

Protonenabscheidung von Pflanzenwurzeln

Mechanismus und Bedeutung für die Nährstoffaufnahme / Von Sven Schubert

Es ist seit langem bekannt, daß Pflanzenwurzeln Protonen (H^+) in das Außenmedium abscheiden und daß das Ausmaß dieser Ansäuerung wesentlich von der Zusammensetzung des Nährmediums bestimmt wird. So beobachtet man eine Nettoprotonenabscheidung bei überschüssiger Kationenaufnahme und eine Alkalinisierung des Mediums bei überschüssiger Anionenaufnahme. Dieses trifft in besonderem Maße für die Form der Stickstoffernährung zu, die entweder in Form von NO_3^- oder NH_4^- (bzw. NH_3 bei symbiontischer Stickstoffernährung der Leguminosen) erfolgen kann und wegen der quantitativen Bedeutung der Stickstoffaufnahme wesentlich die Ionenbilanz beeinflusst. Daher wurde in der Vergangenheit die Vermutung geäußert, daß die Protonenabscheidung von Pflanzenwurzeln die Folge einer unausgewogenen Ionenaufnahme darstelle und der Wahrung der Elektroneutralität diene.

Biochemische und biophysikalische Forschungsarbeiten der letzten zwei Jahrzehnte haben wesentlich zum heutigen Verständnis der Nährstoffaufnahme in die pflanzliche Wurzelzelle beigetragen (Bild). Eine in der Plasmamembran (Plasmalemma) lokalisierte H^+ -ATPase, ein Carrier-Enzym, das die aus der hydrolytischen Spaltung von ATP in ADP und anorganisches Phosphat (P_{an}) freierwerdende Energie nutzt, um Protonen in das Außenmedium zu pumpen, stellt den Motor für die Nährstoffaufnahme dar. Die Trennung von H^+ und OH^- am Plasmalemma führt zur Alkalinisierung und negativen Aufladung der Zelle und damit zur Bildung eines Protonengradienten (proton motive force). Während Kationen passiv dem elektrischen Gradienten folgend durch spezifische Ionenkanäle der Plasmamembran in die Zelle gelangen, ermöglicht der elektrochemische Protonengradient die aktive Aufnahme von Anionen über spezifische Carrier im H^+ /Anionen-Symport (parallele Aufnahme der Anionen). Die Ionenaufnahme wird also indirekt über den elektrochemischen H^+ -Gradienten mittels ATP-Hydrolyse angetrieben.

Zur Klärung der Frage, ob die H^+ -Abgabe infolge ATPase-Aktivität einen primären Prozeß darstellt, wurde untersucht, ob Pflanzenwurzeln auch dann Protonen in das Außenmedium abgeben, wenn keine Nettokationenaufnahme erfolgt. Zu diesem Zweck wurden in vollständiger Nährlösung angezogene Maispflanzen nach sorgfältigem Auswaschen der Wurzeln in entionisiertes Wasser überführt. In diesem Medium wurde die H^+ -Abgabe mittels pH-Elektrode und der Efflux weiterer anorganischer Ionen (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , SO_4^{2-} , $H_2PO_4^-$, NO_3^- , Cl^-) gemessen.

Wurzeln intakter Maispflanzen reduzierten den pH-Wert des entionisierten Wassers innerhalb von acht Stunden von ca. 5,8 auf 4,8. Dieser pH-Abfall wurde auch beobachtet, wenn das Medium mehrmals erneuert wurde, so daß die Zellwand als Quelle der Protonenausscheidung sowie Austauschprozesse mit in der Zellwand gebundenen Kationen ebenfalls als Grund für die externe Azidifizierung (Versauerung) ausge-

schlossen werden können. Messungen mit einer CO_2 -spezifischen Elektrode zeigten, daß die Ansäuerung nur zu etwa einem Drittel auf die Abgabe von CO_2 infolge Wurzelatmung und daraus resultierender Dissoziation von Kohlensäure zurückzuführen war. 65%ige Hemmung der Protonenabgabe mit dem spezifischen ATPase-Inhibitor (Hemmstoff) Vanadat und Verfünffachung der H^+ -Abscheidung nach Zugabe des pilzlichen Toxins Fusicoccin bestätigten, daß es sich zum größten Teil um ATPase-bedingte Protonenabscheidung der Maiswurzeln handelte.

Diese aktive (=entgegen einem elektrochemischen Potentialgradienten) Protonenabgabe wurde durch Beschattung der Pflanzen und niedrige Temperaturen im Effluxmedium beeinträchtigt, während besonders bei niedriger Temperatur der Efflux der meisten übrigen anorganischen Ionen verstärkt war.

Die Experimente decken sich gut mit dem oben skizzierten Modell der Ionenaufnahme. Hemmung der Protonenabgabe als erstem Schritt der Nährstoffaufnahme fördert die passive Nettoabgabe anorganischer Ionen, da die treibende Kraft für eine aktive Aufnahme von Anionen im H^+ /Anionen-Symport bzw. der Elektropotentialgradient für die passive Aufnahme von Kationen fehlt. Die Protonenabgabe ist daher als primärer Schritt der Ionenaufnahme und nicht als Folge einer unausgewogenen Ionenbilanz anzusehen.

Dieser Befund ist von praktischer Bedeutung, da die Protonenabscheidung von Pflanzenwurzeln den pH-Wert der Rhizosphäre in nicht zu stark gepufferten Böden absenkt und auf diese Weise zur Lösung von Ca-Phosphaten und bestimmten Mikronährstoffen beitragen kann. Unter bestimmten Voraussetzungen ermöglicht so die aktive Protonenabscheidung von Pflanzenwurzeln eine verbesserte Erschließung von Pflanzennährstoffen im Boden. Da es sich bei den abgegebenen Protonen primär nicht um „toxische Nebenprodukte“ des pflanzlichen Stoffwechsels handelt, sondern in der Protonenabscheidung von Wurzeln ein erster Schritt der Pflanze zu sehen ist, sich Nährstoffe anzuzeigen, wird vorgeschlagen, bei der Beschreibung des Prozesses der H^+ -Abgabe den Begriff „Sekretion“ gegenüber „Exkretion“ zu bevorzugen. (Die Untersuchungen wurden im Rahmen des Schwerpunktprogrammes „Rhizosphäre“ von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert.)

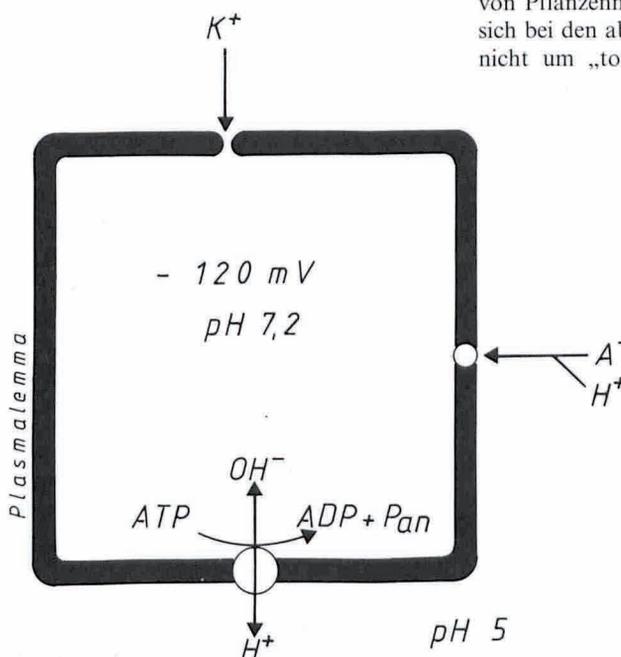


Bild: Vereinfachtes Modell der Protonenabscheidung und Nährstoffaufnahme einer Wurzelzelle (K^+ = Kationen, A^- = Anionen, H^+ = Protonen).