

油麦气力式一器双行兼用型排种器的设计与功能分析

颜秋艳 廖宜涛 廖庆喜

华中农业大学工学院, 武汉 430070

摘要 针对 2BFQ 系列油麦精量联合直播机上的气力式排种器只适用于油菜播种, 小麦播种仍采用传统机械槽轮式排种以及排种器单体利用率低、单行排种器占用空间大的不足, 设计了一种油麦气力式一器双行兼用型排种器。介绍了该排种器的工作原理及其主要结构, 分析了排种性能指标与排种盘转速、正负气压值及种床带速度等因素的关系。单因素试验结果表明: 该排种器能实现油菜和小麦兼用双行排种的功能, 且排种盘转速和吸种区负压是影响排种性能的主要因素。正交试验结果表明: 排种盘转速为 15 r/min、负压-1 400 Pa、正压 400 Pa 时, 油菜排种双行平均合格指数达 89.99%, 平均漏播指数为 4.44%, 双行合格指数一致性变异系数为 0.30%, 能满足油菜单粒精密播种技术要求; 当排种盘转速为 12 r/min、负压-3 400 Pa 时, 小麦排种双行平均合格指数为 74.58%, 单行排种均匀性变异系数为 3.61%, 双行排量一致性变异系数为 0.45%, 能满足小麦精量播种技术要求。

关键词 油菜; 小麦; 气力式排种器; 一器双行; 排种功能

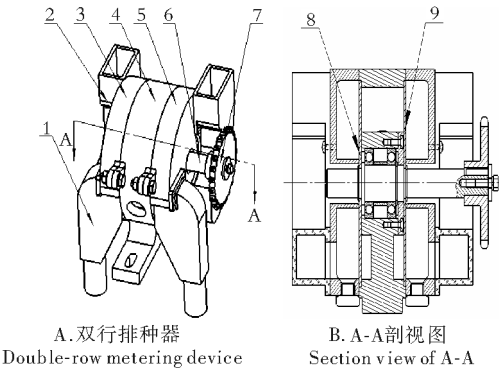
中图分类号 S 223.2 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2014)03-0109-06

油菜和小麦是中国主要粮油作物, 种植区域分布较广泛。在长江流域油菜与小麦播期相邻, 二者种植农艺要求差异不大。目前, 可兼用于油菜和小麦机械化播种的排种器多是采用半精量播种装置, 如槽轮式排种器, 可实行条播种植。精量播种均是采用专用排种器^[1], 实际生产中油菜和小麦播种时需要购置不同的播种机, 重复购置成本高, 机具利用率低。

华中农业大学与武汉黄鹤拖拉机制造有限公司合作研制的黄鹤牌 2BFQ 系列油麦精量联合直播机, 能播种油菜和小麦。其油菜播种采用气力式排种器, 排种精度高, 能实现油菜单粒精密播种, 但小麦仍采用传统机械槽轮式排种, 排种不精确, 种子耗量大。该播种机上排种器单体利用率低, 单行气力式排种器占用空间大^[2-3]。根据油菜和小麦农艺种植要求, 本试验设计了一种油麦气力式一器双行兼用型排种器, 能在排种器基本原理不变的前提下, 实现油菜和小麦的兼用播种, 旨在简化播种机结构, 降低油菜与小麦机械化播种的投入成本, 提高油菜与小麦生产过程中机械化种植程度。

1 结构设计与工作原理

一器双行排种器的主要结构包括排种链轮、排种轴、左右排种盘、气室、左右充种罩壳、种子箱、落种口、卸种螺塞等(图 1)。



A. 双行排种器
Double-row metering device

B. A-A剖视图
Section view of A-A

1. 落种口 Hole of seed dropping; 2. 种子箱 Seed box; 3. 左充种罩壳 Left filling can; 4. 气室 Air chamber; 5. 右充种罩壳 Right filling can; 6. 排种轴 Sowing axle; 7. 排种链轮 Sowing chain-wheel; 8. 左排种盘 Left seeding plate; 9. 右排种盘 Right seeding plate.

图 1 排种器的结构示意图

Fig. 1 Structure diagram of the device

收稿日期: 2013-11-04
基金项目: 国家自然科学基金项目(51275197)、国家油菜产业技术体系专项(CARS-13)、中央高校基本科研业务费专项(2013PY125, 2014PY033)、“十二五”国家科技支撑计划项目(2013BAD08B02)和武汉市高新技术产业科技创新团队项目(2014070504020240)
颜秋艳, 硕士研究生。研究方向: 农业机械化生产技术与装备。E-mail: yanqiuyan825@163.com
通信作者: 廖宜涛, 博士, 讲师。研究方向: 农业机械化生产技术与装备。E-mail: liaotaotao@mail. hzau. edu. cn

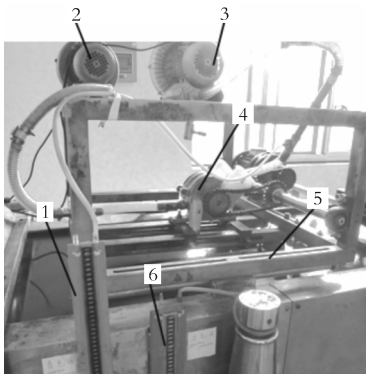
排种器采用气力式主动单粒精量取种、投种,避免漏播且不会损伤种子^[4],排种盘中间开六角形孔套在排种轴上转动,轴向用卡簧固定。双行排种器的气室是一个通壳,左右两边放置排种盘进行排种,其单边工作原理与正负气压组合式排种器工作原理相同^[5],包括充种、携种、投种三个阶段。充种区的种子在负压作用下被吸附在型孔上,随排种盘一起旋转通过携种区,到达投种区时受自重和正压气吹作用掉落而实现投种。通过更换不同排种盘和调节正负气压值可以实现油菜、小麦的兼用播种。

表 1 种子的机械物理特性

Table 1 Physical and mechanical characteristics of seed

| 品种 Varieties | 尺寸/mm Size | 千粒重/g Thousand seed weight | 含水率/% Moisture content | 自然休止角/(°) Natural angle of repose |
|-------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|
| 华杂 4 号 Huazha 4 | 平均粒径 1.5~2.2 Average grain diameter | 4.21 | 7.23 | 27.6 |
| 华麦 13 号 Huamai 13 | 长 Length 6.2~6.7 宽 Width 3.0~3.5 厚 Thick 2.7~3.5 | 39.76 | 5.21 | 25.0 |

利用 JPS-12 型排种器试验台对一器双行排种器进行播种检测试验。该试验台能精确检测单行种子粒距、漏播指数、合格指数、重播指数和变异系数等排种性能指标并输出国家标准要求的试验数据和图表^[7],排种器台架试验装置如图 2 所示。



1. 负压区 U 型管测压计 U barometer of the negative pressure zone; 2. 风机 HG-1100 Blower HG-1100; 3. 风机 HG-2605 Blower HG-2605; 4. 双行排种器 Double-row metering device; 5. JPS-12 型排种器试验台 Experiment work-bench of the JPS-12 metering device; 6. 正压区 U 型管测压计 U barometer of the positive pressure zone.

图 2 试验装置

Fig. 2 Experimental device

2.2 试验设计与方法

该试验台只能检测单行排种情况,试验前假设左右双行前后试验其他偶然误差忽略不计(气温变化、机器振动程度等)先对左侧排种行进行试验,根据 GB/T 6973—2005《单粒(精密)播种机试验方

2 台架检测试验

2.1 供试设备与材料

供试主要设备:JPS-12 计算机视觉排种性能检测试验台、数显卡尺、微电脑自动数粒仪、水分测定仪、精度为 0.001 g 的电子天平。供试种子:均为 2012 年收获的种子,油菜籽为华杂 4 号,并经过孔径 1.2 mm 分样筛筛选;小麦为华麦 13 号,并经过孔径 1.4 mm 分样筛筛选。种子的机械物理特性如表 1 所示^[6]。

法^[8],以及试验用的油菜籽农艺种植要求株距 60~80 mm,小麦农艺种植要求株距 50~70 mm,确定排种主要性能指标为双行平均合格指数、漏播指数、双行合格指数一致性变异系数、双行排量一致性变异系数、种子破损率等。二者试验因素均为:种床带速度、正压值、负压值和排种盘转速,对油菜和小麦分别进行单因素试验和正交试验。

3 结果与分析

3.1 单因素试验

为探讨该排种器排种性能较佳状态下的排种盘转速、正压值、负压值以及种床带速度对排种器排种性能的影响规律,进行单因素试验。试验中先确定一个因素为变量,其他因素不变,逐次进行试验。

1)油菜排种单因素试验。种床带速度根据田间作业时配套使用的武汉黄鹤拖拉机制造有限公司生产的手扶拖拉机 HH 牌工农-121 型的前进速度取 1.9、2.7、3.5 km/h 三个值,排种盘转速根据油菜籽亩播量和株距要求取 12~25 r/min,每次均匀增加 3 转,负压取-900~-1 900 Pa,吹种正压取 0~600 Pa,逐次改变 100 Pa。结果表明当合格指数达 80%以上时,正压值和种床带速度的改变对种子排种性能影响不大,这与已有的研究结果一致^[9]。负压和排种盘转速对排种性能有影响,在固定正压 400 Pa,种床带速度 1.9 km/h 时,排种盘转速和负压对排种平均合格指数的影响如图 3 所示。

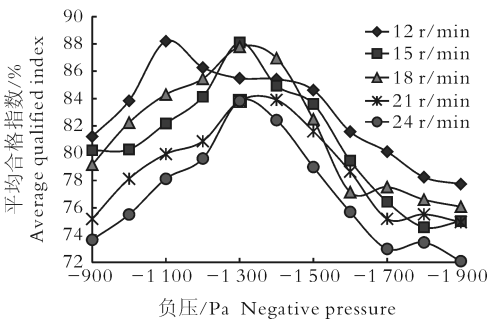


图 3 油菜排种试验指标与排种盘转速、负压的关系曲线

Fig. 3 Relationship between index and rotational speed of seeding plate and negative pressure

由图 3 可知,在相同转速下合格指数随负压增大呈先上升后下降的趋势,当负压取 $-1\,000\sim-1\,500\text{ Pa}$ 时平均合格指数能达 80% 以上;同样,当负压固定某个值不变时,排种盘转速取 12、15、18 r/min 时平均合格指数较其他转速高,可以看出这 3 个转速与平均合格指数的关系曲线分布在图区的上方。最终试验结果显示,油菜排种时种子破损率均为零。

2) 小麦排种单因素试验。根据小麦播种农艺要求,并结合小麦精量播种其播种株距与油菜相差不大,种床带速度和排种盘转速与前述取值相同。因小麦单粒质量大,要被成功吸附在排种盘型孔上所需负压大,需取 $-3\,000\sim-3\,800\text{ Pa}$ 。试验结果发现小麦排种合格指数只能达 70% 左右,不符合单粒精密播种,则根据精量播种技术要求来衡量小麦排种性能指标主要依靠排种均匀性及双行排量一致性。排种均匀性主要通过测定种床带单位长度(1 m)上种子粒数^[10-11]。试验结果同样表明正压值和种床带速度的改变对小麦排种均匀性影响不明显。由于小麦种子可以依靠自身重力落种,因此,为减少风机动力消耗,正压取 0 Pa,种床带速度仍取 1.9 km/h,得到排种盘转速和负压对小麦单行排种均匀性的影响如图 4 所示。

从图 4 可知,小麦排种单位长度内的种子粒数随排种盘转速和负压的增大而增大。按照小麦精播平均株距 55 mm 的要求计算小麦排种 1 m 长度内的种粒数约为 18 粒,而该三维曲面上方的种粒数明显过多,超出了小麦精量播种技术要求,因此,可以确定小麦排种性能较好的排种盘转速应取 12~18 r/min,负压取 $-3\,200\sim-3\,600\text{ Pa}$ 。此时单位长度内种子粒数为 (18 ± 3) 粒。最终试验结果显示,小麦排种时种子破损率为零。

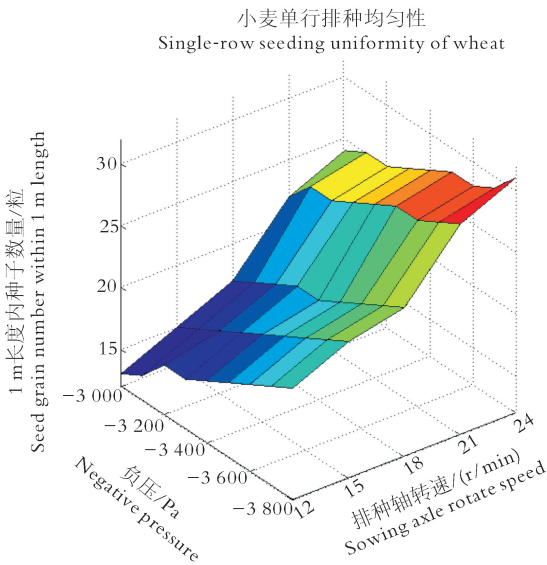


图 4 小麦排种试验指标与排种盘转速、负压的关系曲面

Fig. 4 Relationship between index and rotational speed of seeding plate and negative pressure

3.2 正交试验

1) 油菜排种正交试验。根据前面单因素试验分析,固定正压 400 Pa,种床带速度 1.9 km/h,选取油菜排种效果较好的 3 个转速和负压进行正交试验(表 2)。考虑两因素交互作用,采用正交表 $L_9(3^4)^{[12]}$,每组试验重复 5 次。试验方案及试验结果如表 3 所示。

表 2 油菜排种正交试验的因素与水平

Table 2 Factor and level in orthogonal experiment of rapeseed metering

| 水平 Level | 转速 A/(r/min) Rotate speed | 负压 B/Pa Negative pressure |
|-------------|------------------------------|------------------------------|
| 1 | 12 | -1 000 |
| 2 | 15 | -1 200 |
| 3 | 18 | -1 400 |

对衡量油菜排种性能的两个重要指标进行极差分析(表 4)。从表 4 可知,影响双行平均合格指数的主要因素是 A,其次是 $A\times B$ 和 B;影响双行合格指数一致性变异系数的主要因素是 $A\times B$,其次是 A 和 B;试验指标中平均合格指数是越大越好,双行合格指数一致性变异系数是越小越好,从试验结果表 3 中可得因素 A 取水平 2,因素 B 取水平 3 时两个指标都是最佳值,因此,因素水平组合 A_2B_3 最好。此时转速为 15 r/min,负压为 $-1\,400\text{ Pa}$,双行平均合格指数达 89.99%,漏播指数为 4.44%,双行合格指数一致性变异系数为 0.30%,能够满足油菜单粒精密播种技术要求^[13]。

表 3 油菜排种试验方案和试验结果

Table 3 Program and result in experiment of rapeseed metering

| 试验号 No. test | A | B | A×B | C | 双行合格指数平均值/% Double-row average qualified index | 双行漏播指数平均值/% Double-row average miss index | 双行合格指数一致性变异系数/% Consistency variable coefficient of double-row qualified index |
|-----------------|---|---|-----|---|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 86.06 | 4.19 | 1.05 |
| 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 83.93 | 3.02 | 0.58 |
| 3 | 1 | 3 | 3 | 3 | 81.81 | 3.31 | 2.12 |
| 4 | 2 | 1 | 2 | 3 | 86.04 | 7.04 | 1.25 |
| 5 | 2 | 2 | 3 | 1 | 86.20 | 4.84 | 0.82 |
| 6 | 2 | 3 | 1 | 2 | 89.99 | 4.44 | 0.30 |
| 7 | 3 | 1 | 3 | 2 | 83.21 | 10.53 | 1.05 |
| 8 | 3 | 2 | 1 | 3 | 85.50 | 6.68 | 0.89 |
| 9 | 3 | 3 | 2 | 1 | 85.33 | 4.77 | 0.63 |

表 4 油菜排种试验极差分析结果

Table 4 Result of range analysis in experiment of rapeseed metering

| 评价指标 Evaluation index | | A | B | A×B | C |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 双行合格指数平均值/% Double-row average qualified index | k_1 | 83.93 | 85.10 | 87.18 | 85.86 |
| | k_2 | 87.41 | 85.21 | 85.10 | 85.71 |
| | k_3 | 84.68 | 85.71 | 83.74 | 84.45 |
| | R | 3.48 | 0.61 | 3.44 | 1.41 |
| 双行合格指数一致性变异系数/% Consistency variable coefficient of double-row qualified index | k_1 | 1.25 | 1.12 | 0.75 | 0.83 |
| | k_2 | 0.79 | 0.76 | 0.82 | 0.64 |
| | k_3 | 0.86 | 1.02 | 1.33 | 1.42 |
| | R | 0.46 | 0.35 | 0.58 | 0.78 |

2)小麦排种正交试验。与油菜排种正交试验方法相同,固定正压为 0 Pa,种床带速度为 1.9 km/h。选取对小麦排种效果较好的 3 个转速和负压值进行正交试验(表 5)。考虑两因素交互作用,采用正交表 $L_9(3^4)$,每组试验重复 5 次。试验方案及试验结果如表 6 所示,对衡量小麦排种性能的两个重要指标(单行排种均匀性和双行排量一致性变异系数)进行了极差分析(表 7)并作出趋势图(图 6)。

表 5 小麦排种正交试验的因素与水平

Table 5 Factor and level in orthogonal experiment of wheat metering

| 水平 Level | 转速 A/(r/min) Rotate speed | 负压 B/Pa Negative pressure |
|-------------|------------------------------|------------------------------|
| 1 | 12 | −3 200 |
| 2 | 15 | −3 400 |
| 3 | 18 | −3 600 |

表 6 小麦排种试验方案和试验结果

Table 6 Program and result in experiment and range analysis of wheat metering

| 试验号 No. test | A | B | A×B | C | 双行合格指数 平均值/% Double-row average qualified index | 双行漏播指数 平均值/% Double-row average miss index | 单行排种均匀性 变异系数/% Variable coefficient of single-row seeding uniformity | 双行排量一致性 变异系数/% Consistency variable coefficient of double-row feeding quantity |
|-----------------|---|---|-----|---|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 68.96 | 18.05 | 3.85 | 0.55 |
| 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 74.58 | 7.39 | 3.61 | 0.45 |
| 3 | 1 | 3 | 3 | 3 | 67.53 | 7.06 | 5.88 | 1.22 |
| 4 | 2 | 1 | 2 | 3 | 69.20 | 20.88 | 5.88 | 1.07 |
| 5 | 2 | 2 | 3 | 1 | 70.26 | 13.77 | 5.56 | 0.90 |
| 6 | 2 | 3 | 1 | 2 | 70.70 | 7.23 | 5.26 | 0.68 |
| 7 | 3 | 1 | 3 | 2 | 66.85 | 22.22 | 5.77 | 1.04 |
| 8 | 3 | 2 | 1 | 3 | 68.49 | 17.33 | 4.76 | 0.96 |
| 9 | 3 | 3 | 2 | 1 | 67.04 | 11.55 | 4.35 | 0.89 |

表 7 小麦排种试验极差分析结果

Table 7 Result of range analysis in experiment of wheat metering

| 评价指标 Evaluation index | | A | B | A×B | C |
|----------------------------------------------------------------------------------|-------|------|------|------|------|
| 单行排种均匀性变异系数/% Variable coefficient of single-row seeding uniformity | k_1 | 4.45 | 5.17 | 4.62 | 4.59 |
| | k_2 | 5.57 | 4.64 | 4.61 | 4.88 |
| | k_3 | 4.96 | 5.16 | 5.74 | 5.51 |
| | R | 1.12 | 0.53 | 1.13 | 0.92 |
| 双行排量一致性变异系数/% Consistency variable coefficient of double-row feeding quantity | k_1 | 0.74 | 0.89 | 0.73 | 0.78 |
| | k_2 | 0.88 | 0.77 | 0.80 | 0.72 |
| | k_3 | 0.96 | 0.93 | 1.05 | 1.08 |
| | R | 0.22 | 0.16 | 0.32 | 0.36 |

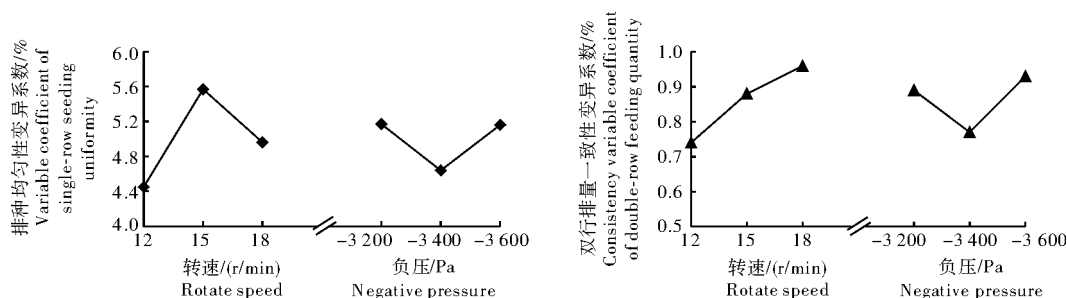


图5 因素与指标的趋势图

Fig. 5 Tendency chart of factors and indexes

从表7可以看出:影响单行排种均匀性变异系数的主要因素是 $A \times B$,其次是A和B;影响双行排量一致性变异系数的主要因素是 $A \times B$,其次是A和B;两个指标值都是越小排种性能越好。从图5可以看出,因素A取水平1,因素B取水平2时两个指标都是最佳值,因此,因素水平组合 A_1B_2 最好,此时转速为12 r/min,负压为-3 400 Pa,双行平均合格指数达74.58%,平均漏播指数为7.39%,单行排种均匀性变异系数为3.61%,双行排量一致性变异系数为0.45%,能够满足小麦精量播种技术要求^[13]。

4 讨论

本试验设计的油麦气力式一器双行兼用型排种器,利用正负压组合原理,采用一器两用可实现双行排种;通过更换排种盘,兼用油菜和小麦播种,简化了排种器单体结构,减小了在播种机上的占用空间,可降低油菜与小麦机械化播种的投入成本,提高油菜与小麦生产过程中机械化种植程度。

单因素试验结果表明:设计的排种器工作性能与原单行排种器的排种性能规律相符,能够实现双行兼用排种,其单行合格指数、重播指数、漏播指数、排种均匀性、双行排量一致性等主要性能指标受排种盘转速、负压值影响显著;种床带速度、正压值对排种性能指标没有显著影响。试验过程中种子破损率均为零,所需负压要比原单行排种器高但不到2倍,同等播行下有利于减小风机动力消耗。

正交试验结果表明:播种油菜时,在投种正压为400 Pa、吸种负压为-1 400 Pa、油菜排种盘转速为15 r/min时,双行平均合格指数可达89.99%,漏播指数为4.44%,双行合格指数一致性变异系数为0.30%,能满足油菜单粒精密播种技术要求;播种小麦时,在投种正压为0 Pa、吸种负压为-3 400 Pa、

小麦排种盘转速为12 r/min时,双行平均合格指数达74.58%,平均漏播指数为7.39%,单行排种均匀性变异系数为3.61%,双行排量一致性变异系数为0.45%,能满足小麦精量播种技术要求。因油菜种子近似于球形且流动效果好,在该排种器上可实现单粒精密播种;小麦种子形状不规则,三维尺寸有所差异且流动性较差,在播种小麦时尚能满足精量播种,但合格指数有待提高。另外,小麦属分蘖作物,尚需结合农艺要求进行播量和株距分布的研究。

参考文献

- [1] 杨松,廖宜涛,廖庆喜. 2BFQ-6型油菜精量联合直播机气力式排种系统试验研究[J]. 农业工程学报, 2012, 28(17): 57-62.
- [2] 田波平,廖庆喜,黄海东,等. 2BFQ-6型油菜精量联合直播机的设计[J]. 农业机械学报, 2008, 39(10): 211-213.
- [3] 张宇文,孟庆立,张文超,等. 我国油菜播种机械的现状和问题[J]. 农业机械, 2012(1): 107-109.
- [4] 李旭. 气力式油菜精量排种器工作机理与试验研究[D]. 武汉: 华中农业大学工学院, 2012.
- [5] 吴福通. 正负气压组合式油菜籽精量排种器的研究[D]. 武汉: 华中农业大学工学院, 2007.
- [6] 杨波,廖庆喜,李旭. 气力式油菜、小麦兼用精量排种器设计及排种分析[J]. 农业工程, 2011, 1(1): 97-101.
- [7] 蔡晓华,吴泽全,刘俊杰,等. 基于计算机视觉的排种粒距实时检测系统[J]. 农业机械学报, 2005, 36(8): 41-44.
- [8] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. GB/T 6973—2005 单粒(精密)播种机试验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005.
- [9] 廖庆喜,李继波,覃国良. 气力式油菜精量排种器试验[J]. 农业机械学报, 2009, 40(8): 44-48.
- [10] 刘俊峰,杨欣,冯晓静. 2BF-8型小麦精播机播种均匀性影响因素分析[J]. 农业工程学报, 2001, 17(6): 64-68.
- [11] 廖庆喜,张猛,余佳佳,等. 气力集排式油菜精量排种器[J]. 农业机械学报, 2011, 42(8): 30-34.
- [12] 刘文卿. 试验设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [13] 中华人民共和国工业和信息化部. JB/T 10293—2013 单粒(精密)播种机技术条件[S]. 北京: 机械工业出版社, 2013.

Design and function analysis of dual-purpose rape-wheat pneumatic double-row metering device

YAN Qiu-yan LIAO Yi-tao LIAO Qing-xi

College of Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

Abstract In the series of 2BFQ precision planter for rape and wheat, the pneumatic metering device can only be used for rapeseed, while the traditional mechanical roller feed is still used in wheat seeding. As a result, this metering device monomer has a shortcoming of low efficiency and high space usage. In order to solve this problem, a double-row pneumatic metering device for rapeseed and wheat was designed. The working principle and main structure of the pneumatic metering seeder have been introduced in this paper. Experimental study on the relationships between the performance indices and the factors such as the rotating speed of the seeding plate, the negative and positive pressure and the speed of seed belt has been carried out. Single factor experiment showed that this meter device can realize double-row seeding for both rapeseed and wheat seed, and the rotating speed of seeding plate and negative pressure in sucking chamber are the main factors which will influence the metering performance. Orthogonal experiment indicated that when the rotating speed of seeding plate is 15 r/min, the negative pressure is $-1\ 400$ Pa and the positive pressure is 400 Pa, the average double-row qualified index of rapeseed reached 89.99%, the average miss index is 4.44% and the consistency variable coefficient of double row qualified index is 0.30%, all of which can match the requirements for rapeseed's single grain precision seeding technology; as for the sowing of wheat seed, when the rotating speed of seeding plate is 12 r/min and the negative pressure is $-3\ 400$ Pa, the average double-row qualified index is 74.58%, variable coefficient of single-row seeding uniformity is 3.61%, the consistency variable coefficient of double-row feeding quantity is 0.45%, which can all match the requirements for wheat's precision seeding technology.

Key words rapeseed; wheat; pneumatic metering device; double-row metering device; metering function

(责任编辑:陈红叶)