

# 黄土区地貌部位对植被水土保持效应的影响

王 贺

张家口市水政监察支队, 河北 张家口

收稿日期: 2022年9月6日; 录用日期: 2022年10月5日; 发布日期: 2022年10月12日

---

## 摘 要

本研究综述了近几年国内有关不同地貌部位(塬坡和沟坡)植被的保水和减沙效应。重点对两种类型坡面的不同植被下土壤含水量和产沙量进行了比较, 初步总结了分别适宜于塬坡和沟坡, 且能够同时产生较好的保水和减沙效益植被类型。并进行了相应的展望。

## 关键词

沟坡, 塬坡, 植被类型, 水土保持效应

---

# Influence of Geomorphic Locations on Soil and Water Conservation of Vegetation in Loess Region

He Wang

Zhangjiakou Water Administration Supervision Detachment, Zhangjiakou Hebei

Received: Sep. 6<sup>th</sup>, 2022; accepted: Oct. 5<sup>th</sup>, 2022; published: Oct. 12<sup>th</sup>, 2022

---

## Abstract

This study reviewed the water retention and sediment reduction effects of vegetation on different landforms (plateau slopes and ditch slopes) in China in recent years. The soil water content and sediment yield under different vegetation on the two types of slopes were compared, the vegetation types that were suitable for plateau slopes and ditch slopes which could produce better water conservation and sediment reduction benefits were preliminarily summarized, and a corresponding

outlook was given.

## Keywords

Ditch Slope, Plateau Slope, Vegetation Type, Soil and Water Conservation Effect

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

黄土丘陵区是黄土高原主要的泥沙来源区域。依据其地貌类型,可分为沟间地带和沟壑区,沟间地带主要为塬坡,沟壑区主要包括沟坡和沟床[1]。由于分布位置的不同,塬坡和沟坡的地形地貌存在显著差异。塬坡一般较为平缓,位于流域肩线以上,主要侵蚀类型为细沟侵蚀和沟间侵蚀。沟坡是位于肩线以下,塬坡与沟道之间的区域,一般是由沟道不断下切侵蚀造成,地形陡而破碎,坡度一般大于 $25^\circ$  [2]。沟坡土壤侵蚀主要以细沟侵蚀和重力侵蚀为主,是小流域水土流失最活跃和最主要的区域之一。

由于沟坡较陡的地形条件,使得其水文和土壤侵蚀条件与塬坡存在很大不同[3]。Qiu *et al.*等[4]和黄奕龙等[5]指出,在集水区尺度上,地形和土地利用是影响土壤水分时空变异的重要因素。一般而言,较陡的地形不利于降雨入渗和坡面蓄水[6],这一特征使沟坡的土壤水分条件较塬坡偏低[7]。水分条件的差异可能会影响坡面植物生长,使土壤表面特征(即土壤理化性质、枯落物、生物结皮和根系)存在差异,进而会对其土壤抵抗流水侵蚀的效果产生重大影响。从而使得同一植被措施在沟坡和塬坡发挥的水土保持效应存在差异,影响了该区域水土保持措施效益的评估。有研究通过对小流域泥沙来源分析也发现,塬坡所在沟间地土壤侵蚀量要高于沟坡所在的沟谷地,而沟谷地的泥沙主要来源于沟坡[8]。

近年来,随着该地区大规模的植被恢复,土壤侵蚀的防治方面取得了显著效果。植被能够通过冠层截留和增加土壤蓄渗能力的方式削减地表径流,也能通过根系、枯落物等增加土壤的抗蚀能力,进而实现保持水土的目的[9]。相对于坡耕地,植被可以使得土壤流失率削减70%~90% [10]。而植被对土壤水分的影响则易受到其类型的制约。如易扬等[11]指出草地的土壤含水率低于农地,而张瑞等[12]则认为相反。并且不合理的植物措施会造成土壤水库的耗竭和植被的退化,进而加剧土壤侵蚀和泥石流等自然灾害发生的可能,使得该措施的生态效应大大低于预期。特别是刺槐等外来树种的引入,虽然在初期生长较为良好,但是到后期由于其用水量较大,加之黄土高原的降水较少,在刺槐林地常出现土壤干层,影响了植被的可持续发展[13]。因此,在该地区选择适宜的植被类型一直是当前的研究重点。而植被类型的差异,也会导致土壤侵蚀特征的差异,如魏天兴[14]指出,相似郁闭度条件下,刺槐林地的土壤侵蚀量( $7.64 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ )要低于草地( $7.85 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ ),但是二者均远低于沙棘这一灌木林地( $4.56 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ )。因此探究在适宜地貌类型下的最佳植被类型,对于该地区生态恢复具有重要意义。

当前研究多从土壤侵蚀或土壤水文特征等单一角度对植物措施的适宜性评价。但在类似于黄土高原的半干旱地区,保水效应和减蚀效应是同等重要的。土壤水分不仅可以直接影响坡面产汇流过程,还可通过影响植物的生长方式间接影响土壤侵蚀。而土壤侵蚀环境的差异则影响水土保持植物的选择,从而影响区域的水文特征。前人针对植被对土壤水分或产沙的影响分别进行探究,从而挑选了适宜的水土保持植物种,但植物的保水能力和减沙效应并不是同步的,即减沙效应好的植物种不一定具有较好的保水效应。本研究结合前人相关成果,从保水和减沙效应两方面综合探讨了该地区适宜的水土保持植物措

施。此外，前人多以塬坡植物种为研究对象，但由于沟坡区域坡度较陡，其具有与塬坡不同的性质，以其为研究对象较为困难，因此关于沟坡区域选择适宜的植物措施相关研究工作较为欠缺，并且针对两地貌区域植被效应差异的比较研究远远不足。因此本研究基于前人研究成果，对比塬坡和沟坡不同植被类型下的土壤水文特征和侵蚀产沙特征，分析两种地貌部位适宜的植被措施。

## 2. 塬坡植被的水土保持效应

由于塬坡地形较为平坦，试验条件较好，前人对该区域植被的水土保持效应研究开展了大量工作。基于土壤水文特征，多数研究表明，草地的土壤含水量要高于林地[12] [15]。由于刺槐对土壤水分的过度消耗，造成林地严重的水分亏缺，甚至出现严重的土壤干层现象[16]，其干燥化强度远高于沙棘林和油松林。并且随着刺槐林生长年限的增加，土壤含水量呈减小趋势，干燥化程度呈增加趋势[15]。土壤深层土壤的干燥化严重影响了刺槐林的可持续生长。井乐等[17]则发现，草地对土壤干层具有较好的改善效果，当草地封育时间由 15 年增加至 30 年，土壤干层起始深度由 80 cm 增加至 360 cm，干层厚度则由 380 cm 削减至 100 cm，可以有效的改善坡面的水分条件。此外，柠条林对土壤干层的改善也具有较好的效果[17]。而武晓莉等[18]在晋西黄土区则发现，锦鸡儿具有较强的土壤水分涵养作用，其次为刺槐，最后为草地。因此，基于土壤水文条件，草地和灌木地是塬坡较为适宜的植被类型。

而基于土壤侵蚀角度，植被能够使塬坡产沙量显著降低 98.0~99.9% [19]。于国强等[20]研究表明，林地的产沙量、产流量、入渗量分别为草地的 28.3、8.91 和 0.40 倍，林地较好的入渗性能使其具有较好的减水减沙效益。而朱燕琴等[21]等发现草地的流失量最高，其次为乔木林，灌木林的流失量最低，并且表明沙棘纯林的水土保持效果最为显著。而草地和林地的减蚀效应并非恒定，植被恢复初期，油松林的产沙量较草地偏高，而随着植被的生长，会出现草地的产沙量较油松林偏高的现象[22]。而不同林种也会对坡面产流产沙产生影响，如油松林和刺槐林的产流量分别为灌木林的 4.54 和 5.98 倍，产沙量分别为灌木林的 2.05 和 4.49 倍[23]，表明灌木林的水土保持效应高于乔木林，而乔木林中油松的减沙效益高于刺槐。基于侵蚀角度，灌木林具有较好的减沙效应。

综上，塬坡地灌木林的水土保持效应最强。

## 3. 沟坡植被的水土保持效应

由于沟坡复杂的地形条件，使得沟坡植被的水土保持效应的研究受到限制。但是部分工作也已经进行了开展，如前人研究发现草地是沟坡地比较适宜的、能够涵养土壤水的植被类型[7]。徐明等[1]也表明沟坡草地的含水量最高，其次为灌木林，乔木林的含水量最低。马建业等[24]利用氢氧同位素探究了沟坡草地和林地的土壤水分循环特征，草地土壤水主要源于降水补给，而刺槐林地主要以深层土壤水的上升补给为主，说明草地对降水的保持能力较强。不仅在黄土丘陵区，在黄土塬区也出现类型的现象，即在沟道坡地上，虽然整体上呈草地的供水能力强于油松、刺槐等林地，但是由于植被类型的差异，使得其土壤水分具有不同的变异规律，刺槐林地的土壤水分容易受到季节变化的影响，而草地由于保水性能较好，其变化较为稳定[25]。综上，沟坡地以草地为主要植被类型时更有利于保持土壤水分。

而基于土壤侵蚀角度而言，部分研究者认为林地的水土保持效应更强，其产流量和产沙量均低于草地[26]。但是 Zhang 等[3]通过探究沟坡地土壤分离能力时发现，灌木林的土壤侵蚀阻力较小，细沟可蚀性和临界剪切力是草地的 2.69 倍和 0.69 倍，表明草地的减沙效应更强。毛天旭[25]在其研究中也发现，在相同降雨量、相同坡度的条件下，沟坡地的刺槐林地的土壤侵蚀模数高于荒草地，前者约为后者的 1.44 倍，此时表明草地的减沙效益要强于林地。该研究结论与于国强等[26]的结论呈相反的趋势，可能与不同研究所选样地的降雨量、坡度、植物栽植密度等因素密切相关。综上说明沟坡地最优的减沙植被类型还

未有明确定论。

因此,从草地较好的保水效益考虑,可以初步推断草地为沟坡地最佳的植被类型,其水土保持效应最强,但是该结论需要更多的研究成果进行验证。

此外,本研究初步提出了塬坡和沟坡区域水土保持植物措施布设的一些建议:对于塬坡,应该优先选择以沙棘、锦鸡儿等代表的灌木树种,通过人工栽植的方式恢复该地区的植被,可实现较好的保水和减沙效应,但适宜栽植密度的选择还需要通过大量试验进行探究。而对于沟坡,由于其水分条件较好,且乔、灌栽植较为困难,建议选择封育的方式,使其演替出天然草地,也可实现最大的保水减沙效应。但是在黄土高原不同区域,由于降水条件的差异,塬坡和沟坡适宜植物措施也会发生改变,因此后续分区探讨塬坡和沟坡的适宜植物措施是必要的。

#### 4. 塬坡和沟坡植被的水土保持效应比较

由于塬坡和沟坡地形条件的差异,即使在同一植被类型下,其水土保持效应仍存在异同。如 Ma 等[7]研究发现沟坡草地的土壤含水量高于塬坡草地,沟坡林地的含水量低于塬坡林地。张晓梅等[27]也表明,沟坡刺槐林的土壤含水量也低于塬坡。主要是由于沟坡的坡度较大,土壤入渗速率降低[6],使得林地土壤水分的输入较低,导致沟坡的土壤水分条件较塬坡差。而草地由于具有较强的蓄水能力和较弱的耗水能力,且沟坡上游存在塬坡部位的汇流,更多的径流为草地土壤提供了更多的水分输入源,导致沟坡的草地的水分条件优于塬坡。张瑞等[12]也表明,从沟底到塬坡顶部,土壤含水量呈依次减小趋势。而即使在同一植被类型下,由于地貌的差异,塬坡和沟坡的土壤水分的季节变化也存在较为明显的差异,如在塬坡上,其土壤水分的季节变异较为明显,不同植被类型间土壤水分的差异在湿润的季节会增大,而在干旱的季节则缩小;而沟坡则呈现不同的趋势,即土壤水分的季节性变异不明显,不同植被类型间土壤水分的差异在干旱的季节会增大[28]。同时柴春山[28]也指出,塬坡和沟坡的土壤水分随土层深度的变异呈相反的趋势,塬坡土壤水分随深度的增加而降低,而沟坡土壤水分随深度的增加而增加;总体上呈现沟坡沟坡土壤水分条件要优于塬坡。

而侵蚀产沙方面,部分学者也进行了初步探究,如郑江坤等[29]研究,沟坡草地的平均产沙量为 0.177 g/L,约为塬坡草地的 2.72 倍。其次,夏露等[30]也表明,沟坡草地产沙的降雨阈值(18.4 mm)低于塬坡草地(23.70)。二者均表明沟坡较塬坡更容易产沙,是需要特别关注的区域。于国强等[31]也得到相似的结论,在不同的植被格局下,坡面侵蚀量中,18%的来源于塬坡,82%的源于沟坡,沟坡是坡面泥沙的主要来源。而毛天旭[25]在其研究中指出,沟坡和塬坡的侵蚀模式随降雨时间和降雨量而呈现较大的差异,如在降雨量为 21.6 mm 时,沟坡的侵蚀模数远高于塬坡,前者约为后者的 2.20 倍,而在降雨量为 63.2 mm 时,沟坡和塬坡的侵蚀模数的差异则减小,此时,前者约为后者的 1.03 倍。

#### 5. 展望

随着黄土高原大规模的退耕还林还草工程的实施,该区域的水土流失状况得到有效缓解。但随着生态恢复过程的进行,由于不适宜的水土保持措施导致的土壤干层等缺点也逐渐凸显。因此,适宜水土保持措施的探究成为当前研究的热点,尤其是植树和种草的选择。塬坡和沟坡由于地形地貌条件的差异,使二者水文和侵蚀条件存在较大的差异。而环境条件的差异会影响植物措施对侵蚀环境的响应程度,从而造成同一措置在不同的地貌部位产生的生态效益存在较大的差距。同时塬坡和沟坡并不是独立存在的,二者是相互联系的,塬坡产生的水流会汇集到沟坡,增加了沟坡的侵蚀风险,对植被的水土保持效应具有了更高的要求。因此探究不同地貌部位最佳水土保持效应的植被类型,对于区域土壤侵蚀分区治理,优化生态建设效果具有重要的意义。此外,淤地坝和治沟造地等沟道工程的建设会削减沟坡坡长,增加

沟坡土壤含水量,使沟坡的水文和侵蚀环境发生变化,增加了沟坡侵蚀环境的复杂性,进而影响了植被水土保持效果的评估。因此不同地貌部位尤其是沟坡植被的水土保持效应研究应该进一步加强,以为该地区选择适宜的水土保持植物措施提供科学依据。

## 6. 结论

通过总结前人有关塬坡和沟坡地貌下植被的保水和减沙效应的差异,初步得到了以下结论:1) 塬坡地灌木林的水土保持效应最强;2) 沟坡最优的减沙植被类型未有定论,而基于保水效应,可初步推断草地为沟坡地最佳的植被类型,但该结论有待验证;3) 同一植被条件下,虽然沟坡的水分条件整体上优于塬坡,但是侵蚀产沙量也高于塬坡,是需要重点关注的区域。

## 参考文献

- [1] 徐明,张健,刘国彬,等. 植被类型和降雨量对沟谷地土壤水分和温度空间分布的影响[J]. 草地学报, 2017, 25(3): 499-507.
- [2] Xiong, L., Tang, G., Yan, S., et al. (2014) Landform-Oriented Flow-Routing Algorithm for the Dual-Structure Loess Terrain Based on Digital Elevation Models. *Hydrological Processes*, **28**, 1756-1766. <https://doi.org/10.1002/hyp.9719>
- [3] Zhang, B.J., Zhang, G.H., Yang, H.Y., et al. (2019) Soil Resistance to Flowing Water Erosion of Seven Typical Plant Communities on Steep Gully Slopes on the Loess Plateau of China. *Catena*, **173**, 375-383. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.10.036>
- [4] Qiu, Y., Fu, B., Wang, J., et al. (2001) Soil Moisture Variation in Relation to Topography and Land Use in a Hillslope Catchment of the Loess Plateau, China. *Journal of Hydrology*, **240**, 243-263. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(00\)00362-0](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00362-0)
- [5] 黄奕龙, 陈利顶, 傅伯杰, 等. 黄土丘陵小流域土壤水分空间格局及其影响因素[J]. 自然资源学报, 2005, 20(4): 483-492.
- [6] 刘卉芳, 曹文洪, 王向东. 黄土区不同地类土壤水分入渗与模拟研究[J]. 水土保持研究, 2008, 15(5): 42-45.
- [7] Ma, J., Li, Z. and Ma, B. (2020) Influences of Revegetation Mode on Soil Water Dynamic in Gully Slope of the Chinese Loess Hilly-Gully Region. *Natural Hazards*, **104**, 51-72. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04157-8>
- [8] 刘卉芳. 晋西黄土区森林植被对嵌套流域径流泥沙影响研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京林业大学, 2004.
- [9] 韦红波, 李锐, 杨勤科. 我国植被水土保持功能研究进展[J]. 植物生态学报, 2002, 26(4): 489-496.
- [10] 白志刚. 从无定河流域“94·8·4”暴雨洪水看林草措施的减蚀作用[J]. 中国水土保持, 1997(7): 21-23.
- [11] 易扬, 信忠保, 覃云斌, 等. 黄土丘陵区不同土地利用类型土壤水分物理性质研究[J]. 水土保持研究, 2013, 20(5): 45-49.
- [12] 张瑞, 曹华, 王云强, 等. 黄土丘陵沟壑区小流域土壤水分空间变异性及其影响因素[J]. 水土保持研究, 2012, 19(5): 52-58.
- [13] Wang, Y., Shao, M., Zhu, Y., et al. (2011) Impacts of Land Use and Plant Characteristics on Dried Soil Layers in Different Climatic Regions on the Loess Plateau of China. *Agricultural and Forest Meteorology*, **151**, 437-448. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2010.11.016>
- [14] 魏天兴. 黄土区小流域侵蚀泥沙来源与植被防止侵蚀作用研究[J]. 北京林业大学学报, 2002, 24(5): 19-24.
- [15] 王舒, 马岚, 张栋, 等. 晋西黄土区不同林龄人工刺槐林下植被及土壤水分特征[J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2016, 52(3): 253-258.
- [16] 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, 2018, 39(19): 7161-7168. <https://doi.org/10.5846/stxb201808021654>
- [17] 井乐, 李建平, 张翼, 等. 黄土高原不同土地利用方式下土壤干层差异[J]. 草业科学, 2018, 35(8): 1829-1835.
- [18] 武晓莉, 吕相海, 李国会, 等. 晋西黄土区典型植被类型的土壤水分特征[J]. 林业科学研究, 2014, 27(4): 487-492.
- [19] Liang, Y., Jiao, J., Tang, B., et al. (2020) Response of Runoff and Soil Erosion to Erosive Rainstorm Events and Vegetation Restoration on Abandoned Slope Farmland in the Loess Plateau Region, China. *Journal of Hydrology*, **584**, Article ID: 124694. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124694>

- [20] 于国强, 李占斌, 李鹏, 等. 不同植被类型的坡面径流侵蚀产沙试验研究[J]. 水科学进展, 2010, 21(5): 593-599.
- [21] 朱燕琴, 赵志斌, 齐广平. 黄土丘陵区植被类型和降雨对坡面侵蚀产沙的影响[J]. 水土保持学报, 2019, 33(2): 9-16.
- [22] 艾宁, 魏天兴, 朱清科. 陕北黄土高原不同植被类型下降雨对坡面径流侵蚀产沙的影响[J]. 水土保持学报, 2013, 27(2): 26-30+35.
- [23] 张晓明, 余新晓, 武思宏, 等. 黄土区森林植被对坡面径流和侵蚀产沙的影响[J]. 应用生态学报, 2005, 16(9): 1613-1617.
- [24] 马建业, 李占斌, 马波, 等. 黄土区小流域植被类型对沟坡地土壤水分循环的影响[J]. 生态学报, 2020, 40(8): 2698-2706. <https://doi.org/10.5846/stxb201902120248>
- [25] 毛天旭. 黄土塬区王东流域产流产沙过程研究[D]: [硕士学位论文]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2012.
- [26] 于国强, 李占斌, 裴亮, 等. 不同植被类型下坡面径流侵蚀产沙差异性[J]. 水土保持学报, 2012, 26(1): 1-5+11.
- [27] 张晓梅, 邸利, 史再军, 等. 甘肃泾川中沟小流域不同坡位刺槐人工林土壤水分特征[J]. 干旱区研究, 2019, 36(5): 1300-1308.
- [28] 柴春山. 半干旱黄土丘陵沟壑区不同植被类型水土保持效应及土壤水分研究[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 兰州大学, 2006.
- [29] 郑江坤, 魏天兴, 赵健, 等. 黄土丘陵沟壑区坡面径流侵蚀产沙过程的环境解释[J]. 地理科学, 2015, 35(7): 905-911.
- [30] 夏露, 宋孝玉, 符娜, 等. 陇东黄土塬区不同下垫面条件下侵蚀产沙的降雨阈值[J]. 水科学进展, 2018, 29(6): 828-838.
- [31] 于国强, 贾莲莲, 朱冰冰, 等. 不同植被格局对梁峁坡——沟坡的侵蚀动力作用机制[J]. 水土保持通报, 2020, 40(4): 10-16.