

伊洛河胡沟小流域不同植被类型对水分储量以及水分利用的影响

张红峰¹, 荐圣淇²

(1. 河南省嵩县水土保持科学研究所, 河南 嵩县 471400; 2. 郑州大学 水利科学与工程学院, 河南 郑州 450001)

摘要: 以伊洛河胡沟小流域为研究区, 通过 2007—2020 年长期的野外观测, 研究了农作物 (普通小麦 *Triticum aestivum*)、乔木林 (大叶杨 *Populus lasiocarpa* 林)、经济林 (皂荚 *Gleditsia sinensis* 林)、灌木林 (沙棘 *Hippophae rhamnoides* 林) 和草 (长芒草 *Stipa bungeana*) 地 5 不同植被类型对土壤水分动态和水分胁迫的影响。结果表明: (1) 在生长季初期和生长季末期, 5 种植被类型土壤水分储量均呈下降趋势, 其中, 灌木林的土壤水分下降趋势明显小于其他植被类型, 乔木林与草地的土壤含水量具有较大的下降趋势。(2) 各植被类型实际蒸散发 (ET) 与潜在蒸散发 (ET_p) 的比值总体呈下降趋势, 其中, 灌木林的 ET/ET_p 比值最大, 其次为草地、农作物、经济林和乔木林。乔木林较低的 ET/ET_p 比值主要是由于土壤含水量降低, 导致土壤压实, 地表径流增加。(3) 各植被类型实际蒸散发与降水的比值 (ET/P) 在 2007 年、2011 年、2012 年、2014 年、2017 年和 2019 年均大于 1。各植被类型的 ET/P 比值从大到小依次为: 灌木林 > 草地 > 农作物 > 经济林 > 乔木林。(4) 生长季开始时的土壤含水量是决定 ET/ET_p 比值的关键因素。

关键词: 土壤水分; 蒸散发; 降水; 植被类型; 伊洛河胡沟小流域

中图分类号: S715 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3776 (2023) 01-0030-08

Effects of Different Vegetation Types on Soil Water Content and Use in Hugou Watershed

ZHANG Hong-feng¹, JIAN Sheng-qi²

(1. Songxian Soil and Water Conservation Institute of Henan, Songxian 471400, China; 2. College of Water Conservancy Science & Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: From 2007 to 2020, observation and determinations were carried out on response of different vegetation types (crop, arbor, economic tree, shrub and grass) on soil water dynamics in Hugou watershed of Xongxian county, Henan province. The results showed that soil water storage decreased at both the beginning and the ending of growing seasons in different vegetation types. The soil water content in shrub decreased significantly slower than in the other vegetation types, while that in arbor and grass decreased quicker. The ratios of total evaporation (ET) to potential evaporation (ET_p) showed a decreasing trend in tested types of vegetation, among them, that of shrub were the highest, followed by grass, crop, economic tree and arbor. Lower ET/ET_p ratios in arbor were mainly caused by decreasing of soil water content, leading to soil compaction and increasing of surface runoff. The ratios of total evaporation to precipitation (ET/P) of different vegetation types were greater than 1 in 2007, 2011, 2012, 2014, 2017 and 2019. The order of ET/P ratios of different vegetation types were shrub>grass>crop>economic tree>arbor. The soil water content at the beginning of growing season was the most important factor in determining the ET/ET_p ratios.

Key words: soil moisture; evapotranspiration; precipitation; vegetation types; Hugou watershed in Yiluo River

收稿日期: 2022-08-06; 修回日期: 2022-11-09

基金项目: 河南省自然科学基金(212300410413)

作者简介: 张红峰, 高工, 从事水土保持研究; E-mail: sxzhf@163.com。通信作者: 荐圣淇, 副教授, 博士, 从事水文水资源研究; E-mail: jiansq@zzu.edu.cn。

植被恢复的效果直接受控于土壤水分的有效性。植被通过获取、运输和蒸腾水分对生态系统的水量平衡产生影响。理论上,植被恢复可以提高植被覆盖度,增加冠层截留以及保持水土,从而减少土壤侵蚀和养分流失,改善生态环境。然而,不适当的植被恢复也会引起不必要的环境问题^[1]。例如,在我国半干旱的黄土高原地区,人工林由于蒸散发的增加消耗了过多的水分,从而破坏了自然水循环和水量平衡^[2]。近 40 年来,我国政府实施了一系列大规模的植树造林活动,例如 1999 年实施的“退耕还林”工程,植被恢复通常以速生乔木和灌木为主^[3]。在恢复初期植被可以较好地生长,但随着土壤水分的消耗,部分植株出现死亡的情况^[4]。Huang 等^[5]发现,与种植普通小麦 *Triticum aestivum* 相比,种植苹果 *Malus pumila* 有增加蒸散发和减少土壤水分的趋势。其他研究也表明,植被恢复降低了表层土壤含水量,而深层土壤水分不能通过自然降水得到补给^[6]。植被对土壤水分的过度消耗,导致土壤干层的出现^[7]。

土壤水分下降影响植被蒸腾,破坏深根植被的抗旱能力,从而影响植被的生长和自然演替。土壤水分降低还可能改变降水与地下水之间的联系,导致区域性干旱和土地生产力下降^[8]。以往研究表明,植物蒸腾量随着土壤水分的降低而下降^[9],进一步导致了人工林地的退化,形成“小老树”(一种生长后树干非常低的乔木)^[10]。Wang 等^[11]对黄土高原北部纸坊沟流域的研究表明,本地物种比外来物种具有更高的实际蒸散发(ET)与潜在蒸散发(ET_p)比值和更高的土壤水分,如果引入外来物种,植被恢复可能导致土壤水分下降。

2019 年 9 月,黄河流域生态保护和高质量发展上升为重大国家战略,土壤水分和水土流失相关研究是生态保护的重要内容。伊洛河流域位于黄河中下游,为我国的粮食主产区,但部分地区的气候、地形等因素错综复杂,极易发生水土流失,对耕地产生破坏^[12]。当地政府多年来为保持水土实施了大面积的植被恢复工程,如何评估植被恢复工程的有效性是实现区域高质量发展的重要组成部分。

本研究的总体目标是量化伊洛河胡沟小流域植被恢复实践中典型植被类型水量平衡过程。具体目标为:(1)研究不同植被类型土壤水分储量随时间的变化规律;(2)量化不同植被类型实际蒸散发/潜在蒸散发(ET/ET_p)比值和蒸散发/降水量(ET/P)比值随时间的变化规律。研究成果可为该区指导植被恢复工作提供有力的科学支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于河南省嵩县胡沟小流域,属黄河流域伊洛河水系二级支流(34°12'~34°16'N, 112°06'~112°08'E),总面积为 13.34 km²,海拔在 332~737 m(图 1);属北亚热带向暖温带过渡的大陆性季风气候,历年平均气温为 13.4℃,全年平均日照时数为 1797.2 h,年平均蒸发量为 1518.8 mm,无霜期为 209 d。胡沟小流域上游为土石山区,主要由山脊、山坡、沟底三种地貌;下游为黄土丘陵沟壑区第三副区,由梁峁顶、梁峁坡、沟坡、沟底四种地貌组成,有明显的沟缘线。土石山区有大量的岩浆岩和少量的沉积岩,黄土丘陵区均为黄土状母质所覆盖,流域土壤绝大部分为褐土。

胡沟小流域主要造林乔木树种为大叶杨 *Populus lasiocarpa*、刺槐 *Robinia pseudoacacia* 和侧柏 *Platycladus orientalis*;灌木主要有沙棘 *Hippophae rhamnoides*、紫穗槐 *Amorpha fruticosa* 和酸枣 *Ziziphus jujuba* var. *spinosa* 等;草本阳坡以长芒草 *Stipa bungeana*、胡枝子 *Lespedeza bicolor* 为主,阴坡以艾 *Artemisia argyi* 群丛为主,紫苜蓿 *Medicago sativa*、斜茎黄耆 *Astragalus adsurgens* 等在此也可生长。

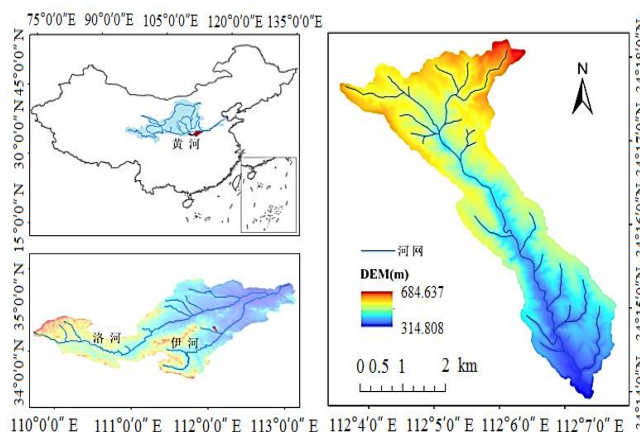


图 1 研究区相对位置图

Fig. 1 Location of the study area

1.2 试验设计

1980 年,在胡沟小流域的坡地上设置了 15 个径流小区,面积均为 $10\text{ m} \times 10\text{ m}$,坡度均为 10° 。自径流小区建立伊始,在径流小区内分别种植灌木(沙棘)、草地(长芒草)、农作物(普通小麦)、经济林(皂荚 *Gleditsia sinensis*)和乔木林(大叶杨)5 种植被类型,每种植被类型 3 次重复(表 1)。

假设所有径流小区的土壤性质、地形和微气象等环境要素是相似的,对观测蒸散发、径流和土壤水分值的差异没有贡献。

2007—2020 年每年 5—9 月,进行每个径流小区土壤水分的观测。土壤水分观测土层范围为 $0 \sim 100\text{ cm}$,每 20 cm 一层,于 5—9 月的每月 1 日和 15 日进行观测。每次观测时,利用土钻在每个径流小区内随机选择 4 个采样点,利用烘干法测定土壤含水量,计算土壤水分平均值,取土之后回填并平整地面。

2007—2020 年每年的 5—9 月,进行每个径流小区的径流量观测。每次观测结束后,对径流池进行清理,并计算地表径流量。在径流小区附近安装 1 台自动气象站(Onset Computer Corporation, Pocasset, MA, USA)对降水、温度和其他气象参数进行观测。同时,利用人工观测结果对自动气象站数据进行校正。

1.3 水量平衡过程

5—9 月土壤水分的变化利用下式进行计算^[13]: $\Delta S = SM_E - SM_B$,式中, ΔS 为 $0 \sim 100\text{ cm}$ 土壤水分的变化量, SM_E 为每年生长季末期(9 月)的土壤含水量, SM_B 为每年生长季初期(5 月)的土壤含水量。

各植被类型的年地表径流总量(R),利用下式进行计算:

$$R = \frac{1}{3} \times \sum_i^m \sum_{k=1}^3 R_{ik}$$

式中, R_{ik} 为第 k 个径流小区每次观测到的地表径流量, m 为地表径流的观测次数。

由于该区土层深厚,深层渗漏很难发生,并且林冠截留占降水的比例较小^[10],因此,不同植被类型的蒸散发可以利用以下简化的水量平衡公式计算^[14]: $ET = P - \Delta S - R$,式中, ET 为蒸散发, P 为降水量。

生态系统的水分压力可以用实际蒸散发(ET)和潜在蒸散发(ET_p)的比值,以及真实蒸散发与降水量的比值来反映。大体上,如果 ET/ET_p 偏小,则证明植被生长面临着水分压力。如果 ET/P 偏小,则说明植被对水分利用率较低。植被潜在蒸散发利用蒸发皿数据进行计算。

1.4 数据分析

利用逐步回归分析比较 SM_E 、 SM_B 、 R 、 P 和 ET_p 对 ET/ET_p 的影响。以 ET/ET_p 为因变量, SM_E 、 SM_B 、 R 、 P 和 ET_p 为自变量。通过该模型可以确定 SM_E 、 SM_B 、 R 、 P 和 ET_p 对 ET/ET_p 比值的贡献。 F 检验用于检验假设,即个体变量在 95% 的水平上具有统计学意义。每个自变量的偏系数表明了它对因变量影响的重要性。

2 结果与分析

2.1 土壤水分动态变化

由图 2 可知,2007—2020 年胡沟小流域内土壤水分变化剧烈。2008 年、2013 年、2015 年、2016 年、2020 年土壤水分存在补给现象,2007 年、2009 年、2011 年、2012 年、2014 年、2017 年和 2019 年土壤水分出现亏缺现象(表 2)。2010 年农作物土壤水分增加,2018 年乔木林土壤水分增加,而其他植被类型的土壤水分没有出现增加现象。总体上,各植被类型在 2007—2020 年的土壤含水量呈下降的趋势。其中,灌木林的土壤含水量下降趋势明显小于其他植被类型的;乔木林与草地的土壤含水量具有较大的下降趋势,并且乔木林的土壤含水量比草地的土壤含水量具有较大的下降趋势,这说明乔木林比草地和灌木林消耗了更多的土壤水分。

表 1 径流小区基本信息
Tab 1 Information of runoff plot

植被类型	物种	植被盖度/%	林下植被
农作物	普通小麦	0~45	无
经济林	皂荚	65~92	有
草地	长芒草	85~95	无
灌木林	沙棘	30~70	有
乔木林	大叶杨	20~39	有

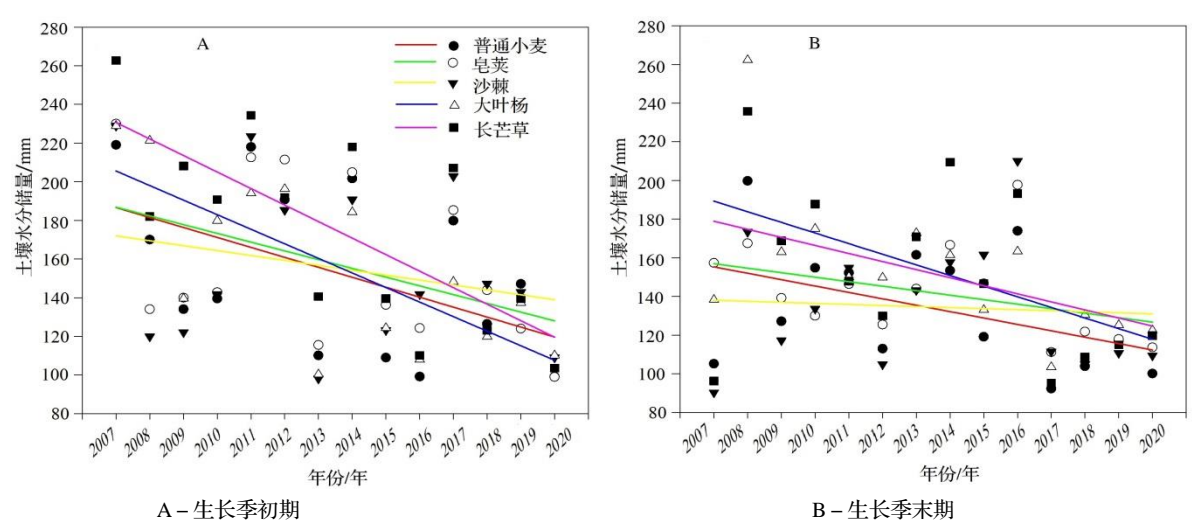


图 2 2007—2020 年不同植被类型在生长季初期 (A) 和生长季末期 (B) 的土壤水分变化

Fig. 2 Soil water content of different types of vegetation from 2007 to 2020 in the beginning and by the end of growing season

表 2 2007—2020 年不同植被类型的土壤水分变化量 (ΔS)、地表径流 (R) 与实际蒸散发 (ET)

Tab. 2 Soil moisture content, surface runoff and actual evapotranspiration of different vegetation types from 2007 to 2020

年份/年	农作物/mm			经济林/mm			草地/mm		
	ΔS	R	ET	ΔS	R	ET	ΔS	R	ET
2007	-113.88	35.70	404.06	-72.62	24.09	424.86	-166.44	19.27	473.89
2008	29.78	30.88	285.80	33.43	13.91	250.76	53.78	20.26	272.32
2009	-6.93	24.09	291.27	-0.77	18.18	272.66	-39.40	5.04	342.06
2010	15.28	31.21	232.14	-12.77	23.00	245.28	-2.93	6.57	264.75
2011	-65.70	9.31	367.92	-66.14	9.64	420.48	-86.38	6.90	386.09
2012	-77.75	6.57	366.83	-85.97	7.23	456.62	-61.88	2.08	359.61
2013	51.47	21.35	273.75	28.50	11.50	262.80	30.31	2.41	311.99
2014	-48.26	12.92	410.63	-38.24	12.37	425.96	-8.45	7.77	37.56
2015	10.16	12.70	312.08	10.48	20.81	271.56	7.13	8.10	318.65
2016	74.79	26.06	237.62	73.50	36.79	117.03	83.12	16.43	238.71
2017	-87.51	10.62	372.30	-74.03	10.84	421.91	-112.02	7.99	398.58
2018	-22.54	12.48	279.23	-22.09	13.14	287.30	-14.44	14.67	268.28
2019	-30.20	8.76	362.45	-6.04	8.87	336.38	-24.57	9.75	355.88
2020	0.96	19.82	279.23	14.65	18.72	233.80	16.24	18.40	264.99
合计	-270.32	262.47	4 475.27	-218.10	229.07	4 427.39	-325.95	145.64	4 293.33
平均	-19.31	18.75	319.66	-15.58	16.36	316.24	-23.28	10.40	306.67

年份/年	灌木林			乔木林		
	ΔS	R	ET	R	ΔS	ET
2007	-138.57	26.50	438.00	26.50	-138.57	405.74
2008	53.48	11.50	280.32	11.50	53.48	285.16
2009	-4.77	6.46	305.51	6.46	-4.77	261.07
2010	-8.04	5.91	269.37	5.91	-8.04	241.00
2011	-68.60	5.58	369.02	5.58	-68.60	341.56
2012	-80.45	2.41	377.78	2.41	-80.45	341.02
2013	45.14	4.71	294.56	4.71	45.14	264.27
2014	-33.05	4.49	402.96	4.49	-33.05	387.38
2015	38.41	2.63	293.46	2.63	38.41	313.94
2016	68.32	2.96	267.18	2.96	68.32	264.71
2017	-91.19	2.41	384.35	2.41	-91.19	330.69
2018	-42.23	3.94	306.60	3.94	-42.23	246.38
2019	-32.07	4.27	369.02	4.27	-32.07	341.64
2020	0.46	6.46	293.46	6.46	0.46	262.80
合计	-293.18	90.23	4 651.56	90.23	-293.18	4 287.34
平均	-20.94	6.44	332.25	6.44	-20.94	306.24

2.2 地表径流

在 5 种植被类型中, 乔木林比灌木林和草地能够产生更多的地表径流(表 2)。然而, 在研究区内, 人们普遍认为乔木林可以通过减少地表径流来减少水土流失。这可能是由于乔木林内林下植被稀疏, 并且具有较高的土壤容重所导致的。灌木林和草地产生较少的地表径流, 这可能是由于其植被覆盖度好, 土壤容重小, 土壤入渗量高造成的。

2.3 实际蒸散发与潜在蒸散发比值 (ET/ET_p) 变化

由表 3 可知, 5 种植被类型都具有相对较低的 ET/ET_p 比值。从年变化率发现, 2011 年具有最大的 ET/ET_p 比值, 最小值出现在 2018 年。在所有的植被类型中, ET/ET_p 比值的排列顺序依次为: 灌木林 > 草地 > 农作物 > 经济林 > 乔木林, 这说明种植乔木林将导致严重的土壤水分压力。2007—2020 年, 研究区 ET/ET_p 比值整体呈下降趋势。虽然下降幅度较小, 但仍表明随着时间的推移, 水分胁迫压力越来越大。这种情况可能会导致土壤干化, 植被死亡。5 种植被类型中, 草地的 ET/ET_p 比值下降幅度最大, 其次为乔木林和灌木林。

表 3 2007—2020 年不同植被类型的 ET/ET_p 比值变化
Tab. 3 ET/ET_p ratios of different vegetation types from 2007 to 2020

年份/年	农作物	经济林	灌木林	乔木林	草地
2007	0.304	0.286	0.325	0.304	0.346
2008	0.189	0.197	0.187	0.189	0.182
2009	0.220	0.220	0.230	0.203	0.251
2010	0.232	0.254	0.263	0.244	0.259
2011	0.344	0.343	0.351	0.330	0.358
2012	0.281	0.285	0.285	0.263	0.274
2013	0.236	0.258	0.252	0.232	0.263
2014	0.308	0.302	0.303	0.293	0.286
2015	0.226	0.221	0.215	0.227	0.231
2016	0.159	0.154	0.176	0.175	0.160
2017	0.274	0.266	0.281	0.249	0.290
2018	0.163	0.163	0.178	0.145	0.157
2019	0.278	0.264	0.282	0.266	0.275
2020	0.249	0.242	0.258	0.240	0.242
平均值	0.247	0.246	0.256	0.240	0.255

2.4 实际蒸散发与降水量比值 (ET/P) 变化

表 4 2007—2020 年不同植被类型的 ET/P 比值变化
Tab. 4 ET/P ratios of different vegetation types from 2007 to 2020

年份/年	农作物	经济林	灌木林	乔木林	草地
2007	1.189	1.116	1.269	1.190	1.353
2008	0.850	0.883	0.839	0.849	0.817
2009	0.956	0.955	0.996	0.880	1.088
2010	0.887	0.973	1.004	0.934	0.991
2011	1.116	1.115	1.128	1.071	1.162
2012	1.176	1.194	1.192	1.101	1.147
2013	0.831	0.908	0.885	0.815	0.925
2014	1.082	1.060	1.067	1.029	1.002
2015	0.942	0.921	0.896	0.947	0.961
2016	0.737	0.712	0.814	0.807	0.740
2017	1.202	1.166	1.237	1.094	1.274
2018	1.035	1.031	1.132	0.923	0.999
2019	1.047	0.994	1.061	1.001	1.033
2020	0.953	0.924	0.984	0.915	0.921
平均值	1.000	0.997	1.036	0.968	1.030

由表 4 可知, ET/P 比值呈现波动变化。2007 年、2011 年、2012 年、2014 年、2017 年和 2019 年的 $ET/P > 1$, 其他年份的 $ET/P < 1$ 。5 种植被类型的 ET/P 比值从大到小依次为: 灌木林 > 草地 > 农作物 > 经济林 > 乔木林。乔木林在 5 种植被类型中具有最低的 ET/P 比值, 可能是由于乔木林径流量大, 造成水分流失, 未能充分利用降水。大体上, 随着时间的推移, 5 种植被类型的 ET/P 比值均呈下降趋势。

2.5 土壤含水量、地表径流、年降水量、潜在蒸散发和 ET/ET_P 的关系

由表 5 回归分析结果表明, SM_B 为影响 ET/ET_P 最显著的因素。如果不考虑 SM_B , SM_E 、 R 、 P 、 ET_P 对 ET/ET_P 的影响在各植被类型中存在差异 (表 6)。除经济林外, 降水量成为影响其他植被类型 ET/ET_P 比值的决定性因素。降水量、地表径流和潜在蒸散发对经济作物 ET/ET_P 比值的影响顺序为 $P > R > ET_P$ 。总体而言, 降水量对 ET/ET_P 比值有正向影响, 地表径流和潜在蒸散发对 ET/ET_P 比值均有负向影响。生长季开始时土壤含水量是影响 ET/ET_P 比值最显著的因子, 其次是降水量。 ET/ET_P 比值低意味着降水量低于植物生长所需的水分, 导致大量土壤水分的消耗。生长季开始时的土壤含水量可能决定植物生长的水分有效性, 进而决定 ET/ET_P 比值。

表 5 各要素逐步多元回归结果
Tab. 5 Stepwise multiple regression

因变量(ET)	自变量	非标准化系数 B	标准化系数 Beta	t	Sig.	R^2
农作物	常数项	5.112E-03	0.951	0.214	0.817	0.896
	SM_B	0.785		9.654	0	
经济林	常数项	9.012E-03	0.942	0.395	0.756	0.881
	SM_B	0.764		9.014	0	
草地	常数项	8.754E-03	0.946	0.029	0.964	0.879
	SM_B	0.802		9.541	0	
灌木林	常数项	- 4.927E-03	0.943	- 0.195	0.824	0.871
	SM_B	0.835		9.112	0	
乔木林	常数项	- 6.024E-03	0.925	- 0.245	0.853	0.846
	SM_B	0.829		8.824	0	

注: 输入的初始自变量包括生长季开始时土壤含水量 (SM_B)、生长季结束时土壤含水量 (SM_E)、地表径流 (R)、年降水 (P) 和潜在蒸散发 (ET_P), SM_B 被认为是影响 ET/ET_P 的显著变量, 其他变量被排除在外。

表 6 不考虑生长季初期的土壤含水量各要素逐步多元回归结果
Tab. 6 Stepwise multiple regression

因变量(ET)	自变量	非标准化系数 B	标准化系数 Beta	t	Sig.	R^2
农作物	常数项	- 8.125E-02	0.696	- 0.913	0.315	0.51
	P	8.119E-04		3.593	0.005	
经济林	常数项	0.497	0.412	2.151	0.076	0.78
	P	4.615E-04		2.126	0.055	
	R	- 2.543E-03		- 2.226	0.019	
	ET_P	- 2.024E-04		- 2.353	0.041	
草地	常数项	- 0.121	0.698	- 1.116	0.287	0.51
	P	9.533E-04		3.350	0.005	
灌木林	常数项	- 7.662E-02	0.672	- 0.799	0.416	0.46
	P	8.435E-04		3.237	0.006	
乔木林	常数项	- 0.144	0.737	- 1.387	0.174	0.61
	P	8.29E-04		4.127	0.001	

注: 初始自变量包括生长季末土壤水分 (SM_E)、地表径流 (R)、降水 (P) 和潜在蒸散发 (ET_P)。

3 结论与讨论

土壤水分通常在雨季进行补给。本研究表明, 2007—2020 年研究区内土壤水分的补给不充分。土壤水分补给不足严重限制了植物的蒸腾和生长。本研究中各植被类型的土壤含水量均存在不同程度的下降趋势。其他研

究也显示出不同的结果, Kosmas 等^[15]发现 0 ~ 10 m 深度的土壤有效水分随着苹果树的生长而降低。Gao 等^[16]发现本地物种的土壤含水量通常要高于外来物种的土壤含水量, 如果利用外来物种进行植被恢复, 可能会导致土壤含水量下降。本研究中, 植物生长季的年降水很少用于土壤水分补给, 这可能是由于不同地区蒸散发的差异所导致的^[17]。

在植被恢复方面, 与灌木林和草地相比, 大叶杨乔木林中产生了较大的地表径流, 虽然种植大叶杨可能有利于水土保持, 但也导致土壤压实和干化, 从而导致植被退化。沙棘灌木林和长芒草草地产生较少的地表径流, 这可能是由于植被覆盖度好, 土壤容重小, 土壤入渗量高所致。其他研究结果也证实了这一点, Vanclay^[18]描述了桉 *Eucalyptus robusta* 林下径流和侵蚀的有利条件与林下植被减少导致裸露土壤的条件有关。Gutierrez 等^[18]和 Calvo-Cass 等^[19]指出土壤容重与地表径流呈正相关关系。高土壤容重通常对应于土壤密度大、结构致密, 从而降低下渗容量以及提高径流量^[20-22]。然而, 沙棘和长芒草比大叶杨更能保持土壤水分, 很大程度上是由于土壤容重较低, 林下植被较好所导致的^[23-24]。与其他在湿润地区进行的研究不同的是, 植被恢复后土壤容重显著降低, 而土壤孔隙度、持水能力、团聚体稳定性和饱和导水率增加^[25-26]。而在半干旱半湿润地区, 很少的雨水渗透到土壤中来供给深层土壤水, 因此产生了更多的径流。一些关于人工林对于土壤水分影响的研究也证实了植被恢复存在地表径流增加的现象^[27-30]。

各植被类型生长季的 ET/ET_p 比值均较低, ET/ET_p 比值和 ET/P 比值均随植被生长呈下降趋势。这表明植物没有获得足够的水分来进行生长, 所有植被类型都经历了水分胁迫。 ET/P 比值低, 表明降水利用效率低。降水作为植物生长的唯一水源是植被恢复成功的关键因素^[31-32]。如果降水的季节性和潜在蒸散发不同步, 将极大地限制植被恢复。然而, 由于植被类型选择的原因, 降水资源利用较差, 导致实际蒸散发与降水量比值较小^[33]。综上, 沙棘较大叶杨可能更适合于该区的植被恢复。

生长季开始时的土壤含水量和年降水在很大程度上决定了 ET/ET_p 比值, 说明水分的有效利用对植被的生长至关重要。长时间的野外观测揭示的 ET/ET_p 比值变化可能与降水量和土壤水分含量之间的生态水循环有关。此外, ET/P 的时间变化表明植物生长不稳定, 不利于水资源的可持续利用和植被健康发展。对于经济作物, 土壤含水量、地表径流、年降水量和潜在蒸散发对 ET/ET_p 比值的复杂影响可能是由于人类活动的频繁干扰所导致的^[34]。

参考文献:

- [1] 刘有延, 刘兴元, 张博, 等. 黄土高原丘陵区人工灌草生态系统水土保持功能评估[J]. 水土保持学报, 2020, 34 (3): 84-90.
- [2] 安文明, 韩晓阳, 李宗善, 等. 黄土高原不同植被恢复方式对土壤水分剖面变化的影响[J]. 生态学报, 2018, 38 (13): 4852-4860.
- [3] 杨阳, 朱元骏, 安韶山. 黄土高原生态水文过程研究进展[J]. 生态学报, 2018, 38 (14): 4052-4063.
- [4] 黄艳丽, 李占斌, 苏辉, 等. 人工林对黄土高原小流域上下游不同坡面土壤水分的影响[J]. 农业工程学报, 2018, 34 (15): 108-116.
- [5] HUANG M B, GALLICHAND J. Use of the SHAW model to assess soil water recovery after apple trees in the gully region of the Loess Plateau, China[J]. Agr Water Manag, 2006, 85 (1-2): 67-76.
- [6] 王国梁, 刘国彬, 常欣, 等. 黄土丘陵区小流域植被建设的土壤水文效应[J]. 自然资源学报, 2002, 17 (3): 339-344.
- [7] 马柱国, 符淙斌, 周天军, 等. 黄河流域气候与水文变化的现状及思考[J]. 中国科学院院刊, 2020, 35 (1): 52-60.
- [8] VANCLAY J K. Managing water use from forest plantations[J]. For Ecol Manag, 2009, 257: 385-389.
- [9] 罗娅, 杨胜天, 刘晓燕, 等. 黄河河口镇—潼关区间 1998—2010 年土地利用变化特征[J]. 地理学报, 2014, 69 (1): 42-53.
- [10] 杨胜天, 周旭, 刘晓燕, 等. 黄河中游多沙粗沙区(渭河段)土地利用对植被盖度的影响[J]. 地理学报, 2014, 69 (1): 31-41.
- [11] WANG S, YANG M, GAO X, et al. Comparison of the root-soil water relationship of two typical revegetation species along a precipitation gradient on the Loess Plateau[J]. Environ Res Lett, 2021, 16 (6): 064054.
- [12] 赵荣玮, 张建军, 李玉婷, 等. 晋西黄土区人工林地土壤水分特征及其对降雨的响应[J]. 水土保持学报, 2016, 30 (1): 178-183.
- [13] 胡波, 陈丽华. 黄土高原不同林地土壤水分特征及影响因子通径分析[J]. 中国水土保持科学, 2021, 19 (1): 79-86.
- [14] 雷斯越, 郭晋伟, 何亮, 等. 黄土丘陵区退耕坡面草地恢复与土壤物理性质空间分异特征[J]. 水土保持学报, 2021, 35 (1): 251-258.
- [15] KOSMAS D, DANALATOS N, CAMMERAAT L H, et al. The effect of land use on runoff and soil erosion rates under Mediterranean conditions [J]. Catena, 1997, 29: 45-59.

- [16] GAO P, WANG Y M, LI P F, et al. Land degradation changes in the Yellow River Delta and its response to the streamflow sediment fluxes since 1976[J]. Land Degrad Develop, 2018, 29 (5) : 3212 – 3220.
- [17] JIAO L, AN W M, LI Z, et al. Regional variation in soil water and vegetation characteristics in the Chinese Loess Plateau[J]. Ecol Indic, 2020, 115: 106339.
- [18] GUTIERREZ J, HERNANDEZ I I. Runoff and inter-rill erosion as affected by grass cover in a semi-arid rangeland of northern Mexico[J]. J Arid Environ, 1996, 34: 287 – 295.
- [19] CALVO-CASES A, BOIX-FAYOS C, IMESON A C. Runoff generation, sediment movements and soil water behavior on calcareous (limestone) slopes of some Mediterranean environments in southeast Spain[J]. Geomorphology, 2003, 50: 269 – 291.
- [20] ZHOU T, HAN C, QIAO L, et al. Seasonal dynamics of soil water content in the typical vegetation and its response to precipitation in a semi-arid area of Chinese Loess Plateau[J]. J Arid Land, 2021, 10: 1523 – 1529.
- [21] LIU J, WU H, CHENG Y, et al. Stable isotope analysis of soil and plant water in a pair of natural grassland and understory of planted forestland on the Chinese Loess Plateau[J]. Agr Water Manag, 2021, 249, 106800.
- [22] 濮阳雪华, 王月玲, 赵志杰, 等. 陕北黄土区不同植被恢复模式植被与土壤耦合关系研究[J]. 草业学报, 2021, 30 (5) : 13 – 24.
- [23] 王宪志, 赵西, 高晓东, 等. 黄土高原苹果园土壤水分及水分生产力模拟[J]. 应用生态学报, 2021, 32 (1) : 201 – 210.
- [24] 郑飞龙, 谭军利, 王西娜, 等. 黄土高原水源涵养林截蓄降雨研究进展[J]. 人民黄河, 2020, 42 (4) : 89 – 93.
- [25] 刘卓颖, 倪广恒, 雷志栋, 等. 黄土高原地区小尺度分布式水文模型研究[J]. 人民黄河, 2005, 10: 19 – 21.
- [26] LI Y, WANG J, SHAO M. Effects of earthworm casts on water and salt movement in typical Loess Plateau soils under brackish water irrigation [J]. Agr Water Manag, 2021, 252, 106930.
- [27] GU C, ZHU Y, LI R. Effects of different soil and water conservation measures on hydrological extremes and flood processes in the Yanhe River, Loess Plateau, China[J]. Nat Hazar, 2021, 109 (1) : 545 – 566.
- [28] 苟清平, 朱清科, 李依璇, 等. 陕北黄土区不同林地土壤干燥化效应[J]. 生态学报, 2019, 39 (19) : 7161 – 7168.
- [29] 乔江波, 朱元骏, 贾小旭, 等. 黄土高原关键带剖面土壤水分空间变异性[J]. 水科学进展, 2017, 28 (4) : 515 – 522.
- [30] 杨永刚, 李国琴, 焦文涛, 等. 黄土高原丘陵沟壑区包气带土壤水运移过程[J]. 水科学进展, 2016, 27 (4) : 529 – 534.
- [31] 易小波, 贾小旭, 邵明安, 等. 黄土高原区域尺度土壤干燥化的空间和季节分布特征[J]. 水科学进展, 2017, 28 (3) : 373 – 381.
- [32] 滕云, 张忠学, 司振江, 等. 振动深松耕作对不同类型土壤水分特征曲线影响研究[J]. 灌溉排水学报, 2017, 36 (5) : 52 – 58.
- [33] 赵世伟, 周印东, 吴金水. 子午岭北部不同植被类型土壤水分特征研究[J]. 水土保持学报, 2002, 16 (4) : 119 – 122.
- [34] 强大宏, 艾宁, 刘长海, 等. 煤矿复垦区沙棘人工林土壤水分时空分布特征研究[J]. 灌溉排水学报, 2019, 38 (9) : 82 – 87.

[illegible]

浙江省新增 24 家自然教育基地

为持续推动全社会树立尊重自然、顺应自然、保护自然的生态文明理念，充分利用社会各类自然资源，浙江省林学会联合浙江省自然保护地联合会、浙江省森林旅游协会开展了第四批浙江省自然教育基地的申报和认定工作。此次共命名青山湖国家森林公园等 24 个自然教育基地。至此，浙江省自然教育基地增至 95 个。

在此次认定的 24 家单位中,公共场所类基地占比最高,共有 12 个,其中国家公园 1 个,自然保护区 2 个,森林公园、湿地公园等自然公园 6 个、国有林场 3 个。

下一步，浙江省林学会将深入学习贯彻落实党的二十大和省第十五次党代会精神，认真践行“绿水青山就是金山银山”理念，结合浙江省自然资源禀赋和科普专业优势，倡导更多人参与到自然教育事业中来，推动自然教育活动多元化、创新化、丰富化发展，促进浙江自然教育规范发展，让生态发展红利惠及更多人群。

http://lyj.zj.gov.cn/art/2022/12/14/art_1276365_59042430.html