第18卷第1期　　西北农业大学学报　　Vol.18 No.1
1990年3月　　Acta Univ.Agric.Boreali-occidentalis　　March 1990

交变电场在提高土壤水势中的作用

傅志东　尉庆丰　严长勤

（基础课部）（农　化　系）（基础课部）

摘　要　电磁场对土壤作用的实验表明，交变电场不仅可以较大幅度的提高土壤水势，而且其作用对土壤结构没有明显影响，即土壤不会受到“破坏”或“污染”。这一发现对探索干旱半干旱地区作物用水问题，可能开辟了一个新途径。由实验还得出了土水势变化与外加交变电压的关系等实验规律。

主题词　土壤水试验，交流／土水势，交变电场

利用电流改良土壤的研究工作，始于30年代。Puri *et al*曾进行电流改良盐碱土的试验，指出通电后代换性钠减少，土壤渗透性明显增加[1]。后来，Вадюнина发现，盐渍土的微团聚体的含量在人工电场作用下明显增多，土壤的结构性和透水性均得到改善，并于1979年出版了总结性专者[2]。Банек等将重粘土悬液通过磁场处理后，观察到粘粒有定向、凝聚趋势[3]。近年来，我国的土壤学者也对电磁场作用下土壤性质的变化进行了广泛的研究，发现粘性盐渍土在直流电场作用下，无论阳极区或阴极区，土壤微团聚体含量均有显著增加，其中阳极区附近结构的改善与代换性Ca^{++}，Mg^{++}离子的增多有关，而阴极附近团聚体的增加则可能是$Ca(OH)_2$对土粒的胶结作用[4,5]。

土壤内部的自然电场主要是扩散电场，它对土水势的影响通常归并在基质势中，其作用是使水势降低，降低的程度与电场强度的平方成正比。人工外加电磁场对土水势的影响如何？能否提高土水势？迄今未见这方面的报道。我们作了一批电磁场对土壤水势影响的实验，对这一问题作了初步探讨。

1　试验样品及测试电路

供试土样采自陕西武功头道源塿土的耕作层，质地属重壤，物理粘粒含量为41.9%。土样过1 mm筛后，按一定容重装入半径为10 cm，长度25 cm的有机玻璃圆筒中，制成均匀土柱，两端加不锈钢片作为电极，再加有机玻璃盖封固。由加水孔缓慢注入自来水使土柱达一定湿度。供交变电场试验的土柱容重为1.58 g／cm^3，含水量为23.5%和18.0%两种。在有机玻璃筒上有3个预留孔，注水时，3个孔均用橡皮塞塞住，注水后，中心孔插入温度计，两侧各插入经校正的张力计1支。然后将土柱密封好，静置20～30 d，待土柱水势自然平衡后即可进行实验。土柱的结构如图1所示。图2是实验电路图。

实验步骤如下：闭合开关K，调节可变电源E取一定电压值加于土柱两端，土柱中产生电流，定时记录在恒定电压下通过土柱的电流强度I，土壤温度t_s，室温t_s及土壤水势ψ，直到平衡；然后调节可变电源，取另一电压V_2加于土柱，同样地定时测定上述几个物理量，直到平衡。这样由低电压到高电压逐个观察记录。

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

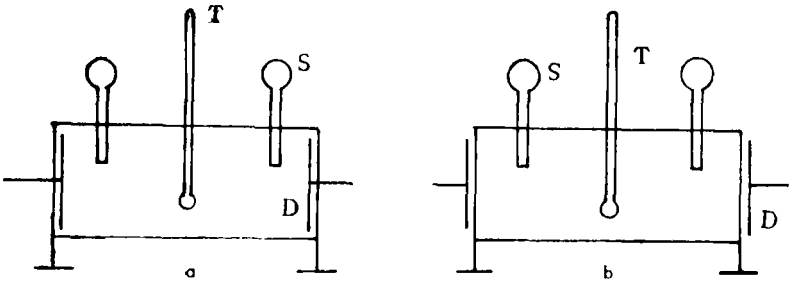

图 1　土柱结构

D—电极；T—温度计；S—张力计

2　结果和分析

我们采用两种土柱研究了交变电场对土水势的影响：(1) 电阻式，电极与土柱中土壤紧密结合（见图1a）；(2) 电容式，电极与土壤表面之间有厚 5 mm的有机玻璃层（图1b）。实验表明，电容式土柱，因容值小，频率低，容抗大，电压从 20V 增加到150V，电流增加很小，水势无明显变化。而对电阻式土柱，交流电对土壤水势有显著影响，规律性也很好。

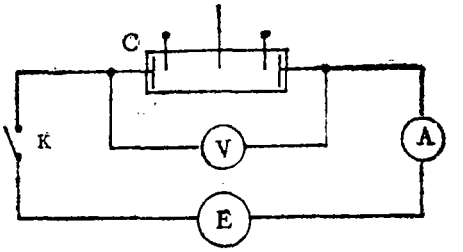

图 2　实验电路

C—土柱；E—可变电源；A—电流表；V—电压表；K—开关

2.1　土水势等与所加电压的关系

土柱加上交变电压后，通过土柱的电流强度、土壤温度和土水势等物理量不断增加，经过一段时间后，达到比起始值明显提高的平衡值，不同电压平衡值不同。表 1 列出了两

表1　交变电场对土水势的影响

土壤水分	电　压	室　温	平衡时间	土壤温度 (°C)		电流强度 (mA)		土壤水势 (kPa)	
%	(V)	(°C)	(h)	t_{s0}	t_{sb}	I_0	I_b	ψ_0	ψ_b
	25.0	27.0	24.0	26.3	30.0	52.0	58.0	-25.0	-25.0
	30.0	26.5	24.0	26.0	29.9	59.5	65.4	-24.5	-24.7
	40.0	25.0	16.0	25.4	34.7	79.4	98.3	-24.6	-19.8
23.5	50.0	27.5	12.0	27.5	42.3	104.7	144.9	-24.6	-10.2
	60.0	27.5	8.0	27.5	50.0	130.6	198.0	-24.5	-2.5
	70.0	26.8	8.0	27.2	58.4	154.0	253.0	-24.6	-1.7
	80.0	27.0	6.0	26.8	62.3	171.1	271.0	-25.0	-0.5
	30.0	20.0	12.0	18.0	22.0	76.0	90.0	-54.8	-54.2
18.0	40.0	22.5	9.0	21.5	34.0	108.0	140.0	-51.0	-47.9
	50.0	23.3	5.5	22.5	38.8	135.0	185.0	-47.7	-18.8
	70.0	22.0	3.0	21.5	50.5	194.0	320.0	-49.3	-4.2

注：下标"0"表示起始值，"b"表示平衡值。

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

种不同含水量土柱的实验数据。为弄清其规律性，我们对表1数据作相关分析，结果如表2所示。

表2 t_b, I_b, ψ_b 与电压关系回归分析表

关系	回归系数 a	回归系数 b	回归直线		|r| 相关系数	$r_{0.01}$	显著性
t-V	11.3	0.643	$t=11.3+0.643V$	(1)	0.991	0.874	$\|r\|>r_{0.01}$
I-V	-58.7	4.220	$I=-58.7+-4.22V$	(2)	0.993	0.874	$\|r\|>r_{0.01}$
ψ-V	-383	5.150	$\psi=-383+5.16V$	(3)	0.958	0.874	$\|r\|>r_{0.01}$

由表2可见，通过土柱的电流强度、土壤温度及土水势均随电压的增加而增加，很好地满足表2中的3个公式。

2.2 土水势与土壤温度的关系

在表1中，土壤温度、土水势等都是土柱所加电压的函数，利用表1数据作相关分析，得土水势在加外电压条件下与土壤温度的关系为如下直线

$$\psi=-471+7.97t \tag{4}$$

相关系数 $|r|=0.966$，$r_{0.01}=0.874$，$|r|>r_{0.01}$。(4) 式表明，在加电压条件下，土水势随温度线性增加。这有两种可能：(1) 由于电流的热效应，土柱温度升高，因而使土水势上升；(2) 交变电场对土水势有直接影响。如果仅仅是第一个原因，则公式 (4) 的关系应与没有外加电场时纯温度因素对土水势的影响一致。为弄清这个问题，我们作了如下试验：将同一土柱置于一恒温器内，不加电压，改变土柱温度，观察土水势的变化。实验结果见表3。

表3 无电压时温度对土水势的影响

t (C°)	25.3	31.5	36.0	41.2	45.2	47.0	58.0	53.0	56.0	58.0	60	62.0
(kPa)	—25.2	—24.6	—24.4	—23.8	—23.3	—22.8	—22.2	—21.8	—21.5	—21.0	—20.0	—20.0

注：含水量为23.5%。

对表3的数据作回归分析，得不加电压时土水势与温度的关系为

$$\psi=-293+1.41t \tag{5}$$

相关系数 $|r|=0.975$，$r_{0.01}=0.684$，$|r|>r_{0.01}$。可见，在实验温度范围内，土水势随温度的变化也是线性的。为便于比较，我们将 (4)，(5) 两条直线划在同一图（图3）上。

显然，直线 (4) 的斜率大于直线 (5) 的。因为直线 (5) 所反映的是纯碎温度对土水势的影响，所以可以将电场作用下土水势随温度的增加看作两部分组成(见图3)，

$$\Delta\psi=\Delta\psi_t+\Delta\psi_e \tag{6}$$

(6) 式中 $\Delta\psi_t$ 表示纯温度的效应，即在没有电场时温度对水势的贡献，或者是在电场

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

作用下，电流热效应部分对土水势的贡献；$\Delta\psi_e$为除温度因素外，交变电场的直接作用对土水势的贡献。由图3可见，在整个贡献中，电场的直接作用占主要部分。

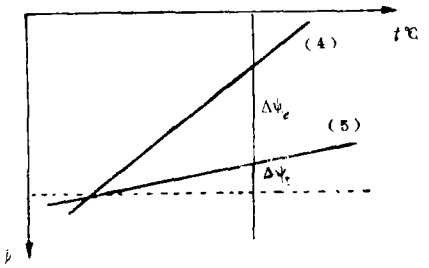

图3　土水势随温度变化关系

水分子是极性分子，可视为一个小偶极子，在静电作用下，它被吸附于带电土壤颗粒周围，形成较紧密的内层水，与普通水不同，它是有结构的。外层普通状水中，带电盐、碱离子附近也有小范围的结构水存在。一般情况，它们难以释放出来，所以对水势无贡献。因此上述"直接作用"的途径可能有两个：（1）交变电场对水中的带电粒子的作用除形成电流外，本身获得附加的振动能，这一部分能量将使离子周围的结构水部分被释放出来而提高土水势；（2）水分子作为一个偶极子在外电场作用下也能获得附加能量，我们作了初步估算，把水分子看作偶极子，其能量服从玻尔兹曼分布[6]，在50Hz交变电场作用下，获得的能量约为5×10J／mol·h，这是一个很小的量，对水势增加不会有明显影响。

2.3　土水势与时间的变化关系

当土柱两端加上交变电压后，土水势等物理量由初始值开始逐步增加，最后达到一个平衡值。图4中曲线1给出了土水势随时间的增长关系，可用指数曲线

$$\psi = -311e^{-0.36t} \tag{6}$$

表示。取消电压后，土水势随时间按指数规律

$$\psi = -27.2e^{0.34t} \tag{7}$$

减小（图4中曲线2）。

由图4可见：（1）取消电场后，土水势恢复原值，表明外加交变电场对土壤结构没有什么影响；（2）加电压时水势的增长途径与取消电压后水势恢复原值的途径不同，这再次表明有电压时土水势高于无电压时的土水势（如图中对应点a，b所示）。

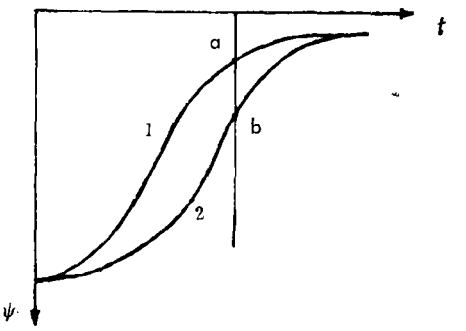

图4　水势与时间的变化关系

3　结　论

1)交变电场对提高土水势有很明显的效果。对含水量23.5%的土柱，电压由30V增加到80V时，土水势从－25.0kPa增加到－0.50kPa，增长幅度很大。

2)除电流的热效应对土水势的贡献外，电场的直接作用是水势增加的主要原因。

3)加电压时，水势增加，取消电压后，水势还原。交变电场不明显破坏或影响土壤结构。这一点很有意义，即在实际应用中，可以用外加交变电场提高土水势而不会造成土壤的"污染"。

4)理论上讲，在干旱地区，当作物缺水时，可用交变电场提高水势，释放出部分

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

"不可利用水"为作物利用。当然，大面积应用时有关方法、设备、效益等问题尚须进一步解决。

这项工作是初步的，许多机理问题有待深入研究。

王益权、刘志贤、张金水等同志参加了部分工作，在此一并致谢。

参 考 文 献

1 Puri A N Estimating Exchargeable Calcium and other Cations in Soils.*Soil Sci.*, 1936, 42 (1) : 47～60.

2 Вадюнина АФ. Электро—Мелйорацйя почв Засоленного Рада. Москва: Издательтво Мгу. М. 1979

3 Ъанек Ю, Кемер Ю. Микрострурные Изменения Поцвенной массы под Действием Магнитного Поля. Почвоведение, 1976 (10) : 144～147

4 愈劲炎，陆少椿.粘质盐土的电流改良研究初报.土壤通报，1982 (2) : 10～13

5 愈劲炎，赵渭生，陆少椿.土壤电磁处理—土壤改良的新途径.土壤学进展，1981 (5) : 1～13

6 W休斯著，刘文龙译.生物物理学概论.上海：上海科技出版社，1983.61

Action of Alternative Electric Field to Increase Water Potential of Soil

Fu Zhidong (*Department of Basic Course*)

Wei Qingfeng (*Department of Agro-chemistry*)

Yan Changqin (*Department of Basic Course*)

Abstract Through experiments of the action of electromagnetic field to soil column, it is discovered that water potential of soil can be increased greatly by the action of alternative electric field, and some principles between outside electric field and the water potential of soil etc. are gained. The experiments also indicate that water potential of soil can return to its origenal value when the electric field is cancelled. These results show that the soil structure acted with alternative electric field has not been destroyed, and there is no'pollution' of soil to be found. And thus, this discovery presents a new way of using soil water in arid and semiarid areas.

Subject words experiment of soil water, alternating current/alternative electric field, soil water potential

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net