

文章编号:1005-8737(2000)02-0043-08

氯化物水型盐碱池塘浮游植物的季节演替

赵文,董双林,李德尚,张兆琪,王芳

(教育部水产养殖开放研究实验室,青岛海洋大学,山东 青岛 266003)

摘要:于1997年4月至1998年9月对山东高青赵店乡渔场34口盐碱池塘浮游植物季节演替及其与生态因子的关系进行了研究,共采集387个浮游植物定量水样。结果表明,浮游植物的季节变动并不遵循同一模式,种类组成上硅藻生物量的优势地位在各类型池塘中均很突出,裸藻和蓝藻主要在夏季高温季节大发生,金藻在春季和秋冬季数量较大;生物量上季节变动的特点是一般都有盛夏和初秋的生物量主高峰和鱼类放养早期的春季生物量次高峰,浮游植物多为小于 $10\mu\text{m}$ 的种类,且小三毛金藻致鱼死亡现象时有发生。浮游植物数量和生物量存在着明显的周日和垂直变化。

关键词:盐碱池塘,氯化物水型;浮游植物;季节演替;多样性指数

中图分类号:S931.3

文献标识码:A

养殖水体的浮游植物不仅是鱼虾的直接或间接饵料,而且是水中溶解氧的主要供应者,它在水体生态系统的物质循环和能量流动中具有重要作用^[1~7]。浮游植物的种类组成和季节变化与池塘水质、系统内的能流、物流密切相关,从而影响养殖动物的生长和系统的生产性能^[8,9]。我国对内陆低洼地盐碱池塘的浮游植物报道很少,有限的资料^[10~12]尚缺乏系统性。因此,本文报道这类池塘浮游植物的季节演替及其与生态因子的关系,旨在研究了解氯化物水型盐碱池塘的浮游植物季节变动规律。

1 材料和方法

1.1 池塘概况

试验于1997年4月5日至1998年9月1日在山东省高青县赵店乡渔场进行。池塘为土池。1997年4月至1998年4月对7口池塘进行了全年重点

观测,即1997年3月灌黄河水的无鱼对照池1[#]池,主养草鱼的4[#]池,主养鲢的2[#]池,主养罗非鱼的3[#]池,无鱼且没注入黄河水的空白对照池0[#]和00[#]池,以及与大芦湖连通的5[#]池;1998年4月至9月对1[#]池、主养草鱼的3[#]、4[#]、00[#]池、主养鲢的6[#]池和主养罗非鱼、鲢的01[#]池共6口进行了不定期观测。次重点观测池为9口,即主养鲢的15[#]和19[#]池,主养罗非鱼的8[#]和20[#]池,主养草鱼的7[#]和17[#]池;主养草鱼种配养鲢的14[#]池,养殖淡水白鲢和鲤的1997年新开挖的21[#]池,以及养殖鲈鱼的县渔场西5[#]池,对次重点观测池只于1997年4月至9月进行了生长期内的定期观测。对12口普查池塘仅于1997年4~8月进行了不定期观测。另外,在整个实验期间对发生鱼病的鱼池的浮游植物进行了抽查。池塘面积多为0.2~0.3 hm²,池塘水深平均为1.8~2.0 m。调查期间年平均水温为20℃,最高水温35℃(7月份),最低水温20℃(1月份)。池塘在12月至2月间有近70 d的冰盖。00[#]池于1997年10月被用作养鸭池,接受了大量的鸭粪。池塘平均含盐量变动于1.82~9.26 g/L,一般在2.5~6 g/L之间;最大含盐量出现在00[#]池,高达20 g/L。pH变动于8.0~9.0,多在8.5左右。

收稿日期:1999-07-05

基金项目:国家“九五”攻关课题(960080401)和国家杰出青年基金(39725023)资助

作者简介:赵文(1963-),男,大连水产学院副教授、博士,从事水生生物学、水产养殖生态学研究。

总碱度变动于 2.4~7.2 mmol/L, 多在 5 mmol/L 左右。

1.2 方法

在 1997 年 4~9 月的鱼类生长期, 对重点观测池和次重点观测池每 5~10 d 采样 1 次, 1997 年 10 月至 1998 年 4 月对重点观测池进行每月 1 次的采样。1998 年 5~9 月对 01[#]、3[#] 和 4[#] 以及 6[#] 池进行了每月 1 次的采样, 共计采得浮游植物定量水样 387 个。浮游植物样品采集定量均按规范方法^[13]进行。

在采集浮游生物水样的同时还对鱼池的水温、透明度及常规水化学指标进行了测定。透明度用 Secchi 盘测定, 正磷酸盐($\text{PO}_4\text{-P}$)用以抗坏血酸为还原剂的磷钼蓝法测定, 总磷(TP)用过硫酸钾消解法测定, 氨氮($\text{NH}_4\text{-N}$)用次溴酸钠氧化法测定, 硝酸盐氮($\text{NO}_3\text{-N}$)用铈-镉还原法测定, 亚硝酸盐($\text{NO}_2\text{-N}$)用磺胺-盐酸奈乙二胺法测定, 总氮依过硫酸钾氧化法用紫外分光光度计测定, 其它水化学指标用常规法测定。用 Cl^- 、 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 、 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 和 Na^+ 离子总量近似为水体的含盐量(g/L)。

1.3 统计分析

浮游植物多样性指数采用 Shannon-Wiener 指数计算, 公式为:

$$H = -\sum (n_i/N) \log_2(n_i/N)$$

式中: H —多样性指数; N —浮游植物总个体数; n_i —浮游植物总种数中第 i 种的个体数。

相关系数的显著性检验系用 t -检验或 z -变换^[14]。

2 结果

2.1 浮游植物的季节变化

2.1.1 浮游植物种类组成的季节变化 根据两年的调查结果, 高青盐碱池塘浮游植物的优势类群为:

(1) 色球藻(*Chroococcus* spp.) 主要为小色球藻(*C. monor*), 其次为湖沼色球藻(*C. limneticus*), 微小色球藻(*C. minutus*) 偶见。小色球藻终年可见, 7~8 月在一些鱼池数量高达 $1.77 \times 10^9 \text{ L}^{-1}$ 。

(2) 席藻(*Phorimidium* spp.) 主要为小席藻(*P. tenuis*)。常在 4~10 月出现, 数量多达 $5.36 \times 10^8 \text{ L}^{-1}$ 。伴随出现的蓝藻有 1 种螺旋藻(*Spirulina* sp.) 和针晶蓝纤维藻(*Dactylococcopsis raphid-*

oides), 前者数量多达 $1.97 \times 10^8 \text{ L}^{-1}$, 后者数量达 $6.92 \times 10^7 \text{ L}^{-1}$, 终年出现, 但生物量不大。

(3) 平裂藻(*Merismopedia* spp.) 6~9 月为高发期, 主要为银灰平裂藻(*M. glauca*)、细小平裂藻(*M. tenuis*), 数量分别常达 $8.04 \times 10^8 \text{ L}^{-1}$ 和 $1.04 \times 10^9 \text{ L}^{-1}$ 。点状平裂藻(*M. punctata*) 和优美平裂藻(*M. elegans*) 偶见。伴随种类有小颤藻(*Oscillatoria tenuis*)、螺旋鱼腥藻(*Anabaena spiroides*)。

(4) 小三毛金藻(*Prymnesium parvum*) 是一种半咸水害藻^[15]。在春季和秋季大量发生, 终年可见。最大数量达 $1.44 \times 10^8 \text{ L}^{-1}$, 养鱼实验池塘虽未见因小三毛金藻毒素而死鱼, 但 0[#] 和 00[#] 池及周围一些池塘因小三毛金藻中毒死鱼现象时有发生。是盐碱池塘养鱼高产的制约因素之一。伴随出现的金藻有黄绿等鞭金藻(*Isochrysis galbana*) 和变形棕鞭藻(*Chroomonas mutabilis*)。

(5) 单鞭金藻(*Chroomulina* sp.) 主要有卵形单鞭金藻(*C. ovalis*) 和变形单鞭金藻(*C. parscherei*)。前者在夏末秋初分布较广, 在 1997 年 8 月中旬前后在赵店盐碱池塘发生该藻水华, 呈棕红色。最高密度达 $8.30 \times 10^8 \text{ L}^{-1}$ 。而后者在水温较低季节出现较普遍。一般生物量较小, 仅于 1998 年 8 月于 2[#] 池发生水华, 呈棕红色。

(6) 隐藻属(*Cryptomonas*) 仅在个别池塘(如 1997 年 0[#] 池春季和 1998 年 1[#] 池春季) 占优势。主要种类为嗜蚀隐藻(*C. erosa*) 和卵形隐藻(*C. ovata*)。此外, 隶属隐藻门的尖尾蓝隐藻(*Chroomonas acuta*) 在盐碱池塘出现率较大, 但生物量不大。

(7) 硅藻(*Diatom*) 在盐碱池塘浮游植物生物量中占优势地位。主要种类有星肋小环藻(*Cyclotella stelleri*)、近缘针杆藻(*Synedra affinis*)、嗜盐舟形藻(*Navicula halophila*) 和长菱形藻(*Nitzschia longissima*)。星肋小环藻终年大量出现, 最高密度达 $1.08 \times 10^9 \text{ L}^{-1}$, 所有样品中该藻的平均密度达 $1.42 \times 10^7 \text{ L}^{-1}$, 平均生物量达 $1.77 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; 近缘针杆藻常在 2~10 月出现, 最高密度达 $7.85 \times 10^7 \text{ L}^{-1}$, 平均密度达 $2.03 \times 10^6 \text{ L}^{-1}$, 平均生物量达 $6.09 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; 嗜盐舟形藻终年可见, 最高密度达 $2.60 \times 10^7 \text{ L}^{-1}$, 生物量高达 $120 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; 长菱形藻于 4~9 月大量出现, 最高密度达 $7.57 \times 10^7 \text{ L}^{-1}$ 。

(8) 裸藻(*Euglena* spp.) 主要为绿裸藻、梭形

裸藻和颤动扁裸藻。绿裸藻终年可见,最高数量达 $5.32 \times 10^7 \text{ L}^{-1}$,尤以 7~9 月最多。梭形裸藻主要出现于 4~11 月,数量多达 $1.08 \times 10^7 \text{ L}^{-1}$ 。

(9)心形扁藻(*Platymonas cordiformis*) 是典型的盐水种,终年可见,是盐碱池塘较重要的优势鞭毛藻类,分布较普遍,以夏季数量和生物量最大,最大密度高达 $7.95 \times 10^7 \text{ L}^{-1}$ 。

(10)绿球藻类(*Chlorellaceae*) 主要为普通小球藻(*Chlorella vulgaris*)、尖细栅藻(*Scenedesmus acuminatus*)、四尾栅藻(*S. quadricauda*)、双对栅藻(*S. bijuga*)、三角四角藻(*Tetraedron trigonum*)、膨胀四角藻(*T. tumidulum*)、华美十字藻(*Crucigenia lauterbornei*)、四足十字藻(*C. tetrapedia*)、十字藻(*C. apiculata*)、湖生卵囊藻(*Oocystis lacustris*)、扭曲蹄形藻(*Kirchneriella contorta*)和湖生四胞藻(*Tetraspora lacustris*)。这些绿藻细胞较小,一般均小于 $10 \mu\text{m}$,在夏季所有实验池塘中数量都很大,多在 $1 \times 10^7 \text{ L}^{-1}$ 以上,但生物量不大,使水色呈绿色。

(11)光甲藻(*Glenodinium gymnodinium*) 多出现于春季和秋末至冬季,数量高达 $2.25 \times 10^7 \text{ L}^{-1}$ 。而蓝绿裸甲藻(*Gymnodinium cyaneum*)仅在夏季见到,最大密度达 $0.69 \times 10^7 \text{ L}^{-1}$ 。

各类浮游藻类的季节消长方面各池塘不尽相同(图 1)。硅藻门种类生物量上的优势地位在各种类型的池塘中均很突出,在 1[#]和 5[#]及 4[#]池硅藻占绝对优势,3[#]、0[#]、00[#]、15[#]池硅藻在春季所占比例较大,2[#]、3[#]、8[#]、19[#]、21[#]、西 5[#]和 98-6[#]池中硅藻在夏秋季节占优势,而 14[#]、7[#]、17[#]池硅藻则较少。蓝藻几乎都是在夏季大量出现,是数量上的优势种,如小色球藻、平裂藻、螺旋鱼腥藻、小席藻等,特别是在 14[#]、19[#]、7[#]、20[#]池,夏季蓝藻占优势;由于鱼类放养早期鱼池施肥量较大,喜有机质的一些蓝藻也在春季出现水华(如 19[#]和 17[#]池),主要是小席藻和螺旋藻。裸藻门和蓝藻门的变化一样,在鱼类放养早期和夏季高温季节在一些池塘(14[#]、15[#]、7[#]、98-3[#])出现水华,主要是绿裸藻。绿藻也是在夏季于有些鱼池所占比例较大,但是生物量优势不明显,主要是心形扁藻、尖细栅藻。金藻门在春季和冬季数量较大,主要是黄绿等鞭金藻、单鞭金藻、小三毛金藻和棕鞭藻。

2.1.2 生物量的季节变动 各池塘因养鱼与否、放养模式、管理方式的不同,浮游植物生物量的季节变动各不相同(图 2),但也有其共性,一方面,浮游植物生物量在各采样间隔中多呈现一高一低的波动,这是由于浮游植物的生长特性和不同浮游藻类类群优势种之间不断演替所致;另一方面,一般都有盛夏至初秋的生物量主高峰和放养早期的春季生物量次高峰,无鱼对照池 1[#]、5[#]春季生物量次高峰不明显,0[#]、00[#]于 1997 年春季于 1[#]、5[#]相同,1998 年秋末和冬季因都不同程度接纳养鸭废水而出现冬春季的浮游植物生物量高峰。养鱼池的浮游植物春季次高峰主要是由于放养早期鱼池施肥量大的缘故。

2.2 浮游植物的周日、垂直分布

由于试验池面积较小,浮游植物的水平分布在风大天气在上风处和下风处间较明显。另外,浮游植物水华期间,浮游植物的“斑块分布”也有发生,如春季 4~6 月间的风大天气,小三毛金藻在 2[#]池下风处聚成斑块,呈金黄色;另外,卵形单鞭金藻在 8~9 月间在赵店大部分盐碱鱼池中形成水华,特别是在 7[#]、17[#]和 4[#]和 15[#]池持续时间较长,15[#]池下风处出现明显的卵形单鞭金藻形成的斑块。但试验池浮游植物的水平分布多不明显。

由表 1 可见,4[#]池浮游植物密度和生物量有着明显的周日变化。数量上,1997 年 7 月 24 日 6:00 时最低,16:00 时最高,到次日 6:00 时,数量又回落;生物量上,中午 12:00 生物量最高,从上午 6:00 至 12:00 时生物量直线上升,从 $70.36 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 升至 $183.52 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,从 12:00 至 18:00,生物量又下降,从 $183.52 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 降至 $70.01 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。鞭毛藻类数量和生物量的日间变化与总量变化基本相同,数量也是中午最高,达 $1.88 \times 10^8 \text{ L}^{-1}$,生物量 $146.16 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。其优势种卵形单鞭金藻数量和生物量的日间变化与前者相同。鞭毛藻类数量占浮游藻类总量的 30% 左右,生物量占总量的 62.02%。

日间垂直变化的规律性很明显,6:00 和 8:00 时表层的生物量最高,10:00、12:00 时中下层生物量最高,14:00 时浮游植物向上层转移,亚表层生物量最高,16:00 和 18:00 时均是表层生物量最高。鞭毛藻类的垂直变化与总体变化完全相同,表明浮游植物的上述变化是鞭毛藻类所主导的。

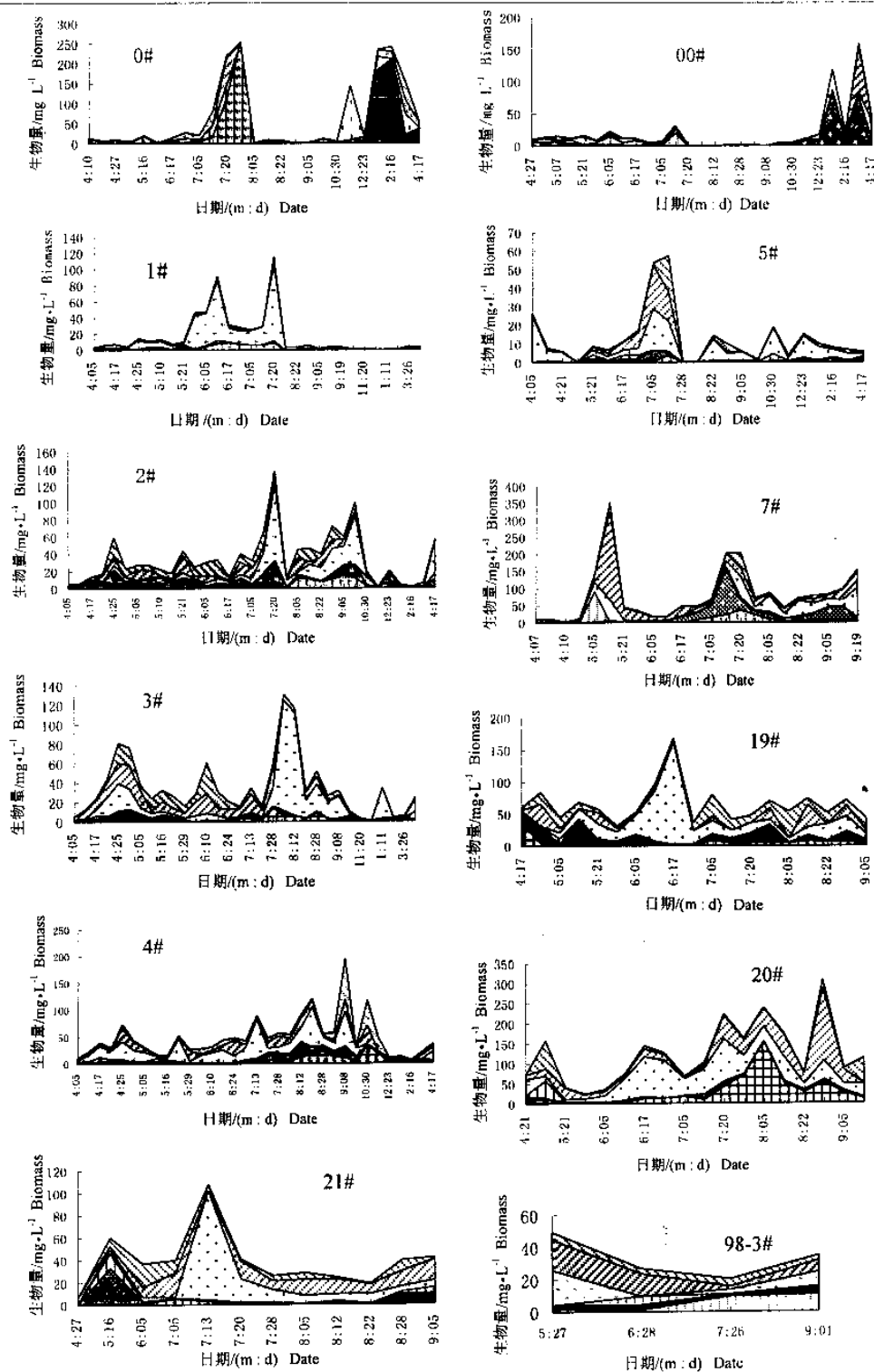


图 1 高青盐碱池塘浮游植物种类组成的季节变动

Fig.1 Seasonal dynamics of species composition of phytoplankton in saline-alkaline ponds in Gaoqing

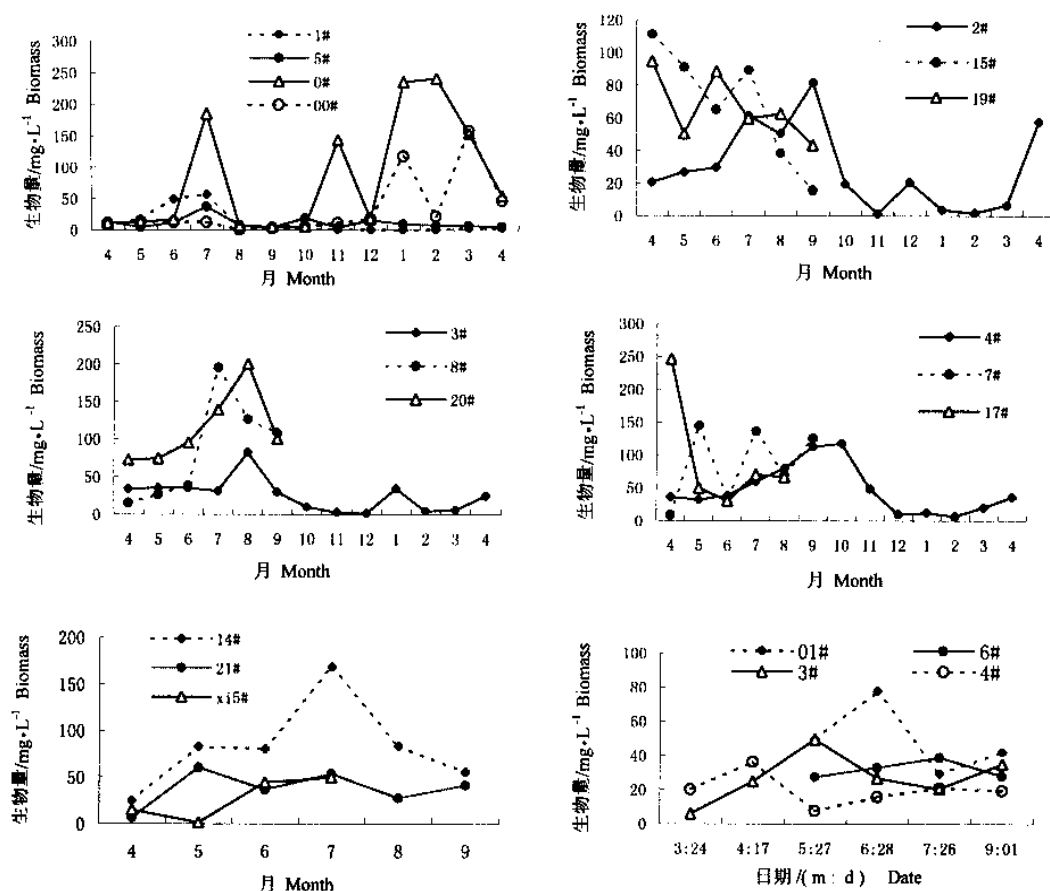


图 2 各类型盐碱池塘浮游植物生物量的季节变动

Fig.2 Seasonal dynamics of phytoplankton biomass in different ponds

2.3 浮游植物的多样性指数及其季节变化

多样性指数可表示生物群落结构的内涵, 用来反映环境变化对生物的影响和水质污染状况。从图 3 可见, 浮游植物多样性指数的季节变动形式与浮游植物生物量的季节变动不尽相同。一般情况是浮游植物生物量夏秋主高峰时多样性指数是低谷, 大多数池塘浮游植物多样性指数都有春季和晚秋两个高峰。高青盐碱池塘浮游植物多样性指数的平均值是 2.560。

3 讨论

3.1 浮游植物的季节演替

池塘环境在一年中变化很大, 也不同程度地受人为干扰, 因此浮游植物的季节变化模式变化较大, 但也有其规律性可循。高青盐碱池塘浮游植物的季节变动规律是一般都有夏秋之交的浮游生物的主高峰和春季放养早期的次高峰, 硅藻在实验鱼池中常

年存在, 金藻有春季和秋季 2 个高发期。蓝藻只在夏秋高温季节大量发生。裸藻在春、夏、秋较多, 隐藻、硅藻和一些绿藻在冬季常见。这些季节变动模式与温带湖泊的浮游植物典型季节演替模式基本一致。这是鱼池所在地区的光照、水温、营养盐、盐度、碱度、动物摄食、生物种间竞争和施肥、投饵、注排水等人为干扰的季节转换综合决定的。夏季浮游植物高峰期中, 浮游植物的多样性指数较低, 这点与其他作者的结论^[16]一致。

3.2 浮游植物与一些生态因子的关系

3.2.1 浮游植物与透明度的关系 一般而言, 水体的生物量与透明度之间存在负相关^[1,15], 即生物量越大, 透明度越小。但哈尔滨鱼池^[16]、吉林镇赉鱼池^[17]和庄河虾池^[6]两者相关不显著, 这说明浮游植物生物量和透明度的关系是不稳定的, 仅就养鱼池而言, 这种关系受浮游植物种类组成、生态习性、数量、放养模式、测定透明度时间等的影响。

表 1 4[#] 池塘浮游植物的周日变化和垂直分布(1997.7.24.)Table 1 Diurnal variations and vertical distribution of phytoplankton in the saline-alkaline ponds 4[#]

时间/h Time	水层/cm Water layer	浮游植物 Phytoplankton			
		总量 Total		鞭毛藻类 Flagellate	
		数量/ ($10^3 \cdot L^{-1}$)	生物量/ ($mg \cdot L^{-1}$)	数量/ %	生物量/ ($mg \cdot L^{-1}$)
6:00	0	36.32	112.76	29.05	83.56
	25	54.75	109.28	41.55	48.58
	50	39.06	63.53	31.00	53.58
	75	29.98	36.27	20.19	31.79
	100	21.97	29.96	23.62	32.91
	Mean	36.42	70.36	29.08	50.08
8:00	0	61.75	113.66	26.05	74.04
	25	58.81	87.93	20.00	47.90
	50	66.08	86.33	23.04	59.41
	75	84.20	78.47	20.13	73.09
	100	59.07	78.70	19.77	52.44
	Mean	65.98	89.02	21.80	61.38
10:00	0	56.91	44.65	12.31	53.74
	25	58.98	74.99	15.84	27.03
	50	89.43	86.79	13.54	52.95
	75	56.39	105.94	30.52	58.27
	100	40.82	97.61	29.88	68.03
	Mean	60.51	82.00	20.42	52.00
12:00	0	56.39	159.39	12.73	83.89
	25	57.51	180.41	43.61	79.29
	50	71.61	225.97	32.13	80.49
	75	54.75	155.75	38.86	80.07
	100	70.40	196.06	24.94	75.21
	Mean	62.13	183.52	30.45	79.79
14:00	0	58.98	166.89	38.56	81.47
	25	69.97	167.26	27.32	67.22
	50	65.82	139.93	17.74	74.66
	75	66.25	132.55	25.46	82.74
	100	40.04	121.52	16.85	66.62
	Mean	60.21	145.63	25.18	74.54
16:00	0	92.80	295.02	29.73	88.12
	25	87.61	100.96	25.37	50.71
	50	59.94	75.74	22.51	66.69
	75	58.29	117.73	26.11	73.75
	100	55.09	76.47	20.88	48.52
	Mean	70.75	133.19	24.92	65.56
18:00	0	83.75	110.51	38.55	68.08
	25	76.83	77.76	23.83	61.54
	50	43.24	47.86	22.00	45.78
	75	54.34	59.44	25.20	55.02
	100	44.97	54.47	25.32	44.46
	Mean	60.63	70.01	26.98	54.98
6:00	0	29.32	34.98	25.66	55.88
	25	29.15	39.81	42.43	70.18
	50	42.38	57.42	36.33	73.80
	75	38.23	48.01	21.95	51.52
	100	32.86	34.72	19.21	39.98
	Mean	34.39	42.99	29.12	58.27

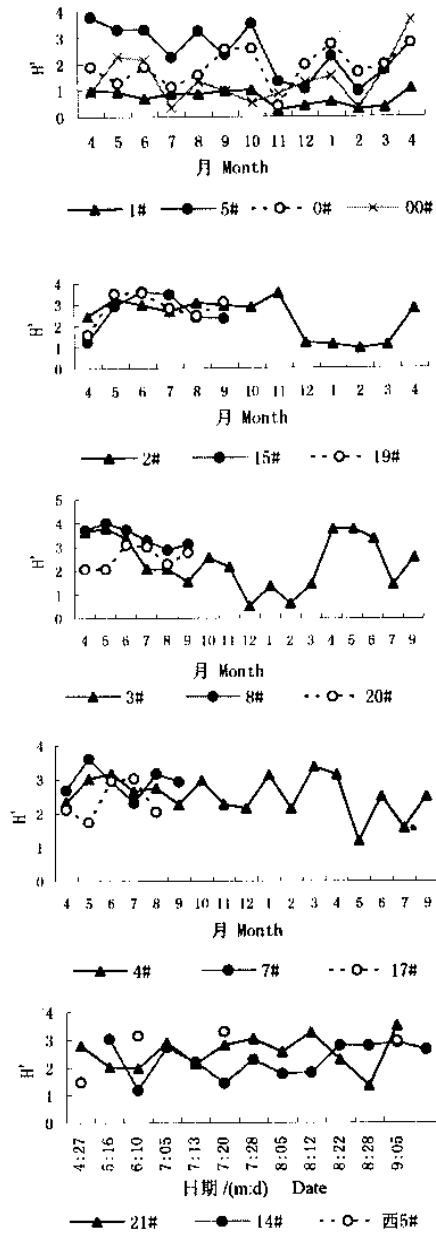


图 3 盐碱池塘浮游植物多样性指数的季节变动

Fig.3 Seasonal dynamics of diversity index (H') of phytoplankton in saline-alkaline ponds

对所调查盐碱池塘的浮游生物生物量和透明度进行回归分析(图 4),得出如下 2 个方程:

a. 指数回归方程:

$$B = 108.93 e^{-0.044 \text{ TSD}}$$

$$(n = 302, R^2 = -0.2898, p < 0.01);$$

b. 直线回归方程:

$$B = -1.544 \text{ SD} + 99.0$$

($n = 302$, $r = -0.4065$, $P < 0.01$)。

式中: B - 浮游植物生物量/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$); SD -

透明度/ cm 。

a 和 b 比较, 指数回归方程相关系数较大。

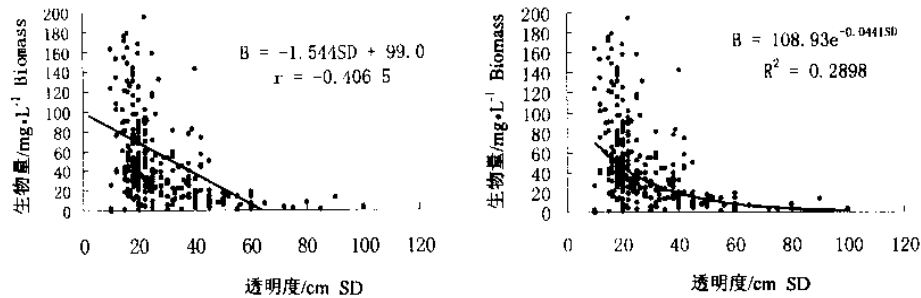


图 4 盐碱池塘浮游植物生物量与透明度的关系

Fig. 4 Relationship between biomass of phytoplankton and transparency in saline-alkaline ponds

3.2.2 浮游植物与浮游动物的关系 盐碱池塘中浮游植物与浮游动物生物量比值平均为 10:1, 比淡水高产池 4:1 或 3:1 的一般水平要高。1[#]、5[#]、00[#]、7[#] 池浮游植物与浮游动物显著正相关, 且多是无鱼对照池, 这些池塘浮游动物生物量较大。7[#] 池则可能是其它原因所致。其它池塘浮游植物生物量与浮游动物生物量并没有显著的相关性。总之, 浮游植物和浮游动物的关系是相互的, 一般浮游动物滤食浮游植物, 因此浮游植物生物量增大, 浮游动物生物量也增大。二者有个时间差, 具体体现在二者在某一时刻呈相反关系, 即浮游动物生物量大的水体浮游植物往往较少, 而在相对较长时期内二者呈正相关(如无鱼对照池)。此外放养鱼类食性、放养数量及管理方式均可影响到二者关系。

3.2.3 浮游植物生物量及多样性指数与其它理化指标的关系 浮游植物生物量一般随水温的升高而增大, 1[#]、2[#]、3[#]、8[#] 和 4[#] 池均达到显著正相关, 而 17[#]、0[#] 和 00[#] 池正好相反, 二者是负相关, 相关极显著, 其原因是 0[#] 和 00[#] 池冬季接受养鸭废水导致浮游植物大发生所致; 17[#] 池春季放养早期施肥量大, 藻类出现水华, 导致春季低温期浮游植物生物量较大。这说明水温对浮游植物生物量高低的影响主要受营养盐控制。从总体来看, 浮游植物生物量与总氮(TN)、总磷(TP)和硅酸盐($\text{SiO}_3 - \text{Si}$)均呈显著的正相关关系。其回归方程分别为:

$$B = 22.897 \text{ TN} - 38.25 \quad (r = 0.633, n = 72, P < 0.01)$$

$$B = 31.126 \text{ TP} - 47.58 \quad (r = 0.303, n = 172, P < 0.01)$$

$$B = 11.848 \text{ Si} - 2.585 \quad (r = 0.349, n = 66,$$

$P < 0.01$)

2[#] 和 8[#] 池生物量与电导率显著正相关, 3[#]、8[#]、17[#] 池生物量与 pH 显著正相关, 0[#] 和 00[#] 池与总碱度显著正相关; 1[#]、19[#]、和 14[#] 池浮游植物与盐度显著正相关, 这是因为 1[#]、19[#] 和 14[#] 的盐度一开始就较低, 随着时间的推移, 水温上升, 浮游植物生物量增大, 盐度也增大, 因此会出现上述关系。

总体上, 高青盐碱池塘浮游植物生物量与水温呈显著的正相关($r = 0.224$, $n = 288$, $p < 0.01$), 与盐度($r = -0.090$, $n = 254$)、碱度($r = -0.073$, $n = 282$)、pH($r = 0.142$, $n = 320$)、电导率($r = 0.033$, $n = 320$)均没有显著的规律性关系。浮游植物多样性指数随水温的升高而呈增大趋势($r = 0.144$, $n = 300$), 随盐度($r = -0.244$, $n = 294$, $P < 0.01$)和 pH($r = -0.114$, $n = 336$)的增大而呈下降趋势。电导率与盐度正相关。因此, 浮游植物多样性指数也与电导率呈显著的负相关($r = -0.246$, $n = 342$, $P < 0.01$)。这些与赵文^[9]对我国北方内陆盐水水体浮游植物的研究结果相一致。

参考文献:

- [1] 何志辉, 李永函. 无锡市河埭口高产鱼池水质研究 II: 浮游生物[J]. 水产学报, 1983a, 7(3): 297-305.
- [2] 何志辉. 从“看水”经验论养鱼水质的生物指标[J]. 水生生物学报, 1985, 9(1): 89-98.
- [3] 何志辉, 王 武. 养鱼池的生态学[M]. 张扬宗主编, 中国池塘养鱼学. 北京: 科学出版社, 1989.
- [4] 何志辉. 吉林镇赉养鱼场鱼池生态系的分析[J]. 水产学报, 1993, 17(1): 24-35.
- [5] 姚宏禄. 综合养鱼高产塘的浮游植物[J]. 中国水产科学, 1996, 4(3): 32-36.

- [6] 阎喜武. 庄河青堆虾池的浮游生物[J]. 大连水产学院学报, 1992, 7(4): 9-24.
- [7] Boyd C E. Water Quality Management for Pond Fish Culture [M]. Elsevier Scientific Publishing Company. 1982.
- [8] 程维新, 等. 洼地整治与环境生态[M]. 北京: 科学出版社, 1993. 67-136.
- [9] 赵文. 中国北方内陆盐水的浮游植物. 大连水产学院学报, 1992, 7(2/3): 49-64.
- [10] 王世雄, 等. 盐碱地鱼池水化学因子与浮游植物的调查研究[J]. 齐鲁渔业, 1994, 11(5): 20-24.
- [11] 张觉民, 何志辉. 内陆水域渔业自然资源调查手册[M]. 北京: 农业出版社, 1991.
- [12] 杜荣骞. 生物统计学[M]. 北京: 高等教育出版社. 1985.
- [13] 何志辉. 中国小三毛金藻研究述评[J]. 大连水产学院学报, 1989, (2): 13-18.
- [14] Wetzel R G. Limnology. 2 Ed. Saunders Coll. Philadelphia, 1983. 860.
- [15] Robert. A trophic state index for lakes. Limnol. Oceanogr, 1977, 22: 361-369.
- [16] 秦建光. 哈尔滨地区高产鱼池水质研究Ⅱ. 浮游生物[J]. 大连水产学院学报, 1994, (1): 15-25.
- [17] 刘青, 等. 吉林镇赉地区高产鱼池浮游生物研究[J]. 大连水产学院学报, 1992, 6(3/4): 14-27.

Seasonal succession of phytoplankton in chloride typed saline - alkaline ponds

ZHAO Wen, DONG Shuang - lin, LI De - shang, ZHANG Zhao - qi, WANG Fang

(The Open Laboratory of Aquaculture Research, Ocean University of Qingdao, Qingdao 266003, China)

Abstract: The seasonal succession and diversity of phytoplankton in saline - alkaline ponds (salinity 1.8 ~ 20 g/L, alkalinity 2.4 ~ 7.1 mmol/L, and pH 8 ~ 9) in Zhaodian Fish Farm, Gaoqing County, Shandong Province, were studied during from 5 Apr. 1997 to 1 Sep. 1998. About 387 samples were collected. The results show that phytoplankton seasonal dynamics follows different patterns; diatom occurs all the year and predominated in all ponds; euglenophytes and blue - green algae occurs mainly in summer with high temperature, and the abundance of *Chrysophyta* increases in spring and in the end of autumn or in winter. The biomass dynamics features in experimental ponds are that the biomass reaches a peak in summer and early fall and a sub - peak in spring. When the biomass of phytoplankton is on the peak, the diversity index of phytoplankton is low. Most of the phytoplankton are less than 10 μm , and fishes death occurs now and then caused by *Premnesium parvum*. The density and biomass of phytoplankton vary distinctly in diurnal and vertical dynamics mainly because of flagellate, such as *C. ovalis*.

Key words: saline - alkaline pond; chloride - type; phytoplankton; seasonal dynamics; diversity index