

# 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<sup>\*</sup>

李婧, 李占斌, 李鹏, 陈磊

(西安理工大学 西北水资源与环境生态教育部重点实验室, 西安 710048)

**摘要:** 采用时间代替空间的方法研究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含水量较多, 40~160 cm 层减少, 200 cm 含水量约为 4%, 且随着退耕年限增加而减少, 接近凋萎系数 4%, 300 cm 以下土壤含水量则比较稳定, 维持在 9%~12%; 退耕 40 a 的阴坡立地恢复效果最好, 阳坡立地的深层土壤水分亏缺严重。相比之下, 早期的人工干预措施效果较为明显, 随着退耕年限的增加, 自然恢复则逐渐占据优势。

**关键词:** 退耕地; 坡向; 恢复方式; 土壤含水量

中图分类号: X152.7; X171.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2009)05-0153-04

## Dynamic Changes of Soil Moisture on the Recultivated Ecosystem in the Loess Hilly- Gully Region

LI Jing, LI Zhan-bin, LI Peng, CHEN Lei

(Key Lab of Northwest Water Resources and Environment Ecology of MOE, Xi'an university of technology, Xi'an 710048, China)

**Abstract:** The changing dynamics of soil moisture were studied, on the returning farmland to forest ecosystem in the loess hilly- gully region. It showed that, the soil moisture increased at first and then reached a plateau under the condition of nature recovery with the vegetation restoration years growth. It owns much water in topsoil layer, soil moisture is 4% in the depth of 200 cm, close to wilting coefficient, and then stabilized under the 300 cm depth, about 9%~12%, of the artificially accelerated ecological restoration. There was a serious deficiency of deep soil moisture in the sunny slope, and the shady slope is better than sunny slope when the years of returning farmland to forest ecosystem over 40 years. In contrast, the effect of artificial accelerated ecological restoration is obviously in the early years, then the nature restoration hold advantage with the increase years.

**Key words:** returning farmland to forest(grass); slope direction; regenerate measures; soil water content

黄土高原水土流失严重, 导致生态环境退化, 抵御自然灾害能力差, 同时水资源短缺也是限制该区农业发展的主要因素之一。土壤水分作为植物赖以生存的基本因子, 影响着植物的生长发育状况, 决定着生态环境建设的持续性和健康性。长期以来, 研究人员针对黄土高原地区植被与土壤水分之间的关系开展了大量研究, 莫治新<sup>[1]</sup>等对不同种类植物盖度与垂向土壤的水分特征进行了相关分析; 杨永

东<sup>[2]</sup>等人研究了黄土丘陵区同一植被在不同立地条件下的土壤水分变化以及不同植被类型的土壤水分动态变化。人工植被与自然恢复植被的生长存在明显差异, 其在生态建设中表现出的局限性受到密切关注。王思成<sup>[3]</sup>等人对黄土丘陵区不同植被恢复方式下的土壤理化性质分析得出自然恢复方式下的土壤含水量大于自然+人工恢复方式下的土壤含水量。李艳梅等<sup>[4]</sup>对人工植被土壤水分状况的动态研

\* 收稿日期: 2009-05-16

基金项目: 教育部博士学科点专项科研基金(20060700004)

作者简介: 李婧(1986-), 女, 陕西汉中, 硕士研究生, 研究方向为干旱水文与雨洪侵蚀。E-mail: lijing8615@163.com

通信作者: 李占斌(1962-), 男, 河南镇平人, 教授, 博士生导师, 研究方向为土壤侵蚀与水土保持。E-mail: zbli@126.com

究表明: 人工植被树种选择不当、群落密度过大、群落生产力过高等原因, 是造成土壤水分严重亏缺的主要原因, 特别是随着林木密度和林龄的增加, 深层土壤水分亏缺加剧, 造成深层土壤干燥化, 限制了林木生长的产量和质量, 甚至使大面积人工植被死亡。以上所做的研究都针对人工植被与自然植被对土壤因子所产生影响的差异进行分析, 而对于恢复过程中植被与土壤之间的相互作用没有相关的研究。

为了进一步探讨不同恢复方式下, 土壤水分环境的差异对植被生长演替的影响, 本研究选择安塞纸坊沟流域作为研究区域, 对人工恢复和自然恢复植被条件下的土壤水分特征进行分析, 以期揭示植被恢复方式对土壤水分的影响, 进而为当地植被建设, 以及确定合理的人工干预方式提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于黄土丘陵区安塞纸坊沟流域, 属于黄土丘陵沟壑区第二副区。该流域面积 8.27 km<sup>2</sup>, 海拔 1 010~ 1 431 m。属暖温带半干旱气候, 年平均气温

8.8℃, 年日照时数 2 300~ 2 400 h, 年辐射总量为 493 kJ/cm<sup>2</sup>, 无霜期 160 d 左右, 多年平均降水量为 549.1 mm, 且年内分布不均, 其中 7~ 9 月降水量占全年降水量的 58%, 并多以暴雨形式出现。

安塞处于暖温带森林草原区, 天然森林已全遭破坏, 森林覆盖率为 17.7%, 人工林以刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、柠条(*Caragana intermedia*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides*) 为主, 荒坡主要为铁杆蒿(*Artemisia gmelinii*)、长芒草(*Stipa bungeana*)、白羊草(*Bothriochloa ischaemum*) 等组成的处于不同演替阶段的草本植物群落, 多数荒坡因过度放牧成为退化草地<sup>[5]</sup>。

### 1.2 研究方法

研究以时间替代空间的方法研究纸坊沟流域植被演替过程中土壤含水量的变化, 采用野外调查, 观测采样与室内分析相结合, 在 12 块样地中随机选取面积为 2 m×2 m 的样方(样地基本特征见表 1)进行取样分析。统计植物种类、盖度; 并将样方内植被齐地面刈割, 分种统计地上部分鲜重, 植物鲜样在恒温箱中 60℃烘至恒重, 称干重确定其生物量。

表 1 样地基本特征

退耕年限/a	坡度/(°)	坡向	坡位	群落	生物量/(g·m <sup>-2</sup> )	盖度/%	恢复方式
3	26	阴坡	卯中上坡	赖草群	16.12	45	自然
15	9	阴坡	梁卯下部	长芒草, 达乌里胡枝子	14.44	55	自然
40	37	阴坡	坡下	大针茅, 铁杆蒿	12.83	60	自然
3	18	阴坡	中部	猪毛蒿	10.96	27.5	人工干预
14~ 15	18	阴坡	中部	长芒草, 达乌里胡枝子	18.34	45	人工干预
40~ 41	26	阴坡	中上部	人工刺槐林	13.78	90	人工干预
4	5~ 10	阳坡	坡中	猪毛蒿	17.68	30	自然
14~ 15	28	阳坡	中下部	达乌里胡枝子, 铁杆蒿, 长芒草, 白羊草	19.35	40	自然
40	20	阳坡	坡上	白羊草, 达乌里胡枝子, 长芒草	14.11	70	自然
3	6	阳坡	坡中下部	达乌里胡枝子, 猪毛蒿, 狗娃华	22.44	30	人工干预
15	24	阳坡	坡中	达乌里胡枝子, 萎陵菜	10.78	60	人工干预
40~ 41	23	阳坡	坡上部	人工刺槐林	15.17	95	人工干预

### 1.3 样品采集及分析

用土钻以 20 cm 为间隔取 0~ 500 cm 的原状土壤样品, 装入铝盒。在室内将装有土样的铝盒称重, 称量出铝盒加湿土的质量  $W_{湿}$ 。放入烘箱中, 在 105℃下烘至恒重, 取出铝盒称量, 即铝盒加烘干土的重量  $W_{干}$ 。根据公式计算出土壤含水量。

重量含水量% =  $(W_{湿} - W_{干}) / (W_{干} - W) \times 100\%$   
式中:  $W_{湿}$  ——湿土+ 铝盒重(g);  $W_{干}$  ——干土+ 铝盒重(g);  $W$  ——铝盒重(g)。

体积含水量% = 重量含水量% × 土壤容重(g/cm<sup>3</sup>)。

## 2 结果与分析

植被的立地条件不同, 则受到环境因子的影响也不同, 从而引起土壤水分的差异。地形因子中的坡向不同, 造成坡面的光照、气温、降水、土壤性质和植被格局等不同, 影响了土壤含水量。土地的不同利用方式, 主要指自然恢复和人工干预恢复两种方式, 会影响到地表植被的类型、盖度及生长情况, 同时也会影响土壤的水分含量。从调查样地中选择约 3 a, 15 a 和 40 a 等不同退耕时间的退耕地作为研究对象, 分析其在自然恢复和人工干预恢复下的土壤含水量动态变化规律。

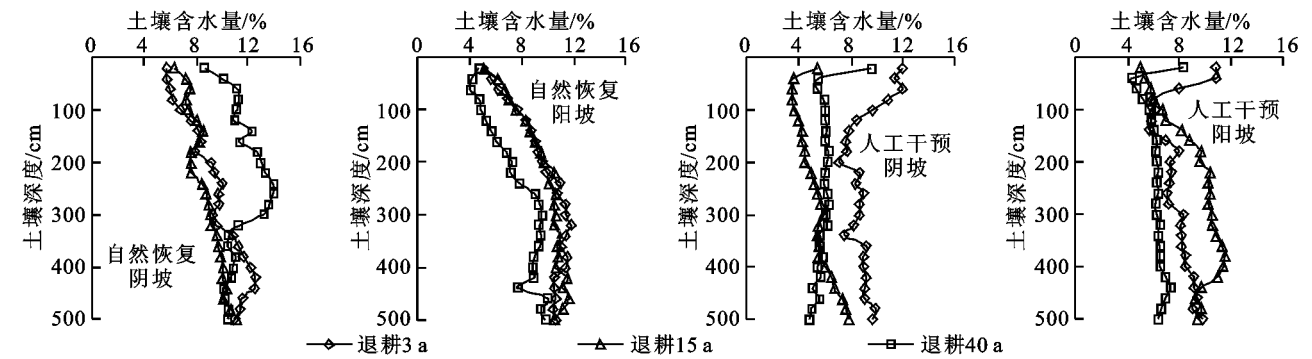


图 1 不同恢复方式的土壤含水量变化

## 2.1 坡向对土壤含水量的影响分析

在黄土高原丘陵沟壑区, 水分作为极其重要的影响因素对植被生长起着重要的作用。土壤水分含量因坡向不同而表现差异, 阴坡含水量显著大于阳坡的含水量, 主要是由于阳坡辐射强烈, 植物蒸腾作用消耗了大量的土壤水分而造成的<sup>[6]</sup>。表现在自然恢复条件下阴坡立地的土壤含水量变化在 6%~14%, 而阳坡立地在 4%~10%。特别是在退耕 40 a 的坡地阴阳坡对比更为明显, 阴坡立地的土壤含水量在 8%~14% 的范围里变动, 而阳坡立地仅为 4%~8%, 表明在退耕 40 a 时阳坡立地的退耕坡地的土壤干燥化程度十分严重<sup>[5]</sup>。相对于自然恢复, 人工干预的土壤含水量阴阳坡立地变化则较为一致, 都在 4%~12%。

## 2.2 恢复方式对土壤含水量的影响分析

不同的土地利用方式会使地表植被的生长存在差异, 从而影响土壤含水量的变化。对于自然恢复条件下的土壤含水量变化(图 1), 在 300 cm 以下的土层深度相对稳定, 含水量主要集中在 9%~12%, 土层越深, 这种稳定性表现得更为明显。0~300 cm 土壤的含水量变化范围较大, 主要是随着土壤深度的增加而增加。其中, 自然退耕 3 a, 15 a 的退耕地 0~140 cm 土壤含水量变化较为一致, 主要在 6% 左右; 而自然退耕 40 a 的阴坡立地和阳坡立地则表现出显著的变化, 阴坡立地的土壤含水量变动幅度在 8%~14%, 而阳坡立地仅为 4%~6%, 与田间稳定持水量 12.6% 相比, 相差近 8%, 水分亏缺非常严重; 特别是在 40~60 cm 深度的土壤含水量仅为 4%, 已经接近凋萎系数。说明在阳坡立地条件下, 土壤出现了严重的土层干化现象。

人工干预条件下的土壤含水量变化趋势总体比较相同。区别于自然恢复具有明显变化趋势表现在土壤耕层。阴坡立地和阳坡立地 3 a 退耕地的土壤含水量都较高, 分别为 12% 和 10.84%。20~40 cm 土壤含水量则明显减小, 40 a 的退耕地减小量最大,

阴阳两坡都接近 4%。由于地表受环境因子影响较大, 人工干预条件下的土壤含水量在 140~500 cm 土层逐渐表现出稳定的变化。3 a, 40 a 退耕地含水量变化都在 2%, 15 a 退耕地含水量变化范围为 3%。总体上看, 3 a 退耕地的土壤含水量在垂直方向动态变化较为剧烈, 根据土壤含水量的变化趋势, 可以将土层划分为 0~200 cm 急剧变化层, 200~500 cm 稳定变化层。人工干预土壤含水量最大值发生在阴坡退耕 3 a 的 40~60 cm 土层, 为 12%; 最小值发生在阴坡退耕 15 a 的 40~80 cm 土层, 为 3.5%, 相对于自然恢复, 土层干化现象更加严重。

综上所述, 对比自然恢复和人工干预两种恢复方式, 阴坡立地的土壤含水量都大于阳坡立地, 但是退耕 15 a 的坡地却刚好相反, 阳坡立地的土壤含水量大于阴坡, 自然恢复的样地两者间的差异还不是很明显, 最大差距为 3%; 人工干预的退耕地阳坡立地的土壤含水量比阴坡立地在 160~420 cm 土层的差值都大于 4.5%, 其中最大值为 6%, 是自然恢复最大差值的 2 倍。存在这一现象可能是由于在退耕 15 a 左右的时间, 植被恢复正处在交替的阶段, 阳坡立地还存在蒿类植物, 这种直根系植物根系下扎较深, 并且在整个土壤剖面上的根系长度和根系表面积分布特征相对比较均匀<sup>[6]</sup>, 能够有效地改善土壤的物理性质, 从而使得土壤的含水量有着明显的增加。同时人工干预的措施会放大自然演替过程中所发生的现象, 这对于在配置人工干预措施时有着很好的指导意义。

## 2.3 土壤水资源

前苏联地理水文学家李沃维奇最早提出“土壤水资源”的概念, 他认为土壤水是陆地水循环的重要环节, 积极参与水循环(水分循环角度), 不断得到补给和消耗, 在陆地生物和生命活动工程中都起着积极的作用<sup>[7]</sup>。

随着人们对土壤水研究的深入及土壤水作为一种资源的客观存在, 土壤水逐渐被作为水资源的一

个种类型进行研究,对于黄土高原土壤水资源的研究,杨文治、穆兴民<sup>[8]</sup>等人有所论述,将土壤水资源定义为土壤中实际存储的水分数值,通常用自然储

水深(mm)或土壤自然含水量(体积%)表示。本研究即依据这种土壤水资源的定义,计算所选择样地的土壤水资源量。

表 2 土壤水资源量分布 mm

坡向	土层深度/cm	自然恢复年限/a			人工恢复年限/a		
		3	15	40	3	15	40
阴坡	0- 20	14. 75	17. 20	19. 33	33. 67	11. 89	23. 88
	0- 60	47. 18	57. 85	69. 11	99. 18	29. 79	52. 50
	0- 200	195. 15	211. 07	270. 30	267. 15	102. 04	163. 68
	0- 500	639. 75	612. 32	694. 30	644. 17	333. 01	386. 37
阳坡	0- 20	12. 83	13. 41	11. 41	30. 76	13. 22	23. 06
	0- 60	44. 02	48. 52	33. 66	85. 10	42. 32	46. 89
	0- 200	196. 20	210. 68	144. 37	216. 11	193. 40	158. 05
	0- 500	616. 15	650. 95	511. 30	571. 96	617. 48	420. 72

对比分析自然恢复和人工干预下的土壤储水量变化规律,在阴坡立地条件下,自然恢复土壤储水量随着退耕年限的增加而增加,而人工干预则在恢复初期土壤储水量大于后期的土壤储水量,这说明人工干预在退耕初期起到了相当大的作用,随着时间的延长,又逐渐向自然恢复的规律发展;阳坡立地条件下的自然恢复和人工恢复的规律较为一致。总体来说,0- 20 cm 和 0- 60 cm 土壤储水量人工干预条件下较好,而对于整个土层而言,自然恢复高于人工干预条件下的土壤储水量。

3 结 论

(1) 对于初期和长期的退耕地,研究结果表明,阴坡的土壤含水量比阳坡高,其植被状况也比阳坡好;对于 15 a 退耕地阳坡土壤含水量高于阴坡的机理还有待于进一步的研究。

(2) 辅助以人工措施,以促使退耕地尽快恢复因耕作而破坏的生态系统,加快植被的恢复演替过程。研究结果表明,自然恢复条件下土壤水分含量先增大,后逐渐稳定,人工干预条件下耕层含水量较多,40- 160 cm 层减少,200 cm 含量约为 4%,且随着退耕年限增加而减少,接近凋萎系数 4%。特别是人工措施对短期退耕年限的浅层土壤产生的影响较大,使得土壤水分急剧增加至 12%,随后通过缓慢的入渗过程也逐渐丰富深层土壤的含水量。

(3) 根据土壤水资源量的计算分析,人工干预措

施在退耕初期产生良好的效果,因此,在对退耕地进行恢复时应根据退耕时段选择相应的措施,并且进行合理的植被配置,注意植被群落的多样性将有助于长时期的植被恢复演替及生态系统的完善。

参考文献:

[1] 莫治新,王冀萍.塔里木河上游地区不同植被土壤水分特性分析[J].湖北农业学报,2008,47(7):785-787.

[2] 杨永东,张建生,蔡国军,等.黄土丘陵区不同立地条件下紫花苜蓿地土壤水分动态变化[J].草业科学,2008,25(10):25-28.

[3] 王思成,王月玲,许浩,等.半干旱黄土丘陵区不同植被恢复方式下土壤理化特性及相关分析[J].西北农业学报,2009,18(1):295-299.

[4] 李艳梅,王克勤.人工植被土壤水分状况与动态研究进展[J].西南林学院学报,2003,23(3):68-73.

[5] 张振国,黄建成,焦菊英,等.安塞黄土丘陵沟壑区退耕地植物群落土壤抗蚀性分析[J].水土保持研究,2008,15(1):28-31.

[6] 胡伟,邵明安,王全九.黄土高原退耕坡地土壤水分空间变异研究[J].水科学进展,2006,17(1):74-81.

[7] 李鹏,李占斌,澹台湛.黄土高原退耕草地植被根系动态分布特征[J].应用生态学报,2005,16(5):849-853.

[8] 邬春龙,穆兴民,高鹏.土壤水资源研究进展及评述[J].水土保持研究,2008,15(3):255-257.

[9] 穆兴民.试论黄土区旱地土壤水资源的地带性与非地带性[J].土壤学报,1999,36(2):237-238.