

Untersuchungen zur Beeinflussung der NH_3 - Verflüchtigung durch verlustsenkende Düngungstech- nologien in überstauten Reisböden

Dr. Orlando Manuel José Fernandes da Mata und Dr. habil Walter Drauschke*

1 Einleitung

Harnstoff ist in den Tropen bei Reis der am häufigsten verwendete Stickstoffdünger (SAVANT und STANGEL, 1990). Die N-Ausnutzung durch die Reispflanzen ist im allgemeinen jedoch gering, da die N-Transformationen in überstauten Reisböden zu erheblichen Verlusten an Düngerstickstoff im Boden-Wasser-System führen können (VLEK und BYRNES 1986; DE DATTA, 1987).

Ammoniakverflüchtigung, Denitrifikation, oberirdischer Abfluß und Auswaschung sind die wesentlichsten Prozesse, die zu N-Verlusten führen.

Zahlreiche Untersuchungen haben gezeigt, daß eine Vielzahl von einzelnen Maßnahmen zur Senkung von N-Verlusten und damit zur Erhöhung der N-Ausnutzung im Wasserreis beitragen können, wie z.B. Unterteilung der Düngerstickstoffgabe, Einbringung des Harnstoffes in die Reduktionsschicht, Modifikation des Harnstoffes durch Umhüllung, Steuerung des Wasserregimes sowie Anwendung von Urease- und Nitrifikationshemmern.

Untersuchungen, die sich die Kombination von verschiedenen Verfahren zur Beeinflussung der Stickstoffumsetzungen in überstauten Reisböden zum Ziel setzen, sind kaum durchgeführt worden. Mögliche positive Effekte, durch die Einflußnahme auf mehrere N-Verlustarten, sind denkbar. Daraus ergab sich die Zielstellung für die durchgeführte Arbeit.

2 Material und Methoden

In Modell- und Gefäßversuchen wurde die Wirkung des Nitrifizides CMP und des Ureasehemmers PPDA sowie verschiedener Harnstoffformulierungen, getrennt bzw. in vielfältiger Kombination, auf die N-Verluste durch NH_3 -Verflüchtigung in Abhängigkeit von der Applikationsmethode, ermittelt (Tab. 1).

* Universität Leipzig Studienprogramm Agrarwissenschaften Wissenschaftsbereich Tropische Landwirtschaft Fichtestr. 28, D-04275 Leipzig.

Tab. 1: Versuchsschema des Modell- und Gefäßversuches

Varianten	Wirkstoff		Applikationsmethode	
	CMP (%)	PPDA (%)	oberflächlich	tiefplaziert(7,5cm)
Ohne N	-	-	-	-
HS	-	-	X	X
HS+CMP	2,4	-	X	X
HS+PPDA	-	1,5	X	-
HS+CMP+PPDA	2,4	1,5	X	X
SCU	-	-	X	X
HSG	-	-	-	X

HS - Harnstoff; **HSG** - Harnstoffsüpergranulien; **SCU** - Schwefelümhüllter Harnstoff; **CMP** - Carbamoyl-3(5)-Methylpyrazol; **PPDA** - Phosphorsäurephenylesterdiamid; **X** - geprüft

Der Versuchsboden wurde dem Ap-Horizont einer Sandlöß Tieflehm-Fahlerde (Eutric-Podzoluvizol) entnommen. Er weist einen mittleren Gehalt an C_t (1,04 %), saure Reaktion (pH-Wert- 6,4) und eine relativ niedrige KUK (9,9 mval/100 g Boden) auf.

Die Düngung erfolgte zwei Wochen nach der Überstauung des Bodens.

Zur Messung der NH_3 -Freisetzung im Labor wurde ein geschlossenes System mit Zwangsbelüftung benutzt. Jedes Element der Versuchsanlage bestand aus einer Säurefalle und einer Luftpumpe. Zum Versuchsansatz wurden die Glassäulen mit 2700 g absolut trockenem Boden gefüllt (Mächtigkeit der Bodensäule 48 cm), und mit destilliertem Wasser bis zu einem Wasserstand von 2 cm überstaut.

Unmittelbar nach der Düngungsmaßnahme wurde das System geschlossen und ein kontinuierlicher Luftstrom über die Wasseroberfläche geleitet, der das im Gasraum angereicherte NH_3 in die Säurefalle transportierte. Die Bestimmung des an die Säurefalle gebundenen Ammoniums erfolgte im Abstand von 24 Stunden, über insgesamt 40 Tage.

Es wurden 11 Varianten mit je 3 Wiederholungen geprüft.

Für die Messung der NH_3 -Verflüchtigung der Gefäßversuche wurde ein offenes System ohne Zwangsbelüftung benutzt.

Auf jedem, der zur NH_3 -Bestimmung vorgesehenen mit Reis beplanteten Gefäße (Plasteimer gefüllt mit 6 Kg Boden), wurde ein etwa 1 m hohes, mit PVC-Folie gespanntes Metallgitter befestigt. Der obere Teil blieb offen, um den Gasaustausch zu gewährleisten. Ca 2 cm über der Wasseroberfläche wurde eine Säurefalle angebracht. Die Messung der NH_3 -Verluste erfolgte jeweils nach 24 Stunden über einen Zeitraum von 20 Tagen.

Es wurden 11 Varianten mit je 7 Wiederholungen geprüft

3 Ergebnisse und Diskussion

Die in den durchgeführten Untersuchungen erzielten Ergebnisse zeigen, daß die Applikationsmethode einen großen Einfluß auf die NH_3 -Verluste ausgeübt hat. In allen Untersuchungen erwies sich die oberflächige Harnstoffanwendung als die ungünstigste Methode, da hier die höchsten Verluste ermittelt wurden (Tab. 3)

Durch die Tiefeinbringung des Harnstoffes in die Reduktionsschicht wurden die NH_3 -Verluste beachtlich reduziert (bis zu 50%). Da die Diffusionsrate von NH_4^+ -N aus der Reduktionszone zur Oxidationszone in Abhängigkeit von der Sorptionskapazität des Bodens generell niedrig ist, (PATRICK und REDDY, 1976; REDDY u.a. 1980), wird die Ammonium-N-Akkumulation im Stauwasser auf ein Minimum reduziert. Damit vermindert sich das Potential für die NH_3 -Verluste (VLEK und CRASWELL, 1981; VLEK und BYRNES, 1986).

Die anhand der Modellversuchsergebnisse ermittelten positiven Korrelationen zwischen der NH_3 -Verflüchtigung, dem pH-Wert und der Ammonium-N-Konzentration des Stauwassers (Tab. 2) unterstreichen die Bedeutung dieser Prüffaktoren in ihrem Einfluß auf die NH_3 -Verflüchtigung (BOUWMESTER und VLEK, 1981; CAO u.a., 1984).

Tab. 2: Korrelationskoeffizienten zwischen NH_3 -Verlust und dem pH-Wert sowie NH_4^+ -N-Konzentration im Stauwasser unter Einbeziehung aller Varianten

Stauwasser		
	NH_4^+ -N	pH-Wert
NH_3 -Verflüchtigung	0,845 ¹	0,532 ²
NH_4^+ -N	-	0,648*

Im Vergleich mit dem Prüfglied Harnstoff ohne Wirkstoff hat sich in den Gefäßversuchen durch die Gegenwart des Nitrifizides CMP bei oberflächiger Anwendung die Ammoniakentbindung signifikant erhöht (24 %) (Tab. 3). PRAKASA RAO und PUTTANA (1987) berichten auch von einer signifikanten Steigerung der NH_3 -Verluste nach oberflächiger Anwendung des Nitrifizides DCD. Diese fördernde Wirkung von Nitrifiziden auf die NH_3 -Verflüchtigung könnte aus der Hemmung der Ammoniumoxydation und die daraus resultierende erhöhte Ammoniumkonzentration und den steigenden pH-Wert im Stauwasser resultieren.

Anders jedoch verhielt sich die Tiefanwendung des Nitrifizides CMP im Gefäßversuch. Eine Herabsetzung der NH_3 -Verluste um ca. 30% wurde in den Vegetationsversuchen durch die Tiefausbringung von Harnstoff mit CMP-Zusatz im Vergleich zu Harnstoff

¹ signifikant

² hochsignifikant

ohne Wirkstoff erreicht (Tab. 3). Die länger anhaltende Stabilisierung des Ammonium-N bei Anwesenheit des Nitrifikationshemmers konnte sich auch auf andere Prozesse der N-Dynamik auswirken. Da die Immobilisierung von löslichem Stickstoff im Boden vorzugsweise von der Ammoniumform ausgeht, ist bei Nitrifizideinsatz eine zusätzliche Festlegung des verabreichten Stickstoffes wahrscheinlich (MATZEL u.a., 1987; CLAY, u.a., 1990).

Im Gegensatz zu den Vegetationsversuchen hatte im Modellversuch die Gegenwart des Nitrifizides CMP keinen Einfluß auf die NH₃-Entbindung sowohl nach einer oberflächigen Anwendung als auch tiefplaziert (Tab. 3).

Tab. 3: Kumulative NH₃-N-Verflüchtigung im Untersuchungszeitraum in Abhängigkeit von den Harnstoffmodifikationen, den Applikationsmethoden und der Wirkstoffanwendung

Varianten	Modellversuch		Gefäßversuch	
	verflüchtigter NH ₃ -N			
	(mg/N Gefäß)	(% d. ged. N)	(mg/N Gefäß)	(% d. ged. N)
	oberflächige Applikation			
Ohne N	00,1	-	15	-
HS	44,3	41,6 a	159	14,4 a
HS+CMP	44,0	41,4 a	194	17,9 b
HS+PPDA	28,0	26,3 bc	141	12,6 c
HS+CMP+PPDA	27,5	25,9 bc	155	14,0 a
SCU	26,3	24,8 b	99	08,2 d
	Tiefapplikation			
Ohne N	00,1	-	15	-
HS	23,0	21,6 c	149	13,4 a
HS+CMP	22,5	21,1 c	110	09,6 d
HS+CMP+PPDA	15,3	14,3 e	121	10,6 d
SCU	00,7	00,5 f	29	01,4 e
HSG	01,6	01,4 f	18	00,4 e

Varianten mit gleichem Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant (GD_{5%})

In Übereinstimmung mit Untersuchungsergebnissen von BYRNES u.a. (1983), FILLERY und DE DATTA (1986) und KAMINSKY (1990) wurde die Wirksamkeit des Ureasehemmers PPDA im Hinblick auf eine Herabsetzung der NH₃-Verluste bestätigt (Tab. 3).

Die oberflächige Anwendung des Ureasehemmers zu Harnstoff zeigte allerdings im Gefäßversuch eine weniger ausgeprägte Wirkung als im Modellversuch. Durch den PPDA-Einsatz wurde im Modellversuch eine Senkung der Gesamt-NH₃-Verluste um ca. 40% gegenüber ca. 13% im Gefäßversuch erzielt. Die Ursache ist sicherlich eine relativ schnelle Degradation des Hemmers in den Gefäßversuchen, da die Temperatu-

ren im Gewächshaus höher als im Labor lagen. Die Senkung der NH_3 -Verluste nach PPDA Anwendung ist auf eine Verzögerung der Harnstoffhydrolyse und somit auf eine Herabsetzung der Ammonium-N-Konzentration sowie des pH-Wertes im Stauwasser zurückzuführen.

Generell hat ein oberflächiger gemeinsamer Einsatz von CMP und PPDA zu keinen signifikanten Unterschieden in der Verlusthöhe im Vergleich zur alleinigen Anwendung von PPDA geführt.

Eine Tiefanwendung von Harnstoff+CMP+PPDA brachte eine signifikante Verlustsenkung (ca. 30%) im Vergleich zur Tiefapplikation von Harnstoff ohne Wirkstoffe.

Von besonderem Interesse an den Versuchsergebnissen ist, daß die Ammoniakentbindung durch die zeitgleiche Anwendung von Harnstoff, Nitrifikations- und Ureasehemmer noch stärker verzögert werden kann. Obgleich diese Kombinationswirkung stark ausgeprägt war, lassen sich zunächst keine Ursachen für die Kombinationswirkung der geprüften Wirkstoffe auf die Hemmung der Harnstoffhydrolyse ableiten. Die vorliegenden Versuchsergebnisse schließen eine ureasehemmende Wirkung von CMP aus.

Im Gefäßversuch erwies sich der schwefelumhüllte Harnstoff als die effektivste Form, um bei oberflächiger Anwendung die NH_3 -Verluste einzuschränken (Tab. 3). Als Ursachen hierfür dürften die langsame Auflösung des Schwefelmantels, was u.a. von der Bodenfeuchtigkeit abhängig ist (HASHIMOTO und MULLINS, 1979; CHRISTIANSON, 1988) sowie die Neutralisationswirkung der aus der Schwefeloxydation gebildeten H_2SO_4 angesehen werden.

Die positive Wirkung des schwefelumhüllten Harnstoffes auf die NH_3 -Verluste konnte nach einer Tiefeinbringung weiter verbessert werden. Sowohl im Labor- als auch im Gefäßversuch wurden die NH_3 -Verluste um mehr als 90% herabgesetzt, da durch die Applikation des schwefelumhüllten Harnstoffes in die Reduktionsschicht eine weitere Verringerung der Auflösungsgeschwindigkeit der Harnstoffprills im Boden erreicht wurde. Dabei bewirkte die verringerte Abgabegeschwindigkeit der Produkte eine Ausdehnung der Harnstoffhydrolyse über einen größeren Zeitraum, wodurch lokale Konzentrationserhöhung der entstehenden Reaktionsprodukte und der sonst auftretende pH-Wertanstieg im Boden abgeschwächt wurde.

Ein ähnlicher Effekt (Senkung der NH_3 -Verluste um mehr als 90% wurde durch die Tiefplatzierung von Harnstoffspergranulaten erreicht (Tab. 3). Die beträchtliche Reduzierung der Ammonium-N-Konzentration im Stauwasser, die ebenfalls u.a. von CAO u.a. (1984) und VLEK und BYRNES (1986) nach Tiefplatzierung von Harnstoffspergranulaten festgestellt wurde, dürfte als Ursache für die Senkung der NH_3 -Entbindung angesehen werden. KATYAL u.a., (1985) berichten, daß die hohe Harnstoffkonzentration an der Platzierung der Düngerkörner die Harnstoffhydrolyse wahrscheinlich verzögerte.

4 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die Platzierung des Harnstoffes in die Reduktionsschicht, der Einsatz des Ureasehemmers PPDA und die Anwendung langsam wirkender N-Düngemittel bestätigten sich als effektive Maßnahmen zur Senkung von N-Verlusten durch NH_3 -Verflüchtigung.

Bei kombinierter Anwendung der Wirkstoffe CMP und PPDA ließ sich der Beginn der Ammoniakentbindung zusätzlich verzögern, und zwar bis um eine Woche im Labor-, und drei bis vier Tage im Gefäßversuch, Das bewirkte jedoch keine signifikanten Unterschiede in den Verlusten im Vergleich zur alleinigen Anwendung von PPDA.

Bezogen auf die Höhe der NH_3 -Verluste ergab sich folgende Rangfolge mit zunehmenden Verlusten: HSG (tief) < SCU (tief) < HS+CMP+PPDA (tief) < HS+CMP (tief) < HS (tief) < SCU (oberflächlich) < HS+PPDA (oberflächlich) < HS+CMP+PPDA (oberflächlich) < HS (oberflächlich) < HS+CMP (oberflächlich).

Ammonia volatilization as influenced by anti-loss fertilization techniques in rice paddies

Summary

The placement of urea into the reductive zone, the addition of PPDA as inhibitor of urease, and the use of slow-release N fertilizer all proved effective in controlling losses of nitrogen via ammonia volatilization. The combination of the inhibitors CMP and PPDA hampered the volatilization of ammonia additionally, about one week in the lab test and three to four days in the pot trial, but this delay did not cause significant differences in total losses compared to PPDA applied solely. The ammonia losses ranked in the following order: urea super granuals deep placement < urea + CMP + PPDA deep placement < urea + CMP deep placement < urea deep placement < sulphur coated urea at surface < urea + PPDA at surface < urea + CMP + PPDA at surface < urea at surface < urea + CMP at surface.

Influencia de fertilizantes inhibidores a la volatilizacion de amoniaco enparcolas de arroz

Resumen

La aplicación dirigida de la urea en la zona reductora, el uso del inhibidor PPDA y la aplicación de fertilizantes de Nitrógeno con acción lenta representan métodos efectivos para la reducción de perdidas gaseosas de Nitrógeno por NH_3 .

El uso combinado de las sustancias activas CMP y PPDA retardó el inicio de la gasificación bajo condiciones de laboratorio por una semana y en ensayo en macetas por tres hasta cuatro días, pero sin ocasionar diferencias significativas en comparación con la aplicación de PPDA solamente.

En relación al nivel de las perdidas por NH_3 se obtuvo el rango siguiente de las variantes investigadas:

Granulado de Urea (bajo) < SCU (bajo) < Urea + CMP + PPDA (bajo) < Urea + CMP (bajo) < Urea (bajo) < SCU (superficial) < Urea + PPDA (superficial) < Urea + CMP + PPDA (superficial) < Urea (superficial) < Urea + CMP (superficial).

L'influence et l'utilisation du PPDA pour la réduction des pertes de N dans les rizières

Résumé

Le placement de l'urée dans la couche de réduction, l'emploi de PPDA comme ralentisseur et l'utilisation de N-fertilisants à réaction lente se sont révélés être des méthodes effectives afin de réduire les pertes de N par l'évaporation de NH_3 .

L'utilisation de la combinaison des substances CMP et PPDA permet de ralentir encore le début d'évaporation d'ammoniac. Le retardement peut atteindre une semaine pour les essais en laboratoire et trois à quatre jours pour les essais en pots. Cependant les différences en pertes ne sont pas de grande importance comparées à l'utilisation unique du PPDA.

En relation avec le niveau de pertes en NH_3 on obtient les pertes croissantes dans l'ordre suivant: urée supère granulée (en profondeur) < SCU (en profondeur) < urée+ CMP + PPDA (en profondeur) < urée + CMP (en profondeur) < urée (en profondeur) < SCU (en surface) < urée + PPDA (en surface) < urée + CMP+ PPDA (en surface) < urée (en surface) < urée + CMP (en surface).

5 Literaturverzeichnis

1. BOUMEESTER, R.J.B.; VLEK, P.L.G.: Rate control of ammonia volatilization from rice paddies. In: Atmos. Environ. London, 15 (1981) S. 131-140.
2. BYRNES, B.H.; SAVANT, N.K.; CRASWELL, E.T.: Effect of a urease inhibitor phenyl phosphordiamidate on the efficiency of urea applied to rice. In: Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, 47 (1983) S. 270-274.
3. CAO, Z.H.; DE DATTA, S.K.; FILLERY, J.R.P.: Effect of placement methods on floodwater properties and recovery of applied nitrogen (¹⁵N-labeled urea) in wetland rice. In: Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, 48 (1984).
4. CLAY, D.E.; MALTER, G.L.; ANDERSON, J.L.: Ammonia volatilization from urea as influenced by soil temperature, soil water content, and nitrification and hydrolysis inhibitors. In: Soil Sci. Soc. Am. J., Madison 54, (1990) S. 263-266.
5. CHRISTIANSON, C.B.: Factors affecting N release of urea from reactive layer coated urea. In: Fert. Res., Kl. Acad. Publ., Dordrecht, 16 (1988) S. 273-284.
6. DE DATTA, S.K.: Nitrogen transformations processes in relation to improved cultural practices for lowland rice. In: Plant Soil, The Hague 100 (1987) S. 47-69.
7. FILLERY, J.R.P.; and DE DATTA, S.K.: Ammonia volatilization from nitrogen sources applied to rice fields: I. Methodology, ammonia fluxes, and nitrogen-15 loss. In: Soil Sci. Soc. Am. J., Madison 50 (1986) S. 80-86.
8. HASHIMOTO, I.; MULLINS, R.C.: Dissolution of sulfur-coated urea in soil: I. Waxsealed sulfur-coated urea. In: Soil Sci. Soc. Am. J., Madison 43 (1979) S. 1165-1168.
9. KAMINSKY, J.C.: Untersuchungen zum Einfluß eines Urease- und Nitrifikationshemmstoffes sowie der Methode der Harnstoffapplikation auf Stickstoffumsetzungen in Böden in Abhängigkeit von der Textur der Böden und der Wasserregime sowie ihre Wirkung auf Wachstum, Ertrag und Düngerstickstoffausnutzung von Wasserreis. Leipzig, Univ., Inst. f. trop. Landw., Dissertation A, (1990).
10. KATYAL, J.C.; SINGH, B; SHARMA, V.K.; CRASWELL, E.T.: Efficiency of some modified urea fertilisers for wetland grown on permeable soil. In: Fert. Res., M. Nijhoff, W. Junk Publ., Dordrecht, 8(1985) S. 137-147.
11. MATZEL, W.; BRETERNITZ, R.; GÖRLITZ, H.; HEBER, R.; ROSSBACH, M.: Einsatz von Nitrifikationsinhibitoren. In: Fortschrittsberichte für Land- und Nahrungsgüterwirtschaft, AdL, Berlin, 25 (1987) 7.
12. PATRICK, W.H.; REDDY, K.R.: Nitrification-Denitrification reactions in flooded soils and sediments: Dependence on oxygen supply and ammonium diffusion. In: J. Environ. Qual., Madison, 5 (1976) S. 469-472.
13. PRAKASA RAO, E.V.S.; PUTTANA, K.: Nitrifikation and ammonia volatilization losses from urea and dicyandiamide treated urea in a sandy loam soil. In: Plant and Soil, Netherlands 97 (1987) S. 201-206.
14. REDDY, K.R.; PATRICK, W.H.; J.R.; PHILLIPS, R.E.: Evaluation of selected processes controlling nitrogen loss in a flooded soil. In: Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, 44 (1980) S. 1241-1246.
15. SAVANT, N.K.; STANGEL, P.J.: Deep placement of urea supergranules in transplanted rice: principles and practices. In: Fert. Res., Kl. Acad. Publ., Netherlands, 25 (1990) S. 1-83.
16. VLEK, P.L.G.; and BYRNES, H.B.: The efficacy and loss of fertilizer N in lowland rice. In: Fert. Res., M. Nijhoff, W. Junk Publ. Dordrecht, 9 (1988) S. 131-147.
17. VLEK, P.L.G.; and CRASWELL, E.T.: Ammonia volatilization from flooded soils. In: Fert. Res., M. Nijhoff, W. Junk Publ., The Hague, 2 (1981) S.227-245.