

Sonderdruck aus

Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde

146. Band, Heft 4, Seite 438—448

Verlag Chemie GmbH, Weinheim (Bergstr.)

**Stickstoffbilanz von ^{15}N -Harnstoff bzw. ^{15}N -Ammonsulfatsalpeter
mit Dicyandiamid in Gefäßversuchen zu Grünhafer und Sommerweizen**

A. Amberger und K. Vilsmeier

Stickstoffbilanz von ^{15}N -Harnstoff bzw. ^{15}N -Ammonsulfatsalpeter mit Dicyandiamid in Gefäßversuchen zu Grünhafer und Sommerweizen

A. Amberger und K. Vilsmeier

Institut für Pflanzenernährung, TU München-Weihenstephan, 8050 Freising

Eingegangen: 11. 10. 1982

Angenommen: 27. 12. 1982

Zusammenfassung – Summary

In Gefäßversuchen mit Grünhafer und Sommerweizen wurde auf der Basis gleicher N-Mengen die Wirkung von ^{15}N -Harnstoff (Ha) und ^{15}N -Ammonsulfatsalpeter (ASS) unter Zugabe des nicht markierten Nitrifikationshemmstoffes Dicyandiamid (DCD, und Anrechnung dessen N-Gehaltes) auf Erträge, N-Entzüge, Verteilung des ^{15}N -Stickstoffs in Pflanzen und Boden (sandiger Lehm, pH 6.5) sowie Verbleib des DCD untersucht mit folgendem Ergebnis:

1. Im Neubauerversuch mit Grünhafer wurden 62–69 % des Dünger-N im Sproß, 21–31 % in den Wurzeln und 4–9 % im Boden gefunden. Im Mitscherlichversuch mit Sommerweizen wurden 85–88 % des Dünger-N in Körnern und Stroh, 7–10 % in den Wurzeln und 3–4 % im Boden gefunden.
Die ^{15}N -Recovery-Quote lag in allen Fällen zwischen 98 und 100 % und bestätigte damit ein praktisch verlustfreies Arbeiten.
2. Die Erträge von Grünhafer (Sproß) bzw. Sommerweizen (Korn und Stroh) lagen in den DCD-Varianten um 4–11 % niedriger; dagegen waren die Stickstoffgehalte und -entzüge meist etwas höher als in den DCD-freien Kontrollen.
3. Das wasserlösliche DCD wurde unter den Bedingungen dieser Gefäßversuche (starke Durchwurzelung, günstige Temperatur, zweimaliges Angebot im frühen Wachstumsstadium, langsamer bodenspezifischer Abbau), teilweise auch von den Pflanzen aufgenommen und vorwiegend in Blättern bzw. Stroh nachgewiesen. In Sommerweizenkörnern waren die DCD-Gehalte dagegen sehr gering (maximal 3 ppm DCD-N), in den Wurzeln nicht nachweisbar. Vergleichende Untersuchungen im Erntematerial von Feldversuchen ergaben kein DCD in Körnern und nur sehr wenige ppm DCD im Stroh.
4. In den DCD-Varianten ist der im Boden verbliebene Rest-N höher, vermutlich aufgrund der längeren Einwirkungszeit des Ammonium auf die organische Substanz des Bodens.

Recovery of Nitrogen of ^{15}N -urea and ^{15}N -ammonium sulfa-nitrate with addition of dicyandiamide in pot trials with green oats and spring wheat

In pot trials with green oats and spring wheat, the effect of ^{15}N -urea (UR) and ^{15}N -ammonium sulfa-nitrate (ASN) with addition of the unlabelled nitrification inhibitor dicyandiamide (DCD) was investigated on the basis of equal amounts of N by fully taking into account the DCD-N, with respect to yield, N-removal, distribution of ^{15}N in plants and soil (sandy loam, pH 6.5) as well as the fate of DCD.

1. In Neubauer experiments with green oats, 62–69 % of fertilizer-N were found in the shoots, 21–31 % in the roots and 4–9 % in the soil. In Mitscherlich trials with spring wheat, 85–88 % of fertilizer-N were found in grain and straw, 7–10 % in the roots and 3–4 % in the soil. ^{15}N -recovery,

- in all cases was between 98-100 %, thus exhibiting practically no loss in course of the experiment.
2. Yields of green oats (shoots), resp. spring wheat (grain and straw) were about 4-11 % lower in pots with DCD; on the contrary, N-contents and removal were somewhat higher compared to control without DCD.
 3. With conditions given by these pot trials (strong root penetration, favourable temperature, repeated supply during early growth, slow soil-specific decomposition), water-soluble DCD was taken up partly by the plants and appeared mainly in leaves resp. straw. In grains of spring wheat, DCD-contents were, however, very low (maximum 3 ppm DCD-N); in roots it could not be detected. In comparison, analysis of crop-material in field trials showed no DCD in grains and only very few ppm DCD in straw.
 4. In pots with DCD, the residual-N in the soil was higher, probably because of the prolonged time of reaction between ammonium and the organic matter of the soil.

Einleitung

In zwei vorausgegangenen Abhandlungen haben wir die Wirkung des Nitrifikationshemmstoffes Dicyandiamid (DCD) auf den Umsatz von ^{15}N -Harnstoff (Ha) und ^{15}N -Ammonsulfatsalpeter (ASS) im Boden unter aeroben und anaeroben Bedingungen untersucht (Amberger und Vilsmeier 1982, Vilsmeier und Amberger, 1982).

Über die Wirkung von DCD als Zusatz zu mineralischen N-Düngern auf Erträge und N-Ausnutzung von Pflanzen liegen bereits einige Publikationen aus unserem Institut vor (Amberger und Gutser 1978; Vilsmeier und Amberger 1978; Amberger 1981 a und b).

Das Ziel der folgenden Versuche und Untersuchungen war es, die sehr komplexen Wechselwirkungen zwischen Düngerstickstoff, Nitrifikationshemmstoff, Pflanze und Boden in Gefäßversuchen zu studieren, wozu die ^{15}N -Markierung des Harnstoffes bzw. Ammonsulfatsalpeters gute Möglichkeiten bietet. Ferner sollte die Frage geprüft werden, ob und wann der im DCD enthaltene Stickstoff (ca. 67 % N) pflanzenverfügbar wird.

Material, Methodik, Versuche

1. Versuche in Neubaugefäßen

(in Phytotronkammern mit 14 h Tageslicht)

Boden:	Lößbraunerde (Dürnast), $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ 6,5, 550 g/Gefäß
Frucht:	Hafer (Sorte Leanda), 8 Pflanzen/Gefäß
Grunddüngung:	20 mg N als NH_4NO_3 kurz nach dem Auflaufen
	10.5 mg P } als K_2HPO_4
	25.5 mg K } als $\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ } beides als Lösung in 3 Gaben
	3.0 mg Mg } als $\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ }
	Spurenelementlösung nach Arnon und Hoagland
	(1940) - 1 ml auf 1 000 ml, davon $3 \times 20 \text{ ml/Gefäß}$

¹⁵N-Dünger (je Gefäß):

60 mg N als Ha oder ASS bzw.

54 mg N als Ha oder ASS + 6 mg DCD-N (ohne Markierung)

jeweils in 2 Gaben zum 3. bzw. 5. Blatt

Ha 18.5 Atom % ¹⁵N-Überschuß

ASS 17.2 Atom % ¹⁵N-Überschuß

Ernte nach 10 Wochen (bereits deutlich ausgeprägte N-Mangelsymptome)

2. Versuche in Mitscherlichgefäßen

(Vegetationshalle)

Boden: Lößbraunerde (Dürnast), pH_{CaCl₂} 6.5,
mit 2/5 Sand verdünnt, 7.5 kg/Gefäß

Frucht: Sommerweizen (Sorte Walter), 25 Pflanzen/Gefäß

Grunddüngung: 0.3 g N als KNO₃ kurz nach dem Auflaufen
0.45 g P als CaHPO₄·2 H₂O zum Boden gemischt
0.4 g K als K₂SO₄
0.2 g Mg als MgSO₄·7 H₂O } beides als Lösung

¹⁵N-Dünger (je Gefäß):

1.50 g N als Ha oder ASS

(600 mg z. Bestocken und 900 mg z. Schossen) bzw.

1.35 g N als Ha oder ASS

(540 mg + 60 mg DCD-N z. Bestocken;

810 mg + 90 mg DCD-N z. Schossen)

DCD jeweils ohne Markierung

Ha 7.28 Atom % ¹⁵N-Überschuß

ASS 5.43 Atom % ¹⁵N-Überschuß

Ernte nach 17 Wochen (Vollreife)

Die *Methodik* war die gleiche wie in der vorausgegangenen Publikation (*Amberger und Vilsmeier*, 1982) mit folgenden Ergänzungen:

Gesamt-N in Pflanzen: nach Kjeldahl

DCD-Perkolat: kolorimetrisch (*Vilsmeier* 1979 und 1982)

DCD in Pflanzen: mit HPLC (*Vilsmeier*, in Vorbereitung)

Wurzelmasse ermittelt mit der Isotopenverdünnungsanalyse =

$$\frac{\text{mg Boden N/Gef.} \times (\% \text{ } ^{15}\text{N (Misch. Boden + Wurzel)} - 0.37 \text{ (natürl. Häufigk.)}) \times 100}{(\% \text{ } ^{15}\text{N (Wurzel)} - \% \text{ } ^{15}\text{N (Misch. Boden + Wurzel)}) \times \text{Ges. N-Gehalt Wurzel in } \%}$$

(*Anonym*, 1974)

Zur Bestimmung des Gehaltes an Gesamt-N und ¹⁵N der Wurzeln muß auf diese Weise nur eine kleine Wurzelmenge vom Boden getrennt werden.

Ergebnisse

1. Neubauversuch

Die Sproß- und Wurzelerträge von Grünhafer (Tab. 1) zeigen zwar insgesamt nur geringe Unterschiede; immerhin liegen aber die Versuchsglieder mit Ha um durchschnitt-

lich 0.85 g TS/Gefäß (= ca. 15 %) niedriger als die entsprechenden ASS-Varianten. Ferner zeigen alle DCD-Glieder um etwa 10 % niedrigere Erträge als die DCD-freien Kontrollen, vermutlich aufgrund der um 10 % geringeren Ha- bzw. ASS-N-Gabe (DCD-N im Gesamt-Dünger-N enthalten!). Der DCD-N wird offenbar innerhalb von 10 Wochen nicht ertragswirksam. In den N-Entzügen aus Boden-, markiertem Dünger- und nicht markiertem DCD-N machen sich dagegen die deutlich höheren N-Gehalte der DCD-Varianten bemerkbar.

Hinsichtlich der Wurzelmassen verhalten sich Ha und ASS dagegen umgekehrt, d. h., bei Ha-Ernährung verbleibt mehr Dünger-N in Wurzeln und Boden (s. auch Abb. 1).

Eine Untersuchung des Sproßmaterials auf Dicyandiamid (Tab. 2) ergab, daß dieses unter den Verhältnissen des Neubauversuches (sehr starke Durchwurzelung, günstige Temperatur und Feuchtigkeit, zweimalige DCD-Gabe zum Aufwuchs) teilweise als solches von der Pflanze aufgenommen und in den Sproß transportiert worden ist. Dafür sprechen auch die beobachteten schwachen Blattrandchlorosen bzw. Nekrosen. Somit sind in den Varianten Ha/DCD 24 %, in ASS/DCD sogar 30 % des verabreichten DCD im oberirdischen Aufwuchs wiederzufinden; dagegen ist in der Wurzel überhaupt kein Dicyandiamid nachweisbar. Es wird demnach offenbar passiv mit dem Transpirationsstrom aufgenommen.

Tabelle 1: Erträge und Gesamt-N-Entzüge von Grünhafer

Table 1: Yield and N-removal of green oats

Düngerform	Sproß			Wurzel		
	Ertrag g TS/Gefäß	N % i. TS	N-Entzug mg/Gefäß	Ertrag g TS/Gefäß	N % i. TS	N-Entzug mg/Gefäß
Ha	5.26	1.197	62.9	6.3	0.770	48.5
Ha/DCD	4.67	1.428	66.7	5.9	0.819	48.3
ASS	6.10	1.103	67.3	6.1	0.721	44.0
ASS/DCD	5.56	1.169	65.0	4.3	0.742	31.9
GD 5 %	0.45					

Tabelle 2: Dicyandiamidgehalte in Grünhafer (mg DCD-N/Gefäß)

Table 2: Dicyandiamide content in green oats (mg DCD-N/pot)

Düngerform	Sproß
Ha/DCD	1.42
ASS/DCD	1.82

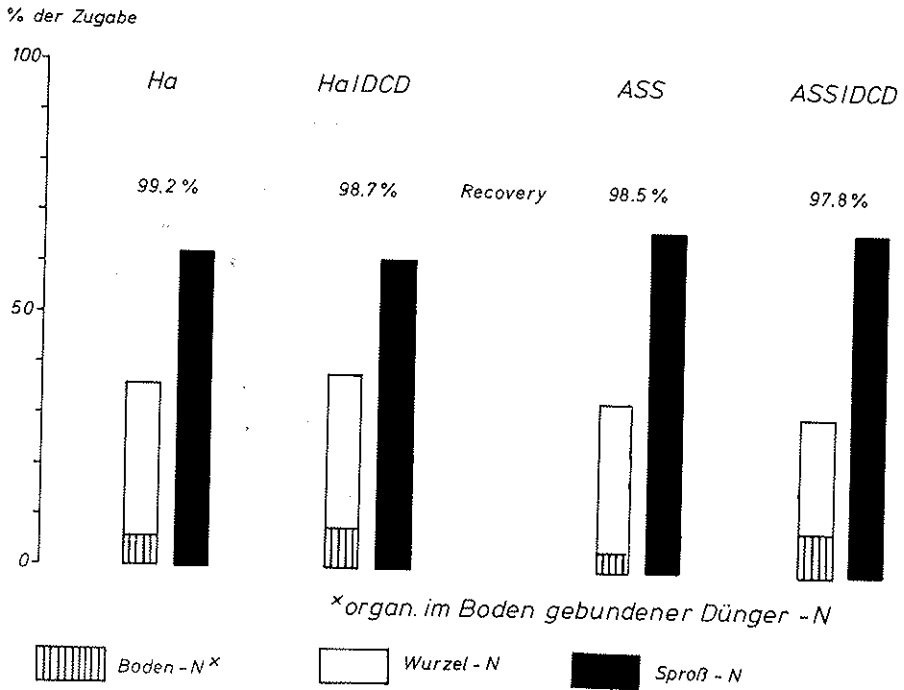


Abbildung 1: Verteilung von ^{15}N -Harnstoff (Ha) und ^{15}N -Ammonsulfatsalpeter (ASS) ohne und mit Dicyandiamid (DCD) (Neubaugeräße – Grünhafer)

Figure 1: Distribution of ^{15}N -urea (Ha) and ^{15}N -ammonium sulfa-nitrate (ASS) without and with dicyandiamide (DCD) (Neubauer trials – green oats)

In folgenden Untersuchungen wurde die Frage der Verteilung des ^{15}N -markierten Düngernstickstoffs im System Pflanze/Boden unter dem Einfluß von DCD (das in die Gesamtdüngermenge eingerechnet, aber nicht markiert ist) geprüft.

Der ^{15}N -Dünger läßt sich zum größten Teil im Sproß nachweisen, und zwar in der Ha-Reihe zu etwa 62 %, in der ASS-Reihe zu 67 % (Abb. 1) ohne Unterschied zwischen den Kontrollen und DCD-Varianten. Der Rest verteilt sich auf Boden und Wurzeln.

Nach Aussortieren der Wurzeln von Hand aus dem Boden (wobei wir uns der Problematik dieses Verfahrens wohl bewußt sind!) treffen 21–31 % des vorgegebenen Düngern-N auf die Wurzelmasse und 4–9 % auf den Boden-N; in den Ha-Varianten ist etwas mehr im Wurzel-/Bodenkomplex nachzuweisen. Davon können aber nur max. 1.2 % als austauschbarer, fixierter NH_4 - sowie NO_3 -N ermittelt werden, aber wiederum ohne deutliche Unterschiede zwischen den Düngervarianten (daher nicht aufgeführt). Der offenbar zum größten Teil organisch im Boden gebundene Düngern-N ist in den DCD-Gliedern höher, sei es aufgrund längerer Reaktionsmöglichkeiten des Ammonium mit der organischen Substanz oder einer bevorzugten Aufnahme durch Wurzelhaare oder

Mikroorganismen. Ähnliche Beobachtungen liegen auch aus Bebrütungsversuchen vor (Amberger und Vilsmeier, 1982). Die Recoveryquote der verwendeten Dünger liegt um 98–99%, d. h., unter der Voraussetzung, daß der Dünger optimal mit dem Boden vermischt wurde und keine Auswaschung möglich war, sind Verluste in diesem Versuchszeitraum praktisch nicht aufgetreten.

2. Mitscherlichversuch

Da die Vegetationszeit in Neubauerversuchen nur sehr begrenzt ist (hier 10 Wochen), haben wir zur Erhärtung dieser Ergebnisse einen Mitscherlichversuch durchgeführt über eine volle Vegetationsperiode hinweg unter der gleichen Fragestellung mit Sommerweizen als Versuchsfrucht.

Eine Woche nach der letzten Düngergabe (900 mg ^{15}N /Gefäß zum Schossen) wurden mit einer Perkolation ca. 11 Sickerwasser/Gefäß gewonnen und darin die Verteilung der N-Fractionen ermittelt (Tab. 3). Die perkolierten Ammonium- und Nitratmengen sind mit max. 0.3 mg $\text{NH}_4\text{-N}$ bzw. 2.6 mg $\text{NO}_3\text{-N}$ /Gefäß äußerst gering. Harnstoff wurde überhaupt nicht gefunden. Da aber in anderen Versuchen unter ähnlichen Bodenbedingungen (Boden/Sand-Gemisch) jeweils der größte Teil des Ammonium-N perkoliert werden konnte, darf wohl angenommen werden, daß zu diesem Zeitpunkt der angebotene Dünger-N von den Pflanzen bereits weitgehend aufgenommen worden ist.

Wesentlich langsamer verläuft dagegen die Dicyandiamidaufnahme durch die Pflanzen: im Perkolat (!) wurde etwa die Hälfte der letzten DCD-Gabe bzw. $\frac{1}{3}$ des gesamten zugesetzten DCD wiedergefunden (die Perkolate wurden nach den Analysen wieder dem Boden zugegeben).

Der Sommerweizenaufwuchs (Tab. 4) vermittelt ein ähnliches Bild wie der Neubauer-versuch: unter der Voraussetzung, daß das DCD jeweils zusammen mit dem Ha und ASS verabreicht worden ist, sind die Korn-, Rest-Ähre- und Stroherträge in den Varianten mit Dicyandiamid etwas geringer. Gleichfalls liegen die N-Gehalte und -Entzüge der Körner in den DCD-Gliedern niedriger. Im Stroh kehrt sich das Bild dagegen völlig um: trotz etwas niedrigerer Stroherträge in den Varianten mit Dicyandiamid sind die N-Entzüge um

Tabelle 3: Perkolierter Ammonium-, Nitrat- und Dicyandiamid-N (mg N/Gefäß)

Tabelle 3: Percolated ammonium-, nitrate- and dicyandiamide-N (mg N/pot)

Düngerform	NH_4	NO_3	DCD
Ha	0.3	2.6	0
Ha/DCD	0.2	1.7	48.7
ASS	0.2	1.8	0
ASS/DCD	0.2	1.3	43.4

Tabelle 4: Erträge und Gesamt-N-Entzüge von Sommerweizen
Table 4: Yield and N-removal of spring wheat

	Ha	Ha/DCD	Düngerform ASS	ASS/DCD	GD 5 %
<i>Körner</i>					
Ertrag					
g TS/Gefäß	72.29	68.96	72.76	69.76	2.9
N % i. TS	1.898	1.861	1.963	1.772	
N-Entzug	1.372	1.283	1.426	1.236	
g/Gefäß					
<i>Rest-Ähre</i>					
Ertrag					
g TS/Gefäß	16.62	15.21	16.41	15.25	
N % i. TS	0.454	0.480	0.548	0.472	
N-Entzug	0.075	0.073	0.090	0.072	
g/Gefäß					
<i>Stroh</i>					
Ertrag					
g TS/Gefäß	65.01	59.80	60.09	59.09	4.9
N % i. TS	0.355	0.475	0.279	0.397	
N-Entzug	0.231	0.284	0.168	0.235	
g/Gefäß					
<i>Wurzeln</i>					
Ertrag					
g TS/Gefäß	37.8	40.0	30.7	29.4	
N % i. TS	0.772	0.686	0.601	0.716	
N-Entzug	0.292	0.274	0.185	0.211	
g/Gefäß					

50–70 mg höher, aufgrund höherer Stickstoffgehalte (in denen der DCD-N enthalten ist). In den Ha bzw. Ha/DCD-Varianten werden 38–40 g Wurzeln/Gefäß ausgebildet gegenüber nur 30 g in den ASS/DCD-Gliedern; die N-Gehalte liegen zwischen 0.6 und 0.8 %.

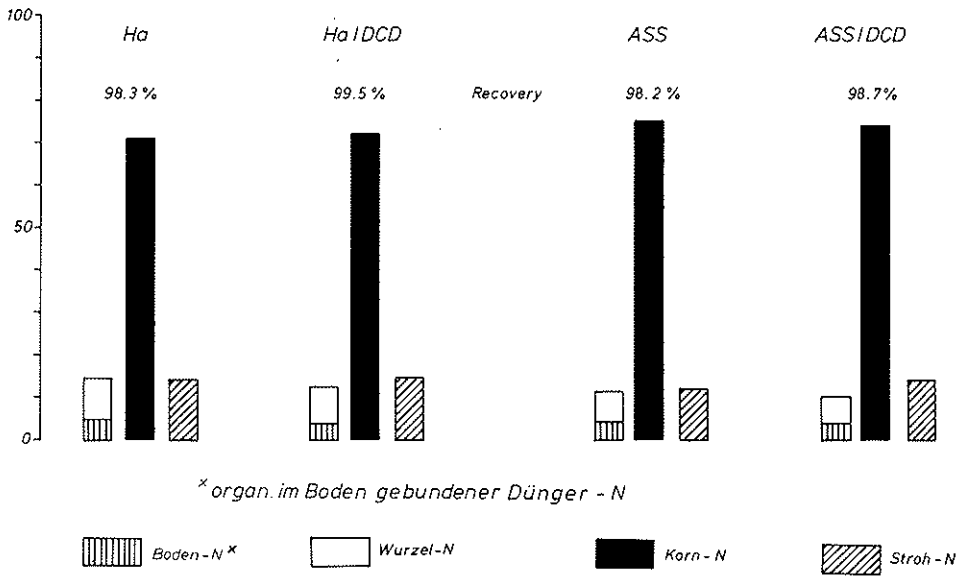
Die DCD-Gehalte im Sommerweizen (Tab. 5) vermitteln ein ähnliches Bild wie vorher im Grünhafer (Neubauerversuch): ausgehend von einer Gesamt-DCD-Gabe von 150 mgN/Gefäß, aufgeteilt auf Bestockung und Schossen, finden sich 24 bzw. 20 % davon im Stroh, etwa 1 % in der Rest-Ähre und nur ca. 0.1 % im Korn. In den Wurzeln konnte wiederum überhaupt kein Dicyandiamid ermittelt werden.

Die Verteilung des ¹⁵N in Pflanzen und Boden ergibt sich wie folgt (Abb. 2): im Korn des Sommerweizens werden schließlich 71–75 % des gedüngten Ha- bzw. ASS-N wiedergefunden (nach ASS-Düngung etwas mehr); auf Stroh und Rest-Ähre entfallen ca. 12–15 %. Im oberirdischen Aufwuchs sind somit 85–88 % des N-Düngers enthalten. Der restliche

Tabelle 5: Dicyandiamidgehalte in Sommerweizen (mg DCD-N/Gefäß)**Table 5:** Dicyandiamide content in spring wheat (mg DCD-N/pot)

Düngerform	Korn	Rest-Ähre	Stroh	Σ
Ha/DCD	0.19	1.18	42.07	43.44
ASS/DCD	0.22	1.43	30.00	31.65

% der Zugabe

**Abbildung 2:** Verteilung von ¹⁵N-Harnstoff (Ha) und ¹⁵N-Ammonsulfatsalpeter (ASS) ohne und mit Dicyandiamid (DCD) (Mitscherlichgefäße – Sommerweizen)**Figure 2:** Distribution of ¹⁵N-urea (Ha) and ¹⁵N-ammonium sulfamate (ASS) without and with dicyandiamide (DCD) (Mitscherlich trials – spring wheat)

Stickstoff trifft auf Wurzeln (zum größten Teil) und Boden (unter der vorher gemachten Einschränkung einer nicht vollkommenen Trennung beider Komponenten). Der Anteil des Boden-N ist somit äußerst gering (3–4 %). Grund dafür dürfte zum einen die rasche Aufnahme des Stickstoffs durch die Pflanze und zum anderen die geringe Reaktionsfähigkeit der verwendeten Boden-Sand-Mischung sein.

Die Recoveryquote liegt wiederum zwischen 98 und nahezu 100 % und bestätigt damit ein praktisch verlustfreies Arbeiten.

Diskussion

Die wirksame Hemmung der Nitrifikation durch DCD im Boden ist von uns durch viele Arbeiten bewiesen worden (Vilsmeier und Amberger 1978, Amberger und Vilsmeier 1979, Amberger 1981 b, Vilsmeier 1981, Gutser 1981).

Der Abbau des DCD erfolgt unter Freilandbedingungen nach durchschnittlich 80 Tagen (Scheffer und Hardt 1952, Amberger und Hofmann 1953) – entscheidend sind dafür die jeweiligen ökologischen Bedingungen (Temperatur, Feuchtigkeit, pH, etc.) – und verläuft, wie wir zeigen konnten, über Guanylharnstoff, Guanidin und Harnstoff schließlich bis zum NH_4 (Vilsmeier 1980). Dicyandiamid wird demnach letztlich selbst zum langsam wirkenden Stickstoffdünger (mit ca. 67 % N).

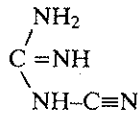
Das in der Bodenlösung befindliche DCD wird ähnlich wie Harnstoff als Molekül passiv mit dem Transpirationsstrom aufgenommen. Hinweise dafür gab es bereits bei Cowie (1919), Scheffer und Hardt (1952). In bisher nicht veröffentlichten Arbeiten von Rathsack sowie eigenen (ebenfalls nicht veröffentlichten) Untersuchungen mit weniger spezifischen Methoden konnte der Beweis dafür bereits erbracht werden. Schließlich ist es uns auch gelungen, die an den Blattspitzen mäßig mit DCD ernährten Gramineen (im Gewächshaus) auftretenden Kristalle chromatographisch eindeutig als DCD zu identifizieren. Ein zu hohes DCD-Angebot führt zeitweilig zu Blattrandchlorosen bzw. Nekrosen (z. B. nach hohen Gaben granulierten Kalkstickstoffs). Neuerdings konnte Vilsmeier unter Verwendung der sehr empfindlichen HPLC-Methode zeigen, daß das in den Blättern befindliche DCD durch simulierte Niederschläge aus diesen herausgewaschen werden kann und damit wieder in den Boden gelangt (Publikation in Vorbereitung).

Unter der Voraussetzung eines weitgehend verlustfreien Arbeitens (hohe Recoveryquote) im Gefäßversuch führte der noch nicht umgesetzte DCD-N zu etwas geringeren Erträgen, verglichen mit den DCD-freien Kontrollen, da der aufgenommene DCD-N unter den gegebenen Versuchsbedingungen offenbar nicht physiologisch wirksam wurde. Die im Gefäßversuch festgestellte relativ hohe DCD-Aufnahme (20–30 % der zugeführten DCD-Menge) kam zustande durch die starke Durchwurzelung des Bodenraumes bei optimaler Wasserversorgung, durch die Verabreichung von 2 DCD-Gaben im ersten Vegetationsabschnitt und schließlich durch den relativ langsamen DCD-Umsatz in diesem Boden/Sandgemisch. Dagegen waren im Kornmaterial aus vielen Freilandversuchen überhaupt kein DCD und im Stroh nur einige, wenige ppm DCD nachweisbar.

In welchem Umfang das in den vegetativen Pflanzenteilen festgestellte DCD metabolisiert und somit ertragswirksam werden kann, wird derzeit noch mit Hilfe von ^{15}N -DCD geprüft.

Frühere Arbeiten mit ^{14}C -markiertem Cyanamid (Wünsch und Amberger 1968) haben gezeigt, daß dieses bei einem mäßigen Angebot metabolisiert wurde und eine deutlich höhere ^{14}C -Markierung in bestimmten Aminosäuren (z. B. Arginin) auftrat.

Aber auch eine Reaktion des Dicyandiamids mit der organischen Substanz des Bodens ist durchaus denkbar; der Stickstoff liegt bekanntlich in Amino-, Imino- und Nitrilform vor (s. Strukturformel) und weist damit eine hohe Reaktionsfähigkeit auf.



Die vorliegenden Ergebnisse über die ^{15}N -Verteilung des Ha- bzw. ASS-Stickstoffs im Boden haben auch gezeigt (unter der Voraussetzung, daß man die nicht vollkommene mechanische Auftrennung von Wurzel und Boden akzeptiert), daß durch Verlängerung der Ammoniumphase als Ergebnis der Nitrifikationshemmung intensivere Reaktionsmöglichkeiten des $\text{NH}_4\text{-N}$ mit der organischen Substanz des Bodens bestehen. Dieser zunächst immobilisierte Stickstoff ist aber offensichtlich zumindest teilweise im Boden nicht sehr fest gebunden, da in vorausgegangenen Untersuchungen gegen Versuchsende bereits eine gewisse Freisetzung aus dieser Fraktion beobachtet worden ist (Amberger und Vilsmeier, 1982). Auch Juma und Paul (1981) haben beobachtet, daß nach Einsatz des Nitrifikationshemmstoffes 4-Amino-1,2,4-Triazol · HCL (ATC) 60 % des gedüngten Harnstoff-N (gegenüber 40 % des Stickstoffs in der Kontrolle) im Boden immobilisiert worden sind. Bazilevich und Kabanova (1973) berichten von einer gewissen N-Blockierung aus Ammoniumsulfat in Gegenwart von Dicyandiamid. In rasch wachsenden Kulturen besteht immer eine stark wechselnde Konkurrenzsituation zwischen Pflanze und Boden um den Düngerstickstoff. Auch die in der Literatur angeführten, oft sehr unterschiedlichen Ausnutzungsraten für Stickstoff (Allison 1966 und Hauck 1973) müssen sicherlich zum Teil auf solche Immobilisierungsvorgänge zurückgeführt werden.

Die Ergebnisse dieser Modell- und Gefäßversuche vermitteln gewisse Einblicke in diese sehr komplexen Zusammenhänge, sie erlauben aber keine unmittelbare Übertragung auf Freilandverhältnisse mit sehr unterschiedlichen Boden- und Witterungsbedingungen, wie zahlreiche Feldversuche mit gepulvertem Kalkstickstoff – der ja ebenfalls ca. 10 % DCD-N enthält – gezeigt haben.

Der Einsatz von DCD als Nitrifikationshemmstoff wird vor allem dort besonders vorteilhaft sein, wo durch übliche Düngemittel größere N-Verluste über Auswaschung und Denitrifikation zu erwarten sind oder aus arbeitswirtschaftlichen Gesichtspunkten eine Zusammenlegung mehrerer Teilgaben zu einer Düngergabe angebracht ist. Aber auch eine durch DCD bewirkte länger anhaltende Ammoniumernährung in bestimmten Entwicklungsphasen der Pflanze kann bedeutsam sein und z. B. zu ganz erheblich niedrigeren Nitratgehalten in grünen Pflanzenteilen führen. Entscheidend für den Einsatz von Mineraldüngern mit einem gewissen DCD-Anteil sind Höhe und Dauer der DCD-Konzentration in der Bodenlösung und dessen standortspezifische Abbaurate, abgestimmt auf die Wachstumsrate und Stoffaufnahme der Pflanze.

Literatur

- Allison, F. E. (1966): The fate of nitrogen applied to soil. *Adv. Agron.* **18**, 219–258
- Amberger, A. (1981a): Einsatz und Ausnutzung von N-Düngemitteln. *Bayer. Landw. Jb.* **58**, 80–88
- Amberger, A. (1981b): Dicyandiamid („Didin“)

- als Nitrifikationshemmstoff. Bayer. Landw. Jb. **58**, 845–853
- Amberger, A. u. Hofmann, Ed.* (1953): Zur Frage der Wirkung von Dicyandiamid auf den Pflanzenertrag. Z. Acker- u. Pflanzenbau **97**, 221–230
- Amberger, A. u. Gutser, R.* (1978): Umsatz und Wirkung von Harnstoff-Dicyandiamid und Ammonsulfat-Dicyandiamid-Produkten zu Weidelgras und Reis. Z. Pflanzenern. Bodenk. **141**, 553–566
- Amberger, A. u. Vilsmeier, K.* (1979): Hemmung der Nitrifikation des Güllestickstoffs durch Dicyandiamid. Z. Acker- u. Pflanzenbau **148**, 239–246
- Amberger, A. u. Vilsmeier, K.* (1982): Umsatz von ^{15}N -Harnstoff und ^{15}N -Ammonsulfatsalpete mit Zusatz von Dicyandiamid unter aeroben Bedingungen im Boden. Z. Pflanzenern. Bodenk. **145**, 550–556
- Anonym* (1974): Zur Tracertechnik mit dem stabilen Stickstoffisotop ^{15}N . VEB Straton GH 265–1681, DDR
- Arnon, D. I. u. Hoagland, D. R.* (1940): Crop production in artificial solutions and in soils with special reference to factors influencing yields and absorption of inorganic nutrients. Soil Sci. **50**, 463–484
- Bazilevich, S. D. u. Kabanova, N.* (1973): Effects of nitrification inhibitors on the reaction in soil, loss and use by plants of experiments with ^{15}N labelled ammonium sulfate. Primer. Stab. Izot ^{15}N Issled. Zemled 200–213 (Englische Übersetzung)
- Cowie, G. A.* (1919): Decomposition of cyanamide and dicyandiamide in the soil. J. of Agric. Sci. **9**, 113–136
- Gutser, R.* (1981): Gefäß- und Feldversuche zur N-Wirkung von Gülle mit Dicyandiamid („Didin“). Bayer. Landw. Jb. **58**, 872–879
- Hauck, R. D.* (1973): Nitrogen tracers in nitrogen cycle studies – past use and future needs. J. Environ. Quality **2**, 317–327
- Juma, N. G. u. Paul, E. A.* (1981): Characterization and dynamics of immobilized fertilizer N in soil. Vortrag 73. Annual Meeting in Atlanta 3. 12. 81 Amer. Soc. of Agron. Crop. Sci. Soc. of Amer. Soil Soc. of Amer.
- Scheffer, F. u. Hardt, H. K.* (1952): Untersuchungen über die Wirkung verschiedener Kalkstickstoffformen und des Dicyandiamid auf den Pflanzenertrag. Z. Pflanzenern. Bodenk. **56**, (101) 9–21
- Vilsmeier, K.* (1979): Kolorimetrische Bestimmung von Dicyandiamid in Böden. Z. Pflanzenern. Bodenk. **142**, 792–798
- Vilsmeier, K.* (1980): Dicyandiamidabbau im Boden in Abhängigkeit von der Temperatur. Z. Pflanzenern. Bodenk. **143**, 113–118
- Vilsmeier, K.* (1981): Modellversuche zur nitrifikationshemmenden Wirkung von Dicyandiamid („Didin“). Bayer. Landw. Jb. **58**, 853–857
- Vilsmeier, K.* (1982): Verbesserte kolorimetrische Bestimmung von Dicyandiamid in Bodenextrakten. Z. Pflanzenern. Bodenk. **145**, 503–505
- Vilsmeier, K. u. Amberger, A.* (1978): Modell- und Gefäßversuche zur nitrifikationshemmenden Wirkung von Dicyandiamid. Landw. Forschg. **32**, Sh. 35, Kongreßband VDLUFA Augsburg (243–248)
- Vilsmeier, K. u. Amberger, A.* (1982): Umsatz von ^{15}N -Harnstoff und ^{15}N -Ammonsulfatsalpete mit Zusatz von Dicyandiamid unter anaeroben Bedingungen im Boden. Z. Pflanzenern. Bodenk. **145**, 557–560
- Wünsch, A. u. Amberger, A.* (1968): Über den Nachweis von Cyanamid und dessen Umwandlungsprodukten in Pflanzen. Atompraxis **14**, 1–2