

新疆西天山峡谷不同坡向野核桃幼苗种群动态及生长分析*

张 维^{1,2} 贾风勤¹ 纳森巴特¹ 杨允菲^{2**}

(¹伊犁师范学院化学与生物科学学院, 新疆伊宁 835000; ²东北师范大学草地科学研究所植被生态科学教育部重点实验室, 长春 130024)

摘 要 在非破坏性判定幼苗年龄及大样方逐苗调查的基础上, 编制了新疆西天山峡谷不同坡向野核桃幼苗种群静态生命表, 分析了幼苗株高的数量特征和生长规律。结果表明: 不同坡向野核桃幼苗的期望寿命均以 1 龄最大, 阳坡为 2.018, 阴坡为 1.766, 1~6 龄普遍为阳坡大于阴坡。不同坡向幼苗种群均以 1 龄个体数量所占比率最大, 阳坡为 39.7%, 阴坡为 44.2%; 3 龄幼苗死亡率均最高, 阳坡为 82.0%, 阴坡为 78.3%; 均为增长型年龄结构; 存活曲线均趋于 Deevey-II 型。1 龄幼苗在阳坡和阴坡分别仅有 3.3% 和 1.1% 可以存活到 7 龄。不同坡向幼苗株高随着年龄的增加均为指数函数异速生长, 其模型的生长速度 (b 值) 也大体相同。

关键词 野核桃; 幼苗; 种群动态; 静态生命表; 生长; 坡向

中图分类号 Q 948.1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2014)10-2596-07

Population dynamics and growth of *Juglans cathayensis* seedlings of different slope aspects in the west Tianshan valley in Xinjiang, China. ZHANG Wei^{1,2}, JIA Feng-qin¹, NA Sen-bate¹, YANG Yun-fei^{2**} (¹*School of Chemistry and Bioscience, Yili Normal College, Yining 835000, Xinjiang, China*; ²*Institute of Grassland Science, Northeast Normal University, Key Laboratory of Vegetation Ecology, Ministry of Education, Changchun 130024, China*). *Chinese Journal of Ecology*, 2014, **33**(10): 2596–2602.

Abstract: On the basis of the non-destructive determination of seedling age and survey one by one in plots, the static life table of *Juglans cathayensis* of different slope aspects in the west Tianshan valley in Xinjiang was established, and the quantitative characteristics of seedling height and the growth patterns were analyzed. Results showed that the seedling life expectancy of different slope aspects was longest in the 1st age class, being 2.018 on the sunny slope and 1.766 on the shady slope. The seedling life expectancy was generally higher on the sunny slope than on the shady slope in the 1st to 6th age classes. The proportions of the seedling population number of different slope aspects were largest in the 1st age class, being 39.7% on the sunny slope and 44.2% on the shady slope. The mortality rates of the seedlings were highest in the 3rd age class, with 82.0% on the sunny slope and 78.3% on the shady slope. The age structure of the seedling population was of an expanding type, and the survival curve tended to be of Deevey-II type regardless of slope aspects. The seedlings could survive only 3.3% on the sunny slope and 1.1% on the shady slope from 1st to 7th age class. The seedling heights followed an allometry of the exponent function with the age classes, and the growth rate (b value) of the model was substantially the same regardless of slope aspects.

Key words: *Juglans cathayensis*; seedling; population dynamics; static life table; growth; slope aspect.

* 国家自然科学基金项目(31160072)和新疆教育厅普通高等学校重点实验室项目(2013YSHXYB07)资助。

** 通讯作者 E-mail: yangyf@nenu.edu.cn

收稿日期: 2014-03-25 接受日期: 2014-06-26

植物幼苗定居与生长发育是植物群落演替、种群更新或植被恢复过程的重要阶段(周先叶等, 1997), 不同年龄幼苗数量的组配情况反映了种群动态及未来发展趋势(张文辉等, 2008)。幼苗是植物生活史中对环境条件反应最为敏感的时期(Yoshiko & Kudo, 2003), 幼苗成功定居并生长发育为成熟个体需要跨越层层障碍, 其数量随环境变化波动较大(Fenner, 2000), 成为影响种群更新的“瓶颈”之一(Grubb, 1977; Sanchez-Coromado *et al.*, 2007)。生长节律的变化是植物本身生理机能的体现, 同时也受外界环境的影响。坡向变化下, 环境因子特别是光照的差异会引起幼苗生长速率的变化, 最终会影响幼苗的竞争及其能否成功定居和种群更新。生命表是种群统计的核心内容(Begon & Mortimer, 1981; 江洪, 1992), 据生命表可以分析种群的出生率、死亡率等重要参数, 还可提供更多关于种群年龄结构和数量统计方面的信息(Harper, 1977; Stewart, 1989, 1990; 郭晋平等, 1997)。

新疆西天山峡谷野核桃(*Juglans cathayensis*)属胡桃科(Juglandaceae)、胡桃属植物, 系国家Ⅱ级渐危物种(国家环境保护局和中国科学院植物研究所, 1987)。它是中亚第三纪残遗阔叶树种与更新世北方“移民”的结合物, 在原苏联境内的西天山和帕米尔-阿赖山地有较大的天然群落(张新时, 1973)。在亚洲, 成片分布的野核桃仅在中国新疆西天山峡谷的野核桃沟。野核桃是栽培核桃的直接祖先(张新时, 1973), 它在胡桃属植物的系统分类、种质资源保存上具有重要地位, 在核桃育种及对研究栽培核桃的起源、演化上均具有重要价值(王磊等, 1997)。前人对新疆西天山峡谷野核桃的地理气候特征(徐德炎等, 1989, 1991)、林下土壤的形成(余定域, 1994; 刘立诚等, 1998)、群落学(张新时, 1973)、林学特性(新疆维吾尔自治区自然保护区考察队, 1982; 王磊等, 1997)、资源现状(曾斌, 2005; 董玉芝等, 2012)、种质资源分类(王磊等, 1998)、种子的表型变异(张维等, 2013)、复叶的生长及生物量分配特征(张维等, 2011, 2012)等已开展了较多研究。

基于幼苗在种群更新、群落演替、植被恢复等生态过程中的重要性, 针对不同植物幼苗的生理、生态已有较多报道。如: 黄果厚壳桂(*Cryptocarya concinna*)幼苗的年龄结构和高度结构(周先叶等, 1997); 辽东栎(*Quercus liaotungensis*)幼苗的动态生命表及

生存分析(郭华等, 2011); 臭柏(*Sabina vulgaris*)居群有性更新幼苗的动态(张国盛等, 2006); 不同施水量对云杉(*Picea asperata*)幼苗(杨燕等, 2005)、种子大小对小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla*)幼苗(何玉惠等, 2008)及林窗小气候对冷杉(*Abies fabri*)幼苗(张远彬等, 2006)生长的影响; 羊留冬等(2010)还系统报道了森林凋落物对幼苗生长的影响。针对胡桃科植物幼苗的研究, 仅见王凯等(2010)报道了光环境对胡桃楸幼苗生长与光合作用的影响, 尚无野核桃幼苗种群动态及生长节律的报道。本文通过样方内逐苗测定的大样本调查统计, 编制不同坡向野核桃幼苗种群静态生命表, 分析其生命期望、年龄结构、存活曲线、死亡曲线及幼苗生长特征, 以期揭示野核桃幼苗种群动态及个体生长节律, 为了解野核桃种群的更新策略, 揭示其濒危机制提供科学依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

研究地点位于新疆西天山峡谷野核桃自然保护区, 82° 15' 28" E—82° 17' 23" E, 43° 22' 56" N—43° 25' 40" N, 总面积 1180 hm²。保护区分为主沟、东沟、中沟和西沟(董玉芝等, 2012), 每条沟大体走向由北向南, 海拔逐渐升高, 坡度 30°~50°。春季和夏季多雨, 冬季积雪丰厚(0.7~1.0 m)。年平均气温 7.6℃, 1月平均气温-3.3℃, 7月平均气温 19.7℃, 极端最低气温-25.3℃, ≥10℃的积温 1865.4~2338.9℃, 年平均降水量 580 mm, 年平均蒸发量 1200 mm, 相对湿度 70%~80%, 无霜期约 150 d(徐德炎和朱晓专, 1991)。野核桃分布地逆温层表现明显, 据伊犁州气象台 1965—1969 年探空观测记录, 1月逆温强度为 9.5℃, 最大为 22.6℃; 1月逆温层平均厚度为 950 m, 最大为 2077 m(徐德炎和朱晓专, 1991)。现存野核桃集中分布面积约 45 hm², 胸径≥2 cm 的个体 5500 余株(董玉芝等, 2012; 张维等, 2013), 主要分布在海拔 1250~1550 m 的沟谷、山坡。野核桃为保护区优势树种, 伴生乔木主要有新疆野苹果(*Malus sieversii*)、野杏(*Armeniaca vulgaris*)、天山桦(*Betula tianschanica*)、郁李(*Cerasus japonica*)、欧洲山杨(*Populus tremula*)等; 林下灌木主要有金丝桃叶绣线菊(*Spiraea hypericifolia*)、截萼忍冬(*Lonicera altmannii*)、山刺玫(*Rosa davurica*)、野蔷薇(*R. multiflora*)、异果小檗(*Berberis heteropoda*)、

阿尔泰山楂 (*Crataegus altaica*) 等; 草本植物主要有密丛雀麦 (*Bromus benekeni*)、大羊茅 (*Festuca gigantea*)、短距凤仙花 (*Impatiens brachycentra*)、小叶羊角芹 (*Aegopodium alpestre*)、短柄草 (*Brachypodium sylvaticum*)、荨麻 (*Urtica fissa*)、新疆党参 (*Codonopsis clematidea*)、水金凤 (*Impatiens noli-tangere*) 等。

1.2 研究方法

1.2.1 野外调查 2012 年 5—10 月, 采用样带调查法, 在野核桃自然保护区主沟、东沟、中沟、西沟的阳坡和阴坡各设置 4~6 个 20 m 宽的样带, 每个样带从坡底到野核桃分布的上限以 20 m×20 m 为单位设置样方, 每个样方又划分为 16 个 5 m×5 m 的小样方, 对每一个小样方的野核桃逐苗调查, 记录坡向、株高、株数和年龄 (在保护区, 野核桃 7 年生以下幼苗顶部非木质化部分均不能越冬, 翌年将从开始木质化的叶节芽生长出新的枝条, 这样每年生长都将留下一个明显的“结”, 计数“结”数即可判定幼苗年龄。采用此非破坏性调查方法可准确地判定 1~7 龄野核桃幼苗, 高于 7 龄的植株, “结”逐渐模糊或消失)。

1.2.2 数据处理 采用统计软件 SPSS 13.0 对数据进行处理分析和作图。采用一元回归分析建立种群存活曲线模型, 模型的显著性采用 *F* 检验 (吴承桢等, 2000)。为探索不同坡向幼苗株高的生长模式, 对株高 (各龄平均值) 和年龄作散点图, 分别用线性函数、对数函数、幂函数和指数函数模拟, 选用

相关性最高的拟合方程作为其生长关系的定量描述模型, 回归方程的拟合优度检验用判定系数 *R*² 实现, 回归方程的显著性采用 *F* 检验。

2 结果与分析

2.1 静态生命表分析

根据样方逐苗调查 1~7 a 野核桃幼苗, 在不同坡向生境内, 阳坡为 463 株, 阴坡为 629 株, 总共 1092 株, 并依此编制出野核桃幼苗种群静态生命表 (表 1)。此表包含一定的幼苗种群生存与发展的信息。

2.1.1 期望寿命 以年龄为横坐标, 以表 1 中各龄幼苗的期望寿命 (*e_x*) 为纵坐标作图 (图 1)。从图 1 可以看出, 幼苗的期望寿命在不同坡向生境上均以 1 a 最大, 1~6 a 普遍为阳坡大于阴坡, 7 a 为阳坡小于阴坡; 而在同一坡向生境内, 随龄级增加, 1~3 a 依次减小, 3~5 a 依次增加, 5~7 a 又依次减小。种群的期望寿命表明: (1) 幼苗在不同坡向经历环境筛的强度不同; (2) 不同坡向同一年龄幼苗和同一坡向不同年龄幼苗的期望寿命均存在波动。

2.1.2 年龄结构 以年龄为横坐标, 以生命表中各龄幼苗株数 (*a_x*) 的百分比为纵坐标绘制野核桃幼苗种群年龄结构图 (图 2)。图 2 显示, 不同坡向生境均以 1 a 个体数量所占的比率最大, 阳坡和阴坡的比率分别为 39.7% 和 44.2%, 并且均以 1~3 a 幼苗占绝对优势, 分别达到 92.9% 和 91.6%, 4 a 以后随着龄级的增加而大幅度减小, 表明不同坡向生境

表 1 不同坡向野核桃幼苗种群的静态生命表
Table 1 Static life table in seedling populations of *Juglans cathayensis* in different slope aspects

生境	<i>x</i>	<i>a_x</i>	<i>l_x</i>	<i>lnl_x</i>	<i>d_x</i>	<i>q_x</i>	<i>L_x</i>	<i>T_x</i>	<i>e_x</i>	<i>K_x</i>
阳坡	1	184	1000	6.908	310	0.310	845	2018	2.018	0.371
	2	127	690	6.537	114	0.165	633	1173	1.699	0.181
	3	106	576	6.356	451	0.783	351	540	0.937	1.528
	4	23	125	4.828	71	0.565	90	189	1.512	0.833
	5	10	54	3.995	16	0.300	46	99	1.822	0.357
	6	7	38	3.639	5	0.143	36	53	1.393	0.154
	7	6	33	3.485	—	—	17	17	0.521	3.485
阴坡	1	278	1000	6.908	399	0.399	801	1766	1.766	0.510
	2	167	601	6.398	101	0.168	551	965	1.606	0.184
	3	139	500	6.215	410	0.820	295	414	0.828	1.716
	4	25	90	4.499	50	0.560	65	119	1.323	0.821
	5	11	40	3.678	18	0.455	31	54	1.365	0.606
	6	6	22	3.072	11	0.500	17	23	1.066	0.693
	7	3	11	2.379	—	—	6	6	0.556	2.379

x: 年龄; *a_x*: 在 *x* 龄的观测苗数; *l_x*: 标准化的存活苗数 [*l_x* = (*a_x*/*a₀*) × 1000]; *d_x*: 从 *x* 到 *x*+1 龄间隔期内的标准化死亡苗数 (*d_x* = *l_x* - *l_{x+1}*); *q_x*: 从 *x* 到 *x*+1 龄间隔期间的死亡率 (*q_x* = *d_x*/*l_x*); *L_x*: 从 *x* 到 *x*+1 龄间隔期间还存活的苗数 [*L_x* = (*l_x* + *l_{x+1}*)/2]; *T_x*: 从 *x* 龄到超过 *x* 龄的总苗数 (*T_x* = Σ *L_x*); *e_x*: 进入 *x* 龄苗的期望寿命 (*e_x* = *T_x*/*l_x*); *K_x*: 消失率 (*K_x* = *lnl_x* - *lnl_{x+1}*)。

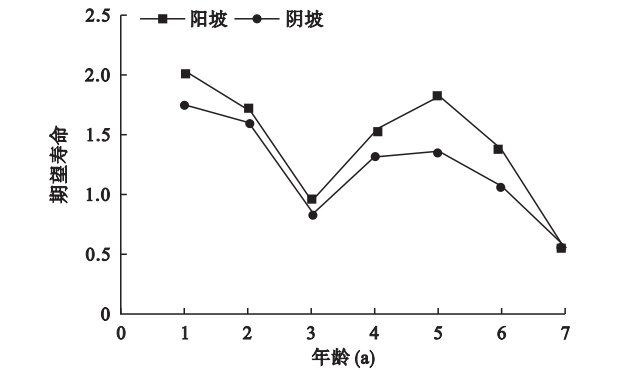


图1 不同坡向野核桃幼苗种群的期望寿命
Fig.1 Expected life in seedling populations of *Juglans cathayensis* in different slope aspects

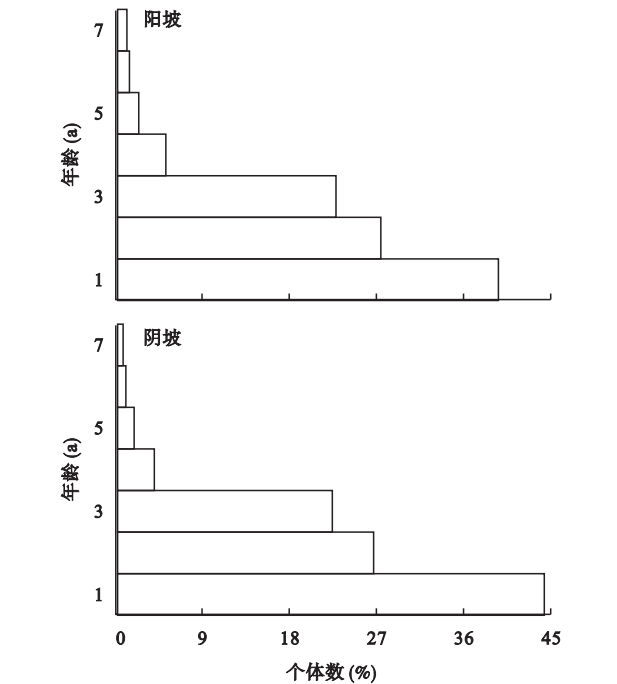


图2 不同坡向野核桃幼苗种群的年龄结构
Fig.2 Age structures in seedling populations of *Juglans cathayensis* in different slope aspects

均为增长型年龄结构。

2.1.3 存活曲线 以年龄为横坐标,以存活量的对数 $\ln l_x$ 为纵坐标绘制存活曲线(图3)。与经典的存活曲线相对照,不同坡向生境的存活曲线均介于 Deevey I 型和 II 型之间。采用数学模型检验的方法(吴承桢等,2000),阳坡和阴坡生境的 F 检验值及判定系数 R^2 均为指数函数大于幂函数(表2),因此,可以认为,阳坡和阴坡野核桃幼苗种群存活曲线均趋于 Deevey-II 型。图3表明,不同坡向上1~3 a 幼苗的存活率比较高,曲线平缓,而3 a 以后存活率大幅度下降。1 a 幼苗,阳坡和阴坡分别仅有3.3%

和1.1%可以存活到7 a,表明新疆西天山峡谷野核桃种群中每存活一株幼树,都以幼苗的高死亡率为代价。

2.1.4 死亡率和消失率曲线 以年龄为横坐标,以死亡率(q_x)/消失率(K_x)为纵坐标作图(图4)。从图4可以看出,阳坡和阴坡的死亡最高峰均在3 a,分别达到78.3%和82.0%。1~4 a 幼苗的死亡率曲线趋势相似,从5 a 开始,死亡率在不同坡向上产生较大波动,表明坡向局域环境选择压力远远小于区域环境所导致的同步大量死亡。死亡率曲线与消失率曲线图表现出相一致的变化趋势,反映出大的环境选择压力与高死亡率相对应。

2.2 生长分析

2.2.1 幼苗高的数量特征 经统计分析,不同坡向生境野核桃各龄级幼苗株高虽有一定的波动,但均未达到显著差异($P>0.05$)。表3显示:各龄幼苗株高的变异系数均为坡向生境内大于坡向生境间,表明在不同坡向生境同龄幼苗株高的变异度不大,而受生境内群落小环境的影响较大,并且阳坡和阴坡生境的幼苗种群可以看成是同一个样本。

2.2.2 幼苗高的生长模型 回归分析显示,在阳坡和阴坡,幼苗株高与年龄的生长关系均可用指数函数定量描述(图5),均为异速生长型,其回归方程的相关性均达到极显著($P<0.01$)水平,表明不同坡向

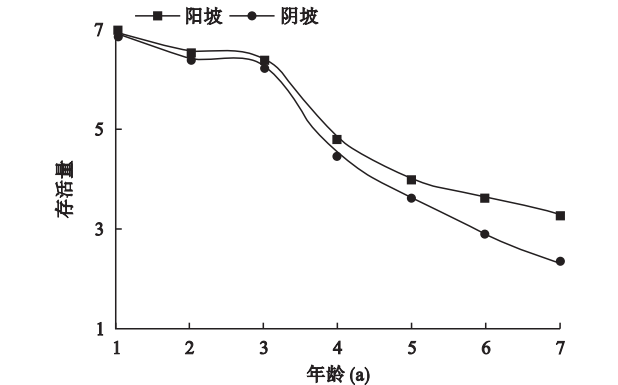


图3 不同坡向野核桃幼苗种群的存活曲线
Fig.3 Survival curves in seedling populations of *Juglans cathayensis* in different slope aspects

表2 不同坡向野核桃幼苗种群存活曲线的检验模型
Table 2 Test models of survival curves in seedling populations of *Juglans cathayensis* in different slope aspects

生境	方程	R^2	F	P
阳坡	$y = 7.933x^{-0.392}$	0.772	25.786	0.004
	$y = 8.341e^{-0.132x}$	0.932	83.178	0.000
阴坡	$y = 8.385x^{-0.519}$	0.722	22.926	0.005
	$y = 9.069e^{-0.178x}$	0.928	111.063	0.000

表 3 不同坡向野核桃幼苗株高的数量特征
Table 3 Quantitative characteristics in seedling height of *Juglans cathayensis* in different slope aspects

生境	统计参数	1 龄	2 龄	3 龄	4 龄	5 龄	6 龄	7 龄
阳坡	平均值±标准差 (cm)	14.3±5.1	20.9±7.0	25.6±8.4	32.8±11.2	35.7±18.8	54.6±16.9	80.5±21.7
	变异系数 (%)	35.7	33.5	32.7	34.2	52.7	31.0	26.9
阴坡	平均值±标准差 (cm)	14.8±5.5	20.2±5.8	24.8±6.7	30.8±9.4	43.0±21.5	54.8±33.6	56.7±25.2
	变异系数 (%)	37.0	28.8	27.2	30.4	50.0	61.3	44.4
总体	平均值±标准差 (cm)	14.6±0.4	20.6±0.5	25.2±0.6	31.8±1.4	39.4±5.2	54.7±0.1	68.6±16.8
	变异系数 (%)	2.7	2.4	2.4	4.4	13.2	0.2	24.5

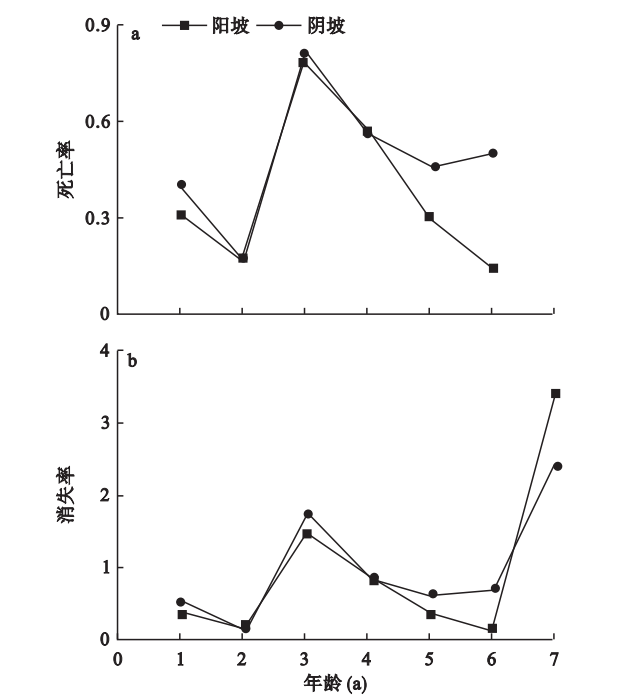


图 4 不同坡向野核桃幼苗种群的死亡率 (a) 和消失率 (b) 曲线
Fig. 4 Curves of mortality (a) and disappear rate (b) in seedling populations of *Juglans cathayensis* in different slope aspects

的幼苗具有相同的生长规律。指数函数的性质反映出,早期幼苗生长较慢,曲线增长平缓,以后则快速生长。由函数的参数可知,在不同坡向生境,幼苗的生长速度大体相同。

3 讨 论

非破坏性研究是生态学一直推崇的理想研究途径,由于判定个体的实际年龄极为困难,以往在乔木树种种群年龄结构的研究中常采用胸径大小级结构来代替年龄结构,尽管较小的径级划分也能较好地反映种群个体在不同生活史中的状况(江红,1992;段仁燕等,2009;张育新等,2009),但总不如以实际年龄来研究种群数量动态更能体现种群的真实状

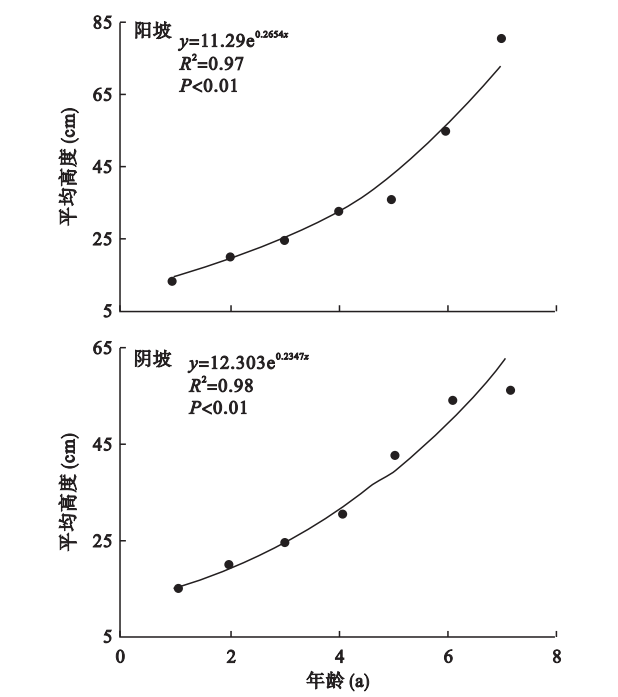


图 5 不同坡向野核桃幼苗高的观测值和拟合曲线
Fig. 5 Average observed values and simulation curves on growth of seedling height of *Juglans cathayensis* in different slope aspects

况。本研究创建的野核桃幼苗年龄的判定方法,也可用在高寒地区或山地类似阔叶树种幼苗阶段的相关研究。

森林光环境在空间和时间上均不断地变化,光照条件的不同可能影响任何光依赖过程,幼苗对森林光环境异质性的适应能力在某种程度上决定了其存活、生长、分布和丰度(Messier & Bellefleur,1988; Zhu *et al.*,2003)。本研究结果显示:(1)虽然野核桃幼苗的期望寿命在阳坡和阴坡均以 1 a 最大,但 1~6 a 普遍为阳坡大于阴坡(表 1),且阴坡 1 a 幼苗占 44.2%,大于阳坡的 39.7%,但 2~7 a 幼苗的比率均为阳坡大于阴坡(图 2),可能是阳坡光照相对强于阴坡,阴坡幼苗缺少生长所需要的阳光,幼株细弱,茎的木质化程度低,很容易遭受冻害,导致阳坡

和阴坡幼苗的期望寿命和年龄组成形成较大差异;(2)不同坡向野核桃幼苗种群的存活曲线均趋于 Deevey-Ⅱ型,存活曲线从整体上反映了野核桃幼苗种群的数量变化,即幼苗数量随着时间的推移持续降低。从图3还可以看出,阳坡和阴坡幼苗种群的存活曲线虽然均趋于 Deevey-Ⅱ型,但种群的死亡率不是直线下降,而是呈现阶梯式下降,反映出幼苗在不同阶段经历环境筛选的强度不同。

幼苗的补充、生长受到群落内非生物条件(土壤类型、坡向、小气候等)的限制,其对种子的保存和萌发,以及幼苗的成长都具有强大的筛选作用。研究结果表明,新疆野核桃幼苗株高的变异性及株高的生长速率受坡向影响不大,而受生境内群落小环境的影响较大(表3)。种群更新,是种子生态特性和幼苗更新能力与环境相互作用的过程,这一过程不仅影响种群的数量动态,也对种群的空间格局和遗传结构造成深远的影响(Münzbergová & Herben, 2005)。阳坡野核桃各龄幼苗的存活率均高于阴坡(图3),幼苗死亡率总体上也为阳坡小于阴坡(图4a),幼苗死亡与幼苗发育阶段、环境因子、种子自身的营养特征等有关,不同坡向野核桃幼苗死亡率的差异的影响因素有待进一步研究。郭华等(2011)报道,辽东栎种子的子叶可为幼苗前期的生长提供营养,使幼苗安全度过前2个生长季。本研究中,不同坡向野核桃幼苗种群的死亡最高峰均在3a(图4),结合野外踏查,保护区内野核桃发芽种子的子叶在第1年完好,第2年仅剩40%~60%,第3年则找不到子叶,我们推测野核桃种子本身可为幼苗前期生长提供营养,使幼苗安全度过1~2a,当其养分耗尽,3a幼苗在郁闭度大的野核桃主林层弱光照条件下,无法进行充分的光合作用,导致幼苗大量死亡。

植物在茎干和枝叶生长上进行快速的资源获取和消耗或进行缓慢的资源获取和消耗,是不同植物种在光环境胁迫下对生存和生长的权衡(Falster & Westoby, 2005),如喜光植物在幼苗期往往采取快速生长,把更多的资源投入到茎干或枝叶的生长以获取充足的阳光,这种快速生长一般会缩短物种寿命和降低耐阴性(Condit *et al.*, 1996);较矮的植物通常采取缓慢生长,在幼苗期生殖投入少、生长率低,而把资源用于地下结构的建立和维持(Kruger *et al.*, 1997; Pausas *et al.*, 2004)。保护区林下存在较多1~3a野核桃幼苗(图2),其中,1a占39.7%

以上,2a占26.6%以上,3a占22.1%以上,1~3a占幼苗总数的91.6%以上,且早期幼苗生长缓慢(图5),可见在野核桃自然保护区存在一个1~3a的野核桃幼苗库,这可能是寒冷地区植物适应环境的种群更新策略之一。一般情况下,幼苗数量增加会使种群幼树、成树数量增加,在新疆西天山峡谷野核桃种群中这一规律是适用的。保护区的野核桃在数量上,1961年为2000余株(董玉芝等, 2012), 1989年为3100余株(徐德炎, 1989, 1991), 2009年上升为5500余株(董玉芝等, 2012; 张维等, 2013),反映出该野核桃种群属于增长型种群。

参考文献

- 董玉芝, 朱小虎, 陈虹, 等. 2012. 新疆巩留野核桃林调查及其分析. 植物遗传资源学报, **13**(3): 386-392.
- 段仁燕, 黄敏毅, 吴甘霖. 2009. 黄山松种群结构与动态研究. 生物学杂志, **26**(1): 35-37, 34.
- 郭华, 王孝安, 王世雄, 等. 2011. 黄土高原子午岭辽东栎(*Quercus liaotungensis*)幼苗动态生命表及生存分析. 干旱区研究, **28**(6): 1005-1010.
- 国家环境保护局, 中国科学院植物研究所. 1987. 中国珍稀濒危保护植物名录(第1册). 北京: 科学出版社.
- 郭晋平, 王石会, 康日兰, 等. 1997. 管涔山青扦(*Picea wilsonii*)天然林年龄结构及其动态的研究. 生态学报, **17**(2): 184-189.
- 何玉惠, 赵哈林, 刘新平, 等. 2008. 小叶锦鸡儿种子大小变异对萌发和幼苗生长的影响. 种子, **27**(8): 10-13.
- 江洪. 1992. 云杉种群生态. 北京: 中国林业出版社.
- 刘立诚, 排祖拉, 徐华君. 1998. 伊犁谷地野核桃林下土壤的形成特点及其系统分类. 新疆大学学报: 自然科学版, (2): 60-65.
- 余定域. 1994. 巩留野核桃林土壤的形成及其特征特性. 干旱区研究, **11**(2): 11-15.
- 王凯, 朱教君, 于立忠, 等. 2010. 光环境对胡桃楸幼苗生长与光合作用的影响. 应用生态学报, **21**(4): 821-826.
- 王磊, 崔乃然, 张汉斐. 1997. 新疆野核桃的研究. 干旱区研究, **14**(1): 17-27.
- 王磊, 李霞, 杨辽, 等. 1998. 新疆野核桃种质资源数量分类研究. 北方园艺, (1): 2-5.
- 吴承桢, 洪伟, 谢金寿, 等. 2000. 珍稀濒危植物长苞铁杉种群生命表分析. 应用生态学报, **11**(3): 333-336.
- 徐德炎. 1989. 新疆野核桃生态气候特征的研究. 生态学报, **8**(4): 24-27.
- 徐德炎, 朱晓专. 1991. 新疆野核桃生存繁衍的生态条件研究. 中国林副特产, (4): 1-6.
- 羊留冬, 杨燕, 王根绪, 等. 2010. 森林凋落物对种子萌发与幼苗生长的影响. 生态学杂志, **29**(9): 1820-1826.
- 杨燕, 刘庆, 林波, 等. 2005. 不同施水量对云杉幼

- 苗生长和生理生态特征的影响. 生态学报, **25**(9): 2152–2158.
- 曾 斌. 2005. 新疆野生核桃资源的现状与发展. 北方果树, (4): 1–3.
- 张国盛, 王 哲, 王林和, 等. 2006. 毛乌素沙地天然臭柏居群有性更新幼苗动态研究. 林业科学, **42**(5): 62–67.
- 张 维, 罗新泽, 张 娜, 等. 2013. 新疆野核桃种子的表型变异及生长特征. 生态学杂志, **32**(9): 2281–2288.
- 张 维, 任艳利, 赵 玉, 等. 2012. 新疆野核桃不同小叶数复叶构件生物量可塑性及分配规律. 东北林业大学学报, **40**(7): 37–40.
- 张 维, 赵 玉, 张相锋, 等. 2011. 新疆伊犁野核桃复叶的表型变异及生长规律. 东北师范大学学报: 自然科学版, **43**(1): 113–117.
- 张文辉, 卢彦昌, 周建云, 等. 2008. 巴山北坡不同干扰条件下栓皮栎种群结构与动态. 林业科学, **44**(7): 11–16.
- 张新时. 1973. 伊犁野果林的生态地理特征和群落学问题. 植物学报, **15**(2): 239–253.
- 张育新, 马克明, 祁 建, 等. 2009. 北京东灵山海拔梯度上辽东栎种群结构和空间分布. 生态学报, **29**(6): 2789–2796.
- 张远彬, 王开运, 鲜骏仁. 2006. 岷江冷杉林林窗小气候及其对不同龄级岷江冷杉幼苗生长的影响. 植物生态学报, **30**(6): 941–946.
- 周先叶, 李鸣光, 王伯荪. 1997. 广东黑石顶森林群落黄果厚壳桂 (*Cryptocarya concinna*) 幼苗的年龄结构和高度结构. 热带亚热带植物学报, **5**(1): 39–44.
- Begon M, Mortimer M. 1981. Population ecology: A unified study of animal and plants. London: Blackwell Science Ltd.
- Condit R, Hubbell SP, Foster RB. 1996. Assessing the response of plant functional types to climate change in tropical forests. *Journal of Vegetation Science*, **7**: 405–416.
- Falster DS, Westoby M. 2005. Tradeoffs between height growth rate, stem persistence and maximum height among plant species in a post-fire succession. *Oikos*, **111**: 57–66.
- Fenner M. 2000. Seeds the Ecology of Regeneration in Plant community (2nd edition). UK, CAB International Publishing: 311–331.
- Grubb PJ. 1977. Control of forest growth and distribution on wet tropical mountains: With special reference to mineral distribution. *Annual Review of Ecology and Systematics*, **8**: 83–107.
- Harper JL. 1977. Population Biology of Plants. London: Academic Press.
- Kruger LM, Midgley JJ, Cowling RM. 1997. Resprouters *vs* re-seeders in South African forest trees: A model based on forest canopy height. *Functional Ecology*, **11**: 101–105.
- Messier C, Bellefleur P. 1988. Light quantity and quality on the forest floor of pioneer and climax stages in a birch beech-sugar maple stand. *Canadian Journal of Forest Research*, **18**: 615–622.
- Münzbergová Z, Herben T. 2005. Seed, dispersal, microsite, habitat and recruitment limitation: Identification of terms and concepts in studies of limitations. *Oecologia*, **145**: 1–8.
- Pausas JG, Bradstock RA, Keith DA, *et al.* 2004. Plant functional traits in relation to fire in crown-fire ecosystems. *Ecology*, **85**: 1085–1100.
- Sanchez-Coromado ME, Coates R, Castro-Colina L, *et al.* 2007. Improving seed germination and seedling growth of *Omphalea deifera* (Euphorbiaceae) for restoration projects in tropical rain forests. *Forest Ecology and Management*, **243**: 144–155.
- Stewart GH. 1989. The dynamics of old-growth *Pseudotsuga* forests in the western Cascade Range, Oregon, USA. *Vegetatio*, **82**: 79–94.
- Stewart GH, Rose AB. 1990. The significance of life history strategies in the developmental history of mixed beech (*Nothofagus*) forest, New Zealand. *Vegetatio*, **87**: 101–114.
- Yoshiko S, Kudo G. 2003. Intraspecific variations in seedling emergence and survival of *Potentilla matsumurae* (Rosaceae) between alpine fellfield and snowbed habitats. *Annals of Botany*, **91**: 21–29.
- Zhu JJ, Matsuzaki T, Lee FQ, *et al.* 2003. Effect of gap size created by thinning on seedling emergency, survival and establishment in a coastal pine forest. *Forest Ecology and Management*, **182**: 339–354.

作者简介 张 维,男,1973年生,博士研究生,副教授,主要从事植物种群生态学研究,发表论文30余篇。E-mail: zhangw891@nenu.edu.cn

责任编辑 张 敏