

DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.S0.010

气吸与机械辅助附种结合式玉米精量排种器^{*}

杨 丽 史 嵩 崔 涛 张东兴 高娜娜

(中国农业大学工学院, 北京 100083)

【摘要】 针对气吸式排种器播种玉米时漏播率较高、地头漏播严重等问题,设计了一种采用机械托种盘辅助附种的气吸式玉米精量排种器,利用托种盘窝眼对种子的托附和夹持作用,实现对气吸式排种盘的辅助附种。分析并确定了排种器工作区域和托种盘主要结构等关键参数。试验结果表明:在前进速度 6~12 km/h 时,该排种器的粒距合格指数 $A \geq 91.40\%$ 、重播指数 $D \leq 3.82\%$ 、漏播指数 $M \leq 4.78\%$ 、合格粒距变异系数 $C \leq 18.37\%$,具有良好的排种效果。在 10 km/h 作业速度下,该排种器(真空室相对压力 -3 kPa)的各项性能指标均明显优于常规气吸式排种器(真空室相对压力 -4 kPa),其中漏播指数比后者相对降低了 29%。

关键词: 玉米 精量排种器 气吸式 机械式托种盘

中图分类号: S223.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2012)S0-0048-06

Air-suction Corn Precision Metering Device with Mechanical Supporting Plate to Assist Carrying Seed

Yang Li Shi Song Cui Tao Zhang Dongxing Gao Nana

(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract

Focusing on the problem of high missing-seeding rate of commonly used air-suction seed metering device when sowing corn seeds, especially at the edge of fields, a kind of air-suction precision metering device which used a mechanical supporting plate to assist carrying seeds was designed. There were many cells around the edge of the mechanical supporting plate which help to support and grip seeds, so the performance of attaching seeds of the air-suction seeding disc increased remarkably. The parameter of metering-device working area and main structural parameters of the supporting plate were analyzed and determined. Experiment results showed that the seeding quality of the newly designed metering device was satisfactory and the qualified index of seed spacing exceeded 91.40%, the missing-seeding rate and the reseeding rate were less than 3.82% and 4.78% respectively, and the coefficient of variation of seed spacing was less than 18.37%. All of which were obviously better than the corresponding indexes of commonly used air-suction seed metering device under the same working speed and air pressure.

Key words Corn, Precision metering device, Air-suction, Mechanical supporting plate

引言

玉米机械化精量播种能节约良种、省去人工间苗、增加玉米产量、实现节本增收,因此近年来已成

为玉米播种的主要发展方向。而性能稳定可靠、能适应高速作业的精量排种器则是实现玉米机械化精量播种的关键。

目前,生产中常用的玉米精量排种器主要有机械式、气吸式、半气吸式等。

收稿日期: 2012-07-07 修回日期: 2012-07-18

^{*} “十二五”国家科技支撑计划资助项目(2011BAD20B09)和中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2012QJ118)

作者简介: 杨丽,副教授,博士,主要从事农业装备和农业机器人研究,E-mail: yl_hb68@126.com

通讯作者: 张东兴,教授,博士生导师,主要从事农业装备研究,E-mail: zhangdx@cau.edu.cn

械式、气吹式和气吸式 3 类。机械式(如勾轮式)排种器结构简单,在低速作业时能够实现精量播种,但在使用过程中种子机械破损率较高,难以适应高速作业^[1-5],一般作业速度不宜超过 5 km/h。气吹式排种器对种子大小、形状的适应性较强、充种效果好、适宜高速作业,工作速度可达 10 km/h,但当吹气压力不够时容易导致重播,且地头重播严重^[6-9]。气吸式排种器适宜于大豆等类圆形种子,能实现在较高速作业条件下的精量播种,但在播玉米这种非类圆形种子时漏播率较高、动力消耗大,特别是在地头风机转速不够、气压不足时漏播严重,易出现缺苗断垄现象,主要适用于大田块作业^[10-14]。

本文针对气吸式排种器漏播率高、地头漏播严重等问题,设计一种气吸与机械辅助附种结合式玉米精量排种器,在排种盘吸附种子的一侧设置一托种盘,利用托种盘窝眼对种子的托附和夹持作用,实现对气吸式排种盘的辅助附种,达到减少漏播、特别是解决地头漏播严重的问题。

1 总体结构与工作原理

气吸与机械辅助附种结合式精量排种器总体结构如图 1 所示,主要由底壳、密封垫、排种盘、托种盘、上盖及料斗、清种器、卸种器、导种板和传动轴等组成。其中上盖与排种盘之间形成的腔室分为充种区 I、清种区 II、携种区 III 和排种区 IV 4 个区,真空室贯穿 I、II、III 3 个区。

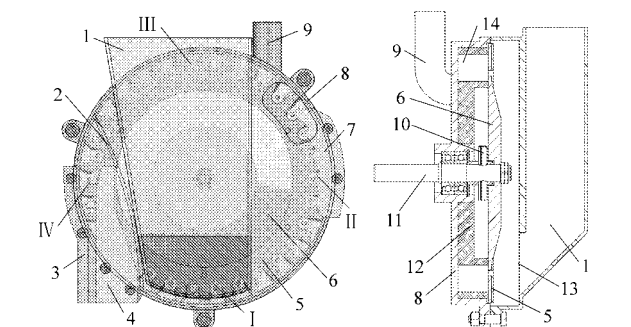


图 1 排种器结构示意图

Fig. 1 Structural diagram of metering device

1. 上盖及料斗 2. 隔离板 3. 导种板 4. 卸种器 5. 托种盘
6. 排种盘 7. 清种器 8. 底壳 9. 吸气管 10. 拨杆 11. 传动轴
12. 密封垫 13. 进料口 14. 真空室

排种器工作时,料斗内的种子经进料口进入充种区 I (但在隔离板的阻隔作用下,不会进入排种区 IV),在后续种子的推挤作用和排种盘上圆形吸孔的负压吸力作用下,1~2 粒种子会进入托种盘上的半圆形窝眼内。当排种盘逆时针旋转时,位于窝眼内的种子在负压吸力和托种盘窝眼的托附与夹持作用下,会随排种盘一起逆时针运动,而位于窝眼开

口处的种子会在重力和离心力的作用下逐渐滑落回充种区 I。

当种子运动到清种区,受到清种器的连续扰动,只有与排种盘吸孔接触最紧密、占据吸孔面积最大的那粒种子会在内、外压差的作用下被牢牢吸附在窝眼内,其余的种子会被拔掉,落回充种区 I。

吸附在窝眼内的种子在托种盘窝眼的托附与夹持作用下安全越过携种区 III,运动至排种区 IV。由于在排种区 IV 处没有气室,排种盘吸孔对种子不再有吸附作用,因此种子会被卸种器从托种盘半圆形窝眼中逐渐拔出,并沿导种板与卸种器之间形成的滑道顺利落下,完成单粒排种。

2 关键参数与部件设计

2.1 工作区域参数

工作区域参数主要是充种区、清种区、携种区和排种区的范围以及真空室的长度(图 2)。

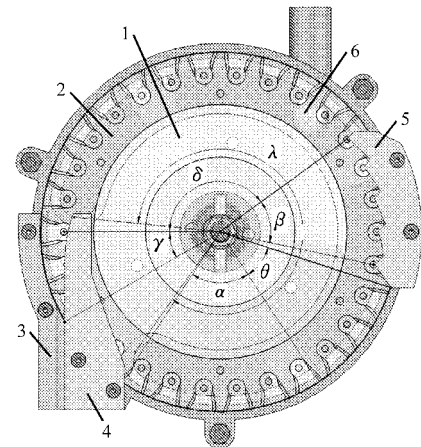


图 2 排种器工作区域参数

Fig. 2 Parameters of working area

1. 密封垫 2. 真空室 3. 导种板 4. 卸种器 5. 清种器 6. 吸
气口

为了保证良好的充种性能,将充种区设置在上盖与排种盘之间形成的腔室的最下端,以排种盘竖直轴线为中心左右对称分布的一段区域内。充种区范围根据文献[15]提供的参数确定,设计中选取充种角 $\alpha = 66^\circ$ 。

充入托种盘窝眼及开口处的玉米种子随着排种盘的旋转离开充种区,先进入一个自清种区域。位于窝眼内的种子在负压吸力和窝眼的托附与夹持作用下,会随排种盘一起继续运动,而位于窝眼开口处的种子会因开口大且方向向下而在重力和离心力的作用下逐渐滑落回充种区。通过试验观察,窝眼开口处的种子在离开充种区 35° 以后基本上都会滑落掉。设计中选取自清种区域的范围 $\theta = 40^\circ$ 。

为了适应不同大小的玉米种子,托种盘窝眼按

玉米种子的最大尺寸设计,这就会导致同一个窝眼内可能会同时充入 1 粒以上的玉米种子,从而增大重播率。而位于窝眼内的种子由于受到负压吸力和窝眼的托附与夹持作用,靠自清种无法将多余的种子清除掉,因此在自清种之后设置一个强制清种区域。采用锯齿形清种器挤压吸孔处的种子,从而将多余的种子拨落,保证单粒率。通过试验,确定清种齿的个数为 5 个,即强制清种区域的范围 $\beta = 48^\circ$ 。

吸附在吸孔上的单粒种子在越过清种区之后进入携种区。在携种区由于托种盘窝眼的开口向上,因此托种盘窝眼能对种子起到很好的托附和夹持作用,有效地避免由于气压不稳或振动造成吸附在吸孔上的种子掉落,避免漏播。携种区到卸种器开始卸种的位置结束(该位置同时也是排种区的开始位置),其范围 $\delta = 144^\circ$ 。

在排种区,采用圆弧形卸种器并利用相对运动原理将托种盘窝眼内的玉米种子逐渐拨出。排种区从水平位置开始到玉米种子完全脱离排种盘结束,其范围 $\gamma = 30^\circ$ 。

真空室贯穿充种区、清种区和携种区,其角度范围 $\lambda = 300^\circ$ 。

2.2 关键结构及参数

2.2.1 托种盘

为了兼顾充种性和清种性,并保证顺利排种,托种盘窝眼卡口的关键结构参数的选取至关重要。其主要设计参数包括窝眼直径 d_p 、窝眼卡口长度 l 、窝眼开口最窄处宽度 d_z 、窝眼开口后倾角 ϕ 、窝眼开口前倾角 μ 和托种盘厚度 h 等。为了确定上述参数,分别测量了郑单 958 和先玉 335 两个具有代表性的玉米品种各 500 粒的外形尺寸,种子未经分级,数据如表 1 所示。

表 1 玉米种子三维尺寸
Tab.1 3-D measurement of corn seeds

参数	郑单 958			先玉 335			总体		
	长	宽	厚	长	宽	厚	长	宽	厚
最大值	12.8	10.6	8.0	12.8	10.8	6.1	12.8	10.8	8.0
最小值	7.3	5.9	4.6	10.2	8.1	4.4	7.3	5.9	4.6
平均值	11.06	8.86	5.60	12.03	8.67	4.91	11.38	8.76	5.34
标准差	1.22	0.96	0.81	0.61	0.45	0.47	1.06	0.83	0.71

窝眼直径 d_p 应能保证长度尺寸最大的玉米种子能够完全进入窝眼(图 3),假定玉米种子在中心处被吸附,则有

$$d_p > a \tag{1}$$

$$\frac{d_p}{2} > \frac{a-z}{2} + z \tag{2}$$

式中 a ——玉米种子长度最大值
 z ——玉米种子尖端的长度,一般为 1.5 ~ 2 mm,这里取 $z = 2$ mm

由式(1)、(2),可得

$$d_p > a + z \tag{3}$$

由玉米种子测量数据可知,1 000 粒种子中有 99.2% 的种子长度范围为 9 ~ 13 mm,设计时选取 $a = 13$ mm,因此初步选定窝眼直径 $d_p = 15$ mm。

设计窝眼卡口长度 l 时,应保证在开口处充有种子的情况下窝眼内不至于被架空,则有

$$l > \frac{d_p}{2} + \frac{a-z}{2} + z + a \tag{4}$$

将 $d_p = 15$ mm、 $a = 13$ mm、 $z = 2$ mm 代入式(4),可得 $l > 28$ mm,设计时选取 $l = 29$ mm。

窝眼开口最窄处宽度 d_z 应保证不卡种,则

$$d_z \geq a \tag{5}$$

设计时选取 $d_z = 13$ mm。

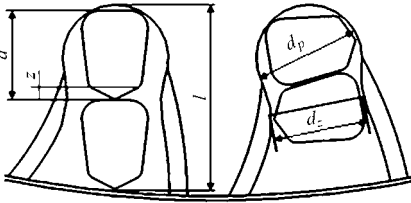


图 3 窝眼卡口基本结构参数
Fig.3 Structural parameters of cells

窝眼开口后倾角 ϕ 应能保证在自清种区对位于窝眼内的种子有一定携持作用,但同时能使位于窝眼开口处的种子顺利滑落(即使在自清种的末端区域)。通过试验确定窝眼开口后倾角 $\phi = 14^\circ$ 。窝眼开口前倾角 μ 应能保证在排种区的初始位置卸种器都能将种子顺利拨动,不至于磕种。通过试验确定窝眼开口前倾角 $\mu = 9^\circ$ 。为了使位于窝眼开口处的种子容易滑落,对开口处的两条边线进行了 60° 倒角(图 4)。

适当选取较大的托种盘厚度 h 有利于携种。种子在吸附过程中的受力如图 5 所示,要使种子不至

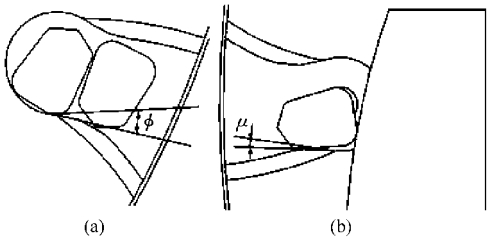


图4 窝眼卡口角度参数

Fig.4 Angle parameters of cell

(a) 种子位于自清种区的末端区域 (b) 种子位于排种区初始位置

于掉落,必须满足

$$F \frac{d}{2} \geq Tt \tag{6}$$

其中 $F = \frac{\pi d^2}{4} (P_a - P_1)$ (7)

$$t = b/2 - h \tag{8}$$

式中 F ——种子受到的吸附力
 d ——排种盘上吸孔直径
 T ——种子重力 G 和惯性力 J 的合力
 t —— T 到托种盘距离
 P_a ——大气压力 P_1 ——真空室压力
 b ——玉米种子厚度

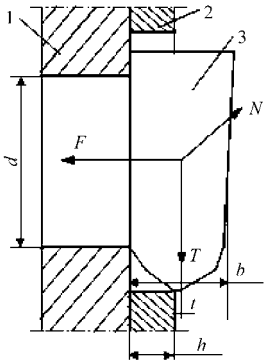


图5 种子受力分析

Fig.5 Force analysis for seed

1. 排种盘 2. 托种盘 3. 玉米种子

将式(7)、(8)代入式(6),可得

$$\frac{\pi d^3}{8} (P_a - P_1) \geq T \left(\frac{b}{2} - h \right) \tag{9}$$

由式(9)可以看出,在其他参数一定的情况下,随着 h 的增大, P_1 增大,即对真空室负压的要求减小,这正是采用托种盘的优势所在。但随着 h 的增大,会造成清种困难,且容易磕种,因此 h 最大不能超过玉米种子厚度的一半。由测量数据可知,绝大部分玉米种子的厚度范围为 4.5 ~ 8.0 mm,设计时选取 $h = 2.2$ mm。

2.2.2 排种盘

排种盘的主要结构参数包括排种盘直径 D 、吸孔分布圆直径 D_1 、吸孔数目 N 和吸孔直径 d 。排种盘直径 D 和吸孔数目 N 之间的关系为

$$N = \frac{2\pi}{s} \left[\frac{D}{2} - \left(l - \frac{d_p}{2} \right) \right] \tag{10}$$

式中 s ——2 个吸孔中心之间的弧长

由式(10)可以看出, s 一定时,随着排种盘直径 D 的增大,吸孔数目 N 增多,在转速一定的情况下,排种盘旋转一周落下的种子就越多,即在相同的株距下,排种盘直径 D 增大可以降低排种盘转速,有利于实现高速作业。设计时参照生产中常用的气吸式排种器,选取排种盘直径 $D = 240$ mm,吸孔数目 $N = 30$ 。吸孔分布圆直径

$$D_1 = 2 \left(\frac{D}{2} - l + \frac{d_p}{2} \right) \tag{11}$$

由式(11)可以计算出吸孔分布圆直径 $D_1 = 197$ mm。

吸孔直径 d 根据种子的尺寸确定

$$d = (0.64 \sim 0.66) c \tag{12}$$

式中 c ——种子平均宽度

由测量数据可知,1 000 粒种子的宽度平均值为 8.76 mm,因此选取吸孔直径 $d = 5.6$ mm。

3 试验与结果分析

3.1 试验材料与设备

未经分级的郑单 958 玉米种子尺寸比先玉 335 玉米种子的尺寸变化大(表 1),因此试验选用未经分级的郑单 958 进行排种器排种质量的测试,以便于考察排种器对种子大小的适应性。试验材料选用金博士牌郑单 958 玉米杂交种,千粒质量 331.6 g、含水率 13.1%,种子未经分级。试验在 PS-12 型排种器性能检测试验台上进行。该试验台可实现排种性能的实时检测,提供精确的种子粒距(粒距测量平均误差 ± 2 mm)、合格指数、重播指数、漏播指数和变异系数等检测指标。

3.2 试验方法

试验旨在测试排种器的工作性能,考察排种器在 6、8、10、12、15 km/h 5 种机器前进速度下的排种情况单因素试验,真空室相对压力参照常规的气吸式排种器选取中等压力 -3 kPa。给定种植密度 67 500 株/hm²、行距 600 mm 时株距为 247 mm,相应播种机工作速度下的排种盘转速为

$$n_p = \frac{60 \times 10^3 v}{3.6 S_z N} \tag{13}$$

式中 v ——播种机前进速度,km/h

S_z ——株距,mm

试验根据 GB/T 6973—2005《单粒(精密)播种机试验方法》的规定,指标包括合格指数、重播指数、漏播指数、合格粒距变异系数和种子机械破损

率,各指标按国家标准方法计算。每个速度进行3次重复,取平均值。

3.3 试验结果与分析

试验得到气吸与机械辅助附种结合式玉米精量排种器排种指标如表2所示。

表 2 不同作业速度下的排种性能指标
Tab.2 Performance of metering device under different working velocities

前进速度 v /km·h ⁻¹	排种盘 转速 n_p /r·min ⁻¹	合格 指数 A/%	重播 指数 D/%	漏播 指数 M/%	变异 系数 C/%	种子 破损 率/%
6	13.5	97.20	2.11	0.69	12.42	0
8	18.0	96.93	2.35	0.72	14.97	0
10	22.5	93.84	2.54	3.62	16.22	0.33
12	27.0	91.40	3.82	4.78	18.37	1.00
15	33.7	85.70	5.48	8.82	21.46	2.67

从测试数据可看出,在播种机前进速度不大于12 km/h的情况下,粒距合格指数均能达到90%以上,重播指数和漏播指数不高于5%,合格粒距变异系数小于20%,种子破损率不大于1%,满足国标精密播种机播种粒距在200~300 mm时,粒距合格指数 $A\geq 80\%$ 、重播指数 $D\leq 15\%$ 、漏播指数 $M\leq 8\%$ 、合格粒距变异系数 $C\leq 30\%$ 、种子破损率小于1.5%的播种质量要求。表明该排种器在玉米种子未经分级、尺寸差异较大的情况下也能够达到较高的排种质量,具有良好的工作性能。但该排种器与常规的气吸式排种器相比,不足之处在于其对种子稍有损伤。

由试验结果还可看出,在真空室相对压力一定的情况下,随着排种盘转速的升高,粒距合格指数呈下降的趋势,重播指数没有明显变化,漏播指数、合格粒距变异系数和种子机械破损率均上升。当播种机前进速度达15 km/h时,漏播指数和种子机械破损率已超过国标规定的排种质量要求,因此采用该排种器的玉米精量播种机其最大作业速度最好保持

在12 km/h之内。
将10 km/h高速作业工况下的试验结果与文献[16]中的气吸式精量排种器(真空室相对压力为-4 kPa)进行比较,如表3所示。

表 3 排种器排种效果比较
Tab.3 Comparison between different metering devices

排种器 类型	真空室相对 压力/kPa	合格指 数 A/%	重播指 数 D/%	漏播指 数 M/%	变异系 数 C/%
气吸式	-4	87.48	7.40	5.12	16.27
机械附种气吸式	-3	93.84	2.54	3.62	16.22

从表3可看出,该排种器即使工作在较低的真空室相对压力下,其排种性能也明显优于常规的气吸式排种器,特别是漏播指数与前者相比相对降低了29%。

4 结论

- (1) 气吸与机械辅助附种结合式玉米精量排种器,利用托种盘窝眼对种子的托附和夹持作用,能够实现对气吸式排种盘的辅助附种,达到降低对真空室负压要求、减少漏播的效果。试验数据表明,在10 km/h作业速度下,该排种器真空室相对压力在-3 kPa下工作的各项性能指标均优于常规气吸式排种器真空室相对压力在-4 kPa下工作的各项性能指标,漏播率与后者相比相对降低了29%。
- (2) 播种机前进速度在6~12 km/h时,该排种器的粒距合格指数 $A\geq 91.40\%$ 、重播指数 $D\leq 3.82\%$ 、漏播指数 $M\leq 4.78\%$ 、合格粒距变异系数 $C\leq 18.37\%$,能够达到较高的排种质量,具有良好的工作性能。
- (3) 随着排种盘转速的升高,粒距合格指数下降,漏播率、合格粒距变异系数和种子破损率均上升,当播种机前进速度达15 km/h时,漏播率和种子破损率已不能满足精量播种的要求,因此,该排种器的最大作业速度应保持在12 km/h之内。

参 考 文 献

1 李成华,马成林,于海业,等. 倾斜圆盘勺式玉米精密排种器的试验研究[J]. 农业机械学报,1999,30(2):38~42.
Li Chenghua, Ma Chenglin, Yu Haiye, et al. An experimental study on the precision metering device with declined scoop-type disc for maize[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1999, 30(2):38~42. (in Chinese)

2 廖庆喜,高焕文. 玉米水平圆盘精密排种器种子破损试验[J]. 农业机械学报,2003,34(4):57~59.
Liao Qingxi, Gao Huanwen. Experimental study on corn seed damaging in a horizontal plate precision metering[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2003, 34(4):57~59. (in Chinese)

3 廖庆喜,高焕文. 玉米水平圆盘精密排种器排种性能试验研究[J]. 农业工程学报,2003,19(1):99~103.
Liao Qingxi, Gao Huanwen. Experimental study on performance of horizontal disc precision meter for corn seed[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2003, 19(1):99~103. (in Chinese)

- 4 于建群, 马成林, 左春桢, 等. 组合内窝孔玉米精密排种器的试验研究[J]. 农业工程学报, 1997, 13(4): 94~97.
Yu Jianqun, Ma Chenglin, Zuo Chuncheng, et al. Experiment study on precision maize seed metering device of step-type-inner-cell[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 1997, 13(4): 94~97. (in Chinese)
- 5 周祖良, 钱简可. 指夹式玉米精密播种排种器[J]. 农业机械学报, 1986, 17(1): 47~53.
Zhou Zuliang, Qian Jianke. The structure design of the picker finger seed metering units of precision corn seed drill[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1986, 17(1): 47~53. (in Chinese)
- 6 Guarella P, Pellerano A, Pascuzzi S. Experimental and theoretical performance of a vacuum seeder nozzle for vegetable seeds [J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1996, 64(1): 29~36.
- 7 Singh R C, Singh G, Saraswat D C. Optimization of design and operational parameters of a pneumatic seed metering device for planting cotton seeds[J]. Biosystem Engineering, 2005, 92(4): 429~438.
- 8 李成华, 高玉芝, 张本华. 气吹式倾斜圆盘排种器排种性能试验[J]. 农业机械学报, 2008, 39(10): 90~94.
Li Chenghua, Gao Yuzhi, Zhang Benhua. Experiment on dispensing performance of air-sweeping inclined plant seed-metering device[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(10): 90~94. (in Chinese)
- 9 胡树荣, 马成林, 李慧珍, 等. 气吹式排种器锥孔的结构参数对排种质量影响的研究[J]. 农业机械学报, 1981, 12(3): 21~31.
Hu Shurong, Ma Chenglin, Li Huizhen, et al. Effects on conical hole design parameters on seed-metering performance—a study on the pneumatic seed-metering device[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1981, 12(3): 21~31. (in Chinese)
- 10 Karayel D, Barut Z B, Ozmerzi A. Mathematical modeling of vacuum pressure on a precision seeder[J]. Biosystems Engineering, 2004, 87(4): 437~444.
- 11 Karayel D. Performance of a modified precision vacuum seeder for no-till sowing of maize and soybean[J]. Soil and Tillage Research, 2009, 104(1): 121~125.
- 12 Yazgi A, Degirmencioglu A. Optimization of the seed spacing uniformity performance of a vacuum-type precision seeder using response surface methodology[J]. Biosystems Engineering, 2007, 97(3): 347~356.
- 13 Bereket B Z. Effect of different operating parameters on seed holding in the single seed metering unit of a pneumatic planter [J]. Turkish Journal of Agricultural Machinery, 2004, 28(6): 435~441.
- 14 刘文忠, 赵满全, 王文明, 等. 气吸式排种装置排种性能理论分析与试验[J]. 农业工程学报, 2010, 26(9): 133~138.
Liu Wenzhong, Zhao Manquan, Wang Wenming, et al. Theoretical analysis and experiments of metering performance of the pneumatic seed metering device[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2010, 26(9): 133~138. (in Chinese)
- 15 陈立东, 何堤, 谢宇峰, 等. 新型高速气吸式双条精密排种器设计研究[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2006, 18(4): 35~38.
Chen Lidong, He Di, Xie Yufeng, et al. Design of a new type double-row vacuum seed meter[J]. Journal of Heilongjiang August First Land Reclamation University, 2006, 18(4): 35~38. (in Chinese)
- 16 刘佳, 崔涛, 张东兴, 等. 玉米种子分级处理对气力式精量排种器播种效果的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26(9): 109~113.
Liu Jia, Cui Tao, Zhang Dongxing, et al. Effect of maize seed grading on sowing quality by pneumatic precision seed-metering device [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2010, 26(9): 109~113. (in Chinese)