

星油藤在桂西南石漠化地区的生长适应性

黄甫昭¹, 吕仕洪^{1*}, 唐建维², 潘争红³, 宁德生³, 李先琨¹, 姚月锋¹

¹广西壮族自治区广西植物研究所/广西喀斯特植物保护与恢复生态学重点实验室, 广西 桂林 541006;
中国科学院

²中国科学院 西双版纳热带植物园/热带植物资源可持续利用重点实验室, 云南 勐腊 666303;

³广西壮族自治区广西植物研究所/广西植物功能物质研究与利用重点实验室, 广西 桂林, 541006)
中国科学院

摘要:【目的】观测油料植物星油藤(*Plukenetia volubilis*) 在桂西南石漠化地区的生长适应性, 为其在桂西南石漠化地区的种植和推广提供参考。【方法】2013~2015年在广西平果县龙何生态重建示范区开展星油藤引种栽培试验, 观测其种子萌发、幼苗生长、开花结实、种子性状和越冬情况等特性。【结果】星油藤种子从播种到萌发结束历时36 d, 发芽率达93.8%, 幼苗主蔓最大旬生长量达106.3 cm, 从播种到现蕾约需150 d, 从现蕾到果实成熟需要125~140 d, 花(果)期持续时间4~5个月, 种植第1年果实无法自然成熟, 第2年之后果实可自然成熟。星油藤种植3年内, 随着植株年龄的增加, 星油藤的始花期、盛花(果)期和果实始熟期等均明显提前, 植株受寒害程度逐渐降低, 种子单粒重、出仁率和含油率逐渐增加。【结论】在桂西南石漠化地区种植星油藤, 应选择广西平果县龙何生态重建示范区以南极端低温更高的地区进行种植, 或通过技术手段筛选和培育抗寒品种。

关键词: 星油藤; 石漠化; 生长性状; 适应性; 桂西南

中图分类号: S565.9

文献标志码: A

文章编号: 2095-1191(2017)10-1769-07

Adaptability of *Plukenetia volubilis* in karst rocky desertification area in southwest Guangxi

HUANG Fu-zhao¹, LYU Shi-hong^{1*}, TANG Jian-wei², PAN Zheng-hong³,
NING De-sheng³, LI Xian-kun¹, YAO Yue-feng¹

¹Guangxi Institute of Botany, Guangxi Zhuang Autonomous Region and Chinese Academy Science/Guangxi Key Laboratory of Plant Conservation and Restoration Ecology in Karst Terrain, Guilin, Guangxi 541006, China;

²Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences/Key Laboratory of Tropical Plant Resource and Sustainable Use, Mengla, Yunnan 666303, China; ³Guangxi Institute of Botany, Guangxi Zhuang Autonomous Region and Chinese Academy Science/Guangxi Key Laboratory of Plant Functional Materials Research and Utilization, Guilin, Guangxi 541006, China)

Abstract: 【Objective】Growth adaptability of oil plant, *Plukenetia volubilis* Linneoin karst rocky desertification area in southwest Guangxi was observed to provide scientific reference for its cultivation and promotion in rocky desertification area in southwest Guangxi. 【Method】A series of experiments on the introduction and cultivation of *P. volubilis* were conducted in Longhe ecological reconstruction demonstration zone, Pingguo County, Guangxi from 2013 to 2015. The characteristics of seed germination, seedling growth, flowering, fruiting, seed traits and overwintering were investigated and analyzed. 【Result】It lasted 36 d from seeding to the end of germination for *P. volubilis* seeds with germination rate of 93.8%. The maximum increment of main stem of seedlings was 106.3 cm. It took about 150 d for budding since seeding, and another 125-140 d for fruit ripening. The period of flowering and fruiting lasted 4-5 months, but the fruit could not naturally ripen in the first year of cultivation. It had to wait till the second year. Dates of early flowering, full flowering (fruit) and fruit ripening of *P. volubilis* became earlier with growing age of plant within the first three years. Meanwhile, severity of cold damage gradually declined, while single seed weight, kernel rate, and oil content increased. 【Conclusion】To cultivate *P. volubilis* in karst rocky desertification area in southwest Guangxi, it is more suitable to choose areas in south of Longhe demonstration zone, pingguo, Guangxi where extreme low temperature is higher than other areas, or to select and breed cold resistant varieties through technical measures.

Key words: *Plukenetia volubilis*; rocky desertification; growth trait; adaptability; southwest Guangxi

收稿日期: 2017-04-13

基金项目: 国家自然科学基金项目(31360151); 国家重点研发计划项目(2016YFC0502405); 中国科学院热带植物资源可持续利用重点实验室开放基金项目(TPR2015); 广西自然科学基金项目(2016GXNSFBA380122)

作者简介: *为通讯作者, 吕仕洪(1967-), 副研究员, 主要从事植物资源利用与恢复生态学研究, E-mail: lshh@gxib.cn。黄甫昭(1985-), 主要从事生物多样性与恢复生态学研究, E-mail: fuzhaoh@gxib.cn

0 引言

【研究意义】桂西南地区是广西石漠化分布面积最大、生态环境退化最严重的地区,其生态重建难度在我国乃至世界均具有代表性(熊平生等,2011)。在该地区进行植被修复时,筛选适生、高效的植物种类对构建高效复合农林经营模式具有举足轻重的作用。经过多年的不断探索和实践,桂西南石漠化山区已成功引种了火龙果(*Hylocereus undulatus*)、任豆(*Zenia insignis*)和苦丁茶(*Ilex latifolia*)等优良品种(李先琨等,2005),并构建了一些具有地方特色且效果显著的治理模式(蒋忠诚等,2009)。但随着研究的逐渐深入,发现这些模式或多或少都存在局限性,需引入新的植物种类,构建新的恢复模式以推进该地区的植被修复。木质藤本植物根系较深,能够利用深层地下水,对于旱和强光的适应能力较强,且藤蔓植物生长迅速、枝叶丰厚、生物量大,能迅速覆盖裸岩改善生境条件,是石漠化地区植被恢复的理想材料(曹坤芳等,2014)。星油藤(*Plukenetia volubilis*)又名印加果,是一种用途多、见效快的木质藤本油料植物(蔡志全等,2011)。星油藤油由于组分优良、营养品质高,被认为是世界上最好的植物油之一,多次获得世界食用油博览会金奖(蔡志全,2011)。2006年,西双版纳热带植物园首次将星油藤引入我国,并在云南和贵州开展种植研究。广西与云南接壤,同属热带向亚热带过渡区,气候条件相似,具有发展星油藤的潜力,但截至目前广西尚未开展有关星油藤的研究,星油藤是否适宜在桂西南石漠化地区种植还不得而知。因此,在桂西南石漠化地区开展星油藤的适应性研究,可为桂西南石漠化山区及其相邻地区种植星油藤提供参考,同时对构建与石漠化环境相宜、促进石漠化地区经济发展的复合农林经营模式具有重要意义。【前人研究进展】星油藤引入我国之后,研究人员从种子萌发特性、抗寒性和种子性状等方面对其开展了相关研究。焦冬英等(2011)研究表明,星油藤种子对温度非常敏感,温度在15℃以下,种子萌发率低于10%,温度在15~25℃,种子萌发率为10%~60%;温度在25~35℃,种子萌发率在95%以上。焦冬英等(2011)、张燕等(2012)研究表明,星油藤在云南西双版纳和黔东南地区均可正常生长并结果,其果实西双版纳每年均能正常成熟,在黔东南低热河谷区种植时,虽能正常生长开花结果,但当气温低于5℃时,果实大多不能成熟。张可元等(2012)在黔东南进行星油藤田间播种育苗试验,发现种子萌发率高达90%以

上。星油藤原生于南美洲热带雨林,属于热带植物,对温度敏感,温度低于5℃时,易受寒害,通过叶面喷施脱落酸可提高星油藤的冷害抗性,同时可提高其耐旱性(罗银玲等,2014;苏志龙等,2015)。在西双版纳地区,星油藤单株的总生物量、果实生物量、地上部生物量、地下部生物量和叶面积指数均随海拔升高而减小,比叶面积则随海拔升高而增大,种子产量随海拔升高而降低,但种子的脂肪酸、蛋白质和多酚含量差异不显著(焦冬英等,2016)。【本研究切入点】云南和贵州已成功引种星油藤,并逐步进行推广种植。广西与云南、贵州接壤,自然条件相似,具有发展星油藤的潜力。同时,桂西南广阔的石漠化地区需要筛选更多具有经济价值的物种用于石漠化治理,但目前星油藤是否适宜在广西石漠化地区种植还是未知数。【拟解决的关键问题】观测星油藤在桂西南石漠化地区的种子萌发、幼苗生长、开花结实、种子性状和受寒害程度,评估其在桂西南地区的适应性,为桂西南石漠化山区及其相邻地区星油藤的深入研究和推广种植提供参考。

1 材料与方 法

1.1 试验区概况

试验在广西平果县果化镇龙何生态重建示范区(东经107°23'20",北纬23°23'04")进行,示范区属典型峰丛洼地地貌,毗邻右江河谷,属南亚热带季风气候,年均气温19.1~22.0℃,极端高温38.8℃,极端低温-1.3℃,>10℃的年积温7465.6℃;年降水量1369.9 mm,5~8月约占年降水量的70%,9月~翌年4月占30%,春旱和秋旱较普遍和严重,是广西旱灾发生频率较高的地区之一(吕仕洪等,2016)。

1.2 播种与移植

2013年3月底,星油藤种子(由西双版纳热带植物园提供)经40℃水浸泡12 h后稍作晾干直接点播到塑料营养袋中进行萌发试验,每袋1粒,播种深度1.5~2.0 cm。种子点播后,将营养袋植入宽1.5 m、高10 cm的苗床中,用水浇透,并在其表面薄盖一层干草。

5月初,苗高10~15 cm时采用棚架和篱壁2种方式进行移植。棚架式主要选择面积较大的梯地,于移苗前用方形水泥柱、镀锌铁线和竹片等材料搭建高160 cm、与地面平行的支撑棚架,柱子间距3 m×3 m,将幼苗移植在距离水泥柱基部15~20 cm处,每根柱2株。篱壁式是利用两块梯地之间的石壁或其他出露裸岩,将幼苗定植在距石壁基部约30 cm处,每坑2株,坑间距3 m。定植坑宽30 cm、深25 cm,每

坑施农家肥2.5 kg。2013年5月23日和6月5日,每株淋施0.5%尿素水250 mL,6月中旬~9月施用复合肥(N、P、K总有效含量>45%,下同),每株施肥量逐月增加(10~20 g)。2014年3月和2015年3月,每株沟施2.5 kg农家肥+25.0 g复合肥,并在每年的5月、7月和9月各施1次复合肥,每株50.0 g。

1.3 生长特性与寒害观测

2013年5月底,在2种定植方式中各随机选择20株挂牌标记,用皮尺测量各株苗木的株高,当年的6月和7月的上、中、下旬各测定1次主蔓长度,进入8月以后绝大多数主蔓已停止生长,因此未继续监测,期间部分植株出现断梢或枯死,其数据最后不作统计分析。2013~2015年,连续3年观察记录星油藤开花结实情况,包括始花期、盛花期和果实成熟期等。

寒害观测主要观察和记录星油藤植株越冬受害情况,并根据叶片、枝条和整株的受害程度,将其受害程度划分为5个等级,各受害等级划分标准如下:

I级:落叶量不超过50%,枝条基本不受害或少量受害。

II级:落叶量大于50%,枝条受害(干枯)率小于30%。

III级:叶片全部脱落,枝条受害率30%~70%,部分主枝仍具有萌蘖能力。

IV级:枝条受害率超过70%,仅主茎仍具有萌蘖能力。

V级:整株死亡。

1.4 种子性状测定

种子性状主要测定龙何试验区采收的种子和西双版纳热带植物园提供种子的基本形状及含油率。随机抽取种子100粒,依次测定种子的单粒重、长度、宽度和种仁重量等,据此计算种子空粒率和种子出仁率,种子出仁率(%)=种仁重量/种子重量×100;参照GB/T 14488.1-2008测定种仁含油率,种仁含油率(%)=种仁含油重量/种仁重量×100。种子和种仁的重量用电子天平(DT~200 A,精确度0.01 g)测

定,种子长度、宽度和厚度用数显游标卡尺测定,种仁含油量测定采用索氏提取法(姚小华等,2013)。

1.5 数据处理

采用SPSS 17.0的t检验法对棚架和篱壁2种植方式主蔓的月净生长量和总生长量进行差异显著性分析,采用Origin pro 8.6制图。

2 结果与分析

2.1 星油藤种子萌发与生长特征

据观察,种子在播种后第19 d开始发芽露土,第24 d和第29 d分别出现子叶和真叶(表1),第36 d(5月2日)种子发芽基本结束,总发芽率达93.8%(1126株)。由图1可看出,棚架式种植的星油藤从种子萌发至7月中旬,主蔓生长速度逐渐加快,7月中旬达最大值,净生长量为106.3 cm,7月中旬以后生长速度急剧下降;篱壁式种植的星油藤从种子萌发至6月下旬,主蔓生长速度逐渐加快,6月下旬达最大值,净生长量为49.1 cm,6月下旬以后生长速度逐步下降(图1-A)。进入8月后,不管棚架式还是篱壁式种植,绝大多数星油藤植株的主蔓已停止生长并有枯梢出现,由此转入分枝的快速生长期。7月之前,篱壁式种植的星油藤主蔓净生长量高于棚架式种植的星油藤主蔓净生长量,而7月之后,后者高于前者(图1-A)。因此,7月上旬之前,篱壁式种植的星油藤主蔓总长度大于棚架式种植的星油藤主蔓总长度,7月上旬之后,随着棚架式种植的星油藤净生长速度加快,棚架式种植的星油藤主蔓总长度逐渐超过篱壁式(图1-B)。

2.2 星油藤开花结实特性

星油藤种植第1年,从播种到现蕾约5个月,8月底进入始花期,10月进入盛花期,此时花和果同时出现于植株之上(表1和图2),但该年最终未收获到成熟的果实。2014年11月果实开始成熟,2015年10月上旬果实开始成熟,这两年均收获到自然成熟的果实。2013~2015年,星油藤在不同年份的始花期、盛

表 1 星油藤种子萌发及物候期

Table 1 Seed germination and phenological phase of *P. volubilis*

年份 Year	播种时间 (月-日) Sowing time(M-D)	发芽露土 时间(月-日) Germination time(M-D)	子叶出现时间(月-日) Cotyledon emergence time(M-D)	真叶出现 时间(月-日) Euphylla emergence time(M-D)	萌芽期 (月-日) Sprouting period(M-D)	始花期 (月-日) Early flowering period(M-D)	盛花(果) 期(M) Full flowering (fruit)period(月)	果实始熟期 (月-日) Fruit ripening period(M-D)
2013	03-27	04-15	04-20	04-25	-	08-26	10	-
2014	-	-	-	-	03-10~03-20	06-12	9	11-01~11-10
2015	-	-	-	-	02-21~02-28	05-23	11	10-01~10-10

“-”表示该年份此项数据未进行记录

“-”indicated that the data was not recorded in this year

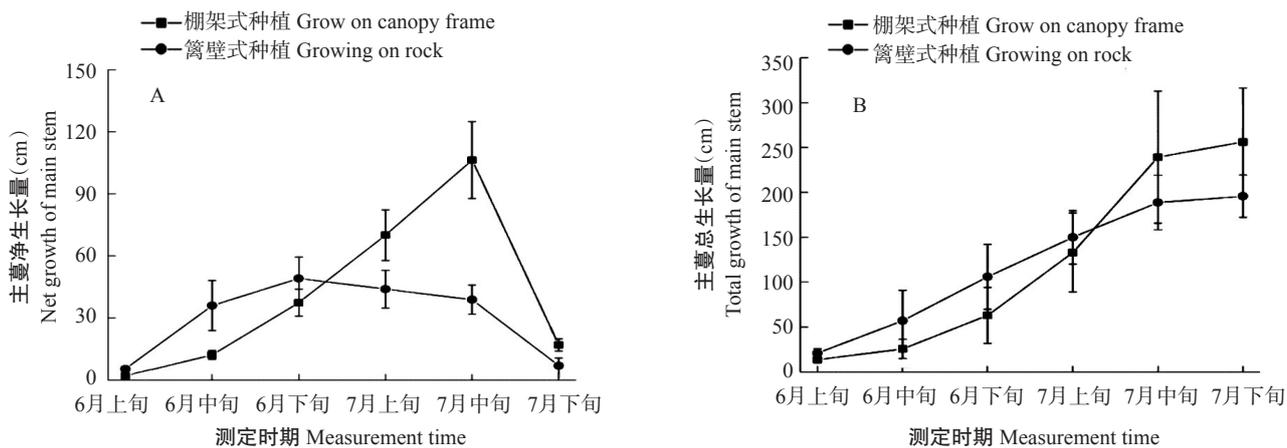


图 1 星油藤主蔓生长动态
Fig.1 Growth dynamics of main stems in *P. volubilis*

花(果)期和果实始熟期等均存在明显差异,基本特点是随着植株年龄的增加,星油藤的始花期、盛花(果)期和果实始熟期明显提前,以始花期为例,2014和2015年分别较2013年提前了75和95 d。星油藤花

期和果实生长期较长,从现蕾至开花需4~5 d,8~10 d后幼果形成,25~30 d后果实开始膨大并进入快速生长期,125~140 d果实成熟,每年的花(果)期持续时间4~5个月。



图 2 星油藤开花结实状况
Fig.2 Blooming and fruiting of *P. volubilis*

2.3 星油藤寒害情况

观察发现,当最低气温降至10℃以下时,星油藤开始出现寒害,且随着最低气温的下降或低温延续,寒害情况愈加明显和严重。星油藤寒害首先从嫩梢(顶芽)开始,即最低气温不足10℃时嫩梢(顶芽)和嫩叶发生萎焉,之后随着气温持续下降或低温延续,依次出现成熟叶片叶缘卷曲、叶片黄化和脱落、果实(主要是未成熟的果实)脱落和枝条干枯等现象,严重时会导致整株死亡。据统计,2013~2014年冬季星油藤植株受害率达100.00%,受害等级均在III级(重度受害)以上,其中死亡率(V级)高达24.29%;2014~2015年,I级和II级(轻、中度受害)受

害率占15.43%,III级和IV级受害率占84.57%,死亡率为0(表2)。2014~2015年受害程度明显轻于2013~2014年,表明2年生植株的抗寒能力比1年生时有明显提高。

2.4 星油藤种子性状

2014和2015年在龙何试验区均收获了自然成熟的星油藤果实。由表3可看出,与西双版纳收获的种子相比,龙何试验区收获种子的各项性状均稍差,其中种子的单粒重、平均长度、平均宽度和平均厚度在两产地间存在极显著差异($P < 0.01$,下同)。据测定,龙何试验区2014和2015年的种子单粒重分别为0.16~1.13和0.30~1.48 g,种子长度分别为16.61~21.94

表 2 星油藤寒害情况统计表

Table 2 Statistics of cold injury in *P. volubilis*

调查时间 (Y-M) Investigation time	调查株数 Investiga- tion number	寒害等级及数量 Cold damage grade and number									
		I		II		III		IV		V	
		株数 Number	百分比(%) Percentage	株数 Number	百分比(%) Percentage	株数 Number	百分比(%) Percentage	株数 Number	百分比(%) Percentage	株数 Number	百分比(%) Percentage
2014-03	630	0	0	0	0	69	10.95	408	64.76	153	24.29
2015-02	460	5	1.09	66	14.34	251	54.57	138	30.00	0	0

和 17.09~22.25 mm, 种子宽度分别 13.75~19.69 和 13.78~17.79 mm, 种子厚度分别为 5.73~9.75 和 6.75~9.71 mm, 种子出仁率分别为 0~64.60% 和 0~72.64%, 种仁含油率分别为 48.16% 和 57.50%, 不同年份的单粒重、平均长度和平均出仁率存在极显著差异, 其中

单粒重、平均出仁率和种仁含油率等 3 个表征种子质量的指标, 2015 年分别是 2014 年的 1.75、1.83 和 1.19 倍, 表明 2015 年的种子质量明显优于 2014 年, 而其平均出仁率与西双版纳的种子差异不显著 ($P>0.05$), 种仁含油率与西双版纳的也较接近。

表 3 星油藤种子性状

Table 3 Seed traits of *P. volubilis*

产地 Origin	年份 Year	种子性状 Seed trait						
		单粒重(g) Single seed weight	长度(mm) Length	宽度(mm) Width	厚度(mm) Thickness	空粒率(%) Empty seed rate	出仁率(%) Kernel rate	种仁含油率(%) Rate of kernel oil
		西双版纳 Xishuangbanna	2012	1.18±0.28aA	20.61±1.29aA	17.25±1.19aA	9.10±0.57aA	3.0
龙何 Longhe	2014	0.56±0.19bB	19.72±1.12bB	16.28±1.15bB	8.20±0.89bB	16.0	31.47±17.13cB	48.16
龙何 Longhe	2015	0.98±0.27cC	19.23±0.99cC	16.04±0.82bB	8.39±0.53bB	5.0	57.60±19.27bA	57.50

同列数据后不同大、小写字母分别表示差异达极显著 ($P<0.01$) 和显著 ($P<0.05$)

Different uppercase letters in the same column represented extremely significant difference ($P<0.01$), and lowercase letters in the same column represented significant difference ($P<0.01$)

3 讨论

种子萌发阶段是植物对环境胁迫抵抗力最弱的时期, 也是植物适应环境变化以维持自身繁衍的重要过程, 关系着种群的繁殖、维持和扩展, 任何不利于种子萌发的因素均会直接影响到植物种群的维持和更新(焦冬英等, 2011)。许多植物引种成功, 关键在于克服了种子萌发与幼苗定居中出现的各种障碍(殷现伟等, 2002)。焦冬英等(2011)研究表明, 低温通过影响星油藤种子的生理生化特性而使其萌发率降低, 温度成为影响星油藤种子萌发的关键因子。桂西南石漠化地区, 虽然同期温度稍低于西双版纳地区, 但 3~4 月星油藤种子不需进行任何特殊处理, 常温下 20 d 左右便可发芽露土, 30 d 出现真叶, 35 d 种子发芽基本结束, 发芽率达 93.83%。由此可见, 星油藤种子在桂西南地区可在常温下正常萌发, 种子萌发不存在温度限制。

往高纬度地区引种原产低纬度地区的植物, 低温除了影响种子萌发外, 也会限制植物生长发育(Thakur et al., 2010)。星油藤原产于南美洲热带雨林地区, 喜温喜光, 生长迅速, 能在一定的海拔和气温范围内生长(蔡志全等, 2011; Chirinos et al., 2013), 其植株生长量和种子产量与光照和气温等密切相关(Cai et al., 2012; Jiao et al., 2012; Yang et al., 2014)。

光照强度减弱会使星油藤始花期延后、开花量和果实产量下降(Cai, 2011)。而当气温达 10 °C 左右或低于 5 °C 时, 星油藤的叶片会受害或果实不能正常成熟(王晓敏和张燕, 2014; Lei et al., 2014)。桂西南石漠化山区地处南亚热带及以南区域, 光照强烈, 降水尚多, >10 °C 的年积温达 7465.6 °C, 但季节性温差较大, 极端低温有时可低至 5 °C 以下。在广西平果县龙何生态重建示范区种植的星油藤表现出种子发芽率高、苗期生长迅速、开花结实量大、果实生长期长和对低温敏感等特性, 如 2015~2016 年, 龙何示范区遭遇了 30 年一遇的极端低温并出现降雪, 星油藤死亡率高达 70%, 而 2016~2017 年适逢暖冬, 绝大部分植株未受害。此外, 虽然星油藤在龙何示范区的结实量较大, 但因结实高峰期处于气温变幅较大的中秋以后, 大部分果实不能正常成熟, 使得种子产量较低。星油藤种植 3 年内, 生长发育性状逐渐变化, 抗寒能力和种子质量随植株年龄增加呈提高趋势, 适应能力随其植株年龄增大而增强。种植的第 3 年, 种子单粒重、种仁含油率与西双版纳的种子接近。

经济植物生长发育除受气候和土壤影响外, 还与种植方式等密切相关(王晓敏等, 2015)。本研究发现, 7 月以前篱壁式种植的星油藤主蔓生长速度大于棚架式, 进入 7 月之后, 则表现为棚架式的生长速

度大于篱壁式,且主蔓的总长度也是棚架式大于篱壁式。此外,棚架式的单个植株或单位覆盖面积的开花和结果数量均明显高于篱壁式。这可能是7月之前气温和光照强度相对较低,石壁的高反射率使得其附近的气温、光照强度高于开阔地的棚架,进而使篱壁式种植的生长速度大于棚架式。进入7月后,随着光照强度和气温的增高,光照和气温不再成为星油藤生长的限制因子,而棚架式良好的通风、透光性使得星油藤能够快速生长发育,进而棚架式种植的生长速度、主蔓长度和开花结果数量均高于篱壁式。本研究还发现,星油藤耐旱能力较强,病虫害少,即使是在土层瘠薄的梯地和石窝地生境中亦能生长,能在较短时间内迅速覆盖地表,可减少水土流失并改善微环境气候。考虑到石漠化地区土壤零星分布,具有大量的裸露岩石,为兼顾经济和生态效益,不同的立地条件应采用不同的种植模式,从而充分利用各种资源。

4 结论

星油藤在广西平果县龙何生态重建示范区种植时可正常萌发生长并开花结实,但受冬季低温尤其是极端低温及其持续时间的影响,植株会受到不同程度的寒害,植株的受寒害程度会随其年龄的增加逐渐降低。因此,在桂西南石漠化地区种植星油藤,应选择广西平果县龙何生态重建示范区以南的气温更高,特别是极端低温更高的地区进行种植,或通过实生选种、芽变选种、杂交育种、诱变育种等技术手段筛选和培育抗寒、高产的优良品种,并在抗寒剂筛选与高产栽培模式等方面开展更深入的研究。

参考文献:

蔡志全. 2011. 特种木本油料作物星油藤的研究进展[J]. 中国油脂, 36(10): 1-6. [Cai Z Q. 2011. Advance in research on a special woody oilseed crop of *Plukenetia volubilis* L[J]. China Oils and Fats, 36(10): 1-6.]

蔡志全, 杨清, 唐寿贤, 刀祥生. 2011. 木本油料作物星油藤种子营养价值的评价[J]. 营养学报, 33(2): 193-195. [Cai Z Q, Yang Q, Tang S X, Dao X S. 2011. Nutritional evaluation in seeds of a woody oil crop *Plukenetia Volubilis* linneo[J]. Acta Nutriment Sinica, 33(2): 193-195.]

曹坤芳, 付培立, 陈亚军, 姜艳娟, 朱师丹. 2014. 热带岩溶植物生理生态适应性对于南方石漠化土地生态重建的启示[J]. 中国科学: 生命科学, 44(3): 238-247. [Cao K F, Fu P L, Chen Y J, Jiang Y J, Zhu S D. 2014. Implications of the ecophysiological adaptation of plants on tropical karst habitats for the ecological restoration of desertified rocky lands in southern China[J]. Scientia Sinica

(Vitae), 44(3): 238-247.]

蒋忠诚, 李先琨, 曾馥平, 邱泗杰, 邓艳, 罗为群, 覃小群, 谢运球, 蓝芙宁. 2009. 岩溶峰丛山地脆弱生态系统重建技术研究[J]. 地球学报, 2009, 30(2): 155-166. [Jiang Z C, Li X K, Zeng F P, Qiu S J, Deng Y, Luo W Q, Qin X Q, Xie Y Q, Lan F N. 2009. Study of fragile ecosystem reconstruction technology in the karst peak-cluster mountain[J]. Acta Geoscientia Sinica, 30(2): 155-166.]

焦冬英, 谭运红, 唐寿贤, 刀祥生, 蔡志全. 2011. 星油藤种子萌发的生态学特性研究[J]. 热带亚热带植物学报, 19(6): 529-535. [Jiao D Y, Tan Y H, Tang S X, Dao X S, Cai Z Q. 2011. Ecological Characteristics of Germination of *Plukenetia volubilis* seeds[J]. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 19(6): 529-535.]

焦冬英, 杨春, 蔡传涛, 蔡志全. 2016. 不同海拔高度对星油藤叶片特性、植株生长及种子成分的影响[J]. 热带作物学报, 37(2): 365-371. [Jiao D Y, Yang C, Cai C T, Cai Z Q. 2016. Leaf traits, plant growth and seed chemicals of *Plukenetia volubilis* cultivated along an altitude gradient [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 37(2): 365-371.]

李先琨, 吕仕洪, 蒋忠诚, 何成新, 陆树华, 向悟生, 欧祖兰. 2005. 喀斯特峰丛区复合农林系统优化与植被恢复试验[J]. 自然资源学报, 20(1): 92-98. [Li X K, Lü S H, Jiang Z C, He C X, Lu S H, Xiang W S, Ou Z L. 2005. Experiment on vegetation rehabilitation and optimization of agro-forestry system in karst Fengcong depression (Peak Cluster) area in Western Guangxi, China[J]. Journal of Natural Resources, 20(1): 92-98.]

罗银玲, 苏志龙, 崔现亮, 李孙洋, 兰芹英. 2014. 外源ABA提高星油藤幼苗抗冷害能力的探讨[J]. 云南大学学报(自然科学版), 36(6): 936-941. [Luo Y L, Su Z L, Cui X L, Li S Y, Lan Q Y. 2014. An investigation of exogenous abscisic acid on improving chilling tolerance of the seedlings of sacha inchi (*Plukenetia volubilis*) [J]. Journal of Yunnan University (Natural Sciences Edition), 36(6): 936-941.]

吕仕洪, 黄甫昭, 陆树华, 徐广平, 曾丹娟, 李先琨. 2016. 桂西南石漠化山区灌草丛对青冈和蒜头果直播造林的影响[J]. 植物科学学报, 34(1): 38-46. [Lü S H, Huang F Z, Lu S H, Xu G P, Zeng D J, Li X K. 2016. Effects of Shrub-grass on direct seeding of *Cyclobalanopsis glauca* and *Malaria oleifera* in rocky desertification mountains in southwest Guangxi[J]. Plant Science Journal, 34(1): 38-46.]

苏志龙, 罗银玲, 毕廷菊, 罗娅婷, 赵艳, 兰芹英. 2015. 叶面喷施脱落酸对提高星油藤幼苗耐旱性研究[J]. 云南农业大学学报, 30(2): 239-244. [Su Z L, Luo Y L, Bi T J, Luo Y T, Zhao Y, Lan Q Y. 2015. Spraying of abscisic acid on the leaf improved drought resistance of *Plukenetia volubilis* seedling[J]. Journal of Yunnan Agricultural University, 30(2): 239-244.]

王晓敏, 张燕. 2014. 低温胁迫对新型油料植物星油藤的影响

- 初探[J]. 浙江农业科学, (11):1691-1692. [Wang X M, Zhang Y. 2014. The effect of low temperature stress on a new-style oilseed crop *Plukenetia volubilis* L [J]. Zhejiang Agricultural Sciences, (11):1691-1692.]
- 王晓敏, 张燕, 李小林. 2015. 特种油料植物星油藤不同定植方式生长规律研究[J]. 湖北农业科学, 54(4):903-905. [Wang X M, Zhang Y, Li X L. 2015. Growth rhythm of *Plukenetia volubilis* with different plantation pattern [J]. Hubei Agricultural Sciences, 54(4):903-905.]
- 熊平生, 袁道先, 谢世友. 2011. 我国南方岩溶山区石漠化基本问题研究进展[J]. 中国岩溶, 29(4):355-362. [Xiong P S, Yuan D X, Xie S Y. 2011. Progress of research on rocky desertification in South China Karst Mountain [J]. Carsologica Sinica, 29(4):355-362.]
- 姚小华, 王开良, 黄勇, 任华东. 2013. 小果油茶不同居群种仁含油率及脂肪酸组分变异特征分析及评价[J]. 林业科学研究, 26(5):533-541. [Yao X H, Wang K L, Huang Y, Ren H D. 2013. Analysis and evaluation on variation characteristics of oil content and fatty acid composition of *Camellia meiocarpa* populations [J]. Forest Research, 26(5):533-541.]
- 殷现伟, 常杰, 葛滢, 关保华, 樊梅英, 邱英雄. 2002. 濒危植物明党参与非濒危种峨参种子休眠和萌发比较[J]. 生物多样性, 10(4):425-430. [Yin X W, Chang J, Ge Y, Guan B H, Fan M Y, Qiu Y X. 2002. A comparison of dormancy and germination of seeds between an endangered species, *Changium smyrnioides*, and a non-endangered species, *Anthriscus sylvestris* [J]. Biodiversity Science, 10(4):425-430.]
- 张可元, 宋泽霜, 龙英, 潘应立, 韦建兴, 张燕. 2012. 特色油料植物星油藤种子育苗技术初探[J]. 农业研究与应用, (5):63-64. [Zhang K Y, Song Z S, Long Y, Pan Y L, Wei J X, Zhang Y. 2012. Research seed-seedlings technique on a special oilseed crop *Plukenetia volubilis* L [J]. Agricultural Research and Application, (5):63-64.]
- 张燕, 龚德勇, 刘清国, 王晓敏, 张可元. 2012. 星油藤在贵州低热河谷区的适应性观察[J]. 农业研究与应用, (6):21-23. [Zhang Y, Gong D Y, Liu Q G, Wang X M, Zhang K Y. 2012. Adaptability of *Plukenetia volubilis* Linneo in low and hot valley in Guizhou [J]. Agricultural Research and Application, (6):21-23.]
- Cai Z Q. 2011. Shade delayed flowering and decreased photosynthesis growth and yield of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis*) plants [J]. Industrial Crops and Products, 34(1):1235-1237.
- Cai Z Q, Jiao D Y, Tang S X, Dao X S, Cai C T. 2012. Leaf photosynthesis, growth and seed chemicals of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis*) plants cultivated along an altitude gradient [J]. Crop Science, 52(4):1859-1867.
- Chirinos R, Zuloeta G, Pedreschi R, Mignolet E, Larondelle Y, Campos D. 2013. Sacha inchi (*Plukenetia volubilis*): A seed source of polyunsaturated fatty acids, tocopherols, phytosterols, phenolic compounds and antioxidant capacity [J]. Food Chemistry, 141(3):1732-1739.
- Jiao D Y, Xiang M H, Li W G, Cai Z Q. 2012. Dry-season irrigation and fertilisation affect the growth, reproduction, and seed traits of *Plukenetia volubilis* L. plants in a tropical region [J]. Journal of Horticultural Science & Biotechnology, 87(4):311-316.
- Lei Y B, Zheng Y L, Dai K J, Duan B L, Cai Z Q. 2014. Different responses of photosystem I and photosystem II in three tropical oilseed crops exposed to chilling stress and subsequent recovery [J]. Trees, 28(3):923-933.
- Thakur P, Kumara S, Malika J A, Berger J D, Nayyar H. 2010. Cold stress effects on reproductive development in grain crops: An overview [J]. Environmental and Experimental Botany, 67(3):429-443.
- Yang C, Jiao D Y, Geng Y J, Cai C T, Cai Z Q. 2014. Planting density and fertilisation independently affect seed and oil yields in *Plukenetia volubilis* L. plants [J]. Journal of Horticultural Science & Biotechnology, 89(2):201-207.

(责任编辑 王 晖)