

黄土丘陵沟壑区主要群落地上生物量 季节变化及其与土壤水分的关系

苏 媛¹, 焦菊英^{2,3}, 马祥华⁴

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100;
3. 西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 4. 福建省华夏建筑设计院, 福州 350004)

摘 要:为了探讨黄土丘陵沟壑区主要群落地上生物量季节变化及其与土壤水分的关系,选择 17 个样地 8 个具有代表性的主要群落,通过野外定点跟踪观测,运用相关分析法对生物量和土壤水分的季节变化及二者之间的关系进行了分析。结果表明:(1) 不同植物群落地上生物量具有明显的单峰型季节变异特征,最大值出现在 7 月或 8 月份,最小值出现在 5 月份;(2) 土壤水分在土层垂直方向上具有 3 个明显的分层,0—100 cm 土壤水分活跃层、100—300 cm 土壤水分相对活跃层和 300—500 cm 土壤水分相对稳定层,3 个层都有规律性的季节变化特征,其中 0—100 cm 土层土壤水分的季节动态变化最为明显,表现为 8 月份最大,5 月或 6 月份最小;(3) 地上生物量的季节变化与土壤水分密切相关,0—100 cm 土层土壤水分对地上生物量季节变化的影响较为明显,随着土层深度的增加,其影响作用逐渐降低;(4) 不同植物群落对土壤水分的消耗作用不同,在植被恢复和重建过程中应因地制宜地选择适宜的物种,以加速整个黄土丘陵沟壑区植被恢复进程。

关键词:黄土丘陵沟壑区;地上生物量;土壤水分;降雨;季节变化

中图分类号:S714.2;S152.7

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)06-0007-06

Seasonal Variation of Aboveground Biomass of Main Plant Communities and Its Relationship with Soil Moisture in the Hill-gully Loess Plateau

SU Yuan¹, JIAO Ju-ying^{2,3}, MA Xiang-hua⁴

(1. College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 4. Fujian Huaxia Institute of Architectural Design, Fuzhou 350004, China)

Abstract: In order to explore the seasonal variation of aboveground biomass of main communities and its relationship with soil moisture in the hill-gully Loess Plateau, 17 sample plots set in 8 representative main plant communities were investigated monthly, and correlation analysis was used to examine the seasonal variation of plant aboveground biomass and soil moisture, and their relationship. The results showed that: (1) aboveground biomass of different plant communities had obvious seasonal variation characteristics with single-peak type, and the maximum appeared in July or August, the minimum appeared in May; (2) soil moisture distribution along the vertical direction of soil profile exhibited three obvious layers, which were active layer of 0—100 cm, relatively active layer of 100—300 cm and relatively stable layer of 300—500 cm. All these three layers had regular seasonal change characteristics. But the variation in the soil layer of 0—100 cm was significant, the maximum occurred in August, and the minimum was observed in May or June; (3) seasonal variation of aboveground biomass was closely associated with level of soil moisture. In soil layer of 0—100 cm, the effect of soil moisture on the seasonal change in aboveground biomass was more significant.

收稿日期:2012-06-07

修回日期:2012-06-30

资助项目:国家自然科学基金重点项目“黄土丘陵区土壤侵蚀对植被恢复过程的干扰与植物的抗侵蚀特性研究”(41030532);国家自然科学基金“黄土丘陵沟壑区退耕地植被恢复与土壤环境的互动效应”(40271074)

作者简介:苏媛(1986—),女,陕西延安人,在读硕士,主要研究方向为流域管理。E-mail:suyuanguod0124@126.com

通信作者:焦菊英(1965—),女,陕西宝鸡人,研究员,主要研究方向为土壤侵蚀与植被关系、水土保持环境效应评价。E-mail:jyjiao@ms.iswc.ac.cn

With the increase of soil depth, its effect gradually declined; (4) the different plant community consumption capacity of the soil moisture was various. In the vegetation restoration and reconstruction, we should choose appropriate species according to local conditions in order to speed up the whole hill-gully loess vegetation restoration process.

Key words: the hilly-gully Loess Plateau; aboveground biomass; soil moisture; rainfall; seasonal variation

黄土丘陵沟壑区位于黄土高原北部,由于降水稀少、气候干旱,加之长期的过度农耕和肆意放牧,自然植被遭到严重破坏,水土流失严重,是我国生态环境最为脆弱的地区之一,生态系统亟待修复^[1-2]。植被作为生态系统物质循环和能量交换的枢纽,是防止生态退化的物质基础^[3];同时,植被可以从根本上控制水土流失。因此,植被恢复是黄土高原遏制土地退化,促进退化生态系统恢复的关键因素和有效途径^[4-6]。植被生物量作为生态系统中积累的植物有机物总量,是整个生态系统运行的能量基础和营养物质来源^[7]。生物量的高低变化,既反映了不同植物群落利用资源的能力,也反映了植被—环境关系的空间差异性^[8]。然而,土壤水分是制约黄土高原地区植被恢复与重建的主要限制因子,也是决定植物生产力的一个重要因素^[9-10]。有研究认为根据土壤水分的变化预测产量完全可能的,而且更合理^[11]。因此,研究不同植被群落的地上生物量与土壤水分变化及二者之间的关系,在一定程度上可为人为干扰植被的恢复提供理论依据,对黄土高原的植被重建具有一定指导意义。

目前很多学者就黄土丘陵沟壑区植被恢复过程中地上生物量、土壤水分状况及二者的关系进行了大量的研究,包括自然与人工植被地上生物量差异及其土壤水分效应的比较^[8]、土壤水分与生物量的关系^[11-15]、土壤水分变化规律^[16]、刺槐人工林密度与地上生物量效应^[17]、地上生物量及其影响因素^[18]等,但往往是一种定性的描述或是静态的定量比较,水分和植物生产力之间的动态变化研究还比较少,而这又是研究土壤水分植被承载能力所亟需解决的问题。为此,本研究通过定点跟踪观测,分析黄土丘陵沟壑区 8 个具有代表性的植物群落的地上生物量与土壤水分的季节动态变化特征,以及地上生物量变化与土壤水分的关系,探讨土壤水分对生物量的影响,以期为黄土丘陵沟壑区退化生态系统恢复和生态环境保护提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于黄土丘陵沟壑区的典型区域安塞县真

武洞镇西沟流域。安塞县(105°51'44"—109°26'18"E, 36°22'40"—36°32'16"N),海拔 997~1 731 m,境内地形复杂,梁峁连绵,沟壑纵横。属暖温带半干旱气候区,年平均降水量 500 mm 左右,年际变化大且年内分布不均匀,降雨量分布随着纬度增加而减少,南北相差 157.7 mm;降雨多集中在 7—9 月份,占全年降雨总量的 63%,多以暴雨形式出现,易造成水土流失,春旱频繁,伏旱时有发生,严重影响农作物稳产高产。土壤类型主要为黄绵土,土质疏松,抗蚀抗冲性差,水土流失严重,耕层养分含量少,土地贫瘠^[19]。该区属于暖温带森林草原带,区内植被破坏严重,天然森林较少,人工林以刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、小叶杨(*Populus simonii*)等为主,灌丛主要有柠条(*Caragana intermedia*)和沙棘(*Hippophae rhamnoides*)等人工灌丛以及黄刺玫(*Rosa xanthina*)、虎榛子(*Ostryopsis davidiana*)和狼牙刺(*Sophora viciifolia*)等天然灌丛^[20],荒坡上主要为铁杆蒿(*Artemisia gmelinii*)、芨蒿(*Artemisia giraldii*)、长芒草(*Stipa bungeana*)、白羊草(*Bothriochloa ischaemum*)、大针茅(*Stipa grandis*)、达乌里胡枝子(*Lespedeza daurica*)等组成的处于不同演替阶段的草本植物群落^[21]。

1.2 样地调查与采样

于 2004 年在西沟流域按不同退耕年限(退耕年限通过农户走访调查获取)选择了沙打旺(*Astragalus adsurgens*)群落、猪毛蒿(*Artemisia scoparia*)群落、赖草(*Leymus secalinus*)群落、人工柠条群落、人工沙棘群落、铁杆蒿群落、人工柠条群落、白羊草群落和人工刺槐群落 8 个植物群落 17 个样地,进行地上植被调查和土壤水分测定。样地基本情况如表 1 所示。植被调查于 5—9 月份进行,每月一次,每个样地设置 3 个重复样方,样方的大小为草本 2 m×2 m,灌木 5 m×5 m,乔木 10 m×10 m,调查内容包括植物的种类、数量、高度、盖度、频度、生活型以及地上生物量等。物种盖度采用双人目测法;物种出现的频度是在样方周围选择 10 个 1 m×1 m 的小样方来调查不同物种出现的数量。地上部分的生物量测定采用收获法,在选取的样方内沿样地对角线采取 1/4 样带回室内称重,并将样品放入纸袋,在 80℃ 恒温下经 12 h

烘至恒重,以获取各物种的生物量干重,然后把样方内各物种的地上生物量相加即为群落的地上生物量。土壤水分测定于 4—10 月份采用土钻法,每月测一次,每次 2 个重复,取样深度为 500 cm,每隔 20 cm 一层,共 25 层,分别取样测定,采用烘干法求其土壤含水量。降雨资料由安塞水土保持站提供。

表 1 样地的基本情况

样地号	退耕年限/a	坡度/(°)	坡向	坡位	群落	盖度/%
1	10	15	半阴坡	下	赖草+阿尔泰狗娃花+芨芨	75
2	10	15	半阴坡	中	赖草+早熟禾	85
3	10	15	半阴坡	上	赖草+铁杆蒿+达乌里胡枝子	70
4	6	7	半阴坡	中	猪毛蒿+阿尔泰狗娃花+芨芨	15
5	15	15	半阳坡	中	铁杆蒿+长芒草	30
6	25	25	半阴坡	中	人工柠条林	90
7	30	25	阳坡	上	白羊草+芨芨+达乌里胡枝子	85
8	30	25	阳坡	中	白羊草+铁杆蒿	85
9	30	25	阳坡	下	白羊草+达乌里胡枝子	80
10	2	20	半阴坡	中	沙打旺	95
11	13	25	半阳坡	中	人工沙棘林	70
12	12	30	半阳坡	上	人工柠条林	70
13	12	30	半阳坡	中	人工柠条林	70
14	12	30	半阳坡	下	人工柠条林	70
15	40	25	半阴坡	上	人工刺槐林	95
16	40	25	半阴坡	中	人工刺槐林	95
17	40	25	半阴坡	下	人工刺槐林	90

1.3 数据分析

利用 Excel 2007 软件处理数据,并用 SPSS 17.0 软件进行不同植物群落地上生物量季节变化与土壤含水量的 Pearson 相关分析,显著性水平为 $p<0.05$;在相关分析计算中,土壤水分因子分别采用 0—100,100—300,300—500 cm 土层的平均土壤含水量。

2 结果与分析

2.1 不同植物群落地上生物量季节变化

8 个不同植物群落地上生物量季节变化(表 2)表明,不同群落之间,自然植被群落地上生物量明显小于人工植被群落(除 13 a 人工沙棘群落),且自然植被群落总体上表现为随着演替的进行,地上生物量逐

渐增加,二者在 $p<0.01$ 水平上显著相关(相关系数 $r=0.860,p=0.003$)。对于人工植被群落,地上生物量从大到小依次是 25 a 柠条群落>40 a 刺槐群落>2 a 沙打旺群落>13 a 沙棘群落,这与其盖度密切相关。从不同季节来看,8 个群落地上生物量随季节变化总体都表现为在 5 月或 6 月份较小,7 月至 8 月份快速增长,生物量达到高峰,9 月份出现了一定的下降,但高于 5 月或 6 月份。其中,赖草群落地上生物量最大值与最小值相差 1.5 倍,沙打旺群落、猪毛蒿群落、沙棘群落、铁杆蒿群落和刺槐群落相差 4 倍左右,柠条群落和白羊草群落最大值与最小值相差分别为 9.7 和 6.3 倍。说明不同植物群落地上生物量都具有明显的季节变异特征且呈单峰型变化。

表 2 不同植物群落地上生物量季节变化

植物群落	地上生物量/(g·m ⁻²)					
	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	总量
2 a 沙打旺群落	299.58	423.50	974.66	1324.01	762.81	3784.56
6 a 猪毛蒿群落	14.43	28.11	41.11	64.91	61.84	210.40
10 a 赖草群落	37.39	52.78	81.37	92.00	41.29	304.83
13 a 沙棘群落	85.88	152.34	241.89	365.44	276.85	1122.40
15 a 铁杆蒿群落	177.11	278.96	722.36	462.05	387.72	2028.20
25 a 柠条群落	158.26	886.33	1619.87	1687.85	1189.55	5541.86
30 a 白羊草群落	141.42	263.10	439.09	1038.36	1185.73	3067.70
40 a 刺槐群落	347.14	826.75	1229.09	1552.50	1153.45	5108.93

2.2 不同植物群落土壤水分季节变化

在退耕地植被恢复中,随着季节的变化,由于降

水、植被耗水及其蒸腾也发生相应的变化,使得土壤水分也随季节呈规律性变化趋势(图 1)。在土层垂

直方向上具有 3 个明显的分层,即 0—100 cm 土壤水分活跃层、100—300 cm 土壤水分相对活跃层和 300—500 cm 土壤水分相对稳定层。0—100 cm 土层土壤水分的季节动态变化明显,最大值和最小值相差 5%~9%;最大值一般为 8 月份的测定结果,变化在 10.4%~14.1%,群落间的差异不大;最小值则为 5 月份或 6 月份的测定结果,人工植被群落变化在 4.3%~5.3%,自然植被群落变化在 6.5%~7.5%,人工植被群落明显低于自然植被群落。可见,0—100 cm 土层的水分随降雨季节变化(图 2)的影响较大,

同时也受植被类型的影响。100—300 cm 土层的土壤水分季节动态变化不如 0—100 cm 土层明显,但比 300—500 cm 土层的变化要大。100—300 cm 和 300—500 cm 土层的最大值和最小值的差值变化分别为 1.9%~4.8%和 1.8%~3.4%,且人工植被的最大值多为 10 月份或 4 月份的测定结果,说明人工植被在生长季节的耗水量很大,即使有雨水的补给,土壤含水量的最大值也不会出现在雨季。可见 100—300 cm 和 300—500 cm 土层水分含量变化受植被类型的影响较大。

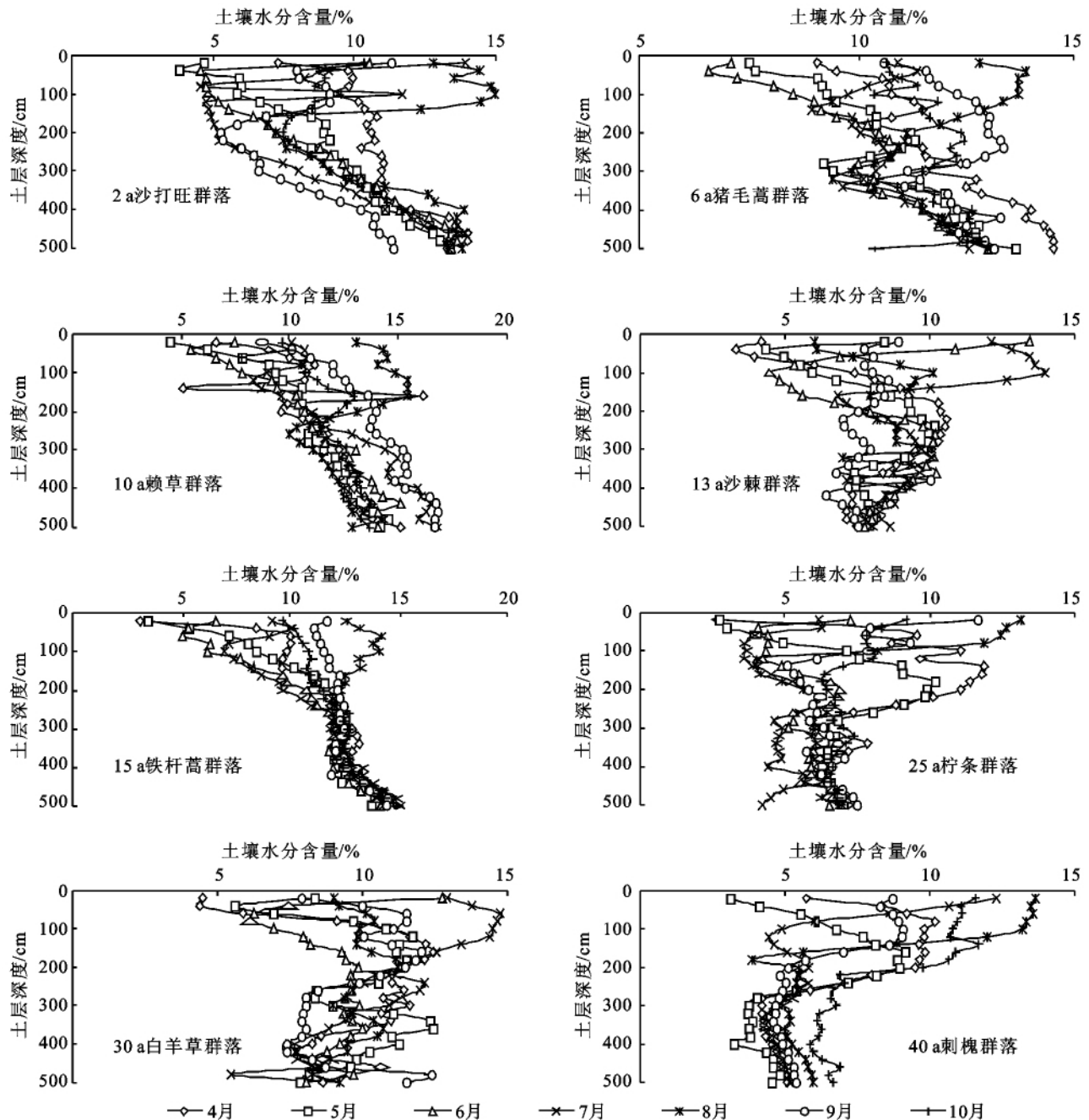


图 1 不同群落 0—500 cm 土层土壤水分的季节动态变化

2.3 地上生物量与土壤水分的关系

地上生物量的季节变化与土壤水分关系密切,在

5—9 月份,其变化趋势与土壤水分整体变化趋势一致,即二者都在 5 月或 6 月份最小,随后呈增长趋势,

7 月或 8 月份达到最大,随后有所下降,但下降的幅度不是很大,这与降雨的季节变化有着密切的关系(图 2)。8 个不同群落地上生物量的季节变化与 0—500 cm 土层土壤水分含量的相关性分析(表 3)表明,在 0—100 cm 土层,除铁杆蒿群落的相关系数 r 较低,只有 0.374 外,其他群落的相关系数都较高,都在 0.60~0.93 之间,其中,沙打旺群落、猪毛蒿群落和沙棘群落的地上生物量的季节变化与土壤水分呈显著正相关($p<0.05$);100—300 cm 土层,柠条群落地上生物量的季节变化与土壤水分呈显著负相关($p=0.025$),其他群落均未达到显著水平($p>0.05$);300—500 cm 土层,土壤水分对地上生物量的季节变化均无显著影响($p>0.05$)。表明在黄土丘陵沟壑区退耕地 0—100 cm 土层土壤水分含量对植被群落地上生物量季节变化的影响作用较为明显,且随着土层深度的增加,其影响作用逐渐降低。

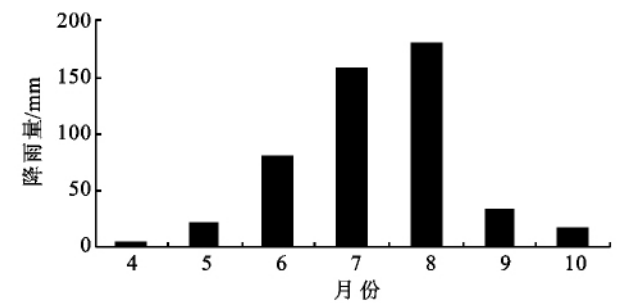


图 2 2004 年安塞降雨量季节变化

表 3 不同植物群落地上生物量与土壤含水量的 Pearson 相关系数 ($n=5$)

植物群落	土层深度/cm		
	0—100	100—300	300—500
2 a 沙打旺群落	0.936*	-0.072	0.268
6 a 猪毛蒿群落	0.879*	0.774	-0.087
10 a 赖草群落	0.718	0.055	-0.041
13 a 沙棘群落	0.930*	-0.518	0.815
15 a 铁杆蒿群落	0.374	-0.323	0.774
25 a 柠条群落	0.579	-0.924*	-0.541
30 a 白羊草群落	0.775	0.325	-0.703
40 a 刺槐群落	0.876	-0.605	0.551

注: * 表示 $p<0.05$ 水平显著。

3 结论与讨论

(1) 不同植物群落地上生物量都存在明显的单峰型季节动态变化,与黄德青等^[14]的研究结果基本一致。这与温度、植物的生长及生理阶段有着密切的关系^[22-23],5 月上旬植被开始返青,植物从休眠期进入营养期,由于早春植物刚开始萌发,生长较为缓慢,地上生物量最低,随着温度升高,植物生长发育先后进入花蕾期、开花期和结果期(7 月、8 月),物质积累

迅速,生物量也不断增大,随后达到高峰值,植物结果后(9 月份),进入果后营养期和枯萎期,地上有机质向地下转移,为翌年的萌发做准备,地上生物量随之下降^[23-25]。另外,植被地上生物量的季节变化也受降水量及其季节分配的影响^[23]。根据 2004 年安塞降雨资料,5、6 月份降水较少,5 月份只有 21 mm,到 7 月、8 月份降水逐渐增多,促进了植物的生长,地上生物量增大,8 月以后,降水逐渐减少,使植物的生长受到一定的限制,地上生物量出现下降趋势。

(2) 8 个不同植物群落土壤水分都具有季节性动态变化趋势,大体可分为三个阶段:土壤水分的利用耗损期(4—6 月底),该阶段降水较少,相对湿度低,气温有所增加,土壤蒸发增强,同时,植物开始萌发生长,枝叶增大,植物的蒸腾作用也不断加强,致使土壤水分下降较大;土壤水分的降水补偿期(7—8 月),该阶段植物的生长达到整个生长期的旺盛期,土壤蒸发和植物蒸腾非常强烈,但由于降水较多,降水量大于潜在的蒸散量,因而使土壤含水量有所增加;土壤水分的缓慢下降期(9—10 月底),该阶段降水有所减少,植物处于衰败阶段,土壤含水量呈下降趋势。张雷明等^[12]的研究也表明,黄土高原的土壤水分在年内受降水特点的影响经历了低—高一低的变化。在垂直剖面上土壤水分具有一定的层次性,本研究中 0—500 cm 土层具有 3 个明显的分层,0—100 cm 活跃层、100—300 cm 相对活跃层和 300—500 cm 相对稳定层。其中,0—100 cm 层,土壤水分含量季节性变化范围较大,受降水影响作用较大,同时也与植被类型有关,100—300 cm 层和 300—500 cm 层土壤水分变化较小,主要受植被类型的影响。

(3) 地上生物量的季节变化与土壤水分含量密切相关。8 个不同群落总体都表现为 0—100 cm 层土壤水分含量对地上生物量季节变化影响作用比较明显,随土层加深,其影响作用逐渐降低。据李玉山^[26]的研究,黄土高原土层厚度一般为 50~100 m,地下水埋藏较深,无上行补给的可能,因此降水成为土壤水分的唯一来源。在干旱和生物利用的共同作用下,降水渗透一般不超过 3 m,基本与植物根系的活动范围一致。由此可知,0—100 cm 土层的土壤水分含量不仅会受降雨入渗作用的影响,还可能与 100—300 cm 层土壤水分上行蒸发的补给有关,故其变化相对活跃,对地上生物量的影响作用也大。

(4) 延安地区田间稳定持水量为 12% 左右,凋萎湿度为 4.2%,水分含量低于 12% 的土层都属于土壤干层^[27-28]。本研究中自然植被群落 0—300 cm 土层,除 8 月份的水分含量在 12% 以上,其他月份均出现了

土壤干层,说明自然植被群落的土壤干层通过降水补偿是可以恢复的。2 a 人工沙打旺群落,300 cm 土层以上的土壤水分消耗相对于自然植被群落更大。13 a 沙棘群落和 25 a 柠条群落,0—500 cm 土层均出现了土壤干层且较为严重。40 a 刺槐群落对深层土壤水分的消耗很大,4—10 月份 300—500 cm 土层的土壤水分仅为 4.5%~5.4%,形成了严重的永久性土壤干层。可见,不同植物群落对土壤水分的消耗不同,且人工植物群落消耗作用较大,更易形成土壤干层。因此,在植被恢复过程中应深入了解不同植物群落对土壤水分的消耗作用,在自然草地人工引种补播适宜物种,并因地制宜地进行人工植被配置,以促进整个黄土丘陵沟壑区退耕地的植被恢复和重建。

参考文献:

- [1] 秦伟,朱清科,刘中奇,等.黄土丘陵沟壑区退耕地植被自然演替系列及其植物物种多样性特征[J].干旱区研究,2008,25(4):507-513.
- [2] 王国梁,刘国彬,刘芳,等.黄土沟壑区植被恢复过程中植物群落组成及结构变化[J].生态学报,2003,23(12):2550-2557.
- [3] 吕仕洪,向悟生,李先琨,等.红壤侵蚀区植被恢复研究综述[J].广西植物,2003,23(1):83-89.
- [4] 朱显谟.迅速全面恢复植被是根除河害之本[J].中国水土保持,1999(10):29-31.
- [5] 郑粉莉.子午岭林区植被破坏与恢复对土壤演变的影响[J].水土保持通报,1996,16(5):41-44.
- [6] 彭少麟.恢复生态学及退化生态系统的恢复[J].中国科学院院刊,2000,20(3):188-192.
- [7] 冯宗炜,王效科,吴刚.中国森林生态系统的生物量和生产力[M].北京:北京科学出版社,1999.
- [8] 张春梅,焦峰,温仲明,等.延河流域自然与人工植被地上生物量差异及其土壤水分效应的比较[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2011,39(4):132-134.
- [9] 胡良军,邵明安.黄土高原植被恢复的水分生态环境研究[J].应用生态学报,2002,13(8):1045-1048.
- [10] 傅伯杰,王军,王克明.黄土丘陵区土地利用对土壤水分的影响[J].中国科学基金,1999(4):225-227.
- [11] 李绍良.草原土壤水分状况与植物生物量关系的初步研究[C]//中国科学院内蒙古草原生态系统定位站.草原生态系统研究(第一集).北京:科学出版社,1985.
- [12] 张雷明,上官周平.黄土高原土壤水分与植被生产力的关系[J].干旱区研究,2002,19(4):59-62.
- [13] 孙长忠,黄宝龙,陈海滨,等.黄土高原人工植被与其水分环境相互作用关系研究[J].北京林业大学学报,1998,20(3):7-13.
- [14] 黄德青,于兰,张耀生,等.祁连山北坡天然草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):20-17.
- [15] 靳淑静,韩蕊莲,梁宗锁.黄土丘陵区不同立地达乌里胡枝子群落水分特征及生物量研究[J].西北植物学报,2009,29(3):542-547.
- [16] 郝文芳,韩蕊莲,单长卷,等.黄土高原不同立地条件下人工刺槐林土壤水分变化规律研究[J].西北植物学报,2003,23(6):964-968.
- [17] 王百田,王颖,郭江红,等.黄土高原半干旱地区刺槐人工林密度与地上生物量效应[J].中国水土保持科学,2005,3(3):35-39.
- [18] 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.
- [19] 焦峰,温仲明,王飞,等.黄土丘陵区尺度整体景观格局分析[J].水土保持学报,2004,18(2):1-2.
- [20] 贾燕锋,焦菊英,张振国,等.黄土丘陵沟壑区沟沿线边缘植被特征初步研究[J].中国水土保持科学,2007,5(4):39-43.
- [21] 焦菊英,马祥华,白文娟,等.黄土丘陵沟壑区退耕地植物群落与土壤环境因子的对应分析[J].土壤学报,2005,42(5):744-752.
- [22] 马祥华.黄土丘陵沟壑区退耕地植被恢复演替与土壤因子的关系研究[D].陕西杨凌:中国科学院教育部水土保持与生态环境研究中心,2005.
- [23] 朱宝文,周华坤,徐有绪,等.青海湖北岸草甸草原牧草生物量季节动态研究[J].草业科学,2008,25(12):1-5.
- [24] 周国英,陈桂琛,赵以莲,等.施肥和围栏封育对青海湖地区高寒草原影响的比较研究.Ⅱ:地上生物量季节动态[J].草业科学,2005,22(1):59-63.
- [25] 王国良,盛亦兵,何峰,等.天然羊草草地上生物量动态研究[J].草地学报,2010,18(1):11-15.
- [26] 李玉山.黄土区土壤水分循环特征及其对陆地水分循环的影响[J].生态学报,1983,3(2):91-101.
- [27] 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.
- [28] 王力,邵明安,侯庆春.黄土高原土壤干层初步研究[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2001,29(4):34-38.