

6个栓皮栎种源种子形态及其幼苗生长的比较

邓云鹏¹, 雷静品^{1,2*}, 潘磊³, 王晓荣³, 徐卫男⁴, 刘佳⁴

(1. 中国林业科学研究院林业研究所, 国家林业局林木培育重点实验室, 北京 100091; 2. 南京林业大学南方现代林业协同创新中心, 江苏 南京 210037; 3. 湖北省林业科学研究院, 湖北 武汉 430075; 4. 临安市林业局, 浙江 临安 311300)

关键词: 栓皮栎; 种源; 种子形态; 幼苗生长特性; 相关分析

中图分类号: S792.18

文献标识码: A

Comparison of Seed Morphology and Seedling Growth Traits of *Quercus variabilis* Bl. Provenances

DENG Yun-peng¹, LEI Jing-pin^{1,2}, PAN Lei³, WANG Xiao-rong³, XU Wei-nan⁴, LIU Jia⁴

(1. Research Institute of Forestry, Key Laboratory of Forest Silviculture of the State Forestry Administration, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 2. Co-Innovation Center for Sustainable Forestry in Southern China, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China; 3. Hubei Forestry Academy, Wuhan 430075, Hubei, China; 4. Lin'an Municipal Forestry Bureau, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

Abstract: [Objective] To compare the differences of seed morphological characters among provinces of *Quercus variabilis* Bl., and explore the adaptive growth status of seedlings growing in the central distribution area. [Method] The seeds of 6 *Q. variabilis* provenances from six provinces were collected, and the seedlings were cultivated and transplanted to experimental field in the centre of natural distribution range (Wuhan Jiufeng National Forest Park), then the seed morphology and one-year seedling growth traits were surveyed. [Result] (1) There were significant or extremely significant differences among provenances in seed length, seed width, seed length/width ratio and 100-seed mass, the order of seed length among provenances was Beijing Provenance (22.28 mm), Hubei Provenance (22.10 mm), He'nan Provenance (20.80 mm), Shaanxi Provenance (19.57 mm), Yunnan Provenance (18.93 mm) and Liaoning Provenance (18.81 mm), the seed width of Beijing Provenance (19.71 mm) and Hubei Provenance (19.16 mm) was higher than that of the others, the seed length/width ratio of He'nan Provenance (1.38) was extremely significantly higher than that of the others; (2) There were significant or extremely significant differences among provenances in seedling height, ground diameter, leaf number, branching number and seedling height/ground diameter, the Beijing Provenance and Hubei Provenance were better in seedling height and leaf number, which were respectively 19.54 cm and 20.26 cm, 8.32 leaves and 9.50 leaves; (3) A decreasing trend with time for seedling growth traits among provenances was found; (4) There was a positive relationship between seed morphological characters and seedling growth traits except seed length/width ratio; the leaf number was significantly related to ground diameter and branching number and the seedling height and leaf number were closely related to the seed morphological characters; (5) It showed a decreasing trend with the growth time in the relationship between seedling growth traits and 100-seed mass. [Conclusion] The seedlings of Beijing Provenance and Hubei Provenance grew better in the experimental field which might be related to their larger seed mass, and the Yunnan Provenance in the south margin and the Liaoning Provenance in the north margin of distribution area of *Q. variabilis* grew weaker than the provenances in the centre of distribution area.

收稿日期: 2015-04-29

基金项目: 西部地区高山森林退化机制与恢复技术研究(CAFYBB2014ZD001)和国家“十三·五”科技支撑计划课题(2015BAD07B04)

作者简介: 邓云鹏(1990—),男,在读硕士. E-mail: dengyp2014@163.com

* 通讯作者: 雷静品, 研究员, 博士. E-mail: leijp@caf.ac.cn

bution area. With the effect of climate change, provenances in the margin of distribution area may lose in the community competition in the seedling stage if it cannot take advantage of its dispersal and settlement and affected by the disadvantage of growth and competition, so that the distribution and population renewal would surely be affected.

Keywords: *Quercus variabilis*; provenance; seed morphology; seedling growth trait; correlation analysis

栓皮栎 (*Quercus variabilis* Bl.) 是壳斗科栎属植物^[1], 是天然分布广泛的树种, 跨越温带、暖温带亚热带, 是研究植物分布与气候、植物对气候变化响应的理想树种之一^[2]。栓皮栎因其具有重要的生态、经济、社会效益受到广泛关注, 已有专家学者^[2-4]分别从其生理特性、群落结构、地理分布、培育经营、开发利用等方面进行了研究, 但对栓皮栎不同种源间差异的研究较少。种子和幼苗是种子植物生活史上重要的阶段, 对植物种的定居、拓展、生长、分布等具有重要的影响。种子是种子植物进行有性生殖的最重要器官^[5], 是植物生活史上的关键阶段。幼苗是植物遗传特性显著表达的时期, 也是植物生活史周期中最脆弱、最敏感的时期^[6-8]。幼苗的大小影响植物在群落中对光的获得机会^[7], 从而一定程度上决定植物定居成功率的大小^[6, 8]。植物在幼苗期的生长情况很大程度上反映了植物对环境的适应能力, 所以, 幼苗一直是研究植物生存适应性的重要研究对象。大量研究^[9-10]指出, 种子大小与幼苗生长关系密切, 并影响萌发率、幼苗形态性状、存活和竞争能力。关于栓皮栎不同种源间种子大小、幼苗生长性状及其相关关系的研究还鲜有报道。本研究收集了辽宁庄河、北京平谷、陕西黄龙、河南济源、湖北鹤峰、云南安宁 6 个种源的栓皮栎种子, 测量其性状并种植在栓皮栎自然分布范围的中间区 (湖北), 通过测量栓皮栎 1 年生幼苗在生长季的生长性状, 比较 6 个栓皮栎种源的种子形态和幼苗生长特性, 分析生长季幼苗生长节律以及种子形态与幼苗生长特性相关关系在生长季的变化, 以期为栓皮栎幼苗生长和群落更新提供参考。

1 试验区概况

武汉市位于江汉平原东部 (113°41'~115°05' E, 29°58'~31°22' N), 属亚热带湿润季风气候, 雨量充沛, 日照充足, 四季分明; 近 30 年来, 年均降水量 1 269 mm, 且多集中在 6—8 月; 年均气温 15.8~17.5℃, 年无霜期一般为 211~272 d, 年日照 1 810~2 100 h。

2 研究方法

2.1 试验材料

参试的 6 个栓皮栎种源来自全国 6 个省 (市、区)。2011 年秋季 (10 月), 在辽宁庄河、北京平谷、陕西黄龙、河南济源、湖北鹤峰、云南安宁栓皮栎天然林采集种子, 这 6 个种源跨越北纬 16 度, 包含了栓皮栎分布区的北界 (辽宁庄河种源) 和南界 (云南安宁种源) 以及 4 个中间分布区种源。每个种源选母树 10~15 株, 母树年龄 ≥30 a。各种源地及试验地信息见表 1。每个种源采种约 5 kg, 带回室内后去除虫蛀种子并阴干处理 1 周。同年冬季 (12 月) 选各种源健康、完整种子约 500 粒于湖北省林业科学研究院温室大棚采用营养钵 (20 cm × 10 cm, 泥炭土: 蛭石 = 3: 2) 播种育苗, 2012 年 4 月选择各种源生长良好、长势一致的栓皮栎幼苗移植到湖北省林业科学研究院试验田 (武汉九峰国家森林公园内), 统一进行苗期田间管理。试验共种植幼苗 22 垄 (每垄 1.5 m × 15 m, 含保护行), 种植规格为 4 株 · m⁻², 株间距 0.5 m, 行间距 0.5 m, 每个种源均种植约 400 株。

表 1 种源地和试验地基本信息

种源	土壤类型	经度 (E)/°	纬度 (N)/°	海拔/m	年均气温/℃	最高气温/℃	最低气温/℃	年降水量/mm	日照时数/h
辽宁庄河	棕壤	122.31	40.03	256	7.7	32	-20	819.6	2 415.6
北京平谷	棕壤	117.08	40.06	265	11.5	37	-18	644.6	2 778.7
陕西黄龙	黄棕	109.22	35.14	954	9.5	33	-19	602.0	2 418.0
河南济源	棕壤	112.20	35.30	373	14.6	39	-8	860.0	1 727.6
湖北鹤峰	黄棕	109.27	29.22	935	13.2	37	-2	1 529.4	1 335.7
云南安宁	红壤	102.48	24.31	1 895	14.9	30	-3	985.8	2 054.5
湖北武汉	黄壤	113.24	29.34	85	16.4	38	-5	1 415.3	2 058.5

注: 湖北武汉为试验地; 年均气温、年降水量和日照时数为多年均值, 最高气温和最低气温为 2013 年数据 (数据来源中国气象局)。

2.2 指标测定

种子形态^[11]指标选用种子长和宽以及百粒质量。种子长和宽用游标卡尺测量,种子长是指种子顶端到底端的距离,种子宽是指种子左右的最大距离^[12]。每个种源随机选测 50 粒。百粒质量指种子采集回来阴干一周后 100 粒的质量,用百分之一天平测定,每个种源随机选测 5 组。幼苗生长性状选用株高、地径、分枝数和叶片数(完全展开叶),并于 2013 年栓皮栎生长季(7 月上旬和下旬、8 月中旬)随机选取各种源生长良好、长势一致的幼苗各 22 株进行测量。株高用钢卷尺测量,地径用游标卡尺测量,地径测量统一选择南北向。计算种子长宽比(种长与种宽的比值)和幼苗高径比(株高和地径的比值)。

2.3 数据处理

用 Excel 2003 和 SPSS 17.0 对所测数据进行处理,通过单因素方差分析比较不同种源间种子形态和幼苗生长性状的差异,并对种子形态与幼苗生长

性状做相关分析。

3 结果与分析

3.1 不同种源栓皮栎种子形态性状的比较

由表 2 可知:不同栓皮栎种源的种子平均长为 18.81 ~ 22.28 mm,种子平均宽为 15.11 ~ 19.71 mm,长宽比值为 1.10 ~ 1.38,百粒质量均值为 263.34 ~ 491.46 g。结果显示:种源间种长、种宽、种长宽比和百粒质量的差异均显著($\rho < 0.05$)或极显著($\rho < 0.01$);辽宁庄河(18.81 mm)和云南安宁(18.93 mm)种源种长均低于其余种源,北京平谷(19.71 mm)和湖北鹤峰(19.16 mm)种源种宽均高于其余种源,河南济源种子长宽比(1.38)极显著($\rho < 0.01$)大于其余种源。北京平谷种源的平均百粒质量为 491.46 g,极显著($\rho < 0.01$)高于其他种源,湖北鹤峰(371.62 g)、云南安宁(330.80 g)和辽宁庄河(322.00 g)种源居中,而河南济源(274.60 g)和陕西黄龙(263.34 g)种源的种子百粒质量最小。

表 2 不同种源栓皮栎种子形态性状的比较

种源	种长/mm	种宽/mm	种长宽比	百粒质量/g
辽宁庄河	18.81 ± 1.64dC	16.55 ± 1.27cB	1.14 ± 0.12bcB	322.00 ± 2.12cC
北京平谷	22.28 ± 1.37aA	19.71 ± 1.55aA	1.14 ± 0.11bcB	491.46 ± 12.85aA
陕西黄龙	19.57 ± 1.59cC	16.91 ± 1.90bcB	1.17 ± 0.12bB	263.34 ± 8.85dD
河南济源	20.80 ± 1.82bB	15.11 ± 1.22dC	1.38 ± 0.13aA	274.60 ± 13.03dD
湖北鹤峰	22.10 ± 1.99aA	19.16 ± 1.67aA	1.16 ± 0.10bB	371.62 ± 15.08bB
云南安宁	18.93 ± 2.47cdC	17.24 ± 1.82bB	1.10 ± 0.14cB	330.80 ± 12.25cC

注:表中数值为每个种源所测重复结果的均值 ± 标准差;同列不同小写字母表示差异显著($\rho < 0.05$),不同大写字母表示差异极显著($\rho < 0.01$)。

3.2 不同种源栓皮栎幼苗生长形态性状的比较

图 1-A 显示:8 月中旬,6 个种源间苗高差异显著,其中,湖北鹤峰(20.26 cm)和北京平谷(19.54 cm)种源苗高极显著($\rho < 0.01$)大于河南济源(14.89 cm)和辽宁庄河(12.93 cm)种源,而陕西黄龙(16.69 cm)和云南安宁(15.91 cm)种源居其中。随着生长时间的延长,栓皮栎各种源间苗高差异变小,河南济源种源苗高在 7 月上旬显著($\rho < 0.05$)小于陕西黄龙种源,而在 8 月中旬差异不显著($\rho > 0.05$),并且辽宁庄河种源苗高在 7 月上旬显著小于云南安宁种源,而在 8 月中旬差异也不显著($\rho > 0.05$)。

各种源地径大小顺序为:北京平谷(2.93 cm) > 湖北鹤峰(2.84 cm) > 河南济源(2.77 cm) > 云南安宁(2.57 cm) > 陕西黄龙(2.54 cm) > 辽宁庄河(2.41 cm),种源间差异显著(图 1-B,8 月中旬)。

在 7 月上旬和 7 月下旬,辽宁庄河种源地径显著低于其余种源,而 8 月中旬辽宁庄河种源仅与北京平谷和湖北鹤峰种源差异显著($\rho < 0.05$),说明辽宁庄河种源地径与其它种源间的差异随生长时间的延长变小。

通过对比不同时间的测量结果(图 1-C)发现:(1)各种源叶片数差异随生长时间的延长而减小,表现为 7 月上旬的显著或极显著差异到 8 月中旬的差异不显著;(2)从 7 月上旬到 7 月下旬叶片数上升,而 8 月中旬叶片数下降(早春萌发的那批叶片脱落,而新叶还未完全展开),并且辽宁庄河种源的下降早于其它种源。这可能与当时的环境因子有关,也可能反映出植物叶寿命的一种生态权衡^[13]。

图 1-D 显示:各种源间分枝数差异随生长时间的延长而减小,河南济源与云南安宁种源的差异相对稳定,辽宁庄河与陕西黄龙种源的差异增大,湖北

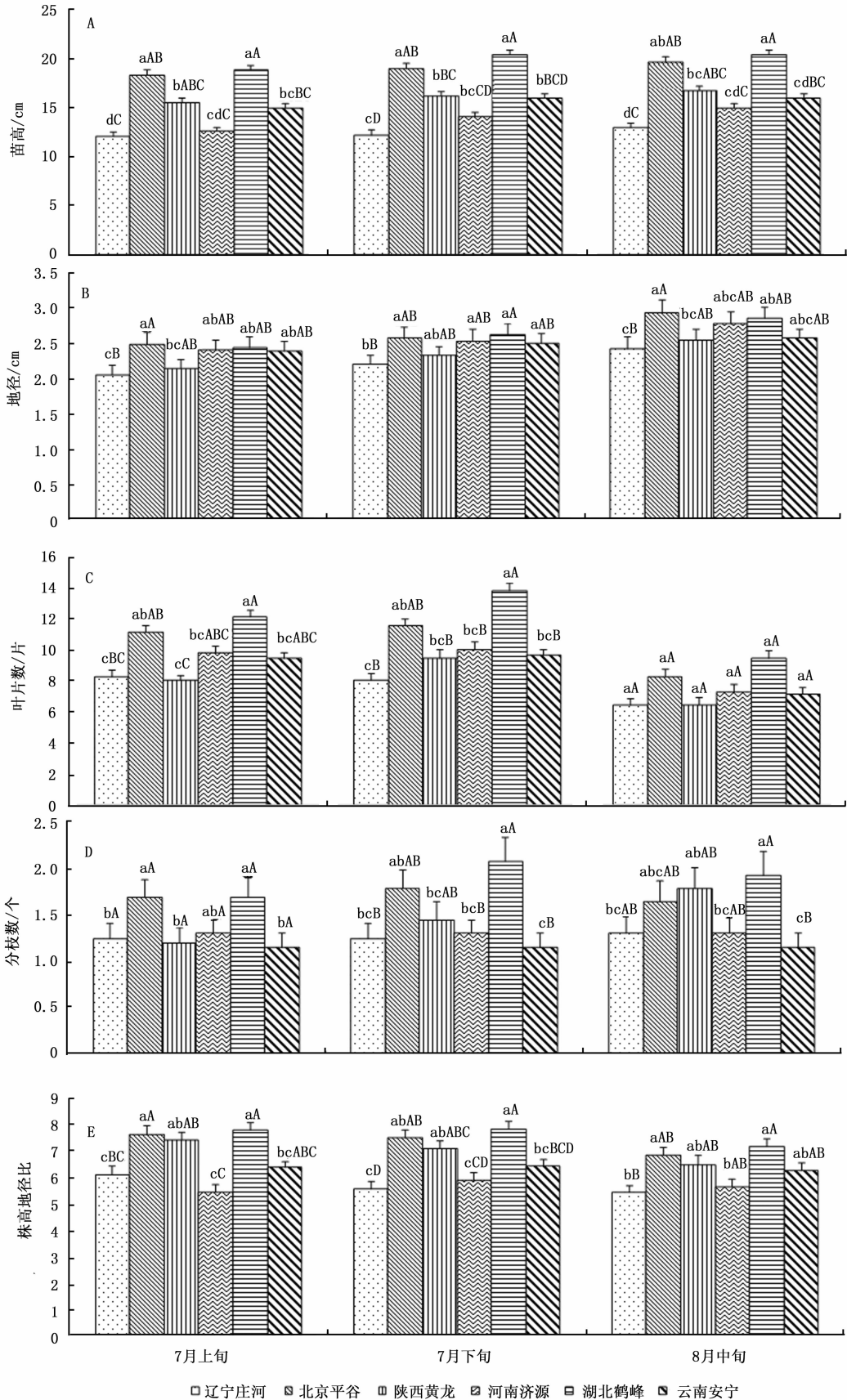


图1 不同种源栓皮栎幼苗生长性状的比较

鹤峰和北京平谷种源的差异为波动变化,而整体表现出一种趋同趋势。说明不同栓皮栎种源生长节律不同,但分枝特性趋于一致。

图 1-E 表明:湖北鹤峰、北京平谷和陕西黄龙栓皮栎种源的株高地径比均高于其它种源,其中,湖北鹤峰与辽宁庄河种源的差异极显著($\rho < 0.01$);3 个时间测量结果显示种源间的差异随生长时间的延长而减小。

3.3 不同种源栓皮栎种子形态与幼苗生长的相关关系

表 3 表明:在 7 月上旬,不同栓皮栎种源种子形态和幼苗生长间存在正相关关系。叶片数与地径、分枝数与叶片数、株高地径比与株高、种宽与株高和株高地径比、种长与叶片数、百粒质量和种宽都显著

($\rho < 0.05$) 正相关,而种长与分枝数极显著($\rho < 0.05$) 正相关。除了种长宽比外,其余指标与幼苗各项生长性状均正相关,说明种子对幼苗早期的生长影响很大。8 月中旬相应指标相关性分析结果显示:各项指标间仍存在正相关关系,而且幼苗各生长性状间相关性增强甚至达到极显著水平($\rho < 0.01$),如株高与地径(0.965)、叶片数(0.943)、分枝数(0.961)、株高地径比(0.974),地径与叶片数(0.903)、分枝数(0.994)、株高地径比(0.962)等,而与种子百粒质量的相关性降低。说明随着幼苗的生长,幼苗自身生长性状之间的相关性增强而受种子的影响降低,这体现出幼苗生长从对种子的依赖开始向光合自养转变。

表 3 不同种源栓皮栎种子形态与 7 月上旬、8 月中旬幼苗生长性状的相关关系

时间	性状	株高	地径	叶片数	分枝数	株高地径比	种宽	种长	种长宽比	百粒质量
7 月上旬	株高	1								
	地径	0.614	1							
	叶片数	0.754	0.856 *	1						
	分枝数	0.786	0.615	0.879 *	1					
	株高地径比	0.913 *	0.244	0.467	0.644	1				
	种宽	0.916 *	0.469	0.686	0.804	0.872 *	1			
	种长	0.739	0.749	0.876 *	0.933 **	0.536	0.636	1		
	种长宽比	-0.428	0.163	-0.003	-0.097	-0.578	-0.638	0.189	1	
	百粒质量	0.675	0.553	0.663	0.790	0.541	0.857 *	0.650	-0.432	1
8 月中旬	株高	1								
	地径	0.965 **	1							
	叶片数	0.943 **	0.903 *	1						
	分枝数	0.961 **	0.994 **	0.921 **	1					
	株高地径比	0.974 **	0.962 **	0.939 **	0.948 **	1				
	种宽	0.852 *	0.780	0.870 *	0.800	0.856 *	1			
	种长	0.827 *	0.765	0.754	0.796	0.682	0.636	1		
	种长宽比	-0.258	-0.231	-0.363	-0.228	-0.409	-0.638	0.189	1	
	百粒质量	0.636	0.488	0.597	0.519	0.555	0.857 *	0.650	-0.432	1

4 讨论

种子质量是影响一个物种诸多基本生态对策的关键生态特性^[14],全球尺度上种子质量从两极向赤道随纬度降低呈增高趋势^[15-16],主要与温度和太阳辐射密切相关^[17]。低纬度地区比高纬度地区通常具有更好的光热条件,本研究发现,低纬度种源(云南安宁和湖北鹤峰)种子质量大,这与 Moles 等^[16]和 Murray 等^[17]的研究结果一致。北京平谷种源百粒质量(491.46 g)最大,极显著的大于其它种源,可能反映出种源地太阳辐射或温度的特点,亦或与种源地立地条件有关。本研究的栓皮栎种长均值为

18.81 ~ 22.28 mm,种宽均值为 15.11 ~ 19.71 mm,种源间的差异显著,同以往研究结果^[12, 18-19]基本吻合。6 个种源中,辽宁庄河(18.81 mm × 16.55 mm)和云南安宁(18.93 mm × 17.24 mm)种源的种子较小,而小种子散布能力强^[6],由此认为,栓皮栎边缘分布区的群体散布能力更强。种子大小与亲代繁殖策略进化关系密切^[20-21],界限种源种子较小体现出植物的生存策略。栓皮栎种子呈球形或椭球形,种长宽比越小,则种子越接近球形。成熟种子从母树上落下,在排除其它干扰的情况下,种子越接近球形则散布的范围越广。本试验中,6 个种源的种长宽比呈现南北两端小中间大的格局,显示出南北两端

种源的种子更接近球形,散布能力更强。在气候变化大背景下,种子散布能力的强弱对植物分布及其适应能力具有重要作用,其边缘分布区的群体散布能力及其作用有待进一步的研究。本研究仅收集了6个种源一年的种子,在时间和地理空间上均具有一定的局限性,建议在以后的研究中要多布点并收集多年种子进行研究。

本研究中,不同栓皮栎种源的幼苗株高、地径、分枝数、叶片数和株高地径比等生长性状的差异均表现出显著或极显著水平,北京平谷和湖北鹤峰种源幼苗的生长优势明显,而辽宁庄河和河南济源种源幼苗生长状况略差。7月下旬到8月中旬,各种源叶片数均下降,反映出栓皮栎幼苗的生长节律,而辽宁庄河种源下降早于其余种源,可能与试验地环境因子有关。植物生长受到光照、水分、养分等多种环境因素影响,幼苗期是植物生活史周期中对环境条件最脆弱、最敏感的时期^[9, 22-23],幼苗的生长状况能反映出植物的适应能力,在一定程度上说明北京平谷和湖北鹤峰种源对试验地环境适应能力更强。不同时间调查结果显示:各种源生长性状间的差异趋小,各种源生长节律趋同,表现出同一树种的生长特性。本文仅对1年生栓皮栎幼苗进行了研究,为进一步探索不同种源幼苗生长特性,探究不同种源幼苗在同一环境的生长差异,需要长时期的调查和研究。

种子萌发长成幼苗,是种子植物生活史周期中的重要阶段,种子为幼苗早期的生长提供养分。本研究表明,栓皮栎种子形态与幼苗生长性状的相关性较强,种子形态性状和幼苗生长关系密切。大种子树种如栎类在它们的初期生长主要依靠种子的储藏^[24],所以,较大种子通常产生较大的幼苗^[24-25],因此,北京平谷和湖北鹤峰种源的幼苗生长优势明显。本研究中相关分析的结果显示,幼苗生长性状与种子百粒质量的相关性随生长时间的延长而降低而与自身生长性状相关性增强,反映了幼苗生长代谢中养分来源的转变。河南济源种源种子小(274.60 g)而苗高增加量(2.30 cm)大于其余种源(均值为1.20 cm)(图1-A),说明小种子幼苗通常具有较高的相对生长速率^[8],或者说一般大种子幼苗具有较低的相对生长速率^[24]。种子形态方面相对较小的差异都可能导致发芽、出苗和生存能力的差异^[26],而且本试验发现栓皮栎种子对幼苗生长的影响较大,这就可以解释种子形态特性作为遗传上相对稳

定的性状^[27-29]却在种源间仍存在显著性差异的变异^[19, 30-33]。

5 结论

本研究收集了全国6个栓皮栎种源种子并育苗种植到试验田,以种子及1年生幼苗为研究对象,通过调查种子形态特征(如种长、种宽、种长宽比和百粒质量)和幼苗生长特性(如苗高、地径、叶片数、分枝数和苗高地径比),比较6个栓皮栎种源种子形态及幼苗在试验地的生长情况并分析了种子形态与幼苗生长特性的相关关系,发现北京平谷和湖北鹤峰种源种子百粒质量较大,幼苗生长优于其它种源,对试验地环境的适应能力更强。幼苗生长情况与种子形态性状关系密切,幼苗生长受种子影响较大,在林业生产中如优种选育、实生苗试验等方面应注意种子的筛选。北界种源(辽宁庄河)和南界种源(云南安宁)种子较小,散布能力较强,但幼苗生长较弱,在气候变化背景下界限种源能否发挥散布优势而避免受生长劣势影响,将影响栓皮栎分布范围变化。

参考文献:

- [1] 吴明作. 栓皮栎研究进展[J]. 陕西林业科技, 1998(4): 65-69.
- [2] 雷静品, 肖文发, 刘建锋. 我国栓皮栎分布及其生态学研究[J]. 世界林业研究, 2013, 26(4): 57-62.
- [3] 周建云, 林军, 何景峰, 等. 栓皮栎研究进展与未来展望[J]. 西北林学院学报, 2010, 25(3): 43-49.
- [4] 王婧, 王少波, 康宏樟, 等. 东亚地区栓皮栎的地理分布格局及其气候特征[J]. 上海交通大学学报: 农业科学版, 2009, 27(3): 235-241.
- [5] 张建国, 段爱国, 张俊佩, 等. 不同品种大果沙棘种子特性研究[J]. 林业科学研究, 2006, 19(6): 700-705.
- [6] 武高林, 杜国祯, 尚占环. 种子大小及其命运对植被更新贡献研究进展[J]. 应用生态学报, 2006, 17(10): 1969-1972.
- [7] Falster D S, Westoby M. Plant height and evolutionary games[J]. Trends in Ecology & Evolution, 2003, 18(7): 337-343.
- [8] Paz H, Martínez-Ramos M. Seed mass and seedling performance within eight species of Psychotria (Rubiaceae)[J]. Ecology, 2003, 84(2): 439-450.
- [9] 郑维娜. 种子特性和微生境对辽东栎幼苗生长的影响[D]. 西安: 陕西师范大学, 2013.
- [10] 杜国祯, 武高林. 植物种子大小与幼苗生长策略研究进展[J]. 应用生态学报, 2008, 19(1): 191-197.
- [11] 于顺利, 方伟伟. 种子地理学研究的新进展[J]. 植物生态学报, 2012, 36(8): 918-922.
- [12] 周旋, 何正鹏, 康宏樟, 等. 温带-亚热带栓皮栎种子形态的变异及其与环境因子的关系[J]. 植物生态学报, 2013, 37(6): 481-491.

- [13] 张 林, 罗天祥. 植物叶寿命及其相关叶性状的生态学研究进展[J]. 植物生态学报, 2004,28(6):844-852.
- [14] Moles A T, Ackerly D D, Tweddle J C, *et al.* Global patterns in seed size[J]. *Global Ecology and Biogeography*, 2007,16(1):109-116.
- [15] 于顺利, 陈宏伟, 李 晖. 种子重量的生态学研究进展[J]. 植物生态学报, 2007,31(6):989-997.
- [16] Moles A T, Westoby M. Latitude, seed predation and seed mass [J]. *Journal of Biogeography*, 2003,30(1):105-128.
- [17] Murray B R, Brown A, Dickman C R, *et al.* Geographical gradients in seed mass in relation to climate[J]. *Journal of Biogeography*, 2004,31(3):379-388.
- [18] 唐晓倩, 刘广全, 李庆梅, 等. 8 种落叶栎类种子形态特征比较分析[J]. 西北林学院学报, 2012,27(4):60-64, 72.
- [19] 陈素传, 肖正东, 金笑龙, 等. 不同种源栓皮栎种子形态和营养成分差异分析[J]. 林业科技开发, 2012,26(1):17-21.
- [20] Kindsvater H K, Otto S P. The Evolution of Offspring Size across Life-History Stages[J]. *The American Naturalist*, 2014,184(5):543-555.
- [21] Rollinson N, Hutchings J A. The relationship between offspring size and fitness: integrating theory and empiricism[J]. *Ecology*, 2013, 94(2):315-324.
- [22] 刚 群, 闫巧玲, 刘焕彬, 等. 种子更新与萌蘖更新蒙古栎一年生幼苗生长特性的比较[J]. 生态学杂志, 2014,33(5):1183-1189.
- [23] 韩有志, 王政权. 森林更新与空间异质性[J]. 应用生态学报, 2002,13(5):615-619.
- [24] Quero J L, Villar R, Marañón T, *et al.* Seed-mass effects in four Mediterranean *Quercus* species (Fagaceae) growing in contrasting light environments [J]. *American Journal of Botany*, 2007, 94(11):1795-1803.
- [25] 丁 琼, 王 华, 贾桂霞, 等. 沙冬青种子萌发及幼苗生长特性[J]. 植物生态学报, 2006,30(4):633-639.
- [26] Brandel M. Ecology of Achene Dimorphism in *Leontodon saxatilis* [J]. *Annals of Botany*, 2007,100(6):1189-1197.
- [27] 唐晓倩. 北方主要落叶栎类种子形态特征和养分含量的研究 [D]. 泰安:山东农业大学, 2012.
- [28] 杨利平, 庄 斌, 苏正华, 等. 野牡丹属植物种子特征的初步研究[J]. 植物遗传资源学报, 2008,9(2):248-252.
- [29] 王景升. 种子学[M]. 北京:中国农业出版社, 1994.
- [30] 陈丽君, 邓小梅, 丁美美, 等. 苦楝种源果核及种子性状地理变异的研究[J]. 北京林业大学学报, 2014,36(1):15-20.
- [31] 厉月桥, 李迎超, 吴志庄. 不同种源蒙古栎种子表型性状与淀粉含量的变异分析 [J]. 林业科学研究, 2013,26(4):528-532.
- [32] 陈 劼, 潘 艳, 徐立安. 栓皮栎种子及苗期种源变异分析 [J]. 林业科技开发, 2009,23(3):62-65.
- [33] 祝小科, 朱守谦. 光皮桦种子千粒重、寿命及生命力研究[J]. 林业科学, 2003,39(4):168-172.

(责任编辑:詹春梅)