

不同土壤中水稻對硫銨之利用率¹

張淑賢 邱再發²

摘要：本試驗利用 ¹⁵N 標誌硫銨追蹤所施氮肥之動向，以探討水稻在四種不同土壤中對各時期所施氮肥之利用率及土壤中無機態氮濃度與水稻生育之關係。乃自 68 年 7 月底開始在臺中之天然氣候環境下進行盆栽試驗，氮肥處理分為(1)無氮區(2)施氮區：於基肥、追肥(插秧後 10 日)、穗肥(插秧後 50 日)各施以硫銨 1.5 g/盆，並將之分成三組，每組分別於基肥、追肥、穗肥時改施以 ¹⁵N 標誌硫銨 (2.56 atom% excess)，茲摘述其結果如下：

(1) 土壤中銨態氮濃度以插秧後 5 至 20 日間最高，此後即迅速下降，至插秧後 46 日，各土壤均無法測出銨態氮存在。

(2) 四種土壤中以中歷土壤之銨態氮濃度最高，其水稻之穗數及穀量產量亦最高；而田尾土壤之銨態氮濃度最低，其穗數及穀量產量亦最低。氮肥施用提高了土壤中銨態氮濃度亦使水稻之穗數及穀量產量增加，顯示土壤中銨態氮濃度與水稻生育間關係之密切。

(3) 水稻對氮肥之利用率受施肥時期，施肥方法及土壤環境之影響，三時期中以穗肥利用率最高在 44~59%，基肥次之在 13~31% 間，追肥最低在 9~19% 間。四種土壤中以中歷土壤之水稻氮肥利用率最高為 36%，霧峰及屏東土壤者次之為 33 及 31%，田尾土壤者最低為 22%。田尾土壤之氮肥利用率最低而其施氮區之穀量產量亦僅及中歷土壤無氮區穀產量之半，是否因田尾土壤之供氮力弱，抑或因其土壤 pH 高 (6.9)、CEC 小 (6 meg/100g)，氮素易因氮揮散而損失所致，仍待繼續研究。

無機態氮在水田土壤中極易經由脫氮、揮散、滲濾而損失或由微生物與土壤之固定而無法被水稻所利用⁽³⁾。無機態氮的施用驟然提高土壤溶液中無機態氮濃度，促使損失速率更為增加^(2,16)，因此水稻對所施氮肥之吸收效率（或稱氮肥利用率）很少超過 50%⁽³⁾，而水稻所吸收的氮素中來自肥料的比率常不及 30%⁽¹⁵⁾。在能源危機的今日，如何改善施肥技術以減少氮素損失提高氮肥利用率，實為當務之急。欲達此目的，首需明瞭水稻生育期間土壤氮素與肥料氮素在水田土壤中之動態及水稻對氮素之吸收形式與效率。利用 ¹⁵N 標誌氮肥可區分土壤氮素與肥料氮素並用以追蹤所施氮肥之動向，及被廣泛地應用於此方面之研究。其中關於水稻對硫銨之利用率，IAEA⁽⁵⁾ 所發表之十三國家之田間試驗結果顯示 60 kg/ha 氮素以基肥深施於 5 cm 深土層，其氮肥利用率在 7~58% 間，平均為 29%；若以穗肥表施則利用率在 18~57% 間，平均為 35%。Koyama⁽⁶⁾ 之田間試驗結果，75 kg/ha 氮素以基肥深施則其利用率為 19%；若半量以基肥深施，另半量以穗肥表施則利用率為 40%，其中又以穗肥之利用率大於基肥⁽⁷⁾。Patnaik 等⁽⁹⁾ 之盆栽試驗結果亦呈相同趨勢，其利用率為 38% 與 43%。Patrick 等⁽¹⁰⁾ 在 1974 年之田間試驗以 56 和 112 kg/ha 氮素基肥深施於 6~8 cm 土層，其利用率分別為 17 和 23%，但彼等於 1976 年⁽¹¹⁾ 在相同土壤中進行試驗，以 100 kg/ha 氮素在移植後 14 日深施或 26 日時表施，其利用率均為 50%，若各半量分別於 26 日與 53 日表施則利用率為 61

1. 臺灣省農業試驗所 研究報告 第 971 號 本文蒙林主任家榮、洪教授崑煌、連技正深及劉技正大江斧正，特此誌謝。

2. 本所農化系技士、技正。臺灣省 臺中縣 霧峰鄉。

%。另 IAEA⁽⁵⁾ 所發表之盆栽試驗結果顯示基肥深施之利用率均大於基肥表面撒施者。綜合上述結果可知水稻對氮肥之利用率深受施肥方法與施肥時期所影響，亦即深施可減少氮素損失（脫氮與氮揮散）^(2,16) 而優於表面撒施；幼穗形成期根系相當發達對氮素之吸收效率乃最大⁽⁴⁾，而且此一時期施用氮肥對稻穀增產之貢獻率亦大⁽⁶⁾。但不同土壤中，即使施肥法、施肥時期均相同，水稻對氮肥之利用率亦不同。因為不同土壤中之氮素礦化形式與礦化量、氮素損失環境均不相同⁽¹²⁾，而這些因素均可影響水稻對氮肥之利用率。本試驗即以盆栽試驗，利用¹⁵N 標誌硫銨比較不同土壤中，水稻對各時期所施氮肥之利用率，並探討土壤之氮素礦化形式、礦化量、肥料氮吸收效率與稻穀產量之關係，以期提供改善施肥技術之參考。

材料與方法

本試驗所用之土壤係採自中壠青埔、臺中霧峰、屏東內埔及彰化田尾四處之表土，其理化性質如表 1 所示。以 $\frac{1}{2000}$ a 塑膠盆，每盆盛土 12 kg（乾土重約 9 kg），於民國 68 年 7 月 26 日至 68 年 11 月 7 日間在臺中之天然氣候環境下進行試驗，水稻品種為臺農 67 號，每盆植一叢，每叢含五株秧苗，其氮肥處理如表 2 所示，共分為：

（一）無氮區（A）：僅施磷、鉀肥， $P_2O_5-K_2O=1.0-1.0$ g/盆，以過磷酸石灰及氯化鉀全部作基肥施用，計四重覆，其中一重覆供採土分析土壤中無機態氮之動態。

（二）施氮區（B, C, D）：除磷、鉀外尚施氮 0.9 g/盆，分三次施用即基肥、追肥（插秧後 10 日）、穗肥（插秧後 50 日）各施 1.5 g/盆 硫銨，計十一重覆。其中兩重覆供採土分析無機態氮之動態，另九重覆各以三重覆分別於基肥、追肥及穗肥時改施 2.56 atom% excess ¹⁵N 標誌硫銨。各盆均先以 8 kg 土壤裝於盆中浸水一星期，另 4 kg 土壤於插秧前一日混合基肥裝入。追肥及穗肥均為表面撒施。

調查及分析項目：

（一）土壤中無機態氮之動態：分別於插秧後 0.5、12、20、32、46、60、80 天時採取 0~10 cm 深土壤，混勻後立即稱取 10 g 濕土以 2N KCl 淋洗至體積達 100 ml，測量淋洗液中 NH_4-N 及 NO_3-N 之濃度，並定出土壤水分以計算乾土中無機態氮濃度。

（二）調查穀類產量及產量構成要素。

（三）土壤及植株中氮素濃度及 ¹⁵N/(¹⁴N+¹⁵N) 原子比之測定：乾土取 1 g、植物體取 0.5 g（合氮量約 2~4 mgN），以 Kjeldahl 方法分解後蒸餾定氮，再將其擴散至 1 ml 1N H₂SO₄ 中，以 NaOBr 氧化成 N₂⁽¹⁾，再以英製 Winsford Micromass 622 型質譜儀分析其 ¹⁵N 原子比。

結果與討論

一、土壤中銨態氮濃度與水稻生育之關係

經測定結果顯示浸水土壤中無機態氮僅有銨態氮。由表 3 所示土壤中銨態氮濃度在插秧後 5 至 20 日間最高，此後即迅速下降，至 46 日以後無論施氮與否均無法測出銨態氮。基肥及追肥之施用可大幅提高土壤銨態氮濃度。四種土壤中，均以中壠土壤之銨態氮濃度最高，霧峰及屏東土壤居中，而田尾最低。由表 4 亦見穗數及穀類產量同呈此一趨勢，即中壠土壤之水稻生育最旺盛，其穗數最多而穀類產量亦最高。反之，田尾土壤之水稻穗數最少，產量亦最少。此一結果顯示土壤中無機態氮濃度與水稻生育間有密切之關係。

Ponnamperuma 謂土壤氮礦化量及速率與土壤有機質含量有顯著正相關⁽¹²⁾。然本試驗之中壠土壤，其有機質含量並非最高，而無機態氮濃度最高，其原因尚待究明。

本試驗係在臺中二期作之氣候環境下進行，水稻生育前期之氣溫極高，因此土壤浸水後氮礦化迅速進行，但至幼穗形成期以後，土壤幾無氮素礦化可供水稻利用。一期作之情形如何仍待試驗。

Koyama⁽⁶⁾ 於泰國 Bangkhen 土壤之田間試驗 (7 月始) 結果亦顯示水稻自土壤中吸收氮素, 主要在開花期以前, 此後水稻即很少自土壤中吸收氮素, 其原因乃在於水稻生育後期土壤礦化之氮素極少所致。而 Racho & Datta⁽¹³⁾ 及 Shiga & Ventura⁽¹⁴⁾ 之結果顯示在菲律賓 Los Banas 之乾季 (1~5 月) 或濕季 (7~10 月) 種植水稻, 則直到生育後期水稻仍不斷自土壤中吸收氮素。這些結果的差異顯示土壤之氮礦化形式除了氣候環境外, 尚受土壤礦物種類及栽培管理等因子之影響。

二、不同土壤中水稻對氮肥之利用率

由表 5 可見無氮區與施氮區之水稻氮素吸收總量均以中壩土壤者最高, 田尾土壤最低。中壩土壤無氮區之水稻氮素吸收總量為霧峰及屏東土壤之兩倍而為田尾土壤之四倍, 此顯示水稻氮素吸收與土壤本身之氮素供應能力間關係之密切。水稻於各時間所吸收之肥料氮素以穗肥時吸收最多, 基肥次之, 追肥最少。四種土壤中除田尾之水稻氮肥吸收量較少外, 其餘三種土壤較相近。更由表 6 可見氮肥利用率以穗肥者最高在 44~59 % 間, 基肥次之在 13~31 % 間, 而追肥最低在 9~19 % 間。以生育全期平均來看, 四種土壤之水稻氮肥利用率以中壩最高為 36 %, 霧峰與屏東次之為 33 與 31 %

表 1. 試驗土壤之理化性質

Table 1. Physicochemical properties of soils.

土 壤 Soils	土 類 Soil group	質 地 Texture	pH	有機質 O. M. %	全 氮 Total N%	CEC meq/100g	有效磷 Avail. P ppm	有效鉀 Avail. K ppm
Chungli 中 壩	Alluvial soil (latosol)	Silty clay loam	4.8	2.55	0.176	9.0	42	66
Wufeng 霧 峰	Alluvial soil (sandstone & shale)	Silt loam	4.6	2.23	0.171	9.8	56	43
Pingtung 屏 東	Alluvial soil (slate)	Silt loam	5.1	3.19	0.235	7.9	50	38
Tienwei 田 尾	Alluvial soil (slate)	Silt loam	6.9	2.19	0.182	6.1	51	51

表 2. 氮肥處理內容

Table 2. Design of nitrogen fertilizer application. (g/pot)

處 理 Treatment	基 肥 Basal dressing	追 肥 10 days after transplanting	總 肥 50 days after transplanting
A	—	—	—
B	1.5 ^a	1.5	1.5
C	1.5	1.5 ^a	1.5
D	1.5	1.5	1.5 ^a

a. 施用 ¹⁵N 誌硫銨. Applied with ¹⁵N-labeled ammonium sulfate.

表 3. 水稻生育期間土壤中銨態濃度變化

Table 3. Changes of $\text{NH}_4\text{-N}$ concentration of soils during the growth period of rice. (ppm)

處 理 插秧後日數 Days after transplanting	無 氮 區 No nitrogen fertilizer				施 氮 區 With nitrogen fertilizer			
	中 壟 Chungli	霧 峰 Wufeng	屏 東 Pingtung	田 尾 Tienwei	中 壟 Chungli	霧 峰 Wufeng	屏 東 Pingtung	田 尾 Tienwei
0	32	8	12	12	106	86	86	74
5	59	25	28	13	117	86	95	67
12	62	26	29	16	141	125	129	85
20	69	28	29	16	122	88	96	47
32	24	6	10	4	48	27	20	7
46 ^a	trace	trace	trace	trace	trace	trace	trace	trace

a. 自46日後土壤中銨態氮即無法定出。

表 4. 收穫期各土壤所植水稻之產量及產量構成要素

Table 4. Grain yield and yield components of rice grown in four soils.

處 理 Treatment	土 壤 Soils	株 高 Plant height (cm)	稈 重 Straw yield (g)	穀 重 Grain yield (g)	穗 數 Panicle no.	每穗粒數 Grain no. per panicle	稔 實 率 Filled grain %	千 粒 重 Grain weight per 1000 grains
無 氮 區 No nitrogen	中 壟 Chungli	90	62.4	66.8	32	94	90	24.8
	霧 峰 Wufeng	88	37.9	34.5	16	103	87	23.7
	屏 東 Pingtung	91	35.6	41.2	17	107	94	24.7
	田 尾 Tienwei	86	18.0	18.8	11	81	92	23.5
施 氮 區 With nitrogen	中 壟 Chungli	96	77.1	87.1	38	108	87	24.8
	霧 峰 Wufeng	96	59.6	73.4	29	118	89	24.6
	屏 東 Pingtung	95	54.9	64.3	24	120	89	25.6
	田 尾 Tienwei	93	34.2	38.0	16	109	85	25.3

，田尾最低僅 22%。

上述結果顯示幼穗形成期水稻根系相當發達，氮肥可快速吸收，因此穗肥表面撒施，其利用率仍最高；而插秧後 10 日，水稻根系尚未發達，此時追肥表面撒施，其利用率乃最低。基肥之施用是與約 10 cm 厚之表土混合，氮肥較不易損失，因此其利用率較追肥為高。在四種土壤中以田尾土壤之水稻對各時期所施氮肥之利用率最低，其施氮區之稻穀產量亦僅及中壟無氮區穀產量之半數。是

否因田尾土壤本身供氮力弱？抑或因其土壤 pH 高 (pH 6.9) 與 CEC 低 (6 meq/100g土)，部分銨態氮因揮散而損失，以致對水稻之氮素供給不足，致使水稻生育不旺盛，氮肥利用率乃差？仍待繼續研究。

水稻氮素吸收總量中肥料氮所占比率在 28~42 %間，而以中壠最低，田尾最高，顯示水稻所吸收之氮素主要仍是依賴土壤之供給，中壠土壤之水稻對土壤氮素之依賴最重，而其穀產量也最高，顯示欲得水稻之高產，仍需自改進土壤肥力著手。

表 5. 收穫期水稻地上部之氮素吸收總量及各時期所施氮肥之吸收量

Table 5. Recovery of fertilizer N as influenced by timing of application and total nitrogen uptake amount in aboveground parts of rice at harvest. (mg/pot)

土 壤 Soils	植株氮素吸收總量 N uptake amount			施氮區各時期所施氮肥之回收量 Recovery of fertilizer N			
	部 位 Plant part	無 氮 區 No N	施 氮 區 WithN	基 肥 Basal	追 肥 10 days	總 肥 50 days	總 和 Total
中 壠 Chungli	Panicle	585	862	68	39	141	248
	Straw	246	359	30	20	43	93
	Total	831	1221	98	59	184	341
霧 峰 Wufeng	Panicle	249	629	53	31	144	228
	Straw	187	280	26	18	43	87
	Total	436	909	79	49	187	315
屏 東 Pingtung	Panicle	332	585	49	35	135	219
	Straw	121	223	22	15	39	76
	Total	453	808	71	50	174	295
田 尾 Tienwei	Panicle	140	351	29	20	110	159
	Straw	70	155	14	9	29	52
	Total	210	506	43	29	139	211

表 6. 各時期所吸收之肥料氮素占全氮之比率及其氮肥利用率

Table 6. Percentage of plant N derived from fertilizer and recovery percentage of applied fertilizer N at harvest.

土 壤 Soils	施 肥 時 期 Timing of N application		肥料氮占全氮之百分率 Percentage of plant N derived from fertilizer %			氮 肥 利 用 率 Recovery percentage of fertilizer N %
			總 Panicle	葉 Straw	全株 Total	
中 壠 Chungli	Basal	基肥	7.9	8.3	8.1	31.0
	10 days	追肥	4.5	5.5	4.8	18.6
	50 days	穗肥	16.4	11.9	15.0	58.5
	Total	總和	28.8	25.7	27.9	36.0

續表 6.

土 壤 Soils	施 肥 時 期 Timing of N application		肥 材 氮 占 全 氮 之 百 分 率 Percentage of plant N derived from fertilizer %			氮 肥 利 用 率 Recovery percentage of fertilizer N %
			穗 Panicle	蘗 Straw	全 株 Total	
霧 峰 Wufeng	Basal	基肥	8.4	9.3	8.6	24.9
	10 days	追肥	5.0	6.4	5.4	15.5
	50 days	穗肥	22.9	15.4	20.6	59.0
	Total	總和	36.3	31.1	34.6	33.1
屏 東 Pingtung	Basal	基肥	8.3	9.5	8.8	22.4
	10 days	追肥	6.0	6.6	6.2	15.8
	50 days	穗肥	23.0	17.4	21.6	54.9
	Total	總和	37.3	33.5	36.6	31.0
田 尾 Tienwei	Basal	基肥	8.2	8.9	8.4	13.6
	10 days	追肥	5.5	6.0	5.8	9.1
	50 days	穗肥	31.4	18.7	27.4	43.8
	Total	總和	45.4	33.6	41.6	22.2

參考文獻

1. Bremner J. M. 1965. Isotope-ratio analysis of nitrogen in nitrogen-15 tracer investigation. in "Method of Soil Analysis" part II, chap. 86 : 1256-1283, American Society of Agronomy.
2. Broadbent F. E. and M. E. Tusneem. 1978. Losses of nitrogen from some flooded soils in tracer experiments. S. S. S. A. P. 35 : 922-926.
3. Broadbent F. E. 1978. Nitrogen transformation in flooded soils. in "Soils & Rice" 543-561, IRRI.
4. Evatt N. S. 1964. The timing of nitrogenous fertilizer application on rice. in "The Mineral Nutrition of The Rice Plant" chap. 15 : 243-254 IRRI.
5. IAEA(International Atomic Energy Agency). 1970."Rice Fertilization", printed by the IAEA in Austria.
6. Koyama T. 1971. Soil-plant nutrition studies on tropical rice. III The effect of soil fertility status of nitrogen and its liberation upon the nitrogen utilization by the rice plants in Bangkhen paddy soil. Soil Sci. Plant Nutr. 17 : 210-220.
7. Koyama T., C. Chammeek and N. Niamsrichand. 1972. Soil-plant nutrition studies on tropical rice. IV The effect of double-cropping in a rainy season upon the plant growth and soil fertility status of nitrogen in the Bangkhen paddy soil. ibid. 18 : 23-29.
8. Matsushima S. 1964. Nitrogen requirements at different stages of growth. in "The Mineral Nutrition of The Rice Plant" chap. 14 : 219-242.
9. Patnaik S. and F. E. Broadbent. 1967. Utilization of tracer nitrogen by rice in relation to time of application. Agron. J. 59 : 287-288.
10. Patrick W. H. Jr., R. D. Delaune, and F. J. Peterson. 1974. Nitrogen utilization by rice using ¹⁵N-depleted ammonium sulfate. Agron. J. 66 : 819-820.
11. Patrick W. H. Jr. and K. R. Reddy. 1976. Fate of fertilizer nitrogen in a flooded rice soil. S. S. S. A. P. 40 : 678-681.

12. Ponnampereuma F. N. 1976. Physicochemical properties of submerged soils in relation to fertility. in "The Fertility of Paddy Soils and Fertilizer Applications for Rice" 1-27. Printed by the ASPAC in Taiwan.
13. Racho V. V. and S. K. De Datta. 1968. Nitrogen Economy of cropped and uncropped flooded rice soils under field conditions. *Soil Sci.* 105 : 419-427.
14. Shiga H. and W. Vutura. 1976. Nitrogen supplying ability of paddy soils under field conditions in the Philippines. *Soil Sci. Plant Nutr.* 22 : 387-399.
15. Suzuki S., Sakai H. and Dei Y. 1963. The fertility of paddy soils. *J. Sci. Soil & Manure, Japan*, 39 : 55-62.
16. Viek P. L. G. and E. T. Craswell. 1979. Effect of nitrogen source and management on ammonia volatilization losses from flooded rice-soil systems. *S. S. S. A. P.* 43 : 352-358.

The absorption efficiency of fertilizer nitrogen by rice grown in four soils using ¹⁵N-labeled ammonium sulfate¹

S. S. Chang and T. F. Chiu²

Summary

A pot experiment involving four kinds of alluvial soils was carried out in 1979 to study the absorption efficiency of fertilizer N by the rice plants. Rate of ammonium sulfate at 1.5 g/pot was applied each as basal dressing, 1st top dressing (10 days after transplanting) and 2nd top dressing (panicle initiation stage or 50 days after transplanting). The pots were divided into three batches. ¹⁵N-labeled ammonium sulfate was used in only one of the dressings in each of the three batches. Each batch had three replications.

Content of NH₄-N in soils was highest between 5 and 20 days after transplanting and decreased markedly thereafter. No NH₄-N had been detected since 46 days after transplanting.

Content of NH₄-N and grain yield were highest in Chungli and lowest in Tienwei soil among the four kinds of soils tested. Nitrogen application raised the NH₄-N content in soil as well as grain yield, suggesting a positive correlation between soil ammonium concentration and the growth of rice plant.

The absorption efficiency of fertilizer N by rice varied with timing of N application and soils. The highest efficiency (44-59%) was found when N was applied at the panicle initiation stage followed by basal application (13-31%) and 1st top dressing (9-19%). Soil from Chungli also gave a higher absorption efficiency (36%) than those from Tienwei (22%) and Pingtung and Wufeng (31-33%).

The low N absorption efficiency for rice plants grown in Tienwei soil was associated evidently with low grain yield. This might be due to the low supplying power of soil N or high pH (6.9) and low CEC level (6 meq/100g) so that N in soil was easily lost.

1. Contribution No 971 from the Taiwan Agricultural Research Institute.

2. Assistant chemist and Senior Plant Physiologist, respectively, Department of Agricultural Chemistry, TARI, Wufeng, Taichung Hsien, Taiwan 431, ROC.