

四种性别的 小麻雀： 性染色体是 如何进化而来的？

撰文
刘光裕

树上的鸟儿成双对？成双对的鸟儿可不一定是一公一母。至少对于北美洲一种形似麻雀的小鸟白喉带鹀 (*Zonotrichia albicollis*) 来说，它们的性别可不止雌和雄那么简单。

白喉带鹀是北美最常见的小鸟之一，经常光顾人们的花园，相貌平平，但却蕴藏着惊世骇俗的科学秘密。美国鸟类学家罗斯蒂·贡泽尔 (Rusty Gonser) 和他的妻子伊莱娜·塔特尔 (Elaina Tuttle)，用毕生的精力研究白喉带鹀，在整个种群中，每个个体只能与其中的1/4鸟儿交配，看起来就像是具有四种性别。

很多观鸟者早就发现，雄性的白喉带鹀有两种类型，有的是白眉，有的是棕眉。白眉嗓音甜美，攻击性强，多配制，对后代漫不经心；棕眉则是嗓音平平，单配制，遇到天敌会极力保护后代。有趣的是，白眉只与棕眉寻欢，棕眉也只与白眉交配，二者均不会与自己一样的雌性交配，科学家将这种现象称之为非选型交配



白喉带鹀



白喉带鹀，左为白眉，右为棕眉

(disassortative mating)。

白喉带鹀为何会这样呢？

1996年，鸟类学家桑尼克罗夫特(H.B.Thornycroft)在《科学》上发表了一篇文章，发现白喉带鹀具有一对异常的染色体。棕眉小鸟的2号染色体完全一样，但白眉2号染色体上具有一段倒置的染色体片段。桑尼克罗夫特在早期就觉得这个现象非常诡异，很可能是白眉和棕眉之间的配偶选择，维持了白喉带鹀的染色体异常变异。

当塔特尔知晓这个现象之后，她敏锐地觉察到，这是一个研究性染色体进化的绝佳例子，甚至可反其道而为之，探究动物的社会行为如何影响基因的变化。20世纪90年代初，基因组研究还特别昂贵，不太可能进行，塔特尔便从简单的研究入手，先研究小鸟的行为，如它怎么择偶，如何织巢，以及通过人工取精液研究活力和后代存活率等等。通过血样分析，发现白眉三分之一的后代，都出生在别人老婆的巢穴里。棕眉则不然，它不找其他雌性，倾向于保护家庭，因此自己窝里的后代一般都是它的儿女。但无论是淫乱的白眉，还是顾家的棕眉，两种类型两种策略的小鸟，繁殖成效几乎是一样的。

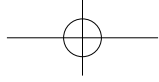
2000年之后，随着基因组技术的高速发展和价格的下降，塔特尔进一步解析了白喉带鹀的2号染色体。她发现，“小麻雀”的性别决定机制并不仅仅如桑尼克罗夫特当年所说的“基因发生了一

次倒置”，而是“2号染色体上发生了多次倒置”。在2号染色体上，有一段基因不能成功配对，交换信息，这段染色体大概包含1100个基因，被称为“超级基因”。就是这个超级基因导致“小麻雀”进化成为两种表型，四种性别：一类为头上有黄色条纹的雌性和雄性，另一类为头上有白色条纹的雌性和雄性。它们彼此之间的行为和交配方式不同，只能交叉配对，白色条纹的雄性对黄色的雌性，眉目颜色必须不同才能交配，繁衍后代。

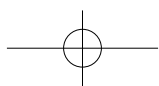
长久以来，有性生殖的进化均是生物学中最核心的问题之一。白喉带鹀神奇的四种性别和2号染色体的进化，使之成了研究性别进化的模式物种。性是很有意思的一个话题，如人类具有XY染色体，决定性别XY是雄性，XX是雌性；鸟类则有ZW染色体，与XY系统相反，ZZ是



美国鸟类学家罗斯蒂·贡泽尔



上下：白喉带鹀



雄性，ZW是雌性；其他如蛇、龟等两爬类，有雌雄性别之分，但没有性染色体；更有甚者，有一种原生动物的七种性别。任何一种性别和自己同类不能交配，但与其他六种性别均可交配。

如此非凡复杂的XY、ZW染色体性别决定机制是如何进化而来的呢？科学家认为，XY和ZW染色体都是控制性别的染色体发生了倒置，进而导致有丝分裂发生异常，久而久之聚集了很多突变而形成了性染色体。

白喉带鹀的2号染色体并不是性染色体，并不决定雌雄，但却包含着部分控制繁殖行为的基因。这个完美的例子说明，两条相同的染色体可进化成为两种不同的亚型，同时分化出不同的性格和交配选择。进一步的基因组分析还发现，2号染色体的突变基因积累速度确实比其他染色体要快很多。一条常规的染色体，经历了一个倒置之后，基因突变大大加快了。换言之，白喉带鹀的2号染色体正在朝着“性染色体”的方向进化。这为我们理解性染色体的进化，提供了独特的视角。

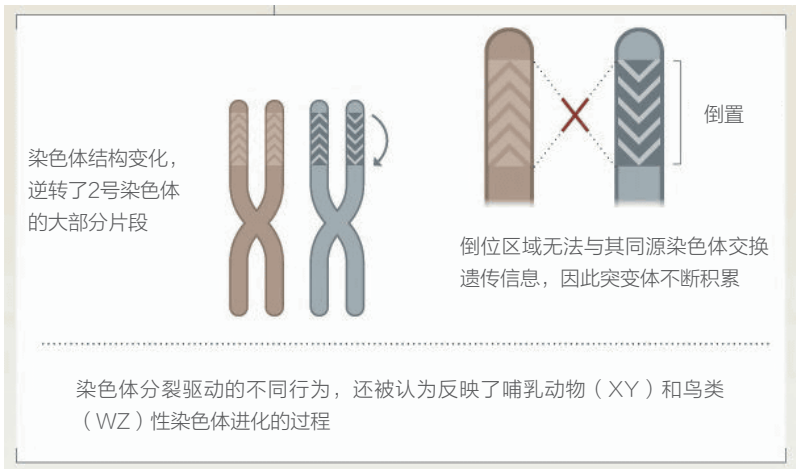
白喉带鹀的研究分别发表在顶级杂志《科学》和《当代生物学》上，可谓动物性别进化的巅峰之作，让人类对性染色体的进化有了新的研究角度。不幸的是，塔特尔在2011年检查出了乳腺癌。过了5年，当她完成经典研究并在2016年发表之后，她就去世了，年仅52岁。

湖畔的白喉带鹀依然在歌唱，最爱它最懂它的人却离开了人间。一个人一辈子只研究一种“小麻雀”，为一个“小麻雀”有个人奉献了自己的一生。塔特尔去世之后，她的丈夫接过了她研究的衣钵，继续前行，进一步揭开“小麻雀”之谜。

在科学的道路上，揭开一个谜，往往会引出更多的谜团。为什么白喉带鹀会进化出四种性别？



美国鸟类学家伊莱娜·塔特尔



按道理，小鸟的“求亲”系统，雌雄之间是比较高效的。一只白眉雄性小鸟，它不仅需要找一只雌鸟，而且需要找一只棕眉的雌性小鸟。这意味着白喉带鹀在求偶这件事上，需要花两倍于其他鸟的经历。如此性别系统，可谓是相当不经济的，自然界应该将其淘汰才对。那么，白喉带鹀奇特的2号染色体会不会在将来的进化历程中消失呢？它会如何演变呢？我们不得而知。只能静候佳音，等待科学上的又一个重大发现，才能回答这些疑问。

（责编 桑新华）