

秦巴山区土壤水文性质特征分析

田鹏^{1*} 杜敏² 曾小红³

(1. 水利部交通运输部国家能源局南京水利科学研究院 南京 210029;
2. 黄河水利委员会 黄河上中游管理局 西安 710021; 3. 北京师范大学 北京 100875)

摘要:【目的】秦巴山区生态系统脆弱, 土地沙漠化、土壤侵蚀严重。区域土壤物理性质空间差异较大, 系统地认识和了解区域土壤物理性质分布特征对改善区域农业生产和脆弱生态环境具有重要意义。【方法】以秦巴山区东、中和西线三条南北穿越的采样带为基础, 开展不同土地利用的土壤水分特征参数的调查共 131 个个采样点。采用多种统计法, 分析秦巴山区不同土地利用下的土壤含水量、田间持水量、有效含水量和饱和含水量的变化特征及规律。【结果】秦巴山区土壤含水量均值介于 14.86%-24.53%, 田间持水量介于 19.98%-34.66%, 有效水含量介于 10.36%-18.43%, 饱和含水量介于 35.74%-44.11%。秦巴山区南北穿越三条样带在不同土地利用方式下的土壤含水量、饱和含水量和有效水含量均值均表现为草地最大, 林地较小。东线田间持水量、有效水含量和饱和含水量均在北纬 34.41°出现低值, 中线和西线三类土壤水分参数均于北纬 32.51°同时出现低值。田间持水量、有效水含量和饱和含水量与容重均呈极显著负相关关系, 饱和含水量随海拔梯度变化波动幅度最为明显。【结论】饱和含水量变动区间大, 波动强烈, 有效水含量较稳定变化幅度较小, 田间持水量变化幅度与饱和含水量大致保持一致, 土壤水文性质与土壤容重间存在相互作用关系, 此外降雨量对表层土壤含水量影响较大。

关键词: 秦巴山区; 土壤水分参数; 土地利用; 田间持水量; 饱和含水量

Analysis of Soil Hydrological Characteristics in Qinba mountain area

Abstract: 【Objective】 The ecosystem of Qinba mountain area is fragile, which has serious land desertification and soil erosion. Regional soil physical properties vary greatly in space, systematic understandings and analyses on the regional distribution characteristics of soil hydrological properties are of great significance to the improvements in agricultural production and ecological environment. 【Method】 Therefore, this study collected 131 soil samples from three north-south crossing zones in Qinba mountain area, then measured the soil physical attribute parameters based on the field investigation and laboratory analyses. The pearson correlations were analyzed by traditional statistical method. 【Result】 The mean values of soil moisture content in Qinba mountain area ranged between 14.86%-24.53%, which belongs to weak variability; the soil field capacity varied from 19.98%-34.66%, the soil available water contents were between 10.36%-18.43%, the saturation moisture contents varied from 35.74%-44.11%. The mean values of soil moisture content, soil field capacity and available water content were largest in grassland among all the different land use patterns of three north-south crossing zones, while the farmland had the weakest spatial variability. There were relatively low values of soil field capacity, saturation moisture content, available water content appeared at 32.51°-33.41° North latitude. There is a highly significant negative correlation between field water holding capacity, effective water content, saturated water content, and bulk density. The fluctuation amplitude of saturated moisture content is most significant with the change of altitude. 【Conclusion】 The change amplitude of field water holding capacity is roughly consistent with that of saturated moisture content. There is an interaction between soil hydrological properties and soil bulk density. In addition, rainfall has a significant impact on surface soil moisture content

Key words: Qinba mountain area; hydro-physical properties; Land use; Field water holding capacity; Saturated moisture content

土壤水分是地球系统的重要组成部分,是陆地水循环中最活跃的部分,直接影响降水、径流、下渗和蒸散发等(赵天杰,2018)。土壤水分主要受降水、地形、土壤性质、有机质含量和土地利用类型的影响(王军和傅伯杰,2000;邱扬等,2000;张伟等,2006)。秦岭-大巴山地区地处我国中纬度地带,是水分、地形和地区的过渡带,因此是中国大陆上规模最大、最具有典型性的地理-生态过渡带(香薇等,2018)。秦巴山区是南水北调中线工程水源的主要来源地,是南水北调的水源涵养地。目前针对秦巴山区已做大量研究,杨波等(2014)就秦巴山区极端降水时间开展研究,发现其极端降水阈值空间区域差异明显,极端降水发生频数与年平均降水日数呈显著正相关,各地区降水事件发生频数增减幅度不显著;张朋杰等(2022)研究了2000-2020年秦巴山区水源涵养量空间分布,判断该时段其水源涵养能力逐年增加,区域NDVI值呈增加趋势。翟雅倩等(2018)研究了秦巴山区植被覆盖与土壤湿度时空变化特征及其相互关系,发现两者呈现明显的正相关性,69.71%的区域表现出土壤湿度增大-植被覆盖改善的特征。吕佼佼(2018)以紫阳县高滩幅为例对秦巴山区降雨诱发浅层滑坡机理开展了多方面研究。

秦巴山区土壤水分状况研究相对缺乏,为完善秦巴山区该研究的基础数据,本文以秦巴山区土壤水分状况为主要研究对象,通过三条南北穿越样带的土壤水分调查及室内实验分析,基于统计学分析方法,探究秦巴山区土壤水分性质及分布规律;为秦巴山区生态农业发展和生态环境改善提供基础性数据并归纳一般规律,提高土地退化及水土流失相关研究的准确性,推动生态治理工程有序实施。

1 研究区概况

秦巴山区(102°54'-112°40'E, 30°50'-34°59'N)位于我国中部地区,总面积达 $22.35 \times 10^4 \text{ km}^2$,涉及陕、甘、蜀、豫、鄂、渝五省一市,西以临潭、迭部境内的岷迭山系与昆仑山脉为界,东至河南伏牛山麓(张善红,2022),是我国南北过渡带的主体区域。秦巴山区呈东西走向,地势由西高东低,最高太白山海拔3767 m,各地高度悬殊。地貌多以山地丘陵为主,兼有四川盆地、汉中盆地、关中平原和黄土高原。受地形变化影响,秦岭气温和降水分布垂直变化明显;水资源丰富,是汉江、嘉陵江、渭河、洛河等多条主要河流的发源地;秦岭南北坡降水差异显著,年均降水量450-1300 mm。秦岭土壤主要以褐土、黄褐土为主,植被类型复杂多样且多呈地带性(白红英,2018)。

2 研究方法

2.1 样品采集

(1)本研究在秦巴山区东、中、西各选一条样带,依次选择与之切合的209、210、212国道作为穿越南北的基本样带。东部样带自南向北跨过地区有湖北省(巴东县-兴山县-神农架林区-房县-十堰市辖区-勋县)-河南省(淅川县-西峡县-卢氏县-灵宝市);中部样带自南向北跨越四川省(宣汉县-万源市)-陕西省(镇巴县-西乡县-石泉县-宁陕县-长安县);西部样带自南向北跨越四川省的(广元市-青川县)-甘肃省(文县-武都县-舟曲县-宕昌县-岷县-漳县-渭源县-临洮县)。大约每隔10km选取距国道3~10km处的秦巴腹地不同土地利用方式的土壤样点,同一样点重复采样3次。三条样带共采样点131个,其中东线采样点60个,中线采样点31个,西线采样点40个。主要采集农田、林地和草地去除腐殖质后0-20 cm深度的表层土壤,同时记录样本点经纬度坐标、海拔、植被类型、土壤类型等。利用环刀和铝盒分别采集原状土,百分天平测量其湿重,回到实验室后对样品的土壤水分参数等性质开展进一步测定。

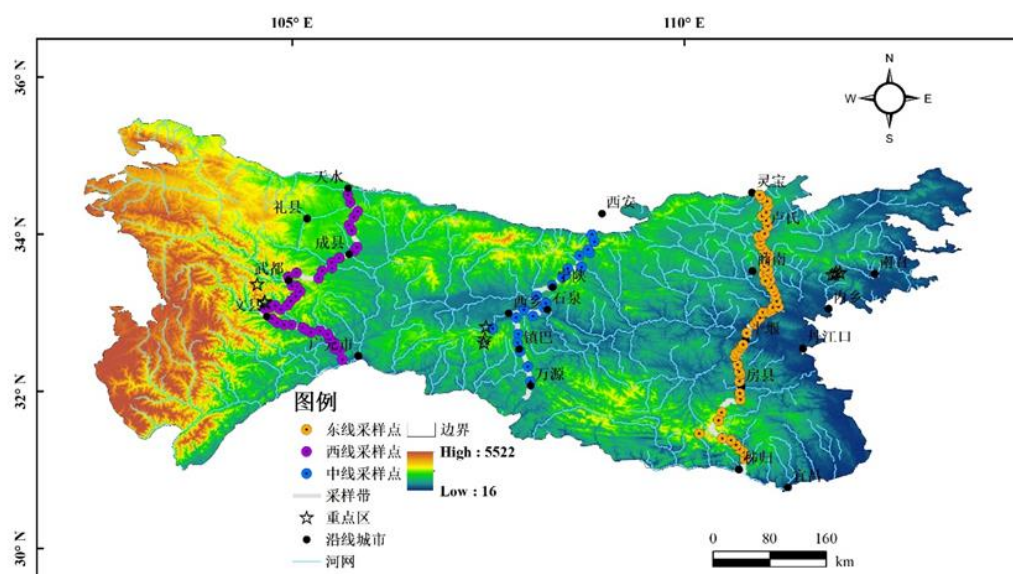


图1 秦巴山区样带和采样点分布

Fig.1 Distribution of sampling belt and points in the Qinba mountain area

(2) 土壤水分参数指标测定

土壤水分特征主要通过土壤含水量、田间持水量、有效水含量、饱和含水量等指标综合反映。田间持水量是反映土壤持水能力的重要指标，是毛管悬着水达到最大时的土壤含水量，包括吸湿水、膜状水和毛管悬着水，是农田土壤保持的最大水量，也是大多数植物可利用水的上限（王云强，2016）。一般认为土壤所吸持水分的有效水含量能为植物吸收利用（易小波，2017）。土壤饱和含水量是指土壤全部空隙都充满水时的含水量，等于土壤总孔隙度。因此，土壤水分参数主要测定土壤含水量、田间持水量、有效水含量、饱和含水量、土壤容重指标。其中，土壤容重测定主要采用环刀法；土壤质量含水量采用烘干法测定，土壤饱和含水量和田间持水量采用灌水法测定。

2.2 数据处理及统计分析

本文采用 EXCEL 2019 处理土壤水分相关数据，使用 Origin 2021 软件绘制相关图谱。采用 SPSS 26.0 对数据进行统计分析。

3 结果与分析

3.1 三条样带不同土地利用类型土壤水分特征

如图2所示，秦巴山区南北穿越东线、中线和西线的土壤含水量平均值分别为17.74%、21.08%和22.40%；其中中线草地均值最大，为24.53%；东线农田均值最小，为14.86%。东线和西线土壤含水量均表现为：农田<林地<草地；中线表现为：林地<农田<草地。东线、中线和西线田间持水量均值分别为：25.48%、23.62%、28.00%；其中东线草地均值最大，为31.66%；中线农田均值最小，为19.98%。三条样带有效水含量均值分别为：12.13%、12.35%、13.23%；其中西线林地均值最大，为18.42%；东线农田均值最小，为10.36%。东线和中线田间持水量和有效含水量均表现为：农田<林地<草地，西线表现为：农田<草地<林地。草地土壤水文参数较大主要原因是表层土壤蒸发和植被根系吸水性能存在差异，草地地表覆盖率最高能有效降低蒸腾作用减少水分散失，而农田土壤水分参数较低的主要原因是采样时基本为农作物生长期需水量大，且农作物根系较短的时期，0-40 cm 土层水分供植株生长，同时人类为增产进行田间除草等农业活动等，最终导致地表裸露增大，土壤蒸发速度较快。

秦巴山区田间持水量和有效水含量在不同样带上的变化趋势趋于一致，但均值之间差异大。对比三条样带土壤水分性质的平均值得到，秦巴山区土壤含水量和有效水含量的变化趋势表现为由东向西逐渐增大，土壤田间持水量的变化趋势呈现中部低两端高，且西部高于东部。

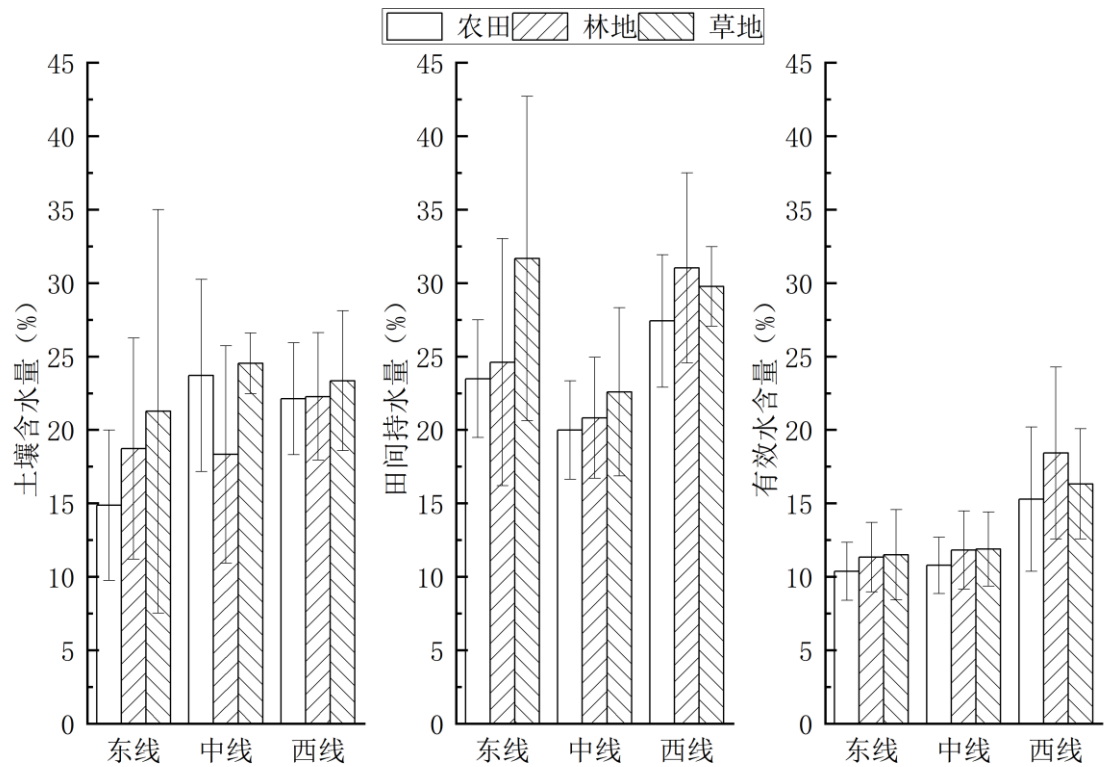


图 2 秦巴山区不同土地利用类型土壤水分参数变化

Fig.2 Soil moisture parameters of different land uses in the Qinba mountain area

3.2 三条样带不同土地利用类型水分参数

对比三条样带饱和含水量和有效水含量发现（图 3），东线饱和含水量均值较高，农田、林地和草地的平均饱和含水量分别为 35.98%、38.57%和 44.11%；西线有效水含量均值较高。东线上草地饱和含水量均值最大，为 44.11%，其均值亦为三条样线最大；东线上农田均值最小，为 35.98%。中线上农田饱和含水量均值最大，为 35.74%；林地均值最小，为 33.64%，其均值亦为三条样线最小；西线上林地的饱和含水量均值最大，为 39.39%；农田均值最小，为 37.67%。总体上，西线的饱和含水量变异最小，波动幅度小；东线变异最大，波动幅度大。林地和草地的林分郁闭度高，能够阻挡部分水分蒸发流失，使得土壤饱和含水量大。秦巴山区农地中常栽植玉米，农民较多使用化肥，使土壤毛管孔隙少，下雨后孔隙堵塞，造成土壤板结，长期以来导致土壤养分和含水量均变少

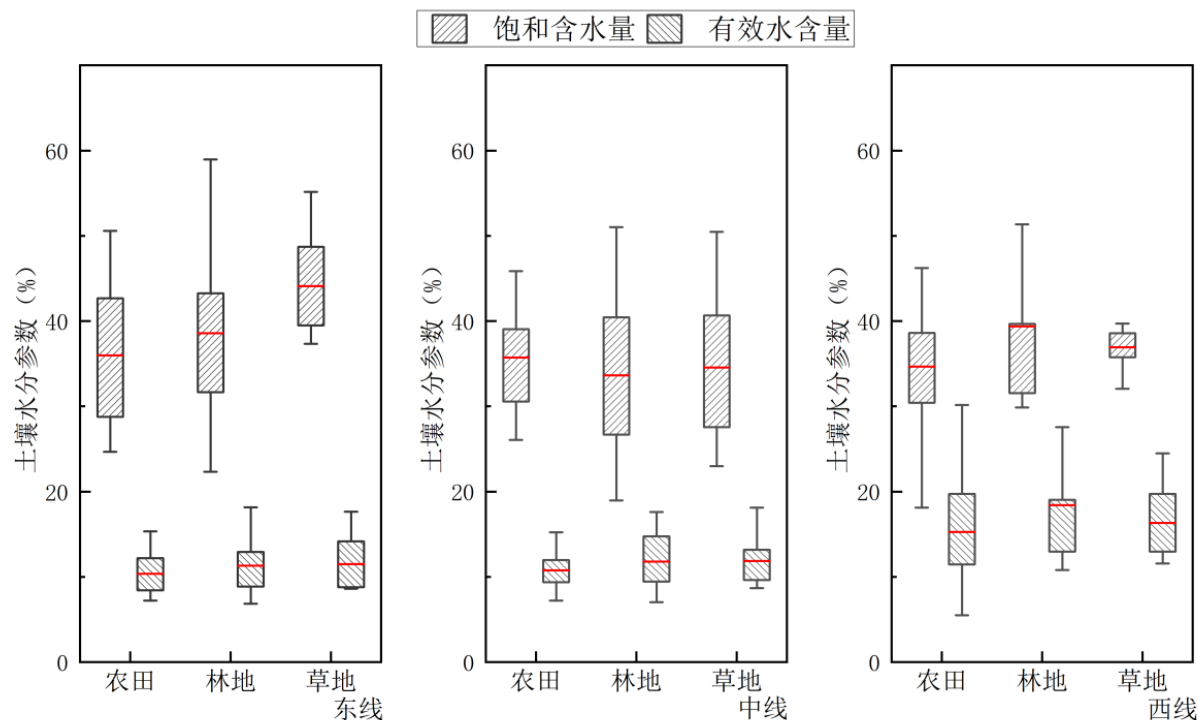


图 3 秦巴山区三条样带不同土地利用类型土壤水分参数箱线图

Fig. 3 Boxplot of soil hydrological parameters of different land uses in the Qinba mountain area

3.3 土壤水分性质空间变异性分析

3.3.1 三条样带不同纬度土壤水分比较

三条样带中，田间持水量、有效水含量和饱和含水量在不同样带的变化趋势趋于一致。总体上均表现为：有效水含量<田间持水量<饱和含水量，如图 4 所示。

东线田间持水量和饱和含水量呈北部和南部大，中间小的状态；有效水含量分布比较均匀，波动幅度小，多分布于 5%~15% 范围内。中线饱和含水量波动幅度大，田间持水量和有效水含量波动幅度小。西线不同土壤水分参数变动幅度趋于一致，均表现为南部呈增长状态，达到极大值后波动幅度减小，最终波动幅度趋于稳定。

对比不同样带同一土壤水分参数在相同纬度范围内的波动幅度均表现为不一致。如图 4 所示，东线的波动幅度和范围表现为最大，西线居中，中线最小。

东线田间持水量、有效水含量和饱和含水量均在 $N34.41^{\circ}$ 出现低值，中线和西线三类土壤水分参数均于 $N32.51^{\circ}$ 同时出现低值。东线所在位置有伏牛山和神农架等生态林区，其高程变化明显；中线主要受米仓山、太白山、大巴山等地形影响。

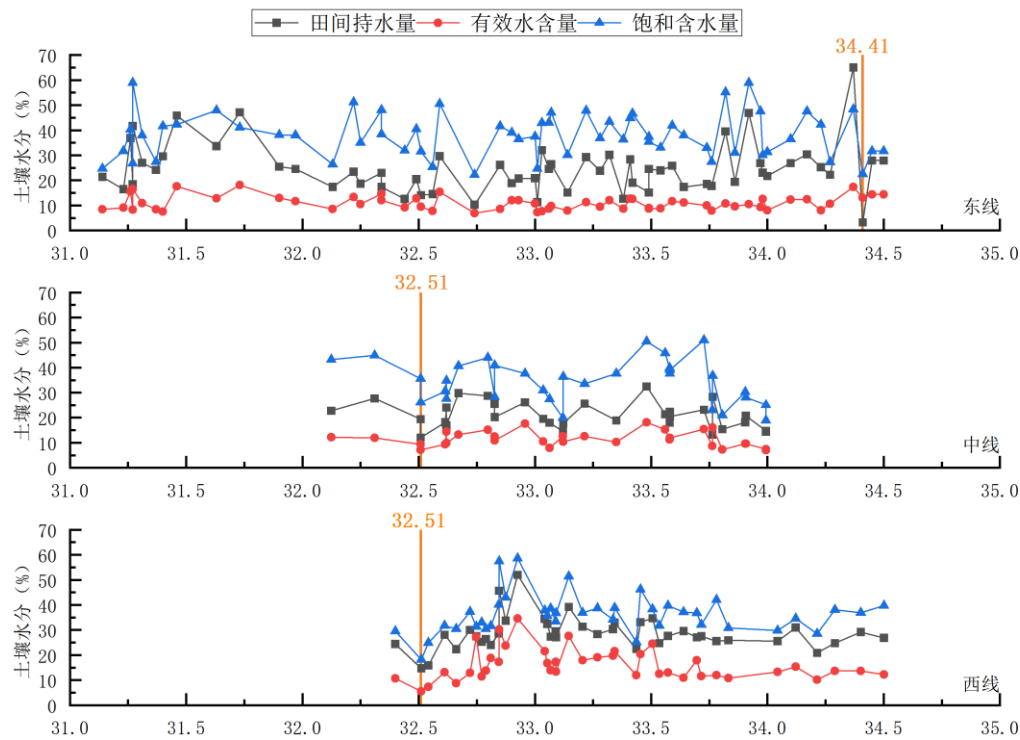


图 4 秦巴山区样带土壤水文参数沿纬度变化特征

Fig. 4 Variation of soil hydrological parameters in the Qinba mountain area along the latitude

3.3.2 样带同纬度土壤水分参数比较

选取秦巴山区纬度为 32°~34°的区域，在纬度变动小范围内，探究土壤水分随经度变化的特征。观察图 5 发现，饱和含水量变动区间最大，为 22.31%~50.57%，波动亦强烈。有效水含量在 102.5°~106°范围波动较为强烈，106°~112°波动幅度小，且该范围有效水含量均在 15%附近变化。田间持水量在该经度范围内最大值为 41.51%，最小值为 16.84%，其变化幅度与饱和含水量仅略有不同，大范围保持一致。土壤含水量、有效水含量和饱和含水量均在 110.15°E 处出现低值。

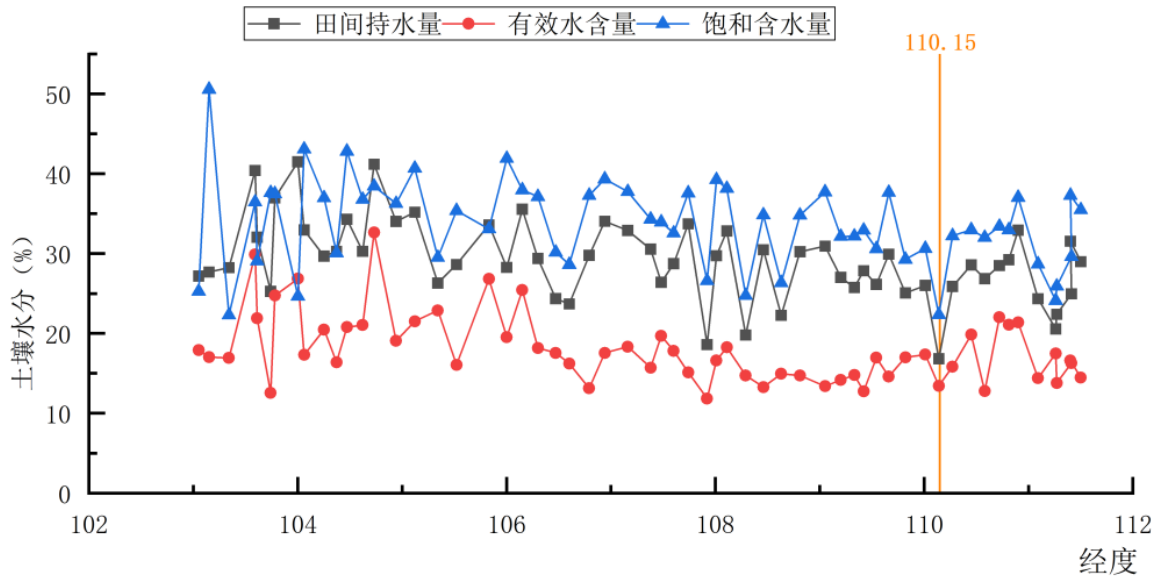


图 5 秦巴山区样带土壤水分参数随经度变化特征

Fig. 5 Variation of soil hydrological parameters in the Qinba mountain area along the longitude

3.4 田间持水量、有效水含量和饱和含水量与海拔、容重的皮尔逊相关分析

根据统计结果，利用皮尔逊相关分析探究秦巴山区土壤田间持水量、有效水含量和饱和含水量与海拔、容重之间的潜在相关性，结果如下：

表 1 秦巴山区土壤水分性质 Pearson 相关关系矩阵

Tab.1 Pearson correlation matrix of soil hydrological properties of Qinba mountain area					
	海拔	容重	田间持水量	有效水含量	饱和含水量
海拔	1				
土壤容重	-0.342**	1			
田间持水量	0.348**	-0.615**	1		
有效水含量	0.283**	-0.307**	0.526**	1	
饱和含水量	0.196*	-0.706**	0.560**	0.491**	1

注：*表示相关关系在 $p < 0.05$ 级别上具有显著相关性；** 在 $p < 0.01$ 级别上极显著相关性。

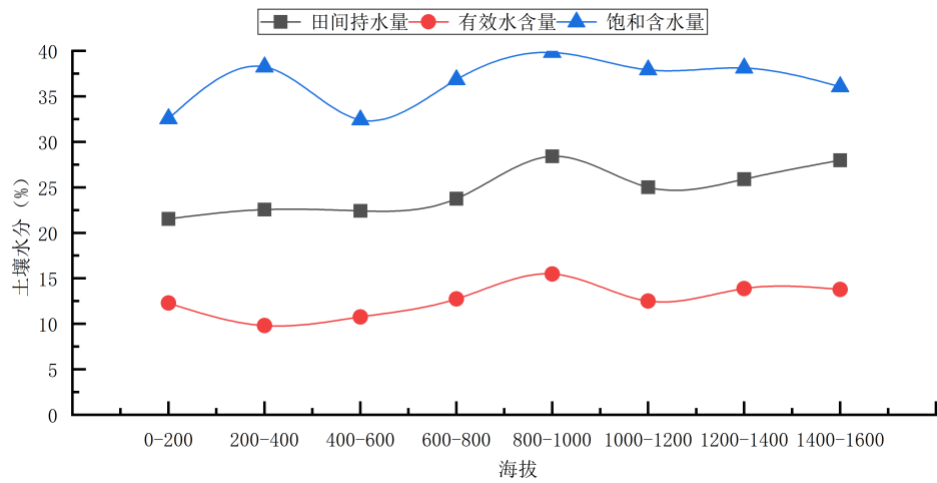


图 6 秦巴山区土壤水分参数随海拔变化关系图

Fig. 6 The relationship between soil moisture parameters and altitude variation in the Qinba mountain area

秦巴山区田间持水量和有效水含量与海拔呈极显著正相关关系，相关系数分别为 0.348、0.283；海拔和饱和含水量呈显著正相关关系，相关系数达 0.196。三类土壤水分参数与容重均呈极显著负相关关系，相关系数分别为：-0.615、-0.307、-0.706。由图 6 观察发现，田间持水量在海拔为 0-800m 范围波动幅度小，海拔为 800-1200m 范围波动幅度大，在 800-1000m 范围均值最大；有效含水量随海拔变化波动幅度较田间持水量更大，在海拔为 200-400m 范围均值最小，海拔为 800-1000m 范围均值最大；饱和含水量在海拔为 0-1000m 范围内变化幅度大，海拔为 800-1600m 范围变动幅度小。

4 结论

- （1）三条样线中，中线草地的土壤含水量均值最大。秦巴山区东、中、西三条样带，不同土地利用类型的田间持水量有所差异，东线和中线表现为：农田<林地<草地；西线表现为：农田<草地<林地。有效含水量反映土壤的供水能力，三条样带有效水含量与田间持水量变化趋势表现一致。
- （2）秦巴山区三条样带上饱和含水量和有效水含量的离散程度表现不相同，东线上草地饱和含水量最大，中线上农田饱和含水量最大，西线上林地饱和含水量最大。
- （3）东线田间持水量和饱和含水量呈北部和南部大，中间小的状态；有效水含量分布比较均匀，波

动幅度小,多分布于5%~15%范围内。中线饱和含水量波动幅度大,田间持水量和有效水含量波动幅度小。西线不同土壤水分参数变动幅度趋于一致,均表现为南部增长状态,达到极大值后波动幅度减小,最终波动幅度趋于稳定。

(4) 秦巴山区土壤水分参数随经度变化表现为:饱和含水量变动区间大,波动强烈;有效水含量较稳定变化幅度较小;田间持水量变化幅度与饱和含水量大致保持一致。土壤含水量、有效水含量和饱和含水量三类土壤水分参数均在110.15°E处出现低值。

(5) 研究秦巴山区土壤水分参数与海拔、容重相关性得出,田间持水量、有效水含量与海拔呈极显著正相关关系,饱和含水量与海拔呈显著正相关关系。饱和含水量随海拔梯度变化波动幅度最为明显。

参考文献

- 白红英. 秦巴山区森林植被对环境变化的响应.北京:科学出版社. 2014
- 吕佼佼. 秦巴山区降雨诱发浅层滑坡机理研究. [博士学位论文]. 长安大学, 2018.
- 邱扬, 傅伯杰, 王军, 张希来, 孟庆华. 土壤水分时空变异及其与环境因子的关系. 生态学杂志(1), 2007. 26(1):102-109
- 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.地理学报,2000, (01):84-91.
- 王云强, 邵明安, 胡伟, Henry Lin, 黄辉. 黄土高原关键带土壤水分空间分异特征. 地球与环境, 2016.44(04): 391-397
- 香薇,程志刚,周波涛,等.1975-2016年秦巴山区极端气温事件的空间差异性分析.气候变化研究进展,2018, 14(04):362-370.
- 杨波,张勃,安美玲,等.1961-2011年秦巴山区极端降水事件的时空特征分析.水土保持研究,2014, 21(01):110-116.
- 易小波. 西北干旱区土壤含水量时空变化特征及土壤物理性质模拟试验研究. [博士学位论文]. 杨凌:西北农林科技大学, 2017
- 翟雅倩,张翀,周旗,等.秦巴山区植被覆盖与土壤湿度时空变化特征及其相互关系.地球信息科学学报,2018, 20(07):967-977.
- 张朋杰,杨晓锋,张涛,等.2000—2020年秦巴山区水源涵养量时空动态研究[J].遥感技术与应用,2022, 37(06):1513-1524.
- 张善红,白红英,齐贵增,等.基于多元线性回归模型和 Anusplin 的秦巴山区 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温空间模拟比较.水土保持研究,2022, 29(01):184-189+196.
- 张伟,陈洪松,王克林,等.喀斯特地区典型峰丛洼地旱季表层土壤水分空间变异性初探.土壤学报,2006, (04):554-562.
- 赵天杰.被动微波反演土壤水分的L波段新发展及未来展望[J].地理科学进展,2018, 37(02):198-213.