

黄土区基本环境要素变化 对丘陵地形的响应

穆兴民 陈国良

中国科学院 水土保持研究所 陕西杨陵 712100
(水利部)

Hidenori Takahashi Tetsuaki Nagasawa

(Hokkaido University Sapporo 060 Japan)

摘要 黄土丘陵是黄土高原的主要地貌类型。一些基本生态环境因子,如太阳辐射、气温和土壤水分会受到丘陵地貌的影响而发生分异,同时对农业而言,这些因子的变化也会影响丘陵地形的利用方式。据此,我们对不同坡向和不同坡位上的太阳辐射、气温、土壤温度和土壤水分进行长期定位观测和较为系统的分析,其结果将有助于黄土丘陵坡地资源的合理开发和利用。

关键词 黄土区 丘陵地形 基本环境要素

The Response of the Distributions of the Basic Eco-environmental Elements to the Loess Hilly Landform of the Loess Plateau

Mu Xingmin Chen Guoliang

(Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences
and Ministry of Water Resources Yangling Shaanxi 712100)

Hidenori Takahashi Tetsuaki Nagasawa

(Hokkaido University Sapporo 060 Japan)

Abstract The loess hill is main one of the landform types in the Loess Plateau, China. The eco-environmental elements, like the solar radiation, air and soil temperature, and soil moisture could cause some difference by the influence of the hilly landforms. Meanwhile, that differences will effect the utilizing way. On the above base, the eco-environmental elements of the different directions of the slopes have been observed on the same points over a long period of time, and the response of their distribution to the hilly landform has been researched systematically. The results of this present paper could provide some ecological base for the rational exploitation and utilization of the loess hilly slope land in the Loess Plateau.

Key words Loess Plateau the loess hilly landform basic eco-environmental elements

黄土丘陵系黄土高原主要的土地类型,总面积约 23.5 万 km^2 ,其中 $\geq 5^\circ$ 的坡地占 80%左右,是农、林、草的主要用地。区内地形地貌复杂,沟壑纵横,光、热、水差异悬殊,从而形成复杂多样的气候—土壤生态环境系统。为深入了解黄土丘陵山地不同部位、不同坡向的光、热、水分分布的非地性变化特征,并为区域农、林、牧合理布局与提高水、热资源利用率提供小气候依据,从 1986~1989 年在宁夏固原对丘陵坡地光、热、水主要气候因子与植被生产力进行了较为系统定点建立时的观测与研究。本文是该项研究工作的系统总结。

1 研究场所及其自然概况

本研究系在黄土丘陵区西部的固原县上黄村与云雾山草原保护区进行。

上黄村位于 $106^\circ 26' \sim 106^\circ 30' \text{E}$, $35^\circ 59' \sim 36^\circ 03' \text{N}$;海拔高度 1 534~1 824m。区域年总辐射量 5 342.4 MJ/m^2 ,年均气温 7.0°C ,年降雨量 472mm,干燥度指数 1.55,无霜期 152d。云雾山草原保护区,位于上黄村正北约 28km,海拔 1 800~2 148m,大部分在 2 000m 以下,年降水量 450mm,二者地理气候环境十分相近。

基本水热要素观测,选在上黄村岷湾岭与对儿山进行。岷湾岭海拔高度 1 710m,土壤为细黄土,山体四周坡度为 $11^\circ \sim 18^\circ$,该山岭上部 4 个坡向各种植有沙打旺、苜蓿、柠条、沙棘等优良低矮草、灌植物及天然荒草坡地,中下部为农耕地。该天然荒草坡地退化严重,植被状况近乎裸地,故近地安置仪器不会造成遮挡。又为了研究天然草地的自然生产力,以云雾山草原保护区作为辅助测点。

2 仪器与方法

本研究测定项目有太阳辐射、气温、地温和土壤水分。

2.1 仪器设备与性能

太阳辐射仪:平地,传感器用“MS—42 型ネオ日射计”,记录仪用全天候测定数据记录装置“KADEC—UP”,传感器精度 $\pm 2.5\%$ 以内,以 30min 为间隔连续累积记录。坡地观测用“累积式多点太阳能测定系统仪”。

温度仪:传感器用“标准型—三スタヤニサ(KDC—SL)”,记录仪用多通道、全天候型测定数据记录装置“[KADEC—U(UV)]”,传感器精度 0.1°C ,以 60min 时间间隔连续测定。

试验在上黄村有代表性的平直坡面上进行长期定位观测。各坡面的坡向、坡度如表 1。每个坡面从上至下每隔 20m、40m 和 60m 各选一点代表坡的上部、中部和下部 3 个坡位(如图 5),测定时间,每年从 4~11 月测定一次 2m 土层的土壤含水量。测定方法为土钻法。

2.2 仪器安装

辐射与温度仪每种均为 4 套,分别设在距山顶约 100cm 处的 E、S、W、N 等四个坡向,坡度 $11^\circ \sim 12^\circ$ 。辐射仪按平行于坡面,距地面 25cm 处安置;气温探头置于离地面 100cm 处,外罩筒易防辐射通风装置,地温探头分别埋于距地面 5cm 及 15cm 处。

2.3 测定时间

太阳辐射:平地每 30min 一次,自动采样记录与贮存,最后通过计算机打印出日、旬、月记

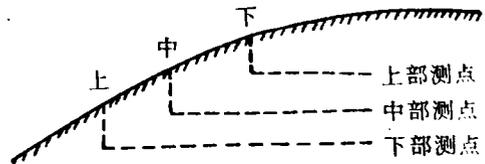


图 1 坡地土壤水分测定位置示意图

录。坡地每日一次,只记录日累积辐射量。

表1 坡地土壤水分测点的坡向和坡度

坡向	南坡(S)	东坡(E)	西坡(W)	北坡(N)
方位	偏西 20°	偏北 20°	正西	偏东 30°
坡度	19°	15°	18°	15°

气候与地温:每 60min 一次,自动完成资料采集与贮存。

土壤水分:每月一次,上层(0~100cm)每隔 10cm,100cm 以下每隔 20cm 采一个样。

3 丘陵坡地气候时空特征

3.1 坡地太阳辐射

它是地方气候与局地小气候形成的基础,此处按当地植物主要生长季 5~8 月及生长季 5~10 月作如下汇总分析。两时段的旬、月太阳辐射量如表 1、表 2。

表2 上黄村 5~10 月各旬太阳辐射量(MJ/m²)

月旬	5			6			7		
	上	中	下	上	中	下	上	中	下
东坡	102	174	195	168	133	151	142	151	151
南坡	99	174	189	169	129	144	137	148	127
西坡	93	166	179	162	131	151	131	150	148
北坡	84	133	188	167	131	147	137	148	152
平地	113	201	224	194	155	175	165	186	170
月旬	8			9			10		
	上	中	下	上	中	下	上	中+下	
东坡	105	138	135	98	140	89	92	204	
南坡	106	138	140	103	151	94	96	216	
西坡	100	133	138	97	133	82	77	170	
北坡	105	133	131	96	129	70	55	154	
平地	133	170	170	—	—	—	—	—	

表3 上黄村 5~10 月各月太阳辐射量(MJ/m²)

项目	5		6		7		8		9		10		5~8		5~10	
	量	%	量	%	量	%	量	%	量	%	量	%	量	%	量	%
东坡	472	88	453	86	444	85	378	80	327	94	296	95	1746	86	2396	100
南坡	462	86	442	84	412	79	385	81	348	100	312	100	1701	83	2361	99.6
西坡	438	81	445	85	428	82	371	79	312	90	247	79	1612	82	2240	94.6
北坡	405	75	444	85	437	84	368	78	296	85	239	76	1654	80.5	2188	92.4
平地	538	100	524	100	521	100	473	100	—	—	—	—	2055	100	—	—

3.1.1 太阳辐射总量 5~8 月:平地为 2 055MJ,坡地为 1 654~1 746MJ,其中 E>S>W>N(坡),各占平地辐射总量的 85%,83%,82%,80.5%。

5~10 月:各坡向辐射总量在 2 188~2 369MJ 之间,其大小次序与 5~8 月一致,即 E>S>W>N(坡)。如以东坡为 100%,S、W、N 坡依次为 99.6%,94.6%和 92.4%。

3.1.2 旬、月太阳辐射量的季节分布

(1)旬量分布:均以 5 月下旬为最高,达 179~195MJ,随后缓慢起伏下降,至 9 月下旬、10

月上旬达最低,其值为 70.4~88.9MJ 之间,各坡向旬辐射量分布除高值有一定规律外,中、低值出现的坡向变化不定。高值,5~7 月出现在东坡,8~10 月出现在南坡。这是因为一般雨季(7~9 月)前,当地上午天空晴朗、大气清洁,下午则多大风、沙尘、阵雨,故东坡辐射量高;至雨季来临,空气湿润、多云(雨),且太阳入射位置偏南,故自夏末入秋,旬辐射量高值出现在南坡。

(2)月量分布:高值出现时间,南坡在 5 月,西坡与北坡在 6 月,其值为 444~472MJ,相当于平面辐射的 85%~87%;月最低值各坡向均出现在 10 月,为 237~296MJ。各月中月总量随坡向分布与旬值分布趋势相似,即 5~7 月东坡最大,8~10 月南坡最大,最小值出现的坡向,5~7 月无定,8~10 月均出现在北坡,其值约相当于南坡(最高)的百分比为:8 月 95.7%,9 月 84.9%,10 月 76.4%,11 月 47.5%。

3.2 坡地气温

3.2.1 坡地气温特征值 各坡向的气候平均、平均最高及平均最低气温如表 3。月平均气温:各坡向间差异不显著,最大差为 0.5℃(5 月),最小差仅 0.1℃(6~8 月)。5 月平均气温: $E>W,S>N$ 。

月最高气温:各坡向间最大差异 0.5~0.7℃。5 月南坡最高(21.5℃),北坡最低(20.8℃);7 月北坡、西坡最高(24.8℃),南坡最低(24.2℃)。

月最低气温分布与平均气温、平均最高气温类似。

表 4 丘陵坡地气温特征

月份	5			6			7			8		
	平均	最高	最低	平均	最高	最低	平均	最高	最低	平均	最高	最低
东坡	15.0	21.1	8.9	17.4	23.0	12.4	19.1	24.3	14.2	17.1	22.9	13.3
西坡	14.9	21.4	8.7	17.3	23.6	12.1	19.2	24.9	14.5	17.3	22.8	13.1
南坡	14.9	21.5	8.5	17.3	23.3	12.1	19.0	24.2	14.5	17.1	22.1	13.0
北坡	14.5	20.8	7.7	17.3	23.4	12.1	19.1	24.8	14.5	17.2	22.2	13.1
极差	0.5	0.7	1.2	0.1	0.6	0.3	0.2	0.5	0.3	0.2	0.2	0.3
平均	14.8	21.2	8.5	17.3	23.3	12.2	19.1	24.6	14.4	17.2	22.5	13.1
平地*	14.0	20.9	7.1	17.2	23.0	11.9	19.3	24.8	14.7	17.5	22.5	14.2

注: * 指观测场百叶箱内气温。

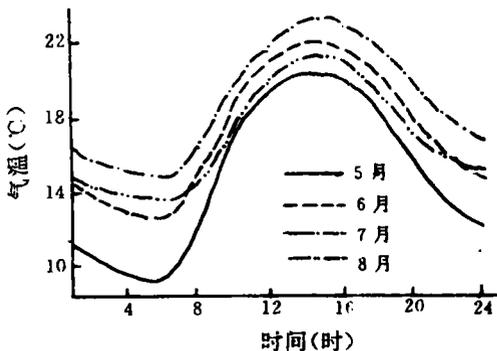


图 2 5~8 月坡地气温日变化

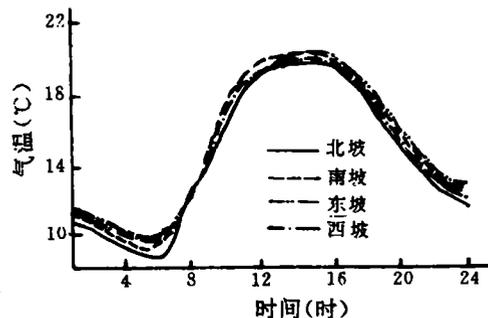


图 3 5 月南坡气温日变化

表 5 5 月份丘陵坡地气温日变化模式参数

参数	$\theta(100)$	$A(100,1)$	$\varphi(100,1)$	$A(100,2)$	$\varphi(100,2)$	复相关指数 R	均方误 S_y
坡地	14.90	5.41	223°06'	0.96	74°26'	0.994	0.49
东坡	15.00	5.07	280°36'	0.90	75°53'	0.993	0.47
西坡	14.90	5.28	220°42'	0.85	57°46'	0.994	0.47
北坡	14.52	5.50	223°30'	0.93	87°04'	0.991	0.59

* 表中 $\theta(100)$ 指高 100cm 处日平均气温, $A(100,1)$ 指 100cm 处平均气温日较差。

表 6 不同坡向不同深度地温特征值

月份	5			6			
坡向	深度(cm)	平均	最高	最低	平均	最高	最低
东坡	5	16.6	23.9	10.4	19.1	25.4	14.1
	15	16.3	20.8	12.1	19.0	22.9	15.6
西坡	5	16.9	24.6	10.7	19.8	26.5	14.6
	15	16.5	21.7	12.0	19.5	24.0	15.7
南坡	5	16.5	23.8	18.7	18.7	23.2	14.3
	15	—	—	—	—	—	—
北坡	5	16.2	23.6	9.8	19.4	25.6	14.4
	15	15.6	20.8	10.9	19.0	22.4	16.3
平地	5	18.3	—	—	21.3	—	—
	15	16.8	—	—	20.2	—	—
坡向 差异	5	0.3~0.7	0.7~1.0	8.0~8.9	0.7~1.1	0.9~3.3	0.2~0.5
	15	0.2~0.4	0.9	0.5~1.2	0.5	0.8~1.1	0.6~0.7
坡地与 平地差	5	-1.4~2.1	—	—	-1.5~2.6	—	—
	15	-0.3~1.2	—	—	-0.7~1.2	—	—

月份	7			8			
坡向	深度(cm)	平均	最高	最低	平均	最高	最低
东坡	5	20.9	27.1	16.4	18.5	23.9	14.7
	15	20.9	24.8	17.7	18.7	21.9	15.9
西坡	5	21.8	—	17.8	19.6	25.3	15.3
	15	21.6	—	19.0	19.4	23.4	16.5
南坡	5	20.6	26.0	16.5	18.5	23.0	16.2
	15	—	—	—	—	—	—
北坡	5	21.2	26.9	16.8	19.1	24.1	15.4
	15	20.9	25.0	17.6	18.8	22.2	16.0
平地	5	23.2	—	—	20.9	—	—
	15	22.3	—	—	20.5	—	—
坡向 差异	5	0.6~1.2	0.2~1.1	1.0~1.4	0.5~1.1	1.2~2.3	0.8~1.5
	15	0.7	—	1.3~1.4	0.6~0.9	1.2~1.5	0.5~0.6
坡地与 平地差	5	-1.4~2.6	—	—	-1.5~2.4	—	—
	15	0.7~1.4	—	—	-1.1~1.8	—	—

3.2.2 坡地气温日变化模式

(1) 气温日变化模式。图 1、图 2 是逐时各月平均气温日变化过程曲线, 在昼夜变化过程中有一最高值和一最低值, 属单峰型曲线。图 1~2 可用下述谐波模型来拟合:

$$\theta(Z, t) = \theta(z) = \sum_{k=1}^n A(Z, k) \cdot \sin\{k\omega t + \phi(Z, k)\}$$

式中: $\theta(Z, t)$ —— t 时刻 Z 处的温度; $A(Z, k)$ —— Z 处第 k 个谐波分量的振幅和初始位相, $\omega = \frac{2\pi}{T}$; T ——周期长度, 若为日变化, 则 $T = 24$ 。

模型参数的实际意义。 $\theta(Z)$ 表示 Z 处的月平均日温; 当 $k = 1$, $A(Z, 1)$ 表示 Z 处温度日较

差大小, $\varphi(Z, 1)$ 表示 Z 处日温度波的温度位相。

由图 1(5~8 月)各月逐时平均气温日变化过程可见:各坡向间温度差异 5 月最大,7 月差异不明显,因此这里只列出 5 月各坡向逐时平均气温日变化过程谐波模式参数(表 5)。由表 5 见: $A(100, 1)$ 值远比 $A(100, 2)$ 值大,说明各月气温日变化过程中日波占主导地位。4 个坡向中,日波振幅 $A(100, 1): N > S > W > E$, 即北波日较差最大,东坡最小;4 个坡向中,日温度波初始位相: $E > N > S > W$ (坡), 即东坡极端温度出现的时刻最早,西坡最晚。东坡最低温度出现的时间为 5:00~6:00,最高温度在 15:00~16:00 出现。

(2) 气温日变化过程的季节差异。图 1 与图 2 相比,不同月份气温日变化过程基本类似。从 5 月至 7 月逐时气温呈递增趋势,但递增幅度不同,6:00 和 15:00 增加最多,分别达 3.5℃ 和 5.5℃。至 8 月温度开始降低,夜间(22:00 至次日 7:30)降低 1.0~1.5℃;昼间(7:30 至 22:00)降低 0.8~1.7℃。以南坡为例:5 月平均瞬时最高气温 20.1℃,最低 9.0℃,日较差 11.1℃,6 月平均瞬时最高 22.0℃,最低 12.6℃,日较差 9.4℃;7 月平均瞬时最高 23.6℃,最低 14.9℃,日较差 8.7℃;8 月平均瞬时最高 21.3℃,最低 13.7℃,日较差 7.6℃。5 月日较差最大,8 月最小。

表 7 坡地平均地温月变化模型参数*

参数**		$\theta(z)$		$A(z, 1)$		$\varphi(z, 1)$	
月		5 月	7 月	5 月	7 月	5 月	7 月
东坡	5cm	8.29	10.50	5.96	4.66	210°53'	209°40'
	15cm	8.16	10.47	3.84	2.79	184°59'	183°40'
西坡	5cm	8.44	10.90	6.16	4.92	202°59'	200°33'
	15cm	8.23	10.78	4.30	3.46	183°55'	180°10'
南坡	5cm	8.25	10.28	5.45	3.83	214°19'	212°17'
	15cm	—	—	—	—	—	—
北坡	5cm	8.07	10.62	6.18	4.36	206°38'	203°54'
	15cm	7.82	10.83	4.42	3.26	187°51'	186°02'

参数**		$A(z, 2)$		$\varphi(z, 2)$		均方误差 S_e	
月		5 月	7 月	5 月	7 月	5 月	7 月
东坡	5cm	1.36	1.15	29°39'	17°11'	0.28	0.11
	15cm	0.72	0.68	351°25'	339°54'	0.12	0.05
西坡	5cm	1.20	1.31	4°22'	35°59'	0.20	0.12
	15cm	0.78	0.83	336°38'	329°41'	0.07	0.11
南坡	5cm	1.54	1.14	47°40'	35°59'	0.42	0.25
	15cm	—	—	—	—	—	—
北坡	5cm	1.38	1.07	22°22'	5°00'	0.42	0.14
	15cm	0.89	0.73	352°22'	340°17'	0.18	0.10

* 每个地温模型的复相关指数 R 在 0.995 0~0.999 8 之间,** 参数中 $Z=5, 15$, 分别表示 5cm, 15cm 地温模型参数。

3.2.3 坡地气温增温率 增温率系指最低气温到最高气温出现的时段内,单位时间内气温升高的度数(℃/h)。以 5 月最为显著,其增温率: $N(1.24) > S(1.08) > W(0.97) > E(0.94)$ 坡。6~8 月则差异不大,均在 1.0℃/h 左右。

3.3 坡地地温

3.3.1 坡地地温变化特征 5cm 地温,各坡向平均值与最高值,大体经西、北坡高,而东、南坡低。但总的是平均值差异不大,夏初(5 月)为 0.3~0.7℃,夏季(6~8 月)为 0.5~1.2℃;最高值差异居中,5,7 月 1.1℃ 以内,6,8 月差异较大,达 2.3~3.3℃;最低值则夏初差异悬殊,

高达 8~9℃,南坡大,北坡小,6~8 月差异较小,6 月为 0.2~0.5℃,7~8 月为 0.8~1.5℃,15cm 地温,各坡向各值差异要小于 5cm 的差异,一般在 0.5~1.0 之间。而无论 5cm 与 15cm,各坡 5~8 月的各值均小于平地,其中 5cm 差异大,为 1.4~2.5℃,15cm 差异小,5~7 月多为 0.7~1.4℃,8 月有所增大,达 1.1~1.8℃。

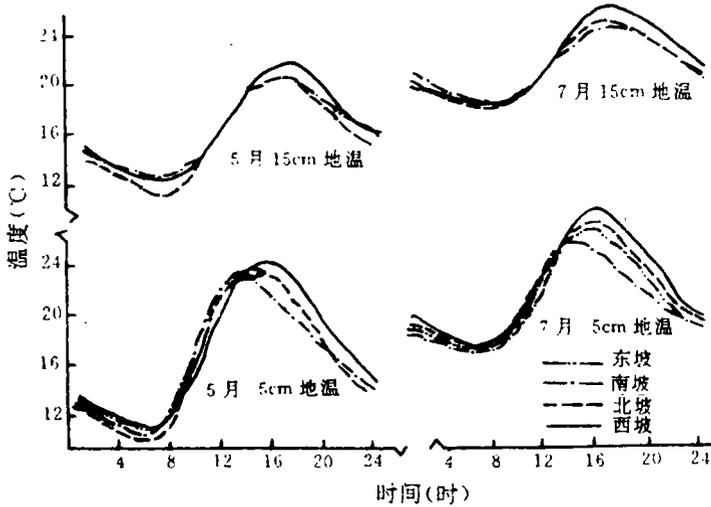


图 4 5 月、7 月坡地地温日变化

3.3.2 坡地地温日变化模式 图 3 为 5 月和 7 月平均地温日变化过程,这种变化过程与气温类似,也可用模型(1)来拟合,其参数如表 7。比较 5 月和 7 月地温日变化模型参数,其 $\theta(z)$ 值随深度 (Z) 增加而减小,表明平均地温降低;地温变化的日波振幅与气温相似,即 $A(Z,1)$ 比 $A(Z,2)$ 大,表示地温月变化也是以日地温波为主;又日地温波分量的振幅 $A(Z,1)$ 随深度增加而减小,再地温日波初始位相 $\varphi(Z,1)$ 随深度增加而减小,且 5 月与 7 月差异不大,表明随深度增加,极端地温出现的时间推后,且 5 月与 7 月出现时间基本一致,5cm 地温的位相 $\varphi(Z,1)$ 值在 4 个坡向中南坡最大,西坡最小;15cm 地温位相在东西西北 3 个方位上,则以北坡最大,西坡最小。

表 8 坡地地温日较差

月份	5 月		6 月		7 月		8 月	
	5cm	15cm	5cm	15cm	5cm	15cm	5cm	15cm
东坡	12.3	8.1	10.3	6.6	10.0	6.3	8.5	5.6
西坡	12.8	9.0	10.9	7.6	10.4	7.2	9.2	6.5
南坡	12.0	—	9.1	—	8.6	—	7.1	—
北坡	12.9	9.3	10.3	7.5	9.5	7.0	8.0	5.7

极端地温出现的时间。相同月份、同一深度、不同坡向间最低出现时间基本一致。5cm 最低地温 5 月出现在 5:00~6:00,7 月出现在 7:00 左右;最高地温以东坡和南坡出现最早(14:00~15:00),北坡和西坡较晚,相差约 2h。随深度增加,15cm 的最高、最低地温出现的时间比 5cm

延后 1~2h。

3.3.3 坡地地温日较差 坡地地温日较差如表 7。地温日较差总的是随深度增加而减小,其中 5cm 为 8~13℃,15cm 为 6~9℃,日较差的分布总的是西坡大,南坡小,差值为 0.8~2.1℃,以 5 月相差最小(0.8℃),8 月相差最大(2.1℃)。

表 9 不同坡向温度日较差

坡向 月份	东坡		西坡		南坡		北坡	
	5	7	5	7	5	7	5	7
气温日较差	10.3	8.4	10.7	9.0	10.8	8.7	11.2	9.0
5cm 地温日较差	12.3	10.0	12.3	10.4	12.0	8.6	12.9	9.5
15cm 地温日较差	8.1	6.3	9.0	7.2	8.6	—	9.3	7.0

3.4 坡地气温与地温的比较

上述分析表明:坡地的气温、地温随坡地方位、时间及土壤深度不同而不同。气温和地温由于太阳辐射及热能传播介质的不同,导致二者之间变化存在着某些差异。

位相不同:气温和地温月变化过程都属单峰型,且可用模型(1)来拟合,但二者变化的位相不同(如图 4)。一般平均最低、最高温度出现时间气温比 5cm 地温早 1h,比 15cm 地温早 2h。温度日变化过程中,在 12:00~16:00,由于空气中湍流扰动加强,使气温变化曲线出现了波动,不象地温曲线那样光滑。

平均值和月较差不同:一般月平均地温及平均最低地温比平均气温和平均最低气温高,但 15cm 平均最高地温比平均气温低(见表 4、表 6)。温度日较差如表 9,5cm 地温日较差最大(8.6~12.9℃),15cm 地温日较差最小(6.3~9.3℃),气温日较差介于二者之间(8.4~11.2℃)。

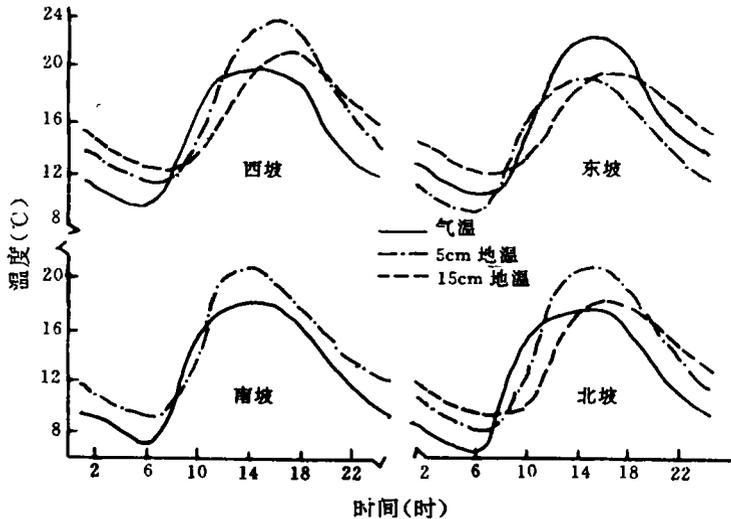


图 5 坡地地温、气温日变化

4 坡地土壤水分

4.1 测定期降水状况

由表 10 可见,除 1985 年年降水较丰,1988 年为平水年外,其余各年均均为欠水年,尤以 1986 年降水最少。表明,试验期内分别有旱、平、丰 3 种不同降水年型。

表 10 试验年与历年平均降水比较

年份	春季	夏季	秋季	冬季	全年	
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	与平均比(%)
1985	(114.4)	209.2	166.5	-490.1	-	
1986	37.9	204.8	39.5	2.5	284.8	59.6
1987	63.4	167.5	91.1	2.8	324.6	67.9
1988	118.6	255.5	54.6	9.9	438.6	91.7
1989	68.3	209.5	62.9	16.9	358.3	74.9
历史平均*	81.0	264.7	124.8	7.6	478.2	100

4.2 不同坡向土壤含水量变化特点

由表 11 见,0~2m 土层含水量东坡>北坡>南坡>西坡;但 1~2m 土层含水量是:南坡>东坡>北坡>西坡;此外,4 个坡向中,阴向坡(东坡、北坡)0~1m 土层含水量大于 1~2m 土层含水量,南坡与西坡则相反。土壤含水量随坡向和不同土层的这种分布特征的形成是地理条件、坡地小气候和天然植被条件综合作用的结果。①阳向坡(南坡、西坡)的辐射平衡值比北坡和东坡高,蒸发力强,土壤失水多,土壤含水量低,生产上称之为“旱阳坡”或“干旱坡”。②由于干旱和人为破坏致使阳向坡植被稀疏,土壤水分消耗以土壤蒸发为主,植物蒸腾耗水甚微,而阴向坡植被盖度相对较大,植物蒸腾较阳向坡大。在相同土壤背景条件下土壤蒸发依靠土壤毛管作用传输水分,主要消耗上层水分,蒸腾靠根系吸收水分,具有较强抗旱性的天然植被吸收了深层土壤贮水,导致阴向坡深层贮水减少,土壤含水量相对较低。

表 11 天然草坡地年平均土壤含水量 (%)

年份	南坡			北坡			东坡			西坡		
	0~2	0~1	1~2	0~2	0~1	1~2	0~2	0~1	1~2	0~2	0~1	1~2
	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
1985	12.9	12.3	13.4	13.5	15.0	11.9	14.3	16.3	12.4	11.7	11.7	11.7
1986	11.2	9.3	13.1	12.0	12.3	11.7	11.9	12.2	11.6	11.0	10.0	12.0
1987	9.0	9.7	11.0	9.7	9.2	10.1	9.2	8.6	9.7	8.3	7.4	9.2
1988	9.6	8.9	10.2	9.3	10.0	9.6	10.3	11.4	9.1	8.0	8.6	7.4
1989	8.4	7.3	9.5	8.6	9.0	8.1	6.5	10.4	8.5	7.3	7.5	7.1
平均	10.2	9.0	11.4	10.6	11.1	10.1	11.0	11.8	10.3	9.3	9.0	9.5

固原气象站 1958~1989 年资料。

表 12 天然牧荒地不同坡位土壤含水量 (%)

年份	土层 (m)	南坡			北坡			东坡			西坡		
		上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下
		0~2	13.0	12.1	11.9	13.6	12.3	12.5	14.3	13.9	14.7	11.7	11.9
1985	0~1	12.6	11.6	12.2	15.3	12.3	13.1	16.2	15.3	16.1	11.7		13.1
	1~2	13.4	12.6	11.6	11.9	12.2	11.9	12.4	12.5	13.2	11.7	11.7	10.9
	0~2	11.3	11.1	10.5	12.0	11.1	10.4	12.0	12.0	12.7	11.0	10.6	10.9
1986	0~1	9.3	8.8	9.0	12.3	10.8	10.1	12.3	11.9	12.9	10.0	9.3	10.2
	1~2	13.3	13.3	12.0	11.7	11.4	10.6	11.6	12.5	12.5	12.0	11.9	11.5
	0~2	9.1	9.1	8.2	9.2	8.9	8.1	9.2	8.9	9.8	8.4	8.2	8.3
1987	0~1	7.2	6.8	6.8	8.3	8.3	7.5	8.7	8.2	9.3	7.5	7.0	7.4
	1~2	10.9	11.4	9.5	10.1	9.5	8.7	9.7	9.6	10.03	9.3	9.3	9.2
	0~2	11.1	10.6	10.2	12.0	10.8	10.3	11.8	11.6	12.4	10.4	10.2	10.4
平均	0~1	9.7	9.1	9.3	12.0	10.5	10.2	12.4	11.8	12.8	9.7	9.4	10.2
	1~2	12.5	12.1	11.0	11.9	11.0	10.4	11.2	11.4	12.0	11.0	11.0	10.5

4.3 不同坡位土壤含水量分布

表 12 表明:(1) 0~2m 土层平均土壤含水量,南坡、北坡从坡的上部至下部逐渐降低,东

坡和西坡则是上部和下部含水量高,中部含水量低。(2)不同土层各坡位土壤含水量变化特征:0~1m土层与0~2m土层含水量变化趋势基本一致。1~2m土层含水量南坡、北坡及西坡由坡的上部至下部逐渐降低,东坡与此相反。总之这里的变化较复杂,并不象E·H罗曼诺娃^[1]分析的从上至下由于径流作用,含水量有规律的增加。

表 13 天然牧荒地与平地土壤含水量 (%)

年份	土层(m)	南坡	北坡	东坡	西坡	平均	平地
1986年	0~2	9.9	10.7	9.9	9.8	10.3	7.9
	0~1	7.3	10.0	8.8	8.1	9.1	7.2
	1~2	12.4	11.3	11.0	11.4	11.5	8.6
1987年	0~2	9.2	9.8	9.2	7.9	9.0	8.4
	0~1	6.6	9.0	8.5	6.6	7.7	8.1
	1~2	11.7	10.5	9.8	9.1	10.3	8.6
1989年	0~2	8.4	8.6	9.5	7.3	8.5	8.4
	0~1	7.3	9.0	10.4	7.5	8.6	9.3
	1~2	9.5	8.1	8.5	7.1	8.3	7.5
平均	0~2	9.2	9.7	9.5	8.3	9.2	8.2
	0~1	7.1	9.3	9.2	7.3	8.4	8.2
	1~2	11.2	10.0	9.8	9.2	10.0	8.2

表 14 天然牧荒地年平均土壤含水量及变异系数

坡向	南坡									
	1986		1987		1988		1989		平均	
年份	X	CV								
深度(cm)										
0~20	8.0	39	8.4	54	13.0	26	3.9	58	9.5	44
20~40	8.2	35	7.3	46	8.2	28	6.9	29	7.7	35
40~60	9.0	30	5.8	9	7.0	17	5.9	9	7.0	16
60~80	10.0	20	6.4	10	7.2	13	6.5	14	7.5	14
80~100	11.3	20	7.9	16	7.5	13	7.5	19	8.6	17
100~120	11.8	18	8.8	20	8.4	12	8.0	13	9.3	16
120~140	12.5	12	9.8	15	9.4	12	8.6	8	10.1	12
140~160	12.5	13	10.9	15	10.3	12	9.5	5	10.8	11
160~180	14.0	12	11.9	8	12.1	12	10.2	9	12.1	10
180~200	14.8	9	13.3	11	10.2	10	11.2	13	12.4	11

坡向	北坡									
	1986		1987		1988		1989		平均	
年份	X	CV								
深度(cm)										
0~20	11.2	23	6.2	87	14.3	24	8.9	58	10.2	48
20~40	12.6	27	9.4	15	9.7	18	6.9	29	9.7	22
40~60	12.8	25	8.0	14	8.2	8	5.9	8	8.7	14
60~80	12.9	29	8.5	20	7.6	9	6.5	13	8.9	18
80~100	12.2	7	9.5	17	7.8	8	7.5	19	9.3	13
100~120	12.0	6	9.7	18	8.5	7	8.0	13	9.6	11
120~140	11.9	4	10.7	16	8.5	7	8.6	8	9.9	9
140~160	11.9	3	10.4	15	8.8	8	9.5	5	10.2	8
160~180	11.7	3	9.7	4	8.8	3	10.2	9	10.1	5
180~200	11.0	5	10.1	6	8.8	6	11.2	13	10.3	8

4.4 坡地与平地(荒地)土壤含水量差异

同期坡地与平地(荒地)土壤含水量如表 13。3年平均0~2m土层含水量平地低于坡地,1~2m土层亦是如此;0~1m土层含水量北坡和东坡高于平地,南坡和西坡低于平地。一般平地蒸发力比南坡和西坡低,比北坡和东坡高,平地人为破坏小,植被生长比坡地旺盛,导致土层土壤含水量平地高于南坡和西坡,而低于北坡和东坡,深层贮水平地低于所有坡向坡地,这与

太阳辐射和风力影响有关,两者在坡顶均比在坡面强。

4.5 坡地土壤水分的垂直变化

以南坡和北坡为例。图 6 是根据 1986~1989 年平均资料(表 14)点绘的。由图表可见:(1)南坡土壤含水量(W)随深度(H)变化服从 $W = A + B \times H + C \times H^2$ 函数关系,而北坡则变化复杂;(2)耗水(水分变动)深度,南坡比北坡深,据推算南坡在 2.3m,北坡在 1.7m 左右,但最干旱土层在 50cm 左右;(3)深层(1.4m 以下)贮水,南坡高于北坡,这都与太阳辐射和植被长势有关;(4)根据含水量的变异系数等,可把土壤含水量随深度的变化,南坡分为 3 层,北坡分为 4 层。0~20cm 为突变层,变异系数大于 40%;20~40cm 为易变层,变异系数 20%~30%;南坡 40~200cm,北坡 40~130cm 为不稳定层,变异系数 10%~20%;北坡 130~200cm 为相对稳定层,变异系数小于 10%,而南坡在 2m,以上尚未出现稳定层,说明干湿变化剧烈,对植物易形成干旱威胁。

表 15 坡地水量平衡估算

年份	坡向	土壤含水量		土壤耗水量 (mm)	径流量 (mm)	降水量 (mm)	蒸发量 (mm)
		4月(mm)	10月(mm)				
1986	南坡	303	222	81	3.1	261.3	338.3
	北坡	321	243	78	3.1	261.3	335.3
	西坡	263	213	50	3.1	261.3	308.3
	东坡	330	222	108	3.1	261.3	366.3
1987	南坡	230	181	49	11.1	286.1	324.0
	北坡	228	209	19	11.1	286.1	294.0
	西坡	195	178	17	11.1	286.1	292.0
	东坡	218	206	12	11.1	286.1	287.0
1988	南坡	248	234	14	30.8	376.8	360.0
	北坡	202	220	-18	30.8	376.8	328.0
	西坡	164	195	-31	30.8	376.8	315.0
	东坡	229	251	-22	30.8	376.8	324.0
1989	南坡	205	207	-2	2.4	317.8	318.2
	北坡	218	168	50	2.4	317.8	370.2
	西坡	177	195	-18	2.4	317.8	302.2
	东坡	261	-	-	2.4	317.8	-
平均	南坡	247	211	36	11.9	310.5	335.6
	北坡	242	210	32	11.9	310.5	331.6
	西坡	200	195	5	11.9	310.5	304.8
	东坡	260	226	34	11.9	310.5	326.3

注:(1)蒸发量 = ($W_1 - W_0$) - 降水量 - 径流量;(2)土壤耗水栏内,正值为亏,负值为盈;(3)东坡日出后约半小时被山遮挡。

4.6 坡地土壤水量平衡

由表 15 知(1)植物生长季 4~10 月,坡地的蒸散量平均在 305~335mm 之间,其中 90% 来自大气降水,10% 来自土壤贮水,且以南坡最大,西坡最小。(2)各坡向土壤水 4 年平均亏缺量在 5~36mm 之间,东、南、北坡亏缺量之间差异不大,在 32~36mm 之间,而西坡亏缺量最小,仅 5mm。(3)在测地气候、土壤、地形、植被条件下,坡地 2m 土壤水量年内收支状况与年降水量密切相关,大体趋势是以年降水 355mm 为界,大于 355mm 一般为盈余,小于 355mm 将出现亏缺,其亏缺量界限值与年降水量之差相近。如 1987 年各坡向平均亏缺量为 24mm,当年降水量 325mm 与界限值 355mm 之差为 30mm,差 6mm;1986 年占亏缺量平均为 79mm,界限值与降水值之差为 70mm,差 9mm。

(下转第 144 页)

3 结果与讨论

(1)在本试验条件下,单施磷素对春小麦有显著的增产作用,单施氮的增产作用不明显,单施钾素则有减产的趋势,以氮与磷配合及氮、磷、钾3元素配合的增产效果最优。

(2)磷素是影响春小麦产量的主要营养元素,在产量形成的各个环节都起重要作用。单施磷或磷与氮配合施用更能发挥增产效能,可显著地促进春小麦的生长发育,增加植株高度,扩大叶面积系数,促进春小麦结实小穗发育,提高结实率。磷与钾配合可促进春小麦光合产物积累和转运,提高比叶面积及籽粒重量。氮、磷、钾3元素配合施用,可显著提高春小麦的成穗率。

(3)施用氮肥可明显地提高春小麦籽粒中氮素含量,改善品质,以氮与磷配合最优,单施氮或氮与钾配合施用也有提高籽粒含氮量的作用,但由于磷素营养供给不足,使春小麦茎叶中有大量的氮和磷素积累,不能及时向籽粒转运,从而降低产量和品质。籽粒中磷含量只有在磷与氮或氮、磷、钾3元素配合施用情况下才可得到显著提高,钾素有促进籽粒中磷含量提高的作用。

~~~~~  
(上接第17页)

### 5 小结

本文较为系统的分析与黄土丘陵综合开发利用有关的主要环境因子(能量、温度、水分)随地形地貌的微变化。

(1)随着坡向的差异,地表活动层离太阳辐射、气温及地温的平均值及瞬时均有差异。北坡太阳辐射的最少,温度最低,位相落后。

(2)0~2m 土层土壤含水量以阴向坡(东坡及北坡)高,阳向坡低,但深层(1~2m 土层)有相反趋势。

(3)坡地水量平衡中天然降水4%为径流耗失,年内土壤水分平均增量仅占降水0%~12%。降水主要消耗于蒸发散失。

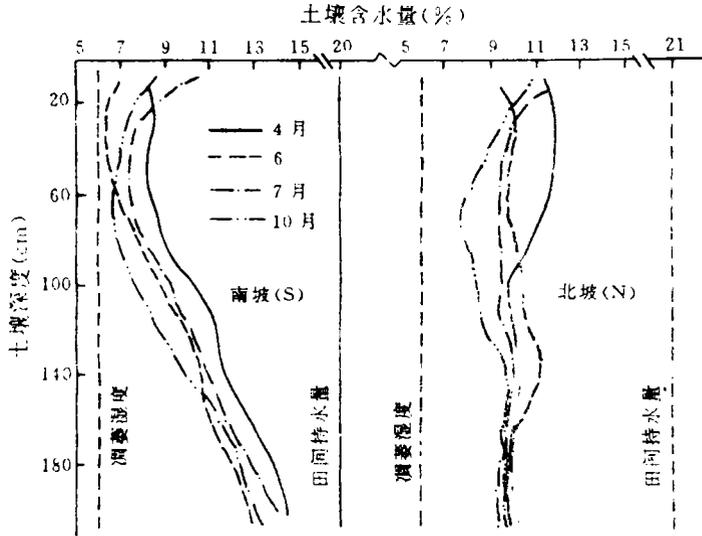


图6 坡地土壤含水量时间变化

#### 参考文献

1 E. N. 罗曼诺娃. 基本气候要素的小气候变化. 北京: 科学出版社, 1981