

DOI: 10.5846/stxb201303080379

王琳, 刘彤, 韩志全, 刘华峰, 陈正霞, 罗宁. 古尔班通古特沙漠植物种子大小变异的空间格局. 生态学报, 2014, 34(23): 6797-6806.

Wang L, Liu T, Han Z Q, Liu H F, Chen Z X, Luo N. Variations and spatial distribution pattern of seed mass in the Gurbantunggut Desert. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(23): 6797-6806.

古尔班通古特沙漠植物种子大小变异的空间格局

王 琳¹, 刘 彤^{1,*}, 韩志全², 刘华峰¹, 陈正霞¹, 罗 宁¹

(1. 石河子大学生命科学学院, 石河子 832003; 2. 石河子大学理学院, 石河子 832003)

摘要:在古尔班通古特沙漠 70 个固定样地中采集了 87 种植物种子, 通过测量种子百粒重, 分析了种子大小在不同分类群中的变异规律, 并调查了样地中不同类型种子总数目的空间格局。结果发现: 1) 古尔班通古特沙漠植物种子大小可分为: A (0.1—1 mg)、B (1—10 mg)、C (10—100 mg)、D (100—1000 mg)、E (1000—5000 mg) 5 种类型。拥有不同类型物种数量差异较大, 其中 D 型种子物种最多, 含 41 种占总物种数目的 47.1%, 其次 C 型种子 30 种占总物种数目的 34.5%, E 型种子占总物种数的 13.8%, B 型种子占总物种数的 3.5%, A 型种子占总物种数的 1.1%。沙漠植物中中等种子大小物种占多数, 与以色列特拉维夫以北的 Poleg 自然保护区地中海沿岸沙漠地区相似。由于本地属、种为地中海区、西亚至中亚分布, 所以认为本沙漠种子大小主要受系统演化影响。2) 科间种子大小存在极显著差异, 百粒重最大科是蓼科 (29315 mg)、最小的是列当科 (0.3 mg)。藜科、菊科、紫草科的属间种子大小差异显著。3) 生活型间种子大小差异显著, 种子大小从大到小排序为: 灌木 > 类短命植物 > 多年生草本 > 短命植物 > 半灌木 > 1 年生草本。4) 种子大小与物种相对分布频度相关性不显著, 但将相对分布频度小于 1.4% 的环境特化物种去除后, 种子大小与物种相对分布频度呈指数型极显著负相关。5) B 型、C 型、D 型三类种子在样地中的总数目随海拔、经度和降水的增加而极显著增加, 随纬度的增加而极显著降低, E 型种子则与之相反。表明古尔班通古特沙漠未来随着降水的增加, B 型、C 型、D 型种子的植物优势性逐渐增加, 而 E 型种子的灌木类等物种优势性逐渐减少, 注意加以保护。

关键词: 沙漠; 种子大小; 系统发育; 生活型; 空间分布

Variations and spatial distribution pattern of seed mass in the Gurbantunggut Desert

WANG Lin¹, LIU Tong^{1,*}, HAN Zhiqian², LIU Huafeng¹, CHEN Zhengxia¹, LUO Ning¹

¹ College of Life Science, Shihezi University, Shihezi 832003, China

² College of Science, Shihezi University, Shihezi 832003, China

Abstract: Gurbantunggut Desert is a famous temperate desert with plant diversity is more special than the same latitude desert in the world. It is an important desert from the viewpoint of drought resistance, heat resistance, and saline plant germplasm resources. Samples were collected from 70 permanent plots (100 m × 10 m) in the desert, and the total number of different types of seeds and spatial patterns were investigated. Variations in seed mass and seed projected area among 87 species in different taxa were analyzed by measuring the 100-seed weight. The results were as follows: 1) The seed mass of plants can be divided into five classes: A (0.1—1 mg), B (1—10 mg), C (10—100 mg), D (100—1000 mg), and E (1000—5000 mg). These classes comprised 1.1%, 3.5%, 34.5%, 47.1%, and 13.8% of all species, respectively. Class D seeds were the most commonly examined species. The species were similar to those found in Mediterranean deserts, such as those in the northern areas of the Tel Aviv Poleg Nature Reserve. Most possess seeds of medium mass. Because the genera move from the Mediterranean region through western and central Asia, the seed mass of the desert plants may be determined

基金项目: 国家自然科学基金委-新疆联合基金重点项目 (U1130304); 国家自然科学基金 (41061004)

收稿日期: 2013-03-08; **网络出版日期:** 2014-03-19

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: betula@126.com

by phylogenetic evolution. 2) There was a significant difference in seed size among the family, maximum family of 100 grain weight is Polygonaceae (29315 mg), the smallest is Redanko (0.3 mg). There was significant difference in seed size among genera such as Chenopodiaceae, Compositae, and Boraginaceae. 3) The 87 species included six life forms and covered significant differences in seed mass as follows: shrub > ephemeral plant > perennial herb > ephemeroid > subshrub > annual herb. A great deal of shrub seed mass belonged to type E (1000—5000 mg). 4) There was no significant correlation between seed size and species relative distribution frequency. However, removed the environmental specialization species, which relative distribution frequency <1.4%. A negative correlation was observed between the exponential growth model of seed size and species distribution relative frequency. 5) The total number of species with type B, C, and D seeds increased with significant increase in altitude, but decreased with significant increase in latitude. It also increased with significant increase in longitude and precipitation. This was also true of the total number of seeds in the sample area. However, the opposite of this was true for type E seeds. This indicates that more precipitation gradually offered an advantage to plants with type B, C, and D seeds in the area but disadvantage to plants with type E. In future, efforts should be taken to protect the shrub belonging to type E in the Gurbantunggut Desert. The results of this study may facilitate the understanding of seed mass in the life history strategy of plants in arid desert areas and lay the foundation for further studies of plant biology in the Gurbantunggut Desert.

Key Words: desert; seed mass; phylogeny; life form; spatial variation

种子大小的变异是植物适应环境和进化的结果^[1]。种子大小作为植物生活史中一个重要的性状,对于植物在空间和时间上的延续有很大的影响。已有研究表明,种子大小和物种生物学和生态学特征都有密切的关系^[2-3],例如,种子的散布类型^[4-5]、植物生活型^[6-7]、植株高度^[8-9]、种子萌发^[10-11]、幼苗的存活^[12-13]、土壤种子库寿命^[14]、植被动态等^[15-17],所以种子大小的变异特征和机制是目前生物学、生态学研究的重要内容^[18]。

种子大小变异的空间格局是指种子在不同空间尺度上的分布特征,它是种子扩散的结果,受局部微环境以及区域大环境双重影响。由于不同物种、种群和个体的种子扩散格局不同,所以对种子大小变异的空间格局研究可以使人们从种子层面了解物种的适应特性,以及种子大小对物种分布的意义^[8,19]。

古尔班通古特沙漠,位于中亚荒漠与内亚(亚洲中部)荒漠之间的过渡带,属于典型温带内陆荒漠性气候,是我国第二大沙漠,并且是我国最大的固定与半固定沙漠,植被较其它同纬度的沙漠丰富^[20],是我国重要的抗旱、耐热、耐盐碱种质资源库^[21]。目前对该沙漠植物多样性的研究较多^[20,22-24],关于植物种子的研究多见于种子萌发^[25],而种子大小变异及其空间分布特征少有报道。为此,在多年调查研究基础上,对 87 种古尔班通古特沙漠植物的种子大

小性状进行了比较研究,分析不同类型的种子总数目与经度、纬度、海拔和年均降水的关系,探讨种子大小与种子空间分布格局的关系,为今后进一步研究古尔班通古特沙漠植物生物学奠定基础。

1 材料与方法

1.1 研究地概况

研究区位于古尔班通古特沙漠, N 44°23'52" — N 45°31'57", E 84°54'37" — E 88°50'03", 海拔 255—699 m, 自西向东逐渐升高。受气流、盆地地形、水文和植被等因素的影响,沙漠地貌形态出现明显的东西和南北方向上的分异。

沙漠区为温带干旱荒漠气候,年平均温度 5—5.7 °C, 极端最高气温 40 °C 以上, 极端最低气温小于 -40 °C, 年蒸发量 2000—2800 mm, >17.2 m/s 的大风天数沙漠中部到边缘 25—77 d 不等, 沙漠年降水量为 80—160 mm, 南和东南的年平均降水量高于西和西南部。沙漠土壤以固定、半固定风沙土占绝对优势。

1.2 样地的调查与种子采集

2011 年和 2012 年分别于 5—6 月初短命植物种子成熟时,对古尔班通古特沙漠南部的 70 个样点进行定点调查采种^[24,26]。在每样点随机选择典型沙垄,以垂直于沙垄走向的方向设置 100 m 长 10 m 宽

的样带,覆盖整个沙垄。将样带划分成 10 个 10 m×10 m 的样方,记录每个样点经度、纬度、和海拔数据,并统计每个样方中的物种数目、植物多度和各物种单株种子数目。2011 年、2012 年 5 月—10 月,分别在短命植物、1 年生草本植物、灌木等不同生活型植物种子成熟时对种子进行全面采集。

1.3 种子大小的测量与分类

采集的种子在通风条件下存放 2 月,风干至恒重。随机选取所采种子 100 粒,用万分之一克的电子天平称百粒重,种子过小用 1000 粒,种子不足则用 50 粒称量,重复 3 次取平均值,计算得出该物种百粒重^[27-28]。

尽管植物繁殖体常指种子,但在很多场合实际指果实,因为繁殖体同时也是传播体,而有些植物又不便于将果实和种子分开^[29-30]。在此所分析的是种子、闭果和单种果实。植物带外稃和芒(如果有芒)量测,菊科植物果实测量时带冠毛,鹤虱(*Lappula myosotis*)、雾冰藜(*Bassia dasyphylla*)等的果实带钩或刺量测^[31]。

将种子按照其百粒重的所在数量级可分为 5 类:A 型(0.1—1 mg)、B 型(1—10 mg)、C 型(10—100 mg)、D 型(100—1000 mg)、E 型(1000—5000 mg)^[7]。

1.4 种子投影面积(Projected area)的测量

参照骆彬等《利用普通扫描仪精确测量叶面积的技术及方法》中的操作方法^[32],用扫描仪获得种子投影面积图像,用 Scion Imager 处理,得出各物种百粒投影面积。

1.5 生活型的分类

将本研究区植物划分为 6 个类型:1 年生草本植物、短命植物、多年生草本植物、类短命植物、半灌木和灌木。其中短命植物和类短命植物的划分依据毛祖美和张佃民的《新疆北部早春短命植物区系纲要》^[33];1 年生草本、多年生草本、半灌木和灌木的划分则依据《中国植物志》(1995—2005)和《中国沙漠植物志》^[34]。

1.6 数据的分析方法

用单因素方差分析分析不同分类群下种子大小的差异性,用相关性分析分析种子大小与各个变量的相关性,并通过回归分析分析种子大小与物种相对分布频度的关系和样地中不同类型种子总数目随

海拔、经度、纬度、降水的变化趋势。其中物种相对分布频度(rf),公式为:

$$rf = n_i / N$$

式中, n_i 表示 i 物种出现的样地数, N 表示总样地数。

在进行种子大小与物种相对分布频度分析时发现,古尔班通古特沙漠中部分物种分布频度很低,存在严重的环境特化,对种子大小与物种分布的回归拟合效果产生影响,因此分别进行了观测的全部物种和相对分布频度 $\geq 1.4\%$ 的物种与种子大小的回归。

研究发现古尔班通古特沙漠不同类型种子大小与经度、纬度、海拔、年均降水回归均不显著,所以本研究采用样地中不同类型的种子总数目与经度等环境因子进行回归,分析不同种子大小类型影响物种分布的总体适应特征。样地中不同类型种子总数目为该类型下不同物种成株单株种子数目与该物种样地中植株总数目乘积之和。

回归分析中降水数据从德国气象局全球降水气候中心(Global precipitation climatology centre, GPCC)网站的气象资料得到研究地 30a 降水数据的插值^[24]。

2 结果分析

2.1 古尔班通古特沙漠种子大小和种子投影面积特征

共采集了 87 种植物的种子,分属 22 科 68 属(表 1)。其中,藜科 19 种,菊科 15 种,十字花科 9 种,豆科 8 种,紫草科 6 种、蓼科 5 种、禾本科 4 种,百合科 4 种,柽柳科、蒺藜科、大戟科各 2 种,11 个科只收集到 1 种植物,与张荣等对古尔班通古特沙漠多样性的研究观察到的物种相似。其中种子百粒重最大的五种植物分别为:蒙古沙拐枣(*Calligonum mongolicum*)、头状沙拐枣(*Calligonum caputmedusae*)、泡果沙拐枣(*Calligonum junceum*)、锐枝木蓼(*Atraphaxis pungens*)、泡泡刺(*Nitraria sphaerocarpa*)。百粒重最小的五种植物分别为:列当(*Orobancha coerulescens*)、柽柳(*Tamarix chinensis*)、对节刺(*Horaninowia ulicina*)、雾冰藜(*Bassia dasyphylla*)、齿稈草(*Schismus arabicus*)。

相关性分析显示,种子大小与种子投影面积呈极显著正相关关系($r = 0.623, P = 0.000$)。较大的种

子拥有较大的表面积。

表 1 古尔班通古特沙漠植物种子大小和种子投影面积特征

Table 1 Seed mass and projected area of seed in Gurbantunggut Desert

科 Family	属 Genera	种 Species	种子大小 Seed mass/mg	种子投影面积 Projected area/cm ²
藜科 <i>Chenopodiaceae</i>	驼绒藜属	1 心叶驼绒藜 <i>Ceratoides ewersmanniana</i>	181.43	13.20
	梭梭属	2 梭梭 <i>Haloxylon ammodendron</i>	420.01	30.72
		3 白梭梭 <i>Haloxylon persicum</i>	530.22	37.15
	沙蓬属	4 沙蓬 <i>Agriophyllum squarrosum</i>	79.53	1.26
	猪毛菜属	5 钠猪毛菜 <i>Salsola nitraria</i>	125.12	4.30
		6 长刺猪毛菜 <i>Salsola paulsenii</i>	155.33	5.45
		7 早熟猪毛菜 <i>Salsola praecox</i> *	166.82	12.91
		8 刺沙蓬 <i>Salsola ruthenica</i>	79.53	3.32
	碱蓬属	9 绿碱蓬 <i>Suaeda glauca</i>	16.47	0.54
	对节刺属	10 对节刺 <i>Horaninowia ulicina</i>	2.60	0.11
	藜属	11 灰绿藜 <i>Chenopodium glaucum</i>	37.19	1.03
	地肤属	12 尖翅地肤 <i>Kochia odontoptera</i>	12.21	3.23
		13 伊朗地肤 <i>Kochia iranica</i>	11.31	0.82
	角果藜属	14 角果藜 <i>Ceratocarpus arenarius</i>	135.74	10.63
	滨藜属	15 犁苞滨藜 <i>Atriplex dimorphostegia</i>	36.21	1.03
	雾冰藜属	16 雾冰藜 <i>Bassia dasyphylla</i>	7.43	0.54
	叉毛蓬属	17 叉毛蓬 <i>Petrosimonia sibirica</i>	509.01	22.33
	沙蓬属	18 沙蓬 <i>Agriophyllum squarrosum</i>	61.72	1.26
	虫实属	19 倒披针叶虫实 <i>Corispermum lehmannianum</i> *	99.07	3.43
菊科 <i>Asteraceae</i>	绢蒿属	20 白茎绢蒿 <i>Seriphidium terraealbae</i>	31.11	1.57
	鼠毛菊属	21 顶毛鼠毛菊 <i>Epilasia acrolasia</i> *	390.03	1.26
	珀菊属	22 黄花珀菊 <i>Amberboa turanica</i>	295.66	19.24
	蓝刺头属	23 蓝刺头 <i>Echinops sphaerocephalus</i> **	378.62	7.68
	琉苞菊属	24 琉苞菊 <i>Hyalea pulchella</i> *	206.91	5.66
	莴苣属	25 飘带莴苣 <i>Lactuca undulate</i>	43.25	2.94
	粉苞菊属	26 沙地粉苞菊 <i>Chondrilla ambigua</i>	35.40	1.42
	蒿属	27 沙蒿 <i>Artemisia desertorum</i>	54.72	1.74
		28 准噶尔沙蒿 <i>Artemisia songarica</i>	55.54	1.11
	千里光属	29 疏齿千里光 <i>Senecio subdentatus</i>	29.61	1.48
	小甘菊属	30 小甘菊 <i>Cancrinia discoidea</i>	55.09	0.83
	蝎尾菊属	31 蝎尾菊 <i>Koelpinia linearis</i> *	340.01	5.84
	婆罗门参属	32 紫婆罗门参 <i>Tragopogon ruber</i> **	2230.33	35.22
	苓菊属	33 苓菊 <i>Jurinea lipskyi</i> Iljin	608.18	20.09
	鸦葱属	34 细叶鸦葱 <i>Scorzonera pusilla</i>	412.43	4.36
十字花科 <i>Brassicaceae</i>	涩芥属	35 卷果涩芥 <i>Malcolmia scorpioides</i> *	15.12	0.73
		36 涩芥 <i>Malcolmia africana</i> *	11.41	0.75
	菘蓝属	37 宽翅菘蓝 <i>Isatis violascens</i> *	445.31	38.19
		38 小果菘蓝 <i>Isatis minima</i> *	400.34	30.14
	螺喙芥属	39 螺喙芥 <i>Spirorhynchus sabulosus</i> *	1200.63	34.66
	庭芥属	40 庭芥 <i>Alyssum desertorum</i> *	14.33	0.61
		41 条叶庭芥 <i>Alyssum linifolium</i> *	13.85	0.47
	四棱芥属	42 四棱芥 <i>Goldbachia laevigata</i> *	26.32	0.84
	四齿芥属	43 弯曲四齿芥 <i>Tetracme recurvata</i> *	21.54	0.79

续表

科 Family	属 Genera	种 Species	种子大小 Seed mass/mg	种子投影面积 Projected area/cm ²
豆科 <i>Leguminosae</i>	黄耆属	44 亮白黄耆 <i>Astragalus candidissimus</i>	174.57	3.03
		45 茧荚黄耆 <i>Astragalus lehmannianus</i>	184.53	3.27
		46 弯花黄耆 <i>Astragalus flexus</i>	1336.77	12.32
		47 镰荚黄耆 <i>Astragalus arpilobus</i>	106.91	1.69
	无叶豆属	48 准噶尔无叶豆 <i>Eremosparton songoricum</i>	998.12	9.41
	棘豆属	49 猫头刺 <i>Oxytropis aciphylla</i> Ledeb.	238.16	7.28
	盐豆木属	50 铃铛刺 <i>Halimodendron halodendron</i>	652.84	7.48
	骆驼刺属	51 骆驼刺 <i>Alhagi sparsifolia</i>	330.25	7.57
	禾本科 <i>Gramineae</i>	齿稃草属	52 齿稃草 <i>Schismus arabicus</i> *	10.63
獐茅属		53 羽毛针茅 <i>Aeluropus pungens</i>	322.12	20.36
针禾属		54 羽毛三芒草 <i>Stipagrostis pennata</i>	74.54	6.86
早麦草属		55 东方早麦草 <i>Eremopyrum orientale</i> *	214.84	6.48
紫草科 <i>Boraginaceae</i>	翅鹤虱属	56 翅鹤虱 <i>Lepechiniella lasiocarpa</i> *	193.09	4.26
	假狼紫草属	57 假狼紫草 <i>Nnoea caspica</i> *	438.33	4.52
	天芥菜属	58 尖花天芥菜 <i>Heliotropium acutiflorum</i> *	102.19	4.21
		59 椭圆叶天芥菜 <i>Heliotropium ellipticum</i>	104.62	3.45
	软紫草属	60 硬萼软紫草 <i>Arnebia decumbens</i>	22.12	2.98
	鹤虱属	61 狭果鹤虱 <i>Lappula semiglabra</i> *	88.93	3.23
唇形科 <i>Labiatae</i>	荆芥属	62 小花荆芥 <i>Nepeta micrantha</i> *	20.41	0.69
石竹科 <i>Caryophyllaceae</i>	蝇子草属	63 沙生蝇子草 <i>Silene olgiana</i> *	48.36	1.12
百合科 <i>Liliaceae</i>	顶冰花属	64 分枝顶冰花 <i>Gagea divaricata</i> **	75.13	5.21
	独尾草属	65 粗柄独尾草 <i>Eremurus inderiensis</i> **	1200.61	18.97
		66 异翅独尾草 <i>Eremurus anisopterus</i> **	961.52	18.23
	葱属	67 碱韭 <i>Allium polyrhizum</i>	77.22	2.71
怪柳科 <i>Tamaricaceae</i>	怪柳属	68 怪柳 <i>Tamarix chinensis</i>	1.94	0.08
	红纱属	69 枇杷柴 <i>Reaumuria songarica</i>	107.65	5.98
蒺藜科 <i>Zygophyllaceae</i>	白刺属	70 白刺 <i>Nitraria tangutorum</i>	2219.52	14.72
		71 泡泡刺 <i>Nitraria sphaerocarpa</i>	2300.12	15.09
	大戟科 <i>Euphorbiaceae</i>	大戟属	72 土大戟 <i>Euphorbia turczaninowii</i> *	229.69
蓼科 <i>Polygonaceae</i>	沙拐枣属	73 沙大戟 <i>Chrozophora sabulosa</i> *	589.25	7.65
		74 锐枝木蓼 <i>Atraphaxis pungens</i>	2500.44	20.23
		75 泡果沙拐枣 <i>Calligonum junceum</i>	2700.21	79.41
		76 蒙古沙拐枣 <i>Calligonum mongolicum</i>	4985.83	36.17
		77 头状沙拐枣 <i>Calligonum caput-medusae</i>	3211.75	52.57
		78 淡枝沙拐枣 <i>Calligonum leucocladium</i>	1260.34	71.34
麻黄科 <i>Ephedraceae</i> Dumortier	麻黄属	79 蛇麻黄 <i>Ephedra distachya</i>	118.66	4.02
罂粟科 <i>Papaveraceae</i>	角茴香属	80 小花角茴香 <i>Hypecoum parviflorum</i> *	35.83	1.02
莎草科 <i>Cyperaceae</i>	苔草属	81 囊果苔草 <i>Carex physodes</i>	342.14	4.52
鸢尾科 <i>Iridaceae</i>	鸢尾属	82 细叶鸢尾 <i>Iris tenuifolia</i> **	2136.13	14.02
伞形科 <i>Umbelliferae</i>	簇花芹属	83 簇花芹 <i>Soranthus meyeri</i> **	1021.76	79.09
白花丹科 <i>Plumbaginaceae</i>	补血草属	84 补血草 <i>Limonium sinense</i>	30.46	1.18
牻牛儿苗科 <i>Geraniaceae</i>	牻牛儿苗属	85 尖喙牻牛儿苗 <i>Erodium oxyrrhynchum</i> *	512.81	26.68
车前科 <i>Plantaginaceae</i>	车前属	86 小车前 <i>Plantago minuta</i> *	171.24	3.73
列当科 <i>Orobanchaceae</i>	列当属	87 列当 <i>Orobanche coerulescens</i>	0.38	0.01

* 表示 1 年生短命植物, ** 表示类短命植物

2.2 种子大小的谱系分布

古尔班通古特沙漠植物种子大小变化范围较大(图1),共包括A、B、C、D、E 5个数量级。按种子大小数量级分布来看,D级种子最多,含41种占总物种数的47.1%,另外,A型种子1种占总物种数的1.1%,B型种子3种占总物种数的3.5%,C型种子30种占总物种数的34.5%,E型种子12种占总物种数的13.8%。

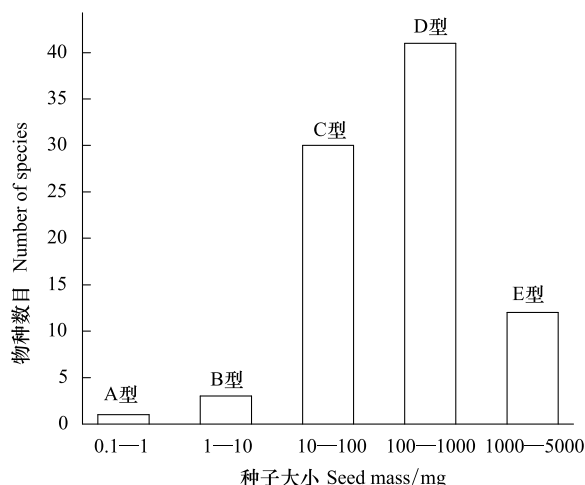


图1 不同种子大小数量级中物种数目

Fig.1 The number of species in different seed mass ranges for 87 species

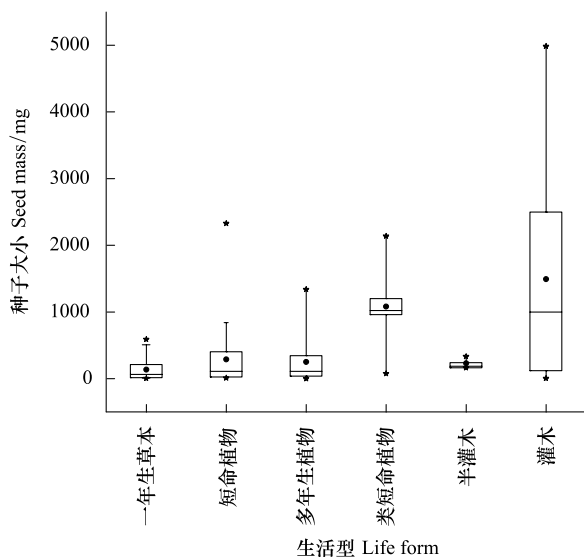


图2 不同生活型的种子大小

Fig.2 Seed mass ranges for life form

2.3 种子大小在不同分类水平上的变异性

单因素方差分析显示,科间种子大小存在极显著差异($F=8.147, P=0.000$)。其中百粒重最大的5

个科是蓼科(29315 mg)、蒺藜科(2259.75 mg)、鸢尾科(2136 mg)、伞形科(1021.7 mg)、蝶形花亚科(652.8 mg)。百粒重最小的5个科是怪柳科(54.7 mg)、罂粟科(48 mg)、石竹科(35.8 mg)、白花丹科(30.4 mg)、列当科(0.3 mg)。其中含物种数目较多的科内属间种子大小差异显著,例如藜科($F=17.899, P=0.018$),菊科($F=215.351, P=0.005$),紫草科($F=6495, P=0.009$)。

2.4 种子大小与生活型的关系

生活型间种子大小差异显著($F=10.145, P=0.000$)。6种生活型植物按种子大小从大到小排序为:灌木>类短命植物>多年生草本>短命植物>半灌木>1年生草本(图2),其种子大小分别为:1448.5、1078.84、248.27、235.41、227.36、132.39 mg。半灌木的种子大小小于类短命植物、多年生草本和短命植物。灌木种子种间差异显著($F=99.813, P=0.000$),种子最大的蒙古沙拐枣(*Calligonum mongolicum*)和种子最小的怪柳(*Tamarix chinensis*)百粒重相差4983.9 mg。

2.5 种子大小与物种相对分布频度的关系

本研究区种子大小与物种的相对分布频度存在显著负相关趋势(图3)。但是种子大小并不能很好的解释物种相对分布频度的大小($R^2=0.070$)。将小于1.4%的物种去除后,回归分析显示,种子大小与物种相对分布频度存在极显著负相关趋势,解释变量增加到0.132,表明古尔班通古特沙漠中有的植物虽然种子较小,但环境特化明显,分布范围狭窄。其中,环境特化是生物在大的环境下分布稀疏,而在

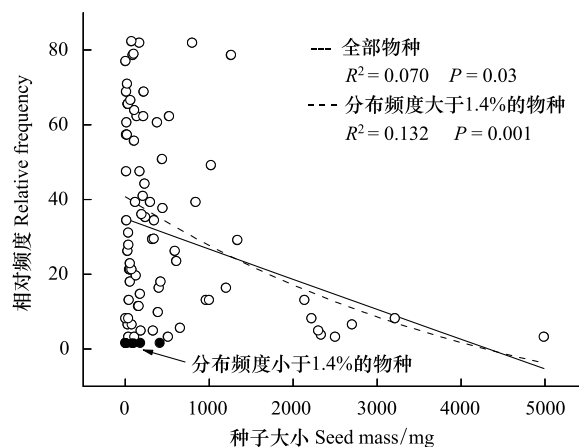


图3 种子大小与相对分布频度的回归分析

Fig. 3 The relationship between seed mass and relative frequency

某些局部小生境中的资源利用效率高而聚集分布,表现出局部适应现象。

2.6 样地中不同类型种子总数目随经纬、海拔、年均降水的变化

样地中所有物种所产生的种子总数目,随海拔的增加而极显著增加,随纬度的增加而极显著降低,随经度的增加而极显著增加,随年均降水的增加而极显著增加(图4)。但是不同类型的种子在样地中的总数目随经纬、海拔、年均降水变化的变化趋势却

有不同。A型种子只含有一种植物——列当,且该植物为多年生寄生性草本,对寄主依赖性强,所以不参与分析。B型、C型、D型三类种子在样地中的总数目随海拔的增加而极显著增加,随纬度的增加而极显著降低,随经度的增加而极显著增加,随年均降水的增加而极显著增加。这种变化趋势与样地中所有物种所产生的种子总数目的变化趋势一致。E型种子在样地中总数目随环境的变化趋势则与其它类型种子变化趋势相反:随海拔的增加而极显著降低,

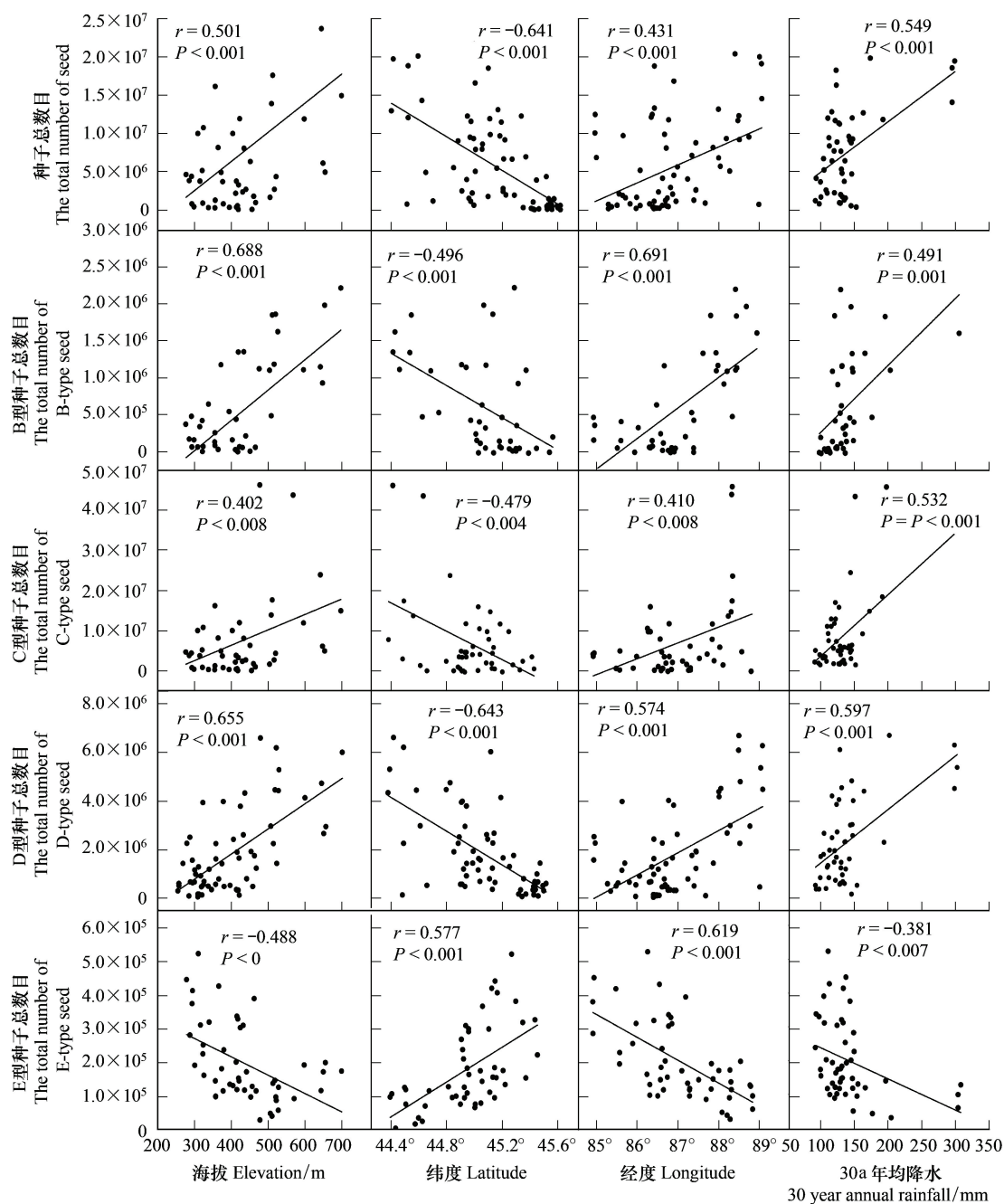


图4 不同类型种子总数目的空间变化趋势分析

Fig.4 Analysis of spatial variation in total number of different seed type

随纬度的增加极显著增加,随经度的增加而极显著降低,随年均降水的增加而极显著降低(图4)。

3 讨论

一般来说,沙漠植物种子大小与物种丰富度的关系有2种:一种是小种子物种很多、大种子物种很少,如美国亚里桑那州沙漠生态系统和英国北部的禾草群落^[15];另一是种子中度大小的物种较多,而小种子和大种子物种较少,如地中海沿岸沙丘生态系统^[35]。在古尔班通古特沙漠,种子大小小于1000 mg 大于1 mg 的物种最多,占总物种总数的85.1%,小种子和大种子种类较少,该区域属于种子中度大小物种较多的区域。与美国亚里桑那州沙漠相似,古尔班通古特沙漠年均降水量仅为80—160 mm,相对于地中海沿岸沙丘生态系统的年均600 mm 的降水量,沙漠环境更加恶劣,极度缺乏水分。但古尔班通古特沙漠植物种子大小分布格局却和地中海沿岸沙丘生态系统更为相似,都属于种子中度大小物种占多数的区域。据张荣等对古尔班通古特沙漠多样性的调查发现,该地区植被有典型的地中海旱生植物区系特征,推测古尔班通古特沙漠种子大小分布受系统演化因素限制较大。

已有研究表明,种子大小与生活型相关,从草本、灌木到乔木,种子有不断增大的趋势^[36-37],认为植株高大的乔、灌木占据更多的空间资源(如光照等),因此种子相对较大,反之则较小^[38]。而在古尔班通古特沙漠植物区系中,半灌木的种子却小于短命植物、多年生草本、多年生类短命植物和灌木植物的种子大小,仅仅大于1年生草本植物的种子大小。采集的87种植物中,种子最大的前5个物种都为灌木,而种子最小的5个物种中并不仅仅是草本,还包含一种多年生寄生草本,和一种灌木。虽然灌木和半灌木的体积要比草本植物大得多,但有些灌木产生的种子比很多草本植物还要小,如怪柳(*Tamarix chinensis*)等。Grubb 等^[9]提出的机械限制假说认为,小个体的植物只能产生低重量的种子,大个体的植物既能生产高重量的种子,也能产生低重量的种子。在古尔班通古特沙漠由于受沙漠极端环境的影响,更倾向产生小种子。这类种子数目多,具有较远的传播距离,能充分利用环境中的随机降水,使种群能够延续下来^[10,30]。所以,在古尔班通古特沙漠高

大的植株并不会产生选择较大的种子。

种子大小与物种分布频度的关系存在很大的争议^[39]。已有研究发现,在沙漠生态系统中,种子大小与物种在群落中的相对分布频度显著的负相关^[40]。也有研究并没有发现显著的相关性,比如在奇瓦瓦沙漠中对冬季1年生和夏季1年生植物的研究^[15]。对古尔班通古特沙漠的调查发现种子大小与分布频度间有显著的负相关性,这主要是由于小种子具有较远的扩散距离^[41]。而其中,相对分布频度小于1.4%的就有9种,占总物种数的10.3%,这类植物包括列当(*Orobanchae coerulescens*)、雾冰藜(*Bassia dasyphylla*)、伊朗地肤(*Kochia iranica*)、条叶庭荠(*Alyssum linifolium*)、绿碱蓬(*Suaeda glauca*)、刺沙蓬(*Salsola ruthenica*)、尖花天芥菜(*Heliotropium acutiflorum*)、心叶驼绒藜(*Ceratoides ewersmanniana*)、细叶鸦葱(*Scorzonera pusilla*)等物种,说明在古尔班通古特沙漠中部分植物分布不仅仅受种子大小特征的影响,物种对微环境适应的环境特化等也起到重要作用。

种子大小在群落结构中伴有重要角色^[42-43],种子大小分布的空间格局影响物种分布的总体适应特征,从而影响着群落格局。古尔班通古特沙漠样地中种子总数目和随环境因子的变化趋势与B型、C型、D型三类种子总数目的变化趋势相同,而与E型种子总数目的变化趋势却相反,说明样地中大种子物种的植株数目随年均降水的增加在样地中的数目逐渐减少。

在E型种子植物中,灌木7种占E型物种数目的58%,多年生类短命植物3种占E型物种数目的26%,多年生草本1种占E型物种数目的8%,短命植物1种占E型物种数目的8%。E型种子植物大部分为长营养期草本和灌木。刘忠权等对该地区短命植物研究发现长营养期草本和乔灌木的重要值则随着经度的增加有所减小,随着纬度的增加而增加,与E型种子变化趋势相同,说明E型种子总数目的减少主要是因为植株的数目降低的缘故^[23]。这种现象与不同大小种子的特性有关:大种子一般萌发缓慢,萌发后具有较大的幼苗,属于增加竞争力的生存策略,种内竞争严重,所以在单位面积中个体数目少从而产生种子少;小种子一般迅速萌发,萌发后幼苗较小,种内竞争较弱,属于机会主义生存策

略^[44-45], 在单位面积中个体数目多从而产生种子多。随着海拔、经度、降水的增加, 植物的生存环境改善, 小种子的幼苗死亡率降低, 并利用先萌发的优势迅速成长, 从而拥有更多的成株数目, 产生更多的后代。所以随着环境的改善, 大种子植物的优势将逐渐降低。

致谢: 石河子大学生命科学学院的研究生董合干、于航、李巧梅、郝晓冉、赵丹和曾勇对野外调查和种子采集提供帮助, 石河子大学生命科学学院的阎平教授、杜珍珠研究生和黄刚对物种鉴别提供帮助, 特此致谢。

References:

- [1] Hone D W E, Benton M J. The evolution of large size: How dose Cope's Rule work? *Trends in Ecology and Evolution*, 2005, 20(1): 4-6.
- [2] Richard G P, Dawson T P. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? *Global Ecology and Biogeography*, 2003, 12(5): 361-371.
- [3] Soons M B, Van Der Vlugt C, Van Lith B, Heil G W, Klaassen M. Small seed size increases the potential for dispersal of wetland plants by ducks. *Journal of Ecology*, 2008, 96(4): 619-627.
- [4] Moles A T, Ackerly D D, Tweddle J C, Dickie J B, Smith R, Leishman M R, Mayfield M M, Pitman A, Wood J T, Westoby M. Global patterns in seed size. *Global Ecology and Biogeography*, 2007, 16(1): 109-116.
- [5] Thomson F J, Moles A T, Auld T D, Ramp D, Ren S Q, Kingsford R T. Chasing the unknown: predicting seed dispersal mechanisms from plant traits. *Journal of Ecology*, 2010, 98(6): 1310-1318.
- [6] Yang X, Liang Y, Chen X L. Variation in seed size of some common plant species on the eastern Qinghai-Tibet Plateau. *Ecological Science*, 2007, 26(6): 483-489.
- [7] Ou Z L, Chen Y S, Zhou S B, Xu Z D. Analysis on variation of seed size of common autumn-matured plants in Tianma Nature Reserve. *Journal of Plant Resources and Environment*, 2012, 21(2): 53-59.
- [8] Moles A T, Acherly D D, Webb C O, Tweddle J C, Dickie J B, Westoby M. A brief history of seed size. *Science*, 2005, 307(5709): 576-580.
- [9] Grubb P J, Coomes D A, Metcalfe D J. Comment on "a brief history of seed size". *Science*, 2005, 310(5749): 783-783.
- [10] Zong W J, Liu K, Piao H Y, Xu X L, Wu G L. The mode of seed size variation and the effects of seed size on fifty-one species of composite plants in a alpine meadow. *Journal of Lanzhou University: Natural Science*, 2006, 42(5): 52-55.
- [11] Kahmen S, Poschlod P. Effects of grassland management on plant functional trait composition. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2008, 128(3): 137-145.
- [12] Moles A T, Westoby M. Seedling survival and seed size: a synthesis of the literature. *Journal of Ecology*, 2004, 92(3): 372-383.
- [13] Metz J, Liancourt P, Kigel J, Harel D, Sternberg M, Tielbörger K. Plant survival in relation to seed size along environmental gradients: a long-term study from semi-arid and Mediterranean annual plant communities. *Journal of Ecology*, 2010, 98(3): 697-704.
- [14] Azcónrate F M, Peco B. Effects of seed predation by ants on Mediterranean grassland related to seed size. *Journal of Vegetation Science*, 2006, 17(3): 353-360.
- [15] Guo Q, Brown J H, Valone T J, Kachman S D. Constraints of seed size on plant distribution and abundance. *Ecology*, 2000, 81(8): 2149-2155.
- [16] Queenborough S A, Mazer S J, Vamasi S M, Garwood N C, Valencia R, Freckleton R P. td. Seed mass, abundance and breeding system among tropical forest species: do dioecious species exhibit compensatory reproduction or abundances? *Journal of Ecology*, 2009, 97(3): 555-566.
- [17] Helene C M. The tolerance-fecundity trade-off and the maintenance of diversity in seed size. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2010, 107(9): 4242-4247.
- [18] Fenner M, Thompson K. *The Ecology of Seeds*. New York: CABI, 2005: 23-72.
- [19] Nathan R, Muller-Landau H C. Spatial patterns of seed dispersal, their determinants and consequences for recruitment. *Trends in Ecology & Evolution*, 2000, 15(7): 278-285.
- [20] Zhang L Y, Chen C D. On the general characteristics of plant diversity of Gurbantunggut Sandy Desert. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(11): 1923-1932.
- [21] Cui N R, Li X Y. The plant plasm resources under extreme environmental conditions in Xinjiang. *Journal of Shihezi University: Natural Science*, 1998, 2(4): 304-319.
- [22] Qian Y B, Wu Z N, Yang H F, Jiang C. Vegetation spatial heterogeneity across longitudinal dunes in the Southern Gurbantunggut Desert. *Journal of Desert Research*, 2011, 31(2): 420-427.
- [23] Liu Z Q, Liu T, Zhang R, Chen H H. Species diversity and spatial differentiation of ephemeral plant community in southern Gurbantunggut Desert. *Chinese Journal of Ecology*, 2011, 30(1): 45-52.
- [24] Zhang R, Liu T. Plant species diversity and community classification in the southern Gurbantunggut Desert. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(19): 6056-6066.
- [25] Liu H L, Song M F, Duan S M, Wang X Y, Zhang D Y, Yin L K. A comparative study of seed germination traits of 52 species from Gurbantunggut Desert and its peripheral zone. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(15): 4308-4317.
- [26] Zhao H B, Liu T, Lei J Q, Gui D W, Zhao X J. β diversity characteristic of vegetation community on south part of Gurbantunggut Desert and its interpretation. *Acta Prataculturae Sinica*, 2010, 19(3): 29-37.
- [27] Guo S Q, Qi W, Wang Y L, Ma X, Chen X L, Du G Z. Effects of altitude on seed size on the eastern Qinghai-Tibetan Plateau. *Acta Prataculturae Sinica*, 2010, 19(1): 50-58.

- [28] Chen Y, Zhou S B, Ou Z L, Xu Z D, Hong X. Seed mass variation in common plant species in Wanfoshan Natural Reservation Region, Anhui, China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2012, 36(8): 739-746.
- [29] Thompson K, Band S R, Hodgson J G. Seed size and shape predict persistence in soil. *Functional Ecology*, 1993, 7(2): 236-241.
- [30] Zhong Y K, Bao Q H, Sun W. 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. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Neimongol*, 2001, 32(3): 280-286.
- [31] Liu Z M, Li R P, Li X H, Tuo Y M, Wang H M, Jiang D M, Nan Y H. A comparative study of seed weight of 69 plant species in Horqin sandyland, China. *Acta Phytocologica Sinica*, 2004, 28(2): 225-230.
- [32] Luo C, Jia Y M, Liu T, Wei P. The accurate method for leaf area measurement by common scanner. *Northern Horticulture*, 2007, (5): 46-48.
- [33] Mao Z M, Zhang D M. The conspectus of ephemeral flora in Northern Xinjiang. *Arid Zone Research*, 1994, 11(3): 1-26.
- [34] Liu Y X, Yang X L, Yao Y Y. *Flora in Desertis Reipublicae Populorum Sinarum*. Beijing: Science Press, 1987.
- [35] Yu S L, Sternberg M, Jiang G M, Liu M Z, Kutiel P. The effects of seeds size on the distribution and abundances of plants and seed banks in a Mediterranean coastal sand dune. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(4): 749-755.
- [36] Yu S L, Chen H W, Li H. Review of advances in ecology of seed mass. *Journal of Plant Ecology*, 2007, 31(6): 989-997.
- [37] Venable D L, Rees M. The scaling of seed size. *Journal of Ecology*, 2009, 97(1): 27-31.
- [38] Falster D S, Moles A T, Westoby M. A general model for the scaling of offspring size and adult size. *The American Naturalist*, 2008, 172(3): 299-317.
- [39] Leishman M R, Murray B R. The relationship between seed size and abundance in plant communities: model predictions and observed patterns. *Oikos*, 2001, 94(1): 151-161.
- [40] Mark R. Community structure in sand dune annuals: is seed weight a key quantity? *Journal of Ecology*, 1995, 83(5): 857-863.
- [41] Henery M L, Westoby M. Seed mass and seed nutrient content as predictors of seed output variation between species. *Oikos*, 2001, 92(3): 479-490.
- [42] Coomes D A, Rees M, Grubb P J, Turnbull L. Are differences in seed mass among species important in structuring plant communities? Evidence from analyses of spatial and temporal variation in dune-annual populations. *Oikos*, 2002, 96: 421-432.
- [43] Ben-Hur E, Fragman-Sapir O, Hadas R, Singer A, Kadmon R. Functional trade-offs increase species diversity in experimental plant communities. *Ecology Letters*, 2012, 15(11): 1276-1282.
- [44] Sun H Z, Tan D Y, Qu R M. Characteristics of heteromorphic achenes of *Garhadiolus papposus*, an ephemeral Asteraceae species, with reference to their adaptations to desert environment. *Biodiversity Science*, 2008, 16(4): 353-361.
- [45] Wang H F, Wei Y, Huang Z Y. Seed polymorphism and germination behavior of *salsola brachita*, a dominant desert annual inhabiting Junggar basin of Xinjiang, China. *Journal of Plant Ecology*, 2007, 31(6): 1046-1053.
- 参考文献:**
- [6] 杨霞, 梁艳, 陈学林. 青藏高原东缘地区常见植物种子大小变异研究. *生态科学*, 2007, 26(6): 483-489.
- [7] 欧祖兰, 陈延松, 周守标, 徐忠东. 天马自然保护区常见秋熟植物种子大小变异分析. *植物资源与环境学*, 2012, 21(2): 53-59.
- [10] 宗文杰, 刘坤, 卜海燕, 徐秀丽, 武高林. 高寒草甸 51 种菊科植物种子大小变异及其对种子萌发的影响研究. *兰州大学学报: 自然科学版*, 2006(5): 52-55.
- [20] 张立运, 陈昌笃. 论古尔班通古特沙漠植物多样性的一般特点. *生态学报*, 2002, 22(11): 1923-1932.
- [21] 崔乃然, 李学禹. 新疆极端环境条件下的植物种质资源. *石河子大学学报: 自然科学版*, 1998, 2(4): 304-319.
- [22] 钱亦兵, 吴兆宁, 杨海峰, 蒋超. 古尔班通古特沙漠纵向沙垄植被空间异质性. *中国沙漠*, 2011, (2): 420-427.
- [23] 刘忠权, 刘彤, 张荣, 陈辉煌. 古尔班通古特沙漠南部短命植物群落物种多样性及空间分异. *生态学杂志*, 2011, 30(1): 45-52.
- [24] 张荣, 刘彤. 古尔班通古特沙漠南部植物多样性及群落分类. *生态学报*, 2012, 32(19): 6056-6066.
- [25] 刘会良, 宋明方, 段世民, 王习勇, 张道远, 尹林克. 古尔班通古特沙漠及周缘 52 种植物种子的萌发特性与生态意义. *生态学报*, 2011, 31(15): 4308-4317.
- [26] 赵怀宝, 刘彤, 雷加强, 桂东伟, 赵新俊. 古尔班通古特沙漠南部植物群落 β 多样性及其解释. *草业学报*, 2010, 19(3): 29-37.
- [27] 郭淑青, 齐威, 王玉林, 马雄, 陈学林, 杜国祯. 青藏高原东缘海拔对植物种子大小的影响. *草业学报*, 2010, 19(1): 50-58.
- [28] 陈延松, 周守标, 欧祖兰, 徐忠东, 洪欣. 安徽万佛山自然保护区常见植物种子大小变异. *植物生态学报*, 2012, 36(8): 739-746.
- [30] 仲延凯, 包青海, 孙维. 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. *内蒙古大学学报: 自然科学版*, 2001, 32(3): 280-286.
- [31] 刘志民, 李荣平, 李雪华, 骆永明, 王红梅, 蒋德明, 南寅镐. 科尔沁沙地 69 种植物种子重量比较研究. *植物生态学报*, 2004, 28(2): 225-230.
- [32] 骆彬, 贾亚敏, 刘彤, 魏鹏. 利用普通扫描仪精确测量叶面积的技术及方法. *北方园艺*, 2007, (5): 46-48.
- [33] 毛祖美, 张佃民. 新疆北部早春短命植物区系纲要. *干旱区研究* 1994, 11(3): 1-26.
- [34] 刘媛心, 杨喜林, 姚育英. *中国沙漠植物志*. 北京: 科学出版社, 1987.
- [35] 于顺利, Sternberg M, 蒋高明, 刘美珍, Kutiel P. 地中海沿岸沙丘种子大小对植物及其种子多度的影响. *生态学报*, 2005, 25(4): 749-755.
- [36] 于顺利, 陈宏伟, 李晖. 种子重量的生态学研究进展. *植物生态学报*, 2007, 31(6): 989-997.
- [44] 孙华之, 谭敦炎, 曲荣明. 短命植物小疮菊异形瘦果特性及其对荒漠环境的适应. *生物多样性*, 2008, 16(4): 353-361.
- [45] 王宏飞, 魏岩, 黄振英. 散枝猪毛菜的种子多型性及其萌发行为. *植物生态学报*, 2007, 31(6): 1046-1053.