

小浪底库区坡地不同景观配置 对土壤水分时空分布及产流产沙影响^{*}

苏子友¹ 吴文良¹ 张劲松^{2**} 姜广辉¹ 贾长荣³ 李剑侠³ 薛茂盛³ 李中福³

(1. 中国农业大学资源与环境学院 北京 100094; 2. 中国林业科学研究院林业研究所, 国家林业局林木培育重点实验室 北京 100091; 3. 河南省济源市林业局 济源 454650)

摘要 以小浪底水库库区6种主要坡地景观类型(免耕农田、传统耕作农田、撂荒地、果园、林地、间作地)为例,研究了坡地不同景观配置对土壤水分时空分布及其产流产沙的影响。研究表明,雨季末期农田景观配置(免耕、传统耕作)土壤含水量的增量是撂荒地、果园、林地、间作地景观的1.51、2.32、5.63、2.66倍,蓄水效率比撂荒地、果园、林地、间作地分别高7.06%、11.92%、17.23%、13.07%。土壤水分的垂直梯度变化可归纳为增长型、降低型和波动型和增长降低4种类型;径流和泥沙总量林地最少,农田传统耕作最多,其径流量是林地的13.9倍。

关键词 小浪底库区 景观配置 土壤水分 径流 侵蚀泥沙

Effect of different slope landscape patterns on spatial and temporal variations of soil water, runoff and sedimentation in Xiaolangdi Reservoir area. SU Zi-You¹, WU Wen-Liang¹, ZHANG Jin-Song², JIANG Guang-Hui¹, JIA Chang-Rong³, LI Jian-Xia³, XUE Mao-Sheng³, LI Zhong-Fu³ (1. College of Resources and Environment, China Agricultural University, Beijing 100094, China; 2. Key Lab of Tree Breeding and Cultivation, State Forestry Administration, Forestry Research Institute, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 3. Jiyuan City Forestry Administration, Jiyuan 454650, China), *CJEA*, 2007, 15(4): 78~81

Abstract Spatial and temporal variations of soil water, runoff and sedimentation on six slope landscape patterns (no-tillage cropland, conventional tillage cropland, fallow land, orchard, woodland, intercropped land) in Xiaolangdi Reservoir area were investigated. Results show average increased soil water content of cultivated slope landscapes (no-tillage and conventional tillage) to be 1.51, 2.32, 5.63, and 2.66 times of that of fallow land, orchard, woodland and intercropped land respectively, and with 7.06%, 11.92%, 17.23% and 13.07% higher average water storage efficiency at the end of the rainy season. Vertical changes in moisture across the soil profile are grouped into four clusters: increasing, decreasing, fluctuating, and increasing-decreasing tendencies. Woodland slope has the least accumulated runoff and sedimentation while conventional tillage cropland has the highest of all the slope landscape patterns. Accumulated runoff and sedimentation for conventional tillage cropland is 13.9 times of that of forest landscape.

Key words Xiaolangdi Reservoir area, Slope landscape pattern, Soil moisture, Runoff, Sedimentation

(Received Aug. 29, 2006; revised Nov. 25, 2006)

人类活动是景观配置变化的重要驱动力^[23,24]。小浪底水库库区由于过伐森林资源、陡坡开荒等不合理的土地利用,致使土壤侵蚀严重,每年库区土壤流失量为108万t^[1,2];同时该地区缺少灌溉条件,以雨养农业为主,农业收成不稳定。为了修复退化的生态系统,该区实施了一系列的生态(工程)建设,形成了不同的坡地景观配置^[3]。该区域降雨是维持坡地植物生长的水分来源,又是土壤侵蚀的主要动力^[4,5],研究土壤水分的时空分布及产流、产沙对小浪底库区农业生产、植被恢复、土地合理利用和提高当地作物产量都具有重要意义^[6,7],长期以来,研究者从不同角度和不同方面研究了不同景观配置对土壤水分变异及产流产沙的影响。杨武德^[8]和徐明岗^[9]研究了红壤地区不同景观配置下对土壤水分变异和水土流失的影响;刘海隆^[10]研究了岩溶山区旱坡地土壤水分时空分异;海春兴^[11]对河北坝上的表层土壤水分的变异做了研究;潘成忠^[12]、王军^[6]和邱扬^[13]对黄土丘陵地区的水分时空变异性做了研究;王小彬^[14]和晋小军^[15]、郭清毅^[16]研

* 科技部社会公益性项目(2003DIB4J142)和国家十五攻关课题(2004BA510B11)资助

** 通讯作者

收稿日期:2006-08-29 改回日期:2006-11-25

究了农业景观管理措施下土壤水分的变异性 and 利用效率差异。但上述研究将农业景观配置和其他景观配置分开进行研究,缺乏对比性;此外对半干旱半湿润的黄土丘陵沟壑区进行生态建设治理,出现了不同的景观配置,但缺乏对不同景观配置下土壤水分时空分布和产流产沙的系统研究。本文选取小浪底库区人为管理措施下形成的农业景观配置(免耕、传统耕作)、林地(侧柏)、间作地、果园地、撂荒地景观配置,对其土壤水分时空分布变异及产流产沙进行研究,为实现该区景观合理配制和土地合理利用提供理论基础。

1 研究区概况与研究方法

试验区位于河南省济源市大奎岭乡(34°58'N,112°18'E),属暖温带大陆性季风气候,年均气温在 13.6~15.2℃之间,平均≥5℃的活动积温为 5061℃,年均降雨量 641.7mm,但由于受季风气候的影响,降水年内季节性分布不均匀,6~9 月份多年平均降水量为 452.4mm,占全年的 70.5%。土壤类型为黄土母质上发育而成的黄绵土,土质疏松,抗蚀抗冲性差,土壤侵蚀剧烈,水土流失严重,属国家退耕还林还草区。

2004 年 5 月在上述试验区内坡度为 10°左右的地区选择 6 种代表性的土地利用类型:1. 免耕农田。小麦播种前不整地,直接耩播;收获时留茬 10~15cm,秸秆脱粒后还田。2. 传统耕作农田。收获后深翻地 20cm,不耙磨,播种前翻地 20cm 深,耙磨;小麦收获时保留 5~6cm 残茬,秸秆和麦穗带走不还田。3. 撂荒地。退耕 3~5 年的农田,植被以艾叶蒿、铁杆蒿、白羊草、荩草等草本植物为主,盖度在 70%左右。4. 果园地。2002 年在农田种植杏树,株行距为 3m×4m,每年对地表进行松土、施肥、清除杂草等管理活动,试验时杏树高 2m 左右,盖度 40%左右。5. 侧柏林地。2002 年按 2m×1m 株行距在砍伐林地上种植侧柏,林地内保留有荆条、酸枣、胡枝子、杠柳等灌木,以及野菊、荩草、茜草等草本植物,侧柏高 2.5m 左右,植被总体盖度约 90%。6. 间作地。2002 年种植李树和苜蓿,李树株行距为 3m×4m,苜蓿条播,行距为 0.2m;苜蓿属于多年生植物,每年 7~8 月开花,盖度 50%左右。在上述不同利用类型的土地上各建立 3 个 3m×10m 径流场。

利用时域反射仪(Time domain reflectometry,简称 TDR)测定各径流场的土壤含水量,TDR 分 8 层(0~10cm、10~20cm、20~30cm、30~40cm、40~50cm、50~70cm、70~90cm 和 90~120cm),每层 3 个样点,取平均数,从 2004 年 6 月到 9 月每 10d 测定一次。土壤蓄水效率按下式计算:

$$\text{蓄水效率} = \frac{SW2 - SW1}{P} \times 100\% \quad (1)$$

式中,SW1 和 SW2 分别为 6 月初和 9 月末的土壤含水量,P 为 6~9 月的降雨量。

各径流场均设有地表径流收集槽-集水桶,每次降雨后测定径流量和泥沙含量。2004 年 6 月到 9 月的降雨量为 547.3mm,比正常的年份偏多。

2 结果与分析

2.1 不同景观配置对土壤水分时空分布的影响

土壤水分的时间变化。由图 1 可知,6 种土地利用类型的土壤水分雨季变化可分为 2 类。第一类包括免耕农田、传统耕作农田和撂荒地,3 种景观配置下土壤水分有相似的变化趋势。免耕农田和传统耕作农田在小麦收获后,土壤含水量明显低于其他景观配置,这是由于小麦收获前降雨量少、农田土壤蒸发量大,且小麦生长消耗大量土壤水分。传统耕作农田土壤多次耕作且缺少秸秆覆盖,致使上一年播种前土壤储存水分少于免耕,来年小麦收获后土壤含水量远远低于免耕农田。免耕覆盖土壤含水量高可能是因为 2003 年雨季秸秆覆盖等措施,增加了播种前土壤储存的水分,其在 2004 年小麦收获后,土壤含水量高于传统耕作。雨季 6 月的降雨为 166.1mm,免耕、传统耕作农田土壤含水量得到补充,撂荒地的土壤含水量也出现了缓慢的增长。从 7 月初到 9 月末,免耕土壤含水量在所有处理中最高,这与土壤免耕减少了土壤扰动和秸秆覆盖减少蒸发并促进降雨入渗有关^[11,17]。第二类为果园地、林地和间作地。这些土地利用类型的土壤在前期由于有植物遮盖和植物生长处于展叶期,土壤蒸发和植物蒸腾较弱,其初始阶段的土壤含水量高于农田和撂荒地。6 月初降雨量偏少,渗入土壤形成的土壤水也少,同时气温回升,蒸发作用加强,导致土壤含水量降低,呈现土壤水分的第一个低谷。进入 6 月中下旬到 7 月,降雨明显增多,除用于植物生长蒸腾和土壤蒸发外,还有少量水补充土壤水分,

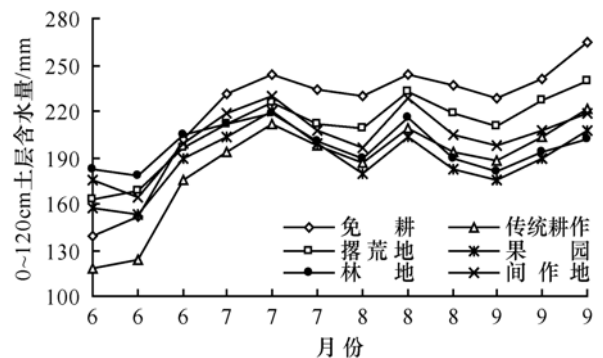


图 1 不同景观配置下土壤含水量随时间的变化
Fig. 1 Temporal changes of water contents of 0~120cm soil in different slope landscape patterns

土壤含水量达到一个高峰。进入 8~9 月份,降雨与平均年相比偏少,同时植物进入生长旺盛阶段,加之温度升高,致使土壤含水量走势相对平缓。整体来看,6 种不同景观配置下土壤含水量经过降雨季节(6~9 月)后,土壤含水量均有所增加,农田景观(免耕、传统耕作)土壤含水量平均增量分别是撂荒地、果园、林地、间作地的 1.51、2.32、5.63、2.66 倍,林地、间作地和果园增长较少,没有恢复到上年的水平,这与许多研究结果一致^[18,19]。

表 1 不同景观配置对雨季 0~120cm 土壤水分保蓄的影响*

Tab.1 Effects of landscape patterns on 0~120cm soil water storage during the rainy season

处 理	降雨量/mm	SW1/mm	SW2/mm	蓄水效率/%
Treatment	Rainfall			Water storage efficiency
免 耕	547.3	138.40	264.10a	22.97
传统耕作	547.3	118.31	222.00c	18.95
撂荒地	547.3	162.84	238.90b	13.90
果 园	547.3	157.56	207.00de	9.03
林 地	547.3	182.00	202.40e	3.73
间作地	547.3	175.32	218.50cd	7.89

* 表中相同英文字母表示在 5% 水平上差异性不显著。

土壤含水量的测定,并根据不同景观配置下土壤水分(整个观测期每层土壤含水量的平均值)沿垂直剖面的变化趋势做图(图 2)。根据图 2 可将其分为 4 种类型。第一种类型为增长-降低型,包括免耕农田、传统耕作农田和撂荒地 3 种景观配置,农田耕层(0~30cm)土壤含水量随土壤深度增加而增加,在 30~50cm 土层之间土壤水分达到高值,以后土壤含水量迅速降低。可以看出,50cm 以后,传统耕作的含水量下滑趋势远远大于保护性耕作,这与其耕作次数多,土壤结构破坏,致使雨水向深层入渗受阻有关;而免耕措施减少了耕作次数,加之秸秆覆盖等措施,促进了雨水向土壤深处入渗^[20]。撂荒地表现出和农田相同的趋势,这是由于撂荒地作为弃耕 3~5 年的农地,具有与农田相似的物理性质;但两者间也有差异,撂荒地最高含水量出现的层次比农田土壤深,说明土壤退耕后,植被有所恢复,草本植物的根系改善了土壤透气性。第二种类型为增长型,其景观配置为间作地。土壤含水量随着土壤深度的增加先是迅速升高,随后随着土壤深度增加,含水量缓慢增加,表现出树木和农作物间作互补的优势。第三种是波动型,果园的景观配置属于这种类型。其土壤水分的变化是高低变化间隔出现,其原因之一可能是树木根系深度和分层分布影响了土壤水分的吸收,再者林木改变了土壤的物理性质(如土壤容重、孔隙度及土壤机械组成等),影响到土壤水分的入渗、储存及再分布^[6]。第四种类型是降低型,林地的景观配置是这种类型。土壤含水量变化随着土壤深度的增加而降低,这可能与侧柏林地内生长有大量的灌木和草本植物有关,侧柏和灌木、草本植物三者共同蒸腾耗水和灌木的深根性耗水使深层土壤含水量降低。

2.2 不同景观配置对产流产沙的影响

由表 2 可知,不同景观配置下的雨季产流产沙量明显不同。从产流总量看,林地<撂荒地<免耕<间作地<果园<传统耕作。这是由于林地侧柏栽植时没有破坏原来生长茂密的荆条和草本植物,林地郁闭度高,土壤表层有一层腐殖质,结构良好,不仅避免了降雨直接打击地表,而且形成了高、中、低 3 层结构对降雨的截留;降雨到达地面后,由于良好的土壤结构使降雨入渗加快,故径流量较少。撂荒地上生长有以蒿类为主的草本植物,在 6~9 月份植被盖度较高,同时撂荒以后对土壤的扰动减少,土壤结构逐渐恢复,土壤容重降低,土壤空隙度增加,使土壤透水性和通气性增强^[21]。免耕在收获时留茬,同时收获后的秸秆还田,增加了地表覆盖度,改善了土壤结构,促进了降雨的入渗和减少雨滴对土壤地表的打击力^[22]。间作地由于上层李树冠层对降雨的截留和下层苜蓿对地表的覆盖,减少了雨滴对地面的直接打击,加之两种作物根系的互相交错,促进了降雨的入渗,但苜蓿行间有裸露的土地,降雨可对地表进行直接打击,容易产生径流。果园尽管有杏树冠层对降雨

土壤水分蓄水量。从表 1 可知,雨季末期不同景观配置下土壤含水量差异显著。农田(免耕、传统耕作)雨季后土壤含水量得到了较大的恢复。农田、撂荒地的蓄水效率也明显大于果园地、间作地和林地,这与上述利用方式下植物蒸腾耗水有很大关系;特别是林地,树木蒸腾耗费大量土壤水分,并且在幼树期土壤蒸发比较强烈,导致林地蓄水效率最低。

土壤水分与土层深度的关系。于 6~9 月份每隔 10d 对免耕农田、传统耕作农田、撂荒地、林地、果园地、间作地的 0~120cm 土壤分层进行土

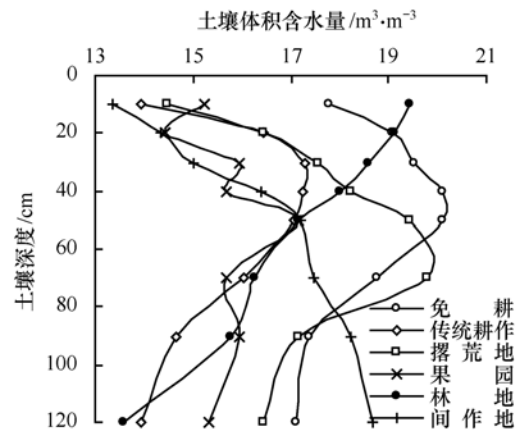


图 2 不同景观配置下土壤水分的垂直变化

Fig.2 Vertical changes of soil water contents in different slope landscape patterns

的截留,但由于果园地表杂草植物较少,施肥等措施对土壤的扰动,以及果树间较大的行间裸露,致使径流较大。传统耕作由于多次对土壤耕作,致使地面疏松,而且没有任何覆盖,降雨容易使土壤结皮,加之对土壤扰动大,致使径流很大。6种景观配置下侵蚀泥沙总量也存在明显差异,变化趋势与径流量相同,原因如上述对径流差异的描述。

上述6种景观配置下,传统耕作的径流量总量分别是免耕、撂荒地、果园、林地、间作地的2.81、5.39、1.87、13.67、2.21倍,侵蚀泥沙总量是上述几种景观配置的5.03、21.14、2.37、134.85、4.11倍。同时也可以看出免耕与间作具有相近的水土保持功能。在生态恢复中,因地制宜选择合理植被和植被构造以及适宜的耕作措施可有效减少径流损失和土壤侵蚀。同时在粮食安全日益紧张的情况下,保护性耕作是一种较好的景观配置方式,可以稳定“雨养”地区的作物产量。

3 结论与讨论

雨季后不同景观配置下的土壤水分均得到一定的恢复,只有林地存在一定的水分亏缺,这可能与林地上灌木强大的耗水能力密切相关。从降雨的蓄水效率看,农田景观具有较高的蓄水效率,这可能与雨季前期农田水分含量低,降雨易于入渗有关。果-苜蓿间作可发挥苜蓿和树木根系互补的优势,但要了解根系的具体分布和交叉作用,尚需进一步的观测和分析。地表覆盖和植树种草可减少地表径流和土壤侵蚀。本文仅研究了同一坡度、单一季节内不同景观配置的土壤水分时空变异性及其对产流产沙的影响,今后应进一步研究不同景观配置对环境的影响。

参 考 文 献

- 1 光增云,唐卫平,马群智.河南省黄河中游水土流失区林业重点治理工程可行性研究.地域研究与开发,1998,17(增刊):77~82
- 2 朱连奇.豫西黄土丘陵山区土壤侵蚀及其对农业可持续发展的影响.水土保持学报,2001,15(5):44~49
- 3 李凤民,徐进章,孙国钧.半干旱黄土高原退化生态系统的修复与生态农业发展.生态学报,2003,23(9):1901~1909
- 4 朱志诚.陕北黄土高原植被基本特征及其对土壤性质的影响.植被生态学与地植物学学报,1993,17(3):280~286
- 5 郝明德,党廷辉,谢永生.黄土高原沟壑区水土流失综合治理措施探讨——以长武王东沟小流域试验示范区为例.中国水土保持,2005(2):43~44
- 6 王 军,傅伯杰.黄土丘陵小流域土地利用结构对土壤水分时空分布的影响.地理学报,2000,55(1):84~91
- 7 刘贤超,李 涛.渭北旱塬苹果基地土壤水分空间变异性研究.农业工程学报,2005,21(增刊):33~38
- 8 杨武德,王兆骞,陆国平,等.红壤坡地不同利用方式土壤侵蚀模型研究.土壤侵蚀与水土保持学报,1999,5(1):61~68
- 9 徐明岗,文石林,高菊生.红壤丘陵区不同种草模式的水土保持效果与生态环境效应.水土保持学报,2001,15(1):77~80
- 10 刘海隆,蒋太明,刘洪斌,等.不同土地利用方式对岩溶山区旱坡地土壤水分时空分异的影响.土壤学报,2005,42(3):428~433
- 11 海春兴,周心澄,李晓佳.河北坝上不同土地利用方式下土壤表层水分变化对风蚀的影响.水土保持学报,2005,19(2):29~32
- 12 潘成忠,上官周平.黄土半干旱丘陵区陡坡地土壤水分空间变异性研究.农业工程学报,2003,19(6):5~9
- 13 邱 扬,傅伯杰,王 军,等.黄土丘陵小流域土壤水分时空分异与环境关系的数量分析.生态学报,2000,20(5):741~747
- 14 王小彬,蔡典雄,金 轲,等.旱坡地麦田夏闲期耕作措施对土壤水分有效性的影响.中国农业科学,2003,36(9):1044~1049
- 15 晋小军,黄高宝.陇中半干旱地区不同耕作措施对土壤水分及利用效率的影响.水土保持学报,2005,19(5):109~112
- 16 郭清毅,黄高宝, Li G.D.,等.保护性耕作对旱地麦—豆双序列轮作农田土壤水分及利用效率的影响.水土保持学报,2005,19(9):165
- 17 李玲玲,黄高宝,张仁陟,等.不同保护性耕作措施对旱作农田土壤水分的影响.生态学报,2005,25(9):2326~2332
- 18 原焕英,许喜明.黄土高原半干旱丘陵沟壑区人工林土壤水分动态研究.西北林学院学报,2004,19(2):5~8
- 19 郭忠升,邵明安.雨水资源、土壤水资源与土壤水分植被承载力.自然资源学报,2003,18(5):522~528
- 20 苏子友,杨正礼,王德莲,等.豫西黄土坡耕地保护性耕作保水效果研究.干旱地区农业研究,2004,22(3):6~9
- 21 李 鹏,李占斌,郑良勇.植被恢复演替初期对模拟降雨产流特征的影响.水土保持学报,2004,18(1):58~62
- 22 王育红,姚宇卿,吕军杰.残茬和秸秆覆盖对黄土坡耕地水土流失的影响.干旱地区农业研究,2002,20(4):109~111
- 23 Wu J.G., Hobbs R. Key issues and research priorities in landscape ecology: an idiosyncratic synthesis. Landscape Ecology, 2002, 17(4): 355~365
- 24 Haberl H., Wackernagel M., Wrbka T. Land use and sustainability indicators. An introduction. Land Use Policy, 2004, 21(3): 193~198

表2 不同景观配置下的产流产沙量

Tab.2 Runoff volume and sediment concentration under different slope landscape patterns

项 目	免耕	传统耕作	撂荒地	果园	林地	间作地
Item	No-tillage land	Conventional tillage land	Fallow land	Orchard land	Forest land	Intercropping land
径流量/L·m ⁻²	7.3	20.5	3.8	11.0	1.5	9.3
沉淀量/g·m ⁻²	16.1	80.9	3.7	34.2	0.6	19.7