

山西榆次不同植被土壤水分有效性与干燥化效应

张鹏飞¹, 王融融², 戴燕燕¹, 李强¹, 马延东³, 赵景波^{4,5}

(1.太原师范学院 地理科学学院, 太原 030619; 2.宁夏大学 地理科学与规划学院, 银川 750021; 3.长安大学, 西安 710054; 4.中国科学院 地球环境研究所气溶胶化学与物理重点实验室, 西安 710061; 5.陕西师范大学 地理科学与旅游学院, 西安 710119)

摘 要:为了对山西省山区土壤干旱程度和水资源利用情况进行研究,通过称重法研究了山西榆次区不同植被(樱桃林地、耕地、枣树林地和杨树林地)及撂荒地土壤剖面水分变化特征、水分有效性及干燥化效应。结果表明:土壤平均含水量从小到大依次为杨树林地(8.10%)、枣树林地(9.94%)、撂荒地(10.70%)、樱桃林地(14.47%)和耕地(14.53%)。各植被下土层均有不同程度的干层发育,其中耕地和樱桃林地土壤为轻度干层,撂荒地主要为中度干层,而枣树林地与杨树林地则发育了中重度干层。杨树林地各土层均为无效水,枣树林地以无效水为主,撂荒地以无效水与难效水为主,耕地和樱桃林地受灌溉补给,以难效水与中效水为主。各植被中除杨树林地外,土壤水分含量均随土层深度增加先减后增。其中樱桃林地和枣树林地土壤水分都在 0—3 m 内呈递减趋势,3—5 m 土壤水分迅速升高。耕地和撂荒地土壤含水量先减后增,均在 2—2.5 m 深度土层为含水量低值拐点。杨树林地土壤水分在 0—3.5 m 保持平稳,3.5—5 m 水分呈下降趋势。

关键词:不同植被;土壤干燥化效应;土壤水分有效性;土壤水分分布模式;山西榆次区

中图分类号:S152.7⁺5

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2022)05-0192-07

Soil Moisture Availability and Soil Desiccation Under Different Vegetation Conditions in Yuci, Shanxi

ZHANG Pengfei¹, WANG Rongrong², DAI Yanyan¹, LI Qiang¹, MA Yandong³, ZHAO Jingbo^{4,5}

(1.School of Geography Science, Taiyuan Normal University, Taiyuan 030619, China;

2.School of Geographical Sciences and Planning, Ningxia University, Yinchuan 750021, China; 3.Chang'an

University, Xi'an, 710054, China; 4.Key Laboratory of Aerosol Chemistry and Physics, Chinese Academy of Sciences,

Xi'an, 710061, China; 5.School of Geography and Tourism, Shaanxi Normal University, Xi'an 710119, China)

Abstract: Yuci District is located on the eastern side of the Loess Plateau, perennial drought and little rain and higher evaporation. It is very important for regional ecological construction to explore the vegetation soil moisture and desiccation level in this region. The soil moisture content was measured by weighing method by collecting soil profile samples with a lightweight manual drill. The characteristics and desiccation effects of soil moisture in vertical profiles under different vegetation conditions (cherry forest, cultivated land, jujube forest and poplar forest) and wasteland in Yuci were studied. In addition, the availability of soil moisture and desiccation level under different vegetation conditions were evaluated. There were different levels of desiccation development in the five plantations, the poplar forest land showed the thickest dry layer (3.1 m), followed by jujube forest land (2.8 m), wasteland (2.1 m), cherry forest land (2.4 m) and cultivated land (1.5 m). The soil moisture was in the following order: cultivated land (14.53%) > cherry forest land (14.47%) > wasteland (10.70%) > jujube forest land (9.94%) > poplar forest land (8.10%). The cultivated land and cherry forest developed slightly dry layer, and the wasteland was mainly medium dry layer, but the jujube and poplar forest land developed the moderate and heavy dry layer. For the soil moisture availability,

收稿日期:2021-07-24

修回日期:2021-08-05

资助项目:山西省留学人员科研资助项目(2020-138);山西省高等学校哲学社会科学项目(2019W116);山西省哲学社会科学规划课题(2019B375;2020YY207);山西省高等学校科技创新项目(2019L0781)

第一作者:张鹏飞(1983—),男,山西柳林人,副教授,博士,研究方向:农业水资源。E-mail:zhangpf66@163.com

通信作者:赵景波(1953—),男,山东滕州人,教授,博士,研究方向:区域环境。E-mail:zhaobjb@snnu.edu.cn

the most of soil moisture in cultivated land and cherry forest land were low availability, soil moisture in wasteland was low availability and no availability, while jujube and poplar forest land were no availability. Except for poplar forest land, the soil moisture of the other plantations decreased first and then increased with the increasing of soil depth. The soil moisture of cherry forest and jujube forest showed a decreasing trend within 0—3 m, and increased rapidly within 3—5 m. The distribution pattern of soil moisture in cultivated land and wasteland also decreased first and then increased, with the lowest value of soil moisture in 2—2.5 m depth. The distribution pattern of soil moisture in poplar forest was stable at first and then decreased, the soil moisture remained stable between 0 m and 3.5 m, and decreased between 3.5 m and 5 m. In all vegetation conditions of Yuci District, the dry layer developed, and the soil moisture availability was low availability and no availability. In cherry forest and cultivated land, irrigation should be maintained and increased to prevent the dry layer development, and to improve the availability of soil moisture. The soil moisture of jujube and poplar forest land were seriously insufficient, in order to ensure the sustainable utilization of soil moisture and the normal water cycle in this region, jujube and poplar forests can improve the soil moisture utilization efficiency by decreasing density, pruning and proper irrigation.

Keywords: different vegetation types; soil desiccation level; soil moisture availability; distribution pattern of soil moisture; Yuci District of Shanxi Province

土壤水分直接影响植被对地下养分的吸收利用,是黄土区决定植被生产力的主要因素之一^[1]。土壤干层是土壤干燥化的主要表现形式,干层的发育会对植被造成不利影响^[2]。土壤干层是气候旱化和人工植被大量耗水的结果,是黄土高原半干旱半湿润条件下形成的一种土壤干燥化现象。有研究表明黄土高原人工林下土壤干燥化现象普遍存在^[3],从东南向西北随着降水量的减少,土壤干燥化强度也随之加重^[4]。另外,近年来全球气温升高,降水减少,蒸发加大,干旱程度更有所增加。俄有浩等^[5]认为随着全球气候变化,黄土高原光热资源将持续增加,降水量持续减少。表明该地区土壤干燥化程度将进一步发育强烈和扩大。

土壤水分受到降水、气温、蒸发、地形、植被等多种因素的影响,具有极强的区域性特征。前人对土壤干层进行了许多研究,但研究区域主要集中在黄土高原的西北部^[6],近年来南部地区的研究也逐渐增多^[7]。但是对地处黄土高原东部的榆次区土壤水分的研究几乎找不到。且以往关于土壤水分的研究主要集中在单一植被的土壤干燥化效应,例如柠条^[8]、苹果园^[9]、苜蓿等^[10]。而同时关注区域内主要植被类型的土壤干燥化的研究并不多见。

基于此本研究以山西省榆次区为例,选取该区域主要的 4 种植被(樱桃林、枣树林、杨树林、耕地)及撂荒地。通过测定各样地 0—5 m 间的土壤水分含量,揭示不同植被条件下土壤水分现状、水分有效性及干燥化效应,进而为该区域乃至汾河流域土壤水分良性循环及植被合理建设提供科学依据。

1 研究区概况

山西省榆次区(112°34′—113°84′E, 37°23′—37°54′N),位于晋中盆地东北侧,黄土高原东侧,晋陕盆地带北部,地处汾河中游。汾河为黄河流经山西的一级支流,是该地区的母亲河。研究区属于温带大陆性季风气候,夏季炎热多雨,冬季寒冷干燥。年均温为 9.8℃左右,年均降水量为 400~450 mm 左右。海拔为 800~830 m。采样时间为 2018 年 11 月下旬,当月上中旬共降水 3 次,均为小雨,采样前 11 d 未降水。研究点选择在榆次区近郊,距离汾河约 14 km。样地分别为樱桃林地、耕地、枣树林地、杨树林地和撂荒地。土壤质地为粉砂质壤土,粉粒、砂粒、黏粒含量均值分别为 59.17%,34.44%,6.4%。

2 研究方法

2.1 土壤样品采集与含水量测定

土壤样品使用轻型人力钻人工钻孔采集,采样深度为 5 m,向下每隔 10 cm 采样一次。部分剖面由于采到下层砾石面,故采样深度不达 5 m。为保证研究结果的可靠性,每种植被类型共选取 3 个土壤剖面来测定土壤含水量。3 个剖面间水平间距大于 20 m。所采样品分别用铝盒包装密封,并尽快带到实验室。各采样点基本情况见表 1。

本研究采取烘干称重法测定土壤含水量。利用高精度电子天平称得新鲜土样湿重。然后进行烘干,烘干温度为 105℃,烘干时间为 24 h,以确保土壤水分全部蒸发。再称得土壤干重。含水量计算式为:

$$Q=\frac{W_1-W_2}{W_2}\times 100\%$$

(1)

式中: Q 为土壤含水量(%); W_1 为湿土重量(g); W_2 为干土重(g)。

表 1 各采样点基本情况

| 树种 | 树高/m | 树龄/a | 胸径/cm | 植株间距/m | 树冠面积/m ² | 根深/m | 灌溉情况 |
|-----|-------|------|-------|--------|---------------------|------|-----------|
| 樱桃林 | 3~4 | 15 | 18~20 | 2~3 | 3.5~4 | 1 | 花期、果期每周一灌 |
| 枣树林 | 4~5 | 8 | 15~20 | 1.5~2 | 2.5~3 | 3 | 无灌溉 |
| 杨树林 | 10~15 | 12 | 15 | 2.5~3 | 5+ | 5+ | 无灌溉 |
| 耕地 | | | | | | 0.2 | 无雨水时灌溉 |
| 撂荒地 | | | | | | | 无灌溉 |

2.2 土壤水分有效性计算与分级

土壤水分有效性是指田间持水量与稳定凋萎湿度之间的土壤水分对植物有效的程度。刘增文等^[11]将土壤水分有效性分为 3 个等级:(1) 难效水,取值为稳定凋萎湿度到田间持水量的 60%;(2) 中效水,取值为田间持水量的 60%~80%;(3) 易效水,取值为田间持水量的 80%~100%。通过测定获知该地区土壤田间持水量为 28.3%,稳定凋萎湿度为 11.9%。

土壤水分有效性指数(A_w)用来表征植被利用土壤水分含量的程度。土壤水分有效性指数 A_w 值越大,表示土壤水分可被植被吸收利用的程度越大, A_w 值小于 0 时,则土壤水分不能被植被吸收。计算公式为:

$$A_w=\frac{\theta-\theta_w}{\theta_f-\theta_w}$$

(2)

式中: A_w 为土壤水分有效性指数(%); θ 为土壤实际水分含量(%); θ_w 为土壤稳定凋萎湿度(%); θ_f 为田间持水量(%)。结合本研究实际将该区土壤水分有效性划分为 5 个等级,见表 2。

表 2 土壤水分有效性分级

| 有效性 分级 | 土壤含水量 范围 | 土壤水分 有效性指数 |
|-----------|-------------------|---------------|
| 无效水 | <稳定凋萎湿度 | <11.9% |
| 难效水 | 稳定凋萎湿度~田间持水量的 60% | 11.9%~16.98% |
| 中效水 | 田间持水量的 60%~80% | 16.98%~22.64% |
| 易效水 | 田间持水量的 80%~100% | 22.64%~28.3% |
| 重力水 | >田间持水量 | >28.3% |

2.3 土壤干燥化强度评价方法

不同植被的土壤干燥化效应可使用土壤干燥化

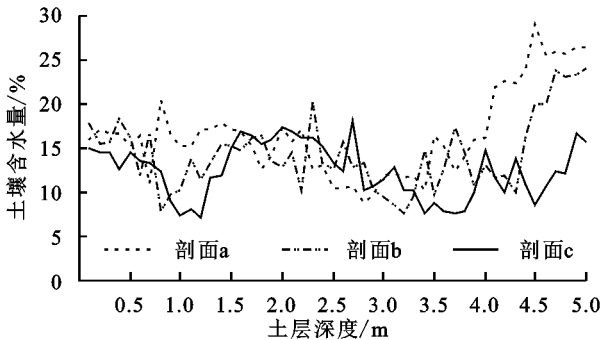


图 1 樱桃林地各剖面及平均土壤含水量

指数 S_{DI} (soil desiccation index) 来进行分析和对比^[12]。本研究采用王力等^[13]的观点,将土壤干层上限定为土壤稳定湿度,取值田间持水量的 60%,将该值以下的水分亏缺全部看作土壤干层的范围,其下限可达死亡湿度。土壤干燥化强度指数 S_{DI} 大小表示土壤干燥化程度,计算公式为:

$$S_{DI}=\frac{S_{SW}-S_M}{S_{SW}-S_W}\times 100\%$$

(3)

式中: S_{DI} 为土壤干燥化指数(%); S_{SM} 为土壤稳定湿度(%); S_M 为实际土壤湿度(%); S_W 为土壤稳定凋萎湿度(%)。根据 S_{DI} 数值将土壤干燥化强度划分为 6 个等级,见表 3。

表 3 土壤干燥化强度划分标准

| 土壤干燥化 指数 S_{DI} | 土壤干燥化 强度等级 | 土壤干燥化 指数 S_{DI} | 土壤干燥化 强度等级 |
|-------------------------|---------------|------------------------|---------------|
| $S_{DI}\geq 100\%$ | 极度干燥化 | $25\%\leq S_{DI}<50\%$ | 中度干燥化 |
| $75\%\leq S_{DI}<100\%$ | 强烈干燥化 | $0\leq S_{DI}<25\%$ | 轻度干燥化 |
| $50\%\leq S_{DI}<75\%$ | 严重干燥化 | $S_{DI}<0$ | 无干燥化 |

3 结果与分析

3.1 土壤水分含量

根据各样地土壤含水量的测定结果可知,樱桃林地(图 1)土壤含水量变化范围在 10.19%~22.11%,平均含水量为 14.47%。含水量自上而下可分为 3 层。第 1 层为 0—1.5 m,含水量随深度增加先降低后上升;第 2 层为 1.6—3 m,含水量波动降低,在 3 m 左右出现最低值(9.85%);第 3 层为 3.1—5 m,含水量随深度增加呈迅速上升趋势,达到最大值(22.14%)。

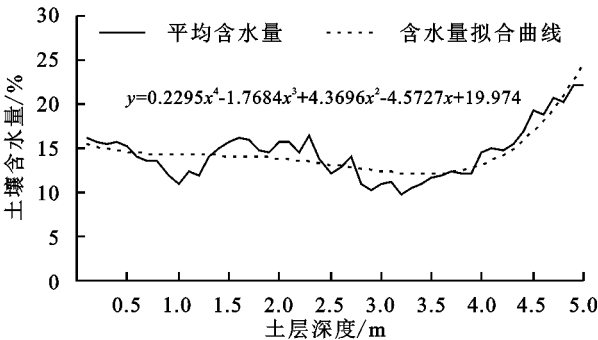


图 1 樱桃林地各剖面及平均土壤含水量

撂荒地(图 2)土壤含水量变化范围在 6.86%~15.49%,平均含水量为 10.70%。含水量自上而下可分为 2 层。

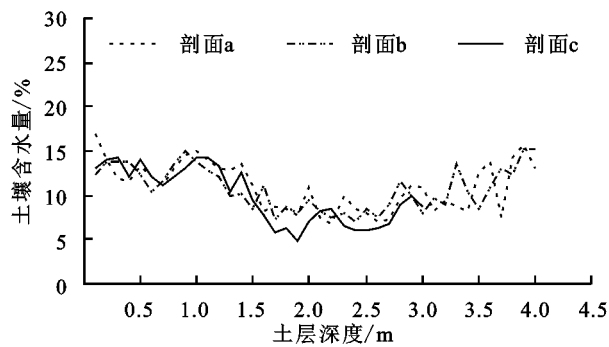


图 2 撂荒地各剖面与平均土壤含水量曲线

耕地(图 3)土壤含水量变化范围在 8.32%~23.75%,平均含水量为 14.53%。含水量自上而下可分为 2 层。第 1 层为 0—2 m,含水量随深度增加波动下降,到 2 m 处达到最低值(8.32%);第 2 层为 2—4 m,含水量随深度增加而波动上升至最大值(23.75%)。

枣树林地(图 4)土壤含水量变化范围在 6.09%~17.89%,平均含水量为 9.94%。含水量变化自上而下可分为 3 层。第 1 层为 0—1.5 m,含水量波动较大,总体先增后减;第 2 层为 1.6—3.5 m,含水量总体

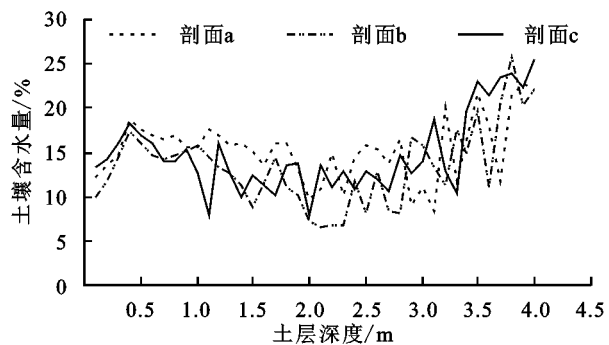


图 3 耕地各剖面与平均土壤含水量

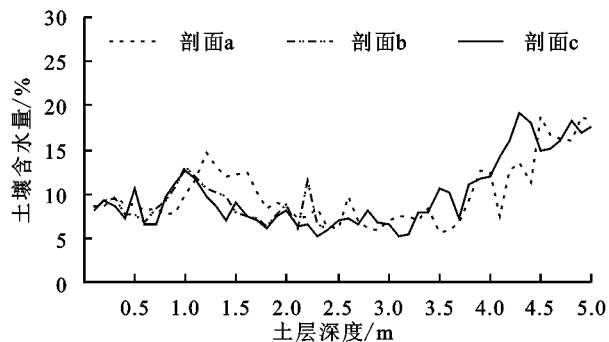
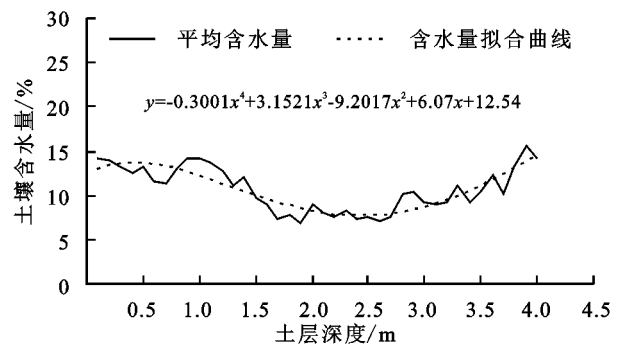


图 4 枣树林地各剖面与平均土壤含水量曲线

3.2 土壤水分有效性

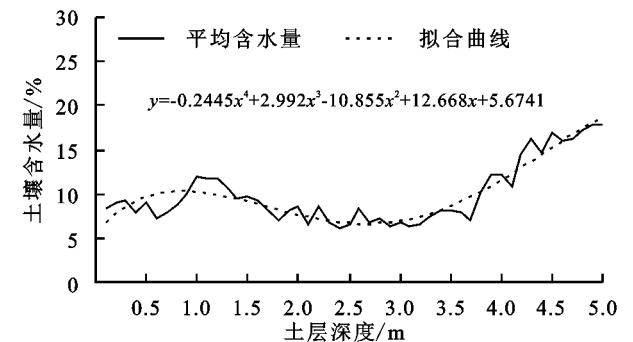
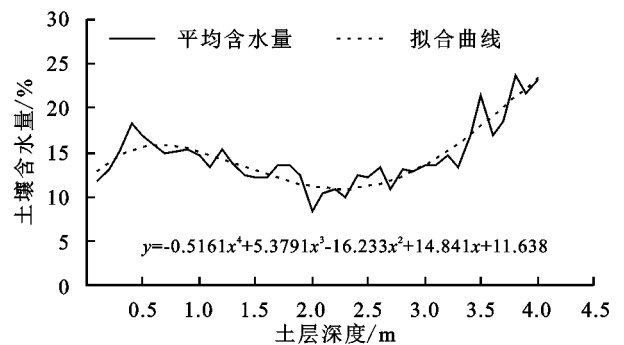
不同植被水分有效性指数(A_w)具有明显差异(表 4),在 0—4 m 内樱桃林地(0.09%)和耕地(0.16%)土壤水分有效性指数差异不大,但明显高于撂荒地(-0.07)、枣树林地(-0.21)和杨树林地

第 1 层为 0—2 m,含水量随深度增加波动下降,到 2 m 附近达到最低值(6.86%);第 2 层为 2.1—4 m,含水量随深度增加波动上升。



较低,是该采样点最为干旱的土层,平均含水量仅为 7.36%;第 3 层 3.6—5 m,含水量随深度增加而波动上升至最大值(17.89%)。

杨树林地(图 5)土壤含水量变化范围在 5.15%~11%,平均含水量为 8.10%。含水量变化自上而下可分为 2 层。第 1 层为 0—3 m,含水量变化趋势不明显,平均含水量为 8.54%;第 2 层 3—5 m,含水量随深度增加呈下降趋势,从 4.8 m 开始含水量略有回升,含水量最低仅有 5.15%。



(-0.20),后三者土壤水分基本为无效水。各植被在浅层土壤 0—2 m 中,含水量几乎都在土壤稳定湿度(16.98%)以下,其中杨树和枣树林地含水量在稳定凋萎湿度(11.9%)以下,均属于无效水或难效水;在中层土壤 2—4 m 中,枣树林、杨树林和撂荒地土壤

水分都未达到稳定凋萎湿度,均属于无效水;耕地和樱桃林地水分则主要在稳定凋萎湿度以上,为难效水;在深层土壤 4—5 m 处,除杨树外,其余植被土壤水分均高于稳定凋萎湿度,水分有效性也不再是

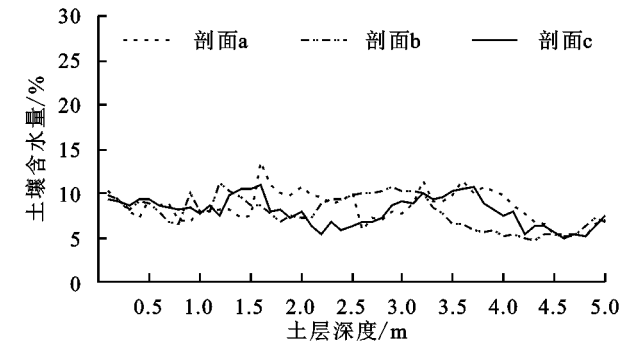


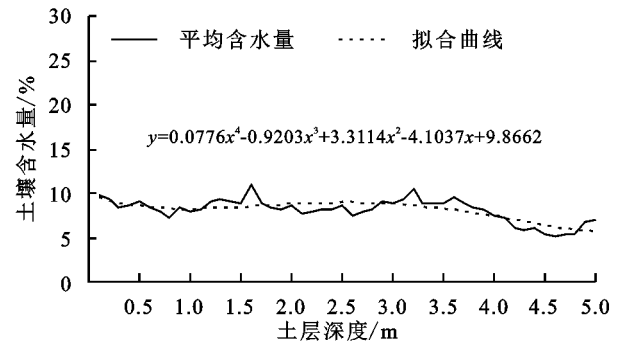
图 5 杨树林地各剖面与平均土壤含水量曲线

| 表 4 不同植被土壤水分有效性指标 | | | | | |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 土层深度/m | 樱桃林地 | 撂荒地 | 耕地 | 枣树林地 | 杨树林地 |
| 0—0.5 | 0.23 | 0.09 | 0.19 | −0.19 | −0.18 |
| 0.6—1 | 0.05 | 0.06 | 0.21 | −0.17 | −0.24 |
| 1—1.5 | 0.12 | 0.00 | 0.09 | −0.08 | −0.18 |
| 1.6—2 | 0.22 | −0.24 | 0.01 | −0.23 | −0.18 |
| 2—2.5 | 0.16 | −0.26 | −0.05 | −0.31 | −0.23 |
| 2.5—3 | −0.01 | −0.19 | 0.05 | −0.29 | −0.22 |
| 3—3.5 | −0.07 | −0.13 | 0.25 | −0.28 | −0.16 |
| 3.5—4 | 0.05 | 0.07 | 0.55 | −0.12 | −0.21 |
| 4—4.5 | 0.27 | | | 0.16 | −0.35 |
| 4.5—5 | 0.54 | | | 0.31 | −0.36 |
| 0—4 m 平均 | 0.09 | −0.07 | 0.16 | −0.21 | −0.20 |

3.3 土壤干燥化程度

陈洪松等^[14]认为,土壤干层是指以植被过度蒸

无效水。不同植被条件下土壤水分有效性差异表现为:除 1—3 m 土层不明显外,其余土层土壤水分有效性均表现为耕地>樱桃林地>撂荒地>枣树林地>杨树林地。



腾耗水所导致土壤水分相对持久性的“地区型干层”或“蒸发型干层”。在黄土高原区域,浅表层土壤水分亏缺容易得到降雨补给,降雨对土壤水分的补给深度一般为 1—2 m^[15],结合本研究实际情况,重点关注 2—5 m 深层土壤干燥化情况。

干燥化指标结果显示(表 5),不同植被土壤均出现不同程度的土壤干燥化。其中耕地(42.05%)和樱桃林地(48.42%)干燥化强度较轻(中度干燥化)且干层厚度较薄。

其余 3 种植被干燥化强度均属于极度干燥化,干层发育厚度也较深,土壤干燥化指数分别为撂荒地 140.85%、枣树林 129.49%和杨树林地 181.96%。干燥化层度从小到大依次为:耕地<樱桃林地<枣树林地<撂荒地<杨树林地。

表 5 不同植被类型深层(2—5 m)土壤干燥化指标

| 植被类型 | 平均干燥化指数/% | 土壤干燥化强度 | 极度干燥层/m | 强烈以上干燥层/m | 严重以上干燥层/m | 中度以上干燥层/m | 轻度以上干燥层/m | 土壤干层/m |
|------|-----------|---------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------|
| 樱桃林 | 48.42 | 中度干燥化 | 0.9 | 0.5 | 0.2 | 0.5 | 0.3 | 2.4 |
| 撂荒地 | 140.85 | 极度干燥化 | 1.7 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0 | 2.1+ |
| 耕地 | 42.05 | 中度干燥化 | 0.5 | 0.4 | 0.4 | 0.1 | 0.1 | 1.5 |
| 枣树林 | 129.49 | 极度干燥化 | 2.0 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.4 | 2.8 |
| 杨树林 | 181.96 | 极度干燥化 | 3.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.1+ |

本文结合王力等^[13]的结论将干层划分为 3 个等级:含水量低于 8%为重度干层;含水量在 8%~12%为中度干层;含水量在 12%~16%为轻度干层(图 6)。耕地在 2—2.5 m 为中度干层发育,2.5—3.4 m 为轻度干层,3.4—4 m 无干层发育;杨树林地 2—4 m 为中度干层发育,4—5 m 为重度干层发育;枣树林地主要在 2—3.7 m 发育了重度干层;撂荒地在 2—3.7 m 发育了中度干层;樱桃林地以轻度干层发育为主。不同植被类型土壤干层发育程度从弱到强依次为:耕地<樱桃林地<撂荒地<枣树林地<杨树林地。

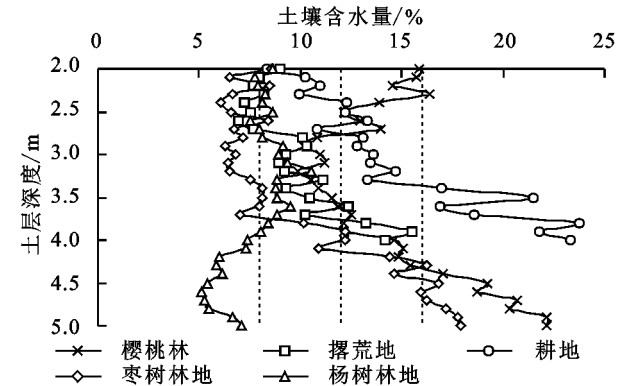


图 6 不同植被土壤剖面 2—5 m 干层分级

4 讨论

4.1 土壤水分有效性差异成因

土壤水分有效性与蒸散(包括地面蒸发和植被蒸腾等)、降水、灌溉、植被类型、植被根系吸水情况等因素密切相关^[11]。另外,植被吸取土壤水分空间大小由植被根系的分布特征决定,植被根系分布的深度可作为其消耗土壤水分深度的参考指标^[16]。该研究植被类型不同,根系吸水情况、植被蒸腾情况、以及所存在的灌溉条件的不同,导致各植被下土壤水分有效性存在差异,土层出现不同程度的水分亏损。

枣树耐旱,叶小稀疏,蒸腾量少^[17],抗旱能力强,几乎无人工灌溉,所需水分只能吸取有限的大气降水及土壤水分。枣树林地土壤在垂直方向上0—0.7 m和2—3.5 m两个深度内含水量明显较少,其中0—0.7 m的土壤水分以地面杂草消耗及地表蒸发为主。而2—3.5 m则是枣树根系发达深度,也是枣树耗水深度,在这一深度土壤水分含量达到最低值(7.36%)。因此枣树林地土壤中有根系分布的深度水分有效性整体较弱。在0—4 m均处于无效水状态,而在4 m以下,无根系吸水,土壤水分含量逐渐恢复呈现上升趋势。

杨树喜光,耐干旱气候,属深根性树种,根系深且发达,吸收能力和固土能力强。但杨树为强耗水树种,蒸腾作用极大,对土壤水分需求量大^[18]。杨树生长会抑制和排斥原生树种,故杨树林地杂草灌木很少。因此0—5 m几乎全部为杨树根系吸水深度,整体耗水量较大,也无灌溉。其土层均为无效水。

撂荒地作为对照,地表无植被蒸腾,土层中也几乎无吸水根系。因此土层剖面整体水分也较前两者多,同样没有灌溉条件,土层基本为无效水与难效水。说明该地区土层在自然条件下2 m以下已经出现固定干层。

樱桃树属喜水、抗旱能力差树种,其叶片大,蒸腾作用强,所需较多水分供应,其适合生长在600~800 mm降水地区^[19]。因此,榆次区降水量明显达不到要求,为了保证产量,樱桃林地除了大气降水外,还需靠人工灌溉来补充水分。且樱桃林生长茂盛,盖度大,灌溉水量和频率多,因此樱桃林地土层剖面整体含水量较高,主要为难效水和中效水。

耕地采样时已为深秋,农作物收获完毕,地表被人为扰动,裸露土壤表面积增大使得表层土壤蒸发加剧,因此耕地在地表0.5 m内随深度增加水分逐渐增加。在长期浇灌的影响下,耕地土壤水分有效性最高,以难效水和中效水为主。

4.2 土壤干层发育过程

该区土壤干层的发育,一方面由黄土高原地区气

候干旱造成。近年来,黄土高原气候总体出现暖干化趋势。该区干层可能在未来分布范围更广。另一方面也与当地植被资源特性以及植被类型选择不当、群落密度过大及生产力过高等人为因素密切相关。

人为因素对干层的形成及发育具有很大的影响。其一,在该区建设人工林时,引进不适宜的树种会造成原生植被和降水之间的动态平衡。其二,植物群落的生产力及其对水分的消耗量与植被密度有关,高密度种植导致高水分消耗,最终造成干层。其三,由于黄土高原地区“低降水、高蒸发”的气候特点,在退耕还林过程中选择抗旱性强的树种,这些树种往往根系较深,具有较强的吸水能力尤其是对深层土壤水消耗巨大,进而加剧土壤干燥化^[20]。

对照撂荒地土层,4种不同植被土壤含水量差异明显。在黄土高原本就干旱的气候条件下,易形成潜在土壤干层,杨树根系兼具水平和垂直发育特征,叶片数量密集且面积大,蒸腾作用强烈,因此对深层土壤水分的吸收剧烈,导致了中度和重度的土壤干层。另外,杨树对该区原生植被的抑制作用破坏了群落系统及土壤环境。枣树对土壤水分的吸收虽没有杨树强烈,但在开花坐果期需要大量水分,土壤水分依然不够供给。另外,该区枣树植株间距仅为1.5—2 m,植株过密,单位土壤水分供给压力大,使得土壤在根系深度出现重度干层。樱桃林地和耕地在有充足的人工灌溉的条件下,土层含水量远高于撂荒地,在2—4 m深度仅有部分土层发育轻度干层。在持续灌溉下,出现的局部干层也很容易恢复。

综上,该地区土壤干层的发育主要是因为气候干旱和植被选择不当、群落密度过高等,并且没有及时的灌溉补充造成土壤水分过度消耗,导致深层土壤水分亏缺。

4.3 水分有效性提升与土壤干层恢复

随着黄土高原退耕还林、还草等工程逐步实施并取得显著成效,同时土壤干层也逐渐加剧,造成现有植被水分生态条件的恶化,使耗水量高、蒸散量大的乔木植被出现了干支、黄叶、枯萎等衰退现象。

调节该区土壤水分亏缺可以采取两方面的途径:一是改善土壤水分条件,适时采取灌溉补给土壤水分^[21];二是降低土壤水分支出,减少植被量及植被蒸腾耗水。对于该区枣树等经济林:(1)应根据土壤水分承载力适当疏减树林植株密度,缓解土壤供水压力,提高树木个体对土壤水分的吸收率;(2)可对枣树木根部进行滴灌。这样可减少地表水分蒸发从而使水分得到高效利用,提高经济果林的产量;(3)结合区域实际对枣树进行节水型修剪^[22],以减少树

体对水分的过度消耗,增加土壤储水量;(4)改良枣树对耐旱省水高产品种,从而在保证经济效益的同时兼顾生态效益。

杨树等耗水巨大的树种在该区大规模或长时间种植必然会引起土壤含水量的负平衡,因此在该区要实现可持续发展的生态建设,需充分考虑植被与土壤水分的适宜状况。该研究点杨树林地的土壤部分已发育重度干层,说明在该区不适宜大范围营造杨树林,对于耗水量巨大的林种:(1)应注意结合当地土壤水分条件,调整并形成合理合适的土地利用结构,合理选择节水树种,避免或减轻土壤干化,维持较高的植被稳定性;(2)合理设计林分结构,增大植株间距,减小造林密度,逐渐改善土壤水分条件。

5 结论

(1) 该区各植被中除杨树林地外,土壤水分含量均随土层深度增加先减后增。其中樱桃林地和枣树林地土壤水分均在0—3 m内呈递减趋势,3—5 m土壤水分迅速升高。耕地和撂荒地土壤水分分布模式相近,土壤含水量先减后增,均在2—2.5 m深度土层为含水量低值拐点。杨树林地土壤水分在0—3.5 m保持平稳,3.5—5 m水分呈下降趋势。

(2) 该区各植被均有不同程度干层发育,枣树林地与杨树林地发育了中重度干层,撂荒地发育了中度干层,樱桃林地与耕地发育了轻度干层。干层厚度从大到小依此为:杨树林(3.1 m/5 m) > 枣树林地(2.8 m/5 m) > 撂荒地(2.1 m/4 m) > 樱桃林地(2.4 m/5 m) > 耕地(1.5 m/4 m)。

(3) 该区各植被土壤水分有效性较差,杨树林地各土层均为无效水,枣树林地以无效水为主,撂荒地以无效水与难效水为主,耕地和樱桃林地受灌溉补给,以难效水与中效水为主。土壤水分有效性表现为耕地 > 樱桃林地 > 撂荒地 > 枣树林地 > 杨树林地。

(4) 该区枣树和杨树林地亟需通过有效措施来改善土壤水分亏缺现状。樱桃林地和耕地应持续及加大灌溉量以防止土壤水分条件恶化。

参考文献:

- [1] 张永旺,王俊,屈亚潭,等.黄土高原植被恢复过程中土壤水分有效性评价[J].灌溉排水学报,2020,39(6):79-85.
- [2] Liu W, Zhang X C, Dang T, et al. Soil water dynamics and deep soil recharge in a record wet year in the southern Loess Plateau of China[J]. Agricultural Water Management, 2010, 97(8): 1133-1138.
- [3] Chen H, Shao M, Li Y. Soil desiccation in the Loess

Plateau of China[J]. Geoderma, 2008, 143(1/2): 91-100.

- [4] 易亮,李凯荣,张冠华,等.黄土高原人工林地土壤水分亏缺研究[J].西北林学院学报,2009,25(4):5-9.
- [5] 俄有浩,施茜,马玉平,等.未来10年黄土高原气候变化对农业和生态环境的影响[J].生态学报,2011,31(19): 5542-5552.
- [6] Huang M, Gallichand J. Use of the shaw model to assess soil water recovery after apple trees in the gully region of the Loess Plateau, China[J]. Agricultural Water Management, 2006, 85(1/2): 67-76.
- [7] 黄明斌,杨新民,李玉山.黄土区渭北旱塬苹果基地对区域水循环的影响[J].地理学报,2001,5(1):7-13.
- [8] 梁海斌,史建伟,李宗善,等.晋西北黄土丘陵区不同林龄柠条林地土壤干燥化效应[J].水土保持研究,2018,25(2):87-93.
- [9] 郭正,李军,张玉娇,等.黄土高原不同降水量区旱作苹果园地水分生产力和土壤干燥化效应模拟与比较[J].自然资源学报,2016,31(1):135-150.
- [10] 谢军红,柴强,张仁陟,等.黄土高原区多年生苜蓿地土壤干层恢复的适宜后茬筛选[J].水土保持学报,2014, 28(5):51-57.
- [11] 刘增文,王佑民.人工油松林蒸腾耗水及林地水分动态特征的研究[J].水土保持通报,1990,10(6):78-84.
- [12] Zhang J, Wang L. The impact of land use on water loss and soil desiccation in the soil profile[J]. Hydrogeology Journal, 2018, 26(1): 185-196.
- [13] 王力,邵明安,侯庆春.土壤干层量化指标初探[J].水土保持学报,2000,14(4):87-90.
- [14] 陈洪松,王克林,邵明安.黄土区人工林草植被深层土壤干燥化研究进展[J].林业科学,2005,41(4):155-161.
- [15] 孙长忠,黄宝龙.黄土高原“林分自创性”有效水分供给体系的研究[J].生态学报,1999,19(5):614-621.
- [16] 王志强,刘宝元,张岩.不同植被类型对厚层黄土剖面水分含量的影响[J].地理学报,2008,63(7):703-713.
- [17] 李宏,郭光华,李丕军,等.枣树根系空间分布规律研究[J].河南农业科学,2013,42(7):97-102.
- [18] 席本野,贾黎明,刘寅,等.宽窄行栽植模式下三倍体毛白杨吸水根系的分布与模拟[J].浙江林学院学报,2010,27(2):259-265.
- [19] 于淑华,于新刚.大樱桃的特性及栽培技术要点[J].中国果菜,2012(8):18-19.
- [20] 赵忠,李鹏.渭北黄土高原主要造林树种根系分布特征及抗旱性研究[J].水土保持学报,2002,16(1):96-99.
- [21] 田璐,张敬晓,高建恩,等.深层干化土壤水分恢复试验研究[J].农业机械学报,2019,50(4):255-262.
- [22] 张文飞,汪星,汪有科,等.黄土丘陵区深层干化土壤中节水型修剪枣树生长及耗水[J].农业工程学报,2017, 33(7):140-148.