



极小种群植物猪血木的种群现状及保护对策

魏雪莹¹ 叶育石¹ 林喜珀² 崔煜文¹ 曾飞燕¹ 王发国^{1*}

¹中国科学院华南植物园, 中国科学院植物资源保护与可持续利用重点实验室, 广东省应用植物学重点实验室, 广州 510650; ²广东阳春鹅凰嶂省级自然保护区管理处, 广东阳春 529631

摘要 猪血木(*Euryodendron excelsum*)是特产于中国的山茶科极危种,但目前对导致猪血木种群结构改变的原因缺少相关的调查及研究,保护策略不完善。该研究依据野外调查方法、编制标准生命表、存活曲线、致死力和寿命期望曲线,利用德氏多度分析方法分析了广东省阳春市八甲镇极小种群野生植物猪血木种群的年龄结构和动态,并与2007年的研究结果进行对比,分析该种群近10年的变化情况及其原因。结果表明:(1)研究区域内野生猪血木种群的数量变化动态指数(V_{pi} 和 V'_{pi})均小于0,存活曲线趋于Deevey-III型,种群结构属于衰退型,幼树数量丰富,但由于向小树发展过程受阻,种群无法及时更新补充。(2)存活曲线、致死力和寿命期待曲线一致显示在幼树、小树2级、中龄树2级这3个阶段,出现阻碍因素,影响种群的自然更新。(3)三甲镇猪血木幼苗减少了39.3%,八甲镇猪血木幼苗锐减了71.9%,三甲镇幼苗转化率较八甲镇低了近1/2。人为干扰是导致猪血木野生种群衰退的主要驱动因素,已实施的保护策略并不适合当前情况下的野生猪血木种群。

关键词 猪血木; 种群结构; 存活曲线

魏雪莹, 叶育石, 林喜珀, 崔煜文, 曾飞燕, 王发国 (2020). 极小种群植物猪血木的种群现状及保护对策. 植物生态学报, 44, 1236–1246. DOI: 10.17521/cjpe.2020.0059

Population status and conservation of an extremely small population species *Euryodendron excelsum*

WEI Xue-Ying¹, YE Yu-Shi¹, LIN Xi-Po², CUI Yu-Wen¹, ZENG Fei-Yan¹, and WANG Fa-Guo^{1*}

¹Key Laboratory of Plant Resources Conservation and Sustainable Utilization, Guangdong Provincial Key Laboratory of Applied Botany, South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China; and ²Management Department of Ehuangzhang Provincial Nature Reserve, Yangchun, Guangdong 529631, China

Abstract

Aims *Euryodendron excelsum*, an extremely endangered species of Theaceae, is endemic to China. However, there are few studies on the cause of population structure change of *E. excelsum*, and its conservation strategy is not perfect. We studied the age structure and dynamics of the *E. excelsum* population, compared them with the research results in 2007, and analyzed the changes of the *E. excelsum* population in the last ten years, so as to provide scientific reference for the effective protection and management of the *E. excelsum* population.

Methods Based on field investigation data, the values of parameters such as standard life table, survival curve, killing power and life expectancy curve were established, and the structure status of the *E. excelsum* population was analyzed as well. The community composition was analyzed using DET's multiple analysis method.

Important findings (1) The analysis of population dynamic indices showed that dynamic indices (V_{pi} and V'_{pi}) of the wild *E. excelsum* population were all less than 0. The survival curve of the whole population generally fit a Deevey-III type curve, suggesting a declining population. The number of young individuals was abundant, but impaired development, and hence cannot support the population growth in time. (2) The analysis of survival curve, killing power and life expectancy showed that the sapling, small tree II and middle tree II obstructed the natural population renewal. (3) The Sanjia and Bajia group seedlings of *E. excelsum* decreased by 39.3% and 71.9%, respectively. The seedling conversion rate of Sanjia group was nearly 1/2 times lower than the Bajia group of *E. excelsum*. Human interference was the main driver of population decline of *E. excelsum*. In addition, the conservation strategy that has been implemented is not suitable for the current situation.

Key words *Euryodendron excelsum*; population structure; survival curve

收稿日期Received: 2020-03-09 接受日期Accepted: 2020-09-10

基金项目: 国家林业和草原局保护司项目和广东省野生动植物保护管理项目。Supported by the Project of Protection Department of State Forestry and Grassland Administration and the Protection and Management Project of Wild Animals and Plants in Guangdong Province.

* 通信作者Corresponding author (wangfg@scib.ac.cn)

Wei XY, Ye YS, Lin XP, Cui YW, Zeng FY, Wang FG (2020). Population status and conservation of an extremely small population species *Euryodendron excelsum*. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 44, 1236–1246. DOI: 10.17521/cjpe.2020.0059

猪血木(*Euryodendron excelsum*)是山茶科珍稀濒危、高大的乔木树种,亦是特产于我国广东阳春和广西平南、巴马的一个单型属植物(叶华谷等, 2002)。按照国际自然与自然资源保护联盟(IUCN)的划分标准(Hilton, 2000),猪血木被收录为极危种。申仕康等(2007, 2008a, 2008b)通过对猪血木种群结构及动态的研究分析,认为猪血木种群结构属于稳定型,并具备良好的恢复潜能,建议对猪血木成年植株进行重点保护。何瀚和王跃华(2001)通过胚胎学、气孔器特征、繁殖特性等方面研究猪血木,发现猪血木能够正常生长发育,形成正常的种子和胚,实生苗可正常生长,自然情况下有性生殖为唯一的繁殖方式。Cui和Su (2015)、Su等(2009)、Wang等(2015)、罗晓莹等(2005)和王艇等(2005)利用多个基因片段对猪血木进行遗传多样性和保护遗传学研究,发现人为干扰导致种子传播者减少和植物开花结果个体少,致使猪血木缺乏有效的基因交流,导致种群间存在较大的遗传分化。冉巧等(2019)和陶大立等(1985)通过对银杉(*Cathaya argyrophylla*)及红松(*Pinus koraiensis*)种群的生态学研究,认为植株基数是种群恢复和保护的基础。近年对野生猪血木种群调查发现,已经按照申仕康等(2008a, 2008b)和王跃华(2007)提出的意见对猪血木扦插繁育和成年植株进行重点保护,虽然基因交流少,遗传分化程度高,正常情况下猪血木种群植株基数具备恢复的基础,但猪血木种群数量并未如预测结果一样增加,相反略有减少。针对这一问题,我们对猪血木重新调查发现野生猪血木种群结构已发生改变,但对导致猪血木种群结构改变的原因目前仍缺少相关的调查及研究。

本研究在2018–2019年间对广东省阳春市八甲镇猪血木资源分布及其生存环境进行了调查,基于走访和采用标准生命表(李博, 2000; 陈远征等, 2006; 康华靖等, 2007)进行数据分析研究当前猪血木种群结构状况,对比申仕康等(2007)种群分析结果,探讨分析近10年来野生猪血木种群结构特征、数量动态及生存环境所发生的变化,针对产生变化的主要原因,提出保育策略,以期当前野生猪血木种群保护提供理论基础,对调节种群结构和种群恢复具有重要现实意义。

1 材料和方法

1.1 研究区域自然概况

调查区域八甲镇(111.40° E, 21.95° N)与三甲镇(111.50° E, 22.03° N)位于广东省阳春市西南部,西面与电白区接壤,南面与阳西县相邻,北面为云雾山山脉,全区地势平缓起伏变化较小,土壤表层沙化,由赤红壤和燥红壤土组成,平均海拔约160 m。气候温和,常年多雨,水量充沛,干湿季节变化不明显,年平均气温22 °C,最冷月平均气温13 °C,年积温7 000–8 000 °C,属亚热带气候。猪血木主要分布在三甲镇和八甲镇村落内或村边林中,受人为干扰很大,保护起来比较困难。

1.2 研究方法

1.2.1 野外调查方法

2018–2019年对广东省阳春市八甲镇木力村、澄垌村、冲田村等几个村庄及其附近小丘陵等地进行调查,重点对已定点保护植株、村落周围分布的孤株和各山头林内植株进行观察记录。调查时间为2018年5月和2019年1月,调查野生猪血木植株生存状况、幼苗更新情况等,根据猪血木植株不连续分布所形成的天然群落环境,将其分为14个样地,用GPS定位确定其分布范围(经纬度),采用实测法,记录成年猪血木(株高大于3 m)树高、胸径、冠幅、健康状况,以样地为单位记录成年植株个体周围10 m × 10 m范围内伴生维管束植物的信息和猪血木幼苗情况,并绘制调查样点示意图(图1)。为了便于后续整理和分析将猪血木植株分为三组, S_1 组为野生猪血木种群(包括三甲镇和八甲镇), S_a 组为八甲镇野生猪血木种群(就地保护), S_s 组为三甲镇野生猪血木种群(未受保护)。

1.2.2 德氏多度分析

猪血木当前情况与云南澄广花(*Orophea yunnanensis*)相似,自然环境受到很大破坏,人为干扰严重,这种情况下很难进行定量分析。由于环境条件和个体数量限制,参考李西贝阳等(2017)、任喆等(2016),采用半定量法,根据多度和盖度统计当地生境中乔木层、灌木层和草本层的优势种及伴生种类别。植物种类在其中2个及以上样地出现并为样地该片层的优势种,则在表格中计为优势种,其余计

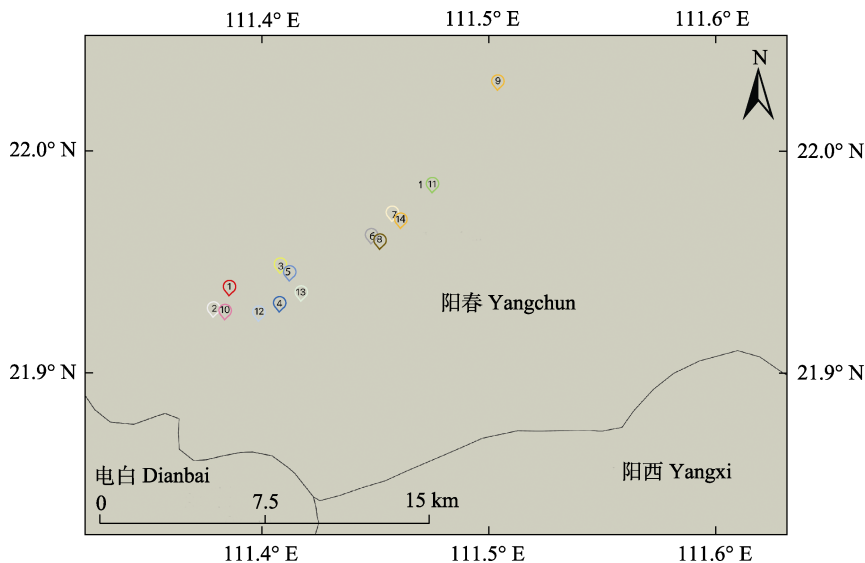


图1 猪血木调查样点示意。1, 八甲镇合路村; 2, 八甲镇木力村; 3, 八甲镇澄垌村; 4, 八甲镇澄垌村村边林; 5, 八甲镇冲田村; 6, 八甲镇中田村山喉; 7, 八甲镇中田村师马; 8, 八甲镇中田村塘涌; 9, 三甲镇湴背村; 10, 八甲镇高屋村石角; 11, 八甲镇联合村茶寮; 12, 八甲镇高屋村三叶; 13, 八甲镇澄垌村竹根; 14, 八甲镇澄垌村中田。

Fig. 1 Sampled sites during investigation of *Euryodendron excelsum*. 1, Helu Village in Bajia Town; 2, Muli Village in Bajia Town; 3, Chengdong Village in Bajia Town; 4, Village forest of Chengdong Village in Bajia Town; 5, Chongtian Village in Bajia Town; 6, Shanhou of Zhongtian Village in Bajia Town; 7, Shima of Zhongtian Village in Bajia Town; 8, Tangyong of Zhongtian Village in Bajia Town; 9, Banbei Village in Sanjia Town; 10, Shijiao of Gaowu Village in Bajia Town; 11, Chaliao of Lianhe Village in Bajia Town; 12, Sanye of Gaowu Village in Bajia Town; 13, Zhugen of Chengdong Village in Bajia Town; 14, Zhongtian of Chengdong Village in Bajia Town.

为伴生种, 偶见种不计。在多度统计与分类上参考Drude六级制多度(也称德氏多度)。在14个区域中统计出现的次数(1–9), 具体的分类为: cop3很多(9); cop2多(7–8); cop1尚多(5–6); sp不多而分散(3–4); sol稀少(2); un单株(1)。

1.2.3 径级的划分

由于濒危乔木数量稀少, 很难获得准确的植株年龄, 大多数学者采用径级及高度级结构分析代替种群龄级进行种群结构分析(蔡飞和宋永昌, 1997; 李先琨等, 2002)。猪血木数量稀少且缺少解析木材资料, 故参考申仕康等(2008b)对猪血木的划分标准, 作了适当调整, 去除断梢、中空等死木, 按照径级大小(幼苗期植株径级太小不具备参考价值, 故引入高度级做辅助)将猪血木种群划分为10级: I幼苗1级(S1), 个体高度(H) $0 < H \leq 100.0$ cm; II幼苗2级(S2), $H > 100.0$ cm, 胸径(DBH) < 3.0 cm; III幼树(S3), $3.0 \text{ cm} \leq DBH < 9.0$ cm; IV小树1级(S4), $9.0 \text{ cm} \leq DBH < 15.0$ cm; V小树2级(S5), $15.0 \text{ cm} \leq DBH < 21.0$ cm; VI中龄树1级(S6), $21.0 \text{ cm} \leq DBH < 27.0$ cm; VII中龄树2级(S7), $27.0 \text{ cm} \leq DBH < 33.0$ cm; VIII成年树1级(S8), $33.0 \text{ cm} \leq DBH < 39.0$ cm; IX成年树2级(S9), $39.0 \text{ cm} \leq DBH < 45.0$ cm; X大树(S10), $DBH \geq 45.0$ cm。除幼苗1级(S1)外, 高度结构

以1.5 m为级差, 进行统计分析。

1.2.4 结构特征分析

分别统计猪血木种群株数的径级和高度级, 以径级和高度级作为横坐标, 个体数作为纵坐标, 绘制猪血木种群结构图, 采用陈晓德(1998)的量化方法对种群动态进行定量描述, 参考Leak (1975)的划分理论进行种群结构类型的划分及确定。具体计算方法:

$$V_n = \frac{S_n - S_{n+1}}{\max(S_n, S_{n+1})} \times 100\%$$

$$V_{pi} = \frac{1}{\sum_{n=1}^{k-1} n} \times \sum_{n=1}^{k-1} (S_n \times V_n)$$

式中, V_n 表示种群从 n 到 $n+1$ 的个体数量变化动态, V_{pi} 表示整个种群结构的数量变化动态指数, S_n 和 S_{n+1} 分别表示第 n 与第 $n+1$ 年龄级种群个体数。当考虑未来的外部干扰时:

$$V'_{pi} = \frac{\sum_{n=1}^{k-1} (S_n \times V_n)}{K \times \min(S_1, S_2, S_3, \dots, S_k) \times \sum_{n=1}^{k-1} S_n}$$

$$P_{极大} = \frac{1}{K \times \min(S_1, S_2, S_3, \dots, S_k)}$$

式中, V'_{pi} 表示考虑到外部干扰时整个种群结构的数量变化动态指数, K 为种群年龄级数量, V_{pi} 与 V_n 取正值、负值、零值的意义分别反映种群个体数量的增长、衰退、稳定的动态关系。 P 为种群结构对随机干扰的敏感指数, 是种群对外界干扰所承担的风险概率, 只有当 P 的值为最大时才对种群动态 V_{pi} 构成最大的影响。

2 结果和分析

2.1 群落植物物种多样性

调查表明猪血木所在群落常见植物有32种, 根据德氏多度分析群落组成(表1), 其中乔木层以阴香(*Cinnamomum burmannii*)、粉箬竹(*Bambusa chungii*)、

gii)、卫矛叶蒲桃(*Syzygium euonymifolium*)及龙眼(*Dimocarpus longan*)等常绿树种为主, 树高10–15 m。灌木层以九里香(*Murraya exotica*)、九节(*Psychotria asiatica*)、赧桐(*Clerodendrum japonicum*)、对叶榕(*Ficus hispida*)、黄椿木姜子(*Litsea variabilis*)和八角枫(*Alangium chinense*)等为主, 树高1–2 m。草本层以假蒟(*Piper sarmentosum*)、热亚海芋(*Alocasia macrorrhizos*)和半边旗(*Pteris semipinnata*)为主。猪血木在群落中属于伴生种, 14处分布点成年猪血木株数分别为2、0、1、2、8、3、1、0、16、2、2、1、1、1, 仅三甲镇尚存一处规模较大的群落中野生猪血木数量较多, 但由于多种原因使猪血木数量锐减, 且多处分布点幼苗更新不良。

表1 在阳春猪血木分布区域基于实测法调查到的植物种类

Table 1 Species recorded with the field measurement method in the distributional range of Yangchun *Euryodendron excelsum* population

生活型 Life form	类别 Category	物种 Species	德氏多度 Drude abundance
乔木 Arbor	优势种 Dominant species	阴香 <i>Cinnamomum burmannii</i>	cop3
		粉箬竹 <i>Bambusa chungii</i>	cop1
		卫矛叶蒲桃 <i>Syzygium euonymifolium</i>	sol
		龙眼 <i>Dimocarpus longan</i>	sp
	伴生种 Companion species	假苹婆 <i>Sterculia lanceolata</i>	sp
		车筒竹 <i>Bambusa sinospinosa</i>	cop1
		楝 <i>Melia azedarach</i>	sol
		破布叶 <i>Microcos paniculata</i>	sp
		鹅掌柴 <i>Schefflera heptaphylla</i>	cop1
		华润楠 <i>Machilus chinensis</i>	un
		杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	sol
		九里香 <i>Murraya exotica</i>	sol
		九节 <i>Psychotria asiatica</i>	cop2
		赧桐 <i>Clerodendrum japonicum</i>	sp
灌木 Shrub	优势种 Dominant species	对叶榕 <i>Ficus hispida</i>	cop1
		黄椿木姜子 <i>Litsea variabilis</i>	cop1
		八角枫 <i>Alangium chinense</i>	sol
		紫玉盘 <i>Uvaria macrophylla</i>	sp
	伴生种 Companion species	大罗伞树 <i>Ardisia hanceana</i>	sp
		小花山小橘 <i>Glycosmis parviflora</i>	sp
		大青 <i>Clerodendrum cyrtophyllum</i>	sol
		猴耳环 <i>Archidendron clypearia</i>	sp
		粗叶榕 <i>Ficus hirta</i>	sol
		假蒟 <i>Piper sarmentosum</i>	sp
		热亚海芋 <i>Alocasia macrorrhizos</i>	cop1
		半边旗 <i>Pteris semipinnata</i>	cop1
		火炭母 <i>Polygonum chinense</i>	un
		欧洲凤尾蕨 <i>Pteris cretica</i>	sol
草本 Herb	优势种 Dominant species	淡竹叶 <i>Lophatherum gracile</i>	sol
		华南毛蕨 <i>Cyclosorus parasiticus</i>	sol
		牛白藤 <i>Hedyotis hedyotideia</i>	sol
		玉叶金花 <i>Mussaenda pubescens</i>	sol
	伴生种 Companion species		

cop, 多; sol, 稀少; sp, 不多而分散; un, 单株。
cop, copiosa; sol, solitariae; sp, sparsal; un, unicorn.

2.2 种群数量及概况

通过野外调查及走访当地村民,在阳春市八甲镇和三甲镇共发现野生猪血木235株,其调查样点

示意图和生境见图1和图2。在八甲镇澄垌村和中田村附近,当地对村庄内的植株采取铁栅栏圈围的方法实施定点保护,植株周围家畜和人类活动频繁,

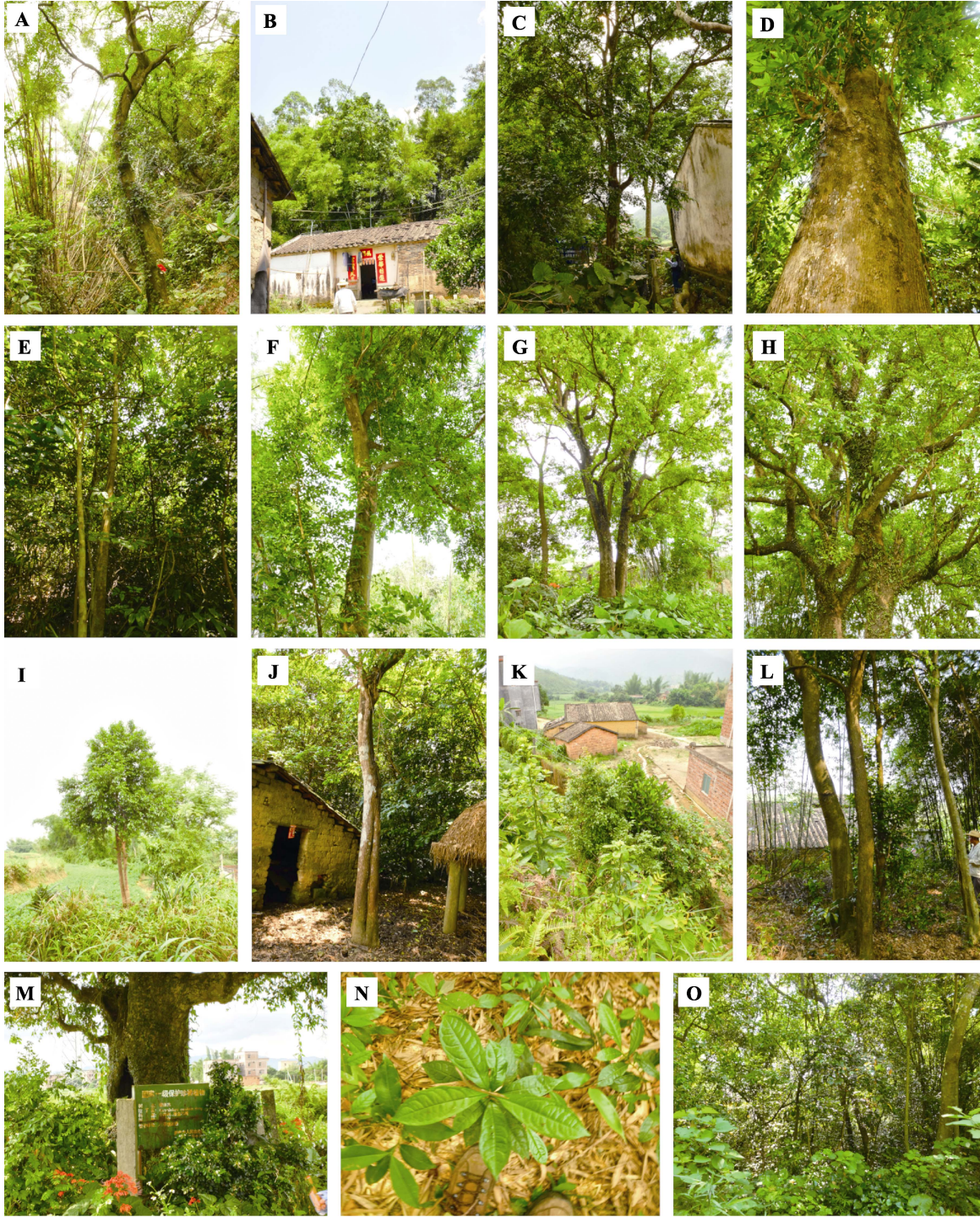


图2 猪血木各分布点生境。A, 八甲镇澄垌村。B, 八甲镇澄垌村竹根。C, 八甲镇澄垌中田村。D, 八甲镇高屋村石角。E, 八甲镇高屋村三叶。F, 八甲镇联合村茶寮。G, 八甲镇合路村。H, 八甲镇木力村。I, 八甲镇中田村山喉。J, 八甲镇中田村师马。K, 八甲镇中田村塘涌。L, 三甲镇溢背村。M, 八甲镇澄垌村。N, 八甲镇冲田村。O, 三甲镇溢背村。

Fig. 2 General situation of the habitat of *Euryodendron excelsum*. A, Chengdong Village in Bajia Town. B, Zhugen of Chengdong Village in Bajia Town. C, Zhongtian of Chengdong Village in Bajia Town. D, Shijiao of Gaowu Village in Bajia Town. E, Sanye of Gaowu Village in Bajia Town. F, Chaliao of Lianhe Village in Bajia Town. G, Helu Village in Bajia Town. H, Muli Village in Bajia Town. I, Shanhou of Zhongtian Village in Bajia Town. J, Shima of Zhongtian Village in Bajia Town. K, Tangyong of Zhongtian Village in Bajia Town. L, Banbei Village in Sanjia Town. M, Chengdong Village in Bajia Town. N, Chongtian Village in Bajia Town. O, Banbei Village in Sanjia Town.

未见幼苗更新。木力村内的猪血木植株与房屋后墙紧贴, 周围的原生林已全部被砍伐。其余猪血木原生群落的面积也因人类活动而逐渐缩小, 且附近未见幼苗更新, 或数目很少。成年野生猪血木有被盗挖的现象, 八甲镇附近发现的24株中有7株为断梢后重新萌发枝, 各分布点生境和数量概况见表2。

三甲镇涩背村附近的野生猪血木属于群落中的伴生种, 目前未采取保护措施, 曾有记录的猪血木被盗挖57株(未计入总数中), 还有几株被砍, 仅剩桩头。如今三甲镇剩余猪血木61株, 有16株为成株, 6株为桩头或断梢后重新萌发。

2.3 种群结构特征

2.3.1 径级分析

从猪血木种群径级和高度结构图(图3)可以看

出: S_t 和 S_a 两组中猪血木幼苗个体(繁殖前期)均非常丰富, 其中 S_t 组中I、II和III级个体共占总个体数的83.8%, S_a 组中共占85.9%, 而 S_s 组相对较少共占65.5%。该猪血木种群的幼龄个体数量充足, 有较大的增长潜力, 但在幼树期向成年植株发展过程中, S_t 锐减了66.9%, S_a 组锐减了71.9%, 而 S_s 组减少了39.3%, 这一阶段 S_t 和 S_a 两组受环境限制导致个体转化率极低。随着时间推移和树木生长, 图中VII级时高度结构基本消失, VIII级时径级结构基本消失。中壮年树逐渐衰老死亡, 但幼苗转化率低, 导致无法对其及时更新补充, S_t 组代表的整个野生猪血木种群出现衰退趋势。

三组个体数量变化动态 V_n 波动趋势基本相同, 呈现较大波动变化, 正、零、负值均有出现。 V_1 至

表2 猪血木各分布点生境和数量概况

Table 2 General situation of habitat and quantity of each locality of *Euryodendron excelsum*

编号 Number	地点 Place	生境 Habitat	乔木层盖度 Coverage of arbor layer	海拔 Altitude (m)	人为干扰 Human disturbance	干扰原因 Cause of interference	成株 Adult plant	幼树 Sapling	幼苗 Seedling
1	八甲镇合路村 Helu Village in Bajia Town	村边林 Village forest	50	52	弱 Weak		1	0	10
2	八甲镇木力村 Muli Village in Bajia Town	村边林 Village forest	65	68	中 Middle		2	0	3
3	八甲镇澄垌村 Chengdong Village in Bajia Town	田野 Field	45	42	中 Middle	阴蔽 Shading	0	0	10
4	八甲镇澄垌村 Chengdong Village in Bajia Town	村边林 Village forest	60	42	中 Middle	断梢 Branches broken	2	2	20
5	八甲镇澄垌村冲田 Chongtian of Chengdong Village in Bajia Town	村边林 Village forest	70	30	中 Middle		8	0	20
6	八甲镇中田村山喉 Shanhou of Zhongtian Village in Bajia Town	村边林 Village forest	30	72	弱 Weak		1	4	28
7	八甲镇中田村师马 Shima of Zhongtian Village in Bajia Town	村边 Near the village	65	42	强 Strong	栽培 Cultivation	1	3	10
8	八甲镇中田村塘涌 Tangyong of Zhongtian Village in Bajia Town	村边 Village	20	30	强 Strong	断梢 Branches broken	0	2	0
9	三甲镇涩背村 Banbei Village in Sanjia Town	村边风水林 Fengshui woods near village	80	44	强 Strong	盗挖 Stolen	16	5	40
10	八甲镇高屋村石角 Shijiao of Gaowu Village in Bajia Town	村边林 Village forest	60	42	强 Strong		1	0	2
11	八甲镇联合村茶寮 Chaliao of Lianhe Village in Bajia Town	村边林 Village forest	70	33	中 Middle	断梢 Branches broken	2	3	7
12	八甲镇高屋村三叶 Sanye of Gaowu Village in Bajia Town	村边林 Village forest	75	65	中 Middle	阴蔽 Shading	1	0	8
13	八甲镇澄垌村竹根 Zhugen of Chengdong Village in Bajia Town	屋后风水林 Fengshui woods behind house	80	32	中 Middle		2	0	10
14	八甲镇澄垌村中田 Zhongtian of Chengdong Village in Bajia Town	村边林 Village forest	65	46	中 Middle		3	0	8

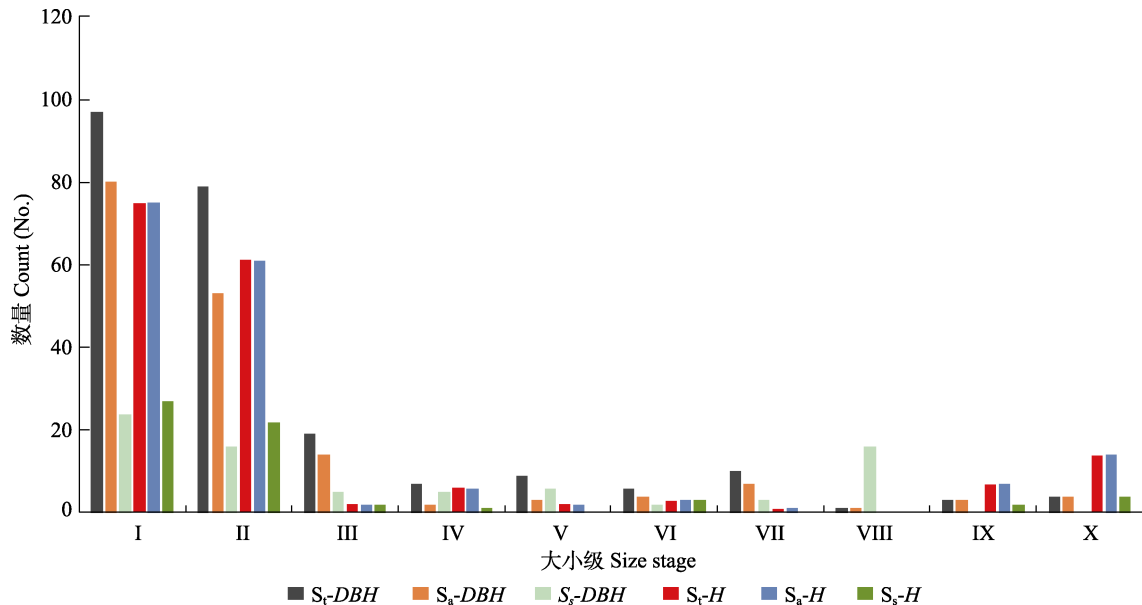


图3 猪血木种群高度(H)和胸径(DBH)级结构。S_t, 野生猪血木种群(包括三甲镇和八甲镇); S_a, 八甲镇野生猪血木种群; S_s, 三甲镇野生猪血木种群。I, 幼苗1级, $0 < H \leq 100.0$ cm; II, 幼苗2级, $H > 100.0$ cm, $DBH < 3.0$ cm; III, 幼树, 3.0 cm $\leq DBH < 9.0$ cm; IV, 小树1级, 9.0 cm $\leq DBH < 15.0$ cm; V, 小树2级, 15.0 cm $\leq DBH < 21.0$ cm; VI, 中龄树1级, 21.0 cm $\leq DBH < 27.0$ cm; VII, 中龄树2级, 27.0 cm $\leq DBH < 33.0$ cm; VIII, 成年树1级, 33.0 cm $\leq DBH < 39.0$ cm; IX, 成年树2级, 39.0 cm $\leq DBH < 45.0$ cm; X, 大树, $DBH \geq 45.0$ cm。

Fig. 3 Height (H) and diameter at breast height (DBH) class of *Euryodendron excelsum* population. S_t, wild *E. excelsum* population (including Sanjia Town and Bajia Town); S_a, wild *E. excelsum* population of Bajia Town; S_s, wild *E. excelsum* population of Sanjia Town. I, the seedling I stage, $0 < H \leq 100.0$ cm; II, the seedling II stage, $H > 100.0$ cm, $DBH < 3.0$ cm; III, the sapling stage, 3.0 cm $\leq DBH < 9.0$ cm; IV, the small tree I stage, 9.0 cm $\leq DBH < 15.0$ cm; V, the small tree II stage, 15.0 cm $\leq DBH < 21.0$ cm; VI, the middle tree I stage, 21.0 cm $\leq DBH < 27.0$ cm; VII, the middle tree II stage, 27.0 cm $\leq DBH < 33.0$ cm; VIII, the adult tree I stage, 33.0 cm $\leq DBH < 39.0$ cm; IX, the adult tree II stage, 39.0 cm $\leq DBH < 45.0$ cm; X, the big tree stage, $DBH \geq 45.0$ cm.

V_3 小于0, S_t和S_s组在 V_2 时负值达到最大, S_a组在 V_3 时负值达到最大, 说明在第I级向第III级发展时, 受到两种阻碍因素。S_t和S_s组在 V_4 至 V_7 相邻级间呈现正负值上下波动, V_5 和 V_7 为负值, 处于小树级和中龄树级数量不足, 而S_a组仅在 V_7 为负值, 在中龄树级出现阻碍因素。S_s组 V_8 至 V_{10} 等于0, 各年龄级数量为0。S_t和S_a组 V_8 至 V_{10} 大于0, 在两组中成年树级和大树级数量充足。三组种群径级动态指数分别为 $V_{pi} = -178.56\%$ 、 $V_{pi} = -214.73\%$ 和 $V_{pi} = -102.38\%$, 均小于0说明该种群不稳定。随机干扰时种群结构的数量动态变化指数分别为 $V'_{pi} = -7.92\%$ 、 $V'_{pi} = -6.97\%$ 和 $V'_{pi} = -3.08\%$, 均小于0说明该种群整体表现为衰退型。S_a组种群结构对随机干扰的敏感指数 $P = 0.1$, S_s组 $P = 0.07$, S_a组对外界干扰更敏感。

2.3.2 标准生命表及存活曲线

从标准生命表(表3)中可以看出, 各级实际存活个体数(a_x)具有波动性, 其中幼苗阶段个体数量最多。生命期待(e_x)能够反映出级内个体的期待寿命及其对环境适应能力的高低, 随着级增加, e_x 呈波动变化, 幼树阶段生命期望值低于中大树阶段, 拐点出

现在II、V、VII和IX级, 在II级 e_x 最低, 在X级 e_x 最大。

从存活曲线图(图4)中可以看出, 存活曲线前期斜率较大, 未受保护的S_s组死亡率较就地保护S_a组死亡率更高, 中期接近平缓, 死亡率波动不大, 三组均在VIII级时接近于0, S_s组胸径超过33 cm的树木全部死亡, S_t组和S_a两组VIII级后期存活率逐渐增加。S_t组和S_a两组致死率(k_x)呈波状, 在IV、VI及VIII级都跌至谷底(图5), S_s组在IV和VI级都跌至谷底, VI级后无数值(图6)。IV级是由于幼树成功过渡为小树, VI级是刚刚由小树步入中龄树, VIII级则是由中龄树步入成年树阶段, 说明猪血木个体在演替发育过程中面临较大的生存竞争, 同群落内乔木的生态位重叠不断加大, 林内的资源无法满足该种群全部植株的生长需求。在X级致死力达到最大, 说明此时猪血木已经进入衰退期, 自然稀疏导致个体不断减少。而S_s组在VII级后无数值, 由于人为因素导致成年树和大树消失。猪血木种群的死亡率、存活曲线和致死力相呼应, 均反映出种群的生存现状: 前期(第I–III级)锐减, 中期(第IV–VII级)波动, 后期(第VIII–X级)增长。

表3 阳春猪血木种群标准生命表
Table 3 Standard life table of *Euryodendron excelsum* population in Yangchun City

大小级 Size stage	划分标准 Division standard	a_x	l_x	d_x	q_x	L_x	T_x	k_x	e_x	$\ln l_x$
I (S_t)	$0 \leq H \leq 100$	97	1 000	185.	0.19	1 814	1 855	0.21	1.86	6.91
II (S_t)	$H > 100, DBH < 3.0$	79	814	618	0.76	1 010	1 051	1.43	1.29	6.70
III (S_t)	$DBH [3.0, 9.0)$	19	196	123	0.63	268	309	1.00	1.58	5.28
IV (S_t)	$DBH [9.0, 15.0)$	7	72	-20	-0.29	164	206	-0.25	2.86	4.28
V (S_t)	$DBH [15.0, 21.0)$	9	93	30	0.33	154	195	0.41	2.11	4.53
VI (S_t)	$DBH [21.0, 27.0)$	6	62	-41	-0.67	164	206	-0.51	3.33	4.12
VII (S_t)	$DBH [27.0, 33.0)$	10	103	92	0.90	113	154	2.30	1.50	4.64
VIII (S_t)	$DBH [33.0, 39.0)$	1	10	-20	-2.00	41	82	-1.10	8.00	2.33
IX (S_t)	$DBH [39.0, 45.0)$	3	31	-10	-0.33	72	113	-0.29	3.67	3.43
X (S_t)	≥ 45.0	4	41	NA	NA	41	364	3.72	8.83	3.72
I (S_a)	$0 \leq H \leq 100$	80	1 000	453	0.45	1 546	1 587	0.60	1.59	6.91
II (S_a)	$H > 100, DBH < 3.0$	53	546	402	0.74	690	731	1.33	1.34	6.30
III (S_a)	$DBH [3.0, 9.0)$	14	144	123	0.86	164	206	1.95	1.43	4.97
IV (S_a)	$DBH [9.0, 15.0)$	2	21	-10	-0.50	51	92	-0.41	4.50	3.03
V (S_a)	$DBH [15.0, 21.0)$	3	31	-10	-0.33	72	113	-0.29	3.67	3.43
VI (S_a)	$DBH [21.0, 27.0)$	4	41	-30	-0.75	113	154	-0.56	3.75	3.72
VII (S_a)	$DBH [27.0, 33.0)$	7	72	61	0.86	82	123	1.95	1.71	4.28
VIII (S_a)	$DBH [33.0, 39.0)$	1	10	-20	-2.00	41	82	-1.10	8.00	2.33
IX (S_a)	$DBH [39.0, 45.0)$	3	31	-10	-0.33	72	113	-0.29	3.67	3.43
X (S_a)	≥ 45.0	4	41	NA	NA	41	364	3.72	8.83	3.72
I (S_s)	$0 \leq H \leq 100$	24	1 000	835	0.31	1 164	1 206	1.80	1.21	6.91
II (S_s)	$H > 100, DBH < 3.0$	16	165	113	0.84	216	257	1.16	1.56	6.91
III (S_s)	$DBH [3.0, 9.0)$	5	52	0	0.69	103	144	0.00	2.80	5.11
IV (S_s)	$DBH [9.0, 15.0)$	5	52	-10	0.00	113	154	-0.18	3.00	3.94
V (S_s)	$DBH [15.0, 21.0)$	6	62	41	-0.20	82	123	1.10	2.00	3.94
VI (S_s)	$DBH [21.0, 27.0)$	2	21	-10	0.67	51	92	-0.41	4.50	4.12
VII (S_s)	$DBH [27.0, 33.0)$	3	31							3.03

a_x , 在 x 年内出现的个体数; d_x , 从 x 到 $x + 1$ 年间隔阶段标准化死亡数; DBH , 胸径; e_x , 进入 x 年个体的寿命期望值; H , 个体高度; k_x , 各级的致死率, $k_x = \ln l_x / \ln l_{x+1}$; $\ln l_x$, 标准化存活数的自然对数值; l_x , 在 x 年内标准存活个体数; L_x , $(l_x + l_{x+1})/2$; q_x , 从 x 到 $x + 1$ 年间隔阶段标准化死亡率; T_x , 从 x 年到超过 x 年的个体总数。 S_a , 八甲镇野生猪血木种群; S_s , 三甲镇野生猪血木; S_t , 野生猪血木种群(包括三甲镇和八甲镇)。
 a_x , number of alive organisms at age x ; d_x , number of dead organisms from age x to $x + 1$; DBH , diameter at breast height; e_x , life expectancy at age x ; H , the height of individual; k_x , age-specific mortality; $\ln l_x$, the natural logarithm of l_x ; l_x , proportion organisms surviving from the beginning of the life table to age x ; L_x , number of survivors from age x to $x + 1$; q_x , mortality rate from age x to $x + 1$; T_x , total number of alive organisms from age x to $x + 1$. S_a , wild *E. excelsum* (only including Bajia Town); S_s , wild *E. excelsum* (only including Sanjia Town); S_t , wild *E. excelsum* (including Sanjia Town and Bajia Town).

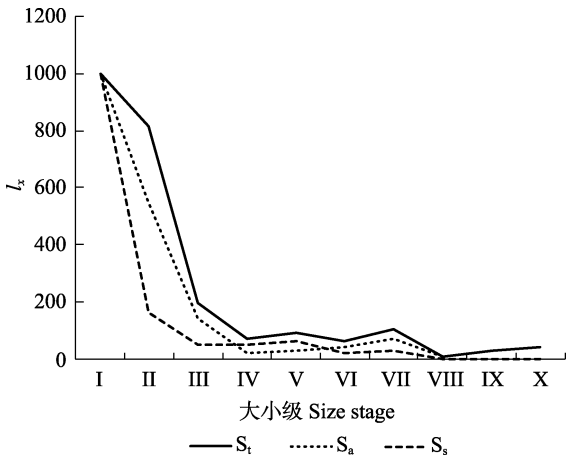


图4 猪血木种群标准化存活曲线。 l_x , 在 x 年内标准存活个体数。 S_a , 八甲镇野生猪血木种群; S_s , 三甲镇野生猪血木种群; S_t , 野生猪血木种群(包括三甲镇和八甲镇)。 I-X同图3。
Fig. 4 Standard survival curve of *Euryodendron excelsum* population. l_x , proportion organisms surviving from the beginning of the life table to age x . S_a , wild *E. excelsum* population of Bajia Town; S_s , wild *E. excelsum* population of Sanjia Town; S_t , wild *E. excelsum* population (including Sanjia Town and Bajia Town). I-X see Fig. 3.

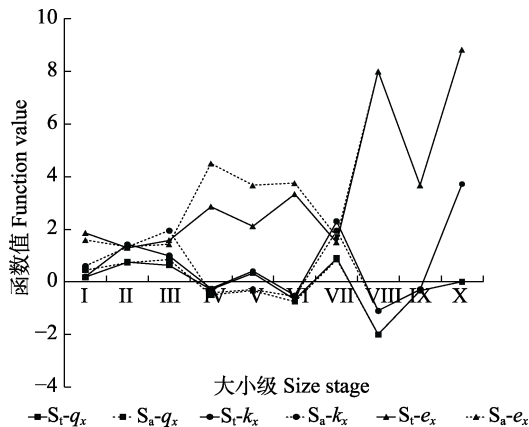


图5 猪血木种群致死力和寿命期望曲线。 S_a-e_x , 八甲镇野生猪血木种群进入 x 年个体的寿命期望值; S_a-k_x , 八甲镇野生猪血木种群致死率; S_a-q_x , 八甲镇野生猪血木种群标准化死亡率; S_t-e_x , 野生猪血木种群(包括三甲镇和八甲镇)进入 x 年个体的寿命期望值; S_t-k_x , 野生猪血木种群(包括三甲镇和八甲镇)致死率; S_t-q_x , 野生猪血木种群(包括三甲镇和八甲镇)标准化死亡率。I–X同图3。

Fig. 5 Killing power and life expectancy curve of *Euryodendron excelsum* population. S_a-e_x , life expectancy at age x of wild *E. excelsum* (only including Bajia Town); S_a-k_x , specific mortality of wild *E. excelsum* (only including Bajia Town); S_a-q_x , mortality rate of wild *E. excelsum* (only including Bajia Town); S_t-e_x , life expectancy at age x of wild *E. excelsum* (including Sanjia Town and Bajia Town); S_t-k_x , specific mortality of wild *E. excelsum* (including Sanjia Town and Bajia Town); S_t-q_x , mortality rate of wild *E. excelsum* (including Sanjia Town and Bajia Town). I–X see Fig. 3.

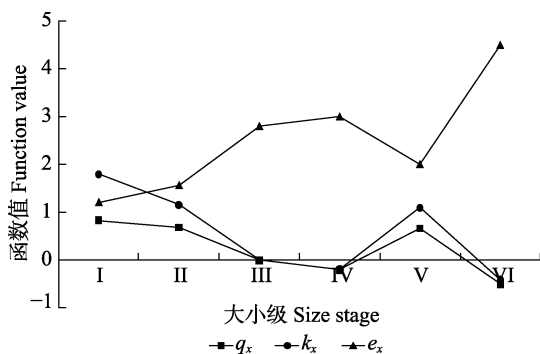


图6 三甲镇猪血木种群致死力和寿命期望曲线。 e_x , 进入 x 年个体的寿命期望值; k_x , 致死率; q_x , 标准化死亡率。I–VI同图3。

Fig. 6 Killing power and life expectancy curve of *Euryodendron excelsum* population of Sanjia town. e_x , life expectancy at age x ; k_x , specific mortality; q_x , mortality rate. I–VI see Fig. 3.

3 讨论

3.1 猪血木的野生种群结构及生存动态

对阳春野生猪血木种群(S_t 组)结构与数量动态分析表明: 该猪血木种群存活曲线为Deevey-III型, 幼龄个体数量充足, 种群不稳定, 对外界干扰很敏感, 整体表现为衰退型。通过观察第I级到第III级个

体变化情况发现, 幼苗的数量优势对于推动种群继续发展的贡献率很低, 仅有14.00%–26.22%的幼树顺利长成小树, 并在第V级营养生长过程中由小树步入中龄树阶段和第VIII级繁殖生长过程中由中龄树步入成年树阶段, 转化率均出现负增长现象, 致死力达到峰值。这说明在III、V、VIII这3个级, 猪血木幼苗对其他级的补充是不连续和不稳定的, 幼树、小树、中龄树向下一级转化阶段可能面临较大的生存竞争或其他阻碍因素, 阻碍种群的自然更新。这种特征与峨眉含笑(*Michelia wilsonii*) (肖书礼等, 2019)、南方红豆杉(*Taxus wallichiana* var. *mairei*) (王新功等, 2004)非常相似。

3.2 猪血木种群衰退的原因

在三组中第I级到第III级这个阶段, 幼苗转化率均减少。申仕康等(2008b)研究认为随植株年龄的增加, 小树和中年树对环境条件需求逐渐加强, 大量的猪血木幼年个体受到环境筛选, 只有少量个体能进入到小树阶段生长。此外, S_a 组在 V_3 时达到最大负值, 可能是受人为干扰影响, 野外调查发现由于猪血木为国家保护植物, 其生长的土地不能用于耕地或建造房屋, 当地村民会因为所在土地归属问题人为拔除幼苗, 以期获得更多的可利用土地。三组幼苗转化率同样减少, S_a 组锐减了71.9%, 而 S_s 组减少了39.3%, S_s 组幼苗转化率较 S_a 组低了近1/2。野外调查发现 S_a 组植株生境与人类活动范围相重合, 虽然当地林业部门对村庄内的植株实施定点保护, 但是树木周围家畜和人类频繁活动仍然影响幼苗正常生长。这说明目前实施的保护策略, 并不适合当前情况下的野生猪血木种群的发展。此外 S_s 组第VIII级至第X级, 各级植株数量为0, 造成原因可能是人为盗挖和砍伐。

种群结构对随机干扰的敏感指数分析表明, S_a 组和 S_s 组外界干扰敏感指数 P 分别为0.1和0.07。申仕康等(2008b)研究原八甲镇猪血木对外界干扰敏感指数 $P = 0.083$, 采取就地保护后 P 值反而变大, 相对应的种群结构的数量变化动态指数对外界干扰所承担的风险变大, 说明八甲镇当前实施的保护策略需要进一步改进。而 S_s 组的猪血木种群在三甲镇分布地虽未采取保护措施, 但由于人为盗挖砍伐的是部分成年植株, 并没有对幼苗更新造成影响, 因此三甲镇种群的恢复能力较八甲镇种群更强, 抗干扰能力更强。

S₁组和S_a两组中第Ⅶ级向Ⅷ级过渡时其数量反常性下降,原因是第Ⅶ龄级是树径级处于27.0–33.0 cm间的成年木材,根据野外调查及走访发现曾有记录的多株猪血木被盗挖和砍伐,用以制作家具等。人为活动可能是造成第Ⅶ龄级向第Ⅷ龄级过渡时出现负增长的主要原因。

4 结论和建议

极小濒危猪血木种群目前实施的保护策略在诸多方面仍然不够完善,并不适合当前情况下的野生猪血木种群的发展,造成野生种群逐渐衰退。猪血木野生种群分布区与人类活动区域高度重叠,且当地环境和人文条件复杂多样,是当前实施的保护措施不能有效起到的主要原因。新的保护策略需要综合考虑猪血木的生物学特性,生长环境特征、植被类型、伴生植物与当地村落的分布情况等诸多因素,以制定适宜的方案。

通过野外调查及对猪血木群落成分分析,发现猪血木生境与野生白及(*Bletilla striata*)(韦坤华等, 2019)有些相似,参考申仕康等(2007)和韦坤华等(2019)并结合实际情况,提出以下意见。

4.1 建立保护小区

三甲镇野生猪血木位于村落附近,并不在附近鹅凰嶂自然保护区范围内,其分布地未采取保护措施,与人类活动区域很近。其周围环境已遭到一定程度的破坏,但种群内成年植株有16株,幼苗及幼树共45株,在没有干扰的情况下,具有良好的繁殖恢复潜能。可进行围栏围封实行封育,靠自然力量实现种群更新,同时加强监测和宣传工作,加强当地人对猪血木的了解认识,从根本上解决当地人对于猪血木植株的认识不足、重视程度不够等问题。

划定建立保护小区的范围后,应以保护为主要目的,对被人类大面积破坏的小生境予以恢复,根据群落植物物种多样性分析结果,可在空地移栽或播种阴香、粉箬竹、九里香、热亚海芋等易于成活且形态美观的群落优势植物,构建天然群落,减少人为干扰对猪血木种群自然繁育的影响。

4.2 迁地保育

八甲镇是人类活动聚集区,并不适合建立大型的地方性保护区或森林公园,当地采取的保护措施是就地保护,由本研究结果可知,猪血木幼苗向幼树转化过程中对外界干扰敏感,转化率低,当前实

行的保护方式并不适合。考虑到八甲镇猪血木均为成株,生命力强,植株数目少,可考虑在附近鹅凰嶂保护区内找到合适的地点迁地保护部分小苗。

根据猪血木的适宜生境与生长发育规律进行实地调研,参考王跃华等(2002)的研究发现适宜猪血木生长的区域应满足以下几个基本条件: 1)远离村落、公路,人迹罕至,植物生长环境不易被破坏; 2)区域内有或曾有野生猪血木分布,生态环境与猪血木的适生环境相似; 3)生态环境良好,附近没有污染源; 4)植被覆盖良好,以适合猪血木生长的森林类型为佳,如阴香、粉箬竹、卫矛叶蒲桃及龙眼为优势种的森林群落,其他物种较完善,与猪血木所在群落常见物种相似; 5)猪血木为群落中的伴生植物,迁地移栽时应注意分散种植。

参考文献

- Cai F, Song YC (1997). A study on the structure and dynamics of *Schima superba* population on Wuyi Mountain. *Acta Phytocologica Sinica*, 21, 138–149. [蔡飞, 宋永昌 (1997). 武夷山木荷种群结构和动态的研究. 植物生态学报, 21, 138–149.]
- Chen XD (1998). A study on the method of quantitative analysis for plant population and community structural dynamics. *Acta Ecologica Sinica*, 18, 214–217. [陈晓德 (1988). 植物种群与群落结构动态量化分析方法研究. 生态学报, 18, 214–217.]
- Chen YZ, Ma XQ, Feng LZ, Zheng QR (2006). The population life table and periodic fluctuation of *Cinnamomum micranthum*, an endangered plant. *Acta Ecologica Sinica*, 26, 4267–4272. [陈远征, 马祥庆, 冯丽贞, 郑群瑞 (2006). 濒危植物沉水樟的种群生命表和谱分析. 生态学报, 26, 4267–4272.]
- Cui L, Su Y (2015). SSR markers for a critically endangered species *Euryodendron excelsum* and a distantly related species *Ternstroemia gymnanthera* (Ternstroemiaceae). *Biochemical Systematics and Ecology*, 58, 288–292.
- He H, Wang YH (2001). The existing circumstance and the biological characteristic research of *Euryodendron excelsum* H. T. Chang, the paticular genera in China. *Journal of Yunnan University (Natural Sciences Edition)*, 23(S1), 52–55. [何瀚, 王跃华 (2001). 中国特有属猪血木的生存现状及生物学特性研究. 云南大学学报(自然科学版), 23(S1), 52–55.]
- Hilton TC (2000). *IUCN Red List of Threatened Species*. IUCN Publication Service Unit, Cambridge. 21.
- Kang HJ, Chen ZL, Liu P, Hao CY, Wei FM (2007). The population structure and distribution pattern of *Emmenopterys henryi* in Dapanshan natural reserve of Zhejiang Province. *Acta Ecologica Sinica*, 27, 389–396. [康华靖, 陈子林, 刘鹏, 郝朝运, 韦福民 (2007). 大盘山自然保护区香果树种群结构与分布格局. 生态学报, 27, 389–396.]

- Li XK, Su ZM, Xiang WS, Ning SJ, Tang RQ, Ou ZL, Li RT (2002). Study on the structure and spatial pattern of the endangered plant population of *Abies yuanbaoshanensis*. *Acta Ecologica Sinica*, 22, 2246–2253. [李先琨, 苏宗明, 向悟生, 宁世江, 唐润琴, 欧祖兰, 李瑞棠 (2002). 濒危植物元宝山冷杉种群结构与分布格局. 生态学报, 2246–2253.]
- Leak WB (1975). Age distribution in virgin red spruce and northern hardwoods. *Ecology*, 56, 1451–1454.
- Li B (2000). *General Ecology*. Higher Education Press, Beijing. 43–49. [李博 (2000). 普通生态学. 高等教育出版社, 北京. 43–49.]
- Li XBY, Fu L, Wang FG, Xing FW (2017). *Michelia guangdongensis* (Magnoliaceae), an endangered plant species with extremely small population, should be evaluated as CR C2a (i); D. *Biodiversity Science*, 25, 91–93. [李西贝阳, 付琳, 王发国, 邢福武 (2017). 极小种群植物广东含笑应当被评估为极危等级. 生物多样性, 25, 91–93.]
- Luo XY, Tang GD, Xu H, Zhuang XY, Zheng WJ, Zeng M (2005). Genetic diversity of three endemic and endangered species of the family Theaceae in Guangdong, China. *Biodiversity Science*, 13, 112–121. [罗晓莹, 唐光大, 许涵, 庄雪影, 郑文经, 曾明 (2005). 山茶科3种中国特有濒危植物的遗传多样性研究. 生物多样性, 13, 112–121.]
- Ran Q, Wei HY, Zhao ZF, Zhang QZ, Liu J, Gu W (2019). Impact of climate change on the potential distribution and habitat fragmentation of the relict plant *Cathaya argyrophylla* Chun et Kuang. *Acta Ecologica Sinica*, 39, 2481–2493. [冉巧, 卫海燕, 赵泽芳, 张权中, 刘静, 顾蔚 (2019). 气候变化对孑遗植物银杉的潜在分布及生境破碎度的影响. 生态学报, 39, 2481–2493.]
- Shen SK, Hu XL, Wang YH (2008a). Ornithochory of *Euryodendron excelsum* and its significance in conservation biology. *Guihaia*, 28, 650–654. [申仕康, 胡晓立, 王跃华 (2008a). 鸟类对猪血木种子的散布及其在保护中的意义. 广西植物, 28, 650–654.]
- Shen SK, Ma HY, Liu XY, Wang YH (2007). The endangered causes and preserving strategies for *Euryodendron excelsum*, a plant endemic to China. *Ecology and Environment*, 16, 1819–1823. [申仕康, 马海英, 刘湘永, 王跃华 (2007). 中国特有植物猪血木的濒危原因及保护对策. 生态环境, 16, 1819–1823.]
- Shen SK, Ma HY, Wang YH, Wang BY, Shen GZ (2008b). The structure and dynamics of natural population of the endangered plant *Euryodendron excelsum* H. T. Chang. *Acta Ecologica Sinica*, 28, 2404–2412. [申仕康, 马海英, 王跃华, 王博轶, 申国柱 (2008b). 濒危植物猪血木 (*Euryodendron excelsum* H. T. Chang) 自然种群结构及动态. 生态学报, 28, 2404–2412.]
- Su YJ, Wang T, Sun YF, Ye HG (2009). High ISSR variation in 14 surviving individuals of *Euryodendron excelsum* (Ternstroemiaceae) endemic to China. *Biochemical Genetics*, 47, 56–65.
- Tao DL, Xu ZB, Li X (1985). Experimental study on the effect of dead and living ground covers on the natural regeneration of *Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc. associated tree species. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica*, 9, 47–58. [陶大立, 徐振邦, 李昕 (1985). 死、活地被物对红松伴生树种天然更新影响的实验研究. 植物生态学报, 9, 47–58.]
- Wang T, Su YJ, Ye HG, Ouyang PY, Jiang Y, Sun YF, Chen GP, Deng F, Zhang HD (2005). Genetic differentiation and conservation of 14 surviving individuals of *Euryodendron excelsum* endemic to China. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 44, 68–72. [王艇, 苏应娟, 叶华谷, 欧阳蒲月, 江宇, 孙宇飞, 陈国培, 邓锋, 张宏达 (2005). 中国特有极度濒危植物猪血木的保护遗传学研究. 中山大学学报(自然科学版), 44, 68–72.]
- Wang XG, Wu CZ, He DJ, Liao CZ, Cheng Y, Feng L (2004). Life table and spectral analysis of endangered plant *Taxus chinensis* var. *mairei* population. *Journal of Applied Ecology*, 15, 201–204. [王新功, 吴承祯, 何东进, 廖成章, 程煜, 封磊 (2004). 濒危植物南方红豆杉种群生命表及谱分析. 应用生态学报, 15, 201–204.]
- Wang YH, Cao LM, He H, Hu XL (2002). Cutting propagation of the endangered species *Euryodendron excelsum* H. T. Chang from Theaceae. *Journal of Yunnan University (Natural Science Edition)*, 24, 227–228. [王跃华, 曹丽敏, 何瀚, 胡晓立 (2002). 山茶科濒危植物猪血木 (*Euryodendron excelsum* H. T. Chang) 的扦插繁殖. 云南大学学报(自然科学版), 24, 227–228.]
- Wang YH, Shen SK, Shen GZ, Wang BY, Hu XL, Wang M, Liu XY (2016). Pollination biology of endangered *Euryodendron excelsum*. *Journal of West China Forestry Science*, 36(4), 11–15. [王跃华, 申仕康, 申国柱, 王博轶, 胡晓立, 王敏, 刘湘永 (2007). 濒危植物猪血木的传粉生物学特性研究. 西部林业科学, 36(4), 11–15.]
- Wang Z, Hu ZY, Huang L (2015). Development and characterization of genomic microsatellite markers in *Apterosperma oblata* (Theaceae) and cross-amplification in *Euryodendron excelsum* (Ternstroemiaceae). *Conservation Genetics Resources*, 7, 119–120.
- Wei KH, Liang Lin Y, Li LX, Hu Y, Liao JH, Gao WY (2019). Conservation research of *Bletilla striata*. *Modern Chinese Medicine*, 21, 689–693. [韦坤华, 梁莹, 林杨, 李林轩, 胡营, 缪剑华, 高文远 (2019). 白及的保育研究. 中国现代中药, 21, 689–693.]
- Xiao SL, Fu MY, Yang K, Chen XH (2019). Population structure and quantitative dynamics of an extremely small population, *Michelia wilsonii*. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 39, 1279–1288. [肖书礼, 付梦媛, 杨科, 陈小红 (2019). 极小种群野生植物峨眉含笑种群结构与数量动态. 西北植物学报, 39, 1279–1288.]
- Ye HG, Wang FG, Zhou LX, Ye YS, Huang S (2002). *Euryodendron excelsum*, a endangered tree of Theaceae. *Plant Journal*, (4), 3. [叶华谷, 王发国, 周联选, 叶育石, 黄仕 (2002). 山茶科濒危树种猪血木. 植物杂志, (4), 3.]
- Ren Z, Chen L, Peng H (2016). *Orophea yunnanensis* should be listed as a plant species with extremely small population. *Biodiversity Science*, 24, 358–359. [任喆, 陈丽, 彭华 (2016). 云南澄广花应该作为极小种群植物加强保护. 生物多样性, 24, 358–359.]

特邀编委: 杨永川 责任编辑: 李 敏