

枸杞果实发育过程中细胞壁组分及相关酶活性的变化

冯 美¹, 张 宁², 张锦涛¹, 张宏宝¹, 刘听利¹

(1. 宁夏大学 农学院, 宁夏 银川 750021; 2. 宁夏大学 化学化工学院, 宁夏 银川 750021)

摘 要:以宁杞 1 号为试材,在果实成熟的不同时期测定细胞壁组分含量以及促进果胶分解的酶活性。结果表明:可溶性果胶、离子型果胶含量均呈先上升后下降,成熟时又升高的趋势。共价结合的果胶在青果期含量较高,在成熟过程中不断下降。纤维素和半纤维素含量在果实成熟时都呈下降趋势。果胶甲酯酶(PME)在青果期中的活性最高,随着果实的进一步成熟,PME 活性逐渐降低,在成熟后期即红熟期又稍有上升。多聚半乳糖醛酸酶(PG)活性在果实发育初期活性不高,变色期后活性急剧上升,在绿熟期、黄熟期、红熟期都保持较高水平。

关键词:枸杞;果实发育;果胶;纤维素;细胞壁水解酶

中图分类号:S567.19 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2012)01-0040-03

Changes of Cell Wall and Hydrolases in the Fruit of *Lycium barbarum* during Development and Ripening

FENG Mei¹, ZHANG Ning², ZHANG Jin-tao¹, ZHANG Hong-bao¹, LIU Ting-li¹

(1. Agriculture School, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China;

2. Chemistry and Chemical Engineering School, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China)

Abstract: Changes of cell wall components and activity of pectin-degrading enzyme during fruit development of *Lycium barbarum* were investigated. The results showed that the content of water soluble pectin (WPS) and ionic bonded accumulated rapidly at the early ripening stage, then decreased after turning stage, increased again at red mature stage. The content of covalent bond pectin was high at stage of premature, then decreased at maturation. The contents of cellulose and hemicellulose decreased during fruit development. Pectinmethylesterase (PME) activity was significantly higher at premature stage, then decreased, increased again at red mature stage. Polygalacturonase (PG) activity was lower in the early stage of fruit development, then increased quickly in higher level at the stages of green mature, yellow mature, and red mature.

Key words: *Lycium barbarum* L; fruit development; pectin; cellulose; cell wall-degrading enzymes

中宁枸杞 (*Lycium barbarum*) 属茄科枸杞属,是多年生双子叶落叶灌木。主要分布于陕西、宁夏、青海、新疆等地,中宁枸杞含有多种活性物质,具有增强免疫力、抗衰老、抗肿瘤、抗氧化等方面的药理作用^[1],是一种十分名贵的中药材,同时,枸杞中含有胡萝卜素、维生素及微量矿质元素等人类必需的营养物质,是理想的药用食用植物资源。

果实软化是大多数易腐果实成熟的一个重要标志,它一方面影响果实采后的品质,另一方面也直接

影响果实商品性。果实细胞壁的变化是引起果实软化的最重要原因之一^[2]。枸杞属于浆果,根据其果实生理特点,采后在常温下极易发生果实腐烂。随着枸杞鲜果在食品工业领域应用的增多,对其需求量在不断增大,有必要了解枸杞鲜果成熟软化的生理变化。目前,对枸杞果实发育过程中细胞壁的变化研究还未见报道,本试验以宁杞 1 号为材料,研究果实发育不同阶段细胞壁物质含量及相关水解酶活性的变化规律,为枸杞鲜果贮藏加工提供依据。

1 材料和方法

1.1 材料

试验于2010年5—9月在宁夏农科院园艺研究所枸杞基地进行,以宁杞1号为材料,随机区组设计,3个重复,每重复选择代表性植株15株,田间管理按常规方法进行。

1.2 方法

1.2.1 取样、贮存 按照叶力勤^[3]对枸杞果实发育时期的确定方法,分别在5个时期取样,青果期(Ⅰ):全果青绿,花后20 d;变色期(Ⅱ):果身大部为绿色,但果口(与萼片接触处)处开始变为绿黄色,花后25 d;绿熟期(Ⅲ):果身绿—黄色,果口黄红,果体绿黄面积20%~50%,花后28 d;黄熟期(Ⅳ):果体外表黄红色,花后31 d;红熟期(Ⅴ):果实从里到外呈鲜红色,花后34 d。

采样时于上午8:30~9:30,分别从标记植株树冠的东、南、西、北四个方向以及上、中、下、内、外各个方向采取无病虫害的果实装入冰壶带回实验室,按四分法取样,样品保存于-80℃冰箱中。

1.2.2 果胶含量的测定 参考Zhou^[4],Fishman^[5]的方法,用5 g果实100 mL80%乙醇中煮20 min,冷却后3 000 rpm离心10 min,用20 mL乙醇和丙酮各重新离心洗2遍,得到粗细胞壁,用15 mL90%的二甲基亚砷浸泡15 h,去掉淀粉,在低温冰箱中冻干3 d,然后在45℃干燥。用50 mmol·L⁻¹的乙酸钠(pH6.5)加到粗细胞壁中,离心提取得到水溶性果胶。用50 mmol·L⁻¹ CDTA和乙酸钠(pH6.5)提取6 h,离心得到离子型果胶。50 mmol·L⁻¹的碳酸钠(含2 mmol·L⁻¹ CDTA)4℃下提取18 h,室温下2 h,离心得到共价结合的果胶,4 mol·L⁻¹的氢氧化钾(含1%硼氢化钠)振荡提取5 h,得到半纤维素,剩下的用无离子水洗两遍,得到纤维素。用咔唑硫酸比色法测定果胶类物质含量^[6],用蒽酮比色法测定纤维素含量^[7]。

1.2.3 果胶甲酯酶(PME)、多聚半乳糖醛酸酶(PG)的测定 PME酶活性参照朱广廉等^[8]的方法测定,一个PME活性单位表示30 min内每克果肉释放出1 mmol甲氧基(-OCH₃)。PG酶活性的测定方法参考Pressey R^[9],以单位重量果实中单位时间内产生的半乳糖醛酸含量表示酶活性。

2 结果与分析

2.1 枸杞果实发育过程中果胶含量的变化

枸杞果实发育过程中,可溶性果胶呈先上升后

下降,成熟时又升高的趋势。青果期含量较低,在变色期达到最大值,然后下降,黄熟期降到最低,红熟期又开始升高。果实发育过程中可溶性果胶含量先上升可能是由于原果胶降解的原因,绿熟期和黄熟期含量逐渐下降,可能是因为部分可溶性果胶降解为果胶酸的缘故。红熟期,果实完全成熟软化,此时在果胶降解相关酶的作用下,果胶物质发生降解,一些高分子量的、高甲氧基化的果胶多糖转变为低分子的、可溶于水的果胶多糖,导致红熟期可溶性果胶含量又有所升高(图1)。

离子型果胶是CDTA通过螯合细胞壁物质中Ca²⁺来提取细胞壁中以离子键连接的果胶多糖。枸杞果实成熟过程中,离子型果胶呈先上升后下降的趋势,在变色期达到最大值,然后下降,红熟期又有所升高,其变化趋势与可溶性果胶类似(图1)。

共价键连接的果胶是碳酸钠通过去酯化作用提取的,这种提取导致可溶性果胶之间的酯键断裂,得到分子量相对较小的果胶物质。共价结合的果胶在青果期含量较高,在成熟过程中不断下降,到红熟期下降速度最快,枸杞细胞壁中共价结合的果胶含量随果实成熟度的增高而减少(图1)。

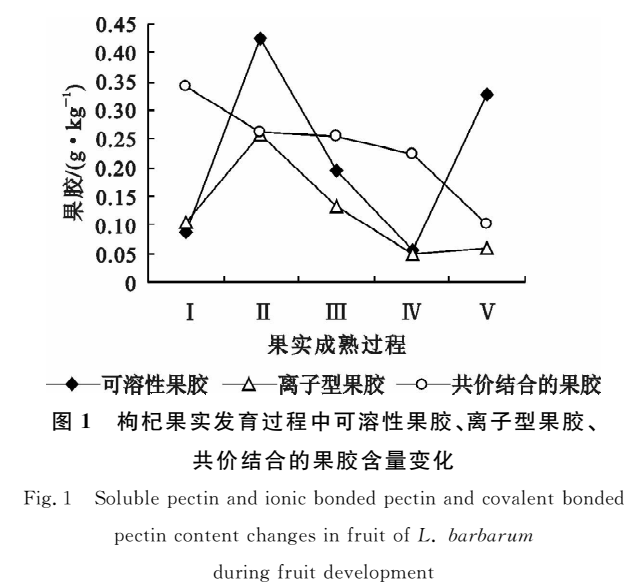


图1 枸杞果实发育过程中可溶性果胶、离子型果胶、共价结合的果胶含量变化

Fig. 1 Soluble pectin and ionic bonded pectin and covalent bonded pectin content changes in fruit of *L. barbarum* during fruit development

2.2 枸杞果实发育过程中纤维素、半纤维素含量的变化

枸杞果实发育过程中,纤维素和半纤维素含量变化趋势相同,从青果期、变色期至绿熟期没有大的变化,在绿熟期后有所下降,到红熟期降到最低。意味着枸杞随着果实的发育,纤维素和半纤维素发生了损失,可能导致了枸杞果实成熟软化(图2)。

2.3 枸杞果实发育过程中PME、PG活性的变化

PME酶在青果期中的活性最高,这时候果实也是最硬的,随着果实的进一步成熟,PME酶活性逐

渐降低,在成熟后期即红熟期又稍有上升,和 PG 酶的活性同步。前期在 PME 酶的作用下,果胶甲酯化程度降低,因此有利于后期 PG 酶对果胶的水解作用(图 3)。

枸杞果实中,PG 酶活性在成熟软化初期活性不高,青果期和变色期没有太大变化,到了绿熟期,它的活性大约跃增到前两个时期的 10 倍。该酶在果实成熟软化后期活性高,说明 PG 酶在枸杞果实的软化后期水解多聚半乳糖醛,对果实的质地改变起到了重要作用(图 4)。

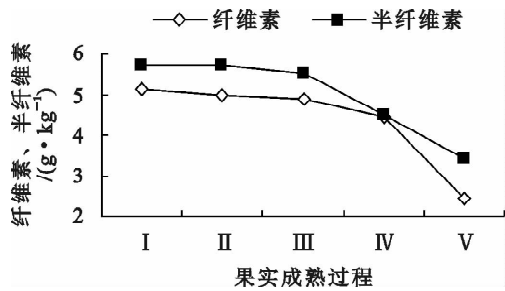


图 2 枸杞果实发育过程中纤维素、半纤维素含量变化

Fig. 2 Cellulose and hemicellulose content changes in fruit of *L. barbarum* during fruit development

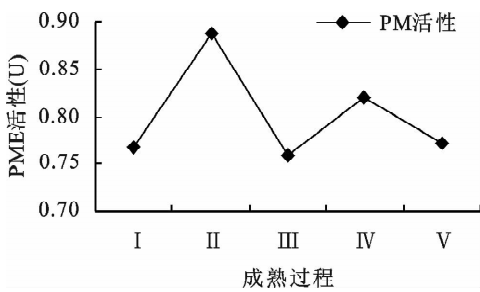


图 3 枸杞果实发育过程中 PME 活性变化

Fig. 3 Changes of PME activity in fruit of *L. barbarum* during fruit development

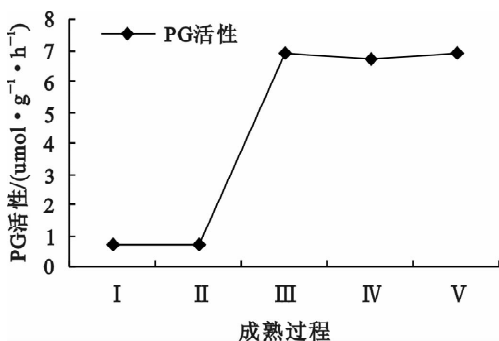


图 4 枸杞果实发育过程中 PG 活性变化

Fig. 4 Changes of PG activity in fruit of *L. barbarum* during fruit development

3 讨论

在果实成熟软化过程中,细胞壁物质的含量均发生变化。一般纤维素、半纤维素和果胶等大分子的降解均会对果实质地的变化产生巨大影响。Ma-

lis-Arad^[10]等发现在果实成熟过程中硬度下降一般伴随着不溶性果胶物质含量的降低。

从本试验可以看出,枸杞果实在变色期和红熟期,可溶性果胶和螯合剂提取的离子型结合果胶含量均增加。可以推测枸杞果实成熟过程中主要是原果胶降解,可溶性果胶发生较大变化,从而引起了果实硬度的改变。在果实成熟过程中以共价键连接的果胶含量随成熟度的增高而减少,同桃果实的变化趋势相同^[11]。枸杞果实成熟过程中,纤维素和半纤维素含量在绿熟期后有所下降,说明纤维素和半纤维素对枸杞果实成熟软化有一定影响。

PME 的作用是催化脱除半乳糖醛酸 C6 羧基上的甲醇基,由于 PG 是以脱去甲醇基的多聚半乳糖醛酸为作用对象,因此,PME 的活动似乎是 PG 活动的必要前提。二者共同作用分解细胞壁结构果胶—纤维素—半纤维素聚合体上的原果胶。本试验可以看出 PME 的活性高峰在变色期,较 PG 早(PG 的活性高峰在绿熟期),说明对果胶的水解是由 PME 首先启动的,PME 酶活性增加,使果胶去甲酯化,随后 PG 酶活性增加,枸杞果实硬度开始下降。PG 活性增加长期以来一直被认为与果实成熟软化密切相关^[12],PG 在枸杞果实成熟软化后期活性最高,充分说明了 PG 对枸杞果实成熟软化过程中果实硬度降低和果实质地的改变起主要作用。

综合分析,枸杞果实发育过程中,果实成熟软化与可溶性果胶含量的变化、纤维素含量的变化、以及促进这些物质水解的细胞壁水解酶 PG、PME 活性都有较为密切的联系。

参考文献:

[1] 包振华,郭军战,周玮,等. 枸杞组织培养再生体系优化[J]. 西北林学院学报,2010,25(5):73-76.
BAO ZH H, GUO J ZH, ZHOU W, *et al.* Optimization of tissue culture regeneration system of *Lycium barbarum* L[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2010, 25(5): 73-76.
[2] HUBER D J. The role of cell wall hydrolases in fruit softning [J]. Horticultural Reviews, 1983(5): 169-219.
[3] 叶力勤. 枸杞果实发育时期及特性观察[J]. 宁夏农林科技, 2009(2):18-19
[4] ZHOU H W, SONEGO L, KHALCHITSKI A, *et al.* Cell wall enzymes and cell wall changes in ‘Flavortop’ nectarines: mRNA abundance, enzyme activity, and changes in pectic and neu-tral polymers during ripening and in woolly fruit[J]. Am SocHorticSci,2000,125(5):630-637
[5] FISHMAN ML, LEVAJ B, GILLESPIE D, *et al.* Changes in the physico-chemical properties of peach fruit pectin during on tree ripening and storage[J]. Am Soc Hortic Sci,1993,118(3):343-349.

濒危物种金花猕猴桃生存群落特征及濒危原因分析

龚弘娟, 蒋桥生, 莫权辉, 叶开玉, 张静翊, 李洁维*

(广西壮族自治区 中国科学院 广西植物研究所, 广西 桂林 541006)

摘要:为了了解金花猕猴桃(*Actinidia chrysantha*)的生境特点及其种群存活现状,在广西、广东、湖南等地的13个不同地点对金花猕猴桃生存群落展开了群落学调查,共调查样方19个。在此基础上,本文对金花猕猴桃生存群落的物种组成、结构特征、群落类型、生活型、年龄结构等进行了分析。结果表明:金花猕猴桃生存群落物种组成非常丰富,在4 800 m²的样地中共有维管束植物351种,隶属于92科,211属;金花猕猴桃生存群落类型多样,层次结构复杂,通过聚类分析可划分为8种类型;其生活型组成以高位芽植物为主,占总数的82.14%,但是大高位芽植物缺乏;年龄结构分析表明金花猕猴桃种群将趋于衰退。金花猕猴桃适生境极为狭窄,最适宜其分布的海拔范围为900~1 334 m。对生境要求的苛刻和由于种群小且地理隔离严重而导致的生殖力低是金花猕猴桃濒危的重要原因。

关键词:金花猕猴桃;濒危原因;群落类型;生活型;年龄结构

中图分类号:Q948.15 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2012)01-0043-07

An Analysis on the Characteristics of Community and Endangered Cause of Endangered Species *Actinidia chrysantha*

GONG Hong-juan, JIANG Qiao-sheng, MO Quan-hui, YE Kai-yu, ZHANG Jing-chi, LI Jie-wei*

(Guangxi Institute of Botany, Guangxi Zhuangzu Autonomous Region and the Chinese Academy of Sciences, Guilin, Guangxi 541006, China)

Abstract: In order to understand the habitat characteristics and the present survival situations of *Actinidia chrysantha* population, coenological investigation was carried out in 19 plots with various areas (10 m×10 m, 10 m×20 m, 10 m×30 m, 20 m×20 m) in 13 different locations within Guangdong, Hunan provinces and Guangxi Zhuangzu Autonomous Region of China. Based on the community investigation, the species component, structure, community type, life-form and age structure of *A. chrysantha* community were analyzed. *A. chrysantha* community is very rich in species, communities, there are 351 vascular plant species, belonging to 211 genera and 92 families in 4 800 m² plots. There are varied types of community with complex structure, which can be divided into 8 types by cluster analysis. The life-form is consisting mainly of phanerophytes, which account for 82.14% of the total species, but lack of megaphanerophytes. Analysis on age structure of *A. chrysantha* population showed that the population tend to decline. Altitude distributions of the most appropriate ranges for the growth of *A. chrysantha* are between 900 m to 1 334 m, habitat for the its survival is very limited. The important causes of *A. chrysantha* being endangered are habitat demanding and the low fertility which caused by serious geographical isolation and small population size.

Key words: *Actinidia chrysantha*; endangered cause; community type; life-form; age structure

金花猕猴桃(*Actinidia chrysantha*)是猕猴桃属植物中唯一开金黄色花的种类;其果实大小仅次

收稿日期:2010-05-19 修回日期:2011-07-06

基金项目:国家自然科学基金(30760027);广西自然科学基金(桂科自 0832224)

作者简介:龚弘娟,女,助理研究员,主要从事果树栽培及资源收集调查等相关研究。Email:gongjian_3000@sohu.com

* 通讯作者:李洁维,女,研究员,从事果树引种栽培与良种选育研究。Email:lijw@gxib.cn

于中华猕猴桃 (*Actinidia chinensis*), 属中果形, 果肉细腻, 呈淡绿至绿色, 具香气, 酸甜可口, 营养丰富, 适宜于鲜食或加工罐头, 且成熟期较迟, 果皮较坚硬, 耐贮藏^[1]; 其根具有抗癌功效, 在民间常以单方形式用于治疗鼻咽癌、胃癌、肝癌、乳癌等多种癌症^[2]。因此, 金花猕猴桃是杂交育种、种质创新的珍贵资源。然而, 随着社会经济发展的需要, 人类对自然资源的不合理开发利用和生态环境的迅速变化, 使很多猕猴桃种质资源处于受威胁的状况, 有 10 余种已处于濒危状态^[3], 其中金花猕猴桃已被列为中国第二批珍稀濒危植物^[4]。

然而, 目前关于金花猕猴桃的研究很少, 更没有关于其生存环境的群落学研究。研究金花猕猴桃生存环境的群落特征及其在群落中的地位, 探明其种群的年龄结构, 对于揭示金花猕猴桃的濒危现状及其濒危的原因具有重要意义, 并可为金花猕猴桃的保护提供科学依据。为此, 深入金花猕猴桃的主要分布区 (包括广西的龙胜、临桂、资源、贺州, 湖南的城步及广东的天井山等地) 进行了群落学调查及采样, 对其生存群落的群落特征进行了较为全面的分析。

1 材料与方法

1.1 样地概况

群落调查共调查样点 13 个, 样方总数 19 个, 总面积 4 800 m², 每个样方均用 GPS 定位仪测定经度、纬度及海拔。由于野外环境复杂, 受地形限制, 根据样点实际情况, 样方设置有 10 m×10 m、10 m×20 m、10 m×30 m、20 m×20 m 等多种类型, 样方设置时考虑其地势特点, 一般使样方长轴与海拔梯度方向平行 (表 1)。

表 1 13 个样点的基本信息表

Table 1 Basic information of 13 sampling sites

| 编号 | 样方数 | 样方大小 | 地点 | 海拔/m |
|-----|-----|-----------|-----------------|-------|
| P1 | 1 | 10 m×20 m | 广西龙胜金竹坳 | 690 |
| P2 | 1 | 10 m×30 m | 广西龙胜金竹坳 | 658 |
| P3 | 1 | 10 m×20 m | 广西临桂宛田至黄沙 | 980 |
| P4 | 2 | 20 m×20 m | 广西临桂黄沙路口 | 1 204 |
| P5 | 1 | 20 m×20 m | 广西临桂黄沙路口后 100 m | 1 208 |
| P6 | 1 | 10 m×20 m | 广西临桂花坪保护区 | 1 256 |
| P7 | 1 | 10 m×10 m | 广西临桂花坪保护区 | 928 |
| P8 | 3 | 10 m×20 m | 广西临桂花坪保护区 | 1 334 |
| P9 | 2 | 10 m×20 m | 广西资源车田 Q1 | 1 083 |
| | | 10 m×20 m | 广西资源车田 Q2 | 1 034 |
| P10 | 2 | 10 m×20 m | 广西贺州姑婆山姑婆肚 Q1 | 695 |
| | | 10 m×20 m | 广西贺州姑婆山姑婆肚 Q2 | 728 |
| P10 | 2 | 10 m×20 m | 广西贺州姑婆山马古槽 Q1 | 568 |
| | | 10 m×20 m | 广西贺州姑婆山马古槽 Q2 | 575 |
| P12 | 1 | 20 m×20 m | 湖南城步明头坳 | 900 |
| P13 | 1 | 20 m×20 m | 广东天井山 | 900 |

1.2 调查方法

每个样方均做乔木层及林下植被调查。每木调查: 以 5 m×5 m 为基本单元, 用相邻格子法做每木调查, 测定胸径≥2 cm 的全部乔木的胸径、树高、冠幅和枝下高, 大型木质藤本 (如金花猕猴桃) 计入乔木层, 记录其胸径和攀援高度, 与吴冬等 (2011) 的方法相一致^[5]。林下植被调查: 在每个大样方的四角和中心各设 1 个 2 m×2 m 的小样方, 调查灌木、草本及草质藤本植物, 记录其高度、粗度、多度、盖度等指标。

1.3 数据分析

1.3.1 生活型划分 按 Raunkiaer 生活型分类系统, 统计群落的生活型谱。

某一生活型百分率 = (该生活型的植物种数 / 该群落所有的植物种数) × 100。

1.3.2 年龄级划分方法 种群的年龄级划分, 在森林群落中通常是以树木的立木级来代表^[6], 即以胸径和树高等作为代用指标来衡量树木的年龄。由于金花猕猴桃是藤本植物, 不能以乔木的标准来衡量, 因此其年龄等级参照其他学者的方法^[7-8], 按照金花猕猴桃的生活史特点划分: I 级: 茎粗≤1 cm; II 级: 1 cm<茎粗≤3 cm; III 级: 3 cm<茎粗≤5 cm; IV 级: 5 cm<茎粗≤7 cm; V 级: 茎粗>7 cm。

1.3.3 聚类分析 以每个样地乔木层树种的重要值为指标, 采用欧氏距离为依据, 以其对 13 个样点进行聚类, 根据聚类分析结果划分群落类型。由于金花猕猴桃是大型木质藤本, 一般攀援至群落上层, 每木调查中记录到了乔木层, 因此在计算重要值时和乔木一起参与乔木层重要值的计算。

密度 = 一种植物个体总数 / 样地面积

相对密度 = (一个种的密度 / 所有种的密度和) × 100

频度 = 该种植物出现的样地数 / 所调查的样地总数

相对频度 = (一个种的频度 / 所有种的频度总和) × 100

相对显著度 = (该种所有个体胸面积之和 / 所有种个体胸面积之和) × 100

重要值 (IV) = 相对密度 + 相对显著度 + 相对频度

1.3.4 数据处理软件 各指标的计算、生活型谱图及年龄结构图制作采用 Excel2003 软件进行, 聚类分析及聚类图用 statistica6.0 软件处理。

2 结果与分析

2.1 物种组成

根据样方调查的结果, 金花猕猴桃伴生群落内

物种多样性十分丰富,在调查的 13 个样点、共 19 个样方中,共有维管束植物 351 种,隶属于 92 科,211 属。其中双子叶植物种类最多,有 70 科 165 属 281 种,单子叶植物 5 科 22 属 38 种,裸子植物 3 科 3 属 3 种,蕨类植物种类丰富,共有 14 科 21 属 29 种。

在全部 92 个科中,以樟科(20 种)和山茶科(19 种)种类最多,禾本科(16 种)、茜草科(16 种)、菊科(15 种)所含植物种类也较多,均达到了 15 种以上,含 10 种以上的科还有蔷薇科(14 种)、壳斗科(14 种)、大戟科(10 种)、百合科(11 种)。含 10 种以上的科共 9 个,占总科数的 9.8%,共含物种 135 个,占物种总数的 38.5%。含物种数较多的科还有杜

鹃花科(9 种)、紫金牛科(9 种)、野牡丹科(7 种)、桦木科(7 种)、马鞭草科(7 种)、五加科(7 种)、山矾科(6 种)、猕猴桃科(6 种)、金缕梅科(6 种)、莎草科(6 种)、鳞毛蕨科(6 种)。除以上 20 个科外,其余科属所含物种均小于 5 种,以 1 种或 2 种的居多。其中仅含 1 个种的科共 37 个,占总科数的 40.2%。

2.2 群落的垂直结构

金花猕猴桃生存群落,主要有两种森林类型即中亚热带常绿落叶阔叶混交林和针阔混交林,其结构复杂,可被划分为乔木层、灌木层、草本层和藤本植物,有些群落乔木层又可划分为两层或三层。各个样点的层次结构及主要物种组成如表 2 所示。

表 2 杂木林各样点的主要物种组成

Table 2 Major species components of various sampling sites in mixed stands

| 样地号 | 层次结构 | | 主要物种组成 |
|-----|------|------|---|
| P1 | 乔木层 | 第一亚层 | 高 15~20 m,粗度 13~24 cm,马尾松(<i>Pinus massoniana</i>)、厚壳树(<i>Ehretia thyrsiiflora</i>)、杉木(<i>Cunninghamia lanceolata</i>)、黎蒴锥(<i>Castanopsis fissa</i>)。 |
| | | 第二亚层 | 高 8~15 m,粗度 6~22 cm,马尾松、野柿(<i>Diospyros kaki</i>)、山乌桕(<i>Sapium discolor</i>)等。 |
| | | 第三亚层 | 高度 3~8 m,粗度 3.5~20.0 cm,黄杞(<i>Engelhardtia roxburghiana</i>)、杨梅(<i>Myrica rubra</i>) 野柿、山榎叶泡花树(<i>Meliosma thorelii</i>)等。 |
| | 灌木层 | | 野柿、白榿木(<i>Loropetalum chinense</i>)、杨梅、红背山麻杆(<i>Alchornea trewioides</i>)、米楮(<i>Castanopsis carlesii</i>)等。 |
| | 草本层 | | 心叶稷(<i>Panicum notatum</i>)、里白(<i>Hicriopteris glauca</i>)、海金沙(<i>Lygodium japonicum</i>)、芒萁(<i>Dicranopteris dichotoma</i>)、淡竹叶(<i>Lophatherum gracile</i>)、地苣(<i>Melastoma dodecandrum</i>)等。 |
| | 藤本植物 | | 金花猕猴桃、亮叶崖豆藤(<i>Millettia nitida</i>)、山银花(<i>Lonicera confusa</i>)、苍白秤钩风(<i>Diploclisia glaucescens</i>)等。 |
| P2 | 乔木层 | 第一亚层 | 高 8~13 m,胸径 5~17 cm,山苍子(<i>Litsea cubeba</i>)、山乌桕、钩锥(<i>Castanopsis tibetana</i>)、杜英(<i>Elaeocarpus decipiens</i>)、蚊母树(<i>Distylium racemosum</i>)等。 |
| | | 第二亚层 | 高 4~7 m,胸径 3~6 cm,山苍子、山乌桕、鹅掌柴(<i>Schefflera octophylla</i>)、楸木(<i>Aralia chinensis</i>)等。 |
| | | 灌木层 | 山乌桕、蚊母树、红背山麻杆、锈毛莓(<i>Rubus reflexus</i>)、光叶海桐(<i>Pittosporum glabratum</i>)等。 |
| | 草本层 | | 肾蕨(<i>Nephrolepis auriculata</i>)、白花败酱(<i>Patrinia villosa</i>)、五节芒(<i>Miscanthus floridulus</i>)、大叶(裂苞)艾纳香(<i>Blumea martiniana</i>)、地苣等。 |
| | 藤本植物 | | 金花猕猴桃、蓝叶藤(<i>Marsdenia tinctoria</i>)、异果崖豆藤(<i>Millettia heterocarpa</i>)、东风草(<i>Blumea megacephala</i>)、三裂叶蛇葡萄(<i>Ampelopsis delavayana</i>)。 |
| P3 | 乔木层 | | 高 3~11 m,胸径 3.0~10.5 cm,毛竹(龟甲竹)(<i>Phyllostachys heterocycla</i>)、杉木、鹅掌柴、狭叶密花树(<i>Rapanea kwangsiensis</i> var. <i>lanceolata</i>)、红梗润楠(<i>Machilus rufipes</i>)等。 |
| | 灌木层 | | 黄皮润楠(<i>Machilus versicolora</i>)、杉木、鼠刺(<i>Itea chinesis</i>)、野牡丹(<i>Melastoma candidum</i>)、多花野牡丹(<i>Melastoma affine</i>)、鹅掌柴、红背山麻杆等。 |
| | 草本层 | | 五节芒、芒萁、大叶艾纳香、无芒山涧草(<i>Chikusichloa mutica</i>)、稀子蕨(<i>Monachosorum henryi</i>)、马兰(<i>Kalimeris indic</i>)等。 |
| | 藤本植物 | | 金花猕猴桃、梨叶悬钩子(<i>Rubus piriifolius</i>)和菝葜属植物等。 |
| P4 | 乔木层 | | 高度 2~6 m,胸径 2~15 cm。马尾松、华中山柳(<i>Clethra fargesii</i>)、桤木(<i>Alnus cremastogyne</i>)、野漆(<i>Toxicodendron succedaneum</i>)、盐肤木(<i>Rhus chinensis</i>)等。 |
| | 灌木层 | | 粗叶悬钩子(<i>Rubus alcaeaeifolius</i>)、水红木(<i>Viburnum cylindricum</i>)和青榨槭(<i>Acer davidii</i>)、鹅掌柴、野漆、杨梅、桤木(<i>Eurya japonica</i>)、山胡椒(<i>Lindera glauca</i>)等。 |
| | 草本层 | | 五节芒、十字苔草(<i>Carex cruciata</i>)、石芒草(<i>Arundinella nepalensis</i>)、芒萁、地苣、里白、单芽狗脊(<i>Woodwardia unigemmata</i>)、稀子蕨等。 |
| | 藤本植物 | | 金花猕猴桃、亮叶崖豆藤(<i>Millettia nitida</i>)和栝楼(<i>Trichosanthes kirilowii</i>)。 |
| P5 | 乔木层 | 第一亚层 | 高 8~15 m,胸径 4~18 cm,野漆、苦楮(<i>Castanopsis sclerophylla</i>)、青榨槭、黄皮润楠、虎皮楠(<i>Daphniphyllum oldhami</i>)、厚皮香(<i>Ternstroemia gymnanthera</i>)等。 |
| | | 第二亚层 | 高 2~8 m,胸径 3.0~8.5 cm,鹅掌柴、桤木、青榨槭、网脉山龙眼(<i>Helicia reticulata</i>)、野漆等。 |
| | | 灌木层 | 鹅掌柴、四川新木姜子(<i>Neolitsea sutchuanensis</i>)、山胡椒、毛果桤(<i>Eurya trichocarpa</i>)、毛果算盘子(<i>Glochidion eriocarpum</i>)等。 |
| | 草本层 | | 心叶稷、五节芒、芒萁、稀子蕨、地苣、马兰、福建蔓龙胆(<i>Crawfurdia pricei</i>)等。 |
| | 藤本植物 | | 金花猕猴桃、柱果猕猴桃(<i>Actinidia cylindrica</i>)、南五味子(<i>Kadsura longipedunculata</i>)、常春藤(<i>Hedera nepalensis</i> var. <i>sinensis</i>)等。 |

续表 2

| 样地号 | 层次结构 | | 主要物种组成 |
|-----|------|------|---|
| P6 | 乔木层 | 第一亚层 | 高 16~26 m, 胸径 13~40 cm, 杉木、枫香(<i>Liquidambar formosana</i>)、苦槠和木荷(<i>Schima superba</i>)。 |
| | 灌木层 | 第二亚层 | 高 9~15 m, 胸径 6~22 cm, 毛竹和杉木。 |
| | | 第三亚层 | 高 3~8 m, 胸径 3~6 cm, 贵州杜鹃(<i>Rhododendron guizhouense</i>)、树参(<i>Dendropanax dentiger</i>)、鼠刺、竹叶木姜子(<i>Litsea pseudoelongata</i>)等。 |
| | | 灌木层 | 贵州杜鹃、腺叶桂樱(<i>Laurocerasus phaeosticta</i>)、黄丹木姜(<i>Litsea elongata</i>)、尖子木(<i>Oxyspora paniculata</i>)、鼠刺等。 |
| | 草本层 | | 单芽狗脊、翠云草(<i>Selaginella uncinata</i>)、美肉穗草(<i>Sarcopyramis bodinieri</i> var. <i>delicata</i>)。 |
| P7 | 藤本植物 | | 金花猕猴桃、藤金合欢(<i>Acacia sinuata</i>)、粉菝葜(<i>Smilax glamuco-china</i>) |
| | 乔木层 | 第一亚层 | 高 14~24 m, 胸径 8~31 cm, 米槠、木荷、杉木、润楠(<i>Machilus pingii</i>)和山乌柏等。 |
| | 灌木层 | 第二亚层 | 高 4~7 m, 胸径 3~6 cm, 米槠和石壁杜鹃(<i>Rhododendron bachii</i>)。 |
| | | 第三亚层 | 贵州杜鹃、木荷、米槠、乌饭树(<i>Vaccinium bracteatum</i>)、四川新木姜子、润楠等。 |
| | | 草本层 | 美肉穗草、里白、单芽狗脊。 |
| P8 | 藤本植物 | | 金花猕猴桃、首冠藤(<i>Bauhinia corymbosa</i>)、野木瓜(<i>Sauntania chinensis</i>)等。 |
| | 乔木层 | 第一亚层 | 高 15~30 m, 胸径 17~22 cm, 光叶山矾(<i>Symplocos lanci folia</i>)。 |
| | 灌木层 | 第二亚层 | 高 9~15 m, 胸径 7~16 cm, 新木姜子(<i>Neolitsea aurata</i>)、光叶山矾、阔瓣含笑(<i>Michelia platypetala</i>)、中平树(<i>Macaranga denticulata</i>)等。 |
| | | 第三亚层 | 高 4~6 m, 胸径 2.2~12.5 cm, 半枫荷(<i>Semiliquidambar cathayensis</i>)、单体红山茶(<i>Camellia uraku</i>)、尾叶冬青(<i>Ilex wilsonii</i>)、密花冬青(<i>Ilex confertiflora</i>)、羊角杜鹃(<i>Rhododendron moulmainense</i>)、中平树、树参等。 |
| | | 灌木层 | 尾叶冬青、新木姜子、毛叶木姜子(<i>Litsea mollis</i>)、树参、小叶女贞(<i>Ligustrum quihoui</i>)、网脉山龙眼、刺叶冬青(<i>Ilex bioritsensis</i>)、大头茶(<i>Gordonia axillaris</i>)等。 |
| P9 | 草本层 | | 淡竹叶、心叶稷、蕨状苔草(<i>Carex filicina</i>)、小叶野海棠(<i>Bredia microphylla</i>)、单芽狗脊等。 |
| | 藤本植物 | | 金花猕猴桃、菝葜(<i>Smilax china</i>)和福建蔓龙胆。 |
| | 乔木层 | 第一亚层 | 高 12~13 m, 胸径 15~22 cm, 杉木。 |
| | 灌木层 | 第二亚层 | 高 1.5~7 m, 胸径 2~15 cm, 杉木、白栎(<i>Quercus fabri</i>)、马尾松。 |
| | | 第三亚层 | 粗叶悬钩子、山胡椒、黔桂苕麻(<i>Boehmeria blinii</i>)、杉木萌条、山莓(<i>Rubus corchori folius</i>)、白背叶(<i>Mallotus apelta</i>)、白栎和茅栗(<i>Castanea seguinii</i>)等。 |
| P10 | 草本层 | | 毛秆野古草(<i>Arundinella hirta</i>)、红盖鳞毛蕨(<i>Dryopteris erythrosora</i>)、蕨菜(<i>Pteridium excelsum</i>)、土牛膝(<i>Achyranthes aspera</i>)、革命菜(野苘蒿 <i>Crassocephalum crepidioides</i>)、鱼腥草(<i>Houttuynia cordata</i>)等。 |
| | 藤本植物 | | 金花猕猴桃、毛鸡矢藤(<i>Paederia scandens</i> var. <i>tomentosa</i>)、山乌归(<i>Stephania tetrandra</i>)、和忍冬(<i>Lonicera japonica</i>)等。 |
| | 乔木层 | 第一亚层 | 高 9.0~15.5 m, 胸径 6~25 cm, 槲木、鸡仔木(<i>Sinoadina racemosa</i>)、山麻杆(<i>Alchornea davidii</i>)、栲树(<i>Castanopsis fargesii</i>)。 |
| | 灌木层 | 第二亚层 | 高 2.5~7.5 m, 胸径 2~13 cm, 大头茶、桂南木莲(<i>Manglietia chingii</i>)等。 |
| | | 第三亚层 | 粗叶悬钩子、盐肤木、罗伞树(<i>Ardisia quinqueгона</i>)等。 |
| P11 | 草本层 | | 千里光(<i>Senecio scandens</i>)、五节芒、珍珠茅(<i>Scleria herbecarpa</i>)、淡竹叶、金鸡菊(<i>Coreopsis drummondii</i>)、乌毛蕨(<i>Blechnum orientale</i>)等。 |
| | 藤本植物 | | 金花猕猴桃、菝葜、首冠藤、钻地风(<i>Schizophragma integrifolium</i>)、铁脚威灵仙(<i>Clematis chinensis</i>)、常春藤等。 |
| | 乔木层 | 第一亚层 | 高 10~30 m, 胸径 4.5~24.0 cm, 深山含笑(<i>Michelia maudiae</i>)、半枫荷、杉木、新木姜子等。 |
| | 灌木层 | 第二亚层 | 高 4~9 m, 胸径 2~18 cm, 新木姜子、网脉山龙眼、陀螺果(<i>Meliiodendron xylocarpum</i>)等。 |
| | | 第三亚层 | 苦竹(<i>Pleioblastus amarus</i>)、竹叶木姜子、新木姜子、四角柃(<i>Eurya tetragonoclada</i>)等。 |
| P12 | 草本层 | | 五节芒、淡竹叶、花葶苔草(<i>Carex scaposa</i>)、黑莎草(<i>Gahnia tristis</i>)、金鸡菊、铁芒萁(<i>Dicranopteris linearis</i>)、斜方复叶耳蕨(<i>Arachniodes rhomboidea</i>)等。 |
| | 藤本植物 | | 金花猕猴桃、华千金藤(<i>Stephania sinica</i>)、野葛(<i>Pueraria lobata</i>)、菝葜、海金沙等。 |
| | 乔木层 | | 高 3~6.5 m, 胸径 2~12 cm, 马醉木(<i>Pieris japonica</i>)、毛竹、马尾松、油桐(<i>Vernicia fordii</i>)、木荷等。 |
| | 灌木层 | | 粗叶悬钩子、杜鹃(<i>Rhododendron simsii</i>)、白栎、盐肤木、山莓等。 |
| | | | 珍珠茅、蕨菜、茜草(<i>Rubia cordi folia</i>)、狗脊(<i>Woodwardia japonica</i>)、淡竹叶等。 |
| P13 | 藤本植物 | | 金花猕猴桃、三叶木通(<i>Akebia trifoliata</i>)、藤黄檀(<i>Dalbergia hancei</i>)和野葛。 |
| | 乔木层 | 第一亚层 | 高 8~10 m, 胸径 17~40 cm, 拟赤杨(<i>Alniphyllum fortunei</i>)、石楠(<i>Photinia serrulata</i>)和栲树。 |
| | 灌木层 | 第二亚层 | 高 2.5~7.0 m, 胸径 3.5~15.0 cm, 女贞(<i>Ligustrum lucidum</i>)、盐肤木、杉木、润楠等。 |
| | | 第三亚层 | 紫竹(<i>Phyllostachys nigra</i>)、九节(<i>Psychotria rubra</i>)、悬钩子(<i>Rubus chingii</i>)、琴叶榕(<i>Ficus pandurata</i>)、贵州杜鹃等。 |
| | 草本层 | | 积雪草(<i>Centella asiatica</i>)、地苣、翠云草、蔓生莠竹(<i>Microstegium vagans</i>)、芒萁、乌毛蕨、骨碎补(<i>Davallia mariesii</i>)、华南毛蕨(<i>Cyclosorus parasiticus</i>)等。 |
| | 藤本植物 | | 金花猕猴桃、酸藤子(<i>Embelia laeta</i>)、薜荔(<i>Ficus pumila</i>)、鸡矢藤(<i>Paederia scandens</i>)、海金沙。 |

2.3 金花猕猴桃生存群落类型划分

通过对调查数据的分析整理,计算各个样点金

花猕猴桃伴生群落的乔木层重要值,并对其进行聚

类分析,可以发现各个群落类型均有些差异,其中也

有一些群落类型相近。根据聚类分析的结果(图 1),在距离系数为 100 时,金花猕猴桃生存群落可划分为 8 个类型:(1)马尾松+野柿群落(P1);(2)毛竹+杉木群落(P3、P6);(3)金花猕猴桃+五节芒群落(P4);(4)米楮林(P7);(5)杉木林(P9);(6)马醉木+毛竹+金花猕猴桃群落(P12);(7)拟赤杨+女贞+金花猕猴桃群落(P13);(8)杂木林(P2、P5、P8、P10、P11)。

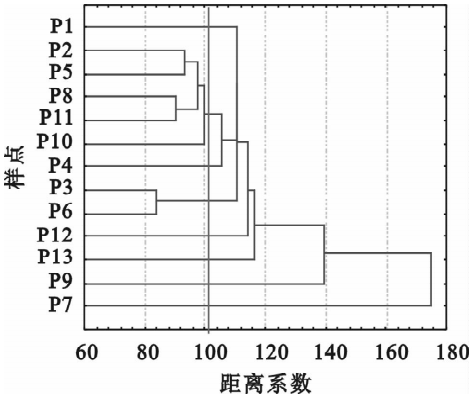


图 1 13 个样点群落类型聚类图

Fig. 1 Dendrogram of 13 sampling sites

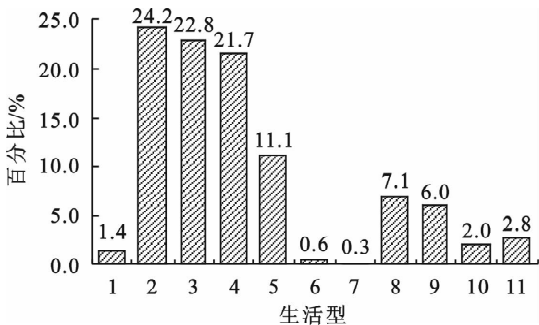
2.4 生活型组成

由图 2 知,在金花猕猴桃群落中,以高位芽植物为主,占总数的 82.14%,高位芽植物中,矮高位芽、小高位芽和中高位芽占较大比例,所占比例均在 20%以上;藤本高位芽植物也占了较大的比例,占总数的 11.11%;大高位芽植物缺乏,仅占总数的 1.42%。群落中还包括少数附生植物和肉质茎植物,地上芽植物、地面芽植物、地下芽植物和一年生植物占 17.86%。乔木层树种中,有 60.17%为常绿的种类,其余为落叶或半落叶种类,属常绿落叶混交林。这种生活型分布格局,反映了金花猕猴桃生存群落有较好的水热条件,金花猕猴桃群落分布区域具有温暖湿润的中亚热带气候特点。金花猕猴桃群落的高位芽植物比例,与同处中亚热带的广东南岭广东松群落(89.1%)^[9]稍低,比浙江的中亚热带常绿阔叶林(76.7%)^[5]稍高,这反应了不同的群落类型,其生活型组成存在差异。

2.5 金花猕猴桃种群年龄结构

由图 3 看出金花猕猴桃种群的年龄结构特点:幼龄植株少,占总数的 5.88%,以成龄植株和壮年植株最多,二者的总和占总数的 70.58%,老龄树也占较大的比例,占总数的 23.53%。这样的年龄结构,显示了金花猕猴桃种群目前处于一个相对稳定的状态。然而,其幼龄植株太少,Ⅳ级和Ⅴ级植株占了将近 1/4,且根据调查的实际,这些幼龄植株多为老树天然萌蘖,或砍伐后萌生的萌蘖,没有发现种子

繁殖的植株,这说明金花猕猴桃种群,种子自然发芽率低,天然更新能力差。因此,当现有的成年树步入老年后,金花猕猴桃种群将趋于衰退。



1:大高位芽植物,2:中高位芽植物,3:小高位芽植物,4:矮高位芽植物,5:藤本高位芽植物,6:附生高位芽植物,7:肉质茎高位芽植物,8:地上芽植物,9:地面芽植物,10:地下芽植物,11:一年生植物

图 2 金花猕猴桃生存群落生活型谱图

Fig. 2 Life-form spectrum of *A. chrysantha* community

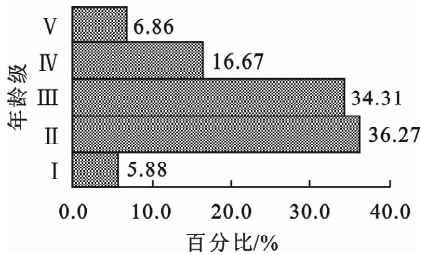


图 3 金花猕猴桃种群年龄结构图

Fig. 3 Age structure of *A. chrysantha* population

3 金花猕猴桃濒危原因

3.1 金花猕猴桃濒危的环境因素

根据《中国猕猴桃》(1993)记载,金花猕猴桃主要分布于广西的临桂、龙胜、资源,兴安和贺州也有分布,广东省的阳山、乳源和湖南省的宜章、宁远、芷江、城步等也有零星分布,其分布的海拔范围在 700~1 500 m^[10]。然而,本项目调查在姑婆山海拔 568~728 m 的 4 个样地中均发现了金花猕猴桃,因此,金花猕猴桃分布的海拔范围向下可扩展到海拔 568 m。据《中国植物志》记载,金花猕猴桃大多出现于海拔 900~1 300 m,群体分布多在海拔 1 000 m 以上^[11]。根据本调查的数据分析结果,在海拔 900 m~1 334 m 范围内(如 P3、P5、P8、P9、P12、P13),金花猕猴桃在群落中的重要值较高,因此,900~1 334 m 是最适宜金花猕猴桃生长的海拔范围。

从金花猕猴桃生存的群落类型来看,金花猕猴桃主要生存于中亚热带常绿落叶阔叶混交林和常绿落叶阔叶混交林内,在群落的物种组成上,常绿的种类较多。

从分布区、海拔、群落类型几方面综合分析可知,最适宜金花猕猴桃生存的环境是中亚热带海拔

900~1 300 m 的常绿落叶阔叶混交林或常绿落叶针阔混交林内,可见其适生生境极其狭窄,而海拔和气候是限制其分布的主要生态因子。因此适宜金花猕猴桃的有限区域一旦遭到破坏,金花猕猴桃将遭到严重的威胁。

3.2 金花猕猴桃濒危的内在原因

繁殖力低是导致物种濒危的重要原因之一,是物种易灭绝特征之一^[12]。黄仕训(1998)、李先琨(2002)等对元宝山冷杉的研究结果也表明,种子萌发率低是导致元宝山冷杉濒危的重要原因^[13-14]。在本项目实施过程中,利用野外采集到的种子进行了播种试验,结果表明经沙藏处理、经 60℃ 温水泡及不同浓度的赤霉素浸泡处理,金花猕猴桃种子的最高萌芽率不超过 23%,一般都在 10% 左右,不经赤霉素处理发芽率几乎为零,且在金花猕猴桃生存群落内未发现种子苗。因此,种子繁殖力低是金花猕猴桃种群趋于衰退的重要原因之一。

有研究表明,种群的大小和密度与该种的生育力呈现显著的正相关^[15]。向成华等(2009)对峨眉含笑的研究结果表明,种群数量的减少会导致遗传多样性的下降^[16],而小种群由近交衰退带来的遗传多样性丧失可能会导致种子发芽率低^[17]。有研究已经证明了,近交衰退确实会带来遗传多样性的降低^[18-19]。当种群个体数小于 100 时,常会观察到近交衰退,而且与较大的种群相比其种子发芽率更低^[20]。金花猕猴桃种群很小,调查中发现的最大的居群,其个体数也小于 100,一般一个居群的个体数量都在 10 株以下,只有一株的也很常见,而且不同的居群间距离较远,存在地理隔离。因此,其种子发芽率低可能是近交衰退引起的。

4 金花猕猴桃保护对策

4.1 保护金花猕猴桃适生生境

David & Lawrence(2005) 综合多个学者的研究结果表明:生境丧失是导致物种濒危的最广泛的原因,在所有受威胁物种中有 85% 的物种濒危是由于生境丧失造成的^[21]。生境的退化会影响种群的生存能力(如存活率、增长率和生育力等),而且会导致种群的减小和片段化^[22]。适合金花猕猴桃生存的范围极其狭窄,因此,要保护金花猕猴桃,首先应保护其生境不被破坏。

4.2 加强宣传自党保护

金花猕猴桃分布区内(特别是在广西的龙胜、临桂等地)有人类生活居住,通过向当地群众了解发现,山区的群众对于金花猕猴桃的濒危情况知之甚少,因建屋或者耕作的需要,在毁林开山过程中,常

使金花猕猴桃遭到砍伐,致使许多个体消失。因此,应加强宣传,促使当地居民自觉的保护,减少其生境破坏。

4.3 开展就地保护与迁地保护

花坪自然保护区内及其周边地区、姑婆山国家森林公园、天井山国家森林公园均有一定数量的金花猕猴桃分布。因此,应依托保护区及森林公园对其实施就地保护。针对其自然更新能力差的特点,应对其进行人工辅助更新,如人工抚育其幼树,定期间伐其他常见种大树使形成林窗为其幼树创造生长条件。为避免近交衰退,应对其遗传多样性进行恢复。

迁地保护方面,目前仅广西植物研究所在 20 世纪 80 年代猕猴桃种质资源收集中收集了少数类型的金花猕猴桃,目前仅余一株,武汉植物园亦有引种保存,为同一个体的无性后代。在本项目也对野外的一些个体进行了收集及无性繁殖,然而,由于金花猕猴桃对生境条件要求苛刻,迁地保护难度较大,引种成活率极低。因此,应进一步开展金花猕猴桃生殖生物学研究,为金花猕猴桃的迁地保护及野外更新提供技术支持。

致谢 感谢广西植物研究所的梁木源、丁涛、丁莉、张中峰参加野外调查工作,李光照对植物标本进行鉴定。

参考文献:

[1] 梁木源,李瑞高,黄陈光,等. 金花猕猴桃资源及其生物学特性[J]. 中国种业,1986(2):12-14.

[2] 黄宏文,龚俊杰,王圣梅,等. 猕猴桃属(*Actinidia*)植物的遗传多样性[J]. 生物多样性,2000,8(1):1-12.

HUANG H W, GONG J J, WANG S M, *et al.* Genetic diversity in the genus *Actinidia*[J]. Chinese Biodiversity, 2000, 8(1): 1-12.

[3] 张忠慧,王圣梅,黄宏文. 中国猕猴桃濒危种质现状及迁地保护对策[J]. 中国果树,1999(2):49-50.

[4] 许再富. 稀有濒危植物迁地保护的原理与方法[M]. 昆明:云南科技出版社,1998:158.

[5] 吴冬,胡永红,黄妹博,等. 福建地区小叶买麻藤生存群落特征[J]. 福建林学院学报,2011,31(1):24-30.

WU D, HU Y H, HUANG S B, *et al.* Characteristics of *Gnetum parvifolium* community in Fujian[J]. Journal of Fujian College of Forestry, 2011,31(1):24-30.

[6] 王伯荪,余世孝,彭少麟,等. 植物群落学实验手册[M]. 广州:广东高等教育出版社,1996:23-26.

[7] 李先琨,苏宗明,向悟生,等. 濒危植物元宝山冷杉种群结构与分布格局[J]. 生态学报,2002,22(12):2246-2253.

LI X K, SU Z M, XIANG W S, *et al.* Study on the structure and spatial pattern of the endangered plant population of *Abies yuanbaoshanensis*[J]. Acta Ecologica Sinica, 2002, 22(12):

2246-2253.

[8] 戴月, 薛跃规. 濒危植物顶生金花茶的种群结构[J]. 生态学杂志, 2008, 27(1): 1-7.

DAI Y, XUE Y G. Population structure of endangered species *Camellia terminalis* [J]. Chinese Journal of Ecology, 2008, 27(1): 1-7.

[9] 杨沅志, 张璐, 陈北光, 等. 珍稀濒危植物广东松林的群落特征[J]. 华南农业大学学报, 2006, 27(2): 70-72.

YANG Y Z, ZHANG L, CHEN B G, *et al.* Characteristics of rare and endangered *Pinus kwangtungensis* forest [J]. Journal of South China Agricultural University, 2006, 27(2): 70-72.

[10] 崔致学. 中国猕猴桃[M]. 北京: 农业出版社, 1993: 112.

[11] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志 (49 卷第二册) [M]. 北京: 科学出版社, 2004: 236.

[12] 董元火, 周世力. 物种濒危等级的划分和濒危机制研究进展[J]. 生物学教学, 2008, 33(6): 5-6.

[13] 黄仕训. 元宝山冷杉濒危原因初探[J]. 农村生态环境, 1998, 14(1): 6-9.

HUANG S X. Preliminary study on the causes of the endangerment of *Abies yuanbaoshanensis* [J]. Rural Eco- Environment, 1998, 14(1): 6-9.

[14] 李先琨, 苏宗明. 元宝山冷杉种群濒危原因与保护对策[J]. 北华大学学报: 自然科学版, 2002, 3(1): 80-83.

LI X K, SU Z M. The endangered causes and protection strategy of *Abies yuanbaoshanensis* [J]. Journal of Beihua university: Natural Science Edition, 2002, 3(1): 80-83.

[15] MARTIN S, KATARIINA K. Relationship between abundance and fecundity in the endangered grassland annual *Euphrasia rostkoviana* ssp. *fennica* [J]. Annales Botanic Fennici, 2007, 44: 194-203.

[16] 向成华, 朱秀志, 张华, 等. 濒危植物峨眉含笑遗传多样性研究[J]. 西北林学院学报, 2009, 24(5): 66-69.

XIANG C H, ZHU X Z, ZHANG H, *et al.* Genetic diversity of endangered plant *Michelia wilsonii* [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2009, 24(5): 66-69.

[17] 胡世俊. 生境片断化与隔离对濒危植物缙云卫矛 (*Euonymus chloranthoides* Yang) 种群特征的影响[D]. 重庆: 西南大学, 2007: 73.

[18] 何亚平, 刘健全. 植物繁育系统研究的最新进展和评述[J]. 植物生态学报, 2003, 27(2): 151-163.

HE Y P, LIU J Q. A review on recent advances in the study of plant breeding system [J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2003, 27(2): 151-163.

[19] TAKEBAYASHI N, MORRELL L P. Is self-fertilization an evolutionary dead end revisiting an old hypothesis with genetic theories and a macro-evolutionary approach [J]. American Journal of Botany, 2001, 88: 1143-1150.

[20] JOEL P O, GLENN R F, JAMES J L. Reproduction and development of the endangered *Sedum integrifolium* ssp. *leedyi* (CRASSULACEAE) [J]. American Journal of Botany, 1998, 85(3): 346-351.

[21] DAVID S W, LAWRENCE L M. How many endangered species are there in the United States? [J]. Front Ecol Environ, 2005, 3(8): 414-420.

[22] SATU R, LAURI P, JUKKA S, *et al.* Management actions are required to improve the viability of the rare grassland herb *Carlina biebersteinii* [J]. Nordic Journal of Botany, 2008, 26: 83-90.

(上接第 42 页)

[6] 韩雅珊. 食品化学实验指导[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1992: 32-33.

[7] 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: 211-212.

[8] 朱广廉, 钟海文, 张爱琴. 植物生理学实验[M]. 北京: 北京大学出版社, 1988: 235-239.

[9] PRESSEY R, AVANT JK. Difference in polygalacturonase composition of clingstone and freestone peaches [J]. Food Sci., 1978(43): 1415-1417.

[10] MALIS-ARAD S, DIDI S, MIZRAHI Y, *et al.* Pectic substances: changes in soft and firm tomato cultivars [J]. Hort Sci, 1983(58): 111-116.

[11] JIN C H, SUO B, KAN J, *et al.* Changes in cell wall polysaccharide of harvested peach fruit during storage [J]. Journal of Plant Physiology and Molecular Biology, 2006, 32(6): 657-664.

[12] 靳爱仙, 王亚萍, 梁丽松, 等. 减压贮藏对冬枣果实呼吸及软化相关指标的影响[J]. 西北林学院学报, 2006, 21(5): 143-146.

JIN A X, WANG Y P, LIANG L S, *et al.* Effect of atmospheric pressures on the respiration and softening of ‘dongzao’ jujube fruit during hypobaric storage [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2006, 21(5): 143-146.