

达尔文进化论全集

第十三卷

植物的运动

(英) C. 达尔文 著

科学出版社

00

达尔文进化论全集 第十二卷

# 植物的运动

〔英〕Ch. 达尔文 著

〔英〕弗朗西斯·达尔文 协助

姜昌后 周邦立 祝宗岭 译

祝宗岭 校

本书得到中国农业科学院院长基金资助出版

(京) 新登字 092 号

## 内 容 简 介

本书详细叙述各类植物幼苗在土壤内和出土后的生长和出现各种运动情况, 这些幼苗 (主要是实生苗) 对光线、万有引力和潮湿空气的反应以及发生转头运动和叶片的就眠运动。实生苗对光线具有惊人的敏感性, 胚根尖端能有分辨两侧接触物的特性, 成熟植株的几个部位的转头运动, 子叶的就眠等。

达尔文在此书的结束语中, 指出植物对外界刺激的感应而发生的各种运动, 证明物种的同一性、适应性和多变性, 来验证他的进化论观点。

Charles Darwin

Assisted by Francis Darwin

### POWER OF MOVEMENT IN PLANTS

D. Appleton & Co. 1881, New York

达尔文进化论全集 第十二卷

## 植物的运动

[英] Ch. 达尔文 著

[英] 弗朗西斯·达尔文 协助

姜昌后 周邦立 祝宗岭 译

祝宗岭 校

责任编辑 黄宗甄

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

\*

1995年7月第一版 开本: 850×1168 1/32  
1995年7月第一次印刷 印张: 13 1/4 插页: 2  
印数: 1 700 字数: 363 000

ISBN 7-03-004177-1/Q·512

定价: 31.00 元

# 目 录

绪论 ..... ( 1—6 )

## 第一章 实生苗的回旋转头运动

甘蓝：胚根的转头运动，拱形下胚轴仍埋于地下时、正伸出地面和将自己伸直时、以及直立时的转头运动——子叶的转头运动——运动的速率——对以下各属的一些种中各器官的类似观察：麦仙翁属，棉属，酢浆草属，旱金莲属，柑桔属，七叶树属，豆科和葫芦科的几个属，仙人掌属，向日葵属，报春属，仙客来属，豹皮花属，蜂房花属，小铃草属，茄属，甜菜属，蓖麻属，栎属，榛属，松属，苏铁属，美人蕉属，葱属，天门冬属，藜草属，玉蜀黍属，燕麦属，金纷草属和卷柏属..... ( 7—53 )

## 第二章 对于实生苗的运动与生长的一般见解

转头运动的普遍性——胚根，其转头运动的功用——它们穿入土内的方式——下胚轴和其它器官靠弯成拱形破土的方式——麦加齐属等的特殊萌发方式——子叶的败育——下胚轴和上胚轴还埋在土中和成拱形时的转头运动——它们伸直自己的本领——种皮的破裂——地下生下胚轴中成拱过程的遗传效应——下胚轴和上胚轴在直立时的转头运动——子叶的转头运动——子叶的叶枕或关节，它们的活动的持续期，酢浆草中的遗迹器官，它们的发育——子叶对光的敏感性和随即对它们的周期性运动的干扰——子叶对接触的敏感性..... ( 54—97 )

## 第三章 胚根尖端对接触和其它刺激物的敏感性

胚根遇到土中障碍物时的弯曲方式——蚕豆的胚根尖端对接触和其它刺激物非常敏感——温度过高的效应——对粘附在两侧面的物体的分辨本领——次生胚根的尖端敏感——豌豆属的胚根尖端敏感——这种敏感性对克服向地性的效应——次生胚根——菜豆属的胚根尖端对接触几乎不敏感，但对硝酸银和切削一薄片非常敏感——旱金莲属——棉属——南瓜属——

萝卜属——七叶树属,其胚根尖端对轻微接触不敏感——但对硝酸银非常敏感——栎属,其胚根尖端对接触非常敏感——分辨本领——玉蜀黍属,其胚根尖端非常敏感,次生根胚——胚根对潮湿空气的敏感性——本章总结……

..... (98—145)

#### 第四章 成熟植物几个部位的转头运动

茎的转头运动:总结——匍匐茎的转头运动:这样便为在周围植物茎之间盘旋提供帮助——花梗的转头运动——双子叶植物叶子的转头运动——捕蝇草属叶子的特殊振荡运动——大麻属叶子夜间下垂——裸子植物叶子——单子叶植物叶子——隐花植物——关于叶子转头运动的总结:通常在傍晚上举和在清晨下垂..... (146—198)

#### 第五章 修饰的转头运动;攀缘植物;偏上生长和偏下生长运动

转头运动通过内在原因或通过外界条件的作用而修饰——内在原因——攀缘植物;它们的运动和普通植物的运动的相似性;增大的幅度;偶然的差异——幼叶的偏上生长——实生苗的下胚轴和上胚轴的偏下生长——攀缘植物和其它植物由于修饰的转头运动而形成的钩形尖端——三尖蛇葡萄——冯地膜包豆——尖端由于偏下生长而伸直——白车轴草和肉质酢浆草的花梗的偏上生长和转头运动..... (199—212)

#### 第六章 修饰的转头运动;就眠或感夜运动,它们的用途;子叶的就眠

叶子的就眠或感夜运动的初步概述——叶枕的存在——减少辐射是感夜运动的最终目标——对酢浆草属、落花生属、决明属、草木犀属、百脉根属和苜蓿属的叶子和对含羞草属的子叶的烦琐的试验方法——关于从叶子辐射的总结——条件中的微小差异使得结果大不相同——各种植物子叶的感夜位置和感夜运动的描述——种名表——总结——同种植物的叶子和子叶的感夜运动彼此无关——认为感夜运动是为一特殊目的而获得的理由

..... (213—238)

#### 第七章 修饰的转头运动;叶子的感夜或就眠运动

这些运动所必需的条件——包括就眠植物的科属名单——关于几个属

中运动现象的描述——酢浆草属：小叶在夜间合拢——阳桃属：小叶的快速运动——波里尔属：当植物很干燥时小叶闭合——旱金莲属：叶子除非在白天充分照光才就眠——羽扇豆属：各种就眠形式——草木犀属：顶端小叶的奇异运动——车轴草属——山蚂蝗属：残留侧生小叶，它的运动，在幼嫩植株上尚未发育，其叶枕的状态——决明属：小叶的复杂运动——羊蹄甲属：叶子在夜间合拢——含羞草：叶子的复合运动，黑暗的效应——白花含羞草，其退化小叶——施兰克亚木属：复叶的下垂运动——苹属：已知可就眠的唯一隐花植物——结束语及总结——感夜运动由修饰的转头运动构成，受光暗交替的调节——最初几片真叶的形状…………… (239—315)

## 第八章 修饰的转头运动：光激发的运动

向光性和光对叶运动周期性效应之间的区别——甜菜属、茄属、玉蜀黍属和燕麦属的向光性运动——土圞儿属、芸苔属、藜草属、旱金莲属和决明属中植物对一昏暗光的向光性运动——喇叭花藤属的卷须的背光性运动——关于仙客来属的花序梗——掩埋荚果——向光性和背光性是转头运动的修饰形式——一种运动转变成另一种的步骤——横向往光性，受偏上性，这部分的重量和背地性的影响——背地性在一天中间被横向往光性克服——子叶叶片重量的效应——所谓日间就眠——叶绿素被强光损害——避开强光的运动…………… (316—339)

## 第九章 植物对光的敏感性：它的传递效应

向光性的用途——食虫植物和攀缘植物不是向光性的——同一器官在一个年龄上有向光性，另一年龄上则无向光性——有些植物对光有特别高的敏感性——光的效应并不与它的强度一致——预先照明的效应——光起作用所需的时间——光的后效——光一中断，背地性就起作用——植物向光弯曲的准确度——这依赖于将这个部位的整个一侧照明——局部化的对光敏感性和其传递效应——藜草的子叶，弯曲的方式——从它们的尖端排除光的结果——在地表下的传递效应——侧面照射顶端决定基部弯曲的方向——燕麦的子叶，基部的弯曲由于上部的照明——芸苔和甜菜的下胚轴有相似的结果——欧白芥的胚根是背光性的，由于它们的尖端有敏感性——这一章的结束语和摘要——转头运动被转变为向光性或背光性的运动方式…………… (340—367)

## 第十章 修饰的转头运动：由万有引力激发的运动

观察方法——背地性——金雀花属——马鞭草属——甜菜属——在悬钩子属、百合属、藜草属、燕麦属和芸苔属中转头运动逐渐转变成背地性——背地性受向光性阻碍——靠关节或叶枕实现——酢浆草属花序梗的运动——对背地性的一般评论——向地性——胚根的运动——种子-蒴果的埋藏——过程的用途——地下车轴草——两型豆属——横向地性——结论……

..... (368—390)

## 第十一章 对万有引力的局部化敏感性及其传递效应

一般考虑——蚕豆，切除胚根尖端的效应——尖端的再生——尖端短时曝露于向地性作用及它们随后切除的效应——斜着切除尖端的效应——腐蚀尖端的效应——尖端上油脂的效应——豌豆，胚根尖端横向、上侧和下侧受到腐蚀——菜豆，腐蚀作用和尖端上的油脂——棉属——南瓜属，尖端横向、上侧和下侧受到腐蚀——玉蜀黍，尖端受腐蚀——本章的结束语和摘要——对向地性的敏感性局限于胚根尖端的利益..... (391—405)

## 第十二章 摘要和结束语

转头运动的性质——萌发种子的历史——胚根最先伸出并转头——它的尖端非常敏感——下胚轴或上胚轴以拱状形式从地面出现——它的转头运动和子叶的转头运动——实生苗举起带叶的茎——所有部位或器官的转头运动——修饰的转头运动——偏上性和偏下性——攀缘植物的运动——感夜运动——由光和万有引力激发的运动——局部化的敏感性——植物运动和动物运动之间的相似性——胚根的尖端有如一个大脑在起作用.....

..... (406—422)

人名索引 ..... (423—425)

内容索引 ..... (426—434)

出版者附记 ..... (435—436)



## 绪 论

本书的主要目的是对几乎为一切植物所共有的几大类运动加以描述并把它们相互联系起来。最普遍的一种运动在特性上与攀缘植物茎的运动基本相同，它是顺序朝向圆周上各点弯曲，于是其尖端便在旋转着。这种运动曾被萨克斯 (Sachs) 称为“回旋的转头运动”(revolving nutation)；可是我们感到采用回旋转头 (circumnutate) 和回旋转头运动 (circumnutation) 这些名词更为方便。\* 由于我们将常要谈到这种运动，在这里简略叙述一下它的特性，会有帮助。假设我们观察一个正在转头的茎，它当时譬如正朝北弯曲，将可看到它逐渐越来越向东弯曲，直到完全向东；随后又照样地转到朝南，然后朝西，再回到朝北。如果这种运动很有规律，茎尖就会画出一个圆圈来，或者不如说，茎尖会画出一个圆形螺旋，由于茎总是向上生长着。然而它一般画出不规则的椭圆或卵圆图形；因为茎尖在弯向任何一个方向后，时常不是沿着同条路线转回到它的对面。此后它陆续描绘出另一些不规则的椭圆形或卵圆形，以长轴指向圆周上各点。茎尖描绘这些图形时，常是沿着曲折的路线移动，或者作出一些附带的小环或三角形。对叶子来说，所描绘的椭圆形一般较狭窄些。

直到最近，所有这样的弯曲运动都被认为是由于暂时变凸的一侧生长加速的结果；这一侧确实是长得比凹侧更快，这已是完全肯定的事；但是德·弗里斯 (De Vries) 近来证明，这种加速生长是在凸侧先增强紧张度之后<sup>1)</sup>。在具备有所谓关节的部位，如

\* 以下多简称转头和转头运动。——译者

1) 萨克斯 (Sachs) 首先指出 (《植物学教科书》第四版, 452 页) 紧张度与生长之间的密切关系。关于德·弗里斯 (De Vries) 的有趣论文, 《多细胞器官的生长性弯曲》, 见《植物学报》(Bot. Zeitung), 1879 年 12 月 19 日, 830 页。



叶垫或叶枕，这是由一团在很幼嫩时就已停止增大的小细胞构成的，我们也看到类似的运动；普菲费尔（Pfeffer）已经证明<sup>2)</sup>，并且我们还将在本书中看到，这种器官两对侧的细胞在增加紧张度之后，并不是跟着发生加速的生长。威斯纳（Wiesner）认为，德·弗里斯关于紧张度的结论在有些例证中是不适用的，他主张<sup>3)</sup>胞壁伸展性的增加是个更重要的因素。明显的是，这种伸展性必须与紧张度同时增强才能使这个部位弯曲，有些植物学者就曾坚持这种看法；但是在单细胞植物的情况下，它不能不算是更重要的因素。总之，我们目前可以推断说，先在一侧而随后在另一侧的加速生长，是个次级效应，而细胞紧张度的增强，和细胞壁伸展性的同时增大，是转头运动的首要原因<sup>4)</sup>。

在本书中将指出，每个植物的每个生长部位显然都在连续不断地进行转头运动，不过规模往往很小。甚至实生苗的茎在破土之前，以及它们埋在土里的胚根，也都在周围土壤压力允许的范围内，进行转头运动。就是在这种普遍存在的运动里，我们找到了植物按照需要而获得的各式各样运动的根据或基础。例如，缠绕植物的茎与其它攀缘植物的卷须所做的大扫描，只不过是普通转头运动的幅度增加的结果。幼叶和其它器官最后所处的位置，是靠在某一个方向上增强的转头运动而取得的。许多种植物的叶子，可以说是夜间就眠，这时将会看到它们的叶片通过修饰的转头运动取得竖直的位置，以便保护它们的上表面不致因辐射而受寒。植

---

2) 《叶器官的周期性运动》，1875年。

3) 《关于向光性的研究》，科学院会议报告（维也纳）[*Sitzb. der K. Akad. der Wissenschaft (Vienna)*], 1880年1月。

4) 参阅瓦因斯（Vines）对此复杂问题的卓越论述（《维尔茨堡植物研究所工作汇编》（*Arbeiten des Bot. Instituts in Würzburg*），第2卷，142、143页，1878年。霍夫迈斯特（Hofmeister）对于水绵（*Spirogyra*）——由单列细胞所构成的一种植物——的奇异运动的观察（《符腾堡全国自然科学协会年报》（*Jahreschrift des Vereins für Veterl. Naturtunke in Württemberg*），1874年，211页），对这个课题有参考价值。

物界中极其普遍的各种器官的向光运动,和偶尔见到的背光运动,或是横向光源的运动,都是转头运动的修饰形式;又象同样普遍的茎部朝向天顶的运动,和根朝向地心的运动,也都是一样。依据这些结论,进化过程中一个相当大的困难就可以部分地解除,因为有人会问到,所有这些目的极其不同的各式各样运动是怎么发生的?按现有的情况来看,我们知道总是有运动在进行着,只不过是它的幅度,或是方向,或是二者,为了植物的利益随着内部或外界刺激而有所修饰就是了。

本书除了叙述几种修饰的转头运动之外,还将讨论一些其它问题。有两方面事情最使我们感兴趣,第一件是,有些实生苗,只有最上面的部位才对光敏感,并将一种影响传递到下面部位,使它弯曲。因此,如果上端完全不让见光,下部可以曝光几小时之久,却依然毫不弯曲,可是如果上端受到光的刺激,下部弯曲便很快实现。第二,实生苗的胚根方面,其尖端对很多刺激敏感,特别是对很轻的压力,当受到这样的刺激而兴奋时,便传递一种影响到上面部位,使它背离受压的一面弯曲。反之,如果尖端受到从一面来的水汽,胚根的上部就朝向这面弯曲。还是这个尖端对万有引力敏感,并且靠传递使胚根的相邻部位弯向地心,奇斯尔斯基(Ciesielski)这样说过,不过这种说法受到别人反对。接触、其它刺激剂、水汽、光和万有引力的效应,从兴奋部位沿着有关器官传递一小段距离,这方面的几个实例对所有这样的运动的理论来说,有着重要的意义。

**名词**——有些将要引用的名词,需要在这里简单解释一下。在实生苗方面,支持子叶(即代表最初叶子的器官)的茎,曾被许多植物学家称为子叶下的茎,但是为了简便起见,我们只把它叫作下胚轴;紧靠在子叶上方的茎叫作上胚轴或胚芽。胚根仅从它具有根毛和覆盖层的性质便可与下胚轴区别开。回旋转头运动一词的意义已经解释过。有些工作者谈到正的与负的向光性<sup>5)</sup>,就是指器官向光或背光的弯曲;但是把向光性\*这个名词限于指向光

5) 向光性和向地性的常用名词,首先被弗兰克(Frank, A. B.)博士所使用;参阅他的名著《植物生理学概论》(Beitrage zur pflanzenphysiologie), 1868年。

弯曲，而把背光性指背光弯曲，就更为方便。这个变动还有另外一个理由，我们注意到，有些著者时常漏写正的和负的这两个形容词，于是便在他们的讨论中引入混乱。横向光性可以表示多少是横着向光的位置并且是由光诱导的。以同样方式，正向地性，或是朝向地心的弯曲，将称为向地性；背地性是指背离重力或地心的弯曲；横向日性则是指多少有些横向地球半径的位置。向光性与向地性这两个名词适当地表示与光或地有关系的运动动作；但是和万有引力的情况一样，虽然解释为“趋向地心的动作”，也常用于表示物体下坠的原因，所以偶尔用向光性与向地性等词表示有关运动的原因，也有其方便处。

偏上生长这个名词现在德国常予采用，是指器官上表面的生长比下表面快些，因而使它向下弯曲。偏下生长恰好相反，是指下表面加快生长，使得这个部位向上弯曲<sup>6)</sup>。

**观察方法**——我们观察的各种器官的运动，有时幅度很小，有时又很大，是用我们经过多次尝试而找到的最好方式来描绘的，必须叙述一下。把盆栽植物完全遮住光照，或是让光从上面射入，或是按需要从一个侧照光；把一大块玻璃板平放盖在上面，用另一块玻璃板竖立在一侧。取一根不比马鬃粗的玻璃丝，有四分之一到四分之三英寸\*\*长，用溶于酒精的紫胶固定在要观察的部位。让酒精溶液蒸发，待它变稠到在二或三秒内就会结硬的程度，这种溶液施用于组织时无伤害作用，甚至对幼嫩胚根尖端也是如此。在玻璃丝末端粘接一粒极小的黑色封蜡珠，这粒蜡珠的下面或后面，把一小块带有一个黑点的纸卡片固定在插进土里的木棍上。玻璃丝的重量很轻，甚至小叶都没有可察觉的受压下垂现象。随后将叙述另一种观察方法，是在不需要将运动放大很多倍时使用的。蜡珠和纸卡片上的黑点通过横放的或竖立的玻璃板（视对象的位置而定）观察，当一个恰好遮住另一个时，就在玻璃板上用削尖的小棍蘸上墨汁画一黑点。随后每隔一段时间画上其它黑点，再把它们用直线连接起来。这样描绘的图形因而是有棱角的；但是如果每隔1或2分钟记点，线路便会更呈曲线形，象让胚根在熏烟的玻璃板上画下它们自己的路程

---

\* 向光性、背光性与横向光性亦多译为向日性、背日性与横向日性，二种译文通用，本译文中采用前者。——译者

6) 这些名词是依照德·弗里斯所提出的意义使用的，见《维尔茨堡植物研究所工作汇编》，第2卷，1872年252页。

\*\* 原文多用英制，每英寸等于2.54厘米。——译者

一样。把点记得准确是唯一的困难，需要些训练。当把运动放大很多倍，如30倍以上，也难于做到十分准确；不过甚至在这种情况下，总的进程还是可靠的。为测验上述观察方法的准确程度，把一根玻璃丝固定在一个无生命的物体上，使此物体沿一直边滑动，并在玻璃板上重复地记下黑点；当把它们连接起来，结果应当是一条很直的线，而这条线确是很近于直线。还要补充的是，当纸卡片上的黑点是放在蜡珠下面或后面半英寸远，并且当玻璃板（假定把它做成合适的曲度）放在前面7英寸处（通常的距离），那么描绘的图形就代表放大15倍的蜡珠的运动。

若不需要把运动放得很大，可以采用另外一种观察方法，它在有些方面更好些。这个方法是在粘好的玻璃丝两端固定两个薄纸作的小三角形，大约 $1/20$ 英寸高；当两个三角形的顶点对准在一条线上因而互相遮盖时，就按以前一样在玻璃板上记点。如果我们假定玻璃板的位置距带有玻璃丝的茎尖为7英寸，连接各点所得的图形很近于用蘸墨汁的7英寸长玻璃丝固定于一运动的茎上，并在玻璃板上画出它自己的进程。运动就这样放大了相当的倍数；譬如，1英寸长的茎在弯曲，玻璃板距离7英寸，运动便会放大8倍。可是每次都要确定下来有多么长的茎是在弯曲，非常困难；而这在测定运动的放大倍数上是不可少的。

用上述任一方法在玻璃板上记点以后，把它们抄在绘图纸上并用尺画线连接，用箭头表示运动的方向。夜间的进程用虚线表示。第一个点总是比其它各点画得大些，这样容易引起注意，可从本书的曲线图上看。玻璃板上的图形通常画得尺寸太大，不能在本书中复制出来，它们缩小的比例常予以注明<sup>7)</sup>。只要可以大致说出运动的放大倍数，就注明出来。我们也许引用了太多的线图；但是它们比详细叙述运动要少占篇幅。几乎所有的植物就眠等的素描都是乔治·达尔文（George Darwin）先生细心描绘的。

当茎、叶等在转头运动中越来越弯得厉害，先是朝着一个方向，随后又朝着另一个方向，有些时候就必须多少斜着观测它们；并且黑点是在平面上记下来的，运动的表现量就随着观测点的倾斜度而被夸大了。更好的办法是用半球形玻璃，这就需要我们有各种大小的球径，并且需要使茎的弯曲部分转折得很清楚，可以放置在半球形玻璃内成为球的半径。然而就是在这种情况下，以后还必须把图形投射到纸上；因而还是达不到完全准确。由于上

---

7) 我们很感谢库珀（Cooper）先生细心地缩小和刻制了我们的曲线图。

述原因，我们的图形有些失真，不能用来说明运动的准确量，或是经过的准确路线；但是为断定这个部位究竟动了没有，以及运动的一般特征，这些图形还是非常有用的。

在以下各章中，将叙述很多种植物的运动；种名的排列是按照胡克 (Hooker) 所采用的系统，登载在勒·茂特 (LeMaout) 和德凯斯内 (Decaisne) 合著的《描述植物学》(Descriptive Botany) 中。不是研究本课题的人无需阅读所有的细节，可是我们觉得最好都写出来。为了方便读者，结论和大多数较重要的部分，用比其它部分较大号的字排印。读者如果认为合适，可先阅读最后一章，因为它包括全书的总结；读者便可从中看到，对哪些论点有兴趣，以及需要充分证据的内容。

最后，我们必须要向约瑟夫·胡克 (Joseph Hooker) 爵士和西塞尔顿·戴尔 (Thiselton Dyer) 先生表示我们诚挚的谢意，他们不仅从邱 (Kew) 园供给我们植物，而且还从几个来源替我们搜寻需作观察的其它植物；还有，他们给许多植物种定了名，并且提供给我们多方面的资料。

## 第一章 实生苗的回旋转头运动

甘蓝：胚根的转头运动，拱形下胚轴仍埋于地下时、正伸出地面和将自己伸直时、以及直立时的转头运动——子叶的转头运动——运动的速率——对以下各属的一些种中各器官的类似观察：麦仙翁属，棉属，酢浆草属，旱金莲属，柑桔属，七叶树属，豆科和葫芦科的几个属，仙人掌属，向日葵属，报春属，仙客来属，豹皮花属，蜂房花属，小铃草属，茄属，甜菜属，蓖麻属，栎属，榛属，松属，苏铁属，美人蕉属，葱属，天门冬属，藜草属，玉蜀黍属，燕麦属，金纷草属和卷柏属。

本章专门讨论实生苗的胚根、下胚轴和子叶的转头运动，以及当子叶不出土，其上胚轴的转头运动。但是以后有一章，还要再提到一些夜间睡眠的子叶的运动。

甘蓝 (*Brassica oleracea*) (十字花科) —— 在这个例证中，将比其它各例更详细地叙述有关运动的情况，这样毕竟可更节省篇幅和时间。

胚根——把一粒胚根已伸出 0.05 英寸的种子用紫胶固定在一小片锌板上，使胚根竖直向上站立，随后把一根细玻璃丝固定在其基部附近，也就是靠近种皮处。用些小块湿海绵包围着种子，并将玻璃丝末端小珠在 60 小时内的运动描绘下来 (图 1)。在这段时间内，胚根长度从 0.05 英寸增长到 0.11 英寸。要是在开始时就

把玻璃丝固定在胚根顶端附近，并且它能始终留在原处，那么所显示的运动就会大得多，因为在我们观察结束时，胚根尖端不再向上直立，而是由于向地性向下弯垂，以致几乎碰到了锌板。根据我们用圆规对其它种子作的测量，可大致确定，只有尖端，仅有 0.02 到 0.03 英寸的一段长度，才受到向地性的作用。但是这个描图却显示出胚根的基部，在全部时间内都在作不规则的转头运动。玻璃丝末端小珠运动的实际最大值约为 0.05 英寸，至于胚根的运动究竟被这长约 3/4 英寸的玻璃丝放大多少倍，却无法估计了。

对另一粒种子作了同样的处理与观察，但是这次胚根已伸出 0.1 英寸，

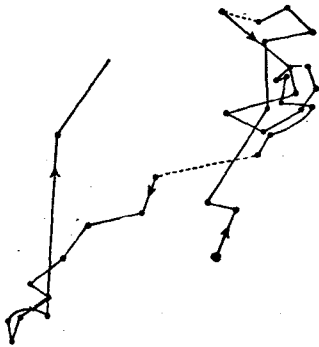


图1 甘蓝 胚根的转头运动，从1月31日上午9时到2月2日下午9时，在一平放玻璃板上描绘。玻璃丝末端小珠的运动放大40倍。

而且没有被固定得恰好竖直向上。把玻璃丝固定在其基部附近。这次的描图（图2，缩小一半）表示从1月31日上午9时到2月2日上午7时的运动；但是在2月1日整天内，它都大致朝着同一方向以相似的曲折线方式继续运动。因为在固定玻璃丝时，胚根不是完全竖直，向地性即便起作用；但是这不规则的曲折路线却表明胚根在生长（大约先发生紧张度增强），有时在它的一侧进行，有时在另一侧进行。偶尔小珠停止不动约一小时，那么可能是生长发生在引起向地性弯曲的对面一侧。在前述例证中，因为把很短的胚根基部倒转直立向上，它在开始时受到的向地性的作用很小。在另外两个例证中，玻璃丝是固定在更长的胚根上，这两个胚根是

从翻转向上的种子斜着伸出的；这些例证中，描绘在平放玻璃板上稍有曲折，而且由于向地性的作用，运动总是朝着大致相（d）盖只是所有这些观察都容易发生几种误差，但是我们相信，从以后对其它一些植物胚根的运动所示的情况看来，这些观察大部分是可靠的。

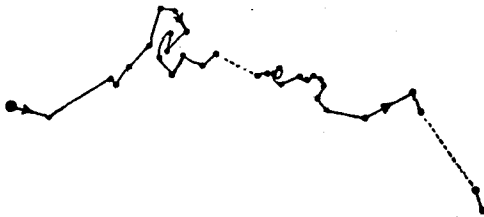


图2 甘蓝 胚根的转头和向地性运动，在46小时内描绘于平放玻璃板上。

下胚轴——下胚轴成矩形突起经种皮伸出，它很快长成拱形体，象英文



字母U倒转成U形；这时子叶仍旧包藏在种子内。无论种子埋在土中或是另外固定成何种位置；此拱形体的两足都会由于背地性向上弯曲，就这样在地面上竖直上举。一旦发生这种情况，或者甚至更早，拱形体的内表面或凹面生长得比上表面或凸面更快些；这便使得两足分开，并帮助子叶脱离埋于地下的种皮。由于整个拱形体的生长，子叶终于从地面下、甚至从相当深的地方被拉出来；这时下胚轴由于凹面的加速生长而很快伸直。

当拱形的或折叠的下胚轴甚至还在土中时，就已经在周围土壤压力所容许的范围内回旋转头；但是这种情况难于观察到，因为拱形体一旦被解除旁压，它的两足便开始分开，甚至在很幼小的时期，拱形体还没有有自然地到达地面之前，也是如此。使一些种子在湿土表面上萌发，当它们靠胚根将自身固定之后，并且在只略呈拱形的下胚轴已经变得近于直立之后，有两次将一玻璃丝固定在基足（就是和胚根相连的一足）底部附近，并将其运动在黑暗中描绘在一平放的玻璃板上。由于当时已解除压力的两足提早分开，结果是，几乎在直立拱形体的平面内画出些长线来；可是这些线是曲折的，表明有侧向运动，所以拱形体在靠沿内表面或凹面生长而伸直自身时，一定已在进行转头运动。

随后使用了一个略为不同的观察方法：当盆中播下种子的土壤刚开始裂开，便将部分表土铲除到0.2英寸的深度；把一根玻璃丝固定在一个埋在土下的拱形下胚轴的基足上，刚好在胚根顶部的上面。子叶还几乎完全被包在裂得很厉害的种皮内，再用潮湿的粘土将其覆盖，把粘土压紧。玻璃丝的运动从2月5日上午11时描绘到2月7日上午8时（图3）。到了这段时间的后期，子叶已经从压紧的土下被拖出来，但是下胚轴的上部仍旧与其下部形成一个近似直角。这个描图表明，拱形下胚轴在这个幼龄时期便倾向于作不规则的转头运动。在第一天，较大的运动（图中从右到左）不是在直立的拱形下胚轴的平面内，而是和这个平面成直角，或者说，是在仍旧相互紧贴的两个子叶的平面内。拱形体的基足，在将玻璃丝固定上去的时候，已经显著地向后弯曲，也就是离开子叶而弯曲；如果玻璃丝是在这种弯曲发生之前固定的，那么主要的运动就会和图中所示的方向成直角了。又把一根玻璃丝固定到另一个埋在土中的同龄下胚轴上，它的运动和前者大致相似，但是描绘的路线却没有那样复杂。这个下胚轴已几乎伸直，并且子叶在第二天傍晚就被拖出土面。

在进行上述观察之前，曾把一些埋在土中0.25英寸深的拱形下胚轴剥露出来；为了防止拱形体的两足从一开始便立刻分离，就用细丝线把它们捆

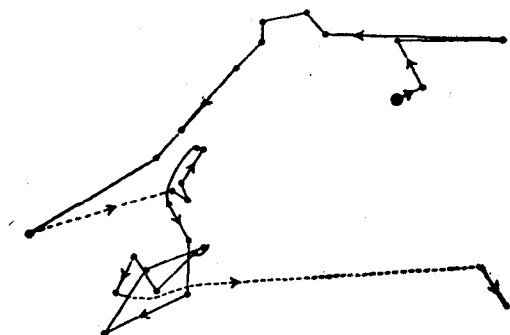


图3 甘蓝 埋在土下的拱形下胚轴的转头运动（从上面微弱照光），在45小时内描绘在平放玻璃板上。玻璃丝末端小珠的运动放大大约25倍，这里缩小到原标度的一半。

扎在一起。这样做法的部分原因是，我们想知道下胚轴在拱形状态下能够运动多久，而且这种运动在没有受到伸直过程的掩盖和干扰时，是否显出转头运动。首先，把一根玻璃丝固定在一拱形下胚轴的基足上，紧靠胚根顶部的上面。子叶还有一部分包藏在种皮内。从12月23日上午9时20分到12月25日上午6时45分，描绘其运动（图4）。毫无疑问，因两足被捆在一起，正常运动便受到很大干扰；但是我们看到，它是明显地曲折形的，起先朝着一个方向，然后朝着几乎相反的方向运动。在24日下午3时以后，这个拱形下胚轴有时停留不动相当时间，即使在运动时，也比以前缓慢得多。因此，在25日早晨，就把玻璃丝从基足底部取下，并把它以水平方向固定在拱形体的顶部上，由于双足被捆扎在一起，拱形体的顶部已经长得宽大而且近乎平坦了。将它在23小时内的运动描绘下来（图5），我们看到，它的路线仍是曲折的，这表明有转头的趋势。这时基足的底部几乎已经完全停止运动。

当子叶自然地伸出土面，下胚轴靠沿内表面或凹面的生长而伸直起来的时候，就不再有什么来干扰各部的自由运动；转头运动便变得更有规律并且清楚地显示出来，从以下试验可以看出：把一株实生苗放在靠近一东北窗的前面，连接两子叶的线与窗平行。就这样留了一整天，使它自己对光适应。第二天清晨，把一根玻璃丝固定在较大较高的子叶（还在种子里的时候，这片子叶包住另一片较小的子叶）的中脉上，在其紧后面作一个标记，把整株