

固定道保护性耕作的试验研究*

李洪文^① 高焕文 陈君达 李问盈

(中国农业大学)

李汝莘

(山东农业大学)

摘要: 通过压实试验,分析了无压实以及小型拖拉机、中型拖拉机和联合收获机压实等处理方式的土壤容重、入渗率和耕作阻力。在此基础上,进行了两年的固定道耕作试验,结果表明,机具随机进地行走会造成对土壤的严重压实,降低土壤水分入渗,增加作业能耗,而固定道能够改善土壤结构,提高土壤蓄水能力,减轻地表径流,提高土壤作业适时性和准确性,在目前固定道占地 20%的情况下,总产量没有减少。

关键词: 固定道; 保护性耕作; 压实; 降雨模拟

1 压实试验

为了研究机器压实对土壤结构和保蓄水能力的影响以及固定道耕作的必要性,在进行固定道保护性耕作试验前,先进行土壤压实试验,以研究不同压实情况对土壤结构的破坏程度以及对耕作阻力的影响。

试验地点在中国农业大学东校区试验农场。土壤质地为轻壤土。试验的作物区共设置 4 种处理:①无压实(固定道耕作);②播种前用泰山-150 小四轮拖拉机压地 1 遍;③播种前用铁牛-650 拖拉机压地 1 遍;④播种前用 JL-1065 联合收获机压地 1 遍。每种处理 4 次重复,共 16 个小区,小区面积为 4.5 m×10 m。试验随机排列^[1]。

3 种压实用机器的使用质量分别为 1 000 kg、4 000 kg 和 7 500 kg;轮胎规格分别为 7.5-16、16.9-34 和 18.4-30;驱动轮接地压力分别约为 79 kPa、83 kPa 和 85 kPa;行驶速度为 6~7 km/h。

1.1 压实对土壤容重的影响

压实试验时的土壤含水率为 21.3%。压实前后土壤容重变化见表 1。对于表层松软且含水率适中的土壤,不管机具大小,都会对土壤造成较大的压实。虽然小拖拉机重量仅为 TN-650 拖拉机 JL-1065 联合收获机的 24%和 13%,但表层土壤容重增加的幅度却分别是 TN-650 和 JL-1065 联合收获机的 80%和 78%。说明小拖拉机同样可以对土壤造成严重压实。

表 1 压实前后土壤物理性状变化

Tab. 1 Soil physical properties before and after compaction

深度 /cm	无压实			压 实								
	容重/ g·cm ⁻³	田间持 水率/%	大孔隙(毛 管孔隙)/%	容重/g·cm ⁻³			田间持水率/%			大孔隙度(毛管孔隙)/%		
				泰山-150	TN-650	JL-1065	泰山-150	TN-650	JL-1065	泰山-150	TN-650	JL-1065
0~10	1.28	21.98	23.56 (28.14)	1.56	1.63	1.64	21.31	18.44	17.59	23.56 (33.24)	8.43 (30.06)	9.27 (28.84)
10~20	1.48	20.59	13.68 (30.47)	1.51	1.64	1.65	18.57	17.53	16.64	13.68 (29.15)	9.36 (28.75)	10.28 (27.46)
20~30	1.50	19.83		1.50	1.61	1.61	17.74	16.76	15.30			
30~40		18.54					17.34	15.94	14.59			
40~50		17.83					17.28	15.30	14.33			

收稿日期:1999-12-06

* 中国—澳大利亚合作项目课题“旱地农业可持续机械化生产体系研究”

①李洪文,男,副教授,北京市海淀区清华东路 17 号 中国农业大学东校区 46 信箱,100083

1.2 压实对土壤入渗率和田间持水率的影响

土壤入渗率和田间持水率试验在小麦收获后进行,表层土壤含水率为 11.2%。结果表明(图 1),压实的土壤入渗率明显低于无压实,尤其在开始的 20

min 内,无压实的土壤入渗量分别是小型拖拉机、中型拖拉机和联合收获机压实的 1.71、2.52 和 2.37 倍。

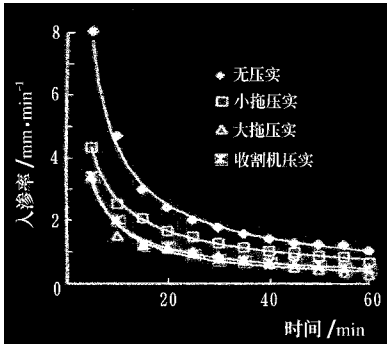


图 1 不同处理的土壤入渗率

Fig. 1 Penetration rate of different treatments

表 1 的田间持水率试验结果说明,随着压实程度的加重,其田间持水率依次降低,无压实的田间持水率最高,联合收获机压实的田间持水率最低,在各个层次上,两者都相差 24% 以上。

受压实影响的土壤孔隙度分布见表 1。试验表明,0~10 cm 的耕层内,无压实处理的总孔隙度为 51.70%,分别是 3 种压实处理的 1.26、1.34 和 1.36 倍;10~20 cm 的耕层内,土壤总孔隙度分别为 44.15%、40.75%、38.11% 和 37.74%。结果表明,在 0~10 cm 的耕层内,压实主要导致大孔隙度的减少,而在 10~20 cm 的耕层内,大孔隙度和毛管孔隙度均减少。

在 0~20 cm 的耕层内,4 种处理的毛管孔隙度平均分别为 29.30%、31.20%、29.41% 和 28.15%;4 种处理的大孔隙度平均分别为 18.62%、9.75%、8.90% 和 9.78%,其中只有无压实的大孔隙度超过了 10%。无压实的毛管孔隙度与大孔隙度之比为 1.57:1;其它 3 种处理的比值均接近 4:1,显然会影响耕层土壤的透气性。

1.3 压实对耕作阻力的影响

试验时的土壤含水率分别为 11%、15% 和 19%,利用自行研制的牵引力测试仪测定了土壤经过压实后的耕作阻力,见表 2。

表 2 说明,在土壤水分适宜的情况下,不论机器轻重,都能对土壤表层 0~10 cm 造成严重压实,使耕作阻力增加 1 倍以上,在水分较高时(19%),甚至使耕作阻力增加 2 倍以上。对于在我国占相当大数量的小型拖拉机,在试验的 3 种水分条件下,也使耕作阻力增加了 1 倍以上。

表 2 压实后 0~10 cm 土层的耕作阻力

Tab. 2 Tillage resistance of surface 0~10 cm soil

含水率 /%	耕作阻力			
	无压实	泰山-150 压实	TN-650 压实	JL-1065 压实
19	466.61	1092.60	1483.33	1559.08
15	437.28	916.30	1167.28	1212.36
11	479.02	1034.00	1338.48	1394.25

机器每次进地作业,轮迹约占作业面积的 20%~30%,由于小型拖拉机作业幅宽小,轮迹约占 30%~40%。对于传统耕作,每年机器进地次数为 5~8 次,轮胎累计压实面积将超过 100%,采用保护性耕作后,每年机器进地次数为 3~5 次,轮胎累计压地面积接近作物生长的全部面积的一半以上。

试验表明,压实将增加土壤容重,减少土壤孔隙度,降低水分入渗率,增加土壤耕作阻力,从而影响作物产量。解决土壤压实的途径,固定道是一种较好的解决办法。

2 固定道保护性耕作试验

固定道作业法要求拖拉机每次进地作业时,车轮都行驶在固定车道上,车道上不种植作物,车道之间不受压实,为作物种植带。这种作业法的优点是车轮行走位置固定,拖拉机只压实固定的车道,既可以增加拖拉机附着力,节省能量,又能改善作物生长带的土壤物理性状。但是,固定道作业法的一个缺点是,对于密植作物(比如小麦),固定道降低了土地有效种植面积,影响作物产量。此外,还应从技术和经济角度研究固定道作业机具的改装、固定道的建设与维护等问题。本文在建立标准的固定道试验区上,研究了固定道作业对土壤物理性状和作物产量的影响^[2]。

2.1 试验设计

玉米和小麦固定道作业试验区分别设在山西省寿阳县和临汾市。在试验区的周围设置了封闭围栏,以保证试验结果不受人为因素影响。

玉米种植行距 0.7 m,所用拖拉机为 TN-55 中型拖拉机,拖拉机轮距调整为 2 个行距宽 140 cm,每 2 条固定道之间种植 2 行玉米。小麦种植行距为 20 cm,所用拖拉机为轮距经过加宽的 15 马力拖拉机,加宽后的轮距为 150 cm,2 条固定道之间种植 6 行小麦,固定道宽 30 cm,占总面积的 20%,见图 2。共设计 4 种处理:免耕覆盖无压实,免耕覆盖压实,

浅松覆盖无压实,浅松无覆盖无压实。

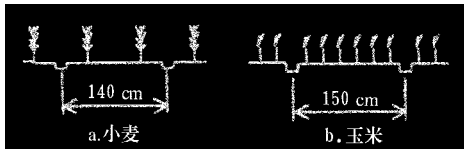


图 2 固定道示意图

Fig. 2 The sketch of controlled traffic

压实处理,是指在作物收获后,用拖拉机轮胎将地表全部压实一次,相当于全年拖拉机对土壤的压

实量。覆盖全部采用粉碎秸秆覆盖地表。利用自行研制的浅松机进行浅松作业,松土深度为 10 cm。

2.2 试验结果

2.2.1 水分和容重

土壤含水率表明,无论播种前是冬休闲还是夏休闲,秸秆覆盖都能提高土壤含水率,其中 1999 年浅松地,有覆盖的土壤含水率比无覆盖的平均高 1.54 个百分点(置信度 95%),见表 3。

表 3 播种前各种处理的土壤含水率和容重

Tab. 3 Soil moisture and bulk density of different tillage treatment before sowing

处理名称	深度/cm	含水率/%				容重/g·cm ⁻³			
		玉米		小麦		玉米		小麦	
		1998	1999	1998	1999	1998	1999	1998	1999
免耕秸秆覆盖压实	0~10	9.43	6.87	19.49	19.38	1.39	1.40	1.35	1.31
	10~20	10.23	7.58	19.90	18.93	1.32	1.35	1.43	1.46
	20~50	8.41	7.83	17.12	17.69	1.40	1.47	1.37	1.34
0~50 cm 平均		9.36	7.43	18.84	18.67	1.37	1.41	1.38	1.37
免耕秸秆覆盖无压实	0~10	9.75	7.59	19.31	18.00	1.39	1.39	1.19	1.20
	10~20	9.92	7.56	20.37	21.98	1.30	1.38	1.41	1.37
	20~50	8.54	7.77	18.16	18.92	1.34	1.41	1.37	1.37
0~50 cm 平均		9.40	7.64	19.28	19.63	1.34	1.39	1.32	1.31
浅松秸秆覆盖无压实	0~10	11.58	7.50	20.92	20.31	1.33	1.39	1.18	1.18
	10~20	11.36	7.37	21.00	20.63	1.35	1.38	1.35	1.33
	20~50	10.56	7.56	19.19	19.59	1.37	1.41	1.33	1.35
0~50 cm 平均		11.17	7.48	20.37	20.18	1.35	1.39	1.29	1.29
浅松无秸秆覆盖无压实	0~10	8.77	7.27	19.31	15.90	1.27	1.34	1.16	1.20
	10~20	9.55	7.06	20.22	18.81	1.36	1.39	1.33	1.23
	20~50	9.13	7.37	19.76	15.91	1.35	1.45	1.41	1.37
0~50 cm 平均		9.15	7.23	19.76	16.87	1.33	1.39	1.30	1.27

由于压实缩小了土壤毛细管,使得水分容易上升到地表,造成水分的散失,因此两种作物免耕覆盖压实地表层 10 cm 和 50 cm 土层内的平均土壤含水量均低于无压实地。

在收获后经过 1 次压实的免耕覆盖地,其表层 0~10 cm 的土壤容重均高于无压实区。对于玉米地,压实是在入冬之前进行,土壤干燥,缺少水分,压实效果差,而且冬季土壤冻融具有一定的疏松作用,因此,两年的播种前,表层土壤容重虽然高于无压实区,但是并不明显(置信度 95%)。对于小麦地,压实是在夏季作物收获后进行,土壤墒情好,压实程度高,经过 3 个月的休闲后,表层 10 cm 和 50 cm 的平均土壤容重明显高于无压实区(1998 年的置信度为 85%,1999 年的置信度为 95%)。

融作用更强,因此玉米地浅松无覆盖无压实的表层容重低于有覆盖地(1999 年的置信度为 85%)。

2.2.2 降雨模拟试验

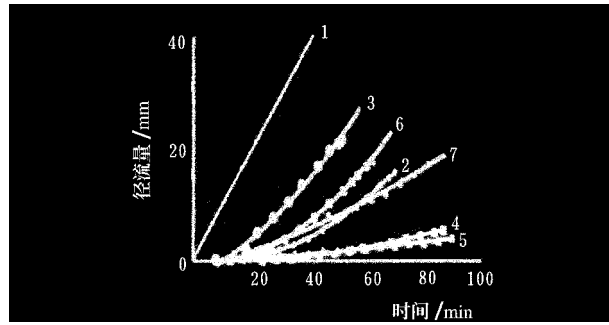
1998 年 10 月,玉米收获后,在固定道试验地和传统耕作地分别进行了降雨模拟试验,其中传统耕作 1 为播种前翻耕地,传统耕作 2 在降雨模拟试验前翻耕。降雨强度为 72 mm/h。试验结果见图 3。

1) 入渗率的对比

无压实的入渗率比有压实的高 91%;在无压实处理中,有覆盖的入渗率比无覆盖的高出近 100%;在传统耕作中,播种前翻耕的传统耕作 1 入渗率高于试验前翻耕的传统耕作 2,说明动土量越大,表层越疏松,越容易产生结壳,降低土壤入渗率,引起径流。

2) 径流量的对比

由于没有秸秆覆盖,土壤温度变化较大,冬季冻



1. 降雨量 2. 传统耕作 1 3. 传统耕作 2 4. 免耕覆盖不压实
5. 浅松覆盖不压实 6. 浅松不覆盖不压实 7. 免耕覆盖压实

图 3 不同耕作处理的累计径流量

Fig. 3 The runoff of field on different treatments of tillage

根据试验结果,以第 50 min 时的径流量进行对比(图 3)。

(1) 压实与无压实的对比

免耕覆盖不压实和免耕覆盖压实的对比表明,压实区的径流量为 10.11 mm,比无压实区的 1.84 mm 高 4.5 倍,而且产生径流(地表出现明显积水)的时间比无压实区早 7 min。

(2) 覆盖与不覆盖的对比

在浅松地,由于表土经过浅松后变得非常细碎疏松,在雨滴的冲击下,如果地表没有秸秆覆盖,容易形成结壳,降低水分入渗速率,产生径流。试验表明,不覆盖浅松地出现径流的时间比有覆盖地早 8 min,而且径流量比覆盖地高 5.5 倍。所以,地表秸秆覆盖对于减少径流非常重要。

(3) 播种前翻耕与试验前翻耕的对比

2 种传统耕作中,传统耕作 2 在试验前翻耕,表层非常疏松,容易产生结壳,入渗率较差,径流量大,而传统耕作 1 经历半年之后,土壤表层结构发生了变化,不再象传统耕作 2 那样容易产生结壳,因此径流较小。两者径流量相差 1.9 倍以上。

(4) 传统耕作与保护性耕作的对比

由于传统耕作动土量大,而且没有秸秆覆盖,因此比任一种保护性耕作都容易产生径流,其产生径流的时间比保护性耕作早 3~15 min,径流强度高 0.4~9 倍。

上述分析表明,要想减少径流,提高土壤保蓄水能力,不但要减少耕作,还要增加地表覆盖。除此之外,还应减少土壤压实,改善土壤结构,增加土壤渗水能力。在固定道的基础上采用保护性耕作能够发挥更大的保蓄水效益。

2.2.3 产量

产量见表 4,结果表明,经过两年的试验,免耕覆盖压实地地的产量与不压实地之间的差别并不明显。

表 4 玉米和小麦固定道作业的产量

Tab. 4 Yields of corn and wheat with tillage of controlled traffic $t \cdot \text{hm}^{-2}$

处理名称	产 量					
	玉 米			小 麦		
	1998	1999	平均	1998	1999	平均
免耕秸秆覆盖压实	4.24	3.47	3.86	2.91	4.65	3.78
免耕秸秆覆盖无压实	4.30	3.46	3.88	2.84	4.71	3.77
浅松秸秆覆盖无压实	4.42	3.47	3.95	3.12	4.97	4.05
浅松无秸秆覆盖无压实	4.17	3.42	3.80	3.02	4.63	3.82
平 均	4.28	3.46	3.87	2.97	4.74	3.86
非固定道保护性耕作				3.00	4.54	3.77

注:产量是指总土地面积上的产量。

经过浅松后,由于在土壤表层形成较好的种床,能够提高播种质量,从而导致作物产量有所提高。这种影响对小麦尤为明显,两年产量平均,浅松比免耕地的产量提高 7% 以上。

对于密植作物小麦,虽然固定道占用了 20% 的土地,但是固定道能够改善土壤结构,更集中的使用土壤中的水分、肥料,作物通风透气性更好,因此,并没有造成小麦减产。另外,对于大部分地区,一般小麦地都留有田埂,约占土地总面积的 5% 左右。因此,固定道实际上只比非固定道作业多占用 15% 的土地。

3 其它效益

试验表明,拖拉机每次进地作业,行驶在固定道上,不论是播种还是喷药或者其它田间作业,都不会发生重漏现象,有利于接行,而且操作方便,无需任何划印或指印部件,行距准确,播种深度一致性好,在一定程度上可以实现精细作业。

固定道能够提高机组下地概率,即使在雨后,也能及时作业,从而提高机组作业适时性。

4 结 论

经过土壤压实和固定道保护性耕作试验,可以得出以下的初步结论:

1) 在水分合适情况下,各种类型的作业机械都可以对土壤造成严重的压实;

2) 压实能够破坏土壤结构,降低土壤水分入渗

能力,增加土壤耕作阻力和作业能耗;

3) 固定道作业能够减轻作业机械对土壤的压实程度和范围,保持良好的土壤结构,减轻土壤径流强度和减少径流量;

4) 虽然固定道占用了20%的土地,但是并未影响作物总产量;

5) 固定道可以在一定程度上做到精细作业,提高作业质量和机组作业效率。

以上结论来自两年的试验,对于固定道作业的

效应还有待于进一步研究。

[参 考 文 献]

- [1] 李汝莘,高焕文,苏元升.小四轮拖拉机播前压地对土壤物理特性及作物生长的影响.中国农业大学学报,1998(2):65~68
- [2] 高焕文,李洪文,陈君达.可持续机械化旱作农业研究.干旱地区农业研究,1999(1):57~62

Study on Controlled Traffic With Conservative Tillage

Li Hongwen Gao Huanwen Chen Junda Li Wenying

Li Ruxin

(China Agricultural University, Beijing 100083)

(Shandong Agricultural University)

Abstract: Soil bulk density, infiltration rate and tillage resistance were analyzed through compaction experiments with different treatments of non-compaction, compaction with small tractor, compaction with middle tractor and compaction with combine. Results of two years controlled traffic experiments showed that, random traffic can bring severe compaction to soil, reduce infiltration, increase energy consumption, but controlled traffic can improve soil structure, increase soil moisture, reduce runoff and make field operation more timely and precise. Controlled traffic may occupy 20% land, but the yields can be kept at the same level.

Key words: 土方数据 controlled traffic; conservative tillage; compaction; rainfall simulation

作者: [李洪文](#), [高焕文](#), [陈君达](#), [李问盈](#), [李汝莘](#), [Li Hongwen](#), [Gao Huanwen](#), [Chen Junda](#), [Li Wenying](#), [Li Ruxin](#)

作者单位: [李洪文,高焕文,陈君达,李问盈, Li Hongwen, Gao Huanwen, Chen Junda, Li Wenying \(中国农业大学\)](#), [李汝莘, Li Ruxin \(山东农业大学\)](#)

刊名: [农业工程学报](#)   

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

年, 卷(期): 2000, 16(4)

被引用次数: 18次

参考文献(2条)

1. [李汝莘](#); [高焕文](#); [苏元升](#) [小四轮拖拉机播前压地对土壤物理特性及作物生长的影响](#) 1998(02)
2. [高焕文](#); [李洪文](#); [陈君达](#) [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)

本文读者也读过(10条)

1. [王世学](#). [高焕文](#). [李洪文](#) [冷寒风沙区保护性耕作种植试验](#)[期刊论文]-[农业工程学报](#)2003, 19(3)
2. [古润生](#). [李问盈](#). [Gu Runsheng](#). [Li Wenying](#) [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)
3. [赵良贵](#) [固定道保护性耕作技术及配套机具](#)[期刊论文]-[农机科技推广](#)2007(11)
4. [杜兵](#). [周兴祥](#). [Du Bing](#). [Zhou Xingxiang](#) [节约能耗的固定道耕作法](#)[期刊论文]-[中国农业大学学报](#)1999(2)
5. [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
6. [何进](#) [北方灌溉区固定垄保护性耕作技术研究](#)[学位论文]2007
7. [黄高宝](#). [郭清毅](#). [张仁陟](#). [逢蕾](#). [Guangdi LI](#). [Kwong Yin CHAN](#). [于爱忠](#). [HUANG Gao-Bao](#). [GUO Qing-Yi](#). [ZHANG Ren-Zhi](#). [PANG Lei](#). [Guangdi LI](#). [Kwong Yin CHAN](#). [YU Ai-Zhong](#) [保护性耕作条件下旱地农田麦-豆双序列轮作体系的水分动态及产量效应](#)[期刊论文]-[生态学报](#)2006, 26(4)
8. [邓忠](#). [黄高宝](#). [仵峰](#). [DENG Zhong](#). [HUANG Gao-bao](#). [WU Feng](#) [固定道耕作条件下秸秆覆盖对土壤水分变化和春小麦产量的影响](#)[期刊论文]-[灌溉排水学报](#)2006, 25(5)
9. [周静](#). [崔健](#). [胡锋](#). [王国强](#). [马友华](#). [Zhou Jing](#). [Cui Jian](#). [Hu Feng](#). [Wang Guoqiang](#). [Ma Youhua](#) [马唐牧草红壤氮肥的氨挥发、径流和淋溶损失](#)[期刊论文]-[土壤学报](#)2007, 44(6)
10. [罗红旗](#). [高焕文](#). [姚宗路](#). [邸英良](#). [Luo Hongqi](#). [Gao Huanwen](#). [Yao Zonglu](#). [Di Yingliang](#) [固定道垄作小麦玉米两用免耕播种机的研制](#)[期刊论文]-[中国农业大学学报](#)2006, 11(3)

引证文献(19条)

1. [郭秀明](#). [赵春江](#). [杨信廷](#). [李明](#). [孙传恒](#). [屈利华](#). [王衍安](#) [苹果园中2.4GHz无线信道在不同高度的传播特性](#)[期刊论文]-[农业工程学报](#) 2012(12)
2. [罗红旗](#). [高焕文](#). [姚宗路](#). [邸英良](#) [固定道垄作小麦玉米两用免耕播种机的研制](#)[期刊论文]-[中国农业大学学报](#) 2006(3)
3. [古润生](#). [李问盈](#) [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(7)
4. [罗红旗](#). [高焕文](#) [免耕播种机组合镇压器设计研究](#)[期刊论文]-[北京工商大学学报\(自然科学版\)](#) 2008(3)
5. [黄虎](#). [王晓燕](#). [李洪文](#). [陈浩](#). [张学敏](#) [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)
6. [何菊](#). [吴建民](#). [孙伟](#) [畦作沟灌的小麦起垄播种机的研制](#)[期刊论文]-[甘肃农业大学学报](#) 2007(5)
7. [杨荣](#). [黄高宝](#) [固定道压实对农田土壤物理性状的影响](#)[期刊论文]-[生态学杂志](#) 2009(8)
8. [李太伟](#). [李洪文](#). [何进](#) [2BMF-5固定垄小麦免耕播种机的设计](#)[期刊论文]-[农机化研究](#) 2008(10)

9. [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)
10. [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)
11. [陈浩](#), [杨亚莉](#), [李洪文](#) [固定道保护性耕作对拖拉机田间尾气排放的影响](#)[期刊论文]-[农机化研究](#) 2009(12)
12. [陈浩](#), [李洪文](#), [高焕文](#), [王晓燕](#), [何进](#), [李问盈](#), [王庆杰](#) [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(11)
13. [邓忠](#), [黄高宝](#), [仵峰](#) [固定道耕作条件下秸秆覆盖对土壤水分变化和春小麦产量的影响](#)[期刊论文]-[灌溉排水学报](#) 2006(5)
14. [邓忠](#), [黄高宝](#), [赵财](#), [辛平](#) [固定道耕作灌溉对覆膜春小麦土壤水分和产量的效应研究](#)[期刊论文]-[甘肃农业大学学报](#) 2005(3)
15. [姚宗路](#) [小麦对行免耕播种机的改进研究](#)[学位论文]硕士 2005
16. [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)
17. [王金峰](#), [王金武](#), [孔彦军](#), [张成亮](#), [赵佳乐](#) [悬挂式水田筑埂机及其关键部件研制与试验](#)[期刊论文]-[农业工程学报](#) 2013(6)
18. [潘艳花](#), [马忠明](#), [吕晓东](#), [张立勤](#), [王智琦](#) [河西绿洲灌区不同耕作方式对春小麦土壤水分和产量的影响](#)[期刊论文]-[西北农业学报](#) 2012(11)
19. [吕钊钦](#) [冬小麦断根机械化关键技术研究](#)[学位论文]博士 2005

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_nygcxb200004019.aspx