

# 红壤坡地土壤水分亏缺特性分析

奚同行<sup>1</sup>, 左长清<sup>2</sup>, 尹忠东<sup>3</sup>, 王昭艳<sup>2</sup>, 张京凤<sup>2</sup>

(1. 江西省水土保持科学研究所, 南昌 330029;

2. 中国水利水电科学研究院, 北京 100048; 3. 北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083)

**摘要:**采用土壤水分张力计观测研究了江西红壤坡地年内土壤水分变化特征, 分析对比了土壤不同层次、时间和坡位的土壤水吸力变化, 以及在百喜草种植、百喜草覆盖、裸露 3 种处理下红壤坡地土壤水分亏缺状况。结果表明: 不同土层、不同坡位、不同土地利用类型土壤水分亏缺程度不同。从土壤水分亏缺的垂直变化来看, 底层>表层>中层。不同土层, 其水吸力随时间变化的趋势与变化范围也不同, 各土层年均土壤水吸力表现为: 下层>上层>中层, 同时上层土壤水吸力变化幅度大, 中层、下层变化幅度较小; 从不同坡段来看, 上坡中坡土壤水分略微亏缺, 下坡土壤水分充足。从不同土地利用措施来看, 百喜草种植的区域水分亏缺度最大, 百喜草覆盖的区域土壤水分亏缺度最小。

**关键词:**红壤坡地; 水分亏缺; 土壤水分; 特性分析

中图分类号: S152.7

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2012)04-0030-04

## Analysis on Characteristic of Soil Water Deficit on Red Soil Slope Land

XI Tong-hang<sup>1</sup>, ZUO Chang-qing<sup>2</sup>, YIN Zhong-dong<sup>3</sup>, WANG Zhao-yan<sup>2</sup>, ZHANG Jing-feng<sup>2</sup>

(1. Jiangxi Provincial Research Institute of Soil and Water Conservation, Nanchang 330029, China;

2. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100048, China;

3. College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Based on the measurement with tensiometer, characteristics of soil water seasonal dynamic in sloping red soil lands in Jiangxi Province were investigated. The effects of soil depths and slope positions on changes of soil water potential were analyzed. The status of soil water deficiency under three treatments (*Paspalum notatum* flugge planting, mulched by *Paspalum notatum* flugge, bared land) was compared. The results showed that soil water deficiency status was different at different depths under different land use types. From the view of soil profile, the order of soil water deficiency was: bottom layer>surface layer>middle layer. The order of annual mean values of soil water potential was: bottom layer>surface layer>middle layer. The variation of soil water potential was higher at surface layer than other layers. The upper and middle slope had moderate soil water deficiency while foot of slope had sufficient water supply in soil. In terms of land use types, the soil water deficiency under *Paspalum notatum* flugge planting treatment was the highest while the treatment mulched by *Paspalum notatum* flugge was the lowest.

**Key words:** red soil slope-land; water deficit; soil water; characteristic analysis

南方红壤地区, 受亚洲季风影响, 拥有丰富的水热资源, 是我国亚热带林木、果树和粮食作物的主要生产基地<sup>[1-2]</sup>。目前, 国内已有许多关于红壤地区水分循环、水土流失等方面的研究, 包括对红壤坡地不同覆被类型降水特征值和地表径流的关系研究<sup>[1]</sup>; 通过降雨量、降雨强度与土壤侵蚀量的幂函数相关方

程, 研究红壤坡地水土流失的一般规律<sup>[3]</sup>; 对南方红壤坡地不同耕作方式下水土保持蓄水保土效应的研究<sup>[4]</sup>。而对于红壤坡地土壤水分的研究也有许多, 如: 苏以荣等<sup>[5]</sup>对不同季节一次性降雨前后, 新垦荒地不同土层的土壤水分含量进行了研究; 刘士余等<sup>[6]</sup>通过土壤水分渗漏装置试验研究了红壤坡地百喜草

收稿日期: 2012-03-03

修回日期: 2012-04-16

资助项目: 国家“十一五”科技支撑项目(2009BAD6B06); 国家“十二五”科技支撑项目(2012BAC16B03); 水利公益性行业科研专项经费项目(200901047)

作者简介: 奚同行(1968—), 男, 江西南康人, 高级工程师, 研究方向为土壤侵蚀与流域治理、生产建设项目水土流失防治。E-mail: tonghangxi@163.com

及其枯落物对土壤水分动态和水量平衡的影响。红壤坡地存在水资源时空分配不均以及长期不合理的开垦利用等问题<sup>[7]</sup>,其土壤水分亏缺状况影响着植物正常生长及农作物产量和质量。土壤水吸力是表示土壤水分能态的一个指标。土壤水吸力的大小可以作为土壤水分亏缺程度的分级依据。目前,针对红壤坡地土壤水吸力、水亏缺特性等方面的研究尚未见报道。本文以江西红壤坡地为研究对象,采用土壤水分张力计,通过定位观测研究区内土壤水分变化特征,分析不同土层、不同时间段、不同坡位的土壤水吸力及其变化,以及在百喜草覆盖、百喜草覆盖、裸露 3 种处理方式下的红壤坡地土壤水分亏缺状况,从而为改善红壤坡地水分亏缺状况提供科学依据,对合理利用土壤资源,有效改良土壤状况,指导农林业生产等起到一定的作用。

1 研究区概况

试验布设在江西省水土保持生态科技园(115°23′—115°53′E,29°10′—29°35′N)内,地处我国红壤的中心区域,海拔 30~100 m,坡度<25°,地形条件在南方红壤丘陵区具有典型的代表性<sup>[8]</sup>。属亚热带湿润季风气候区,降水丰沛,雨量年内分配不均,年平均降雨量 1 350.9 mm,多年平均气温 16.7℃,年日照时数 1 650~2 100 h,多年平均无霜期为 249 d<sup>[9]</sup>。地貌类型为浅丘岗地,土壤主要是由第四纪红黏土发育而成的红壤。植被主要是处于不同演替阶段的次生群落。由于长期不合理的采伐利用,该地区水土流失严重(以水蚀为主)。试验区选择在山坡的中下部,坡面土层厚度大于 1.5 m,土壤 pH 值为 5.0,有机质含量为 1.55%,全氮为 0.08%,全磷为 0.07%,全钾为 1.7%,C/N 值为 7.5,具有酸、黏、板、瘦等不良特性<sup>[6]</sup>。

2 研究方法

2.1 试验设计

在江西省水土保持生态科技园内选择具有代表性的红壤坡地,按每层约 40 cm,分三层从上至下将原土壤取出,分别堆放。待取完全部土后,将试验小区的周围(高出地表 30 cm)及底部浇筑 20 cm 厚的钢筋混凝土,坡脚修筑挡土墙,下垫面再抹水泥浆并填约 5 cm 厚的砂粒,然后将土壤按原样回填至 1.10 m 深,形成一个土壤坡面径流小区,将其沉降一年后进行观测。试验设置三个处理,分别为对照裸露

小区、百喜草种植小区和枯落百喜草覆盖小区(表 1),小区面积:5 m×15 m=75 m<sup>2</sup>。利用附近的气象观测站和站内安装的虹吸式自计雨量计进行降雨量观测。

表 1 试验处理

处理	措施	特征
I	裸地对照	地表完全裸露
II	百喜草种植	全园种植百喜草,覆盖度 100%
III	枯落百喜草覆盖	百喜草刈割后覆盖于地表,覆盖度 100%,厚度约 15 cm

2.2 试验方法

每天 8:00,14:00,20:00,在土壤坡面径流小区距离上边缘 3.5 m(上坡)、7 m(中坡)及 10.5 m(下坡)处用土壤水分张力计分别测量深度为 30,60,90 cm 土层的土壤水吸力,全年 1—12 月连续记录,并逐月计算各层土壤平均水吸力。

根据这些土壤的水分临界值,将土壤水分亏缺度分为水分充足、微度缺水、轻度缺水、中度缺水、重度缺水 5 个水平。根据此标准分析土壤水分有效性,水吸力越小,土壤水分越充足(表 2)。

表 2 土壤水分亏缺度分级 kPa

亏缺度	水分充足	微度缺水	轻度缺水	中度缺水	重度缺水
水吸力	<10	10~20	20~30	30~50	>50

2.3 数据处理

采用 Excel 软件进行土壤水分亏缺度的垂直、年内变化,不同坡段土壤水分亏缺度差异、不同处理方式下的土壤水分亏缺特性等数据分析。

3 结果与分析

3.1 降雨年内动态变化

降水是试验区的唯一水源,也是土壤水分的主要影响因素。从观测期间的降雨分析来看(图 1—2),试验区降雨的年内分布极不均衡。春季(3—5 月)降雨场次、降雨量、降雨历时均最高,雨水充沛,并以小雨居多;夏季(6—8 月)降雨场次、降雨量、降雨历时次之,但降雨强度大,大多为暴雨;秋季(9—11 月)降雨量、降雨场次、降雨历时远小于春季,但其降雨强度与春季相差不大,说明秋季降雨虽少,但比较集中;冬季(12 月—翌年 2 月)在全年中降雨最少。从月分布来看,降雨过程主要集中在 4—8 月,这 5 个月的降雨量依次为 1 119.6,1 139.9,861.8,634.9,803.4 mm,分别占观测期总降雨量的 15.4%,15.7%,11.9%,8.8%,11.1%。尤其是 4 月、5 月的多年降雨量明显高于其他月份,占总降雨量的 31%。

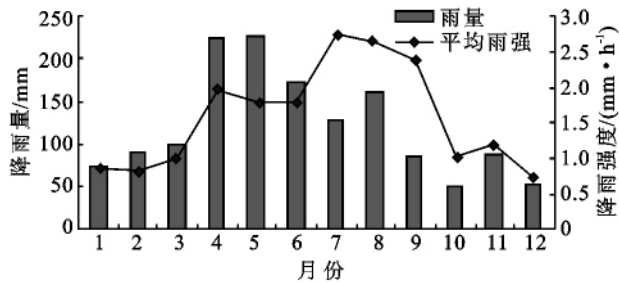


图 1 试验区降雨量、平均雨强月分布

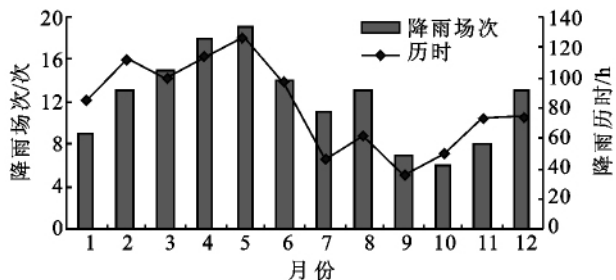


图 2 试验区降雨场次、降雨历时月分布

### 3.2 水分亏缺的垂直变化

不同土层深度的土壤水分亏缺状况不相同,表现出明显的水分亏缺垂直变化特征(图 3),其中上层(30 cm)与中层(60 cm)土壤水分处于充足状态,而底层(90 cm)水分略有亏缺。这与土壤水分消耗过程有关,单从下渗过程来看,降雨从上往下渗透,水分首先润湿上层土壤,然后逐渐下渗,因此上层土壤水分较充足。但土壤水分还有蒸散发和壤中流两种消耗途径,表层土壤受太阳辐射大,蒸散发量也大,水分消耗较快。同时,土壤上层还是植物根系的主要分布层,根系吸收利用土壤中水分。使得上层土壤水分蒸发和循环比较活跃,散失的水分也较多,最终导致不同土层水吸力排序为:中层<表层<底层。从土壤水与径流的关系看,底层缺水对地表径流的影响不大;从植物生长来看,当表层和中层土壤水分充足时,能满

足植物生长所需的大部分用水,从不同土层深度土壤水分特性来看,无需额外浇水。

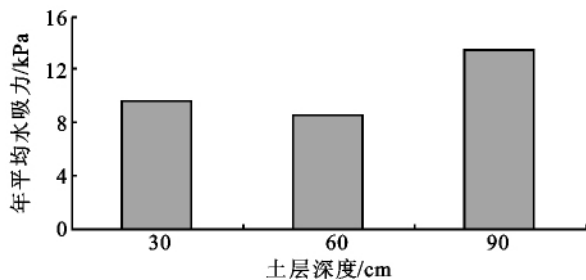


图 3 不同土层年平均水吸力

### 3.3 水分亏缺的时间变化

土壤水分在一年内随时间变化明显(表 3)。其中 6—7 月、10—11 月土壤水分亏缺程度表现出加剧的趋势,上、中、下各层土壤水分均为微度亏缺,这与土壤的水分散失情况有关。6—7 月太阳辐射量增大,蒸发量增大,而降雨量没有明显增加,所以水分亏缺较严重。而 10—11 月,由于降水较少,水分入渗量减少,导致了土壤水分亏缺程度加剧。

就不同土层而言,其水吸力随时间变化的趋势与变化范围也不同(图 4)。上层土壤在年内不同月份受蒸散发程度影响,水分含量变化最明显,年内水吸力极差为 13.5 kPa,其中 7 月土壤水吸力达到最大值 15.8 kPa,12 月时达到最小值 4.5 kPa。中下层土壤水吸力变化不明显。中层土壤仅在 6 月、7 月表现微度亏缺,全年极差为 5.4 kPa,下层土壤始终表现为微度亏缺,在 6 月、7 月时亏缺程度加剧,与土壤水分消耗和径流特性有关,下层土壤的入渗水量较少,同时受到太阳辐射量也较少,蒸发量较小,径流不活跃,水分变化波动较小。对水土保持植物来说,土壤水分微度亏缺不会影响其生长,但在生长旺盛且土壤水分亏缺程度相对较高的季节应加强观测,并及时采取必要的补水措施。

表 3 不同深度土层水吸力时间变化特征

kPa

土层	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平均	极差	CV
30 cm	6.7	7.2	6.3	6.2	6.1	14.3	15.8	11.0	13.2	17.9	6.8	4.5	9.7	13.5	0.5
60 cm	7.3	7.8	8.2	8.4	8.2	11.4	11.3	8.7	8.6	9.4	7.1	6.1	8.5	5.4	0.2
90 cm	12.5	12.8	12.9	12.7	12.9	15.4	16.7	13.9	13.9	14.0	12.5	11.3	13.5	5.4	0.1
平均	8.8	9.3	9.1	9.1	9.1	13.7	14.6	11.2	11.9	13.8	8.8	7.3	10.6	7.3	0.2
极差	5.8	5.6	6.7	6.5	6.8	3.9	5.4	5.3	5.3	8.5	5.8	6.8	4.9	—	—

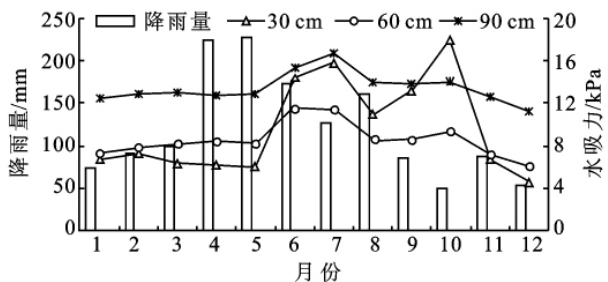


图 4 不同深度土层水吸力年内变化

### 3.4 水分亏缺的坡位变化

不同坡位土壤水分亏缺状况也不相同,并表现出明显差异(表 4)。由于水分从坡面向下流动,导致下坡位土壤水量较为充足,而上坡中坡则出现略微缺水的特征。从对地表径流的影响来看,上中坡土壤缺水,有利于水分入渗,减少地表径流,但同时会影响植物的生长,而水土保持植物大多耐旱性较强,微度缺水并不影响其生长。如需改变其缺水特性,可采取改

变微地形的措施,如修筑台地、梯田、水平阶等。

3.5 不同措施下土壤水分亏缺特性

地被物对土壤含水量的影响随季节的不同而不同,不同地被物可以增加或减少土壤水分<sup>[6]</sup>。研究结果表明,不同土地利用类型对土壤水分的影响主要取决于水分的蒸发量。在百喜草种植区,由于地表植被蒸腾耗水较强,导致其土壤水分亏缺。尤其是在 6 月和 7 月,百喜草生长旺盛,蒸腾耗水量大,而降雨量在年分布中低于 4、5 月,乃至 8 月,土壤水分亏缺表现的最明显。枯落百喜草覆盖区,由于敷盖百喜草延缓

了地表径流,增加了土壤入渗,导致土壤水分含量增加,水分充足,变化程度也比种植区小。而裸地因为没有植被吸收利用其水分,但降雨后入渗量少,并多以地表径流和土壤蒸发散失,所以亏缺程度介于百喜草种植和枯落百喜草覆盖之间,变化程度也最小(表 5、图 5)。3 种不同的措施中,百喜草种植区全年水分张力平均值达到微度缺水水平,对于具有一定耐旱性的水土保持植物来说,无需采取措施,但在降雨相对较少的 7 月、6 月和 10 月,土壤水分相对亏缺,特殊时段、局部地段需加以注意。

表 4 不同坡位土壤水吸力时间变化特征

坡位	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平均	极差	CV
上坡	8.6	9.4	8.8	8.5	8.6	13.1	14.4	11.3	12.0	14.3	8.5	6.9	10.4	7.5	0.3
中坡	8.9	9.5	9.1	8.7	8.7	13.6	14.9	10.9	11.8	14.5	9.0	7.6	10.6	7.3	0.2
下坡	7.0	7.2	7.3	7.6	7.4	13.4	13.8	9.7	10.7	13.0	7.4	5.6	9.2	8.1	0.3
平均	8.1	8.7	8.4	8.3	8.2	13.4	14.3	10.6	11.5	13.9	8.3	6.7	10.0	7.6	0.3
极差	1.9	2.3	1.8	1.2	1.4	0.5	1.2	1.6	1.3	1.5	1.6	2.0	1.4	—	—

表 5 不同措施土壤水吸力年内变化

措施	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平均	极差	CV
种植	7.4	7.7	8.5	8.7	8.6	17.3	18.9	13.2	13.7	16.2	9.2	7.5	11.4	11.5	0.4
覆盖	7.8	8.7	8.0	7.5	7.5	9.9	10.7	9.3	10.0	10.6	7.7	6.0	8.6	4.7	0.2
裸地	10.0	10.1	10.1	10.2	10.4	10.5	10.2	9.8	9.9	9.8	8.1	8.2	9.8	2.5	0.1
平均	8.4	8.8	8.9	8.8	8.8	12.6	13.3	10.8	11.2	12.2	8.3	7.2	9.9	6.0	0.2
极差	2.7	2.4	2.1	2.7	2.9	7.4	8.7	4.0	3.9	6.4	1.5	2.2	2.8	—	—

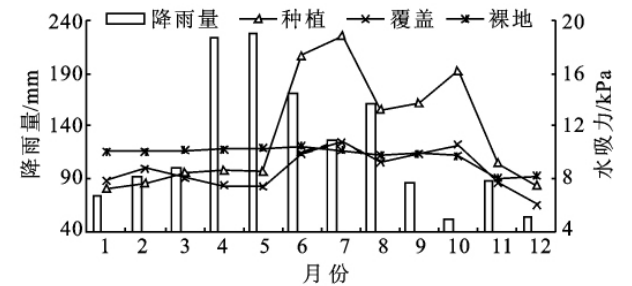


图 5 不同措施下的土壤水吸力年内变化趋势

4 结 论

(1) 从不同措施、不同坡位、不同深度土层的土壤水分张力分析来看,红壤坡地年均土壤水分张力值为 10.6 kPa,略微超出土壤微度缺水的下限值,表现为微度缺水。土壤水分亏缺程度在空间与时间范围内变化不同。

(2) 从土壤垂直方向来看,中层(60 cm)土壤水吸力最小,其次是表层(30 cm),底层土壤水吸力最大。从土壤水吸力年内变化来看,以 6 月和 7 月水分亏缺最明显,这既跟土壤水分蒸发、植被蒸腾有关,也与降雨量少有关;不同深度土层土壤水吸力年内变化幅度也不一样,上层土壤水分含量变化幅度较大,而中层下层变化幅度较小。从不同坡位来看,上坡土壤缺水最严重,而且随坡位变化,上坡中坡土壤水分略

微亏缺,下坡土壤水分充足。

(3) 不同措施的土壤水分亏缺状况差异也较大。试验三种处理措施中,以百喜草种植区水分亏缺程度最大,其次为裸地,而枯落百喜草覆盖的小区土壤水分亏缺度最小。

参考文献:

[1] 田日昌,陈洪松,王克林,等. 红壤坡地不同覆被类型地表径流对降水特征的响应[J]. 自然资源学报,2009,24(6):1058-1068.

[2] 姚贤良. 华中丘陵红壤的水分问题 I: 低丘坡地红壤的水分状况[J]. 土壤学报,1996,33(3):249-257.

[3] 左长清,胡根华,张华明. 红壤坡地水土流失规律研究[J]. 水土保持学报,2003,17(6):89-91.

[4] 谢颂华,曾建玲,杨洁,等. 南方红壤坡地不同耕作措施的水土保持效应[J]. 农业工程学报,2010,26(9):81-86.

[5] 苏以荣,黄宇,王克林. 新垦红壤坡地土壤水分有效性研究[J]. 应用生态学报,2003,14(4):507-511.

[6] 刘士余,左长清,朱金兆. 地被物对土壤水分动态和水量平衡的影响研究[J]. 自然资源学报,2007,22(3):424-433.

[7] 水利部,中国科学院,中国工程院. 中国水土流失防治与生态安全(南方红壤区卷)[M]. 北京:科学出版社,2010.

[8] 郑海金,杨洁,左长清,等. 红壤坡地侵蚀性降雨及降雨动能分析[J]. 水土保持研究,2009,16(3):30-33.

[9] 武艺,杨洁,汪邦稳,等. 红壤坡地水土保持措施减流减沙效果研究[J]. 中国水土保持,2008(10):37-38,43.