

BEITRAG ZUR KENNTNIS DER  
PHYSIOLOGISCHEN FUNKTION DER  
AERIALEN NODIALWURZELN VON  
ZEA MAYS

MIHOVIL GRAČANIN

Eingegangen am 24. 2. 1973

Einleitung

Obwohl für *Zea mays* in allgemeinem das homorrhize Wurzelsystem charakteristisch ist, können während der Anzucht auf den Ackerfeldern bald schwächer bald stärker entwickelte aeriäle Nodialwurzeln beobachtet werden, die sich durch starke Verdickung von den terrestrischen Wurzeln morphologisch wesentlich unterscheiden. Ein Teil dieser nodialen Wurzeln bleibt über den Boden, der andere aber erreicht die Bodenmassen und nimmt an der Entwicklung des faden- und filzartigen Wurzelwerkes teil. Die terrestrischen nodialen Wurzeln spielen allerdings die wichtigste trophische und mechanische Rolle im Leben der Maispflanze, während die Funktion der primären, seminalen und mesokotilen Wurzeln untergeordnet und zeitlich beschränkt zu sein erscheint. Die Rolle der aeriälen Nodialwurzeln ist aber noch unklar geblieben. Ihrer äusseren Morphologie d. h. ihrer starken Verdickung und saftigem Aussehen nach, scheinen diese als Speicherorgane dienen zu können und weisen auf eine ev. Heterorrhizie der Maispflanze hin.

Deswegen wandten wir unsere Aufmerksamkeit in neuerer Zeit den aeriälen Nodialwurzeln und zwar anlässlich unserer Untersuchungen über die Verteilung der Nährstoffe in Pflanzenorganen im Laufe der Ontogenese der Maispflanzen und kamen zu interessanten Ergebnissen.

Material und Methodik

Das Material für diese Untersuchungen stammt von verschiedenen Maisfeldern der Hrvatska Posavina her. Die Böden gehören hauptsächlich den hydromorphen Typen von stark saurer bis schwach alkalischer Reaktion. Auch der Versorgungsgrad der Böden mit Nährstoffen ist

ganz verschieden. Als Untersuchungsobjekte dienten verschiedene Mais-hybride (SK-5a, OsSK 218 und 321, A-210 usw.) die in den letzten Jahren in Hrv. Posavina sehr verbreitet sind. Der Zustand von  $\text{NO}_3$ , P und K in Pflanzenorganen wurde im Juli und August, also zur Zeit der kräftigsten Entwicklung der Pflanzen untersucht. Zu dieser Zeit waren auch die Nodialwurzeln sehr gut entwickelt.

Die Nitrate wurden im Pflanzensaft der Blätter und Stengel, auf Schnittflächen des Stengels und im Saft der Nodialwurzeln mit der Diphenylamin-methode (Gračanin 2, 3) bestimmt. Die Bestimmung der aktiven anorganischen Phosphorsäure wurde nach der Ammoniummolybdat-Benzidin Methode nach Tserling ausgeführt und das Kalium mit Dipikrylamin-Methode nach Loué, jedoch nur im Saft des aeralen Wurzelnetzes bestimmt. Die Anwesenheit der Nitrate bzw. der anorganischen Phosphorsäure wurde in üblicher Weise (Gračanin 1) folgendermassen ausgedrückt:

keine . . . . .	n
spurenmässig . . . . .	t
sehr wenig . . . . .	vm
wenig . . . . .	m
genug . . . . .	d
viel . . . . .	mn
sehr viel . . . . .	v. mn

Die Anwesenheit von Kalium wird nach der Intensität der Orange-farbe des mit Pflanzensaft belegten Filtrirpapiers, das mit drei verschiedenen Konzentrationen des Dipikrylamins prepariert wurde beurteilt. Die stärkste Konzentration (A) reagiert auf die K-Werte zwischen 750—1000 ppm, die mittlere (B) bei über 2000 ppm und die schwächste (C) nur wenn die K-Konzentration 3000 oder mehr ppm erreicht. Die Intensität der entwickelten Farben wird mit Kreuzchen (+), einem oder mehr, bezeichnet.

## E r g e b n i s s e

Wir bringen hier nur einige Ergebnisse unserer Untersuchungen die in Jahren 1970 und 1971 durchgeführt wurden und auf das eigenartige Benehmen der aeralen Nodialwurzeln in Bezug auf die Nitrate, aktive anorganische Phosphorsäure und ökologisch aktives Kalium hinweisen.

1. *Nitrate* ( $\text{NO}_3$ ). In der Tabelle 1 sind einige Ergebnisse über die Verteilung der Nitrate in untersuchten Maisorganen veranschaulicht. Im Jahre 1970 wurden vornehmlich grössere  $\text{NO}_3$ -Werte im Blattsaft als in Nodialwurzeln beobachtet, teilweise aber auch gleiche werte erhalten. Auch im Jahre 1971 schwankte der  $\text{NO}_3$ -Gehalt ziemlich ungleichmässig; vornehmlich wurden höhere Werte in Wurzeln, in einigen Fällen aber auch im Blatt festgestellt. Allem Anschein nach zeigen die Nitrate ziemlich freie Bewegung durch die Leitbahnen der Pflanzen und ihre Anwesenheit in einzelnen Organen hängt in hohem Masse von der Intensität metabolischer Prozesse ab. Das Wurzelsystem bildet allgemein keine grosse Barriere der Nitratbewegung obwohl einzelne Wurzelarten verschiedene Leitfähigkeit besitzen. So zeigen Forschungen

von M. Luxova und V. Kozinka dass primäre Seminalwurzeln die geringste, Adventivwurzeln aber grössere Leitfähigkeit aufweisen. Die höchste Leitfähigkeit konnte bei Wurzeln des Koleoptilennodiums, niedrigere bei denjenigen des 2. und 3. Nodiums, und die schwächste bei Wurzeln des 4. und 5. Nodiums beobachtet werden.

Es ist noch fraglich in welcher Masse sich das Wurzelsystem der Maispflanzen an der Reduktion der Nitrate beteiligt. Nach den Angaben von Kursanov wurden etwa 22 Aminosäuren, Ureide usw. in den Wurzeln einiger Pflanzen synthetisiert. Der Verbrauch des aus dem Boden sorbierten Stickstoffs beginnt demnach schon in den Wurzeln. Nach unseren bisherigen Kenntnissen scheinen jedoch die Blätter der Hauptsitz des N-Metabolismus und demnach auch der Reduktion des Nitratstickstoffs zu sein. Man könnte also im Blattsaft niedrigere  $\text{NO}_3^-$ -Werte als im Wurzelsaft erwarten: das ist aber nicht immer der Fall. In welcher Masse sich die aeralen Nodialwurzeln an der Reduktion der Nitrate bzw. im Metabolismus des Stickstoffs beteiligen soll vorläufig dahingestellt werden. Es ist merkwürdig dass diese Wurzeln neben Saftigkeit noch eine bläulich grüne Farbe besitzen, was allerdings auf gute Stickstoffversorgung hinweist. Immerhin soll durch weitere Untersuchungen gezeigt werden ob in den aeralen Nodialwurzeln eine bedeutendere Reduktion der Nitrate und auch eine intensive Synthese der organischen N-Verbindungen stattfindet.

2. *Phosphorsäure*. Aufgrund der Testierungen des anorganischen Phosphors in Organen von *Zea mays* im Jahre 1970 und 1971 sind wir zu Ansicht gekommen dass die aeralen Nodialwurzeln in bezug auf die Phosphorsäure eine besondere Rolle spielen. Aus den in der Tabelle 1 zusammengestellten Daten ist eine ständige Überlegenheit der aeralen Nodialwurzeln in bezug auf den Phosphorsäuregehalt im Vergleich mit diesem in der Blattspreite und Stamm leicht zu erfassen.

Bei verhältnismässig niedrigem Gehalt der anorganischen Phosphorsäure im Blatt und Stamm zeigen die aeralen Nodialwurzeln manchmal sehr hohe P-Werte. Man könnte daraus schliessen dass diesen Wurzeln die Funktion der Speicherorgane für Phosphorsäure zukommt. In der Not könnten diese Speicherorgane andere Pflanzenorgane mit Phosphorsäure versorgen.

Selbst die Tatsache dass in diesen Nodialwurzeln sehr grosse Mengen anorganisch aktiver Phosphorsäure angehäuft werden scheint auf die Abwesenheit der Phosphorsäure in katabolischen Prozessen hinzuweisen.

Die Anhäufung der Phosphorsäure geschieht hier in anorganischer Form. Wahrscheinlich besitzen die Nodialwurzeln eine grosse Sorptionskraft für Phosphorsäure die ihrem Reichtum an Kolloiden und Basen (Ca, Mg, Fe, Mn usw.) zu verdanken ist. Merkwürdig ist dass diese Sorption nicht zu Inaktivierung der Phosphorsäure führt.

Wie aus der Tabelle 1 ersichtlich ist zeigen manche Maispflanzen einen niedrigen P-Gehalt im Stamm, und noch niedrigeren in der Blattspreite, manchmal auch bei einem sehr hohen Phosphorsäuregehalt in aeralen Nodialwurzeln. Es ist nun fraglich welche Faktoren für solch ungleichmässige Verteilung der anorganischen Phosphorsäure verantwortlich sind.

Tabelle 1. — P- und NO<sub>3</sub>-Gehalt in Maispflanzen

Lokalität	Aeriale Nodial- wurzeln		Stamm P	Blattspreite		Datum
	P	NO <sub>3</sub>		P	NO <sub>3</sub>	
<b>Čazma</b> Cerina Ivanjska Plješćica	mn-v. mn v. mn v. mn	m-d vm t	vm m-d vm-d	n n n-t	m-d m m-d	23. 7. 1970.
<b>Bjelovar</b> Nova Rača Ždralovi	v. mn mn-v. mn	vm t	d m-d	t n	m-d m	23. 7. 1970.
<b>Garešnica</b> Popovac Mlinska	mn v. mn	vm-m t-vm	m vm-m	n n	m m	23. 7. 1970.
<b>Jastrebarsko</b> Cvetković CP-2 Bratina	mn-v. mn mn-v. mn	t vm	m-d m	m-d t	n-t d	29. 7. 1970.
<b>Vel. Gorica</b> Vukovina 26	v. mn	d	vm	n	mn-v. mn	28. 7. 1970.
<b>Zaprešić</b> Laduč T-3	v. mn	m	d-mn	t-vm	d	29. 7. 1970.
<b>Hercegovac</b> H-26 Trnovitica	m d	n t-vm	vm-m t-vm	t-m vm-m	n t-vm	6. 8. 1971.
<b>Ivanić Grad</b> Topolje Opatinec T-17	m m-d	t vm	m t-m	m m-d	t-m t	7. 8. 1971.
<b>Božjakovina</b> Kosača Prečec P-8	m-d m	t vm	vm t-m	vm-m t-vm	t n	7. 8. 1971.
<b>Kutina</b> Vlahinička V-24 Ludina V-27	d-mn t-m	m t	m-mn n	d-mn t	n t	10. 8. 1971.

Tabelle 2. — K-Gehalt in Maispflanzen

Lokalität	Aeriale Nodialwurzeln			Blattspreite			Datum
	A	B	C	A	B	C	
<b>Čazma</b>							
Cerina	+++	++	+	+++	++	—	23. 7. 1970.
Ivanjska	+++	++	±	+++	+++	±	
Plješćica	+++	+	—	+++	++	—	
<b>Bjelovar</b>							
Nova Rača	+++	+++	+	+++	+++	+	23. 7. 1970.
Ždralovi	+++	+++	—	+++	+++	—	
<b>Garešnica</b>							
Popovac	+++	++	—	+++	++	—	23. 7. 1970.
Mlinska	+++	++	—	+++	++	—	
<b>Jastrebarsko</b>							
Cvetković CP-2	+++	+++	—	+++	++	—	29. 7. 1970.
Bratina	+++	+++	—	+++	+++	—	
<b>Zaprešić</b>							
Laduč-3	+++	+++	+	+++	+++	—	29. 7. 1970.
<b>Vel. Gorica</b>							
Vukovina 26	+++	+++	+	+++	+++	+	28. 7. 1970.
<b>Hercegovac</b>							
H-26	++	++	—	+++	++	±	6. 8. 1971.
Trnovitica	+++	+	—	+++	++	—	
<b>Ivanić Grad</b>							
Topolje	++	+	—	++	+	—	7. 8. 1971.
Opatinec T-17	++	+	—	++	+	—	
<b>Božjakovina</b>							
Kosača	++	+	—	++	+	—	7. 8. 1971.
Prečec P-8	++	++	—	+++	+	—	
<b>Kutina</b>							
Vlahinička 24	+++	++	—	+++	++	±	10. 8. 1971.
Ludina V-27	++	+	—	++	+	—	

Alle unsere bisherige Untersuchungen haben klar gezeigt dass in der Blattspreite die intensivsten Prozesse der Phosphorsäuretransformation stattfinden. Bei günstigen Verhältnissen, d. h. bei guter Belichtung und genügend hoher Temperatur geht die anorganische Phosphorsäure in der Blattspreite verhältnismässig schnell in organische P-Verbindungen über. Da liegt der Grund warum ein P-Test der Blattspreite nicht als ein zuverlässiger Indikator des Versorgungsgrades der Pflanzen dienen kann. Jedenfalls bietet die Testierung des aktiven anorganischen P in aeralen Nodialwurzeln eine bedeutend bessere Einsicht in die Versorgungsmöglichkeiten der Pflanze mit diesem Bioelement.

*Kalium (K).* Es war noch vom Interesse festzustellen was für Verhältnisse in den Maisorganen, besonders in den aeralen Nodialwurzeln, in Bezug auf das Kalium herrschen. In der Tabelle 2 sind einige Ergebnisse unserer Untersuchungen zu dieser Frage zusammengestellt.

Wie es aus der Tabelle 2 ersichtlich ist zeigt das Kalium ziemlich gleichmässige Verteilung: die K-Werte in der Blattspreite und in den aeralen Nodialwurzeln sind sozusagen die gleichen: kleine Unterschiede sind mehr den subjektiven Schätzungen des Analytikers als den sachlichen Verhältnissen zuzuschreiben. Pflanzen die ein Reichtum an Kalium in den Blattspreiten aufweisen zeichnen sich mit einem ebenso grossen K-Reichtum der Nodialwurzeln. Auch umgekehrt, die Armut der Nodialwurzeln an Kalium widerspiegelt sich in den Blattspreiten.

Das Kalium wird frei durch das ganze Leitungssystem der Pflanze transportiert und wird in keinem Organ in dem Sinne festgebunden dass es nicht wieder in Bewegung gesetzt werden kann. Diese grosse Wanderfähigkeit des Kaliums ist durch viele Versuche mit Isotopen  $^{42}\text{K}$  bestätigt worden. Aus der Blattspreite wandert das Kalium in alle andere Organe besonders dort wo neue Gewebe und Organe aufgebaut werden. Unter natürlichen Verhältnissen wird ein Teil des Kaliums vom Tau und Regen ausgewaschen. Mit dem Altern der Pflanze sinken auch die Bedürfnisse der Pflanze an Kalium und es kommt manchmal zu seiner Anhäufung besonders in den Blattspreiten.

Es ist merkwürdig dass der Kaliumgehalt des Blattes, also des wichtigsten Kalium-Verbrauchers während der intensivsten vegetativen Entwicklung der Maispflanze, im Gleichgewicht mit dem Kalium-Gehalt der aeralen Nodialwurzeln steht. Dieser Umstand lässt vermuten dass das Kalium in Nodialwurzeln doch aufgehalten d. h., sorbiert wird. Der kolloide Komplex dieser Wurzeln ermöglicht eine Bindung der Kaliumionen, aber die Kräfte die sich an der Sorption beteiligen sind zu klein um ihre Wanderung im Notfalle der Pflanze zu verhindern.

### Zusammenfassung

Die Fähigkeit der aeralen Nodialwurzeln der Maispflanzen einige Nährelemente, besonders die aktive anorganische Phosphorsäure, in hohem Masse anzuhäufen, weist auf die Rolle dieser Wurzeln als Speicherorgane und ebenfalls auf eine Möglichkeit der Heterorrhizie bei der Maispflanzen hin.

## Literatur

- Gračanin, M., 1965: Investigations of the deficiency of active inorganic phosphorus in plant organs. Journ. f. Scientific Agricult. Research, Beograd 17, 57, 61—82.
- Gračanin, M., 1967: Die Beurteilung des ökologischen Zustandes des Bodenstickstoffs auf Grund der Analyse von Pflanzenorganen. God. Zbornik PMF Skopje 19, Biologija 5—29.
- Gračanin, M., 1971: Ein Beitrag zur Diagnostik der Stickstoffversorgung der Pflanzen. I. Zur Bedeutung der Nitrattestierung in Pflanzenorganen. Agron. glasn. Zagreb 9/10, 507—518
- Guttenberg, H., 1956: Lehrbuch der allgemeinen Botanik. Akademie Verlag Berlin.
- Kursanov, A. L., 1960: Vzaimosvjaz fizioloških processov v rastenii. Izd-vo AN SSSR. cit. po Fiziologija seljskohozjaistvennyh rastenii, Moskva 1967.
- Loué, A., 1967: Le Diagnostic foliaire du maïs. Mulhouse, France
- Luxova, M. — Kozinka, V., 1970: Structure and Conductivity of the Corn Root System. Biologia Plantarum (Praha), 12 (1), 47—57.
- Tserling, V. (Cerling), 1956: Metod mikrohimičeskoj diagnostiki potrebnosti rastenija v fosfore. Počvoved. 10, 58—63.

## SADRŽAJ

### PRIOLOG POZNAVANJU FIZIOLOŠKE FUNKCIJE NODIJALNOG KORIJENJA KUKURUZA (*ZEА MAYS*)

Mihovil Gračanin

(Institut za botaniku Sveučilišta u Zagrebu  
i Laboratorij za ispitivanje plodnosti tla Jelenovac, Zagreb)

Fiziološka funkcija aerijalnog korijenja vrste *Zea mays* ostala je sve do sada neobjašnjena. Vanjska morfologija, tj. jako odebljanje i sočan izgled mogli bi upućivati na to da se radi o organima za spremanje rezervnih materija («Speicherorgane»), a prema tome i o dimorfizmu, odnosno heteroriziji. Istraživanja statusa nitrata, aktivnog anorganskog P, a manje i K, tu bi pretpostavku potvrđivale. U aerijalnom nodijalnom korijenju nađene su vrlo velike količine aktivnog anorganskog P i onda kada su ostali organi, naročito lisna plojka, sadržavali tek neznatne ili male količine fosfora. Status nitrata bio je ponajčešće podjednak u ovom nodijalnom korijenju i lišću, no intenzivno zelena do plavkastozelena boja nodijalnog korijenja navodi na pomisao da se u njemu nagomilavaju i organski N-spojevi, tj. da ovdje dolazi do redukcije nitrata. Daljim istraživanjima valja ispitati opravdanost ove pretpostavke.

Prof. dr Mihovil Gračanin  
Istarska 29  
41000 Zagreb (Jugoslavija)