

静电场对土壤及农作物中物质流的影响*

刘多森

邵吉安

黄櫛生

(中国科学院南京土壤研究所) (江苏省常熟市农田水利试验站) (江苏省常熟市科委)

土壤本身存在着自然电场,如过滤电场、扩散电场、大地电流电场等。附加静电场是指人为施加于土壤、天然水等介质的静电场,并非介质原有的自然电场。四十至五十年代,在建筑工业中,国外用附加静电场产生的电流进行过土质的固结和“电排水”试验[1]。六十年代以来,国外在盐碱土“电改良”方面进行过许多研究,近年已有总结性专著[2]出版。在建筑工业和农业的上述研究中,使用的直流电压一般为数十伏,耗电多,成本高,以致难以推广。俞劲炎等评介过国外盐碱土电改良研究[3]。

我们研究的着眼点不是盐碱土改良,而是一般土壤的肥力活化,因此所需的电压、电流可能较小。我们采用的获得附加静电场的方法,不需要消耗工业电能——既不用交流电的整流,也不用干电池或蓄电池,从而为进一步转向大田生产或食品工业的某种工艺,提供了经济上的可行性。

笔者之一曾利用异金属电源设计过测量地下水位深度的方法[4]。用导线连接的两个不同的金属片譬如铝片和铜片,当放置于天然水或含一定水分的土壤中,就构成了短路的原电池。这时,液相中的正离子向铜极移动,负离子向铝极移动,从而促进了离子迁移。附加静电场的这种效应,可用于强化生态系统中以离子流为表现形式的物质流,进而有可能促进农作物的生长发育。

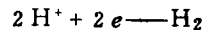
熊毅教授指出,“系统调控是发展农业生产中最活跃的核心,是研究农业生态系统的中心任务。……农业生产的效率在很大程度上取决于生态系统的能流和物质的流通与循环,所以,人工调控能量转移和物质循环是十分重要的”[5]。附加静电场,有可能成为人工调控生态系统物质流的手段之一。

一、土壤温度和含水量对附加静电场中土壤电流(离子流)的影响

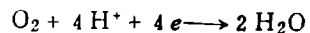
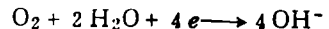
取宽9.0厘米、长21.0厘米的铝片和铜片各一个,分别用导线将铝片与直流微安表的负端相连接,将铜片与表的正端相连接。将上述二金属片竖直插入塑料

桶内的潮湿土壤中,入土深度12.6厘米,二金属片间的距离14.0厘米。同时,在土壤中插入温度计一支。将盛有潮湿土壤的塑料桶放在室内自然蒸发,每日清晨记录土壤温度和电流强度,并称量试验桶(包括桶内土壤等物)的总重量。由于塑料桶、温度计、金属片的重量及土壤干重在实验前均已测得,因而很容易算出土壤蒸发过程中任一时间的土壤含水量。当蒸发速度很慢时,可用红外灯烘烤数小时。

上述铝—铜电源与 $Al | Al^{+++} || Cu^{++} | Cu$ 原电池略有不同。铝—铜电源以铝极为正极,铜极为负极。由于土壤溶液中铜离子十分缺乏,铜极上的反应并不是 Cu^{++} 的还原,即铜极并不是电化学上金属铜与铜离子溶液构成的电极,而可能是电化学上的氢电极或其他电极。当给土壤附加以铝—铜电源时,铜极上的反应可能是氢离子还原为氢气:



或者是溶解在土壤溶液中的氧气在不同pH条件下分别按下式反应:



当然也可能有其他电极反应。实际上,当铝—铜电源放置于以长江天然水为来源的自来水中时,就可观察到铜极上有微小的氢气析出以及铝极的微弱腐蚀现象(以铝离子形态缓慢溶于自来水中)。

供试土壤取自南京,重壤质,0.01~0.05毫米粒级47.8%,<0.01毫米粒级46.4%,<0.001毫米粒级25.0%。土壤比重2.73克/厘米³,桶内土壤容重 1.44 ± 0.07 克/厘米³,总孔隙度 $47.1\% \pm 2.5\%$ 。后二项物理性质以平均值和标准差表示,均为3个环刀土样的统计结果。

从实验中看到,在阴湿天气用塑料薄膜封闭土壤桶而使土壤蒸发趋近于停顿时,土壤电流强度的日变

* 常熟市森泉乡农科站王永明等同志参加部分工作。
熊毅、于仁两教授1982年审阅过本文第一部分,谨致谢意。

化,可用正弦曲线作近似描述,并表现为午后最高而凌晨最低。土壤电流强度随温度而增加,同电导原理相一致。土壤含水量较低时,每增加 1°C 引起的电流强度增量较小,而在土壤含水量较高时,每增加 1°C 引起的电流强度增量较大。

在 $13^{\circ}\sim 24^{\circ}\text{C}$ 的温度范围内,从实验中确定的 $t^{\circ}\text{C}$ 时的土壤电流强度 I_t (微安)与温度 $t(^{\circ}\text{C})$ 的经验关系式为:

$$I_t = \frac{I_{20}}{1.39 - 0.0195t}$$

式中, I_{20} 为 20°C 时的土壤电流强度(微安)。由于 I_{20} 的温度条件已经给定,所以 I_{20} 值主要随土壤含水量而增加。

为了考察土壤电流强度与土壤含水量的关系,则将实验过程中记录的 $t^{\circ}\text{C}$ 时的电流强度 I_t ,用上述经验关系式换算成 20°C 时的电流强度 I_{20} ,以便消除温度的影响。

20°C 时的土壤电流强度与土壤含水量的关系,如图1所示。据测定,桶内土壤的饱和持水量为 $33.4\% \pm 2.5\%$,田间持水量为 $23.8\% \pm 0.9\%$,最大吸湿量为 $3.44\% \pm 0.10\%$ 。以上数据均以3次测定的平均值和标准差表示。

将上述水分参数与图1曲线相对照,则可以看出:(1)当土壤含水量不超过 5.9% 时,土壤电流强度甚低,而且当含水量在此范围内增加时电流强度增加甚少。土壤在此条件下的导电性极差,亦即其中的离子很难迁移,难以被农作物利用。(2)电流强度开始急剧上升时的土壤含水量(5.9%),相当于束缚水总量或毛管水开始出现时的含水量,对植物生长而言,相当

于凋萎含水量。关于凋萎含水量与最大吸湿量之比,许多研究者直接用植物试验得出的结果一般在 $1.2\sim 2.0$ 之间[6]。本文从土壤含水量—电流强度曲线推断,该比值为 $5.9/3.44=1.7$,与前人从植物试验获得的比值相符。(3)当土壤含水量在 $5.9\%\sim 14.5\%$ 范围内时,电流强度随含水量增加而急剧上升,亦即土壤的离子迁移通量随之不断增加,离子愈来愈易被农作物利用。(4)电流强度的上升开始转缓时的土壤含水量(14.5%),相当于毛管断裂含水量。某些研究者直接从土壤蒸发速度试验确定,毛管断裂含水量一般占田间持水量的 $60\%\sim 70\%$ [6,7]。本文从土壤含水量—电流强度曲线推断,毛管断裂含水量占田间持水量的 $14.5/23.8=61\%$,与前人用不同试验方法得到的结果一致。(5)土壤含水量超过毛管断裂含水量时,土壤的导电性极好,亦即离子在土壤中的迁移通量甚高,极易被农作物利用。

所谓“土壤的离子迁移通量”,是指在附加静电场作用下,单位时间内通过垂直于电力线的土壤截面的离子数量。可以算出,土壤电流强度为1毫安时,土壤的离子迁移通量为 0.895 毫克当量/日。显然,离子迁移通量与离子在路径曲折的土壤液相中的运动速度,是不同的两个概念。在电场强度和介质粘度(介质粘度主要决定于介质组成和温度)一定时,离子的运动速度随电解质浓度特别是随强电解质浓度增大而减小。在一定的附加静电场和一定温度下,土壤电流随含水量而增大,本质上是随土壤电阻率降低而增大。土壤电阻率随含水量增加而降低,一方面是由于土壤溶液浓度减小而引起离子运动速度增加,另一方面主要是由于含水量增加时离子在土壤中迁移的液相截面积增大及液相路径变短(路径曲折程度降低)所致。

新的铝—铜电源加于土壤时,电动势为 0.85 伏。本实验开始前,铝极和铜极已埋入土壤中使用约两个月。由于电极的钝化,实验开始时电动势为 0.5 伏,13天后实验结束时为 0.3 伏。因此,电流强度在实验过程中的降低,虽然主要是由于桶内土壤不断蒸发而使土壤电阻率从实验开始时的 1×10^4 欧·厘米,不断增大到实验结束时的 17×10^4 欧·厘米所致,但也叠加了电动势降低的少部分影响。

从本实验看出,当土壤温度较高和土壤含水量超过毛管断裂含水量时,附加静电场引起的土壤电流较大。这启示,在植物活跃生长的温暖季节,特别是夏季,如果给比较湿润的土壤特别是稻田附加以静电场,将能使生态系统中的物质流表现出一定程度的强化,从而有可能对植物的生长发育产生较强的影响。

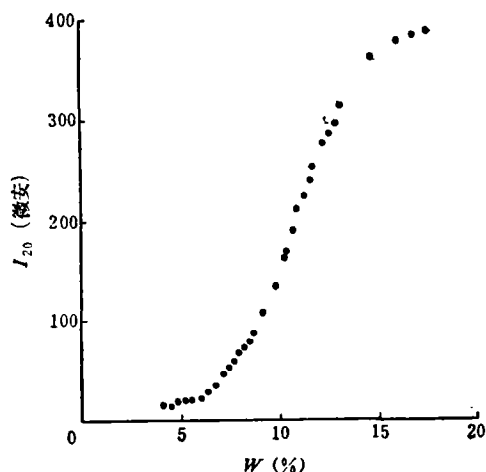


图1 20°C 时的土壤电流强度 I_{20} 与土壤含水量 W 的关系

二、附加静电场对农作物种子发芽和苗期生长的影响

土壤中某些营养离子有时并不算少,但可能因迁移甚慢而难以满足农作物的需要。特别是主要依靠离子扩散或根系截获而不是依靠蒸腾质流供应农作物的那些营养离子(如磷、钾等),如能借助附加静电场促进它们在土壤中的迁移,将对活化土壤肥力,增强生态系统的物质流,进而提高农作物产量,可能具有实际意义。当然,附加静电场对农作物生长发育的影响机理,可能还有其他方面的因素,特别是有可能刺激并增强生物体中酶的活性。1981年以来,我们就附加静电场对农作物生育的影响,先后进行了一系列有关试验^①,并在1984年1月中国生态学会农业生态研讨会上报告了初步结果^②。

1981年夏,我们曾用铝—铜电源进行了萝卜的预备性田间试验。试验小区共9个。结果,处理的产量虽然高于对照,而且在统计上有显著性差异,但因土壤十分贫瘠缺氮,也未施用任何肥料,以致处理和对照的产量都很低。看来,在富氮而缺有效性磷钾的土壤特别是水田土壤条件下进行试验,也许是适宜的。考虑到经济上的可行性,可以把铜极改为炭极,将能节省投资。在缺锌土壤上,可以把铝极改为锌极,以便农作物利用锌极在微弱腐蚀过程中进入土壤溶液的锌离子。

1983年11月以来,我们就静电场浸种对三麦及水稻发芽的影响进行了多次试验。对照组及处理组的种子先分别在恒温条件下用天然水(井水)浸种24小时,然后移入培养皿,每个皿内分别放100粒种子,再将培养皿放置于恒温培养箱内发芽。浸种及培养温度——三麦为20℃恒温,水稻为25℃恒温。元麦的处理组和对照组各重复3次,其他作物各重复5次。处理组浸种在加有锌极和炭极的液相(井水)静电场中进行,电动势1.0~1.2伏,电流强度随各批浸种用水水质等因素的差异而变动于0.45~1.25毫安之间,但同一农作物的种子各重复之间是在相同电流强度条件下浸种的。对照组浸种不加电极,其他条件与处理组相同。

表1列出了静电场浸种的部分试验结果。从该表看出,在种子质量不够好的条件下,譬如对于供试的大麦种子,静电场浸种将可显著提高种子的发芽势和发芽率;如果种子质量较好,譬如对于供试的元麦、小麦、糯稻种子,静电场浸种将能比较明显地提高种子的发芽势,但对发芽率一般影响较小;对于质量优良的供试梗稻种子来说,静电场浸种在本次试验中对发芽势和发芽率均无明显影响。值得注意的是,静电场浸种在显示出提高种子发芽势的作用时,必将伴随出

现苗粗、苗壮、苗长(与对照组相比)的现象。一般规定,三麦发芽势以第3天的发芽%计,发芽率以第7天的发芽%计;水稻的发芽势和发芽率的计数日期,则比三麦分别多加1~2天。考虑到发芽是随天数而变化的动态过程,因此本文把发芽势广义地理解为第1~3天(三麦)或第1~5天(水稻)的发芽百分数。

自1984年1月9日开始,我们对小麦(品种为扬麦4号)进行了静电场作用下的浸种—盆栽试验。(1)处理组:种子在20℃恒温静电场中浸种24小时;移入培养皿,在20℃恒温下培养发芽;7天后移入盆内土壤中,在20℃恒温下生长;次日在盆内土壤中插入电极。浸种及盆栽阶段所加静电场,均由锌极和炭极获得。盆栽阶段电动势为0.9伏左右,电流强度一般变动于0.2~0.7毫安。(2)对照组:浸种及盆栽时均不加电极,其他试验步骤与处理组相同。处理组和对照组,浸种阶段分组统一进行,不安排重复;盆栽阶段二组各重复3次,每一盆中栽植小麦7株。

从表2看出,静电场浸种—静电场盆栽可以显著提高小麦苗期的植株高度。在结束浸种后的第9天,即处理组盆栽土壤插入电极的次日,处理与对照的差异主要反映了静电场浸种的影响。结束浸种后的第31天,处理与对照的差异,则反映了静电场浸种和静电场盆栽对小麦苗期的共同影响。从表2可得:第9,17,31天时苗高的变差系数,处理组分别为0.25,0.18,0.15,对照组分别为0.50,0.34,0.24。二组苗高的变差系数都随天数而减小,但处理组变差系数小于对照组,即处理组麦苗高度比较整齐。

1984年4~5月,我们在常熟市淼泉乡农科站前季稻(品种为青农早)秧田上进行了试验。处理组播种后2天在秧田中插入铝极和铜极,插入电极26天后拔秧,100株秧苗干重为7.4克;未安置电极的对照组为6.2克。同年5~6月,我们又在该农科站单季稻(品种为紫金糯)秧田上进行了试验。处理组播种时随即插入铝极和铜极,29天后拔秧,150株秧苗干重为22.9克;未安置电极的对照组为22.3克。看来,秧田中的附加静电场有提高秧苗干重的趋势。由于秧田自然条件远比室内试验条件复杂,而我们在秧田上进行试验的次数又不多,所以秧田的附加静电场提高秧苗干重的作用尚待进一步证实。

三、结 语

附加静电场在强化生态环境(天然水,土壤)物质

① 土壤所年报,37页,1981,46页,1982,41页,1983。

② 刘多森:关于农地系统的能流计量与物流强化。1984年1月。

表 1

静电场浸种对三麦及水稻发芽的影响

种 子 (品 种)	天 数*	发芽粒数的平均值±标准差		t	概 率	自由度
		处 理 组	对 照 组			
大 麦 (早熟 3 号)	1	0.4±0.89	0±0	1.00	0.3~0.4	8
	2	13.0±1.87	2.0±1.22	11.02	<0.001	8
	3	51.6±8.50	12.0±4.64	9.14	<0.001	8
	7	76.0±5.52	28.4±4.67	14.72	<0.001	8
	11	79.2±6.57	35.8±4.49	12.20	<0.001	8
	15	80.2±6.38	39.2±4.09	12.10	<0.001	8
元 麦 (海 麦)	3	96.3±4.62	88.7±2.31	2.55	0.05~0.1	4
	7	98.3±2.08	92.0±4.58	2.17	0.05~0.1	4
小 麦 (扬麦 4 号)	1	9.0±4.12	6.2±0.84	1.49	0.1~0.2	8
	2	87.8±4.27	81.4±11.7	1.15	0.2~0.3	8
	3	91.2±2.39	87.2±7.01	1.21	0.2~0.3	8
	4	92.8±2.59	91.4±4.34	0.62	0.5~0.6	8
	7	95.2±1.30	95.4±1.34	0.24	0.8~0.9	8
糯 稻 (紫 金 糯)	1	0.6±0.89	0±0	1.51	0.1~0.2	8
	3	70.2±3.96	64.8±11.8	0.97	0.3~0.4	8
	5	88.8±1.92	83.8±1.92	4.12	0.001~0.01	8
	7	91.8±2.49	88.0±4.58	1.63	0.1~0.2	8
	9	92.2±2.68	89.8±3.11	1.31	0.2~0.3	8
梗 稻 (盐梗 2 号)	1	0.6±0.89	0.8±0.45	0.45	0.6~0.7	8
	3	45.0±12.51	44.6±8.85	0.06	>0.9	8
	5	84.2±7.19	81.4±9.29	0.53	0.6~0.7	8
	7	91.6±6.54	91.4±6.73	0.05	>0.9	8
	9	93.4±5.55	93.8±5.67	0.11	>0.9	8

* 以结束浸种时作为第 0 天计算。

表 2

静电场浸种—静电场盆栽对小麦(扬麦 4 号)苗高的影响

天 数*	苗高的平均值±标准差(毫米)		t	概 率	自由度
	处 理 组	对 照 组			
9	68.0±16.8	55.1±27.3	1.84	0.05~0.1	40
17	89.5±15.7	77.4±26.1	1.82	0.05~0.1	40
31	109.4±16.2	94.0±22.5	2.55	<0.05	40

* 以结束浸种时作为第 0 天计算。

流的同时,一般可以促进农作物种子的发芽,而且对农作物苗期生长也有促进趋势,但对产量的影响,有待进一步研究。目前已经取得的试验结果启示,附加静电场对于蔬菜、花卉、食用菌的培育以及酿造业,譬如啤酒工业中的大麦发芽工艺,可能也有一定的实用意义。

参 考 文 献

- (1) Бабков В. Ф., Гербург-Гейбович А. В., Основы грунтоведения и механики грунтов. 301~303, Авторизированное изд. 1956.
- (2) Валькина А. Ф., Электромелиорация

почв засоленного ряда. Изд-во Моск. Ун-та, 1979.

[3] 俞劲炎、赵渭生、陆少裕,土壤电磁处理——土壤改良的新途径。土壤学进展, 5 期, 1981。

[4] 刘多森,测量地下水深度度的异金属电源电导法。土壤通报, 4 期, 1964。

[5] 熊毅,农业生态系统的特点及其研究任务。中国农业科学, 2 期, 1982。

[6] 罗戴, А. А. (巴达辰等译),土壤水。第 219 328, 332, 333 页, 科学出版社, 1964。

[7] 罗戴, А. А. (袁剑防译),土壤和土质的水分性质。第 47 页, 科学出版社, 1958。