黄土丘陵区山桃灌木林地土壤水分过耗与调控恢复*

程积民 万惠娥 王 静
(中国科学院水利部水土保持研究所, 西北农林科技大学, 陕西杨凌 712100)

摘 要 在黄土丘陵区的荒山荒坡采用工程整地措施, 进行灌草合理布局与立体配置。研究结果表明: 山桃灌木林生长到第 4 年, 根系的分布深度达 320~ 360 cm, 0~ 500 cm 土壤含水量比造林前降低了 2.1~ 3.3 个百分点, 土壤干层厚度为 150 cm; 生长到第 8 年, 根系的分布深度达 480 cm 以上, 土壤干层由第 4 年 150 cm 扩大到 300 cm, 含水量最低为 4.2%, 最高为 8.4%; 生长的第 12 年土壤干层明显, 尤其是 50~ 400 cm 土壤含水量最低为 5.0%, 最高为 8.6%, 土壤干层厚度达 350 cm; 生长的第 16 年土壤干层的分布深度在 50~ 350 cm, 土壤含水量最低为 4.3%, 最高为 6.6%, 土壤干层厚度达 300 cm。但通过水平阶、水平沟和鱼鳞坑整地调控, 0~ 100 cm 土壤含水量分别比荒山提高 0.7~ 6.3 个百分点; 100~ 300 cm 提高 0.6~ 4.6 个百分点; 300~ 500 cm 提高 1.4~ 4.6 个百分点, 这充分表明采用合理的整地措施造林, 土壤水分调控效果显著。

关键词 黄土丘陵区, 山桃灌木林地, 土壤水分过耗与恢复
中图分类号 S152.73

黄土丘陵区面积为 21.88 万 km^2, 占黄土高原地区总面积(62.85 万 km^2)的 34.81%, 居黄土高原几大类型区面积之首。由于地形破碎、梁峁纵横, 地表径流大, 水土流失严重[1,2], 再加之惟一可利用的有限水资源分配不均, 年变率达 15%~ 50%, 年内变化更大, 且干旱风沙交加, 致使林草植被退化严重, 恢复难度更大, 造成土地荒漠化加剧, 生态环境恶化, 自然灾害频繁, 极大地阻碍了该区生态环境的改善和社会经济的发展[3~5]。因此, 本研究以该区主要灌木树种为主, 重点研究山桃林地土壤水分消耗规律及其生物与工程技术调控效果, 无疑对该区林草植被的恢复建造、生态环境的改善有着重要的现实意义。

1 试验区概况

试验区位于黄土高原西部丘陵沟壑区的固原县, 海拔 1 600~ 1 850 m, 植被属森林草原向典型草原的过渡区, 年均气温 6~ 7℃, 平均降水量 428 mm(1983~ 1999 年), 丰水年占 25.0%, 平水年占 37.5%, 干旱年占 37.5%。7~ 9 月占年降水量的 65%~ 75%, ≥10℃积温 2 100~ 3 200℃, 干燥度 1.5~ 2.0。尤其是干旱阳坡、半阳坡天然草地在荒山荒坡中占据一半, 产草量 525~ 825 kg hm^{-2}, 近 2 hm^2 草地才能维持一个羊单位。因为长期无节制的放牧利用与践踏, 致使荒山荒坡土壤坚实, 降水入渗率低。针对这一问题, 作者 16 年来采用工程措施与生物措施相结合的方法, 集蓄利用有限的降水资源, 建设集流灌草植被。

2 材料与方法

在山桃(*Prunus davidiana*)灌木林建造的前一年, 在 10° 坡面上修筑水平阶, 阶面宽 1.5~ 2.0 m, 反坡(与原坡向相反) 3°~ 5°; 15° 以上的坡面修水平沟, 沟面宽 0.5~ 1.0 m, 反坡 5° 以上; 20° 以上坡面修鱼鳞坑, 坑长 1.5 m, 宽 1.0 m, 坑高 0.5 m, 带与带之间的宽度为 1.5~ 2.0 m。水平阶、水平沟、鱼鳞坑均为造林前整修, 若在雨季被暴雨冲毁, 再进行整修, 一般在水平阶内种植 2~ 3 行多年生禾本科牧草或 1~ 2

* 国家"十五"科技攻关课题(2001BA508B19)、国家"973"项目(G2000018606)、中国科学院知识创新工程重大研究项目(KZCX2-411)、中国科技部公益性研究专项(2001-82)资助
收稿日期: 2002-05-06; 收到修改稿日期: 2002-10-08

年生豆科牧草,边沿种植 1 行灌木;水平沟内种植 1 或 2 行禾本科或豆科牧草,沟边种植 1 行灌木;鱼鳞坑内种植浅根性禾本科牧草,坑边种植灌木。灌木为山桃,牧草主要为本氏针茅(*Stipa bungeana*)、芨芨草(*Achnatherum splendens*)、披碱草(*Clinelymas dahuricus*)、草木樨(*Mililotus suaveolens*)等。进行灌草立体配置调节和利用土壤中的有限水分,提高造林种草的成活率与保存率,对照为荒山不整地灌草配置种植。并测定 0~ 500 cm 深不同土层内的土壤含水量,分析土壤水分运转过程,每年测定三次(分别在 4、8、11 月)。截留量的测定是在灌木林地布设雨量器长期定位观测,同时利用蒸渗仪和 LI-6200 便携式光合作用仪,测定土壤蒸发和植物蒸腾,计算其蒸散量。

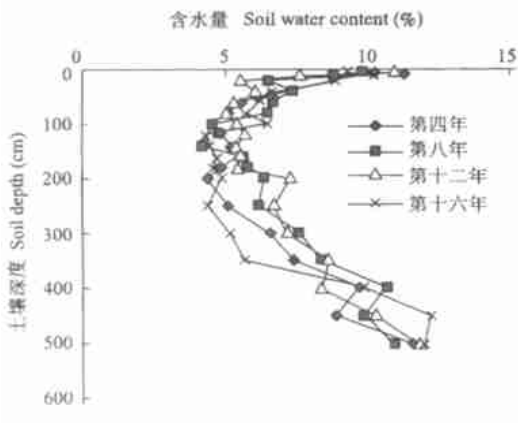

图 1 山桃灌木林不同生长年限土壤水分变化

Fig. 1 Variation of soil water with the growth year of *Prunus davidiana*

3 结果分析

3.1 不同调控措施土壤水分变化

修筑水平阶的第二年开始建造山桃灌木林,通过 16 年土壤水分的连续测定,结果表明从山桃灌木生长初期到末期,土壤水分的变化幅度可分为四个层次,第一层 0~ 40 cm 含水量变化幅度较大,最低为 5.1%,最高达 12.1%,且极不稳定,随着降水量的变化而不断调节,为速变层;第二层 40~ 350 cm 土壤水分含量较低,且变幅小,最低为 4.3%,最高达 7.9%,土壤干层明显,根系分布较多,为水分利用层;第三层从 350~ 450 cm,含水量最低为 6.2%,最高为 8.5%,部分为灌木根系所利用,此层为补充利用层;第四层从 450~ 500 cm,土壤含水量最低为 7.1%,最高为 8.9%,含水量趋于上升趋势,但上升幅度不大,土壤含水量上升的原因是工程整地后,通过多年来降水的集中积蓄而形成的,也未出现明显的土壤干层,为恢复利用层。从图 1 可以看出,待山桃灌木林生长到第 4 年时(1988 年),根系的分布深度达 320~ 360 cm,50~ 320 cm 土层的土壤含水量比造林前降低了 2.1~ 3.3 个百分点。同时在植物生长的初期到生长末期,80~ 230 cm 的土层土壤含水量最低为 4.4%,最高未超过 7.5%,出现了明显的土壤干层。山桃灌木林生长到第 8 年时(1992 年),根系的分布深度已达 480 cm 以上,土壤干层不断扩大,由第 4 年生的 150 cm 干层已扩大到 300 cm(60~ 360 cm),含水量最低为 4.2%,最高为 8.4%。再从山桃灌木林生长的第 12 年(1996 年)看,土壤干层明显,尤其是从 50~ 400 cm 土壤含水量最低为 5.0%,最高为 8.6%,土壤干层厚度达 350 cm。从山桃灌木林生长的第 16 年(2000 年)看,土壤干层虽有回升,但回升幅度较小。一般土壤干层的分布深度在 50~ 350 cm,土壤含水量最低为 4.3%,最高为 6.6%,土壤干层厚度达 300 cm。

另外,从水平沟整地造林后山桃灌木林地的土壤含水量变化看,基本与荒山土壤含水量接近,但 11 年水平沟山桃灌木林地的土壤水分除调节植物生长水分平衡而外,还有近一半的水分被蒸腾消耗掉(年蒸腾耗水量为 304.54 mm)。而荒山天然植被的蒸腾耗水量仅占同期 0~ 500 cm 土壤储水量的 17.1%(年蒸腾耗水量为 69.06 mm)。这表明该区山桃灌木林所获得的生物产量,除已消耗掉大量的土壤水分而外,在生长末期 0~ 500 cm 土壤内还储存与荒山相同的储水量。其生长所消耗掉的土壤水分,主要是通过修筑水平阶、水平沟和鱼鳞坑等工程措施,调节和拦蓄的天然降水,补充了土壤水分的不足。

3.2 灌木林生产力与土壤水分变化

根据山桃灌木林地生长根系水分利用层计算(见表 1),水平阶整地 0~ 500 cm 山桃灌木林在生长的初期土壤储水量为 462 mm,生长终期为 413.28 mm;水平沟整地分别为 423.0 mm 和 389.57 mm;鱼鳞坑整地为 557.01 mm 和 518.19 mm;天然植被(退化草地)为 492.89 mm 和 528.19 mm。但该区山桃灌木林仍然生长不良,生物产量较低,水平阶整地的生物量为 4 236.3 kg hm^{-2}、水平沟整地的为 4 535 kg hm^{-2}、鱼鳞坑整地的为 3 685.5 kg hm^{-2}。其原因主要是在灌木林根系分布的水分利用层,土壤含水量均已接近或低于凋萎湿度(见表2),从柠条、沙棘和山桃三种灌木林对土壤水分的消耗过程来看,山桃灌木

表 1　山桃灌木林地土壤水分利用率年变化过程

Table 1　Annual variation of soil water use efficiency in land under *Prunus davidiana*

项目 Item	生长年限 Age (a)	生物量 Biomass (kg hm^{-2})	土壤储水量 Soil water-storage capacity(mm) 初期 Initial stage	土壤储水量 Soil water-storage capacity(mm) 终期 Final stage	总耗水量 Total water consumptive amount (mm)	蒸腾耗水量 Transpiration (mm)	水分利用效率 Water use efficiency (kg mm^{-1})	水分有效利用系数 Water effective use coefficient
水平阶	10	4 251.2	462.00	368.16	397.50	293.50	0.71	0.74
	11	4 137.3	421.56	430.71	379.34	287.70	0.73	0.76
	12	4 236.3	410.35	413.28	290.37	285.00	0.97	0.98
水平沟	10	4 644.5	448.22	354.36	387.43	344.00	0.80	0.89
	11	4 300.0	446.39	365.32	367.13	364.92	0.78	0.99
	12	4 535.0	423.00	389.57	358.81	351.00	0.84	0.99
鱼鳞坑	10	3 871.5	376.29	323.09	366.70	311.00	0.70	0.85
	11	3 220.5	406.89	402.88	411.31	304.54	0.52	0.74
	12	3 685.5	557.01	518.19	352.02	256.70	0.70	0.73
天然植被	5	927.0	564.87	551.59	326.78	70.88	0.19	0.22
	6	832.5	559.72	493.07	473.95	69.06	0.12	0.15
	7	715.5	492.89	528.19	277.90	74.13	0.17	0.27

表 2　灌木林地土壤水分利用状况

Table 2　Soil water use under shrubs

类型 Type	植物 Species	土层深度 Soil depth (cm)	土壤含水量(%) Soil water content 变化幅度 Variation scope	土壤含水量(%) Soil water content 平均值 Mean	占田间持水量 Percent of field water capacity (%)	土壤储水量 Soil water-storage capacity (mm)
根系水分调节利用层	柠条[1)]	0~40	8.2~11.2	10.7	52.0	47.1
	沙棘[2)]	0~40	5.6~16.0	10.8	53.0	47.52
	山桃[3)]	0~40	5.1~15.1	10.10	49.0	44.44
根系水分利用层	柠条	40~400	4.8~10.2	7.5	37.0	310.0
	沙棘	40~350	4.4~8.1	6.3	31.0	224.6
	山桃	40~350	4.3~7.9	6.1	30.6	217.5
根系水分补充利用层	柠条	400~450	8.3~11.8	10.11	52.2	60.95
	沙棘	350~440	6.1~10.7	8.4	41.6	86.94
	山桃	350~450	6.2~8.5	7.4	36.6	85.11
根系水分补充调节层	柠条	450~500	11.0~12.7	11.95	58.0	71.40
	沙棘	440~500	7.1~13.4	10.3	50.1	74.16
	山桃	450~500	7.1~8.9	8.0	39.4	48.00

1) *Caragana korshinskii*; 2) *Hippophaer hamnoicle*; 3) *Prunus davidiana*

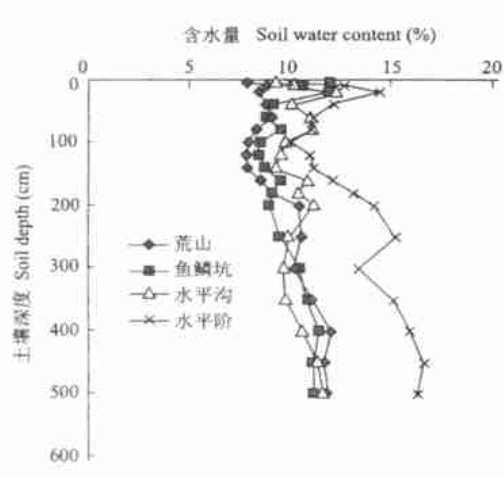

图 2 不同整地方式对山桃林土壤水分的调控效果

Fig. 2 Regulative effect of different land preparation patterns on water content in soil under *Prunus davidiana* vegetation

林对水分的利用远低于柠条和沙棘灌木林地, 但土壤干层形成也较明显, 而且干层范围不断增大。因此, 该区的灌木林要想获得良好的生长和较高的生物产量, 不采用合理的整地调控措施造林是难以成功的。从水平阶整地栽植 15 年的山桃灌木林 0~ 500 cm 的土壤储水量变化得知, 在灌木林生长的 5 年、10 年、15 年土壤储水量在生长的初期与荒山未整地栽植的相比分别增加了 92. 7 mm、66 3 mm、170. 8 mm, 生长终期分别增加了 25. 6 mm、57. 56 mm、70. 8 mm, 同期降水量分别为 385. 3 mm(1989) 、335. 3 mm(1994) 和 319. 1 mm (1999) , 均为干旱年。另外, 图 2 所示, 从水平阶、水平沟和鱼鳞坑整地调控效果看, 0~ 100 cm 土壤含水量分别比荒山提高 2. 1~ 6. 3 个百分点、1. 4~ 4. 1 个百分点、0. 7~ 3. 8 个百分点; 100~ 300 cm 土壤含水量分别比荒山提高 3. 1~ 4. 6 个百分点、1. 4~ 1. 6 个百分点、0. 6~ 2. 8 个百分点; 300~ 500 cm 土壤含水量分别比荒山提高 4. 0~ 4. 6 个百分点、1. 4 个百分点、2. 1 个百分点。就在这样的干旱条件下, 水平阶、水平沟和鱼鳞坑整地, 通过降水的缓慢入渗和集蓄调控效果显著, 与荒山相比土壤含水量仍可大幅度提高。同时土壤水分除供给山桃灌木林地上部分的正常生长和生产较高的生物产量而外, 剩余土壤储水量仍接近荒山未整地。这充分表明, 采用合理的整地调控措施造林, 随着时间的延长土壤水分可不断得到补充和调节。

3. 3 山桃灌木林地土壤水分平衡变化

黄土丘陵区山桃灌木林地水分收支状况由表 3 所列资料可见, 在丰水年(1992) 灌木茎杆截留地表径流和蒸散量为 508. 4 mm, 与同期降水量 506. 4 mm 相比基本相等, 尤其是蒸散量高达 472. 0 mm, 占同期降水量的 93. 2% , 土壤储水量增加 122. 0 mm, 占同期降水量的 24. 1% ; 平水年(1994) 山桃灌木林的茎杆截留降水量、地表径流和蒸散量为 449. 6 mm, 与同期降水量 419. 6 mm 相比高出 30 mm, 但蒸散量

表 3 山桃灌木林地水分收支状况

Table 3 Soil water budget under *Prunus davidiana*

项目 Item	丰水年 Rainy year (1992 年)		平水年 Ordinary year (1994 年)		枯水年 Dry year (1991 年)	
	收支量 Budgeting (mm)	占降水量 Percent of precipita-tion(%)	收支量 Budgeting (mm)	占降水 Percent of precipita-tion(%)	收支量 Budgeting (mm)	占降水量 Percent of precipita-tion(%)
降水量	506. 4	100	419. 6	100	235. 2	100
灌木截留量	23. 3	4. 6	16. 2	3. 9	9. 4	4. 0
地表径流量	13. 1	2. 6	10. 0	2. 4	9. 2	3. 9
土壤储水增量	122. 0	24. 1	109. 2	26. 0	- 93. 4	- 39. 7
蒸散量	472. 0	93. 2	423. 4	100. 9	394. 0	167. 5

高达 423. 4 mm, 占同期降水量的 100. 9%, 土壤储水量增加 109. 2 mm, 占同期降水量的 26. 0%; 枯水年(1991) 山桃灌木林的茎杆截留降水、地表径流和蒸散量为 412. 6 mm, 与同期降水量相比高 177. 4 mm, 尤其是蒸散量占同期降水量的 167. 5%, 土壤储水量减少 93. 4 mm, 占同期降水量的 39. 7%。

4 结　论

1. 通过 15 年土壤水分的连续测定, 结果表明山桃灌木生长初期到末期, 土壤水分的变化幅度可分为四个层次, 第一层 0~ 40 cm 含水量的变化受降水量的影响而不断调节, 为速变层; 第二层 40~ 350 cm 土壤水分含量较低且变幅小, 根系分布较多, 土壤干层明显, 为水分利用层; 第三层从 350~ 450 cm, 含水量最低, 部分水分为灌木根系所利用, 此层为补充利用层; 第四层从 450~ 500 cm, 土壤含水量为上升趋势, 但上升幅度不大, 而且未出现明显的土壤干层, 为恢复利用层。

2. 山桃灌木林在生长的第 4 年, 根系分布深度为 3. 2~ 3. 6 m, 在 50~ 320 cm 土层内土壤含水量比造林前降低了 2. 1~ 3. 3 个百分点。同时在植物生长的初期到生长末期 120~ 220 cm 土层内土壤含水量最低为 4. 5%, 土壤干层明显。在生长的第 8 年, 根系的分布深度已达 4. 8 m 以上, 土壤干层不断扩大, 由生长第 4 年的 100 cm 干层已扩大到 230 cm。再从生长的第 14 年看, 土壤含水量比生长 8 年的提高 1. 3~ 2. 2 个百分点, 而且分布比较均匀, 土壤干层不甚明显, 尤其是从 330 cm 开始土壤含水量逐渐回升, 但回升幅度较小。

3. 从水平阶整地栽植 15 年的山桃灌木林 0~ 500 cm 的土壤储水量变化得知, 在生长的 5 年、10 年、15 年土壤储水量在生长的初期与荒山未整地栽植的相比分别增加了 92. 7 mm、66. 3 mm、170. 8 mm, 生长终期分别增加 25. 6 mm、57. 56 mm、70. 8 mm, 同期降水量分别为 385. 3 mm(1989)、335. 3 mm(1994) 和 319. 1 mm(1999), 均为干旱年。这充分表明, 采用合理的整地调控措施造林, 随着时间的延续土壤水分可不断得到补充和调节。

4. 山桃灌木林在丰水年灌木茎杆截留、地表径流和蒸散量为 508. 4 mm; 平水年茎杆截留、地表径流和蒸散量为 449. 6 mm; 枯水年茎杆截留、地表径流和蒸散量为 412. 6 mm。

参考文献

1. 赵金荣, 孙立达, 朱金兆主编. 黄土高原水土保持灌木. 北京: 中国林业出版社, 1994
2. 吴钦孝, 杨文治主编. 黄土高原植被建设与持续发展. 北京: 科学出版社, 1998
3. 程积民. 宁夏南部主要灌木树种的合理利用与布局. 水土保持通报, 1991, (1): 54~ 60
4. 程积民. 上黄试区主要灌木树种蒸腾作用的研究. 水土保持通报, 1995, (2): 22~ 25
5. 程积民. 宁南黄土丘陵区造林技术的研究. 水土保持通报, 1996, (3): 37~ 43

EXCESSIVE DEPLETION OF SOIL WATER AND REGULATION AND RESTORATION OF SOIL WATER REGIME IN LOESS HILLY REGION UNDER *PRUNUS DAVIDIANA* VEGETATION

Cheng Ji-min Wan Hui-e Wang Jing

(Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Northwest Science and Technology University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Summary

Engineering measures, and reasonable and stereoscopic collocation of shrub-grass vegetation were performed over on large tracts of barren hills and slopes. The results showed that in the forth growth year, the root system of *Prunus davidiana* reached 320~ 360 cm deep, soil water content in the soil layer 0~ 500 cm deep decreased by 2.1%~ 3.3% compared to that before reforestation and the thickness of dry soil layer was 150 cm. And in the eighth growing year, the roots distributed as deep as 480 cm, the dry-layer reached 300 cm in thickness, the lowest and highest soil water content was 4.2% and 8.4% respectively. And in the twelfth year, the dry soil layer became very distinct, reaching 350 cm in thickness, and, especially in the 50~ 400 cm soil layer, the lowest and highest soil water content was 5.0% and 8.6%, respectively. While in the sixteenth year, the dry soil layer distributed in the depth of 50~ 350 cm, and its thickness was 300 cm, with the lowest and highest soil water content reaching 4.3% and 6.6%, respeetively. But by building leveled terrace fields, contour ditches and fish-scale pits, soil water content increased by 0.7%~ 6.3% in the depth of 0~ 100 cm, 0.6%~ 4.6% in 100~ 300 cm and 1.4%~ 4.6% in 300~ 500 cm compared to that in the barren hill, respectively. It showed that applying reasonable combined measures plus afforestation could regulate soil moisture region with significant effect.

Key words The loess hilly region, *Prunus davidiana*, Excessive depletion and recovery of soil water