

盐碱池塘浮游植物初级生产力的研究

赵文 董双林 李德尚 张兆琪 申屠青春

(青岛海洋大学教育部水产养殖开放实验室, 青岛 266003)

摘要:根据黑白瓶测氧法测定, 山东省高青县赵店渔场盐碱池塘鱼类生长期内(4—9月)浮游植物初级生产力为 $9.42 \pm 4.21 \text{ g O}_2 (\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 日P/B系数平均 0.24 ± 0.18 , 浮游植物对太阳有效辐射的利用率平均1.53%。无鱼对照池浮游植物初级生产力显著低于养鱼池。回归分析表明, 浮游植物现存量、透明度、水温、盐度是决定盐碱池塘浮游植物初级生产力的主要生态因子。营养盐中磷比氮的限制作用大。文中探讨了养鱼池初级生产力在能量转化中的生态学效率。

关键词: 初级生产力; 浮游植物; 生态学效率; 盐碱池塘

中图分类号: S963.21 文献标识码: A 文章编号: 1000-3207(2003)01-0047-008

低洼盐碱地池塘由于土壤淋析及干旱气候的影响, 池水盐碱化严重, 对养鱼极为不利。目前对此类池塘生态系统的研究刚刚开始。内陆盐碱池塘初级生产力的研究国内外所见的报道不多^[1,2], 本文总结高青地区氯化物型盐碱池塘初级生产力的研究结果, 旨在了解盐碱池塘初级生产性能, 丰富浮游生物生态学知识, 为进一步完善盐碱池塘的渔业利用模式及提高渔产量提供依据。

1 材料与方法

1.1 初级生产力测定 试验于1997年4月25日至9月29日在山东省高青县赵店镇渔场进行。池塘的基本状况见表1。初级生产力用黑白瓶测氧法测定, 每两周采样一次, 采样点和挂瓶点位于池塘中心处。黑白瓶分5层或6层悬挂水中, 挂瓶深度一般为0、25、50、75、100、120cm, 根据池塘水深和透明度作适当调整。一般在1/2透明度处都有挂瓶, 每层黑瓶1个白瓶2个。采水和挂瓶水层一致。采样时固定初始溶氧。挂瓶4h(10:00—14:00时), 用Winkler法测定溶解氧的变化量。在本实验期间, 先后进行5次七段挂瓶法测定初级生产力, 即每天在6、8、10、12、14、16、18和次日6时测定7次, 每次曝光2h。计算每次曝光2h占全天累积生产量的百分比

(10—14时的初级生产力约占全天累积生产量的40%), 然后按此结果推算全天的初级生产力。同时测定水温、透明度、pH、光照强度、浮游植物生物量、叶绿素a含量和一些水化学指标, 测定方法同前文。

1.2 计算方法 本文初级生产力系实测得到, 此外, 还用叶绿素a含量按下式^[3]估计初级生产力:

$$P = 1/2 \cdot r \cdot \text{Chla} \cdot E \cdot DH$$

$$P = K \cdot r \cdot \text{Chla} \cdot DH \cdot SD$$

式中, P为水柱日生产量[$\text{g C}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$]; r为同化系数或相对光合作用速率, 即单位叶绿素在光饱和情况下在单位时间内同化的碳量[$\text{mg C}/(\text{mg Chla} \cdot \text{h})$], 净同化碳量为同化系数, 毛同化碳量为相对光合作用速率; E为真光层厚度, 即补偿深度(m), DH为日出到日落的时间(h); SD为Secchi盘透明度(m)。K为经验常数, 一般晴天为2.0, 阴天为1.5; Chla为表层叶绿素a含量(mg/m^3)。试验按下面两式计算r和r':

$$r = P_n / (\text{Chla} \cdot T_i)$$

$$r' = P_g / (\text{Chla} \cdot T_i)$$

式中, r为同化系数, r'为相对光合作用速率; P_n 和 P_g 分别为10—14时挂瓶4h内的净初级产量和毛初级产量($\text{mg C}/\text{m}^3$); Chla为表层叶绿素a含量(mg/m^3); T_i 为挂瓶时间。

收稿日期: 2002-04-18; 修订日期: 2002-08-30

基金项目: 国家九五攻关课题(960080401); 国家杰出青年基金(39725023)资助

作者简介: 赵文(1963—), 男, 吉林农安县人; 教授, 博士; 主要研究方向为水生生物学、水产养殖生态学。现在大连水产学院养殖系工作,

116023。E-mail: zhaowen@mail.dlptt.ln.cn。在修改过程中得到大连水产学院何志辉教授的热忱指导, 特此致谢

表 1 盐碱池塘基本状况和水化学特征

Tab. 1 Basic situation and water physical and chemical features in saline alkaline ponds

池塘 Ponds	1# 池	2# 池	3# 池	4# 池	20# 池
主养鱼 Main fish cultured	无鱼	鲢	罗非鱼	草鱼	罗非鱼
放养密度 Stocking density(ind./hm ²)		7824	11346	11235	11080
放养重量 Stocking(kg/hm ²)		1144	1317	788	508
净鱼产量 Net fish yield(kg/hm ²)		5500	5500	6730	5950
鲢鳙罗非鱼净产量 Net yield of silver carp, bighead and tilapia(kg/hm ²)		2085	4327	3060	2827
鲢鳙净产量 Net yield of silver carp and bighead(kg/hm ²)		2085	1442	1785	1131
面积 Area(hm ²)	0.2	0.34	0.26	0.2	0.65
水深 Water depth(m)	1.2	1.6	1.5	1.8	1.2
水温 Water temperature(℃)	25±5	27±5	27±5	26±5	30±3
透明度 Transparency(m)	0.36±0.13	0.22±0.07	0.22±0.05	0.30±0.10	0.18±0.13
电导率 Conductivity(10 ³ μs/cm)	2.72±0.59	3.72±0.59	2.61±0.57	3.93±0.76	3.49±1.22
pH	8.80±0.40	8.58±0.23	8.50±0.22	8.39±0.12	8.61±0.12
盐度 Salinity(g/L)	2.14±0.44	2.56±0.33	1.94±0.34	2.74±0.48	2.61±0.97
总碱度 Alk(mmol/L)	5.42±0.47	5.29±0.75	5.16±1.21	5.93±0.65	4.5±1.49
PO ₄ ³⁻ P(mg/L)	0.022±0.017	0.027±0.024	0.018±0.011	0.021±0.015	0.007±0.007
TP(mg/L)	0.125±0.070	0.163±0.029	0.204±0.069	0.136±0.035	0.249±0.048
TIN(mg/L)	0.219±0.231	0.172±0.081	0.258±0.273	0.186±0.106	0.142±0.034
TN(mg/L)	3.103±0.939	3.125±0.829	3.253±0.943	2.960±0.670	

上面的经验常数 K 值按 By JboH 公式($P_g = K P_{max} \cdot SD$)^[4]计算, 即 $K = P_g / (P_{max} \cdot SD)$, 其中 P_g 为水柱日产量 [$gO_2 / (m^2 \cdot d)$]; P_{max} 为最高生产层生产量 [$gO_2 / (m^3 \cdot d)$]; SD 为 Secchi 盘透明度(m); K 为常数。

采用下面换算关系: $1mg O_2 = 0.375mgC$; $1mgO_2 = 14.68J$, $10^6J = 1MJ$ 。鲢鳙罗非鱼鲜重的能值为: $5.02MJ/kg$ 。

相关系数用 t 检验或 z 变换。

2 结果

2.1 盐碱池塘浮游植物的初级生产力及其有关参数 从表2可见, 5 个池塘毛初级产量和净初级产量均以主养罗非鱼的 20# 池最高, 无鱼对照池 1# 池最低。5 个池塘毛初级产量的总平均值为 $9.42 \pm 4.21 gO_2/m^2 \cdot d$, 变幅为 $1.37 - 19.77 gO_2/m^2 \cdot d$; 净初级产量的总平均值为 $5.36 \pm 3.24 gO_2/m^2 \cdot d$, 变幅为 $0 - 12.96 gO_2/m^2 \cdot d$ 。5 个池塘的呼吸量以主养草鱼的 4# 池最高, 20# 池次之, 也以 1# 池最低。5 池总平均值为 $4.05 \pm 2.81 gO_2/m^2 \cdot d$, 变幅为 $0.37 - 12.34 gO_2/m^2 \cdot d$ 。

毛产量与呼吸量的比值(即 P/R)也以生产力最高的 20# 池最高, 1# 和 4# 池最低, 5 个池塘总平均值为 2.36。群落呼吸量约占毛产量的 43%, 群落净产量约占毛产量的 57%, 日 P/B 系数平均为 0.24 ± 0.18 。20# 池最低(0.09), 其他池塘则比较接近总平均值, 2# 池稍高(0.33)。

单位水面下浮游植物的毛产量与同一时间所接受的太阳有效辐射(按太阳辐射强度的 50% 计算)的百分比, 即浮游植物对太阳有效辐射的利用率平均为 1.53%, 变动于 0.2%—3.15% 之间, 无鱼对照池较低, 仅为 0.59%, 养鱼池平均在 1.43%—2.51% 之间。

据对盐碱池塘的测定, 王骥公式^[3]中的经验常数 K 的平均值为 1.97 ± 0.42 。

盐碱池塘浮游植物的同化系数(r)平均为 3.60 ± 2.69 , 无鱼对照池最高, 养鱼 2# 池次之, 20# 池最低。相对光合作用速率(r')平均为 19.60 ± 9.68 。无鱼对照池最低, 养鱼 20# 池最高, 5 口池塘 r' 从小到大的顺序为 $1# < 3# < 2# < 4# < 20#$ 池, 而叶绿素 a 含量从大到小的顺序正好相反, 表明单位叶绿素 a 的毛生产量养鱼池远高于无鱼对照池, 而净生产量随叶绿素 a 含量增大而减小。

表 2 盐碱池塘浮游植物的初级生产力及其有关参数

Tab. 2 Primary productivity of phytoplankton and its relative parameters in saline alkaline ponds

池塘	日期	毛产量	净产量	呼吸量	补偿深度	透明度	H/ SD	P/ R	P/ B	K	太阳能利用率	r	r'
Pond	Date	Pg	Pn	R	H	SD					(%)		
1#	M	3.75	1.89	1.86	0.80	0.36	2.46	2.01	0.22	1.78	0.59	5.30	7.54
	Sd	2.19	1.69	1.40	0.26	0.13	0.96	1.42	0.11	0.37	0.34	4.93	4.34
2#	M	10.55	6.31	4.24	0.71	0.22	3.59	2.49	0.33	2.22	1.72	3.72	21.93
	Sd	2.65	2.61	2.77	0.07	0.07	1.17	5.36	0.28	0.38	0.53	1.58	6.79
3#	M	8.74	4.99	3.75	0.72	0.22	3.41	2.33	0.24	2.23	1.43	3.04	18.26
	Sd	2.05	2.92	2.73	0.09	0.05	0.71	2.79	0.16	0.44	0.43	1.44	5.44
4#	M	12.46	6.41	6.03	0.88	0.28	3.48	2.07	0.26	1.75	2.01	2.68	25.62
	Sd	3.58	2.93	3.38	0.18	0.10	1.02	1.06	0.13	0.29	0.74	1.75	9.41
20#	M	14.70	9.63	5.08	0.71	0.18	4.11	2.89	0.09	1.65	2.51	2.36	32.05
	Sd	3.99	2.41	1.59	0.05	0.03	0.37	0.20	0.04	0.36	0.76	0.77	9.68
Total	M	9.42	5.36	4.05	0.78	0.26	3.31	2.36	0.24	1.97	1.53	3.60	19.60
	Sd	4.21	3.24	2.81	0.17	0.10	1.01	2.93	0.18	0.42	0.76	2.69	9.68

注: M 为平均值, Sd 为标准差。

2.2 初级生产力的垂直分布 从图1可见, 生产量的垂直分布是极不均匀的。养鱼池比无鱼对照池的垂直变化更大。一般上层显著高于下层, 最高生产层常常出现在表层或水深25cm以上的水层, 无鱼对照池由于透明度较大, 上下层生产量的差别较养鱼

池的小。有时出现表层光抑制现象, 如5月29日的4#池、7月13日的3#池都出现明显的表层光抑制(图1)。补偿深度平均为0.78m, 透明度平均为0.26m, 补偿深度为透明度的3.31±1.01倍(表2)。呼吸量的垂直分布则相对比较均匀。

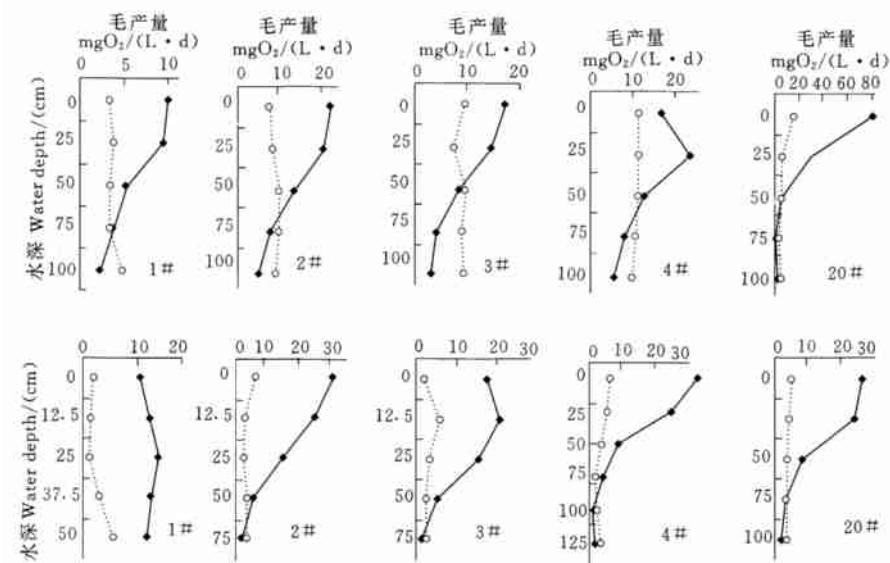


图 1 盐碱池塘浮游植物初级生产力的垂直分布

Fig. 1 The vertical distribution of primary productivity of phytoplankton in saline alkaline ponds

—●— 日初级毛产量 [$\text{g O}_2 / (\text{m}^2 \cdot \text{d})$]; —□— 日群落呼吸量 [$\text{g O}_2 / (\text{m}^2 \cdot \text{d})$]

上图 5月29日盐碱池塘浮游植物初级生产力的垂直分布;

下图 7月13日盐碱池塘浮游植物初级生产力的垂直分布

213 初级生产力的季节变动 浮游植物水柱毛初级产量、最适光合层生产量(P_{max})、生物量和叶绿素a含量的季节变动示于图2。从中可见,试验期间浮游植物的初级生产力变动较大,1#池初级生产力7月13日达高峰,此时并非浮游植物生物量和叶绿素a含量的最高峰。养鱼池初级生产力都有春季(5月中下旬)和夏末(8月中旬)两个高峰。初级生产力的季节变动虽然与叶绿素a和生物量的季节变动有相同趋势,但其峰值并不同步。

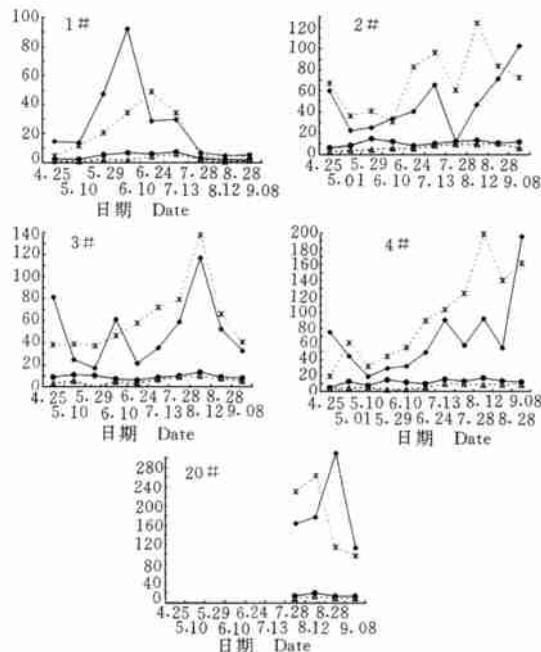


图2 盐碱池塘浮游植物毛初级产量、 P_{max} 、生物量和叶绿素a含量的季节变动

Fig. 2 The seasonal dynamics of biomass, chlorophyll a, gross primary production and P_{max} in saline-alkaline ponds
) s) 生物量 Biomass (mg/L);
) p) 水柱毛产量 Column gross production [gO₂/(m² d)];
 — v — 最适光合层生产量 P_{max} [gO₂/(m² d)];
 — * — Chla (Lg/L)

3 讨论

311 盐碱池塘初级生产力和我国其他池塘的比较

表3列出同是用黑白瓶测氧法测定的淡水池塘和混盐水池塘的初级生产力及有关参数。从表3可见,我国淡水鱼池初级毛产量一般在5) 10gO₂/m² d之间,施化肥池可达15) 20gO₂/m² d。水柱呼吸量常与毛产量相近, P/R值接近于1或稍高些,但主施化肥的南汇渔场成鱼池高达3141。相比之下,高青盐碱池塘毛产量不低于淡水高产塘,高于庄河混盐水虾池,但呼吸量则远低于淡水鱼池,稍高于虾池。P/R值高达2) 3,远高于传统高产塘,与主施化肥

的鱼池相近。

盐碱池塘浮游植物对太阳能的利用率平均为1153%,与我国高产鱼池(1149) 3121%)^[8]相当,高于我国高生产力湖泊(0125) 0131%)。日P/B系数均值为0124,比我国高产鱼池和高生产力湖泊的低。同化系数(r , 3160)居于浮游植物平均值(1) 10mg/mg#h)较低水平^[17]。

水体P/R值反映了初级净产量和外来有机质量的大小。天然水体P/R值通常接近于1,低生产力的贫营养湖泊P/R值常小于1,而投入大量有机肥料和人工饲料的高产鱼池,P/R值也常小于1;国外施无机肥料的鱼池P/R值一般在1) 2之间,最高可达4。高青盐碱池塘高的P/R值显示水中微生物活动较弱和有外来无机养分的输入。但是各鱼池施化肥量有限,可能系黄河水流经耕地带入较多的营养盐类所致。

P/R值过高,表明水体中分解过程弱和物质循环速率较低,初级生产力没有被充分利用。

312 盐碱池塘初级生产力和一些生态因子的关系

31211 浮游植物现存量 浮游植物生物量(B)和叶绿素a含量(Chla)均是现存量的常用指标,相关分析表明,两者与初级生产力之间均呈极显著的正相关,叶绿素a含量与初级生产力的相关性更强。其回归方程为:

$$P_g = 114568 B^{0.4602} \quad (R^2 = 0.1476, n = 44, p < 0.01)$$

$$P_g = 110158 Chla^{0.1538} \quad (R^2 = 0.1788, n = 44, p < 0.01)$$

式中: P_g 浮游植物初级生产力[gO₂/(m² d)]; B浮游植物生物量(mg/L); Chla浮游植物叶绿素a含量(Lg/L)。

一般情况下,现存量增大生产量也迅速提高,但现存量超过一定范围由于自荫作用增强,生产量仅随现存量增大呈极缓慢地增加甚至降低。此外浮游植物种类组成也会影响现存量与初级生产力的关系^[12]。盐碱池塘初级生产力的季节变动虽与生物量和叶绿素a的季节变动趋势一致,但其峰值并不同步,现存量高峰时生产量并不高(图2、图3)。盐碱池塘的P/B系数较低,可能是现存量过大,自荫作用限制了光合作用所致。

31212 水温 水温直接和间接影响初级生产力。浮游植物初级产量的季节变化与水温的变化密切相关。本试验期间,浮游植物生产量都有一个夏季高峰,这与水温不无关系。相关分析表明,盐碱池塘的水温(T , e)与浮游植物初级生产力[P_g , gO₂/(m² d)]显著正相关,其回归方程为:

表3 不同池塘浮游植物初级生产力比较

Tabl 3 Comparison of primary production of phytoplankton in different ponds

池塘	池数	毛产量	呼吸量	P/R	资料来源
		P(gO ₂ / m ² ·d)	R(gO ₂ / m ² ·d)		
无锡河埒口高产塘	4	9139 (8109) 10107	10109 (9115) 11186	0193	雷衍之等 ^[13]
镇赉渔场高产池	7	6168 (5152) 7192	5138 (4157) 6120	1124	何志辉 ^{[10][11]}
海城西四渔场高产池	6	13149 (7172) 21148	19116 (4173) 29146	0170	沈成纲等 ^[18]
主养青鱼高产塘	5	9179 (8131) 10179	7115 (5182) 8136	1137	姚宏禄等 ^[10]
主养鲢鳙罗非鱼池	1	19170 (10169) 26195	14140 (11199) 18112	1139	姚宏禄 ^[5]
上海南汇渔场成鱼池	7	16176 (1117) 2311	4192	3141	郑元维等 ^[9]
重庆花溪高产塘	2	7161 (6184) 8139	4139 (3195) 4183	1173	张家富等 ^[9]
庄河养虾池	4	5145 (1154) 10129	3136 (1128) 8185	1167	阎喜武等 ^[12]
高青盐碱池塘	5	9142 (3175) 14170	4105 (1186) 6103	2136	本文

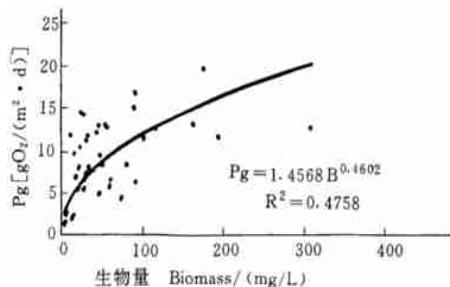


图3 浮游植物的毛初级产量与生物量的关系

Fig. 3 The relationship between gross primary production and biomass of phytoplankton

$$Pg = 0133T + 0155 \quad (r = 01393, n = 44, p < 0101)$$

3.1.2.3 光照和透明度 光是初级生产的能源, 盐碱池塘浮游植物初级生产力的垂直分布与水下光强分布密切相关, 除了有时表层光抑制之外, 一般初级生产力随水深增加而下降。

通常情况下, 单位水面下太阳辐射强度与毛初级生产量之间存在显著的正相关^[18], 但当光照强度接近抑制水平时, 初级生产力与光照强度无关或相关性不显著。本文表明, 盐碱池塘鱼类生长期浮游植物水柱日产量或最适光合层日产量(P_{max})与太阳辐射强度之间没有规律性联系, 这一方面表明试验期间太阳辐射能不起限制作用, 另一方面盐碱池塘由于鱼类活动和施肥投饵等, 浮游生物较丰富, 一般透明度较低, 这样随表面光强增大, 由于浮游植物自荫作用, 光照对初级生产力的影响被遮盖了。这点与 Heyman & Lundgren^[15]、姚宏禄的结论基本一致。

透明度对浮游植物初级生产力也有重要影响。盐碱池塘浮游植物透明度(SD, cm)与初级生产力 $P_g [gO_2 / (m^2 \cdot d)]$ 和 $P_{max} [mgO_2 / (L \cdot d)]$ 显著负相关, 其回归方程为:

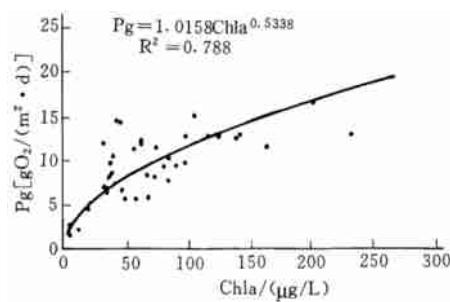


图4 浮游植物的毛初级产量与叶绿素a的关系

Fig. 4 The relationship between gross primary production and chlorophyll a of phytoplankton

$$P_g = 191024 e^{-0.0326SD} \quad (R^2 = 0.1300, n=44, p<0.01)$$

$$P_{max} = 244813 e^{-11.6166} \quad (R^2 = 0.1507, n=44, p<0.01)$$

3.12.14 营养盐 大量的研究表明,海洋初级生产力通常氮是第一限制因子,磷是第二限制因子,淡水相反,磷常是第一限制因子。Hammer 总结了世界范围的内陆盐水水体(盐度>3g/L)的生态特征表明,内陆盐水通常是氮限制。Coraco 等研究了盐度在0~31g/L之间的沿海池塘浮游植物生长的营养限制,指出盐度较低时(0~615g/L)为磷限制,仅在高盐组(31g/L)表现氮限制,中间盐度组对单独加氮或磷均没有反应。阎喜武、何志辉也指出海水养虾池为磷限制。调查表明盐碱池塘浮游植物初级生产力与总磷(TP, mg/L)正相关,但相关性较弱。其回归方程为:

$$P_g = 191901TP + 61162 \quad (r = 0.1325, n = 39, p < 0.05)$$

而与磷酸盐(PO₄³⁻ P)、总无机氮(TIN)、总氮(TN)均没有显著的相关性。这说明所调查盐碱池塘浮游植物初级生产力的大小受磷的影响大于氮。盐碱池塘的氮磷比(TIN/PO₄³⁻ P)平均为12(6~20):1,显然高于浮游植物生长的最适氮磷比(7B1)。此外高青盐碱池塘盐度不高,浮游植物种类组成上主要是淡水普生性的耐盐种或喜盐种,限制因子也与淡水相似。

3.12.15 盐度、碱度和 pH 据 Hammer 的资料,低盐水体和中盐水体的浮游植物生产力一般极高,但高盐湖(盐度>50g/L)的初级生产力因浮游植物种类少和高盐下养分与盐类结合难被利用及受高盐抑制而降低。高青盐碱鱼池盐度较低,浮游植物初级生产力与盐度呈显著的正相关。其回归方程为:

$$P_g = 2184S + 2164 \quad (r = 0.1381, n = 44, p < 0.01)$$

虽然高生产力通常与高碱度和高 pH 有联系,但相关分析表明,高青盐碱鱼池浮游植物初级生产

力与碱度和 pH 没有显著相关。

3.13 养鱼对初级生产力的影响

养鱼可促进水体富营养化,一方面鱼类活动和摄食促进了水体的营养物质的循环速度,另一方面,养鱼池施肥投饵等使浮游植物生物量增加,两者均能促进浮游植物的光合作用。本研究也显示养鱼池塘的初级生产力均显著地高于无鱼对照池。浮游植物对太阳有效辐射的利用率和相对光合作用速率(η_c)也都是对照池最低。但同化系数(r)对照池最高,这点可能与其现存量最低有关。主养鱼类的种类、密度对初级生产力也有影响,如主养鲢的2#池,鲢放养密度最大,毛初级产量和净初级产量虽然不是最高的,但其P/R系数和P/B系数和同化系数(r)均大于其他鱼池,这与鲢直接以浮游植物为食和增进了营养盐循环速度也不无关系。

山东高青鱼类生长期(4~9月)到达水面的总辐射量大约为36831.4MJ/m²。现将盐碱池塘年毛和净初级生产力及鲢鳙罗非鱼净产量,换算成能量值,计算出各项转换效率(表4)。由表4可见,毛初级生产力对太阳能的利用率为0.188%,11.23%。这与我国某些主养青鱼池塘所报道利用率(0.181)11.11%相当,略低于主养鲢鳙非鲫的淡水高产池塘(0.186%)11.64%。鲢鳙罗非鱼的净产量对浮游植物净初级生产力的利用率为51.4%,14.11%,比湖泊值^[8]高得多,但也比姚宏禄等的报道值(81.46%)15.15%低。太阳能转化为鲢鳙罗非鱼的鱼产量的生态效率为0.1028%,0.1059%。与主养青鱼池塘一致,而远低于相同放养模式的淡水池塘(0.1058%)0.156%。在淡水高产池中鲢鳙产量通常达毛初级产量的5%,15%,这里仅为11.3%,31.2%,这些差异与盐碱池塘鲢鱼生长较慢有直接关系。

表4 盐碱池塘浮游植物初级生产力的能量转化效率(高青,赵店渔场)

Tab14 Ecological efficiencies of primary productivity in saline-alkaline ponds (Zhaodian Fish Farm, Gaoqing County, Shangdong Province)

鱼池 Ponds	毛产氧量 The gross oxygen production [g/(m ² a)]	合成能 Energy [MJ/(m ² a)]	毛初级生产力对总辐射能的利用率 Pg/Solar radiation (%)	鱼产量对毛初级生产力的利用率 Net fish yield/Pg (%)	鲢鳙产量对毛初级生产力的利用率 Net yield of silver carp and bighead/Pg (%)	太阳能转化为鲢鳙非鲫的生态学效率 Fish yield/solar radiation (%)
1#	78715	11156	0.131			
2#	221515	32152	0.188	81.5	31.2	0.1028
3#	183514	26194	0.173	101.2	21.7	0.1059
4#	261616	38141	0.104	81.8	21.3	0.1042
20#	308710	45132	0.123	61.6	11.3	0.1039

参考文献:

- [1] Caraco N. Nutrient limitation of phytoplankton growth in brackish coastal ponds [J]. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 1988, **44**(2): 473) 476
- [2] Pradeep H S, TRC Gupta. Primary production of brackishwater ponds at Mulki, Dakshina Kannada [J]. *Environ. Ecol.*, 1986, **4**(2): 177) 180
- [3] Wang J Wang, J. Some problems on the calculation among chlorophyll concentration, biomass and production of phytoplankton [J]. *Wuhan Botany Research*, 1984, **2**(2): 249) 258. [王骥, 王建. 浮游植物叶绿素含量、生物量、生产量相互换算中的若干问题. 武汉植物学研究, 1984, **2**(2): 249) 258]
- [4] [M]. , , 1983
- [5] Yao H L. Primary productivity and ecological efficiencies of energy conversion in high output fishponds with silver carp, bighead carp and tilapia as the major culture species [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1993, **13**(3): 272) 279. [姚宏禄. 主养鲢鳙非鲫高产鱼塘的初级生产力与能量转化效率的研究. 生态学报, 1993, **13**(3): 272) 279]
- [6] . & . , 1986, **22**(2): 79) 82
- [7] McLusky D D. S. *The Estuarine Ecosystem*. 2th [M]. Edition. Blackie, 1989
- [8] He Z H. The primary production and energy conversion efficiency of lake and reservoir in China [J]. *Fisheries Science*, 1987, (1): 24) 30. [何志辉 1987 中国湖泊水库的初级生产力及其能量转化效率 [J]. 水产科学, 1987, (1): 24) 30]
- [9] Zhang Y Z. *Fish Culture of Ponds in China* [M]. Beijing: Science Press, 1989, 40) 88. [张扬宗. 中国池塘养鱼学. 北京: 科学出版社, 1989, 40) 88]
- [10] Yao H L, Wu W N, Gu Y L et al. The primary productivity and energy conversion efficiencies for silver carp and bighead carp in high output fish ponds with the black carp as the major species for culture [J]. *Acta Hydrobiologica sinica*, 1990, **14**(2): 114) 128. [姚宏禄, 吴乃薇, 顾月兰等. 主养青鱼高产池塘的初级生产力及其能量转化为鲢鳙产量的效率. 水生生物学报, 1990, **14**(2): 114) 128]
- [11] He Z H. Analysis on fishponds ecosystem of Zhengkai fish farm in Jilin [J]. *Journal of Fisheries of China*, 1993, **17**(1): 24) 35. [何志辉. 吉林镇赉养鱼场鱼池生态系的分析. 水产学报, 1993, **17**(1): 24) 35]
- [12] Yan X W, Z H He. A study of primary productivity of phytoplankton in shrimp ponds [J]. *Journal of Fisheries of China*, 1997, **21**(3): 288) 295. [阎喜武, 何志辉. 虾池浮游植物初级生产力的研究 [J]. 水产学报, 1997, **21**(3): 288) 295]
- [13] Lei Y Z, Yu S M, Xu J. Studies on the water quality of the high yield fishponds in He Lie Commune, Wuxi. Part 1. Chemistry of fishpond water and primary productivity [J]. *Journal of Fisheries of China*, 1983, **7**(3): 185) 199. [雷衍之, 余淑敏, 徐捷 1983 无锡市河埒口高产鱼池水质研究. 水化学和初级生产力 [J]. 水产学报, 1983, **7**(3): 185) 199]
- [14] Hammer U T. Primary production in saline lakes: A review [J]. *Hydrobiologia*, 1981, **81**: 47) 57
- [15] Heyman U, A Lundgren. Phytoplankton biomass and production in relation to phosphorus [J]. *Hydrobiologia*, 1988, **170**: 211) 227
- [16] Hammer U T. *Saline Lake Ecosystem of the World* [M]. Junk, Dordrecht, 1986
- [17] He Z H. *Freshwater Ecology* [M]. Beijing: Chinese Agriculture Press, 2000, 135. [何志辉. 淡水生态学. 北京: 中国农业出版社, 2000, 135]
- [18] Shen C G, Li M H, He Z H. Ecological analysis on high output fish ponds of Xisi Fish Farm in Haicheng City [J]. *Journal of Dalian Fisheries University*, 1994, **9**(4): 10) 20. [沈成钢, 李梦河, 何志辉. 海城市西四渔场高产塘生态学分析. 大连水产学院学报, 1994, **9**(4): 10) 20]

THE PRIMARY PRODUCTIVITY OF PHYTOPLANKTON IN SALINE2ALKALINE PONDS

ZHAO Wen, DONG Shuanglin, LI Dechang, ZHANG Zhaoqi and SHENTU Qingchun

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

Abstract: The primary productivity of phytoplankton in saline2alkaline ponds in Zhaodian Fish Farm, Gaoqing county, Shandong Province, has been estimated by means of dark and light bottles method, during the season of fish growth during from April to September in 1997. The results showed that the primary productivity was $9142 \pm 4121 \text{ gO}_2 / (\text{m}^2 \cdot \text{d})$, daily P/B ratio was 0.24 ± 0.18 , the available utilization rate of light energy was 1.53%, range from 0.20 to 3.15%. The primary productivity in control ponds without fish was significant fewer than that of fish2culture ponds. The primary production of phytoplankton occur two peak values, one occurs in spring, the other occurs in the late summer, the highest productive layer is the surface above 25cm. The analyses of correlation were suggested that phytoplankton biomass, transparency depth, water temperature, salinity are important ecological factors influenced the primary productivity of phytoplankton in saline2alkaline ponds in Gaoqing. As far as experimental ponds are concerned, limit effects of phosphorus to productivity was more important than that of nitrogen. The conversion efficiency of solar radiation to gross primary productivity ranged from 0.88% to 1.23%. The net primary productivity to yield of silver carp, bighead and tilapia varied from 6.6% (14.1%). The ecological conversion efficiency of solar radiation to fish yield was 0.028% (0.059%).

Key words: Primary production; Phytoplankton; Salinity; Nutrient; Ecological efficiecy; Saline2alkaline ponds