

DOI:10.3969/j.issn.1000-1298.2010.02.011

轮胎压实对机具牵引阻力的影响*

陈浩¹ 吴伟蔚¹ 刘新田¹ 李洪文²

(1. 上海工程技术大学汽车工程学院, 上海 201620; 2. 中国农业大学工学院, 北京 100083)

【摘要】 研究了华北平原小麦、玉米一年两熟区固定道保护性耕作对机具田间牵引阻力的影响,对比分析了固定道与非固定道处理下机具田间作业的滚动阻力、开沟器牵引阻力和总牵引阻力。与非固定道保护性耕作时深松、小麦和玉米播种作业相比,固定道保护性耕作下机组总牵引阻力分别降低 14.6%、13.3% 和 13.3%;滚动阻力分别降低 26.9%、21.9% 和 19.7%,平均降低 22.9%;机具牵引阻力分别降低 7.5%、7.2% 和 12.4%,平均降低 8.8%。固定道处理的开沟器牵引阻力平均比非固定道处理降低 22.0%。与非固定道相比,固定道总牵引油耗在 3 种作业时分别降低 17.6%、12.4% 和 9.1%。试验结果表明,固定道保护性耕作显著降低机具田间牵引阻力,减少了机具田间作业油耗。

关键词: 保护性耕作 固定道 压实 牵引阻力

中图分类号: S223.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)02-0052-06

Effect of Wheel Traffic on Working Resistance of Agricultural Machinery in Field Operation

Chen Hao¹ Wu Weiwei¹ Liu Xintian¹ Li Hongwen²

(1. College of Automotive Engineering, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China

2. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract

Controlled traffic with conservation tillage (CTCT) can reduce soil compaction, thus to improve operation performance of agricultural machine, by separating wheel track and crop zone. The effect of CTCT on operation resistance force was researched in annual two crops region in Northern China. The rolling resistance, opener resistance and total draft between controlled and non-controlled traffic treatments were analyzed. In subsoiling, wheat and maize planting, compared with non-controlled traffic with conservation tillage, CTCT total draft reduced by 14.6%, 13.3% and 13.3%, rolling resistance reduced by 26.9%, 21.9% and 19.7%, averaging 22.9%, working resistance reduced by 7.5%, 7.2% and 12.4%, averaging 8.8%. Opener resistance reduced 22.0% averagely in controlled traffic treatments than that in non-controlled traffic treatments. As the resistance decreased, fuel consumption in controlled traffic treatment reduced by 17.6%, 12.4% and 9.1% in three operations. Results showed that controlled traffic conservation tillage reduces agricultural machine working resistance and fuel consumption in field operation.

Key words Conservation tillage, Controlled traffic, Soil compaction, Working resistance

引言

固定道保护性耕作是将固定道体系和保护性耕

作相结合的技术,其特点是:机具在固定的不种植作物的车道上行驶;作物生长带不被车轮压实,从而保持良好的作物生长环境;作物收获后,地表保持秸秆

收稿日期: 2009-01-08 修回日期: 2009-03-02

* 上海高校知识创新工程(085工程)建设资助项目(JZ0901)和上海高校选拔培养优秀青年教师科研专项基金资助项目(GJD09012)

作者简介: 陈浩,讲师,主要从事地面力学研究,E-mail: pschenhao@163.com

通讯作者: 李洪文,教授,博士生导师,主要从事保护性耕作、农业装备研究,E-mail: lhwen@cau.edu.cn

覆盖,免耕播种下茬作物。国外研究表明,固定道保护性耕作减少土壤压实,减小农具耕作阻力和改善车轮附着性能,提高作业效率,减少机器作业能耗,从而降低生产作业成本^[1-9]。在同样的产出下,固定道作业可以减少油耗至少40%,减少拖拉机的动力需求30%^[10]。

评价固定道保护性耕作体系在我国中小机具条件下的适应性,作业机具的牵引阻力和动力消耗是其中的重要指标。国内在固定道保护性耕作机具牵引阻力和动力消耗上研究较少。本文主要通过测试机具田间牵引阻力和油耗,研究分析固定道保护性耕作的节能优势,为固定道保护性耕作在我国的推广应用提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验区

试验区位于北京市大兴区,年平均气温10~12℃,无霜期180~200 d,年平均降雨量约600 mm。试验地土壤类型为沙壤土,土壤平均有机质质量比小于1.0 g/kg,土壤肥力中等偏下。种植冬小麦-夏玉米一年两熟作物,冬小麦10月播种,6月收获;夏玉米在小麦收获后立即播种,10月收获。

1.2 试验设计

保护性耕作已经成为北京地区主要的种植模式。根据北京地区保护性耕作实际,设计两个试验因素:A为耕作方式,B为压实情况;A设3水平,B设2水平。

表1 试验方案设计表

Tab.1 Experiment design scheme

水平	因素	
	耕作方式 A	压实情况 B
1	免耕 A ₁	压实 B ₁
2	深松 A ₂	不压实 B ₂
3	旋耕 A ₃	

通过以上分析并结合生产实际中的可行性,试验设置4种处理:

(1)固定道免耕(NTCN):小麦收获后直接进行玉米免耕播种。玉米收获后,秸秆粉碎,免耕播种小麦。作业时,拖拉机、播种机和小麦收获机行走在专用的固定道上。

(2)固定道深松(STCN):在小麦收获后,玉米播种前进行深松作业,深度为30 cm。玉米收获后,秸秆粉碎,免耕播种小麦。作业时,拖拉机、播种机和小麦收获机行走在专用的固定道上。

(3)非固定道免耕(NT):小麦收获后直接使用

固定道小麦/玉米免耕播种机(调整行距为70 cm)进行玉米免耕播种,喷洒除草剂。玉米收获后,秸秆粉碎,免耕播种小麦,行距为19 cm。作业时,拖拉机、播种机和小麦收获机在田间无固定道行走。

(4)传统耕作(CK):小麦收获后玉米免耕播种。玉米收获后,秸秆粉碎。旋耕作业,深度为10 cm。小麦播种行距为19 cm。作业时,拖拉机、播种机和小麦收获机在田间无固定道行走。

布置试验区前,试验地进行翻耕作业,深度为20 cm;然后进行了旋耕作业,深度为10 cm。2005年小麦播种时,固定道处理拖拉机按规划好的路线行走,其轨迹即为固定道。后续作业拖拉机均沿此固定道行走;非固定道作业时,机具在田间无固定道行走。固定道及作物如图1所示。

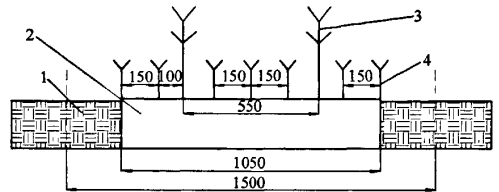


图1 固定道及作物布置示意图

Fig.1 Wheel track and crop arrangement

1. 固定道 2. 作物生长带

1.3 试验测试方法

1.3.1 滚动阻力、牵引阻力和总牵引阻力

测定时间:2006年6月深松作业、2006年10月冬小麦播种作业和2007年6月夏玉米播种作业。

测定方法:使用CTM2002B农机综合测试仪测试拖拉机牵引性能。农机综合测试仪配套油耗传感器、速度传感器和拉力传感器。牵引阻力通过拉力传感器来测量。拉力传感器安装在悬挂农具的拖拉机前部。用一台辅助拖拉机通过拉力传感器牵引悬挂机具的拖拉机。首先测量农具提升离地时,两台拖拉机之间的牵引力和燃油消耗,悬挂农具的拖拉机在工作时始终置为空档,测定的牵引力为拖拉机的滚动阻力 F_r 。接着机具入土,测量农具实际作业时的牵引力 F 。机组的牵引阻力(作业阻力)为前后两次测量牵引力之差,即 $F_p = F - F_r$ 。图2为牵引阻力的测量原理图。

深松作业时,深松机幅宽为1.4 m,质量为120 kg,配套拖拉机为TN-654型。深松深度为30 cm。试验也分为空行和负载作业。每次测试有效作业距离不少于80 m,每20~40 m记录一次平均作业数据,每种作业处理测试6次。

播种作业时,播种机为2BMF-2/7型固定道小麦/玉米通用免耕播种机,工作幅宽1.5 m,质量为

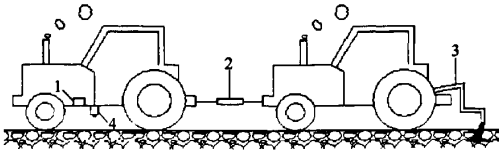


图2 拖拉机悬挂农具牵引阻力测量原理图

Fig. 2 Draft resistance measurement of agricultural machine drafted by tractor

1. 油耗传感器 2. 拉力传感器 3. 农具 4. 速度传感器

400 kg, 配套拖拉机为 TN-654 型。播种深度控制在 4~5 cm; 施肥深度控制在 9~10 cm。测试时, 作业尽量保持匀速作业。每次测试有效作业距离不少于 80 m, 每 20~40 m 记录一次平均作业数据, 每种作业处理测试 6 次。

1.3.2 开沟器阻力

测定时间: 2007 年夏玉米收获后。

测定方法: 使用自行研制的开沟部件田间测试系统。该系统由 L 型传感器、数据采集卡、测试程序等部分组成。L 型传感器采用三分力传感器, 输出信号为电压信号, 测试范围为 -1~1 V, 负号表示与标定的方向相反, 对应的测力范围为 0~300 kg。传感器上 X、Y、Z 方向 3 个力的测量采用了剪力的原理, 通过应变片测定相应的力。

设计了开沟阻力测试 2×2 正交试验, 2 因素分

别为作业速度和入土深度。作业速度按实际田间作业分别取 2.6 km/h (慢 III) 及 4.6 km/h (慢 IV) 共 2 个水平。保护性耕作适宜播种深度为 3~5 cm, 适宜种肥深度为 8~11 cm, 因此 0~10 cm 是保护性耕作的主要机具作业层。因此, 入土深度选择 2 个水平: 5 cm 和 10 cm。试验为单铲开沟, 使用 45° 短翼尖角开沟器。拖拉机正常前进时, 数据采集频率为 50 s⁻¹, 每次试验距离为 40 m, 重复 3 次。

2 结果与分析

2.1 滚动阻力

表 2 为田间试验测得的固定道与非固定道处理下悬挂不同作业机具时拖拉机滚动阻力和油耗。表中同一列内右上角标有相同字母表示不同处理之间不存在显著差异 ($P=0.05$)。与非固定道保护性耕作相比, 固定道保护性耕作时拖拉机滚动阻力明显降低 ($P=0.05$)。其中, 深松时滚动阻力降低 26.9%; 小麦播种时滚动阻力降低 21.9%; 玉米播种时滚动阻力降低 19.7%。3 种作业下, 非固定道处理滚动阻力比固定道处理平均高 493 N (22.9%)。随着滚动阻力降低, 行走油耗相应也降低 ($P=0.05$)。3 种作业下, 固定道处理油耗分别比非固定道处理降低 15.4%、16.5% 和 28.4%。

表 2 固定道与非固定道处理下悬挂不同作业机具时的拖拉机滚动阻力及油耗

Tab. 2 Rolling resistance and fuel consumption of controlled and non-controlled traffic treatments in different operations

处理	2006 年 6 月悬挂深松机		2006 年 10 月悬挂小麦/玉米免耕播种机播种		2007 年 6 月悬挂小麦/玉米免耕播种机	
	滚动阻力/N	油耗/L·hm ⁻²	滚动阻力/N	油耗/L·hm ⁻²	滚动阻力/N	油耗/L·hm ⁻²
固定道	1 580 ^a	9.72 ^a	1 834 ^a	10.62 ^a	1 558 ^a	7.11 ^a
非固定道	2 160 ^b	11.49 ^b	2 348 ^b	12.75 ^b	1 942 ^b	9.93 ^b
标准偏差	264	1.36	278	1.72	269	1.23
标准误差	62	0.42	84	0.36	69	0.30

注: 表中同一列内右上角标有相同字母表示不同处理之间不存在显著差异 ($P=0.05$)

滚动阻力系数 f 为拖拉机纯空行滚动阻力 F_f 与拖拉机重力 G 的比值 $f = F_f/G$ 。固定道保护性耕作平均滚动阻力系数为 0.042, 处于干土路和生荒地之间。非固定道保护性耕作平均滚动阻力系数为 0.054, 处于硬实熟地和耕荒地之间, 固定道平均滚动阻力比非固定道降低 22.2%。

固定道保护性耕作处理下, 行走道的滚动阻力明显低于非固定道处理。主要是由于机具对土壤的压实作用。固定道保护性耕作设置专用的机具行走道, 机具轮胎对土壤有明显的压实作用, 且随着作业次数的增加, 压实作用逐渐累积。图 3 为

非固定道处理与固定行走道在不同时间不同作业下的土壤容积密度。随着时间的推移, 非固定道处理容积密度明显低于固定道保护性耕作行走道容积密度, 因而机具轮胎接触地表相对较疏松, 增加土壤压实变形, 提高了机具的滚动阻力, 降低了附着能力。而固定道处理下, 反复压实的行走道为机具行走提供相对坚实的路面, 降低了地表滚动阻力系数, 降低了轮胎行走阻力, 减少了在行走阻力上的能耗损失, 同时提高了土壤附着系数, 土壤能提供轮胎更大的附着力, 可进一步提高机组的牵引性能。

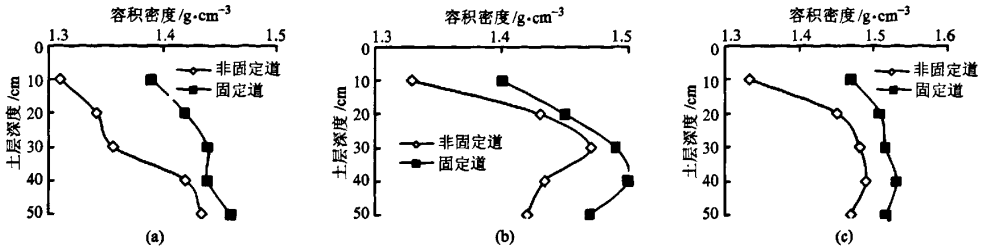


图3 不同作业时固定行走道与非固定道的密度

Fig.3 Soil bulk density for wheel track in controlled traffic treatment and non-controlled traffic treatments in different machinery operations

(a) 深松(2006年6月) (b) 小麦播种(2006年10月) (c) 玉米播种(2007年6月)

2.2 机具阻力

2.2.1 机具牵引阻力

图4为3种作业(深松、小麦播种和玉米播种)时机具的牵引阻力。与非固定道相比,固定道处理降低了机具牵引阻力。深松、小麦播种和玉米播种3种作业时,固定道保护性耕作处理机具牵引阻力分别比非固定道保护性耕作处理降低7.5%、7.2%和12.4%。且在玉米播种时,牵引阻力存在显著性差异($P=0.05$)。固定道保护性耕作处理机具牵引阻力平均比非固定道保护性耕作处理降低8.8%。

不同处理机具牵引阻力的不同主要源于固定道处理作物带和非固定道处理的土壤密度差异。图5为不同作业时非固定道保护性耕作处理和固定道保护性耕作处理作物带的土壤容积密度。在2006年6月深松和2006年10月小麦播种时,机器作业次

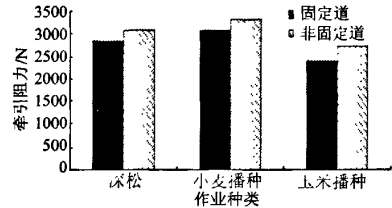


图4 固定道与非固定道处理不同作业时机具牵引阻力

Fig.4 Machine resistance force for different operations under different treatments

数较少,分别为2次和3次。因而机具对土壤的压实作用较小,固定道保护性耕作处理土壤密度只是在0~10 cm土层内显著地低于非固定道保护性耕作处理($P=0.05$)。因而,固定道对机具牵引阻力的降低作用不显著。

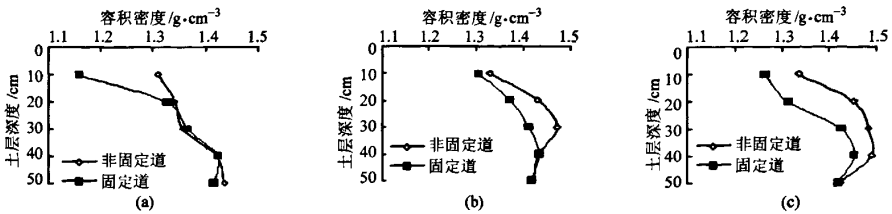


图5 不同作业时非固定道与固定道处理作物带土壤密度

Fig.5 Soil bulk density for non-controlled traffic and tracks of controlled traffic in different machinery operations

(a) 深松前(2006年6月) (b) 小麦播种前(2006年10月) (c) 玉米播种前(2007年6月)

随着作业次数增多,机具对土壤的压实作用越加明显。到2007年6月玉米播种时,作业次数达到5次,固定道保护性耕作处理生长带土壤密度在0~20 cm土层内显著地低于非固定道保护性耕作处理($P=0.05$)(图5)。由于牵引阻力随土壤密度的增加而增加,因而固定道保护性耕作处理显著地降低了生长带的机具牵引阻力。

2.2.2 开沟器牵引阻力

机具田间作业时,主要的受力部件为入土部件。在固定道保护性耕作试验进行两年后,对固定道保护性耕作和非固定道保护性耕作的不同处理进行了

开沟器田间阻力测试。图6为不同深度和速度下不同耕作体系开沟器牵引阻力。试验结果显示,开沟器牵引阻力随着速度和作业深度的增加而增加。

(1) 0~5 cm 土层

在速度为2.6 km/h时,固定道免耕(NTCN)和固定道深松(STCN)分别比非固定道免耕(NT)降低26.3%和16.6%,比传统耕作(CK)降低16.6%和19.8%。

在速度为4.6 km/h时,相对于非固定道免耕(NT),固定道免耕(NTCN)和固定道深松(STCN)开沟器牵引阻力分别降低30.3%和33.5%;相对于

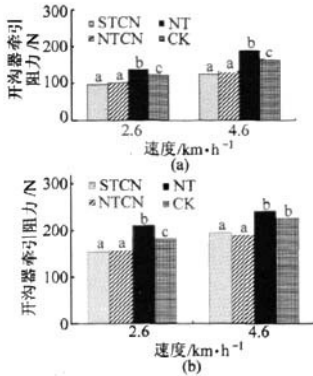


图6 不同深度和速度下不同耕作体系开沟器的牵引阻力

Fig. 6 Opener horizon resistance under different depths and velocity in different treatments
(a) 0~5 cm (b) 0~10 cm

传统耕作(CK),固定道免耕(NTCN)和固定道深松(STCN)开沟器牵引阻力分别降低 21.1% 和 24.7%。

两种非固定道保护性耕作处理中,由于旋耕作业的存在,非固定道免耕(NT)和传统耕作(CK)开沟器牵引阻力存在显著性差异($P=0.05$)。0~5 cm 土层,非固定道免耕(NT)分别比传统耕作提高 13.2% 和 13.3%。

(2) 0~10 cm 土层

两种固定道保护性耕作处理:固定道免耕(NTCN)和固定道深松(STCN)开沟器牵引阻力显著低于两种非固定道处理:非固定道免耕(NT)和传统耕作(CK)。

作业速度为 2.6 km/h 时,相对于非固定道免耕(NT)和传统耕作(CK),固定道免耕(NTCN)开沟器牵引阻力分别降低 26.1% 和 14.3%,固定道深松(STCN)开沟器牵引阻力分别降低 27.5% 和 15.9%。

作业速度为 4.6 km/h 时,相对于非固定道免耕(NT)和传统耕作(CK),固定道免耕(NTCN)开沟器牵引阻力分别降低 21.6% 和 17.1%,固定道深松(STCN)开沟器牵引阻力分别降低 19.1% 和 14.5%。

两种固定道保护性耕作(NTCN 和 STCN)开沟器平均牵引阻力明显高于两种非固定道保护性耕作(NT 和 CK)(表 3)。在 0~5 cm 土层,固定道保护性耕作开沟器牵引阻力在两种速度下分别比非固定道保护性耕作降低 23.3% 和 27.7%;在 0~10 cm 土层,分别比非固定道保护性耕作降低 20.9% 和 17.9%。

单铲试验条件下,在 0~10 cm 土层,固定道保
万方数据

表 3 固定道与非固定道处理开沟器平均牵引阻力

Tab. 3 Average horizon resistance of opener in controlled and non-controlled treatments

参数	土层深度/cm			
	0~5		0~10	
速度/ $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$	2.6	4.6	2.6	4.6
非固定道平均牵引阻力/N	129 ^a	177 ^a	196 ^a	234 ^a
固定道平均牵引阻力/N	99 ^b	128 ^b	155 ^b	192 ^b
相对于非固定道降低率/%	23.3	27.7	20.9	17.9

注:表中同一列内右上角标有相同字母表示不同处理之间不存在显著差异($P=0.05$)

护性耕作处理平均牵引阻力为 174 N,非固定道保护性耕作处理为 215 N。相对于非固定道保护性耕作,固定道保护性耕作下开沟器牵引阻力降低 19.1%。在实际播种作业时,施肥开沟器的开沟深度为 10 cm,小麦播种时使用 7 个开沟铲,玉米播种使用 2 个开沟器。相对于非固定道保护性耕作,固定道保护性耕作在播种相同的幅宽的小麦和玉米时,分别可以减少播种机牵引阻力 291 N 和 81 N,从而降低农具作业的牵引阻力,达到降低油耗的目的。

此外,从图 6 可以看出,随着作业速度和深度的增加,固定道保护性耕作处理时牵引阻力的增加低于非固定道保护性耕作,阻力波动的降低,有利于保证机组作业质量。而非固定道保护性耕作作业时,动力需求变动大,将增加燃油消耗。

2.3 机具总牵引阻力

机具总牵引阻力包括滚动阻力和机具牵引阻力两部分。试验结果显示,固定道处理拖拉机消耗的总牵引阻力、牵引功率和油耗均明显低于非固定道保护性耕作($P=0.05$)(表 4)。相对于非固定道保护性耕作,固定道保护性耕作在深松、小麦播种和玉米播种 3 种作业时,总牵引阻力分别减低 14.6%、13.3% 和 13.3%,牵引功率分别降低 12.4%、13.0% 和 20.0%,总牵引油耗分别降低 17.6%、12.4% 和 9.1%。

在总牵引阻力的构成上,固定道保护性耕作机具牵引阻力所占比例高于非固定道保护性耕作。深松时,固定道保护性耕作和非固定道保护性耕作牵引阻力分别占总牵引阻力 67.8% 和 59.3%;小麦播种时,固定道保护性耕作和非固定道保护性耕作牵引阻力分别占总牵引阻力 62.7% 和 58.6%;玉米播种时,固定道保护性耕作和非固定道保护性耕作牵引阻力分别占总牵引阻力 59.0% 和 58.3%。可见,无论是深松还是播种作业,固定道处理下,拖拉机发出的功率更多地发挥在田间作业上,从而提高了发动机功率的利用率。

表4 固定道与非固定道处理下不同作业的总牵引阻力与油耗

Tab.4 Total draft resistance and fuel consumption in controlled and non-controlled traffic treatments

处理	2006年6月深松作业			2006年10月小麦播种作业			2007年6月玉米播种作业		
	总牵引阻力 /N	牵引功率 /kW	油耗/ L·hm ⁻²	总牵引阻力 /N	牵引功率/ kW	油耗/ L·hm ⁻²	总牵引阻力/ N	牵引功率/ kW	油耗/ L·hm ⁻²
固定道	4 422 ^a	2.69 ^a	15.9 ^a	4 920 ^a	2.48 ^a	14.1 ^a	4 042 ^a	3.89 ^a	9.2 ^a
非固定道	5 178 ^b	3.07 ^b	19.3 ^b	5 673 ^b	2.85 ^b	16.1 ^a	4 662 ^b	4.86 ^b	10.1 ^b
标准偏差	663	0.11	1.78	709	0.10	1.95	652	0.13	1.21
标准误差	189	0.04	0.37	136	0.04	0.44	202	0.06	0.32

注:1. 表中同一作业,同一列内右上角标有相同字母表示不同处理之间不存在显著差异($P=0.05$)

固定道保护性耕作改善作业机组的牵引性能主要是通过控制压实来实现的,其作用通过两方面来体现:一方面,固定道保护性耕作的专用行走道,可以显著降低滚动阻力,减少行走能耗。同时,拖拉机空行能量大部分消耗在农具行走,只有少部分用于土壤的压实,从而提高牵引性能。非固定道保护性耕作作业时,轮胎行走在疏松的地面上,滚动阻力增大,拖拉机空行能量一部分消耗在农具行走,一部分用于对土壤压实做功。研究表明,拖拉机的总输出功率中,大约有一半消耗在其自身轮胎压实土壤和通过耕作消除其压实影响的过程中^[11]。3种作业下,非固定道保护性耕作滚动阻力平均比固定道保护性耕作高493 N,这部分力主要用于拖拉机轮胎在非固定道处理地块上行走时对土壤的压实做功。另一方面,固定道保护性耕作减少了对作物生长带的压实,减少机具牵引阻力,同时减少牵引阻力的波动。在非固定道保护性耕作下,农具工作部件还需要疏松轮胎压实的土层,从而导致后续牵引阻力增加,牵引性能降低,加剧了燃油消耗。

固定道保护性耕作兼顾了轮胎行走和农具作业

两方面需求,控制田间压实,降低滚动阻力和机具牵引阻力,从而提高了机具的牵引性能。由于机具田间作业能耗和总牵引阻力存在着强正相关关系^[12],因此固定道保护性耕作通过降低机具牵引阻力,可以显著降低燃油消耗。

3 结论

(1) 固定道保护性耕作通过区分机具行走道和作物生长带,改善了机具行走性能,减少了机具对作物生长带的压实,明显降低机具作业的总阻力。

(2) 在深松、小麦和玉米播种作业下,相对于非固定道保护性耕作,固定道保护性耕作下机组总牵引阻力分别降低14.6%、13.3%和13.3%。其中:滚动阻力分别降低26.9%、21.9%和19.7%,平均降低22.9%;机具牵引阻力分别降低7.5%、7.2%和12.4%,平均降低8.8%;固定道保护性耕作降低开沟器牵引阻力。在0~10 cm土层,两种作业速度下固定道比非固定道平均降低20.9%和17.9%。

(3) 固定道保护性耕作可降低机具作业的阻力,从而降低机具作业燃油消耗和田间作业成本。

参 考 文 献

- 1 Chamen W C T. New methodology for weed control and crop production: controlled traffic, precision guidance and direct seeding[C] // Proceedings of the Fourth European Weed Research Society Workshop on Physical Weed Control, Elspeet, Netherlands, 2000.
- 2 Hamza M A, Anderson W K. Soil compaction in cropping systems: a review of the nature, causes and possible solutions[J]. Soil and Tillage Research, 2005, 82(2): 121 ~ 145.
- 3 Tullberg J N. Wheel traffic effects on tillage draught[J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 2000, 75(4): 375 ~ 382.
- 4 杜兵,周兴祥. 节约能耗的固定道耕作法[J]. 中国农业大学学报, 1999, 4(2): 63 ~ 66.
Du Bing, Zhou Xingxiang. Energy saving of controlled traffic tillage[J]. Journal of China Agricultural University, 1999, 4(2): 63 ~ 66. (in Chinese)
- 5 李洪文,高焕文,陈君达,等. 固定道保护性耕作的试验研究[J]. 农业工程学报, 2000, 16(4): 73 ~ 77.
Li Hongwen, Gao Huanwen, Chen Junda, et al. Study on controlled traffic with conservation tillage[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2000, 16(4): 73 ~ 77. (in Chinese)
- 6 Chen Hao, Bai Yuhua, Wang Qingjie, et al. Traffic and tillage effects on wheat production on the Loess Plateau of China: 1. crop yield and SOM[J]. Australian Journal of Soil Research, 2008, 46(8): 645 ~ 651. (下转第98页)

- reflectance spectroscopy [J]. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 2006, 14(4): 261 ~ 268.
- 12 Jae J N, Sang H L. Non-destructive analysis of compost by near infrared spectroscopy [J]. *Journal of the Korean Chemical Society*, 2000, 44(5): 410 ~ 414.
- 13 Asai T, Shimizu S, Koga T. Quick determination of total nitrogen, total carbon, and crude ash in cattle manure using near infrared reflectance spectroscopy [J]. *Japanese Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 1993, 64(6): 669 ~ 675.
- 14 Nakatani M, Harada Y, Kaga K. Near infrared spectroscopy analysis of the changes in quality of cattle wastes during composting processes [J]. *Journal of Soil and Fertilizer Society*, 1996, 66(2): 159 ~ 161.
- 15 Malley D F, McClure C, Martin P D. Compositional analysis of cattle manure during composting using a field portable near infrared spectrometer [J]. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2005, 36(4): 455 ~ 476.
- 16 Thompson W H, Leege P B, Millner P D, et al. Test methods for the examination of composting and compost [M]. Bethesda, MD: The USDA and US composting Council, 2002.
- 17 闵顺耕, 李宁, 张明祥. 近红外光谱分析中异常值的判别与定量模型优化[J]. *光谱学与光谱分析*, 2004, 24(10): 1205 ~ 1209.
- Min Shungeng, Li Ning, Zhang Mingxiang. Outlier diagnosis and calibration model optimization for near infrared spectroscopy analysis [J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2004, 24(10): 1205 ~ 1209. (in Chinese)
- 18 Zhu D Z, Ji B P, Meng C Y, et al. The ν -support vector regression was used to construct the calibration model between soluble solids content of apples and acousto-optic tunable filter near-infrared spectra [J]. *Analytica Chimica Acta*, 2007, 598(2): 227 ~ 234.
- 19 袁石林, 马天云, 宋韬, 等. 土壤中总氮与总磷含量的近红外光谱实时检测方法[J]. *农业机械学报*, 2009, 40(增刊): 150 ~ 153.
- Yuan Shilin, Ma Tianyun, Song Tao, et al. Real-time analysis of soil total N and P with near infrared reflectance spectroscopy [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2009, 40(Sup.): 150 ~ 153. (in Chinese)

(上接第 57 页)

- 7 陈浩. 北京一年两熟区固定道保护性耕作技术和配套免耕播种机研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2008.
- Chen Hao. Study on controlled traffic conservation tillage and matched no-till planter in annual two crops region of Beijing [D]. Beijing: China Agricultural University, 2008. (in Chinese)
- 8 Tullberg J N. Controlled traffic in Australia [C] // Proceedings of National Controlled Traffic Conference. Gatton: Queensland University Gatton College, 1995: 7 ~ 11.
- 9 高焕文, 李洪文, 李问盈. 保护性耕作的发展[J]. *农业机械学报*, 2008, 39(9): 43 ~ 48.
- Gao Huanwen, Li Hongwen, Li Wenying. Development of conservation tillage [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2008, 39(9): 43 ~ 48. (in Chinese)
- 10 李汝莘, 史岩, 迟淑筠. 机器轮胎引起的土壤压实及其耕作能量消耗[J]. *农业机械学报*, 1999, 30(2): 12 ~ 16.
- Li Ruxin, Shi Yan, Chi Shujun. Soil compaction and tillage energy consumption caused by tires of agricultural machines [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 1999, 30(2): 12 ~ 16. (in Chinese)
- 11 陈浩, 黄虎, 杨亚莉, 等. 固定道对行小麦/玉米通用免耕播种机设计[J]. *农业机械学报*, 2009, 40(3): 72 ~ 76.
- Chen Hao, Huang Hu, Yang Yali, et al. Design of row-followed no-till wheat and maize planter under controlled traffic farming system [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2009, 40(3): 72 ~ 76. (in Chinese)
- 12 黄虎, 王晓燕, 李洪文, 等. 固定道保护性耕作节能效果试验研究[J]. *农业工程学报*, 2007, 23(12): 140 ~ 143.
- Huang Hu, Wang Xiaoyan, Li Hongwen, et al. Experimental investigation on energy saving of controlled traffic conservation tillage [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2007, 23(12): 140 ~ 143. (in Chinese)

轮胎压实对机具牵引阻力的影响

作者: [陈浩](#), [吴伟蔚](#), [刘新田](#), [李洪文](#), [Chen Hao](#), [Wu Weiwei](#), [Liu Xintian](#), [Li Hongwen](#)

作者单位: [陈浩, 吴伟蔚, 刘新田, Chen Hao, Wu Weiwei, Liu Xintian\(上海工程技术大学汽车工程学院, 上海, 201620\)](#), [李洪文, Li Hongwen\(中国农业大学工学院, 北京, 100083\)](#)

刊名: [农业机械学报](#) **ISTIC EI PKU**

英文刊名: [TRANSACTIONS OF THE CHINESE SOCIETY FOR AGRICULTURAL MACHINERY](#)

年, 卷(期): 2010, 41(2)

被引用次数: 3次

参考文献(12条)

1. [Chamen W C T](#) [New methodology for weed control and crop production:controlled traffic,precision guidance and direct seeding](#) 2000
2. [Hamza M A;Anderson W K](#) [Soil compaction in cropping systems:a review of the nature,causes and possible solutions](#) 2005(02)
3. [Tullberg J N](#) [Wheel traffic effects on tillage draught](#)[外文期刊] 2000(04)
4. [杜兵;周兴祥](#) [节约能耗的固定道耕作法](#)[期刊论文]-[中国农业大学学报](#) 1999(02)
5. [李洪文;高焕文;陈君达](#) [固定道保护性耕作的试验研究](#)[期刊论文]-[农业工程学报](#) 2000(04)
6. [Chen Hao;Bai Yuhua;Wang Qingjie](#) [Traffic and tillage effects on wheat production on the Loess Plateau of China:1.crop yield and SOM](#)[外文期刊] 2008(08)
7. [陈浩](#) [北京一年两熟区固定道保护性耕作技术和配套免耕播种机研究](#) 2008
8. [Tullberg J N](#) [Controlled traffic in Australia](#) 1995
9. [高焕文;李洪文;李问盈](#) [保护性耕作的发展](#)[期刊论文]-[农业机械学报](#) 2008(09)
10. [李汝萃;史岩;迟淑娟](#) [机器轮胎引起的土壤压实及其耕作能量消耗](#)[期刊论文]-[农业机械学报](#) 1999(02)
11. [陈浩;黄虎;杨亚莉](#) [固定道对行小麦/玉米通用免耕播种机设计](#)[期刊论文]-[农业机械学报](#) 2009(03)
12. [黄虎;王晓燕;李洪文](#) [固定道保护性耕作节能效果试验研究](#)[期刊论文]-[农业工程学报](#) 2007(12)

本文读者也读过(8条)

1. [陈浩](#), [李洪文](#), [高焕文](#), [王晓燕](#), [何进](#), [李问盈](#), [王庆杰](#), [Chen Hao](#), [Li Hongwen](#), [Gao Huanwen](#), [Wang Xiaoyan](#), [He Jin](#), [Li Wenyong](#), [Wang Qingjie](#) [多年固定道保护性耕作对土壤结构的影响](#)[期刊论文]-[农业工程学报](#)2008, 24(11)
2. [姚宗路](#), [高焕文](#), [李洪文](#), [王晓燕](#), [Yao Zonglu](#), [Gao Huanwen](#), [Li Hongwen](#), [Wang Xiaoyan](#) [不同结构免耕开沟器对土壤阻力的影响](#)[期刊论文]-[农机化研究](#)2009, 31(7)
3. [李智霖](#) [松嫩草地典型土壤的水分入渗性能研究](#)[学位论文]2010
4. [安娜](#) [南部非洲的保护性农业](#)[期刊论文]-[农机科技推广](#)2009(3)
5. [钱锦霞](#), [李芬](#), [赵桂香](#), [马雅丽](#), [杨拥军](#), [QIAN Jin-xia](#), [LI Fen](#), [ZHAO Gui-xiang](#), [MA Ya-li](#), [YANG Yong-jun](#) [2004年山西省玉米丰收的农业气象条件分析](#)[期刊论文]-[山西农业科学](#)2006, 34(2)
6. [古润生](#), [李问盈](#), [Gu Runsheng](#), [Li Wenyong](#) [固定道加宽轮距拖拉机的改装研制](#)[期刊论文]-[农机化研究](#) 2009, 31(7)
7. [田洪刚](#) [吴茱萸不同根茎粗分蘖繁殖研究](#)[期刊论文]-[农技服务](#)2010, 27(8)
8. [杨荣](#) [固定道耕作结合垄作沟灌对春小麦群体冠层结构和产量的影响研究](#)[学位论文]2006

引证文献(3条)

1. [刘平义](#), [高金成](#), [李海涛](#), [张绍英](#), [魏文军](#) [农用全地形仿形行走底盘地面力学特性](#)[期刊论文]-[农业机械学报](#)

2012(10)

2. [陈浩](#), [杨亚莉](#) [农业机械土壤压实影响因素分析](#)[期刊论文]-[农机化研究](#) 2011(6)

3. [杨有刚](#), [张宏](#), [冯涛](#), [林前国](#), [薛铭哲](#), [李峥](#), [贺卫](#), [米晓](#) [土壤浅深松联合松耕机设计和浅松土试验](#)[期刊论文]-[机械工程学报](#) 2012(19)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_nyjxxb201002011.aspx