

doi:10.11733/j.issn.1007-0435.2015.06.008

黄土高原坡地退耕恢复草地的土壤水分动态

易彩琼¹, 王 胜², 樊 军^{1,2*}

(1. 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;
2. 中国科学院水利部水土保持研究所 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)

摘要: 为了解黄土高原水蚀风蚀区坡地退耕还草后的土壤水分消耗与补充过程, 利用 2003 年开始的野外坡面径流小区定位观测土壤剖面水分, 分析坡地退耕还草多年后的土壤水分动态变化及丰水年的恢复状况。结果表明: 坡地退耕还草后, 土壤水分含量降低, 多年以后, 苜蓿地显著低于坡耕地, 含水量已接近或者达到萎蔫含水量。撂荒地土壤水分含量稍低于坡耕地, 尽管坡耕地有较多的径流, 但是土壤水分含量保持在较高水平。2010 年初 3 个处理土壤剖面平均含水量分别为 7.4%, 12.6%, 12.5%, 丰水年降水可以不同程度的补充土壤剖面水分, 补充深度较一般年份深 110 cm 左右, 苜蓿地、撂荒地、坡耕地土壤水分分别恢复到 10.0%, 14.5%, 15.5%, 分别增加了 35.1%, 15.1%, 24.0%。因此, 坡耕地退耕种植紫花苜蓿 (*Medicago sativa*) 导致土壤水分含量显著降低, 只有在丰水年土壤水分含量才有较明显的恢复。

关键词: 黄土高原; 土壤水分; 退耕还草; 丰水年

中图分类号: S157.4 S812.2

文献标识码: A

文章编号: 1007-0435(2015)06-1182-08

Soil Water Dynamics of Degraded Grassland on the Slope of the Loess Plateau

YI Cai-qiong¹, WANG Sheng², FAN Jun^{1,2*}

(1. 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 Province 712100, China;
2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences, Yangling, Shaanxi Province 712100, China)

Abstract: In order to understand the soil water depletion and replenishment after returning farmland to grassland on the sloping in the water-wind erosion region of the Loess Plateau, soil moisture dynamics were observed under different land use types. Results show that the soil water content of the grassland (alfalfa) decreased distinctly and water content was close to the wilting point after alfalfa was planted for many years. Despite of having more runoff, the soil water content was in a higher level in the farmland. The average water contents of grassland, abandoned land and farmland were 7.4%, 12.6% and 12.5% at the beginning of the growing season in 2010, respectively. Soil water was recharged to different levels under different land use types in the wetter year, and the recharging depth in the wetter year was deeper than normal year. The soil water contents of alfalfa land, abandoned land and farm land were restored to 10.0%, 14.5%, 15.5%, and the soil moisture increased by 35.1%, 15.1%, 24.0%, respectively. As a result, the soil water content decreased significantly by returning farmland to grassland, and the distinct recovery of soil water content was observed only in the wetter year.

Key words: The Loess Plateau; Soil moisture; Returning farmland to grassland; The wetter year

黄土高原水蚀风蚀交错带是我国生态环境最为脆弱的区域, 也是我国退耕还林还草工程典型区域之一, 该区植被和生态系统退化严重^[1]。因此植被建设是水蚀风蚀区治理的关键^[2-4]。水是制约黄土

高原植被恢复的关键自然因素^[5], 且降水是该区补充土壤水分的唯一途径^[6]。土壤水分状况对植被生长作用的研究一直以来深受重视^[7-9]。

在黄土高原地区, 耕作制度会影响深层土壤水

收稿日期: 2014-05-16; 修回日期: 2014-07-28

基金项目: 国家自然科学基金(41271239); 中国科学院西部行动计划项目(KZCX2-XB3-13)资助

作者简介: 易彩琼(1989-), 女, 湖北监利人, 硕士研究生, 主要从事土壤侵蚀研究, E-mail: xiaocai1989123@163.com; * 通信作者 Author for correspondence, E-mail: fanjun@ms.iswc.ac.cn

分的变化。由于高强度的种植方式,土壤水分在土层 2~3 m 处容易形成干层,一般在丰水年土壤水分可以得到恢复。在现有耕作制度下,除苜蓿植被外,其它植被覆盖下土壤干层水分恢复至少需要 10 年时间^[10]。坡耕地退耕还林还草后,会对植被覆盖及土壤的理化性质造成一定的影响^[11-12],进而影响土壤含水量^[13]。李婧等^[14]研究了黄土高原丘陵沟壑区退耕地生态系统的水分动态变化规律,结果表明,随着退耕年限的增长,自然恢复条件下的退耕地土壤水分含量先增大,后逐渐稳定;人工干预条件下,耕层土壤含水量较多。Wang 等^[15]研究了黄土高原半干旱退耕地区有效降水对植被群落土壤水分补给,表明不同的土地覆盖类型对土壤水分渗透和输入影响显著,草地最大入渗深度达到 156 mm,耕地土壤水分入渗深度较浅,且天然草地土壤水分入渗速度大,湿润锋较深。在半干旱地区,即使在雨季,降水也不能完全补给土壤水分,撂荒地能够很好地保持水土,苜蓿地和坡耕地土壤水分利用效率低,植被生长季节消耗土壤水分最大^[16]。另有研究表明,撂荒地与苜蓿地土壤干层出现的区域及发生的程度不同:撂荒地在 80~100 cm 土层深度,出现轻度干层;生长年限低于 8 年的苜蓿草地,在 250~350 cm 土层出现轻度干层;生长年限超过 8 年,出现中度干层,干层范围延至 500 cm 以下^[17]。

以往研究多为短期观测试验,对于黄土高原水蚀风蚀交错区退耕还草不同降水年型下土壤水分的消耗与恢复报道则较少。本文利用野外坡面小区定位观测土壤剖面水分,分析坡地退耕还草多年后在平水年、枯水年及丰水年的土壤水分动态变化,为该地区合理利用天然降雨资源及土地资源提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

本试验地点位于陕西省榆林市神木县(E 110°21'~110°23',N 38°46'~38°51'),属于黄土高原水蚀风蚀交错带六道沟流域。本区属中温带半干旱气候,年际、年内气候变化剧烈,冬春季干旱少雨,多风沙,夏秋多雨,且多暴雨及冰雹。降水稀少而比较集中,暴雨、洪水、干旱、沙尘暴灾害频繁。多年平均降水量为 437.4 mm,其中 6—9 月的降水约占全年降水量的 80% 左右。野外观测试验于 2010—2013 年进行,其中 2010 年度降水 423.7 mm,接近多年平均

值,为平水年,具有较好的代表性;2011 年降水 322.0 mm,为枯水年;2012 年度降水 548.1 mm,显著高于多年平均值,为丰水年;2013 年度降水 669.4 mm,也为丰水年(图 1)。该区无霜期 169 d,作物生长一般在 4 月至 10 月。

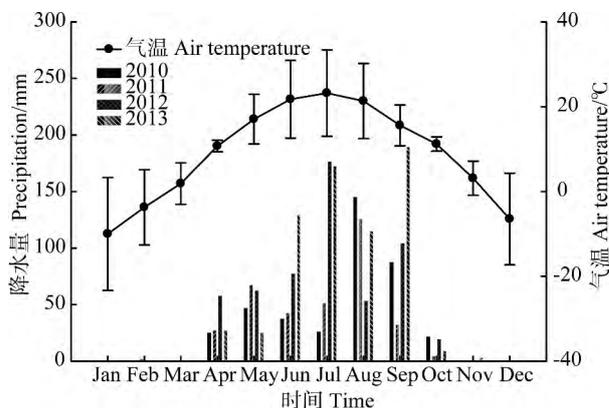


图 1 降水与气温月变化

Fig. 1 Monthly distribution of precipitation and air temperature

1.2 试验材料

本试验地点位于西北农林科技大学神木侵蚀与环境试验站,在坡地径流小区上开展野外坡面定位监测试验。2002 年在 1 块已经耕种 30 a 以上的坡耕地建设径流观测小区,设 3 个处理:紫花苜蓿地、撂荒地和坡耕地,每个处理 3 个重复,共 9 个小区,每个小区坡长 12 m,宽 5 m,坡度为 14 度。紫花苜蓿 (*Medicago sativa*) 于 2002 年种植,种植行距为 40 cm,紫花苜蓿地的植被生长旺季覆盖度达到 82%。撂荒地主要建群种有拂子茅 (*Calamagrostis epigeios*)、茵陈蒿 (*Artemisia capillaries*)、紫云英 (*Astragalussinicus*)、角蒿 (*Incarvillea sinensis*) 等,撂荒草地的植被生长旺季覆盖度达到 77%。苜蓿地每年 8 月和 10 月全小区刈割,撂荒地不进行人为干扰,坡耕地于每年 5 月中下旬种植农作物,10 月初收获,种植行距为 45 cm,其植被生长旺季的覆盖度为 65%,且只有坡耕地每年雨季产生径流。

1.3 试验方法

1.3.1 土壤水分含量测定 试验区气象站的仪器记录 4 月到 10 月的气象资料(降雨、最高温、最低温等);在 9 个试验小区上中下埋设 3 根铝制中子仪测管,3 点的平均值作为该小区的水分含量值,采用中子水分仪(CNC503B)对每块样地的土壤水分进行观测,测量过程中,测深在 0~100 cm 土层时测量间距为 10 cm,100~260 cm 测量间距为 20 cm。每层土壤含水量(质量含水量,%)在计算时,

取其算术平均值。用环刀法测量土壤容重,紫花苜蓿样地土壤容重平均值为 $1.39 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$,撂荒草地土壤容重平均值为 $1.36 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$,农耕地土壤容重平均值为 $1.33 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。

1.3.2 土壤储水量计算 土壤储水量的计算采用如下公式^[18]:

$$W = 0.1 \cdot h \cdot \rho \cdot \theta \quad (1)$$

式中, W 为土壤储水量(mm), h 为土层厚度(cm), ρ 为土壤容重($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$), θ 为土壤含水量(质量含水量,%)。

对土壤储水量消耗(soil water depletion)/补充(soil water infiltration)量进行计算时,采用公式:

$$W_D = W_{mid} - W_{start} \quad (2)$$

$$W_I = W_{end} - W_{start} \quad (3)$$

式中, W_D 为土壤储水量消耗量(mm), W_I 为土壤储水量补充量(mm), W_{start} 为季初土壤储水量(mm), W_{mid} 为生长季蒸散旺盛期土壤储水量(mm), W_{end} 为季末土壤储水量(mm)。

1.3.3 土壤水分消耗深度与补充深度确定 土壤水分消耗深度与补充深度确定方法主要参照前人研究^[18],分别确定 2010 年至 2013 年这 4 年不同土地利用方式下土壤水分消耗深度与补充深度。

1.3.4 土壤水分有效性分类及干燥化程度确定 在土壤干层水分恢复层中,上层水分恢复的程度比下层好。把恢复层中土壤水分按水分的有效性进行分层,将中效水及其以上(绝对湿度大于 7.0%,相对湿度大于 35.0%)的土层看作主要恢复层。其中,相对湿度是指土壤水分含量占田间持水量的百分比^[19]。陕北水蚀风蚀区苜蓿地土壤萎蔫湿度为 6.0%^[20],土壤稳定湿度为 10.8%^[21],当地土壤田间持水量取 20.0%^[22]。在黄土高原半干旱区,土壤发生干燥化时水分含量的上限是田间持水量的 65%^[23],即土壤含水量低于 13.0%时土壤发生干燥化。

1.3.5 植被覆盖度的测量 在试验期间,相机拍照后用 Image-J 软件进行处理与计算。

1.4 数据分析

采用 PASW Statistics 18.0 统计分析软件分析数据,应用 ANOVA 方差分析不同土地利用方式及不同降水年型对土壤水分的影响;应用 SigmaPlot

12.5 进行作图分析。

2 结果与分析

2.1 土壤剖面水分分布特征

土地利用方式显著影响了土壤剖面水分分布及其年际变化(图 2)。在不同土地利用方式下,4 年中坡耕地土壤剖面平均含水量均高于撂荒草地及紫花苜蓿地,但土壤剖面平均含水量变化量依次为撂荒草地>坡耕地>紫花苜蓿地。撂荒草地土壤剖面含水量最大值与最小值之间的平均差异值(10.6%)最大,其次是坡耕地(10.3%),最小的是苜蓿地(6.4%)。0~50 cm 深度土壤水分含量随时间波动明显,这是由于在此深度,作物根系分布密集,有效根密度大,吸收水分多,降水对此深度土壤水分补给快。撂荒草地和坡耕地的土壤水分变化主要发生在浅层,而紫花苜蓿对土壤水分的吸收利用已经超过测定深度 260 cm。

不同土地利用方式下的土壤剖面含水量变化随降水年型的不同而存在差异。3 种处理土壤剖面含水量在枯水年变化一致,均在 4 月最高,8 月最低;而在丰水年土壤剖面含水量变化不一致。撂荒草地及坡耕地的土壤剖面含水量在 10 月最高,苜蓿地的土壤剖面含水量在 8 月最高;而苜蓿地和撂荒草地的土壤剖面含水量在 6,7 月出现最小值,坡耕地在 4 月土壤含水量最低。

2.2 土壤平均含水量变化

不同土地利用方式下土壤平均含水量年际变化明显,且 3 个处理之间存在显著差异($P < 0.05$) (表 1)。紫花苜蓿地土壤平均含水量从 2012 年 6 月的 5.9% 增加到 2013 年 10 月的 10.0%,增加了 68.2%;撂荒草地土壤平均含水量从 2012 年 7 月的 9.9% 增加到 2013 年 10 月的 14.5%,增加了 45.9%;坡耕地剖面土壤平均水分含量从 2012 年 5 月的 11.1% 增加到 2013 年 10 月的 15.5%,增加了 39.4%。3 种处理 4 年土壤平均含水量最小是苜蓿地(7.4%),最大是坡耕地(12.8%);而丰水年土壤水分恢复最多的是苜蓿地(68.2%),其次是撂荒地(45.9%),最少的是坡耕地(39.4%)。

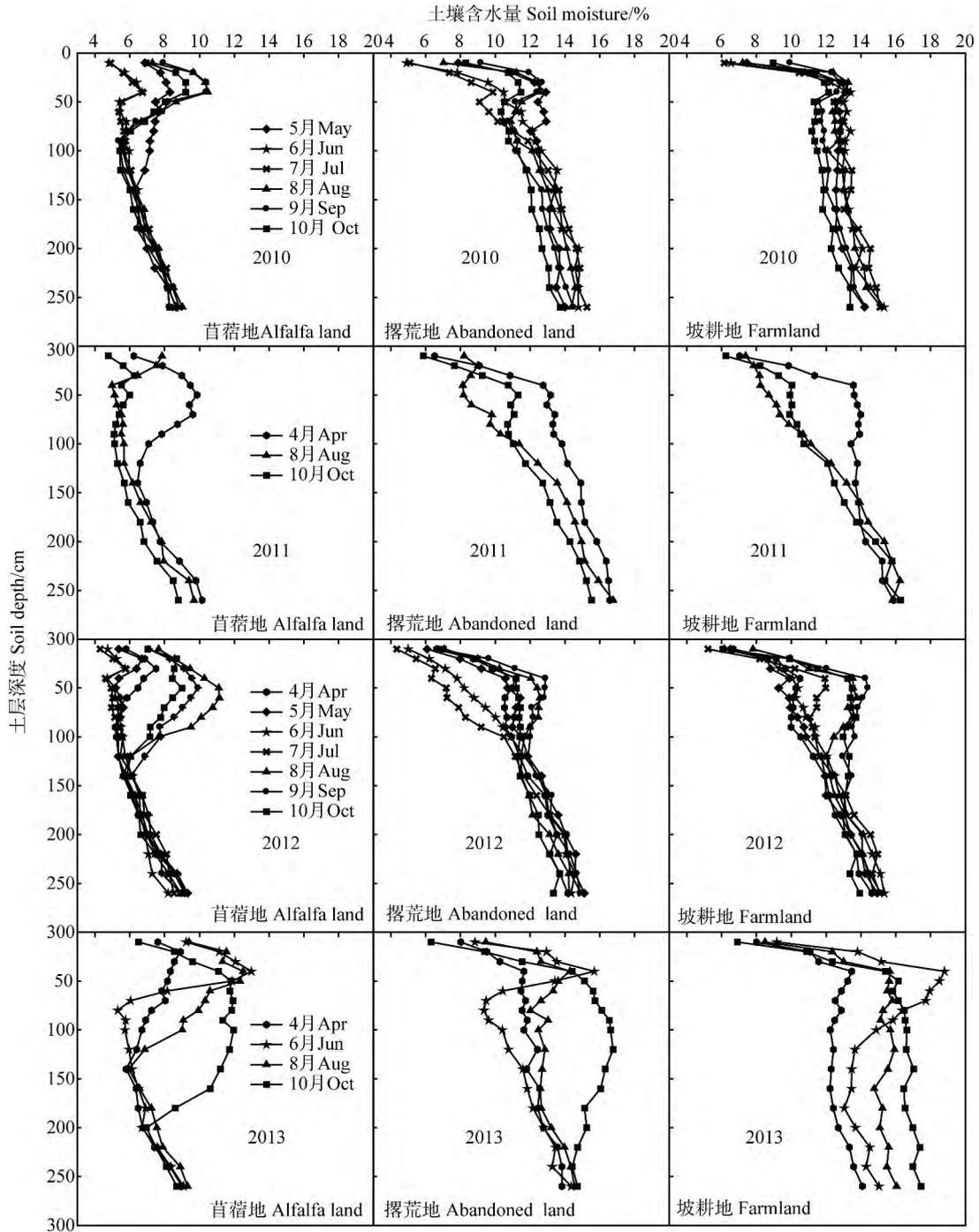


图 2 2010 年至 2013 年 0~260 cm 剖面水分值

Fig. 2 Soil moisture contents of 0~260 cm cross-section from 2010 to 2013

表 1 不同土地利用方式下土壤 0~260 cm 土层平均含水量

Table 1 The mean soil moisture contents in 0~260 cm under different land use types

	2010 年/%	2011 年/%	2012 年/%	2013 年/%	平均值 Mean/%
苜蓿地 Alfalfa land	7.1	7.0	7.0	8.7	7.5 ^c
撂荒地 Abandoned land	12.0	12.3	11.3	12.8	12.1 ^b
坡耕地 Farmland	12.6	12.2	12.0	14.4	12.8 ^a

注:同列不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$, LSD), 下同

Note: Different letters in the same column represent significant difference at the 0.05 level, the same as below

2.3 土壤储水量动态变化

土地利用方式显著影响了土壤储水量变化(图 3)。4 年中,坡耕地和撂荒地的土壤储水量差异不显著,而与苜蓿地的土壤储水量存在显著差异($P < 0.05$)(表 2)。坡耕地土壤储水量最大,撂荒地稍低于坡耕地,而苜蓿地处于较低水平。但苜蓿地土壤储水量变化最大,而坡耕地土壤储水量变化最小。苜蓿地土壤储水量从 225.8 mm 增加到 359.6 mm,增加了 59.3%。撂荒地土壤储水量从 403.9 mm 增加到 545.6 mm,增加了 35.1%,但整体储水量与坡耕地储水量一致。坡耕地土壤储水量从 431.1 mm 增加到 588.1 mm,增加了 36.4%。

不同降水年型下,3 个处理的土壤储水量变化(表 2)及水分消耗量、水分补充量(表 3)均有差异。在平水年、枯水年,苜蓿地及撂荒地植被生长季蒸散旺盛期的土壤储水量均小于季初土壤储水量,植被消耗土壤储水;在丰水年 2013 年,3 个处理植被生长季蒸散旺盛期的土壤储水量大于季初土壤储水量,降水补给土壤水分。在平水年及枯水年,3 个处理的季末土壤储水量均小于季初土壤储水量,

土壤水分未能得到补充;在丰水年,除了在 2012 年撂荒草地的季末土壤储水量略小于季初土壤储水量,土壤水分未能得到补充外,其它年份及不同处理的季末土壤储水量均大于季初土壤储水量,土壤水分得到补充。

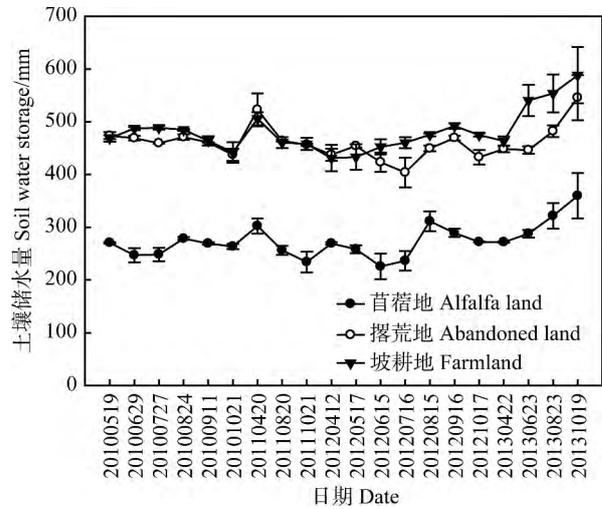


图 3 不同土地利用方式下土壤储水量年度变化
Fig. 3 Annual change of soil water storage under different land use types

表 2 不同土地利用方式下 0~260 cm 土层储水量年度变化
Table 2 Annual changes of soil water storage in 0~260 cm under different land use types

项目 Items	2010 年土壤季初/ 季末储水量 W_{start} / W_{end} in 2010/mm	2011 年土壤季初/ 季末储水量 W_{start} / W_{end} in 2011/mm	2012 年土壤季初/ 季末储水量 W_{start} / W_{end} in 2012/mm	2013 年土壤季初/ 季末储水量 W_{start} / W_{end} in 2013/mm	4 年土壤储水量 的平均值 Mean/mm
苜蓿地 Alfalfa land	270.5/263.5	302.3/234.1	269.2/272.0	271.7 / 359.6	273.6 ^b
撂荒地 Abandoned land	473.6/437.5	522.7/456.4	437.6/432.9	448.4/545.6	460.4 ^a
坡耕地 Farmland	468.6/442.1	505.8/457.8	431.1/475.0	463.7/588.1	481.2 ^a

表 3 不同土地利用方式下 0~260 cm 土层储水量消耗与补充程度
Table 3 Soil water depletion and replenishment in 0~260 cm under different land use types

项目 Items	2010 年土壤储水量消耗/ 补充程度 W_D/W_j in 2010/mm	2011 年土壤储水量消耗/ 补充程度 W_D/W_j in 2011/mm	2012 年土壤储水量消耗/ 补充程度 W_D/W_j in 2012/mm	2013 年土壤储水量消耗/ 补充程度 W_D/W_j in 2013/mm
苜蓿地 Alfalfa land	8.04/-7.0	-46.0/-68.3	29.35/2.8	50.1/88.0
撂荒地 Abandoned land	-2.61/-36.1	-58.6/-66.3	11.81/-4.7	33.9/97.3
坡耕地 Farmland	16.1/-26.5	-45.1/-47.9	44.29/43.9	90.0/124.5

2.4 土壤耗水深度与补充深度

不同土地利用方式下土壤耗水深度及补充深度存在差异(表 4)。苜蓿地及撂荒地土壤耗水深度比坡耕地大,其补充深度比坡耕地小。不同降水年

型土壤耗水深度及补充深度存在差异(表 4)。2011 年是枯水年,3 个处理的土壤耗水深度均大于平水年及丰水年。苜蓿地土壤耗水深度最大,已超过测量范围(260 cm);撂荒地土壤耗水深度次之(260

cm),坡耕地土壤耗水深度最小(160 cm)。2013 年为丰水年,其土壤水分补充深度均大于其他年份。坡耕地土壤补充深度最大(>260 cm),撂荒地土壤补充深度次之(240 cm),苜蓿地土壤补充深度最

小(200 cm)。苜蓿地和撂荒草地在雨季前主要消耗土壤储水,进入雨季后,丰水年降水可不同程度的补充土壤剖面水分,补充深度较一般年份深 110 cm 左右。

表 4 不同土地利用方式下耗水深度与补充深度比较

Table 4 Comparison of soil water consumption and compensation depths under different land use types

项目 Items	2010 年消耗/补充深度 Depletion/ infiltration depth/cm	2011 年消耗/补充深度 Depletion/ infiltration depth/cm	2012 年消耗/补充深度 Depletion/infiltration depth/cm	2013 年消耗/补充深度 Depletion/ infiltration depth/cm
苜蓿地 Alfalfa land	140 ^{Ab} /130 ^{Abc}	>260 ^{Aa} /70 ^{Ac}	220 ^{Ab} /180 ^{Bab}	140 ^{Bb} /200 ^{Ba}
撂荒地 Abandoned land	160 ^{Ab} /90 ^{Ad}	260 ^{Aa} /100 ^{Ac}	220 ^{Aa} /180 ^{Ab}	160 ^{Ab} /240 ^{ABa}
坡耕地 Farmland	120 ^{Bc} /100 ^{Ac}	160 ^{Ba} /120 ^{Ac}	180 ^{Ab} /180 ^{ABa}	90 ^{Cd} / ^{>} 260 ^{Ab}

注:表中同列不同大写字母表示同一年份中不同土地利用方式耗水深度或补充深度差异显著;同行不同小写字母表示同一土地利用方式下不同年份耗水深度或补充深度差异显著($P < 0.05$)

Note: Different capital letters within the same column indicate significant difference under different land use types in the same year at the 0.05 level. Different lowercase letters show significant difference under different land use types in different years at the 0.05 level

3 讨论

3.1 土壤剖面水分变化特征

不少研究发现,在半干旱地区,土壤剖面水分容易出现上高下低的现象^[4,17],出现这种结果的原因可能是降雨的情况下土壤水分向深层入渗的滞后性,使表层土壤水分含量大于深层,因此呈降低型趋势;雨季也是植被生长最旺盛的时期,植被根系对深层土壤水分的强烈吸收也会形成土壤水分含量出现上高下低的情况。本研究坡耕地剖面水分含量垂直分布较为均匀,但在干旱年份,上层水分被消耗而呈增加趋势;撂荒地由于植物耗水稍多,剖面上土壤水分分布多年均呈增加趋势,苜蓿地尽管水分含量较低,但整体也呈增加趋势,这种分布状况,除了受到植物根系吸水影响之外,也可能与剖面土壤质地有关。潘成忠^[24]研究表明永久草地和退耕 20 年荒坡草地的表层(0~10 cm)土壤质量最佳,且均随土层深度的增大而降低。农耕地 40~50 cm 和 0~10 cm 土层土壤质量最差,但其成因不同,前者主要是腐殖质条件差引起的,而后者主要在于较差的水土保持和力学性能。

另外,紫花苜蓿地的植被生长旺季覆盖度为 82%,撂荒草地的植被生长旺季覆盖度为 77%,坡耕地植被生长旺季的覆盖度为 65%。苜蓿地每年 8 月和 10 月全部刈割,撂荒地不进行人为干扰,坡耕地于每年 5 月中下旬种植农作物,10 月初收获。不同土地利用方式、利用次数、植被基本特征,耕地的

种植时间、收获时间、种植密度等条件也是影响土壤水分平衡的重要条件^[25]。虽然退耕草地消耗了大量土壤水分,但退耕草地能很好地保持水土,在这 4 年中,有且仅有坡耕地每年雨季会产生径流泥沙。王美艳等^[26]研究认为,苜蓿生长一定年限后需要及时翻耕,实行粮草轮作,才能增加降水就地入渗、缓解土壤干燥化强度、恢复干层的土壤水分。退耕还草过程中,种植牧草可以促进当地经济发展。

3.2 丰水年土壤水分消耗与恢复

一般研究表明^[27-28],苜蓿作为深根系植被,高耗水性使其土壤下层出现干层。在本研究年份中,苜蓿地并没有出现严重干旱性缺水,原因可能是 2012 年和 2013 年的降水对该样地土层水分进行了一定的补偿。旱作苜蓿地 0~3 m 范围土层在降雨较多的年份能够得到一定程度的恢复^[29]。在黄土高原半干旱区,当紫花苜蓿地形成土壤干层后,在其以后的生长期,雨季后降雨入渗的临界深度为 1.2 m^[19]。在丰水年,1.2 m 以上土层的水分有可能得到补偿^[30]。在本研究中,平水年及枯水年雨季降水入渗深度均未超过临界深度,即水分补充深度未达到 1.2 m;而在丰水年紫花苜蓿地的水分补充深度超过临界深度,说明在半干旱区,降水充沛的年份,紫花苜蓿地土壤水分在雨季能得到明显的恢复。

研究中,在 0~200 cm 土层内,在不同降水年型下,撂荒地和坡耕地无显著水分亏缺,且在 0~100 cm 内土壤水分有一定的补充,这和杨磊等^[31]研究

结果一致。坡地退耕还草后,紫花苜蓿地土壤水分变化与坡耕地、撂荒草地土壤水分变化存在差异,可能原因是种植紫花苜蓿,对土壤物理属性影响不大,而撂荒草地的土壤物理属性改变大,可增加土壤饱和导水率和渗透系数^[11]。

本研究中,进入雨季后,丰水年降水可不同程度地补充土壤剖面水分,3个处理土层均未形成干燥化。杜娟和赵景波^[32]研究了黄土高原南部地区丰水年前后不同人工植被下0~6 m土壤水分含量,结果表明麦地和草地0~6 m水分状况良好,未出现土壤干化现象,丰水年充足的降水后所有林木下土壤干层消失,水分得到很好的恢复。本研究中,3个处理土壤水分变化在丰水年2013年最大,平水年2010年最小,而邹文秀等^[33]研究了黑土区不同降水年型下荒地农田土壤水分的变化特征,降水年型对土壤水分变异系数的影响表现为枯水年>平水年>丰水年。原因可能是土壤质地不一致导致的结果差异。枯水年和丰水年雨季前土壤水分均缓慢减小,枯水年雨季后土壤水分变化平缓,而丰水年雨季后土壤水分增加明显^[34]。

4 结论

不同土地利用方式下,0~50 cm土层水分变化主要受降水的影响。在平水年及枯水年,土壤储水量季初大于季末,植被消耗土壤水分;在丰水年,土壤储水量季末大于季初,降水能补给土壤水分,且土壤储水量达到最大值。

枯水年耗水深度均大于平水年及丰水年的耗水深度,丰水年水分补充深度均大于其他2种降水类型;在丰水年,土壤含水量恢复最多的是苜蓿地(68.2%),其次是撂荒地(45.9%),最少的是坡耕地(39.4%)。

紫花苜蓿地和撂荒地在雨季前主要消耗土壤储水,进入雨季后,丰水年降水可不同程度的补充土壤剖面水分,补充深度较一般年份深110 cm左右,最深可达160 cm。

参考文献

- [1] Fu B J, Wang Y F, Lu Y H, *et al.* The effects of land use combinations on soil erosion: a case study in the Loess Plateau of China[J]. *Progress in Physical Geography*, 2009, 33(6): 793-804
- [2] Zheng F L. Effect of vegetation changes on soil erosion on the

Loess Plateau[J]. *Pedosphere*, 2006, 16(4): 420-427

- [3] 杨文治. 黄土高原土壤水资源与植树造林[J]. *自然资源学报*, 2001, 16(5): 433-438
- [4] 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
- [5] 杨新民. 黄土高原灌木林地水分环境特性研究[J]. *干旱区研究*, 2001, 18(1): 8-13
- [6] 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
- [7] 张兴昌, 卢宗凡. 坡地土壤水分动态及耗水规律研究[J]. *水土保持研究*, 1996, 3(2): 46-56
- [8] 李玉山. 黄土高原森林植被对陆地水循环影响的研究[J]. *自然资源学报*, 2001, 16(5): 427-432
- [9] Liu Y, Li S Q, Chen F. Soil water dynamics and water use efficiency in spring maize (*Zea mays* L.) fields subjected to different water management practices on the Loess Plateau, China[J]. *Agricultural Water Management*, 2010, 97: 769-775
- [10] Liu W Z, Zhang X C, Dang T H, *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: 1133-1138
- [11] Wang L, Mu Y, Zhang Q F, *et al.* Effects of vegetation restoration on soil physical properties in the wind-water erosion region of the northern Loess Plateau of China[J]. *CLEAN - Soil, Air, Water*, 2012, 40(1): 7-15
- [12] 李晓东, 魏龙, 张永超, 等. 土地利用方式对陇中黄土高原土壤理化性状的影响[J]. *草业学报*, 2009, 18(4): 103-110
- [13] 杜峰, 山仑, 梁宗锁, 等. 陕北黄土丘陵区撂荒演替过程中的土壤水分效应[J]. *自然资源学报*, 2005, 20(5): 669-678
- [14] 李婧, 李占斌, 李鹏, 等. 黄土高原丘陵沟壑区退耕生态系统土壤水分动态变化规律研究[J]. *水土保持研究*, 2009, 16(5): 153-156
- [15] Wang S, Fu B J, Gao G Y, *et al.* Responses of soil moisture in different land cover types to rainfall events in a re-vegetation catchment area of the Loess Plateau, China[J]. *Catena*, 2013, 101: 122-128
- [16] Chen LD, Huang ZL, Gong J, *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: 200-208
- [17] 万素梅, 贾志宽, 韩清芳, 等. 黄土高原半湿润区苜蓿草地土壤干层形成及水分恢复[J]. *生态学报*, 2008, 28(3): 1045-1051
- [18] 高宇, 樊军, 王力. 水蚀风蚀交错区植被-土壤水分作用深度与土壤呼吸影响因素[D]. 西安杨凌: 中国科学院教育部水土保持与生态环境研究中心, 2013: 12-13
- [19] 刘忠民, 山仑, 邓西平. 宁南山区草田轮作研究(不同耕作制度下的农田水分平衡)[J]. *水土保持学报*, 1993, 7(4): 67-71
- [20] 樊军, 邵明安, 王全九. 陕北水蚀风蚀交错区苜蓿地土壤水分过耗与恢复[J]. *草地学报*, 2006, 14(3): 261-264
- [21] 李军, 陈兵, 李小芳, 等. 黄土高原不同类型旱区苜蓿草地水分生产潜力与土壤干燥化效应模拟[J]. *应用生态学报*, 2007, 18(11): 2418-2425
- [22] 韩仕峰, 李玉山, 石玉洁. 黄土高原土壤水分资源特性[J]. 水

- 土保持通报,1990,10(1):36-43
- [23] 李玉山. 苜蓿生产力动态及其水分生态环境效应[J]. 土壤学报,2002,39(3):404-411
- [24] 潘成忠,上官周平,刘国彬. 黄土丘陵沟壑区退耕草地土壤质量演变[J]. 生态学报,2006,26(3):690-696
- [25] 王云强,张兴昌,从伟,等. 黄土区不同土地利用方式坡面土壤含水率的空间变异性研究[J]. 农业工程学报,2006,22(12):65-71
- [26] 王美艳,李军,孙剑,等. 黄土高原半干旱区苜蓿草地土壤干燥化特征与粮草轮作土壤水分恢复效应[J]. 生态学报,2009,29(8):4526-4534
- [27] Wang X L, Sun G J, Jia Y, *et al.* Crop yield and soil water restoration on 9-year-old alfalfa pasture in the semiarid Loess Plateau of China[J]. *Agricultural Water Management*, 2008(95):190-198
- [28] Wang Z Q, Liu B Y, Liu G. Soil water depletion depth by planted vegetation on the Loess Plateau[J]. *Science in China series D: Earth sciences*,2009,52(6):835-842
- [29] Zhao C Y, Feng Z D, Chen G D. Soil water balance simulation of alfalfa (*Medicago sativa* L.) in the semiarid Chinese Loess Plateau[J]. *Agricultural Water Management*, 2004(69):101-114
- [30] 王志强,刘宝元,路炳军. 黄土高原半干旱区土壤干层水分恢复研究[J]. 生态学报,2003,23(9):1944-1950
- [31] 杨磊,卫伟,莫保儒,等. 半干旱黄土丘陵区不同人工植被恢复土壤水分的相对亏缺[J]. 生态学报,2011,31(11):3060-3068
- [32] 杜娟,赵景波. 黄土高原南部人工植被作用下的土壤水分研究[J]. 土壤,2010,42(2):262-267
- [33] 邹文秀,韩晓增,王守宇,等. 降水年型对黑土区土壤水分动态变化的影响[J]. 水土保持学报,2009,23(5):138-142
- [34] 李新乐,侯向阳,穆怀彬. 不同降水年型灌溉模式对苜蓿草产量及土壤水分动态的影响[J]. 中国草地学报,2013,35(5):46-52

(责任编辑 刘云霞)