

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

肖列¹, 刘国彬^{2,3}, 薛蕙^{2,3}, 张超²

(1. 西安理工大学 西北旱区生态水利工程国家重点实验室培育基地,

陕西 西安 710048; 2. 西北农林科技大学 水土保持研究所 黄土高原土壤侵蚀与旱地

农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100; 3. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘要: [目的] 研究不同土地利用方式下的土壤水分状况及其与植被群落特征的关系, 为黄土丘陵区植被恢复和重建提供理论依据。[方法] 采用野外调查的方法和数理统计分析方法开展研究。[结果] 纸坊沟流域主要植被类型的地上干生物量为 310.0~10 036.2 g/m², 平均地上干生物量由大到小依次为: 林地 > 灌木地 > 农田 > 人工草地 > 天然草地。地上鲜生物量与株高存在极显著的正相关关系 ($R^2 = 0.967 4$, $p < 0.01$)。不同土地利用方式 0—100 cm 土层土壤含水量较高, 且土壤水分变异较大; 100 cm 以下土壤含水量相对稳定, 坝地玉米和梯田玉米的极易效水量分别为 221.73 和 221.99 mm; 柠条和刺槐的土壤含水量最低, 土壤水分类型为难效水, 分别为 311.44 和 333.09 mm; 其他 6 种土地利用方式的土壤水分为中效易效水。[结论] 黄土丘陵区人工林灌植被的种植导致深层土壤水分的大量消耗, 不利于该区植被恢复和建设的可持续发展。

关键词: 土地利用方式; 土壤水分; 地上生物量; 黄土丘陵区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2016)04-0204-06

中图分类号: S152.7

文献参数: 肖列, 刘国彬, 薛蕙, 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. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2016.04.036

Effects of Land Use Types on Soil Water and Aboveground Biomass in Loess Hilly Region

XIAO Lie¹, LIU Guobin^{2,3}, XUE Sha^{2,3}, ZHANG Chao²

(1. State Key Laboratory Base of Eco-hydraulic Engineering in Arid Area, Xi'an

University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China; 2. State Key Laboratory of Soil

Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation,

Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. Institute of Soil and Water

Conservation, Chinese Academy of Science and Ministry of Water Resource, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: [Objective] Soil moisture under different land use patterns were measured and its links with the characteristics of plant communities were studied to provide guidance for the vegetation restoration and rehabilitation. [Methods] Based on field investigation, mathematical analysis was used. [Results] The aboveground dry biomass of main vegetation in Zhifanggou watershed ranged from 310.0 to 10 036.2 g/m² among ten land use types, and the mean aboveground dry biomass ranked as: forest land > shrub land > farmland > artificial grassland > natural grassland. There was a significant positive correlation between aboveground fresh biomass and vegetation height ($R^2 = 0.967 4$, $p < 0.01$). Soil moisture in 0—100 cm of different land use types had high content and varied greatly. Comparatively, the soil moisture content in 100—500 cm was nearly constant. The amount of most easily available soil moisture in check-dam and terrace with *Z. mays* planted were 221.73 mm and 221.99 mm, respectively. The soil moistures in *C. korshinskii* and *R.*

收稿日期: 2013-07-11

修回日期: 2013-09-14

资助项目: 中国科学院战略性先导科技专项“退耕还林(草)工程固碳速率和潜力研究”(XDA05060300); 西北农林科技大学基本科研业务费专项(ZD2013021); 陕西省科学技术研究发展计划项目(2011KJXX63)

第一作者: 肖列(1987—), 男(汉族), 河北省保定市人, 博士, 讲师, 主要从事流域生态研究。E-mail: xiaosha525@163.com。

通讯作者: 薛蕙(1978—), 男(汉族), 陕西省西安市人, 博士, 副研究员, 主要从事微生物生态与生态恢复的研究。E-mail: xuasha100@163.com。

pseudoacacia were extremely low, with hardly-available soil moisture contents of 311.44 mm and 333.09 mm, respectively. Soil moistures in the other six land use types were classified as easily-moderately available soil moisture. [Conclusion] In the loess hilly region, all vegetation types, to a certain extent, can improve local ecological environment, but some artificial forest and shrub can lead to the excessive consumption of deep soil moisture, and are not propitious to the sustainable development of vegetation.

Keywords: land use types; soil moisture content; aboveground biomass; loess hilly region

黄土丘陵区属于干旱半干旱地区,该区植被稀疏,水土流失严重,区域植被恢复困难,土壤水分是作物生长和植被恢复的主要限制因子。长期以来强烈的人口压力造成该区土地的不合理利用,导致对土壤水分的过度开发,形成土壤干层,难以持续利用。自1999年国家实施退耕还林还草工程以来,黄土高原地区建造了大量的人工植被,显著改善了该区的生态环境状况。研究黄土丘陵区不同植被类型的土壤水分特征及其地上生物量对该区的植被恢复和重建具有重要的指导意义。近年来,对黄土丘陵区的土壤水分进行了大量研究^[1-5],土壤水分的时空变化受降雨、植被、地形、土壤和土地利用等因素的影响。其中,植被的生物量是一个重要影响因子,植被的地上生物量越大,蒸腾耗水量越高,导致土壤水分的大量消耗^[6],当生物量超过环境的水分承载力后将导致土壤水分恶化,形成明显的土壤干层,导致大片“小老头”树的出现,人工植被难以发挥应有的生态经济效益,因此对植被地上生物量与土壤水分状况的综合研究显得尤为重要。目前对于黄土丘陵区不同土地利用方式下的地上生物量做了大量研究^[7-8],但是对于黄土丘陵区不同土地利用方式下的土壤水分特征和植被地上生物量的综合研究少见报道^[9-10]。本试验以黄土丘陵区安塞县纸坊沟流域10种主要的土地利用方式为对象,研究了不同土地利用方式下的土壤水分特征和植被地上生物量,旨在了解不同土地利用方式下的土壤水分状况和植被群落特征的关系,为黄土丘陵区的植被恢复和重建提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

纸坊沟流域(36°51'30"N,109°19'30"E)位于陕西省安塞县,是延河支流杏子河下游的一级支流,属典型黄土丘陵沟壑区,包括纸坊沟、寺岷岷、瓦树塌3个自然村,流域面积8.27 km²。研究区年均降水量505.3 mm,降水的年内分布不均,降雨主要集中在7—9月,且多以暴雨形式出现,年际变化也很大,年均蒸发量为1463 mm。该区属暖温带半干旱气候,年日照时数为2415 h,年辐射量为493 kJ/cm²,多年平均气温为8.8℃,全年平均最低气温出现在1月,

为-6.9℃,平均最高气温出现在7月,为22.6℃,≥0℃的积温3733.5℃,土壤类型为黄绵土。该区生态环境脆弱,由于毁林开荒及人类活动的影响,地带性植被已经破坏殆尽,流域生态系统严重退化。自1999年国家实施退耕还林还草工程措施以来,经过10a的努力,建造了大量的人工植被,显著改善了当地的生态环境。退耕植被类型主要包括:林地,刺槐(*Robinia pseudoacacia*)等;灌木,包括沙棘(*Hippophae rhamnoides*)和柠条(*Caragana korshinskii*);人工草地:沙打旺(*Astragalus adsurgens*)和紫花苜蓿(*Medicago sativa*);天然草地。

1.2 样地设置

2011年8月中旬,在对安塞县纸坊沟流域主要土地利用类型实地调查的基础上(样地调查包括土地使用年限、海拔、坡度、坡向、植被群落组成等)的基础上,选取样地10块。其中,农田样地4块,包括坡地谷子(*Setaria italica*)、梯田糜子(*Panicum miliaceum*)、梯田玉米(*Zea mays*)和坝地玉米(*Z. mays*)各1块;人工草地1块,紫花苜蓿,天然草地1块,主要植被类型为铁杆蒿(*Artemisia gmelinii*);灌木地2块,包括沙棘和柠条;林地2块,包括苹果(*Malus demestica*)和刺槐。样地的基本情况详见表1。

表1 调查样地基本信息

样地	土地利用方式	利用年限/a	海拔/m	坡度/(°)	坡向
坡地谷子	农田	30	1287	22	W40°S
梯田糜子	农田	30	1310	0	—
梯田玉米	农田	30	1230	0	—
坝地玉米	农田	30	1200	0	—
紫花苜蓿	人工草地	15	1280	25	N30°W
铁杆蒿	天然草地	30	1296	0	—
沙棘	灌木地	30	1213	23	E15°
柠条	灌木地	30	1292	23	W
苹果	林地	30	1220	0	—
刺槐	林地	30	1265	20	W30°N

1.3 指标测定

海拔、坡度和坡向用便携式罗盘仪测量,盖度采用照相法估算,植被高度用米尺测量,每个样方测量10株,取平均值。地上生物量采用收割法,收割后用

电子天平称鲜重,用烘箱(80 ℃)烘干,测定干重。每个农田和草地取 3 个 1 m×1 m 的样方,灌木取 3 个 6 m×6 m 的样方,乔木取 3 个 10 m×10 m 的样方。对草本群落和农田采用全部收获法测定地上鲜生物量和干生物量。乔木和灌木地上生物量采用标准株法,即逐株测量乔木(灌木)的树高(丛高)、胸径(地径)和冠幅等,根据上述指标的平均值,选择标准株测定其地上鲜生物量,鲜样采集后用烘干法测定地上干生物量,根据这些数据,计算样方乔木或灌木的地上干生物量。2011 年 9 月测定土壤含水量,在 10 块样地中,分别用土钻(内径 5 cm)取 0—500 cm 的土样,其中,100 cm 以上按 0—10 cm,10—20 cm,20—40 cm,40—60 cm,60—80 cm,80—100 cm 取样,100 cm 以下,每 50 cm 取样一次,将各层土壤样品装入铝盒中,带回实验室,采用烘干法测定各层土壤样品的含水量。坡地取样时,坡下、坡中和坡上各一次,其他样地采取随机取样,3 次重复,每层土壤含水量取算术平均值。同时,采用环刀法测定 0—100 cm 土层的容重,采样深度同土壤含水量的测定,3 次重复,取平均值。计算土壤储水量时,100 cm 以下土层的容重采用 80—100 cm 土层的容重。

土壤储水量的计算公式为:

$$W = hd\theta/10 \quad (1)$$

式中: W ——土壤储水量(mm); h ——土层厚度(cm); d ——土壤容重(g/cm^3); θ ——土壤质量含水量(%)。

根据土壤水分对植物的有效性,黄土丘陵地区的土壤水分可分为 4 种类型^[11]:难效水(<30%田间持水量),中效水(30%~49%的田间持水量),易效水(50%~80%的田间持水量)和极易效水(>80%的田间持水量)。根据上述分类标准,对研究区 10 种土地利用方式下不同类型土壤水分的数量进行分析。

1.4 数据分析

数据利用 SPSS 15.0 进行单因素方差(One-way ANOVA)统计分析,应用最小显著性差异(LSD)检验不同土壤剖面不同土层土壤储水量的差异显著性。采用 Excel 软件绘图。

2 结果分析

2.1 不同土地利用方式下植被群落特征及其地上生物量

植被的群落特征可以反映该植被的生长状况及其稳定性,而地上生物量是植被生长状况的直接反映。黄土丘陵区不同土地利用方式下植被的群落特征差异很大(表 2)。坡地谷子、梯田糜子、梯田玉米、坝地玉米、紫花苜蓿和苹果园的物种比较单一,每 1 m^2 的物种数都少于 4 种;而天然草地、沙棘、柠条和刺槐林的物种比较丰富,每 1 m^2 的物种数为 6~10 种,其中草本植被主要以铁杆蒿(*A. gmelinii*),茭蒿(*Artemisia giraldii*),茵陈蒿(*Artemisia capillaries*)和长芒草(*Stipa bungeana*)为主。研究区 10 种土地利用方式下的植被总盖度均达到 50%以上。10 种土地利用方式下地上干生物量差异很大,为 310.0~10 036.2 g/m^2 ,平均地上干生物量为:林地(6 485.0 g/m^2)>灌木地(2 580.7 g/m^2)>农田(1 553.0 g/m^2)>人工草地(483.9 g/m^2)>天然草地(310.0 g/m^2)。在 4 块农田中,梯田玉米和坝地玉米的地上干生物量分别为 2 380.5 和 2 785.5 g/m^2 ,明显大于坡地谷子和梯田糜子,其地上干生物量分别为 337.5 和 708.5 g/m^2 。沙棘和柠条的地上干生物量几乎相等,而苹果园的地上干生物量显著小于刺槐林。不同土地利用方式下的地上鲜生物量与株高存在极显著的正相关关系($R^2 = 0.967, p < 0.01$),而与海拔、坡度、容重和盖度均未达到显著相关(表 3)。

表 2 不同样地植被群落特征

样地	优势种	物种数/ (种· m^{-2})	冠层高度/ cm	总盖度/ %	地上鲜生物量/ ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)	地上干生物量/ ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)
坡地谷子	谷子	3	85	62	1 125.0	337.5
梯田糜子	糜子	4	140	73	2 362.5	708.5
梯田玉米	玉米	4	210	90	7 935.2	2 380.5
坝地玉米	玉米	4	218	92	8 285.0	2 785.5
苜蓿	苜蓿	4	73	75	892.9	483.9
铁杆蒿	铁杆蒿+茭蒿+长芒草	10	50	60	539.0	310.0
沙棘	沙棘+铁杆蒿+长芒草	7	170	78	5 682.4	2 575.2
柠条	柠条+长芒草+茵陈蒿	9	180	75	4 618.2	2 586.2
苹果园	苹果	3	220	50	5 765.0	2 933.8
刺槐	刺槐+铁杆蒿+长芒草	10	610	73	20 386.7	10 036.2

表 3 地上鲜生物量与海拔、坡度、容重和盖度的相关性

环境因子	相关系数 R^2	F 检验	显著性 p
海拔	0.129	1.188	0.307
坡度	0.004	0.034	0.859
容重	0.082	0.716	0.422
盖度	0.079	0.682	0.433

2.2 不同的土地利用方式下土壤水分剖面特征

10 种土地利用方式下 0—100 cm 土层的平均土壤含水量较高,且土壤水分变异很大(图 1),平均土壤含水量由高到低依次为:农田(18.65%)>天然草地(16.41%)>林地(15.26%)>人工草地(14.90%)>灌木地(14.07%)。在 4 块农田中,坝地玉米和梯田玉米的土壤含水量最高,分别为 22.34% 和 18.97%,梯田糜子的土壤含水量最低,为 13.86%。在 2 块灌木地中,沙棘 0—100 cm 平均土壤含水量为 16.54%,柠条地为 11.59%。刺槐和苹果园的平均土壤含水量分别为 14.10% 和 16.43%。研究区 10 种土地利用方式 100—500 cm 土层土壤含水量相对稳定(图 2),平均土壤含水量由高到低依次为:农田(16.12%)>天然草地(10.51%)>人工草地(8.53%)>林地(8.31%)>灌木地(7.94%)。根据土壤水分对植物的有效性,按田间持水量为 22% 计算,坝地玉米和梯田玉米的极易效水量分别为 221.73 和 221.99 mm;柠条和刺槐的土壤含水量最低,土壤水分类别为难效水,分别为 311.44 和 333.09 mm;其他 6 种土地利用方式的土壤水分为中效易效水(表 4)。

表 4 研究区不同土地利用方式下 100—500 cm 土层土壤不同水分类型含量

样地	土壤水分含量/mm			
	极易效水	易效水	中效水	难效水
坡地谷子	0	4.17	241.82	362.74
梯田糜子	0	0	240.04	384.72
梯田玉米	221.99	400.86	267.24	400.86
坝地玉米	221.73	380.95	253.97	380.95
苜蓿	0	0	101.78	347.68
铁杆蒿	0	0	228.94	386.68
沙棘	0	0	222.41	389.15
柠条	0	0	0	311.44
苹果园	0	0	238.39	404.64
刺槐	0	0	0	333.09

2.3 不同土地利用方式下土壤储水量与植被地上生物量的关系

不同土地利用方式的土壤储水量均随土层深度的增加而减小(表 5),坡地谷子、人工草地、天然草地、沙棘、柠条和苹果园 0—100 cm 的土壤储水量显著大于 100 cm 土层以下的土壤储水量,梯田糜子 0—

100 cm 土层的土壤储水量大于下层,但与 100—400 cm 土层土壤储水量均没有达到显著性差异。梯田玉米和坝地玉米的土壤储水量随土层深度增加呈现先增大后减小的趋势,最大土壤储水量分别出现在 200—300 和 100—200 cm,且梯田玉米 0—100 cm 土层的土壤储水量显著小于 200—500 cm 土层土壤储水量。刺槐林的土壤储水量随土层深度增加呈现先减小后增大的趋势,但 100—500 cm 土层的土壤储水量没有显著性差异。

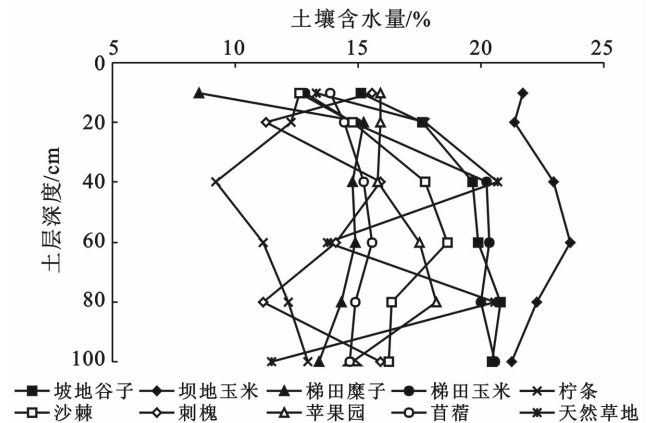


图 1 不同土地利用方式下 0—100 cm 土壤剖面水分分布

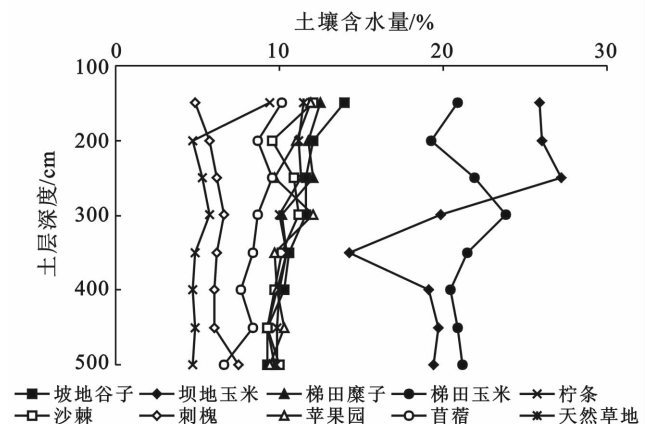


图 2 不同土地利用方式下 100—500 cm 土壤剖面水分分布

黄土丘陵区 10 种土地利用方式下的地上干生物量与土壤储水量没有显著的相关关系 ($F=0.260, p=0.624$)。4 块农田地中,土壤含水量较高的坝地玉米和梯田玉米具有较高的地上生物量,梯田糜子的地上生物量高于坡地谷子,但 0—100 cm 的土壤储水量却显著小于坡地谷子,100—500 cm 的土壤储水量没有显著性差异(表 6)。天然草地 0—100 cm 的土壤储水量显著高于人工草地,但地上生物量却小于人工草地。柠条和刺槐的地上生物量较大,但土壤储水量却较小,尤其是 100 cm 以下土层的土壤储水量,都显著小于其他土地利用方式。

表 5 研究区不同土地利用方式下土壤储水量特征

样地	各土层深度(cm)土壤储水量				
	0—100	100—200	200—300	300—400	400—500
坡地谷子	256.96 ^{abc}	178.79 ^{bc}	159.46 ^{bb}	143.31 ^{bcd}	127.17 ^{bbc}
梯田糜子	187.33 ^{ae}	176.66 ^{abc}	161.22 ^{abb}	147.98 ^{abcd}	138.91 ^{bb}
梯田玉米	277.82 ^{cb}	305.01 ^{bcB}	347.99 ^{aA}	318.65 ^{abA}	319.3 ^{abA}
坝地玉米	319.82 ^{abA}	375.01 ^{aA}	339.8 ^{aA}	240.86 ^{bb}	281.93 ^{abA}
苜蓿	185.80 ^{ae}	124.32 ^{bcDE}	120.28 ^{bcBC}	106.08 ^{bcDE}	98.77 ^{cCD}
铁杆蒿	228.02 ^{cd}	166.07 ^{bc}	155.68 ^{bb}	149.86 ^{bc}	144.00 ^{bb}
沙棘	233.79 ^{acd}	159.73 ^{bcd}	163.12 ^{bb}	146.65 ^{bcd}	142.06 ^{bb}
柠条	152.33 ^{af}	99.72 ^{bDE}	77.94 ^{bc}	67.12 ^{ce}	66.66 ^{cd}
苹果园	226.37 ^{ad}	176.38 ^{bc}	166.35 ^{bcB}	149.65 ^{cc}	150.66 ^{cb}
刺槐	182.89 ^{ae}	71.42 ^{bE}	86.40 ^{bc}	83.10 ^{bDE}	92.16 ^{bcd}

注:同一列中不同的小写字母代表一种土地利用方式不同土层的土壤储水量具有显著性差异($p < 0.05$);同一行中不同大写字母代表不同土地利用方式同一土层的土壤储水量具有显著性差异($p < 0.05$)。

表 6 不同土地利用方式下地上干生物量和 0—100 cm 土壤储水量相关性

样地	地上干生物量/ ($g \cdot m^{-2}$)	0—100 cm 土壤 储水量/mm
坡地谷子	337.50	256.96
梯田糜子	708.50	187.33
梯田玉米	2 380.50	277.82
坝地玉米	2 785.50	319.82
苜蓿	483.90	185.80
天然草地	310.00	228.02
沙棘	2 575.20	233.79
柠条	2 586.20	152.33
苹果园	2 933.80	226.37
刺槐	10 036.20	182.89

3 讨论

3.1 不同土地利用方式下的植被群落特征与地上生物量

人为因素对不同土地利用方式下的植被群落特征具有显著影响。农田、人工草地和苹果园受人为因素影响大,物种单一,天然草地、灌木地和刺槐林基本不受人为因素的影响,物种比较丰富,草本植被主要以蒿类和长芒草为主。焦菊英等^[12]对黄土丘陵沟壑区植被演替规律的研究得出在黄土丘陵沟壑区自然演替的植被主要由禾本科、菊科、豆科和蔷薇科 4 大科的物种组成,与本研究结果相一致。研究区不同土地利用方式下的地上干生物量差异很大,王建国等^[9]研究得出黄土高原水蚀风蚀交错区不同土地利用方式下的植被地上干生物量为 177~2 207 g/m^2 。在 4 块农田中,坡地谷子的地上生物量最小,可能与坡耕地土壤水分状况较差有关,而坝地处于沟道中,长期受沟道水流和坡面径流补给,梯田具有汇集坡面径流

的作用,导致梯田玉米和坝地玉米的土壤含水量相对较高^[13],地上生物量显著高于梯田糜子和坡地谷子,虽然糜子地也修建了梯田,但糜子具有相对较高的蒸腾量,造成了糜子较低的地上生物量。不同土地利用方式的地上鲜生物量与植被高度存在显著的正相关关系,这与王静等^[14]对厚穗宾草群落和王建国等^[9]对黄土高原水蚀风蚀交错区不同土地利用方式下的植被群落的研究相一致。在黄土丘陵沟壑区,建立一定高度和覆盖度的植被对防止土壤侵蚀(包括水蚀、风蚀)非常重要。植被的覆盖度越高,对地表土壤的保护效果越好。已有的研究表明,盖度为 40%的天然灌草植被基本可以防止土壤风蚀。本研究区植被盖度均超过 40%,这些土地利用方式下的土壤风蚀和水蚀均得到了一定程度的控制。

3.2 不同土地利用方式的土壤水分剖面特征

在黄土高原地区,不同的土地利用方式对土壤水分动态具有显著影响^[4-5]。该区土层深厚,降雨是土壤水分的唯一来源,土壤水分循环是较单纯的降雨下行入渗和水分上行蒸发过程^[11]。受降雨补给作用的影响,不同土地利用方式下 0—100 cm 土层的土壤水分变化活跃,100 cm 以下土层土壤含水量随土层深度增加趋于稳定。不同土地利用方式的平均土壤含水量由高到低依次为:农田>草地>林地>灌木地,而王国梁等^[13]对黄土丘陵沟壑区不同土地利用方式下土壤水分特征的研究得出土壤平均含水量由高到低依次为:农田>草地>灌木地>林地,这主要是由于在本研究中林地中的苹果园修建了梯田,显著改善了土壤水分状况,导致林地的土壤含水量高于灌木地。王志强等^[15]研究得出农田的土壤水分状态可以达到或超过中效水,本研究中梯田糜子和坡耕地的土壤水分为易效中效水,坝地玉米和梯田玉米的土壤水

分为极易效水。这主要是由于一方面农作物的耗水量一般低于乔灌木[16],另一方面淤地坝和梯田建设显著改善了土壤水分状况。刺槐和柠条具有相对较高的蒸腾耗水量[17],而且根系分布可达到甚至超过500 cm[18],尽管深层的根系密度小[18],但深层细根可以强烈消耗的下层土壤水分,导致深层土壤水分显著减少,因此土壤水分为难效水。

3.3 不同土地利用方式下土壤储水量与地上生物量的关系

土壤储水量的特征与植被根系分布和植被耗水特性相关。糜子和玉米的蒸腾耗水量较高[20],且作物根系主要分布在表层,导致表层土壤水分的大量消耗,因此梯田糜子0—400 cm土层土壤储水量没有显著性差异,坝地玉米和梯田玉米的最高土壤储水量为100—200和200—300 cm。乔灌木和苜蓿的根系分布较深,导致深层土壤水分的大量消耗,尤其是柠条和刺槐100 cm以下土层的土壤储水量都小于100 mm。李玉山[19]和程积民等[8]对苜蓿草地土壤水分亏缺的问题进行研究,认为多年连续种植苜蓿会导致土壤干化,土壤干层出现在200 cm以下土层,本研究中苜蓿和柠条地也出现了土壤干层。植被的地上生物量受土壤水分[9]、养分[20]、地形等多种因素的综合影响。王建国等[9]研究认为黄土高原水蚀风蚀交错区不同土地利用方式的地上干生物量与0—100 cm土层的土壤储水量呈显著的正相关关系,黄德青等[7]研究认为根系主要分布层内的土壤含水量与地上生物量显著相关,但本研究中不同植被的地上干物质量与土壤储水量没有显著的相关关系,这可能是由于该区不同土地利用方式下的土壤特性和地形条件不同所导致的。

4 结论

(1) 黄土丘陵区10种土地利用方式的地上鲜生物量与株高存在极显著的正相关关系,地上干生物量为310.0~10 036.2 g/m²,平均地上干生物量大小依次为:林地>灌木地>农田>人工草地>天然草地。

(2) 受降雨补给作用的影响,10种土地利用方式0—100 cm土层土壤含水量较高,且土壤水分变异较大;100 cm以下土壤含水量相对稳定。根据土壤水分对植物的有效性,坝地玉米和梯田玉米100—500 cm土层的极易效水量分别为221.73和221.99 mm;柠条和刺槐的土壤含水量最低,土壤水分类型为难效水,分别为311.44和333.09 mm;坡地谷子、梯田糜子、人工草地、天然草地、沙棘和苹果园的土壤水分为中效易效水。

(3) 黄土丘陵区人工林灌植被的种植导致深层土壤水分的大量消耗,不利于该区植被恢复和建设的可持续发展。

[参 考 文 献]

- [1] 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.
- [2] 张北赢,徐学选,白晓华. 黄土丘陵区不同土地利用方式下土壤水分分析[J]. 干旱地区农业研究,2006,24(2):96-99.
- [3] Yang Qiu, Fu Bojie, Wang Jun, et al. Soil moisture variation in relation to topography and land use in a hillslope catchment of the Loess Plateau, China [J]. Journal of Hydrology, 2001,240(3):243-263.
- [4] Fu Bojie, Wang Jun, Chen Liding. The effect of land use on soil moisture variation in the Danangou catchment of the Loess Plateau, China [J]. Catena, 2003,54(1/2):197-213.
- [5] Chen Liding, Huang Zhilin, Gong Jie, et al. The effect of land cover/vegetation on soil water dynamic in the hilly area of the Loess Plateau, China [J]. Catena, 2007,70(2):200-208.
- [6] 魏宇昆,梁宗锁,崔浪军,等. 黄土高原不同立地条件下沙棘的生产力与水分关系研究[J]. 应用生态学报,2004,15(2):195-200.
- [7] 黄德青,于兰,张耀生,等. 祁连山北坡天然草地地上生物量及其与土壤水分关系的比较研究[J]. 草业学报,2011,20(3):20-27.
- [8] 程积民,程杰,高阳. 半干旱区退耕地紫花苜蓿生长特性与土壤水分生态效应[J]. 草地学报,2011,19(4):565-569,576.
- [9] 王建国,樊军,王全九,等. 黄土高原水蚀风蚀交错区植被地上生物量及其影响因素[J]. 应用生态学报,2011,22(3):556-564.
- [10] Xu Bingcheng, Gichuki P, Shan Lun, et al. Aboveground biomass production and soil water dynamics of four *Leguminous forages* in semiarid region, Northwest China [J]. South African Journal of Botany, 2006,72(4):507-516.
- [11] 杨文治,邵明安. 黄土高原土壤水分研究[M]. 北京:科学出版社,2000.
- [12] 焦菊英,张振国,贾燕锋,等. 陕北丘陵沟壑区撂荒地自然恢复植被的组成结构与数量分类[J]. 生态学报,2008,28(7):2981-2997.
- [13] 王国梁,刘国彬,党小虎. 黄土丘陵区不同土地利用方式对土壤含水率的影响[J]. 农业工程学报,2009,25(2):31-35.

侵蚀敏感性等级不高,绝大多数地区属于轻度敏感(占75.7%)地区,除不敏感(占7.26%)地区分布在市海涂地西侧边缘区外,少数中度敏感(占4.36%)、高度敏感(占9.49%)和极敏感(占3.19%)地区则集中分布在南部丘陵区。慈溪市土地利用现状基本合理,但局部土地利用结构和方式存在土壤侵蚀隐患,土壤侵蚀敏感性轻度敏感虽然强度不高,但现状不容乐观。土壤侵蚀与社会发展和生态系统健康的矛盾依然存在,水土保持监测站网的监督管理能力还有进一步提升的空间。

[参 考 文 献]

- [1] 刘宝元,谢云,张科利. 土壤侵蚀预报模型[M]. 北京:中国科学技术出版社,2001:1-5.
- [2] 汤小华,王春菊. 福建省土壤侵蚀敏感性评价[J]. 福建师范大学学报:自然科学版,2006,22(4):2-4.
- [3] 王效科,欧阳志云,肖寒,等. 中国水土流失敏感性分布规律及其区划研究[J]. 生态学报,2001,21(1):14-19.
- [4] Routschek A, Schmidt J, Enke W, et al. Future soil erosion risk: Results of GIS-based model simulations for a catchment in Saxony/Germany[J]. *Geomorphology*, 2014, 206(2):299-306.
- [5] Ciampalini R, Follain S, Bissonnais Y L. LandSoil: A model for analysing the impact of erosion on agricultural landscape evolution [J]. *Geomorphology*, 2012, 175(15):25-37.
- [6] 王小丹,钟祥浩,范建容. 西藏水土流失敏感性评价及其空间分异规律[J]. 地理学报,2004,59(2):183-188.
- [7] 杨广斌,李亦秋,安裕伦. 基于网格数据的贵州土壤侵蚀敏感性评价及其空间分异[J]. 中国岩溶,2006,3(1):73-78.
- [8] 王娇,程维明,祁生林,等. 基于USLE和GIS的水土流失敏感性空间分析:以河北太行山区为例[J]. 地理研究,2014,33(4):614-624.
- [9] 李斌,李俊祥,朱飞鸽,等. 基于RUSLE的环杭州湾地区土壤侵蚀敏感性评价及关键敏感因子识别[J]. 应用生态学报,2009,20(7):1578-1584.
- [10] 赵明月,赵文武,安艺明,等. 青海湖流域土壤侵蚀敏感性评价[J]. 中国水土保持科学,2012,10(2):15-20.
- [11] 曾旭婧,张毅,黄素萍,等. 定量遥感支持下的岷江上游土壤侵蚀敏感性评价[J]. 土壤通报,2014,45(4):955-959.
- [12] 中华人民共和国水利部. SL90-96 土壤侵蚀分类分级标准[S]. 北京:中国水利水电出版社,1997.
- [13] 陈燕红,潘文斌,蔡莞蓓. 基于RS/GIS和RUSLE的流域土壤侵蚀定量研究:以福建省吉溪流域为例[J]. 地质灾害与环境保护,2007,18(3):5-10.
- [14] 周伏建,陈明华,林福兴,等. 福建省降雨侵蚀力指标R值[J]. 水土保持学报,1995,9(1):13-18.
- [15] Williams J R, Jones C A, Dyke P T. The EPIC model documentation[M]. Washington D C: U S Department of Agriculture,1990.
- [16] 蔡崇发,丁树文,史志华,等. 应用USLE模型与地理信息系统IDRISI预测小流域土壤侵蚀量的研究[J]. 水土保持学报,2000,14(2):19-24.
- [17] 谭炳香,李增元,王彦辉,等. 基于遥感数据的流域土壤侵蚀强度快速估测方法[J]. 遥感技术与应用,2005,20(2):215-220.
- [18] 何锡君,吕振平,杨轩,等. 浙江省降雨侵蚀力时空分布规律分析[J]. 水土保持研究,2010,17(6):31-34.
- [19] 沈照伟,田刚,李钢,等. 浙江省降雨侵蚀力变化特征分析[J]. 水土保持通报,2013,33(4):119-124.
- [20] 荆长伟. 浙江省土壤数据库的建立与应用[D]. 浙江杭州:浙江大学,2013.
- [21] 周俊菊,石培基,师玮,等. 基于GIS的陇南市土壤侵蚀敏感性评价及其空间分异特征[J]. 土壤通报,2011,42(5):1076-1080.
- [14] 王静,程积民,万惠娥,等. 厚穗宾草地上部生物量与株高的分形关系[J]. 西北植物学报,2005,25(8):1623-1627.
- [15] Wang Zhiqiang, Liu Baoyuan, Zhang Yan. Soil moisture of different vegetation types on the Loess Plateau [J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2009, 19(6): 707-718.
- [16] 黄奕龙,陈利顶,傅伯杰,等. 黄土丘陵小流域生态用水试验研究:气候和土地利用变化的影响[J]. 水科学进展,2006,17(1):14-19.
- [17] 张北赢,徐学选,白晓华. 黄土丘陵区不同土地利用方式下土壤水分分析[J]. 干旱地区农业研究,2006,24(2):96-99.
- [18] 郭忠升,邵明安. 土壤水分植被承载力初步研究[J]. 科技导报,2006,24(2):56-59.
- [19] 李玉山. 苜蓿生产动力动态及其水分生态环境效应[J]. 土壤学报,2002,39(3):404-411.
- [20] Critchley C N R, Chambers B J, Fowbert J A, et al. Association between lowland grassland plant communities and soil properties [J]. *Biological Conservation*, 2002,105(2):199-215.

(上接第209页)