



# 植物的经营之道

## ——趣谈植物化学与人类生活

陈晓亚 胡永红 刘 夙 著



上海科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

植物的经营之道：趣谈植物化学与人类生活 / 陈晓亚, 胡永红, 刘夙著. -- 上海: 上海科学技术出版社, 2021. 10

ISBN 978-7-5478-5502-7

I. ①植… II. ①陈… ②胡… ③刘… III. ①植物生物化学—普及读物 IV. ①Q946-49

中国版本图书馆CIP数据核字(2021)第192348号

---

本书出版受“上海科技专著出版资金”资助

本书受上海市绿化和市容管理局科技项目(G162410)资助

植物的经营之道  
——趣谈植物化学与人类生活

陈晓亚 胡永红 刘 夙 著

上海世纪出版(集团)有限公司 出版、发行  
上海科学技术出版社  
(上海钦州南路71号 邮政编码200235 www.sstp.cn)

印刷

开本 787×1092 1/16 印张 18

字数 250千字

2021年10月第1版 2021年10月第1次印刷

ISBN 978-7-5478-5502-7/N·228

定价: 98.00元

---

本书如有缺页、错装或损坏等严重质量问题, 请向工厂联系调换

# 前言

20世纪30年代初，苏联有个神经生理学家叫卢里亚（A. R. Luria），曾经率团到中亚地区一些没有现代教育、不使用文字而基本只靠口头交流来传递信息的“口语社会”去做调查，用一系列的问题考察当地人的思维方式。其中有一个问题是：北极地区的熊是白色的；新地岛在北极地区；请问新地岛的熊是什么颜色的？这看上去是个很简单的推理问题，但是一位接受调查的人却回答说，他不知道是什么颜色，他又没去过新地岛，反正他见过的熊都是棕色的。

卢里亚还有一个问题是：树是什么？受试者的回答大概也会出乎很多人的意料——你问我这个问题干什么？谁还不知道树是什么呀！

卢里亚的调查后来成了人类学、传播学等社会科学常常援引的例证，表明现代社会和现代教育可以从根本上改变人类的思维方式。不过，如果你因此沾沾自喜，觉得这些没有受过现代教育的人群真是无知，那倒也大可不必。坦率地说，我们现代人对于树木之类植物的认识，恐怕也未必比“口语社会”的人强多少。

如果你不服气，不妨做做下面这个简单的测试：请你不要做任何思考，马上在脑海里想象一下：你觉得一朵野花应该是什么样子的？假如你脑海里立即浮现出下一页中的那个形象，那么恭喜你——你对植物的认识太刻板了！

如果你还不服气，可以再做一个简单的测试：请你同样不要做任何思考，马上回答：你觉得植物学是做什么研究的？假如你脑海里立即浮现出一群全副迷彩服或登山装的考察队员到深山老林里采集植物的场景，那么恭喜你——你对植物学的认识太刻板了！

植物学 (botany), 或者更准确地说“植物科学” (plant sciences), 在今天是一群从多个角度、多个层次研究植物的学科统称。虽然在几百年前, 以采集、分类、命名为主要研究方法, 从宏观层面对植物开展研究的植物分类学占据了植物科学的大头, 但是在今天, 植物学的研究方法已经极为丰富, 在研究层次上也已经“多管齐下”, 从单纯的物种层次发展到上起生态系统、下到微观的细胞和分子层面的多个层次。

与此对应的是, 今天的很多植物园也不只是把植物从野外采集来种好、搭配成宜人的景观展示给游客的纯旅游机构, 同时也肩负了多方面、多层次的科研任务。这些植物园不仅有构思精巧的园景和令人惊叹的公众温室, 也不仅有供分类研究用的标本馆和图书馆, 还有现代化的实验室: 有隆隆作响的各式实验仪器, 有许多穿着白大褂的身影奔走在瓶瓶罐罐之间。从某种意义上说, 这些看上去不像“植物学”的研究, 其实要比那种“典型”的植物学研究更紧迫、更应受人关注——怎样能够让小麦更抗旱? 怎样能够让水稻像玉米那样高产? 怎样能够大量人工合成那些只能由植物制造的药物? ……

人类社会中的刻板印象, 有时会严重影响人们之间正常的交际。同样, 如果我们对植物、植物科学、植物园的印象还停留在上百年前的那种田园牧歌式想象, 那将对植物科学今后的发展带来不利影响。摆在你面前的这本书, 就想要介绍植物的另一个侧面——它们不只是姹紫嫣红、竞态极妍的秀丽生灵, 它们还是地球上最伟大的工厂, 是人类长期以来只能自叹不如的化工专家。要想真正理解植物, 没有化学这个角度是万万不行的。



# 目 录

## 序 章 地球上最伟大的工厂 / 001

- 0.1 植物与动物有什么不同? / 001
- 0.2 有趣的“绿色世界悖论” / 005
- 0.3 差点毁灭生命世界的古植物 / 009
- 0.4 化学是了解植物的独特方式 / 013

## 第 1 章 得天独厚的元素 / 017

- 1.1 为什么是碳? ——地球生命至关重要的物质基础 / 017
- 1.2 有机和无机——从甲烷说起 / 021
- 1.3 不幸“背锅”的水稻——稻田甲烷的真正制造者 / 025
- 1.4 重新焕发活力的古汉字——烷类化合物和含卤素有机物 / 029
- 1.5 有机物拼搭玩具使用手册——如何组装碳链和碳环 / 034

## 第 2 章 拥抱“狼分子” / 039

- 2.1 吃垃圾得生存——需氧生物的兴起 / 039
- 2.2 有“酒味”的有机物——醇、醛和酸 / 042
- 2.3 大牌期刊错失的伟大发现——柠檬酸循环 / 047
- 2.4 为什么未成熟的水果是酸的? ——植物化工厂的经济账 / 053
- 2.5 坏血病: 代代吃素的后遗症——维生素 C 的功能 / 058

## 第 3 章 养活世界的细胞内流水线 / 062

- 3.1 左还是右? ——分子的手性 / 062
- 3.2 稳定压倒一切——葡萄糖为何成为最常见的单糖 / 066

- 3.3 来自组合的伟大创新——光合作用流水线初探 / 072
- 3.4 一招鲜，吃遍天——光合作用流水线再探 / 080
- 3.5 如何欺骗你的舌头——不属于糖类的甜味剂 / 084

#### 第4章 衣食住行所系 / 089

- 4.1 团结力量大——为什么植物要合成多糖 / 089
- 4.2 齐心造钢筋——纤维素的合成 / 094
- 4.3 “打哈欠”和“聪明”——莽草酸途径流水线简介 / 098
- 4.4 木质素——一次性建筑材料的合成 / 103
- 4.5 不生不灭，循环不息——碳元素的循环 / 107

#### 第5章 植物的一天 / 112

- 5.1 我们是“外星人”？——碱基的起源 / 112
- 5.2 自尊自爱的“新企业家”——DNA如何与蛋白质联手 / 117
- 5.3 拟南芥日常——植物生理活动一瞥（上） / 123
- 5.4 拟南芥日常——植物生理活动一瞥（下） / 128
- 5.5 合作利人又利己——植物的固氮作用 / 131

#### 第6章 香与色何来 / 136

- 6.1 不必谈动物食品色变——从蛋白质说到油脂 / 136
- 6.2 隔离创造效率——生物膜的化学成分 / 142
- 6.3 植物的一百种香味——从简单酯类说起 / 147
- 6.4 神秘的古老流水线——甲羟戊酸途径 / 151
- 6.5 颜色的奥秘——共轭双键和伍德沃德规则 / 157

#### 第7章 为生存而奋斗 / 163

- 7.1 万紫千红的世界——花青素 / 163
- 7.2 一切以保命为中心——类黄酮和缩合鞣质 / 168
- 7.3 大家族的化学标志——甜菜色素 / 172
- 7.4 曾经辉煌的工业原料——可水解鞣质 / 177
- 7.5 让你发炎，使你流血——香豆素类物质 / 182

- 第 8 章 各显神通的毒师 / 187
- 8.1 扼断你的喉咙——植物细胞毒素 / 187
  - 8.2 麻痹你的神经——植物神经毒素 / 191
  - 8.3 来自流水线的毒药——砷类、皂苷类毒素和毒蛋白 / 197
  - 8.4 植物也能致癌——植物致癌物 / 202
  - 8.5 人类也会毒杀植物——除草剂 / 207
- 第 9 章 现代药的祖师 / 212
- 9.1 与毒一线之隔——托品烷类药物 / 212
  - 9.2 堕落与拯救——麻黄碱和吗啡 / 217
  - 9.3 救人于肿瘤的植物——从长春花到喜树 / 221
  - 9.4 植物恩赐的抗疟药——奎宁和青蒿素 / 227
  - 9.5 泻药今昔——为何草药逐渐被现代药物取代 / 232
- 第 10 章 植物化工厂的未来 / 238
- 10.1 虫子不能吃的庄稼——抗虫农作物 / 238
  - 10.2 富人的苹果，穷人的大米——有利于消费者的基因修饰农作物 / 242
  - 10.3 不光高产，还能治病——未来的基因修饰农作物什么样？ / 247
  - 10.4 在争议中进步——基因编辑技术 / 252
  - 10.5 不再种植农作物的一天——人工光合系统展望 / 255
- 参考文献 / 260
- 附表 书中蛋白质昵称对照 / 265
- 附图 植物体内重要生物化学反应流程示意 / 267
- 索引 / 268

## 序 章

# 地球上最伟大的工厂

### 0.1 植物与动物有什么不同？

亲爱的读者，如果你看到这个书名中的“工厂”和“经营之道”字样，觉得本书可能对你的商业经营或金融投资有帮助，那么我们要先提醒你一下——书中的“主人公”，其实是植物。

我们为什么要写这样一本书呢？原因很简单——作为从事植物研究和知识传播的专业人员，我们一直希望能把植物最有特色的一面展示出来，让大家觉得植物像动物那样，也很有意思。为此，我们首先要知道，植物与动物到底有什么不同。

我国古代著名思想家孔子曾经说过一句话：“知者乐水，仁者乐山；知者动，仁者静。”这句话中的“知者”，就是“智者”的意思。对这句话具体含义的解释历来有分歧，但孔子以山的静态与水的动态作对比，借以说明仁者与智者的不同，用意是显而易见的。所以，如果有人对孔子说“智者乐动物，仁者乐植物”，估计孔子会同意的。

从事生物研究或知识传播的人，或多或少都会发现，现在的“智者”要远多于“仁者”——喜欢动物的人远多于喜欢植物的人。这是一个不用做过多调查就可以确证的事实，比如带一个五六岁的小孩子逛动物园和植物园，哪一家更容易使他早早地厌烦，哭着嚷着要回家或去吃汉堡包？我们相信大部分孩子会选择后者。更大点的孩子，不仅不会对



图 0.1 华中五味子  
(*Schisandra sphenanthera*)

像这样的藤本植物，通过延时摄影可以看到它如何向上攀爬生长。(刘夙摄)

动物园厌烦，而且还会流连忘返。曾经有一个笑话说，一位妈妈叱责她的孩子：“你怎么这么不懂事啊？舅舅正在家里，你怎么还会想到要去动物园看狗熊？”这个笑话之所以让人忍俊不禁，一个重要原因就是它非常合乎情理，是现实中的确会发生的事。相比之下，能对植物园恋恋不舍的孩子就要少很多了。

植物不能像动物那样灵活自如地运动，这就使它们失去了许多爱好者。英国著名的科学传播制片人爱登堡 (D. Attenborough) 也许正是注意到了这一点，才在他那部伟大的纪录片《植物私生活》(*The Private Life of Plants*) 中大量使用了延时摄影技术，使植物在镜头中能像动物一样“快速”运动，这部片子也因此倾倒了一大批喜出望外的观众。然而，只要我们走出室外，这种人造的魅力马上就感觉不到了。我们面前的树木仍然是那样死气沉沉地立在地上，一动不动，至多在微风拂过的时候，将叶子抖动出飒飒的响声。

植物不能像动物那样吸引到众多的爱好者，还有一个重要的原因是它们彼此长得太相似了。就拿中国科学院西双版纳热带植物园里的热带雨林来说吧，对植物完全不懂的人，进去走不了多久大概就会觉得无聊——这不就是一片阴暗的树林吗？所有的树几乎都一样，所有的灌木几乎都一样，所有没开花的草，几乎也都一样。如果不是人工种植的一些兰花和姜科植物，如果不是沿着小路走上半天可以见到什么大板根或



图 0.2 中国科学院西双版纳热带植物园内的望天树 (*Parashorea chinensis*) 人工林  
这种看上去很普通的树，竟然是国家一级保护野生植物。(刘夙摄)

绞杀植物，光是那单调的景象，绝对会让很多人觉得不值一看。然而，这片热带雨林却是植物物种多样性极为丰富的地方，走几步路的距离就可以让你见到几十种植物——前提是你得认识它们。

与此类似，有过鉴定植物照片经历的人都知道，照片上的植物，很多时候很难准确识别，除非有清楚、全面的花和果实照片，再加上拍摄地点。他们最头疼的大概就是一些人把完全显示不出物种特征的植物照片——要么只有茎叶，要么只有从远处拍摄的模模糊糊的全株形态——拿给他们鉴定。然而，这些求鉴定的人其实并不是故意刁难，只是低估了植物之间的类似性，以为拍成这样就足以定名罢了。

如果了解一些生物学的知识，我们还能发现植物其他一些不如动物“高级”的地方。比如，动物身体一般都有明确的结构和形状，成体大小也比较稳定，器官与器官之间界限非常明显；任何一个个体的每一种器官的数目通常都是固定的，如有异常，往往是畸形。植物的“身体”却没有十分明确的结构。面对一个树干横截面，没有经验的人至多看出

一圈圈年轮，却分辨不清哪儿是皮层，哪儿是韧皮部，哪儿是木质部。植物的形状和大小更是变化多端，一株刚开始结果的银杏与一株上百年的银杏相比，二者树形和大小相差极大，而且我们谁也说不清一株树究竟能长出多少根枝条，一次能开出多少朵花。

高等动物通常有比较固定的寿命和单一的繁殖方式——有性生殖。比如，根据《2019年我国卫生健康事业发展统计公报》，中国居民在2019年时的人均预期寿命为77岁；据可靠资料，迄今已知的世界最长寿的人活了122岁。这两个岁数显然都落在十的二次方这个量级附近，通俗地说，就是都在一百岁上下。人类只有性交这一种繁殖后代的方式，科幻小说里那种拿一个细胞就可以克隆出许多个体的情节，至少在目前还是幻想。

植物的寿命就不同了。除了一年生、二年生和有限多年生植物，还有许多植物是“无限”多年生的。如果没有外在因素干扰，有的植株也许可以活上几千几万年而仍然不死。



图 0.3 我国南方常见的狗牙根 (*Cynodon dactylon*) 草坪 (刘凤摄)

植物除了有性生殖（比如开花结实），还通过无性殖来大量繁衍后代，禾草就是最有说服力的例子之一。有的禾草可以通过长长的地下茎，在短短几年内就占领一大片草原。假如我们在某片草原的不同地方任取几片这种禾草的叶子去做鉴定，可以发现它们的遗传信息都是一样的，这说明它们其实都是同一株植物的分枝。如果我们把所有这些通过根茎相连的植株看成一个整体，那么这可能是世界上最大的生物

体之一了！但是通常我们还是把这些植株看作众多的个体。于是，靠着强大的无性生殖能力，植物的个体界限居然变得模糊不清了。

凡此种种，似乎都说明，植物比动物要“低级”得多。如果用专业术语来说，就是：植物在细胞、组织和系统级别上的多样性，要比动物低得多。此外，植物不仅组织分化少，而且缺乏像动物那样的神经系统和运动系统，缺乏像动物那么多的结构样式，因此它们的生命缺乏一种“秩序”，也使它们对自己的寿命和繁殖后代的方式都缺乏“规划”。所以，植物的生命不像动物那么精致，自然也就吸引不到众多追求精致生活的人们的青睐了。

神经生物学和心理学的研究都表明，在人类感知其他生物的时候，越是与人类形态或习性相似的生物，越能引起人类神经系统的强烈反应，也越能引发人类的共情心，被寄托种种亲密情感。人类自身就是动物界的一员（在本书中，由于具体情形的需要，有时“人”与“动物”并列），是哺乳类（又称兽类）中的一种，难怪最让人喜爱的生物几乎都是哺乳类。特别是猫狗，它们既会运动又会卖萌，更是成了一些人视如亲生儿女的伴侣动物。比起哺乳类，鸟类受人喜爱的程度就差一些，两栖类、爬行类和鱼类更差一些，而广大的无脊椎动物则往往容易激发人的厌恶本能。至于不会运动又没有动物那么精致的植物，自然更是只能享受到比爱和恨都更差的待遇——无视。

## 0.2 有趣的“绿色世界悖论”

也许你会疑惑：同样在地球上生活了几亿年，为什么动物那么精致，而植物却这么“邋遢”呢？研究表明，这是因为它们从一开始就在生存方式上产生了重大差异。为了说清楚这一点，让我们先从“绿色世界悖论”（green world paradox）谈起。

绝大多数植物会通过一个叫“光合作用”的过程从阳光中吸收能量，用这些能量把二氧化碳和水这两种简单的原料合成复杂的化合物，

满足自身生长和繁殖的需求。用专业术语来说，植物是自养生物，绝大多数能量和物质是自力更生获取的。与此不同，动物不会光合作用，不能利用二氧化碳等简单的原料合成复杂的化合物，只能靠吃植物或其他动物来获取能量和物质，满足生存和繁殖的需要，因此是异养生物。

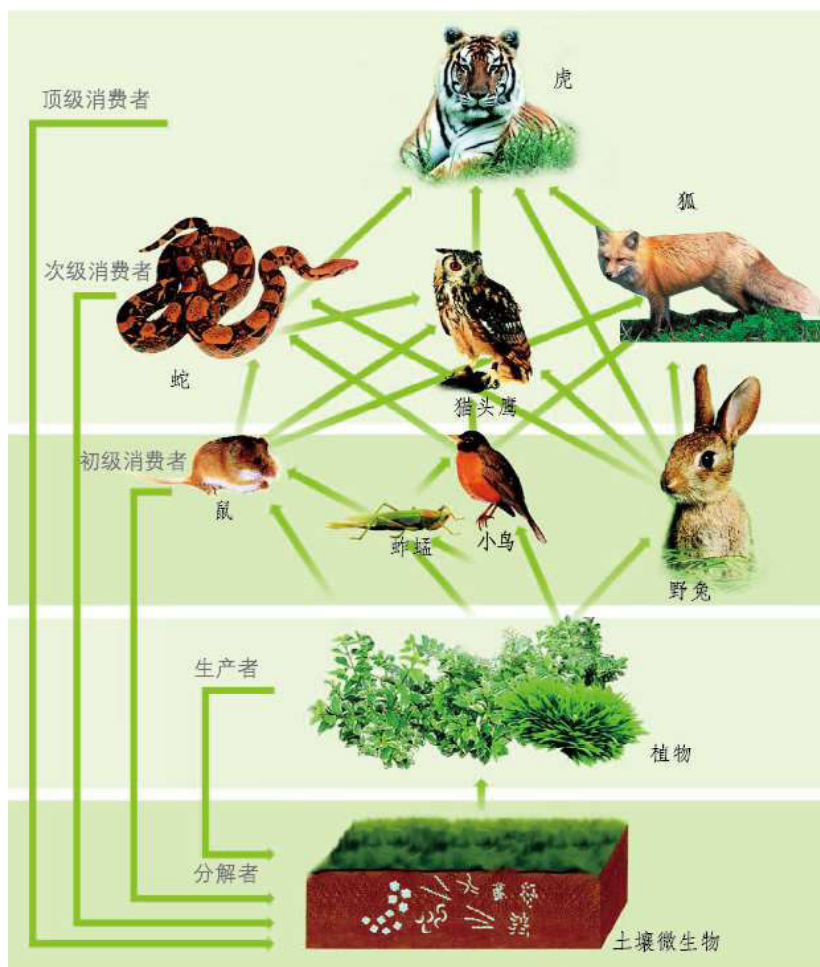


图 0.4 一个陆地生态系统中的食物网

在一个陆地生态系统中，虎捕食狐、猫头鹰、蛇，而后三者又以鼠、小鸟、野兔等小动物为食，这些小动物主要以昆虫（蚱蜢等）、植物（禾草等）为食。这一食物链中，虎是顶级消费者，狐、蛇是次级消费者，野兔、昆虫是初级消费者，植物为生产者，土壤微生物是分解者。分解者最终将动植物死亡后的复杂有机物分解成简单的无机物，实现化学元素循环和能量流动。（图片引自《彩图科技百科全书·第三卷，生命》，2005）

自从自养生物与异养生物分道扬镳之后，地球上就出现了食物链。“禾草—野兔—狐”就是一条典型的食物链——禾草作为自养生物，既生产了自身需要的养分，又“不得不”生产出供野兔消费的养分（假如禾草和人类一样有思维，它们肯定是不愿意被野兔吃的）。野兔通过摄食禾草既获得了自身需要的养分，又“不得不”生产出供狐消费的养分。同一个生态系统中的许多食物链交织起来，就形成一张复杂的食物网。也许你已经对这些饶有趣味的生态学学术语很熟悉了。

当然，食物网的出现也带来了如下的有趣问题：为什么地球至今还是绿色的？为什么那些食草动物（鼠、昆虫、小鸟、野兔等）没有把植物都吃光，然后自己全部饿死呢？换种拟人化的说法，就是：食草动物是怎么“聪明”到“知道”要为植物留出一定的数量，从而能够和它们共存，避免自身同归于尽的？这就是生态学上有名的“绿色世界悖论”。

绿色世界悖论至今没有完美的答案。然而，这并不是说科学家还无法回答这个问题。很多时候，一个科学问题没有统一的答案，是因为科学家提出了好几个答案，但没有哪一个答案能完全压过其他答案。对于绿色世界悖论，生态学界就有两类针锋相对的假说试图解决它。

一类假说被称为“自上而下式”——认为狐、猫头鹰、蛇之类站在食物链最顶端的生物，是决定生态系统演化的重要力量之一。正因为它们参与控制了野兔之类的食草动物的数量，才让植物没有被食草动物完全吃光。除了这些威风凛凛的捕食者，还有一类“猥琐”的小动物——寄生虫——通过一种“不光彩”的方式折损着食草动物的寿命和数目，和捕食者共同限制了食草动物种群的规模。此外，致病性细菌和病毒也能起到类似寄生虫的作用。

另一类假说被称为“自下而上式”——认为决定生态系统演化的重要力量在于食物链最底端的植物。植物为了抵御食草动物的摄食，会发育出阻挠它们下口的形态（比如繁茂的刺），制造它们无法食用的结构（比如食草哺乳类就吃不了木头），合成味道恶劣或有毒的化学物质（比如各种苦味物质），并让它们合成的一部分物质变成对食

草动物毫无用处的“冗余”物质，从而为自己留出了生存机会。用提出这类假说的学者自己的话来说，所谓的“绿色世界”实际上是“多刺而难吃的世界”，看上去郁郁葱葱的植被实际上是“绿色荒漠”，植物大部分的生物质是动物不能利用的。

这两类假说都有其拥护者。他们做了很多人为控制的生态学实验，试图验证各自支持的假说的正确性，有时是从生态系统里移走一种捕食者，有时是添加一种新的食草动物，有时是在土壤中施加更多促进植物生长的矿物质……50多年过去了，虽然学术界获得了一些初步的结果，但离得出最终结论仍然差得很远。

当然，对于生态系统这样复杂的巨系统来说，很多现象都有众多成因。上面这两类假说并非彼此完全排斥的关系，它们完全可以都成立，并在不同的条件下（比如不同季节）发挥着不同的作用，这也是绝大多数生态学者的共识。总之，通过“自上而下”和“自下而上”两类途径的共同作用，亿万年来，食草动物的数目和它们对植物的“危害”都一直被有效地控制在一定范围内，于是植物始终不用“担心”自己有被全部吃光的危险。当然，不管植物还是动物，它们的数量最终都要受到环境因素的限制。在苔原、荒漠之类环境恶劣的地方，二者的数目和多样性都很低，食物链层数也少；在热带雨林这样环境优越的地方，二者的数目和多样性都很高，食物网也极为复杂。

如果这样的涉及具体机制的回答让你还觉得欠缺了什么，那么哲学上对绿色世界悖论还有一个终极的答案——人择原理（anthropic principle，也有人译为存人原理）。人择原理本来是用来回答一个天文学问题：为什么我们观测到的宇宙会是这个样子？如果不归功于神灵的创造，那么最佳的回答是：尽管宇宙本身可以有无限种可能，但其中只有一小部分宇宙能保证人类演化出来，然后才会有人提出这个问题，所以我们只能存在于这样的宇宙中，而我们只能观测到如此面貌的宇宙。

同理，我们也只能存在于一个植物能够始终存在的世界中，因为有了植物，才能保证生态系统一直存在，才能保证有足够的时间演化成形

态复杂的动物，才能保证人类从类人猿中演化出来，然后才能有人提出绿色世界悖论。假如有一个生命宜居的星球，好不容易演化出了植物这样的自养生物，却不幸又演化出了疯狂的异养生物；异养生物很快就把自养生物全部吃光，然后自身灭绝，最后那个星球的生态系统崩溃、消亡，也就不可能演化出类似人类的智慧生物了。

### 0.3 差点毁灭生命世界的古植物

事实上，在地球的地质年代中，曾经有很长一段时期，动物给植物造成的生存压力并不大。如果人类生活在古生代，要担心的恐怕不是植物被食草动物吃光，而是没什么动物吃植物。有古生物学家认为，因为古生代的动物不懂得吃植物，植物的疯长曾经造成了一次重大的全球性生态危机，引发了生物大灭绝。

自从古生代早期的“寒武纪大爆发”以来，地球上先后经历了5次非人为的生物大灭绝（如果把寒武纪本身的一系列灭绝也算上，则是6次）。其中，第二次大灭绝发生在大约3.59亿年前的古生代晚泥盆纪，当时全球的海洋动物中有50%的属和19%的科完全消失。和其他4次生物大灭绝一样，这次晚泥盆纪大灭绝的起因也是众说纷纭，但植物很可能在其中扮演了重要作用。

原来，自从地球生命在大约38亿年前出现之后，在地质史的大部分时间里，它们基本上只生活在海洋中，而当时的陆地还是一片不毛之地。到了大约4.19亿年前的古生代志留纪，植物却成功地从海洋移居陆地。这个时候，展现在它们面前的是一片前途无量的天堂般的胜境——这里根本就没什么能吃它们的动物，只要把大自然的挑战克服过去了，它们想怎么活就怎么活。于是植物就这样步伐缓慢却稳健地一点一点征服了陆地。在志留纪之后的泥盆纪初期，陆生植物还很矮小，只有几十厘米高，但到了泥盆纪晚期，陆生植物就演化出了30米高的参天大树。这个时候，地球上开始出现了广袤的森林。