

锐齿槲栎林的天然更新

——坚果、幼苗库和径级结构

王中磊, 高贤明*

(中国科学院植物研究所数量植被生态学重点实验室, 北京 100093)

摘要:对四川茂县地区的锐齿槲栎(*Quercus aliena* var. *acuteserrata*)天然次生林进行研究,发现:(1)坚果完好比例约在 14%~26%之间,完好坚果的发芽率和发芽势都比较高,但在天然状况下能够留存到隔年 5 月的坚果几乎没有。因此,实生幼苗的天然补充就受到了严重的限制。(2)林缘的幼苗密度低于所有其它生境的($p < 0.05$),林中的幼苗密度最高,和林窗的比较有显著差异($p < 0.05$),而和灌丛的比较则没有差异。在灌丛幼苗密度和林中以及林窗的比较都没有差异。动物对坚果的取食速度则是林中的最慢(10.0%),林窗和林缘的相同(分别为 61.1%和 66.5%),都比较快($p < 0.01$)。(3)林中的幼苗在小于 100 cm 的各高度内都有大量分布,说明在林中树冠下幼苗是可以长期存在的,在幼苗和种子阶段的锐齿槲栎可能是耐荫的。(4)在林中缺失幼树,在林缘则有包括幼树在内的完整的更新大小系列,表明林缘也可以成为更新的关键地点。(5)在栎林的每一个大小级别上,萌生个体和实生个体都按各种比例伴生,说明导致萌生的干扰一直在发生,并可能在森林的更新中扮演重要角色;也说明该地区的锐齿槲栎林由萌生和实生起源的个体混合组成。

关键词:锐齿槲栎;啮齿动物;坚果;林缘;大小结构;坐待;生境;取食速度

文章编号:1000-0933(2005)05-0986-08 **中图分类号:**Q143,Q948,S718.5 **文献标识码:**A

The regeneration of *Quercus aliena* var. *acuteserrata*: Acorn status, seedling pool and size structure

WANG Zhong-Lei, GAO Xian-Ming* (Laboratory of Quantitative Vegetation Ecology, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(5): 986~993.

Abstract: Sharptooth oak (*Quercus aliena* var. *acuteserrata*) is an important broad-leaved deciduous tree in the subtropical and warm-temperate zones of the Northern Hemisphere, and forests dominated by this oak species are common in the middle range of Minjiang River, Sichuan Province. In order to understand the regeneration of oak forests, which are critical to the restoration of degraded forests in western China, we examined acorn traits, seedling pools and the size structures of sharptooth oak adults in different habitats along the Minjiang River. The results showed that: (1) The rates of acorn filling ranged from 14% to 26%, with nearly 90% of healthy acorns germinating within one week and 99% within 12 days after being experimentally buried in wet sand. However, under natural conditions, only 1% of acorns remained intact enough to germinate by May of the next year. This indicates that there will be sufficient acorns for seedling recruitment only barring predation or translocation by rodents; therefore, rodents may play an important role in acorn fate. (2) Oak seedling density was significantly lower along the forest boundary than in the other habitats ($p < 0.05$); it was the highest in the forest, and significantly different from that in gaps ($p < 0.05$) and along the forest boundary ($p < 0.05$). Predation rates along the forest boundary and gap were similar (66.5% and 61.1%, respectively, and $p > 0.05$), but significantly higher than in the forest (10%, $P < 0.01$). By comparing the breast section areas among different habitats, it could be concluded that the acorn

基金项目:中国科学院知识创新工程重大资助项目(KSCX1-07-01-02)

收稿日期:2004-02-19; **修订日期:**2004-11-08

作者简介:王中磊(1975~),男,甘肃民乐人,博士生,主要从事森林生态系统的恢复和演替研究。

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: xmgao@ibcas.ac.cn

Foundation item: the Pilot Project of Knowledge Innovation Program of Chinese Academy of Sciences(No. KSCX1-07-01-02)

Received date: 2004-02-19; **Accepted date:** 2004-11-08

Biography: WANG Zhong-Lei, Ph. D. candidate, mainly engaged in restoration ecology.

production in the forest and along the forest boundary are higher than that in the brushland and gap. We propose that the low seedling density along the forest boundary might be partly caused by the high predation pressure of rodents on acorns, and the relatively high seedling densities in brushland or gap partly be caused by rodent's burying acorns. Correspondingly, the highest seedling densities in the forest may be caused by high acorn densities and low predation pressure. (3) Seedling heights ranged from 0 to 100 cm under the dense canopies of the oak, implying that some of the seedlings might have been growing for several years. The results might also show that the seedling pool had long existed under oak forest canopies. Therefore, *Q. aliena* is likely shade-tolerant at the seedling stage. (4) Saplings were not found in the forest, implying a failure to regenerate. As a seedling pool appeared in the forest, oak might have evolved a kind of "sit and wait" strategy for regeneration, as previously suggested. Forest boundaries included complete regeneration size structure series, although saplings were far fewer than seedlings or mature trees. This indicates that *Q. aliena* could accomplish regeneration along the forest boundary, despite the regeneration deficit due to the "bottleneck" size structure in this habitat. Furthermore, the forest boundary, as a kind of ecotone, might play an important role in forest regeneration. (5) In every size class, oak forests were composed of both individuals developing from acorns and those from stump plants. This reflects the long-term disturbance of oak forests in this region and the important role of disturbance in regeneration, dynamics and stability of such forests.

Key words: sharptooth oak (*Quercus aliena* var. *acuteserrata*); rodent; forest boundary; size class; gap; sit and wait strategy

锐齿槲栎林(*Quercus aliena* var. *acuteserrata*)是一种广泛分布于亚热带和温带地区的落叶阔叶林,在秦岭分布在 1 300~1 700 m 范围内,与短柄枹(*Quercus serrata* var. *brevipetiolata*)、栓皮栎(*Quercus variabilis*)等混生^[1],而在太白山北坡水热条件最好的地方,锐齿槲栎林的物种丰富度、多样性指数和均匀度都大于辽东栎林^[2],在河南伏牛山分布的锐齿槲栎群落乔灌层多样性指数也最高^[3],在天水小陇山 1 500~1 800 m 地区的锐齿栎群落可以分成纯林和混交林两大类^[4],在大别山北坡 800~1 200 m 阴湿生境中的锐齿槲栎林则和金缕梅(*Hamamelis* sp.)、灯台树(*Cornus controversa*)等形成杂木林^[5]。另有一些研究指出,锐齿槲栎是不耐荫树种。这些研究对于帮助了解锐齿槲栎林更新的规律,有效恢复栎林的天然面貌都有重要的意义^[6]。但是多数研究对锐齿槲栎林的具体更新过程缺乏直接的调查,也没有用试验手段来研究更新中的几个重要过程;部分研究虽然发现了锐齿槲栎林中大小结构的重要特点:只见幼苗不见幼树^[6~8],却没有回答幼树缺乏的原因。

本文通过全面调查和栎林更新相关的绝大多数方面,包括坚果的完好、留存、萌发状况,幼苗的密度和动物对坚果的取食速度随生境条件不同而发生的变化,天然更新随生境的不同状况以及实生萌生的比例,来理解锐齿槲栎从坚果、幼苗到动物取食和更新成功等一个完整的更新世代的情况,并证明栎林在更新和起源方面的一些规律。

1 自然概况与研究方法

1.1 研究地点自然概况

四川茂县地区位于我国的西南部,位于 102°56'~104°10'E,31°25'~32°16'N,该区域的山脊为岷江流域和涪江流域的分水岭。植被、土壤垂直带谱明显。海拔<1 500 m,为新积土,以农田为主;海拔 1 500~2 100 m 为褐土,主要为锐齿槲栎、枹栎(*Quercus serreta*)、榛(*Corylus* sp.)等落叶阔叶林或锐齿槲栎萌生丛等自然植被;海拔 2 100~2 800 m 为棕壤,主要有云杉(*Picea* sp.)、油松(*Pinus tabulaeformis*)、日本落叶松(*Larix kaempferi*)等人工林。该地区的气候为高原型季风气候,干燥多风,干燥度 1.74,干湿季交替明显,11~翌年 4 月份为干季,5~10 月份为湿季,降雨量的 80%左右在湿季。年均温 11℃,年降水量 484.8 mm,年蒸发量 1 355.7 mm,光照较足,日照率为 35%~55%^[9,10]。

1.2 样地概况

样地位于茂县光明乡马蹄村林区和中国科学院成都生物所茂县生态站所属林区(表 1)。从 2002 年 9 月 26 日开始,在锐齿槲栎纯林保存良好的马蹄村的青冈岭、椅子卷、马三湾等山岭上设立林中样方(样方中心距林缘距离>40 m),林缘样方(样方中心在林缘)和林窗样方。在茂县生态站设置锐齿槲栎灌丛样方。

1.3 研究方法

1.3.1 坚果

(1)坚果完好比例测定 在 2002 年 10 月中旬落果高峰期从林下随机的选择了 1 m² 的样方 44 个,收集其中所有坚果,共有 2 568 粒,用目测、手捏、剖开等方法,测量不完好坚果(发育不正常、腐烂、虫蛀、霉烂以及其它可能影响萌发的特点的坚果)的数量。为了准确,在 2003 年 11 月中旬坚果高峰期再次随机收集坚果 2 359 粒,做同样的统计。

(2)坚果沙藏萌发试验 从林下自然掉落不久的完好坚果 211 粒在室外湿润沙藏条件下做萌发试验,并在第 7 天后测量发芽势,12d 后测量发芽率。

表 1 17 个样方的基本情况

Table 1 The characteristics of the 17 plots

样地 Plot	地点 Site	面积 Area (hm ²)	海拔 Alt. (m)	乔/灌盖度 Tree/ Brush cov. (%)	土壤厚度 Depth of soil (cm)	胸径总断面积 Q. Ba(m ² /hm ²)	样方特征 Plot features *
1	青冈岭 Qinganling	0.04	1800	90/0	100	86.5	林中 ^①
2	青冈岭 Qinganling	0.04	1800	80/0	100	121.2	林中
3	青冈岭 Qinganling	0.04	1800	90/0	100	91.5	林中
4	青冈岭 Qinganling	0.04	1800	85/0	80	82.7	林中
5	椅子卷 Yizijuan	0.04	1780	90/0	60	69.2	林中
6	椅子卷 Yizijuan	0.04	1780	90/0	150	52.5	林中
7	马三湾 Masanwan	0.04	1750	60/60	70	30.4	林缘 ^②
8	马三湾 Masanwan	0.04	1750	50/60	70	28.5	林缘
9	马三湾 Masanwan	0.04	1760	55/50	50	25.5	林缘
10	椅子卷 Yizijuan	0.04	1760	50/20	50	22.5	林缘
11~14	生态站 The Ecological Station	0.01×4	1600	0/80	120	0.00	灌丛 ^③
15~17	椅子卷 Yizijuan	0.0144×3	1760	30/40	150	0.00	林窗 ^④

* ① represents inside the forest; ② represents the forest boundary; ③ represents brushland and 4 gap

(3)坚果在天然状况下过冬后的命运 由于上述完好坚果发芽率接近 100%,在 2002 年 10 月下旬,另选择 3 个位于半阳坡的灌丛样地,主要的灌木有川榛 *Corylus heterophylla* var. *sutchuenensis*、胡颓子 *Elaeagnus pungens* Thunb.、箭竹 *Fargesia* Sp. 和辽东栎 *Quercus liaotungensis* Koidz 等。收集完好坚果 400 粒连同刚萌发坚果 210 粒按 10 个为 1 组在 3 个样地上分别随机放置 20、20、21 组,越冬后在 2003 年 5 月观测其最终萌发和留存情况。

1.3.2 动物对在不同生境条件下坚果的取食速度 2002 年 9 月 26 日开始,在林窗和林缘生境的样地中随机设置了 48 个点,在林中样地中随机设置 18 个点,每个点上放置 10 枚完好的锐齿槲栎坚果。经历某一时间,即当一种生境下的样地中 90% 以上坚果最早取食(包括被就地捕食或者搬运)时,统计各生境下的坚果被取食的比例,作为该生境条件下啮齿动物对坚果的取食速度。

1.3.3 幼苗库 幼苗研究中也常采用高度来分级,高度级的划分标准则因人而异^[11]。详细调查所有样地中幼苗(高度<1.5 m)的高度以及萌生或实生特性,计算密度。对萌生苗按照 1 个根萌发枝条为 1 个幼苗来计算,实生则按 1 粒坚果萌发出的为 1 个幼苗来计算。

1.3.4 径级大小结构 以径级结构代替年龄结构研究种群动态得到了广泛的应用^[12~14]。对 1~10 号样地中的所有高度 ≥ 1.5 m 的锐齿槲栎,调查其胸径、树高以及萌生或实生起源特性。一般而言,树高和胸径成递增关系^[15],取 17 株 1.5 m 高的幼苗,测算平均胸径以确定胸径测量数据的下限。

1.3.5 数据处理 坚果的数据计算平均值。对不同生境下的取食速度,用 SPSS10.0 做 One-way ANOVA 方差分析和多重比较。

对林中和林缘的幼苗库数据,以高度大小为横坐标,幼苗数量为纵坐标,做幼苗高度大小结构柱形图,计算实生萌生植株的相对数量。为了便于相互比较,统一取林中、林缘、林窗和灌丛中 50 cm(包括 50 cm)以下的实生幼苗数量来计算幼苗密度,用 SPSS10.0 软件做方差分析和多重比较。对林中和林缘的胸径数据,以胸径大小级为横坐标,株数为纵坐标,做胸径大小级分布图,计算萌生和实生植株的相对数量。

2 结果与分析

2.1 坚果完好比例、萌发状况及其落地一定时间后的命运

2002 年坚果不完好比例为 13.94%(N=2 568),2003 年的坚果不完好比例有所上升,为 25.65%(N=2 359)。211 粒完好坚果在第 7 天的发芽势为 90.5%,在第 12 天的发芽率为 99.5%。坚果放置在天然状况下的命运如下:坚果被取食的平均比例为 99.0%,而在 3 个样地中的留存率则分别为 2.80%、0 和 0。

2.2 动物对在林中、林缘和林窗等 3 种生境中坚果的取食速度

动物对在林中、林缘和林窗中坚果的取食速度之间存在极显著差异($F=18.069,df=2,p<0.01$)。林缘和林窗的可以视为一组,组内没有差异,而动物对林中坚果的取食速度和这两者比较都有极显著差异,且林缘或林窗的取食速度>林中的(表 2)。

2.3 幼苗库

2.3.1 幼苗随高度大小的数量分布 1~6 号林中样地中,实生幼苗占总数的 78.6%;在 7~10 号林缘样地,则是萌生苗占总数的 85.6%。

在 1~6 号林中样地中,实生和萌生苗的数量均随着高度的增加而急剧减少,到 150 cm 高时基本上没有幼苗。在 7~10 号林缘样地中,实生苗的数量同样随高度的增加而有所减少,而萌生苗的数量变化则表现不出明显的规律(图 1)。

2.3.2 不同生境下幼苗的密度差异 4 种生境下幼苗库中的幼苗密度之间存在显著差异($F=18.069$, $df=2$, $p=0.000$) (表 3)。

结果显示幼苗密度表现为从大到小的 4 个梯度:林中>灌丛>林窗>>林缘;其中,林缘的幼苗密度由于远低于其他生境下的而和所有的都表现出显著差异,林中和灌丛之间、灌丛和林窗之间没有显著差异,而林中和林窗之间则有显著差异。

表 2 动物对在林中、林缘和林窗等 3 种生境中坚果的取食速度之多重比较

Table 2 Multiple comparisons of predation rates of acorns between the inside, the boundary and the gap of forest (by Tamhane method¹⁾)

生境处理 Habitat treatments	比较 Comparisons	方差 Mean difference	标准差 Std. error	显著性 Sig.
林中 Inside forest	林缘 Forest boundary **	-0.5111	0.1027	0.000
	林窗 Gap **	-0.5556	0.1027	0.000
林缘 Forest boundary	林窗 Gap	-0.0444	0.1027	0.970

Tamhane 方法:方差非齐性时运用 Tamhane method; used when the variance is not even; ** 方差在 0.01 水平显著 the mean difference is significant at the level of $p=0.01$

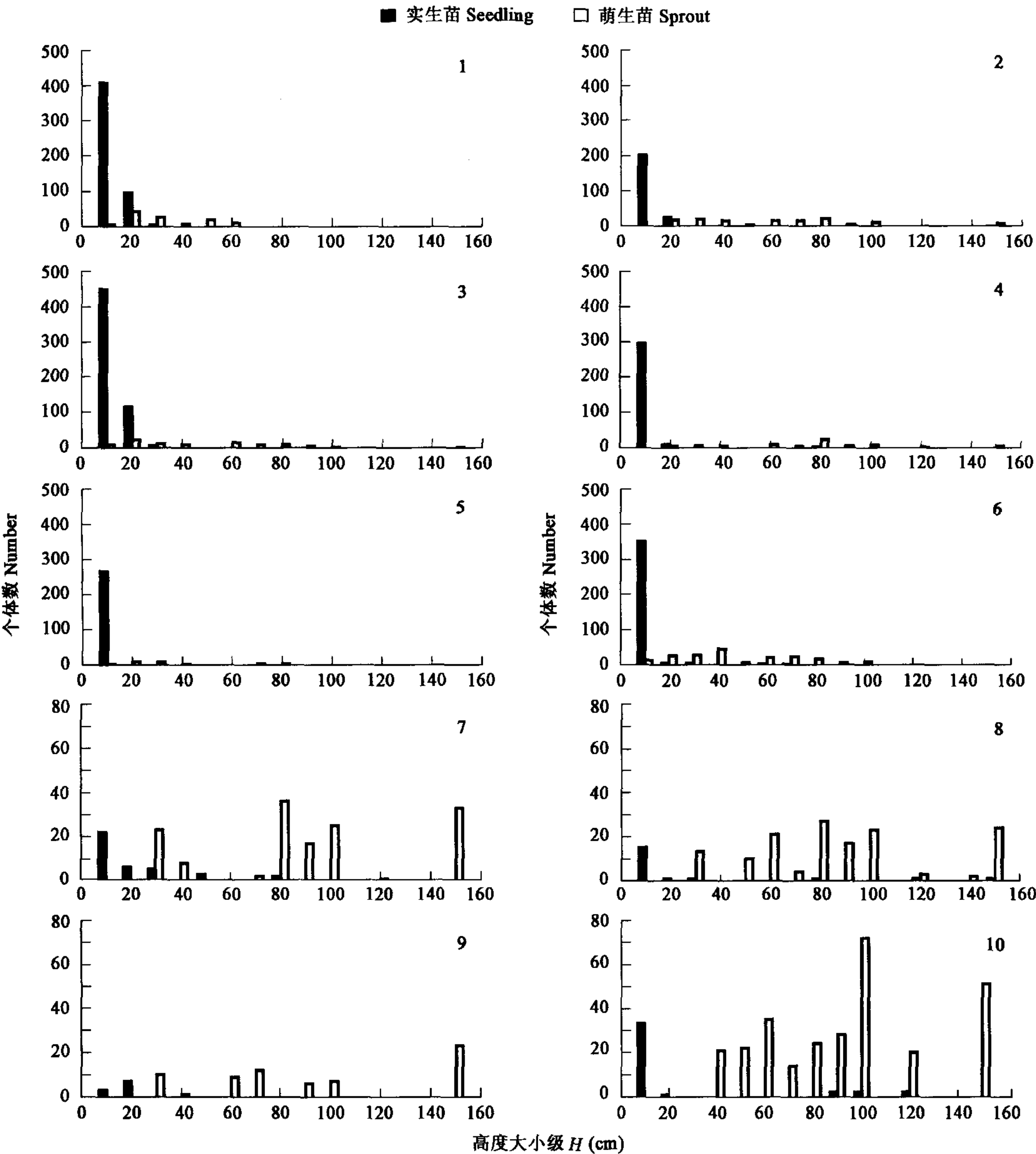


图 1 1~10 号样地幼苗库中幼苗随高度大小级的数量分布
Fig. 1 The height size structure of seedlings in 1~10 plots

2.4 胸径大小级结构

各样地的胸径级大小结构(图 2)显示林中样地中,实生植株的数量占总数的 86.7%($N=263$),萌生植株占其余的 13.3%;在林缘样地中,萌生植株的数量占总数的 77.2%($N=285$),而且多集中在幼苗和幼树阶段(胸径 <6 cm 的阶段),而实生植株占其余的 22.8%。

计算可得 17 株 1.5 m 高的幼苗平均胸径为 1.6 cm。因此,在 1、3、5 号样地中,缺失在 1.6~8.5 cm 径级的植株,而 2、4 号样地中,缺失在 1.6~6.5 cm 径级的植株,6 号样地缺失在 1.6~4.5 cm 径级的植株。在 7~10 号样地中,所有大小级别里都有相当数量的植株。

3 讨论

3.1 锐齿槲栎坚果的完好比例、萌发状况和命运的分析

表 3 不同生境下幼苗的密度及其多重比较(LSD)
Table 3 Seedling densities of seedling pools under different habitats and the multiple comparisons between them(LSD method)

生境 Habitat	平均密度 Densities Mean	不同比较 Comparisons	显著性 Significance
林窗 Gap	0.551	灌丛 Brushland	0.178
		林中 Inside forest *	0.045
		林缘 Forest boundary *	0.020
灌丛 Brushland	0.815	林中 Inside forest	0.471
		林缘 Forest boundary **	0.001
林中 Inside forest	0.931	林缘 Forest boundary **	0.000
林缘 Forest boundary	0.061	林中 Inside forest **	0.000

* The mean difference is significant at the 0.05 level; * * The mean difference is significant at the 0.01 level

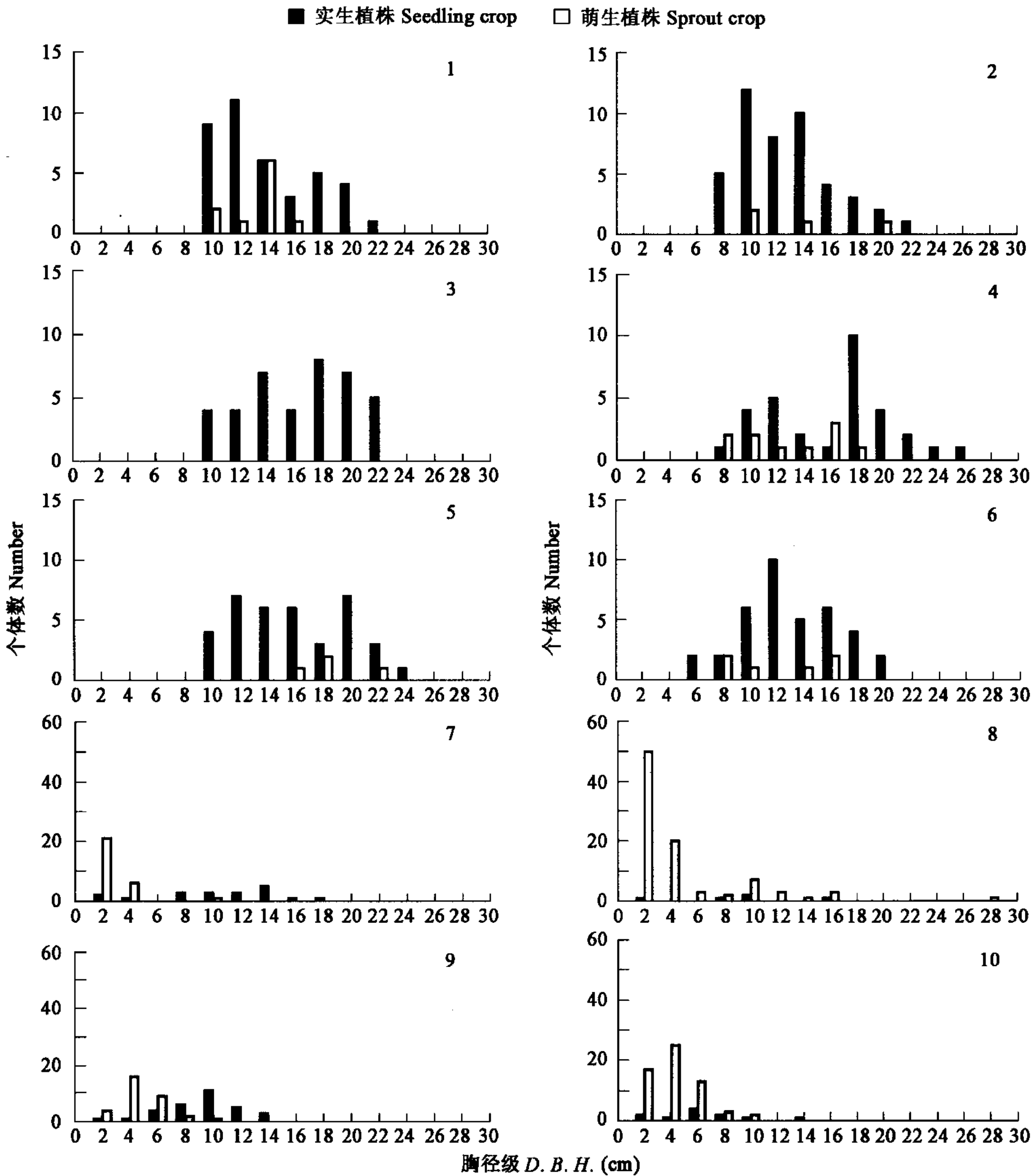


图 2 1~10 号样地的胸径大小级结构

Fig. 2 The D. B. H. size structures in 1~10 plots

完好坚果的比例在 2002 年和 2003 年的变化比较大(从 13.94%到 25.65%)。这一方面含有取样可能的偏差,另一方面也

是其年际生态因子,可能主要是昆虫寄生不同的缘故^[16]。但是即使按照完好状况比较差的 2003 年来看,天然坚果的完好比例还是比较高的,对更新应该没有明显的限制作用。

快速萌发是热带和亚热带许多乔木树种的特征,植物迅速地从种子形成幼苗可避免种子被取食或失去活力^[17]。完好的坚果经沙藏萌发试验说明,其发芽势达到 90.5%,发芽率为 99.5%。这说明坚果在落地后选择了马上萌发的策略。

坚果在自然状态下从 10 月落地到第 2 年春天 5 月后能留存下来的比例非常低。在两个样地中留存比例均为 0,在另一个样地中也仅 2.8%,总平均为 0.5%,说明动物的确是种子库损失的主要原因^[18,19],也证明:如果扩散后的种子取食率比较高,那么自然选择有利于种子迅速萌发而不形成持续的种子库^[20]。在野外,发现这 2.8%的留存坚果被厚厚的凋落物所覆盖,也说明落叶覆盖层可能会提高坚果的留存率^[21,22]。

3.2 锐齿槲栎幼苗库的“坐待(Sit and Wait)”策略

在林中,幼苗的密度接近 1 棵/m²,并在 100 cm 以下的各个高度级别都有分布,而不是由刚萌发的高度比较一致的幼苗构成,说明幼苗在高度郁闭的林下是可以稳定存在的,天然更新所需的幼苗是可以持续得到补充的。幼苗和种子的耐荫性是耦合一致的^[23],因此,锐齿槲栎在幼苗和种子阶段可能是耐荫的。这种耐荫性可能的意义可能在于为更新提供一个稳定的幼苗库,保证其在干扰后的恢复,可能是一种“坐待”策略,这种策略在 *Rumex acetosello* 的根芽萌发对环境干扰之反应的研究^[24]和其它植物更新研究^[25]中也已经发现。

3.3 幼苗密度和动物对坚果的取食速度及其相互关系

在一定范围内结实量和植株大小成正比,平均胸径断面积林中>林缘>林窗或者灌丛,坚果密度和产量也应该是林中>林缘>林窗或灌丛。一般而言,相应的实生幼苗密度也应该是遵循上面的大小顺序。但本次研究中,林中的幼苗密度最高,其次为灌丛的,林窗的密度则和灌丛的接近,而林缘的幼苗密度要远低于其他生境的,仅为林中的 1/15 左右。这说明坚果密度和幼苗密度之间的关系并不显著。

坚果在林窗、林缘生境下的取食速度相同,均比林中的要快的多。这和其它的研究结果一致:啮齿类对在林缘、林窗和灌丛的坚果的取食活动比林中的更强烈^[26],尤其是,灌丛的坚果取食率非常高^[27]。这一结果就排除了幼苗密度的异常可能是该生境下动物取食活动的不同强烈程度造成的可能性。已经知道,小型哺乳动物的搬运埋藏行为对于栎类的坚果生存和传播具有很重要的意义^[23, 28,29],而且 Herrera & Jordano 等证明:在林窗中的坚果比林中或者林缘的坚果更容易死亡;灌木丛中的幼苗因为其干燥条件成活率比在林中的低,在这两种生境中幼苗成活率明显依赖于微环境并且在林冠下受到压抑^[26],因此,解释某生境相对其它生境而言其幼苗密度的异常就可能要考虑动物埋藏活动在不同生境下的不同,说明坚果最终存活概率以及相应的幼苗密度可能都深刻地受到动物埋藏活动的调节。

3.4 径级大小结构缺失之谜与林缘更新的重要性

本研究再一次确定了锐齿槲栎林中的径级缺失现象,缺失的径级在 1.6 cm(150 cm 高)到 6.5 cm 或者 8.5 cm 之间,正好是从幼树向中龄树过渡的阶段。当然,和林中生境下某段径级的完全缺失相比,在林缘锐齿槲栎林的大小结构则表现为一个完整的更新系列。

对森林动态的研究已经表明林窗是幼苗建成的关键地点^[30,31]。由于没有大面积的林窗,无法了解锐齿槲栎林窗内更新的情况。而在林缘存在着完整的更新系列的事实说明,那些缺失的幼树在林缘是存在的,在林缘栎林能进行成功的更新。因此,林缘可以和林窗一样成为更新的关键地点。林缘在光照强度上和林窗相比要少,林缘的面积也有限,只允许少量的幼苗长成幼树,因此林缘更新的特点和在自己的林冠下完成天然更新的树种的更新特点不同,即实生个体的数量随年龄大小级呈现幼苗多-幼树少-中龄林多的“瓶颈”型结构而不是金字塔型结构,类似在辽东栎研究中遇到的“瓶颈”现象^[14]。随着林缘到林中光线的减少,“瓶颈”所代表的幼树越来越少,最后表现出林中的幼树缺失现象。因为或宽或窄“瓶颈”的存在,整体上看来栎林更新表现出一定的衰退趋势。

贺金生等^[6]对锐齿槲栎的受压和释压历史进行了研究,认为锐齿槲栎的更新策略主要是通过产生大量坚果,当有大的林窗时,幼苗在其中生长而进入乔木层。因此,降低上层林冠的密度常常被看作促进栎林更新的有效手段^[32]。这些结论都和本文的结论一致。

3.5 该地区栎林的萌生实生个体混合发生特点

锐齿槲栎萌芽更新的能力极强,在干扰小的情况下,可以形成整齐的森林^[33]。在本研究中,幼苗库中萌生苗有很大的比例,也证明锐齿槲栎的萌生能力的确很强。这个比例随大小级的下降证明萌生植株竞争能力随时间逐步下降。林中萌生植株少,而林缘萌生植株数量很大,而且主要集中在幼树和幼苗阶段,这是因为林缘是更新的主要地区,幼树的数量自然最大,而当地的持续干扰主要是砍伐林缘幼树用于做薪炭,由此林缘的萌生苗也就最多,这也反证了林缘是关键更新地点的判断。任何级别的植株都由萌生植株和实生植株混合组成,说明该地区的锐齿槲栎林总是由萌生和实生起源的个体混合组成,导致植株萌生的干扰

(主要是砍伐)一直在发生,并且可能在更新中扮演重要的角色。高贤明等在对辽东栎的研究中发现辽东栎萌生和实生起源种群对整个栎林种群的繁衍和壮大都具有重大意义^[14]。这一结果和本文的结论一致。栎树的“双重更新”策略可能是使栎林成为暖温带和亚热带的主要建群树种的原因之一。

References:

- [1] Yue M, Ren Y & Gu T Q. A preliminary study of *Quercus glandilifera* var. *brevipetiolata* forest in Foping Natural Reserve. *Acta Botanical Boreal-Occident Sinica*, 2001, **21**(1): 146~153.
- [2] Yue M & Zhou H X. Diversity of higher plants in deciduous broad-leaved forests on the northern slope in Taipei Mountain. *Acta Botanica Yunnanica*, 1997, **19**(2): 171~176.
- [3] Ye Y Z, Weng M & Yang X. Studies on the diversity of *Quercus* communities in Funiu Mt. *Chinese Bulletin of Botany*, 1995, **12**: 79~84.
- [4] Ju T Z. A quantitation study of the interspecific association of *Quercus aliena* var. *acuteserrata* community in Xiaolongshan Mountain of Tianshui. *Acta Botanica Boreal-Occidental Sinica*, 1995, **15**(3): 250~253.
- [5] Cai Y L, Fang Q Y & Zheng D G. Interspecific correlation of deciduous broad-leaved forest in the north slope of Dabie Mount. *Journal of Biomathematics*, 1994, **9**(4): 156~162.
- [6] He J S, Chen W L & Liu F. History of disturbance and regeneration strategies of *Fagus Engleriana* and *Quercus aliena* var. *acuteserrata* in forests in Shennongjia, Hubei Province. *Acta Phytocologica Sinica*, 1999, **41**(8): 887~892.
- [7] Liu F, Chen W L & He J S. Population structure and regeneration of *Quercus aliena* var. *acuteserrata* in Shennongjia. *Acta Phytocol. Sinica*, 2000, **24**(4): 396~401.
- [8] Ju T Z. Analysis of age structure of *Quercus aliena* var. *acuteserrata* community in Xiaolong Mountain. *Journal of Northwest Normal University(natural science)*, 1994, **30**(3): 80~82.
- [9] Liu Q, Bao W K & Qiao Y K. Studies on the interspecific relationship among dominant species of the semi-arid valley scrubs in Maoxian on the upper reaches of the Minjiang river. *Chinese Journal of Applied Environmental Biology*, 1996, **2**(1): 36~42.
- [10] Pang K W. The content of available Al of the top soil and its effects on the growth of *Cercidiphyllum japonicum* communities in Dagou basin in Sichuan. *Journal of Mountain Science*, 1999, **17**(2): 147~151.
- [11] Hu Y J. A study on the population struture of *vatica hainanensis* in Hainan Island. *Acata Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 1987, **30**(2): 96~109.
- [12] Liu Z H. A primary study on the structure and dynamics of *Castanopsis fargecii* population on Jinyun Mount. , Sichuan Province. *Acta Phytocologica ET Geobotanica Sinica*, 1990, **14**(2): 120~128.
- [13] Cai F & Song Y C. A study on the structure and dynamics of *Schima superba* population on Wuyi Mountain. *Acta Phytocologica Sinica*, 1997, **21**(2): 138~148.
- [14] Gao X M, Wang W, Jun X D, et al. Size structure, ecological significance and population origin of *Quercus wutaishannica* forest in Beijing mountainous area. *Acta Phytocologica Sinica*, 2001, **25**(6): 673~678.
- [15] Rundel P. Community structure and stability in the giant Sequoig roves of the Sierra Naveda, California. *American Midland Naturalist*, 1971, **85**: 487~492.
- [16] Yu X D, Zhou H Z & Luo T H. Insect infestation and acorn fate in *Quercus Liaotungensis*. *Acta Entomologica Sinica*, 2001, **44**(4): 518~524.
- [17] Zhou Y X, Li M G & Wang B S. Age and height structures of *Cryptocarya concinna* seedlings in Heishiding forest. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 1997, **5**(1): 39~44.
- [18] Herrera J. Acorns predation and seedling production in a low-density of cork oak(*Quercus suber* L.). *Forest Ecology and Management*, 1995, **76**: 197~201.
- [19] Shaw M W. Factors affecting the natural regeneration of sessile oak (*Quercus petraea*) in North Wales I . A preliminary study of acorn production. *Journal of Ecology*, 1968, **56**: 565~583.
- [20] Louda S M. Predation in the dynamics of seed regeneration. In: Leck M. A. , Parker V. T. & Simpson R. L. eds. *Ecology of soil seed banks*. New York: Academic Press, 1989. 25~51.
- [21] Jarvis P G. Interference by *Deschampsia flexuosa*(L.) Trin. *Oikos*, 1964, **15**: 56~78.
- [22] Myster R W & Pichett S T A. Effects of litter, distance, density and vegetation patch type on postdispersal tree seed predation in old fields. *Oikos*, 1993, **66**: 381~388.
- [23] Houle G. Spatiotemporal patterns in the components of regeneration of four sympatric tree species-*Acer rubrum*, *A. saccharum*, *Betula*

- alleghaniensis*, and *Fagus Grandifolia*. *Journal of Ecology*, 1994, **82**: 39~53.
- [24] Klimeš Leoš & Jitka Klimešová. Root sprouting in *Rumex acetosella* under different nutrient levels. *Plant Ecology*, 1999, **141**: 33~39.
- [25] Hutchings M J & Kroon D H. Foraging in plants: the role of morphological plasticity in resource acquisition. *Advances of Ecological Research*, 1994, **25**: 159~238.
- [26] Herrera C M, Jordano P, López-Soria L, *et al.* Recruitment of a mast-fruiting, bird-dispersed tree: bridging frugivore activity and seedling establishment. *Ecological Monographs*, 1994, **64**(3):315~344.
- [27] Miguel V & Patricio G F. Post dispersal seed predation in a Mediterranean patchy landscape. *Acta Ecologica*, 1996, **17**(5): 379~391.
- [28] Tanaka & Hiroshi. Seed demography of three co-occurring *Acer* species in a Japanese temperate deciduous forest. *Journal of Vegetation Science*, 1995, **6**: 887~896.
- [29] Watt A S. On the causes of failure of natural regeneration in British oakwoods. *Journal of Ecology*, 1919, **7**:173~203.
- [30] Hartshorn G S. Tree falls and tropical forest dynamics. In: Tomlinson P B & Zimmerman M H eds. *Tropical trees as living systems*. Cambridge: Cambridge University Press, 1978. 617~638.
- [31] Denslow J S. Tropical rainforest gaps and tree species diversity. *Annual Review of Ecology and Systematic*, 1987, **18**: 431~451.
- [32] Larson D R, Metzger M A & Johnson P S. Oak regeneration and overstory density in the Missouri Ozarks. *Canadian Journal of Forest Research*, 1997, **27**(6): 869~875.
- [33] Liu Y C, Wu M Z & Guo Z M. Studies on biomass and net production of *Quercus acutidentata* forest in Baotianman Nature Reserve. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, **21**(9):1450~1456.

参考文献:

- [1] 岳明,任毅,辜天琪. 佛坪国家级自然保护区短柄枹栎林初步研究. 西北植物学报,2001,**21**(1):146~153.
- [2] 岳明,周红霞. 太白山北坡落叶阔叶林物种多样性特征. 云南植物研究,1997,**19**(2):171~176.
- [3] 叶永忠,翁梅,杨修. 伏牛山栎类群落多样性的研究. 植物学通报,1995, **12**:79~84.
- [4] 巨天珍. 天水小陇山锐齿栎群落种间关系定量分析. 西北植物学报,1995,**15**(3):250~253.
- [5] 蔡永立,方其英,郑冬官. 大别山北坡落叶阔叶林种间相关的研究. 生物数学学报,1994,**9**(4):156~162.
- [6] 贺金生,刘峰,陈伟烈. 神农架地区米心水青冈林和锐齿槲栎林群落干扰历史及更新策略. 植物生态学报,1999,**41**(8):887~892.
- [7] 刘峰,陈伟烈,贺金生. 神农架地区锐齿槲栎种群结构与更新的研究. 植物生态学报,2000,**4**(4):396~401.
- [8] 巨天珍. 天水小陇山锐齿栎群落动态分析. 西北师范大学学报自然科学版,1994, **30**(3): 80~82.
- [9] 刘庆,包维楷,乔永康. 岷江上游茂县半干旱河谷灌丛优势种间关系的研究. 应用与环境生物学报,1996,**2**(1):36~42.
- [10] 潘开文. 四川大沟流域土壤活性铝含量及其对连香树群落的影响. 山地学报,1999,**17**(2):147~151.
- [11] 胡玉佳. 海南岛青梅种群结构的研究. 中山大学学报(自然科学版),1991,**21**(2):91~97.
- [12] 刘智慧. 四川省缙云山栲树种群结构和动态的初步研究. 植物生态学与地植物学学报,1990,**14**(2): 120~128.
- [13] 蔡飞,宋永昌. 武夷山木荷种群结构和动态的研究. 植物生态学报,1997,**21**(2): 138~148.
- [14] 高贤明,王巍,杜晓军,等. 北京山区辽东栎林的径级结构、种群起源和生态学意义. 植物生态学报,2001,**25**(6):673~678.
- [16] 于晓东,周红章,罗天宏. 昆虫寄生对辽东栎种子命运的影响. 昆虫学报,2001, **44** (4): 518~524.
- [17] 周先叶,李鸣光,王伯逊. 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,1997,**5**(1):39~44.
- [33] 刘玉萃,吴明作,郭宗民. 内乡宝天曼自然保护区锐齿栎林生物量和净生产力研究. 生态学报,2001,**21**(9):1450~1456.