



B 57 / 2003 (137)

4. Dezember 2003

Neue Hoffnung für Schwermetall-belastete Böden

Erster umfassender Genvergleich zweier Pflanzenarten offenbart molekulares Inventar für Schwermetalltoleranz und -hyperakkumulation

Als Folge von Bergbau, Hüttenindustrie oder militärischer Nutzung sind heute Böden in zahlreichen Regionen mit Schwermetallen verunreinigt. Sie beeinträchtigen das Grundwasser, reichern sich in Nahrungsmitteln an oder dringen als Flugstaub in unsere Lungen ein. Schwermetall-belastete Böden zu sanieren ist daher von großem wirtschaftlichen wie gesundheitlichem Interesse. Wissenschaftler am Max-Planck-Institut für Molekulare Pflanzenphysiologie in Potsdam und am Leibniz-Institut für Pflanzenbiochemie in Halle sind jetzt dem Verständnis der molekularen Mechanismen ein gutes Stück nähergekommen, die es bestimmten Pflanzenarten ermöglichen, sich trotz Schwermetallbelastung zu entwickeln und dem Boden sogar Schwermetalle in großen Mengen zu entziehen. Den Forschern ist es erstmals gelungen, das genetische Inventar zweier nah verwandter Pflanzenarten, des "Metallhyperakkumulators" *Arabidopsis halleri* und der genetischen Modellpflanze *Arabidopsis thaliana*, global miteinander zu vergleichen und hierbei jene Proteine zu identifizieren, die an ihrem Metallstoffwechsel beteiligt sind. Dank dieser neuen Erkenntnisse über den Metallhaushalt können jetzt spezielle Technologien entwickelt werden, um belastete Böden durch den Anbau von Schwermetall-sammelnden Pflanzen zu sanieren (The Plant Journal, OnlineEarly, 4. Dezember 2003).

Pflanzenforscher beschäftigen sich seit Ende der 1980er Jahre intensiv mit so genannten Metallhyperakkumulatoren, also Pflanzen, die Metall-Ionen in großen Mengen in ihren Blättern und Sprossen speichern können und eine bemerkenswerte Metalltoleranz aufweisen. Dieses Interesse entwickelte sich zeitgleich mit der Erkenntnis, dass Metall-Ionen in der Biologie generell eine wichtige Rolle spielen und eine Reihe von schweren Erkrankungen des Menschen, wie "Menke's Disease", "Wilson's Disease" oder die Hämochromatose, möglicherweise aber auch Alzheimer und Prionenkrankheiten, auf einen gestörten Metallhaushalt zurückzuführen sind. Denn alle Organismen sind mit demselben Dilemma konfrontiert: Metalle wie Kupfer, Zink, Eisen, Mangan oder Nickel sind in geringen Mengen lebensnotwendig. Wird ein solches Metall jedoch im Überschuss akkumuliert oder falsch verteilt, kann es zu schweren Schädigungen des Organismus kommen. Daher besitzen alle Lebewesen ein eng gestricktes und streng reguliertes Netzwerk von Proteinen des Metallhaushaltes.

Bisherige Untersuchungen dieser Proteine zeigten überraschend, dass sie in so unterschiedlichen Organismen, wie beim Menschen, in der Bäckerhefe oder in Pflanzen einander ziemlich ähneln. In Metallhyperakkumulator-Pflanzen wie *Thlaspi caerulescens* sind einzelne an der Metall-Speicherung beteiligte

Max-Planck-Gesellschaft
zur Förderung
der Wissenschaften e.V.
Referat für Presse- und
Öffentlichkeitsarbeit

Hofgartenstraße 8
80539 München

Postfach 10 10 62
80084 München

Telefon: +49 (0)89 2108 - 1276
Telefax: +49 (0)89 2108 - 1207
E-Mail: presse@mpg-gv.mpg.de
Internet: www.mpg.de

Pressesprecher:
Dr. Bernd Wirsing (-1276)

Chef vom Dienst:
Dr. Andreas Trepte (-1238)

Biologie, Medizin:
Dr. Christina Beck (-1306)

Chemie, Physik, Technik:
Helmut Hornung (-1404)
Eugen Hintsches (-1257)

Geisteswissenschaften:
Susanne Beer (-1342)

Online-Redaktion:
Michael Frewin (-1273)

ISSN 0170-4656

Proteine kaum von ihren Gegenstücken in verwandten, aber nicht Metall-toleranten Pflanzenarten zu unterscheiden, werden jedoch anders reguliert. Allerdings war es bislang nicht möglich, einen globalen Überblick über das komplexe biochemische Netzwerk im Metallhaushalt dieser Pflanzen zu gewinnen. Dies hat sich nun mit den neuen Forschungsergebnissen über die Metallhyperakkumulator-Pflanze *Arabidopsis halleri* geändert.



Abb. 1 Die "Metallsammel-Pflanze" *Arabidopsis halleri* (links) und die genetische Modellpflanze *Arabidopsis thaliana* (rechts). Die Pflanzen sind 6 bis 7 Wochen alt und wurden in Hydrokultur aufgezogen.

Bild: Max-Planck-Institut für molekulare Pflanzenphysiologie/Josef Bergstein

Die Pflanzenart *Arabidopsis halleri* kommt auf stark mit Cadmium und Zink belasteten Böden vor und ist nicht nur extrem schwermetalltolerant, sondern gehört auch zu den etwa 400 Pflanzenarten, die Schwermetalle in ihren Blättern und Sprossen speichern. Diese Eigenschaften sind von großem technologischem Interesse, da sie für die kostengünstige und umweltfreundliche Reinigung schwermetallbelasteter Böden genutzt werden könnten. Wissenschaftler am Max-Planck-Institut für Molekulare Pflanzenphysiologie in Potsdam und am Leibniz-Institut für Pflanzenbiochemie in Halle sind nun der Frage, welche Mechanismen der Metallhyperakkumulation und -toleranz auf der molekularen Ebene zugrunde liegen, im Detail nachgegangen. Dabei haben sie sich die enge Verwandtschaft der Metallhyperakkumulatorpflanze *Arabidopsis halleri* mit der genetischen Modellpflanze *Arabidopsis thaliana* (Ackerschmalwand), deren Erbinformation vollständig entschlüsselt ist, zunutze gemacht. Im Gegensatz zu *A. halleri* weist *A. thaliana* keinerlei Metalltoleranz auf, immobilisiert Metalle in den Wurzeln und transportiert diese Ionen nur in geringem Ausmaß in ihre oberirdischen Pflanzenteile.

Der gegensätzliche Metallhaushalt beider Pflanzenarten und ihre enge genetische Verwandtschaft ermöglichte es den Forschern, die Genbotschaften (Boten-RNA) beider Arten mit Hilfe kommerzieller Genchips von *A. thaliana* zu vergleichen. Diese Chips enthalten Sonden für etwa ein Drittel der im Genom von *A. thaliana* kodierte Genbotschaften. Dies ermöglichte den Wissenschaftlern, die Protein-Baupläne von verschiedenen Genen des Metallhaushaltes zu identifizieren, von denen einige in stark erhöhten Mengen in den Wurzeln, andere stärker im Spross von *A. halleri* vorkommen.



Abb. 2: Ein mit Schwermetallen kontaminierter Standort von *Arabidopsis halleri* am Fluss Innerste nahe Goslar.

Bild: Institut für Pflanzenbiochemie/Dieter Neumann

Die Funktionen dieser Proteine spiegeln deutlich wider, welche besonderen Funktionen die Wurzeln und die Blätter in der Metallhyperakkumulation haben. Aufgabe der Wurzel ist es, die Metallionen zu entgiften und in den Spross weiterzuleiten. Die Blätter der Pflanze lagern vornehmlich große Mengen an Metallionen ein und sind dadurch maßgeblich an der Entgiftung beteiligt. Von einigen der identifizierten Gene haben die Wissenschaftler die Funktion ihrer Genprodukte genauer untersucht und bestimmt. Bei anderen ergab sich ihre Funktion aus bereits vorhandenen Daten.

So kommen die Boten-RNAs für das Enzym Nicotianaminsynthase in der Wurzel von *A. halleri* sehr häufig vor. Diese Enzym katalysiert die Synthese des pflanzenspezifischen Metallchelatormoleküls Nicotianamin, das Zink- und andere Metallionen durch Bildung einer Komplexverbindung entgiftet, aber beweglich hält. Wichtig sind in der Wurzel aber auch Membrantransportproteine, die für die Aufnahme in die Zelle bzw. für die Mobilität der Metallionen sorgen. Im Spross hingegen tauchen die Genbotschaften für ein anderes Isoenzym der Nicotianaminsynthase häufiger auf. Auch in diesem Fall konnten die Forscher nachweisen, dass dieses Enzym bei der Metallentgiftung mitwirkt. Darüber hinaus sind auch hier die Genbotschaften für verschiedene Membrantransportproteine außerordentlich stark vertreten. Für eines dieser Transportproteine wird eine Funktion in der Aufnahme von Zink in die Blattzellen angenommen. Für zwei weitere Transportproteine wiesen die Forscher eine Beteiligung an der Entgiftung von Zinkionen in der Zelle nach. Die Forscher vermuten, dass diese Proteine den Transport der Metalle aus dem Cytoplasma in zelluläre Kompartimente mit weniger Stoffwechselaktivität, wie die pflanzliche Vakuole, vermitteln.

Auffällig ist, dass alle diese Gene unter allen Bedingungen höchst aktiv sind - unabhängig von der Metallkonzentration, der die Pflanzenwurzeln ausgesetzt sind. Dies deckt sich mit Beobachtungen, wonach Blätter von *A. halleri*, auch wenn die Pflanze auf Böden mit normalen Metallgehalten wächst, im Vergleich zu anderen Pflanzen einen stark erhöhten Metallgehalt haben.

Im "post-genomischen" Zeitalter stehen die Erbinformationen von immer mehr Organismen vollständig zur Verfügung. Dadurch wird es jetzt möglich, auch nach den molekularen Grundlagen zu fragen, die es einzelnen Pflanzenarten ermöglichen, auf ganz bestimmten Standorten zu wachsen. "Mit dem auf diese

Weise gewonnenen Wissen wird es einmal möglich sein, die Pflanzenerträge auch in jenen Gebieten der Erde zu verbessern, die klimatisch weniger begünstigt sind als Mitteleuropa," meint Ute Krämer, Forschungsgruppenleiterin am Max-Planck-Institut für molekulare Pflanzenphysiologie. "Zu wissen, welche Faktoren die pflanzliche Metalltoleranz und -akkumulation beeinflussen, könnte wiederum dazu beitragen, den Gehalt an lebenswichtigen Spurenelementen wie Eisen oder Zink in pflanzlichen Nahrungsmitteln zu verbessern oder den Anteil schädlicher Metalle wie Cadmium zu verringern. Wenn es gelingt, die Fähigkeit zur Metallhyperakkumulation auf Pflanzen mit hoher Biomasseproduktion wie den Raps zu übertragen, könnten künftig Metall-belastete Böden durch den ihren Anbau saniert werden."

Schwermetall-Belastung von Böden

Dass auf stark mit Schwermetallen belasteten Böden, wie Abraumhalden von Bergwerken, in der Nähe von Metall-verarbeitenden Betrieben oder am Ufer von Flüssen, die in Bergbauregionen entspringen, einige ganz spezielle Pflanzenarten vorkommen, ist seit dem 19. Jahrhundert bekannt. Diese dienten früher als "Zeigerpflanzen" bei der Suche nach Erzvorkommen. Doch Pflanzen können auf hochgiftigen Böden nur dann gedeihen, wenn sie ihren Stoffwechsel anpassen, so dass sie gegen Schwermetalle "immun" werden.

Im Verlauf der Evolution haben Pflanzen eine Reihe extremer Orte erobert - neben stark Schwermetall-belasteten Standorten auch Regionen mit extremer Trockenheit, Kälte oder hoher Salzkonzentration im Boden. Ende des 19. Jahrhunderts berichtete der Deutsche Anton Baumann zum erstenmal von hoher Zinkakkumulation in den Blättern der Pflanzenart *Thlaspi caerulescens* (Voralpen-Hellerkraut, Brassicaceae). Mitte des 20. Jahrhunderts wurden in den Blättern einiger Arten der Gattung *Alyssum*, die im Mittelmeerraum vorkommt, Nickelkonzentrationen von mehr als 2 Prozent der Trockenmasse gemessen. *Arabidopsis halleri* (Haller'sche Schaumkresse) ist ein charakteristischer Vertreter der Vegetation auf stark mit Cadmium und Zink belasteten Böden. Die Zinkkonzentration in ihren Blättern ist mit etwa 1,5 Prozent der Trockenmasse mehr als 100-fach höher als in den meisten anderen am selben Standort wachsenden metalltoleranten Pflanzenarten.

[AT]

Verwandte Links:

- [1] [Selbständige Nachwuchsgruppe "Metallhomeostase"](#)
- [2] [Molekulare Mechanismen in Metallophyten \(Schwermetall-resistenten Pflanzen\)](#)
- [3] [Links zum Entzug von Schadstoffen aus dem Boden durch "Phytoremediation"](#)

Originalveröffentlichung:

Martina Becher, Ina N. Talke, Leonard Krall and Ute Krämer

Cross-species microarray transcript profiling reveals high constitutive expression of metal homeostasis genes in shoots of the zinc hyperaccumulator *Arabidopsis halleri*

The Plant Journal, OnlineEarly 4-Dec-2003, doi: 10.1046/j.1365-313X.2003.01959.x, no. 37, Issue no. 2 (January 2004)

Michael Weber, Emiko Harada, Christoph Vess, Edda v. Roepenack-Lahaye and Stephan Clemens

Comparative microarray analysis of *Arabidopsis thaliana* and *Arabidopsis halleri* roots identifies nicotianamine synthase, a ZIP transporter and other genes as potential metal hyperaccumulation factors

The Plant Journal, OnlineEarly, 4-Dec-2003 doi: 10.1046/j.1365-313X.2003.01960.x, no. 37, Issue no. 2 (January 2004)

Weitere Informationen erhalten Sie von:

Dr. Ute Krämer

Max-Planck-Institut für molekulare Pflanzenphysiologie, Golm b. Potsdam

Tel.: 0331 5678-357

Fax: : 0331 567898357

E-Mail: kraemer@mpimp-golm.mpg.de

Dr. Stephan Clemens

Leibniz-Institut für Pflanzenbiochemie, Halle/Saale

Tel.: 0345 5582-1420

Fax: 0345 5582-1409

E-Mail: sclemens@ipb-halle.de