过20多年试验研究,20世纪60年代美国开始推广免耕法,80年代成为美国主流耕作技术,1995年更名为保护性耕作法。

2.2 国外发展概况^[3~14]

目前保护性耕作面积占耕地面积60%以上的国家主要在北美洲(美国、加拿大等)、南美洲(巴西、阿根廷、巴拉圭等)和澳洲(澳大利亚等),欧洲保护性耕作面积占15%左右。亚洲、非洲和前苏联国家保护性耕作面积相对较少。

2.2.1 美国

2002年保护性耕作应用面积达6769万hm²,占

总耕地面积的62%,所有的谷物生产都采用了保护性耕作技术。广泛使用大型、重型、牵引式的保护性耕作机具。美国的保护性耕作虽然已经发展了几十年,但仍然在不断的试验、发展和完善。如对最佳秸秆覆盖数量的研究,对新型深松机具的研究等。

2.2.2 加拿大

地处美洲北部,气候寒冷。20世纪60年代以前,普遍采用铧式犁翻耕,由于过度耕作,地表秸秆稀少,不能有效抵抗风蚀和水蚀,导致严重的土壤侵蚀。1985年保护性耕作机具和高效经济的除草剂研究成功,开始在3个农业主产省推广,截止2002年,保护性耕作应用面积达到60%,全部取消铧式犁翻耕。近几年主要研究降低除草剂用量和减少机械作业成本。

2.2.3 澳大利亚

澳大利亚干旱面积占81%,是典型的旱地农业国家。不少地区土层厚度仅100cm左右,经过20世纪初以来几十年翻耕,水土流失严重。澳科学家预测,如不采取措施,100年后全澳耕地面积将减少50%。20世纪70年代开始保护性耕作试验,经过20多年重点对配套农业机械和病虫害控制技术的探究,保护性耕作全面推广,2002年澳大利亚保护性耕作面积达到1460万hm²,占耕地面积的

73%,完全取消了铧式犁^[15]。

2.2.4 巴西、阿根廷

1972年,巴西农民引进保护性耕作技术,1975年开发成功免耕播种机,2002年达到1700多万 hm^2 ,占耕地面积的80%,是世界上保护性耕作应用面积增长最快的国家之一。

截止2002年,阿根廷保护性耕作面积达到2000多万 hm^2 ,超过本国总耕地面积的80%。南美洲保护性耕作技术快速发展的主要原因是开发出了当地农民能够买得起、用得好的保护性耕作机具及除草剂。目前,巴西生产的免耕播种机性能与美国机器相近,但价格低三分之一。另一方面作物行距统一,如小麦行距23cm,大豆46cm,玉米69cm,购买一台24行小麦免耕播种机,可以播12行大豆或8行玉米。一台免耕播种机可解决全部播种问题,零配件供应方便。

总体看,保护性耕作已成为世界上应用最广、效果最好的一项旱地农业技术,能够实现“生产与环境”双赢。是应对人类面临的环境恶化、资源短缺、耕地退化挑战中,极具潜力的耕作技术。

3 我国保护性耕作的发展

3.1 必要性

我国干旱及半干旱耕地面积占52.5%,遍及北方16个省市区。西北干旱、半干旱地区,存在着土壤贫瘠、产量低、农民生活贫困和风蚀沙化、水土流失两大问题。需要既保护环境又增产增收的耕作技术。

华北一年两熟灌溉区存在着作业成本高、地下水严重超采、能源消耗大以及焚烧秸秆等资源可持续的问题。需要既保持高产,又减少资源消耗、降低成本和大气污染的可持续耕作技术。

3.2 发展过程

我国少耕、免耕的农艺试验研究开始早,成果丰富。如20世纪60年代黑龙江国营农场免耕种植小麦试验,江苏省稻茬地免耕播种小麦研究,20世纪80年代陕西省农科院“旱地小麦高留茬少耕全程覆盖技术”,山西农科院“旱地玉米免耕整秆半覆盖技术”,河北省农科院“一年两熟地区少免耕栽培技术”等^[15-20]。机械化保护性耕作的系统试验则开始较晚,始于20世纪90年代初。由于世界上保护性耕作基本是在一年一熟旱作地区,基于农户土地规模大、经济条件较好、使用大型的机具实现的,与我国农户土地规模小、经济条件较差、使用中小型机具,既有一年一熟旱作区又有一年两熟灌溉区等的情况差别很大,不能照搬国外经验,必须开发适合我国国

情的技术与机具。

3.2.1 试验阶段(1991~1999年)

1991年中国农业大学、中国农业科学院、山西省农机局等合作,开始了机械化保护性耕作系统试验。先后在山西、河北建立了一批试验区、测试区。试验设计了不同耕作和不同覆盖的处理。经过8年试验,证明保护性耕作在我国北方是适用的,可行的。筛选出了一批技术模式,开发出多种轻型保护性耕作机具。

3.2.2 试验示范阶段(1999~2004年)

1999年开始在河北、辽宁、内蒙古、甘肃、陕西等一年一熟地区试验示范。

2000年开始在河北一年两熟地区系统试验。

2002年农业部“保护性耕作示范建设”项目启动,当年在12个省区建立38个示范县。保护性耕作进入政府推动阶段。

3.2.3 示范推广阶段(2005年至今)

2005年中央一号文件提出“改革传统耕作方法、发展保护性耕作”,发展保护性耕作上升为国家政策。

2007年在北方15个省市区共建立国家级示范县173个、省市级示范县328个,示范推广面积204万 hm^2 ,应用免耕播种机8万多台。农业部计划2010年保护性耕作面积推广到400万 hm^2 。

3.3 技术内容

(1) 免耕、少耕技术:免耕是除播种外不进行任何耕作,少耕包括深松与表土耕作。

(2) 秸秆与表土处理技术:包括秸秆粉碎、浅松、耙地等作业,以解决秸秆分布不均或地表不平、不疏松等问题。

(3) 免耕播种技术:是在秸秆覆盖地表直接进行开沟、施肥、播种和覆土镇压的技术。

(4) 杂草病虫害控制技术:是在取消翻耕的情况下,控制杂草和病虫害的技术,包括喷施化学药剂、机械除草、人工除草以及轮作、秸秆覆盖等作业及措施。

与保护性耕作配套的技术,如施肥、灌水技术等,亦需要相应改变,才能充分发挥保护性耕作的效益。

3.4 成就、问题与对策

3.4.1 一年一熟区

成就包括:形成适合不同作物的多种保护性耕作技术模式,实现了增产增收。创新中小型、轻型免耕播种机,在小地块上实现了保护性耕作。解决了免耕播种时深施化肥的问题,能在贫瘠的土地上获得较高的产量^[21-29]。初步建立以培育保护性耕作

农机专业户、种粮专业户、农机服务组织为主体的推广机制。

问题与对策:

农牧交错区杂草比较严重。需要加强化学、机械和人工综合除草技术,以及轮作措施等的研究,并形成操作规范,尽快普及到农户。

玉米秸秆覆盖地播种质量有待改善。播种质量差主要是由于开沟器碰上粗大的玉米根茬后发生堵塞、拖堆等造成的。对被动式免耕播种机,需要错开根茬播种;或者采用驱动型免耕播种机,粉碎根茬。

3.4.2 一年两熟区

成就包括:全程保护性耕作技术模式基本形成,节约灌水、增加产量、降低成本。创新驱动式轻型免耕播种机,解决了在高产玉米秸秆覆盖地上免耕播种小麦的难题,实现了小麦-玉米一年两熟灌溉区全程保护性耕作。解决了合适的免耕开沟器及种床问题,使大量秸秆覆盖下的出苗质量得到保证^[30~38]。杂草有所减少、病虫害变化不大。

问题与对策:

土壤容重密度有所上升。主要是没有及时进行深松作业,开展深松作业后能够解决。

部分小麦出苗差,影响产量。农学家归纳有5方面原因:播种过浅;秸秆阻碍;种子霉烂;播种过深;土壤水分不足^[39]。解决播种过深过浅的问题,首先需要培训驾驶员掌握播种机调整技术,其次是要注意播前检查地表情况,对不平整的地表和秸秆分

布不均匀的情况及时处理;在玉米秸秆直立覆盖下免耕播种容易造成秸秆分布不均,建议先使用机械粉碎秸秆再免耕播种。秸秆过多阻碍小麦出苗的问题,需要在播种时把部分秸秆推向种床两侧,或部分秸秆混入土壤里,使播后种床上方秸秆覆盖率不大于60%。

免耕播种机品种少,部分制造质量差。需要加大保护性耕作机具的研发与中试力度,增加适应的品种、型号,提高制造质量,改善作业质量、提高作业效率。

4 结论

(1) 经过10多年的试验研究、示范推广,证明保护性耕作在我国北方是适用、可行的,具有保护环境、节约资源、节本增收的综合效益。

(2) 保护性耕作的适应范围广,特别适合土壤侵蚀严重、干旱缺水、资源消耗大的地区。

(3) 推广保护性耕作是一个长期、艰巨的过程,一般需要5年以上,才能发挥出优越性。

(4) 我国农民现有土地规模小、经济条件差,发展保护性耕作需要政府和社会的支持。

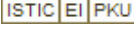
(5) 保护性耕作具有很强的温室气体减排功能,应申请国家生态(碳汇)补偿。

(6) 发展保护性耕作是一项系统工程,需要农业、农机、经济社会等多学科努力与配合。

参 考 文 献

- 1 Gao H W, Yao Z L, Feng X J, et al. Conservation agriculture technology and application[C]. Proceedings of China-Canada Conservation Agriculture Forum, Beijing, 2006: 64~72.
- 2 农业部农业机械化推广司. 2006年农业机械化统计年报.
- 3 Fenster C R, Wicks G A. Minimum tillage fallow systems for reducing wind erosion[J]. Transactions of the ASAE, 1977, 20(5): 906~910.
- 4 Unger P W, McCalla T M. Conservation tillage systems[J]. Advances in Agronomy, 1980, 33(3): 51~58.
- 5 Sharma D N, Jain M L. Evaluation of no-tillage and conventional tillage systems[J]. AMA, 1984, 15(3): 65~70.
- 6 Payton D M, Hyde G M, Simpson J B. Equipment and methods for no-tillage wheat plant[J]. Transactions of the ASAE, 1985, 28(5): 1419~1429.
- 7 Freebairn D M, Ward L D, Clarke A L, et al. Research and development of reduced tillage systems for vertisols in Queensland, Australia[J]. Soil and Tillage Research, 1986, 8: 211~229.
- 8 Chaudhry A D, Baker C J. Barley seeding establishment by direct drilling in black soil[J]. Soil and Tillage Research, 1988, 11(1): 43~61.
- 9 Ward L D, Norris C P, Thomas E C. Component interactions in zero till planters for heavy clay soils in southern Queensland [J]. Soil and Tillage Research, 1991, 20(1): 19~32.
- 10 Wikins D E, Bolton F E, Saxton K A. Evaluating seeder for conservation tillage production of peas[J]. Applied Engineering in Agriculture, 1992, 8(2): 165~170.
- 11 Munir Ahmad, Muslim A Z, Khan A S. Development and adoption of no-till technology for sow wheat[J]. AMA, 1994, 25(4): 24~28.
- 12 Woodruff N P, Fenster C R, Harris W, et al. Stubble mulch tillage and planting in crop residue in the great plains[J].

- Transactions of ASAE, 1966, 9(6):849~853.
- 13 Wilkins D E, Williams J D. Tillage system for mechanical weed control and wheat residue management[C]. An ASAE Meeting Presentation Paper, 971003, 1997.
 - 14 Noel D U. Energy and the use of conservation tillage in U.S. agriculture[J]. Energy Sources, 1999, 21: 757~771.
 - 15 刘裕春, 李钢铁, 郭丽珍. 国内外保护性农业耕作技术研究[J]. 内蒙古林学院学报, 1999, 21(3):83~85.
 - 16 施森宝, 胡鸿烈, 丁加明. 秸秆覆盖免耕法[J]. 农业工程学报, 1990, 6(3):31~36.
 - 17 朱文珊, 等. 北方一年两熟地区秸秆覆盖免耕技术原理及应用效果研究[M]. 北京:北京科学技术出版社, 1991.
 - 18 高克昌. 旱地(高粱)整秸秆覆盖免耕试验[J]. 山西农业科学, 1992(12):4~6.
 - 19 籍增顺, 张万生, 刘杰. 旱地玉米免耕整秸秆半覆盖技术体系及其评价[J]. 干旱地区农业研究, 1995, 13(2):23~27.
 - 20 赵秉强, 李凤超, 薛坚. 不同耕作法对冬小麦根系生长发育的影响[J]. 作物学报, 1997, 23(5):577~596.
 - 21 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[J]. 北京农业工程大学学报, 1993, 13(1):27~33.
 - 22 陈君达, 李洪文, 高焕文. 玉米免耕整秸秆覆盖播种技术及机具试验研究[J]. 干旱地区农业研究, 1994, 12(3): 95~100.
 - 23 谷褐白, 张云文, 宋建安. “层流型”分草曲面用于覆盖免耕播种机的研究[J]. 农业机械学报, 1994, 25(1):46~52.
 - 24 李洪文, 陈君达, 高焕文. 旱地农业三种耕作措施的对比研究[J]. 干旱地区农业研究, 1997, 15(1):7~11.
 - 25 苏元升, 高焕文, 李汝莘. 土壤工作部件田间测试系统的研制[J]. 中国农业大学学报, 1999, 4(2):47~49.
 - 26 苏元升, 高焕文, 张晋国. 免耕播种开沟器工作性能的测试与分析[J]. 中国农业大学学报, 1999, 4(4):28~30.
 - 27 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, 17(1): 57~62.
 - 28 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, 5(2): 55~58.
 - 29 王晓燕, 高焕文, 李洪文. 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, 16(3): 66~69.
 - 30 张晋国, 高焕文. 免耕播种机新型防堵装置的研究[J]. 农业机械学报, 2000, 31(4):33~35.
Zhang Jinguo, Gao Huanwen. Study on the strip chopping anti-blocking mechanism[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2000, 31(4):33~35. (in Chinese)
 - 31 吴子岳, 高焕文, 张晋国. 玉米秸秆切断速度和切断功耗的试验研究[J]. 农业机械学报, 2001, 32(2):38~41.
Wu Ziyue, Gao Huanwen, Zhang Jinguo. Study on cutting velocity and power requirement in a maize stalk chopping process[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2001, 32(2):38~41. (in Chinese)
 - 32 高焕文, 李问盈. 保护性耕作技术与机具[M]. 北京:化学工业出版社, 2004.
 - 33 Gao H W, Luo H Q, Cao L S, et al. Continuous experiment of no-till system for 12 years in north of China[C] // Proceedings of CIGR, Conservation Tillage & Sustainable Farming, Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2004:32~39.
 - 34 姚宗路, 李洪文, 高焕文. 一年两熟区玉米覆盖地小麦免耕播种机的试验研究[J]. 农业机械学报, 2007, 38(8):57~61.
Yao Zonglu, Li Hongwen, Gao Huanwen. Experiment on no-till wheat planter under the bestrow of the maize stubble in double cropping area[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(8): 57~61. (in Chinese)
 - 35 He J, Li H W, Wang X Y, et al. The adoption of annual subsoiling as conservation tillage in dryland maize and wheat cultivation in northern China[J]. Soil and Tillage Research, 2007, 94(2):493~502.
 - 36 高焕文, 李洪文, 姚宗路. 我国轻型免耕播种机研究[J]. 农业机械学报, 2008, 39(4):78~82.
Gao Huanwen, Li Hongwen, Yao Zonglu. Study on the Chinese light no-till seeders[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(4):78~82. (in Chinese)
 - 37 朱国辉, 李问盈, 何进. 2BFML-5型固定垄免耕播种机设计与试验[J]. 农业机械学报, 2008, 39(2):51~54, 76.
Zhu Guohui, Li Wenyong, He Jin. Design and experiment on 2BFML-5 no-till planter for permanent raised bed[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(2):51~54, 76. (in Chinese)
 - 38 王庆杰, 何进, 姚宗路, 等. 驱动圆盘玉米垄作免耕播种机设计与试验[J]. 农业机械学报, 2008, 39(6):68~72.
Wang Qingjie, He jin, Yao Zonglu, et al. Design and experiment on powered disc no-tillage planter for ridge-tillage[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(6):68~72. (in Chinese)
 - 39 李少昆. 保护性耕作条件下作物稳产丰产技术研究[C]. 2008 中国保护性耕作论坛, 北京, 2008.

作者: [高焕文](#), [李洪文](#), [李问盈](#), [Gao Huanwen](#), [Li Hongwen](#), [Li Wenying](#)
作者单位: [中国农业大学工学院, 100083, 北京市](#)
刊名: [农业机械学报](#) 
英文刊名: [TRANSACTIONS OF THE CHINESE SOCIETY FOR AGRICULTURAL MACHINERY](#)
年, 卷(期): 2008, 39(9)
被引用次数: 36次

参考文献(39条)

1. [Gao H W; Yao Z L; Feng X J Conservation agriculture technology and application](#) 2006
2. [农业部农业机械化管理局 2006年农业机械化统计年报](#)
3. [Fenster C R; Wicks G A Minimum tillage fallow systems for reducing wind erosion](#) 1977(05)
4. [Unger P W; McCalla T M Conservation tillage systems](#) 1980(03)
5. [Sharma D N; Jain M L Evaluation of no-tillage and conventional tillage systems](#) 1984(03)
6. [Payton D M; Hyde G M; Simpson J B Equipment and methods for no-tillage wheat plant](#) 1985(05)
7. [Freebairn D M; Ward L D; Clarke A L Research and development of reduced tillage systems for vertisols in Queensland, Australia](#) 1986
8. [Chaudhry A D; Baker C J Barley seeding establishment by direct drilling in black soil](#) 1988(01)
9. [Ward L D; Norris C P; Thomas E C Component interactions in zero till planters for heavy clay soils in southern Queensland](#) 1991(01)
10. [Wikins D E; Bolton F E; Saxton K A Evaluating seeder for conservation tillage production of peas](#) 1992(02)
11. [Munir Ahmad; Muslim A Z; Khan A S Development and adoption of no-till technology for sow wheat](#) 1994(04)
12. [Woodruff N P; Fenster C R; Harris W Stubble mulch tillage and planting in crop residue in the great plains](#) 1966(06)
13. [Wilkins D E; Williams J D Tillage system for mechanical weed control and wheat residue management](#) 1997
14. [Noel D U Energy and the use of conservation tillage in U.S. agriculture](#)[外文期刊] 1999(8)
15. [刘裕春; 李钢铁; 郭丽珍 国内外保护性农业耕作技术研究](#) 1999(03)
16. [施森宝; 胡鸿烈; 丁加明 秸秆覆盖免耕法](#)[期刊论文]-[农业工程学报](#) 1990(03)
17. [朱文珊 北方一年两熟地区秸秆覆盖免耕技术原理及应用效果研究](#) 1991
18. [高克昌 旱地\(高粱\)整秸秆覆盖免耕试验](#) 1992(12)
19. [籍增顺; 张万生; 刘杰 旱地玉米免耕整秆半覆盖技术体系及其评价](#) 1995(02)
20. [赵秉强; 李凤超; 薛坚 不同耕作法对冬小麦根系生长发育的影响](#)[期刊论文]-[作物学报](#) 1997(05)
21. [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](#) 1993(01)
22. [陈君达; 李洪文; 高焕文 玉米免耕整秆覆盖播种技术及机具试验研究](#) 1994(03)
23. [谷褐白; 张云文; 宋建农 “层流型”分草曲面用于覆盖免耕播种机的研究](#) 1994(01)
24. [李洪文; 陈君达; 高焕文 旱地农业三种耕作措施的对比研究](#) 1997(01)
25. [苏元升; 高焕文; 李汝莘 土壤工作部件田间测试系统的研制](#)[期刊论文]-[中国农业大学学报](#) 1999(02)

26. [苏元升;高焕文;张晋国](#) [免耕播种开沟器工作性能的测试与分析](#)[期刊论文]-[中国农业大学学报](#) 1999(04)
27. [高焕文;李洪文;李问盈](#) [可持续机械化旱作农业研究](#)[期刊论文]-[干旱地区农业研究](#) 1999(01)
28. [杜兵;邓键;李问盈](#) [冬小麦保护性耕作法与传统耕作法的田间对比试验](#)[期刊论文]-[中国农业大学学报](#) 2000(02)
29. [王晓燕;高焕文;李洪文](#) [保护性耕作对农田地表径流与土壤水蚀影响的试验研究](#)[期刊论文]-[农业工程学报](#) 2000(03)
30. [张晋国;高焕文](#) [免耕播种机新型防堵装置的研究](#)[期刊论文]-[农业机械学报](#) 2000(04)
31. [吴子岳;高焕文;张晋国](#) [玉米秸秆切断速度和切断功耗的试验研究](#)[期刊论文]-[农业机械学报](#) 2001(02)
32. [高焕文;李问盈](#) [保护性耕作技术与机具](#) 2004
33. [Gao H W;Luo H Q;Cao L S](#) [Continuous experiment of no-till system for 12 years in north of China](#)[会议论文] 2004
34. [姚宗路;李洪文;高焕文](#) [一年两熟区玉米覆盖地小麦免耕播种机的试验研究](#)[期刊论文]-[农业机械学报](#) 2007(08)
35. [He J;Li H W;Wang X Y](#) [The adoption of annual subsoiling as conservation tillage in dryland maize and wheat cultivation in northern China](#)[外文期刊] 2007(02)
36. [高焕文;李洪文;姚宗路](#) [我国轻型免耕播种机研究](#)[期刊论文]-[农业机械学报](#) 2008(04)
37. [朱国辉;李问盈;何进](#) [2BFML-5型固定垄免耕播种机设计与试验](#)[期刊论文]-[农业机械学报](#) 2008(02)
38. [王庆杰;何进;姚宗路](#) [驱动圆盘玉米垄作免耕播种机设计与试验](#)[期刊论文]-[农业机械学报](#) 2008(06)
39. [李少昆](#) [保护性耕作条件下作物稳产丰产技术研究](#) 2008

本文读者也读过(4条)

1. [王长生.王遵义.苏成贵.李行.王晶.吴光华](#) [保护性耕作技术的发展现状](#)[期刊论文]-[农业机械学报](#)2004, 35(1)
2. [高焕文.李问盈.李洪文](#) [中国特色保护性耕作技术](#)[期刊论文]-[农业工程学报](#)2003, 19(3)
3. [张海林.高旺盛.陈阜.朱文珊](#) [保护性耕作研究现状、发展趋势及对策](#)[期刊论文]-[中国农业大学学报](#)2005, 10(1)
4. [李安宁.范学民.吴传云.李洪文.Li Anning. Fan Xuemin. Wu Chuanyun. Li Hongwen](#) [保护性耕作现状及发展趋势](#)[期刊论文]-[农业机械学报](#)2006, 37(10)

引证文献(37条)

1. [司瑞石.王有强](#) [推动农村土地流转促进低碳农业的发展--以保护性耕作技术为例](#)[期刊论文]-[农机化研究](#)

2014(1)
2. [王洪亮.张瑞宏.王明友.朱河霖.刘伟.李祥.季亚楠.陶德清](#) [基于NX NASTRAN的旋耕刀轴结构与疲劳分析](#)[期刊论文]-[中国农机化学报](#) 2013(3)
3. [王汉羊.陈海涛.纪文义](#) [2BMFJ-3型麦茬地免耕精播机防堵装置](#)[期刊论文]-[农业机械学报](#) 2013(4)
4. [林兴路.张忠潮.何其明.李玥](#) [我国推广保护性耕作技术的SWOT分析](#)[期刊论文]-[农机化研究](#)

2013(12)
5. [宫涛.李其昀.李亚娉.张道林](#) [玉米切茬还田装置切断根茬影响因素试验](#)[期刊论文]-[农业机械学报](#) 2013(z2)
6. [蔡国华.李慧.李洪文.王庆杰.何进.倪际梁](#) [基于ATmega128单片机的开沟深度自控系统试验台的设计](#)[期刊论文]-[农业工程学报](#) 2011(10)
7. [高宗军.李美.高兴祥.郭晓.刘可平](#) [不同耕作方式对农田环境及冬小麦生产的影响](#)[期刊论文]-[中国农学通报](#)

2011(1)

8. 洪晓强, 李立科, 赵二龙, 李瑛 [陕西省关中灌区玉米免耕覆盖播种技术试验](#) [期刊论文] - [水土保持通报](#) 2010(5)
9. 蔡国华, 何进, 李洪文, 王庆杰, 李慧, 卢彩云 [固定垄保护性耕作条件下松垄割刀性能对比分析](#) [期刊论文] - [农业机械学报](#) 2010(12)
10. 李立科, 洪晓强, 张航, 张润辛, 魏世贤, 李旭辉 [留茬免耕秸秆全程覆盖耕作新技术](#) [期刊论文] - [中国科技成果](#) 2009(6)
11. 冒莉芳 [宁夏中部干旱带发展保护性耕作研究](#) [期刊论文] - [现代农业科技](#) 2012(8)
12. 龚春生, 伍国强, 龚少卿 [南方油菜免耕机械化精量播种技术优化研究](#) [期刊论文] - [农机化研究](#) 2012(11)
13. 袁晓明, 王宏宇, 赵玉凤, 缪宏, 张瑞宏 [大耕深旋耕刀的制造工艺及其耐磨性](#) [期刊论文] - [扬州大学学报\(自然科学版\)](#) 2012(1)
14. 赵凡, 何秀云, 沈玉梅, 牛建彪, 李建平, 李胜克, 张继祖 [玉米秸秆还田保护性耕作对产量及土壤理化性状影响的灰色关联分析](#) [期刊论文] - [干旱地区农业研究](#) 2011(4)
15. 洪晓强, 李立科, 杨少伟 [关中西部小麦秸秆覆盖免耕播种生态效应](#) [期刊论文] - [西北农业学报](#) 2011(11)
16. 张丽华, 郁志宏, 阎兴军, 王亮, 陈巴尔虎旗小麦保护性耕作试验研究 [期刊论文] - [内蒙古农业大学学报\(自然科学版\)](#) 2011(3)
17. 李刚, 杨粉团, 姜晓莉, 曹铁华, 樊慧梅, 陈喜凤 [基于抗旱低碳的秸秆覆盖免耕栽培玉米](#) [期刊论文] - [作物杂志](#) 2010(5)
18. 胡立峰, 李洪文, 高焕文 [保护性耕作对温室效应的影响](#) [期刊论文] - [农业工程学报](#) 2009(5)
19. 胡立峰, 裴宝琦, 翟学军 [论秸秆功能演化及秸秆腐解剂效应](#) [期刊论文] - [中国农学通报](#) 2009(19)
20. 石岳峰, 吴文良, 孟凡乔, 王大鹏, 张志华 [农田固碳措施对温室气体减排影响的研究进展](#) [期刊论文] - [中国人口·资源与环境](#) 2012(1)
21. 魏元振, 李其昀, 曹树红, 张道林, 张国海, 张亮亮 [玉米植株受切运动规律试验分析](#) [期刊论文] - [农业机械学报](#) 2012(z1)
22. 朱惠斌, 李洪文, 何进, 王庆杰, 李慧, 卢彩云 [稻茬地双轴驱动防堵式小麦免耕播种机](#) [期刊论文] - [农业机械学报](#) 2013(6)
23. 陈浩, 杨亚莉, 何进, 王庆杰, 李洪文 [轮胎压实对机具作业能耗的影响](#) [期刊论文] - [农业机械学报](#) 2012(2)
24. 陈浩, 吴伟蔚, 刘新田, 李洪文 [轮胎压实对机具牵引阻力的影响](#) [期刊论文] - [农业机械学报](#) 2010(2)
25. 陈博, 欧阳竹, 章少辉 [不同畦面结构下畦灌过程和效果评估](#) [期刊论文] - [资源与生态学报\(英文版\)](#) 2012(2)
26. 洪晓强 [渭北旱作农业节水增效的途径](#) [期刊论文] - [中国水土保持](#) 2011(6)
27. 洪晓强, 李立科, 杨少伟 [关中西部小麦秸秆覆盖免耕播种生态效应](#) [期刊论文] - [西北农业学报](#) 2011(11)
28. 陈永成, 李玉林, 胡滨, 宋海草 [新疆兵团保护性耕作技术模式与实施效果分析](#) [期刊论文] - [农机化研究](#) 2010(11)
29. 李云河, 李香菊, 彭于发 [转基因耐除草剂作物的全球开发与利用及在我国的发展前景和策略](#) [期刊论文] - [植物保护](#) 2011(6)
30. 李洪文, 李慧, 何进, 李世卫 [基于神经网络的田间秸秆覆盖率检测系统](#) [期刊论文] - [农业机械学报](#) 2009(6)
31. 赵丽琴, 郭玉明, 张培增, 韩占省 [小麦免耕播种机性能指标的关联度分析与灰色聚类评估](#) [期刊论文] - [农业工程学报](#) 2011(9)
32. 李媛媛, 陈源泉, 杨光立, 肖小平, 汤文光, 唐海明, 隋鹏, 高旺盛 [南方稻田保护性耕作模式的技术特征值及其量化分析——以湖南双季稻区为例](#) [期刊论文] - [中国农业科学](#) 2011(7)

33. [陈源泉](#), [李媛媛](#), [隋鹏](#), [刘武仁](#), [黄坚雄](#), [高旺盛](#) [不同保护性耕作模式的技术特征值及其量化分析](#)[期刊论文]-[农业工程学报](#) 2010(12)
34. [陈源泉](#), [李媛媛](#), [隋鹏](#), [刘武仁](#), [黄坚雄](#), [高旺盛](#) [不同保护性耕作模式的技术特征值及其量化分析](#)[期刊论文]-[农业工程学报](#) 2010(12)
35. [焦伟华](#), [何荧彬](#), [张小栓](#), [傅泽田](#), [高旺盛](#) [基于GIS的保护性耕作技术适宜性区划方法](#)[期刊论文]-[农业机械学报](#) 2010(2)
36. [王金霞](#), [张丽娟](#) [保护性耕作技术对农业生产的影响:黄河流域的实证研究](#)[期刊论文]-[管理评论](#) 2010(6)
37. [邹晓霞](#), [李玉娥](#), [高清竹](#), [万运帆](#), [石生伟](#) [中国农业领域温室气体主要减排措施研究分析](#)[期刊论文]-[生态环境学报](#) 2011(8)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_nyjxxb200809010.aspx