

文章编号: 100226819(2001)0620064205

2BF28 型小麦精播机播种均匀性影响因素分析

刘俊峰, 杨欣, 冯晓静

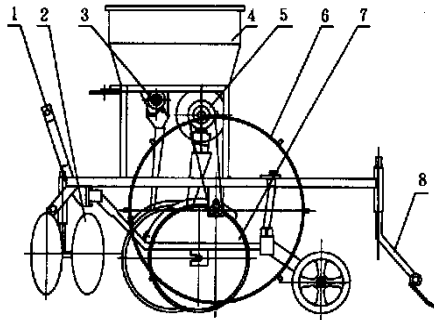
(河北农业大学机电工程学院)

摘要: 小麦精播要求最终实现田间种子精确三维定位, 其中粒距均匀度最难控制。2BF28 型小麦精密播种机采用了已获国家专利的一器两行“球勺形内窝孔小麦精密排种器”为核心部件, 使排种定量、准确、可控、无带动层, 优化配置新型张角可调型双圆盘开沟器, 播种施肥联合作业, 样机性能试验, 其均匀性指标优于农业部《精量半精量机械化播种实施技术要点》。该文从整机角度系统分析影响播种机播种均匀性的诸因素, 论述了提高均匀性的方法和途径。

关键词: 小麦; 精密播种; 均匀性; 影响因素

中图分类号: S223.2⁺3 **文献标识码:** A

2BF28 型小麦精密播种机结构如图 1, 整机由机架、平沟器、排肥器、排种器、种肥箱、开沟器、地轮、开沟器、覆土平地器等部件组成。工作部件由地轮驱动, 种肥量均可调节。



1. 机架 2. 平沟器 3. 排肥器 4. 种肥箱 5. 排种器
6. 地轮 7. 开沟器 8. 覆土平地器

图 1 2BF28 小麦精密播种机简图

Fig 1 The sketch of the model 2BF28 wheat precision planter

小麦精密播种均匀种子流的形成取决于排种、投种和着地 3 个主要环节的协调配合, 每个环节都对种沟内种子排列均匀度有影响, 其中排种器的排种均匀性起主导作用, 输种管、开沟器、投种参数等影响也不能忽视。

收稿日期: 2001204210

基金项目: 国家自然科学基金和河北省教委自然科学基金部分项目
作者简介: 刘俊峰, 教授, 保定市灵雨寺街 38 号 河北农业大学机电工程学院, 071001

1 排种器对排种均匀性的影响

1.1 排种元件的影响

该播种机采用已获国家专利的“球勺形内窝孔小麦精密排种器”为核心部件, 它以排种元件的容腔定量, 无排种带动层, 确保播种定量、准确和等时距种子流的性能^[1,2]。

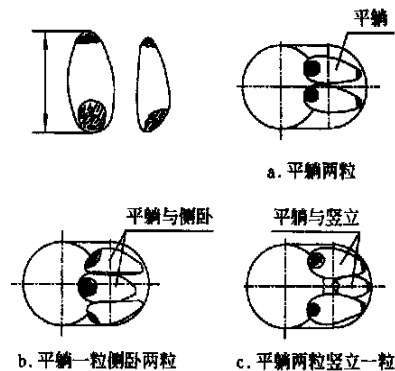


图 2 型孔内种子状态

Fig 2 The seed position in the hole

球勺形内窝孔的设计, 是依据小麦种子的几何尺寸、穴粒数和排种工艺要求确定的。型孔中种子呈“平躺”、“侧卧”、“竖立”三种形态, 因重力场中种子运动状态与其本身存在状态的水平截面积成正比, 故小麦种子的最大概率状态为“平躺”。经实验观察, 小麦在排种轮内腔以其长度方向沿轮缘内壁圆周切线方向排列运动, 以其最大概率状态充入型孔, 一般以“腹沟”平面向下或向上居多, 大部分小端朝向内窝孔, 如图 2 所示。依据散粒体流动特性^[3], 种

子流通过大孔时收缩系数 E 为

$$E = 1 - \frac{l}{D} + \frac{l^2}{4D^2} \quad (2)$$

式中 l ——种子长度; D ——大孔直径。

收缩系数与排种轮型孔大孔直径成正比, 与种子长度成反比。若大孔直径较大或种子长度较小, 种子容易充入型孔。一般大孔直径取 $D = 1.6 l_{max}$, 充种效果最佳。

型孔数量 Z 对排种均匀性有较大影响。在播量 Q 一定的情况下, 单位长度上种簇间距和每簇种子分布长度为

$$\begin{cases} L = \frac{Pd_i}{Z} \\ L = \frac{\$H}{X^1} \left(\frac{d_i}{2} X \right) = \frac{\$H \cdot d_i}{2} \end{cases} \quad (2)$$

式中 L ——种簇间距; L ——每簇种子分布长度; d ——地轮直径; Z ——型孔数; i ——传动比; $\$H$ ——投种时型孔内种子对应圆心角; X ——排种轮角速度。

由(2)式分析, 若单位长度上种簇间距不变, 传动比和型孔个数成正比。因 $\$H$ 和 d 不变, 则每簇种子分布长度决定于传动比大小。传动比 i 增大时, L 增加而空白无种区减小, 有利于种子在田间均匀分布。

1.2 充种速度的影响

在充种区内(如图 3a), 种子在重力、离心力、摩擦力和种间挤推力的联合作用下, 以填补空间、相向速度差和同向速度差 3 种途径充入型孔^[4]。其中前两种途径发生在型孔刚刚进入充种区的一小段区域和时间内, 重力起主导作用。后一途径发生在充种区中后段, 种子层随排种轮转动, 但存在如下关系

$$X > X_i \quad (i = 1, 2, \dots, \text{层})$$

式中 X ——排种轮角速度; X_i ——种子(层)角速度。

随型孔位置的升高, X_i 也由 0 逐渐增大接近 X 。重力充种作用逐渐减小而离心力逐渐增加, 二者联合作用保证了充种充分。种子充入型孔的极限线速度 v_p 与型孔大孔直径 D 有如下关系^[5,6]

$$v_p = (D - ml) \sqrt{\frac{g}{c}} \quad (3)$$

式中 ml ——种子质心距; c ——种子厚度。

由(3)式可知, 大孔直径增大, 种子充入型孔的可能性增加。试验证明, 由于复式型孔用内窝孔定

量, 大孔尺寸不约束排量, 可以适当加大充种极限速度到 $0.36 \sim 0.72 \text{ m/s}$ (经验值充种极限速度 v_p 0.35 m/s) 范围, 即增大机组前进速度, 提高生产率。

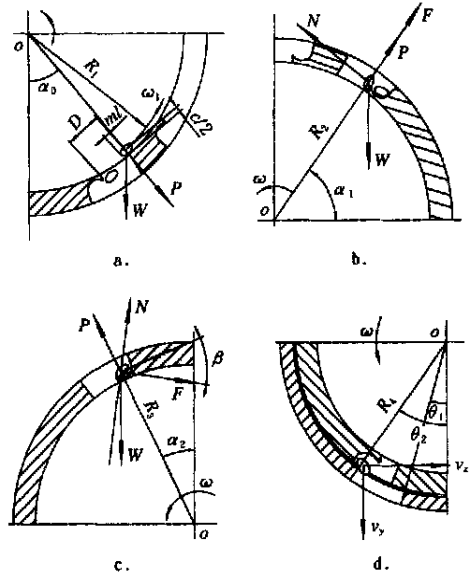


图 3 排种器对均匀性的影响

Fig 3 The influence of seedmeter on uniformity

1.3 清种始角的影响

种子囊入型孔后, 与排种轮做同步旋转进入清种区(如图 3b)。此时种子产生向下滑落的临界条件是

$$W \sin A = P + F \quad (4)$$

式中 W ——种子受的重力, $W = mg$; P ——种子所受离心力, $P = mR_2 X^2$; N ——种子所受支反力; A ——清种始角; F ——摩擦力, $F = N \tan \gamma$, γ ——摩擦角。

种子滑落瞬间式(4)取等号, 经推导得

$$A = \sin^{-1} \left[\frac{R_2 X^2}{g} \cos \gamma \right] + \gamma \quad (5)$$

在式(5)中看出, 随着排种轮半径和转速增加, 清种始角 A 增大, 清种区域减小, 多余种子被型孔携带进入护种区, 增加排种器预设排量。或大孔中的种子受护种板始端和大孔后壁剪切而造成伤种。当排种轮转速 X 增加到一定值, 使 $A = 90^\circ$; 此时则必须使 $P < W$, 否则不能清种。试验发现, 在正常工况下, 清种始角为 $40^\circ \sim 45^\circ$ 清种效果较好。

1.4 护种始角的影响

护种始角的大小直接影响排种器的工作性能, 尤其是种子破损率。种子处于滑动临界状态时有(如图 3c)

$$\begin{cases} N = W \cos(A - B) - P \cos B \\ F = W \sin(A - B) - P \sin B \end{cases} \quad (6)$$

式中 A ——种子滑动临界角; B ——内窝孔底面与排种轮切线夹角。

将重力 $W = mg$, 离心力 $P = mR_3X^2$ (R_3 ——种子质心距排种轮中心距离, X ——轮角速度), 摩擦力 $F = N \tan W$ (W ——摩擦角) 代入式(6) 可解得

$$A = B + \gamma - \sin^{-1} \left[\frac{R_3 X^2 \sin(B + \gamma)}{g} \right] \quad (7)$$

由式(7) 可知, A 随排种轮转速的增加而减小, 当排种轮线速度一定时, 随 R_3 的增大, A 减小。又因为 $\sin^{-1} \left[\frac{R_3 X^2 \sin(B + \gamma)}{g} \right] > 0$, 所以 $A < B + \gamma$ 。故护种始角选取应小于 $B + \gamma$, 避免内窝孔内的种子滑进大孔, 造成掉进内腔的可能性。同时护种始角也要避开清种区末角, 确保清种完全, 避免破碎。试验证明, 护种始角的取值为 $0 \sim 5^\circ$ 时, 排种轮的排种均匀性较好, 而且伤种率低。

1.5 投种始角的影响

如图 3d 所示, 投种始角用 H 表示, 终止角用 H 表示。 H 角是保证投种准确和充分的主要因素, 其大小应首先保证种子顺利投出, 不能发生种子挤伤、与前壁碰撞或被排种轮带走的现象。由种子顺利投出极限状态运动分析得初速度

$$\begin{cases} v_x = R_4 X \cos H \\ v_y = R_4 X \sin H \end{cases} \quad (8)$$

从(8) 式及图 3d 看出, 当 H 和 X 一定时, H 越小, 种子下落越慢, 易被排种轮带走。经验取值一般 $H = 40^\circ$ 为宜。用透明壳体和接种盒进行实验观察发现: 增大投种口, 使 $H = \rho \delta^2$ 时, 若排种轮转速较高, 内窝孔中的种子在重力、离心力和哥氏惯性力的作用下提前抛出, 逐个释放, 脱离排种轮型孔, 起到均种作用。

2 投种路径对播种均匀性的影响

2.1 输种管的影响

输种管内种子存在几种运动状态, 如滚动、滑动、滚动中滑动、滑动中翻转等。其运动状态视输种管倾斜角度、材料, 以及种子初始速度而变化。根据零速投种原理, 应尽量使种子在脱离输种管出口时具有与机组行进速度大小接近而方向相反的水平分速度。如图 4a, 根据动能定理

$$\frac{1}{2} m v_b^2 - \frac{1}{2} m v_a^2 = W_p - W_f \quad (9)$$

式中 m ——种子质量; v_b ——种子出管末速度; v_a ——种子进管初速度; W_p ——种子重力做的功; W_f ——摩擦力做的功。

种子抛出时相对出口水平分速度为

$$v_{bx} = v_b \cos A \quad (10)$$

式中 A ——输种管出口倾斜角度。

由式(9)、(10) 可知, 在输种管投种高度 H 不变的情况下, 增大排种轮转速, 即增大种子进入输种管的初速度 v_b , 或减小输种管出口倾斜角度 A , v_{bx} 增加。但随 A 的减小, 种子从输种口排出不畅, 易发生堵塞, 一般来说, A 值应大于小麦种子的自然休止角, 取值为 $45 \sim 55^\circ$ 时, 种子可顺利流出。

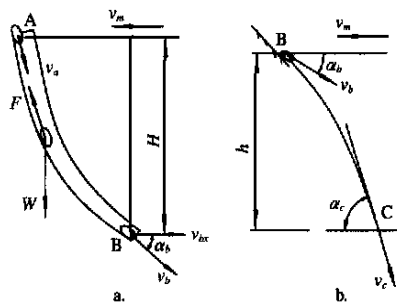


图 4 投种路径对均匀性的影响

Fig 4 The influence of seeding route on uniformity

2.2 投种高度的影响

影响均匀性的还有种子的落地环节, 据文献介绍和试验研究, 种子以 $75 \sim 80^\circ$ 的着地角落地, 弹跳滚动最小^[5,7]。已知种子脱离输种管出口时抛出速度为 v_b , 与水平夹角为 A , 设出口 B 到沟底 C 高度为 h (如图 4b), 落地点 C 处种子速度为 v_c , 与水平夹角为 A , 忽略空气阻力, 建立直角坐标系。

$$\begin{cases} \tan A = \frac{v_b \sin A + g t}{v_m - v_b \cos A} \\ h = v_b \sin A t + \frac{1}{2} g t^2 \end{cases} \quad (11)$$

式中 t ——种子抛出到落地所经历的时间。

由(11) 式解得

$$h = \frac{v_b^2 [(i - \cos A)^2 \tan^2 A - \sin^2 A]}{2g} \quad (12)$$

式中 $i = v_m / v_b$

$$A = 0^\circ \text{ 时 } h = \frac{v_b^2 (i - 1)^2 \tan^2 A}{2g} \quad (13)$$

将式(12)、(13) 两式中的 A 代之以 $75 \sim 80^\circ$, 则可得到最佳投种高度 h 的范围。

根据动能定理可知

$$mgh = \frac{1}{2} m v_c^2 - \frac{1}{2} m v_b^2 \quad (14)$$

式(14)表明若 h 值愈大, 种子动能增加愈大, 落地动能也愈大, 种子愈易产生滚动或弹跳, 所以应尽量取 h 最佳范围的下限值。

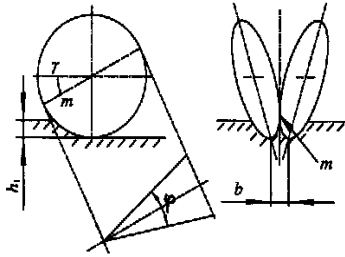


图 5 聚点位置

Fig 5 The aggregation position

2.3 种床的影响

2BF28 型小麦精密播种机使用张角可调式双圆盘开沟器, 如图 5 所示, m 为两圆盘的聚点, 开出的种沟宽度为 b

$$b = D_1(1 - \sin C) \sin \frac{U}{2} \quad (15)$$

式中 C ——聚点和圆盘中心连线与水平线夹角; U ——两圆盘夹角; D_1 ——圆盘直径。

由(15)式看出, 在种沟深度 h_1 不变的情况下, 聚点 m 升高, 即 C 值减小, 种沟宽度 b 增加, 苗幅宽度范围内均匀分布好。但种沟宽度增大的同时, 沟中凸尖升高, 会影响播种均匀性和播深一致性。一般聚点 m 位置略大于最大播深, 两圆盘夹角值约为 $12^\circ \sim 16^\circ$ 。

另外, 种沟直线性、沟深一致性、沟形特性, 以及沟底表面质量也都影响均匀性。

3 其它因素的影响

3.1 地轮滑移率的影响

2BF28 型小麦精密播种机由地轮通过链传动来驱动排种轮, 控制播种机的排量。播量的计算公式为

$$Q = \frac{q}{1.5(1 - D)L_1 a 2n} \quad (16)$$

式中 Q ——播量; q ——各次总排量的平均值; D ——地轮滑移率; L_1 ——播种机行进长度; a ——平均行距; n ——试验用排种器个数。

当地轮滑移率 D 不变时, 播量不发生改变。当地轮滑移率 D 瞬变时, 使播种机播量稳定性变差, 相应播种均匀性也会受影响而变差。本机采用交错轮爪型地轮, 减少地轮滑移率。

3.2 机具振动的影响

当机具进行田间作业时, 由于地表的起伏不平,

使机具发生瞬间随机振动。排种器内腔的种子受振动易充入型孔; 排种器投种区内的种子受振动亦可顺利投出; 位于排种器清种区大孔中的种子受振动会加速下滑, 使清种彻底, 并避免护种板始端对大孔中未清种子的剪切伤种。由于球勺形内窝孔“勺”的特性, 位于内窝孔中的种子却不会因振动而滑出。即此种“容腔”型孔定量的排种器排种均匀性不受机具振动的影响。

4 性能试验

农业部《精量半精量机械化播种实施技术要点》要求, 当小麦播量为 $75 \sim 150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时, 播种作业质量应符合如下条件: 1) 各行排量一致性变异系数 3.9% ; 2) 总排量稳定性变异系数 1.3% ; 3) 种子破损率 0.5% ; 4) 播种均匀性变异系数 60% (按 5 cm 分段), 按 10 cm 分段时, 播种均匀性变异系数 40% 。

2BF28 型小麦精密播种机经过田间试验, 整机试验结果如图 6 所示, 传动比 $i = v \div v_m = 0.6, 0.8, 1.0$ 时 (v 为排种轮线速度, v_m 为机组速度), 播量随排种轮转速的变化关系曲线近于水平, 经统计计算, 播量稳定性变异系数 $1.26\% \sim 1.30\%$, 种子破损率 0.5% , 排种均匀性变异系数 $43\% \sim 58\%$ (5 cm 分段), 符合小麦精播要求。

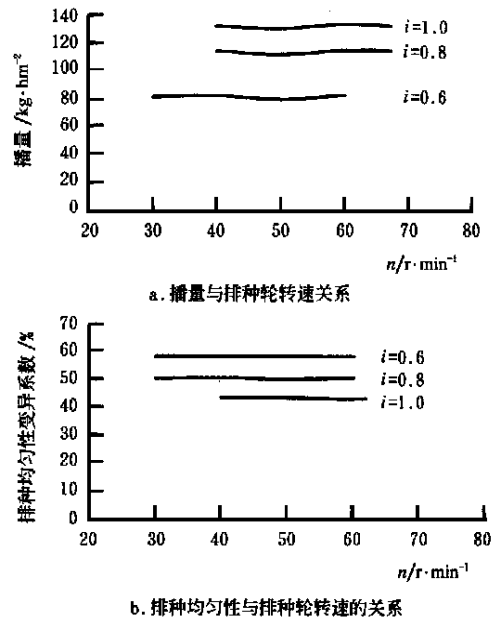


图 6 性能试验结果

Fig 6 The results of performance test

5 结 语

综上所述,提高 2BF28 型小麦精播机播种均匀性的途径有:

- 1) 合理匹配和选择最佳排种轮线速度,清种始角在 $40^{\circ} \sim 45^{\circ}$;正确配置护种板位置,使护种始角在 $0^{\circ} \sim 5^{\circ}$;合理选择排种轮型孔数;
- 2) 合理配置投种口位置,增大投种口释种区长度,使投种始角为 $P\delta_2$,提前投种;
- 3) 用单侧放大分支接种盒提前接种和散种,配置输种管倾斜角度在 $45^{\circ} \sim 55^{\circ}$ 内;
- 4) 适当调整双圆盘开沟器聚点位置及圆盘张角大小,确保种沟质量;
- 5) 选择合适的投种高度,避免地轮滑移等。

[参 考 文 献]

- [1] 刘俊峰 李建华等 小麦精量播种机的研究[J]. 河北农业大学学报, 1999, 22(4): 137~ 142
- [2] Liu Junfeng, et al Experiment study on wheat precision seedmeter of the wheel of innerfilling[A]. 9922 CAE[C]. Beijing, 1999. 11: 69~ 72
- [3] 张波屏 现代种植机械工程[M]. 北京: 机械工业出版社, 1997. 1. 368
- [4] 杨 欣, 刘俊峰等 球勺内窝孔小麦精密排种器充种机理的研究[J]. 河北农业大学学报, 2001, 24 (1): 56~ 60
- [5] 张海飞 内侧充种垂直圆盘排种器机理的研究[D]. 保定: 河北农业大学 1992, 5, 35
- [6] 李建华 2BF28 型小麦精密播种机播种均匀性研究[D]. 保定: 河北农业大学 2000, 6, 47.
- [7] 张宝库等 精密播种机导种筒的理论分析与设计计算[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 1988(2): 41~ 47.

Analysis of Influence Factor on Seeding Uniformity of Model 2BF-8 Wheat Precision Planter

Liu Junfeng, Yang Xin, Feng Xiaojing

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Hebei Agricultural University, Baoding 071001, China)

Abstract: The purpose of wheat precision seeding is to realize the three-dimensional positioning of seeds in field. The seeding uniformity is the most difficult nom to control among the three-dimensional positioning of seeds. 2BF28 wheat precision planter adopts the ball-spoon shaped inter-tilled precision seedmeter as core part and collocates variable angle double-disk opener. Seed-ration feeding is accurate and controllable and no pulling layer. According to Seeding Performance Indexes of Precision and Half Precision with Mechanization issued by the Ministry of Agriculture, the whole-machine trials in field were done. The seeding uniformity index is better than the technique demand. All the influence factors of seeding uniformity are analyzed in a systematic way. And the methods and ways of increasing uniformity are discussed in this paper.

Key words: wheat; precision planting; seeding uniformity; influence factors