

辽东栎上的蚂蚁



辽东栎林蚂蚁-蚜虫互利： 小物种控制大系统

撰文·供图 张育新

“到底谁是世界的主宰？”很多人都会想当然地认为是人类。这是因为地球人口数量已经突破80亿大关，成为能够改变地球表面物理结构的生物，并且拥有毁灭地球的能力。然而，如果把这个问题抛给蚁学家、岛屿生物学奠基人、社会生物学之父及拥有当代达尔文美誉的爱德华·威尔逊(Edward Wilson)(1929—2021)，他会告诉你：“主宰世界的是那些不起眼的小东西(little things that run the world)。”威尔逊提到的“小东西”主要指无脊椎动物，他曾断言：“如果人类从地球上突然消失，世界仍会正常运转；然而，如果消失的是无脊椎动物，人类会在几个月内灭绝，生态系统也会崩溃。”无脊椎动物种类数占动物总种数的95%，包括原生动物、棘皮动物、软体动物、扁形动物、环节动物、腔肠动物、节肢动物和线形动物等。在众多无脊椎动物中，属于节

肢动物的蚂蚁和蚜虫是其中不可忽视的力量，特别是在森林生态系统中。

蚂蚁和蚜虫在森林生态系统中算是名副其实的“小东西”，它们可以小到让人无法发现。两者在地球上物种数量众多，其中蚂蚁已定名的物种超过14000种，预计总物种数超过27000种；而蚜虫目前已定名物种超过5000种，预计总物种数超过8000种。它们常常生活在相同生境且经常会发生相互作用，既会“结盟”也会互相“斗争”。生态学家发现不同的蚂蚁和蚜虫可形成由非常亲密的专性互利(obligate mutualism)关系，到相对疏远的兼性互利(facultative mutualism)，最后到相互敌对的捕食(predator-prey)关系组成的一系列连续种间相互作用关系谱。在这一系列种间相互作用关系谱中，蚂蚁-蚜虫互利(ant-aphid mutualism)关系，即“结盟”，最令科

学家着迷，已成为研究种间互利关系生态和进化意义的模式系统之一，也是很多生态系统中的关键互利 (keystone mutualism)。

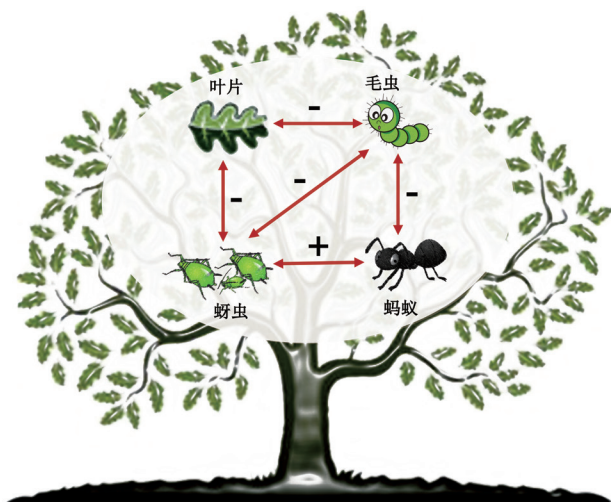
在蚂蚁-蚜虫互利关系中，维持其关系正常运转的“硬通货”是蜜露 (honeydew)。蚜虫以刺吸式口器吸收植物汁液获取养分，但由于这种汁液中对蚜虫有用的养分 (如氨基酸) 含量极低，蚜虫需要大量取食以维持其种群的增长。同时蚜虫不得不将大量废物以液体形式排出体外，这些液体即蜜露。蜜露中含有数量可观的糖分，对于视碳水如命的蚂蚁来说可以做到不问蜜露出处的程度，对其照单全收，即使得到的是蚜虫的“便便”。这就应了现在流行的一句话“只要你自己不觉得尴尬，那么尴尬的就是别人”。蚂蚁是如何说服自己不尴尬的呢？在蚂蚁眼中，蚜虫是它的“奶牛”，蜜露则是它的奶牛产的“牛奶”。因此，蚂蚁不仅不尴尬，还努力抓发展、促生产，增加“奶牛”数量，提高“牛奶”产量，并实现了新鲜食材从蚁口到蚁口的收集、运输和供应的一条龙流水作业，俨然成了现代食品企业和物流业管理之典范。作为“牧场主”，当蚜虫生病或出现疫情时，蚂蚁会对蚜虫进行隔离并消毒；当蚜虫遇到天敌或竞争者时，蚂蚁会逃跑或捕食威胁蚜虫安全的其他植食性昆虫。蚂蚁在两者互利关系中表现得更为主动，蚜虫则显得被动。然而有研究人员认为蚜虫在维持与蚂蚁的互利关系上也不是一味的被动，蚜虫的蜜露具有高碳低氮特点，促使蚂蚁对氮的需求增加。为了保持体内碳氮比例的平衡，蚂蚁表现出对于高氮的植食性昆虫和蚜虫捕食者很强的攻击性，因此从这个角度上可以说是蚜虫控制了蚂蚁以达到保护自己的目的。不论如何，在蚜虫孜孜不倦的投喂下或蚂蚁不问出处的索取下，蚂蚁成了蚜虫忠实且武力值爆表 (在非洲稀树草原，蚂蚁可以逃跑取食金合欢属植物的大象和长颈鹿等大型植食性动物) 的保镖或保护伞，两者结盟，同进共退，互利共赢。

实际上，蚂蚁-蚜虫互利不仅双赢，还有得利的第三方，即寄主植物，这是一个三赢



上：辽东栎上亮毛蚁取食蚜虫分泌的蜜露，图中蚜虫（黑色）为栎大蚜
下：辽东栎上亮毛蚁取食蚜虫分泌的蜜露，图中蚜虫（绿色）为侧棘斑蚜属蚜虫

系统。在北京东灵山中国科学院北京森林生态系统定位研究站的温带辽东栎 (*Quercus wutaishanica*) 林中就存在着蚂蚁、蚜虫和寄主植物的三赢系统。在这个三赢系统中，亮毛蚁 (*Lasius fuliginosus*) 与栎大蚜 (*Lachnus tropicalis*) 或侧棘斑蚜属蚜虫 (*Tuberculatus* sp.) 在辽东栎上形成互利。为了保护与之形成互利的蚜虫，亮毛蚁会逃跑或捕食其他植食性昆虫。这些植食性昆虫中既有蚜虫的天敌 (如瓢虫)，也有疯狂取食叶片的毛虫及甲虫等。由于植食性昆虫被驱逐或捕食，辽东栎叶片损失程度得到显著降低，叶损失降低对辽东栎生长、发育和繁殖都会带来好处。因而，辽东栎在蚂蚁-蚜虫这种互利中间接获益，系统中的输者为毛虫等其他植食性昆



“爱恨情仇”交织的蚂蚁-蚜虫-辽东栎-植食性昆虫互作系统（+表示正的相互作用，-表示负的相互作用）

虫。在这个系统中存在着多种种间相互作用关系形式，既有蚂蚁-蚜虫互利这种双方都获利的正的（+）种间相互作用，又有毛虫等植食性昆虫-植物植食性关系、蚂蚁-植食性昆虫和蚜虫-天敌捕食关系等负的（-）种间相互作用，可以说“爱恨情仇”交织在一起了。在这个系统中蚂蚁-蚜虫互利无疑是主导者，对整个栎林生态系统能量流动、养分循环及群落结构都有深远的影响。

蚂蚁-蚜虫互利对栎林生态系统的能量流动影响主要体现在对辽东栎叶损失的控制上。植物被植食性动物取食是自然界最为常见的生态过程，这一过程使生态系统能量由初级生产者向初级消费者流动，这是能量从低营养级向高营养级流动的主要途径之一。这一途径对众多生态过程和功能都发挥着十分重要的作用，可以影响植物生长、生态系统生产力、养分循环、群落结构、物种竞争、物种分布及群落演替等等。辽东栎作为最受植食性昆虫欢迎的初级生产者，其叶片损失比率在自然生态系统中变异程度惊人。在对东灵山地区辽东栎林的调查后发现，辽东栎叶片上蚜虫的数量越多，拜访叶片的亮毛蚁数量就越多，辽东栎叶片被其他植食性昆虫取食的比率显著降低。这是因为亮毛蚁拜访叶片上蚜虫取食蜜露的同时会赶跑或捕食其他植食性昆虫，使叶片上其他植食性

昆虫的密度显著降低，进而使辽东栎的叶损失减少。对不同大小的辽东栎个体进行蚂蚁拜访隔离实验，实验持续两年，每年在生长季（5—9月）的每月对叶片取样并分析叶损失比率，结果表明失去蚂蚁拜访的辽东栎叶损失比率显著升高，蚜虫数量显著降低，且在整个生长季都是如此。这表明蚂蚁-蚜虫互利可有效和稳定地降低辽东栎叶片被植食性昆虫取食的比率，且无论辽东栎个体大小与否都能在蚂蚁-蚜虫互利过程中获益。通过对辽东栎叶损失比率影响的研究，蚂蚁-蚜虫互利改变了辽东栎林生态系统中能量由初级生产者向初级消费者流动的程度，进而对能量向更高级的消费者（如植食性昆虫的捕食者）流动的程度产生深远影响。

蚂蚁-蚜虫互利不仅影响栎林生态系统的能量流动，还会参与到其养分循环过程。植物主要利用光合作用和土壤养分进行生长和发育，土壤中的各种元素是植物生长不可或缺的营养物质，特别是氮元素。以往的证据表明植物的氮元素基本都来自土壤，可以说是土壤“喂”给了植物养分。蚂蚁作为土壤动物参与凋落物分解过程，另外还可以把排泄物释放到土壤中，因此可以通过土壤间接参与养分循环。但蚂蚁能否直接参与植物的养分循环过程呢？在蚂蚁-植物直接相互作用中，有实验证实蚂蚁可以直接给植物提供养分，完成养分从植物到蚂蚁再到植物的流动。在蚂蚁-蚜虫-辽东栎这个三赢的互作系统中，蚂蚁是否同样会直接参与养分循环不得而知。为了探讨这一问题，我们将氮¹⁵（N¹⁵）同位素溶解到蜂蜜溶液中，然后将其直接喂食给不同海拔下在栎树根部筑巢的蚂蚁。经过15天的喂食过程后，我们取植物的叶片测其N¹⁵同位素含量，发现不同海拔叶片的N¹⁵同位素含量发生了显著增高。由于检测到同位素丰度显著增高的时间如此之快，我们有理由相信蚂蚁可以直接给辽东栎提供了氮，而不仅仅通过土壤传递给植物，这说明植物养分元素来源的途径可能是多样的。进一步分析发现，不同海拔下辽东栎叶片N¹⁵同位素含量存在显著差异，这是因为高海拔蚂蚁多度

和蚜虫多度显著低于低海拔的，表明蚂蚁-蚜虫互利强度会影响其参与养分循环的程度。

蚂蚁-蚜虫互利还可以改变辽东栎林的生态系统的组成，主要表现在对节肢动物群落结构的改变。由于蚂蚁-蚜虫互利发生在林冠，蚂蚁为了保护蚜虫会驱赶和捕食林冠上的其他节肢动物，因而对林冠上节肢动物群落的组成和结构产生影响。在东灵山辽东栎林中，蚁巢筑在辽东栎根部的亮毛蚁为了获取蚜虫蜜露，需要爬到林冠上，因此林冠上蚜虫数量越多，地表亮毛蚁数量也越多。利用陷阱法对辽东栎林地表节肢动物取样发现，亮毛蚁数量与甲虫的数量呈负相关关系，即亮毛蚁越多的地方甲虫数量越少，而蜘蛛的数量与亮毛蚁的数量没有明显关系。这一现象有理由让我们相信发生在林冠上的蚂蚁-蚜虫互利对生态系统的影响会传导到地表，影响地表节肢动物群落的结构。为了证实这一点，我们对整个辽东栎林进行隔离控制，利用黏虫胶将亮毛蚁隔离，使其无法爬上林冠与蚜虫发生互利。经过两年的隔离，我们发现在亮毛蚁无法上树与蚜虫发生互利的隔离辽东栎林地表，亮毛蚁数量显著降低，甲虫数量显著升高，而蜘蛛的数量没有明显的变化。这表明地表节肢动物群落结构发生了显著改变，证实了发生在辽东栎林冠的蚂蚁-蚜虫互利对生态系统的影响能够传到地表。

在东灵山暖温带辽东栎落叶阔叶林中，蚂蚁-蚜虫互利在整个生态系统中发挥着非常重要的作用。作为威尔逊口中典型的“小东西”，它们的互利关系毫无疑问是控制整个辽东栎林生态系统能量流动、物质循环及生态系统组成不可忽视的力量，可谓小物种控制了大森林生态系统。而可悲的是这些不计其数的控制生态系统正常运转的“小东西”，在人类主导的可能正在发

生的“第六次”地球生物大灭绝过程中做了无名英雄，很多还没有被命名或被发现就已经消失了。因而，我们需要特别重视对于这些“小”物种的保护。

作者简介

张育新，中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室助理研究员，从事群落生态学研究。本文得到国家自然科学基金(32071543、31370451、30900185)及国家自然科学基金中俄合作交流项目(31611130031)的支持。

(责编 桑新华)



上：植食性昆虫对辽东栎叶片不同取食程度
下：辽东栎大树和小树叶损失程度在蚂蚁-蚜虫互利作用下都显著降低，且发生在林冠上的互利会影响地表甲虫的多度（+表示正效应，-表示负效应）

