

水稻土中氧化還原過程的研究

(III) 氧化還原條件對水稻生長的影响

于天仁 劉曉蘭

(中國科學院土壤研究所)

在上一工作中已經證明^[1], 在一定範圍內, 土壤的氧化還原條件對水稻生長沒有顯著影響, 而高荳的生長則在還原條件下嚴重受阻。但是在實際問題中, 在很多情況下水稻的生長不良似乎與土壤的強烈還原條件有關。例如, 中國山區廣大面積的所謂“冷水田”、“鏽水田”, 即使施用大量肥料, 水稻的產量仍然不高, 而排水後則可顯著提高產量; 在水稻土中施入大量新鮮綠肥後即行插秧時, 往往發生爛秧現象, 在江西臨川地區, 甚至發生過一個地區的死禾現象; 在廣東沿海的所謂“反酸田”中, 水稻的產量低, 也似乎主要由於還原性物質過多^[2]。在國外, 對於在印度尼西亞發生的所謂“Mentek”病^[3], 在馬來亞發生的所謂“Penyakit merah”病^[4], 在錫蘭^[5]和匈牙利^[6]發生的所謂“browning”病, 有關作者們也都認為可能與土壤中的還原性物質過多有關。

本文的目的, 是在更廣泛的氧化還原條件範圍內研究這個問題。考慮到 Gilleispie 所強調的區分強度因子和數量因子的重要性^[7], 所以在工作的時候, 對於土壤中還原條件的強度(電位)和還原性物質的數量, 都給予了注意。

一、土壤的氧化還原條件對水稻生長的影响

所用土壤共有三種, 一為發育於花崗岩的酸性山地水稻土, 採自南昌西山; 一為發育於第四紀紅色粘土的紅壤性水稻土, 採自南昌甘家山; 一為湖積性的中性水稻土, 採自無錫望亭。三種土壤的理化性質列於表 1。

表 1 供試土壤的理化性質

土 壤	pH	有機質 (%)	全氮 (%)	代換性鹽基 (毫當量/100克土)		機 械 組 成 (%) (國際制)				質 地
				Ca	K	2—0.2	0.2—0.02	0.02—0.002	< 0.002	
紅壤性水稻土	5.11	1.94	0.094	1.99	0.18	1.0	17.0	49.0	33.0	粉砂粘土
酸性山地水稻土	6.05	1.77	未測	5.10	0.46	11.0	23.5	50.5	15.0	粉砂壤土
中性湖積水稻土	7.09	2.69	0.132	17.77	0.38	0	17.5	61.0	21.5	粉砂粘壤土

試驗係在盆鉢中進行。標本採回後，風乾，過 1/4 英寸篩，裝入陶土質密氏盆中，紅壤性水稻土每盆 6.0 公斤，酸性山地水稻土每盆 5.5 公斤，中性湖積水稻土每盆 5.5 公斤。每盆加 NH_4NO_3 2.84 克（合 N 1.0 克）， KH_2PO_4 1.92 克（合 P_2O_5 1.0 克， K_2O 0.66 克）。

每種土壤計有六個處理，每處理四盆，試驗處理及其說明列於表 2。每盆於 7 月 30 日播種矮腳老來青（晚粳）水稻 9 粒（播種前經過發芽），當水稻生長一個月時，各取濕土 30 克，用 pH 5.5 的 1 N 醋酸銨溶液 500 毫升提取，測代換性和水溶性 Fe^{++} 和 Mn^{++} ，計算成乾土中的含量。 Fe^{++} 係用 α - α -dipyridal 比色法， Mn^{++} 係用過碘酸鉀比色法測定。土壤的 pH 值係同時用玻璃電極測定。在 9 月 21 日將植物收割，烘乾，稱重。所得結果列於表 3。

表 2 試驗處理的設計

盆 號*	有 機 質	H_2O_2 處 理	水 分 狀 況
O	—	—	飽 和 漬 水
H_2O_2	—	經 常 加 入	半 飽 和
T	1%	—	飽 和 漬 水
TH_2O_2	1%	經 常 加 入	半 飽 和
T_1	1%	—	飽 和 漬 水
$\text{T}_1\text{H}_2\text{O}_2$	1%	經 常 加 入	半 飽 和

* O——對照；T——加土重 1% 的粉碎紫雲英和稻稈； T_1 ——處理與 T 相同，但先在土壤中水分半飽和的情況下分解一個月； H_2O_2 ——經常加入 H_2O_2 ，用注射針均勻注入土壤，深度 5 厘米。

表 3 土壤中氧化還原條件對水稻生長的影響

土 壤	盆 號	pH	Fe^{++} (毫克/100克土)	Mn^{++} (毫克/100克土)	分蘗數 (平均)	植物乾重 (克/盆)
紅壤性水稻土	O	6.61	59.2	5.8	4.1	21.5
	H_2O_2	—	—	—	3.8	21.1
	T	6.67	88.7	5.7	4.0	16.8
	TH_2O_2	—	—	—	3.1	15.9
	T_1	6.21	19.5	4.6	4.5	24.0
	$\text{T}_1\text{H}_2\text{O}_2$	—	—	—	4.0	23.4
酸性山地水稻土	O	6.92	17.3	49.7	4.5	29.5
	H_2O_2	—	—	—	4.3	25.1
	T	7.15	200.6	48.4	1.1	6.6
	TH_2O_2	—	—	—	1.4	11.7
	T_1	7.01	4.5	44.0	5.0	28.8
	$\text{T}_1\text{H}_2\text{O}_2$	—	—	—	4.2	24.2
中性湖積水稻土	O	7.41	10.8	23.8	5.4	30.4
	H_2O_2	—	—	—	4.9	26.5
	T	7.31	287.7	28.9	3.2	13.8
	TH_2O_2	—	—	—	3.5	19.2
	T_1	7.31	5.2	26.8	4.7	22.9
	$\text{T}_1\text{H}_2\text{O}_2$	—	—	—	4.3	21.4

從表 3 可以看出,在為水分所飽和的嫌氣情況下,大量有機質的施入使水稻生長不良,尤以發育於花崗岩的酸性山地水稻土最為顯著。在植物乾重方面,對於紅壤性水稻土、酸性山地水稻土和中性湖積水稻土,各為其對照處理者的 78%、22% 和 45%。分蘗的趨勢也與這相同。兩種處理之間的差別,在水稻生長初期表現得最為顯著。

如果在有機質分解一個月以後再播種水稻,則對於水稻生長的不良影響不像加大量有機質時那麼顯著。在三種水稻土中,僅在土壤本身含有有機質較多的中性湖積水稻土,表現了不良影響。在紅壤性水稻土中,植物生長甚至反而較對照處理者稍好,這可能是由於在這種比較缺乏養分的土壤中,被分解的有機質所供給的養分的有利影響,超過了還原性物質的不良影響所致。

當不斷加入過氧化氫,並使土壤比較乾燥(約為最大持水量的 50—70%)以保持土壤的好氣狀態時,在各種處理中表現了不同的影響。對於還原條件不太發達,即在不加有機質或加入已分解一個月的有機質的處理中,植物生長與完全漬水者大致相等或較之稍差。在加入大量有機質已造成強烈還原條件的處理中,則使水稻的生長情況改善,而且對於大量有機質所引起的不良影響愈大的土壤,這種改善情況愈顯著。例如對於酸性山地水稻土,植物乾重由原來的 6.6 克增加到 11.7 克,即增加 77%;中性湖積水稻土增加 39%,紅壤性水稻土減少 5%。這種差別情況,與我們 1954 年用兩種土壤所得的結果¹⁾相同。因此可以說,在土壤處於強烈的還原條件下時,水稻生長不良,而此時氧化還原條件的改善,則對水稻的生長有益。

二、土壤的氧化還原條件對水稻莖葉中氧化還原電位的影響

在試驗過程中,不斷進行土壤的氧化還原電位的測定。測定時所用白金電極的白

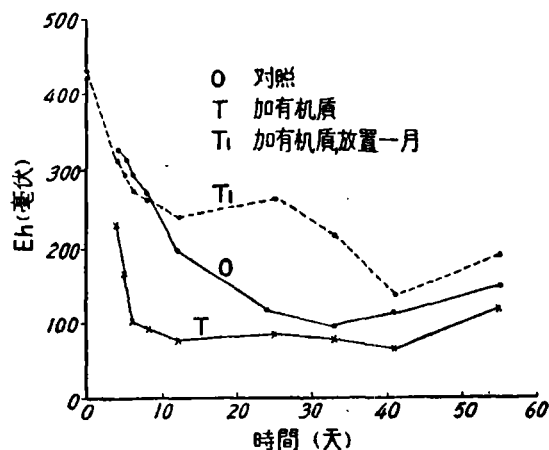


圖 1 水稻生長過程中土壤氧化還原電位的變化
(紅壤性水稻土)

金絲直徑 0.5 毫米,管外部分長 1 厘米,插入土壤中 5—6 厘米,插入 15 分鐘後進行測定。每次用六個白金電極,取其平均值,所得結果如圖 1 至圖 3 所示。

圖 1 至圖 3 示在水稻生長期間土壤中氧化還原電位的變化。在加入大量有機質後的 6、7 天內,電位降低最劇烈,以後有一段時期大致保持不變。對於紅壤性水稻土、酸性山地水稻土和中性湖積水稻土,這個數值各為約

1) 未發表材料。

80 毫伏、40 毫伏和 20 毫伏。在 40 天以後，電位又逐漸升高。未加有機質的土壤和有機質已分解一個月的土壤，漬水後電位也逐漸降低，但不如加大量有機質後那麼劇烈。在中間的一段時期內，對照處理者的電位往往較有機質分解一月後者的電位為低。對於這個表面上反常的現象，也是不難理解的。在研究水稻土中加入有機質後的電位變化時，經常觀察到電位最初降低，以後又逐漸升高，這是由於有機質被微生物分解而產生的活性還原性有機物質（這是決定電位的主要因素）數量，有一個最高點的原故。在加有機質並在水分半飽和的條件下已放置一個月的處理中，這個最高點已經過去，所以

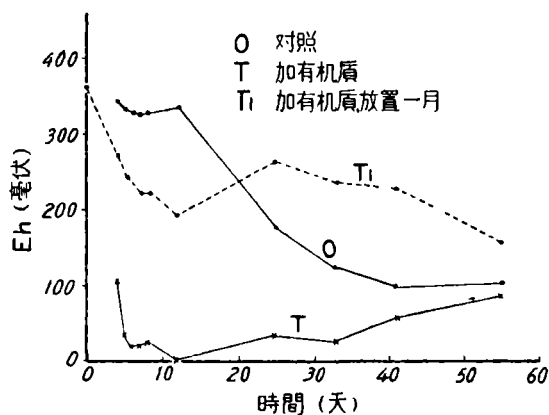


圖 2 水稻生長過程中土壤氧化還原電位的變化
(酸性山地水稻土)

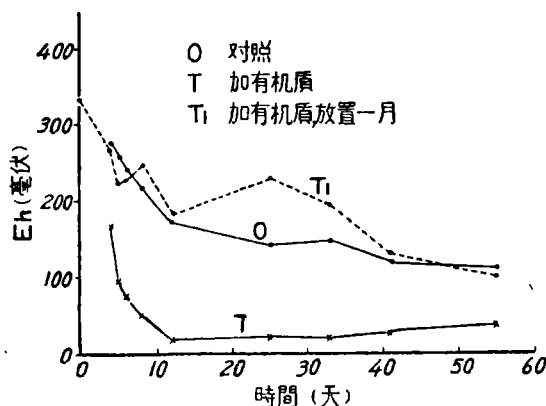


圖 3 水稻生長過程中土壤氧化還原電位的變化
(中性湖積水稻土)

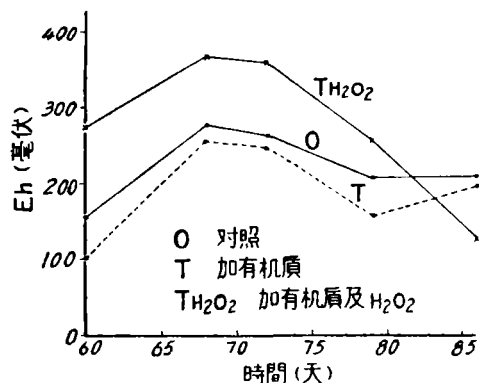


圖 4 水稻莖葉中氧化還原電位的變化
(紅壤性水稻土)

雖然在漬水後電位仍然降低，但終究降低不多。如果繼續測定下去，對照處理者的電位應該最高。

在加入過氧化氫以後，電位可以有所升高，一般升高一百毫伏或數十毫伏不等；一次加入所能維持的時間，僅為一晝夜。

總的說，在本試驗的條件下，水稻生長期間土壤中的電位均在 250 毫伏以下，較一般旱作植物所處的環境（500—700 毫伏）低得多，而水稻仍能正常生長。這也可說是水稻的一種特性。這與上一報告^[1]中的結果相一致。

在水稻收割時，每處理留下一盆，繼續進行植物體內的氧化還原電位的測定。測定時係將水稻莖葉剪下，用壓榨器擠出植物汁後，迅即用白金電極（白金片寬 3.5 毫米，長 1 厘米）測定。測定時間均在早晨。

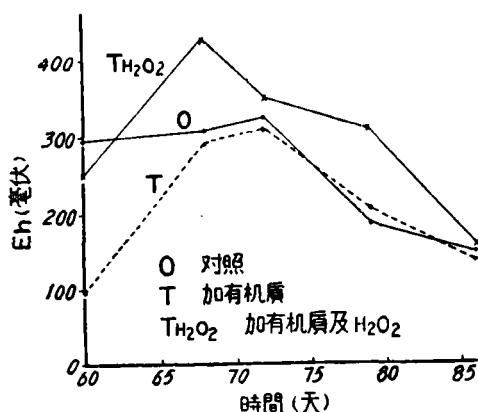


圖 5 水稻莖葉中氧化還原電位的變化
(酸性山地水稻土)

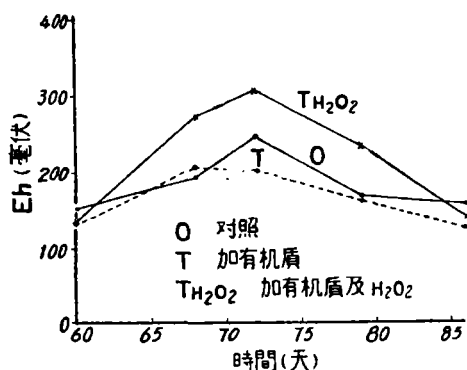


圖 6 水稻莖葉中氧化還原電位的變化
(中性湖積水稻土)

從圖 4 至圖 6 可以看出,土壤中的氧化還原情況,直接影響到水稻體內的氧化還原電位,對於在三種土壤中生長的水稻,施大量有機質者的電位均較低,對照處理者較高,在土壤水分半飽和並經常加入過氧化氫的情況下,水稻中的電位最高。

在測定水稻莖葉電位後,隨即在莖葉汁中加入氫醌,測其電位,然後計算 pH 值。各處理的六次平均結果列於表 4。

表 4 水稻莖葉汁的 pH 值(六次平均)

處 理	紅壤性水稻土	酸性山地水稻土	中性湖積水稻土
O	6.57	6.04	6.19
H ₂ O ₂	6.27	6.08	6.27
T	6.67	6.26	6.36
TH ₂ O ₂	6.27	6.22	6.15
T ₁	6.51	6.04	6.11
T ₁ H ₂ O ₂	6.08	5.96	6.15

表 4 的結果顯示了一定的規律性: (1) 在對照、加大量有機質和分解一個月的有機質的三個處理中,水稻莖葉的 pH 值以加大量有機質者最高; (2) 上述三個處理在經常加過氧化氫並保持水分半飽和時,水稻莖葉的 pH 降低。這種差別以在紅壤性水稻土中生長者最為顯著。如果假定在本試驗的條件下,水稻莖葉的 pH 值為 6.1 左右,並且其變動範圍為 ± 0.1 個 pH 單位^[8],則這種 pH 值的規律性差別,很易使人聯想到水稻莖葉中氧化還原物質數量的不同。因為僅在溶液中沒有氧化劑或還原劑存在時,用氫醌電極測定 pH 才能得到正確的數值。如果溶液中有還原性物質,則使醌的濃度減小,氫醌的濃度增加,因此使所測得的電位數值減小,而使計算出來的 pH 值增加。表 4 中各處理間的 pH 值差別,符合這種規律。因此表 4 中各處理間 pH 值的差別,除了植物 pH 值本身的不同以外,可能還有一部分是由於植物體內氧化還原體系的差別所致。

圖 7 和圖 8 示水稻莖葉中氧化還原電位與加入氫醌後氧化還原電位的關係。在酸性山地水稻土中生長者，因為相關性不明顯，所以沒有繪出。當然，因為除了氧化劑和還原劑的存在以外，pH 的差別本身和測定時的溫度等都可影響到氫醌的電位數值，所

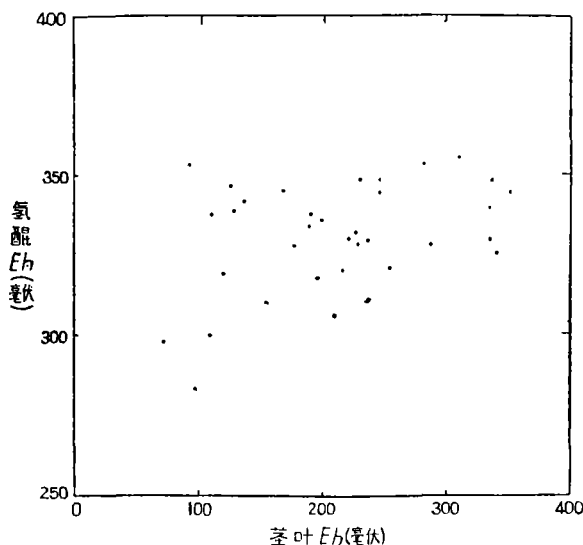


圖 7 水稻莖葉中氧化還原電位與氫醌氧化還原電位的關係
(紅壤性水稻土)

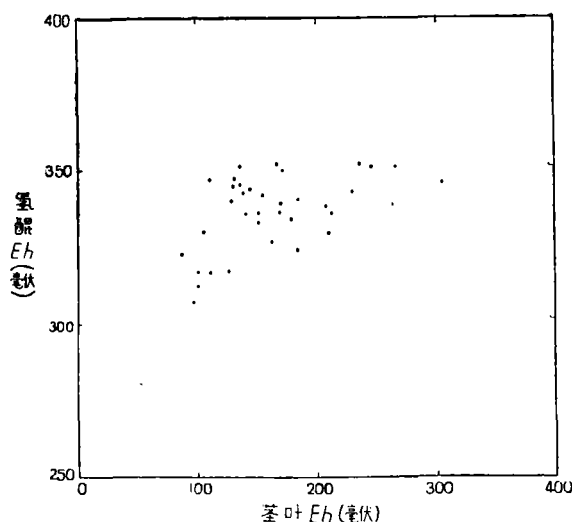


圖 8 水稻莖葉中氧化還原電位與氫醌氧化還原電位的關係
(中性湖積水稻土)

以圖中各點的位置比較散亂。但仍可看出，在植物的電位與氫醌的電位之間，具有一定的相關性。可以想到，因為氫醌電位的變化實際上代表水稻體中氧化還原情況的數量因子，所以水稻莖葉中氧化還原狀況的強度因子（電位）和數量因子之間，也是一致的。

土壤的氧化還原條件對水稻體內氧化還原情況的影響所代表的生理學上的意義，

目前尚不明了。關於這個問題，需要進一步的工作。

三、土壤中的氧化還原條件影響水稻生長的可能原因

關於強烈的還原條件影響水稻生長的原因，有着很多不同的意見。Ponnamperuma^[5]總結前人的工作後，將可能的原因歸納為下述八種：(1)氧氣的缺乏；(2) CO_2 過多；(3) pH 的增高；(4)電位的降低；(5)鐵的溶解度的增加；(6)錳的溶解度的增加；(7)硫化物的存在；(8)有機質嫌氣分解產物的產生。

在本試驗的條件下，從表 1 和表 3 可以看出，三種土壤在漬水以後，pH 均有所升高；但是由於加入新鮮有機質者的 pH 值，並不比對照者高出多少，並且在該 pH 的範圍內，皆適宜於水稻的生長，因此 pH 的變化似不是影響水稻生長的原因。與日本的所謂“老朽化”水稻土相反，本試驗中由於鐵錳離子的大量存在，硫化氫對水稻的毒害未必是可能的。考慮到水稻的生理特性^[2,9,10,11]和水稻土中氧氣的消長情況^[12,13,14]，似乎不可能用氧氣的缺乏情況來解釋所得的結果。同樣，也不能夠把氧化還原電位本身看做影響水稻生長的一個因子。從表 3 可以看出，在同一種土壤中，各處理的含 Mn^{++} 量幾乎沒有差別，而且這些數值，都沒有超過德岡松雄所確定的受害限度^[15]，因此也不能夠用錳的毒害作用來解釋水稻生長的差別情況。這樣，在所有的因素中，似乎只能够在 CO_2 、 Fe^{++} 和還原性有機物質過多三者之中去尋找。

為了進一步研究這個問題，又用與盆栽相同的土壤，但僅用 1 公斤土壤裝入 11×14 厘米的瓷質盆中，各處理均為水分所飽和，在 30°C 的培養箱中進行試驗。有機質仍用原先的紫雲英和稻桿，用量按比例計算。在不同時期中取出土壤，用 pH 2.5 的 2.5% 硫酸鋁溶液，用平衡法提取，土壤與溶液之比為 1:2。然後用 0.05N 的 KMnO_4 溶液滴定，測電位滴定曲線，每次加 KMnO_4 一分鐘後讀數。另取一份提取液測定 Fe^{++} 和 Mn^{++} 。選擇硫酸鋁的原因，是由於它對陽離子和陰離子都是比較強烈的代換劑；選擇 pH 2.5 的原因，是希望可以在提取液中直接用過錳酸鉀滴定，而其酸度又不致強到破壞土壤礦質部分的程度。因為三次的滴定曲線相似，所以只將放置一月者的曲線和化學分析結果示於表 5 和圖 9 圖 10。

表 5 各處理中的還原性物質含量*

土 壤	處 理	還原性物質總量 (毫當量/100克土)	Fe^{++} 量** (毫當量/100克土)	Fe^{++} 在還原性物 質中所佔(%)	Mn^{++} 量 (毫克/100克土)
紅 壤 性 土	對 照	3.37	1.61	47.7	2.0
	加 有 機 質	3.74	1.65	44.1	2.4
酸 性 山 地 土	對 照	4.58	2.15	46.9	21.2
	加 有 機 質	7.58	3.33	43.9	20.6
中 性 湖 積 土	對 照	3.01	1.32	43.9	13.1
	加 有 機 質	4.49	1.81	40.3	11.8

* KMnO_4 按 5 價計算

** 按 1 價計算

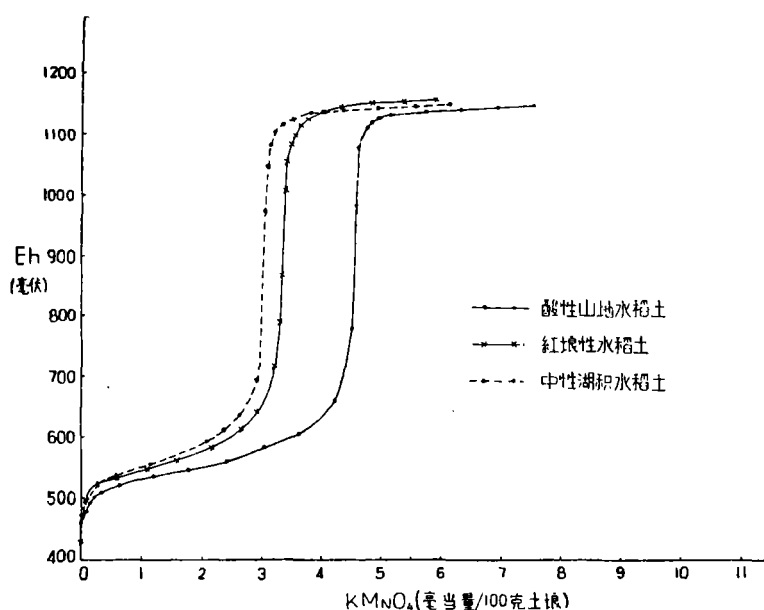


圖 9 水稻土中還原性物質的滴定曲線(未加有機質)

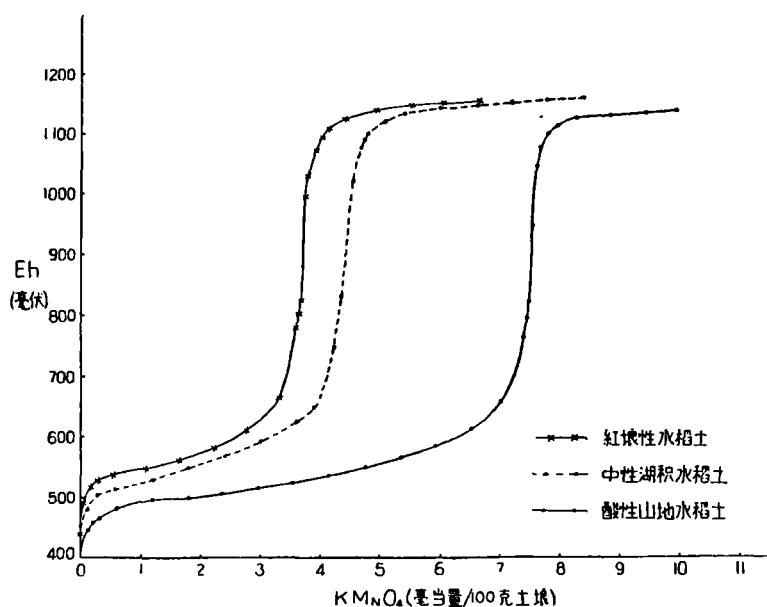


圖 10 水稻土中還原性物質的滴定曲線(加有機質 1%)

從表 5 中可以看出,酸性山地水稻土的還原性物質最多。在施入大量有機質時,還原性物質都有所增加,尤以酸性山地水稻土為甚。酸性山地水稻土每 100 克土壤中增加了 3.00 毫當量,增加得最多;紅壤性水稻土增加了 0.37 毫當量,中性湖積水稻土增加了 1.48 毫當量。在還原性物質總量中, Fe^{++} 約佔 40—48% 左右。 Mn^{++} 可能有一小部分被 KMnO_4 所氧化。其他的還原性物質,可能是硫化物和有機態還原性物質。在施有大量有機質的處理中, Fe^{++} 所佔的百分數略有降低,說明其他還原性物質增加得

較多。因為盆栽試驗和室內試驗的條件不完全相同，而且硫酸鋁和醋酸銨代換 Fe^{++} 的完全程度也不一定相同，所以表 3 和表 5 中的數值不能嚴格比較。但是根據這些數值所得的一些結論，仍然可以認為是肯定的。

因為土壤中還原性物質的數量與水稻生長情況表現了明顯的一致性，可見水稻在強烈還原性的土壤中的生長不良，與還原性物質的過多有關。這樣，上一試驗^[1]中的結果也可以解釋，因為土壤中沒有加過有機質，所以雖然電位(強度因子)很低，但還原性物質(數量因子)却不一定多。當然，在有機質分解初期所放出的大量二氧化碳，也可能影響水稻的生長。

四、關於亞鐵離子的毒害問題

表 3 中值得注意的一點是，在水稻生長情況與亞鐵離子的數量之間，表現了明顯的一致性。例如酸性山地水稻土在加大量有機質後水稻生長最壞，其 Fe^{++} 含量由對照處理者的每 100 克土壤中 17.3 毫克增加到 200.6 毫克；紅壤性水稻土在加有機質後水稻乾重仍為對照處理者的 78%，其 Fe^{++} 含量由每 100 克土壤中 59.2 毫克增到 88.7 毫克。至於中性湖積水稻土在加有機質後 Fe^{++} 增加較多，而水稻生長受害的情況不如酸性山地水稻土那麼嚴重，或者與其質地較後者粘重有關。因此有理由設想，在本試驗的條件下，亞鐵離子的過多可能是水稻生長受害的重要原因。

文獻上關於水稻對鐵的感應問題，有着兩種相反的意見。早期的某些作者^[16,17]認為，水稻對鐵的需要量，較一般旱作植物為多。但是也有作者^[18]認為鐵量過多時，水稻生長受阻。最近有些作者^[5,6,19,20,21]認為水稻在強烈還原條件下的生長不良，是由於 Fe^{++} 的毒害所致。

關於水稻對鐵的需要量較高問題，我們的分析結果沒有證實這一點。所分析的植物均係在第四紀紅色粘土，而調節到不同的 pH 值生長者。從表 6 可以看出，水稻體內的含鐵量，並不較旱作植物為高。

表 6 各種植物的含鐵量* (乾物質%)

植 物	標 本 數 目	平 均 值	變 動 範 圍
飯 豆	9	0.042	0.033—0.055
燕 麥	20	0.020	0.012—0.043
水 稻(成熟後)	10	0.017	0.010—0.022
水 稻(抽穗期)	12	0.015	0.010—0.019

* 分析者：凌雲霄、劉曉蘭、牟潤生

為了研究水稻土中亞鐵離子對水稻的毒害作用，我們又繼續進行了盆栽試驗。所

用土壤共有兩種：一為紅壤性水稻土，一為酸性山地水稻土。土壤用石英砂（直徑 1—2 毫米）稀釋，砂土比例為 2:1，每盆用量為 1.5 公斤，裝入 11 × 14 厘米的瓷質盆中，每盆加 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0.75 克（合 N 0.2 克）、 KH_2PO_4 0.4 克（合 P_2O_5 0.2 克）。

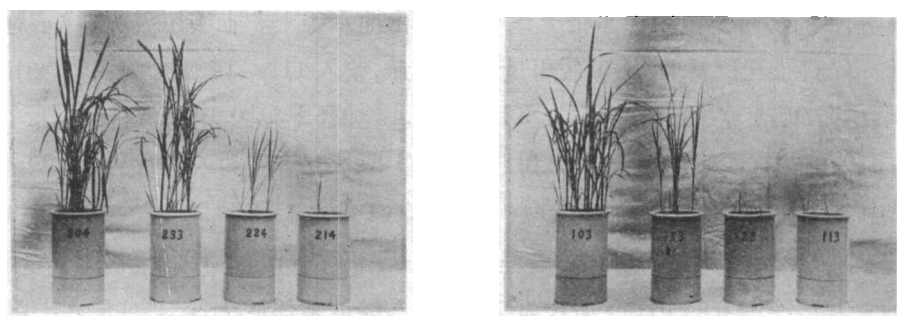
每種土壤共有四個處理，計（1）對照；（2）以 FeSO_4 溶液加入相當於每 100 克砂土混合物中 50 毫克 Fe^{++} ；（3）加入 Fe^{++} 100 毫克；（4）加入 Fe^{++} 200 毫克。因為 FeSO_4 發生水解，使土壤 pH 降低，所以各處理中均加入相應數量的 NaOH 溶液，其量是相當於使 FeSO_4 溶液本身的 pH 在加入前為 4.5。硫酸亞鐵係於 7 月 12 日加入土壤。每處理四個重複。每盆於 7 月 19 日插矮腳老來青（晚粳）秧苗 5 株，秧苗長度約 7.5 厘米，插秧深度為 1.5 厘米。為了減少移植後土壤中亞鐵離子的氧化，土表上部經常保持深 4 厘米左右的水層。在試驗過程中取出土壤，用 0.1 N 的 AlCl_3 提取以測 Fe^{++} 量。同時另取土壤，測其 pH 值。水稻生長期為 27 天，收割後，烘乾，稱其莖葉重量，所得結果列於表 7。

表 7 亞鐵離子對水稻的毒害作用

土壤	Fe^{++} 加入量 (毫克/100克土)	pH			Fe^{++} 含量(毫克/100克土)*			水稻高度 (厘米, 平均值)		水稻乾重 (克/盆)
		試驗當天	11 天	27 天	試驗當天	11 天	27 天	13 天	27 天	
紅壤性 水稻土	0	5.49	5.90	5.90	17.2	32.6	20.6	29.7	50.3	1.89
	50	4.78	5.25	5.25	46.7	59.4	36.4	22.5	41.7	0.68
	100	4.59	4.95	5.25	95.4	86.8	56.6	8.3	10.7	死亡
	200	4.55	4.65	5.10	163.2	162.5	109.2	3.3	9.7	死亡
酸性 山地 水稻土	0	6.62	6.35	6.22	4.7	—	9.5	32.5	54.7	2.30
	50	5.10	5.20	5.70	—	24.8	34.1	28.9	51.7	1.87
	100	4.62	4.62	5.20	50.8	46.1	37.5	17.7	27.0	0.27
	200	4.45	4.45	4.30	147.0	154.0	68.9	5.1	11.5	死亡

* 為 2:1 的砂和土混合物中所含

在不同處理中，水稻生長表現了劇烈差別。在所加的 Fe^{++} 超過每 100 克土砂混合物中 100 毫克時，水稻幾不能生長，葉部枯萎，以後即漸漸死亡（附圖）。從表 7 可以看出，即使所加的 Fe^{++} 量僅相當於每 100 克土砂混合物中 50 毫克，水稻生長情況也較對照處理者為差。因為亞鐵溶液已於移植水稻前一週加入土中，雖然在保持一層水分的情況下，仍不能避免亞鐵離子的氧化作用，尤其對於酸性山地水稻土（表 7），所以本試驗中實際對水稻起毒害作用的亞鐵離子數量，已較所加入者少得多。至於本試驗中亞鐵離子的毒害極限數值較表 3 中者為低，當係由於土壤已與砂混合，減少了對鐵離子的吸附作用所致。



附圖 亞鐵離子對水稻生長的影响

左—紅壤性水稻土 右—酸性山地水稻土。

因為我們過去的試驗結果指明，這個水稻品種在 pH 4.5—5 的土壤中仍能生長正常，所以表 7 中水稻生長的差別情況，不能夠用 pH 值的不同來解釋。硫酸亞鐵增加土壤溶液中的鹽類濃度（滲透壓），這個因素有可能對水稻生長發生一定程度的影響，但是由於在本試驗中除土壤為水分所飽和以外，還有很大的多餘水分，根據計算，硫酸亞鐵加上肥料鹽的總濃度，也不致達到嚴重影響水稻生長的程度（尤其對於加入量較少的處理）。所以亞鐵離子本身對水稻的毒害作用，似乎是無可懷疑的。

摘 要

1. 土壤處於強烈的還原條件下時，對水稻生長有不良的影響，如果將土壤中的氧化還原條件改善，則對水稻的生長有益。

2. 土壤中的氧化還原情況，直接影響水稻體中的氧化還原電位，土壤電位低者，水稻中的電位也低。

3. 土壤中還原性物質的數量與水稻生長情況表現了明顯的一致性，可見水稻在強烈還原條件下的生長不良，與還原性物質的過多有關。在還原性物質中，亞鐵離子約佔一半左右。

4. 試驗結果指明，土壤中過多的亞鐵離子，對水稻有毒害作用。

參 考 文 獻

- [1] 于天仁、李松華，1957. 水稻土中氧化還原過程的研究 (II) 土壤與植物的相互影響. 土壤學報 5, 166—174.
- [2] 于天仁、凌雲霄、丁昌璞、牟潤生、劉志光，1957. 亞熱帶地區土壤中的氧化還原狀況. 科學通報 11, 338—339.
- [3] Goor, G. A. W. van de, 1954. The mentek disease of lowland rice in Indonesia. *Neth. J. Agric. Sci.*, 2, 44—47.
- [4] Johnston, A., 1954. Preliminary notes on physiological diseases of rice in Malaya. Intern. Rice Comm. News letter No. 10.
- [5] Ponnampetuma, F. N., 1955. The chemistry of submerged soils in relation to the growth and yield of rice. Thesis Cornell University.

- [6] Sik, K., 1950. Pedological investigation of the rice-browning disease in Hungary in 1949. *Agrartudomány* **2**, 409—422.
- [7] Gilleispie, L. J., 1920. Reduction potentials of bacterial cultures and of water-logged soils. *Soil Sci.*, **9**, 199—216.
- [8] Dastur, R. H. and Kalyani, V. V., 1934. Hydrogen ion concentration and the intake of nitrogen by rice plants. *Indian J. Agric. Sci.*, **4**, 803—831.
- [9] Vlamis, J. and Davis, A. R., 1944. Effect of oxygen tension on certain physiological responses of rice, barley and tomato. *Plant Physiol.*, **19**, 33—51.
- [10] Raalte, M. H., 1944. On the oxidation of the environment by the roots of rice. *Ann. Bot. Gardens, Hors Series*, 15—34.
- [11] Alberda, T., 1953. Growth and root development of lowland rice and its relation to oxygen supply. *Plant and Soil*, **5**, 1—28.
- [12] 熊田恭一, 1949. 水稻幼植物の根圏土壤に関する研究(第二報) 水田土壤の酸素消費力について. 日本土壤肥料學雜誌, **19**, 124—128.
- [13] 佐藤庚, 1952. 水稻の根による水中溶存酸素消耗に関する 1, 2 の觀察. 日本作物學會記事, **21**, 16—17.
- [14] Patrick, W. H. and Sturgis, M. B., 1955. Concentration and movement of oxygen as related to absorption of ammonium and nitrate nitrogen by rice. *Proc. Soil Sci. Soc. Amer.*, **19**, 59—62.
- [15] 徳岡松雄、熊秀辰, 1940. 水稻生育に對する滿淹の影響に就て. 日本土壤肥料學雜誌, **14**, 335—344.
- [16] Gile, P. L. and Carrero, J. O., 1916. Assimilation of iron by rice from certain nutrient solutions. *J. Agric. Res.*, **7**, 503—528.
- [17] Gericke, W. F., 1930. Plant food requirements of rice. *Soil Sci.*, **29**, 207—227.
- [18] Kapp, L. C., 1937. A study of factors concerned with rice growth. *Ark. Agric. Exp. Sta. Bull.* No. 349.
- [19] 馬場越、高橋保夫、岩田岩保, 1953. 水稻の胡麻葉枯病罹病に関する營養生理的研究(預報) V. 鐵加用が水稻の生育及び胡麻枯病に及ぼす影響. 日本作物學會記事, **22**, 41—42.
- [20] Ponnamperuma, F. N., Bradfield, R. and Peech, M., 1955. Physiological disease of rice attributable to iron toxicity. *Nature*, 175, 265.
- [21] Tomlinson, T. E., 1957. Changes in a sulfide-containing Mangrove soil on drying and their effect upon the suitability of the soil for the growth of rice. *Emp. J. Exp. Agric.*, **25**, 108—118.

STUDIES ON OXIDATION-REDUCTION PROCESSES IN PADDY SOILS

(III) Influence of Oxidation-Reduction Conditions of the Soil on the Growth of Rice

T. J. Yü and W. L. LIU

(Institute of Soil Science, Academia Sinica)

For the study of the influence of oxidation-reduction conditions of the soil on the growth of rice plant, pot experiments with three paddy soils were conducted. The used soils included an acid paddy soil derived from

quartary red clay, an acid mountain paddy soil derived from granite and a neutral alluvial paddy soil.

It was found that the application of green manure just before planting in amount equivalent to 1% of the soil led to the retardation of growth of rice as compared with the control treatment; dry weights of tops of rice plant amounted to only 78%, 22% and 45% respectively of the controls for the three soils. The difference in growth between the two treatments was most remarkable in the early period of plant growth. If the green manure had been decomposed for one month in pot under semi-aerobic conditions before planting, then the unfavorable effect could be noted only in the neutral alluvial paddy soil which contained a relatively larger amount of organic matter.

The improvement of oxidation-reduction conditions of the soil by intermittent applications of hydrogen peroxide and keeping the soil moisture content at a level of about 50—70% of water-holding capacity instead of waterlogging improved plant growth in soils with intensive reduction processes, the effect being most conspicuous in the acid mountain paddy soil where the unfavorable effect of green manure was also most remarkable.

Measurements of oxidation-reduction potentials of leaves and stalks of rice showed that the potentials were lowest when grown in pots with green manure, and were highest when hydrogen peroxide had been applied into the soil. There was also a rough correlation between potentials determined with platinum electrode and with quinhydrone electrode, thus indicating that the redox systems of rice plant when grown under different oxidation-reduction conditions were not the same both expressed as intensity factor (redox potential) or as quantity factor (the change in redox potential of quinhydrone).

For the purpose of explaining the unfavorable effect of intensively reduced conditions of the soil on the growth of rice plant, it was noted that there was a parallelism between the amounts of exchangeable and water-soluble ferrous iron of the soil and the magnitudes of unfavorable effect. Further pot experiment confirmed this supposition, in which the application of ferrous sulfate in amount of 50 mg. iron per 100 grams of soil already led to the retardation of growth of rice.

Conclusions were made that the unfavorable effect of reduction conditions of paddy soils on the growth of rice was due to the excessive amount of reduced materials, in which ferrous iron probably occupied an outstanding position, and measures leading to the improvement of oxidation-reduction conditions of the soil could overcome this unfavorable effect.