

比較長期水旱田輪作或連作施用硫酸銨對於土壤酸鹼值之影響¹

譚增偉^{2,3} 陳桂暖²

摘要

譚增偉、陳桂暖。2012。比較長期水旱田輪作或連作施用硫酸銨對於土壤酸鹼值之影響。台灣農業研究 61:355-360。

長期試驗田於 1987 年設立於本所農場，原為種甘蔗之旱田土壤，未經水田作用，屬非石灰性砂頁岩沖積土。本研究探討長期施用化學肥料下，連續 20 年間不同耕作制度對土壤 pH 的影響。不同耕作制度間造成土壤 pH 呈明顯差異，以水稻連作者最高、穩定且無逐年減少或增加情形，水旱田輪作者次之，旱作連作者最低並呈逐年減少趨勢，表示不同耕作制度中水田作用對穩定土壤酸鹼度的重要性。顯示施用硫酸銨氮肥之旱作連作，土壤酸化嚴重，此時 pH 可從水田連作之 5.8 下降至 < 4.0，此顯示非石灰性沖積土對 pH 呈較低緩衝能量。水旱田輪作區，每年種玉米後 pH 較水田連作者在 20 年間平均下降 1.05 ± 0.36 單位，種玉米後之經一作水田則回升 0.57 ± 0.29 單位，但仍無法回升到原來的數值 (5.8 ± 0.28)；此 pH 的下降幅度大而回升幅度小，應與土壤母質非石灰性、使用氮肥 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 及僅一作水田作用有關。

關鍵詞：耕作制度、連作、輪作、土壤酸鹼度。

pH 為土壤的重要性質之一，呈現了母質之自然風化與農業經營的結果，且此變化仍在繼續進行；土壤中無數的物理、化學、生物的反應均與 pH 相互影響，互為因果，小者如土壤 pH 對植物養分有效度影響的關係圖 (Ministry of Agriculture, Fisheries and Food 1976)；因耕犁與肥料所導致之長期土壤酸化問題 (Mahler *et al.* 1985; Malhi *et al.* 1998)，而土壤 pH 與其相關因子更為土壤品質的重要指

標之一 (Sposito & Zabel 2003)；又 Herencia *et al.* (2007) 評述，謂在傳統農耕下，經常性的耕犁和大量使用化學肥料與農藥，極易造成土壤有機質的損失、土壤酸化與產量衰退。國內這方面有關土壤酸化的長期田間試驗或連續監測則較少報導，或因長期田間試驗不易維持有關。

本長期試驗田設立於台中縣霧峰鄉本所農場 68 號田，乃典型之砂頁岩粘板岩非石灰性

1. 行政院農業委員會農業試驗所研究簡報第 2675 號，接受日期：101 年 11 月 14 日。
2. 本所農業化學組副研究員、研究助理。台灣 台中市。
3. 通訊作者，電子郵件：tsengweitan@tari.gov.tw；傳真機：(04)23302805。

沖積土，質地為粉質壤土，面積連區外保護區計 0.45 ha，試驗前 (1985 年以前)，該田區為以種植甘蔗為主之旱田，未曾種植過水稻。試驗田區平均分割為 4 部分，各部分不同連、輪作區，一年兩期作計：(I) 水稻連作，即兩期作均水稻；(II) 一期水稻、二期旱作 (玉米)；(III) 一期旱作 (玉米)、二期水稻；(IV) 旱作連作，即兩期作均為玉米。水稻採人工插秧，行株距 24 cm × 24 cm；玉米整地播種，行株距 70 cm × 25 cm。試驗田完全使用化學肥料；氮肥用硫酸銨、磷肥用過磷酸鈣，鉀肥用氯化鉀。一、二期水稻三要素用量均為 124 kg N/ha (基肥、一追、二追各 27.7% 及穗肥 17%)，140 kg P₂O₅/ha (100% 作基肥)，70 kg K₂O/ha (基肥及一追各 50%)。春、秋作玉米三要素用量均為 270 kg N/ha (基肥，一追各 50%)，140 kg P₂O₅/ha (100% 作基肥)，70 kg K₂O/ha (基肥，一追各 50%)。即玉米之氮肥用量為水稻的 2 倍，磷、鉀用量則相同。1987–1991 年間每年二期作後 (玉米為秋作後) 各小區分別採取表、底土樣本，每期計 48 個土樣。後鑑於期作間之比較，於 1992 年開始亦採取一期水稻後及春作玉米後之表、底土樣本，同為 48 個土樣，分析土壤 pH (水土比 1:1) (Chang 1981)。

在完全施用化學肥料下，不同耕作制度試驗結果，表土 pH 已有明顯差異 (圖 1A、1B)，剛開始的 1987 年二期作僅兩期結果，故差異較小，其後即差異顯著且擴大，在連續 20 年間不論一、二期作以水稻連作區的 pH 最高，介於 5.4–6.2，平均為 5.8 ± 0.2，且保持穩定狀態沒有逐年升高或下降的趨勢；水旱田輪作，不論一期水田二期旱作或一期旱作二期水田則居中，前者介於 4.1–5.4，平均為 4.9 ± 0.4，平均下降 0.9 ± 0.4，後者介於 4.2–5.6，平均為 5.1 ± 0.35，平均下降 0.7 ± 0.4；旱作連作區者最低，介於 3.5–5.1，平均為 4.3 ± 0.4，

平均下降 1.5 ± 0.5，且在開始的數年間呈逐年快速下降趨勢，此為肥料所導致之土壤酸化，而下降的速度如此之快，則與原土壤為非石灰性，對 pH 的緩衝作用較小有關，致與水田之差異幅度亦擴大，1995 年後旱作連作區硫酸銨肥料用量減半，致後幾年 pH 保存在一較低範圍稍有回升，並無繼續下降。又對水旱田輪作而言，旱作後的 pH 必較水田後的 pH 為低，旱作後再經種水稻，pH 又上升，但仍較水稻連作區為低，故圖 1A 中 III (二期水田) 之 pH 高於 II (二期旱作) 者，而圖 1B 中 III (一期旱作) 之 pH 低於 II (一期水田) 者，乃水旱田不同之差異結果；此亦表示旱作後，僅經一期之水田作用並不足以使 pH 完全回升，故週而復始，連續 20 年間，水旱田輪作區之 pH 始終介於水田連作與旱作連作之間波動，顯然水田作用是較能穩定土壤 pH 的最佳耕作方式。

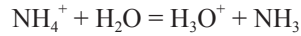
上述之結果亦以類似型式影響及底土 (圖 1C、1D)；在連續 20 年間不論一、二期作亦如表土者，以水稻連作區 (I) 的 pH (底土) 最高，介於 6.1–6.9，平均為 6.3 ± 0.2；水旱田輪作者則居中，其中一期水田二期旱作 (II) 者介於 5.1–6.0，平均為 5.6 ± 0.2，平均降幅 0.8 ± 0.3，一期旱作二期水田 (III) 者介於 4.9–6.1，平均為 5.6 ± 0.4，平均降幅 0.8 ± 0.3；旱作連作區 (IV) 者最低，介於 4.2–5.7，平均為 4.8 ± 0.41，平均降幅 1.4 ± 0.4。顯然，長期施用硫酸銨情形下，不論水旱田輪作或旱田連作，如以水田連作為標準，底土 pH 下降速度及幅度均不如表土 pH，此可能為硫酸銨肥料在表底土之分布差異的結果。

上述之圖 1 乃分別就一、二期作及表底土比較各不同耕作制度間之差異結果，若連續一、二期作，各耕作制度在連續 20 年間表底土 pH 的變化情形如圖 2，更可清楚顯示其變化趨勢。其中水稻連作區表、底土 pH (5.4–

6.9) 與年度間並無逐年增加或降低情形，水旱田輪作區表、底土 pH 則在較低而寬之範圍內 (4.1–6.1) 呈兩條鋸齒狀波動，與年度間亦無明顯逐年增加或降低情形，如圖 2B、2C；至於旱作連作者表、底土 pH 則在更低範圍內 (3.5–6.1) 以非鋸齒狀波動呈逐年降低情形 (圖 2D)，此時 pH 變化量大到不可忽視，以 1995 年二期作後之 3.5 為最小 pH 值，可見硫銨肥料與其用量對旱田土壤酸化之嚴重影響。又水旱田輪作區，每年種玉米後 pH 較水田連作者在 20 年間平均下降 1.05 ± 0.36 單位，種玉米後之經一作水田則回升 0.57 ± 0.29 單位，但仍無法回升到原來的數值 (5.8 ± 0.28)；此 pH 的下降幅度大而回升幅度小，應與土壤母質非石灰性、使用氮肥 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 及僅一作水田致土壤還原作用不足有關。

就硫酸銨之一般化學性質，其為強酸弱鹼所成之鹽類故屬酸性，為電解質，易溶於水產

生 NH_4^+ 及 SO_4^{2-} ，其水溶液呈酸性乃因 NH_4^+ 之水解釋放 H_3O^+ (1 : 1 水溶液 pH = 4.3)：



$$K_a = 5.68 \times 10^{-10}$$

當硫銨施入土壤中，來自硫銨之 NH_4^+ 可經作物吸收或進行硝化作用，若被吸收，則會釋放一個 H^+ 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_2SO_4 。若進行硝化作用產生 NO_3^- ， NO_3^- 亦被吸收，則酸化影響與前相同，因硝化作用產生的 2 個 H^+ 被作物吸收 NO_3^- 時釋放的一個 OH^- 所中和，淨效果是產生一個 H^+ ；若 NO_3^- 不被作物吸收則此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 1 個陽離子 M^+ 的淋出。總之，每 mole $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 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 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ，而最大酸化潛能，則相當於

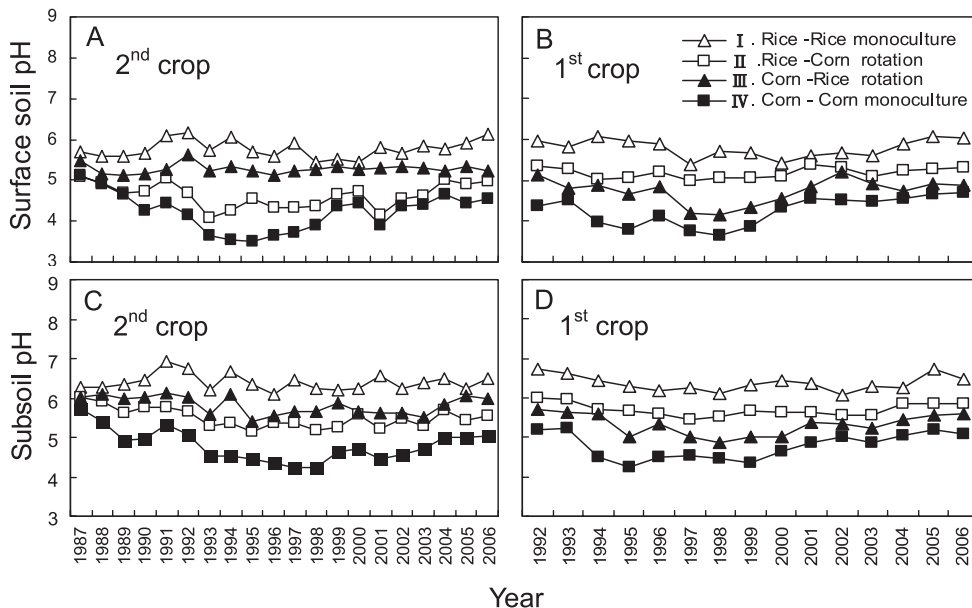


圖 1. 長期不同耕作制度對一、二期作後表 (A、B) 底 (C、D) 土酸鹼度之影響。

Fig. 1. Effect of different long-term cropping systems on pH values of surface (A, B) and sub-surface (C, D) soil collected each year after 1st crop (B, D) and 2nd crop (A, C).

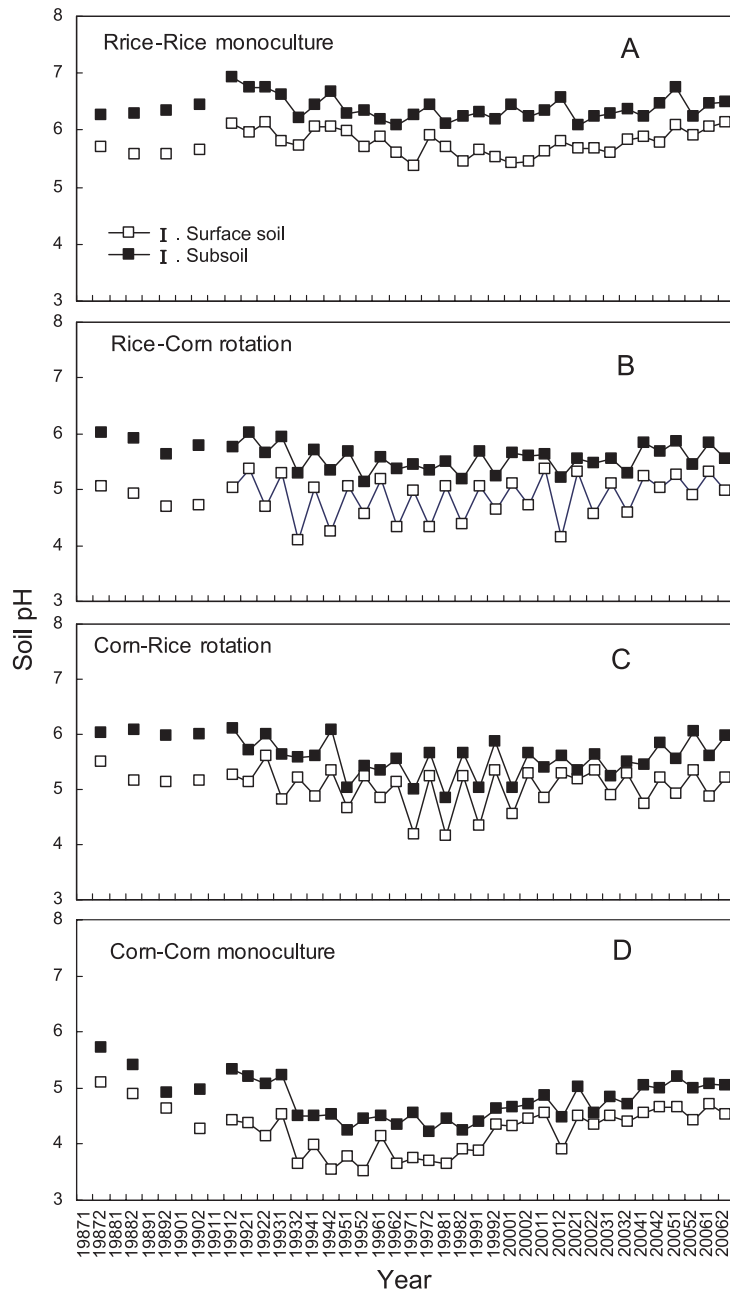
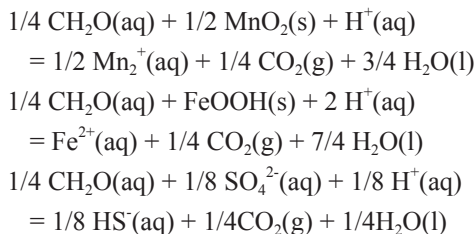


圖 2. 長期不同耕作制度連續一、二期作之表底土 pH 分布趨勢。19871、19872 分別表示 1987 年一期作 (水稻或春作玉米) 及 1987 年二期作 (水稻或秋作玉米)，餘類推。

Fig. 2. The trend of distribution of surface and subsoil pH among long-term cropping systems (A–D) after continuous 1st and 2nd crop. Year and crop sequences are: 19871 = first crop (rice or spring corn) in 1987; 19872 = second crop (rice or fall corn) in 1987 and so on. A = Rice-Rice Monoculture; B = Rice-Corn rotation; C = Corn-Rice rotation; D = Corn-Corn monoculture.

2 mole H_2SO_4 (Reuss & Johnson 1986)。此硫銨肥料之酸化問題，均係說明氮源與作物吸收間 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、石灰質及水田作用等。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。一般灌溉水如濁水溪流流域可補充碳酸根 [CO_3^{2-} 及碳酸氫根 (HCO_3^-)] 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消耗 H^+ (Sposito 1989)，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， MnO_2 、 FeOOH 及 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 CH_2O ，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 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。

引用文獻 (Literature cited)

- Chang, I. W. 1981. The methods of soil testing. p.9–26. *in*: The Diagnostic Technique in Crop Requirement for Fertilizer. Agric. Res. Inst. Pub. Taichung. 198 pp. (in Chinese)
- Herencia, J. F., J. C. Ruiz-Porras, S. Melero, P. A. Garcia-Galavis, E. Morillo, and C. Maqueda. 2007. Comparison between organic and mineral fertilization for soil fertility levels, crop macronutrient concentrations, and yield. *Agron. J.* 99:973–983.
- Mahler, R. L., A. R. Halvorson, and F. E. Koehler. 1985. Long-term acidification of farmland in Northern Idaho and East Washington. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 16:83–95.
- Malhi, S. S., M. Nyborg, and J. T. Harapiak. 1998. Effects of long-term N fertilizer-induced acidification and liming on micronutrients in soil and on brome grass hay. *Soil Till. Res.* 48:91–101.
- Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. 1976. Lime and Liming. Bulletin 35. Her Majesty's Stationery Office, London, 44 pp.
- Reuss, J. O. and D. W. Johnson. 1986. Acid Deposition and the Acidification of Soils and Waters. Springer. New York. 119 pp.
- Sposito, G. 1989. The Chemistry of Soils. Oxford University Press. New York. 277 pp.
- Sposito, G. and A. Zabel. 2003. The assessment of soil quality. *Geoderma* 114:143–144.

Effect of Long-Term Application of Chemical Fertilizers on Soil pH in Different Cropping Systems¹

Tseng-Wei Tan^{2,3} and Kuei-Nuan Chen²

Abstract

Tan, T. W. and K. N. Chen. 2012. Effect of long-term application of chemical fertilizers on soil pH in different cropping systems. *J. Taiwan Agric. Res.* 61:355–360.

The objective of this study was to determine effect of long term application of chemical fertilizers on soil pH in different cropping systems. The long-term field experiment was conducted from 1987 to 2006 in a field of noncalcareous sandstone and slate alluvial soil at the farm of TARI. There were four treatments in this study, including rice monoculture, corn monoculture, rice-corn rotation and corn-rice rotation. The fertilizers for each rice crop were 124 kg N/ha, 140 kg P₂O₅/ha, and 70 kg K₂O/ha, whereas the fertilizers for each corn crop were 270 kg N/ha, 140 kg P₂O₅/ha, and 70 kg K₂O/ha. Results of the 20-year test showed that cropping systems have significant effects on pH values of soil and the maximum effect was the treatment of corn in monocropping, followed by the treatment of rice in monocropping, and the minimum effect in the treatments of rice-corn rotation and corn-rice rotation. The pH value of topsoil or subsoil was the highest in the treatment of rice monocropping, followed by the treatments of crop rotation, and the lowest in the treatment of corn monocropping. According to the relations between the pH value and the years, the pH value under rice monocropping and rice-corn rotation did not have progressively increasing or decreasing of soil pH year by year. However, the pH value of soil showed the drastic decreasing with years in the treatment of corn in monocropping. These results indicate that continuous monocropping of corn under dryland conditions and the application of high amount of ammonium-based N fertilizers for this crop are the major contributors to soil acidification. Therefore, pedogenic processes of paddy soils are important in maintaining the stability of soil pH and soil fertility in intensive agriculture.

Key words: Cropping system, Monoculture, Rotation, Soil pH.

-
1. Contribution No. 2675 from Taiwan Agricultural Research Institute (TARI), Council of Agriculture. Accepted: November 14, 2012.
 2. Associate Researcher and Research Assistant, Agricultural Chemistry Division, TARI, Taichung, Taiwan, ROC.
 3. Corresponding author, e-mail: tsengweitan@tari.gov.tw; Fax: (04)23302805.