

水稻土中氧化還原過程的研究

(II) 土壤與植物的相互影響

于天仁 李松華

(中國科學院土壤研究所)

在第一篇報告^[1]中,已研究了影響水稻土中氧化還原情況的一些條件。可以想到,在土壤中所生長的植物,也可以通過直接或間接的途徑,影響土壤的氧化還原過程。植物根所分泌的有機酸及其他有機化合物,可以影響土壤中的氧化還原電位和 pH 值;而植物根際的大量微生物的活動產物,也可以對土壤的氧化還原情況及 pH 值發生一定的影響。在這方面,近幾年來已累積了一些材料^[2a,2b,3,4,5]。另一方面,土壤中的氧化還原情況,也必然會對植物發生多方面的影響。例如,各種不同植物對土壤通氣情況的感應,已為植物生理學者所熟知;土壤中的氧化還原情況,可以影響植物的生長^[6,7,8,9],也可以影響植物的氧化還原電位^[10,11]。

水稻有其特殊的生理習性。已有的研究結果說明,當營養液中缺氧時,水稻仍可正常生長或所受的影響不大^[12,13,14];但是也有材料說明氧氣對水稻的發芽和生長有利^[15,16,17]。造成水稻對土壤中氧氣的需要情況的特殊性的原因,是由於水稻的地上部分有特殊的吸收和儲藏氧氣的器官^[18,19,20,21]所致;並且地上部分所吸收的大氣中的氧氣,可以通過根部向外分泌,而造成根際的氧化環境^[22,23,24]。但也有材料說明,在水稻生長時,土壤中的氧氣消耗很快^[25,26,27]。

但是到目前為止,關於水稻在不同生長時期中對土壤的氧化還原電位的影響及水稻土的氧化還原情況對植物體中氧化還原電位的影響,還沒有研究材料。本文的目的,就是研究水稻土和植物(水稻和高荳)之間在氧化還原電位方面的相互影響。

一. 水稻對土壤中氧化還原電位的影響

試驗係在水泥池中進行。水泥池長 1.8 米,寬 1.1 米,深 0.5 米,埋於地表面。內裝發育於下蜀系的中性棕壤,對稱地播種水稻兩簇,每簇直徑約 10 厘米。俟水稻高約 20 厘米後,定期測定電位。所用白金電極直徑為 1 毫米,玻璃管外露出部分長 1.3—1.4

厘米，玻璃管長 35 厘米，內裝少許水銀為接頭，插入銅綫與電位計相通，用飽和甘汞電極為對照電極，用補償式電位計進行測定。將電極插至一定深度，過 15 分鐘後進行測定，每次測定用三至四個白金電極，取其平均數。所得結果列於表 1 至表 3。

可以看出，10 月 8 日、20 日和 11 月 14 日所進行的三次測定結果，在趨勢上基本相同。在根系分佈最密的植物簇中央，氧化還原電位最高，在深度 3—8 厘米處，可達 150—220 毫伏；8 厘米以下電位漸低。距植物簇 20 厘米處，電位顯著下降，而且土層愈深，電位愈低。距植物簇 10 厘米處，電位數值介於二者之間。對於這種現象，可以這樣來解釋：在水稻根部，由於有氧氣向外分泌，因而使其電位升高，在這方面，當然應該是稻根分佈最密處的電位最高。在試驗後掘根觀察結果，根大多數分佈在表土 10 厘米的

表 1 水稻土中不同位置的氧化還原電位(毫伏)，第一次及第二次測定結果

與水稻距離 深度 (厘米)	10 月 8 日 測				10 月 20 日 測		
	0*	10**	20	30	0	10	20
3—8	180	110	60	-40	220	80	-10
8—15	-5	65	-5	-45	215	75	-35
15—20	-45	35	-20	-55	45	-20	-75

* 即水稻簇中央。 ** 自稻簇邊緣算起。

表 2 水稻土中不同位置的氧化還原電位(毫伏)，第三次(11 月 14 日)測定結果

深 度 (厘米)	與 水 稻 距 離 (厘 米)			
	0	5	10	20
0—3	250	80	15	-30
3—5	150	30	0	-60
5—8	155	5	-15	-80
8—15	70	-15	-55	-110
15—20	55	-30	-65	-95
20—30	30	-45	-80	-110

表 3 水稻土中不同位置的氧化還原電位(毫伏)，第四次(11 月 16 日)測定結果

深 度 (厘米)	與 水 稻 距 離 (厘 米)						
	0	5	10	22.5	10	5	0
0—3	80	150	130	140	120	160	65
3—5	55	110	105	125	110	155	50
5—8	130	165	95	110	85	175	125
8—15	-5	75	50	55	55	105	-30
15—20	-55	20	30	25	15	45	-85
20—30	-110	-15	15	5	-20	0	-100

範圍內,再向下就很少。在距水稻簇 10 厘米處,有一些平行伸展過來的稻根,因此也可影響土壤的電位有某些升高。在距水稻簇 20 厘米處,已受不到稻根的影響,因此其電位主要決定於土壤本身。根據 Alberda^[20] 和 Gee^[28] 以及日本的一些材料,在水稻土中土表 2 厘米以上尚受大氣氧氣的滲透影響,使電位維持於一較高值(400 毫伏以上),但因為氧氣的滲透速度很低^[17],所以在 2 厘米以下者電位即急劇下降,甚至可達負值。我們的測定結果,與這些材料相似。

第四次(11 月 16 日)的測定結果與前三次有所不同。在稻簇下部 15 厘米以下,電位顯著降低了,稻簇附近的電位也較前三次為低,約為 50—130 毫伏。相反,在距稻簇較遠處,電位有某些升高,雖然仍然是愈往下電位愈低。應該注意到在兩個稻簇之間,電位分佈的極好的對稱性,這也可間接說明測定結果是可靠的。造成這種電位變化的原因,或者與氣候變化所引起的植物生理變化和土壤微生物活動變化有關。在 14 日測定後,天氣變陰而驟冷,使稻葉有些凋萎現象。這樣,水稻地上部分的生命活動減弱,所吸收的氧氣可能減少,因此在根部分泌的氧氣也或將減少。這或者就是稻簇附近電位降低的原因。至於在距植物較遠處,其電位將決定於大氣中氧氣的滲透和土壤中微生物活動的強弱。在溫度降低時,微生物的活動產物減少,因而電位不像在微生物有較強烈的活動時那麼低。雖則如此,電位仍在 100 毫伏以下,與一般旱地的數值(400—700 毫伏)比較起來,仍然是很低的。

為了解釋水稻的生理特點,我們又用小麥進行了對比試驗。所用水泥池及土壤同前,內種小麥一簇,直徑約 15 厘米。在莖葉高約 20 厘米時,用同樣方法進行測定,所得結果列於表 4。

表 4 小麥對土壤中氧化還原電位的影響

深 度 (厘米)	與 小 麥 距 離 (厘 米)		
	0	10	20
0—3	425	485	605
3—8	545	535	615
8—15	615	610	610
15—20	620	620	610
20—30	未測	625	605

從表 4 可以明顯地看出,小麥可以降低土壤的氧化還原電位。在測定時,小麥根大概只伸展到垂直 10 厘米,水平 10—15 厘米左右,因為在這範圍以外,土壤的電位均為 600—620 毫伏左右,沒有什麼變化。在根部分佈最密處,電位為 425 毫伏,約較原來土壤降低 190 毫伏左右;這個降低的數值,較 Геллер 的結果^[1,2]大得多。

因此可以說，水稻可以影響土壤的氧化還原情況，使其電位升高；造成這種情況的原因，或者是由於其地上部分能夠直接吸收大氣中的氧氣，通過根部向外分泌所致。而小麥則使土壤的電位降低。

二. 土壤的氧化還原情況對植物體中電位的影響

從上述材料中可以看到，發育於下蜀層的中性棕壤經過幾個月的淹水並種植水稻以後，已發生了強烈的還原作用，土壤的電位很低。在形態上，也由原來的淡灰棕色變成棕灰色，顯示潛育化現象。爲了研究這種土壤的氧化還原情況對植物體中氧化還原電位的影響，我們進行了盆栽試驗。所用磁盆高 15 厘米內徑 11 厘米，內裝土壤 1.5 公斤。所用土壤有三種：一種爲原來未經種過水稻的棕壤；一爲自水泥池中取出者，尚爲水份所飽和；另一爲自水泥池中取出後曬乾者。三種土壤代表三種不同的氧化還原情況。每盆移植已生長到高約 20 厘米的高苳一株做供試植物，所用三株植物的粗細及高度均大致相同。在試驗期間，土壤水份保持最大持水量的 60% 左右。我們選擇高苳的原因，是因爲它的莖較粗，且內含汁液較多，易於用白金電極直接進行氧化還原電位的測定。

生長一週後，進行土壤和植物體中氧化還原電位的測定。土壤中電位的測定法同前，白金電極插入深度爲 7 厘米。在植物莖部，插入兩個小白金電極，白金絲直徑 0.5 毫米，玻璃管外露出部分長 1 厘米；將兩個白金電極的導綫相連接，接以極細的漆包綫一長段，以在測定時連接 Gamma 牌直讀式 pH 計而不致使電極有所搖動，影響電位數值。因爲一般植物體中的氧化還原平衡作用 (Poising action) (Beschwerung) 並不是很強的，兩個白金電極的電位總會有些差別。我們設想，將兩個白金電極的導綫相連，使其自己短路，這樣就形成了一個小的電池，使兩個白金電極相互極化，因而使二者的電位相等，自動地消除了電位差。這種方法，應該較 Virtanen^[10] 的兩個白金電極分別測定法爲好，易於判斷植物的 Eh 值。

在測定電位時，我們使用了一個特製的甘汞電極。其構造如圖 1 所示。製造方法如下：用外徑 3.5 毫米，長約 3.5 厘米的小玻璃管一段，一口封以一段細白金絲，內裝以少量水銀和用通常法製成的甘汞糊，再用棉花塞緊。另以直徑 1 厘米，長約 4 厘米的玻璃管，在中間吹成直徑約 5 毫米的一口，以便將來注入 KCl 溶液。用柏油使一 20 號的普通醫用注射針頭經過一段細玻璃管與此二者相接，注入飽和 KCl 溶液，即形成了一個甘汞電極。針尖用棉花或細紙屑塞緊，以使 KCl 溶液不致下漏；粗管口套以橡皮管，以防 KCl 溶液蒸發及濺出。白金絲與普通導綫相銲接；因爲白金絲易斷，所以外部

套以外徑約 8 毫米，長約 3 厘米的玻璃管一段，仍用柏油固定。這樣的甘汞電極易於插入植物，經試驗證明，如製作良好並僅將尖端插入植物，可以得到正確的電位。有時可

較理論值高或低 10—20 毫伏，但因為其電位仍是固定不變的，所以加改正值後，也可應用。

電極插入植物 5 小時，使達平衡後定期進行測定，所得結果列於表 5。

可以看出，三種土壤的氧化還原電位有劇烈差別。未種過水稻的原來棕壤，電位保持 590 毫伏，種過水稻淹育性的土壤，電位為 -200 毫伏。將土壤曬乾後，仍不能恢復原來土壤的電位。顯然，淹育後土壤的氧化還原體系，雖在曬乾時有劇烈變化，但仍有些保留於還原性較強的狀態。

對於植物的測定結果，雖然差別不像土壤中那麼劇烈，但是三種不同情況下的十一次平均值為 635、618 及 603 毫伏，仍然應該認為是顯著的。

圖 2 是在生長四週後，應用退極化方法，所測得的退極化曲線。正極極化時仍用 1N HCl 氫醌電極，負極極化時仍用飽和鉛及醋酸鉛電極。其詳細測定方法，已敘述於第一篇報告^[1]中。

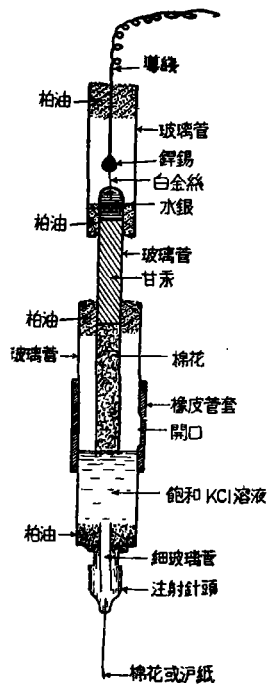


圖 1 甘汞電極構造圖

因為正極退極化曲線和負極退極化曲線不是一天測定的，而在不同的時間，高莖的電位可發生某些變化，所以兩條綫之間，不像土壤中^[1]那麼接近。但是在兩種土壤中所生長的植物的差別，仍是可以明顯地看出來的。對於正極退極化曲線，兩種植物的最後電位的差別約為 50 毫伏左右，對於負極退極化曲線，最後電位的差別約為 75 毫伏左右。從負極退極化曲線的比較中，可以看出在氧化性土壤中所生長的植物，具有較強的氧化體系。

值得注意的還有兩點：第一，還原性土壤（淹育後）的原來 Eh 值很低（見表 5），但在盆中維持土壤的最大持水量四週以後，電位升高到 515 毫伏，說明受大氣

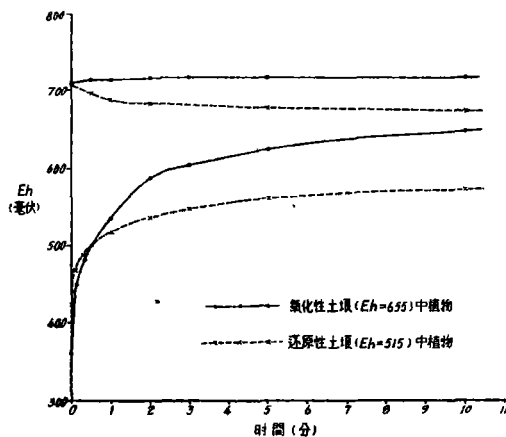


圖 2 不同的氧化還原情況土壤中生長的高莖的退極化曲線。

表5 水稻土中氧化還原情況對高莖電位的影響

測定時間	土壤 Eh (mv)			植物 Eh (mv)		
	原來土壤	淹育後曬乾	淹育後	原來土壤	淹育後曬乾	淹育後
2月21日						
下午1時半	590	350	-200	600	575	575
5時半	615	375	-200	615	620	620
9時	585	370	-180	635	610	580
22日						
上午9時	570	380	-205	625	585	580
下午1時	575	365	-225	615	585	575
5時半	580	370	-225	615	595	585
23日						
上午7時半	590	410	-190	620	620	580
下午5時	585	405	-205	630	620	620
24日						
上午10時	580	405	-220	680	655	650
25日						
上午7時半*	615	460	-185	685	675	630
26日						
上午9時	—	475	-180	665	660	635
平均值	589	400	-201	635	618	603

* 24日測定後重新洗淨電極，然後插入植物。

中氧的影響，發生某些氧化作用；第二，高莖體中的電位，較前人用其他植物所得者為高，因為前人所得的結果，很少有超過 500 毫伏以上者^[10,11,21,29,30]。可能，在高莖的生長末期（已將開花），其氧化還原電位較高。因為事實上，在我們用較幼小的高莖測定電位時，則變動於 350—600 毫伏之間。

三. 土壤中氧化還原情況對植物生長的影響

在上一試驗中，當高莖移植到三種不同氧化情況的土壤中以後不久，即看出生長的差別。在淹育後未曬乾的土壤中生長的高莖，葉部現白斑很多；已曬乾的土壤中生長的高莖，也有類似的白斑，但數量較少。未種過水稻的土壤中生長者，則葉色正常。不久，在發育上也看出差別，在還原性土壤中生長的高莖，發育得極為遲緩。

因此，我們繼續用水稻和高莖進行盆栽試驗。土壤同前，每處理四個重複；每盆以 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 狀態加入 N 0.5 克，分兩次以溶液加入。所用水稻已生長二週，高約 10 厘米，高莖已生長三週，有三個真葉。種水稻的盆中，保持水份飽和，種高莖的盆中，保持最大持水量的 60% 左右。三個月後剪下地上部分，烘乾、稱重。結果列於表 6。

表 6 土壤氧化還原情況對植物生長的影響

土壤情況	水 稻 (克/盆)	高 苳 (克/盆)
淹 育 後	17.8	5.0
淹 育 後 曬 乾	17.8	21.3
原 來 土 壤	10.1	18.4

可以看出，對於高苳，在強烈還原性土壤中生長者每盆重量僅 5.0 克，而在氧化性較強的土壤中則為 21.3 和 18.4 克，即相差約四倍。兩種氧化性較強的土壤中生長者，最後重量沒有顯著差別，但實際上在試驗前一半時期，原來棕壤中生長的高苳較淹育後曬乾的土壤中者為繁茂，僅僅在生長後半期，才逐漸趕上前者。

對於水稻，情況則有所不同。對於淹育後的土壤，無論曬乾與否，對植物的生長沒有發生影響，植物發育正常。可見在一定的條件下，水稻對於土壤的還原性物質的抵抗力較強，這應該說是水稻生理上的一個特點。至於原來乾土中的重量較低，原因還不明瞭，有可能，與 N 的反硝化作用使 N 損失較強烈有關，因為水稻葉部較黃，葉面較狹，很像缺 N 象徵。而我們另外的試驗也證實了前人的結果，即在一定條件下，水稻土中 N 的損失很大。當然，這只是一個猜測。關於水稻對土壤中氧化還原條件的感應，還需要進一步的深入研究。

摘 要

1. 水稻根部的氧化還原電位較根外部者為高。根愈密集，電位也愈高。小麥根部的電位則較根外者為低。水稻根系對土壤氧化還原電位的影響，隨其生理情況而不同。

2. 在氧化性較強的土壤中生長的高苳體內的電位較高，在還原性較強的土壤中生長者，電位也較低。

3. 在土壤的氧化還原電位低時，高苳的生長受到抑制，而在本試驗的條件下，水稻仍能生長良好。

4. 敘述了一種甘汞電極的製作方法，用這種電極，可以很方便地作為直接用白金電極測定植物體中氧化還原電位時的對照電極。

參 考 文 獻

- [1] 于天仁、李松華，1957. 土壤中氧化還原過程的研究 (I) 影響氧化還原電位的條件，土壤學報，5 (1)，97—110。
- [2a] Геллер, И. А., 1952. О влиянии культурных растений на окислительно-восстановительный

- режим почвы. Почвоведение, № 10, 920—926.
- [26] Геллер, И. А., 1948. Окислительно-восстановительные свойства ризосферы. Сб. Научн. работ по агрохим., Почвовед. и с.-х. Микробиологии. (見 Сердобольский, И. П., 1953. Динамика окислительно-восстановительных условий в черномых почвах камменной степи. Вопросы травопольной системы земледелия. Том. 2, 438—457.)
- [3] Геллер, И. А., 1953. О влиянии растения на окислительно-восстановительный потенциал почвы. Доклады АН СССР, **89**, 565—567.
- [4] Геллер, И. А., 1954. О корневых выделениях растений. Доклады АН СССР, **95**, 1105—1108.
- [5] Рабинович, В. А., 1955. О зависимости окислительного потенциала почвы от жизнедеятельности почвенной микрофлоры. Доклады АН СССР, **103**, 305—308.
- [6] Геллер, И. А., 1953. О влиянии окислительно-восстановительных свойств почвы на прорастание семян. Доклады АН СССР, **89**, 355—358.
- [7] Volk, N. J., 1939. The effect of oxidation-reduction potential on plant growth. *J. Amer. Soc. Agron.*, **31**, 665—670.
- [8] Karsten, K. S., 1939. Root activity and the oxygen requirement in relation to soil fertility. *Amer. J. Bot.*, **26**, 855—860.
- [9] Wiersma, D. & Mortland, M. M., 1953. Response of sugar beets to peroxide fertilization and its relationship to oxygen diffusion. *Soil Sci.*, **75**, 355—361.
- [10] Virtanen, A. I. und Hausen, S. S., 1949. Über die Bedeutung der das Redoxpotential erniedrigenden Stoffe für das Wachstum der Pflanze. *Z. Pflanzenernähr. Dung. Bodenkunde*, **45**, 11—22.
- [11] Геллер, И. А. и Харитон, Е. Т., 1951. О влиянии азотобактери на окислительно-восстановительный потенциал тканей растений. Доклады АН СССР, **78**, 1041—1043.
- [12] Taylor, D. L., 1942. Influence of oxygen tension on respiration, fermentation and growth in wheat and rice. *Amer. J. Botany*, **29**, 721—737.
- [13] Vlamis, J. & Davis, A. R., 1943. Germination, growth and respiration of rice and barley seedlings at low oxygen pressures. *Plant Physiol.*, **18**, 685—692.
- [14] Vlamis, J. & Davis, A. R., 1944. Effect of oxygen tension on certain physiological responses of rice, barley and tomato. *Plant Physiol.*, **19**, 33—51.
- [15] Jones, J. W., 1933. Effect of reduced oxygen pressure on rice germination. *J. Amer. Soc. Agron.*, **25**, 69—81.
- [16] Chwan-Kwan Lin., 1946. Effect of oxygen and sodium thyoglycollate on growth of rice. *Plant Physiol.*, **21**, 304—318.
- [17] Patrick, W. H. & 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.
- [18] Raalte, M. H., 1941. On the oxygen supply of rice roots. *Annales Bot. Gardens Buitenzorg*, **51**, 43.
- [19] 三井進午, 天正清, 1952. 作物の養分吸収に関する動的的研究(第三報) № 2 之生成より見なる作物根の還元力. *日本土壤肥料學雜誌*, **22**, 301—307.
- [20] Alberda, T., 1953. Growth and root development of lowland rice and its relation to oxygen supply. *Plant and Soil*, **5**, 1—28.
- [21] 馬場越, 稻田勝美, 1955. 水稻の組織汁液の酸化還元電位に就て. *日本作物學會記事*, **23**, 187—191.
- [22] Raalte, M. H., 1944. On the oxidation of environment by the roots of rice. *Annales Bot. Gardens, Hors Series*, 15—34.
- [23] 熊田恭一, 1949. 水稻幼植物の根圍土壤に関する研究(第一報)根圍土壤の微細構造及び根の酸化力について *日本土壤肥料學雜誌*, **19**, 119—124.

- [24] 福井重郎; 1953. 綠肥, 飼料作物の水田裏作に對する適應性に関する研究(第一報)根の酸化カの種類間差異について. 日本作物學會記事, **22**, 110—112.
- [25] 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カについて. 日本土壤肥料學雜誌, **19**, 124—128.
- [26] 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.
- [27] 三井進午 天正清, 1953. 作物の差分吸収に關する動的的研究(第八報)土壤滲透水より見たる水稻根の還元力と生育期. 日本土壤肥料學雜誌, **24**, 145—148.
- [28] Gee, J. C. de, 1950. Preliminary oxidation potential determinations in a "Sawah" profile near Bogor (Java). *Trans. 4th Intern. Congr. Soil Sci.*, Vol. **1**, 300—303.
- [29] Airola, E. & Crist, J. W., 1943 Oxidation-reduction potentials of the tissue fluid of cabbage. *Plant Physiol.*, **18**, 107—113.
- [30] Оканенко, А. С. и Островская, Л. К., 1951. Окислительно-Восстановительный Свойства Тканей кок-сагыза. Изв. АН СССР, серия биол. № 5, 81—105.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В РИСОВЫХ ПОЧВАХ

II. Взаимные влияния между почвами и растениями

(Выводы)

Юй Тянь-жэнь и Ли Сунь-хуа

Опыты, проведенные в рисовых почвах в периоде роста риса доказаны, что окислительно-восстановительные потенциалы при-корневых областей выше, чем вне корней, причем чем гуще корней, тем выше потенциалов. Потенциалы колеблются с ростом риса. Контрольные опыты с пшеницу показаны, что корневые системы пшеницы вызывают потенциал в при-корневых областях в 200 мв ниже по сравнению с областями вне корней.

При почвах с более сильными окислительными процессами потенциал растущих латуков сравнительно выше, а при почвах с более сильными восстановительными процессами потенциал их сравнительно ниже.

При почвах с низкими окислительно-восстановительными потенциалами рост латуков подавляется, а при подобных условиях рис растет все-же хорошо.

Исходя из выше указанных следует, что рис обладает специальными органами для получения кислорода из атмосферы.