

黄土路堑边坡土壤水分空间分布特征及影响因素

姚亚兰, 高德彬, 张玉洁, 王闻哲, 雷超

(长安大学 地质工程与测绘学院, 陕西 西安 710054)

摘要: 基于西安市三条道路黄土路堑边坡植被防护调查和室内土壤含水率测试结果, 研究分析了坡位、坡度、坡向、植被类型和植被防护模式对黄土路堑边坡土壤水分空间分布特征的影响。结果显示, 中坡位土壤含水率大于下坡位, 下坡位大于上坡位; 高坡级边坡土壤含水率大于低坡级; 小坡度边坡土壤含水率大于大坡度; 阴坡土壤含水率大于阳坡; 贴地植被土壤含水率大于直立植被土壤含水率; 草灌结合模式的边坡土壤含水率小于灌木单一模式, 但前者的生长状况优于后者。

关键词: 黄土; 路堑边坡; 土壤含水率

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)06-0118-05

中图分类号: U416.1⁺4

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.06.029

Spatial Distribution Characteristics and Influencing Factors of Soil Moisture on Loess Cutting Slope

YAO Ya-lan, GAO De-bin, ZHANG Yu-jie, WANG Wen-zhe, LEI Chao

(School of Geology Engineering and Geomatics, Chang'an University, Xi'an, Shaanxi 710054, China)

Abstract: Based on field investigation carried on three loess high-cutting slopes in Xi'an City and combining indoor moisture content test, the influence of the slope position, slope gradient, slope direction, vegetation type and vegetation protection mode of the loess cutting slope on spatial characteristics of soil moisture was studied. The result showed that soil moisture content was greater in middle slope site than that in downhill, in downhill was greater than that in uphill; in high slope level was greater than that in low slope level; in low gradient slope was greater than that in the high gradient slope; in cloudy slope was greater than that in sunny slope; in ground vegetation was greater than that in the vertical vegetation; in the slope with grass and shrub combination mode was smaller than that in the single shrubs mode, but the growth of the former was better than the latter.

Keywords: loess; cutting slope; soil moisture content

边坡植被防护就是在边坡整体稳定的基础上, 主要靠植物根系的加固作用和茎叶以及枯落物的降雨截留、削弱溅蚀和抑制地表径流的作用来达到加固坡面、提高坡面抗冲刷能力的目的^[1]。但是在新开挖形成的路堑边坡上种植何种植物, 采取何种种植模式才能够既起到加固坡面, 提高坡面抗冲刷能力, 又能够保证植物可以长期存活, 与当地的气候环境相适应, 是目前需要解决的问题。而边坡土壤中的水分是植物生长所必需的条件, 因此在进行边坡植被防护时必须考虑路堑边坡土壤水分空间特征的影响因素。已有一些学者^[2-5]对土壤水分空间特征问题进行了大量研究。但其研究对象主要针对正常耕作土壤, 而对于新开挖形成的通气性差, 透水性和蓄水能力低, 养分

有效性差的路堑边坡的研究却很少。基于此, 本研究通过对西安市黄土路堑边坡植被防护进行调查, 选取西安市南三环、公园南路、绕城高速的路堑边坡植被防护为例, 以不同边坡坡位、坡度(比)、坡向、植被类型和防护模式的0—5 m深度的土壤水分作为研究对象, 探讨黄土路堑边坡土壤水分空间特征的影响因素, 以期为黄土地区黄土路堑边坡植被防护提供科学依据。

1 研究区概况和研究方法

1.1 研究区概况

1.1.1 南三环试验点 南三环试验点, 坡型采用4级台阶型, 防护类型为植被防护, 单级坡坡度为

收稿日期: 2013-11-01

修回日期: 2013-12-11

资助项目: 交通部西部重点交通建设科技项目“黄土地区公路高边坡防护技术研究”(200131800020); 国家自然科学基金项目(41172256)

作者简介: 姚亚兰(1991—), 女(汉族), 甘肃省民勤县人, 硕士研究生, 研究方向为边坡植被防护。E-mail: 844622103@qq.com。

30°~50°, 植被类型为沙地柏、紫穗槐和小冠花。边坡地质结构模型为新老黄土组合型, 1 级与 2 级为离石黄土上部(Q₂^{2eol}), 3 级与 4 级为马兰黄土(Q₃^{eol})。

1.1.2 公园南路试验点 公园南路试验点, 坡型采用 4 级台阶型, 防护类型为综合防护。1 级边坡下部坡度为 70°, 用浆砌片石防护; 上部坡度为 60°, 采用六边形混凝土框架植被防护, 植被为紫穗槐和小冠花交替栽植。2, 3 和 4 级均为挂网防护, 坡度为 40°~50°。边坡地质结构模型为新老黄土组合型, 即 1 级与 2 级为离石黄土上部(Q₂^{2eol}), 3 级与 4 级为马兰黄土(Q₃^{eol})。

1.1.3 绕城高速试验点 绕城高速试验点, 坡型采用一坡到顶型, 坡度为 42°, 最初采用三维网植草防护, 植被类型为黑麦草、高羊茅、鸭茅和小冠花^[6]; 后又改为三维网植草植树防护, 植被类型为沙地柏、紫穗槐、紫花苜蓿和小冠花, 属于草本植物—灌木发展模式。地质结构为新黄土结构单一型, 马兰黄土(Q₃^{eol})。

南三环试验点与公园南路试验点边坡的地质结构模型一致, 设计坡型一致, 但是防护类型和坡比不同。而绕城高速试验点与南三环和公园南路试验点的地质结构模型、设计坡型、防护模式和坡比均不同。这样可使得试验结果具有代表性(图 1)。

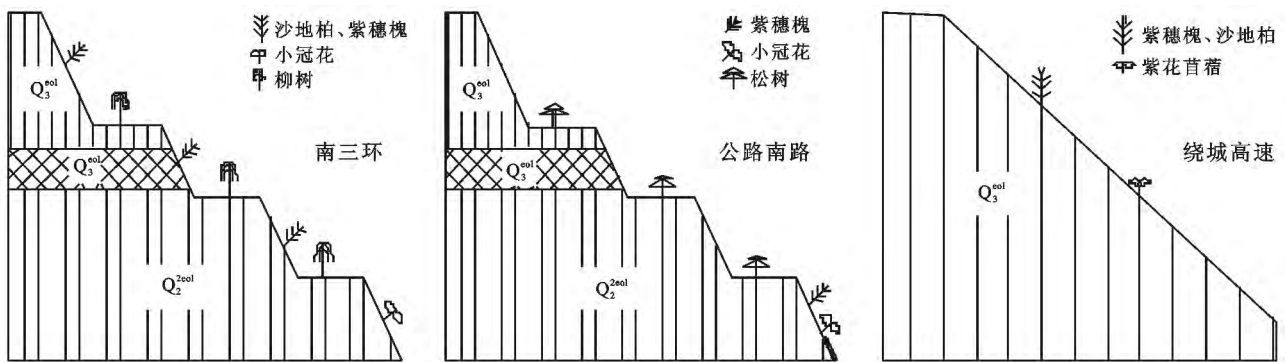


图 1 不同试验点的断面图

1.2 数据采集

在现场调查的基础上, 南三环试验点根据边坡防护植被类型不同, 在每一级边坡选择上坡位(距离坡顶 2 m)、中坡位(坡面最中间)和下坡位(距离坡脚 2 m)3 个部位进行取样, 取样总数为 44 个。公园南路试验点在每级坡面的下坡位取样, 并在坡顶有植被覆盖和无植被覆盖处取样, 取样总数为 8 个。绕城高速试验点在坡面的上坡位和中坡位分别取样, 取样总数为 4 个。各处取样均匀, 间隔为 15 cm, 取样深度为 4.5~5 m, 取样时间为 2013 年 4 月。

土壤样品的采集使用人工洛阳铲采取, 用保鲜膜盛装, 并做好标记, 避免日光照射, 尽快带回实验室测定含水率。土壤含水量的测定采用烘干称重法, 烘干温度为 105 °C, 烘干时间为 10 h, 烘干前后土重用高精度电子天平称量^[2]。土壤含水量计算公式为:

$$\omega = (\omega_1 - \omega_2) / \omega_2 \times 100\%$$

式中: ω ——所测样品的土壤含水量; ω_1 ——烘干前土壤样品重量; ω_2 ——烘干后土壤样品重量。

2 结果与分析

2.1 坡位对土壤水分空间特征的影响

2.1.1 同坡级不同坡位对土壤水分空间特征的影响

为了研究坡位对土壤含水率的影响, 在南三环路堑边坡试验点的沙地柏林地和紫穗槐林地分别选取阳坡和阴坡 2 个样带, 各样带均为同一植被类型, 种植密度一致。分别在每个样带的每一级坡面的上、中、下 3 个坡位林木生长较为均匀处各取 1 个样点, 钻孔取样, 然后测定土壤的含水率。由图 2 可知, 紫穗槐林地上、中、下坡位的平均含水率分别为 15.51%, 20.83% 和 16.92%, 中坡位大于下坡位, 下坡位大于上坡位。沙地柏林地上、中、下坡位的平均含水率分别为 17.83%, 20.96% 和 19.55%, 中坡位大于下坡位, 下坡位大于上坡位。总体来看, 不同坡位土壤水分的剖面分布特征总体较为一致, 即随着土层深度的不断增加, 土壤含水率逐渐增大, 最终趋于一致。因为黄土丘陵区土壤水分, 尤其是 0—2 m 深度范围属于速变层^[3], 土壤含水量波动较大, 且无明显的规律性, 其变化主要受气象因素和地表覆盖物等的影响^[4]。由于降水的径流作用, 下坡位土壤可以积蓄比中坡位和上坡位较多的水分。但是在坡脚种植了乔木旱柳, 根系发达, 从下坡位土壤中吸收的水分较多, 对下坡位土壤水分影响很大, 即从径流中蓄积的水分小于旱柳吸收的水分, 使得下坡位的土壤含水率低于中坡位的土壤含水率。

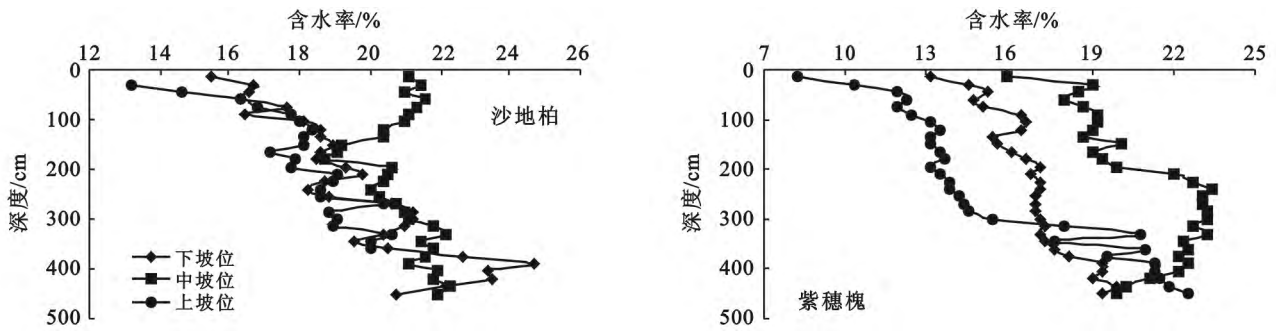


图 2 同一坡级不同坡位的土壤含水率随深度的垂直变化

2.1.2 同一坡位不同坡级对土壤水分空间特征的影响 由图 3 可知,第 2 级和第 3 级沙地柏林地土壤含水率平均值分别为 15.39%和 17.26%,第 3 级大于第 2 级,但是总体趋势为随着深度的增加,含水率逐渐增大,最终趋于一致。第 2,3,4 级紫穗槐林地土壤含水率平均值分别为 15.08%,16.41%和 20.83%,第 4 级土壤含水率大于第 3 级与第 2 级。这是因为

第 4 级和第 3 级边坡地质结构大部分为 Q_3 黄土,粉沙土为主,土质疏松,孔隙比较大,容易蓄积水分。而第 2 级边坡地质结构为 Q_3 黄土,地质结构为 Q_2 黄土,质地均匀,较致密,含有大量的浆石结核,不容易蓄积水分。

由以上分析可知,同种植被类型林地的土壤高坡级含水率大于低坡级。

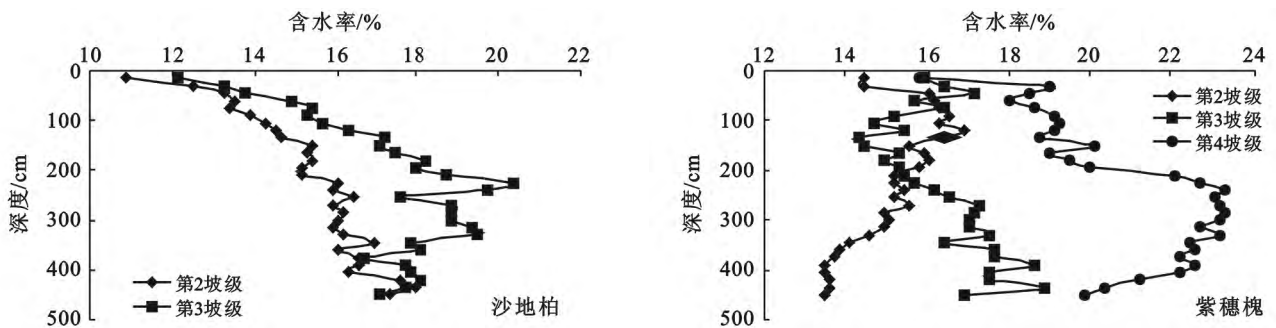


图 3 不同坡级相同坡位的土壤含水率随深度的垂直变化

2.2 坡向对土壤水分空间特征的影响

为了研究坡向对土壤含水率的影响,选取南三环与公园南路和绕城高速路堑边坡的阳坡和阴坡两个样带,分别在每个样带的每一级坡面的上、中、下 3 个坡位林木生长较为均匀处各取 1 个样地,钻孔取样,然后测定土壤的含水率。

由图 4 可以看出,南三环路堑边坡第 4 级紫穗槐

林地,阴、阳坡平均含水率分别为 20.83%和 12.63%;公园南路路堑边坡 4 级坡顶,阴、阳坡平均含水率分别为 15.34%和 12.17%;绕城高速路堑边坡坡顶,阴、阳坡平均含水率分别为 13.12%和 9.27%,阴坡含水率明显大于阳坡。因为阴坡受到的光照比较少,表层杂草较多,枯落物覆盖物多,蒸发水分较阳坡少。

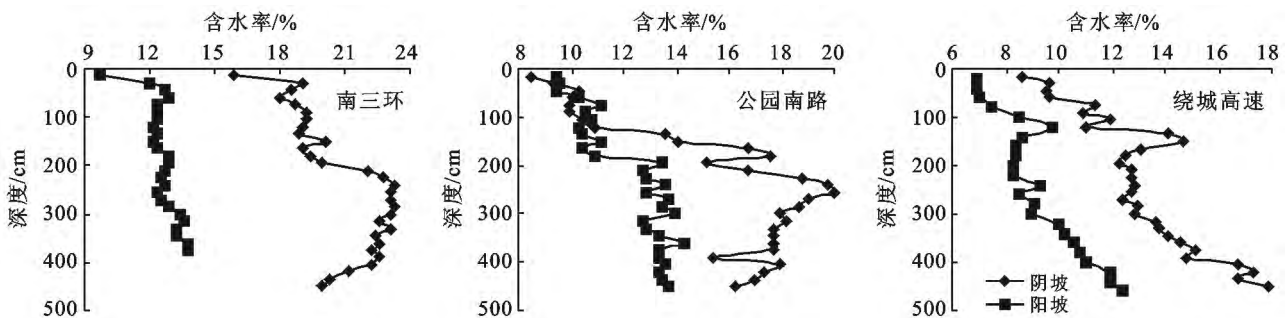


图 4 不同坡向的土壤含水率随深度的垂直分布

2.3 坡度对土壤水分空间特征的影响

由图 5 可以看出,公园南路阴坡二级坡脚,坡度为 29°和 53°的边坡土壤含水率平均值分别为 18.30%和 12.83%;阳坡二级坡脚,坡度为 29°和 53°的边坡土壤含水率平均值分别为 16.37%和 13.48%,低坡度土壤含水率明显大于高坡度。但是总体来看,低坡

度和高坡度的土壤含水率随着深度的变化趋势一致,都是随着土层深度的增加而增加。因为在降水时,低坡度的坡面接受的降水和坡面径流易于入渗,不易形成坡面径流,而高坡度坡面接受的降水易于形成径流失,难于下渗,这就导致低坡度的土壤含水率大于高坡度。

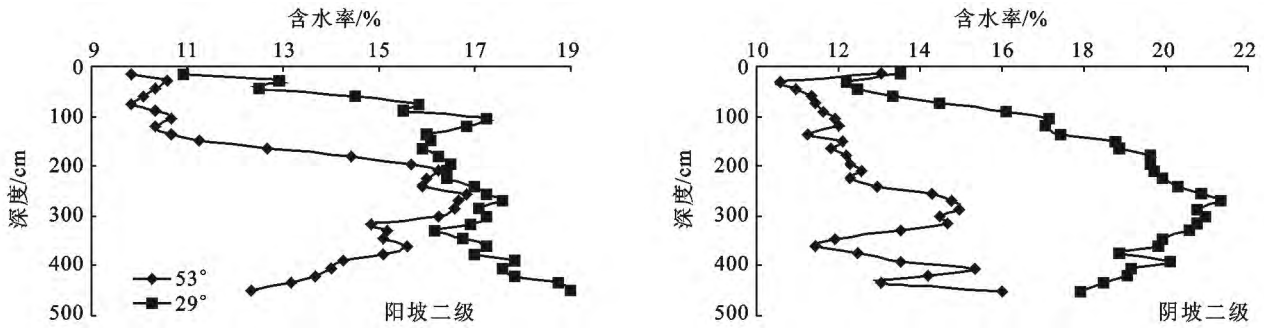


图 5 不同坡级边坡土壤含水率的垂直分布

2.4 植被类型对土壤水分空间特征的影响

为了研究不同植被类型对黄土边坡土壤含水率的影响,在南三环路堑边坡阳坡和阴坡各选取沙地柏林地和紫穗槐林地,分别测取了土壤含水率随深度的变化。

由图 6 可知,南三环阴坡第 3 级边坡沙地柏林地和紫穗槐林地土壤含水率平均值分别为 20.96%和 16.41%;南三环阳坡第 3 级边坡沙地柏林地和紫穗槐林地土壤含水率平均值分别为 17.26%和 13.15%,沙地柏林地土壤含水率大于紫穗槐林地。这是因为沙地柏是贴在坡面上的,覆盖面积大,水分蒸发少,而且部分坡面上有苔藓等生物结皮^[7]及其分

泌物将松散土粒紧密地缠绕和黏结在一起,并以自身的代谢方式改变土壤结构,提高土壤抗蚀性,减少径流,增加渗流。而紫穗槐是直立的,而且目前刚刚发芽,阳光可以透过树枝照到坡面,水分蒸发比较多。另外,沙地柏为浅根性植物,须根发达,对土壤含水率的影响很大。而紫穗槐主侧根均发达,呈网状结构,有韧性,长可达 2 m,须根稠密,需水量很大,从土层中吸收的水分很多。长此以往,沙地柏林地含水率大于紫穗槐林地。植被类型对土壤含水率的影响很大,植被贴地面覆盖对防止土壤侵蚀有至关重要的作用^[8]。贴地植被所覆盖的土壤含水率大于直立植被所覆盖的土壤含水率。

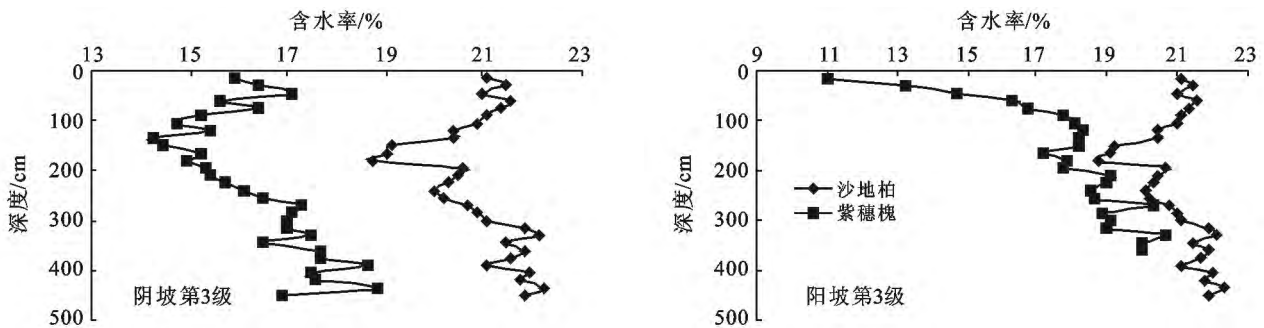


图 6 同一坡位不同植被边坡土壤含水率的垂直分布

2.5 植被防护模式对土壤水分空间特征的影响

为了研究不同植被防护模式的黄土路堑边坡含水率随深度的变化,选取南三环第 4 级边坡与绕城高速黄土路堑边坡为研究对象,对含水率进行了对比分析。

其中南三环第 4 级边坡全部种植紫穗槐,属于灌木一次到位模式;绕城高速边坡最初先采用三维网植草防护,由于防护效果不好,然后在三维网上种植紫穗槐和沙地柏,呈“梅花型”分布,属于由草本植物向灌木发展的模式(图 7)。

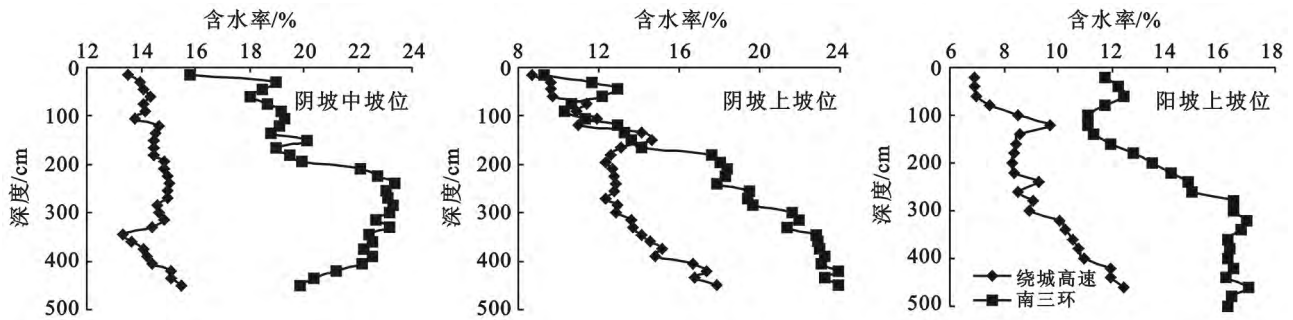


图 7 不同植被防护模式的土壤含水率垂直变化

由图 7 可知,在阴坡中坡位,绕城高速和南三环第 4 级边坡土壤含水率的平均值分别为 14.48% 和 20.83%。在阴坡上坡位,绕城高速和南三环第 4 级边坡土壤含水率的平均值分别为 13.12% 和 17.74%。在阳坡上坡位,绕城高速和南三环第 4 级边坡土壤含水率的平均值分别为 9.27% 和 14.46%。由此可知,南三环土壤含水率明显大于绕城高速。南三环第 4 级边坡与高速路面的距离远大于绕城高速边坡与高速路面的距离。由于路面是黑色的,吸收的热量多,而且在路上行驶的车辆,由于风速、摩擦、燃油能量转化过程,使周围环境的湿度降低,温度升高,距离越近从土壤中吸收的水分越多,土壤含水率自然就少。而且绕城高速边坡坡面上沙地柏、紫穗槐和麦芒草交叉种植,植被密度较大,从土壤中吸收的水分就较多,土壤主要受到降水、空气湿度和植物根系的影响,因此南三环边坡土壤含水率大于绕城高速。

根据现场调查的结果,绕城高速边坡草灌结合防护模式的防护效果要优于南三环边坡灌木单一模式,植被生长状况好。但是,根据含水率测试结果可知,草灌结合模式林地的土壤含水率明显低于灌木单一模式,由于植物密度太大,所需水分较多,从土壤中吸收水分较多,导致土壤含水率过低。因此,边坡防护植被密度及种植模式的选择也至关重要。

3 结论

(1) 坡度、坡向、坡位和植被类型等是土壤水分空间特征的重要影响因子。小坡度边坡土壤含水率大于大坡度;阴坡土壤含水率大于阳坡;中坡位土壤含水率大于下坡位,下坡位大于上坡位;贴地植被覆

盖的土壤含水率大于直立植被土壤含水率。

(2) 植被防护模式也是土壤水分空间特征的重要影响因子。由草本植物向灌木发展模式的边坡土壤含水率低于灌木一次到位模式,但是前者植被的生长状况优于后者。

(3) 水分和养分是植被生长必需的条件,如果植被密度过大,所需水分较多,当剖面某一层土壤含水量低于萎蔫系数时,会影响根系吸水;当低于萎蔫系数的土层增加到一定程度时,根系吸水非常困难,土壤分会严重影响植物生长,因此在植被防护时,应根据坡向、坡度、坡位和坡级选择不同的植被密度。

[参 考 文 献]

- [1] 夏琼,杨有海,孙彦英.植物加固路堤边坡土体分析及工程应用[J].岩土工程技术,2005,19(5):245-248.
- [2] 杜娟,赵景波.西安地区不同植被下土壤含水量及水分恢复研究[J].水土保持学报,2006,20(6):58-61.
- [3] 杨磊,卫伟,陈利顶.黄土丘陵沟壑区深层土壤水分空间变异及其影响因子[J].生态与农村环境学报,2012,28(4):355-362.
- [4] 黄琳琳,陈云明,王耀凤.黄土丘陵区不同密度人工油松林土壤水分状况研究[J].西北林学院学报,2011,26(5):1-8.
- [5] 高艳鹏,赵廷宁,骆汉.黄土丘陵沟壑区人工刺槐林土壤水分物理性质[J].东北林业大学学报,2011,39(2):64-65.
- [6] 梁伟,高德彬,倪万魁.三维网植草技术在黄土路堑边坡的应用与试验[J].路基工程,2008(2):40-41.
- [7] 孟杰,卜崇峰,李莉.侵蚀条件下生物结皮对坡面土壤碳氮的影响[J].中国水土保持科学,2011,9(3):45-51.
- [8] 王晗生,刘国彬,王青宁.防蚀有效植被的结构特征探讨[J].中国生态农业学报,2001,9(2):54-56.