

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201602003

引文格式: 张萱蓉, 李丹, 杨小波, 等. 海南省东方市野生龙眼种群动态特征研究 [J]. 广西植物, 2017, 37(4):417-425

ZHANG XR, LI D, YANG XB, et al. Structure and dynamic characteristics of wild longan population in Dongfang City, Hainan [J]. *Guihaia*, 2017, 37(4):417-425

海南省东方市野生龙眼种群动态特征研究

张萱蓉^{1,2}, 李丹^{1,2}, 杨小波^{1,2*}, 李东海^{1,2}, 林泽钦^{1,2}, 吴庭天^{1,2}

(1. 海南大学 园艺园林学院, 海口 570228; 2. 热带作物种质资源保护与开发利用教育部重点实验室, 海口 570228)

摘要: 野生龙眼是龙眼 (*Dimocarpus longan*) 的野生群体, 是龙眼进行品种改良与创新的重要基因库。该研究对海南省东方市的野生龙眼资源进行实地调查, 并从种群径级结构、静态生命表、存活曲线等方面进行了分析。结果表明: (1) 东方市的野生龙眼所处群落的植被类型可以分为季雨林、热带雨林以及季雨林与热带雨林过渡带。(2) 三种植被类型下野生龙眼种群大小依次为热带雨林>过渡带>季雨林。(3) 三种植被类型下野生龙眼的存活曲线均趋于 Deevey-II 型, 种群各径级的死亡率基本接近。(4) 数量变化动态指数表明季雨林、热带雨林的野生龙眼种群为稳定型; 过渡带的野生龙眼种群为增长型且趋于稳定。(5) 时间序列预测分析表明, 在未来的 2、4 个龄级后, 季雨林下的野生龙眼种群从 V 龄级之后的个体数呈现出增加的趋势, 而热带雨林和过渡带是在 IV 级之后。从野生龙眼种群的整个发展阶段来看, 目前三种植被类型下的野生龙眼幼年个体数相对丰富, 种群维持有较充足的后备资源, 中树、大树阶段的个体数能在现有基础上得到补充。继续保持现有野生龙眼种群分布的植株和生境斑块且采取有效保护措施, 东方市的野生龙眼种群能有较好的恢复潜能。该研究的创新之处在于从不同植被类型下来分析东方市的种群动态结构, 为处在不同植被类型的野生龙眼资源的种群特征提供了理论依据。

关键词: 野生龙眼, 种群分布现状, 静态生命表, 存活曲线, 死亡率和消失率曲线, 时间序列预测

中图分类号: Q948.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2017)04-0417-09

Structure and dynamic characteristics of wild longan population in Dongfang City, Hainan

ZHANG Xuan-Rong^{1,2}, LI Dan^{1,2}, YANG Xiao-Bo^{1,2*},

LI Dong-Hai^{1,2}, LIN Ze-Qin^{1,2}, WU Ting-Tian^{1,2}

(1. College of Horticulture and Landscape Agriculture, Hainan University, Haikou 570228, China; 2. Key Laboratory of Protection and Development Utilization of Tropical Crop Germplasm Resources, Hainan University, Haikou 570228, China)

Abstract: Wild longan, the wild population of longan, is an important gene bank for the betterment and innovation of longan variety. In order to reveal the population distribution and the trend of population dynamics of wild longan, the population diameter structure, static life table, and survival curve of wild longan population were studied based on the field survey in Dongfang City, Hainan Province. The results were as follows: (1) Wild longan of communities of vegetation types which can be divided into monsoon forest, tropical rainforest and the transitional zone between monsoon forest and tropical rainforest. (2) The population size of wild longan was the largest in tropical rainforest, medium in the transitional zone and smallest in the monsoon forest. (3) The survival curve of the wild longan population showed that

收稿日期: 2016-09-02 修回日期: 2016-10-22

基金项目: 国家自然科学基金(31460120) [Supported by the National Natural Science Foundation of China(31460120)].

作者简介: 张萱蓉(1989-), 女, 广东茂名, 硕士研究生, 从事植物生态学与植物资源学研究, (E-mail) 1160043639@qq.com.

*通信作者: 杨小波, 博士后, 教授, 博士生导师, 从事植物生态学与植物资源学研究, (E-mail) yanfengxb@163.com.

they approached a Deevey-II type, and the mortality rate in different size classes was similar. (4) A dynamic index of population size structure showed that their population are stabled in the monsoon forest and tropical rainforest, but its population of the transitional zone tended to be stabile. (5) Time-sequence models for wild longan population predicted that the number of different size classes will increase after two and four years. As a result, wild longan populations under monsoon forest tended to increase the number of individuals from the Age Class V later, while the rainforest and the transitional zone is after Age Class IV. From the entire stages of development of wild longan population, the number of the three vegetation types of wild longan were relatively abundant in young period, the population had a sufficient reserve resources, individual number of the medium tree and the big tree can be replenished in existing foundation. The wild longan population of Dongfang City can have a better recovery potential, as long as continue to maintain the current distribution of wild longan plants and habitat patches and take effective protective measures. The innovation of this paper is to analyze from different vegetation types of dynamic structure of wild longan population in Dongfang City, and this study provides information for population characteristics at different vegetation types of wild longan resources.

Key words: wild longan, distribution of wild longan population, life table, survival curve, mortality and vanish rate, time sequence analysis

龙眼 (*Dimocarpus longan*) 为无患子科 (Sapindaceae) 龙眼属 (*Dimocarpus* Lour.) 植物 (范妍等, 2014), 在中国的栽培历史已有两千多年, 是南方主要水果之一 (陈虎等, 2009)。在人工栽培技术不断的提高加之自然不断的演化过程中, 形成了丰富的龙眼种质资源 (邱武陵和章恢志, 1996)。中国现有龙眼品种 400 多个 (郑少泉, 2006)。开展种质资源的研究, 对龙眼产业的发展意义重大。而且野生龙眼是龙眼的野生群体, 是龙眼育种的优良种质资源, 对龙眼种质创新及龙眼栽培生产具有不可估量的作用。龙眼起源于中国, 并在海南 (薛日辉, 1981)、广西 (钱光祯和胡友群, 1996) 和云南 (李永清, 1985) 发现有野生龙眼的存在。柯冠武等 (1994) 在对比了我国不同地区的野生龙眼和栽培龙眼的花粉形态后, 根据其差异提出了龙眼起源的初生中心为云南, 而次生中心为广东、广西和海南。野生龙眼在海南主要分布区域为中部、西部、西南部 (高慧颖, 2007)。

海南岛的植物学工作者以及 1960 年果树资源调查中记载了野生龙眼的存在 (陈焕镛等, 1964), 但缺乏详细的性状描述, 1983 年在徐祥浩教授和相关单位在海南岛五指山的原始森林中找到了野生龙眼花、果、叶的标本, 为今后深入研究打下了基础 (薛日辉, 1981)。周文嵩 (2014) 等对海南昌江县的野生龙眼种群进行了初步探讨, 表明野生龙眼种群为增长型。邢莎莎 (2015) 对海南西南部三市的野生龙眼种群进行了垂直分布规律和种间关联性的研究等。此外, 随着分子生物学技术的飞速发展, 分子标记技术被更多地应用在龙眼遗传多样性及亲缘关

系上, 如刘锴栋等 (2012) 在研究粤西野生和栽培龙眼种质资源时, 采用 RAPD 技术对其进行遗传多样性分析, 结果显示粤西的野生龙眼与其他 4 个龙眼品种的遗传距离相对较大。朱建华等 (2013) 利用 ISSR 分子标记技术对不同生态类型的 39 份龙眼种质进行亲缘关系分析表明不同生态类型对龙眼的亲缘关系影响不大。但关于野生龙眼种群及其所在群落的特征仍需详细的研究工作来揭示, 所以本研究以海南东方市的野生龙眼种群为例, 探讨野生龙眼在东方市的分布现状及其种群动态特征, 旨在为海南东方市野生龙眼资源的保护提供参考依据。

1 研究区概况

东方市位于海南岛西南部, 地处 $108^{\circ}36'46'' \sim 109^{\circ}07'19''$ E, $18^{\circ}43'08'' \sim 19^{\circ}18'43''$ N 之间 (钟萍等, 2014)。气候类型是热带季风海洋性气候, 年平均气温 $24 \sim 25$ °C, 全年均无霜雪; 东方市由于蒸发量比降雨量多 1.5 倍而成为海南省最干旱的地区之一, 该市位于五指山和越南长山山脉的雨影区, 降水稀少、高温、大风、最终造成更大程度的干旱, 全市年平均降雨量自西部地区向东部地区逐渐增多, 西部沿海为 900 mm, 中部地区 900~1 300 mm, 东部地区为 1 300~1 500 mm, 主要降雨期为 7~11 月, 占全年降雨量的 70% (姚天增等, 2009; 李华等, 2010)。该市土壤结构是台地多为燥红壤类型, 丘陵台地为砖红壤类型, 低山丘陵为赤红壤类型, 山地为黄壤类型 (庄华, 2009)。

2 研究方法

2.1 野外调查方法

根据地形图沿海拔梯度在不同管护点或监测点, 深入实地全面调查了海南省东方市境内野生龙眼资源的基本情况。在发现野生龙眼后, 以野生龙眼为中心设置样方, 每个样地面积为 $20\text{ m} \times 20\text{ m}$, 对所设立样方内的野生龙眼进行每木检尺, 测定其树高、冠幅、胸径、坐标等, 同时记录每个样地的海拔、坡度、坡向、坡位等生境指标。此次调查共设置 40 个样地, 总面积为 $16\ 000\text{ m}^2$ 。

2.2 数据分析

2.2.1 径级划分 本研究参考其他学者的划分方法 (Cassie, 1962; Johnson, 1997; 李肇晨等, 2015), 采用立木级结构来代替年龄级结构分析该市的野生龙眼种群, 并结合生物学特性和生长状况, 将野生龙眼进行以下划分: $\text{DBH} < 5\text{ cm}$ 的可按其株高进行划分, $H < 33\text{ cm}$ 的为 I 级幼苗, $H \geq 33\text{ cm}$ 的为 II 级幼树 (王晓鹏等, 2006)。 $\text{DBH} \geq 5\text{ cm}$ 以上的个体, 按其胸径大小再进行分级: $5\text{ cm} \leq \text{DBH} < 10\text{ cm}$ 为 III 级小树, $10\text{ cm} \leq \text{DBH} < 25\text{ cm}$ 为 IV 级中树 (刘彩云, 2008), $25\text{ cm} \leq \text{DBH} < 40\text{ cm}$ 为 V 级大树, $D \geq 40\text{ cm}$ 为 VI 级老树 (刘梅香, 2006)。

2.2.2 种群动态量化分析方法 采用陈晓德 (1998) 的植物种群与群落结构动态量化分析方法, 通过公式计算出野生龙眼种群的个体数量变化动态指数 (V_n)、种群数量变化动态指数 (V_{pi}); 在考虑未来外部干扰时还需将 (V_{pi}) 进一步修正为 (V_{pi}'), 使之与种群龄级数量 (k) 和龄级种群个体数 (S) 相关 (李博等, 2013; 程红梅, 2009; 张小平等, 2008)。具体公式:

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

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

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

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

2.2.3 种群静态生命表编制 按照静态生命表的编制方法 (刘国军等, 2011; 汪洋等, 2015), 根据野外的调查数据统计各年龄级的株数, 并依据各年龄级

的存活数 (A_x), 计算标准化存活数 (l_x)、死亡数 (d_x)、死亡率 (q_x)、从第 x 龄级起至超过 x 龄级的个体总数 (T_x)、生命期望 (e_x)、消失率 (K_x)、存活率 (S_x) 等 (张兴旺等, 2012; 林永慧, 2011), 同时绘制种群的存活曲线, Deevey 将个体存活概率随着相对年龄的变化分成 3 种模式 (杨怀等, 2013), 即 Deevey-I 型、Deevey-II 型和 Deevey-III 型 (缪绅裕等, 2014; 黄雅昆等, 2015; 陈国科和彭华, 2015)。另外, Deevey-II 型曲线可采用指数方程式 ($N_x = N_0 e^{-bx}$)、Deevey-III 型曲线可采用幂函数式 ($N_x = N_0 x^{-bx}$) 进一步检验估算其存活状况更符合哪种类型 (王立龙等, 2015; 谢婷婷等, 2014), 同时作死亡率 (q_x) 和消失率 (K_x) 曲线进一步说明种群的数量动态特征。

2.2.4 种群动态的时间序列预测 参考申仕康等 (2008)、郭其强等 (2010) 的方法, 对野生龙眼的种群在需要预测的未来年限 (n) 时龄级 (t) 的种群大小 (M_t) (吴俊侠等, 2010)。本文分别对三种不同植被类型下野生龙眼种群数量的未来 2、4 个龄级时间序列预测。具体公式: $M_t = \frac{1}{n} \sum_{k=t-n+1}^t X_k$

3 结果与分析

3.1 种群分布现状

通过全市调查的 40 个样方的 GPS 定位点, 用 GIS 软件绘制出野生龙眼在东方市的分布图 (图 1)。图 1 结果显示, 野生龙眼主要分布在东方市的中部和东南部, 样方集中在大田国家级自然保护区、猕猴岭省级自然保护区、猕猴岭林场以及其他非保护区天然林区域。由于东方市降雨量、地形结构差异较大, 造成了植物类型也存在差别。其中, 大田保护区位于降雨量 $1\ 100 \sim 1\ 300\text{ mm}$ 的区域, 残存部分的季雨林, 野生龙眼所在群落以厚皮 (*Lannea coromandelica*)、野生龙眼、赤才 (*Lepisanthes rubiginosa*)、飞机草 (*Chromolaena odorata*)、刺桑 (*Streblus ilicifolius*) 为优势种, 伴有暗罗 (*Polyalthia suberosa*)、银柴 (*Aporosa dioica*) 等植物。调查区域一共设置了 3 个样方, 总的调查面积为 $1\ 200\text{ m}^2$, 样方内共找到野生龙眼 65 株; 其次, 猕猴岭保护区、猕猴岭林场、麦麻岭、山猪岭所在区域降雨量为 $1\ 300 \sim 1\ 500\text{ mm}$, 野生龙眼所处群落的植被类型以热带雨林为主, 厚皮、野生龙眼、刺桑、红花天料木 (*Homalium hainanense*

Gagnep)、海南榄仁(*Terminalia nigrovenulosa*)、海南栲(*Castanopsis hainanensis*)、鹧鸪麻(*Kleinhovia hospita*)为优势种,伴有三稜蒎(*Alchorne arugosx*)、锈毛野桐(*Mallotus anomalus*)、翻白叶(*Potentilla fulgens*)等植物。调查区域一共设置了 25 个样方,总调查面积为 10 000 m²,样方内共找到野生龙眼 305 株;其余的 12 样方设置于白石岭、八角岭、大寨岭的天然林内,总调查面积为 4 800 m²,所在区域降雨量在 1 100~1 300 mm 之间,植被类型以季雨林和热带雨林为主,没有明显的界限之分,为过渡带。野生龙眼所处的群落里优势种为枫香(*Liquidambar formosana*)、厚皮、刺桑、鹧鸪麻、木棉(*Bombax ceiba*)、赤才、海南榄仁等,伴生种为毛萼紫薇(*Lagerstroemia balansae*)、牛筋藤(*Malaisia scandens*)、锈毛野桐、海金沙(*Lygodium japonicum*)、破布叶(*Microcos paniculata*)、暗罗等。在样方内共找到 246 株野生龙眼。

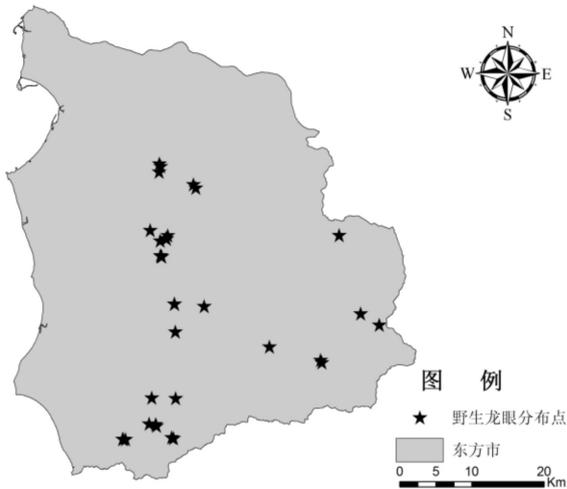


图 1 野生龙眼种群分布图

Fig. 1 Distribution map of wild longan population

3.2 种群径级结构和动态量化

以野生龙眼的各个径级植株数为纵坐标,各个径级为横坐标,绘制东方市野生龙眼径级结构图(图 2)。图 2 结果表明,在季雨林植被类型的群落里,野生龙眼径级以幼树和中树为主,分别占该植被类型区域野生龙眼总数的 36.92%、33.85%,而大树和老树缺失,均为 0;热带雨林植被类型的群落里,野生龙眼幼苗、幼树居多,分别占该植被类型区域野生龙眼总数的 39.67%、48.85%,老树缺失;热带雨林

与季雨林过渡带的群落里野生龙眼亦是幼苗、幼树占多数,分别占该植被类型区域野生龙眼总数的 51.63%、30.49%。总体而言,东方市野生龙眼种群的第 I 龄级和第 II 龄级分别占 40.75% 和 40.26%,但在 II 龄级之后,个体数随龄级增加而急剧减少,第 VI 龄级的野生龙眼仅占 0.16%。该种群幼龄个体数较多,属于增长型种群。

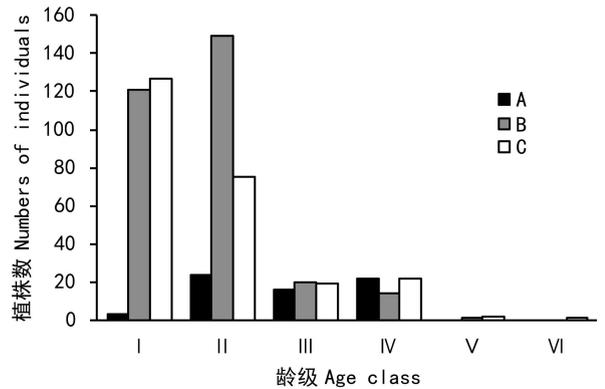


图 2 野生龙眼年龄级结构图 A、B 和 C 分别代表季雨林区、热带雨林区以及季雨林与热带雨林过渡区。下同

Fig. 2 Age class structure of wild longan population A, B and C represent monsoon forest area, tropical rainforest area and the transitional zone between monsoon forest and tropical rainforest. The same below.

表 1 野生龙眼种群年龄级结构的动态变化指数
Table 1 Dynamic index of population sizes structure of wild longan population

种群动态指数级 Dynamic index	动态指数值 Dynamic index value (%)		
	A	B	C
V_1	-87.50	-18.79	40.94
V_2	33.33	86.58	74.67
V_3	-27.27	30.00	-13.64
V_4	100.00	92.86	90.91
V_5	0.00	100.00	50.00
V_{pi}	35.40	41.40	51.39
V_{pi}'	0.00	0.00	8.56

由表 1 可知,在季雨林植被类型中, V_1 、 V_3 小于 0,说明第 I 龄级个体数目比第 II 龄级的少,第 IV 龄级个体数目大于第 III 龄级的;热带雨林植被类型中, V_1 小于 0,说明第 I 龄级个体数目少于第 II 龄级的;而在过渡带中, V_3 小于 0,第 III 龄级个体数目少于第

表 2 野生龙眼种群静态生命表
Table 2 Stationary life table of wild longan population

龄级 x Age class	A_x	a_x	l_x	$\ln l_x$	d_x	q_x	L_x	T_x	e_x	K_x	S_x	
A	I	3	17	1000	6.908	176	0.176	912	3824	4.641	0.194	0.824
	II	24	14	824	6.714	118	0.143	765	2824	4	0.155	0.857
	III	16	12	706	6.560	118	0.167	647	2000	3.401	0.183	0.833
	IV	22	10	588	6.377	176	0.299	500	1294	3.141	0.356	0.701
	V	0	7	412	6.021	118	0.286	353	706	2.401	0.337	0.714
	VI	0	5	294	5.684	—	—	—	—	—	—	—
B	I	121	239	1000	6.908	699	0.699	651	934	0.934	1.201	0.301
	II	149	72	301	5.707	209	0.694	197	283	0.94	1.185	0.306
	III	20	22	92	4.522	15	0.163	61	86	0.935	1.154	0.315
	IV	14	7	29	3.367	5	0.172	19	25	0.862	1.288	0.276
	V	1	2	8	2.079	1	0.125	6	8	1	0.693	0.500
	VI	0	1	4	1.386	—	—	—	—	—	—	—
C	I	127	126	1000	6.908	238	0.238	881	2120	2.12	0.272	0.762
	II	75	96	762	6.636	238	0.312	643	1239	1.626	0.374	0.688
	III	19	66	524	6.261	238	0.454	405	596	1.137	0.605	0.546
	IV	22	36	286	5.656	238	0.832	167	191	0.668	1.785	0.168
	V	2	6	48	3.871	48	1.000	24	24	0.5	3.871	0.000
	VI	1	0	0	—	—	—	—	—	—	—	—

表 3 野生龙眼种群龄级结构动态变化的时间序列预测
Table 3 Time sequence analysis of age structure of wild longan population

龄级 Age class	A			B			C		
	原始数据 Primary data	$M_2^{[1]}$	$M_{14}^{[1]}$	原始数据 Primary data	$M_2^{[1]}$	$M_{14}^{[1]}$	原始数据 Primary data	$M_2^{[1]}$	$M_{14}^{[1]}$
I	3			121			127		
II	24	14		149	135		75	101	
III	16	20		20	85		19	47	
IV	22	19	16	14	17	76	22	21	61
V	0	11	16	1	8	46	2	12	30
VI	0	0	10	0	1	9	1	2	11

IV 龄级个体数目; 进而计算不同植被类型下野生龙眼种群的总体数量动态变化指数 V_{pi} (不考虑外界环境干扰时) 和 V_{pi}' (受外界随机干扰), 结果显示三种植被类型下野生龙眼种群的总体数量动态变化指数 V_{pi}' 均小于 V_{pi} , 其中季雨林和热带雨林类型下的 $V_{pi}' = 0$, 过渡带中的 $V_{pi} = 0.0856 > 0$, 但趋于零, 随机干扰风险极大值 ($P_{极大}$) 分别为 0 (季雨林)、0 (热带雨林)、0.17 (过渡带), 说明野生龙眼在季雨林和

热带雨林环境下, 种群可保持稳定; 在过渡带中, 野生龙眼种群表现为增长型, 但由于该过渡区的野生龙眼种群结构增长性较低, 属于向稳定型转化的阶段, 而且对外界干扰较为敏感, 容易受环境的影响。

3.3 种群静态生命表

由于研究的野生龙眼种群分布于野生林或近自然林中, 调查所得数据编制生命表时可能会出现死亡率为负值的情况, 这时可采用匀滑 (Smooth out)

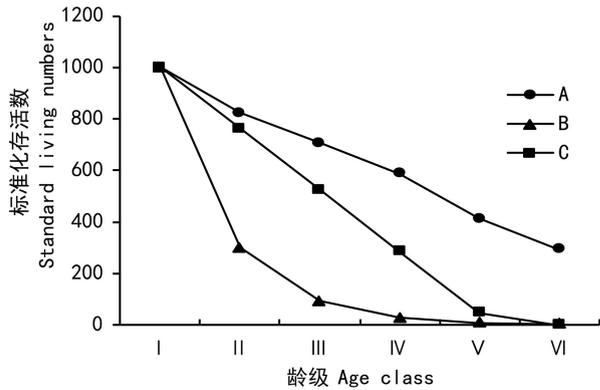


图3 野生龙眼种群存活曲线

Fig. 3 Standard survival curve of wild longan population

技术进行处理(李玲等,2011)。本文用方程拟合方法对其进行匀滑处理。从表2可以看出,植被类型为季雨林的群落里,野生龙眼种群个体数量随着年龄的增加,呈现“增加—减少—增加—减少”的波动结构关系;而植被类型为热带雨林及其过渡带中,幼年时期的个体数量较丰富,中年时期的个体数量为其次,成年和老年个体数量最少。总体而言,随着年龄的增加,存活数 l_x 逐渐减少。个体的生命期望值 e_x 也随着年龄级的增加而减少。但热带雨林植被类型群落里野生龙眼生命期望值 e_x 存在波动。

3.4 存活曲线

以存活量为纵坐标,年龄级为横坐标,绘制东方市野生龙眼种群的存活曲线(图3)。由不同植被类型下的野生龙眼种群存活曲线可以看出,季雨林植被类型群落里的野生龙眼成活率下降趋势较为平缓,而热带雨林的下降趋势比较明显,过渡带位于两者之间,曲线为明显的 Deevey-II 型;而植被类型为季雨林和热带雨林的野生龙眼种群存活曲线仍需进一步检验估算。具体计算如下:

季雨林: $N_x = 1360.3e^{-0.24x}$ ($R^2 = 0.9688$); $N_x = 1173.3x^{-0.63}$ ($R^2 = 0.8399$);

热带雨林: $N_x = 2862.4e^{-1.133x}$ ($R^2 = 0.9952$); $N_x = 1173.3x^{-3.125}$ ($R^2 = 0.9505$)。

从上式可看出,无论是季雨林还是热带雨林类型下的指数模型的 R^2 值均大于幂函数模型的 R^2 值。因此,均可认为这3种植被类型下的野生龙眼种群存活曲线都呈对角线型,即为 Deevey-II 型,种群各径级的死亡率基本接近。

3.5 死亡率和消失率曲线

以死亡率(q_x)和消失率(K_x)为纵坐标,以龄级为横坐标(王卓,2009),作野生龙眼的死亡率和消失率曲线(图4)。图4结果显示,过渡带中的野生龙眼种群死亡率和消失率曲线变化趋势基本一致,即死亡率和消失率随年龄的增加而升高,无波动;而在季雨林和热带雨林的野生龙眼的死亡率和消失率均发生不同程度的波动,其中热带雨林波动较为明显,在热带雨林下的野生龙眼种群死亡率和消失率曲线在第III龄级存在1个波动,该龄级的死亡率和消失率比相邻两个的龄级都低,即在第II龄级和第V龄级出现峰值。简而言之,不同植被类型下的环境选择压力不同,野生龙眼种群的消失率和死亡率也会有所区别。

3.6 时间序列预测分析

表3结果表明,在未来的2、4个龄级后,季雨林下的野生龙眼种群从V龄级之后的个体数呈现增加趋势,而热带雨林和过渡带是在IV级之后;从野生龙眼种群的整个发展阶段来看,目前三种类型下的野生龙眼幼年个体数相对丰富,种群维持有较充足的后备资源,中树、大树阶段的个体数能够在现有的基础上得到补充。从种群动态预测结果来看,若要使野生龙眼有较好的恢复,还需继续保持现有野生龙眼种群分布的植株和生境斑块且应采取有效的保护措施。

4 讨论与结论

本研究对海南省东方市的野生龙眼进行全面的调查后,采用GIS软件绘制东方市野生龙眼分布图,并对野外的调查数据进行整理、分析种群动态中各项指标参数。本研究结果表明,东方市的野生龙眼种群主要分布在中部和东南部,样方分布点集中在大田坡鹿保护区、猕猴岭自然保护区以及一些天然林内,海拔在50~800m之间。所处的群落的植被类型可分为季雨林、热带雨林以及季雨林与热带雨林过渡带。三种植被类型下野生龙眼种群个体数量大小依次为热带雨林>过渡带>季雨林。值得一提的是,此次调查发现有一部分的野生龙眼种群处在天然林中,这些天然林十分靠近村庄,无不避免人为干扰的强度加大,另外,由于生产开发范围和规模逐年扩大,加之部分村民的非法采挖、毁林开荒,导致野生龙眼所处的生境片段化趋势越来越明显,种群

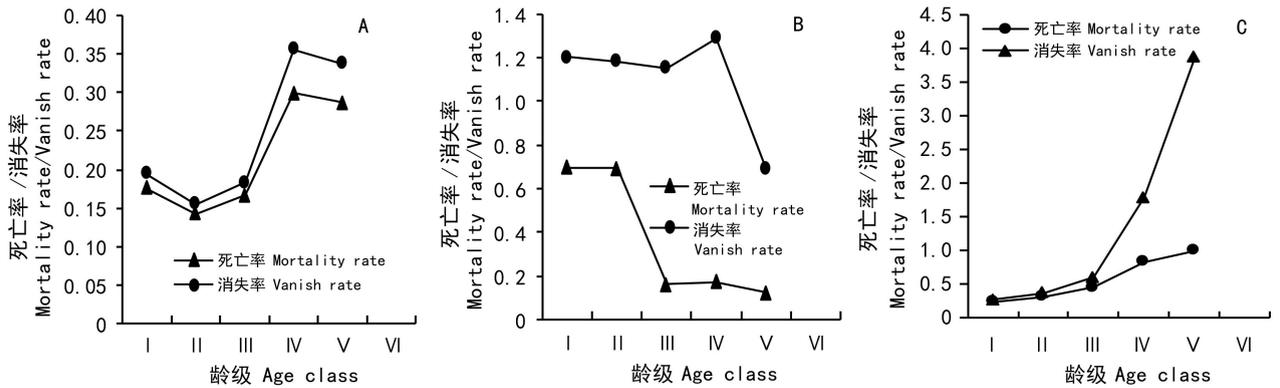


图 4 野生龙眼种群死亡率、消失率曲线

Fig. 4 Mortality and vanish rate curve of wild longan population

生境面临丧失, 如果其生境继续被改变或破坏, 会使仅存的幼苗个体极易死亡, 成年个体也会遭到侵害。

种群中不同年龄个体或年龄组相对总体所占的比例即该种群的年龄结构(王争锋等, 1998)。每个植物个体在自身的生长发育过程中, 都会对种群结构造成细微的影响(董秋莲, 2013), 年龄结构作为预测种群发展的一项重要指标, 对群落的特征以及种群动态有着一定的影响作用(阎桂琴等, 2001)。本文通过对径级结构分析来看, 三种植被类型下野生龙眼种群径级结构均为增长型, 种群生命期望值整体上基本随着径级增加而递减, 存活曲线呈直线型, 死亡率和消失率曲线基本随着年龄的增加而升高, 但在季雨林和热带雨林下会发生不同程度的波动。从整体而言, 与存活曲线是相对应的, 说明在这三种植被类型下, 野生龙眼种群均可以生存, 且具备良好的更新能力, 种群都处于相对稳定的状态。这与海南昌江县野生龙眼种群结构的结果一致。从时间序列预测结果来看, 现阶段, 该市的野生龙眼种群具有较好的恢复潜能, 但还需继续保持现有野生龙眼种群分布的植株和生境斑块且应采取有效的保护措施, 减少当地人对野生龙眼种群的破坏, 为野生龙眼种群的更新提供良好的生态环境, 促进该种群的自然更新。

参考文献:

CASSIE RM, 1962. Frequency distribution medal in ecology plant and other organism [J]. *Anim Ecol*, 31:65-95.
 CHEN GK, PENG H, 2015. Quantitative characteristics of *Ormosia hosieii* under different disturbance levels [J]. *Bull Bot Res*, 35 (5):735-740. [陈国科, 彭华, 2015. 不同干扰条件下红豆树

种群数量特征的比较 [J]. *植物研究*, 35(5):735-740.]
 CHEN H, HE XH, LUO C, et al, 2009. The optimization of SCoT-PCR system of ongan [J]. *Genom Appl Biol*, 28 (5):970-974. [陈虎, 何新华, 罗聪, 等, 2009. 龙眼 SCoT-PCR 反应体系的优化 [J]. *基因组学与应用生物学*, 28(5):970-974.]
 CHENG HM, 2009. Adynamic study of *Zelkova schneideriana* population quantity in Mountain Dashu [J]. *J Centr S Univ For & Technol*, 29(3):65-69. [程红梅, 2009. 大蜀山大叶榉种群数量动态研究 [J]. *中南林业科技大学学报*, 29(3):65-69.]
 CHEN XD, 1998. A study on the method of quantitative analysis for plant population and community structural dynamics [J]. *Acta Ecol Sin*, 18(2):214-217. [陈晓德, 1998. 植物种群与群落结构动态量化分析方法研究 [J]. *生态学报*, 18(2):214-217.]
 DONG QL, 2013. Structure and dynamics of *Reaumuria soongorica* population in different habitats [D]. Gansu: Gansu Agric Univ: 29-30. [董秋莲, 2013. 不同生境红砂种群结构和动态研究 [D]. 甘肃: 甘肃农业大学: 29-30.]
 FAN Y, YIN JH, LI XY, et al, 2014. Analysis of aromatic compounds in four longan cultivars by SPME/GC-MS [J]. *Chin J Trop Agric*, 34 (11):89-93. [范妍, 尹金华, 李昕悦, 等, 2014. SPME/GC-MS 法分析不同龙眼品种果实中的香气成分 [J]. *热带农业科学*, 34(11):89-93.]
 GAO HY, 2007. Study on genetic diversity and molecular identification of *Dimocarpus longan* Lour. From main production area [D]. Fujian: Fujian Agriculture and Forestry University: 5-7. [高慧颖, 2007. 龙眼主产区代表性品种的遗传多样性研究及鉴别技术 [D]. 福建: 福建农林大学: 5-7.]
 GUO QQ, LU J, LUO DQ, et al, 2010. Ecological characteristics of *Sabina salutaria* population at the timber line ectone on the sunny slope of the Sejila Mountain [J]. *J NW For Univ*, 25 (2):15-18. [郭其强, 卢杰, 罗大庆, 等, 2010. 西藏色季拉山阳坡林线方枝柏种群结构特征研究 [J]. *西北林学院学报*, 25(2):15-18.]
 HUANG YK, WANG DX, ZHANG HW, et al, 2015. Quantitative characteristic of *Quercus glandulifera* var. *brevipetiolata* population in Foping National Reserve of Qinling mountains [J]. *Acta Bot Boreal-Occidend Sin*, 35(3):594-600. [黄雅昆, 王得祥, 张洪武, 等, 2015. 秦岭佛坪自然保护区短柄栎栎

- 种群的数量特征 [J]. 西北植物学报, 35(3):594-600.]
- JOHNSON JB, 1997. Stand structure and vegetation dynamics of a subalpine tree fen in Rocky Mountain National Park, Colorado [J]. J Veg Sci, 8(3):337-342.
- KE GW, WANG CC, TANG ZF, 1994. Palynological studies on the origin of Longan cultivation [J]. Acta Horti Sin, 21(4):323-328. [柯冠武, 王长春, 唐自法, 1994. 龙眼栽培起源的孢粉学研究 [J]. 园艺学报, 21(4):323-328.]
- LI B, FENG YH, YANG ZQ, et al, 2013. Population structure dynamics of *Liriodendron chinensis*, a case study on a natural population in Maer Mountain, Guangxi [J]. Guihaia, 33(2):242-246. [李博, 冯源恒, 杨章旗, 等, 2013. 广西猫儿山鹅掌楸天然种群动态研究 [J]. 广西植物, 33(2):242-246.]
- LI H, XUE Y, LIN ZP, 2010. Dong-fang special protection forest construction and development of coastal countries [J]. Trop For, 38(2):25-26. [李华, 薛洋, 林之盼, 2010. 东方市沿海国家特殊保护林带建设及发展探讨 [J]. 热带林业, 38(2):25-26.]
- LI L, ZHANG GF, WANG R, et al, 2011. Life table of natural *Ginkgo biloba* population in Tianmu Mountain Nature Reserve [J]. Chin J Ecol, 30(1):53-58. [李玲, 张光富, 王锐, 等, 2011. 天目山自然保护区银杏天然种群生命表 [J]. 生态学杂志, 30(1):53-58.]
- LI YQ, 1985. An investigation on wild longan in Yunnan [J]. Acta Horti Sin, 12(4):223-227. [李永清, 1985. 云南野生龙眼的调查研究 [J]. 园艺学报, 12(4):223-227.]
- LI ZC, CHEN YF, HONG XJ, et al, 2015. Age structure and point pattern analysis of *Dacrydium pectinatum* in Bawangling Hainan Island [J]. Chin Ecol, 34(6):1507-1515. [李肇晨, 陈永富, 洪小江, 等, 2015. 海南霸王岭陆均松种群年龄结构与点格局分布特征 [J]. 生态学杂志, 34(6):1507-1515.]
- LIN YH, HE XB, TIAN QJ, et al, 2011. Numeric dynamics of endangered plant *Euonymus chloranthoides* populations after habitat fragmentation [J]. Bull Bot Res, 31(4):443-450. [林永慧, 何兴兵, 田启建, 等, 2011. 生境破碎化后濒危植物缙云卫矛种群的数量动态 [J]. 植物研究, 31(4):443-450.]
- LIU CY, 2008. Population structure and population dynamics of *Quercus variabilis* [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University: 32-36. [刘彩云, 2008. 栓皮栎种群结构与动态规律研究 [D]. 南京:南京林业大学硕士论文:32-36.]
- LIU GJ, ZHANG XM, ZHU XM, et al, 2011. Structure and dynamics of *Haloxylon ammodendron* population along the south-eastern margin of the Zhunger Basin [J]. Acta Bot Boreal-Occident Sin, 31(6):1250-1256. [刘国军, 张希明, 朱军涛, 等, 2011. 准噶尔盆地东南缘梭梭种群结构与动态研究 [J]. 西北植物学报, 31(6):1250-1256.]
- LIU KD, YUAN CC, QIU HN, et al, 2012. Genetic diversity analysis of *dimocarpus longana* Gour. from western Guangdong by RAPD [J]. Chin Agric Sci Bull, 28(31):191-195. [刘锴栋, 袁长春, 邱怀娜, 等, 2012. 粤西龙眼遗传多样性的 RAPD 分析 [J]. 中国农学通报, 28(31):191-195.]
- LIU MX, 2006. Study on the ecology and conservation of an endangered tree *Reevesia rotundifolia* (Sterculiaceae) [D]. Guilin: Guangxi Normal University: 12-16. [刘梅香, 2006. 濒危树种粗齿梭罗的生态学及其保育研究 [D]. 桂林:广西师范大学:12-16.]
- MA K, Li GY, ZHU CX, et al, 2013. Population structure and distribution patterns of the rare and endangered *Ardisia violacea* (Myrsinaceae) [J]. Acta Ecol Sin, 33(2):72-79.
- MIAO SY, ZENG QC, CHEN ZM, et al, 2014. Analyses on community species composition and population structure characteristics of *Disanthus cercidifolius* var. *longipes* in Dadongshan of Nanling Mountain [J]. J Plant Res Environ, 23(1):51-57. [缪绅裕, 曾庆昌, 陈志明, 等, 2014. 南岭大东山长柄双花木群落物种组成与种群结构特征分析 [J]. 植物资源与环境学报, 23(1):51-57.]
- QIAN GZ, HU YQ, 1996. Wild mountain longan in Guangxi [J]. J South Agric, 1:32. [钱光祯, 胡友群, 1996. 广西野生山龙眼 [J]. 南方农业学报, 1:32]
- QIU WL, ZHANG HZ, 1996. China fruit records: longan loquat volume [M]. Beijing: China Forestry Press:8-81. [邱武陵, 章恢志, 1996. 中国果树志:龙眼枇杷卷 [M]. 北京:中国林业出版社, 8-81.]
- WANG LL, WANG L, ZHANG LF, et al, 2015. Structure and dynamic characteristics of *Gymnocarpus przewalskii* in different habitats [J]. Chin J Plant Ecol, 39(10):980-989. [王立龙, 王亮, 张丽芳, 等, 2015. 不同生境下濒危植物裸木种群结构及动态特征 [J]. 植物生态学报, 39(10):980-989.]
- WANG Z, HUANG RF, WANG LH, et al, 2009. Analysis on life table of natural *Sabina vulgaris* population in Mu Us Sandy Land [J]. J Des Res, 29(1):118-124. [王卓, 黄荣风, 王林和, 等, 2009. 毛乌素沙地天然臭柏种群生命表分析 [J]. 中国沙漠, 29(1):118-124.]
- WANG XP, WAN CD, XU RS, et al, 2006. Preliminary study on population structure of *Dalbergia hupeana* in Huangfushan of Anhui Province, China [J]. Guihaia, 26(2):163-166. [王晓鹏, 宛传丹, 徐如松, 等, 2006. 安徽皇甫山黄檀种群结构初步研究 [J]. 广西植物, 26(2):163-166.]
- WANG Y, ZHANG M, CHEN X, et al, 2015. Population dynamics and spectral analysis of *Toona ciliata* of Qizimeishan Mountains Nature Reserve [J]. Hubei Agric Sci, 54(22):5632-5636. [汪洋, 张敏, 陈霞, 等, 2015. 七姊妹山保护区红椿种群动态与谱分析 [J]. 湖北农业科学, 54(22):5632-5636.]
- WANG ZF, AN SQ, ZHU XL, 1990. Distribution pattern of tree populations in tropical forest and comparison of its study methods [J]. Chin J Appl Ecol, 9(6):575-580. [王峥嵘, 安树青, 朱学雷, 1990. 热带森林乔木种群分布格局及其研究方法的比较 [J]. 应用生态学报, 9(6):575-580.]
- WU JX, ZHANG XM, DENG XM, et al. 2010. Characteristic and dynamics analysis of population *Euphratica* populations at upper reaches of Tarim River [J]. Arid Land Geogr, 33(6):923-929. [吴俊侠, 张希明, 邓潮洲, 等, 2010. 塔里木河上游胡杨种群特征与动态分析 [J]. 干旱区地理, 33(6):923-929.]
- WU YL, YI GJ, ZHOU HZ, et al, 2007. Advances on the research of Litchi and Longan germplasm resource [J]. J Plant Genet Resour, 8(4):498-502. [吴元立, 易干军, 周碧容, 等, 2007. 荔枝与龙眼种质资源研究进展 [J]. 植物遗传资源学报, 8(4):498-502.]
- SHEN SK, MA HY, WANG YH, et al, 2008. The structure and dynamics of natural population of the endangered plant *Euryodendron excelsum* H. T. Chang [J]. Acta Ecol Sin, 28(5):2404-2412. [申仕康, 马海英, 王跃华, 等, 2008. 濒危植物猪血木 (*Euryodendron excelsum* H. T. Chang) 自然种群结构及动态 [J]. 生态学报, 28(5):2404-2412.]
- XIE TT, SU PX, ZHOU ZJ, et al, 2014. Structure and dynamic characteristics of *Calligonum mongolicum* population in the deser toasis ecotone [J]. Acta Ecol Sin, 34(15):4273-4279. [解婷婷, 苏培

- 玺,周紫鹃,等,2014. 荒漠绿洲过渡带沙拐枣种群结构及动态特征 [J]. 生态学报,34(15):4273-4279.]
- XING SS, 2015. Inter-specific association and vertical distribution among key medicinal plants of three countries in Southwest of Hainan Island [D]. Hainan: Hainan University:13-69. [邢莎莎,2015. 海南省西南部三市县重点药用植物的垂直分布规律及其种间关联性研究 [D]. 海南:海南大学:13-69.]
- XUE RH, 1981. Hainan island found wild longan community [J]. Chin Fruits, 1:21-23. [薛日辉,1981. 海南岛发现野生龙眼的群落 [J]. 中国果树,1:21-23.]
- YAO TZ, WEN CS, CHEN QB, et al, 2009. High-tech agricultural development in Chang jiang, Dong fang and Le dong, Hainan [J]. Trop Agric Eng, (33)2:59-62. [姚天增,温春生,陈秋波等,2009. 海南昌江,东方,乐东三县市高新农业调查报告 [J]. 热带农业工程,(33)2:59-62.]
- YAN GQ, ZHAO GF, HU ZH, et al, 2001. Population structure and dynamics of *Larix chinensis* in Qinling Mountain. [J]. Chin J Appl Ecol, 12(6): 824-828. [阎桂琴,赵桂仿,胡正海,等,2001. 秦岭太白红杉种群结构与动态的研究 [J]. 应用生态学报,12(6): 824-828.]
- YANG H, LI YD, XU H, et al, 2013. Population structure of endemic species *Beilschmiedia tungfangensis* in Hainan of South China [J]. Chin J Ecol, 32(6):1 451-1 457. [杨怀,李意德,许涵,等,2013. 海南特有种东方琼楠种群结构特征 [J]. 生态学杂志,32(6):1 451-1 457.]
- ZHU JH, PAN LM, QIN XQ, et al, 2013. Analysis on genetic relations in different ecotypes of Longan germplasm resources by ISSR [J]. Mark J Plant Genet Resour, 14(1):65-69. [朱建华,潘丽梅,秦献泉,等,2013. 不同生态类型龙眼种质亲缘关系的 ISSR 分析 [J]. 植物遗传资源学报,14(1):65-69.]
- ZHONG P, WANG DF, WEI ZY, et al, 2014. Temporal and spatial distribution of soil nutrients in tropical arableland of China—A case study of Dong fang City, Hainan [J]. J S Agric, 2014,45(1):58-62. [钟萍,王登峰,魏志远,等,2014. 我国热带区农田土壤养分时空分布研究—以海南省东方市为例 [J]. 南方农业学报,45(1):58-62]
- ZHONG Y, 1983. Fruit germplasm resource and their geographical distribution in Hainan [J]. Acta Hortic Sin, 10(3):145-152. [钟义,1983. 海南岛果树资源极其地理分布 [J]. 园艺学报,10(3):145-152.]
- ZHOU WS, YANG XB, FENG DD, et al, 2014. Population dynamics of endangered medicinal plants in Changjiang County, Hainan [J]. J Trop Biol, 05(04):392-399. [周文嵩,杨小波,冯丹丹,等,2014. 海南昌江县濒危药用植物的种群动态 [J]. 热带生物学报,05(04):392-399.]
- ZHANG XP, HAO CY, FAN R, et al, 2008. Population structure of endangered *monimopetalum chinense* and its relationships with environmental factors [J]. Chin J Appl Ecol, 19(3):474-480. [张小平,郝朝运,范睿,等,2008. 濒危植物永瓣藤的种群结构及与环境的关系 [J]. 应用生态学报,19(3):474-480.]
- ZHANG XW, ZHANG XP, GUO CY, et al, 2012. Quantitative dynamics of *Pteroceltis tatarinowii* populations in Huangcangyu Nature Reserve of Anhui Province, East China [J]. Chin J Ecol, 31(2):282-291. [张兴旺,张小平,郭传友,等,2012. 安徽皇藏峪自然保护区青檀种群数量动态 [J]. 生态杂志,31(2):282-291.]
- ZUANG H, 2009. Forest ecological tourism in Dong-fang City [J]. Trop For, 37(2):34-36. [庄华,2009. 东方市森林生态旅游初探 [J]. 热带林业,37(2):34-36.]

(上接第 503 页 Continue from page 503)

- plant cells [J]. Biol Technol, 6: 319-322.
- LI YC, 2014. Enhanced cephalotaxine production in *Cephalotaxus mannii* suspension cultures by combining glycometabolic regulation [J]. Proc Biochem, 2279-2284.
- LIU JP, DANG QF. 2006. Propagation of *Cephalotaxus hainanensis* Li by cutting [J]. Chin Trop Agric, 5:63. [刘进平,党群帆,2006. 海南粗榧扦插繁殖技术 [J] 中国热带农业,5:63.]
- LIU JP, WU JJ, HUANG YL, et al, 2010. Surface sterilization and callus induction of stem explants of *Cephalotaxus hainanensis* Li [J]. Trop Agric Sci Technol, 33: 39-41. [刘进平,吴佳静,黄艳丽,2010. 海南粗榧外植物灭菌与愈伤组织诱导 [J]. 热带农业科技,33: 39-41.]
- LONG XJ, LI YC, 2015. Effect of elicitor on growth and cephalotaxus alkaloids accumulation of *Cephalotaxus mannii* Suspension cells [J]. Chin J Trop Crops, 36(6): 1125-1130. [龙晓娟,李永成,2015. 诱导子对海南粗榧细胞悬浮生长及三尖杉酯类碱合成的影响 [J]. 热带作物学报, 36(6):1125-1130.]
- PARRY RJ, CHANG MN, SCHWAB JM, et al, 1980. Biosynthesis of the cephalotaxus alkaloids. investigations of the early and late stages of cephalotaxine biosynthesis [J]. J Am Chem Soc, 102(3):1099-1111.
- STROHL WR, 2001. Biochemical engineering of nature product biosynthesis pathways [J]. Metab Eng, 3(1): 4.
- WANG CT, 2013. Study on multiplication and browning in the callus culture of *Cephalotaxus mannii* [C]. Hainan: Hainan University:18. [王成韬,2013. 海南粗榧愈伤组织增殖及抗褐变研究 [D].海南:海南大学,18.]
- WANG YS, 1990. Help the anticancer plant—*Cephalotaxus mannii* [J]. Plant J, 3:8-9. [王有生,1990. 救救抗癌奇木——海南粗榧 [J]. 植物杂志,3:8-9.]
- WILSON SA, ROBERTS SC,2012. Recent advances towards development and commercialization of plant cell culture processes for the synthesis of bimolecular [J]. Plant Biotechnol,10:249-268.
- YE RF, WANG Q, ZHOU XF, 2009. Lincomycin, rational selection of high producing strain and improved fermentation by amino acids supplementation [J]. Bioproc Biosyst Eng, 32:521-529.
- YU LJ, LAN WZ, CHEN C, YANG Y, et al, 2004. Glutathione levels control glucose-6-phosphatase hydrogenase activity during elicitor-induced oxidative stress in cell suspension cultures of *Taxus chinensis* [J]. Plant Sci 167:329-35.
- ZHOU ZQ, MEIXG, 2004. Progress in the research on production of taxol by taxus cell culture [J]. J S-Centr Univ Nat (Nat Sci Ed),23(1):21-25. [周忠强,梅兴国,2004. 红豆杉细胞培养生长紫杉醇的研究进展 [J]. 中南民族大学学报(自然科学版),23(1):21-25.]