MedWiss.Online

Bakterielle Immunität – oder Sex?

Wie Bakterien unter Hungerstress Viren nutzen, um ihre DNA neu zu kombinieren

Wie passen sich Bakterien an, wenn Ressourcen knapp werden? Forschende des Institute of Science and Technology Austria (ISTA) haben herausgefunden, dass *E. coli* unter Hungerstress Bakteriophagen und CRISPR-Cas-Immunität nutzen kann, um DNA zu übertragen und in das eigene Genom einzubauen. Dadurch wird die genetische Neukombination beschleunigt. Der Prozess ähnelt einer primitiven Form sexueller Fortpflanzung und könnte Bakterienpopulationen helfen, sich an veränderte Bedingungen anzupassen. Die Ergebnisse wurden in *Molecular Biology and Evolution* veröffentlicht.

Haben Bakterien Sex? Jahrzehntelang gingen Wissenschafter:innen davon aus, dass sich Bakterien durch asexuelle Zellteilung, die sogenannte binäre Spaltung, vermehren und gelegentlich freie DNA aufnehmen oder genetisches Material „horizontal" von Zelle zu Zelle austauschen. In den 1990er-Jahren mehrten sich jedoch Hinweise auf eine primitive Form sexueller Fortpflanzung. Doch wie verbreitet ist dieses Phänomen?

Nun haben der Postdoktorand Pavel Payne und Professor Călin Guet am Institute of Science and Technology Austria (ISTA), einen Prozess entdeckt, der bei dem Darmbakterium *Escherichia coli* sexueller Fortpflanzung ähnelt.

„Der Clou ist, dass die Bakterien CRISPR-Cas nutzen – ein Abwehrsystem gegen Bakterienviren, das später zur Grundlage für Technologien zum Genome-Editing wurde", sagt Guet. „Es stellt sich heraus, dass Bakterien diese Viren nutzen, um DNA untereinander zu transportieren. Empfängerzellen können diese DNA außerdem in ihr eigenes Genom einbauen und vertikal an ihre Nachkommen weitergeben. Das ist de facto Sex."

Dieser DNA-Transferprozess scheint stattzufinden, wenn Bakterien kurz vor dem Verhungern stehen.

Genen austauschen – die Herausforderungen

Die Arbeit baut auf der Entdeckung des horizontalen Gentransfers (HGT) auf – der Übertragung von genetischem Material zwischen Organismen auf anderem Weg als durch vertikale Vererbung von einer Eltern- an eine Tochterzelle. Dieses Phänomen wurde vor fast hundert Jahren beschrieben, als bei Bakterien die sogenannte „natürliche Kompetenz" entdeckt wurde. Dabei handelt es sich um einen genetisch programmierten Zustand, der es Bakterien ermöglicht, freie DNA aus ihrer Umgebung aktiv aufzunehmen und in ihr Genom einzubauen. Dieser Prozess ist jedoch keineswegs weit verbreitet: Nur eine sehr kleine Minderheit der Bakterien ist von Natur aus dazu fähig.

In den 1940er-Jahren wurde eine weitere Form des HGT entdeckt, die „Konjugation". Sie ermöglicht Bakterien, genetisches Material – darunter auch Gene für Antibiotikaresistenzen – durch direkten Zellkontakt zu übertragen. Dazu verwenden sie röhrenförmige Strukturen, die sogenannten Sexualpili. Einige Jahre später wurde ein dritter HGT-Mechanismus entdeckt: die „Transduktion". „Hier wurde es interessanter", sagt Payne.

Alle Rechte: © MedWiss.Online / HealthCom | MWI | www.medwiss.de

Ein Abwehrsystem gegen Bakterienviren?Viren als Bestäuber in einer primitiven Form von Sex

Genetische Innovation allein durch Mutationen kann vergleichsweise langsam sein. Vorteilhafte Mutationen entstehen im Allgemeinen deutlich seltener als schädliche und treten in unterschiedlichen Individuen auf. Durch DNA-Austausch können diese vorteilhaften Varianten zusammengeführt und Anpassungsprozesse beschleunigt werden.

Payne und Guet zeigten, dass Bakterien sich durch die Nutzung ihrer Anti-Phagen-Immunität als primitive Form sexueller Fortpflanzung wesentlich schneller anpassen und evolvieren können, indem sie ihre DNA neu kombinieren.

„Sex ist in der Natur weit verbreitet, weil er Anpassung beschleunigen kann“, sagt Payne. „Darüber hinaus könnte derselbe Mechanismus den Bakterien ermöglichen, schädliche Mutationen aus der Population zu entfernen.“

Indem Bakterien Immunität gegen Phagen entwickeln, schützen sie sich nicht nur selbst, sondern ermöglichen auch häufigen Genaustausch. Für anfällige Zellen sind Phagen zwar tödliche Räuber, doch sie werden de facto zu Bestäubern: Sie transportieren bakterielle DNA zwischen Zellen – ähnlich wie Insekten Pollen zwischen Blüten transportieren. So helfen sie Bakterien, ihre genetische Information neu zu kombinieren.

Sex bei Hungerstress?

Die ISTA-Wissenschafter:innen betonen, dass diese Form des horizontalen Gentransfers in Bakterienpopulationen zwar weiterhin relativ selten vorkommt, aber dennoch mehr als hundertmal häufiger auftritt als spontane Mutationen.

Unter günstigen Wachstumsbedingungen vermehren sich Bakterien asexuell. Das Team beobachtete jedoch, dass dieser sexähnliche DNA-Transferprozess stattfindet, wenn die Bakterien kurz vor dem Verhungern stehen. Tatsächlich stellte sich heraus, dass ein spezifisches Gen für diesen Mechanismus erforderlich ist, was ihn mit der Hungerreaktion verknüpft.

Zusammengenommen zeigte das Team, dass Phagen-Immunität erheblich zur genetischen Vielfalt in Bakterien-Populationen beitragen und damit ihren Einfluss auf die bakterielle Evolution deutlich erhöhen kann.

„Aus evolutionärer Sicht kann sexuelle Fortpflanzung unter stressreichen Bedingungen besonders vorteilhaft sein“, sagt Payne. „Unsere Ergebnisse legen nahe, dass *E. coli* unter Hungerstress eine vergleichbare Strategie zur Neukombination von DNA einsetzen kann.“

Publikation:

Pavel Payne, Pavel Plevka, Jonathan P. Bollback, Călin C. Guet. 2026. Herd immunity underlies homologous recombination in stationary phase bacteria. *Molecular Biology and Evolution*. DOI: 10.1093/molbev/msag238

Projektförderung:

Dieses Projekt wurde durch Fördermittel des Europäischen Forschungsrats im Rahmen von Horizon 2020, EVOLHGT Nr. 648440, durch das Projekt LX22NPO5103 „National Institute of Virology and Bacteriology“ des Programms EXCELES der Europäischen Kommission sowie durch ein bilaterales tschechisch-österreichisches Mobilitätsstipendium 8J3AT003 unterstützt. Dieses wurde vom Ministerium für Bildung, Jugend und Sport (MEYS) der Tschechischen Republik und von der Agentur

Alle Rechte: © MedWiss.Online / HealthCom | MWI | www.medwiss.de

für Bildung und Internationalisierung (OeAD) in Österreich finanziert. Die Autor:innen danken außerdem der Core Facility CELLIM für ihre Unterstützung. Diese wird durch das tschechische große Forschungsinfrastrukturprojekt Czech-BioImaging (LM2023050, finanziert durch das tschechische Ministerium für Bildung, Jugend und Sport, MEYS) gefördert.

Alle Rechte: © MedWiss.Online / HealthCom | MWI | www.medwiss.de