

篇名：单一基因突变形成的新物种

生命的世界是多元而复杂的。

然而生命的起始却是单一而孤独的：所有的生命都起源于那一位共同祖先。单一的生命形式在演化的长河中不断繁衍，形成支流，产生新物种，这即是今天我们所看到的绚烂自然界。

当人类感叹自然之美丽的时候，不免疑惑如此多样的物种的由来。神的存在是一类尝试，大体每一类神话都要阐明物种出现的因果缘由。同样，这也是进化生物学领域最令人瞩目的问题之一了。

这或许也是达尔文先生将他集数十年之心力之作命名为《物种起源》的原因吧 [注 1]。然而尽管以此命名，很多人认为，《物种起源》所涉及的更多的是种内的变异，并没有真正去解析物种、以及新物种形成的过程[1]。

达尔文先生的留白却也体现了这个问题的难度。新物种如何形成，直到今天依然是个混沌不堪的问题。首先难以定义的是物种的概念，其次物种的形成过程很可能是一个多元化、复杂而模糊的历程。尽管有着各种各样的学派，多样的假说、模型以及公式，这一难题即便在未来恐怕也很难有一个简单解释。

然而幸运的是这世上复杂的问题往往会有着简单的特例，特例虽无代表性与普遍意义，却也是另一种开端。以管窥天大体也能看到一角白云，亦是一种乐趣。

这里要拾起的管子是——蜗牛[注 2]的故事。

当你拿起管子仰望蓝天之前，要记住一件事：这是一个特殊的例子，不能把对这个例子的理解运用于普遍性的物种形成上面。

然而不起眼的蜗牛有什么特殊性呢？

先问你一个问题：

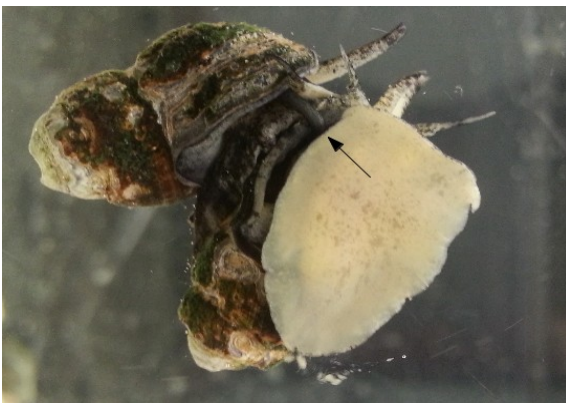
蜗牛壳（从尖端往下看）是顺时针（右旋）还是逆时针（左旋）？

——答案是：都有，绝大多数物种是右旋，然而有少数一些物种却是左旋。

不知你是否思考过为什么蜗牛壳会有不同的旋转方向，旋转方向对个体的生存，繁衍来说会有怎么样的影响。事实上，这并不只是简单的对称而已。

可是这跟新物种形成有什么关系呢？

先让大家看一张异配蜗牛的交配照片，两只蜗牛都是该物种的正常（野生）形态，左边为雄性，右边为雌性。箭头所指即雄性生殖器。



图一 .

雄性生殖器从蜗牛壳中伸出，通过蜗牛壳的开口，进入雌性蜗牛身体内部。

可以想见自然而美妙的这种天作之合大体上不会发生什么差错。蜗牛夫妻会幸福地生活在一起。

可是动物爱情与矫情人类可能有些不同，是伟大而超越物质的，如果有一天，一只右旋蜗牛跨越了形体的差距，爱上了一只左旋蜗牛，会发生什么呢？

大家知道，雄性生殖器的长度很遗憾，是有限的。一个尴尬的事情发生了：由于构型的关系，当蜗牛夫妇的旋转方向不一致时，雄性蜗牛的生殖器会因长度远远不够而无法行使功能。

此时两者无法交配，精卵无法相遇而形成合子，以致不会产生任何子代，这被称为合子前隔离(prezygotic isolation)。也就是说这两类个体的基因库是完全被隔离的，不会有任何的交流，他们的后代只能渐行渐远。在大部分人接受的物种概念里，这两类旋转方向不同存在生殖隔离的蜗牛不会是同一个物种[2]。

这么看来，如果蜗牛的旋转属性发生突变，种群中新出现的异旋蜗牛将会是新物种！听起来似乎有些道理，但是自然界中真的存在这类突变吗？

让我们回到 1920 年宁静的英格兰乡下：有大批的自然学者被吸引到一个叫做 Kind lane 的小水潭[3]，原因是一种名为 *Limnaea peregra* 的右旋蜗牛在这个水潭中有着不寻常高比例的左旋突变个体。

看来蜗牛壳旋转方向的突变在自然界中是存在的。那么，这种突变表型，是怎样产生的？

在这群自然学家之间，有两位有着不寻常的毅力的学者，Boycott 和 Diver。在历经数年遗传交配实验、检验了超过一百万只蜗牛之后[3]，他们连续发表了几篇著名的文章[4,5,6]。其中一个关键结论就是 *L. peregra* 蜗牛的旋转属性/身体构型是由单一基因（位点）控制的[4]！

也就是说，只需要单一基因的突变，就能产生异旋蜗牛。新物种！

看来异旋蜗牛确可以突变产生。然而一个新物种的建立不仅需要诞生，还需要延续：我们要面对的问题是这第一只，或前几只突变出来的异旋蜗牛要如何找到与自己旋转属性相同的可交配对象，并且克服强大的自然选择压力超越大量存在的“野生”形态蜗牛而存活下来。这一难以跨越的栏杆就是阻碍单一基因形成新物种的障碍。也是著名的 Bateson-Dobzhansky-Muller model of hybrid incompatibility 提出的需要两个或以上的基因突变的参与新物种才能形成的原因之一。

幸运的是蜗牛壳构型的特殊性不止于此。两位学者对这个小水塘中蜗牛的研究还有一个里程碑式的发现，即母性影响(maternal effect)[5]。这一概念在这个例子里是指蜗牛壳旋转属性是受母亲基因型而非自己的基因型所控制。蜗牛壳的故事成为了母性影响的经典例子，在此后被无数次地写入遗传学教科书之中。

那么母性遗传这一形式在物种形成中带来了什么样的方便呢？

让我们来分析一番：如果有一只蜗牛母亲的这个基因发生了突变，成为了带有左旋基因型的母亲，该母亲自己仍然是可以在种群中自由交配的右旋个体。然而，该母亲的所有子代都是左旋的！左旋的子代与种群中所有的右旋个体在此刻已然发生完全的生殖隔离，更重

要是，他们互相之间可以交配产生后代从而独立地繁衍下去。这解决了第一只新物种可能会是“怪物”而无人能爱的问题。

繁衍问题解决了，那么这异旋的初生新物种是如何在自然选择中“战胜”野生型的蜗牛，提高自己的频率，而不被迅速淹没在进化史的长河中呢？母性影响的帮助虽然很大，但还不够。此时我们需要的是遗传漂变（genetic drift），也就是随机的因素造成了原本低频率的基因型或者表型频率提高。种群越小，漂变越强。对蜗牛来说，其种群经常很小并且容易被分割，受到的遗传漂变常常更强。那蜗牛的种群会有多小呢？

我把这个国王巷水塘的图片发上来，大家感受一下。能理解为什么是它了吧。



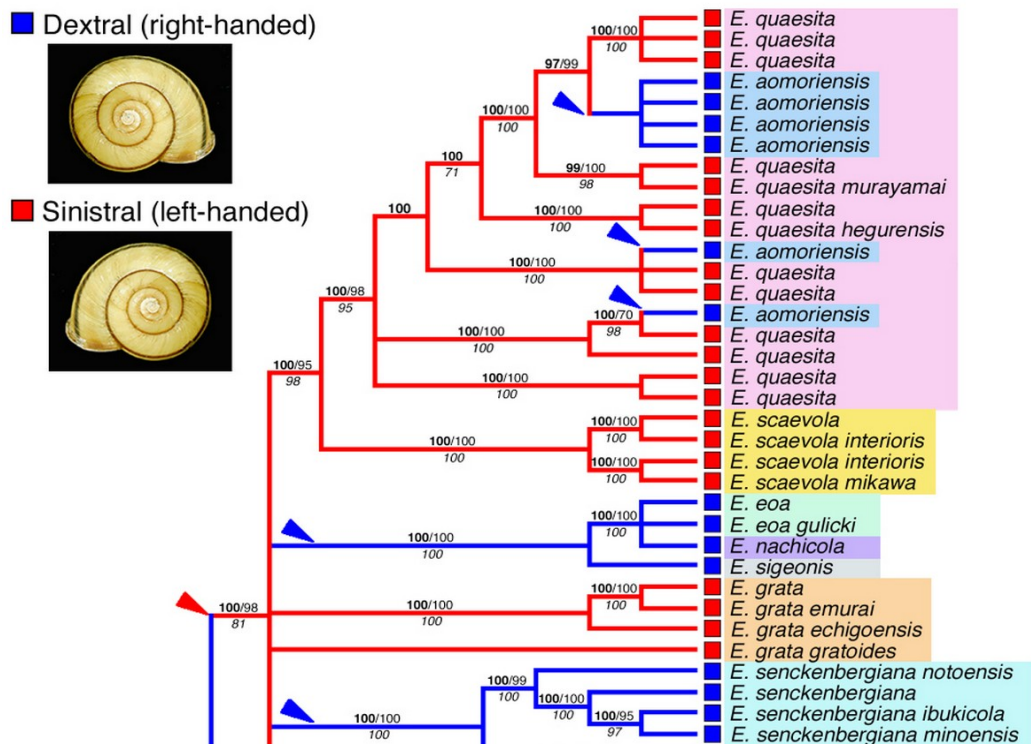
图二，图片来自：Gurdon, J. B. "Sinistral snails and gentlemen scientists." Cell 123.5 (2005): 751-753.

这一现象很自然地引起了进化生物学家们的兴趣，大家纷纷提出此乃同域物种形成（与存在地理隔离的异域物种形成相对）之典范。而在 70 年之后的 1991 年，有人把这种蜗牛

壳新物种形成的具体数学模型也给推导出来了，结论是这事在母性影响的推波助澜下是可以发生的[7]。

理论归理论，现实中以这种方式形成的蜗牛新物种现象真的存在吗？会以怎么样的规模存在？

十年之后的 2001 年，日本科学家们回答了这个问题。在研究了一个名叫 Bradybaenidae (巴蜗牛科) 的蜗牛大家族后，他们发现这个蜗牛大家族的左右旋也是由单一基因 (位点) 决定的，更为重要的是，他们通过分子手段解析了蜗牛家族之树。他们发现这个大家族的物种分化跟左右旋的突变很有关系。如图所示：



图三，图片来自：Ueshima, Rei, and Takahiro Asami. "Evolution: single-gene speciation by left-right reversal." *Nature* 425.6959 (2003). 蓝色方框为右旋物种，红色为左旋物种。可以看到不同旋转属性嵌合在同一进化分支中，这说明旋转属性在此处

的新物种形成中发生了改变（蓝色或红色箭头所指）。原图过大，此处仅取部分。

由此可见，这一理论上的单一基因突变形成新物种的模式是真实存在于自然界的，并且至少在巴蜗牛科的新物种形成中起到了重要作用。

说到这里，你也许很感兴趣这一决定蜗牛壳旋转属性的基因是什么。是的，日本科学家的研究已经又过了十年。然而蜗牛的遗传学工具极其稀少，科学进展一向缓慢。据消息，已经有人通过比较转录组的手段定位出了这个基因。相关研究正在进行中，让我们拭目以待吧。

然而无论这个基因是什么，这个发现已然是重要的。在这个例子被证实之前，很多科学家都认为物种的形成需要两个或者两个以上的基因参与，单一基因决定的新物种是几乎不可能的[7]。而这个例子改变了人们对物种形成的认识。哦，原来新物种形成也可以这样简单。

但是，自然界的物种形成有多少是如此简单而清晰的呢？很可能大部分不是，切忌把这个简单的例子代入对物种形成的普遍性理解中。

生命是复杂的，复杂中的简单也是复杂的一部分。

注 1：《物种起源》全名为《论借助自然选择（即在生存斗争中保存优良族）的方法的物种起源》。

注 2：为与参考数据保持一致，这里的蜗牛取自英文中 snail，包括中文里的蜗牛与螺——大体是腹足纲的概念。

Ref:

[1]Coyne, Jerry A., and H. Allen Orr. Speciation. Sunderland, MA: Sinauer Associates, 2004.

[2]Ueshima, Rei, and Takahiro Asami. "Evolution: single-gene speciation by left-right reversal." Nature 425.6959 (2003).

[3]Gurdon, J. B. "Sinistral snails and gentlemen scientists." Cell 123.5 (2005): 751-753.

[4]Boycott, A.E. and Diver, C. (1931). Phil. Trans. Roy. Soc. B 219, 51-131.

[5]Boycott, A.E., and Diver, C. (1927). Nature 119, 9.

[6]Boycott, A.E., and Diver, C. (1923). Proc. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci. 95, 207-213.

[7]Orr, H. Allen. "Is single-gene speciation possible?." Evolution (1991): 764-769.

作者：冠轮大虫

邮箱：amphisonia@gmail.com