

濒危植物长序榆种群径级结构及其生命表分析

毛仙龙¹, 吴伟建¹, 王军峰², 何小勇³, 潘跃武¹, 杜有新²

(1. 松阳县自然资源和规划局, 浙江 松阳 323400; 2. 华东药用植物园科研管理中心, 浙江 丽水 323000;
3. 丽水市林业技术推广总站, 浙江 丽水 323000)

摘要:以浙江省松阳县三都乡水竹村长序榆 *Ulmus elongata* 野生居群为研究对象, 通过典型样地调查, 并编制生命表以及生存曲线, 分析长序榆种群的分布格局及其径级结构特征。结果表明, 长序榆群落乔木层中长序榆的重要值为 57.91%, 为该群落的绝对优势树种, 重要值大于 1% 的乔木层树种还有杉木 *Cunninghamia lanceolata*、红楠 *Machilus thunbergii*、青冈 *Cyclobalanopsis glauca*、柳杉 *Cryptomeria fortunei*、南方红豆杉 *Taxus chinensis* var. *mairei*、马尾松 *Pinus massoniana*、鹅掌楸 *Liriodendron chinense*、黄檀 *Dalbergia hupeana*、香椿 *Toona sinensis*、朴树 *Celtis sinensis* 和枫香树 *Liquidambar formosana* 等 12 种。长序榆种群空间上呈现集群分布格局, 种群径级结构总体上呈倒“J”形。径级 I 的幼树个体数量大, 占种群个体总数的 83.1%, 但早期阶段死亡率高, 径级 I ~ III 的个体死亡率均在 68.4% 以上, 径级 IV ~ VII 个体的死亡率均低于 35%, 至径级 VIII 时个体死亡率再次升高至 50%, 此后趋于稳定, 种群最大生命期望值出现在径级 IX。该种群自然更新状态较好, 种群的存活曲线近于 Deevey-III 型, 属于增长型种群, 但长序榆种群早期死亡率较高, 是造成该种群成年植株稀少的主要原因。

关键词:长序榆种群; 分布格局; 径级结构; 生命表

中图分类号: Q948.1

文献标识码: A

文章编号: 1001-3776(2023)04-0019-06

Diameter Structure and Life Table of *Ulmus elongata* Community in Zhejiang

MAO Xianlong¹, WU Weijian¹, WANG Junfeng², HE Xiaoyong³, PAN Yaowu¹, DU Youxin²

(1. Songyang Natural Resources and Planning Bureau of Zhejiang, Songyang 323400, China; 2. Research & Management Center of East China Medicinal Botanical Garden, Lishui 323000, China; 3. Lishui Forestry Extension Station of Zhejiang, Lishui 323000, China)

Abstract: In August 2021, 8 sample plots of 20 m × 30 m were established in *Ulmus elongata* community in Songyang, Zhejiang province for determination of DBG/ground diameter height of every *U. elongata*, and DBH, height, quantity of associated tree species, importance value of each tree species was calculated. The results showed that the important value of *U. elongata* was 57.91%, absolutely dominant tree species in the community. There were also 12 tree species with important value more than 1% at arbor layer such as *Cunninghamia lanceolata*, *Machilus thunbergii*, *Cyclobalanopsis glauca*, *Cryptomeria fortunei*, *Taxus wallichiana* var. *mairei*, *Pinus massoniana*, *Liriodendron chinense*, *Dalbergia hupeana*, *Toona sinensis*, *Celtis sinensis* and *Liquidambar formosana*. *U. elongata* was clustered distribution, and the diameter structure like inverted J-shaped mode. The individuals of diameter class I (DBH < 5 cm, interclass of 5 cm) including seedlings and saplings accounted for 83.1% of the total individuals, but with higher mortality rate in the community. The mortality rate of individuals of diameter class I-III was more than 68.4%, while that of individuals of diameter class IV-VII lower than 35%. The mortality rate of individuals of diameter class VIII increased to 50%, and then steady. The maximal life

收稿日期: 2023-03-19; 修回日期: 2023-05-25

基金项目: 丽水市公益性技术应用研究项目(2019GYX14); 浙江省林业生物多样性保护项目(33112410150002)

作者简介: 毛仙龙, 工程师, 从事森林资源保护研究; E-mail: 1009218671@qq.com。通信作者: 何小勇, 正高级工程师, 博士, 从事经济林研究; E-mail: 332744534@qq.com。通信作者: 杜有新, 研究员, 博士, 从事保护生态学研究; E-mail: yxdu765@sohu.com。

expectancy of the community occurred at diameter class IX. The investigation demonstrated good natural regeneration of *U. elongata* community. The survival curve of the community was approximated to the Deevey-III model, indicating expanding community. The high mortality of younger individuals was the main cause of rare mature individuals in the community.

Key words: *Ulmus elongata* population; spatial distribution; diameter class structure; life table

种群结构和空间分布格局是植物种群生态学研究的重要内容之一，也直接影响着群落结构、性质及其功能^[1]。在不利的自然环境条件和人为持续干扰下，随着树龄的不断增长，珍稀濒危野生植物种群规模均呈现出逐渐减少的趋势^[2]。种群径级结构能很好地反映种群动态变化^[3]，通过研究种群径级结构及其动态特征，阐明种群自然更新、自我繁衍及其健康发展状况，对濒危植物科学保护及可持续利用均具有重要意义^[4-5]。

长序榆 *Ulmus elongata* 属于国家二级保护植物^[6]，主要分布于福建、江西、浙江和安徽等地，生长于海拔 500 ~ 900 m 的阔叶混交林及毛竹 *Phyllostachys edulis* 林中^[7]。长序榆的模式标本采自浙江省松阳县玉岩镇何山头村，其中松阳县三都乡长序榆居群规模已超过九龙山自然保护区居群^[8]，成为我国至今已被发现的长序榆最大野生居群。目前，普遍关注长序榆的天然更新^[9]、种质资源保护^[10]及群落生存环境^[11-12]等方面的研究，但是关于长序榆种群结构及其动态的研究尚不多见。本文基于松阳县三都乡水竹村固定样地的调查数据，通过生命表编制及其生存能力分析，揭示长序榆种群动态变化特征，为探讨长序榆野生种质资源保护与管理提供参考依据。

1 研究地概况

研究区位于浙江省松阳县三都乡水竹村（119°35'54" E，28°29'03" N）。该区域属亚热带湿润季风气候，年均气温为 16.3 ℃，最冷月 1 月，极端最低气温为 -8.1 ℃，最热月 7 月，极端最高气温为 36 ℃；年均相对湿度为 83%，年均降水量为 1 828.7 mm（松阳县气象局提供）。长序榆主要分布于阔叶混交林、针阔混交林及毛竹林中，林分郁闭度平均为 0.73，长序榆幼苗或幼树多聚集分布于林窗或林隙等空旷生境。研究地基本情况见表 1。该长序榆种群面积为 0.48 hm²，主要分布于海拔 600 ~ 700 m 沟谷两侧的山坡上，以北坡为主，坡度介于 30° ~ 60°。

表 1 长序榆群落样地基本情况
Tab. 1 Information of sample plots of *U. elongata* community

样地	海拔/m	坡向	坡位	坡度/(°)	种群密度/(株·hm ⁻²)	林分郁闭度	植被类型
1	643	东北	下坡	38	2 884	0.95	针阔混交林
2	633	北	下坡	45	175	0.85	落叶阔叶林
3	625	北	下坡	28	420	0.90	毛竹林
4	620	东北	沟谷	50	1 206	0.85	落叶阔叶林
5	610	东北	沟谷	35	1 200	0.85	落叶阔叶林
6	615	东南	沟谷	35	200	0.30	落叶阔叶林
7	647	东南	中坡	60	125	0.80	针阔混交林
8	645	北	中坡	36	964	0.35	针阔混交林

2 研究方法

2.1 样地设置与调查方法

以松阳县三都乡水竹村长序榆野生居群为研究对象（表 1），于 2021 年 8 月对长序榆群落进行了生态学调查。根据地形及长序榆分布情况，共设置了 8 个面积为 20 m × 30 m 样方。测定样方内所有长序榆植株的胸径（DBH）或地径（DGH）和株高（H），并调查样方内其它伴生乔木树种的胸径、株高和株数，计算每个树种的重要值。树种重要值=（相对多度+相对频度+相对显著度）/3。

2.2 分布格局

本文种群空间分布格局选择以下格局判断指标与检验方法^[13-14]：

①方差/均数 (v/m) 指标及 t 检验法: 当 $v/m < 1$ 时, 为均匀分布; 当 $v/m = 1$ 时, 为随机分布; 当 $v/m > 1$ 时为集群分布。以 $t = (v/m - 1)\sqrt{2/(q-1)}$ 进行显著性检验。

②扩散型指数 Morisita 指数 (I_q): $I_q = q \sum n_i(n_i - 1)/N(N-1)$ 。当 $I_q < 1$ 时, 为均匀分布; 当 $I_q = 1$ 时, 为随机分布; 当 $I_q > 1$ 时, 为集群分布。用 F 检验来检验偏差的显著性, F 值由公式 $F = I_q(N-1) + q - N / (q-1)$ 求得, 以分子自由度 $q-1$, 分母自由度为 ∞ 查 F 值进行显著性检验。当 $F_{q-1, \infty, 0.975} \leq F \leq F_{q-1, \infty, 0.025}$ 时, 为随机分布, 否则为集群或均匀分布。

③丛生指数 (I): $I = (v/m - 1)$ 。当 $I = 0$ 时, 为随机分布; 当 $I > 0$ 时, 为集群分布。

④平均拥挤系数 (m^*) 与聚块性指数 (m^*/m): $m^* = m + (v/m - 1)$ 。当 $m^*/m < 1$ 时, 为均匀分布; 当 $m^*/m = 1$ 时, 为随机分布; 当 $m^*/m > 1$ 时, 为集群分布。

⑤负二项式指数 (k): $k = m^2/(v - m)$ 。 k 值越小, 集结度愈大, 当 $k > 8$ 时, 接近泊松分布。

上述各公式中, m 为各样方中个体数的平均值, v 为其方差, q 为样方数, n_i 为第 i 个样方中的个体数, N 为总个体数。

2.3 生命力分析

2.3.1 径级划分 由于野外难以确定长序榆植株的年龄, 采用立木径级结构替代年龄结构的做法^[5,13,15], 开展长序榆种群的年龄结构分析。将长序榆植株依胸径大小进行径级划分, $DBH < 5$ cm 的植株记为径级 I, $5 \text{ cm} \leq DBH < 10$ cm 的植株记为径级 II, 每间隔 5 cm 为 1 个径级, 以此类推, 共划分为 13 个径级。统计每个径级的个体数量, 根据每一径级个体数量绘制种群静态生命表。

2.3.2 生命表编制 特定时间生命表一般包括如下内容^[4]: x 是单位时间某个径级的中值, a_0 为 a_x 的初始值, a_x 是在径级 x 内现有个体数, l_x 是在径级 x 开始时标准化存活个体数 (一般转化为 1 000), d_x 是从径级 x 到径级 $x+1$ 间隔期内标准化死亡数, q_x 是从径级 x 到径级 $x+1$ 间隔期间的死亡率, L_x 是从径级 x 到径级 $x+1$ 间隔期间存活的个体数, T_x 是从径级 x 到超过径级 x 的个体总数, e_x 是进入径级 x 个体的生命期望或平均期望寿命, K_x 是为消失率 (损失度)。

由于静态生命表是反映多个世代重叠的年龄动态历程中的一个特定时间, 而不是对这一种群的全部生活史的追踪, 并且调查中存在系统误差, 为避免在生命表中出现死亡率为负值的情况, 因此本研究通过幂函数拟合 ($Y = 313.36X^{-2.4967}$, $R^2 = 0.9405$) 对源数据 (A_x) 进行匀滑技术处理, 经修正后得 a_x 。计算公式为^[5]:

$$l_x = a_x/a_0 \times 1\,000$$

$$d_x = l_x - l_{x+1}$$

$$q_x = \left(\frac{d_x}{l_x}\right) \times 100\%$$

$$L_x = (l_x + l_{x+1})/2$$

$$T_x = \sum_x^{\infty} L_x$$

$$e_x = T_x/L_x$$

$$K_x = \ln l_x - \ln l_{x+1}$$

为更好地了解长序榆种群的径级变化, 采取 4 个生存函数进行深入分析^[5]: 种群生存率函数 $S_{(i)}$ 、累计死亡率函数 $F_{(i)}$ 、死亡密度函数 $f_{(ti)}$ 和危险率函数 $\lambda_{(ti)}$, 其计算公式分别为:

$$S_{(i)} = S_1 \times S_2 \times S_3 \cdots S_i$$

$$F_{(i)} = 1 - S_{(i)}$$

$$f_{(ti)} = (S_{i-1} - S_i)/h_i$$

$$\lambda_{(ti)} = 2(1 - S_i)/[h_i(1 + S_i)]$$

式中, S_i 为存活率, h_i 为径级宽度。

2.4 数据处理与分析

采用 Excel 2003 和 SPSS 17.0 软件对数据进行处理和分析。

3 结果与分析

3.1 长序榆群落特征

除毛竹林外，长序榆群落乔木层树种主要树种及其重要值见表 2。

表 2 长序榆群落乔木层主要树种及其重要值
Tab. 2 Main tree species and their important values at arbor layer of *U. elongata* community

编号	树种	相对多度/%	相对频度/%	相对显著度/%	重要值/%
1	长序榆 <i>Ulmus elongata</i>	86.15	19.44	68.12	57.91
2	杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	3.85	5.56	8.05	5.82
3	红楠 <i>Machilus thunbergii</i>	1.73	8.33	3.27	4.44
4	青冈 <i>Cyclobalanopsis glauca</i>	1.54	8.33	2.68	4.18
5	柳杉 <i>Cryptomeria fortunei</i>	1.15	5.56	4.86	3.86
6	南方红豆杉 <i>Taxus wallichiana</i> var. <i>mairei</i>	0.96	5.56	4.83	3.78
7	马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	0.58	5.56	1.05	2.39
8	鹅掌楸 <i>Liriodendron chinense</i>	0.77	2.78	2.44	1.99
9	黄檀 <i>Dalbergia hupeana</i>	0.77	2.78	1.81	1.78
10	香椿 <i>Toona sinensis</i>	0.19	2.78	0.53	1.16
11	朴树 <i>Celtis sinensis</i>	0.19	2.78	0.37	1.11
12	枫香树 <i>Liquidambar formosana</i>	0.19	2.78	0.34	1.10

由表 2 可知，长序榆的重要值为 57.91%，为该群落的绝对优势树种；群落中重要值大于 1%的乔木层树种还有杉木、红楠、青冈、柳杉、南方红豆杉、马尾松、鹅掌楸、黄檀、香椿、朴树和枫香树。

根据对长序榆种群分布格局的统计分析，其方差/均数 (v/m)、Morisita 指数 (I_q)、丛生指数 (I)、聚块性指 (m^*/m) 及负二项式指数 (k) 分别为 105.144、2.139、104.144、2.299 及 0.769，均表明种群的平均拥挤程度和聚集强度较高，属于典型的集群分布。 v/m 值经 t 检验 ($t=194.836$) 达到极显著水平 ($P<0.01$)； I_q 指数的 F 值为 105.144，达到显著水平 ($P<0.01$)。

3.2 种群径级结构

从图 1 可以看出，长序榆种群中径级 I 的个体数最多，占种群个体总数的 83.1%，径级 II 的个体数只占 10.63%，自径级 II 之后各径级的个体数急剧下降，至径级 IV 之后的个体数趋于稳定，说明长序榆幼树个体数量虽然较多，但死亡率较高。总体来说，长序榆种群径级结构呈倒“J”形，幼苗和幼树数量丰富，径级 IV 以上的成年树数量只占总数的 3.29%，属于增长型种群。

3.3 静态生命表

长序榆种群特定时间的生命表见表 3。由表 3 显示，长序榆早期死亡率较高，径级 I ~ III 幼树的死亡率均在 68.4%以上，到径级 IV 时，仅有 1.1%个体数存活。径级 IV ~ VII 个体的死亡率均低于 35%，至径级 VIII 时，个体死亡率再次升高至 50%，此后趋于稳定，种群最大生命期望值出现在径级 IX。

3.4 存活曲线

以径级为横坐标，以存活数 $[lg(l_x)]$ 和死亡数 $[lg(d_x)]$ 为纵坐标，绘制长序榆种群的存活曲线（图 2）。

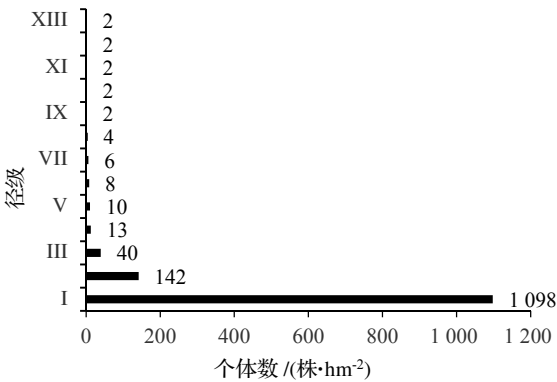


图 1 长序榆种群的径级结构

Fig. 1 Diameter class of *U. elongata* community

表 3 长序榆种群静态生命表
Tab. 3 Static life table of *U. elongata* community

径级	x/cm	A_x	a_x	l_x	$\ln l_x$	d_x	q_x	L_x	T_x	e_x	K_x
I	2.5	531	527	1 000	6.908	871	87.09	565	712	1.261	2.047
II	7.5	68	68	129	4.860	93	72.06	83	147	1.782	1.275
III	12.5	19	19	36	3.585	25	68.42	24	65	2.720	1.153
IV	17.5	6	6	11	2.433	2	16.67	10	41	3.909	0.182
V	22.5	2	5	9	2.250	2	20.00	9	31	3.556	0.223
VI	27.5	4	4	8	2.027	2	25.00	7	22	3.286	0.288
VII	32.5	3	3	6	1.739	2	33.33	5	15	3.200	0.405
VIII	37.5	1	2	4	1.334	2	50.00	3	10	3.667	0.693
IX	42.5	1	1	2	0.641	0	0	2	8	4.000	0
X	47.5	1	1	2	0.641	0	0	2	6	3.000	0
XI	52.5	1	1	2	0.641	0	0	2	4	2.000	0
XII	57.5	1	1	2	0.641	0	0	2	2	1.000	0
XIII	62.5	1	1	2	0.641	0	0				

由图 2 可知,长序榆种群的存活曲线介于 Deevey-II 型和 Deevey-III 型之间。采用如下 2 种模型检验存活曲线类型, $N_x=190.17e^{-0.438x}$ ($F=40.908$, $r=0.887\ 8$, $P<0.001$), $N_x=650.27x^{-2.477}$ ($F=390.721$, $r=0.9862$, $P<0.001$)。结果表明,长序榆种群存活曲线指数模型的 F 检验值和相关系数 r 均小于幂函数模型的 F 检验值和相关系数 r , 可以认为长序榆种群存活曲线更趋向于 Deevey-III 型。

根据长序榆生存函数的估计值(表 4),随着径级的增加,长序榆种群生存率和累计死亡率分别呈现逐级降低和逐级增加的现象,而且在径级 IV 之前的变化幅度较大,之后则较平稳。长序榆种群的死亡密度和危险率曲线表现出不同的变化趋势,小径级植株的死亡密度高于大径级植株,径级 I 和径级 II 幼树的死亡密度均在 17.4% 以上,径级 IV 后植株的死亡密度均为 0,而危险率在径级 III 后则开始趋于平稳。综合 4 个反映种群动态随径级变化的生存函数状况,表明长序榆种群早期死亡率较高,幼树阶段的死亡风险较大。

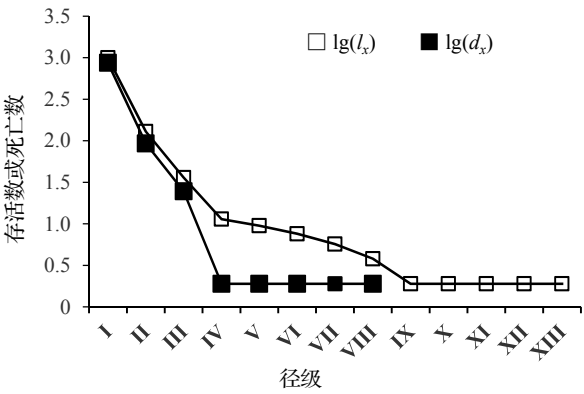


图 2 长序榆存活和死亡曲线
Fig. 2 Survival and mortality curve of *U. elongata* community

表 4 长序榆种群生存函数参数估计值
Tab. 4 Estimated parameter of survival functions of *U. elongata* community

径级	x/cm	$S_{(i)}$	$F_{(i)}$	$f_{(i)}$	$\lambda_{(i)}$	径级	x/cm	$S_{(i)}$	$F_{(i)}$	$f_{(i)}$	$\lambda_{(i)}$
I	2.5	1.000	0	0.200	0	VIII	37.5	0.004	0.996	0	0.397
II	7.5	0.129	0.871	0.174	0.309	IX	42.5	0.002	0.998	0	0.398
III	12.5	0.036	0.964	0.019	0.372	X	47.5	0.002	0.998	0	0.398
IV	17.5	0.011	0.989	0.005	0.391	XI	52.5	0.002	0.998	0	0.398
V	22.5	0.009	0.991	0	0.392	XII	57.5	0.002	0.998	0	0.398
VI	27.5	0.008	0.992	0	0.394	XIII	62.5	0.002	0.998	0	0.398
VII	32.5	0.006	0.994	0	0.395						

4 讨论与结论

4.1 讨论

群落的空间结构可直接反映植物与植物之间、植物与环境^[16]之间的相互作用和相互影响^[15]。长序榆从开花

到果实成熟为 30 d 左右, 种子生命活力持续时间短, 而且长序榆果实为翅果, 成熟后多飘落在枯枝落叶层或树叶上, 很多种子难以与土壤接触, 极易丧失活力或萌发后很快枯萎, 这也许是导致很多原生地林下更新苗稀少的主要原因之一^[12]。在本研究中, 也许由于地表径流的搬运作用, 在林窗空旷处多呈现集聚分布格局。

种群径级结构可以作为反映群落健康状况和受干扰程度的一个重要指标^[17]。长序榆种群的死亡高峰出现在径级 I, 虽然长序榆种群径级 I 的个体数量大, 但经过自然环境筛选和种内激烈竞争^[12], 只有少数幼树能顺利进入径级 II 以上。在长序榆早期生长过程中, 随着幼树的不断增长, 植株对光照、水分、养分等生存资源的需求增大, 个体间的竞争日益激烈, 引起明显的自疏现象^[18], 而集聚性分布又进一步加剧了个体间的竞争程度, 进而导致早期较高的死亡率^[5], 这可能也是造成成年植株稀少的主要原因之一^[19]。长序榆属于长寿命的大乔木树种, 该种群径级 IV 以后的个体保存率较高, 这可能是成年长序榆植株已逐渐成为群落的上层优势树种, 具有较强的种间竞争能力^[12,20], 反映了该树种的 $r \sim K$ 混合型生态适应策略^[4]。

生存函数能较好地反映种群结构的动态变化特征^[5]。长序榆种群的生存率和累计死亡率随着径级的增长, 分别呈现出逐步下降和逐步增加的趋势, 二者均在径级 I ~ II 时变化最大, 径级 IV 后变化平缓, 径级 V 种群生存率 < 1%, 累计死亡率 > 99%。一般来说, Deevey-I 型是凸曲线, 表示早期死亡率较低, 成熟龄后死亡率高; III 型是凹曲线, 早期死亡率较高, 成熟龄后死亡率较低, 可视为增长型种群; II 型是近直线, 表示种群各年龄的死亡率相近, 可视为稳定型种群^[5]。长序榆种群存活曲线介于 II ~ III 型之间, 更趋向于 Deevey-III 型, 表明种群属于增长类型。该种群分布于省道丽武公路两旁, 现有种群个体数量较多但多为幼树, 仅散生着少量成年植株, 分布面积狭小, 存在着较大的近交衰退风险^[21]。

4.2 结论

综合种群分布格局和生存分析的结果, 长序榆种群属于集聚分布格局, 虽然具有早期较高死亡率特征, 但该种群尚属于增长类型。为加强该种群的就地保护及抚育管理, 设立长序榆保护小区, 通过适当人工稀疏或异地移植, 并清除影响早期生长的干扰树木, 促进长序榆种群可持续健康发展。

参考文献:

- [1] 李博, 杨持, 林鹏. 生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 45-86.
- [2] 吴承祯, 洪伟, 谢金寿. 珍稀濒危植物长苞铁杉种群生命表分析[J]. 应用生态学报, 2000, 11(3): 333-336.
- [3] 徐学红, 于明坚, 胡正华, 等. 浙江古田山自然保护区甜槠种群结构与动态[J]. 生态学报, 2003, 25(3): 645-653.
- [4] 肖宜安, 肖南, 胡文海, 等. 濒危植物长柄双花木自然种群年龄结构及其生态对策[J]. 广西植物, 2007, 27(6): 850-854.
- [5] 张婕, 上官铁梁, 段毅豪, 等. 灵空山辽东栎种群年龄结构与动态[J]. 应用生态学报, 2014, 25(11): 3125-3130.
- [6] 于永福. 中国野生植物保护工作的里程碑: 《国家重点保护野生植物名录(第一批)》出版[J]. 植物杂志, 1999, 5: 3-11.
- [7] 李文巧, 徐根娣, 吴玉环, 等. 水分胁迫对长序榆幼苗脂质过氧化及抗氧化系统的影响[J]. 水土保持学报, 2012, 26(4): 261-266.
- [8] 高建国, 章艺, 吴玉环, 等. 基于生物生态因子分析的长序榆保护策略[J]. 生态学报, 2012, 32(17): 5287-5298.
- [9] 蒋延生. 长序榆天然更新调查研究[J]. 福建林业科技, 2003, 30(4): 55-58.
- [10] 何小敏. 福建极小种群长序榆群落保护研究[J]. 安徽农学通报, 2017, 23(15): 86-88.
- [11] 刘鹏, 康华靖, 廖承川, 等. 浙江九龙山自然保护区长序榆群落结构特征研究[J]. 浙江师范大学学报(自然科学版), 2007, 30(4): 435-439.
- [12] 杜有新, 王军峰, 梁炜, 等. 浙江九龙山国家级自然保护区长序榆群落的结构特征及种间联结性分析[J]. 植物资源与环境学报, 2020, 29(5): 66-74.
- [13] 李新, 胡理乐, 黄汉东, 等. 后河自然保护区水丝梨群落优势种群结构与格局[J]. 应用生态学报, 2003, 14(6): 849-852.
- [14] 杜有新. 退化喀斯特生态系统植被群落特征及氮磷养分有效性—以贵州省普定县为例[D]. 南京农业大学, 2011.
- [15] 康华靖, 陈子林, 刘鹏, 等. 大盘山自然保护区香果树种群结构与分布格局[J]. 生态学报, 2007, 27(1): 389-396.
- [16] BURKE A. Classification and ordination of plant communities of the Naukluft Mountains, Namibia[J]. J Veg Sci, 2001, 12(1): 53-60.
- [17] 解丹丹, 李意德, 苏志尧. 陈和洞自然保护区常绿阔叶林结构多样性研究[J]. 华南农业大学学报, 2007, 28(4): 69-72.
- [18] 张育新, 马克明, 祁建, 等. 北京东灵山海拔梯度上辽东栎种群结构和空间分布[J]. 生态学报, 2009, 29(6): 2789-2896.
- [19] 高贤明, 王巍, 杜晓军, 等. 北京山区辽东栎林的径级结构、种群起源及生态学意义[J]. 植物生态学报, 2001, 25(6): 673-678.
- [20] 赵则海, 丛沛桐, 祖元刚, 等. 辽东栎林乔木种群年龄结构动态的量化分析[J]. 植物研究, 2001, 21(1): 157-160.
- [21] 冯一宁, 李因刚, 祁铭, 等. 基于 SSR 标记的福建省闽楠代表性群体遗传多样性分析[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2022, 46(4): 102-108.