



## 蜣螂：生态系统健康的指示者和支持者

**Paul Manning<sup>1</sup>, Xin Rui Ong<sup>2</sup>, Eleanor M. Slade<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Dalhousie University, Canada

<sup>2</sup>Asian School of the Environment, College of Science, Nanyang Technological University, Singapore

### 小审稿人



**FDR-HB\_**  
**PERU IGEM**  
**TEAM**  
14-17岁

蜣螂是一种主要利用哺乳动物的粪便（大便）来觅食和筑巢的昆虫。这些甲虫对于粪便的分解及回收到土壤中是非常重要的，使粪便中的营养物质（如碳和氮）能够在生态系统中循环。蜣螂为自然和人工生态系统的健康和功能提供了许多帮助，如散播种子、减少牲畜寄生虫、促进植物生长及减少粪便的温室气体排放等。在这篇文章中，我们将探讨蜣螂的基本生活史，然后再深入探讨蜣螂在热带森林和农业生态系统中的重要性。

## 蜣螂基本知识

许多读者会从自然纪录片中了解蜣螂。一旦你看到一只甲虫熟练地滚动一团粪便（动物粪便），这种景象就很难忘记。除南极洲外，世界上大多数地方都有蜣螂（图1A-D）。这类甲虫因其以哺乳动物粪便为食物，并用粪便筑巢而得名（虽然有些种类的蜣螂选择腐烂的肉、真菌、水果，甚至是死掉的干足虫和蚂蚁）。蜣螂和所有的甲虫一样，有两对翅膀：一对灵活的内部翅膀用于飞行，另一对坚固的外部翅膀作为盔甲。所有的蜣螂都有触角，触角两端变宽，形成杆状。一些物种的雄性有令人印象深刻的角，它们在争夺雌性时使用（图1C）。世界上有超过7000种不同的蜣螂，而且每年都有新物种被发现。

### 图 1

温带和热带环境中的蜣螂实例。

(A) *Aphodius rufipes* 是一个夜间活动的物种，在农业生态系统中大量存在。它是蝙蝠的一个重要食物来源。

(B) *Onthophagus coenobita* 出现在农业生态系统中，经常携带并在粪便间运送微小的螨虫。

(C) 雄性 *Proagoderus watanabei*，一种发现于马来西亚沙巴州的隧道挖掘物种，以粪便为食。

(D) *Paragymnopleurus maurus*，一种在马来西亚沙巴州发现的滚动物种，正用后腿把粪球推到安全地带。

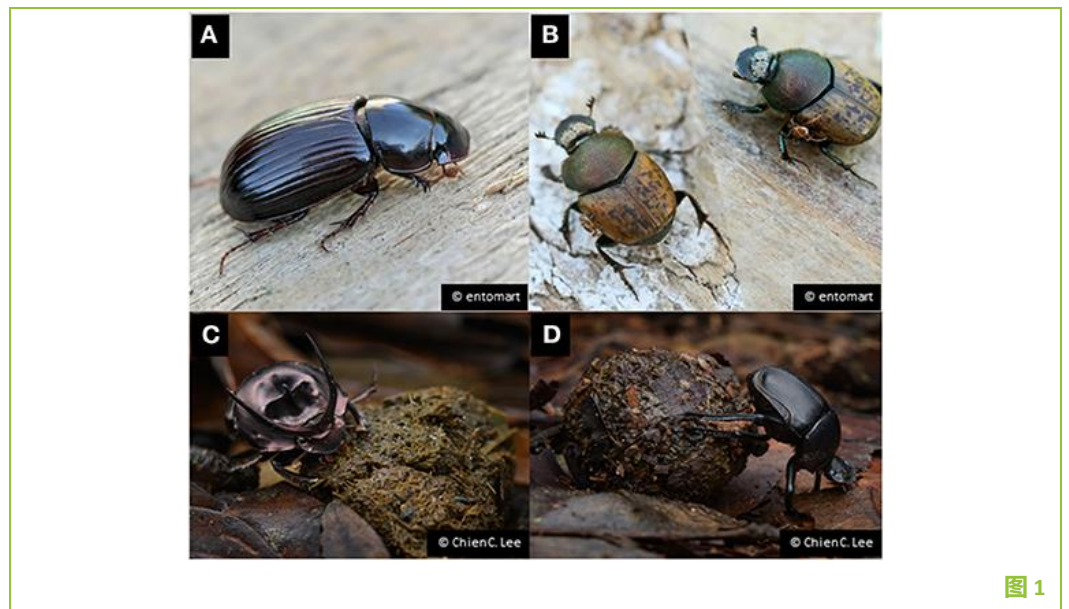


图 1

根据觅食和筑巢习惯，蜣螂可分为三大类（图2）。第一类是居住者甲虫。居住者在粪便中很快定居，交配并产卵。一旦孵化，幼虫（甲虫的未成熟形式）的整个发育过程都在作为家和食物来源的粪堆中进行（图2A）。第二类是隧道甲虫。雌性隧道甲虫在土壤中挖掘隧道，把小块的粪便拖进隧道并让其形成块状，称为育雏球。然后，雄性为雌性而竞争，并保护隧道，直到雌性交配并在粪便中产卵（图2B）。然后是滚粪甲虫。雄性用后腿将粪便打成一个球。如果粪球符合雌性的要求，雄性就会把粪球滚开并埋在土壤中。然后雌性在球内产卵，其幼虫的整个发育过程都在土壤度过并以粪球为食（图2C）。无论蜣螂使用哪种方法觅食和筑巢，它的活动都会将**有机物**添加和混合到土壤中，这对其他土壤动物和微生物极为重要，并为植物根系提供了大量的营养物质。

### 有机物

从植物、真菌和动物等死亡有机体的残骸中提取的化合物。

图 2

蜣螂使用的三种不同筑巢策略。(A) 居住者甲虫直接将卵产在粪便中，幼虫在粪便中度过整个发育过程。(B) 隧道甲虫在土壤中挖掘隧道，在隧道中形成小的粪球（育雏球），雌性将卵产在育雏球中，幼虫将在那里觅食。(C) 滚粪甲虫打造一个粪球，将其运送并埋入安全区域的土壤中，然后在粪球中产卵。

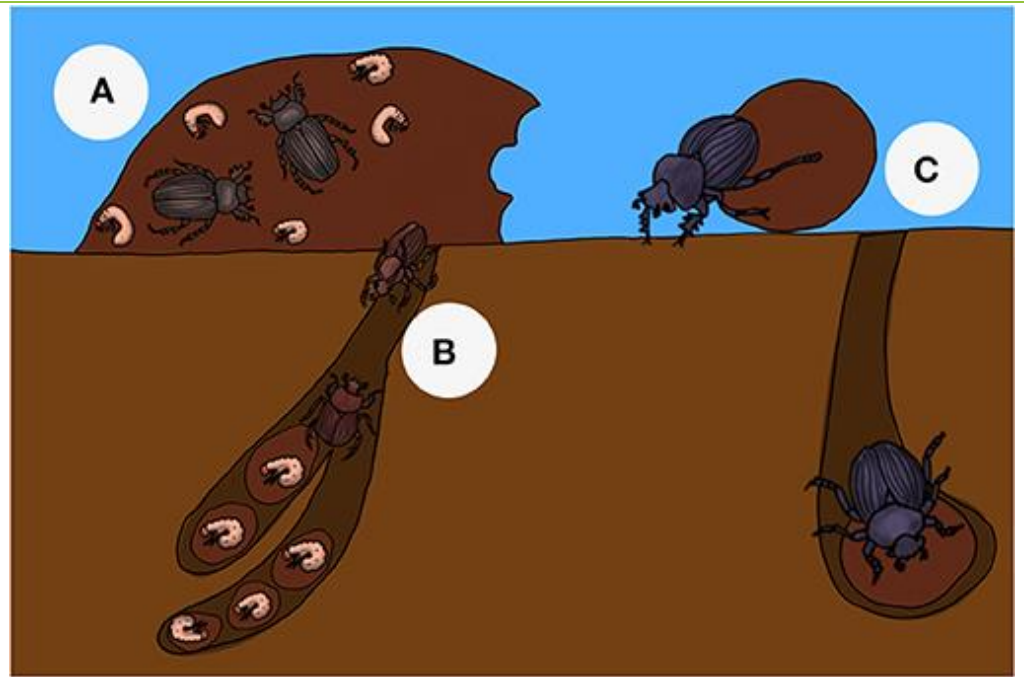


图 2

## 热带森林生态系统中的蜣螂

哺乳动物与以其粪便为食的蜣螂形成了相互作用的网络，并且哺乳动物和蜣螂都与在粪便中散播种子的果实植物有相互作用（图3A）。如果一些哺乳动物灭绝了，这可能会影响到以其粪便为食的蜣螂以及由哺乳动物和蜣螂帮助散播种子的果实植物的分布[1]（图3B）。我们一直在研究巴西、新加坡和马来西亚热带森林中的哺乳动物和蜣螂之间的相互作用。这些热带森林由于砍伐、破碎化和捕猎，已经失去了生物多样性。我们预计，随着森林受到更多的干扰、破碎化程度更大，哺乳动物和蜣螂的物种数量将减少，并且与健康的大型热带森林相比，在受干扰地区和孤立的森林斑块中，哺乳动物、蜣螂和果实植物之间复杂的相互作用会变得更简单。

为了验证我们的预测，在从森林到油棕榈种植园的各种生境中设置了以不同哺乳动物的粪便为诱饵的陷阱。我们观察了大面积的连续森林和小面积的森林斑块，然后统计并确定了每个栖息地中被每种粪便吸引的甲虫。我们发现热带森林的蜣螂-哺乳动物网络具有相当强的弹性，这意味着它们不会因伐木和破碎化发生太大变化。我们认为这是因为蜣螂对它们所吃的粪便种类不是很挑剔，虽然许多甲虫有一种偏爱的食物类型，但很少有甲虫只选择单一的食物类型。因此，如果一个地区丧失了一种哺乳动物，大多数蜣螂可以简单地把它们的食物换成另一种哺乳动物的

### 破碎化

被分割成小块的过程。

### 生物多样性

地球上生命的多样性。

### 弹性

能够承受环境变化的性能。



粪便（图3b），我们发现一些蜣螂甚至以蟒蛇粪便为食。尽管蜣螂-哺乳动物网络在中度干扰的生境中是有弹性的，但我们发现在严重干扰的生境（如油棕榈种植园和小型孤立的森林斑块）中网络变简单了：蜣螂物种减少了，蜣螂和哺乳动物之间的相互作用也减少了[2]（图3c）。

图 3

在(A)未受干扰的生态系统，(B)中度干扰或破碎的生态系统，以及(C)严重干扰或破碎的生态系统中，哺乳动物、蜣螂和种子之间简化的相互作用。物种的丧失和相互作用以灰色表示。有三种类型的相互作用：  
1) 哺乳动物-种子——只有哺乳动物散播种子；  
2) 哺乳动物-蜣螂——没有种子散播；  
3) 哺乳动物-蜣螂-种子——哺乳动物和蜣螂都散播种子。在中度干扰或破碎的生态系统 (B) 中，蜣螂可以改变其取食偏好，选择不同的粪便；但在严重干扰或破碎的生态系统 (C) 中，这种情况不会发生，所以甲虫和他们的相互作用就会消失。

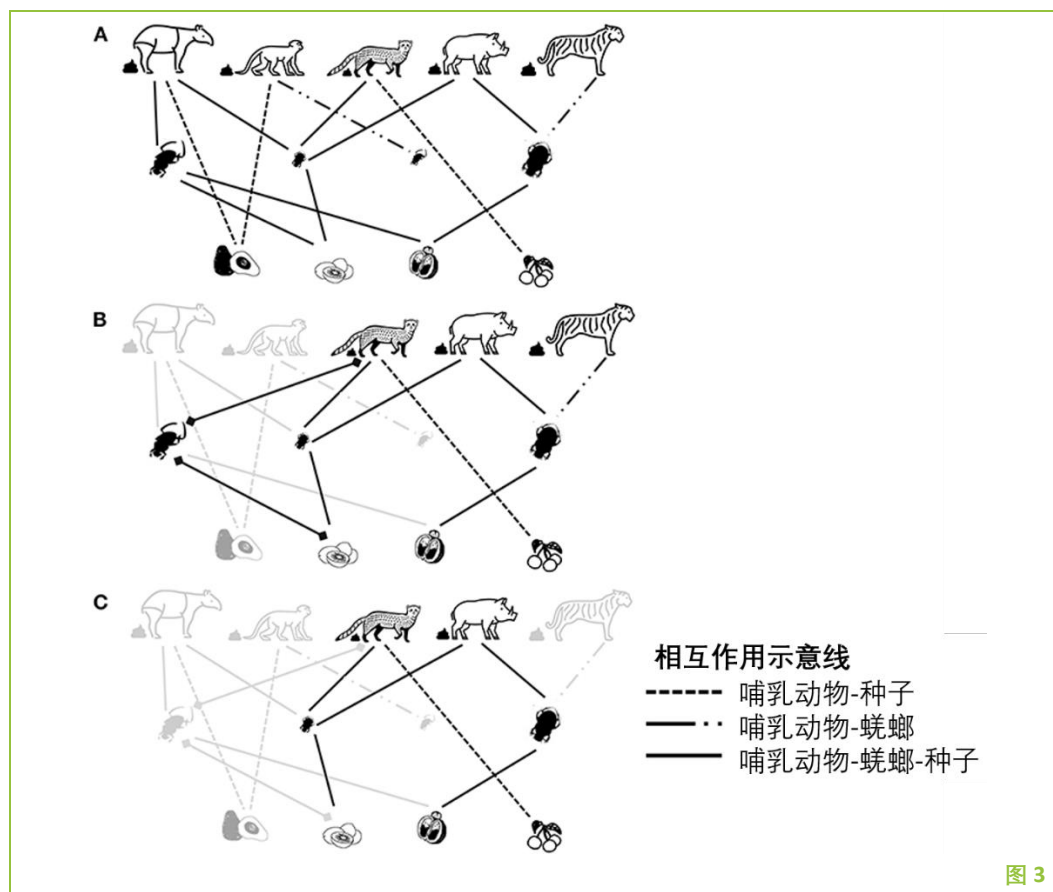


图 3

通过使用以粪便为诱饵的陷阱来捕捉甲虫，只能告诉我们甲虫是否被粪便吸引，但不能告诉我们这些甲虫是否真的以该类型粪便为食，并且我们也只能用容易找到的哺乳动物（如动物园里饲养的动物）的粪便作为诱饵。幸运的是，新的实验室方法使我们能够准确地知道甲虫以哪种哺乳动物的粪便为食。我们目前的工作是解剖甲虫的肠道，分析甲虫肠道内容物的遗传物质。这种方法使我们能够确定甲虫在被捕获之前是以哪些哺乳动物的粪便为食。我们希望能够记录更完整的网络，包括罕见的或难以研究的哺乳动物物种，以及哺乳动物和生活在森林树冠上的蜣螂之间的相互作用——是的，树冠上也有蜣螂！

## 农业生态系统中的蜣螂

蜣螂是农业生态系统的重要成员，许多研究人员探讨了蜣螂如何帮助支持粮食生产[3]。例如，叮咬和干扰奶牛与其他农场动物的苍蝇在粪便中

## 生态系统

生活在特定地点的动物、植物、细菌和真菌以及该环境的非生物成分的群落。

## 线虫

一组蠕虫，也被称为蛔虫，存在于土壤和水生环境中，可能是植物和动物的寄生虫。

## 杀寄生虫剂

杀死动物寄生虫的药物。

产卵，未成熟的苍蝇幼虫在孵化后以粪便为食，但蜣螂通过掩埋农场动物的粪便，使苍蝇无法繁殖，从而有助于保持绵羊、奶牛和马等农场动物的健康。

蜣螂还有助于减少农场动物的寄生虫感染。寄生**线虫**是一种微小的蠕虫，牧场动物取食时可能会感染到寄生线虫。线虫在动物体内繁殖，它们的卵会随动物粪便排泄出来。当卵孵化后，幼虫迁移到草地上，被草食动物（如牛或羊）摄取，从而迅速提高感染率。蜣螂在粪便中穿行会导致粪便变干，从而杀死虫卵，并减少了牧场中寄生线虫及受感染的动物的数量。这种穿行作用还有助于营养物质在土壤中的流动，从而使它们能够被植物利用。因为蜣螂相对较小，而且很隐蔽，所以许多农民甚至不知道他们的农场里有蜣螂。尽管蜣螂体型小，但仅在英国，蜣螂每年为养牛业节省了约3.67亿英镑[4]！

蜣螂对牧场管理方式很敏感。在一项研究中，科学家从爱尔兰的一系列养牛场收集了蜣螂[5]。他们比较了使用人工化肥和杀虫剂的传统农场和既不使用人工化肥也不使用杀虫剂的有机管理农场。发现，与其他类型的农场相比，有机农场的蜣螂数量和种类更多，种类繁多的蜣螂可以促进植物生长，但没有改善土壤中的气穴数量[6]。

**杀寄生虫剂**对生活在农业生态系统中的蜣螂也造成严重的威胁。杀寄生虫剂是给农场动物使用的化学品，使它们免受寄生虫（如蜱虫、跳蚤和线虫）的侵害。寄生虫通过取食动物血液并传播疾病来伤害动物。杀寄生虫剂通常随动物粪便排泄出来，因此，当蜣螂以粪便为食时也会被杀寄生虫剂影响。我们发现一种常用于治疗农场动物的杀寄生虫剂会杀死蜣螂或阻止它们繁殖，这影响了蜣螂的健康并减少了蜣螂的数量以及它们掩埋粪便的量[6]。农民可以通过使用更少的杀寄生虫剂来保护蜣螂（如只治疗那些寄生虫数量较多的动物，或者选择对蜣螂毒性较小的治疗方法）。

## 珍贵而迷人的蜣螂

蜣螂是很珍贵的，它们在自然和农业生态系统中具有许多重要的生态作用，并能帮助我们更多地了解生态系统的健康状况。例如，因为蜣螂与哺乳动物有关，所以如果我们注意到一些蜣螂物种从森林中消失，这表明森林中的哺乳动物可能也在消失。蜣螂和其他土壤动物为土壤和植物提供所需营养。由于化学和环境的干扰，蜣螂和其他土壤动物的消失将

导致土壤变得贫瘠，许多植物的种子将无法散播或生长。蜣螂表现出的许多不同行为使它们成为众多行为研究的焦点，其研究结果包括蜣螂利用银河系进行导航，以及一种植物的种子通过进化成羚羊粪的样子和气味来欺骗甲虫，让甲虫帮助其散播。无论你在哪里发现这些迷人的生物，都要睁大眼睛，因为你永远不知道你会有什么发现。

## ACKNOWLEDGMENTS

We were grateful to Chien C. Lee for allowing us to use his photos of dung beetles taken in Sabah, Malaysia—his photography can be found at [www.chienclee.com](http://www.chienclee.com).

## 参考文献

- [1] Raine EH, Slade EM. 2019 Dung beetle–mammal associations: methods, research trends and future directions. *Proc. R. Soc. B* 286: 20182002. doi:10.1098/rspb.2018.2002
- [2] Ong XR, Slade EM & Lim MLM. Dung beetle-megafauna trophic networks in Singapore's fragmented forests. *Biotropica*. In press. doi:10.1111/btp.12840
- [3] Nichols, E., Spector, S., Louzada, J., Larsen, T., Amezquita, S., Favila, M., & The Scarabaeinae Research Network. (2008). Ecological functions and ecosystem services of Scarabaeinae dung beetles. *Biological Conservation*, 141, 1461-1474. doi:10.1016/j.biocon.2008.04.011
- [4] Beynon, S. A., Wainwright, W. A., & Christie, M. (2015). The application of an ecosystem services framework to estimate the economic value of dung beetles to the UK cattle industry. *Ecological Entomology*, 40, 124-135. In review
- [5] Hutton, S. A., & Giller, P. S. (2003). The effects of the intensification of agriculture on northern temperate dung beetle communities. *Journal of Applied Ecology*, 40(6), 994-1007.
- [6] Manning, P., Slade, E. M., Beynon, S. A., & Lewis, O. T. (2017). Effect of dung beetle species richness and chemical perturbation on multiple ecosystem functions. *Ecological Entomology*, 42(5), 577-586.

**EDITED BY:** Helen Phillips, German Centre for Integrative Biodiversity Research (iDiv), Germany

**CITATION:** Manning P, Ong XR and Slade EM (2021) Soil Ecosystems Change With Time. *Front. Young Minds*. 9:543498. doi: 10.3389/frym.2021.543498

**CONFLICT OF INTEREST:** The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

**COPYRIGHT** © 2021 Manning, Ong and Slade. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY). The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) and the copyright owner(s) are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

## 小审稿人



### FDR-HB\_PERU iGEM TEAM, 14-17岁

We are a synthetic biology team with the international Genetically Engineered Machine (iGEM) in Lima, Peru. We are the only high school team in Latin America and are proud of our work with creating a detector for cadmium using bacteria. Most of us are second language learners and the age range of our group is 14–17 years old. We love GMOs!

## 小审稿人 (翻译及校稿)

### 苏柏宇, 10岁

福建省厦门外国语学校集美分校

## 作者

### PAUL MANNING

Paul是达尔豪斯大学农学院的一名博士后研究员。他拥有新斯科舍省农学院的农业学士学位，以及牛津大学的动物学博士学位。自2013年以来，他一直从事蜚螂生态学和毒理学研究。他的研究旨在了解昆虫群落如何在农业生态系统中支持生态系统功能（如粪便分解）。Paul还通过向社区团体演讲，与年轻人合作，以及通过参与式公民科学进行研究来提升公众对昆虫的理解和欣赏。



### XIN RUI ONG

Xin Rui是南洋理工大学亚洲环境学院的一名博士生。她毕业于新加坡国立大学环境生物学专业，获得生命科学学士学位。Xin Rui在本科期间第一次接触到迷人的蜚螂世界，现在正在研究东南亚地区蜚螂的多样性以及它们与哺乳动物群落的相互作用。



### ELEANOR M. SLADE

Eleanor是亚洲环境学院的一名助理教授。她拥有利兹大学的动物学学士学位，阿伯丁大学的生态学硕士学位，以及牛津大学的动物学博士学位。Eleanor是一位生态学家，其研究重点是热带森林景观和农业系统的保护、管理和恢复。她对无脊椎动物特别感兴趣，17年来一直在研究蜚螂及其对健康生态系统的重要性。Eleanor还对为油棕榈业的政策和最佳实践提供科学信息感兴趣。



## 翻译

**唐仲辉**

硕士研究生（中国科学院城市环境研究所）

**廖紫君**

硕士研究生（中国科学院城市环境研究所）

## 校稿

**孙新**

研究员（中国科学院城市环境研究所）