中華農業研究（Jour. Agric. Res. China）33(3)：265～275（1984）

稻田土壤還原電位之檢定及用於水分管理之研究[1]

黃　明　輝[2]

摘要：本研究首先探討本省稻田土壤還原電位(Eh)之分佈及其對水稻生產之影響，進而研究晒田對土壤 Eh 和水稻生產之影響，以尋求合理的水分管理。

（一）一期作時，片岩冲積土及東岸母岩冲積土之稻田較易發生高度還原問題。二期作在晒田前所有土類的土壤 Eh_7（Eh at pH7.0）皆低於 −150mV，指出二期作水稻分蘖盛期之土壤已高度還原。

（二）一期作晒田前之土壤 Eh 和稻穀產量有顯著正相關（r＝0.24*）。二期作晒田後之土壤 Eh 和稻穀產量亦爲顯著正相關（r＝0.34*）。這顯示土壤 Eh 是影響水稻生產的重要因子；並且指出測定時機，一期作在晒田前，二期作在晒田後。

（三）晒田是提高土壤 Eh 的有效方法。水分管理用 W_2 之間歇灌溉方法對二期作水稻生產最有利，此方法比推薦法 W_3 增產稻穀10%。

土壤浸水後，其物理、化學和生物的性質皆起變化，而影響水稻的生長。因爲浸水，使大氣和土壤間的氣體交換減緩，一天之內氧氣幾乎全部消失，造成土壤的還原狀態[11]，依土壤特性，其還原電位（Eh）可降至 0.2～0.3V（Volt）之範圍內，但是表土上面水分及最上面數公分的土壤仍維持 0.3～0.5V[9]。在無分子氧的情況下，還原電位是水田還原程度的最好指標，它可提供土壤中化學和生物變化的訊息[4,8]，並且還原電位低於 200mV 時，測定 Eh 較測定氧氣擴散速率或還原物質濃度爲佳[5]。浸水土壤的 Eh 可分爲四個等級，依次爲高度還原（−300～−100mV）、還原（−100～100mV）、中度還原（100～400mV）和氧化狀態（400～700mV）。

因爲土壤的不均勻，白金電極直接插入土壤測定 Eh 其測值間差異很大，有差至 300mV者[6,7]。若以一支白金電極測定土壤 Eh，其標準偏差爲80～90mV。若用20至40支白金電極測定土壤 Eh 其平均值的標準偏差降爲 10～20mV[2]。影響白金電極測定土壤 Eh 的因子有白金電極前處理、白金絲表面積、白金電極和土壤接觸時間，有機質及氣溫等[1,12]。在白金絲表面積 11.8～24mm² 和白金電極絕緣部分之直徑 5 或 8 mm 條件下，白金電極與土壤接觸 8 小時可達平衡[1]。若有足够分解性有機質則 Eh 也許會降至 −300mV[12]。

土壤 Eh 愈低，土壤愈還原。低 Eh 有害於發芽、秧苗生長及根系發展[3,10]，但不妨害健全植株的生長[10]。適合水稻生長之 Eh, Ponnamperuma(1978)[10] 主張是土壤溶液 Eh_7（Eh at pH7）

1. 臺灣省農業試驗所　研究報告第1167號。本文承蒙中興大學楊教授策羣、本所農化系林主任家棨和儀器化驗室李任蘭希指導，助理研究員林先生登鴻和各農改場土肥股同仁全力協助，以及農發會經費補助，特此致謝。

2. 本所農化系助理。臺灣省　臺中縣　霧峰鄉。

10～120mV, 然而曾氏 (1981) [3] 卻主張是土壤 Eh_7（晒田後）－73～－100mV 二種不同觀點是因爲土壤還原後，溶液 Eh 高於土壤 Eh 0.3～0.4V。

本省稻田之土壤母質大部是冲積土，缺乏良好構造，加上浸水下犂田所形成的泥漿，阻塞土壤孔隙，使底土愈來愈密實，故中細質地稻田的滲漏速率偏低。在本省二期作，高溫多雨的氣候下，土壤較易產生還原問題，或將不利於水稻的生產。晒田至 0.2 bar 小區可將土壤 Eh 由浸水時的負值提高至 200mV，而且比浸水區增產稻穀19% [2]。本研究一方面配合土壤肥力能限分類與應用計劃，至全省 80 處水稻氮肥試驗田檢定土壤 Eh 探討本省稻田土壤 Eh 之分佈及其對水稻生產之影響。一方面在本所農場進行水分管理試驗，研究晒田對土壤 Eh 和水稻生產之影響，以尋求適合本省水稻生產之水分管理方法。

材料及方法

試驗一：本省稻田土壤還原電位之檢定及其對水稻生產之影響。

一、檢定地區及土類：

本試驗配合土壤肥力能限分類與應用計畫，至本省各地水稻氮肥試驗田測定土壤還原電位 (Eh)、pH 和土溫。民國71年一期作測定80處，高雄區15點、臺南區15點、臺中區20點、桃園區12點、花蓮區 9 點及臺東區 9 點。二期作測定43處，高雄區 6 點、臺南區 7 點、臺中區16點、桃園區 6 點、花蓮區 3 點及臺東區 4 點。全部試驗田土壤按母質來源分七大類，砂頁岩冲積土 (SSA)、粘板岩冲積土 (SA)、砂頁岩及粘板岩混合冲積土 (SSSA)、紅壤 (RE, 含紅壤冲積土及黃壤)、東岸母岩冲積土 (EMA, 含黑色土)、片岩冲積土 (ScA) 及臺灣粘土 (TCA)。

二、檢定時間：

在水稻分蘖盛期（一期作在插秧後28至38天，二期作在插秧後20至30天，晒田前）以及插秧後70至100天（晒田後）各測定土壤 Eh 一次。

三、測定方法：

(一) 白金電極之製造：

用銼刀切割玻璃管（鈉玻璃、內徑 3mm、外徑 5mm）爲 20cm 長，一端在本生燈火焰上加熱，管口縮小至 1mm 時，迅將白金絲（長 1cm、直徑 0.8mm））放入5mm 再加熱使白金絲與玻璃管完全融合，冷却後，從另一端塞入一束細銅絲，再插入銅棒（長 25cm、直徑 2mm），使銅棒經銅絲與白金絲保持良好接觸，端口再用熱縮管加熱密封。

(二) 白金電極之檢驗：

白金電極插入 Eh 緩衝液中 (0.0033M $K_3Fe(CN)_6$、0.0033M$K_4Fe(CN)_6$ 及 0.1M KCl 混合液），測定其電動勢 (emf)，如測值互相間差異 2mV 以上者棄之。

(三) 土壤 Eh 之測定：

白金電極直接插入田間土壤中（距離稻叢 5～10cm）或間接插入田間採回之土柱上（直徑 9cm 長 12cm)，插入深度約 8cm，待24小時後，以 pH 計測定其電動勢（測定時，參考電極放在田面有水處即可），同時測定土壤 pH 及溫度，再依公式 1 或 2 換算爲 Eh_7。

公式 1：$Eh_7 = emf + 242 + 59(pH - 7) - 0.8(T - 25)$

公式 2：$Eh_7 = emf + 200 + 59(pH - 7) - 1.0(T - 25)$

式中 Eh_7 是 pH7 之土壤還原電位 (mV)、emf 是電動勢 (mV)、pH 是土壤 pH值，T 是土壤的攝氏溫度 (°C)、59 是每增加一個 pH 單位所增加的電壓，242 及 0.8是參考電極爲飽和甘汞電極在 25°C 時之電位及溫度係數。200 及 1.0 是參考電極用飽和銀一氯化銀電極在 25°C 時之電位及溫度係數。

每處試驗田測定 3 區（氮推薦區、氮增施區和氮減施區），每小區測20點，計每處測60點土

壤 Eh 值。

試驗二：水分管理對土壤 Eh 及水稻生產之影響

自民國70年二期作至 72年一期作，在本所25號水田（土壤 pH5.7，有機質1.6%，坋質粘壤土）利用自製水銀張力計控 3 種水分管理並配合 2 種氮肥用量，計 6 處理，4 重複，裂區設計排裂，主區是水分管理，副區是氮肥用量，進行水稻（臺農67號）田間試驗。3 種水分管理如下：

W_1：浸水至插秧後20至30日，接著間歇灌溉（即灌溉後等土壤晒至土壤水分張力接近0.2bar 再灌溉）至黃熟期。

W_2：浸水至插秧後40至50日，接著間歇灌溉（同 W_1）。

W_3：浸水至有效分蘖期，然後輪灌（排水稍乾後再灌溉），隨後晒田一次至田面有小裂縫爲止，接著幼穗形成期及抽穗開花期保持浸水，其他時間輪灌（農林廳推薦法）。

2 種氮肥用量：一期作是120及150 kg/haN 二期作是 100 及130 kg/haN。P_2O_5 和 K_2O 都各施60 及 90kg/ha。土壤 Eh 測定時間同試驗一，每小區測20點。

統計分析：全省測定之土壤 Eh 值，先求每處60個 Eh 值之平均值及平均值標準偏差，再把平均值換算爲 Eh_7 代表該處土壤還原電位。利用此資料和土壤肥力資料（有效性磷、鉀、矽、鋅、有機質、游離鐵及交換性鈣）以及稻穀產量資料（每處以氮推薦區、氮增施區及氮減施區等 3 小區，4 重複，12小區求平均值代表該處產量）列表及畫圖，再以直線及複迴歸分析，找出影響水稻生產之因子以及適合水稻生長之土壤 Eh 值。最後分析水分管理試驗之資料來闡明水分管理對土壤 Eh 和水稻生產之意義。

結果及討論

一、土壤還原電位和土類之關係：

本省主要土類的土壤還原電位分佈及變異，如圖 1、2 及表 1、2。民國71年一期作時，晒田前土壤還原電位，Eh_7 依序爲 ScA<EMA, RE<SA<SSSA<SSA<TCA，指出一期作時本省土壤以片岩冲積土最還原，其次爲東岸母岩冲積土、紅壤及粘板岩冲積土，而以混合冲積土、砂頁岩冲積

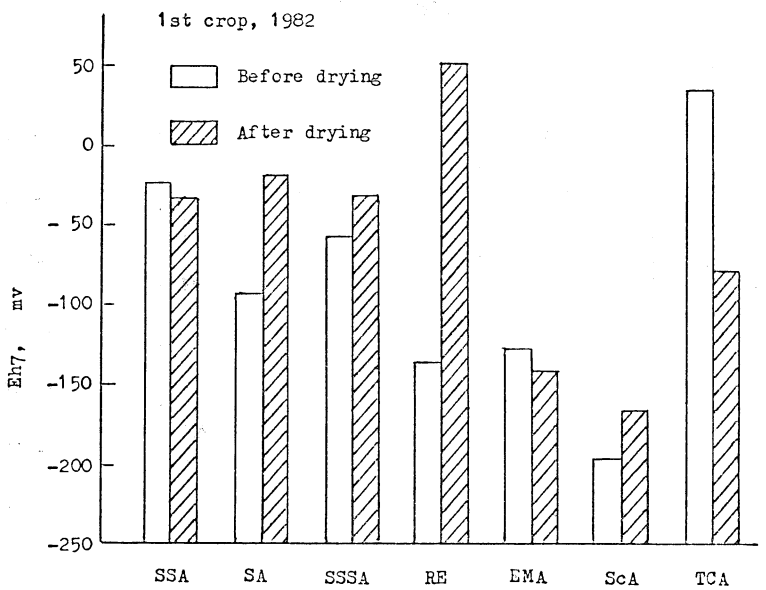


Fig. 1 Comparison of soil redox potential among soil categories

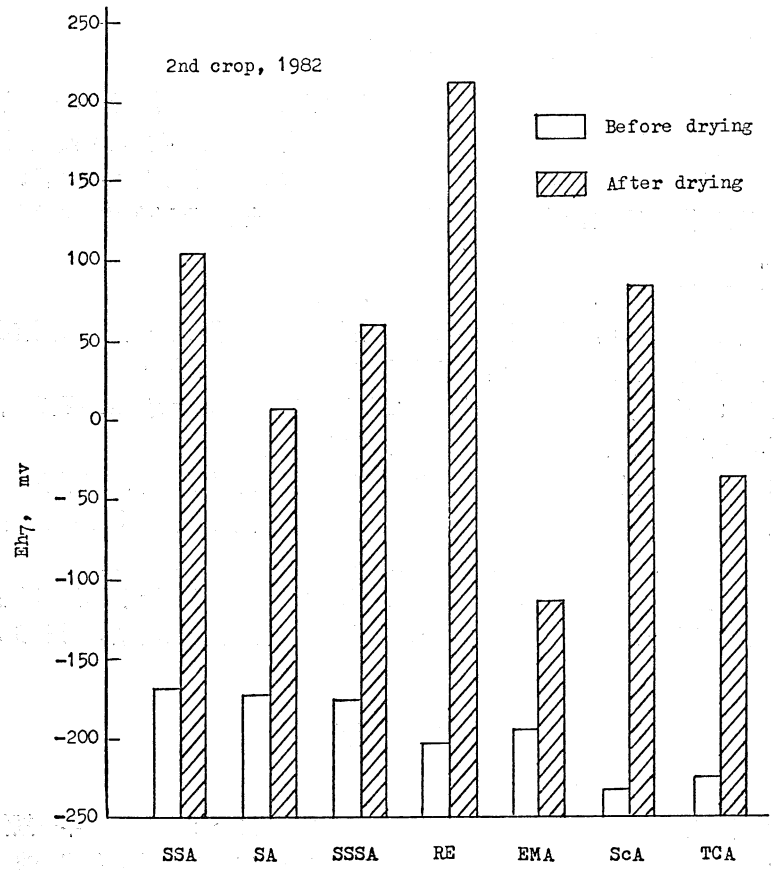


Fig. 2 Comparison of soil redox potential among soil categories

Table 1. Comparison of soil redox potential among soil categories (1st crop, 1982)

Soil categories	n	Eha	Ehb
		mv	mv
SSA	23	− 22±17	− 37±34
SA	22	− 92±16	− 22±25
SSSA	7	− 59±41	− 37±53
RE	8	− 136±14	48±41
EMA	3	− 125±50	− 142±55
ScA	10	− 194± 9	− 164±48
TCA	4	38± 8	− 80±22

* mean value with standard error of mean

* a : before drying. b : after drying

Table 2. Comparison of soil redox potential among soil categories

(2nd crop, 1982)

Soil categories	n	Eha	Ehb
		mv	mv
SSA	12	− 170±19	103± 51
SA	12	− 173±10	8± 41
SSSA	5	− 178±12	59±111
RE	3	− 202±40	207±111
EMA	3	− 195±15	− 114± 37
ScA	5	− 231±11	80± 99
TCA	3	− 225± 5	− 40± 12

* mean value with standard error of mean

* a : before drying. b : after drying

土及臺灣粘土較不還原。晒田後土壤 Eh_7 之順序爲 ScA<EMA<TCA<SSA, SSSA, SA<RE，仍以 ScA 及 EMA 之 Eh_7 最低（−150 mV），顯示一期作時，片岩及東岸母岩冲積土較易發生過度還原問題，亦即東部地區水田一期作時較易發生土壤過度還原問題。

二期作時，晒田前土壤 Eh_7 無論那一種土類，均低於 −150mV，顯示土壤已經相當還原，必須晒田。晒田後，除了東岸母岩冲積土及臺灣粘土的土壤 Eh_7 仍爲負值外，其他土類之土壤 Eh_7 都升爲正值，可能是東岸母岩冲積土及臺灣粘土晒田不足或未晒田所致。

無論那一種土類，二期作之土壤還原電位均低於一期作，表示二期作較易產生過度還原問題。又晒田前之土壤 Eh_7 標準偏差低於晒田後者，顯示晒田前土壤 Eh_7 分佈較均勻。

二、土壤還原電位和水稻產量之關係

由土壤還原電位與稻穀產量頻度圖顯示，民國71年一期作時，晒田前土壤 Eh_7 在 −200～−100 mV 之稻穀產量最低，其次爲 Eh_7<−200mV 及 −100～0mV，而以 Eh_7>0mV 之稻穀產量較高（圖3）。相反地，晒田後，却以土壤 Eh_7 在 −200～−100mV 之稻穀產量最高，而以 Eh_7>100 mV 之稻穀產量較低，此頗爲矛盾。若從表3之相關矩陣，可發現晒田前土壤 Eh_7(Eha) 和稻穀產量有顯著正相關（r=0.241），而晒田後土壤 Eh_7(Ehb) 却沒有明顯關係，這指出一期作水稻時，晒田前土壤還原電位較能反應水稻生長。此結果大致和曾氏[3]所得結果相符。

二期作時，晒田前土壤 Eh_7 均爲負值，0～−100mV, −100～−200mV 及 <−200mV 各佔 5，51 及 44%，即95%土壤 Eh_7 低於 −100mV（圖4），顯示二期作水稻生長初期土壤已相當還原，但所劃分三個範圍之土壤 Eh_7 的稻穀產量並沒有明顯差異。晒田後，72%之土壤 Eh_7 均上升至 −100mV 以上，而且隨著土壤 Eh_7 回升而使稻穀增產的趨勢極爲明朗。又從表4發現晒田後土壤 Eh_7(Ehb) 和稻穀產量有顯著正相關（r=0.344），此顯示二期作水稻時，晒田後土壤 Eh 較能反應水稻之生長。

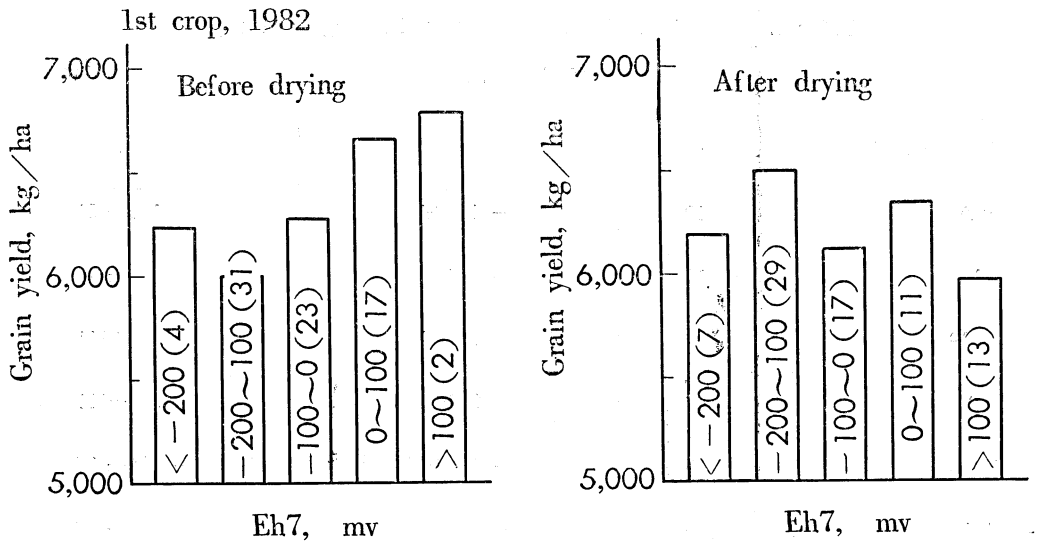


Fig. 3 Effect of soil redox potential on yield of rice.
(Data in each bar indicate the range of Eh_7, while those in ( ) show the number of field trials)

Table 3. Linear correlation coefficients between soil properties and grain yield (1st crop. 1982. n=77)

	Eha	Ehb	P	K	OM	Fe	Si	Ca	Zn
Ehb	−0.10								
P	−0.06	−0.02							
K	0.25*	0.11	0.10						
OM	−0.40**	−0.04	−0.29*	0.19					
Fe	0.12	0.24*	−0.32**	0.26*	0.17				
Si	0.14	0.02	−0.27*	0.26*	0.20	0.28*			
Ca	−0.00	0.00	−0.41**	0.07	0.19	−0.10	0.17		
Zn	−0.19	−0.13	−0.03	0.02	0.22*	0.00	0.16	−0.02	
Yield	0.24*	−0.10	−0.06	0.14	−0.03	0.11	0.12	−0.22*	0.17

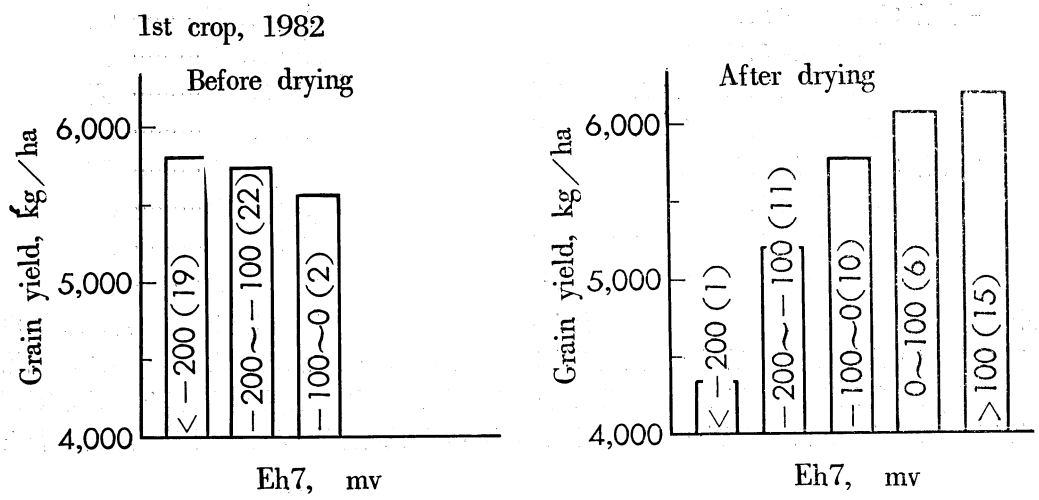


Fig. 4 Effect of soil redox potential on yield of rice.
(Data in each bar indicate the range of Eh_7, while those in ( ) show he number of field trials)

Table 4. Linear correlation coefficients between soil properties and grain yield (2nd crop. 1982. n=43)

Ehb	−0.04								
P	−0.05	−0.01							
K	0.12	0.01	0.12						
OM	0.04	0.03	−0.35*	0.18					
Fe	0.28	0.10	−0.26	0.22	0.20				
Si	0.14	−0.03	−0.37*	0.16	0.20	0.17			
Ca	−0.13	−0.29	−0.29	−0.03	0.13	−0.23	0.02		
Zn	0.00	0.18	0.05	0.02	0.16	−0.06	0.03	0.04	
Yield	0.12	0.34*	−0.13	0.35*	0.13	0.11	0.09	0.02	0.37*
	Eha	Ehb	P	K	OM	Fe	Si	Ca	Zn

最適水稻生長之土壤 Eh_7 究爲何值或範圍，經直線及曲線迴歸分析結果如下：

一期作：$Y=6502+2.68Eha$ $R^2=0.058^*$ …… (1)

$Y=6254-0.69Ehb$ $R^2=0.009$ …… (2)

$Y=6488+2.97Eha+0.0024Eha^2$ $R^2=0.059$ …… (3)

$Y=6223-0.75Ehb+0.0012Ehb^2$ $R^2=0.010$ …… (4)

二期作：$Y=6184+2.43Eha$ $R^2=0.015$ …… (5)

$Y=5662+1.83Ehb$ $R^2=0.119^*$ …… (6)

$Y=4834-15.91Eha-0.056Eha^2$ $R^2=0.046$ …… (7)

$Y=5948+3.81Ehb-0.011Ehb^2$ $R^2=0.257^{**}$ …… (8)

式中 Y 是稻穀產量 (kg/ha), Eha 是晒田前土壤 Eh_7(mV), Ehb 是晒田後土壤 Eh_7(mV) 。由（1）至（4）式指出，一期作時，雖然晒田前土壤 Eh_7 和稻穀產量有顯著正相關，但是二次曲線未達顯著水準，難以找出最適土壤 Eh_7。然而（5）至（8）式顯示二期作時，晒田後土壤 Eh_7 (pH7 時之土壤還原電位) 和稻穀產量有顯著正相關，而且從（8）式所得相關曲線（圖5）指出晒田後土

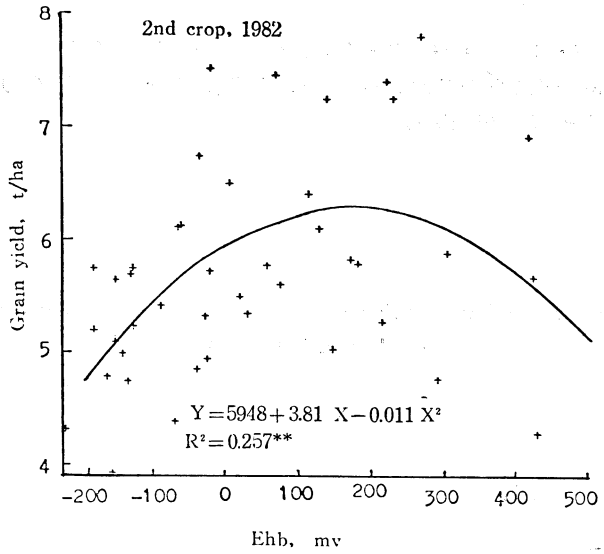


Fig. 5 Rice yield affected by soil redox potential measured after drying.

壤 Eh_7 173mV 時，稻穀產量最高。此和曾氏所得 −73mV 頗有不同，因爲①曾氏[3]結果是一期作，本結果是二期作。②二期作土壤比一期作土壤還原甚多（表1、2）更需要晒田，促使土壤還原電位上升愈多，愈有利於水稻生長。既知土壤還原電位和稻穀產量有密切關係，故欲利用土壤基本性質預估土壤還原電位，以預測那類土壤易發生過度還原問題，提供稻田土壤水分管理之參考。茲將迴歸分析結果略述如下：

一期作：$Eha=4.98-31.3OM$ $R^2=0.16^*$ …… (9)

$Eha=-24.14-36.33OM+0.287K$ $R^2=0.271^{**}$…… (10)

$Eha=1.17-32.79OM+0.248K-10.09SC$ $R^2=0.312^{**}$…… (11)

$Eha=-100-34.64OM+0.234K-8.68SC+11.06pH+8.54T$ $R^2=0.346^{**}$…… (12)

二期作：$Eha=-158-10.19SC$ $R^2=0.185^{**}$…… (13)

$Eha=-212-10.88SC+11.66T$ $R^2=0.303^{**}$…… (14)

式中 Eha 是晒田前土壤 pH7 時之還原電位，OM 是表土有機質含量，K 是有效性鉀，SC 是土類（SSA、SA、SSSA、RE、EMA、ScA 及 TCA 各以1、2、3、4、5、6及7代表），T是表土質地（LS～SL、SiL、L、SiCL 及 SiC 各以3、4、5、7 及 8代表）。（9）～（12）式指出一期作時，OM、K 和 SC 最能預估 Eha，加上 pH 及 T，可以預估 35%。（13）及（14）式指出二期作時，SC 及 T 即有 30%之預估能力。雖然未達50%以上預估能力，但是此五種都是很穩定的土壤基本性質，且統計上均達1%顯著水準，故對預估 Eha 仍頗有價值。例如（11）式，表土有機質 4%比 1%之 Eha 低 100 mV，片岩冲積土（ScA）比砂頁岩冲積土（SSA）更還原 50 mV，亦即富含有機質的片岩冲積土稻田易發生過度還原問題。

三、水分管理對土壤還原電位和水稻產量之影響

稻田水分管理旨在探討不同灌溉（或晒田）方式對土壤還電位（Eh）和水稻產量之影響，以建

Table 5. Effect of water management on soil redox potential (mv)

Year	Crop	W_1		W_2		W_3	
		Before drying	After drying	Before drying	After drying	Before drying	After drying
1981	2nd	− 61	− 17	− 88	− 71	− 122	− 76
1982	1st	131	− 121	144	− 138	149	− 143
1982	2nd	− 231	− 123	− 202	− 120	− 252	− 129
1983	1st	72	− 113	45	− 93	80	− 79

立合理的水分管理方法。從表5發現土壤 Eh 有下列現象。1.晒田前土壤 Eh，一期作時保持正值，表示土壤不太還原。二期作時均爲負值，尤其是71年二期作更低於 −200mV，顯示土壤相當還原。2.晒田後土壤 Eh，一期作在 −79～−143mV，二期作在 −17～−129mV。一期作晒田後土壤 Eh 反而下降，乃因氣溫上升所致。二期作晒田後土壤 Eh 顯著上升，乃因晒田的效應。3.三種水分管理之晒田對土壤 Eh 的效應雖無明顯差異，但確能提高二期作之土壤 Eh。

Table 6. Effect of water management on grain yield

Year	Crop	W_1		W_2		W^{ε}	
		kg/ha	index	kg/ha	index	kg/ha	index
1981	2nd	4,772	107	4,974	111	4,475	100
1982	1st	7,657	100	7,601	99	7,690	100
1982	2nd	6,005	106	6,223	109	5,684	100
1983	1st	5,864	98	5,944	99	5,990	100

* The yield index of W_3 used as 100.

關於水分管理對水稻產量之影響，表6指出間歇灌溉的水分管理 W_1 及 W_2 較有利於二期作水稻的生產，但對於一期作却沒有明顯影響。70年二期作間歇灌溉處理 W_1（晒田5～6次）及 W_2（晒田3～4次）比推薦法（晒田1次）可增產稻穀7及11%，71年二期作亦可增產 6及 9%。在統計上，70年二期作，W_2 優於 W_1，W_1 優於 W_3，均達5%顯著水準。71 年二期作，W_2 優於 W_3，達1%顯著水準。但是71年及72年一期作，三種水分管理對水稻產量沒有明顯影響。

綜合言之，本省二期作時，稻田土壤 Eh 偏低，已有過度還原現象，且晒田確能提高土壤 Eh 而降低過度還原的危害。雖然三種水分管理之晒田對提高土壤 Eh 效應上沒有明顯區別，但仍以 W_2 之間歇灌溉管理（浸水至插秧後40～50日，然後晒田至土壤水分張力 0.2bar 時再灌溉，依此方式管理至黃熟期）最有利於二期作水稻生產。

參 考 文 獻

1. 李國貞1977、白金電極構造及表面狀態對還原電位測值的影響。國立中興大學學士論文。
2. 謝佑立1978、水分管理對土壤性質與水稻產量之影響。國立中興大學碩士論文。
3. 曾國珍、1981、還原電位和總體密度對水稻根系分佈與產量之影響、國立中興大學碩士論文。
4. Black, C. A. 1968. Soil-Plant Relationship. John Wiley & Sons, Inc., New York, U. S. A.
5. Bohn, H. L. 1971. Redox potential. Soil Sci. 112 : 39-45.
6. International Rice Research Institute. 1964. Annual Report. Los Baños, Philippines.
7. International Rice Research Institate. 1965. Annual Report. Los Baños, Philippines.
8. Patrick, W. H., Jr., and I. C. Mahapatra. 1968. Transformation and availablility to rice of nitrogen and phosphorus in water-logged soils. Adv. Agron. 20 : 323-329.
9. Ponnamperuma, F. N. 1972. The chemistry of submerged soils. Adv. Agron. 24 : 29-96.
10. Ponnamperuma, F. N. 1978. Electrochemical changes in submerged soils and the growth of rice. In "SOILS and RICE" p421-430. IRRI, Los Baños, Philippines.
11. Takai, Y., T. Koyama, and T. Kamura. 1956. Microbial metabolism in reduction process of paddy soils. Part I. Soil and Plant Food. 2 : 63-66.
12. Yamane, I. 1978. Electrochemical changes in rice soils. In "SOILS and RICE", p381-398. IRRI, Los Baños, Philippines.

Identification of Redox Potentials of Paddy Soils in Taiwan and Its Application to Water Management for Lowland Rice[1]

M. H. Haung[2]

Summary

This study was conducted to investigate the distribution of redox potentials(Eh) of paddy soils in Taiwan and its effect on the growth and yield of rice. A field trial on water management was carried out simultaneously in the experimental farm of this Institute to compare the influence of drying on Eh changes and the growth and yield of rice. The results are summaried as follows :

1. During the 1st crop, Schist Alluvial soil(ScA) and East-coast Mother rock Alluvial soil (EMA) were easier to bring about higher reduction. During the 2nd crop, soil Ei_7 (Eh at pH 7) of all the soil categories were below −150mv before drying. It indicated that all the soil categories were already highly reduced during the active tillering period of the 2nd crop.
2. For the 1st crop, the correlation coefficient between soil Eh and grain yield was positively significant($r=0.24^*$) before drying, while the correlation coefficient between soil Eh and grain yield was positively significant ($r=0.34^*$) after drying for the 2nd crop. It shows that soil Eh is an important factor affecting the growth and yield of rice. It also indicates that soil Eh should be measured before drying for the 1st crop, while soil Eh should be measured after drying for the 2nd crop.
3. Drying (drainage to 0.2 bar soil moisture tention) is effective to increase soil Eh. For the 2nd crop, the water management of intermittent irrigation (W_2) Was the most beneficial method. The grain yield of W_2 was more than that of standard method (W_3) by 10%.

1.Coutribution No. 1167 from the Taiwam Agricultural Research Institute.

2.Research Assistant, Department of Agricultural chimistry, TARI. Wufeng, Taichung Hsien, Taiwan 431, ROC.