

黄土高原丘陵区文冠果种群特征研究

郭有燕^{1,2}, 张文辉¹, 何景峰¹, 周建云¹

(1 西北农林科技大学 西部环境与生态教育部重点实验室, 陕西 杨凌 712100; 2 大兴安岭职业学院, 黑龙江 加格达奇 165000)

【摘要】 【目的】研究黄土高原丘陵区不同立地条件下文冠果的种群特征, 为文冠果人工林的自然化培育提供理论依据。【方法】选择具有代表性的阳坡、半阳坡和半阴坡文冠果天然林各 6 块并设置样地, 通过实地调查, 对黄土高原丘陵区文冠果的种群特征进行系统研究, 分析文冠果种群的年龄结构、空间分布格局, 编制标准生命表及不同坡向静态生命表, 并绘制存活曲线。【结果】黄土高原丘陵区文冠果种群年龄结构呈进展型, 幼龄个体数多, 中老龄个体数少。Ⅱ龄级文冠果死亡率较高, 随着年龄的增大, 死亡率降低; 在 V、Ⅵ龄级, 由于生理衰老再次出现死亡高峰。文冠果种群存活曲线呈 DeeveyⅢ型。种群空间分布格局总体上呈聚集分布, 以半阳坡种群聚集强度较大, 这是文冠果生长的最适宜生境, 但随着年龄的增加, 聚集强度逐渐减小, 此时种群趋向于随机分布。【结论】在进行文冠果经营时, 应结合其生理特点和繁殖特性进行抚育管理。

【关键词】 文冠果; 种群特征; 生境; 年龄结构; 生命表; 存活曲线; 空间分布格局

【中图分类号】 S794.902

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2011)01-0061-08

Population characteristic of *Xanthoceras sorbifolia* in hill area of Loess Plateau

GUO You-yan^{1,2}, ZHANG Wen-hui¹, HE Jing-feng¹, ZHOU Jian-yun¹

(1 Northwest A&F University of Agriculture and Forestry Key Laboratory of Environment and Ecology of Education Ministry in West China, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2 Daxinganling Vocational College, Jiagedaqi, Heilongjiang 165000, China)

Abstract: 【Objective】 The research studied population characteristic of *Xanthoceras sorbifolia* in different habitat standing in hilly area of Loess Plateau to provide theoretical basis for *X. sorbifolia* plantation's natural growth. 【Method】 Selecting representative natural forest *X. sorbifolia* in sunny, semi-sunny and semi-shady slope, six plots were set up in each slope. By researching, the detailed study on the age structure and spatial pattern, standard and static life table at different slopes and survival curve for *X. sorbifolia* population in hilly area of Loess Plateau was worked out. 【Result】 The age structure was progressive, the number of young growth individuals was greater than these of half-mature and mature individuals. The life tables present that the mortality rates were highest at age class, decreased with age increasing, and went up again at age class V and VI owing to plant decrepitude. The survival curve belongs to the type of Deevey III, and the spatial distribution of population was aggregative pattern generally. The aggregative intensity was decreased and tended to a random distribution along with age increasing, greater in semi-sunny slope optimum for *X. sorbifolia*. 【Conclusion】 The management measures should combine *X. sorbifolia* with characteristics of physiology and propagation.

Key words: *Xanthoceras sorbifolia*; population characteristic; habitats; age structures; life table; survival

* [收稿日期] 2010-05-24

[基金项目] 陕西省科技计划项目(2010K01-06-2)

[作者简介] 郭有燕(1980—), 女, 宁夏固原人, 讲师, 在读博士, 主要从事森林培育理论与技术研究。

E-mail: guoyouyan_2008@163.com

[通信作者] 何景峰(1964—), 男, 陕西武功人, 副研究员, 硕士, 主要从事森林生态与生物多样性研究。E-mail: hjflky@163.com

curve;spatial distribution pattern

研究植物种群在不同生境条件下的年龄结构、存活曲线和生命表,不仅可以了解种群的现实状况,而且可以展现植物种群与环境适应的结果^[1]。种群空间分布格局分析是研究种群特征、种群间相互作用以及种群与环境关系的重要手段^[2]。文冠果(*Xanthoceras sorbifolia*)又名文灯果、木瓜,为无患子科文冠果属的落叶灌木或小乔木,是优良的本油料树种,以华北和西北东部省区分布较多^[3],黄土高原次生林区也有分布,其中以陕西富县境内的文冠果林最为典型。文冠果根系发达,具有较强的抗旱、耐盐碱和抗寒等优良特性^[4],但其能否成为黄土高原丘陵区可持续发展的生态、经济树种,能否实现天然更新,对于该区域的植被恢复和生态经济发展具有重要意义。近年来,周庆源等^[5]、王雪峰等^[6]、丁明秀等^[7]对文冠果生殖生物学、幼苗生长规律及开花坐果等进行了研究,但有关文冠果种群特征方面的研究还未见报道。本研究通过对黄土高原丘陵区文冠果在不同生境下的种群年龄结构、生命表、存活曲线和空间分布格局特征的分析,探讨了文冠果种群在天然状态下的发生、发展趋势,以期为黄土高原丘陵区文冠果人工林的天然化培育提供理论依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区自然概况

研究地点位于陕西省富县(东经 109°06′33″~

109°10′17″,北纬 35°42′19″~35°45′57″)的仁家台林场、吉家村、白龙沟和交道坡 4 处,共设样地 18 块。该区域地处黄土高原,属黄土丘陵沟壑区第Ⅱ副区,海拔 900~1 400 m,年日照时数 2 157.4~2 574.9 h,年平均气温 9.1℃,昼夜温差 14.9℃,无霜期 171 d,年降水量 500~600 mm。土壤类型为黄绵土,土层深厚。研究区文冠果群落为天然林,主要分布在海拔 1 145~1 325 m 的阳坡、半阳坡和半阴坡,阴坡没有成片分布。其中阳坡包括样地 1,4,5,10,15 和 17 号,文冠果为优势种,主要伴生灌木有狼牙刺(*Sophora davidii*)、酸枣(*Ziziphus jujuba*),草本为苔草(*Carex onoei*);半阳坡包括样地 3,7,8,11,13 和 16 号,文冠果为优势种,主要伴生灌木有狼牙刺、达乌里胡枝子(*Lespedeza davurica*),草本有铁杆蒿(*Artemisia sacrorum*)、苔草;半阴坡包括样地 2,6,9,12,14 和 18 号,其中 6 号样地优势种为油松,郁闭度达 0.88,其他样地优势种为文冠果,主要伴生灌木有山桃(*Prunus davidiana*)、狼牙刺,草本为苔草。文冠果不同生境的环境因子见表 1。

1.2 研究方法

1.2.1 样地的选择及调查 经充分踏查,选择具有代表性、人为干扰较少的阳坡、半阳坡和半阴坡文冠果天然林各 6 块,设置样地面积为 10 m×10 m,共 18 块。每块样地分别布设 5 m×5 m 的灌木样方和 1 m×1 m 草本样方各 3 个。

表 1 不同生境文冠果群落的环境因子

Table 1 Environmental factors of the different habitats of <i>X. sorbifolia</i> populations				
序号 No.	环境因子 Environmental factors	阳坡 Sunny slope	半阳坡 Semi-sunny slope	半阴坡 Semi-shady slope
1	海拔/m Altitude	1 152	1 213	1 263
2	总盖度/% Coverage	58	82	91
3	灌木层盖度/% Coverage of shrub	40	30	54
4	草本层盖度/% Coverage of herbage	15	64	42
5	光照强度/lx Light	79 400	68 432	58 164
6	气温/℃ Air temperature	37.8	35.9	28.7
7	空气湿度/% Air humidity	35.1	39.7	57.0
8	腐殖质层/cm Humus layer	0	0.2	2.6
9	枯枝落叶层/cm Deadwood	0	0.8	2.5
10	土壤结皮/% Soil crust	80.0	15.0	29.5
11	土壤含水量/% Soil moisture	14.9	37.1	44.8
12	人为干扰强度(0~1) Intensity of human disturbance	0.22	0.10	0.20

调查结束后将各生境样地的数据进行合并作为基础数据。调查因子主要有:①生境。包括地貌类型、坡向、坡位、海拔、气象、土壤、人为干扰强度。②

群落学特性。包括树种组成、总盖度、灌草层盖度、高度等。③文冠果个体定位及每木检尺。以样地一边为 X 轴,以其垂直边为 Y 轴建立直角坐标系,记

录每株文冠果的坐标值,根基萌苗计为 1 个个体,生于同一伐桩上的多个基株计为 1 个个体^[8]。测定树高、基径、冠幅及根基萌苗和伐桩萌苗,分别计算平均值。④个体年龄。基径小于 1 cm 的幼苗幼树,可通过枝条年生长节间痕迹,并结合断面年轮确定年龄;基径大于 1 cm 而小于 4 cm 的,通过锯取基部断面圆盘,于放大镜下观察年轮来确定年龄;基径大于 4 cm 的,通过生长锥钻取年轮条,于室内显微镜下检查年轮数来确定年龄^[9]。然后计算同一年龄文冠果树高和基径的平均值,绘制树高和基径的生长过程关系图(图 1)。

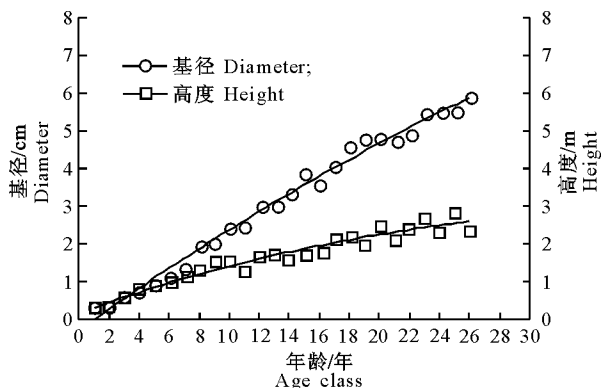


图 1 黄土高原丘陵区天然文冠果年龄与树高和基径的关系

Fig. 1 Relationship between age and height and diameter of natural *X. sorbifolia* in hilly area of Loess Plateau

分别用平均树高与年龄、平均基径与年龄,在 Origin 软件上进行曲线拟合,得到树高与年龄、基径与年龄的拟合方程,即:

$$y_1 = 3.85085 - 3.71486 \exp(-x/23.92199), \quad (1)$$

$$y_2 = 18.29155 - 18.61245 \exp(-x/64.13216). \quad (2)$$

式中: y_1 、 y_2 分别表示树高与基径, x 表示个体年龄。

对(1)、(2)式进行拟合效果检验,结果表明其相关系数分别为 0.96113 和 0.99137,说明拟合效果显著。分别应用(1)式和(2)式计算树高与基径的理论值,并与实测值比较,经卡方检验,经验方程符合实际要求($P > 0.995$)。因此本研究对基径小于 1 cm 的个体,由(1)式确定其年龄;对基径大于 1 cm 的个体,由(2)式确定其年龄。

1.2.2 群落内环境因子的测定 表 1 中第 5~7 项环境因子为 2009-07-22—07-24,分别在 3 种不同生境文冠果群落内固定位置上测定的 3 个日进程(07:00,10:00,13:00,15:00,18:00)的平均值,气温、湿度和光照分别利用 DHM2 型通风干湿温度计、ZDS-10 型光照计在距地面 0.5 m 处测定^[10]。土壤含水量测定时,在各样地沿对角线各取 3 个 0~

20 cm 土壤样品,于 2009-07-24 完成取样(取样前 10 d 到取样期间无雨),应用烘干(105 ℃)法进行测定^[11]。其他环境因子均为各生境不同样地调查的平均值。

1.2.3 种群年龄结构的绘制 以 5 年为 1 个龄级,共分为 I~Ⅶ龄级,统计每一样地各龄级的文冠果株数,将同一生境内所有样地各龄级的株数合并,组成各种群的年龄结构基础数据,以龄级为横坐标,以种群密度(株/dam²)为纵坐标,绘制年龄结构图^[8]。

1.2.4 生命表的编制及存活曲线的绘制 标准生命表是将不同生境相同龄级的个体合并编制,不同生境静态生命表依据相应生境种群的各龄级株数编制而成。存活曲线根据生命表中的标准化存活数和龄级编制而成。具体计算方法参见文献^[12-17]。

1.2.5 种群空间分布格局的确定 利用相邻格子法,将每个 10 m×10 m 的样地划分成 16 个 2.5 m×2.5 m 的样方,按不同生境、不同发育阶段分别进行统计。将负二项分布作为聚集分布模型,将泊松分布作为随机分布模型,进行分布类型拟合,通过卡方检验,确定文冠果的空间分布类型。聚集强度用拥挤度(m^*)、负二项参数 K 、扩散系数(C)、Cassie 指标($1/K$)、丛生指标(I)及聚块性指标(m^*/m)表示,各指标的定义及其生物学意义见文献^[13,18-20]。

2 结果与分析

2.1 文冠果种群的年龄结构

分析植物种群的年龄结构,是揭示其生存现状和更新策略的重要途径之一^[1]。从图 2 可以看出,文冠果种群总体呈进展型,各生境种群年龄结构与种群(总和)特征基本一致,但由于环境的差异,不同生境种群年龄结构的表现不同。3 种生境条件下,以半阳坡的种群密度最大,为 73 株/dam²;阳坡、半阴坡的种群密度较小,仅为 29 株/dam²;半阳坡 I 龄级幼苗密度最大,为 43 株/dam²;半阴坡 I 龄级幼苗密度最小,为 10 株/dam²。随着年龄的增加,各坡向个体数量均呈减少趋势,半阳坡Ⅱ~Ⅲ龄级阶段个体数量的减少幅度最大,Ⅱ龄级种群密度为 27 株/dam²,而Ⅲ龄级时仅剩 1.3 株/dam²,随后各龄级个体数量逐渐减少并趋于稳定。不同坡向种群密度及年龄结构的差异与文冠果在不同生境条件下的繁殖策略有很大关系。通过各生境种群幼苗个体组成的调查发现,阳坡 92% 为实生幼苗,8% 为根基萌苗;半阳坡 60% 为根基萌苗,40% 为实生幼苗;半阴坡 75% 为实生幼苗,25% 为根基萌苗。说明在不

同生境条件下,文冠果采取的繁殖策略不同,阳坡、半阴坡以有性繁殖为主,半阳坡则以无性繁殖为主。

从整体来看,各坡向幼龄个体数较多,老龄个体数较少,种群在不同坡向均呈进展型。

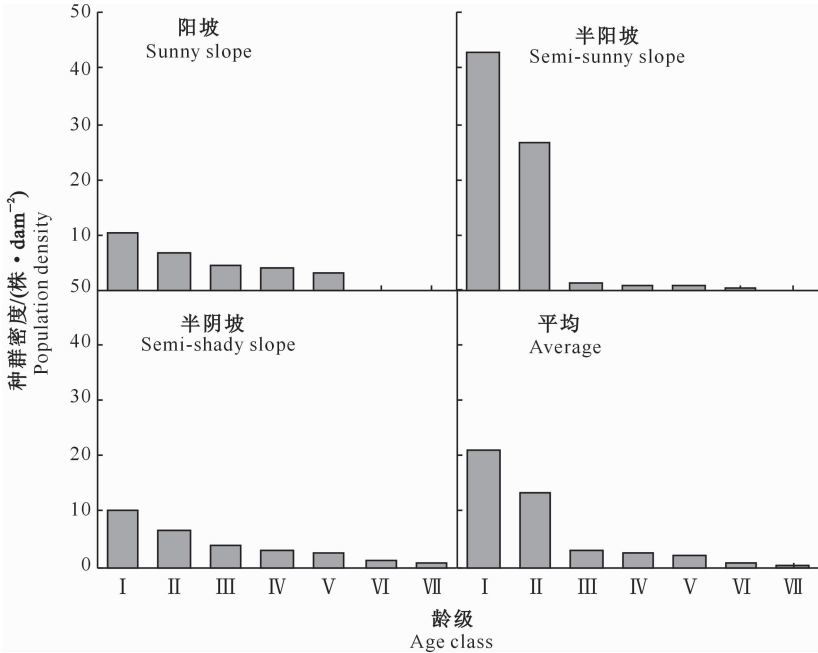


图 2 黄土高原丘陵区不同坡向文冠果种群的年龄结构

Fig. 2 Age structures of *X. sorbifolia* population at different slope aspect in hilly area of Loess Plateau

2.2 文冠果种群的生命表

从表 2 可以看出,文冠果种群(总和)幼苗 I 龄级存活数较大,为 21.2 株/dam², II、V、VI 龄级死亡率较高,这 3 个龄级的死亡个体数占种群总数的 74%。II 龄级死亡率高与种内竞争有很大关系;进入速生期之后,群落保持相对稳定,存活数也趋于稳定;但在 V 龄级、VI 龄级时,死亡率再次升高,这可能是由于种群生理衰老及人为干扰程度增加引起的。

期望寿命可反映个体的平均生存能力^[16],表 2 表明,Ⅲ龄级文冠果期望寿命值最大,说明不同起源幼苗在幼龄时因受光照条件的强烈筛选,生存能力较低;进入Ⅲ龄级后文冠果种群趋于稳定,个体生存能力最强;但随着年龄的增加,生存能力又逐渐降低。由于种内、种间竞争及生理衰老和人为干扰等,使得文冠果种群在 II、V、VI 龄级的消失率较大。

表 2 黄土高原丘陵区文冠果种群(总和)的标准生命表

Table 2 Standard life table of whole *X. sorbifolia* population in hilly area of Loess Plateau

龄级(<i>x</i>) Age class	存活数(<i>a_x</i>) / (株·dam ⁻²) Survival number	存活量 (<i>L_x</i>) Survival	死亡量(<i>d_x</i>) Death number	死亡率(<i>q_x</i>) Mortality rate	区间寿命 (<i>L_x</i>) Span life	总寿命 (<i>T_x</i>) Total life	期望寿命 (<i>e_x</i>) Life expect	ln <i>a_x</i>	ln <i>L_x</i>	消失率 (<i>K_x</i>) Vanish rate
I	21.2	1 000.000	363.208	363	818	1 557	1.6	3.054	6.908	0.451
II	13.5	636.792	485.849	763	394	738	1.2	2.603	6.456	1.440
III	3.2	150.943	23.585	156	139	344	2.3	1.163	5.017	0.170
IV	2.7	127.358	28.302	222	113	205	1.6	0.993	4.847	0.251
V	2.1	99.057	66.038	667	66	92	0.9	0.742	4.596	1.099
VI	0.7	33.019	23.585	714	21	26	0.8	-0.357	3.497	1.253
VII	0.2	9.434	0	0	5	5	0.5	-1.609	2.244	-1.609

表 3 为黄土高原丘陵区不同坡向文冠果的静态生命表。从表 3 可以看出,文冠果种群不同生境静态生命表与其种群(总和)标准生命表中各指标的变化趋势一致,但因环境条件的差异,不同坡向文冠果种群的死亡率、期望寿命、消失率等参数显著不同,

说明植物种群生命表特征是种群生物学特性与环境因素共同作用的结果^[21]。

由表 3 可见,阳坡、半阴坡文冠果种群在 I、II 龄级时的死亡量分别为 333.33,247.62 和 339.81,271.84,进入衰老期(V 龄级)的存活数分别为 3 和

2.5 株/dam²。半阳坡文冠果幼苗数量较多,Ⅰ、Ⅱ龄级时的死亡量分别为 377.62 和 592.07,进入衰老期时的存活数仅为 0.8 株/dam²,说明文冠果种群密度越大,竞争越激烈,死亡量越高。文冠果种群期望寿命峰值出现的龄期在不同坡向样地间也有差异,阳坡期望寿命峰值出现在Ⅰ龄级,半阳坡、半阴坡期望寿命峰值均出现在Ⅲ龄级,说明阳坡光照条件完全满足文冠果生长的需要,繁殖特性也决定了种内不存在激烈的竞争,生存质量好;但随着年龄的增加,期望寿命值逐渐降低,生存能力也逐渐降低。

表 3 黄土高原丘陵区不同坡向文冠果种群的静态生命表

Table 3 Static life table of *X. sorbifolia* population at different slope aspects in hilly area of Loess Plateau

坡向 Aspect	龄级(x) Age class	存活数(a _x)/ (株·dam ⁻²) Survival number	存活量 (L _x) Survival	死亡量 (d _x) Death number	死亡率(q _x) Mortality rate	区间寿命 (L _x) Span life	总寿命 (T _x) Total life	期望寿命 (e _x) Life expect	ln a _x	ln L _x	消失率 (K _x) Vanish rate
阳坡 Sunny slope	Ⅰ	10.5	1 000.00	333.33	333	833	2 252	2.3	2.351	6.908	0.405
	Ⅱ	7.0	666.67	247.62	371	543	1 419	2.1	1.946	6.502	0.464
	Ⅲ	4.4	419.05	38.1	91	400	876	2.1	1.482	6.038	0.095
	Ⅳ	4.0	380.95	95.24	250	333	476	1.2	1.386	5.943	0.288
	Ⅴ	3.0	285.71	0	0	143	143	0.5	1.099	5.655	1.099
半阳坡 Semi-sunny slope	Ⅰ	42.9	1 000.00	377.62	378	811	1 209	1.2	3.759	6.908	0.474
	Ⅱ	26.7	622.38	592.07	951	326	397	0.6	3.285	6.434	3.022
	Ⅲ	1.3	30.30	6.99	231	27	71	2.3	0.262	3.411	0.262
	Ⅳ	1.0	23.31	4.66	200	21	44	1.9	0	3.149	0.223
	Ⅴ	0.8	18.65	4.66	250	16	37	2.0	-0.22	2.926	0.288
	Ⅵ	0.6	13.99	0	0	7	7	0.5	-0.51	2.638	-0.511
半阴坡 Semi-shady slope	Ⅰ	10.3	1 000.00	339.81	340	830	2 306	2.0	2.332	6.908	0.415
	Ⅱ	6.8	660.19	271.84	412	524	1 476	2.2	1.917	6.493	0.531
	Ⅲ	4.0	388.35	77.67	200	350	952	2.5	1.386	5.962	0.223
	Ⅳ	3.2	310.68	67.96	219	277	602	1.9	1.163	5.739	0.247
	Ⅴ	2.5	242.72	106.80	440	189	325	1.3	0.916	5.492	0.580
	Ⅵ	1.4	135.92	67.96	500	102	136	1.0	0.336	4.912	0.693
	Ⅶ	0.7	67.96	0	0	34	34	0.5	-0.360	4.219	-0.357

2.3 文冠果种群在不同生境下的存活曲线

存活曲线反映了种群个体在各年龄阶段存活数量的动态变化,能更直观地反映生物个体发育阶段对种群数量的调节状况^[13,22-23]。从图 3 可以看出,文冠果种群(总和)及各生境存活曲线接近于 De-vey Ⅲ型曲线,即各生境Ⅰ、Ⅱ龄级死亡率均较高,种群数量急剧降低,随着年龄的增加,死亡率逐渐趋于稳定。种群幼龄死亡率高,表明幼龄期属于种群最脆弱的时期,此时应加强苗木保护,这是文冠果种群恢复的有力措施之一。幼龄死亡率高主要与环境、种内竞争有很大关系,经过强烈的光照及种内竞争筛选之后,种群保持相对稳定,死亡率维持在较低水平。比较不同坡向文冠果种群的存活曲线可以看出,阳坡、半阴坡幼龄死亡率均低于半阳坡,这主要与文冠果在不同生境中的繁殖策略有关。

分布在半阳坡、半阴坡的文冠果种群在幼龄时受光照条件的严重制约,生存质量较差,经环境条件严格筛选之后,文冠果进入主林层,生理活动达到旺盛期,此时生存质量最好;但随着年龄的继续增加,文冠果逐渐趋于衰老,生存质量逐渐降低。阳坡、半阴坡文冠果种群消失率最大值分别出现在Ⅴ龄级和Ⅵ龄级,主要与生理衰老有关;半阳坡文冠果种群消失率最大值出现在Ⅱ龄级,主要与繁殖策略造成的种内竞争有关。

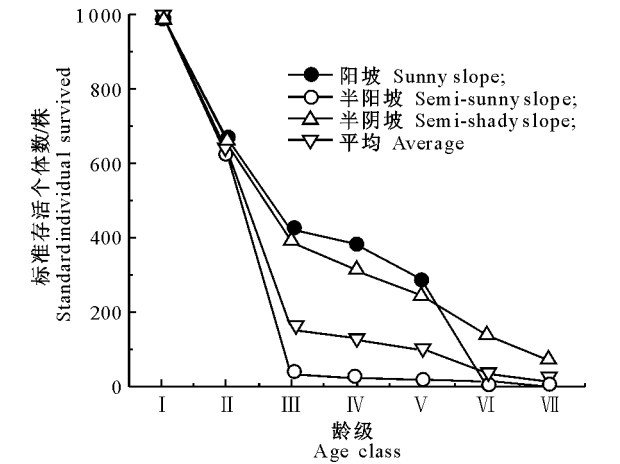


图 3 黄土高原丘陵区不同坡向文冠果种群的存活曲线
Fig. 3 Survival curves of *X. sorbifolia* population at different slope aspect in hill area of Loess Plateau

2.4 文冠果种群在不同生境的空间分布格局

从表 4 可以看出,文冠果种群在不同坡向下均符合负二项分布模型,呈聚集分布,这主要是由文冠果的繁殖方式、分布特点及环境的异质性引起的。文冠果萌生力较强,这一特点决定了文冠果具有较

大的聚集强度。文冠果繁殖方式和萌苗数量不同,聚集强度在不同生境中表现各异。文冠果在阳坡、半阳坡、半阴坡 3 种生境中的聚集程度表现出“低、高、低”的变化格局。由于半阳坡光照、水分条件适中,故种群的聚集强度较高。

表 4 黄土高原丘陵区不同坡向文冠果种群的分布格局

		聚集强度参数 Index of cluster intensity						分布型 Pattern
项目 Item		拥挤度(m^*) Congestion	负二项参数 (K) Parameter of negative binominal	扩散系数 (C) Dispersion coefficient	Cassie 指标($1/K$) Cassie index	丛生指标 (I) Cluter index	聚块性指标 (m^*/m) Patchiness	
坡向 Slope	阳坡 Sunny slope	1.795 6	—13.650 6	0.858 1	—0.073 3	—0.141 9	0.926 7	A,B
	半阳坡 Semi-sunny slope	9.506 2	0.534 8	7.193 7	1.869 8	6.193 7	2.869 8	A
	半阴坡 Semi-shady slope	6.089 5	0.894 4	4.214 5	1.118 1	3.214 5	2.118 1	A
年龄阶段/年 Age group	1~10	1.366 7	0.576 9	1.866 7	1.733 3	0.866 7	2.733 3	A
	10~20	1.083 3	2.250 0	1.333 3	0.444 4	0.333 3	1.444 4	A,B
	>20	0.397 2	16.875 7	1.022 2	0.059 3	0.022 2	1.059 3	A,B

注:A.负二项分布;B.泊松分布。
Note:A. Negative binominal distribution;B. Poisson distribution.

种群在不同发育阶段的分布格局反映了其占据空间的能力与生存策略的调整^[10]。从表 4 可以看出,文冠果在不同发育阶段的分布类型没有变化,但聚集强度在不同年龄阶段表现不同。文冠果在 1~10 年聚集强度最大,这是由文冠果的繁殖特性及分布特点决定的,其在幼苗、幼树阶段聚集强度较大;经环境的筛选,种群在 10~20 年有扩散的趋势;大于 20 年后,随着龄级的增加,伴随着生理衰老、人为干扰及动物啃食后通过排出的粪便传播种子到异地,使种群的扩散趋势进一步加大。

3 结论与讨论

3.1 文冠果种群的繁殖方式及生理衰老期

文冠果喜光、耐旱、耐贫瘠,也是未来生物质能源发展的重要树种之一。在陕西富县,其主要分布在黄土高原丘陵区的阳坡、半阳坡、半阴坡,还有部分零星分布在向阳的崖面。文冠果的繁殖方式有有性繁殖和无性繁殖 2 种,无性繁殖主要以根基萌苗为主,一般只有在根系受损之后才会出现。在本研究所述的陕西富县调查区,文冠果多为天然分布,调查样地文冠果种群幼苗库量较大,总体呈进展型。但在幼龄期由于受到周围灌木或乔木遮光的影响,Ⅱ龄级时弱势个体因竞争力差而从顶端逐渐枯死,最后整株死亡,因此,文冠果种群在Ⅱ龄级时死亡率较高。随着年龄的增加,在Ⅴ、Ⅵ龄级再次出现死亡高峰。通过调查发现,文冠果进入Ⅴ龄级时枯枝率增大,新稍萌发率降低。据统计,Ⅴ龄级文冠果平均

每株枯枝数达到 219 个,平均每株新稍数有 90 个;Ⅵ龄级平均每株枯枝数为 140 个,平均每株新稍数为 160 个,这说明Ⅴ、Ⅵ龄级文冠果已经进入衰老阶段。

3.2 文冠果种群最适生境及抚育措施

王洪义等^[24]认为,种子繁殖所产生的基株在新的位点上仍先进行营养繁殖,发展到一定规模后又受密度制约而进行种子繁殖,这样循环往复,整个植物种群逐步向外扩张。本研究中文冠果的种群扩展方式与上述报道吻合。不同坡向文冠果聚集度和繁殖方式有差异,半阳坡水分、光照条件最适合文冠果的聚集,是文冠果最适的生境,其主要以根基萌苗方式进行无性繁殖。阳坡、半阴坡聚集度较小,主要以种子方式进行有性繁殖,种子后代扩散的距离远远大于无性后代,体现出种子后代具有拓殖新生境的能力^[25],所以其种群占据空间的能力大,聚集度较低。文冠果在不同发育阶段聚集度也有差异,本研究结果表明,幼龄阶段文冠果聚集度较高,随着龄级的增加,受密度的制约,种子进行新生境的拓殖,聚集度逐渐降低。另外,生理衰老、人为干扰及动物啃食的影响也会使聚集度有所降低。

种子萌发、幼苗形成及早期生长过程是植物生活史中最脆弱的阶段,也是物种能否成功定局的关键,由于受干旱、极端温度、极端光照等环境因素的影响,这一阶段通常与高的死亡率联系在一起^[26-27]。文冠果种皮厚且坚硬,发芽时间长,次年春天仍有前一年春天未萌发的种子才开始萌发。在黄土高原丘

陵区的阳坡、半阴坡,母树仅有的种子落地后有以性方式繁殖,种子萌发时间长以及种子萌发、幼苗生长对环境条件要求高等因素,可能是其种群密度小、幼苗数量少的主要原因。半阳坡文冠果主要以无性方式进行繁殖,幼苗由于有母体的供养而更容易安全度过幼龄期,从而实现成功定居,避免了异质环境对存活率造成的影响,因此,种群密度大,幼苗数量相对较多。

根据天然文冠果的生境特点和种群繁殖特性,在黄土高原丘陵区人工栽培文冠果时,要充分考虑立地条件,选择光照充足、排水良好的立地作为栽培地。对于天然的文冠果而言,斑块式分布是其主要存在方式,因此首先要加强林区管理,严禁周边农民上山采摘果实,提高种群幼苗更新数量;其次在文冠果天然林抚育管理中,对幼龄期文冠果密度较大的斑块分布地应及时进行抚育间伐,以减少水分和养分的竞争,同时对其周围遮光较多的其他林木进行砍伐,增加透光度,促进文冠果个体生长;在老龄期,应通过合理修剪,促进新枝萌发,培养树势,促进有性生殖,提高开花和结实率。

[参考文献]

- [1] 张文辉,徐晓波,周建云,等.濒危植物秦岭冷杉种群数量动态[J].应用生态学报,2005,16(10):1799-1804.
Zhang W H, Xu X B, Zhou J Y, et al. Population dynamics of endangered plant species *Abies chensiensis* [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(10): 1799-1804. (in Chinese)
- [2] 韩照祥,王慧娟,张文辉,等.不同地区不同尺度下栓皮栎种群的空间分布格局[J].西北植物学报,2005,25(6):1216-1221.
Han Z X, Zhu H J, Zhang W H, et al. Spatial distribution patterns of *Quercus variabilis* population in different regions by different measurement yardsticks [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2005, 25(6): 1216-1221. (in Chinese)
- [3] 叶玉彩,杜晓红,陈鲜霞.文冠果生态特性及栽培[J].林业实用技术,2005(7):35-36.
Ye Y C, Du X H, Chen X X. Ecological character and cultivation of *Xanthoceras sorbifolia* Bunge [J]. Practical Forestry Technology, 2005(7): 35-36. (in Chinese)
- [4] 申登峰.甘肃黄土高原沟壑区黄土高原种植发展研究[J].甘肃林业,2008(6):34-35.
Shen D F. The research of cultivation development of *Xanthoceras sorbifolia* Bunge in Gansu Hill Area of Loess Plateau [J]. Journal of Gansu Forestry Science, 2008(6): 34-35. (in Chinese)
- [5] 周庆源,傅德志.文冠果生殖生物学的初步研究[J].林业科学,2010,46(1):158-162.
Zhou Q Y, Fu D Z. Preliminary studies on the reproductive biology of *Xanthoceras sorbifolia* [J]. Forest Sciences, 2010, 46(1): 158-162. (in Chinese)
- [6] 王雪峰,胥辉,陈艳云.一年生文冠果苗高生长规律[J].西南林学院学报,2009,29(6):28-33.
Wang X F, Xu H, Chen Y Y. Study on the annual height growth law of 1-year *Xanthoceras sorbifolia* seedlings [J]. Journal of Southwest Forestry College, 2009, 29(6): 28-33. (in Chinese)
- [7] 丁明秀,敖妍.文冠果开花坐果研究进展[J].中国农学通报,2008,24(10):381-384.
Ding M X, Ao Y. Research progress on the flowering and fruit set of *Xanthoceras sorbifolia* Bunge [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2008, 24(10): 381-384. (in Chinese)
- [8] 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.
Gao X M, Wang W, Du X J, et al. Size structure, ecological significance and population origin of *Quercus uvtaishanica* forest in Beijing mountain area [J]. Acta Phytocologica Sinica, 2001, 25(6): 673-678. (in Chinese)
- [9] 张文辉,卢志军,李景侠,等.秦岭北坡栓皮栎种群动态的研究[J].应用生态学报,2003,14(9):1427-1432.
Zhang W H, Lu Z J, Li J X, et al. Population dynamics of *Quercus variabilis* on northern slope of Qinling Mountains [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(9): 1427-1432. (in Chinese)
- [10] 张文辉,卢彦昌,周建云,等.巴山北坡不同干扰条件下栓皮栎种群结构与动态[J].林业科学,2008,44(7):11-16.
Zhang W H, Lu Y C, Zhou J Y, et al. Population structure and dynamics of *Quercus variabilis* in different habitats on northern slope of Bashan mountain [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2008, 44(7): 11-16. (in Chinese)
- [11] 张文辉,徐学华,李登辉,等.黄土高原丘陵沟壑区封禁30年前后狼牙刺种群动态研究[J].应用生态学报,2006,17(2):182-186.
Zhang W H, Xu X H, Li D H, et al. Dynamics of *Sophora davidii* population in a hilly region closed for thirty years in Loess Plateau [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006, 17(2): 182-186. (in Chinese)
- [12] Chapman J I, Reiss M J. Ecology principles and applications [M]. 2nd ed. Beijing: Tsinghua University Press, 2001: 23-48.
- [13] 张文辉.裂叶沙参种群生态学研究[M].哈尔滨:东北林业大学出版社,1998:44-54.
Zhang W H. Population ecological research on *Adenophora lobophylla* [M]. Harbin: Northeast Forest University Press, 1998: 44-54. (in Chinese)
- [14] 江洪.云杉种群生态学[M].北京:中国林业出版社,1992:8-50.
Jiang H. The population ecology of *Picea asperata* [M]. Beijing: China Forestry Press, 1992: 8-50. (in Chinese)
- [15] 李博.普通生态学[M].呼和浩特:内蒙古大学出版社,1993:74-77.
Li B. General ecology [M]. Huhehaote: Inner Mongolia Uni-

versity Press,1993:74-77. (in Chinese)

[16] Manuel C M. Ecology:concept and application [M]. Beijing: Science Press,2000:162-226.

[17] 周纪纶,郑师章,杨 持. 植物种群生态学 [M]. 北京:高等教育出版社,1992:71-80.

Zhou J L,Zheng S Z,Yang C. Plant population ecology [M]. Beijing:Higher Education Press,1992:71-80. (in Chinese)

[18] 张金屯. 植被数量生态学方法 [M]. 北京:中国科技出版社,1995:123-177.

Zhang J T. Mathematical ecology method of plantation [M]. Beijing:China Science and Technology Press,1995:123-177. (in Chinese)

[19] Pielou E C. Mathematical ecology [M]. 2nd ed. Lu Z Y, translate. Beijing:Science Press,1998:119-193.

[20] Legendre P, Fortin M J. Spatial pattern and ecological analysis [J]. Vegetatio,1989,80:107-138.

[21] Manuel C, Molles J. Ecology concept and application [M]. 2nd ed. New york:McGraw-Hill Company,2002:186-254.

[22] Crawley M J. Plant ecology [M]. London:Blackwell Scientific Publication,1980:97-185.

[23] Fuchsa M A, Krannitzd P G, Harestad A S. Factors affecting emergence and first-year survival of seedlings of Garry oaks (*Quercus garryana*) in British Columbia [J]. Canada For Ecol Man,2000,137:209-219.

[24] 王洪义,王正文,李凌浩,等. 不同生境中克隆植物的繁殖倾向 [J]. 生态学杂志,2005,24(6):670-676.

Wang H Y,Wang Z W,Li L H,et al. Reproductive tendency of clonal plants in various habitats [J]. Chinese Journal of Ecology,2005,24(6):670-676. (in Chinese)

[25] 张玉芬,张大勇. 克隆植物的无性与有性繁殖对策 [J]. 植物生态学报,2006,30(1):174-183.

Zhang Y F,Zhang D Y. A sexual and sexual reproductive strategies in clonal plants [J]. Journal of Plant Ecology,2006,30(1):174-183. (in Chinese)

[26] Du Y J,Huang Z L. Effects of seed mass and emergence time on seedling performance in *Castanopsis chinensis* [J]. Forest Ecology and Management,2008,255:2495-2501.

[27] Padilla F M,Miranda J D,Pugnaire F I. Early root growth plasticity in seedlings of three Mediterranean woody species [J]. Plant Soil,2007,296:103-113.

(上接第 60 页)

[29] 高贤明,杜晓军,王中磊. 北京东灵山区两种生境条件下辽东栎幼苗补充与建立的比较 [J]. 植物生态学报,2003,27(3):404-411.

Gao X M,Du X J,Wang Z L. Comparison of seedling recruitment and establishment of *Quercus wutaishanica* in two habitats in Dongling Mountain area, Beijing [J]. Acta Phytocologica Sinica,2003,27(3):404-411. (in Chinese)

[30] 卢彦昌,张文辉,陆元昌. 黄龙山林区不同培育措施对辽东栎种群结构与动态的影响 [J]. 西北植物学报,2006,26(7):1407-1413.

Lu Y C,Zhang W H,Lu Y C. Effects of different management practices on population structure and dynamics of *Quercus liaotungensis* [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica,2006,26(7):1407-1413. (in Chinese)

[31] 陈智平,王 辉,袁宏波. 子午岭辽东栎林土壤种子库及种子命运研究 [J]. 甘肃农业大学学报,2005,40(1):7-12.

Chen Z P,Wang H,Yuan H B. Studies on soil seed bank and seed fate of *Quercus liaotungensis* forest in the Ziwu Mountains [J]. Journal of Gansu Agricultural University,2005,40(1):7-12. (in Chinese)

[32] 马 杰,阎文杰,李庆芬,等. 东灵山辽东栎虫损种子调查 [J]. 生态学杂志,2008,27(2):282-285.

Ma J,Yan W J,Li Q F,et al. Insect infestation of *Quercus liaotungensis* acorns in Dongling Mountain of Beijing [J]. Chinese Journal of Ecology,2008,27(2):282-285. (in Chinese)

[33] 陈 莉,程积民,万惠娥,等. 子午岭辽东栎天然林土壤种子库研究 [J]. 水土保持研究,2009,16(4):151-155.

Chen L,Cheng J M,Wan H E,et al. A study on the soil seed bank of a natural forest of *Quercus liaotungensis* in Ziwluling Moutain [J]. Research of Soil and Water Conservation,2009,16(4):151-155. (in Chinese)

[34] 张知彬. 埋藏和环境因子对辽东栎 (*Quercus liaotungensis* Koidz) 种子更新的影响 [J]. 生态学报,2001,21(3):374-384.

Zhang Z B. Effect of burial and environmental factors on seedling recruitment of *Quercus liaotungensis* Koidz [J]. Acta Ecologica Sinica,2001,21(3):374-384. (in Chinese)

[35] Li H J,Zhang Z B. Effect of rodents on acorn dispersal and survival of the Liaodong oak *Quercus liaotungensis* Koida [J]. Forest Ecology and Management,2003,176:387-396.

[36] 贺顺钦,王发其. 辽东栎苗木早期生长与光的关系 [J]. 林业科学研究,2001,14(6):697-700.

He S Q,Wang F Q. Relationship between the seedling growth of *Quercus liaotungensis* and light [J]. Forest Research,2001,14(6):697-700. (in Chinese)