

黄土丘陵区不同土地利用方式土壤水分变化特征

杜康, 张北赢

(江苏师范大学 地理测绘与城乡规划学院, 江苏 徐州 221116)

摘要:为了探讨黄土丘陵区不同土地利用方式土壤水分的时空变化特征,合理规划土地利用方式与土壤水资源。选择陕西省延安市安塞县墩山上梯田、草地、刺槐林、沙棘灌丛 4 种土地利用方式,采用土钻法在 2019 年 5 月、7 月、8 月和 10 月监测了土壤水分。结果表明:4 种土地利用方式的土壤含水量表现为明显的时间特征,存在滞后效应;0—300 cm 深度平均土壤含水量大小表现为梯田>草地>沙棘灌丛>刺槐林;随土层深度的增加土壤含水量的季节变异系数均逐渐减小,季节变异系数在 100 cm 以下的土壤深层趋于稳定;土壤含水量由表土层到深土层上为“S”形,含水量先增大后减小,垂直变化特征明显;土壤水分变化相似性表现为梯田>沙棘灌丛>草地>刺槐林。刺槐林和沙棘灌丛需要消耗更多深层土壤水分,容易出现土壤干燥化;梯田和草地的土壤水分条件较好,梯田对土壤水分的调控作用较好,土壤水分在垂直方向上的变化较为平缓。

关键词:土壤水分;土地利用方式;土壤含水量;黄土丘陵区

中图分类号:S152.7

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2020)06-0072-05

Characteristics of Soil Moisture Variation in Different Types of Land Uses in the Loess Hilly Region

DU Kang, ZHANG Beiying

(School of Geography, Geomatics and Planning, Jiangsu Normal University, Xuzhou, Jiangsu 221116, China)

Abstract: In order to explore the temporal and spatial dynamics of soil moisture in different types of land use in the loess hilly region, plan land use type and soil water resources reasonably, four land use types (terrace, grassland, *Robinia pseudoacacia* forest, *Hippophae rhamnoides* scrubland) in Dunshan Mountain, Ansai County of Yan'an City, Shaanxi Province were selected. Soil moisture was monitored in May, July, August and October of 2019 by soil drilling method. The results showed that: the soil water contents of the four land use patterns presented the obvious temporal characteristics, and there was lag effect; the average soil water contents of 0—300 cm depth decreased in the order: terrace>grassland>*Hippophae rhamnoides* scrubland>*Robinia pseudoacacia* forest; with the increase of soil depth, the seasonal variation coefficient of soil moisture decreased gradually, and the soil depth with the seasonal variation less than 100 cm tended to be stable; the soil moisture content was S-shaped from the surface soil layer to the deep soil layer; the water content first increased and then decreased, and the vertical change characteristics were obvious. The similarity of soil water change decreased in the order of: terrace>*Hippophae rhamnoides* scrubland>grassland>*Robinia pseudoacacia* forest; *Robinia pseudoacacia* forest and *Hippophae rhamnoides* shrub consumed more deep soil water, which was prone to soil drying; terrace and grassland had better soil water conditions, terrace had a good control effect on soil moisture, and soil moisture changed gently in the vertical direction.

Keywords: soil moisture; land use type; soil water content; loess hilly region

土壤水分是水循环重要的一个环节,对植物生长、生态环境建设以及水资源的有效利用有着重要影响^[1]。黄土丘陵区生态环境脆弱,土壤水分是制约植

物生长和生态恢复的主要因子^[2]。经过 20 年退耕还林还草,黄土丘陵区产生了多种土地利用方式,多种土地利用方式对土壤水分产生了影响^[3]。近年来,研

收稿日期:2020-02-19

修回日期:2020-03-02

资助项目:国家自然科学基金“黄土丘陵区深剖面土壤水分特征及其补给地下水过程研究”(41701025);江苏师范大学研究生科研创新计划项目“黄土丘陵区典型小流域水分循环特征分析”(2019XKT070)

第一作者:杜康(1994—),男,江苏徐州人,硕士研究生,研究方向为生态水文。E-mail:dukang94@163.com

通信作者:张北赢(1981—),女,甘肃兰州人,博士,副教授,研究方向为生态水文及土壤水分转化。E-mail:zhangbeiying@163.com

究人员对黄土丘陵区的土壤水分做了许多试验研究^[4-8]。赵传普等^[9]通过对黄土丘陵区延安燕沟流域不同植被类型 0—200 cm 土层土壤水分特征的分析研究,得到不同植被类型对土壤水环境分异规律的影响。唐敏等^[10]在 2014—2015 年生长季(5—10 月),利用自动监测装置长期连续测定 4 种土地利用类型 0—160 cm 土层的含水量,得到不同土地利用类型上的土壤水分特征。张敏等^[11]在黄土丘陵缓坡风沙区通过 TDR 监测 0—100 cm 土层的含水量,研究了不同土地利用类型土壤水分的变化。马婧怡等^[12]通过试验得到晋西北黄土丘陵区不同土地利用方式下 0—300 cm 土层含水量,发现不同土地利用方式对各土层土壤水分影响不同。张北赢等^[13]利用灰色关联方法,分析了黄土丘陵区不同土地利用方式下各土层土壤水分状况,掌握各土层间的关联相似性。

许多学者从不同方面对土壤水分进行了大量研究,但针对黄土丘陵区乔、灌、草、农不同土地里利用方式结合起来的深层土壤水分研究相对较少。本研究以典型黄土丘陵区安塞县墩山梯田、草地、刺槐林(*Robinia pseudoacacia*)和沙棘(*Hippophae rhamnoides*)灌丛作为研究对象,分析 0—300 cm 土壤水分的时间变化。运用灰色关联度分析不同土层土壤水分的变化相似性,得到土壤水分的垂直变化特征。利用变异系数分析季节变异程度的分层特征,以期为黄土丘陵区水资源高效利用和土地利用配置方式提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于陕西省延安市安塞县县城西侧墩山(图 1),地貌类型属于典型黄土丘陵沟壑区,研究区坐标为 109°18′02″—109°19′30″E,36°50′36″—36°51′50″N,平均海拔为 1 068~1 309 m。气候类型为暖温带大陆性气候,年平均气温为 8.8℃,≥10℃的积温为 3 114℃,无霜期为 143~174 d。多年平均降水量为 500 mm,降水集中在 7—9 月,干燥度为 1.48。在土壤类型上为黄绵土与沙黄土交错区,以黄绵土为主。植被类型为森林与草原过渡带。

1.2 试验设计

本研究以黄土丘陵区具有代表性的 4 种土地利用方式为研究对象,选取谷糜梯田、刺槐林、沙棘灌丛、草地作为研究样地。草地植物种类主要有:野西瓜苗(*Hibiscus trionum* Linn.)、茵陈蒿(*Artemisia capillaris* Thunb.)、小蓟(*Cirsium setosum*)、苦荬菜(*Ixeris polycephala* Cass.)、杠柳(*Periploca sepium* Bunge)等。样地的地理位置见图 1。采用土钻法于

2019 年 5 月、7 月、8 月、10 月的中旬分别测定一次各样地的土壤含水量。每次打 0—300 cm 的土钻,在 0—100 cm 土层每 10 cm 取一次样装入铝盒,在 100—300 cm 土层每 20 cm 取一次样装入铝盒,把装有土样的铝盒带回台站实验室,采用经典烘干法测定各土壤样品的含水量。另外,在沙棘灌丛附近平整的空地上放置雨量筒测定降水量。

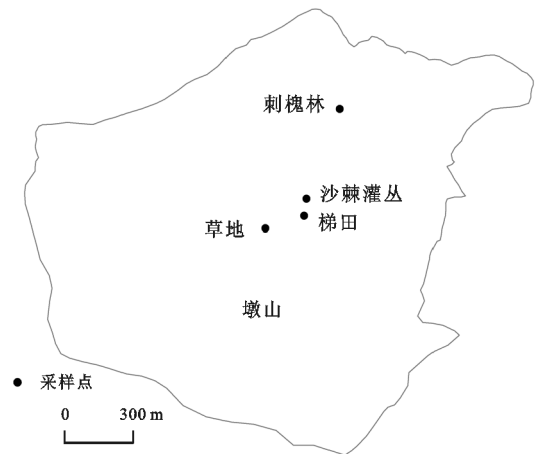


图 1 研究区地理位置及采样点分布

1.3 灰色关联分析

灰色关联法是依照要素之间相似或相异程度,也就是灰色关联度来比较要素之间关联大小的一种方法^[13]。要素之间灰色关联度较小,表明之间关联性较小;反之,则较大。灰色关联度对样本数量没有严格要求,计算结果与定性分析的结果相对接近。

1.4 数据处理

土壤质量含水量(W)的计算公式为:

$$W = (W_2 - W_3) / (W_3 - W_1) \times 100\%$$

式中: W_1 为铝盒重量(g); W_2 为湿土重加铝盒重量(g); W_3 为干土重加铝盒重量(g)。

研究采用 SPSS 19.0 软件计算含水量变异系数、差异显著性、相关性等指标分析不同土地利用方式土壤水分季节变化规律和垂直空间变化特征,使用 Excel 和 Origin 8 进行统计分析与制图。

2 结果与分析

2.1 土壤水分时间变化特征

由表 1 可知,在 2019 年 5 月、7 月、8 月、10 月对研究区梯田、草地、刺槐林、沙棘灌丛 0—300 cm 土层土壤水分采样测试得到,4 种土地利用方式梯田的平均土壤含水量最大,其土壤水明显好于草地、刺槐林和沙棘灌丛,说明农作物耗水明显小于草地、刺槐和沙棘,平均土壤含水量呈现梯田>草地>沙棘灌丛>刺槐林。运用单因素方差分析得到,4 种土地利用方式与土壤水分的关系具有极显著差异($p < 0.01$)。

表 1 不同土地利用方式土壤含水量差异 %

土地利用方式	最小土壤含水量	最大土壤含水量	平均值±标准差	变异系数
梯田	10.50	13.57	12.19±1.60	13.13
草地	9.35	14.44	11.38±2.29	20.14
刺槐林	4.03	8.06	6.56±1.79	27.22
沙棘灌丛	7.17	11.05	9.22±1.95	21.14

不同土地利用方式 0—300 cm 土层土壤平均含水量具有明显的季节变化特征(图 2),总体上 10 月份土壤含水量大于 5 月份土壤含水量,梯田和沙棘灌丛 10 月份的土壤含水量为最大值,草地 8 月份的土壤含水量为最大值,刺槐林 7 月份的土壤含水量为最大值。不同土地利用方式之间含水量变化有所不同,这是因为在降水量相同的条件下,不同土地利用方式的植物蒸腾、消耗和土壤蒸发不同^[11]。5 月份,降水量偏少导致 4 种土地利用方式土壤含水量的最低值均在 5 月份,其中刺槐林的土壤含水量最低,是由于刺槐萌芽开花期较其他植被早,蒸腾及根部耗水使的土壤水分偏低。5—7 月份随着进入雨季,各土地利用方式土壤水分缓慢增加,7 月份降水量最大,而梯田、草地、沙棘灌丛的土壤水分较高时段是在 8 月份,这是由于土壤水分的滞后效应;7—8 月份土壤水分变化较为剧烈,梯田、草地、沙棘灌丛土壤水分快速增加,刺槐林土壤水分与降水同步减少,是因为刺槐林生长进入旺季,蒸腾量和土壤水分蒸散量较其他 3 种土地利用方式大。8—10 月份,植物进入休眠期,使得植物本身需水量降低,加之温度降低,植物蒸腾耗水和土壤蒸发的土壤水分减少,造成梯田、刺槐林、沙棘灌丛土壤水分继续缓慢增加^[14],而草地、野西瓜(*Hibiscus trionum* Linn.)、茵陈蒿(*Artemisia capillaris* Thunb.) (7—10 月)开花结果较其他 3 种土地利用方式上的植被晚,土壤水分呈现随降水量减少而减小的趋势。

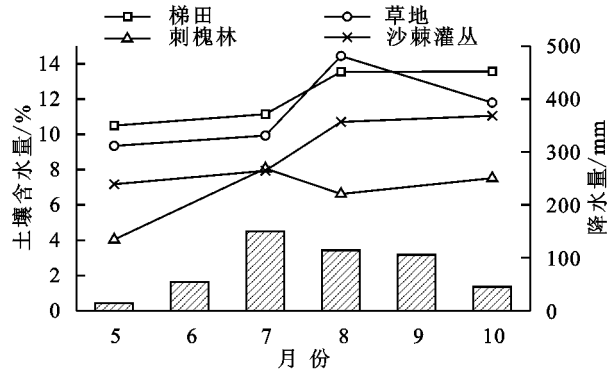


图 2 不同土地利用方式土壤含水量与降水量的月动态

2.2 土壤水分垂直变化特征

研究区 4 种土地利用方式在 5 月、7 月、8 月、10 月土壤水分的垂直变化特征见图 3。总体上,4 种土地利用方式土壤水分的垂直变化基本类同,土壤含水

量都是由表土层到深土层上为“S”形,土壤含水量都是先增大后减小,从土壤含水量的变化程度上看 0—100 cm 土层明显大于 100—300 cm 土层,这与以往的研究结果基本一致^[12]。降水对 0—100 cm 浅层土壤水分含量影响较大,土壤水分的波动较大,土壤孔隙在 100 cm 以下变小,水分入渗能力下降,导致土壤水分保持在稳定状态。

梯田 4 个月份土壤含水量的变化轨迹相同,各月份的土壤含水量在 0—140 cm 土层变化较大,且土壤水分随深度的增加先增加后快速减小,土壤水分在 140—300 cm 土层稳定在较高水平。草地 4 个月份的土壤含水量垂直变化基本相同,在 0—300 cm 土层上部土壤含水量随时间变化明显,下部土壤含水量随时间变化较弱,在 0—200 cm 土层范围内,土壤含水量随深度的增加先增大后减小,在 200—300 cm 土层稳定在 10% 左右。刺槐林土壤含水量在雨季的 7 月、8 月、10 月表现为 0—120 cm 土层变化剧烈,120—300 cm 土层保持在极低水平,雨季还未展开的 5 月份,除表层外土壤水分均处于最低值。沙棘灌丛的土壤含水量在 0—180 cm 土层变化较大,含水量随剖面的变深表现为先增大后减小,在 180—300 cm 土层上稳定且为较低值。相对于梯田草地,刺槐林和沙棘灌丛的稳定层范围较大且土壤水含水量稳定在较低水平。这主要是由于,刺槐林和沙棘灌丛的根系较为发达、有较多的根系生物量,因而根系消耗水量较大^[15],使得垂直剖面土壤水分减小,土壤含水量稳定在较低水平。

2.3 不同深度土壤水分季节变异程度

由图 4 可知,4 种土地利用方式的土壤水分季节变异系数都是在土壤表层较高,之后虽有小幅波动,但都保持着逐渐减小的趋势,土壤水分季节变异系数的最低值在土壤深层。这一点与以往黄土丘陵区的研究结果相印证^[12]。

梯田在 0—10 cm 土层变异系数(CV)为最大值,在 0—60 cm 土层逐渐降低,在 60—90 cm 土层有小幅上升,之后继续减小并在 220—300 cm 土层趋于稳定。草地的季节变异系数在 0—10 cm 土层出现最大值,在 20—100 cm 土层一直是较高数值,在 100—200 cm 土层持续降低,最终在 200—300 cm 土层范围内趋于平稳。刺槐林浅层与深层的土壤水分季节变异系数值相差较大,土壤变异系数在 40—50 cm 土层出现最大值,土壤水分季节变异系数在 50—120 cm 土层减小,土壤水分季节变异系数在 120—300 cm 土层保持在较低数值,深层土壤含水量稳定在 4% 附近。沙棘灌丛与其他 3 种土地利用方式有明显不同,沙棘灌丛土壤水分季节变异系数在 100—120 cm 土层出现最大值,浅层的变

异系数有很小波动变化,但数值均较大,在 120—180 cm 土层 CV 值急剧减小,最终稳定在土壤深层。降水、温度、蒸发等因素对土壤表层含水量有明显影响,

含水量波动较大。随着垂直深度的增大,外部条件对土壤的影响降低,土壤水分季节变异系数在垂直方向上呈现出逐渐减小的趋势^[9]。

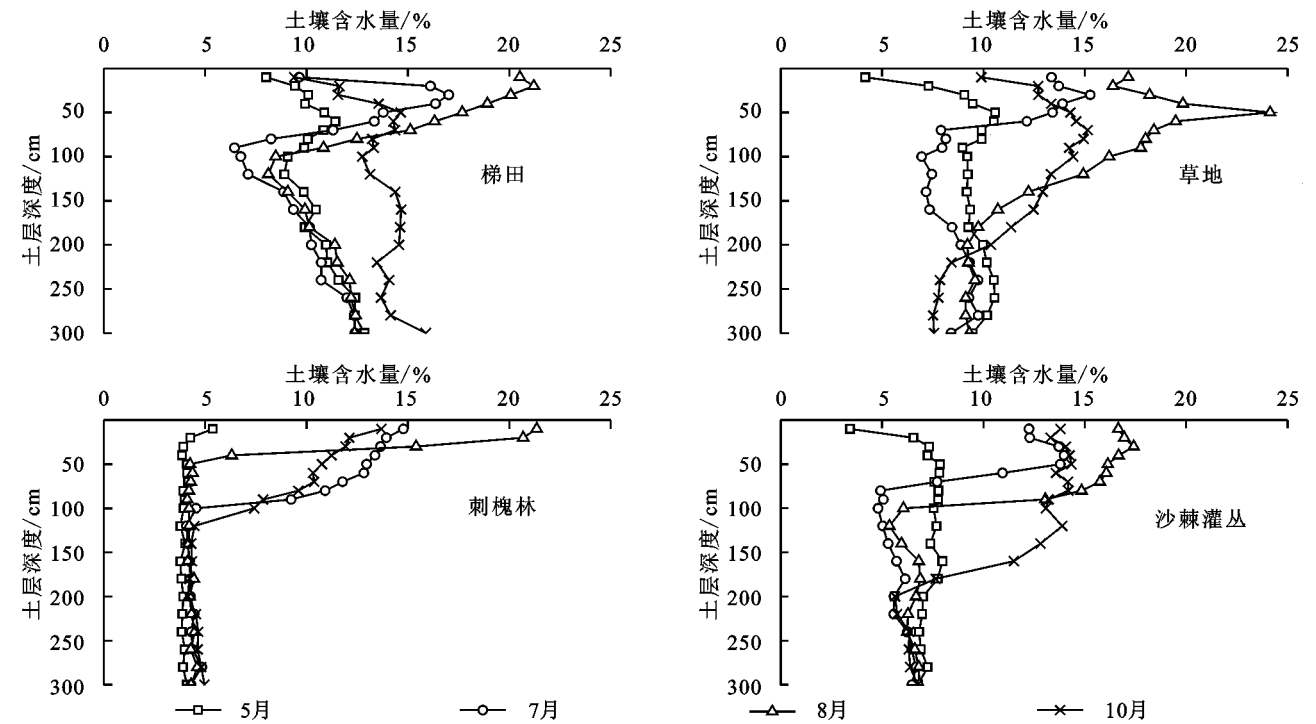


图 3 不同时段不同土地利用方式 0—300 cm 土壤含水量垂直变化特征

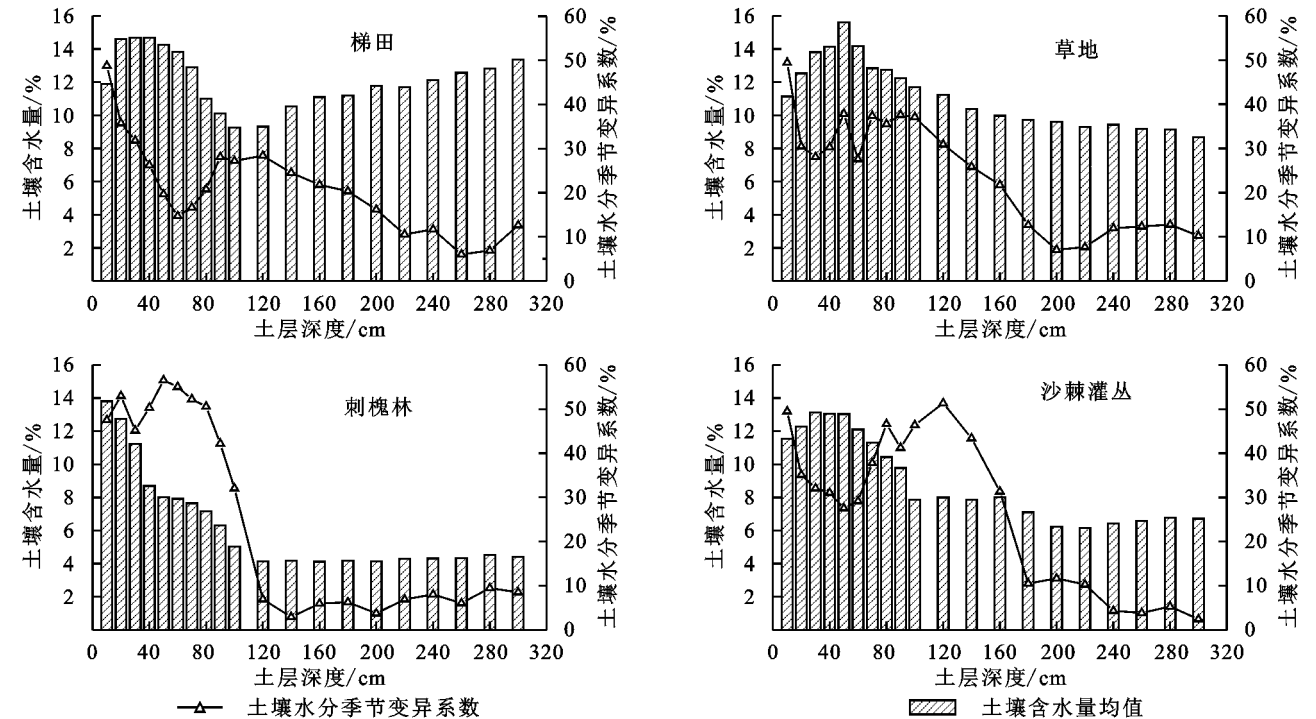


图 4 不同土地利用方式不同土层深度的土壤水分季节变异程度

2.4 土壤水分灰色关联分析

运用灰色关联法研究不同土地利用方式以及不同土层土壤水分的变化相似性。土壤垂直剖面可以被划分为 3 个层次,0—30 cm 土层为表层,30—100 cm 土层为中层,100—300 cm 土层为深层。5 月、7 月、8 月、10 月各层土壤水分数列分别设为 $X_1=\{X_1(k)|k=5,7,8,$

$10\}, X_2=\{X_2(k)|k=5,7,8,10\}, X_3=\{X_3(k)|k=5,7,8,10\}$ 。分别计算设置表层为参考数列,设置中层和深层为比较数列(分别记为 R_{12} 和 R_{13}),以及设置中层为参考数列,设置深层为比较数列(记为 R_{23})的灰色关联度。

由表 2 可知,梯田、沙棘灌丛和刺槐林的灰色关

联度呈现相似规律,表现为表层土壤水分和 中 层 土 壤 水 分 关 联 性 大,与 深 层 的 关 联 性 小,说 明 这 3 种 土 地 利 用 方 式 的 中 层 土 壤 水 大 部 分 由 表 层 土 壤 水 补 给,降 水 产 生 的 表 层 渗 流 能 直 接 补 给 中 层 (100 cm),另 有 一 小 部 分 可 以 补 给 到 深 层 (100 cm 以 下)。刺槐林深 层 土 壤 水 分 与 中 层 土 壤 水 分 关 系 紧 密,表 层 与 深 层 关 联 性 的 关 联 性 小 于 深 层 与 中 层 的 关 联 性,说 明 来 自 中 层 土 壤 水 间 接 补 给 到 深 层 较 多,而 自 表 层 土 壤 水 直 接 补 给 到 深 层 较 少,表 层 土 壤 水 经 过 中 层 也 会 流 失 掉 一 部 分。梯田和沙棘灌丛深层和中层联系不密切,说明 这 2 种 土 地 利 用 方 式 中 层 土 壤 水 间 接 补 给 到 深 层 较 少,主 要 是 表 层 直 接 补 给 深 层,其 次 表 层 水 经 过 中 层 的 流 失 较 少。草地表层与深层关联性大,与中层关 联 性 相 对 较 小,表 明 草 地 表 层 直 接 补 给 作 用 最 大。在 不 同 土 地 利 用 方 式 下,都 表 现 为 表 层 与 中 层 的 相 似 性 最 大,从 横 向 比 较 来 看,梯 田 的 相 似 程 度 最 好,沙 棘 灌 丛 次 之,草 地 和 刺 槐 林 较 差,说 明 不 同 土 地 利 用 方 式 下 表 现 为 不 同 的 表 层 对 中 层 补 给 程 度。表层与深层、中 层 与 深 层 的 土 壤 水 分 变 化 的 相 似 程 度 较 表 层 与 中 层 差,从 不 同 土 地 利 用 方 式 来 看,梯 田 的 相 似 程 度 较 好,刺槐较差,说明相对于刺槐林地梯田对土壤水分的调 控 作 用 大,土 壤 水 分 在 垂 直 剖 面 上 的 变 化 较 为 平 缓。

表 2 不同深度土壤水分灰色关联度

灰色关联度	梯田	沙棘灌丛	刺槐林	草地
R_{12}	0.8686	0.7687	0.7573	0.7463
R_{13}	0.8116	0.7332	0.6117	0.8542
R_{23}	0.6603	0.6296	0.8276	0.5698

3 结 论

- (1) 不同土地利用方式的土壤含水量表现为明显的 时 间 特 征,随 时 间 的 变 化 而 增 加,不 同 土 地 利 用 方 式 的 土 壤 含 水 量 大 体 表 现 为 梯 田>草 地>沙 棘 灌 丛>刺槐林,土壤含水量随时间的变化与降水随时间的 变 化 相 同,但 存 在 滞 后 效 应。在 100 cm 土 层 附 近 土 壤 水 分 季 节 变 异 系 数 曲 线 出 现 明 显 拐 点,不 同 土 地 利 用 方 式 的 变 异 系 数 均 随 剖 面 深 度 的 增 加 而 表 现 为 逐 渐 减 小 的 趋 势,并 稳 定 在 土 壤 深 层。
- (2) 不同土地利用方式的土壤含水量具有典型的 垂 直 变 化 特 征,土 壤 含 水 量 都 是 由 表 土 层 到 深 土 层 上 为 “S”形,土壤含水量都是先增大后减小,从土壤含水量的 变 化 程 度 上 看 0—100 cm 土 层 明 显 大 于 100—300 cm 土 层。相对于梯田草地,刺槐林和沙棘灌丛的稳定层范围 较 大 且 土 壤 含 水 量 稳 定 在 较 低 水 平。
- (3) 不同土层土壤水分的变化相似性不同,总体

- 上 0—30 cm 的 表 层 与 30—100 cm 的 中 层 土 壤 水 分 变 化 的 相 似 度 较 高,不 同 土 地 利 用 方 式 变 化 相 似 性 不 同,总 体 表 现 为:梯 田>沙 棘 灌 丛>草 地>刺 槐 林。梯 田 对 土 壤 水 分 的 调 控 作 用 较 好,土 壤 水 分 在 垂 直 方 向 上 的 变 化 较 为 平 缓。
- 参考文献:
- [1] 黄奕龙,陈利顶,傅伯杰,等.黄土丘陵小流域植被生态用水 评 价[J].水 土 保 持 学 报,2005,19(2):152-155.
- [2] 梁海斌,史建伟,牛俊杰,等.晋西北黄土丘陵区不同林 龄 柠 条 地 土 壤 水 分 变 化 特 征 研 究[J].干 旱 区 资 源 与 环 境,2014,28(6):143-148.
- [3] 肖列,刘国彬,薛莲,等.黄土丘陵区不同土地利用方式 对 土 壤 水 分 及 地 上 生 物 量 的 影 响[J].水 土 保 持 通 报, 2016,36(4):204-209.
- [4] 孔凌霄,毕华兴,周巧稚,等.晋西黄土区不同立地刺槐 林 土 壤 水 分 动 态 特 征[J].水 土 保 持 学 报,2018,32(5): 163-169.
- [5] 韩丙芳,马红彬,沈艳,等.不同生态修复措施对黄土丘 陵 区 典 型 草 原 土 壤 水 分 时 空 变 异 的 影 响[J].水 土 保 持 学 报,2015,29(1):214-219.
- [6] 程立平,刘文兆.黄土塬区土壤水分分布特征及其对不 同 土 地 利 用 方 式 的 响 应[J].农 业 工 程 学 报,2011,27(9): 203-207.
- [7] 程立平,刘文兆,李志.黄土塬区不同土地利用方式下深层 土 壤 水 分 变 化 特 征[J].生 态 学 报,2014,34(8):1975-1983.
- [8] 林国伟,李志,李晨曦,等.黄土高原白草塬土壤水分特 征 及 对 土 地 利 用 变 化 的 响 应[J].水 土 保 持 通 报,2017,37 (2):32-38.
- [9] 赵传普,徐学选,高朝侠,等.黄土丘陵区不同植被类型 下 土 壤 水 分 动 态[J].水 土 保 持 通 报,2015,35(1):68-72.
- [10] 唐敏,赵西宁,高晓东,等.黄土丘陵区不同土地利用类 型 土 壤 水 分 变 化 特 征[J].应 用 生 态 学 报,2018,29(3): 765-774.
- [11] 张敏,刘爽,刘勇,等.黄土丘陵缓坡风沙区不同土地利 用 类 型 土 壤 水 分 变 化 特 征[J].水 土 保 持 学 报,2019,33 (3):115-128.
- [12] 马婧怡,贾宁凤,程曼.黄土丘陵区不同土地利用方式 下 土 壤 水 分 变 化 特 征[J].生 态 学 报,2018,38(10): 3471-3481.
- [13] 张北赢,徐学选,刘文兆,等.黄土丘陵区不同土地利用 的 土 壤 水 分 灰 色 关 联 度[J].生 态 学 报,2008,28(1): 361-366.
- [14] 马文.黄土丘陵区典型人工林土壤水分补给与消耗特 征 研 究[D].陕 西 杨 凌:西 北 农 林 科 技 大 学,2017.
- [15] 宋清华.高寒退化草地西北针茅生物量分配和根系功 能 性 状 的 环 境 适 应 性[D].兰 州:西 北 师 范 大 学,2016.