

玉米花粉扩散和基因飘流 的半经验模型

胡凝

2012.12.7

转基因重大专项重点课题2009ZX08011-019B资助

主要内容

- 研究背景
- 基本思路
- 结果与分析
 - 试验与观测
 - 花粉扩散过程中的几个特征量
 - 花粉数量、花粉竞争力与异交率
 - 基因飘流的风险评估
- 结论与讨论

一 转基因作物的关注焦点-安全性

食用安全

- 转基因食品可能产生过敏反应
- 抗生素标记基因可能使人和动物产生抗药性
- 转基因食品可能具有毒性



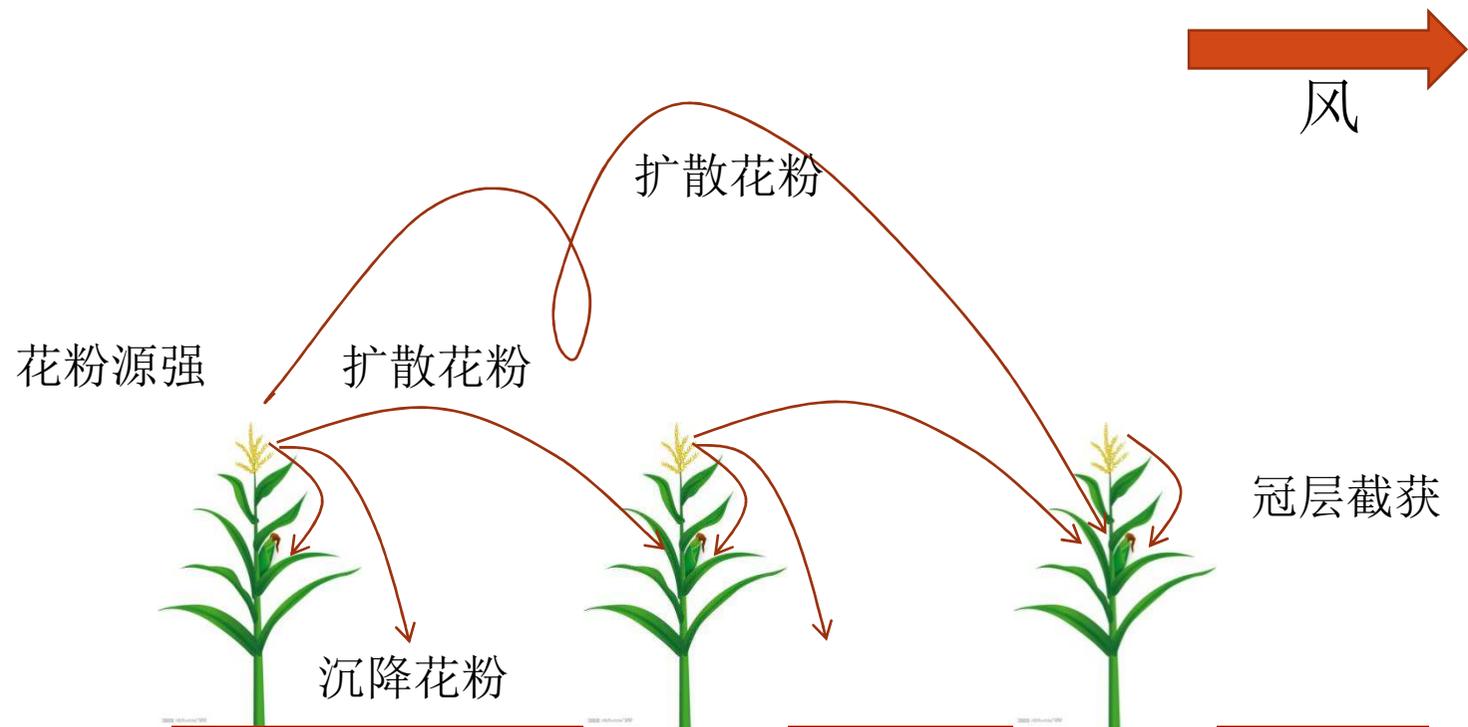
生态安全

- 转基因作物本身可能演变为农田杂草
- 通过基因漂流影响其他物种：包括花粉逃逸距离，基因漂流频率.....
- 对生物多样性的威胁

研究背景

- 转基因玉米商业化生产的临近
- 过去玉米基因飘流试验数据
 - 分散在各地1-2年的试验结果，条件不同，相互难以比较。比如中国黑龙江、山东等地的转Bar基因玉米基因飘流试验。
- 育种家繁殖制种的经验
 - 自交系繁殖500m，杂交玉米制种300m。
- 借鉴国内外转基因作物模型的经验，选择合适的参数化方案，对评估主要玉米产区基因飘流的风险。

二、基本思路



高斯模型

- 将每株玉米看作一个花粉点源：

$$q(x, y, z, t) = \frac{Q(i, j, H, t)}{2\pi u_H \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{(y-j)^2}{2\sigma_y^2}\right] \exp\left\{-\frac{[z-H+(x-i)V_d/u_H]^2}{2\sigma_z^2}\right\}$$

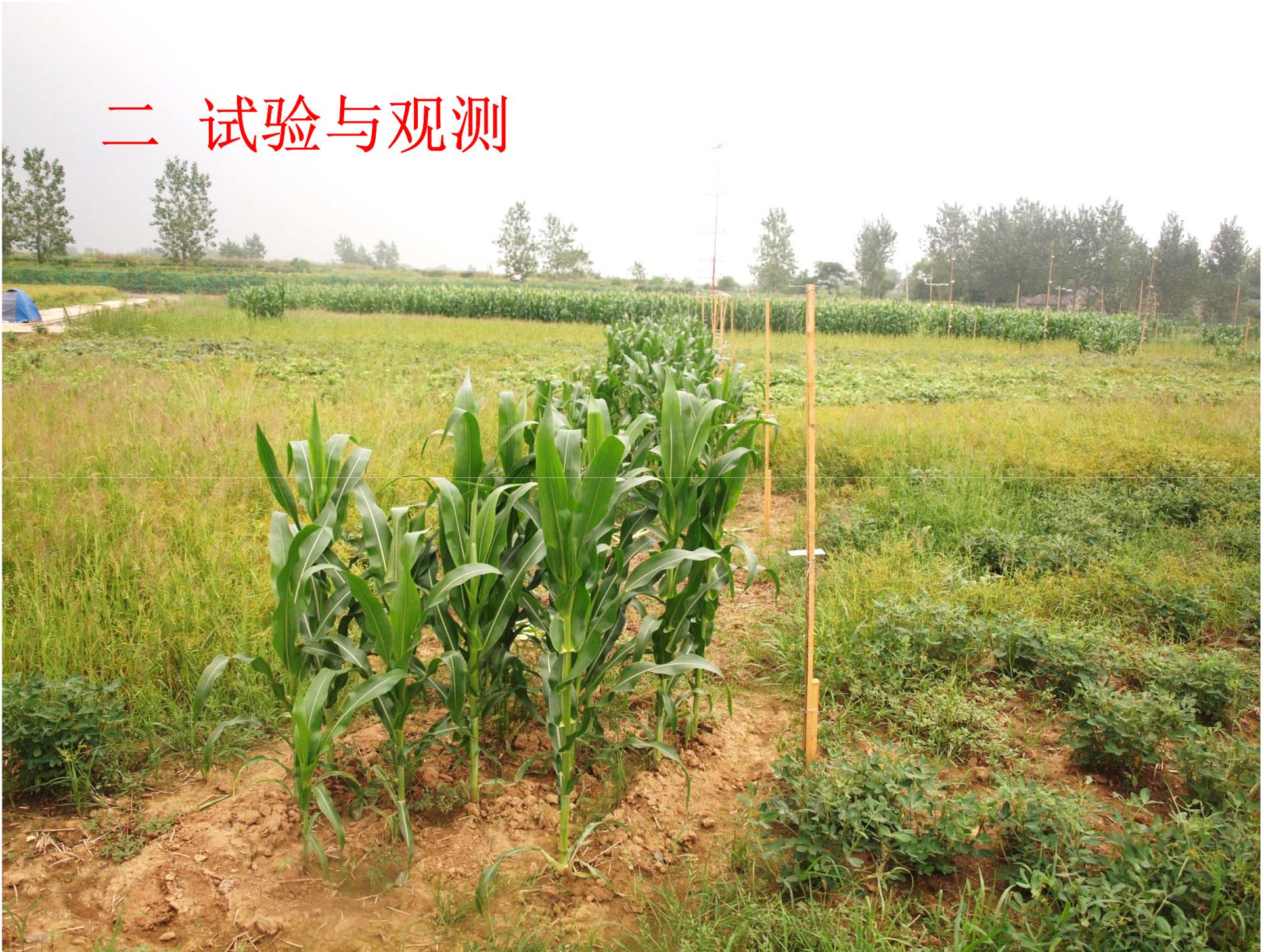
$$q_{\text{donor}}(x, y, z, t) = \int_0^{2\pi} \int_0^{R_{\text{donor}}} q(x-r\cos\theta, y-r\sin\theta, z, t) \cdot dr \cdot d\theta$$

$$q_{\text{recipient}}(x, y, z, t) = \int_0^{2\pi} \int_{R_{\text{donor}}}^{R_{\text{recipient}}} q(x-r\cos\theta, y-r\sin\theta, z, t) \cdot dr \cdot d\theta$$

(i, j) 和 (r, θ) 分别为花粉源的直角坐标和极坐标位置； H 为花粉源高度； R_{donor} 、 $R_{\text{recipient}}$ 为花粉供体区和受区半径。

Q 为单个点源平均每秒释放的花粉量，即实际花粉源强； u_H ：玉米雄穗高度的平均风速； V_d ：花粉干沉降速度； σ_y 、 σ_z ：侧风向和垂直向的大气扩散参数。

二 试验与观测



1. 试验地点



2. 试验材料

- 花粉供体：种皮紫色，该性状完全显性
 - 紫糯18(Z18)
- 花粉受体：种皮黄色，为隐性性状。
 - 吉单35(J35, 公主岭试验用)
 - 苏608(S608, 溧水试验用)



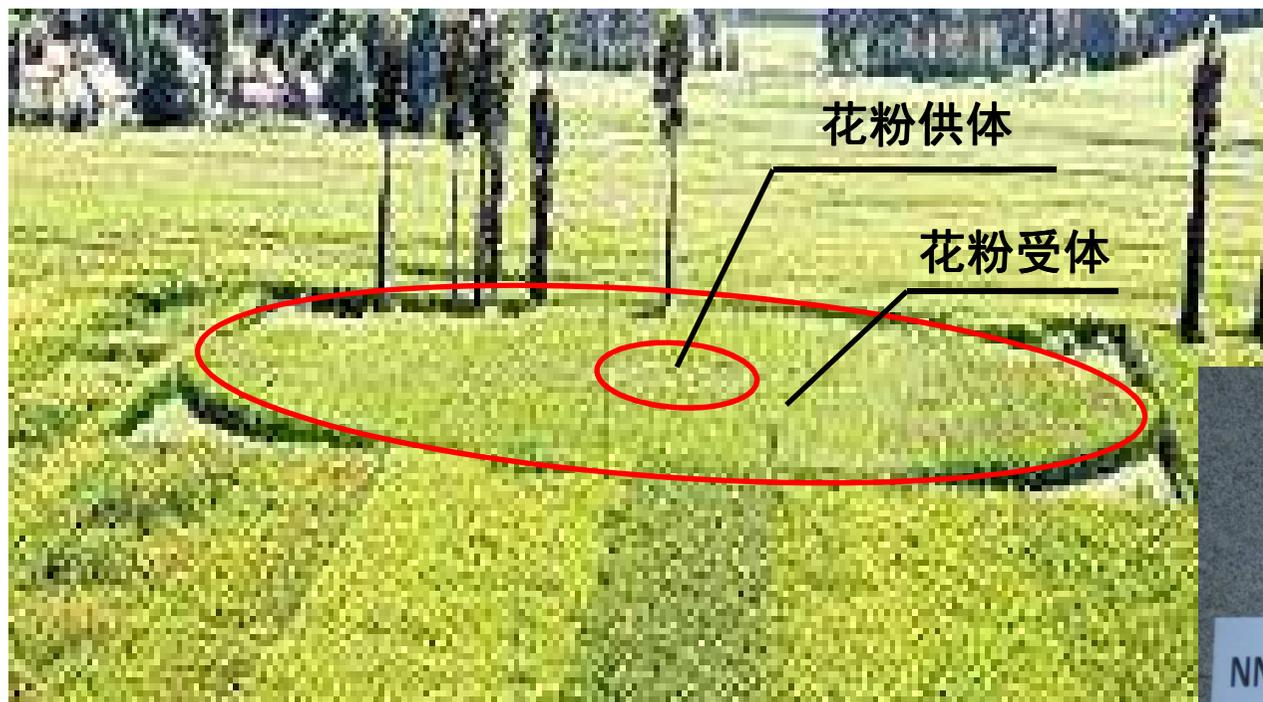
两种材料种皮性状
均纯合。



注：我们试验田面积较大，虽然采用花期隔离，但是考虑到安全性，没有用转基因材料。

3. 基因飘流田间试验设计

- 吉林公主岭：花粉供体半径15m，花粉受体半径65m
- 江苏溧水：花粉供体半径10m，花粉受体半径20m



吉林公主岭试验（与周围玉米田播种期错开35d）



基因飘流率取样

- 取样方位:

N、NNE、NE、ENE、E、ESE、SE、SSE、S、SSW、SW、WSW、W、WNW、NW、NNW。

- 取样距离:

公主岭： 0m、1m、3m、5m、7m、10m、15m、20m、25m、30m、35 m、40m、50m、60m。

溧水： 0m、1m、3m、5m、7m、10m、15m、20m。

- 样本数量： 0m、1m、3m、5m测点的样本籽粒数 ≥ 5000 粒，尽管样本小，但是基因飘流率高，精度也满足要求。其余测点的样本籽粒数 ≥ 10000 粒。

基因飘流率 计算方法

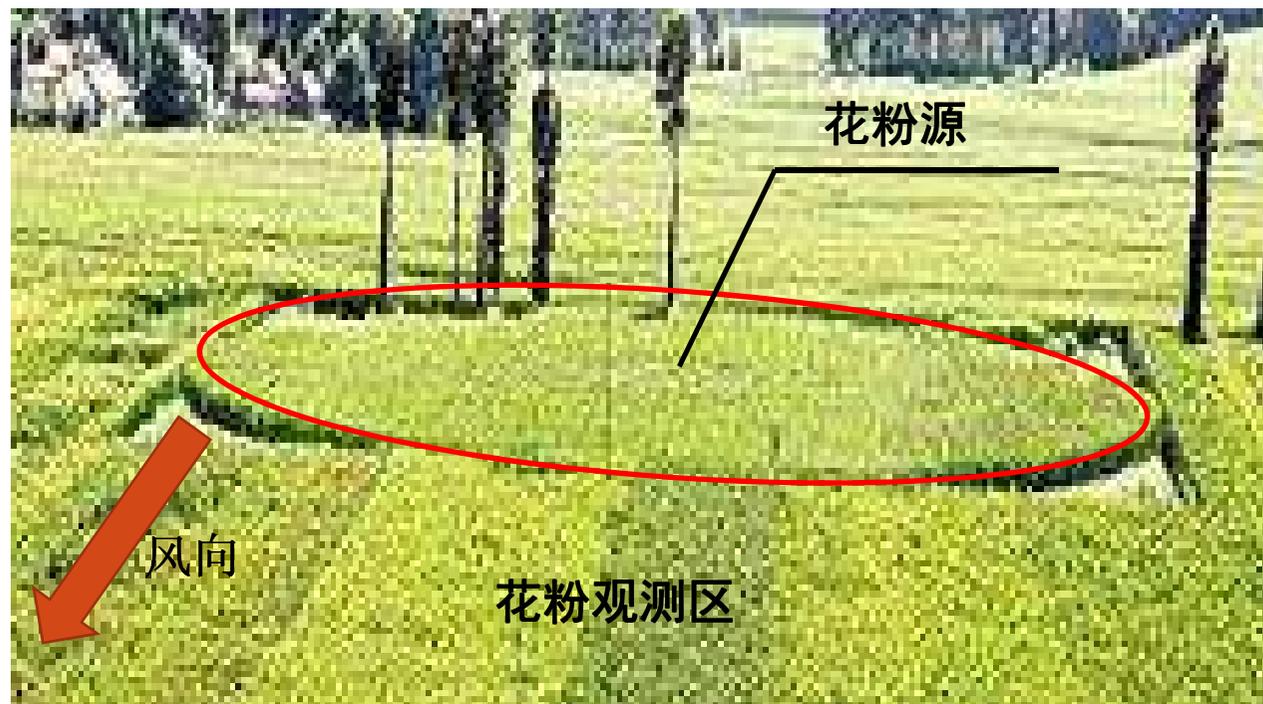
$$G(\%) = \frac{N_{\text{donor}}}{N_{\text{donor}} + N_{\text{recipient}}} \times 100\%$$

$G(\%)$: 玉米的基因飘流率
 N_{donor} : 紫色玉米籽粒数
 $N_{\text{recipient}}$: 黄色玉米籽粒数



4. 花粉扩散田间试验设计

将花粉供体和花粉受体看作一个花粉源



吉林公主岭试验（与周围玉米田播种期错开35d）

花粉浓度观测位置

- 观测方位:

- 主风向下风区5条夹角为 22.5° 的观测线上。

- 观测距离:

- 公主岭试验: 1m、3m、6m、10m、15m、20m、50m、100m、150m;
- 溧水试验: 1m、5m、10m、14m、16m、18m、20m、22m、24m、26m、28m、30m、50m、75m、120m、240m。

- 观测高度:

- 雄穗高度(3m/2m); 雌穗高度 (1.6m/1.05m)。

- 观测时间:

- 白天6:00-17:00; 夜间17:00-次日6:00

观测方法

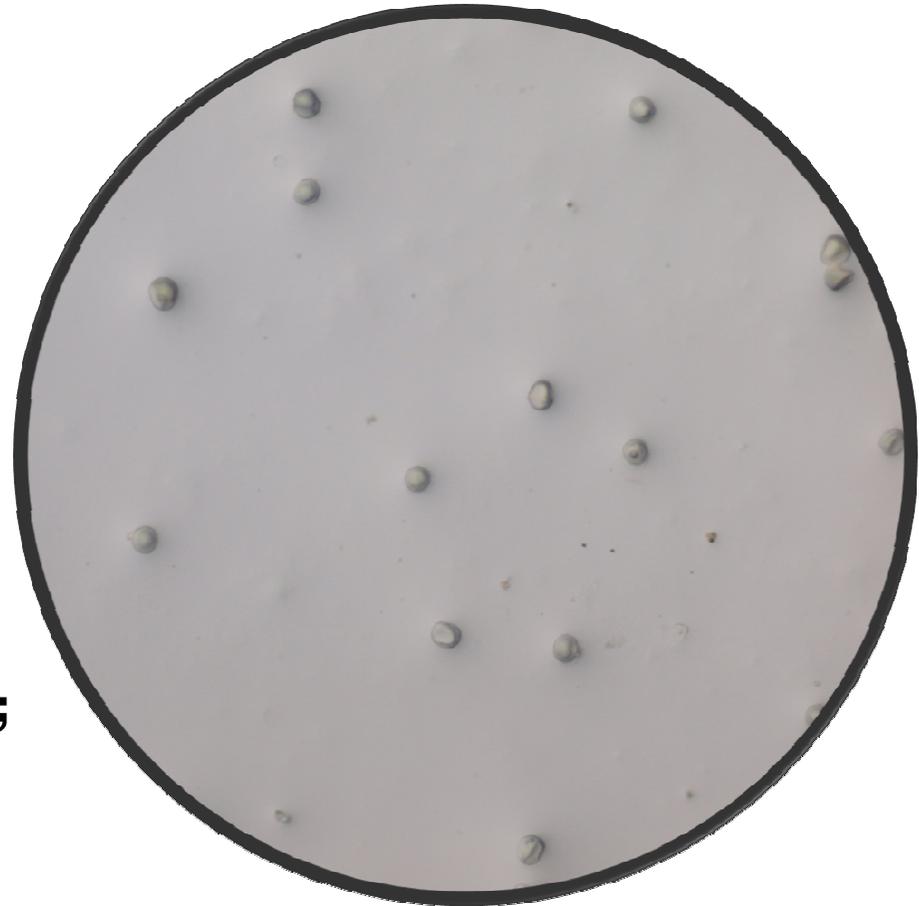


- 用涂有凡士林的载玻片观测花粉沉降量。

花粉沉降通量 计算方法

$$d = \frac{N_{\text{pollen}}}{t}$$

N_{pollen} 是单位面积花粉粒数；
 t 是载玻片在空气中的暴露
时间



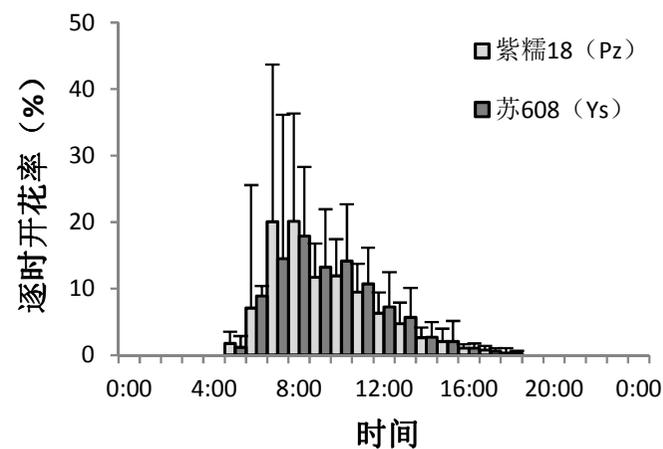
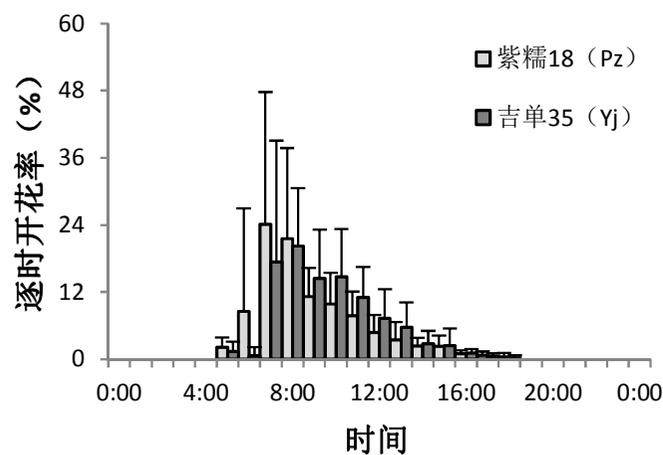
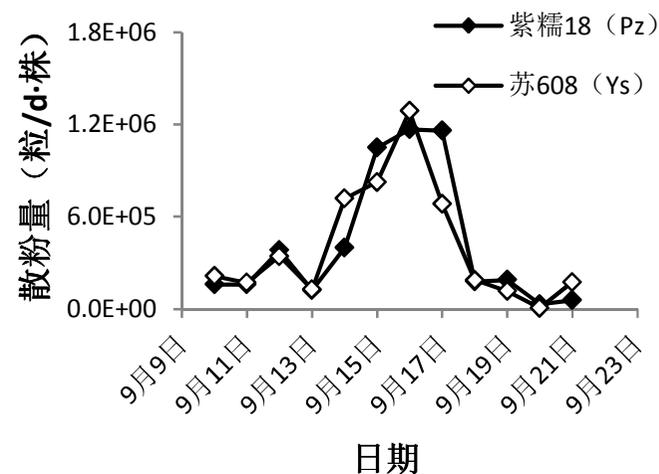
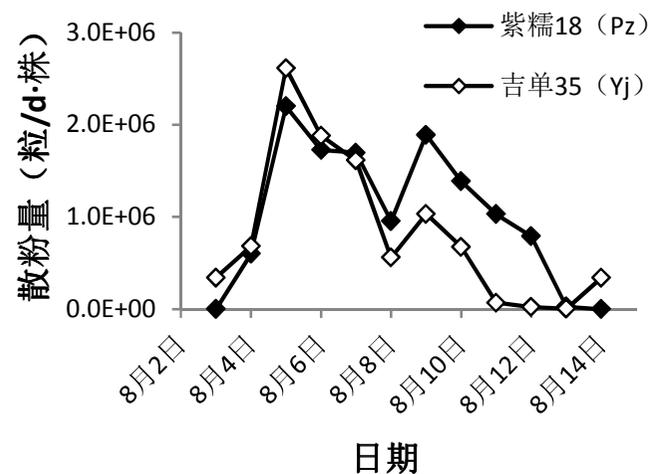
5. 微气象观测

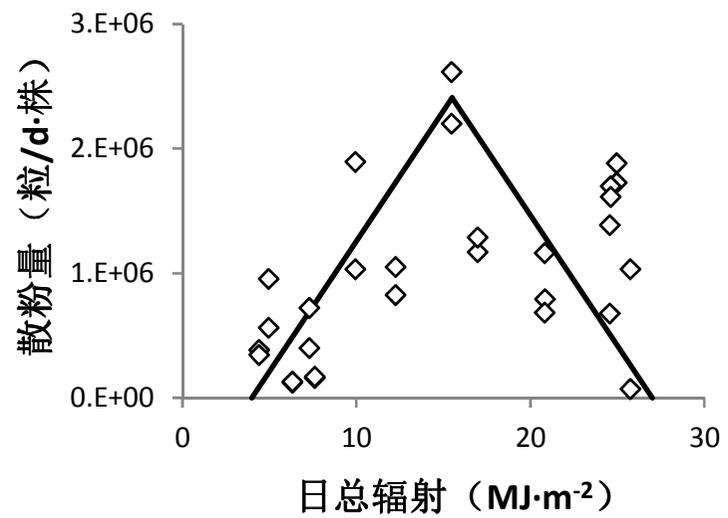
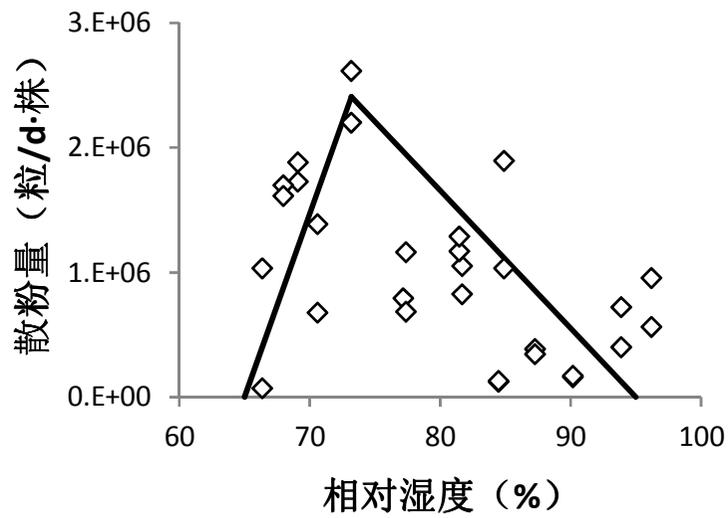
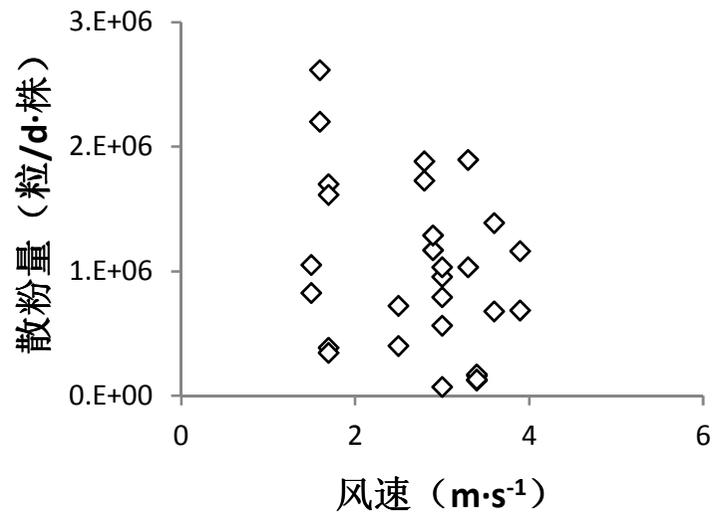
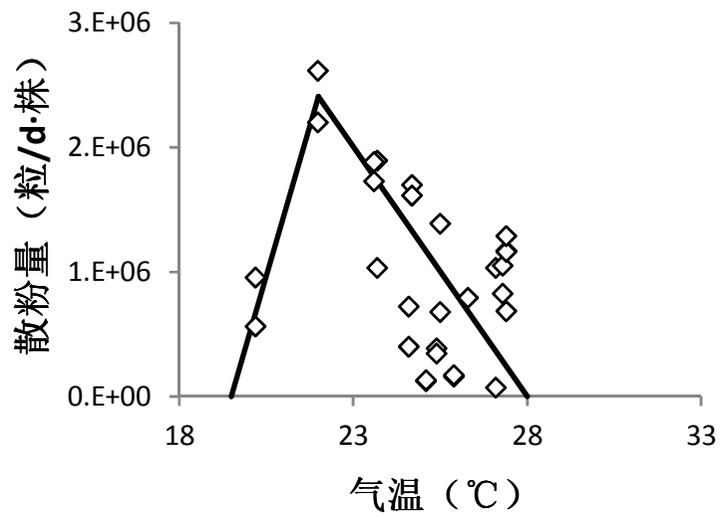


三. 结果与分析



1. 潜在花粉源强的结果





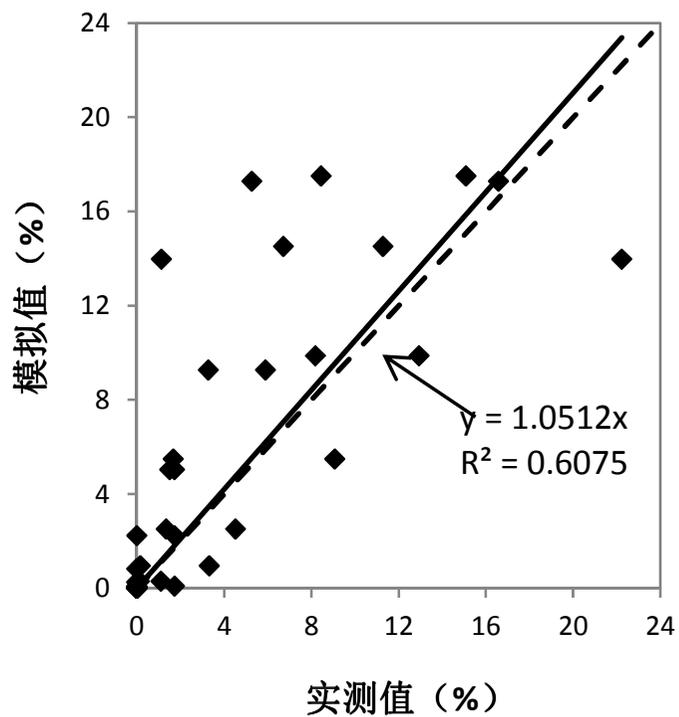
订正参数: $RE = (RTE + RUE + RQE) / 3$

$$RTE = \begin{cases} 0 & (t \leq T_b) \\ (t - T_b) / (T_o - T_b) & (T_b < t \leq T_o) \\ (T_m - t) / (T_m - T_o) & (T_o < t \leq T_m) \\ 0 & (t > T_m) \end{cases}$$

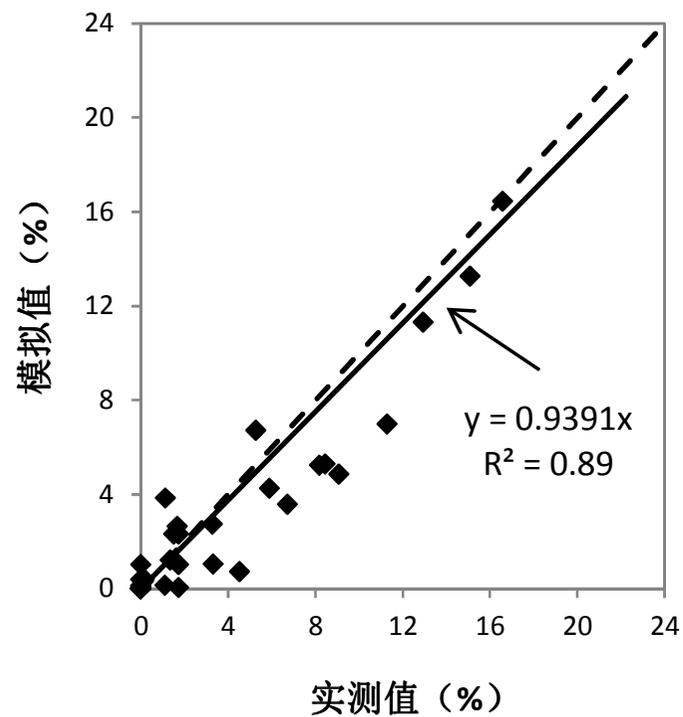
$$RUE = \begin{cases} 0 & (rh \leq RH_b) \\ (rh - RH_b) / (RH_o - RH_b) & (RH_b < rh \leq RH_o) \\ (RH_m - rh) / (RH_m - RH_o) & (RH_o < rh \leq RH_m) \\ 0 & (rh > RH_m) \end{cases}$$

$$RQE = \begin{cases} 0 & (q \leq Q_b) \\ (q - Q_b) / (Q_o - Q_b) & (Q_b < q \leq Q_o) \\ (Q_m - q) / (Q_m - Q_o) & (Q_o < q \leq Q_m) \\ 0 & (q > Q_m) \end{cases}$$

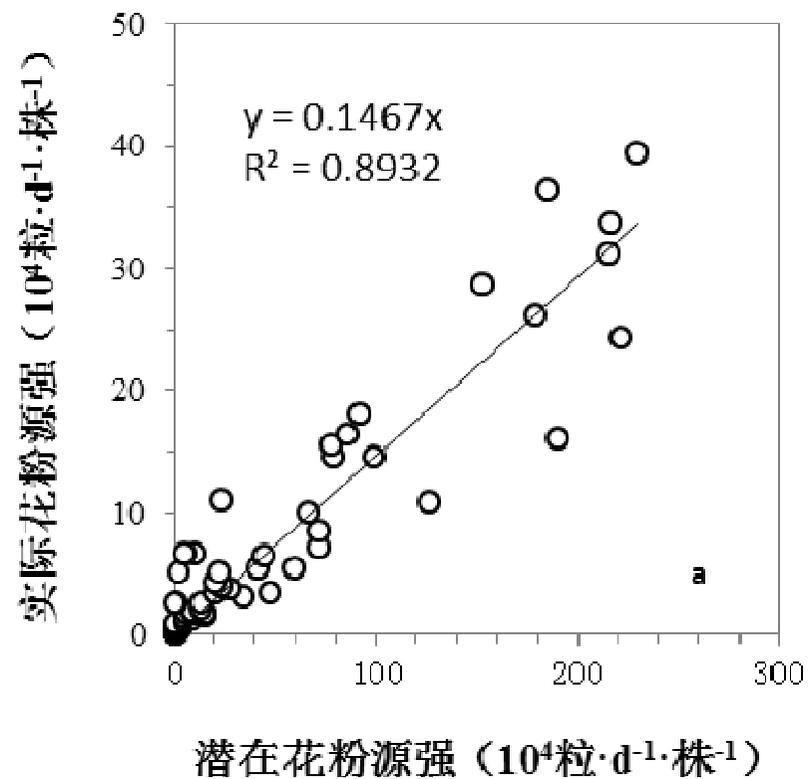
仅用正态分布函数



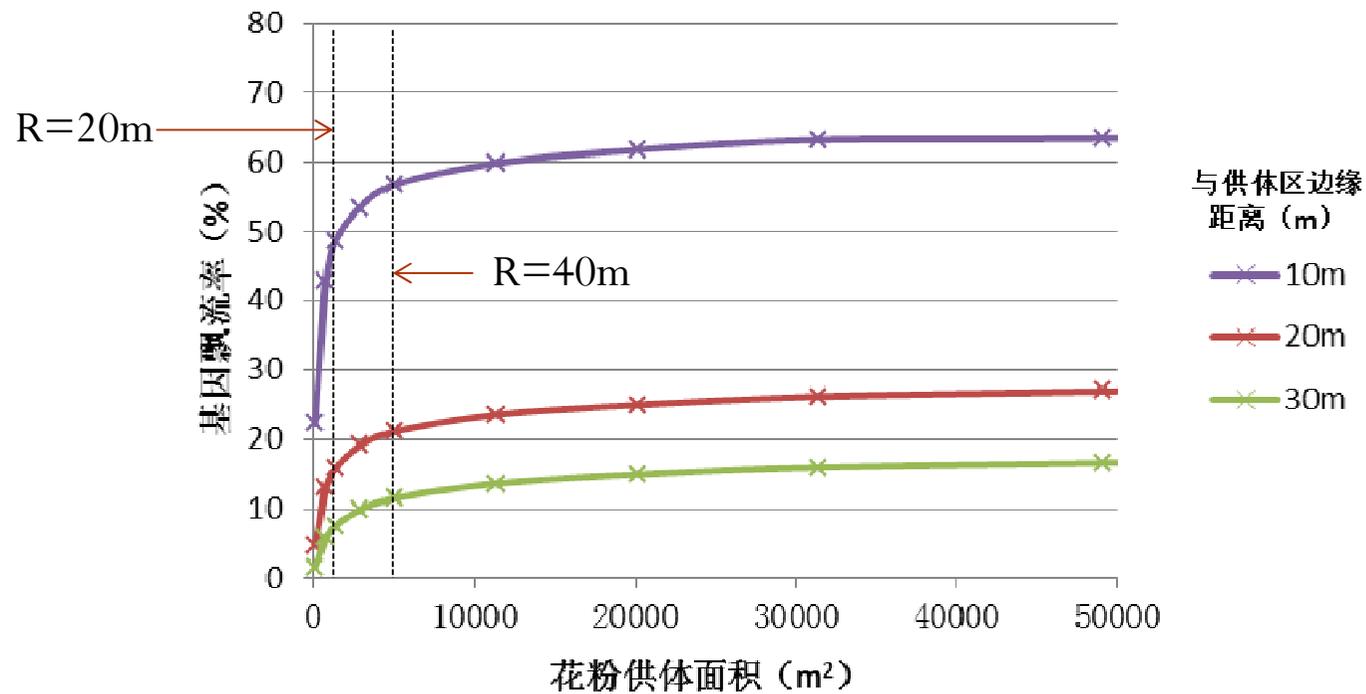
加入气象订正参数



2. 实际花粉源强的结果



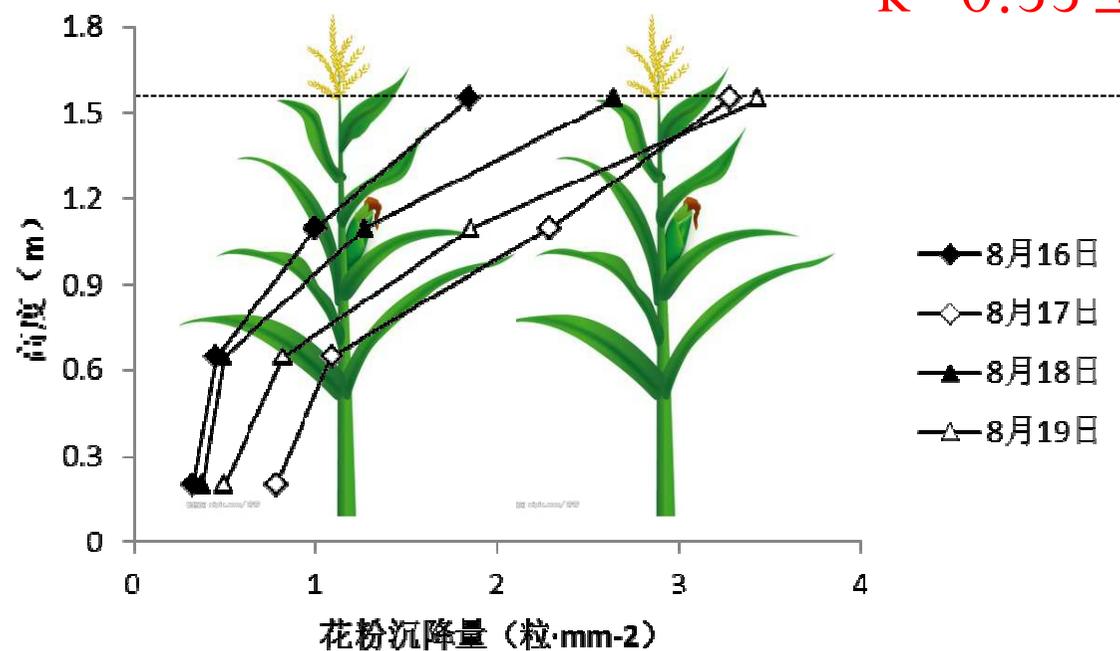
花粉源（供体）面积与基因飘流



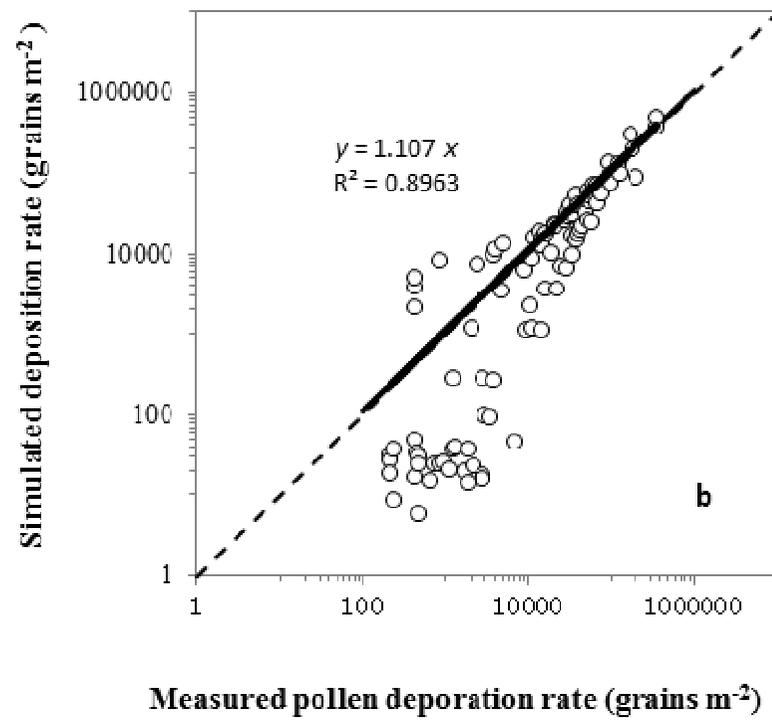
3. 冠层的截获作用

$$d_i = d_0 \cdot \exp(-k_{\text{pollen}} \cdot L)$$

$$k = 0.55 \pm 0.07$$



花粉沉降量的验证结果



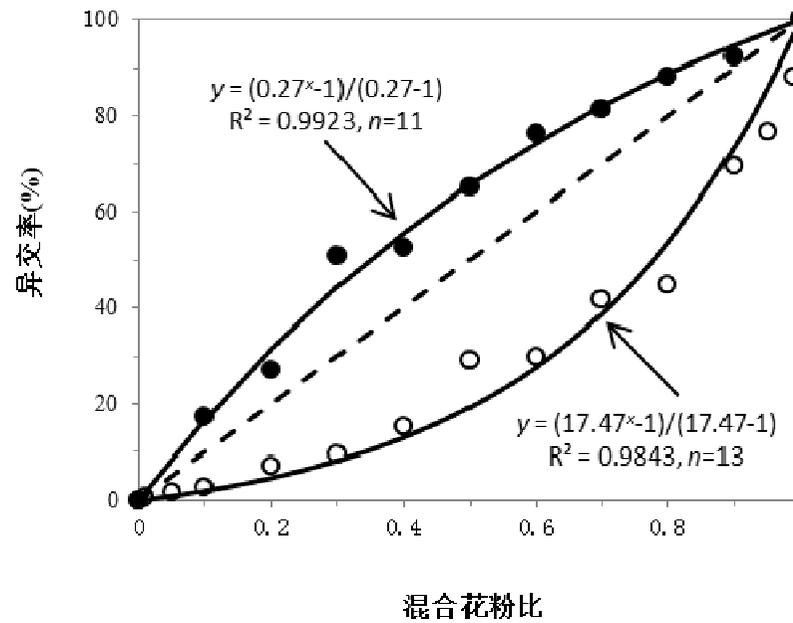
4. 花粉竞争能力对异交率的影响

等量混合花粉试验

受体	紫糯18	苏608
授粉量	2g	2g
紫糯18 与苏608 花粉数量比	50:50	50:50
紫色籽粒： 黄色籽粒	29.2/ 70.8	34.8/ 65.2

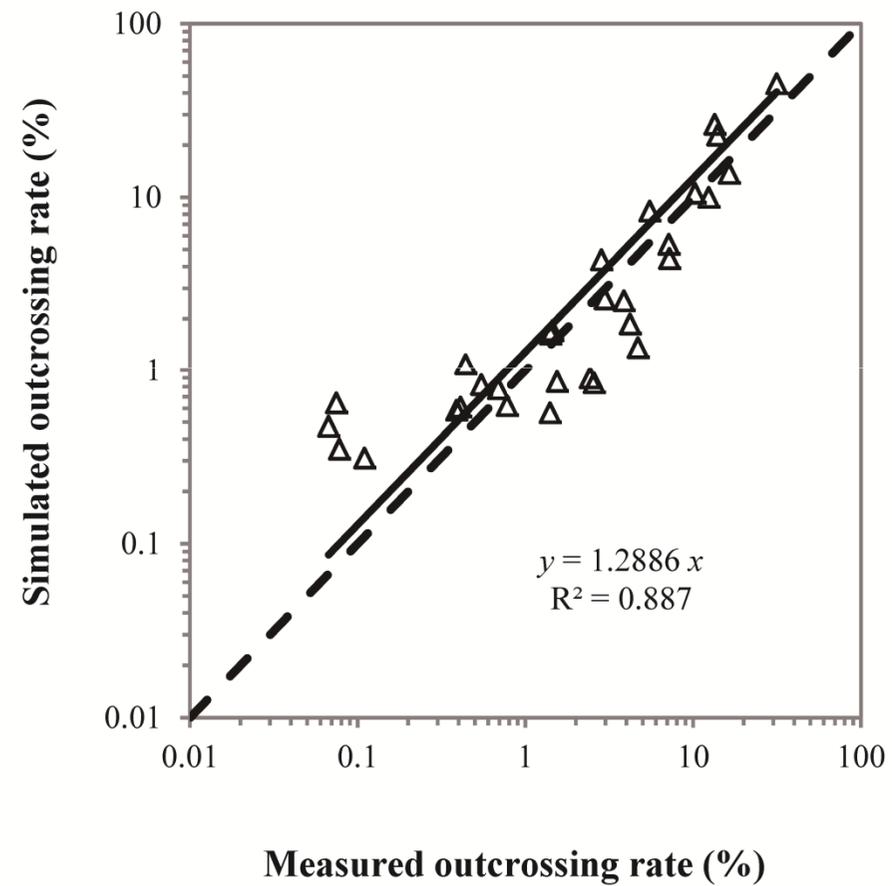


花粉竞争能力、花粉数量比与异交率的关系



$$G\% = \begin{cases} \left[\left(\frac{1-cp}{cp} \right)^{2R_{dr}} - 1 \right] / \left[\left(\frac{1-cp}{cp} \right)^2 - 1 \right] \times 100\% & cp \neq 0.5 \\ R_{dr} \times 100\% & cp = 0.5 \end{cases}$$

基因飘流率的验证结果



5. 东北春玉米区玉米基因飘流距离

- 研究区域包括辽宁、吉林、黑龙江、内蒙东南部。
- 玉米种植面积占全国1/3以上
- $38^{\circ}43' \text{ N}-53^{\circ}33' \text{ N}$
- $115^{\circ}31' \text{ E}-135^{\circ}05' \text{ E}$



东北春玉米区基因飘流阈值距离的时空分布

Table 2 MTD_{1%} and MTD_{0.1%} in the spring maize growing area of Northeast China[Ⓢ]

Threshold value [Ⓢ]	Range of MTD (m) [Ⓢ]	MTD at median, 5 percentile and 95 percentile (m) [Ⓢ]	Standard deviation (m)	Coefficient variation (%) [Ⓢ]	Special spots with extreme MTD [Ⓢ]
1% [Ⓢ]	10 - 49 [Ⓢ]	27, 15 and 41 [Ⓢ]	28 ± 8 [Ⓢ]	28.1 [Ⓢ]	<u>Xiongyue</u> , 49 m; <u>Boketu</u> , 48 m; <u>Ji'an</u> , 10 m [Ⓢ]
0.1% [Ⓢ]	17 - 125 [Ⓢ]	68, 37 and 97 [Ⓢ]	67 ± 19 [Ⓢ]	28.6 [Ⓢ]	<u>Xiongyue</u> , 125 m; <u>Boketu</u> , 112; <u>Ji'an</u> , 17 m [Ⓢ]

Note: MTD_{1%} and MTD_{0.1%} is the maximum distance at which the gene flow frequency is equal to or lower than a threshold value of 1% and 0.1%, respectively. [Ⓢ]

四 结论与讨论

2010/08/07 09:29

1. 基因飘流距离的比较

	基因飘流率 $\leq 1\%$ 的阈值距离	基因飘流率 $\leq 0.1\%$ 的阈值距离
模型计算结果	10-49m	17-125m
文献检索结果 (8篇)	28-60m	100-150m

2. “宽尾”现象与阈值管理原则

- 1. 远距离基因飘流存在“宽尾”现象
 - 当距离增加时，基因飘流率的衰减变缓，小概率事件的偶发性使得基因飘流率常出现时高时低的起伏现象，即“宽尾”。
- 2. 宽尾导致基因飘流阈值距离的不稳定性增加。
 - **我们的结果显示**，当阈值标准从1%提高到0.1%时，基因飘流距离的年际间波动增大，地区间差异增加。
 - **Bannert, et al (2007) 田间试验结果也显示**：2年异交率 $\leq 0.01\%$ 的阈值距离相差一倍多（2003年，125m；2004年，287m）。
- 3. 宽尾导致基因飘流阈值距离的不稳定性增加。

3. 花粉竞争力是影响基因飘流率的重要因素

- 1. 花粉竞争力是花粉数量相等时，受体的异交率差异。
- 2. 采用了一组新的花粉供体与受体组合时，模型必须确定相应的花粉竞争力参数。

4. 临界源强

- 临界源强是指当花粉供体面积增大到一定程度时，基因飘流率不再随着花粉供体面积的增大而增加或者增加缓慢的临界点，即临界源强。
- 因此，基因飘流的田间试验中，如果花粉供体面积过小，所得到的数据对于推测实际转基因作物大面积种植时的基因飘流意义不大。

Thank you !



