

田间土壤的水势温度效应*

闵安成 张一平 朱铭莪 张君常
(西北农业大学, 712100)

EFFECT OF TEMPERATURE ON WATER POTENTIAL IN FIELD SOIL

Min Ancheng, Zhang Yiping, Zhu Minge and Zhang Junchang
(Northwestern Agricultural University, 712100)

在土壤水分能量研究方面,热力学函数表达形式愈来愈引人注目^[1,9,10]。大家普遍接受的能量概念“水势”,因数值随温度变化而改变,使得它的应用受到一定程度的限制。张一平、高俊凤等通过对 SPAC 水分热力学函数的研究,提出了水势温度效应概念¹⁾,确定了 SPAC 水分热力学函数的测定方法和计算公式^[2-5]。魏朝富等也进行了紫色土的水势温度效应及水分热力学函数的研究^[6]。这些研究,尽管是在室内模拟条件下进行的,但得出的一些有价值的结论,为进一步的深入研究奠定了理论及实践基础。本文拟在此基础上,首先讨论在田间自然条件下温度对土壤水势的影响,企望将室内土壤水分热力学研究引向田间土壤。

一、实验方法

观测点选在陕西澄城县杨家院村东试验地,土壤为黄壤土,质地中壤。观测内容主要是不同时期及不同处理间土壤土水势、温度、含水量的昼夜变化,观测分别用张力计(真空表式)、地温表及烘干法进行。试验设置见表 1。

二、结果与讨论

(一) 田间土壤水势的温度效应现象

观察结果如图 1、图 2 所示。土壤含水量变化不大,而温度和水势则随时间呈规律性的波动,并且在一定条件下二者呈显著的正相关(表 2、表 3)。这说明,在复杂的条件下也可观测到土壤水势的温度效应现象。实验条件下,观测深度可达 20—30cm 土层。

由图 3 可见,在田间条件下,当含水量变异较小时,也可用直线方程来表示温度 (t)

* 高等学校博士学科点基金资助课题的一部分。

1) 张一平等,1987: 温度对土壤水势的影响及土壤水分热力学函数的研究。中国土壤学会第六次全国会员代表大会暨 1987 年学术年会论文摘要集,22—23 页。

表 1 试验设置情况

观察日期	田间状况	处 理	观测深度
1989.3.26—28 1989.10.23—25 1990.4.23—24	麦田	未设不同处理	I. 10—10cm II. 10—20cm III. 20—30cm
1989.3.27—28	麦田	设无肥(a)、化肥(b)、厩肥(c)、秸秆(d)四个处理。除a外,b,c,d均施尿素225kg/ha,过磷酸钙600kg/ha; c加施厩肥37500kg/ha, d加施碎麦秸15000kg/ha	10—20cm
1989.6.27—28	麦茬地	A: 免耕; B: 覆盖碎麦秸1cm; C: 松土约15cm深; D: 松土约15cm深,再覆盖碎麦秸1cm	A观测0—10、10—20、20—30cm, B、C、D只观测20—30cm 土层

与水势(ψ)之间的函数关系:

$$\psi = a + bt$$

$\partial\psi/\partial t$ 被称为水势的温度效应^{[1],[4]},显然,它等于回归系数 b 。图中还可看出,水势温度效应均为正值,表明水势随温度升高而线性升高,这和室内试验的结果^[4]是一致的。

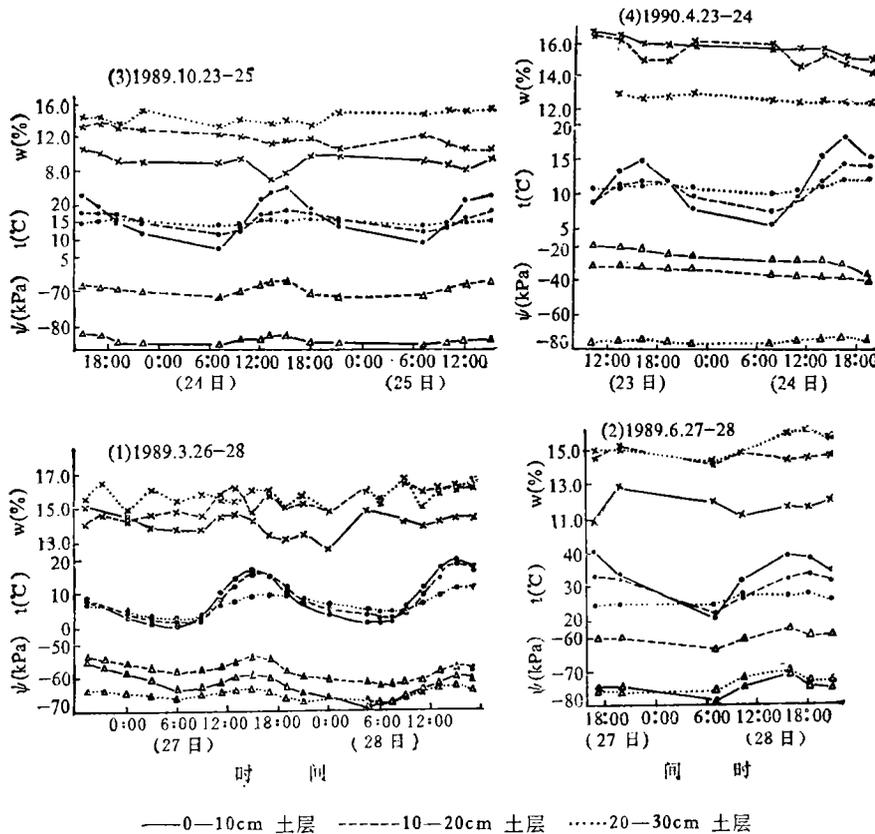


图 1 不同时期田间土壤含水量(w)、温度(t)、水势(ψ)的动态变化

1) 同前1)

表 2 不同时期田间土壤含水量、温度、水势的平均值及温度与水势间的相关系数 (r)

项 目	1989.3.26—28		1989.6.27—28(A)		1989.10.23—25		1990.4.23—24	
	0—10cm	10—20cm	0—10cm	10—20cm	0—10cm	10—20cm	0—10cm	10—20cm
含水量(%)	14.0	15.2	11.5	14.4	8.9	12.2	17.6	16.7
温度(°C)	8.0	8.0	32.6	29.5	17.3	15.9	12.3	11.2
水势(kPa)	-62.3	-57.9	-74.8	-60.7	-84.4	-69.1	-25.6	-35.0
r	0.4385*	0.4605*	0.8146**	0.8245**	0.7633**	0.6525**	-0.2166	-0.3575

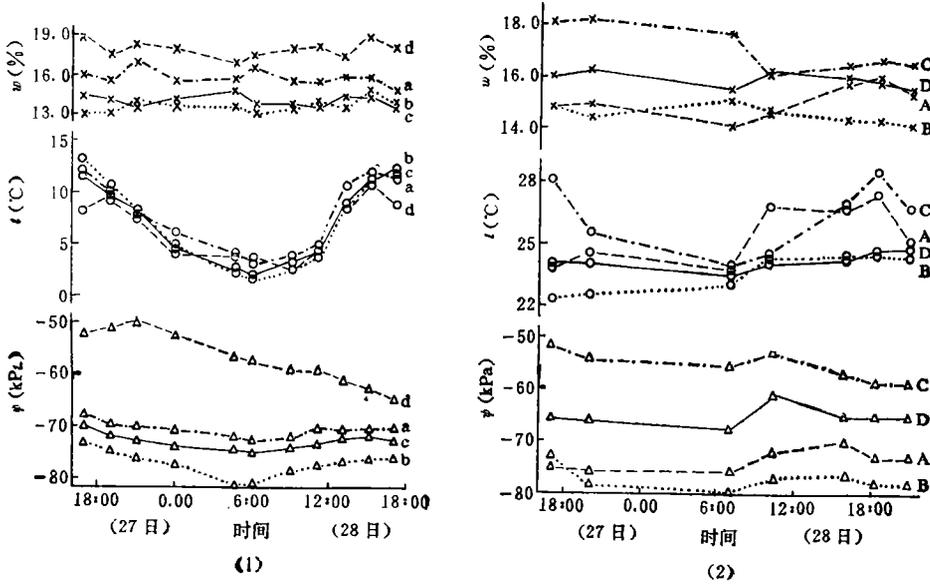
表 3 不同处理下田间土壤含水量、温度、水势的平均值及温度与水势间的相关系数 (r)

项 目	不同施肥麦田 (1989.3.27—28, 10—20cm)				不同耕作处理麦茬地 (1989.6.27—28, 20—30cm)			
	a	b	c	D	A	B	C	D
含水量(%)	15.8	13.7	14.1	18.0	15.1	14.6	17.1	15.9
温度(°C)	7.9	7.2	7.1	6.6	25.5	23.6	26.3	24.1
水势(kPa)	-70.6	-72.8	-77.3	-57.0	-73.7	-77.4	-55.8	-65.4
r	0.7940**	0.8979***	0.8613***	-0.1285	0.7928*	-0.2062	-0.2704	0.3091

(二) 影响田间土壤水势温度效应的因素

1. 含水量 由图 3 可看出,在温度范围相同时,含水量较小的直线斜率较大,即温度效应较大,这和人关于含水量低时温度对水势的影响更显著的结论相符^[7]。对照图 1、图 2 和表 2、表 3 可以看出,供试土壤在含水量超过 17.0% 时,就难以在田间条件下观察到水势的温度效应(r 达不到显著水准)。

2. 温度变幅 从图 2—(2) 可看出, A、D 含水量的变异程度相差不大; A 和 B 相比,含水量的总体水平及变化幅度都很接近。然而,对于 A,温度与水势间呈极显著正相关,对于 D、B,温度与水势间的相关性却不显著,这显然与 A 的温度变幅较大、而 B 和 D 的温度变幅较小有关。可以想见,含水量愈高,或含水量的波动愈大,能显示出水势温度效应现象所要要求的温度变幅也就愈大。



(1) 不同施肥的麦田(1989.3.27—28) (2) 不同处理的麦茬地(1989.6.27—28)
图 2 不同处理下田间土壤含水量 (w)、温度 (t)、水势 (ψ) 的动态变化

3. 温度范围 观察图 3 可见,在小于 4°C 的低温区,直线的陡度明显较大,即温度效应更显著。如果将低温区原始数据点连接成线(破折线),用以表示 t 与 ψ 间的函数关系,则随温度降低, $\partial\psi/\partial t$ 不断增大,就是说,在小于 4°C 的低温区里,温度效应本身也成了温度的函数, t 与 ψ 间的关系不再呈线性。这种现象可能与在低温阶段水分的结构发生变化有关。众所周知,在 4°C 时,液态水具有最大密度值 1.0000g/cm³,低于 4°C 时,水分由于形成六面体晶格结构而扩张^[8]。无疑,愈趋近于 0°C,上述结构就愈多、愈大,这种变化必然会对水分的物理化学性质产生影响,这也可能是图 3 中 II₁ 与 II₂, I₁ 与 I₂ 水势变化比较出现逆反现象的原因。

(三) 温度对土壤水分有效性影响的定量描述

温度升高,使水势升高,即水分的有效性增大。应用水势温度效应的概念可定量表示温度对土壤水势的影响,同时我们还可探讨一种更为直观的定量表述温度影响土壤水分

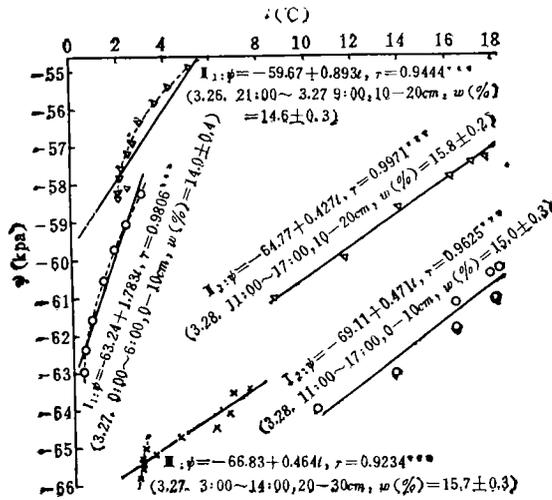


图3 几个含水量下温度(t)与水势(ψ)的关系曲线(1989.3.26—28)

有效性的方法。以1989年3月不同土层深度的观测为例,由于I、II层均属耕层,其土壤性状基本相同,故图3所示的几个直线方程中,I₁与II₁,I₂与II₂可看作低温区($<4^{\circ}\text{C}$,用 t 标记,其 $\psi-t$ 关系仍用直线式表示)和高温区($>8^{\circ}\text{C}$,用 h 标记)同一土层在不同含水量时的 $\psi-t$ 关系式,

$$P = \frac{w_{II} - w_I}{\psi_{II} - \psi_I} = \frac{\Delta w}{\Delta \psi} \quad (1)$$

根据中心差分概念,当 w_I 与 w_{II} 、 ψ_I 与 ψ_{II} 差值不大时, $P = \frac{\Delta w}{\Delta \psi}$ 可作为 $t^{\circ}\text{C}$ 时 $\psi-w$

曲线上 $w_m = \frac{1}{2}(w_I + w_{II})$ 、 $\psi_m = \frac{1}{2}(\psi_I + \psi_{II})$ 处 $\left(\frac{\partial w}{\partial \psi}\right)_t$ 即温度恒定时比水容量

$\frac{dw^{[6]}}{d\psi}$ 的近似值。根据(1)式及图3中的有关方程,可得如下 $P-t$ 关系式:

$$P_I = \frac{0.6}{3.57 - 0.89t}, \quad P_h = \frac{0.8}{4.34 - 0.044t} \quad (2)$$

由于水势是含水量和温度的函数,含水量或温度发生变化都会导致水势改变。如果假设含水量(w)不变时温度增加 ∂t 而导致水势增加的量($\partial \psi$)与温度(t)不变时含水量增加 $\partial w'$ 而导致水势增加的量($\partial \psi'$)相等,即 $\partial \psi = \partial \psi'$,则可有:

$$\left(\frac{\partial \psi}{\partial t}\right)_w \cdot \left(\frac{\partial w'}{\partial \psi'}\right)_t = \left(\frac{\partial w'}{\partial t}\right)_w \quad (3)$$

设 $\left(\frac{\partial w'}{\partial t}\right)_w$ 为 Q ,它代表含水量(w)不变时温度升高 1°C 而导致的水分有效性的增加所相当的水量。我们称 Q 为“当量水分温度效应”,或简称为“当量水温比”。(3)式表明,含水量为 w_m 、温度为 t 时的 Q 值等于该含水量和温度下 P 值与 $\left(\frac{\partial \psi_m}{\partial t}\right)_{w_m}$ 的乘积。本试验

中, P 值可由(2)式求得,而 $\left(\frac{\partial \psi_m}{\partial t}\right)_{w_m}$ 即为 ψ_m-t 直线式的斜率。 ψ_m-t 直线式依据

$$\psi_m = \frac{1}{2} [\psi_I(t) + \psi_{II}(t)]$$

确定。不同温度下的 P 、 Q 值见表 4。由表可见,当供试土壤含水量为 15.4% 时,在 10—25°C 的范围内,温度升高 1°C 引起的水分有效性增加,相当于增加了 0.1% 的水量(烘干计),而含水量为 14.3%、温度为 1.0—3.5°C 时, Q 值达 0.3—1.76(%·°C⁻¹)。在 10—25°C 的范围内,温度升高 1°C 引起的水分有效性相当增加了约 0.1% 的水量(烘干),而含水量为 14.3%、温度为 1.0—3.5°C 时, Q 值达 0.3—1.76(%·°C⁻¹)。

表 4 供试田间土壤在不同温度和含水量下的 P 值和 Q 值

$w_m = 14.3(\%)$			$w_m = 15.4(\%)$		
$\psi_{m,t} = -61.46 + 1.338t(\text{kPa})$			$\psi_{m,t} = -66.04 + 0.449t(\text{kPa})$		
$t(^{\circ}\text{C})$	$P(\% \cdot \text{kPa}^{-1})$	$Q(\% \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1})$	$t(^{\circ}\text{C})$	$P(\% \cdot \text{kPa}^{-1})$	$Q(\% \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1})$
1.0	0.224	0.30	10.0	0.205	0.092
1.5	0.268	0.36	13.0	0.212	0.095
2.0	0.335	0.45	16.0	0.220	0.099
2.5	0.446	0.60	19.0	0.228	0.102
3.0	0.667	0.89	22.0	0.237	0.106
3.5	1.319	1.76	25.0	0.247	0.111

通过上面的推算可以看出,如果有了含水量为 $w_i(\%)$ 时的 $\psi-t$ 关系曲线和温度为 t_i 时的 $\psi-w$ 关系曲线(即水分特征曲线),则由前者可求得水势温度效应 $\left(\frac{\partial \psi}{\partial t}\right)_{w_i}$,由后者可求得比水容量 $\left(\frac{\partial w}{\partial \psi}\right)_{t_i}$,那么含水量为 w_i 、温度为 t_i 时的当量水分温度效应就可由比水容量值与水势温度效应值相乘而得。

参 考 文 献

1. 朱祖祥,1979: 土壤水的能量概念及其意义。土壤学进展,第 7 卷 1 期,1—21 页。
2. 高俊风等,1989: SPAC 水分热力学函数及幼苗各叶位水分状况。西北农业大学学报,第 17 卷第 1 期,34—38 页。
3. 高俊风等,1990: 不同水分状况下土壤—植物—大气连续系统水分热力学函数。华北农学报,第 5 卷增刊,112—117 页。
4. 张一平等,1990: 温度对土壤水势影响的研究。土壤学报,第 27 卷 4 期,454—458 页。
5. 张一平等,1990: 土壤水分热力学函数的研究。西北农业大学学报,第 18 卷 3 期,43—50 页。
6. 魏朝富等,1989: 紫色土水势的温度效应及水分热力学函数的研究。西南农业大学学报增刊。总第 6 期,143—147 页。
7. 朱祖祥(主编),1983: 土壤学(上册)。农业出版社,112 页。
8. 希勒尔, D (华孟、叶和才译),1981: 土壤和水—物理原理和过程。农业出版社,34、68 页。