

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.02.007

联合整地机平整部件参数优化*

王金武¹ 张成亮¹ 许春林² 王金峰¹ 孔彦军¹ 赵佳乐¹

(1. 东北农业大学工程学院, 哈尔滨 150030; 2. 哈尔滨市农业科学院, 哈尔滨 150070)

摘要: 为了确定联合整地机平整部件的关键参数, 对其进行田间试验, 以作业速度、合墒盘直径和合墒盘偏角为影响因素, 地表 10 cm 内碎土率为响应指标, 采用 3 因素 3 水平的响应曲面分析试验, 并通过 Design-Expert 软件建立指标与因素之间的回归方程, 进行参数优化, 得出最优参数组合为: 作业速度 10.63 km/h、合墒盘直径 450 mm、合墒盘偏角 17.71°, 此时碎土率为 91.92%, 符合农艺要求。

关键词: 联合整地机 平整部件 优化

中图分类号: S222.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2013)02-0034-04

Parameters Optimization on Flattening Component of Combined Cultivating Implement

Wang Jinwu¹ Zhang Chengliang¹ Xu Chunlin² Wang Jinfeng¹ Kong Yanjun¹ Zhao Jiale¹

(1. College of Engineering, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China

2. Harbin Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150070, China)

Abstract: In order to determine the key parameters of the flattening component on combined cultivating implement, the field experiment was conducted by using the flattening device. The three factors and three levels orthogonal regressive tests were designed in the experiment with working velocity, diameter of the field-ditch filling disc, angle of the field-ditch filling disc as influence factors and the soil-breaking rate as response index. The regression mathematics models between response index and influence factors were established and the parameters were optimized through Design-Expert. The optimal combination was that working velocity of 10.63 km/h, diameter of the field-ditch filling disc of 450 mm, angle of the field-ditch filling disc of 17.71°. At that time the soil-breaking rate was 91.92%, which could meet the needs of agricultural demands.

Key words: Combined cultivating implement Flattening component Optimization

引言

在农业生产过程中, 整地作业可以为农作物生长提供良好的土壤环境, 是必不可少的作业环节之一^[1]。联合整地机是耕整机械技术发展的新方向, 越来越受到世界各国的重视。在作业面积不变的情况下, 联合作业使农作物增产幅度较大, 且作业成本降低 1/4 ~ 1/3, 还可净化环境, 减少污染^[1~4]。目前, 我国联合整地机平整和镇压作业大部分是通过

旋耕来实现的。这种作业方式虽然碎土率高, 但土壤却达不到上层细碎紧实、中层全面松动、下层虚实相间的耕层结构, 而且表层土壤过于松碎, 易引起风蚀、水蚀, 造成水土流失, 违背保护性耕作要求^[5~11]。而平整和镇压部件的联合作业既能形成合理的耕层结构, 又符合可持续农业发展的要求。但目前国内的联合整地机具应用平整和镇压部件联合作业的还比较少。

本文利用对称式球面圆盘合墒装置和改进的栅

收稿日期: 2012-02-27 修回日期: 2012-03-28

* “十一五”国家科技支撑计划资助项目(2009BADB5B04-3)

作者简介: 王金武, 教授, 博士, 主要从事田间机械和机械可靠性研究, E-mail: jinwu@163.com

条式碎土装置联合作业,并进行田间试验,获得联合作业时最佳性能结构参数,达到碎土、平整、合墒和疏松土壤的作用。

1 试验装置与工作原理

联合整地机平整和镇压部件主要由牵引架、合墒装置、碎土镇压装置和行走轮等组成,如图1所示。工作时,拖拉机牵引力通过牵引架传递给机具,带动合墒盘滚动前进,在重力和土壤阻力的作用下合墒盘切入土壤,并通过液压缸的调节,达到一定的作业深度,从而起到平整墒沟、破碎和疏松土壤的作用。碎土镇压装置对土块再次进行疏碎并压实,被扬起的小土块和细土粒落在地表,以隔断地下水蒸发,形成上虚下实的理想种床,达到待播状态。

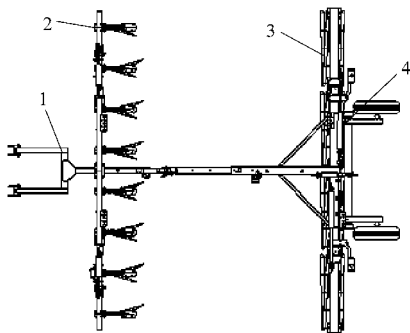


图1 平整和镇压部件结构简图

Fig. 1 Structure diagram of flattening and compacting component

1. 牵引架 2. 合墒装置 3. 碎土镇压装置 4. 行走轮

2 平整部件设计

2.1 合墒盘直径

根据球面合墒盘入土深度、土壤扰动量及根茬处理技术要求等,合墒盘直径为

$$D = Ka \quad (1)$$

式中 K ——径深比系数

a ——合墒深度, mm

为了保证碎土效果的同时减少机具动土量,设计了3种球面合墒盘,并通过田间试验以分析其对碎土效果的影响。3种球面合墒盘的径深比 K 均取5,根据农艺要求合墒深度 a 在90~130 mm时较为适宜。设计的球面合墒盘直径 D 分别为450、550和650 mm。

合墒盘曲率愈大,平整碎土作用愈强。为了排除球面合墒盘曲率半径 ρ 对平整效果的影响,从而减小试验误差,将3种球面合墒盘的曲率半径 ρ 均取为850 mm。此时曲率半径 ρ 与合墒盘直径 D 的比值在1.3~1.9之间,是最佳的圆盘形状^[12]。

2.2 合墒盘工作偏角

合墒盘工作偏角 β 的变化会影响合墒盘与土壤的接触面积。这对机具的动力学性能、受力平衡和作业质量等有显著的影响。而合墒盘临界偏角 θ 的改变将直接影响接触面积的大小。

合墒盘临界偏角 θ 为合墒盘和地面交线前缘处的刃口切线平行于机组前进方向时,合墒盘与前进方向之间的夹角为

$$\theta = \arccos \sqrt{\frac{\rho^2 - \left(\frac{D}{2}\right)^2}{\rho^2 - \left(\frac{D}{2} - a\right)^2}} \quad (2)$$

由式(2)计算得出,合墒盘临界偏角 θ 随 ρ/D 比值的增大而减小,随合墒深度 a 的增大而增大。当合墒盘工作偏角增大到临界偏角 θ 时,合墒盘刃口与沟底间属于线接触,是合墒盘入土最理想的工作偏角。在合墒盘刃角 i 的影响下,合墒盘工作隙角 $\varepsilon_\beta = \beta - (\theta + i)$ 始终为负值,且随着 θ 增大,负值越大^[13]。此时合墒盘凸面承受土壤压力,可部分抵消合墒盘在作业过程中受到的侧向力,有利于机具侧向力的平衡。

3 试验条件与方法

3.1 试验条件与仪器设备

试验地点为东北农业大学试验基地。试验区的土壤类型为黏质黑土,土壤容积密度为 1.3 g/cm^3 ,试验前对试验田进行灭茬、深松处理,使试验区地表平整,无浮茬。试验区内土壤平均含水率为20.7%,土壤平均坚实度为25.7 kPa。

主要仪器设备为:SNH 904型拖拉机、土壤水分测定仪、土壤坚实度仪、耕层断面测绘仪、电子天平、卷尺、耕深尺和无线动态遥测仪。

3.2 试验方法

试验考虑3个影响因素:作业速度 v 、合墒盘直径 D 、合墒盘偏角 β (合墒盘刃口平面与前进方向的夹角)。在前期单因素试验的基础上,根据 Box-Behnken 中心组合设计的原理,以碎土率为响应指标,利用 Design-Expert 软件设计了3因素3水平的响应曲面分析试验,共进行15组试验,其中12组为析因点,3组为零点以估计误差。因素水平编码如表1所示。

3.3 试验指标的测试方法

根据 JB/T 10295—2001 的相关规定,本试验以碎土率作为响应指标。

碎土率:每一行程测定一点,沿耕作方向取样。在 $0.5 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}$ 面积内,测定地表以下10 cm内土

块最长边小于4 cm的土块质量及土块总质量,地表10 cm内耕层的碎土率为

$$C_{10} = \frac{G_{s10}}{G_{10}} \times 100\% \quad (3)$$

式中 C_{10} ——地表10 cm内耕层碎土率, %

G_{s10} ——地表10 cm内耕层小于4 cm土块总质量, kg

G_{10} ——地表10 cm内耕层土块总质量, kg

表1 因素水平编码

Tab.1 Coding list of factors and levels

水平	因素		
	作业速度	合墒盘直径	合墒盘偏角
	$x_1/\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$	x_2/mm	$x_3/(\text{°})$
-1	6	450	16
0	9	550	17
1	12	650	18

4 结果与分析

4.1 试验结果

以各影响因素水平编码值为自变量,以碎土率为响应指标的试验结果,如表2所示。

表2 响应曲面试验设计与结果

Tab.2 Experiment design and result of response surface analysis

试验序号	X_1	X_2	X_3	碎土率 $Y/\%$
1	-1	-1	0	87.14
2	1	-1	0	90.18
3	-1	1	0	80.66
4	1	1	0	84.54
5	-1	0	-1	82.46
6	1	0	-1	87.23
7	-1	0	1	84.21
8	1	0	1	89.13
9	0	-1	-1	90.62
10	0	1	-1	83.67
11	0	-1	1	91.78
12	0	1	1	85.37
13	0	0	0	87.82
14	0	0	0	87.47
15	0	0	0	87.53

4.2 试验结果分析

经 Design-Expert 软件处理后,得出碎土率的方差分析结果如表3所示。对表2的数据进行二次多元回归拟合,得到碎土率对编码自变量的二次多元回归方程为

$$Y = 87.75 + 2.08X_1 - 3.19X_2 + 0.81X_3 - 2.06X_1^2 \quad (4)$$

回归诊断显示:决定系数 R^2 为 0.990 6,信噪比为 27.785,这表明方程的拟合度和可信度均很高,

可用于预测碎土率。 Y 变异系数为 0.59%,表示试验的可靠性高。由表3方差分析结果可知,因素 X_1 和 X_2 对碎土率的影响极显著,因素 X_3 和 X_1^2 在置信水平 $\alpha=0.05$ 时显著,其他因素不显著。各因素对碎土率显著性的影响顺序依次为:合墒盘直径、作业速度和合墒盘偏角。

表3 各因素对碎土率影响的方差分析

Tab.3 Variance analysis of each factor influence to soil-breaking rate

方差来源	平方和	自由度	均方和	F	P
模型	137.14	9	15.24	58.64	0.000 2
X_1	34.49	1	34.49	132.70	< 0.000 1
X_2	81.15	1	81.15	312.28	< 0.000 1
X_3	5.30	1	5.30	20.38	0.006 3
X_1^2	15.36	1	15.36	59.10	0.000 6
X_2^2	0.015	1	0.015	0.056	0.821 9
X_3^2	0.13	1	0.13	0.52	0.505 0
X_1X_2	0.18	1	0.18	0.68	0.447 5
X_1X_3	5.625×10^{-3}	1	5.625×10^{-3}	0.022	0.888 8
X_2X_3	0.073	1	0.073	0.28	0.619 0
纯误差	0.070	2	0.035		
失拟项	1.23	3	0.41	11.70	0.079 8
总和	138.44	14			

4.3 碎土率响应曲面分析

应用响应曲面法分析各影响因素对碎土率的影响,固定3因素中的1个因素为零水平,考察其他2个因素对碎土率的影响。

(1) 作业速度和合墒盘直径对碎土率的影响

固定合墒盘偏角为 17° 时得到作业速度和合墒盘直径与碎土率的关系为

$$Y = 87.75 + 2.08X_1 - 3.19X_2 - 2.06X_1^2 \quad (5)$$

由图2可知,碎土率的最小值为 80.25%,在该试验水平下合墒盘直径对碎土的影响比作业速度显著。

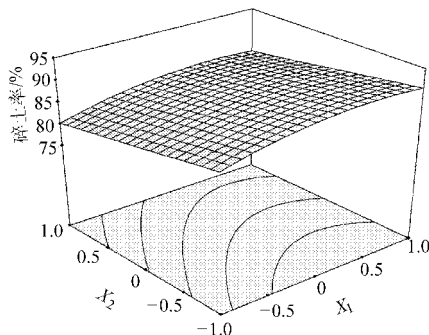


图2 作业速度与合墒盘直径对碎土率影响的响应曲面

Fig.2 Response surface map of working speed and moisture combined plate diameter to soil-breaking rate

(2) 作业速度和合墒盘偏角对碎土率的影响

固定合墒盘直径为 550 mm 时得到作业速度和

合墒盘偏角与碎土率的关系为

$$Y = 87.75 + 2.08X_1 + 0.81X_3 - 2.06X_1^2 \quad (6)$$

由图3可知,碎土率的最小值为84.50%,在该试验水平下作业速度对碎土的影响比合墒盘偏角显著。

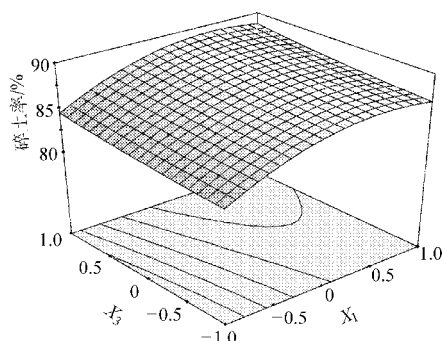


图3 作业速度与合墒盘偏角对碎土率影响的响应曲面

Fig.3 Response surface map of working speed and moisture combined plate angle to soil-breaking rate

(3)合墒盘直径和合墒盘偏角对碎土率的影响固定作业速度为9 km/h时得到合墒盘直径和合墒盘偏角与碎土率的关系为

$$Y = 87.75 - 3.19X_2 + 0.81X_3 \quad (7)$$

由图4可知,碎土率的最小值为82.78%,在该试验水平下合墒盘直径对碎土的影响比合墒盘偏角显著。

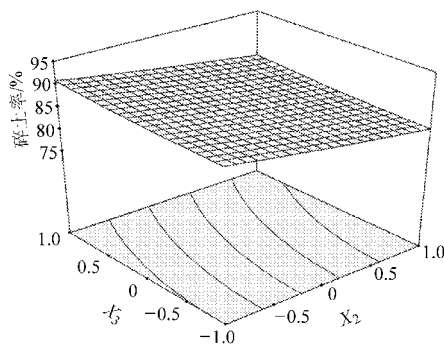


图4 合墒盘直径与合墒盘偏角对碎土率影响的响应曲面

Fig.4 Response surface map of combined plate diameter and moisture combined plate angle to soil-breaking rate

4.4 试验方案优化

在试验结果分析和模型拟合的基础上,利用 Design-Expert 软件对试验参数进一步进行优化,在保证获得最佳碎土效果的情况下,各参数取值的最优方案如表4所示。

表4 最佳参数组合方案

Tab.4 Best parameters combination scheme

序号	作业速度 /km·h ⁻¹	合墒盘 直径/mm	合墒盘 偏角/(°)	碎土 率/%	期望度
1	10.62	450	16.12	90.63	0.957
2	10.63	450	16.52	90.95	0.957
3	10.63	450	16.01	90.54	0.957
4	10.63	450	17.24	91.54	0.957
5	10.63	450	16.66	91.07	0.957
6	10.63	450	17.71	91.92	0.957
7	10.62	450	16.43	90.88	0.957
8	10.63	450	16.54	90.97	0.957
9	10.62	450	17.08	91.41	0.957
10	11.71	450	18.00	91.76	0.943

从表4中可看出,第6号方案组合为最优组合,即作业速度为10.63 km/h、合墒盘直径为450 mm和合墒盘偏角为17.71°。

4.5 验证试验

根据确定的最优方案参数组合,选取同一地块不同测区,进行验证性试验。验证结果表明:采取最优组合方案,碎土率的平均值为91.68%,与软件优化结果基本一致。

5 结论

(1)采用3因素3水平的响应曲面试验,建立相应的数学模型,运用 Design-Expert 软件的 Box-Behnken 分析了作业速度、合墒盘直径和合墒盘偏角对碎土率的影响。

(2)各因素对碎土率显著性影响的顺序依次为:合墒盘直径、作业速度和合墒盘偏角。

(3)分析得到最优参数组合为:作业速度10.63 km/h、合墒盘直径450 mm和合墒盘偏角17.71°,此时碎土率为91.92%,并通过田间试验验证。

参考文献

- 1 中国农业机械化科学研究院. 农业机械设计手册:上册 [M]. 北京:机械工业出版社,2007:261~293.
- 2 赵伟,张文春,周志立,等. 深松旋耕组合作业机的研制与试验研究[J]. 农业工程学报,2007,23(1):125~128.
Zhao Wei, Zhang Wenchun, Zhou Zhili, et al. Development and experimental research of combined subsoiling and rotary tilling set [J]. Transactions of the CSAE,2007,23(1):125~128. (in Chinese)
- 3 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.
Gao Huanwen, Li Wenying, Li Hongwen. Conservation tillage technology with Chinese characteristics [J]. Transactions of the CSAE,2003,19(3):1~4. (in Chinese)

参 考 文 献

- 1 Gregory D, Michael J. Computational principles of mobile robotics[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.
- 2 Lambrecht B G A, Horchler A D, Quinn R D. A Small insect inspired robot that runs and jumps[C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, Barcelona, 2005: 1 240 ~ 1 245.
- 3 Allen T J, Quinn R D, Bachmann R J, et al. Abstracted biological principles applied with reduced actuation improve mobility of legged vehicles[C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems, LasVegas, 2003: 1 370 ~ 1 375.
- 4 陈殿生,黄宇,王田苗. 轮式腿型机器人的越障分析与仿真[J]. 北京航空航天大学学报,2009,35(3): 371 ~ 375.
Chen Diansheng, Huang Yu, Wang Tianmiao. Obstacle climbing analysis and simulation of wheel-legged robot[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2009, 35(3): 371 ~ 375. (in Chinese)
- 5 魏道高,王霄锋,金达锋. 四桥独立悬架车辆越障性能计算研究[J]. 汽车工程,2007,39(6): 816 ~ 819.
Wei Daogao, Wang Xiaofeng, Jin Dafeng. A study on the calculation of the obstacle performance of 4-axle independent suspension vehicles[J]. Automotive Engineering, 2007, 39(6): 816 ~ 819. (in Chinese)
- 6 白琨. 履带式移动机器人越障能力的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古工业大学,2007.
Bai Kun. Research on obstacle performance for track mobile robot[D]. Hohhot: Inner Mongolia University of Technology, 2007. (in Chinese)
- 7 邓宗全,高海波,王少纯,等. 行星轮式月球车的越障能力分析[J]. 北京航空航天大学学报,2004,30(3): 197 ~ 201.
Deng Zongquan, Gao Haibo, Wang Shaochun, et al. Analysis of climbing obstacle capability of lunar rover with planetary wheel [J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2004, 30(3): 197 ~ 201. (in Chinese)
- 8 于涌川,原魁,邹伟. 全驱动轮式机器人越障过程模型及影响因素分析[J]. 机器人,2008,30(1): 1 ~ 6.
Yu Yongchuan, Yuan Kui, Zou Wei. Dynamic model of all-wheel-drive mobile robot climbing over obstacles and analysis on its influential factors[J]. Robot, 2008, 30(1): 1 ~ 6. (in Chinese)
- 9 魏道高,区颖刚,杨丹彤,等. 多桥驱动车辆越障时轴荷动态分配研究[J]. 农业机械学报,2011, 42(2): 39 ~ 42.
Wei Daogao, Ou Yinggang, Yang Dantong, et al. Calculation of dynamic axle-load of 4-axle driven vehicle crossing obstacle[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(2): 39 ~ 42. (in Chinese)
- 10 崔莹,高峰. 可变直径轮月球探测车运动学建模与分析[J]. 北京航空航天大学学报,2008,34(3): 348 ~ 352.
Cui Ying, Gao Feng. Kinematic modeling and analysis of variable diameter wheeled lunar rover[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2008, 34(3): 348 ~ 352. (in Chinese)
- 11 孙刚,高峰,孙鹏. 可变直径轮月球探测车及其越障能力分析[J]. 机械设计,2008,25(5): 21 ~ 23.
Sun Gang, Gao Feng, Sun Peng. Moon detection vehicle with diameter-variable wheels and its obstacle surmounting capability analysis[J]. Journal of Machine Design, 2008, 25(5): 21 ~ 23. (in Chinese)

(上接第 37 页)

- 4 贾洪雷,陈忠亮,刘昭辰,等. 耕整联合作业工艺及配套机具的研究[J]. 农业机械学报,2001,32(5): 40 ~ 43.
Jia Honglei, Chen Zhongliang, Liu Zhaochen, et al. Study on technology and matching machine for rototilling-tillage combined operation [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2001, 32(5): 40 ~ 43. (in Chinese)
- 5 许剑平,徐涛,毛俐. 1DF-7760 型复式少耕整地机的设计[J]. 农机化研究,2011,33(4): 93 ~ 95,99.
Xu Jianping, Xu Tao, Mao Li. The design of 1DF-7760 multiple-small-tillage equipment[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2011, 33(4): 93 ~ 95,99. (in Chinese)
- 6 李宝筏. 农业机械学[M]. 北京: 中国农业出版社,2003: 9 ~ 10, 37.
- 7 孙彦君,司振江,周宙,等. 新型保护性耕作蓄水保墒联合耕整地机械的研发[J]. 水利水电技术,2006, 37(12): 43 ~ 46.
Sun Yanjun, Si Zhenjiang, Zhou Zhou, et al. Development of new type conservative combined rototilling tillage machine for storage and preservation of soil moisture [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2006, 37(12): 43 ~ 46. (in Chinese)
- 8 Li Y X, Tullberg J N, Freehaim D M. Wheel traffic and tillage effects on soil physical properties[J]. Soil and Tillage Research, 2007, 97(2): 282 ~ 292.
- 9 Temesgen M, Hoogmoed W, Rockstrom J, et al. Conservation tillage implements for small holder farmers in semi-arid ethiopia [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2004: 210 ~ 217.
- 10 Manian R. Development and evaluation of an active-passive tillage machine [J]. AMA, 2001, 33(1): 16 ~ 22.
- 11 陈智,麻硕士,赵永来,等. 保护性耕作农田地表风沙流特性[J]. 农业工程学报,2010, 26(1): 118 ~ 122.
Chen Zhi, Ma Shuoshi, Zhao Yonglai, et al. Characteristics of drifting sand flux over conservation tillage field[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(1): 118 ~ 122. (in Chinese)
- 12 William R G, Alvin C B, 杜森,等. 耙片曲率对入土性能的影响[J]. 粮油加工与食品机械, 1983(8): 12.
- 13 张才权. 水田耙星形耙片几何参数的研究[J]. 农业机械学报, 1979, 10(2): 86 ~ 95.
Zhang Caiquan. Research of geometric parameters of star-shape disc for paddy field harrow[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1979, 10(2): 86 ~ 95. (in Chinese)