

FREIE AMINOSÄUREN IN BLÄTTERN INGEZÜCHTETER LANDSORTEN UND IN HYBRIDSORTEN VON MAIS

H LORENZ

Institut für Pflanzenernährung der Technischen Universität, Hannover, Deutschland

(Eingegangen 11 März 1971)

Zusammenfassung—Die freien Aminosäuren in Blättern ingezüchteter Landsorten und Hybridsorten von Mais wurden in mehreren Entwicklungsstadien untersucht. Obwohl die Zusammensetzung des Aminosäurepools in Hybriden und Inzuchtsorten nicht grundsätzlich verschieden ist, wurden jedoch einige deutliche Abweichungen festgestellt. In der Regel sind die Hybriden zu umfangreicherer Akkumulation von Pool-Aminosäuren in jüngeren Stadien befähigt als die Inzuchtsorten.

Abstract—Free amino acids in leaves of inbred corn varieties and of corn hybrids have been studied during development. Although the composition of the amino acid pool in corn hybrids is not fundamentally different from that in inbred varieties, there are a few significant differences. Generally hybrids accumulate larger pools than do inbred varieties in early stages of development. In hybrids the amino acid pool is used up more rapidly than in inbred varieties. At the same time growth of hybrids is more vigorous.

EINLEITUNG

WEIZENPFLANZEN bilden vor Perioden intensiven Wachstums (Keimung, Schossen und Ährenschieben, Kornbildung) umfangreiche Reserven von Pool-Aminosäuren, die während des anschließenden Wachstums verbraucht werden.¹ Bei höherer Stickstoffzufuhr war der Pool in den Blättern verstärkt.² Zugleich war auch der Ertrag solcher Pflanzen erhöht.² Man kann daher annehmen, daß Beziehungen zwischen dem Pool löslicher Aminoverbindungen in den Blättern und dem Ertrag bestehen.

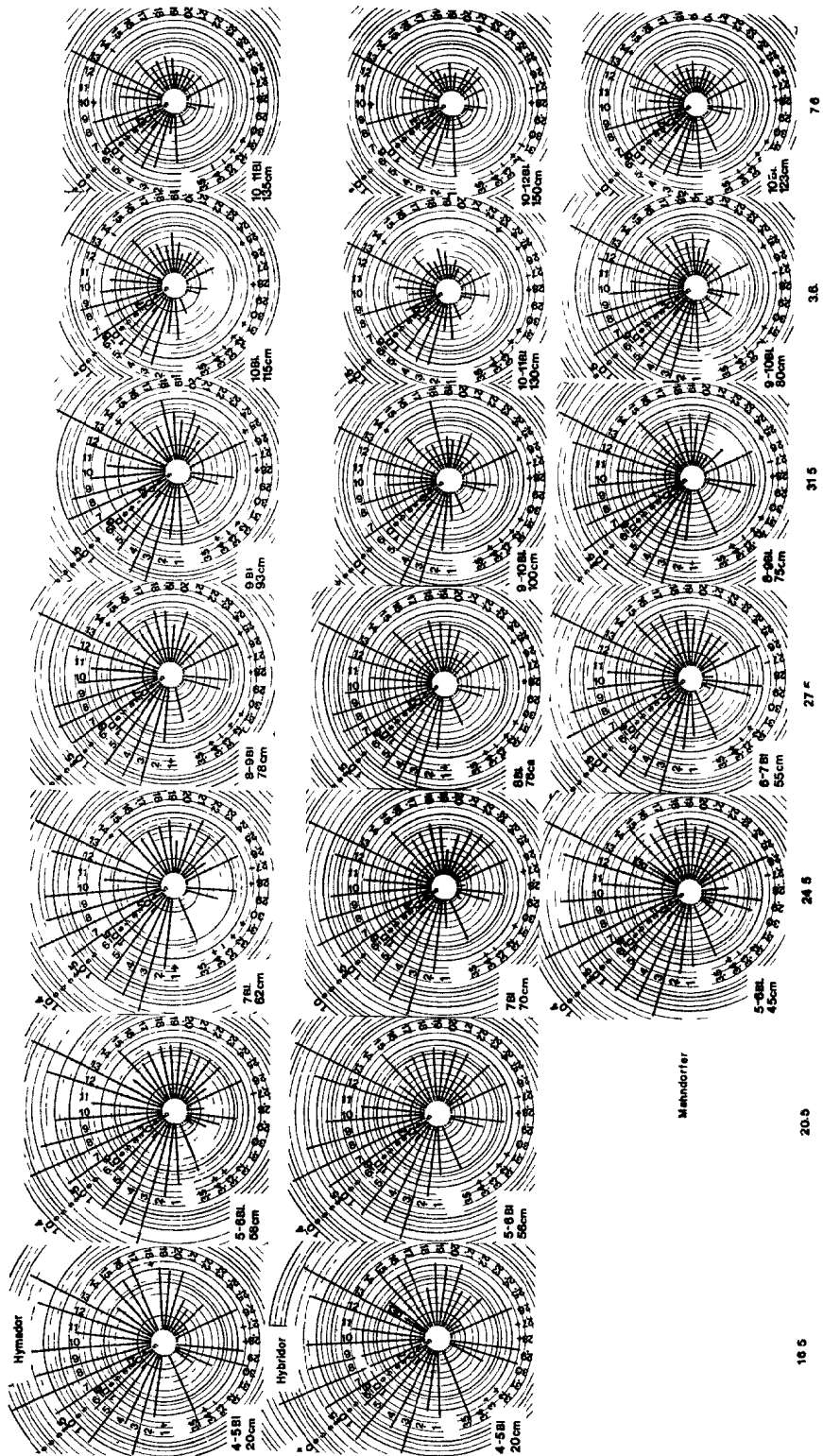
Da Blätter verschiedener Landsorten verglichen mit einer Intensivsorte unterschiedliche Aminosäuregehalte aufwiesen, wobei insbesondere eine teilweise sehr niedrige Asparaginkonzentration auffiel,² schien es naheliegend, den Aminosäurepool von Varietäten einer Art mit möglichst unterschiedlichem Ertragspotential zu untersuchen. Relativ niedriges bzw. hohes Ertragspotential bei ingezüchteten Landsorten und Hybridsorten von Mais ließen diese Species als Versuchspflanze besonders geeignet erscheinen.

ERGEBNISSE

Die ermittelten Konzentrationen der einzelnen Komponenten in den verschiedenen Entwicklungsstadien, die durch die Höhe der Pflanzen und die Anzahl der Blätter gekennzeichnet wurden, sind in den Abb. 1–4 in logarithmischem Maßstab mit 5×10^{-8} mol/g TrS beginnend auf einer kreisförmigen Grundlinie in der Reihenfolge ihres Erscheinens im Chromatogramm aufgetragen.¹ In Abb. 5 ist der Konzentrationsverlauf während der Entwicklung am Beispiel des Asparagins, des Alanins und des Valins noch einmal in linearem Maßstab gezeigt. Da die übrigen Darstellungen aus Gründen der Platzersparnis in logarithmischem Maßstab ausgeführt sind, wird dort der Sachverhalt nicht unmittelbar augenscheinlich.

¹ F. SCHEFFER und H. LORENZ, *Phytochem* 7, 1279 (1968)

² H. LORENZ, *Landw. Forsch.* 22, 1 (1969)



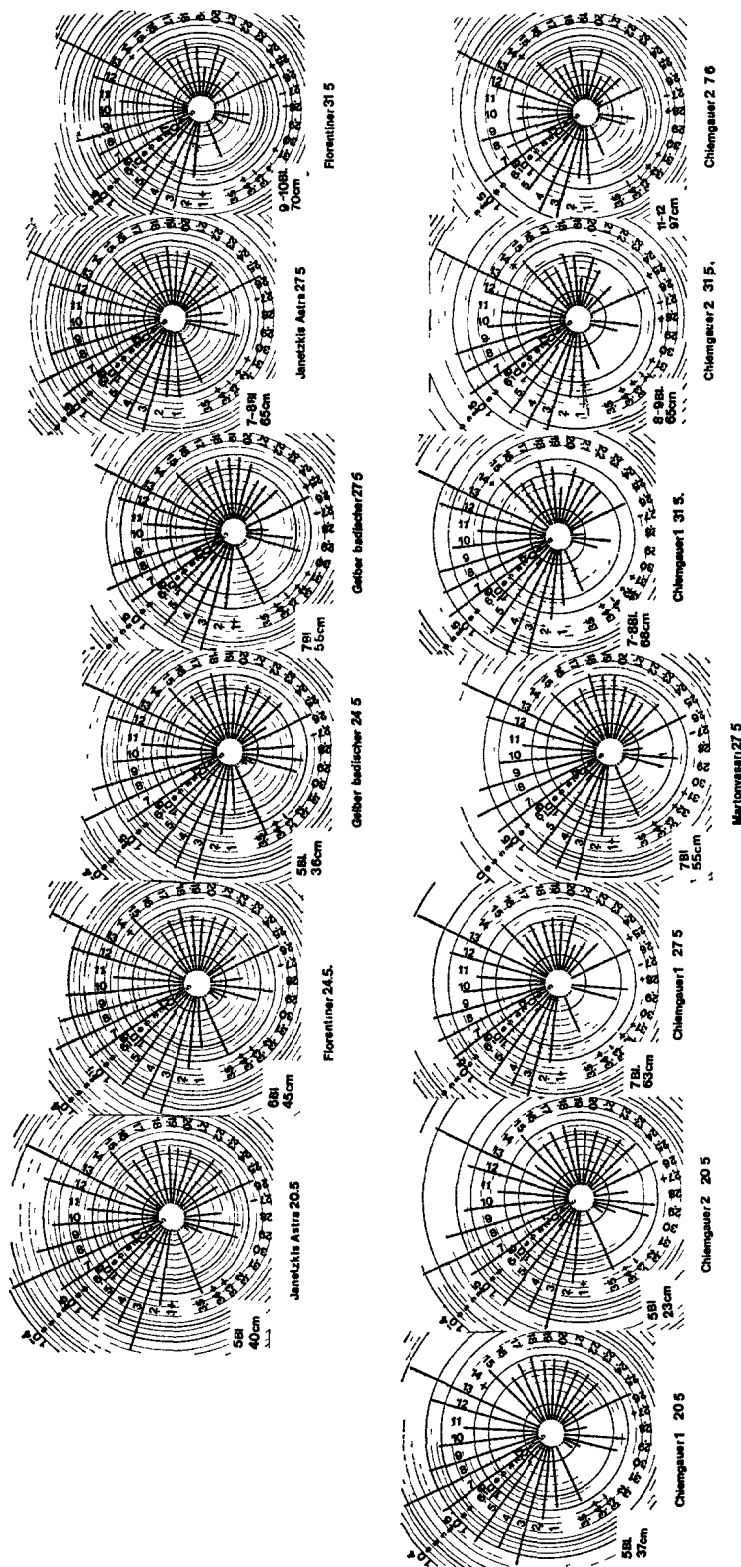


ABB 1 LOSLICHE NINHYDRIN POSITIVE KOMPONENTEN IN BLÄTTERN MEHRERER ENTWICKLUNGSTADIEN VON ZWEI HYBRIDSORTEN UND EINIGEN INGEZUCHTEN LANDSORTEN DER SORTENGRUPPE VULGARIS (*Zea mays* L. CONVAR VULGARIS KORN VAR VULGATA KORN) IM GEWACHSHAUS GEZOGEN KONZENTRATION (mol/g TROCKEN SUBSTANZ), MIT 5×10^{-8} mol/g BEGINNEND) DER KOMPONENTEN IN LOGARITHMISCHEN MASSSTAB IN DER REIHENFOLGE IHRES ERSCHEINENS IM CHROMATOGRAMM AUF EINER KREISFORMIGEN ABZISSE AUFGETRAGEN BISHER NICHT IDENTIFIZIERTE VERBINDUNGEN SIND IN NORLEUCINAQUVALENTEN ANGEZEIGT IN GERINGEN MENGEN VORKOMMENDE KOMPONENTEN SIND MIT '+' GEKENNZEICHNET, 'x' BEDEUTET NICHT NACHWEISBAR

Verbindungen

Programm 1 Nr 1 X₁ nach 25 min, Nr 1a X₂ nach 30 min, Nr 2 X₃ nach 33 min, Nr 2a X₄ nach 35 min, Nr 2b X₅ nach 38 min, Nr 3 X₆ nach 40 min, Nr 3a X₇ mitunter nach 55 min, 4 X₈ nach 60 min, Nr 4a X_{8a} mitunter nach 68 min, Nr 5 Asparaginsäure, Nr 6 Threonin, Nr 7 Serin, Nr 8 Asparagin, Nr 9 Glutaminsäure, Nr 10 Glutamin, Nr 10a X₉ mitunter nach 135 min, Nr 10b X₁₀ mitunter nach 138 min, Nr 11 Prolin, Nr 12 Glycerin, Nr 13 Alanin, Nr 13a X₁₁ nach 184 min (möglicherweise α -Aminobuttersäure). Nr 14 X₁₂ nach 195 min, Nr 15 Valin, Nr 15a X_{12a} bisher einmaliges Auftreten nach 222 min, Nr 16 Methionin in allen Proben bisher nur in Spuren aufgetreten, Nr 17 Leucin, Nr 18 X₁₃ nach 244 min, Nr 19 Tyrosin, Nr 20 Phenylalanin.

Programm 2 Nr 21 β -Alanin, Nr 21a X_{14} nach 65 min, Nr 22 X_{15} nach 70 min, Nr 23 X_{16} nach 75 min, Nr 24 X_{17} nach 79 min, Nr 25 X_{18} nach 85 min, Nr 26 γ -Aminobuttersäure, Nr 26a X_{19} nach 110 min, Nr 27 Tryptophan Nr 28 X_{20} nach 120 min, Nr 29 Ornithin, Nr 30 Lysin, Nr 31 Histidin, Nr 32 X_{21} nach 166 min, Nr 33 X_{22} nach 173 min, Nr 34 X_{23} nach 182 min, Nr 35 Arginin

Die unbekannten Verbindungen X_2 (Nr 1a), X_4 (Nr 2a), X_5 (Nr 2b), X_7 (Nr 3a), X_8 (Nr 4a), X_9 (Nr 10a), X_{10} (Nr 10b), X_{11} (Nr 13a), X_{12a} (Nr 15a), Methionin (Nr 15b), X_{14} (Nr 21a) und X_{19} (Nr 26a) sind nur im Diagramm angegeben, wenn sie in meßbaren Mengen vorliegen. X_2 (Nr 1a), X_4 (Nr 2a), X_5 (Nr 2b), X_{11} (Nr 13a), Methionin, X_{14} (Nr 21a), X_{19} (Nr 26a) sind in allen Proben in Spuren nachweisbar, während die übrigen der nicht in jeden Fall im Diagramm aufgezzeichneten Verbindungen nicht in allen Pflanzen zu finden sind.

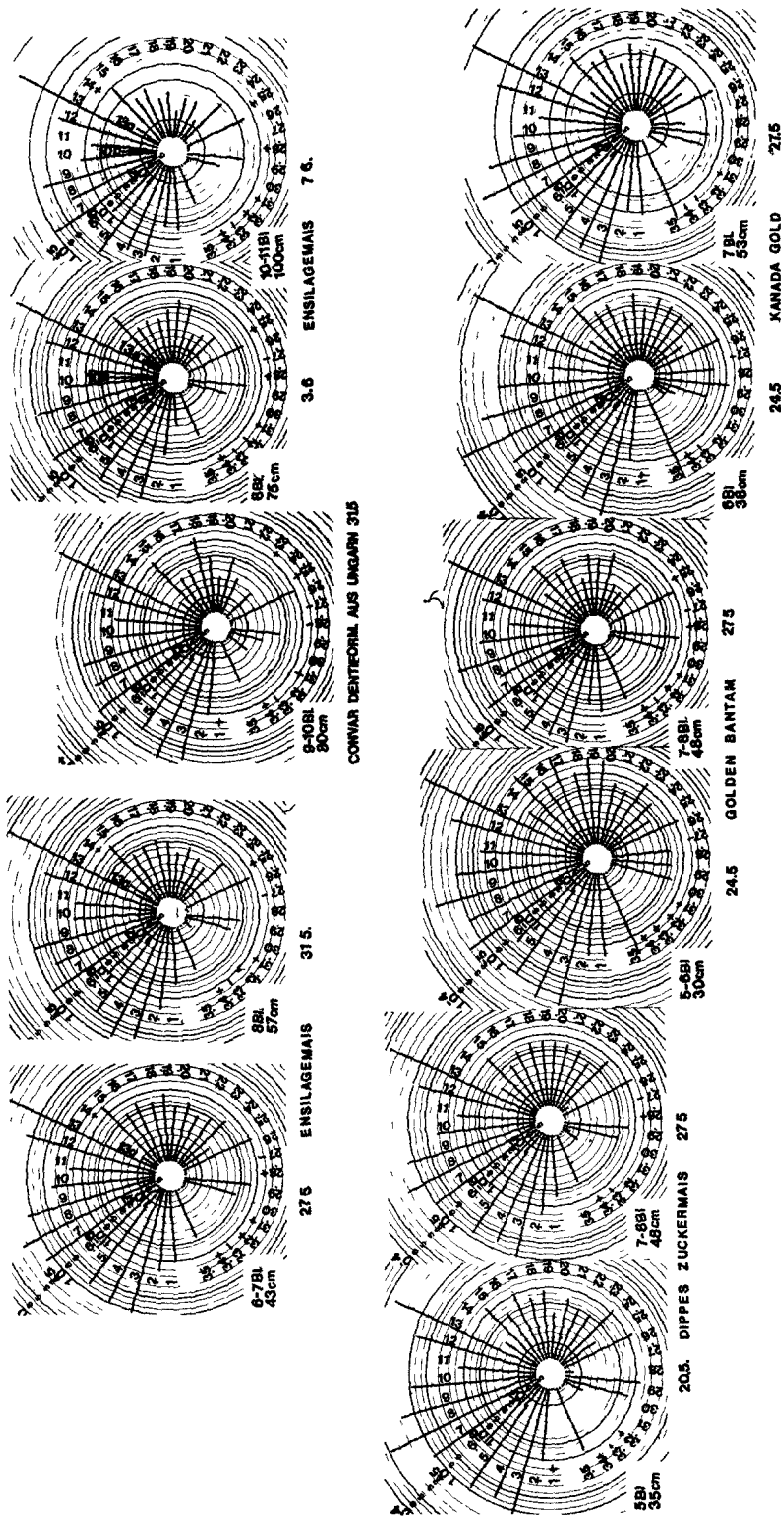


ABB 2 LOSLICHE NINHYDRIN POSITIVE KOMPONENTEN IN BLÄTTERN MEHRERER ENTWICKLUNGSSTADIEN EINIGER INGEZÜCHTETER LANDSORTEN DER SORTENGRUPPE DENTIFORMIS (*Zea mays* L. CONVAR DENTIFORMIS KORN VAR FLAVORNBA KORN, (1 REIHE) UND DER SORTENGRUPPE SACCHARATA ZUCKERMAIS (*ZEa* MAYS CONVAR SACCHARATA KORN VAR FLAVODULCIS KORN, (2 REIHE))

Weitere Erläuterungen siehe Abb 1

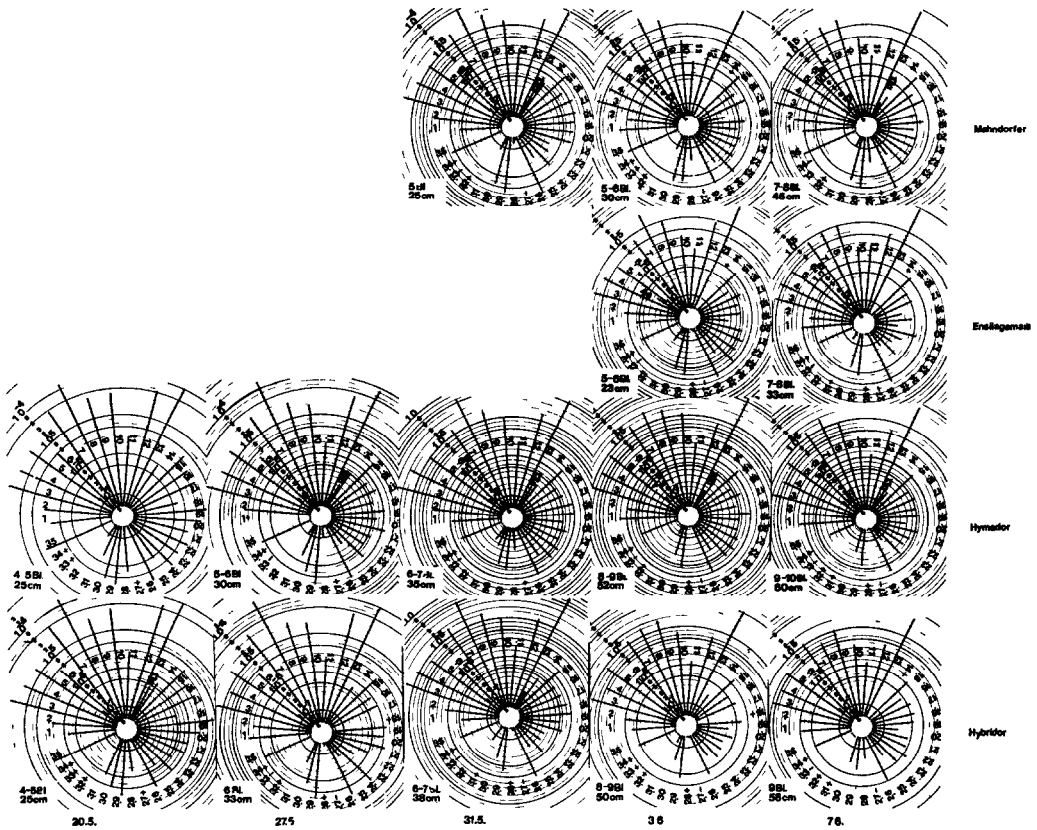


ABB 3 LOSLICHE NINHYDRIN POSITIVE KOMPONENTEN IN BLÄTTERN MEHRERER ENTWICKLUNGSSTADIEN DER HYBRIDSORTEN 'HYMADOR' UND 'HYBRIDOR' UND ZWEIER INGEZUCHTETER LANDSORTEN, IN DER VEGETATIONSHALLE ANGEZOGEN
Weitere Erläuterungen siehe Abb 1

Ähnlich wie bei den Untersuchungen an Weizen, findet man auch hier ein kontinuierliches Absinken der Aminosäuren des Pools, von denen einige besonders deutlich abnehmen. Die Saureamide, deren Rolle als Speicher löslichen Stickstoffs allgemein akzeptiert ist, werden am meisten betroffen. Vor allem Asparagin (Nr 8) tritt in sehr jungen Pflanzen in hoher Konzentration auf. Es nimmt in der Sorte Hybridor (Abb. 1, im Gewachshaus gezogen) beispielsweise von $129 \mu\text{mol/g}$ am 16-5 auf $0,2 \mu\text{mol/g}$ am 7-6 ab. Ähnlich verhält sich das Glutamin (Nr 10), das zu Anfang jedoch nicht in so hoher Konzentration vorkommt.

In den untersuchten Inzuchtsorten ist der Rückgang des Pools in den meisten Fällen nicht so ausgeprägt wie bei den Hybriden. Mit dem langsameren Abnehmen des Pools geht ein weniger intensives Wachstum einher, (Gemessen an der Zahl der ausgebildeten Blätter und der Höhe der Pflanzen) wenn man vergleichbare Entwicklungsabschnitte betrachtet. Der Zusammenhang zwischen Wachstumsintensität und Rückgang des Pools wird auch aus Abb 3 deutlich (Freie Aminosäuren in Pflanzen, die in der Vegetationshalle gezogen wurden).

Aus Abb 3 erkennt man, daß die Hybriden in der Vegetationshalle in entsprechenden

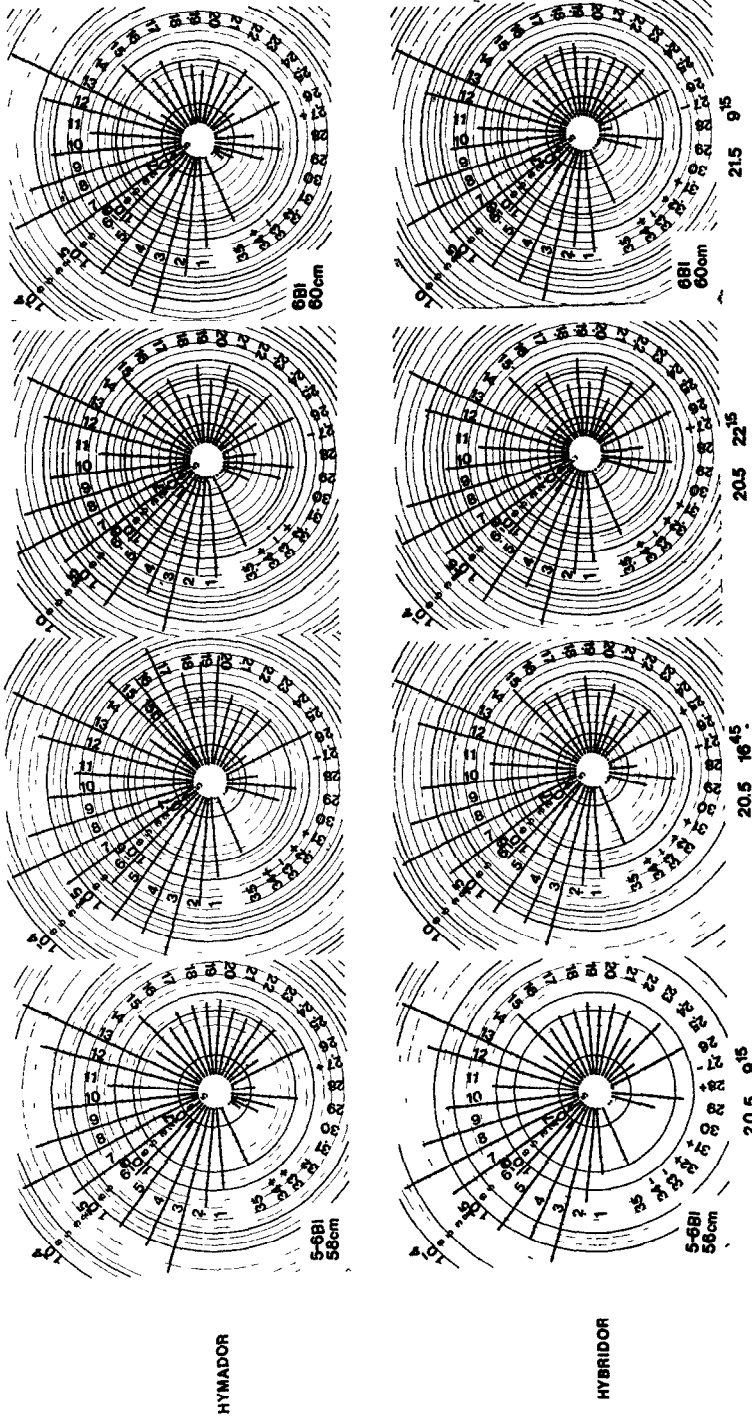


ABB 4 KONZENTRATION DER LOSLICHEN NINHYDRIN POSITIVEN KOMPONENTEN IM VERLAUF EINES TAGES IN DEN HYBRIDSORTEN 'HYMADOR' UND 'HYBRIDOR', IM GEWACHSHAUS ANGEZOGEN
Weitere Erläuterungen siehe Abb 1

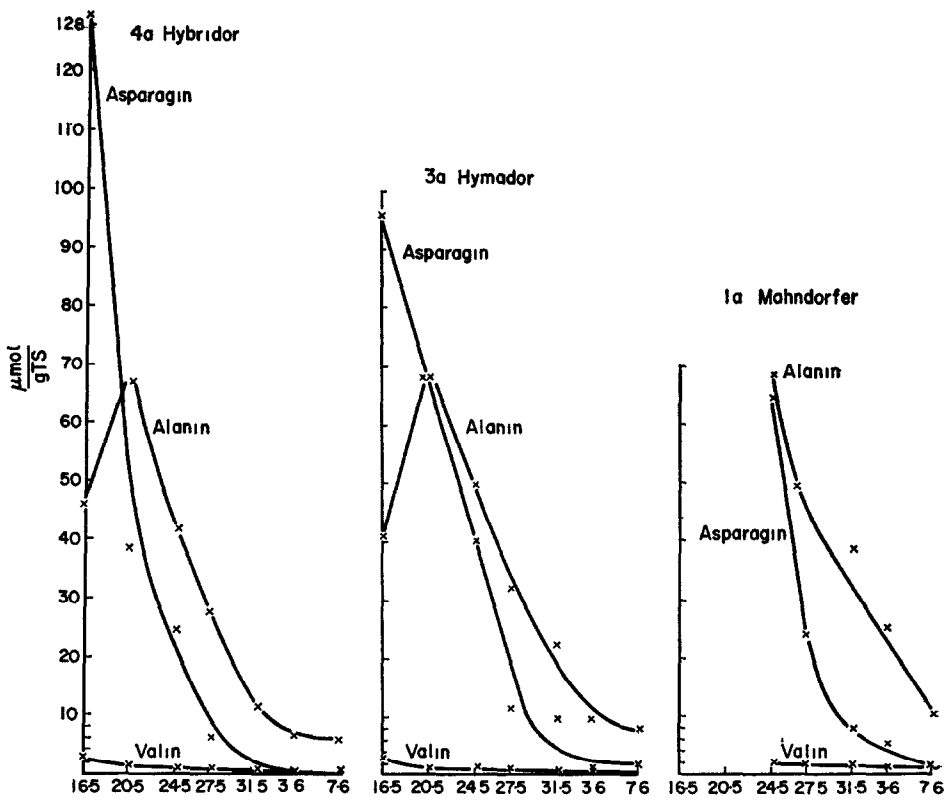


ABB 5 KONZENTRATIONVERLAUF VON ASPARAGIN, ALANIN UND VALIN IN LINEAREM MAßSTAB (ORDINATE $\mu\text{mol/g TrS}$)

Entwicklungsstadien (gemessen an der Zahl der Blätter) höhere Konzentrationen an Pool-Aminosäuren, insbesondere die am stärksten vertretenen wie: Asparaginsäure (Nr. 5), Serin (Nr. 7), Asparagin (Nr. 8), Glutaminsäure (Nr. 9), Glutamin (Nr. 10), Glycin (Nr. 12) und Alanin (Nr. 13) akkumulieren als die ingezuchteten Landsorten. Asparagin (Nr. 8) kommt beispielsweise im 5–6 Blattstadium von 'Hymador' und im 6-Blattstadium von 'Hybridor' mit 149,0 und 169,2 $\mu\text{mol/g TrS}$ vor. Im 5-Blattstadium von 'Mahndorfer' findet man dagegen nur 51,5 $\mu\text{mol/g}$ und im 5-6-Blattstadium von 'Ensilagemais' 21,7 $\mu\text{mol/g}$. Für Glycin (Nr. 12) wurden 38,2 $\mu\text{mol/g}$ ('Hymador'), 43,5 $\mu\text{mol/g}$ ('Hybridor'), 18,7 $\mu\text{mol/g}$ ('Mahndorfer'), 9,5 $\mu\text{mol/g}$ ('Ensilagemais'), für Alanin (Nr. 13) 84,5 $\mu\text{mol/g}$ ('Hymador'), 83,4 $\mu\text{mol/g}$ ('Hybridor'), 42,7 $\mu\text{mol/g}$ ('Mahndorfer') und 34,1 $\mu\text{mol/g}$ ('Ensilagemais') ermittelt. Einige sekundäre Aminosäuren treten in den jungen Stadien der Hybriden gleichfalls verstärkt auf (z.B. im Bereich Valin-Phenylalanin, Nr. 15–20). Der Pool geht jedoch, wie bei den im Gewächshaus gezogenen Pflanzen, in den Hybriden deutlicher zurück als in den ingezuchteten Landsorten. Im Gewächshaus unterscheiden sich die Inzuchtsorten 'Mahndorfer' und 'Ensilagemais' nicht so deutlich von den Hybriden in den jüngeren Stadien (Abb. 1 und 2). Hier wird die Tendenz zwar bei einigen Inzuchtsorten erkennbar, ist aber nicht so ausgeprägt. (z.B. 'Badischer Landmais', 'Dippes Zuckermals', in den 'Chiemgauer'-Stämmen vor allem Glycin (Nr. 12) und Alanin (Nr. 13)).

Wenn auch die Relationen der einzelnen Komponenten des Pools zueinander in allen untersuchten Sorten und Stämmen im allgemeinen keine extremen Unterschiede erkennen lassen, so findet man doch sehr deutliche Abweichungen der Konzentrationen einiger freier Aminosäuren in ingezuchteten Landsorten verglichen mit Hybridsorten. Besonders auffallend sind die Unterschiede zwischen der Sorte 'Golden Bantam' (var saccharata, Abb. 2) und den Hybriden. Hier beträgt die Asparaginkonzentration (Nr. 8) am 24. 5 (5–6 Blätter, 30 cm hoch) $10,5 \mu\text{mol/g TrS}$. In den vergleichbaren Stadien von 'Hymador' und 'Hybridor' wurden $67,9$ und $70,4 \mu\text{mol/g}$ gemessen. Verbunden mit der vergleichsweise sehr niedrigen Asparaginkonzentration am 24. 5 in 'Golden Bantam' sind höhere Werte für eine Reihe sekundärer Aminosäuren: Threonin (Nr. 6) $\sim 2\times$, Prolin (Nr. 11) $\sim 3\times$, Valin (Nr. 15) $\sim 2\times$, Isoleucin (Nr. 16) $\sim 3\times$, Leucin (Nr. 17) $\sim 5\times$, Tyrosin (Nr. 19) $\sim 3\times$, Phenylalanin (Nr. 20) $\sim 3\times$, Lysin (Nr. 30) $\sim 2\times$, Arginin (Nr. 35) $\sim 4\times$.

Vergleicht man die Inzuchtsorten 'Golden Bantam' und 'Kanada Gold' (beides var saccharata, Zuckermais), die zu den gleichen Zeitpunkten geerntet wurden und in annähernd den gleichen Entwicklungsstadien sind, so findet man, daß der Pool in 3 Tagen um $158,8$ ('Golden Bantam', $10,5 \mu\text{mol Asparagin/g TrS}$) und $145,7 \mu\text{Äquivalente NH}_2\text{-N}$ ('Kanada Gold', $90 \mu\text{mol/g TrS Asparagin}$) abgenommen hat (Tabelle 1). Die Abnahme des Pools in der Hybridsorte 'Hymador' beträgt in derselben Zeit $131,1 \mu\text{Äquivalente NH}_2\text{-N}$. Daß der Konzentrationsrückgang der beiden ingezuchteten Landsorten den der Hybridsorte übertrifft, liegt an dem unterschiedlichen Entwicklungszustand. Außerdem unterscheiden sich 'Golden Bantam' und 'Kanada Gold' von anderen ingezuchteten Landsorten durch eine ungewöhnlich niedrige Asparaginkonzentration verbunden mit relativ hohen Konzentrationen einiger sekundärer Aminosäuren ('Golden Bantam') und eine sehr hohe Asparaginkonzentration ('Kanada Gold'). Der Anteil des Asparagins am Poolrückgang ist bei 'Kanada Gold' weitaus am größten (78%), bei 'Golden Bantam' nur 9,8% ('Hymador' 43,6%). Alanin (Nr. 13) trägt bei 'Golden Bantam' am meisten zu der gesamten Poolverringering bei. Offensichtlich wird der Verbrauch löslichen Stickstoffs normalerweise bevorzugt aus dem Asparaginpools getätigt, während die anderen Komponenten erst über einen etwas

TABELLE 1 ABNAHME DES POOLS ($\mu\text{ÄQUIVALENTE NH}_2\text{-N/g TrS}$) IN 'GOLDEN BANTAM', 'KANADA GOLD' UND 'HYMADOR' VOM 24. 5 BIS 27. 5

	'Golden Bantam'		'Kanada Gold'		'Hymador'	
	$\mu\text{Äquival NH}_2\text{-N}$	(%)	$\mu\text{Äquival NH}_2\text{-N}$	(%)	$\mu\text{Äquival NH}_2\text{-N}$	(%)
Insgesamt	158,8	100	145,7	100	131,1	100
Asparagin	15,6	9,8	114,7	78,0	57,2	46,6
X ₆ *	12,0	7,6	2,0	1,4	8,0	6,1
X ₈ *	12,8	8,1	0,3	0,2	3,1	2,4
Serin	11,7	7,4	2,0	1,4	3,1	2,3
Glutaminsäure	17,5	11,0	8,0	5,5	7,8	5,9
Glutamin	9,4	5,9	7,6	5,2	23,3	17,8
Glycin	11,5	7,3	1,0	0,7	8,3	6,3
Alanin	50,0	29,0	6,0	4,0	17,7	13,5
Übrige Komponenten	18,3	11,5	4,8	3,3	2,6	2,0

* Unbekannte sind in $\mu\text{Norleucinaequivalenten}$ berechnet, es wurde $1 \mu\text{Äquivalent NH}_2\text{-N}$ je $\mu\text{Norleucinaequivalent}$ angenommen

langeren Zeitraum eine deutliche Abnahme erfahren. In Tabelle 1 fällt u. a. auch der vergleichsweise hohe Verbrauch des Glutamins in der Hybridsorte auf. In der Regel nimmt der Anteil der einzelnen Komponenten bei der Hybridsorte Werte zwischen den beiden extremen Beispielen an, wobei zu berücksichtigen ist, daß die Vergleichbarkeit zwischen der Hybridsorte und den Inzuchtsorten, wie bereits erwähnt, eingeschränkt ist. Es scheint jedoch zweckmäßiger zu sein, den gleichen Zeitraum für einen Vergleich zu wählen, da die Wachstumsintensität, mit der der Poolrückgang zusammenhängt, auch mit den Außenbedingungen variiert.

Das Unvermögen der Sorte 'Golden Bantam', große Mengen Asparagin in jungen Stadien anzureichern, führt anscheinend dazu, daß die Speicherung löslichen Stickstoffs in anderen Komponenten des Pools erfolgt. Insbesondere sekundäre Aminosäuren sind stark erhöht, verglichen mit den Hybridsorten und anderen ingezüchteten Landsorten. Diejenigen freien Aminosäuren, deren Anteil in Tabelle 1 besonders ins Gewicht fällt, übertreffen die Konzentrationen der Hybridsorten und anderer Inzuchtsorten nicht alle (die Glutaminsäurekonzentration ist etwas höher), sodaß nach 3 Tagen, währenddessen die Pflanzen durchschnittlich 2 Blätter bilden und 18 cm wachsen, die Konzentration dieser Verbindungen wie die des Asparagins unter der vergleichbarer Stadien der Hybridsorten und einiger Inzuchtsorten liegt (z. B. Alanin, Glutaminsäure, Glycin u. a.). Arginin (Nr. 35) tritt in einer Reihe von Inzuchtsorten verglichen mit den entsprechenden Stadien der Hybriden verstärkt auf. 'Kanada Gold' enthält das fünffache der Argininmenge, die in den Hybriden ermittelt wurde.

Gleichzeitig ist im 6-Blattstadium auch das Ornithin (Nr. 29), das auf dem Syntheseweg zum Arginin liegt, erhöht (annähernd doppelt so hoch wie in den Hybriden), sowie Lysin (Nr. 30). Bis zum 27.5 geht das Ornithin auf einen ähnlichen Stand wie bei den Hybriden zurück. Arginin bleibt in vergleichsweise hoher Konzentration meßbar. Neben der schon erwähnten Sorte 'Golden Bantam' findet man auch im 'Gelben Badischen Landmais' vergleichsweise viel Arginin. Andere Inzuchtsorten haben dagegen den Hybriden vergleichbare Arginingehalte, insbesondere wenn man sie in Relation zu den übrigen Poolkomponenten betrachtet.

In jüngeren Entwicklungsstadien der Inzuchtstämme ist der Pool mitunter nicht so umfangreich wie in den Hybriden. Im weiteren Verlauf der Vegetationsperiode kehrt sich das Verhältnis jedoch um, da der Pool in den Inzuchtsorten offenbar nicht so intensiv genutzt wird, wie in den Hybriden. So enthalten der 'Gelbe Badische Landmais', 'Dippes Zuckermais', und 'Chiemgauer' zu Anfang weniger Glycin (Nr. 12) und Alanin (Nr. 13). Besonders 'Chiemgauer 2' hat relativ wenig Glycin. Das ist auch noch am 31.5. erkennbar. Bei der letzten Probenahme (7.6.) enthält dieser Stamm jedoch bedeutend mehr Glycin als die Hybriden. Zwar sind dann 11–12 Blätter ausgebildet, die Wuchshöhe ist aber wesentlich niedriger als die der Hybriden (97 cm 'Chiemgauer 2', 133 cm 'Hymador', 150 cm 'Hybridor').

In einer Reihe von Inzuchtstämmen ist die γ -Aminobuttersäure etwas stärker vertreten als in den Hybriden ('Janetzki's Astra', 'Florentiner', 'Badischer Landmais'). Besonders in 'Janetzki's Astra' vom 27.5. wurde mehr als das Doppelte der Hybridsorten ermittelt, außerdem ist hier die Lysinkonzentration bemerkenswert hoch. Die Inzuchtsorte 'Ensilmagmais' fällt durch einen vergleichsweise niedrigen Glutamingehalt in jungen Stadien auf. Außerdem ist in allen Entwicklungsstadien die Komponente X₁₀ (Nr. 10b) in meßbaren Mengen vorhanden, die in der Regel nur in Spuren auftritt.

In Abb. 4 ist die Aminosäurekonzentration in 'Hymador' und 'Hybridor' (aus dem Gewächshaus) bei Probenahme zu verschiedenen Tageszeiten dargestellt. Man erkennt die vom Tagesgang abhängige Konzentration freier Aminosäuren, die besonders bei 'Hymador'

ausgeprägt ist. In der Sorte 'Hybridor' ist die Tendenz vor allem beim Alanin (Nr. 13) erkennbar.

DISKUSSION

Der eingangs erwähnte Zusammenhang zwischen Pool-Aminosäuren und Ertrag sowie verschiedene Poolzusammensetzung in Varietäten unterschiedlicher Produktivität war ein Hinweis auf die Bedeutung des Aminosäurepools in den Blättern für Wachstum und Ertragsbildung^{1,2}.

Bekanntlich bedürfen Embryonen einiger Getreidearten und Wurzelspitzen der Zufuhr präformierter Eiweißbausteine für ein optimales Wachstum^{3,5}. Bei Versuchen mit Weizenembryonen erbrachten verschiedene Aminosäuremischungen unterschiedliches Wachstum⁶.

Für den wachsenden Vegetationskegel und die sich entfaltenden Blätter und Blütenanlagen wird man eine ähnliche Abhängigkeit nicht nur von der Zufuhr von Saccharose, sondern auch anderer für das Wachstum erforderlicher Stoffe, wie von Aminosäuren, annehmen können⁷. Die Kompartimentierung der Zelle und das Vorhandensein mehrerer Pools, die bestimmten Organellen zugeordnet werden können⁸ oder durch kinetische Studien ermittelt werden^{9,10} läßt die freien Aminosäuren nicht nur als Eiweißbausteine erscheinen. Vielmehr speist der Aminosäurepool auch metabolische Prozesse des intermediären Stoffwechsels und der Atmung^{11,12} (siehe dort auch weitere Literatur).

Phloemtransport von markierten Proteinaminosäuren und Proteinhydrolysat von älteren in jüngere Blätter wurde von Joy und Antcliffe¹³ nachgewiesen, wobei ein Verteilungsmuster wie bei der Verlagerung von Photosyntheseprodukten beobachtet wurde. α -Aminobuttersäure und D-Alanin wurden zwar aufgenommen, nicht aber transportiert.

Auch durch direkte Analyse des Phloemsafes (Aphidenmethode, Anschneiden des Phloems^{14,15}) wurde die Verlagerung von Aminosäuren über die Siebrohren beobachtet, wobei die Menge und die Zahl translozierter Aminoverbindungen von dem Entwicklungszustand (Blattentfaltung, Blattfall^{14,16}) wie auch von der Pflanzenart abhängt¹⁵.

Bei annuellen Pflanzen findet Entfaltung junger Blätter bzw. Infloreszenzen und in gewissem Umfang Blattfall (ältere Blätter) während der Vegetationsperiode bis zur Blüte statt, sodaß der Verbrauchsort ('sink') ständig Anforderungen an die produktivsten entfalteten Blätter stellt ('source').

Die meisten Pflanzenarten assimilieren den Stickstoff bereits in der Wurzel, von wo er in Form organischer N-Verbindungen über den Transpirationsstrom in den Sproß gelangt¹⁷. Bei der Transportform des Stickstoffs überwiegen sehr oft die Säureamide Glutamin und

³ A. OAKS, *Biochim. Biophys. Acta* **79**, 639 (1963).

⁴ A. OAKS und H. BEEVERS, *Plant Physiol.* **39**, 37 (1964).

⁵ K. W. JOY und B. F. FOLKES, *J. Exptl. Bot.* **16**, 646 (1965).

⁶ H. LORENZ, unveröffentlichte Ergebnisse.

⁷ F. L. MILTHORPE und J. MOORBY, *Ann. Rev. Plant Physiol.* **20**, 117 (1969).

⁸ H. G. AACH und U. HEBER, *Z. Pflanzenphysiol.* **57**, 317 (1967).

⁹ A. OAKS, *Plant Physiol.* **40**, 142 (1965).

¹⁰ J. M. HOLLEMAN und J. L. KEY, *Plant Physiol.* **42**, 29 (1967).

¹¹ F. G. STEWARD und R. G. S. BIDWELL, *Amino Acid Pools*, (edited by J. F. HOLDEN), p. 667. Elsevier, Amsterdam (1962).

¹² A. OAKS und R. G. S. BIDWELL, *Ann. Rev. Plant Physiol.* **21**, 43 (1970).

¹³ K. W. JOY und A. J. ANTCLIFF, *Nature, Lond.* **211**, 210 (1966).

¹⁴ T. E. MITTLER, *Nature, Lond.* **172**, 207 (1953).

¹⁵ H. ZIEGLER, *Planta* **47**, 447 (1956).

¹⁶ P. E. WEATHERLY, A. J. PEEL und G. HILL, *J. Exptl. Bot.* **10**, 1 (1959).

¹⁷ J. S. PATE, W. WALLACE und J. VAN DIE, *Nature, Lond.* **204**, 1073 (1964).

Asparagin. Anderen Pflanzenarten fehlt die Fähigkeit zur Nitratreduktion in der Wurzel völlig; sie erfolgt insbesondere in der Blattspreite.^{17,18} Hier ist die Transportform ausschließlich Nitrat, das in Stengel und Blattstiel gespeichert wird. Zwischen den beiden Möglichkeiten (Nitratreduktion im Blatt und Nitratreduktion in der Wurzel) gibt es alle Übergänge, die nicht zuletzt vom Nitratangebot abhängen. So wird bei unseren Kulturpflanzen bei der gegenwärtig gebräuchlichen Stickstoffdüngung ein wechselnder Anteil des zugeführten anorganischen Stickstoffs erst in den Blättern in organische Bindung überführt werden. Man kann aus dem Anteil des in die Blätter gelangenden Nitrats und der daraus resultierenden Aktivität der Nitratreduktase die Stickstoffversorgung der Pflanze charakterisieren.¹⁹

Aus dem Transpirationsstrom entnehmen Stengel und Blätter NO_3^- und organische N-Verbindungen. Hierbei wird in jungen Pflanzen die Konzentration aller Komponenten des aufsteigenden Transpirationsstroms durch Entzug der Blätter und des Stengels erniedrigt. In bestimmten Entwicklungsstadien scheinen besonders ältere Blätter bevorzugt Saureamide aus dem Xylem zu entziehen.²⁰ Der Transport assimilierten Stickstoffs im Xylem muß naturgemäß ältere Blätter begünstigen, die der Transpiration stärker ausgesetzt sind.

Bei der Verabreichung markierten Blutungssaftes zu Felderbsenssprossen werden zunächst die älteren Blätter radioaktiv. Später findet sich der größte Teil der Aktivität in den oberen Sproßteilen.²¹ Hierbei verändert sich die Verteilung der Aktivität auf die einzelnen Komponenten, auch das Prolin wird in größerem Umfang radioaktiv.

Ausgewachsene Blätter verarbeiten offensichtlich die N-Assimilationsprodukte und liefern den wachsenden Pflanzenteilen über das Phloem ein geeignetes Aminosäurespektrum. Man wird daher dem Aminosäurepool und dessen Zusammensetzung in den Blättern als Momentaufnahme der Verfügbarkeit oder Anhäufung von Metaboliten, die in situ oder nach Abtransport in wachsende Pflanzenteile die Proteinsynthese oder metabolische Syntheseketten speisen, besondere Bedeutung beimessen dürfen. So schien es von Interesse, in ingezuchteten Landsorten und Hybridsorten von Mais als Modellpflanzen für unterschiedliche Produktivität den Aminosäurepool zu untersuchen. Es wurde angenommen, daß die Zusammensetzung des Pools Rückschlüsse auf die Ausprägung von Synthesewegen ermöglichen kann.

So wird beispielsweise von dem hier verwendeten Stamm der Sorte 'Golden Bantam' vermutet werden können, daß die Asparaginsynthese nicht in dem für ein optimales Wachstum erforderlichen Ausmaß abläuft. Hingegen scheint in der zu der gleichen Sortengruppe (convar. *saccharata*) gehörenden Inzuchtsorte 'Kanada Gold' wie auch in einigen anderen ingezuchteten Landsorten die Asparaginproduktion sehr viel intensiver zu sein. Der hohe Gehalt der meisten sekundären Aminosäuren in 'Golden Bantam' tritt in Verbindung mit der geringen Asparaginspeicherung auf. Das setzt diese Pflanzen jedoch nicht in die Lage, im selben Maße löslichen Stickstoff zu 'poolen' wie andere Inzuchtsorten und die Hybriden, da nach drei Tagen annähernd ähnliche Konzentrationen sekundärer Aminosäuren gefunden werden wie bei den entsprechenden Stadien anderer Inzuchtsorten und der Hybriden, die Asparaginkonzentration jedoch um ein Vielfaches niedriger ist.

Die Anhäufung von Arginin (Nr. 35) in 'Kanada Gold' wie ein verstärktes Auftreten

¹⁸ W. WALLACE und J. S. PATE, *Ann. Bot.* **31**, 213 (1967)

¹⁹ A. BAR-AKIVA, *Proc. 1st intern. Citrus symp.* **3**, 1 (1969)

²⁰ H. BRENNAN, J. S. PATE und W. WALLACE, *Ann. Bot.* **28**, 527 (1964)

²¹ J. S. PATE, J. WALKER und W. WALLACE, *Ann. Bot.* **29**, 475 (1965)

von Ornithin (Nr 29) ('Kanada Gold', 24.5), Lysin (Nr 30) ('Kanada Gold', 'Janetzki's Astra' 27.5), γ -Aminobuttersäure (Nr. 26) (besonders 'Janetzki's Astra' 27.5.) deutet auf eine uberoptimale Betonung der zu diesen Verbindungen fuhrenden Synthesewege

Niedrigere Gehalte einiger Aminosäuren in jungeren Stadien wie z.B. von Glycin (Nr. 12) (insbesondere in 'Chiemgauer 2' vom 20.5) lassen eine nicht optimale Synthese solcher Aminosäuren vermuten. Hier muß allerdings auch die geringer ausgeprägte Fähigkeit zur Pool-Ausweitung der Inzuchtsorten in jungen Stadien beobachtet werden, sodaß es unter den gewählten Versuchsbedingungen schwierig erscheint, eine unteroptimale Konzentration bestimmter Komponenten des Pools in den Inzuchtsorten im Vergleich zu den Hybriden auszumachen, da die meisten Glieder des Pools betroffen sind.

Die hier mitgeteilten Befunde zeigen, daß ingezuchtete Sorten und Hybridsorten von Mais deutlich unterschiedliche Aminosäurepools aufweisen. Sicherlich kann die optimal produzierende Pflanze nicht allein aus dem Verhalten und der Zusammensetzung des Aminosäurepools charakterisiert werden. Vielmehr muß man annehmen, daß auch andere Metaboliten und Cofaktoren (z.B. Vitamine²²) in optimalen Konzentrationen vorhanden sein müssen für maximale Produktivität. Daher kann die Ermittlung der freien Aminosäuren nur als ein Anfang betrachtet werden und weitere Untersuchungen werden erforderlich sein, um die komplette Ausstattung einer Pflanze mit optimalen Konzentrationen an Substraten und Cofaktoren zu ermitteln.

Die hier verwendeten Inzuchtsorten hatten keinen genetischen Bezug zu den als Vergleichssorten herangezogenen Hybriden. Sie sollten in erster Linie dazu dienen, Unterschiede zwischen intensiv und weniger intensiv produzierenden Pflanzen zu finden.

EXPERIMENTALLES

(a) *Pflanzenanzucht* Die in Mitscherlichgefäßen angesetzten Pflanzen erhielten bei der Aussaat (am 30.4) in Einheitserde je Gefäß 2 g N als NH_4NO_3 , 2 g P_2O_5 als Superphosphat, 2 g K_2O als K_2SO_4 , 20 g CaCO_3 + 2,5 g MgCO_3 (pH 6,2) sowie Spurenelemente nach Hoagland (5 ml/Gefäß). Hybridsorten (Saatgut im Handel erhältlich) und Landsorten, die mindestens in der 3. Generation ingezuchtet waren (Institut für Kulturpflanzenforschung, Aschersleben) wurden entweder im Gewächshaus oder in der Vegetationshalle angezogen. Die Probenahme zu den in den Abb. 1–5 angeführten Daten war, wenn nicht anders angegeben, zur gleichen Tageszeit (zwischen 9,00 und 10,00 Uhr), da mit tagesperiodischen Schwankungen des Aminosäurepools gerechnet werden mußte.

TABELLE 2 GEHALT EINIGER KOMPONENTEN BEI 8-FACHER WIEDERHOLUNG (EXTRAKTION) DER GLEICHEN PROBE, SOWIE VARIATIONS-KOEFFICIENT UND GRENZDIFFERENZ BEI $p = 5\%$

Komponente	$\mu\text{mol/g Trs}$	$s^2\%$	GD 5% $\mu\text{mol/g Trs}$
X ₆	7,01	10,73	1,04
X ₈	6,36	8,10	0,86
Asparaginsäure	1,77	1,03	0,16
Threonin	0,96	0,67	0,10
Serin	4,71	3,51	0,49
Asparagin	3,19	3,61	0,41
Glutaminsäure	4,61	1,72	0,34
Glutamin	1,73	1,41	0,19
Prolin	0,64	0,20	0,09
Glycin	8,59	2,92	0,64

(b) *Aufarbeitung* Das gefriergetrocknete Material wurde im Starmix trocken homogenisiert. Die Extraktion (1–2 g) im Starmix (5 min) erfolgte mit 100 ml 70% igem MeOH, das 0,5% Thiodiglycol enthielt. Anschließend wurde auf einem Buchnertrichter abgesaugt, der Rückstand 5 mal mit 30 ml 50% igem MeOH, 10% Eisessig enthaltend, aufgeschwemmt und abgesaugt. Der vereinigte Rohextrakt wurde bei 30° im Rotationsverdampfer eingeeengt, mit H₂O (ca. 50 ml) aufgenommen und mit einigen Tropfen ca. 6 N HCl auf pH 2 eingestellt. Nach Extraktion mit ca. 50 ml Äthylather kam der so gereinigte Extrakt auf eine Kationenaustauschersäule (Dowex 50 WX8, 25 × 1 cm). Nachdem der Extrakt in das Säulenbett perkoliert war und die Säulen mit H₂O gewaschen waren (0,5% Thiodiglycol enthaltend und einige Tropfen Toluol/Xylol 1:1, um microbielle Zersetzung hinten zu halten), erfolgte die Elution mit ca. 2 N Ammoniaklösung, der gleichfalls 0,5% Thiodiglycol beifügt waren, um die Oxidation SH-haltiger Aminosäuren zu verhindern.²³ Die Säuleneluate wurden erneut bei 30° im Rotationsverdampfer eingeeengt und der Rückstand mit wenig MeOH in 50 ml-Bechergläser überführt. Das MeOH wurde mit Hilfe eines Ventilators bei Zimmertemperatur entfernt und die Gläser im Vakuumexsikkator eine Woche über P₂O₅ getrocknet, um storendes Ammoniak zu entfernen. Die Säulen wurden gekühlt, um den Abbau von Glutamin möglichst zu unterbinden. In Versuchen zur Reproduzierbarkeit der Meßwerte wies Glutamin unter diesen Bedingungen annähernd die gleiche Streuung auf wie die meisten der anderen Komponenten in diesem Bereich (Tabelle 2), sodaß die am Kationenaustauscher auftretenden Verluste reproduzierbar korrigiert werden konnten.

(c) *Aminosäureanalyse* Der Extrakt wurde aus den Bechergläsern mit 10 ml Lithiumcitratpuffer (pH 2,2, 0,2 N) aufgenommen, filtriert und ein aliquoter Anteil zur Analyse der sauren und neutralen Aminosäuren auf eine 60 × 0,9 cm Säule, zur Analyse der basischen Aminosäuren auf eine 40 × 0,9 cm Säule des Analysators BC 200 (BioCal, München) aufgetragen und mit den dafür entwickelten Programmen chromatographiert.²⁴

Anerkennungen—Der Deutschen Forschungsgemeinschaft danke ich für die Unterstützung der Untersuchungen, Herrn Dr. Christian Lehmann, Aschersleben, für die Überlassung der Inzuchtsorten.

²² F. F. MATSKOV, S. G. MANZYUK und L. E. ZAKREVSAYA, *Soviet Plant Physiol.* **12**, 901 (1965).

²³ W. G. ARMSTRONG, *4th Amino Acid Colloq.* Technicon Instruments Co. Ltd., p. 45 Chertsey, Surrey (1966).

²⁴ H. LORENZ, *Phytochem.* **10**, 63 (1971).

Key Word Index—*Zea mays*, Gramineae, hybrid corn, amino acids, changes during growth