

# 衡阳盆地紫色土丘陵坡地土壤水分变化动态研究<sup>\*</sup>

杨宁<sup>1,2</sup>, 邹冬生<sup>1</sup>, 李建国<sup>1</sup>

(1. 湖南农业大学 生命科学院, 长沙 410128; 2. 湖南环境生物职业技术学院 园林系, 湖南 衡阳 421005)

**摘 要:** 2007 年对衡阳盆地紫色土丘陵坡地 0–50 cm 土壤进行研究。结果表明: (1) 在同一水平空间位置上, 土壤平均含水量总的变化趋势是阴坡> 阳坡, 而土壤水分变异系数则呈现出相反的变化规律; (2) 在同一垂直空间位置上, 阴坡与阳坡不同坡位的土壤含水量的变化规律均为: 下坡> 中坡> 上坡。阳坡的土壤水分变异系数的大小顺序是: 阳坡上坡> 阳坡中坡> 阳坡下坡; 而阴坡则呈现出相反的变化趋势; (3) 土壤含水量的消长与同期的降雨量有关, 1–6 月为雨季水分补偿期, 7–12 月属于旱季水分亏缺期; (4) 在同一水平空间, 不同坡向土壤含水量剖面变化明显, 随着土层深度的增加, 土壤含水量增加。从土壤水分的变异系数来看, 阳坡土壤水分的变异系数随土壤的加深而变大, 阴坡土壤水分的变异系数随土壤深度的加深而变小, 土壤水分的最稳定层均出现在 10–30 cm 处。

**关键词:** 土壤水分; 变异系数; 紫色土; 衡阳盆地

中图分类号: S152.7

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2009)06-0016-06

## Study on Dynamic of Water Content on the Sloping-land with Purple Soils in Hengyang Basin

YANG Ning<sup>1,2</sup>, ZOU Dong-sheng<sup>1</sup>, LI Jian-guo<sup>1</sup>

(1. Life Science College, Hu'nan Agricultural University, Changsha 410128, China; 2. Department of Landscape, Hu'nan Environmental-Biological Polytechnic Institute, Hengyang, Hu'nan 421005, China)

**Abstract:** The soil of 0–50 cm on the sloping-land with purple soils in Hengyang Basin was studied in 2007. The results showed that: (1) The water content on the sloping-land with purple soils was higher in north-facing slope than those of the corresponding level places in south-facing slope, but there was a contrary tendency in coefficient of variance in the water content on the sloping-land with purple soils in Hengyang Basin; (2) In the same perpendicular space, the sequence of the water content in sloping-land with purple soils in Hengyang Basin was as follows: the lower-slope> the middle-slope> the upper-slope; The sequence of coefficient of variance in the water content in south-facing slope was as follows: the upper-slope> the middle-slope> the lower-slope, and there a contrary tendency in the coefficient of variance in north-facing slope; (3) The water content in sloping-land with purple soils in Hengyang Basin had something to do with the rain in the same period. There was much rain from January to June, but there was little rain from July to December; (4) In the same level space, there was an increasing tendency in the water content with the increasing in the depth in soil, there was an increasing tendency in the coefficient of variance with the increasing in the depth in soil in south-facing slope, and there was a contrary tendency in the coefficient of variance in north-facing slope. In the depth of 10–30 cm, the water content in soil was the stablest.

**Key words:** soil moisture; coefficient of variance; purple soil; Hengyang Basin

水是生命之源,也是生产力的原动力,人口、资源和环境是当今世界普遍关注的3大问题,对此已

有相当的认识,资源与环境已愈来愈被人类所认识和重视,其中水资源尤为重要,因为水是最活跃的因素

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2009-06-24

基金项目: 湖南省重点课题“衡邵盆地生态公益林重点建设区植被恢复研究与示范”(62020608001)

作者简介: 杨宁(1974–),男(苗族),湖南绥宁人,博士生,讲师,主要从事植物生态学及恢复生态学的教学与研究。E-mail: yangning8787@sina.com

通信作者: 邹冬生(1959–),男,博士,教授,博导,主要从事紫色土荒山坡地生态植被恢复研究。E-mail: zoudongsheng2@sina.com

素,是生物圈的命脉,实际上完全包含了上述 3 个问题<sup>[1]</sup>。以衡阳盆地为代表的紫色土丘陵坡地被认为是湖南省环境最恶劣的地区之一,是植被恢复的老大难问题,长期以来,该区域的植被恢复倍受重视,湖南省自 1994 年启动“三难地”的造林绿化工程以来,围绕“先改造,再绿化,出效益”这一中心,将“三难地”改造列入各级党委和政府的重要议事日程,列入消灭宜林荒山,实现全面绿化达标的重要内容。另一方面由于紫色土区生态环境十分恶劣,植被恢复十分困难。

但是,关于衡阳盆地紫色土丘陵坡地的土壤水分变化动态的研究还未见报道,不利于该区域植被恢复目标的研究。因此,在衡阳盆地开展土壤水分变化动态的研究,对衡阳盆地植被恢复目标、恢复生态系统的结构与功能及其稳定性的研究具有极其重要的意义。

### 1 研究区概况

衡阳盆地位于湖南省中南部,湘江中游,位于东经 110°32′16″–113°16′32″,北纬 26°07′05″–27°28′24″,地处湖南省凹形面的轴带部分,周围环绕着古老宕层形成的断续环带的岭脊山地,构成典型的盆地地形。该地区属亚热带季风湿润气候,年平均气温 18℃;极端最高气温 40.5℃,极端最低气温–7.9℃,年平均降雨量 1 325 mm,年平均蒸发量 1 426.5 mm。平均相对湿度 80%,全年无霜期 286 d。地貌类型以

丘岗为主。衡阳盆地紫色土面积有 16.25 万 hm<sup>2</sup>,呈网状集中分布于衡阳盆地中部海拔 60~200 m 的地带,东起衡东县霞流、大浦,西至祁东县过水坪,北至衡阳县演陂、渣江,南达常宁市官岭、东山和耒阳市遥田、市炉一带,以衡南、衡阳两县面积最大,紫色土地区土层浅薄,基岩裸露,植被覆盖率 10%左右,植物种类稀少,木本植物主要有牡荆(*Vitex negundo* var. *cannabifolia*)、糯米条(*Abelia chinensis*)、六月雪(*Serissa foetida*)、紫薇(*Agrimonia pilosa*)等;草本植物主要有禾本科的曲芒契颖草,狗尾草(*Setaria viridis*);野燕科,菊科的野菊花(*Dendranthema* spp.)等。

### 2 研究方法

2007 年根据不同的地形状况与土地利用类型选取有代表性的 6 个固定土壤取样点(阴坡 3 个,阳坡 3 个)。调查并记录每个样点的坡向、坡位、地形、地貌类型、坡度等地形因子以及群落特征(表 1)。土壤含水量用烘干法从 2007 年 1–12 月测定<sup>[2]</sup>,在每月的 1 日、10 日和 20 日前后分 3 次取样。取样时在各取样点,挖土壤剖面,用铝盒采集土壤样品,土壤样品采自 0–10,10–30,30–50 cm 处,每层重复 3 次,取其平均值作为该层次的土壤含水量,土壤水分的计算公式为:

$$W(\%) = (M_1 - M_2) / (M_2 - M_3) \times 100\%$$

式中:  $M_1$  ——烘前铝盒及土壤重(g);  $M_2$  ——烘后铝盒及土壤重(g);  $M_3$  ——烘干空铝盒重(g)。

表 1 土壤水分取样点的基本特征

样地号	坡向	坡位	坡形	坡度/(°)	地貌类型	土地利用
1	阴坡	上坡	线形	15	坡面	稀疏草丛
2	阴坡	中坡	凸形	39	坡面	灌草丛
3	阴坡	下坡	凹形	12	坡底	乔、灌、草丛
4	阳坡	上坡	线形	14	坡面	稀疏草丛
5	阳坡	中坡	线形	38	坡面	灌草丛
6	阳坡	下坡	线形	29	坡底	乔、灌、草丛

### 3 结果与分析

#### 3.1 坡向对土壤含水量的影响

坡向对土壤水分有着重要作用,它对土壤水分的作用是通过改变其它影响因子来实现的。坡向通过改变幅射强度、降水在土壤中的再分配来影响土壤水分含量<sup>[3]</sup>,坡向也可以影响坡面的土壤性质和植被格局,使不同坡向的土壤水分含量存在有一定的差异<sup>[4]</sup>。

衡阳盆地紫色土丘陵坡地,土壤含水量随着坡向的不同,呈现出一定的变化模式(表 2),阴坡下坡 0–10,10–30,30–50 cm 土层年平均含水量分别

比阳坡相同层次的要高 1.38%、1.68% 和 1.23%,在阴坡下坡土壤各层次年平均含水量均高于阳坡下坡。在中坡与上坡,土壤各层次年平均含水量以及整个剖面 0–50 cm 土层土壤平均含水量与下坡的变化规律一致,表明了相同垂直空间处,阴坡的土壤水分状况好于阳坡。

从土壤水分的空间异质性(变异系数)表明<sup>[5]</sup>,相同垂直空间处土壤水分空间异质性变化规律不同。在中坡与下坡,0–30 cm 土层土壤水分变异系数是阳坡大于阴坡,30–50 cm 土层土壤水分变异系数阴坡大于阳坡,从整个剖面 0–50 cm 土层来

看,阳坡土壤水分空间异质性大于阴坡,表明在阳坡由于缺少有效的植被覆盖,雨水易流失,同时雨后阳光暴晒,土壤表面温度高,蒸发旺盛,土壤蓄水保水能力差,土壤水分损失速度快,受气候影响大,土壤

水分的空间异质性大。在上坡,整个剖面及各层次的土壤水分的空间异质性均表现为阳坡高于阴坡,说明了在上坡,阳坡的土壤水分低于阴坡,但是土壤水分空间异性却高于阴坡<sup>[6-7]</sup>。

表 2 土壤含水量的年平均值与变异系数

%

坡位	指标	阳坡				阴坡			
		0- 10 cm	10- 30 cm	30- 50 cm	0- 50 cm	0- 10 cm	10- 30 cm	30- 50 cm	0- 50 cm
上坡	含水量	10. 70	11. 23	17. 58	13. 17	10. 93	12. 31	18. 79	14. 01
	变异系数	28. 15	23. 57	16. 57	17. 60	25. 17	22. 48	15. 12	17. 55
中坡	含水量	12. 45	16. 47	19. 59	16. 17	13. 31	17. 28	19. 91	16. 83
	变异系数	20. 16	18. 21	17. 69	16. 36	20. 12	18. 20	18. 00	15. 10
下坡	含水量	13. 47	18. 21	20. 12	17. 27	14. 85	19. 89	21. 35	18. 70
	变异系数	18. 24	16. 37	12. 38	12. 30	17. 58	15. 34	14. 59	11. 37

综合上述,在同一水平空间位置上土壤平均含水量总的变化趋势是阴坡> 阳坡,而土壤水分空间异质性则呈现出相反的变化规律,阳坡土壤水分的空间异质性较大。这主要是由于在衡阳盆地紫色土丘陵坡地光照较充足,太阳幅射较强烈,从而导致年蒸发量大于年降雨量,在这些地区坡向对太阳幅射和日照强度有着十分重要的作用,从而也成为影响土壤水分蒸发的一个重要因子。阳坡得到的太阳幅射较阴坡多,因而使阳坡土壤水分较阴坡易蒸发,造成阳坡土壤含水量低于阴坡,土壤水分空间异质性高于阴坡。

3.2 不同垂直空间土壤平均含水量动态

降水沿坡面再分配过程,导致了不同垂直空间处和同一坡面的不同位置处土壤含水量不同<sup>[8-9]</sup>。阳坡 0- 50 cm 土层土壤平均含水量变化动态比较明显,阳坡的上坡、中坡与下坡的土壤含水量分别为 13. 17%、16. 17% 和 17. 27% (表 2),其土壤平均含水量的大小顺序是:下坡> 中坡> 上坡。阳坡不同垂直空间处,在 0- 50 cm 土层,从土壤平均含水量月份变化的趋势图(图 1)可知:1- 3 月土壤平均含水量逐渐增加,至 4- 6 月由于降雨量较大,土壤水分得到补充,土壤整个剖面蓄水较多,土壤平均含水量稳定在较高的水平上,但 7 月至翌年 1 月,土壤平均含水量变化的幅度不大,且维持在较低的水平,12 月不同垂直空间位置土壤平均含水量处于低谷期。降至地面的雨水在重力势的作用下,递层下渗补偿是该时期水分运动的明显特征。

阴坡 0- 50 cm 土层土壤平均含水量月份变化模式总的趋势较阳坡要稳定(图 2),在阴坡的上坡、中坡与下坡土壤平均含水量有所不同。在上坡土壤的含水量较为稳定,且处于较低的水平上,主要是由于上坡的生态条件下(基岩裸露、土层浅薄、植被覆盖率低),即使在降雨季节,雨水极易随地表径流而

流失;至于下坡,土壤水分维持在较高水平,雨季时土壤平均含水量略有升高;中坡介于上坡与下坡之间。阴坡不同垂直空间位置,土壤含水量变化明显,阴坡下坡、中坡与上坡平均含水量分别为 14. 01%、16. 83% 和 18. 70% (表 2),阴坡不同垂直空间的土壤平均含水量的大小顺序也是:下坡> 中坡> 上坡。

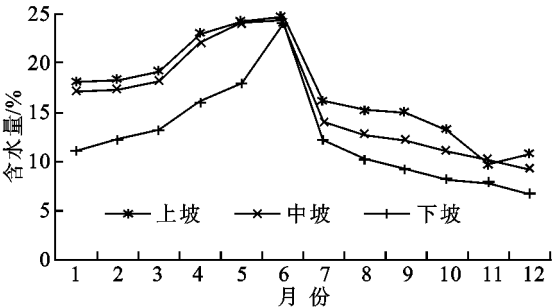


图 1 阳坡不同垂直空间的含水量动态

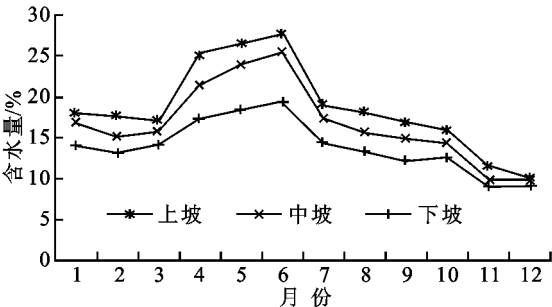


图 2 阴坡不同垂直空间的含水量动态

在衡阳盆地紫色土丘陵坡地,阴坡与阳坡不同坡位的土壤含水量的变化规律均为:下坡> 中坡> 上坡(图 1、图 2),这说明在衡阳盆地紫色土丘陵坡地下坡水分状况最好,中坡次好,水分条件最差的地带出现在上坡<sup>[5]</sup>。衡阳盆地紫色土丘陵坡地不同垂直空间位置的生态条件是土壤水分状况的主要影响因素,在上坡虽然坡度较小,但离下坡的水源区较远,土壤水分不能得到补充,况且上坡基岩裸露、土层浅薄、植被覆盖率低,雨水极易随地表径流而流失,蓄水能力极差,土壤含水量最低;中坡虽然坡度较大,但离下

坡的水源区比上坡近,加之土层较厚,植被覆盖较上坡高,蓄水能力较上坡好,土壤含水量次之;下坡由于坡度较小,土层较厚(因紫色土水土流失严重,下坡堆积了来自上坡与中坡的土壤),离水源区较近,植被覆盖率最高,涵养水分的能力最强,土壤含水量最好。因而在进行植被恢复与重建时,应遵循“先易后难”的原则<sup>[10]</sup>,先下坡、然后中坡最后上坡,逐步改善微生境,最终达到提高植被覆盖的目的。

在不同的垂直空间位置,土壤水分的空间异质性不同。阳坡的上坡、中坡与下坡的土壤水分空间异质性的顺序是:阳坡上坡>阳坡中坡>阳坡下坡;而阴坡的上坡、中坡与下坡的土壤水分空间异质性的顺序则呈现出相反的变化趋势,它们是:阴坡下坡>阴坡中坡>阴坡上坡,表明在阳坡,上坡的土壤水分的稳定性最差,下坡的土壤水分稳定性最好;而在阴坡,则下坡的土壤水分的稳定性最差,上坡的土壤水分稳定性最好。

3.3 土壤水分季节性变化

土壤水分年内差异较大,这是因为土壤水分变化规律是由降雨分配及其变异相关所决定的<sup>[11]</sup>。依据水文状况及其运动特征,将年内水分变化过程分为旱季水分亏缺期、雨季水分补偿期<sup>[11]</sup>。7-12月属于旱季水分亏缺期,此时期6个月降雨总量为403.0 mm,占年降雨量1325.0 mm的30.40%,蒸发量为831.7 mm,占年蒸发量1426.5 mm的58.3%,本期降雨量占全年降雨量不到1/3,但蒸发量却占全年的蒸发量的一半以上,降雨少,蒸发强烈,成为本期水分运动的主要影响因素,导致本期土壤水分处于干旱状态,土壤含水量较低,土壤的月平均含水量变化范围为9.48%~15.24%,此时期土壤的平均含水量为12.36%。每年的1-6月为雨季水分补偿期,本期降雨量大,土壤水分变化较大。1-3月随着气温变暖,积雪融化,降雨量增加,土壤含水量提高,4月进入雨季,虽然植物的耗水量和土壤蒸发量有所增加,但由于降雨量远远大于植物的耗水量和土壤的蒸发量,土壤含水量明显提高,这段时期内,土壤的月平均含水量变化范围为5.80%~18.95%,降雨量相对较多,土壤的平均含水量为21.69%。从各时期的水分运动特点及状况的研究表明,土壤含水量的消长与同期的降雨量有关,衡阳盆地紫色土丘陵坡地干湿季分明,也就导致了土壤水分旱、湿季季节性明显。

3.4 相同水平空间土壤剖面的水分变化

在土壤的垂直剖面上,表层土壤受外界环境的影响最大,随着土壤深度的增加,土壤所受的外界环境

的影响减弱。在土壤不同的发生层次,由于土壤的结构与质地不同,土壤水分剖面变化规律不尽相同,在下坡,阴坡与阳坡的土壤含水量随着土层深度的增加均呈上升的趋势(图3)。不同的土壤层次,土壤含水量的变化趋势为:阴坡30.0-50.0 cm>阳坡30.0-50.0 cm>阴坡10.0-30.0 cm>阳坡10.0-30.0 cm>阴坡0.0-10.0 cm>阳坡0-10.0 cm。

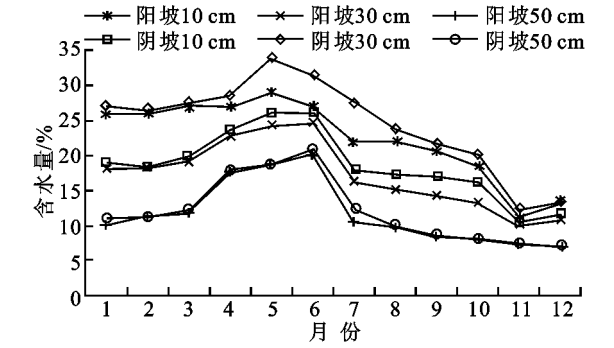


图3 下坡不同深度土壤含水量动态

在下坡,阴坡土壤底层(30.0-50.0 cm)比表层(0-10.0 cm)高44.9%,且土壤水分相对稳定;阳坡土壤底层(30.0-50.0 cm)比表层(0-10.0 cm)高48.0%,但土壤水分变异相对较大。从土壤水分的空异质性来看,阳坡土壤水分的空间异质性随着土壤不同发生层次的加深,土壤水分的异质性降低,阴坡与阳坡呈相反的趋势,阴坡土壤水分空间异质性随着土壤深度的增加而增加,阴坡30.0-50.0 cm土层水分异质性最大,但土壤水分稳定性最好的层次出现在10.0-30.0 cm处。

中坡的土壤含水量变化规律较复杂(图4),从总的变化趋势来看,阴坡30.0-50.0 cm>阳坡30.0-50.0 cm>阴坡10.0-30.0 cm>阳坡10.0-30.0 cm>阴坡0-10.0 cm>阳坡0-10.0 cm。表明在中坡阴坡相同层次的土壤水分状况较阳坡的相应层次的土壤水分相状要好,阴坡与阳坡的土壤含水量均随土层深度的加深,土壤含水量增加;中坡从土壤水分空间异质性来看:阳坡的含水量变化较大,变异系数为16.36%,明显大于阴坡(其变异系数为15.10%,表明了阴坡含水量高,水分稳定性好于阳坡。阴坡与阳坡的土壤空间异质性变化规律相同,阳坡的水分空间异质性随土壤的加深,空间异质性变大,阴坡土壤水分的空间异质性随土壤深度的加深而变大,但变化幅度没有阳坡明显,不同坡向土壤水分稳定层均出现在10-30 cm处。

上坡处不同坡向不同土壤层次的土壤含水量同样也比较复杂,但具有一定的规律性(图5),土壤含水量的大小总的变化趋势是:阴坡30.0-50.0 cm>阴坡10.0-30.0 cm>阳坡30.0-50.0 cm>阴

坡 0- 10.0 cm> 阳坡 10.0- 30.0 cm> 阳坡 0- 10.0 cm。在上坡阴、阳坡土壤含水量随土壤深度的增加而增加, 阴坡 10.0- 30.0 cm、30.0- 50.0 cm 土层, 年平均含水量比 0- 10.0 cm 高 11.2%、41.5%, 阳坡 10.0- 30.0 cm、30.0- 50.0 cm 土层的年平均含水量比 0- 10.0cm 高 4.7%、39.1%, 表明了表土层(0- 10.0 cm) 土壤含水量最低, 底层(30.0- 50.0 cm) 土壤含水量最高。

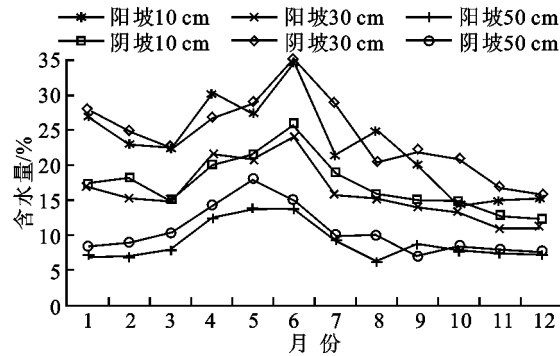


图 4 中坡不同深度土壤含水量动态

综合分析表明: 同一水平空间, 不同坡向随着土层深度的增加土壤含水量增加, 土壤含水量最高的层次处于 30.0- 50.0 cm 土层, 这个层次位于底层, 受外界环境影响最小, 水分散失路径长, 土壤水分难于损失, 土壤水分含量最高。土壤含水量最低的层次为 0- 10.0 cm 土层, 土壤表层地表温度变化大, 蒸发剧烈, 导致表层土壤含水量最低, 10.0- 30.0 cm 土层含水量介于两者之间。从土壤水分的空间异质性来看, 不同坡向、水分的空间异质性规律不同, 阳坡土壤水分的空间异质性随土壤的加深, 空间异质性变大, 阴坡土壤水分的空间异质性随土壤深度的加深而变小, 但土壤水分最稳定的层均出现在 10- 30 cm 处。

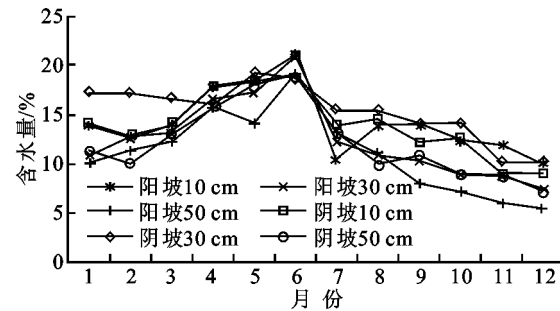


图 5 上坡不同深度土壤含水量动态

4 结论与讨论

(1) 衡阳盆地紫色土丘陵坡地不同水平空间0- 50.0 cm 土层土壤平均含水量总的变化趋势是阴坡> 阳坡, 而土壤水分空间异质性却为阳坡> 阴坡。其原因是: 阴坡的太阳辐射强度低于阳坡, 阴坡的土

壤性质和植被状况比阳坡好, 因而使阴坡的土壤水分不易蒸发, 导致土壤水分状况阴坡好于阳坡。同一坡向的不同垂直空间, 土壤含水量的变化规律为下坡> 中坡> 上坡, 表明了衡阳盆地紫色土丘陵坡地地下坡的土壤水分状况最好, 中坡次之, 上坡最差。土壤水分年内差异较大, 将年内水分变化过程分为旱季水分亏缺期、湿季水分补偿期。7- 12 月属于旱季水分亏缺期, 本期降雨量仅占全年降雨量不到 1/3, 但蒸发量却占全年的蒸发量的一半以上, 降雨少, 蒸发强烈, 成为本期水分运动的主要影响因素, 导致本期土壤水分处于干旱状态, 土壤含水量较低; 每年的 1- 6 月为雨季水分补偿期, 本期降雨量大, 土壤水分变化较大。每年的 1- 3 月随着气温变暖, 降雨量增加, 积雪融化, 土壤含水量提高, 4- 6 月进入雨季, 虽然植物的耗水量和土壤蒸发量有所增加, 但由于降雨量远远大于植物的耗水量和土壤的蒸发量, 土壤含水量明显提高。从各个时期的水分运动特点及状况的研究表明, 土壤含水量的消长与同期降雨量有关, 衡阳盆地紫色土丘陵坡地干湿季分明, 也就导致了土壤水分旱、湿季季节性明显。在同一水平空间, 不同坡向土壤含水量剖面变化明显, 随着土层深度的增加, 土壤含水量增加。随着土层深度的增加, 受外界环境影响减小, 水分散失路径长, 土壤水分难于散失, 从而导致其土壤水分含量增加<sup>[6]</sup>。

(2) 从区域尺度来看, 气候、植物区系决定特定的植被类型; 从景观尺度上来讲, 如垂直空间这一环境因子, 使植被在局部气候条件的变化条件下而导致植被类型的变化, 进而决定植被的分布格局; 而微生境、土壤养分等决定最终的植物群落类型<sup>[12]</sup>。衡阳盆地紫色土丘陵坡地植物群落的分布, 水分与养分梯度对植被分布格局有较大的影响, 它们与地形共同决定植物群落的分布。水分可能是决定植被发生、分布的决定因子, 但不一定是植被生产力(生物量)的决定因子; 因为在野外调查时也能发现, 一些植被生长较差的地方, 土壤水分并不是最低的, 植被生长的好坏, 往往与坡度、坡向、人类干扰等因素有关, 而且, 衡阳盆地紫色土丘陵地区, 由于水土流失严重, 很多地方土壤层很薄, 养分成为生物量限制因子也是可能的。因此, 在衡阳盆地紫色土丘陵坡地, 植物地上生物量是受土壤养分、水分、地形等因子综合作用的结果。可以认为土壤水分是植被分布和生物量的主要限制因子<sup>[13]</sup>。

(3) 衡阳盆地紫色土丘陵坡地是湖南省环境最为恶劣的地区之一, 水土流失严重, 水、汽等不利因素而造成其生态环境十分脆弱, 是植被恢复的“老大

难”问题, 以往关注较多的主要是植被恢复与生态重建、丘陵坡地的植物群落的多样性及其数量分类, 该地区灌丛生物量与空间位置、水分等单一环境因子的关系等。因此, 需要对该区域的植被与环境等各个因素进行系统的研究。

#### 参考文献:

- [1] 吴长文, 王礼先. 林地坡面的水动力学特征及其阻延地表径流的研究[J]. 水土保持学报, 1995, 25(9): 12-23.
- [2] 杨持. 生态学实验与实习[M]. 北京: 高等教育出版社, 2008.
- [3] 何其华, 何永华, 包维楷. 干旱半干旱区山地土壤水分变化动态[J]. 山地学报, 2003, 21(2): 149-156.
- [4] Yang Qiu, Bojie Fu, Jun Wang, et al. Spatial variability of soil moisture content and its relation to environmental indices in a semi-arid gully catchment of the Loess Plateau, China [J]. Journal of Arid Environments, 2001, 49: 723-750.
- [5] 邱扬, 傅伯杰, 王军, 等. 黄土丘陵小流域土壤水分的空间异质性及其影响因子[J]. 应用生态学报, 2001, 12(5): 715-720.
- [6] 李昆, 陈玉德. 元某干热河谷人工林地的水分输入与土壤水分研究[J]. 林业科学研究, 1995, 8(6): 651-657.
- [7] 邱扬, 傅伯杰, 王军, 等. 黄土丘陵小流域土壤水分时空分异与环境关系的数量分析[J]. 生态学报, 2000, 20(5): 741-747.
- [8] 马祥华, 焦菊英. 黄土丘陵沟壑区退耕地自然恢复植被特征及其与土壤环境的关系[J]. 中国水土保持科学, 2005, 3(2): 15-22.
- [9] 章家恩, 徐琪. 恢复生态学研究的一些基本问题[J]. 应用生态学报, 1999, 10(1): 109-113.
- [10] 刘兴良, 慕长龙, 向成华, 等. 四川西部干旱河谷自然特征及植被恢复与重建途径[J]. 四川林业科技, 2001, 22(2): 10-17.
- [11] 张文辉, 卢涛, 马克明, 等. 岷江上游干旱河谷植物群落分布的环境与空间因素分析[J]. 生态学报, 2004, 24(3): 525-529.
- [12] Burke A. Classification and ordination of plant communities of the Naukluft Mountain, Namibia[J]. Journal of Vegetation Science, 2001, 12: 53-60.
- [13] 徐炳成, 山仑, 陈云明. 黄土高原半干旱区基于植被建设的土壤水分效应及其影响因素[J]. 中国水土保持科学, 2003, 1(4): 32-35.
- (上接第15页)
- [11] 傅伯杰, 刘世梁, 马克明. 生态系统综合评价的内容与方法[J]. 生态学报, 2001, 21(11): 1885-1892.
- [12] 范谦, 李升峰, 时亚楼, 等. 生态适宜度评价在开发区环评和环境规划中的应用: 以江苏常熟东南开发区为例[J]. 四川环境, 2004, 23(2): 44-52.
- [13] 舒莹, 胡远满, 郭笃发, 等. 黄河三角洲丹顶鹤适宜生境变化分析[J]. 动物学杂志, 2004, 39(3): 33-41.
- [14] 任玉玉, 千怀遂, 刘青青. 河南省棉花气候适宜度分析[J]. 农业现代化研究, 2004, 25(3): 231-235.
- [15] 杨永泰. 区域城市生态环境适宜度比较方法研究[J]. 环境科学, 1995, 16(5): 33-37.
- [16] 廖红娟, 徐建华, 岳文泽. 城市生态系统适宜度的时空对比分析[J]. 生态科学, 2003, 22(4): 300-304.
- [17] Larson Michael A, Thompson Frank R, Millsbaugh Joshua J, et al. Linking population viability, habitat suitability, and landscape simulation models for conservation planning[J]. Ecological Modelling, 2004, 18(1): 103-118.
- [18] Dhaeze D, Deckers J, Raes D, et al. Environmental and socio-economic impacts of institutional reforms on the agricultural sector of Vietnam: Land suitability assessment for Robusta coffee in the Dak Gan region [J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2005, 105(1/2): 59-76.
- [19] Sicat Rodrigo S, Carranza Emmanuel John M, Nidumolu Uday Bhaskar. Fuzzy modeling of farmers' knowledge for land suitability classification[J]. Agricultural Systems, 2005, 83(1): 49-75.
- [20] 陈辉, 李双成, 郑度. 青藏公路铁路沿线生态系统特征及道路修建对其影响[J]. 山地学报, 2003, 21(5): 559-567.
- [21] 尤卫红, 何大明, 段长春. 云南纵向岭谷区地区气候变化对河流径流量的影响[J]. 地理学报, 2005, 60(1): 95-105.
- [22] 周爱国, 孙自永, 徐恒力, 等. 地质环境生态适宜性评价指标体系研究[J]. 地质科技情报, 2001, 20(2): 71-74.
- [23] 李凤全, 林年丰. 神经网络和地理信息系统耦合方法在地下水水质评价中的应用[J]. 长春科技大学学报, 2001, 31(1): 50-53.
- [24] 梁保平, 韩贵锋, 余丽娟, 等. 中国省域城市生态适宜度综合评价[J]. 城市环境与城市生态, 2004, 17(2): 22-24.