

云南元江干热河谷乳油木 (*Vitellaria paradoxa*) 的物候特征及开花同步性*

吴丽情^{1,2}, 裴盛基¹, 王以静³, 杨慧钊^{1,2}, 王正洪^{1,2}, 许建初^{1**}

(1. 中国科学院昆明植物研究所, 资源植物与生物技术重点实验室, 云南 昆明 650201;

2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 云南省元江县林业站, 云南 元江 653300)

摘要:【目的】乳油木 (*Vitellaria paradoxa* C.F.Gaertn.) 是原产于非洲的一种重要木本油料植物, 20 世纪 60 年代引入云南元江种植, 本研究对乳油木引种驯化物候进行观测, 为其在西南干热河谷地区的推广奠定基础。【方法】2019 年, 对元江干热河谷引进种植的 100 株乳油木进行展叶、开花和结实物候观察, 分析其物候特征以及开花同步性。【结果】乳油木的叶片簇生于枝条顶部, 成熟时为深绿色, 新老叶片的更替现象遍布全年; 花朵与叶片的簇生方式一样, 成熟时花冠为卵形多裂, 花瓣为白色, 全缘, 开花起始及结束时间分别为 3 月初—8 月初, 持续时间约 6 个月; 果实成熟时的颜色标志为亮绿色, 单果的平均鲜果质量 22.04~24.56 g, 平均鲜种仁质量 8.128~8.932 g, 结果起始及结束时间分别为 3 月底—10 月底, 持续时间约 6 个月。【结论】无论是在个体还是群体水平上, 乳油木都具有较高的开花同步性, 并且与原产地非洲相比, 乳油木在元江干热河谷引种地的生物学特征无明显变化, 展叶、开花与结实的各个物候期持续时间基本一致。本研究对乳油木的引种驯化及人工栽培具有重要的指导意义。

关键词: 元江; 乳油木; 引种栽培; 物候特征; 同步性指数

中图分类号: S 794.901

文献标志码: A

文章编号: 1004-390X (2020) 05-0826-11

Phenological Characteristics and Flowering Synchrony of *Vitellaria paradoxa* in the Dry-hot Valley of Yuanjiang, Yunnan

WU Liqing^{1,2}, PEI Shengji¹, WANG Yijing³, YANG Huizhao^{1,2},
WANG Zhenghong^{1,2}, XU Jianchu¹

(1. Key Laboratory of Economic Plants and Biotechnology, Kunming Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650201, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3. Yunnan Province Yuanjiang County Forestry Station, Yuanjiang 653300, China)

Abstract: [Purpose] The shea tree (*Vitellaria paradoxa* C.F.Gaertn.) is an important woody oil plant native to Africa. It was introduced to Yunjiang County, Yuxi City, Yunnan Province, China in the 1960s. This study seeks to record phenological observations on the introduction of the shea tree into China and its domestication as well as examine the factors that allowed it to flourish across the dry-hot valleys of southwest China. [Method] Leafing, flowering, fruiting and flowering synchronization across 100 shea trees planted in the dry-hot valley of the Yuanjiang region were observed and

收稿日期: 2020-02-01

修回日期: 2020-04-29

网络首发时间: 2020-09-15 15:28:33

*基金项目: 国家重点研发计划项目 (2017YFC0505101)。

作者简介: 吴丽情 (1994—), 女, 贵州榕江人, 在读硕士研究生, 主要从事民族植物及植物资源利用研究。E-mail: wuliqing@163.com

**通信作者 Corresponding author: 许建初 (1964—), 男, 云南昆明人, 博士, 研究员, 主要从事民族生态学。E-mail: jxu@mail.kib.ac.cn

网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/53.1044.S.20200914.1511.003.html>



analyzed. [Result] Leaves clustered at the top of each branch, turning dark green when mature and leaf replacement occurred throughout the year. Shea tree flowers, with ovate-lobed corolla and white petals when mature, clustered similarly to leaves. The flowering period lasted approximately six months, beginning in early March and ending in early August. Bright green was the typical color of ripened shea fruit, and the average weight of each fresh fruit was between 22.04 g to 24.56 g, while the average fresh kernel weight was between 8.128 g to 8.932 g. Similarly, the fruiting period lasted approximately six months, from the end of March to the end of October. [Conclusion] This research reveals that shea trees feature a high degree of flowering synchronization at both individual and population levels. Comparing the specimens from Yuanjiang to African, we found that there were no significant differences across biological characteristics, and the duration of leafing, flowering, fruiting phenological phases were basically consistent as well. This study is highly informative and instructional in the introduction, domestication and artificial cultivation of shea trees.

Keywords: Yuanjiang; *Vitellaria paradoxa* C.F.Gaertn.; introduction and cultivation; phenological characteristics; synchrony index

乳油木 (*Vitellaria paradoxa* C.F.Gaertn.) 是山榄科牛油果属植物, 原产于撒哈拉以南的热带稀树草原地带。在 N15°以南至赤道地区, 包括加纳、尼日利亚、达荷美、多哥、几内亚、马里、塞内加尔、乌干达和苏丹等国都有自然分布, 其中以加纳北部最多^[1]。在非洲, 乳油木的脂肪物质被广泛使用, 从肥皂到食品加工^[2], 尤其是在化妆品行业应用广泛。乳木果油可以添加到口红、唇彩和防晒霜等化妆品中, 具有抗衰老、保湿和再生等功能^[3]。研究表明: 乳油木叶子有机质含量极高, 可以加工成饲料喂养禽类^[4]; 其果肉中含有蛋白质、碳水化合物、矿物质和纤维等对人体健康有益的成分, 可以制作成蛋糕, 也可以替代巧克力供人们食用, 对人体健康有很大好处^[5]。在布基法索和加纳地区, 乳油木是仅次于可可和咖啡的第三大经济作物^[6-7]。中国自 20 世纪 60 年代将乳油木引入云南元江种植, 其原产地非洲加纳为沙漠型稀树草原, 又称萨王纳群落, 引种地云南省元江县属河谷型萨王纳群落, 两地区气候特性存在一定差异^[8], 植物引种随着环境改变, 其物候也会发生变化。

物候学是研究自然界中植物 (包括农作物)、动物和环境条件 (气候、水文和土壤条件) 的周期变化间相互关系的科学^[9], 它对于认识自然季节现象变化规律与物种生物钟规律以及服务于农业生产管理具有重要意义。生物学家非常关注物候模式如何影响物种繁殖, 而植物物候学研究提供

了关于植物和植物群落功能节律的信息及其物候模式, 各种物候事件的时间可以反映生物和或非生物的环境条件^[10-11], 因为物候是物种生命周期中一年四季的变化韵律, 与温度、昼夜温差、日照长短、土壤特性和降雨等多个因素有关^[12-14], 温度变化会间接影响植物对于水分及养分的运输和吸收^[15-16], 从而对物候产生作用, 使得植物的展叶、开花和结果的时间及特性都会有所差异。

物候过程由多个物候事件组成, 从营养生长到生殖生长, 每个阶段都有其特定的特征及重要性, 并反映了其生态适应性, 如开花的季节性和持续时间影响传粉者的效率, 从而影响果实的大小和产量。国外学者已对乳油木物候学做过一些研究, 包括乳油木物候事件结束时间及规律、开花特性 (花期、丰度和能力) 与不同类型种植地的关系、开花时间与结果数量的关系等^[17-18]。国内亦对乳油木的油脂组成、油脂提取工艺和种植现状等有一定的研究^[19-22], 但目前中国对引种植乳油木的物候特征研究仍为空白, 缺乏系统的监测记录, 直接影响到乳油木种植产业。本研究选择元江种苗站乳油木种植基地的 100 株个体为观察对象, 系统详细地记录了乳油木年周期的物候过程 (展叶、开花与结实的物候), 最后利用观察得到的物候数据进行统计分析, 并与原产地对比, 探究乳油木在云南干热河谷的物候特征, 为其产业化种植与丰产栽培管理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

基于元江干热河谷地区脆弱的生态环境,为改造和绿化元江两岸荒山,于 1964 年 7 月从西非加纳地区引种乳油木栽培到元江,目前仅在云南省元江县成片种植,长势较好^[23]。元江县现存乳油木 800 余株,树龄约 56 年,引种 8 年后开始开花结实,15 年后进入盛产期,单株产量几十公斤到上百公斤不等,引种取得阶段性成果。

研究地位于云南省玉溪市元江县种苗站(N23.60°, E101.97°, 海拔 430 m),地处元江县坝区,气候属典型的干热河谷气候,年平均气温 23.8 ℃,最热月(6 月)平均温度 28.8 ℃,最冷月(1 月)平均温度 16.8 ℃,年积温达 8 700 ℃^[24]。全年盛行东南风,每年大风(≥ 8 级)的时间平均为 14.3 d^[25]。该地区的天然植被为河谷型稀树草原萨王纳群落,以草丛为背景构成大片的草地植被,其中散生稀疏的乔木和灌木,即群落外貌表现为“稀树—灌木—草丛”状^[26],多种植热带性或者热起源的耐干旱树种^[24],如杧果(*Mangifera indica* L.)和牛角瓜(*Calotropis gigantea* L.)等,或乳油木与杧果以及一些其他乔灌木套作。研究样地土壤多为以多沙页岩、石灰岩和砾岩等作为土壤基质的燥红壤,呈弱酸性,保水性差,土壤贫

瘠^[22,27]。

1.2 研究方法

1.2.1 物候观测方法

本研究的物候观测采用传统人工观测法,时间间隔为 1 周,利用双筒望远镜(10 mm×8 mm)及记录表进行观测记录。经调查发现:元江种苗站种植基地现存乳油木共 844 株,面积约 8.8 hm²。研究地海拔 451~509 m,将海拔和坡度等因素导入 ArcGIS 软件进行叠加从而随机取 20 个样地(图 1),每个样地中选取 5 株树,共 100 株树作为物候试验的观察对象。观察时间由 2019 年 3 月 5 日—10 月 30 日,共分为包括叶、花和果实物候观测项的 13 个阶段,即:叶变色期(叶片由深绿色逐渐变为黄褐色)、叶落期(叶片变为黄褐色后脱落)、叶芽期(叶芽出现至展开之前)、展叶期(叶芽舒展为叶片,颜色为翠绿色)、叶成熟期(叶片颜色由翠绿色变为深绿色)、现蕾期(枝条顶部出现苞状小花蕾)、花蕾开放期(簇生于枝条顶部的花蕾中,有部分花蕾开放)、盛花期(枝条顶部 50% 花蕾开放)、落花期(盛开的花朵掉落)、现果期(顶部具针状物小果的出现)、果粉覆盖期(黄褐色果粉覆盖果实表面)、果变色期(果粉褪去,果实为翠绿色)和果实成熟期(果实由翠绿色变为亮绿色)。

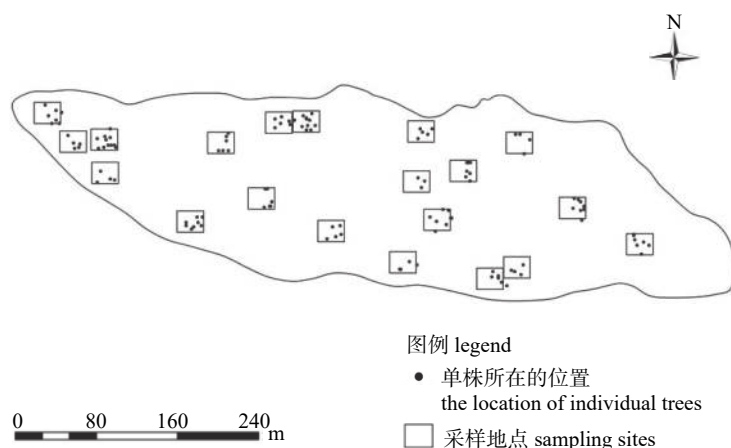


图 1 样地点分布

Fig. 1 Distribution of sampling sites

1.2.2 果实成熟期的性状指标的测量方法

采用田间生物学调查和室内测量相结合的方法。由于树高不等(5.3~13 m),故利用直接攀爬及借助长杆(带网兜及切割刀片)取果。从每周定点进行物候观测的 100 株树中随机选取 30 株结

实植株作为测量对象,从 2019 年 7 月 10 日—9 月 25 日(果实发育成熟期),共计 12 周,每周从每株树上随机挑取 3 个果实,共计 90 个果实带回实验室进行试验。主要观察的表观特征有外果皮颜色、果壳颜色和种仁颜色,测量指标包括

单果鲜质量(g)、单个种仁鲜质量(g)、果实纵径和横径(cm)以及种子纵径和横径(cm),取平均值。颜色直接用肉眼观察,用分析天平称量果实质量,用电子游标卡尺测量纵径和横径,直至这些特性基本稳定,则判定果实成熟。

1.3 数据处理

1.3.1 物候学指标计算

以13个物候阶段的起始和结束时间来计算弗涅尔指数FI(Fournier index),并以盛花期持续时间作为同步性(synchrony)指数数据分析的基础。其中,FI主要用来表征植物物候活动的强度,从而得出其物候特征^[28];synchrony值则用来比较植株开花时间的重叠程度,当synchrony值为0时,代表该植株与所在样地中其他植株的花期没有任何重叠,而当synchrony值为1时,则表示完全重叠^[29]。

(1) 物候观察数据的转换

在物候记录表记录“0”代表该物候阶段未出现或者已经结束,“1”代表存在该物候阶段。整理物候数据,得到每棵植株在整个物候期的数据。先把物候期数据由日期型转化为数值型,物候数据的处理是换算为Julian day(儒略日)的形式:1月1日为第1天,1月2日为第2天……然后依次往后推,直到12月31日为第365天^[30]。

(2) FI的计算

$$FI = \sum_{i=1}^n x_i / (n \times c) \quad (1)$$

式中, n 为每个样地点观测的个体数量; x_i 为个体 i 的半定量量表值,如某个样地点的1株植株在开花物候4个阶段中的2个阶段出现,则半定量量表值分别为2和2,即为物候期分成的阶段数 c /出现物候阶段的个数; c 为该物候期分成的阶段数,如本研究中开花物候分为4个阶段,则 $c=4$ 。本研究中,先根据所得物候数据计算 x_i ,将 x_i 代入式(1),计算出每个样地点每株树在记录周的FI,进行平均值计算得每个样本点在记录周的FI。为了表征整个种植地的物候特征,需再将20个样地的数据平均,得到最终的平均FI。

(3) S(synchrony)的计算

$$S = \frac{1}{(n-1)} \times \sum \frac{a_{ij}}{b_{ij}} \quad (2)$$

式中, n 为观测对象的数量; a_{ij} 表示 i 个体和 j 个体同时开花的天数; b_{ij} 表示 i 个体和 j 个体最

先开花到最后开花结束之间的天数。利用物候数据中每株植株的盛花期持续时间,进行样地中两两植株之间的 a_{ij}/b_{ij} 计算,得到 Sum_{ij} ,代入式(2)可得每株植株在样地中的synchrony值。样地间synchrony值计算同上。

1.3.2 果实成熟特性

将每周的测量数据进行汇总,分别得出每棵树每周测量指标的平均值,测量指标包括:单果鲜质量(g)、单个种仁鲜质量(g)、果实纵径和横径(cm)、种子纵径和横径(cm),共计12周。利用SPSS 24软件进行描述统计分析,得到每项指标每周的最小值、最大值、平均值、中位值、方差和标准差。最后将每项指标每周的平均值和标准差放入R3.6.1中做线性回归分析。

2 结果与分析

2.1 乳油木叶片物候期特征

由图2可知:叶变色阶段,叶片由深绿色逐渐变为黄色,叶柄不断失水干枯,直至自然掉落。乳油木落叶期持续时间较长,从当年9月开始至次年6月都有落叶现象;叶落之后1~4周,叶芽开始出现,叶芽顶部为浅粉色,不断伸长,慢慢展开,形成簇生于枝条顶部的展开叶片,叶片由嫩绿色逐渐转变为深绿色,形状为长圆形。可能由于树木的健康状况或种植位置的不同,导致该过程需要的时间有所差异,一般为4~8周。

乳油木的叶芽期和展叶期持续时间较长(图3),观察期间每周都有新的叶片展开,而叶片变色期和叶落期只出现在3月—6月初(旱季末和雨季初)。叶芽开放约7周后,叶片开始成熟。现叶芽期、展叶期、叶片成熟期、叶片变色期和叶落期的持续时间分别为175、210、168、91和98 d。叶落期、现叶芽期和展叶期都有较为明显的高峰期,分别出现在第86~100天(3月26—4月9日)、第114~142天(4月23—5月21)和第135~170天(5月14日—6月18日),其中现叶芽期和展叶期分别具有2个高峰。

2.2 乳油木开花物候期特征及开花同步性

2.2.1 开花物候期特征

由图4可知:元江的乳油木花期普遍开始于3月,持续到当年8月基本结束,再往后开花的个别植株出现开花而不育现象。乳油木的花蕾与叶芽生长模式类似,也是簇生于枝条顶部,初始

花蕾颜色为暗红色，随着时间的推移，热量不断积累和营养物质摄入，花梗伸长，花蕾开始膨大，颜色变为翠绿色，直至开放，时间为 2~4 周；随着花蕾的开放，花期进入盛花阶段，花冠为卵形多裂，花瓣为白色，全缘。随机选择不同植株的共 30 朵花进行观察，发现花开至花落的时间为 5~14 d，平均时间为 10 d。

由图 5 可知：现花蕾期、花蕾开放期、盛花期和花落期分别为 182、147、147 和 154 d，其高峰分别为第 100~121 天（4 月 9 日—4 月 30 日）、第 114~135 天（4 月 23 日—5 月 14 日）、第 121~135 天（4 月 30 日—5 月 14 日）和第 128~163 天

（5 月 7 日—6 月 11 日）。现花蕾期、花蕾开放期和盛花期 3 个物候阶段仅出现在观察期前半段，而花落则在第 198~212 天（7 月 16 日—7 月 30 日）之间有短暂的结束，直到 8 月底才完全结束。

2.2.2 开花同步性

在 100 株物候试验观察对象中，除去 24 棵当年不开花的树，可得 76 个同步性指数 (synchrony) 值，平均值为 0.582。由图 6 可知：少部分植株的同步值很低，synchrony 小于 0.1 的植株数量为 10；大部分植株的同步值较高，synchrony 值大于等于 0.5 的植株数量为 55，占约 76.4%；大于平均值的植株数量为 42，约占

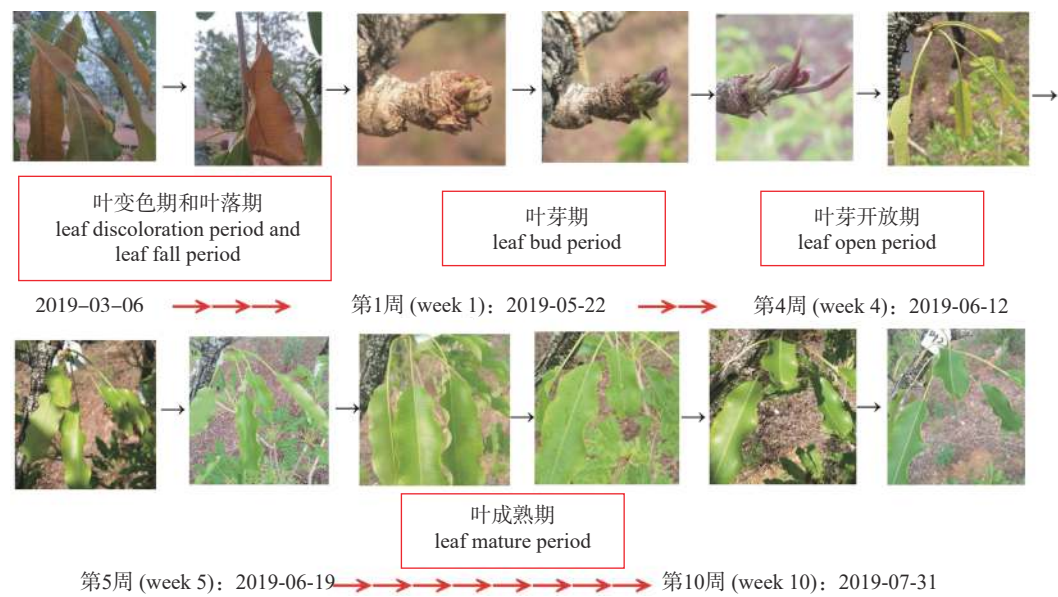


图 2 乳油木的叶物候期过程记录

Fig. 2 A photographic record of the phenological phase of the leaf of shea tree

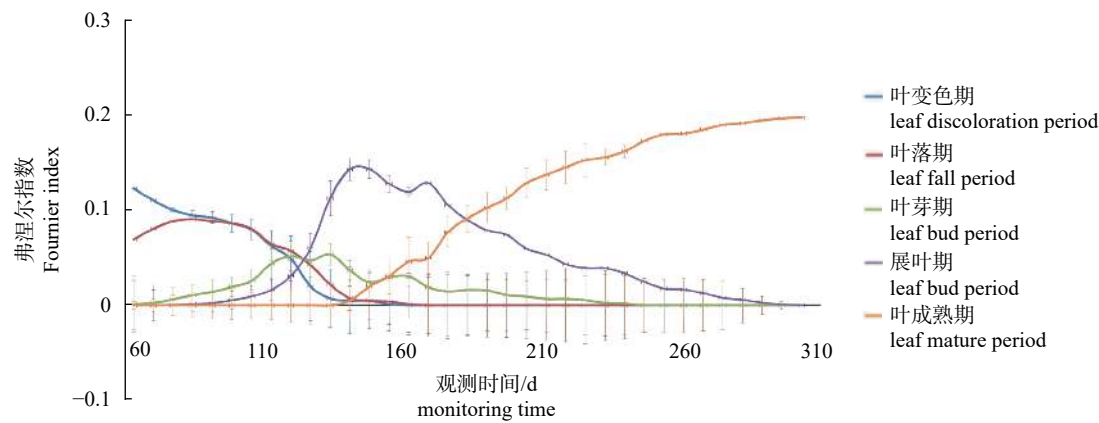


图 3 乳油木的叶片物候期

Fig. 3 Flowering phenological period of shea butter tree

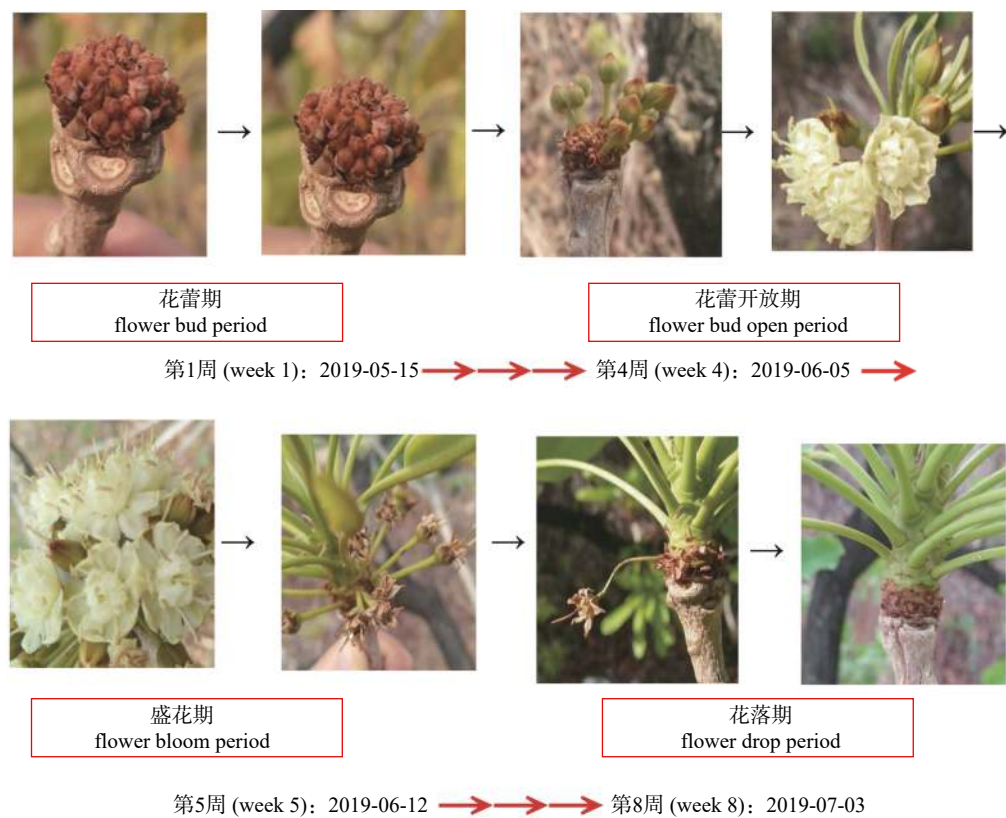


图 4 乳油木的开花物候期过程记录

Fig. 4 A photographic record of the phenological phase of the flower of shea tree

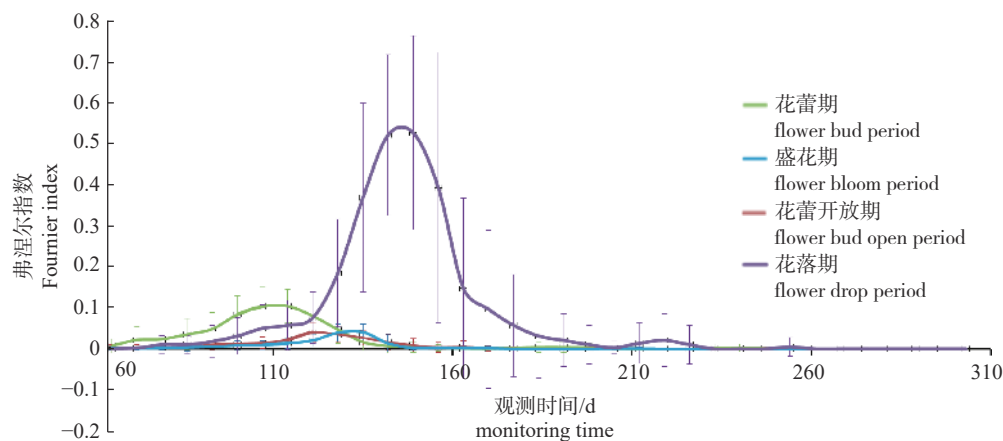


图 5 乳油木的开花物候期

Fig. 5 Flowering phenological period of shea butter tree

55.3%; synchrony 值等于 1 的有 12 株。可见, 样本点中的各个植株之间在花期时间上有很大的重叠, 开花同步性较高。由表 1 可见: 88.4% (168/190, 共 190 种组合, 有 168 种组合之间的 synchrony 值大于 0) 的样点盛花期有重叠, 其中完全重叠即 synchrony 值为 1 的组合情况约为 44% (88/190), 各样点间盛花期存在高度重叠情

况, 同步性较高。

2.3 乳油木结实物候期及果实性状

由图 7 可知: 大部分植株在花落 2 周后开始形成果实, 小果顶部有针状物出现, 后期脱落。果实不断膨大, 颜色由浅绿色被绒毛变为表面覆盖黄褐色果粉, 之后果粉又不断褪去, 直至果实完全显现出翠绿色。果实从发育到成熟过程

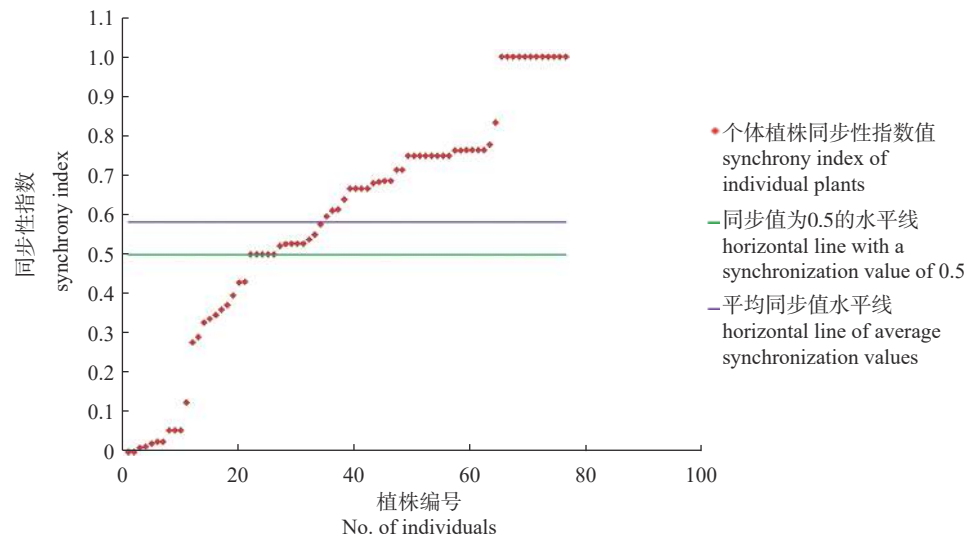


图 6 观察期中每棵乳油木盛花期的 synchrony 值

Fig. 6 Synchrony of every shea butter tree in flower bloom during the monitoring

表 1 20 个样点之间盛花期同步性矩阵表

Tab. 1 The synchronization matrix between 20 sites in flower bloom during the monitoring

样地编号 No. of sampling sites	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1		0.05	1	1	0	0.05	1	1	1	1	1	1	1	1	0.05	0.05	0.05	1	1	0.05
2			0.05	0.05	0	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.33	0.05	0.33	1	1	1	0.05	0.05	0
3				1	0	0.05	1	1	1	1	1	1	1	1	0.05	0.05	0.05	1	1	0.05
4					0	0.05	1	1	1	1	1	1	1	1	0.05	0.05	0.05	1	1	0.05
5						0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.05
6							0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.33	0.05	0.33	1	1	1	0.05	0.05	0
7								1	1	1	1	1	1	1	0.05	0.05	0.05	1	1	0.05
8									1	1	1	1	1	1	0.05	0.05	0.05	1	1	0.05
9										1	1	1	1	1	0.05	0.05	0.05	1	1	0.05
10											1	1	1	1	0.05	0.05	0.05	1	1	0.05
11												1	1	1	0.05	0.05	0.05	1	1	0.05
12													0.33	1	1	0.05	0.05	1	1	0.05
13														0.33	0.05	0.05	0.05	1	1	1
14															1	0.33	0.05	1	1	0.05
15																1	1	0.05	0.05	0
16																	1	0.05	0.05	0
17																		0.05	0.05	0
18																			1	0.05
19																				0.05
20																				

(图 8) 的表观特征为果实果皮表面由翠绿色变为亮绿色，果壳颜色变化为由乳白色到浅黄色，再到黄褐色，最后变为褐色，果仁的颜色为乳白和浅粉相间。

由图 9 可知：乳油木果实的纵径、横径和质

量不断增大，到第 9~11 周附近趋于稳定。回归分析发现：鲜果质量的增长速率最快，而果实横径的增长速率最慢，无论是从果实还是种子看，果实的纵向生长速率大于横向生长速率。成熟果实的平均单果鲜质量为 22.04~24.56 g，果实横径



图 7 乳油木的果物候期过程记录

Fig. 7 A photographic record of the phenological phase of the fruit of shea tree

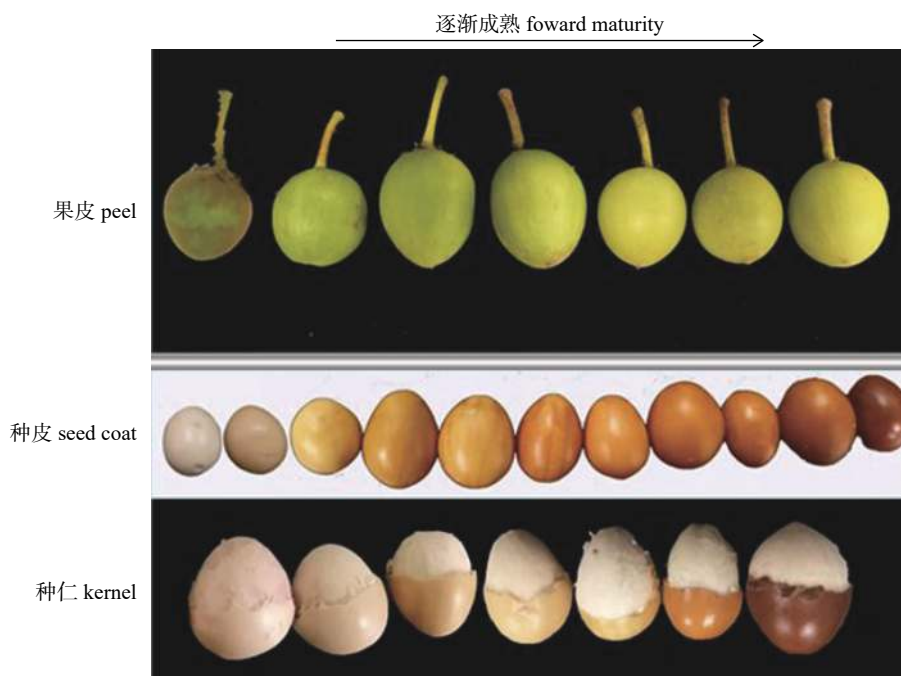


图 8 不同成熟度果实的果皮、种皮和种仁的颜色

Fig. 8 The color of the peel, seed coat and kernel of the fruit with different maturity

为 3.43~3.59 cm, 果实纵径为 3.86~4.02 cm, 单果的平均鲜种子质量为 8.13~8.93 g, 种子横径为 2.32~2.44 cm, 果实纵径为 2.92~3.05 cm。

由图 10 可知: 果期物候的各个阶段都有较为明显的高峰期, 从现果期、覆盖果粉期、果实变色期到果实成熟期, 每个阶段的高峰期相应推后, 其中现果期持续时间为 147 d, 高峰期约为

第 149~170 天 (5 月 28 日—6 月 18 日); 果实发育约 3~4 周后开始被果粉覆盖, 覆盖果粉期持续时间为 140 d, 高峰期约为第 184~205 天 (7 月 2 日—7 月 23 日); 果实变色期的持续时间为 40 d, 高峰时间段约为第 225~254 天 (8 月 12 日—9 月 10 日), 果实从果粉覆盖期到开始褪去果粉、显现出亮绿色需要约 6 周。

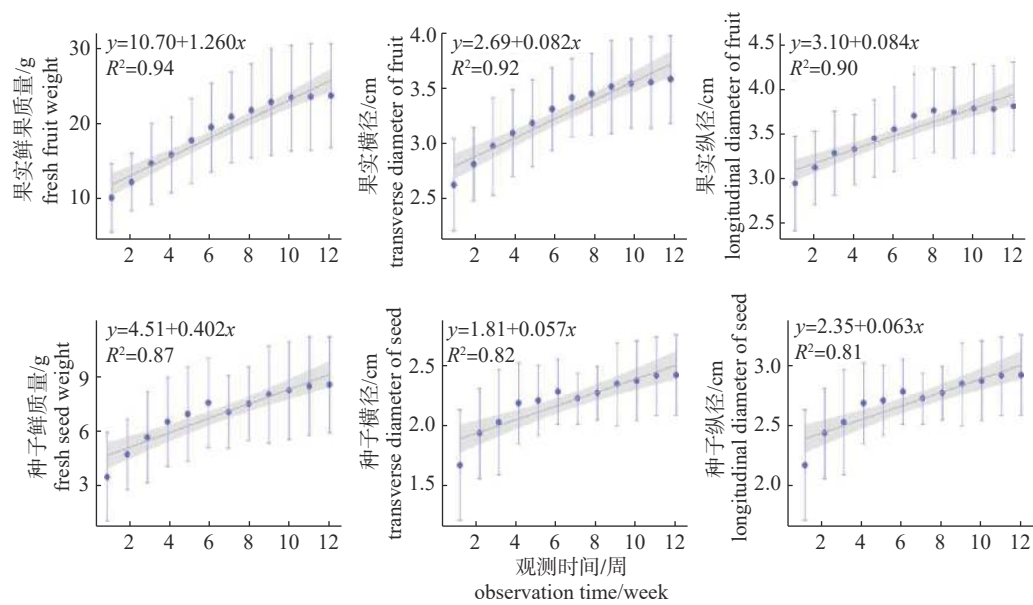


图 9 果实发育过程中各测量指标的变化及线性回归方程

Fig. 9 The variation of the indexes and the linear regression during fruit development

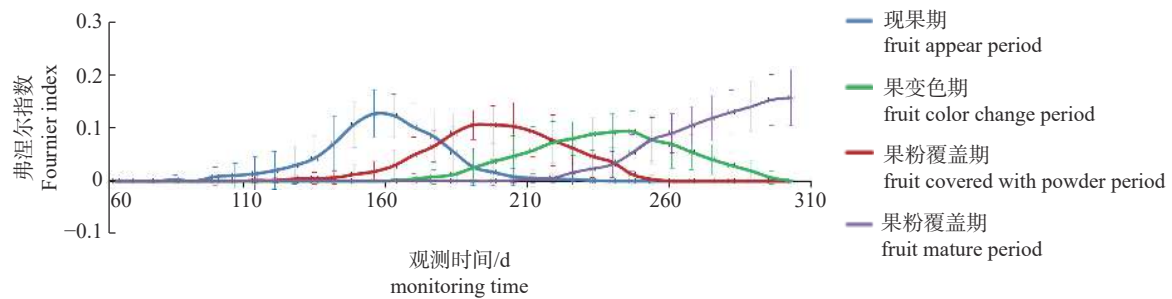


图 10 乳油木的结实物候期

Fig. 10 Fruiting phenological period of shea butter tree

3 讨论

物候是物种重要的生物学特征。同种植物在不同生长环境的物候学特征也可能发生改变。通过本研究可知：非洲撒哈拉沙漠以南乌干达地区及喀麦隆等地原生境生长的乳油木物候^[17,31]与元江干热河谷引种的乳油木物候在叶片展叶、开花与结实物候期有相似之处，如元江种植的乳油木的叶片形状以及簇生方式都与在非洲地区相似。乳油木在河谷型萨王纳气候类型下的生物学特征并未发生明显的改变，这可能与该物种对干热地区广泛的适应性及遗传特性等有关。引种驯化与繁殖生物学证明了乳油木在西南干热河谷引种成功^[32]。非洲乳油木在元江干热河谷能正常生长发育与传种接代，每一单株不仅有生物学产量，而

且有很好的经济性状，并可完成从种子到种子的生命周期，是中国非洲木本种质资源引种较为成功的一个案例。

不同物种或同一物种由于立地条件不同导致物候特征差异^[15,33-34]。元江引种的乳油木与原产地非洲^[17,31]相比，其生物学特征及物候事件持续时间依旧与原生境基本一致，如：在叶片物候期中，元江的叶蕾开放期为每年3—9月，而非洲地区叶蕾开放期则为当年11月—次年4月，持续时间均为6~7个月；开花物候期中，元江和非洲地区的持续时间为5~6个月，两地的果实从发育到成熟期需要的时间均约为6个月^[17]，说明植株内在物质的积累机制可能没有变化。物种物候事件与种植地的立地气候条件有关。相关研究表明：中国西南干热河谷气候与典型的萨王纳气候

相比,年平均气温偏低(19.2~23.8℃),温度的季节性变化大,并且在旱季前期有相对明显的低温季节,这使得元江干热河谷地区大部分木本植物的开花物候期集中在旱季末期和雨季初期,而结实物候期集中在雨季末期延续到旱季初期^[8]。本研究中乳油木的物候期基本符合这种物候模式,表现出了对干热河谷较强的生态适应性。

物种开花物候通常存在2种极端现象:一种是植株个体基本上每天或每周都能大量开花,称为集中开花模式;而另一种则表现为基本上每天或几周都只能少量开花,称为持续开花模式^[17,34]。从开花期来看,乳油木属于前者,开花物候存在明显的高峰期,并且无论是从个体植株上(synchrony值大于等于0.5的植株占比为76.4%)还是群体水平上(88.4%样本点的花期存在重叠),都具有较高的开花同步性,即多数植株集中在某一段时间开花。乳油木的主要传粉方式为昆虫传粉^[35],集中开花和较高的开花同步性是乳油木为了适应干热河谷风大的气候特点,这种适应能够提高传粉效率和坐果率,从而使果实产量增加,这种对环境的适应性在很多植物上都有体现^[36-37]。

物种物候受遗传因子与环境因子(土壤特性、温度和降水等)的影响较大^[15,38],不同的生长环境会导致同种植株的物候特征有差异。2018年与2019年元江县乳油木的果实成熟期不同,2019年更晚,平均气温、降水和有效积温等都可能是导致该现象发生的原因,这需要多年的物候数据积累才能进行更深层的探讨,而本研究则揭示了乳油木整个物候期的物候特征以及在开花期的同步性,为后期深入的物候学研究奠定了基础。在乳油木物候学初步研究基础上,我们也对乳油木引种驯化、推广种植与栽培管理提出以下建议。

(1)以元江种苗站乳油木种植基地为基础,建立西南干热河谷乳油木物候长期观察定位站,把手工记录观察变为长期自动观察,进一步揭示物候与气候因子的变化规律。

(2)加强乳油木种植园的科学管理,针对其花叶同期或者先花后叶的生长习性,设计园艺栽培试验,通过调节水肥与疏花试验,研究乳油木营养生长与生殖生长规律,为大面积产业化种植、提高产量、评价经济性状与经济效益积累科学依据。

(3)在8—10月果实成熟期,可选择优良母株与健康果实,开展良种繁育,建立乳油木育苗基地;结合退耕还林与植树造林,推广种植乳油木。

(4)进一步从原产地引种乳油木种质资源,扩充遗传多样性。优先选择乳油木果实果肉肥厚和种仁大的优良种质资源,为西南干热河谷生态修复与生态产业发展助力。

致谢:感谢云南省玉溪市元江县林木种苗工作站为本研究提供的乳油木相关信息与野外调查后勤保障。

[参考文献]

- [1] MASTERS E T, YIDANA J A, LOVETT P N. Reinforcing sound management through trade: shea tree products in Africa[J]. *Unasylva*, 2004, 55(219): 46.
- [2] COULIBALY Y, OUÉDRAOGO S, NICULESCU N. Experimental study of shea butter extraction efficiency using a centrifugal process[J]. *Journal of Engineering & Applied Sciences*, 2009, 4(6): 14.
- [3] 陈培丰. 乳木果油在化妆品中的应用[J]. *福建轻纺*, 2003(12): 1. DOI: 10.3969/j.issn.1007-550X.2003.12.001.
- [4] YUSUF A M, OLAFADEHAN O A, GARBA M H. Evaluation of the feeding potentials of *Vitellaria paradoxa*, *Nauclea latifolia* and *Terminalia macroptera* foliage as supplements to concentrate feed for grower rabbits[J]. *Australian Journal of Basic & Applied Sciences*, 2010, 4(3): 429.
- [5] CHRISTINE O, HANNINGTON O O, NANNA R. Nutrient contents of the fresh pulps and dried pulp cakes of *Vitellaria paradoxa* of Gulu District, Uganda[J]. *Pakistan Journal of Nutrition*, 2016, 15(1): 33. DOI: 10.3923/pjn.2016.33.39.
- [6] POULIOT M. Contribution of “Women’s Gold” to West African livelihoods: the case of shea (*Vitellaria paradoxa*) in Burkina Faso[J]. *Economic Botany*, 2012, 66(3): 237. DOI: 10.1007/s12231-012-9203-6.
- [7] AWO M A, ANAMAN K A. Political economy analysis of the production and marketing of shea nut products by women in the northern region of Ghana[J]. *Research in World Economy*, 2015, 6(4): 1. DOI: 10.5430/rwe.v6n4p1.
- [8] 张教林. 元江干热河谷木本植物的物候、叶片结构和功能关系及光合作用的季节变化[D]. 北京: 中国科学院, 2007.
- [9] 竺可桢, 宛敏渭. 物候学[M]. 北京: 科学出版社, 1973.
- [10] HUXLEY P A, VAN ECK W A. Seasonal changes in growth and development of some woody perennials near Kampala, Uganda[J]. *Journal of Ecology*, 1974, 62(2): 579. DOI: 10.2307/2259000.
- [11] TYBIRK K. Pollination, breeding system and seed abortion in some African acacias[J]. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 1993, 112(2): 107. DOI: 10.1111/j.1095-8339.1993.tb00312.x.

- [12] BLAKE J, HARNS G P. Effects of nitrogen nutrition on flowering in carnation[J]. *Annals of Botany*, 1960, 24(94): 247. DOI: [10.1093/oxfordjournals.aob.a083699](https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a083699).
- [13] DAHLGREN J P, HUGO V Z, JOHAN E. Variation in vegetative and flowering phenology in a forest herb caused by environmental heterogeneity[J]. *American Journal of Botany*, 2007, 94(9): 1570. DOI: [10.3732/ajb.94.9.1570](https://doi.org/10.3732/ajb.94.9.1570).
- [14] JACKSON L E, BLISS L C. Phenology and water relations of three plant life forms in a dry tree-line meadow[J]. *Ecology*, 1984, 65(4): 1302. DOI: [10.2307/1938335](https://doi.org/10.2307/1938335).
- [15] NORD E A, LYNCH J P. Plant phenology: a critical controller of soil resource acquisition[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2009, 60(7): 1927. DOI: [10.1093/jxb/erp018](https://doi.org/10.1093/jxb/erp018).
- [16] CHUDINOVA S M, FRAUENFELD O W, BARRY R G, et al. Relationship between air and soil temperature trends and periodicities in the permafrost regions of Russia[J]. *Journal of Geophysical Research Earth Surface*, 2006, 111(F2): F02008. DOI: [10.1029/2005JF000342](https://doi.org/10.1029/2005JF000342).
- [17] OKULLO J B L, HALL J B, OBUA J. Leafing, flowering and fruiting of *Vitellaria paradoxa* subsp. *nilotica* in savanna parklands in Uganda[J]. *Agroforestry Systems*, 2004, 60(1): 77. DOI: [10.1023/B:AGFO.0000009407.63892.99](https://doi.org/10.1023/B:AGFO.0000009407.63892.99).
- [18] KELLY B A, GOURLET F S, BOUVET J M. Impact of agroforestry practices on the flowering phenology of *Vitellaria paradoxa* in parklands in southern Mali[J]. *Agroforestry Systems*, 2007, 71(1): 67. DOI: [10.1007/s10457-007-9074-5](https://doi.org/10.1007/s10457-007-9074-5).
- [19] 杨耿, 张勋, 陈亦豪, 等. 乳木果油的超声波辅助提取工艺优化及脂肪酸组成分析 [J]. *中国油脂*, 2018, 43(11): 89. DOI: [10.3969/j.issn.1003-7969.2018.11.019](https://doi.org/10.3969/j.issn.1003-7969.2018.11.019).
- [20] 张传光, 罗婷, 负新华, 等. 云南引种乳木果现状及乳木果油脂脂肪酸组成分析 [J]. *中国油脂*, 2019, 44(4): 102. DOI: [10.3969/j.issn.1003-7969.2019.04.023](https://doi.org/10.3969/j.issn.1003-7969.2019.04.023).
- [21] 郭婷婷, 汪颖, 黎丽, 等. 乳木果油制备类可可脂条件优化及其性质研究 [J]. *食品工业*, 2019, 40(1): 86.
- [22] 杨崇仁, 王以静. 云南乳油木调研报告 [J]. *中国野生植物志*, 2018, 37(6): 68. DOI: [10.3969/j.issn.1006-9690.2018.06.017](https://doi.org/10.3969/j.issn.1006-9690.2018.06.017).
- [23] 沈蕊, 张建利, 何彪, 等. 元江流域干热河谷草地植物群落结构特征与相似性分析 [J]. *生态环境学报*, 2010, 19(12): 2821. DOI: [10.3969/j.issn.1674-5906.2010.12.009](https://doi.org/10.3969/j.issn.1674-5906.2010.12.009).
- [24] 何永彬. 元江干热河谷环境变迁与适应对策研究 [J]. *云南环境科学*, 2002, 21(2): 26. DOI: [10.3969/j.issn.1673-9655.2002.02.010](https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-9655.2002.02.010).
- [25] 吴征镒. 中国植被 [M]. 北京: 科学出版社, 1995.
- [26] 金振洲. 云南元江干热河谷半萨王纳植被的植物群落学研究 [J]. *广西植物*, 1999(4): 289.
- [27] 施宗明, 温琮文. 一种耐热耐旱的油料树种——非洲牛油果 [J]. *云南林业*, 2010, 31(5): 48.
- [28] MORELLATO L P C, CAMARGO M G, NEVES F F D, et al. The influence of sampling method, sample size, and frequency of observations on plant phenological patterns and interpretation in tropical forest trees[M]. Dordrecht, Springer Netherlands, 2010.
- [29] GIMENEZ B L, ESCUDERO A, IRIONDO J M. Reproductive limits of a late-flowering high-mountain mediterranean plant along an elevational climate gradient[J]. *New Phytologist*, 2010, 173(2): 367. DOI: [10.1111/j.1469-8137.2006.01932.x](https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2006.01932.x).
- [30] NOORMETS A. Phenology of ecosystem processes: applications in global change research[J]. *Ecology*, 2010 (6): 1874. DOI: [10.1007/978-1-4419-0026-5](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0026-5).
- [31] DELPHINE D N, PIERRE M M, FERAND N T F, et al. Flower biology of a beeplant *Vitellaria paradoxa* (Sapotaceae) in the sudano sahalian zone of Cameroon[J]. *Annals of Experimental Biology*, 2014, 2(3): 41.
- [32] 曾洪学. 如何判定资源植物引种驯化是否成功 [J]. *生物学通报*, 2000, 35(12): 29. DOI: [10.3969/j.issn.0006-3193.2000.12.028](https://doi.org/10.3969/j.issn.0006-3193.2000.12.028).
- [33] RATHCKE B, LACEY E P. Phenological patterns of terrestrial plants[J]. *Annual Review of Ecology & Systematics*, 2003, 16(1): 179. DOI: [10.1146/annurev.es.16.110185.001143](https://doi.org/10.1146/annurev.es.16.110185.001143).
- [34] 马建维. 帽儿山不同立地条件和物候期几种纯林光谱特性的研究 [J]. *北京林学院学报*, 1983(3): 26.
- [35] JANE C S I, SSA N, BERND D B, et al. Insect pollination improves yield of shea (*Vitellaria paradoxa* subsp. *paradoxa*) in the agroforestry parklands of West Africa[J]. *Journal of Pollination Ecology*, 2018, 22(2): 11. DOI: [10.26786/1920-7603\(2018\)two](https://doi.org/10.26786/1920-7603(2018)two).
- [36] 刁松峰, 姜景民, 伊焕, 等. 浙江低山地区多用途植物无患子的开花物候特征 [J]. *生态学报*, 2016, 36(19): 6226. DOI: [10.5846/stxb201501130107](https://doi.org/10.5846/stxb201501130107).
- [37] 王玉贤, 刘左军, 赵志刚, 等. 青藏高原高寒草甸植物花寿命对传粉环境的响应 [J]. *生物多样性*, 2018, 26(5): 510. DOI: [10.17520/biods.2018065](https://doi.org/10.17520/biods.2018065).
- [38] MICHAEL Z, RONALD S G. The relationship between flowering phenology and seed set in an herbaceous perennial plant, *Polemonium foliosissimum* Gray[J]. *American Midland Naturalist*, 1984, 111(1): 185. DOI: [10.2307/2425557](https://doi.org/10.2307/2425557).

责任编辑: 何馨成