

## 紫色土不同土体的水热特征\*

成文 何毓蓉

(中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所, 成都, 610041)

**提 要** 以紫色土为材料, 通过模拟试验, 研究了不同土体的土壤温度日变化, 小麦生育期变化动态和土壤水分动态, 并探讨了不同土体的水热特性对小麦生长的影响。试验的结果表明, 上砂下壤土体和全砂土体的水热动态和小麦生理代谢较为协调, 土壤下砂土体和全壤土体的土壤含水量较高, 但土壤日温差较小、活动积温和有效积温较低, 不利于小麦生长。

**关键词** 紫色土 土体 水热特征

紫色土的肥力退化比较严重, 主要表现为“旱、薄、瘦、蚀”<sup>[1]</sup>, 这与土壤水分状况有密切关系。对紫色土水分特性的研究已取得长足进展<sup>[2]</sup>, 但对紫色土不同土壤构造的水分运动和热量变化的研究报道较少。现研究紫色土不同土体的水热特征, 以给改良和合理利用紫色土提供科学依据。

### 一、材料与方法

#### (一) 材 料

1. 供试土样 采自四川省盐亭县, 为上侏罗统蓬莱镇组母质发育成的石灰性紫色土, 即砂岩发育成的砂土和粘土岩发育成的粘质壤土。风干后过3毫米筛筛选(表1)。

表1 供试土样的基本性质  
Table 1 The basic properties of the used soils

样 品	有机质(克/公斤)	养分全量(克/公斤)			机 械 组 成(%)			
		全氮	全磷	全钾	砂粒	粉砂	粘粒	盐酸洗失量
砂 土	2.6	0.14	0.35	21.6	80.01	8.04	2.54	9.41
粘质壤土	13.7	0.18	0.65	22.3	27.87	40.16	19.73	12.24

2. 供试作物 川麦22号。

#### (二) 模 拟 试 验

1. 试验器具 用的是陶瓷盆, 高35厘米, 直径25厘米。盆壁开两孔(孔径2.5厘米), 上孔离盆缘15厘米, 下孔离盆底10厘米。各孔分别塞上橡皮塞, 通过其插一温度计。

2. 试验处理 四 模拟土体为: 1) 全层砂土, 深0—30厘米, 重30公斤。2) 全层壤土, 深0—30厘米, 重30公斤。3) 上砂下壤, 上层是砂土: 深0—15厘米, 15公斤; 下层为

\* 四川省应用基础研究专项经费资助项目(项目号, 894090)。

本文收稿日期, 1992-12-18。

壤土:深 15—30 厘米,重 15 公斤。4)上壤下砂,上层为壤土:深 0—15 厘米,重 15 公斤;下层是砂土:深 15—30 厘米,重 15 公斤。各重复两次,共 8 盆。

3. 盆栽试验 1991-11-06 直播经过催芽的小麦种子,每盆 30 粒;1991-11-09 出苗后,匀苗到 5 株;1992-05-09 收获,历时计 183 天。每盆施基肥为:尿素(3.26 克/10 公斤土)、过磷酸钙(5.88 克/10 公斤土)和硫酸钾(3.00 克/10 公斤土)。播种时盆中土体加水至饱和湿润状态,置于空旷地上。1992-04-26 开始因蒸发失水过多而每天加水 10 毫米。

### (三) 观察测定项目

1. 每天 08:00, 14:00, 20:00 观察土体上下两层温度、气温、湿度。每隔 8 天经两孔分别取出上下两层的土壤,用烘干法以测定土壤重量含水量。为了简化计算结果,将整个土体视为黑箱,并将上下两层的土壤温度和土壤含水量分别加以平均。

2. 每隔 8 天观测小麦的长势、分蘖、株高与抽穗情况,收获后测小麦株高、鲜重、穗数与单产。

## 二、试验结果

### (一) 在小麦生育期内不同土体的土壤水分动态特征

水分在土壤-植物-大气连续体(SPAC)系统中循环,由此土壤水与降水、植物蒸腾的关系密切(图1)。

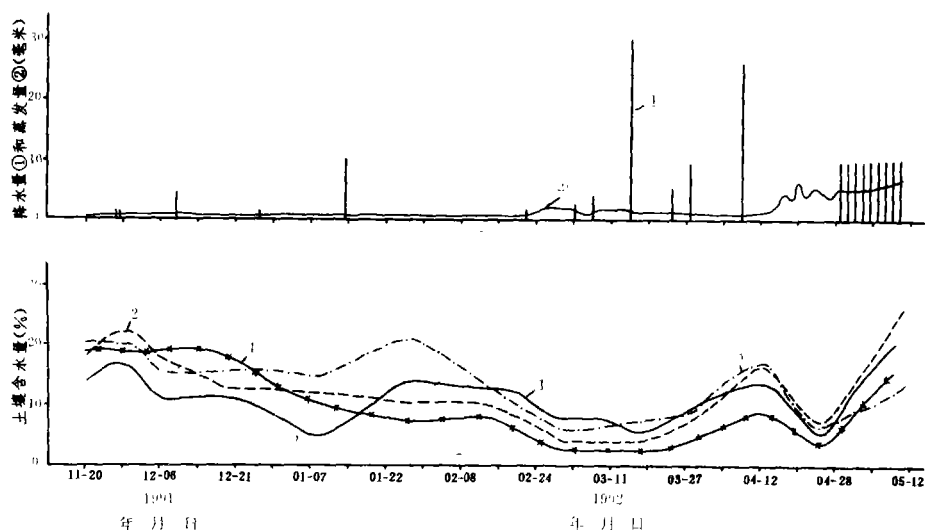


图1 在小麦生育期内不同土体的土壤有效含水量变化

Fig. 1 The change of available soil moisture among different pedons during wheat growing period

1. 上砂下壤; 2. 上壤下砂; 3. 全壤; 4. 全砂

由图1可见,不同土体的土壤含水量均随降水(或灌溉)和小麦蒸腾不同而变化。其中全壤土体和上砂下壤土体的土壤含水量变化相似,都随降水和小麦蒸腾的不同而出现四次起伏;全砂土体和上壤下砂土体在 1992-03 前的土壤含水量都递减,在 1992-03 后才递

增,以至同前两种土体的土壤含水量变化相仿。

全壤土体和上砂下壤土体的土壤有效含水量变幅较小,分别为 16.26 与 16.07 (%), 变异系数分别是 39.5 与 42.6 (%). 而全砂土体和上壤下砂土体的土壤有效含水量变幅较大,分别为 19.30 与 21.27 (%), 变异系数分别是 63.5 与 50.8 (%). 整个小麦生育期内的土壤平均有效含水量以全壤最高(13.75%), 全砂最低(10.66%), 上壤下砂和上砂下壤则介于其间。

## (二)不同土体对土壤水分平衡的影响

土壤水分存贮过程的动态平衡,遵循连续方程或质量守恒定律,可表达为

$$dQ/dt = I_t + P - f_t - E_s, \quad (1)$$

式中  $Q$  为土壤含水量;  $t$  为时间;  $I_t$  为灌水量;  $P$  为降水量;  $f_t$  为渗漏量;  $E_s$  为土壤蒸发量。

本试验中,对土壤水的渗漏加以控制,即  $f_t = 0$ ; 且又未灌溉,即  $I_t = 0$ ; 计算小麦整个生育期内的土壤水分变量  $\Delta Q$ , 式(1)可简化为

$$\Delta Q = P - E_s.$$

由表 2 可见,全壤土体的  $E$  最大,上壤下砂土体的  $E$  最小,上砂下壤土体、全砂土体的  $E$  则介于其间。就  $E_p$  而言,上砂下壤最高,其次是全砂,上壤下砂、全壤则较低。上砂下壤、全砂的  $E_p$  分别是全壤的 1.76 和 1.54 (倍)。

## (三)不同土体的热动态

### 1. 不同土体的土壤热特性

在 SPAC 系统中,土壤热量

受太阳辐射和气温的影响。研究土壤热状况时把进入土壤的热能看成是均一的。土壤热量的高低不仅决定于进入土壤的热能数量,且与土壤本身的热学性质有关。土壤热特性指标主要有土壤容积热容量  $C_v$  (按丘多诺夫斯基法<sup>[3]</sup>计算)、土壤导热率  $\lambda$  与土壤导温率  $\alpha^2$  (用振幅法<sup>[3]</sup>计算)等(表 3)。 $C_v = 0.2P_v + (W_v/100)$ , 其中  $P_v$  为假比重;  $W_v$  为容积水分量。 $\lambda = \alpha^2 C_v$ 。土壤热学性质是决定土壤热状况的内在因素。

表 3 不同土体的土壤热特性

Table 3 The thermal characteristics of different pedons

热 特 性	上砂下壤	上壤下砂	全壤	全砂
$\alpha^2 (10^{-2} \text{厘米}^2 \cdot \text{秒}^{-1})$	2.807	5.034	6.354	1.164
$C_v (\text{焦} \cdot \text{厘米}^{-3} \cdot ^\circ\text{C}^{-1})$	2.056	1.905	2.818	1.516
$\lambda (10^{-2} \text{焦} \cdot \text{厘米}^{-1} \cdot \text{秒}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1})$	5.736	9.592	17.903	1.767

全壤土体升温慢,但一旦升温,则传导热量和温度均较快,因而上下两层土体间温差不大;全砂土体由于热容量小,升温快,但传导热量和温度皆较慢,上下两层土体间温差较大。

### 2. 不同土体的土壤温度日变化

表 2 不同土体水分平衡状况

Table 2 The state of moisture balance of different pedons

土 体	$Q_1$	$Q_2$	$\Delta Q$	$P$	$E$	$G_p$	$E_p$
	(毫米/盆)					(克/盆)	(克/毫米)
上砂下壤	52.73	80.88	28.15	251.2	223.05	28.41	0.127
上壤下砂	70.65	102.20	31.55	251.2	219.65	21.46	0.098
全 壤	85.22	55.89	-29.33	251.2	280.53	20.31	0.072
全 砂	68.34	60.38	-7.96	251.2	259.68	28.68	0.111

表中  $Q_1$  为始期贮水量;  $Q_2$  为末期贮水量;  $\Delta Q$  为土壤水分变量;  $P$  为小麦生育期内的降水量;  $E$  为耗水量;  $G_p$  为每盆产量;  $E_p$  为水分利用率,  $E_p = G_p/E$ 。

由表 3 可见,不同土体的  $\alpha^2$  大小顺序是:全壤 > 上壤下砂 > 上砂下壤 > 全砂。 $C_v$ ,  $\lambda$  的变化趋势亦同此。这说明:1) 全壤土体的土壤温度纵向传导较快,全砂土体的土壤温度纵向传导较慢;2)

土体土层不同,土壤含水量、容重和结构也不同,土壤热特性差异就甚大,以致土壤温度的日变化和年变化也不同. 现列举 1992-01-21—22 的土壤温度日变化(图 2).

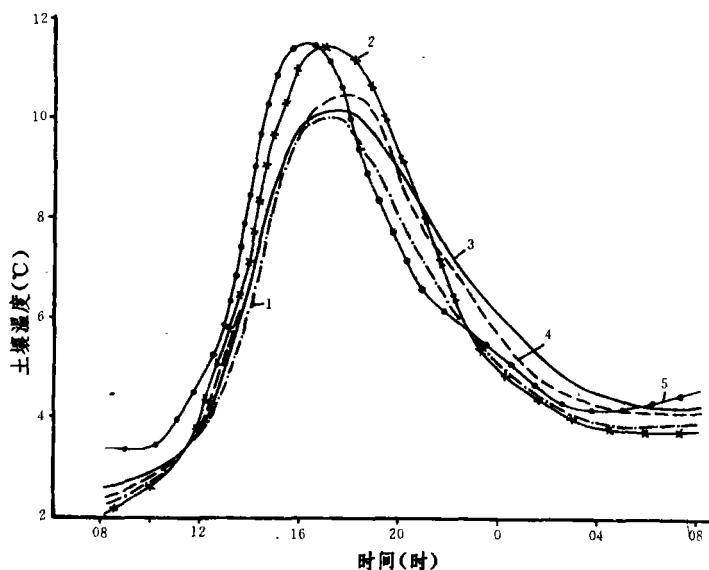


图 2 不同土体的土壤温度日变化曲线(观测时间:1992-01-21—22)

Fig. 2 The daily change curve of soil temperature among different pedons

1. 上砂下壤; 2. 全砂; 3. 全壤; 4. 上壤下砂; 5. 气温

由图 2 表明,不同土体的土壤温度日变化曲线和气温日变化曲线相似,但土体的土壤温度日变化比气温日变化要滞后些. 砂土热容量小,升温快,因而全砂土体和上砂下壤土体的土壤温度达到最高值的时间为 17 时,比气温达到最高值的时间滞后 1 小时;壤土热容量大,升温慢,全壤土体和上壤下砂土体的土壤温度达到最高值的时间为 18 时,比气温达到最高值的时间滞后 2 小时. 再则 10—12 时各种土体的土壤温差最小,12 时后各种土种的土壤温差变大,17—18 时各种土体的土壤温度达最高,温差也达最大值. 此后是夜间,各种土体的土壤温差递减.

表 4 在小麦生育期内不同土体的土壤温度变化

Table 4 The change of soil temperature among different pedons during wheat growing period

土 体	月 均 温 (°C)						生育期均温	活动积温	有效积温
	11	12	01	02	03	04			
上砂下壤	11.4	7.8	5.7	9.2	11.4	20.7	11.0	1127.1	412.1
上壤下砂	11.4	7.6	5.8	9.4	11.5	20.5	11.0	1109.0	404.0
全 壤	11.1	7.7	5.8	9.6	11.4	20.8	11.1	1107.9	417.9
全 砂	11.8	7.8	6.0	10.2	11.6	21.2	11.4	1146.9	446.9

无论是晴天还是阴天,各种土体的土壤日温变幅、变异系数都以全砂最大(日温变幅:晴天 10.1°C,阴天 8.0°C;变异系数:晴天 53.61%,阴天 42.43%),其次是上砂下壤(8.2°C,

7.3°C; 47.17%, 39.12%)、全壤(7.5°C, 6.9°C; 44.61%, 35.59%)、上壤下砂(7.7°C, 7.1°C; 45.42%, 37.08%)较小。

### 3. 在小麦生育期内不同土体的土壤温度变化

不同土体的土壤日温变化有差异,在小麦生育期内土壤温度也有差异(表4)。

与其他土体的土壤相比,全砂土体的土壤月均温及生育期均温都较高,其他土体的土壤温度差值不大。

小麦生长与温度关系密切,即各生长阶段都有其最适温度,对小麦生长有意义的是活动积温和有效积温。从活动积温来看,全砂>上砂下壤>上壤下砂>全壤。全砂土体与全壤土体之间的土壤活动积温变幅39°C。这就是说,全砂土体和上砂下壤土体更利于作物的生长,有效积温也以全砂最高(446.9°C),上壤下砂最低(404.0°C)。

表5 不同土体的小麦生长  
Table 5 The state of wheat growing in different pedons

土 体	分蘖(个)	株高(厘米)	地上部鲜重(克)	有效穗数(个)	每盆粒重(克)	千粒重(克)
上砂下壤	3.0	66	187.1	31	28.41	33.45
上壤下砂	2.1	63	157.0	29	21.46	30.40
全 壤	2.6	63	142.0	27	20.31	37.50
全 砂	2.7	66	164.5	33	28.68	36.00

综上所述,上砂下壤土体、全砂土体的水热协调性较好,而上壤下砂土体、全壤土体的水热协调性则略差。小麦的分蘖、株高、地上部鲜重、有效穗数、每盆粒重(表5)都是上砂下壤、全砂大,上壤下砂、全壤则较小。虽一般认为全砂土体结构不好,漏水漏肥,产量不高,但在本试验中,全砂土体的产量和粒重却最高,其机理需作进一步研究。

## 三、小 结

1. 整个小麦生育期内上砂下壤土体、全壤土体的土壤有效含水量波动较小,而上壤下砂土体、全砂土体的土壤有效含水量波动较大。上砂下壤土体、全砂土体的土壤水分利用效率较高,而全壤土体、上壤下砂土体的土壤水分利用率则较低。

2. 各种土体的土壤温度日变化过程和气温日变化过程相似,但前者比后者要滞后1—2小时。与全壤土体、上壤下砂土体相比,全砂土体、上砂下壤土体的土壤日温变幅较大,活动积温和有效积温都较高。在小麦生育期内各种土体的土壤月均温以全砂土体最高(11.4°C),其余土体差异不大(11.0°C)。

3. 与上壤下砂土体、全壤土体相比,上砂下壤土体、全砂土体在小麦生长指标和产量指标上都较好,这是水热条件较为协调的结果。

## 参 考 文 献

- [1] 何毓蓉等,1990,四川盆地丘陵区紫色土退化研究:1.紫色土物理特性及退化特征,资源开发与保护,6(1),第

3—7 页.

[2] 中国科学院成都分院土壤研究室, 1991, 中国紫色土(上篇), 北京: 科学出版社, 第 176—202 页.

[3] [日本]土壤物理性测定委员会编(翁德衡译), 1979, 土壤物理性测定法, 重庆: 科学技术文献出版社重庆分社, 第 407—431 页.

## SOIL WATER AND HEAT CHARACTERISTICS OF DIFFERENT PEDONS OF PURPLE SOIL

Cheng Wen He Yurong

(*Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences*  
& *Ministry of Water Conservancy, Chengdu, 610041*)

### Abstract

Based on the simulating experiment with purple soil, soil heat and water regime were studied. Experimental results show as follows: during whole wheat growing period, the available soil moisture in different pedons varied with the changes of precipitation and evaporation. Fluctuation of the available soil moisture of sand (upper layer)-clay loam (lower layer) pedon and clay loam (whole layer) pedon would be lower while that of clay loam (upper layer)-sand (lower layer) pedon and sand (whole layer) pedon would be relatively higher. The water efficiency of sand-clay loam and sand pedons was higher than that of other two pedons.

Soil temperature was similar to the air temperature in daily change, but lagged about 1—2h. The soil temperature vibration ranges of sand and sand-clay loam pedons were wider than that of clay loam-sand and clay loam pedons. During the whole wheat growing period, comparing with average soil temperature of every month, sand pedon was highest (11.4°C) while others were nearly the same (11.0°C). The active and effective accumulated temperatures of sand and sand-clay loam pedons were higher than that of others.

Both the grow indicatrix and yield indicatrix of sand and sand-clay loam pedons were better than that of clay and clay-sand pedons due to coordinatly action of water and heat.

**Key words** purple soil, pedon, water and heat characteristic