

气吸式排种器排种均匀性的 Monte Carlo 模拟

张建平^① 李飞雄

(骊山微电子有限公司) (西北农业大学)

提 要 研究了影响气吸式排种器均匀性的随机因素及其概率分布规律,在得到单粒排种时种子间时间间隔的数学模型的基础上,应用 Monte Carlo(蒙特卡罗)方法研究了排种器的结构参数—吸孔数、投种角、投种半径及投种高度对其排种均匀性的影响规律,为此类排种器的设计提供了依据。

关键词 气吸式排种器 排种均匀性 Monte Carlo 模拟 精密播种

1 引 言

精密播种作业中提高种子田间分布的均匀性可以明显提高作物的产量。有资料表明,播种玉米时,当株距变异系数从 0.6 下降到 0.3,每公顷可增产 127 kg。种子田间分布的均匀性主要取决于以下 5 个环节:① 充种,② 投种,③ 种子从排种器投种点到首次着地的飞行,④ 种子撞击地面,⑤ 覆土与镇压。种子分布的偏差则是从以上环节产生偏差的总和,尽量降低每个环节产生的偏差,对提高均匀性都是有益的。而影响各环节产生偏差的因素均具有动态随机的特性,因此整个精密播种过程是一个动态随机过程,无法用简单的数学方程来描述。

Monte Carlo 方法是解决这种动态随机过程的有效方法。这种方法最独特的性质是用数学的方法在计算机上实现数学模拟试验,以代替需花费大量人力、物力和财力或有些甚至无法做的实际试验^[1]。70 年代美国人 Rohrbach, R P 发表了用 Monte Carlo 播种模型评价精密播种的文章^[2],国内一些学者也证实了用 Monte Carlo 法研究精密播种的可行性^[3],但这些工作中,没有进一步研究排种器的结构参数对其性能的影响规律,故无法为选择结构参数提供依据。

本文用 Monte Carlo 方法研究了气吸式排种器播种大豆种子(秦豆 2 号)时,在 100% 单粒充种的前提下上述②、③ 环节的工作过程,通过模拟运算得到了其结构参数对排种均匀性的影响规律。

收稿日期:1993-03-09

① 张建平,硕士 1. 工程师,陕西省西安市 骊山微电子有限公司,710032

2 影响排种均匀性的因素及其概率分布规律

2.1 影响排种均匀性的因素

高速摄影显示了各种排种器所产生的投种偏差,它是由多种因素产生的,包括投种速度的波动、种子尺寸的变动以及型孔制造误差^[4]。对气吸式排种器还包括种子吸附在吸种孔上的姿态。种子尺寸的变动及吸附姿态的不同影响实际投种点的位置。本文不考虑型孔制造误差,因此影响排种均匀性的因素,可概括为:投种速度和投种点位置的随机波动。

2.2 投种速度的分布规律

用精密排种器微机测试装置测试了排种盘投种速度及其波动情况^[5],发现在考察的 12 个速度水平下,投种速度均在显著水平 $\alpha=0.05$ 下服从正态分布,且速度均方差 S_1 与速度均值 \bar{V} 之间存在良好的线性关系。回归方程(2)式通过了显著性检验,因此只要给出速度的均值(理论值)它的分布规律可由其概率密度函数描述为

$$f(V) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}S_1} \exp\left[-\frac{(V_i - \bar{V})^2}{2S_1^2}\right] \quad (1)$$

$$S_1 = -0.00043 + 0.04937 \bar{V} \quad (2)$$

式中 V_i ——投种速度, m/s; \bar{V} ——投种速度均值, m/s;
 S_1 ——投种速度的均方差, m/s。

2.3 投种点位置波动的表示方法

投种点位置波动用投种位置偏差角 λ 来表示。 λ 的定义为理论投种点(断气开始点 A)和实现投种点(投种时种子的重心位置 G)对排种盘中心 O 的夹角(图 1)。由三角关系

$$\operatorname{tg} \lambda = \frac{S_1 \sin \alpha}{R - S_1 \cos \alpha} \quad (3)$$

由于 λ 为小量,因此有

$$\lambda \approx \frac{S_1 \sin \alpha}{R - S_1 \cos \alpha} \quad (4)$$

式中 R ——投种半径, m; S_1 ——理论投种点 A 与实际投种点 G 之间的距离, m;
 α ——种子的长轴方向与 OA 间的夹角,用来表示种子的吸附姿态。

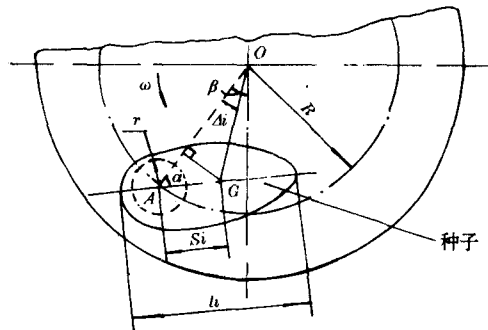


图 1 种子的吸附姿态

Fig. 1 Adsorption gesture of a seed

为了便于理论分析作如下两点假设:① 种子投出时的吸附姿态为 $\alpha=90^\circ$ (这样假设的结果可以产生最大的投种位置偏差角 λ ,以弥补一些未考虑随机因素对 λ 的影响);② 种子

的重心 G 在种子长轴的中点, G 点以相等的概率落在其允许的范围内, 在其允许的范围种子始终将吸种孔覆盖。因此由假设②变量 S_i 在 $[-\frac{l_i}{2} + r, \frac{l_i}{2} - r]$ 内服从均匀分布, l_i 为种子的长度, r 为吸种孔半径。对秦豆 2 号大豆种子长度进行统计分析表明, 服从正态分布, 其均值 $l = 7.6569 \times 10^{-3} \text{ m}$, 均方差 $S_i = 4.1762 \times 10^{-4} \text{ m}$, 因此 l_i 的分布规律可表示为

$$f(l_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}S_i} \exp\left[-\frac{(l_i - l)^2}{2S_i^2}\right] \quad (5)$$

由假设①及(4)式得

$$\Delta_i = \frac{S_i}{R} \quad (6)$$

因此 Δ_i 与 S_i 服从相同的分布: 以正态分布为边界的均匀分布, 其概率密度函数为

$$f(\Delta_i) = \begin{cases} \frac{R}{l_i - 2r} & \Delta_i \in \left[-\frac{l_i}{2R} + \frac{r}{R}, \frac{l_i}{2R} - \frac{r}{R}\right] \\ 0 & \Delta_i \in \text{其它} \end{cases} \quad (7)$$

Δ_i 正负的规定: 推迟投种为正, 提前投种为负。

3 模拟模型的建立

3.1 排种时间的偏差方程

在理想情况下, 种子投出后, 会形成均匀的种子流, 任意相邻两粒种子到达某一投种高度的时间间隔应完全一致, 而实际上由于上述随机因素, 这种一般性受到破坏, 使种子实际到达某一投种高度的时间与理论到达时间出现偏差(图 2)。偏差值为

$$E_i = t_G - t_A + t_c \quad (8)$$

式中 t_G ——从 G 点到 G' 点种子的飞行时间(实际), s; t_A ——从 A 点到 A' 点种子的飞行时间(理论), s; t_c ——推迟投种时间, s。

这里 $t_c = \frac{\Delta_i R}{\bar{v}} = \frac{\Delta_i R}{\bar{v}}$, \bar{v} 为排种盘从 A 点转到 G 点的平均速度, 其值为 $\bar{v} = \frac{1}{2}(V + V_i)$, 因此 $t_c = 2\Delta_i R / (V + V_i)$; 由抛体运动规律可得:

$$t_A = (-V \sin \beta + \sqrt{V^2 \sin^2 \beta + 2gh}) / g;$$

$$t_G = \frac{1}{g} \left\{ -V_i \sin(\beta - \Delta_i) + \sqrt{V_i^2 \sin^2(\beta - \Delta_i) + 2g[h - R \cos(\beta - \Delta_i) + R \cos \beta]} \right\}$$

其中 g ——重力加速度, m/s^2 ; β ——投种角, (度); h ——投种高度, m 。

从而排种时间的偏差方程可表达为

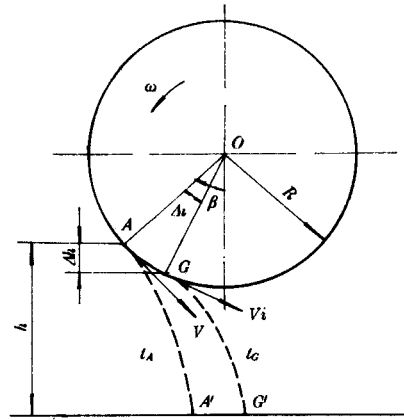


图 2 排种过程

Fig. 2 Seed releasing process

$$E_i = \frac{1}{g} \{ \sqrt{V_i^2 \sin^2(\beta - \Delta_i) + 2g[h - R \cos(\beta - \Delta_i) + R \cos \beta]} - \sqrt{V_i^2 \sin^2 \beta + 2gh} - V_i \sin(\beta - \Delta_i) + V_i \sin \beta \} + \frac{2R\Delta_i}{V + V_i} \quad (9)$$

3.2 单粒排种时种子间时间间隔的数学模型

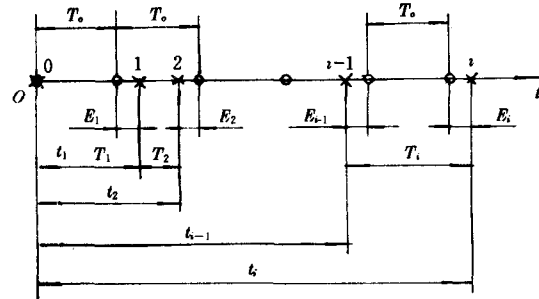
分析可得(图 3)单粒排种时任意相邻两粒种子在时间轴 ot 上的时间间隔为

$$T_i = t_i - t_{i-1} = T_0 + E_i - E_{i-1} \quad (10)$$

式中 T_0 ——理论时间间隔, s;

E_{i-1} ——前一粒种子的排种时间偏差, s。

(10)式即为要建立的模拟模型。



理论到达时间 × 实际到达时间
图 3 种子在时间轴 ot 上的分布

Fig. 3 Seed distribution vary with time

4 排种均匀性的 Monte Carlo 模拟

4.1 投种速度 V_i 抽样的实现

由乘同余法产生 $(0, 1)$ 区间内均匀分布相互独立的伪随机数^[1] X_{1i}, X_{2i} , 取

$$U_{1i} = (-2 \ln X_{1i})^{1/2} \cos(2\pi \times X_{2i}) \quad (11)$$

由文献[1]知 U_{1i} 服从 $N(0, 1)$ 正态分布, 令 $V_i = V + S_i U_{1i}$ (12)

则 V_i 就服从 $N(V, S_i^2)$ 正态分布, 这样即实现了 V_i 的抽样。

4.2 投种偏差角 Δ_i 抽样的实现

首先用实现 V_i 抽样的同样方法来实现种子长度 l_i 的抽样。产生相互独立的伪随机数 X_{3i}, X_{4i} 取 $U_{2i} = (-2 \ln X_{3i})^{1/2} \cos(2\pi X_{4i})$; $l_i = l + S_i U_{2i}$; 此时 l_i 服从 $N(l, S_i^2)$ 正态分布, 即实现了 l_i 的抽样。产生伪随机数 X_{5i} , 取

$$\Delta_i = 2(X_{5i} - \frac{1}{2}) (\frac{l_i}{2R} - \frac{r}{R}) \quad (13)$$

则 Δ_i 服从(7)式的分布规律, 即实现了 Δ_i 的抽样。

4.3 Monte Carlo 模拟程序

模拟程序用 BASIC 语言编写, 程序在 PC8801 计算机上通过, 根据文献[5], 模拟样本量取 250。由模拟模型(10)式, 输入一组结构参数, 便得到一组相应的模拟样本, 最后求出这组样本的均值、均方差和变异系数。

4.4 模拟结果的实际试验验证及模拟模型的修正

为了检验模拟模型及模拟程序的正确性, 对结构参数吸孔数 $Z=24$, 投种角 $\beta=18^\circ$, 投种半径 $R=0.086$ m, 投种高度 $h=0.06$ m, 在 7 个排种频率 f 水平下的模拟试验结果进行了实际试验验证。实际试验在西北农业大学排种器试验台上进行, 使用精密排种器微机测试装

置处理数据^[5],提高了效率及数据精度。验证结果发现模拟试验得到的 T_i 均值与实测均值非常接近,而均方差 S_i 和变异系数 γ 均小于实测值(表1)。其原因可以认为是在推导排种时间偏差方程(9)式时,忽略了一些除投种速度和投种点位置随机波动之外的其它因素的影响,如吸种孔的加工误差,排种盘的振动,种子飞行过程的翻滚及空气阻力等,使模拟结果产生了系统偏移。因此应对模拟模型进行修正,将(10)式修正为

$$T_i = T_0 + K_r(E_i - E_{i-1}) \quad (14)$$

式中 K_r 为修正系数, K_r 的确定应使各 f 水平下修正后的模拟结果均尽量接近实测结果。用最小二乘法思想构造目标函数

$$F(K_r) = \min \sum_{i=1}^7 (S_{i0} - S_i)^2 \quad (15)$$

式中 S_{i0} —— 修正模拟均方差; S_i —— 实测均方差。

用黄金分割法^[6]求得 $K_r = 1.41$,同时对修正后模拟得到的 T_i 样本与实测得到的 T_i 样本进行了正态检验(X^2 检验),方差齐性(F 检验)及均值齐性的检验(t 检验),检验结果认为修正后模拟与实测得到的 T_i 样本来自同一正态总体。因此可以认为修正后的模拟模型(14)式准确地描述了排种过程,修正系数 K_r 取值合理,模拟程序正确。

表1 模拟与实测结果

Tab. 1 Results of measured data and simulated data

排种频率 $f/\text{粒} \cdot \text{s}^{-1}$		7.5	10	13	16	19	22	24.5
均值 $M_i/\times 10^{-3}\text{s}$	实测	133.95	101.90	77.88	62.18	52.83	44.79	40.28
	未修正模拟	132.99	100.01	76.93	62.51	52.64	45.46	40.86
	修正后模拟	133.37	100.03	76.95	62.52	52.65	45.47	40.86
均方差 $S_i/\times 10^{-3}\text{s}$	实测	15.78	11.98	9.12	8.55	7.84	7.34	7.19
	未修正模拟	6.81	5.10	4.05	3.44	3.06	2.82	2.69
	修正后模拟	16.14	12.30	9.75	8.28	7.37	6.80	6.49
变异系数 γ (%)	实测	12.05	12.07	12.52	13.32	13.95	16.39	17.85
	未修正模拟	5.12	5.10	5.27	5.50	5.81	6.20	6.58
	修正后模拟	12.10	12.29	12.68	13.24	14.00	14.96	15.90

5 排种器结构参数对排种均匀性的影响

5.1 吸孔数 Z 对排种均匀性的影响

在 $\beta = 18^\circ, R = 0.086 \text{ m}, h = 0.06 \text{ m}, f = 10, 16, 22 \text{ 粒/s}$ 的条件下,对吸孔数取 12 个水平进行模拟试验(指修正后的模拟试验,下同)表明,变导系数 γ 随 Z 的增加而增加(图4),即排种均匀性随 Z 的增加而变坏。因此为提高排种均匀性吸孔数不应选择太大。

5.2 投种角 β 对排种均匀性的影响

图5给出了当 $Z = 24, R = 0.086 \text{ m}, h = 0.06 \text{ m}, f = 10, 16, 22 \text{ 粒/s}$ 时对投种角 β 取 12 个水平的模拟试验情况。表明在排种器结构允许条件下,应尽量增大 β ,以提高排种均匀性。

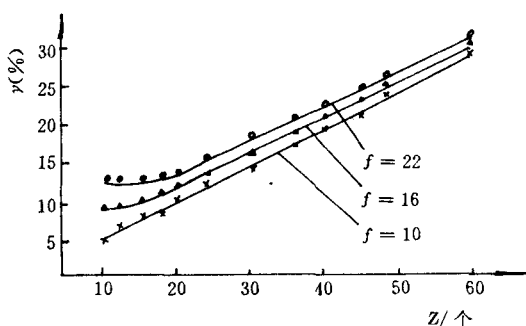


图4 吸孔数 Z 对排种均匀性的模拟曲线
Fig. 4 Simulation graph of effect of the number of suction holes Z on release homogeneity

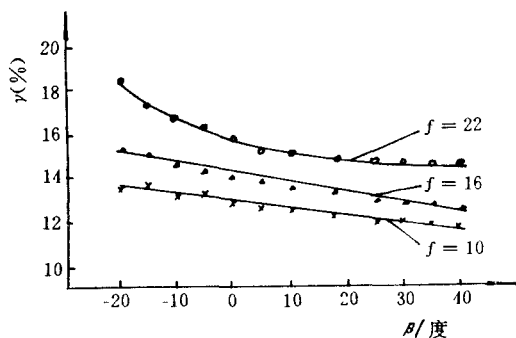


图5 投种角 β 对排种均匀性影响的模拟曲线
Fig. 5 Simulation graph of effect of release angle β on release homogeneity

5.3 投种半径 R 对排种均匀性的影响

图6 给为投种半径 R 取 12 个水平进行了模拟试验曲线,可以看出 γ 随 R 的增加而减小,且趋势越来越平缓,因此适当增加投种半径可以提高排种均匀性。

5.4 投种高度 h 对排种均匀性的影响

图7 为投种高度 h 取 12 个水平的模拟试验曲线, γ 随 h 的增加而增加,当 $h < 0.20\text{m}$ 时,曲线上升很快,当 $h > 0.20\text{m}$ 后曲线上升变缓且近于水平直线,因此为提高排种均匀性,应尽量降低投种高度。

由图4~图7可以看出, f 值越大,曲线越高,说明排种频率越大,排种均匀性越差。

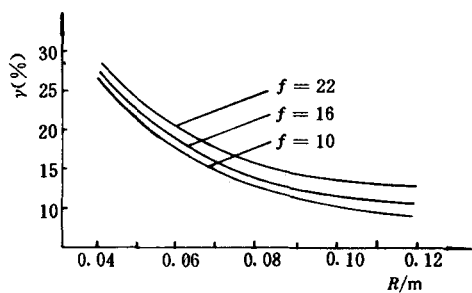


图6 投种半径 R 对排种均匀性影响的模拟曲线
Fig. 6 Simulation graph of effect of release radius R on release homogeneity

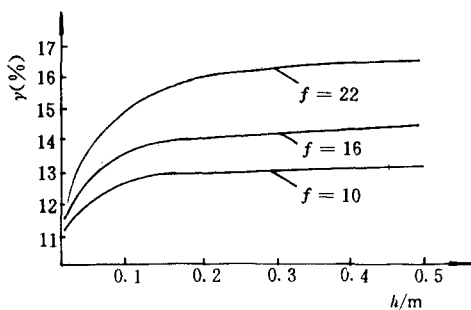


图7 投种高度 h 对排种均匀性影响的模拟曲线
Fig. 7 Simulation graph of effect of release height h on release homogeneity

6 结 论

1) 本文建立的模拟模型准确地描述了气吸式排种器的排种过程 验证试验表明:修正系数取值合理,模拟结果可信。

2) Monte Carlo 模拟结果表明:尽量降低投种高度,适当减少吸孔数、增加投种角和投种半径,有利于提高气吸式排种器的排种均匀性。

参 考 文 献

- 1 中山大学数学系编. 概率论与数理统计(下册). 北京:高等教育出版社,1988,301~313,321
- 2 Rohrbach R P. Evaluating precision planting based on a Monte Carlo planter Model. Trans of the ASAE, 1971, 14(6):1146~1149
- 3 马成林. 精密播种的统计模拟探讨. 吉林工业大学学报,1984(3):23~31
- 4 Wilson J M. The effect of release errors and the release point on the design of precision seed drills. J Agric Engng Res, 1980(25):407~419
- 5 张建平. TP801 单板机在精密排种器测试中的应用. 全国高校机械工程测试技术研究会西北分会年会论文,1990,1~13
- 6 汪萍等编. 机械优化设计. 武汉:武汉地质学院出版社,1986,47~50

The Monte Carlo Simulation on Release Homogeneity of Suction-Type Metering Device

Zhang Jianping

(Lishan Microelectronic Corp.)

Li Feixiong

(Northwestern Agricultural University)

Abstract

The random factors affecting release homogeneity of suction-type metering device and their probability distribution laws are discussed. Based on the mathematical model of the intervals between seeds with releasing single seed, Monte Carlo method was used to study and obtain the effect of the metering device's structure parameters—number of suction holes, release angle, release radius and release height, on its release homogeneity. The results may be used for reference in the design of such kind of metering devices.

Key words Suction-type metering device Release homogeneity Monte Carlo simulation
Precision planting