DOI: 10.5846/stxb201312032872

秦晓娟, 董刚, 邓永利,毛空, 李旭华, 张峰.山西平陆黄河湿地植物分类学多样性.生态学报,2015,35(2):409-415.

Qin X J, Dong G, Deng Y L, Mao K, Li X H, Zhang F.Plant taxonomic diversity in Yellow River Wetland in Pinglu, Shanxi.Acta Ecologica Sinica,2015,35(2):409-415.

山西平陆黄河湿地植物分类学多样性

秦晓娟[1], 董 刚[1,2], 邓永利[1],毛 空[2], 李旭华[2], 张 峰[1,2,*]

1 山西大学 生命科学学院, 太原 030006

2 山西大学黄土高原研究所, 太原 030006

摘要:传统的物种多样性通常使用物种数量指标 α 和 β 等多样性指数进行测度,由于其对取样和样本大小有依赖关系且极其敏感,因此取样方法的不同会对多样性的结果产生显著影响。分类学多样性方法基于分类学系统关系测量物种多样性,弥补了传统方法的不足,同时面对各种变量和不受控制的取样具有稳健性,同时也考虑了集合的分类学均匀度。不仅能反映植物群落多样性,还能间接反映环境与扰动间的关系,用于识别生态系统或生境是否处于退化阶段。为了探究平陆黄河湿地的物种多样性,检验分类学多样性方法在植物生态学方面的应用,选取了 16 个样地进行植物调查,并结合历史资料整理了种子植物名录,结果表明平陆黄河湿地共有植物 368 种,隶属于 36 目 67 科 213 属。含种最多的科为菊科和禾本科,分别为 54 种和 45 种。应用平均分类学差异指数(Δ^+)和分类学差异变异指数(Λ^+)研究了各样地的植物物种多样性:Δ^+和 Λ^+的理论平均值分别为 74.24 和 480;位于三门峡大坝上游和下游的样地和不同群落类型的分类学多样性均没有显著差异($P>0.05$)。受人类干扰较大的车村和鳖干平均分类学差异指数值显著较低, Δ^+分别为 62.28 和 67.41,位于 95%的置信漏斗外;而水分条件较好且人为干扰较少的南沟渡口和三湾湖平均分类学差异指数值最高为分别 81.30 和 79.94。车村的分类差异变异指数值最高为 814.44,其物种在不同分类阶元分布最不均一,涧北的分类差异变异指数值最低为 423.31,其物种分布相对较均一。传统的多样性方法难以全面的反映某个区域的物种组成、分布和多样性,此外分类学多样性的高低与物种数量的多少没有一定的相关关系, Δ^+与 S、Λ^+与 S 的相关关系分别为-0.257 和-0.187($P>0.05$)。耕作、生态旅游、日常活动等人为干扰因素可能是造成平陆黄河湿地分类学多样性降低及物种在不同分类等级间分布不均匀的主要原因。

关键词:分类学多样性;植物多样性;黄河湿地;平陆

Plant taxonomic diversity in Yellow River Wetland in Pinglu, Shanxi

QIN Xiaojuan[1], DONG Gang[1,2], DENG Yongli[1], MAO Kong[2], LI Xuhua[2], ZHANG Feng[1,2,*]

1 *School of Life Science, Shanxi University, Taiyuan* 030006, *China*

2 *Institute of Loess Plateau, Shanxi University, Taiyuan* 030006, *China*

Abstract: A study of traditional diversity study focuses on the number of species in a given ecosystem. Traditional indices are extremely sensitive to the sampling method and sample size; changes in sampling efforts often significantly impact on the level of diversity in an ecosystem, and it is difficult to compare data sets collected at different times and regions. Taxonomic diversity is used to measure species diversity, and not only species abundances and distribution but also taxonomic relatedness are considered. Furthermore, this method is robust and minimally influenced by variables or uncontrolled sampling efforts. On the other hand, taxonomic evenness of an assemblage should also be considered. It not only reflects community diversity; but also provides information on the relationship between environmental factors and indirect disturbance, which are often applied to identify whether the ecological system or environment is undergoing degradation. To

基金项目:山西省回国留学人员科研项目(20100012); 山西省自然科学基金项目(2013011037-1); 科技部科技基础性工作专项资助(2011FY110300)

收稿日期:2013-12-03; **网络出版日期**:2014-07-03

* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: fzhang@sxu.edu.cn

explore the species diversity in Yellow River Wetlands, Pinglu, Shanxi, and to test the application of taxonomic diversity in plant ecology, 16 sites were chosen around the Sanmenxia Dam, Pinglu and a species list was established. In the present study, 368 species belonging to 213 genera, 67 families and 36 orders were recorded in this region. Most of the species belonged to the families Compositae (54 species) and Poaceae (45 species). Plant species diversity was studied using average taxonomic distinctness (Δ^+) and variation in taxonomic distinctness (Λ^+) and a confidence funnel was obtained. The expected value of Δ^+ and Λ^+ were 74.24 and 480, respectively. No significant difference were observed among the different stands both upstream and downstream of Sanmenxia Dam and various community types ($P>0.05$). The average taxonomic distinctness values of Checun (62.28) and Biegan (67.41), which severely disturbed by human activities, were lower and below the confidence limit. The average taxonomic distinctness values for Nangou Ferry and Sanwan Lake, which were sites with better water availability and less disturbance, were higher, (81.30 and 79.94, respectively). The value of Λ^+ in Checun (814.44) was the highest, suggesting that the species distribution in this site was less homogeneous. The value of Λ^+ in Jianbei (423.31) was the lowest, with species distribution being homogeneous. Traditional diversity methods hardly reflect species composition, distribution and diversity; and there is no certain correlations between taxonomic diversity and species number. The correlation coefficient between Δ^+ and S was 0.257($P>0.05$), and that between Λ^+ and S was −0.187($P>0.05$). Anthropogenic activites such as cultivation and tourism are dominant factors that have caused the significant decrease in taxonomic diversity and non-uniform sapatial distribution of species of different taxa in Yellow River Wetlands.

Key Words: taxonomic diversity; plant diversity; Yellow River Wetland; Pinglu

生物多样性是评价物种数量、组成、结构时空变化的有力的工具。传统的物种多样性通常使用 α 多样性、β 多样性指数进行测度,由于其对取样和样本大小极其敏感,取样方法的不同会对多样性的测度产生显著影响,因此调查者需对所有样地的取样尽量标准化,或对每个地点进行彻底调查[1]。当数据集源于不同时间、地点、方法的取样时,就很难对这些数据进行多样性比较。种间关系是群落物种多样性的重要方面,当两个群落集聚有相同的物种丰富度时,种间亲缘关系较远的群落比亲缘关系较近有更大的多样性[2]。因此在评价分类学多样性时应考虑这些信息。

Clarke 和 Warwick 提出的分类学多样性方法,克服了传统方法的缺点,面对不同方式的取样具有稳健性,同时也考虑了集合的分类学均匀度。分类学多样性的方法可以对不同水平的取样数据进行比较,特别是当数据只记录物种种类而没有定量数据时,可以使用平均分类学差异指数和分类学差异变异指数进行多样性测量[3]。此外,分类学多样性方法可以将自然生境退化造成的分类学多样性低与人为干扰造成的区分开来[4],然而分类学多样性应用于植物多样性与环境评估的研究目前报道很少[2]。

山西平陆黄河湿地位于三门峡大坝库区,属于山西运城湿地自然保护区的主要组成部分,地势平缓,土质肥沃,地下水位较高,是大天鹅(*Cygnus cygnus*)和其他水禽的重要越冬地,也是国家二级保护植物野大豆(*Glycine soja*)的分布区。本文基于物种存在与否的二元数据用平均分类学差异指数和分类学差异变异指数研究平陆黄河湿地的物种多样性。根据野外调查,结合相关文献和历史资料,整理了平陆黄河湿地的植物物种名录,计算了平均分类学差异指数(Δ^+)和分类学差异变异指数(Λ^+),目的是:1)检验分类学多样性分析方法在植被生态学中的应用及效果;2)用分类学多样性方法研究山西平陆黄河湿地植物多样性,为自然保护区植物资源和大天鹅栖息地保护提供理论基础。

1 研究区域

平陆黄河湿地位于山西省平陆县黄河北岸,地处中条山南麓,自西向东呈带状分布,地理坐标:34°42′13″—34°55′56″ N,110°56′11″—111°37′46″ E,总面积 7100.4 hm^2。气候属暖温带半湿润大陆性季风气候。年

平均日照时数为 2171.6 h,年太阳辐射总量为 120.7 kcal/cm^2。年平均气温为 13.7 ℃,1 月份平均气温-0.4 ℃,7 月份平均气温 26.3 ℃。年平均风速为 1.5 m/s。年平均降水量为 544.9 mm。平均无霜期 235 d。平陆黄河湿地既有峡谷地貌和三门峡水库宽阔的库区水面,又有分布广阔的滩涂;不但具有典型的河流湿地特征,同时还有库塘湿地的特征,包括河流生态系统、河漫滩生态系统、森林生态系统、农田生态系统和库塘生态系统。主要的植被类型有杨树(*Populus*)林,斑竹林(*Phyllostachys glauca*),桑(*Morus alba*)林,柽柳(*Tamarix chienesis*)灌丛,荆条(*Hibiscus syriacus*)灌丛,狗牙根(*Cynodon dactylon*)草丛,罗布麻(*Apocynum venetum*)草丛,地笋(*Lycopus*)草丛,芦苇(*Phragmites*)草丛,香蒲(*Typha*)草丛等。

2　研究方法

2.1　野外调查

2012 年 6 月,在平陆黄河湿地设置了 16 个样地(其中三门峡大坝上游区域包括太阳渡、五里墩、前沟、车村、张峪桥、三湾村、茅津渡、涧北、三湾湖等;下游区域席家坪渡口、三门峡大坝下、鳖干、尖坪滩、老鸦石、南沟渡口、茅津中滩等)进行植物调查(图 1)。森林群落样方面积 20m×30m,记录指标包括种名,群落总盖度、层盖度,每个乔木植株的胸径、高度;灌丛 10m×10m,记录指标包括种名,每个物种的平均高度和盖度;草丛 1 m×1 m,记录指标包括种名,每个种的分盖度。环境信息包括经纬度、海拔和人类活动干扰情况等。对不能确认的物种压制标本,带回室内鉴定。

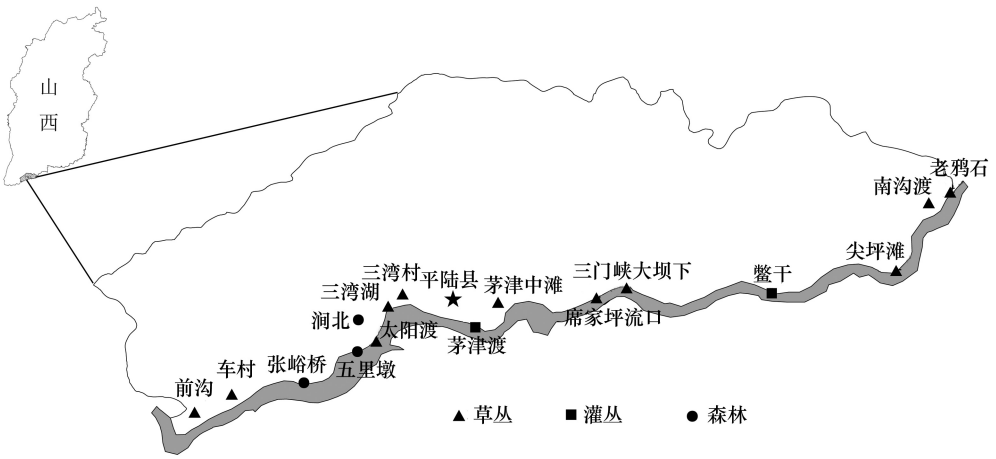

图 1　调查地点的基本信息

Fig.1　Basic information of each site

2.2　数据分析

综合野外调查和历史资料,系统整理了平陆黄河湿地植物物种总名录。根据恩格勒的分类系统,将物种进行纲、目、科、属、种 5 个等级的分类,建立各样地的系统进化树。定义最长路径长度为 100(分类等级上最远的 2 个种),每一分类等级水平上的权重[5-7]:种间权重 $\omega=20$,属间权重 $\omega=40$,科间权重 $\omega=60$,目间权重 $\omega=80$,纲间权重 $\omega=100$。

依据 Clarke 与 Warwick 提出的分类学多样性测度方法[3,6],计算平均分类学差异指数(Δ^+)和分类学差异变异指数(Λ^+)。

平均分类学多样性指数

$$\Delta^+ \frac{(\sum\sum_{i<j}\omega_{ij})}{\frac{s(s-1)}{2}} \quad (1)$$

分类学差异变异指数

$$\Delta^+ \frac{(\sum\sum_{i<j}(\omega_{ij}-\Delta^+)}{\frac{s(s-1)}{2}} \quad (2)$$

式中,ω_{ij}为第 i 和第 j 个种类在分类树中的路径长度,S 为样方中出现的种数。

平均分类学差异指数 Δ^+和分类差异变异指数 Λ^+只考虑出现种类,不考虑物种数量[8]。Δ^+定义为群落中所有物种路径长度的理论平均值,与物种种类变化无关,值越高表示物种多样性越大。Λ^+实际为路径长度的方差,反映群落中物种分布的均一性水平,Λ^+值越大表明物种分布均一性越差[2]。

为了对各个样地的多样性指数值与理论平均值进行统计性检验,建立了 95%的置信漏斗曲线。应用 PRIMER-6 软件计算分类学多样性指数及 95%置信漏斗曲线。

为了比较各样地的分类学多样性指数值的差异性,对三峡大坝上下游的样地进行 t 检验,用方差分析对不同群落类型样地间 Δ^+和 Λ^+间差异显著性进行检验。

3 结果与分析

3.1 物种组成

根据野外调查和参考有关资料,平陆黄河湿地共有植物 368 种,隶属于 36 目 67 科 213 属。含种最多的科为菊科 54 种,占总种数的 14.67%,其次为禾本科 45 种,占 12.23%。植物科内属、种的组成差异较大,其中含属较多的科是禾本科(33 属),菊科(24 属),豆科(17 属),唇形科(11 属),蔷薇科(9 属)等。含种较多的属为蒿属(*Artemisia* 15 种),委陵菜属(*Potentilla* 9 种),蓼属(*Polygonum* 6 种),藜属(*Chenopodium* 6 种),莎草属(*Cyperus* 6 种),薹草属(*Car*ex 6 种)等。

3.2 平均分类差异指数和分类差异变异指数

根据公式(1)、(2)计算了平陆黄河湿地各样地的分类多样性指数和分类差异变异指数(表 1)。结果显示,南沟渡口的平均分类学指数值最高,平均每科含 1.43 种,每属 1 种,表明该地的分类学等级水平最多,分类学多样性最大;车村的平均分类学指数值最低,而分类差异变异指数最大,平均每科 2.67 种,每属 1.07 种,表明该地的分类学多样性最小,且物种在科属间分布最不均匀。

表 1 不同调查地点物种数量(S)和分类学多样性值(Δ^+和 Λ^+)

Table 1 Number of species, taxonomic diversity values (Δ^+ and Λ^+) of each site

地点 Site	S	Δ^+	Λ^+	地点 Site	S	Δ^+	Λ^+
太阳渡(L1)	51	74.27	459.45	三门峡大坝(L9)	28	72.49	495.93
五里墩(L2)	20	77.23	581.56	鳖干(L10)	26	67.41	524.58
前沟(L3)	27	73.73	448.46	尖坪滩(L11)	41	70.37	516.13
车村(L4)	16	62.28	814.44	老鸦石(L12)	24	71.84	507.90
张峪桥(L5)	16	78.56	439.40	南沟渡口(L13)	9	81.30	584.74
三湾村(L6)	12	79.49	654.96	茅津中滩(L14)	21	76.76	445.39
茅津渡(L7)	7	71.43	466.21	涧北(L15)	10	75.85	423.29
席家坪渡口(L8)	35	74.97	537.23	三湾湖(L16)	15	79.94	477.03

表中 S 为物种数量,Δ^+为平均分类差异指数,Λ^+为分类学差异变异指数

根据平陆黄河湿地的物种名录,计算了平均分类差异指数和分类学差异变异指数的理论平均值,并建立了 95%的置信漏斗曲线(图 2)。从图 2 可以看出,平均分类学差异指数的理论平均值不随物种数的变化而变化,位于理论平均值附近的样地数比例相当,大多数样地的分类学值均在置信区间内;分类差异变异指数也几乎不随物种数的变化而变化,只有在物种数很小时才降低,5 个样地的分类差异变异指数值近似于理论平均值,其余地点均高于平均值。图 3 显示 S 与 Δ^+、Λ^+呈负相关,相关系数分别为−0.257 和−0.187(P>0.05),这可能与研究区域物种不均一性有关,某些样地的种数虽然增加,但分类阶元并未增加(如太阳渡)。

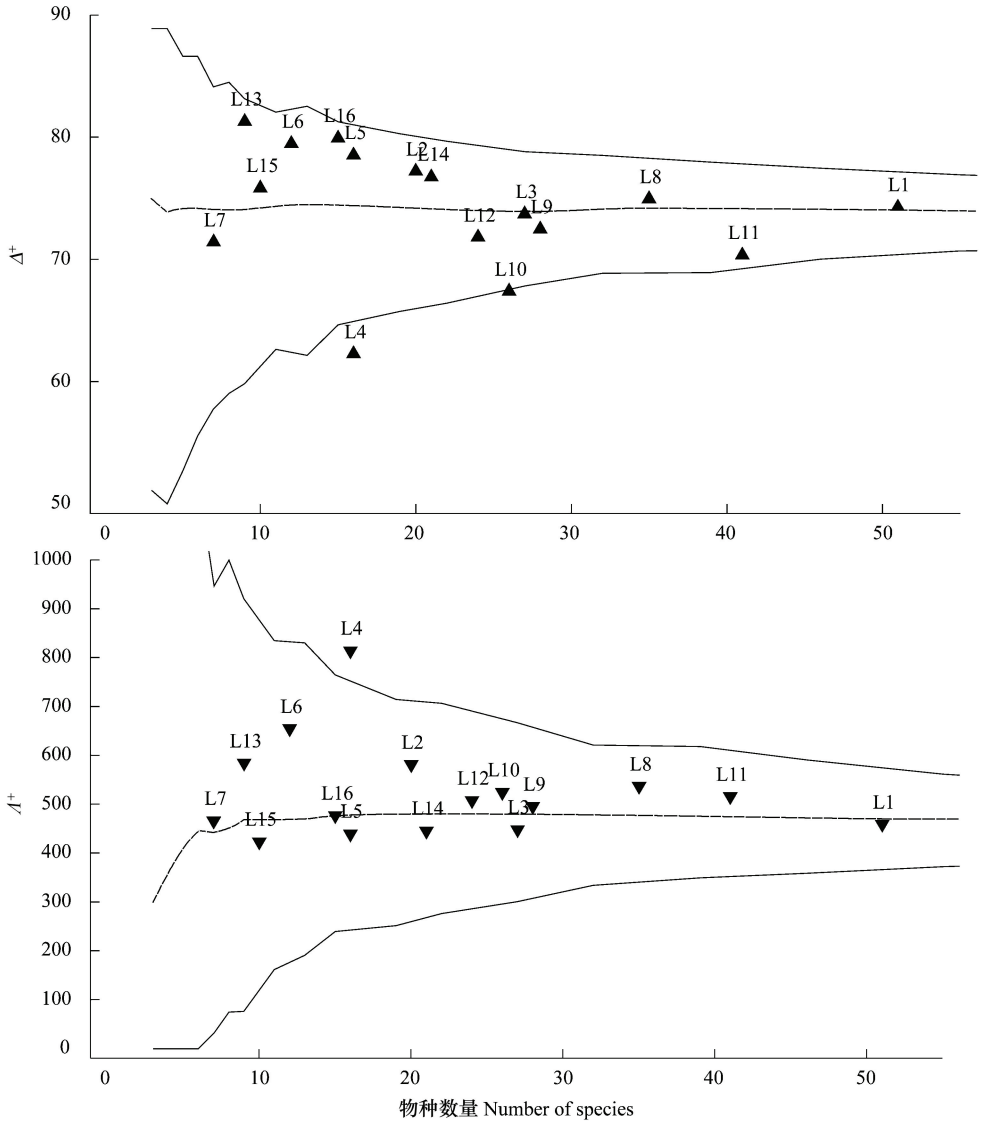

图 2　Δ^+和 Λ^+ 95%的置信漏斗曲线及各调查点在曲线中的位置

Fig.2　Δ^+ and Λ^+ for the plant communities in 16 sites, plotted against the number of species on the 95% confidence funnel

图中虚线表示理论平均值,两条曲线分别为置信线,▲、▼分别代表调查地点的平均分类差异指数 Δ^+和分类学差异变异指数 Λ^+值

3.3　不同样地和不同群落类型的分类学多样性指数差异性检验

t 检验表明:不同位置样地(三门峡大坝上游和下游)的平均分类学差异指数差异不显著($t=0.454$, $P>0.05$)和分类差异变异指数差异亦不显著($t=0.259$, $P>0.05$)。方差分析结果(表 2)表明:不同群落类型的样地(乔木、灌丛、草丛)的平均分类学差异指数和分类差异变异指数间差异不显著($P>0.05$)。

4　讨论

分类学多样性方法不仅考虑种数、分布格局,还将分类学信息融入多样性测度,是对植物群落生物多样性的综合评价,是理解环境对生物多样性和生态功能影响的良好指数[9]。本文所采用的平均分类学差异指数和分类学差异变异指数基于物种出现与否的二元数据,定义为群落中随机选择的 2 个物种的平均路径长度,可用于不同区域不同程度的取样比较[10]。分类学多样性指数另一个特点是可以进行统计性检验,依据某区域的植物名录可得到理论平均值和 95%的置信区间,将各个子区域的分类学多样性计算值叠加到置信漏斗内,可探讨其时间、空间变化特征。当少数种类添加到名录后对理论平均值和置信范围的影响较小[11]。这与

Mouillot 所得出的“考虑外来物种与否对海岸水生植物群落分类学多样性影响较小”相一致[12]。Clarke 和 Warwick 发现 Δ^+ 能区分退化生境和污染造成的值低,在污染的情况下,Δ^+ 值会落到 95% 的置信漏斗以下[13]。本文中的样地 L4(车村)位于置信漏斗下方,与 Clarke 和 Warwick 的相关研究结果类似。这是在每年 6 月初三门峡水库腾空库容后,L4 周围大部分被开垦,种植农作物,人类活动干扰极为明显所致。

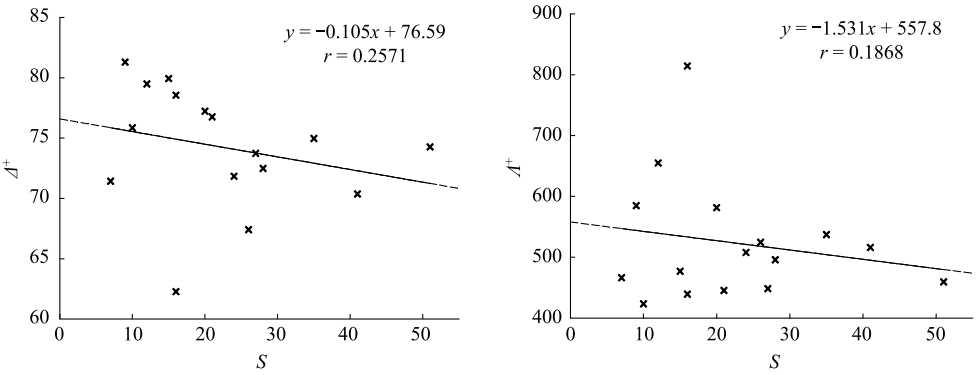

图 3 S 与分类学多样性指数(Δ^+ 和 Λ^+)的相关关系

Fig.3 The correlation of S against Δ^+ and Λ^+

图中 S 为物种数量

表 2 不同群落类型的样地平均分类差异指数与分类差异变异指数的方差分析

Table 2 ANOVA for the diversity indices (Δ^+ and Λ^+) of different communities

多样性指数 Diversity indices	组间平方和 SS_A	自由度 df	组内平方和 SSe	自由度 df	组间均方和 MS_A	组间均方 MSe	F	P
平均分类学差异指数 Average taxonomic distinctness (Δ^+)	295.66	13	73.08	2	22.74	36.54	1.607	0.24
分类差异变异指数 Variation in taxonomic distinctness (Λ^+)	138745.11	13	9943.72	2	10672.70	4971.86	0.466	0.64

平陆黄河湿地水分条件较好,物种种类和分布较丰富。根据整理的植物名录和野外调查看,湿生和水生植物占有较大的比例,共计 116 种,占总种数的 31.5%。物种的分布与自然环境及人类活动相关,在水分条件充足的地方分布着水生、湿生物种,如芦苇(*Phragmites communis*)、狭叶香蒲(*Typha angustifolia*)、褐穗莎草(*Cyperus fuscus*)等,在人类活动频繁的地方分布着伴人植物,如猪毛菜(*Salsola collina*)、灰绿藜(*Chenopodium glaucm*)、狗尾草(*Setaria viridis*)等。

三门峡大坝上下游的样地的平均分类学差异指数值没有明显差异,但人类的耕作、水利工程、生态旅游、日常活动频繁的地区(如车村 Δ^+ 值为 62.28、鳖干村 Δ^+ 值为 67.41)其值明显低于理论平均值且超出了 95% 的置信区间下限,这与 Clarke 和 Warwick 提出的受人为干扰较大的区域其平均分类学指数值通常会落在置信区间以外的结论一致[14];南沟渡口、三湾湖西湾等地的 Δ^+ 值(分别为 81.30 和 79.94)高于理论平均值,这些地方水分条件较好,除了常见的马唐(*Digitaria sanguinalis*)、无芒稗(*Echinochlod crusgalli*)、鬼针草(*Bidens pilosa*)等湿中生物种外,为更多水生物种如石龙芮(*Ranunculus sceleratus*)、风花菜(*Rorippa globosa*)、狼把草(*Bidens tripartita*)、水蓼(*Polygonum hydropiper*)等栖息提供了良好的条件。不同群落类型的分类学指数间差异虽不显著,但林地类型的平均分类学指数值最大,灌丛类型最小,这说明分类学多样性指数与群落结构有关。一般来说群落结构越复杂,分类学多样性指数可能就越高。多数地点的 Λ^+ 值高于理论平均值,表明平陆黄河湿地河漫滩的物种分布均一性较弱,物种分布主要集中于菊科、豆科、禾本科、莎草科。因离农田较近,三湾村 Λ^+ 值为 684.96,主要分布着禾本科的稗属和莎草科的莎草属植物;五里墩 Λ^+ 值为 581.56,以酸模叶蓼(*Polygonum lapathifolium*)、萹蓄(*Polygonum aviculare*)等蓼属的植物居多。车村的分类学多样性最低且物种

均一性最差,分布于该地的主要是一些灰绿藜、猪毛菜、猪毛蒿(*Artemisia scoparia*)等伴人植物,可见人类活动会对区域的物种多样性产生显著影响。

各样地的 Δ^+ 和 Λ^+ 的值不随种数的增加而增加(图 2),表明物种数量不能真实的反映某些区域的分类多样性和系统多样性,因此基于种数和个体数,或 α、β 多样性指数来衡量群落的多样性会对真实的多样性产生低估[15]。例如,太阳渡(52 种 33 属 11 科)虽然比席家坪渡口(35 种 19 属 6 科)科属种都多,但二者的 Δ^+ 值却十分相近(分别为 74.27 和 74.97),这是因为太阳渡物种所属的科属并没成比例增加,仅增加了禾本科的虎尾草(*Chloris virgata*)、狗尾草、白羊草(*Bothriochloa ischaemum*),菊科的苍耳(*Xanthium sibiricum*)、飞廉(*Carduus nutans*)等。车村和鳖干种数分别为 16 与 26,分别属于 6 科和 13 科,南沟渡口、三湾湖西湾所含物种分别为 10 种和 15 种,分别属于 7 科和 11 科,前者虽然物种数量多,但 Δ^+ 值却较小,因而分类学多样性的减少不一定会造成物种数量的减少。

参考文献(References):

[1] Magurran A E. 生物多样性测度. 张峰, 译. 北京: 科学出版社, 2011: 80-82.

[2] Moreno C E, Castillo-Campos G, Verdú J R. Taxonomic diversity as complementary information to assess plant species diversity in secondary vegetation and primary tropical deciduous forest. Journal of Vegetation Science, 2009, 20(5): 935-943.

[3] Clarke K R, Warwick R M. A taxonomic distinctness index and its statistical properties. Journal of Applied Ecology, 1998, 35(4): 523-531.

[4] 徐宾铎, 金显仕, 梁振林. 黄海鱼类群落分类学多样性的研究. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2005, 35(4): 629-634.

[5] Clarke K R, Warwick R M. A further biodiversity index applicable to species list: variation in taxonomic distinctness. Marine Ecology Progress Series, 2001, 216(2): 265-278.

[6] Clarke K R, Warwick R M. The taxonomic distinctness measure of biodiversity: weighting of step lengths between hierarchical levels. Marine Ecology Progress Series, 1999, 184: 21-29.

[7] 曾燏. 嘉陵江干流鱼类物种分类多样性研究. 西北师范大学学报, 2012, 33(3): 246-260.

[8] 徐宾铎, 金显仕, 梁振林. 对黄、渤海鱼类等级多样性的推算. 中国海洋大学学报, 2005, 35(1): 25-28.

[9] Shan X J, Jin X S, Yuan W. Taxonomic diversity of fish assemblages in the Changjiang Estuary and its adjacent waters. Acta Oceanologica Sinica, 2010, 29(2): 70-80.

[10] 郭玉清, 张志南, 慕芳红. 渤海自由生活海洋线虫多样性的研究. 海洋学报, 2003, 25(2): 106-113.

[11] 刘光兴, 姜强, 朱延忠, 陈洪举. 北黄海浮游桡足类分类学多样性研究. 中国海洋大学学报:自然科学版, 2010, 40(12): 89-96.

[12] Mouillot D, Gaillard S, Aliaume C, Verlaque M, Belsher T, Troussellier M, Chi T D. Ability of taxonomic diversity indices to discriminate coastal lagoon environments based on macrophyte communities. Ecological Indicators, 2005, 5(1): 1-17.

[13] Pienkowski M W, Watkinson A R, Warwick R M, Clarke K R. Taxonomic distinctness and environmental assessment. Journal of Applied Ecology, 1998, 35(4): 532-543.

[14] Warwick R M, Clarke K R. New biodiversity measures reveal a decrease in taxonomic distinctness with increasing stress. Marine Ecology Progress Series, 1995, 129: 301-305.

[15] Leonard D R P, Clarke K R, Somerfield P J, Warwick R M. The application of an indicator based on taxonomic distinctness for UK marine biodiversity assessments. Journal of Environmental Management, 2006, 78(1): 52-62.