

福建茫荡山乌冈栎种子性状变异研究

谢春平^{1,2}, 方彦¹, 方炎明^{2*}

(1. 南京森林警察学院侦查系, 南京 210046; 2. 南京林业大学森林资源与环境学院, 南京 210037)

摘要:为了更好地选育乌冈栎种苗, 以种子长度、宽度和重量做为种子性状的指标, 对福建茫荡山乌冈栎天然种群的 23 株成年个体进行了 2 年的野外观察和种子采集。研究表明, 乌冈栎种群天然结实存在大小年的情况, 种子表型和重量因年份的不同而有所差异。乌冈栎种子的长度与宽度呈显著的线性关系, 即随着长度的增加宽度亦随之增大; 单因素方差分析表明, 种子长度与宽度在不同年份中差异显著。利用变异系数 (CV) 和 Gini 指数对乌冈栎种子长度、重量和宽度的研究表明, 变异系数 (CV) 的敏感度要大于 Gini 指数, 而 Gini 指数在果实变异分配上更具有说服力。乌冈栎种子变异最大的是重量, 其次是长度和宽度, Gini 指数显示株内的作用要稍强于株间作用, 这主要是由于环境因子差异所致。

关键词: 乌冈栎; 种子性状; 变异; Gini 指数; 大小年

中图分类号: Q142.9

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2011)05-0656-06

Morphological and weight variation of seeds of *Quercus phillyraeoides* in Mangdangshan Mountain of Fujian Province

XIE Chun-ping^{1,2}, FANG Yan¹, FANG Yan-ming²

(1. Investigation Department, Nanjing Forest Police College, Nanjing 210046;

2. College of Forest Resources and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037)

Abstract: In order to select the excellent seeds for the seedlings of *Quercus phillyraeoides*, the variation of seed morphology and weight of *Quercus phillyraeoides* from Mangdangshan mountain of Fujian Province was analyzed, based on the measurement of seeds length, breadth and weight from 2008 to 2009. The results indicated that there was biennial bearing of seeds production, so the seeds morphological characters and their weight had certain variation in different years. It was also found that the length and breadth of seeds showed significant linear relationship. In addition, the results of one way analysis of variance (ANOVA) showed significant differences in the length and breadth of seeds in different years. The data of variation coefficient (CV) and Gini coefficient about length, breadth and weight of seeds showed that CV was more sensitive than Gini, but the latter was more persuasive to explain the variation pattern of seeds. In conclusion, the seeds weight had more significant variation than length and breadth, and the Gini coefficient indicated that the variation of inner-plant was bigger than that of inter-plants because of heterogeneity of the environment.

Key words: *Quercus phillyraeoides*; seed characteristics; variation; Gini coefficient; biennial bearing

植物表型性状变异往往具有适应和进化上的意义, 它在形态水平上对遗传多样性进行了阐述, 反映了群体遗传×环境的复杂性及其适应环境压力的广泛程度^[1]。种子大小是种子的重要生物学特性之一, 在同一物种内部, 种子大小常常被认为是相对稳定的, 然而许多研究表明, 在种群内、种群间,

甚至个体间, 种子大小有很大差异^[2]。种子大小作为种子形态变异的重要内容, 与其成功扩散存在权衡关系, 这种关系能解释物种间显著差异的种子大小变异; 由于变异程度影响种子扩散和萌发、幼苗定居和存活等, 对种群更新、群落演替和生态适应过程都有重要生态学意义, 因此种子形态变异已成

收稿日期: 2011-03-21

基金项目: 林业公益性行业科研专项(201004094)和“十一五”国家科技支撑项目(2006BAD03A0507-27)共同资助。

作者简介: 谢春平, 男, 博士, 讲师。E-mail: xcp80@yahoo.com.cn

* 通讯作者: 方炎明, 男, 教授, 博士生导师。E-mail: jwu4@njfu.edu.cn

为重要研究课题^[3]。

国外早期研究种子表型变异的当属欧洲赤松 (*Pinus sylvestris*), 早在 1907 年 Schott 等人就已经意识到欧洲赤松变异的存在, 之后许多学者都对该物种的变异做了大量的研究^[4-6]; 近年来, 国外学者对种子生态学的研究开始关注种子与环境适应性、种子生活史、繁殖对策等方面^[7-8]。国内许多学者对种子方面的关注多数集中在濒危植物和一些经济价值较高的林木研究中, 他们对种子表型性状的研究结论均证明了种子与环境之间有密切的关系: 在大格局上种子随纬度或海拔的变化, 其表型大小等呈现出一定梯度性规律变化^[9-11]; 从微环境上看, 土壤成分、土壤含水率等因素亦影响着种子的形态性状在种群内和种群间的变异^[12-15]。

目前, 对于栎属植物种子重量及表型变异的研究不多, 硬叶栎类植物种子的研究更是处于空白阶段。为此对福建茫荡山标记的 23 株乌冈栎 (*Quercus phillyraeoides*) 进行了 2 年观察, 并就其种子表型及重量变异方面进行了研究, 一方面是为了弄清乌冈栎种子的变异特征和主要影响因素, 另一方面是为林木改良和育种等方面提供科学参考依据。

1 材料与方 法

1.1 研究地概况

福建茫荡山自然保护区地处南平市延平区西北部 11 km, 位于东经 118°02'30"~118°13'30", 北纬

26°36'12"~26°47'51", 总面积为 11 063.3 hm², 其中核心区面积为 3 615.5 hm², 属森林生态系统与遗传多样性类型自然保护区。年平均气温 19.3℃, 极端最高温度 41℃, 极端最低温度 -5.8℃, 年均降雨量 1 616.1 mm, 常年相对湿度 78%, 年均日照时间 1 733.3 h, 植物生长期达 300 d, 属于中亚热带季风气候。区内海拔从 136 m 的溪源沟谷到 1 364 m 的朦瞳洋主峰, 相对高差 1 228 m; 其地质发展历史漫长, 岩石类型较多, 经历了多次的地质构造运动, 地形复杂多样, 以中山、高丘为主, 多为切割深度大的 V 型沟谷, 低山、丘陵和悬崖峭壁错落其间, 山顶则是广阔平缓的山地剥蚀面。区内温暖湿润, 水热条件优越, 拥有典型的中亚热带沟谷森林生态系统和丰富的珍稀濒危野生植物资源, 森林覆盖率达 91.1%, 是各种生物繁衍的理想场所。区内现有 9 个植被类型, 52 个群系, 191 个群丛, 生物多样性和植被完整性极为明显^[16]。

该地乌冈栎群落内, 除了有较多乌冈栎个体分布外, 其他伴生的乔木树种有马尾松 (*Pinus massoniana*)、木荷 (*Schima superba*)、紫玉盘石砾 (*Lithocarpus uvariifolius*) 等; 灌木层主要伴生种有欆木 (*Loropetalum chinense*)、石灰花楸 (*Sorbus folneri*)、赤楠 (*Syzygium buxifolium*)、马醉木 (*Pieris japonica*) 等; 草本层主要以禾本科 (Gramineae)、菊科 (Compositae) 以及其他少数蕨类植物。具体样地情况见表 1。

表 1 调查群落的基本概况
Table 1 Brief description of communities

地理位置 Location	样地号 Plot	群落类型 Community type	海拔/m Altitude	郁闭度 Canopy density	坡向 Direction	坡位 Slop	坡度/° Gradient
瞭望台山 Liaowangtai Mountain	Q ₁	乌冈栎+木荷+欆木	1 127	0.75	SE29°	中 Middle	18
庙后山 Miaohou Mountain	Q ₂	乌冈栎+木荷+满山红	980	0.85	SW17°	下 Below	35
电视台 TV station	Q ₃	乌冈栎+马尾松+赤楠	985	0.70	NW24°	下 Below	20

1.2 材料收集

于 2008 年 10~11 月、2009 年 10~11 月连续两年于福建茫荡山采集乌冈栎种子, 采集后立即测量其种子的外形, 包括种子长、种子宽和种子的重量等, 长度和直径采用游标卡尺进行测量, 重量采用分析天平测定, 精确到小数点后 3 位。每个单株测 5 次重复, 每个重复测 30 粒种子, 将每个重复的平均值作为该单株的测量值。后期数据和图表用 Excel2003 和 Sigmaplot10.0 进行处理分析。

1.3 研究方法

1.3.1 种子重量等级划分 根据种子的重量, 将种子划分为 11 个级别, 以 0.150 g 为一个级别逐级递增至 1.500 g, 当种子重量大于 1.500 g 时归纳为一个级别。

1.3.2 变异系数 用变异系数表示性状值离散性特征, 变异系数越大, 则形状值离散程度越大。

$$CV=S/\bar{x}$$

式中: S 为标准差, \bar{x} 为平均值^[17]。

1.3.3 Gini 系数 Gini 系数是分析样本变异性的一个重要参数, 尤其是对于分析变异的分配十分有效。

$$\text{Gini 系数} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n |X_i - X_j|}{2n^2 \bar{X}}$$

式中 X_i, X_j 分别是第 i, j 棵种子的形态参数 (如长度、重量), n 为种子数, \bar{X} 为种子形态参数的平均值^[18]。

1.3.4 形态差异的分配 大小不等性的分配反映了种子大小异质性的来源, 揭示各部分对大小不等性的贡献。我们用 Gini 系数来计算大小不等性的分配。

$$G_{\text{种群}} = G_{\text{株间}} + G_{\text{株内}} \quad (\text{其中}, G_{\text{株内}} = \sum_{i=1}^n G_{\text{单株}} / n)$$

则: $G_{\text{株间}} = G_{\text{种群}} - G_{\text{株内}}$, 可以用 $D_{\text{株间}} = G_{\text{株间}} / G_{\text{种群}}$ 来表示单株间差异对种群差异的贡献^[18-20]。

2 结果与分析

2.1 种子的一般特征

2.1.1 种子重量 图 1 所示为乌冈栎种群在 2008 年和 2009 年不同年份所产坚果重量分布图。从 2008 年的柱形图来看, 种子各级别分布的百分比出现了 2 个峰值, 分别为第 4 级和第 6 级, 而这两个级别恰好是与中间级别相接近, 从 4~6 级重的坚果占有全部比例的 50% 以上; 从种子单粒重量来看, 最大的为 2.250 g, 而最小的仅为 0.13 g, 相差为 17 倍之多。乌冈栎的果实重量在 2008 年的分布表现出中间大两头小的趋势, 如果用 Sigmaplot10.0 自带的 Peak 方法拟合 (图 1), 则为标准的正态分布曲线 (用 Kolmogorov-Smirnov 检验符合正态分布的结果)。2009 年种子重量分布与 2008 年有较大的差别, 其重量主要集中在 2~4 级, 比 2008 年要明显偏低, 并且, 在这一重量分布段中, 占有将近 80% 的坚果; 从单个大小来看, 最重的为 1.151 g, 而最小的仅为 0.070 g, 最高的是最低的 16.44 倍; 通过分布曲线拟合, 其明显往轻量级的方向靠拢。

2.1.2 种子形态 以种子长为横坐标, 宽为纵坐标, 做出乌冈栎在不同年份种子表型散点图 (图 2)。2008 年长度波动范围为 10.140~23.240 mm, 宽度的范围为 5.200~13.860 mm 之间; 2009 年长度波动范围为 6.000~18.280 mm, 宽度的范围为 4.100~12.140 mm 之间; 整体来看, 在同一年份和不同年份间, 乌冈栎种子的外形特征均存在明显的差异。长宽比是种子外形的一个重要参数, 一般自然界中稳定的种群, 其种子的长宽比值能够保证在一定的范围内变化。从图 2 亦可看出, 乌冈栎种子的长度和宽度存在明显的一元线性关系 ($y_{2008} = 1.3277 + 0.532x, R^2 = 0.6469, P < 0.01$; $y_{2009} = 3.015 + 0.3855x, R^2 = 0.3286, P < 0.01$), 表现

为随着长度的增加, 种子的宽度也增加的趋势, 这样的变化可以解释为乌冈栎种子外形稳定性的一种体现, 保证了种子长宽比值的大小。此外, 从整个散点图的分布来看, 2009 年种子的形态分散度要明显大于 2008 年, 前者分布集中于图中左下方, 而后者集中分布于中右上方, 种子形态更为饱满。

为了了解 2008 年与 2009 年所结乌冈栎种子长度与宽度在年份间的差异显著性, 通过单因素方差 F -检验, 两者均表现为差异极显著 ($P < 0.01$) (表 2)。因此种子长宽形态上的差异与重量差异的相似, 它们在年内和年际间均存在, 而这种差异在种子的选育方面具有较高的参考价值。

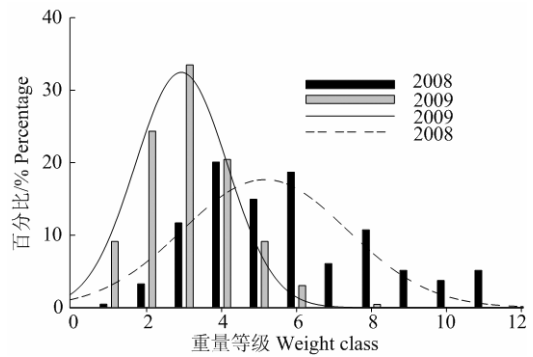


图 1 乌冈栎种子重量分布特征

Figure 1 The distribution characteristic of seeds weight of *Quercus phillyraeoides*

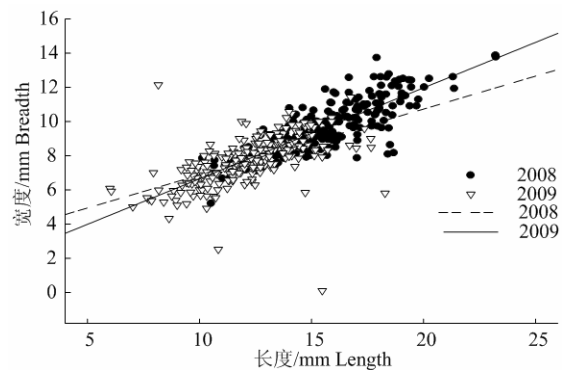


图 2 不同年份乌冈栎种子长宽变化散点图

Figure 2 Scatted plot of seeds length/breadth of *Quercus phillyraeoides* in different years

2.2 种子表型变异

变异系数可以反映表型性状在种群内和种群间的变异, 从而揭示其变异格局。乌冈栎个体间的差异几乎存在于每一个单株的每一个性状当中, 但种群内种子各表型性状的变异大小因性状而异。从单独的年份来看 2008 年的变异系数和 Gini 指数的在

长度、宽度和重量上的平均值分别为 0.096 和 0.050, 0.097 和 0.050、0.261 和 0.138; 而 2009 年的数据为 0.341 和 0.062、0.127 和 0.062、0.313 和 0.161。整体上从两组数据的比较可以发现, 2009 年乌冈栎种子表型的不论是变异系数还是 Gini 指数的变化均较 2008 年大, 因此在果实表型在大年时期的更趋于稳定。

从单独的变异指数来看, 2008 年和 2009 年 CV 在长度、宽度和重量上的值分别为 0.052~0.155、0.043~0.212 和 0.124~0.497, 0.327~0.444、0.057~0.357 和 0.176~0.503; 而 Gini 系数表现的数值为 0.027~0.080、0.108~0.022 和 0.061~0.266, 0.038~0.161、0.031~0.136 和 0.093~0.252。这一系列的数据反映出 2 点, 一是重量在各单株间的变化幅度最大, 甚至有大于 50% 的情况; 其二, 变异系数和

Gini 指数的变化趋势基本上是一致的, 但变异系数 CV 的敏感度要高于 Gini 指数。因此, 不论从整体上的比较还是从单株各变异指数的比较均说明了乌冈栎果实年份间、植株间均具有较大范围的变异存在。

通过上述分析, 不同年份乌冈栎种子的重量及表型变异是客观存在的事实, 那么其变异分配时如何? 以 Gini 系数分析种群种子形态特征不等性的分配 (表 3) 可清楚的看到, 2008 年和 2009 年在所选取的 3 个指标中, 变异分配存在一定的差异, 除 2008 年长度指标的 $G_{株内}$ 变异比例要稍弱于 $G_{株间}$ (47.91% 和 52.18%), 其余指标在这两年中, $G_{株内}$ 变异比例均要大于 $G_{株间}$ (所占比例范围 54.99%~63.69%)。因此, 从形态差异的分配来看, 株内作用要强于株间。

表 2 乌冈栎种子形态不同年份变异分析

Table 2 Variation of fruit sizes and its shape of *Quercus phillyraeoides* between 2008 and 2009

差异源 Variance source		SS	df	MS	F	P-value	显著性 Significance
长度 Length	组间 Inter-group	1 287.544	1	1 287.544	268.686 1	0.00	* *
	组内 Intra-group	2 041.392	44	4.791 999			
	总计 Total	3 328.935	45				
宽度 Breadth	组间 Inter-group	399.0624	1	399.062 4	185.086 8	0.00	* *
	组内 Intra-group	918.491	44	2.156 082			
	总计 Total	1 317.553	45				

注: “*” 表示 0.05 水平上差异显著, “**” 表示 0.01 水平上差异极显著。

Note: “*” represents significant difference at 0.05 level; “**” represents significant difference at 0.01 level.

表 3 乌冈栎种子性状差异分配

Table 3 Distribution of characteristics variation of *Quercus phillyraeoides* seeds

年份 Year	指标 Item	$G_{种群}$	$G_{株间}$	$G_{株内}$	$D_{株间}$
2008	长度 Length	0.105 4	0.055 0	0.050 5	0.521 4
	宽度 Breadth	0.090 4	0.040 4	0.050 0	0.446 9
	重量 Weight	0.250 4	0.112 6	0.137 7	0.449 8
2009	长度 Length	0.097 5	0.035 4	0.062 1	0.363 0
	宽度 Breadth	0.100 4	0.037 9	0.062 5	0.377 6
	重量 Weight	0.265 8	0.104 6	0.161 2	0.393 5

3 小结与讨论

通过对福建茫荡山乌冈栎种群 23 个单株, 数千粒种子的长度、宽度和重量的测量发现, 种群内及单株间均存在较大的变异。利用变异系数 (CV) 和 Gini 指数对乌冈栎种群的变异进行研究发现, 其各变异范围在 5%~50% 之间, 变异系数 (CV) 要较 Gini 指数敏感; 在各单项指标中, 重量的变异是最大的, 一方面是因为乌冈栎存在大小年的原因, 另

一方面与生长环境有直接的关系。从 Gini 指数的变异分配来看, 株间的作用要稍弱于株内作用 ($D_{株内}$ 变异比例大多大于 50%), 这说明乌冈栎果实表型变异主要受自身的影响较大, 如结果朝向、结果部位等。此外, 年份间的变化亦是较大的, 产量存在明显的大小年情况, 同时种子重量和表型亦随产量发生变化。从表型上来说, 2008 年采集的乌冈栎种子在长度和宽度上几乎都要比 2009 年的在数量级别上大 20%~30%, 而重量上也相差了将近 20% 左

右的比例；从重量分布格局图来看，2008年种子呈正态分布，而2009年的分布趋向于较轻的部分。因此，如何消除或减弱乌冈栎果实产量大小年的问题，是今后深入研究的一个方向。

为什么在不同的年份，同一产区同样的取样群体，其种子重量会有如此大的差别？栎属植物结实一般存在明显的大小年^[21]，而乌冈栎亦不例外。过去对这一现象的解释是果实的生长发育消耗了很多养分，以致不能有足够的养分供花芽形成之用；但随着对内源激素认识的深化，已有很多证据说明正在发育的种子产生抑制花芽孕育的激素，主要是赤霉素，也是形成大小年的原因之一。

不同种生活在不同的环境中，具有大小不同的种子，环境因子是影响种子大小的重要因素之一。一般而言，生活在荫蔽度高、稳定生境中的种常具有较大的种子，而生活在开旷、易受干扰环境中的种常具有相对较小的种子；此外生活在潮湿生境中的种比生活于较干旱生境中的种具有较小的种子^[22]。笔者对茫荡山乌冈栎种群的调查分为3条路线，一是瞭望台山，一是三千八百坎庙后，另外是沿着去电视台的路，其中三千八百坎庙后生境保存较好，干扰较少。通过对乌冈栎种子的粗略比较，虽然个体在3个样地上略有差别，但其差异程度不明显（ $P>0.05$ ），这一方面可能与样地间距离有关，另一方面可能与该地区乌冈栎林的群落性质有关。由于茫荡山乌冈栎群落地处山顶，乌冈栎多生长于裸露的砂岩土或位于悬崖边上，形成了高山灌丛状；为了适应山顶低温及土壤贫瘠的环境，其生殖生长与营养生长之间就存在一个权衡关系。同时，亦考虑了不同年份气象指数对该区乌冈栎种子大小及结实情况的影响，但通过2008年与2009年降水、月均温、极端温度等气象指标的比对后发现，2年气象指数均在正常范围内，并无明显差异；此外，由于研究地属于山顶，经过长期的演变，乌冈栎已经适应了相对恶劣的山顶环境。因此，气象变化对乌冈栎种实大小的年变化不存在显著影响。

表型多样性是遗传多样性与环境多样性的综合体现，种群在其分布区内各种环境下的表型变异，是生物多样性与生物系统学的重要研究内容^[23]。种子大小表征了种子内营养物质的多少，其变异程度会影响种子扩散和种子萌发等，对幼苗存活有很大影响，进而影响种群更新；同时，种子大小与果实大小有着密切的关系^[24]。壳斗科果实形态变异的研究亦见有报道：陈小勇^[20]对黄山2个青冈种群果实的变异进行了研究指出，黄山青冈一个种群内种子

的异质性的2/3来自于单株内，说明一个植株中不同部位对种子的异质性的影响比较大，这与乌冈栎种群果实的变异相似；陈艳^[18]对大金岛青冈种群的研究指出，大金岛青冈种群种子性状表型差异主要是由于环境饰变引起，遗传因素在大金山岛青冈种群种子表型变异的作用不突出，这是由于大金岛环境条件相对一致，选择所起的作用较小。茫荡山乌冈栎种群果实表型遗传多样性的变化与前人的研究结果基本一致，即较小的生境内的表型变异动力来自于环境大于遗传作用。因此，对乌冈栎果实形态变异研究对该物种的群落演替和种群更新，及其生态适应过程和系统发育过程都具有重要意义。

乌冈栎种子重量及表型两年的回归曲线函数均表现出明显的差异性，这在林业实践指导上提供了一些有价值的信息。一方面说明了不同年份间乌冈栎种子表型变化的程度不同，从表型上体现出果实大小年的情况；另一方面在造林种实育苗时，曲线具有积极的指导意义，就本研究而言，2008年果实的形态和重量要优于2009年。

种内变异是物种形成与进化的基础，对种群间和种群内的变异式样、变异规律进行研究，对我们更加全面准确地理解种内个体所表现的形态差异，揭示物种形成与进化的机制提供很大帮助^[25]。受实验条件限制，本文仅对福建茫荡山乌冈栎种群的果实进行了研究，从单一种群的角度论证了乌冈栎种子重量和表型变异的存在，下一步研究应从地理分布格局变异的角度做更深入探讨，这对开展乌冈栎种质资源的保护、评价与利用具有重要的意义。

致谢：福建国有来舟林业试验场康木水高级工程师、陈能德工程师等在种子收集方面给予了大力支持；南京林业大学段一凡博士、段溪硕士在种子测量中给予了帮助；东南大学刘璇博士在数据处理过程中给予了指导；在此，一并表示诚挚谢意。

参考文献：

- [1] 徐博, 王赞, 陆景伟, 等. 内蒙古东部地区小叶锦鸡儿表型变异研究[J]. 植物研究, 2009, 29(3): 276-281.
- [2] 徐亮, 包维楷, 何永华. 4个岷江柏种群的球果和种子形态特征及其地理空间差异[J]. 应用与环境生物学报, 2004, 10(6): 707-711.
- [3] 蔡琰琳, 金则新. 濒危植物夏蜡梅果实、种子形态变异研究[J]. 西北林学院学报, 2008, 23(3): 44-49.
- [4] Vidakovic M. Investigation on the intermediate type between the Austrian and Scots pine[J]. Sivea Genetica, 1958, 7: 12-19.
- [5] Stasziewicz J. Biometric studies on the cones of *Pinus sylvestri* L. growing in Hungary[J]. Acta Botanica, 1961,

- 7: 451-466.
- [6] Ruby J L, Wright J W. A revised classification of geographic varieties in scots pine [J]. *Silvae Genetica*, 1976, 25(5/6): 169-175.
- [7] Eriksson O. Game theory provides no explanation for seed size variation in grasslands[J]. *Oecologia*, 2005, 144: 98-105.
- [8] Sadras V O. Evolutionary aspects of the trade-off between seed size and number in crops [J]. *Field Crops Research*, 2007, 100: 125-138.
- [9] 刘桂丰, 杨传平, 刘关君, 等. 白桦不同种源种子形态特征及发芽率[J]. *东北林业大学学报*, 1999, 27(4): 1-4.
- [10] 王小平, 刘晶岚, 王九龄, 等. 白皮松种子及球果形态特征的地理变异[J]. *北京林业大学学报*, 1998, 20(3): 25-31.
- [11] 蔡永立, 王希华, 宋永昌. 中国东部亚热带青冈果实形态变异的研究[J]. *生态学报*, 1999, 19(4): 581-586.
- [12] 窦全丽, 何平, 肖宜安, 等. 濒危植物缙云卫矛果实、种子形态分化研究[J]. *广西植物*, 2005, 25 (3): 219-225.
- [13] 孙玉玲, 李庆梅, 杨敬元, 等. 秦岭冷杉球果与种子的形态变异[J]. *生态学报*, 2005, 25(1): 176-181.
- [14] 赵志刚, 郭俊杰, 沙二, 等. 我国格木的地理分布与种实表型变异[J]. *植物学报*, 2009, 44(3): 338-344.
- [15] 余诚棋, 方升佐, 杨万霞. 青钱柳种子形态特征的地理变异[J]. *南京林业大学学报: 自然科学版*, 2008, 32(4): 63-66.
- [16] 林芳, 叶德星, 涂传进, 等. 茫荡山小叶青冈天然林群落结构特征研究[J]. *北华大学学报: 自然科学版*, 2007, 8(5): 428-433.
- [17] 王娅丽, 李毅, 陈晓阳. 祁连山青海云杉天然群体的种实性状表型多样性[J]. *林业科学*, 2008, 44(2): 70-77.
- [18] 陈艳, 沈浪, 应向阳. 中国大陆青冈分布区东缘大金山岛种群种子形态变异[J]. *广西植物*, 2007, 27(4): 555-559.
- [19] 方志荣, 苏智先, 蒋炜, 等. 珙桐果核形态变异与结实率相关性的初步研究[J]. *武汉植物学研究*, 2008, 26(5): 528-532.
- [20] 陈小勇. 黄山青冈种子形态变异的初步研究[J]. *种子*, 1994(5): 16-19.
- [21] Crow T R. Reproductive mode and mechanisms for self-replacement of northern red oak (*Quercus rubra*)-A review[J]. *Forestry Science*, 1988, 34(2): 19-40.
- [22] 马绍宾, 姜汉侨. 小檗科鬼白亚科种子大小变异式样及其生物学意义[J]. *西北植物学报*, 1999, 19(4): 715-724.
- [23] 李桂强, 何平, 刘庆军. 华南黑桫欏天然居群表型多样性分析[J]. *西南大学学报: 自然科学版*, 2007, 29(2): 80-85.
- [24] 张飞琳, 郭美丽, 齐天进, 等. 太白山油松球果和种子形态变异分析[J]. *陕西林业科技*, 2007(4): 1-4, 28.
- [25] 李梅, 韩海荣, 康峰峰. 山西灵空山辽东栎种群叶性状表型变异研究[J]. *北京林业大学学报*, 2005, 27(5): 10-16.