



Stickstoff-Fixierung von Pflanzen – Millionen Jahre alte Symbiose

Wenn Pflanzen mit Stickstoff-fixierenden Bakterien eine Zweckgemeinschaft eingehen, ziehen aus dieser Symbiose beide Partner Wettbewerbsvorteile: Die Pflanzen erhalten von den Bakterien Stickstoff, den sie zum Wachstum benötigen, aber nicht selbst fixieren können. Die Mikroorganismen wiederum finden in den Wurzeln der Pflanzen, mit denen sie die Zweck-Ehe eingehen, Nahrung und geschützten Lebensraum. Bisher war nicht bekannt, wie sich diese Symbiosen zwischen Bakterien und Pflanzen während der Evolution entwickelt haben. Ein internationales Expertenteam, darunter Dr. Jens Kattge vom Max-Planck-Institut für Biogeochemie in Jena, hat nun herausgefunden, dass bereits in einem sehr frühen Evolutions-schritt die Grundlage für alle Symbiosen zwischen Pflanzenarten und Stickstoff-fixierenden Bakterien gelegt wurde. Die Studie „A single evolutionary innovation drives the deep evolution of symbiotic N₂ fixation in angiosperms“ ist im Fachjournal Nature Communications erschienen, DOI 10.1038/ncomms5087.

Stickstoff ist ein essentieller Bestandteil biologischer Moleküle, insbesondere von Makromolekülen wie Proteinen und Nukleinsäuren. Obwohl er in der Atmosphäre in riesigen Mengen als molekularer Stickstoff (N₂) vorkommt, kann er von Pflanzen in dieser Form nicht verwertet und genutzt werden. Nur bestimmte Bakterien, sogenannte Stickstoff-Fixierer, sind in der Lage, im Bodenwasser gelösten elementaren Stickstoff zu binden. Im Laufe der Evolution haben sich verschiedene symbiotische Beziehungen zwischen den bakteriellen Stickstoff-Fixierern und bestimmten Pflanzenfamilien im Boden entwickelt. In dieser für beide Partner vorteilhaften Lebensgemeinschaft liefern die Bakterien den essentiell benötigten Stickstoff als Ammonium an die Pflanzen, die wiederum Kohlenhydrate und andere Nährstoffe an die Bakterien abgeben. Diese Symbiose wird meist als Wurzelknöllchen sichtbar – Ansammlungen von Bakterienkolonien, die an den Wurzeln ihrer Wirtspflanzen anhaften.

Doch wann, wie und bei welchen Vertretern haben sich im Laufe der Evolution solche tiefgreifenden, für die Pflanzen höchst vorteilhaften Entwicklungsschritte vollzogen? Diesen Fragen ging ein Expertenteam aus Amsterdam, Dundee und Jena nach. Grundlage ihres Forschungsansatzes war eine geeignete Datenbank, die alle bekannten Stickstoff-fixierenden Pflanzenarten beinhaltet. „In unserer globalen Datenbank zu Pflanzenmerkmalen haben wir neben vielen anderen Pflanzeigenschaften auch das Merkmal der Stickstoff-Symbiose aufgenommen“ sagt Dr. Jens Kattge vom Max-Planck-Institut für Biogeochemie in Jena, Ko-

Postfach 10 01 64
07701 Jena
Hans-Knöll-Strasse 10
07745 Jena
Tel.: +49 (0)3641 57-60
Fax: +49 (0)3641 57-70
www.bgc-jena.mpg.de

Direktorium

Prof. Susan Trumbore, PhD
Tel.: +49 (0)3641 57-6110
susan.trumbore@bgc-jena.mpg.de

Prof. Dr. Martin Heimann (GfD)
Tel.: +49 (0)3641 57-6350
martin.heimann@bgc-jena.mpg.de

Dr. Markus Reichstein
Tel.: +49 (0)3641 57-6273
mreichstein@bgc-jena.mpg.de

Forschungskoordination & Presse

Dr. Eberhard Fritz
Tel.: +49 (0)3641 57-6800
efritz@bgc-jena.mpg.de

Presse & Öffentlichkeitsarbeit

Susanne Hermsmeier
Tel.: +49 (0)3641 57 6801
sherms@bgc-jena.mpg.de

autor der Studie. Diese, auch vom Deutschen Zentrum für integrative Biodiversitätsforschung (iDiv) geförderte Datenbank über bisher etwa 70.000 weltweit erfasste Pflanzenarten wurde mit weiteren Daten zu Wurzelknöllchen-Symbiosen ergänzt. So entstand die erste umfassende Datenbank aller bekannten Pflanzenarten, die in symbiotischer Beziehung mit bakteriellen Stickstoff-Fixierern leben.

Kombiniert mit genetischen Verwandtschaftsanalysen wurde auf Grundlage der Datenbank ein umfassender Stammbaum aller Pflanzenarten bezüglich der Befähigung zur Stickstoff-Fixierung erstellt. Mathematische Berechnungen lieferten die erstaunliche Entstehungsgeschichte der Symbiose: Allen Stickstoff-fixierenden Pflanzen liegt mit höchster Wahrscheinlichkeit eine einzige gemeinsame, grundlegende Veränderung zu Grunde, die sie zur Lebensgemeinschaft mit bakteriellen Symbionten befähigt. Aufbauend auf dieser vor über 100 Millionen Jahren errungenen Eigenschaft haben sich nachfolgend verschiedene symbiotische Beziehungen zwischen manchen Pflanzenfamilien und verschiedenen bakteriellen Stickstoff-Fixierern entwickelt. „Mit der Evolution dieser Symbiose wurde der globale Stickstoff-Kreislauf vor 100 Millionen Jahren grundlegend verändert“ so Jens Kattge. „Die Welt sähe ohne sie heute anders aus.“ In einigen Pflanzengruppen wurden diese Symbiosen im Laufe der Evolution stabil weitergeführt, in anderen Pflanzen aber auch wieder verloren.

Mit Hilfe dieser Rekonstruktion der evolutionären Entwicklung kann die detaillierte genetische Grundlage und damit der Mechanismus erforscht werden, der Pflanzen befähigt, mit den Stickstoff-Fixierern eine Symbiose einzugehen. Mit den neuen Erkenntnissen steigt die Hoffnung, dass die Wirkmechanismen der Symbiose möglicherweise auf landwirtschaftliche Nutzpflanzen übertragen werden können. Denn in Nahrungsmittel-Pflanzen wie Mais und Weizen ist die Fähigkeit zur Symbiose genetisch nicht verankert. Diesen Pflanzen muss zur Ertragssteigerung in der Regel mineralischer Stickstoff als Kunstdünger angeboten werden.

Da Stickstoff in Böden meist nur in geringen Mengen vorhanden ist, stellt er einen für das Pflanzenwachstum begrenzenden Faktor dar. Mit Stickstoff-Fixierern symbiotisch lebende Pflanzen können hingegen auch auf kargen, nährstoffarmen Böden gut gedeihen und haben dadurch Selektionsvorteile. Solche Pflanzen werden in der Landwirtschaft zur Stickstoff-Anreicherung der Böden angepflanzt. Dazu zählen beispielsweise die Leguminosen (Hülsenfrüchtler), die mit Wurzelbakterien (Rhizobien) zusammen leben.

Für biogeochemische Stoffkreisläufe spielen diese Symbiosen eine wichtige Rolle: Sie sind essentiell für die Stickstoff-Verfügbarkeit in vielen natürlichen Ökosystemen und tragen entscheidend zur Neubesiedlung von Ökosystemen sowie deren Biodiversität bei. Als limitierender Faktor des Pflanzenwachstums ist Stickstoff darüber hinaus auch wichtig für die pflanzliche Biomasse-Produktion, und damit für den globalen Kohlenstoff-Kreislauf. Die Symbiose wird daher als eine der wichtigsten auf unserem Planeten angesehen.

Originalveröffentlichung:

Werner, G. D. A. et al. A single evolutionary innovation drives the deep evolution of symbiotic N₂ fixation in angiosperms. Nat. Commun. 5:4087, doi: 10.1038/ncomms5087 (2014).

<http://dx.doi.org/10.1038/ncomms5087>



Wurzelknöllchen mit Rhizobien

Kontakt am Max-Planck-Institut für Biogeochemie:

Dr. Jens Kattge

Max-Planck-Institut für Biogeochemie

Forschungsgruppe "Funktionelle Biogeographie"

Hans-Knöll-Strasse 10, 07745 Jena

Tel: +49 3641 576226

Email: [jkattge\(at\)bgc-jena.mpg.de](mailto:jkattge(at)bgc-jena.mpg.de)

<https://www.bgc-jena.mpg.de/functionalbiogeography/index.php/Main/HomePage>