

# 認識當前 氮肥 之 酸鹼平衡與其用量 問題

農試所農化組 譚增偉

## 一、前言

我國自民國88年台肥公司民營化後，肥料進口完全開放，至民國92年政府全面退出肥料供銷體系。肥料銷售自由化後，為符合市場交易秩序，政府不再辦理肥料價差補貼，執行肥料安全庫存計畫及肥料服務到家補助運費。其間雖曾以漸進方式適度調整肥料價格，還是脫離不了長久以來肥料保證價格的美意。93年9月，國內肥料價格凍漲，今為反應國際價格自97年5月30日起調高肥料售價，自此自由化漲價的結果，對農民造成的衝擊是可預期的。雖然，近來有關機關及媒體曾報導(97年5月30日聯合晚報頭版)，謂台灣農田超量使用肥料30%，肥料過度使用造成土壤酸化，肥料吸收率降低，以至農民愈用愈多愈無效，形成惡性循環；或謂肥料在酸化土壤中容易流失，不易被吸收，有時甚至流失一半以上，肥料效力無法發揮，農民只好加倍使用，結果愈用愈多。誠然，此一邏輯，無非是希望農民少施肥料，減少成本負擔；事實上，肥料施用量及造成土壤酸化等問題，有其一定之學理，台灣農田是否真的施用量超多及酸化嚴重，實有澄清的必要。

## 二、肥料需求基準

表一列示收量水準下，每公頃需吸收的要素量亦即絕對需要量。今以供應每公頃收量6公頃稻穀需氮量84.55kg/ha，來評估目前水稻施肥量是否有嚴重超量情形。一般言之，氮肥在土壤中因淋洗利用率僅30%，很難提高至40%以上，磷肥為5-25%，乃三要素中最低者，鉀肥對作物有超量吸收之現象其利用率可達40-70%以上。若就作物施肥手冊，民國85年第五版，一般水稻之推薦量已由原先之一期作110-150修正為110-140 kg/ha；二期作100-120修正為90-120 kg/ha。肥料外，其它來源可提供的氮量，每期作每公頃估計為(1)雨水：10kg (2)灌溉水：30kg(3)土壤殘留的無機態氮20kg(4)稻草含根系：40kg。這四種來源合計提供100 kg/ha氮量，以利用率50%估計，可供作物吸收量為50 kg/ha，故預計收量6 ton/ha稻穀的不足氮吸收量完全由利用率30%的肥料供給，其需氮肥量為： $(84.55 - 50) \div 0.3 = 115.2 \text{ kg N/ha}$  此即表示作物施肥手冊的推薦量應屬合理。事實上作物施肥手冊從民國61年開始，歷經五次修正，長久以來即作為農友施肥的基本依據。農友本著自身的經驗法則，憑著累積的知識與經驗，作調節性施肥是可能的，若說求好心切，抱著多

作者：譚助理研究員增偉  
連絡電話：04-23302301-408

施點肥料，總是希望收成好的觀念，尤其在那肥料便宜的年代，在所難免，但若說嚴重超量施肥，實有違農民之經驗法則。

再就我國歷年稻作肥料消費量（施用量）而言，根據民國92年肥料手冊資料，整理如表二供參考；原始資料係就稻作面積與肥料銷售量（配售量）之統計，該期間(民國62-75年)係我國稻作肥料試驗及示範推廣最盛時期，顯然每年每公頃三要素用量(實際還包括中間作)僅氮素稍高，若扣除中間作用量，尚屬合理推薦範圍內，如再考慮一年兩期作，每期作之用量估計應為表二之半，則顯三要素用量偏低。

肥料消耗量之比較，根據肥料手冊資料，就民國79、84、89三年之平均值(無它年度資料)整理如圖一所示，我國每公頃耕地平均施用肥料三要素總量為447公斤，與各先進國家比較似已名列第三名(荷蘭第一，南韓第二)，而氮素用量每公頃達268公斤，更高居第二位，僅次於以種植花卉園藝作物著稱之荷蘭。由於我國資料係就耕作面積與每年肥料銷

表一、數種穀類作物每公頃要素吸收量(kg/ha)

作物	收量	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
水稻	5,000	70.46	39.76	65.96
	6,000	84.55	47.71	79.15
	7,000	98.64	55.66	92.34
小麥	1,000	16.00	9.00	5.00
	2,000	32.00	17.00	10.00
玉米	5,000	92.00	35.00	85.00
	6,500	120.00	45.00	110.00

表二、歷年平均-稻作化學肥料三要素每年每公頃平均消耗量(kg/ha)

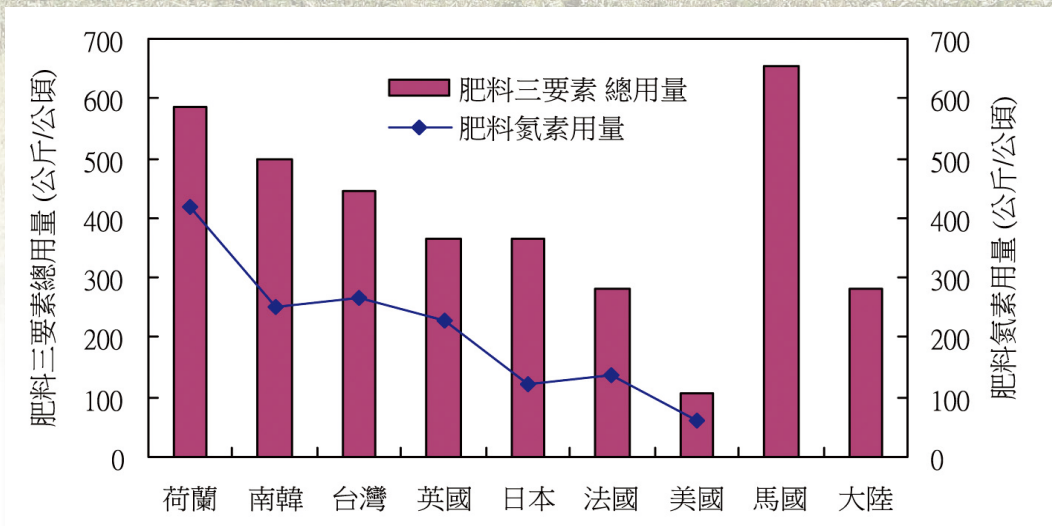
年度(民國)	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
62 - 75	155 ± 18	38 ± 5	54 ± 8

售量為基礎之統計，若考慮一年有兩期作，則用量減半，即每公頃耕地平均施用肥料三要素總量為224公斤，氮素用量為134公斤，尚屬合理。

肥料的昂貴，部份是否可由有機質肥料來補充，此需考慮技術與經濟層面，值此肥料自由化之際，理當交由市場機制決定；然若涉及重金屬在土壤中的累積問題，則斷不可忽視，即使有百年的安全期亦不可。今若由平均組成含氮0.39%之堆肥供應每公頃6公噸稻穀(需氮量84.55kg/ha)，需要此堆肥21.6公噸，再考慮堆肥之利用率時，實際需要量，當不止此數。加入有機質肥料，主要並非因土壤的有機含量低。雖然土壤有機物的含量，常被視為土壤肥沃度的指標，但土壤有機物含量水準，是加入速率與分解速率之差額所決定者；土壤有機質含量，在每年加入等量有機物，如經長時間之後，會趨向於一定之平衡值，分解速率快的地方，其值會低，分解慢，則會有較高的平衡值。但達到平衡值之後，年加入量與分解量相等，因此不論分速率之高低，有機物所供應的養份量必定等於有機物所帶入土壤之量。因此，土壤有機質含量的高低，雖可表示其養份含量高低，但不能表示對作物體實際上能提供的養份量。作物能得到的養份量，端視每年施用的有機物所含的養份量而定。達到這個穩定狀態後，有機物對作物之功能，就與一般化學肥料一樣了。

### 三、土壤中氮源之酸-鹼平衡關係

土壤中氮素來源主要來自有機態氮、硫銨、尿素、硝酸銨及複合肥料等。歐美先進國家之化學氮肥，多取自硝酸銨、尿素及複合肥料，施用硫酸銨



圖一、我國與世界各主要國家歷年肥料消耗量之比較。

量微不足道；亞洲國家中，除日本尚維持31%氮素取自硫酸銨外，其他開發中國家亦多施用尿素與複合肥料；近來我國施用硫酸銨比率繼續在降低。

無論是有機或無機態氮，在土壤中涉及H<sup>+</sup>的產生或消耗，淨的結果即為H<sup>+</sup>之累積值，可為正或負，均影響土壤酸度的變化。

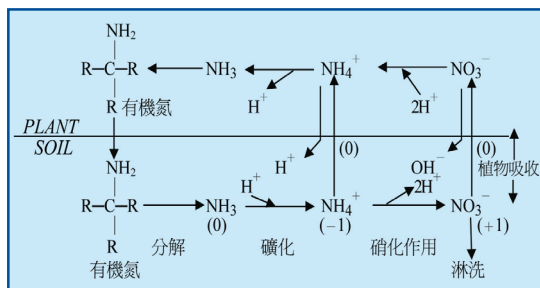
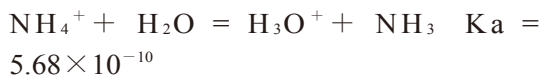
### (一)氮循環-有機態氮之酸鹼平衡關係

圖二之氮循環中從土壤有機氮開始，蛋白質分解產生NH<sub>3</sub>的過程，並不涉及H<sup>+</sup>的產生或消耗，然礦化作用之第二步驟是NH<sub>3</sub>之質子化產生NH<sub>4</sub><sup>+</sup>，需消耗一個H<sup>+</sup>，此時H<sup>+</sup>的淨累積值為-1。若NH<sub>4</sub><sup>+</sup>被植物或微生物吸收，因在吸收過程中會釋放一個H<sup>+</sup>於土壤中，此時H<sup>+</sup>的淨累積值為0。若NH<sub>4</sub><sup>+</sup>被氧化為NO<sub>3</sub><sup>-</sup>，每一個NO<sub>3</sub><sup>-</sup>之形成會放出2個H<sup>+</sup>，故H<sup>+</sup>的累積淨值為+1，此時NO<sub>3</sub><sup>-</sup>之去向即決定了氮循環對土壤酸化的影響，若NO<sub>3</sub><sup>-</sup>被植物吸收，會放出一個OH<sup>-</sup>，恰中和前之H<sup>+</sup>，故H<sup>+</sup>之淨累積值再為0，若硝酸鹽在系統中被淋洗，則H<sup>+</sup>的淨累積值仍維持在+1，即造成土壤的酸化。

在植物體內，當一個NO<sub>3</sub><sup>-</sup>被吸收時，會放出一個OH<sup>-</sup>離子，此即相當於植體內產生一個H<sup>+</sup>，然從NO<sub>3</sub><sup>-</sup>被轉換成中性的NH<sub>3</sub>(或R-NH<sub>2</sub>)時，H<sup>+</sup>的即相當於植體內產生一個OH<sup>-</sup>，此OH<sup>-</sup>恰中和NH<sub>4</sub><sup>+</sup>轉換成中性NH<sub>3</sub>時所釋放的一個H<sup>+</sup>，故循環亦被平衡。

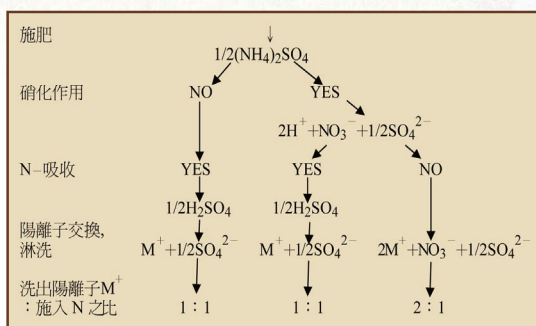
### (二)加入硫酸銨肥料之酸鹼平衡關係

就硫酸銨之化學結構，其為強酸弱鹼所成之塩類故屬酸性，為電解質，易溶於水產生NH<sub>4</sub><sup>+</sup>及SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>，其水溶液呈酸性乃因NH<sub>4</sub><sup>+</sup>之水解釋放H<sup>+</sup>(1:1水溶液pH = 4.3)：



圖二、從土壤有機氮開始氮循環之酸鹼平衡關係。括號內數字表示氫離子的淨值：產生(+)或消耗(-) (摘自 Reuss, J. O. and Johnson, D.W. 1986)。

當硫銨施入鹼性土壤，因土壤中之OH<sup>-</sup>中和上述反應之H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>，迫使反應向右進行產生氨氣而逸失，致造成肥料中氮之損失。硫酸銨所含之銨極易為土壤粒子所吸著，但由於易溶於水，以致水愈深，愈不易被土壤吸著，故淺水或先排水施之為宜。

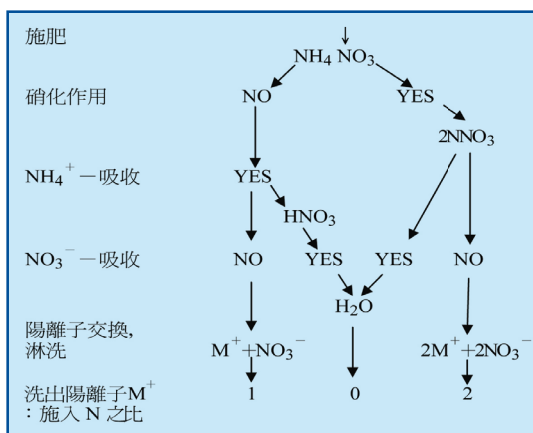


圖三、肥料硫酸銨對土壤酸化的影響(摘自Reuss, J. O. and Johnson, D.W. 1986)。

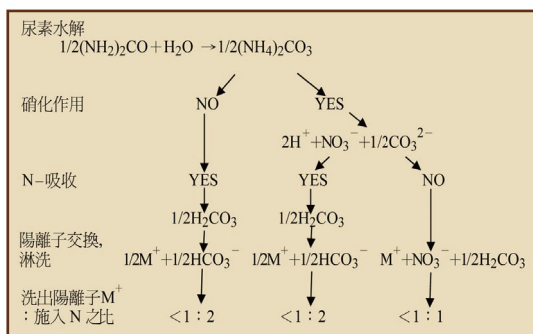
圖三為土壤加入硫銨肥料之酸化影響；來自硫銨之(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)可經作物吸收或進行硝化作用，若被吸收，則會釋放一個H<sup>+</sup>此即表示，在土壤中來自硫銨中的一個N直接產生1/2個H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>。若進行硝化作用產生N<sub>3</sub>O<sup>-</sup>，N<sub>3</sub>O<sup>-</sup>亦被吸收，則酸化影響與前相同，因硝化作用產生的2個H<sup>+</sup>被作物吸收N<sub>3</sub>O<sup>+</sup>時釋放的一個OH<sup>-</sup>所中和，淨效果是產生一個H<sup>+</sup>；若N<sub>3</sub>O<sup>+</sup>不被作物吸收則產生NH<sub>3</sub>O<sup>+</sup>與H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>的混合物，其陰離子在土壤中極易移動，致最後的影響是硫銨中的一個N造成2個陽離子M<sup>+</sup>的淋出。總之，每mole (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>加入土壤，對土壤酸化的影響，完全取決於N是否被作物吸收或經硝化作用而淋洗；其最低酸化潛能即相當於1 mole (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>，而最大酸化潛能，則相當於2 mole H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>。

### (三)加入硝酸銨肥料之酸鹼平衡關係

硝酸銨一如硫銨，亦為強酸弱所成的塩類，屬酸性，易溶於水產生NH<sub>4</sub><sup>+</sup>及NO<sub>3</sub><sup>-</sup>，NH<sub>4</sub><sup>+</sup>之水解釋放H<sup>+</sup>而呈酸性(1:1水溶液pH=4.1)。圖四為NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>加入之酸化影響，若硝化作用不發生，而NH<sub>4</sub><sup>+</sup>被作物或微生物吸收，吸收過程中會釋放出一個H<sup>+</sup>離子，此與NO<sub>3</sub><sup>-</sup>結合，表示每加入1 mole NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>即相當於產生或加入1 mole 的HNO<sub>3</sub>。反之，硝化作用發生，每NH<sub>4</sub><sup>+</sup>氧化成NO<sub>3</sub><sup>-</sup>會放出2個H<sup>+</sup>，故每加入1 mole NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>即等於加入2 mole HNO<sub>3</sub>。若HNO<sub>3</sub>中之NO<sub>3</sub><sup>-</sup>被吸收，並不會有土壤酸化情形發生，因釋放的OH<sup>-</sup>恰與H<sup>+</sup>中和，若NO<sub>3</sub><sup>-</sup>與鹼性陽離子一起被淋洗則酸化產生。總之，NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>的酸化影響程度，完全取決於硝化作用及NO<sub>3</sub><sup>-</sup>的淋洗是否發生，NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>中之氮被吸收即無酸化，若N不被作物吸收，又硝化作用進行旺盛，則酸化嚴重。



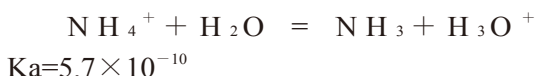
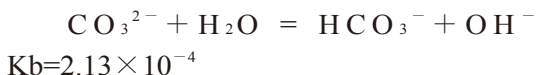
圖四、肥料硝酸銨對土壤酸化的影響(摘自Reuss, J. O. and Johnson, D.W. 1986)。



圖五、尿素肥料對土壤酸化的影響。

#### (四)加入尿素之酸鹼平衡關係

尿素為非電解質，易溶於水，難被土粒吸附，隨水之移動容易流失(1:1水溶液pH= 8.3)。不過在土壤中，尿素受水解酵素之作用可變為碳酸銨，在夏季全量變化至少約3-4日，冬季約7-10日，銨離子則易被土粒吸附。此塩易溶於水，因 $\text{CO}_3^{2-}$ 之 $K_b \geq \text{NH}_4^+$ 之 $K_a$ ，故溶液呈鹼性，相關之反應如下：



圖五為尿素在土壤中酸化過程，雖然其水解後產生的 $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 為鹼性，但在土壤中經吸收、硝化等作用，涉及產生碳酸的過程，仍然會造成酸化，只是因碳酸為弱酸，故酸化強度不如硫銨。

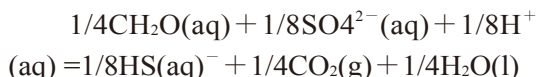
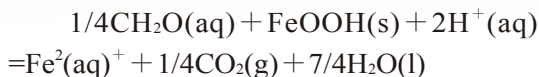
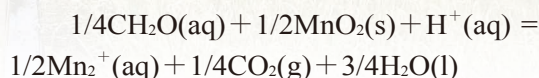
#### 四、結語

施肥，對農友來說，它是一種知識與經驗相互累積的行為邏輯，自有其認知的藝術。另就上述所言肥料之酸化問題，均係說明氮源與作物吸收間 $\text{H}^+$ 離子的直接產生與消耗，故吾人常以此角度衡量並強調氮肥對土壤酸化的嚴重性；但土壤本身有其防衛機制，即灌溉水、石灰質及水田作用，從此觀點去看，土壤酸化問題就不是那麼可怕了。

土壤因其母質不同(如是否含石灰質)原即有酸、鹼之別。但無論原為鹼性或酸性，當土壤漸趨老化，其所含鹼性物質必漸流失，致使其鹼性愈弱，酸性愈強。又作物栽培年數愈久，對土壤中鹼性物質之吸收消耗便愈多，土壤自然更加酸化。通常石灰質土壤對pH的緩衝作用是很大的，施肥所產生的 $\text{H}^+$ 瞬間即被石灰質土壤之 $\text{OH}^-$ 所中和，而要洗去土

壤中之石灰質亦要數百年之久。

一般灌溉水如濁水流域可補充鈣、鎂等鹼性成分，種植水稻不但可藉帶豐富之灌溉水而補充多量鹼性成分，且因土壤在浸水狀態下受還原作用之影響而減少酸度，故種植水稻為防止或減緩土壤酸化之自然方法：



上例方程式中， $\text{MnO}_2$ 、 $\text{FeOOH}$ 及 $\text{SO}_4^{2-}$ 為水田土壤常見之氧化物，只要土壤含相當量易分解有機物如 $\text{CH}_2\text{O}$ ，在水田狀況下進行氧化作用，Fe、Mn、S的氧化物即行還原作用而消耗 $\text{H}^+$ 。顯然，在非石灰性土壤，又連年旱作的情況下，上述肥料引起的酸化現象才會快速且嚴重，尤其伴隨土壤鈣鎂離子的淋洗損失更需注意。至於人工改良已酸化之土壤，其原則甚為簡單，主要係石灰材料，如一般石灰、含鎂石灰、煉鐵爐渣等之施用，祇是應注意用量適當及與有機材料配合應用。

#### 五、參考文獻

- 譚增偉。2005。作物施肥手冊。P.16-17  
肥料手冊。2003。P.30-33、227。行政院農業委員會第二辦公室編印。  
洪崑煌。1995。有機質肥料合理施用技術研討會專刊台灣省農業試驗所特刊第50號。P.59-71  
Garrison Sposito. 1989. The chemistry of soils. P.110、218-219  
Reuss, J. O. and Johnson, D.W. 1986. Acid deposition and the acidification of soils and waters. P.26-31.