

Khám phá bí mật cộng sinh bằng tình yêu côn trùng

Niềm đam mê mà Nancy Moran, nhà sinh học tiến hóa ở Đại học Texas (University of Texas - UT) tại Austin, dành cho loài côn trùng và những vi khuẩn đường ruột của chúng đã giúp mở ra ngành nghiên cứu về cộng sinh.

Elizabeth Pennisi

Nancy Moran đã tìm thấy những manh mối về tiến hóa ở những nơi bất ngờ. Khoảng 20 năm trước, khi còn ở bang Arizona, bà hay lui tới một nhà hàng Mexico ở thành phố Tucson, không chỉ để thưởng thức nghệ thuật ẩm thực. Bà thường trèo lên lối thoát hiểm phía sau nhà hàng, nơi có một ngọn cây sồi với nhiều côn trùng ẩn nấp. Một tối, bà tìm thấy trong tán lá một con bọ lạ, nó đã làm thay đổi suy nghĩ của bà và các nhà sinh vật học khác về sự tiến hóa phức tạp của sự sống.

Con bọ cỡ hạt vừng bà bắt được là một con psyllid, một loại côn trùng khiến cho phần thân hoặc lá chồi nó ăn nổi lên những mấu cứng mà người ta gọi là mụn cây. Những vi khuẩn cộng sinh nó

mang theo có thể chứa đựng một giai đoạn chìa khóa trong sự tiến hóa của tế bào. Khi quay lại phòng thí nghiệm và phân tích hệ vi sinh vật của con bọ, Moran nhận thấy bộ gene của những vi khuẩn này teo lại đến nỗi chúng dường như đang mất khả năng tự sống. Chúng có thể đang trên đường biến thành những bào quan, như các ty thể và lục lạp, vốn là những vi khuẩn cộng sinh trong lịch sử sơ khai của sự sống trước khi trở thành những bộ phận của tế bào.

Sự nghiệp của Moran được xây dựng từ những phát hiện mang tính đột phá về các loài côn trùng sống trên cây. Nghiên cứu của bà về psyllid, rệp cây, và những côn trùng hút nhựa cây khác, đã tiết lộ những mối quan hệ phức tạp, xoắn xuýt giữa chúng với những vi khuẩn giúp chúng sống được với chế độ dinh dưỡng đạm bạc chỉ có nhựa cây. Theo John

McCutcheon, cựu nghiên cứu viên postdoc và hiện là nhà sinh học tiến hóa tại Đại học Montana tại Missoula, Moran là “một trong những người sáng lập ra ngành nghiên cứu về cộng sinh, và bà sáng lập nó bằng sự lao động nghiêm túc và óc sáng tạo.”

Tìm hiểu cội nguồn tiến hóa của cộng sinh

Moran, được bầu vào Viện Hàn lâm Khoa học Mỹ năm 2004, cộng tác với Howard Ochman, cũng là một nhà sinh học tại UT, hơn 20 năm, cả trong công việc lẫn cuộc sống (họ kết hôn năm 1998). Bà dành cả sự nghiệp nghiên cứu sự cộng sinh; ông nghiên cứu rộng hơn nhưng có những đóng góp nền tảng về những nguyên lý tiến hóa của vi sinh vật. “Họ là một cặp quyền năng,” theo lời nhà công nghệ sinh học Andrew Ellington, đồng nghiệp của họ tại UT.

Sau nhiều thập kỷ khám phá cội nguồn tiến hóa của sự cộng sinh, Moran hiện tìm trong những hệ vi sinh vật câu trả lời cho những thách thức hiện đại. Bà nghiên cứu vi khuẩn đường ruột của ong, loài không thể phát triển nếu thiếu những vi khách nhỏ bé đó, và hy vọng kết quả nghiên cứu sẽ đưa ra những cách ngăn chặn sự giảm số lượng của ong và các loài thụ phấn khác, cũng như đưa ra một mô hình đơn giản để khám phá vai trò của vi khuẩn đường ruột ở người.

Thuở nhỏ, khi chơi ngoài trời



Nancy Moran nuôi ong mật trên nóc một tòa nhà của trường đại học để nghiên cứu hệ vi sinh vật của chúng.
Ảnh: JULIA ROBINSON

với bảy anh chị em, hay đi dạo ở rạp chiếu bóng ngoài trời của gia đình ở Dallas, Texas, cô bé Moran thường thu nhặt lá, hoa, và sâu bọ. “Tôi nổi tiếng là đứa bé thích cây cỏ và côn trùng,” bà nhớ lại. Cô thích nhất là những con nhện tarantula (Tất nhiên, vị tiến sỹ côn trùng học này biết rõ nhện không phải là côn trùng). Cô nuôi chúng trong lọ và cho chúng ăn dế. Gia đình chấp nhận sở thích của cô, lần rắc rối duy nhất là khi cô bé

Moran là “một trong những người sáng lập ra ngành nghiên cứu về cộng sinh, và bà sáng lập nó bằng sự lao động nghiêm túc và óc sáng tạo.” (John McCutcheon, nhà sinh học tiến hóa tại Đại học Montana, Missoula).

Moran 9 tuổi thuyết phục được một người bạn cùng thử xem cây thường xuân độc ở cạnh sân trường có thực sự gây phát ban hay không. “Lần đó là một thảm họa,” Moran kể lại.

Bà không nhận ra ngay triển vọng nghề nghiệp trong sinh học. Tại UT, bà học mỹ thuật, rồi triết học. Nhưng một lớp nhập môn sinh học, một môn học bắt buộc, đã có một tác động lâu dài. “Khi đã được học về tiến hóa và chọn lọc tự nhiên, tôi quyết định rằng đó là thứ đáng làm nhất,” bà nói.

Khi làm nghiên cứu sinh tại Đại học Michigan tại Ann Arbor, Moran làm việc với W. D. Hamilton, nhà sinh học tiến hóa nổi tiếng của thế kỷ 20, và họ trở thành bạn thân. “Chúng tôi trò chuyện về mọi thứ... những ý tưởng lớn và những khoa học nào tạo ra khác biệt trong hiểu biết về

quá trình tiến hóa của sự sống,” Moran nói. Tuy nhiên, mỗi tình đầu của bà vẫn là côn trùng học. Mỗi khi rảnh, bà vẫn chui vào những bụi cây, lật từng chiếc lá, và soi từng bông hoa để tìm kiếm những loài côn trùng mới. Sau khi bà trở thành giảng viên Đại học Arizona tại Tucson năm 1986, một cuộc điện thoại từ Paul Baumann, nhà vi trùng học tại Đại học California (UC) tại Davis, đã giúp bà kết nối hai niềm đam mê khoa học của mình. Khi đó, Baumann

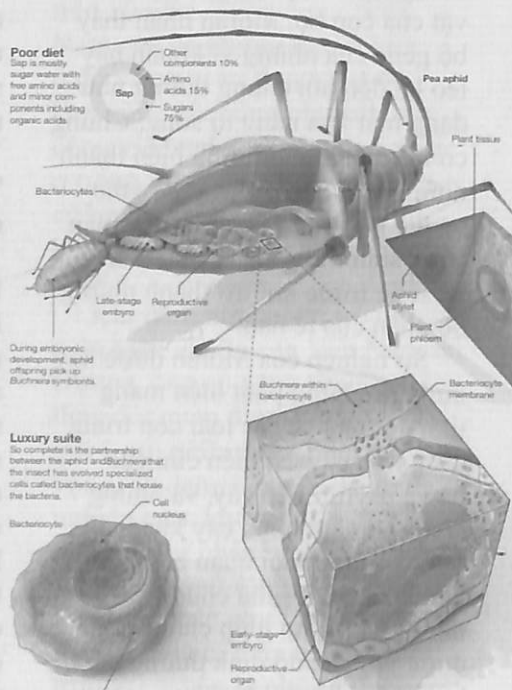
chấy rận, bọ cánh cứng, và các côn trùng khác. Buchner phỏng đoán rằng những sự cộng sinh này là những mối quan hệ thiết yếu, trọn đời và đã tồn tại từ hàng triệu năm.

Nếu đúng như vậy thì vi khuẩn và côn trùng hẳn phải cùng tiến hóa, và điều đó sẽ được ghi lại trong DNA của chúng. Baumann cần chuyên môn về rệp cây của Moran để kiểm tra ý tưởng này. Bằng cách giải mã bộ gene của nhiều loài rệp cây khác nhau cùng với những vi khuẩn Buchnera của chúng, Baumann và Moran lập ra cây phả hệ của hai loài, và nhận thấy chúng đa dạng hóa một cách đồng bộ với nhau.

Họ dùng nhiều hóa thạch rệp cây để xác định các niên đại trong hai cây và phát hiện ra thời điểm bắt đầu của mối quan hệ hợp tác đó là khoảng 200 triệu năm trước. Kể từ đó, vi khuẩn Buchnera được truyền qua các thế hệ rệp cây và tiến hóa đồng thời với vật chủ.

Trong 15 năm tiếp theo, Baumann, Moran và các đồng nghiệp sử dụng phân tích DNA tương tự để ghi lại những mối quan hệ lâu dài tương tự giữa vi khuẩn với ruồi trắng, bọ bọ, ve sầu, bọ rầy lá và psyllid. Họ nhận thấy một số mối quan hệ có tuổi đến 270 triệu năm. Nghiên cứu này đã “khẳng định rằng cộng sinh là một phần trung tâm của tiến hóa có từ rất xưa,” Moran nói. Bà và các nhà sinh học khác đề xuất rằng vi khuẩn giúp côn trùng mở rộng nguồn thức ăn và môi trường sống, nhờ đó đa dạng hóa một cách nhanh chóng, song song với sự đa dạng hóa của thực vật có hoa.

Bộ gene cũng gợi ý vì sao những mối quan hệ này lâu bền đến thế. Chẳng hạn, Buchnera có những gene cho phép nó tạo



Không thể sống thiếu nhau.
Rệp cây ăn nhựa hút từ phloem, hệ tuần hoàn của cây, nhưng chế độ ăn này thiếu nhiều dưỡng chất quan trọng. Chúng cần Buchnera, một vi khuẩn sống bên trong cơ thể chúng, giúp biến các a-xit a-min trong nhựa cây, chẳng hạn glutamate, thành những a-xit a-min bị thiếu. Ngược lại, vi khuẩn Buchnera được hưởng những dưỡng chất khác và sự che chở bên trong con rệp cây. Nguồn: Bickel, Science.

đang nghiên cứu về Buchnera, một vi khuẩn đã từng sống tự do nhưng nay chỉ còn tồn tại bên trong rệp cây. Trong thập niên 1960, Paul Buchner, nhà sinh học người Đức, đã phân loại những vi khuẩn nội cộng sinh này, và viết thành một cuốn sách với những minh họa chi tiết về vị trí của chúng trong cơ thể của rệp cây, cũng như của

Với Moran, hệ vi sinh vật của ong mật đủ phức tạp để thay thế cho hệ vi sinh vật của người, nhưng cũng đủ đơn giản để được mở xẻ theo một cách không thể thực hiện trên hệ của người. Nghiên cứu của Moran về ong "là một trong những công trình đáng tin cậy nhất, mạch lạc nhất" về vi khuẩn đường ruột, theo Jon Sanders, nhà nghiên cứu hệ vi sinh vật của người tại UC San Diego. Ông kỳ vọng những nghiên cứu về ong mật sẽ đem lại tri thức về cách thức hoạt động của các hệ vi khuẩn đường ruột nói chung.

ra những a-xít a-min không có trong nhựa cây và trong quá trình chuyên hóa của rệp cây, những a-xít a-min này bổ sung cho chế độ ăn thiếu thôn của rệp cây. Trong khi đó, sống an toàn trong những tế bào chuyên mang vi khuẩn của rệp cây, Buchnera mất đi nhiều gene quan trọng, và phải dựa vào rệp cây để bù lại những thiếu sót đó. Cuối những năm 1990, sự phụ thuộc lẫn nhau này được coi là rất quan trọng, nó giúp định hình cái nhìn về quan hệ cộng sinh.

Phương pháp nghiên cứu cộng sinh bằng bộ gene của Moran đã truyền cảm hứng cho nhiều nhà khoa học, Angela Douglas, nhà nghiên cứu các tương tác côn trùng - vi khuẩn tại Đại học Cornell, cho biết. 25 năm trước, "chúng tôi bị cho là điên" vì nghĩ rằng cộng sinh có vai trò quan trọng đến thế, bà nhớ lại. Ngày

nay, những liên kết chặt chẽ như vậy đã được chứng minh là quy luật của nhiều mối quan hệ vật chủ - vi khuẩn.

Những nghiên cứu sau đó của Moran về côn trùng đã khẳng định sức mạnh của sự cộng sinh. Bà, McCutcheon và các đồng nghiệp khác phát hiện ra một số loài côn trùng không thể sống thiếu nhiều loài vi khuẩn cộng sinh. Ở hai loài côn trùng hút nhựa cây là bọ rầy cánh trong và ve sấu, một vi khuẩn cộng sinh cung cấp 8 trong 10 a-xít a-min thiết yếu không có trong thức ăn của chúng, và một vi khuẩn cộng sinh khác cung cấp hai a-xít a-min còn lại. Ở những côn trùng hút nhựa cây khác, Moran và các đồng nghiệp còn phát hiện ra những chức năng khác của vi khuẩn cộng sinh. Ở rệp cây, một vi khuẩn cộng sinh mang một loại virus có hại cho ấu trùng ong bắp cày, nhờ đó giúp rệp cây chống

lại ong bắp cày ký sinh. Những vi khuẩn cộng sinh khác giúp rệp cây tăng khả năng chịu nóng, nhờ đó sinh sôi được trong những môi trường mới. Nghiên cứu đó minh họa cho sự phức tạp của quan hệ cộng sinh với vi khuẩn và gợi ý phạm vi của những lợi ích mà những vi khuẩn cộng sinh đem lại, một chủ đề ngày càng rõ trong những nghiên cứu về hệ vi sinh vật ở người.

Moran cũng bất ngờ khám phá ra sự phổ biến của những đột biến có hại ở những vi khuẩn "ổ trợ", điều cho thấy sự cộng sinh không phải lúc nào cũng có lợi cho cả đôi bên. Theo thời gian, bộ gene của những vi khuẩn đó phân rã một cách tự nhiên bởi hai nguyên nhân: những vi khuẩn đó không có một quá trình sinh sản hữu tính để trộn lại DNA và thay thế những gene xấu; và chỉ một phần những vi khuẩn bị kẹt trong một con rệp cây được truyền lại thế hệ [rệp cây] sau, sự sàng lọc này lại càng hạn chế các vi khuẩn tái kết hợp với nhau. Những đột biến tích tụ liên tục bào mòn số gene còn hoạt động của vi khuẩn – Buchnera chỉ có 600 gene, so với khoảng 5000 gene của E. coli – và làm giảm chức năng của những gene còn lại này. "Về cơ bản, con rệp cây đang phụ thuộc vào một vi khuẩn cộng sinh rệu rã," Moran nói.

Moran cùng các đồng nghiệp Nhật Bản sau đó phát hiện ra một cách mà những vi khuẩn nội cộng sinh của rệp cây dùng để đối phó với sự phân rã: chúng tạo ra rết



Một căn phòng đầy những cây lúc nhúc rệp đủ cung cấp cho các thí nghiệm của Nancy Moran và nhóm của mình. Ảnh: JULIA ROBINSON

nhiều protein sốc nhiệt để làm ổn định những protein lỗi do các gene đột biến tạo ra. Một cách khác để ngăn chặn sự phân rã, theo bà, là sự trao đổi gene theo chiều ngang, trong đó những gene thiết yếu của vi khuẩn ở bên trong hoặc bên ngoài chuyển sang bộ gene của vật chủ – như từng xảy ra với những gene của ty thể. Bằng cách đó, chúng lợi dụng được sự sinh sản hữu tính của vật chủ để thay thế những gene đột biến bằng những gene nguyên vẹn.

Công việc đem lại ý nghĩa cuộc sống

Bài báo đột phá của Moran về phân rã gene được công bố năm 1996. Phòng thí nghiệm ở Arizona phát triển mạnh, nhưng đồng lương phó giáo sư của bà chỉ vừa đủ trang trải cuộc sống. “Lúc đó tôi khánh kiệt,” bà nhớ lại, và gần như bị cuộc sống bà mẹ đơn thân đè bẹp. Bà ly hôn lần thứ hai vào đầu năm 1997, với một con gái 5 tuổi và một con gái 14 tuổi của chồng, và phải vật lộn để cân bằng công việc với cuộc sống gia đình. “Khi có con, bạn không được phép suy sụp,” bà nói. Thế nhưng bà không thể đi dự các hội thảo khoa học, vốn vô cùng quan trọng đối với sự nghiệp của mọi giáo sư trẻ.

Khoản tài trợ MacArthur bà được trao năm 1997, có giá trị hơn 50.000 USD trong vòng 5 năm, giúp giải quyết các gánh nặng đó. Ngay lập tức, bà thuê một người giúp việc và giảm thời gian giảng dạy.

Thời điểm đó, Ochman đang nghiên cứu bộ gene vi khuẩn. Tò mò về nhân vật mới này trong lĩnh vực tiến hóa vi khuẩn, ông thúc giục các nhà tổ chức chuỗi hội thảo Gordon mời Moran. Không có nhiều phụ nữ tham dự, nên Ochman nhận ra bà ngay. Với sự thẳng tính cổ hữu, ông tới và hỏi bà dùng khoản tiền MacArthur để

làm gì. Và Moran, vốn tính dè dặt, đã bị mê hoặc. Mười bốn tháng sau, họ kết hôn, và ông chuyển đến Đại học Arizona theo bà. Năm 2010, Đại học Yale chiêu mộ họ để xây dựng một trung tâm nghiên cứu đa dạng vi khuẩn. Năm 2013, họ trở về quê nhà của Moran.

Bà nói rằng mỗi đam mê chung đối với sinh học tiến hóa và kiến thức uyên bác của Ochman về nó đã giúp bà rất nhiều. Ông ấy “có ảnh hưởng tích cực to lớn đối với việc nghiên cứu khoa học của tôi.” Còn đồng nghiệp của hai người, McCutcheon nhận xét: “Ngành sinh học hưởng lợi vì có bà ấy là một nhà sinh vật học và ông ấy là một nhà vi trùng học”.

Trước đó, Ochman muốn giải đáp hai bí ẩn về vi khuẩn: vì sao kích thước bộ gene của các chủng E. coli có thể sai khác nhau đến 50%, và cơ chế khiến những vi khuẩn khác đang vô hại đột nhiên chuyển thành gây bệnh. Bằng cách xem xét kỹ các bộ gene vi khuẩn, ông nhận thấy chúng liên tục thêm bớt các gene nhờ trao đổi với các vi khuẩn khác hoặc với vật chủ. Sự trao đổi gene theo chiều ngang như vậy có thể giải thích kích thước thay đổi của bộ gene, cách

vi khuẩn nhận được các gene sinh độc tố hoặc các vũ khí khác – và cả cách một vi khuẩn cộng sinh, chẳng hạn những vi khuẩn được Moran nghiên cứu, có thể chuyển các gene quan trọng sang vật chủ.

Phòng làm việc của Moran và Ochman cách nhau không quá 100 m. Ông thường tới phòng làm việc của bà, có thể để bàn về đề cương xin tài trợ nghiên cứu, để xem lại những dữ liệu mới nhất, hoặc đơn giản để ăn trưa. “Chúng tôi ở cùng nhau 18 giờ mỗi ngày,” ông nói. Nhưng tính cách họ lại khác nhau một trời một vực. Dữ dội và bốc đồng, Ochman thường nhanh chóng thay đổi đề tài nghiên cứu (gần đây là hệ vi sinh vật của khí). Trung thành kiên định, Moran chọn một câu hỏi – hay một mối quan hệ – và tìm hiểu nó một cách trọn vẹn. “Bà ấy logic và có tầm nhìn dài hạn hơn”, Ochman nói. Thói quen thu thập côn trùng của Moran đem tới cho bà những thí dụ về những vi khuẩn cộng sinh có bộ gene nhỏ đến nỗi chúng không thể tách khỏi tế bào của vật chủ. Một trong số chúng là Carsonella ruddii, được tìm thấy trong con psyllid ở nhà hàng Mexico hôm đó. Nó chỉ có 160.000 gốc, so với



Nancy Moran gặp chồng, nhà nghiên cứu tiến hóa vi khuẩn Howard Ochman, tại một hội thảo khoa học. Họ gặp gỡ với nhau trong cả cuộc sống riêng lẫn trong công việc. Ảnh: JULIA ROBINSON



Nghiên cứu về rệp cây của Nancy Moran đã tìm ra những nguyên lý quan trọng của sự cộng sinh. Ảnh: JULIA ROBINSON

5 triệu của *E. coli* và 640.000 của *Buchnera*. Nhiều bộ gene khác còn nhỏ hơn. Những phát hiện đó khiến bà tin rằng không có ranh giới rõ ràng phân tách bào quan và vi khuẩn nội cộng sinh. “Theo tôi, những tên gọi đó [bào quan, vi khuẩn nội cộng sinh] chỉ là hình thức,” bà nói.

Ông mật đã trở thành một mối quan tâm lâu dài của Moran, vì bà đặt giả thuyết rằng vi khuẩn đường ruột có vai trò quan trọng trong sự giảm số lượng ong. Nghiên cứu trước đây của nhóm của bà cho thấy trong ruột của ong mật có tám loài vi khuẩn, một con số dễ chịu hơn nhiều so với hàng trăm loài vi khuẩn trong ruột động vật có vú, và mọi con ong trên Trái đất đều có cùng những vi khuẩn đó. Một sinh viên của bà ở Yale đã tìm ra cách nuôi cấy cả tám loại vi khuẩn trong phòng thí nghiệm; trong khi đó, *Buchnera* vẫn chưa thể nuôi cấy được.

Bằng cách tách riêng các con non ong, nhóm của Moran có thể ngăn ong thợ truyền vi khuẩn cho ong con. Họ thấy những con ong không có hệ vi sinh vật chứng minh một cách rõ rệt tầm quan trọng của những vi khuẩn cộng sinh. Thiếu hệ vi sinh vật, những con ong này chậm lớn, dễ mắc bệnh, và chết sớm hơn. Bây ong suy tàn.

Mới đây, nghiên cứu sinh Erick Motta của bà chỉ ra rằng

những con ong có đủ hệ vi sinh vật trở nên dễ mắc bệnh hơn khi được cho tiếp xúc với glyphosate, chất diệt cỏ có trong sản phẩm Roundup. Glyphosate vốn được coi là vô hại cho côn trùng và các động vật khác vì nó tác động tới một enzyme chỉ có ở thực vật và vi khuẩn. Nhưng nghiên cứu gợi ý rằng tác động của nó lên vi khuẩn cộng sinh cũng có thể làm hại côn trùng. (Khi nghiên cứu này được công bố, nhà sản xuất Roundup ra tuyên bố: “Chưa có một nghiên cứu ở quy mô lớn nào tìm thấy sự liên quan giữa glyphosate và các vấn đề sức khỏe của ong mật.”)

Với Moran, hệ vi sinh vật của ong mật đủ phức tạp để thay thế cho hệ vi sinh vật của người, nhưng cũng đủ đơn giản để được mô xê theo một cách không thể thực hiện trên hệ của người. Nghiên cứu của Moran về ong “là một trong những công trình đáng tin cậy nhất, mạch lạc nhất” về vi khuẩn đường ruột, theo Jon Sanders, nhà nghiên cứu hệ vi sinh vật của người tại UC San Diego. Ông kỳ vọng những nghiên cứu về ong mật sẽ đem lại tri thức về cách thức hoạt động của các hệ vi khuẩn đường ruột nói chung.

Nghiên cứu về ong dẫn đến những nguồn tài chính mới, khi Moran bắt đầu làm việc cho Cơ quan Dự án Nghiên cứu Cao cấp (DARPA, Bộ Quốc phòng Mỹ). DARPA kêu gọi những đề

tài nghiên cứu khai thác các hệ vi khuẩn. Ban đầu, Moran do dự: “Mục đích là tạo ra một sản phẩm, chứ không chỉ là hiểu biết, như tất cả các nghiên cứu của tôi trước đó,” bà giải thích. Nhưng bà, cùng với kỹ sư công nghệ sinh học Jeffrey Barrick tại UT và Ellington, đã nhận được tài trợ của DARPA với mục đích tìm kiếm những phương pháp thay đổi hệ vi sinh vật của ong theo hướng có thể thay đổi các đặc tính của chúng. Thí dụ, một số thay đổi như thế có thể giúp tăng khả năng chịu stress của ong, qua đó giúp bảo tồn loài thụ phấn quan trọng này. Để chứng minh tính khả thi, nghiên cứu sinh Sean Leonard tại UT mới đây đã tạo ra một vi khuẩn đường ruột của ong có thể tạo ra RNA làm tăng sản lượng dopamine, một chất dẫn truyền thần kinh quan trọng. Những kết quả ban đầu gợi ý rằng những con ong đó có khả năng học tốt hơn.

Các đồng nghiệp háo hức muốn biết những khám phá tiếp theo của Moran về ong mật hoặc về những côn trùng khác bà đang nghiên cứu. “Bà ấy không phải một hiện tượng nhất thời,” Ute Hentschel, nhà sinh học biển nghiên cứu sự cộng sinh giữa bọt biển và vi khuẩn tại Trung tâm Nghiên cứu Hải dương GEOMAR-Helmholtz tại Kiel, Đức, nhận xét. “Khả năng kết tinh mọi thứ thành tri thức của bà ấy thật đáng kinh ngạc.”

Moran tin rằng cũng như mọi quan hệ phức tạp khác, sự kết hợp giữa côn trùng và vi khuẩn cần cả đời người để được hiểu rõ. “Vật chủ và vi khuẩn cộng sinh trao đổi với nhau theo những cách chúng ta không hiểu,” bà nói. “Công việc của chúng tôi là làm rõ chúng.” □

Nguyễn Hoàng Thạch dịch

Nguồn: <https://www.sciencemag.org/news/2019/11/love-insects-and-their-microbial-partners-helped-biologist-reveal-secrets-symbiosis>