

2n 花粉静电分选的机理研究

郭清南 张路军 李法德 杨传友 张晓辉 侯存良
(山东农业大学)

摘要: 在静电分选海棠花粉的实验基础上, 从花粉细胞膜电位和花粉在电场中荷电的角度出发, 作了花粉在静电场中的受力及运动分析, 研究了 2n 花粉的分选机理, 从而得出了 2n 花粉在极板上的位置比 n 花粉位置要靠下的结论。

关键词: 2n 花粉; 静电分选

2n 花粉在植物育种和进化上有重要意义。2n 花粉在以下方面具有广阔的应用前景: 有性多倍化往往比体细胞加倍更有利; 将有利基因直接从低倍性引入到高倍性育种; 克服远缘杂交不亲和性和胚乳平衡数障碍; 马铃薯种子繁殖^[1]。很多植物品种产生 2n 花粉, 这就使得 2n 花粉在育种上的应用具有很大潜力, 但 2n 花粉的自然发生频率一般很低。如调查表明, 苹果的 2n 花粉的发生频率为 0.1014% ~ 1.171%, 梨的 2n 花粉的发生频率为 0.102% ~ 0.138%, 葡萄的 2n 花粉的发生频率为 0.1015% ~ 5.185%^[2]。这样低的 2n 花粉发生频率对实际的育种价值不大。如果通过适当的方法, 把 2n 花粉与 n 花粉的混合物中分选出来, 从而提高 2n 花粉的频率, 将大大提高杂交育种产生多倍体新品种的概率。

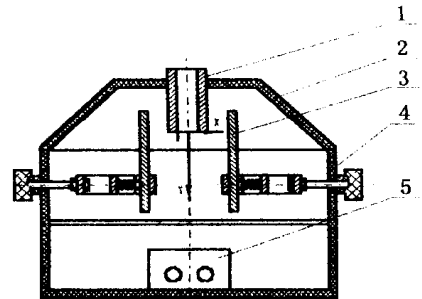
1 分选装置及实验方法简介

1.1 2n 花粉静电分选装置

为探求一种简单易行的从 2n 花粉与 n 花粉混合物中分选出 2n 花粉的方法和装置, 我们进行了大量的实验, 并在基本上弄清分选机理的基础上, 研制出了 2n 花粉静电分选装置, 其结构如图 1。该装置已申请了国家专利, 申请号为 9922131216。

1.2 2n 花粉的分选实验方法

2n 花粉与 n 花粉的混合物从喂入口加入, 并在不受电场干扰的屏蔽管内的静止空气中自由沉降, 使 2n 花粉与 n 花粉以不同的沉降速度进入高压匀强电场, 且带上了负电荷, 受电场力的作用, 而落到正极板的不同部位。单倍体(n)的小花粉粒多数落于正极板的上方, 而 2 倍体(2n)的大花粉粒绝大多数落于正极板的下方。把 y 坐标轴的原点取在屏蔽管 1 的下端中心处, 正方向指向下方, 则统计正极板上不同 y 坐标处 2n 花粉(简单的方法以花粉的粒径 D 来区分^[2])的频率, 便可判断分选效果



11 兼花粉喂入口的金属屏蔽管 21 上盖 31 极板 41 箱体 51 高压直流发生器

图 1 2n 花粉静电分选装置简图

Fig 1 The diagram of 2n pollen electrostatic separating installation

的好坏。

2 2n 花粉的分选机理

2.1 花粉在静电场中的荷电分析

根据生物电磁学, 花粉细胞在静息状态下都具有内负外正的静息膜电位^[3]。细胞膜的外侧形成一层正离子, 内侧形成一层负离子, 其电荷面密度为:

$$R = \frac{\$U_m}{4Pk d} \tag{1}$$

式中 $\$U_m$ ——静息膜电位, V; d ——膜厚, m; k ——库仑定律的比例系数 $k = 9 \times 10^9 \text{ (N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2})$ 。花粉进入静电场后, 被高速运动的电子群所撞击, 从而又使花粉表面获得电荷面密度 R , 花粉实际所带电荷为这两种电荷的叠加。

2.1.2 花粉在静电场中受力分析

为研究问题的方便, 假设花粉的形状为球形。花粉在高压静电场中受到 5 个力的联合作用, 如图 2 所示。花粉在这 5 个力的作用下, 沿着不同的轨迹运动, 最终达到正极板的不同部位而被分离。

铅垂方向作用的力有:
重力

$$G = \frac{4}{3} Pa^3 Qg \tag{2}$$

空气浮力

$$F_f = \frac{4}{3} Pa^3 Qg \tag{3}$$

铅垂方向的空气迎面阻力

$$F_{dy} = 6PaLv_y \tag{4}$$

水平方向作用的力有:

水平方向的空气迎面阻力

$$F_{dx} = 6PaLv_x \tag{5}$$

电场力 F_e 根据电动力学, 可求得:

$$F_e = - 1123 \times 10^{-3} PRE a^2 - 214 \times 10^{-3} PRE a^2 \tag{6}$$

上述各式中 a ——花粉半径, m; L ——空气的动力粘度, Pa · s; Q ——花粉的密度, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$; Q ——空气的密度, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$; v_x ——花粉在 x 方向的分速度, $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; v_y ——花粉在 y 方向的分速度, $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; E ——电场强度, $\text{V} \cdot \text{m}^{-1}$; R ——静息状态花粉荷电面密度, $\text{C} \cdot \text{m}^{-2}$; R ——花粉在电场内附加荷电面密度, $\text{C} \cdot \text{m}^{-2}$; g ——重力加速度, $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。

2.1.3 花粉在静电场中的运动分析

花粉在静电场中的动力学方程为:

$$\begin{cases} F_e - F_{dx} = m \frac{dv_x}{dt} \\ G - F_f - F_{dy} = m \frac{dv_y}{dt} \end{cases} \tag{7}$$

式中 m ——花粉的质量, kg。

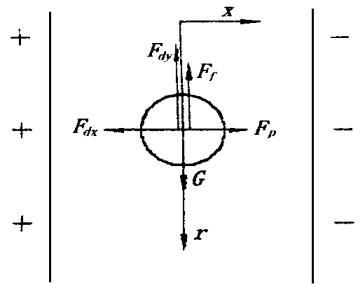


图 2 花粉粒的受力

Fig 2 The forces acting on a pollen grain

将公式(4)、(5)代入(7),解这两个二阶线性非齐次微分方程并简化后得:

$$\begin{cases} v_x = \frac{F_e}{6PLa} \\ v_y = \frac{G - F_f}{6PLa} \end{cases} \quad (8)$$

由式(8)知,花粉运动的合速度的大小为:

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \frac{\sqrt{F_e^2 + (G - F_f)^2}}{6PLa} \quad (9)$$

合速度的方向为:

$$H = \arctg \frac{v_y}{v_x} = \arctg \frac{G - F_f}{F_e} \quad (10)$$

式中 H —— v 与 x 轴正方向的夹角,即花粉将沿此方向运动。

将 G 、 F_f 、 F_e 代入上式即得:

$$H = \arctg \frac{4(Q - Q_{ag})}{(-3169 \times 10^{-3}R - 712 \times 10^{-3}R)E} \quad (11)$$

由此公式看出,因为大、小花粉的 Q 、 R 可看作近似相等,电场强度 E 相同,因此, H 与花粉半径 a 成正比。

因为 $a_{\text{大花粉}} > a_{\text{小花粉}}$, 所以 $H_{\text{大花粉}} > H_{\text{小花粉}}$, 相应地 $y_{\text{大花粉}} > y_{\text{小花粉}}$, 即大花粉在正极板上的位置比小花粉在正极板上的位置要靠下。这样就可实现把粒径不同的大、小花粉分开的目的。因为 $2n$ 花粉明显地大于 n 花粉, 所以提高了大花粉的频率, 即提高了 $2n$ 花粉的频率。这一理论分析与实验结果相符。

3 实验结果与分析

我们用海棠花粉作了分选实验,分选结果如表 1、图 3 所示。

表 1 $2n$ 花粉分选结果

Tab 1 The separation results of $2n$ pollen

电压 V ökV	极板间距 s öcm	下落距离 y öcm	平均粒径 D öLm	大花粉频率 ö%
10	9	118	1514	0
		211	2614	0
		213	2811	2816
		216	3017	3517

由表 1、图 3 看出,大花粉落在极板上的位置比小花粉的位置要靠下,即随着下落距离的增大,大花粉的频率也增大,故用此静电分选的方法可提高大花粉的频率,也即可提高 $2n$ 花粉的频率。

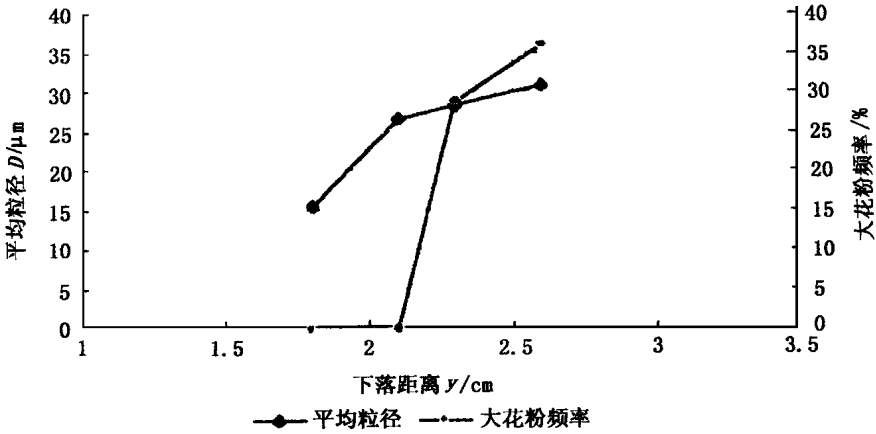


图 3 分选结果图

Fig 3 Separation result graph

[参 考 文 献]

[1] 刘国俭等. 苹果品种资源 2n 花粉普查. 河北果树, 1997(1): 9~ 11

[2] 从配华. 果树 2n 配子自然发生及人工诱导的研究: [博士学位论文]. 沈阳: 沈阳农业大学, 1998

[3] Obemeyer G, Blatt M R. Electrical properties of intact pollen grains of *lilium longiflorum*: characteristics of the non-germinating pollen grain. *Journal of Experimental Botany*, 1995, 46: 803~ 813

Research on the Theory of Electrostatic Separation of 2n Pollen

Guo Qingnan Zhang Lujun Li Fade Yang Chuanyou Zhang Xiaohui Hou Cunliang
(Shandong Agricultural University, Taian 271018)

Abstract Based on the test of electrostatic separation of *Malus spectabilis* pollen, starting from pollen cell membrane potential and the charge of pollen in electrostatic field, in this paper the force and movement of pollen in an electrostatic field was analysed. The theory of electrostatic separation 2n pollen was studied and consequently an conclusion was drawn that the location of 2n pollen on the electrostatic field plate is lower than n pollen.

Key words: 2n pollen; electrostatic separation