

黄河三角洲湿地水生植物组成及生态位

李 峰^{1,2}, 谢永宏^{1,*}, 陈心胜¹, 邓正苗^{1,2}, 李 旭¹

(1. 中国科学院亚热带农业生态研究所, 亚热带农业生态过程重点实验室, 洞庭湖湿地生态研究站, 湖南 410125;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 通过大范围的野外调查和室内测定, 运用 Levins 及 Pianka 公式, 对近代黄河三角洲湿地水生植物的构成及主要物种的生态位进行了研究。结果表明: 调查样方内共有水生植物 34 种, 隶属于 16 科 26 属; 各调查区域间物种组成和群落类型具有一定的差异性。区域形成的年份越久, 其物种数和群落类型就越丰富; 挺水植物中以芦苇的生态位宽度最大, 为 0.905, 薰草的最低, 为 0.127; 沉水植物中轮藻、穗花狐尾藻、川蔓藻及小茨藻的生态位宽度较大, 分别为 0.783、0.673、0.669 和 0.640, 金鱼藻的最低, 仅为 0.100。龙须眼子菜、大茨藻和苦草间, 马来眼子菜和菹草间生态位重叠值较大, 说明这几种植物具有相似的环境适应能力。物种的生态位宽度与该物种的分布范围及耐盐区间的大小存在显著的相关性, 由此可以断定土壤和水体盐度是导致黄河三角洲湿地水生植物生态位分化的关键因子。

关键词: 水生植物组成; 生态位; 水体和土壤盐度; 黄河三角洲

文章编号: 1000-0933 (2009) 11-6257-09 中图分类号: Q143 文献标识码: A

Composition of aquatic plants and their niche characteristics in wetlands of the Yellow River Delta

LI Feng^{1,2}, XIE Yong-Hong^{1,*}, CHEN Xin-Sheng¹, DENG Zheng-Miao^{1,2}, LI Xu¹

1 Dongting Lake Station for Wetland Ecosystem Research, Key Laboratory for Agro-ecological Processes in Subtropical Region, Institute of Subtropical Agriculture, CAS, Hunan 410125, China

2 Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29 (11): 6257 ~ 6265.

Abstract: Based on field investigation and indoor measurement, the composition of aquatic plants and the niche characteristics of dominant species in wetlands of the Yellow River Delta were studied using Levins and Pianka formulas. A total of 34 species, belonging to 16 families and 26 genera were observed in the investigation plots. Species composition and dominant community types were significantly different among investigation regions. Higher species numbers and richer community types were observed in the regions with longer formation time. For emergent plants, *Phragmites australis* (0.905) and *Scirpus triqueter* (0.127) had the maximum and the minimum niche breadths respectively. For submerged macrophytes, *Chara* sp. (0.783), *Myriophyllum spicatum* (0.673), *Ruppia maritime* (0.669) and *Najas minor* (0.640) had relatively higher niche breadths and *Ceratophyllum demersum* had the minimum niche breadth (only 0.100). The niche overlap values among *Potamogeton pectinatus*, *Najas marina* and *Vallisneria spiralis* and the value between *Potamogeton malaianus* and *Potamogeton crispus* were relatively higher, indicating that they had similar capacity to acclimate to the environment. Species niche breadth was significantly correlated with its distribution range and salt-tolerance ability. Therefore, it can be concluded that salt contents in the soil and water are the key factors determining the niche differentiation among aquatic plants in the Yellow River Delta.

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目 (2006CB403301)

收稿日期: 2009-05-05; 修订日期: 2009-07-28

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yonghongxie@163.com

Key Words: composition of aquatic plants; niche; water and soil salinity; the Yellow River Delta

黄河三角洲地处渤海之滨的黄河入海口,由黄河携带的大量泥沙在入海口处沉积而成,为全国最大的三角洲,也是我国温带最广阔、最完整、最年轻的湿地^[1]。境内湿地总面积为 747139.4hm²,且类型多样,可分为河流、沼泽草甸、沟渠、滩涂、浅海、水库湖泊等,以浅海、滩涂湿地为主^[2]。由于地处海陆交接地带,地理位置独特,使得这一新生湿地系统表现出易变性、不稳定性和脆弱性,同时石油工业的发展及自然灾害的频繁发生导致黄河三角洲的生态问题越来越突出,严重影响了当地生态系统的平衡和经济的可持续发展。因此如何更好的保护黄河三角洲湿地资源,实现资源的循环利用和经济的可持续发展一直是诸多学者关注的热点之一。目前关于黄河三角洲湿地的研究主要集中在湿地生物的多样性^[1,3]、植物区系成分及演替规律^[4]、土壤盐分的空间变异性^[5,6]、湿地景观格局的变化^[7]、湿地生态服务功能的价值评估和生态系统的健康评价^[8]等几个方面,这些研究对于认知黄河三角洲生态系统的现状和发展趋势,促进黄河三角洲湿地生态系统的保护都具有重要意义。

水生植物作为湿地系统最主要的组成部分,对水文条件、环境变化比较敏感,具有很好的指示作用^[9],同时作为初级生产者,不仅为湿地动物提供食物及栖息环境,而且在物质循环、能量流动及维持整个生态系统平衡等方面也具有不可替代的作用。然而,目前在黄河三角洲湿地,水生植物的研究十分匮乏,已有的也只是附带测定,未有针对性。因此本文试图以 2007~2008 年度对整个近代黄河三角洲的野外调查资料为依据,运用生态位理论,对水生植物的组成及主要物种的生态位进行研究,以期为认知黄河三角洲湿地水生植物的分布现状、种间关系及阐明水生植物的演替规律提供理论依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 自然概况

近代黄河三角洲(N: 36°55′~38°12′,E: 118°07′~119°18′)是指自 1855 年黄河从铜瓦厢决口夺大清河入海形成的以宁海为顶点的扇面,西起套尔河口,南抵淄脉沟口,面积约 6000km²。行政区域包括山东省东营市的大部分辖区及滨州市沾化县的一部分。该区属暖温带半湿润季风气候区,气候温和,四季分明。多年平均气温 11.7~12.6℃,降雨量为 530~630mm,蒸发量为 1750~2430mm^[10]。全区共有种子植物 189 种,隶属于 40 科 120 个属^[11],以草本植物为主,木本植物缺乏,主要的水生植物群落为芦苇(*Phragmites australis*)、川蔓藻(*Ruppia maritima*)、穗花狐尾藻(*Myriophyllum spicatum*)、狭叶香蒲(*Typha angustifolia*)等。

1.2 研究方法

1.2.1 野外调查

近代黄河三角洲是由黄河在不同年份冲积成的多个亚三角洲组合而成,为此把它看作是一个长达 150a (1855 年~至今)的水生植物演替序列。根据不同的历史形成期,将其划分为 10 个区域,进行分区调查(图 1)。每个区域被认为是演替中的一个资源状态。调查时间选择在 2007 年,2008 年的 7、8 月份进行,因此时水生植物种类最为丰富。调查共进行 2 次,具体方法如下:在每个调查区域隔 1~2km 设置一大一小为 1m×1m 的样方,记录样方内各物种名称及其个体数、高度、盖度、多度等指标,野外测定部分水体数据,同时采集相应的土样带回实验室进行理化性质分析,样方总数为 214 个,每区的样方数为 18~25 个。水生植物的界定参照库克的《世界水生植物》进行^[12]。

1.2.2 土壤及水体理化性质的测定

已有研究表明,盐度是影响黄河三角洲湿地植物分布的关键性因子^[13],因此本研究在环境因子测定中主要对各样方内水体和土壤的盐度进行了测定。同时由于电导率和盐度间存在显著的相关性^[14],因此本研究中土壤和水质盐度的测定均用电导率表示。水质电导率采用 HI9820 便携式多参数水质测定仪测定,土壤电导率采用 DDS-11D 型电导率仪测定(水土比 5:1)^[14]。

1.2.3 生态位的计算

生态位宽度的计算采用 Levins 提出、经 Corwell 修正的公式进行^[15]:

$$B_i = \frac{1}{r \times \sum_{h=1}^r (P_{ih})^2} \quad (1)$$

式中, B_i 为第 i 个物种的生态位宽度, P_{ih} 为第 i 个物种在第 h 个资源水平下的重要值占该种在所有资源水平上重要值总和的比例, r 为资源水平数。

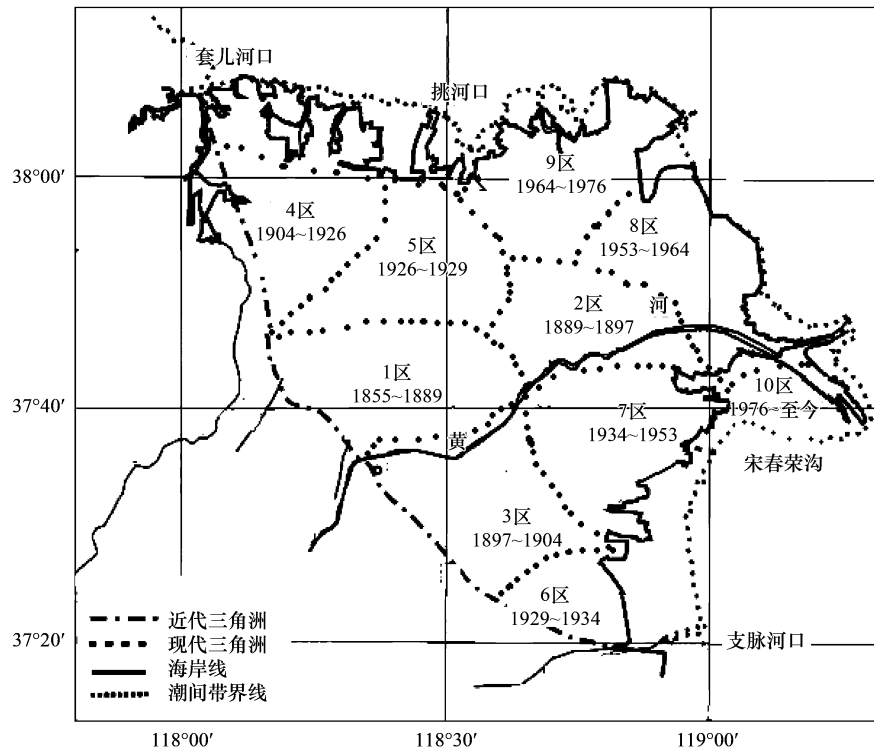


图1 黄河三角洲湿地野外调查示意图^[16]

Fig. 1 The sketch map of field investigation in wetlands of the Yellow River Delta^[16]

生态位重叠采用计算^[15]:

$$Q_{ij} = \frac{\sum_{h=1}^r P_{ih} P_{jh}}{\sqrt{\sum_{h=1}^r P_{ih}^2 \sum_{h=1}^r P_{jh}^2}} \quad (2)$$

式中, Q_{ij} 为种群 i 和 j 的生态位重叠值, P_{ih} 和 P_{jh} 分别表示第 i 和第 j 物种在第 h 个资源水平下的重要值占该种在所有资源水平上重要值总和的比例, r 为资源水平数。

重要值(%) = (相对密度 + 相对频度 + 相对显著度)/300, 其中相对显著度采用相对盖度进行计算。本研究选取重要值较大的前 21 个物种进行生态位宽度和重叠的计算分析。

2 结果与分析

2.1 各调查区域土壤及水体盐度

各调查区域中土壤及水体盐度差异显著($p < 0.05$, 表 1)。其中以 6、8、9 和 10 区的盐度较高, 其它区域相对较低。水体和土壤的最大盐度均出现在 9 区, 其电导率分别为 $27.48 \text{ ms} \cdot \text{cm}^{-1}$ 和 $6.82 \text{ ms} \cdot \text{cm}^{-1}$, 最小的水体电导率出现在 7 区, 为 $5.99 \text{ ms} \cdot \text{cm}^{-1}$, 为 9 区的 21.8%; 最小的土壤电导率为 $0.92 \text{ ms} \cdot \text{cm}^{-1}$, 出现在 1 区, 仅为 9 区的 13.5%。

2.2 水生植物及群落组成

各调查区水生植物的物种数及群落组成如表 2 所示。以 7 区的物种数最为丰富, 为 22 种, 其次为 4 区;

而在靠近海岸线的几个区域(如 8 区、9 区)水生植物种类非常稀少,尤其是 9 区,仅 5 种。物种少的区域其群落类型也较单一,主要分布的群落类型有芦苇 + 川蔓藻群落、小茨藻(*Najas minor*) + 轮藻(*Chara. sp*)群落、穗花狐尾藻群落和狭叶香蒲 + 芦苇群落等,而在水生植物丰富的区域(如 7 区、5 区),除上述群落类型外,还有芦苇 + 龙须眼子菜(*Potamogeton pectinatus*)群落、大茨藻(*Najas marina*) + 穿叶眼子菜(*Potamogeton perfoliatus*)、狭叶香蒲 + 轮叶黑藻(*Hydrilla verticillata*)、穿叶眼子菜等群落类型。总体说来,区域形成的时间越久,水生植物组成及群落类型就越丰富。

表 1 黄河三角洲湿地各调查区域水体及土壤盐度特征

Table 1 Characteristics of water-soil salinity in the survey regions of the Yellow River Delta

调查区域 Survey regions	水体盐度 Water salinity ($\text{ms} \cdot \text{cm}^{-1}$)	土壤盐度 Soil salinity ($\text{ms} \cdot \text{cm}^{-1}$)
1	8.27 $\pm$ 2.36	0.92 $\pm$ 0.41
2	6.56 $\pm$ 0.83	2.11 $\pm$ 0.33
3	7.26 $\pm$ 2.30	1.86 $\pm$ 0.55
4	7.25 $\pm$ 1.58	0.96 $\pm$ 0.26
5	7.68 $\pm$ 1.75	1.81 $\pm$ 0.52
6	22.37 $\pm$ 4.99	3.96 $\pm$ 0.77
7	5.99 $\pm$ 0.98	1.83 $\pm$ 0.49
8	14.27 $\pm$ 3.47	1.70 $\pm$ 0.79
9	27.48 $\pm$ 4.21	6.82 $\pm$ 1.17
10	16.16 $\pm$ 4.73	3.11 $\pm$ 0.86

表 2 黄河三角洲湿地各区域水生植物组成及群落类型

Table 2 Composition of aquatic plants and community types in the survey regions of the Yellow River Delta

调查区域 Survey regions	物种数 Species number	主要群落类型 Dominant community types
1	16	穗花狐尾藻 <i>M. spicatum</i> 、狭叶香蒲 + 穿叶眼子菜 <i>T. angustifolia</i> + <i>P. perfoliatus</i> 、马来眼子菜 + 苦草 <i>Potamogeton malaianus</i> + <i>Vallisneria natans</i> 、轮叶黑藻 + 穿叶眼子菜 <i>Hydrilla verticillata</i> + <i>P. perfoliatus</i> 、芦苇 + 川蔓藻 <i>P. australis</i> + <i>R. maritime</i> 、轮藻 + 小茨藻 <i>Chara. sp</i> + <i>Najas minor</i> 、大茨藻 + 菹草 <i>Najas marina</i> + <i>Potamogeton crispus</i> 、狭叶香蒲 + 川蔓藻 <i>T. angustifolia</i> + <i>R. maritime</i> 、芦苇 + 龙须眼子菜 <i>P. australis</i> + <i>Potamogeton pectinatus</i> 、穿叶眼子菜 <i>P. perfoliatus</i>
2	19	芦苇 + 川蔓藻 <i>P. australis</i> + <i>R. maritime</i> 、大茨藻 + 芦苇 <i>N. marina</i> + <i>P. australis</i> 、轮叶黑藻 + 狭叶香蒲 <i>H. verticillata</i> + <i>T. angustifolia</i> 、轮藻 + 小茨藻 <i>Chara. sp</i> + <i>N. minor</i> 、芦苇 + 龙须眼子菜 <i>P. australis</i> + <i>P. pectinatus</i> 、芦苇 + 穗花狐尾藻 <i>P. australis</i> + <i>M. spicatum</i> 、穿叶眼子菜 <i>P. perfoliatus</i>
3	12	芦苇 + 川蔓藻 <i>P. australis</i> + <i>R. maritime</i> 、川蔓藻 <i>R. maritime</i> 、穗花狐尾藻 <i>M. spicatum</i> 、轮藻 + 小茨藻 <i>Chara. sp</i> + <i>N. minor</i> 、狭叶香蒲 + 川蔓藻 <i>T. angustifolia</i> + <i>R. maritime</i> 、芦苇 + 轮藻 <i>P. australis</i> + <i>Chara. sp</i> 、狭叶香蒲 + 穗花狐尾藻 <i>T. angustifolia</i> + <i>M. spicatum</i> 、芦苇 + 穗花狐尾藻 <i>P. australis</i> + <i>M. spicatum</i>
4	20	芦苇 + 菹草 <i>P. australis</i> + <i>P. crispus</i> 、小茨藻 + 轮藻 <i>N. minor</i> + <i>Chara. sp</i> 、芦苇 + 穿叶眼子菜 <i>P. australis</i> + <i>P. perfoliatus</i> 、芦苇 + 龙须眼子菜 <i>P. australis</i> + <i>P. pectinatus</i> 、川蔓藻 <i>R. maritime</i> 、芦苇 + 穗花狐尾藻 <i>P. australis</i> + <i>M. spicatum</i> 、菹草 + 菹草 <i>Scirpus triquetus</i> + <i>P. crispus</i> 、穿叶眼子菜 + 苦草 <i>P. perfoliatus</i> + <i>V. natans</i> 、荆三棱 + 穗花狐尾藻 <i>Scirpus yagara</i> + <i>M. spicatum</i>
5	18	大茨藻 + 穿叶眼子菜 <i>N. marina</i> + <i>P. perfoliatus</i> 、大茨藻 + 轮藻 <i>N. marina</i> + <i>Chara. sp</i> 、芦苇 + 川蔓藻 <i>P. australis</i> + <i>R. maritime</i> 、穿叶眼子菜 + 轮藻 <i>P. perfoliatus</i> + <i>Chara. sp</i> 、轮藻 + 小茨藻 <i>Chara. sp</i> + <i>N. minor</i> 、芦苇 + 穿叶眼子菜 <i>P. australis</i> + <i>P. perfoliatus</i> 、芦苇 + 金鱼藻 <i>P. australis</i> + <i>Ceratophyllum demersum</i> 、芦苇 + 轮藻 <i>P. australis</i> + <i>Chara. sp</i> 、菹草 + 穿叶眼子菜 <i>S. triquetus</i> + <i>P. perfoliatus</i> 、龙须眼子菜 + 大茨藻 <i>P. pectinatus</i> + <i>N. marina</i> 、芦苇 + 穗花狐尾藻 <i>P. australis</i> + <i>M. spicatum</i>
6	10	狭叶香蒲 + 穗花狐尾藻 <i>T. angustifolia</i> + <i>M. spicatum</i> 、川蔓藻 <i>R. maritime</i> 、轮藻 + 小茨藻 <i>Chara. sp</i> + <i>N. minor</i> 、芦苇 + 川蔓藻 <i>P. australis</i> + <i>R. maritime</i>
7	22	芦苇 + 狭叶香蒲 <i>P. australis</i> + <i>T. angustifolia</i> 、大茨藻 + 假苇附子毛 <i>N. marina</i> + <i>Calamagrostis pseudophragmites</i> 、大茨藻 <i>Najas marina</i> 、芦苇 + 川蔓藻 <i>P. australis</i> + <i>R. maritime</i> 、轮藻 + 小茨藻 <i>Chara. sp</i> + <i>N. minor</i> 、菹草 + 穗花狐尾藻 <i>P. crispus</i> + <i>M. spicatum</i> 、芦苇 + 穗花狐尾藻 <i>P. australis</i> + <i>M. spicatum</i> 、狭叶香蒲 + 轮叶黑藻 <i>T. angustifolia</i> + <i>H. verticillata</i> 、芦苇 + 龙须眼子菜 <i>P. australis</i> + <i>P. pectinatus</i>
8	9	轮藻 + 小茨藻 <i>Chara. sp</i> + <i>N. minor</i> 、芦苇 + 穗花狐尾藻 <i>P. australis</i> + <i>M. spicatum</i> 、川蔓藻 <i>R. maritime</i> 、芦苇 + 龙须眼子菜 <i>P. australis</i> + <i>P. pectinatus</i> 、芦苇 + 川蔓藻 <i>P. australis</i> + <i>R. maritime</i>
9	5	川蔓藻 <i>R. maritime</i> 、轮藻 + 小茨藻 <i>Chara. sp</i> + <i>N. minor</i> 、芦苇 + 川蔓藻 <i>P. australis</i> + <i>R. maritime</i>
10	9	大叶藻 <i>Zostera marina</i> 、芦苇 + 川蔓藻 <i>P. australis</i> + <i>R. maritime</i> 、芦苇 + 狭叶香蒲 <i>P. australis</i> + <i>T. angustifolia</i> 、芦苇 + 假苇拂子茅 <i>P. australis</i> + <i>C. pseudophragmites</i> 、芦苇 + 荆三棱 <i>P. australis</i> + <i>S. yagara</i>

2.3 主要水生植物的分布区域及其耐盐区间

在黄河三角洲湿地中,主要水生植物的分布区域具有一定的差异(表3)。如川蔓藻、轮藻、芦苇、小茨藻、狭叶香蒲、荆三棱(*Scirpus yagara*)等物种的分布范围较广,尤其是芦苇、狭叶香蒲和川蔓藻在各区域中均有出现,而其它一些物种如金鱼藻(*Ceratophyllum demersum*)、轮叶黑藻、马来眼子菜(*Potamogeton malaianus*)、蘆草(*Scirpus triqueter*)等只局限于形成期较长的几个区域(如1区、4区)。结合水体及土壤盐度分析的结果可知,分布越广的物种,其生活的耐盐区间就越大,如川蔓藻可在 $1.30 \sim 43.94 \text{ ms} \cdot \text{cm}^{-1}$ 的水体盐度中存活,而轮叶黑藻分布的盐度范围仅为 $1.19 \sim 3.13 \text{ ms} \cdot \text{cm}^{-1}$ 。

表3 黄河三角洲湿地主要水生植物的分布区域及耐盐区间

Table 3 Distribution regions and salt-tolerance ranges of the dominant aquatic plants in wetlands of the Yellow River Delta

物种名称 Species name	分布区域 Distribution regions	水体盐度 Water salinity ($\text{ms} \cdot \text{cm}^{-1}$)	土壤盐度 Soil salinity($\text{ms} \cdot \text{cm}^{-1}$)
芦苇 <i>Phragmites australis</i> (Sp ₁ *)	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10	0.51 ~ 33.42	0.15 ~ 10.96
狭叶香蒲 <i>Typha angustifolia</i> (Sp ₂)	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10	0.91 ~ 23.78	0.31 ~ 5.57
稗草 <i>Echinochloa crusgalli</i> (Sp ₃)	1,2,3,4,5,6,7,10	0.51 ~ 6.34	0.34 ~ 3.25
假苇拂子茅 <i>Calamagrostis pseudophragmites</i> (Sp ₄)	2,5,7,8,10	0.91 ~ 10.45	0.27 ~ 5.57
水毛茛 <i>Scirpus triangulatus</i> (Sp ₅)	1,2,3,4,6	0.51 ~ 16.09	0.34 ~ 3.97
辣蓼 <i>Polygonum hydropiper</i> (Sp ₆)	3,4,5,7,10	0.67 ~ 7.53	0.21 ~ 2.35
荆三棱 <i>Scirpus yagara</i> (Sp ₇)	1,2,3,4,7,8,10	1.47 ~ 14.03	0.24 ~ 3.97
蘆草 <i>Scirpus triqueter</i> (Sp ₈)	4,5	1.98 ~ 5.84	0.69 ~ 1.81
穗花狐尾藻 <i>Myriophyllum spicatum</i> (Sp ₉)	1,2,3,4,5,6,7,8,10	1.0 ~ 16.46	0.15 ~ 4.37
大茨藻 <i>Najas marina</i> (Sp ₁₀)	1,2,3,4,5,7	1.19 ~ 14.03	0.24 ~ 3.97
马来眼子菜 <i>Potamogeton malaianus</i> (Sp ₁₁)	1,2,4,7,11	9.0 ~ 4.29	0.39 ~ 1.31
龙须眼子菜 <i>Potamogeton pectinatus</i> (Sp ₁₂)	1,2,4,5,7,8	1.19 ~ 11.94	0.31 ~ 5.57
菹草 <i>Potamogeton crispus</i> (Sp ₁₃)	1,2,4,5,7	1.19 ~ 6.71	0.32 ~ 3.97
小茨藻 <i>Najas minor</i> (Sp ₁₄)	1,2,3,4,5,6,7,8,9	2.02 ~ 16.09	1.10 ~ 9.08
轮藻属一种 <i>Chara. sp</i> (Sp ₁₅)	1,2,3,4,5,6,7,8,9	1.19 ~ 13.18	0.39 ~ 5.97
苦草 <i>Vallisneria spiralis</i> (Sp ₁₆)	1,2,4,5,7	1.19 ~ 9.25	0.39 ~ 9.08
穿叶眼子菜 <i>Potamogeton perfoliatus</i> (Sp ₁₇)	1,2,4,5,7	1.98 ~ 9.26	0.32 ~ 2.19
轮叶黑藻 <i>Hydrilla verticillata</i> (Sp ₁₈)	1,2,5,7	1.19 ~ 3.13	0.32 ~ 5.57
金鱼藻 <i>Ceratophyllum demersum</i> (Sp ₁₉)	5	1.50 ~ 7.74	0.34 ~ 2.34
川蔓藻 <i>Ruppia maritima</i> (Sp ₂₀)	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10	1.30 ~ 43.94	1.21 ~ 12.38
紫背浮萍 <i>Spriodela polyrhiza</i> (Sp ₂₁)	3,6	2.68 ~ 5.95	0.79 ~ 3.922.5

* 为种号 Species No.

2.4 物种的生态位宽度

生态位宽度是度量植物对资源环境利用状况的尺度,生态位宽度越大,说明该物种利用资源的能力就越强,其分布幅度就越大;反之则说明该种的特化程度较高,其分布只能局限在特定的区域^[17]。为进一步掌握黄河三角洲湿地水生植物的物种特性和空间分布的关系,对其主要物种的生态位宽度进行了计算。如表4所示,黄河三角洲湿地水生植物生态位宽度存在一定的差异性。挺水植物中芦苇、狭叶香蒲和荆三棱的生态位宽度较大,分别为0.905、0.723和0.580,说明这3种植物对环境的适应能力较强,更倾向于泛化种。其它几种挺水植物的生态位宽度较小,均小于0.5,尤其是蘆草仅为0.127,说明该植物更倾向于特化种。沉水植物中轮藻、穗花狐尾藻、川蔓藻和小茨藻的生态位宽度较大,分别为0.783、0.673、0.669和0.640,而金鱼藻和轮叶黑藻的生态位较小,分别为0.100和0.300。

2.5 生态位重叠

当两物种共同利用或占有某一资源(空间、营养成分、食物等)时,就会发生生态位重叠。重叠值越大,说

明二者利用资源的能力越相近,当资源不足时就越容易引起物种间的竞争^[17]。本研究表明,生态位重叠值大于0.5的种对有89对,占总数的44.5%;生态位重叠值小于0.5的种对有99对,占总数的49.5%;不发生重叠的种对有12对,占总数的6%(表5)。其中以龙须眼子菜、大茨藻、穿叶眼子菜和苦草(*Vallisneria natans*)间、马来眼子菜和菹草(*Potamogeton crispus*)间、稗草(*Echinochloa crusgalli*)和紫背浮萍(*Spirodela polyrhiza*)间生态位重叠值较大,重叠值接近甚至超过0.9,除此之外,蔺草和菹草、马来眼子菜和穿叶眼子菜及苦草和轮叶黑藻间生态位重叠值也较大。这和野外调查所观察到的植物分布状况是一致的。生态位重叠值较大的物种在同一区域,甚至同一样地内出现的频率较高,说明这几种植物的资源利用方式非常相似,在资源不足的情况下容易引起种间竞争。而金鱼藻和紫背浮萍与多种植物的生态位重叠值较小,甚至为零,说明这二者与其它大多数水生植物的资源利用方式存在明显的差异。野外调查发现这两种植物的分布区域非常有限,与其它水生植物共存的机会不多,因此生态位重叠值较小。

表4 黄河三角洲湿地水生植物生态位宽度

Table 4 Niche breadths of aquatic plants in wetlands of the Yellow River Delta

物种 Species	P_{i1}	P_{i2}	P_{i3}	P_{i4}	P_{i5}	P_{i6}	P_{i7}	P_{i8}	P_{i9}	P_{i10}	B_i
Sp ₁	0.078	0.087	0.082	0.106	0.103	0.071	0.095	0.116	0.074	0.187	0.905
Sp ₂	0.076	0.074	0.206	0.048	0.010	0.112	0.168	0.092	0.036	0.178	0.723
Sp ₃	0.031	0.036	0.133	0.071	0.128	0.408	0.097	0	0	0.097	0.441
Sp ₄	0	0.043	0	0	0.124	0	0.409	0.118	0	0.306	0.342
Sp ₅	0.138	0.170	0.255	0.106	0	0.330	0	0	0	0	0.429
Sp ₆	0	0	0.167	0.100	0.100	0	0.350	0	0	0.283	0.399
Sp ₇	0.179	0.067	0.067	0.239	0	0	0.201	0.082	0	0.164	0.580
Sp ₈	0	0	0	0.878	0.122	0	0	0	0	0	0.127
Sp ₉	0.106	0.181	0.215	0.083	0.031	0.144	0.139	0.101	0	0	0.673
Sp ₁₀	0.295	0.228	0.041	0.056	0.160	0	0.220	0	0	0	0.459
Sp ₁₁	0.382	0.127	0	0.4	0	0	0.091	0	0	0	0.303
Sp ₁₂	0.138	0.217	0	0.208	0.199	0	0.153	0.086	0	0	0.557
Sp ₁₃	0.192	0.108	0	0.485	0.115	0	0.100	0	0	0	0.326
Sp ₁₄	0.053	0.065	0.194	0.216	0.206	0.031	0.065	0.047	0.125	0	0.640
Sp ₁₅	0.075	0.170	0.125	0.034	0.175	0.107	0.085	0.135	0.094	0	0.783
Sp ₁₆	0.25	0.273	0	0.205	0.114	0	0.159	0	0	0	0.461
Sp ₁₇	0.436	0.197	0	0.190	0.136	0	0.041	0	0	0	0.351
Sp ₁₈	0.288	0.463	0	0	0.075	0	0.175	0	0	0	0.300
Sp ₁₉	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0.100
Sp ₂₀	0.075	0.009	0.067	0.067	0.049	0.136	0.049	0.165	0.266	0.116	0.669
Sp ₂₁	0	0	0.195	0	0	0.805	0	0	0	0	0.146

3 讨论

黄河三角洲是黄河泥沙淤积填海而成,自海向陆,成土年龄不断增加,故生态系统的空间演替系列可看作是时间演替系列的缩影^[4]。距海岸线较近的区域(如9区、10区等),形成的时间较短,距海岸线近,受海水侵蚀和渗透的影响大,导致这些区域的土壤和水体含盐量较高,因此其水生植物种类及群落类型比较单一,且主要以耐盐植物为主。因此这些区域可被认为是水生植物演替的初期阶段。但随着向内陆的推进及先锋植物对环境的改善,土壤和水体盐度在内陆一些区域(如1区、2区)逐渐降低,从而为一些非耐盐的水生植物提供了生存机会,使得这些区域的水生植物种类和多样性较高。

生态位是物种的生态学特性,描述了物种与生态因子的相关性,自然群落中生态位在某种意义上反映了物种对各种资源的利用、对环境的适应性和竞争能力^[18]。从生态学泛化与特化的角度看,一个种的生态位越

表 5 黄河三角洲湿地水生植物生态位重叠值

Table 5 Niche overlaps of aquatic plants in wetlands of the Yellow River Delta

物种 Species	Sp ₂	Sp ₃	Sp ₄	Sp ₅	Sp ₆	Sp ₇	Sp ₈	Sp ₉	Sp ₁₀	Sp ₁₁
Sp ₁	0.858	0.592	0.704	0.506	0.727	0.798	0.359	0.694	0.578	0.482
Sp ₂		0.657	0.689	0.655	0.803	0.741	0.132	0.829	0.513	0.341
Sp ₃			0.337	0.811	0.434	0.351	0.185	0.657	0.309	0.196
Sp ₄				0.028	0.895	0.646	0.032	0.386	0.474	0.137
Sp ₅					0.220	0.392	0.217	0.842	0.425	0.421
Sp ₆						0.731	0.225	0.498	0.451	0.250
Sp ₇							0.571	0.636	0.663	0.800
Sp ₈								0.225	0.166	0.689
Sp ₉									0.676	0.494
Sp ₁₀										0.686
Sp ₁₁										
Sp ₁₂										
Sp ₁₃										
Sp ₁₄										
Sp ₁₅										
Sp ₁₆										
Sp ₁₇										
Sp ₁₈										
Sp ₁₉										
Sp ₂₀										
Sp ₂₁										
物种 species	Sp ₁₂	Sp ₁₃	Sp ₁₄	Sp ₁₅	Sp ₁₆	Sp ₁₇	Sp ₁₈	Sp ₁₉	Sp ₂₀	Sp ₂₁
Sp ₁	0.687	0.528	0.707	0.766	0.593	0.503	0.454	0.310	0.772	0.266
Sp ₂	0.457	0.310	0.573	0.673	0.444	0.328	0.402	0.027	0.645	0.423
Sp ₃	0.333	0.260	0.480	0.598	0.280	0.218	0.190	0.269	0.511	0.899
Sp ₄	0.466	0.200	0.283	0.413	0.361	0.146	0.323	0.229	0.390	0
Sp ₅	0.381	0.360	0.528	0.638	0.456	0.441	0.425	0	0.434	0.789
Sp ₆	0.444	0.343	0.491	0.400	0.375	0.176	0.238	0.200	0.376	0.376
Sp ₇	0.720	0.773	0.581	0.469	0.744	0.654	0.491	0	0.480	0.038
Sp ₈	0.550	0.896	0.612	0.162	0.496	0.387	0.018	0.138	0.189	0
Sp ₉	0.657	0.457	0.667	0.834	0.660	0.523	0.634	0.08	0.498	0.495
Sp ₁₀	0.846	0.576	0.529	0.687	0.922	0.862	0.894	0.343	0.273	0.020
Sp ₁₁	0.728	0.911	0.531	0.349	0.846	0.884	0.557	0	0.275	0
Sp ₁₂		0.804	0.723	0.751	0.928	0.776	0.743	0.493	0.352	0
Sp ₁₃			0.694	0.393	0.797	0.733	0.411	0.208	0.273	0
Sp ₁₄				0.775	0.591	0.509	0.316	0.520	0.591	0.191
Sp ₁₅					0.634	0.524	0.622	0.490	0.669	0.373
Sp ₁₆						0.899	0.872	0.245	0.268	0
Sp ₁₇							0.759	0.255	0.271	0
Sp ₁₈								0.130	0.170	0
Sp ₁₉									0.127	0
Sp ₂₀										0.383
Sp ₂₁										

宽,就越被认为是泛化种,具有较强的资源利用能力^[19]。本研究发现黄河三角洲湿地挺水植物中芦苇的生态位宽度最大,达到了 0.905。这和梁玉等在研究黄河三角洲保护区湿地植物生态位中得到的结论是一致的^[20]。这可能是由芦苇的高耐盐能力^[21]和在该地区拥有多种生态型(淡水沼泽芦苇、咸水沼泽芦苇、低盐草甸芦苇和高盐草甸芦苇)所共同决定的。这四种生态型的芦苇具有不同的耐盐生理调节机制,可生活在不同的湿地环境中^[22,23]。本研究也发现芦苇分布的水体盐度范围为 0.51 ~ 33.42ms·cm⁻¹,说明该植物对盐度的耐受范围较大,从而使得芦苇在该地区具有最大的生态位宽度。沉水植物中轮藻、穗花狐尾藻、川蔓藻的生态位宽度较大,这也是和它们具有较高的极端环境适应能力分不开的。以川蔓藻为例,该植物为世界广布种,对

盐度、低温、碱度及水文变化都具有非常强的适应性,研究表明川蔓藻可生活在盐度 0 ~ 70g/L 的水体中^[24],表现出极高的耐盐能力,本研究中川蔓藻分布的盐度区间也同样验证了这一结论。沉水植物中金鱼藻和轮叶黑藻的生态位宽度最低,这是由它们较低的耐盐能力所决定的。研究表明,金鱼藻和轮叶黑藻均不能在盐度高于 7.62g/L 的水体中生存^[25]。这和我们野外调查所发现的这两种植物出现频率较低是一致的。如金鱼藻只在盐度较低的 5 区出现过,而轮叶黑藻也只出现在盐度相对较低的区域(如 1 区、2 区和 5 区)。因此我们认为盐度是导致黄河三角洲湿地水生植物生态适应性差异的主导因子。然而生态位宽度的大小是物种对多个环境因子生态适应的一个综合结果。除盐度外,土壤及水体的其它理化性质(如 N、P 含量等)在决定黄河三角洲湿地水生植物生态适应性的过程中也可能起到了一定的作用。

资源分享是认识群落结构形成机制的主要问题,从生态位理论上讲,如果要进一步揭示种间对可利用资源的分享数量时,就要涉及到生态位重叠问题^[26]。本研究表明,龙须眼子菜、大茨藻、穿叶眼子菜和苦草间、马来眼子菜和菹草间、蔺草和菹草间及马来眼子菜和穿叶眼子菜间的生态位重叠值均较大,说明这些物种间具有相似的资源利用方式。野外调查也发现这些重叠值较大的物种往往分布在同一区域或同一样地内,这可能是由于它们具有相似的耐盐胁迫能力。本研究中金鱼藻和紫背浮萍与很多物种的重叠值为零,这可能是由两方面的原因造成的,一是因为这两种植物与其它物种间具有不同的资源利用方式,尤其是不同的耐盐胁迫能力,存在明显的生态位分化;二是由这两种植物的分布局限性造成的。以金鱼藻为例,在所调查到的样地中,该物种只在盐度较低的 5 区有分布,大大降低了与其它物种的相遇几率,从而导致了重叠值的下降。从以上可知,物种的生态位很好地解释了黄河三角洲湿地水生植物的物种组成及其分布。

References:

- [1] Wang Y Z. Study on the wetland resource and biodiversity in the Yellow River Delta. *Journal of Anhui Agriculture Science*, 2007, 35(6): 1745 — 1746, 1787.
- [2] Han M, Zhang X H, Liu L Y. Research progress on wetland of the Yellow River Delta. *Ecology and Environment*, 2006, 15(4): 872 — 875.
- [3] Shao Q L, Xie X D, Li F Z. Studies of flora of Yellow River Delta National Reserve Area. *Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica*, 2002, 22(4): 947 — 951.
- [4] Xi J B, Song Y M, Xing S J, *et al.* The characteristics and succession law of ecosystem in the Yellow River Delta area. *Journal of Northeast Forestry University*, 2002, 30(6): 111 — 114.
- [5] Yao R J, Yang J S, Jiang L. Study on spatial variability and appropriate sampling quantity of soil salinity in Yellow River Delta. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006, 20(6): 89 — 94.
- [6] Fang H L, Liu G H, Kearney M. Georelational analysis of soil type, soil salt content, landform, and land use in the Yellow River Delta, China. *Environmental Management*, 2005, 35(1): 72 — 83.
- [7] Yue T X, Liu J Y, J rgensen S E, *et al.* Landscape change detection of the newly created wetland in Yellow River Delta. *Ecological Modeling*, 2003, 164: 21 — 31.
- [8] Xu X G. Study on evaluation and pre-warning of ecological environment in the Yellow River Delta. *Acta Ecologica Sinica*, 1996, 16(5): 461 — 468.
- [9] Benson E R, O'Neil J M, Dennison W C. Using the aquatic macrophyte *Vallisneria americana* (wild celery) as a nutrient bioindicator. *Hydrobiologia*, 2008, 596: 187 — 196.
- [10] Wang H, Gong P, Liu G H. Multi-scale spatial variations in soil salt in the Yellow River Delta. *Geographical Research*, 2006, 25(4): 649 — 658.
- [11] Xing S J, Xi J B, Zhang J F, *et al.* The basic characteristics and the main types of vegetation in the Yellow River Delta region. *Journal of Northeast Forestry University*, 2003, 31(6): 85 — 86.
- [12] Cook C D K. *Aquatic plant book*. The Hague: SPB Academic Publishing, 1990.
- [13] Wu Z F, Zhao S L, Zhang X L. Studies on interrelation between salt vegetation and soil salinity in the Yellow River Delta. *Acta Phytocologica Sinica*, 1994, 18(2): 184 — 193.
- [14] Zhang Y B, Deng A Y, Zhuang T C, *et al.* Relationship between soil salinity in intertidal zone and electric conductivity. *Ecology and Environment*, 2003, 12(2): 164 — 165.

- [15] He Q, Cui B S, Zhao X S, *et al.* 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] Zhang X H. Evaluation on the value of wetland ecosystem services in the Yellow River Delta. *Shandong Normal University*, 2007. 22—25.
- [17] Xu Z G, He Y, Yan B X, *et al.* Niche characteristics of typical marsh wetland plant populations in Sanjiang plain. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(4): 783—787.
- [18] Yang L M, Zhou G S, Wang G H. Investigating realized niches as a mechanism of species diversity maintenance in a species-rich grassland community. *Acta Phytocologica Sinica*, 2001, 25(5): 634—638.
- [19] Liu J Z, Chen Y N, Zhang Y M. Niche characteristics of plants on four environmental gradients in middle reaches of Tarim river. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(4): 549—555.
- [20] Liang Y, Fang Y, Liu Y L, *et al.* Studies on the population niches in wetlands of the Yellow River Delta. *Shandong Forestry Science and Technology*, 2008, 2: 10—12.
- [21] Pager M, Bragato C, Malagoli M, *et al.* Osmotic and ionic effects of NaCl and Na₂SO₄ salinity on *Phragmites australis*. *Aquatic Botany*, 2009, 90: 43—51.
- [22] Zhao K F, Feng L T, Zhang S Q. Adaptive physiology of different ecotypes of *Phragmites communis* to salinity in the Yellow River Delta. I. Osmotica and their contributions to the osmotic adjustment. *Acta Ecologica Sinica*, 1998, 18(5): 463—469.
- [23] Zhao K F, Feng L T, Zhang S Q, *et al.* The salinity-adaptation physiology in different ecotypes of *Phragmites communis* in the Yellow River Delta. II. The characteristics of photosynthetic gas exchange in different ecotypes of *Phragmites communis*. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(5): 795—799.
- [24] Wang W H, Ji M. Ecological character of submerged macrophyte *Ruppia maritima*. L and its response to environmental changes. *Marine Science Bulletin*, 2006, 25(3): 13—22.
- [25] Wang W H, Ji M. Comparison on salt tolerance of nine submerged macrophytes. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, 26(4): 1259—1263.
- [26] Chen B, Zhou X M. Analysis of niche breadths and overlaps of several plant species in three kobresia communities of an alpine meadow. *Acta Phytocologica Sinica*, 1995, 19(2): 158—169.

参考文献:

- [1] 王玉珍. 黄河三角洲湿地资源及生物多样性研究. *安徽农业科学*, 2007, 35(6): 1745~1746, 1787.
- [2] 韩美, 张晓惠, 刘丽云. 黄河三角洲湿地研究进展. *生态环境*, 2006, 15(4): 872~875.
- [3] 邵秋玲, 谢小丁, 李法曾. 黄河三角洲国家级自然保护区植物区系研究. *西北植物学报*, 2002, 22(4): 947~951.
- [4] 郝金标, 宋玉民, 邢尚军, 等. 黄河三角洲生态系统特征与演替规律. *东北林业大学学报*, 2002, 30(6): 111~114.
- [5] 姚荣江, 杨劲松, 姜 龙. 黄河三角洲土壤盐分空间变异性与合理采样数研究. *水土保持学报*, 2006, 20(6): 89~94.
- [8] 许学工. 黄河三角洲生态环境的评估和预警研究. *生态学报*, 1996, 16(5): 461~468.
- [10] 王红, 宫鹏, 刘高焕. 黄河三角洲多尺度土壤盐分的空间分异. *地理研究*, 2006, 25(4): 649~658.
- [11] 邢尚军, 郝金标, 张建锋, 等. 黄河三角洲植被基本特征及其主要类型. *东北林业大学学报*, 2003, 31(6): 85~86.
- [13] 吴志芬, 赵善伦, 张雪雷. 黄河三角洲盐生植被与土壤盐分的相关性研究. *植物生态学报*, 1994, 18(2): 184~193.
- [14] 张瑜斌, 邓爱英, 庄铁诚, 等. 潮间带土壤盐度与电导率的关系. *生态环境*, 2003, 12(2): 164~165.
- [15] 贺强, 崔保山, 赵欣胜, 等. 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] 张晓慧. 黄河三角洲湿地生态服务功能价值评估. *山东师范大学*, 2007. 22~25.
- [17] 徐治国, 何岩, 闫百兴, 等. 三江平原典型沼泽湿地植物种群的生态位. *应用生态学报*, 2007, 18(4): 783~787.
- [18] 杨利民, 周广胜, 王国宏. 草地群落物种多样性维持机制的研究 II 物种实现生态位. *植物生态学报*, 2001, 25(5): 634~638.
- [19] 刘加珍, 陈亚宁, 张元明. 塔里木河中游植物种群在四种环境梯度上的生态位特征. *应用生态学报*, 2004, 15(4): 549~555.
- [20] 梁玉, 房用, 刘月良, 等. 黄河三角洲湿地群落种群生态位研究. *山东林业科技*, 2008, 2: 10~12.
- [22] 赵可夫, 冯立田, 张圣强. 黄河三角洲不同生态型芦苇对盐度适应生理的研究. I. 渗透调节物质及其贡献. *生态学报*, 1998, 18(5): 463~469.
- [23] 赵可夫, 冯立田, 张圣强, 等. 黄河三角洲不同生态型芦苇对盐度适应生理的研究. II. 不同生态型芦苇的光合气体交换特点. *生态学报*, 2000, 20(5): 795~799.
- [24] 王卫红, 季民. 沉水植物川蔓藻的生态学特征及其对环境变化的响应. *海洋通报*, 2006, 25(3): 13~22.
- [25] 王卫红, 季民. 9种沉水植物的耐盐性比较. *农业环境科学学报*, 2007, 26(4): 1259~1263.
- [26] 陈波, 周兴民. 三种嵩草群落中若干植物种的生态位宽度与重叠分析. *植物生态学报*, 1995, 19(2): 158~169.