

新疆野核桃自然保护区不同坡向野核桃幼苗种群年龄结构及生长特征

张 维^{1,2} 李海燕² 崔 东¹ 杨允菲^{2*}

(¹伊犁师范学院生物与地理科学学院, 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 为了解国家Ⅱ级渐危植物新疆野核桃不同年龄幼苗的数量组成及生长特性,在野核桃自然保护区不同坡向上设置4个2-hm²样地,应用相邻格子样方法对野核桃幼苗进行逐株调查,分析了野核桃幼苗种群的数量组成、基径和株高的生长特征及各性状间的生长关系。结果表明:阳坡、半阳坡、阴坡和半阴坡野核桃1龄幼苗均较丰富,1~3龄幼苗数量均占绝对优势,不同坡向野核桃幼苗种群均呈增长型年龄结构。各坡向野核桃1龄幼苗平均5.7%可存活到4龄,平均1.7%可以存活到7龄。3龄是野核桃幼苗数量的一个转折点,幼苗种群在生活史中采用的是r对策。野核桃幼苗的基径和株高在3龄前生长缓慢,3龄后加快生长;基径平均生长速率为3.6 mm·a⁻¹,按阴坡、阳坡、半阴坡、半阳坡顺序减小;株高平均生长速率为9.0 cm·a⁻¹,按阳坡、半阳坡、半阴坡、阴坡顺序减小。不同坡向野核桃幼苗的基径与株高均随年龄的增加呈指数函数生长,株高与基径呈幂函数异速生长,幼苗各性状间的生长快慢可通过函数的性质和参数反映出来。

关键词 野核桃; 幼苗; 年龄结构; 生长; 坡向

Age structure and growth characteristics of *Juglans cathayensis* seedling populations at different slope aspects in Wild Walnut Natural Conservation Area of Xinjiang, China. ZHANG Wei^{1,2}, LI Hai-yan², CUI Dong¹, YANG Yun-fei^{2*} (¹School of Biology and Geography, Yili Normal College, Yining 835000, Xinjiang, China; ²Ministry of Education Key Laboratory of Vegetation Ecology, Institute of Grassland Science, Northeast Normal University, Changchun 130024, China).

Abstract: For grasping the composition and growth characteristics of seedling populations of *Juglans cathayensis*, a national grade Ⅱ endangered plant, four 2-hm² plots were set up at different slope aspects in Wild Walnut Natural Conservation Area of Xinjiang, China. Adjacent lattice method was used to survey *J. cathayensis* seedlings. The relationships between the number, basal diameter and plant height of *J. cathayensis* seedling populations were analyzed. The results showed that seedlings at 1st age were more abundant on sunny, semi-sunny, shady and semi-shady slopes. The number of seedlings was predominant at 1st-3rd age. Seedling populations at different slope aspects showed an expanding age structure. 5.7% of 1st age seedlings could survive to 4th age, and 1.7% could survive to 7th age. The number of *J. cathayensis* seedlings had a critical turning point at the 3rd age. The seedlings of *J. cathayensis* were considered as r-strategists in their lives. The basal diameter and plant height of seedlings were slow-growing before 3rd age and fast-growing after 3rd age. Average growth rate of basal diameter was 3.6 mm·a⁻¹ and decreased in the order of shady slope, sunny slope, semi-shady slope and semi-sunny slope. Average growth rate of plant height was 9.0 cm·a⁻¹ and decreased in the order of sunny slope, semi-sunny slope, semi-shady slope and shady slope. Basal diameter and plant height of seedlings exponentially increased with the increase of age. The

本文由国家自然科学基金项目(31560095,31160072)和新疆教育厅普通高校重点实验室项目资助 This work was supported by the National Natural Science Foundation of China (31560095, 31160072) and the Key Laboratory at Universities of Education Department of Xinjiang Uygur Autonomous Region of China.

2016-06-14 Received, 2016-11-04 Accepted.

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yangyf@nenu.edu.cn

relationships between plant height and basal diameter showed power function. Growth rates of seedling traits could be reflected by the properties and parameters of functions.

Key words: *Juglans cathayensis*; seedling; age structure; growth; slope aspect.

植物幼苗定居和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^[1-2],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^[3].幼苗期是植物生活史中对环境条件反应极为敏感的时期^[4-8],也是个体数量变化最大的时期^[9-11],幼苗成功定居并生长发育为成熟个体需要跨越层层障碍,常成为影响种群更新的“瓶颈”^[12-14].生境的异质性必然导致生长在那里的幼苗的差异,幼苗生长量大小、生长速率及其各性状间的相对生长关系,既受自身生物学特性控制,也受立地条件的影响^[15].研究幼苗在不同环境条件下的生长发育规律,不仅可以了解幼苗的生长过程,还可深入地探讨特定植物种群的遗传特性、生态适应机理,从而为更好地开展生态恢复工程提供科学参考^[2,6,11-13].目前,已对辽东栎(*Quercus wutaishanica*)^[2,11]、栓皮栎(*Q. variabilis*)^[3]、台湾栎木(*Alnus formosana*)^[6]等乔木幼苗,梭梭(*Haloxylon ammodendron*)^[16]、车桑子(*Dodonaea viscosa*)^[17]、杞柳(*Salix integra*)^[18]等灌木幼苗,狭果鹤虱(*Lappula semiglabra*)^[19]、鸭茅(*Dactylis glomerata*)^[20]等草本植物幼苗,以及对番茄(*Lycopersicon esculentum*)^[21]、甜瓜(*Cucumis melo*)^[8]、水稻(*Oryza sp.*)^[22]、小麦(*Triticum aestivum*)^[23]等农作物幼苗的生长发育进行了研究.对胡桃科植物幼苗数量组成的研究较少,主要集中在光、极端温度、无机盐、植物激素等胁迫因子^[24-25]作用下或不同肥料配比^[26]、掐茎尖处理^[27]幼苗的生长发育特性.

新疆的野核桃(*Juglans cathayensis*)属胡桃科胡桃属乔木,为中亚第三纪“残遗”喜暖阔叶树种与更新世北方“移民”的结合物^[28],是新疆珍稀野果林的重要组成部分之一,为我国具有生物多样性国际意义的优先保护物种^[29],国家Ⅱ级重点保护渐危植物^[29],其主要分布区远在前苏联西天山和帕米尔-阿赖山地,在亚洲,仅在我国新疆伊犁州巩留县的凯特明山深峡谷中呈“岛屿”状分布^[28],其对于研究栽培核桃的起源、演化、古植物区系变迁和古地理及第三纪、第四纪气候变化均具有重要的科学价值^[28],并具有普通核桃的经济、食用、药用和工业价值.目前,对新疆野核桃的研究主要集中在地理气候特征^[28]、林下土壤形成^[30]、群落特征^[28]、林学特性^[31]、资源现

状^[31]、植物区系组成^[32]、种群年龄结构及动态^[33]等,对其幼苗的研究较少.本文采用野外调查,分析野核桃自然保护区野核桃幼苗种群的数量组成,研究野核桃幼苗的基径、株高在不同坡向上的生长特征及其相对生长关系,为野核桃植物资源的保护和管理提供科学参考.

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

野核桃自然保护区位于新疆伊犁州巩留县城南20 km的前山山前峡谷(43°22′56″—43°25′40″ N, 82°15′28″—82°17′23″ E),总面积1180 hm².野核桃生境是伊犁河谷气候温和、雨量充沛的地段,其分布的4条沟谷均处在强“逆温层”控制下,尤其在海拔1000~1500 m,几乎处在一个等温层里,上下温差只有0.2℃,且逆温强度随入侵寒流的增强而增大^[28,30].保护区地势南高北低,地形封闭,成一谷盆,坡度10°~60°.春季和夏季多雨,冬季积雪丰厚(0.7~1.0 m),年均温7.6℃,1月均温-3.3℃,7月均温19.7℃,极端低温-25.3℃.林区年均日照1737 h,≥10℃积温1865~2339℃^[19],年均降水量580 mm,年均蒸发量1200 mm,相对湿度70%~80%,无霜期150 d,土壤pH 6.4~8.9.现存野核桃大都分布在海拔1250~1550 m的北、东北和西北等阴坡和半阴坡,多成纯林^[30,33],胸径(DBH)≥2 cm的野核桃共5576株.林内木本植物种类较少,草本植物种类丰富.野核桃为保护区优势种,伴生乔木主要有野杏(*Armeniaca vulgaris*)、新疆野苹果(*Malus sieversii*)、欧洲山杨(*Populus tremula*)、天山桦(*Betula tianschanica*)、郁李(*Cerasus japonica*)、山柳(*Salix pseudotangii*)等,林下灌木主要有野蔷薇(*Rosa multiflora*)、金丝桃叶绣线菊(*Spiraea hypericifolia*)、截萼忍冬(*Lonicera altmannii*)、异果小檗(*Berberis heteropoda*)等,常见草本植物主要有荨麻(*Urtica fissa*)、密丛雀麦(*Bromus benekeni*)、短距凤仙花(*Impatiens brachycentra*)、东北羊角芹(*Aegopodium alpestre*)、短柄草(*Brachypodium sylvaticum*)等.

1.2 样地调查

2015年8月下旬,在保护区的阳坡、半阳坡、阴坡、半阴坡野核桃分布的典型地段各设置2 hm²样

地,每个样地划分为50个20 m×20 m样方,每个样方应用相邻格子法^[34]分成16个5 m×5 m的小样方,对每个小样方中的野核桃幼苗进行逐株调查,记录年龄、基径、株高、坡向、海拔等指标,统计各样地1~7龄幼苗的株数.保护区野核桃幼苗非木质化部分不能越冬,翌年从开始木质化的叶节芽处生长新枝条时会留下一个明显的“结”,通过计数“结”数可判定幼苗年龄^[35].对每一样地的乔木层采用20 m×20 m、灌木层采用5 m×5 m、草本层采用1 m×1 m的样方进行调查,记录植物名称、高度、密度、盖度、个体数等指标,每个样地乔、灌、草层随机调查样方20个,记录整个样地生境条件(表1).4个样地土壤类型(黑钙土)、土壤厚度、土壤水分、有机质和无机盐离子含量等基本一致^[30].

1.3 数据处理

采用SPSS 17.0软件对数据进行统计分析和作

图.幼苗株高、基径的差异采用方差分析,并采用LSD法进行多重比较($\alpha=0.05$).幼苗各性状间的关系采用一元回归分析,并用线性函数($y=ax+b$)、对数函数($y=\ln x$)、幂函数($y=ax^b$)和指数函数($y=ae^{bx}$)模拟,选用相关性最高的拟合方程作为生长关系的定量描述模型.

2 结果与分析

2.1 野核桃幼苗的数量组成

从图1可以看出,在不同坡向上,野核桃同龄幼苗数量百分比相差不大,其中,阳坡和半阴坡的4龄幼苗的百分比相差最大,仅为2.9%.阳坡、半阳坡、阴坡和半阴坡均以1龄幼苗数量百分比最大,分别占37.8%、39.0%、39.9%、42.0%,其中阳坡和半阳坡1龄幼苗百分比小于阴坡和半阴坡,2龄幼苗数量百分比分别占25.0%、26.7%、24.4%、25.2%,3龄幼苗

表1 样地概况

Table 1 General status of sampling plots

样地 Plot	海拔 Altitude (m)	坡度 Slope angle (°)	郁闭度 Canopy coverage (%)	群落类型 Community type
阳坡 Sunny slope	1270~1630	10~45	45	野核桃+野杏+野苹果+欧洲山杨 <i>Juglans cathayensis</i> + <i>Armeniaca vulgaris</i> + <i>Malus sieversii</i> + <i>Populus tremula</i>
半阳坡 Semi-sunny slope	1350~1580	15~40	50	野核桃+野杏+山柳 <i>Juglans cathayensis</i> + <i>Armeniaca vulgaris</i> + <i>Salix pseudotangii</i>
阴坡 Shady slope	1250~1660	20~55	75	野核桃+野苹果+野杏+天山桦 <i>Juglans cathayensis</i> + <i>Malus sieversii</i> + <i>Armeniaca vulgaris</i> + <i>Betula tianschanica</i>
半阴坡 Semi-shady slope	1370~1620	15~50	65	野核桃+野杏+郁李 <i>Juglans cathayensis</i> + <i>Armeniaca vulgaris</i> + <i>Cerasus japonica</i>

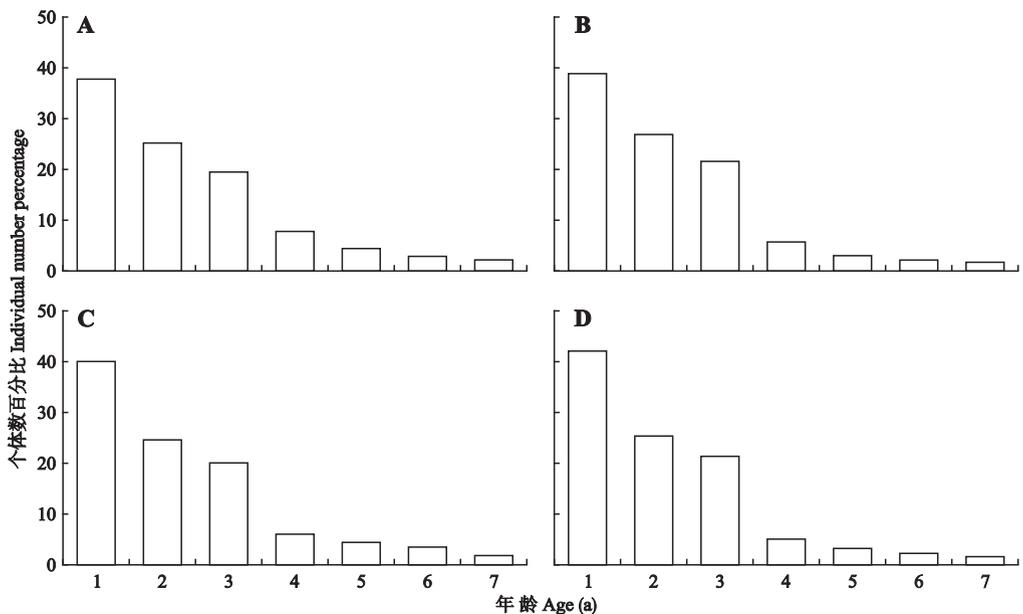


图1 不同坡向野核桃幼苗种群的年龄结构

Fig.1 Age structure of *Juglans cathayensis* seedling populations at different slope aspects.

A: 阳坡 Sunny slope; B: 半阳坡 Semi-sunny slope; C: 阴坡 Shady slope; D: 半阴坡 Semi-shady slope. 下同 The same below.

分别占 19.4%、21.8%、19.8%、21.3%, 1~3 龄幼苗分别占 82.2%、87.5%、84.2%、88.5%; 3 龄以后, 随年龄增长, 幼苗数量百分比大幅度减小。虽然不同坡向各龄幼苗数量百分比有差异, 但幼苗数量组成结构相似, 且均以 1~3 龄幼苗占绝对优势, 显示出野核桃幼苗种群呈增长型年龄结构。阳坡、半阳坡、阴坡和半阴坡的 1 龄幼苗分别有 7.8%、5.6%、5.9%、4.9% 可存活到 4 龄, 分别有 2.3%、1.6%、2.0%、1.4% 可存活到 7 龄, 1 龄幼苗平均有 5.7% 可存活到 4 龄, 平均仅有 1.7% 可存活到 7 龄, 表明仅有极少数野核桃幼苗能通过环境筛选而发育成幼树。

2.2 野核桃幼苗种群组分的生长分析

2.2.1 基径的数量特征

表 2 表明, 在不同坡向上, 幼苗基径在 3 龄前生长缓慢, 每年仅生长 1.1~1.5 mm, 3 龄后随年龄增长而加快生长, 每年生长 2.6~7.9 mm。4 个坡向上, 幼苗基径生长速率不同: 阳坡幼苗基径生长速率为 1.1~7.5 mm·a⁻¹, 平均 3.6 mm·a⁻¹; 半阳坡幼苗基径生长速率为 1.1~6.3 mm·a⁻¹, 平均 3.2 mm·a⁻¹; 阴坡幼苗基径生长速率为 1.4~7.9 mm·a⁻¹, 平均 4.0 mm·a⁻¹; 半阴坡幼

苗基径生长速率为 1.3~6.8 mm·a⁻¹, 平均 3.5 mm·a⁻¹; 幼苗基径整体上生长速率为 1.2~6.9 mm·a⁻¹, 平均生长速率为 3.6 mm·a⁻¹; 基径平均生长速率以阴坡最大, 其次为阳坡, 半阳坡最小。不同坡向同龄幼苗的基径差异不显著, 但同一坡向不同龄幼苗的基径均差异显著。4 个坡向 1~7 龄幼苗基径的标准差均远小于其平均值, 表明同龄幼苗的基径比较整齐。幼苗基径的变异系数既有坡向生境内大于坡向生境间, 也有坡向生境间大于坡向生境内, 表明坡向、坡度、海拔、林内郁闭度和群落中植物环境等均对幼苗基径生长有影响, 即野核桃幼苗基径的生长速率是多种因素综合作用的结果。

2.2.2 株高的数量特征

由表 3 可以看出, 不同坡向上幼苗株高在 3 龄前生长缓慢, 每年仅生长 4.5~5.7 cm; 3 龄后随年龄增长而加快生长, 每年生长 8.7~15.9 cm。4 个坡向上, 幼苗株高生长速率不同: 阳坡幼苗株高生长速率为 5.1~15.9 cm·a⁻¹, 平均 9.8 cm·a⁻¹; 半阳坡幼苗株高生长速率为 4.9~15.1 cm·a⁻¹, 平均 9.2 cm·a⁻¹; 阴坡幼苗株高生长速率为 4.5~14.3 cm·a⁻¹, 平均 8.6 cm·a⁻¹; 半阴坡幼

表 2 不同坡向野核桃幼苗基径的数量特征

Table 2 Quantitative characteristics of basal diameter of *Juglans cathayensis* seedlings at different slope aspects

年龄 Age	阳坡 Sunny slope			半阳坡 Semi-sunny slope			阴坡 Shady slope			半阴坡 Semi-shady slope			总体 Total		
	<i>n</i>	平均值± 标准差 Mean±SD (mm)	变异 系数 CV (%)	<i>n</i>	平均值± 标准差 Mean±SD (mm)	变异 系数 CV (%)	<i>n</i>	平均值± 标准差 Mean±SD (mm)	变异 系数 CV (%)	<i>n</i>	平均值± 标准差 Mean±SD (mm)	变异 系数 CV (%)	<i>n</i>	平均值± 标准差 Mean±SD (mm)	变异 系数 CV (%)
1	231	3.8±0.8a	22.3	520	3.7±0.9a	24.8	302	3.9±0.8a	21.5	668	3.9±0.9a	22.1	1721	3.8±0.9a	22.9
2	153	4.9±1.1b	22.1	357	4.8±1.3b	27.6	185	5.3±1.2b	21.7	400	5.1±0.9b	18.3	1095	5.0±1.2b	22.8
3	119	6.2±1.2c	18.5	291	6.0±1.4c	23.2	150	7.0±1.4c	19.7	339	6.6±1.1c	16.9	899	6.2±1.3c	20.3
4	48	9.7±2.4d	24.3	75	8.7±1.8d	21.0	45	10.2±1.4d	13.5	78	9.6±1.7d	17.6	246	9.4±1.9d	20.2
5	28	13.1±2.6e	20.1	41	12.2±2.9e	23.4	34	14.4±2.5e	17.3	50	13.4±2.4e	18.2	153	13.3±2.7e	20.3
6	19	18.0±3.8f	21.1	30	12.2±2.9f	23.4	26	19.9±3.0f	15.0	33	18.3±3.5f	19.0	108	18.2±3.7f	20.3
7	14	25.5±6.1g	23.8	21	12.2±2.9g	19.9	15	27.8±5.3g	19.1	22	25.1±4.1g	16.3	72	25.1±5.1g	20.3

同列不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$) Different small letters in the same column meant significant difference at 0.05 level. 下同 The same below.

表 3 不同坡向野核桃幼苗株高的数量特征

Table 3 Quantitative characteristics of plant height of *Juglans cathayensis* seedlings at different slope aspects

年龄 Age	阳坡 Sunny slope			半阳坡 Semi-sunny slope			阴坡 Shady slope			半阴坡 Semi-shady slope			总体 Total	
	平均值±标准差 Mean±SD (cm)	变异系数 CV (%)	变异系数 CV (%)	平均值±标准差 Mean±SD (cm)	变异系数 CV (%)									
1	15.7±2.7a	17.3	17.3	15.4±3.5a	22.7	22.7	15.1±3.3a	21.6	21.6	15.1±3.0a	19.5	19.5	15.3±3.2a	20.6
2	20.8±3.4b	16.2	16.2	20.3±5.0b	24.6	24.6	19.6±3.9b	19.8	19.8	19.8±3.8b	19.1	19.1	20.1±4.2b	20.9
3	26.5±2.8c	10.6	10.6	25.7±4.3c	16.7	16.7	24.7±3.3c	13.2	13.2	25.0±3.7c	14.7	14.7	25.4±3.8c	14.8
4	37.7±6.6d	17.6	17.6	35.1±4.9d	14.0	14.0	33.4±4.9d	14.8	14.8	34.0±4.1d	12.1	12.1	34.9±5.3d	15.1
5	47.1±7.6e	16.0	16.0	45.0±7.2e	16.1	16.1	42.7±6.7e	15.7	15.7	43.4±6.6e	15.1	15.1	44.3±7.1e	15.9
6	58.5±11.4f	19.5	19.5	55.5±8.3f	14.9	14.9	52.4±6.8f	13.0	13.0	53.6±8.0f	14.9	14.9	54.7±8.7f	15.8
7	74.4±14.1g	18.9	18.9	70.6±11.2g	15.9	15.9	66.7±12.0g	18.0	18.0	67.1±13.7g	20.4	20.4	69.5±12.8g	18.4

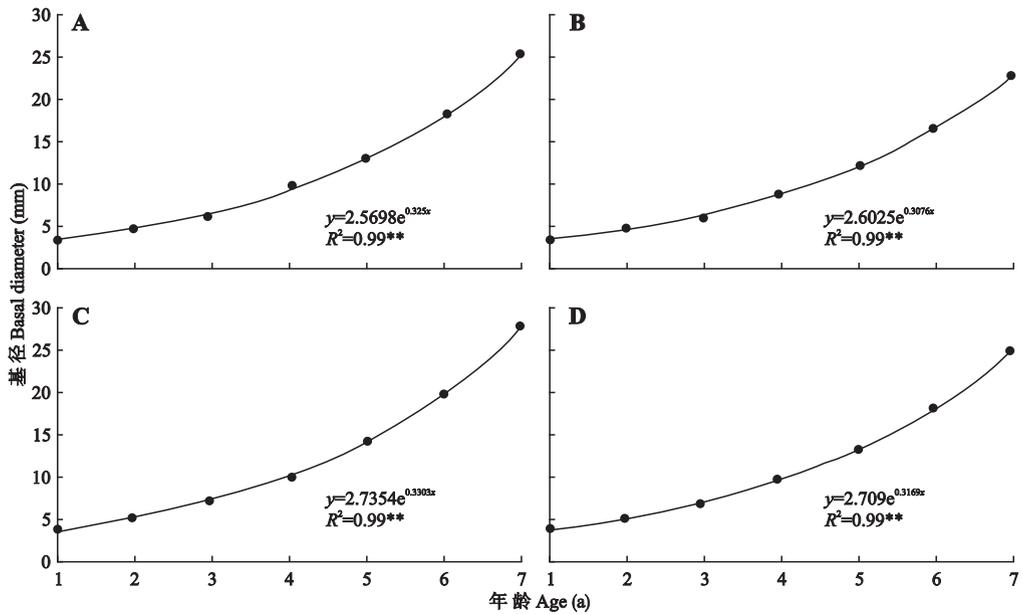


图2 不同坡向野核桃幼苗的基径

Fig.2 Basal diameters of *Juglans cathayensis* seedlings at different slope aspects.

* * $P < 0.01$. 下同 The same below.

苗株高生长速率为 $4.7 \sim 13.5 \text{ cm} \cdot \text{a}^{-1}$, 平均 $8.7 \text{ cm} \cdot \text{a}^{-1}$. 幼苗株高整体上生长速率为 $4.8 \sim 14.8 \text{ cm} \cdot \text{a}^{-1}$, 平均生长速率为 $9.0 \text{ cm} \cdot \text{a}^{-1}$; 株高平均生长速率以阳坡最大, 其次为半阳坡, 阴坡最小. 不同坡向同龄幼苗的株高差异不显著, 但同一坡向不同龄幼苗的株高均差异显著. 幼苗株高的标准差均远小于平均值, 表明不同坡向同龄幼苗的株高比较整齐. 幼苗株高的变异系数既有坡向生境内大于坡向生境间, 也有坡向生境间大于坡向生境内, 显示出不同坡向上野核桃幼苗株高的生长速率受坡向、坡度、海拔、群落小环境等多种因素的综合影响.

2.2.3 基径与年龄的关系 由图2可以看出, 不同坡向野核桃幼苗基径随年龄的增长均呈指数函数异速生长, 其回归方程的相关性均达到显著水平, 表明不同坡向幼苗的基径均呈相同的生长模式. 指数函数的性质反映出, 早期幼苗基径生长较慢(3龄前), 曲线平缓, 从第4龄开始随年龄增长而加速生长. 在6龄(包括第6龄)前, 幼苗基径生长速率按半阳坡、阳坡、半阴坡、阴坡的顺序增大, 但第7龄幼苗按半阳坡、半阴坡、阳坡、阴坡的顺序增大.

2.2.4 株高与年龄的关系 由图3可以看出, 不同坡向野核桃幼苗株高随年龄的增长均呈指数函数异速生长, 其回归方程的相关性均达到显著水平, 表明不同坡向幼苗的株高呈相同的生长规律. 早期幼苗株高生长较慢(3龄前), 从第4龄开始随年龄增长而加速生长. 1龄幼苗株高生长速率按半阴坡、阴

坡、半阳坡、阳坡的顺序增大, 2~7龄幼苗株高生长速率按阴坡、半阴坡、半阳坡、阳坡的顺序增大, 总体上, 阳坡和半阳坡幼苗株高的生长速率大于阴坡和半阴坡.

2.2.5 株高与基径的关系 由图4可以看出, 不同坡向野核桃幼苗株高随基径的生长均呈显著幂函数异速生长, 表明不同坡向幼苗株高与基径的生长具有相同的规律. 早期幼苗(3龄前)株高生长缓慢, 基径生长较快, 从第4龄开始, 株高快速生长, 基径则生长缓慢; 各生境野核桃幼苗株高与基径的函数参数不同, 表明不同坡向幼苗株高与基径的生长速率不同.

3 讨 论

种群结构对种群可能的发展趋势起着决定性作用, 它可以反映种群不同龄级个体的组配情况及其与环境之间的相互关系, 还可预测未来种群结构的动态变化^[15,36-37]. 本研究表明, 不同坡向野核桃幼苗种群均呈增长型年龄结构(图1), 但阳坡、半阳坡、半阴坡和阴坡野核桃1龄幼苗占37.8%~42.1%, 2龄幼苗占24.4%~26.7%, 3龄幼苗占19.4%~21.8%, 而4龄幼苗仅占4.9%~7.8%, 可见3龄是野核桃幼苗数量的一个关键转折点. 在不同坡向上, 野核桃3龄幼苗的死亡率为59.7%~77.0%, 远高于其他龄幼苗的死亡率, 与野核桃幼苗种群静态生命表分析其死亡最高峰在3龄的结果一致^[35]. 郑维娜

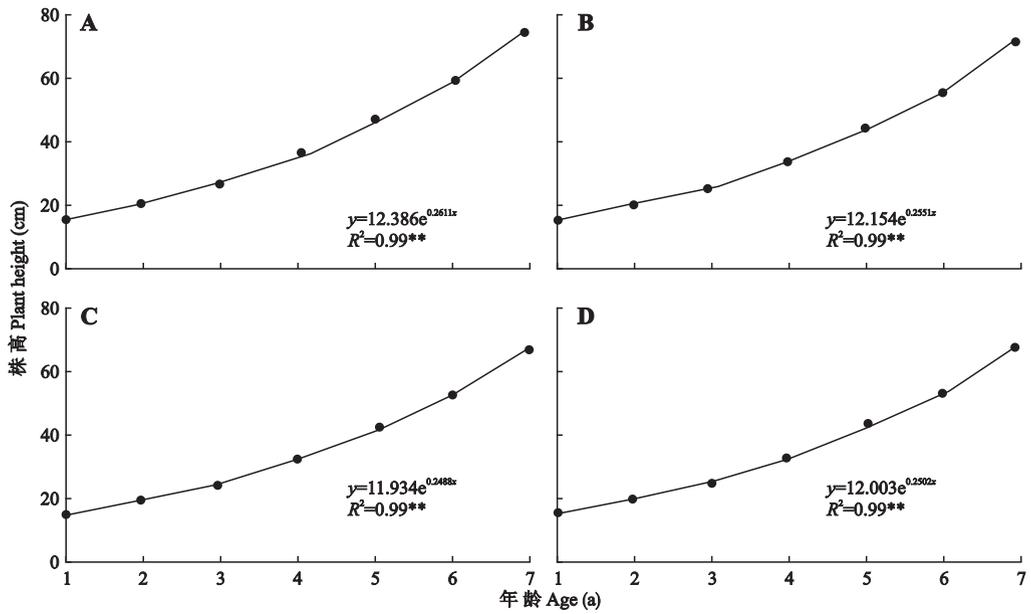


图 3 不同坡向野核桃幼苗的株高

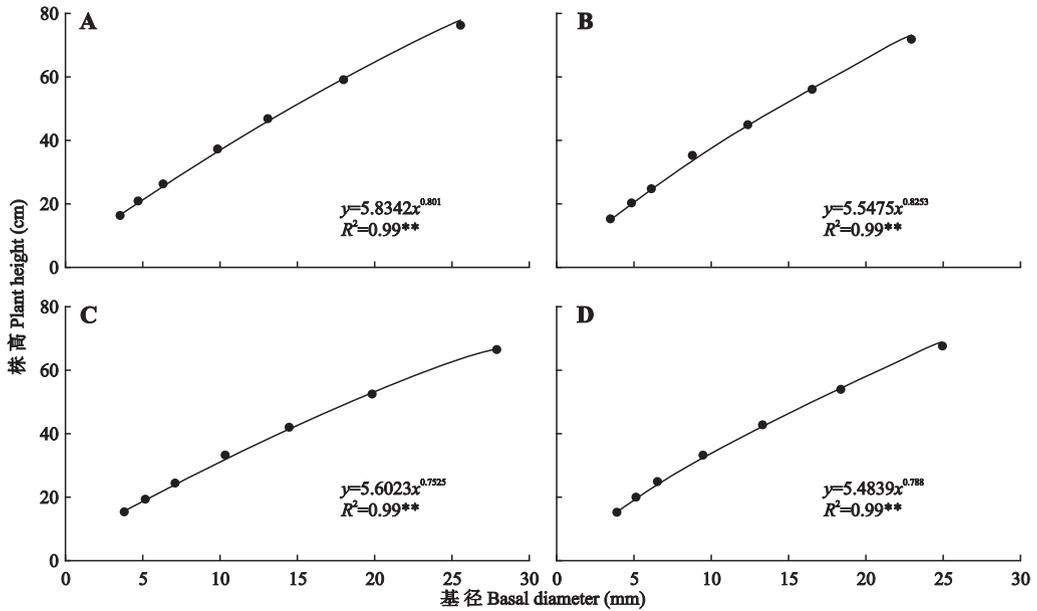
Fig.3 Plant height of *Juglans cathayensis* seedlings at different slope aspects.

图 4 不同坡向野核桃幼苗株高与基径的关系

Fig.4 Relationships between plant height and basal diameter of *Juglans cathayensis* seedlings at different slope aspects.

等^[2]报道,辽东栎种子较大,其子叶可为幼苗早期的生长提供营养,使幼苗安全度过前 2 个生长季.野核桃种子也较大,推测其与辽东栎类似,种子本身也可为幼苗早期生长提供营养,使幼苗安全度过 1 龄和 2 龄期,当种子养分耗尽,3 龄幼苗在郁闭度大的主林层弱光照条件下无法进行充分的光合作用而大量死亡.野核桃种群的自疏作用可能是导致 4~6 龄幼苗仍有较高死亡率的重要原因^[33].虽然野核桃 1 龄幼苗比较丰富,但仅有 1.4%~2.3%可存活到 7

龄,其原因可能是作为阳性植物^[30,33]的野核桃的成年和壮年树枝繁叶茂,加之野核桃伴生乔木多为生长迅速且耐阴的常绿或落叶阔叶植物,如天山桦、欧洲山杨等,野核桃幼苗在郁闭度大的林冠下很难健康地生长发育.对野核桃自然保护区天然林进行适度的择伐、间伐,降低林地的郁闭度,可提高野核桃幼苗向幼树乃至成年植株生长的成功率^[33].

植物是采用冒险策略进行快速的资源获取和消耗还是采用保守策略进行缓慢的资源获取和消耗,

是不同物种在胁迫环境下对生存、生长和繁殖的权衡^[38]。不同坡向上,随年龄增长,幼苗数量百分比依次减小,表明野核桃种群1~7龄幼苗的发育是连续的^[33]。保护区林下1~3龄幼苗占82.2%~88.5%,3龄幼苗大量死亡,仅有极少数幼苗可存活到7龄,表明野核桃幼苗种群是r对策选择者。森林光环境在空间上和时间内均不断地变化,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^[39-40]。野核桃是喜光植物^[30,33],不同坡向生境的异质性必然影响幼苗对光的吸收和利用,幼苗在3龄前,其基径、株高生长均比较缓慢,结合1~3龄幼苗数量占较高百分比,可将1~3龄幼苗视为保护区的野核桃幼苗库,这在一定程度上反映了野核桃幼苗种群具有不惜大量死亡以保障种群持续更新的发展策略。

植物的生长不仅受自身生物特性的影响,还受其所生长的生物环境、气候条件及自然灾害等的影响^[15]。在不同坡向,同龄幼苗的基径和株高虽然比较整齐,但其相对变异度(CV)差异较大,坡向、坡度、海拔和群落小环境均对基径和株高的生长发育有影响。这表明虽然新疆野核桃总是分布在最大限度免于寒潮侵袭和干旱风影响的局部有利环境^[28],但野核桃分布地处在广大荒漠环抱之中,总的荒漠景观使野核桃处在不利的环境条件下,且野核桃分布的4条沟谷的海拔、坡度、地形以及不同沟谷野核桃的胸径、树高、种群密度、林内郁闭度等也有较大差异,因此,野核桃幼苗基径和株高的生长发育不是单一环境因子决定的,而是各种环境因子综合作用的结果。

植物在生长发育过程中,总是不断调整生长和物质分配,同种植物在不同生境中可能有完全不同的生长策略^[36]。野核桃幼苗的基径和株高在3龄前均生长缓慢,3龄后则加快生长,其中基径在3龄前每年生长不超过1.5 mm,而4~7龄幼苗基径每年生长最高可达7.9 mm;株高在3龄前每年生长不超过5.7 cm,而4~7龄幼苗株高每年生长最高可达15.9 cm。在不同坡向上,野核桃幼苗的基径和株高生长速率不同,基径的平均生长速率按阴坡、阳坡、半阴坡、半阳坡顺序减小,若按最快和最慢生长速率比较,阴坡幼苗基径每年的平均生长速率比半阳坡大0.8 mm·a⁻¹,可能是坡向、坡度、海拔、光环境的差异性导致了不同坡向野核桃幼苗基径生长速率的差异;株高的平均生长速率按阳坡、半阳坡、半阴坡、阴坡顺序减小,阳坡幼苗株高每年的平均生长速率比阴

坡大1.4 cm·a⁻¹,在同一地区,光照强度一般为阳坡>半阳坡>半阴坡>阴坡,因此,不同坡向野核桃幼苗株高生长速率的关键因子是光照时间和光照强度。3龄后幼苗的基径和株高加速生长,主要是年龄较大的野核桃幼苗已生长发育出较多、较大的叶片,对光的吸收和利用能力明显增强,保证了基径和株高生长需要的物质和能量。

植物个体异速生长或同速生长可看作是由物种的遗传性决定的一个稳定特性^[41],反映了生物体不同方面性状的相关程度,是生物体不同性状对环境选择压力采取的生态对策方式^[42]。本研究表明,野核桃幼苗的基径、株高有一定的可塑性,但其不同性状间的相对生长关系却具有一定的遗传稳定性,在长期环境胁迫下已经形成了独特的生长模式。在不同坡向上,幼苗的基径与年龄、株高与年龄的生长均为指数函数异速生长,株高与基径的生长均为幂函数异速生长,这与植物不同性状之间存在着异速生长现象是比较普遍的规律,且植物往往朝着最佳的异速生长曲线进化^[43]相符。

参考文献

- [1] Bai XJ, Queenborough SA, Wang XG, *et al.* Effects of local biotic neighbors and habitat heterogeneity on tree and shrub seedling survival in an old-growth temperate forest. *Oecologia*, 2012, **170**: 755-765
- [2] Zheng W-N (郑维娜), Wang X-A (王孝安), Guo H (郭华), *et al.* Effects of microhabitat on the growth of *Quercus wutaishanica* seedlings. *Arid Zone Research* (干旱区研究), 2013, **30**(6): 1049-1055 (in Chinese)
- [3] Zhang W-H (张文辉), Lu Y-C (卢彦昌), Zhou J-Y (周建云), *et al.* Population structure and dynamics of *Quercus variabilis* in different habitats on northern slope of Bashan Mountain. *Scientia Silvae Sinicae* (林业科学), 2008, **44**(7): 11-16 (in Chinese)
- [4] Yoshiko S, Kudo G. Intraspecific variations in seedling emergence and survival of *Potentilla matsumurae* (Rosaceae) between alpine fellfield and snowbed habitats. *Annals of Botany*, 2003, **91**: 21-29
- [5] Yang S (杨升), Zhang H-X (张华新), Liu T (刘涛), *et al.* Study on ion metabolism characteristics of *Elaeagnus angustifolia* seedlings under NaCl stress. *Forest Research* (林业科学研究), 2016, **29**(1): 140-146 (in Chinese)
- [6] Liu S-L (刘柿良), Ma M-D (马明东), Pan Y-Z (潘远智), *et al.* Effects of light regime on the growth and photosynthetic characteristics of *Alnus formosana* and *A. cremastogyne* seedlings. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2013, **24**(2): 351-358 (in Chinese)
- [7] Han Y-R (韩宇睿), Wang X-F (王秀峰), Yang F-J

- (杨凤娟), *et al.* Effects of NO_3^- stress on photosynthetic characteristics and nitrogen metabolism of strawberry seedlings. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2015, **26**(8): 2314–2320 (in Chinese)
- [8] Gao Q-H (高青海), Jia S-S (贾双双), Miao Y-M (苗永美), *et al.* Effects of exogenous melatonin on nitrogen metabolism and osmotic adjustment substances of melon seedlings under sub-low temperature. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2016, **27**(2): 519–524 (in Chinese)
- [9] Fenner M. Seeds: The Ecology of Regeneration in Plant Community. 2nd Ed. London, UK: CABI, 2000: 311–331
- [10] Clerk JS, Ladeau S, Ibanez I. Fecundity of trees and the colonization-competition hypothesis. *Ecological Monographs*, 2004, **74**: 415–442
- [11] Yan X-F (闫兴富), Qiu Z-H (仇智虎), Zhang Q (张 婧), *et al.* Effects of coat and sowing depth on seed germination and early seedling growth of *Quercus wutaishanica*. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2014, **25**(1): 53–60 (in Chinese)
- [12] Grubb PJ. Control of forest growth and distribution on wet tropical mountains with special reference to mineral distribution. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1977, **8**: 83–107
- [13] Sánchez-Coromado ME, Coates R, Castro-Colina L, *et al.* Improving seed germination and seedling growth of *Omphalea deifera* (Euphorbiaceae) for restoration projects in tropical rain forests. *Forest Ecology and Management*, 2007, **243**: 144–155
- [14] Yan Y (闫 琰), Zhang X-N (张新娜), Yao J (姚杰), *et al.* Composition and temporal dynamics of tree seedlings at different successional stages of conifer and broad-leaved mixed forests in Jiaohe, Jilin Province, China. *Chinese Journal of Plant Ecology* (植物生态学报), 2016, **40**(2): 127–139 (in Chinese)
- [15] Harper JL. Population Biology of Plant. London, UK: Academic Press, 1977
- [16] Wang G-H (王国华), Zhao W-Z (赵文智). Effects of seed density on the germination and seedling growth of *Haloxylon ammodendron*. *Journal of Desert Research* (中国沙漠), 2015, **35**(5): 1248–1253 (in Chinese)
- [17] Wang C-H (王传华), Zeng C-H (曾春函), Shen D-S (沈德嵩), *et al.* Climatic effects of the artificial reservoir of China's dry-hot valleys on the growth and physiological traits of *Dodonaea viscosa* seedlings. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2016, **36**(17): doi: 10.5846/stxb201502110335 (in Chinese)
- [18] Sui D-Z (隋德宗), Wang B-S (王保松), Shi S-Z (施士争), *et al.* Growth and photosynthesis of shrub willow clones with salt stress. *Journal of Zhejiang Forestry College* (浙江林学院学报), 2010, **27**(1): 63–68 (in Chinese)
- [19] Gong X-W (龚雪伟), Lyu G-H (吕光辉), Ran Q-Y (冉启洋), *et al.* Response of vegetative growth and biomass allocation of *Lappula semiglabra* seedlings to dew gradient. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2016, **27**(7): 2257–2263 (in Chinese)
- [20] Ji Y (季 杨), Zhang X-Q (张新全), Peng Y (彭燕), *et al.* Effects of drought stress on the root growth and photosynthetic characters of *Dactylis glomerata* seedlings. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2013, **24**(10): 2763–2769 (in Chinese)
- [21] Li S-L (李胜利), Xia Y-Z (夏亚真), Sun Z-Q (孙治强). Effects of cold-shock on the growth and flower bud differentiation of tomato seedlings under high temperature stress. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2016, **27**(2): 477–483 (in Chinese)
- [22] Guo Y-S (郭银生), Gu A-S (谷艾素), Cui J (崔瑾). Effects of light quality on rice seedlings growth and physiological characteristics. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2011, **22**(6): 1485–1492 (in Chinese)
- [23] Ma F-J (马富举), Li D-D (李丹丹), Cai J (蔡剑), *et al.* Responses of wheat seedlings root growth and leaf photosynthesis to drought stress. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2012, **23**(3): 724–730 (in Chinese)
- [24] Wang K (王 凯), Zhu J-J (朱教君), Yu L-Z (于立忠), *et al.* Effects of light environment on *Juglans mandshurica* seedlings growth and photosynthesis. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2010, **21**(4): 821–826 (in Chinese)
- [25] Zhang C-P (张翠萍), Meng P (孟 平), Zhang J-S (张劲松), *et al.* Effects of a nitrogen fixing plant *Vigna radiata* on growth, leaf stomatal gas exchange and hydraulic characteristics of the intercropping *Juglans regia* seedlings. *Chinese Journal of Plant Ecology* (植物生态学报), 2014, **38**(5): 499–506 (in Chinese)
- [26] Fan W-G (樊卫国), Luo Y (罗 燕), Wu S-F (吴素芳), *et al.* Effects of nitrogen fertilizer forms and ratios on rhizospheric environment and growth of the *Juglans sigillata* seedlings. *Acta Horticulturae Sinica* (园艺学报), 2014, **41**(3): 437–446 (in Chinese)
- [27] Liu L (刘 璐), Gu Y-H (顾玉红), Li B-G (李保国), *et al.* Effects of top-pinching and colchicines on the seedlings growth and ploidy of walnut. *Journal of Agricultural University of Hebei* (河北农业大学学报), 2012, **35**(5): 29–33 (in Chinese)
- [28] Zhang X-S (张新时). On the eco-geographical characters and the problems of classification of the wild fruit-tree forest in the Ili valley of Sinkiang. *Acta Botanica Sinica* (植物学报), 1973, **15**(2): 239–253 (in Chinese)
- [29] National Environmental Protection Agency (国家环境保护局), Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences (中国科学院植物研究所). China Rare and Endangered Plants (Volume 1). Beijing: Science Press, 1987 (in Chinese)
- [30] She D-Y (余定域). Formation and characteristics of wild walnut forest soils in Gongliu County. *Arid Zone Research* (干旱区研究), 1994, **11**(2): 11–15 (in Chinese)

- [31] Wang L (王磊), Cui N-R (崔乃然), Zhang H-F (张汉斐). Research report of Xinjiang wild walnuts. *Arid Zone Research* (干旱区研究), 1997, **14**(1): 17-27 (in Chinese)
- [32] Nuer M-M (努尔买买提), Zhang X-F (张相锋), Zhang W (张维). Flora and geographical compositions in natural conservation area of *Juglans cathayensis*, in Xinjiang, China. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), 2015, **34**(7): 1838-1846 (in Chinese)
- [33] Zhang W (张维), Jiao Z-W (焦子伟), Shang T-C (尚天翠), *et al.* Demography and spectrum analysis of *Juglans cathayensis* populations in different altitude gradients in the west Tianshan valley in Xinjiang, China. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2015, **26**(4): 1091-1098 (in Chinese)
- [34] Diaz S, Mercado C, Alvarez-Cardenas S. Structure and population dynamics of *Pinus lagunae* MF. Passini. *Forest Ecology and Management*, 2000, **134**: 249-256
- [35] Zhang W, Yang YF, Li JD. Static life table and growth analysis of seedlings of *Juglans mandshurica* in Xinjiang, China. *Austrian Journal of Forest Science*, 2015, **132**: 131-144
- [36] Yang Y-F (杨允菲), Zheng H-Y (郑慧莹), Li J-D (李建东). Methods of study on age structures of clonal populations in rhizome type grass. *Journal of Northeast Normal University* (Natural Science) (东北师大学报: 自然科学版), 1998(1): 49-53 (in Chinese)
- [37] Stewart GH, Rose AB. The significance of life history strategies in the developmental history of mixed beech (*Nothofagus*) forest, New Zealand. *Plant Ecology*, 1990, **87**: 101-114
- [38] Falster DS, Westoby M. Tradeoffs between height growth rate, stem persistence and maximum height among plant species in a post-fire succession. *Oikos*, 2005, **111**: 57-66
- [39] Messier C, Bellefleur P. 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*, 1988, **18**: 615-622
- [40] Zhu JJ, Matsuzaki T, Lee FQ, *et al.* Effect of gap size created by thinning on seeding emergency, survival and establishment in a coastal pine forest. *Forest Ecology and Management*, 2003, **182**: 339-354
- [41] White J. Allometric interpretation of the self-thinning rule. *Journal of Theoretical Biology*, 1981, **89**: 475-500
- [42] Primack RB. Relationships among flowers, fruits and seeds. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1987, **18**: 409-430
- [43] Sun SC, Jin DM, Shi PL. The leaf size-twig size spectrum of temperate woody species along an altitudinal gradient: An invariant allometric scaling relationship. *Annals of Botany*, 2006, **97**: 97-107

作者简介 张维, 男, 1973年生, 博士, 副教授. 主要从事植物种群生态学研究. E-mail: zhangw891@nenu.edu.cn

责任编辑 孙菊

张维, 李海燕, 崔东, 等. 新疆野核桃自然保护区不同坡向野核桃幼苗种群年龄结构及生长特征. *应用生态学报*, 2017, **28**(2): 382-390

Zhang W, Li H-Y, Cui D, *et al.* Age structure and growth characteristics of *Juglans cathayensis* seedling populations at different slope aspects in Wild Walnut Natural Conservation Area of Xinjiang, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2017, **28**(2): 382-390 (in Chinese)