

# 隔坡沟状梯田土壤水分变化规律探讨

张金柱 于宗周 李保国 栾景仁 张丽娟

(河北林学院·保定市·071000)

**摘要** 采用定位观测与谐波分析方法研究了河北太行山低山片麻岩区坡地土壤水分变化规律及隔坡沟状梯田对土壤水分变化规律的影响。结果表明:土壤含水量的变化受降水和蒸散变化的影响,表现出明显的周期性变化规律。隔坡沟状梯田使土壤含水量序列均值增加,波幅减小,极值推迟,因而抗旱能力增强。此外,对隔坡沟状梯田改善土壤水分状况的机制进行了试验研究。

**关键词** 隔坡沟状梯田 土壤水分 谐波分析 水分保持

## The Law of variation of soil water in Terraced And Trenched Field with Slope

Zhang Jinzhu Yu Zongzhou Li Baoguo Luan Jingren Zhang Lijuan

(Hebei Foristry college. Baoding. 071000)

**Abstract** The law of the variation of the soil water in low Taihang mountainous areas of gneiss of Hebei province as well as the effect of terraced and trenched field with slope on the law were studied by means of fixlocation experemental observation and resonant wave analysis. The results showed that the variation of soil water content showed obvious periodicities because of the effect of precipitation and evapotranspiration, etc. Terraced and trenched field with slope increased the average value of the soil water content seqence, reduced variation, delayed maximum and minimum value and enhanced drought resistance because of thick soil layer, high accumlation of runoff and retaining water.

**Key words** terraced and trenched field with slope soil moisture resonant wave analysis water conservation

河北省太行山区在气候上属温带大陆性季风气候区,四季分明。多年平均降水量 550~620mm,时空分布不均匀,多数年份降水不足,尤期以春旱为甚。再加上该区土层浅薄,土层厚度一般小于 20~40cm,很少超过 50~100cm<sup>[1]</sup>,且坡度较陡,坡地易发生水土流失,土壤干旱更为严重。目前,河北省太行山区针对旱、薄、蚀的自然特点,广泛采用隔坡沟状梯田开发利用坡地。因此,研究该区土壤水分变化规律及隔坡沟状梯田对土壤水分变化规律的影响,对指导山区坡地利用具有重要的实际意义。

## 1 试验区概况

本次研究的试验区设在河北太行山北段东麓的易县西陵乡太峪村的达旺沟。该地年平均气温  $12^{\circ}\text{C}$ ,  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  积温  $4\ 297.5^{\circ}\text{C}$ ; 多年平均降雨量  $563.5\text{mm}$ ; 土壤以山地褐土为主, 土层厚度  $15\sim 25\text{cm}$ , 风化母质层厚  $50\text{cm}$  左右; 母岩为花岗片麻岩。

## 2 研究内容与方法

### 2.1 隔坡沟状梯田修筑方法

按安建昌等<sup>[2]</sup>提出的方法, 用爆破技术修筑隔坡沟状梯田。

2.1.1 规格 田面宽(沟宽) $2.0\text{m}$ , 深  $1.0\text{m}$ , 基本为矩形断面, 隔坡宽(水平) $2.0\text{m}$  或  $3.0\text{m}$ , 在  $3.0\text{m}$  的隔坡上布设作业小路(图1)。

2.1.2 修筑 梯田基本沿等高线随弯就势弧形布设。施工时先将表土清至隔坡上, 并将需开沟处整成水平阶状。然后, 在台阶上用  $3\text{cm}$  左右钢钎打炮眼(深  $0.8\text{m}$ ), 用以  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  为主要原料配制成炸药  $0.75\sim 1.0\text{kg}$  进行爆破。最后翻沟, 将大石块堆砌在沟的外沿, 回填表土及破碎风化母质, 修成外高里低的反坡状, 或在外沿筑  $30\text{cm}$  高的边埂。在田面纵向上使之保持有  $3\%\sim 5\%$  的比降, 每隔  $100\text{m}$  左右在坚硬的岩石上设一条排水沟, 没有坚硬岩石处以石料和水泥砂浆衬砌以防冲蚀, 并布设完整的排水系统。

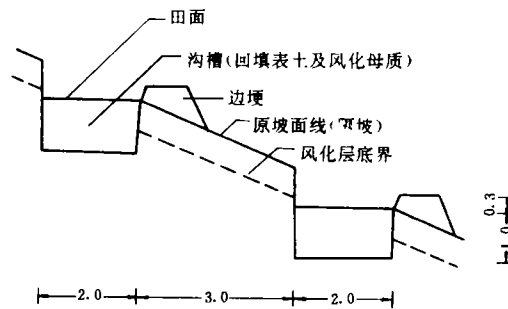


图1 隔坡沟状梯田断面示意图

### 2.2 土壤水分动态变化规律观测方法

测定方法为人工定时定点取样, 自4月至10月

每隔10天取样一次, 每点3层, 3次重复, 用烘干称重法测定土壤含水量, 对含水量序列进行谐波分析。

### 2.3 隔坡沟状梯田影响土壤水分运转机制

孔隙度测定用环刀法<sup>[3]</sup>, 径流系数观测以天然集水区 ( $1.60\text{hm}^2$ ) 三角堰测流。

## 3 谐波分析的理论依据与分析方法

土壤水分动态在理论上可以归结为以各种形式表现的土壤水分含量随时间的变化规律, 其整个过程受到众多气象、水文因素的影响, 如降水、气温等。过去的许多研究已经证明, 水文气象要素的变化过程与谐波过程十分接近。由此认为土壤水分的变化过程亦应具备谐波的特征, 可以采用谐波分析的方法来分析土壤含水量随时间的变化规律。据谐波分析理论, 一些自然现象在时间和空间上的变化规律会形成一种波形, 其数学表达式为:

$$f(t) = c \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi_0\right) = c \cdot \sin(\omega t + \varphi_0)$$

或

$$f(t) = c \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi_0\right) = c \cdot \cos(\omega t + \varphi_0) \quad (1)$$

式中:  $C$ ——波幅;  $T$ ——振动周期;  $\varphi_0$ ——初始位相值;  $\omega$ ——角速度。

由付里叶(Fourier)级数理论知道<sup>[4]</sup>,  $f(t)$ 可以展开为下列三角级数:

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} A_k \cdot \sin\left(\frac{2\pi k}{T}t + \varphi_{k.0}\right) \quad (2)$$

式中:  $A_k$ ——各周期振动的波幅;  $T$ ——基本周期;  $\varphi_{k.0}$ ——各周期振动的初位相值。

(2)式又可以转化为:

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} \left(a_k \cos \frac{2\pi k}{T}t + b_k \cdot \sin \frac{2\pi k}{T} \cdot t\right) \quad (3)$$

$$\text{式中: } a_k = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cdot \cos\left(\frac{2\pi k}{T} \cdot t\right) dt, \quad (k = 0, 1, 2, \dots) \quad (4)$$

$$b_k = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cdot \sin\left(\frac{2\pi k}{T} \cdot t\right) dt, \quad (k = 0, 1, 2, \dots) \quad (5)$$

则各周期振动的波幅:

$$A_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2} \quad (6)$$

各周期振动的初位相值:

$$\varphi_{k.0} = \arctg \left| \frac{a_k}{b_k} \right| \quad (7)$$

由于我们所要分析的土壤水分动态数据为离散型随机序列,因此要用随机序列的谐波分析。

即,由矩形积分公式知,当 $\Delta t=1$ 时,

$$\int_0^N f(t) dt \approx \int_0^N f(t) \Delta t = \sum_{i=1}^N f(t), \text{ 则有:}$$

$$a_0 = \frac{2}{N} \int_0^N x(t) dt \approx \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N x(t) = 2\bar{x} \quad (8)$$

$$a_k = \frac{2}{N} \int_0^N x(t) \cos \frac{2\pi kt}{N} dt \approx \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N x(t) \cos \frac{2\pi kt}{N} \quad (9)$$

$$b_k = \frac{2}{N} \int_0^N x(t) \sin \frac{2\pi kt}{N} dt \approx \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N x(t) \sin \frac{2\pi kt}{N} \quad (10)$$

式中:  $N$ ——序列长度;  $k$ ——展开区间谐波分量的波数;  $\frac{N}{k}$ —— $k$ 波的周期;  $x(t)$ ——为  $t$ 时刻序列观测值;其它符号同前。

据(6)~(10)式可进行土壤水分动态的谐波分析。在应用时编制 BASIC 语言程序,用计算机进行计算。

## 4 结果与分析

### 4.1 土壤含水量序列的谐波分析

本次研究对测定的 1993 年 4 月~10 月的 21 组土壤重量含水量数据应用上述方法进行分析。参加计算的分别是原状坡面土壤(0~15cm, 15~50cm 和剖面均值)和隔坡沟状梯田土壤(0~20cm, 20~40cm, 40~60cm 和剖面均值)水分动态观测点的含水量序列,共计 7 个序列,147 个数据。分析结果如表 1,图 2、图 3。

4.1.1 谐波分析结果 在生长季节(4~10月),1波周期为 210 天,2波周期 105 天,3波周期 70 天。其中以 2 波波幅最大。说明在生长季节土壤水分经历 2 次明显的干湿交替(图 2、图 3),

第一次干旱期在 6 月下旬至 7 月上旬。此期雨季未到而温度很高、水分蒸散快。第 2 次干旱到 9 月出现。这种结果说明,土壤含水量受到降水和气温的影响,在枯水年份即使是雨季也会发生土壤干旱。

表 1 土壤含水量序列谐波分析结果

类别	层次 (cm)	1 波						零波 ( $\theta_0$ )	标准差 (s)
		$A_1$	$\varphi_{1.0}$	$A_2$	$\varphi_{2.0}$	$A_3$	$\varphi_{3.0}$		
隔坡 沟状 梯田	0~20	0.921 3	1.474 8	1.995 5	0.134 9	0.986 4	1.105 7	10.75	2.884 8
	20~40	1.890 2	0.450 2	3.023 5	0.263 9	0.829 5	0.702 5	11.60	2.042 8
	40~60	1.979 0	0.312 7	2.287 8	0.069 2	0.435 3	0.076 3	12.45	1.810 2
	均值	1.379 3	0.572 6	2.406 4	0.036 1	0.666 2	0.746 5	11.60	1.943 0
原状 坡面	0~15	2.291 9	0.327 6	3.266 7	0.207 5	0.761 0	1.069 6	9.10	4.008 0
	15~50	1.269 3	0.979 4	3.308 7	0.263 5	0.623 9	0.940 0	8.74	2.264 7
	均值	1.665 4	0.509 2	3.293 1	0.209 7	0.435 7	0.380 2	8.92	2.867 6

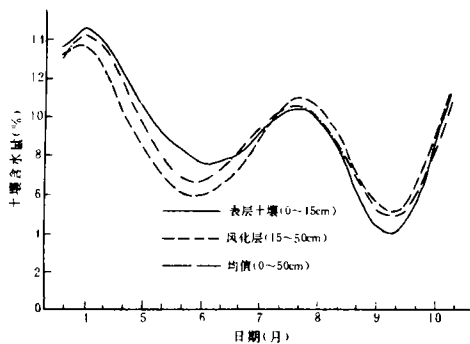


图 2 原状坡面土壤含水量拟合(1~3波)曲线

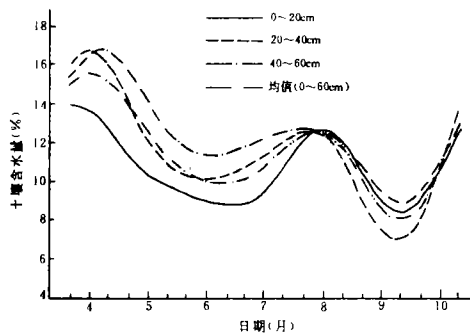


图 3 隔坡沟状梯田土壤含水量拟合(1~3波)曲线

4.1.2 若提取以 2 波为主的 1~3 波,土壤含水量可以表示为:

$$\theta(t) = \theta_0 + \sum_{k=1}^3 A_k \sin\left(\frac{2\pi kt}{N} + \varphi_{k.0}\right) \quad (11)$$

式中:  $\theta(t)$ —— $t$  时段的含水量;  $N$ ——序列长度。

用(11)式预测隔坡沟状梯田生长季节土壤含水量的变化时,预测剩余标准差为 1.2%~2.9%。因此,(11)式可用于生长季节土壤水分变化的预报式。

4.1.3  $\theta_0$  为土壤含水量序列平均值,是各波振动的轴线 隔坡沟状梯田土壤含水量序列  $\theta_0$  高于原状坡面土壤含水量序列  $\theta_0$  (表 1),说明隔坡沟状梯田土壤平均含水量高,能聚集并保持更多的水分。

4.1.4  $A_k$  值的大小说明土壤水分变化的剧烈程度,其最大值为  $A_k + \theta_0$ ,最小值为  $\theta_0 - A_k$  原状坡面土壤的  $A_k$  值大于隔坡沟状梯田土壤的  $A_k$  值,则隔坡沟状梯田使土壤水分变化和缓。

4.1.5  $\varphi_{k.0}$  值的大小决定周期振动值出现的早晚 隔坡沟状梯田土壤含水量变化的  $\varphi_{k.0}$  值较小,其极值出现较晚。说明隔坡沟状梯田推迟了其土壤含水量极值到来时间,这对其土壤水分的储藏及抗旱性能有积极作用。

总之,隔坡沟状梯田增加了土壤含水量序列均值,使含水量变化和缓,推迟极值到来时间,抗旱能力增强。

## 4.2 隔坡沟状梯田改善土壤水分状况的机理

4.2.1 隔坡沟状梯田聚集隔坡径流,增加梯田土壤水分来源 当隔坡宽为  $L$ , 田面宽为  $b$ , 隔坡径流系时,隔坡沟状梯田可多收入水分:

$$\eta = \frac{L\alpha}{b} \times 100\%$$

据径流观测(表2),隔坡径流系数平均值为  $\alpha = 0.402$ , 当隔坡宽  $L = 2.5\text{m}$ , 田面宽  $b = 2.0\text{m}$ , 隔坡沟状梯田可多收入水分:

$$\eta = \frac{2.5 \times 0.402}{2.0} \times 100\% = 50.3\%$$

表2 天然集水区坡面径流观测结果

年度	汛期雨量(mm)	径流量(m <sup>3</sup> )	径流深(mm)	径流系数
1988	576.8	2934.4	183.40	0.318
1989	365.9	3133.4	195.84	0.535
平均	471.35	3033.9	189.62	0.402(加权)

注:集水区面积:1.60hm<sup>2</sup> 坡度:15~25° 土层厚度:20~30cm 植被盖度:38%

4.2.2 隔坡沟状梯田土壤储水量增加 原状坡面土壤的储水量为其田间持水量。因其下部为储水和渗水能力很差的半风化层或基岩层(图1),且有一定坡度,因而不能拦蓄重力水,其拦蓄水量的最大值可用下式计算。

$$[\text{表层厚度(cm)} \times \text{土壤容重} \times (\text{最大田间持水量}(\%) - \text{最大吸湿量}(\%))] \times 10(\text{mm})$$

据测定结果(表3)计算,原状坡面土壤储水量最大值为102.86mm。因此,土壤中的水分超过102.86mm时,必然以地下径流或壤中流的形式流失,损失重力水。

表3 原状坡面土壤水分常数

土层(cm)	田间持水量(%)	毛管持水量(%)	饱和含水量(%)	最大吸湿量(%)
0~15	19.39*	23.02*	30.47	4.12
15~50	16.20	19.11	28.43	3.36

注:\*为t检验达1%差异显著水平

隔坡沟状梯田的情况则不同。第一,通过整地加厚了活土层,使活土层厚度达1.0m以上。经测定,隔坡沟状梯田土壤田间持水量为18.33%~20.20%,平均19.27%,比原状坡面的风化母质层有所提高,与原状坡面表层土壤接近。隔坡沟状梯田土壤的最大吸湿量为3.57%。由加厚活土层而增加的土壤储水量为:

$$(100-50) \times 1.35 \times (19.27\% - 3.57\%) \times 10 = 105.98(\text{mm})$$

第二,在修筑时开挖沟槽,深达风化母质层以下40~50cm(图1)。由于半风化层和基岩的透水性很层,可阻止重力水的流失,使梯田土壤下层40~50cm厚的土层的土壤达到饱和状态而保持重力水。据测定,隔坡沟状梯田土壤饱和含水量为33.78%,由此而增加的土壤储水量为:

$$45 \times 1.35 \times (33.78\% - 19.27\%) \times 10 = 88.15(\text{mm})$$

这部分水分可支持毛管上升水,供植物根系吸收利用。

4.2.3 在隔坡沟状梯田外沿筑埂(30cm),且田面纵向坡度很小(3~5‰),径流流速很小,有利于水分下渗,能使下层土壤达到饱和状态。

## 5 结 论

(1)河北省太行山低山片麻岩区土壤含水量受降水、蒸散等水文、气象因子的影响,在生长季节表现出明显的周期性变化规律。1波周期210天,2波周期105天,3波周期70天,其中2波为主振动周期,第一次干旱期在6月下旬至7月上旬,第二次在9月。

(2)隔坡沟状梯田使土壤含水量序列均值增加,变化和缓,推迟极值到来时间,抗旱能力增强。

(3)隔坡沟状梯田改善土壤水分状况的机理在于聚集隔坡径流,通过加厚活土层和拦蓄重力水及促进水分下渗增加土壤储水量。

### 参 考 文 献

- 1 河北省农业区划委员会.河北省综合农业区划.石家庄:河北省人民出版社.1985年
- 2 安建昌等.石质荒山苹果建园及管理技术.河北林学院学报.1987年
- 3 南京土壤研究所.土壤物理性质的测定方法.北京:科学出版社.1978年
- 4 巢俊民.现代地理统计分析.北京师范大学出版社.1991年