

水稻田乾耕及濕耕對於土壤中氮素轉化 及水稻產量的影響

黃 東 邁 張 柏 森

(華東農業科學研究所)

一、前 言

在農民栽培水稻經驗中，本田耕犁一般分乾耕及濕耕兩種情況，前者耕後晒垡，再灌水插秧，後者先灌水後耕地，耕作省力。二者主要區別於土壤晒垡過程之有無。灌水前，耕翻土壤，並經過日晒乾燥，灌水後，土壤中銨態氮素因此而有顯著增加。在過去的土壤工作者已有研究，Shingo Mitsui^[1]指出，在日本排水不良的一熟水稻田，土壤經過日晒乾燥後，灌水期間土壤中平均 NH_4^+-N 的增加量高於排水良好的稻麥兩熟田；鹽入松三郎^[2]認為，含全氮量高的水稻土，土壤乾燥後，灌水期間 NH_4^+-N 的增加也因而增高，同時指出土壤不同的乾燥程度，影響土壤中 NH_4^+-N 的增減；A. N. Lebed-jantzev^[3]同樣指出土壤的乾燥程度對作物增產效果的影響。

從以往的一些研究中說明土壤的乾燥，對土壤潛在肥力的發揮起着有力的作用，表現在水稻田的肥力上是促進了土壤養分的礦化速度，和水田微生物活動性能的加強，但是，這種影響，在很大程度上決定於土壤性質、栽培制度、和耕作上的技術措施。我國農民，對於水田，普遍重視在耕作上利用“乾耕”、“晒垡”、“烤田”等技術措施，以發揮耕地的肥力。這種經驗的運用，需要因地制宜，目前本項研究尚在繼續進行，本文目的在對這些經驗，根據調查和田間試驗結果，進行初步探討。

二、土壤的性狀和試驗設計

試驗地土壤為南京低丘地區，發育於黃土性母質上的粘質輕度潴育性水稻土，表土呈灰棕色，全氮量為 0.087—0.130%，全剖面層次過渡不明顯，粘粒 (< 0.002 毫米)含量為 33—37%，灌水期間，耕作層 pH 值為 7.5，Eh 值為 100—200 毫伏；水稻收穫後，表土 pH 值為 6.7，Eh 值為 500 毫伏左右，全剖面在 50—120 厘米間為含銹斑較多的潴

育層，其中有雛狀鐵結核，在 125 厘米以下的底土層中，由於局部的還原及淋溶作用，呈現少量白灰色斑點，心土及底土的 pH 值均為 7.0，冬季十二月份的地下水位在 125 厘米左右。

試驗分乾耕及濕耕兩個處理，1955 年分別在前作小麥及紫雲英地上進行，田間重複兩次，共八個小區，小區面積為 1/12 畝，供試品種為中熟秈稻中農四號。

紫雲英地乾耕處理，在刈割後犁地（五月四日），每畝加入 500 斤紫雲英鮮草作基肥，耕後晒垡 20 天，灌水前表層 0—2 厘米土壤水分 5.1%，2—15 厘米為 17.4%；濕耕處理中施入等量紫雲英，於五月九日灌水後犁地，一直保持水層。兩處理同於五月二十八日移栽。小麥地乾耕處理於六月一日犁地，晒垡十二天，灌水前表層 0—2 厘米土壤水分為 7.3%，2—15 厘米為 33.0%；濕耕處理於六月二日灌水後犁地，其後保持水層，同於六月十五日移栽，不施基肥，於七月二十五日烤田前每畝追施硫酸銨五斤。

銨態氮測定用 30% NaCl 液浸提，蒸餾滴定，土液比例為 1:10；硝酸態氮用水浸提，酚二磺酸法比色測定；氧化還原電位按通用方法進行，酸度以玻璃電極測定；退極化電位測定^[4]，以 Al/AlCl₃ (Satú) 為負極，Pt/HCl (N) + 氫醌為正極，兩極電位分別為 -175 毫伏及 +700 毫伏，極化時間為 5 分鐘，以真空管酸度計進行測定；土壤乾燥效果測定^[5] 為將土壤於室內風乾，至水分含量在 5% 以下，於恆溫下灌水培養，分次進行分析，以 N KCl 浸提，土液比例為 1:2.5，蒸餾後定氮。

三、結 果

1. 產穀量與產草量的比較如下：

表 1 乾耕及濕耕處理中產穀量與產草量的對比(前作紫雲英) 1955 年

處 理		產 量 值 斤/畝			比 較 值		
		重 複 一	重 複 二	平 均	重 複 一	重 複 二	平 均
濕 耕	穀 量	677.8	674.4	676.1	100	100	100
	草 量	697.4	813.9	755.6	100	100	100
乾 耕	穀 量	644.4	620.9	641.8	95.0	92.3	93.7
	草 量	767.0	711.9	739.4	109.9	87.4	98.6

從表 1—2 中，濕耕處理的產穀量及產草量均高於乾耕處理，而以前作小麥地最為顯著，以產量平均增加值言，前作紫雲英地增加 6.3%，前作小麥地增加 13.4%。

2. 試驗田水稻的生長及分蘖狀況：

表 2 乾耕及濕耕處理中產穀量與產草量的對比(前作小麥) 1955 年

處 理		產 量 值 斤/畝			比 較 值		
		重 複 一	重 複 二	平 均	重 複 一	重 複 二	平 均
濕 耕	穀 量	645.9	635.3	640.6	100	100	100
	草 量	781.2	708.2	744.7	100	100	100
乾 耕	穀 量	583.3	526.0	554.6	90.3	82.8	86.6
	草 量	601.6	580.8	591.2	77.6	82.7	80.1

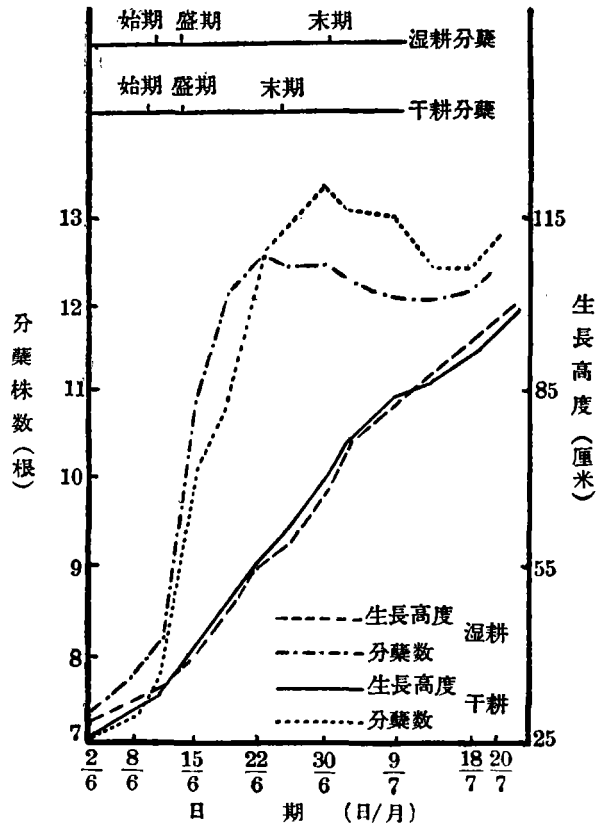


圖 1 水稻的生長及分蘗曲綫 (前作紫雲英) 1955 年

圖 1—2 中, 乾耕及濕耕對比, 紫雲英稻田的水稻生長速度差異甚小, 但乾耕處理中水稻分蘗停止期較濕耕提前約一週左右; 在前作小麥的稻田中, 水稻的生長及分蘗速度, 濕耕顯然高於乾耕, 在後期追肥後, 乾耕處理中的水稻分蘗數始顯著增加。

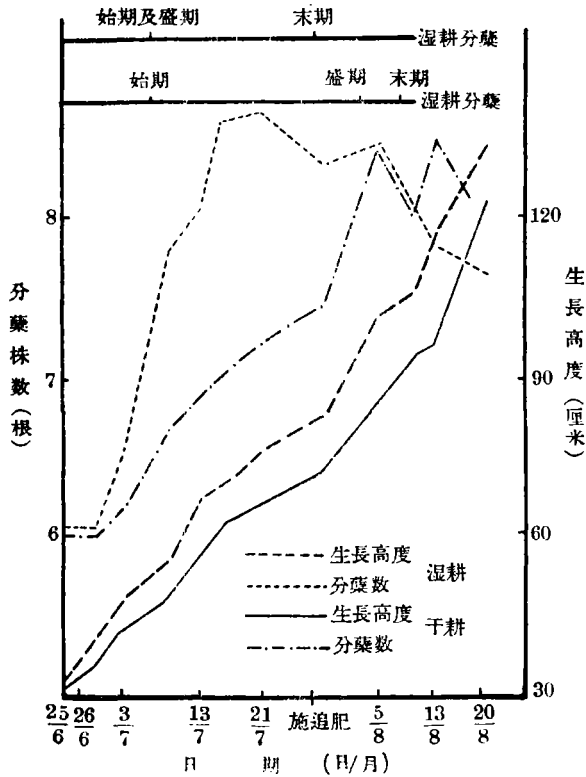


圖2 水稻的生長及分蘖曲綫 (前作小麥) 1955年

以上結果，就作物生長及產量情況，初步說明在南京低丘地區，發育於黃土性母質上的潑育性水稻土，乾耕的效果並不明顯，而濕耕結果似較乾耕奏效，這一情況與下述土壤中銨態氮的動態有一致趨勢。

3. 乾耕和濕耕對土壤中銨態氮的影響：

圖3—4中，無論前作是小麥或紫雲英，濕耕處理中的土壤 NH_4^+-N 含量一般均高於乾耕，尤其在水稻分蘖期間較為明顯，濕耕灌水情況下， NH_4^+-N 穩定地上升，而在乾耕處理中，晒垡期間幾乎沒有 NH_4^+-N 的存在，而是 NO_3^- 的增加(圖5)，在這一情況下灌水，和濕耕者相比，其 NH_4^+-N 在灌水後並未因晒垡而高於濕耕，而 NO_3^- 則很快下降(圖5)。

分蘖末期的烤田期間，前作小麥的水稻田中，由於施入硫酸銨， NH_4^+-N 含量增高，在未施追肥的前作紫雲英稻田，乾耕處理中 NH_4^+-N 在分蘖末期以後，漸趨降落，烤田灌水後則增加，濕耕處理由於小區水濕情況不同，在烤田末期， NH_4^+-N 始顯著降落，灌水後增加；此外，無論乾耕或濕耕，氮素肥力維持時間都以前作紫雲英地為高。

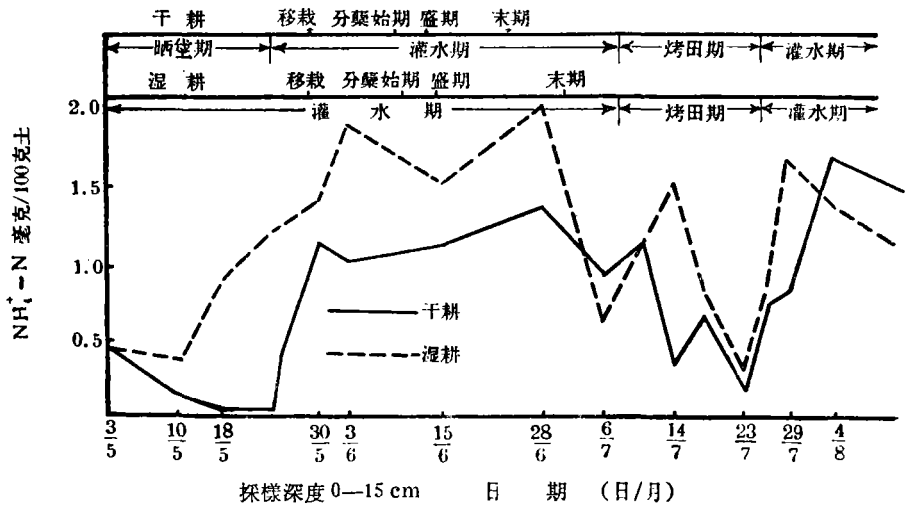


圖 3 乾耕及濕耕處理中銨態氮的變化情況 (前作紫雲英) 1955 年

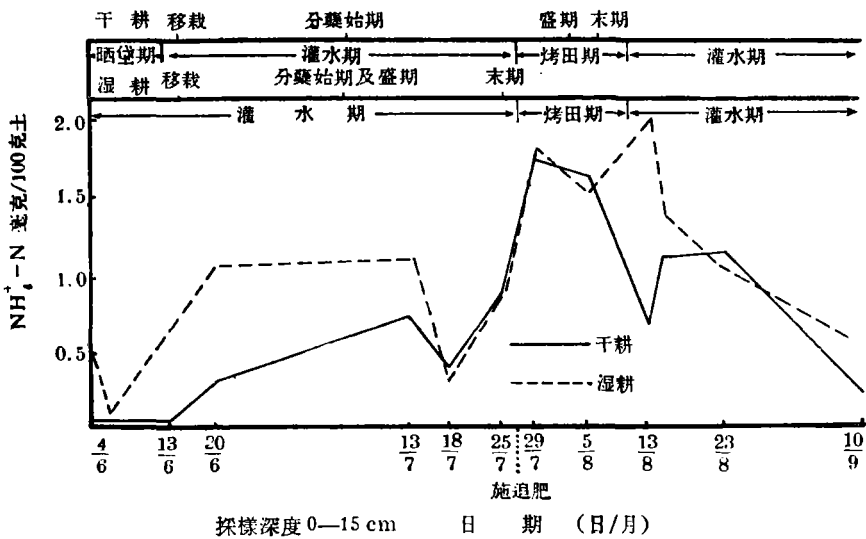


圖 4 乾耕及濕耕處理中銨態氮的變化情況 (前作小麥) 1955 年

4. 乾耕和濕耕對土壤中硝酸態氮的影響：

圖 5 說明，在晒垡期間，硝酸態氮素增高，且集中於表層 5 厘米以內的乾燥部分，下層土壤雖田面並無灌溉水層， $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 仍然很低，近似於濕耕處理；在濕耕灌水情況下，表層 5 厘米以內 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 雖然含量甚少，但由於接近水層，仍有高於底層趨勢。

灌水後，甚至在 1—2 天內，土壤中 NO_3^- 很少，其後的灌水期間，在較低的含量範圍以內，變化甚小，在水稻生長後期近乎消失。

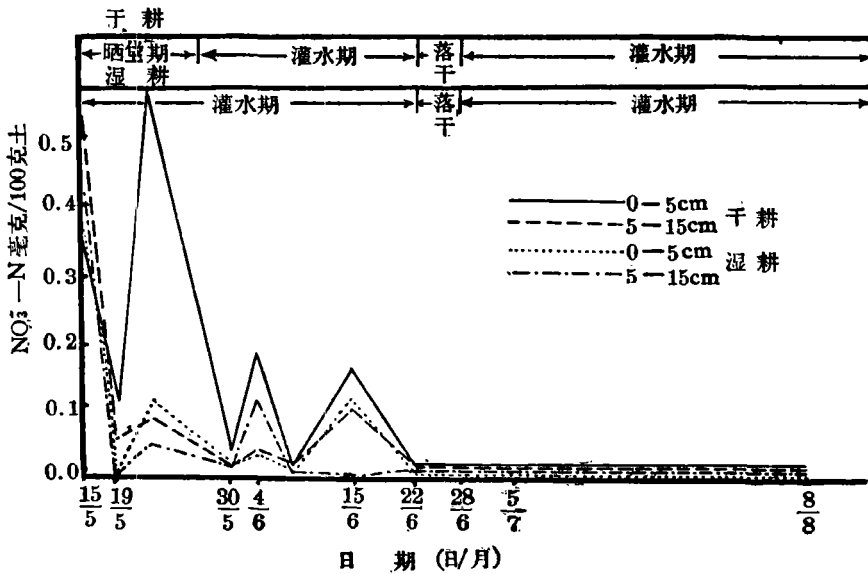


圖 5 乾耕及濕耕處理中硝酸態氮素的變化情況 (前作紫雲英) 1956 年

四、 討 論

1. 從前述諸試驗結果中初步看出,在南京地區,發育於黃土性母質上的瀰育性水稻土,在水旱連作的栽培制度下,水稻本田的耕地,通過乾耕與晒垡過程,並無效果,從試驗結果中看來,在這樣的土壤上進行濕耕,仍有較好的表現。

需要注意到,這種現象是在下列的幾種情況下產生的:(1)試驗田過去的栽培歷史是長期的水旱連作制,中熟秈稻收割後,冬季種大麥或小麥,有時種紫雲英,全年只有在六至八月間為灌水期,其餘的時間保持旱地狀態;(2)土壤的成土母質是下蜀黃土,處於丘陵地區,土壤無沼澤化的威脅,地下水位較低;(3)土壤的有機質及全氮的含量一般不是很高的;(4)土壤全剖面的氧化還原勢較高,在 160 厘米以上的土層,其氧化還原電位值一般介於 500—550 毫伏(圖 6)。

由於土壤本身呈較高的氧化勢,以及上述的栽培制度和土壤條件,土壤中有機質的分解較快,在經過旱地作物的栽種以後,土壤中易分解的有機物的含量可能較少,因此乾耕的效果不够明顯。Tsuyoshi Shiroshita 等^[6]對水稻田保持於旱地狀態和水田狀態的對比試驗中,指出水田在旱地狀態下易分解的有機質含量降低,而土壤的乾燥效果主要決定於土壤中易分解的有機質的含量;在一個土壤排水較好、氧化勢較高、而無沼澤化跡象的輕度瀰育性水稻土上,由於土壤本身對於促使土壤有機物的分解具有良好的條件,因此,在田間情況下,對於在耕作上某一短期間的土壤乾燥過程,不易產生較為明顯的效果是可能的。但是,影響水稻田土壤的乾燥效果尚有其他因素,土壤類型不同,乾燥程度不同,都會產生不一樣的結果。

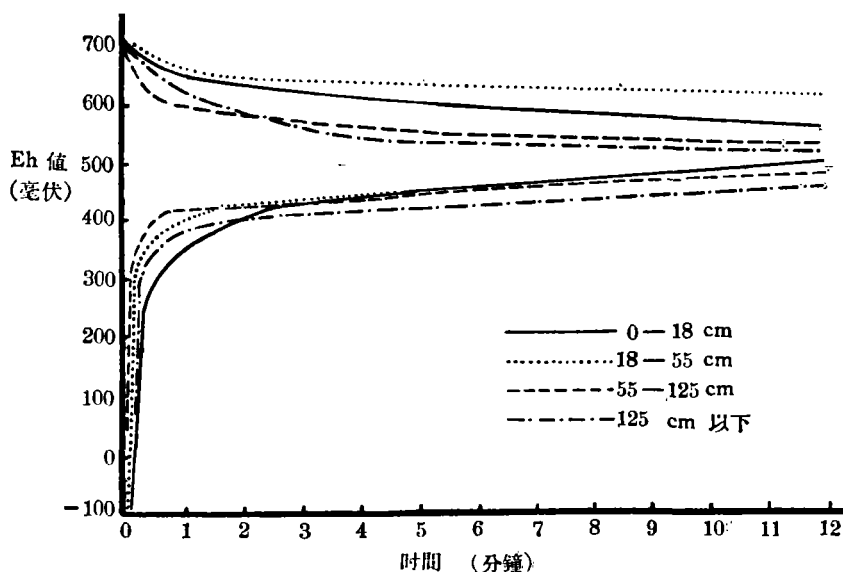


圖 6 試驗地土壤退極化曲綫 (測定時間為 12 月份)

表 3 不同類型的表土乾燥後 NH_4^+-N 的變化比較(30°C)

(NH_4^+-N 含量以毫克/100 克乾土計算)

土壤類型	未經乾燥的原狀土					乾燥土壤				
	灌水前 NH_4^+-N 毫克/100 克乾土	灌水後 第 5 天 NH_4^+-N 毫克/100 克乾土	灌水後 第 10 天 NH_4^+-N 毫克/100 克乾土	灌水後 第 15 天 NH_4^+-N 毫克/100 克乾土	灌水後 第 20 天 NH_4^+-N 毫克/100 克乾土	灌水前 NH_4^+-N 毫克/100 克乾土	灌水後 第 5 天 NH_4^+-N 毫克/100 克乾土	灌水後 第 10 天 NH_4^+-N 毫克/100 克乾土	灌水後 第 15 天 NH_4^+-N 毫克/100 克乾土	灌水後 第 20 天 NH_4^+-N 毫克/100 克乾土
腐殖質沼澤土	—	0.06	0.17	0.28	0.13	—	3.88	7.83	5.65	3.13
潛育性水稻土 (濕水田)	0.55	0.25	0.38	0.73	0.96	0.70	2.20	1.72	1.62	1.20
儲育性水稻土 (兩熟田)	0.80	0.80	0.63	1.03	1.18	0.96	1.80	1.80	1.73	1.28
本試驗地水稻土	0.40	0.30	0.48	0.70	0.10	1.45	1.25	1.16	1.18	0.68

表 4 不同乾燥程度對灌水後土壤中 NH_4^+-N 的生成比較(30°C)*

(NH_4^+-N 含量以毫克/100 克乾土計算)

乾燥後 土壤含水量%	灌 水 後 日 數 (天)					
	0	5	10	15	20	25
4.1	3.70	8.32	8.80	3.32	1.57	—
35.8	0.68	1.43	6.90	0.33	0.59	0.03
未 乾 燥	1.16	—	1.47	0.22	0.33	0.06

* 供試樣品為江蘇興化縣農場水稻田表土。

以上結果,表明不同類型土壤的乾燥效果是不同的,對於還原性強烈而腐殖質較多的土壤,乾耕晒垡使土壤乾燥,能促進灌水後土壤中銨態氮素的旺盛,且只有在土壤充分乾燥的情況下,才能加速土壤有機質的礦化過程,但是,對於一般腐殖質較少的輕度瘠育性水稻土,土壤乾燥後的效果則較低。

因此,本文的試驗結果,僅從土壤氮素養分上初步說明,在上述的土壤與耕作條件下,乾耕晒垡的效果不够顯著的原因;但是,也不能一概而論,與此相反,在那些排水不良的地區,特別是那些發育於湖泊沉積物上的水稻田,如江浙的太湖流域、蘇北的裏下河漚水田、皖南巢湖流域等地區的大面積水稻土上,由於土壤的沼澤化及有機質的分解緩慢,土壤的還原是強烈的,特別是在栽培水稻的過程中,施用多量的有機肥料,更加速了土壤的還原^[7],對於這些地區,乾耕晒垡是加速養分礦化以提高產量的一個有效的耕作措施;而我國農民,一般認為對於湖沼地區,或低濕粘質而有機質較多的水稻土上,乾耕晒垡抵得上多施一次肥料;對於高地或輕質的水田,一般輕晒或不晒,這些經驗看來是合理的。這一問題,目前尚在繼續試驗。

同時,從歷年來在長江下游一帶水稻土的大量樣品分析中,初步看出^[8,9],那些長期耕作的稻田,土壤有機質的含量一般為 1.5% 左右,全氮含量為 0.15% 左右,雖在多量施肥情況下,土壤全氮含量極少超出 0.25%。從水稻土的嫌氣性質和有機質的積累和平衡情況言,水稻田肥力的發揮,可能在很大程度上有賴於對土壤礦化過程的促進,而不僅僅是大量增加土壤有機質;在適當的時期,通過耕作技術措施,改變土壤中氧化還原系統,或是在水稻的後作,改善排水和通氣狀況,不僅對水稻本身,而且對其後作如小麥,甚至第二年輪作中的旱地作物,都可能產生極有利的影響。

2. 試驗結果中,在水稻分蘖期間, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量一般較高,對於水稻生長的氮素營養的供應,造成有利條件, R. H. Dastur 等的研究中^[10],曾認為水稻對於 NH_4^+ 的吸收,隨其生長年齡而漸減,按其研究結果,在植株年齡 30—60 天的期間,對 NH_4^+ 吸收的百分率較高;此外,對於有機質在灌水情況下的礦化情況,鹽入松三郎等^[11]的試驗中,指出與有機物的碳氮比有關,土壤中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 增高快慢,反映了碳氮比的寬狹,對於比例狹的有機物,灌水後土壤中 NH_4^+ 上升很快,反之則較慢,但到分解後期一般都趨低,這和近年來田間測定的 NH_4^+ 的動態有一致的消長趨勢^[12,13],即在水稻分蘖末期以後,土壤中 NH_4^+ 的含量往往顯得缺乏,此時,視作物生長情況,施用適量速效氮肥,或進行放水烤田,以促使養分分解,是適時的。

3. 結果中 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的動態,隨土壤的氧化還原程度而轉移,晒垡期間的 NO_3^- 增長顯著,灌水後很快降落, De P. P. 及 Sarker S. N. 的研究中^[15],認為灌水後 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的減少或消失,是由於土壤微生物的同化,而不是還原成 NH_4^+ ;此外,水田中 NO_3^- 在還原層中一般是沒有的,因此通過水分的滲透淋溶,而使稻田中 NO_3^- 淋失的可能性很

小。日本土壤工作者近年來認為稻田在灌水情況下，由於剖面的分化，氧化層中的 NO_3^- 進入還原層中，形成反硝化脫氮現象，促成水田氮素的損失。在過去的一些對於稻田淹水情況下的氣體分析結果中，也說明在灌水過程中，有呈自由態的氮 $\text{N}_2 \uparrow$ 放出^[16]。De & Digar^[17] 用不同有機與無機氮肥施入水田中，指出呈氣體狀態所脫放的氮素，佔施入氮總量的 30—40%，而當 NO_2^- 移動至還原層時，即還原為 $\text{N}_2 \uparrow$ 放出；本文試驗田的微生物的初步分析中^[14]，亦看到稻田灌水後，硝化細菌的數量大為減少，有硝酸還原作用的細菌增加，這些資料，說明由於稻田還原過程的發生，硝酸態氮的存在很不穩定，使它消失或不能直接被作物利用的途徑是多方面的，如果某些土壤的乾燥，對於促進 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的增加效果並不顯著，則在晒垡過程中，多量 NO_3^- 的積累，可能在灌水後，造成水田反硝化脫氮的有利條件。

五、摘 要

1. 在南京低丘地區，發育於黃土性母質上的輕度潯育性水稻土，在水旱連作的栽培制度下，本田耕地，通過乾耕晒垡過程，並無效果。

2. 本文對不同類型水稻土乾燥後的銨態氮動態，進行了測定和討論，認為對於還原性強烈而腐殖質較多的水稻田，乾耕晒垡是發揮水田潛在地力的有效措施，且只有在土壤充分乾燥情況下，才能加速土壤有機質的礦化過程，但是，對於一般腐殖質含量較低，而無顯著沼澤化跡象的輕度潯育性水稻土，由於土壤氧化勢較高，土壤本身對促進有機物的分解具有良好條件，在田間情況下，對於耕作上某一短期的土壤乾燥過程，不易產生較為明顯的效果是可能的。

3. 對於水稻生長期間，土壤中 NH_4^+ 及 NO_3^- 的動態進行了初步分析和討論，初步指出，在長江下游地區，水田肥力的發揮，可能在很大程度上有賴於對土壤礦化過程的促進。

參 考 文 獻

- [1] Shingo Mitsui, 1956. Inorganic nutrition, fertilization and soil amelioration for lowland rice, 71—75.
- [2] 鹽入松三郎, 1948. 休閑期に於ける水田土壤乾燥の效果に就いて, 土壤學研究 83—120.
- [3] Lebediantzev A. N., 1924. Drying of soil as one of the natural factors in maintaining soil fertility, *Soil Sci.*, **18**: 419—447.
- [4] Tien-jen Yu, Sung-hua Li, 1956. Studies on oxidation-reduction processes in paddy soils (六屆國際土壤學會論文, 土壤研究所英文版單行本)。
- [5] 松本五櫻, 土壤肥料綜典, 37—38.
- [6] Tsuyoshi Shiroshita, Kikuo Ishii, 1955. Studies on the effect of the paddy field soil kept under upland condition on the yield of rice, soil and plant food. vol. 1, No. 1, 37—38.
- [7] Sturgis M. B., 1936. Changes in the oxidation-reduction equilibrium in soils as related to the physical properties of the soil and the growth of rice, Louisiana Bul. No. 271.
- [8] 黃東邁、白綱義, 1953. 無錫縣土壤調查報告(油印本)。
- [9] 黃東邁、張柏森, 1956. 太湖流域及裏下河地區水稻土的基本性狀(未刊稿)。
- [10] R. H. Dastur, M.S.C.F.L.S, T. J. Malkani, 1933. The intake of nitrogen by rice plant (*Oryza Sativa*, L), *Indian Jour. of Agri. Sci.*, **3**, part 1—3, 157—206.
- [11] 鹽入松三郎、三井進午, 1935. 水田に繁殖する藻類及び二三の水生植物の化學組成並にその土壤中に於ける分解, 日本土壤肥料學雜誌, 9卷3號, 261—267.
- [12] 黃東邁、李錫涇, 1955. 水稻生長期間土壤中銨態氮素及亞鐵的變化, 土壤學報, 三卷二期, 83—89.
- [13] Bhuiyan S., 1949. Transformation of nitrogen in rice soil. *Soil Sci.*, **67**, 231—239.
- [14] 樊慶笙、黃隆廣, 1956. 南京水稻土微生物的初步分析(第二屆全國土壤學會論文編號 80)。
- [15] De P. P., Sarker S. N., 1936. Transformation of nitrate in water-logged soils, *Soil Sci.*, **42**, 143—155.
- [16] Jones E. J., 1951. Loss of elemental nitrogen from soil under anaerobic conditions, *Soil Sci.*, **71**, 193—196.
- [17] De Digar, 1954. Loss of nitrogen gas from water logged soils, *J. Agri. Sci.*, **44** (part 2), 129—132.

TRANSFORMATION OF NITROGEN IN PADDY SOILS AND YIELD OF RICE AS EFFECTED BY PLOUGHING UNDER DRY AND WATER-LOGGED CONDITIONS

(ABSTRACT)

D. M. HUANG and P. S. CHANG

(Institute of Agricultural Research of Eastern China)

Field experiment and Laboratory study were made for the comparison of transformation of nitrogen and the yield of rice in the paddy soil ploughed under dry and water-logged conditions.

The drying of the soil after ploughing did not effect the ammonia-nitrogen content of the soil or the yield of rice under field conditions.

After water-logging, the amount of nitrate-nitrogen decreased rapidly, and it disappeared within a few days as the soil intensely reduced.

The effect of drying of different typies of paddy soil on the ammonia-nitrogen content were studied in the Laboratory. These results showed that there was a Large increase of ammonia-nitrogen content in the soil under water-logged conditions after drying as compared with the non-air dried samples. The magnitude of the increase in ammonia-nitrogen content was influenced by the characteristics of the paddy soil, such as the redox potential and the content of organic matter, especially the degree of drying.

It is considered that the drying of paddy soils under cultivation is a powerful means in increasing the soil fertility and the yield of rice, especially for the subhydrogenic paddy soils, but in case of soils with high redox potential and low content of easily decomposable organic nitrogeneous compounds, such as those soils derived from loess-like material, on which this field experiment was conducted, the drying of the soil did not increase the amount of ammonia-nitrogen of the soil or the yield of rice.