

中国北方保护性耕作条件下深松效应与经济效益研究

何 进, 李洪文*, 高焕文

(中国农业大学工学院, 北京 100083)

摘 要: 保护性耕作技术是适应中国北方农业发展的一种新型耕作技术, 它可以通过深松作业来消除因多年免耕出现的土壤变硬问题。目前对保护性耕作条件下深松的效应和经济效益缺乏深入的研究, 在玉米深松过程中还出现的伤苗, 功耗大和经济效益低等问题。该文试验研究了在中国北方保护性耕作示范基地上, 从 1993 年开始, 通过 10 多年的时间对保护性耕作条件下的深松效应, 测定了传统耕作、深松覆盖和免耕覆盖 3 种不同耕作方式下的土壤容重、含水率, 水分利用率和产量等数据, 试验结果表明, 在保护性耕作条件下, 每 4 年对土壤深松一次可以解决土壤变硬问题, 持续保持作物高的水分利用率和产量, 并不需要年年深松。相对深松覆盖(年年深松), 4 年免耕覆盖+1 年深松的耕作方式能提高 25% 左右的经济效益。同时, 针对玉米深松过程中的问题, 提出了玉米免耕播种和深松联合作业的方案, 试验表明, 玉米免耕播种和深松联合作业能有效解决玉米深松过程中出现的一系列问题, 促进玉米生长, 提高玉米产量, 建议在中国北方玉米产区推广这一联合作业技术。

关键词: 保护性耕作; 深松; 效应; 经济效益

中图分类号: S345

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2006)10-0062-06

何 进, 李洪文, 高焕文. 中国北方保护性耕作条件下深松效应与经济效益研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(10): 62-67.

He Jin, Li Hongwen, Gao Huanwen. Subsoiling effect and economic benefit under conservation tillage mode in Northern China[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(10): 62-67. (in Chinese with English abstract)

0 引 言

保护性耕作技术是相对传统翻耕、裸露休闲的一种新型耕作技术, 它通过少耕、免耕和地表生物覆盖, 以增加土壤水分, 减轻土壤风蚀和水蚀, 减缓土地退化, 从而能有效抑制沙尘暴, 促进农业可持续发展^[1]。1991 年, 中国农业大学在澳大利亚国际农业研究中心的资助下, 和澳大利亚昆士兰大学共同在山西省开展保护性耕作试验研究, 十年试验表明, 在中国北方实施保护性耕作能提高作物产量 10% 左右, 降低作业成本 20% 左右^[2,3], 而且能够显著增加土壤含水率, 在 5° 以下的坡耕地上减少土壤水蚀 52%, 减少土壤流失 80%^[4,5]。

多年保护性耕作后出现的一个问题是土壤变硬, 容重增大, 影响作物根系发育及对水分和养分的吸收, 产量出现下降的趋势^[6]。深松作为保护性耕作的一项关键技术之一, 它利用深松铲疏松土壤, 加深耕层而不翻转土壤, 能有效改善土壤结构, 提高土壤蓄水抗旱的能力^[7]。试验表明, 相对传统翻耕地, 深松作业能使 0~30 cm 土层容重降低 0.1 t/m³ 左右, 提高 0~50 cm 土层含水率 10.9% 左右, 0~2 m 土层含水率 11.2% 左右^[8], 增加产量 5.7%~11.3%^[9]。

目前中国在深松效应的研究上, 对深松的次数和时

间缺乏深入的研究, 许多地方采用年年深松的方式来改良土壤结构, 玉米生产中, 常在玉米出苗后再在行间进行深松, 存在着功率消耗大, 经济效益低和伤苗等问题, 不利于深松技术的进一步发展。本文在农业部保护性耕作示范基地的基础上, 选择了数个具有代表性的示范基地, 从 1993 年开始, 在华北对保护性耕作条件下的深松效应进行了试验研究, 分析了保护性耕作条件下深松的时间间隔和相应经济效益, 并且根据玉米地深松过程中出现的伤苗、作业农时长和功率消耗大等问题, 提出了玉米免耕播种和深松联合作业的方案。

1 材料与方 法

1.1 试验点

试验分保护性耕作条件下深松综合试验和玉米免耕播种、深松联合作业试验两部分。深松综合试验点位于山西省寿阳县、临汾市和河北省定兴县; 玉米免耕播种、深松联合作业试验点位于北京市大兴区和山东省章丘县。

寿阳县属半湿润偏旱区, 海拔 1100 m, 年平均气温 7.3℃ 左右, 全年无霜期为 120~140 d, 年降雨量 450~580 mm, 且主要集中在夏季, 种植制度为一年一季玉米。

临汾市属半干旱、半湿润温带大陆性季风气候, 年平均气温 10.7℃, 年降雨量 555 mm, 无霜期 180 d, 种植制度为一年一季小麦。

定兴县属大陆性半干旱季风气候, 年平均气温 11.7℃, 全年无霜期约 185 d, 年降雨量 500~600 mm, 集中在 7、8 月份, 年蒸发量 1711.6 mm, 一年种植玉米和小麦两季作物。大兴区的基本状况与此相似。

章丘县属暖温带大陆性季风气候, 年平均气温

收稿日期: 2005-09-19 修订日期: 2005-11-14

基金项目: 十五科技攻关课题(2001BA524B03)

作者简介: 何 进, 博士生, 北京市清华东路 17 号 中国农业大学(东区)工学院, 100083. Email: hejin8@tom.com

*通讯作者: 李洪文, 教授, 农业部保护性耕作研究中心主任, 北京市清华东路 17 号 46# 中国农业大学(东区)工学院, 100083.

Email: lhwen@cau.edu.cn

12.8℃,年平均降水量 600 mm,夏季雨量集中,无霜期 192 d,一年种植玉米和小麦两季作物。

1.2 试验设计

1.2.1 深松综合试验

1993~2000 年在寿阳县和临汾市的深松综合试验设置了 3 种不同的耕作方式:传统耕作、深松覆盖和免耕覆盖。传统耕作完全按照传统的方法进行;深松覆盖是在秋季收获后进行间隔深松作业,秸秆留在地表覆盖,采用免耕播种;免耕覆盖不进行任何动土作业,只在春季播种时利用免耕覆盖播种机直接进行播种。寿阳县和临汾市试验地都分别将每种处理做 3 次重复,共 9 个试验小区,每试验小区面积为 10 m×100 m。寿阳县试验地土壤类型为栗褐土,种植一年一季玉米,玉米品种为烟单 14 和晋单 42;临汾市试验地为褐土,种植一年一季小麦,小麦品种为晋麦 47 和临汾 225。

2002~2003 年在定兴县的试验设置了传统耕作、深松整秸秆覆盖和免耕整秸秆覆盖 3 种处理,每种处理作 3 次重复,共 9 个试验小区,每试验小区面积为 5 m×100 m。试验地土壤为轻壤质碳酸盐褐潮土,玉米品种为冀单 26,小麦品种为超越 66。

试验对比分析了不同耕作方式的土壤含水率和水分利用效率、土壤物理性状和产量等,对深松作业的时间间隔和经济效益进行分析。

深松作业采用中国农业大学研制的可调翼铲式深松机^[10](图 1)。该机主要由防堵装置、镇压装置和翼铲等组成。深松机具前方装有非动力式防堵圆盘,借助机具自重,圆盘能够切断深松行上的作物秸秆,起到较好的防堵效果。可调翼铲式深松铲的两侧装有 2 个对称的翼铲,能较大范围的深松土壤。深松机具铲柄入土深度为 40 cm,翼铲的入土深度为 15 cm,深松宽度为 16 cm,深松行行间距为 60 cm。

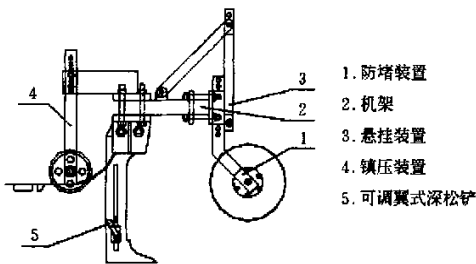


图 1 可调翼铲式深松机整机结构图

Fig. 1 Diagram of subsoiler with adjustable wings

1.2.2 玉米免耕播种和深松联合作业试验

2003 年在山东章丘和 2004 年在北京大兴的试验设计了玉米免耕播种、深松联合和单独作业 2 种处理。联合作业用玉米免耕播种深松联合作业机在小麦收获后同时完成玉米免耕播种和行间深松作业;单独作业是在小麦收获后进行玉米免耕播种,待玉米出苗后进行行间深松作业。每种处理做 4 次重复,共 8 个试验小区,每小区面积为 10 m×100 m,试验地土壤类型分别为褐土和轻黏土,玉米品种都为郑单 958。

试验采用中国农业大学研制的玉米免耕播种深松联合作业机^[11]。该机由 4 行玉米免耕播种单体和 2 行深松单体组成,如图 2 所示。该机一次作业能免耕播种玉米 4 行和行间深松玉米 2 行,也可换下 2 行深松单体,只进行玉米免耕播种作业。实际作业时,可根据试验地具体土壤状况选择联合作业或只进行玉米免耕播种作业。

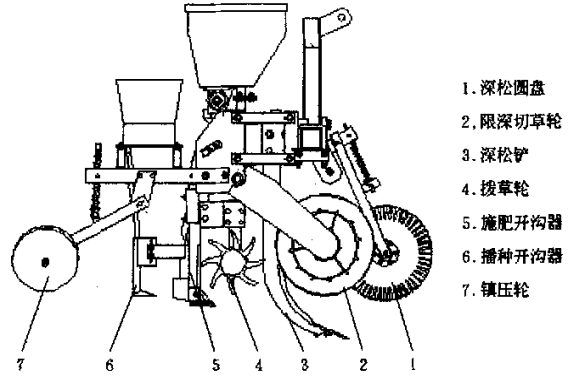


图 2 玉米免耕播种深松联合作业机整机结构图

Fig. 2 Diagram of drilling and subsoiling combined machine for no-tillage maize

2 结果与讨论

2.1 不同耕作方式下的土壤容重

土壤容重是评价土壤结构和保水能力高低的重要标志之一,其变化规律与动土量的多少基本相符,动土量越大,土壤容重越小,反之越大。试验测得寿阳县和临汾市 1993~2000 年不同耕作方式在 0~30 cm 深度范围内的土壤容重情况如图 3 所示。试验数据为每年小麦、玉米播种前测定,采用体积 100 cm³ 的环刀取 0~10,10~20,20~30 cm 3 个土层的土,烘干计算 0~30 cm 深度范围内土壤容重平均值,每个试验小区取 10 个点。试验前(1992 年玉米、小麦收获后)在寿阳县和临汾市测得传统耕作、深松覆盖和免耕覆盖试验地的土壤容重分别为 1.21、1.21、1.21 g/cm³ 和 1.36、1.37、1.37 g/cm³,不同耕作方式的土壤容重基本相同,无显著差异。

图 3 表明,1992 年玉米和小麦收获后,随着试验的进行,不同处理方式导致播种时土壤容重明显不同。寿阳县玉米试验地传统耕作、深松覆盖、免耕覆盖试验地 1993~2000 年的平均土壤容重分别为 1.23、1.28、1.35 g/cm³,传统耕作和深松覆盖分别比免耕覆盖低 9.0% 和 5.3%;临汾市小麦试验地相应处理的平均土壤容重分别为 1.26、1.34、1.41 g/cm³,传统耕作和深松覆盖分别比保护性耕作低 10.4% 和 4.5%。传统耕作和深松覆盖由于增大了动土量,相应降低了土壤容重,传统耕作地的土壤容重最低。

由于免耕覆盖不进行任何动土作业,土壤容重虽然不是逐年增加,但随着时间的增加整体呈上升趋势,最

终由于耕层土壤自我恢复自然状态的能力而稳定在一定的范围内。从图中可以看出,1993~1996的4年内,免耕覆盖试验地的土壤容重都比较低,1997~2000年试验地的土壤容重明显大于前4年,并且稳定在 $1.35 \sim 1.45 \text{ g/cm}^3$ 的范围内。同时可知,1993~1996年寿阳

县和临汾市深松覆盖和免耕覆盖试验地的平均土壤容重分别为 1.23 、 1.26 g/cm^3 和 1.32 、 1.37 g/cm^3 ,二者基本相同,每年深松的效果并不明显。由此根据不同耕作方式土壤容重的情况,可粗略将4年作为保护性耕作条件下深松作业的时间间隔。

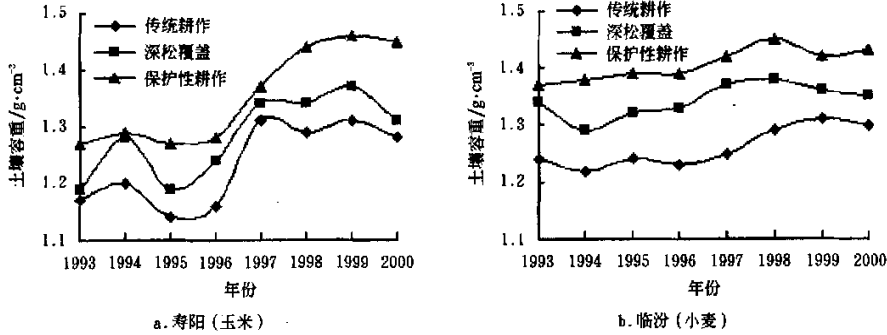


图3 不同耕作方式试验地0~30 cm深度范围内土壤容重情况(1993~2000年)

Fig. 3 Soil bulk density for different tillage modes at the depth of 0~30 cm(1993~2000)

2.2 不同耕作方式下的土壤含水率

不同耕作方式在0~30 cm深度范围内的土壤含水率,如表1所示。测量方法为分别测定0~10,10~20,20~30 cm深度范围的土壤含水率,计算0~30 cm深度范围内土壤平均含水率,每个试验小区取10个点。试验前(1992年小麦、玉米收获后)在寿阳县和临汾市测得传统耕作、深松覆盖和免耕覆盖试验地的土壤含水率分别为13.73%、13.78%、13.71%和12.84%、12.78%、12.81%,不同耕作方式试验地初始土壤含水率基本相同。

表1表明,深松覆盖和免耕覆盖能减少水分的无效蒸发并贮留雨雪,在1993~2000年的8年内,其土壤含水率均高于传统耕作,寿阳县玉米深松覆盖和免耕覆盖试验地的土壤含水率要分别比传统耕作高6.9%、7.3%,临汾市小麦试验地分别高7.8%、6.5%。

小麦地深松覆盖处理的深松是在收获后的雨季进行,有利于提高土壤蓄水能力,因此深松覆盖试验地播种前的土壤含水率不仅高于传统耕作地,而且略高于免耕地,保水效果比较明显。玉米地深松覆盖处理的深松后即入冬休闲,降水少,深松不会增加更多的蓄水。相对于传统耕作,由于动土量小,因此水分散失少,播种前土壤含水率高,相对免耕覆盖,增加了动土量,水分散失增多,播种前土壤含水率低。同时方差分析结果表明($\alpha = 0.05$),不同的耕作处理对土壤含水率影响不显著。可见,与免耕覆盖相比,每年深松虽然可以改良土壤结构,但提高土壤含水率的效果并不明显。根据上述土壤容重和含水率的分析,在保护性耕作条件下,可考虑每隔4~5年深松一次来改良土壤结构从而增加土壤含水率。

表1 不同耕作方式0~30 cm深度范围内土壤含水率(1993~2000年)

Table 1 Soil water contents for different tillage modes at the depth of 0~30 cm(1993~2000)

作物	处理方式	年份								平均值
		1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	
玉米 (寿阳县)	传统耕作	13.60	16.68	15.63	17.80	18.12	10.65	7.23	8.35	13.51
	深松覆盖	13.55	18.93	16.70	19.65	18.68	10.72	8.38	8.94	14.44
	免耕覆盖	14.21	18.43	17.10	19.28	18.44	10.43	8.93	9.12	14.49
小麦 (临汾市)	传统耕作	12.96	11.37	14.20	9.04	15.73	17.89	15.15	16.21	14.07
	深松覆盖	13.75	11.66	16.80	10.78	17.28	18.55	15.53	16.95	15.16
	免耕覆盖	13.10	11.97	17.10	10.57	17.57	17.74	15.03	16.82	14.99

注:试验数据为每年小麦、玉米播种前测定。

2.3 不同耕作方式下的作物产量和水分利用率

2.3.1 作物产量

寿阳县和临汾市试验地不同耕作方式连续8年(1993~2000年)的产量情况如图4所示,图中产量数据分别为各试验处理的3个试验小区产量的平均值。

由图4可见,深松覆盖和免耕覆盖的产量都高于传统耕作。寿阳县玉米试验地深松覆盖和免耕覆盖试验地连续8年(1993~2000年)的平均产量要分别比传统耕作高11.3%和12.1%,临汾市小麦试验地分别比传统耕作高10.0%和12.2%,免耕覆盖的产量最高,深松覆

盖次之,传统耕作最低。

除第一年外,寿阳县玉米试验地免耕覆盖 1994~1996 年的产量要高于深松覆盖,1997 年(第五年)后二者产量的差距逐渐缩小,并且出现低于深松覆盖的情况;临汾市小麦试验地免耕覆盖和深松覆盖试验地产量的变化亦呈相同趋势。在连续保护性耕作的前几年,免耕覆盖的产量高于深松覆盖,定兴 2002~2003 年的产量情况也说明了这一点(表 2)。随着试验的进行,多年连续免耕覆盖试验地由于土壤变硬等问题在一定程度

上影响了其产量的增加,出现了产量低于深松覆盖。因此,4~5 年连续免耕覆盖耕作后,可通过一次深松作业来降低土壤容重,提高土壤结构,进而使保护性耕作维持高的产量。

2.3.2 水分利用率

水分利用率是反映不同耕作方式节水效应的重要指标之一,试验测得定兴和寿阳县试验地的水分利用率如表 2 和表 3 所示。

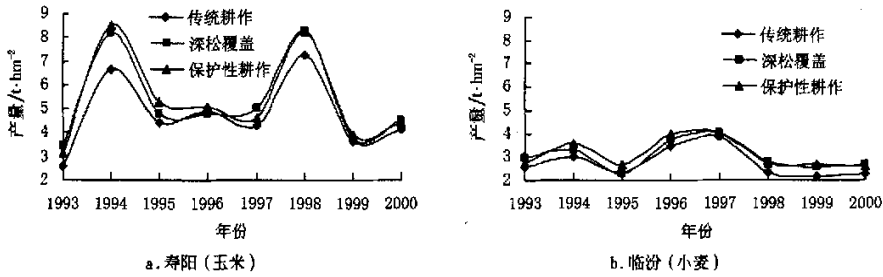


图 4 不同耕作方式产量情况(1993~2000 年)
Fig. 4 Crop yields for different tillage modes from 1993 to 2000

表 2 定兴不同耕作方式作物产量和水分利用率情况(2002~2003 年)

Table 2 Crop yields and water use efficiencies for different tillage modes in Dingxing County in 2002~2003

作物	处理方式	产量/t·hm ⁻²			水分利用率/kg·(mm·hm ²) ⁻¹		
		2002 年	2003 年	平均值	2002 年	2003 年	平均值
玉米	传统耕作	8.68	8.27	8.48	22.05	20.76	21.41
	深松整秸秆覆盖	8.87	9.42	9.15	22.35	22.63	22.49
	免耕整秸秆覆盖	9.51	10.34	9.93	23.11	23.34	23.23
小麦	传统耕作	4.09	4.78	4.44	15.14	18.08	16.61
	深松整秸秆覆盖	4.32	5.06	4.69	15.61	18.65	17.13
	免耕整秸秆覆盖	4.65	5.23	4.94	18.23	20.15	19.19

表 3 寿阳县不同耕作方式水分利用率情况(1993~2000 年)

Table 3 Water use efficiencies for different tillage modes in Shouyang County in 1993~2000 kg/(mm·hm²)

处理方式	年份								平均值
	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	
传统耕作	6.30	10.80	8.10	8.56	7.98	10.23	8.36	7.94	8.53
深松覆盖	8.27	12.15	8.55	8.48	8.59	12.21	8.41	8.21	9.36
免耕覆盖	8.25	12.35	9.41	8.75	8.39	12.19	8.49	8.16	9.50

由表 2 和表 3 可知,免耕覆盖和深松覆盖处理试验地的平均水分利用率相差不大,但都高于传统耕作。

从土壤蓄水状况来看,深松覆盖的水分利用率应该好于免耕覆盖,但试验结果表明免耕覆盖稍高于深松覆盖。其中定兴 2002~2003 年玉米和小麦试验地免耕整秸秆覆盖比深松整秸秆覆盖的水分利用率分别高 3.3% 和 12.0%,寿阳县高 1.5%。可见,免耕覆盖在采用秸秆覆盖的同时,由于不进行任何动土作业,减少了土壤水分的损失,而深松覆盖处理每年的深松作业造成地表不平,加大了播种难度,降低了播种质量,从而不能充分发挥其含水率较高的优势,水分利用率反而稍低于免耕覆盖。

试验结果分析可知,在保护性耕作下,深松覆盖虽然能解决由于连续免耕覆盖作业出现的土壤变硬问题,但每年的深松作业不但增加了机械作业成本,降低了经济效益,对提高土壤含水率、作物产量和水分利用率的效果并不明显。本文提出保护性耕作条件下的一种新型耕作方式——4 年免耕覆盖+1 年深松,每次深松作业的时间间隔为 4 年。不仅能有效解决 4 年免耕覆盖过程中出现的土壤变硬问题,而且能充分发挥免耕覆盖动土量少、水分损失少、产量和水分利用率高等优点,是适应中国北方地区保护性耕作发展的一种新型耕作方式。

2.4 经济效益分析

以寿阳县、临汾市为例,分别对中国北方不同耕作

方式下玉米和小麦生产的经济效益进行分析。表4中的农艺成本是指种子、肥料、农药、工资、农业税等费用；机械作业成本是油料费、工资、维修费、折旧、管理费等；产出指粮食产量收入。

表4 不同耕作方式下玉米、小麦投入与产出比较表

Table 4 Inputs and outputs of maize and wheat production for different tillage modes 元/hm²

	传统耕作		深松覆盖		4年免耕覆盖+1年深松	
	玉米	小麦	玉米	小麦	玉米	小麦
投						
入						
种子	225	675	225	675	225	675
化肥	600	700	600	700	600	700
除草剂	45	30	45	30	45	30
人工	680	500	560	375	560	375
机械作业	600	1000	450	700	225	500
税收	600	450	600	450	600	450
总计	2750	3355	2480	2930	2255	2730
产出						
产量*/kg·hm ⁻²	4652	3041	4820	3273	5095	3439
价格/元·kg ⁻¹	1.0	1.3	1.0	1.3	1.0	1.3
收入/元·hm ⁻²	4652	3918	4820	4255	5095	4471
纯收入/元·hm ⁻²	1902	563	2340	1325	2840	1741
比传统耕作收入增加率/%			23.0	135.3	49.3	209.2

注：* 试验数据为1993~1996年产量平均值。

从玉米的经济效益分析上看，传统耕作、深松覆盖和4年免耕覆盖+1年深松的纯收入分别为1902、2340、2840元/hm²，相对传统耕作和深松覆盖，4年免耕覆盖+1年深松在减少了作业项目的同时增加了玉米产量，其纯收入分别增加了49%和21%。其中，机械作业成本相对减少62.5%和50.0%，产出分别增加9.5%和5.7%。

从小麦的经济效益分析上看，传统耕作、深松覆盖和4年免耕覆盖+1年深松的纯收入分别为563、1325、1741元/hm²，相对传统耕作和深松覆盖，4年免耕覆盖+1年深松纯收入分别高2倍和0.3倍。其中，机械作业成本减少50.0%和29.0%，产出分别增加14.0%和5.0%。

2.5 玉米免耕播种和深松联合作业分析

2.5.1 功率消耗分析

2003年在山东章丘和2004年在北京大兴的玉米免耕播种和深松联合试验确定了不同作业方式的功率消耗，试验时，章丘、大兴试验区0~40cm深度范围内土壤容重分别为1.45g/cm³和1.43g/cm³。深松铲铲柄入土深度为40cm，翼铲的入土深度为15cm，深松宽度为16cm，深松行行间距为60cm，作业速度为4.29km/h，结果如图5所示。

由图5可以看出，玉米免耕播种和深松联合作业与二者单独作业功率消耗的差异比较显著。章丘联合作业、单独作业的功率消耗分别为21.52kW和25.64kW，大兴分别为19.43kW和23.32kW，联合作业相对单独作业分别减少了4.12kW和3.89kW的功率消耗。试验结果可知，相对二者单独作业，玉米免耕播种和

深松采用联合作业能减少约20%的功率消耗。

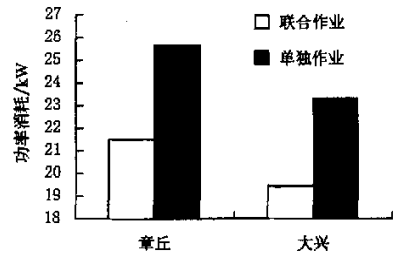


图5 不同作业方式功率消耗

Fig. 5 Power consumptions for different operation modes

2.5.2 产量分析

玉米免耕和播种联合作业试验夏玉米产量如图6所示。图中产量数据分别为联合作业和单独作业4重复试验小区产量的平均值。

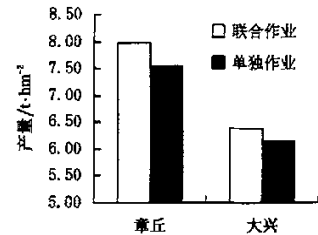


图6 章丘、大兴不同作业方式夏玉米产量情况

Fig. 6 Summer maize yields for different operation modes in Zhangqiu County and Daxing district

由于在玉米免耕播种的同时完成了深松联合作业，消除了单独作业时深松过程中的伤苗，同时提高了土壤的蓄水能力，因此章丘和大兴联合作业夏玉米的产量都高于单独作业。由图6可见，章丘和大兴联合作业夏玉米的产量分别比单独作业增产5.8%和4.2%。

3 结论

1) 在中国北方实施保护性耕作时，深松效应可以持续4年以上，不需年年深松，4年免耕覆盖加上1年深松的耕作方式不仅可以有效降低土壤容重，而且能够解决每年深松作业出现的动土量大、水分利用率低等问题，增加农民收入25%左右。

2) 对于夏季播种玉米的地区，需要进行深松作业时，可以采用玉米免耕播种和深松联合作业的方式，不仅可以消除单独深松时伤苗情况，而且能减少约20%左右的功率消耗，提高玉米产量约5%左右，较好地适应了北方玉米生产的需要。

【参考文献】

- [1] Hammond R B. Long-term conservation tillage studies: impact of no-till on seedcorn maggot[J]. Crop Protection, 1997, (3): 221-225.
- [2] 高焕文, 李问盈, 李洪文. 中国特色保护性耕作技术[J]. 农业工程学报, 2003, 19(3): 1-4.

- [3] Gao Huanwen, Li Hongwen, Chen Junda. Sustainable mechanized dry land farming research in Northern China [Z]. ISTRO International Conference, Fort Wort, Texas, U. S. A, 2000:2-5.
- [4] 王晓燕,高焕文,杜兵,等. 保护性耕作的不同因素对降雨入渗的影响[J]. 中国农业大学学报,2001,6(6):42-47.
- [5] 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,2000,16(3):66-69.
- [6] 郭新荣. 土壤深松技术的应用研究[J]. 山西农业大学学报,2005,(1):74-77.
- [7] Joseph L, Jr., J. Kristian Aase. Water infiltration and storage affected by subsoiling and subsequent tillage[J]. Soil Science Society of America Journal, 2003,(3):859-866.
- [8] 高焕文,李洪文,王兴文. 旱地深松试验研究[J]. 干旱地区农业研究,1995,13(4):126-133.
- [9] 孟庆秋,谢佳贵,胡会军,等. 土壤深松对玉米产量及其构成因素的影响[J]. 吉林农业科学,2000,25(2):25-28.
- [10] 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.
- [11] 何进,李洪文,毛宁,等. 玉米免耕播种深松联合作业试验研究[J]. 农机化研究,2004,(6):163-166.

Subsoiling effect and economic benefit under conservation tillage mode in Northern China

He Jin, Li Hongwen*, Gao Huanwen

(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: Conservation tillage, which can adapt to agricultural development of northern China well, is a new farming system, and through subsoiling, it can eliminate the soil compaction created by many years of no-till. Nowadays in the research field of subsoil technique, Chinese researchers have not conducted the profound researches on subsoiling effect and economic benefits under conservation tillage, what is more, they have not attached importance to the problems, such as doing harm to maize seedlings, increasing power consumption and reducing economic benefits, etc, which appear frequently during the process of subsoiling for maize. Based on the conservation tillage demonstration sites in northern China, the authors used more than ten years time and conducted a compositive experimental study of subsoiling effect under conservation tillage since 1993. The compositive experiment of subsoiling effect with three different tillage modes of traditional tillage, subsoiling with coverage and no-till with coverage mensurated the data of soil bulk density, water contentt, water use efficiency and yield under different tillage modes, confirmed subsoiling time interval under conservation tillage, i. e., the tillage mode of four-year no-till with coverage plus one-year subsoiling, and the authors analyzed corresponding economic benefits of different tillage modes. The experimental results show, under the condition of conservation tillage, subsoiling every four years can solve soil compaction, keep high water use efficiency and yields of crops continuously and there is no need of subsoiling every year. The tillage mode of four-year no-till with coverage plus one-year subsoiling is capable of enhancing about 25% economic benefit compared to subsoiling with coverage (subsoiling every year). At the same time, according to the problems appeared in the process of maize subsoiling, a combined operation scheme of seeding and subsoiling for no-till maize is presented and the experimental result indicates this scheme can account for a serial of above problems existed in the process of maize subsoiling, promote the growth of maize, and increase the yield of maize. It is recommended that the combined operation technique of seeding and subsoiling for no-till maize should be extended in maize-producing areas of northern China.

Key words: conservation tillage; subsoiling; effect; economic benefit

中国北方保护性耕作条件下深松效应与经济效益研究

作者: [何进](#), [李洪文](#), [高焕文](#), [He Jin](#), [Li Hongwen](#), [Gao Huanwen](#)
作者单位: [中国农业大学工学院](#), 北京, 100083
刊名: [农业工程学报](#) ISTIC EI PKU
英文刊名: [TRANSACTIONS OF THE CHINESE SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERING](#)
年, 卷(期): 2006, 22(10)
被引用次数: 50次

参考文献(11条)

1. [Hammond R B](#) [Long-term conservation tillage studies: impact of no-till on seedcorn maggot](#) [外文期刊] 1997(03)
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(03)
3. [Gao Huanwen](#); [Li Hongwen](#); [Chen Junda](#) [Sustainable mechanized dry land farming research in Northern China](#) 2000
4. [王晓燕](#); [高焕文](#); [杜兵](#) [保护性耕作的不同因素对降雨入渗的影响](#) [期刊论文] - [中国农业大学学报](#) 2001(06)
5. [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)
6. [郭新荣](#) [土壤深松技术的应用研究](#) [期刊论文] - [山西农业大学学报\(自然科学版\)](#) 2005(01)
7. [Joseph L](#); [J Kristian Aase](#) [Water infiltration and storage affected by subsoiling and subsequent tillage](#) [外文期刊] 2003(03)
8. [高焕文](#); [李洪文](#); [王兴文](#) [旱地深松试验研究](#) 1995(04)
9. [孟庆秋](#); [谢佳贵](#); [胡会军](#) [土壤深松对玉米产量及其构成因素的影响](#) [期刊论文] - [吉林农业科学](#) 2000(02)
10. [李洪文](#); [高焕文](#) [可调翼深松铲试验研究](#) 1995(02)
11. [何进](#); [李洪文](#); [毛宁](#) [玉米免耕播种深松联合作业试验研究](#) [期刊论文] - [农机化研究](#) 2004(06)

本文读者也读过(5条)

1. [周兴祥](#); [高焕文](#); [刘晓峰](#) [华北平原一年两熟保护性耕作体系试验研究](#) [期刊论文] - [农业工程学报](#) 2001, 17(6)
2. [李洪文](#); [陈君达](#); [李问盈](#); [Li Hongwen](#); [Chen Junda](#); [Li Wenying](#) [保护性耕作条件下深松技术研究](#) [期刊论文] - [农业机械学报](#) 2000, 31(6)
3. [刘立晶](#); [高焕文](#); [李洪文](#) [玉米-小麦一年两熟保护性耕作体系试验研究](#) [期刊论文] - [农业工程学报](#) 2004, 20(3)
4. [深松免耕技术对土壤物理性状及玉米产量的影响](#) [期刊论文] - [玉米科学](#) 2009, 17(5)
5. [孙彦君](#); [司振江](#); [应杰](#); [滕云](#); [SUN Yanjun](#); [SI Zhenjiang](#); [YING Jie](#); [TENG Yun](#) [振动深松改土蓄水效果的试验研究](#) [期刊论文] - [水利水电技术](#) 2010, 41(11)

引证文献(56条)

1. [张鲁云](#); [郑炫](#); [何兴村](#) [弯曲式深松犁性能试验分析](#) [期刊论文] - [江苏农业科学](#) 2014(1)
2. [徐福利](#); [王渭玲](#); [汪有科](#); [冯浩](#) [播种机械与秸秆覆盖对玉米衰老生理及产量的影响](#) [期刊论文] - [应用基础与工程科学学报](#) 2013(4)
3. [黄明](#); [吴金芝](#); [李友军](#); [姚宇卿](#); [张灿军](#); [蔡典雄](#); [金轲](#) [不同耕作方式对旱作区冬小麦生产和产量的影响](#) [期刊论文] - [农业工程学报](#) 2009(1)
4. [邵长敏](#); [齐自成](#); [丁梅](#); [魏希营](#); [李国强](#) [济宁市任城区小麦/玉米两熟区万亩保护性耕作研究示范模式研究](#) [期刊论

文]-[安徽农业科学](#) 2013(19)

5. [吴金芝](#), [黄明](#), [李友军](#), [姚宇卿](#), [张灿军](#) 耕作方式对旱区冬小麦籽粒品质性状的影响[期刊论文]-[麦类作物学报](#) 2012(3)
6. [魏有海](#), [郭青云](#), [冯俊涛](#) 保护性耕作制度下青海麦油轮作田间杂草群落组成调查[期刊论文]-[干旱地区农业研究](#) 2011(2)
7. [胡恒宇](#), [李增嘉](#), [宁堂原](#), [王瑜](#), [田慎重](#), [仲惟磊](#), [张总正](#) 深松和尿素类型对不同玉米品种水分利用效率的影响[期刊论文]-[中国农业科学](#) 2011(9)
8. [齐智娟](#), [张忠学](#), [杨爱峥](#) 黑土坡耕地几种水土保持措施的蓄水保土效应研究[期刊论文]-[水土保持研究](#) 2011(5)
9. [苏美霞](#), [李玉宏](#) 玉米深松改土保护性耕作技术及其效应试验研究[期刊论文]-[现代农业科技](#) 2011(6)
10. [张辉辰](#), [王惠新](#), [李森](#) 一年两熟区农田机械化耕作循环生产模式及配套机具试验研究[期刊论文]-[河北农业科学](#) 2010(3)
11. [杜建涛](#), [何文清](#), [Vinay Nangia](#), [严昌荣](#), [Mobin Ahmad](#), [刘爽](#), [刘勤](#) 北方旱区保护性耕作对农田土壤水分的影响[期刊论文]-[农业工程学报](#) 2008(11)
12. [李立娟](#), [崔彦宏](#), [李琦](#), [薛庆林](#), [赵明](#) 条深旋耕作方式对早春玉米产量性能的影响[期刊论文]-[作物杂志](#) 2011(5)
13. [黄明](#), [吴金芝](#), [李友军](#), [姚宇卿](#), [张灿军](#), [蔡典雄](#), [金轲](#) 不同耕作方式对旱作冬小麦旗叶衰老和籽粒产量的影响[期刊论文]-[应用生态学报](#) 2009(6)
14. [田秀平](#), [缪亚振](#), [韩晓日](#) 施肥与耕作对白浆土地地区农作物产量的影响[期刊论文]-[作物杂志](#) 2007(4)
15. [张鲁云](#), [郑炫](#), [何兴村](#), [李帆](#) 弯曲式深松犁试验与保护性耕作关系分析[期刊论文]-[中国农机化学报](#) 2013(6)
16. [宋春林](#), [韩成卫](#), [孔晓民](#), [曾苏明](#) 夏玉米单粒精密播种机筛选研究[期刊论文]-[农业科技通讯](#) 2013(9)
17. [张雪梅](#), [付晓](#), [吕开宇](#) 四川省深松整地作业应用现状及其未来[期刊论文]-[农业环境与发展](#) 2013(1)
18. [高茂盛](#), [薛少平](#), [廖允成](#), [刘根全](#) 手扶拖拉机专用深松机果园试验[期刊论文]-[农业机械学报](#) 2010(10)
19. [雷金银](#), [吴发启](#), [王健](#), [郭建华](#) 保护性耕作对土壤物理特性及玉米产量的影响[期刊论文]-[农业工程学报](#) 2008(10)
20. [QIN Hong-ling](#), [GAO Wang-sheng](#), [MA Yue-cun](#), [MA Li](#), [YIN Chun-mei](#), [CHEN Zhe](#), [CHEN Chun-lan](#) Effects of Subsoiling on Soil Moisture Under No-Tillage for Two Years[期刊论文]-[中国农业科学](#) 2008(1)
21. [闫洪亮](#), [王胜楠](#), [邹洪涛](#), [马迎波](#), [虞娜](#), [张玉玲](#), [黄毅](#), [张玉龙](#) 秸秆深还田两年对东北半干旱区土壤有机质、pH值及微团聚体的影响[期刊论文]-[水土保持研究](#) 2013(4)
22. [邹洪涛](#), [张玉龙](#), [黄毅](#), [宋浩文](#), [虞娜](#), [张玉玲](#), [孙占祥](#) 辽西北半干旱区土壤深松对玉米生长发育及产量的影响[期刊论文]-[沈阳农业大学学报](#) 2009(4)
23. [Yuecun MA](#), [Hongling QIN](#), [Chunmei YIN](#), [Wangsheng GAO](#), [Hongsheng ZHANG](#), [Peng SUI](#), [Yuanquan CHEN](#), [Xiangdong LI](#) Dynamics of soil water content under different tillage systems in agro-pastoral eco-zone[期刊论文]-[中国高等学校学术文摘·农学](#) 2008(2)
24. [顾顺芳](#), [王振华](#), [张新](#), [张前进](#), [郭书亚](#), [张权](#), [焦念元](#), [尹飞](#), [付国占](#) 轮耕对豫南雨养区夏玉米叶片衰老代谢及产量的影响[期刊论文]-[中国农学通报](#) 2013(6)
25. [侯贤清](#), [王维](#), [韩清芳](#), [贾志宽](#), [严波](#), [李永平](#), [苏秦](#) 夏闲期轮耕对小麦田土壤水分及产量的影响[期刊论文]-[应用生态学报](#) 2011(10)
26. [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)

27. [赵伟](#) [不同深松处理对玉米产量及其产量构成因素的影响](#)[期刊论文]-[黑龙江农业科学](#) 2011(12)
28. [吴玉红](#), [田霄鸿](#), [南雄雄](#), [池文博](#), [闫小丽](#), [朱瑞祥](#), [同延安](#) [基于因子和聚类分析的保护性耕作土壤质量评价研究](#)[期刊论文]-[中国生态农业学报](#) 2010(2)
29. [梁玉成](#), [吕金庆](#), [谢宇峰](#) [保护性机械化耕作技术在黑龙江省的应用](#)[期刊论文]-[农机化研究](#) 2009(7)
30. [杜健](#), [吴普特](#), [冯浩](#), [杜璇](#), [李茂辉](#), [王姮](#), [王珍](#), [郑芳](#), [张敏](#) [棉花优质高产抗旱节水技术大田试验研究](#)[期刊论文]-[武汉大学学报\(工学版\)](#) 2009(6)
31. [高茂盛](#), [温晓霞](#), [黄金辉](#), [殷瑞敬](#), [廖允成](#), [郑永全](#) [耕作方式和秸秆覆盖对渭北苹果园土壤保蓄水性能及酶活性的影响](#)[期刊论文]-[中国农业大学学报](#) 2009(4)
32. [刁培松](#), [杜瑞成](#), [李复辉](#), [崔强](#), [张银平](#), [李树兵](#) [小麦深松免耕施肥播种机的研制](#)[期刊论文]-[农机化研究](#) 2013(11)
33. [王云奇](#), [陶洪斌](#), [赵鑫](#), [鲁来清](#), [任伟](#), [周楠](#), [王璞](#) [非灌溉条件下播前深松对冬小麦水分利用和产量的影响](#)[期刊论文]-[麦类作物学报](#) 2014(1)
34. [孙国峰](#), [张海林](#), [徐尚起](#), [崔思远](#), [汤文光](#), [陈阜](#) [轮耕对双季稻田土壤结构及水贮量的影响](#)[期刊论文]-[农业工程学报](#) 2010(9)
35. [侯贤清](#), [李荣](#), [韩清芳](#), [王维](#), [贾志宽](#) [夏闲期不同耕作模式对土壤蓄水保墒效果及作物水分利用效率的影响](#)[期刊论文]-[农业工程学报](#) 2012(3)
36. [张祥彩](#), [李洪文](#), [何进](#), [王庆杰](#), [郑智旗](#), [荆鹏](#) [耕作方式对华北一年两熟区土壤及作物特性的影响](#)[期刊论文]-[农业机械学报](#) 2013(z1)
37. [孙平阳](#), [赵如浪](#), [刘月仙](#), [高金锋](#), [王鹏科](#), [朱瑞祥](#), [冯佰利](#) [保护性耕作对黄土高原旱田春玉米生物学效应的影响](#)[期刊论文]-[西北农业学报](#) 2011(11)
38. [秦红灵](#), [高旺盛](#), [马月存](#), [马丽](#), [尹春梅](#) [两年免耕后深松对土壤水分的影响](#)[期刊论文]-[中国农业科学](#) 2008(1)
39. [雷金银](#), [吴发启](#), [马璠](#), [马波](#), [李荣标](#) [毛乌素沙地南缘保护性耕作措施对土壤物理性质的影响](#)[期刊论文]-[干旱地区农业研究](#) 2008(3)
40. [TAO Zhi-qiang](#), [SUI Peng](#), [CHEN Yuan-quan](#), [LI Chao](#), [NIE Zi-jin](#), [YUAN Shu-fen](#), [SHI Jiang-tao](#), [GAO Wang-sheng](#) [Subsoiling and Ridge Tillage Alleviate the High Temperature Stress in Spring Maize in the North China Plain](#)[期刊论文]-[农业科学学报\(英文版\)](#) 2013(12)
41. [马月存](#), [秦红灵](#), [高旺盛](#), [陈源泉](#), [李向东](#), [隋鹏](#), [黄凤球](#) [农牧交错带不同耕作方式土壤水分动态变化特征](#)[期刊论文]-[生态学报](#) 2007(6)
42. [闫小丽](#), [薛少平](#), [王翔](#), [孙涛](#), [王忠友](#) [陕西关中一年两熟地区保护性耕作关键技术综合效应研究-- I . 对农田土壤环境理化性状的影响](#)[期刊论文]-[干旱地区农业研究](#) 2013(6)
43. [李永平](#), [王孟本](#), [史向远](#), [周静](#), [张晓晨](#) [不同耕作方式对土壤理化性状及玉米产量的影响](#)[期刊论文]-[山西农业科学](#) 2012(7)
44. [褚鹏飞](#), [于振文](#), [王东](#), [张永丽](#) [耕作方式对小麦耗水特性和籽粒产量的影响](#)[期刊论文]-[中国农业科学](#) 2010(19)
45. [王岩](#), [张静](#), [刘玉华](#) [华北高寒区不同耕作方式对农田土壤水分的影响](#)[期刊论文]-[安徽农业科学](#) 2012(26)
46. [侯海鹏](#), [丁在松](#), [马玮](#), [李从锋](#), [赵明](#) [高产夏玉米产量性能特征及密度深松调控效应](#)[期刊论文]-[作物学报](#) 2013(6)
47. [陈喜凤](#), [杨粉团](#), [姜晓莉](#), [李刚](#) [深松对玉米早衰的调控作用](#)[期刊论文]-[中国农学通报](#) 2011(12)
48. [金亚征](#), [王莉](#), [刘朝巍](#) [中国玉米保护性耕作研究进展](#)[期刊论文]-[河北北方学院学报\(自然科学版\)](#) 2009(3)

49. [马月存](#), [秦红灵](#), [高旺盛](#), [陈源泉](#), [李向东](#), [隋鹏](#), [黄凤球](#) [农牧交错带不同耕作方式土壤水分动态变化特征](#)[期刊论文]-[生态学报](#) 2007(6)
50. [吴玉红](#), [田霄鸿](#), [池文博](#), [南雄雄](#), [闫小丽](#), [朱瑞祥](#), [同延安](#) [机械化保护性耕作条件下土壤质量的数值化评价](#)[期刊论文]-[应用生态学报](#) 2010(6)
51. [王彩霞](#), [岳西杰](#), [葛玺祖](#), [黄婷](#), [王勇](#), [王旭东](#) [保护性耕作对土壤微团聚体碳、氮分布的影响](#)[期刊论文]-[植物营养与肥料学报](#) 2010(3)
52. [秦淑俊](#), [张总正](#), [郭利伟](#), [李娜](#), [李增嘉](#), [宁堂原](#) [深松与控释尿素耦合对夏玉米穗位叶衰老代谢及籽粒产量的影响](#)[期刊论文]-[山东农业科学](#) 2013(12)
53. [金亚征](#), [丁丽梅](#), [王兴月](#) [保护性耕作研究进展与评述](#)[期刊论文]-[河北北方学院学报\(自然科学版\)](#) 2010(1)
54. [张总正](#), [秦淑俊](#), [李娜](#), [郭利伟](#), [宁堂原](#), [陈国庆](#) [深松和施氮对夏玉米产量及氮素吸收利用的影响](#)[期刊论文]-[植物营养与肥料学报](#) 2013(4)
55. [王红光](#), [于振文](#), [张永丽](#), [石玉](#), [王东](#) [耕作方式对旱地小麦耗水特性和干物质积累的影响](#)[期刊论文]-[作物学报](#) 2012(4)
56. [王晗生](#) [提高人工植被培育中土壤抗旱性的综合措施](#)[期刊论文]-[农业工程学报](#) 2008(12)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_nygcxb200610013.aspx