精妙而繁杂的种子世界，每一粒种子都有一个故事　摄影 / 李涟漪



神奇的种子世界

撰文
黄莉　张潇尹　何华杰

在大自然鬼斧神工的创造中，有一种创造可以跨越时间和空间而存在，那就是植物的种子。种子是种子植物（裸子植物和被子植物）特有的繁殖器官和散布单元，经过3.6亿年的进化，形成了非常繁杂精妙的形态结构来进行有策略的广泛传播，以及具有休眠机制以避开不利环境而持续繁衍生存的能力。

复杂而多样的种子形态结构

大自然是神奇的造物主，它不仅造就了植物界中绚丽多彩的花朵，还造就了大小、颜色、形态及内部结构上千变万化的种子。



左：海椰子　摄影 / 李涟漪
右：兰科的种子　摄影 / 李涟漪

种子大小的差异

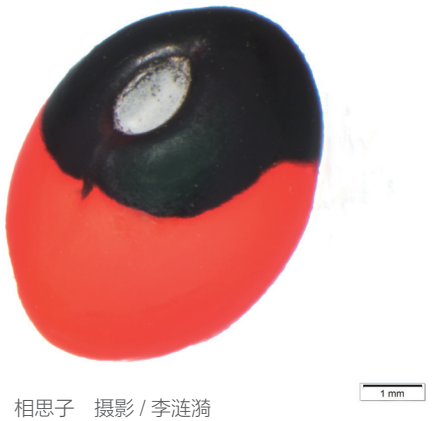
种子在大小上的差异是非常的惊人，世界上最大的种子是棕榈科植物海椰子（*Lodoicea maldivica*），长约50厘米，宽约30厘米，可重达20多公斤。如果你想要近距离接触这个大块头，那可是不太容易，因为海椰子是生物进化遗留下来的活化石，因其稀有奇特而弥显珍贵，现仅存在于非洲东部塞舌尔国的普拉兰岛。

种子植物中最小的种子算得上是兰科的种子，其种子细若灰尘，一个果荚里有成千上万的种子，如此大量的种子不是应该早就占领地球成为霸主了吗？其实不然，兰科的种子构造非常简单，只有一层薄薄的种皮和一个尚未分化的胚，导致其萌发非常困难，所以兰科植物只能通过产生大量种子的方式来应对灭绝的风险。目前发现的最小的种子是兰科的斑叶兰种子，种子长约0.11毫米，重约0.5微克。

种子在大小上有如此巨大的差异是为什么呢？科学家发现种子的大小与散布能力有关，小种子一般数量较多，更容易被生物和非生物媒介所传播，且小个体的植物只能产生小的种子，而大个体的植物既能产生大的种子又能产生小的种子。

种子的多姿多彩

大自然的创造就如调色板一般，种子也被渲染得色彩斑斓。相思子（*Abrus precatorius*）椭圆形的种子顶部三分之一为黑色，下部三分之二为红色；蓖麻（*Ricinus communis*）的种子表面布满了黑色、白色、棕色的斑纹和条纹；乌桕（*Triadica sebifera*）的种子表面包被白色、蜡质的假种皮；小丛红景天（*Rhodiola dumulosa*）的种子绿色，表面有透明的膜质狭翅。



相思子　摄影 / 李涟漪



蓖麻　摄影 / 李涟漪



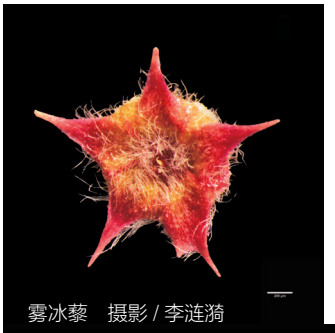
番木瓜　摄影 / 李涟漪



毛竹　摄影 / 李涟漪



野胡萝卜　摄影 / 李涟漪



雾冰藜　摄影 / 李涟漪



喜湿龙胆　摄影 / 李涟漪



荷包山桂花　摄影 / 李涟漪



乌桕　摄影 / 李涟漪



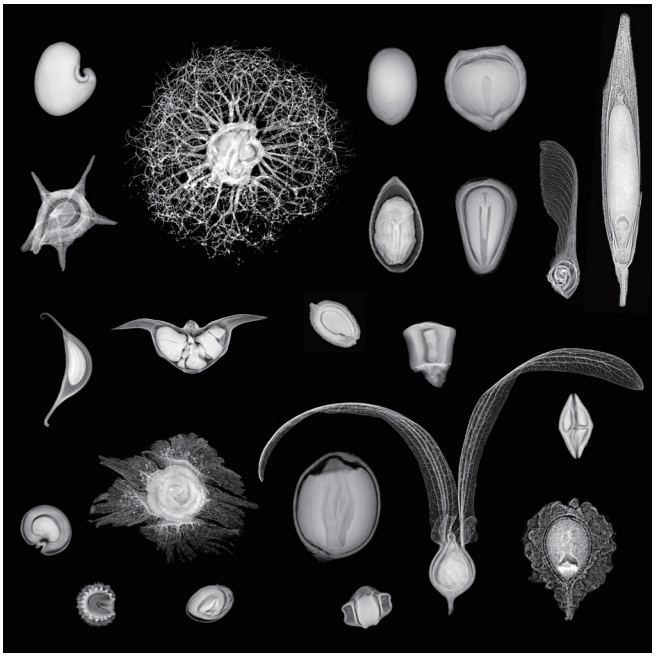
小丛红景天　摄影 / 李涟漪

种子在形态结构上的奇妙也是令人无法想象的：野胡萝卜（*Daucus carota*）的种子形如海里的贝壳；荷包山桂花（*Polygala arillata*）的种子如愤怒的小鸟；雾冰藜（*Bassia dasyphylla*）的形状像五角星，它的种子和植株都布满了白色的绒毛，远远看去像是一团雾。

结构多样的内部世界

你真的了解一颗种子吗？如果不知道种子的内部构造就不可能真正地认识一颗种子。科学家们通过X-射线透射拍照，可以清晰地看到种子的内部结构，如种子内的空腔大小，胚和胚乳的位置及多少，种皮的厚薄等，这些特性为科学家们研究种子生物学提供了很大的帮助。

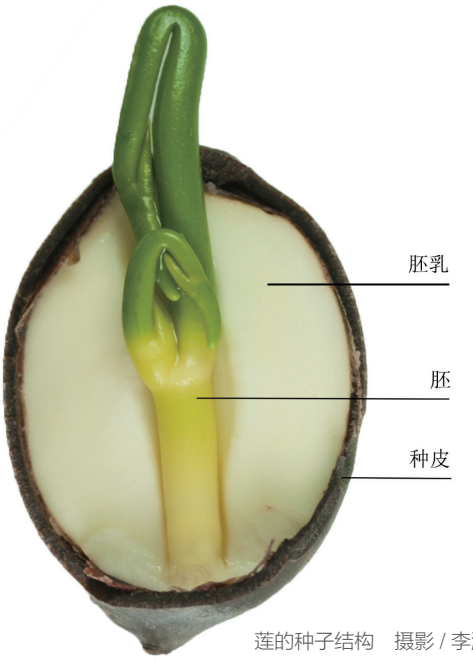
你有没有想过，这些奇幻的种子内部结构图案用作服装设计会是什么效果，是不是太酷了，因为你把大自然的杰作穿在了身上。



上：原始黑白的种子X-射线照片　摄影 / 李涟漪

下：种子幻境——将原始黑白的种子X-射线照片通过数码暗房手段裁切、上色、缩放和排列组合得到这样一张如梦似幻的图片，从艺术的角度展现了科学的美。该照片获得2013年台湾《惊艳-新视野》科学摄影比赛一等奖　摄影 / 牛洋　李涟漪





莲的种子结构　摄影 / 李涟漪

一步成长为新的植物体。胚结合了父母植株的基因，并将这些基因隐藏在体内，成了一个方便移动、适时发芽的后代。种子植物的这种繁殖形式，在植物史上是具有深远意义的革新，即通过不断杂交，种子植物能够反复地混合它们的基因，从而获得巨大的进化潜力。

胚乳，是种子中的营养组织。一颗小小的种子，最终能够发育成长为新的植株，正是得益于胚乳中贮藏了幼苗最初的食物，即能够为根、芽、叶提供生长所需的最初能量，能够将这份能量集中在一个紧凑而方便移动的种子中。这既拓宽了进化的可能性，也为种子散布到世界各地提供了营养保障。

正因为种子所具有的这些独特的结构和特性，种子植物才能够脱离水的限制，适应复杂多样的陆地环境，并以较长的寿命最终取代孢子繁殖的蕨类植物，成为当今植物界的主体。

种子的结构

3.6亿年前，种子植物出现在这颗蔚蓝的星球上，在漫长的岁月中一步一步地将孢子植物和藻类植物取代。种子植物在适应外界环境中不断进化演变，现已占所有植物类群的90%以上，成了植物界中最高级、最繁茂和分布最广的类群。而种子植物究竟是通过何种方式取代了其他类型植物的优势地位的呢？其中一个答案就在种子精巧完备的结构中。

自然界中植物种子外部形状千差万别，内部结构也不尽相同，但仍然具有共同之处，即种子由种皮、胚和胚乳3个主要部分组成。种皮是覆盖在种子表面保护胚和胚乳的组织。不同种子的种皮构成截然不同，既有像蒺藜、苍耳这类种皮上含有勾刺结构，也有像木蝴蝶这类种皮轻薄如翼，还有像古莲子、豆科类种子的种皮一样坚硬或不透水……这些结构不仅利于种子的散布，而且为种子抵御外界环境提供了强有力的支撑。

胚是种子中最重要的部分，是由受精卵发育而成的新生植物体雏形，可以在适宜条件下进

种子的寿命

我们平常所说的种子寿命是指种子在一定环境条件下所能保持生活力的期限，即种子能存活的时间。种子寿命主要用一批种子的活力（通常以萌发率代表）从一个值下降到另一个值的时间来体现，是一个统计学上的概念。我们将通过2个真实的故事进一步说明种子的寿命到底有多长。

故事一、2000多年前的椰枣种子复活

公元70—73年，犹太人反抗罗马人侵略的最后战役就发生在马萨达。近千名犹太人占领了一座位于犹地亚沙漠与死海谷底交界处的一座岩石山顶上的马萨达城堡，并构筑防御工事。他们在这里坚守了3年，最后900多名马萨达居民集体自杀，粮食和其他植物种子埋藏在地下，并烧毁宫殿和房屋。

1963年到1965年的一项考察中，以色列科学家在一座俯瞰死海的宫殿遗址中，发现了2000多年前的椰枣（也就是伊拉克蜜枣）的种子，而且它们还能生根发芽。最为戏剧性的是这些种子在1965年被发现后，就被考古学家束

之高阁了，直到40年之后，才有好奇的植物学家将它们弄来播种。谁都没有想到在播下的4粒种子中，竟然有1粒发芽了，并且长成了一棵健康的椰枣树。

故事二、3.2万年前的种子发芽开花

俄罗斯科学家取得了一项新突破，他们让3万多年前的柳叶蝇子草（*Silene stenophylla*）得以复活，这项研究成果在2012年2月21日出版的《美国科学院院报》上正式发表。这些种子是在西伯利亚科雷马河（Kolyma River）附近的冻土中发现的，是柳叶蝇子草的种子。放射性碳测定年代分析显示，这些种子是3.2万年前的。这些种子完全被冰封在永冻土下约38米、温度-7° C的地方，周围的土层中含有很多其他动物的遗骸，包括猛犸象、野牛和披毛犀的骨头。

起初，科学家将挖掘到的成熟种子进行播种，希望能够发芽、开花和结果，但是实验失败了。科学家们并没有放弃希望，他们发现一些未成熟果实中的胎座部分还有活性，于是，从3个果实中提取胎座中还具有活性的组织，利用现在广泛应用的植物克隆技术，即组织培养方法，成功地让3万多年前的柳叶蝇子草复活了，一共获得了36株活体植物。

上面两个故事中，被复活的椰枣种子储藏于犹地亚沙漠附近的马萨达城堡，周围环境十分干燥，3.2万前的蝇子草种子则被埋在-7° C的西伯利亚永久冻土层里，而种子库正是通过人工条件下将种子干燥后保存在-20℃的冷库中。那它们在冷库中究竟能活多长时间呢？小麦和玉米在昆明室外待上1年，其生活力就会下降到初始生活力的10%，而在-20℃的冷库中它们可待上几千年，生活力才会下降到10%，而棉花则可待上万年。

种子的休眠

我们很容易了解到，有些种子是需要贮藏过冬后才能在来年的春天播种。不过，很多人可能并不知道，有些种子需要经历一次寒潮或大火，甚至是经过动物消化道后才能萌发的，而有



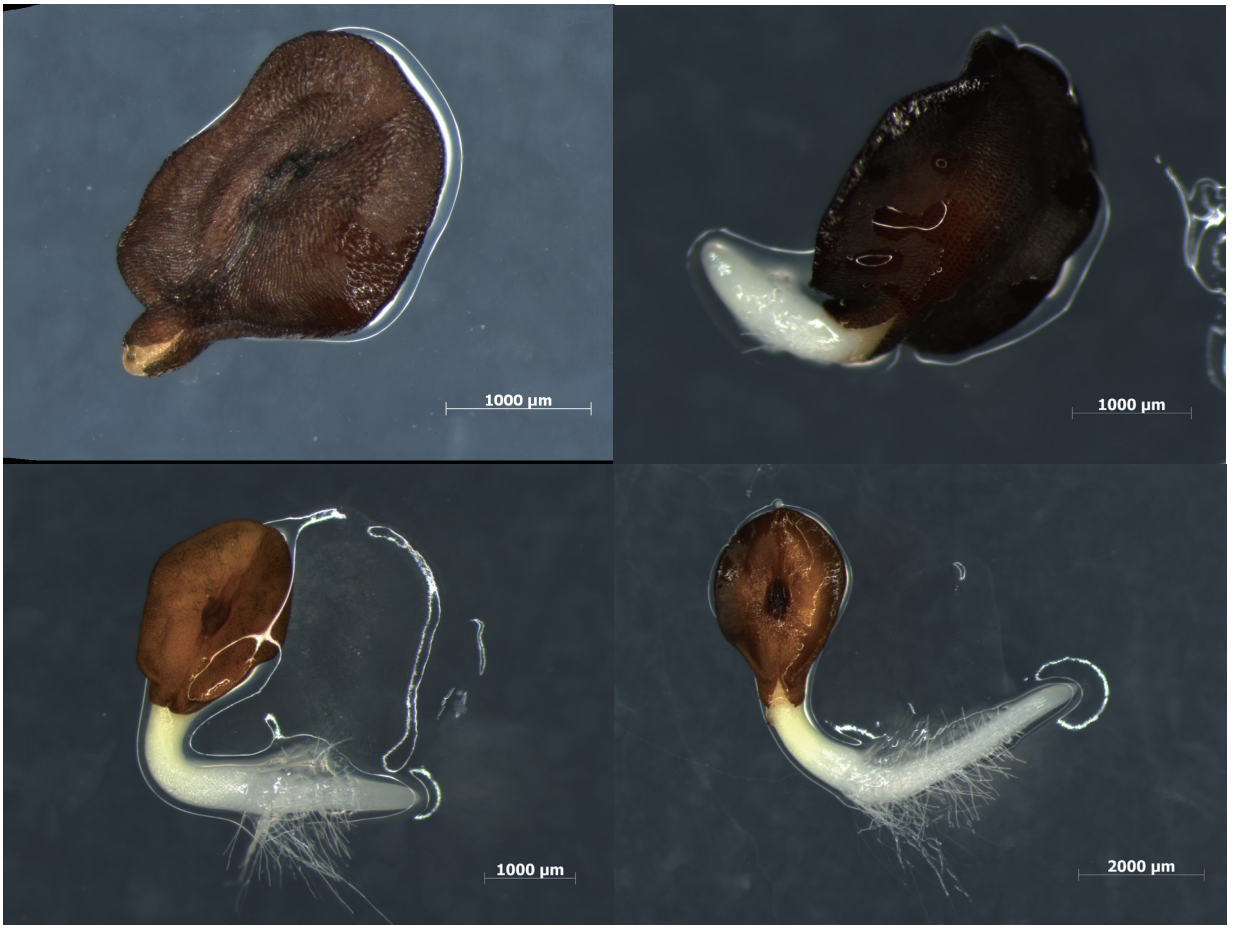
3.2万年前的柳叶蝇子草种子发芽开花

些种子在土地中埋藏数十年都不萌发，当你以为它已经失去活性时，一旦遇到合适的光、水等外界条件，这个种子又会突然冒出小幼芽，告诉你，它还很精神。

上述情况，都与种子的休眠习性相关。广义的休眠包含两种情况：其一是种子本身没有完全通过生理成熟或存在着发芽的障碍，在适当的发芽条件下也不能萌发；其二是种子已经具备发芽的能力，但是由于环境条件达不到种子萌发所必须的条件，种子被迫处于静止状态。通常将第一种情况称为自然休眠，称为休眠种子；后一种情况则称为强迫休眠，称为静止种子。

种子休眠具有重要的生物学意义，休眠特性是植物在漫长的系统发育过程中所获得的一种能够抵抗不良环境的适应性，不同物种的种子的休眠特性表现出特殊性和多样性，是一种重要的保护模式。当种子处于休眠状态时，新陈代谢十分缓慢，因此可以较长时间地保持生活力，并在遇到适宜萌发和幼苗生长的外界条件时才会发芽、生长，从而保证了后代的存活率。并且，种子休眠还能调节萌发的最佳时间和空间分布。

石竹种子萌发动态过程　摄影 / 李慧



通常种子休眠的类型可分为物理休眠、生理休眠、形态休眠、形态生理休眠和复合休眠5大类型。

种子的萌发

通常我们会以为萌发是一个新生命的开端，但其实不然，萌发实际上是一株幼嫩的植物（胚）重新恢复应有的生命活动的表现，是高等植物生长发育的起点。

种子萌发是一个在温度、水、氧气、光照等条件适宜时，进行发芽生长的一个复杂生理过程。通常，种子萌发可分为吸胀、萌动、发芽和成苗4个阶段。如果在种子萌发的任一阶段陷入静止时，都会引起种子的休眠。

关于植物的种子是否能够正常的萌发并成长为健康的植株涉及很多因素，主要包括两个方面，即种子内部的生理条件和发芽所需的外部环境条件。只有同时满足内因和外因，种子才能够正常的萌发。

研究人员在考虑如何让种子萌发时，针对不同物种的种子，还不能套用同样的方法去进行萌发实验。通常需要针对不同的休眠类型和种子的生境条件来综合考量，再进行相应的实验处理。

对于因光、水分、温度等条件而导致无法发芽的种子，需要积累前人的萌发经验，追溯该物种生长的生境条件，选择最适的外界条件，才能让种子进入萌发状态。

对于具有物理休眠的种子，如古莲、豆科种子等，常通过切破种皮打破物理休眠，协助完成种子萌发的吸胀过程，从而使种子顺利萌发。对于生理休眠的种子，如菊科等一般可采用添加赤霉素、低温层积等手段来改变种子内部的生理环境，从而打破休眠。对于形态休眠的种子，

鲜艳的火棘果实



如百合科等种子，由于胚尚未分化或分化了未发育完全，在萌发前通常需要一段时间或很长时间的后熟，然后才能顺利萌发。而具有形态生理休眠和复合休眠特性的种子则不能只考虑单一因素，需要综合考量。

种子的使命——传播

在郁郁葱葱的自然世界里，之所以有如此多样和繁茂的种子植物类群，与种子植物适应各种环境所进化出的本领息息相关，而种子多样化传播无疑是这些本领中最高超和具有重要生态学研究价值的。

为了能散布到更远的地方，开拓和占领更多的领地，使该种植物能够不断繁衍壮大，不同的植物具有各自不同的高超本领。有些是在形状上的适应，如长出翅膀或羽毛状的附属物乘风而行（蒲公英、槭树、杨柳等）；有些是肉质果实让鸟类或哺乳动物食用后将种子带到远方（桑葚、火把果、榴莲等），或通过种子表面的倒钩或刺附着在动物或人的体外进行传播（苍耳、鬼针草、窃衣等）；有的随着溪流、瀑布和海水远赴他乡，甚至漂洋过海（椰子、红树、榄藤子等）；还有非常普遍的通过一己之力来传播的，如果实成熟后会产生弹射的力量将种子弹射出



桑葚的果实　摄影 / 李涟漪



鹤虱　摄影 / 李涟漪　　蒺藜　摄影 / 李涟漪

防己科苍白秤钩风　摄影 / 李涟漪　　防己科粉防己　摄影 / 李涟漪

去（凤仙花、酢浆草、油菜籽等）……如此可见，在成熟的季节大自然也是一片繁忙和喧闹，种子为了完成自己的使命，使出浑身解数，来找到更适合定居和生长的生境。

种子传播的帮助者——动物

首先，美味可口的果实不仅是专为人类准备的，还是给传播者享用的盛宴。果实为了吸引捕食者，在生长发育的过程中会在味道、颜色、气味、质地、营养等方面做出一些适应性的变化。比如，果实成熟后会由绿色变为红色、橙色、紫黑色等鲜艳的颜色，甚至果实的颜色还促进了动物视觉的发展。在气味上，一些挥发性的酯类物质提醒着传播者果实的成熟，如柑橘中有60多种香气成分，葡萄、苹果中则有70多种。

动物之间协作传播种子的故事你听说过吗？近期昆明植物研究所陈高博士研究发现，药用植物大百部（*Stemona tuberosa*）目前在野外的分布格局是由胡蜂和蚂蚁协作传播的结果。当大百部蒴果开裂后，种子上的油质体会释




左：胡蜂取食模拟昆虫气味的大百部油质体　摄影 / 陈高　　右：蚂蚁搬运掉落的大百部种子回巢　摄影 / 陈高

放出如同昆虫的气味来吸引胡蜂取食，胡蜂以为猎物是昆虫，就以之字形的飞行轨迹靠近大百部种子。当它侦察一会儿后，在距离约10厘米时，就会猛然扑向种子的油质体，就像捕食猎物一般。然后胡蜂用几分钟时间咬下携带油质体的种子，飞行一段距离找到适合的地点对油质体进行加工，这种行为类似于对昆虫猎物的加工。胡蜂在猎食昆虫时，通常将猎物去头去尾，只取食中间的肌肉部分，然后用口器和脚将其搓揉成肉糜，带回巢穴饲喂幼虫。胡蜂采用同样的“手法”搓揉大百部种子的油质体，咬掉大部分油质体后，丢弃的大百部种子就掉落在地上。蚂蚁来觅食，看到美味的大百部油质体，就将种子搬运回巢，等享用完油质体后将剩余的种子丢弃在蚁巢的垃圾堆中，这样种子就待在一个安全而温暖湿润的环境静待合适的条件破土而出。大百部的种子利用其可犒劳传播者的油质体达到了安全有效的长距离传播，是何等的智慧！

其次，植物除了给传播者提供奖赏，还有搭便车的利己方式，就是利用动物的表皮毛或人的活动进行传播。鹤虱（*Lappula myosotis*）的种子表面有锚状的倒钩，可以牢牢地钩住动物的皮毛或人的衣服。蒺藜（*Tribulus sterrester*）的种子用更加血腥的方式进行传播，它的种子边缘具有2对锐刺，硬如铁钉，能够刺入动物的蹄子和人的鞋底。

还有更厉害的，那就是通过对动物的欺骗行为而达到传播的目的。有一类防己科植物，其整个科的种子都形如卷曲的虫子，以欺骗鸟儿前来捕食，但是本身并不能给鸟儿提供任何好处，它木质化的种皮是不能被消化的，因此早起的鸟儿吃到的虫子并不一定真的是虫子。

随波逐流的海上旅行家

生活在水边或海边的植物很好地利用了它们所拥有的水力资源来实现远距离移民，椰子就是有名的海上旅行家。巨大的种子成熟时，从树上掉落下来落入海中，其种子的漂浮能力使得海潮能把它们带到千里之外。

水边生长的榼藤子也是水面旅行的高手，它有着豆科中最大的豆荚。它的豆荚不开裂，是一节一节地断裂，这样在豆荚里的种子就有了一个密室可以漂浮在水面上，并且它坚硬的种皮在水里泡上一两年都不会吸水发胀，这样它就可从以河流中漂流，直到成功登陆。

漂洋过海的本事可不是只有海洋或海岸带植物才有的，最近昆明植物研究所李德铢研究团队的吴增源博士的一项研究成果揭开了内陆





左：荨麻科植物的生境（溪流边）：种子很容易被水流搬运　摄影 / 吴增源　　右：木蝴蝶　摄影 / 李涟漪

植物荨麻科种子的跨洋长距离扩散秘密。荨麻科的植物喜欢生长在有水流的潮湿地带，它们的种子成熟后种皮和胚之间有明显的空腔，这样当它掉落水里之后就有了“救生圈”，从而可以漂浮在水上，通过内陆江河这条“高速公路”被搬运到海洋。然后经过洋流的长距离运输（其中大洋中的一些岛屿如夏威夷可能起到了重要的踏脚石作用）到达大洋彼岸，借助于海啸或其



榄藤子的种子，具有坚硬的种皮而不易在水中浸泡腐烂　摄影 / 李涟漪

榄藤子的豆荚，种子的传播是沿凹陷的室间断裂而形成密室漂浮在水上　摄影 / 李涟漪





左：三个翅膀的黄杞具有花式飘飞的装置　摄影 / 李涟漪
右：望天树的种子，果翅长达6~8厘米　摄影 / 李涟漪

他极端气候事件，种子成功登陆到沿海受干扰大的生境中，萌发并实现世代交替，这样它就完成了一次几乎不可能的跨洋长距离扩散使命。那么一粒种子如何在大海上漂流数月依然存活且可以在不毛之地成家立业呢？通过进一步生态学分析发现，荨麻科种子为瘦果，其表面包裹着一层角质状的果皮，透水性差，在海水里泡三四个月体积不会变大，海水对果皮的伤害程度也非常小，这就保证了荨麻科种子可以在汪洋大海上漂流数月依然可以萌发。并且海岸带属于受干扰较大的区域，这有利于种子成功登陆并开始在新的环境里定居。同时，对于一些雌雄异株（如异株荨麻*Urtica dioica* subsp. *dioica*）的植物，一粒种子长出的个体，还有可能通过性别转换后发生自交，这样更加利于物种的繁衍生息，并在新的生境中建立居群。植物为了扩张领地也是够拼的了！

乘风飞翔的种子

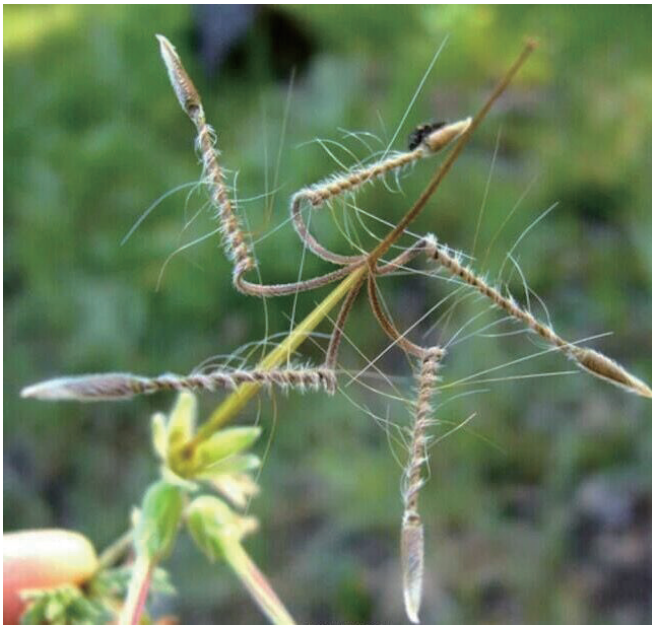
飞翔并不是鸟儿的专利，种子也会利用风这个不需要消耗任何气力的顺风车来实现种群的广泛传播。生长在热带雨林的木蝴蝶（*Oroxylum indicum*），它的种子三面具有薄如蝉翼的宽翅，可支撑种子借着微弱的上升气流在空中滑翔，形如蝴蝶在空中飞舞。试想一下，在种子散布的季节，木蝴蝶的果荚开裂，一阵微风吹来，成千上万的种子在风中翩翩起舞飞向各自要去的地方。

热带雨林的标志性树种望天树高40~60米，它的种子为了避免下落过程中的重力损伤，练就了高超的飞行本领。它的种子被增长的宿萼所包围，2片花萼裂片发育成犹如螺旋桨式的翅，这样下落的时候就像安装了降落伞一样。

自食其力的种子

在自然界不借助其他媒介而传播种子的植物属于自力传播，通过这种方式传播的植物种类很多，也很普遍。比如，豆科植物的豆荚开裂时扭曲；十字花科的长角果的裂瓣会向上翘从而帮助弹出种子；凤仙花的种子成熟时，果皮收拢成一个扁圆形的“灯笼”，如有外力碰到就会急速裂开。

犁牛儿苗科的犁牛儿苗种子有一种更有意思的自我传播方式，其具有能将自己埋藏起来的“钻头”形种子。果实成熟时蒴果沿室间开裂，





5个分果的喙部呈螺旋状卷曲。当种子落到地上时，它卷曲的喙会随着环境的干湿变化而旋转拧紧或松开，产生一个旋转的机械力将种子推入地下，到达一个更湿润安全的环境，从而避免被风带到不利环境或被动物取食，牻牛儿苗的这种结构是对干旱环境的一种适应。

作者简介

黄莉，中国科学院昆明植物研究所工程师，中国西南野生生物种质资源库种子管理员，主要从事植物种质资源的管理保存、种子形态和科普宣传工作。

张潇尹，中国科学院昆明植物研究所工程师，中国西南野生生物种质资源库种子管理员，主要从事种子管理工作。

何华杰，中国科学院昆明植物研究所工程师，中国西南野生生物种质资源库种子管理员，主要从事种子管理工作。

（责编　桑新华）

上：牻牛儿苗果实开裂的方式　摄影 / 李涟漪　　下：牻牛儿苗的种子　摄影 / 李涟漪





1. 菊科黄花婆罗门参的种子被大自然的手安装了一个小小的降落伞　摄影 / 李涟漪
2. 看到蒲公英，是不是忍不住想吹一口气，让它们各自安家　摄影 / 黄莉
3. 生长在新疆北部干旱沙漠地区的尖喙牛儿苗，其喙长达7~9厘米，呈羽毛状，深深钻入土壤的种子避免了沙漠巨大的温差及干旱的伤害　摄影 / 亚吉东
4. 成片的尖喙牛儿苗钻入土中，远远看去像一片片羽毛散落在大地上　摄影 / 亚吉东



