Zeitschrift: Berichte der Schweizerischen Botanischen Gesellschaft = Bulletin de la Société Botanique Suisse

Herausgeber: Schweizerische Botanische Gesellschaft

Band: 82 (1972)

Heft: 4

Artikel: Verlagerung der autochthonen Spurenelemente Fe, Zn, Cu und Mn und des Calciums bei der Keimung von Pisum sativum L.

Autor: Schudel, Peter

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-57674

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 02.10.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Ber. Schweiz. Bot. Ges. *82* (4), 339–349 (1972)

Verlagerung der autochthonen Spurenelemente Fe, Zn, Cu und Mn und des Calciums bei der Keimung von *Pisum sativum* L.

von Peter Schudel

(Aus der Botanischen Anstalt der Universität Basel)

Manuskript eingegangen am 28. September 1972

Inhalt

Einleitung
Methode
Experimentelle Ergebnisse:
1. Verteilung und Verlagerung
2. Veränderungen durch Etiolierung
3. Differenzierung innerhalb von Spross und Wurzel
Diskussion
Zusammenfassung
Summary
Literatur

Einleitung

Während der Keimung durchläuft der Embryo eine heterotrophe Phase, in welcher die von der Mutterpflanze in den Samen eingelagerten Reservestoffe mobilisiert und verlagert werden. Abbau und Verschiebung von organischen Stoffen und Nährionen sind verschiedentlich untersucht worden; über Spurenelemente existieren dagegen nur wenige und zum Teil veraltete Untersuchungen. Der Grund dafür ist in den Schwierigkeiten einer quantitativen Erfassung so geringer Mengen zu suchen. Diese methodischen Probleme konnten erst mit modernen Analysenmethoden befriedigend gelöst werden.

Die vorliegende Arbeit schliesst an eine Untersuchung von Pedretti (1958) über die Verteilung autochthoner Spurenelemente bei *Zea Mays* an. Da die morphologischen Verhältnisse der Lagerung von Reservestoffen bei den Monokotylen häufig von jenen der Dikotylen abweichen, bestand ein erstes Ziel in der Bestimmung der Verteilung von Eisen, Zink, Kupfer und Mangan im Samen von *Pisum sativum;* als zweite und weiterführende Aufgabe wurde die Verlagerung dieser Spurenelemente während der Keimung untersucht. Molybdän, Kobalt und Bor wurden nicht in die Untersuchungen einbezogen, weil der Gehalt an Molybdän und Kobalt an der Grenze der Nachweisbarkeit der angewandten Methode liegt und die Erfassung von Bor eine völlig andere Bestimmungsmethode verlangt. (siehe Diss. F. Keller, Basel, noch nicht veröffentlicht).

Zum Vergleich wurde zu den Spurenelementen noch ein Nährelement in die Untersuchungen einbezogen. Die Wahl fiel auf Calcium, da es an der Regulierung der Aufnahme der andern Mineralstoffe beteiligt ist.

Methode

Versuchsobjekt: In Vorversuchen mit *Helianthus annuus, Pisum sativum, Ricinus communis* und *Vicia faba* hatte sich *Pisum* (Markerbse „Vatters Grüne Perle" der Samenhandlung Vatter in Bern) hinsichtlich Homogenität und geringer Anfälligkeit auf Infektionen als geeignetstes Material erwiesen.

Anzucht: Ungefähr gleich grosse, gesunde und unverletzte Samen mit je einem Gewicht von ca. 200 mg wurden während dreissig Sekunden in lauwarmem Seifenwasser kräftig geschüttelt und anschliessend gründlich gespült, fünf Minuten unter fliessendem Leitungswasser, in aqua destillata und bidestillata aus einer Quarzanlage. Darauf kamen sie zu 24-stündiger Quellung in belüftetes doppelt destilliertes Wasser. Je 100 gequollene Samen wurden zur Keimung bei einer Temperatur von $25 \pm {}^1/_2{}^0$C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 80–85% auf einen Rost aus Plexiglas, der auf eventuelle Abgabe von Spurenelementen überprüft worden war, gesetzt. Ca. 1 cm unter dem Rost befand sich bidestilliertes Wasser („Keimungswasser") das die Wurzelspitzen nach rund 36 Stunden erreichten. Vom zweiten Keimungstag an wurden die Kulturen (mit Ausnahme der etiolierten) während je 14 Stunden mit zwei Philips-Röhren vom Typ TLD 34 (40 Watt) im Abstand von einem Meter belichtet.

Veraschung und Analyse: Als Versuchsbeginn wurde der Zeitpunkt 24 Stunden nach Beginn der Quellung festgelegt. Die Quellung darf dann bei einer Temperatur von 25^0C als abgeschlossen angesehen werden. An diesem Versuchsbeginn, zwei, drei und fünf Tage später (bezeichnet als 0, 2, 3, 5 d) erfolgten die jeweiligen Versuchsabbrüche und die Analysen der Ionenverteilung. Die Keimpflanzen wurden sofort mit einem Quarzmesser zerlegt

in Sprossteil, Kotyledonen, Wurzel und Samenschale und 24 Stunden lang bei 90° C getrocknet. Bei Spross, Wurzel und Samenschale konnte die Veraschung ohne vorherige Pulverisierung durchgeführt werden. Einzig die Kotyledonen mussten in einer Achat-Schlagmühle (Retsch KG, Haan, Typ MM) zerkleinert werden. Zur Veraschung hatte sich eine nach Fankhauser (1966) und Läuchli (1962) modifizierte Form der nassen Veraschung am besten bewährt. Sie wurde in Quarz-Reagensgläsern in einem Aluminium Thermoblock ausgeführt. Zum trockenen Analysenmaterial wurde je ein Milliliter HNO_3 p.a., die auf Verunreinigungen an Spurenelementen überprüft und unmittelbar vor dem Gebrauch in Quarz destilliert worden war, hinzugefügt. Die Temperatur wurde vorsichtig erhöht (140° C) und sobald die Reaktion abgeklungen war, wurden dreimal je sechs Tropfen H_2O_2 p.a. zugegeben und der Rückstand so weit wie möglich eingeengt. Er wurde in verdünnter HCl p.a. aufgenommen, mit aqua bidestillata auf 5 ml aufgefüllt und in einem Unicam SP 90A Atomabsorptions-Spektralphotometer analysiert.

Probengrösse und statistische Sicherung: Um eine Gesamt-Streuung, die 5% nicht übersteigen sollte, zu erhalten, mussten je 3 bis 6 Parallelproben mit einer Probengrösse von 20 Exemplaren verarbeitet werden. Da beim ersten Versuchsabbruch unmittelbar bei Versuchsbeginn die Menge an Spurenelementen in Spross und Wurzel, die nach der Quellung noch kaum gewachsen waren, für die Empfindlichkeit des Spektralphotometers zu gering war, musste die Probengrösse hier auf 40 erhöht werden. Die Resultate wurden durch Varianzanalysen statistisch geprüft und die Differenzen zwischen den Mittelwerten mit dem t-Test gesichert. Die Berechnungen wurden an einem Diehl Combitron S Tischcomputer des Mineralogischen Institutes ausgeführt.

Experimentelle Ergebnisse

1. Verteilung und Verlagerung

Bei Versuchsbeginn, der als Endpunkt der 24-stündigen Quellungszeit festgelegt wurde, wurde eine erste Serie von Versuchspflanzen in Sprossteil, Wurzel, Kotyledonen und Samenschale zerlegt und analysiert. Insgesamt enthält ein Same nach der Quellung 9,7 µg Fe oder 45% der untersuchten Spurenelemente, 7,1 µg Zn oder 33%, 2,9 µg Mn oder 13%, 1,9 µg Cu oder 9% und 164,8 µg Calcium. Das Trockengewicht (TG) beträgt rund 180 mg. Zwei weitere Serien wurden in den Keimgefässen im 14-Stunden-Langtag angezogen und nach 3 resp. 5 Tagen zerlegt und analysiert, Tabelle 1 zeigt die Verteilung der untersuchten Elemente für die drei Versuchszeiten. Als „Keimungswasser" wird das bidestillierte Wasser bezeichnet, auf dem die Keimpflanzen gewachsen sind. Die Abgabe von Spurenelementen ist gering, maximal 2%.

Die Serie 0 d zeigt die Verteilung zu Beginn des Versuches: Die Hauptmenge aller Spurenelemente, rund 90%, befindet sich in den Kotyledonen, je etwa 10% Fe resp. Zn und etwa 3% Cu resp. Mn können in der Samenschale lokalisiert werden, während die Wurzel bloss ca. 2%, der Spross sogar nur 0,5% enthält. Beim Calcium lauten die entsprechenden Werte: Kotyledonen 63,44 µg oder 38,5% des gesamten Calciums, Samenschale 100,35 µg oder 60,9%, Wurzel 0,70 µg oder 0,4%, Spross 0,27 µg oder 0,2%. Nicht die Kotyledonen, sondern die Samenschale enthält also den Hauptteil des Calciums. Betrachtet man den Gehalt pro TG – abgekürzt als „Konzentration" bezeichnet –, so erkennt man, dass trotz des geringen Gehaltes an Spurenelementen von Spross und Wurzel die

Tabelle 1: Verteilung der Spurenelemente auf die Organe.

Gehalt der Organe in µg und Streuung s_m
prozentualer Gehalt (Totalgehalt = 100%)
Gehalt pro Trockengewicht („Konzentration") in µg/g

		Fe				Zn			
Organ	d	µg	s_m	%	µg/g	µg	s_m	%	µg/g
Spross	0	0,06	0,004	0,6	113	0,06	0,002	0,8	94
	3	0,50	0,02	5,2	106	0,37	0,01	5,3	79
	5	0,89	0,03	9,0	90	0,67	0,02	9,6	67
Wurzel	0	0,26	0,005	2,7	165	0,16	0,003	2,3	102
	3	0,48	0,005	4,9	102	0,39	0,005	5,6	83
	5	0,75	0,015	7,6	94	0,65	0,015	9,3	82
Kotyledonen	0	8,35	0,47	86,3	53	6.16	0,26	86,3	39
	3	6,88	0,16	70,9	57	5,07	0,10	72,6	42
	5	6,70	0,19	67,6	60	4,56	0,11	65,5	46
Samenschale	0	1.01	0,07	10,4	48	0,76	0,02	10,6	36
	3	1,67	0,09	17,2	86	1.04	0,02	14,9	54
	5	1,49	0,05	15,0	73	0,95	0,02	13,6	46
(Keimungs-	3	0,17		1,8		0,11		1,6	
wasser)	5	0,08		0,8		0,14		2,0	
total	0	9,68	0,55	100		7,13	0,28	100	
	3	9,70	0,26	100		6,98	0,13	100	
	5	9,91	0,24	100		6,97	0,13	100	

Konzentration in diesen Organen beträchtlich höher ist als in Kotyledonen und Samenschale. Anders beim Calcium: seine Konzentration ist in Spross, Wurzel und Kotyledonen vergleichbar gross, in der Samenschale dagegen rund zehnmal höher.

In der zweiten Versuchsserie, nach 3 Tagen, hat sich die Differenz im Gehalt an Spurenelementen zwischen Spross und Wurzel ausgeglichen; der Gehalt der Kotyledonen hat abgenommen und derjenige der Samenschale leicht zugenommen. Trotz der Abnahme des Gehaltes der Kotyledonen ist die Konzentration in ihnen angestiegen, was auf Ausfuhr von nicht erfassten Elementen und auf Abbau von Kohlenhydraten hinweist. Aber auch die Konzentration in der Samenschale hat erheblich zugenommen durch die Abgabe von Calcium und weitern nicht erfassten Elementen.

Nach 5 Tagen wurde die letzte Versuchsserie abgebrochen, da sich bei längerdauernder Kultur auf aqua bidestillata Wachstumsstörungen bemerkbar machten. Der Gehalt des Sprosses an Spurenelementen übertrifft jetzt in den meisten Fällen den Gehalt der Wurzel. Die Kotyledonen haben weiterhin Spurenelemente abgegeben und der Gehalt der Samenschale ist leicht zurückgegangen.

Tabelle 1: Fortsetzung

		Cu				Mn			
Organ	d	µg	s_m	%	µg/g	µg	s_m	%	µg/g
Spross	0	0,01	0,0005	0,5	19	0,01	0,0005	0,4	19
	3	0,10	0,002	5,9	21	0,06	0,001	2,3	13
	5	0,19	0,006	12,0	19	0,11	0,005	4,3	11
Wurzel	0	0,04	0,0005	1,9	26	0,04	0,001	1,4	26
	3	0,10	0,002	6,0	21	0,05	0,001	2,1	11
	5	0,19	0,005	11,4	24	0,08	0,003	3,1	10
Kotyledonen	0	1,78	0,09	95,2	11	2,74	0,05	95,2	17
	3	1,41	0,05	83,6	12	2,34	0,11	91,3	19
	5	1,17	0,08	72,3	12	2,26	0,12	88,3	20
Samenschale	0	0,04	0,001	2,4	2	0,08	0,0005	3,0	4
	3	0,06	0,0005	3,5	3	0,11	0,001	4,3	6
	5	0,05	0,001	3,2	2	0,11	0,002	4,3	5
(Keimungs-	3	0,02		1,0		0,00		0,0	
wasser)	5	0,02		1,1		0,00		0,0	
total	0	1,87	0,09	100		2,87	0,05	100	
	3	1,69	0,05	100		2,56	0,11	100	
	5	1,62	0,09	100		2,56	0,13	100	

Beim Calcium sieht es folgendermassen aus: Der Gehalt des Sprosses ist von 0,2 auf 0,9%, das sind 1,60 µg, derjenige der Wurzel von 0,4 auf 0,6%, das sind 1,09 µg, gestiegen. Der Gehalt der Kotyledonen ist von 38,5% auf 38,75%, das sind 65,95 µg, gegangen und derjenige der Samenschale bei einer scheinbaren Zunahme auf 101,50 µg von 60,9 auf 59,6%

Vom prozentualen Gehalt der verschiedenen Elemente in Spross, Wurzel, Kotyledonen, Samenschale und Keimungswasser der drei Versuchsserien ausgehend, wurden jetzt die Verlagerungen zwischen den Organen berechnet und in Tabelle 2 zusammengestellt. Die Tabelle enthält die während der ersten 3 resp. 5 Tagen zwischen den untersuchten Organen verlagerten Mengen an Spurenelementen und Calcium.

Auf den ersten Blick scheint sich zu bestätigen, was zu erwarten war, dass die Kotyledonen Spurenelemente liefern: Spross, Wurzel, Samenschale und Keimungswasser haben Spurenelemente aufgenommen, die Kotyledonen abgegeben. Bei näherem Hinsehen entdeckt man aber einige Abweichungen. So verringert sich zwischen dem 3. und dem 5. Tag die Abgabe der Kotyledonen,

Tabelle 2:

Verlagerte Mengen (in µg) 3 resp. 5 Tage nach der Quellung.

	Fe		Zn		Cu		Mn		Ca	
Tage	3	5	3	5	3	5	3	5	3	5
Spross	0,44	0,81	0,32	0,63	0,10	0,21	0,06	0,11	0,98	1,38
Wurzel	0,22	0,47	0,24	0,50	0,07	0,18	0,02	0,05	0,14	0,35
Kotyledonen	-1,48	-1,81	-0,98	-1,50	-0,22	-0,43	-0,12	-0,21	0,23	0,41
Samenschale	0,66	0,45	0,30	0,21	0,03	0,02	0,04	0,04	-1,75	-2,06
Keimungswasser	0,17	0,08	0,11	0,14	0,02	0,02	0,00	0,00	0,38	0,04

- bedeutet Abgabe von Elementen

dafür werden zusätzlich Spurenelemente von Samenschale und Keimungswasser abgegeben. Das heisst, dass nicht nur die Kotyledonen Spurenelemente liefern, oder – anders interpretiert – dass sich die in den Kotyledonen gespeicherten Spurenelemente nicht mehr so leicht mobilisieren lassen, und die Keimpflanze es darum auf andern Wegen „versucht".

Erweitert man diese Betrachtung auch auf das Calcium, so findet man, dass die Kotyledonen kein Calcium abgeben, im Gegenteil, sie nehmen sogar Calcium auf, wie Spross und Wurzel. Das Organ mit dem grössten Gehalt, die Samenschale, liefert die verlagerten Mengen.

Aus dieser Sachlage lässt sich folgende Hypothese ableiten: Die Kotyledonen vermögen nur so lange Spurenelemente abzugeben als ihnen Calcium zugeführt wird oder mit andern Worten: in den Kotyledonen findet ein Austauch zwischen Calcium und Spurenelementen statt.

2. Veränderungen durch Etiolierung

Fünf Tage nach der Quellung weisen die etiolierten Keimpflanzen gegenüber belichteten Vergleichspflanzen deutliche Unterschiede auf: ihre Sprosse sind länger und ihre Wurzeln kürzer. Tabelle 3 gibt einen Überblick über die Ergebnisse dieser Versuchsreihe.

Spross: Das Trockengewicht des Sprosses ist durch Etiolierung um 40% gestiegen. Ebenfalls ist der Gehalt an allen Spurenelementen höher. Mit der enormen Erhöhung des Trockengewichtes haben aber nur Mn und Cu, deren Konzentration sich nicht signifikant verändert hat, mithalten können, dagegen ist der Gehalt an Fe und Zn deutlich zurückgeblieben und dementsprechend sind die Konzentrationen signifikant um 14 resp. 9% kleiner geworden.

Wurzel: Das Trockengewicht der Wurzel hat um 13% abgenommen. Eine entsprechende Abnahme finden wir beim Gehalt an Fe und Zn; die Konzentration hat sich in beiden Fällen nicht signifikant verändert. Der Gehalt an Cu ist konstant geblieben; dabei hat sich die Konzentration signifikant um 19% erhöht.

Tabelle 3:

Zunahme (+) resp. Abnahme (–) von Trockengewicht und Ionengehalt etiolierter Versuchspflanzen im Vergleich zu belichteten. Alter = 5 Tage.

	TG		Fe		Zn		Cu		Mn		total		Ca	
	mg	%	µg	%	µg	%	µg	%	µg	%	µg	%	µg	%
S	+4,02	+40	+0,15	+17	+0,17	+25	+0,08	+42	+0,05	+45	+0,45	+24	+0,01	+1
W	−1,02	−13	−0,08	−11	−0,09	−14	−0,00	0	−0,03	−37	−0,20	−12	0,27	−25
S+W	+3,00	+17	+0,07	+4	+0,08	+6	+0,08	+21	+0,02	+11	+0,25	+7	−0,26	−10

S = Spross W = Wurzel

In grösserem Umfang als das Trockengewicht hat der Gehalt an Mn abgenommen und dementsprechend ist die Konzentration um 25% zurückgegangen.

Spross und Wurzel: Spross und Wurzel sind die beiden Pflanzenteile des Keimlings, die durch Wachstum Mineralstoffe aufnehmen. So mag es gerechtfertigt sein, diese als die wachsenden Organe zusammenzufassen. Durch Etiolierung hat ihr gemeinsames Trockengewicht um 17% zugenommen. Einzig der Gehalt an Cu hat sich mit einer Zunahme von 21% stärker erhöht; die andern Spurenelemente sind darunter geblieben. Zusammen haben sie eine Steigerung von 7% oder 0,25 µg erfahren.

Calcium: Im Spross hat sich der Gehalt an Calcium kaum verändert, was in der signifikanten Abnahme der Konzentration um 33% verdeutlicht wird. Der Gehalt der Wurzel ist um 25% zurückgegangen und die Konzentration um 28%. Spross und Wurzel zusammengenommen ergeben einen Rückgang um 10% oder 0,26 µg.

Zusammenfassend lässt sich über den Einfluss der Etiolierung sagen, dass erstens die Einfuhr von Spurenelementen in Spross und Wurzel zusammen um 0,25 µg höher ist und dass gleichzeitig 0,26 µg Calcium weniger in Spross und Wurzel verlagert worden sind. Das weist wiederum auf eine direkte Beziehung zwischen den untersuchten Spurenelementen und dem Calcium hin. Zweitens ist die Verteilung der einzelnen Elemente auf Spross und Wurzel stark verändert worden.

3. Differenzierung innerhalb von Spross und Wurzel

Tabelle 4 zeigt die Konzentrationen an Fe, Zn, Cu, Mn und Calcium in Spross und Wurzel, wie sie in vier verschiedenen Versuchsserien gefunden worden sind. In den mit „ganz" überschriebenen Kolonnen ist die Konzentration der ungeteilten Organe angegeben. Da aber nicht anzunehmen ist, dass die Konzentration über das ganze Organ gleich gross ist – vor allem mögen in den Vegetationspunkten abweichende Verhältnisse vorliegen – sind Spross und Wurzel in einen kleinen, apikal gelegenen Meristemteil mit dem Vegetationspunkt

Tabelle 4:

Gehait pro Trockengewicht (µg/g) bei belichteten Pflanzen

		Fe			Zn			Cu			Mn			Ca		
	d	g	M	R	g	M	R	g	M	R	g	M	R	g	M	R
Spross	0	117	113		104	94		26	23		20	19		515	510	
	2	117	136	109	103	131	106	26	28	22	12	19	17	360	447	447
	3	107	97	90	78	91	69	21	25	18	13	14	10	254	184	273
	5	98	122	79	75	96	59	22	27	18	12	21	8	166	110	161
Wurzel	0	163	165		104	102		23	26		25	26		444	445	
	2	103	163	98	91	128	90	22	27	21	11	21	10	210	250	228
	3	99	186	94	79	142	72	22	45	19	13	62	11	162	181	160

g = ganzes Organ M = Meristemteil R = Restteil

und in einen grössern, basalen Restteil zerlegt worden. Unmittelbar nach der Quellung waren Plumula und Radicula noch zu klein für eine präzise Teilung, so dass sie als ganze Organe dem Meristemteil zugerechnet wurden.

Spurenelemente: Man erkennt, dass die Konzentration aller Spurenelemente in den ganzen Organen mit der Versuchsdauer abnimmt; die einzige Ausnahme bildet die Cu-Konzentration der Wurzel, die konstant bleibt. Vergleicht man damit die Werte von Meristemteil und Restteil, dann sieht man, dass diese Abnahme aus zwei sich überlagernden Erscheinungen resultiert, dem Rückgang der Konzentration im sehr viel grösseren Restteil und der Zunahme im Meristemteil.

Calcium: Bei weitem die stärkste Konzentrationsabnahme erfährt das Calcium. Nach 5 Tagen ist sie im Spross auf 32%, in der Wurzel sogar auf bloss 27% des Anfangswertes gesunken. Dabei fällt die Konzentration im Meristemteil des Sprosses sogar unter die Konzentration des Restteiles.

Was lässt sich aus diesem Versuch herauslesen? Dass der Meristemteil des Sprosses seine Konzentration an Spurenelementen halten kann, scheint für seine volle Funktionstüchtigkeit zu sprechen. Die starke Erhöhung der Konzentrationen im Meristemteil der Wurzel könnte sich vielleicht sogar wachstumshemmend auswirken. Wer reguliert aber die Konzentration der Spurenelemente? In den beiden vorangehenden Abschnitten fanden sich Hinweise darauf, dass dieser Vorgang mit der Aufnahme von Calcium in die Kotyledonen gekoppelt sein könnte. Hier finden wir, dass die Konzentration des Calciums in Spross und Wurzel mit der Versuchsdauer ganz enorm abnimmt, so stark, dass man sich fragen kann, ob nicht alles der Keimpflanze verfügbare Calcium primär den Kotyledonen zugeführt wird und alle andern Bedürfnisse erst sekundär befriedigt werden.

Diskussion

Die vorliegenden Versuchsergebnisse zeigen, dass auch bei einem Vertreter der Dikotylen, bei *Pisum sativum,* Spurenelemente von der Mutterpflanze in den Samen eingelagert werden. Man darf daher zu recht von autochthonen Spurenelementen sprechen. Den Speicherort bilden die Kotyledonen. Unmittelbar nach der Quellung befindet sich nur eine geringe Menge an Spurenelementen in Plumula und Radicula. Jede Erhöhung des Gehaltes kann daher nur durch eine Verlagerung zustandekommen und kann durch Analyse verschieden alter Keimpflanzen indirekt erschlossen werden.

Ausser den Spurenelementen wurde auch der Calcium-Gehalt gemessen. Lausch (1958) hatte Untersuchungen über die Verlagerung von Calcium an *Pisum sativum* ausgeführt. Im Gegensatz zu diesem Autor wurden die Samenschalen nicht von den Keimpflanzen entfernt, was zur Folge hatte, dass die von ihm beschriebenen Calcium-Mangelerscheinungen ausblieben. Es ergab sich eine geringe Calcium-Einfuhr in Spross, Wurzel und evtl. Kotyledonen; das verlagerte Calcium stammt aus der Samenschale.

In der Versuchsbeschreibung wurde auf ein beachtenswertes Phänomen hingewiesen, auf die direkte Abhängigkeit der Verlagerung von Spurenelementen aus den Kotyledonen von der Zufuhr von Calcium in diese. Es scheint, dass Spurenelemente von den Kotyledonen nur im Austausch gegen Calcium freigegeben werden können. Dass Calcium in allen Membranen von grosser Bedeutung bei der Erhaltung der Membranstabilität ist, wurde schon oft erwähnt, z.B. Marschner und Günther (1966). Viets (1944) hatte schon die Vermutung geäussert, dass der regulierende Effekt der Kationen von ihrer direkten Wirkung auf die Plasmamembran herrühre. Diese Hypothese wurde von Jacobson (1960 und 1961) so ausgebaut, dass Calcium und andere mehrwertige Kationen die Struktur der Oberflächengruppen verändern und dadurch die Permeabilität modifizieren können. Der interessanteste Aspekt dieser Hypothese besteht darin, dass die Selektivität der Ionenaufnahme als Resultat Kationen-induzierter Strukturänderungen der Membran aufgefasst wird.

Zusammenfassung

Verteilung und Verlagerung der autochthonen Spurenelemente Fe, Zn, Cu und Mn und von Calcium in Keimpflanzen von *Pisum sativum* wurden untersucht. Die Samen, deren Schalen nicht entfernt worden waren, wurden auf demineralisiertem Wasser gekeimt; innerhalb der Versuchsdauer von 5 Tagen zeigten sich keine Entwicklungsstörungen. Nach 2, 3 und 5 Tagen wurden die Versuche abgebrochen, die Keimpflanzen in Spross, Wurzel, Kotyledonen und Samenschale zerlegt und analysiert.

Ein gequellter Samen mit einem Trockengewicht von ca. 180 mg enthält 9,7 µg Fe, 7,1 µg Zn, 2,9 µg Mn, 1,9 µg Cu und 164,8 µg Calcium; rund 90% der Gesamtmenge an Spurenelementen befinden sich in den Kotyledonen. Dagegen enthalten diese nur 38,5% des Calciums; die Hauptmenge, nämlich 61%, befindet sich in der Samenschale. Nach 5 Tagen Keimung haben Spross und Wurzel zusammen folgende zusätzliche Mengen aufgenommen: 1,28 µg Fe, 1,13 µg Zn, 0,39 µg Cu, 0,16 µg Mn und 1,72 µg Calcium. Alle verlagerten Spurenelemente stammen aus den Kotyledonen, das Calcium dagegen aus der Samenschale. Gewisse Befunde deuten darauf hin, dass die Kotyledonen die autochthonen Spurenelemente nur im Austausch gegen Calcium freigeben.

Summary

The distribution and displacement of the autochthon trace elements Fe, Zn, Cu and Mn and of Ca in germinating plants of *Pisum sativum* were investigated. The seeds (their coats were not removed) were germinated on de-mineralized water; their development appeared undisturbed up to 5 days. The experiments were interrupted on days 2,3 and 5, the germinating plants were dissected into shoot, root, cotyledons and seed coat and analyzed.

A seed with a dry weight of ca. 180 mg contains: 9,7 µg Fe, 7,1 µg Zn, 2,9 µg Mn, 1,9 µg Cu and 164,8 µg Ca; approximately 90% of the total of trace elements are contained in the cotyledons. However, the latter contain only 38,5% of the calcium total; the bulk, i.e. 61%, is found in the seed coat. After 5 days of germination shoot and root together have taken up: 1,28 µg Fe, 1,13 µg Zn, 0,39 µg Cu, 0,16 µg Mn and 1,72 µg Ca. All displaced trace elements originate from the cotyledons; Ca, in contrast, from the seed coat. Some findings point to the fact that the cotyledons release the autochthon trace elements only in exchange for Ca.

Die vorliegende Arbeit wurde an der Botanischen Anstalt der Universität Basel unter der Leitung von Herrn Prof. Dr. M. Geiger-Huber ausgeführt. Ich möchte ihm an dieser Stelle für sein Interesse danken und dafür, dass er mir die Mittel des Institutes zur Verfügung gestellt hat.

Weiter gilt mein Dank den Herren PD Dr. H.G. Seiler für seine wertvollen Ratschläge zur Analyse von Spurenelementen und Dr. W. Stern für die Überlassung des Computers.

Literatur

Fankhauser E., 1966. Über die Aufnahme von Strontium durch Bodenpilze der Gattungen *Aspergillus* und *Penicillium*. Ber. Schweiz. Bot. Ges. *76*, 5–41 (Diss. Basel).

Jacobson L., Hannapel R.J., Moore D.P. and Schaedle M. 1961. Influence of calcium on selectivity of ion absorption process. Plant Physiol. *36*, 58–61.

– , Moore D.P. and Hannapel R.J. 1960. Role of calcium in absorption of monovalent cations. Plant. Physiol. *35*, 352–358.

Läuchli A. 1962. Über die Aufnahme von Stontium durch höhere Pflanzen. Ber. Schweiz. Bot. Ges. *72*, 147–197 (Diss. Basel).

Lausch E. 1958. Untersuchungen über Calcium-Rücktransport in höheren Pflanzen. Flora *145*, 542–588.

Marschner H. und Günther I. 1966. Veränderungen der Feinstruktur der Chloroplasten in Gerstensprossen. Flora *156*, 684–696.

Pedretti E. 1958. Über Bestimmung und Verteilung autochthoner Spurenelemente in jungen Maispflanzen. Ber. Schweiz. Bot. Ges. *68*, 103–144 (Diss. Basel).

Schudel P. 1972. Verlagerung der autochthonen Spurenelemente Fe, Zn, Cu und Mn und des Calciums bei der Keimung von *Pisum sativum* L. (Diss. Basel).

Viets F.G. 1944. Calcium and other polyvalent cations as accelerators of ion accumulation by excised barley roots. Plant Physiol. *19*, 466–480.

Peter Schudel
Wettsteinstrasse 2
4125 Riehen