

生命百态

A amazing lives

气候和环境变化 对生态系统的影响

✪ 一、在变化中的世界生存

2009年8月，国际生理学联盟（IUPS）在日本京都举办了第36届代表大会。12年前，就在这个会议中心里，人们拟定了历史上闻名的京都议定书。IUPS委员会（研究比较生理学、环境生理学和进化生理学）的主席Malcolm Gordon没有忽略掉这个巧合所蕴含的象征意义。对于长期力挺生态和环境生理学重要性的Gordon而言，这场在京都举办的会议是一次绝佳的机会，它聚集了众多环境生理学团体的主流意见，以审视目前地球所面临的最紧迫的议题之一：气候变化及其在生态和生理方面的影响。Gordon联络了IUPS的同事以及实验生物学杂志（*The Journal of Experimental Biology*）的主编Hans Hoppeler，并提议出版阐述“在变化中的世界生存”主题的综述论文集。Gordon、Hoppeler和一位研究北极动物生理学的专家Brian Barnes合作，征集了许多综述论文，其主题的范围从气候变化对大范围的陆生和水生物种的影响，到环境变化对其它方面，如生态系统、种群、病害分布与物种适应其遭受的环境变化的能力等的影响。

Glen MacDonald发表的公开评论探讨了气候变化对主要生态位的影响。目前，北极的CO₂水平达到了六十万年来的最高值，比原先的纪录还要高100 p.p.m.。MacDonald警告说，预计到2100年，CO₂水平可能还会达到500至900 p.p.m.。随之而来的将是地表升温，而这种升温与以往所见的暖冬和北极放大现象（即北纬地区比其它地区升温速度更快）完全不同。由此，MacDonald预测，到下个世纪初，北极“将会使该地区的动植物进入一个全新的世界”。MacDonald回顾了升温所产生的效应，即相对温暖的冬天与较高的大气CO₂水平对寒带森林和冻原生长的影响，指出升温 and 水分压力可能是限制或促进某些物种生长和分布的主要原因。据MacDonald所言，负责气候变化项目的国际政府专门小组认为，最早在2100年，广阔的冻原地区将可能被寒带森林所取代。尽管人们对这种取代速度仍然持有争议，但MacDonald特别提到，这种植被取代不仅会影响区域动物的种群，而且最终可能降低地球的反射率，从而加速气候的变化。



注：生态位（ecological niche）是指一个种群在生态系统中，在时间、空间上所占据的位置及其与相关种群之间的功能关系与作用。

参考文献

1. Kathryn Knight. (2010) Survival in a changing world. *The Journal of Experimental Biology*: 855.



二、气候和环境变化对生态系统的影响

由于大多数科学团体已经接受了全球气候变化的事实，人们的兴趣逐渐转向了评估这些前所未有的改变对种群和生态系统的影响。耶鲁大学（Yale University）的Frank La Sorte和Walter Jetz描述了鸟类分布对气候变化产生的可观测和可预计的改变，以及这种改变对鸟类的迁徙策略和群落结构的影响。La Sorte和Jetz利用大量可用于鸟类分布的数据，说明相关分布模型（在此模型中分布预测基于鸟类与其栖息的气候区带的关系而作出）可应用这些数据来预测气候变化将对鸟类种群产生的影响。不过，相关分布模型相对不精确，所以La Sorte和Jetz提议开发更精密的模型，“试图捕捉物种分布与环境之间的固有联系”，以完成更精确的预测。然而，尽管这些模型将会在深入研究温带鸟类种群中大派用场，但La Sorte和Jetz却指出，人们对热带物种明显知之甚少，而热带地区囊括了世界上大约85%的鸟类种群。因此，两位科学家认为，我们必须发现更多有关这些物种的知识，因为它们受气候变化的影响，处于由此而产生的最大危险之中。

变温生物依赖其生存环境进行体温调节，恐怕将对气候变化更为敏感。澳大利亚墨尔本大学（The University of Melbourne）的Ary Hoffmann认为此类生物的致命弱点可能是由于“它们的身体极限听从周围环境的支配”。他一直关注着的变温动物是卑微的果蝇（*Drosophila melanogaster*）。据Hoffmann所言，物种可在个体、种群和物种/谱系这几个等级上对环境变化敏感。在对果蝇通过进化产生对抗气温变化和干旱增长的能力进行概述时，Hoffmann指出，果蝇触及到了抵抗升温的能力极限，其原因是它们抵抗高温的遗传/进化能力较低。然而，其它的果蝇种群似乎拥有更好的进化能力，它们能在寒冷的环境中生存。Hoffmann对热带果蝇表示乐观，认为它们和温带果蝇一样，都不会受到升温的威胁，因为它们身体的受热上限正好高于其在天然环境中可能经受的最高温度。

话题转到海洋领域。Hans-Otto Pörtner探讨了气候变化对水生变温动物的影响。Pörtner描述了组织供氧和需氧适应度的关系，以及此关系对一种生物在某个生态系统中起作用的能力的影响。然后，他讨论了热压效应以及随之而来的水生动物体内CO₂和O₂水平的改变。Pörtner认为，水生动物如同其它生物一样，必须在特定的热范围中生存。他补充说，这使得水生生物种也会对气候变化产生影响敏感，因为气候变化可能使气温超出某种生物的热范围。这种趋势将会在组织缺氧或体内CO₂水平升高的情况下加剧，因为上述两种情况都能缩小某种生物热范围性能。Pörtner强调，我们必须进一步理解能量流转、活动能力和热范围，以弄清水生物种如何在一个特定的生态位中分化，并且改善其对气候变化的敏感度。他还强调了旨在建立某些机制的实验室研究的重要性，包括支持气候变化对物种产生影响的机制，以及为生理学和生态学提供联系的机制，以使我们在生理学水平上对生态系统有更好的理解。

在海洋生态系统中，最迷人的莫过于珊瑚礁了。它们自诩拥有丰富的物种多样性，并能为人类的经济活动添砖加瓦。然而，它们却是地球上最易受损的、脆弱的生态系统之一。目前由于环境恶化，已经出现了明显的破坏。其中，珊瑚漂白、海洋酸化和风暴频发都是使珊瑚礁遭受损失的原因。澳大利亚环境保护局（Department of Environment and Conservation）的Shaun Wilson正在研究依附于珊瑚礁并在其中繁衍的鱼类群落。他与囊括了32个合作机构的联盟团体共同拟定了一份包含53个关键问题的清单。Wilson说，这些问题都是他们觉得必须列出，以“增进我们对下述问题的理解：即气候变化将会如何影响珊瑚礁鱼群，以及如何提高管理者的能力以减缓这种负面影响”。其中，几乎半数的问题陈述了栖息地群落和群落动力学的主题，而其余的则关注如何扩展我们对鱼类生理、行为和饲养管理的认识。联盟团体希望这些问题将会引导未来的研究，最终产生更好的保护策略。

与某些相对受限于少数小型生态系统的海生物种种群相比，大



大头海龟就是海上真正的流浪者了。然而，作为大型变温动物，大头海龟的几个生活阶段都明显受到环境因素的影响，从而使它们处于气候变化所带来的威胁中。分别来自埃克塞特大学（University of Exeter）、班戈大学（Bangor University）和北卡罗莱纳野生资源委员会（the North Carolina Wildlife Resources Commission）的Annette Broderick等概述了升温对大头海龟的性别比率产生的威胁，该比率是由孵化期海龟卵的温度决定的。由于一直关注因龟巢升温而导致的种群雌性化，使得Broderick等要求进一步认识温度是如何影响大头海龟的性别决定，如何识别受到高温威胁的海龟筑巢地点的，以及如何针对龟卵最易受损的筑巢地点开发多种干扰策略。但是，龟巢升温对大头海龟而言并非全是坏事。Broderick承认，温度变化可能使大头海龟的栖息范围向北扩张，并增加了它们的主食种类，这些都降低了它们转变为受害种群的敏感度。

让我们继续有关气候变化对陆栖和海生种群产生影响的主题。加利福尼亚州霍布金斯海洋所（Hopkins Marine Station）的George Somero解决了这样一个问题，即某种生物从遗传上适应环境并产生适应性改变的能力如何，将会决定其在生存竞争中是胜出还是被淘汰。Somero目前正研究潮间带的物种。这些物种生长在岩石环境中，对极端的热压已经习以为常。

Somero概述了四点问题

物种对气候变化的反应
决定某种生物适应一个新的热力环境的能力的生理学机制
关于蛋白质的演变是否能“跟上”气候变化的问题
某种生物的适应能力如何受到编码及其基因组的调控体系的影响

Somero认同这样的结论，即这些适应了潮间带温热环境的物种在升温情况下最受威胁，因为它们已经接近其热范围的极限。由此，他提出某些物种可能在高温条件下发生心脏衰竭，从而导致其幸存者的数目受限。Somero补充说，尽管只要简单地替换某个氨基酸就能改善许多蛋白质的热稳定性，但在基因组中，生物在高温下生存所必需的整个区带的缺失使得南极洲海洋狭温性生物处于危险之中，这或许会使它们开始提高其热力稳定区域所能承受的温度。Somero总结说：“极端的狭温性动物以及已适应温热环境的广温性动物生活在接近其热范围极限的环境中，可能是气候变化中最主要的‘被淘汰者’。”

Tyrone Hayes在探讨了气候变化对一系列物种产生的特殊效应后，陈述了一种我们目前所面临的最震撼的生态灾难：两栖生物物种的灾难性损失，即是有人所提到的“地球的第六次大规模生物灭绝”。Hayes对前所未有的两栖物种数目减退情况进行了分类登记，概述了他认为能支持环境变化使生物多样性衰减的主要因素，并把气候（大气）变化、环境污染、生物栖息地的流失、种群侵入以及病原体列为最有可能导致全球两栖生物衰减的原因。Hayes总结了这些因素是如何相互作用，从而减少了两栖生物的繁殖成功率，却增加了它们的死亡率。Hayes还注意到污染物能使生物的内分泌紊乱，这种作用影响了动物的繁殖，同时起到免疫抑制剂的作用，因此，他警告说：“我们要加大对生物更新（繁殖）的关注力度，加大对与病原体相互作用的根本因素（例如环境变化）的关注力度，这对解决这场全球性危机十分重要。”

参考文献

1. Kathryn Knight. (2010) Effects of climate and environmental change on ecosystems. *The Journal of Experimental Biology*: 862-921.



三、气候变化对病害和动物传染病的影响

洛杉矶加利福尼亚大学（University of California Los Angeles）的Malcolm Gordon痴迷于病害对动物生态的影响已达半个多世纪。Gordon时常想起他和岛屿生物地理学的创始人之一的Bob MacArthur辩论这个主题的情景。Gordon回忆说：“我们过去经常探讨病害对动物生态所起的作用，以及病害在决定动物存在的地域、数量和密度等方面到底重要到何等程度。”Gordon认识到，这次前所未有的环境变化对病害产生了影响，于是邀请了Laura Mydlarz及其同事Elizabeth McGinty和Drew Harvell，回顾了珊瑚礁的情况以及它们应对气候变暖和病害是如何反应的。

Mydlarz等回顾了升温和病害发生对珊瑚种群产生的灾难性影响。他提出：“珊瑚对升温具有敏感性和相应的适应力，其关键在于珊瑚共生体对抗温度、紫外线和病原体的生理性反应。它们的各种防御方法都能提供一定保护，例如保护珊瑚动物及其寄生藻类免受辐射伤害的荧光蛋白、热休克反应以及对抗病害的细胞免疫等。Mydlarz也指出，尽管发生了一些灾难性的珊瑚漂白事件，但珊瑚在失去其藻类共生体之后，仍然具有转变成异养性摄食的能力，甚至还能够繁殖更耐热的物种，重新振兴曾失去的藻类群落。有些珊瑚则拥有天然的免疫系统，能够抵抗其它珊瑚无法避免的病害。Mydlarz等说：“研究者们正在寻找珊瑚产生抵抗力和适应力的迹象，并在某些例证中寻找其恢复、生长、适应环境以及可能产生适应性改变的现象。”但是，三位研究者也指出，目前33%的珊瑚种群可能面临灭亡，同时觉得：“甚至是这里列出的代偿性因素，也不可能使完整的珊瑚礁系统在即将来临的环境剧变中存活下来。”

人们还预测，气候变化以同样显著的方式影响虫媒病及其外部系统。据佛罗里达大学卫生昆虫学实验室（University of Florida Medical Entomology Laboratory）的Walter Tabachnick所言，虫媒病对气候变化极其敏感，并且说：“虫媒病能起到‘矿井中的金丝雀’的作用，是气候变化的第一警报。”但是，人们在预测病害分布以及流行病爆发的变化方面将面临重大的挑战。Tabachnick在概述虫媒病与环境的密切关系时，探讨了气候对虫媒病系统的多方面水平可能产生的影响。Tabachnick关注着蓝舌病病毒和西尼罗河病毒两个关键的例证，强调了虫媒病外部系统的复杂性。他指出，任何一种疾病在新地域的出现都是由多种可能的因素导致的，环境在其中扮演的角色仍不明确。但是，因为环境是这些系统的重要组成部分，为了预测未来事件，我们必须深入理解“控制和影响复杂的传媒-病原体-宿主循环的特定部分的机制。”Tabachnick说。

环境变化并不局限于气候的影响。人类通过砍伐森林、土壤剥蚀等对原始地域的侵蚀也会导致生态系统受到明显的破坏。目前，人们已经明确了砍伐森林对鸟类种群造成的直接影响；但对环境变化通过病害对鸟类种群造成的间接影响还不是很了解。旧金山州立大学（San Francisco State University）的Ravinder Sehgal解释说，鸟类庇护并且传播一些可感染人类的疾病。他探讨了各种病原体对鸟类种群的影响，认为目前还不清楚砍伐森林会导致何等效应。此外，Sehgal出示了环境变化对鸟类流感和疟疾等多种病害的影响的证据，认为“砍伐森林对



鸟类感染性疾病的影响将会是多种多样的，并且在很多情况下未被人们所察觉。”不过，他又指出，我们可以通过观察环境对鸟类病害的影响，了解砍伐森林会导致何等效应。

在总结环境变化和病害之间相互影响这部分内容时，美国科罗拉多大学（University of Colorado）的Pieter Johnson和新西兰奥塔哥大学（University of Otago）的David Thielges讨论了生物多样性的缺失会如何促进群落中疾病的生长的问题。根据Johnson的说法，物种丰富的群落具有消灭病原体传播的潜在能力，例如寄生虫就通过“无用”传播的方式，进入到无法使其转入下一个生命周期的宿主体内。Johnson列出了活跃在生物多样性较低的群落中的病害，其类型从青蛙特有的畸形病到人类的血吸虫病，概述了减少疾病在物种丰富的群落中传播的机制，并列出了在评估某个群落可能出现“疾病稀释”效应时人们必须关注的因素。Johnson还总结说：“我们只是刚刚开始了解多样性对复杂的疾病系统的重要性，”但他又补充说，“许多种群急剧衰退，随之而来的就是其它物种侵入的增加，这些都是疾病动力学所能预期的结果。

参考文献

1. Kathryn Knight. (2010) Effects of climate and environmental change on ecosystems. *The Journal of Experimental Biology*: 862-921.



四、适应力和我们应对变化的预测

适应力即应对变化的能力，是一个广为人知的生态学概念。阿拉斯加州费尔班克斯大学（University of Alaska Fairbanks）的Brian Barnes说明了他个人对巩固适应力理论的生理性反应的兴趣。他解释说：“适应力并非停滞不前，它可以在某个地方停止改变，但同时在停滞之处仍然能够保留自我平衡的联系和起作用的系统，不过两者也可能不在同一处发生。”考虑到许多物种已然在遭遇各种变化，那么适应力将会是促使它们适应急剧变化的环境条件的关键因素。

生存在潮间带的变温物种在某种程度上经受着地球上最极端的日间体温变化。美国加利福尼亚州立理工大学（California Polytechnic State University）的Lars Tomanek表示，潮间带的物种能经受并且能够在日间体温升高超过20℃的条件下生存：这是人类所能承受的最极端升温的4倍。这类耐热物种的生存多数都归功于一种众所周知的热休克反应系统，这种系统能保护蛋白质和细胞免受高温的损害。然而，许多动物都生存在温度已经稳定了几千年的地域中，例如极地海洋动物，似乎已经失去了热休克反应，看上去应该比生存在潮间带的同胞对气候变化更为敏感。由于想知道哪一种海生无脊椎动物将会对全球升温最敏感，Tomanek对文献进行了回顾，发现虽然潮间带的物种已经拥有了构建完善的热休克反应，但它们对气候变化的敏感度与极地物种相同，因为潮间带的种群生存的环境已接近其耐热限度，并且无法加强其热休克反应以对抗比它们目前的最高体温还要高的环境温度。相反，当面临升温时，生存在热环境较为温和的潮下带的物种就能产生热休克反应，因此对气候变化的敏感度较低。



让我们把话题从海生无脊椎动物转到昆虫身上。英国伯明翰大学（University of Birmingham）的Jeff Bale认为，由于越冬昆虫要么能耐受严寒，要么设法避开严寒，所以很容易对其进行分类。不过，事实上，大多数昆虫死于冬季的非严寒期。那么，当冬季气温升高时，越冬昆虫将会受到怎样的影响呢？据Bale预测，当气温的上升范围在1~5℃时，将会使昆虫的存活数目增加；不过，他补充说，这种影响“不可能很普遍”。Bale解释说，目前大雪的覆盖保护了极地昆虫，使之免受致死性的低温威胁。由此，他预测这类物种可能变得更脆弱，因为温度升高，大雪的覆盖也随之消失。升温也可能影响昆虫的生长率，导致一系列关键的生命阶段逐渐与昼长信号不同步，而昼长信号往往可激发生命过渡到下一个阶段。Bale补充说，某些区域将会变热，以至当地昆虫无法生存；他还总结说，全球气温上升对大多数昆虫物种不会产生危害，甚至还有好处，但升温可能会对极地和热带物种产生深刻的影响。

我们已经讨论了物种将可能如何应对气候的改变，而科学家对可能受到最大气候变化威胁的地区作出精确预测也是十分必要的。南卡罗莱纳大学（University of South Carolina）的Brian Helmuth认为，某些因素，例如直接影响某种生物生理性反应的体温，可能与环境的气温几乎没有关系。让我们回到潮间带，而Helmuth等人就认为，生存于其间的贝类的体温依赖于广泛的周围环境因素，例如这些软体动物是否朝阳，云层是否加厚以及风速等。目前，Helmuth正致力于体温“气候学”研究，他描述了自己如何在加利福尼亚州的太平洋丛林镇利用“robomussel”（一种数据记录器）收集生物的体温数据的情形。这项工作始于2000年。Robomussel可每10分钟记录一次数据。Helmuth记述了robomussel的“身体”温度如何显著地不同于环境（例如大气）的温度，然后说：“这些结果强有力地表明了一点：评估某个地域的应力，需要在生态位水平上使用与生理学特性（例如温度）相关的方法或模型。”Helmuth最后总结说：“最重要的任务是从定位、量级和时机方面预测气候变化对生态系统的影响。”并对其利用体温气候学进行测量的方法表示乐观，认为这样做可能提高预测灾害事件的水平。

参考文献

1. Kathryn Knight. (2010) Animal resilience, adaptation and predictions for coping with change. *The Journal of Experimental Biology*: 980-995.



五、前景：在变化中的世界生存

哥本哈根会议未能就减少全球CO₂排放率达成具法律约束性的共识，这几乎能够确定我们将面临更为急剧的全球气候变化。就Malcolm Gordon而言：“关于气候变化是由人类活动引起，还是由其它自然改变引起，与目前我们关注的这个主题关系不大。不过，这种变化正在发生，同时影响着一切——植物、动物以至整个生态系统——并且也将影响大气气候、海洋气候以及当前的物种分布。”Gordon接着指出，一直以来，环境生理学从未更深入地做好准备，以对全球环境保护政策产生影响。但是，研究者却能记录环境变化所产生的结果，证明能够使某些物种适应环境，而另一些物种趋于灭绝的机制。显然，环境生理学将在引领全球应对环境变化的行动中起到关键作用。

参考文献

1. Kathryn Knight. (2010) Survival in a changing world: the future. *The Journal of Experimental Biology*.