

# 元谋干热河谷不同水分处理石榴的水量平衡研究

王建英<sup>1</sup>, 王克勤<sup>1</sup>, 郭逢春<sup>2</sup>, 李金洪<sup>2</sup>, 文建国<sup>2</sup>

(1. 西南林学院 环境科学与工程系, 云南 昆明 650224; 2. 云南省元谋县水土保持办公室, 云南 元谋 675000)

**摘要:** 对元谋干热河谷微区域集水造林试验区不同水分处理下石榴的水量平衡研究结果表明: (1) 降雨和坡面汇集径流是集水系统植树带的水分输入, 其中降雨占输入的 90.2%; 坡面汇集径流量占水分输入量的 9.8%。蒸散是水分输出项, 整个生长季内, 不同水分处理的土壤水分均有盈余, 但不同水分处理间的蒸散量和土壤水分盈余量存在差异, 土壤含水率为 10.08%, 11.63%, 13.23%, 14.79%, 16.85% 和 19.14% 的总蒸散量分别占系统水分输入的 44.5%, 60.8%, 67.0%, 82.0%, 85.4% 和 87.0%; 土壤水分盈余量分别占系统水分输入的 55.5%, 39.2%, 33.0%, 18.0%, 14.6% 和 13.0%, 表现出蒸散量随土壤含水率的增大而增大, 土壤水分盈余量随土壤含水率的增大而减小。(2) 石榴的生长状况与土壤水分状况相关。土壤含水率的增加有利于石榴的生长发育。对于元谋干热河谷而言, 土壤含水率控制在 14%~15% 的供水较好, 这时, 在节水的同时又对石榴的生长未造成严重影响。

**关键词:** 水量平衡; 石榴; 微区域集水; 干热河谷

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2006)03-0010-05

中图分类号: S152.75, S665.4

## Study on Water Balance of *Punica Granatum* Under Different Soil Moisture Conditions in Dry-hot River Valley

WANG Jian-ying<sup>1</sup>, WANG Ke-qin<sup>1</sup>, GUO Feng-chun<sup>2</sup>, LI Jin-hong<sup>2</sup>, WEN Jian-guo<sup>2</sup>

(1. Department of Environmental Science and Engineering, Southwest Forestry College, Kunming 650224

Yunnan Province, China; 2. Office of Soil and Water Conservation, Yuanmou 675000, Yunnan Province, China)

**Abstract:** We studied the water balance of *Punica granatum* under different conditions of soil moisture management in the micro-catchment afforestation experimental site in the Yuanmou dry-hot river valley. The result shows that the water input of the tree strips of catchment system depends on rainfall and slope runoff, which contribute 90.2% and 9.8% respectively, and the water output relies on evapotranspiration. The soil water storage under all the conditions has surplus from May to November. Both the evapotranspiration amount and the water surplus amount under different soil moisture conditions are different. When soil water contents are controlled at 10.08%, 11.63%, 13.23%, 14.79%, 16.85% and 19.14% levels, the total evapotranspiration amounts are 44.5%, 60.8%, 67.0%, 82.0%, 85.4% and 87.0% of the water input, and the water surplus amounts are 55.5%, 39.2%, 33.0%, 18.0%, 14.6% and 13.0%, respectively. It shows that the evapotranspiration amount increases with the increase in soil water content, however, the water surplus amount decreases with the increase in soil water content. The correlation between *Punica granatum* growing state and soil moisture state is significant. Good soil water condition is beneficial to the growth of *Punica granatum* and the best soil water content range for it is 14%~15% in terms of water-saving in dry-hot river valley.

**Keywords:** water balance; *Punica granatum*; micro-catchment; dry-hot river valley

干热河谷是我国西南地区的特殊生态系统类型, 云南省境内主要分布在金沙江、澜沧江和怒江中下游, 其中金沙江干热河谷全长约 800 km, 区域面积 3 260 km<sup>2</sup>。元谋县是金沙江干热河谷区的典型地段。当地全年降水少且分配不均, 早期长, 地下水埋藏深,

干旱缺水是林业和水土保持发展的主要限制因子<sup>[1]</sup>。降水是该区旱坡地土壤水分和坡面产生地表径流的唯一来源。如何充分利用有限的降水资源, 实现人工植被的可持续发展, 成为农林界关注和研究的热点问题<sup>[2]</sup>。试验区采用水平阶整地集水措施, 对

收稿日期: 2005-09-09

资助项目: 云南省自然科学基金重点项目(2001D0008Z); 国家自然科学基金项目(30170779)

作者简介: 王建英(1979-), 女(汉族), 云南省寻甸县人, 在读硕士。主要从事林业生态工程研究。E-mail: wangjianying@126.com.

通讯作者: 王克勤(1964-), 男(汉族), 甘肃省庄浪县人, 博士, 教授, 主要从事水土保持生态修复的理论与技术研究。E-mail: kqwang@swfc.edu.cn; wangkeqing7389@sina.cn.

原有的水分收支在时间和空间上进行重新分配,把有限的降水集中于根系主要分布的植树带土壤层内,最大限度地应用于林木的生长<sup>[3-5]</sup>。林地的水分平衡是干旱区集水造林措施应用研究的主要问题,故本文结合石榴的生长情况探讨集水区不同水分条件下石榴植树带的水量平衡关系,以期为该区的生态经济林建设提供理论依据。

## 1 试验地概况

试验地选择在典型干热河谷区——元谋县城以南6 km的老城乡公路梁子。海拔1 050~1 350 m,试验地为西北坡,坡度为9°。2001年进行水平阶微地形改造,阶面宽1.5 m,阶间距3 m。该地区气候属于南亚热带季风河谷干热气候,光热充沛,干湿季分明,干热少雨是该区总的气候特点。年降水量为350~614 mm,年蒸发量高达3 911 mm,为降水量的6.4倍;年平均气温21.9℃,最热月均温27.1℃,极端高温42.0℃,最冷月均温14.9℃,几乎全年无霜;年日照时数2 200~2 760 h,日照率为60%左右;年均空气相对湿度53%,年干燥度2.08;该区地带性土壤以燥红土分布最为广泛,植被类型以稀树灌木草丛为主,自然植被为南亚热带中山峡谷灌草丛和半湿润常绿阔叶林。乔木树种主要有云南松(*Pinus yunnanensis*)、桉树(*Eucalyptus*)类和栎(*Quercus*)类;灌木有余甘子(*Phyllanthus emblica*)、车桑子(*Dodonaea viscosa*)等;草被有扭黄茅(*Heteropogon contortus*)、旱茅(*Eremopogon delavayi*)、仙人掌(*Opuntia monacantha*)、龙舌兰(*Agave americana*)等<sup>[5-6]</sup>。

## 2 材料和方法

供试材料:2004年5—11月选取种植于水平阶面的2 a生石榴,株行距为3.5 m×4.5 m,于2004年4月28日前19 d开始对石榴(分6个组,每个组3株标准株)进行浇水(对照除外),然后依次每隔2 d对1组停止浇水,结果将土壤含水率控制为6个水平,即A(19.14%),B(16.85%),C(14.79%),D(13.23%),E(11.63%),CK(10.08%),其中浇水量不参加5—11月石榴生长季的水量平衡计算。不同处理石榴的基本生长情况如表1。

生长量的测量:树高、地径、冠幅、枝梢长度、枝梢粗度于5—11月每月中旬测定1次。树高、冠幅、枝梢长度可以用直尺来测量,枝梢粗度和地径用游标卡尺来测量。

土壤含水率:土壤烘干称重法测定。

降雨量:采用DSJ2型虹吸式自记雨量计观测。

地表径流的观测:采用固定坡面径流场收集地表径流。在试验区内选取坡度、土壤和坡面处理具有代表性的地段设置径流场。

土壤蒸发量的测定:采用ГГИ—500型原状土柱土壤蒸发器进行林地土面蒸发观测。蒸发器的称量使用电子称,其感量为1 g。测定时间为每10 d一次。

叶片蒸腾速率:用LI—6400稳态光合系统测定。于每个月测定时间范围内选择晴朗日观测,每株选取中部生长良好的老、幼叶各1片,测定时间从早上8:00—18:00,每隔2 h测定1次,共6次。

叶面积:每株选择1标准枝,首先数其总叶片数,然后再按照适当比例摘取有代表性的样叶于测定日用LI—3000A叶面积仪测定。则单株叶面积=∑标准枝样叶面积/样叶数×标准枝叶片总数×单株标准枝的倍数。

单株林木蒸腾量计算:记录观测期内每天的云量多度,将云量多度分10个等级(0.1~1)。每天日照时间按10 h计,单株林木月蒸腾总量:

$$T_m = 1.08 \times \sum_{i=1}^n C_{di} \cdot \bar{T}_d \cdot A_s$$

式中: $T_m$ ——单株林木月蒸腾总量(g); $C_{di}$ ——日云量多度; $\bar{T}_d$ ——蒸腾速率日平均值[ $\mu\text{g}/(\text{s} \cdot \text{cm}^2)$ ]; $A_s$ ——单株林木叶面积( $\text{cm}^2/\text{s}$ ); $n$ ——观测月的天数。

表1 不同水分处理平均标准株的基本生长情况 cm

项目	A	B	C	D	E	CK
树高	52.17	86.50	69.33	73.57	60.17	55.83
地径	1.16	1.05	1.51	1.51	1.05	1.05
冠幅	94.12	84.20	90.15	95.05	76.00	65.24
枝梢长度	45.39	64.42	59.75	56.38	51.53	50.08
枝梢粗度	0.71	0.76	0.92	0.61	0.71	0.63

## 3 结果与分析

### 3.1 植树带内土壤蒸发量的变化

土壤蒸发是自然界中不可避免的土壤水分物理运动过程,但对植物生态系统而言,是一种无效的水分消耗,其蒸发过程受能量供给、水汽运移条件和土壤供水状况3方面物理因素的影响。对林地植树带内土壤蒸发量的测定,它虽然不能解释蒸发的动态变化过程,但可以给出土壤蒸发的总量,能够比较理想地统计旬、月、季度的土壤蒸发量。不同水分条件下植树带内的土壤蒸发量如表2,从表2可见:土壤蒸发量与降水量的数量和温度有关。不同处理的土壤蒸发量均随降雨量的增加而增大,蒸发量最大值均出

现在降雨量最大且气温较高的 7 月, 6 种处理在该月的蒸发量均占总蒸发量的 20% 左右; 生长季内 A, B, C, D, E, CK 处理的土壤蒸发总量分别占同期降雨量的 32.1%, 34.5%, 36.4%, 40.3%, 42.7% 和 49.2%, 表现出蒸发量随土壤含水率的增大而减小, 但对不同处理间的土壤蒸发量进行方差分析, 得出  $F$  值为 0.957, 相伴频率  $P$  为 0.457, 说明了不同水分处理间的土壤蒸发量在 0.05 水平上没有显著差异。是因为虽然良好的土壤水分条件有利于促进石榴地上部分的生长, 对地面起到一定的遮荫作用, 从而减少土壤蒸发, 但试验区不同水分处理的石榴都处于幼树阶段, 冠幅较小, 对地面的遮荫作用并不太大。

表 2 生长季不同水分处理植树带内的土壤蒸发量 mm

处理	月份							合计
	5	6	7	8	9	10	11	
A	29.5	33.3	35.7	32.1	25.3	12.5	8.1	176.5
B	31.7	35.7	38.3	34.4	27.2	13.5	8.7	189.4
C	33.5	37.8	40.5	36.4	28.7	14.2	9.2	200.2
D	37.1	41.8	44.8	40.3	31.8	15.8	10.1	221.7
E	39.2	44.3	47.4	42.6	33.7	16.7	10.7	234.6
CK	45.3	51.1	54.7	49.2	38.9	19.3	12.4	270.9
降雨量	45.6	101.8	124.4	123.7	82.3	60.2	11.6	549.6

### 3.2 石榴生长季蒸腾耗水变化规律

林木蒸腾是植物生理代谢和物质运输的主要动力, 它是林地水量平衡方程式的一个重要的水分支出项。蒸腾耗水量是指植物蒸腾消耗水分的多少, 它是蒸腾强度、叶量和时间的函数, 它与蒸腾强度大小并不完全一致, 还与叶量密切相关。不同水分条件下石榴生长季内的蒸腾量如表 3。从表 3 可看出, 植物蒸腾量因季节而异, 同时也因植物根系的土壤水分状况而有所不同。生长季内各处理的蒸腾量变化随降雨量的增大而增大, 其中 6—8 月的蒸腾量比较高, 这是因为随着降水量的增多, 植物根系的水分状况得到改善, 植物的枝叶量增多, 其蒸腾耗水量也相应增加, 而 6—8 月是石榴生长的鼎盛时期, 叶量均增多, 叶面积较大, 而且该时期降雨量较多 (占总降雨量的 63.7%), 气温较高, 因此蒸腾耗水量的相对值也较高, 该时期 A, B, C, D, E, CK 处理的蒸腾耗水量分别占同期降水量的 69.8%, 63.3%, 60.1%, 37.7%, 27.6% 和 19.7%, 其中 A, B, C 处理的变动值为 9.7%, 变动范围较小。A, B, C, D, E, CK 处理在生长季内的总蒸腾量分别占降雨量的 64.3%, 60.2%, 54.4%, 33.9%, 24.7% 和 17.4%, 表现出蒸腾量随土壤含水量的降低而减小。对各处理间石榴的蒸腾量进行方差分析, 分析结果得出  $F$  值为 2.572, 相伴

频率为  $P$  的  $F$  值为 0.043, 这表明各处理间石榴的蒸腾量在 0.05 水平上差异性显著, 其中处理 A, B, C 之间和处理 D, E 之间差异性不显著, 这说明不同土壤水分控制范围改变了石榴的生长发育状况, 从而使不同水分状况下石榴的蒸腾量发生变化。

表 3 生长季不同水分处理石榴的蒸腾耗水量 mm

处理	月份							合计
	5	6	7	8	9	10	11	
A	29.7	80.9	109.3	53.9	36.9	36.2	6.8	353.6
B	24.8	68.9	108.0	44.6	36.1	41.8	6.5	330.7
C	21.6	55.5	98.1	56.6	30.9	31.3	5.2	299.2
D	19.8	33.5	66.4	32.1	17.8	12.0	4.8	186.5
E	14.7	25.4	47.8	23.4	12.7	7.1	4.5	135.6
CK	9.9	16.8	34.3	17.8	9.0	4.5	3.3	95.6

### 3.3 水量平衡分析

一般陆地生态系统的水文过程包括: 降水向系统内的输入、植被的截留、土壤表面的保持和截留、土壤表层的渗透和蒸发、植物的蒸腾、水汽向系统外部的传导以及径流等<sup>[7]</sup>。但对于元谋干热河谷而言, 该区土层深厚, 林地水分循环不受地下水的影响, 也不存在土内径流, 且试验区研究的林木为幼树, 植被的截留忽略不计, 同时林地采取水平阶整地就近拦蓄径流、就地入渗的集水措施, 没有径流损失, 只有单一的降雨入渗、上移蒸发和蒸腾过程, 加上生长季内炎热干旱的气候使得气态水的凝结量几乎为零, 因此在无灌溉条件下, 集水区石榴林地的水量平衡方程可表示为<sup>[8-10]</sup>:

$$\Delta W = P + R - E_T$$

式中:  $P$ ——降水量 (mm);  $\Delta W$ ——土壤贮水变动量 (mm);  $E_T$ ——蒸散量 (mm);  $R$ ——汇集径流量 (mm)。若将  $P+R$  称为植树带总蓄水量 ( $Q$ ), 则方程可写成  $\Delta W = Q - E_T$ , 将已知项代入方程可以得出不同水分处理石榴的水量平衡表 4。

从表 4, 表 5 可以看出, 降雨和坡面汇集径流是石榴植树带的水分输入量, 其中降雨是最重要的水分输入量, 占水分输入量的 90.2%, 水分循环和水量平衡方程中其它水分分量的变化均取决于降雨量的多寡, 而坡面汇集径流量比较小, 占水分输入量的 9.8%, 主要集中于 6—9 月, 总的汇集径流量占同期降雨量的 11.4%。蒸发散是输出项, 5 月份降水和汇集径流输入都不太大, 而且有一部分降水用来弥补经旱季后深层土壤的水分亏缺, 因此土壤贮水变化量为负值, 即土壤失水, 这说明此时期植树带的蓄水量不能满足石榴生理蒸腾和土壤蒸发的要求, 需要土壤水

分来补偿<sup>[11]</sup>。进入6—10月,降水显著增加,基本上所有水分处理的试验地的土壤贮水变化量均为正值,说明土壤处于蓄水阶段,至11月份进入旱季,降水显著减少,土壤又开始失水,以弥补系统蒸散,土壤贮水变化量又出现负值。但就整个生长季而言,不同水分处理石榴植树带内的土壤贮水变化量均为正值,说明土壤水分有盈余。

生长季内不同水分处理间的蒸散量和土壤贮水变化量存在差异。蒸散支出量随土壤含水率的增大而增大,而土壤贮水变化量却随土壤含水率的增大而减小。其中处理A, B, C之间和处理D, E之间的差

异较小,而A, B, C之间与处理D, E之间以及对照CK间的差异较大,处理A, B, C的蒸散支出量占水分输入量的82.0%~87.0%,土壤贮水变量的比例为13.0%~18.0%;处理D, E为60.8%~67.0%,33.0%~39.2%;对照的为44.5%,55.5%,表现出生长季植树带低水分处理比高水分处理的水分盈余要多,这是由于土壤含水量低时,林木的蒸腾支出大大降低所致。

至于有较多的水分盈余是否有利于石榴的生长发育,这将在下面结合不同水分处理石榴的生长状况进行分析。

表4 不同水分处理石榴植树带生长季的水量平衡统计

mm

处理	统计项目	月份							合计
		5	6	7	8	9	10	11	
A	$E_T$	59.2	114.2	144.9	85.9	62.2	48.8	14.9	530.1
	$\Delta W$	-9.7	-1.1	-5.8	52.3	28.7	17.1	-2.2	79.2
B	$E_T$	56.5	104.6	146.3	79.0	63.3	55.2	15.1	520.1
	$\Delta W$	-7.0	8.5	-7.2	59.2	27.5	10.6	-2.5	89.2
C	$E_T$	55.1	93.3	138.5	93.0	59.6	45.6	14.4	499.4
	$\Delta W$	-5.5	19.8	0.6	45.3	31.3	20.3	-1.7	109.9
D	$E_T$	56.9	75.3	111.2	72.4	49.7	27.8	15.0	408.2
	$\Delta W$	-7.4	37.8	27.9	65.9	41.2	38.1	-2.3	201.1
E	$E_T$	54.0	69.6	95.2	66.0	46.4	23.8	15.3	370.2
	$\Delta W$	-4.4	43.5	43.9	72.2	44.5	42.1	-2.6	239.1
CK	$E_T$	45.3	51.1	54.7	49.2	38.9	19.3	12.4	270.9
	$\Delta W$	-4.4	43.5	43.9	72.2	44.5	42.1	-2.6	239.1
降雨量		45.6	101.8	124.4	123.7	82.3	60.2	11.6	549.6
汇集径流量		3.9	11.3	14.7	14.5	8.6	5.7	1.0	59.7
总蓄水量		49.5	113.1	139.1	138.2	90.9	65.9	12.6	609.3

表5 不同水分处理石榴水量平衡各分量分配比例 %

处理	A	B	C	D	E	CK
$P+R$	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
$ET$	87.0	85.4	82.0	67.0	60.8	44.5
$\Delta W$	13.0	14.6	18.0	33.0	39.2	55.5

### 3.4 不同水分状况下石榴的生长情况

生长季内对不同水分处理石榴的生长情况作了调查,表6表明不同水分处理对石榴的高生长、地径生长、单叶面积、冠幅、枝长以及枝粗的增长都有不同程度的影响,表现出各项的增长量随土壤含水率的增加呈增加趋势。其中土壤含水率较高处理A的树高、地径、单叶面积、冠幅、枝长和枝粗的增长量分别是较低土壤含水率处理E的1.22, 1.70, 2.52, 1.67, 1.33和1.75倍,差异较大,与对照相比更大,但处理A, B, C间各项增长量相差不大,如处理A的树高、地径、单叶面积、冠幅、枝长和枝粗的增长量分别为

101.33, 1.39, 1.59, 46.67, 99.75和0.28cm,中等土壤含水率处理C的分别为95.00, 1.41, 1.64, 44.83, 96.17和0.25cm。这表明水分处理A最有利于石榴的生长发育,处理B, C次之,处理D, E和CK石榴的生长发育较差。

从表2,表3可以看出,这主要是由于干旱区高的土壤含水率有利于促进林木蒸腾,使其生理活动及代谢能力加强,能最大限度发展其生产能力,有利于促进林木的生长发育,同时对地面起到一定的遮荫作用,可以减小地表的土壤蒸发;相反,土壤含水率较低时,林木的蒸腾较小,植树带大部分水分用于地表的无效蒸发。如生长季内A, B, C的蒸腾量占蒸散量的比例为66.7%, 63.6%, 59.9%,蒸发量占蒸散量的比例为33.3%, 36.4%, 40.1%,而处理D, E, CK的蒸腾量占蒸散量的比例减少为45.7%, 36.6%, 26.1%,蒸发量占蒸散量的比例增加为54.3%,

63.4%, 73.9%。这也说明了表 4 的不同水分处理中, 土壤贮水变化量较大并不意味林木生长发育较好, 相反, 在本试验中, 土壤水分盈余较少而石榴的生长状况较好。对不同水分处理石榴各项增长量作方差分析, 得出不同水分处理在 0.05 水平上有显著差

异。进一步进行多重比较(见表 6), 结果表明处理 A, B, C 间的差异性不显著。因此对于干旱半干旱地区而言, 采用处理 C 较好, 节水的同时对石榴的生长未造成严重影响。

表 6 不同水分处理石榴生长的各项增长量

处理	树高/cm	地径/cm	叶面积/cm <sup>2</sup>	冠幅/cm	枝长/cm	枝粗/cm
A	101.33±6.51 a	1.39±0.16 a	1.59±0.20 a	46.67±3.25 a	99.75±6.26 a	0.28±0.05 a
B	97.67±2.08 ab	1.40±0.05 a	1.65±0.16 a	44.33±3.88 a	98.67±4.04 a	0.24±0.04 a
C	95.00±1.73 ab	1.41±0.20 a	1.64±0.06 a	44.83±6.33 a	96.17±3.98 a	0.25±0.02 a
D	91.67±2.31 bc	1.12±0.07 b	1.14±0.21 b	36.33±7.57 ab	84.36±11.36 b	0.18±0.02 b
E	83.33±2.08 cd	0.82±0.04 c	0.63±0.18 c	28.00±3.77 bc	74.89±2.71 c	0.16±0.02 b
CK	75.00±9.54 d	0.79±0.08 c	0.47±0.19 c	25.33±8.81 c	67.42±7.40 c	0.16±0.04 b

注: 不同水分处理间的树高、地径、单叶面积、冠幅、枝长、枝粗增长量在 0.05 水平上的  $F$  值和相伴频率  $P$  分别为 11.537 和 0.000, 19.340 和 0.000, 27.879 和 0.000, 7.104 和 0.003, 12.616 和 0.000, 7.386 和 0.002。不同处理间有相同标记字母的为差异不显著, 凡具有不同标记字母的为差异显著。观测日期为 2004 年 5—11 月。

## 4 结 论

(1) 元谋干热河谷微区域集水区植树带的水分输入为降雨和坡面汇集径流, 其中降雨占输入的 90.2%, 是最重要的水分输入项, 而坡面汇集径流量比较小, 占水分输入量的 9.8%; 蒸散是水分输出项, 生长季内不同水分处理间的蒸散量存在差异, 处理 A, B, C, D, E 和 CK 的总蒸散量在水量平衡中的分配比例分别为 87.0%, 85.4%, 82.0%, 67.0%, 60.8% 和 44.5%, 表现出蒸散量随土壤含水率的增大而增大; 整个生长季内, 不同水分处理的土壤水分均有盈余, 处理 A, B, C, D, E 和 CK 的土壤水分盈余量占水分输入量的比例分别为 13.0%, 14.6%, 18.0%, 33.0%, 39.2% 和 55.5%, 表现出水分盈余量随土壤含水率的减小而增大。这是由于试验区在同一水分输入情况下, 较低土壤水分处理不利于林木生长, 至使林木蒸散量减小。

(2) 不同水分处理对石榴植树带内的土壤蒸发没有显著影响, 但对石榴的蒸腾影响较大, 从而引起石榴生长状况的变化。蒸腾量随土壤含水率的增大而增大, 这主要是较高土壤水分处理石榴的生长发育优于较低土壤水分处理, 不同水分处理间石榴的生长状况有显著差异, 其中土壤含水率为 19.4%, 16.85% 和 14.79% 的各项生长量差异不显著, 对于

干旱半干旱地区而言, 采用土壤含水率为 14%~15% 的供水既节水又对石榴的生长未造成严重影响。

### [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] 黄成敏, 何毓蓉. 云南省元谋干热河谷的土壤抗旱力评价 [ J ]. 山地研究, 1995, 13(2): 79—84.
- [ 2 ] 刘芝芹, 王克勤. 人工植被坡面产流问题研究进展 [ J ]. 西南林学院学报, 2004, 24(2): 65—69.
- [ 3 ] 白岗栓. 陕北丘陵沟壑区不同整地方式对果树生长环境的影响 [ J ]. 水土保持通报, 1998, 18(7): 11—14.
- [ 4 ] 张贤明, 董文达. 江西红壤坡地果园水土保持措施效益之研究 [ J ]. 水土保持学报, 2001, 15(2): 102—104.
- [ 5 ] 王克勤. 集水造林与水分生态 [ M ]. 北京: 中国林业出版社, 2002. 22—27.
- [ 6 ] 陈奇伯, 王克勤, 李艳梅, 等. 金沙江干热河谷不同类型植被改良土壤效应研究 [ J ]. 水土保持学报, 2003, 17(2): 67—70.
- [ 7 ] 王兵, 崔向慧. 民勤绿洲—荒漠过渡区水量平衡规律研究 [ J ]. 生态学报, 2004, 24(2): 236—240.
- [ 8 ] 王斌瑞. 黄土高原径流林业 [ M ]. 北京: 中国林业出版社, 1996. 1—50.
- [ 9 ] 余新晓, 陈丽华. 黄土地区防护林生态系统水量平衡研究 [ J ]. 生态学报, 1996, 16(3): 239—245.
- [ 10 ] 张胜利, 雷瑞德, 吕瑜良, 等. 秦岭火地塘林区森林生态系统水量平衡研究 [ J ]. 水土保持通报, 2002, 20(6): 19—22.
- [ 11 ] 杨新民, 杨文治. 旱地区人工林地土壤水分平衡的探讨 [ J ]. 水土保持通报, 1988, 8(3): 34—38.