



## 为什么磷虾群对全球气候很重要

Anna Belcher<sup>1\*</sup>, Emma L. Cavan<sup>2</sup> 和 Geraint A. Tarling<sup>1</sup>

<sup>1</sup>英国南极调查局生态系统团队 (英国, 剑桥市)

<sup>2</sup>伦敦帝国理工学院生命科学系西尔伍德公园校区 (英国, 伦敦市)

### 少年审稿人

ST. MARY'S



HIGH  
SCHOOL

年龄: 14

### 浮游植物

(Phytoplankton)

微观植物状藻类。

### 浮游动物

(Zooplankton)

游泳动作小的动物会随着洋流/风驱动的洋流漂流。

海洋生物通过吸收大气中的二氧化碳, 以沉降颗粒物的方式将它们存储在深海中来降低大气中的二氧化碳水平。南极磷虾生活在南冰洋, 一般是一群群出现的。值得一提的是, 它们可以大量产生快速下沉的粪便 (称为粪便串), 这意味着在这些虾群游过的下方, 我们会看到有一堆粪便落下, 迅速将碳沉入深海。我们通过估算磷虾数量和每只磷虾产生的粪便串数量来计算磷虾降低大气中的碳量。根据计算得出, 生活在海冰附近的南极磷虾每年从表层海洋中去除 3900 万吨碳。这大约相当于 1 亿只北极熊的重量! 因此, 磷虾不仅是鲸鱼和企鹅的重要食物, 也是我们气候的重要工程师, 因此我们需要保护磷虾。

### 吸收碳的生物海绵

我们的海洋不仅是一个奇妙的游乐场, 让我们享受游泳和各种有趣的活动, 它们在我们的气候中也起着重要作用。海洋中到处有神奇的生命, 感谢海洋中微小的植物 (浮游植物), 我们才能呼吸到氧气! 事实上, 如果没有海洋生物, 二氧化碳的水平将比今天高约 50% [1]。就像陆地上的树木一样, 海洋中的浮游植物吸收二氧化碳, 并利用阳光制造它们生存所需的食物。通过这个过程, 碳被锁定在植物细胞中, 然后被浮游动物和磷虾等海洋生物吃掉。就像陆地上的所有动物一样, 海洋动物

### 粪便串 (Fecal string)

南极磷虾等动物产生的粪便，管状膜内含有大量部分消化的食物，通常含碳量较高。

### 南极磷虾 (Antarctic krill)

生活在南极洲周围水域的游泳甲壳类动物。

### 图 1

(A) 南极磷虾 (从眼睛到尾巴的总长度, 60 毫米)。  
(B) 沉没冠军: 磷虾粪便。磷虾粪便串结构紧凑, 其流线形状意味着它们可以快速沉入海洋。它们经常形成如图所示的长链。  
(C) 用于捕获下沉粪便的收集器之一。

不会消耗掉所有吃进去的食物，没有用掉的部分会以粪便的形式排出体外！它们的粪便（称为**粪便串**）就像装满碳的小鱼雷沉入海洋，带着这些碳与大气隔离开。这对于减少大气中的二氧化碳是个好消息！

不幸的是，深海中有许多动物正在寻找从上方降落的美味小吃。磷虾的粪便串和死亡的海洋植物和动物遗体沉入海洋，大部分都被沿途的动物吞食。这意味着只有大约 1% 的沉降颗粒最终到达海底。一旦到达海底，这些颗粒中的碳可以被埋藏并封存在沉积物和岩石中，数百万年都不会释放。只要有更多的碳汇入沉积物中，大气中的碳含量就会降低，这对我们的气候非常有益！颗粒物下沉得越快，它就越快能够被深海动物吃掉，这样它的碳就可以更多地达到海底。事实证明，在粪便下沉速度方面，并不是所有动物都生而平等的！

### 磷虾粪便：奥林匹克级别的下沉冠军

**南极磷虾**是一种可以水里游泳的甲壳动物（与螃蟹、龙虾和对虾属于同一动物家族），其体长可长达约 7 厘米，在野外可以生存 5-6 年（图 1A）。它们仅存在于南极洋，即环绕南极洲的广阔海洋区域。磷虾是强大的游泳者，能在世界上一些最强大的洋流中逆流而上。事实上，磷虾一生中从不停止游泳。这需要大量的能量，所以它们必须通过每天食用相当于体重的 10% 重量的食物来提供能量。这相当于我们每天吃 12 顿丰盛的饭菜。然而，与汉堡和薯条不同，磷虾的食物主要是植物，特别是一种名为硅藻的富含能量和营养脂肪的浮游植物。

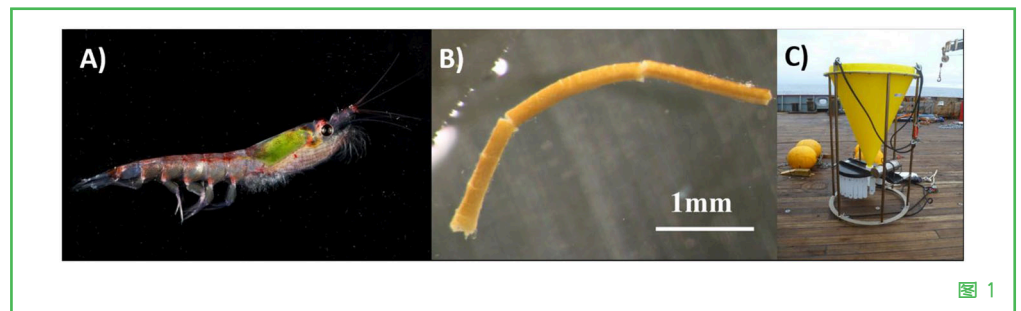


图 1

所有这些进食会产生大量的粪便。磷虾令人惊叹的一个特点是它们的粪便会以长链的形式存在，称为**粪便串**（图 1B），这些粪便串可以以每天数百米的速度迅速沉入海洋。虽然不及奥林匹克短跑的速度，但它们足以在任何粪便下沉比赛赢得奖牌。在南大洋的一些地区，我们在海洋中留下的捕捉收集器中发现了许多磷虾的粪便串。我们将这些捕捉收集器以一条线排列方式固定在海床上。捕捉收集器本质上是一个大漏斗，可以捕捉所有的下沉颗粒，并将它们收集在底部的样品杯中（图 1C）。有时样品中可能充满了磷虾的粪便串，而其他物质很少，我们认为这是因为在捕捉收集器上方的区域中有数百万只磷虾聚集在一起，形成一个磷虾大群体。

### 浮游植物水华 (Bloom)

因快速繁殖而导致海洋植物高度集中的海洋区域。

### 边缘冰区 (Marginal ice zone (MIZ))

浮冰和公海之间的过渡区，那里有不同数量的冰和公海。

## 磷虾群：大即是美

关于磷虾的一个迷人之处是它们与成百万的伙伴聚集在一起形成群体，这使它们更擅长将碳转移到深海。其中一些群体非常庞大，可以延伸到约 100 平方公里的区域 [2]，这大约是英国泽西岛的大小。磷虾更喜欢在群体中生活，而不是单独游泳，而且似乎喜欢在尽可能大的群中生活。大约 90% 生活在南大洋的磷虾聚集在相对较少的几个大型群体中 [3]。身处于群体中可以保护它们免受众多捕食磷虾生物的威胁，比如企鹅、海豹和鲸鱼。这也有助于它们发现散布在海洋中各处的豪华大餐（浮游植物水华）；相比起形单影只的磷虾，有多双眼睛和触角一定会更有利。这些罕见但巨大的群体不仅对于以它们为食的南大洋野生动物来说非常重要，而且对于将碳转移到深海也很重要，因为大量的磷虾意味着大量的下沉粪便！

## 磷虾运碳公路

庞大的磷虾群体在海洋中游动，以它们路过的任何浮游植物群落为食。这些群体中磷虾的数量庞大，意味着在这场饕餮盛宴中，会有大量的粪便串从磷虾群上方降下来。巨大数量的粪便串意味着在下方的食粪动物（如鱼类和浮游动物）根本无法及时消耗掉粪便供应，就像在寿司店里尝试倍速大口吃下巨大盘子里的食物！由于食粪动物不堪重负，大部分粪便串没能被吞食而沉入深海，随着一起下沉的还有碳（图 2）。

当磷虾群体在靠近海表的浮游植物上进食时，会产生大量迅速下沉的粪便串，这样大量的碳就能够进入深海。有时粪便串的数量多到深海中的食粪动物无法全部捕捉到。这意味着大量的粪便串能够带走了大量的碳到达深海。

由于这些磷虾群体相对较少且分散，所以很难捕捉到这些罕见的沉降事件，但我们认为它们可以将大量碳转移到深海 [4]。我们希望找到一种方法来估计产生的粪便串数量，这样我们就可以预测它们会将多少海洋表面的碳转移。我们特别关注南大洋的一个区域叫边缘冰区 (MIZ)。边缘冰区是海冰在开放海洋开始散开的地方。我们关注边缘冰区是因为那里的条件非常适合产生快速下沉的粪便串，因为那里有大量浮游植物群落和大量磷虾。边缘冰区的位置随季节变化而变化，因为冰的范围在冬季扩大，在夏季融化。我们计算中也使用了卫星图像来确定典型年内边缘冰区的大小（图 3）。

下一步是确定边缘冰区 (MIZ) 中有多少磷虾。在过去的十年里，我们已经主要采用船后拖渔网的方式对南大洋磷虾数量进行了多种测量 [5]。我们汇总了所有在边缘冰区进行的渔网捕获记录，并估计了这些区域典型年内磷虾的总数量。

图 2

磷虾粪便碳公路。

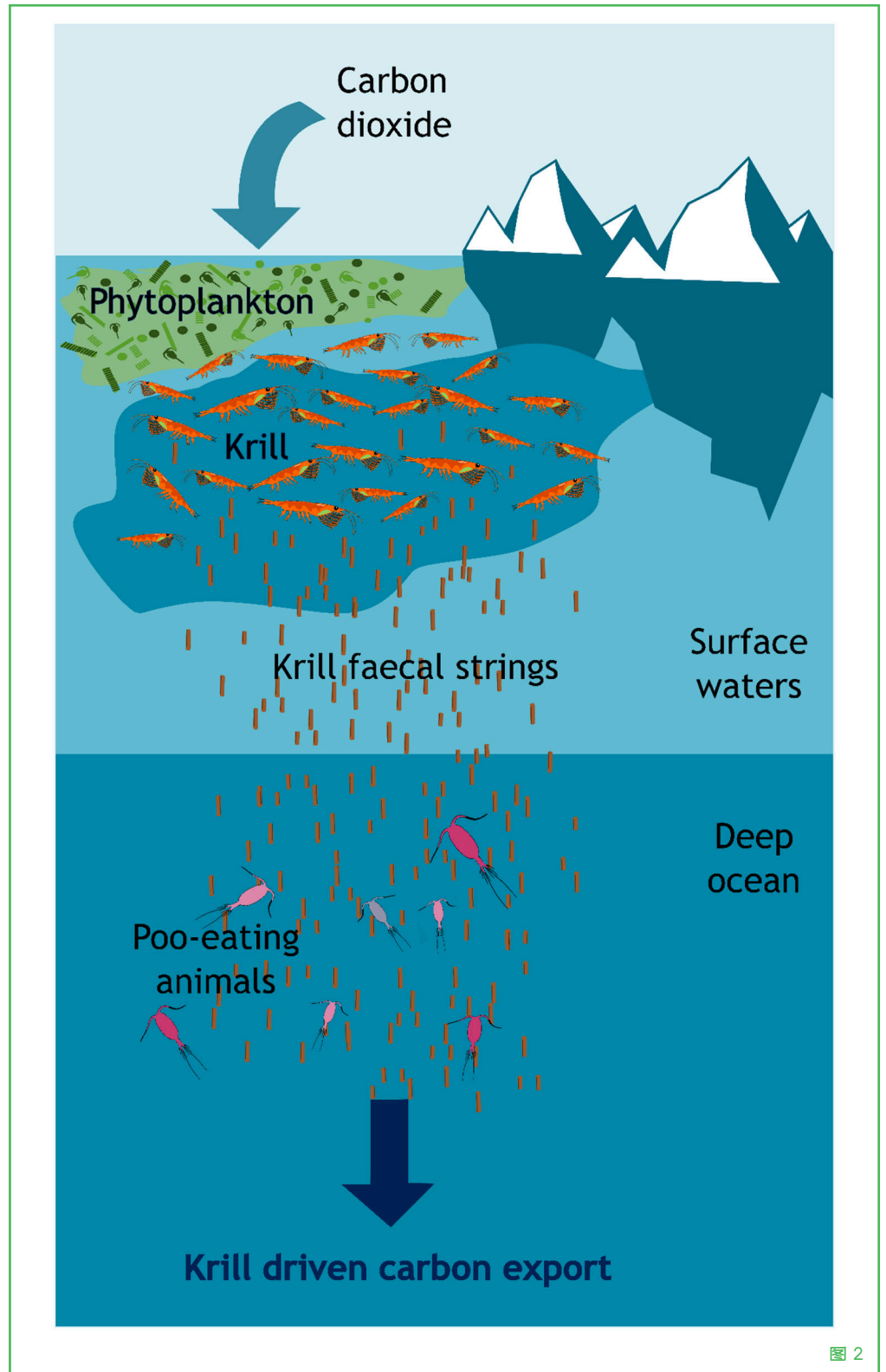


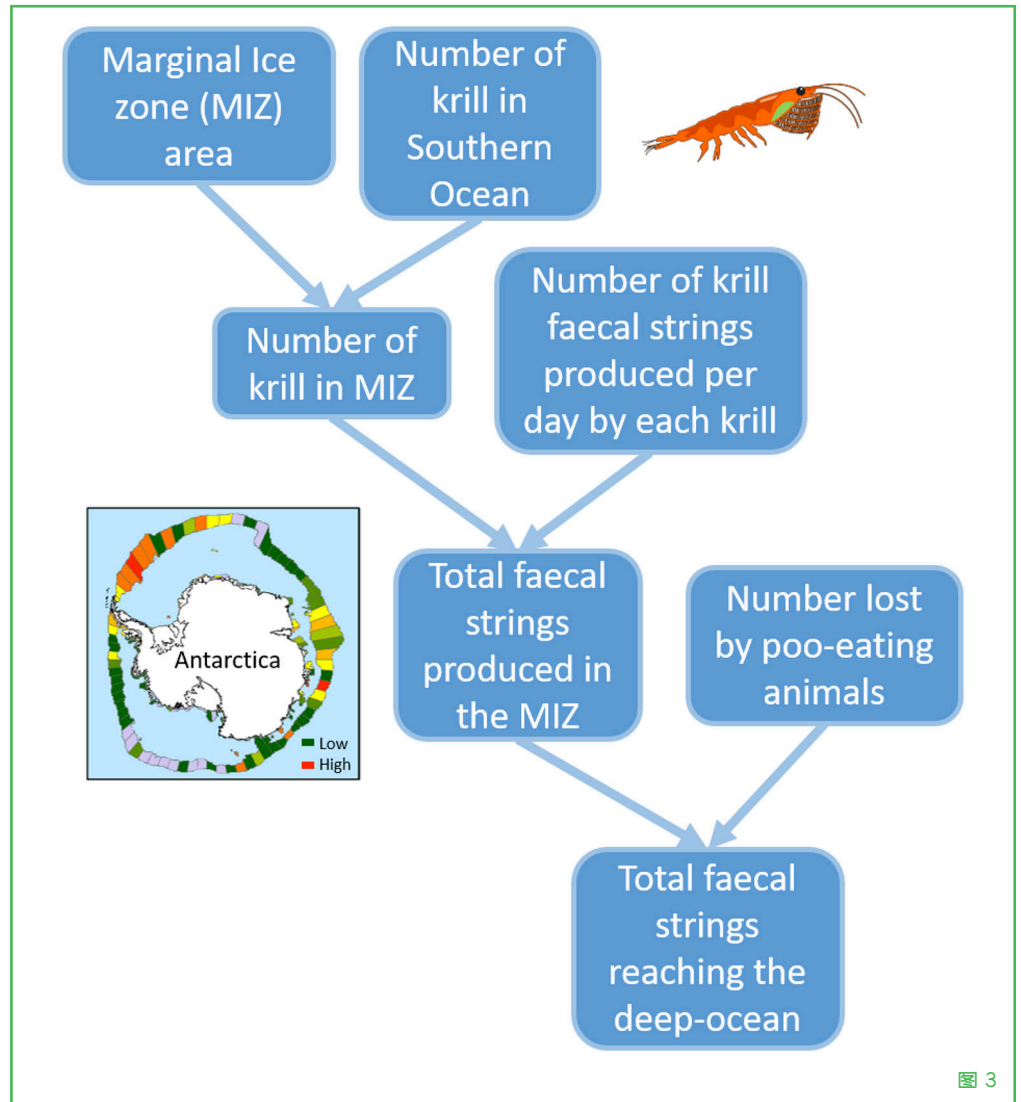
图 2

计算的最后一部分是计算一只磷虾平均产生多少粪便串。我们使用了许多不同科学团队的信息，这些团队圈养了磷虾并喂养它们，然后测量了它们产生的粪便串的数量、大小和下沉速度 [6]。



图 3

模型中的步骤是用来估计那些成功离开表层海洋并将碳带入深海的磷虾粪便串数量。这个过程有利于减少大气层的碳含量！左边的地图显示了我们在南极洲周围的边缘冰区发现磷虾数量较多（红色）和较少（绿色）的地方。



通过将这些证据综合起来，我们能够估计有多少粪便串能够从海洋表面沉下来，更重要的是它们带走了多少碳。根据我们的可靠估计，生活在边缘冰区的南极磷虾每年通过它们的粪便将 3900 万吨碳转移到深海中。这是我们最保守的估计，因为许多磷虾生活在边缘冰区之外的其他地区。然而，这个保守估计表明，南极磷虾通过它们的粪便转移的碳量等于目前英国所有汽车、公共汽车、火车甚至飞机排放的碳总量！因此，这些爱社交又能吃浮游植物的生物仅仅通过每天必做的粪便排泄，就成为了重要的气候工程师。

一旦来自磷虾或其他动物或鱼类的粪便进入深海，它将在那里停留 10 年、100 年甚至 1,000 年！这对于气候非常重要，因为这意味着碳被锁定在深海中，无法以二氧化碳的形式返回大气层，而二氧化碳正是导致地球迅速变暖的原因。在海洋中研究动物可能很困难，我们才刚刚开始了解它们的粪便有多重要。因此，我们在从海洋中索取资源的时候，要谨慎衡量对海洋生态系统的影响，这不仅是因为磷虾是许多动物的重

要食物，更因为它们的粪便可能对气候具有重要意义！然而当你下次身处风暴中时，要庆幸掉在你头上的只有水！

## 致谢

我们要感谢小读者 Arwen Tarling 对本文的审阅及意见。

## 原文

Belcher, A., Henson, S. A., Manno, C., Hill, S. L., Atkinson, A., Thorpe, S. E., et al. 2019. Krill faecal pellets drive hidden pulses of particulate organic carbon in the marginal ice zone. *Nat. Commun.* 10:889. doi: 10.1038/s41467-019-08847-1

## 参考文献

1. Parekh, P., Dutkiewicz, S., Follows, M. J., and Ito, T. 2006. Atmospheric carbon dioxide in a less dusty world. *Geophys. Res. Lett.* 33:L03610. doi: 10.1029/2005GL025098
2. Tarling, G. A., and Fielding, S. 2016. “Swarming and behaviour in Antarctic krill,” in *Biology and Ecology of Antarctic Krill*, ed V. Siegel (Cham: Springer). p. 279-319. doi: 10.1007/978-3-319-29279-3\_8
3. Tarling, G. A., Klevjer, T., Fielding, S., Watkins, J., Atkinson, A., Murphy, E., et al. 2009. Variability and predictability of Antarctic krill swarm structure. *Deep Sea Res. Part I* 56:1994–2012. doi: 10.1016/j.dsr.2009.07.004
4. Belcher, A., Henson, S. A., Manno, C., Hill, S. L., Atkinson, A., Thorpe, S. E., et al. 2019. Krill faecal pellets drive hidden pulses of particulate organic carbon in the marginal ice zone. *Nat. Commun.* 10:889. doi: 10.1038/s41467-019-08847-1
5. Atkinson, A., Hill, S. L., Pakhomov, E. A., Siegel, V., Reiss, C. S., Loeb, V. J., et al. 2019. Krill (*Euphausia superba*) distribution contracts southward during rapid regional warming. *Nat. Clim. Change* 9:142-7. doi: 10.1038/s41558-018-0370-z
6. Clarke, A., Quetin, L. B., and Ross, R. M. 1988. Laboratory and field estimates of the rate of faecal pellet production by Antarctic krill, *Euphausia superba*. *Mar. Biol.* 98:557-63. doi: 10.1007/BF00391547

线上发布: 2023 年 11 月 10 日

编辑: [Laura Lorenzoni](#)

科学导师: [L. M. Allen-Jacobson](#)

引用: Belcher A, Cavan EL 和 Tarling GA (2023) 为什么磷虾群对全球气候很重要. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2020.518995-zh

英文原文: Belcher A, Cavan EL and Tarling GA (2020) Why Krill Swarms Are Important to the Global Climate. *Front. Young Minds* 8:518995. doi: 10.3389/frym.2020.518995

**利益冲突声明:** 作者声明, 该研究是在没有任何可能被解释为潜在利益冲突的商业或财务关系的情况下进行的。

版权 © 2020 © 2023 Belcher, Cavan 和 Tarling. 这是一篇依据 [Creative Commons Attribution License \(CC BY\)](#) 条款发布的开放获取文章。根据公认的学术惯例, 在注明原作者和版权所有者, 及在标明本刊为原始出处的前提下, 允许使用、传播、复制至其他平台。如违反以上条款, 则不得使用、传播或复制文章内容。

## 少年审稿人



**ST. MARY'S HIGH SCHOOL, 年龄: 14**

圣玛丽学校是一所天主教大学预科学校, 招收来自波士顿北岸 30 多个社区的 6 至 12 年级学生。该校旨在塑造真正有才华和信仰的各性别学生。荣誉生物学课程侧重于培养科学探究技能, 这些技能帮助到学生的整个学术经历。对于我们的学生来说, 直接参与同行评审过程是一次很棒的经历, 我们也期待看到最终的成果。

## 作者

**ANNA BELCHER**

我来自英国剑桥市的英国南极调查局, 是一名海洋科学家。我对海洋生物参与全球碳循环以及清除大气中的二氧化碳的方式非常感兴趣。我特别想要研究南极磷虾、生活在黑暗海洋中的鱼类、桡足类动物在深海过冬所吃的食物和它们的重要性。当我不在办公室或出海收集数据时, 我会把时间花在攀岩、骑自行车和享受户外野外生活上。  
[\\*annbel@bas.ac.uk](mailto:annbel@bas.ac.uk)



**EMMA L. CAVAN**

我研究生活在海洋和河流中的动植物与环境相互作用的方式。我现在在伦敦帝国理工学院工作, 之前在塔斯马尼亚大学 (澳大利亚) 工作了两年。我作为博士的第一项研究是研究浮游生物粪便在海洋碳循环中的重要性, 因此我经常被称为浮游生物粪便博士! 我的主要科研兴趣是气候变化影响我们环境和海洋健康的方式。在业余时间, 我喜欢抽空去英国海岸玩, 在我的狗去追鸟儿的时候阻止它, 在沙发上放松, 或者去个不错的老式英式酒吧!



**GERAINT A. TARLING**

我是英国南极调查局的一名生物海洋学家。我在南北两极工作, 调查居住在阳光照射海洋区域和黄昏海洋区域范围的动物。这些生物的范围包括微小的浮游动物到深海鱼类, 还包括凝胶状生物、磷虾和翼足类动物 (海蝴蝶)。我对它们的行为特别感兴趣, 尤其对它们每天从海洋深处到海面的迁徙感兴趣。我还感兴趣的是, 这些群落从海洋上层转移到海洋深处的碳量以及这一过程在二氧化碳减排方面对人类帮助的效果。在极地进行长途航行时, 我会通过拉手风琴和观察野生动物来打发空闲时间。

