

张明华, 肖明, 欧阳令, 等. 组合型孔排种器护种机构的优化设计与试验 [J]. 华南农业大学学报, 2021, 42(4): 99-105.
ZHANG Minghua, XIAO Ming, OUYANG Ling, et al. Optimization design and test of seed protecting structure of combined type-hole metering device[J].
Journal of South China Agricultural University, 2021, 42(4): 99-105.

组合型孔排种器护种机构的优化设计与试验

张明华¹, 肖明¹, 欧阳令¹, 蒋恩臣², 乔君³,
王在满¹, 刘顺财¹, 许鹏¹, 罗锡文¹

(1 华南农业大学南方农业机械与装备关键技术教育部重点实验室, 广东广州 510642; 2 华南农业大学材料与能源学院, 广东广州 510642; 3 上海世达尔现代农机有限公司, 上海 200245)

摘要:【目的】解决水稻精量穴直播机组组合型孔排种器在实际应用过程中护种带容易跑偏、打滑, 导致护种带磨损严重、伤种率偏高的问题。【方法】对护种机构同步原理进行分析, 优化设计了轴套结构(A)和护种带硬度(B)。以水稻品种‘培杂泰丰’和‘秀水134’种子为试验材料, 设计了以不同轴套结构[尼龙轴套结构(A₁)和滚针轴承&铜套结构(A₂)]和不同护种带硬度[40(B₁)、45(B₂)、50(B₃)、55(B₄)和60 HA(B₅)]为变量的双因素试验。【结果】A和B对水稻种子伤种率影响极显著($P < 0.01$), 且A与B之间存在显著交互作用($P < 0.05$); A₂B₂和A₂B₃对伤种率影响最小; A₁与A₂之间差异极显著, 且A₂组的伤种率明显小于A₁组, 说明A₂优于A₁; B₂与B₃差异不显著, 但与其他试验组差异显著。A对穴径影响显著, B对穴径无显著影响, 且A₂B₂、A₂B₃和A₂B₄对穴径影响较小; A₁、A₂对穴径的影响差异极显著, 且A₂明显优于A₁。工作100 h后, 试验组A₂B₃、A₂B₄和A₂B₅的护种带磨损量较小; 试验组A₂B₃最优, 其护种带磨损体积为 $72.6 \times 10^{-3} \text{ mm}^3$, 伤种率为0.04%, 成穴性最好、播种效果最佳。【结论】优化设计的滚针轴承&铜套的轴套结构合理, 可以显著减小轴套与转轴之间的摩擦系数, 且更耐高温、更耐磨; 有效地提高了护种带的同步性, 显著地提升了排种器的可靠性和播种质量。

关键词: 水稻; 精量播种; 穴直播; 排种器; 护种机构

中图分类号: S223.2; S232.3

文献标志码: A

文章编号: 1001-411X(2021)04-0099-07

Optimization design and test of seed protecting structure of combined type-hole metering device

ZHANG Minghua¹, XIAO Ming¹, OUYANG Ling¹, JIANG Enchen², QIAO Jun³,
WANG Zaiman¹, LIU Shuncai¹, XU Peng¹, LUO Xiwen¹

(1 Key Laboratory of South China Agricultural Machinery and Equipment, Ministry of Education, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2 College of Materials and Energy, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 3 Shanghai Star Modern Agricultural Equipment Co., Ltd., Shanghai 200245, China)

Abstract: 【Objective】In order to solve the problems that the seed guard belt is easy to deviate and slip in application of the combined type-hole metering device of rice precision hole seeder, which leads to serious wear of the seed guard belt and high rate of seed damage. 【Method】The synchronization principle of seed protection mechanism was analyzed, and the shaft sleeve structure(A) and the hardness of seed guard belt(B) were

收稿日期: 2021-03-20 网络首发时间: 2021-06-28 15:15:10

网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1110.S.20210628.1413.002.html>

作者简介: 张明华(1987—), 男, 助理研究员, 博士, E-mail: zhangminghuascau@163.com; 通信作者: 罗锡文(1945—), 男, 教授, 中国工程院院士, E-mail: xwluo@scau.edu.cn

基金项目: 广东省重点领域研发计划(2020B020210007); 国家自然科学基金(32001426); 广东省基础与应用基础研究基金(2020A1515110225); 现代农业产业技术体系建设专项(CARS-01-41)

optimized. A two-factor experiment with different bushing structures (A_1 as nylon bushing structure, A_2 as needle bearing & copper bushing structure) and hardness of seed guard belt (B_1, B_2, B_3, B_4 and B_5 represented the hardness of 40, 45, 50, 55 and 60 HA, respectively) was designed using rice variety 'Peizataifeng' and 'Xiushui134' seeds as test materials. 【Result】 The experimental groups of A and B had the highly significant effect on the damage rate of rice seeds ($P < 0.01$), and there was a significant interaction between A and B ($P < 0.05$). A_2B_2 and A_2B_3 had the least effect on seed damage rate. There was a highly significant difference between A_1 and A_2 , and seed damage rate of A_2 was significantly lower than that of A_1 , indicating that A_2 was better than A_1 . There was no significant difference between B_2 and B_3 , but B_2 and B_3 had significant difference with other groups. The experimental group A had a significant effect on hill diameter, B had no significant effect on hill diameter, and the groups of A_2B_2, A_2B_3 and A_2B_4 had the less effect on hill diameter. There was a significant difference between A_1 and A_2 , and A_2 was significantly better than A_1 . The results of test showed that the wear of seed guard belt of A_2B_3, A_2B_4 and A_2B_5 were less after working for 100 hour. The group A_2B_3 was the optimal with the wearing volume of $72.6 \times 10^{-3} \text{ mm}^3$ and seed injury rate of 0.04%, and the hole forming ability and sowing effect were both the best. 【Conclusion】 The optimized design of needle bearing & copper bushing shaft sleeve structure is reasonable. It can significantly reduce the friction coefficient between sleeve and shaft, is more resistant to high temperature and wear resistance, effectively improves the synchronization of seed guard belt, and significantly improves the reliability and sowing quality of seed platter.

Key words: rice; precision seeding; hill-drop direct seeding; seed metering device; seed protecting structure

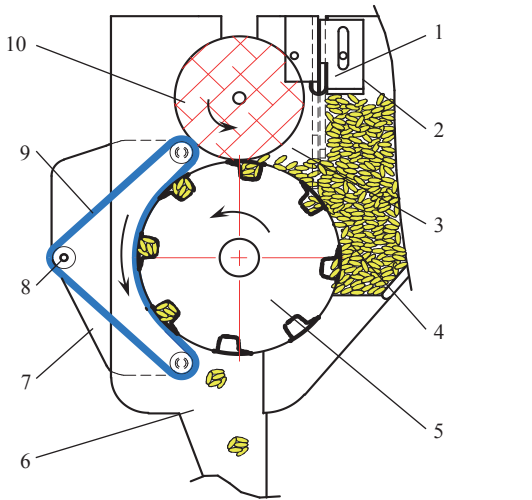
机械式排种器是播种机上使用最多的一种排种器,护种机构是排种器上的重要部件之一,其作业效果直接影响播种质量^[1-3]。机械式排种器工作流程一般包括充种、清种、护种和投种 4 个过程^[4-5]。护种机构安装于清种机构后,保护种子停留在型孔中并从清种区到达投种区完成投种^[6-7]。护种机构在机械式排种器中被广泛应用,一般有固定板式、固定带式 and 随动柔性带式^[8-13]等。罗锡文等^[8,14]研究了一种可拆式弹性随动护种装置,试验结果表明,与固定护种板相比,显著降低了水稻种子的伤种率,种子破损率可降至 0.2% 以下。王冲等^[9,15]研究了一种同步柔性皮带,并分析了同步理论和皮带对水稻种子最大支撑力,导出了同步的临界条件和影响同步效果的因素,与固定板式护种器相比,水稻种子破碎率可降至 0.5%。廖庆喜等^[16-17]研究的槽孔轮式排种器采用刷种轮与柔性带组合,降低了油菜籽粒的破碎率。张顺等^[18-19]设计了一种具有气流清种与护种结构的气力滚筒式水稻精量排种器,提高了播种性能。李兆东等^[20-21]设计了一种气流清种与气压护种结合的油菜精量气压式集排器,降低了传统护种方式下油菜种子的破损率。朱德泉等^[22]设计了带有护种滑片的型孔轮式水稻精量排种器,播种性能有待进一步提高。

组合型孔排种器的随动柔性带式护种机构的护种带将种子保护在型孔中,护种带和排种轮之间

的静摩擦力带动护种带同步转动,到达投种区时释放型孔中的种子,完成投种。柔性护种带与排种轮紧密贴合,防止进入型孔的种子在护种区由于重力和离心力的作用落出型孔而影响播种质量。本文针对排种器实际应用过程中容易出现护种带跑偏、打滑、磨损和断裂等现象,对护种机构进行了结构优化,并对护种带的参数进行了优选。柔性护种机构的结构和护种带的参数是保证护种带与排种轮之间同步的关键,也是保证护种机构可靠性和使用寿命的关键。本文在可拆式弹性随动护种装置的基础上,通过试验分析护种工作过程中引起成穴性下降、伤种率提高、护种带磨损和老化的原因,进一步优化护种机构的结构和参数,旨在提高型孔式水稻精量排种器的播种质量和可靠性,为机械式精密排种器的设计提供参考。

1 工作原理与结构设计

图 1 为华南农业大学南方农业机械与装备关键技术教育部重点实验室设计的组合型孔排种器。其随动柔性护种机构的护种带将种子保护在型孔中,护种带和排种轮之间的静摩擦力带动护种带同步转动,到达投种区时释放型孔中的种子,完成投种。柔性护种带与排种轮紧密贴合,防止进入型孔的种子在护种区由于重力和离心力的作用落出型孔而影响播种质量。



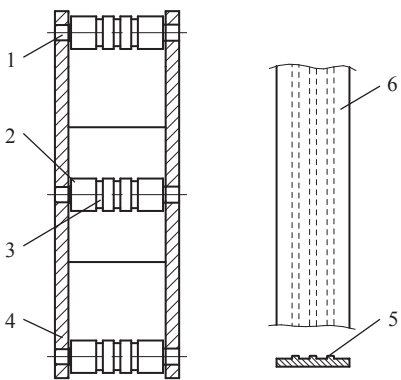
1: 限种机构; 2: 第1充种室; 3: 第2充种室; 4: 种子; 5: 排种轮; 6: 排种管; 7: 护种带架子; 8: 轴套; 9: 护种带; 10: 清种机构
 1: Flow adjusting device; 2: The first filling chamber; 3: The second filling chamber; 4: Seed; 5: Hole-type roller; 6: Seed metering tube; 7: Protecting device; 8: Axle sleeve; 9: Guard belt; 10: Cleaning device

图1 排种器工作原理图

Fig. 1 Schematic diagram of seed metering device

1.1 护种机构结构设计

护种机构由护种带架子、轴套、轴和护种带组成(图2)。轴套和轴安装在护种带架子上,呈三角形分布。为了防止护种带在工作时跑偏,同时增加护种带的同步性能,在轴套上设计了3道防滑槽,护种带上设计了3道相应的防滑凸台;安装时,将护种带上的凸台与轴套上的防滑槽配合。



1: 转轴; 2: 轴套; 3: 防滑槽; 4: 护种带架子; 5: 防滑凸台; 6: 护种带
 1: Axle; 2: Axle sleeve; 3: Anti-skid groove; 4: Guard belt frame; 5: Anti-skid tread; 6: Guard belt

图2 护种机构结构简图

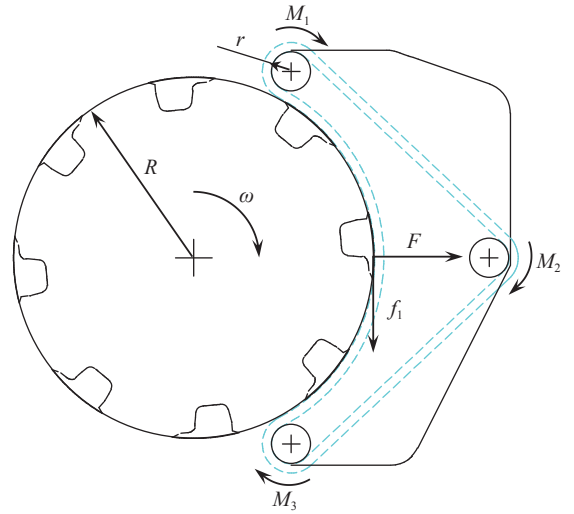
Fig. 2 Schematic diagram of seed protecting device

假设护种带和排种轮的接触面无相对运动(静摩擦力),同时护种带产生的压力对种子没有损伤,那么在护种区内伤种率为0,且护种带的磨损也最小。然而,在组合型孔排种器的实际应用过程中,护种带会出现不同步甚至停转的情况。进一步观察分析,护种带停止转动会降低护种带的寿命、影响伤

种率和穴径。因此,应对护种机构的同步原理进行分析。

1.2 护种机构同步原理分析

排种器启动前期,排种轮在排种轴的带动下,线速度从0达到设定速度(v),同时护种带在与排种轮之间的摩擦力(f)的驱动下完成与排种轮的线速度同步,如图3所示。



$M_1 \sim M_3$: 对应转轴的摩擦力矩, N·m; F : 排种轮作用在护种带上压力的合力, N; f_1 : 排种轮与护种带之间的最大静摩擦力, N; R : 排种轮半径, m; r : 转轴半径, m; ω : 排种轮角速度, rad/s

$M_1 \sim M_3$: Friction torque of corresponding shaft, N·m; F : Resultant force of pressure exerted by the seed metering wheel on the seed guard belt, N; f_1 : Maximum static friction between seed metering wheel and guard belt, N; R : Radius of seed metering wheel, m; r : Radius of shaft, m; ω : Angular velocity of seed metering wheel, rad/s

图3 护种机构同步力学分析

Fig. 3 Mechanics analysis of synchronization for seed protecting device

当护种带处于将要打滑的临界状态时,排种轮与护种带之间的最大静摩擦力(f_1)作用在护种带上的力矩应等于3根转轴产生的力矩之和(M),如式(1)所示:

$$f_1 R = M = M_1 + M_2 + M_3, \quad (1)$$

$$f_1 = F \mu_1, \quad (2)$$

式中, R 为排种轮的半径, m; M 为3根转轴的总摩擦力矩, N·m; M_1 、 M_2 和 M_3 分别为3根转轴的摩擦力矩, N·m; F 为排种轮作用在护种带上压力的合力, N; μ_1 为排种轮与护种带的摩擦系数。

根据文献[9]对护种带的受力分析,护种带与排种轮同步瞬间,克服3根转轴所产生的力矩相等, M_1 的大小与轴套和转轴的特性有关,即和两者之间的摩擦系数有关。

$$M_1 = f_2 r = F_2 \mu_2 r, \quad (3)$$

$$M_1 = M_2 = M_3, \quad (4)$$

式中, f_2 为轴套对转轴的摩擦力, N; F_2 为轴套对转轴压力, N; r 为转轴半径, m; μ_2 为转轴与轴套之间的摩擦系数。

由式 (1)~(4) 可知, 当护种带处于将要打滑的临界状态时, 如式 (5) 所示:

$$F\mu_1 R = 3F_2\mu_2 r, \quad (5)$$

当 $F\mu_1 R - 3F_2\mu_2 r \geq 0$ 时, 护种带能与排种轮实现同步。由于 F 和 F_2 均与护种带形变产生的力有关, 因此, 增大 μ_1 或减小 μ_2 将直接影响护种带的同步性能。

原轴套采用尼龙加工而成, 如图 4a 所示, 成本低且具有自润滑性, 与不锈钢轴之间的摩擦系数约为 0.4^[23]。但是, 一般材料在温度逐渐升高后, 会加快磨损^[24]。尼龙套在磨损之后的磨屑逐渐形成磨粒, 在温度逐渐升高后磨屑或磨粒会粘在接触表面^[25], 使得轴套与转轴之间摩擦系数 μ_2 增大, 导致护种带打滑。

为此, 对轴套进行了改进设计, 采用同轴套和滚针轴承的结构, 如图 4b 所示。滚针轴承与不锈钢轴之间的摩擦系数约为 0.1^[23]。滚针轴承更耐高温更耐磨。因此, 采用铜轴套和滚针轴承结构可显著减小 μ_2 。

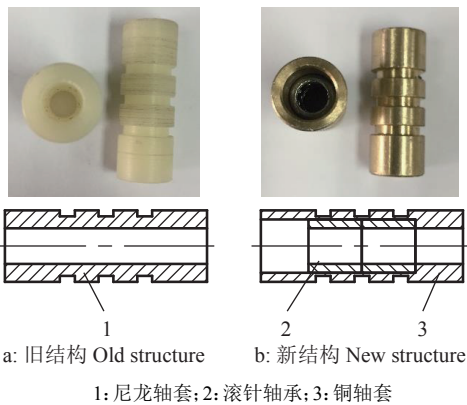


图 4 不同轴套结构图
Fig. 4 Schematic diagram of different axle sleeves

2 试验材料与方法

2.1 材料

试验在华南农业大学工程学院南方农业机械与装备关键技术教育部重点实验室进行。试验选用生产中常用的粳稻品种 ‘秀水 134’ 种子和籼稻品种 ‘培杂泰丰’ 种子。

试验因素为护种带轴套结构 (A) 和不同硬度的护种带 (B)。试验因素与水平如表 1 所示。

表 1 试验因素和水平

Table 1 Factors and levels in experiments		
水平	轴套结构	护种带硬度/HA
Level	Bush structure (A)	Hardness of guard belt (B)
1	尼龙轴套	40
2	滚针轴承&铜套结构	45
3		50
4		55
5		60

2.2 方法

2.2.1 护种带打滑率试验 以排种器工作 0(刚开始工作)、25、50、75 和 100 h 为测量时间点, 用高速摄像机 (型号: Photron FASTCAM Viewer) 测定护种带的打滑率。在护种带和排种轴的边缘分别做好记号, 高速摄像机设置像素为 1 024×1 024, 帧数为 200 帧, 并确保护种带在高速摄像的取像范围内; 排种器的工作转速固定在 60 r/min, 对应的水稻精量穴直播机大田作业参数: 机具前进速度为 1.2 m/s, 穴距为 15 cm(图 5)。



图 5 护种带打滑率试验
Fig. 5 Slip rate test of guard belt

通过高速摄像回放分析确定时间, t_1 和 t_2 分别为记录护种带和排种轴转过 3 圈后所用的时间; 利用 SolidWorks 分析三维模型, 分别计算排种轮周长 (l_1) 和护种带安装后的长度 (l_2)。打滑率 (φ) 的计算公式如下:

$$\varphi = \frac{l_1 t_2 - l_2 t_1}{l_1 t_2} \times 100\% \quad (6)$$

2.2.2 护种带磨损率试验 目前国际上一般采用三维形貌仪对橡胶磨损进行定量分析^[26-31]。试验在华南理工大学测试中心进行, 采用多功能三维形貌仪 (Rtec-instruments UP) 分别对使用前和工作 100 h 后的护种带表面三维形貌 (磨损体积) 测量。三维形貌仪的工作原理是利用三维共聚焦和白光干涉成像, 通过原子力显微镜进行观察成像。将护种带粘贴至方形底座上, 并将测试表面压平整。将三维形貌仪获取的图像导入 Gwyddion 软件中进行图像

分析,计算磨损体积。

2.2.3 护种机构对播种性能影响试验 考虑直播机种植一季水稻的工作时长约为 200 h,因此以直播机工作中期(即排种器工作 100 h)作为参考测量时间点,不同处理的护种机构在多功能播种试验台上进行台架试验。采用人工清选的方式挑选出试验种子中的杂质和已破损种子,试验转速选择 60 r/min,投种高度为 20 cm,种床带速为 1.5 m/s,型孔选择大型孔和小型孔。

伤种率试验参考 GB/T6973—2005^[32],记录传输带上排种器稳定工作时排出 300 穴种子中的每穴粒数和破碎种子的粒数(若有半粒种子情况,2 个半粒算 1 粒),重复 3 次。

2 个全新的组合型孔排种器分别安装全新护种机构 1[轴套结构为尼龙轴套(A₁)]和护种机构 2[轴套结构为滚针轴承&铜套结构(A₂)],并分别运转 10 min,在排种口用容器分别接种。测量每次总播种量,并挑选出每组所排出的破碎种子,记录其数量(若有半粒种子情况,2 个半粒算 1 粒),每组试验重复 3 次。2 个护种机构工作 100 h 后,再重复上述试验过程。伤种率(K)计算公式如下:

$$K = \frac{nm}{1\ 000M} \times 100\%, \quad (7)$$

式中:*n* 为破损种子的数量,粒;*m* 为湿种子的千粒质量,g;其中,‘秀水 134’湿种子千粒质量为 34.2 g,‘培杂泰丰’的湿种子千粒质量为 33.4 g;*M* 为试验 10 min 排种器的总排种量,g。

每一穴种子之间的最大距离作为穴径,用游标卡尺每组连续测量 50 成穴,重复 3 次。

3 结果与分析

3.1 护种带打滑率

由表 2 的结果可知,试验刚开始时,试验组 A₂B₁ 的打滑率为 0.10%,为该时刻所有试验组中最优,且与其他组合有显著性差异($P < 0.05$);25 和 50 h 后,试验组 A₂B₃ 为同一时刻所有组别中最优,且与其他组别有显著性差异;75 和 100 h 后,试验组 A₂B₂、A₂B₃、A₂B₄ 和 A₂B₅ 的打滑率相对较低,为同一时刻所有组别中最优,且 A₂B₂、A₂B₃ 和 A₂B₄ 之间没有显著性差异,与其他试验组之间均有显著性差异。双因素方差分析结果可知:试验因素 A 和 B 对打滑率影响都极显著($P < 0.01$),且两者之间存在显著交互作用。A₁ 与 A₂ 之间差异极显著,且 A₂ 明显优于 A₁;B₁ 与 B₂、B₃、B₄、B₅ 之间差异极显著,而 B₂~B₅ 之间差异不显著。

综合分析,试验组 A₂B₃(轴套结构为滚针轴承&铜套、护种带硬度为 50 HA)的护种带打滑率最小,效果最佳,且这种优势不随时间的延长而改变。

3.2 表面磨损试验结果

由表 3 可知,使用前所有护种带的表面形貌没有明显的差异,说明使用前所有护种带的表面较平整,且粗糙度的一致性较好。工作 100 h 后,比较同一硬度的护种带,采用 A₂ 轴套结构的磨损体积小,且 A₁ 与 A₂ 差异显著。与轴套结构 A₁ 相比,

表 2 不同轴套结构不同工作时间对护种带打滑率的影响¹⁾

Table 2 Effects of different structure of axle sleeves on slip rate of guard belt at different working time

试验组 Test group	0 h	25 h	50 h	75 h	100 h	%
A ₁ B ₁	32.40±0.10f	21.28±0.15g	79.82±0.20h	68.81±0.2g	75.30±0.22e	
A ₁ B ₂	2.30±0.01e	4.80±0.09e	5.41±0.10f	6.60±0.13e	6.21±0.14c	
A ₁ B ₃	1.01±0.05d	3.40±0.11d	4.32±0.09e	5.52±0.14d	6.42±0.15c	
A ₁ B ₄	0.97±0.02c	2.82±0.07c	4.27±0.01e	5.12±0.11c	6.35±0.12c	
A ₁ B ₅	8.61±0.02c	9.80±0.10f	8.92±0.11g	10.21±0.18f	11.45±0.18d	
A ₂ B ₁	0.10±0.01a	0.50±0.04b	1.20±0.03d	1.82±0.08b	1.81±0.08b	
A ₂ B ₂	0.27±0.02b	0.45±0.03b	0.53±0.04b	0.62±0.05a	0.62±0.05a	
A ₂ B ₃	0.16±0.01b	0.26±0.02a	0.25±0.02a	0.60±0.03a	0.52±0.03a	
A ₂ B ₄	0.19±0.08b	0.57±0.03b	0.79±0.06c	0.71±0.02a	0.63±0.023a	
A ₂ B ₅	0.25±0.01b	0.46±0.04b	0.43±0.04b	0.64±0.04a	0.64±0.035a	

1) A₁: 尼龙轴套结构; A₂: 滚针轴承&铜套结构; B₁~B₅代表护种带硬度分别为40、45、50、55和60 HA。同列数据后不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$, Duncan's 法)

1) A₁: Nylon bushing structure; A₂: Needle bearing & copper bushing structure; B₁, B₂, B₃, B₄ and B₅ represented the hardness of 40, 45, 50, 55 and 60 HA, respectively. Different lowercase letters of data in the same column indicated significant differences ($P < 0.05$, Duncan's test)

表 3 不同工作时间护种带磨损试验的磨损体积¹⁾
Table 3 The wear volume of guard belt in wear test at different working time

$\times 10^{-3} \text{ mm}^3$

t/h	A ₁ B ₁	A ₁ B ₂	A ₁ B ₃	A ₁ B ₄	A ₁ B ₅	A ₂ B ₁	A ₂ B ₂	A ₂ B ₃	A ₂ B ₄	A ₂ B ₅
0	2.5±0.2a	2.5±0.2a	2.6±0.3a	2.6±0.3a	2.4±0.3a	2.5±0.3a	2.5±0.2a	2.5±0.3a	2.4±0.2a	2.5±0.2a
100	205.6±14.6e	195.6±15.7e	170.1±9.7d	136.4±12.9c	98.7±8.9b	102.4±5.7b	98.7±4.7b	72.6±6.8a	70.5±5.4a	69.4±5.1a

1) A₁: 尼龙轴套结构; A₂: 滚针轴承&铜套结构; B₁~B₅代表护种带硬度分别为40、45、50、55和60 HA。同行数据的不同小写字母表示差异显著(P<0.05, Duncan's 法)

1) A₁: Nylon bushing structure; A₂: Needle bearing & copper bushing structure; B₁, B₂, B₃, B₄ and B₅ represented the hardness of 40, 45, 50, 55 and 60 HA, respectively. Different lowercase letters of data in the same line indicated significant differences (P<0.05, Duncan's test)

A₂ 与轴的摩擦系数较大, 阻力也较大, 而橡胶磨损性能(磨耗量)随着温度和负荷的增大而增大^[26-27], 所以采用 A₁ 轴套的护种带磨损体积明显大于 A₂。

比较同一轴套结构的护种带, 磨损体积均随着的护种带硬度的增大而减小。单因素方差分析可知, 试验组 A₂B₃、A₂B₄、A₂B₅ 对护种带磨损体积影响最小, 且差异不显著。

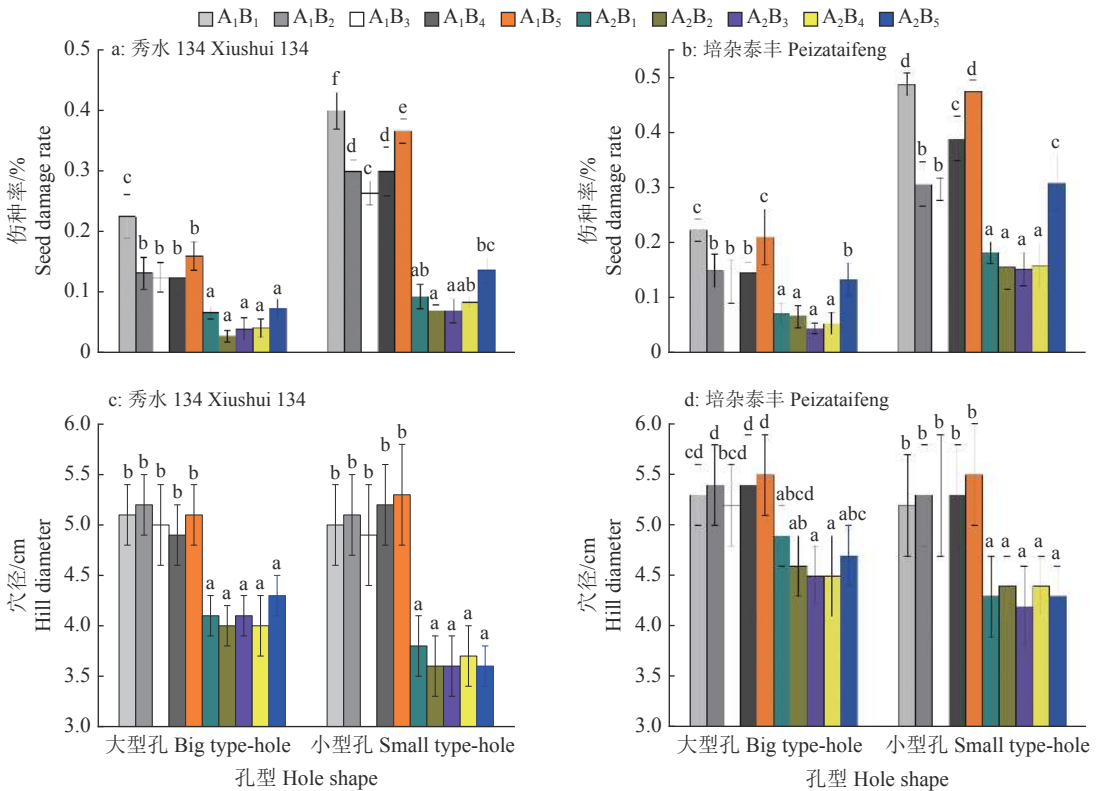
3.3 护种机构对播种性能的影响

图 6a 和 6b 的单因素方差分析结果表明, 试验组 A₂B₂、A₂B₃ 对水稻种子伤种率影响最小。由双因素方差分析可知, A 和 B 对伤种率的影响均达极显著水平(P<0.01), 且 A 与 B 之间存在显著交互作用;

A₁ 与 A₂ 之间差异极显著, 且 A₂ 的伤种率明显小于 A₁, 说明 A₂(滚针轴承&铜套结构) 明显优于 A₁(尼龙轴套结构); 试验组 B₂ 与 B₃ 之间无显著性差异, 与其他试验组之间有显著性差异。

试验组 A₂B₂、A₂B₃、A₂B₄ 对穴径影响最小(图 6c 和 6d)。由双因素方差分析可知, A 对穴径影响显著, B 对穴径无显著影响; A₁、A₂ 之间差异极显著, 且 A₂ 明显优于 A₁。

综上所述, 护种带的同步性对护种带的磨损和播种质量有显著影响。护种带的同步性越好(打滑率越小), 护种带的磨损越小, 伤种率越小, 成穴性越好。



A₁: 尼龙轴套结构; A₂: 滚针轴承&铜套结构; B₁~B₅ 代表护种带硬度分别为 40、45、50、55 和 60 HA。各图中, 相同护种机构柱子上不同小写字母表示差异显著 (P<0.05, Duncan's 法)

A₁: Nylon bushing structure; A₂: Needle bearing & copper bushing structure; B₁, B₂, B₃, B₄ and B₅ represented the hardness of 40, 45, 50, 55 and 60 HA, respectively. Different lowercase letters on bars of the same seed protecting device indicated significant differences (P<0.05, Duncan's test)

图 6 不同孔型护种机构对不同水稻品种伤种率和穴径的影响

Fig. 6 Effect of different protecting structure on hill diameter and seed damage rate of different rice variety

4 结论

相同水稻品种播种时,小型孔的伤种率均高于大型孔的伤种率;在相同试验因素和水平下,‘培杂泰丰’(长粒型籼稻)的伤种率均高于‘秀水134’(圆粒形粳稻)的伤种率。原因可能有以下几个方面:小型孔总播种量小于大型孔,因此,小型孔的伤种率会高于大型孔;小型孔的容积相对大型孔较小,种子充入小型孔中时,种子(尤其是长粒型籼稻‘培杂泰丰’)可能会有部分露在型孔外面,由于护种带与排种轮之间的压力和打滑现象,种子会与排种轮、护种带发生相对移动,造成种子破损;种子在排种轮和护种带之间发生相对移动,会造成与型孔中的种子产生落种时间差,从而影响成穴性。

本研究根据护种带的同步原理,优化了轴承结构和护种带参数,提高了排种器的播种性能,延长了护种带使用寿命。在试验组内,轴套结构为滚针轴承&铜套、护种带硬度为50 HA(A₂B₃)的护种带磨损体积为72.6×10⁻³ mm³,比优化前(A₁B₁)减少了约1/3,大、小型孔的伤种率分别为0.04%和0.15%,比优化前分别降低了约4/5和2/3;A₂B₃成穴性最好,播种性能最优。

参考文献:

- [1] 罗锡文, 欧洲, 蒋恩臣, 等. 抛掷成穴式水稻精量直播排种器试验[J]. *农业机械学报*, 2005, 36(9): 37-40.
- [2] CHOSA T, FURUHATA M, OMINE M, et al. Development of air-assisted strip seeding for direct seeding in flooded paddy fields: Seeding machine and effect of air assistance[J]. *Farm Work Research: Journal of Farm Work Society of Japan*, 2009, 141: 211-218.
- [3] FURUHATA M, CHOSA T, SHIOYA Y, et al. Developing direct seeding cultivation using an air-assisted strip seeder[J]. *Japan Agricultural Research Quarterly*, 2015, 49(3): 227-233.
- [4] 罗锡文, 刘涛, 蒋恩臣, 等. 水稻精量穴直播排种轮的设计与试验[J]. *农业工程学报*, 2007, 23(3): 108-112.
- [5] 张明华, 罗锡文, 王在满, 等. 水稻直播机组合型孔排种器设计与试验[J]. *农业机械学报*, 2016, 47(9): 29-36.
- [6] 张明华, 王在满, 罗锡文, 等. 组合型孔排种器双充种室结构对充种性能的影响[J]. *农业工程学报*, 2018, 34(12): 8-15.
- [7] 张明华. 水稻精量穴直播机的优化设计与试验[D]. 广州: 华南农业大学, 2017.
- [8] 罗锡文, 王在满, 蒋恩臣, 等. 型孔轮式排种器弹性随动护种带装置设计[J]. *农业机械学报*, 2008, 39(12): 60-63.
- [9] 王冲, 宋建农, 王继承, 等. 机械式排种器同步柔性皮带护种器的设计[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(10): 107-111.
- [10] 于建群, 马成林, 张格. 组合内窝孔精密排种器护种和投种过程分析[J]. *农业机械学报*, 2001, 32(4): 28-30.
- [11] 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: 中国农业科学技术出版社, 2007.

- [12] 张波屏. 播种机械设计原理[M]. 北京: 机械工业出版社, 1982.
- [13] 张德文, 李林, 王惠民. 精密播种机械[M]. 北京: 农业出版社, 1982.
- [14] 罗锡文, 蒋恩臣, 王在满. 一种带有可拆式弹性转动护种装置的谷物排种器: 200810027896.7[P]. 2011-09-14.
- [15] 宋建农, 王冲, 王继承. 同步柔性皮带护种器: 200720187281.1[P]. 2008-11-05.
- [16] 廖庆喜, 黄吉星, 刘光, 等. 油菜播种机槽孔轮式精量排种器设计与试验[J]. *农业机械学报*, 2011, 42(2): 63-66.
- [17] 廖庆喜, 李兆东, 廖宜涛, 等. 气压护种式精量集排器: 201410483283. X[P]. 2016-05-11.
- [18] 张顺, 夏俊芳, 周勇, 等. 气力滚筒式水稻直播精量排种器的设计与试验[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(1): 11-19.
- [19] 张顺, 夏俊芳, 周勇, 等. 气力滚筒式水稻直播精量排种器排种性能分析与田间试验[J]. *农业工程学报*, 2017, 33(3): 14-23.
- [20] 李兆东, 雷小龙, 曹秀英, 等. 油菜精量气压式集排器的设计与试验[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(7): 9-17.
- [21] 李兆东, 李姗姗, 曹秀英, 等. 油菜精量气压式集排器排种性能试验[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(18): 17-25.
- [22] 朱德泉, 李兰兰, 文世昌, 等. 滑片型孔轮式水稻精量排种器排种性能数值模拟与试验[J]. *农业工程学报*, 2018, 34(21): 17-26.
- [23] 张永振. 材料的干摩擦学[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- [24] 汪久根, 董光能. 摩擦学基础[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2018.
- [25] 侯文英. 摩擦磨损与润滑[M]. 北京: 机械工业出版社, 2012.
- [26] 王泽鹏, 张义, 徐梦飞. 基于分形理论的橡胶复合材料磨耗表面形貌表征[J]. *橡胶工业*, 2018(1): 25-30.
- [27] 王泽鹏, 李珂, 张义. 基于多重分形的橡胶复合材料磨耗表面形貌特征研究[J]. *北京化工大学学报(自然科学版)*, 2015, 42(1): 87-91.
- [28] MUKHOPADHYAY A. SEM study of worn surface morphology of an indigenous ‘EPDM’ rubber[J]. *Polymer Testing*, 2016, 52: 167-173.
- [29] KALA A. Thermal characterization and surface morphology of natural rubber (NR)/Nitrile butadiene rubber (NBR) blend[J]. *The IUP Journal of Physics*, 2009, 2(4): 7-14.
- [30] XU S H, GU J, LUO Y F, et al. Influence of nanocrystalline cellulose on structure and properties of natural rubber/silica composites[J]. *Polymer Composites*, 2015, 36(5): 861-868.
- [31] SPANO D, PINTUS F, ESPOSITO F, et al. Euphorbia characias latex: Micromorphology of rubber particles and rubber transferase activity[J]. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2015, 87: 26-34.
- [32] 中国国家标准化管理委员会. 单粒(精密)播种机试验方法: GB/T 6973—2005[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005.