

寒区湿地春、夏浮游植物群落划分——以三江平原安邦河湿地为例^{*}

覃雪波¹, 刘曼红², 黄璞祎², 马成学², 于洪贤^{2**}

(1: 天津自然博物馆, 天津 300074)

(2: 东北林业大学, 哈尔滨 150040)

摘 要: 运用多元分析方法对安邦河湿地春、夏浮游植物群落进行划分, 结果表明, 两季节均可分为3个组群: (1)核心区组群, 春季为绒毛平板藻-四角盘星藻群落, 夏季为四角盘星藻群落; (2)边缘区组群, 春季为梅尼小环藻-尖针杆藻群落, 夏季为鱼腥藻-铜绿微囊藻-梅尼小环藻群落; (3)莲花池组群, 春季为地中尖头藻群落, 夏季为银灰平裂藻群落. 各群落的种类组成、数量及多样性存在季节差异, 与寒区环境因子季节变化相关.

关键词: 浮游植物群落; 多元分析; 划分; 安邦河湿地; 寒区

Classification of phytoplankton community in spring and summer in wetland of cold regions: a case study of Anbanghe wetland, Sanjiang Plain, China

QIN Xuebo¹, LIU Manhong², HUANG Puyi², MA Chengxue² & YU Hongxian²

(1: *Tianjin Natural History Museum, Tianjin 300074, P.R.China*)

(2: *Northeast Forestry University, Harbin 150040, P.R.China*)

Abstract: Investigations on the phytoplankton were carried out at 10 stations in Anbanghe wetland, a type of cold regions swamp, in summer 2005 and spring 2006. Phytoplankton community classification was undertaken by multivariate analyses, such as cluster analysis and metric multidimensional scaling analysis (MDS). 92 common species occurred in both seasons, and 37 taxa and 82 taxa were identified in spring and summer, respectively. In spring the average abundance was 95.26×10^4 ind./L, and in summer was 268.45×10^4 ind./L. Based on the calculation of Bray-Curtis similarity matrix according to species abundance compositions of each station, cluster and MDS analysis showed that three communities can be distinguished in both seasons: (i) the central community, in spring, was *Tabellaria flocculosa*-*Pediastrum tetras* community, and in summer was *P. tetras* community, (ii) the margin community, in spring, was *Cyclotella meneghiniana*-*Synedra acus* community, and in summer was *Anabaena* sp.-*Microcystis aeruginosa*-*C. meneghiniana* community, (iii) the lotus flower pond community and *Raphidiopsis mediterranea* community in spring, and *Merismopedia glauca* community in summer. Phytoplankton composition, abundance, and diversity of each community were different between spring and summer, and positively correlated to the change of environmental factors between seasons.

Keywords: Phytoplankton community; multivariate analysis; classification; Anbanghe wetland; cold regions

湿地与森林、海洋并称为全球三大生态系统, 有多种功能, 素有“地球之肾”之称. 浮游植物是湿地生态系统的重要组成部分、食物链的基础环节, 其组成与多样性的变化将直接影响生态系统的结构与功能^[1], 同时又是重要的环境指示物, 反映环境污染状况^[2], 在湿地生态系统结构和功能中起着重要的调控作用. 目前对湿地浮游植物的研究主要集中于热带、亚热带等少数几个地区^[3-4], 在寒区鲜有研究. 安邦河湿地是一个典型的寒区湿地, 通过研究其浮游植物群落结构, 目的在于了解其群落动态特征, 探讨群落季节变化动力, 为寒区湿地的保护和管理提供依据.

^{*} 中国科学技术部农业科技成果转化基金项目(04EFN217100394)和黑龙江省科技攻关项目(GC04B520)联合资助. 2007-07-27 收稿; 2007-11-12 收修改稿. 覃雪波, 男, 1977年生, 博士研究生; E-mail: qinxuebo@126.com.

^{**} 通讯作者; E-mail: china.yhx@163.com.

1 研究区域与方法

1.1 研究区域概况

安邦河湿地地处东经 131°06′–131°32′, 北纬 46°53′–47°03′, 面积 10295 × 10⁴m², 属沼泽湿地, 是三江平原湿地的重要组成部分; 气候为温带大陆性季风气候, 年平均气温 2.5℃, 1 月最低(-19℃), 7 月最高(23℃); 年太阳总辐射量 4600.5MJ/m², 日照 2613h; 年降水量 560mm, 集中于 4–9 月, 占全年的 85.1%; 风速 3.9m/s, 无霜期 145d. 植被以水生植物为主, 优势种有挺水植物的芦苇(*Phragmites communis*)、狭叶香蒲(*Typha latifolia*)、荆三棱(*Scripus yagaar*), 浮水植物的萍蓬草(*Nuphar pumilum*)、浮萍(*Lemna minor*)、槐叶萍(*Salvinia natans*), 沉水植物的眼子菜(*Potamogeton distinctus*)、狐尾藻(*Myriophyllum spicatum*)等.

1.2 样品采集与分析

1.2.1 浮游植物样品 由于安邦河湿地水域面积较小, 因此站位设置不考虑段面, 而是均匀设置, 共 10 个采样点(图 1), 于夏季(2005 年 7 月)和春季(2006 年 5 月)采样. 采样水域面积 334 × 10⁴m², 水深夏季 1.00–1.68m, 春季 1.00–1.34m. 浮游植物样品用 2.5L 有机玻璃采水器于水面下 0.5m 处取 4 次水样, 共计 10L, 混合后取 2L 用 1.5% 碘液固定, 沉淀 48h, 浓缩为 30ml 保存待检. 种类鉴定和计数在显微镜下进行, 鉴定依据文献[5].

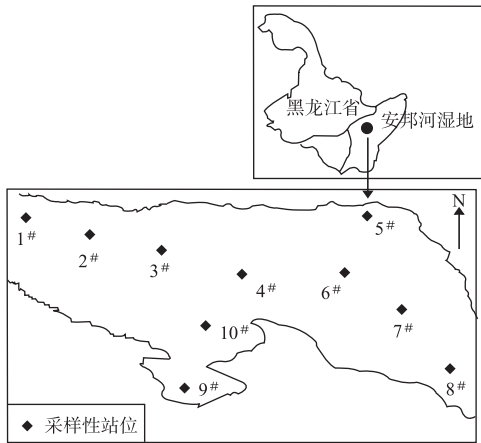


图 1 安邦河湿地浮游植物采样站位图

Fig.1 Sampling stations of phytoplankton in Anbanghe wetland

1.2.2 水样 水温(WT)用表面水温计测定; pH 用便携式 pH/ORP 计测定; 透明度(SD)用塞奇氏盘测定. NH₄-N 用水杨酸-次氯酸盐光度法测定, NO₃-N 用紫外分光光度法测定, NO₂-N 用萘-乙二胺比色法测定; NH₄-N、NO₃-N、NO₂-N 之和称为可溶性无机氮(DIN); 可溶性磷酸盐(DIP), 即 PO₄-P, 用钼锑抗分光光度法测定.

1.3 数据处理

1.3.1 群落划分 应用聚类分析和多维定标分析(MDS)进行群落划分, 在 SPSS 13.0 软件包上运行. 分析均以

Bray-Curtis 相似性系数 S_B 为基础进行计算, 为了平衡优势种和稀有种对整个群落影响的权重, 先将原始数据进行 4 次开方^[6], 再计算 S_B :

$$S_B = 100 \left\{ 1 - \frac{\sum_{i=1}^s |x_{ij} - x_{ik}|}{\sum_{i=1}^s (x_{ij} + x_{ik})} \right\}$$

式中, x_{ij} 是 i 种在 j 站位转换后的数量, x_{ik} 是 i 种在 k 站位转换后的数量.

检验 MDS 结果好坏用胁强系数(Stress)检验, $Stress < 0.20$ 时, 可用 MDS 二维散点图来表示, 图形有一定可信度, $Stress < 0.10$ 时, 是一个好的排序, $Stress < 0.05$, 具有很好的代表性^[7].

1.3.2 指示种 某种在组群中出现频率和数量百分比均大于 50% 时, 确定为该组群的指示种^[8].

1.3.3 优势种 由以下公式来确定:

$$y = f_i p_i$$

式中, y 为优势度, f_i 为 i 种在采样点中出现频率, p_i 为 i 种在总数量中的比例, $y > 0.02$ 时, 定为优势种^[9].

2 结果

2.1 种类组成

两季节共采到浮游植物 8 门 92 种(春季 37 种、夏季 82 种), 其中绿藻 45 种, 蓝藻 21 种, 硅藻 15 种, 其它 11 种; 优势种春季(7 种)比夏季(6 种)多, 但优势度不如夏季高(表 1).

表 1 浮游植物种类组成
Tab.1 Phytoplankton composition on Anbanghe wetland

种类	出现次数*	指示种群	优势度
蓝藻门(Cyanophyta)	4/16	Ry	n/0.102
鱼腥藻(<i>Anabaena</i> sp.)			
水华束丝藻(<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>)	0/14	Ry	n/n
小型色球藻(<i>Chroococcus minor</i>)	0/11		n/n
腔球藻(<i>Coelosphaerium</i> sp.)	0/8		n/n
池生胶球藻(<i>Gloeocapsa limnetica</i>)	0/9		n/n
胶球藻(<i>Gloeocapsa</i> sp.)	0/10		n/n
粘杆藻(<i>Gloeothece</i> sp.)	0/9		n/n
湖生束球藻(<i>Gomphosphaeria lacustris</i>)	0/11		n/n
盘氏鞘丝藻(<i>Lyngbya birgei</i>)	8/0		n/n
湖生鞘丝藻(<i>L. limnetica</i>)	0/13		n/n
优美平裂藻(<i>Merismopedia elegans</i>)	0/16		n/n
银灰平裂藻(<i>M. glauca</i>)	5/13	RI	n/0.069
铜绿微囊藻(<i>Microcystis aeruginosa</i>)	0/12	Ry	n/0.091
不定微囊藻(<i>M. incerta</i>)	0/6		n/n
平展念球藻(<i>Nostoc planctonicum</i>)	0/4		n/n
美丽颤藻(<i>Oscillatoria formosa</i>)	0/12		n/n
巨颤藻(<i>O. princes</i>)	9/14	Dy	n/n
弱细颤藻(<i>O. tenuis</i>)	0/6		n/n
窝形席藻(<i>Phormidium foveolarum</i>)	0/12		n/n
弯形小尖头藻(<i>Raphidiopsis curvata</i>)	0/4		n/n
地中海尖头藻(<i>R. mediterranea</i>)	16/0	DI	0.031/n
金藻门(Chrysophyta)	4/6	RI	n/n
单鞭金藻(<i>Chromulina pascheri</i>)			
圆筒形锥囊藻(<i>Dinobryon cylindricum</i>)	6/0		n/n
分歧锥囊藻(<i>D. divergens</i>)	4/12	DI	n/n
黄藻门(Xanthophyta)	0/14		n/n
小刺角绿藻(<i>Goniochloris brevispinosa</i>)			
黄丝藻(<i>Tribonema</i> sp.)	5/6		n/n
硅藻门(Bacillariophyta)	11/12		n/n
美丽星杆藻(<i>Asterionella formosa</i>)			
细星杆藻(<i>A. gracillima</i>)	12/7	DI	n/n
椭圆波缘藻(<i>Cymatopleura elliptica</i>)	12/0		n/n
梅尼小环藻(<i>Cyclotella meneghiniana</i>)	15/14	Dy Ry	0.029/0.074

续表 1

种类	出现次数*	指示种群	优势度
斑纹窗纹藻(<i>Epithemia zebra</i>)	12/0		n/n
钝脆杆藻(<i>Fragilaria capucina</i>)	17/16		0.047/0.063
缠绕异极藻(<i>Gomphonema intricatum</i>)	0/12		n/n
颗粒直链藻(<i>Melosira granulata</i>)	6/5	Dy	n/n
杆状舟形藻(<i>Navicula bacillum</i>)	4/0		n/n
放射舟形藻(<i>N. radiosa</i>)	5/8		n/n
大羽纹藻(<i>Pinnularia major</i>)	12/10	DI	n/n
尖针杆藻(<i>Synedra acus</i>)	14/20	Dy Ry	0.028/n
近缘针杆藻(<i>S. affinis</i>)	12/19	Dy	n/n
肘状针杆藻(<i>S. ulna</i>)	12/3		n/n
绒毛平板藻(<i>Tabellaria flocculosa</i>)	15/6	Dh DI	0.024/n
绿藻门(<i>Chlorophyta</i>)	0/5		n/n
集星藻(<i>Actinastrum hantzschii</i>)			
艾氏衣藻(<i>Chlamydomonas olifanii</i>)	0/6	Ry	n/n
小球藻(<i>Chlorella vulgaris</i>)	3/12		n/n
柯氏藻(<i>C. chodati</i>)	0/4		n/n
月牙新月藻(<i>Closterium cynthia</i>)	0/5		n/n
纤细新月藻(<i>C. gracile</i>)	0/12	RI	n/n
项节新月藻(<i>C. nematodes</i>)	0/4		n/n
新月藻(<i>C. subscoiticum</i>)	11/5		n/n
膨胀新月藻(<i>C. tumidum</i>)	0/7		n/n
小新月藻(<i>C. venus</i>)	0/14		n/n
空星藻(<i>Coelastrum sphaericum</i>)	0/7		n/n
鼓藻(<i>Cosmarium</i> sp.)	0/12	RI	n/n
四角十字藻(<i>Crucigenia quadrata</i>)	0/14		n/n
角丝鼓藻(<i>Desmidium</i> sp.)	12/14	Dh	n/n
空球藻(<i>Eudorina elegans</i>)	0/13		n/n
基纳汉棒形鼓藻(<i>Gonatozygon kinahani</i>)	0/12		n/n
棒形鼓藻(<i>G. monotaenium</i>)	0/16	Dh	n/n
裂开圆丝鼓藻(<i>Hyalotheca dissiliens</i>)	0/14	RI	n/n
棘接鼓藻(<i>Onychonema</i> sp.)	0/5		n/n
湖生卵囊藻(<i>Oocystis lacustris</i>)	0/7		n/n
四集藻(<i>Palmella</i> sp.)	0/2		n/n
集球藻(<i>Palmellococcus</i> sp.)	0/14		n/n
盘星藻(<i>Pediastrum biradiatum</i>)	0/6	RI	n/n
短棘盘星藻(<i>P. boryanum</i>)	0/7	Rh	n/n
整齐盘星藻(<i>P. integrum</i>)	0/9		n/n
四角盘星藻(<i>P. tetras</i>)	19/20	Dh Rh	0.023/0.095
浮球藻(<i>Planktosphaeria gelatinosa</i>)	0/12		n/n
宽带鼓藻(<i>Pleurotaenium</i> sp.)	0/13		n/n

续表 1

种类	出现次数*	指示种群	优势度
弯曲栅藻(<i>Scenedesmus arcuatus</i>)	0/5	Ry	n/n
被甲栅藻(<i>S. armatus</i>)	4/3		n/n
双列栅藻(<i>S. bijuga</i>)	12/7	Ry	0.025/n
龙骨栅藻(<i>S. carinatus</i>)	0/7		n/n
二形栅藻(<i>S. dimorphus</i>)	12/0		n/n
斜生栅藻(<i>S. obliquus</i>)	0/6		n/n
扁盘栅藻(<i>S. platydiscus</i>)	0/8		n/n
四尾栅藻(<i>S. quadricauda</i>)	0/4		n/n
纤细月牙藻(<i>Selenastrum gracile</i>)	2/4		n/n
瘤接鼓藻(<i>Sphaerozoma</i> sp.)	0/9		n/n
钝齿角星鼓藻(<i>Staurastrum crenulatum</i>)	0/15	Rh	n/n
项圈顶接鼓藻(<i>Spondylosium moniliforme</i>)	0/7		n/n
规则四角藻(<i>Tetraedron regulare</i>)	0/9		n/n
四球藻 (<i>Tetrachlorella alternans</i>)	0/3		n/n
四月藻(<i>Tetrallantos lagerkeimii</i>)	0/5		n/n
丛球韦斯藻(<i>Westella botryoides</i>)	0/14		n/n
多棘鼓藻(<i>Xanthidium</i> sp.)	10/15	Rh	n/n
裸藻门(Euglenophyta)	0/5		n/n
绿色裸藻(<i>Euglena viridis</i>)			
扁裸藻(<i>Phacus</i> sp.)	12/0		n/n
湖生囊裸藻(<i>Trachelomonas lacustris</i>)	8/0		n/n
隐藻门(Cryphophyta)	2/3	Dy	n/n
马氏隐藻(<i>Cryptomonas marssonii</i>)			
卵形隐藻(<i>C. ovata</i>)	2/5		n/n
甲藻门(Pyrrophyta)	3/0		n/n
角甲藻(<i>Ceratium</i> sp.)			

* “/” 左侧为春季, 右侧为夏季, n表示非优势种.

2.2 浮游植物数量和水理化因子

安邦河湿地浮游植物数量和水理化因子季节性变化均为夏季高于春季; 空间变化: 数量、水温、DIP 在两季均为边缘区(如 5[#]、9[#]等)高于核心区(如 4[#]、6[#]等), pH 值恰相反; DIN 春季分布特征与 DIP 相似, 夏季则相反; 透明度空间变化不呈明显的规律性(表 2).

2.3 群落结构

2.3.1 聚类分析 聚类分析表明, 春、夏各站位均可分为 3 个组群(图 2), 根据地理位置分别命名为核心区组群(春 Dh、夏 Rh)、边缘区组群(春 Dy、夏 Ry)和莲花池组群(春 Dl、夏 Rl).

2.3.2 多维定标分析(MDS) 图 3 为各站位 MDS 二维散点图(为直观起见, 组群名称沿用聚类分析中的代码), 两季节 *Stress* 值分别为 0.039、0.019, 均小于 0.05, 说明得到的 MDS 图是一个很好的排序, 可以正确解释各站位群落相似关系.

2.3.3 群落命名 各组群的指示种见表 1. 结合指示种和优势种对群落命名: 核心区组群, 春季指示种和优势种均有绒毛平板藻和四角盘星藻, 可命名为绒毛平板藻—四角盘星藻群落(简称 TPX); 同理, 夏季为四角盘星藻群落(简称 PPX); 边缘区组群, 春季为梅尼小环藻—尖针杆藻群落(简称 CSX), 夏季为鱼腥藻

—铜绿微囊藻—梅尼小环藻群落(简称 AMC); 莲花池组群, 春季为地中尖头藻群落(简称 RRX), 夏季为银灰平裂藻群落(简称 MMX).

表 2 浮游植物数量及水理化参数

Tab.2 Phytoplankton abundance and the physicochemical parameters

站点	数量		WT		DIN		DIP		SD		pH	
	($\times 10^4$ ind./L)		(°C)		(mg/L)		(mg/L)		(m)			
	春	夏	春	夏	春	夏	春	夏	春	夏	春	夏
1#	130.34	375.68	12.5	23.6	0.47	0.78	0.059	0.069	1.48	1.34	6.78	6.68
2#	111.18	378.46	12.0	23.4	0.36	0.85	0.045	0.047	1.11	1.13	7.15	7.38
3#	90.33	250.48	11.8	22.9	0.35	0.80	0.041	0.051	1.18	1.30	7.10	7.00
4#	88.26	239.37	11.8	22.7	0.34	1.09	0.038	0.047	1.68	1.19	7.11	7.19
5#	126.32	388.45	12.5	23.6	0.39	0.66	0.049	0.079	1.18	1.27	6.75	6.78
6#	70.19	207.02	11.8	22.8	0.34	1.08	0.032	0.052	1.10	1.13	7.14	7.12
7#	67.07	186.96	12.0	23.1	0.33	0.87	0.04	0.047	1.00	1.00	7.24	7.23
8#	48.28	163.43	11.9	22.9	0.32	1.11	0.044	0.049	1.23	1.11	7.12	7.45
9#	178.53	396.57	12.6	23.6	0.40	0.84	0.057	0.083	1.17	1.12	6.45	6.56
10#	42.12	98.04	11.9	22.0	0.21	1.23	0.034	0.053	1.15	1.21	7.12	7.56
平均值	95.26	268.45	12.1	23.1	0.35	0.93	0.044	0.058	1.10	1.18	7.00	7.16

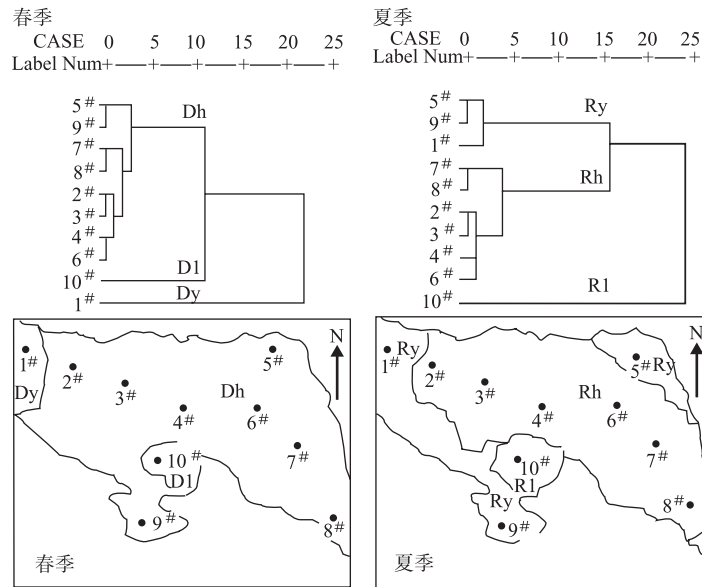


图 2 站点聚类分析及其地理分布

Fig.2 Cluster dendrogram of sampling stations and their geographical distribution

2.3.4 群落特征 根据群落划分结果统计各群落的种数、数量、多样性(Shannon-Veener 指数)和均匀度(Pielou 指数), 结果表明春夏各群落变化明显(图 4).

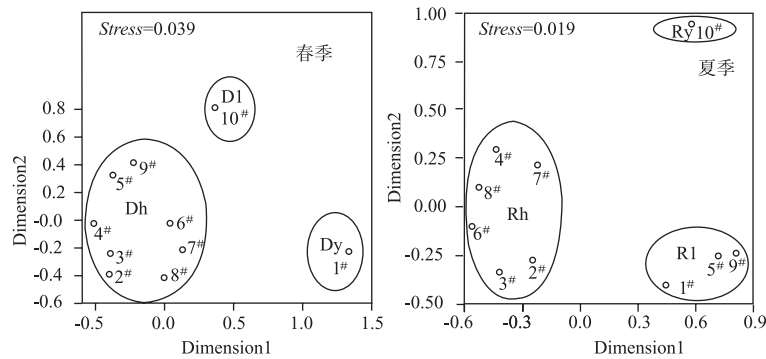


图3 各站位二维定标分析

Fig.3 MDS ordinal configuration of sampling stations in 2-dimensions

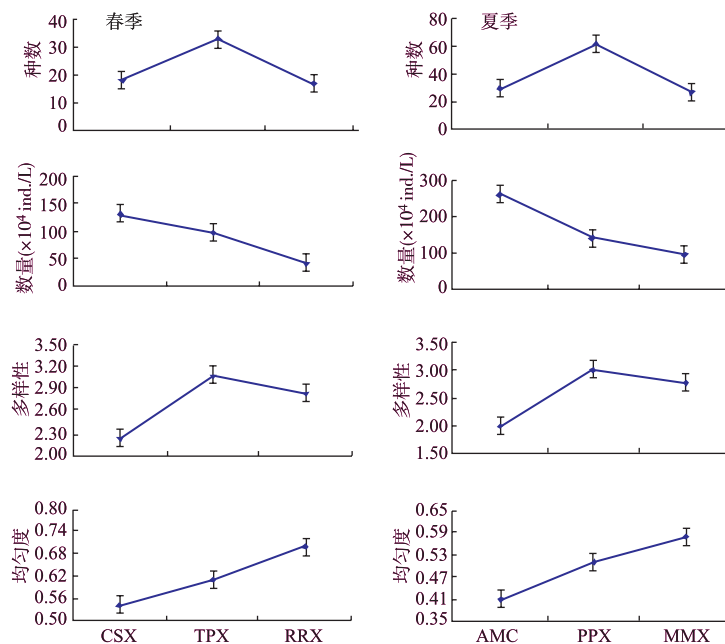


图4 春、夏各群落的种类、数量、多样性和均匀度

Fig.4 Species, abundance, diversity and evenness of phytoplankton communities in spring and summer

3 讨论

3.1 两种分析方法差异

聚类分析和MDS分析的结果十分相似, 表明二者相互支持, 但并非完全一致. 以夏季核心区组群为例, 对7#与2#、4#的距离分析发现, 7#与5#、2#、4#的Bray-Curtis相似系数分别为0.2612、0.5529、0.4598, 所以理想的聚类分析图应是7#与2#最先聚合, 然后和4#, 最后与5#相聚. 从图2可见, 7#与2#、4#同时相聚, 最后与5#相聚, 显然没能反映各群落的真实关系, 原因是在进行聚类分析时, 某样本一旦与其它样本聚类合并, 它在聚类中的位置就固定下来, 不能再变动. 该例中2#与4#、2#与7#的Bray-Curtis相似系数分别为0.6211、0.5529, 2#与4#关系较近, 已聚在一起, 故7#只能和2#与4#聚好的聚合, 从而造成了7#与4#先聚, 然后再与5#相聚的现象. 从图3可以看出, MDS则较好地再现这4个群落之间的真实关系, 表达了它们之

间连续稳定的梯度变化,但并不完全准确,因为7[#]与4[#]之间的距离较7[#]与2[#]之间更近些,表明MDS也存在缺陷.由此可见,两种分析方法都存在缺点,应结合两种方法进行分析,结果可以相互对照,更具实际生态学意义.

3.2 群落结构差异

3.2.1 季节差异 一是优势种差异(表1).就边缘区组群而言,春季优势种为梅尼小环藻和尖针杆藻,均为硅藻;夏季为鱼腥藻、铜绿微囊藻和梅尼小环藻,尽管有硅藻的梅尼小环藻,但其优势度不如前两者高;核心区组群和莲花池组群也呈现类似的现象,体现了寒区特点,即存在典型水温季节变化,在其水体中,春秋两季出现以硅藻为优势类群的浮游植物群落类型^[10].二是种数、数量、多样性及均匀度的差异(图4),原因是多方面的:(1)水温.安邦河湿地以蓝、绿藻为主(蓝、绿藻66种,占71.74%),蓝、绿藻喜高温^[11].夏季,水温高(23.1℃),适合蓝、绿藻繁殖并迅速增长,种类和数量增多.(2)氮磷营养盐.浮游植物对N、P的吸收是按一定比值进行,一般为7.2:1,根据利比希最小定律可以推断,N/P大于7.2,P是限制因子,小于7.2,N是限制因子,等于7.2,两者都是限制因子.春季的DIN/DIP为7.95,稍高于7.2,可以认为两者都是限制因子;此外,春季的DIN、DIP都较低.这都使藻类繁殖受限,种类和数量均低.(3)pH值.蓝、绿藻喜欢在偏碱性水体中生活^[12],夏季pH值平均为7.16,适合蓝、绿藻生长繁殖.(4)COD.相关研究表明,浮游植物数量与COD呈正相关^[13],安邦河湿地水体中的COD,夏季(9.42mg/L)高于春季(5.35mg/L),有利于藻类繁殖.此外,夏季光强高于春季,也有利于藻类光合作用,但透明度影响不大($P>0.05$),与各站点均透明到底相关.可见,夏季大多理化因子更适合藻类繁殖,易形成明显的优势种,降低个体分布均匀度,多样性也随之减少.多样性、均匀度还与自然环境条件相关,夏季是丰水期,注入湿地水量大,同时降雨使得地表径流增加,使湿地内、外水交换能力加强,水体营养物质含量变化显著,湿地水生态呈现一种脆弱状态,藻类演替明显,导致群落结构不稳定,多样性和均匀度降低;春季情况恰相反.

3.2.2 空间差异 空间结构差异与组群的地理位置相关.地理位置的差异首先是获得外源性营养盐不同.从MDS图来看,5[#]、9[#]夏季属边缘区组群,春季属核心区组群就说明了这一点.相关分析表明,浮游植物数量与DIN、DIP在春季均呈显著正相关($r=0.776, 0.890, P<0.01$),说明DIN、DIP都是春季浮游植物繁殖的限制营养盐,与季节差异讨论结论相一致;夏季,与DIN呈显著负相关($r=-0.688, P<0.05$),与DIP呈显著正相关($r=0.840, P<0.01$),进一步分析发现,N/P为16.06,远大于7.2,可见,夏季DIP是浮游植物生长的限制营养盐.调查发现,夏季5[#]、9[#]站位的DIP含量为0.079mg/L和0.083mg/L,远高于核心区组群(0.049mg/L)和莲花池组群(0.034mg/L),与它们靠近农田和保护区生活区相关,因为夏季降雨量大,通过地表径流为它们从农田、保护区生活区带来丰富的营养物质.此外,夏季是安邦河湿地的旅游旺季,游客数量大,大量的生活污水排放到9[#]站位中,也使其获得大量的外源营养物质,从而体现出高营养盐特征.春季情况与夏季恰相反,5[#]、9[#]站位也得不到外源性营养,与其它站位一样,营养物质非常少,DIN含量分别为0.39mg/L、0.40mg/L,DIP含量分别为0.049mg/L、0.057mg/L,与核心区的平均值(DIN为0.35mg/L、DIP为0.043mg/L)相差不如夏季明显.只有离入水口最近的1[#]站位,由于得到来自安邦河的营养盐,DIN和DIP仍较高(0.47mg/L、0.059mg/L).营养盐的差异使得其藻类繁殖速度不同,从而导致群落结构差异.二是理化因子的差异,主要是水温和光强.无论是春季还是夏季,核心区的平均水温(12.05℃、22.97℃)均低于边缘区(12.50℃、23.60℃),这是因为核心区水生植物多,减少光的入水量,水温和光强低,而在边缘区水生植物非常少,光入水量大,水温和光强高.三是生物因子,包括浮游动物、滤食性鱼类和水生植物.调查发现,安邦河湿地各站位的浮游动物和滤食性鱼类生物量在两季节均非常低,它们对浮游植物的牧食可以忽略,而水生植物存在差异,尤以夏季明显.夏季核心区水生植物生物量(干重3.53kg/m²)明显高于边缘区(0.85kg/m²).水生植物一方面与浮游植物竞争营养物质,另一方面通过化感作用抑制浮游植物的繁殖^[14].在核心区的4[#]站位,两季节均未发现斜生栅藻,与4[#]站位芦苇较多相关,因为芦苇的分泌物能抑制斜生栅藻繁殖^[15],化感作用还可改变浮游植物群落组成^[16],导致群落结构差异.

10[#]站位位于莲花池内,春、夏均独为一组.春季10[#]站位营养盐最低,浮游植物以贫营养的金藻和甲藻居多,是其与其它群落距离较远的主要原因.夏季10[#]站位的营养盐、理化因子与核心区差异不大,但与核心区群落距离仍较远(图3).一是水生植物单一,几乎全部是莲(*Nelumbo nucifera*),生境异质性低,而核

核心区高达 25 种, 生境异质性高, 因而种类和多样性高。二是盖度过高(95%以上), 造成光强和水温低, 影响浮游植物繁殖, 进而影响到群落结构。三是否与其它因素相关, 有待于进一步研究。

4 结论

春、夏两季安邦河湿地浮游植物可划分为3个组群: (1)核心区组群, 春季为绒毛平板藻-四角盘星藻群落, 夏季为四角盘星藻群落; (2)边缘区组群, 春季为梅尼小环藻-尖针杆藻群落, 夏季为鱼腥藻-铜绿微囊藻-梅尼小环藻群落; (3)莲花池组群, 春季为地中尖头藻群落, 夏季为银灰平裂藻群落。

致谢: 野外工作得到安邦河湿地自然保护区大力协助, 特此致谢。

5 参考文献

- [1] Froneman PW. Food web dynamics in a temperate temporarily open/closed estuary (South Africa). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2004, **59**: 87-95.
- [2] Pedro C, Emilio M, Valesca P *et al.* Phytoplankton size structure and primary production in a highly dynamic coastal ecosystem (Ria de Vigo, NW-Spain): seasonal and short-time scale variability. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2006, **67**: 251-266.
- [3] Eiseltova M, Pokorny J. Filamentous algae in fish ponds of the Trebon biosphere reserve-ecophysiological study. *Vegetatio*, 1994, **113**: 115-120.
- [4] Rodrigo S, María LS, María CM *et al.* Experimental study of the zooplankton impact on the trophic structure of phytoplankton and the microbial assemblages in a temperate wetland (Argentina). *Limnologia*, 2007, **37**: 88-99.
- [5] 胡鸿均, 李尧英, 魏印心等. 中国淡水藻类. 上海: 上海科学技术出版社, 1980.
- [6] Clarke R. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Australian Journal of Ecology*, 1993, **18**: 117-143.
- [7] Khalaf A, Kochzius M. Changes on tropic community structure of shore fishes at an industrial site in the gulf of Aqaba, red sea. *Marine Ecology Progress Series*, 2002, **239**: 287-299.
- [8] 左涛, 王荣, 陈来瞿等. 春季和秋季东、黄海陆架区大型网采浮游动物群落划分. *生态学报*, 2005, **25**(7): 1531-1540.
- [9] Lampitt RS, Wishner KF, Turley CM *et al.* Marine snow studies in the northeast Atlantic: distribution, composition and roles as a food source for migrating plankton. *Marine Biology*, 1993, **116**: 689-702.
- [10] Serra T, Colomen J, Baserba C *et al.* Quantified distribution of diatoms during the stratified period of Boadella reservoir. *Hydrobiologia*, 2002, **589**: 235-244.
- [11] Nalewajko C, Murphy TP. Effects of temperature and availability of nitrogen and phosphorus on the abundance of anabaena and microcystis in lake Biwa, Japan: an experimental approach. *Limnology*, 2001, **2**: 45-48.
- [12] Shapiro J. Blue-green algae: Why they become dominant. *Science*, 1973, **179**: 382-384.
- [13] Wang XL, Lu YL, He GZ *et al.* Exploration of relationships between phytoplankton biomass and related environmental variables using multivariate statistic analysis in a eutrophic shallow lake: A 5-year study. *Journal of Environmental Sciences*, 2007, **19**: 920-927.
- [14] Mulderij G, Smolders AJ, Donk EV. Allelopathic effect of the aquatic macrophyte, *Stratiotes aloides*, on natural phytoplankton. *Freshwater Biology*, 2006, **51**: 554-561.
- [15] Men YJ, Hu HY, Li FM. Effects of the novel allelochemical ethyl 2-methylacetoacetate from the reed (*Phragmites australis* Trin) on the growth of several common species of green algae. *Journal of Applied Phycology*, 2007, **19**: 521-527.
- [16] Mulderij G, Mau B, Donk EV *et al.* Allelopathic activity of *Stratiotes aloides* on phytoplankton—towards identification of allelopathic substances. *Hydrobiologia*, 2007, **584**: 89-100.