

# 基因组揭示6000万年来企鹅进化到极冷和海洋环境的过程

近日报道,很难想象企鹅生活在其他地方。但古老企鹅的化石却在赤道附近出现,而且很多这些史前海鸟早于南极洲冰原的形成。

报道说,很少有动物能像企鹅一样进化到能在残酷的南极生存。像帝企鹅这样的物种有层层相叠的隔热羽毛、排列得很紧密的血管来保持体温,以及足以抵御接近零下80华氏度(约为零下62摄氏度)风寒的腹部。

有了所有这些能适应寒冷天气的能力,很难想象企鹅生活在其他地方。但古老企鹅的化石却在赤道附近出现,而且很多这些史前海鸟早于南极洲冰原的形成。美国布鲁斯博物馆的古生物学家丹尼尔·克塞普卡说:“它们经历了地球历史上最热的时期,当时赤道的温度比现在高5华氏度。它们基本上是在无冰环境中进化的。”

为了确定企鹅是如何从温暖的热带水域过渡到极地海洋的,克塞普卡和他的同事们最近分析了所有现存企鹅的基因组。然而,现代企鹅的基因告诉研究人员的只有这么多。大多数现代谱系只能追溯到几百万年前,无法说明企鹅6000万年漫长进化历程中的大部分历程。

## 化石记录

克塞普卡说,超过四分之三的企鹅物种“现在已经灭绝”。他还说:“你必须研究化石记录,否则你只能看到事情的一部分。”

为了补充现代数据,研究人员研究了形形色色的古代海鸟化石。一些史前企鹅穿梭于秘鲁附近的热带水域,用矛状的喙来叉鱼。其他企鹅的腿很长,最大的可能有7英尺(约为2.1米)高。有些甚至长着一片片锈红色的羽毛。

通过比较现代企鹅和企鹅化石的基因组,研究小组得以重建企鹅的进化过程。在周二发表在《自然·通讯》上的研究结果中,研究人员找到了帮助企鹅从温暖水域过渡到极地的基因。这些基因中的一些帮助企鹅增加脂肪,而另一些则将它们萎缩的翅膀塑造成流线型的鳍状肢。有些基因甚至增强了企鹅的免疫系统,或帮助它们在深海潜水时忍受低氧。

在秘鲁利马的自然历史博物馆,古生物学家鲁道夫·萨拉斯研

究了一只生活在3600万年前的巨型企鹅化石的头盖骨,这只企鹅大约5英尺高、130磅(约为59千克)重。

研究人员还发现了一些基因,这些基因有助于微调企鹅的眼睛,在冰冷的深处能看得见。大多数鸟类拥有四种类型视锥细胞,而企鹅的其中一种视锥细胞是不活跃的,这阻碍了它们看到绿色和红色的能力。相反,它们的眼睛已经适应海洋的蓝色。

一些缺失的基因令研究人员备感困惑。虽然现代企鹅吃磷虾,但这个研究小组发现,有证据表明,它们的祖先缺乏有助于分解甲壳动物外壳的基因。这可能是古代企鹅捕食较大猎物的证据,比如鱼和乌贼。企鹅的口感受限制,味觉也有限。它们的味觉受体只能感受咸味和酸味,克塞普卡说:“如果你吃的是鱼,那就相当不错了。这可能就是它们喜欢沙丁鱼的原因。”

## 变化缓慢

当这些变化发生在古代企鹅身上时,它们就陷入困境了。基因分析显示,企鹅的进化速度通常是所有鸟类中最慢的。因为它们看起来如此奇特,如此缓慢的变化速度似乎令人惊讶。但这它揭示了企鹅丰满而流线型的身体构造是多么成功——数百万年来,它的变化只是缓慢的过程。但在南极寒冷的冬季繁殖的帝企鹅是所有企鹅中进化速度最快的,这令研究人员推断,更低的温度以某种方式加快了企鹅的进化。

智利天主教大学的生态学家朱莉安娜·维安纳说,这一观点与企鹅在全球变冷期间向南迁徙是一致的。维安纳最近领导了相似的研究,但没有参与这项新的研究。她说:“它们的进化史与历史上的气候变化以及冰川作用密切相关。”

了解企鹅在过去是如何变化的,可能会为企鹅在更热的未来如何生存提供线索。新西兰梅西大学的古生物学家、这项新研究报告的作者丹尼尔·托马斯说:“气温变暖将影响企鹅的生物地理范围,影响它们赖以生存的食物物种,以及捕食它们的物种。”

克塞普卡说,虽然这项研究是



对企鹅家族的全面研究,但仍有一种海鸟缺失了——最后一种会飞的企鹅。这种像海雀的小型鸟类可能生活在古代新西兰,但它的化石却难以被发现。他说:“如果我有一个愿望的话,那这就是我最想要的东西。”

## 环境推动

企鹅从飞翔的海鸟进化为不能飞翔的海洋居民,它们分布在从寒冷的南极洲一直到热带的加拉帕戈斯群岛,其进化史是动物王国的奇迹之一。

研究人员对企鹅进化史进行了迄今为止最详尽的研究,包括确定一系列对水下视觉、长时间潜水、体温调节、饮食和体型等进化而言至关重要的基因。周二他们公布了研究结果。企鹅的历史可以追溯到6000多万年前。

研究人员对20个现存的企鹅物种和亚种进行了基因组排序。由于已知的企鹅物种中有超过四分之三已经灭绝,研究人员还利用骨骼数据分析了50种化石物种。

研究人员说,企鹅与信天翁和海燕等海鸟拥有共同的祖先。一开始,企鹅进化出了像海雀一样的潜水能力,然后在适应海洋环境的过程中失去了飞翔能力,成为出色的“游泳者”和“潜水员”。

人们所知的最早的企鹅可以追溯到6100万年前,也就是导致恐龙灭绝的物种大灭绝事件发生约500万年后。

位于美国康涅狄格州格林尼治的布鲁斯博物馆的鸟类古生物学家丹尼尔·克塞普卡说:“在我看来,企鹅是体现重大进化转变的典型例子,就像鲸的生活方式进化为在水中生活,以及蝙蝠进化出飞行能力一样。”

克塞普卡说:“我们知道企鹅是从会飞的鸟类进化而来的,但这发生在6000万年前,我们需要研究化石记录,以弄清楚这一进化过程是何时、在何处发生的,以及如何发生的。此外,企鹅是一种非常惹人喜爱的生物。它们相爱,它们打架,它们偷东西,由于其滑稽的直立姿势,所以很容易想象它们拥有和人类一样的动机。”

这项发表在《自然·通讯》的新研究阐明,全球气温变化和主要洋流的变化是如何成为企鹅进化的重要推动因素的。

## 基因突变

克塞普卡说:“我们根据其基因中留下的鲜明特征估计了一下,在过去25万年里每个企鹅物种的种群数量是如何波动的。冰盖面积的变化对企鹅造成了重大影响,那些容易受海冰融化影响的物种也许会因未来全球变暖而承受痛苦。”

研究人员还发现,在鸟类中,企鹅的进化速度是迄今为止所探知的最慢的。

企鹅主要生活在南半球,包括生活在南极洲海岸沿线的阿德

利企鹅等物种。加拉帕戈斯企鹅是唯一在赤道以北发现的企鹅物种。

哥本哈根大学博士后研究员、该研究报告的第一作者特雷莎·科尔说,这项研究发现了很可能与企鹅独特的生理适应能力有关的多基因。

这些基因表现出了基因突变。突变使其视力对色彩的感知范围向光谱中蓝光的方向偏移了。比起红光,蓝光更能穿透海水,到达海面下更深的地方,因此企鹅的这一特征有助于其微调视力,以便适应水下低亮度环境,视觉变得更敏锐。

企鹅身上帮助鸟类分辨出咸味和酸味的基因很活跃。但是,帮助分辨出苦味、甜味和辛辣味的基因已经失去了活性。企鹅也许不再需要那些基因了,因为它们在不冷的、咸咸的海水中觅食,它们通常会吞下整只猎物,比如鱼、虾和鱿鱼。

企鹅的翅膀骨骼不断变平、变硬,使其能飞翔的羽毛变短小纤细,这有助于将其翅膀变成鳍状肢。它们还缩小了骨骼中空,使骨壁厚度增厚以提高潜水效率,并增强了在肌肉中储存更多氧气的的能力,以便长期潜水。

曾经,企鹅比现在的物种体型大得多。在5500万至6000万年前,生活在新西兰的一个企鹅物种比氏库米企鹅直立身高约6英尺。而现存体型最大企鹅物种帝企鹅身高大约3英尺。

# 霸王龙有三个不同物种? 新研究反驳

早些时候提出的一个大胆断言——即被确认为属于霸王龙的化石代表了三个不同的物种——被新的研究推翻了。该反驳发现早先的提议缺乏足够的证据来拆分这个标志性的物种。

“霸王龙仍是恐龙中的一个真正的王者,”研究报告的共同作者Steve Brusatte说道,“最近,一个大胆的理论被大张旗鼓地宣布:我们所说的霸王龙实际上是多个物种。的确,我们所拥有的化石在尺寸和形状上有些变化,但正如我们在新研究中所示的,这种变化是微小的,不能用来将化石整齐地分成容易界定的群组。根据我们目前拥有的所有化石证据,霸王龙作为北美恐龙时代末期的唯一巨型顶级掠食者而

独树一帜。”

这项争议性研究的作者们提出,霸王龙应该被重新归类为三个物种:标准的霸王龙(T. rex)、更庞大的T. imperator以及更瘦小的T. regina。这项研究是基于对38只霸王龙标本的腿骨和牙齿的分析得出。

在新的论文中,科学家们重新审视了早期研究中提出的数据并且还增加了来自112种活体恐龙——鸟类——和来自4种非鸟类的兽脚类恐龙的数据点。根据他们的研究结果,多物种的说法是基于有限的比较样本、不可比较的测量和不恰当的统计技术。

“他们的研究声称,霸王龙标本的变化如此之大,以至于它们可能来自多个密切相关的巨型食肉

恐龙物种,”反驳研究的共同第一作者James Napoli说道,“但这种说法是基于一个非常小的比较样本。当跟数百种活体鸟类的数据相比较时,我们实际上发现霸王龙比大多数活体兽脚类恐龙的变化要小。这种提出的多物种的证据线是不成立的。”

来自迦太基学院的共同第一作者Thomas Carr则指出:“确定早已灭绝的动物的变异是对古生物学家的一大挑战。我们的研究表明,我们对活体动物的了解为基础的严格的统计分析是澄清已灭绝物种边界的最佳方式。从实际情况来看,三物种模型的定义非常差,以至于许多优秀的标本都无法被识别。这是一个无法映射到现实世界的假说的明显

警告信号。”

根据原始论文,除了股骨的坚固性之外,下颌第二颗牙齿的大小变化也表明存在多个物种。然而新研究的研究人员无法复制牙齿的发现,他们从自己对同一标本的测量中获得了不同的结果。此外,新研究的科学家对使用这些特征的每个物种的“断点”是如何在统计学上确定的表示异议。据新研究的作者称,因为原始研究中的统计分析在测试前就定义了组的数量,所以对测试假设没有用。在最新论文中,在没有任何高级假设的情况下,研究人员使用了一种不同的统计技术来确定数据中存在多少个群,结果发现它们最好被视为一个单一的群——换言之,就一个物种——霸

王龙。

来自马里兰大学的合著者Thomas Holtz表示:“即使是活的物种的边界也很难界定:如动物学家对长颈鹿的活体物种数量有分歧。当所涉及的物种是古老的并且只从相当少的标本中得知时,这就变得更加困难。在接受两组标本实际上是独立物种的假设之前,必须拒绝其他的变异来源——随着生长、地区、性别和良好的老式个体差异而发生的。在我们看来,这种假设还不是最好的解释。”

“霸王龙是一个标志性的物种,对于古生物学研究和向公众宣传科学都是非常重要的,所以我们必须把这个问题搞清楚,”论文合著者David Hone说道。