生 态 学 报 2011,31(7):1955—1961
Acta Ecologica Sinica

黄河三角洲植物生态位和生态幅对物种分布-多度关系的解释

袁 秀[1], 马克明[1,*], 王 德[2]
(1. 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085; 2. 中国科学院烟台海岸带研究所,山东 264003)

摘要: 物种分布与多度间的正相关格局非常普遍,但该格局的生态机制却一直不太明确。提出了很多假说来解释这种分布-多度关系,其中物种的生态幅和生态位(资源可利用性)机制的研究较多。为了验证物种的生态幅和生态位是否能解释物种的多度-分布格局,研究了黄河三角洲地区湿地植物分布、多度、生态位和生态幅间的关系,结果表明: 该区物种分布与多度呈显著正相关,且均与生态幅显著正相关,物种分布与生态位显著负相关,但物种多度与生态位相关性不显著。这说明物种的分布越广,其多度越高,环境容忍度越大; 而可利用资源更多的物种分布更广,环境容忍度越大的物种多度越多,资源可利用性对该区物种多度影响不大。说明物种生态幅能解释物种分布-多度正相关格局,而生态位假说不能很好的解释这一格局; 应该还有其他因素一起解释这一物种分布-多度正相关格局。

关键词: 多度; 分布; 机制; 黄河三角洲; 植物

Explaining the abundance-distribution relationship of plant species with niche breadth and position in the Yellow River Delta

YUAN Xiu[1], MA Keming[1,*], WANG De[2]

1 *State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100085, *China*

2 *Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai* 264003, *China*

Abstract: Species abundance and distribution are often correlated, such that the positive abundance-distribution pattern means the widespread species tend to be abundant, and narrowly distributed species rare. Several hypotheses have been proposed to explain the positive relationship between abundance and distribution, but the mechanisms behind this pattern still remain poorly understood. Among these hypotheses, the niche breadth and the niche position (or habitat availability) hypothesis are the most investigated, since the niche-based model predicts that both distribution and abundance mirror the degree to which local environmental conditions meet the requirements of species. We used outlying mean index to measure the niche position and the niche breadth of each species in the 436 quadrats collected in the three estuaries of the Yellow River Delta. The distribution of each species was represented as the number of sites occupied. We tested the relationship between the distribution and abundance of plant species with a specific aim to examine if this relationship follows the mechanistic basis of the niche-based (niche breadth and niche position) hypothesis. We estimated the relationship using ordinary least-squares regressions. There was a significant positive relationship ($R_a^2 = 0.75$) between the distribution and abundance of the plant species. We found a significant positive relationship between the niche breadth and abundance, and the regional distribution. The niche breadth explained 19% of the variation in abundance but 42% of the variation in distribution. There was a significant negative relationship between the distribution and the niche position, but the relationship between the abundance and the niche position was not significant. The niche position explained 46% of the

基金项目: 国家"十一五"科技支撑资助项目(2006BAC01A13)
收稿日期: 2010-02-25; **修订日期**: 2010-08-09
* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: mkm@rcees.ac.cn

variation in distribution. These results suggest that some widely distributed species tend to be, on average, locally abundant, and have wider niche breadth and lower marginality of niche position with regard to the environmental factors than the species that have more restricted distributions. When the relationship was significant, both the niche position and the niche breadth explained less than half of the variation in abundance and distribution, this suggests that not only niche-based processes, but also other mechanisms are likely to act in concert in determining the relationship between distribution and abundance of the plant species. Although there was some unexplained variability around the relationship, the niche breadth was more consistently related to the positive abundance-distribution relationship than the niche position. The positive pattern generally exhibited by the abundance-distribution relationships, has consequences for several areas of applied ecology, including conservation, harvesting, biological invasions and biodiversity inventory.

Key Words: abundance; distribution; niche-based model; Yellow River Delta; plant species

物种分布和多度(分布-多度)之间的正相关关系在不同分类群(从昆虫、动物到植物)和不同尺度都广泛存在[1-2]。有很多生态学家在不同分类群中都对这一现象的机制进行研究,并提出了很多可能支持这一格局的机制假说[3-7]。然而,支持这一现象的机制还不是很明确[8-10],对不同地区中分布-多度关系进行研究有助于理解该格局存在的可能机制。

对于分布-多度格局呈正相关关系的主要解释有 9 种[4]:(1) 采样过程[11],(2) 动植物种类的系统发生(phylogenetic) 的非独立性,(3) 物种的分布范围,(4) 聚集的空间分布,(5) 生态幅,(6) 资源可利用性,(7) 密度制约生境选择,(8) 异质种群变化,(9) 存活率。前面 4 种假设都是人为原因引起,即可以在采样过程中避免;其他几种解释涉及到生物过程,这些过程可能是解释分布-多度格局的有意义的生态学机制。在这些可能的机制中,验证生境适宜性和异质种群假设的较多[8, 12]。验证异质种群、存活率和密度制约生境选择需要有各种群多年的详细信息[13],在本文中不予涉及。生境适宜性模型[8, 14]认为物种在区域内的分布和多度都反映了局部环境适合物种要求的程度。该假说认为物种的分布-多度关系应该是正相关,并认为物种频率分布格局应该是单峰曲线,即多数物种是稀有的,而少数物种是广泛分布的。生境适宜性模型涉及到物种生态幅和物种的资源/生境可利用性(生态位) 假设;当物种生态幅大,其占有的资源更广泛,那么该物种应该分布越广并且更丰富[8, 11];生态位(资源/生境可利用) 假说[14]认为占有典型生境的物种比占有边缘生境(低生境可利用性) 的物种分布更广并且在局部地区更丰富。

本文对黄河三角洲地区的植物物种分布与多度关系进行了分析。黄河三角洲地区植物分布主要受水、盐等环境因素影响[15-17],即生境适宜性是该地区物种分布的主要因素。本文通过检验黄河三角洲地区植物物种分布-多度关系是否呈正相关,并且检验生境适宜性(生态位和生态幅) 模型能否解释该地区分布-多度格局。根据生态幅模型,假设在三角洲地区多度多的和广泛分布的物种比多度少和分布不广的物种的生态幅更宽。根据生态位假设,局部分布多和广泛分布的物种主要分布在典型生境,而局部不常见和分布不广的物种更容易生长在边缘生境。常用的验证方法就是通过分析物种生态幅和生态位与分布和多度的关系(相关性),如果相关性显著,且相关性越强,则该机制解释越大,相关性不显著,则认为该假说不能解释分布与多度格局。

1 研究地区及方法

1.1 研究地区概况

黄河三角洲位于渤海湾南岸和莱州湾西岸,地处我国山东省东营市黄河入海口,地理位置为 117°31′—119°18′E 和 36°55′—38°16′N。属暖温带半湿润大陆季风性气候。年平均日照时数为 2590—2830h,年平均气温 11.17—12.18℃,年平均降水量 530—630mm,70% 分布在夏季,年均蒸发量 1900—2400mm,降水年内分配不均且蒸发量大[18]。天然植被以草本为主,常见植物有芦苇(*Phragmites australis*)、盐地碱蓬(*Suaeda salsa*)、柽柳(*Tamarix chinensis*)、荻(*Triarrhena sacchariflora*) 及补血草(*Limoninum sinense*);天然乔木为旱柳

(*Salix matsudana*) ,仅在黄河河道两岸少量分布。

1.2　取样调查

在黄河三角洲不同时期的河口地区沿垂直于海岸带和垂直于黄河方向设置样带,做样地调查。在黄河三角洲地区,从海岸线到内陆方向土壤盐分有逐渐减小的趋势; 同时在黄河两岸,离河道越远,盐分逐渐增大,但水分有逐渐减小的趋势。所以在老黄河口地区,沿垂直于海岸带方向设样地(盐分梯度) ; 在新黄河口地区,沿垂直于黄河方向和沿海岸到内陆方向设置样地(图 1) 。灌木群落样地为 5m × 5m,并在该样地内设 3 个 1m × 1m 的草本样方; 草本群落样地为 1m × 1m。在样地间群落没有变化时,样地间距离为 1 000m,有变化时样地间距离为 500m。一共调查了 436 个样地。记录每个样方中植物的株数、盖度、高度等信息。具体地点如图 1 所示。

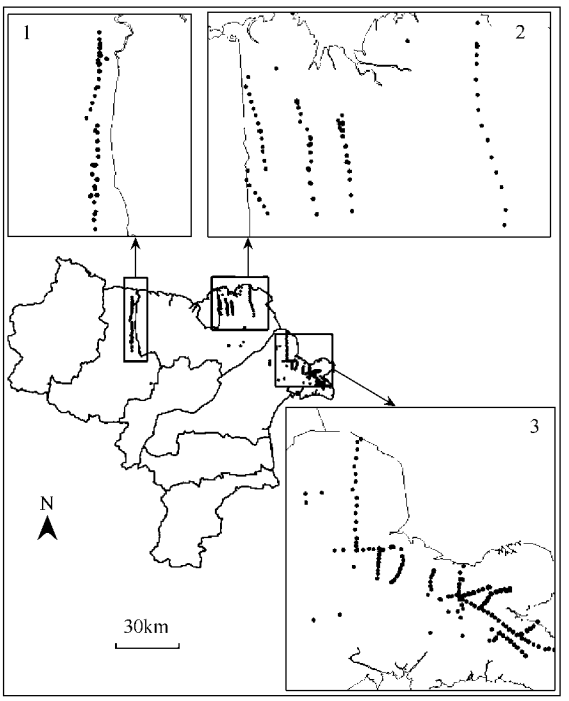

图 1　黄河三角洲及调查点

Fig. 1　The study area and spots

1: 1904—1926 年形成河口; 2: 1964—1976 年形成河口; 3: 1976 至今形成的河口

1.3　数据处理

为了确定物种的生态幅和生境可利用性,用平均边缘指数(OMI, outlying mean index) [19] 对研究区内每个物种的生态位和生态幅进行了计算,并检验各物种的显著性(计算各物种的 *P* 值) 。物种的生态位是通过计算该物种与假定 “物种”之间的距离,该假定“物种”要求适合的生境是所调查区域的平均生境。因此,具有高生态位的物种主要占据边缘环境,而生态位低的物种占据的是该地区的典型环境。在研究区内出现在不同环境下的物种,其生态幅大,而只出现在一些特定的环境中的物种,其生态幅小。为了防止物种本身属性对生态位和生态幅的影响,用物种的生态位和生态幅与物种本身特征的百分数表示物种的生态位和生态幅。

在 OMI 分析中用到的环境数据是非度量多维标定法(NMDS, non-metric multidimensional scaling) [20] 的排序轴,用 NMDS 排序方法对 436 个样地物种单位面积上的多度进行排序,排序轴代表综合的环境因子,将排序轴作为环境因子纳入 OMI 分析中。NMDS 适用于正态或非正态、连续或非连续的数据系列,该排序方法能较好的反映植物群落潜在的环境梯度,排序轴具有明显的生态意义[21] 。非度量多维标定法方法中用到的距离矩阵是 Bray-Curtis 距离[22] ,该指数能同时表现物种组合和多度上的差异。检验 NMDS 分析结果的好坏可以用胁强系数来衡量,本文中群落 NMDS 排序的胁强系数为 0.08,可以认为是一个好的排序。

在 OMI 和 NMDS 分析中用到的物种属性值是物种单位面积上(1 m^2) 的多度值(物种的株数) ,对多度值进行 Hellinger 转换[23] ,防止在排序过程中进行距离计算时出现两个没有共同物种时距离小于有共同物种的情况; 去掉物种只出现两次及一次的稀有物种,防止在排序过程中有不适当的影响[24] 。

物种分布即物种在该地区内分布的广泛性,用各物种在 436 个样地中一共出现的次数,即所占据样方个数表示。物种的多度,即各物种在单位面积(样方) 内的个体数。

分析 *P* 值小于 0.05 并且生态幅和生态位对该物种变异解释度达 50% 以上的物种的生态位、生态幅、分布和多度的关系,物种分布和多度都进行了自然对数转换。以上所有分析都在 R 语言环境中完成。

2　结果

2.1　物种分布特征

在黄河三角洲地区,主要由少数物种,如碱蓬属植物(*Suaeda* spp.) (包括盐地碱蓬和碱蓬(*Suaeda*

glauca)) 、芦苇、柽柳,占优势,多数物种比较稀少(表 1) 。在该地区主要由碱蓬属植物或芦苇单一物种形成的群落组成,碱蓬属植物、芦苇和柽柳 2—3 个物种混合形成的群落也常见(图 2) 。

表 1 黄河三角洲物种生态位、生态幅、分布和多度

Table 1 The niche position, niche breadth, regional distribution and local abundance

物种 Species	生态位 Niche position	生态幅 Niche breadth	分布 Distribution	多度 Abundance
白茅 *Imperata cylindrica*	65	3.3	48	1757
补血草 *Limoninum sinense*	44.5	16	30	362
柽柳 *Tamarix chinensis*	38.3	19.4	150	1877
刺儿菜 *Cirsium segetum*	65.4	0.8	10	16
大蓟 *Cirsium setosum*	63.1	6.7	14	51
荻 *Triarrhena sacchariflora*	80	2.4	42	2873
假苇拂子茅 *Calamagrostis pseudophragmites*	73.2	6.2	27	2135
旱柳 *Salix matsudana*	67.4	4.6	8	37
碱蓬属植物 *Suaeda salsa*	57.1	17.4	254	31241
苣荬菜 *Sonchus brachyotus*	43.6	13.3	40	504
醴肠 *Eclipta prostrata*	68.3	14.6	8	25
杞柳 *Salix integra*	66.8	2.1	17	67
芦苇 *Phragmites australis*	48.7	20.1	243	13536
罗布麻 *Apocynum venetum*	54.2	14.1	52	488
水蓼 *Polygonum hydropiper*	87.8	6.2	7	38
头状穗莎草 *Cyperus glomeratus*	95.7	2.3	10	207
萎陵菜 *Potentilla chinensis* Ser	98.8	0.5	8	204
问荆 *Equisetum arvense* L.	90.2	0.3	5	150
香蒲 *Typha orientalis*	50.6	7.5	27	659
旋鳞莎草 *Cyperus michelianus*	99.7	0.1	8	144
野大豆 *Glycine soja*	59.1	6.9	27	185
獐茅 *Aeluropus littoralis*	58.2	11.3	34	1233
碱菀 *Tripolium vulgare*	44.8	18.1	19	195
青蒿 *Artemisia carvifolia*	79.2	3.4	4	44

2.2 物种生态位和生态幅

黄河三角洲地区植物物种生态位和生态幅见表 1,低生态位的物种是非边缘种,高生态位的是边缘物种。柽柳,苣荬菜(*Sonchus brachyotus*) ,碱菀(*Tripolium vulgare*) ,芦苇,罗布麻(*Apocynum venetum*) ,碱蓬属植物等生态位低,生长在典型生境,即主要生长在三角洲地区常见的环境下,如盐分和水分较高地区。而旋鳞莎草(*Cyperus michelianus*) 、水蓼(*Polygonum hydropiper*) 、头状穗莎草(*Cyperus glomeratus*) 、问荆(*Equisetum arvense*) 、假苇拂子茅(*Calamagrostis pseudophragmites*) 、杞柳(*Salix integra*) 、荻等物种生态位高,主要生长在三角洲地区不多见的环境,如盐分低的河边,或盐分低且水分相对较低的河滩高地。生态幅窄的物种具有低的环境容忍度,生态幅宽的物种环境容忍度高。生态幅宽的物种主要有芦苇,柽柳,碱菀,碱蓬属植物,补血草等物种,他们基本能生长在盐分从 0.1ms/cm 到 15ms/cm 的盐分范围,和土壤水分从 20%—70% 的水分范围; 柽柳和碱蓬属植物的盐分范围可以更广,而芦苇的水分范围更广。大多数边缘物种生态幅窄,非边缘物种生态幅宽(图 3) 。

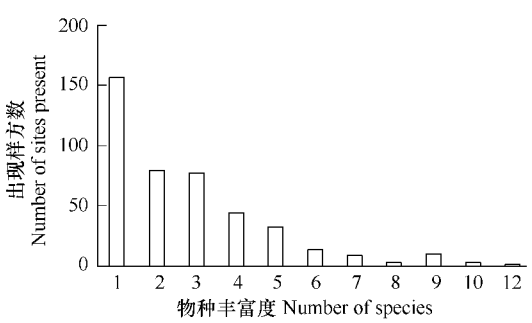

图 2 黄河三角洲物种丰富度图

Fig. 2 Species-occurrence distributions of species in the Yellow River Delta

2.3　物种分布、多度、生态位和生态幅间的关系

物种多度和分布呈正相关(图 4),随着物种在三角洲地区出现的次数越多,该物种在该地区的多度也越多。物种生态位与分布呈负相关(图 5),即资源可利用性越多的物种分布越广。生态幅与分布呈正相关(图 6),即生态幅越大的物种分布越广。生态位与多度呈负相关(图 7),但解释度不大($R_a^2 = 0.08$)且不显著($P = 0.09$)。生态幅与多度呈正相关(图 8),其解释度较小($R_a^2 = 0.19$)。大多数物种随生态幅增大,物种多度增大;随生态位减小,物种多度也在增大。但鳢肠(*Eclipta prostrata*)、旱柳、青蒿(*Artemisia carvifolia*)、大蓟(*Cirsium setosum*)、水蓼(*Polygonum hydropiper*)和刺儿菜(*Cirsium segetum*)与类似大小生态幅和生态位的物种相比,多度小很多;而碱蓬属植物、芦苇、假苇拂子茅、白茅和荻等物种与其他类似大小生态幅和生态位的物种相比多度要多。

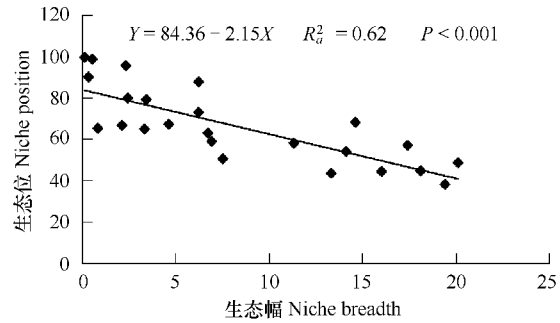

图 3　黄河三角洲物种生态位和生态幅的关系

Fig. 3　Relationship between the niche position and niche breadth in the Yellow River Delta

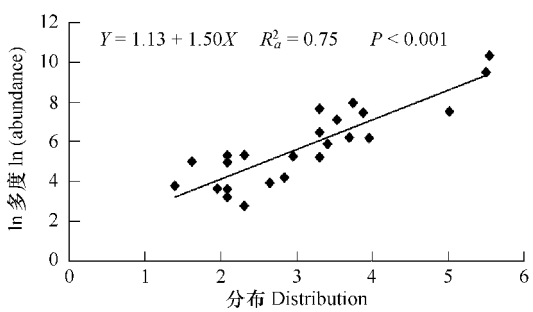

图 4　黄河三角洲物种多度与分布关系

Fig. 4　Relationship between the regional distribution (number of sites occupied) **and local abundance of species in the Yellow River Delta**

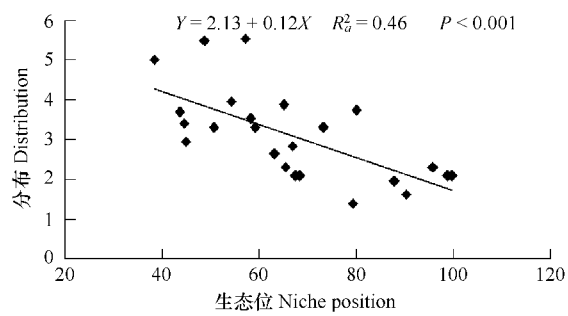

图 5　黄河三角洲物种分布与生态位关系

Fig. 5　Relationship between the niche position and regional distribution (number of sites occupied) **of species in the Yellow River Delta**

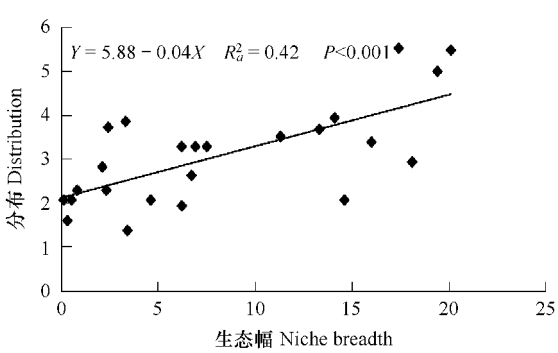

图 6　黄河三角洲物种分布与生态幅关系

Fig. 6　Relationship between the niche breadth and regional distribution (number of sites occupied) **of species in the Yellow River Delta**

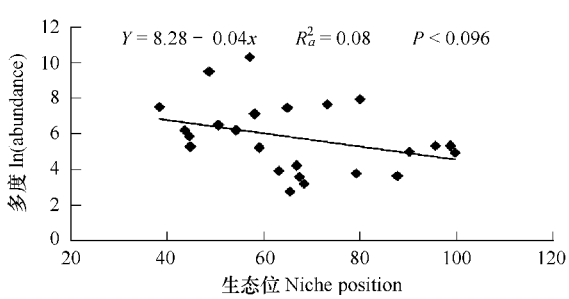

图 7　黄河三角洲物种多度与生态位关系

Fig. 7　Relationship between the niche position and local abundance of species in the Yellow River Delta

3　讨论与结论

在黄河三角洲地区植物分布与多度间的关系呈正相关。对这种分布-多度关系的解释首先应该想到的是各种人为采样原因:(1)由系统发育的不独立性[25]导致的相关物种(例如同属内物种)表现出的相似的分布

格局和多度会加大在统计检验时的自由度。头状穗莎草和旋鳞莎草同属,在三角洲地区有比较相似的生态位和生态幅;但在三角洲地区同样有菊科物种(刺儿菜、大蓟等)和禾本科物种(荻、芦苇、假苇拂子茅、白茅等)多个,他们的生态位、生态幅、多度很不相同,相互关系没有表现出明显区别。相同科属物种的分布-多度格局与其他科属物种的格局没有明显区别,所以该因素应该影响不大。(2)采样过程中如果一些不常见的物种本来在样点内,但没有记录到时,也可能形成物种分布与多度的这种正相关关系。这个原因在本文的研究中不存在,本文中所用的采样方法和样方大小都是比较客观的,样地内的物种较少,也都记录完全。(3)物种的分布区对这种分布-多度关系的影响。例如适合的生境只出现一部分在研究区的物种多度少于适合生境在研究区内都出现的物种。验证这个假说需要研究区内所有物种的分布区。该因素可能存在,但小于全球尺度的任何研究物种分布-多度关系都不可能避免,同时该因素也不可能是唯一引起分布-多度正相关的原因。(4)物种的空间分布特征[26],对该地区物种分布的主要因素分析表明,环境是主导该地区物种丰富度和组成的主要因素,空间自相关特征很小。从以上分析可以看出,人为原因可能会引起一部分这种分布-多度正相关格局,但其他因素也不能否定。

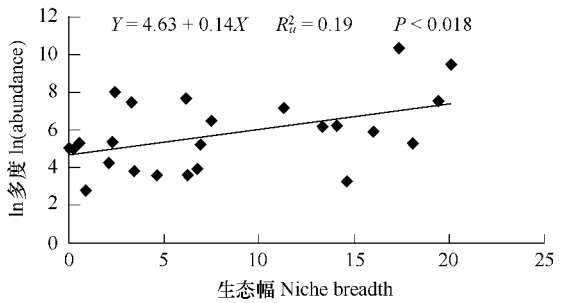

图8 黄河三角洲区域物种多度与生态幅关系

Fig. 8 Relationship between the niche breadth and local abundance of species in the Yellow River Delta

生态位(资源可利用性)假说[14]认为在一定区域内,可以利用大多数该区域内环境和资源的物种比只能利用边缘资源和生境的物种分布的更广和多度更多。本研究表明生长在典型生境的物种比生长在边缘生境的物种分布更广。在黄河三角洲地区(研究区域内),典型的生境是受海水影响的高盐分和高水分生境和受黄河影响下的高水分环境,所以能在盐分较高和水分较高的生境中生长的物种如芦苇、碱蓬属植物、柽柳、碱菀、苣荬菜等比只能在淡水区域生长的物种如白茅、头状穗莎草等物种分布要广。生长在典型生境的物种比生长在边缘生境的物种多度更多,但是不太显著,资源可利用性对多度影响不大,解释度也小(0.08)。碱菀虽然在黄河三角洲地区可利用的生境多(生态位小),生态幅大,但其在局部的多度并不高,这可能与该物种与周围物种的竞争有关[27],也可能与物种的本身属性有关,该物种在黄河三角洲属于广布种,但没有以该物种为主的群落分布。

生态幅与分布和多度都呈正相关,这表明有更宽生态幅的物种可能比生态幅窄的物种分布更广并且多度更高。尽管苣荬菜和碱菀也占据了典型生境,其生态幅也相对较高,其在局部的多度也不高。这可能是虽然苣荬菜、碱菀能在这些地区生长,但是可能不是其最适生境,而该地区可能是碱蓬属植物的最适生境,所以在种间关系作用下,碱蓬属植物在局部地区的多度高。这也可能是由于各种历史原因使苣荬菜、碱菀等物种在该地区分布不是很多,同时这些物种的繁殖方式又不能很快占据适合该物种生长的生境[27]而形成这种多度-生态幅关系。

本文结果支持物种的生态幅解释分布-多度格局的假说[11],该假说认为生态幅宽的物种会比生态幅窄的物种分布广并且多度更多;本研究证明生态幅宽的物种分布更广,且大多数物种随生态幅增大,多度增多。本文的研究结果与 Heino 和 Siqueira 等[8, 12]的结果相符,该研究显示生态幅比生态位更能解释分布-多度格局;与 Cowley 和 Tales[5, 9]的研究结果不同,该研究认为生态位比生态幅更能解释物种多度-分布正相关格局。生态幅对分布-多度格局解释还不够,应该还存在其他因素。

本文验证了生态位和生态幅假说解释黄河三角洲地区物种分布与多度正相关关系的格局。分析中利用排序轴代表潜在环境,虽然该排序轴代表了综合的环境因素,能更全面(相对只测几个环境因子)代表在一定环境下的物种分布,但是不排除其它作用如物种之间的相互作用会影响排序轴代表的意义,进而可能会影响结果。在不同尺度,得到的广布种和稀有种会不同,研究结果可能会不同。同时本文的研究区是以少数物种

占主导,多数物种稀有的地区,物种多样性低,可能只能代表环境对大多数物种胁迫作用下的物种分布-多度关系假说的验证,建议在物种多样性比较多的地区进行验证。

致谢: 感谢滨州学院黄河三角洲生态环境研究中心及黄河三角洲自然保护区管理局的支持和帮助,感谢孙景宽老师和毛齐正同学参与外业调查。

Reference:

[1] Gaston K J, Warren P H. Interspecific abundance-occupancy relationships and the effects of disturbance: a test using microcosms. Oecologia, 1997,112(1):112-117.
[2] Gaston K J, Blackburn T M, Greenwood J J D, Gregory R D, Quinn R M, Lawton J H. Abundance-occupancy relationships. Journal of Applied Ecology, 2000, 37(s1):39-59.
[3] Gaston K J,Lawton JH. Effects of Scale and habitat on the relationship between regional distribution and local abundance. Oikos, 1990, 58(3): 329-335.
[4] Collins S L, Glenn S M. Effects of organismal and distance scaling on analysis of species distribution and abundance. Ecological Applications, 1997, 7(2):543-551.
[5] Cowley M J R, Thomas C D, Wilson R J, Leon-Cortes J L, Gutierrez D, Bulman C R. Density-distribution relationships in British butterflies. Ⅱ. An assessment of mechanisms. Journal of Animal Ecology, 2001,70(3):426-441.
[6] Freckleton R P, Noble D, Webb T J. Distributions of habitat suitability and the abundance-occupancy relationship. American Naturalist, 2006, 167(2):260-275.
[7] He F L, Gaston K J, Wu J G. On species occupancy-abundance models. Ecoscience, 2002, 9(1):119-126.
[8] Heino J. Positive relationship between regional distribution and local abundance in stream insects: a consequence of niche breadth or niche position? Ecography, 2005, 28(3):345-354.
[9] Tales E, Keith P, Oberdorff T. Density-range size relationships in French riverine fishes. Oecologia, 2004, 138(3):360-370.
[10] Ma K M. Advances of the study on species abundance pattern. Acta Phytoecologica Sinica, 2003, 27(3):412-426.
[11] Brown J H. On the relationship between abundance and distribution of species. American Naturalist, 1984, 124(2):255-279.
[12] Siqueira T, Bini L M, Cianciaruso M V, Roque F O, Trivinho-Strixino S. The role of niche measures in explaining the abundance-distribution relationship in tropical lotic chironomids. Hydrobiologia, 2009, 636(1):163-172.
[13] Holt R D,Lawton J H, Gaston K J, Blackburn T M. On the relationship between range size and local abundance: Back to basics. Oikos, 1997, 78(1):183-190.
[14] Venier L A, Fahrig L. Habitat availability causes the species abundance-distribution relationship. Oikos, 1996, 76(3):564-570.
[15] He Q, Cui B S, Zhao X S, Fu H L. Niches of plant species in wetlands of the Yellow River Delta under gradients of water table depth and soil salinity. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(5):969-975
[16] Li F, Xie Y H, Chen X S, Deng Z M, Li X. Composition of aquatic plants and their niche characteristics in wetlands of the Yellow River Delta. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29 (11):6257-6265.
[17] Hu Q M, Yang S Q, Li W, Cui B S. Niches of wetland plant species in the Yellow River Delta under soil nutrient gradients. Journal of Beijing Normal University: Natural Science, 2009, 45(1):75-79.
[18] Song C Y, Liu G H, Liu Q S, Cao M C, Huang C. Distribution patterns of plant communities in the Yellow River Delta and related affecting factors. Chinese Journal of Ecology, 2008, 27(12):2042-2048.
[19] Dolédec S, Chessel D, Gimaret-Carpentier C. Niche separation in community analysis: A new method. Ecology, 2000, 81(10):2914-2927.
[20] Kruskal J B. Nonmetric multidimensional scaling: A numerical method. Psychometrika, 1964,29(2):115-129.
[21] Minchin P R. An evaluation of the relative robustness of techniques for ecological ordination. Plant Ecology, 1987, 69(1/3):89-107.
[22] Faith D P, Minchin P R, Belbin L. Compositional dissimilarity as a robust measure of ecologicaldistance. Plant Ecology, 1987, 69(1/3):57-68.
[23] Legendre P, Gallagher E D. Ecologically meaningful transformations for ordination of species data. Oecologia, 2001, 129(2):271-280.
[24] Legendre P, Legendre L. Numerical Ecology. Second English editinon. Amsterdam: Elsevier Science B. V., 1998.
[25] Harvey P H. Phylogenies for ecologists. Journal of Animal Ecology, 1996, 65 (3):255-263.
[26] Wright D H. Correlations between incidence and abundance are expected by chance. Journal of Biogeography, 1991, 18(4):463-466.
[27] Pulliam H R. On the relationship between niche and distribution. Ecology Letters, 2000, 3(4):349-361.

参考文献:

[10] 马克明, 物种多度格局研究进展. 植物生态学报, 2003, 27(3):412-426.
[15] 贺强, 崔保山, 赵欣胜, 付华龄. 水、盐梯度下黄河三角洲湿地植物种的生态位. 应用生态学报, 2008, 19(5):969-975.
[16] 李峰, 谢永宏, 陈心胜, 邓正苗, 李旭. 黄河三角洲湿地水生植物组成及生态位. 生态学报, 2009, 29(11):6257-6265.
[17] 胡乔木, 杨舒茜, 李韦, 崔保山. 土壤养分梯度下黄河三角洲湿地植物的生态位. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2009, 45 (1):75-79.
[18] 宋创业, 刘高焕, 刘庆生, 曹铭昌, 黄翀. 黄河三角洲植物群落分布格局及其影响因素. 生态学杂志, 2008, 27 (12):2042-2048.