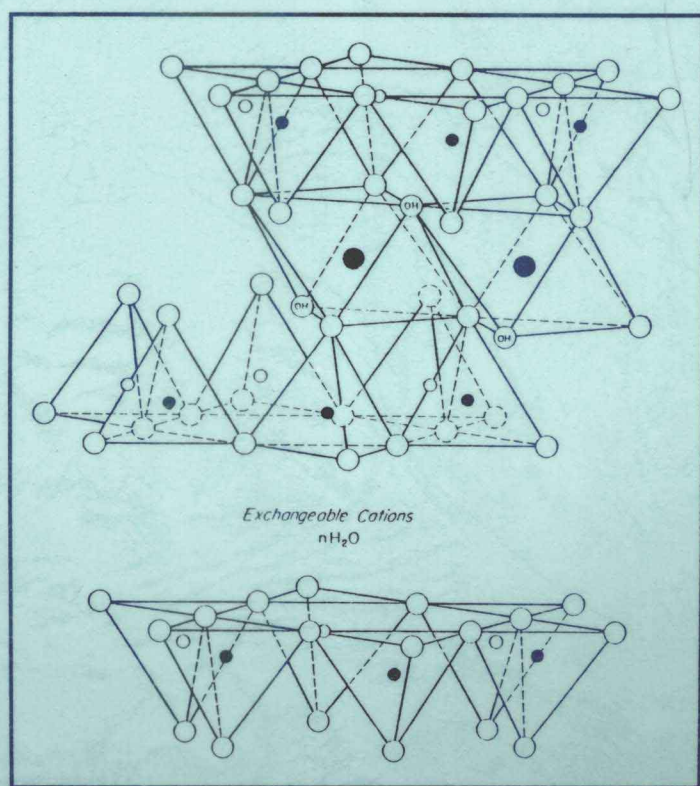


台灣土壤中鉅之吸附與固定

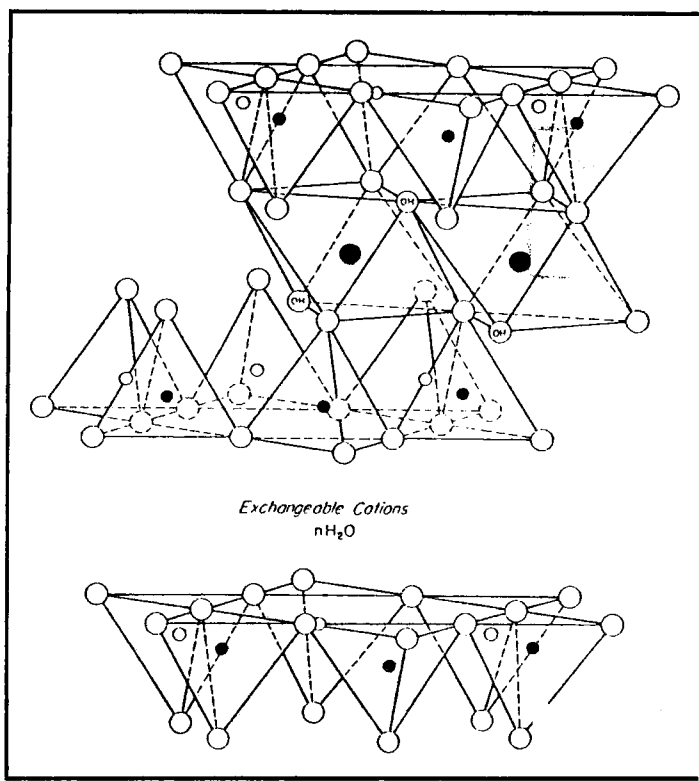
莊作權 著



富林出版社

台灣土壤中銨之吸附與固定

莊作權 著



富林出版社

台灣土壤中鉍之吸附與固定

作者兼發行人：莊 作 權

出 版 者：富林出版社

地 址：台中市復興路四段 281-4 號
局版臺字第 6396 號

郵 購 處：郵政劃撥第 22031782 號
富林出版社帳戶

電 話：04-2206316 • 2265067

傳 真：04-2207142

定 價：新台幣參佰元

出 版 日 期：中華民國八十八年十一月初版

作者簡介

莊作權，1931 年出生於浙江省奉化市，1955 年畢業於台灣省立農學院農化系，先後獲美國夏威夷大學土壤學碩士（1964）及博士（1970）學位，專攻土壤化學及粘土礦物學。歷任台灣糖業研究所研究員及土壤肥料系主任（1957—1976），中興大學土壤系教授兼系主任，研究所長（1976—1982），亞太糧食肥料技術中心主任（1982—1986），中興大學土壤環境科學系教授（1982—1998）。並擔任台灣省及中華土壤肥料學會理事長，教育部及國科會學術審議委員，農業試驗所，菸葉試驗所，糖業研究所、香蕉研究所及林業試驗所研究評議員，先後獲中國農化學會，中華農學會及中華土壤肥料學會傑出學術成就獎。1995 及 1996 年分別受邀擔任浙江農業大學及西北農業大學客座教授。發表中、英文學術研究報告一百七十餘篇，出版中、英文專書五冊。並於 1987、1998 年獲選入錄中華民國名人錄及 1998、1999 年世界名人錄。1998 年退休後，擔任中興大學土壤環境系兼任教授迄今。

自序

本書之刊行主要為紀錄著者及其研究生們二十二年來對台灣土壤中鉍之吸附與固定的研究成果，作一系統性之介紹，希望從事台灣土壤學術工作者，尤其在土壤化學方面，有一參考資料，亦盼在學的土壤科系學生們，有一種拋磚引玉的作用。

有關這方面之研究工作，得能持續進行，對國科會長期不斷的經費支援，及已畢業的研究生，如譚鎮中君、黃裕銘君、郭鴻裕君、牛若愚君、陳鴻基君、鄭宏寬君、洪國良君及曾國力君等之共同從事研究與努力，他們都願意向土壤化學基本學理探索。著者亦最感欣慰的，是他們大部份都在學術界工作，且都有良好的表現。這期間還有許多研究助理們的協助，使我們的工作能順利進行。

學無止境，研究工作之探討學理與現象，亦是無窮盡的工作。本書所述僅為著者在中興大學土壤系服務階段的基礎研究工作，但學如瀚海，只能稱是一種起步工作，非常希望年青同行們能繼續努力，來發揮土壤科學中許多尚未瞭解的珍寶，這對業已在學術研究中告一段落的著者，是一種期盼。最後尚希先進們不吝指教。

莊作權 謹識

1999 年 11 月於中興大學土壤環境科學系

目 錄

自 序

第一章 緒 論

一、土壤中陽離子在粘粒表面之吸附作用	1
二、銨之固定作用	2
三、粘土礦物之層狀構造及表面電荷之來源	2

第二章 台灣稻田土壤之銨吸附性質

第一節 水田土壤中銨離子之吸附與移動	7
第二節 水田土壤中氮素之變化及潛在肥力	18
第三節 水田狀態下銨吸附量之估計及受 pH 值之影響	28
第四節 氮揮失與田面水 pH 之變化	35
第五節 陰離子的特殊吸附對銨固定的探討	44

第三章 不同土壤表面化學性質與銨固定作用之關係

第一節 膨脹性粘土礦物之鑑定與估算及其對銨固定之影響	56
第二節 土壤中膨脹性粘土礦物含量與乾濕效應對銨固定之影響	64
第三節 膨脹性粘土礦物中層面電荷在銨固定作用上之影響	75
第四節 粘粒表面銨離子交換選擇性對銨固定之影響	89
第五節 土壤粘粒淨表面電荷在銨固定上之影響	112
第六節 膨脹性粘土礦物表面電荷的非均勻性對銨固定作用之影響	129
第七節 氣態氨在粘土礦物表面之固定作用	143

第四章 田間施氮肥及堆肥之銨離子動態變化

第一節 施用堆肥對水田土壤中交換性與固定性銨之影響	153
第二節 施用豬糞堆肥對水田土壤銨離子轉換之影響	165
第三節 不同施肥處理對水田土壤中銨離子潛勢緩衝量與固定量間之影響	184
第四節 施用有機複肥及堆肥對不同土壤及不同作物生長期土壤氮變化之影響	205

台灣土壤中銨之吸附與固定

第一章 緒 論

早在 1917 年，BcBeth 即指出土壤能固定銨⁽¹³⁾。在中國，首推李慶遠教授，在 1938 年即發表中國各主要土類對硫酸銨之固定⁽²⁾。1950~60 年間，陳家坊(1957)等^(3,6,7)發表黃壤及水稻土對銨離吸附性質研究。1980 年迄今，中國大陸土壤學術界對銨在土壤中之吸附及固定，發表報告甚多^(1,3,5,8,29,30,31,33)。研究方向多偏重于不同土壤中銨離子之固定動態及動力學。

台灣對這方面研究，開始稍晚。銨吸附之研究由青峰重範及莊作權開始研究⁽⁴⁾，於 1978 至 1990 年有系列之報告^(4,9,10,11,12,13)。著者等 1989 年持著研究十三種代表性台灣土壤之銨固定作用及其機制，經深入之研究，獲得相當多成果與更明確之瞭解，並在國內外發表 16 篇報告^(14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,33)，經整理按序于本書第二至第四章中詳述。

在本書分章分節敘述之前宜對一些有關吸附及固定之作用，粘土礦物之層面構造，以及粘土礦物之表面電荷來源，簡單述敘說明于本章使一般讀者先有初步認識，應有助于對本書各章之瞭解。

一、土壤中陽離子在粘粒表面之吸附作用

陽離子如 NH_4^+ ， K^+ ， Ca^{++} ， Mg^{++} 等在土壤溶液與固態土壤粘粒體系中之吸附，屬離子在固態上之吸附作用，在概念上是指土壤體系中固相和液相界面上離子濃度，大于整體溶液中該離子濃度時，會被黏粒上之庫倫引力所吸引，產生離子吸附在固態粘粒表面。依粘粒及離子性質，相當時間會達成進（吸附）及出（脫附）之動力平衡。對於粘土礦物以 2:1 型為主之土壤，銨或鉀離子因其直徑相當于粘土礦物表層或間層之六方體孔穴（hexagonal hole）而進入，如 NH_4^+ 會形成 $\text{NH} \cdot \text{O}$ 鍵，而成為固定態銨，在特定條件，此等被固定之 NH_4^+ 不易被釋放。因此與 NH_4^+ 在粘土礦物表面層上之吸附，被吸附或固定的程度有些差異，被吸附之離子比較易于進行陽離子交換作用。但同為吸附，依對溫度之穩定程度，亦可分為鬆吸附態銨與緊吸附態銨。

關於土壤對銨離子的等溫吸附，中國大陸許多省區土壤，據李慶遠(1938,²)研究，

其等溫吸附較適合 Langmuir 方程式。另據謝鵬等⁽²⁹⁾ 研究幾個主要土類，如黑土、壤土、黃棕壤、紅壤和磚紅壤，則比較適合雙面 Langmuir 方程式。關於水稻土對銨離子的等溫吸附，則較適合 Freundlich 方程式⁽⁷⁾。至于台灣水稻田土壤，根據吾人研究，則比較適合 Freundlich 方程式。

影響土壤吸附銨離子主要因子為土壤膠體之性質及銨離子之性質，前者為土壤之 CEC 及粘土礦物組成分、粘粒粒徑、表面之均勻性、水化等重要因子。後者則為銨離子之濃度，活度與其他陽離子之置換力等因子。此外土壤有機質及水化氧化鐵鋁之存在，亦影響銨離子之吸附。

二、銨之固定作用

2:1 型粘土礦物之結晶構造，由于同構置換作用 (Isomorphic substitution) 產生之永久性負電荷，由粘土礦物層面及間層之各種陽離子，包括 Ca^{++} , Mg^{++} , K^{+} , NH_4^{+} 等來平衡。由于 NH_4^{+} 和 K^{+} 的離子大小與粘土礦物層面和上下間層晶格 (lattice) 的六個氧圍成的複三方網眼或六方體孔穴大小很相符合，與晶格上負電荷間之靜電引力大于其水合能，因而易脫去水化膜而進入網眼孔穴中，即被固定。其他陽離子或者由于離子半徑較小或較大，即它們的水合能較晶面負電荷間之靜電引力大，因而不被固定。

銨或鉀之固定作用除上述粘土礦物之膨脹收縮與離子水化，受靜電引力影響被固定在六方體孔穴之較常見說法外，亦有因土壤粘礦風化作用引起粘土礦物之轉變，如蛭石固定 K^{+} 而成為雲母。在動力學上鉀或銨之固定皆以一階固定反應 (First order fixation) 加以插述。

影響銨或鉀固定之因子，主要為粘土礦物類型，其中只有 2:1 型礦物才能固定。不同 2:1 型粘土礦物固定銨能力亦各不同。一般說，蛭石之固銨能力最強，蒙特石次之，伊來石之固銨能力決于其風化程度或銨之飽和度。土壤粒徑亦為重要因子，粘土礦物多分佈于粘粒及粉粒，故固銨能力亦以此二種粒徑為主。此外土壤 pH (因銨能力隨 pH 之升高而增大)，銨離子濃度、鉀離子之存在 (因競爭而抑制銨固定) 及有機質 (可阻礙銨離子進入晶格間層)。至于許多粘粒表面化學性質，不僅影響銨之固定，亦可解釋許多銨固定之機制，容在以後各章節中敘述之。

三、粘土礦物之層狀構造 (layer structure) 及 表面電荷 (surface charge) 之來源

粘土礦物屬於矽酸鹽礦物中具有層狀構造者，粘土礦物的分類大致可依其晶格構造 (lattice) 不同，可分為 1:1, 2:1, 2:2 等，其代表性粘土礦物分別可列出高嶺石 (1:1)，雲母、蛭石或蒙特石 (2:1) 及綠泥石 (2:2)。所謂 2:1 係指該類粘礦係由二層四面體層 (矽層) 及一層八面體層 (鋁層) 組合，如下圖：

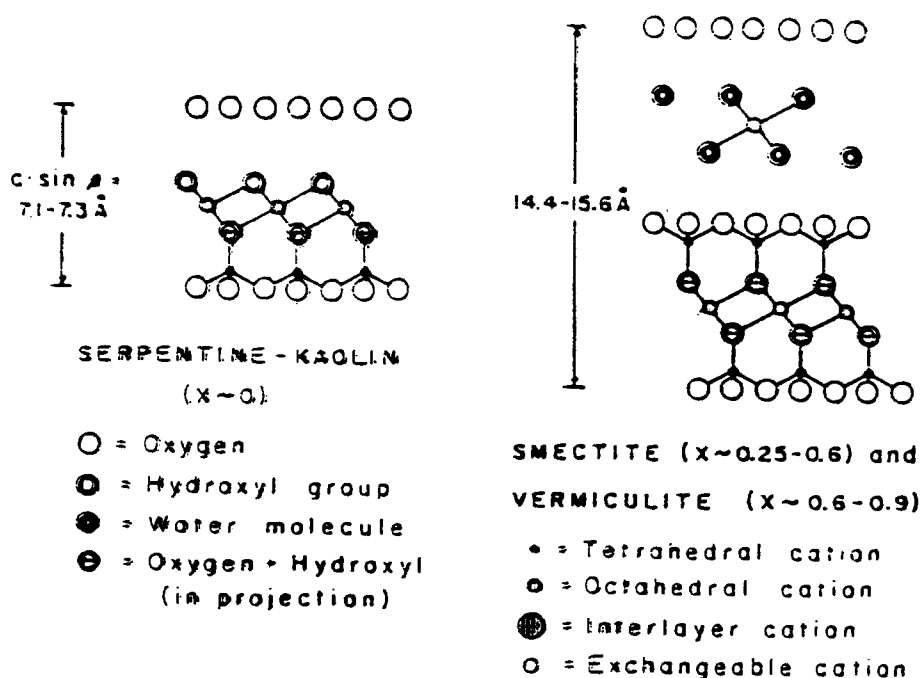


圖 1. 高嶺石 (左) 和蒙特石及蛭石 (右) 之層面結晶構造, (X 為單位晶體之層面電荷)

圖 1 左方為 1:1 之高嶺石，右方為 2:1 蒙特石或蛭石之層面結晶構造。圖中高嶺石並無間層 (interlayer) 構造，右方二種粘土礦物皆有不同厚度之間層 (右方圖之上方)。

在 2:1 粘土礦物之八面體晶格，尚有二八面體構造 (dioctahedral structure) 及三八面體構造 (trioctahedral structure)，前者指八面體構造晶格中 2/3 之位置為陽離子所佔，後者則指八面體構造晶格中所有位置皆為陽離子所佔。這些晶格構造上不同不但影響層面永久

電荷之大小，亦關係鉍或鉀因其電荷分佈不同而影響對其固定作用。2：1 粘土礦物中尚可分為膨脹性 2：1 粘礦，如蒙特石或蛭石，及非膨脹性 2：1 粘礦，如雲母、伊來石（部份可水化）。

粘土礦物表面電荷來自無機膠體（土壤膠體），大致可分為永久性電荷（permanent negative charge）及 pH-依賴性電荷（pH-dependent charge）。前者由同構置換作用所產生，不因溫度或 pH 等因子而改變，為大部份無機質土壤之表面電荷來源。後者非由同構置換作用產生，而由電勢離子（potential detemining ions）變動而產生，如 H^+ ， OH^- ， PO_4^{3-} ， SiO_3^{2-} 等離子，為熱帶或亞熱帶土壤所常見，此類土壤又謂可變性電荷土壤（variable charge soils）。除上述二類表面電荷外，尚有一種由于粘土礦物因風化或物理作用，產生邊緣破裂（brocken edege）而暴露 OH^- 發生脫氫而形成 $O^{2-}-Al^{+++}\cdots\cdots O^-$ 之負電荷面，此類電荷大都發生于熱帶土壤中 1：1 型粘土礦物。

四、參考文獻

1. 文君孝、張曉華、杜麗娟，1988，太湖地區主要土壤中的固定態鉍及其有效性，土壤學報 25：22-23。
2. 李慶遠，1938，中國各主要土類固定硫酸鉍之程度，土壤特刊乙種第 4 號。
3. 朱兆良等，1963—1988，土壤氮素供應能力之研究報告五篇。
4. 青峰重範、莊作權，1978。台灣水稻田壤之鉍吸附性質及氮素應能力之研究（一）水田土壤中鉍離子之吸附與移動，科學發展月刊 6：1174-1183。
5. 施書蓮、文君孝、廖海秋，1987，我國主要土壤中的固定態鉍含量，土壤 19:29—83。
6. 陳家坊，1957，中國某些紅黃壤中吸附性鉍的解吸作用，土壤學報 5:331—344。
7. 陳家坊、莊佩弦，1963，幾種水稻土對鉍離子的吸附特性，土壤學報 11:171—183。
8. 儲祥云、黃昌勇、黃慧明，1986，水稻生長期內土壤固定態鉍的動態，浙江農大學報 12:233—237。
9. 莊作權、紀秋來、譚鎮中，1979，台灣水稻田土壤之鉍吸附性質及氮素供應能力之研究（二）水田土壤中氮素之變化及潛在肥力，科學發展 39:7（8）：820—829。
10. 莊作權、譚鎮中，1981，台灣水稻田土壤之鉍吸附性質及氮素供應能力之研究（三）水

- 田狀態下銨吸附量之估計及受 pH 之影響，中國農化會誌 19(3—4) 137—143。
- 11.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）氨揮失與田面水之 pH 變化，中國農化會誌 19(3—4)：144—150。
 - 12.莊作權、郭鴻裕，1987，台灣水稻田土壤之銨吸附性質及氮素供應能力之研究（五）氮素供應之容量及強度對銨吸附與水稻生長之影響，興大農林學報 36(17：79—9)。
 - 13.莊作權、黃裕銘、陳鴻基，1990，台灣水稻田土壤之銨吸附性質及氮素供應能力之研究（六）膨脹性粘土礦物之鑑定與估算及其對銨固定之影響，興大農林學報 38(2)：129—138。
 - 14.莊作權、譚鎮中，1989，土壤中膨脹性粘土礦物乾溫效應對銨固定之研究，中國農化會誌 27(4)：505—514。
 - 15.Juang,T.C.1990,Ammonium Fixation as Affected by Temperature and Drying Wetting Effects in Taiwan Soils, Proc. Nat'l, Sci. Council 14(3) :151-158
 - 16.Juang,T.C.,1990,Ammonium Fixation as Affected by Temperature and Drying Wetting Effects in Taiwan Soils,14th Int. Cong. Soil Sci., Kyoto, Japan.
 - 17.莊作權、陳鴻基。1991。膨脹性粘土礦物中的層面電荷在銨固定作用上的影響。中國農化會誌 29(4)：427—438。
 - 18.Juang, T.C. 1991. Effect of layer charge of swelling clay mineral on ammonium fixation. XVII Pacific Science Congress, Hawaii, U.S.A.
 - 19.莊作權、陳鴻基。1993。土壤粘粒表面電荷在銨固定上的影響。中國農化會誌 31(6)：703—716。
 - 20.莊作權、陳鴻基、洪國良。1993。陰離子的特性吸附對銨固定的探討。農林學報 42(2)：19—30。
 - 21.莊作權、陳鴻基。1993。粘粒表面銨離子交選擇性對銨固定之影響。中華農學會報 163：18—38。
 - 22.莊作權、陳鴻基。1994。膨脹性粘土礦物表面電荷的非均勻性對銨固定作用的影響。中國農化會誌 32(5)：522—532。

第一章 緒 論

- 23.莊作權、陳鴻基、鄭宏寬。1994。氣態氨在粘土礦物表面上之固定作用研究。農林學報 43(4): 1—13。
- 24.莊作權、陳鴻基。1995。台灣代表性土壤中銨固定之研究。第一屆海峽兩岸土壤肥料學術交流研討會。杭州，大陸。
- 25.莊作權、鄭宏寬、陳鴻基。1995。施用堆肥對水田土壤中交換性與固定性銨之影響。中華農學會報。169: 122—133。
- 26.莊作權、鄭宏寬、陳鴻基。1996。施用豬糞堆肥對水田土壤銨離子轉換之影響。興大農林學報 45(1): 77—95。
- 27.莊作權、陳鴻基、樊小林，1997。台灣土壤銨固定的研究，西北農大學報 25(4): 33—38。
- 28.莊作權、鄭宏寬、陳鴻基。1997。不同施肥處理對水田土壤中銨離子潛勢緩衝並與固定量間的影響性，中華農學彙報新 180: 120—139。
- 29.謝鵬、蔣劍敏、熊毅。1963。我國幾種主要土壤膠體的 NH_4^+ 吸附特徵，土壤學報 25: 175—183。
- 30.樊小林、張一平、李鈴。1994。壤土銨固定的動力學研究，西北農大學報 22(3): 89—94。
- 31.樊小林、張一平。1996。壤土固定態銨釋放的動力學特性研究，土壤學報 33(3): 287—292。
- 32.McBeth, I.G., 1917, Fixation of ammonia in soils, J. Agric Res. 8:71—80。
- 33.Fan, X. L., Y.P. Zhang, T.C. Juang, 1997, Thermodynamic propeties of NH_4^+ fixation in manured loess soil in Shaanxi Province, China, Pedosphere 7(1): 49—58。

第二章 台灣稻田土壤之銨吸附性質

第一節 水田土壤中銨離子之吸附與移動

摘 要

本節乃敘述實驗室中就臺灣水田土壤中因擴散引起的 NH_4^+ 之移動加以探討。浸水土壤中 NH_4^+ 之移動與土壤溶液中 NH_4^+ 之濃度成反比，而土壤溶液中 NH_4^+ 之濃度，可為土壤中 NH_4^+ 的含量，單位體積所含固體物質之重量（即總體密度），與土壤吸附特性之函數。雖然各土壤對 NH_4^+ 之吸附與總體密度都有明顯之差異，然而各土壤間之吸附特性差異較大。因此，吸附特性似乎是浸水土壤中 NH_4^+ 移動之最重要的影響因子，而此吸附特性與陽離子交換能量有極高度之相關。

浸水土壤在田間狀況下之總體密度，可以在實驗室的滲濾情形下的玻璃管中加以模擬測定。在水田收穫後測定或以風乾土測定之總體密度，與田間浸水土壤所測得之總體密度有明顯之差異。本節亦對水田土壤總體密度之測定，提出一較為簡單之方法。

一、前 言

在臺灣，氮肥的施用對稻穀之增產約為 1 公噸／公頃^(14,21,24)，此顯示水稻對氮肥的利用率低，根據研究報導，氮肥的利用率平均而言，少於 30%⁽²⁾。其餘未利用的氮素，或因氨氣的揮發（Volatilization），或因 NH_4^+ 和 NO_3^- 的淋洗（Leaching），或因氧化還原過程所引起的脫氮作用（Denitrification）而損失。臺灣某些水田中氨氣的揮發極為可觀，因為臺灣的水田土壤中有一大部份是鹼性土壤⁽⁵⁻¹⁰⁾，而且水田土壤施用氮肥以硫酸銨和尿素為主。因淋洗而損失的氮素則較為輕微，因為大部份水田中水的滲漏率不高。

李慶遠（1938）首對中國主要土類對施入硫酸銨之固定予以研究，陳家坊與蔣佩弦（1963）對大陸幾種水稻土中銨離子之吸附特性作進一步之研究，應屬早期珍貴之文獻。

因氧化—還原過程引起的氮素損失極為重要^(25,26)，Shiori 氏和 Aomine 氏在 1938 年⁽²⁰⁾ 首先發現浸水土壤中因氧化和還原的過程而造成的氮素損失，他們發現浸水土壤的氧化層中， NH_4^+ 被氧化成 NO_3^- 和 NO_2^- ，再由於 NO_3^- 和 NO_2^- 的還原而造成土壤全氮的損失。此二過程皆屬生物之作用，而具相反之反應方向。因此，由此二過程引起的氮素損失，將受溫度以及水田土壤氧化區域（Oxidation domain）與還原區域（Reduction domain）的比與分佈情形影響。為了防止因氧化還原所引起的損失，很多方法用來防止 NH_4^+ 在被水稻吸收前的氧化，如深施、分施、碟狀、球狀或硫裹肥料，以及脫氮抑制劑的施用等。局部施於水

第二章 台灣稻田土壤之銨吸附性質

田土壤中的 NH_4^+ ，因濃度梯度之緣故而向四方擴散，可達到水稻根部，同時亦可到達氧化區域，而在此區域 NH_4^+ 可被氧化成 NO_2^- 和 NO_3^- 。如此形成的氧化態含氮化合物可由還原作用而被脫氮，因為此等陰離子可以迅速擴散至最近的還原區域^(18,19)。因此，水田土壤中 NH_4^+ 的擴散速率對水稻吸收響，如溫度、水分、土壤膠體之吸附、濃度梯度其他土壤中離子、土壤質地、土壤構造和土壤孔隙等。本節在探討水田土壤中因擴散引起之 NH_4^+ 移動的主要控制因子，以供水田土壤中氮肥施用尋求適當方法時之參考。

二、土壤性質

土壤樣品取自 1977 年收穫後十五個水田之耕犁層。其性質如表一及表二所示。

表一 供試土樣一般性狀

採 樣 地 點	土 壤 性 狀
屏東縣	1.竹田 0-13cm, 2.5Y5/2, SiCL, o.m.4.6%, pH5.5, 黏土礦物以 illite, chlorite 為主, Kaolinite, Vermiculite 次之。
	2.枋寮 0-13cm, 2.5Y5/1, SiCL, o.m.2.9%, pH5.7, illite, Kaolinite 為主, Vermiculite, Chlorite 次之。
	3.恆春 0-17cm, 2.5Y5/2, LiC, o.m.3.7%, pH7.7, illite, chlorite 為主, Vermiculite, Kaolinitet 及 Montmorillonite 為次。
	4.新埤 0-13cm, 2.5Y4/1, CL, o.m.3.1%, pH6.6, illite, Vermiculite, Kaolinite 為主, Chlorite 次之。
	5.新園 0-15cm, 2.5Y4/2, CL, o.m.2.1%, pH6.4, illite, chlorite 為主, Vermiculite, Kaolinite 次之。
	6.九如 0-18cm, 2.5Y5/2, LiC, o.m.3.1%, pH6.6。
臺南縣	7.善化 亞蔬中心農場, 0-17cm, 10YR3/3, SCL, o.m.1.7%, pH7.1, illite, Chlorite, Vermiculite 為主, Montmorillonite, Kaolinite 次之, 三年前改良為水稻田。
彰化縣	8.和美 0-15cm, 10YR4/3, LiC, o.m.3.8%, pH6.2, illite, Vermiculite 為主, Kaolinite, Chlorite, Montmorillonite 次之。
	9.埔心 0-12cm, 7.5Y3/1, SiC, o.m.2.6%, pH7.5, illite, Chlorite 為主。
	10.竹塘 0-15cm, 7.5Y3/2, SiC, o.m.3.5%, pH7.8, illite, Chlorite 為主, Kaolinite, Vermiculite 次之。
	11.田中 0-14cm, 7.5Y3/2, CL, o.m.3.6%, pH7.5。
臺中市	12.興大 中興大學農場地, 0-13cm, 10YR5/4, SCL, o.m.1.3%, pH6.2, 屬幼年水田。
臺中縣	13.大雅 0-18cm, CL, o.m.1.7%, pH5.6, illite, Kaolinite 為主, Chlorite, Montmorillonite 次之。
	14.月眉 0-11cm, 7.5YR2/1, LiC, o.m.5.8%, pH5.8, illite, Vermiculite, Kaolinite 為主, Chlorite, Montmorillonite 次之。
花蓮縣	15.吉安 花蓮農林改良場農場地, 0-10cm, 5Y5/1, SiL, o.m.2.0%, pH7.2, illite, Chlorite 為主, Kaolinite, Vermiculite 次之。

田間浸水土壤之總體密度與實驗室浸水狀況下之測值極為相近。然而，收穫後排水土壤之總體密度居於實驗排水狀況下與風乾狀況下所測值之間。大部份水田在收穫後，發現

許多大的裂縫，甚至在生長後期亦有所發現，此顯示土壤有很明顯的收縮。裂縫的寬度常超過 3 公分，且其總面積約佔田間面積的 10%，甚至更多。收穫後土壤體積平均約為浸水土壤的 83%，其範圍從 2 號土（枋寮）的 92% 至 10 號土（竹塘）的 68% 不等。因此，在田間測定土壤總體密度，或風乾土之總體密度時⁽¹⁴⁾，若不考慮裂縫，則不能用於估計單位面積之土壤重量或計算田間之土壤孔度（porosity）。實驗室浸水狀況與排水狀況所測之總體密度，分別與田間浸水時與剛剛排水時所測值相近。肥料通常在這些水分狀況下施於水田土壤。

某些土壤呈鹼性，暗示當臺灣常用之銨態氮肥料施於水田表面時，將有氨氣的揮發。在一室內之試驗顯示，浸水鹼性土壤中會因揮發而損失大量的氨氣，在中性或微酸性的土壤中則氨氣的揮發極為輕微，甚至可以忽略。這些鹼性土壤都為石灰質土（calcareous soils），含有大量可抽出性鈣。

具較高陽離子交換能量之土樣都含有相當量的蛭石（Vermiculite）（見表一和表二）。蛭石似乎為這些土壤陽離子交換能量的主要來源。

表二 供試土壤理化性質

土 號	樣 碼	比 重	總體密度 (g/c.c.)					孔度 % Dr	可抽出性鈣 (me/100g)	CEC (m.e./100g)	
			田 間 實 驗 室							土壤	黏粒
			F1	AF	F1	Dr	Ad				
1		2.67	—	1.09	0.09	0.95	1.22	66	10.2	14.6	20
2		2.66	0.97	1.07	1.00	1.06	1.36	63	4.6	12.2	18
3		2.67	—	1.20	1.01	1.06	1.43	62	25.6	18.5	—
4		2.72	0.93	1.10	0.94	1.00	1.34	66	7.9	13.0	36
5		2.71	—	1.25	1.11	1.15	1.46	59	6.2	10.5	21
6		—	—	—	0.95	1.01	1.37	—	8.3	13.2	—
7		2.68	—	1.46	1.25	1.30	1.61	53	9.5	12.9	40
8		2.62	—	1.14	1.05	1.08	1.48	60	11.7	18.9	35
9		2.72	—	1.22	0.92	1.00	1.34	66	15.0	10.2	18
10		2.69	—	1.22	0.83	0.88	1.24	69	23.1	10.9	19
11		2.71	—	1.11	0.90	0.96	1.19	67	25.6	8.5	—
12		2.67	—	1.34	1.19	1.22	1.45	56	5.8	10.6	—
13		2.67	—	1.30	1.12	1.17	1.36	58	3.2	8.3	—
14		2.70	—	1.11	0.91	0.92	1.42	66	19.6	32.0	67
15		2.72	—	1.19	0.97	1.02	1.27	64	15.8	7.1	—

註：F1：浸水狀態 flooded condition.

AF：收穫後採樣 after harvesting.

Dr：排水狀態 drained condition.

Ad：風乾土 air-dry condition

CEC：陽離子交換能量 cation-exchange capacity.