

砒砂岩—黄土沟谷土壤含水量的时空变化

赵利清, 杨 劼, 张璞进, 宋炳煜

(内蒙古大学 生命科学学院, 内蒙古 呼和浩特 010021)

摘 要: 以晋、陕、蒙交界地区常见的砒砂岩—黄土丘陵沟谷为研究对象, 分别于 2005 年 7 月和 10 月对沟谷不同部位土壤含水量进行了测定。结果表明, 其时空变化特征明显。(1) 沟谷不同部位土壤平均含水量大小为 7 月份: 沟谷底部 14.44%, 阳坡顶部 9.29%, 阴坡顶部 9.01%, 阴坡中部 8.25%, 阳坡中部 6.36%; 10 月份: 沟谷底部 9.96%, 阴坡顶部 9.81%, 阳坡中部 9.48%, 阴坡中部 9.09%, 阳坡顶部 8.06%。(2) 砒砂岩平均含水量季节变幅小, 属稳定型; 黄土及有冲积层的黄土平均含水量季节变化较大, 属波动型。(3) 在砒砂岩剖面上, 泥岩含水量显著大于砂岩, 砒砂岩坡面平缓的地段贮水能力比陡的地段大。(4) 在黄土剖面上, 明显出现土壤干层现象, 在夏季、秋季降雨较少的情况下, 土壤水分会严重降低, 土壤水分处于负补偿状态, 土壤干层距地表更深。在半干旱地区的砒砂岩—黄土丘陵沟壑区, 黄土剖面土壤干层的发生是一个自然现象, 随降雨量的多寡, 呈消长状态。

关键词: 砒砂岩—黄土丘陵沟壑区; 土壤剖面; 水分; 半干旱区

文献标识码: A

文章编号: 1000—288X(2009)01—0056—06

中图分类号: S152.7

Spatiotemporal Variation of Soil Moisture Content in the Soft-rock Loess Gully

ZHAO Li-qing, YANG Jie, ZHANG Pu-jin, SONG Bing-yu

(College of Life Science, Inner Mongolia University, Hohhot, Inner Mongolia 010021, China)

Abstract: A special loess gully type, soft-rock loess gully, is distributed in the border area of Shanxi, Shaanxi, and Inner Mongolia, in which water loss and soil erosion are serious. In the study, soil moisture characteristics in the soft-rock loess gully were measured and analyzed. The main results are as follows: (1) In midsummer (July), the averaged soil moisture content of the various parts of the gully was obviously different. The order of landform units from high to low, in terms of soil moisture content, was the bottom of gully (14.44%), the top of sunny slope (9.29%), the top of shady slope (9.01%), the middle of shady slope (8.25%), and the middle of sunny slope (6.36%). While in late autumn (October), the order was the bottom of gully (9.96%), the top of shady slope (9.81%), the middle of sunny slope (9.48%), the middle of shady slope (9.09%), and the top of sunny slope (8.06%). (2) The averaged soil moisture content of soft-rock appeared no obvious seasonal change, but an obvious seasonal change in the averaged soil moisture content was found in loess materials. (3) Water content of mudstone was significantly higher than sandstone along the profile of soft-rock. Moreover, water storage capacity of soft-rock on gentle slope was greater than steep slope. (4) An obvious phenomenon of dried soil layer appeared in the loess profiles. Under low precipitation in summer and autumn, soil moisture seriously was decreased, which was a negative compensation. So, the thickness of dried soil layers was increased. Therefore, dried soil layer is a natural phenomenon in the soft-rock loess gully area of semiarid region and its growth and declination follow the changes of rainfall.

Keywords: soft-rock loess gully; soil profile; water content; semiarid region

收稿日期: 2008-05-22

修回日期: 2008-07-21

资助项目: 国家自然科学基金项目“内蒙古阴山以南黄土丘陵区沟壑体系生态异质性变化规律及应用模式研究”(30660034)

作者简介: 赵利清 (1979—), 男 (汉族), 内蒙古自治区和林格尔县人, 博士, 讲师, 主要从事植物群落与植物区系生态学方面的教学和研究工作。E-mail: zhaotieniu@126.com。

通信作者: 杨劼 (1965—), 女 (蒙古族), 内蒙古自治区呼和浩特市人, 博士, 教授, 主要从事植物生理和草地生态学方面的教学和研究工作。E-mail: jyang@mail.imu.edu.cn。

在干旱、半干旱地区,沟谷的存在,孕育了丰富多样的生境类型,在很大程度上促进了生物多样性的发生。沟谷孕育的复杂生境主要是由于地貌、基质、岩层的作用,使得水热发生再分配。以往黄土丘陵沟壑区沟谷水分测定侧重于在均匀的黄土基质上,同一生境不同群落类型或同一群落不同地段土壤水分含量的变化和土壤干层问题的研究^[1-3],或不同土地利用格局对土壤水分的影响^[4]。对于沟壑在自然条件下,尤其在基质多样复杂的沟坡上,沟谷土壤水分的时空变化特征研究较少。砒砂岩—黄土丘陵沟谷在晋、陕、内蒙古交界地区是一种常见的沟谷类型,地质历史古老,相对稳定,黄土覆盖下有深厚的中生代沉积砂岩,俗称砒砂岩。由于水土流失严重,沟谷纵横,砒砂岩大面积出露,使得该地区成为黄河粗沙主要输入区之一。在砒砂岩—黄土丘陵沟壑区,有一类沟谷的形成是由于黄土在古地形的梁、峁、洼地沉积厚度不一,基岩和黄土抗冲刷力不同,水力沿着黄土和古梁、峁面接触带的强烈溯源侵蚀,使靠古梁峁的一面,沟坡陡长,黄土层薄,多数地方甚至砒砂岩出露,而在黄土层较厚的一面,由于黄土不断的坍塌、夷平,故沟坡短、缓,黄土层厚。本研究主要针对这类不对称的砒砂岩—黄土沟谷。研究认识这类沟谷不同部位土壤剖面水分分布规律,对于阐述该地区沟谷植被分布规律具有重要理论意义;同时对于指导砒砂岩—黄土丘陵沟壑区植被建设也具有实际意义。

1 研究区概况

研究区地处黄土高原和鄂尔多斯高原过渡带,属于砒砂岩—黄土丘陵沟壑区,地理坐标为 39°45.289' N, 111°05.974' E,平均海拔 1 150 m,为典型的半干旱气候。年均气温 6.2 ~ 7.2 °C, 10.0 °C 积温

2 900 ~ 3 500 °C·h,无霜期 148 d,年均降水 379 ~ 420 mm,地带性植被为暖温性本氏针茅(*Stipa bungeana*)草原,土壤为栗钙土。但由于强烈的自然侵蚀和人为干扰,该区土地沙化严重,故抗风蚀沙化的百里香(*Thymus serpyllum*)演替为群落的建群种而在该区广泛存在。目前,本氏针茅群落只是零星分布在梁峁上部和沟谷阳坡。由于特殊的地质、地貌和集中的降水,使得该地区成为黄河粗沙的主要输入区之一。

2 研究方法

在不对称砒砂岩—黄土沟谷,分别在沟谷阴坡顶部、阴坡中部、沟谷底部季节性流水线上、阳坡中部、阳坡顶部各选择一个采样点。采用土钻取土,烘干法测定土壤水分。每 10 cm 取一个土壤样品,在砒砂岩上采取泥岩层、砂岩层分层取样。取样深度除阳坡顶部黄土上为 4 m,沟底流水线上取到出现潜水层外,其它部位均取到 3 m。由于砒砂岩上取样较困难,故未设置重复试验。土壤剖面水分取样时间在分别在 2005 年 7 月份和 10 月份,各进行一次,7 月份是植物开始进入生长旺盛期,土壤水分变化剧烈;10 月份已是植物生长后期,土壤水分变化缓慢,故选择这两个时期进行土壤含水量测定,具有代表意义。另外,为了数据的可比性,两次都在同一坡面选择相同部位取样。每一期都是在没有降雨的 3 个连续工作日内进行测定的。

3 结果与分析

3.1 土壤水分测定点的沟谷植被特点

砒砂岩—黄土沟谷土壤、基质复杂多变,地形又使得水、热发生重新分配,所以沟坡植物群落表现出较大差异。采样点的群落特征,立地条件见表 1。

表 1 各采样点的自然状况

取样点位置	立地条件	坡度	取样点群落名称	投影盖度/ %
沟谷阴坡顶部	砒砂岩上覆盖约 35 cm 的黄土	< 5°	本氏针茅、糙隐子草、百里香	25
沟谷阴坡中部	砒砂岩上覆盖厚约 1 m 的黄土	39°	大针茅 + 铁杆蒿	35
沟谷底部	冲积、淤积砒砂岩,含砾石	< 3°	狗尾草、长萼鸡眼草	5
沟谷阳坡中部	黄土下覆冲积黏土层和粉砂层	33°	达乌里胡枝子 + 百里香	10
沟谷阳坡顶部	黄土厚度 > 4 m	< 5°	本氏针茅、百里香	20

3.2 土壤剖面水分在沟谷的不同部位上的变化特征

图 1 为沟谷不同部位 7 月份土壤水分垂直变化曲线,黄土下覆的砒砂岩水分主要受砒砂岩岩性机械组成而决定的。砒砂岩由交替分布的灰白砂岩、粉红色粉砂岩和棕红色泥岩互层组成^[3],各层的贮水、隔

水能力不同,因而土壤水分分布不均匀^[3],一般泥岩贮水、防漏最好,粉红色砂岩次之,灰白砂岩最差。故剖面水分曲线变化较大,如阴坡顶部和阴坡中部土壤剖面含水量变化曲线,曲线上峰值对应的是泥岩,谷值对应的是砂岩。

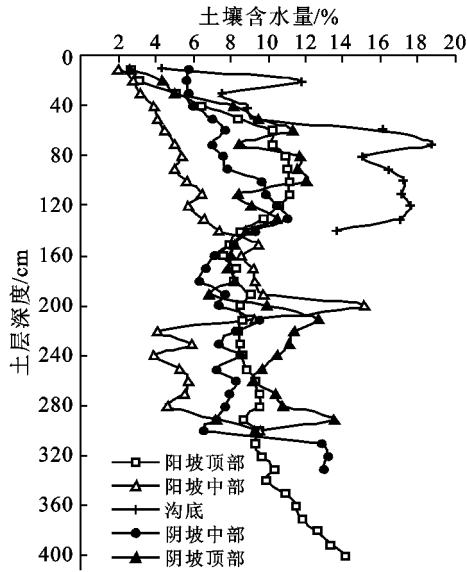


图 1 砒砂岩—黄土丘陵沟壑区沟谷不同部位土壤剖面水分含量变化(2005-07-10)

沟谷季节性流水线上的土壤水分主要受降雨产流和冲击砒砂岩特性的影响,冲击泥岩层含水量较高,砂岩层含水量较低。阳坡中部土壤水分随土层的深度增加水分逐渐增大,在 2 m 处厚约 10 cm 的灰褐色黏质坡积物隔水层使得土壤水分大幅增加(15.17%),随后由于粉砂层和沙壤的存在土壤水分又显著降低。阳坡顶部黄土剖面土壤含水量曲线表现出双峰型,从表土到 1 m 处土壤水分逐渐增加并达到第一次峰值(11.14%),之后开始下降约在 1.4 m 处形成一个含水量相对较低的干层(7.57%),在 3.2 m 处含水量又显著增加(10.29%)。这是由于黄土质地均一,土壤含水量受降雨的显著影响,春季蒸发量大,较少的降雨不能使深层土壤水分得到补充,故在 1 m 以下形成了一个相对较干的层面。

沟底和阳坡中部土壤剖面水分变化较大,沟底受季节性流水影响大,秋天降雨少,沙层含水量变化大。阳坡中部,由于土壤质地复杂(沙黄土、黏质坡积物、粉砂层),在得到夏季、秋季水分补给后,各层的贮水量变化较大(图 2)。

3.3 沟谷不同部位土壤剖面平均含水量变化特征

由图 3 可知,7 月份沟谷不同部位土壤剖面平均含水量大小顺序为:沟谷底部 > 阳坡顶部 > 阴坡顶部 > 阴坡中部 > 阳坡中部。因为沟谷底部间断性的有地表流水发生,同时也是沟坡土壤中水分运动的汇聚点,故水分最大;阳坡顶部为厚层黄土覆盖,相对平缓,由于黄土毛管孔隙发达,对少量降水下渗较快,土壤水分状况能较快改善;阴坡顶部由于相对平缓,砒砂岩的贮水能力强,故土壤水分较大;阴坡中部由

于植被生长旺盛,耗水大,另外坡度大,降水入渗量小,多以径流流失,壤中流沿坡面不断向下运动,同时受到红色泥岩的阻隔,沿砒砂岩层不断向坡面表土外泻,故在没有充分降水补给的情况下,土壤剖面水分含量较坡顶低。阳坡中部由于黏质坡积物层和粉砂层的存在,壤中水分运动与阴坡中部相似,但蒸发量远大于阳坡,故土壤水分最小。

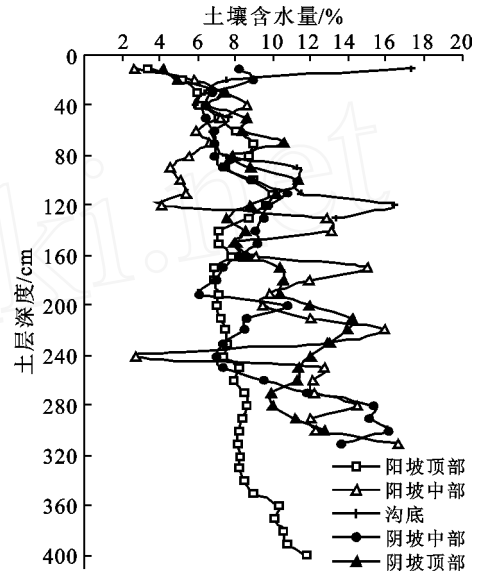


图 2 砒砂岩—黄土丘陵沟壑区沟谷不同部位土壤剖面水分含量变化(2005-10-11)

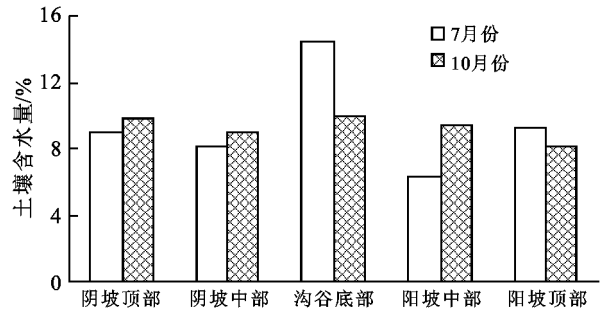


图 3 沟谷不同部位土壤剖面平均含水量

10 月份沟谷不同部位土壤平均含水量大小顺序为:沟谷底部 > 阴坡顶部 > 阳坡中部 > 阴坡中部 > 阳坡顶部。阳坡中部土壤平均含水量显著增加其原因可能为:(1) 阳坡中部沙黄土层较厚,降水入渗率大于有薄层黄土覆盖的砒砂岩沟坡;(2) 由于阳坡中部有黏土层和粉砂层的分布,起到了贮水、保水的效果。(3) 该季节土壤水分蒸发量明显减少。

沟谷不同部位按土壤剖面平均含水量季节变幅(7 月份和 10 月份两次含水量的差值的绝对值)大小可分为两种类型:(1) 稳定型,包括砒砂岩阴坡顶部、阴坡中部,含水量季节变幅小于 1%;(2) 波动型,包括阳坡顶部、阳坡中部、沟谷底部,含水量季节变幅大于 1%,

但沟谷底部由于有间断性洪水补给,另外,也是壤中流的汇集处,故虽然变幅较大,但土壤剖面平均含水量仍大于其它部位。由于受砒砂岩基质和坡积物的影响,沟谷土壤水分并未完全表现出黄土基质上由坡顶到坡脚土壤水分逐渐增加的趋势。只有在 10 月份沟谷阳坡表现出自上而下土壤水分递增的规律。

此外,在年降雨量相对较少的情况下,土层复杂的阴坡顶部、阴坡中部和阳坡中部,土壤水分在年内改善明显,而沟谷底部和质地均一的黄土剖面上,在相同情况下,土壤剖面水分含量均有所降低。

3.4 沟谷不同部位 0—30 cm 土壤含水量变化特征

0—30 cm 土壤含水量的多少,对多年生草本植物正常生长影响较大。由图 4 可知沟谷不同部位 0—30 cm 土壤含水量表现出:7 月,沟谷底部 > 阴坡中部 > 阴坡顶部 > 阳坡顶部 > 阳坡中部;10 月,土壤水分均表现出自上而下增加的趋势,且阴坡土壤含水量均高于阳坡。

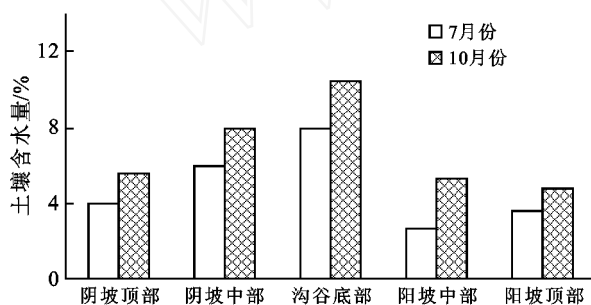


图 4 沟谷各部位 0—30 cm 土壤剖面含水量

除沟谷底部外,在有薄层黄土覆盖的砒砂岩阴坡中部 0—30 cm 土壤剖面水分含量始终显著高于阴坡顶部、阳坡顶部以及阳坡中部的含水量,其原因可能有以下两方面。(1) 阴坡中部蒸发量小,少量的降雪、降雨对浅层土壤水分状况改善有明显作用,而其它部位由于蒸发量相对较大,少量降水对浅层土水分改善作用甚微。(2) 近于水平分布的红色泥岩阻碍了水分沿坡面向坡底的正常运动,当沿着坡面向沟谷底部运动的壤中流遇到红色泥岩后,水分会沿着红色泥岩层水平外泻,从而增加了浅层土壤的水分含量。该地区早春类短命植物少花顶冰花 (*Gagea chinensis*) 集中分布在阴坡以及耕作层下部是砒砂岩的农田中,也证明了阴坡浅层土壤水分较好的特点,尤其是由黄土覆盖的砒砂岩沟谷阴坡。

3.5 砒砂岩剖面水分变化特征

砒砂岩剖面水分含量变化主要受砂岩层和红色泥岩层的控制,为方便比较,将粉红色砂岩和灰白色砂岩合称为砂岩与泥岩进行比较(图 5)。

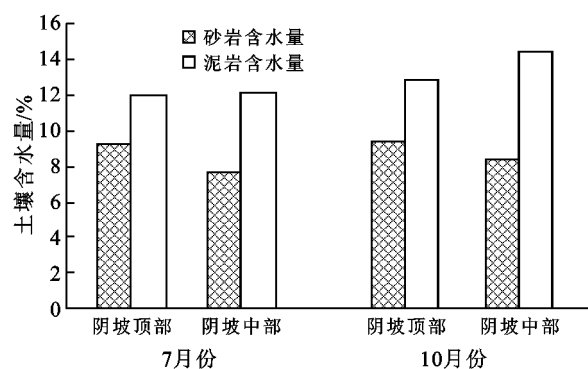


图 5 砒砂岩砂岩、泥岩含水量变化

从图 5 可知,在不同部位、不同时间泥岩含水量总是大于砂岩,处于平缓处(坡顶)的砂岩和泥岩含水量随季节变化不显著,而处于沟坡中部的砒砂岩剖面水分 10 月份与 7 月份比较,具有增加的趋势。坡顶部砂岩含水量大于坡中部,而泥岩含水量接近或小于中部,其原因可能有以下两方面。(1) 由于砂岩、泥岩多数是水平成层交互分布,在坡顶平缓处,砂岩水分下渗遇到泥岩隔水层后,水分逐渐积累增加。而在坡面上,地表径流大,入渗量小,另外砂岩中的水分除了垂直下渗还要沿着坡面向坡底、坡面表土外泄,故含水量较坡顶低。相对于泥岩而言,在坡面上接受砂岩水分垂直运送的同时,可以阻断砂岩中沿坡面向下运动的壤中流,故增加了自身的贮水量而使含水量增加;(2) 顶部泥岩出现在 2 m 处,坡中部泥岩出现在 2.5 m 处,泥岩层距地表较浅的地方出现,可能会阻碍更多的地面降水下渗到深层泥岩中,故水分较坡中部少一些。

由图 6—7 可以看出,在沟坡顶部和中部都表现出 10 月份含水量大于 7 月份,主要是砒砂岩上蒸散量小,能有效地贮存降水;沟坡顶部剖面含水量大于沟坡中部,这主要由于砒砂岩岩层中水平分布的红色泥岩,阻碍了坡顶壤中流沿坡面向坡中部的运动,加上坡中部的入渗量小于坡顶,故坡中部砒砂岩剖面水分含量小于坡顶部。

总之,在砒砂岩剖面上,泥岩含水量显著大于砂岩,坡面缓的砒砂岩剖面比坡面较陡的砒砂岩剖面平均含水量大,如坡顶砒砂岩剖面平均含水量大于坡中部剖面的平均含水量。

3.6 黄土剖面水分变化特征

由图 8 可知,在 7 月份和 10 月份黄土剖面都有明显的土壤干层存在。在 0—30 cm 土壤剖面上 10 月份的含水量显著高于 7 月份的,而在 30 cm 以下的土壤剖面上,10 月份的含水量均小于 7 月份的,这主要是由于秋末植物结束旺盛生长,耗水减少;另外,秋

季少量降雨使表土含水量改善,但由于降雨量小,不能充分改善土壤干层和深层土壤水分,土壤深层水分进一步散失,使得土壤干层加深。

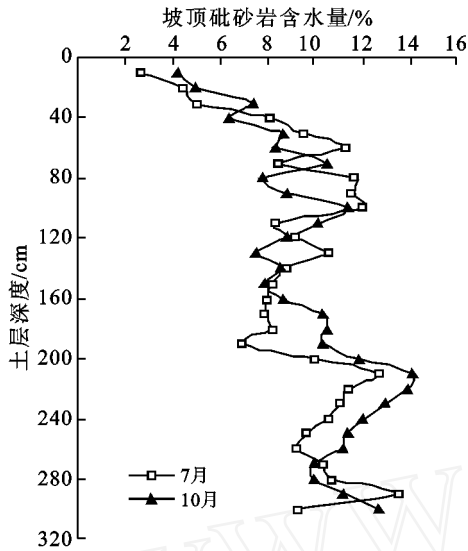


图 6 砗砂岩—黄土丘陵沟壑区沟谷阴坡顶部土壤剖面水分含量变化

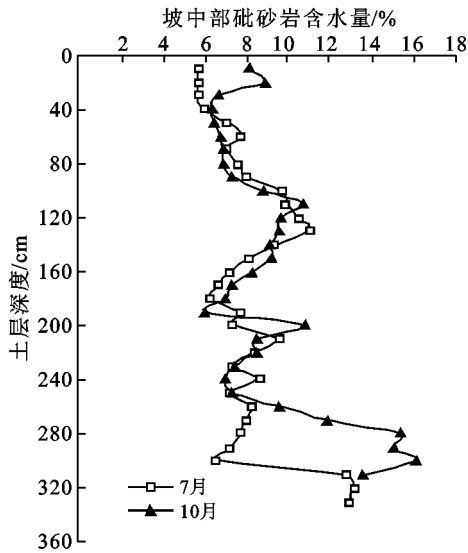


图 7 砗砂岩—黄土丘陵沟壑区沟谷阴坡中部土壤剖面水分含量变化

在黄土剖面上,明显出现土壤干层现象,在夏季、秋季降雨较少的情况下,土壤水分会严重亏缺,土壤干层明显加深。所以,在半干旱地区的砗砂岩—黄土丘陵沟壑区,黄土剖面土壤干层的发生是一个自然现象,随降雨量的变化,呈消长状态。

4 结论与讨论

4.1 结论

沟谷对水分的再分配最终导致阳坡土壤水分含

量相对较小,季节变化幅度大;阴坡土壤水分含量相对较高,季节变化幅度相对较小。水分沿坡面自上而下的再分配,通常受基质特性的影响较大。在均一的厚层黄土沟坡上土壤水分自上而下的变化规律为坡顶 < 坡中 < 沟底^[5,7]。而在基质条件比较复杂的砗砂岩沟谷中,含水量变化表现出明显不同的特征。

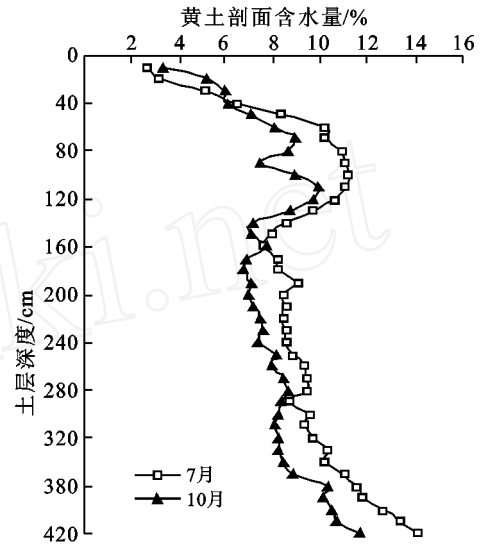


图 8 砗砂岩—黄土丘陵沟壑区沟谷阳坡顶部黄土剖面含水量变化

(1) 沟谷不同部位土壤剖面平均含水量大小顺序 7 月份为:沟谷底部 > 阳坡顶部 > 阴坡顶部 > 阴坡中部 > 阳坡中部; 10 月份为:沟谷底部 > 阴坡顶部 > 阳坡中部 > 阴坡中部 > 阳坡顶部。

(2) 在年降雨量相对较少的情况下,在土层复杂的砗砂岩以及黄土坡积物剖面上(如阴坡顶部、阴坡中部和阳坡中部),土壤水分在年内改善明显,土壤贮水量处于正补偿;而对于沟谷底部和质地均一的黄土,在相同情况下,土壤剖面水分含量减少,土壤贮水量处于负补偿。

(3) 在 0—30 cm 厚的土层内,除有间断性洪水影响的沟谷底外,有薄层黄土覆盖的砗砂岩阴坡土壤含水量最大。

(4) 在砗砂岩剖面上,泥岩含水量显著大于砂岩,砗砂岩坡面平缓的地段的贮水能力比较陡的地段大,如坡顶剖面平均含水量大于阴坡中部剖面平均含水量。

(5) 在黄土剖面上,明显出现土壤干层现象,在夏季、秋季降雨较少的情况下,土壤水分处于负补偿状态,土壤干层距地表更深。所以,在半干旱地区的砗砂岩—黄土丘陵沟壑区,黄土剖面土壤干层的发生是一个自然现象,随降雨量的增减,呈消长状态。

4.2 讨论

4.2.1 土壤水分空间异质性对沟谷植物群落分布格局的影响 沟谷土壤水分整体分布特征是,沟底水分明显好于其它部位,阴坡土壤水分明显好于阳坡土壤水分。所以沟底总是分布着一些中生植物,构成了沟谷草甸植被,常见的有假苇拂子茅群落,或者是分布着一些喜湿的灌丛,如沙棘灌丛以及人工林;阳坡通常分布着喜暖耐旱的多年生草本,如达乌里胡枝子、百里香、糙隐子草、短花针茅、本氏针茅等,另外一个显著的特点是一、二年生草本层片较发达,在多雨季节,盖度、生物量均可以超过多年生草本,这充分体现出阳坡干暖的特点;阴坡总是分布着一些相对喜湿、耐旱寒的物种,如铁杆蒿、大针茅等,灌木有甘蒙锦鸡儿、沙棘等。沟谷土壤水分空间格局的分异对沟谷植物群落的分布格局影响深刻。

4.2.2 砒砂岩基岩水分分异特点对沟谷植物群落分布的影响 砒砂岩由于其岩层具有水平分布的特点,且泥岩、砂岩平行交替分布,泥岩具有很好的隔水、贮水的功能,且疏松,养分含量相对较高,故适合于根蘖能力强的植物和深根系木本植物生长,如沙棘、大果榆、中间锦鸡儿、桃叶卫茅等,另外也可以适合一些具有深根系半灌木生长,如铁杆蒿等。在沟坡上,砒砂岩水平岩层可以改变水分沿坡面向下运动的速率和流量,使水分保持在水平岩层中,这样可以为需水量大的灌木提供生存的可能。实践也证明了这一点,几年前,干旱促使黄土上沙棘的大面积死亡,但砒砂岩区的沙棘仍能较好的生长。在野外调查时,我们也会发现,砒砂岩沟壁上沙棘、大果榆等灌木生长较好。所以砒砂岩上多分布着一些具有深根系的灌丛、或半灌木群落。

砒砂岩区另一个明显的现象是类短命植物顶冰花的分布。目前,一提到类短命植物,总会想到新疆准葛尔盆地的这类植物。其实,草原区同样也存在这样的植物,它们开花早,每年5月初就开花,经过10~15d,就结束生活史,进入休眠期,夏末秋初重新萌发出仅有的一枚基生叶,故不易被人们发现。在黄土丘陵沟壑区,它主要分布在有厚层黄土覆盖的沟谷阴坡;但在同一地区的有薄层黄土覆盖的砒砂岩沟谷阳坡也能见到,且长势明显好于黄土上的植株。这主要是由于在砒砂岩坡面上,土壤水分可以沿着水平岩层向表土运动,可以明显改善表土水分的结果。

以上所列举的无论是生长在砒砂岩上的灌木,还是类短命植物,主要是为了说明,在特定区域,基岩特性对水分的再分配可以起到较大的作用,尤其在有大面积基岩出露的丘陵沟壑区,在植被建设中要充分考虑这些因素。另外需要说明的是,本研究并无针对“厚层黄土无林论”的目的。仅是为了说明,在这些特殊的生境中,不能无限度的植树造林,还要充分考虑降水对土壤水分的补充能力,否则会出现水分透支,林木衰败的现象。

总之,砒砂岩—黄土丘陵沟壑区沟谷土壤剖面水分变化受地形、坡度、坡向、地层、基质等因子影响,沟谷土壤水分沿坡面的变化不符合土壤水分流动理论分析的“在土壤和地表覆盖相对一致的坡地,自上而下由于地表径流和壤中流的作用,土壤含水量有规律的增加^[5]”的规律。

在砒砂岩—黄土丘陵沟壑区进行水土保持、生态环境建设当中,应充分考虑该地段的特殊性,根据砒砂岩贮水能力强的特点,利用生物或机械工程尽量促进砒砂岩剖面水分含量的增加,为植被建设提供保证;另外,由于黄土自然干层现象的存在,在该地区进行植被建设时要充分考虑植被的耗水,以免人为造成环境的恶化。

[参 考 文 献]

- [1] 侯庆春,韩蕊莲,李宏平. 关于黄土丘陵典型地区植被建设中有关问题的研究 I:土壤水分状况及植被建设区划[J]. 水土保持研究,2000,7(2):102-110.
- [2] 王志强,刘宝元,王晓兰. 黄土高原半干旱区天然锦鸡儿灌丛对土壤水分的影响[J]. 地理研究,2005,24(1):113-120.
- [3] 杨劫,高清竹,金争平等.《重塑黄土地》系列丛书:砒砂岩区水土保持与农牧业发展研究[M]. 郑州:黄河水利出版社,2003:52-55.
- [4] 王军,傅伯杰. 黄土丘陵小流域土地利用结构对土壤水分时空分布的影响[J]. 地理学报,2000,55(1):84-91.
- [5] Mark E H, Thomas J J, Richard H M. Surface soil moisture variation on small agricultural watersheds [J]. Journal of Hydrology, 1983, 62: 179-200.
- [6] 陈洪松,邵明安,王克林. 黄土区深层土壤干燥化与土壤水分循环特征[J]. 生态学报,2005,25(10):2491-2498.
- [7] 李华,吴发启. 延安黄土丘陵沟壑区土壤水分特征研究[D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学,2007:28-32,49.