

# 高留茬水田打浆整地机性能试验及分析

李会荣<sup>1</sup>,孙振雨<sup>1</sup>,李 宁<sup>1</sup>,张 迪<sup>1</sup>,董可宏<sup>1</sup>,王盛春<sup>1</sup>,黄振德<sup>1</sup>,李正仁<sup>1</sup>,王馨竟<sup>1</sup>,吴忠民<sup>2</sup>

(1. 黑龙江省农业机械工程科学研究院牡丹江分院,黑龙江 牡丹江 157011;2. 牡丹江市农业机械化技术推广站,黑龙江 牡丹江 157011)

**摘要:**针对高留茬水稻地块整地难问题,设计制造了一款高留茬水田打浆整地机,介绍其工作原理及基本参数。对机具进行田间作业检验其综合性能,通过试验检测出该机具打浆深度13.8 cm、稳定性系数91.1%,植被覆盖率85.1%,平整度1.24 cm,埋茬深度8.0 cm,碎土率91.7%。机具性能参数在设计范围内,可满足水稻插秧作业农艺需求。

**关键词:**高留茬;水田;打浆整地机;性能试验

中图分类号:S222.5

文献标识码:A

doi:10.14031/j.cnki.njwx.2024.07.003

## Performance Test and Analysis of High Stubble Paddy Field Pulping and Leveling Machine

LI Huirong<sup>1</sup>, SUN Zhenyu<sup>1</sup>, LI Ning<sup>1</sup>, ZHANG Di<sup>1</sup>, DONG Kehong<sup>1</sup>, WANG Shengchun<sup>1</sup>, HUANG Zhende<sup>1</sup>,  
LI Zhengren<sup>1</sup>, WANG Xinjing<sup>1</sup>, WU Zhongmin<sup>2</sup>

(1. Mudanjiang Branch of Heilongjiang Agricultural Machinery Sciences, Mudanjiang 157011, China; 2. Mudanjiang Agricultural Mechanization Technology Promotion Station, Mudanjiang 157011, China)

**Abstract:** In response to the problem of difficult land preparation for high stubble rice plots, a high stubble paddy field pulping and land preparation machine was designed and manufactured, and its working principle and basic parameters were introduced. The comprehensive performance of the machine was tested through field operations. The test results showed that the machine had the following performance: a depth of 13.8 cm, a stability coefficient of 91.1%, a vegetation coverage rate of 85.1%, a flatness of 1.24 cm, a stubble depth of 8.0 cm, and a soil fragmentation rate of 91.7%. The performance parameters of the equipment are within the design range and can meet the agronomic requirements of rice transplanting operations.

**Keywords:** high stubble; paddy field; pulping and leveling machine; performance test

## 0 引言

水田耕整地是水稻生产的初始环节,是水稻生产全程机械化的关键步骤<sup>[1]</sup>,水田整地质量对后续水稻生产至关重要。机插秧对水田整地的要求较高<sup>[2]</sup>,要求田平、底实、地表无残茬,一方面要求地块平整,另一方面要求还田的秸秆不能浮在地表,否则秧苗插在秸秆上难以成活;水稻直播机直播作业对地块平整度要求较高<sup>[3]</sup>。高质量的水田耕整地作业通常具有埋茬均匀、打浆细致、泥面干整的特点,还田的秸秆一般作底肥使用可以提高秸秆综合利用率<sup>[4]</sup>。

在收获时节,农民为了实现水稻快速收获,通常采用提高收获部位的方式提高收割机工作效率;同时秸秆喂入量过大会导致除杂不净,稻谷中掺杂较多秸秆。收割机的额定功率是固定的,割茬较

低,秸秆喂入量处理越大,收获速度越慢,且秸秆喂入量过大会导致除杂不净,从而导致稻谷中掺杂较多秸秆。

高留茬地块因秸秆留茬高,秸秆密度大,带来整地功率消耗高、埋茬难度大、打浆效率低等问题,针对以上问题,设计了一种高留茬水田打浆整地机,对其进行田间试验并对作业效果进行分析,为后续机具改进提供理论依据和数据支持。

## 1 工作原理及基本参数

高留茬水田打浆整地机采用三点悬挂方式与拖拉机连接,拖拉机的动力通过万向节联轴器输出到变速箱,经变速箱传递到侧部齿轮箱,驱动安装固定了刀片的刀辊轴高速旋转。高速旋转的打浆刀片将水田土壤打散、搅拌成浆,同时将水稻根茬、茎秆或杂草切碎并压入泥浆中,位于机具后部的尾板将泥面拖抹平整,完成打浆整地作业。机具基本参数见表1。

## 2 试验参数

### 2.1 田间基本参数

1) 秸秆密度。秸秆密度即单位面积内秸秆质

**基金项目:**2023年黑龙江省农业科技创新跨越工程农业特色产业科技创新支撑项目(CX23TS31)。

**作者简介:**李会荣(1969—),男,安徽利辛人,本科,高级工程师,研究方向为农机工程。

量<sup>[5]</sup>。地块内不同种植密度、留茬高度、施肥方法等对秸秆密度产生影响,秸秆密度的大小对整地效果产生一定影响。采用五点法确定取样点位,每点取面积为 1 m × 1 m 的区域,将秸秆沿地面割下并称取质量,按照公式(1)计算作业前秸秆密度。

表 1 基本参数

项目	设计参数
型号	1JS-320
配套动力/kW	56.8~62.5
作业速度/(km·h <sup>-1</sup> )	2.2~5.4
作业效率/(hm <sup>2</sup> ·h <sup>-1</sup> )	0.7~1.4
作业幅宽/cm	320
打浆深度/cm	10~26
植被覆盖率/%	≥80
碎土率/%	≥90
平整度/cm	≤5
埋茬深度/cm	≥6
外形尺寸/mm	800×3780×980

$$B_q = \frac{\sum G}{A} \quad (1)$$

式中  $B_q$ —作业前秸秆密度, g/m<sup>2</sup>;  
 $G$ —每个测点的秸秆质量, g;  
 $A$ —5 点取样面积,  $A = 5 \text{ m}^2$ 。

2) 秸秆留茬高度。留茬高度即水稻全喂入式收割机收获后残留的水稻秸秆长度<sup>[5]</sup>。留茬高度越大,整地作业处理的秸秆质量越大,埋茬工作量也越大,埋茬均匀性波动越大。采用五点法确定测量点位,每点随机测 10 丛,测定根茬最高点至根茬底部的距离,按照公式(2)计算算数平均值。

$$H = \frac{\sum h}{Z} \quad (2)$$

式中  $H$ —秸秆留茬高度, mm  
 $h$ —测量点位秸秆高度, mm  
 $Z$ —5 个测量点位总丛数,  $Z = 50$ 。

3) 秸秆含水率。秸秆含水率即秸秆的水分含量<sup>[6]</sup>。于试验地块均匀选取 9 个取样点,在取样点内选取适量秸秆,通过晾晒后称量秸秆质量差计算含水率。

4) 土块尺寸。土块尺寸即耕整地前试验地块的土块平均大小<sup>[6]</sup>。于试验地块均匀选取 9 个取样点,在取样点内随机选取 20 个土块,使用游标卡

尺测量土块最短边长度,取 180 个土块平均值即为土块尺寸。

5) 株数、根/株。株数、根/株即试验地块单位面积内水稻株数以及每株内含有水稻根数<sup>[6]</sup>。该参数与秸秆留茬高度、秸秆含水率同步测量。

## 2.2 试验指标

1) 打浆深度。停机测量刀辊端部打浆刀最低点与泥浆表面的垂直距离,此距离即为打浆深度<sup>[5]</sup>。在试验地内,打浆机按使用说明书规定速度进行作业。在距离田埂大于 1 个作业幅宽的试验地内测定打浆深度,当作业速度和作业深度达到正常状态时停机,测量打浆深度。测量往返 2 个行程,打浆机左右两侧各测量 11 点。

2) 植被覆盖率。作业后,在试验地内用五点法确定取样点位,每点位取面积为 1 m × 1 m 的区域,捡拾漂浮在泥浆和水面上的植被并称其质量,其结果作为作业后植被密度。

3) 平整度。作业结束后沉淀 2 h,在试验地内沿田块长度方向每隔 2 m 测定 1 个点,共测 11 个点,测量打浆后泥表面与水平基准面的垂直距离,此距离即为平整度<sup>[5]</sup>。

4) 埋茬深度。埋茬深度测量与平整度同时进行。测量泥面与压入泥中的根茬中部的垂直距离,此距离即为埋茬深度<sup>[5]</sup>。

5) 碎土率。在耕整后试验地块内按照均匀间距取 9 个检测点,每个检测点面积 1 m<sup>2</sup>,分别在每个检测点随机取 20 块泥土,测量最短边的长度,以 4 cm 为基准,称量最短边小于 4 cm 的泥块质量,称量全部 20 块泥土质量,二者的质量百分比为碎土率<sup>[7]</sup>。

## 3 试验条件

试验地点为牡丹江市南拉古村,地处北纬 45° 世界黄金黑土带,第二积温带(2 500~2 700 °C),属中温带大陆性季风气候,年平均气温 5.1 °C。

高留茬打浆整地试验地块如图 1 所示,前期对地块进行了多项数据采集(图 2),以获取该地块田间基本参数,如表 2 所示。

表 2 田间基本参数

秸秆密度/ (g·m <sup>-2</sup> )	含水率/ %	土块尺寸/ mm	株数/ (株·m <sup>-2</sup> )	每株 根数
670	45.8	43	32	14

试验时间为 2023 年 5 月 16 日,天气晴,微风,



图1 试验地块



图4 机具作业



图2 数据采集

温度 10 ~ 22 ℃。

试验地块土质为黑壤土,作业前放水泡田3 d,水层深度 2 cm,泥脚深度 10 cm,试验地块泡田情况如图 3 所示,作业条件符合《水稻秸秆还田原茬搅浆整地技术规程》(DB23/J 3160—2022)要求。



图3 试验地块泡田

机具作业情况如图 4 所示,配套拖拉机型号为雷沃 554 四轮拖拉机;提供动力方式为动力输出轴;动力输出轴转速 720 r/min,作业速度 1.0 m/s。

## 4 试验结果与分析

### 4.1 打浆深度

按照第 2 部分方法测量并记录 2 个行程,共 22 个点位数据,测量数据如表 3 所示。

表3 打浆深度

点位	深度/cm	点位	深度/cm	点位	深度/cm
1	12.5	9	13.2	17	14.2
2	13.6	10	15.6	18	12.3
3	12.7	11	14.9	19	14.9
4	13.0	12	12.6	20	13.2
5	15.1	13	13.6	21	15.6
6	14.2	14	12.7	22	14.9
7	12.6	15	13.0		
8	14.9	16	15.1		

打浆深度平均值按照公式(3)计算

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n} \quad (3)$$

式中  $\bar{X}$ —打浆深度平均值,cm;  
 $X_n$ —每个测点的打浆深度,cm;  
 $n$ —测量点数, $n=22$ 。

打浆深度稳定性系数按照公式(4)计算

$$U = \left[ 1 - \frac{\sqrt{\sum (X - \bar{X})^2 / (n - 1)}}{\bar{X}} \right] \times 100\% \quad (4)$$

式中  $U$ —打浆深度稳定性系数,%。

根据公式(3)(4),分别得到  $\bar{X} = 13.8$  cm,  $U = 91.1\%$ 。

从表 3 可以看出,机具打浆深度范围为 12.5 ~ 15.6 cm,所有测量结果均在 10 ~ 16 cm 的设计打浆深度之间,符合机具设计要求。应用 MATLAB 软件对 22 个测量数据绘制分布图(图 5)。从图 5 可以看出,在打浆深度平均值以上的数据有 10 个,在打浆深度平均值以下的的数据有 12 个。所有数据分布均匀,中部数据相对集中,极值数据较少,说明机具的打浆均匀性较好,符合计算所得稳定性系数

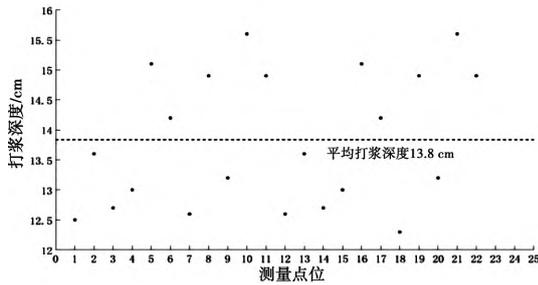


图 5 打浆深度分布图

91.1% 的特征。

#### 4.2 植被覆盖率

该地块作业前植被密度已在采集田间基本参数过程中取得,按照第 2 部分方法测量作业后植被密度并记录,植被覆盖率按照公式(5)计算

$$F = \frac{B_q - B_h}{B_q} \times 100\% \quad (5)$$

式中  $F$ —植被覆盖率(质量分数),%;  
 $B_q$ —作业前植被密度,  $g/m^2$ ;  
 $B_h$ —作业后植被密度,  $g/m^2$ 。

测量数据及计算结果如表 4 所示,计算得到平均植被覆盖率  $F = 85.1\%$ 。

表 4 植被覆盖率

点位	$B_q/(g \cdot m^{-2})$	$B_h/(g \cdot m^{-2})$	$F/\%$
1	150.6	23.2	84.6
2	160.7	24.0	85.1
3	166.4	26.3	84.2
4	155.0	22.1	85.7
5	154.8	22.0	85.8

该机具作业的平均植被覆盖率  $\bar{F} = 85.1\%$ ,高于设计值(80%),且 5 点植被覆盖率测量结果相近,说明机具埋茬效果稳定,一致性较好。该机具作业可满足水稻秧苗插秧对于植被覆盖率的农艺要求。植被覆盖率直方图,如图 6 所示。

#### 4.3 平整度

按照第 2 部分方法测量并记录 11 个点位的数  
 据,作业后地表平整度按照公式(6)和公式(7)计算

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y}{n} \quad (6)$$

式中  $\bar{Y}$ —泥表面与水平基准面的垂直距离平均值,cm;

$Y$ —测点处泥浆表面与水平基准面的垂直距

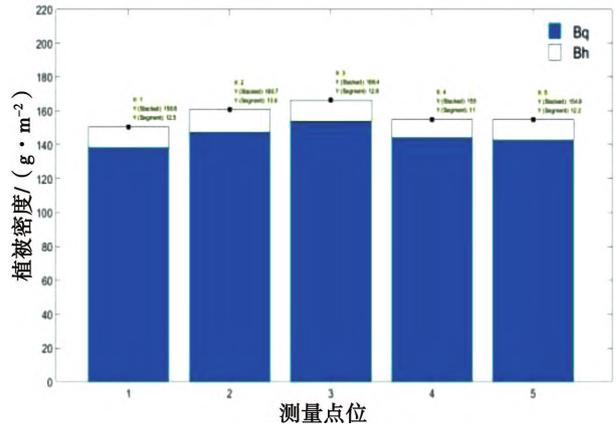


图 6 植被覆盖率直方图

离,cm;

$n$ —测点个数,  $n = 11$ 。

$$\delta = \sqrt{\sum (Y - \bar{Y})^2 / (n - 1)} \quad (7)$$

式中  $\delta$ —作业后地表平整度,cm;

$n$ —测点个数,  $n = 11$ 。

测量数据及计算结果如表 5 所示。

表 5 泥面与基准点高度差

点位	$Y/cm$	点位	$Y/cm$
1	2.60	7	6.57
2	3.40	8	4.43
3	4.55	9	6.57
4	3.56	10	5.58
5	4.54	11	3.66
6	5.65		

从表 5 数据计算得,泥浆表面与水平基准面的垂直距离平均值  $\bar{Y} = 4.65$  cm;作业后地表平整度  $\delta = 1.24$  cm,小于设计值(5.0 cm),该机具作业可以满足水稻插秧对平整度的农艺要求。

应用 MATLAB 软件根据测量数据绘制测量点位与高度基准点高度差变化曲线如图 7 所示。

从图 7 可以看出,机具作业后,泥面与基准点高度差分布均匀,高差波动较小,整体趋势走势平缓,利于插秧作业和后续田间水情管理。

#### 4.4 埋茬深度

按照第 2 部分方法测量并记录 11 个点位的测量数据,埋茬深度平均值按照公式(8)计算

$$\bar{H} = \frac{\sum H}{n} \quad (8)$$

式中  $\bar{H}$ —埋茬深度平均值,cm;

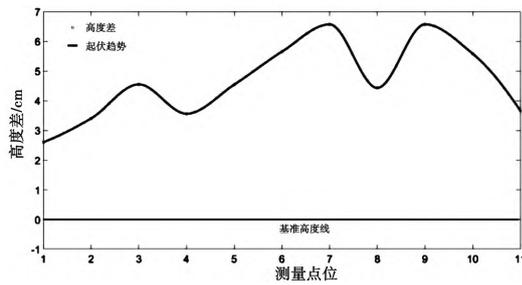


图 7 高度差曲线

$H$ —测点的埋茬深度, cm;  
 $n$ —测点个数,  $n = 11$ 。  
 各点位埋茬深度如表 6 所示。

表 6 埋茬深度

点位	$H/cm$	点位	$H/cm$
1	7.60	7	6.98
2	8.40	8	8.43
3	7.57	9	8.55
4	8.56	10	8.58
5	7.66	11	6.88
6	8.65		

从表 6 可以看出, 机具作业埋茬深度在 6.88 ~ 8.65 cm, 代入公式(8), 计算得  $\bar{H} = 8.0$  cm, 均大于设计参数(6 cm), 该机具作业埋茬深度可以满足水稻插秧农艺需求, 秸秆埋层分布如图 8 所示。

常规秧苗插秧深度为 3 ~ 5 cm, 机具作业埋茬深度大于插秧深度, 秧苗插在稻秆上部泥层中; 其中, 最小埋茬深度 6.88 cm 大于最大插秧深度(5.0 cm), 不会出现秧苗插在秸秆上导致的漂苗现象。



图 8 秸秆埋层分布

#### 4.5 碎土率

按照第 2 部分方法测量并记录 9 个点位测量数据, 按照公式(9) 计算碎土率。

$$\xi = \frac{m_p}{m_a} \times 100\% \quad (9)$$

式中  $\xi$ —碎土率, %;

$m_p$ —最短边小于 4 cm 的泥块质量, g;

$m_a$ —随机取的 20 个泥块总质量, g。

从表 7 可以看出, 碎土率达到了 91.7%, 高于设计值(90%), 机具对土块的打碎较为细致, 利于土壤的沉降, 可形成良好的插秧环境。

表 7 碎土率

点位	$m_p/g$	$m_a/g$	点位	$m_p/g$	$m_a/g$
1	95	104	6	77	81
2	101	111	7	66	70
3	87	99	8	73	80
4	75	80	9	82	90
5	92	101			

## 5 结论

通过春季水田地打浆整地试验, 测试了高留茬水田打浆整地机多项性能, 为后续优化性能、改进机具提供了数据支持。

1) 机具在试验地块作业效果, 打浆深度 13.8 cm、稳定性系数 91.1%, 植被覆盖率 85.1%, 平整度 1.24 cm, 埋茬深度 8.0 cm, 碎土率 91.4%。

2) 地块各项参数符合《水稻秸秆还田原茬搅浆整地技术规程》(DB23/T 3160—2022) 要求, 机具各项作业性能达到设计要求, 作业后地块可满足水稻插秧生产需求。

#### 参考文献:

[1] 李明金. 水田搅浆机平地装置的设计与试验研究 [D]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2014.

[2] 韩休海, 吕金庆, 侯国强. 水田全程机械化与农艺要求的研究 [J]. 农机化研究, 2009, 31(5): 244 - 246.

[3] 孙振雨, 李宁, 安龙哲, 等. 2BD-10 型水稻直播机器的设计 [J]. 农机使用与维修, 2022(7): 17 - 19.

[4] 李宁. 秸秆还田机研究现状及建议 [J]. 农业机械, 2023(4): 90 - 92 + 96.

[5] 国家市场监督管理总局, 国家标准化委员会. 水田平地施肥搅浆机: GB/T 24685—2021 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2021.

[6] 马成成, 衣淑娟, 陶桂香, 等. 4 种水田高留茬搅浆埋茬平地机对比试验研究 [J]. 农机化研究, 2021, 43(5): 14 - 152.

[7] 张秀梅. 高茬秸秆还田旋耕机工作机理与试验研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2017. (05)