

青藏高原东缘黄帚橐吾种子的形态分化研究

杨建美¹, 陈学林^{1,2}, 张慕华¹, 董平¹, 温发昕¹

(1 西北师范大学 生命科学院, 甘肃 兰州 730070; 2 兰州大学 干旱与草地生态教育部重点实验室, 甘肃 兰州 730000)

[摘要] **【目的】**研究青藏高原东缘黄帚橐吾种子大小的变异式样, 及海拔高度对种子大小的影响。**【方法】**采集青藏高原东缘不同海拔高度分布的3个黄帚橐吾自然种群的种子, 测量并计算种子的长度、宽度、高度、千粒质量等9项形态学指标, 用单因素方差分析法评价各指标的变异程度, 并对上述指标与种群分布的海拔高度和种子总体方差的相关性进行分析。**【结果】**①黄帚橐吾种子的表型性状在种群内和种群间均存在一定程度的变异, 其中种子长/高的变异系数在3个种群内及各种群间均最高, 而种子千粒质量的变异系数均最低, 表明种子质量较稳定。②黄帚橐吾种群间种子表型性状的 t 检验结果说明, 种群间已产生较明显的表型性状分化。③相关分析结果表明, 海拔高度与黄帚橐吾种子表型性状之间存在一定程度的相关性, 黄帚橐吾种子的表型性状随海拔升高表现出先增大后减小但总体增大的趋势; 总体方差与种子长/高具有较高相关性。**【结论】**种子长/高可以替代总体方差来衡量黄帚橐吾种子的整体形态; 海拔是影响黄帚橐吾种子大小及变异的一个重要因素。

[关键词] 黄帚橐吾; 种子大小; 形态分化; 种群

[中图分类号] Q944.3

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2010)01-0060-07

Morphological differentiation of seeds of the clonal herb *Ligularia virgaurea* in the eastern Qinghai-Tibet Plateau

YANG Jian-mei¹, CHEN Xue-lin^{1,2}, ZHANG Mu-hua¹, DONG Ping¹, WEN Fa-xin¹

(1 College of Life Science, Northwest Normal University, Lanzhou, Gansu 730070, China;

2 Key Laboratory of Arid and Grassland Ecology of the Ministry of Education, Lanzhou University, Lanzhou, Gansu 730000, China)

Abstract: **【Objective】**The seed size variation pattern of *Ligularia virgaurea* and the effects of altitude on seed size variation were studied in eastern Qinghai-Tibet Plateau. **【Method】**The seeds of *L. virgaurea* were collected from 3 natural populations with different elevations. Based on the data of 9 morphological characters of seeds, the seed size variability was analyzed by One-way ANOVA and t -test, then the relativity about the morphological characters of seeds and altitude and variance was analyzed. **【Result】**① The seeds traits of *L. virgaurea* exhibited certain differentiations in 9 morphological characters and the variation of coefficient of ratio of length to high of seed was the highest among and within the three populations of *L. virgaurea*, while the coefficient of variation of variation of seed weight was the lowest, indicating that seed weight was more stable than others among the characters studied. ② t -test of the inter-populations morphological variations indicated that there was an evident differentiation among populations. ③ Correlation analysis suggested that morphological variation of seeds of *L. virgaurea* was correlated to elevation, indicating that elevation played an important role in morphological variation. The seeds traits of *L. virgaurea* showed an increasing pattern, and then a decreasing pattern with the increase of elevation, but there was an

* [收稿日期] 2009-05-27

[基金项目] 国家自然科学基金项目(30470307); 西北师范大学植物学重点学科资助项目

[作者简介] 杨建美(1982—), 男, 甘肃武威人, 在读硕士, 主要从事系统与进化植物学研究。E-mail: yangjianmei@126.com

[通信作者] 陈学林(1963—), 男, 甘肃永登人, 教授, 硕士生导师, 主要从事系统与进化植物学研究。

E-mail: chenxuelin63@163.com

increasing trend in general; Variance of three dimensions (length, breadth and high) of seeds had higher correlation to SL/SH. 【Conclusion】 SL/SH instead of the variance of three dimensions is more appropriate than others to measure the seeds overall pattern of *L. virgaurea*; Elevation is an important factor affecting the seed size and its variation.

Key words: *Ligularia virgaurea*; seed size; morphological differentiation; population

种子大小多态性广泛存在于自然界的被子植物中,有关研究表明,由于选择和进化的双重压力,植物种群间、种群内甚至个体间的种子大小都有不同程度的分化^[1-3]。

种子大小作为植物的主要功能特征,与干扰^[2]、结种量^[4]、成苗状态^[5-9]、土壤种子库寿命^[10-11]、生活型^[2,4,9,12]、植被动态^[13-14]等有密切关系。对种子大小分化的研究,不仅有助于分类学发展,同时也有助于了解环境因子对物种作用的程度及方式,从而揭示遗传和自然因素在物种的生态适应和分化过程中扮演的角色。因此,研究植物种群间种子大小的分化,对认识群落演替、种群更新过程及方式具有重要的生态意义。

黄帚橐吾(*Ligularia virgaurea*)属菊科(Compositae)橐吾属(*Ligularia* Cass.)多年生草本植物,广泛分布于青藏高原东部海拔 2 600~4 700 m 的高寒草场中。由于黄帚橐吾体内含有毒的白色乳液,牛羊不食,加之近年来自然条件恶化及人为因素

的影响,导致草场退化,拓展了其生存空间,使其种群不断扩大,并常在草场中形成优势群落,严重影响了草原的生态平衡及经济效益。对该物种的既有研究主要集中在挥发物^[15]、繁殖分配特征^[16-18]、有性生殖^[19]和克隆生长^[20]等方面。本研究以青藏高原东缘不同海拔高度分布的 3 个黄帚橐吾自然种群的种子为分析对象,揭示其种子大小变异式样及海拔高度对种子大小的影响,以期为其防治及草原恢复提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 种子的采集

2005 和 2006 年的 6—10 月,在青藏高原东缘甘南藏族自治州境内,选取分布在不同海拔高度的 3 个黄帚橐吾自然种群(QTP I、QTP II、QTP III),随机采集成熟种子若干。各采样点地理环境条件见表 1。

表 1 黄帚橐吾种子采集地的自然概况

Table 1 Natural conditions of different habitats of *L. virgaurea*

种 群 Population	海拔/m Altitude	生活型 Life form	生 境 Habitat	≥0℃年积温/℃ ≥0℃ year accumulated temperature	最低月均气温/℃ Minimum monthly average temperature	最高月均气温/℃ Maximum monthly average temperature
QTP I	3 300	多年生草本 Perennial herb	河谷灌丛 Valley shrub	1 500	−10	12
QTP II	3 450	多年生草本 Perennial herb	高寒草甸 Alpine meadow	1 350	−9.25	12.75
QTP III	3 800	多年生草本 Perennial herb	高寒草甸 Alpine meadow	<1 300	<−12	<10

1.2 种子形态指标的测定

所采种子在自然状态下风干后混合,随机挑选发育正常的成熟种子备用。

质量测定:选取 100 粒种子为 1 组,用精确度十万分之一的电子天平称量,重复 5 次,计算种子千粒质量(SW,g)。

形状测定:选取 100 粒种子,用电子数显游标卡尺测定种子长(SL,mm)、种子宽(SB,mm)和种子高(SH,mm),并计算种子长/种子宽(SL/SB)、种子长/种子高(SL/SH)、种子宽/种子高(SB/SH)、种子宽/种子长(SB/SL)和总体方差(V)。总体方差

用 Thompson 等^[10]介绍的方法,即将种子形状与球体形状对比,求种子长、宽、高的总体方差,总体方差的计算公式为 $[n\sum x^2 - (\sum x)^2]/n^2$,即: $[3(x_{长}^2 + x_{宽}^2 + x_{高}^2) - (x_{长} + x_{宽} + x_{高})^2]/3^2$ 。用种子总体方差衡量种子形状,当总体方差>0.05 时,种子形状偏离圆球形;总体方差<0.05 时,种子形状接近圆球形。但在计算方差前要对数据进行转换。转换方法是先将长定为 1,然后求出宽和高相对于长的比值。

1.3 数据的统计与分析

用常规方法计算黄帚橐吾种子在种群内各形态

性状的最大值、最小值、平均值、标准差、变异系数等,以衡量形态性状变异的程度^[21]。利用 SPSS 17.0 软件^[22]中的 One-way 过程,分别对 3 个种群种子的表型性状变异进行显著性分析,并对种群内各性状进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 黄帚橐吾种子的大小及其变异式样

2.1.1 种子大小 由表 2 可见,不同黄帚橐吾种群的种子在表型性状上有一定差异。3 个种群种子的 SL、SB、SH 的最大值和最小值分别为 5.500 和

2.630,1.310 和 0.640,及 1.200 和 0.490 mm,最大值是最小值的 2 倍多,说明这些表型性状分布比较分散,存在明显的大小分化。3 个种群种子 SW 的平均值分别为 1.154,1.545 和 1.268 g,位于 3 450 m 海拔的种群(QTP II)种子质量明显大于其他 2 个种群,揭示了此海拔可能是黄帚橐吾生长繁殖相对较适宜的海拔高度。另外,从 3 个种群的 SL/SB、SB/SH、SL/SH 和 SB/SL 值可以看出,种子均呈长扁平形,种子总体方差值($0.132>0.128>0.127>0.05$)也证明了这一点。

表 2 青藏高原东缘黄帚橐吾种群种子大小的测定值及其变异系数
Table 2 Value and coefficient of variation of seed characters of *L. virgaurea*

种群 Population	观测项目 Item	最大值 Max	最小值 Min	变异范围 Range	平均值 Mean	标准差 Std dev	标准误 Std E	变异系数/% CV
QTP I	SL/mm	4.760	2.630	2.130	3.748	0.492	0.070	13.127
	SB/mm	1.250	0.640	0.610	0.923	0.139	0.020	15.600
	SH/mm	1.080	0.520	0.560	0.790	0.139	0.020	17.595
	SL/SB	6.578	2.604	3.974	4.121	0.785	0.111	19.049
	SL/SH	7.943	2.692	5.251	4.879	1.004	0.142	20.578
	SB/SH	1.754	0.748	1.006	1.203	0.235	0.332	19.534
	SB/SL	0.384	0.152	0.232	0.251	0.048	0.007	19.124
	V	0.398	0.344	0.054	0.132	0.014	0.002	10.606
	SW/g	1.224	1.066	0.158	1.154	0.067	0.030	5.805
QTP II	SL/mm	5.500	3.180	2.320	4.008	0.586	0.083	14.621
	SB/mm	1.230	0.650	0.580	1.064	0.135	0.019	12.688
	SH/mm	1.200	0.490	0.710	0.869	0.129	0.018	14.845
	SL/SB	7.369	2.667	4.702	3.835	0.817	0.116	21.304
	SL/SH	7.836	2.808	5.028	4.727	1.092	0.154	23.101
	SB/SH	2.102	0.714	1.388	1.250	0.247	0.035	19.760
	SB/SL	0.375	0.136	0.139	0.270	0.048	0.007	17.778
	V	0.394	0.348	0.046	0.127	0.014	0.002	11.024
	SW/g	1.726	1.414	0.312	1.545	0.130	0.058	8.414
QTP III	SL/mm	4.860	3.040	1.820	3.933	0.445	0.063	11.315
	SB/mm	1.310	0.680	0.630	1.033	0.116	0.016	11.229
	SH/mm	1.100	0.560	0.540	0.865	0.121	0.017	13.988
	SL/SB	5.456	2.951	2.505	3.838	0.520	0.074	13.549
	SL/SH	7.161	3.287	3.874	4.618	1.732	0.104	37.505
	SB/SH	1.714	0.716	0.998	1.213	0.186	0.026	15.334
	SB/SL	0.339	0.183	0.156	0.265	0.034	0.005	12.830
	V	0.379	0.350	0.029	0.128	0.010	0.001	7.813
	SW/g	1.364	1.176	0.188	1.268	0.081	0.036	6.388

2.1.2 种子大小变异 由表 3 方差分析结果可知,来自不同自然环境条件下的黄帚橐吾种群,其种子的 SL、SB、SH、SW 在种群间的差异除 SL 呈显著外,其余均呈极显著,表明种子大小在不同种群间存在明显的变异。对不同种群种子大小指标的 *t* 检验结果(表 4)表明,在 QTP I 与 QTP II、QTP III 种群间,QTP I 种群种子的 SL、SB、SH、SB/SH、SB/SL 和 SW,均比 QTP II、QTP III 种群的小,且 SL 差异显著,SB、SH、SW 差异极显著;QTP I 种群种子的

SL/SB、SL/SH 和 V 均比 QTP II、QTP III 种群的大,其中仅 SL/SB 差异显著。在 QTP II 与 QTP III 种群间,QTP II 种群种子的 SL、SB、SH、SL/SH、SB/SH、SB/SL 和 SW,均比 QTP III 种群的大,其中 SL 差异显著,SW 差异极显著;QTP II 种群种子的 SL/SB、V 比 QTP III 种群的小,其中仅 SL/SB 差异显著。由以上比较可以看出,QTP II 种群的种子大小性状值总体上高于 QTP I 和 QTP III 种群,可能是因为 QTP II 种群的生长环境相对优越所致。

由表 2 可知,就各性状变异系数而言,不同表型性状在同一种群内或同一表型性状在不同种群间,均存在一定的差异。在种群 QTP I 中,表型性状变异系数的最大值为 20.578%(SL/SH),19.534%(SB/SH)次之,最小值为 5.805%(SW);在种群 QTP II 中,变异系数最大值为 23.101%(SL/SH),21.304%(SL/SB)次之,最小值为 8.414%(SW);在种群 QTP III 中,变异系数最大值为 37.505%(SL/SH),15.334%(SB/SH)次之,最小值为 6.388%(SW);3 个种群均以 SL/SH 的变异系数最大,以 SW 的最小。同时,在 3 个种群的 SL、SB、SH

和 SW 4 个重要性状中,均以 SH 的变异系数最大,以 SW 的最小;说明在不同种群中,种子大小的分化主要表现在高上,而千粒质量相对较稳定。比较 3 个种群种子表型性状的变异系数发现,QTP III 种群种子表型性状的变异总体上小于 QTP I 和 QTP II,这表明在种子表型性状分化上,种群 QTP III 较 QTP I 和 QTP II 稳定,这可能与其所处的自然环境有关。另外,通过对种群间变异系数平均值的分析也可发现,最大值为 27.061%(SL/SH),最小值为 6.842%(SW),相比之下,SL/SB 的变异最大,而 SW 最为稳定。

表 3 黄帚橐吾种子大小指标的变异分析
Table 3 Variance analysis of seed characters of *L. virgaurea*

指标 Index	变 量 Variable								SW
	SL	SB	SH	SL/SB	SL/SH	SB/SH	SB/SL	V	
种群间离差平方和 Sum of squares among populations	1.800	0.506	0.199	2.692	1.715	0.061	0.010	0.001	0.404
种群内离差平方和 Sum of squares within populations	38.403	2.501	2.484	76.125	134.114	7.399	0.283	0.023	0.111
F 值 F Value	3.445*	14.884**	5.879**	2.599	0.940	0.606	2.515	1.851	21.792**

注: * 表示差异显著($P<0.05$); ** 表示差异极显著($P<0.01$)。下表同。
Note: * Variation is significant at the 0.05 level; ** Variation is significant at the 0.01 level. The same below.

表 4 黄帚橐吾种群间种子大小指标变异的 t 检验
Table 4 t-test of variation of seed characters in *L. virgaurea* populations

种 群 Population	t 值 t value								SW
	SL	SB	SH	SL/SB	SL/SH	SB/SH	SB/SL	V	
QTP I-QTP II	-2.409*	-4.948**	-2.953**	1.785*	0.722	-0.972	-1.986	1.603	-5.989**
QTP I-QTP III	-1.972*	-4.196**	-2.870**	2.121*	1.483	-0.237	-1.648	1.668	-2.426**
QTP II-QTP III	0.728*	1.232	0.184	-0.026*	0.587	0.842	0.651	-0.198	4.054**

2.2 黄帚橐吾种子大小指标与海拔的关系

对 3 个黄帚橐吾种群种子的表型性状变量与海拔的相关性进行分析,结果(表 5)表明,在 $P=0.05$ 水平上,与海拔呈正相关的形态指标有 SL、SB、SH、SB/SL、V 和 SW,即随着海拔的升高,SL、SB、SH、SB/SL、V 和 SW 逐步增大;与海拔呈负相关的有

SL/SB、SL/SH、SB/SH,即随着海拔的升高,SL/SB、SL/SH、SB/SH 逐步减小。对种子而言,最重要的形态指标 SL、SB、SH、SW 与海拔均呈正相关,其中海拔与 SB、SH 分别呈极显著和显著相关,说明海拔对种子的表型性状有重要影响。

表 5 黄帚橐吾种子大小指标与海拔的相关系数

Table 5 Correlation coefficients calculated on the altitude and seed characters of *L. virgaurea*

指 标 Index	SL	SB	SH	SL/SB	SL/SH	SB/SH	SB/SL	V	SW
相关系数 Correlation coefficient	0.108	0.232**	0.189*	-0.134	-0.107	-0.002	0.094	0.066	0.053

2.3 黄帚橐吾种子总体方差与其他形态指标间的相关性

分别对 3 个黄帚橐吾种群种子的总体方差与其他各表型性状进行相关性分析,结果(表 6)表明,在种子表型性状中,与总体方差呈极显著正相关的形态指标有 SL、SL/SB 和 SL/SH;与总体方差呈不显著正相关的表型性状仅有 SB/SH;与总体方差呈显

著或极显著负相关的表型性状有 SB、SH、SB/SL。

以上分析说明,3 个种群的种子表型性状普遍与总体方差呈显著或极显著的相关性,表明总体方差与这些形态指标有密切的关系。另外,在这 3 个种群中,与总体方差相关性最强的均为 SL/SH,说明 SL/SH 与总体方差的关系最为密切。

表 6 黄帚橐吾种子总体方差与其他形态指标间的相关系数
Table 6 Correlation coefficients calculated on the variance and seed characters of *L. virgaurea*

种群 Population	变 量 Variable						
	SL	SB	SH	SL/SB	SL/SH	SB/SH	SB/SL
QTP I	0.620**	−0.484**	−0.552**	0.822**	0.851**	0.110	−0.858**
QTP II	0.768**	−0.411**	−0.548**	0.823**	0.864**	0.196	−0.879**
QTP III	0.598**	−0.342*	−0.468**	0.792**	0.849**	0.214	−0.833**

3 讨 论

本研究对青藏高原东缘不同海拔高度分布的黄帚橐吾种群的种子大小进行了比较,特别是对种子大小变异与环境因素之间的关系进行了探讨。结果表明,不同种群之间种子大小存在显著或极显著变异,其主要影响因素为海拔,这与前人对其他植物种群的研究结果相似^[23-25]。有关研究表明,海拔相差约 200 m 的种群,其种子长、宽及种子质量等形态指标间的差异可达 30% 以上^[26]。在本研究中,种子的形态指标 SL、SB、SH、SW 与海拔均呈正相关,其中海拔与 SB、SH 分别呈极显著、显著相关,说明海拔高度对黄帚橐吾种子的表型性状有较大影响。另有研究表明,随着海拔的升高,种子大小有减小的趋势^[27];但徐亮等^[28]的研究发现,岷江柏球果和种子大小随海拔的升高而增大;蔡琰琳等^[23]对濒危植物夏蜡梅果实、种子形态变异的研究也得到了同样的结论。而在本研究中,种子大小随海拔升高却表现出复杂的变化形式,似乎是前两者的综合,即当海拔为 3 300~3 450 m 时,种子大小(包括种子长、宽、高和千粒质量等表型性状)随海拔的升高而增大;当海拔为 3 450~3 800 m 时,种子大小随海拔的升高而减小;整体上看,当海拔为 3 300~3 800 m 时,种子大小随海拔的升高在增大。这种变化可能与种子的适合度有关。黄帚橐吾种子大小在海拔 3 300~3 450 m 先增大,可能是由于海拔 3 450 m 左右的自然环境条件是其较适宜的生长繁殖环境。生长环境条件越优越,则种子能充分发育成熟,进而产生大种子。在海拔 3 450~3 800 m,种子大小减小但仍大于低海拔(3 300 m)种群,其可能的原因是大种子往往具有较高的适合度。海拔高度作为一种环境梯度,随其升高,植物的生存条件逐渐恶劣,如海拔每升高 100 m,温度下降 0.55 ℃,风力也随海拔的升高而加大^[29]。植物在高海拔下很难产生与其适宜海拔高度一样大小的种子,但还是尽可能产生相对较大的种子,因为大种子往往含有较多的能量物质,一般可萌发出较大、活力较强的幼苗^[30],并且可以保持大苗优势^[31-32];或者是由于大种子具有较高的

存活率^[33],这些特性使其增强了对恶劣环境的抗性,保证了种群的繁衍。此外,气候因子的差异也会对黄帚橐吾种群产生一定的影响。黄帚橐吾种群在海拔 3 300~3 450 m 时,随着海拔的升高,各采样地 ≥ 0 ℃年积温降低而种子增大,可能是黄帚橐吾种群生长发育成熟所需的 ≥ 0 ℃年积温不小于 1 350 ℃,在此积温以上,种子能够完全发育成熟,所以积温对此海拔范围内的黄帚橐吾种子大小影响不大,种子大小表现出的变异可能是其他原因。而在海拔为 3 450~3 800 m 时,随着海拔的升高, ≥ 0 ℃年积温和种子大小同时降低,可能是有效积温过低而使种子不能完全发育成熟;但种子却仍大于低海拔(3 300 m)种群,则可能是积温对黄帚橐吾种群种子大小的影响相对较小,或是包括土壤养分等其他因素综合作用的结果。积温及除海拔以外的其他生态因素对种子大小变异的影响,还需进一步研究。

在种子大小研究中,将种子整体形态作为一个研究指标,对于认识种子大小变异规律具有重要的现实意义。在目前的研究工作中,主要有以下几个指标被用于衡量种子的整体形状:长/宽^[1,34]、宽/长^[24-25]和总体方差^[4,13]等。以长/宽和总体方差衡量种子整体形态较为常见。但到底以何种标准衡量种子整体形态最为合适,目前尚无定论。在这些衡量指标的计算方面,长/宽等比值的计算较为简单,而总体方差的计算则相对复杂,增加了科学研究过程中的工作量,延长了获得研究成果的时间。本研究通过对种子总体方差与其他各指标的相关性分析得出,种子总体方差与种子长/高具有较强的相关性,初步认为可以用种子长/高来替代总体方差衡量种子的整体形态。但由于本研究只涉及 3 个独立种群,此结论是否具有普遍性,还有待更多的相关研究。

[参考文献]

[1] 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.
Dou Q L, He P, Xiao Y A, et al. Morphological differentiation of fruits and seeds of the endangered plant *Euonymus chloranthoides* [J]. Guihaia, 2005, 25(3): 219-225. (in Chinese)

- [2] 仲延凯,包青海,孙 维,等.割草干扰对典型草原土壤种子库种子数量与组成的影响Ⅲ:120种植物种子的大小与重量[J].内蒙古大学学报:自然科学版,2001,32(3):280-286.
Zhong Y K, Bao Q H, Sun W, et al. The influence of mowing on seed amount and composition in soil seed bank of typical steppe Ⅲ: Size and weight of seeds of 120 plant species [J]. Journal of Nei Mongol University: Natural Science Edition, 2001, 32(3): 280-286. (in Chinese)
- [3] 操国兴,钟章成,谢德体,等.缙云山川鄂连蕊茶种子形态变异的初步研究[J].西南农业大学学报,2003,25(2):105-107.
Cao G X, Zhong Z C, Xie D T, et al. A preliminary study on the morphological variation of seeds of *Camellia rosthornina* populations in Mt. Jinyun [J]. J Southwest Agric Univ, 2003, 25(2): 105-107. (in Chinese)
- [4] 闫巧玲,刘志民,李荣平,等.科尔沁沙地75种植物结种量种子形态和植物生活型关系研究[J].草业学报,2005,14(4):21-28.
Yan Q L, Liu Z M, Li R P, et al. Relationship of seed production, seed morphology and life form of plant species [J]. Acta Prataculturae Sinica, 2005, 14(4): 21-28. (in Chinese)
- [5] Munitamaki K. The effect of seed size and depth of seedling on the emergence of grassland plants [J]. Journal Science Agricultural Sco-Finiand, 1962, 34: 18-25.
- [6] 黄双全,刘桂霞,韩建国.种子大小和播种深度对种苗建植的影响[J].草业科学,2007,24(6):44-49.
Huang S Q, Liu G X, Han J G. Effect of seed mass and sowing depth on seedling establishment [J]. Pratacultural Science, 2007, 24(6): 44-49. (in Chinese)
- [7] Zhu X W, Huang Z Y, Liu H D. Effects of burial in sand and seed size on seed germination and seedling emergence in two leguminous shrubs in the Otindag Sandland, China [J]. Israel Journal of Plant Sciences, 2004, 52: 133-142.
- [8] Eckstein R L, Donath T W. Interactions between litter and water availability affect seedling emergence in four familial pairs of floodplain species [J]. Journal of Ecology, 2005, 93: 807-816.
- [9] Leishman M R, Westoby M. The role of seed size in seedling establishment in dry soil conditions experimental evidence from semi-arid species [J]. Journal of Ecology, 1994b, 82: 249-258.
- [10] Thompson K, Band S R, Hodgson J G. Seed size and shape predict persistence in soil [J]. Functional Ecology, 1993, 7: 236-241.
- [11] Moles A T, Hodson D W, Webb C J. Seed size and shape and persistence in the soil in the New Zealand flora [J]. Oikos, 2000, 89: 541-545.
- [12] Leishman M R, Westoby M. Hypotheses on seed size: tests using the semi-arid flora of western NewSouth Wales, Australia [J]. American Naturalist, 1994a, 143: 890-906.
- [13] 刘志民,李雪华,李荣平,等.科尔沁沙地70种植物繁殖体形状比较研究[J].草业学报,2003,12(5):55-61.
Liu Z M, Li X H, Li R P, et al. A comparative study on diaspore shape of 70 species found in the sandy land of Horqin [J]. Acta Prataculturae Sinica, 2003, 12(5): 55-61. (in Chinese)
- [14] 刘志民,李荣平,李雪华,等.科尔沁沙地69种植物种子重量比较研究[J].植物生态学报,2004,28(2):225-230.
Liu Z M, Li R P, Li X H, et al. A comparative study on seed weight of 69 species in Horqin sandy land [J]. Acta Phytoecologica Sinica, 2004, 28(2): 225-230. (in Chinese)
- [15] 马瑞君,王明理,朱学泰,等.黄帚橐吾挥发物的化感作用及其主要成分分析[J].应用生态学报,2005,16(10):1826-1829.
Ma R J, Wang M L, Zhu X T, et al. Allelopathy and chemical constituents of *Ligularia virgaurea* volatile [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(10): 1826-1829. (in Chinese)
- [16] 刘左军,杜国祯,陈家宽.不同生境下黄帚橐吾(*Ligularia virgaurea*)个体大小依赖的繁殖分配[J].植物生态学报,2002,26(1):44-50.
Liu Z J, Du G Z, Chen J K. Size dependent reproductive allocation of *Ligularia virgaurea* in different habitats [J]. Acta Phytoecologica Sinica, 2002, 26(1): 44-50. (in Chinese)
- [17] 刘左军,杜国祯,陈家宽.黄帚橐吾花序结构的资源配置与环境的关系[J].植物生态学报,2003,27(3):344-351.
Liu Z J, Du G Z, Chen J K. Relationship between habitats and resource allocation of inflorescence structure in *Ligularia virgaurea* [J]. Acta Phytoecologica Sinica, 2003, 27(3): 344-351. (in Chinese)
- [18] 刘左军,杜国祯,陈家宽,等.影响黄帚橐吾种子生产的因素Ⅰ:生境和花序结构[J].植物生态学报,2003,27(5):677-683.
Liu Z J, Du G Z, Chen J K, et al. Factors influencing seed production in *Ligularia virgaurea* Ⅰ: Habitat and architecture of inflorescence [J]. Acta Phytoecologica Sinica, 2003, 27(5): 677-683. (in Chinese)
- [19] 马瑞君,杜国祯,刘左军,等.青藏高原东部三种橐吾属植物更新对策的研究Ⅰ:从开花到种子萌发[J].草业学报,2002,11(2):29-36.
Ma R J, Du G Z, Liu Z J, et al. Regenerative strategies of three species of *Ligularia* (*Asteraceae*) in eastern of Qinghai-Xizang plateau of China Ⅰ: From flowering to germination [J]. Acta Pratacultural Science, 2002, 11(2): 29-36. (in Chinese)
- [20] 单保庆,杜国祯,刘振恒.不同养分条件下和不同生境类型中根茎草本黄帚橐吾的克隆生长[J].植物生态学报,2000,24(1):46-51.
Shan B Q, Du G Z, Liu Z H. Clonal growth of *Ligularia virgaurea*: Morphological responses to nutritional variation [J]. Acta Phytoecologica Sinica, 2000, 24(1): 46-51. (in Chinese)
- [21] 杜荣骞.生物统计学[M].北京:高等教育出版社,2003.
Du R Q. Biological statistics [M]. Beijing: Higher Education Press, 2003. (in Chinese)
- [22] 张 力.SPSS在生物统计中的应用[M].2版.厦门:厦门大学出版社,2008.
Zhang L. SPSS in the application of bio-statistics [M]. 2nd Edition. Xiamen: Xiamen University Press, 2008. (in Chinese)

- [23] 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.
Cai Y L, Jin Z X. Morphological variation of fruits and seeds in endangered plant *Sinocalycanthus chinensis* [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2008, 23(3): 44-49. (in Chinese)
- [24] 王 亮. 浙江天童国家森林公园中不同生境石栎树种落果的分析 [J]. 石河子大学学报: 自然科学版, 2007, 25(2): 137-140.
Wang L. Analysis on fruit character and sexual reproduction of *Lithocarpus glaber* population in different habitats in Tiantong National Forest Park, Zhejiang [J]. Journal of Shihezi University: Natural Science Edition, 2007, 25(2): 137-140. (in Chinese)
- [25] 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.
Cai Y L, Wang X H, Song Y C. Variation of fruit size and its shape of *Cyclobalanopsis glauca* in the eastern subtropical zone, China [J]. Acta Ecol Sin, 1999, 19(4): 581-586. (in Chinese)
- [26] 邓洪平, 何 平, 钟章成. 不同地理种源及演替群落的四川大头茶居群种子形态分化研究 [J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 1999, 24(2): 207-213.
Deng H P, He P, Zhong Z C. The studying of seeds morphological differentiation among population of *Gordonia acuninata* from different geographical provenances and successiving communities [J]. J Southwest China Normal Uni: Natural Science Edition, 1999, 24(2): 207-213. (in Chinese)
- [27] 马绍宾, 姜汉侨. 小檗科鬼臼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.
Ma S B, Jiang H Q. Study on the seed size variation pattern and their biological significance in Podophylloideae (Berberidaceae) [J]. Acta Botanica Boreli-Occidentalia Sinica, 1999, 19(4): 715-724. (in Chinese)
- [28] 徐 亮, 包维楷, 何永华. 4 个岷江柏松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.
Xu L, Bao W K, He Y H. Morphological characters and geographical variation of cones and seeds of four *Cupressus chenggiana* S. Y. HU populations [J]. Chinese Journal of Applied & Environmental Biology, 2004, 10(6): 707-711. (in Chinese)
- [29] Ozenda P. La vegetation de la chaine alpine dan l'espace montagnard europeen [M]. Paris: Masson, 1985.
- [30] Zimerman J K, Weis I K. Fruit size variation and its effects on germination and seedling growth in *Xanthium strumarium* [J]. Can J Bot, 1983, 61: 2309-2315.
- [31] 贺 晓, 李青丰. 小花位置对老芒麦和诺丹冰草种子质量的影响 [J]. 草业科学, 2005, 22(7): 41-44.
He X, Li Q F. The influence of floret position on the seed quality of *Elymus sibiricus* and *Agropyron desertorum* cv. Nordan [J]. Pratacultural Science, 2005, 22(7): 41-44. (in Chinese)
- [32] Paz H, Mazer S J, Martinez-Ramos M. Comparative ecology of seed mass in *Psychotria* (Rubiaceae): within-and between-specie effects of seed mass on early performance [J]. Functional Ecology, 2005, 19: 707-718.
- [33] Wulff R D. Seed size variation in *Desmodium paniculatum* II. Effects on reproductive and physiological performance [J]. Journal of Ecology, 1986, 74: 99-114.
- [34] 李 珊, 蔡宇良, 徐 莉, 等. 云南金钱槭果实、种子形态分化研究 [J]. 云南植物研究, 2003, 25(5): 589-595.
Li S, Cai Y L, Xu L, et al. Morphological differentiation of samaras and seeds of *Dipteronia dyeriana* (Aceraceae) [J]. Acta Botanica Yunnanica, 2003, 25(5): 589-595. (in Chinese)