

Überreicht vom Verfasser · Nicht einzeln im Buchhandel!
Sonderdruck aus «Zeitschrift für Pflanzenphysiologie», Band 72, Heft 4, Seite 359–366 (1974)
Gustav Fischer Verlag Stuttgart

Institut für Pflanzenernährung der Technischen Universität München-Weihenstephan

Arginin im Stoffwechsel cyanamid-ernährter Pflanzen

The Occurance of Arginine in the Metabolism of Plants Fed with Cyanamide

A. WÜNSCH und A. AMBERGER

Eingegangen am 28. November 1973

Summary

Watercultureexperiments with different plants fed with cyanamide as nitrogen source led to the following results:

Cyanamide doses between 50–100 mg N per l nutrient solution rised definitely the content of free arginine in leaves, stems and roots of rape, corn, sunflower, wheat and white cabbage in comparison with other forms of nitrogen, such as nitrate-, ammonium-, and amidino-nitrogen.

The activity of arginase is inhibited by cyanamide. The increase of the arginine content is explained as a possible direct synthesis of arginine from cyanamide via guanidino compounds as well as a reduced enzymatic breakdown of arginine. Cyanamidje in not critical doses will be rapidly metabolized in plants.

Einleitung

In einer früheren Arbeit über den Stoffwechsel cyanamid-ernährter Pflanzen (WÜNSCH u. AMBERGER, 1968) konnten wir zeigen, daß Cyanamid sowohl in Wurzeln als auch im Sproß von Markstammkohl- und Rapspflanzen – und in geringen Mengen auch Dicyandiamid – nur solange radiochemisch nachweisbar waren, als die Pflanzen mit Cyanamid ernährt wurden. Schon wenige Stunden nach dem Umsetzen in cyanamidfreie Nährlösung war in den Blättern kein Cyanamid mehr feststellbar, die Dicyandiamid-Fraktion ging rasch zurück. Dagegen war eine andere, noch nicht näher definierte Fraktion (c) stark erhöht und ein zunehmender Anteil der ^{14}C -Strahlung in der freien Aminosäure Arginin zu finden. Aus diesen Ergebnissen haben wir den Schluß gezogen, daß der pflanzliche Organismus offenbar in der Lage sein muß, Cyanamid – in physiologisch tragbaren Konzentrationen – direkt in den Stoffwechsel einzubeziehen.

In der folgenden Arbeit sollten die ursächlichen Zusammenhänge der Argininzunahme näher untersucht werden. Die Ergebnisse mit markiertem Cyanamid ließen den Schluß zu, daß eine Reaktionsfolge Cyanamid \rightarrow Dicyandiamid und Einbau der Guanidinogruppe in Kohlenstoffgrundskette (z. B. Valeriansäure) unter Bildung von Arginin bestehen könnte. Aufgrund bereits festgestellter Wirkungen des Cyanamids

auf die Aktivität anderer Enzyme (AMBERGER und WÜNSCH, 1963) war auch an eine direkte Hemmung der Arginase durch Cyanamid zu denken.

Material und Methoden

Versuchsanstellung und Materialaufbereitung

Die Pflanzen wurden in Wasserkultur (vollständige Nährlösung nach BREAZEALE, 1951) angezogen und, nachdem sie eine Höhe von 20–30 cm erreicht hatten, in Nährlösung umgesetzt, die jeweils gleiche Stickstoffmengen (50–100 mg/l) in Form von Kalksalpeter, Ammoniumsulfat, Harnstoff bzw. Cyanamid enthielten. Beim Auftreten schwacher Anzeichen von Cyanamidsschäden (beginnende Welke an Spitze bzw. Rändern der unteren Blätter) – als visuelle Kontrolle für die Aufnahme von Cyanamid – wurden die oberirdischen Pflanzenteile geerntet, die Schadzonen verworfen, das Blattmaterial sofort tiefgefroren, durch anschließende Gefriertrocknung entwässert und in einer Mühle zerkleinert.

Analytik

1. Freie Aminosäuren (AS)

1–2,5 g wasserfreies Material wurden nacheinander 10mal mit Äthanol (75 %) zum Sieden erhitzt und mit dem Ultra-Turrax gemixt; nach jeder Extraktion wurde abzentrifugiert und dekantiert, die vereinigten entweißten Extrakte wurden über eine Austauschersäule (Lewatit S 100, H-Form) geschickt und mit Wasser nachgewaschen. Anschließend wurden die gereinigten und an der Säule angereicherten Aminosäuren mit $n\text{NH}_4\text{OH}$ desorbiert. Im Rotationsverdampfer wurde eingeeengt, mit Wasser mehrmals aufgenommen, wieder abgedampft und von Ammoniak befreit. Zum Schluß wurden der Rückstand mit Citratpuffer (pH 2,2) aufgenommen, zentrifugiert und aliquote Teile zur Auftrennung und Bestimmung der Aminosäure im Analysator nach GRASSMANN u. HANNIG bzw. BIOCAL verwendet.

In jüngster Zeit haben wir ein verkürztes Verfahren für die AS-Isolierung verwendet: Behandlung von gefriergetrocknetem Pflanzenmaterial mit Äthanol zur Inaktivierung proteolytischer Enzyme, Extraktion mit Wasser, Klärung mit Pikrinsäure, Abtrennung des Klärmittels und Trennung der freien Aminosäure im Aminosäureanalysator (SCHALLER und WÜNSCH, 1973).

2. Arginase

Das Verfahren nach HAGAN u. DALLAM (1968) wurde für unsere Zwecke wie folgt abgewandelt:

0,5–1 g gefriergetrocknetes Pflanzenmaterial werden mit 20 ml Malatpuffer (10^{-3} M Malat, 10^{-3} M MnCl_2 , pH = 7,2) 60 sec unter Eiskühlung mit dem Ultra-Turrax gemixt und anschließend 5 min bei $50\,000 \times g$ und 5°C zentrifugiert. 1 ml des klaren Zentrifugates wird mit 9 ml 0,111 M Arginin, pH = 9,5 4 h bei 37°C bebrütet. 1 ml des Ansatzes wird mit 2,5 ml Farbreagens (0,4 M p-Dimethylaminobenzaldehyd in 3,6 n H_2SO_4) versetzt und nach 20 min bei 450 nm gegen den Blindwert der Reagentien gemessen. Ein Enzymansatz wird (ohne Bebrütung) sofort eingefärbt, gemessen und als Ausgangswert für eventuell vorhandenen Harnstoff angesehen. Aus einer Eichreihe mit Harnstoffmengen zwischen 1–100 μg wird der abgespaltene Harnstoff (Ha) ermittelt, davon der Ausgangswert abgezogen und auf die Einwaage umgerechnet.

Arginaseaktivität = μg gebildeter Harnstoff/1 g Trockensubstanz.

Ergebnisse

1. Argininanreicherung

Ein Vergleich von nitrat- bzw. cyanamid-ernährten Pflanzen zeigt (Tab. 1), daß in den Blättern bzw. im Sproß von Mais, Weißkohl, Buschbohnen und Sonnenblumen der Gehalt an freiem Arginin unter dem Einfluß von Cyanamid um 30–200% erhöht ist.

Tab. 1: Arginingehalt cyanamid-ernährter Pflanzen.
Arginin content of plants fed with cyanamide.

Pflanzenart	N-Ernährung	Arginin	
		$\mu\text{M/g T.S.}$	relativ
Weißkohl (Blätter)	Nitrat	3,46	100
	Cyanamid	4,84	140
Mais (Sproß + Blätter)	Nitrat	1,56	100
	Cyanamid	4,59	294
Buschbohnen (Blätter)	Nitrat	4,36	100
	Cyanamid	5,68	130
Sonnenblumen (Blätter)	Nitrat	2,27	100
	Cyanamid	6,81	300

Weitere Versuche ergaben (Tab. 2 u. 3), daß der Argininanteil im Sproß von Maispflanzen bei Ammonsulfaternährung bis auf 37% gegenüber Kalksalpeter abfällt; Harnstoffzufuhr führte in Sonnenblumenblättern zu einer deutlichen (69%), aber weit geringeren Erhöhung des Arginingehaltes als Cyanamid (539%).

Tab. 2: Arginingehalt im Sproß von Maispflanzen.
Arginin content in shoots of maize plants.

N-Ernährung	Arginin	
	$\mu\text{M/g T.S.}$	relativ
Nitrat	1,92	100
Ammonium	0,71	37
Cyanamid	5,84	304

Tab. 3: Arginingehalt in Blättern von Sonnenblumen.
Arginin content of sunflower leaves.

N-Ernährung	Arginin	
	$\mu\text{M/g T.S.}$	relativ
Nitrat	0,79	100
Harnstoff	1,33	169
Cyanamid	5,03	639

In allen Fällen ist also eine gesicherte Anreicherung von Arginin im Sproß der 20–30 cm hohen Versuchspflanzen nach vorausgegangener Cyanamidbehandlung gegeben.

In weiteren Versuchen wurde die Veränderung des Arginingehaltes in Abhängigkeit von der N-Form in verschiedenen Pflanzenteilen (Blätter, Stengel und Wurzeln) beobachtet (Tab. 4).

Tab. 4: Arginingehalt und Arginaseaktivität in verschiedenen Pflanzenteilen unter dem Einfluß unterschiedlicher Stickstoffernährung.

Arginin content and arginase activity of different parts of plant under the influence of different nitrogen forms.

Material	Entwicklungs- zustand	N- Ernährung	Arginin		Arginase	
			$\mu\text{M}/1\text{ g}$ Tr. S.	relativ	Aktivität $\mu\text{g Ha/g}$ Tr. S.	relativ
Raps-Wurzeln		Nitrat	1,3	100	60	100
Raps-Wurzeln		Cyanamid	1,5	115	32	53
Raps-Stengel	5-Blatt- Stadium	Nitrat	0,3	100	72	100
Raps-Stengel		Cyanamid	0,8	267	40	56
Raps-Blätter		Nitrat	0,8	100	300	100
Raps-Blätter		Cyanamid	5,8	725	180	60
Raps-Wurzeln		Nitrat	0,6	100	80	100
Raps-Wurzeln		Cyanamid	1,0	166	16	20
Raps-Stengel	5-6-Blatt- Stadium	Nitrat	Sp.	100	124	100
Raps-Stengel		Cyanamid	0,5	166	32	26
Raps-Blätter		Nitrat	0,8	100	152	100
Raps-Blätter		Cyanamid	3,8	475	102	67
Mais-Wurzeln		Nitrat	1,1	100	120	100
Mais-Wurzeln	20 cm	Cyanamid	0,9	82	72	60
Mais (Bl. + St.)	Höhe	Nitrat	0,3	100	346	100
Mais (Bl. + St.)		Cyanamid	0,6	200	138	40
Weizen-Wurzeln		Nitrat	0,9	100	48	100
Weizen-Wurzeln	15 cm	Cyanamid	1,3	144	24	50
Weizen-Blätter	Höhe	Nitrat	0,6	100	440	100
Weizen-Blätter		Cyanamid	1,2	200	192	44
Sonnenblumen-Wurz.		Nitrat	0,33	100	112	100
Sonnenblumen-Wurz.		Cyanamid	0,47	142	80	71
Sonnenblumen-St.	40 cm	Nitrat	0,14	100	84	100
Sonnenblumen-St.	Höhe	Cyanamid	0,55	393	40	48
Sonnenblumen-Bl.		Nitrat	0,92	100	2000	100
Sonnenblumen-Bl.		Cyanamid	6,38	693	258	13

Während in Wurzel und Stengel eine relativ geringere Zunahme an Arginin zu verzeichnen ist, erreicht die Argininanreicherung in den Blättern bis zu 600% gegenüber der Kontrolle. Das bedeutet, daß Arginin entweder wie andere Amino-

säuren vornehmlich in der Wurzel gebildet, dann rasch in die Blätter abtransportiert und dort in gewissem Umfang akkumuliert wird oder die Bildung dieser Aminosäure vornehmlich in den Blättern erfolgt.

2. Arginasewirkung

Aus der Tabelle 4 ist ferner zu entnehmen, daß ein erhöhter Arginingehalt stets mit einer geringeren Arginaseaktivität zusammenfällt. Unter dem Einfluß der Cyanamid-Ernährung ist die Arginaseaktivität in allen Pflanzenteilen mehr oder minder stark gehemmt. Weiterhin ist zu beobachten, daß im Blatt stets eine weit höhere Aktivität vorliegt als in Stengel und Wurzel. Wenn man annimmt, daß eine verstärkte Bildung von Arginin unter dem Einfluß von Cyanamid zustande kommt, dann könnte dieses Ergebnis noch verstärkt werden durch eine cyanamidbedingte Arginasehemmung, d. h. einen verminderten Argininabbau.

3. Arginingehalt der Leguminosen

Aus Tabelle 1 ist zu entnehmen, daß Buschbohnenblätter, im Vergleich zu den Vertretern anderer Pflanzenfamilien, die geringste Argininzunahme durch Cyanamid zeigen. Andere, teils unterschiedliche Ergebnisse im Verlauf dieser Arbeiten lassen erkennen, daß möglicherweise der Entwicklungszustand der Buschbohnenpflanzen für die Höhe der Arginingehalte von Bedeutung sein dürfte (Tab. 5). Während sehr kleine Buschbohnenpflanzen nämlich eine Argininanreicherung durch Cyanamid zeigen, reagieren ältere Pflanzen (kurz vor der Blüte) anders.

Weiterhin ist zu bedenken, daß die Leguminosen in bezug auf ihren Stickstoffstoffwechsel eine Sonderstellung einnehmen. So ist z. B. das natürlich vorkommende

Tab. 5: Arginingehalte und Arginaseaktivität von Buschbohnenpflanzen unter dem Einfluß verschiedener Stickstoffernährung.

Arginin content and arginase activity of bean plants under the influence of different nitrogen-forms.

Material	Entwicklungs- zustand	N- Ernährung	Arginin		Arginase	
			$\mu\text{M}/1\text{ g}$ Tr. S.	relativ	Aktivität $\mu\text{g Ha/g}$ Tr. S.	relativ
Buschbohnen (Blätter + Stengel) (kl. Pflanzen)	2. Folgeblatt ausgebildet	Nitrat	0,5	100	240	100
		Cyanamid	0,6	120	80	30
Buschbohnen-Blätter	Pflanzen	Nitrat	1,1	100	960	100
Buschbohnen-Blätter		Cyanamid	0,8	72	460	48
Buschbohnen-Stengel	kurz vor	Nitrat	4,1	100	340	100
Buschbohnen-Stengel	Blühbeginn	Cyanamid	2,5	61	308	91
Buschbohnen-Wurzel		Nitrat	1,3	100	244	100
Buschbohnen-Wurzel		Cyanamid	0,7	54	220	90

In allen Fällen ist also eine gesicherte Anreicherung von Arginin im Sproß der 20–30 cm hohen Versuchspflanzen nach vorausgegangener Cyanamidbehandlung gegeben.

In weiteren Versuchen wurde die Veränderung des Arginingehaltes in Abhängigkeit von der N-Form in verschiedenen Pflanzenteilen (Blätter, Stengel und Wurzeln) beobachtet (Tab. 4).

Tab. 4: Arginingehalt und Arginaseaktivität in verschiedenen Pflanzenteilen unter dem Einfluß unterschiedlicher Stickstoffernährung.

Arginin content and arginase activity of different parts of plant under the influence of different nitrogen forms.

Material	Entwicklungs- zustand	N- Ernährung	Arginin		Arginase	
			$\mu\text{M}/1\text{ g}$ Tr. S.	relativ	Aktivität $\mu\text{g Ha/g}$ Tr. S.	relativ
Raps-Wurzeln		Nitrat	1,3	100	60	100
Raps-Wurzeln		Cyanamid	1,5	115	32	53
Raps-Stengel	5-Blatt- Stadium	Nitrat	0,3	100	72	100
Raps-Stengel		Cyanamid	0,8	267	40	56
Raps-Blätter		Nitrat	0,8	100	300	100
Raps-Blätter		Cyanamid	5,8	725	180	60
Raps-Wurzeln		Nitrat	0,6	100	80	100
Raps-Wurzeln		Cyanamid	1,0	166	16	20
Raps-Stengel	5-6-Blatt- Stadium	Nitrat	Sp.	100	124	100
Raps-Stengel		Cyanamid	0,5	166	32	26
Raps-Blätter		Nitrat	0,8	100	152	100
Raps-Blätter		Cyanamid	3,8	475	102	67
Mais-Wurzeln		Nitrat	1,1	100	120	100
Mais-Wurzeln	20 cm	Cyanamid	0,9	82	72	60
Mais (Bl. + St.)	Höhe	Nitrat	0,3	100	346	100
Mais (Bl. + St.)		Cyanamid	0,6	200	138	40
Weizen-Wurzeln		Nitrat	0,9	100	48	100
Weizen-Wurzeln	15 cm	Cyanamid	1,3	144	24	50
Weizen-Blätter	Höhe	Nitrat	0,6	100	440	100
Weizen-Blätter		Cyanamid	1,2	200	192	44
Sonnenblumen-Wurz.		Nitrat	0,33	100	112	100
Sonnenblumen-Wurz.		Cyanamid	0,47	142	80	71
Sonnenblumen-St.	40 cm	Nitrat	0,14	100	84	100
Sonnenblumen-St.	Höhe	Cyanamid	0,55	393	40	48
Sonnenblumen-Bl.		Nitrat	0,92	100	2000	100
Sonnenblumen-Bl.		Cyanamid	6,38	693	258	13

Während in Wurzel und Stengel eine relativ geringere Zunahme an Arginin zu verzeichnen ist, erreicht die Argininanreicherung in den Blättern bis zu 600% gegenüber der Kontrolle. Das bedeutet, daß Arginin entweder wie andere Amino-

Canavanin, ein Guanidinderivat, nur auf Papilionaceen beschränkt. Ferner findet sich Lathyrin, ein cyclisches Guanidinderivat, in Platterbsenarten und Galegin [3-Methylbut-2-enylguanidin-(1)] in Geißblattarten. Auch ist bekannt, daß die Amidinogruppe des Arginins offensichtlich als Einheit zum Aufbau der Guanidinogruppe des Galegins verwendet wird (REUTER, 1963). Möglicherweise könnten also durch Cyanamidernährung nicht nur Arginin, sondern auch andere, für Leguminosen spezifische, hier nicht untersuchte Guanidinderivate gebildet werden.

Ein weiterer Versuch mit Buschbohnenpflanzen, die zu verschiedenen Entwicklungsstadien mit Cyanamid bzw. Nitrat ernährt wurden, brachten folgende Ergebnisse (Tab. 6):

Tab. 6: Arginingehalt in Buschbohnenpflanzen verschiedenen Entwicklungszustandes.
Arginin content of bean plant of different vegetation status.

Entwicklungszustand	N- Ernährung	Wurzeln		Stengel		Blätter	
		$\mu\text{M Arginin}/$ 1 g Tr.-S.	relativ	$\mu\text{M Arginin}/$ 1 g Tr.-S.	relativ	$\mu\text{M Arginin}/$ 1 g Tr.-S.	relativ
I Primärblätter vollständig ausgebildet	Nitrat	1,48	100	6,66	100	1,15	100
	Cyanamid	2,52	170	5,82	87	1,51	131
1. Folgeblatt 3–4 cm							
2. Folgeblatt angesetzt							
II 2. Folgeblatt voll aus- gebildet	Nitrat	0,83	100	2,56	100	0,39	100
	Cyanamid	0,93	112	1,39	54	1,03	264
3. Folgeblatt angesetzt							
III 3. Folgeblatt voll aus- gebildet	Nitrat	0,73	100	2,01	100	0,21	100
	Cyanamid	0,77	105	2,57	128	0,72	343
IV Blühbeginn	Nitrat	0,93	100	1,27	100	0,35	100
	Cyanamid	1,36	146	3,43	270	0,63	180

Danach wird die cyanamidbedingte Argininanreicherung in Blättern und Wurzeln voll-
bestätigt, während der Arginingehalt im Stengel sich je nach Alter unterschiedlich verhält.

Diskussion

Das Arginin (α -Amino- γ -guanidinovaleriansäure) ist die Aminosäure mit dem höchsten Stickstoffgehalt (4-N-Atome/Mol) und regelmäßiger Bestandteil pflanzlicher und tierischer Proteine (REINBOTHE, 1966); daneben liegt es aber auch in freier Form in Keimlingen, Wurzeln und Blättern vor. Eine zusammenfassende Darstellung findet sich darüber bei BARET et al. (1966). In manchen Pflanzen stellt es die wesentlichste Stickstoffreserve dar (REINBOTHE, 1966). Die Bildung des Arginins

verläuft normalerweise über den sogenannten Ornithincyclus aus Ornithin und Carbamylphosphat über Citrullin und Arginino-Succinat. Dieser Weg hat insbesondere im tierischen Organismus eine große Bedeutung nicht nur wegen der damit verbundenen Harnstoffausscheidung (Entgiftungsvorgang), sondern auch deshalb, weil darin durch Koppelung komplizierter Stoffwechselvorgänge die Reaktions-trägheit mancher Partner überwunden und eine verlustarme Einführung von Energie in endergonische Prozesse ermöglicht wird.

HORNER et al. (1956) konnten nachweisen, daß Arginin auch synthetisiert werden kann, durch Übertragung der Guanidino-Gruppe der Guanidinoessigsäure auf das Ornithin, mit Umkehrung der bekannten Reaktionsfolge: Arginin + Glycin \rightarrow Guanidinoessigsäure + Ornithin. Während im ersten Fall (Ornithin-Cyclus) die Guanidino-Gruppe in mehreren Reaktionsschritten aufgebaut werden muß, stellt der zweite Fall eine komplette Gruppenübertragung dar.

Wenn auch verschiedene Glieder bzw. Enzyme des Ornithincyclus in einer Reihe von Pflanzen bereits nachgewiesen sind, so ist seine Bedeutung für die Pflanze nicht geklärt, insbesondere solange die Umkehrbarkeit dieses Kreisprozesses nicht bewiesen ist. Harnstoff wird von der Pflanze zum Unterschied vom Tier nicht ausgeschieden; die Notwendigkeit der Harnstoffsynthese – ein endergonischer Vorgang, bei dem 3 Mol ATP verbraucht werden für die Bildung von 1 Mol Harnstoff – ist daher in der Pflanze nicht ohne weiteres einzusehen. Sicher stellt der Ornithincyclus einen Weg zur Synthese der Transport- und Speicheramino-säure Arginin dar. Gespeist wird er durch das Ornithin, das aus der Glutaminsäure über N-Acetylglutaminsäure, N-Acetylglutaminsäure- γ -semialdehyd und N-Acetylornithin gebildet wird (REINBOTHE, 1966).

Eine Mobilisierung des Stickstoffs aus Arginin durch Arginase und später Urease ist naheliegend. Beide Enzyme sind im Pflanzenreich weit verbreitet (MORAWSKA et al., 1963; DOBY, 1965). Dabei könnte der intermediär auftretende Harnstoff infolge meist hoher Ureaseaktivität sich einem analytischen Nachweis entziehen. MILLER und HALL (1963) konnten allerdings nach Aufbringen von Cyanamid auf Baumwollblätter (10-Blatt-Stadium) im wässrigen Blattextrakt chromatographisch 1 h nach Applikation Cyanamid und Harnstoff aber kein Dicyandiamid nachweisen. Nach 2 und 4 h ist Cyanamid, aber erst nach 8 h Harnstoff verschwunden.

Ohne auf diese Diskrepanz näher eingehen zu wollen, ist auffallend, daß das Arginin in der δ -Stellung eine Guanidinogruppe enthält mit einer Atomkonfiguration, die der des Dicyandiamids sehr ähnlich ist. Dieses läßt sich aus Cyanamid leicht darstellen, die Bildung als Intermediärprodukt in der Pflanze konnten wir schon früher nachweisen (WÜNSCH und AMBERGER, 1968). Man könnte sich sehr wohl denken, daß die aus Cyanamid über Dicyandiamid vorgebildete Guanidinogruppe direkt in bestimmte Aminosäuren eingeführt bzw. transferiert wird (im Tier-versuch gelungen; HORNER et al., 1956). Auch im Boden stellt RATHSACK (1954/55) im Verlauf der Umwandlung von Cyanamid Guanidin und Guanylverbindungen fest.

Unsere Versuche mit markiertem $H_2^{14}CN_2$ ebenso wie die hier vorliegenden Ergebnisse zeigen jedenfalls, daß die Argininbildung unter dem Einfluß einer physiologisch tragbaren Cyanamidgabe wesentlich höher ist als durch andere N-Formen und möglicherweise einen Weg für die direkte Einbeziehung des Cyanamids in den Aminosäurestoffwechsel darstellt, wenngleich Zwischenstufen bisher noch nicht experimentell nachgewiesen werden konnten. Jedoch dürfte damit bewiesen sein, daß Cyanamid auch direkt in den Aminosäure-Stickstoffwechsel der Pflanze einbezogen werden kann. Damit finden frühere (in Wasserkulturversuchen erbrachte) Ergebnisse sowie aufmerksame Beobachtungen über den Entwicklungsverlauf der Pflanzen nach einer Kalkstickstoffdüngung eine Erklärung, wonach eine zeitlich befristete, nicht pflanzenschädigende Cyanamidapplikation zeitweilig zu einem rascheren Wachstum und einem höheren N-Gehalt der Pflanze führt als andere Stickstoffsalze.

Frau GERHILD RUMRICH sei für ihre außerordentlich gewissenhafte technische Mitarbeit besonders gedankt.

Literatur

- AMBERGER, A., und A. WÜNSCH: Pflanzenphysiologische Wirkung des Cyanamids. *Landwirtschaftl. Forschung* 16, 162 (1963).
- BARET, R., M. MOURGUE, und A. BROC: Arginine. IV. Metabolisme chez le végétal. *Bull. Soc. Pharm. Marseille* 15 (58), 111 u. 121 (1966).
- BREAZEALE, J. F.: In: W. SCHROPP: *Der Vegetationsversuch* 1. Neumann Verlag, Radebeul u. Berlin (1951).
- DOBY, G.: *Plant Biochemistry* Interscience Publishers. S. 427. London, New York, Sydney (1965).
- HAGAN, J., and R. D. DALLAM: Measurement of arginase activity. *Analyt. Biochem.* 22, 518 (1968).
- HORNER, W. H., I. SIEGEL, und Y. BRUTON: The synthesis of arginine from guanidinoacetic acid. *J. Biol. Chem.* 220, 861 (1956).
- MILLER, CH. S., und W. C. HALL: The fate of cyanamide in cotton. *J. Agric. Food Chem.* 11, 222 (1963).
- MORAWSKA, G., K. KLECZKOWSKI, and J. REIFER: The occurrence and activity of arginase in higher plants. *Acta Soc. Bot. Pol.* 32, 191 (1963).
- RATHSACK, K.: Über Umsetzungsprodukte des Cyanamids im Boden. *Landw. Forsch.* 7, S.H. 6, 116 (1954/55).
- REINBOthe, H.: In: FLASCHENTRÄGER-LEHNARTZ: *Physiol. Chemie*, Bd. 2, Teil 2/β. S. 1019. Springer Verlag, Berlin, Göttingen, New York (1966).
- A. a. O., S. 1020.
- A. a. O., S. 1022.
- REUTER, G.: Arginin als Vorstufe von *Galegin* in *Galgea officinalis* L. *Arch. Pharmaz.* 296, 516 (1963).
- SCHALLER, K., und A. WÜNSCH: Zur Bestimmung der freien Aminosäuren in Kartoffelknollen und anderem Pflanzenmaterial. *Die Nahrung* 17, 415 (1973).
- WÜNSCH, A., und A. AMBERGER: Über den Nachweis von Cyanamid und dessen Umwandlungsprodukten in Pflanzen. *Atompraxis* 14, 311 (1968).

Dr. A. WÜNSCH und Prof. Dr. A. AMBERGER, Institut für Pflanzenernährung der Techn. Universität München, D-805 Freising-Weihenstephan.

Z. Pflanzenphysiol. Bd. 72. S. 359-366. 1974.