

土壤电化学生特性的研究

I. 水稻土的电导与其肥力的关系

于天仁 何羣 蔣柏藩 宣家祥 謝建昌

(中国科学院土壤研究所)

在研究水稻土的肥力状况的时候,发生了肥力指标的问题。根据土壤研究所1958和1959年的初步经验,一般常用的速测方法,大多不能反映水稻土的真实肥力情况,尤其是对于在水稻营养上占最重要地位的铵态氮和磷。因此寻找另外的肥力指标,就成为土壤化学上的重要问题。

应用电导方法测定盐渍土的可溶盐含量,久已在土壤研究中广泛应用。但是关于应用这种方法来判断土壤的肥力状况问题,却很少受到土壤学者的注意。在仅有的少数工作中,Atkins^[1]最早注意到土壤加水放置时电导的增加,可能是肥力的一个有用指标;以后Sen^[2]把第8日与第1日电导之差,作为“7日增加数”,并发现这个指标与土壤肥力有一定关系。此外,White和Ross^[3]应用电导法研究了化学肥料对土壤溶液浓度的影响,Merkle和Dunkle^[4]应用电导法比较了温室土壤和田间土壤的可溶盐含量的差别。

我们想来,在水稻土研究中应用电导方法判断土壤肥力,具备两个比较有利的条件。我国的水稻主要是种植在南方非盐渍性的土壤上,由于土壤一般不含可溶性盐,所以电导数值与可溶性矿质养分之间的关系,应该比较明显。另外,在种植水稻的时期内,耕作层一般为水分所饱和,这就使电导的田间直接测定成为可能。因此我们在实验室和直接田间的条件下,进行了一系列的工作,试图找出水稻土的电导与其肥力水平的关系,并从而把电导测定结果,作为判断水稻土肥力状况的一个综合性参考指标。

一、方法部分

(一)研究方法

在工作中使用了两种电导池。在实验室内所用的电导池系用常法制成,两个白金片的面积各约为 4×10 毫米,焊封于玻璃管上,用火漆将二玻管固定以保持二电极间的固定距离。白金表面用常法镀铂黑。电导池常数为0.429。电导用Dr. Lange直读式电导仪测定,测定时室温接近于 25°C ,并以每 1°C 为2%的改正值,算成 25°C 的数值。测定结果减去蒸馏水的改正值。由于在田间土壤中直接测定时,通常的电导池的白金电极之间的距离可以被改变,所以我们特制了一个电导池,使二白金片固定于塑料板上,以保持片间的距离不变。电导池的构造如图1所示。电导池常数为0.47。田间测定时用携带式电导仪进行,交流电源系由感应圈供给,测定结果亦换算成 25°C 。所有电导数值均用比电导 $\times 10^5$ 表示。

(二)土壤水分含量对电导的影响

在水稻生长的时期内,耕作层的土壤一般为水分所饱和;上层泥糊的含水量可以超过最大持水量,而在烤田时或水稻生长后期,表土的含水量也可以低于最大持水量。从表1中用8种土壤所测得的结果看来,当土壤含水量介于最大持水量的70—130%时,除了质地特别轻的土壤如白砂土以外,电导的差异很小。考虑到在水稻生长的时期内,表土的含水量大多是在最大持水量的85%—120%的范围之内,所以在田间直接测定土壤的电导时,一般可以把水分含量的影响这个因素除去不計。

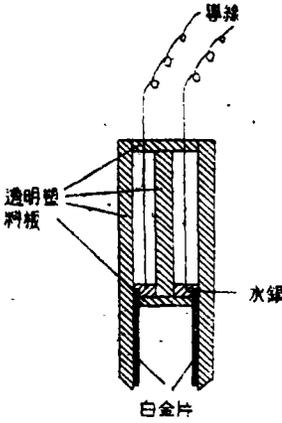


图1 田间电导测定中所用的电导池构造

(三)平衡时间对电导的影响

当应用于干土进行研究时,在土壤加水以后,土壤被水分的湿润过程和可溶性物质的溶解作用,需要一定的时间。另外,在放置过程中,微生物的活动可使电导增加。因此选择最合适的平衡时间,就成为一个重要问题。表2是用6种土壤进

表1 土壤水分含量对电导的影响($\times 10^6$)

土 壤	最大持水量 (%)	50%(注)	70%	100%	130%	1:1
白 砂 土	57.7	1.5	17	22	22	21
烏 砂 土	61.7	4.4	26	28	28	27
烏 泥 土	64.2	6.8	54	54	52	49
烏 泥 土	63.1	5.8	30	38	34	34
黄 生 泥	85.1	6.2	32	39	39	—
黄 格 土	45.1	13	31	34	33	31
青 格 土	43.7	—	33	34	34	34

注: 最大持水量的%; 1:1为水土比例值,加水后一天测定。

表2 加水后放置时间对电导的影响($\times 10^6$)

土 号	采集地点	项 目	不放置	1小时	2小时	3小时	5小时	10小时	26小时
江土32	江西安义	比 电 导	5.53	6.07	6.16	6.39	6.63	7.15	7.50
		每小时增加	0	0.44	0.09	0.23	0.12	0.10	0.02
27156	江西东乡	比 电 导	7.85	8.15	8.10	8.12	8.50	9.05	9.98
		每小时增加	0	0.30	-0.05	0.02	0.19	0.11	0.06
32015	广东博罗	比 电 导	25.8	27.4	28.2	29.3	30.3	30.8	33.2
		每小时增加	0	1.6	0.8	1.1	0.5	0.1	0.15
33583	浙江宁波	比 电 导	26.0	26.9	27.6	28.1	28.8	29.7	33.7
		每小时增加	0	0.9	0.7	0.5	0.35	0.18	0.25
32010	广东博罗	比 电 导	28.3	28.7	29.0	29.3	29.6	29.7	30.8
		每小时增加	0	0.4	0.3	0.3	0.15	0.02	0.07
32041	广东广州	比 电 导	39.5	39.9	40.5	41.4	42.1	43.6	47.4
		每小时增加	0	0.4	0.6	0.9	0.35	0.30	0.24

行測定的結果。測定時用風干土 10 克, 在小三角瓶中加水 50 毫升, 搖 1 分鐘, 在室溫放置半小時, 搖半分鐘使懸液混勻, 放 10 分鐘使較大土粒沉下後, 測定上部懸液的電導, 作為起始數值, 以後放置不同時間測定, 每次測定前搖動半分鐘, 放置 10 分鐘。從表 2 的結果可以看出, 大多數土壤在最初 3 小時內, 電導都增加較多, 並且增加速度隨時間而漸減; 到 3 小時以後, 每小時所增加的數值即較小, 並且大致為一常數。可以認為, 3 小時以前的增加主要是由於可溶物質的溶解作用; 3 小時以後的增加, 則主要是由於微生物的活動所致。其中 33583 (寧波) 和 32041 (廣州) 二個標本的有機質含量較高, 3 小時以後的增加數值也較大, 其他幾個標本都是紅壤性水稻土, 有機質含量低, 電導增加數值較小, 也可以說明這個問題。此外, 32041 的增加數值較大, 還可能與含有石灰有關。所以當應用風干土進行研究時, 加水後放置 3 小時左右即行測定, 較為合宜。

(四) 土粒對電導的影響

在土壤懸液或泥糊中進行電導測定時, 除了可溶鹽的種類和濃度這個主要因素以外, 土粒本身也可在不同程度上影響電導數值。在這方面有兩個問題值得考慮, 一個是土粒本身的體積, 減小了兩個電極間的溶液的真實體積, 因而應使電導較真溶液中為低; 一個是土粒本身帶有電荷, 因而應使電導增高; 一個是帶電荷的土粒與離子之間的相互吸引等作用, 應在不同程度上影響着離子的活度和遷移速度。關於第一個問題, 已為多量的研究材料所証實, 並在測定土壤中的可溶鹽時根據不同質地加以改正。第三個問題是個非常複雜的問題, 需要進一步闡明。關於第二個問題, 文獻上有着不同的記載。例如 Atkins^[1] 注意到大土粒沉下後, 土壤懸液的電導與離心液相同; Wilcox^[5] 發現 1:1 土壤懸液的電導, 較濾液稍低; Reitemeier 和 Wilcox^[6] 應用純礦物研究的結果, 認為只有在可溶鹽量極低時, 膠體本身的電導才需要考慮。

我們從幾個途徑, 來接近這個問題。

1. 將表 2 中已測過電導的土壤懸液, 搖動半分鐘, 使土粒混勻, 放置, 插入電導池, 使白金片剛沒入懸液中, 在不同時間測電導; 然後離心 15 分鐘, 測離心液的電導, 結果如表 3 所示。可以看出, 對於大多數土壤, 開始時電導較高, 以後隨着土粒的沉下, 電導稍為降低, 從 20 分鐘到 1 小時以後, 電導又稍為升高。離心液的電導, 大多較懸液為高。

表 3 土粒沉澱時間對懸液上部電導的影響 ($\times 10^6$)

土 號	採集地點	2 分鐘	5 分鐘	10 分鐘	20 分鐘	30 分鐘	1 小時	2 小時	離心液
江土 32	江西安義	7.37	7.32	7.45	7.45	7.37	7.32	7.56	—
27156	江西東鄉	—	9.97	9.67	9.64	9.64	9.52	9.98	10.07
32010	廣東博羅	31.6	31.4	31.2	31.2	31.4	31.4	32.1	32.7
32015	廣東博羅	32.6	32.8	32.0	32.2	32.6	33.8	34.0	—
33583	浙江寧波	34.8	34.6	34.5	34.5	34.3	34.8	—	32.8
32041	廣東廣州	50.0	49.6	49.6	48.4	50.0	50.4	—	50.7

2. 稱干土 10 克, 在離心管中加水 50 毫升, 搖 1 分鐘, 放置 4 小時, 使達平衡, 搖半分鐘使土粒混勻, 放置 10 分鐘後測不同深度處的電導和離心液的電導, 結果列於表 4。可以看出, 懸液上部(粗粒較少)的電導, 較下部者稍大, 而完全除掉土粒的離心液, 電導較前二者更大。

表4 土壤懸液不同深度处的电導($\times 10^5$)

土 号	項 目	1—2 厘米	3—4 厘米	5—6 厘米	离 心 液
江 土 32	比电导 (%)	6.61	6.54	6.54	6.93
		95.6	94.5	94.5	100
27156	比电导 (%)	6.92	6.92	6.88	7.32
		94.7	94.7	94.1	100
33583	比电导 (%)	21.3	21.4	21.4	22.2
		96.2	96.6	96.6	100
32010	比电导 (%)	27.9	27.9	27.3	29.6
		94.3	94.3	92.5	100

3. 方法同上,但选择了不同質地的土壤,并且同时测定了底部泥糊的电导,結果列于表5。可以看出,离心液的电导,仍較悬液者为高,但底部泥糊(土粒大部集于此处)的电导,則因土壤質地的不同而有差別。对于質地較粘的土壤,泥糊的电导大多較悬液为高;質地較輕的土壤(32021)(含大量石英粒的砂壤土),泥糊中的电导較悬液低得多。

表5 土壤懸液不同部位的电導($\times 10^6$)

土 号	粘粒含量(%)	項 目	悬 液 中 部	底 部 泥 糊	离 心 液
29330	64.0	比电导 (%)	0.95	1.23	0.99
			95.4	124.3	100
29332	41.0	比电导 (%)	3.11	3.43	3.77
			82.5	91.3	100
29313	30.0	比电导 (%)	5.03	6.74	6.25
			80.8	108.3	100
32021	4.0	比电导 (%)	44.6	17.7	—
			100	39.6	—

以上这些結果說明,土壤胶体电荷对电导的正影响和土粒本身对电导的負影响,是一个很复杂的問題,二者影响的相对大小,因条件而不同。表3中为什么在20分钟到1小时之間有个轉折点,目前还难于找到适当的解释。但有一点是似乎可以肯定的,即在一般情况下,悬液中土粒体积的影响和土粒电荷对离子活度的影响,超过了土粒电荷本身的电导。

4. 在离心管中加水20毫升及不同量的土壤,使土水比例变动于1:1到1:32,放置3小时使达平衡后,搖匀,放20分钟,使大土粒沉下,測上部悬液的电导。將測定結果換算成每克土壤的比电导,根据悬液的“稀释”程度,繪成图2的曲綫。可以看出,曲綫大致可以分成三部分。在水土比例1:4到1:8的范围内,每克土壤的比电导大致相等;在土壤悬液較“浓”时,每克土壤的比电导減低,这应该主要是由于土粒本身对电导的負影响所造成;在悬液較“稀”时,每克土壤的比电导迅速增加。由于所研究的三种土壤都不含游离的可溶性盐,其引起电导的离子,应该基本上是由于吸附性离子在液相中的解离所致。图中的材料說明,悬液愈“稀”,吸附性离子的解离度愈大,即带电的胶体对离子的吸引力愈小。

图中 1、2、3 号三种土壤的阳离子代换量分别为每百克土壤 21、18、9 毫克当量,与三个曲线的高低位置相符。三种土壤在“无限稀释”时每克土壤的比电导分别为 6.7 、 3.9 和 3.0×10^{-5} ; 可以计算,按一般钙镁钾等盐的当量电导来看,即然在这样稀释的情况下,也只有约 0.5% 数量级的吸附性离子引起了电导。

表 5 中的材料还指明,当土壤的可溶性离子数量较低(29330, 29313),而胶体含量较高时,在胶体密集的泥糊中,电导可以超过离心液的电导。这暗示在这种情况下,胶体电荷本身的导电能力也不容忽视。对于这两种发育于第四纪红壤的水稻土,泥糊和离心液的比电导之差,分别为 0.24 和 0.45×10^{-5} 。根据 Overbeek^[7] 所引用的材料,一些无机胶体的电导的数量级为 10^{-7} 到 10^{-5} 。本工作中所测得的数值,也落在这个范围以内。由于田间水稻土的比电导一般都在 15×10^{-5} 以上,所以土壤胶体电荷本身对于电导的这个因素,一般可以不予考虑,而认为水稻土的电导,全系由与肥力有关的可溶离子的数量所决定。这也是应用电导法鉴别水稻土肥力的理论基础。

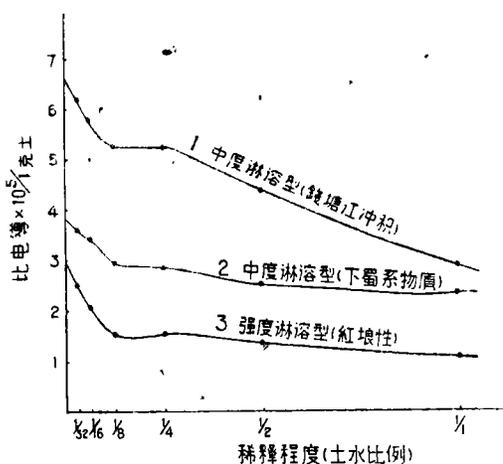


图 2 土水比例与电导的关系

我们在江西总结农民丰产经验的工作中,在水稻生长时期,直接在田间进行了大量测定,现在分成几项讨论。

二、土壤电导与肥力状况的关系

我们在江西总结农民丰产经验的工作中,在水稻生长时期,直接在田间进行了大量测定,现在分成几项讨论。

(一) 电导与肥力水平的关系

根据大量的田间测定结果,在绝大多数情况下,土壤的电导与肥力水平有明显相关。几个典型的结果列于表 6,用以显示高肥田与低肥田的差别情况。在田间测定中,由于土壤肥力的微域差异性很大,所以每个田块都有数个至数十个重复测定,以得到较为准确的结果。例如,一个施少量肥的田块的各次测定值为 1.0, 1.15, 1.15, 1.35, 1.10, 0.95, 1.1, 1.1, 1.15, 0.9, 1.02, 1.0, 0.93, 1.1, 1.13, 1.1, 1.05, 1.0, 1.35, 1.3 欧姆,平均为 1.10 欧姆。施中量肥的田块的各项测定值为 0.95, 0.9, 0.9, 0.9, 0.83, 0.8, 0.95, 0.8, 0.8, 0.95, 0.85, 0.95, 0.87, 0.93, 0.95, 0.9, 0.85, 0.95, 0.8, 0.95 欧姆,平均为 0.89 欧姆。由此看来,平均值的准确度还是很高的。归纳大量的田间测定结果,可以看出几个趋势:早稻生长初期时各田块的电导差异较大,以后随着水稻的生长,电导值降低,而且田块之间的差异也渐小;到水稻生长末期,电导又稍有升高;晚稻的情况大致相同,但到后期也不见电导回升。所有这些情况,都符合于水稻不同时期对养分的吸收速度和由温度所决定着的土壤养分释放速度之间的平衡情况。

(二) 施肥对土壤电导的影响

表 7 是一个施肥试验田的测定结果。试验地点为江西资溪,土壤是由花岗岩发育的

紅壤經中距离冲积而形成的水稻土,肥力較高。可以看出,不但施肥的数量可以在电导上明显地反映出来,而且肥料种类也有影响。由于火土灰吸收了一部分养分,所以施火土灰田块的电导反較不施者稍低。

(三)深耕中的施肥問題

表 8 为在花崗岩风化物质的河流冲积性水稻土上所进行的深耕試驗中的測定結果。可以看出,在深耕 7 寸时,由于施肥量的不同,电导有明显差别;深耕 1 尺者的电导,較施同量肥而深耕 7 寸者为低;深耕 7 寸者与施同量肥而耕 4 寸者的差别情况也相同。这說明为了保持一定的养分浓度以供水稻的吸收,当土壤深耕时必须要有相应的肥料配合,否則产量不一定能够提高,甚至还有可能減产。本試驗中的水稻产量結果,就說明了这个問題。

表 6 水稻土耕作层电导的田間測定結果
(5 月中至 6 月初)

編 号	地 点	土 壤	比电导 $\times 10^5$
資肥 2	江 西	花 崗 岩	24.7
資普 2	資 溪	风化物质冲积	16.3
临肥 2	江 西	撫 河 冲 积	30.2
临普 6	临 川		26.7
乐 肥	江 西	千 枚 岩 石 灰 岩	46.3
乐 普	乐 平	风化物质冲积	37.7
进肥 3	江 西	第四紀紅色粘土	35.5
进普 2	进 賢	发育(常施石灰)	22.4

(注)肥为肥沃土壤,普为一般肥力土壤。

表 8 深耕試驗中电导的測定結果

翻耕深度	施肥量(担/亩)	比电导 $\times 10^5$
4 寸	50	21.4
7 寸	50	15.0
7 寸	75	22.2
7 寸	100	34.4
10 寸	100	18.7

(注)分蘖期測(4 月 29 日)。

表 7 施肥对土壤电导的影响

处 理	施 肥 量 (亩)	比 电 导 $\times 10^5$
N ₁	紫云英 35 担	42.3
N ₂	紫云英 35 担,猪粪 35 担,大粪 15 担,硫酸铵 18 斤	51.5
N ₂ K	同 N ₂ , 另加火土灰 670 斤	49.5
N ₂ PK	同 N ₂ K, 另加过磷酸钙 50 斤	57.2
N ₃	紫云英 35 担,猪粪 70 担,大粪 15 担,硫酸铵 18 斤	69.0
N ₃ K	同 N ₃ , 另加火土灰 670 斤	68.0
N ₃ PK	同 N ₃ K, 另加过磷酸钙 50 斤	73.2

(四)水稻吸收对土壤电导的影响

上节中已經談到,随着水稻的生长,土壤的电导降低,这意味着养分浓度的減小。那么在水稻根系密集的区域,电导是否应该較低? 为了闡明这个問題,我們在江西資溪进行了晚稻根际土壤与根外土壤电导的动态观测。插秧时田中留出 1 尺多的空隙,以使水稻根系不致伸到此处,从而避免了根系对养分的吸收的影响。測定时按根际(根系密集处)和根外(只有少数稻根)分别取样,取样的深度相同。从表 9 的測定結果看来,无论对于施肥量少的田块或施肥量多的田块,在所有的各次測定中,除了一个例外以外,根际土壤的电导都較根外为低,二者可以相差 20% 左右。从图 3 的趋势可以看出,在水稻开始分蘖

以后,土壤的电导迅速降低;在追施硝酸铵以后(低肥区为每亩10斤,高肥区为每亩30斤),

表9 水稻根际与根外土壤电导的动态变化(注)

处 理	位 置	7/8	13/8	16/8	22/8	27/8	2/9	7/9	16/9
低 肥	根 际	27.6	43.6	52.9	38.6	30.8	50.6	38.2	23.3
	根 外	29.7	51.2	50.0	46.6	37.6	60.9	47.0	25.2
	根外/根际 (%)	107.6	117.6	94.7	120.8	122.2	120.5	123.2	108.2
高 肥	根 际	35.7	48.4	51.2	48.0	34.6	48.5	40.2	16.4
	根 外	38.9	57.3	61.0	60.2	35.4	66.3	43.9	23.2
	根外/根际 (%)	109.0	118.4	119.2	125.4	102.5	136.7	109.2	141.5

(注) 8月3日插秧, 8月29日追施氮肥。

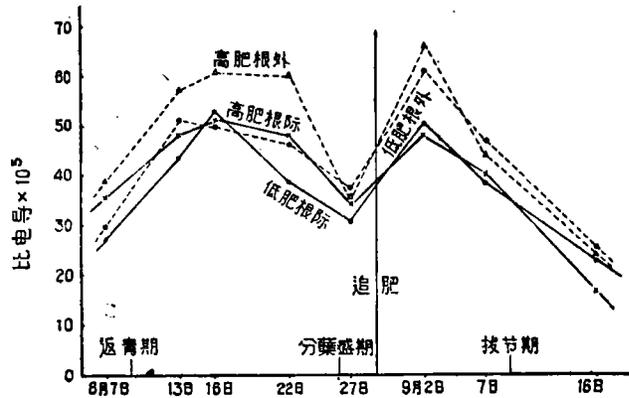


图3 根际土壤与根外土壤电导的动态变化

电导又迅即升高,但随着水稻的生长,电导又剧烈降低。所有这些情况,都说明水稻对养分的吸收,可以对土壤电导发生重大影响。第(一)节中所述的土壤电导随水稻生长而降低,并且高低肥田之间的差别渐不明显,也可以在这里找到解释。表10中所列的与电导同时测定的根际土壤与根外土壤的铵态氮含量的结果,也部分地说明了这个问题,在表中,无论高肥田块或低肥田块,在每一次测定中,根际土壤的铵态氮含量都较根外土壤为低。

表10 水稻根际与根外土壤铵态氮含量的动态变化(毫克N/100克土)(注)

处 理	位 置	7/8	10/8	13/8	16/8	22/8	27/8	2/9	7/9
低 肥	根 际	3.69	1.05	1.71	0.40	0.49	0.19	5.26	7.65
	根 外	4.09	2.83	3.31	2.30	2.69	2.46	7.22	10.05
高 肥	根 际	4.70	4.09	3.10	2.99	1.68	0.77	8.14	6.63
	根 外	9.00	8.41	8.62	5.04	6.52	9.82	10.52	12.05

(注) 8月3日插秧, 26日分蘖盛期, 29日追施氮肥, 9月9日拔节。

三、有机态养分的释放速度

长期以来,人们在鉴别土壤肥力的时候,大多是采用两类指标。一类是土壤中养分的总储量,如氮、磷、钾、有机质含量等;一类是所谓速效性养分,即能为植物迅速吸收的部

分。但是因为前者并不能全部为植物吸收利用,而后者又仅是植物吸收养分总量中的一小部分,所以,往往不能根据二者,正确地鑑别土壤肥力与植物生长的关系。对于另一个重要因素,即儲藏态养分在植物生长期間释放的数量和速度,一般却没有予以足够的注意。如前所述,由于在水稻生长期間能从土壤中迅速吸收大量养分,所以可能正是这个因素,在决定土壤对于养分的供应情况上,起着重要的作用。这种释放出来的养分,一部分来自矿质部分的分解,一部分来自有机部分的矿化。这种有机部分的矿化作用,应该表现为电导的增加。Sen^[2]正是利用这个原理,把土壤加水 7 日后电导的增加数作为土壤肥力的一个指标。

我們应用了大致相同的方法:称风干土 10 克(通过 1 毫米篩),置于三角瓶中,加入蒸馏水 50 毫升,搖 1 分钟,放置 3 小时,使达平衡,搖半分钟混匀,放置半小时,使較大土粒下沉,测上部悬液的电导,作为土壤的起始电导数值,然后在 28°C 的恆温室中放置,按 1, 2, 4, 7, 10, 14, 21 天的次序,测定电导,每次测定前在 25°C 左右的室温等到平衡,搖半分钟,放置半小时后测定。

我們把所研究的水稻土分为三个大的类型,即强度淋溶、中度淋溶和弱度淋溶。这个淋溶程度,是把水稻土的原来母质所受到的淋溶作用 and 在水稻土发育过程中所受到的淋溶作用一併考虑在内。每种土壤都选择一对,一个是比較肥沃的,一个是肥力較低的,用以比較二者在养分释放方面的差別。所得結果分別列于表 11、12、13,并将典型材料繪成图 4,用以說明养分的释放情形。

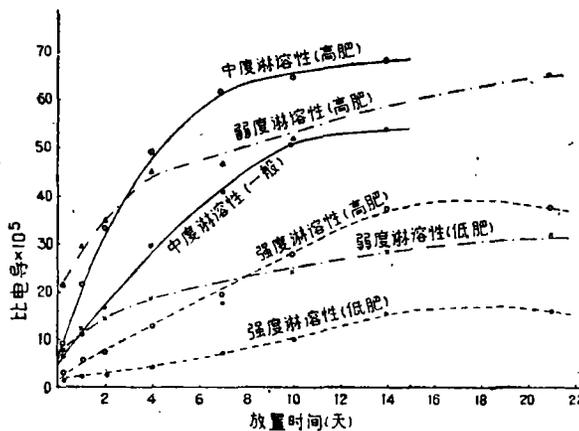


图 4 水稻土渍水时电导的变化

(一) 强度淋溶性土壤

这类土壤大多是紅壤所发育, pH 值一般在 5.5 到 6.5 之間,起始的比电导不高,一般为 2—10 (已乘 10^5 , 下同), 三星期中的比电导增加 15—35, 每天平均增加 1.0—2.0。这类土壤的重要特点之一,就是在同一类型中高肥者与低肥者的电导差异非常显著。根据現有的材料大致可以說,如果这类土壤在渍水二週后比电导能在 25 以上,就可算是比較肥沃的土壤。

(二) 中度淋溶性土壤

这类土壤大多是由中性的冲积物质所发育,或者可溶盐和石灰已經洗去。起始的比

表11 强度淋溶性水稻土渍水时电导的变化

土号	地点	说明	pH	有机质 (%)	C/N	比电导 × 10 ⁵								增加	
						3小时	1天	2天	4天	7天	10天	14天	21天	总数	每天
資4 資1	江西資溪	高肥	6.6	3.10	13.4	11.9	17.5	20.4	27.2	31.6	33.1	37.7	38.4	26.5	1.3
		低肥	5.3	2.72	11.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.2	8.8	8.6	0	0
江土59 江土63	江西宜春	高肥	6.9	3.35	9.5	6.9	17.6	24.1	34.1	40.7	42.3	48.0	47.6	40.7	1.9
		低肥	6.1	2.68	12.5	3.0	6.2	10.2	11.2	13.4	16.5	18.9	20.0	17.0	0.8
江土152 江土147	湖南长沙	高肥	6.3	2.70	11.1	3.2	5.7	7.3	13.1	19.5	28.0	37.2	37.4	34.2	1.7
		低肥	5.4	2.06	9.3	2.0	2.6	2.4	4.3	7.3	10.1	15.7	16.1	14.1	0.7
江土10 江土16	江西乐平	高肥	6.1	4.02	10.3	6.3	10.3	13.8	21.2	27.3	30.8	37.5	36.4	30.1	1.4
		低肥	6.9	2.32	10.2	9.0	14.6	18.9	23.7	26.9	29.4	33.8	33.9	24.9	1.1
江土32 江土36	江西安义	高肥	—	2.69	9.3	5.9	7.8	10.0	29.0	48.4	57.1	63.8	65.1	59.2	2.8
		低肥	5.9	2.62	9.1	2.1	2.5	3.3	7.5	14.0	16.9	24.2	21.8	20.7	1.0
江土37 江土41	江西安义	高肥	6.2	2.81	9.5	3.9	6.3	9.4	15.0	19.1	22.5	24.6	—	—	—
		低肥	5.6	2.55	10.7	2.1	2.8	3.3	9.9	22.4	26.3	31.2	—	—	—
江土64 江土69	江西万载	高肥	6.2	4.05	10.1	4.8	7.5	10.5	17.1	24.3	29.9	33.6	—	—	—
		一般	6.4	3.35	11.3	5.0	8.5	12.2	20.1	26.8	31.6	35.7	—	—	—
江土50 江土54	江西萍乡	高肥	5.8	4.09	15.7	10.5	18.4	24.1	34.3	39.5	42.8	47.2	47.2	36.7	1.7
		低肥	6.6	4.47	17.4	4.7	10.9	15.0	22.5	27.7	33.0	35.3	35.1	30.4	1.4
江土131 江土136	浙江义乌	表土	5.2	1.81	—	5.6	5.5	4.8	6.1	11.3	19.8	24.7	27.5	21.9	1.0
		犁底层	6.8	0.70	—	1.6	2.0	2.2	4.0	6.0	5.7	7.2	7.0	5.4	0.3
32010 32015	广东博罗	高肥	4.8	3.18	—	30.8	33.0	34.0	37.3	48.3	49.4	59.0	—	—	—
		一般	5.7	2.96	—	19.5	23.6	25.6	40.0	45.4	51.4	65.0	—	—	—

表12 中度淋溶性水稻土渍水时电导的变化

土号	地点	说明	pH	有机质 (%)	C/N	比电导 × 10 ⁵								增加	
						3小时	1天	2天	4天	7天	10天	14天	21天	总数	每天
33583 33582	浙江宁波	高肥	6.5	5.32	—	14.8	25.5	36.1	49.1	62.4	64.9	69.0	—	—	—
		一般(微度 潜育化)	5.8	7.52	—	16.6	25.3	32.5	43.8	47.9	54.9	60.1	—	—	—
松1 松2	江苏松江	高肥 (陈永康田)	—	—	—	8.8	21.6	33.4	49.1	61.5	64.5	68.0	64.1	55.3	2.6
		一般	—	—	—	6.9	11.5	16.9	29.8	40.8	50.5	53.4	50.5	—	2.1
33744 33749	江苏无锡	高肥	6.1	2.23	10.2	4.8	5.6	6.2	7.6	9.5	10.4	12.0	13.2	8.4	0.4
		一般	5.6	2.11	10.9	3.1	3.3	3.9	4.3	5.3	5.3	6.5	11.0	7.9	0.4
宁普87 宁普60	江苏南京	高肥	6.4	2.27	9.5	8.8	9.5	10.4	13.4	14.2	14.5	16.9	18.1	9.3	0.4
		一般	6.8	2.20	10.6	6.7	9.1	9.4	15.0	17.3	18.6	21.3	23.2	16.5	0.8
孝1476 孝1487	湖北孝感	高肥	5.5	1.89	10.5	7.9	8.3	9.4	9.6	11.8	15.8	28.9	33.8	25.9	1.2
		一般	5.5	2.35	10.5	12.4	10.4	10.5	11.7	16.6	22.3	33.7	38.8	26.4	1.3
孝1492 孝1503	湖北孝感	高肥	5.4	2.29	10.2	6.5	5.8	5.5	5.6	6.0	9.5	17.6	25.2	18.7	0.9
		一般	5.4	2.41	11.7	5.3	4.9	4.8	5.0	6.4	8.9	16.6	24.3	19.0	0.9

表13 弱度淋溶性水稻土渍水时电导的变化

土号	地点	说明	pH	有机质 (%)	C/N	比电导 × 10 ⁵									增加	
						3小时	1天	2天	4天	7天	10天	14天	21天	总数	每天	
33729	广西罗城	高肥	7.9	6.96	9.3	21.2	29.4	34.6	44.8	46.5	52.1	68.9	64.9	63.7	2.8	
33720		中肥	7.9	4.11	10.5	15.4	22.8	27.5	34.6	37.7	41.8	47.3	52.9	37.5	1.8	
33717		低肥	7.7	2.52	9.6	7.4	11.7	14.5	18.9	18.1	24.5	28.8	31.9	24.5	1.1	
江土 113 29399	江西赣州	紫色岩发育	6.0	2.20	9.3	5.6	7.5	9.1	12.2	18.3	21.5	31.1	36.7	31.1	1.6	
		紫色岩发育	6.9	3.85	10.5	7.0	14.0	18.4	32.8	39.1	43.7	47.7	48.9	41.9	2.0	
常4 常1	江苏常熟	高肥	8.0	3.99	10.7	19.4	25.6	30.7	38.3	39.5	42.8	47.1	49.0	29.6	1.4	
		微度盐渍化 潜育性	7.7	9.40	10.2	47.4	53.3	58.8	63.4	63.4	70.9	74.4	80.4	33.0	1.6	
上1 上2	江苏南京	高肥	8.1	3.51	9.5	10.7	15.0	15.8	22.5	27.0	29.1	34.1	37.7	27.0	1.3	
		一般	8.0	3.05	10.5	9.5	14.5	17.2	22.0	24.5	26.7	31.7	34.7	25.2	1.2	

电导在5—15之間，三星期中的比电导增加10—55，变异很大。这类土壤的高肥田与低肥田的电导差别不很明显，但仍然有些土壤可以看出差别。例如陈永康长期培育的肥沃土壤，较附近相同土壤的电导为高，而且增加较快。关于这种类型的水稻土的电导与其肥力水平的关系，需要进行更多的工作。

(三) 弱度淋溶性土壤

这类土壤或者是由盐渍性或石灰性土壤所发育，或者是施用了大量石灰，pH还保持在7以上，起始电导在6—20之間，个别土壤由于地势低洼，有微度的盐渍化作用，所以电导可达47。三星期中的比电导增加25—40，个别达60以上。对于这类土壤，电导的增加是否能反映肥力的差异情况，视土壤种类而定。例如广西一种发育于石灰岩风化物上的水稻土，高中低肥水平之間的差别仍很明显。

从总的情况看来，土壤起始时的电导与盐基含量的关系很密切，所以在pH6.5以上时，电导迅速增加(图5)。pH6以下时电导稍为增高，也可能与氢离子的浓度增加有关，

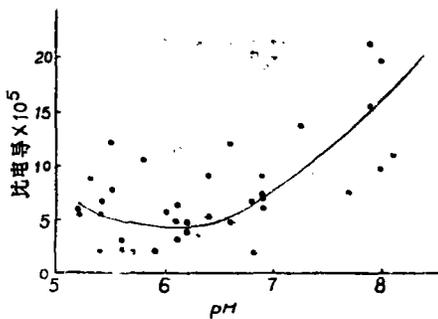


图5 土壤的电导与pH的关系

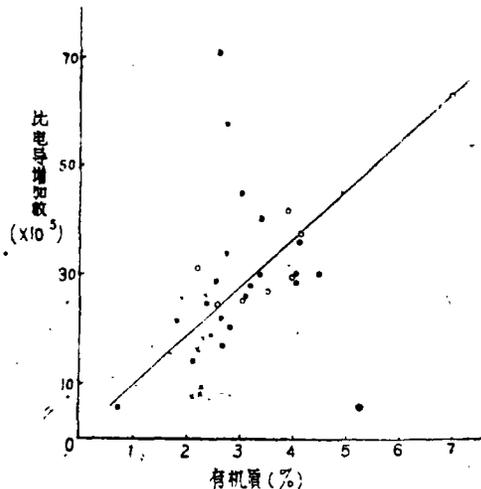


图6 土壤渍水时电导的增加与有机质的关系

因为氢离子的当量电导, 较一般金属离子大得多。但是图 5 中各点比较散乱, 这是由于土壤质地(代换量)不同, 而且阳离子的组成非常复杂所致。

从图 6 中的趋势可以看出, 土壤渍水后比电导的增加, 与有机质的含量有一定相关; 虽然由于各种土壤中有有机质的品质有所差异等等原因, 各点的位置比较散乱。

土壤渍水后电导的增加, 是否主要是由于有机质的分解? 或者还有矿质部分的溶解作用? 为了了解这个问题, 我们选择了几种有机质含量和盐基饱和度不同的土壤, 分别在 28°C 的恒温箱和 5°C 左右的冰箱中放置, 仍用前法测电导的变化。此外, 又用过氧化氢把一种土壤的有机质大部除去, 洗净后与原土作了比较。结果列于表 14。可以看出, 当在 28°C 放置时, 土壤的有机质含量愈高, 电导的增加值也愈大; 当将有机质大部除去后, 电

表14 有机质分解与电导增加的关系

土 号	说 明	放置温度 °C	比 电 导 × 10 ⁶					增 加
			2 小时	1 天	2 天	4 天	7 天	
33583	有机质5.32% pH 6.5	28	18.8	36.7	47.5	59.3	62.6	43.8
		5	18.8	25.6	29.5	31.2	30.7	11.9
32010	有机质3.18% pH 4.8	28	26.2	33.8	31.2	35.0	41.2	15.0
		5	26.2	29.3	29.8	29.3	—	3.1
江土32	有机质2.69%	28	8.2	13.7	18.7	44.3	53.6	45.4
		5	8.08	9.70	9.64	9.83	10.90	2.82
29332	红壤性幼年水稻土, pH 5.2	28	3.14	3.12	3.08	3.93	5.71	2.57
		5	3.03	3.37	3.22	3.53	3.48	0.45
四 山 1 号	有机质1.77% pH 6.05, 原土	28	9.3	13.9	17.0	23.8	31.3	21.0
		5	9.4	11.2	11.9	11.9	11.5	2.1
	用 H ₂ O ₂ 去有机质后	28	5.5	5.6	5.6	10.6	15.9	10.4
		5	5.48	5.46	5.62	5.56	5.58	0.10

导的增加值就减小很多。当在 5°C 的冰箱中放置时(此时微生物的活动应已大部分被抑制), 电导就增加很少。因此可以认为, 土壤渍水后电导的增加, 主要是由于有机质的分解所致。这样把渍水时的电导的增加情形, 作为有机质中养分的释放速度的一个指标, 应该是合理的。

四、讨 论

(一) 电导与离子浓度的关系

根据上面所述, 对于非盐渍性的水稻土, 特别是对于南方的酸性土壤, 电导可以在一定程度上反映土壤的肥力状况, 似乎是可以肯定的了。所余下的一个问题是, 究竟是些什么离子来引起土壤的电导。Mortimer^[9] 认为湖泥中电导的增加, 与铵、铁和其他盐基的增加有关。显然, 一般盐渍土中所得到的结论, 不能够应用于非盐渍性的水稻土壤。根据我们与电导同时进行的田间土壤的水溶液(自然土壤用抽气机抽取)的分析结果来看, 铁离子的数量很小; 铵离子的数量也很小; 钾离子可占一定的比重, 而且大多与电导成相关; 土壤溶液中的主要阳离子, 是钙和镁。在这个基础上, 我们又进行了一个比较严格的

試驗,用以闡明土壤溶液的浓度和組成与电导的关系。試驗是在水泥池中进行,用第四紀紅色粘土作供試土壤,加入不同量的猪糞和廐肥,并分別配以磷(过磷酸鈣)和鉀(草木灰)肥,在水稻不同生长时期中,用抽气机抽取土壤溶液,分別測定电导和阳离子,包括鉄、鉍、鉀、鈣和鎂。所得的典型材料繪成图7。可以看出,与大田的情况一样,土壤溶液的电导

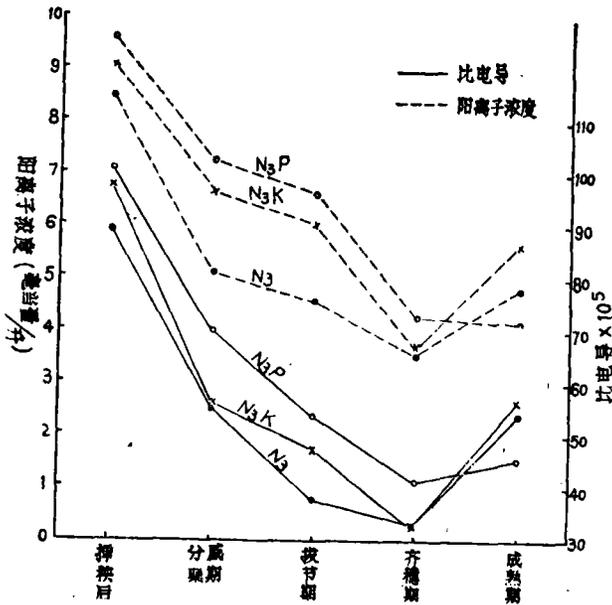


图7 土壤溶液中电导与阳离子浓度的动态关系

随生长期而減低;到齐穗期以后,由于土壤养分的繼續释放(8月份)和,水稻对养分的吸收停止,所以电导又形升高。值得注意的是,土壤溶液中阳离子的总浓度的变化趋势,与电导非常相似。在土壤溶液中,鉄和鉍都占1%以下,鉀占2—10%,鈣鎂占90—95%。

图8为土壤溶液的阳离子浓度与比电导的关系。可以看出,二者的相关性很好。相当于阳离子浓度为零时的比电导約为 10.1×10^{-5} , 这应该是由未計算在內的鈉和氫等离子及相伴的阴离子所引起。可以算出,混合离子的平均当量电导为75,这是介于 $0.002-0.012 N$ 的

浓度范围时(本試驗中的浓度范围),鈣和鉀盐与鎂盐的当量电导之間的一个数值(見 International Critical Table)。

(二)田間測定时几个需要考虑的因素

如前所述,在水稻生长期間直接在田間測定电导时,水分含量的变化这个因素一般可以不予考虑。由于土壤質地对电导发生影响,所以在比較两种質地差异較大的土壤时,应该考虑到这个问题,最好根据当地的实际經驗,加以适当的改正值。在比較同一个地区同一种类型土壤的电导时,由于質地上的差异往往不是很大的,所以这方面的困难应该不是很大。在水稻土的情况下,結構方面的影响似乎也是不必考虑的。由于电导受温度的影响很大,所以每次測定时必须精确測定土温。我們在測定中,使用了每度平均2%的改正值^[9]。由于不同土壤中离子組成的

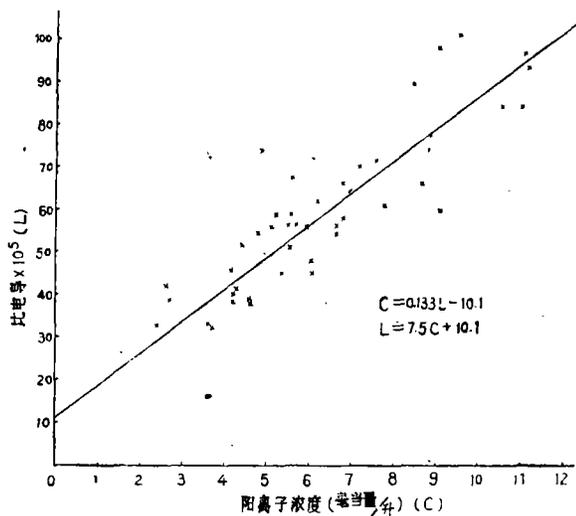


图8 土壤溶液的电导与阳离子浓度的关系

差异很大,所以这个数值不是很精确的。但是在水稻生长期間,除了夏天中午以外,土温一般在 $25 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的变动范围以内,假定温度系数的变动范围是 $2\% \pm 0.3\%$,则最大的误差也不过是测定数值的 1.5% 。这对于田间测定来说,自然是一个很小的数值。

(三)关于应用范围问题

电导只能反映可溶性离子的数量,并不能区分离子的种类。所以在盐渍性水稻土中,由养分离子所引起的电导,将被氯化钠等可溶盐所掩盖,因而不能在田间直接应用。但是即然对于弱度盐渍性的土壤,看来在实验室中应用渍水时电导的增加来鉴别有机态养分的释放速度,仍然是可能的。从理论上和本工作中的实际材料看来,在酸性的水稻土中,这个方法可以得到较广泛的应用。在这种土壤中,钙镁离子的含量本身就是一个在水稻生长上起重要作用的因素;钙镁离子的数量一般与其他养分离子的数量之间有一定的相关性;而且与其他类型土壤比较起来,钾和铵在离子总量中所占的比重也较大一些。在中性土壤中,电导与肥力状况的相关性应该较不明显些;但是即然对于这类土壤,根据土壤研究所在江苏常熟和湖北孝感的初步田间测定材料来看,电导也可在很大程度上反映出施肥状况。当然,电导方法并不能区分土壤所含的各种养分离子的相对数量,这是这个方法的最大缺点,但是由于在中国,肥料是以农家自然肥料为主,所含的各种养分离子的比例的变异幅度较小,所以电导方法作为鉴别水稻土的肥力状况的一个简便的综合性参考指标,是值得广泛应用的。

摘 要

1. 设计了一个在田间直接测定水稻土的电导的电导池,用以鉴别水稻土的肥力状况。根据条件试验,在水稻生长期間通常变动的水分含量范围以内,水分含量的差别可以不予考虑。土壤胶体本身的电荷在电导上的贡献也很小,所以一般也不必考虑。土壤含砂粒较多时,应该加以适当的改正值。

2. 根据大量的田间测定结果,在酸性的水稻土中,电导与肥力水平成明显相关。施肥的数量和种类对土壤电导发生显著的影响。由于水稻对养分的吸收,所以根际土壤的电导较根外为低,并且随着水稻的生长,而使土壤电导降低。

3. 酸性水稻土的干土渍水后电导的增加数值与土壤的肥力水平成正相关。这种电导的增加,基本上是由于有机质的分解所致。

4. 根据与化学分析的对照结果,土壤溶液的电导与阳离子的浓度成明显相关。在引起酸性水稻土电导的阳离子中,钙镁占 $90-95\%$,钾占 $2-8\%$,铁和铵的数量都在 1% 以下。

5. 作者根据研究结果,认为电导可以作为鉴别酸性水稻土的肥力水平的一个简便的综合性参考指标。

参 考 文 献

- [1] Atkins, W. R. G.: 1924. The electrical conductivity of extracts from soils of various types, and its use in detecting infertility. *J. Agric. Sci.* 14: 198—203.
- [2] Sen, A.: 1931. The electrical conductivity of aqueous soil suspensions as a measure of soil fertility. *J. Agric. Sci.* 21: 1—13.

- [3] White, L. M. and Ross, W. H.: 1936. Influence of fertilizers on the concentration of the soil solution. *Proc. Soil Sci. Soc. Amer.* 1: 181—186.
- [4] Merkle, F. G. and Dunkle, E. C.: 1944. Soluble salt content of greenhouse soils as a diagnostic aid. *J. Amer. Soc. Agron.* 36: 10—19.
- [5] Wilcox, J. C.: 1947. Determination of electrical conductivity of soil solutions. *Soil Sci.* 63: 107—117.
- [6] Reitemeier, R. F. and Wilcox, L. V.: 1946. A critique of estimating soil solution concentration from the electrical conductivity of saturated soils. *Soil Sci.* 61: 281—293.
- [7] Overbeek, J. T. G.: 1952. Electrokinetic phenomena. (In *Colloid Science*, Vol. I p. 239, edited by H. R. Kruyt).
- [8] Mortimer, C. H.: 1941. The exchange of dissolved substances between mud and water in lakes. *J. Ecology.* 29: 280—329.
- [9] Campbell, R. B. et al.: 1947. Change of electrical conductivity with temperature and the relation of osmotic pressure to electrical conductivity and ion concentration for soil extracts. *Proc. Soil Sci. Soc. Amer.* 13: 66—69.

STUDIES ON THE ELECTROCHEMICAL BEHAVIOR OF SOILS

I. ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF PADDY SOILS IN RELATION TO THEIR FERTILITY

YU TIAN-REN, HO CHUN, CHIANG PEI-FAN, SUAN CHIA-SIANG AND SIE CHIAN-CHANG
(*Institute of Soil Science, Academia Sinica*)

(SUMMARY)

For the purpose of utilizing electrical conductivity of paddy soils as an index of soil fertility, both field measurements and laboratory studies were undertaken. A specially prepared conductivity cell with fixed distance between the platinum electrodes was used in field measurements.

It was found that for acid and neutral paddy soils of Central China, the electrical conductivity of the plowed layer showed a close correlation with the fertility status of the soil in the majority of cases, especially in the early period of plant growth. The specific conductivity of the soil decreased and the difference in conductivity between soils became less conspicuous gradually with plant growth, presumably due to the adsorption of nutrient ions by the rice roots. Another evidence supports this supposition, in which the electrical conductivity of the rhizosphere appeared to be less than that of the bulk of the soil.

The increase in electrical conductivity after water-logging showed considerable difference between fertile and infertile soils of the same type, especially for the acid paddy soils with low base status. The increase in conductivity was found to be due chiefly to the decomposition of organic matter. It was suggested that the increase in electrical conductivity after water-logging might be used as an index in detecting the supplying power of plant nutrients of soils.

The electrical conductivity due to the charged clay particles was found to be negligibly small, and the variation in water content within the range commonly found in paddy fields showed no remarkable influence on conductivity. The electrical conductivity of separated soil solution was found to be due chiefly to salts of calcium and magnesium, and to a lesser extent to potassium salts.