

《中文核心期刊要目总览》核心期刊  
中国科学引文数据库(CSCD)核心期刊  
中国科技论文统计源核心期刊  
《国家科技学术期刊开放平台》收录期刊

ISSN 1000-2561  
CN 46-1019/S

# 热带作物学报 Chin J Trop Crop

## CHINESE JOURNAL OF TROPICAL CROPS

第40卷 第11期 Vol. 40 No.11  
2019.11

中国热带作物学会  
中国热带农业科学院 主办



科学出版社  
Science Press

# 热带作物学报

2019年11月 第40卷 第11期 (月刊 1980年创刊)

## 目 次

### 作物栽培与营养、遗传育种

保水处理对橡胶树叶片生理特性及胶乳产量的影响初探 ..... 原慧芳, 黄菁, 岳海, 田耀华 (2097)

2种新型种植材料(苗木)橡胶幼树的施肥效应 ..... 贝美容, 蔡隽, 戚春林, 林清火, 罗微, 刘海林, 茶正早 (2105)

耐铝性不同的狗牙根在酸性土壤上的生长差异 ..... 黄春琼, 刘国道, 陈振 (2112)

基于生命周期评价的广西火龙果环境影响分析

..... 赵鹏飞, 程玉, 任太军, 黄志坚, 李广泽, 汤华, 阮云泽 (2119)

引进美国甘蔗种质工艺品质演进分析及发掘

..... 赵勇, 赵丽萍, 皆逢刚, 朱建荣, 覃伟, 赵俊, 赵培方, 刘家勇 (2127)

### 植物生理生化

可可种质资源抗寒性初步评价及低温胁迫下生理响应 ..... 李付鹏, 伍宝朵, 秦晓威, 闫林, 赖剑雄 (2135)

不同施氮水平下甘蔗内源激素、产量和糖分的变化特征

..... 周慧文, 陈荣发, 范业赓, 丘立杭, 李杨瑞, 吴建明, 黄杏 (2142)

不同树龄茶树根际土壤物质对其生长和品质的影响

..... 王海斌, 陈晓婷, 王裕华, 赵虎, 张华彬, 丁力, 孔祥海, 叶江华 (2149)

深圳坝光银叶树种群生命表及生存力分析

..... 孙红斌, 肖石红, 蔡坚, 高常军, 易小青, 吴琰, 魏龙, 王佐霖 (2160)

### 生物技术与组织培养

剑麻内参基因筛选与稳定表达分析 ..... 张燕梅, 王瑞芳, 杨子平, 鹿志伟, 李俊峰, 赵艳龙, 陆军迎, 周文钊 (2166)

阿希蕉合生花组培快繁技术研究 ..... 黄东梅, 许奕, 李敬阳, 李羽佳, 林妃, 李艳霞, 宋顺 (2174)

### 植物病理、作物病虫害及其防治

中国木薯褐斑病发病规律调查及田间防治药效试验

..... 时涛, 李超萍, 蔡吉苗, 王国芬, 陆翠梅, 韩全辉, 黄贵修 (2178)

8种香蕉种质对枯萎病的抗性比较与分析

..... 黄素梅, 韦绍龙, 韦莉萍, 李朝生, 覃柳燕, 韦弟, 田丹丹, 龙盛风, 何章飞, 周维 (2189)

福建枫香炭疽病病原的种类鉴定 ..... 朱仰艳, 苏锦钰, 潘爱芳, 何学友, 胡红莉 (2197)

### 农产品加工、保鲜、贮藏与分析检测

真空辅助酸凝固天然橡胶加工性能的研究 ..... 何双, 廖双泉, 赵艳芳, 户本相, 廖小雪, 赵富春 (2205)

油棕木密实化及其尺寸稳定性研究 ..... 陆全济, 李家宁, 曾宪海, 蒋江川, 李晓文, 刘钊, 李民 (2211)

澳洲坚果油超声波辅助提取工艺优化及其理化性质

..... 涂行浩, 孙丽群, 唐景华, 张明, 帅希祥, 陈洪, 杜丽清 (2217)

不同品种枇杷果实微量元素分析及综合评价 ..... 于馨森, 陈发兴, 卢海芬, 邱秀玉, 郑国华, 杨俊 (2227)

摇青和揉捻工艺对白茶生化成分和感官品质的影响

..... 王飞权, 冯花, 朱晓燕, 李少华, 张见明, 张渤, 杜红, 陈荣冰 (2236)

武夷名丛的红茶适制性研究 ..... 卢莉, 程曦, 曾晶晶, 叶国盛, 黎星辉, 陈荣冰 (2246)

三七素提取工艺及检测方法的优化 ..... 段绍凤, 陈庚, 闫静, 覃忠明, 张广辉, 梁艳丽 (2255)

### 生态学与综述

海南兰科植物新记录 ..... 叶康 (2261)

海南野生鹧鸪茶资源调查与鉴定评价 ..... 顾文亮, 庄辉发, 王辉, 张建禹, 覃永兰, 张翠玲, 秦晓威, 谭乐和 (2264)

大洲岛海杧果群落及其物种多样性特征 ..... 吕林玲, 陈慧, 李伟杰, 杨海建, 戴波, 黄良明, 郑希龙 (2270)

干热河谷番茄苗期叶片光合效率的土壤水分阈值效应

..... 李建查, 闫帮国, 潘志贤, 张雷, 岳学文, 何光熊, 樊博, 史亮涛, 方海东 (2278)

海南省主要农作物主产区土壤重金属含量分布及其健康风险评价 ..... 梁捷, 孙宏飞, 葛成军, 孟磊 (2285)

海南岛东北部5种森林土壤有机碳分布特征 ..... 薛杨, 宿少锋, 林之盼, 王小燕, 陈毅青, 薛雁文, 陈平妹 (2294)

纳米硅材料对植物生长发育影响的研究进展 ..... 孙德权, 陆新华, 胡玉林, 李伟明, 段雅捷, 庞振才, 胡会刚 (2300)

# 保水处理对橡胶树叶片生理特性及胶乳产量的影响初探

原慧芳, 黄菁, 岳海, 田耀华\*

云南省热带作物科学研究所, 云南景洪 666100

**摘要** 以橡胶树品种‘云研 77-4’为试材, 采用盖膜、盖草和添加保水剂的处理方式, 以常规管理(不覆盖)为对照, 通过田间比较试验研究 3 种保水处理对橡胶树全年中不同生长阶段叶片生理特性及胶乳产量的影响。方差分析结果表明: 盖膜、盖草和添加保水剂在干季均显著提高了土壤含水量, 并显著影响了橡胶树叶片的可溶性蛋白(SP)、脯氨酸(Pro)、可溶性糖(SS)和蔗糖(Suc)含量; 3 种保水处理处理均不同程度的提高了胶乳产量。主成分分析结果表明: 提取 3 个主成分, 累计贡献率为 84.8%, 说明前 3 个主成分可反映原始变量的绝大部分信息; 根据综合得分, 各保水处理优劣顺序依次为: 添加保水剂、盖草、盖膜、对照; 橡胶树全年中不同生长阶段叶片生理指标综合表现优劣顺序依次为: 12 月、3 月、1—2 月、11 月、6 月、7 月、9—10 月、8 月、5 月、4 月。因此, 从本研究结果可以推断, 各保水处理均能有效缓解季节性干旱对橡胶树生长的不利影响, 在生产上可以根据橡胶树全年中不同生长阶段叶片生理指标综合表现选择合理的割胶时期。

**关键词** 橡胶树; 保水处理; 土壤含水量; 生理特性; 综合评价; 产量

中图分类号 S794.1 文献标识码 A

## Effects of Water-retention Treatment on the Physiological Characteristics and Latex Yield of *Hevea brasiliensis*

YUAN Huifang, HUANG Jing, YUE Hai, TIAN Yaohua\*

Yunnan Institute of Tropical Crops, Jinghong, Yunnan 666100, China

**Abstract** Rubber tree variety ‘Yunyan 77-4’ was selected as the test material. With conventional management (without covering) as the control, covering film, covering grass and adding water-retaining agent were adopted as the three water-retaining treatments. Through field comparative experiments, the effects of different treatments on the physiological characteristics of leaves and latex yield at different growth stages of rubber tree in the whole year were studied. The results of variance analysis showed that covering film, covering grass and adding water retaining agent significantly increased soil water content in dry season, and significantly affected the contents of soluble protein (SP), proline (Pro), soluble sugar (SS) and sucrose (Suc) in the leaves of rubber trees. The yield of latex increased by the three water retaining treatments. Principal component analysis showed that the cumulative contribution rate of the first three principal components was 84.8%, indicating that the first three principal components could reflect most of the information of original variables. According to the comprehensive score, the order of the advantages and disadvantages of each treatment was as follows: adding water-retaining agent, covering grass, covering film and the control. The order of comprehensive performance of physiological indexes of rubber leaves at different growth stages in the whole year was as follows: December, March, January–February, November, June, July, September–October, August, May and April. Therefore, it can be inferred from the results that all water conservation treatments can effectively alleviate the adverse effects of seasonal drought on the growth of rubber trees. In terms of production, a reasonable tapping period can be selected according to the comprehensive performance of physiological indexes of leaves at different growth stages throughout the year.

收稿日期 2019-03-15; 修回日期 2019-05-29

基金项目 云南省热带作物科技创新体系项目(No. RF2019-3); 云南天然橡胶产业技术体系项目(No. 2019KJTX008-03)。

作者简介 原慧芳(1978—), 女, 硕士, 副研究员, 研究方向: 热带植物生理生态。\*通信作者(Corresponding author): 田耀华(TIAN Yaohua), E-mail: tyhyhf@126.com。

**Keywords** *Hevea brasiliensis*; water-retention treatment; soil moisture content; physiological characters; comprehensive evaluation; yield

**DOI** 10.3969/j.issn.1000-2561.2019.11.001

橡胶树 (*Hevea brasiliensis*) 原产于南美洲亚马逊河流域的热带雨林, 性喜气温较高、湿度较大、降水丰沛而分布均匀的气候环境。适宜橡胶树生长和产胶的年降水量以 1500 mm 以上为宜<sup>[1]</sup>。只有具有充足的水分条件, 才能保证橡胶树的正常生长和产排胶。水分胁迫是限制橡胶树胶乳产量的关键因素之一, 干旱或季节性干旱下橡胶树生长受阻、抽叶减慢、植株回枯死亡、过冬落叶、割胶时间缩短、产排胶受阻、胶乳产量下降, 会导致橡胶树种植业的经济效益明显下降。以往我国多注重橡胶树风害和寒害方面的研究, 但对橡胶树旱害的关注较少, 在橡胶树抗旱减灾栽培管理技术方面的研究较为滞后<sup>[2-3]</sup>。事实上, 在我国和东南亚的许多植胶国中橡胶树旱害非常严重, 每年 3—5 月, 气温一般都很高, 但降雨量很少, 季节性的干旱往往导致橡胶树生长不良, 直接影响后期树体生长和产排胶。据不完全统计, 在云南植胶区, 每推迟或停止割胶一天就会减少干胶产量近 2000 t。2009—2010 年西双版纳州冬春干旱, 直到 3 月底至 4 月初橡胶树才大面积开割, 如东风农场 3 月 16 日—4 月 30 日, 共生产天然橡胶 3105.09 t, 同比减产 462.05 t, 减少了 12.95%, 干旱对橡胶产量的影响由此可见一斑<sup>[4]</sup>。目前, 关于保水处理的研究, 主要集中于水土保持和产量影响方面, 许多学者的研究结果均表明保水处理能明显改善土壤水分状况, 缓解季节性干旱危害, 实现作物增产增收<sup>[5-9]</sup>。但涉及不同保水处理对橡胶树全年中不同生长阶段的叶片生理特性和胶乳产量影响的研究较少, 关于生产上选择适宜的割胶时期还缺少理论依据。另外, 由于本研究作者前期关于逆境胁迫对橡胶树生理生化指标的影响方面有不少研究<sup>[10-11]</sup>, 已经筛选出能准确反映橡胶树叶片生理特性的参数。因此, 本研

究通过采用盖膜、盖草和添加保水剂处理, 研究橡胶树全年不同生长阶段叶片生理特性参数的变化情况及对胶乳产量的影响。为验证保水处理对季节性干旱的缓解程度, 为掌握橡胶树重要生理参数对季节干旱的响应, 最终实现生产上有效的抗旱保水处理及选择适宜的割胶时期提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况及材料

试验地位于云南省西双版纳州云南省热带作物科学研究所江北橡胶人工林试验基地 (100°47'27.2"E~100°47'35"E, 22°02'17.6"N~22°02'37.2"N), 海拔为 621~814 m。该地属于北热带西南季风气候, 一年中有明显的干季(11 月—翌年 4 月)和雨季(5—10 月)之分, 年平均气温为 21.5 °C, 年蒸发量为 1310.6 mm, ≥10 °C 的年积温为 8100.4 °C, 年降雨量为 1161.8 mm, 平均相对湿度为 85%<sup>[12]</sup>。2013 年 1—12 月试验地的月气温和降雨量变化见图 1(数据来自景洪州气象局)。参试品种为 2005 年种植的‘云研 77-4’, 株行距 3 m×8 m, 试验基地面积约 8 hm<sup>2</sup>, 土壤为砖红壤。西双版纳州橡胶树全年生长阶段见表 1。

### 1.2 方法

1.2.1 试验设计 试验设置膜(白)覆盖、草覆盖和添加保水剂共 3 个保水处理, 常规管理为对照(CK); 每处理以相邻 5 株树为 1 次重复, 共 5 次重复。

1.2.2 试验处理 常规管理(对照): 每年 4 月、6 月和 8 月对种植带进行 3 次除草; 每年 7 月和 11 月对保护带进行 2 次砍草, 并将杂草清理到种植带上作为根圈压青覆盖材料; 每年 5 月在压青坑内施有机肥后并压青, 如无草压青则盖薄土, 每年 5 月和 10 月施复合肥。

表 1 西双版纳州橡胶树全年生长阶段月份表

Tab. 1 Table of the annual growth stages of rubber trees in Xishuangbanna

生长阶段 Growth stage	落叶期 Defoliating	抽发期 Pumping	春花期 Spring flowering	抽发期 Pumping	夏花期 Summer flowering	抽发期 Pumping	秋花期 Autumn flowering	冬果期 Winter fruiting	落叶始期 Initial defoliating
月份 Month	1—2 月 Jan.–Feb.	3 月 Mar.	4 月 Apr.	5 月 May	6—7 月 Jun.–Jul.	8 月 Aug.	9—10 月 Sep.–Oct.	11 月 Nov.	12 月 Dec.

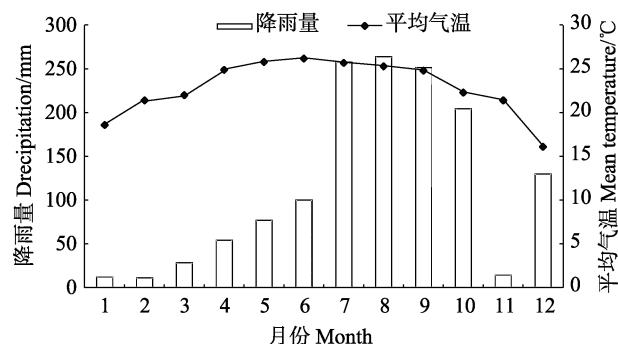


图 1 试验区 2013 年月平均气温和降雨量

Fig. 1 The monthly average temperature and rainfall at study site in 2013

**盖膜处理：**在 2012 年雨季结束前，将树盘下的树叶和杂草清理干净，在种植带内至主干外 10 cm 的范围内进行深翻改土，再用规格为 0.07 mm 厚的聚乙烯白地膜覆盖（施肥位置覆盖在内）。

**盖草处理：**对各试验植株统一施肥后，平整树盘，然后将杂草盖于树盘上，盖草约 15 cm 厚，覆盖范围与地膜覆盖相同。

**添加保水剂处理：**在垂直于种植带方向的橡胶树的两侧滴水线内，挖 30 cm 深、40 cm 宽的环状沟，表土、底土分放，在坑底施入保水剂（北京金元易生态工程技术中心有限公司提供的保水剂，规格为 MP3005K4，粒径为 3.5~4 mm），将保水剂与适量表土混合均匀，保水剂施用量 200 g/株，再将剩余表土及底土盖上。

**1.2.3 测定指标与方法** 试验于 2013 年每个橡胶树生长阶段（月份）的月末，早上 8:00 左右采集橡胶树叶样进行生理指标的测定。选取每处理中固定植株中部外围各方位稳定枝条上的功能叶片，采后用冰壶迅速带回实验室，立即用湿纱布擦净叶片表面。脯氨酸（Pro）含量的测定采用碘基水杨酸法<sup>[13]</sup>；可溶性蛋白质（SP）含量的测定采用考马斯亮蓝染色法<sup>[14]</sup>；可溶性糖（SS）和蔗糖（Suc）含量的测定采用蒽酮比色法<sup>[15]</sup>；土壤含水量（SMC）的测定采用烘干称量法<sup>[16]</sup>，每月定期选择每个处理的 3 个样点，挖土壤剖面 0~40 cm 的土壤进行土壤含水量测定，重复 3 次；橡胶树胶乳产量采集于 2014 年 8 月 29 日至 11 月 4 日，每 4 天 1 刀，每个处理重复 10 株。

### 1.3 数据处理

采用 SPSS19.0 软件对试验数据进行统计分析。以单因素方差（ANOVA）分析不同保水处理对橡胶树叶片生理指标和胶乳产量的影响，以

Duncan's 新复极差法进行多重比较 ( $P<0.05$ )；用主成分分析法计算各指标间相关矩阵的特征向量及每个主成分的贡献率和累积贡献率，建立主成分方程，进行因子综合分析评价<sup>[17-18]</sup>。使用 SigmaPlot 10.0 软件完成绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 保水处理对橡胶树不同生长阶段土壤含水量的影响

保水处理对橡胶树各生长阶段 0~40 cm 土壤含水量（SMC）的影响，如图 2 所示，随着季节的变化各保水处理的 SMC 发生相应的变化，且变化趋势基本一致。盖膜、盖草和添加保水剂处理均在干季（11 月—翌年 5 月）的 SMC 均高于对照，增加幅度在 3%~50% 范围；各保水处理在雨季（6—10 月）时 SMC 的升降与对照相比变化幅度不大，增减幅度在 4% 以内。总体来看，在干季不同保水处理均明显的增加了 SMC，但增加幅度不一，干季时各保水处理的 SMC 高低顺序为盖膜>盖草>添加保水剂>对照，而在雨季各保水处理与对照相比差异不明显。

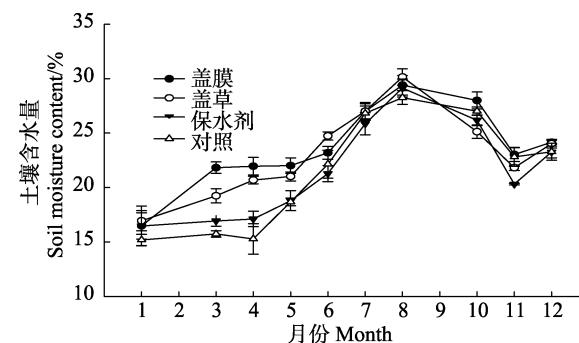


图 2 保水处理对各生长阶段土壤含水量的影响

Fig. 2 Effects of water-retention treatment on soil moisture content at different growth stages

### 2.2 保水处理对不同生长阶段橡胶树叶片 4 个生理指标的影响

**2.2.1 对橡胶树叶片可溶性蛋白含量的影响** 经方差分析结果表明，同一生长阶段下不同保水处理的 SP 含量与对照相比，其各生长阶段变化幅度均不一。如表 2 所示，盖膜处理的 SP 含量在干季（12 月—翌年 4 月）均最高，盖草、添加保水剂处理和对照的 SP 含量上下波动；而盖膜处理在雨季（5—10 月）呈低—高—低的变化趋势，而其他保水处理的 SP 含量在雨季基本呈高—低—高变化趋势，但相对

都低于对照。从同一处理下比较各生长阶段间橡胶树叶片的 SP 含量变化来看,除了盖膜处理与其他保水处理的 SP 含量稍有不同外,盖草和添加保水剂处理在各生长阶段的变化趋势大体一致,均以 6 月最高,其次 12 月和 5 月、7 月、1—2 月最高,而 3 月、8 月、9—10 月、11 月、4 月的 SP 含量明显最低。

**2.2.2 对橡胶树叶片脯氨酸含量的影响** 经方差分析结果表明,同一生长阶段下不同保水处理的 Pro 含量与对照相比,其各生长阶段变化幅度均不一。如表 3 所示,各保水处理的 Pro 含量在全年上下不规律的变幅,在干季添加保水剂处理和对照的 Pro 含量相对高于盖膜和盖草处理,但

变化幅度不明显。除了盖膜处理在 7 月明显低于其他处理外,雨季盖膜处理的 Pro 含量在其他时期基本均高于盖草和添加保水剂处理,而其处理间的 Pro 含量有小幅度的波动。从同一处理下比较各生长阶段间橡胶树叶片的 Pro 含量变化来看,不同保水处理的 Pro 含量在各个生长阶段会产生相应的变化,所有处理的 Pro 含量均以 12 月显著最高(294.48~436.74 μg/g),高于较低的 4 月、3 月和 7 月的 Pro(56.47~88.8 μg/g)的几倍,其次 5 月和 6 月的 Pro 含量也较高,而 1~2 月、9~10 月、11 月和 8 月的 Pro 含量居中,在 67.98~159.41 μg/g 范围内。

表 2 保水处理对橡胶树叶片可溶性蛋白含量的影响

Tab. 2 Effect of water-retention treatment on soluble protein content of *H. brasiliensis* leaves

月份 Month	可溶性蛋白含量 Soluble protein content/(mg·g <sup>-1</sup> )			
	对照 Contrast	盖膜 Cover film	盖草 Grass cover	保水剂 Water-retaining agent
1~2 月	8.33±0.63 <sup>cC</sup>	15.67±0.14 <sup>aA</sup>	11.81±0.38 <sup>cdB</sup>	8.59±0.38 <sup>dC</sup>
3 月	4.84±0.27 <sup>dB</sup>	16.20±0.46 <sup>aA</sup>	5.29±0.10 <sup>eB</sup>	4.63±0.22 <sup>fB</sup>
4 月	5.88±0.13 <sup>dB</sup>	7.45±0.22 <sup>cA</sup>	5.78±0.22 <sup>cB</sup>	5.52±0.09 <sup>eB</sup>
5 月	17.76±0.22 <sup>aA</sup>	12.93±2.47 <sup>bcBC</sup>	10.40±1.50 <sup>dC</sup>	11.21±1.33 <sup>cC</sup>
6 月	16.58±0.12 <sup>aA</sup>	15.74±0.43 <sup>aA</sup>	15.91±0.62 <sup>aA</sup>	15.95±0.16 <sup>aA</sup>
7 月	13.65±0.67 <sup>bA</sup>	10.55±0.23 <sup>cdB</sup>	13.71±0.43 <sup>bA</sup>	11.66±0.55 <sup>eB</sup>
8 月	8.04±1.13 <sup>cA</sup>	8.80±0.44 <sup>deA</sup>	5.19±0.32 <sup>eB</sup>	8.41±1.09 <sup>dA</sup>
9~10 月	7.44±0.20 <sup>cA</sup>	6.79±0.09 <sup>eB</sup>	7.03±0.10 <sup>eAB</sup>	7.27±0.15 <sup>dA</sup>
11 月	7.60±0.16 <sup>cA</sup>	6.25±0.35 <sup>eB</sup>	6.58±0.38 <sup>eB</sup>	6.07±0.37 <sup>efB</sup>
12 月	14.10±0.13 <sup>bA</sup>	13.83±0.44 <sup>abA</sup>	13.19±0.44 <sup>bcA</sup>	13.81±0.46 <sup>bA</sup>

注:同列不同小写字母表示不同月份间差异显著( $P<0.05$ ),同行不同大写字母表示不同处理间差异显著( $P<0.05$ )。

Note: Different small letters in the same column indicate the significant difference among different months ( $P<0.05$ ), and different capitals in the same row indicate the significant difference among different treatments ( $P<0.05$ ).

表 3 保水处理对橡胶树叶片脯氨酸含量的影响

Tab. 3 Effect of water-retention treatment on proline content of *H. brasiliensis* leaves

月份 Month	脯氨酸含量 Proline content/(μg·g <sup>-1</sup> )			
	对照 Contrast	盖膜 Cover film	盖草 Grass cover	保水剂 Water-retaining agent
1~2 月	136.77±20.02 <sup>cAB</sup>	67.98±3.26 <sup>dC</sup>	102.16±7.58 <sup>cdBC</sup>	159.41±11.63 <sup>cA</sup>
3 月	71.13±1.07 <sup>eB</sup>	79.38±2.30 <sup>dA</sup>	72.05±1.58 <sup>dAB</sup>	76.11±3.77 <sup>efAB</sup>
4 月	86.58±5.89 <sup>dcA</sup>	73.03±2.59 <sup>dA</sup>	88.80±6.24 <sup>dA</sup>	88.80±6.77 <sup>efA</sup>
5 月	162.53±7.42 <sup>bB</sup>	246.70±16.15 <sup>bAB</sup>	217.02±9.68 <sup>bAB</sup>	270.41±7.86 <sup>bA</sup>
6 月	143.6±3.95 <sup>bcA</sup>	142.32±17.80 <sup>cA</sup>	112.39±4.57 <sup>cB</sup>	145.09±6.86 <sup>cdAB</sup>
7 月	78.08±8.83 <sup>dcA</sup>	56.47±2.19 <sup>dC</sup>	74.76±3.23 <sup>dAB</sup>	62.63±1.53 <sup>fBC</sup>
8 月	91.94±4.34 <sup>deB</sup>	120.82±5.46 <sup>cA</sup>	78.95±1.42 <sup>cdC</sup>	96.81±4.66 <sup>fbB</sup>
9~10 月	131.29±6.32 <sup>cA</sup>	111.96±7.53 <sup>cB</sup>	102.1±2.73 <sup>cdB</sup>	112.08±2.31 <sup>deB</sup>
11 月	99.87±3.47 <sup>dAB</sup>	119.28±2.28 <sup>cA</sup>	98.28±5.02 <sup>cdB</sup>	113.37±11.32 <sup>deAB</sup>
12 月	436.74±1.76 <sup>aA</sup>	294.48±10.10 <sup>abC</sup>	366.05±10.36 <sup>ab</sup>	369.43±9.34 <sup>aB</sup>

注:同列不同小写字母表示不同月份间差异显著( $P<0.05$ ),同行不同大写字母表示不同处理间差异显著( $P<0.05$ )。

Note: Different small letters in the same column indicate the significant difference among different months ( $P<0.05$ ), and different capitals in the same row indicate the significant difference among different treatments ( $P<0.05$ ).

2.2.3 对橡胶树叶片可溶性糖和蔗糖含量的影响  
经方差分析结果表明, 同一生长阶段下不同保水处理的 SS 和 Suc 含量与对照相比, 其各生长阶段变化幅度也均不一。如表 4 所示, 各保水处理的 SS 含量在干雨季均变化不规律, 而各保水处理的 Suc 含量也不规律, 且变化幅度不大。在干季的 1—3 月, 盖膜处理的 SS 含量表现最高, 而在干季的其他月份及雨季期间均无明显变化。盖膜处理的 Suc 含量在干季期间基本均高于盖草、添加保水剂和对照处理。在雨季不同保水处理的 SS 和 Suc 含量上下变幅, 但变幅不大, 而各保水处理的 Suc 含量基本低于对照。从同一处理下比较各生长阶段间橡胶树叶片的 SS 和 Suc 含量变化来看, 各保水处理的 SS 含量以 1—2 月、9—10 月、12 月和 8 月最高, 其次为 3 月、11 月和 6 月, 而 7 月、5 月和 4 月表现最低。对于各保水处理下的 Suc 含量变化趋势与以上 SS 含量稍有不同, 各处理的 Suc 含量以 11 月最高, 其次为 9—10 月和

12 月, 6 月、7 月、8 月和 1—2 月居中, 而 4 月和 5 月的 Suc 含量最低。

### 2.3 保水处理对橡胶树胶乳产量的影响

从图 3 可见, 各保水处理与对照相比均不同程度的提高了橡胶树胶乳产量 ( $F=5.908$ ,  $P<0.05$ )。从同一采集期比较各保水处理下胶乳产量的结果来看, 盖膜、盖草和添加保水剂处理与对照相比分别提高了 23%、12% 和 35%。从同一处理下比较各采集期胶乳产量的变化来看, 所有处理均在 9 月 28 日、10 月 10 日和 10 月 14 日的胶乳产量表现最低, 盖膜处理以 8 月 29 日和 11 月 10 日的胶乳产量最高, 盖草处理在 8 月 29 日、9 月 2 日和 11 月 10 日的胶乳产量最高; 添加保水剂处理以 8 月 29 日、9 月 2 日的胶乳产量最高。而各保水处理在其他采集期呈小幅度的上下变幅。总体比较来看, 各保水处理胶乳产量高低顺序依次为: 添加保水剂>盖膜>盖草>对照。

表 4 保水处理对橡胶树叶片可溶性糖含量和蔗糖含量的影响

Tab. 4 Effect of water-retention treatment on soluble sugar and sucrose content of *H. brasiliensis* leaves

组分成分 Component content	月份 Month	对照 Contrast	盖膜 Cover film	盖草 Grass cover	保水剂 Water-retaining agent
可溶性糖 SS/(mg·g <sup>-1</sup> )	1—2 月	19.83±0.14 <sup>aB</sup>	21.26±0.08 <sup>aA</sup>	19.95±0.21 <sup>aB</sup>	20.89±0.27 <sup>aA</sup>
	3 月	15.30±0.23 <sup>cC</sup>	17.17±0.57 <sup>bcAB</sup>	18.08±0.34 <sup>bA</sup>	16.47±0.29 <sup>bB</sup>
	4 月	12.08±0.55 <sup>dA</sup>	11.02±0.93 <sup>cA</sup>	11.46±1.12 <sup>eA</sup>	10.90±0.24 <sup>eA</sup>
	5 月	13.02±0.17 <sup>dA</sup>	13.47±0.32 <sup>dA</sup>	12.73±0.38 <sup>eA</sup>	12.35±0.72 <sup>dA</sup>
	6 月	15.38±0.39 <sup>cB</sup>	15.77±0.91 <sup>cB</sup>	17.70±0.34 <sup>bcA</sup>	13.45±0.34 <sup>dC</sup>
	7 月	16.94±0.38 <sup>bA</sup>	15.86±0.63 <sup>cbB</sup>	14.17±0.41 <sup>dC</sup>	15.16±0.27 <sup>cBC</sup>
	8 月	18.86±0.51 <sup>aA</sup>	17.32±0.53 <sup>bcB</sup>	16.60±0.55 <sup>bcB</sup>	17.74±0.36 <sup>bAB</sup>
	9—10 月	16.99±0.21 <sup>bA</sup>	18.00±1.01 <sup>bA</sup>	18.07±0.22 <sup>bA</sup>	17.12±0.40 <sup>bA</sup>
	11 月	16.54±0.54 <sup>bA</sup>	16.21±0.40 <sup>bcA</sup>	16.28±0.35 <sup>cA</sup>	16.99±0.25 <sup>bA</sup>
	12 月	19.83±0.46 <sup>aA</sup>	16.90±0.57 <sup>bcB</sup>	17.50±0.21 <sup>bcB</sup>	16.74±0.63 <sup>bB</sup>
蔗糖 Suc /(mg·g <sup>-1</sup> )	1—2 月	19.30±0.67 <sup>cC</sup>	65.56±2.49 <sup>ba</sup>	51.53±1.06 <sup>fB</sup>	52.98±1.70 <sup>eB</sup>
	3 月	41.71±1.90 <sup>dB</sup>	54.44±0.96 <sup>aA</sup>	41.37±1.13 <sup>gb</sup>	42.60±0.63 <sup>fb</sup>
	4 月	40.74±5.99 <sup>dA</sup>	49.35±2.61 <sup>cA</sup>	37.40±0.70 <sup>ga</sup>	38.09±2.35 <sup>fa</sup>
	5 月	36.41±0.88 <sup>dA</sup>	37.44±0.88 <sup>dA</sup>	36.58±0.94 <sup>gA</sup>	35.47±2.11 <sup>fa</sup>
	6 月	64.25±1.64 <sup>cA</sup>	54.39±4.21 <sup>eb</sup>	64.71±1.55 <sup>dA</sup>	52.14±2.59 <sup>eB</sup>
	7 月	67.19±1.61 <sup>cA</sup>	51.46±0.74 <sup>eb</sup>	47.44±3.14 <sup>fb</sup>	65.55±1.79 <sup>cdA</sup>
	8 月	60.12±2.87 <sup>cA</sup>	48.01±1.22 <sup>eb</sup>	59.59±1.19 <sup>eA</sup>	58.40±2.65 <sup>dcA</sup>
	9—10 月	82.59±1.40 <sup>bA</sup>	68.03±2.93 <sup>bb</sup>	77.32±2.27 <sup>bA</sup>	77.55±3.34 <sup>bA</sup>
	11 月	98.27±4.40 <sup>aA</sup>	102.06±1.43 <sup>aA</sup>	98.39±2.25 <sup>aA</sup>	97.88±2.99 <sup>aA</sup>
	12 月	63.68±1.27 <sup>cB</sup>	68.33±1.93 <sup>ba</sup>	70.18±0.52 <sup>cA</sup>	71.05±1.46 <sup>bcA</sup>

注: 同列不同小写字母表示不同月份间差异显著 ( $P<0.05$ ), 同行不同大写字母表示不同处理间差异显著 ( $P<0.05$ )。

Note: Different small letters in the same column indicate the significant difference among different months ( $P<0.05$ ), and different capitals in the same row indicate the significant difference among different treatments ( $P<0.05$ ).

## 2.4 保水处理下橡胶树生理指标的主成分分析

对不同保水处理橡胶树叶片生理指标的检测结果进行主成分分析, 结果见表 5, 前 2 个主成分的特征值大于 1, 其中第 1 主成分的贡献率为 34.43%, 第 2 主成分的贡献率为 34.14%。当主成分贡献率和累计贡献率需大于或等于 85% 时确定主成分个数, 提取 3 个综合指标的贡献率分别为 34.43%、34.14% 和 16.23%, 说明前 3 个主成分可反映原始变量的绝大部分信息。4 个指标的主成分载荷矩阵反映了各指标对此主成分相对大小和作用的方向。在第 1 主成分中, Pro 含量和 SP 含量的载荷权数较高, 均为 0.83; 第 2 主成分中, SS 和 Suc 含量较高, 均为 0.82; 第 3 主成分中, SS 含量和 SP 含量的载荷较高,

分别为 0.47 和 0.34。

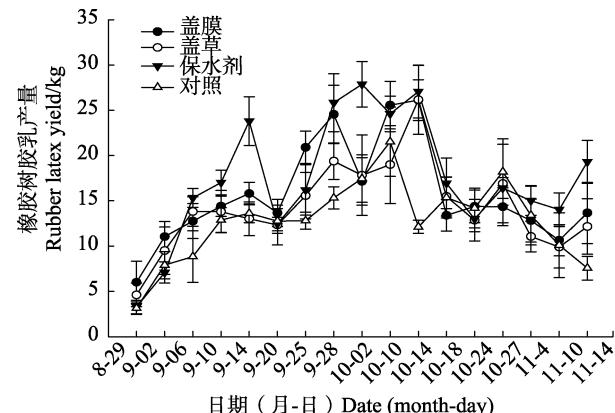


图 3 2014 年试验区橡胶树胶乳产量表

Fig. 3 The rubber latex yield in experiment area in 2014

表 5 保水处理下橡胶树生理指标的主成分分析结果

Tab. 5 Results of principal component analysis of physiological indexes of *H. brasiliensis* leaves under water-retention treatment

主成分 Principal component	载荷矩阵 Loading matrix				特征值 Eigenvalue	贡献率 Contribution rate/%	累计贡献率 Accumulative contribution rate/%
	可溶性蛋白 SP	脯氨酸 Pro	可溶性糖 SS	蔗糖 Suc			
1	0.83	0.83	0.06	0.07	1.38	34.43	34.43
2	-0.09	-0.04	0.82	0.82	1.37	34.14	68.57
3	0.34	-0.33	0.47	-0.45	0.65	16.23	84.80

由于各保水处理的生理指标并非相互独立, 而是相互影响和联系的。因此, 不能只进行单因子分析, 还需对各保水处理在各个月份的 SP ( $X_1$ )、Pro ( $X_2$ )、SS ( $X_3$ )、Suc ( $X_4$ ) 共 4 项指标测定值进行主成分分析, 并进行排序及综合评价。所以用各指标变量的主成分载荷 (表 5) 除以主成分相对应的特征值开平方根, 便得到 3 个主成分中每个指标所对应的系数即特征向量, 以特征向量为权重构建 3 个主成分的表达函数式:  $Z_1=0.70X_1+0.71X_2+0.05X_3+0.06X_4$ ;  $Z_2=-0.08X_1-0.03X_2+0.70X_3+0.71X_4$ ;  $Z_3=0.42X_1-0.41X_2+0.59X_3-0.56X_4$ 。在 3 个表达式中,  $X_1$  为 SP、 $X_2$  为 Pro、 $X_3$  为 SS、 $X_4$  为 Suc,  $Z_1$ 、 $Z_2$  和  $Z_3$  分别为第 1、第 2 和第 3 主成分得分。以各个主成分对应的方差贡献率作为权重, 由主成分得分和对应的权重线性加权求和得到综合评价函数, 按  $Q=(1.38 \times Z_1 + 1.37 \times Z_2 + 0.65 \times Z_3) / (1.38 + 1.37 + 0.65)$ , 计算得出每个月份所有保水处理的综合得分  $Q$  值。因此, 各保水处理综合表现优劣顺序依次为: 添加保水剂、盖草、盖膜、对照; 橡胶树全年中不同生长阶段叶片生理指标综合表现优劣顺序依次为: 12 月、3 月、1—2 月、

11 月、6 月、7 月、9—10 月、8 月、5 月、4 月。

## 3 讨论

橡胶树每年随季节有序地进行抽发、分枝、开花、结果、落叶等生命活动, 有明显的年周期变化规律<sup>[19]</sup>。但由于我国植胶区经常受季风气候的影响, 每年 12 月至翌年 4 月为明显的干季, 在 1—2 月橡胶树基本落叶, 橡胶树在干季处于缓慢生长至增长静止期。一般在橡胶树割胶时期 (4 月) 对水分需求更敏感, 加之此时期气温偏高, 蒸发量大, 湿度减小, 干旱明显, 土壤已严重缺墒, 而水分与橡胶树生长和产胶又有直接的关系。因此, 本研究采用当前使用较多的盖膜、盖草和添加保水剂处理以起到保墒、防止蒸发等作用, 同时还有保护土壤结构、调节地温、提高水分利用效率以缓解季节性干旱造成的损失, 最终改善了土壤的水、肥、气、热等多方面的生态效益<sup>[20-24]</sup>。从本研究结果来看, 采取不同保水处理与对照相比也均提高了土壤含水量, 尤其在干季, 不仅起到保水抗旱作用, 且能有效减缓土壤水分的下降速度。与许多研究结果相似<sup>[25-28]</sup>, 由于地膜不透

气, 减少了土壤表面蒸发; 盖草在土壤表层上形成一道物理隔离层, 不但有效拦截光照, 而且能够阻碍土-气界面的水热传输, 保持了土壤水分; 添加保水剂处理明显改善了土壤通透性, 使土壤处于疏松状态, 也间接提高了土壤含水量。

从各保水处理下橡胶树全年的各项生理指标变化结果来看, 随着橡胶树生长阶段的变化各保水处理橡胶树叶片的 SP、Pro、SS 和 Suc 含量变化趋势也不一致, 各生长阶段下生理指标含量的上下调节表现出了自身的协调能力。总体比较结果来看, 如果采取了保水处理, 将会明显缓解季节性干旱发生期, 尤其干季环境将改变橡胶树的生长期, 比如在秋花期(9—10月)橡胶树积累大量光合产物, 将利于光合速率的提高, 从而为生长期提供充足的物质基础。如果在干季没有采取保水处理, 橡胶树基本在落叶期才积累光合产物, 这暗示着土壤水分增大将影响植株光合作用速率, 使作物加速完成生长, 最终导致生长季提前, 这一现象与几位研究者<sup>[5, 29-31]</sup>的研究结果类似。当然, 各保水处理下橡胶树叶片的 SP、Pro、SS 和 Suc 也随着水热方式的变化而发生变化, 以通过自身渗透调节物质及启动各种生理途径来维持代谢平衡。比如在生产上橡胶树一般在 4 月左右开始割胶, 此时气候干燥、降雨少、相对湿度、年雾时间少等气候的变化, 这对橡胶树的生长非常不利, 将导致橡胶树适宜生长时期也发生了改变。如果在此季节性干旱条件下采取保水措施, 以减少了太阳辐射及土壤表面水分蒸发, 进而能改善植株的生理代谢。从本研究结果也可以看出, 采取盖膜、盖草和添加保水剂处理均会暂时缓解季节性干旱, 因为在干季明显能起到一定的保水抗旱作用, 但保障长期的干旱也是很困难的。因此, 从本研究结果可以推断, 在今后的割胶生产上, 则意味着产胶动态规律与当年的气温和土壤水分有相应的变化, 那么田间管理和割胶时期也需作出相应的调整, 比如在恶劣的季节干旱时期, 需要提前采取保水等处理以缓解季节性干旱对橡胶树生长的不利影响, 并根据橡胶树全年中不同生长阶段叶片生理指标综合表现选择合理的割胶时期, 这样才能使橡胶树避开季节性干旱发生期, 以植株处于正常代谢平衡状态和生长发进而产生更长久的产量效益。

从同一生长阶段比较不同保水处理橡胶树叶片的 SP、Pro、SS 和 Suc 含量结果来看, 其变化幅度及变化趋势在各个阶段有所不同, 直接以各指标的高低含量也难以评判出各处理优劣。因此, 通过主成分分析法将各保水处理的指标代入综合评分模型, 经计算得出各保水处理的综合得分( $Q$ ), 各保水处理优劣顺序依次为: 添加保水剂、盖草、盖膜、对照。可见, 本研究结果也证实了各保水处理的效果尤其在季节性干旱时期效果会更突显。对于添加保水剂处理最明显, 这可能因为添加保水剂不仅增加土壤雨季储水, 而且避免干季大部分土壤储水被蒸散发的原因; 盖草处理表明能使表层土壤处于疏松状态, 截断毛细管, 减少雨滴溅蚀和地表径流冲刷, 能够提高土壤的水分含量; 对于盖膜处理使胶乳产量增加明显, 而生理指标综合表现弱于盖草处理, 这可能因为在雨季地膜使降雨入渗效果不佳, 该时期气温高, 加速了深层土壤水分向上层移动, 增加土壤贮水量, 促进作物的生长发育, 进而提高产量。

从橡胶树胶乳产量分析结果来看, 3 种保水处理均能提高橡胶树胶乳的产量, 以添加保水剂处理最显著, 其次是盖膜处理, 盖草处理表现最低, 其增产原因可能是因为能有效减缓橡胶树割胶期土壤水分下降速度, 将实现了橡胶树胶乳的增产。因为土壤水分是橡胶树生长和产胶量的重要因素<sup>[32]</sup>, 这与很多研究学者的研究结果类似<sup>[33-36]</sup>。目前, 橡胶树产胶量的高低受很多因素的制约, 既取决于胶乳合成的多少, 又取决于胶乳能否顺利排出<sup>[37]</sup>。所以, 各种保水处理能缓解干旱并不断提高橡胶的产量是一个长期适应的过程, 只有不断了解季节性干旱下橡胶树生长期间土壤储水的途径、特点、程度、生理特性等的动态变化, 深刻认识气候变化特征、土壤情况及作物的响应机理方面, 都有待于进一步研究, 以科学的调整橡胶树栽培和管理模式, 才能不断提高天然橡胶生产适应各种气候变化的能力, 为天然橡胶产业合理的生态防御技术的制定提供更好的参考依据。

## 参考文献

- [1] 曾宪海, 安 锋, 谢贵水, 等. 中国橡胶林的水土保持效应[J]. 中国农学通报, 2010, 26(3): 299-305.

- [2] 吴俊. 云南橡胶树气候生态适应性分析[J]. 现代农业科技, 2011(19): 308-309, 320.
- [3] 刘少军, 周广胜, 房世波, 等. 中国橡胶树种植气候适宜性区划[J]. 中国农业科学, 2015, 48(12): 2335-2345.
- [4] 陈瑶. 西双版纳 2009/2010 年秋冬春连旱对橡胶生产的影响[J]. 热带农业科技, 2010, 33(2): 43-46.
- [5] 汤文光, 唐海明, 肖小平, 等. 不同保水措施对南方季节性干旱区春玉米的影响[J]. 中国农业科技导报, 2011, 13(3): 102-107.
- [6] 杨善, 周鸿凯, 谢平, 等. 保水措施对旱坡地甘蔗产量与品质的影响[J]. 热带作物学报, 2016, 37(4): 647-652.
- [7] Ibarra-Jimenez L, Zermeno-Gonzalez A, Munguia-Lopez J, et al. Photosynthesis, soil temperature and yield of cucumber as affected by colored plastic mulch[J]. Acta Agriculture Scandinavica Section B: Soil and Plant Science, 2008, 58(4): 372-378.
- [8] Chakrabarty D, Nagarajan S, Aggarwal P, et al. Effect of mulching on soil and plant water status, and the growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) in a semi-arid environment[J]. Agricultural Water Management, 2008, 95(12): 1323-1334.
- [9] Yang X Q, Sergey B, Carsten M, et al. Climbing the mountain fast but smart: Modelling rubber tree growth and latex yield under climate change[J]. Forest Ecology and Management, 2019, 439: 55-69.
- [10] 原慧芳, 陈国云, 寸明, 等. 不同橡胶品种幼苗对遮荫的生理响应及耐荫能力评价[J]. 西北植物学报, 2014, 34(3): 550-559.
- [11] 原慧芳, 田耀华, 岳海, 等. 不同遮荫度下土沉香幼苗的生理特性响应[J]. 热带作物学报, 2013, 34(2): 314-320.
- [12] 周会平, 魏丽萍, 谢江, 等. 西双版纳橡胶林、澳洲坚果林凋落物动态[J]. 安徽农业大学学报, 2017, 44(3): 422-428.
- [13] 陈建勋, 王晓峰. 植物生理学实验指导[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2002: 31-32, 117-120.
- [14] 高俊风. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 142-143.
- [15] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 195-197.
- [16] 汤文光, 唐海明, 肖小平, 等. 不同保水措施对南方季节性干旱区春玉米的影响[J]. 中国农业科技导报, 2011, 13(3): 102-107.
- [17] 韩瑞宏, 卢欣石, 高桂娟, 等. 紫花苜蓿抗旱性主成分及隶属函数分析[J]. 草地学报, 2006, 14(2): 142-146.
- [18] 韩泽群, 姜波. 加工番茄品种多性状综合评价方法研究[J]. 中国农业科学, 2014, 47(2): 357-365.
- [19] 何康, 黄宗道. 热带北缘橡胶树栽培[M]. 广州: 广东科技出版社, 1987: 8-31.
- [20] 寇江涛, 师尚礼. 垄覆膜集雨对苜蓿草地土壤水分动态及利用效率的影响[J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(1): 47-53.
- [21] 李小刚, 李凤民. 旱作地膜覆盖农田土壤有机碳平衡及氮循环特征[J]. 中国农业科学, 2015, 48(23): 4630-4638.
- [22] 赵聚宝, 李克煌. 干旱与农业[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 254-332.
- [23] 杨永辉, 武继承, 吴普特, 等. 稼秆覆盖与保水剂对土壤结构、蒸发及入渗过程的作用机制[J]. 中国水土保持科学, 2009, 7(5): 70-75.
- [24] 张永涛, 杨吉华, 高伟. 不同保水措施的保水效果研究[J]. 水土保持通报, 2000, 20(5): 46-48.
- [25] 黄占斌, 朱书全, 张铃春, 等. 保水剂在农业改土节水中的效应研究[J]. 水土保持研究, 2004, 11(3): 57-60.
- [26] 李云开, 杨培岭, 刘洪禄. 保水剂农业应用及其效应研究进展[J]. 农业工程学报, 2002, 18(2): 182-187.
- [27] Mulumba L N, Lal R. Mulching effects on selected soil physical properties[J]. Soil and Tillage Research, 2008, 98(1): 106-111.
- [28] 宋宇琴, 李六林, 李洁, 等. 现代土壤管理措施对果园水分的影响[J]. 北京农学院学报, 2015, 30(3): 131-136.
- [29] 吴落霞. 杨树人工林不同措施的保水效应及对林木生长量影响研究[D]. 泰安: 山东农业大学林学院, 2011.
- [30] 孙新素, 龙致炜, 宋广鹏, 等. 气候变化对黄淮海地区夏玉米-冬小麦种植模式和产量的影响[J]. 中国农业科学, 2017, 50(13): 2476-2487.
- [31] 原慧芳, 肖荣才, 黄菁, 等. 东试早柚对不同保水处理的生理响应及综合评价[J]. 浙江农业学报, 2016, 28(4): 586-594.
- [32] 刘金河. 巴西橡胶树的水分状况与生长和产胶量的关系[J]. 生态学报, 1982, 2(3): 217-224.
- [33] 武继承, 管秀娟, 杨永辉. 地面覆盖和保水剂对冬小麦生长和降水利用的影响[J]. 应用生态学报, 2011, 22(1): 86-92.
- [34] 宗萍萍, 杨吉华, 史秀娟, 等. 不同旱作保水措施对龙廷杏梅园地土壤水环境调控效应的影响研究[J]. 水土保持研究, 2009, 16(3): 169-173.
- [35] 黄伟, 张俊花, 朱贵鹏, 等. 保水剂不同施用方式对马铃薯生长和产量的影响[J]. 生态学杂志, 2015, 34(1): 1-8.
- [36] 张锦朝, 孙敏, 高志强, 等. 旱地小麦休闲期覆盖保水与产量构成因素的关系[J]. 生态学杂志, 2015, 34(4): 1004-1012.
- [37] 李国尧, 王权宝, 李玉英, 等. 橡胶树产胶量影响因素[J]. 生态学杂志, 2014, 33(2): 510-517.