

# 祁连山主要植被下土壤水的时空动态变化特征

牛 云,张宏斌,刘贤德,张学龙,葛双兰

(甘肃省祁连山水源涵养林研究院,甘肃 张掖 734000)

**摘 要:**通过对祁连山青海云杉林、祁连圆柏林、亚高山灌丛林、牧坡草地等 4 种主要植被类型的土壤水测量数据进行分析表明,土壤水的空间垂直动态表现为随深度的增加而减少,可划分为土壤水分易变层、利用层、调节层三个层次;土壤水的时间动态可划分为土壤失水期、聚水期、退水期、稳水期四个时期。土壤水总的特征是,不同植被地类的土壤水季节变化规律基本一致,主要受降水量及其分配的影响。

**关键词:**祁连山;土壤水分时间特征;土壤水分空间特征;土壤含水量

**中图分类号:**S715 **文献标识码:**A

在自然界中,陆生植物生命活动所耗水分绝大多数都是土壤水,尤其在西北干旱地区,土壤有效含水量已成为植物生长状况的决定性因素。因此,准确把握土壤水分的时空特征及收支状况,为研究河川径流机理提供参考依据。

## 1 试验区自然概况

试验区位于祁连山中段(100°17' E, 38°24' N),肃南县西水林区的排露沟流域,流域总面积 295 hm<sup>2</sup>,呈长卵形,长 4.25 km;纵坡比降 1:4.19;海拔 2 600 m ~ 3 800 m。该流域阳坡为山地干草原,阴坡为森林景观,森林总面积 118.3 hm<sup>2</sup>;覆盖率 40.1%。试验区年均气温 -0.6℃ ~ 2.0℃,7 月份平均气温 10℃ ~ 14℃,年降雨量 435.5 mm,年蒸发量 1 051.7 mm,年日照时数 1 892.6 h,年平均相对湿度 60%。土壤和植被因地形和气候的差异而形成明显的垂直分布带:随海拔的递增,土壤类型一般依次是山地灰钙土、山地栗钙土、山地灰褐土、亚高山灌丛草甸土和高山寒漠土,其中山地灰钙土和亚高山灌丛草甸土是本区森林生长的适宜土壤。山地灰褐土分布在海拔 2 400 m ~ 3 300 m 地带,是乔木林的主要分布带,亚高山灌丛草甸土分布在海拔 3 300 m ~ 4 000 m 亚高山地带,是湿性灌木林的主要分布带。祁连山林区土壤总的特征是土层薄、质地粗,以粉沙块为主,成土母质主要是泥炭岩、砾岩

紫红色沙页岩等,有机质含量中等,PH 值 7.0 ~ 8.0。祁连山高山多年冻土在高山区分布广泛,多年冻土分布面积约 9 100 km<sup>2</sup>,占祁连山总面积的 43%。冻土类型可概略为:以裂隙冰、脉冰为主的多年冻岩;以裂隙冰、粒冰和层状冰为主的粘性冻土层;以团粒冰为主的砂砾碎石多年冻土。季节冻土厚度一般为 1.8 m ~ 2.5 m,最大为 4.9 m,11 月上旬至 3 月下旬为冻结季节。粘性土冻结深度为 0.9 m ~ 2.0 m,砂砾石土为 2.5 m ~ 4.0 m,基岩为 0.9 m ~ 1.7 m,最大达 4.0 m。由于祁连山区土层较薄,可利用养分较少,从而限制了植物在其范围内的分布。主要优势树种青海云杉林成块状分布在研究区海拔 2 400 m ~ 3 300 m 的阴坡和半阴坡地带,与阳坡草场成犬牙状交错。

## 2 研究方法

### 2.1 土壤含水量的测定

在对实验区全面调查的基础上,选择有代表性的 4 种森林类型,设 10 m × 10 m 的固定标准样地 13 块,用取土钻分层取样,取样深度 80 cm,5 个层次,各层次下限分别为 10 cm, 20 cm, 40 cm, 60 cm, 80 cm,采回的土样在实验室中根据其体积和质量算出土壤容重  $V$ ,再以烘干法(105℃)测定其含水量(质量湿度 %) $R$ ,然后再根据公式  $R = \frac{m_2 - m}{m}$ ,其

收稿日期:2002-07-15;改回日期:2002-10-16。

作者简介:牛云(1974-),男,甘肃通渭人,工程师,主要从事森林生态、水文、土壤方面的研究。E-mail: niuyun2028@163.com.

中  $R$  为土壤含水量(%);  $m_2$  为湿土质量(g);  $m$  为烘干土质量(g)。在样地内采用多剖面重复测定,从5月土壤解冻开始,每月1日、11日、21日采样和分析计算,到10月份土壤冻结为止。

## 2.2 降水量的测定

年生长季降雨量用简易雨量筒和虹吸式雨量计测定。

## 3 结果分析

在祁连山林区,土壤水的主要来源是大气降水(降雨、降雪),因此,大气降水便成了土壤水变化的主导因素,大气降水有季节性规律,以致土壤水在时间上也有季节动态特征<sup>[1]</sup>;由于植被种类不同,根系

分布的深度和土壤孔隙度有差异<sup>[2]</sup>,土壤水在空间上也有一定的垂直动态特征。

### 3.1 土壤水的空间动态特征

土壤水由于受降水及降水再分配、根系数分布深度、土壤孔隙度、气候条件等的影响,土壤含水量在垂直空间上表现为一定的动态特征,我们用样本变异系数  $v$  来反映这个特征

$$v = S^2/\bar{x}$$

式中:  $S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2 - \bar{x}^2$ ,  $x_i$  为土样含水量测定值,  $\bar{x}$  为土样含水量的平均值,从表达式中可看出,当  $\bar{x}$  一定时,  $v$  越大,  $S^2$  值越大,  $S^2$  值越大,说明土壤含水量变化越剧烈;  $v$  值越小,土壤含水量越稳定。根据测定和计算值可求得表1。

表1 不同植被土壤含水量的垂直特征

Table 1 Vertical variation of the soil water in different forest types

森林类型	0cm ~ 10cm		10cm ~ 20cm		20cm ~ 40cm		40cm ~ 60cm		60cm ~ 80cm	
	含水量 (%)	变异 系数	含水量 (%)	变异 系数	含水量 (%)	变异 系数	含水量 (%)	变异 系数	含水量 (%)	变异 系数
云杉林	53.34	0.2906	45.10	0.2709	38.81	0.2508	33.73	0.2346	28.01	0.1505
圆柏林	33.07	0.3056	26.83	0.2844	26.86	0.2458	29.97	0.1897	24.80	0.1185
灌丛林	89.34	0.2942	57.34	0.2843	38.05	0.1918	31.72	0.1308	25.15	0.0980
牧坡草地	21.25	0.3199	25.55	0.2255	22.13	0.1642	18.02	0.1671	15.22	0.1102

根据土壤水的吸收利用以及变化特征,可将它分为三个层次。

#### 3.1.1 土壤水易变层

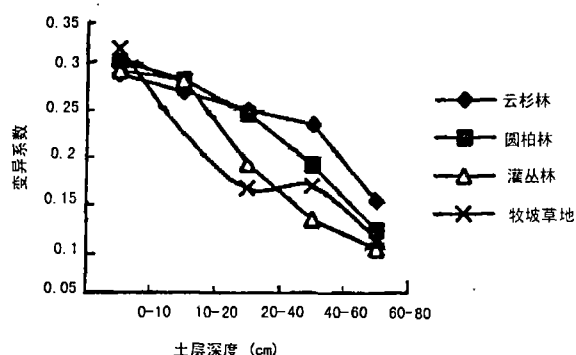


图1 不同植被土壤水随土深的变异

Fig.1 Vertical variation of soil water in different vegetation

从图1可见,不同植被土壤含水量变异系数随土深有递减的趋势,这说明土壤含水量在垂直空间上表现为:土壤越深,其含水量变化程度越小。在0 cm ~ 10 cm 的土层范围内,土壤含水量的变异系数最高而且较为集中。说明这一土层含水量共同的特

征是变化程度相似而且最大。因此,称该层为土壤水易变层其原因是,土壤水分主要受控于气候条件,特别是降水的影响,该层是雨水到达土壤时最早承接雨水的部位,也是对降水最敏感的部位,该层的土壤含水量变化特征与大气降水最为拟合,雨后该层土壤水的消耗也快,由于该层又是土壤系统与大气系统的交界处,以致该层也是土壤系统对气候最敏感的部位,所以,这一层各地类的土壤含水量变异系数最大。从表1可以看出,牧坡草地土壤含水量变异系数最大,比苔藓云杉林高出9.2%,这是因为牧坡草地受到森林小气候的影响较小,非毛管孔隙度较低,土壤蓄水能力较差,土壤水分散失快,以致土壤含水量变化最为剧烈;而藓类云杉林,降水时有一部分雨水被截留,透过林冠和林缘的降水落到地面,地面又有藓类和枯枝落叶层覆盖,一方面增加了水分的入渗作用,另一方面又减缓了土壤水分的蒸发,抑制了水分消耗,由于林冠及藓类枯枝落叶层的双层作用,表层的含水量变异系数最小,土壤含水量的变化最为缓和。灌丛林枝叶茂密,低矮的树冠紧贴地表,截持降水量能力强,蒸腾量小,表层的含水量

变异系数仅次于苔藓云杉林,也就是说,灌丛林土壤含水量的变化程度仅次于苔藓云杉林。

### 3.1.2 土壤水利用层

这一土层主要是林草根系分布层,因为不同植被的根系深浅不同,所以,土壤水利用层的范围也不尽相同:藓类云杉林为 10 cm ~ 60 cm,圆柏林 10 cm ~ 60 cm,灌丛林 10 cm ~ 40 cm,牧坡草地 10 cm ~ 20 cm。从图 2 可见,不论在哪个土层,牧坡草地的含水量总比其它植被的含水量都低,在 10 cm ~ 20 cm 土层内,牧坡草地的含水量比灌丛林低 1.2 倍。这因为牧坡草地的枯枝落叶层比林地少得多,雨滴的冲击常常堵塞着土壤的孔隙,渗透功能比灌丛林的差,所以,其含水量最低。又加之超载滥牧,植被严重破坏,土壤理化性质不良,土壤的渗透和涵养水源的功能也随之降低,这反过来又给畜牧业发展带来不利,形成了尖锐的林牧矛盾和恶性的生态循环<sup>[3]</sup>。因此,我们必须抢救性实施退牧还林还草工程和天然林的保护工程。土壤水利用层由于

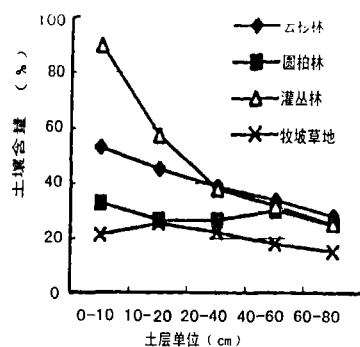


图2 不同植被土壤含水量

Fig.2 Water content of soil in different vegetation

### 3.1.3 土壤水分调节层

该层位于土壤水利用层之下,土壤水分变化幅度明显减小(见图1)。各类型的变异系数均在 0.16 以下(见表1)。这一层在林木强烈蒸腾期和缺水期可向土壤水利用层供水,丰水年雨季可起储水作用,对林木根系吸收有一定的调节作用,因此,称该层为土壤水调节层。

### 3.2 土壤水的时间动态特征

从图3可见,在雨季(6~9月)祁连山水源涵养林同一年份不同森林植被的土壤含水量与大气降水率具有相似的季节动态;在干季(5、10月份)土壤含水量与降水率具有相异性。各个主要植被类型土壤水季节动态具有差异性,但从总体来看,它们都有一致的季节动态。根据实测土壤水分资料(表2和图

是植物根系的主要分布层,受森林小气候和根系吸水耗水的双层作用,该层除牧坡草地外,其它植被的土壤含水量均比土壤水易变层低(如图2),但对植物的生命活动起着重要的作用。降水通过土壤入渗的水分大都贮存在该层内,当根系的吸收和树体蒸腾而使土壤水降低时,可以通过水势梯度使深层水分向该层运动,以保证植物的正常生长需要,因此,称此为土壤水利用层。从图1可以看出,该层含水量的变异系数都比土壤水易变层低,牧坡草地由于土体紧张,限制了水分向下层传输,所以,土壤水分利用层的范围仅这 10 cm ~ 20 cm,而藓类云杉林、圆柏林的根系比较深广,必需在较大范围内吸收水分,因此,其土壤水分的利用层范围为 10 cm ~ 60 cm;从图2可看出,土壤水分利用层水分条件最好的是灌丛林和云杉林、圆柏林次之、牧坡草地含水量最低。

这一层土壤水分在丰水年可基本上得到恢复,缺水年仅在雨季(6~9月)得到部分补偿。

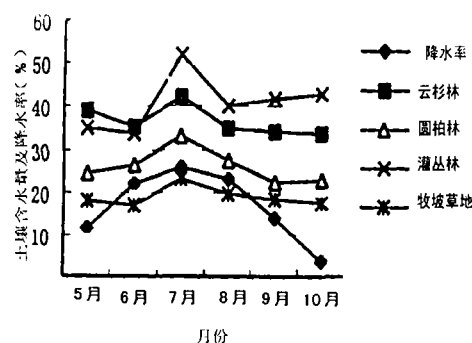


图3 土壤含水量与降水率的对比图

Fig.3 Contrast of soil water content and precipitation rate

3),经过分析,可将祁连山水源涵养林主要植被的土壤水依其特点和时间顺序划分为4个时期:土壤失水期、聚水期、退水期和稳水期4个时期。

#### 3.2.1 土壤失水期

从图3可以看出,从5月初到6月中旬,这个时期除圆柏林外,其它植被的土壤含水量成降低趋势,这是因为气温回升,植物解眠和复苏,需要大量的土壤水分供给植物生命活动,但这个时期大气降水又少,其植物生理用水主要依靠徐徐入渗的冻融雪水,土壤水支不付出,土壤含水量逐渐降低,处于失水状态,故称这一时期为土壤失水期。因为圆柏的根系比云杉的深,属于深根性树种,而在6月份中旬之前,深层的土壤解冻滞后,所以,圆柏的解眠和复苏要比云杉的滞后,这样,它在这一时期没有因生长而

消耗大量的土壤水分,因此,它的土壤含水量不成降低趋势。各地类最低含水量出现的早晚及持续时间的长短是影响林木安全解眠复苏的主要因素,如果这一时期的含水量损耗到无法满足林木正常生命活动的需要,将会造成植物的生理干旱<sup>[4]</sup>。

表2 主要森林植被类型土壤含水量(%)

Table 2 Soil water in main forest vegetation types

森林类型	5月	6月	7月	8月	9月	10月
云杉林	39.07	35.24	42.21	34.95	34.28	33.74
圆柏林	24.50	26.48	33.05	27.56	22.36	22.84
灌丛林	35.03	33.72	52.00	40.18	41.63	42.72
牧坡草地	18.12	17.08	23.26	19.58	18.18	17.54

### 3.2.2 土壤聚水期

这一时期是从6月到7月底。从图3可以看出,这一时期各植被的土壤含水量成升高趋势,这是因为此时期降水量和冻土融水量最大,土壤水总的特点是收入大于支出而且有所聚集,故称此期为土壤聚水期。聚集土壤水分依靠重力势和基质势向深层运动,贮存于土壤之中,到7月底,主要植被的含水量都达到了一年的最高值(见图3)。

### 3.2.3 土壤退水期

这一时期从8月初到9月底。从图3可见,这期间各植被的土壤水分成消退趋势,这是因为虽然仍有一部分降雨,但气温仍适宜于植物生长,林木蒸散较大,林地蒸发也较为强烈,所以渗入土壤中的水分供不应求,不能弥补林草生长和蒸腾以及林地蒸散而损耗掉的水分,因此土壤中的水分成消退趋势,故称这一时期为土壤退水期。

### 3.2.4 土壤稳水期

进入10月份,气温逐渐降低,林草逐渐停止生长,大气降水较少,此期林地水分损耗主要以林地蒸发为主,但由于林地有枯枝落叶层覆盖,削弱了林地土壤水分损耗。从图3可以看出,这一时期的土壤含水量成平稳趋势,随着气温的进一步降低,土壤开始冻结。土壤中的水分以冻结的形式存在,将会进一步阻止了水分的运动,从而减少了土壤水分的消耗。此期从10月份至翌年5月份,土壤含水量较为稳定,故称此期为稳水期。

## 4 综述

1. 在雨季(6~9月)祁连山水源涵养林同一年份不同森林植被的土壤含水量与大气降水率具有相似的季节动态;在干季(5、10月份)土壤含水量与降水率具有相异性。

2. 祁连山林区土壤水分的空间特征是,随着土壤深度的递增,依次可划分为土壤水分易变层、利用层和调节层。

3. 祁连山林区土壤水分的时间特征是,从5月初开始,土壤水分的动态变化可划为土壤失水期、聚水期、退水期和稳水期四个时期。

### 参考文献:

- [1] 张学龙,车克钧,王金叶,等. 祁连山寺大隆林区土壤水分动态研究[J]. 西北林学院学报. 1998, 13(1): 1~9.
- [2] 牛云,刘贤德,张虎,等. 祁连山水源涵养林土壤渗透功能的研究[J]. 西北林学院学报. 2001, 16(增刊): 35~38.
- [3] 车克钧,等. 祁连山国家级自然保护区的有效管理与持续发展[J]. 甘肃林业科技, 2000, 9: 18~22.
- [4] 党坤良. 秦岭火地塘林区不同林区土壤水分动态特征研究[J]. 西北林学院学报 1995. 10(1): 1~8.

## Dynamic Characteristic on Space-time of Soil Water of Main Vegetation in Qilian Mountains

NIU Yun, ZHANG Hong-bin, ZHANG Xue-long, LIU Xian-de and GE Shuang-lan  
(Academy of Water Resource Conservation Forest of Qilian Mountains, Gansu 734000)

**Abstract:** Based on the measured data on soil water of 4 types main vegetation: picea crassifolia, Sabina, brushes, grazing in Qilian Mountains, made clear that soil water was reduced as increased deep of soil in vertical space and it was delimited 3 gradation: soil water layers easily transformed, used, regulate. Tendency of soil water was less, much and less, it was delimited 4 stages: the seasons of soil water lost, assembled, receded, stabled. Dynamic characteristic on soil water was that its season changes of different vegetations were same, which was affected by precipitation and its distributed.

**Key words:** Qilian mountains; time characteristic of soil water; space characteristic of soil water; capacity of soil water