

# 水田尿素深施對氮素在土壤中變化之影響

## 一、氮素之轉化

王文華<sup>1)</sup>

莊作權<sup>1)</sup>

**摘要：**尿素的轉化作用，受溫度與濃度的影響很大。20°C時，尿素濃度在5,000 ppm以內，其反應情形為：低濃度 (< 500 ppm) 時，呈一次反應，高濃度 (> 2,000 ppm) 時，則為非完全一次反應。但濃度超過5,000 ppm時，則又發生另一反應高峯，且可持續至60,000 ppm範圍。在30°C時，亦有相同的趨勢，但反應速率顯著增快，當尿素濃度超過3,500 ppm時，第二個反應高峯即已發生。40°C時，二峯已邁向合併之趨勢。

由於這兩個反應高峯之發生，因此，當USG深施後，所造成局部的高濃度，可促使尿素迅速地轉化為銨態氮。在20°C孵育六天後，尿素已完全轉化為銨；在30°C，僅需2天，尿素轉化即告完成。但PU撒施者，尿素不易和土壤中之尿素酶完全接觸，故反應轉慢，在20°C時，尿素態氮由125 ppm降至8.5 ppm需6天，在30°C則需4天。

## 前 言

目前本省水田所使用的氮素肥料，通常以硫酸銨和尿素為主。但硫酸銨之製造過程易發生許多污染問題，加以長期施用於土壤後，有導致土壤變酸之趨勢<sup>(5)</sup>。近十年來台灣肥料公司能生產自足之尿素，並經多項試驗，建議尿素為本省水田主要之氮肥，作為肥料發展的新政策<sup>(1)</sup>。但本省農民仍不願施用尿素，認為其肥效不如硫酸銨<sup>(2,5)</sup>。因此，如何提高水田之尿素肥效，實為重要之課題。

為因應此一需要，世界各國紛紛採用各種方法，其中尤以深層施肥(deep placement-DP)為提高尿素肥效最經濟有效之手段<sup>(6,7)</sup>。自從超大顆粒尿素(urea su-

pergranules—USG)研製成功後，由於在水田湛水狀態下，進行深施最為方便，且在初步試驗中，已獲得良好結果<sup>(4,17)</sup>。

USG是一種外型改變的尿素肥料(modified urea fertilizer)，其基本理化性質與普通尿素(prilled urea-PU)完全相同。但將水稻整個生育期間所需要之全部氮肥，以USG型態一次深施於土壤中，將會造成深施點局部尿素態氮之濃度急遽增高，所導致之轉化(transformation)作用，完全不同於尿素撒施者<sup>(3,16,20)</sup>。

尿素之轉化作用，主要是酵素——尿素酶(urease)之反應<sup>(11,22)</sup>。然而，酵素反應顯示一特別徵象，即其與受質之作用有被飽和(saturation)之現象。在低受質濃度時，反應速率與受質濃度成正比，屬一次反應；當受質濃度增加，反應速率上

1) 國立中興大學土壤學研究所畢業研究生及教授。

昇減慢，終至恆定，而與受質濃度無關，屬零次反應，此時酵素對於受質則呈飽和狀態。有關尿素(受質)濃度與尿素酶(酵素)之間的關係，多數學者亦同意上述結果<sup>(10,13,20,23)</sup>，但觀察他們試驗所使用之尿素濃度，最高僅為2,000 ppm。若以USG深施時，所造成局部的超高濃度，對尿素酶活性的影響，尙無學者加以探討。本試驗旨在探討在不同的尿素濃度及溫度情形下，尿素之轉化作用，作為良好水田氮肥管理之參考。

### 材料與方法

#### 一、供試材料

本研究之試驗均在恆溫箱(GCA/PRE-CISION, model. 815)中進行。

供試土壤均用台中中興大學土壤館旁水田表土，土壤之性質如表一。

表一、供試土壤之一般性質

Table 1. The general characteristics of soils tested.

母質	砂頁岩沖積土
Texture	S. L.
CEC, me/100 g soil	8.8
pH	5.6
O. M., %	0.4
Total - N, %	0.05
Exchangeable - N, ppm	24
Exchangeable - K, ppm	30
Available - P, ppm	7
Main clay minerals 主要黏土礦物	mica, chlorite, montmorillonite

供試肥料為：1.超大顆粒尿素(USG)，每顆一公克重。2.普通尿素(PU)，均由台

肥公司提供。

孵育容器為：1. 250 ml 三角燒瓶。2. 栽植盆(內徑16公分，厚4公厘，高35公分之PVC管，底部以厚4公厘之PVC板封住，再以強力膠密封)。

#### 二、試驗方法及步驟

1. 尿素濃度與轉化：以250 ml三角燒瓶，裝入供試土壤10g，加水7ml(70%含水量)，再加入尿素，濃度從0到100,000 ppm共36個變級(5,000 ppm以下含16變級，5,000-100,000 ppm之間分20變級，濃度不等)；瓶口以橡皮塞密封，置於恆溫箱(20°C、30°C、40°C)中孵育，三天後取出，加入100 ml之2N KCl-PMA(phenylmercuric acetic acid)，振盪1小時，過濾，測過濾液之尿素態氮及銨態氮。

2. USG深施：在栽植盆中，裝入供試土壤30公分深(約7.5 kg)，加水至濕水狀態，在土表以下10公分處，施USG一顆，置於恆溫箱(20°C，30°C)中孵育，至一定時間後取出，分格採樣，每格(2×2×2 cm)秤10g土於250 ml之三角燒瓶中，加入100 ml之2N KCl-PMA，振盪1小時，過濾，測濾液之尿素態氮及銨態氮。

3. PU撒施：試驗方法與2.相同，唯尿素以PU(0.35g)撒施於土表，置於恆溫箱中孵育，至一定時間後取出，分層採樣分析，每層2.5公分。

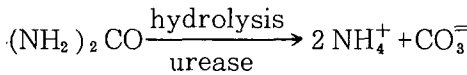
#### 三、分析方法

1. 尿素態氮：比色法(Douglas and Bremner, 1970)，使用Technicon自動分析儀(Technicon autoanalyzer)測定。

2. 銨態氮：比色法(Bolleter *et al.*, 1961; Kamphake *et al.*, 1967)，使用Technicon自動分析儀測定。

## 結果與討論

尿素之轉化以酵素生化反應為主，經由尿素酶催化水解而成銨態氮：



以測定反應後所剩餘之 urea-N 和  $\text{NH}_4^+$ -N 的量，作為尿素轉化速率的指標。

### 一、尿素濃度與轉化作用

由圖一，20°C 時，尿素濃度在 5,000 ppm 以內，其反應情形在低濃度 (< 500 ppm) 時為一次反應，高濃度 (> 2,000 ppm) 時為零次反應，完全符合受質(尿素)與酵素(尿素酶)之間的關係；但尿素濃度超過 5,000 ppm 時，卻又發生另一反應高峯，且可持續到 60,000 ppm， $\text{NH}_4^+$ -N 濃度才逐漸下降，轉化作用亦趨向緩慢而停止(圖二)。觀察反應過程中 pH 值的變化，發現當尿素逐漸轉化為銨時，pH 隨之升高，在 5,000 ppm 以內，pH 從 6.5 升到 7.8；超過 5,000 ppm 時，pH 急遽升高並維持在 pH 9.9 ± 0.1 之間。

由圖三及圖四，發現在 30°C 時，反應速率顯著增快，在尿素濃度 3,500 ppm 以內，亦符合低濃度 (< 500 ppm) 時為一次反應，高濃度 (> 2,000 ppm) 時為非完全一次反應；但尿素濃度超過 3,500 ppm 時，第二個反應高峯即已發生，且 pH 變化與 20°C 相似，依然維持在 pH 9.9 ± 0.1 之間，但二個反應高峯已明顯地擴張。

40°C 時，二個反應高峯已邁向合併之趨勢(圖五、圖六)。然而尿素濃度增加至 70,000 ppm ~ 80,000 ppm 時，無論在 20°C、30°C 或 40°C 時，反應均明顯地下降。由上述結果可知：尿素酶之活性，應

由兩種反應現象共同完成，高濃度反應因受質飽和而抑制。

土壤中之尿素酶，主要由微生物所分泌，其活性亦受土壤微生物族群所影響(8,13,15)。並有學者提出尿素酶—腐植質複合體(Enzyme-Humus Complex)之模式(9,14,18)，以解釋尿素酶在土壤中之穩定性，認為尿素酶與腐植質之離子鍵、氫鍵或共價鍵結合而成複合體，以抵抗蛋白分解酶(proteinase)之分解，保存在土壤中的活性。但 pH 值升高到 9.9 ± 0.1 時，或尿素濃度超過 5,000 ppm 時(20°C)，是否對此「複合體」之活性，產生其他影響，有待進一步探討。

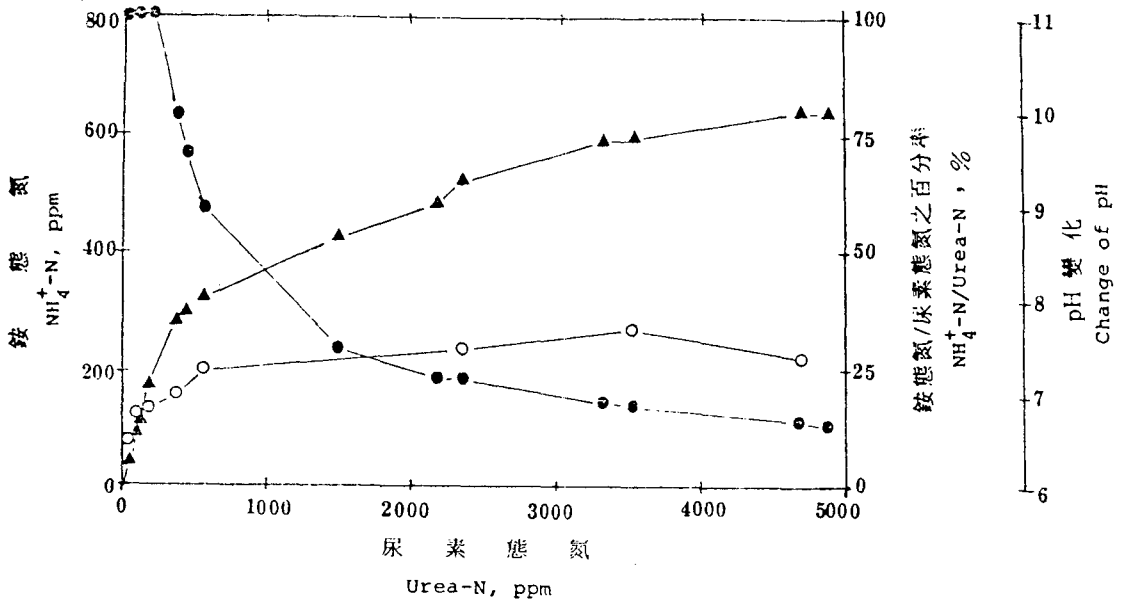
### 二、USG 深施

當 USG 施入表土以下 10 cm 處，20°C 孵育一天時，在施肥點 urea-N 已由局部超高濃度降至 6,500 ppm，第二天時則降到 200 ppm，第四天降到 11 ppm，至第六天尿素的轉化作用接近完成。尿素深施後其轉化作用受溫度的影響亦極大，在 30°C 孵育一天時，施肥點 urea-N 濃度僅剩 1,200 ppm，至第二天尿素轉化作用即接近完成(圖七)。

因此，由試驗結果指出，USG 深施後，所造成局部的超高尿素濃度，將落在反應高峯內(圖二及四)，反而加速了尿素水解速率，而迅速地将 urea-N 轉化為  $\text{NH}_4^+$ -N，存在于土壤中。

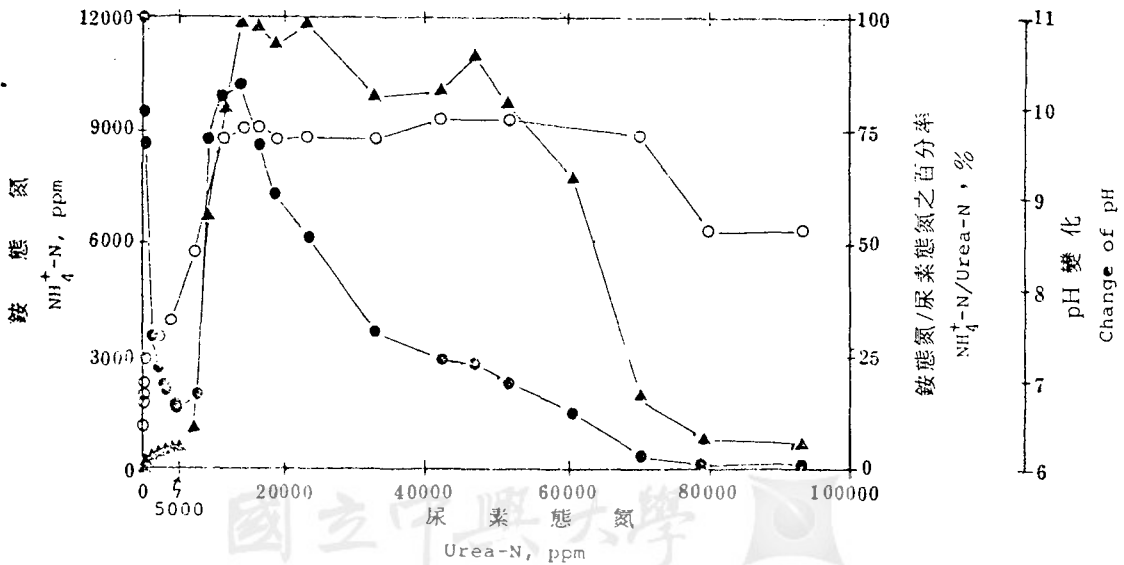
### 三、普通尿素(PU)撒施

以 PU 撒施後，在 20°C 孵育一天時，田面水含有 urea-N 125 ppm，第二天降為 71 ppm，第四天為 26 ppm，第六天尚存 8.5 ppm，比較其轉化反應，顯然比 USG 深施者為慢。在 30°C 時，雖然尿素的轉化反應，從施肥後第一天的 106 ppm 到第



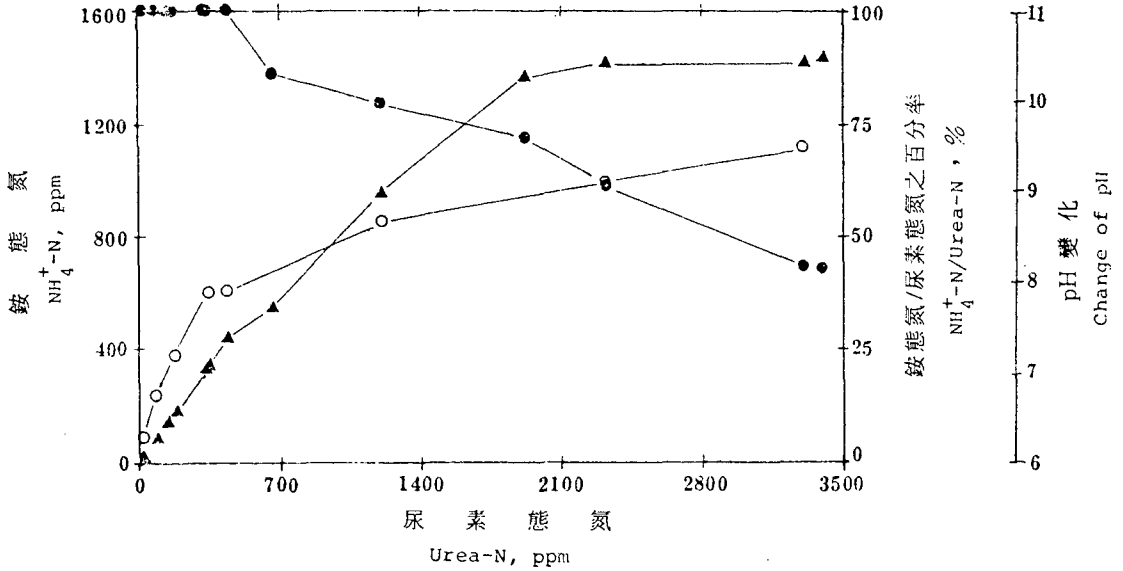
圖一、尿素之濃度 (<math>< 5,000 \text{ ppm}</math>) 與銨態氮產生 (▲)、銨態氮/尿素態氮之百分率 (●) 和 pH 變化 (○) 的關係 (<math>20^\circ\text{C}</math>)

Fig. 1. The concentration of transformed  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  (▲), ratio of concentrations of  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  and urea-N (●) and change of pH (○) in relation to the concentration of urea-N (<math>< 5,000 \text{ ppm}</math>) at  $20^\circ\text{C}$ .



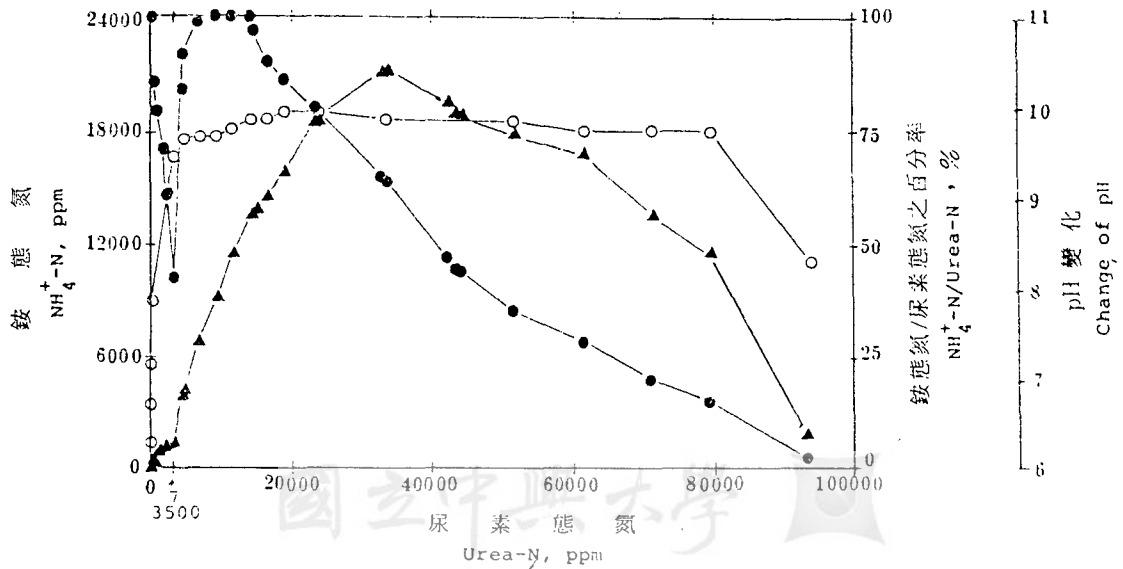
圖二、尿素之濃度 (<math>< 100,000 \text{ ppm}</math>) 與銨態氮產生 (▲)、銨態氮/尿素態氮之百分率 (●) 和 pH 變化 (○) 的關係 (<math>20^\circ\text{C}</math>)

Fig. 2. The concentration of transformed  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  (▲), ratio of concentrations of  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  and urea-N (●) and change of pH (○) in relation to the concentration of urea-N (<math>< 100,000 \text{ ppm}</math>) at  $20^\circ\text{C}$ .



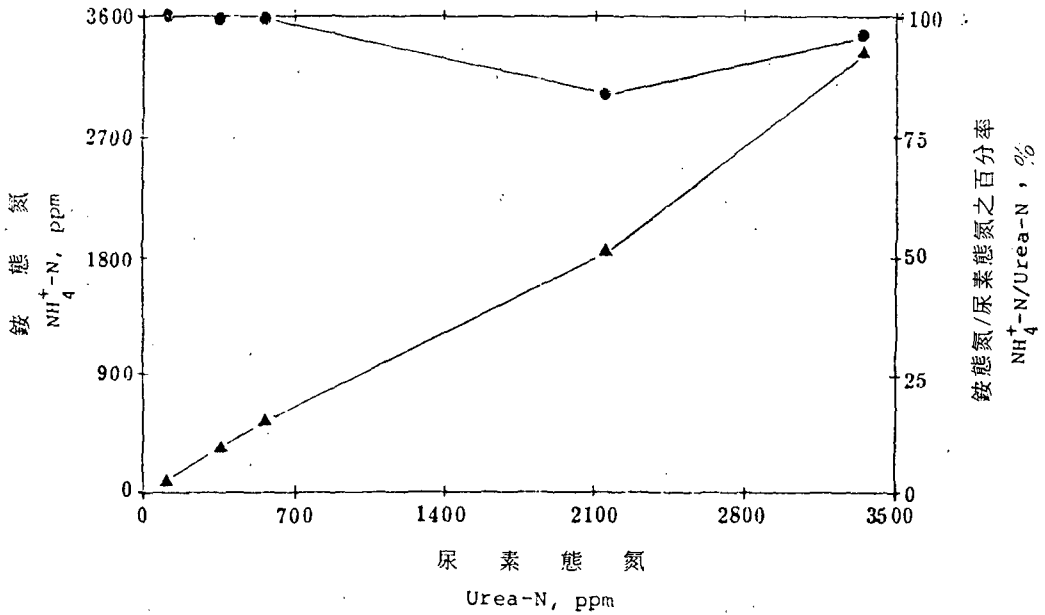
圖三、尿素之濃度 (<math>< 3,500 \text{ ppm}</math>) 與銨態氮產生 (▲)、銨態氮/尿素態氮之百分率 (●) 和 pH 變化 (○) 的關係 (30°C)

Fig. 3. The concentration of transformed  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  (▲), ratio of concentrations of  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  and urea-N (●) and change of pH (○) in relation to the concentration of urea-N (<math>< 3,500 \text{ ppm}</math>) at 30°C.



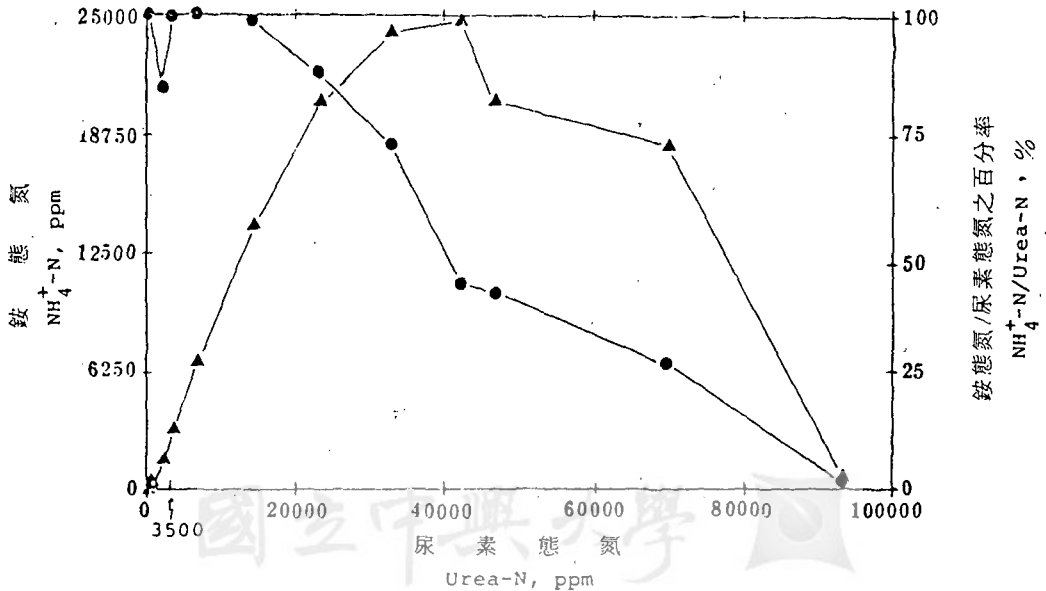
圖四、尿素之濃度 (<math>< 100,000 \text{ ppm}</math>) 與銨態氮產生 (▲)、銨態氮/尿素態氮之百分率 (●) 和 pH 變化 (○) 的關係 (30°C)

Fig. 4. The concentration of transformed  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  (▲), ratio of concentrations of  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  and urea-N (●) and change of pH (○) in relation to the concentration of urea-N (<math>< 100,000 \text{ ppm}</math>) at 30°C.



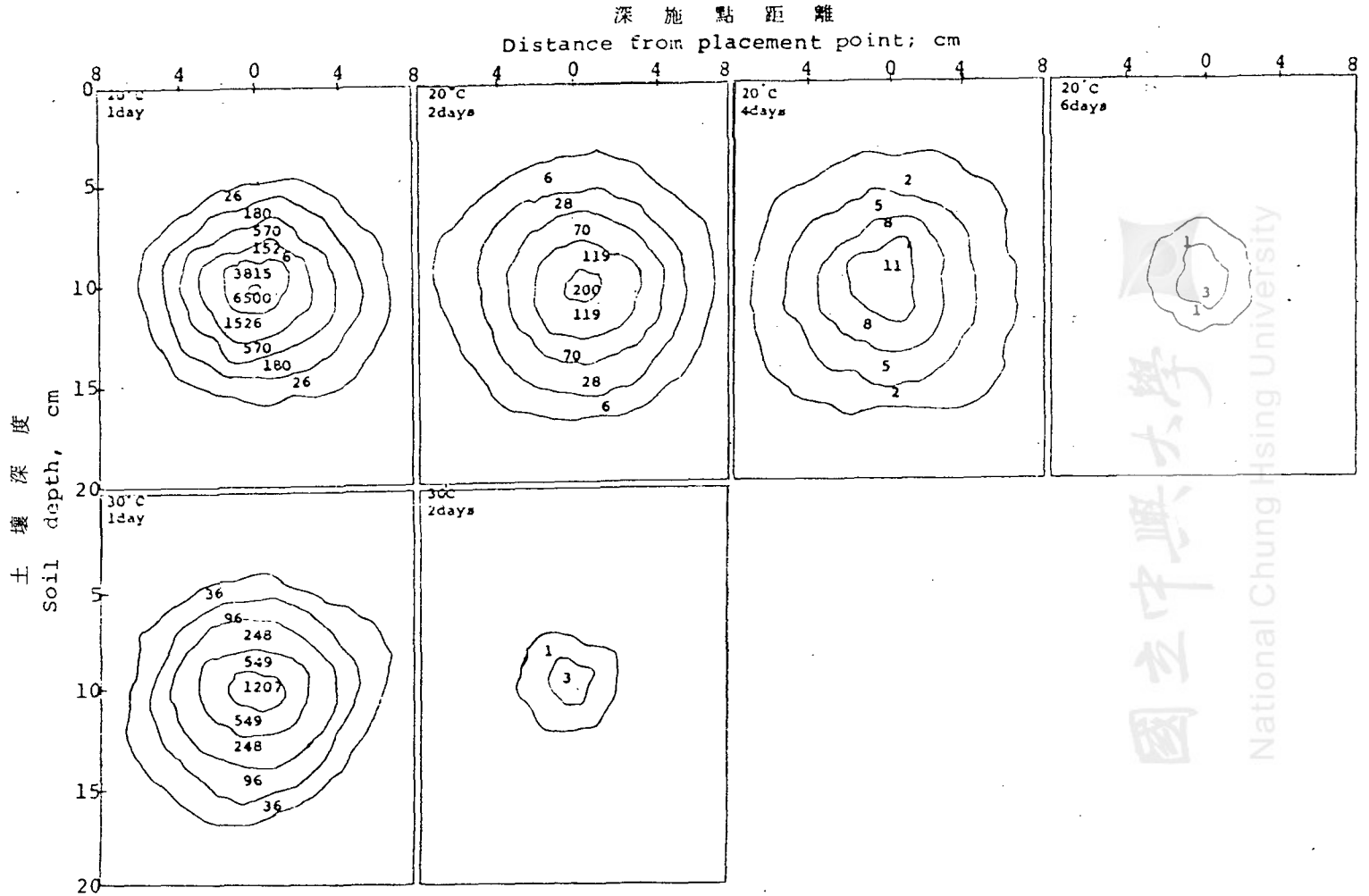
圖五、尿素之濃度 (<3,500ppm) 與銨態氮產生 (▲) 和銨態氮/尿素態氮之百分率 (●) 的關係 (40°C)

Fig. 5. The concentration of transformed  $NH_4^+-N$  (▲), ratio of concentrations of  $NH_4^+-N$  and urea-N (●) in relation to the concentration of urea-N (<3,500 ppm) at 40°C.



圖六、尿素之濃度 (<100,000ppm) 與銨態氮產生 (▲) 和銨態氮/尿素態氮之百分率 (●) 的關係 (40°C)

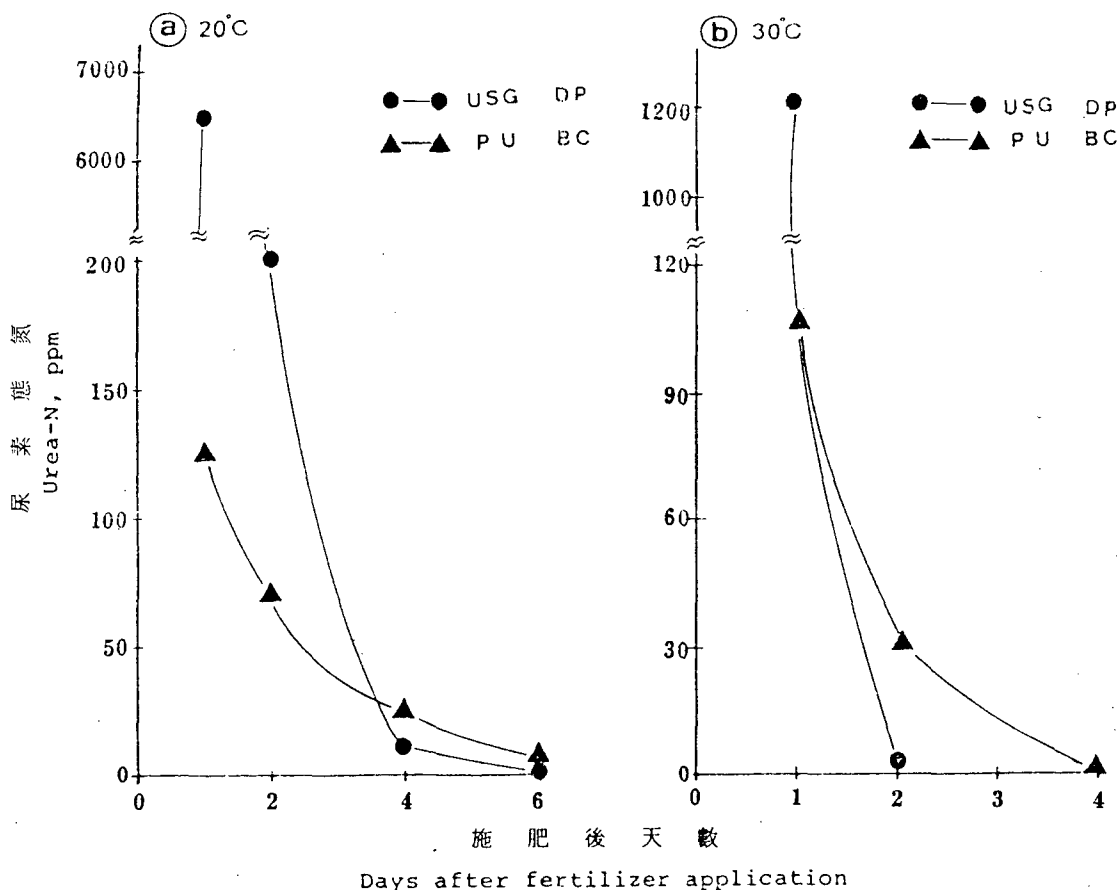
Fig. 6. The concentration of transformed  $NH_4^+-N$  (▲), ratio of concentrations of  $NH_4^+-N$  and urea-N (●) in relation to the concentration of urea-N (<100,000 ppm) at 40°C.



圖七、未栽作時 USG 深施後土壤中尿素態氮之連續分佈情形(台中土壤)

Fig. 7. The continuous distribution pattern of Urea-N (ppm) following 1g-USG deep placement in a simulated flooded soil without rice plant in Taichung paddy soil.

國立中興大學  
National Chung Hsing University



圖八、USG 深施和 PU 撒施後尿素態氮之轉化情形 (a) 20°C (b) 30°C

Fig. 8. The transformation of urea-N of USG deep placement and PU broadcast at (a) 20°C and (b) 30°C

四天的 3ppm，已明顯地加快，但與 USG 深施者比較，仍慢了许多(圖八)。

尿素水解必須先有尿素酶充分接觸後始進行反應<sup>(16,18)</sup>，並以 60% 至 80% 的含水量為最適宜尿素酶之水解作用<sup>(19)</sup>。當土壤在灌水狀況下，以 PU 撒施於土表，尿素

無法與土壤中之尿素酶充分接觸而進行反應；但以 USG 深施至土表以下 10cm 處，在 15~20 分鐘內即可完全溶解，此時尿素即可充份地與土壤中之尿素酶接觸而迅速轉化為銨態氮。

參考文獻

National Chung Hsing University

1. 江景村、陳玄。1982。不同粒徑大顆粒尿素施肥法對水稻肥效之研究。台肥研究專報。



2. 林國謙、王清演。1956。硫酸銨、氯化銨、硝酸銨與尿素對水稻之肥效比較，地方試驗。農業研究 6(1)：1-18。
3. 莊作權、郭鴻裕、譚鎮中。1981。台灣水稻田土壤之銨吸附性質及氮素供應能力之研究。(四)氮揮失與田面水之 pH 之變化。農業化學會誌 19(3,4)：144-150。
4. 莊作權、譚鎮中、郭鴻裕。1980。台灣水田氮肥肥效增進之研究。中華農學會 1980 聯合年會特刊 61-68。
5. 張守敬、曾憲鼎、黃國瑞。1953。硫酸銨、氯化銨、硝酸銨、尿素對於水稻之肥效。農業研究 3(2)：1-41。
6. 鄒運豐、林順台。1980。水稻氮肥機械深施試驗。台灣省政府農林廳。土壤肥料試驗報告 35-42。
7. 蘇楠榮、黃武林。1976。六十五年稻作改進會肥料技術小組工作報告。土壤肥料通訊第二九九期。
8. Alexander, M. 1977. "Introduction to soil microbiology (2nd ed.)" John-Wiley and Sons, Inc., New York.
9. Boyd, S. A., and M. M. Mortland. 1985. Urease activity on a clay-organic complex. Soil Sci. Soc. Am. J. 49:619-622.
10. Burns, R. G. 1982. Enzyme activity in soils: Location and a possible role in microbial ecology. Soil Biol. Biochem. 14:423-427.
11. Chin, W. T., and W. Kroontje. 1963. Urea hydrolysis and subsequent loss of ammonia. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 27:316-318.
12. Douglas, L. A., and J. M. Bremner. 1970. Extraction and colorimetric determination of urea in soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 34:859-862.
13. Frankenberger, W. T. and W. A. Dick. 1983. Relationships between enzyme activities and microbial growth and activity indices in soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 47:945-951.
14. Garwood, G. A., M. M. Mortland, and T. J. Pinnavaia. 1983. Immobilization of glucose oxidase on montmorillonite clay: hydrophobic and ionic modes of binding. J. Mol. Catalysis. 22:153-163.
15. Goos, R. J. 1985. Identification of ammonium thiosulfate as a nitrification and urease inhibitor. Soil Sci. Soc. Am. J. 49:232-235.

16. Jones, H. W. 1932. Some transformations of urea and their effects on the soil. *Soil Sci.* 34:281-299.
17. Juang, T. C. and C. C. Tann. 1980. Increasing nitrogen efficiency under flooded paddy conditions in Taiwan. *Journ. Chinese Agr. Chem. Soc.* 18(3-4):21-30.
18. Labd, J. N., and Butler, J. H. A. 1975. Humus-enzyme systems and synthetic organic polymerenzyme analogs. In "Soil Biochemistry", Vol. 5, (A. D. McLaren and E. A. Paul, Eds.), P:143-194. Marcel Dekker Inc., New York.
19. Mulvancy, R. L., and J. M. Bremner. 1981. Control of urea transformations in soils. p.153-196. In E. A. Paul and J. N. Ladd (eds.) *Soil Biochemistry*. Vol. 5. Academic Press, New York.
20. Overrein, L. N., Simpson, D. M. H., and S. W. Melsted. 1963. Urea hydrolysis and transformation in some Illinois soils. *Soil Sci. Am. Proc.* 27:48-50.
21. Reynolds, C. M., D. C. Wolf, and J. A. Armbruster. 1985. Factors related to urea hydrolysis in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49:104-108.
22. Torello, W. A., and D. J. Wehner. 1983. Urease activity in a Kentucky Bluegrass Turf. *Agron. J.* 75:654-656.
23. Zantua, M. T., and J. M. Bremner. 1977. Stability of urease in soils. *Soil Biol. Biochem.* 9:135-140.



# Effect of Urea Deep Placement on Change of Nitrogen in Paddy Soils

## I. Transformation of Nitrogen

V. H. Wang<sup>1)</sup> T. C. Juang<sup>1)</sup>

### Summary

Incubation studies revealed that urea transformation was greatly influenced by the environmental temperatures and substrate concentrations. At 20°C and in the range of 5,000 ppm urea, at low concentration (< 500 ppm), the reaction was first order, at higher concentration (> 2,000 ppm), however, it was not the first order reaction. The rate of transformation reached a higher peak as the concentration of urea exceeded 5,000 ppm and to the level of 60,000 ppm. With the same amount of urea used, the reactions followed the similar pattern at 30°C as was at 20°C, with exception of the rate was considerably greater. The two transformation peaks merged somewhat into one as the temperature approached 40°C.

As a consequence of these two existing peaks, the localized high concentration of urea under deep placement of USG proceeded the transformation of urea to  $\text{NH}_4^+$ -N rapidly. It spent only 6 days to transform all urea to  $\text{NH}_4^+$ -N when soil was incubated at 20°C and 2 days at 30°C. Because of incompletely contacting urea and urease by PU broadcasting, the urea transformation proceeded at a lower rate. It took 6 days for decreasing Urea-N from 125 ppm to 8.5 ppm at 20°C and 4 days at 30°C.

1) Graduate Student and Professor, Soil Research Institute of National Chung Hsing University, respectively.