新疆植物分布区特征及其与气候和丰富度的关系

李利平^{1*}, 贾秀红², 尹林克³

1. 中国科学院遥感与数字地球研究所, 北京 100101;

2. 华中农业大学园艺林学学院, 武汉 430070;

3. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011

* 联系人, E-mail: lilp@radi.ac.cn

收稿日期: 2017-02-16; 接受日期: 2017-03-10; 网络版发表日期: 2017-03-16

国家自然科学基金(批准号: 81503183, 81560660)资助

摘要 结合新疆地区维管束植物分布本底数据, 本文分析了新疆地区维管束植物的分布区特征. 按照经纬度, 将新疆地区划分为 $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$ 的栅格, 植物分布区以其所占据的栅格数表示; 区域植物分布区指在一个区域(栅格)中出现的所有植物的分布区特征的中值. 首先, 计算新疆地区所有维管束植物的分布区特征及相互关系; 其次, 根据单个物种的分布范围, 叠加每个栅格内分布的植物的分布区面积(RA)和分布幅度, 其中值作为栅格的植物分布区属性, 分析其地理分布格局; 最后, 分析栅格的植物分布区属性与气候和植物丰富度的关系. 研究发现, 新疆地区植物RA、南北和东西分布幅度的 $\bar{x}$ 分别是1344, 51和89个栅格, 中值分别是366, 42和74个栅格, 为右偏格局, 即大部分的物种有较小的分布区和分布幅度; 物种的RA和分布幅度为正相关关系; 区域上, 植物RA在北疆较小, 尤其是阿尔泰山和伊犁地区, 而在南疆较大, 尤其是塔里木盆地; 年降水和年均温均显著影响植物的分布区特征, 随着年降水的增加, RA和分布幅度减小, 而随着年均温的增加, RA和分布幅度先减少后增加; 区域上, 植物RA和分布幅度随植物丰富度的增加单调递减.

关键词 植物分布区, 分布区面积(RA), 分布幅度, 气候, 植物多样性, 新疆

物种分布区大小(range size)是指物种在一定的空间中所分布的范围, 表征了物种所能分布的最大面积, 通常也用物种分布的经度差和纬度差来表示物种的分布区特征, 称为物种的东西分布幅度(extent east-west, extent EW)和南北分布幅度(extent north-south, extent NS). 分布区大小是一个物种重要的生态学和进化学特征^[1], 可以反映物种间生态耐受力、扩展能力和进化历史的差异, 是生物地理学里的一个基本研究对象, 其可以被作为一个物种的特征(trait)^[2]. 在区域尺度确定物种的分布区范围并解释其原因是一个生态学

的核心问题^[3]. 早在19世纪, 达尔文在《物种起源》一书中就曾经提出^[4]: 为什么一些物种的分布范围很宽/数量较多, 而另一些物种的分布范围很窄/数量较少? 目前这个问题仍然是生态学者们重要的研究内容之一^[5~7]. 有研究认为, 物种的扩散能力和个体大小等对其分布区大小具有重要作用^[8~10], 还有研究认为, 植物种子的大小及世代的长短等与其分布区特征具有相关关系^[11], 地方种群密度及生态位幅度等也影响物种分布区特征^[12]. 目前研究者已经提出了许多假说从不同的角度来解释物种分布区大小的变化, 如气候变

引用格式: 李利平, 贾秀红, 尹林克. 新疆植物分布区特征及其与气候和丰富度的关系. 中国科学: 生命科学, 2017, 47: 314–324
Li L P, Jia X H, Yin L K. Vascular plant range size patterns and the relationship with climate and plant richness in Xinjiang region, China. Sci Sin Vitae, 2017, 47: 314–324, doi: [10.1360/N052017-00029](https://doi.org/10.1360/N052017-00029)

异、进化、复杂的种间关系、生态位宽度、能量可利用性、气候忍耐力、冰川历史等^[13]. 而反过来说, 物种分布区的大小也会影响物种的扩散, 如入侵特征^[14]. 除物种的绝对分布区大小具有重要意义外, 物种分布区的形状也是物种分布的重要特征和属性, 对物种的分化、灭绝均具有一定的影响^[9]. 一般情况下, 常采用周长、面积比或长、短轴比来表示物种分布区的形状特征^[15]. 对物种分布区形状的研究有助于了解物种迁移扩散规律以及影响一个地区物种特征的生态过程^[15].

因为植物的分布数据相对更难获取, 对物种分布区的研究, 鸟类^[16]和哺乳类^[10]等类群相对多于植物, 且对植物的研究更多的局限在一些类群或区域^[17]. 在我国, 植物分布区相关的研究更少, 尤其是在资料数据等较为缺乏的西部地区. 本研究以新疆地区为研究对象, 分别计算了物种和区域尺度上的新疆地区植物分布区面积(range area, RA)、extent NS和extent EW, 对其区域上的分布格局进行了制图, 探讨了该格局与气候和植物丰富度之间的关系. 本研究的结果可以为新疆地区的物种保育提供参考, 也是对物种分布区相关理论的一个有益探索.

1 数据与方法

1.1 研究区概况

新疆地区地处欧亚大陆内部, 位于中国西北干旱区, 东西最宽约为1900 km, 南北最长约为1500 km, 面积约为 $1.6 \times 10^6 \text{ km}^2$, 约占中国陆地国土总面积的1/6, 是中国面积最大的省级行政单元. 新疆地区地形复杂, 山地多为东西向分布, 最北部为阿尔泰山地, 最南部为昆仑山脉, 中部的天山把新疆分为普通意义上的南疆和北疆两部分^[18]. 北疆主要还有准噶尔盆地、伊犁谷地和准噶尔西部山地, 南疆主要还有面积广大的塔里木盆地和吐哈盆地. 如果大约以海拔1300 m为界, 之上定义为山地, 之下定义为盆地, 则山地面积约占新疆总面积的45%, 盆地面积约占55%. 区域内记录到野生维管束植物约3637种, 鸟类425种及哺乳动物154种^[19].

1.2 数据

本文采用物种分布区的面积、纬度幅度(即物种

分布的南北纬度的差异)和经度幅度(即物种分布的东西经度的差异)来表征物种分布区的大小和方向性, 以栅格数来表示, 分别称为物种RA, extent NS和extent EW; 同时, 本文还计算了物种extent EW和extent NS的差. 具体来说, 以上计算主要基于新疆地区植物多样性本底数据集^[19,20]进行, 该数据集主要参考了地区植物志等文献资料, 获取植物县级分布信息和海拔信息, 并进行数字化之后得到.

由于本研究涉及较多地理格局, 研究物种分布区与经纬度的关系, 所以按照WGS1984坐标系, 将新疆地区划分为 $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ 的栅格, 将所有植物种的分布与栅格(考虑其海拔属性)进行叠加, 每个物种所分布的栅格总数, 作为其RA, 每个植物种东西向所占的栅格数和南北向所占的栅格数作为该物种的extent EW和extent NS. 叠加某个栅格中分布的所有物种的分布区特征, 作为该栅格, 即该区域的植物分布区特征. 需要说明的是, 由于边界地区的栅格可能不完整, 以及计算过程中的投影转换等问题, 划分后新疆地区 $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ 的栅格是17454个, 物种的径向分布最大为229个栅格, 纬向为148个栅格. 本文山区与盆地的划分参考文献^[19], 气候数据来自文献^[21], 主要采用年均温(mean annual temperature, MAT)和年降水(mean annual precipitation, MAP)来表示区域的气候特征.

1.3 数据分析

首先, 基于物种(species-based), 计算了新疆野生维管束植物分布区特征(包括RA, extent EW和extent NS)的频度分布(frequency)和偏度系数(skewness); 其次, 基于栅格(grid cell-based), 计算了每个栅格内出现的所有物种的分布区特征及其偏度系数, 用以表征区域物种分布区特征. 由于物种RA, extent EW和extent NS均呈显著的右偏分布, 因此在栅格中, 取分布于每个栅格内全部物种的RA和分布幅度的中值作为栅格的RA和分布幅度. 最后, 将区域(栅格)植物的分布区特征与气候和区域植物多样性进行回归分析, 得到这些因子与植物分布区特征的关系.

所有的物种分布数据用Microsoft SQL Server 2008数据库进行管理和计算, 用ArcGis 10.0进行地理制图, 用R 3.3.1^[22]进行回归等统计分析和制图.

2 结果

2.1 植物RA的频度分布及地理差异

新疆地区植物物种RA的频度分布为强烈的右偏

(图1A), 其偏度系数为3.98. 全部植物种RA的 $\bar{x}$ 是1344个栅格, 有77.2%的物种的RA小于 $\bar{x}$; 中值为366个栅格. 多数的物种有较小的分布区, 少数物种分布区大. 对数化后其频度分布的偏度系数为0.079(图1B).

图1 新疆维管束植物RA, extent EW和extent NS的频度分布(A, C和E)及自然对数化后的频度分布(B, D和F)
物种RA, extent EW和extent NS均以其所覆盖的栅格数目表示, 下文图同, 不再说明

以栅格为单位, 栅格内物种的RA偏度系数的 $\bar{x} \pm SD$ 是 0.25 ± 0.0056 , 物种的分布具有明显的地理分异(图2). 天山中西部地区和阿尔泰山西部地区偏度系数较大, 即更加右偏, 狭域物种更多; 而在塔里木盆地西部和昆仑山的高海拔地区, 偏度系数较小, 即广域物种相对多(图2A). 将物种RA进行对数转换后, 其偏度系数的 $\bar{x} \pm SD$ 是 -1.02 ± 0.0057 , 且仍然具有明显的地理差异(图2B), 天山西部和阿尔泰山东部地区的偏度系数较大, 塔里木盆地西部偏度系数小, 但是地区间的差异较对数转换前小.

2.2 植物分布区的形状: extent EW和extent NS

新疆维管束植物extent NS的 $\bar{x}$ 是51个栅格, extent EW的 $\bar{x}$ 是89个栅格, 中值分别是42和74个栅格; extent EW和extent NS均为右偏分布(图1C和E), 对数之后为左偏(图1D和F), 即物种的extent EW和extent NS均为小分布幅度的物种数多于大分布幅度的物种数.

新疆维管束植物物种extent NS与extent EW线性相关, extent EW大于extent NS(图3A). 线性回归二者的回归斜率为1.47($r^2=0.72, P<0.001$), 即物种的extent EW的增加是extent NS的1.47倍. 物种的RA与extent NS, extent EW及二者的差值均为正相关关系, 对数之后为线性正相关($r^2=0.69, 0.68, 0.37, P<0.001$; 图3B-D).

2.3 区域植物RA和分布幅度的地理格局

将栅格作为计算单位, 取所有出现在栅格内的物种的RA的中值作为栅格的物种RA, 栅格RA的 $\bar{x}$ 是7946个栅格; 另外, 栅格内物种RA最小值的 $\bar{x}$ 是352个栅格.

栅格内物种RA中值具有明显的地理差异(图4A), 北疆的物种RA较小, 南疆的物种RA较大, 尤其是塔里

木盆地西部地区 and 昆仑山中部. 栅格内物种RA的最小值也有明显的地理差异(图4B), 北疆的RA最小值小, 塔里木盆地和吐哈盆地的RA最小值较大, 而昆仑山高海拔地区物种RA的最小值也较小. 物种RA中值随纬度的升高逐渐减小($r^2=0.53, P<0.001$; 图5A), 随经度的增加也有微弱的减小趋势($r^2=0.05, P<0.001$; 图5D); 其最小值也有类似趋势.

栅格内物种extent NS具有明显的地理差异(图4C). 北疆的物种extent NS较小, 南疆的物种extent NS较大, 尤其是塔里木盆地和昆仑山. 随纬度升高, 物种的extent NS显著减小($r^2=0.77, P<0.001$; 图5B). 物种extent EW也有明显的地理差异(图4D). 北疆物种extent EW小, 而南疆整体上较大, 天山南坡、塔里木盆地、吐哈盆地和昆仑山的物种extent EW都比较大. 随纬度的升高, 物种的extent EW显著减小($r^2=0.48, P<0.001$; 图5C). 随经度的增加, 物种的extent NS和extent EW也有微弱的减小趋势($r^2=0.05, 0.02, P<0.001$; 图5E和F).

2.4 区域植物RA和分布幅度与气候和植物丰富度的关系

不同环境因子对物种RA的影响不同. 在全疆尺度, 随水分因子年降水量MAP的增加, 物种RA, extent EW和extent NS减小; 随能量因子年均温MAT的增加, 物种RA, extent EW和extent NS呈U型曲线, 即先减小后增加(图6A和D). 在山区, 趋势与全疆相似, 然而在盆地中, 物种RA随MAT的升高单调递增. 气候因子对物种RA的解释率如表1所示, 气候因子对盆地的物种RA的解释率更高, 对山地的解释率稍低.

与物种的RA格局相似, 在全疆尺度, 区域物种

图2 新疆维管束植物RA偏度系数的地理分布格局

A: 原始RA的偏度系数; B: 自然对数化后的RA的偏度系数

图3 新疆维管束植物extent NS, extent EW及RA的关系

A中实线为回归线, 虚线为1:1线; B-D为自然对数化后, 在D中, 为了保证真数大于0, 物种extent EW和extent NS的差值加100之后取自然对数

图4 新疆维管束植物RA中值(A)及最小值(B)、extent NS中值(C)和extent EW中值(D)的地理分布格局

图 5 新疆维管束植物栅格物种RA中值(A和D)、extent NS(B和E)和extent EW(C和F)随经纬度的变化
数据点较多,为了更清楚显示,图中仅随机选取500个数据点显示

表 1 气候因子(MAP, MAT)与物种分布区特征的回归系数(r^2)^{a)}

	全疆		山区		盆地	
	MAP	MAT	MAP	MAT	MAP	MAT
RA	0.41	0.55	0.30	0.38	0.60	0.69
Extent NS	0.44	0.43	0.43	0.30	0.74	0.62
Extent EW	0.36	0.30	0.28	0.15	0.65	0.51

a) 在全疆和山区,物种分布区特征与气候因子MAP为线性相关,而与MAT为二次函数关系;在盆地,物种分布区特征与MAP和MAT均为线性相关.表中所有的回归 $P<0.001$

extent NS随MAP的升高单调下降;随MAT的升高先下降后升高,为U型曲线(图6B和E). Extent NS与气候的关系在山区与在全疆尺度类似,但是在盆地,物种extent NS随MAT的升高显著升高.物种extent EW与气候的关系与extent NS类似,整体上回归解释率低(图6C和F;表1).

物种丰富度随RA增大迅速下降,呈显著的指数下降趋势;同样的,物种extent NS和extent EW与物种丰富度也都为显著的指数下降关系($r^2=0.88, 0.59, 0.79$,

$P<0.001$;图7A~C). 物种extent EW和extent NS的差值与物种丰富度相关性弱($r^2=0.01$,图7D).

3 讨论

3.1 植物分布区的面积

一个地区物种的RA一般呈显著的右偏分布,即狭域物种多而广域物种少[6,15,23~26],仅少数研究发现物种的频度分布是左偏,如对美洲大陆鸟类的研究(但是

图6 新疆维管束植物RA和分布幅度随年降水(A, B和C)和年均温(D, E和F)的变化
图中随机选取500个数据点显示

图7 新疆维管束植物RA和分布幅度与物种丰富度的关系

图中随机选取500个数据点显示; 数据为自然对数化后, 在D中, 为了保证真数大于0, 物种extent EW和extent NS的差值加100之后取自然对数

该研究的结论仍然是美洲大陆多数鸟类的分布区范围很小^[3]. 对物种RA的频度分布进行拟合, 对数正态分布(log-normal distribution)讨论最多^[9]. 对于某一分类群的分布区频度格局来说, 进化因素可能是一种好的解释. Gaston^[9]认为, 在进化过程中, 现在的物种分布区大小格局只是所有物种进化过程中的一个片段, 某个物种的分布区可能是扩展、缩小或稳态过程中的一点.

与以往的研究类似, 在新疆地区, 同样发现是狭域物种多于广域物种; 在天山中西部、准噶尔西部和阿尔泰山狭域物种更多, 而在塔里木盆地和昆仑山中东部高海拔地区的广域物种更多. 换句话说, 在环境条件比较好, 生境差异较大的地区物种分布范围更窄, 而在环境极端且均质的地区物种分布范围较大. 这个结果与前人的研究结论相符, 例如, 起伏较小的平原地区的物种分布区大于起伏较大的山区^[27], 中国西北部的天山-阿尔泰山以及东北部的长白山区的木本植物种分布区较小^[26]. 对于该问题, 也有一些相反的研究结论, 对日本的鸟类分布区进行研究发现, 物种的分布区越大, 该物种更适应于复杂的生境, 而分布区更小的物种则更适应于均一的生境, 如开阔的森林或草地^[28]. 目前, 不同结论的得出可能与研究区面积大小、形状及环境特征等有关.

3.2 植物分布区的形状

本研究发现, 在新疆地区, 物种的extent EW是extent NS的1.47倍, 这个值大于中国木本植物extent EW和extent NS的倍数1.2^[26], 这可能与新疆地区独特的地貌有关, 主要的山地和盆地均为东西走向, 造成了物种在东西方向上分布幅度更大. 有研究发现, 中国典型常绿阔叶林代表物种的extent EW随物种RA的增加而增加^[25], 本研究也发现类似的趋势, 且不仅extent EW, 物种的分布区范围与其extent NS也为正相关关系(图3B和C). 中国木本植物extent EW和extent NS的差与物种RA之间为显著的幂函数关系, 即随着RA的增大, 物种extent EW和extent NS的差值逐渐增大^[26], 本研究中, 二者也为正相关关系(图3D).

对北美落基山脉的乔木进行研究发现, 分布在其东部的乔木较分布在其西部的乔木分布区范围更大, 且随着物种分布区的增大, 落叶树种的比例增加; 该

研究排除了地形的影响, 认为是气候, 尤其是年温度范围的变化影响了乔木的分布区范围^[17]. 本研究气候也影响物种分布区范围(图6; 表1), 但是整体上, 新疆地区的主要山体为东西走向, 这种地形特征也可能影响了物种的分布区特征, 主要表现为extent EW大于extent NS.

3.3 区域植物分布区特征的地理格局

较高纬度的物种分布范围更宽, 这个规律被描述为Rapoport法则^[29]. 多数研究支持该法则, 如对美洲大陆鸟类的研究^[3], 只是该研究发现中间部分不是赤道, 而是北纬17°. 在新疆地区, 北疆的物种RA较小, 南疆的物种RA较大; 这个结果与Rapoport法则所描述的物种RA随纬度升高而升高的规律并不一致. 造成这种差异的原因可能包括: (i) 本文的研究区域新疆自身南部宽, 北部窄的形状, 可能导致北部的物种RA较小; (ii) 新疆的气候条件也可能导致其北部物种RA较小, 北疆的气候整体上优于南疆, 北疆的物种丰富度更高, 这与一般规律相反, 可能导致了物种RA的变化趋势也与一般的规律相反; (iii) 由于本研究仅分析了我国的数据, 许多物种的分布可能延伸到国外区域, 例如, 天山延伸到哈萨克斯坦、吉尔吉斯斯坦和乌兹别克斯坦, 阿尔泰山仅南部小部分区域在我国境内, 这可能造成物种分布数据的局限.

在区域上, 北疆物种RA较小可能是由于北疆山地地形起伏更大, 所以物种分布区受小地形影响更大, 而南疆塔里木盆地环境恶劣并均一, 造成了该地区分布的物种RA较大. 昆仑山的植物RA小可能是独特严酷的环境及地形起伏造成了少数物种的分布范围有限, 即形成了一些稀有种(rare species).

物种extent NS随纬度升高而下降, 其下降的趋势在北纬42°之前和之后有明显不同, 在北纬42°以南, 物种extent NS总体较大, 在北纬42°以北, 物种的extent NS有明显的下降. 分析其原因, 天山山脉南部在北纬42°左右, 天山山脉以南, 物种extent NS大, 在天山山脉及其以北, 物种的extent NS小, 天山山脉的地理作用可能造成了这样的格局. 物种extent EW随纬度的变化与extent NS随纬度的下降趋势一致, 其也存在大约北纬42°的转折点. 这可能与新疆自身的形状有关, 也与天山山脉的分布有关.

3.4 区域植物分布区特征与气候和植物丰富度的关系

已有的研究对动物分布区特征的决定因子及其与气候等的关系研究较多, 动物分布区特征与物种的年龄、习性等有关系^[30], 与一些昆虫(*Coenagrion*)的翅膀特征有关^[1], 还可能受物种所能忍受的低温的影响^[2]. 对欧洲的一些两栖类进行研究发现, 分布区较小的物种一般分布在南部地区, 而北部地区分布的物种则分布范围很宽, 这主要与物种自身的生物学特征有关, 如扩散潜力和生殖策略^[31]. 目前对植物分布区相关的研究较动物少, 研究涉及一些地理格局, 如海拔梯度格局^[32], 纬度格局及可能的形成机制^[11], 以及不同分布区大小的物种对环境的适应^[33].

本研究系统阐述了新疆地区维管束植物分布区的特征, 是对分布区研究的一个有益补充. 由于地处干旱区, 水分因子对物种RA和分布幅度的影响均较大, 随水分因子的增加, 物种RA和分布幅度显著降低; 能量与二者的关系是先减小后增加的U型曲线. 将新疆的山地和盆地单独分析发现, 山地的趋势与新疆全境趋势一致; 而在盆地中, 能量的增加会显著增加物种RA和分布幅度, 而不是U型. 这可能与盆地中的气候条件比较极端有关, 盆地中温度更高, 所以仅存在趋势线显著上升的部分. 总的来说, 新疆温度较高、降水较少的极端区域, 如沙漠, 物种RA和分布幅度更大. 中国木本植物的物种分布区及extent NS均与水分

条件呈负相关, 即湿润地区物种分布区较小, 而干旱地区物种分布区较大, 水分因子是西部地区木本植物物种RA变化的主导因子^[26]; 本研究发现, 不仅木本植物, 整个的维管束植物类群也有类似的分布区特征. 区域上, 植物的分布区及分布幅度与植物多样性呈显著负相关, 即分布区整体较大的区域植物丰富度较低; 而相对的, 整体分布区较小的区域植物丰富度较高. 在新疆地区, 表现在塔里木盆地等低物种丰富度地区的物种分布范围较宽, 而天山中西部和阿尔泰山西部等高物种丰富度地区存在较多分布范围较窄的物种. 通过对比澳大利亚一个生物多样性保护的热点地区 and 同纬度的低丰富度地区的物种分布区大小的差异, 研究者也曾发现在生物多样性较高的区域, 物种整体分布区较小^[34], 这与本研究的结论一致.

4 结论

通过对新疆地区植物分布区特征的分析发现, 该区域植物RA, extent NS和extent EW均为显著的右偏格局, 多数物种有小的分布区; 小分布区的物种多分布在北疆地区, 尤其是阿尔泰山和伊犁地区, 而塔里木盆地等南疆地区分布着较多大分布区的物种; 区域上的分布格局有类似的特征, 区域植物分布区特征受气候因子的影响, 也与植物丰富度相关, 分布在气候条件相对较好, 植物丰富度较高的区域的植物分布区小, 反之, 在气候条件相对差, 植物丰富度较低的区域植物分布区大.

致谢 感谢北京大学方精云、唐志尧、王志恒三位老师提供思路和建议, 感谢中国医学科学院药用植物研究所王丽丽协助收集物种海拔范围数据.

参考文献

- 1 Swaegers J, Janssens S B, Ferreira S, et al. Ecological and evolutionary drivers of range size in *Coenagrion* damselflies. *J Evol Biol*, 2014, 27: 2386–2395
- 2 Olalla-Tárraga M Á, McInnes L, Bini L M, et al. Climatic niche conservatism and the evolutionary dynamics in species range boundaries: global congruence across mammals and amphibians. *J Biogeogr*, 2011, 38: 2237–2247
- 3 Blackburn T M, Gaston K J. Spatial patterns in the geographic range sizes of bird species in the new world. *Philos Trans R Soc B-Biol Sci*, 1996, 351: 897–912
- 4 Darwin C. *The Origin of Species*. London: John Murray, 1859
- 5 Gaston K J, Blackburn T M, Lawton J H. Interspecific abundance-range size relationships: an appraisal of mechanisms. *J Animal Ecol*, 1997, 66: 579–601
- 6 Gaston K J. *The Structure and Dynamics of Geographic Ranges*. New York, USA: Oxford University Press Inc., 2003

- 7 Foote M. Environmental controls on geographic range size in marine animal genera. *Paleobiology*, 2014, 40: 440–458
- 8 Blackburn T M, Gaston K J. Spatial patterns in the body sizes of bird species in the new world. *Oikos*, 1996, 77: 436–446
- 9 Gaston K J. Species-range-size distributions: patterns, mechanisms and implications. *Trends Ecol Evol*, 1996, 11: 197–201
- 10 Tucker M A, Ord T J, Rogers T L. Evolutionary predictors of mammalian home range size: body mass, diet and the environment. *Global Ecol Biogeogr*, 2014, 23: 1105–1114
- 11 Morin X, Chuine I. Niche breadth, competitive strength and range size of tree species: a trade-off based framework to understand species distribution. *Ecol Lett*, 2006, 9: 185–195
- 12 张文驹, 陈家宽. 物种分布区研究进展. *生物多样性*, 2003, 11: 364–369
- 13 Yu F, Groen T A, Wang T, et al. Climatic niche breadth can explain variation in geographical range size of alpine and subalpine plants. *Int J Geogr Inf Sci*, 2017, 31: 190–212
- 14 Novoa A, Kumschick S, Richardson D M, et al. Native range size and growth form in Cactaceae predict invasiveness and impact. *NeoBiota*, 2016, 30: 75–90
- 15 Brown J H, Stevens G C, Kaufman D M. The geographic range: size, shape, boundaries, and internal structure. *Annu Rev Ecol Syst*, 1996, 27: 597–623
- 16 Dyer E E, Franks V, Cassey P, et al. A global analysis of the determinants of alien geographical range size in birds. *Global Ecol Biogeogr*, 2016, 25: 1346–1355
- 17 Morin X, Lechowicz M J. Geographical and ecological patterns of range size in North American trees. *Ecography*, 2011, 34: 738–750
- 18 中华人民共和国林业部. 新疆森林. 北京: 中国林业出版社, 1989
- 19 李利平, 尹林克, 唐志尧. 新疆野生动植物物种丰富度的分布格局. 干旱区研究, 2011, 28: 1–9
- 20 Li L, Wang Z, Zerbe S, et al. Species richness patterns and Water-Energy Dynamics in the drylands of northwest China. *PLoS ONE*, 2013, 8: e66450
- 21 Hijmans R J, Cameron S E, Parra J L, et al. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *Int J Climatol*, 2005, 25: 1965–1978
- 22 R Core Team. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2014
- 23 Gaston K J. Measuring geographic range sizes. *Ecography*, 1994, 17: 198–205
- 24 Jetz W, Rahbek C. Geographic range size and determinants of avian species richness. *Science*, 2002, 297: 1548–1551
- 25 王希华. 中国典型常绿阔叶林植物地理与物种多样性研究. 博士学位论文. 上海: 华东师范大学, 2006
- 26 王志恒. 中国木本植物物种多样性的地理格局、影响因子及尺度效应. 博士学位论文. 北京: 北京大学, 2008
- 27 Brown J H, Maurer B A. Macroecology: the division of food and space among species on continents. *Science*, 1989, 243: 1145–1150
- 28 Katayama N, Amano T, Naoe S, et al. Landscape heterogeneity-biodiversity relationship: effect of range size. *PLoS ONE*, 2014, 9: e93359
- 29 Stevens G C. The latitudinal gradient in geographical range: how so many species coexist in the tropics. *Am Natist*, 1989, 133: 240–256
- 30 Tao Y, Börger L, Hastings A. Dynamic range size analysis of territorial animals: an optimality approach. *Am Natist*, 2016, 188: 460–474
- 31 Trakimas G, Whittaker R J, Borregaard M K. Do biological traits drive geographical patterns in European amphibians? *Global Ecol Biogeogr*, 2016, 25: 1228–1238
- 32 Kessler M. Patterns of diversity and range size of selected plant groups along an elevational transect in the Bolivian Andes. *Biodiv Conserv*, 2001, 10: 1897–1921
- 33 Geng Y, Wang Z H, Liang C Z, et al. Effect of geographical range size on plant functional traits and the relationships between plant, soil and climate in Chinese grasslands. *Global Ecol Biogeogr*, 2012, 21: 416–427
- 34 Cook L G, Hardy N B, Crisp M D. Three explanations for biodiversity hotspots: small range size, geographical overlap and time for species accumulation. An Australian case study. *New Phytol*, 2015, 207: 390–400

Vascular plant range size patterns and the relationship with climate and plant richness in Xinjiang region, China

LI LiPing¹, JIA XiuHong² & YIN LinKe³

1 Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

2 College of Horticulture & Forestry Sciences, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

3 Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China

With the regional plant richness distribution data, we explored the plant range size patterns in Xinjiang region of China. We divided Xinjiang into grid cells of $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$. The plant range size characters, including range area (RA), extent north-south (NS) and extent east-west (EW) were indicated by the grid cells each plant covered. We firstly calculated the range size characters of all vascular plants originated in Xinjiang region. Then the range sizes of plants distributed in a grid cell were overlaid to obtain the range size characters of a grid cell, *i.e.*, regional patterns. Lastly, the relationship of the range size characters and climate, plant richness were analyzed. We found that in Xinjiang region: Mean RA, NS and EW are 1344, 51 and 89 grid cells and the median values are 366, 42 and 74 grid cells, respectively. The frequency distribution is right-skewed, *i.e.*, most plant species is of a small range. The range area is positively correlated with extent NS and EW. In the regional scale, RA is smaller in the north than in the south, especially in the Altay mountains and Yili valley of north, and Tarim basin in the south. With the increase of mean annual precipitation (MAP), the range size decreases significantly, while with the increase of mean annual temperature (MAT), the plant range size decreases then increases. The regional plant range size decreases significantly with the increase of plant richness.

plant range size, range area (RA), north-south extent, climate, plant diversity, Xinjiang

doi: [10.1360/N052017-00029](https://doi.org/10.1360/N052017-00029)