

「青少年实践」

探索不同落叶轨迹和分布的规律

姚一尔*

上海民办华曜嘉定初级中学 上海

摘要: 在本研究中,我们对真实树叶和纸质的模拟树叶进行了三个实验,分别对真实树叶下落过程轨迹、纸质模拟树叶的下落轨迹、纸质模拟树叶的下落落点进行了分析。我们发现,真实树叶的下降轨迹表现出曲线飞行、直线下落、螺旋下落,这主要受到其重心分布、空气动力性能、叶柄的重量和形状等因素的影响;通过使用相同表面积的椭圆纸片模拟不同长短轴比值的树叶,我们观察到树叶下降过程中的螺旋、自旋和飘摆三种主要现象。这些现象的发生与树叶的形状和转动惯量的分布有关。在落点分布方面,我们发现,越圆润的树叶,其落点分布越广且越杂乱无章;而越细长的树叶,其落点分布越密集且越集中。这些发现为理解树叶下落的物理过程提供了新的视角,并能为我下一步研究微型小蜜蜂航空器打下了基础。

关键词: 落叶; 轨迹; 分布

1 引言

1.1 课题来源

在观看动画片中的落叶场景时,我们常常会注意到落叶在下降过程中会左右摇摆。这种左右摇摆的运动轨迹引发了我的好奇心,因为根据我所学的物理知识,一个物体在没有外力的情况下,应该不会出现连续左右摇摆的现象。所以,我决定开展一项研究,以探究这种动画中落叶左右摇摆的运动轨迹。

1.2 背景与意义

树叶从树上落下,是我们生活中随处可见的自然现象。看着一片片叶子轻轻飘摆、缓缓落地,有时候像在转圈,有时候又平稳地滑行,姿态各不相同,这让我对树叶到底是怎么下落的,产生了很强

的好奇心,也很想弄清楚它们的运动轨迹和落地朝向背后藏着的科学道理。

带着这个问题,我以树叶、落叶、飘落、下落、轨迹等关键词查阅了相关资料,发现目前针对这一现象的研究并不多,大部分是科普类的文章,主要在解释树叶落地时的朝向问题。这些文献提到,树叶的正面细胞排列紧密,含有很多叶绿体,被称为栅栏组织,而背面细胞排列疏松,叶绿体较少,叫作海绵组织,因为背面更轻、正面更重,所以树叶落地时大多是背面朝上、正面朝下^{[1][2][3]}。不过,这些研究大多只关注了最终的落地状态,对于树叶从离开树枝到地面的整个过程,它的运动轨迹有哪些类型、不同形状的叶子下落方式有没有差别、落点分布有什么规律,这些问题还没有说明。

我觉得,研究树叶的飘落轨迹不只是一个有趣的自然观察,还能给我们带来实际的启发。树叶在

* 通讯作者: 姚一尔; 单位: 上海民办华曜嘉定初级中学 上海

收稿日期: 2025-12-08 录用日期: 2026-02-08

DOI: <https://doi.org/10.58244/jie.263597>

空气中飘落的特点，蕴含着很多知识，这些原理可以用到微型航空器的设计和控制上，帮助它们提升滑翔效果，延长飞行时间。比如科幻作品《黑镜》中提到的机械蜜蜂，如果能借鉴树叶的滑翔方式，就可以变得更加灵动。

1.3 研究问题与目的

我们的研究围绕树叶下落的运动规律展开，核心想弄清楚一个问题：树叶在自然下落过程中，到底有没有能观测、能归纳的特定运动轨迹模式？基于这个问题，我们明确了研究目的：一方面通过实验观测和数据分析，把树叶下落可能存在的规律性运动轨迹模式找出来；另一方面也想全面梳理、探究影响树叶下落状态的各类因素，搞明白这些因素是怎么作用于树叶下落过程的。

2 实验设计

2.1 真实树叶实验方法

选取 8 片同类型树叶作为研究样本，在实验区域架设相机以完整记录下落过程，于白板顶端 1.7 米处设置统一释放高度，从该位置依次释放树叶并录制视频，后续将视频导入计算机进行回放分析，提取树叶的运动轨迹、下落时间及叶片朝向等数据，完成数据统计与样本间的差异比较。

2.2 模拟树叶实验方法

设计 5 种面积均为 18cm^2 的椭圆形模拟树叶，通过 PPT 制作完成，长短边尺寸依次为 $2\text{cm}/9\text{cm}$ 、 $2.5\text{cm}/7.2\text{cm}$ 、 $3\text{cm}/6\text{cm}$ 、 $3.5\text{cm}/5.14\text{cm}$ 、 $4\text{cm}/4.5\text{cm}$ ，以长短轴比值为单一控制变量。实验采用教师协助制作的舵机释放装置，固定于天花板并以遥控器控



图 1 真实树叶与采集

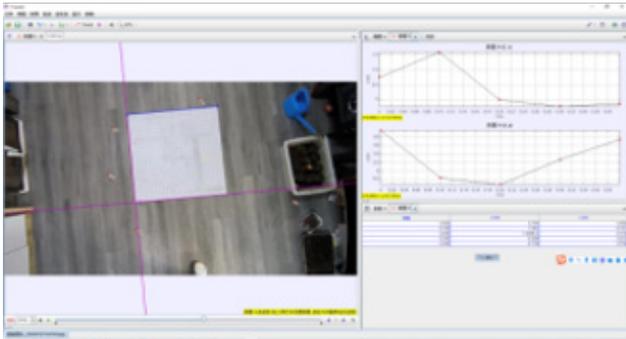
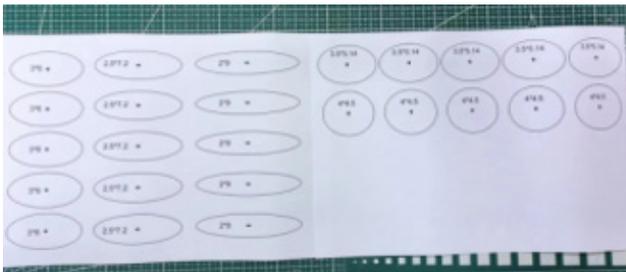


图 2 模拟树叶与采集

制释放，保证释放条件一致，同时利用 Tracker 软件采集落点坐标数据，每种模拟树叶均开展 10 次重复测试，以获取稳定可靠的分布数据。

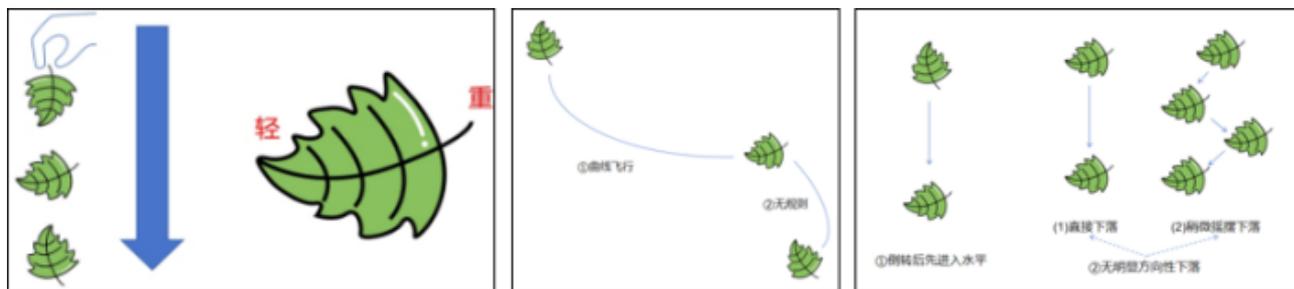


图3 叶子下落规律

3 真实树叶的观察结果与分析

3.1 叶子下落的观察

对 8 片同类型树叶各开展 5 次下落实验，全程采用视频录制记录运动过程。综合观测结果如下：叶子 1 与叶子 4 运动模式相近，释放后先保持叶面/叶头朝下姿态下落，伴随曲线飞行，之后完成 180 度旋转转为叶柄向下，再次进入曲线飞行阶段，接近地面时平飞速度降低，最终呈现无规则旋转下落，且多次实验中旋转与飞行方向均无固定规律；叶子 2、3、6、7、8 运动特征高度一致，释放后直接发生 180 度旋转，由叶面朝下转为叶柄朝下，随后逐渐过渡至水平状态，在下落至约 1 米高度时保持水平姿态，近似垂直落地，部分样本伴随轻微左右摇摆；叶子 5 表现出独特的运动轨迹，释放后同样直接完成 180 度旋转，但旋转后未垂直下落，而是呈现类似竹蜻蜓的螺旋下降轨迹，与其他样本差异显著。

3.2 倒转现象与倒转后的不同轨迹分析

所有叶片在释放后均出现明显的 180 度倒转，该现象表明枯叶脱离后会发生绕质心的转动，进而重新达到平衡，原因是叶柄与叶面存在显著的质量分布差异。叶子 1、4 重心相对靠近几何中心，质量分布更为均匀，因此初始阶段可保持短暂稳定下

落，之后再发生倒转；其余叶片重心更靠近叶柄一端，释放后迅速失衡，直接完成倒转。

曲线飞行后的无规则下落，是叶片倒转后先进行势能向动能的转化，实现先快后慢的曲线飞行，进入水平飞行状态后势能趋于稳定，动能逐渐减小至趋近于零，随后因重心失衡无法维持稳定，便进入无规则旋转状态以寻找新的力学平衡。

保持叶面水平的垂直下落，主要由叶柄适宜的质量分布和叶面形状共同作用，配合空气动力学效应，使叶片倒转后能够维持水平平衡姿态，实现稳定的垂直下落，部分样本的轻微摇摆则是空气扰动下的小幅姿态调整。叶子 5 呈现螺旋下降，一方面是其叶柄质量较大，下落过程中形成明显力矩，另一方面该叶片尺寸较大，且存在多个不规则突起的子叶片，形态不对称，在不对称的空气动力作用下，持续绕轴旋转，最终形成类似竹蜻蜓的螺旋运动轨迹。

4 模拟树叶下落的规律与探讨

4.1 下落过程规律与探讨

为了更准确地描述模拟树叶的下落过程，我们对每一组叶片都录制了 10 次下落视频，去掉飞出拍摄画面的无效数据后，每组都挑选出最典型的轨迹进行分析。

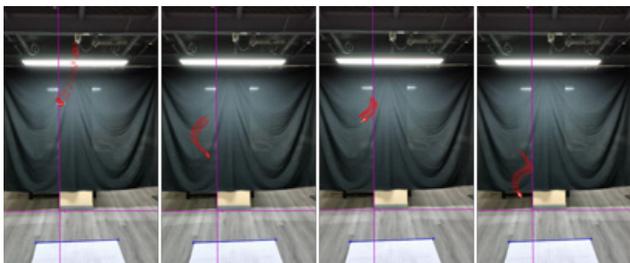


图4 视频采集

综合五种不同尺寸叶片的实验结果可以看出， $2\text{ cm} \times 9\text{ cm}$ 的叶片在稳定下落时，会一边绕长轴自旋，一边做稳定的螺旋下降，轨迹上第一次出现密集点时，就是它进入稳定螺旋状态的时刻； $2.5\text{ cm} \times 7.2\text{ cm}$ 的叶片同样会沿长轴自旋，长轴也一直保持和地面平行，但不会出现螺旋下降，轨迹点越密集说明下落越慢，在1.8秒之后就进入了低速平稳下落的阶段； $3\text{ cm} \times 6\text{ cm}$ 的叶片前半段基本是无规则飘摆，没有自旋，到下落中段才开始沿长轴自旋并保持水平下落，自旋开始的时间明显更晚，后期的运动方向也由前面飘摆的结尾方向决定； $3.5\text{ cm} \times 5.14\text{ cm}$ 的叶片全程都没有发生自旋，整体以垂直下落为主，轨迹比较平稳，但会有轻微的左右摇摆，偶尔出现的密集点代表短暂减速，应该是飘摆过程中势能和动能不断转换造成的； $4\text{ cm} \times 4.5\text{ cm}$ 的叶片形状更接近圆形，大多数时候沿长轴自旋，重复实验中也会出现沿短轴自旋的情况，整体下落速度比较均匀，高度随时间接近线性下降，但中间偶尔会出现速度突然加快的情况，运动稳定性不算太高。

为更好地开展结果分析，我们将树叶划分为长轴、短轴、立轴三个轴向，模拟树叶下落主要呈现螺旋、自旋、左右飘摆三种特征，各叶片状态汇总为： 2×9 叶片有螺旋、长轴自旋，无飘摆； 2.5×7.2 、 3×6 叶片仅有长轴自旋； 3.5×5.14 叶片

无自旋，存在飘摆； 4×4.5 叶片可长轴或短轴自旋，同时伴有飘摆。

目前只有 2×9 叶片出现螺旋下降，额外补充的5次试验均验证了这一现象，从风阻力臂分析，叶片越细长，长轴力臂越长，受力越易失衡，长轴方向稳定性差，因此更容易产生螺旋，短圆叶片则下落更稳定。

自旋现象主要出现在 2×9 、 2.5×7.2 、 3×6 这几种相对细长的叶片上，且均为沿长轴自旋，可利用角动量守恒原理解释，细长叶片绕长轴的转动惯量小，在角动量守恒下角速度更大，易形成稳定自旋，而形状圆润的叶片转动惯量大，受环境扰动影响，难以出现稳定自旋。

飘摆仅发生在 3.5×5.14 、 4×4.5 这类长短轴比值小、形状更圆润的叶片上，比值小使得叶片受力分布均衡，易受空气扰动影响，且绕两轴转动的难易程度接近，在转动与风阻的对抗中产生摆动，由此可知，长短轴比值小易出现飘摆，比值大则无飘摆，比值极大时会形成螺旋，本研究暂未确定具体的临界比值。

4.2 下落落点规律与探讨

随后，我计算了每个落点到对应叶片几何中心原点的距离，取平均值作为衡量落点集中程度的指

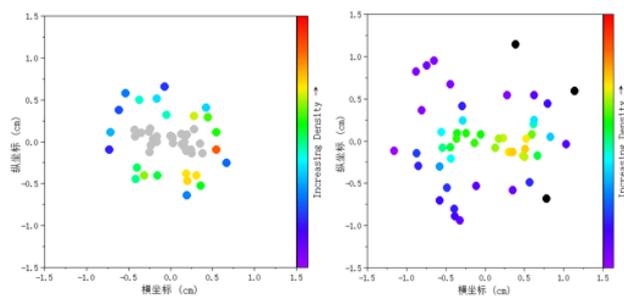


图5 落点标定（最细长与最圆润叶片）

表 1 模拟树叶的数据汇总

	总数N	均值	标准差	均值SE	总和	最小值	中位数	最大值
2*9	50	0.39374	0.20436	0.0289	19.687	0.059	0.392	0.761
2.5*7.2	50	0.45304	0.24437	0.03456	22.652	0.068	0.426	0.836
3*6	50	0.51392	0.25743	0.03641	25.696	0.127	0.514	0.898
3.5*5.14	50	0.61854	0.31023	0.04387	30.927	0.113	0.5955	1.136
4*4.5	50	0.67128	0.31833	0.04502	33.564	0.114	0.617	1.228

标, 平均值越小说明落点越靠近原点, 越大则表示分布越分散。为进一步分析离散程度, 我还计算了每组数据的标准差。

通过对数据整理发现, 模拟树叶的形状与平均原点距离存在明显关联, 具体数值为: 2 cm/9 cm 为 0.394, 2.5 cm/7.2 cm 为 0.453, 3 cm/6 cm 为 0.514, 3.5 cm/5.14 cm 为 0.619, 4 cm/4.5 cm 为 0.671。数据显示, 叶片从细长逐渐变为圆润, 平均原点距离逐步增大, 且拟合趋势的 R^2 达到 0.9881, 在标准差方面, 其变化趋势与平均距离基本一致, R^2 为 0.9558。越细长的树叶落点越集中, 越接近圆形的树叶分布越散乱。

我进一步计算了标准差与平均值的比值, 结果分别为 0.518、0.539、0.500、0.501、0.474, 见, 比值整体稳定在 50% 左右。由此可得, 细长叶片落点密集、离散度小, 圆润叶片落点松散、离散度大, 但不同叶片的相对离散程度较为接近。

5 结论与展望

5.1 结论

本次研究用真实树叶和模拟树叶做了三组实验, 分别观察真实树叶下落轨迹、模拟树叶下落轨迹, 以及模拟树叶的落点分布, 得到以下结论:

真实树叶的下落运动比较复杂。倒转之后, 有

的叶片会先曲线飞行, 再无规则下落, 主要和重心分布、空气动力有关; 有的能保持叶面水平, 平稳垂直落地, 依靠叶柄的重量和形状维持平衡; 还有个别会出现螺旋下降, 可能和叶片整体形状、叶柄质量分布有关。

用相同面积、不同长短轴的椭圆模拟叶片测试发现, 下落主要有螺旋、自旋、飘摆三种模式。叶片越细长、长短轴比值越大, 越容易出现长轴方向不稳定, 从而螺旋下降, 同时也更容易沿长轴自旋; 当叶片偏圆润、长短轴比值较小时, 绕两个轴的转动惯量接近, 受空气扰动影响大, 容易出现方向不稳定, 表现为左右飘摆。落点分布上, 叶片越圆润, 落点越分散、离中心越远; 越细长, 落点越集中。

5.2 创新点

本研究的创新主要有三点:

第一, 实验设计上, 我们查阅知网文献后发现, 目前很少有针对树叶飘落的系统性物理研究。我们采用真实树叶加模拟树叶的对照实验, 方法直观、科学, 为这一方向提供了新的研究思路。

第二, 研究内容上, 我们重点分析了树叶的落点分布规律, 弥补了以往研究对落点特征关注不足的问题, 让整个研究更完整。

第三, 研究发现上, 我们明确了叶片长短轴比值和下落轨迹之间有直接关系, 为理解叶片形状和

空气运动的联系提供了新的实验依据。

5.3 不足

实验环境中存在不稳定的空气流动，气流和涡流会干扰叶片轨迹，带来一定误差；研究只针对一类叶片，没有扩展到不同树种、不同形状叶子，对叶柄重量、叶片结构的影响分析不够深入。观测方面，手机录像只能拍到平面运动，无法完整记录三维空间的下落轨迹，导致部分细节缺失。同时，真实树叶和模拟叶片的样本数量都偏少，可能会影响结论的普遍适用性。

5.4 展望

进一步探究叶片形状、叶柄结构和质量分布对下落轨迹的影响，扩大叶片种类，更系统地分析形

态与运动的关系；改进观测设备，使用多视角拍摄，更准确地记录三维运动轨迹，并在可控风速下开展实验，明确空气流动的具体影响；增加样本数量，完善落点分布的统计分析，尝试建立叶片形态与下落规律之间的简单模型，让结论更可靠。

参考文献

- [1]. 树叶落下时为什么总是叶背朝上[J].小学阅读指南(高年级版),2023,(07):59.
- [2]. 钟浦.树叶落地为什么正面朝地[J].科学大观园,2003,(05):29.
- [3]. 刘宏,杨兰菊.树叶落下为何正面朝地[J].青少年科技博览,2002,(11):30.

Exploring the Patterns of Falling Leaf Trajectories and Distributions

Yao Yier

Abstract: In this study, we conducted three experiments using real leaves and paper-based simulated leaves, analyzing the falling trajectories of real leaves, the falling trajectories of paper simulated leaves, and the landing point distributions of paper simulated leaves. We found that real leaves exhibit three main falling trajectories: curvilinear flight, straight downward fall, and spiral descent, which are mainly influenced by factors such as their center-of-gravity distribution, aerodynamic performance, and the weight and shape of the petiole. By using elliptical paper sheets with the same surface area but different aspect ratios to simulate leaves, we observed three dominant phenomena during descent: spiraling, spinning, and swaying. The occurrence of these phenomena is related to the leaf shape and the distribution of its moment of inertia. Regarding landing point distribution, we discovered that rounder leaves show wider and more scattered distributions, while slenderer leaves exhibit denser and more concentrated distributions. These findings provide a new perspective for understanding the physical processes of leaf fall and lay a foundation for my further research on miniature bee-inspired aircraft.

Keywords: Falling leaves; Trajectories; Distribution

导师点评

辛本亮，烟台市蓬莱区第二实验小学 青少年开展科学探究的优质范本，可参考性极强。研究素材以生活中常见的落叶现象为切入点，选题贴近日常、易于操作，完美契合青少年认知特点和能力水平。完整探究逻辑提供了具体可复用的研究方法，从更深层看，该研究将物理原理与实际应用

关联，为微型航空器设计提供思路，兼具科学性与创新性，对学生开展同类探究具有极强的示范指导意义。

李林生，北京师范大学鄂尔多斯第二附属学校 能给认真观察选取一个好问题研究彰显作者科学素养之高，研究符合科学家研究的流程和规范，结论和证据一致，很棒的一篇文章。

梁文娟，山西省交城中学校 这份研究以严谨的对照实验和详实的数据分析，是空气动力学与植物形态学交叉领域的一次可贵探索。从真实树叶与模拟叶片的对照设计，到落点分布规律的统计提炼，每一步都恪守了科学研究的严谨规范，这种“用数据说话、以事实为据”的治学态度，尤为可贵。

黄利花，湖北省十堰市第一中学 该论文从生活现象提出科学问题，并通过真实与模拟实验进行探究，流程完整，展现了优秀的观察力与实验设计潜力。后期可以增加样本量与重复实验，用统计方法增强说服力；还可利用数据收集处理等软件深化技术。