

先锋种业~玉米授粉概述 (Facts About Corn Pollination)

玉米各生育时期中，开花授粉期最为重要，一般持续 5-8 天的时间，干旱、高温等不利因素都会影响授粉效率。

1 授粉过程

每个雄穗能提供 2-5 百万粒花粉，而穗粒数一般在 750-1000 之间，所以，正常情况下，不会出现花粉不足，不能授粉的问题。

此外，玉米在晌午进入散粉高峰，如果偏干旱，也会在傍晚前大量扬花。通常，玉米散粉时会避开正午或每天温度最高的阶段。

2 如何判断是否完成授粉？

正常条件下，雄穗先抽雄、散粉，雌穗在几天后，快速完成吐丝和接收花粉。授粉过后 2-3 天，花丝即与子房外壁分离，因此，当掰开苞叶晃动果穗时，如花丝能大量掉落，说明授粉完成；如花丝仍紧附果穗，说明还未授粉或未能成功授粉。

影响授粉的因素 (Corn Pollination Success)

1 玉米结实过程

玉米形成饱满籽粒需经历以下 4 个阶段：

- ①雄穗产生花粉；
- ②散粉，雌穗花丝吸附花粉粒；
- ③精子经花粉管与卵子结合，完成受精；
- ④胚和胚乳的发育，淀粉积累及形成饱满籽粒。



2 散粉

雄穗散粉过程受品种的遗传背景和大田环境共同作用。

当花粉粒成熟后，花药逐渐脱水，在每天的晌午，随着温度的升高和阳光照射，花药开始大量开裂，花粉散出。花粉粒从散出到失活只有短暂的几分钟时间，一个雄穗能持续散粉 5 天，大田从最早开始散粉到完全结束持续两周。



3 吐丝

子房顶端外壁凸起形成花丝，花丝在穗尖部伸出苞叶，接收花粉，协助完成精子的运输和受精过程。通常，果穗下部花丝先吐出，上部果穗最后吐丝，前后相差 4-8 天。花丝吐出后，花丝表面的簇突敏感度逐渐降低，随着时间推移，花丝接收花粉的能力不断减弱。此外，吐丝后，若未能接收花粉，花丝将不断伸长，持续 10 天。

4 不利环境影响授粉和产量

吐丝前后的 3 周里，对外界环境最为敏感。此时，授粉效率影响结实率，并进一步影响穗粒数，不可逆转。只有每条花丝都接收到花粉，才能确保果穗不会花粒。散粉后期，吐出的花丝，可能无法获得有效花粉。



5 干旱影响花丝伸长

花期不遇是导致结实率降低的重要原因之一。通常，花丝伸长时需要土壤水充足，此时缺水，花丝发育推迟，开花-吐丝期的间隔（ASI）拉大，导致花丝吐出前，散粉已完成大半，影响结实，出现果穗秃尖。



如果吐丝严重滞后，会出现整穗花粒。



6 高温影响散粉

大于 38 度的持续高温和阳光直射会抑制花药中的花粉生成,影响花粉粒的发育和花粉活性。



7 籽粒败育

授粉后发生干旱,会引起光合作用减弱,碳水化合物供给量下降。

干旱不仅会引起花期不遇，还会导致授粉后籽粒败育；败育的籽粒可看到白色的皱缩种皮，有时还能看到黄色胚结构。



8 啃食花丝

金龟子、蛴螬等害虫喜欢啃食玉米花丝，影响授粉。通常，花丝被咬断后还会继续伸长，重新接收花粉，但如果持续受到害虫的啃食，则会降低结实率。



授粉率对结实和产量的影响

1 摘要

- 散粉和吐丝同步能提高结实率；
- 果穗下部先发育出花丝，穗顶部最后出现花丝，同样，授粉时也是从果穗下部先开始；
- 花丝吐出后，花丝活性和接收花粉的能力持续 5-6 天；
- 果穗吐丝后的第 5 天，花丝伸长速度最快时，1 天内可伸长 4 公分；
- 穗粒数（结实率）与产量正相关，且相关性最高（ $R^2=0.95$ ）；
- 果穗的营养分配上，存在补偿机制，如穗基部结实率较低，条件改善后，果穗上部会出现比正常果穗更多的饱满籽粒。

2 前言

开花散粉是受一系列遗传和环境因素共同影响的，其中，遗传因素主要指进入花期需要的有效积温，一般与熟期相关。花粉粒成熟后，花药开始脱水，随之开裂、散出花粉。花粉粒在花药中的发育和散粉，类似大豆种子在豆荚中的发育过程。

环境因素也会影响散粉过程。一般，夜晚冷凉、湿度大，花药含水量高；进入清晨，随着温度上升和湿度下降，花药逐渐脱水、干燥；进入晌午，花药开始集中开裂、散粉。通常，一个雄穗的散粉期可持续 5 天左右。

此外，温湿度还影响着雌穗花丝的发育进程。在理想条件下，吐丝较快，群体吐丝均匀，利于统一授粉。干旱发生时，花丝延伸速度降低，植株间吐丝进度参差不齐，影响群体授粉效率。

3 大田试验设计

在大田环境下，研究不同授粉时期对最终结实和产量的影响，具体操作过程：

- 吐丝前果穗套袋处理；
- 吐丝后，齐头剪断花丝，纸袋套回；果穗在纸袋中继续吐丝；
- 1 天后，摘掉套袋，果穗自由授粉；
- 再过 1 天，纸袋再次套回；
- 花丝伸出苞叶的部分用彩粉标记，记录每天的花丝伸长长度、穗长和穗粗；
- 成熟后，人工收获，记录单穗穗粒数和单穗粒重。

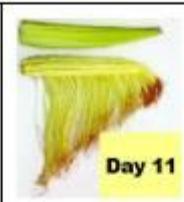
4 花丝的生长速度

授粉期以 12 天计算，每天单独授粉，作为 1 个处理，累计 12 个，然后观察每个处理下的花丝日生长速度和对应的结实率，可见下图：

 Day 1	 Day 2	 Day 3
		
第 1 天 花 丝 未 吐 出，不能授 粉	第 2 天 果穗基部花 丝开始部分 吐出	第 3 天 果穗基部花 丝快速伸出 苞叶

 Day 4	 Day 5	 Day 6
		
第 4 天 各部位花丝 伸长速度不 同； 大田进入吐 丝期（50% 吐丝）	第 5 天 花丝伸长最 快，1 天伸 长 4 公分	第 6 天 果穗上部花 丝也吐出， 此时可完成 全穗授粉

		
		
第 7 天 全部花丝可见，此时可完成全穗授粉	第 8 天 果穗基部花丝开始衰老失活	第 9 天 雌穗接收花粉的时间仍能维持 5-6 天

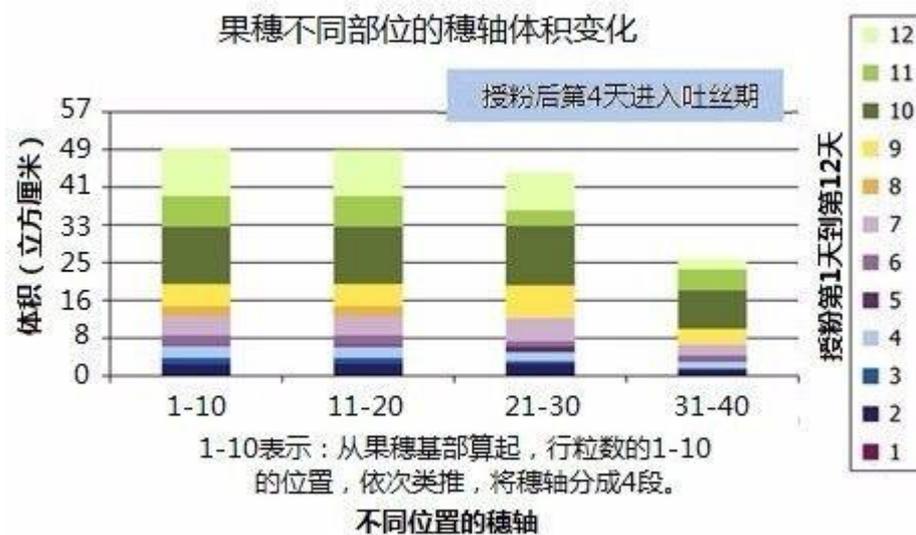
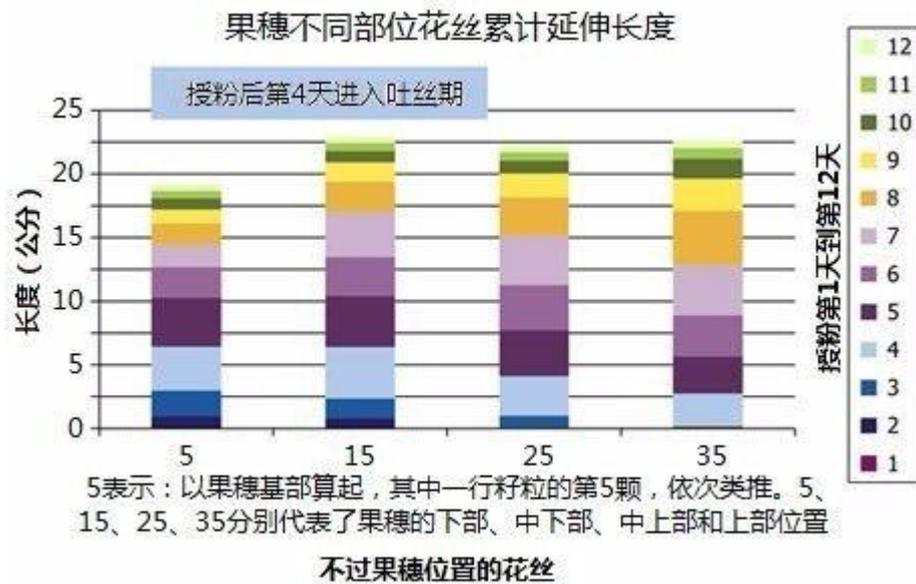
		
		
第 10 天 果穗启动补偿机制，收获时，果穗上部饱满籽粒多于对照	第 11 天 此时授粉，果穗下部出现严重缺粒	第 12 天 授粉接近尾声，养分供给开始从花丝转向穗轴

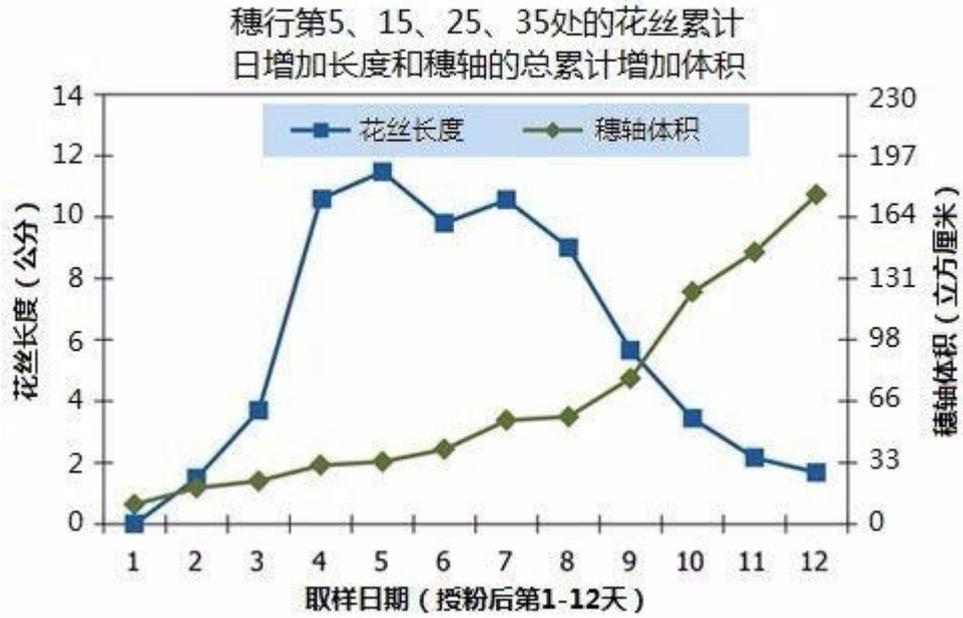
5 花丝和果穗的变化

花丝在衰亡前，如果没有接收到花粉，会持续伸长生长，最长可伸出苞叶 23 公分。



进入开花吐丝期，大量养分供给花丝，确保能成功接收花粉。此时，每天可通过观察花丝和穗轴的延伸长度，测定二者变化幅度。授粉后期，花丝生长速度减慢，大量养分转向供给穗轴，用于支持受精后的胚发育和籽粒灌浆。





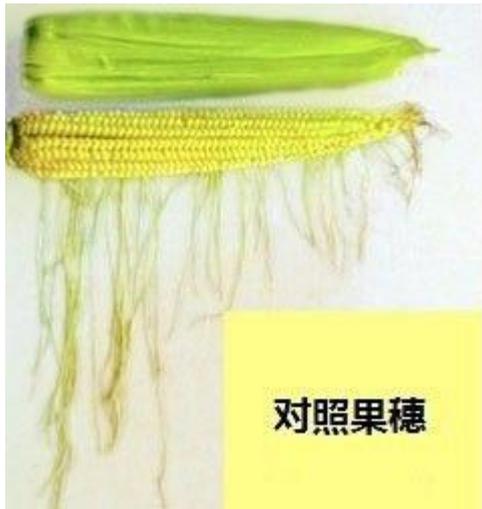
6 估算授粉率

授粉前，花丝与子房紧密相连。授粉后，子房外壁出现离层，花丝脱离。失去水和分的供给后，花丝很快衰亡。通常，在授粉结束 24 小时后，花丝就趋向枯黄。

如需精确估算授粉率，可参考如下：

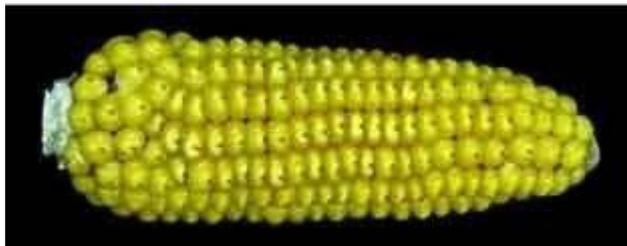
- 选取有代表性的果穗，轻扒开苞叶；
- 穗柄朝上，果穗朝下，轻轻晃动果穗，花丝会从已授粉的籽粒上掉落，而未能授粉的籽粒，花丝仍与其子房外壁紧紧连接；
- 与花丝分离的籽粒占比就是果穗的授粉率。





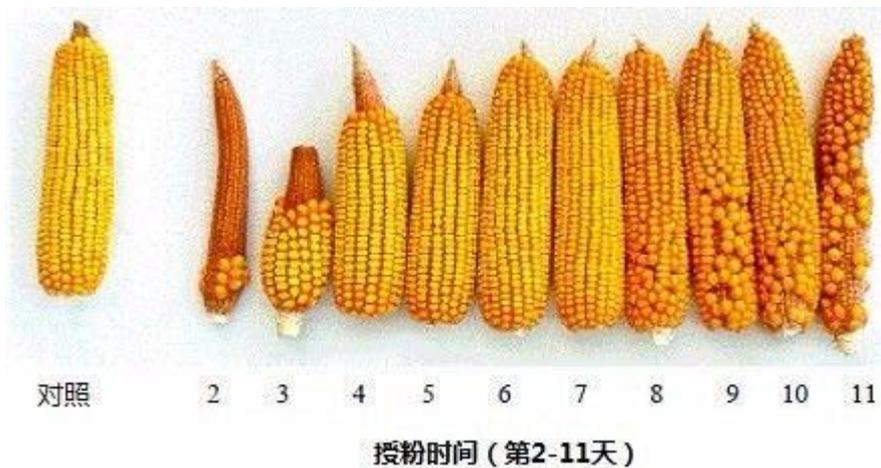
授粉结束后，少量花丝仍有可能与果穗相连，主要是由于该部分花丝没有从苞叶中伸出，未接收花粉，最终表现为：果穗发生随机的、少量缺粒。对于个别品种，即使授粉条件比较理想，果穗中下部仍有可能出现个别缺粒情况。

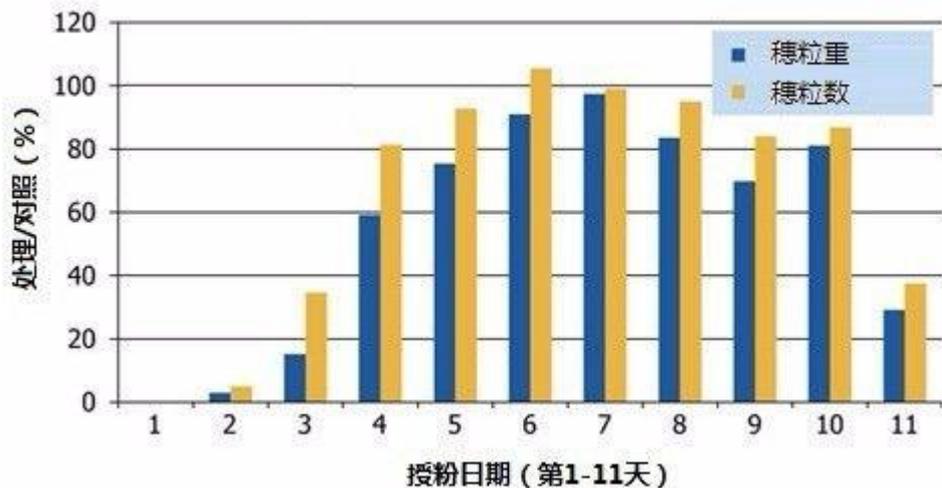
此外，籽粒顶端有一个深色凸起，是花丝脱落后留下的痕迹，大部分品种表现不明显，后期基本消失，个别品种成熟后仍然较清晰，可见下图：



7 估算玉米产量

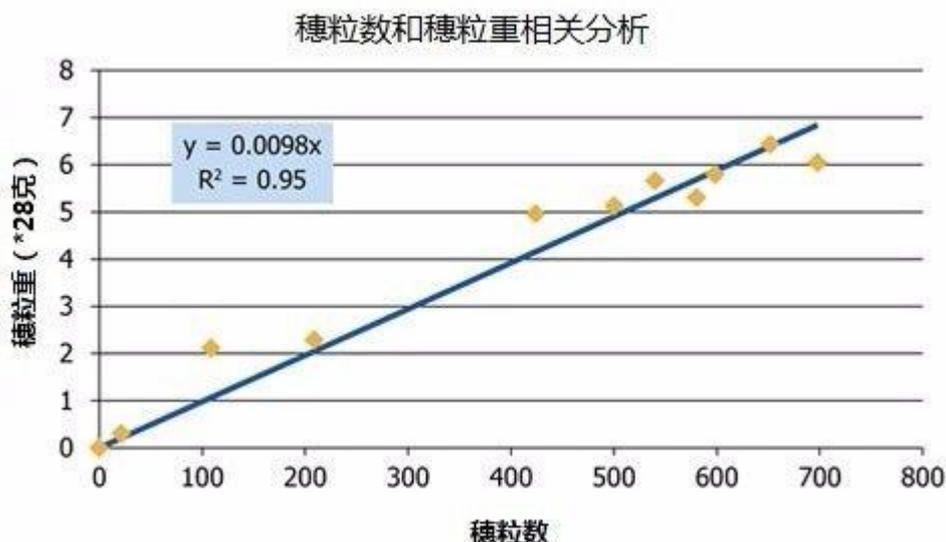
就单个果穗来讲，籽粒产量是由穗粒数和单粒重构成。在上述试验中，产量和穗粒数相关性最高。此外，果穗出现个别缺粒不会影响产量，因周边籽粒会通过增大粒重，变得更加饱满，补偿缺粒的产量损失。但发生严重的缺粒或秃尖时，产量下降。上述试验中，第5天和第8天授粉，虽然果穗缺粒表现不同，但产量的降幅和平均穗粒数是一样的。





当果穗基部未能授粉时，上部籽粒灌浆效率提高，籽粒更饱满，可部分补偿缺粒的产量损失。在生理上，用于籽粒授粉和灌浆的营养供给是一定的，灌浆过程中，植株会根据“库”的具体情况，将有限的“源”及时调整，分配给各个籽粒，实现产量最大化。

玉米单位产量等于单位面积的总粒数乘以平均粒重，其中，总粒数可以解释 85% 的产量方差，粒重可解释 15% 的产量方差。在特定的气候和管理水平下，产量潜力是一定的，因此，生产条件相似的两块土地，单位面积的总粒数也是接近的。



同理，对于特地地块，“源”供给潜力是确定的，栽培密度的变化主要影响果穗大小和穗粒数，对单位面积的总粒数和产量影响较小。

不利环境与玉米结实的影响机制

1 前言

玉米开花授粉期是最重要的生育时期。虽然果穗在拔节期就已经开始发育，但花期对结实率的影响最大，一方面这时期对外界环境最为敏感，另一方面，此时发生授粉问题，引起结实率降低，后期无法弥补。接下来具体讨论影响结实的各主要因素：

2 环境压力和玉米生理响应

形成饱满籽粒需要经历：扬花散粉、受精、胚和胚乳发育 3 个阶段：

- 扬花散粉阶段：雄穗花药散出花粉，花粉粒附着花丝上，然后萌发并进入花粉管中；
- 受精阶段：精子经花粉管，穿过子房壁，与卵子结合；
- 灌浆阶段：胚开始发育并形成完整胚结构，胚乳中积累淀粉。

如发生不利环境，上述生理过程会受到影响。例如：持续高温下，雄穗散粉减少，花粉活性降低；发生干旱时，吐丝推迟，引起花期不遇；干旱还会诱导子房异常发育，胚囊无活性，或引起受精卵、胚或早期籽粒败育。一般认为，高温、干旱、持续寡照和叶片损伤是玉米开花吐丝期面临的主要环境压力。

3 发生时期

大量研究表明：玉米开花-吐丝前后对外界环境最为敏感，此时对产量的影响也最大，期间横跨 3 周的时间，即：从吐丝前 1 周到吐丝后的 1-2 周内。



在吐丝前后，易发生授粉问题和早期败育，引起穗粒数降低，影响产量。此后，进入灌浆期，随着籽粒不断发育，发生败育的风险也开始降低。

4 高温对散粉的影响

雄穗位于植株上部，受阳光直射和潜在的高温影响。现有研究表明：高温对花粉的发育和花粉活性的影响，要远大于干旱。当雄穗持续处于高温环境下，花粉活性显著下降，而缺水处理时，即使叶片出现明显萎蔫，花粉活性也几乎不受影响。因此，在花粉的形成过程中，高温要比干旱影响更大。

但同时，由于群体的花粉供应量远远大于授粉的需求量，因此，只有发生极端的高温天气，导致有效花粉的数量降低 80% 以上时，才会因花粉不足引起结实问题。

5 干旱对花丝伸长的影响

花丝发育阶段属于水敏感期。发生干旱时，白天花丝伸长缓慢；只有在夜晚，随着温度下降，水匮乏部分缓解时，花丝才能正常生长，最终，引起花期不遇。

研究发现：与对照相比，干旱处理下，散粉到吐丝的间隔期增大了 3-4 天。这时，果穗顶部的花丝最后吐出时，很可能散粉已经结束，导致部分花期不遇，出现秃尖。目前普遍认为，干旱对花丝伸长的影响是引起结实率下降的最主要因素。

6 干旱对花丝接收花粉的影响

花丝在伸出苞叶后的 7 天内，都能够接收花粉。大田环境下，一般吐丝后的 1-2 天内就能授粉，授粉后的 24 小时内就完成受精。

但发生干旱时，不仅花丝生长速度降低，花粉管的伸长生长也会减慢 50% 以上，花粉管需要 48 小时甚至更长的时间才能延伸到子房。由于花丝衰老失活是从基部靠近子房的一头开始，而花粉管是从顶部开始发育，一旦授粉推迟，干旱又引起花粉管伸长速度降低，很可能基部花丝在花粉管达到之前就已经失活，无法完成受精。

但是，一般吐丝后的 24 小时内就能接收花粉，很少发生先吐丝后散粉的情况，此外，研究发现，即使在严重干旱的情况下，花粉粒仍然能在花丝上萌发，促进花粉管形成，因此，干旱影响花粉管发育，进而影响授粉和结实率的情况不常发生。

7 同化物转运与籽粒败育

有研究发现：进入花期，养分消耗量增大，贮存量降低。而干旱又会进一步抑制光合作用和碳水化合物的合成，引起“源”供给下降，即使完成受精，胚发育早期也会出现大量败育。

在这一阶段，通过遮阴处理也会导致结实率降低，而增加光照会提高结实率和穗粒数。此外，在干旱发生时，通过茎秆注射的方法直接补充能量，也能维持较高的结实率水平。综上，在缺水条件下，同化物转运量降低是影响结实率的直接原因。

下表中，不同干旱和遮阴处理水平，可进一步验证上述结论：

处理	样本量 (株)	穗粒数 (平均值±标准差)
对照	20	581±14
中度干旱	9	304±27
50%遮阴	9	349±50
重度干旱	9	2±2
100%遮阴	9	0±0

中度干旱和 50%遮阴处理均导致光合效率降低一半，对结实率的影响类似；严重干旱和完全遮阴处理则完全抑制了光合作用，限制了籽粒发育。试验表明：开花授粉期叶片光合效率和后期籽粒结实率存在显著的正相关性。

因此，在干旱条件下，“源”供给受限引起受精后发生大量败育，不能形成胚结构，是引起结实率降低的主要因素。当然，前期干旱引起养分供给的降低，也会因诱使子房和胚囊异常发育，不能授粉，而在后期表现出低结实率。

编辑 | 新锐恒丰研究院

来源 | 登海先锋

文章来源：登海先锋 原文作者：Stephen D. Strachan，中文由王继师翻译，赵克非审稿，部分数据来源及参考文献略，原文链接网址：
<https://www.pioneer.com/home/site/us/agronomy/crop-management/corn-pollination/?ti=1>