

定西市安定区退耕还林地径流聚集工程的土壤增墒效果

杨万芳¹, 张富¹, 邢自生², 赵越¹

(1. 甘肃农业大学 林学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 加拿大新布伦瑞克大学 林业与环境管理学院, 弗雷德里顿, NB E3 B6 C2, 加拿大)

摘要: [目的] 分析退耕还林地径流聚集工程的土壤增墒效果, 为改善林地土壤水分供给研究提供依据。[方法] 通过对甘肃省定西市安定区退耕还林地中径流聚集工程形式和造林模式的调查研究, 分析半干旱地区隔坡水平阶、隔坡反坡台、正方形聚流坑、燕尾式聚流坑不同整地方式下林地增墒效果及其林草的生长发育状况。[结果] 径流聚集工程具有明显的土壤增墒效果, 在径流聚集工程作用下乔木树种单株水分供给总量达 $2.54 \sim 4.29 \text{ m}^3 / (\text{株} \cdot \text{a})$, 灌木树种单株水分供给总量达 $1.42 \sim 1.79 \text{ m}^3 / (\text{株} \cdot \text{a})$, 2 m 土层内含水率达到 $8.76\% \sim 11.40\%$, 土壤水分基本满足了林草植被的正常发育需求, 林草生长旺盛。[结论] 在同类地区的人工林建设中可选择适宜的树种与相应的径流聚集工程结合, 改善林地土壤水分供给状况。

关键词: 退耕还林; 径流调控工程; 土壤水分; 植被生长

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2016)03-0008-05

中图分类号: S157.2

文献参数: 杨万芳, 张富, 邢自生, 等. 定西市安定区退耕还林地径流聚集工程土壤增墒效果[J]. 水土保持通报, 2016, 36(3): 8-12. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2016.03.003

Effects of Runoff Gather Engineering on Soil Moisture Conservation in Forest Land Converted from Cropland in Anding District of Dingxi City

YANG Wanfang¹, ZHANG Fu¹, XING Zisheng², Zhao Yue¹

(1. College of Forestry, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China;

2. Faculty of Forestry & Environmental Management, University of New Brunswick, Fredericton, NB E3 B6 C2, Canada)

Abstract: [Objective] To analyze the effects of runoff gather engineering on soil moisture conservation in afforestation land converted from cropland in order to provide the basis for improving soil water supply in planted forest. [Methods] With an intensive survey on the runoff gather engineering and afforestation types, we investigated soil moisture conservation and growth and development of tree and grass under different site preparation practices including slope-separate flat terrace (SSFT), slope-separated reversing sloping terrace (SSRST), cone-shape focused fluid pit (CFFP), Swallow-tail-shape focused fluid pit (SFFP) in the region of returning farmland to forest land in Anding district of Dingxi City, Gansu Province. [Results] The runoff gather engineering increased soil moisture and improved water supply to the plants greatly. The total water supply for individual tree reached to $2.54 \sim 4.29 \text{ m}^3 / \text{a}$, and it reached to $1.42 \sim 1.79 \text{ m}^3 / \text{a}$ for an individual bush. Soil moisture within the 2 m soil depth varied from 8.76% to 11.40% , which satisfied the water demand for the growth and development of trees and grasses. [Conclusion] Feasible runoff gather engineering practices combined with suitable tree species, can improve soil water supply in planted forest.

Keywords: converting farmland to forest land; runoff gather engineering; soil moisture; vegetation growth

长期以来,黄土高原地区由于降雨量小和造林地树种选择不当,满足不了林木生长发育需求,导致该区域的人工植被出现“土壤干化”现象^[1-3]。为解决这个问题,安定区在退耕还林(草)工程建设中,以林草

措施对位配置为前提,以径流调控理论为指导,以径流聚集工程为依托,坚持植物措施与工程措施有机结合、乔灌草相结合的原则^[3-5],根据不同区域降雨特征和雨水径流聚集效果,在其北部和南部地区实施了以

收稿日期: 2015-06-03

修回日期: 2015-08-30

资助项目: 甘肃省科技支撑计划—社会发展类项目“祖厉河流域面源污染治理和治理技术研究”(1204FKCA170)

第一作者: 杨万芳(1988—),女(汉族),甘肃省兰州市人,硕士研究生,研究方向为水土保持。E-mail: 695826258@qq.com。

通讯作者: 张富(1961—),男(汉族),甘肃省定西市人,博士,研究员,主要从事小流域水土保持防治措施对位配置研究。E-mail: fuzhang001@163.com。

隔坡水平阶、隔坡反坡台和正方形聚流坑、燕尾式聚流坑等为主要形式的林地径流聚集工程^[6],提高了降雨径流的收集、存贮、利用效率,有效地改善了林地土壤水分利用状况,大幅度提高了人工林成活率、生长量和对干旱灾害的抵御能力,探索出了乔、灌、草带间混交的对位配置治理模式,取得了显著的成效^[7-10]。本文对径流聚集工程营林 10 a 后土壤含水率变化、土壤增墒效果、抗旱性能^[11],以及主要造林树种的生长发育状况等后续效应进行了研究与评价。

1 研究区概况

安定区位于甘肃省中部,水土保持区划属黄土丘陵沟壑区第 V 副区,地理位置 $104^{\circ}12' - 105^{\circ}01'E$, $35^{\circ}17' - 36^{\circ}02'N$,总流域面积 $3\ 638\text{ km}^2$,海拔 $1\ 750 \sim 2\ 580\text{ m}$,全区多年平均降雨量 422.0 mm ,其中南部年降雨量为 480.0 mm ,中部为 425.6 mm ,北部为 355.0 mm ,多集中在 7—9 月,占年降水量的 $60\% \sim 80\%$,年均蒸发量 $1\ 510\text{ mm}$,年平均气温 $6.3\text{ }^{\circ}\text{C}$,极端最高气温 $34.3\text{ }^{\circ}\text{C}$,极端最低气温 $-27.1\text{ }^{\circ}\text{C}$,平均相对湿度 64% ,无霜期 141 d 。全区总人口 45.31 万人,其中农业人口 36.26 万人,人均纯收入 $3\ 101$ 元。2000—2010 年实施生态林建设 $6.51 \times 10^4\text{ hm}^2$,其中完成退耕还林(草)工程 $3.24 \times 10^4\text{ hm}^2$ (还林 $9\ 700\text{ hm}^2$,还草 $2.27 \times 10^4\text{ hm}^2$),荒山造林 $3.27 \times 10^4\text{ hm}^2$ 。至 2010 年全区造林保存面积增加到 $1.07 \times 10^5\text{ hm}^2$,森林覆盖率提高到 11.2% ,林草覆盖率达到 19.45% 。

2 材料与方法

(1) 年降雨量观测。采用 2001—2014 年定西市林科所(安定区北部)、安家沟径流试验场(安定区中部)、安定区香泉乡(安定区南部)2001 年 1 月至 2014 年 12 月雨量观测资料。

(2) 径流聚集工程设计。根据安定区南北部气候、降雨、海拔、土壤、造林树种等立地条件及水土流失特点的不同,按照《甘肃省小流域水土流失综合治理工程建设技术规程》的要求,进行了隔坡水平阶、隔坡反坡台(北部)和正方形聚流坑、燕尾式聚流坑(南部)4 种径流聚集工程的设计。设计频率年降水量选用定西市气象站多年实测降水资料,采用 P-III 型适线法分析计算,降雨频率年降水量 $p=50\%$ 时为 420.4 mm , $p=75\%$ 时为 361.6 mm , $p=90\%$ 时为 315.2 mm 。其设计标准为:生产保证率 $\geq 50\%$;设计防洪频率为 0.5% ,最大 24 h 暴雨径流;林木生长设计频率年($\geq 75\%$)降水量为 361.6 mm ,设计频率年 2 m 土层内平均土壤最低含水率 $8\% \sim 10\%$;安全聚流比 \geq 增产聚流比 ≥ 1 ;工程有效蓄水深 $\leq 50\text{ cm}$,埂坎加高年限 $\geq 3 \sim 5\text{ a}$;工程沿等高线布设;根据林木需水量(乔木林 $2.6\text{ m}^3/(\text{株} \cdot \text{a})$ 、灌木林 $1.3\text{ m}^3/(\text{株} \cdot \text{a})$),确定适宜的造林密度、栽植区面积和集水区面积^[12]。2014 年 11 月对研究区实施的径流聚集工程规格、降雨径流拦蓄性能、实际土壤含水量、营林模式及树种生长发育情况进行了调查,不同径流聚集工程规格及营林模式见表 1。

表 1 不同径流聚集工程规格及营林模式

工程类型	工程规格	树(草)种	营林模式
隔坡水平阶	侧柏株行距 $6\text{ m} \times 6\text{ m}$;阶面宽 2 m ,隔坡宽 4 m	侧柏、紫花苜蓿	阶内造林,阶间种草,乔草混交
隔坡反坡台	柽柳株距 3 m ,山毛桃株距 2 m ;台面宽 1.5 m ,隔坡宽 4 m	山毛桃、柽柳紫花苜蓿	阶内造林,阶间荒坡,灌草混交
正方形聚流坑	株距 3 m ,行距 2.5 m ;底宽 2 m ,间距 $3\text{ m} \times 3\text{ m}$	云杉、沙棘	坑内乔木,坑间灌木,乔灌混交
燕尾式聚流坑	株行距 $3\text{ m} \times 4\text{ m}$;底宽 2 m ,间距 $3\text{ m} \times 2\text{ m}$	云杉	坑内乔木,纯林

(3) 样地选择。根据安定区退耕还林(草)工程项目区北部、南部降雨量及主要营林类型的差异,选择了 4 块代表性样地(表 2),在样地的中间部位确定样方(面积 400 m^2)。

(4) 林木生长发育调查。调查样地内造林树种及方式,造林密度及株行距($\text{m} \times \text{m}$),胸径(cm),树高(m),林分蓄积量、郁闭度,林地坡向、坡度。林龄用造林档案结合生长锥、生长轮测定;树高用卷尺或测

高仪测定;胸径用卷尺或游标卡尺测定;株行距、密度、冠幅用卷尺或皮尺测定;年生长量通过标准木的树干解析进行。

(5) 土壤水分观测。取样时间为 2014 年 11 月 15—16 日。在林地行内株间取样,每块样地 4~5 次重复,取样深度为 200 cm ,每 20 cm 取样 1 个,每个测点共取土样 10 个。采用烘干称重法测定土壤含水率(占干土重%)。

表 2 退耕还林工程调查点不同立地条件样地统计

项目	安定区北部		安定区南部	
	隔坡水平阶(Ⅰ)	隔坡反坡台(Ⅱ)	正方形聚流坑(Ⅲ)	燕尾式聚流坑(Ⅳ)
海拔/m	2 161	2 019	2 338	2 347
地理位置	35°23′37.2″N	35°47′3.4″N	35°26′19.6″N	35°26′21″N
	104°32′39.9″E	104°30′52.5″E	104°27′22.9″E	104°27′23.1″E
混交模式	侧柏×紫花苜蓿	山毛桃×怪柳	云杉×沙棘	云杉
营林前土地类型	坡耕地	坡耕地	窄式梯田	坡耕地
坡位	上部	中上部	上部	上部
坡向	NW54°	S	W	W
坡度/(°)	8	10	10	15
土壤类型	黄绵土	黄绵土	表层为垆土,80 cm 以下为红砂土	表层为垆土,80 cm 以下为红砂土

3 结果与分析

3.1 年降雨量分析

安定区年降雨量由南向北呈现递减趋势,年降雨量由南部的 460~500 mm,中部的 380~460 mm,递减到北部的 330~380 mm。安定区多年平均降雨量 420.2 mm,研究期(2005—2014 年)年平均降雨量 418.9 mm,减少了 0.31%,其中安定区北部(岷口)增加 8.57%,南部(香泉)减少 1.60%(表 3,图 1)。

表 3 安定区不同部位年降雨量分布

时段	北部	中部	南部	平均
多年平均	35.0	425.6	480.0	420.2
研究期	385.4	418.8	452.5	418.9
增减(±%)	8.57	-1.60	-5.72	-0.31

注:多年平均为 1955—2004 年;研究期为 2005—2014 年。

3.2 林木水分供给量分析

3.2.1 水分供给量分析 调查结果表明,安定区径流聚集工程均保存完好,林地内集流面降雨径流全部得到拦蓄,集水区泥沙淤积轻微。本研究采用安家沟径流试验场(安定区中部)观测资料,确定了安定区中部的研究期实际单位面积有效降雨量、单位面积聚流量。对没有实测资料的安定区北部、南部,按中部的

实测资料,根据北部、南部实际降雨量、植被覆盖度对径流系数进行了订正,最后确定了单位面积聚流量(表 4)。

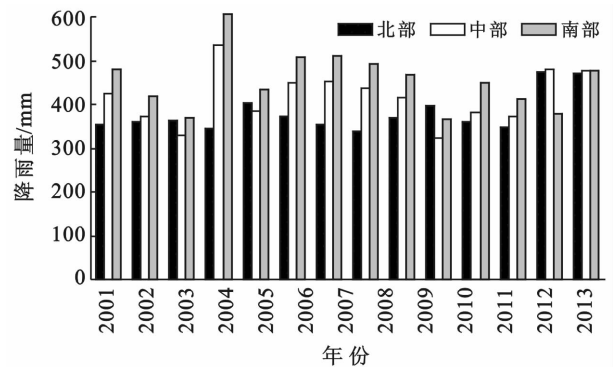


图 1 安定区北部、中部、南部降雨年际变化

根据表 4 数据,对 4 种径流调控工程的产流及拦蓄效果进行了计算(有效降雨量=单位面积有效降雨量×工程面积;工程面积=工程宽度×工程长度;集流单元聚流量=单位面积聚流量×集流面积;水分供给总量=集流单元聚流量+有效降雨量;集流单元面积=单元隔坡产流区面积+单元水平阶蓄水面积)。结果表明,各样地降雨、径流总量基本达到或超过林木需水量设计标准,其中侧柏林单株水分供给总量达 4.65 m³/(株·a),山毛桃×怪柳林单株水分供给总量达 1.65 m³/(株·a),计算结果见表 5。

表 4 安定区不同区域单位面积聚流量

项目	降雨频率/%	降雨量/mm	有效降雨量/mm	单位面积有效降雨量/(m ³ ·m ⁻² ·a ⁻¹)	单位面积聚流量/(m ³ ·m ⁻² ·a ⁻¹)	
					荒坡	紫花苜蓿
设计值	75	361.6	289.3	0.289 3	0.035 8	0.017 9
实测值(北部)	50	385.4	308.3	0.308 3	0.065 9	0.026 4
实测值(南部)	50	452.5	362.0	0.362 0	0.038 7	0.019 3

表5 径流聚集工程规格参数

样地代号	混交模式	树种	工程宽度/m	隔坡宽度/m	工程长度/m	集流面积/m ²	有效降雨量/m ³	集流单元聚流量/m ³	水分供给总量〔m ³ /〔株·a)〕
I	侧柏×紫花苜蓿	侧柏	2.0	4.0	6.0	36.0	3.699 8	0.95	4.65
II	山毛桃×柽柳	山毛桃×柽柳	1.5	4.0	2.0	11.0	0.925 0	0.72	1.65
III	云杉×沙棘	云杉	2.0	1.0	3.0	9.0	2.172 0	0.35	2.52
		沙棘	1.0	1.0	3.0	6.0	1.086 0	0.23	1.32
IV	云杉纯林	云杉	2.0	2.0	3.0	12.0	2.172 0	0.93	3.10

注:长度及面积均为水平距离和面积。

3.2.2 土壤水分变化 观测结果表明,径流聚集部位(水平阶、反坡台)的土壤含水率要高于产流面(紫花苜蓿、荒坡),如:隔坡水平阶2 m土层内的土壤含水率为11.40%高于集流面(紫花苜蓿)10.46%;隔坡

反坡台土壤含水率为8.76%高于集流面(荒坡)7.09%。说明径流聚集工程具有明显的径流聚集效果,林地对土壤水分的消耗得到了有效补偿(图2—3)。

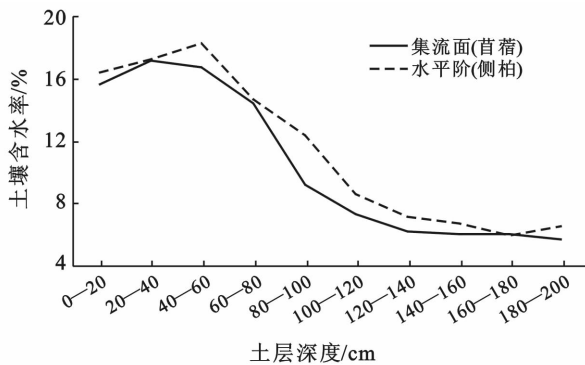


图2 隔坡水平阶集流面与水平阶土壤含水率变化

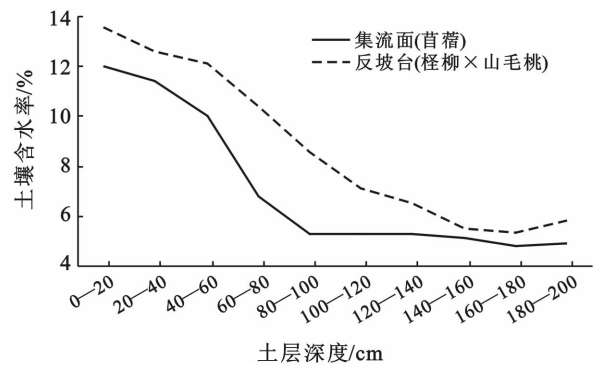


图3 隔坡反坡台集流面与反坡台土壤含水率变化

同时,集流面的大小对林地土壤含水率影响较大。正方形聚流坑单株集流面积平均为7.5 m²(云杉、沙棘分别为9.0,6.0 m²),单株水分供给总量平均为1.92 m³/〔株·a)〔云杉、沙棘分别为2.52和1.32 m³/〔株·a)〕,林地2 m的土层土壤含水率为12.43%;而相邻的燕尾式聚流坑集流面积12.0 m²,单株水分供给总量平均为3.10 m³/〔株·a),土壤含水率为16.91%。2种林分不同深度土壤含水率变化见图4。

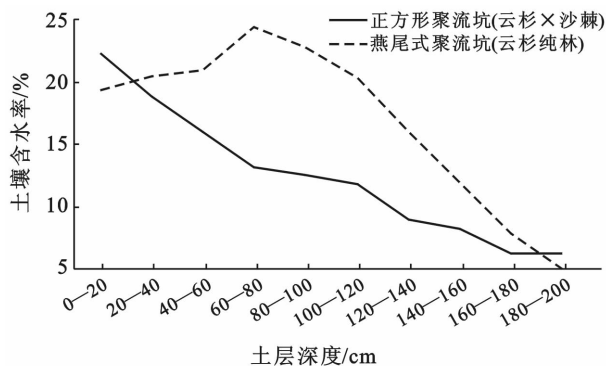


图4 正方形、燕尾式聚流坑土壤含水率变化

3.3 林木生长效果分析

3.3.1 安定区北部

(1) 林木总生长量。侧柏和山毛桃的保存率均为100%,柽柳保存率为45%。隔坡反坡台山毛桃×柽柳混交林郁闭度为0.87,隔坡水平阶侧柏林郁闭度为0.24;隔坡反坡台山毛桃、柽柳平均树高为1.93,3.75 m,平均地径为4.46,7.36 cm;隔坡水平阶侧柏平均树高3.34 m,平均胸径3.46 cm。不同立地条件下各树种长势良好,生长状况详见表6。

(2) 牧草总生长量分析。根据安定区畜牧局、林业局多年监测数据,多年生紫花苜蓿平均高度52~85 cm,第1茬鲜重16.8 t/hm²,干重5.11 t/hm²,第2茬鲜重9.62 t/hm²,干重2.30 t/hm²,年均鲜草产量22.42 t/hm²,年均干草产量6.48 t/hm²。按1990年不变价,采用《水土保持综合治理效益计算方法》(GB/T15 774-2008)对比增量法对退耕还草后退耕地产出效益进行了计算,退耕前农坡地平均年产值(1990年不变价)为1 440元/hm²,退耕后草地产值3 527元/hm²,每1 hm²增加产出效益2 087元^[13]。

表 6 安定区北部各树种总生长量统计

工程形式	造林树种	树龄/a	造林密度/ (株·hm ⁻²)	胸(地) 径/cm	树(丛) 高/m	郁闭度	冠幅/ (m×m)	保存率/ %	蓄积量/ (m ³ ·hm ⁻²)
隔坡水平阶	侧柏	14~15	294	3.46	3.34	0.24	1.62×1.62	100	2.25
隔坡反坡台	桤柳	11~12	707	7.36	3.75	0.55	2.72×2.85	45	—
	山毛桃	11~12	967	4.46	1.93	0.42	2.03×2.16	100	—
小计	—	—	1674	—	—	0.87	—	—	—

3.3.2 安定区南部 林木总生长量分析。云杉×沙棘混交林中云杉、沙棘保存率为 100%，云杉平均树高 3.94 m，郁闭度为 0.8。

云杉纯林保存率为 90%，云杉平均树高 3.68 m，郁闭度为 0.5。该立地条件下各树种生长状况详见表 7。

表 7 安定区南部各树种总生长量统计

工程形式	造林树种	树龄/ a	密度/ (株·hm ⁻²)	胸(地) 径/cm	树高/ m	郁闭度	冠幅/ m×m	保存率/ %	材积生长量 (m ³ /株)	蓄积量/ (m ³ ·hm ⁻²)
正方形聚流坑	云杉	12	667	5.88	3.94	0.5	2.89×2.84	100	0.019 2	12.81
	沙棘	10	667	2.38	1.85	0.4	2.78×2.80	100	—	—
	合计	—	1 334	—	—	0.8	—	100	0.019 2	12.81
燕尾式聚流坑	云杉	12	1 667	7.49	3.68	0.5	2.50×2.70	90	0.025 2	39.99

4 讨论与结论

(1) 半干旱地区,径流聚集工程通过对雨水径流的拦蓄、存贮,为林木生长发育补充了紧缺的雨水资源,有效缓解了林地土壤水分亏缺问题,减轻了土壤干化程度,促进了退耕还林(草)地林分的可持续性。

(2) 半干旱地区,依据造林地立地条件,适宜的造林树种与径流聚集工程形式确定以后,造林密度与林地土壤含水量、林木单株水分供给量的多少呈负相关,造林密度的控制成为影响人工林水分供给及林地土壤水分条件的主导因素。造林密度越大,林地土壤含水量、林木单株水分供给量越低,林地的可持续性降低。

(3) 由于半干旱地区自然条件严酷,适宜造林树种较少,林木生长缓慢,经济效益低下,因此在营林模式的选择上,要针对气候资源及植被分布的特点,适宜发展耐旱乔灌木(云杉、侧柏、油松、沙棘、山毛桃、柠条等)与适宜草种(紫花苜蓿等)的带间混交模式。一是草地当年即可发挥经济效益,紫花苜蓿可达 10 a 以上,使农民经济效益与国家生态效益有机结合,调动两个积极性;二是使草地的早期效益与林地的长期效益有机结合;三是这种模式可以充分利用草地径流,为下部林地(径流聚集工程)提供可利用的雨水径流,可有效地提高林地的可持续性。

(4) 经过 10 a 余的生长,林木还处于幼林期,今后林木需水量还会增加,因此要加强径流聚集工程的管护及幼林地的抚育管理工作,在保证林木水分补给的前提下,实时调整林木密度,确保林地土壤水分的供需平衡。

[参 考 文 献]

- [1] 杨文治,邵明安.黄土高原土壤水分研究[M].科学出版社,2000:34-38.
- [2] 杨文治,邵明安,彭新德,等.黄土高原环境的旱化与黄土中水分关系[J].中国科学,1998,28(4):357-365.
- [3] 张富.黄土高原水土保持防治措施对位配置研究[M].郑州:黄河水利出版社,2007:291-322.
- [4] 郭廷辅,段巧甫.径流调控理论是水土保持的精髓:四论水土保持的特殊性[J].中国水土保持,2001(11):1-5.
- [5] 张富,高麟,赵克荣.水土保持植物措施与径流调控工程对位配置数量化分析[J].甘肃农业大学学报,2011,46(4):97-104.
- [6] 胡建民,胡欣,谢颂华.南方红壤坡地几种典型治理措施的径流调控效应[J].水土保持通报,2013,33(6):32-36,41.
- [7] 张富,安彪,刘彦江,等.半干旱区径流调控工程林草间作模式土壤水分及效益研究[J].中国水土保持,2012(5):59-61.
- [8] 杨冰,张富.林地径流调控工程抗旱能力及效益研究[J].甘肃林业科技,2012,37(1):13-17.
- [9] 董彦丽,张富,杨彩虹.半干旱区微集水系统土壤水分调控效果研究[J].水土保持通报,2013,33(5):35-39,44.
- [10] 杨帆,张富,马立鹏,等.柠条林径流聚集工程的土壤水分研究[J].北京林业大学学报,2014,36(6):124-129.
- [11] 董旭.青海省湟水河流域不同退耕还林模式土壤效应[J].水土保持通报,2011,31(5):45-48.
- [12] 张博,孙保平,郭建英,等.甘肃省定西市安定区退耕还林前后土地利用覆盖动态变化研究[J].中国农学通报,2009,25(18):161-165.
- [13] 丁桂荣,张富,杨冰,等.干旱区径流调控工程抗旱性能与效益研究[J].人民黄河,2014,36(4):75-78.