

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3142.2013.02.020

李博, 冯源恒, 杨章旗 等. 广西猫儿山鹅掌楸天然种群动态研究[J]. 广西植物, 2013, 33(2): 242-246

Li B, Feng YH, Yang ZQ *et al.* Population structure dynamics of *Liriodendron chinensis* a case study on a natural population in Maoer Mountain, Guangxi [J]. *Guihaia* 2013, 33(2): 242-246

广西猫儿山鹅掌楸天然种群动态研究

李 博¹, 冯源恒^{1,2}, 杨章旗², 袁晓峰¹, 叶 靖¹, 李火根^{1*}

(1. 南京林业大学 林木遗传与生物技术/省部共建教育部重点实验室, 南京 210037;

2. 广西壮族自治区林业科学研究院, 南宁 530001)

摘 要: 为进一步探讨鹅掌楸濒危的机制, 对广西桂林猫儿山鹅掌楸天然种群进行了调查, 以种群生命表及生存分析理论为基础, 以林木径级结构代表龄级结构, 编制鹅掌楸种群静态生命表, 分析种群结构的动态变化特点。结果表明: 鹅掌楸种群龄级结构为金字塔型, 幼龄个体数量较多, 中龄个体数居中, 而老龄个体则相对数量较少, 表现为增长型种群; 在第IV龄级时该种群出现死亡高峰, 其种群存活曲线属 Deevey-II型; 猫儿山鹅掌楸天然种群具有前期种群数量快速减少, 中后期稳定, 末期衰退的特点。该研究结果对鹅掌楸天然种群的保护提供参考依据。

关键词: 鹅掌楸; 龄级; 静态生命表; 种群结构; 动态

中图分类号: Q948 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2013)02-0242-05

* Population structure dynamics of *Liriodendron chinensis*, a case study on a natural population in Maoer Mountain, Guangxi

LI Bo¹, FENG Yuan-Heng^{1,2}, YANG Zhang-Qi²,
YUAN Xiao-Feng¹, YE Jing¹, LI Huo-Gen^{1*}

(1. Key Lab of Forest Genetics and Biotechnology Co-established by the Province and the Ministry, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China; 2. Guangxi Institute of Forestry Science, Nanning 530001, China)

Abstract: In order to provide reference and further explore endangered mechanism of *Liriodendron chinensis* natural populations the population structure dynamic of *L. chinensis* was analyzed by taking a natural population in Maoer Mountain of Guilin, Guangxi as a sample. Based on the theory of population life table and survival analysis, the life table of *L. chinensis* population was constructed by replacing age classes with size-classes, and the population structure dynamic of *L. chinensis* was explored. The census data showed that the number of young seedling was larger than that of middle aged and old individuals, indicating that the population was in an incremental status. The survival curve in this population appeared to be a Deevey-II type, with a peak of mortality in size class IV. It can be concluded that the population size of *L. chinensis* in Maoer mountain declined sharply in early stage, stabilized in middle stage and fell rapidly in last stage.

Key words: *Liriodendron chinensis*; age class; static life table; population structure; dynamics

* 收稿日期: 2012-10-13 修回日期: 2012-12-01

基金项目: 国家自然科学基金(30972391, 31170621); 江苏省高校自然科学重大项目(10KJA220017); 江苏省研究生培养创新工程(CXZZ12_0543)

作者简介: 李博(1981-), 男, 广西北流人, 在读博士, 讲师, 主要研究方向为林木遗传育种 (E-mail) shaojianbo@yahoo.com.cn。

通讯作者: 李火根, 博士, 教授, 主要研究方向为林木遗传育种 (E-mail) hgli@njfu.edu.cn。

种群生态学主要研究不同种群数量在时间和空间上的动态变化情况。通过对某物种种群动态的研究可以了解群体动态变化过程以及群落的演替趋势,可以深入了解生态系统发展、群落结构特征和发展趋势。因此,种群结构及其动态变化规律成为了植物生态学研究的一个热点。鹅掌楸(*Liriodendron chinensis*)为木兰科鹅掌楸属落叶大乔木,其主要分布在长江流域以南。目前,由于鹅掌楸自身的生殖生物学障碍以及人类活动的影响破坏了该物种的适生环境导致该物种数量急剧减少,趋于濒危状态(郝日明等,1995)。

目前,国内外学者对鹅掌楸进行了广泛的研究,主要集中在鹅掌楸生殖生物学(尹增芳等,1994)、杂交育种(王晓阳等,2011)、地理分布及遗传变异(郝日明,1995;方炎明,1994)、遗传多样性及种群保护(朱晓琴等,1997)等方面。对于鹅掌楸种群结构和分布格局的研究,魏勇等(2004)对属于鹅掌楸东部群体的龙王山种群结构进行了研究,但该研究仅采用单一的静态生命表方法,研究结果有一定的局限性。而且,鹅掌楸分布范围跨度大,其东、西部种群的自然状况差异较大(方炎明,1994)。为全面了解鹅掌楸天然种群结构状况,有必要分析其西部种群结构。为此,本研究以鹅掌楸西部种群(即广西桂林猫儿山鹅掌楸天然种群)为对象,以种群生命表及生存分析理论为基础,通过编制静态生命表及对种群进行生存函数分析,对该种群的种群动态和年龄结构进行了研究和分析,期望了解该种群的自然演替动态,进而为鹅掌楸濒危机制的探讨与天然种群的保护提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 鹅掌楸研究种群概况

广西壮族自治区桂林市资源县猫儿山林区的山体主要由5亿年前古生代加里东运动早期花岗岩构成。猫儿山山体古老,地形起伏较大,坡度陡,河流曲折蜿蜒。猫儿山地区气候为中亚热带山地气候,表现为冬季寒冷,而夏季凉爽;该地区阴雨天气多,而日照较少,其中每年2~8月为雨季,雨天达80%,相对湿度较大为92%;土壤为山地黄棕壤,坡向多为阴坡,坡度为缓坡;随着山体海拔的增高以及气温的降低,会形成不同类型植物的生长地带,而落叶常绿阔叶混交林为该地区主要的植物群落类型

(李铁军,1992)。根据鹅掌楸在猫儿山林区的分布,以大竹坪鹅掌楸天然种群作为研究对象。该群落的地理位置为110°23.843 E 25°52.421 N,海拔1200 m,鹅掌楸和枫香(*Liquidambar taiwaniana*)为优势树种,其个体数和重要值为80%(李铁军,1992)。

1.2 研究方法

1.2.1 调查方法 2011年11月,在猫儿山自然保护区大竹坪鹅掌楸天然林中,选择鹅掌楸分布集中,长势较好的地段设置360 m × 180 m的长方形样地,样地面积约6.5 hm²。该样地中间为溪流,溪流两边为坡地,坡度20°~30°。调查样地内鹅掌楸的株数,对样地内鹅掌楸进行每木调查,调查指标为胸径及树高。

1.2.2 龄级结构分析 在鹅掌楸年龄结构的分析中,将前人的研究成果作为参考标准(殷东生等,2009;魏勇等,2004),并结合鹅掌楸生活史特点,以胸径大小为标准将样地内的鹅掌楸分为7个径级,每径级的间隔距离为10 cm,具体分类标准:3~10 cm为第Ⅰ径级(只考虑小树);10~20 cm为第Ⅱ径级;20~30 cm为第Ⅲ径级,以此类推;然后将第Ⅰ径级对应第1龄级,第Ⅱ径级对应第2龄级,……,把树木径级从小到大的顺序关系用时间顺序关系去代替,即以立木龄级结构代替径级结构,统计各龄级株数占总株数的百分比。

采用陈晓德(1998)通过数学模型推导种群年龄结构的动态指数对猫儿山大竹坪鹅掌楸种群动态进行定量描述,其计算方法:

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

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

式中, V_n 为种群从 n 到 $n+1$ 级的个体数量变化动态; V_{pi} 为整个种群结构的数量变化动态指数; S_n 为第 n 个龄级种群个体数; S_{n+1} 为第 $n+1$ 个龄级种群个体数。

当考虑未来的外部干扰时,其计算方法:

$$V_{pi} = \frac{\sum_{n=1}^{k-1} (S_n \times V_n)}{[K \cdot \min(S_1, S_2, S_3, \dots, S_k)] \cdot \sum_{n=1}^{k-1} S_n}$$

式中, K 为种群龄级数量, V_{pi} 与 V_n 取正、负、零值的意义分别反映种群或相邻龄级个体数量的增长、衰退及稳定的动态关系。

1.2.3 静态生命表的编制 编制种群静态生命表,

绘制种群的存活曲线和死亡曲线。特定时间生命表各参数含义如下(周建云等 2012): x 为单位时间内年龄等级的中值; a_x 为在 x 龄级内现有个体数; l_x 为在 x 龄级开始时标准化存活个体数(一般转换为 1 000); d_x 为从 x 到 $x + 1$ 龄级间隔期内标准化死亡数; q_x 为从 x 到 $x + 1$ 龄级间隔期间死亡率; L_x 为从 x 到 $x + 1$ 龄级间隔期间还存活的个体数; T_x 为从 x 龄级到超过 x 龄级的个体总数; e_x 为进入 x 龄级个体的生命期望或平均期望寿命; K_x 为亏损率(损失度)。以上各项相互关联,通过实测值 a_x 或 d_x 求得,其关系: $l_x = (a_x/a_0) \times 1000$; $d_x = l_x - l_{x+1}$; $q_x = (d_x/l_x) \times 100\%$; $L_x = (l_x + l_{x+1})/2$; $T_x = \sum_x^{\infty} Lx$; $e_x = T_x/l_x$; $K_x = \lg l_x - \lg l_{x+1}$ 。

1.2.4 生存分析 引入生存分析中的 4 个函数,生存率函数 $S(t)$ 、累积死亡率函数 $F(t)$ 、死亡密度函数 $f(t)$ 和危险率函数 $\lambda(t)$ 等指标对鹅掌楸种群结构和生存规律进行分析,在生命表中这 4 个函数常用下列公式估算,具体计算方法见冯士雍(1982)及韩

路等(2012)。

$$S_i = P_1 P_2 \cdots P_i \quad (P \text{ 为存活频率})。$$

$$F_i = 1 - S_i$$

$$F(t_i) = S_{i-1} \hat{q}_i / h_i \quad (h_i \text{ 为区间长度 } \hat{q}_i \text{ 为死亡频率})$$

$$\lambda_i = 2 \hat{q}_i / h_i (1 + P_i)$$

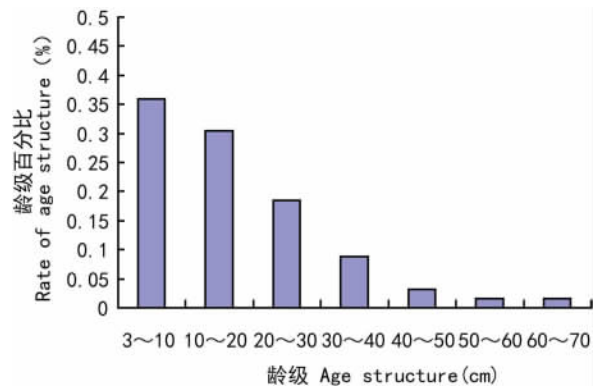


图 1 鹅掌楸种群龄级结构
Fig. 1 Age structure of *Liriodendron chinensis* populations

表 1 鹅掌楸种群静态生命表
Table 1 Static life table in *Liriodendron chinensis* population

径级 Size class	龄级 (cm) Age class	组中值 Mean value	a_x	l_x	$\lg l_x$	d_x	q_x	L_x	T_x	e_x	K_x
I	3~10	6.5	40	1000	3	156	0.16	922	2278	2.28	0.07
II	10~20	15	38	844	2.93	333	0.40	678	1356	1.61	0.22
III	20~30	25	23	511	2.71	267	0.52	378	678	1.33	0.32
IV	30~40	35	11	244	2.39	155	0.64	167	300	1.23	0.44
V	40~50	45	4	89	1.95	45	0.51	67	133	1.49	0.31
VI	50~60	55	2	44	1.64	0	0	44	66	1.50	0
VII	60~70	65	2	44	1.64	—	—	22	22	0.50	—

2 结果与分析

2.1 龄级结构分析

对大竹坪样地内鹅掌楸的个体数量进行统计,分析该地点的鹅掌楸种群龄级结构(图 1)。由图 1 看出,鹅掌楸在每一龄级都有一定数量的分布;总体来看,该鹅掌楸种群幼龄个体数量较多,而老龄个体相对数量较少,龄级结构表现为金字塔型;其中第 I 龄级个体数占该种群总数的 33.3%;而第 II 龄级个体数则占总株数的 31.6%,分析数据表明该鹅掌楸种群处于稳定发展状态。该种群龄级结构的动态指数 $V_{pi} = 36.97\%$ (在考虑到种群的外部干扰时, $V_{pi} = 2.60\%$),动态指数大于 0,说明该种群为增长型种群;而相邻各级间个体数量变化动态为 $V_1 = 5\%$, V_2

$= 39.5\%$, $V_3 = 52.2\%$, $V_4 = 64\%$, $V_5 = 50\%$, $V_6 = 0$,进一步表明该种群处于稳步发展水平。

2.2 生命表编制及存活曲线

以生存分析理论为基础,根据静态生命表的编制要求,编制得到了猫儿山大竹坪鹅掌楸种群静态生命表;首先以该群体的龄级作为横坐标,以计算得到的存活量 l_x 和死亡数 d_x 为纵坐标,绘制得到了该鹅掌楸种群的存活曲线和死亡曲线(图 2)。从图 2 看出,在第 V 龄级前,该鹅掌楸种群的存活数量下降较快;而在第 V 径级以后,该种群的存活数量则表现为稳定下降。出现这种情况,可能是由于在幼年阶段,鹅掌楸的种间及种内竞争强度都较强;而个体不断增大,种间及种内竞争强度随之逐渐增强,这样就会导致幼龄个体大量死亡;当鹅掌楸达到成熟阶段,种间及种内竞争强度会逐渐降低,鹅掌楸种群的

存活数量则保持在稳定水平。根据 Hett & Loucks (1976) 的评判标准,采用两种数学模型对鹅掌楸种群的存活曲线进行检验,即指数方程式 $N_x = N_0 e^{-bx}$ 用以描述 Deevey-II 型存活曲线;幂函数式 $N_x = N_0 x^{-b}$ 描述 Deevey-III 型存活曲线。对猫儿山大竹坪鹅掌楸种群存活曲线类型检验结果: $N_x = 2394.189e^{-0.6081x}$ ($F = 114.310, r = 0.958$); $N_x = 1897x^{-1.806}$ ($F = 28.215, r = 0.849$),检验结果表明猫儿山鹅掌楸种群存活曲线为 Deevey-II 型。

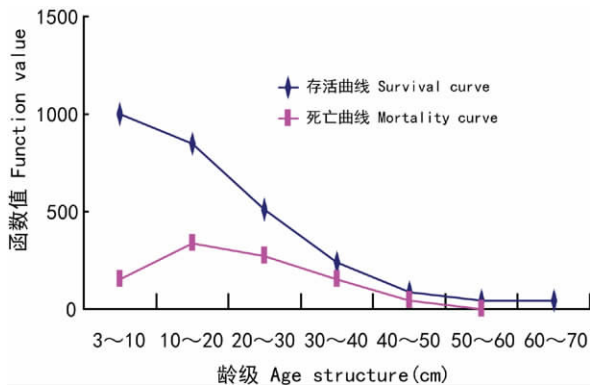
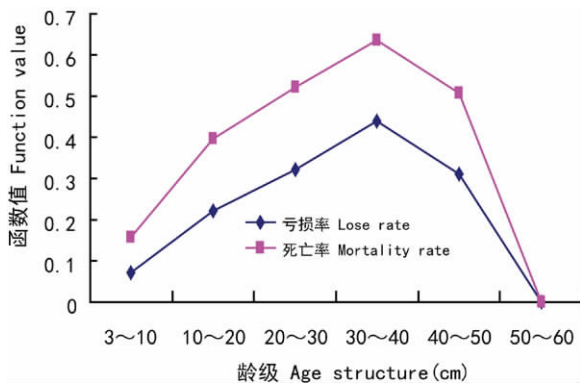


图 2 猫儿山种群的存活曲线(l_x)和死亡曲线(d_x)
Fig. 2 Survival curve (l_x) and mortality curve (d_x) in *Liriodendron chinensis* populations



3 猫儿山鹅掌楸种群亏损率(q_x)和死亡率(K_x)曲线
Fig. 3 Lose rate (q_x) and mortality rate (K_x) in *Liriodendron chinensis* populations

2.3 死亡率和亏损率曲线

以鹅掌楸种群的龄级为横坐标,以死亡率(q_x)和亏损率(K_x)为纵坐标,绘制得到了该鹅掌楸种群死亡率和亏损率曲线,由图 3 可以看出,鹅掌楸种群的死亡率和亏损率曲线的变化趋势基本一致;在第 I、II、III 龄级,个体会出现大量死亡;当鹅掌楸种群从 III 龄级向 IV 龄级转化时出现了一个死亡率高

而在 V、VI 龄级时,该鹅掌楸种群的死亡率和亏损率会逐渐下降。

表 2 猫儿山鹅掌楸种群生存分析函数
Table 2 Values of survival analysis function of *Liriodendron chinensis* populations

龄级 Age class	生存率函数(S_x) Survival function	积累死亡函数(F) Cumulative mortality function	死亡密度函数(f_x) Mortality density function	危险函数(λ) Risk rate function
I	0.844	0.156	0.0132	0.01692
II	0.511	0.489	0.0332	0.04922
III	0.244	0.756	0.0267	0.07082
IV	0.089	0.911	0.0155	0.09326
V	0.044	0.956	0.0045	0.06774
VI	0.044	0.956	0	0
VII	0	1	0.0044	

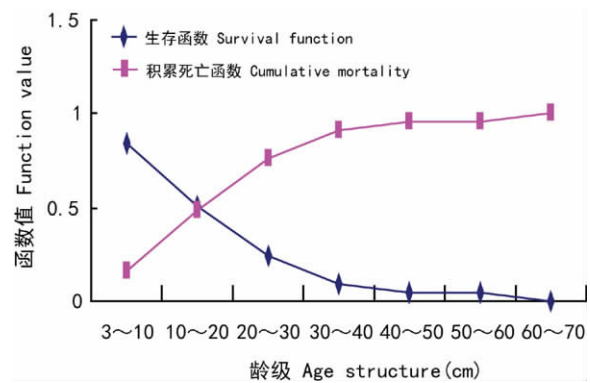


图 4 鹅掌楸种群生存函数和累积死亡率函数曲线
Fig. 4 The survival and cumulative mortality function in *Liriodendron chinensis* populations

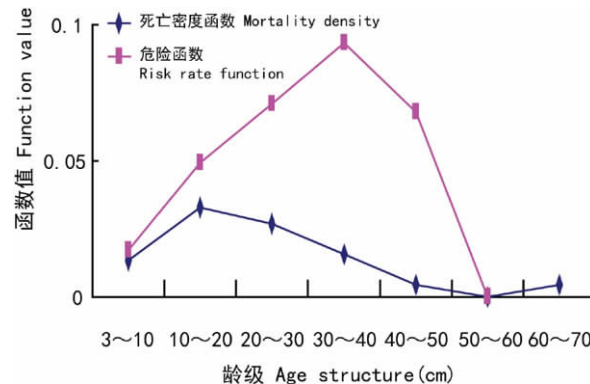


图 5 鹅掌楸种群死亡密度和危险率曲线
Fig. 5 Function cure of mortality density and hazard rate in *Liriodendron chinensis* populations

2.4 种群生存函数分析

通过猫儿山鹅掌楸种群生存分析函数(表 2)绘

制得到鹅掌楸的 4 个生存函数曲线(图 4)可以看出,在第Ⅳ龄级前该种群的生存率曲线和积累死亡率曲线变化幅度都较大;但从第Ⅳ龄级开始,种群生存率曲线和积累死亡率曲线的趋势则变缓,呈逐步下降和上升趋势;第Ⅴ龄级以后,种群进入生理衰老期,呈现衰退症状。分析结果表明,该鹅掌楸种群的生存率和累积死亡率变化情况为前期变化幅度较大而后期变化幅度较小,说明在生长前期该种群数量很不稳定,到达中后期后其数量才趋向稳定。

通过死亡密度曲线和危险率曲线(图 5)可以看出,在第Ⅱ龄级时,鹅掌楸种群的死亡密度函数值会达到峰值,第Ⅱ龄级后随着种群密度效应不断增大,种群内不同个体及鹅掌楸与其他植物的生存竞争压力加大,在第Ⅱ龄级以后会导致鹅掌楸种群的危险率不断增大,到第Ⅳ龄级达到最大值,为 9.3%,其后危险率下降。

4 个生存函数曲线表明,猫儿山大竹坪鹅掌楸前期种群数量快速减少,中后期时数量保持稳定,末期时则种群出现衰退,这种情况与种群的死亡率、损失率曲线和存活曲线的分析结果一致。

3 结论与讨论

鹅掌楸为国家珍稀濒危保护植物,其种群所含个体数量一般较少,有如此多个体的猫儿山大竹坪鹅掌楸种群在全国较少见,推测导致该群体生长良好的原因,主要有以下方面:其一,猫儿山大竹坪鹅掌楸种群分布于猫儿山主峰西侧海拔 1 200 ~ 1 300 m 的溪流及溪流两边的坡地,该种群位于猫儿山自然保护区中,位置偏僻,人迹罕至,因此该群体受人类活动影响较小;其二,猫儿山地区气候凉爽湿润,土壤多为山地黄棕壤,土壤呈酸性反应,土壤比较疏松、肥沃,这样的环境条件有利于大竹坪鹅掌楸种群的生长(方炎明等,1996)。第三,该鹅掌楸种群分布于溪流边及溪流两边坡地,种子的传播方式除了通过风力传播外,由于溪流的涨落,还可以通过流水向下游传播。在野外调查过程中,也发现了在离该种群较远的溪流下游岸边存在少数鹅掌楸植株,因此大竹坪鹅掌楸种群的种子可通过风力和流水两种方式传播,有效提高了该种群种子的传播距离。

从种群年龄结构看,广西桂林猫儿山鹅掌楸种群表现为增长型种群,不同于浙江龙王山鹅掌楸种群的衰退型结构(魏勇等,2004);与浙江龙王山鹅

掌楸种群相比,猫儿山鹅掌楸种群幼年个体数目要多于龙王山种群。种群数量如此多的鹅掌楸增长型种群在全国范围内实属罕见,猫儿山地区气候环境较适宜鹅掌楸生长,当地也基本没有大的自然灾害,且猫儿山保护区的保护措施非常好,大竹坪鹅掌楸种群(包括群落中其他种群)除进行竞争而产生的自疏外,并没有特别的干扰。因此该增长型种群具有很大的潜力发育成稳定的种群,而稳定种群的形成对于东、西两个亚区间的遗传交流及遗传分化的联结都有十分重要的作用(朱晓琴等,1997)。

种群的死亡率、损失率曲线和存活曲线及 4 个生存函数曲线分析结果一致。表明该鹅掌楸种群具有前期锐减、中后期稳定、末期衰退的特点;猫儿山鹅掌楸种群存活曲线趋于 Deevy-II 型,进一步表明该种群为稳定种群。

参考文献:

- Chen XD(陈晓德). 1998. A study on the method of quantitative analysis for plant population and community structural dynamics(植物种群与群落结构动态量化分析方法研究) [J]. *Acta Ecol Sin* (生态学报) **18**(2): 214-217
- Fang YM(方炎明), Zhang ZZ(章忠正), Wang WJ(王文军). 1996. On the *Liriodendron chinense* communities in Mt. Longwang and Mt. Jiulong of Zhejiang(浙江龙王山和九龙山鹅掌楸群落研究) [J]. *J Zhejiang A & F Univ* (浙江林学院学报) **13**(3): 286-292
- Fang YM(方炎明). 1994. Geographical distribution and special pattern of *Liriodendron chinense*(hemsl.) sarg(中国鹅掌楸的地理分布与空间格局) [J]. *J Nanjing For Univ: Nat Sci Edit* (南京林业大学学报·自然科学版) **18**(2): 13-18
- Feng SY(冯士雍). 1982. Survival analysis I. Mathematics in Practice and Theory(数学的认识与实践) [M]. (3): 72-80
- Feng SY(冯士雍). 1982. Survival analysis III. Mathematics in Practice and Theory(数学的认识与实践) [M]. (1): 70-76
- Han L(韩路), Wang HZ(王海珍), Peng J(彭杰) et al. 2010. Survival analysis of *Populus pruinosa* population in the upper reaches of Tarim River(塔里木河上游灰胡杨种群生存分析) [J]. *Sci Silv Sin* (林业科学) **46**(1): 131-135
- Hao RM(郝日明), He SA(贺善安), Tang SJ(汤诗杰) et al. 1995. Geographical distribution of *Liriodendron chinense* in China and its significance(鹅掌楸在中国的自然分布及其特点) [J]. *J Plant Res Environ* (植物资源与环境) **4**(1): 1-6
- Li XT(李晓铁). 1992. Investigation of the ecological environment of *Liriodendron chinensis* in Maoer mountain(猫儿山林区鹅掌楸生态环境调查研究) [J]. *Guangxi For Sci* (广西林业科技) **21**(2): 62-70
- Wang XY(王晓阳), Li HG(李火根). 2011. Possible mechanism analysis for heterosis of hybrid *Liriodendron* based on seedling growth and SSR markers(鹅掌楸苗期生长杂种优势的 SSR 分

(下转第 207 页 Continue on page 207)

胞生长的 pH 不一定有利于黄酮类化合物的积累。当植物受到外界刺激或是伤害时体内 PAL 活性快速升高,黄酮类和木质素等次生代谢物质增多有助于细胞的存活,这是一种应激反应。

槐角愈伤组织合成黄酮类化合物的最佳 pH 为 6.6,同杜仲细胞产生桃叶珊瑚苷的最佳 pH5.8 相比较(王亚琴等 2007),但都为弱酸性,其原因是弱酸性环境下黄酮类化合物的羰基更易结合溶液中的氢离子形成羟基(徐璐等 2005),使得结构更稳定。实际应用中应考虑生长天数和槐角苷的产量,选择最佳收获时间以节约成本。综合不同 pH 下槐角苷的积累及生长天数,选择 pH 值为 6.6 ± 0.05 ,第 25~30 天收获。

目前对槐角药用成分的利用是通过槐花、槐角直接提取,通过测定槐角细胞在不同 pH 下的生物量、PAL 活性和黄酮类化合物的产量为植物组织培养生产药用成分的开发与利用奠定基础,在一定程度上打破地域和季节的限制,为今后的研究提供科学合理的依据。

参考文献:

中华人民共和国国家药典委员会. 2005. 中华人民共和国药典 [M]. 北京: 化学工业出版社: 247

Li P(李品), Yue CP(岳彩鹏), Wang XJ(王新建) et al. 2007. Impact factors of plant cell culture production of secondary metabolites(植物细胞培养生产次生代谢物的影响因素) [J]. *J Henan For Sci Technol*(河南林业科技) 27(1): 21-23

Luo JP(罗建平), Shen GD(沈国栋), Jiang ST(姜绍通). 2003. Analysis of isoflavones and its hepatoprotective function in callus cultures of *Maackia amurensis*(怀槐培养细胞中异黄酮分析及其保肝作用) [J]. *Food Sci*(食品科学) 24(10): 139-142

Mao YD(毛玉东), Liang SW(梁社往), He ZJ(何忠俊) et al. 2011. Effects of soil pH on growth, nutrient content and total saponin contents of *Pairs polyphylla* var. *yunnanensis*(土壤 pH 对滇重楼生长、养分含量和总皂甙含量的影响) [J]. *Southwest Chin J Agric Sci*(西南农业学报) 24(3): 985-989

Pu LH(溥丽华), Liu ZH(刘忠华), Wei ZY(魏振园) et al. 2012. Study on ethanol extraction of isoflavone from callus of *Sophora japonica* fruits(乙醇浸提法提取槐角愈伤组织中异黄酮的研究) [J]. *Seed*(种子) 31(1): 1-4

Shen HB(申宏波), Wen JZ(文景芝), Ma CY(马成云) et al. 2005. The research of mechanism that using harpins protein to prevent and cure cucumber forst mildewed disease I the activity variety of PAL enzyme after inoculating harpins protein(Harpins 蛋白防治黄瓜霜霉病机理研究 I 黄瓜接种 Harpins 蛋白后 PAL 酶活性的变化) [J]. *Chin Agric Sci Bull*(中国农学通报) 21(12): 330-332

Sheng CZ(盛长忠), Wang SF(王淑芳), Wang Y(王勇) et al. 2001. Effect of pH on callus growth, PAL activity and paclitaxel content of plants of *Taxus*(pH 对红豆杉愈伤组织生长、PAL 活性和紫杉醇含量的影响) [J]. *Chin Trad Herb Drugs*(中草药) 32(10): 929-931

Udomsuk LK, Jarukamjorn H, Tanaka WP. 2011. Improved isoflavonoid production in *Pueraria candollei* hairy root cultures using elicitation [J]. *Biotechnol Lett* 33: 369-374

Wang JH(王景华), Tang YP(唐于平), Lou FC(楼凤昌). 2002. The chemical composition and pharmacological effects of *Sophora japonica* Fruits(槐角化学成分与药理作用) [J]. *World Phytomed*(国外医药: 植物药分册) 17(2): 58-60

Wang YQ(王亚琴), Zhu Y(朱媛). 2007. Studies on the cell suspension culture of *Eucommia ulmoides* and its metabolite-aucubin(杜仲细胞悬浮培养生产桃叶珊瑚甙的研究) [J]. *Guhaia*(广西植物) 27(2): 236-239

Xu L(徐璐), Zheng JX(郑建仙). 2005. Review on vaccinium myrtillus anthocyanins(欧洲越桔花色苷的研究概况) [J]. *Chin Food Add*(中国食品添加剂) 4: 43-46

Zhou LG(周立刚), Zheng GZ(郑光植). 1991. The study on cell culture of *Panax ginseng*(人参细胞大量培养的研究) [J]. *Nat Prod Res & Dev*(天然产物研究与开发) 3(1): 22-27

(上接第 246 页 Continue from page 246)

栎 [J]. *Sci Silv Sin*(林业科学) 47(4): 57-62

Wei Y(魏勇), Tian RN(田如男), Fang YM(方发明). 2004. The static life-table of *Liriodendron chinense* in Longwang Mountain [J]. *J Nanjing For Univ: Nat Sci Edit*(南京林业大学学报·自然科学版) 28(6): 61-63

Hett JM, Loucks OL. 1976. Age structure models of balsamfir and eastern hemlock [J]. *J Ecol* 64: 1 029-1 044

Yin DS(殷东生), Zhang HF(张海峰), Wang FD(王福德). 2009. The size structure and life table analysis of *Betula platyphylla* population in Xiaoxing'anling(小兴安岭白桦种群等级结构与生命表分析) [J]. *Chin For Sci Technol*(林业科技开发) 23(6): 40-43

Yin ZF(尹增芳), Fan RW(樊汝汶). 1994. Ultrastructure obser-

ations on the development of male gametophyte in *Liriodendron chinense*(Hesml) Sarg(中国鹅掌楸雄配子体发育的超微结构研究) [J]. *J Plant Res Environ*(植物资源与环境) 3(1): 1-8

Zhou JY(周建云), Li R(李荣), Zhang WH(张文辉) et al. 2012. Effects of thinning intensity on structure characteristics and spatial distribution of *Quercus wutaishanica* populations(不同间伐强度下辽东栎种群结构特征与空间分布格局) [J]. *Sci Silv Sin*(林业科学) 48(4): 149-155

Zhu XQ(朱晓琴), He XA(贺善安), Yao QJ(姚青菊) et al. 1997. Population genetic structure and conservation strategy of *Liriodendron chinense*(鹅掌楸居群遗传结构及其保护对策) [J]. *J Plant Res Environ*(植物资源与环境) 6(4): 7-14